# 2019年5月29日(水)

[J] ポスター発表 | セッション記号 U (ユニオン)：ユニオン

10:45 ~ 12:15 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_1

## [U-04] 地球惑星科学における高速過程を捉える

コンビーナ:芳野 極(岡山大学惑星物質研究所)、丹下 慶範(高輝度光科学研究センター)

[U04-P01] X線吸収分光法を利用したSPring-8における時間分解計測の現状

*新田 清文[1]、関澤 央輝[1]、加藤 和男[1]、大沢 仁志[1] (1.公益財団法人高輝度光科学研究センター)

---

[U04-P02] Ultrafast time-resolved XFEL diffraction study on shock-compressed corundum

*丹下 慶範[1] (1.高輝度光科学研究センター)

[J] ポスター発表 | セッション記号 U (ユニオン)：ユニオン

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_1

## [U-04] 地球惑星科学における高速過程を捉える

コンビーナ:芳野 極(岡山大学惑星物質研究所)、丹下 慶範(高輝度光科学研究センター)

[U04-P01] X線吸収分光法を利用したSPring-8における時間分解計測の現状

*新田 清文[1]、関澤 央輝[1]、加藤 和男[1]、大沢 仁志[1] (1.公益財団法人高輝度光科学研究センター)

---

[U04-P02] Ultrafast time-resolved XFEL diffraction study on shock-compressed corundum

*丹下 慶範[1] (1.高輝度光科学研究センター)

[J] ポスター発表 | セッション記号 P (宇宙惑星科学)：P-EM 太陽地球系科学・宇宙電磁気学・宇宙環境

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_3

## [P-EM18] 太陽圏・惑星間空間

コンビーナ:坪内 健(電気通信大学)、西野 真木(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)、成行 泰裕(富山大学人間発達科学部)、岩井 一正(名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

[PEM18-P01] チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星周辺における彗星起源イオンの加速過程に対する電場の寄与について

*山岸 和樹[1]、加藤 雄人[1]、木村 智樹[1]、熊本 篤志[1] (1.東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻)

---

[PEM18-P02] 月ウェイク境界における太陽風エネルギーの電磁エネルギーへの変換について

*中川 朋子[1]、綱川 秀夫[2]、斎藤 義文[3] (1.東北工業大学工学部情報通信工学科、2.東京工業大学理学院地球惑星科学系、3.宇宙科学研究所)

---

[PEM18-P03] 準垂直衝撃波における電子加速の１次元PICシミュレーション

*大塚 史子[1]、松清 修一[2]、岡 光夫[3] (1.久留米高専、2.九大総理工、3.UCバークレー)

---

[PEM18-P04] 4期にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測

*山崎 敦[1]、村上 豪[1]、吉岡 和夫[2]、木村 智樹[3]、土屋 史紀[4]、鍵谷 将人[4]、坂野井 健[4]、寺田 直樹[5]、笠羽 康正[4]、吉川 一朗[6]、ひさき（SPRINT-A） プロジェクトチーム (1.宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科、3.東北大学、4.東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター、5.東北大学大学院理学研究科、6.東京大学)

---

[PEM18-P05] Structural variations in the pickup ion density associated with magnetic reconnection at the heliopause

*坪内 健[1] (1.電気通信大学)

[J] ポスター発表 | セッション記号 P (宇宙惑星科学)：P-EM 太陽地球系科学・宇宙電磁気学・宇宙環境

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_7

## [P-EM18] 太陽圏・惑星間空間

コンビーナ:坪内 健(電気通信大学)、西野 真木(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)、成行 泰裕(富山大学人間発達科学部)、岩井 一正(名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

[PEM18-P01] チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星周辺における彗星起源イオンの加速過程に対する電場の寄与について

*山岸 和樹[1]、加藤 雄人[1]、木村 智樹[1]、熊本 篤志[1] (1.東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻)

[PEM18-P02] 月ウェイク境界における太陽風エネルギーの電磁エネルギーへの変換について

*中川 朋子[1]、綱川 秀夫[2]、斎藤 義文[3] (1.東北工業大学工学部情報通信工学科、2.東京工業大学理学院地球惑星科学系、3.宇宙科学研究所)

[PEM18-P03] 準垂直衝撃波における電子加速の１次元PICシミュレーション

*大塚 史子[1]、松清 修一[2]、岡 光夫[3] (1.久留米高専、2.九大総理工、3.UCバークレー)

[PEM18-P04] 4期にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測

*山崎 敦[1]、村上 豪[1]、吉岡 和夫[2]、木村 智樹[3]、土屋 史紀[4]、鍵谷 将人[4]、坂野井 健[4]、寺田 直樹[5]、笠羽 康正[4]、吉川 一朗[6]、ひさき（SPRINT-A） プロジェクトチーム (1.宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科、3.東北大学、4.東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター、5.東北大学大学院理学研究科、6.東京大学)

[PEM18-P05] Structural variations in the pickup ion density associated with magnetic reconnection at the heliopause

*坪内 健[1] (1.電気通信大学)

[J] ポスター発表 | セッション記号 P (宇宙惑星科学)：P-CG 宇宙惑星科学複合領域・一般

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_4

## [P-CG24] アルマによる惑星科学の新展開

コンビーナ:武藤 恭之(工学院大学　教育推進機構)、百瀬 宗武(茨城大学理学部)、佐川 英夫(京都産業大学理学部)、下条 圭美(国立天文台)

[PCG24-P01] タイタン大気における窒素同位体分別：ALMAアーカイブデータの解析

*佐川 英夫[1]、飯野 孝浩[2]、塚越 崇[3] (1.京都産業大学、2.東京農工大学、3.国立天文台)

[PCG24-P02] Investigating the gas-to-dust ratio in the protoplanetary disk of HD 142527

*Soon Kang-Lou[1]、百瀬 宗武[1]、武藤 恭之[2]、塚越 崇[3]、片岡 章雅[3]、花輪 知幸[4]、深川 美里[3]、西合 一矢[3]、芝井 広[5] (1.茨城大学、2.工学院大学、3.国立天文台、4.千葉大学、5.大阪大学)

[PCG24-P03] スパースモデリングによる原始惑星系円盤 HD142527の超解像イメージング

*山口 正行[1,2]、秋山 和徳[3,2]、片岡 章雅[2,6]、塚越 崇[2]、武藤 恭之[4]、池田 思朗[5]、深川 美里[2]、本間 希樹[2,6]、川邊 良平[2,1,6] (1.東京大学、2.国立天文台、3.マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所、4.工学院大学、5.統計数理研究所、6.総合研究大学大学院)

[PCG24-P04] ALMA高空間分解観測で探るTタウリ型星RY Tauに付随する円盤の詳細構造

*小西 美穂子[1,2]、橋本 淳[1,2]、Hauyu Liu[3]、Ruobing Dong[4]、武藤 恭之[5] (1.自然科学研究機構 アストロバイオロジーセンター、2.国立天文台、3.中央研究院天文及天文物理研究所、4.ビクトリア大学、5.工学院大学)

[PCG24-P05] Possible inclined inner protoplanetary disk

*橋本 淳[1]、小西 美穂子[1]、鵜山 太智[2]、Ginski Christian[3]、Samland Matthias[4] (1.自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター、2.東京大学、3.アムステルダム大学、4.マックス・プランク研究所)

[PCG24-P06] Search for the Inner Disk Structures in "Transitional" Disks

*武藤 恭之[1]、橋本 淳[2]、塚越 崇[3]、小西 美穂子[3]、工藤 智幸[3] (1.工学院大学　教育推進機構、2.アストロバイオロジーセンター、3.国立天文台)

[J] ポスター発表 | セッション記号 P (宇宙惑星科学)：P-CG 宇宙惑星科学複合領域・一般

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_8

## [P-CG24] アルマによる惑星科学の新展開

コンビーナ:武藤 恭之(工学院大学　教育推進機構)、百瀬 宗武(茨城大学理学部)、佐川 英夫(京都産業大学理学部)、下条 圭美(国立天文台)

[PCG24-P01] タイタン大気における窒素同位体分別：ALMAアーカイブデータの解析

*佐川 英夫[1]、飯野 孝浩[2]、塚越 崇[3] (1.京都産業大学、2.東京農工大学、3.国立天文台)

---

[PCG24-P02] Investigating the gas-to-dust ratio in the protoplanetary disk of HD 142527

*Soon Kang-Lou[1]、百瀬 宗武[1]、武藤 恭之[2]、塚越 崇[3]、片岡 章雅[3]、花輪 知幸[4]、深川 美里[3]、西合 一矢[3]、芝井 広[5] (1.茨城大学、2.工学院大学、3.国立天文台、4.千葉大学、5.大阪大学)

---

[PCG24-P03] スパースモデリングによる原始惑星系円盤 HD142527の超解像イメージング

*山口 正行[1,2]、秋山 和徳[3,2]、片岡 章雅[2,6]、塚越 崇[2]、武藤 恭之[4]、池田 思朗[5]、深川 美里[2]、本間 希樹[2,6]、川邊 良平[2,1,6] (1.東京大学、2.国立天文台、3.マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所、4.工学院大学、5.統計数理研究所、6.総合研究大学大学院)

---

[PCG24-P04] ALMA高空間分解観測で探るTタウリ型星RY Tauに付随する円盤の詳細構造

*小西 美穂子[1,2]、橋本 淳[1,2]、Hauyu Liu[3]、Ruobing Dong[4]、武藤 恭之[5] (1.自然科学研究機構 アストロバイオロジーセンター、2.国立天文台、3.中央研究院天文及天文物理研究所、4.ビクトリア大学、5.工学院大学)

---

[PCG24-P05] Possible inclined inner protoplanetary disk

*橋本 淳[1]、小西 美穂子[1]、鵜山 太智[2]、Ginski Christian[3]、Samland Matthias[4] (1.自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター、2.東京大学、3.アムステルダム大学、4.マックス・プランク研究所)

---

[PCG24-P06] Search for the Inner Disk Structures in "Transitional" Disks

*武藤 恭之[1]、橋本 淳[2]、塚越 崇[3]、小西 美穂子[3]、工藤 智幸[3] (1.工学院大学　教育推進機構、2.アストロバイオロジーセンター、3.国立天文台)

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-AS 大気科学・気象学・大気環境

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_6

## [A-AS05] 成層圏・対流圏過程とその気候への影響

コンビーナ:河谷 芳雄(国立研究開発法人海洋研究開発機構)、渡辺 真吾(国立研究開発法人海洋研究開発機構)、関谷 高志(国立研究開発法人　海洋研究開発機構)、佐藤 薫(東京大学　大学院理学系研究科　地球惑星科学専攻)

[AAS05-P01] **An advanced impact of Arctic stratospheric ozone changes on spring precipitation in China**

*Fei Xie[1] (1.Beijing Normal University)

[AAS05-P02] 海岸に設置した人工対流と人工降雨による地球冷却化システム

*村上 英世[1] (1.ｲｲｴｺｹﾝｷｭｳｼｮ)

[AAS05-P03] Stratospheric front-like temperature structure and gravity wave activity during a stratospheric sudden warming event in 2016

*角 ゆかり[1]、佐藤 薫[1] (1.東京大学大学院理学系研究科)

[AAS05-P04] The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model

*河谷 芳雄[1]、Kevin Hamilton[2]、Lesley J. Gray[3]、Scott M. Osprey[3]、渡辺 真吾[1]、山下 陽介[1] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.ハワイ大学国際太平洋研究センター、3.オックスフォード大学物理部門大気海洋惑星物理学)

[AAS05-P05] 固有位相速度を用いない波の擬運動量と3次元波活動度fluxの関係について
★招待講演

*木下 武也[1] (1.海洋研究開発機構)

[AAS05-P06] Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric Quasi-biennial Oscillation

*渡辺 真吾[1]、Kevin Hamilton[2]、Scott Osprey[3]、河谷 芳雄[1]、西本 絵梨子 (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.International Pacific Research Center, University of Hawaii at Manoa、3.NCAS-Climate, University of Oxford)

[AAS05-P07] Selection bias of quasi-fixed-point observations in the ExUTLS and its impact on the seasonal record

*稲飯 洋一[1]、町田 敏暢[2]、松枝 秀和[3]、澤 庸介[3]、坪井 一寛[3]、勝又 啓一[2,4]、森本 真司[1]、青木 周司[1]、中澤 高清[1]、藤田 遼[5,1] (1.東北大学、2.環境研、3.気象研、4.高千穂化学工業、5.Imperial College London)

[AAS05-P08] Varying Rossby Wave Trains from the Developing to Decaying Period of the Upper Atmospheric Heat Source over the Tibetan Plateau in Boreal Summer

*Chuandong Zhu[1,2]、Rongcai Ren[1] (1.Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences、2.University of Chinese Academy of Sciences)

[AAS05-P09] **Equilibrium Climate Responses of the East Asian Summer Monsoon to Various Anthropogenic Aerosol Species**

*Qiuyan Wang[2,1]、Zhili Wang[1,2]、Hua Zhang[3,2] (1.State Key Laboratory of Severe Weather & Key Laboratory of Atmospheric Chemistry of CMA, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing、2.Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing、3.Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing)

[AAS05-P10] Analysis of specific energy in zonal currents focusing on the analogy between jet stream and open channel flow

*北野 慈和[1]、山田 朋人[2] (1.一般財団法人　電力中央研究所、2.北海道大学大学院工学研究院)

[AAS05-P11] 2009年11月の南米南端におけるオゾン量低下イベントに関する解析

*秋吉 英治[1]、門脇 正尚[2]、中村 東奈[3]、杉田 考史[1]、廣岡 俊彦[4]、原田 やよい[5]、水野 亮[6] (1.国立環境研究所、2.日本原子力研究開発機構、3.富士通エフ・アイ・ピー、4.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、5.気象研究所、6.名古屋大学宇宙地球環境研究所)

[AAS05-P12] **Analysis of relatively low ozone in Arctic spring during the QBO-westerly and solar-minimum years**

*山下 陽介[1,2]、秋吉 英治[2]、高橋 正明[2] (1.海洋研究開発機構、2.国立環境研究所)

[AAS05-P13] 多成分衛星データ同化から得られた上部対流圏・下部成層圏オゾンの評価

*関谷 高志[1]、宮崎 和幸[2,1]、大越智 幸司[1]、須藤 健悟[3,1]、滝川 雅之[1] (1.国立研究開発法人　海洋研究開発機構、2.NASAジェット推進研究所／カリフォルニア工科大学、3.名古屋大学　大学院環境学研究科)

---

[AAS05-P14] 成層圏突然昇温期における気象庁全球アンサンブル予報システムの初期摂動特性

★招待講演

*野口 峻佑[1,2] (1.国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2.気象庁 気象研究所)

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-AS 大気科学・気象学・大気環境

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_10

## [A-AS05] 成層圏・対流圏過程とその気候への影響

コンビーナ:河谷 芳雄(国立研究開発法人海洋研究開発機構)、渡辺 真吾(国立研究開発法人海洋研究開発機構)、関谷 高志(国立研究開発法人　海洋研究開発機構)、佐藤 薫(東京大学　大学院理学系研究科　地球惑星科学専攻)

[AAS05-P01] **An advanced impact of Arctic stratospheric ozone changes on spring precipitation in China**

*Fei Xie[1] (1.Beijing Normal University)

[AAS05-P02] 海岸に設置した人工対流と人工降雨による地球冷却化システム

*村上 英世[1] (1.ｲｲｴｺｹﾝｷｭｳｼｮ)

[AAS05-P03] Stratospheric front-like temperature structure and gravity wave activity during a stratospheric sudden warming event in 2016

*角 ゆかり[1]、佐藤 薫[1] (1.東京大学大学院理学系研究科)

[AAS05-P04] The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model

*河谷 芳雄[1]、Kevin Hamilton[2]、Lesley J. Gray[3]、Scott M. Osprey[3]、渡辺 真吾[1]、山下 陽介[1] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.ハワイ大学国際太平洋研究センター、3.オックスフォード大学物理部門大気海洋惑星物理学)

[AAS05-P05] 固有位相速度を用いない波の擬運動量と3次元波活動度fluxの関係について
★招待講演

*木下 武也[1] (1.海洋研究開発機構)

[AAS05-P06] Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric Quasi-biennial Oscillation

*渡辺 真吾[1]、Kevin Hamilton[2]、Scott Osprey[3]、河谷 芳雄[1]、西本 絵梨子 (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.International Pacific Research Center, University of Hawaii at Manoa、3.NCAS-Climate, University of Oxford)

[AAS05-P07] Selection bias of quasi-fixed-point observations in the ExUTLS and its impact on the seasonal record

*稲飯 洋一[1]、町田 敏暢[2]、松枝 秀和[3]、澤 庸介[3]、坪井 一寛[3]、勝又 啓一[2,4]、森本 真司[1]、青木 周司[1]、中澤 高清[1]、藤田 遼[5,1] (1.東北大学、2.環境研、3.気象研、4.高千穂化学工業、5.Imperial College London)

[AAS05-P08] Varying Rossby Wave Trains from the Developing to Decaying Period of the Upper Atmospheric Heat Source over the Tibetan Plateau in Boreal Summer

*Chuandong Zhu[1,2]、Rongcai Ren[1] (1.Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences、2.University of Chinese Academy of Sciences)

[AAS05-P09] **Equilibrium Climate Responses of the East Asian Summer Monsoon to Various Anthropogenic Aerosol Species**

*Qiuyan Wang[2,1]、Zhili Wang[1,2]、Hua Zhang[3,2] (1.State Key Laboratory of Severe Weather & Key Laboratory of Atmospheric Chemistry of CMA, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing、2.Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing、3.Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing)

[AAS05-P10] Analysis of specific energy in zonal currents focusing on the analogy between jet stream and open channel flow

*北野 慈和[1]、山田 朋人[2] (1.一般財団法人　電力中央研究所、2.北海道大学大学院工学研究院)

[AAS05-P11] 2009年11月の南米南端におけるオゾン量低下イベントに関する解析

*秋吉 英治[1]、門脇 正尚[2]、中村 東奈[3]、杉田 考史[1]、廣岡 俊彦[4]、原田 やよい[5]、水野 亮[6] (1.国立環境研究所、2.日本原子力研究開発機構、3.富士通エフ・アイ・ピー、4.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、5.気象研究所、6.名古屋大学宇宙地球環境研究所)

[AAS05-P12] **Analysis of relatively low ozone in Arctic spring during the QBO-westerly and solar-minimum years**

*山下 陽介[1,2]、秋吉 英治[2]、高橋 正明[2] (1.海洋研究開発機構、2.国立環境研究所)

[AAS05-P13] 多成分衛星データ同化から得られた上部対流圏・下部成層圏オゾンの評価

*関谷 高志[1]、宮崎 和幸[2,1]、大越智 幸司[1]、須藤 健悟[3,1]、滝川 雅之[1] (1.国立研究開発法人　海洋研究開発機構、2.NASA ジェット推進研究所／カリフォルニア工科大学、3.名古屋大学　大学院環境学研究科)

[AAS05-P14] 成層圏突然昇温期における気象庁全球アンサンブル予報システムの初期摂動特性

★招待講演

*野口 峻佑[1,2] (1.国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2.気象庁 気象研究所)

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-OS 海洋科学・海洋環境

10:45 ~ 12:15 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_5

## [A-OS14] 沿岸域における混合，渦，内部波に関わる諸現象

コンビーナ:増永 英治(Ibaraki University)、永井 平(東京大学理学系研究科)、堤 英輔(東京大学大気海洋研究所)

[AOS14-P01] **鉛直混合と観測手法・システム開発と広域観測(OMIX-A01-1)**

*安田 一郎[1]、李 根淙[1]、藤尾 伸三[1]、柳本 大吾[1]、長澤 真樹[1]、川口 悠介[1]、岡 英太郎[1]、翟 燦[1]、木村 詩乃[1]、井上 龍一郎[2]、長谷川 大介[3]、田中 雄大[3]、石井 雅男[4]、中野 俊也[4]、後藤 恭敬[4] (1.東京大学大気海洋研究所、2.海洋研究開発機構、3.水産研究教育機構、4.気象庁)

[AOS14-P02] **Observation of enhanced nonlinear interactions after the passage of typhoon in the western South China Sea**

*gui ying Chen、chang rong Liang、xiao dong Shang

[AOS14-P03] Investigating vertical mixing in estuarine pycnocline: a case study in the Ariake Sea, Japan

*Takeshi Matsuno[1]、Eisuke Tsutsumi[1] (1.Kyushu University)

[AOS14-P04] 富山トラフ周辺における対馬暖流沿岸・沖合分枝の相互作用の可能性

*Igeta Yosuke[1]、Yankovsky Alexander [2]、Kuga Mizuki [1]、Hirose Naoki[3]、Fukudome Kenichi[4] (1.Japan Sea National Fishseries Research Institute、2.University of South Carolina、3.RIAM Kyushu Univ.、4.National Institute of Technology, Toyama College)

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-OS 海洋科学・海洋環境

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_13

## [A-OS14] 沿岸域における混合，渦，内部波に関わる諸現象

コンビーナ:増永 英治(Ibaraki University)、永井 平(東京大学理学系研究科)、堤 英輔(東京大学大気海洋研究所)

[AOS14-P01] **鉛直混合と観測手法・システム開発と広域観測(OMIX-A01-1)**

*安田 一郎[1]、李 根淙[1]、藤尾 伸三[1]、柳本 大吾[1]、長澤 真樹[1]、川口 悠介[1]、岡 英太郎[1]、翟 燦[1]、木村 詩乃[1]、井上 龍一郎[2]、長谷川 大介[3]、田中 雄大[3]、石井 雅男[4]、中野 俊也[4]、後藤 恭敬[4] (1.東京大学大気海洋研究所、2.海洋研究開発機構、3.水産研究教育機構、4.気象庁)

[AOS14-P02] **Observation of enhanced nonlinear interactions after the passage of typhoon in the western South China Sea**

*gui ying Chen、chang rong Liang、xiao dong Shang

[AOS14-P03] Investigating vertical mixing in estuarine pycnocline: a case study in the Ariake Sea, Japan

*Takeshi Matsuno[1]、Eisuke Tsutsumi[1] (1.Kyushu University)

[AOS14-P04] 富山トラフ周辺における対馬暖流沿岸・沖合分枝の相互作用の可能性

*Igeta Yosuke[1]、Yankovsky Alexander [2]、Kuga Mizuki [1]、Hirose Naoki[3]、Fukudome Kenichi[4] (1.Japan Sea National Fishseries Research Institute、2.University of South Carolina、3.RIAM Kyushu Univ.、4.National Institute of Technology, Toyama College)

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-CC 雪氷学・寒冷環境

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_9

## [A-CC27] 雪氷学

コンビーナ:縫村 崇行(東京電機大学)、石川 守(北海道大学)、舘山 一孝(国立大学法人　北見工業大学)、永井 裕人(早稲田大学　教育学部)

[ACC27-P01] Recent surface changes of rock glaciers in Tien Shan Mountains

*高玉 秀之[1]、奈良間 千之[2]、山之口 勤[3]、田殿 武雄[4] (1.新潟大学大学院自然科学研究科、2.新潟大学理学部理学科、3.リモート・センシング技術センター、4.宇宙航空研究開発機構)

[ACC27-P02] **Verification of AMSR-2 sea ice concentration and utilization of ship navigation in the Arctic Ocean**

*小野 温[1] (1.宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター)

[ACC27-P03] **飛騨山脈・唐松沢雪渓の氷厚と流動**

*有江 賢志朗[1]、奈良間 千之[2]、福井 幸太郎[3]、飯田 肇[3] (1.新潟大学大学院自然科学研究科　、2.新潟大学理学部理学科フィールド科学人材育成プログラム、3.立山カルデラ砂防博物館)

[ACC27-P04] **Meltwater discharge from Wilkes Basin, East Antarctica at around 4.2 ka revealed from Beryllium-10 analysis of marine sediments**

*Bethany Behrens[1,2]、Yosuke Miyairi[1]、Adam Sproson[1]、Masako Yamane[3]、Yusuke Yokoyama[1,2,4,5] (1.Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8564, Japan、2.Graduate Program on Environmental Science, University of Tokyo, Komaba, Meguro, Tokyo 153-0041, Japan、3.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Furocho, Chikusa, Nagoya, Aichi, 464-8601, Japan、4.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Natsushimacho, Yokosuka, Kanagawa Prefecture 237-0061, Japan、5.Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo, Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-8654, Japan)

[ACC27-P05] **南イニルチェック氷河における氷河上湖の日変動特性**

*櫻井 尚輝[1]、奈良間 千之[2]、井上 公[3]、エセナマノブ モハメド[4]、ザルベク ウセコブ[4] (1.新潟大学、2.新潟大学理学科、3.国立研究開発法人防災科学技術研究所、4.中央アジア応用地球科学研究所)

[ACC27-P06] Historical development of Spillway Lake on Ngozompa Glacier, Nepal

*Mohan Bahadur Chand[1]、Teiji Watanabe[2]、Yusuki Kobayashi[1] (1.Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University、2.Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University)

[ACC27-P07] Feature analysis of the spectral of snow, ice, and water in Lake Suwa using MODIS data

*中澤 友宏[1]、野中 崇志[2]、岩下 圭之[2] (1.日本大学大学院　生産工学研究科　土木工学専攻、2.日本大学　生産工学部　環境安全工学科)

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-CC 雪氷学・寒冷環境

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_15

## [A-CC27] 雪氷学

コンビーナ:縫村 崇行(東京電機大学)、石川 守(北海道大学)、舘山 一孝(国立大学法人　北見工業大学)、永井 裕人(早稲田大学　教育学部)

[ACC27-P01] Recent surface changes of rock glaciers in Tien Shan Mountains

*高玉 秀之[1]、奈良間 千之[2]、山之口 勤[3]、田殿 武雄[4] (1.新潟大学大学院自然科学研究科、2.新潟大学理学部理学科、3.リモート・センシング技術センター、4.宇宙航空研究開発機構)

[ACC27-P02] **Verification of AMSR-2 sea ice concentration and utilization of ship navigation in the Arctic Ocean**

*小野 温[1] (1.宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター)

[ACC27-P03] **飛騨山脈・唐松沢雪渓の氷厚と流動**

*有江 賢志朗[1]、奈良間 千之[2]、福井 幸太郎[3]、飯田 肇[3] (1.新潟大学大学院自然科学研究科　、2.新潟大学理学部理学科フィールド科学人材育成プログラム、3.立山カルデラ砂防博物館)

[ACC27-P04] **Meltwater discharge from Wilkes Basin, East Antarctica at around 4.2 ka revealed from Beryllium-10 analysis of marine sediments**

*Bethany Behrens[1,2]、Yosuke Miyairi[1]、Adam Sproson[1]、Masako Yamane[3]、Yusuke Yokoyama[1,2,4,5] (1.Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8564, Japan、2.Graduate Program on Environmental Science, University of Tokyo, Komaba, Meguro, Tokyo 153-0041, Japan、3.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Furocho, Chikusa, Nagoya, Aichi, 464-8601, Japan、4.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Natsushimacho, Yokosuka, Kanagawa Prefecture 237-0061, Japan、5.Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo, Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-8654, Japan)

[ACC27-P05] **南イニルチェック氷河における氷河上湖の日変動特性**

*櫻井 尚輝[1]、奈良間 千之[2]、井上 公[3]、エセナマノブ モハメド[4]、ザルベク ウセコブ[4] (1.新潟大学、2.新潟大学理学科、3.国立研究開発法人防災科学技術研究所、4.中央アジア応用地球科学研究所)

[ACC27-P06] Historical development of Spillway Lake on Ngozompa Glacier, Nepal

*Mohan Bahadur Chand[1]、Teiji Watanabe[2]、Yusuki Kobayashi[1] (1.Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University、2.Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University)

[ACC27-P07] Feature analysis of the spectral of snow, ice, and water in Lake Suwa using MODIS data

*中澤 友宏[1]、野中 崇志[2]、岩下 圭之[2] (1.日本大学大学院　生産工学研究科　土木工学専攻、2.日本大学　生産工学部環境安全工学科)

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-CG 大気海洋・環境科学複合領域・一般

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_10

## [A-CG42] 海洋表層ー大気間の生物地球化学

コンビーナ:宮崎 雄三(北海道大学低温科学研究所)、西岡 純(北海道大学低温科学研究所)、鈴木 光次(北海道大学)、岩本 洋子(広島大学　生物圏科学研究科)

[ACG42-P01] **Mixing States of Aged Black Carbon Collected over the Western North Pacific Ocean**

*吉末 百花[1]、桃井 裕広[1]、足立 光司[2]、矢吹 正教[3]、森 樹大[1]、水津 明穂[4]、児玉 真一[1,4]、三浦 和彦[1]、植松 光夫[4] (1.東京理科大学、2.気象研究所、3.京都大学、4.東京大学)

[ACG42-P02] **Influence of Deposition of Atmospheric Inorganic Nitrogen Compounds to Marine Ecosystem at Bay of Bengal**

*竹谷 文一[1]、相田 真希[1]、山地 一代[1,2]、関谷 高志[1]、池田 恒平[3]、橋岡 豪人[1]、本多 牧生[1]、松本 和彦[1]、金谷 有剛[1] (1.海洋研究開発機構、2.神戸大学、3.国立環境研究所)

[ACG42-P03] Carbon isotopic characterization of organic aerosols in tropical marine atmosphere at the Maïdo high-altitude observatory, Reunion Island

Sharmine Simu[1]、*宮崎 雄三[1]、OCTAVE Science Team (1.北海道大学低温科学研究所)

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-CG 大気海洋・環境科学複合領域・一般

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_17

## [A-CG42] 海洋表層ー大気間の生物地球化学

コンビーナ:宮崎 雄三(北海道大学低温科学研究所)、西岡 純(北海道大学低温科学研究所)、鈴木 光次(北海道大学)、岩本 洋子(広島大学　生物圏科学研究科)

[ACG42-P01] **Mixing States of Aged Black Carbon Collected over the Western North Pacific Ocean**

*吉末 百花[1]、桃井 裕広[1]、足立 光司[2]、矢吹 正教[3]、森 樹大[1]、水津 明穂[4]、児玉 真一[1,4]、三浦 和彦[1]、植松 光夫[4] (1.東京理科大学、2.気象研究所、3.京都大学、4.東京大学)

[ACG42-P02] **Influence of Deposition of Atmospheric Inorganic Nitrogen Compounds to Marine Ecosystem at Bay of Bengal**

*竹谷 文一[1]、相田 真希[1]、山地 一代[1,2]、関谷 高志[1]、池田 恒平[3]、橋岡 豪人[1]、本多 牧生[1]、松本 和彦[1]、金谷 有剛[1] (1.海洋研究開発機構、2.神戸大学、3.国立環境研究所)

[ACG42-P03] Carbon isotopic characterization of organic aerosols in tropical marine atmosphere at the Maïdo high-altitude observatory, Reunion Island

Sharmine Simu[1]、*宮崎 雄三[1]、OCTAVE Science Team (1.北海道大学低温科学研究所)

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-GM 地形学

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_12

## [H-GM04] 地形

コンビーナ:八反地 剛(筑波大学生命環境系)、瀬戸 真之(福島大学うつくしま福島未来支援センター)

[HGM04-P01] DEMから算出した地形特徴量に対する自己組織化マップ(SOM)を利用した自動地形分類の試み

*伊東 快起[1]、小田 義也[1]、松岡 俊文[2] (1.首都大学東京、2.深田地質研究所)

---

[HGM04-P02] **DEMを用いた流域の平均侵食量の関数化**

*山中 玲[1]、青木 賢人[1] (1.金沢大学)

---

[HGM04-P03] 地すべり崩壊地における土砂の移動とガリーの時系列的発達

*堀川 泰寛[1]、青木 賢人[2] (1.筑波大学、2.金沢大学)

---

[HGM04-P04] 地上レーザー測量（TSL）で識別される丘陵谷頭部の微細地形

*西城 潔[1]、古市 剛久[2]、今野 明咲香[3] (1.宮城教育大学、2.北海道大学農学研究院、3.常葉大学)

---

[HGM04-P05] 谷頭凹地の地下構造推定における電気探査の適用―筑波山花崗岩斜面における事例―

*吉原 直志[1]、八反地 剛[2] (1.筑波大学大学院生命環境科学研究科、2.筑波大学生命環境系)

---

[HGM04-P06] 電気比抵抗探査に基づくドリーネの土層分布の推定
―山口県秋吉台カルストの事例―

*平本 直也[1]、八反地 剛[2] (1.筑波大学　大学院　生命環境科学研究科　地球科学専攻、2.筑波大学　生命環境系)

---

[HGM04-P07] 東京都伊豆諸島八丈島の三原山東側斜面にみられる甌穴(ポットホール)群とその成因

*石橋 隆[1]、松味 智晃[2]、樋口 蓮[2]、山本 由樹[2]、島田 圭吾[2]、森本 浩友[2]、島田 努[3]、朝倉 顯爾[4] (1.公益財団法人益富地学会館、2.立命館大学探検部、3.ポットホール調査隊、4.京都大学大学院理学研究科)

---

[HGM04-P08] 多摩川・荒川上流河谷における，最終氷期以降の支流の土砂供給様式の時空間変化

*高橋 尚志[1]、須貝 俊彦[1] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

---

[HGM04-P09] 大磯丘陵東部における吉沢層構成礫の特徴から見た地形発達史と活構造の推定

*村木 昌弘[1]、須貝 俊彦[1] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

---

[HGM04-P10] 鳥取県東部千代川における大規模出水の繰り返しによる砂礫移動と護岸崩壊

*小玉 芳敬[1]、竹本 健人[2] (1.鳥取大学農学部、2.兵庫県)

---

[HGM04-P11] 遷急点の後退からみた大隅半島串良川における阿多火砕流堆積以降の下刻過程

*高波 紳太郎[1] (1.明治大学)

---

[HGM04-P12] **日本列島における海成段丘と海底段丘の分布の比較**

*小松 哲也[1]、日浦 祐樹[1]、高橋 尚志[2]、舟津 太郎[2]、村木 昌弘[2]、木森 大我[2]、須貝 俊彦[2] (1.国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

---

[HGM04-P13] 与那国島南海岸の海蝕地形

*木村 颯[1]、浦田 健作[2]、長谷川 均[3]、市原 季彦[4]、鈴木 淳[5]、堀 信行[6]、菅 浩伸[2] (1.九州大学大学院地球社会統合科学府、2.九州大学大学院比較社会文化研究院 、3.国士舘大学 、4.堆積環境リサーチ、5.独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門 、6.奈良大学地理学科)

---

[HGM04-P14] 奄美大島住用湾の海底地形 ―マルチビーム測深による可視化―

*田中 美保[1]、渡久地 健[2]、堀 信行[3]、木村 颯[4]、今井 志彦[5]、中島 洋典[6]、名島 弥生[7]、菅 浩伸[8] (1.九州大学大学院地球社会統合科学府、2.琉球大学、3.首都大学東京、4.九州大学工学部、5.岡山大学理学部、6.有明工業高等専門学校、7.総合研究大学院大学、8.九州大学)

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-GM 地形学

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_19

## [H-GM04] 地形

コンビーナ:八反地 剛(筑波大学生命環境系)、瀬戸 真之(福島大学うつくしま福島未来支援センター)

[HGM04-P01] DEMから算出した地形特徴量に対する自己組織化マップ(SOM)を利用した自動地形分類の試み

*伊東 快起[1]、小田 義也[1]、松岡 俊文[2] (1.首都大学東京、2.深田地質研究所)

[HGM04-P02] **DEMを用いた流域の平均侵食量の関数化**

*山中 玲[1]、青木 賢人[1] (1.金沢大学)

[HGM04-P03] 地すべり崩壊地における土砂の移動とガリーの時系列的発達

*堀川 泰寛[1]、青木 賢人[2] (1.筑波大学、2.金沢大学)

[HGM04-P04] 地上レーザー測量（TSL）で識別される丘陵谷頭部の微細地形

*西城 潔[1]、古市 剛久[2]、今野 明咲香[3] (1.宮城教育大学、2.北海道大学農学研究院、3.常葉大学)

[HGM04-P05] 谷頭凹地の地下構造推定における電気探査の適用―筑波山花崗岩斜面における事例―

*吉原 直志[1]、八反地 剛[2] (1.筑波大学大学院生命環境科学研究科、2.筑波大学生命環境系)

[HGM04-P06] 電気比抵抗探査に基づくドリーネの土層分布の推定
―山口県秋吉台カルストの事例―

*平本 直也[1]、八反地 剛[2] (1.筑波大学　大学院　生命環境科学研究科　地球科学専攻、2.筑波大学　生命環境系)

[HGM04-P07] 東京都伊豆諸島八丈島の三原山東側斜面にみられる甌穴(ポットホール)群とその成因

*石橋 隆[1]、松味 智晃[2]、樋口 蓮[2]、山本 由樹[2]、島田 圭吾[2]、森本 浩友[2]、島田 努[3]、朝倉 顯爾[4] (1.公益財団法人益富地学会館、2.立命館大学探検部、3.ポットホール調査隊、4.京都大学大学院理学研究科)

[HGM04-P08] 多摩川・荒川上流河谷における，最終氷期以降の支流の土砂供給様式の時空間変化

*高橋 尚志[1]、須貝 俊彦[1] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HGM04-P09] 大磯丘陵東部における吉沢層構成礫の特徴から見た地形発達史と活構造の推定

*村木 昌弘[1]、須貝 俊彦[1] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HGM04-P10] 鳥取県東部千代川における大規模出水の繰り返しによる砂礫移動と護岸崩壊

*小玉 芳敬[1]、竹本 健人[2] (1.鳥取大学農学部、2.兵庫県)

[HGM04-P11] 遷急点の後退からみた大隅半島串良川における阿多火砕流堆積以降の下刻過程

*高波 紳太郎[1] (1.明治大学)

[HGM04-P12] **日本列島における海成段丘と海底段丘の分布の比較**

*小松 哲也[1]、日浦 祐樹[1]、高橋 尚志[2]、舟津 太郎[2]、村木 昌弘[2]、木森 大我[2]、須貝 俊彦[2] (1.国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HGM04-P13] 与那国島南海岸の海蝕地形

*木村 颯[1]、浦田 健作[2]、長谷川 均[3]、市原 季彦[4]、鈴木 淳[5]、堀 信行[6]、菅 浩伸[2] (1.九州大学大学院地球社会統合科学府、2.九州大学大学院比較社会文化研究院 、3.国士舘大学 、4.堆積環境リサーチ、5.独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門 、6.奈良大学地理学科)

[HGM04-P14] 奄美大島住用湾の海底地形 ―マルチビーム測深による可視化―

*田中 美保[1]、渡久地 健[2]、堀 信行[3]、木村 颯[4]、今井 志彦[5]、中島 洋典[6]、名島 弥生[7]、菅 浩伸[8] (1.九州大学大学院地球社会統合科学府、2.琉球大学、3.首都大学東京、4.九州大学工学部、5.岡山大学理学部、6.有明工業高等専門学校、7.総合研究大学院大学、8.九州大学)

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-SC 社会地球科学・社会都市システム

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_13

## [H-SC07] 地球温暖化防止と地学（CO2地中貯留・有効利用、地球工学）

コンビーナ:徂徠 正夫(国立研究開発法人産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門)、薛 自求(公益財団法人　地球環境産業技術研究機構)、愛知 正温(東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HSC07-P01] 苫小牧$CO_2$圧入サイトの地震イベント震源決定精度の評価：数値シミュレーション研究

*王 璐琛[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1] (1.公益財団法人地球環境産業技術研究機構)

[HSC07-P02] 機械学習による孔隙率分布推定の技術的課題：長岡CCSサイトの例

*三善 孝之[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1] (1.地球環境産業技術研究機構)

[HSC07-P03] 貯留層中の超臨界$CO_2$影響評価のための繰り返し音波検層における振幅減少情報の利用

*中島 崇裕[2,1]、王 璐琛[2,1]、薛 自求[2,1] (1.（公財）地球環境産業技術研究機構、2.二酸化炭素地中貯留技術研究組合)

[HSC07-P04] **Geological sequestration in saline carbonate formations: $CO_2$-brine-rock interaction**

*Shachi Shachi[1]、Brijesh Kumar Yadav[1]、Mohammad Azizur Rahman[2]、Mayur Pal[3] (1.Indian Institute of Technology Roorkee、2.Texas A&M University Qatar、3.North Oil Company, Qatar)

[HSC07-P05] 炭酸塩反応に伴うキャップロック模擬岩石の遮蔽性能変化

*徂徠 正夫[1] (1.国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター)

[HSC07-P06] **$CO_2$ migration characteristics of microbubble and conventional sequestration in Berea sandstone revealed by X-ray CT imaging**

*Hongyu Zhai[1,2]、Yi Zhang[1,2]、Hyuck Park[1,2]、Ziqiu Xue[1,2] (1.Geological Carbon dioxide Storage Technology Research Association,9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan、2.Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE),9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan)

[HSC07-P07] $CO_2$ 注入試料の光ファイバーによるひずみ検出

*朴 赫[1]、孫 艷坤[1]、薛 自求[1] (1.公益財団法人 地球環境産業技術研究機構)

[HSC07-P08] 光ファイバーにより計測された地層変形とその堆積学的解釈：房総半島砂泥互層帯水層の例

*伊藤 拓馬[1,2]、橋本 励[1,2]、薛 自求[1,2] (1.公益財団法人地球環境産業技術研究機構、2.二酸化炭素地中貯留技術研究組合)

[HSC07-P09] How many data are necessary to make a suitable threshold for anomalous $pCO_2$ owing to $CO_2$ leakage?

*内本 圭亮[1,2]、渡辺 雄二[1,2]、西村 真[1,2]、薛 自求[1,2] (1.二酸化炭素地中貯留技術研究組合、2.公益財団法人地球環境産業技術研究機構)

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-SC 社会地球科学・社会都市システム

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_20

## [H-SC07] 地球温暖化防止と地学（CO2地中貯留・有効利用、地球工学）

コンビーナ:徂徠 正夫(国立研究開発法人産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門)、薛 自求(公益財団法人　地球環境産業技術研究機構)、愛知 正温(東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HSC07-P01] 苫小牧$CO_2$圧入サイトの地震イベント震源決定精度の評価：数値シミュレーション研究

*王 璐琛[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1] (1.公益財団法人地球環境産業技術研究機構)

[HSC07-P02] 機械学習による孔隙率分布推定の技術的課題：長岡CCSサイトの例

*三善 孝之[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1] (1.地球環境産業技術研究機構)

[HSC07-P03] 貯留層中の超臨界$CO_2$影響評価のための繰り返し音波検層における振幅減少情報の利用

*中島 崇裕[2,1]、王 璐琛[2,1]、薛 自求[2,1] (1.（公財）地球環境産業技術研究機構、2.二酸化炭素地中貯留技術研究組合)

[HSC07-P04] **Geological sequestration in saline carbonate formations: $CO_2$-brine-rock interaction**

*Shachi Shachi[1]、Brijesh Kumar Yadav[1]、Mohammad Azizur Rahman[2]、Mayur Pal[3] (1.Indian Institute of Technology Roorkee、2.Texas A&M University Qatar、3.North Oil Company, Qatar)

[HSC07-P05] 炭酸塩反応に伴うキャップロック模擬岩石の遮蔽性能変化

*徂徠 正夫[1] (1.国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター)

[HSC07-P06] **$CO_2$ migration characteristics of microbubble and conventional sequestration in Berea sandstone revealed by X-ray CT imaging**

*Hongyu Zhai[1,2]、Yi Zhang[1,2]、Hyuck Park[1,2]、Ziqiu Xue[1,2] (1.Geological Carbon dioxide Storage Technology Research Association,9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan、2.Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE),9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan)

[HSC07-P07] $CO_2$ 注入試料の光ファイバーによるひずみ検出

*朴 赫[1]、孫 艷坤[1]、薛 自求[1] (1.公益財団法人 地球環境産業技術研究機構)

[HSC07-P08] 光ファイバーにより計測された地層変形とその堆積学的解釈：房総半島砂泥互層帯水層の例

*伊藤 拓馬[1,2]、橋本 励[1,2]、薛 自求[1,2] (1.公益財団法人地球環境産業技術研究機構、2.二酸化炭素地中貯留技術研究組合)

[HSC07-P09] How many data are necessary to make a suitable threshold for anomalous $pCO_2$ owing to $CO_2$ leakage?

*内本 圭亮[1,2]、渡辺 雄二[1,2]、西村 真[1,2]、薛 自求[1,2] (1.二酸化炭素地中貯留技術研究組合、2.公益財団法人地球環境産業技術研究機構)

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-RE 応用地質学・資源エネルギー利用

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_14

## [H-RE16] 資源地質学

コンビーナ:大竹 翼(北海道大学大学院工学研究院　環境循環システム部門)、荒岡 大輔(産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門)、高橋 亮平(秋田大学大学院国際資源学研究科)、野崎 達生(海洋研究開発機構海底資源研究開発センター)

[HRE16-P01] Mineral Chemistry and Petrogenesis of the Mazua Ultramafic Massif, Northern Mozambique: Constraints on the Associated Fe-Ti Oxides Deposit

*David Augusto Bene Unganai[1]、Akira Imai[2]、Ryohei Takahashi[1]、Daud Liace Jamal[3]、Takashi Hoshide[1] (1.Akita University、2.Kyushu University、3.Eduardo Mondlane University)

[HRE16-P02] **Ni-Cu-PGM Mineralisation in the Bastard Reef and Merensky Reef of the Flatreef section, Turfspruit Farm, Northern Limb, Bushveld Igneous Complex, South Africa.**

*MOKHIRI MALESELA MAKHAFOLA[1]、Tsubasa Otake[1]、Tsutomu Sato[1]、Danie Grobler[2] (1.Hokkaido University、2.Ivanplats Pty. Ltd)

[HRE16-P03] インドネシア・パプア州グラスベルグ斑岩銅ー金鉱床における鉱化作用の特徴

*川嵜 兼彦[1]、米津 幸太郎[2]、Reza Furqan[3]、Benny Bensaman[4]、Mega Rosana[4] (1.九州大学大学院工学府、2.九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門、3.PT Freeport Indonesia、4.Department of Geology, Padjadjaran University)

[HRE16-P04] Formation of Ni-bearing minerals during chemical weathering of ultramafic rocks in Myanmar

*室伏 文佳[1]、伊藤 茜[1]、大竹 翼[2]、実松 健造[3]、Kyaw Zay Ya[1,4]、佐藤 努[2] (1.北海道大学大学院工学院、2.北海道大学大学院工学研究院、3.国立研究開発法人 産業技術総合研究所、4.地質調査鉱物探鉱局)

[HRE16-P05] Geological Characteristics and Mineralogy of the Makorungo and Nalia Gold Prospects, Northeastern Mozambique

*Manuel Augusto Manuel Nopeia[1]、Ryohei Takahashi[1]、Akira Imai[2]、Daud Liace Jamal[3] (1.Akita University、2.Kyushu University、3.Eduardo Mondlane University)

[HRE16-P06] Geochemical features of the Hishikari epithermal gold deposit based on simultaneous multi-element analysis

*西田 草太[1]、石田 美月[1]、安川 和孝[1,2]、中村 謙太郎[1]、藤永 公一郎[2,1]、加藤 泰浩[3,1,2] (1.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター、3.東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター)

[HRE16-P07] Transformation of ore minerals and their geochemical signatures in submarine hydrothermal ore deposits in Izena Hole, Okinawa Trough

*池島 拓郎[1]、大竹 翼[1]、佐藤 努[1]、伊藤 茜[1]、小野 修司[1]、石橋 純一郎[2]、野崎 達生[3]、熊谷 英憲[3]、前田 玲奈[3] (1.北海道大学、2.九州大学、3.海洋研究開発機構)

[HRE16-P08] Geochemical behavior of heavy metals during wastewater treatment in Chingola Stream of the Zambia Copperbelt

*Cryton Phiri[1]、Daiki Shimazui[2]、Tsutomu Sato[2]、Tsubasa Otake[2] (1.University of Zambia、2.Hokkaido University)

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-RE 応用地質学・資源エネルギー利用

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_22

## [H-RE16] 資源地質学

コンビーナ:大竹 翼(北海道大学大学院工学研究院　環境循環システム部門)、荒岡 大輔(産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門)、高橋 亮平(秋田大学大学院国際資源学研究科)、野崎 達生(海洋研究開発機構海底資源研究開発センター)

[HRE16-P01] Mineral Chemistry and Petrogenesis of the Mazua Ultramafic Massif, Northern Mozambique: Constraints on the Associated Fe-Ti Oxides Deposit

*David Augusto Bene Unganai[1]、Akira Imai[2]、Ryohei Takahashi[1]、Daud Liace Jamal[3]、Takashi Hoshide[1] (1.Akita University、2.Kyushu University、3.Eduardo Mondlane University)

[HRE16-P02] **Ni-Cu-PGM Mineralisation in the Bastard Reef and Merensky Reef of the Flatreef section, Turfspruit Farm, Northern Limb, Bushveld Igneous Complex, South Africa.**

*MOKHIRI MALESELA MAKHAFOLA[1]、Tsubasa Otake[1]、Tsutomu Sato[1]、Danie Grobler[2] (1.Hokkaido University、2.Ivanplats Pty. Ltd)

[HRE16-P03] インドネシア・パプア州グラスベルグ斑岩銅－金鉱床における鉱化作用の特徴

*川嵜 兼彦[1]、米津 幸太郎[2]、Reza Furqan[3]、Benny Bensaman[4]、Mega Rosana[4] (1.九州大学大学院工学府、2.九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門、3.PT Freeport Indonesia、4.Department of Geology, Padjadjaran University)

[HRE16-P04] Formation of Ni-bearing minerals during chemical weathering of ultramafic rocks in Myanmar

*室伏 文佳[1]、伊藤 茜[1]、大竹 翼[2]、実松 健造[3]、Kyaw Zay Ya[1,4]、佐藤 努[2] (1.北海道大学大学院工学院、2.北海道大学大学院工学研究院、3.国立研究開発法人 産業技術総合研究所、4.地質調査鉱物探鉱局)

[HRE16-P05] Geological Characteristics and Mineralogy of the Makorungo and Nalia Gold Prospects, Northeastern Mozambique

*Manuel Augusto Manuel Nopeia[1]、Ryohei Takahashi[1]、Akira Imai[2]、Daud Liace Jamal[3] (1.Akita University、2.Kyushu University、3.Eduardo Mondlane University)

[HRE16-P06] Geochemical features of the Hishikari epithermal gold deposit based on simultaneous multi-element analysis

*西田 草太[1]、石田 美月[1]、安川 和孝[1,2]、中村 謙太郎[1]、藤永 公一郎[2,1]、加藤 泰浩[3,1,2] (1.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター、3.東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター)

[HRE16-P07] Transformation of ore minerals and their geochemical signatures in submarine hydrothermal ore deposits in Izena Hole, Okinawa Trough

*池島 拓郎[1]、大竹 翼[1]、佐藤 努[1]、伊藤 茜[1]、小野 修司[1]、石橋 純一郎[2]、野崎 達生[3]、熊谷 英憲[3]、前田 玲奈[3] (1.北海道大学、2.九州大学、3.海洋研究開発機構)

[HRE16-P08] Geochemical behavior of heavy metals during wastewater treatment in Chingola Stream of the Zambia Copperbelt

*Cryton Phiri[1]、Daiki Shimazui[2]、Tsutomu Sato[2]、Tsubasa Otake[2] (1.University of Zambia、2.Hokkaido University)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

13:45 ~ 15:15 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_3

## [S-SS09] 地震予知・予測

コンビーナ:大林 政行(独立行政法人海洋研究開発機構 地球深部ダイナミクス研究分野)、馬場 俊孝(徳島大学大学院産業理工学研究部)

[SSS09-P01] 地震前兆の検出法

*高橋 耕三

---

[SSS09-P02] 自然地震カタログとETASカタログに内在する前震活動の特徴の違い：前震予測モデルを用いた検証

*弘瀬 冬樹[1]、溜渕 功史[1]、前田 憲二[2] (1.気象研究所地震津波研究部、2.気象庁地震火山部)

---

[SSS09-P03] 2011年東北地方太平洋沖地震に先行したF-net連続波形画像の欠測増加（２）

*末 芳樹[1] (1.なし)

---

[SSS09-P04] 駿河湾石花海周辺におけるOBS地震観測の*b*値について

*曽谷 太洋[1]、馬塲 久紀[4]、西宮 隆仁[2]、中尾 凪佐[1]、長尾 年恭[3] (1.東海大学大学院、2.気象庁気象研究所、3.東海大学海洋研究所、4.東海大学海洋学部海洋地球科学)

---

[SSS09-P05] 更新過程のベイズ統計対数正規分布モデルを用いた中規模繰り返し相似地震の発生確率の成績

*田中 昌之[1] (1.気象研究所)

---

[SSS09-P06] **Structural heterogeneity under the 2018 Mw6.6 Eastern Iburi earthquake in Hokkaido, Japan and its implications for rupture initiations**

*WANG ZHI[1] (1.中国科学院南海海洋研究所)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_25

## [S-SS09] 地震予知・予測

コンビーナ:大林 政行(独立行政法人海洋研究開発機構 地球深部ダイナミクス研究分野)、馬場 俊孝(徳島大学大学院産業理工学研究部)

[SSS09-P01] 地震前兆の検出法

*高橋 耕三

---

[SSS09-P02] 自然地震カタログとETASカタログに内在する前震活動の特徴の違い：前震予測モデルを用いた検証

*弘瀬 冬樹[1]、溜渕 功史[1]、前田 憲二[2] (1.気象研究所地震津波研究部、2.気象庁地震火山部)

---

[SSS09-P03] 2011年東北地方太平洋沖地震に先行したF-net連続波形画像の欠測増加（２）

*末 芳樹[1] (1.なし)

---

[SSS09-P04] 駿河湾石花海周辺におけるOBS地震観測の*b*値について

*曽谷 太洋[1]、馬塲 久紀[4]、西宮 隆仁[2]、中尾 凪佐[1]、長尾 年恭[3] (1.東海大学大学院、2.気象庁気象研究所、3.東海大学海洋研究所、4.東海大学海洋学部海洋地球科学)

---

[SSS09-P05] 更新過程のベイズ統計対数正規分布モデルを用いた中規模繰り返し相似地震の発生確率の成績

*田中 昌之[1] (1.気象研究所)

---

[SSS09-P06] **Structural heterogeneity under the 2018 Mw6.6 Eastern Iburi earthquake in Hokkaido, Japan and its implications for rupture initiations**

*WANG ZHI[1] (1.中国科学院南海海洋研究所)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_16

## [S-SS14] 地震発生の物理・断層のレオロジー

コンビーナ:岡崎 啓史(海洋研究開発機構)、向吉 秀樹(島根大学大学院総合理工学研究科地球資源環境学領域)、野田 博之(京都大学防災研究所)、吉田 圭佑(東北大学理学研究科附属地震噴火予知研究観測センター)

[SSS14-P01] クラックを含んだ庵治花崗岩のせん断試験におけるS波偏向異方性の測定

*田中 仁貴[1]、片山 郁夫[1] (1.広島大学)

[SSS14-P02] 石英ガウジの摩擦特性に対する滑石含有量の影響

白髭 里彩子[1]、多々良 祈里[1]、*平内 健一[1]、竹村 貴人[2] (1.静岡大学理学部地球科学科、2.日本大学文理学部地球科学科)

[SSS14-P03] 石英質岩石の中速摩擦強度の支配要因

*金川 久一[1]、杉田 明日郁[2]、高橋 美紀[3]、澤井 みち代[1] (1.千葉大学理学研究院、2.千葉大学理学部、3.産業技術総合研究所活断層・火山研究部門)

[SSS14-P04] 半遠洋性堆積物の続成作用に伴う摩擦・透水特性の変化

*岡崎 啓史[1]、片山 郁夫[2]、山口 飛鳥[3] (1.海洋研究開発機構高知コア研究所、2.広島大学大学院地球惑星システム学専攻、3.東京大学大気海洋研究所)

[SSS14-P05] 流体急減圧と流体流動によるシリカ析出の比較および断層特性への影響

*新部 貴理[1]、岡本 敦[1]、天谷 宇志[2]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院環境科学研究科、2.独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

[SSS14-P06] 二軸摩擦試験機によるSlide-Hold-Slide実験中の反射波と透過波の時間変化

*植村 美優[1]、伊藤 喜宏[2]、片山 郁夫[3] (1.京都大学大学院理学研究科、2.京都大学防災研究所、3.広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻)

[SSS14-P07] Monitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda wavesMonitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda waves

*Fan XIE[1]、Yaqiong REN[1] (1.Institute of Geophysics, China Earthquake Administration)

[SSS14-P08] Longer duration of meta-instability stage of laboratory earthquakes on a 1.5m granite fault

*yaqiong Ren[1] (1.Institute of Geophysics, China Earthquake Administration)

[SSS14-P09] シュードタキライトから見積もる地震時の摩擦熱と壁岩破壊量

*長手 彩夏[1]、氏家 恒太郎[1] (1.筑波大学)

[SSS14-P10] Porosity variation of fault rocks accompanied the Median Tectonic Line in Shikoku, southwestern Japan

*池田 倫治[1]、辻 健[2]、辻 智大[1]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3] (1.株式会社四国総合研究所、2.九州大学、3.四国電力株式会社)

[SSS14-P11] Characteristics of inactive section of the Median Tectonic Line from drillcore samples in Shikoku, southwestern Japan

*内田 嗣人[1]、池田 倫治[1]、辻 健[2]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3] (1.株式会社四国総合研究所土木技術部、2.九州大学工学研究院、3.四国電力株式会社)

[SSS14-P12] 未固結断層岩のクラストの表面及び内部組織とその重要性

*東郷 徹宏[1]、嶋本 利彦[2]、澤井 みち代[3] (1.THE EARTH、2.中国地震局地質研究所、3.千葉大学)

[SSS14-P13] **Fault Displacement Assessment of Surface-rupturing Earthquakes for Nuclear Installations and the use of Physics-based Rupture Models**

*Luis Angel Dalguer[1]、Yoshimitsu Fukushima[2] (1.3Q-Lab GmbH、2.International Atomic Energy Agency)

[SSS14-P14] 地震ハザード評価のための動力学的震源モデル：布田川断層帯・日奈久断層帯への応用（その2）

*加瀬 祐子[1] (1.産業技術総合研究所　活断層・火山研究部門)

[SSS14-P15] 自然地震のすべりー長さスケーリング則と室内実験との距離の定量化

*大庭 伸一[1]、三井 雄太[2] (1.静岡大学総合科学技術研究科、2.静岡大学理学部)

[SSS14-P16] Effect of Wear Process on Earthquake Recurrence

*Wang Jeen-Hwa[1] (1.Academia Sinica)

[SSS14-P17] On the Mechanical Relation between Individual Interaction and Collective Behavior of Multiple Fault Sets Subjected to Quasi-Static Loading

*上西 幸司[1,2]、福田 優貴[2]、亀 伸樹[3] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻、2.東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻、3.東京大学地震研究所)

[SSS14-P18] 過渡的で強制的な伸張水平地殻歪の領域における非弾性変形

*江口 孝雄、岩瀬 康行[1] (1.防衛大学校)

[SSS14-P19] 表現定理とグリーン関数 (3) ― 全無限グリーン関数の２階微分を用いた点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現 ―

*木村 将也[1]、亀 伸樹[1] (1.東京大学地震研究所)

[SSS14-P20] 断層面上における高周波励起現象の解釈を可能にするすべり速度・破壊伝播速度変化の可視化手法

*鮎貝 崇広[1]、八木 勇治[2]、奥脇 亮[3]、茅野 奎太[3]、清水 宏亮[3] (1.筑波大学生命環境学群、2.筑波大学大学院 生命環境系、3.筑波大学大学院生命環境科学研究科)

[SSS14-P21] インバージョン法を用いた震源過程解析に見られる諸問題

*茅野 奎太[1]、八木 勇治[1]、奥脇 亮[1]、清水 宏亮[1] (1.筑波大学)

[SSS14-P22] Source process of recent M6-class inland earthquakes in Japan

*柴田 律也[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、井出 哲[2] (1.東京工業大学理学院地球惑星科学系、2.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻)

[SSS14-P23] Expected slip direction on assumed fault planes of large earthquakes inferred from stress field after the 2016 Kumamoto earthquake sequence, in central Kyushu, Japan

*光岡 郁穂[1]、松本 聡[2]、志藤 あずさ[2]、清水 洋[2]、2016年熊本地震 合同地震観測グループ (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター)

[SSS14-P24] 2011年東北沖地震による繰り返し地震の震源パラメータ変化

*立岩 和也[1]、岡田 知己[1]、河野 俊夫[1]、内田 直希[1] (1.東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター)

[SSS14-P25] 房総スロースリップイベントのすべり分布とすべり速度ー応力の関係

*小林 琢磨[1]、佐藤 利典[2] (1.千葉大学大学院融合理工学府、2.千葉大学大学院理学研究院)

[SSS14-P26] 2011年東北沖地震後に活発化した茨城県北部の地震活動：内陸地震の繰り返し

高橋 諒[1]、*吉田 圭佑[1]、長谷川 昭[1]、松澤 暢[1] (1.東北大学理学研究科附属地震噴火予知研究観測センター)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_26

## [S-SS14] 地震発生の物理・断層のレオロジー

コンビーナ:岡崎 啓史(海洋研究開発機構)、向吉 秀樹(島根大学大学院総合理工学研究科地球資源環境学領域)、野田 博之(京都大学防災研究所)、吉田 圭佑(東北大学理学研究科附属地震噴火予知研究観測センター)

[SSS14-P01] クラックを含んだ庵治花崗岩のせん断試験におけるS波偏向異方性の測定

*田中 仁貴[1]、片山 郁夫[1] (1.広島大学)

[SSS14-P02] 石英ガウジの摩擦特性に対する滑石含有量の影響

白髭 里彩子[1]、多々良 祈里[1]、*平内 健一[1]、竹村 貴人[2] (1.静岡大学理学部地球科学科、2.日本大学文理学部地球科学科)

[SSS14-P03] 石英質岩石の中速摩擦強度の支配要因

*金川 久一[1]、杉田 明日郁[2]、高橋 美紀[3]、澤井 みち代[1] (1.千葉大学理学研究院、2.千葉大学理学部、3.産業技術総合研究所活断層・火山研究部門)

[SSS14-P04] 半遠洋性堆積物の続成作用に伴う摩擦・透水特性の変化

*岡崎 啓史[1]、片山 郁夫[2]、山口 飛鳥[3] (1.海洋研究開発機構高知コア研究所、2.広島大学大学院地球惑星システム学専攻、3.東京大学大気海洋研究所)

[SSS14-P05] 流体急減圧と流体流動によるシリカ析出の比較および断層特性への影響

*新部 貴理[1]、岡本 敦[1]、天谷 宇志[2]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院環境科学研究科、2.独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

[SSS14-P06] 二軸摩擦試験機によるSlide-Hold-Slide実験中の反射波と透過波の時間変化

*植村 美優[1]、伊藤 喜宏[2]、片山 郁夫[3] (1.京都大学大学院理学研究科、2.京都大学防災研究所、3.広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻)

[SSS14-P07] Monitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda wavesMonitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda waves

*Fan XIE[1]、Yaqiong REN[1] (1.Institute of Geophysics, China Earthquake Administration)

[SSS14-P08] Longer duration of meta-instability stage of laboratory earthquakes on a 1.5m granite fault

*yaqiong Ren[1] (1.Institute of Geophysics, China Earthquake Administration)

[SSS14-P09] シュードタキライトから見積もる地震時の摩擦熱と壁岩破壊量

*長手 彩夏[1]、氏家 恒太郎[1] (1.筑波大学)

[SSS14-P10] Porosity variation of fault rocks accompanied the Median Tectonic Line in Shikoku, southwestern Japan

*池田 倫治[1]、辻 健[2]、辻 智大[1]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3] (1.株式会社四国総合研究所、2.九州大学、3.四国電力株式会社)

[SSS14-P11] Characteristics of inactive section of the Median Tectonic Line from drillcore samples in Shikoku, southwestern Japan

*内田 嗣人[1]、池田 倫治[1]、辻 健[2]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3] (1.株式会社四国総合研究所土木技術部、2.九州大学工学研究院、3.四国電力株式会社)

[SSS14-P12] 未固結断層岩のクラストの表面及び内部組織とその重要性

*東郷 徹宏[1]、嶋本 利彦[2]、澤井 みち代[3] (1.THE EARTH、2.中国地震局地質研究所、3.千葉大学)

[SSS14-P13] **Fault Displacement Assessment of Surface-rupturing Earthquakes for Nuclear Installations and the use of Physics-based Rupture Models**

*Luis Angel Dalguer[1]、Yoshimitsu Fukushima[2] (1.3Q-Lab GmbH、2.International Atomic Energy Agency)

[SSS14-P14] 地震ハザード評価のための動力学的震源モデル：布田川断層帯・日奈久断層帯への応用（その2）

*加瀬 祐子[1] (1.産業技術総合研究所　活断層・火山研究部門)

[SSS14-P15] 自然地震のすべりー長さスケーリング則と室内実験との距離の定量化

*大庭 伸一[1]、三井 雄太[2] (1.静岡大学総合科学技術研究科、2.静岡大学理学部)

[SSS14-P16] Effect of Wear Process on Earthquake Recurrence

*Wang Jeen-Hwa[1] (1.Academia Sinica)

[SSS14-P17] On the Mechanical Relation between Individual Interaction and Collective Behavior of Multiple Fault Sets Subjected to Quasi-Static Loading

*上西 幸司[1,2]、福田 優貴[2]、亀 伸樹[3] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻、2.東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻、3.東京大学地震研究所)

[SSS14-P18] 過渡的で強制的な伸張水平地殻歪の領域における非弾性変形

*江口 孝雄、岩瀬 康行[1] (1.防衛大学校)

[SSS14-P19] 表現定理とグリーン関数 (3) ― 全無限グリーン関数の２階微分を用いた点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現 ―

*木村 将也[1]、亀 伸樹[1] (1.東京大学地震研究所)

[SSS14-P20] 断層面上における高周波励起現象の解釈を可能にするすべり速度・破壊伝播速度変化の可視化手法

*鮎貝 崇広[1]、八木 勇治[2]、奥脇 亮[3]、茅野 奎太[3]、清水 宏亮[3] (1.筑波大学生命環境学群、2.筑波大学大学院 生命環境系、3.筑波大学大学院生命環境科学研究科)

[SSS14-P21] インバージョン法を用いた震源過程解析に見られる諸問題

*茅野 奎太[1]、八木 勇治[1]、奥脇 亮[1]、清水 宏亮[1] (1.筑波大学)

[SSS14-P22] Source process of recent M6-class inland earthquakes in Japan

*柴田 律也[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、井出 哲[2] (1.東京工業大学理学院地球惑星科学系、2.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻)

[SSS14-P23] Expected slip direction on assumed fault planes of large earthquakes inferred from stress field after the 2016 Kumamoto earthquake sequence, in central Kyushu, Japan

*光岡 郁穂[1]、松本 聡[2]、志藤 あずさ[2]、清水 洋[2]、2016年熊本地震 合同地震観測グループ (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター)

[SSS14-P24] 2011年東北沖地震による繰り返し地震の震源パラメータ変化

*立岩 和也[1]、岡田 知己[1]、河野 俊夫[1]、内田 直希[1] (1.東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター)

[SSS14-P25] 房総スロースリップイベントのすべり分布とすべり速度ー応力の関係

*小林 琢磨[1]、佐藤 利典[2] (1.千葉大学大学院融合理工学府、2.千葉大学大学院理学研究院)

[SSS14-P26] 2011年東北沖地震後に活発化した茨城県北部の地震活動：内陸地震の繰り返し

高橋 諒[1]、*吉田 圭佑[1]、長谷川 昭[1]、松澤 暢[1] (1.東北大学理学研究科附属地震噴火予知研究観測センター)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_17

## [S-SS17] 地震学的アプローチによる火山深部のマグマ供給系の解明

コンビーナ:麻生 尚文(東京工業大学)、行竹 洋平(神奈川県温泉地学研究所)

[SSS17-P01] 東北地方　米沢-喜多方地域における地震波反射面の空間分布

*鈴木 真奈美[1]、長谷見 晶子[1]、岡田 知己[1]、松澤 暢[1]、海野 徳仁[1]、中山 貴史[1]、津村 紀子[2]、山品 匡史[3]、2011年東北地方太平洋沖地震 合同余震観測グループ (1.東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター、2.千葉大学理学部、3.高知大学理工学部)

[SSS17-P02] 地震波干渉法による霧島山のマグマ供給系の解明

*長岡 優[1]、西田 究[2]、青木 陽介[2]、武尾 実[2]、大倉 敬宏[3]、吉川 慎[3] (1.気象研究所火山研究部、2.東京大学地震研究所、3.京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター)

[SSS17-P03] 箱根火山の地形効果を考慮した火山性深部低周波地震に対する有限要素法による3次元地震波形計算

*山谷 里奈[1]、望月 公廣[1]、市村 強[1]、藤田 航平[1]、悪原 岳[1]、堀 高峰[2]、本多 亮[3]、行竹 洋平[3] (1.東京大学地震研究所、2.海洋研究開発機構、3.神奈川県温泉地学研究所)

[SSS17-P04] 箱根火山深部低周波地震活動様式から見るマグマ供給過程

*行竹 洋平[1]、安部 祐希[1] (1.神奈川県温泉地学研究所)

[SSS17-P05] 蔵王山深部低周波地震の震源分布と波形特性

*池谷 拓馬[1]、山本 希[1] (1.東北大学大学院理学研究科)

[SSS17-P06] Mechanisms transition of LFEs beneath Zao volcano due to the stress change induced by the 2011 Tohoku earthquake

*及川 元己[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、松澤 暢[2] (1.東京工業大学、2.東北大学)

[SSS17-P07] Magma/gas intrusion process of Shinmoedake Eruption in 2017 suggested by volcanic tremors location with ASL method

今村 翔哉[1]、*大久保 慎人[2] (1.高知大学 理学部、2.高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門)

[SSS17-P08] GNSSデータのL1インバージョンに基づく2008-2010年富士山膨張イベントの力源深さ推定

*三井 雄太[1]、加藤 隆寛[2] (1.静岡大学理学部地球科学科、2.元・静岡大学理学部地球科学科)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_27

## [S-SS17] 地震学的アプローチによる火山深部のマグマ供給系の解明

コンビーナ:麻生 尚文(東京工業大学)、行竹 洋平(神奈川県温泉地学研究所)

[SSS17-P01] 東北地方　米沢-喜多方地域における地震波反射面の空間分布

*鈴木 真奈美[1]、長谷見 晶子[1]、岡田 知己[1]、松澤 暢[1]、海野 徳仁[1]、中山 貴史[1]、津村 紀子[2]、山品 匡史[3]、2011年東北地方太平洋沖地震 合同余震観測グループ (1.東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター、2.千葉大学理学部、3.高知大学理工学部)

[SSS17-P02] 地震波干渉法による霧島山のマグマ供給系の解明

*長岡 優[1]、西田 究[2]、青木 陽介[2]、武尾 実[2]、大倉 敬宏[3]、吉川 慎[3] (1.気象研究所火山研究部、2.東京大学地震研究所、3.京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター)

[SSS17-P03] 箱根火山の地形効果を考慮した火山性深部低周波地震に対する有限要素法による3次元地震波形計算

*山谷 里奈[1]、望月 公廣[1]、市村 強[1]、藤田 航平[1]、悪原 岳[1]、堀 高峰[2]、本多 亮[3]、行竹 洋平[3] (1.東京大学地震研究所、2.海洋研究開発機構、3.神奈川県温泉地学研究所)

[SSS17-P04] 箱根火山深部低周波地震活動様式から見るマグマ供給過程

*行竹 洋平[1]、安部 祐希[1] (1.神奈川県温泉地学研究所)

[SSS17-P05] 蔵王山深部低周波地震の震源分布と波形特性

*池谷 拓馬[1]、山本 希[1] (1.東北大学大学院理学研究科)

[SSS17-P06] Mechanisms transition of LFEs beneath Zao volcano due to the stress change induced by the 2011 Tohoku earthquake

*及川 元己[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、松澤 暢[2] (1.東京工業大学、2.東北大学)

[SSS17-P07] Magma/gas intrusion process of Shinmoedake Eruption in 2017 suggested by volcanic tremors location with ASL method

今村 翔哉[1]、*大久保 慎人[2] (1.高知大学 理学部、2.高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門)

[SSS17-P08] GNSSデータのL1インバージョンに基づく2008-2010年富士山膨張イベントの力源深さ推定

*三井 雄太[1]、加藤 隆寛[2] (1.静岡大学理学部地球科学科、2.元・静岡大学理学部地球科学科)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-MP 岩石学・鉱物学

13:45 ~ 15:15 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_4

## [S-MP32] 変形岩・変成岩とテクトニクス

コンビーナ:針金 由美子(産業技術総合研究所)、中村 佳博(国立研究開発法人産業技術総合研究所　地質調査総合センター)

[SMP32-P01] Pressure-temperature estimates of the Lützow-Holm Complex utilizing distributions of trace elements and inclusions in garnet porphyroblasts in pelitic gneisses

*鈴木 康太[1]、河上 哲生[1]、伊神 洋平[2] (1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 地質学鉱物学教室 地球物質科学講座 岩石学グループ、2.名古屋大学未来材料・システム研究所)

[SMP32-P02] 東南極, リュツォ・ホルム岩体の明るい岬における泥質片麻岩の微細組織と温度圧力条件

*淀屋 勇斗[1]、池田 剛[2] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門)

[SMP32-P03] 南インド・トリバンドラム岩体にみられる長時間（>9000万年）のグラニュライト相変成作用

*門脇 ひかる[1]、角替 敏昭[2]、Santosh M.[3]、Shaji E.[4]、高村 悠介[5]、堤 之恭[6] (1.筑波大学生命環境科学研究科地球科学専攻、2.筑波大学生命環境系、3.School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences Beijing、4.Department of Geology, University of Kerala、5.筑波大学生命環境科学研究科地球進化科学専攻、6.国立科学博物館地学研究部)

[SMP32-P04] Dislocation microstructures in garnet: Thermal effect during deeper crustal seismic slip in orogen-boundary shear zone

*Das Kaushik[1]、Tomioka Naotaka[2]、Ganguly Proloy[3]、Ando Jun-ichi[1]、Ghosh Gautam[3]、Bose Sankar[3] (1.Hiroshima University、2.Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC、3.Presidency University, India)

[SMP32-P05] 領家帯三河地域および讃岐東部地域のミグマタイトのU-Pbジルコン年代

*葛立 恵一[1]、河上 哲生[1]、Etienne Skrzypek[1]、坂田 周平[2]、平田 岳史[3] (1.京都大学、2.学習院大学、3.東京大学)

[SMP32-P06] 日高変成帯野塚岳地域における構造地質学的研究 -島弧・島弧接合による新生代大陸地殻の成長・形成過程とそのメカニズム-

*菅野 萌子[1]、豊島 剛志[2] (1.新潟大学大学院自然科学研究科、2.新潟大学理学部地質科学科)

[SMP32-P07] THE PRESSURE-TEMPERATURE PATH AND MINERAL ASSEMBLAGE OF THE KHONICHIIN OVOO AREA, SOUTHEASTERN MONGOLIA.

*Undarmaa Batsaikhan[1]、Noriyoshi Tsuchiya[1]、Masaoki Uno[1]、Yukio Isozaki[2]、Uyanga Bold[2]、OTGONBAYAR DANDAR[1]、Hikaru Sawada[2] (1.Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University、2.Graduate School of Arts and Sciences the University of Tokyo)

[SMP32-P08] **九州北西部糸島半島野北地域の接触変成作用の温度圧力条件**

*池田 剛[1]、太田 健斗[2] (1.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻)

[SMP32-P09] 天草下島に分布する長崎変成岩類の片麻岩に見られる部分溶融の証拠

*森 祐紀[1]、池田 剛[2]、宮崎 一博[3] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、3.産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門)

[SMP32-P10] **Microstructural Analysis of Quartz grains in Monomineralic and Polyphase domains: A case study from Main Central Thrust (MCT) Zone Mylonites, western Himalaya, India**

*Shivaji Saha[1]、Toru Takeshita[1]、Subhajit Ghosh[2]、Hari Bahadur Srivastava[3] (1.Department of Natural History Sciences, Hokkaido University、2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo、3.Department of Geology, Banaras Hindu University)

[SMP32-P11] **Tectono-thermal evolution of the Main Central Thrust (MCT) zone rocks of the Himalayan Crystalline Complex (*HCC*), Darjeeling-Sikkim Himalaya**

*Subhajit Ghosh[1,2]、Santanu Bose[2,3]、Nibir Mandal[4]、Arijit Laik[2] (1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-0032、2.Department of Geology, University of Calcutta, 35, Ballygunge Circular Road, Kolkata 700019, India、3.Department of Geology, Presidency University, 86/1 College Street, Kolkata 700073, India、4.Department of Geological Sciences, Jadavpur University, Kolkata 700032, India)

[SMP32-P12] 三波川帯の低変成度領域における温度構造と変形構造，およびテクトニックな意義

*山岡 健[1,2]、ウォリス サイモン[1]、森 宏[2] (1.東京大学、2.信州大学)

[SMP32-P13] Antigorite Raman spectrum: a case study in Shiraga region of the central Shikoku, Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan

*安藤 宏太[1]、纐纈 佑衣[1]、道林 克禎[1] (1.名古屋大学)

[SMP32-P14] A fluid inclusion study from the late Paleozoic retrograde eclogite from the Yunotani Valley of the Omi area, Hida-Gaien Belt, Japan

*進士 優朱輝[1]、辻森 樹[1]、川本 竜彦[2] (1.東北大学、2.静岡大学)

[SMP32-P15] Development of reaction-induced stress and permeability in MgO-$H_2O$ system

*笠原 久夢[1]、宇野 正起[1]、岡本 敦[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院 環境科学研究科)

[SMP32-P16] 透過菊池回折によるウルトラマイロナイト中のオリビン結晶方位解析：EBSDの微小部への拡張

*伊神 洋平[1]、道林 克禎[2]、柿畑 優季[2]、纐纈 佑衣[2] (1.名古屋大学 未来材料・システム研究所、2.名古屋大学 環境学研究科)

[SMP32-P17] Elucidation of effective diffusion coefficient along grain boundaries by hydrothermal experiment using low porosity rocks

*杉沢 直樹[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院　環境科学研究科　先進社会環境学専攻)

[SMP32-P18] **断層がウジ帯により記録される繰り返し地震すべり：野島断層ボーリングコアからの証拠**

*林 愛明[1]、西脇 隆文[1] (1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室)

[SMP32-P19] Evolution of fluid chemistry during basalt-water and basalt-seawater interactions revealed by hydrothermal flow-through experiments

*根津 勇介[1]、岡本 敦[1]、平野 伸夫[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学　環境科学研究科)

[SMP32-P20] **3D microstructural analyses of fault rocks using CT and μCT scanning techniques**

*Bingcheng Liu[1]、Aiming Lin[1]、Takafumi Nishiwaki[1] (1.Kyoto University)

[SMP32-P21] **Dissolution kinetics of forsterite olivine at >200 °C: implication for the kinetics of serpentinization.**

*大柳 良介[1]、桑谷 立[1]、鈴木 勝彦[1] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-MP 岩石学・鉱物学

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_29

## [S-MP32] 変形岩・変成岩とテクトニクス

コンビーナ:針金 由美子(産業技術総合研究所)、中村 佳博(国立研究開発法人産業技術総合研究所　地質調査総合センター)

[SMP32-P01] Pressure-temperature estimates of the Lützow-Holm Complex utilizing distributions of trace elements and inclusions in garnet porphyroblasts in pelitic gneisses

*鈴木 康太[1]、河上 哲生[1]、伊神 洋平[2] (1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 地質学鉱物学教室 地球物質科学講座 岩石学グループ、2.名古屋大学未来材料・システム研究所)

[SMP32-P02] 東南極, リュツォ・ホルム岩体の明るい岬における泥質片麻岩の微細組織と温度圧力条件

*淀屋 勇斗[1]、池田 剛[2] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門)

[SMP32-P03] 南インド・トリバンドラム岩体にみられる長時間（>9000万年）のグラニュライト相変成作用

*門脇 ひかる[1]、角替 敏昭[2]、Santosh M.[3]、Shaji E.[4]、高村 悠介[5]、堤 之恭[6] (1.筑波大学生命環境科学研究科地球科学専攻、2.筑波大学生命環境系、3.School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences Beijing、4.Department of Geology, University of Kerala、5.筑波大学生命環境科学研究科地球進化科学専攻、6.国立科学博物館地学研究部)

[SMP32-P04] Dislocation microstructures in garnet: Thermal effect during deeper crustal seismic slip in orogen-boundary shear zone

*Das Kaushik[1]、Tomioka Naotaka[2]、Ganguly Proloy[3]、Ando Jun-ichi[1]、Ghosh Gautam[3]、Bose Sankar[3] (1.Hiroshima University、2.Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC、3.Presidency University, India)

[SMP32-P05] 領家帯三河地域および讃岐東部地域のミグマタイトのU-Pbジルコン年代

*葛立 恵一[1]、河上 哲生[1]、Etienne Skrzypek[1]、坂田 周平[2]、平田 岳史[3] (1.京都大学、2.学習院大学、3.東京大学)

[SMP32-P06] 日高変成帯野塚岳地域における構造地質学的研究 -島弧・島弧接合による新生代大陸地殻の成長・形成過程とそのメカニズム-

*菅野 萌子[1]、豊島 剛志[2] (1.新潟大学大学院自然科学研究科、2.新潟大学理学部地質科学科)

[SMP32-P07] THE PRESSURE-TEMPERATURE PATH AND MINERAL ASSEMBLAGE OF THE KHONICHIIN OVOO AREA, SOUTHEASTERN MONGOLIA.

*Undarmaa Batsaikhan[1]、Noriyoshi Tsuchiya[1]、Masaoki Uno[1]、Yukio Isozaki[2]、Uyanga Bold[2]、OTGONBAYAR DANDAR[1]、Hikaru Sawada[2] (1.Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University、2.Graduate School of Arts and Sciences the University of Tokyo)

[SMP32-P08] **九州北西部糸島半島野北地域の接触変成作用の温度圧力条件**

*池田 剛[1]、太田 健斗[2] (1.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻)

[SMP32-P09] 天草下島に分布する長崎変成岩類の片麻岩に見られる部分溶融の証拠

*森 祐紀[1]、池田 剛[2]、宮崎 一博[3] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、3.産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門)

[SMP32-P10] **Microstructural Analysis of Quartz grains in Monomineralic and Polyphase domains: A case study from Main Central Thrust (MCT) Zone Mylonites, western Himalaya, India**

*Shivaji Saha[1]、Toru Takeshita[1]、Subhajit Ghosh[2]、Hari Bahadur Srivastava[3] (1.Department of Natural History Sciences, Hokkaido University、2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo、3.Department of Geology, Banaras Hindu University)

[SMP32-P11] **Tectono-thermal evolution of the Main Central Thrust (MCT) zone rocks of the Himalayan Crystalline Complex (*HCC*), Darjeeling-Sikkim Himalaya**

*Subhajit Ghosh[1,2]、Santanu Bose[2,3]、Nibir Mandal[4]、Arijit Laik[2] (1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-0032、2.Department of Geology, University of Calcutta, 35, Ballygunge Circular Road, Kolkata 700019, India、3.Department of Geology, Presidency University, 86/1 College Street, Kolkata 700073, India、4.Department of Geological Sciences, Jadavpur University, Kolkata 700032, India)

[SMP32-P12] 三波川帯の低変成度領域における温度構造と変形構造，およびテクトニックな意義

*山岡 健[1,2]、ウォリス サイモン[1]、森 宏[2] (1.東京大学、2.信州大学)

[SMP32-P13] Antigorite Raman spectrum: a case study in Shiraga region of the central Shikoku, Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan

*安藤 宏太[1]、纐纈 佑衣[1]、道林 克禎[1] (1.名古屋大学)

[SMP32-P14] A fluid inclusion study from the late Paleozoic retrograde eclogite from the Yunotani Valley of the Omi area, Hida-Gaien Belt, Japan

*進士 優朱輝[1]、辻森 樹[1]、川本 竜彦[2] (1.東北大学、2.静岡大学)

[SMP32-P15] Development of reaction-induced stress and permeability in MgO-$H_2O$ system

*笠原 久夢[1]、宇野 正起[1]、岡本 敦[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院 環境科学研究科)

[SMP32-P16] 透過菊池回折によるウルトラマイロナイト中のオリビン結晶方位解析：EBSDの微小部への拡張

*伊神 洋平[1]、道林 克禎[2]、柿畑 優季[2]、纐纈 佑衣[2] (1.名古屋大学 未来材料・システム研究所、2.名古屋大学 環境学研究科)

[SMP32-P17] Elucidation of effective diffusion coefficient along grain boundaries by hydrothermal experiment using low porosity rocks

*杉沢 直樹[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院　環境科学研究科　先進社会環境学専攻)

[SMP32-P18] **断層がウジ帯により記録される繰り返し地震すべり：野島断層ボーリングコアからの証拠**

*林 愛明[1]、西脇 隆文[1] (1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室)

[SMP32-P19] Evolution of fluid chemistry during basalt-water and basalt-seawater interactions revealed by hydrothermal flow-through experiments

*根津 勇介[1]、岡本 敦[1]、平野 伸夫[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学　環境科学研究科)

[SMP32-P20] **3D microstructural analyses of fault rocks using CT and μCT scanning techniques**

*Bingcheng Liu[1]、Aiming Lin[1]、Takafumi Nishiwaki[1] (1.Kyoto University)

[SMP32-P21] **Dissolution kinetics of forsterite olivine at >200 °C: implication for the kinetics of serpentinization.**

*大柳 良介[1]、桑谷 立[1]、鈴木 勝彦[1] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-MP 岩石学・鉱物学

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_18

## [S-MP33] 鉱物の物理化学

コンビーナ:鎌田 誠司(東北大学学際科学フロンティア研究所)、鹿山 雅裕(東北大学大学院理学研究科地学専攻)

[SMP33-P01] ザイフェルタイトのラマン分光分析

*鹿山 雅裕[1]、大谷 栄治[1]、宮原 正明[2]、金子 詳平[1]、関根 利守[3]、小澤 信[1]、平尾 直久[4] (1.東北大学、2.広島大学、3.HPSTAR、4.高輝度光科学研究センター)

[SMP33-P02] 衝突ダイヤモンドの微細組織の結晶化プロセス

*大藤 弘明[1]、中谷 元祐[1] (1.愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター)

[SMP33-P03] Hコンドライト隕石の変成温度解析：改良型Lindsley輝石温度計による

*上原 亮[1]、桑原 義博[1]、島田 和彦[1]、中牟田 義博[1]、上原　誠一郎[1]、足立 達朗[1] (1.九州大学)

[SMP33-P04] 小笠原諸島父島における沸石の共生関係について

伊藤 道玄[1]、*井上 裕貴[1]、安井 万奈[2]、山崎 淳司[2]、萩谷 宏[1] (1.東京都市大学知識工学部自然科学科、2.早稲田大学理工学術院総合研究所)

[SMP33-P05] Title: Single-crystal X-ray diffraction study of mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) from 213 to 303 K

*池田 龍太郎[1] (1.筑波大学)

[SMP33-P06] Elastic constants of single-crystal topaz studied via sphere-resonance method

*荒舘 佳子[1]、渡辺 了[1]、浜田 盛久[2] (1.富山大学、2.海洋研究開発機構)

[SMP33-P07] シート状鉱物の研磨によるダメージの検証

*纐纈 佑衣[1]、安藤 宏太[1]、道林 克禎[1] (1.名古屋大学大学院　環境学研究科)

[SMP33-P08] Zebra Rock の記載とパターン形成モデル

*吉村 薫[1]、寅丸 敦志[2]、市原 美恵[3]、野口 高明[4]、松本 徹[5] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学院理学研究院地球惑星科学部門、3.東京大学地震研究所、4.九州大学基幹教育院、5.宇宙研究開発機構/宇宙科学研究所)

[SMP33-P09] Thermal conductivity anomaly of $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution across the spin transition

*趙 耕賢[1]、謝 文斌[1,2] (1.台湾中央研究院地球科学研究所、2.台湾国立台湾大学地質学科)

[SMP33-P10] **Melting experiments in the $MgSiO_3$ – $SiO_2$ system under high pressures**

*森口 拓弥[1]、米田 明[1]、伊藤 英司[1] (1.岡山大学惑星物質研究所)

[SMP33-P11] Melting relations of the Fe-Ni-S-C system and the formation of superdeep diamonds

*伊丹 佑[1]、浦川 啓[1] (1.岡山大学)

[SMP33-P12] タイタン内部条件におけるメタンハイドレートの安定性

*門林 宏和[1]、平井 寿子[2]、大藤 弘明[1]、川村 英彰[1]、大竹 道香[3]、山本 佳孝[3] (1.愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、2.立正大学地球環境科学部環境システム学科、3.産業技術総合研究所)

[SMP33-P13] Magnetite-maghemite-hematite相転移の研究

*杵渕 伊吹[1]、興野 純[1]、佐野 喜成[1] (1.筑波大学)

[SMP33-P14] The Effects of Temperature and Pressure on Hydromagnesite

*山本 弦一郎[1]、興野 純[1]、阿部 淳[2]、服部 高典[3]、松下 能孝[4]、米田 安宏[3] (1.筑波大学、2.総合科学研究機構、3.日本原子力研究開発機構、4.物質・材料研究機構)

[SMP33-P15] Synthesis and crystal structure of Mg-bearing $Fe_9O_{11}$: New insight in the complexity of Fe-Mg oxides at conditions of the deep upper mantle

*石井 貴之[1]、Uenver-Thiele Laura[2]、Alan B Woodland[2]、Edith Alig[3]、Tiziana Boffa Ballaran[1] (1.バイロイト大学バイエルン地球科学研究所、2.Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt、3.Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Goethe-Universität Frankfurt)

[SMP33-P16] **Changes in specific surface area and morphology of kaolin group minerals with pressure treatment**

*Soyeon Kwon[1]、Yongjae Lee[1] (1.YONSEI University)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-MP 岩石学・鉱物学

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_30

## [S-MP33] 鉱物の物理化学

コンビーナ:鎌田 誠司(東北大学学際科学フロンティア研究所)、鹿山 雅裕(東北大学大学院理学研究科地学専攻)

[SMP33-P01] ザイフェルタイトのラマン分光分析

*鹿山 雅裕[1]、大谷 栄治[1]、宮原 正明[2]、金子 詳平[1]、関根 利守[3]、小澤 信[1]、平尾 直久[4] (1.東北大学、2.広島大学、3.HPSTAR、4.高輝度光科学研究センター)

[SMP33-P02] 衝突ダイヤモンドの微細組織の結晶化プロセス

*大藤 弘明[1]、中谷 元祐[1] (1.愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター)

[SMP33-P03] Hコンドライト隕石の変成温度解析：改良型Lindsley輝石温度計による

*上原 亮[1]、桑原 義博[1]、島田 和彦[1]、中牟田 義博[1]、上原　誠一郎[1]、足立 達朗[1] (1.九州大学)

[SMP33-P04] 小笠原諸島父島における沸石の共生関係について

伊藤 道玄[1]、*井上 裕貴[1]、安井 万奈[2]、山崎 淳司[2]、萩谷 宏[1] (1.東京都市大学知識工学部自然科学科、2.早稲田大学理工学術院総合研究所)

[SMP33-P05] Title: Single-crystal X-ray diffraction study of mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) from 213 to 303 K

*池田 龍太郎[1] (1.筑波大学)

[SMP33-P06] Elastic constants of single-crystal topaz studied via sphere-resonance method

*荒舘 佳子[1]、渡辺 了[1]、浜田 盛久[2] (1.富山大学、2.海洋研究開発機構)

[SMP33-P07] シート状鉱物の研磨によるダメージの検証

*纐纈 佑衣[1]、安藤 宏太[1]、道林 克禎[1] (1.名古屋大学大学院　環境学研究科)

[SMP33-P08] Zebra Rock の記載とパターン形成モデル

*吉村 薫[1]、寅丸 敦志[2]、市原 美恵[3]、野口 高明[4]、松本 徹[5] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学院理学研究院地球惑星科学部門、3.東京大学地震研究所、4.九州大学基幹教育院、5.宇宙研究開発機構/宇宙科学研究所)

[SMP33-P09] Thermal conductivity anomaly of $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution across the spin transition

*趙 耕賢[1]、謝 文斌[1,2] (1.台湾中央研究院地球科学研究所、2.台湾国立台湾大学地質学科)

[SMP33-P10] **Melting experiments in the $MgSiO_3$ – $SiO_2$ system under high pressures**

*森口 拓弥[1]、米田 明[1]、伊藤 英司[1] (1.岡山大学惑星物質研究所)

[SMP33-P11] Melting relations of the Fe-Ni-S-C system and the formation of superdeep diamonds

*伊丹 佑[1]、浦川 啓[1] (1.岡山大学)

[SMP33-P12] タイタン内部条件におけるメタンハイドレートの安定性

*門林 宏和[1]、平井 寿子[2]、大藤 弘明[1]、川村 英彰[1]、大竹 道香[3]、山本 佳孝[3] (1.愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、2.立正大学地球環境科学部環境システム学科、3.産業技術総合研究所)

[SMP33-P13] Magnetite-maghemite-hematite相転移の研究

*杵渕 伊吹[1]、興野 純[1]、佐野 喜成[1] (1.筑波大学)

[SMP33-P14] The Effects of Temperature and Pressure on Hydromagnesite

*山本 弦一郎[1]、興野 純[1]、阿部 淳[2]、服部 高典[3]、松下 能孝[4]、米田 安宏[3] (1.筑波大学、2.総合科学研究機構、3.日本原子力研究開発機構、4.物質・材料研究機構)

[SMP33-P15] Synthesis and crystal structure of Mg-bearing $Fe_9O_{11}$: New insight in the complexity of Fe-Mg oxides at conditions of the deep upper mantle

*石井 貴之[1]、Uenver-Thiele Laura[2]、Alan B Woodland[2]、Edith Alig[3]、Tiziana Boffa Ballaran[1] (1.バイロイト大学バイエルン地球科学研究所、2.Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt、3.Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Goethe-Universität Frankfurt)

[SMP33-P16] **Changes in specific surface area and morphology of kaolin group minerals with pressure treatment**

*Soyeon Kwon[1]、Yongjae Lee[1] (1.YONSEI University)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-GC 固体地球化学

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_19

## [S-GC41] 固体地球化学・惑星化学

コンビーナ:下田 玄(産業技術総合研究所地質調査総合センター)、鈴木 勝彦(国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター)、山下 勝行(岡山大学大学院自然科学研究科)、石川 晃(東京工業大学理学院地球惑星科学系)

[SGC41-P01] Experimental and Simulation Study on the Migration Rule of Arsenic in the Soil of Surface Karst Zone in Southwest China

*bin zeng[1] (1.China University of Geosciences)

[SGC41-P02] $H_2$ production and $CO_2$ storage during peridotite serpentinization under $CO_2$-rich hydrothermal conditions: Influence of pyroxene

*Jiajie Wang[1]、Noriaki Watanabe[1]、Atsushi Okamoto[1]、Kengo Nakamura[1]、Takeshi Komai[1] (1.Tohoku Univ.)

[SGC41-P03] **Age determination of spherical carbonate concretions by Sr isotope stratigraphy**

*淺原 良浩[1]、吉田 英一[2]、山本 鋼志[1]、勝田 長貴[3]、南 雅代[4]、メトカルフェ リチャード[5] (1.名古屋大学大学院環境学研究科、2.名古屋大学博物館、3.岐阜大学教育学部、4.名古屋大学宇宙地球環境研究所、5.Quintessa UK)

[SGC41-P04] オスミウム同位体と強親鉄性元素組成からみたハワイ諸島、カウラ島産マントル捕獲岩の起源

*藤田 遼[1]、石川 晃[1]、横山 哲也[1]、Michael Garcia[2] (1.東京工業大学、2.ハワイ大学)

[SGC41-P05] 西南日本，北陸地域東部に分布する中新世アダカイト質火山岩の岩石学的・地球化学的特徴

*渡邉 駿[1]、高橋 俊郎[1] (1.新潟大学)

[SGC41-P06] Trace element and isotopic characteristics of high Nb basalts from Kyushu arc and back arc

*Bidisha Dey[1]、Tomoyuki Shibata[1] (1.Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University)

[SGC41-P07] Evaluation of digestion methods for Molybdenum concentration analysis for geological materials

六鹿 悠[1]、*石川 晃[1]、横山 哲也[1] (1.東京工業大学理学院地球惑星科学系)

[SGC41-P08] *fs*LA-ICPMS analysis of XRF glass beads

*常 青[1]、佐藤 智紀[2]、木村 純一[1] (1.国立研究開発法人・海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野、2.国立研究開発法人・海洋研究開発機構・海洋掘削科学研究開発センター)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-GC 固体地球化学

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_32

## [S-GC41] 固体地球化学・惑星化学

コンビーナ:下田 玄(産業技術総合研究所地質調査総合センター)、鈴木 勝彦(国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター)、山下 勝行(岡山大学大学院自然科学研究科)、石川 晃(東京工業大学理学院地球惑星科学系)

[SGC41-P01] Experimental and Simulation Study on the Migration Rule of Arsenic in the Soil of Surface Karst Zone in Southwest China

*bin zeng[1] (1.China University of Geosciences)

[SGC41-P02] $H_2$ production and $CO_2$ storage during peridotite serpentinization under $CO_2$-rich hydrothermal conditions: Influence of pyroxene

*Jiajie Wang[1]、Noriaki Watanabe[1]、Atsushi Okamoto[1]、Kengo Nakamura[1]、Takeshi Komai[1] (1.Tohoku Univ.)

[SGC41-P03] **Age determination of spherical carbonate concretions by Sr isotope stratigraphy**

*淺原 良浩[1]、吉田 英一[2]、山本 鋼志[1]、勝田 長貴[3]、南 雅代[4]、メトカルフェ リチャード[5] (1.名古屋大学大学院環境学研究科、2.名古屋大学博物館、3.岐阜大学教育学部、4.名古屋大学宇宙地球環境研究所、5.Quintessa UK)

[SGC41-P04] オスミウム同位体と強親鉄性元素組成からみたハワイ諸島、カウラ島産マントル捕獲岩の起源

*藤田 遼[1]、石川 晃[1]、横山 哲也[1]、Michael Garcia[2] (1.東京工業大学、2.ハワイ大学)

[SGC41-P05] 西南日本，北陸地域東部に分布する中新世アダカイト質火山岩の岩石学的・地球化学的特徴

*渡邉 駿[1]、高橋 俊郎[1] (1.新潟大学)

[SGC41-P06] Trace element and isotopic characteristics of high Nb basalts from Kyushu arc and back arc

*Bidisha Dey[1]、Tomoyuki Shibata[1] (1.Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University)

[SGC41-P07] Evaluation of digestion methods for Molybdenum concentration analysis for geological materials

六鹿 悠[1]、*石川 晃[1]、横山 哲也[1] (1.東京工業大学理学院地球惑星科学系)

[SGC41-P08] *fs*LA-ICPMS analysis of XRF glass beads

*常 青[1]、佐藤 智紀[2]、木村 純一[1] (1.国立研究開発法人・海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野、2.国立研究開発法人・海洋研究開発機構・海洋掘削科学研究開発センター)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-CG 固体地球科学複合領域・一般

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_20

## [S-CG57] 日本列島の構造と進化: 島弧の形成から巨大地震サイクルまで

コンビーナ:佐藤 比呂志(東京大学地震研究所地震予知研究センター)、篠原 雅尚(東京大学地震研究所)、石川 正弘(横浜国立大学大学院環境情報研究院)、松原 誠(防災科学技術研究所)

[SCG57-P01] 地震探査による北海道南西沖・日本海盆～渡島半島沿岸部の島弧―背弧海盆域の地殻構造

*佐藤 壮[1]、野 徹雄[1]、小平 秀一[1]、三浦 誠一[1]、石山 達也[2]、佐藤 比呂志[2] (1.海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター、2.東京大学地震研究所)

[SCG57-P02] Three-dimensional plate geometry model from the Nankai to the Ryukyu subduction zone

*仲西 理子[1]、高橋 努[1]、山本 揚二朗[1]、山下 幹也[1]、勝山 美奈子[1]、三浦 誠一[1]、高橋 成実[3,1]、鎌田 弘己[1]、小平 秀一[1]、金田 義行[2,1] (1.海洋研究開発機構、2.香川大学、3.防災科学技術研究所)

[SCG57-P03] 下北半島，中新世泊層火山岩類の岩石化学　―微量元素組成およびSr-Nd-Hf-Pb同位体組成―

*相澤 正隆[1]、稲葉 充[2]、岡村 聡[3,4]、新城 竜一[5] (1.琉球大学　理工学研究科、2.GeoPuck Association、3.北海道教育大学、4.北海道土質試験協同組合、5.琉球大学　理学部)

[SCG57-P04] Acceleration of oceanic plate following megathrust earthquakes

*Mohammad Yuzariyadi[1]、Kosuke Heki[1] (1.Hokkaido University)

[SCG57-P05] 南海トラフ周辺海域の三次元速度構造

*勝山 美奈子[1]、仲西 理子[1]、新井 麗[1]、田中 恵介[1]、高橋 成実[2]、鎌田 弘己[1]、金田 義行[3] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.国立研究開発法人防災科学技術研究所、3.香川大学)

[SCG57-P06] 2018年大阪府北部の地震および2018年北海道胆振東部地震地域の地震発生層深さ

*YANO Tomoko Elizabeth[1]、松原 誠[1] (1.防災科学技術研究所)

[SCG57-P07] 中央構造線活断層系（愛媛・徳島地域）を横断する高分解能反射法地震探査

*加藤 直子[1]、石山 達也[1]、佐藤 比呂志[1]、越谷 信[2]、小池 太郎[3]、野田 克也[3] (1.東京大学地震研究所、2.岩手大学理工学部、3.株式会社ジオシス)

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-CG 固体地球科学複合領域・一般

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_34

## [S-CG57] 日本列島の構造と進化: 島弧の形成から巨大地震サイクルまで

コンビーナ:佐藤 比呂志(東京大学地震研究所地震予知研究センター)、篠原 雅尚(東京大学地震研究所)、石川 正弘(横浜国立大学大学院環境情報研究院)、松原 誠(防災科学技術研究所)

[SCG57-P01] 地震探査による北海道南西沖・日本海盆～渡島半島沿岸部の島弧―背弧海盆域の地殻構造

*佐藤 壮[1]、野 徹雄[1]、小平 秀一[1]、三浦 誠一[1]、石山 達也[2]、佐藤 比呂志[2] (1.海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター、2.東京大学地震研究所)

[SCG57-P02] Three-dimensional plate geometry model from the Nankai to the Ryukyu subduction zone

*仲西 理子[1]、高橋 努[1]、山本 揚二朗[1]、山下 幹也[1]、勝山 美奈子[1]、三浦 誠一[1]、高橋 成実[3,1]、鎌田 弘己[1]、小平 秀一[1]、金田 義行[2,1] (1.海洋研究開発機構、2.香川大学、3.防災科学技術研究所)

[SCG57-P03] 下北半島，中新世泊層火山岩類の岩石化学　―微量元素組成およびSr-Nd-Hf-Pb同位体組成―

*相澤 正隆[1]、稲葉 充[2]、岡村 聡[3,4]、新城 竜一[5] (1.琉球大学　理工学研究科、2.GeoPuck Association、3.北海道教育大学、4.北海道土質試験協同組合、5.琉球大学　理学部)

[SCG57-P04] Acceleration of oceanic plate following megathrust earthquakes

*Mohammad Yuzariyadi[1]、Kosuke Heki[1] (1.Hokkaido University)

[SCG57-P05] 南海トラフ周辺海域の三次元速度構造

*勝山 美奈子[1]、仲西 理子[1]、新井 麗[1]、田中 恵介[1]、高橋 成実[2]、鎌田 弘己[1]、金田 義行[3] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.国立研究開発法人防災科学技術研究所、3.香川大学)

[SCG57-P06] 2018年大阪府北部の地震および2018年北海道胆振東部地震地域の地震発生層深さ

*YANO Tomoko Elizabeth[1]、松原 誠[1] (1.防災科学技術研究所)

[SCG57-P07] 中央構造線活断層系（愛媛・徳島地域）を横断する高分解能反射法地震探査

*加藤 直子[1]、石山 達也[1]、佐藤 比呂志[1]、越谷 信[2]、小池 太郎[3]、野田 克也[3] (1.東京大学地震研究所、2.岩手大学理工学部、3.株式会社ジオシス)

[J] ポスター発表 | セッション記号 B (地球生命科学)：B-CG 地球生命科学複合領域・一般

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_21

## [B-CG07] 地球史解読：冥王代から現代まで

コンビーナ:小宮 剛(東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻)、加藤 泰浩(東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻)、鈴木 勝彦(国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター)

[BCG07-P01] カナダ北東部初期大古代ヌブアギツック表成岩帯の地質:堆積岩の原岩と年代の再検討

*小宮 剛[1]、山本 伸次[2]、上原 啓幹[1]、吉田 聡[1]、村上 葵[1]、石原 湧樹[1] (1.東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻、2.横浜国立大学大学院環境情報研究院)

[BCG07-P02] Behavior of phosphorus during hydrothermal alteration of basalt under $CO_2$-rich condition

*村上 葵[1]、澤木 佑介[2]、上田 修裕[3]、折橋 裕二[4]、町田 嗣樹[5]、小宮 剛[2] (1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2.東京大学大学院総合文化研究科、3.東京工業大学理学院地球惑星科学系、4.弘前大学理工学部地球環境防災学科、5.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター)

[BCG07-P03] 西グリーンランド南部アクレックテレーンに産するクロミタイトの成因

*高橋 歓太[1]、森下 知晃[1]、グオタナ ジュアン ミゲル[1]、谷 健一郎[2]、針金 由美子[3]、西尾 郁也[1]、ジラス クリストファー[4]、田村 明弘[1] (1.金沢大学、2.国立科学博物館地学研究部、3.産業技術総合研究所、4.コペンハーゲン大学)

[BCG07-P04] Metamorphic P–T condition of the Inyoni shear zone rocks in the Barberton Greenstone Belt, South Africa and its significance

*加藤 大地[1]、青木 一勝[1]、土屋 裕太[2]、青木 翔吾[2]、小宮 剛[3] (1.岡山理科大学理学部、2.岡山理科大学生物地球学部、3.東京大学大学院総合文化研究科)

[BCG07-P05] Discovery of possible traces of asteroid impact within the fossil-bearing carbonaceous chert from the 3.4 Ga Strelley Pool Formation, Pilbara Craton of Western Australia - a preliminary study

*杉谷 健一郎[1]、仙田 量子[3]、飯塚 毅[2]、Wallis Simon[2] (1.名古屋大学、2.東京大学、3.九州大学)

[BCG07-P06] 原生代前期ストロマトライトの縞状構造における高分解能解析：安定同位体比と化学組成分析

宮西 勇太[1]、高村 一希[1]、*勝田 長貴[1]、森本 真紀[1]、安田 敦[2]、川上 紳一[3] (1.岐阜大学教育学部、2.東京大学地震研究所、3.岐阜聖徳学園大学)

[BCG07-P07] 物質循環モデルによって制約された大酸化イベントに伴う物質循環動態

*三浦 優奈[1]、尾崎 和海[1] (1.東邦大学)

[BCG07-P08] 後期トニア紀のマグネサイトから想定される全球凍結前の海水組成

*宮崎 彩[1]、狩野 彰宏[1]、白石 史人[2] (1.東京大学　理学系研究科　地球惑星科学専攻、2.広島大学　地球惑星システム学専攻)

[BCG07-P09] 独立成分分析により抽出された日本列島付加体中ペルム紀-トリアス紀境界黒色頁岩の地球化学的特徴

*矢野 萌生[1]、安川 和孝[1,3]、藤永 公一郎[3,2]、中村 謙太郎[1]、加藤 泰浩[2,1,3] (1.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2.東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター、3.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター)

[BCG07-P10] オーストラリア・アジアテクタイトイベント起源のイジェクタ堆積物の分布：衝突地点への示唆

*多田 賢弘[1]、多田 隆治[1,2]、Carling Paul[3]、Songtham Wickanet[4]、Thuyen Xuan[5]、常 昱、田近 英一[1] (1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2.雲南大学、3.サウサンプトン大学、4.ナコンラチャシマラジャハト大学、5.ホーチミン市工科大学)

[BCG07-P11] 新原生代変火山岩類からなるエジプト・中部東砂漠のエル・ダバー地域の層序/地質構造の復元

*清川 昌一[1]、鈴木 大志[1]、Maher Dawoud[3]、Mohamed El-Hasan[3]、堀江 憲路[2]、竹原 真美[2] (1.九州大学大学院理学研究院地球惑星部門、2.国立極地研究所、3.Menoufiya University,)

[J] ポスター発表 | セッション記号 B (地球生命科学)：B-CG 地球生命科学複合領域・一般

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_35

## [B-CG07] 地球史解読：冥王代から現代まで

コンビーナ:小宮 剛(東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻)、加藤 泰浩(東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻)、鈴木 勝彦(国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター)

[BCG07-P01] カナダ北東部初期大古代ヌブアギツック表成岩帯の地質:堆積岩の原岩と年代の再検討

*小宮 剛[1]、山本 伸次[2]、上原 啓幹[1]、吉田 聡[1]、村上 葵[1]、石原 湧樹[1] (1.東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻、2.横浜国立大学大学院環境情報研究院)

[BCG07-P02] Behavior of phosphorus during hydrothermal alteration of basalt under $CO_2$-rich condition

*村上 葵[1]、澤木 佑介[2]、上田 修裕[3]、折橋 裕二[4]、町田 嗣樹[5]、小宮 剛[2] (1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2.東京大学大学院総合文化研究科、3.東京工業大学理学院地球惑星科学系、4.弘前大学理工学部地球環境防災学科、5.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター)

[BCG07-P03] 西グリーンランド南部アクレックテレーンに産するクロミタイトの成因

*高橋 歓太[1]、森下 知晃[1]、グオタナ ジュアン ミゲル[1]、谷 健一郎[2]、針金 由美子[3]、西尾 郁也[1]、ジラス クリストファー[4]、田村 明弘[1] (1.金沢大学、2.国立科学博物館地学研究部、3.産業技術総合研究所、4.コペンハーゲン大学)

[BCG07-P04] Metamorphic P–T condition of the Inyoni shear zone rocks in the Barberton Greenstone Belt, South Africa and its significance

*加藤 大地[1]、青木 一勝[1]、土屋 裕太[2]、青木 翔吾[2]、小宮 剛[3] (1.岡山理科大学理学部、2.岡山理科大学生物地球学部、3.東京大学大学院総合文化研究科)

[BCG07-P05] Discovery of possible traces of asteroid impact within the fossil-bearing carbonaceous chert from the 3.4 Ga Strelley Pool Formation, Pilbara Craton of Western Australia - a preliminary study

*杉谷 健一郎[1]、仙田 量子[3]、飯塚 毅[2]、Wallis Simon[2] (1.名古屋大学、2.東京大学、3.九州大学)

[BCG07-P06] 原生代前期ストロマトライトの縞状構造における高分解能解析：安定同位体比と化学組成分析

宮西 勇太[1]、高村 一希[1]、*勝田 長貴[1]、森本 真紀[1]、安田 敦[2]、川上 紳一[3] (1.岐阜大学教育学部、2.東京大学地震研究所、3.岐阜聖徳学園大学)

[BCG07-P07] 物質循環モデルによって制約された大酸化イベントに伴う物質循環動態

*三浦 優奈[1]、尾崎 和海[1] (1.東邦大学)

[BCG07-P08] 後期トニア紀のマグネサイトから想定される全球凍結前の海水組成

*宮崎 彩[1]、狩野 彰宏[1]、白石 史人[2] (1.東京大学　理学系研究科　地球惑星科学専攻、2.広島大学　地球惑星システム学専攻)

[BCG07-P09] 独立成分分析により抽出された日本列島付加体中ペルム紀-トリアス紀境界黒色頁岩の地球化学的特徴

*矢野 萌生[1]、安川 和孝[1,3]、藤永 公一郎[3,2]、中村 謙太郎[1]、加藤 泰浩[2,1,3] (1.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2.東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター、3.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター)

[BCG07-P10] オーストラリア・アジアテクタイトイベント起源のイジェクタ堆積物の分布：衝突地点への示唆

*多田 賢弘[1]、多田 隆治[1,2]、Carling Paul[3]、Songtham Wickanet[4]、Thuyen Xuan[5]、常 昱、田近 英一[1] (1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2.雲南大学、3.サウサンプトン大学、4.ナコンラチャシマラジャハト大学、5.ホーチミン市工科大学)

[BCG07-P11] 新原生代変火山岩類からなるエジプト・中部東砂漠のエル・ダバー地域の層序/地質構造の復元

*清川 昌一[1]、鈴木 大志[1]、Maher Dawoud[3]、Mohamed El-Hasan[3]、堀江 憲路[2]、竹原 真美[2] (1.九州大学大学院理学研究院地球惑星部門、2.国立極地研究所、3.Menoufiya University,)

[J] ポスター発表 | セッション記号 M (領域外・複数領域)：M-IS ジョイント

13:45 ~ 15:15 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_5

## [M-IS22] 地震・火山等の地殻活動に伴う地圏・大気圏・電離圏電磁現象

コンビーナ:児玉 哲哉(宇宙航空研究開発機構研究開発部門第一研究ユニット)、長尾 年恭(東海大学海洋研究所)

[MIS22-P01] 巨大地震前に起こるTEC変化：標準曲線の導出とそれが示唆する物理過程

*高坂 宥輝[1]、日置 幸介[1] (1.北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門)

[MIS22-P02] HFドップラーを用いた異なる高度での東北地方太平洋沖地震に伴う電離圏擾乱の解析

*大野 夏樹[1]、中田 裕之[1]、大矢 浩代[1]、鷹野 敏明[1]、冨澤 一郎[2]、細川 敬祐[2]、津川 卓也[3]、西岡 未知[3] (1.千葉大学大学院融合理工学府基幹工学専攻電気電子工学コース、2.電気通信大学、3.情報通信研究機構)

[MIS22-P03] 短期・直前地震発生予測を目指したVLF帯パルス電磁波の観測

*長尾 年恭[1]、井筒 潤[2]、鴨川 仁[3]、織原 義明[1]、杉浦 繁貴[4]、近藤 斎[4] (1.東海大学海洋研究所、2.中部大学中部高等学術研究所 国際GISセンター、3.東京学芸大学物理学分野、4.（株）コンポン研究所)

[MIS22-P04] DEMETER衛星によって検知された地震先行的VLF強度現象時のELF帯電波強度について

*鴨川 仁[1]、児玉 哲哉[2]、長尾 年恭[3] (1.東京学芸大学教育学部物理学科、2.宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門、3.東海大学海洋研究所)

[J] ポスター発表 | セッション記号 M (領域外・複数領域)：M-IS ジョイント

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_36

## [M-IS22] 地震・火山等の地殻活動に伴う地圏・大気圏・電離圏電磁現象

コンビーナ:児玉 哲哉(宇宙航空研究開発機構研究開発部門第一研究ユニット)、長尾 年恭(東海大学海洋研究所)

[MIS22-P01] 巨大地震前に起こるTEC変化：標準曲線の導出とそれが示唆する物理過程

*高坂 宥輝[1]、日置 幸介[1] (1.北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門)

[MIS22-P02] HFドップラーを用いた異なる高度での東北地方太平洋沖地震に伴う電離圏擾乱の解析

*大野 夏樹[1]、中田 裕之[1]、大矢 浩代[1]、鷹野 敏明[1]、冨澤 一郎[2]、細川 敬祐[2]、津川 卓也[3]、西岡 未知[3] (1.千葉大学大学院融合理工学府基幹工学専攻電気電子工学コース、2.電気通信大学、3.情報通信研究機構)

[MIS22-P03] 短期・直前地震発生予測を目指したVLF帯パルス電磁波の観測

*長尾 年恭[1]、井筒 潤[2]、鴨川 仁[3]、織原 義明[1]、杉浦 繁貴[4]、近藤 斎[4] (1.東海大学海洋研究所、2.中部大学中部高等学術研究所 国際GISセンター、3.東京学芸大学物理学分野、4.（株）コンポン研究所)

[MIS22-P04] DEMETER衛星によって検知された地震先行的VLF強度現象時のELF帯電波強度について

*鴨川 仁[1]、児玉 哲哉[2]、長尾 年恭[3] (1.東京学芸大学教育学部物理学科、2.宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門、3.東海大学海洋研究所)

[J] ポスター発表 | セッション記号 M (領域外・複数領域)：M-GI 地球科学一般・情報地球科学

15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_22

## [M-GI36] ソーシャルメディアと地球惑星科学

コンビーナ:天野 一男(茨城大学理学部地球生命環境科学科)、小口 高(東京大学空間情報科学研究センター)、伊藤 昌毅(東京大学生産技術研究所)、山本 佳世子(国立大学法人　電気通信大学)

[MGI36-P01] 防災チャットボットの研究開発

*東 宏樹[1]、萩行 正嗣[2]、大竹 清敬[3] (1.国立研究開発法人防災科学技術研究所、2.株式会社ウェザーニューズ、3.国立研究開発法人情報通信研究機構)

[MGI36-P02] 極地研究所における画像プラットフォームとソーシャルメディアとの連携

*照井 健志[1]、南山 泰之[2]、肥田野 正輝[3] (1.国立極地研究所、2.東京財団政策研究所、3.インフォ・ラウンジ株式会社)

[MGI36-P03] 日本地理学会のツイッターアカウントの開設と初期運用

*小口 高[1]、西村 雄一郎[2]、河本 大地[3]、新名 阿津子[4]、齋藤 仁[5] (1.東京大学空間情報科学研究センター、2.奈良女子大学人文科学系研究院、3.奈良教育大学、4.伊豆半島ジオパーク推進協議会、5.関東学院大学経済学部)

[MGI36-P04] 茨城県北ジオパーク構想におけるJGC認定取り消し後のSNSの活用

*天野 一男[1]、細井 淳[2] (1.日本大学文理学部自然科学研究所、2.産業技術総合研究所地質情報研究部門)

[J] ポスター発表 | セッション記号 M (領域外・複数領域)：M-GI 地球科学一般・情報地球科学

17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_38

## [M-GI36] ソーシャルメディアと地球惑星科学

コンビーナ:天野 一男(茨城大学理学部地球生命環境科学科)、小口 高(東京大学空間情報科学研究センター)、伊藤 昌毅(東京大学生産技術研究所)、山本 佳世子(国立大学法人　電気通信大学)

[MGI36-P01] 防災チャットボットの研究開発

*東 宏樹[1]、萩行 正嗣[2]、大竹 清敬[3] (1.国立研究開発法人防災科学技術研究所、2.株式会社ウェザーニューズ、3.国立研究開発法人情報通信研究機構)

[MGI36-P02] 極地研究所における画像プラットフォームとソーシャルメディアとの連携

*照井 健志[1]、南山 泰之[2]、肥田野 正輝[3] (1.国立極地研究所、2.東京財団政策研究所、3.インフォ・ラウンジ株式会社)

[MGI36-P03] 日本地理学会のツイッターアカウントの開設と初期運用

*小口 高[1]、西村 雄一郎[2]、河本 大地[3]、新名 阿津子[4]、齋藤 仁[5] (1.東京大学空間情報科学研究センター、2.奈良女子大学人文科学系研究院、3.奈良教育大学、4.伊豆半島ジオパーク推進協議会、5.関東学院大学経済学部)

[MGI36-P04] 茨城県北ジオパーク構想におけるJGC認定取り消し後のSNSの活用

*天野 一男[1]、細井 淳[2] (1.日本大学文理学部自然科学研究所、2.産業技術総合研究所地質情報研究部門)

[J] ポスター発表 | セッション記号 U (ユニオン)：ユニオン

🏛2019年5月29日(水) 10:45 ~ 12:15 | 🏛ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_1

## [U-04] 地球惑星科学における高速過程を捉える

コンビーナ:芳野 極(岡山大学惑星物質研究所)、丹下 慶範(高輝度光科学研究センター)

破壊・噴火・衝突といった現象はマントル対流のような長いスケールの地質現象とは異なるカタストロフィックな現象である。しかし、恐竜の絶滅に代表される隕石衝突などの地球規模の現象は長期的な変動だけではなく、このような劇的な高速の現象で引き起こされる。つまり、地球の進化・防災を考える上でも、高速のダイナミクスの理解を深めることは重要である。放射光技術の進展で極限状況におけるフェムト秒から数分スケールまでの速い現象を捉えることが可能になりつつある現状を踏まえて、物質科学・観測・数値モデルといった多くの手法から高速のダイナミクスの包括的な理解を目指す。

[U04-P01] X線吸収分光法を利用したSPring-8における時間分解計測の現状

*新田 清文[1]、関澤 央輝[1]、加藤 和男[1]、大沢 仁志[1] (1.公益財団法人高輝度光科学研究センター)

---

[U04-P02] Ultrafast time-resolved XFEL diffraction study on shock-compressed corundum

*丹下 慶範[1] (1.高輝度光科学研究センター)

# X線吸収分光法を利用したSPring-8における時間分解計測の現状
# Present status of time resolved measurement using X-ray absorption spectroscopy at SPring-8

*新田 清文[1]、関澤 央輝[1]、加藤 和男[1]、大沢 仁志[1]
*Kiyofumi Nitta[1], Oki Sekizawa[1], Kazuo Kato[1], Hitoshi Osawa[1]

1. 公益財団法人高輝度光科学研究センター
1. Japan Synchrotron Radiation Research Institute

X-ray Absorption Fine Structure (XAFS) is powerful tool to investigate electric structure and local structure around X-ray absorption atom. Time resolved XAFS measurement developed from appearance of synchrotron radiation and have been applied to many fields. For example, time-resolved XAFS is applied for the catalytic reaction at the in-situ condition and give us the information about how the chemical reaction progresses. We will introduce three representative time-resolved XAFS measurement.

(Super) Quick XAFS (QXAFS),
In QXAFS, the monochromator sweeps quickly (or oscillates at high frequency in Super QXAFS) and it measures the incident X-ray and transmission/fluorescence X-ray intensity continuously. The time resolution depends on the sweep speed of monochromator and the flux of X-ray. The fastest time-resolution of QXAFS in SPring-8 is 800 $\mu$s/spectrum which using galvano motor driven monochromator and very compact Si channel-cut crystal without cooling system.

Energy Dispersive XAFS (DXAFS)
DXAFS is a method of measuring the XAFS spectrum by one-shot acquisition. DXAFS measurement is done by converting the energy of X rays into position information using a polychromator and monitoring the position and intensity using a position sensitive detector. So DXAFS has higher time-resolution than QXAFS and the time-resolution is about few ms as usual.

Pump-probe XAFS
Pump-probe XAFS is a method that uses bunch structures of synchrotron radiation. X-ray from the synchrotron facility has a time width. For example at SPring-8, the time width of each X-ray is about 50ps and interval between each X-ray is about 100nsec. Pump-probe XAFS use such time-structure and achieve high time-resolution. However, this method can only apply for repeated reactions.

キーワード：X線吸収分光法、時間分解、放射光
Keywords: X-ray Absorption Spectroscopy, time-resolved, synchrtron

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Ultrafast time-resolved XFEL diffraction study on shock-compressed corundum

*丹下 慶範[1]
*Yoshinori Tange[1]

1. 高輝度光科学研究センター
1. Japan Synchrotron Radiation Research Institute

X-ray Free Electron Lasers (XFEL) allow us ultrafast observations due to its quite short X-ray exposure time of <10 fs ($10^{-14}$ s) with extremely high peak brilliance of >$10^{30}$ photons/sec·mm$^2$·mrad$^2$·0.1%b.w., which corresponds to $10^9$-times higher compared to synchrotron radiation X-rays made by undulators in third-generation radiation facility such as SPring-8 in general. These extremely-intense and ultrashort-pulsed X-ray flash lamps made it possible to probe samples before the samples are damaged by external forces, conditions, and also XFEL itself.

In an XFEL facility SACLA, constructed at next to SPring-8, laser-driven shock-compression experiments are available with a high-power long-pulse laser system installed by Dr. N. Ozaki’ s group and the Photon Pioneers Center in Osaka university. Using the high-power laser system (Nd:YAG, 532 nm, Hamamatsu Photonics K.K.) with the maximum energy of 50 J and pulse width of <10 ns ($10^{-8}$ s), now we are able to reproduce ultrahigh-pressure and ultrahigh-temperature conditions to 1000 GPa (1 TPa) and >10,000 K regime. Here we show a result of in situ observation of shock-compressed polycrystalline corundum utilizing the high-power ns-pulsed pump laser with fs-pulsed intense probe X-ray based on pump-probe techniques.

The pump-probe measurements were carried out varying delay times of XFEL-probe exposure after flashing pump laser to generate shock wave on the surface of targets, which were composed of polypropylene ablator and corundum sample. After series of the pump-probe measurements, pseudo time-resolved profiles were obtained as a function of elapsed time after shock wave arrival to the sample through the ablator. As a result of the pump-probe laser-shock experiments, elastic/plastic compression, uniaxial/quasi-hydrostatic compression, and dynamic recrystallization were observed during shock-wave propagation in the corundum sample with the passing time in the maximum time-resolution of 0.2 ns. In the presentation, we will show the experimental setups and features of XRD profiles of the shock-compressed material in detail.

キーワード：高速測定、X線自由電子レーザー、衝撃圧縮、コランダム
Keywords: ultrafast measurement, XFEL, shock compression, corundum

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 U (ユニオン)：ユニオン

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_1

## [U-04] 地球惑星科学における高速過程を捉える

コンビーナ:芳野 極(岡山大学惑星物質研究所)、丹下 慶範(高輝度光科学研究センター)

破壊・噴火・衝突といった現象はマントル対流のような長いスケールの地質現象とは異なるカタストロフィックな現象である。しかし、恐竜の絶滅に代表される隕石衝突などの地球規模の現象は長期的な変動だけではなく、このような劇的な高速の現象で引き起こされる。つまり、地球の進化・防災を考える上でも、高速のダイナミクスの理解を深めることは重要である。放射光技術の進展で極限状況におけるフェムト秒から数分スケールまでの速い現象を捉えることが可能になりつつある現状を踏まえて、物質科学・観測・数値モデルといった多くの手法から高速のダイナミクスの包括的な理解を目指す。

[U04-P01] X線吸収分光法を利用したSPring-8における時間分解計測の現状

*新田 清文[1]、関澤 央輝[1]、加藤 和男[1]、大沢 仁志[1] (1.公益財団法人高輝度光科学研究センター)

---

[U04-P02] Ultrafast time-resolved XFEL diffraction study on shock-compressed corundum

*丹下 慶範[1] (1.高輝度光科学研究センター)

# X線吸収分光法を利用したSPring-8における時間分解計測の現状
# Present status of time resolved measurement using X-ray absorption spectroscopy at SPring-8

*新田 清文[1]、関澤 央輝[1]、加藤 和男[1]、大沢 仁志[1]
*Kiyofumi Nitta[1], Oki Sekizawa[1], Kazuo Kato[1], Hitoshi Osawa[1]

1. 公益財団法人高輝度光科学研究センター
1. Japan Synchrotron Radiation Research Institute

X-ray Absorption Fine Structure (XAFS) is powerful tool to investigate electric structure and local structure around X-ray absorption atom. Time resolved XAFS measurement developed from appearance of synchrotron radiation and have been applied to many fields. For example, time-resolved XAFS is applied for the catalytic reaction at the in-situ condition and give us the information about how the chemical reaction progresses. We will introduce three representative time-resolved XAFS measurement.

(Super) Quick XAFS (QXAFS),
In QXAFS, the monochromator sweeps quickly (or oscillates at high frequency in Super QXAFS) and it measures the incident X-ray and transmission/fluorescence X-ray intensity continuously. The time resolution depends on the sweep speed of monochromator and the flux of X-ray. The fastest time-resolution of QXAFS in SPring-8 is 800 $\mu$s/spectrum which using galvano motor driven monochromator and very compact Si channel-cut crystal without cooling system.

Energy Dispersive XAFS (DXAFS)
DXAFS is a method of measuring the XAFS spectrum by one-shot acquisition. DXAFS measurement is done by converting the energy of X rays into position information using a polychromator and monitoring the position and intensity using a position sensitive detector. So DXAFS has higher time-resolution than QXAFS and the time-resolution is about few ms as usual.

Pump-probe XAFS
Pump-probe XAFS is a method that uses bunch structures of synchrotron radiation. X-ray from the synchrotron facility has a time width. For example at SPring-8, the time width of each X-ray is about 50ps and interval between each X-ray is about 100nsec. Pump-probe XAFS use such time-structure and achieve high time-resolution. However, this method can only apply for repeated reactions.

キーワード：X線吸収分光法、時間分解、放射光
Keywords: X-ray Absorption Spectroscopy, time-resolved, synchrtron

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Ultrafast time-resolved XFEL diffraction study on shock-compressed corundum

*丹下 慶範[1]
*Yoshinori Tange[1]

1. 高輝度光科学研究センター
1. Japan Synchrotron Radiation Research Institute

X-ray Free Electron Lasers (XFEL) allow us ultrafast observations due to its quite short X-ray exposure time of <10 fs ($10^{-14}$ s) with extremely high peak brilliance of >$10^{30}$ photons/sec·mm$^2$·mrad$^2$·0.1%b.w., which corresponds to $10^9$-times higher compared to synchrotron radiation X-rays made by undulators in third-generation radiation facility such as SPring-8 in general. These extremely-intense and ultrashort-pulsed X-ray flash lamps made it possible to probe samples before the samples are damaged by external forces, conditions, and also XFEL itself.

In an XFEL facility SACLA, constructed at next to SPring-8, laser-driven shock-compression experiments are available with a high-power long-pulse laser system installed by Dr. N. Ozaki’ s group and the Photon Pioneers Center in Osaka university. Using the high-power laser system (Nd:YAG, 532 nm, Hamamatsu Photonics K.K.) with the maximum energy of 50 J and pulse width of <10 ns ($10^{-8}$ s), now we are able to reproduce ultrahigh-pressure and ultrahigh-temperature conditions to 1000 GPa (1 TPa) and >10,000 K regime. Here we show a result of in situ observation of shock-compressed polycrystalline corundum utilizing the high-power ns-pulsed pump laser with fs-pulsed intense probe X-ray based on pump-probe techniques.

The pump-probe measurements were carried out varying delay times of XFEL-probe exposure after flashing pump laser to generate shock wave on the surface of targets, which were composed of polypropylene ablator and corundum sample. After series of the pump-probe measurements, pseudo time-resolved profiles were obtained as a function of elapsed time after shock wave arrival to the sample through the ablator. As a result of the pump-probe laser-shock experiments, elastic/plastic compression, uniaxial/quasi-hydrostatic compression, and dynamic recrystallization were observed during shock-wave propagation in the corundum sample with the passing time in the maximum time-resolution of 0.2 ns. In the presentation, we will show the experimental setups and features of XRD profiles of the shock-compressed material in detail.

キーワード：高速測定、X線自由電子レーザー、衝撃圧縮、コランダム
Keywords: ultrafast measurement, XFEL, shock compression, corundum

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 P (宇宙惑星科学)：P-EM 太陽地球系科学・宇宙電磁気学・宇宙環境

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_3

## [P-EM18] 太陽圏・惑星間空間

コンビーナ:坪内 健(電気通信大学)、西野 真木(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)、成行 泰裕(富山大学人間発達科学部)、岩井 一正(名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

太陽活動に起因して、太陽圏で生起する様々なプラズマおよび高エネルギー粒子現象や、地球環境への影響についての理解を深めるため、太陽面現象、太陽風、惑星間空間プラズマ・磁場構造、宇宙線、太陽活動と地球環境の関連等についての研究発表を行う。

[PEM18-P01] チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星周辺における彗星起源イオンの加速過程に対する電場の寄与について

*山岸 和樹[1]、加藤 雄人[1]、木村 智樹[1]、熊本 篤志[1] (1.東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻)

---

[PEM18-P02] 月ウェイク境界における太陽風エネルギーの電磁エネルギーへの変換について

*中川 朋子[1]、綱川 秀夫[2]、斎藤 義文[3] (1.東北工業大学工学部情報通信工学科、2.東京工業大学理学院地球惑星科学系、3.宇宙科学研究所)

---

[PEM18-P03] 準垂直衝撃波における電子加速の１次元PICシミュレーション

*大塚 史子[1]、松清 修一[2]、岡 光夫[3] (1.久留米高専、2.九大総理工、3.UCバークレー)

---

[PEM18-P04] 4期にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測

*山崎 敦[1]、村上 豪[1]、吉岡 和夫[2]、木村 智樹[3]、土屋 史紀[4]、鍵谷 将人[4]、坂野井 健[4]、寺田 直樹[5]、笠羽 康正[4]、吉川 一朗[6]、ひさき（SPRINT-A） プロジェクトチーム (1.宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科、3.東北大学、4.東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター、5.東北大学大学院理学研究科、6.東京大学)

---

[PEM18-P05] Structural variations in the pickup ion density associated with magnetic reconnection at the heliopause

*坪内 健[1] (1.電気通信大学)

# チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星周辺における彗星起源イオンの加速過程に対する電場の寄与について

# Study of the contribution of electric field to the acceleration of cometary ions around comet 67P/Churyumov-Gerasimenko

*山岸 和樹[1]、加藤 雄人[1]、木村 智樹[1]、熊本 篤志[1]
*Kazuki Yamagishi[1], Yuto Katoh[1], Tomoki Kimura[1], Atsushi Kumamoto[1]

1. 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻
1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

彗星は水を主成分とする、数キロから数十キロメートルほどの小さな天体である。彗星表層から昇華により放出される水分子の一部は、電子衝突電離や光電離を経てイオンとして宇宙空間に拡散していく。彗星周辺におけるイオンの運動にかかわる物理を理解することは、天体から宇宙空間への分子供給過程やその規模の考察に繋がり、彗星による他天体への物質輸送や、小天体における大気流出過程の理解にも繋がると考えられる。

ESA（欧州宇宙機関）が2004年に打ち上げた探査機ロゼッタは、2014年8月から2016年9月までの約2年間に渡り、チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星周辺でのその場観測を実施した。ロゼッタの観測結果に基づいた過去の研究では、彗星起源のイオンが彗星核から離れるに従って動径方向に加速されていることが示された（Behar et al., 2018）。彗星周辺ではambipolar電場、motional電場、Hall電場の3成分の電場が存在しうるとされ、Behar et al. (2018)では彗星核近傍における彗星起源イオンの加速には、電子の圧力勾配に起因するambipolar電場が特に寄与していることが示唆された。彗星周辺の電場による拡散や加速は彗星起源イオンの運動を理解するために重要な過程であるが、定量的な検討が課題として残されている。本研究は彗星起源イオンの加速に対する電場の寄与を定量的に評価することを目的とする。彗星周辺の電場を推定し、彗星起源イオンの加速過程と空間分布を見積もって、ロゼッタの観測結果と比較し考察する。

本研究ではまず、彗星核から1000 kmまでの領域における電場の大きさを評価した。電場としてはambipolar電場のみを考慮し、彗星核周辺における電子の圧力分布から電場の空間分布を求めた。電子の圧力分布については、彗星ガスの放出率と電離率を観測結果に基づいて決定して数密度の分布を与え、電子温度を5 eVと仮定して求めた。次に、電場中での彗星起源イオンの速度発展をテスト粒子解析により計算した。その結果、初速度0.7 km/sの彗星起源イオンは核から1000 kmの地点までに22.6 km/sまで加速されることが示された。一方で、ロゼッタの観測結果より、彗星核から600〜1000 kmの位置において彗星を起源とする$H_2O^+$イオンは40〜80 km/sにまで加速されていることが明らかとなっており、ambipolar電場による加速のみでは実際の速度発展を説明するには不十分である可能性が示唆された。本研究ではさらに、motional電場を考慮した場合のイオンの速度発展について考察し、彗星周辺におけるイオンの運動と加速における電場の寄与について議論する。

キーワード：彗星、電場、イオン加速、太陽風小天体相互作用
Keywords: comet, electric field, ion acceleration, interaction of solar wind with small objects

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 月ウェイク境界における太陽風エネルギーの電磁エネルギーへの変換について
# Energy conversion process at the lunar wake boundary

*中川 朋子[1]、綱川 秀夫[2]、斎藤 義文[3]
*Tomoko Nakagawa[1], Hideo Tsunakawa[2], Yoshifumi Saito[3]

1. 東北工業大学工学部情報通信工学科、2. 東京工業大学理学院地球惑星科学系、3. 宇宙科学研究所
1. Information and Communication Engineering, Tohoku Institute of Technology, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Tokyo Institute of Technology , 3. JAXA,ISAS

太陽風にさらされた月面が太陽風粒子を吸収することにより、月の下流側にはウェイクと呼ばれる低密度領域ができる。ウェイク境界では、太陽風磁場を横切る方向にはおよそ400kmの厚さの密度勾配層ができ、距離40kmでプラズマ密度が約半分になることがかぐや衛星の観測によって示されている。この境界層で電子の圧力もおよそ２桁落ちる。この圧力勾配によってプロトンがウェイク中心に向かって加速される形となり、渦度が生じる。この渦と回転方向の揃った0.01-0.3Hzの磁場変動も観測されている。磁場が太陽風の流れに垂直な時（たとえば北向き磁場）圧力勾配による速度成分（Vy)により、VxB電場が生じ、渦の動径方向に粒子を加速・減速して渦の中心に電荷を生じるため、それを解消するような沿磁力線電流が生じている。沿磁力線電流は電子によって担われており、北向き磁場中では朝側で磁力線に沿ってウェイク中心から離れる電流（北半球で北向き、南半球で南向き）、夕方側ではウェイク中心に向かう電流（北半球で南向き、南半球で北向き）となっている。

この電流のエネルギー源は元々太陽風の運動エネルギーであるが、太陽風を流体として考えた場合、流体がされる仕事はウェイク境界の渦の動径方向の速度v_perpと渦の動径方向の電流Ｊによる力JxBの内積（負）であり、これが電磁エネルギーに変換され、さらに沿磁力線電流に変換されることになる。渦の動径方向の電流Ｊは、ウェイク境界におけるイオンと電子の侵入の違いによって生じている。

キーワード：ウェイク、太陽風、渦
Keywords: lunar wake, solar wind, vortex

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 準垂直衝撃波における電子加速の 1 次元PICシミュレーション
# Electron acceleration at quasi-perpendicular collisionless shock: One-dimensional PIC simulation

*大塚 史子[1]、松清 修一[2]、岡 光夫[3]
*Fumiko Otsuka[1], Shuichi Matsukiyo[2], Mitsuo Oka[3]

1. 久留米高専、2. 九大総理工、3. UCバークレー
1. NIT, Kurume College, 2. ESST, Kyushu Univ., 3. UC Berkeley

無衝突衝撃波では粒子が効率よく加速されることが知られている。特に、地球バウショックでは、非熱的電子が人工衛星によって直接観測されている。しかし、その加速機構の詳細は明らかになっていない。2015年に打ち上げられたMagnetospheric Multiscale (MMS)衛星では、電子スケールの波動や高精度の粒子分布関数の観測が可能となり、電子加速機構を解明する好機である。本研究では、MMS衛星観測データと直接比較することを念頭に、準垂直衝撃波の1次元PICシミュレーションを行い、電子加速過程を議論する。

準垂直衝撃波では、太陽風電子の一部が磁気ミラーの効果によって、衝撃波面で反射され、衝撃波上流へ逆走する。この反射電子が種となり、高エネルギー電子が生成される可能性がある。すでに、MMS衛星観測では、太陽風成分より高いエネルギー帯の電子フラックスが増大するイベントを確認しており、電子加速の兆候を示している。この電子バーストを再現するために、マッハ数=7、上流ベータ値(プラズマ圧と磁気圧の比)=0.3-3, 衝撃波角（法線方向に対する磁場のなす角度=70-80度とした計算を数通り実行する。また本研究では、可能な限り現実に近い質量比=625を用いる。反射電子のエネルギー分布やピッチ角分布、上流波動のスペクトル分布を評価し、それらの時間・空間発展や関連性を議論する。また、被加速電子の軌道を逆追跡し、加速に至る過程の詳細に明らかにする。

キーワード：電子加速、準垂直衝撃波、PICシミュレーション
Keywords: electron acceleration, quasi-perpendicular shock, PIC simulation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 4期にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測
# 4-season's optical observation of neutral helium distribution in interplanetary space by Hisaki

*山崎 敦[1]、村上 豪[1]、吉岡 和夫[2]、木村 智樹[3]、土屋 史紀[4]、鍵谷 将人[4]、坂野井 健[4]、寺田 直樹[5]、笠羽 康正[4]、吉川 一朗[6]、ひさき（SPRINT-A） プロジェクトチーム
*Atsushi Yamazaki[1], Go Murakami[1], Kazuo Yoshioka[2], Tomoki Kimura[3], Fuminori Tsuchiya[4], Masato Kagitani[4], Takeshi Sakanoi[4], Naoki Terada[5], Yasumasa Kasaba[4], Ichiro Yoshikawa[6], Hisaki (SPRINT-A) Project team

1. 宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所、2. 東京大学大学院新領域創成科学研究科、3. 東北大学、4. 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター、5. 東北大学大学院理学研究科、6. 東京大学
1. Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science , 2. The University of Tokyo, Graduate School of Frontier Sciences, 3. Tohoku University, 4. Tohoku University, Planetary Plasma and Atmospheric Research Center , 5. Tohoku University, Graduate School of Sciense, 6. The University of Tokyo

「ひさき (SPRINT-A)」衛星の主目的は長期間にわろる継続した惑星観測であるが、
オプション観測して惑星間空間に分布するヘリウム原子からの共鳴散乱光観測を実施している。
星間ガスが、太陽圏との相対速度により星間風となり、ヘリオポーズを超えて惑星間空間に侵入している。
星間ガスの主成分は水素ガスとヘリウムガスであり、
イオン化エネルギーの高いヘリウム原子はイオン化することなく太陽近傍にまで侵入することができる。
侵入軌道は太陽重力と太陽光放射圧によって決まるが、ヘリウム原子の軌道は放射圧にはほとんど依存しないケプラー運動となり、
太陽の星間風の風下側に密度の濃い領域を形成する。これをヘリウムコーンと呼ぶ。
ヘリウムコーンのヘリウム分布は、星間風の速さと方向、星間空間ヘリウム原子の密度と温度によって決定づけられる。
1970年代から実施されている歴史の長い研究であるが、
惑星間空間に滞在しながら星間ガスのパラメータ推定が可能であり、貴重な観測方法である。
「ひさき」衛星はヘリウムコーンを通過する11月から12月に合わせて惑星間空間ヘリウム原子の共鳴散乱光観測を実施した。
今回は2015～2018年の4期に渡り観測した結果から、星間ガスのパラメータ推定の結果を報告する。

キーワード：極端紫外分光観測、星間風・星間ガス、惑星間空間中性ヘリウム、ひさき衛星
Keywords: EUV spectral observation, Interstellar wind and gas, Interplanetary neutral helium, HISAKI stellite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Structural variations in the pickup ion density associated with magnetic reconnection at the heliopause

*坪内 健[1]
*Ken Tsubouchi[1]

1. 電気通信大学
1. University of Electro-Communications

Pickup ions (PUIs) can be the probe for the physical processes occurring around the heliopause in the form of energetic neutral atoms (ENAs) after their charge-exchange with interstellar neutral particles. In this study, we focus on the nonstationarity of the heliopause, where the directional change in the magnetic field is approaching. This situation triggers the magnetic reconnection at the heliopause, resulting in the mixing of particles between the heliosphere and interstellar space. We have performed two-dimensional hybrid simulations to follow the PUI kinetics. It is confirmed that PUI in the outer heliosheath are gathered into the reconnection site accompanied with the coalescence of magnetic islands. We calculate the column density integrated across the heliopause, which will be associated with the ENA observations by IBEX. The properties of its spatial and temporal variations are compared with those from the case of Kelvin-Helmholtz instabilities along the heliopause. It will be useful for the identification of the heliopause environment by extracting these properties from the observational data.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 P (宇宙惑星科学)：P-EM 太陽地球系科学・宇宙電磁気学・宇宙環境

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_7

## [P-EM18] 太陽圏・惑星間空間

コンビーナ:坪内 健(電気通信大学)、西野 真木(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)、成行 泰裕(富山大学人間発達科学部)、岩井 一正(名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

太陽活動に起因して、太陽圏で生起する様々なプラズマおよび高エネルギー粒子現象や、地球環境への影響についての理解を深めるため、太陽面現象、太陽風、惑星間空間プラズマ・磁場構造、宇宙線、太陽活動と地球環境の関連等についての研究発表を行う。

[PEM18-P01] チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星周辺における彗星起源イオンの加速過程に対する電場の寄与について

*山岸 和樹[1]、加藤 雄人[1]、木村 智樹[1]、熊本 篤志[1] (1.東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻)

---

[PEM18-P02] 月ウェイク境界における太陽風エネルギーの電磁エネルギーへの変換について

*中川 朋子[1]、綱川 秀夫[2]、斎藤 義文[3] (1.東北工業大学工学部情報通信工学科、2.東京工業大学理学院地球惑星科学系、3.宇宙科学研究所)

---

[PEM18-P03] 準垂直衝撃波における電子加速の１次元PICシミュレーション

*大塚 史子[1]、松清 修一[2]、岡 光夫[3] (1.久留米高専、2.九大総理工、3.UCバークレー)

---

[PEM18-P04] 4期にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測

*山崎 敦[1]、村上 豪[1]、吉岡 和夫[2]、木村 智樹[3]、土屋 史紀[4]、鍵谷 将人[4]、坂野井 健[4]、寺田 直樹[5]、笠羽 康正[4]、吉川 一朗[6]、ひさき（SPRINT-A） プロジェクトチーム (1.宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科、3.東北大学、4.東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター、5.東北大学大学院理学研究科、6.東京大学)

---

[PEM18-P05] Structural variations in the pickup ion density associated with magnetic reconnection at the heliopause

*坪内 健[1] (1.電気通信大学)

# チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星周辺における彗星起源イオンの加速過程に対する電場の寄与について

# Study of the contribution of electric field to the acceleration of cometary ions around comet 67P/Churyumov-Gerasimenko

*山岸 和樹[1]、加藤 雄人[1]、木村 智樹[1]、熊本 篤志[1]
*Kazuki Yamagishi[1], Yuto Katoh[1], Tomoki Kimura[1], Atsushi Kumamoto[1]

1. 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻
1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

彗星は水を主成分とする、数キロから数十キロメートルほどの小さな天体である。彗星表層から昇華により放出される水分子の一部は、電子衝突電離や光電離を経てイオンとして宇宙空間に拡散していく。彗星周辺におけるイオンの運動にかかわる物理を理解することは、天体から宇宙空間への分子供給過程やその規模の考察に繋がり、彗星による他天体への物質輸送や、小天体における大気流出過程の理解にも繋がると考えられる。

ESA（欧州宇宙機関）が2004年に打ち上げた探査機ロゼッタは、2014年8月から2016年9月までの約2年間に渡り、チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星周辺でのその場観測を実施した。ロゼッタの観測結果に基づいた過去の研究では、彗星起源のイオンが彗星核から離れるに従って動径方向に加速されていることが示された（Behar et al., 2018）。彗星周辺ではambipolar電場、motional電場、Hall電場の3成分の電場が存在しうるとされ、Behar et al. (2018)では彗星核近傍における彗星起源イオンの加速には、電子の圧力勾配に起因するambipolar電場が特に寄与していることが示唆された。彗星周辺の電場による拡散や加速は彗星起源イオンの運動を理解するために重要な過程であるが、定量的な検討が課題として残されている。本研究は彗星起源イオンの加速に対する電場の寄与を定量的に評価することを目的とする。彗星周辺の電場を推定し、彗星起源イオンの加速過程と空間分布を見積もって、ロゼッタの観測結果と比較し考察する。

本研究ではまず、彗星核から1000 kmまでの領域における電場の大きさを評価した。電場としてはambipolar電場のみを考慮し、彗星核周辺における電子の圧力分布から電場の空間分布を求めた。電子の圧力分布については、彗星ガスの放出率と電離率を観測結果に基づいて決定して数密度の分布を与え、電子温度を5 eVと仮定して求めた。次に、電場中での彗星起源イオンの速度発展をテスト粒子解析により計算した。その結果、初速度0.7 km/sの彗星起源イオンは核から1000 kmの地点までに22.6 km/sまで加速されることが示された。一方で、ロゼッタの観測結果より、彗星核から600〜1000 kmの位置において彗星を起源とする$H_2O^+$イオンは40〜80 km/sにまで加速されていることが明らかとなっており、ambipolar電場による加速のみでは実際の速度発展を説明するには不十分である可能性が示唆された。本研究ではさらに、motional電場を考慮した場合のイオンの速度発展について考察し、彗星周辺におけるイオンの運動と加速における電場の寄与について議論する。

キーワード：彗星、電場、イオン加速、太陽風小天体相互作用
Keywords: comet, electric field, ion acceleration, interaction of solar wind with small objects

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 月ウェイク境界における太陽風エネルギーの電磁エネルギーへの変換について
# Energy conversion process at the lunar wake boundary

*中川 朋子[1]、綱川 秀夫[2]、斎藤 義文[3]
*Tomoko Nakagawa[1], Hideo Tsunakawa[2], Yoshifumi Saito[3]

1. 東北工業大学工学部情報通信工学科、2. 東京工業大学理学院地球惑星科学系、3. 宇宙科学研究所
1. Information and Communication Engineering, Tohoku Institute of Technology, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Tokyo Institute of Technology , 3. JAXA,ISAS

太陽風にさらされた月面が太陽風粒子を吸収することにより、月の下流側にはウェイクと呼ばれる低密度領域ができる。ウェイク境界では、太陽風磁場を横切る方向にはおよそ400kmの厚さの密度勾配層ができ、距離40kmでプラズマ密度が約半分になることがかぐや衛星の観測によって示されている。この境界層で電子の圧力もおよそ２桁落ちる。この圧力勾配によってプロトンがウェイク中心に向かって加速される形となり、渦度が生じる。この渦と回転方向の揃った0.01-0.3Hzの磁場変動も観測されている。磁場が太陽風の流れに垂直な時（たとえば北向き磁場）圧力勾配による速度成分（Vy)により、VxB電場が生じ、渦の動径方向に粒子を加速・減速して渦の中心に電荷を生じるため、それを解消するような沿磁力線電流が生じている。沿磁力線電流は電子によって担われており、北向き磁場中では朝側で磁力線に沿ってウェイク中心から離れる電流（北半球で北向き、南半球で南向き）、夕方側ではウェイク中心に向かう電流（北半球で南向き、南半球で北向き）となっている。

この電流のエネルギー源は元々太陽風の運動エネルギーであるが、太陽風を流体として考えた場合、流体がされる仕事はウェイク境界の渦の動径方向の速度v_perpと渦の動径方向の電流Ｊによる力JxBの内積（負）であり、これが電磁エネルギーに変換され、さらに沿磁力線電流に変換されることになる。渦の動径方向の電流Ｊは、ウェイク境界におけるイオンと電子の侵入の違いによって生じている。

キーワード：ウェイク、太陽風、渦
Keywords: lunar wake, solar wind, vortex

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 準垂直衝撃波における電子加速の 1 次元PICシミュレーション
# Electron acceleration at quasi-perpendicular collisionless shock: One-dimensional PIC simulation

*大塚 史子[1]、松清 修一[2]、岡 光夫[3]
*Fumiko Otsuka[1], Shuichi Matsukiyo[2], Mitsuo Oka[3]

1. 久留米高専、2. 九大総理工、3. UCバークレー
1. NIT, Kurume College, 2. ESST, Kyushu Univ., 3. UC Berkeley

無衝突衝撃波では粒子が効率よく加速されることが知られている。特に、地球バウショックでは、非熱的電子が人工衛星によって直接観測されている。しかし、その加速機構の詳細は明らかになっていない。2015年に打ち上げられたMagnetospheric Multiscale (MMS)衛星では、電子スケールの波動や高精度の粒子分布関数の観測が可能となり、電子加速機構を解明する好機である。本研究では、MMS衛星観測データと直接比較することを念頭に、準垂直衝撃波の1次元PICシミュレーションを行い、電子加速過程を議論する。

準垂直衝撃波では、太陽風電子の一部が磁気ミラーの効果によって、衝撃波面で反射され、衝撃波上流へ逆走する。この反射電子が種となり、高エネルギー電子が生成される可能性がある。すでに、MMS衛星観測では、太陽風成分より高いエネルギー帯の電子フラックスが増大するイベントを確認しており、電子加速の兆候を示している。この電子バーストを再現するために、マッハ数=7、上流ベータ値(プラズマ圧と磁気圧の比)=0.3-3, 衝撃波角（法線方向に対する磁場のなす角度=70-80度とした計算を数通り実行する。また本研究では、可能な限り現実に近い質量比=625を用いる。反射電子のエネルギー分布やピッチ角分布、上流波動のスペクトル分布を評価し、それらの時間・空間発展や関連性を議論する。また、被加速電子の軌道を逆追跡し、加速に至る過程の詳細に明らかにする。

キーワード：電子加速、準垂直衝撃波、PICシミュレーション
Keywords: electron acceleration, quasi-perpendicular shock, PIC simulation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 4期にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測
# 4-season's optical observation of neutral helium distribution in interplanetary space by Hisaki

*山崎 敦[1]、村上 豪[1]、吉岡 和夫[2]、木村 智樹[3]、土屋 史紀[4]、鍵谷 将人[4]、坂野井 健[4]、寺田 直樹[5]、笠羽 康正[4]、吉川 一朗[6]、ひさき（SPRINT-A） プロジェクトチーム
*Atsushi Yamazaki[1], Go Murakami[1], Kazuo Yoshioka[2], Tomoki Kimura[3], Fuminori Tsuchiya[4], Masato Kagitani[4], Takeshi Sakanoi[4], Naoki Terada[5], Yasumasa Kasaba[4], Ichiro Yoshikawa[6], Hisaki (SPRINT-A) Project team

1. 宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所、2. 東京大学大学院新領域創成科学研究科、3. 東北大学、4. 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター、5. 東北大学大学院理学研究科、6. 東京大学
1. Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science , 2. The University of Tokyo, Graduate School of Frontier Sciences, 3. Tohoku University, 4. Tohoku University, Planetary Plasma and Atmospheric Research Center , 5. Tohoku University, Graduate School of Sciense, 6. The University of Tokyo

「ひさき (SPRINT-A)」衛星の主目的は長期間にわろる継続した惑星観測であるが、
オプション観測して惑星間空間に分布するヘリウム原子からの共鳴散乱光観測を実施している。
星間ガスが、太陽圏との相対速度により星間風となり、ヘリオポーズを超えて惑星間空間に侵入している。
星間ガスの主成分は水素ガスとヘリウムガスであり、
イオン化エネルギーの高いヘリウム原子はイオン化することなく太陽近傍にまで侵入することができる。
侵入軌道は太陽重力と太陽光放射圧によって決まるが、ヘリウム原子の軌道は放射圧にはほとんど依存しないケプラー運動となり、
太陽の星間風の風下側に密度の濃い領域を形成する。これをヘリウムコーンと呼ぶ。
ヘリウムコーンのヘリウム分布は、星間風の速さと方向、星間空間ヘリウム原子の密度と温度によって決定づけられる。
1970年代から実施されている歴史の長い研究であるが、
惑星間空間に滞在しながら星間ガスのパラメータ推定が可能であり、貴重な観測方法である。
「ひさき」衛星はヘリウムコーンを通過する11月から12月に合わせて惑星間空間ヘリウム原子の共鳴散乱光観測を実施した。
今回は2015～2018年の4期に渡り観測した結果から、星間ガスのパラメータ推定の結果を報告する。

キーワード：極端紫外分光観測、星間風・星間ガス、惑星間空間中性ヘリウム、ひさき衛星
Keywords: EUV spectral observation, Interstellar wind and gas, Interplanetary neutral helium, HISAKI stellite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Structural variations in the pickup ion density associated with magnetic reconnection at the heliopause

*坪内 健[1]
*Ken Tsubouchi[1]

1. 電気通信大学
1. University of Electro-Communications

Pickup ions (PUIs) can be the probe for the physical processes occurring around the heliopause in the form of energetic neutral atoms (ENAs) after their charge-exchange with interstellar neutral particles. In this study, we focus on the nonstationarity of the heliopause, where the directional change in the magnetic field is approaching. This situation triggers the magnetic reconnection at the heliopause, resulting in the mixing of particles between the heliosphere and interstellar space. We have performed two-dimensional hybrid simulations to follow the PUI kinetics. It is confirmed that PUI in the outer heliosheath are gathered into the reconnection site accompanied with the coalescence of magnetic islands. We calculate the column density integrated across the heliopause, which will be associated with the ENA observations by IBEX. The properties of its spatial and temporal variations are compared with those from the case of Kelvin-Helmholtz instabilities along the heliopause. It will be useful for the identification of the heliopause environment by extracting these properties from the observational data.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 P (宇宙惑星科学)：P-CG 宇宙惑星科学複合領域・一般

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_4

## [P-CG24] アルマによる惑星科学の新展開

コンビーナ:武藤 恭之(工学院大学　教育推進機構)、百瀬 宗武(茨城大学理学部)、佐川 英夫(京都産業大学理学部)、下条 圭美(国立天文台)

アタカマミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）は2011年に科学観測を始め、2014年からは長基線観測も開始された。アルマは、その高い感度と撮像能力によって、星・惑星形成の現場や太陽系小天体の観測において、本質的に新しい情報を我々にもたらしている。例えば、惑星の形成現場である原始惑星系円盤の観測では、リング状構造が多くの天体に存在していることや、太陽系の惑星の存在位置に対応する、数天文単位スケールでの構造が見つかってきている。また、太陽系天体の観測においては、小惑星ジュノーの表面輝度の非一様が60kmイメージピクセルサイズでマッピングされて回転する様子が捉えられたり、エウロパのプリュームに伴う衛星表面の加熱の有無の調査などがされている。サイクル4からは、太陽観測機能もコミュニティに公開され、例えば、プラズモイドの物理状態を定量的に調べられるようになるなど、太陽研究においても新しい展開を迎えている。本セッションでは、昨年度に引き続き、アルマがもたらした惑星科学の様々な分野の研究成果を概観し、観測と密接に関係する理論的・実験的研究の成果も含め、これからの展開を包括的に議論する。

[PCG24-P01] タイタン大気における窒素同位体分別：ALMAアーカイブデータの解析

*佐川 英夫[1]、飯野 孝浩[2]、塚越 崇[3] (1.京都産業大学、2.東京農工大学、3.国立天文台)

[PCG24-P02] Investigating the gas-to-dust ratio in the protoplanetary disk of HD 142527

*Soon Kang-Lou[1]、百瀬 宗武[1]、武藤 恭之[2]、塚越 崇[3]、片岡 章雅[3]、花輪 知幸[4]、深川 美里[3]、西合 一矢[3]、芝井 広[5] (1.茨城大学、2.工学院大学、3.国立天文台、4.千葉大学、5.大阪大学)

[PCG24-P03] スパースモデリングによる原始惑星系円盤 HD142527の超解像イメージング

*山口 正行[1,2]、秋山 和徳[3,2]、片岡 章雅[2,6]、塚越 崇[2]、武藤 恭之[4]、池田 思朗[5]、深川 美里[2]、本間 希樹[2,6]、川邊 良平[2,1,6] (1.東京大学、2.国立天文台、3.マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所、4.工学院大学、5.統計数理研究所、6.総合研究大学大学院)

[PCG24-P04] ALMA高空間分解観測で探るTタウリ型星RY Tauに付随する円盤の詳細構造

*小西 美穂子[1,2]、橋本 淳[1,2]、Hauyu Liu[3]、Ruobing Dong[4]、武藤 恭之[5] (1.自然科学研究機構 アストロバイオロジーセンター、2.国立天文台、3.中央研究院天文及天文物理研究所、4.ビクトリア大学、5.工学院大学)

[PCG24-P05] Possible inclined inner protoplanetary disk

*橋本 淳[1]、小西 美穂子[1]、鵜山 太智[2]、Ginski Christian[3]、Samland Matthias[4] (1.自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター、2.東京大学、3.アムステルダム大学、4.マックス・プランク研究所)

[PCG24-P06] Search for the Inner Disk Structures in "Transitional" Disks

*武藤 恭之[1]、橋本 淳[2]、塚越 崇[3]、小西 美穂子[3]、工藤 智幸[3] (1.工学院大学　教育推進機構、2.アストロバイオロジーセンター、3.国立天文台)

# タイタン大気における窒素同位体分別：ALMAアーカイブデータの解析
# Nitrogen isotopic fractionation on Titan atmosphere: An analysis of ALMA archive data

*佐川 英夫[1]、飯野 孝浩[2]、塚越 崇[3]
*Hideo Sagawa[1], Takahiro Iino[2], Takashi Tsukagoshi[3]

1. 京都産業大学、2. 東京農工大学、3. 国立天文台
1. Kyoto Sangyo University, 2. Tokyo University of Agriculture and Technology, 3. National Astronomical Observatory of Japan

窒素分子を主成分とするタイタン大気にはシアン化水素HCNやアセトニトリル$CH_3CN$，シアノアセチレン$HC_3N$といった多様な窒素化合物群が含まれており，複雑な大気化学過程の存在が示されている．これら窒素化合物群における窒素同位体比$^{14}N/^{15}N$の計測も実施されており，窒素分子およびシアン化水素において，それぞれ 167±0.6 (Niemann et al. 2010) および 60 - 70 (e.g. Marten et al. 2002; Gurwell, 2004) が報告されている．これら同位体比は太陽および地球における同位体比である440および272からは大きく離れており，またタイタン大気内でも2 - 3倍という分別を示していることからも，タイタン大気内における特徴的な同位体分別過程の存在を示唆している．

タイタンはALMAのキャリブレーション用の天体として利用されていた経緯があり，900件以上のタイタンデータがALMAアーカイブに収録されている．それらの中には，限られた件数ではあるが，周波数分解能および空間分解能が十分に高く，タイタン大気中の微量成分のスペクトルが観測されたデータを見つけることが出来る．我々はそうしたALMAアーカイブからアセトニトリルの$^{15}N$置換体の輝線が検出されているデータを選出し，過去には観測例が無い同分子における$^{14}N/^{15}N$の導出を試みた．観測日は2015年4月29日であり，J = 19 - 18遷移に付随する380 GHz周辺の複数のK遷移を検出した．同位体比を定量する際には当然ながら$^{14}N$を含むアセトニトリルの存在量も必要となるが，好都合なことに同日に観測された同観測プロジェクトに331 GHz周辺のJ = 18 - 17遷移のスペクトルが検出されており，アセトニトリルの高度分布はそれらのデータを用いて大気中の放射伝達計算を反転解析することで導出した．

アセトニトリルにおける$^{14}N/^{15}N$値は~50（速報値）であり，窒素分子よりシアン化水素分子に近い値を示した．また，ALMAの観測した分子輝線強度から導出されたシアノアセチレン中の$^{14}N/^{15}N$値 (67±14, Cordiner et al. 2018) とも調和的である．一方で，化学反応ネットワークシミュレーションで予想されている値 (70 - 200, Dobrijevic and Loison 2018) とは一致しなかった．今後はより詳細な$^{14}N/^{15}N$値の導出を試みるとともに，同位体分別過程の制約を目指す．

キーワード：タイタン大気、ALMA、同位体比
Keywords: Titan atmosphere, ALMA, isotopic fractionation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Investigating the gas-to-dust ratio in the protoplanetary disk of HD 142527

*Soon Kang-Lou[1]、百瀬 宗武[1]、武藤 恭之[2]、塚越 崇[3]、片岡 章雅[3]、花輪 知幸[4]、深川 美里[3]、西合 一矢[3]、芝井 広[5]
*Soon Kang-Lou[1], Munetake Momose[1], Takayuki Muto[2], Takashi Tsukagoshi[3], Akimasa Kataoka[3], Tomoyuki Hanawa[4], Misato Fukagawa[3], Kazuya Saigo[3], Hiroshi Shibai[5]

1. 茨城大学、2. 工学院大学、3. 国立天文台、4. 千葉大学、5. 大阪大学
1. Ibaraki University, 2. Kogakuin University, 3. National Astronomical Observatory of Japan, 4. Chiba University, 5. Osaka University

We present the ALMA observations of the 98.5 GHz dust continuum and the $^{13}$CO $J$ = 1 −0 and C$^{18}$O $J$ = 1 −0 line emission towards the protoplanetary disk of HD 142527. The 98.5 GHz continuum shows a strong azimuthal-asymmetric distribution similar to the previously reported 336 GHz continuum, and its peak emission at the dust concentrated northern region is optically thin at approximately 8 K. In every position angle, the peak brightness temperature of C$^{18}$O $J$ = 1 −0 emission (≦ 25 K) is lower than that of the optically thick $^{13}$CO $J$ = 3 −2 (≈ 36 K), indicating that the C$^{18}$O is optically thin. We derive the gas and dust surface densities, $\Sigma_g$ and $\Sigma_d$, of the disk of HD 142527 by using the ALMA Band 3 and Band 7 observations. In the analyses we assume the local thermodynamic equilibrium and the disk temperature to be the same as the peak brightness temperature of $^{13}$CO $J$ = 3 −2 with continuum emission. We successfully derived the gas-to-dust ratio G/D, defined as $\Sigma_g/\Sigma_d$, distribution across the disk. The ratio varies azimuthally, where it is ~3 and ~20 in the disk northern and southern regions, respectively. We also found that $\Sigma_g$ varies approximately as $\propto \Sigma_d^{0.5}$, or equivalently G/D $\propto \Sigma_d^{-0.5}$. In addition, our results show that the peak $\Sigma_d$ is located ahead of the peak $\Sigma_g$; if the latter correspond to a vortex of high gas pressure, the results indicate that the dust are trapped ahead of the vortex, which is predicted by theoretical studies.

キーワード：HD 142527、原始惑星系円盤、ガス・ダスト比
Keywords: HD 142527, protoplanetary disk, gas-to-dust ratio

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# スパースモデリングによる原始惑星系円盤 HD142527の超解像イメージング

# Super-resolution Imaging of the Protoplanetary Disk HD 142527 Using Sparse Modeling

*山口 正行[1,2]、秋山 和徳[3,2]、片岡 章雅[2,6]、塚越 崇[2]、武藤 恭之[4]、池田 思朗[5]、深川 美里[2]、本間 希樹[2,6]、川邊 良平[2,1,6]
*Masayuki Yamaguchi[1,2], Kazunori Akiyama[3,2], Akimasa Kataoka[2,6], Takashi Tsukagoshi[2], Takayuki Muto[4], Shiro Ikeda[5], Misato Fukagawa[2], Mareki Honma[2,6], Ryohei Kawabe[2,1,6]

1. 東京大学、2. 国立天文台、3. マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所、4. 工学院大学、5. 統計数理研究所、6. 総合研究大学大学院
1. The University of Tokyo, 2. National Astronomical Observatory of Japan, 3. Massachusetts Institute of Technology, Haystack Observatory, 4. Kogakuin University, 5. The Institute of Statistical Mathematics, 6. Graduate University for Advanced Studies

Recent Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) observations have provided new insights for planet formation process and simultaneously highlighted fundamental importance to pursue higher angular resolutions of observations to address opened questions. With the emphasis on improving the fidelity even at a super-resolution regime, many imaging techniques have been intensively developed in the last several years, which may provide substantial improvements in interferometric observations of protoplanetary disks. The CLEAN technique has been widely used, but recently, a new technique using the sparse modeling approach is suggested. This technique directly solves a set of undetermined equations and has been shown to behave better than the CLEAN technique based on mock observations with VLBI (Very Long Baseline Interferometry). However, it has never been applied to ALMA-like connected interferometers nor real observational data. In this work, for the first time, the sparse modeling technique is applied to observational data sets taken by ALMA. We evaluate the performance of the technique by comparing the resulting images with those derived by the CLEAN technique. We use two sets of ALMA archival data at Band 7 (~350GHz) for the protoplanetary disk around HD 142527. One is taken in the intermediate-baseline array configuration, and the other is in the longer-baseline array configuration. The image resolutions reconstructed from these data sets are different by a factor of ~ 3. With the two data sets independently taken by different array configurations, we show that SpM indeed achieves a higher fidelity than a multi-scale CLEAN technique, and provides consistent images from two data sets even beyond significant differences in angular resolutions by a factor ~ 3-4. Two SpM images consistently resolve radially and azimuthally asymmetric dust-grain emission of the outer disk, including a non-circular ridge shape well characterized by a simple logarithmic spiral. Resolved asymmetric structure of the outer disk provided by two SpM images may suggest complex gas kinematics near the inner-edge of the outer disk. Our results demonstrate that ongoing intensive developments of new imaging techniques will be ubiquitously beneficial to current and next-generation radio interferometers.

キーワード：アルマ望遠鏡、電波干渉計、画像再構成技術、原始惑星系円盤、惑星形成
Keywords: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), Radio Interferometer, Image Processing Techniques, Protoplanetary Disk, Planet Formation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# ALMA高空間分解観測で探るTタウリ型星RY Tauに付随する円盤の詳細構造

# Detail Structures of Dust Disk around T-Tauri star RY Tau in ALMA High-Spatial Resolution Imaging

*小西 美穂子[1,2]、橋本 淳[1,2]、Hauyu Liu[3]、Ruobing Dong[4]、武藤 恭之[5]
*Mihoko Konishi[1,2], Jun Hashimoto[1,2], Hauyu Liu[3], Ruobing Dong[4], Takayuki Muto[5]

1. 自然科学研究機構 アストロバイオロジーセンター、2. 国立天文台、3. 中央研究院天文及天文物理研究所、4. ビクトリア大学、5. 工学院大学
1. Astrobiology Center, National Institute of Natural Science, 2. National Astronomical Observatory of Japan, 3. Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica, 4. University of Victoria, 5. Kogakuin University

RY Tauは、質量が約2太陽質量・年齢が800万年程度の古典的Tタウリ型星である（e.g., Calvet et al. 2004）。赤外超過から原始惑星系円盤を持つことが知られており（e.g., Furlan et al. 2009）、またジェット構造が検出されている活発な天体である（e.g., St-Onge & Bastien 2008）。過去にCombined Array for Research in Millimeter-wave Astronomy (CARMA) 望遠鏡によってミリメートルサイズのダスト連続波で半径約0.1秒の穴構造が分解された（Isella et al. 2010）が、すばる望遠鏡を用いた近赤外線観測では0.4秒角以遠のダスト散乱光成分には円盤構造が検出されなかった（Takami et al. 2013）。我々がALMA望遠鏡のアーカイブデータのビジビリティを調べたところ、さらに詳細な円盤構造を持つ可能性があることがわかった。そのため、RY Tauに付随する円盤の高空間分解の観測を行った。

観測はプロジェクト2017.1.01460.S（PI: 橋本淳）のもとで2017年10月に行われた。観測帯域はBand 6（~230 GHz, ~1.3 mm）、総積分時間は5.14分である。ダスト連続波とともに3つの一酸化炭素同位体（$^{12}$CO, $^{13}$CO, C$^{18}$O）も観測した。ALMAから提供されたコードでキャリブレーションを行い、CLEANアルゴリズムで像再生をおこなったところ、ビームサイズが0.087秒×0.036秒（方位角30.7度）の画像を得ることができた。結果、円盤のダスト放射光（傾斜角65.9度、方位角22.4度）をとらえることができ、既知の半径0.1秒程度の穴構造があることを確認した。さらに、半径0.35秒角程度のところに溝構造があること、内側のリング円盤に明るさの非対称が見られることを発見した。この溝構造の詳細な性質を調べるために、方位角方向に平均したビジビリティプロファイルを用いて、最適な円盤モデル（1つの穴構造と1つの溝構造をもつ）の推定を行った。マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて最適解を求めたところ、この溝構造は細くて深いこと（幅が1.2天文単位、深さは周囲の明るさの0.41倍）がわかった。RY Tauに付随する円盤は大きな傾斜角（約66度）をもつにもかかわらず、細くて深い溝構造が分解されている。これは、円盤のスケールハイトが小さいこと（約0.27天文単位以下）を示唆している。この系では、乱流が小さいなどのメカニズムによってダストが沈殿しているのかもしれない。

なお、RY Tauの距離はGaiaのデータリリース1（178パーセク）と2（440パーセク）で大きく異なっている。本観測および過去のALMA観測で検出された$^{12}$COガスの速度分布から、178パーセクの可能性が高いことを導いた。本予稿では178パーセクを用いて距離の換算を行っている。

キーワード：原始惑星系円盤、円盤構造、ダスト連続波
Keywords: Protoplanetary Disk, Disk Structures, Dust Continuum

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Possible inclined inner protoplanetary disk

*橋本 淳[1]、小西 美穂子[1]、鵜山 太智[2]、Ginski Christian[3]、Samland Matthias[4]
*Jun Hashimoto[1], Mihoko Konishi[1], Taichi Uyama[2], Christian Ginski[3], Matthias Samland[4]

1. 自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター、2. 東京大学、3. アムステルダム大学、4. マックス・プランク研究所
1. AstroBiology Center, National Institutes of Natural Sciences, 2. University of Tokyo, 3. University of Amsterdam, 4. Max Planck Institute for Astronomy

A young embedded planet in the protoplanetary disk is expected to interact with a parent disk. When the planet is inclined and massive enough (> 1 Jupiter mass), the disk-planet interaction theory predicts the disk inside the planetary orbit breaks from the outer disk. Such a misaligned inner disk can both warp gas velocity structures observed by ALMA and cast the shadows in the outer disk in the near-infrared image. By analyzing the position of the shadows in the outer disk, one can estimate the inclination of the inner disk relative to the outer disk. Furthermore such systems with shadows should be promising targets for searching young inclined planets in the disks, and would help understanding of planetary orbital evolution.

As a part of our survey in archival data obtained with VLT/SPHERE which is the high contrast instrument in near-infrared, we reduced LkHa 330. LkHa 330 is a T Tauri star with a mass of 2.2 solar mass and known to possess gap and spiral structures. By reducing VLT/SPHERE archival data at H band (1.6 micron), we found shadow structures at PA of 85 and 280 degree in the outer disk at 38 AU in radius. We also found a possible bright blob at PA of 160 degree with a separation of 23 AU from the central star. In the poster, we discuss the inclination of the inner disk by comparing our Monte Carlo radiative transfer calculations for the inclined disks and mention future ALMA proposal plan.

キーワード：原始惑星系円盤
Keywords: protoplanetary disk

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Search for the Inner Disk Structures in "Transitional" Disks

*武藤 恭之[1]、橋本 淳[2]、塚越 崇[3]、小西 美穂子[3]、工藤 智幸[3]
*Takayuki Muto[1], Jun Hashimoto[2], Takashi Tsukagoshi[3], Mihoko Konishi[3], Tomoyuki Kudo[3]

1. 工学院大学　教育推進機構、2. アストロバイオロジーセンター、3. 国立天文台
1. Division of Liberal Arts, Kogakuin University, 2. Astrobiology Center, 3. NAOJ

We present the ALMA archival search efforts for the discovery search for the inner disk structures in transitional disks. Transitional disks are the class of protoplanetary disks that have inner cavity. Recent discovery of the inner (a few AU scale) ring structures in the DM Tau disk (Kudo et al. 2018, ApJL, 868, L5) indicates that even if there is no detection of near infrared (NIR) excess in SED, the disk may still harbor an inner disk within a known large cavity structures. Such inner disk structures are important in understanding (extrasolar) planet formation since a few AU corresponds to the scale of the orbits of the planets within our Solar System.

A few AU region from the central star can be only probed by high resolution observations with ALMA. Such region is too cold to account for NIR excess while modest resolution (~0.2asec) radio observations can still not resolve the region at the typical distance (~140 pc) of protoplanetary disks.

We have conducted ALMA archival search for the potential transitional disk targets that may harbor inner disks. We present the methods of our search and possible candidates that deserve follow-up ALMA high resolution observations.

キーワード：原始惑星系円盤、電波観測
Keywords: Protoplanetary Disk, Radio Astronomy

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 P (宇宙惑星科学)：P-CG 宇宙惑星科学複合領域・一般

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_8

## [P-CG24] アルマによる惑星科学の新展開

コンビーナ:武藤 恭之(工学院大学　教育推進機構)、百瀬 宗武(茨城大学理学部)、佐川 英夫(京都産業大学理学部)、下条 圭美(国立天文台)

アタカマミリ波サブミリ波干渉計（アルマ）は2011年に科学観測を始め、2014年からは長基線観測も開始された。アルマは、その高い感度と撮像能力によって、星・惑星形成の現場や太陽系小天体の観測において、本質的に新しい情報を我々にもたらしている。例えば、惑星の形成現場である原始惑星系円盤の観測では、リング状構造が多くの天体に存在していることや、太陽系の惑星の存在位置に対応する、数天文単位スケールでの構造が見つかってきている。また、太陽系天体の観測においては、小惑星ジュノーの表面輝度の非一様が60kmイメージピクセルサイズでマッピングされて回転する様子が捉えられたり、エウロパのプリュームに伴う衛星表面の加熱の有無の調査などがされている。サイクル4からは、太陽観測機能もコミュニティに公開され、例えば、プラズモイドの物理状態を定量的に調べられるようになるなど、太陽研究においても新しい展開を迎えている。本セッションでは、昨年度に引き続き、アルマがもたらした惑星科学の様々な分野の研究成果を概観し、観測と密接に関係する理論的・実験的研究の成果も含め、これからの展開を包括的に議論する。

### [PCG24-P01] タイタン大気における窒素同位体分別：ALMAアーカイブデータの解析

*佐川 英夫[1]、飯野 孝浩[2]、塚越 崇[3] (1.京都産業大学、2.東京農工大学、3.国立天文台)

### [PCG24-P02] Investigating the gas-to-dust ratio in the protoplanetary disk of HD 142527

*Soon Kang-Lou[1]、百瀬 宗武[1]、武藤 恭之[2]、塚越 崇[3]、片岡 章雅[3]、花輪 知幸[4]、深川 美里[3]、西合 一矢[3]、芝井 広[5] (1.茨城大学、2.工学院大学、3.国立天文台、4.千葉大学、5.大阪大学)

### [PCG24-P03] スパースモデリングによる原始惑星系円盤 HD142527の超解像イメージング

*山口 正行[1,2]、秋山 和徳[3,2]、片岡 章雅[2,6]、塚越 崇[2]、武藤 恭之[4]、池田 思朗[5]、深川 美里[2]、本間 希樹[2,6]、川邊 良平[2,1,6] (1.東京大学、2.国立天文台、3.マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所、4.工学院大学、5.統計数理研究所、6.総合研究大学大学院)

### [PCG24-P04] ALMA高空間分解観測で探るTタウリ型星RY Tauに付随する円盤の詳細構造

*小西 美穂子[1,2]、橋本 淳[1,2]、Hauyu Liu[3]、Ruobing Dong[4]、武藤 恭之[5] (1.自然科学研究機構 アストロバイオロジーセンター、2.国立天文台、3.中央研究院天文及天文物理研究所、4.ビクトリア大学、5.工学院大学)

### [PCG24-P05] Possible inclined inner protoplanetary disk

*橋本 淳[1]、小西 美穂子[1]、鵜山 太智[2]、Ginski Christian[3]、Samland Matthias[4] (1.自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター、2.東京大学、3.アムステルダム大学、4.マックス・プランク研究所)

### [PCG24-P06] Search for the Inner Disk Structures in "Transitional" Disks

*武藤 恭之[1]、橋本 淳[2]、塚越 崇[3]、小西 美穂子[3]、工藤 智幸[3] (1.工学院大学　教育推進機構、2.アストロバイオロジーセンター、3.国立天文台)

# タイタン大気における窒素同位体分別：ALMAアーカイブデータの解析
# Nitrogen isotopic fractionation on Titan atmosphere: An analysis of ALMA archive data

*佐川 英夫[1]、飯野 孝浩[2]、塚越 崇[3]
*Hideo Sagawa[1], Takahiro Iino[2], Takashi Tsukagoshi[3]

1. 京都産業大学、2. 東京農工大学、3. 国立天文台
1. Kyoto Sangyo University, 2. Tokyo University of Agriculture and Technology, 3. National Astronomical Observatory of Japan

窒素分子を主成分とするタイタン大気にはシアン化水素HCNやアセトニトリル$CH_3CN$，シアノアセチレン$HC_3N$といった多様な窒素化合物群が含まれており，複雑な大気化学過程の存在が示されている．これら窒素化合物群における窒素同位体比$^{14}N/^{15}N$の計測も実施されており，窒素分子およびシアン化水素において，それぞれ 167±0.6 (Niemann et al. 2010) および 60 - 70 (e.g. Marten et al. 2002; Gurwell, 2004) が報告されている．これら同位体比は太陽および地球における同位体比である440および272からは大きく離れており，またタイタン大気内でも2 - 3倍という分別を示していることからも，タイタン大気内における特徴的な同位体分別過程の存在を示唆している．

タイタンはALMAのキャリブレーション用の天体として利用されていた経緯があり，900件以上のタイタンデータがALMAアーカイブに収録されている．それらの中には，限られた件数ではあるが，周波数分解能および空間分解能が十分に高く，タイタン大気中の微量成分のスペクトルが観測されたデータを見つけることが出来る．我々はそうしたALMAアーカイブからアセトニトリルの$^{15}N$置換体の輝線が検出されているデータを選出し，過去には観測例が無い同分子における$^{14}N/^{15}N$の導出を試みた．観測日は2015年4月29日であり，J = 19 - 18遷移に付随する380 GHz周辺の複数のK遷移を検出した．同位体比を定量する際には当然ながら$^{14}N$を含むアセトニトリルの存在量も必要となるが，好都合なことに同日に観測された同観測プロジェクトに331 GHz周辺のJ = 18 - 17遷移のスペクトルが検出されており，アセトニトリルの高度分布はそれらのデータを用いて大気中の放射伝達計算を反転解析することで導出した．

アセトニトリルにおける$^{14}N/^{15}N$値は~50（速報値）であり，窒素分子よりシアン化水素分子に近い値を示した．また，ALMAの観測した分子輝線強度から導出されたシアノアセチレン中の$^{14}N/^{15}N$値 (67±14, Cordiner et al. 2018) とも調和的である．一方で，化学反応ネットワークシミュレーションで予想されている値 (70 - 200, Dobrijevic and Loison 2018) とは一致しなかった．今後はより詳細な$^{14}N/^{15}N$値の導出を試みるとともに，同位体分別過程の制約を目指す．

キーワード：タイタン大気、ALMA、同位体比
Keywords: Titan atmosphere, ALMA, isotopic fractionation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Investigating the gas-to-dust ratio in the protoplanetary disk of HD 142527

*Soon Kang-Lou[1]、百瀬 宗武[1]、武藤 恭之[2]、塚越 崇[3]、片岡 章雅[3]、花輪 知幸[4]、深川 美里[3]、西合 一矢[3]、芝井 広[5]
*Soon Kang-Lou[1], Munetake Momose[1], Takayuki Muto[2], Takashi Tsukagoshi[3], Akimasa Kataoka[3], Tomoyuki Hanawa[4], Misato Fukagawa[3], Kazuya Saigo[3], Hiroshi Shibai[5]

1. 茨城大学、2. 工学院大学、3. 国立天文台、4. 千葉大学、5. 大阪大学
1. Ibaraki University, 2. Kogakuin University, 3. National Astronomical Observatory of Japan, 4. Chiba University, 5. Osaka University

We present the ALMA observations of the 98.5 GHz dust continuum and the $^{13}$CO $J$ = 1 −0 and C$^{18}$O $J$ = 1 −0 line emission towards the protoplanetary disk of HD 142527. The 98.5 GHz continuum shows a strong azimuthal-asymmetric distribution similar to the previously reported 336 GHz continuum, and its peak emission at the dust concentrated northern region is optically thin at approximately 8 K. In every position angle, the peak brightness temperature of C$^{18}$O $J$ = 1 −0 emission (≦ 25 K) is lower than that of the optically thick $^{13}$CO $J$ = 3 −2 (≈ 36 K), indicating that the C$^{18}$O is optically thin. We derive the gas and dust surface densities, $\Sigma_g$ and $\Sigma_d$, of the disk of HD 142527 by using the ALMA Band 3 and Band 7 observations. In the analyses we assume the local thermodynamic equilibrium and the disk temperature to be the same as the peak brightness temperature of $^{13}$CO $J$ = 3 −2 with continuum emission. We successfully derived the gas-to-dust ratio G/D, defined as $\Sigma_g/\Sigma_d$, distribution across the disk. The ratio varies azimuthally, where it is ~3 and ~20 in the disk northern and southern regions, respectively. We also found that $\Sigma_g$ varies approximately as $\propto \Sigma_d^{0.5}$, or equivalently G/D $\propto \Sigma_d^{-0.5}$. In addition, our results show that the peak $\Sigma_d$ is located ahead of the peak $\Sigma_g$; if the latter correspond to a vortex of high gas pressure, the results indicate that the dust are trapped ahead of the vortex, which is predicted by theoretical studies.

キーワード：HD 142527、原始惑星系円盤、ガス・ダスト比
Keywords: HD 142527, protoplanetary disk, gas-to-dust ratio

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# スパースモデリングによる原始惑星系円盤 HD142527の超解像イメージング

# Super-resolution Imaging of the Protoplanetary Disk HD 142527 Using Sparse Modeling

*山口 正行[1,2]、秋山 和徳[3,2]、片岡 章雅[2,6]、塚越 崇[2]、武藤 恭之[4]、池田 思朗[5]、深川 美里[2]、本間 希樹[2,6]、川邊 良平[2,1,6]
*Masayuki Yamaguchi[1,2], Kazunori Akiyama[3,2], Akimasa Kataoka[2,6], Takashi Tsukagoshi[2], Takayuki Muto[4], Shiro Ikeda[5], Misato Fukagawa[2], Mareki Honma[2,6], Ryohei Kawabe[2,1,6]

1. 東京大学、2. 国立天文台、3. マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所、4. 工学院大学、5. 統計数理研究所、6. 総合研究大学大学院
1. The University of Tokyo, 2. National Astronomical Observatory of Japan, 3. Massachusetts Institute of Technology, Haystack Observatory, 4. Kogakuin University, 5. The Institute of Statistical Mathematics, 6. Graduate University for Advanced Studies

Recent Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) observations have provided new insights for planet formation process and simultaneously highlighted fundamental importance to pursue higher angular resolutions of observations to address opened questions. With the emphasis on improving the fidelity even at a super-resolution regime, many imaging techniques have been intensively developed in the last several years, which may provide substantial improvements in interferometric observations of protoplanetary disks. The CLEAN technique has been widely used, but recently, a new technique using the sparse modeling approach is suggested. This technique directly solves a set of undetermined equations and has been shown to behave better than the CLEAN technique based on mock observations with VLBI (Very Long Baseline Interferometry). However, it has never been applied to ALMA-like connected interferometers nor real observational data. In this work, for the first time, the sparse modeling technique is applied to observational data sets taken by ALMA. We evaluate the performance of the technique by comparing the resulting images with those derived by the CLEAN technique. We use two sets of ALMA archival data at Band 7 (~350GHz) for the protoplanetary disk around HD 142527. One is taken in the intermediate-baseline array configuration, and the other is in the longer-baseline array configuration. The image resolutions reconstructed from these data sets are different by a factor of ~ 3. With the two data sets independently taken by different array configurations, we show that SpM indeed achieves a higher fidelity than a multi-scale CLEAN technique, and provides consistent images from two data sets even beyond significant differences in angular resolutions by a factor ~ 3-4. Two SpM images consistently resolve radially and azimuthally asymmetric dust-grain emission of the outer disk, including a non-circular ridge shape well characterized by a simple logarithmic spiral. Resolved asymmetric structure of the outer disk provided by two SpM images may suggest complex gas kinematics near the inner-edge of the outer disk. Our results demonstrate that ongoing intensive developments of new imaging techniques will be ubiquitously beneficial to current and next-generation radio interferometers.

キーワード：アルマ望遠鏡、電波干渉計、画像再構成技術、原始惑星系円盤、惑星形成
Keywords: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), Radio Interferometer, Image Processing Techniques, Protoplanetary Disk, Planet Formation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# ALMA高空間分解観測で探るTタウリ型星RY Tauに付随する円盤の詳細構造

# Detail Structures of Dust Disk around T-Tauri star RY Tau in ALMA High-Spatial Resolution Imaging

*小西 美穂子[1,2]、橋本 淳[1,2]、Hauyu Liu[3]、Ruobing Dong[4]、武藤 恭之[5]
*Mihoko Konishi[1,2], Jun Hashimoto[1,2], Hauyu Liu[3], Ruobing Dong[4], Takayuki Muto[5]

1. 自然科学研究機構 アストロバイオロジーセンター、2. 国立天文台、3. 中央研究院天文及天文物理研究所、4. ビクトリア大学、5. 工学院大学
1. Astrobiology Center, National Institute of Natural Science, 2. National Astronomical Observatory of Japan, 3. Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica, 4. University of Victoria, 5. Kogakuin University

RY Tauは、質量が約2太陽質量・年齢が800万年程度の古典的Tタウリ型星である（e.g., Calvet et al. 2004）。赤外超過から原始惑星系円盤を持つことが知られており（e.g., Furlan et al. 2009）、またジェット構造が検出されている活発な天体である（e.g., St-Onge & Bastien 2008）。過去にCombined Array for Research in Millimeter-wave Astronomy (CARMA) 望遠鏡によってミリメートルサイズのダスト連続波で半径約0.1秒の穴構造が分解された（Isella et al. 2010）が、すばる望遠鏡を用いた近赤外線観測では0.4秒角以遠のダスト散乱光成分には円盤構造が検出されなかった（Takami et al. 2013）。我々がALMA望遠鏡のアーカイブデータのビジビリティを調べたところ、さらに詳細な円盤構造を持つ可能性があることがわかった。そのため、RY Tauに付随する円盤の高空間分解の観測を行った。

観測はプロジェクト2017.1.01460.S（PI: 橋本淳）のもとで2017年10月に行われた。観測帯域はBand 6（~230 GHz, ~1.3 mm）、総積分時間は5.14分である。ダスト連続波とともに3つの一酸化炭素同位体（$^{12}$CO, $^{13}$CO, C$^{18}$O）も観測した。ALMAから提供されたコードでキャリブレーションを行い、CLEANアルゴリズムで像再生をおこなったところ、ビームサイズが0.087秒×0.036秒（方位角30.7度）の画像を得ることができた。結果、円盤のダスト放射光（傾斜角65.9度、方位角22.4度）をとらえることができ、既知の半径0.1秒程度の穴構造があることを確認した。さらに、半径0.35秒角程度のところに溝構造があること、内側のリング円盤に明るさの非対称が見られることを発見した。この溝構造の詳細な性質を調べるために、方位角方向に平均したビジビリティプロファイルを用いて、最適な円盤モデル（1つの穴構造と1つの溝構造をもつ）の推定を行った。マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて最適解を求めたところ、この溝構造は細くて深いこと（幅が1.2天文単位、深さは周囲の明るさの0.41倍）がわかった。RY Tauに付随する円盤は大きな傾斜角（約66度）をもつにもかかわらず、細くて深い溝構造が分解されている。これは、円盤のスケールハイトが小さいこと（約0.27天文単位以下）を示唆している。この系では、乱流が小さいなどのメカニズムによってダストが沈殿しているのかもしれない。

なお、RY Tauの距離はGaiaのデータリリース1（178パーセク）と2（440パーセク）で大きく異なっている。本観測および過去のALMA観測で検出された$^{12}$COガスの速度分布から、178パーセクの可能性が高いことを導いた。本予稿では178パーセクを用いて距離の換算を行っている。

キーワード：原始惑星系円盤、円盤構造、ダスト連続波
Keywords: Protoplanetary Disk, Disk Structures, Dust Continuum

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Possible inclined inner protoplanetary disk

*橋本 淳[1]、小西 美穂子[1]、鵜山 太智[2]、Ginski Christian[3]、Samland Matthias[4]
*Jun Hashimoto[1], Mihoko Konishi[1], Taichi Uyama[2], Christian Ginski[3], Matthias Samland[4]

1. 自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター、2. 東京大学、3. アムステルダム大学、4. マックス・プランク研究所
1. AstroBiology Center, National Institutes of Natural Sciences, 2. University of Tokyo, 3. University of Amsterdam, 4. Max Planck Institute for Astronomy

A young embedded planet in the protoplanetary disk is expected to interact with a parent disk. When the planet is inclined and massive enough (> 1 Jupiter mass), the disk-planet interaction theory predicts the disk inside the planetary orbit breaks from the outer disk. Such a misaligned inner disk can both warp gas velocity structures observed by ALMA and cast the shadows in the outer disk in the near-infrared image. By analyzing the position of the shadows in the outer disk, one can estimate the inclination of the inner disk relative to the outer disk. Furthermore such systems with shadows should be promising targets for searching young inclined planets in the disks, and would help understanding of planetary orbital evolution.

As a part of our survey in archival data obtained with VLT/SPHERE which is the high contrast instrument in near-infrared, we reduced LkHa 330. LkHa 330 is a T Tauri star with a mass of 2.2 solar mass and known to possess gap and spiral structures. By reducing VLT/SPHERE archival data at H band (1.6 micron), we found shadow structures at PA of 85 and 280 degree in the outer disk at 38 AU in radius. We also found a possible bright blob at PA of 160 degree with a separation of 23 AU from the central star. In the poster, we discuss the inclination of the inner disk by comparing our Monte Carlo radiative transfer calculations for the inclined disks and mention future ALMA proposal plan.

キーワード：原始惑星系円盤
Keywords: protoplanetary disk

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Search for the Inner Disk Structures in "Transitional" Disks

*武藤 恭之[1]、橋本 淳[2]、塚越 崇[3]、小西 美穂子[3]、工藤 智幸[3]
*Takayuki Muto[1], Jun Hashimoto[2], Takashi Tsukagoshi[3], Mihoko Konishi[3], Tomoyuki Kudo[3]

1. 工学院大学　教育推進機構、2. アストロバイオロジーセンター、3. 国立天文台
1. Division of Liberal Arts, Kogakuin University, 2. Astrobiology Center, 3. NAOJ

We present the ALMA archival search efforts for the discovery search for the inner disk structures in transitional disks. Transitional disks are the class of protoplanetary disks that have inner cavity. Recent discovery of the inner (a few AU scale) ring structures in the DM Tau disk (Kudo et al. 2018, ApJL, 868, L5) indicates that even if there is no detection of near infrared (NIR) excess in SED, the disk may still harbor an inner disk within a known large cavity structures. Such inner disk structures are important in understanding (extrasolar) planet formation since a few AU corresponds to the scale of the orbits of the planets within our Solar System.

A few AU region from the central star can be only probed by high resolution observations with ALMA. Such region is too cold to account for NIR excess while modest resolution (~0.2asec) radio observations can still not resolve the region at the typical distance (~140 pc) of protoplanetary disks.

We have conducted ALMA archival search for the potential transitional disk targets that may harbor inner disks. We present the methods of our search and possible candidates that deserve follow-up ALMA high resolution observations.

キーワード：原始惑星系円盤、電波観測
Keywords: Protoplanetary Disk, Radio Astronomy

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-AS 大気科学・気象学・大気環境

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_6

## [A-AS05] 成層圏・対流圏過程とその気候への影響

コンビーナ:河谷 芳雄(国立研究開発法人海洋研究開発機構)、渡辺 真吾(国立研究開発法人海洋研究開発機構)、関谷 高志(国立研究開発法人　海洋研究開発機構)、佐藤 薫(東京大学　大学院理学系研究科　地球惑星科学専攻)

成層圏・対流圏過程とその気候における役割（SPARC）は、世界気候研究計画 （WCRP）の主要プロジェクトの一つであり、気候形成・変動における成層圏・対流圏およびその間の相互作用の役割解明を主眼とし、大気化学と大気物理学との密接な連携を一大特徴とする。本セッションでは、近年の国際的動向を踏まえ、大気化学セッションとも密接に連携しながら、新しい大気科学のコミュニティ形成をめざす。成層圏と対流圏の両域に関わる様々な視点からの議論を歓迎する。

[AAS05-P01] **An advanced impact of Arctic stratospheric ozone changes on spring precipitation in China**

*Fei Xie[1] (1.Beijing Normal University)

[AAS05-P02] 海岸に設置した人工対流と人工降雨による地球冷却化システム

*村上 英世[1] (1.ｲｲｴｺｹﾝｷｭｳｼｮ)

[AAS05-P03] Stratospheric front-like temperature structure and gravity wave activity during a stratospheric sudden warming event in 2016

*角 ゆかり[1]、佐藤 薫[1] (1.東京大学大学院理学系研究科)

[AAS05-P04] The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model

*河谷 芳雄[1]、Kevin Hamilton[2]、Lesley J. Gray[3]、Scott M. Osprey[3]、渡辺 真吾[1]、山下 陽介[1] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.ハワイ大学国際太平洋研究センター、3.オックスフォード大学物理部門大気海洋惑星物理学)

[AAS05-P05] 固有位相速度を用いない波の擬運動量と3次元波活動度fluxの関係について
★招待講演

*木下 武也[1] (1.海洋研究開発機構)

[AAS05-P06] Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric Quasi-biennial Oscillation

*渡辺 真吾[1]、Kevin Hamilton[2]、Scott Osprey[3]、河谷 芳雄[1]、西本 絵梨子 (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.International Pacific Research Center, University of Hawaii at Manoa、3.NCAS-Climate, University of Oxford)

[AAS05-P07] Selection bias of quasi-fixed-point observations in the ExUTLS and its impact on the seasonal record

*稲飯 洋一[1]、町田 敏暢[2]、松枝 秀和[3]、澤 庸介[3]、坪井 一寛[3]、勝又 啓一[2,4]、森本 真司[1]、青木 周司[1]、中澤 高清[1]、藤田 遼[5,1] (1.東北大学、2.環境研、3.気象研、4.高千穂化学工業、5.Imperial College London)

[AAS05-P08] Varying Rossby Wave Trains from the Developing to Decaying Period of the Upper Atmospheric Heat Source over the Tibetan Plateau in Boreal Summer

*Chuandong Zhu[1,2]、Rongcai Ren[1] (1.Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences、2.University of Chinese Academy of Sciences)

[AAS05-P09] **Equilibrium Climate Responses of the East Asian Summer Monsoon to Various Anthropogenic Aerosol Species**

*Qiuyan Wang[2,1]、Zhili Wang[1,2]、Hua Zhang[3,2] (1.State Key Laboratory of Severe Weather & Key Laboratory of Atmospheric Chemistry of CMA, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing、

2.Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing、3.Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing)

[AAS05-P10] Analysis of specific energy in zonal currents focusing on the analogy between jet stream and open channel flow

*北野 慈和[1]、山田 朋人[2] (1.一般財団法人　電力中央研究所、2.北海道大学大学院工学研究院)

[AAS05-P11] 2009年11月の南米南端におけるオゾン量低下イベントに関する解析

*秋吉 英治[1]、門脇 正尚[2]、中村 東奈[3]、杉田 考史[1]、廣岡 俊彦[4]、原田 やよい[5]、水野 亮[6] (1.国立環境研究所、2.日本原子力研究開発機構、3.富士通エフ・アイ・ピー、4.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、5.気象研究所、6.名古屋大学宇宙地球環境研究所)

[AAS05-P12] **Analysis of relatively low ozone in Arctic spring during the QBO-westerly and solar-minimum years**

*山下 陽介[1,2]、秋吉 英治[2]、高橋 正明[2] (1.海洋研究開発機構、2.国立環境研究所)

[AAS05-P13] 多成分衛星データ同化から得られた上部対流圏・下部成層圏オゾンの評価

*関谷 高志[1]、宮崎 和幸[2,1]、大越智 幸司[1]、須藤 健悟[3,1]、滝川 雅之[1] (1.国立研究開発法人　海洋研究開発機構、2.NASAジェット推進研究所／カリフォルニア工科大学、3.名古屋大学　大学院環境学研究科)

[AAS05-P14] 成層圏突然昇温期における気象庁全球アンサンブル予報システムの初期摂動特性
★招待講演

*野口 峻佑[1,2] (1.国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2.気象庁 気象研究所)

# An advanced impact of Arctic stratospheric ozone changes on spring precipitation in China

*Fei Xie[1]

1. Beijing Normal University

The effect of spring Arctic Stratospheric Ozone (ASO) changes on spring precipitation in China is analyzed using observations, reanalysis data, and the Whole Atmosphere Community Climate Model version 4 (WACCM4). We find that February–March mean ASO changes have a significant impact on April–May mean precipitation over the Loess Plateau and the middle–lower reaches of the Yangtze River—two important grain-producing regions with large populations. Changes in the polar vortex link the ASO to precipitation in China. Stratospheric circulation anomalies caused by ASO changes can propagate to the North Pacific. An increase in ASO leads to enhanced westerlies in the high and low latitudes of the North Pacific but weakened westerlies in the mid-latitudes of the North Pacific. The circulation anomalies over the North Pacific, forced by the increase of ASO, can extend westwards to East Asia, leading to an abnormal anticyclone in the East Asian upper and middle troposphere, and an abnormal cyclone in the lower troposphere. This enhances the warm and humid airstream from the Western Pacific to the Chinese mainland and strengthens upwelling over the Loess Plateau and the middle–lower reaches of the Yangtze River. These conditions enhance precipitation in central China during positive ASO anomaly events and reduce precipitation during negative events. The WACCM4 simulations support the results from our statistical analysis of observations and reanalysis data. Our results suggest that ASO variation can serve as a predictor of spring precipitation variation over the Loess Plateau and the middle–lower reaches of the Yangtze River.

Keywords: Arctic Stratospheric Ozone, Spring precipitation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 海岸に設置した人工対流と人工降雨による地球冷却化システム
# Global Cooling System installed on the beach by means of Artificial Convection and Artificial Rain

*村上 英世[1]
*Murakami Hideyo[1]

1. ｲｲｴｺｹﾝｷｭｳｼｮ
1. Ii Ecology Development

近年、地球は温暖化しつつある。太陽は、地球に太陽光エネルギーを放射して、地球を暖めている。地球は、太陽光の一部を宇宙に反射放出し、かつ潜熱を含む赤外線等を宇宙に放射して、冷却している。地球が太陽から受けるエネルギーは、地球が放出しているエネルギーとほぼ同じである。地球が受信している太陽光エネルギーは一定値である。一方、増加した$CO_2$等の温室効果ガスが、大気の放射する熱エネルギーに対して大気が宇宙へ放出するエネルギーの比率を下げている。そのため、地球平均温度は増加しつつあり、それに起因する異常気象が多発している。多くの人々が大気中の$CO_2$ 蓄積量を減少させて、地球平均温度を減少させるために研究している。しかし、大気中の$CO_2$ 蓄積量を減少させるための有効なシステムは実用化されていない。

この論文は、地球冷却化システムを研究している。地球冷却化システムは人工対流装置（II型）と制御センタから構成される。地球冷却化システムは、例え大気に多量の温室効果ガスを含んで平均温度が2℃上昇したとしても、地球平均温度の増加を打ち消して、地球を冷却できる。

人工対流装置は大きな温室に似ていて、屋根、壁、大気入口、大気出口とヒーターで構成される。人工対流装置は、熱帯の海岸に設置される。海岸は、高温多湿（35℃, 26.2g $kg^{-1}$）で、日中は海風が吹いている。その屋根と壁は、透明なプラスチックシートで作られており、屋根の下にはヒーター(黒いシート)が装備されている。ヒーターは、屋根の下で太陽光エネルギーを受けて、太陽光エネルギーを熱エネルギー変換して大気入口から入った大気を熱して、大気出口から熱した大気を放出する。熱された大気は、周囲の大気に比べて軽く、対流圏に押し上げられる。多量の水蒸気を含んだ熱された大気は、対流圏で冷やされる。そこで、水蒸気は冷やされ、対流圏で雨か雪に人工的に作られる。人工的な雨か雪は、地上に降ってくる。結果として、人工対流装置は、加熱された大気を海岸の表面から対流圏に上昇させて、かつ高高度の大気を伴った人工雨もしくは雪を下に運ぶことで、海岸の表面と対流圏との間に人工的に対流を構築している。持ち上げられた大気は、海岸の表面の周囲の水蒸気を含んだ大気の潜熱と顕熱を宇宙に放出し、そして高高度の大気を伴った人工雨もしくは雪も、顕熱と溶解熱を周囲の大気から吸収し、大地の表面を冷却する。更に、暑く、雨量が少ない地域では、人工降雨の半分の雨量は、植物に吸収される。植物は、雨水を蒸発させて、潜熱を周囲の大気から吸収する。そのため、地球は、植物によっても冷却される。

この論文は、人工対流と人工降雨を用いた地球冷却化システムを分析しており、平均温度上昇が地球冷却化システムによって防止できることを示している。大規模な実験によって地球冷却化システムの特性を確認することが望まれる。

キーワード：地球冷却化、人工対流、潜熱、人工降雨
Keywords: global cooling, artificial convection, latent heat, artificial rain

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Stratospheric front-like temperature structure and gravity wave activity during a stratospheric sudden warming event in 2016

*角 ゆかり[1]、佐藤 薫[1]
*Yukari Sumi[1], Kaoru Sato[1]

1. 東京大学大学院理学系研究科
1. University of Tokyo

A large-scale front-like temperature structure is observed in the Arctic stratosphere during a stratospheric sudden warming (SSW) event in 2016. As reported by previous studies, it is shown that a stratospheric front with a vertical scale of about 15 km is formed near the polar vortex edge and vertically tilts toward a colder region. Moreover, we found that the front is the strongest a few days prior to the major warming and that a local maximum of temperature appears in the exit region of a jet streak. These characteristics of the front are roughly common among other SSW events. However, it is not clear as to why the front-like structure is strengthened during the SSW event, which still needs more observational analysis. In the present study, the semi-geostrophic system is considered to better understand the frontogenesis in the stratosphere. Q-vector and frontogenesis function are computed by using MERRA-2 reanalysis data. Near the front region, the geostrophic and ageostrophic parts of the frontogenesis function have large negative and small positive values, respectively. Therefore, it is suggested that the weakening of the front due to geostrophic flow is dominant over the strengthening of the front due to ageostrophic flow. The ageostrophic part is further separated into horizontal and vertical components. The vertical component is positive and significantly larger than the horizontal component. This result implies that the frontogenetic effect of the ageostrophic motion mainly comes from the vertical motion, which seems to be different from the tropospheric front: convergence of the horizontal ageostrophic wind is dominant for the tropospheric front because the vertical motion is suppressed near the ground surface. In addition, gravity wave (GW) activity near the front is examined by using dry temperature data from FORMOSAT-3/COSMIC satellite. The vertical wavelength of the GW is estimated from 1D-Stockwell transform (S-transform) for the temperature data. The S-transform spectra have a peak around 4–7 km in the vertical range between 25 and 35 km where the stratospheric front is the strongest.

キーワード：成層圏、成層圏突然昇温
Keywords: stratosphere, stratospheric sudden warming

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model

*河谷 芳雄[1]、Kevin Hamilton[2]、Lesley J. Gray[3]、Scott M. Osprey[3]、渡辺 真吾[1]、山下 陽介[1]
*Yoshio Kawatani[1], Kevin Hamilton[2], Lesley J. Gray[3], Scott M. Osprey[3], Shingo Watanabe[1], Yousuke Yamashita[1]

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. ハワイ大学国際太平洋研究センター、3. オックスフォード大学物理部門大気海洋惑星物理学
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. International Pacific Research Center, University of Hawaii, 3. Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, Department of Physics, University of Oxford

The impact of stratospheric representation is investigated using the Model for Interdisciplinary Research On Climate Atmospheric General Circulation Model (MIROC-AGCM) run with different model-lid heights and stratospheric vertical resolutions, but unchanged horizontal resolutions (~1.125˚) and subgrid parameterizations. One hundred year integrations of the model were conducted using configurations with 34, 42, 72 and 168 vertical layers and model-lid heights of ~27 km (L34), 47 km (L42), 47 km (L72) and 100 km (L168). Analysis of the results focused on the Northern Hemisphere in winter. Compared with the L42 model, the L34 model produces a poorer simulation of the stratospheric Brewer-Dobson circulation (BDC) in the lower stratosphere, with weaker polar downwelling and accompanying cold pole and westerly jet biases. The westerly bias extends into the troposphere and even to the surface. The tropospheric westerlies and zone of baroclinic wave activity shift northward; surface pressure has negative (positive) biases in the high (mid) latitudes, with concomitant precipitation shifts. The L72/L168 models generate a Quasi-Biennial Oscillation (QBO) while the L34/42 models do not. The L168 model includes the mesosphere, and thus resolves the upper branch of the BDC. The L72 model simulates stronger polar downwelling associated with the BDC than does the L42 model. However, experiments with prescribed nudging of the tropical stratospheric winds suggest differences in the QBO representation cannot account for L72-L42 differences in the climatological polar night jet structure. The results show that the stratospheric vertical resolution and inclusion of the full middle atmosphere significantly affect tropospheric circulations.

キーワード：中層大気
Keywords: middle atmosphere

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 固有位相速度を用いない波の擬運動量と3次元波活動度fluxの関係について

# On the relation between three-dimensional wave activity flux and pseudo momentum without using intrinsic phase velocities

*木下 武也[1]
*Takenari Kinoshita[1]

1. 海洋研究開発機構
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

中層大気大循環は様々な波活動によって駆動されている。波活動と大循環の関係を診断するツールの1つとして、変形オイラー平均 (Transformed-Eulerian Mean: TEM)系がある。TEM系の残差流や波活動度fluxは3次元化が1980年代から行われ、最近の研究では成層圏突然昇温を引き起こすロスビー波活動の空間構造の解析に利用されるなどしている。TEM系の波活動度fluxの収束発散は擬運動量の時間変化に対応することが示されており (Eliassen-Palm relation)、3次元TEM系においても、同関係が成り立つことが証明されているが、ここで用いられている擬運動量は擾乱のエネルギーを固有位相速度で割ったものであり、データ解析には向いていない。そこで本研究では、Aiki et al. (2015)のDouble-Impulse 擬運動量を参考に、固有位相速度を用いない形の擬運動量を紹介するとともに、中層大気における擬運動量のラグランジュ変化と波活動度fluxの収束発散の関係について調べた結果を報告する。

キーワード：波活動度フラックス、擬運動量
Keywords: wave activity flux, pseudo momentum

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric Quasi-biennial Oscillation

*渡辺 真吾[1]、Kevin Hamilton[2]、Scott Osprey[3]、河谷 芳雄[1]、西本 絵梨子
*Shingo Watanabe[1], Kevin Hamilton[2], Scott Osprey[3], Yoshio Kawatani[1], Eriko Nishimoto

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. International Pacific Research Center, University of Hawaii at Manoa、3. NCAS-Climate, University of Oxford
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. International Pacific Research Center, University of Hawaii at Manoa, 3. NCAS-Climate, University of Oxford

In early 2016 the quasi-biennial oscillation in tropical stratospheric winds was disrupted by an anomalous easterly jet centered at ~40 hPa, a development that was completely missed by all operational extended range weather forecast systems. This event and its predictability are investigated through ensemble hindcasts using a global model notable for its sophisticated representation of the upper atmosphere. Key to prediction of this event is simulating the slowly evolving mean winds in the winter subtropics that provide a waveguide for Rossby waves propagating from the winter hemisphere. Its association to the strong El Nino condition in 2015 is also investigated by changing sea surface temperatures.

キーワード：quasi-biennial oscillation、Rossby wave、extended range hindcast
Keywords: quasi-biennial oscillation, Rossby wave, extended range hindcast

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Selection bias of quasi-fixed-point observations in the ExUTLS and its impact on the seasonal record

*稲飯 洋一[1]、町田 敏暢[2]、松枝 秀和[3]、澤 庸介[3]、坪井 一寛[3]、勝又 啓一[2,4]、森本 真司[1]、青木 周司[1]、中澤 高清[1]、藤田 遼[5,1]
*Yoichi Inai[1], Toshinobu Machida[2], Hidekazu Matsueda[3], Yousuke Sawa[3], Kazuhiro Tsuboi[3], Keiichi Katsumata[2,4], Shinji Morimoto[1], Shuji Aoki[1], Takakiyo Nakazawa[1], Ryo Fujita[5,1]

1. 東北大学、2. 環境研、3. 気象研、4. 高千穂化学工業、5. Imperial College London
1. Tohoku Univ., 2. NIES, 3. MRI, 4. Takachiho Chem. Industrial, 5. Imperial College London

Fixed-point observations are essential for long-term monitoring of the atmospheric environment. However, some attention might be paid to the interpretation of seasonal variations appearing in the observational record, particularly for regions with large seasonal variations. In the extra-tropical upper troposphere/lower stratosphere (ExUTLS), the climatological tropopause height changes with season. This leads to a seasonal dependence of whether individual fixed-point observations are included in the stratosphere or the troposphere. In this study, using the reanalysis fields, quasi-fixed-point observations in the ExUTLS are simulated and categorized as being in the troposphere or stratosphere based on their position relative to the dynamic tropopause, to investigate seasonal tendencies of the categorization. The influence of these tendencies on seasonal variations of atmospheric composition in the categorized data is estimated. The seasonal cycles of $CH_4$, $N_2O$ and $SF_6$ mixing ratios are found to change with the categorization method. In particular, the minimum values for these tropospheric tracers in observations categorized as stratospheric occur 1–2 months later than in uncategorized observations. This delay in stratospheric record is interpreted as the selection bias, that is, the air mass categorized as the stratospheric atmosphere biased to some specific meteorological situation due to the seasonal variation of ExUTLS meteorological field.

キーワード：地球大気、観測
Keywords: Earth atmosphere, Observation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Varying Rossby Wave Trains from the Developing to Decaying Period of the Upper Atmospheric Heat Source over the Tibetan Plateau in Boreal Summer

*Chuandong Zhu[1,2], Rongcai Ren[1]

1. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2. University of Chinese Academy of Sciences

This study demonstrates the two different Rossby wave train (RWT) patterns related to the developing/decaying upper atmospheric heat source over the Tibetan Plateau (TPUHS) in boreal summer. The results show that the summer TPUHS is dominated by quasi-biweekly variability, particularly from late July to mid-August when the subtropical jet steadily stays to the north of the TP. During the developing period of TPUHS events, the intensifying TPUHS corresponds to an anomalous upper-tropospheric high over the TP, which acts as the main source of a RWT that extends northeastward, via North China, the central Pacific and Alaska, to the northeastern Pacific region. This RWT breaks up while the anomalous high is temporarily replaced by an anomalous low due to the further deepened convective heating around the TPUHS peak. However, this anomalous low, though existing for only three to four days due to the counteracting dynamical effects of the persisting upper/lower divergence/convergence over the TP, acts as a new wave source to connect to an anomalous dynamical high over the Baikal region. Whilst the anomalous low is diminishing rapidly, this Baikal high becomes the main source of a new RWT, which develops eastward over the North Pacific region till around eight days after the TPUHS peak. Nevertheless, the anomaly centers along this decaying-TPUHS-related RWT mostly appear much weaker than those along the previous RWT. Therefore, their impacts on circulation and weather differ considerably from the developing to the decaying period of TPUHS events.

Keywords: Tibetan Plateau, upper atmospheric heat source, Rossby wave train, circulation and weather

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Equilibrium Climate Responses of the East Asian Summer Monsoon to Various Anthropogenic Aerosol Species

*Qiuyan Wang[2,1], Zhili Wang[1,2], Hua Zhang[3,2]

1. State Key Laboratory of Severe Weather & Key Laboratory of Atmospheric Chemistry of CMA, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, 3. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing

The equilibrium climate responses of the East Asian summer monsoon (EASM) to increases in various types of anthropogenic aerosol emissions, including sulfate, organic carbon (OC), and black carbon (BC), from 1850 to 2000 are studied using an aerosol-climate online model. The results show that various aerosol species have substantially different impacts on the EASM by changing the local sea-land surface thermal difference and atmospheric circulation. The increased sulfate leads to decrease in the surface thermal difference between the land and ocean, the southward shift of the East Asian subtropical jet (EASJ), and significant northerly wind anomalies at 850 hPa over eastern China and the ambient oceans, thus dampening the EASM markedly. Pronounced surface cooling appears and an anomalous anticyclone is formed over the oceans north of 30˚N due to the increase of OC. These cause slight increase in sea-land surface thermal difference and southerly flow anomalies to the west of the anticyclonic center, thereby strengthening the northern East Asian summer monsoon (NEASM). However, the increased OC decreases the sea-land surface thermal contrast over southern China, which weakens the southern East Asian summer monsoon (SEASM). The responses of summer 850 hPa winds and rainfall over the East Asian monsoon region (EAMR) to increase in BC are generally consistent with those to increase in OC. The increased BC leads to the strengthening of the NEASM north of 35˚N and slight weakening of the SEASM south of 35˚N. Also, the simulated responses of the EASM to increase in BC are not changed when BC emission is scaled up by five times its 2000 levels, but the intensities of responses are enhanced. Overall, the increase in sulfate primarily weakens the EASM, while the increases in BC and OC mitigate the weakening of the NEASM to some extent.

Keywords: EASM, various aerosol species, equilibrium climate response

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Analysis of specific energy in zonal currents focusing on the analogy between jet stream and open channel flow

*北野 慈和[1]、山田 朋人[2]
*Yoshikazu Kitano[1], Tomohito J. Yamada[2]

1. 一般財団法人　電力中央研究所、2. 北海道大学大学院工学研究院
1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Faculty of Engineering, Hokkaido University

Atmospheric blocking is one of the important causes of meteorological extremes in mid-latitude, such as cold spells, heat waves and long-term heavy rainfalls. Rossby (1950) focused on dynamical analogies between the hydraulic jump in open channel flow and the atmospheric blocking in jet stream, and proposed a theoretical formula to explain the two dynamically possible states in zonal currents which are compatible with supercritical and subcritical flow in an open channel flow. Armi (1989) focused on the specific energy flux in zonal currents and showed that a dimensionless parameter, which is called Froude/Rossby number, is analogous to the Froude number of open channel flow. Kitano and Yamada (2017) extended these theories to realistic conditions in atmosphere and showed a relationship between typical blocking flow and specific energy flux in jet stream. In this study, we analyzed several blocking episodes using specific energy flux and found energetic signals over Japan and its surroundings before Pacific blocking occasions. These signals may contribute to prediction on blocking.

キーワード：大気ブロッキング、偏西風ジェット、開水路流れ
Keywords: atmospheric blocking, jet stream, open channel flow

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 2009年11月の南米南端におけるオゾン量低下イベントに関する解析
# Analysis of the ozone reduction event over the southern tip of South America in November 2009

*秋吉 英治[1]、門脇 正尚[2]、中村 東奈[3]、杉田 考史[1]、廣岡 俊彦[4]、原田 やよい[5]、水野 亮[6]
*Hideharu Akiyoshi[1], Masanao Kadowaki[2], Haruna Nakamura[3], Takafumi Sugita[1], Toshihiko Hirooka[4], Yayoi Harada[5], Akira Mizuno[6]

1. 国立環境研究所、2. 日本原子力研究開発機構、3. 富士通エフ・アイ・ピー、4. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、5. 気象研究所、6. 名古屋大学宇宙地球環境研究所
1. National Institute for Environmental Studies, 2. Japan Atomic Energy Agency, 3. Fujitsu FIP Corporation, 4. Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, 5. Meteorological Research Institute, 6. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

2009年11月に南米南端部において、約3週間にわたるオゾン量の低下が続いた。南米では初夏にあたり、紫外線への影響が懸念された。この現象は、9月～10月にかけて最盛期を迎えるオゾンホールの場となっている南極渦が、季節の進行に伴って11月になって不安定になり、南米方面へ変形・移動し、南米上空にとどまりながら崩壊を始めたことが原因である。では、どのようなメカニズムによってこの南極渦の南米方面への変形・移動が起こったのであろうか？また、同様な現象は過去にも起こっていたのであろうか？この２つの疑問を明らかにするため、1979年～2015年の37年間のERA-Interim再解析データおよびOMIオゾン全量データの解析を行った。成層圏で極渦の崩壊が起こり始める、あるいは崩壊直前となる場合が多い11月の、500hPaジオポテンシャルハイトについてブロッキングパターンの診断を行ったところ、ブロッキングパターンが生じた時に対流圏から成層圏への波動伝搬が強化され、それに伴いブロッキングが起こった領域の東の成層圏に南極渦が伸張あるいは移動し、南極周辺の中高緯度域のオゾン量を低下させる場合が多いことがわかった。また、11月におけるブロッキングパターンの出現と南極渦の大規模な伸張・移動との同様な関係は、2009年の他にも5回程度あり、そのうち3回（1994年、1997年、2011年）は南米付近で見られた。しかしながらこれらの年のオゾン量低下の持続期間は2009年ほど長くはなかった。以上の結果から、11月のブロッキングパターンの診断を行うことで、南極渦が崩壊するときの移動・変形の方向（経度）をある程度予想できることが示唆され、それはオゾンホール空気塊のその地域への襲来とそれによってもたらされる紫外線増加の予測に役立つ。対流圏の気象場を診断することで、現在南米で行われている紫外線予測の精度を上げることができるかもしれない。

本研究は地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）「南米における大気環境リスク管理システムの開発」（2012～2017年度、代表：水野亮　名古屋大学）によって行われた。

キーワード：オゾンホール、南米、極渦、ブロッキング、2009年11月、ERA-Interim 再解析データ
Keywords: ozone hole, South America, polar vortex, blocking, November 2009, ERA-Interim reanalysis data

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Analysis of relatively low ozone in Arctic spring during the QBO-westerly and solar-minimum years

*山下 陽介[1,2]、秋吉 英治[2]、高橋 正明[2]
*Yousuke Yamashita[1,2], Hideharu Akiyoshi[2], Masaaki Takahashi[2]

1. 海洋研究開発機構、2. 国立環境研究所
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Institute for Environmental Studies

The equatorial quasi-biennial oscillation (QBO) and the 11-year solar cycle are known to cause year-to-year variability of the Northern Hemisphere (NH) polar vortex (e.g. Holton and Tan, 1980; Labitzke, 1987). Labitzke (1987) and several studies following her work have been used the four categories of the QBO and 11-year solar cycle, according to the westerly/easterly phase of the QBO (QBO-W/QBO-E) and the maximum/minimum phase of the 11-year solar cycle ($S_{max}$/ $S_{min}$). Camp and Tung (2007) suggested that the NH polar vortex is the most stable and the least perturbed state in late winter during the QBO-W/$S_{min}$ years relative to the other three groups (QBO-W/$S_{max}$, QBO-E/$S_{max}$, and QBO-E/$S_{min}$), in agreement with the work of Labitzke and van Loon (1988). Their findings are in agreement with the smallest magnitude of the Arctic total ozone in QBO-W/$S_{min}$ years among the four categories (Li and Tung 2014), because the ozone depletion is enhanced in the stable and cold polar vortex associated with an increase in chemical destruction through heterogeneous reactions on the Polar Stratospheric Clouds (PSCs). Since the Arctic ozone amount is related to the ozone transport as well as the chemical ozone destruction, the estimation of their influences is still challenging issue for understanding the small amount of the Arctic total ozone in March.

In this study, we analyze the Arctic ozone amount using TOMS/OMI observations, ERA-interim reanalysis data, and the outputs of a chemistry climate model (CCM) with REF-C1SD hindcast simulation, in which the model’s zonal/meridional wind and temperature are nudged toward those of the ERA-interim reanalysis data with a 6-hour interval. The anomaly from the average for all the years of 1979–2011 in the Arctic total ozone amount is calculated for QBO-W/$S_{min}$ group in late winter. We estimate the amounts of ozone transport and chemical ozone destruction and their effects on the derived Arctic ozone anomaly for the QBO-W/$S_{min}$ group with CCM outputs.

Result of the composite mean for QBO-W/$S_{min}$ years shows negative anomaly (relatively small amount) of total ozone in February–March compared to the 1979–2011 average from the CCM output, in agreement with the satellite observation, reanalysis data. To distinguish the effect of chemical ozone destruction from that of ozone transport for the total ozone anomaly in February–March, we analyze the total ozone anomaly of the passive ozone tracer without any chemical change in the CCM. The negative anomalies of the passive ozone tracer have a similar distribution to that of chemically reactive ozone with similar magnitude, suggesting that the negative anomalies of total ozone are mainly caused by ozone transport.

The outputs of CCM are also analyzed for vertical profile of ozone concentration, which indicates negative anomaly of the Arctic ozone in the upper troposphere and the lower stratosphere for the QBO-W/$S_{min}$ condition, the maximum anomaly of ozone partial column is located around 50–70 hPa. The partial column of the passive ozone tracer at these levels also shows negative anomalies, whilst their magnitudes are small, especially at 50 hPa in March. These results suggest the significant influence of ozone transport on the negative ozone anomaly in February–March, whilst the influence of chemistry is partially large at 50 hPa in March.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：成層圏オゾン、北極渦、化学気候モデル
Keywords: stratospheric ozone, Northern Hemisphere polar vortex, chemistry climate mode

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 多成分衛星データ同化から得られた上部対流圏・下部成層圏オゾンの評価
# Evaluation of ozone in the upper troposphere and lower stratosphere derived from multi-species satellite data assimilation

*関谷 高志[1]、宮崎 和幸[2,1]、大越智 幸司[1]、須藤 健悟[3,1]、滝川 雅之[1]
*Takashi Sekiya[1], Kazuyuki Miyazaki[2,1], Koji Ogochi[1], Kengo Sudo[3,1], Masayuki Takigawa[1]

1. 国立研究開発法人　海洋研究開発機構、2. NASAジェット推進研究所／カリフォルニア工科大学、3. 名古屋大学　大学院環境学研究科
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Jet Propulsion Laboratory/California Institute for Technology, 3. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Ozone ($O_3$) in the upper troposphere and lower stratosphere (UTLS) has a stronger greenhouse effect than in the lower troposphere. However, information on $O_3$ in the UTLS from observations with the global coverage is still limited. Multi-species satellite data assimilation of stratospheric $O_3$, and tropospheric $O_3$ and its precursors is expected to provide better constraints on $O_3$ in the UTLS, because $O_3$ in the UTLS is controlled by stratospheric $O_3$ intrusions, $O_3$ transport from middle and lower troposphere, and in-situ $O_3$ chemical production. In this study, we evaluate $O_3$ in the UTLS derived from the multi-species data assimilation with horizontal resolutions of 2.8, 1.1, and 0.56 degree using ozonesonde observations (not used for data assimilation) in April 2008. Assimilated data were obtained from the OMI, GOME-2, and SCIAMACHY for tropospheric $NO_2$ column, the TES for $O_3$ profile, the MOPITT for total CO column, the MLS for $O_3$ and $HNO_3$ profiles, and the OMI for total $SO_2$ column. At 200 hPa, 300 hPa, and 500 hPa, the data assimilation at 0.56-degree resolution reduced root mean square errors (RMSEs) against ozonesonde observations in the northern midlatitudes by 32%, 31%, and 13%, respectively, compared to the model simulation without data assimilation. The overall data assimilation performance for $O_3$ concentrations is not sensitive to horizontal resolution in the altitudes between 200 hPa and 500 hPa (i.e., the RMSEs were within 7% at all resolutions). Meanwhile, the data assimilation at 0.56-degree resolution improved agreements with ozonesonde observations at 300 hPa by up to 55% compared to 1.1- and 2.8-degree resolutions during a deep stratospheric intrusion episode at Trinidad Head (124˚W, 41˚N) through resolving small-scale transport processes. These results confirm that $O_3$ analyses derived from multi-species data assimilation are suitable for understanding spatial and temporal variations in $O_3$ in the UTLS and their controlling processes.

キーワード：衛星データ同化、オゾン、大気化学
Keywords: Satellite data assimilation, Ozone, Atmospheric chemistry

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 成層圏突然昇温期における気象庁全球アンサンブル予報システムの初期摂動特性

# Characteristics of Initial Perturbation of JMA GEPS during Sudden Stratospheric Warmings

*野口 峻佑[1,2]
*Shunsuke Noguchi[1,2]

1. 国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2. 気象庁 気象研究所
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Meteorological Research institute, Japan Meteorological Agency

In order to sophisticate the ensemble forecasting and data assimilation system of the whole atmosphere, it is necessary to accumulate the knowledge about the uncertainty of the analysis in the stratosphere and mesosphere, which is poor in comparison with that in the troposphere. Therefore, this study investigates characteristics of initial perturbation of the Japan Meteorological Agency (JMA) Global Ensemble Prediction System (GEPS), which has been replaced in March 2017.

By focusing on two Sudden Stratospheric Warming (SSW) events occurred in 2017-2018 and 2018-2019 winters, several aspects of the new JMA GEPS are revealed as follows: (1) There is large uncertainty above the upper stratosphere (which has not been reflected in the previous system). (2) The analysis ensemble spread increases and penetrates downward from the upper stratosphere during the onset period of both SSW events, though its precursory nature is not so evident as pointed by previous studies (e.g. Enomoto et al. 2010). (3) After SSW events, the analysis ensemble spread in the middle and upper stratosphere shrinks in association with the change of dominant physical processes. However, relatively large spreads, which may have implications for the stratosphere-troposphere coupling, are sometimes found in the lower stratosphere.

The quality of forecasts and analyses above the upper stratosphere would be inevitable from the artificial effect of sponge layers near the model top. Therefore, it is worth comparing or communicating with results of some high-top system to validate the appropriateness of above-mentioned aspects (e.g. (1)) and recognize limitations of current operational settings.

キーワード：成層圏突然昇温、アンサンブル予報システム
Keywords: Sudden Stratospheric Warming, Ensemble Prediction System

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-AS 大気科学・気象学・大気環境

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_10

## [A-AS05] 成層圏・対流圏過程とその気候への影響

コンビーナ:河谷 芳雄(国立研究開発法人海洋研究開発機構)、渡辺 真吾(国立研究開発法人海洋研究開発機構)、関谷 高志(国立研究開発法人　海洋研究開発機構)、佐藤 薫(東京大学　大学院理学系研究科　地球惑星科学専攻)

成層圏・対流圏過程とその気候における役割（SPARC）は、世界気候研究計画 （WCRP）の主要プロジェクトの一つであり、気候形成・変動における成層圏・対流圏およびその間の相互作用の役割解明を主眼とし、大気化学と大気物理学との密接な連携を一大特徴とする。本セッションでは、近年の国際的動向を踏まえ、大気化学セッションとも密接に連携しながら、新しい大気科学のコミュニティ形成をめざす。成層圏と対流圏の両域に関わる様々な視点からの議論を歓迎する。

[AAS05-P01] **An advanced impact of Arctic stratospheric ozone changes on spring precipitation in China**

*Fei Xie[1] (1.Beijing Normal University)

[AAS05-P02] 海岸に設置した人工対流と人工降雨による地球冷却化システム

*村上 英世[1] (1.ｲｲｴｺｹﾝｷｭｳｼｮ)

[AAS05-P03] Stratospheric front-like temperature structure and gravity wave activity during a stratospheric sudden warming event in 2016

*角 ゆかり[1]、佐藤 薫[1] (1.東京大学大学院理学系研究科)

[AAS05-P04] The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model

*河谷 芳雄[1]、Kevin Hamilton[2]、Lesley J. Gray[3]、Scott M. Osprey[3]、渡辺 真吾[1]、山下 陽介[1] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.ハワイ大学国際太平洋研究センター、3.オックスフォード大学物理部門大気海洋惑星物理学)

[AAS05-P05] 固有位相速度を用いない波の擬運動量と3次元波活動度fluxの関係について
★招待講演

*木下 武也[1] (1.海洋研究開発機構)

[AAS05-P06] Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric Quasi-biennial Oscillation

*渡辺 真吾[1]、Kevin Hamilton[2]、Scott Osprey[3]、河谷 芳雄[1]、西本 絵梨子 (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.International Pacific Research Center, University of Hawaii at Manoa、3.NCAS-Climate, University of Oxford)

[AAS05-P07] Selection bias of quasi-fixed-point observations in the ExUTLS and its impact on the seasonal record

*稲飯 洋一[1]、町田 敏暢[2]、松枝 秀和[3]、澤 庸介[3]、坪井 一寛[3]、勝又 啓一[2,4]、森本 真司[1]、青木 周司[1]、中澤 高清[1]、藤田 遼[5,1] (1.東北大学、2.環境研、3.気象研、4.高千穂化学工業、5.Imperial College London)

[AAS05-P08] Varying Rossby Wave Trains from the Developing to Decaying Period of the Upper Atmospheric Heat Source over the Tibetan Plateau in Boreal Summer

*Chuandong Zhu[1,2]、Rongcai Ren[1] (1.Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences、2.University of Chinese Academy of Sciences)

[AAS05-P09] **Equilibrium Climate Responses of the East Asian Summer Monsoon to Various Anthropogenic Aerosol Species**

*Qiuyan Wang[2,1]、Zhili Wang[1,2]、Hua Zhang[3,2] (1.State Key Laboratory of Severe Weather & Key Laboratory of Atmospheric Chemistry of CMA, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing、

2.Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing、3.Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing)

[AAS05-P10] Analysis of specific energy in zonal currents focusing on the analogy between jet stream and open channel flow

*北野 慈和[1]、山田 朋人[2] (1.一般財団法人　電力中央研究所、2.北海道大学大学院工学研究院)

[AAS05-P11] 2009年11月の南米南端におけるオゾン量低下イベントに関する解析

*秋吉 英治[1]、門脇 正尚[2]、中村 東奈[3]、杉田 考史[1]、廣岡 俊彦[4]、原田 やよい[5]、水野 亮[6] (1.国立環境研究所、2.日本原子力研究開発機構、3.富士通エフ・アイ・ピー、4.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、5.気象研究所、6.名古屋大学宇宙地球環境研究所)

[AAS05-P12] **Analysis of relatively low ozone in Arctic spring during the QBO-westerly and solar-minimum years**

*山下 陽介[1,2]、秋吉 英治[2]、高橋 正明[2] (1.海洋研究開発機構、2.国立環境研究所)

[AAS05-P13] 多成分衛星データ同化から得られた上部対流圏・下部成層圏オゾンの評価

*関谷 高志[1]、宮崎 和幸[2,1]、大越智 幸司[1]、須藤 健悟[3,1]、滝川 雅之[1] (1.国立研究開発法人　海洋研究開発機構、2.NASAジェット推進研究所／カリフォルニア工科大学、3.名古屋大学　大学院環境学研究科)

[AAS05-P14] 成層圏突然昇温期における気象庁全球アンサンブル予報システムの初期摂動特性
★招待講演

*野口 峻佑[1,2] (1.国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2.気象庁 気象研究所)

# An advanced impact of Arctic stratospheric ozone changes on spring precipitation in China

*Fei Xie[1]

1. Beijing Normal University

The effect of spring Arctic Stratospheric Ozone (ASO) changes on spring precipitation in China is analyzed using observations, reanalysis data, and the Whole Atmosphere Community Climate Model version 4 (WACCM4). We find that February–March mean ASO changes have a significant impact on April–May mean precipitation over the Loess Plateau and the middle–lower reaches of the Yangtze River—two important grain-producing regions with large populations. Changes in the polar vortex link the ASO to precipitation in China. Stratospheric circulation anomalies caused by ASO changes can propagate to the North Pacific. An increase in ASO leads to enhanced westerlies in the high and low latitudes of the North Pacific but weakened westerlies in the mid-latitudes of the North Pacific. The circulation anomalies over the North Pacific, forced by the increase of ASO, can extend westwards to East Asia, leading to an abnormal anticyclone in the East Asian upper and middle troposphere, and an abnormal cyclone in the lower troposphere. This enhances the warm and humid airstream from the Western Pacific to the Chinese mainland and strengthens upwelling over the Loess Plateau and the middle–lower reaches of the Yangtze River. These conditions enhance precipitation in central China during positive ASO anomaly events and reduce precipitation during negative events. The WACCM4 simulations support the results from our statistical analysis of observations and reanalysis data. Our results suggest that ASO variation can serve as a predictor of spring precipitation variation over the Loess Plateau and the middle–lower reaches of the Yangtze River.

Keywords: Arctic Stratospheric Ozone, Spring precipitation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 海岸に設置した人工対流と人工降雨による地球冷却化システム
# Global Cooling System installed on the beach by means of Artificial Convection and Artificial Rain

*村上 英世[1]
*Murakami Hideyo[1]

1. ｲｲｴｺｹﾝｷｭｳｼｮ
1. Ii Ecology Development

近年、地球は温暖化しつつある。太陽は、地球に太陽光エネルギーを放射して、地球を暖めている。地球は、太陽光の一部を宇宙に反射放出し、かつ潜熱を含む赤外線等を宇宙に放射して、冷却している。地球が太陽から受けるエネルギーは、地球が放出しているエネルギーとほぼ同じである。地球が受信している太陽光エネルギーは一定値である。一方、増加した$CO_2$等の温室効果ガスが、大気の放射する熱エネルギーに対して大気が宇宙へ放出するエネルギーの比率を下げている。そのため、地球平均温度は増加しつつあり、それに起因する異常気象が多発している。多くの人々が大気中の$CO_2$ 蓄積量を減少させて、地球平均温度を減少させるために研究している。しかし、大気中の$CO_2$ 蓄積量を減少させるための有効なシステムは実用化されていない。

この論文は、地球冷却化システムを研究している。地球冷却化システムは人工対流装置（II型）と制御センタから構成される。地球冷却化システムは、例え大気に多量の温室効果ガスを含んで平均温度が2℃上昇したとしても、地球平均温度の増加を打ち消して、地球を冷却できる。

人工対流装置は大きな温室に似ていて、屋根、壁、大気入口、大気出口とヒーターで構成される。人工対流装置は、熱帯の海岸に設置される。海岸は、高温多湿（35℃, 26.2g $kg^{-1}$）で、日中は海風が吹いている。その屋根と壁は、透明なプラスチックシートで作られており、屋根の下にはヒーター(黒いシート)が装備されている。ヒーターは、屋根の下で太陽光エネルギーを受けて、太陽光エネルギーを熱エネルギー変換して大気入口から入った大気を熱して、大気出口から熱した大気を放出する。熱された大気は、周囲の大気に比べて軽く、対流圏に押し上げられる。多量の水蒸気を含んだ熱された大気は、対流圏で冷やされる。そこで、水蒸気は冷やされ、対流圏で雨か雪に人工的に作られる。人工的な雨か雪は、地上に降ってくる。結果として、人工対流装置は、加熱された大気を海岸の表面から対流圏に上昇させて、かつ高高度の大気を伴った人工雨もしくは雪を下に運ぶことで、海岸の表面と対流圏との間に人工的に対流を構築している。持ち上げられた大気は、海岸の表面の周囲の水蒸気を含んだ大気の潜熱と顕熱を宇宙に放出し、そして高高度の大気を伴った人工雨もしくは雪も、顕熱と溶解熱を周囲の大気から吸収し、大地の表面を冷却する。更に、暑く、雨量が少ない地域では、人工降雨の半分の雨量は、植物に吸収される。植物は、雨水を蒸発させて、潜熱を周囲の大気から吸収する。そのため、地球は、植物によっても冷却される。

この論文は、人工対流と人工降雨を用いた地球冷却化システムを分析しており、平均温度上昇が地球冷却化システムによって防止できることを示している。大規模な実験によって地球冷却化システムの特性を確認することが望まれる。

キーワード：地球冷却化、人工対流、潜熱、人工降雨
Keywords: global cooling, artificial convection, latent heat, artificial rain

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Stratospheric front-like temperature structure and gravity wave activity during a stratospheric sudden warming event in 2016

*角 ゆかり[1]、佐藤 薫[1]
*Yukari Sumi[1], Kaoru Sato[1]

1. 東京大学大学院理学系研究科
1. University of Tokyo

A large-scale front-like temperature structure is observed in the Arctic stratosphere during a stratospheric sudden warming (SSW) event in 2016. As reported by previous studies, it is shown that a stratospheric front with a vertical scale of about 15 km is formed near the polar vortex edge and vertically tilts toward a colder region. Moreover, we found that the front is the strongest a few days prior to the major warming and that a local maximum of temperature appears in the exit region of a jet streak. These characteristics of the front are roughly common among other SSW events. However, it is not clear as to why the front-like structure is strengthened during the SSW event, which still needs more observational analysis. In the present study, the semi-geostrophic system is considered to better understand the frontogenesis in the stratosphere. Q-vector and frontogenesis function are computed by using MERRA-2 reanalysis data. Near the front region, the geostrophic and ageostrophic parts of the frontogenesis function have large negative and small positive values, respectively. Therefore, it is suggested that the weakening of the front due to geostrophic flow is dominant over the strengthening of the front due to ageostrophic flow. The ageostrophic part is further separated into horizontal and vertical components. The vertical component is positive and significantly larger than the horizontal component. This result implies that the frontogenetic effect of the ageostrophic motion mainly comes from the vertical motion, which seems to be different from the tropospheric front: convergence of the horizontal ageostrophic wind is dominant for the tropospheric front because the vertical motion is suppressed near the ground surface. In addition, gravity wave (GW) activity near the front is examined by using dry temperature data from FORMOSAT-3/COSMIC satellite. The vertical wavelength of the GW is estimated from 1D-Stockwell transform (S-transform) for the temperature data. The S-transform spectra have a peak around 4–7 km in the vertical range between 25 and 35 km where the stratospheric front is the strongest.

キーワード：成層圏、成層圏突然昇温
Keywords: stratosphere, stratospheric sudden warming

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model

*河谷 芳雄[1]、Kevin Hamilton[2]、Lesley J. Gray[3]、Scott M. Osprey[3]、渡辺 真吾[1]、山下 陽介[1]
*Yoshio Kawatani[1], Kevin Hamilton[2], Lesley J. Gray[3], Scott M. Osprey[3], Shingo Watanabe[1], Yousuke Yamashita[1]

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. ハワイ大学国際太平洋研究センター、3. オックスフォード大学物理部門大気海洋惑星物理学
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. International Pacific Research Center, University of Hawaii, 3. Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, Department of Physics, University of Oxford

The impact of stratospheric representation is investigated using the Model for Interdisciplinary Research On Climate Atmospheric General Circulation Model (MIROC-AGCM) run with different model-lid heights and stratospheric vertical resolutions, but unchanged horizontal resolutions (~1.125˚) and subgrid parameterizations. One hundred year integrations of the model were conducted using configurations with 34, 42, 72 and 168 vertical layers and model-lid heights of ~27 km (L34), 47 km (L42), 47 km (L72) and 100 km (L168). Analysis of the results focused on the Northern Hemisphere in winter. Compared with the L42 model, the L34 model produces a poorer simulation of the stratospheric Brewer-Dobson circulation (BDC) in the lower stratosphere, with weaker polar downwelling and accompanying cold pole and westerly jet biases. The westerly bias extends into the troposphere and even to the surface. The tropospheric westerlies and zone of baroclinic wave activity shift northward; surface pressure has negative (positive) biases in the high (mid) latitudes, with concomitant precipitation shifts. The L72/L168 models generate a Quasi-Biennial Oscillation (QBO) while the L34/42 models do not. The L168 model includes the mesosphere, and thus resolves the upper branch of the BDC. The L72 model simulates stronger polar downwelling associated with the BDC than does the L42 model. However, experiments with prescribed nudging of the tropical stratospheric winds suggest differences in the QBO representation cannot account for L72-L42 differences in the climatological polar night jet structure. The results show that the stratospheric vertical resolution and inclusion of the full middle atmosphere significantly affect tropospheric circulations.

キーワード：中層大気
Keywords: middle atmosphere

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 固有位相速度を用いない波の擬運動量と3次元波活動度fluxの関係について

# On the relation between three-dimensional wave activity flux and pseudo momentum without using intrinsic phase velocities

*木下 武也[1]
*Takenari Kinoshita[1]

1. 海洋研究開発機構
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

中層大気大循環は様々な波活動によって駆動されている。波活動と大循環の関係を診断するツールの1つとして、変形オイラー平均 (Transformed-Eulerian Mean: TEM)系がある。TEM系の残差流や波活動度fluxは3次元化が1980年代から行われ、最近の研究では成層圏突然昇温を引き起こすロスビー波活動の空間構造の解析に利用されるなどしている。TEM系の波活動度fluxの収束発散は擬運動量の時間変化に対応することが示されており (Eliassen-Palm relation)、3次元TEM系においても、同関係が成り立つことが証明されているが、ここで用いられている擬運動量は擾乱のエネルギーを固有位相速度で割ったものであり、データ解析には向いていない。そこで本研究では、Aiki et al. (2015)のDouble-Impulse 擬運動量を参考に、固有位相速度を用いない形の擬運動量を紹介するとともに、中層大気における擬運動量のラグランジュ変化と波活動度fluxの収束発散の関係について調べた結果を報告する。

キーワード：波活動度フラックス、擬運動量
Keywords: wave activity flux, pseudo momentum

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric Quasi-biennial Oscillation

*渡辺 真吾[1]、Kevin Hamilton[2]、Scott Osprey[3]、河谷 芳雄[1]、西本 絵梨子
*Shingo Watanabe[1], Kevin Hamilton[2], Scott Osprey[3], Yoshio Kawatani[1], Eriko Nishimoto

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. International Pacific Research Center, University of Hawaii at Manoa、3. NCAS-Climate, University of Oxford
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. International Pacific Research Center, University of Hawaii at Manoa, 3. NCAS-Climate, University of Oxford

In early 2016 the quasi-biennial oscillation in tropical stratospheric winds was disrupted by an anomalous easterly jet centered at ~40 hPa, a development that was completely missed by all operational extended range weather forecast systems. This event and its predictability are investigated through ensemble hindcasts using a global model notable for its sophisticated representation of the upper atmosphere. Key to prediction of this event is simulating the slowly evolving mean winds in the winter subtropics that provide a waveguide for Rossby waves propagating from the winter hemisphere. Its association to the strong El Nino condition in 2015 is also investigated by changing sea surface temperatures.

キーワード：quasi-biennial oscillation、Rossby wave、extended range hindcast
Keywords: quasi-biennial oscillation, Rossby wave, extended range hindcast

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Selection bias of quasi-fixed-point observations in the ExUTLS and its impact on the seasonal record

*稲飯 洋一[1]、町田 敏暢[2]、松枝 秀和[3]、澤 庸介[3]、坪井 一寛[3]、勝又 啓一[2,4]、森本 真司[1]、青木 周司[1]、中澤 高清[1]、藤田 遼[5,1]
*Yoichi Inai[1], Toshinobu Machida[2], Hidekazu Matsueda[3], Yousuke Sawa[3], Kazuhiro Tsuboi[3], Keiichi Katsumata[2,4], Shinji Morimoto[1], Shuji Aoki[1], Takakiyo Nakazawa[1], Ryo Fujita[5,1]

1. 東北大学、2. 環境研、3. 気象研、4. 高千穂化学工業、5. Imperial College London
1. Tohoku Univ., 2. NIES, 3. MRI, 4. Takachiho Chem. Industrial, 5. Imperial College London

Fixed-point observations are essential for long-term monitoring of the atmospheric environment. However, some attention might be paid to the interpretation of seasonal variations appearing in the observational record, particularly for regions with large seasonal variations. In the extra-tropical upper troposphere/lower stratosphere (ExUTLS), the climatological tropopause height changes with season. This leads to a seasonal dependence of whether individual fixed-point observations are included in the stratosphere or the troposphere. In this study, using the reanalysis fields, quasi-fixed-point observations in the ExUTLS are simulated and categorized as being in the troposphere or stratosphere based on their position relative to the dynamic tropopause, to investigate seasonal tendencies of the categorization. The influence of these tendencies on seasonal variations of atmospheric composition in the categorized data is estimated. The seasonal cycles of $CH_4$, $N_2O$ and $SF_6$ mixing ratios are found to change with the categorization method. In particular, the minimum values for these tropospheric tracers in observations categorized as stratospheric occur 1–2 months later than in uncategorized observations. This delay in stratospheric record is interpreted as the selection bias, that is, the air mass categorized as the stratospheric atmosphere biased to some specific meteorological situation due to the seasonal variation of ExUTLS meteorological field.

キーワード：地球大気、観測
Keywords: Earth atmosphere, Observation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Varying Rossby Wave Trains from the Developing to Decaying Period of the Upper Atmospheric Heat Source over the Tibetan Plateau in Boreal Summer

*Chuandong Zhu[1,2], Rongcai Ren[1]

1. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2. University of Chinese Academy of Sciences

This study demonstrates the two different Rossby wave train (RWT) patterns related to the developing/decaying upper atmospheric heat source over the Tibetan Plateau (TPUHS) in boreal summer. The results show that the summer TPUHS is dominated by quasi-biweekly variability, particularly from late July to mid-August when the subtropical jet steadily stays to the north of the TP. During the developing period of TPUHS events, the intensifying TPUHS corresponds to an anomalous upper-tropospheric high over the TP, which acts as the main source of a RWT that extends northeastward, via North China, the central Pacific and Alaska, to the northeastern Pacific region. This RWT breaks up while the anomalous high is temporarily replaced by an anomalous low due to the further deepened convective heating around the TPUHS peak. However, this anomalous low, though existing for only three to four days due to the counteracting dynamical effects of the persisting upper/lower divergence/convergence over the TP, acts as a new wave source to connect to an anomalous dynamical high over the Baikal region. Whilst the anomalous low is diminishing rapidly, this Baikal high becomes the main source of a new RWT, which develops eastward over the North Pacific region till around eight days after the TPUHS peak. Nevertheless, the anomaly centers along this decaying-TPUHS-related RWT mostly appear much weaker than those along the previous RWT. Therefore, their impacts on circulation and weather differ considerably from the developing to the decaying period of TPUHS events.

Keywords: Tibetan Plateau, upper atmospheric heat source, Rossby wave train, circulation and weather

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Equilibrium Climate Responses of the East Asian Summer Monsoon to Various Anthropogenic Aerosol Species

*Qiuyan Wang[2,1], Zhili Wang[1,2], Hua Zhang[3,2]

1. State Key Laboratory of Severe Weather & Key Laboratory of Atmospheric Chemistry of CMA, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, 3. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing

The equilibrium climate responses of the East Asian summer monsoon (EASM) to increases in various types of anthropogenic aerosol emissions, including sulfate, organic carbon (OC), and black carbon (BC), from 1850 to 2000 are studied using an aerosol-climate online model. The results show that various aerosol species have substantially different impacts on the EASM by changing the local sea-land surface thermal difference and atmospheric circulation. The increased sulfate leads to decrease in the surface thermal difference between the land and ocean, the southward shift of the East Asian subtropical jet (EASJ), and significant northerly wind anomalies at 850 hPa over eastern China and the ambient oceans, thus dampening the EASM markedly. Pronounced surface cooling appears and an anomalous anticyclone is formed over the oceans north of 30˚N due to the increase of OC. These cause slight increase in sea-land surface thermal difference and southerly flow anomalies to the west of the anticyclonic center, thereby strengthening the northern East Asian summer monsoon (NEASM). However, the increased OC decreases the sea-land surface thermal contrast over southern China, which weakens the southern East Asian summer monsoon (SEASM). The responses of summer 850 hPa winds and rainfall over the East Asian monsoon region (EAMR) to increase in BC are generally consistent with those to increase in OC. The increased BC leads to the strengthening of the NEASM north of 35˚N and slight weakening of the SEASM south of 35˚N. Also, the simulated responses of the EASM to increase in BC are not changed when BC emission is scaled up by five times its 2000 levels, but the intensities of responses are enhanced. Overall, the increase in sulfate primarily weakens the EASM, while the increases in BC and OC mitigate the weakening of the NEASM to some extent.

Keywords: EASM, various aerosol species, equilibrium climate response

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Analysis of specific energy in zonal currents focusing on the analogy between jet stream and open channel flow

*北野 慈和[1]、山田 朋人[2]
*Yoshikazu Kitano[1], Tomohito J. Yamada[2]

1. 一般財団法人　電力中央研究所、2. 北海道大学大学院工学研究院
1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Faculty of Engineering, Hokkaido University

Atmospheric blocking is one of the important causes of meteorological extremes in mid-latitude, such as cold spells, heat waves and long-term heavy rainfalls. Rossby (1950) focused on dynamical analogies between the hydraulic jump in open channel flow and the atmospheric blocking in jet stream, and proposed a theoretical formula to explain the two dynamically possible states in zonal currents which are compatible with supercritical and subcritical flow in an open channel flow. Armi (1989) focused on the specific energy flux in zonal currents and showed that a dimensionless parameter, which is called Froude/Rossby number, is analogous to the Froude number of open channel flow. Kitano and Yamada (2017) extended these theories to realistic conditions in atmosphere and showed a relationship between typical blocking flow and specific energy flux in jet stream. In this study, we analyzed several blocking episodes using specific energy flux and found energetic signals over Japan and its surroundings before Pacific blocking occasions. These signals may contribute to prediction on blocking.

キーワード：大気ブロッキング、偏西風ジェット、開水路流れ
Keywords: atmospheric blocking, jet stream, open channel flow

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 2009年11月の南米南端におけるオゾン量低下イベントに関する解析
# Analysis of the ozone reduction event over the southern tip of South America in November 2009

*秋吉 英治[1]、門脇 正尚[2]、中村 東奈[3]、杉田 考史[1]、廣岡 俊彦[4]、原田 やよい[5]、水野 亮[6]
*Hideharu Akiyoshi[1], Masanao Kadowaki[2], Haruna Nakamura[3], Takafumi Sugita[1], Toshihiko Hirooka[4], Yayoi Harada[5], Akira Mizuno[6]

1. 国立環境研究所、2. 日本原子力研究開発機構、3. 富士通エフ・アイ・ピー、4. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、5. 気象研究所、6. 名古屋大学宇宙地球環境研究所
1. National Institute for Environmental Studies, 2. Japan Atomic Energy Agency, 3. Fujitsu FIP Corporation, 4. Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, 5. Meteorological Research Institute, 6. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

2009年11月に南米南端部において、約3週間にわたるオゾン量の低下が続いた。南米では初夏にあたり、紫外線への影響が懸念された。この現象は、9月～10月にかけて最盛期を迎えるオゾンホールの場となっている南極渦が、季節の進行に伴って11月になって不安定になり、南米方面へ変形・移動し、南米上空にとどまりながら崩壊を始めたことが原因である。では、どのようなメカニズムによってこの南極渦の南米方面への変形・移動が起こったのであろうか？また、同様な現象は過去にも起こっていたのであろうか？この２つの疑問を明らかにするため、1979年～2015年の37年間のERA-Interim再解析データおよびOMIオゾン全量データの解析を行った。成層圏で極渦の崩壊が起こり始める、あるいは崩壊直前となる場合が多い11月の、500hPaジオポテンシャルハイトについてブロッキングパターンの診断を行ったところ、ブロッキングパターンが生じた時に対流圏から成層圏への波動伝搬が強化され、それに伴いブロッキングが起こった領域の東の成層圏に南極渦が伸張あるいは移動し、南極周辺の中高緯度域のオゾン量を低下させる場合が多いことがわかった。また、11月におけるブロッキングパターンの出現と南極渦の大規模な伸張・移動との同様な関係は、2009年の他にも5回程度あり、そのうち3回（1994年、1997年、2011年）は南米付近で見られた。しかしながらこれらの年のオゾン量低下の持続期間は2009年ほど長くはなかった。以上の結果から、11月のブロッキングパターンの診断を行うことで、南極渦が崩壊するときの移動・変形の方向（経度）をある程度予想できることが示唆され、それはオゾンホール空気塊のその地域への襲来とそれによってもたらされる紫外線増加の予測に役立つ。対流圏の気象場を診断することで、現在南米で行われている紫外線予測の精度を上げることができるかもしれない。

本研究は地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）「南米における大気環境リスク管理システムの開発」（2012～2017年度、代表：水野亮　名古屋大学）によって行われた。

キーワード：オゾンホール、南米、極渦、ブロッキング、2009年11月、ERA-Interim 再解析データ
Keywords: ozone hole, South America, polar vortex, blocking, November 2009, ERA-Interim reanalysis data

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Analysis of relatively low ozone in Arctic spring during the QBO-westerly and solar-minimum years

*山下 陽介[1,2]、秋吉 英治[2]、高橋 正明[2]
*Yousuke Yamashita[1,2], Hideharu Akiyoshi[2], Masaaki Takahashi[2]

1. 海洋研究開発機構、2. 国立環境研究所
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Institute for Environmental Studies

The equatorial quasi-biennial oscillation (QBO) and the 11-year solar cycle are known to cause year-to-year variability of the Northern Hemisphere (NH) polar vortex (e.g. Holton and Tan, 1980; Labitzke, 1987). Labitzke (1987) and several studies following her work have been used the four categories of the QBO and 11-year solar cycle, according to the westerly/easterly phase of the QBO (QBO-W/QBO-E) and the maximum/minimum phase of the 11-year solar cycle ($S_{max}$/ $S_{min}$). Camp and Tung (2007) suggested that the NH polar vortex is the most stable and the least perturbed state in late winter during the QBO-W/$S_{min}$ years relative to the other three groups (QBO-W/$S_{max}$, QBO-E/$S_{max}$, and QBO-E/$S_{min}$), in agreement with the work of Labitzke and van Loon (1988). Their findings are in agreement with the smallest magnitude of the Arctic total ozone in QBO-W/$S_{min}$ years among the four categories (Li and Tung 2014), because the ozone depletion is enhanced in the stable and cold polar vortex associated with an increase in chemical destruction through heterogeneous reactions on the Polar Stratospheric Clouds (PSCs). Since the Arctic ozone amount is related to the ozone transport as well as the chemical ozone destruction, the estimation of their influences is still challenging issue for understanding the small amount of the Arctic total ozone in March.

In this study, we analyze the Arctic ozone amount using TOMS/OMI observations, ERA-interim reanalysis data, and the outputs of a chemistry climate model (CCM) with REF-C1SD hindcast simulation, in which the model’s zonal/meridional wind and temperature are nudged toward those of the ERA-interim reanalysis data with a 6-hour interval. The anomaly from the average for all the years of 1979–2011 in the Arctic total ozone amount is calculated for QBO-W/$S_{min}$ group in late winter. We estimate the amounts of ozone transport and chemical ozone destruction and their effects on the derived Arctic ozone anomaly for the QBO-W/$S_{min}$ group with CCM outputs.

Result of the composite mean for QBO-W/$S_{min}$ years shows negative anomaly (relatively small amount) of total ozone in February–March compared to the 1979–2011 average from the CCM output, in agreement with the satellite observation, reanalysis data. To distinguish the effect of chemical ozone destruction from that of ozone transport for the total ozone anomaly in February–March, we analyze the total ozone anomaly of the passive ozone tracer without any chemical change in the CCM. The negative anomalies of the passive ozone tracer have a similar distribution to that of chemically reactive ozone with similar magnitude, suggesting that the negative anomalies of total ozone are mainly caused by ozone transport.

The outputs of CCM are also analyzed for vertical profile of ozone concentration, which indicates negative anomaly of the Arctic ozone in the upper troposphere and the lower stratosphere for the QBO-W/$S_{min}$ condition, the maximum anomaly of ozone partial column is located around 50–70 hPa. The partial column of the passive ozone tracer at these levels also shows negative anomalies, whilst their magnitudes are small, especially at 50 hPa in March. These results suggest the significant influence of ozone transport on the negative ozone anomaly in February–March, whilst the influence of chemistry is partially large at 50 hPa in March.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：成層圏オゾン、北極渦、化学気候モデル
Keywords: stratospheric ozone, Northern Hemisphere polar vortex, chemistry climate mode

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 多成分衛星データ同化から得られた上部対流圏・下部成層圏オゾンの評価
# Evaluation of ozone in the upper troposphere and lower stratosphere derived from multi-species satellite data assimilation

*関谷 高志[1]、宮崎 和幸[2,1]、大越智 幸司[1]、須藤 健悟[3,1]、滝川 雅之[1]
*Takashi Sekiya[1], Kazuyuki Miyazaki[2,1], Koji Ogochi[1], Kengo Sudo[3,1], Masayuki Takigawa[1]

1. 国立研究開発法人　海洋研究開発機構、2. NASAジェット推進研究所／カリフォルニア工科大学、3. 名古屋大学　大学院環境学研究科
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Jet Propulsion Laboratory/California Institute for Technology, 3. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Ozone ($O_3$) in the upper troposphere and lower stratosphere (UTLS) has a stronger greenhouse effect than in the lower troposphere. However, information on $O_3$ in the UTLS from observations with the global coverage is still limited. Multi-species satellite data assimilation of stratospheric $O_3$, and tropospheric $O_3$ and its precursors is expected to provide better constraints on $O_3$ in the UTLS, because $O_3$ in the UTLS is controlled by stratospheric $O_3$ intrusions, $O_3$ transport from middle and lower troposphere, and in-situ $O_3$ chemical production. In this study, we evaluate $O_3$ in the UTLS derived from the multi-species data assimilation with horizontal resolutions of 2.8, 1.1, and 0.56 degree using ozonesonde observations (not used for data assimilation) in April 2008. Assimilated data were obtained from the OMI, GOME-2, and SCIAMACHY for tropospheric $NO_2$ column, the TES for $O_3$ profile, the MOPITT for total CO column, the MLS for $O_3$ and $HNO_3$ profiles, and the OMI for total $SO_2$ column. At 200 hPa, 300 hPa, and 500 hPa, the data assimilation at 0.56-degree resolution reduced root mean square errors (RMSEs) against ozonesonde observations in the northern midlatitudes by 32%, 31%, and 13%, respectively, compared to the model simulation without data assimilation. The overall data assimilation performance for $O_3$ concentrations is not sensitive to horizontal resolution in the altitudes between 200 hPa and 500 hPa (i.e., the RMSEs were within 7% at all resolutions). Meanwhile, the data assimilation at 0.56-degree resolution improved agreements with ozonesonde observations at 300 hPa by up to 55% compared to 1.1- and 2.8-degree resolutions during a deep stratospheric intrusion episode at Trinidad Head (124˚W, 41˚N) through resolving small-scale transport processes. These results confirm that $O_3$ analyses derived from multi-species data assimilation are suitable for understanding spatial and temporal variations in $O_3$ in the UTLS and their controlling processes.

キーワード：衛星データ同化、オゾン、大気化学
Keywords: Satellite data assimilation, Ozone, Atmospheric chemistry

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 成層圏突然昇温期における気象庁全球アンサンブル予報システムの初期摂動特性

# Characteristics of Initial Perturbation of JMA GEPS during Sudden Stratospheric Warmings

*野口 峻佑[1,2]
*Shunsuke Noguchi[1,2]

1. 国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2. 気象庁 気象研究所
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Meteorological Research institute, Japan Meteorological Agency

In order to sophisticate the ensemble forecasting and data assimilation system of the whole atmosphere, it is necessary to accumulate the knowledge about the uncertainty of the analysis in the stratosphere and mesosphere, which is poor in comparison with that in the troposphere. Therefore, this study investigates characteristics of initial perturbation of the Japan Meteorological Agency (JMA) Global Ensemble Prediction System (GEPS), which has been replaced in March 2017.

By focusing on two Sudden Stratospheric Warming (SSW) events occurred in 2017-2018 and 2018-2019 winters, several aspects of the new JMA GEPS are revealed as follows: (1) There is large uncertainty above the upper stratosphere (which has not been reflected in the previous system). (2) The analysis ensemble spread increases and penetrates downward from the upper stratosphere during the onset period of both SSW events, though its precursory nature is not so evident as pointed by previous studies (e.g. Enomoto et al. 2010). (3) After SSW events, the analysis ensemble spread in the middle and upper stratosphere shrinks in association with the change of dominant physical processes. However, relatively large spreads, which may have implications for the stratosphere-troposphere coupling, are sometimes found in the lower stratosphere.

The quality of forecasts and analyses above the upper stratosphere would be inevitable from the artificial effect of sponge layers near the model top. Therefore, it is worth comparing or communicating with results of some high-top system to validate the appropriateness of above-mentioned aspects (e.g. (1)) and recognize limitations of current operational settings.

キーワード：成層圏突然昇温、アンサンブル予報システム
Keywords: Sudden Stratospheric Warming, Ensemble Prediction System

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-OS 海洋科学・海洋環境

2019年5月29日(水) 10:45 ~ 12:15 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_5

## [A-OS14] 沿岸域における混合，渦，内部波に関わる諸現象

コンビーナ:増永 英治(Ibaraki University)、永井 平(東京大学理学系研究科)、堤 英輔(東京大学大気海洋研究所)

近年の観測や数値計算技術を用いた研究により沿岸海域における諸現象の詳細が明らかとなりつつある．これらの沿岸海域で発生する現象は，地球規模の海洋・大気循環や生態系にとって非常に重要であると考えられている．本セッションは沿岸・縁辺海域，河口域や湖沼における混合，渦，非線形内部波等の研究発表を集め議論を行う．その他，沿岸海域の物理現象と大スケールの外洋における黒潮や海洋循環を関連づける研究発表も本セッションの議論の対象とする．

### [AOS14-P01] 鉛直混合と観測手法・システム開発と広域観測(OMIX-A01-1)

*安田 一郎[1]、李 根淙[1]、藤尾 伸三[1]、柳本 大吾[1]、長澤 真樹[1]、川口 悠介[1]、岡 英太郎[1]、翟 燦[1]、木村 詩乃[1]、井上 龍一郎[2]、長谷川 大介[3]、田中 雄大[3]、石井 雅男[4]、中野 俊也[4]、後藤 恭敬[4] (1.東京大学大気海洋研究所、2.海洋研究開発機構、3.水産研究教育機構、4.気象庁)

### [AOS14-P02] Observation of enhanced nonlinear interactions after the passage of typhoon in the western South China Sea

*gui ying Chen、chang rong Liang、xiao dong Shang

### [AOS14-P03] Investigating vertical mixing in estuarine pycnocline: a case study in the Ariake Sea, Japan

*Takeshi Matsuno[1]、Eisuke Tsutsumi[1] (1.Kyushu University)

### [AOS14-P04] 富山トラフ周辺における対馬暖流沿岸・沖合分枝の相互作用の可能性

*Igeta Yosuke[1]、Yankovsky Alexander [2]、Kuga Mizuki [1]、Hirose Naoki[3]、Fukudome Kenichi[4] (1.Japan Sea National Fishseries Research Institute、2.University of South Carolina、3.RIAM Kyushu Univ.、4.National Institute of Technology, Toyama College)

# 鉛直混合と観測手法・システム開発と広域観測(OMIX-A01-1)
# Development of methods and systems for vertical mixing and observations (OMIX-A01-1)

*安田 一郎[1]、李 根淙[1]、藤尾 伸三[1]、柳本 大吾[1]、長澤 真樹[1]、川口 悠介[1]、岡 英太郎[1]、翟 燦[1]、木村 詩乃[1]、井上 龍一郎[2]、長谷川 大介[3]、田中 雄大[3]、石井 雅男[4]、中野 俊也[4]、後藤 恭敬[4]
*Ichiro Yasuda[1], Koenjong Lee[1], Shinzo Fujio[1], Daigo Yanagimoto[1], Maki Nagasawa[1], Yusuke Kawaguchi[1], Eitarou Oka[1], Shuo Zhai[1], Shino Kimura[1], Ryuichiro Inoue[2], Daisuke Hasegawa[3], Takahiro Tanaka[3], Masao Ishii[4], Toshiya Nakano[4], Yasutaka Goto[4]

1. 東京大学大気海洋研究所、2. 海洋研究開発機構、3. 水産研究教育機構、4. 気象庁
1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Japan Agency of Marine-Earth Science and Technology, 3. Fisheries Research Agency, 4. Japan Meteorological Agency

In order to know the distribution of vertical mixing and generating mechanisms in the western North Pacific and to elucidate the influence on ocean circulations, this team developed/introduced/made practical following three observational systems that are capable to concurrently observe turbulence with vertical mm-scales and currents with 10m-scale which can be resolved by numerical models, and perform in-situ observations. 1) Developed turbulence estimate method with fast response thermistors attached to CTD platform, and obtained numerous microstructure data down to deep/intermediate depths or bottom by use of Japan Meteorological Agency, JAMSTEC and fisheries-related CTD observational array. 2) Developed autonomous observation system of underwater gliders with turbulence sensors and ADCP. 3) Developed long-term time series observation system with autonomous floats or moorings with turbulence sensors or current sensors. These new observing systems were or being tested in the real oceans. This team conducted cruises of R/V Hakuho-maru KH-16-3, KH-16-7, KH-17-5 and R/V Shinsei-maru KS-15-5, KS-16-10, KS-19-6, and microstructure and mooring observations in the Multanovskiiy 2018 cruise. This poster presentation reports this team activity and some results.

キーワード：乱流、海洋混合、観測システム
Keywords: Turbulence, Ocean Mixing, Observation system

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Observation of enhanced nonlinear interactions after the passage of typhoon in the western South China Sea

*gui ying Chen, chang rong Liang, xiao dong Shang

Typhoon Chanchu passed the subsurface mooring in the western South China Sea (SCS) in June 2004 and the effects of typhoon on the internal wave field and nonlinear interactions were examined. The internal wave field was characterized by diurnal ($D_1$) and semidiurnal ($D_2$) tides before typhoon. After the passage of typhoon, the internal wave field was characterized not only by diurnal and semidiurnal tides but also by near-inertial ($f$) waves, higher harmonic ($fD_2=f+D_2$ and $D_3=D_1+D_2$) frequency internal waves, and enhanced diurnal currents. Analysis on the rotary coefficient and bicoherence suggests that the observed $fD_2$ waves, $D_3$ waves, and enhanced diurnal currents were derived from nonlinear interactions of $f+D_2=fD_2$, $D_1+D_2=D_3$, and $f+f=2f$, respectively. Previous researches indicated that nonlinear interactions induced by typhoon mainly occur between near-inertial waves and internal tides ($f+D_1=fD_1$ or $f+D_2=fD_2$). Our observations first indicate that typhoon can also induce the self-interaction of near-inertial waves ( $f+f=2f$) and enhance the nonlinear interaction between diurnal tides and semidiurnal tides ($D_1+D_2=D_3$). Critical diurnal latitudes (where $2f\approx D_1$) play an important role in the occurrence of these nonlinear interactions. Typhoon-induced near-inertial waves undergo self-interaction ($f+f=2f$) near the critical diurnal latitudes and transfer energy to diurnal waves. Enhanced diurnal waves further contribute to the nonlinear interaction of $D_1+D_2=D_3$. These nonlinear processes might promote the energy cascade of the typhoon-induced near-inertial waves near the critical diurnal latitudes and play an important role in ocean mixing.

Keywords: typhoon, nonlinear interaction, internal wave, near-inertial wave

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Investigating vertical mixing in estuarine pycnocline: a case study in the Ariake Sea, Japan

*Takeshi Matsuno[1], Eisuke Tsutsumi[1]

1. Kyushu University

Turbulent mixing controls coastal environment and primary production through transportation of heat, freshwater, and various materials. Vertical mixing in pycnocline plays a key role in occurrence of major environmental problems in semi-enclosed seas and estuaries, such as bottom hypoxia and red tides, although it is not fully understood. For better understanding and prediction of coastal mixing processes, we investigate pycnocline mixing in a tidally-energetic shallow (~20 m) estuary, the Ariake Sea, Japan, where stratification is maintained almost throughout a year by large amounts of freshwater inputs from major rivers. We collected more than 5,000 microstructure turbulence profiles (~530-hour measurements) in several stations in the central area of the sea during 24-cruises conducted in various seasons over 2002-2012, and examined Turbulent kinetic energy (TKE) dissipation rate in the shear- and buoyancy-frequency space. TKE dissipation rates in pycnocline exhibited a broad variability, $O(10^{-9})$ - $O(10^{-5})$ W $kg^{-1}$ , while most of them fell into a range where the gradient Richardson number is larger than a critical value, i.e., $Ri_g > 1/4$. In stratified seasons, we frequently observed high-vertical wavenumber internal tides in the pycnocline around the microstructure stations from separately-conducted mooring observations using acoustic Doppler current profilers. The large variability in the mixing around pycnocline is therefore likely to be originated from internal wave breaking and shear instability. We found an ordered structure of mean dissipation rate where it correlates positively with vertical shear, which gives a clue to improving a “background” vertical diffusion parameterization in numerical ocean models.

Keywords: turbulent mixing, stratification, vertical shear, parameterization

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 富山トラフ周辺における対馬暖流沿岸・沖合分枝の相互作用の可能性
# Possibility of interactions between the coastal and offshore branch of Tsushima Warm Current over the submarine canyon in the Sea of Japan.

*Igeta Yosuke[1]、Yankovsky Alexander [2]、Kuga Mizuki [1]、Hirose Naoki[3]、Fukudome Kenichi[4]
*Yosuke Igeta[1], Alexander Yankovsky [2], Mizuki Kuga[1], Naoki Hirose[3], Kenichi Fukudome[4]

1. Japan Sea National Fishseries Research Institute、2. University of South Carolina、3. RIAM Kyushu Univ.、4. National Institute of Technology, Toyama College
1. Japan Sea National Fishseries Research Institute, 2. University of South Carolina, 3. RIAM Kyushu Univ., 4. National Institute of Technology, Toyama College

Tsushima warm current (TWC) is known to flow northeastward over continental shelf off the northern coast of Japan. Coastal branch of TWC (CBTWC) is fundamentally current trapped by the coastline, whereas offshore branch of TWC (OBTWC) are interpreted as current steered by continental slope. The coastal line and continental shelf have alongshore discontinuity around the Toyama Trough (TT) which is a submarine canyon cutting across the continental shelf off the downstream side of the Noto Peninsula (NP) and almost reaching the coastline. The CBTWC is observed to change its path from coastal mode to offshore mode when encountering the TT (Igeta et al., 2017). This process results in transformation from the barotropic coastal current into baroclinic jet detached from the coast over the TT. On the other hand, the details of the OBTWC current path change are not well understood, as well as interaction between the CBTWC and OBTWC.
To clarify these, we analyzed re-analysis current data calculated by DR_C (Hirose et al., 2017) that is high resolution nested ocean model. Current paths of CBTWC around the TT were extracted by using current data from 2005 to 2014. The results showed that complete and incomplete current path transition of the CBTWC from coastal mode to offshore mode in 2013 and 2014, respectively. The OBTWC-like current was explicitly confirmed over continental slope just off the current path of the CBTWC over continental shelf around the northern off the NP in 2013, however such current was not able to be found out in 2014. These results suggest that interaction between the CBTWC and the OBTWC makes current path transition of the CBTWC fast.
To interpret these simply, we demonstrated numerical experiment using 2-layered ocean model with simplified continental shelf, continental slope and submarine canyon. Barotropic current trapped by continental slope, modeling the OBTWC, was applied from the upstream boundary. The OBTWC changed its current path from coast to offshore almost in the same manner as the CBTWC over the TT. The detached current over the submarine canyon was re-arrested by the continental slope on the opposite side of the submarine canyon. The OBTWC continued to take its current path in the offshore region after reaching steady state. Once the OBTWC has reached a steady state, the CBTWC was specified at the upstream boundary. The CBTWC flowed along the coast despite the existence of the OBTWC bridging over the TT. Although the CBTWC and OBTWC merged around the northern coast of the NP, they seemed to behave independently. Time scale of the CBTWC current path transition, however, was shorten in the presence of the OBTWC. This indicates the OBTWC let the current path transition of the CBTWC accelerate through vorticity generated around the upstream boundary of the TT. It is considered that vorticity supplied from the OBTWC accelerate eddy growth by the CBTWC that results in current path transition.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：対馬暖流、流路遷移、流れ一流れ相互作用、地形成渦、数値実験
Keywords: Tushima Warm current, current path transition, current-current interaction, topographic eddy, numerucal experiment

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-OS 海洋科学・海洋環境

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_13

## [A-OS14] 沿岸域における混合，渦，内部波に関わる諸現象

コンビーナ:増永 英治(Ibaraki University)、永井 平(東京大学理学系研究科)、堤 英輔(東京大学大気海洋研究所)

近年の観測や数値計算技術を用いた研究により沿岸海域における諸現象の詳細が明らかとなりつつある．これらの沿岸海域で発生する現象は，地球規模の海洋・大気循環や生態系にとって非常に重要であると考えられている．本セッションは沿岸・縁辺海域，河口域や湖沼における混合，渦，非線形内部波等の研究発表を集め議論を行う．その他，沿岸海域の物理現象と大スケールの外洋における黒潮や海洋循環を関連づける研究発表も本セッションの議論の対象とする．

### [AOS14-P01] 鉛直混合と観測手法・システム開発と広域観測(OMIX-A01-1)

*安田 一郎[1]、李 根淙[1]、藤尾 伸三[1]、柳本 大吾[1]、長澤 真樹[1]、川口 悠介[1]、岡 英太郎[1]、翟 燦[1]、木村 詩乃[1]、井上 龍一郎[2]、長谷川 大介[3]、田中 雄大[3]、石井 雅男[4]、中野 俊也[4]、後藤 恭敬[4] (1.東京大学大気海洋研究所、2.海洋研究開発機構、3.水産研究教育機構、4.気象庁)

### [AOS14-P02] Observation of enhanced nonlinear interactions after the passage of typhoon in the western South China Sea

*gui ying Chen、chang rong Liang、xiao dong Shang

### [AOS14-P03] Investigating vertical mixing in estuarine pycnocline: a case study in the Ariake Sea, Japan

*Takeshi Matsuno[1]、Eisuke Tsutsumi[1] (1.Kyushu University)

### [AOS14-P04] 富山トラフ周辺における対馬暖流沿岸・沖合分枝の相互作用の可能性

*Igeta Yosuke[1]、Yankovsky Alexander [2]、Kuga Mizuki [1]、Hirose Naoki[3]、Fukudome Kenichi[4] (1.Japan Sea National Fishseries Research Institute、2.University of South Carolina、3.RIAM Kyushu Univ.、4.National Institute of Technology, Toyama College)

# 鉛直混合と観測手法・システム開発と広域観測(OMIX-A01-1)
# Development of methods and systems for vertical mixing and observations (OMIX-A01-1)

*安田 一郎[1]、李 根淙[1]、藤尾 伸三[1]、柳本 大吾[1]、長澤 真樹[1]、川口 悠介[1]、岡 英太郎[1]、翟 燦[1]、木村 詩乃[1]、井上 龍一郎[2]、長谷川 大介[3]、田中 雄大[3]、石井 雅男[4]、中野 俊也[4]、後藤 恭敬[4]
*Ichiro Yasuda[1], Koenjong Lee[1], Shinzo Fujio[1], Daigo Yanagimoto[1], Maki Nagasawa[1], Yusuke Kawaguchi[1], Eitarou Oka[1], Shuo Zhai[1], Shino Kimura[1], Ryuichiro Inoue[2], Daisuke Hasegawa[3], Takahiro Tanaka[3], Masao Ishii[4], Toshiya Nakano[4], Yasutaka Goto[4]

1. 東京大学大気海洋研究所、2. 海洋研究開発機構、3. 水産研究教育機構、4. 気象庁
1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Japan Agency of Marine-Earth Science and Technology, 3. Fisheries Research Agency, 4. Japan Meteorological Agency

In order to know the distribution of vertical mixing and generating mechanisms in the western North Pacific and to elucidate the influence on ocean circulations, this team developed/introduced/made practical following three observational systems that are capable to concurrently observe turbulence with vertical mm-scales and currents with 10m-scale which can be resolved by numerical models, and perform in-situ observations. 1) Developed turbulence estimate method with fast response thermistors attached to CTD platform, and obtained numerous microstructure data down to deep/intermediate depths or bottom by use of Japan Meteorological Agency, JAMSTEC and fisheries-related CTD observational array. 2) Developed autonomous observation system of underwater gliders with turbulence sensors and ADCP. 3) Developed long-term time series observation system with autonomous floats or moorings with turbulence sensors or current sensors. These new observing systems were or being tested in the real oceans. This team conducted cruises of R/V Hakuho-maru KH-16-3, KH-16-7, KH-17-5 and R/V Shinsei-maru KS-15-5, KS-16-10, KS-19-6, and microstructure and mooring observations in the Multanovskiiy 2018 cruise. This poster presentation reports this team activity and some results.

キーワード：乱流、海洋混合、観測システム
Keywords: Turbulence, Ocean Mixing, Observation system

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Observation of enhanced nonlinear interactions after the passage of typhoon in the western South China Sea

*gui ying Chen, chang rong Liang, xiao dong Shang

Typhoon Chanchu passed the subsurface mooring in the western South China Sea (SCS) in June 2004 and the effects of typhoon on the internal wave field and nonlinear interactions were examined. The internal wave field was characterized by diurnal ($D_1$) and semidiurnal ($D_2$) tides before typhoon. After the passage of typhoon, the internal wave field was characterized not only by diurnal and semidiurnal tides but also by near-inertial ($f$) waves, higher harmonic ($fD_2=f+D_2$ and $D_3=D_1+D_2$) frequency internal waves, and enhanced diurnal currents. Analysis on the rotary coefficient and bicoherence suggests that the observed $fD_2$ waves, $D_3$ waves, and enhanced diurnal currents were derived from nonlinear interactions of $f+D_2=fD_2$, $D_1+D_2=D_3$, and $f+f=2f$, respectively. Previous researches indicated that nonlinear interactions induced by typhoon mainly occur between near-inertial waves and internal tides ($f+D_1=fD_1$ or $f+D_2=fD_2$). Our observations first indicate that typhoon can also induce the self-interaction of near-inertial waves ( $f+f=2f$) and enhance the nonlinear interaction between diurnal tides and semidiurnal tides ($D_1+D_2=D_3$). Critical diurnal latitudes (where $2f\approx D_1$) play an important role in the occurrence of these nonlinear interactions. Typhoon-induced near-inertial waves undergo self-interaction ($f+f=2f$) near the critical diurnal latitudes and transfer energy to diurnal waves. Enhanced diurnal waves further contribute to the nonlinear interaction of $D_1+D_2=D_3$. These nonlinear processes might promote the energy cascade of the typhoon-induced near-inertial waves near the critical diurnal latitudes and play an important role in ocean mixing.

Keywords: typhoon, nonlinear interaction, internal wave, near-inertial wave

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Investigating vertical mixing in estuarine pycnocline: a case study in the Ariake Sea, Japan

*Takeshi Matsuno[1], Eisuke Tsutsumi[1]

1. Kyushu University

Turbulent mixing controls coastal environment and primary production through transportation of heat, freshwater, and various materials. Vertical mixing in pycnocline plays a key role in occurrence of major environmental problems in semi-enclosed seas and estuaries, such as bottom hypoxia and red tides, although it is not fully understood. For better understanding and prediction of coastal mixing processes, we investigate pycnocline mixing in a tidally-energetic shallow (~20 m) estuary, the Ariake Sea, Japan, where stratification is maintained almost throughout a year by large amounts of freshwater inputs from major rivers. We collected more than 5,000 microstructure turbulence profiles (~530-hour measurements) in several stations in the central area of the sea during 24-cruises conducted in various seasons over 2002-2012, and examined Turbulent kinetic energy (TKE) dissipation rate in the shear- and buoyancy-frequency space. TKE dissipation rates in pycnocline exhibited a broad variability, $O(10^{-9})$ - $O(10^{-5})$ W $kg^{-1}$ , while most of them fell into a range where the gradient Richardson number is larger than a critical value, i.e., $Ri_g > 1/4$. In stratified seasons, we frequently observed high-vertical wavenumber internal tides in the pycnocline around the microstructure stations from separately-conducted mooring observations using acoustic Doppler current profilers. The large variability in the mixing around pycnocline is therefore likely to be originated from internal wave breaking and shear instability. We found an ordered structure of mean dissipation rate where it correlates positively with vertical shear, which gives a clue to improving a “background” vertical diffusion parameterization in numerical ocean models.

Keywords: turbulent mixing, stratification, vertical shear, parameterization

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 富山トラフ周辺における対馬暖流沿岸・沖合分枝の相互作用の可能性
# Possibility of interactions between the coastal and offshore branch of Tsushima Warm Current over the submarine canyon in the Sea of Japan.

*Igeta Yosuke[1]、Yankovsky Alexander [2]、Kuga Mizuki [1]、Hirose Naoki[3]、Fukudome Kenichi[4]
*Yosuke Igeta[1], Alexander Yankovsky [2], Mizuki Kuga[1], Naoki Hirose[3], Kenichi Fukudome[4]

1. Japan Sea National Fishseries Research Institute、2. University of South Carolina、3. RIAM Kyushu Univ.、4. National Institute of Technology, Toyama College
1. Japan Sea National Fishseries Research Institute, 2. University of South Carolina, 3. RIAM Kyushu Univ., 4. National Institute of Technology, Toyama College

Tsushima warm current (TWC) is known to flow northeastward over continental shelf off the northern coast of Japan. Coastal branch of TWC (CBTWC) is fundamentally current trapped by the coastline, whereas offshore branch of TWC (OBTWC) are interpreted as current steered by continental slope. The coastal line and continental shelf have alongshore discontinuity around the Toyama Trough (TT) which is a submarine canyon cutting across the continental shelf off the downstream side of the Noto Peninsula (NP) and almost reaching the coastline. The CBTWC is observed to change its path from coastal mode to offshore mode when encountering the TT (Igeta et al., 2017). This process results in transformation from the barotropic coastal current into baroclinic jet detached from the coast over the TT. On the other hand, the details of the OBTWC current path change are not well understood, as well as interaction between the CBTWC and OBTWC.
To clarify these, we analyzed re-analysis current data calculated by DR_C (Hirose et al., 2017) that is high resolution nested ocean model. Current paths of CBTWC around the TT were extracted by using current data from 2005 to 2014. The results showed that complete and incomplete current path transition of the CBTWC from coastal mode to offshore mode in 2013 and 2014, respectively. The OBTWC-like current was explicitly confirmed over continental slope just off the current path of the CBTWC over continental shelf around the northern off the NP in 2013, however such current was not able to be found out in 2014. These results suggest that interaction between the CBTWC and the OBTWC makes current path transition of the CBTWC fast.
To interpret these simply, we demonstrated numerical experiment using 2-layered ocean model with simplified continental shelf, continental slope and submarine canyon. Barotropic current trapped by continental slope, modeling the OBTWC, was applied from the upstream boundary. The OBTWC changed its current path from coast to offshore almost in the same manner as the CBTWC over the TT. The detached current over the submarine canyon was re-arrested by the continental slope on the opposite side of the submarine canyon. The OBTWC continued to take its current path in the offshore region after reaching steady state. Once the OBTWC has reached a steady state, the CBTWC was specified at the upstream boundary. The CBTWC flowed along the coast despite the existence of the OBTWC bridging over the TT. Although the CBTWC and OBTWC merged around the northern coast of the NP, they seemed to behave independently. Time scale of the CBTWC current path transition, however, was shorten in the presence of the OBTWC. This indicates the OBTWC let the current path transition of the CBTWC accelerate through vorticity generated around the upstream boundary of the TT. It is considered that vorticity supplied from the OBTWC accelerate eddy growth by the CBTWC that results in current path transition.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：対馬暖流、流路遷移、流れ一流れ相互作用、地形成渦、数値実験
Keywords: Tushima Warm current, current path transition, current-current interaction, topographic eddy, numerucal experiment

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-CC 雪氷学・寒冷環境

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_9

## [A-CC27] 雪氷学

コンビーナ:縫村 崇行(東京電機大学)、石川 守(北海道大学)、舘山 一孝(国立大学法人　北見工業大学)、永井 裕人(早稲田大学　教育学部)

雪氷圏は地球の基本的構成要素である。氷河・氷床、積雪・降雪、凍土、海氷、淡水氷など、水が雪や氷として存在する環境であり、大気や海洋、生態系などと相互作用しながら地球環境に重要な役割を担っている。本セッションでは、雪や氷に関する物理・化学的特性や、雪氷圏の変動・ダイナミックス、地球における役割、また惑星における雪氷を含め、研究手法を問わず、研究成果を広範に扱うことを目的とする。

[ACC27-P01] Recent surface changes of rock glaciers in Tien Shan Mountains

*高玉 秀之[1]、奈良間 千之[2]、山之口 勤[3]、田殿 武雄[4] (1.新潟大学大学院自然科学研究科、2.新潟大学理学部理学科、3.リモート・センシング技術センター、4.宇宙航空研究開発機構)

[ACC27-P02] **Verification of AMSR-2 sea ice concentration and utilization of ship navigation in the Arctic Ocean**

*小野 温[1] (1.宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター)

[ACC27-P03] **飛騨山脈・唐松沢雪渓の氷厚と流動**

*有江 賢志朗[1]、奈良間 千之[2]、福井 幸太郎[3]、飯田 肇[3] (1.新潟大学大学院自然科学研究科　、2.新潟大学理学部理学科フィールド科学人材育成プログラム、3.立山カルデラ砂防博物館)

[ACC27-P04] **Meltwater discharge from Wilkes Basin, East Antarctica at around 4.2 ka revealed from Beryllium-10 analysis of marine sediments**

*Bethany Behrens[1,2]、Yosuke Miyairi[1]、Adam Sproson[1]、Masako Yamane[3]、Yusuke Yokoyama[1,2,4,5] (1.Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8564, Japan、2.Graduate Program on Environmental Science, University of Tokyo, Komaba, Meguro, Tokyo 153-0041, Japan、3.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Furocho, Chikusa, Nagoya, Aichi, 464-8601, Japan、4.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Natsushimacho, Yokosuka, Kanagawa Prefecture 237-0061, Japan、5.Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo, Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-8654, Japan)

[ACC27-P05] **南イニルチェック氷河における氷河上湖の日変動特性**

*櫻井 尚輝[1]、奈良間 千之[2]、井上 公[3]、エセナマノブ モハメド[4]、ザルベク ウセコブ[4] (1.新潟大学、2.新潟大学理学科 、3.国立研究開発法人防災科学技術研究所、4.中央アジア応用地球科学研究所)

[ACC27-P06] Historical development of Spillway Lake on Ngozompa Glacier, Nepal

*Mohan Bahadur Chand[1]、Teiji Watanabe[2]、Yusuki Kobayashi[1] (1.Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University、2.Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University)

[ACC27-P07] Feature analysis of the spectral of snow, ice, and water in Lake Suwa using MODIS data

*中澤 友宏[1]、野中 崇志[2]、岩下 圭之[2] (1.日本大学大学院　生産工学研究科　土木工学専攻、2.日本大学　生産工学部　環境安全工学科)

# Recent surface changes of rock glaciers in Tien Shan Mountains

*高玉 秀之[1]、奈良間 千之[2]、山之口 勤[3]、田殿 武雄[4]
*Hideyuki Takadama[1], Narama Chiyuki[2], Tsutomu Yamanokuchi[3], Takeo Tadono[4]

1. 新潟大学大学院自然科学研究科、2. 新潟大学理学部理学科、3. リモート・センシング技術センター、4. 宇宙航空研究開発機構
1. Graduate school of Science and Technology, Niigata university, 2. Department of Science, Niigata University , 3. RESTEC, 4. JAXA

The rock glacier which composed of ice (permafrost) and debris is one of topographies to confirm periglacial area. It normally moves down at about 0.1-1m/yr by ice creeping, but the velocity of rock glacier in the study area is more faster than any other mountain regions. It has come to understand that the rock glacier is significantly accelerated in the Alps recently, and it is attributed to increasing temperature. But as for the rock glacier in the Tien Shan, it does not have sufficient data to know how fast it moves in the present and past. In this study, we tried to investigate the surface changes of rock glaciers in the Tien Shan Mountains at various time interval using DInSAR analysis. In addition, we observed the surface motion using GNSS measurement, and air and ground surface temperatures.

キーワード：岩石氷河、差分干渉SAR解析、天山山脈
Keywords: rock glacier, DInSAR, Tien Shan

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Verification of AMSR-2 sea ice concentration and utilization of ship navigation in the Arctic Ocean

*小野 温[1]
*Nodoka Ono[1]

1. 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター
1. Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency

Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (MOL) plans to transport LNG produced in Yamaru through the Arctic Ocean for 28 years from 2018 using the Northern Sea Route.

JAXA offers sea ice products (sea ice concentration, etc.) from the Advanced Microwave Scanning Radiometer-2 (AMSR-2) carried by the Global Change Observation Mission-Water (GCOM-W) via the ship navigation support service ‘VENUS’ developed by the National Institute of Polar Research and verifies the availability of AMSR2 products for ship navigation.

In addition, JAXA has installed interval cameras developed by Weathernews Inc. on the LNG ship, which enables the acquisition of sea ice information in the Arctic Ocean for long periods.

Based on these field data, sea ice concentrations are calculated using the image analysis system developed by Tanaka et al. (2015), which are then verified against products from the AMSR-2 and the MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) carried by Terra/Aqua satellite.

In this study, the result of verification are reported.

キーワード：衛星リモートセンシング、マイクロ波放射計、北極海航路
Keywords: satellite remote sensing, passive microwave, Northern Sea Route

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 飛騨山脈・唐松沢雪渓の氷厚と流動
# Ice thickness and flow of the perennial snow patch at Karamatsu-sawa in Hida mountain range

*有江 賢志朗[1]、奈良間 千之[2]、福井 幸太郎[3]、飯田 肇[3]
*Kenshiro Arie[1], Chiyuki Narama[2], Kotaro FUKUI[3], Hajime IIDA[3]

1. 新潟大学大学院自然科学研究科　、2. 新潟大学理学部理学科フィールド科学人材育成プログラム、3. 立山カルデラ砂防博物館
1. Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 2. Faculty of Science, Niigata University, 3. Tateyama Caldera Sabo Museum

福井・飯田（2012）と福井ほか（2018）は，近年の小型化かつ高性能化した観測機器を用いて，氷厚の実測と流動観測をおこない，飛騨山脈北部に分布する御前沢雪渓，内蔵助雪渓，三ノ窓雪渓，小窓雪渓，カクネ里雪渓の６つの多年性雪渓が現存氷河であることを明らかにした．北アルプス北部には，氷河調査がおこなわれていないが，氷河の可能性が高い雪崩涵養型の多年性雪渓がいくつか存在する．そこで，本研究では，７つ目の氷河の可能性が高い唐松沢雪渓の氷厚と流速をGPR観測とGNSS測量により測定し，唐松沢雪渓の氷河の可能性について検討した．その結果，唐松沢雪渓では約30ｍの氷厚と流動現象が確認できた．

キーワード：氷河、多年性雪渓、平衡線高度、GPR、GNSS
Keywords: glacier, perennial snow patch, equilibrium line altitude, GPR, GNSS

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Meltwater discharge from Wilkes Basin, East Antarctica at around 4.2 ka revealed from Beryllium-10 analysis of marine sediments

*Bethany Behrens[1,2], Yosuke Miyairi[1], Adam Sproson[1], Masako Yamane[3], Yusuke Yokoyama[1,2,4,5]

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8564, Japan, 2. Graduate Program on Environmental Science, University of Tokyo, Komaba, Meguro, Tokyo 153-0041, Japan, 3. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Furocho, Chikusa, Nagoya, Aichi, 464-8601, Japan, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Natsushimacho, Yokosuka, Kanagawa Prefecture 237-0061, Japan, 5. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo, Hongo, Bunkyō, Tokyo 113-8654, Japan

Understanding Antarctic ice sheet dynamics related to global climate change is of scientific and societal interest as the future behavior of the ice sheets under currently changing climate is unknown. We present beryllium-10 analysis of a high-resolution marine sediment core from Adélie Basin near the Wilkes Land ice sheet, which is susceptible to retreat due to the low-lying nature and down-sloping trough of the Wilkes Basin. Combined with a newly constructed age model using compound specific radiocarbon dates, the data reveal three ice sheet meltwater discharge events at ca. ~10 ka, ca. ~6.5 ka and ca. ~4 ka. The earlier events correspond to the disappearance of Northern Hemisphere ice sheets and interglacial level atmospheric $CO_2$. The timing of the latest meltwater influx complements the 4.2 ka event, a period of abrupt global climatic change and the beginning of the Meghalayan Age.

Keywords: Holocene, East Antarctica, Adelie Basin, 4.2 ka event, Beryllium-10

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 南イニルチェック氷河における氷河上湖の日変動特性

# Daily variation of supraglacial lakes in the southern Inylchek Glacier

*櫻井 尚輝[1]、奈良間 千之[2]、井上 公[3]、エセナマノブ モハメド[4]、ザルベク ウセコブ[4]
*Naoki Sakurai[1], Chiyuki Narama[2], Hiroshi Inoue[3], Muhammed Esenamanov[4], Zarylbek Usekov[4]

1. 新潟大学、2. 新潟大学理学科 、3. 国立研究開発法人防災科学技術研究所、4. 中央アジア応用地球科学研究所
1. Niigata University, 2. Niigata University Department of Science, 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 4. Central Asian Institute for Applied Geosciences

近年，アジアの山岳地域においてデブリ氷河末端からの大規模出水が報告されている．カラコルム山脈のグルキン氷河では，2008年5～7月にデブリ氷河の末端部から突発的かつ多量の出水が生じ，カラコルムハイウェイの通行止めや家屋流出の被害がでた(Richardson et al., 2009)．ブータン・ヒマラヤのチョゾ氷河では，2009年4月に出水が生じ，90km下流のプナカの町で混乱が生じた(Komori et al., 2012)．このようなデブリ氷河からの出水の事例では，巨大な氷河湖は確認されておらず，デブリ氷河の氷河上湖や氷河内部に発達した氷河内水路に溜まった水が突然出水したと考えられている．デブリ氷河に発達する氷河上湖については，その面積が季節変動すること(Benn et al., 2017；Narama et al., 2017)，氷河上湖の発達が氷河の表面傾斜や流動に関係すること(Reynolds.，2001; Liu et al., 2015; Miles et al., 2016)，氷河の質量収支の状態と関係すること(Benn et al., 2012)などが明らかになってきている．さらに，ネパール中央部のランタン谷のリルン氷河では，ドローンによる空撮画像の解析から，氷河内水路の立地も推定されている(Miles et al., 2017)．ここ数年間で氷河上湖の新知見が報告されているが，氷河上湖や氷河内水路の出水過程をLandsatなどの衛星画像から解析するには情報量が限られており，詳細な水の移動を解明するまでには至っていない．氷河上湖の出水に関連して引き起される被害を未然に防ぐためにも氷河上湖の理解は不可欠である．そこで本研究では，南イニルチェック氷河において，2017年と2018年のそれぞれ約１か月間，毎日実施したドローン空撮で取得されたデジタル画像とSfM技術により作成された20㎝解像度のオルソ画像とDSMから，氷河上湖の湖面の日変動を調べた．さらに，氷河上湖の発達と氷河内水路・氷河上水路の関係性についても検討した．

キーワード：氷河上湖、氷河湖出水、デブリ氷河、氷河内水路
Keywords: supragracial lake, drainage, debris-covered glacier , englacial channel

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Historical development of Spillway Lake on Ngozompa Glacier, Nepal

*Mohan Bahadur Chand[1], Teiji Watanabe[2], Yusuki Kobayashi[1]

1. Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

Continuous loss of glacier mass in the recent period resulted the growth of several moraine-dammed glacial lakes at the terminus of the glaciers in the Himalayan region. It increases the risk of glacier lake outburst floods with the increase in size and volume of lakes. The loss of glacier mass decreases the elevation of the glacier surface and leads to the formation of elevated moraine dam which increase the possibility for developing new glacial lakes. In this study, we document the historical development of the spillway lake on Ngozompa Glacier, Nepal using a combination of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photos, WorldView imageries (0.5 –2 m), and Landsat imageries. We used Landsat imageries from 1989-2018 to prepare the long-term development of the lakes. High-resolution WorldView images and UAV photos were used for accuracy assessment. We also processed the UAV photos to prepare the Digital Elevation Model to understand the possibility of future development of the lakes. We observed the three small supraglacial ponds (0.03 $km^2$) near the terminus of the glacier in 1989 and they have undergone rapid change in their area till 2018 (0.32 $km^2$), increased by more than ten times. Several supraglacial ponds are merging together to become a large lake and it will be likely to continue in the future. The further growth of the lake is dependent largely on the subaqueous melting and calving of glacier ice, and on undercutting action of lake water. Subaqueous melting of the glacier ice leads to increase of lake depth and volume of water. However, future development of the lake depends largely on the level of the outlet channel. Presence of glacier ice under the channel may continuously lower its level and drain the water from lake. Geophysical studies are needed to understand the condition of the outlet channel.

Keywords: Glacier, Himalaya, Glacial lake, Glacier lake outburst floods, Nepal, Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Feature analysis of the spectral of snow, ice, and water in Lake Suwa using MODIS data

*中澤 友宏[1]、野中 崇志[2]、岩下 圭之[2]
*Tomohiro Nakazawa[1], Takashi Nonaka[2], Keishi Iwashita[2]

1. 日本大学大学院　生産工学研究科　土木工学専攻、2. 日本大学　生産工学部　環境安全工学科
1. Department of Civil Engineering, College of Industrial Technology, Nihon University , 2. College of Industrial Technology, Nihon University

The freezing and breakup dates of the lake are important as an index of climate change. There is not enough record of freezing and breakup dates of the lakes in Japan though various publication reports are available in Europe and United States. Estimating freezing and breakup dates in Japanese lakes contributes to grasp the trend of climate change in Japan. Satellite data is expected to complement the dates of such lakes without in-situ observations.
Therefore, our study team has developed the methodology to classify the lake surface on Lake Suwa using optical satellite data. Currently, we tried to classify the lake surface into snow, ice, and water and estimate the temporal surface changes of the lake using the spectral reflectance data and the surface temperature acquired by MODIS on daily observed Terra satellite. However, we found the difficulty to distinguish thin ice and water by the difference of the surface reflectance.
The purpose of this study was to grasp the feature of reflectance of the Lake Suwa, and we used the surface reflectance data derived by MODIS in winter season mainly in 2014 and 2018. This study acquired the lake surface status referring to the newspaper articles.
From the analysis of the reflectance of each band, it showed that the variation of the reflectance between snow, ice, and water was different depending on the wavelength. The ice showed the relatively high reflectance on band 3 (visible blue) and 4 (visible green), while snow had high reflectance on band 1 (visible red) and 2 (near infrared). The water also showed the high reflectance on band 3 and 4, and classification between ice and water was difficult only by the reflectance data. This study also compared the observations derived by the spectral band values of Landsat-8, and confirmed the validity of the result.

キーワード：MODIS、諏訪湖、反射率、結氷状況
Keywords: MODIS, Lake Suwa, Reflectance, Freezing state

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-CC 雪氷学・寒冷環境

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_15

## [A-CC27] 雪氷学

コンビーナ:縫村 崇行(東京電機大学)、石川 守(北海道大学)、舘山 一孝(国立大学法人　北見工業大学)、永井 裕人(早稲田大学　教育学部)

雪氷圏は地球の基本的構成要素である。氷河・氷床、積雪・降雪、凍土、海氷、淡水氷など、水が雪や氷として存在する環境であり、大気や海洋、生態系などと相互作用しながら地球環境に重要な役割を担っている。本セッションでは、雪や氷に関する物理・化学的特性や、雪氷圏の変動・ダイナミックス、地球における役割、また惑星における雪氷を含め、研究手法を問わず、研究成果を広範に扱うことを目的とする。

[ACC27-P01] Recent surface changes of rock glaciers in Tien Shan Mountains

*高玉 秀之[1]、奈良間 千之[2]、山之口 勤[3]、田殿 武雄[4] (1.新潟大学大学院自然科学研究科、2.新潟大学理学部理学科、3.リモート・センシング技術センター、4.宇宙航空研究開発機構)

[ACC27-P02] **Verification of AMSR-2 sea ice concentration and utilization of ship navigation in the Arctic Ocean**

*小野 温[1] (1.宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター)

[ACC27-P03] **飛騨山脈・唐松沢雪渓の氷厚と流動**

*有江 賢志朗[1]、奈良間 千之[2]、福井 幸太郎[3]、飯田 肇[3] (1.新潟大学大学院自然科学研究科　、2.新潟大学理学部理学科フィールド科学人材育成プログラム、3.立山カルデラ砂防博物館)

[ACC27-P04] **Meltwater discharge from Wilkes Basin, East Antarctica at around 4.2 ka revealed from Beryllium-10 analysis of marine sediments**

*Bethany Behrens[1,2]、Yosuke Miyairi[1]、Adam Sproson[1]、Masako Yamane[3]、Yusuke Yokoyama[1,2,4,5] (1.Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8564, Japan、2.Graduate Program on Environmental Science, University of Tokyo, Komaba, Meguro, Tokyo 153-0041, Japan、3.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Furocho, Chikusa, Nagoya, Aichi, 464-8601, Japan、4.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Natsushimacho, Yokosuka, Kanagawa Prefecture 237-0061, Japan、5.Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo, Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-8654, Japan)

[ACC27-P05] **南イニルチェック氷河における氷河上湖の日変動特性**

*櫻井 尚輝[1]、奈良間 千之[2]、井上 公[3]、エセナマノブ モハメド[4]、ザルベク ウセコブ[4] (1.新潟大学、2.新潟大学理学科 、3.国立研究開発法人防災科学技術研究所、4.中央アジア応用地球科学研究所)

[ACC27-P06] Historical development of Spillway Lake on Ngozompa Glacier, Nepal

*Mohan Bahadur Chand[1]、Teiji Watanabe[2]、Yusuki Kobayashi[1] (1.Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University、2.Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University)

[ACC27-P07] Feature analysis of the spectral of snow, ice, and water in Lake Suwa using MODIS data

*中澤 友宏[1]、野中 崇志[2]、岩下 圭之[2] (1.日本大学大学院　生産工学研究科　土木工学専攻、2.日本大学　生産工学部　環境安全工学科)

# Recent surface changes of rock glaciers in Tien Shan Mountains

*高玉 秀之[1]、奈良間 千之[2]、山之口 勤[3]、田殿 武雄[4]
*Hideyuki Takadama[1], Narama Chiyuki[2], Tsutomu Yamanokuchi[3], Takeo Tadono[4]

1. 新潟大学大学院自然科学研究科、2. 新潟大学理学部理学科、3. リモート・センシング技術センター、4. 宇宙航空研究開発機構
1. Graduate school of Science and Technology, Niigata university, 2. Department of Science, Niigata University , 3. RESTEC, 4. JAXA

The rock glacier which composed of ice (permafrost) and debris is one of topographies to confirm periglacial area. It normally moves down at about 0.1-1m/yr by ice creeping, but the velocity of rock glacier in the study area is more faster than any other mountain regions. It has come to understand that the rock glacier is significantly accelerated in the Alps recently, and it is attributed to increasing temperature. But as for the rock glacier in the Tien Shan, it does not have sufficient data to know how fast it moves in the present and past. In this study, we tried to investigate the surface changes of rock glaciers in the Tien Shan Mountains at various time interval using DInSAR analysis. In addition, we observed the surface motion using GNSS measurement, and air and ground surface temperatures.

キーワード：岩石氷河、差分干渉SAR解析、天山山脈
Keywords: rock glacier, DInSAR, Tien Shan

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Verification of AMSR-2 sea ice concentration and utilization of ship navigation in the Arctic Ocean

*小野 温[1]
*Nodoka Ono[1]

1. 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター
1. Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency

Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (MOL) plans to transport LNG produced in Yamaru through the Arctic Ocean for 28 years from 2018 using the Northern Sea Route.

JAXA offers sea ice products (sea ice concentration, etc.) from the Advanced Microwave Scanning Radiometer-2 (AMSR-2) carried by the Global Change Observation Mission-Water (GCOM-W) via the ship navigation support service ‘VENUS’ developed by the National Institute of Polar Research and verifies the availability of AMSR2 products for ship navigation.

In addition, JAXA has installed interval cameras developed by Weathernews Inc. on the LNG ship, which enables the acquisition of sea ice information in the Arctic Ocean for long periods.

Based on these field data, sea ice concentrations are calculated using the image analysis system developed by Tanaka et al. (2015), which are then verified against products from the AMSR-2 and the MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) carried by Terra/Aqua satellite.

In this study, the result of verification are reported.

キーワード：衛星リモートセンシング、マイクロ波放射計、北極海航路
Keywords: satellite remote sensing, passive microwave, Northern Sea Route

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 飛騨山脈・唐松沢雪渓の氷厚と流動
# Ice thickness and flow of the perennial snow patch at Karamatsu-sawa in Hida mountain range

*有江 賢志朗[1]、奈良間 千之[2]、福井 幸太郎[3]、飯田 肇[3]
*Kenshiro Arie[1], Chiyuki Narama[2], Kotaro FUKUI[3], Hajime IIDA[3]

1. 新潟大学大学院自然科学研究科　、2. 新潟大学理学部理学科フィールド科学人材育成プログラム、3. 立山カルデラ砂防博物館
1. Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 2. Faculty of Science, Niigata University, 3. Tateyama Caldera Sabo Museum

福井・飯田（2012）と福井ほか（2018）は，近年の小型化かつ高性能化した観測機器を用いて，氷厚の実測と流動観測をおこない，飛騨山脈北部に分布する御前沢雪渓，内蔵助雪渓，三ノ窓雪渓，小窓雪渓，カクネ里雪渓の６つの多年性雪渓が現存氷河であることを明らかにした．北アルプス北部には，氷河調査がおこなわれていないが，氷河の可能性が高い雪崩涵養型の多年性雪渓がいくつか存在する．そこで，本研究では，７つ目の氷河の可能性が高い唐松沢雪渓の氷厚と流速をGPR観測とGNSS測量により測定し，唐松沢雪渓の氷河の可能性について検討した．その結果，唐松沢雪渓では約30ｍの氷厚と流動現象が確認できた．

キーワード：氷河、多年性雪渓、平衡線高度、GPR、GNSS
Keywords: glacier, perennial snow patch, equilibrium line altitude, GPR, GNSS

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Meltwater discharge from Wilkes Basin, East Antarctica at around 4.2 ka revealed from Beryllium-10 analysis of marine sediments

*Bethany Behrens[1,2], Yosuke Miyairi[1], Adam Sproson[1], Masako Yamane[3], Yusuke Yokoyama[1,2,4,5]

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8564, Japan, 2. Graduate Program on Environmental Science, University of Tokyo, Komaba, Meguro, Tokyo 153-0041, Japan, 3. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Furocho, Chikusa, Nagoya, Aichi, 464-8601, Japan, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Natsushimacho, Yokosuka, Kanagawa Prefecture 237-0061, Japan, 5. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo, Hongo, Bunkyō, Tokyo 113-8654, Japan

Understanding Antarctic ice sheet dynamics related to global climate change is of scientific and societal interest as the future behavior of the ice sheets under currently changing climate is unknown. We present beryllium-10 analysis of a high-resolution marine sediment core from Adélie Basin near the Wilkes Land ice sheet, which is susceptible to retreat due to the low-lying nature and down-sloping trough of the Wilkes Basin. Combined with a newly constructed age model using compound specific radiocarbon dates, the data reveal three ice sheet meltwater discharge events at ca. ~10 ka, ca. ~6.5 ka and ca. ~4 ka. The earlier events correspond to the disappearance of Northern Hemisphere ice sheets and interglacial level atmospheric $CO_2$. The timing of the latest meltwater influx complements the 4.2 ka event, a period of abrupt global climatic change and the beginning of the Meghalayan Age.

Keywords: Holocene, East Antarctica, Adelie Basin, 4.2 ka event, Beryllium-10

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 南イニルチェック氷河における氷河上湖の日変動特性

# Daily variation of supraglacial lakes in the southern Inylchek Glacier

*櫻井 尚輝[1]、奈良間 千之[2]、井上 公[3]、エセナマノブ モハメド[4]、ザルベク ウセコブ[4]
*Naoki Sakurai[1], Chiyuki Narama[2], Hiroshi Inoue[3], Muhammed Esenamanov[4], Zarylbek Usekov[4]

1. 新潟大学、2. 新潟大学理学科 、3. 国立研究開発法人防災科学技術研究所、4. 中央アジア応用地球科学研究所
1. Niigata University, 2. Niigata University Department of Science, 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 4. Central Asian Institute for Applied Geosciences

近年，アジアの山岳地域においてデブリ氷河末端からの大規模出水が報告されている．カラコルム山脈のグルキン氷河では，2008年5～7月にデブリ氷河の末端部から突発的かつ多量の出水が生じ，カラコルムハイウェイの通行止めや家屋流出の被害がでた(Richardson et al., 2009)．ブータン・ヒマラヤのチョゾ氷河では，2009年4月に出水が生じ，90km下流のプナカの町で混乱が生じた(Komori et al., 2012)．このようなデブリ氷河からの出水の事例では，巨大な氷河湖は確認されておらず，デブリ氷河の氷河上湖や氷河内部に発達した氷河内水路に溜まった水が突然出水したと考えられている．デブリ氷河に発達する氷河上湖については，その面積が季節変動すること(Benn et al., 2017；Narama et al., 2017)，氷河上湖の発達が氷河の表面傾斜や流動に関係すること(Reynolds.，2001; Liu et al., 2015; Miles et al., 2016)，氷河の質量収支の状態と関係すること(Benn et al., 2012)などが明らかになってきている．さらに，ネパール中央部のランタン谷のリルン氷河では，ドローンによる空撮画像の解析から，氷河内水路の立地も推定されている(Miles et al., 2017)．ここ数年間で氷河上湖の新知見が報告されているが，氷河上湖や氷河内水路の出水過程をLandsatなどの衛星画像から解析するには情報量が限られており，詳細な水の移動を解明するまでには至っていない．氷河上湖の出水に関連して引き起される被害を未然に防ぐためにも氷河上湖の理解は不可欠である．そこで本研究では，南イニルチェック氷河において，2017年と2018年のそれぞれ約１か月間，毎日実施したドローン空撮で取得されたデジタル画像とSfM技術により作成された20㎝解像度のオルソ画像とDSMから，氷河上湖の湖面の日変動を調べた．さらに，氷河上湖の発達と氷河内水路・氷河上水路の関係性についても検討した．

キーワード：氷河上湖、氷河湖出水、デブリ氷河、氷河内水路
Keywords: supragracial lake, drainage, debris-covered glacier , englacial channel

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Historical development of Spillway Lake on Ngozompa Glacier, Nepal

*Mohan Bahadur Chand[1], Teiji Watanabe[2], Yusuki Kobayashi[1]

1. Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

Continuous loss of glacier mass in the recent period resulted the growth of several moraine-dammed glacial lakes at the terminus of the glaciers in the Himalayan region. It increases the risk of glacier lake outburst floods with the increase in size and volume of lakes. The loss of glacier mass decreases the elevation of the glacier surface and leads to the formation of elevated moraine dam which increase the possibility for developing new glacial lakes. In this study, we document the historical development of the spillway lake on Ngozompa Glacier, Nepal using a combination of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photos, WorldView imageries (0.5 –2 m), and Landsat imageries. We used Landsat imageries from 1989-2018 to prepare the long-term development of the lakes. High-resolution WorldView images and UAV photos were used for accuracy assessment. We also processed the UAV photos to prepare the Digital Elevation Model to understand the possibility of future development of the lakes. We observed the three small supraglacial ponds (0.03 $km^2$) near the terminus of the glacier in 1989 and they have undergone rapid change in their area till 2018 (0.32 $km^2$), increased by more than ten times. Several supraglacial ponds are merging together to become a large lake and it will be likely to continue in the future. The further growth of the lake is dependent largely on the subaqueous melting and calving of glacier ice, and on undercutting action of lake water. Subaqueous melting of the glacier ice leads to increase of lake depth and volume of water. However, future development of the lake depends largely on the level of the outlet channel. Presence of glacier ice under the channel may continuously lower its level and drain the water from lake. Geophysical studies are needed to understand the condition of the outlet channel.

Keywords: Glacier, Himalaya, Glacial lake, Glacier lake outburst floods, Nepal, Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Feature analysis of the spectral of snow, ice, and water in Lake Suwa using MODIS data

*中澤 友宏[1]、野中 崇志[2]、岩下 圭之[2]
*Tomohiro Nakazawa[1], Takashi Nonaka[2], Keishi Iwashita[2]

1. 日本大学大学院　生産工学研究科　土木工学専攻、2. 日本大学　生産工学部　環境安全工学科
1. Department of Civil Engineering, College of Industrial Technology, Nihon University , 2. College of Industrial Technology, Nihon University

The freezing and breakup dates of the lake are important as an index of climate change. There is not enough record of freezing and breakup dates of the lakes in Japan though various publication reports are available in Europe and United States. Estimating freezing and breakup dates in Japanese lakes contributes to grasp the trend of climate change in Japan. Satellite data is expected to complement the dates of such lakes without in-situ observations.
Therefore, our study team has developed the methodology to classify the lake surface on Lake Suwa using optical satellite data. Currently, we tried to classify the lake surface into snow, ice, and water and estimate the temporal surface changes of the lake using the spectral reflectance data and the surface temperature acquired by MODIS on daily observed Terra satellite. However, we found the difficulty to distinguish thin ice and water by the difference of the surface reflectance.
The purpose of this study was to grasp the feature of reflectance of the Lake Suwa, and we used the surface reflectance data derived by MODIS in winter season mainly in 2014 and 2018. This study acquired the lake surface status referring to the newspaper articles.
From the analysis of the reflectance of each band, it showed that the variation of the reflectance between snow, ice, and water was different depending on the wavelength. The ice showed the relatively high reflectance on band 3 (visible blue) and 4 (visible green), while snow had high reflectance on band 1 (visible red) and 2 (near infrared). The water also showed the high reflectance on band 3 and 4, and classification between ice and water was difficult only by the reflectance data. This study also compared the observations derived by the spectral band values of Landsat-8, and confirmed the validity of the result.

キーワード：MODIS、諏訪湖、反射率、結氷状況
Keywords: MODIS, Lake Suwa, Reflectance, Freezing state

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-CG 大気海洋・環境科学複合領域・一般

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_10

## [A-CG42] 海洋表層ー大気間の生物地球化学

コンビーナ:宮崎 雄三(北海道大学低温科学研究所)、西岡 純(北海道大学低温科学研究所)、鈴木 光次(北海道大学)、岩本 洋子(広島大学　生物圏科学研究科)

海洋における様々な時空間スケールでの水塊混合、化学物質の種類や量、海洋微生物の活動度が大気中の生物起源ガスやエアロゾルの生成を駆動することが知られているが、一連のプロセスや生成量の詳細は未解明な点が多い。さらに、海洋大気中の生物起源ガスやエアロゾルは、大気化学反応を介して、雲生成と放射収支や海洋ー大気間の炭素・窒素循環に関わり、海洋微生物の活動にフィードバックすると考えられる。本セッションでは、海洋混合・物質循環、植物プランクトン・微生物増殖、揮発性有機化合物（VOCs）・海洋大気エアロゾル生成など海洋から大気に至る一連の研究、国際コアプロジェクトSurface Ocean-Lower Atmosphere Study（SOLAS）に関わる内容も含め、海洋ー大気間の生物地球化学的な相互作用を含むプロセスの議論および理解を目指す。

### [ACG42-P01] Mixing States of Aged Black Carbon Collected over the Western North Pacific Ocean

*吉末 百花[1]、桃井 裕広[1]、足立 光司[2]、矢吹 正教[3]、森 樹大[1]、水津 明穂[4]、児玉 真一[1,4]、三浦 和彦[1]、植松 光夫[4] (1.東京理科大学、2.気象研究所、3.京都大学、4.東京大学)

### [ACG42-P02] Influence of Deposition of Atmospheric Inorganic Nitrogen Compounds to Marine Ecosystem at Bay of Bengal

*竹谷 文一[1]、相田 真希[1]、山地 一代[1,2]、関谷 高志[1]、池田 恒平[3]、橋岡 豪人[1]、本多 牧生[1]、松本 和彦[1]、金谷 有剛[1] (1.海洋研究開発機構、2.神戸大学、3.国立環境研究所)

### [ACG42-P03] Carbon isotopic characterization of organic aerosols in tropical marine atmosphere at the Maïdo high-altitude observatory, Reunion Island

Sharmine Simu[1]、*宮崎 雄三[1]、OCTAVE Science Team (1.北海道大学低温科学研究所)

# Mixing States of Aged Black Carbon Collected over the Western North Pacific Ocean

*吉末 百花[1]、桃井 裕広[1]、足立 光司[2]、矢吹 正教[3]、森 樹大[1]、水津 明穂[4]、児玉 真一[1,4]、三浦 和彦[1]、植松 光夫[4]
*Momoka Yoshizue[1], Masahiro Momoi[1], Kouji Adachi[2], Masanori Yabuki[3], Tatsuhiro Mori[1], Akiho Suizu[4], Shinichi Kodama[1,4], Kazuhiko Miura[1], Mitsuo Uematsu[4]

1. 東京理科大学、2. 気象研究所、3. 京都大学、4. 東京大学
1. Tokyo University of Science, 2. Meteorological Research Institute, 3. Kyoto University, 4. The University of Tokyo

Atmospheric aerosol particles can play a vital role in the climate change because they influence the radiative forcing on the Earth through absorbing and scattering of solar radiation. Especially, black carbon (BC) is known to a strong absorber of visible spectrum solar radiation in the atmosphere. However, its radiative forcing changes variably depending on its microphysical properties (e.g. mixing state, compositions, and shape). Therefore, it is important to accurately measure their parameters, especially, over the ocean because the observation is limited. In this study, the morphology and chemical compositions of marine aerosol particles including BC over the western north Pacific Ocean were analyzed by the individual particle analyses.

Measurement and samplings of atmospheric aerosol particles were carried out during the R/V Hakuho-Maru cruise (14-30/11/2017). The ambient BC mass concentrations were measured by a particle soot/absorption photometer (PSAP). In this study, we focused on relatively high BC mass concentration events over the western north Pacific Ocean at 26.62˚N, 137.93˚E and at 25.51˚N, 135.77˚E on 19/11/2017. The aerosols collected in both events were analyzed using a transmission electron microscope and an energy dispersive X-ray spectrometer.

In both samples, most BCs were embedded in sulfate particles that have organic coatings. Only a few BCs were attached to sea-salt particles. The backward trajectory analyses suggested that the air masses of both events passed through the land of China and Japan. These results indicate that BCs were emitted in or around the land, and then $SO_2$ condensed on their surface before organic carbon condensed during transportation. Our result is useful to understand the aging process of BC over the ocean.

キーワード：海洋性エアロゾル、ブラックカーボン、硫酸塩、オーガニックカーボン、西部北太平洋、TEM-EDX
Keywords: Marine atmospheric aerosol, Black carbon, Sulfate, Organic carbon, The western north Pacific Ocean, TEM-EDX

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Influence of Deposition of Atmospheric Inorganic Nitrogen Compounds to Marine Ecosystem at Bay of Bengal

*竹谷 文一[1]、相田 真希[1]、山地 一代[1,2]、関谷 高志[1]、池田 恒平[3]、橋岡 豪人[1]、本多 牧生[1]、松本 和彦[1]、金谷 有剛[1]
*Fumikazu Taketani[1], Maki Noguchi Aita[1], Kazuyo Yamaji[1,2], Takashi Sekiya[1], Kohei Ikeda[3], Taketo Hashioka[1], Makio Honda[1], Kazuhiko Matsumoto[1], Yugo Kanaya[1]

1. 海洋研究開発機構、2. 神戸大学、3. 国立環境研究所
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Kobe University, 3. National Institute for Environmental Studies

To investigate the influence for the deposition of inorganic nitrogen compounds derived from the continent on the marine ecosystem at Bay of Bengal (BOB) in the North East Indian Ocean, we performed numerical simulations with and without atmospheric deposition of inorganic nitrogen compounds, using a 3-D lower trophic-marine ecosystem model (COCO-NEMURO), coupled with an atmospheric regional chemical transport model (WRF-CMAQ). The monthly mean data of wet and dry deposition of inorganic nitrogen compounds consisted of gases ($HNO_3$ and $NH_3$) and aerosol particles ($NO_3^-$ and $NH_4^+$) at BOB region in 2009 –2016 produced by WRF-CMAQ were inputted to the COCO-NEMURO as a new nitrogen nutrient supplying process from the atmosphere. The results indicated that monthly average chlorophyll mass concentration at the surface in BOB was significant increase. This study indicates that the supply of atmospheric inorganic nitrogen compounds from continent to the BOB could lead to a high nutrient impact on the marine ecosystem within the subtropical region.

キーワード：沈着、ベンガル湾、海洋生態系、栄養塩
Keywords: Deposition, Bay of Bengal, Marine Ecosystem, nutrient

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Carbon isotopic characterization of organic aerosols in tropical marine atmosphere at the Maïdo high-altitude observatory, Reunion Island

Sharmine Simu[1]、*宮崎 雄三[1]、OCTAVE Science Team
Sharmine Akter Simu[1], *Yuzo Miyazaki[1], OCTAVE Science Team

1. 北海道大学低温科学研究所
1. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Ocean-derived atmospheric aerosols can affect radiative forcing via formation of cloud droplets and ice nuclei as well as biogeochemical cycle of bioelements. Moreover, oxygenated volatile organic compounds (OVOCs) give significant impact on the atmospheric oxidative capacity and climate, which serve as key precursors of climatically active secondary organic aerosol (SOA) in the marine boundary layer. Atmospheric reactions of OVOCs and aerosols are closely linked to those of halogens, emissions of which are significant in the tropical oceans. However, current atmospheric models significantly underestimate the budget of OVOCs as well as SOA especially over tropical oceans, primarily due to poor knowledge of sources and paucity of observations of these parameters in tropical remote regions.
To improve our knowledge on the role of tropical oceans in the formation of atmospheric organic aerosols, size-segregated aerosol sampling was conducted for the first time at the Maïdo observatory (2,200m a.s.l) in Reunion Island in the Indian Ocean. The aerosol measurements were made during the Oxygenated Compounds in the Tropical Atmosphere–Variability and Exchanges (OCTAVE) project in March-June 2018, with integrated approach combining in situ/off-line measurements, satellite retrievals, and modelling. Stable carbon isotopic compositions together with molecular characterization of organic aerosols showed clear seasonal changes with significant contribution of marine sources to the observed aerosols in March when the microbial activity in sea surface was most active in that oceanic region. The effect of the changes in conditions of marine boundary layer and free troposphere on the observed organic aerosols are also discussed.

キーワード：海洋大気有機エアロゾル、OVOCs、熱帯海洋大気、ハロゲン化学
Keywords: Marine atmospheric organic aerosol, OVOCs, Tropical marine atmosphere, Halogen chemistry

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 A (大気水圏科学)：A-CG 大気海洋・環境科学複合領域・一般

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_17

## [A-CG42] 海洋表層ー大気間の生物地球化学

コンビーナ:宮崎 雄三(北海道大学低温科学研究所)、西岡 純(北海道大学低温科学研究所)、鈴木 光次(北海道大学)、岩本 洋子(広島大学　生物圏科学研究科)

海洋における様々な時空間スケールでの水塊混合、化学物質の種類や量、海洋微生物の活動度が大気中の生物起源ガスやエアロゾルの生成を駆動することが知られているが、一連のプロセスや生成量の詳細は未解明な点が多い。さらに、海洋大気中の生物起源ガスやエアロゾルは、大気化学反応を介して、雲生成と放射収支や海洋ー大気間の炭素・窒素循環に関わり、海洋微生物の活動にフィードバックすると考えられる。本セッションでは、海洋混合・物質循環、植物プランクトン・微生物増殖、揮発性有機化合物（VOCs）・海洋大気エアロゾル生成など海洋から大気に至る一連の研究、国際コアプロジェクトSurface Ocean-Lower Atmosphere Study（SOLAS）に関わる内容も含め、海洋ー大気間の生物地球化学的な相互作用を含むプロセスの議論および理解を目指す。

### [ACG42-P01] Mixing States of Aged Black Carbon Collected over the Western North Pacific Ocean

*吉末 百花[1]、桃井 裕広[1]、足立 光司[2]、矢吹 正教[3]、森 樹大[1]、水津 明穂[4]、児玉 真一[1,4]、三浦 和彦[1]、植松 光夫[4] (1.東京理科大学、2.気象研究所、3.京都大学、4.東京大学)

### [ACG42-P02] Influence of Deposition of Atmospheric Inorganic Nitrogen Compounds to Marine Ecosystem at Bay of Bengal

*竹谷 文一[1]、相田 真希[1]、山地 一代[1,2]、関谷 高志[1]、池田 恒平[3]、橋岡 豪人[1]、本多 牧生[1]、松本 和彦[1]、金谷 有剛[1] (1.海洋研究開発機構、2.神戸大学、3.国立環境研究所)

### [ACG42-P03] Carbon isotopic characterization of organic aerosols in tropical marine atmosphere at the Maïdo high-altitude observatory, Reunion Island

Sharmine Simu[1]、*宮崎 雄三[1]、OCTAVE Science Team (1.北海道大学低温科学研究所)

# Mixing States of Aged Black Carbon Collected over the Western North Pacific Ocean

*吉末 百花[1]、桃井 裕広[1]、足立 光司[2]、矢吹 正教[3]、森 樹大[1]、水津 明穂[4]、児玉 真一[1,4]、三浦 和彦[1]、植松 光夫[4]
*Momoka Yoshizue[1], Masahiro Momoi[1], Kouji Adachi[2], Masanori Yabuki[3], Tatsuhiro Mori[1], Akiho Suizu[4], Shinichi Kodama[1,4], Kazuhiko Miura[1], Mitsuo Uematsu[4]

1. 東京理科大学、2. 気象研究所、3. 京都大学、4. 東京大学
1. Tokyo University of Science, 2. Meteorological Research Institute, 3. Kyoto University, 4. The University of Tokyo

Atmospheric aerosol particles can play a vital role in the climate change because they influence the radiative forcing on the Earth through absorbing and scattering of solar radiation. Especially, black carbon (BC) is known to a strong absorber of visible spectrum solar radiation in the atmosphere. However, its radiative forcing changes variably depending on its microphysical properties (e.g. mixing state, compositions, and shape). Therefore, it is important to accurately measure their parameters, especially, over the ocean because the observation is limited. In this study, the morphology and chemical compositions of marine aerosol particles including BC over the western north Pacific Ocean were analyzed by the individual particle analyses.

Measurement and samplings of atmospheric aerosol particles were carried out during the R/V Hakuho-Maru cruise (14-30/11/2017). The ambient BC mass concentrations were measured by a particle soot/absorption photometer (PSAP). In this study, we focused on relatively high BC mass concentration events over the western north Pacific Ocean at 26.62˚N, 137.93˚E and at 25.51˚N, 135.77˚E on 19/11/2017. The aerosols collected in both events were analyzed using a transmission electron microscope and an energy dispersive X-ray spectrometer.

In both samples, most BCs were embedded in sulfate particles that have organic coatings. Only a few BCs were attached to sea-salt particles. The backward trajectory analyses suggested that the air masses of both events passed through the land of China and Japan. These results indicate that BCs were emitted in or around the land, and then $SO_2$ condensed on their surface before organic carbon condensed during transportation. Our result is useful to understand the aging process of BC over the ocean.

キーワード：海洋性エアロゾル、ブラックカーボン、硫酸塩、オーガニックカーボン、西部北太平洋、TEM-EDX
Keywords: Marine atmospheric aerosol, Black carbon, Sulfate, Organic carbon, The western north Pacific Ocean, TEM-EDX

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Influence of Deposition of Atmospheric Inorganic Nitrogen Compounds to Marine Ecosystem at Bay of Bengal

*竹谷 文一[1]、相田 真希[1]、山地 一代[1,2]、関谷 高志[1]、池田 恒平[3]、橋岡 豪人[1]、本多 牧生[1]、松本 和彦[1]、金谷 有剛[1]
*Fumikazu Taketani[1], Maki Noguchi Aita[1], Kazuyo Yamaji[1,2], Takashi Sekiya[1], Kohei Ikeda[3], Taketo Hashioka[1], Makio Honda[1], Kazuhiko Matsumoto[1], Yugo Kanaya[1]

1. 海洋研究開発機構、2. 神戸大学、3. 国立環境研究所
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Kobe University, 3. National Institute for Environmental Studies

To investigate the influence for the deposition of inorganic nitrogen compounds derived from the continent on the marine ecosystem at Bay of Bengal (BOB) in the North East Indian Ocean, we performed numerical simulations with and without atmospheric deposition of inorganic nitrogen compounds, using a 3-D lower trophic-marine ecosystem model (COCO-NEMURO), coupled with an atmospheric regional chemical transport model (WRF-CMAQ). The monthly mean data of wet and dry deposition of inorganic nitrogen compounds consisted of gases ($HNO_3$ and $NH_3$) and aerosol particles ($NO_3^-$ and $NH_4^+$) at BOB region in 2009 –2016 produced by WRF-CMAQ were inputted to the COCO-NEMURO as a new nitrogen nutrient supplying process from the atmosphere. The results indicated that monthly average chlorophyll mass concentration at the surface in BOB was significant increase. This study indicates that the supply of atmospheric inorganic nitrogen compounds from continent to the BOB could lead to a high nutrient impact on the marine ecosystem within the subtropical region.

キーワード：沈着、ベンガル湾、海洋生態系、栄養塩
Keywords: Deposition, Bay of Bengal, Marine Ecosystem, nutrient

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Carbon isotopic characterization of organic aerosols in tropical marine atmosphere at the Maïdo high-altitude observatory, Reunion Island

Sharmine Simu[1]、*宮崎 雄三[1]、OCTAVE Science Team
Sharmine Akter Simu[1], *Yuzo Miyazaki[1], OCTAVE Science Team

1. 北海道大学低温科学研究所
1. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Ocean-derived atmospheric aerosols can affect radiative forcing via formation of cloud droplets and ice nuclei as well as biogeochemical cycle of bioelements. Moreover, oxygenated volatile organic compounds (OVOCs) give significant impact on the atmospheric oxidative capacity and climate, which serve as key precursors of climatically active secondary organic aerosol (SOA) in the marine boundary layer. Atmospheric reactions of OVOCs and aerosols are closely linked to those of halogens, emissions of which are significant in the tropical oceans. However, current atmospheric models significantly underestimate the budget of OVOCs as well as SOA especially over tropical oceans, primarily due to poor knowledge of sources and paucity of observations of these parameters in tropical remote regions.
To improve our knowledge on the role of tropical oceans in the formation of atmospheric organic aerosols, size-segregated aerosol sampling was conducted for the first time at the Maïdo observatory (2,200m a.s.l) in Reunion Island in the Indian Ocean. The aerosol measurements were made during the Oxygenated Compounds in the Tropical Atmosphere–Variability and Exchanges (OCTAVE) project in March-June 2018, with integrated approach combining in situ/off-line measurements, satellite retrievals, and modelling. Stable carbon isotopic compositions together with molecular characterization of organic aerosols showed clear seasonal changes with significant contribution of marine sources to the observed aerosols in March when the microbial activity in sea surface was most active in that oceanic region. The effect of the changes in conditions of marine boundary layer and free troposphere on the observed organic aerosols are also discussed.

キーワード：海洋大気有機エアロゾル、OVOCs、熱帯海洋大気、ハロゲン化学
Keywords: Marine atmospheric organic aerosol, OVOCs, Tropical marine atmosphere, Halogen chemistry

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-GM 地形学

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_12

**[H-GM04] 地形**

コンビーナ:八反地 剛(筑波大学生命環境系)、瀬戸 真之(福島大学うつくしま福島未来支援センター)

地形学に関する様々なテーマ，地形形成プロセス，地形発達およびその地球環境変動との関係，地形災害やその軽減，特に日本国内で発生した様々な自然災害に関する報告，ハザードマップ，人間活動と地形変化の関係，地形計測手法やその自動化などに関する研究成果が日本語または英語で発表されます．

[HGM04-P01] DEMから算出した地形特徴量に対する自己組織化マップ(SOM)を利用した自動地形分類の試み

*伊東 快起[1]、小田 義也[1]、松岡 俊文[2] (1.首都大学東京、2.深田地質研究所)

[HGM04-P02] **DEMを用いた流域の平均侵食量の関数化**

*山中 玲[1]、青木 賢人[1] (1.金沢大学)

[HGM04-P03] 地すべり崩壊地における土砂の移動とガリーの時系列的発達

*堀川 泰寛[1]、青木 賢人[2] (1.筑波大学、2.金沢大学)

[HGM04-P04] 地上レーザー測量（TSL）で識別される丘陵谷頭部の微細地形

*西城 潔[1]、古市 剛久[2]、今野 明咲香[3] (1.宮城教育大学、2.北海道大学農学研究院、3.常葉大学)

[HGM04-P05] 谷頭凹地の地下構造推定における電気探査の適用―筑波山花崗岩斜面における事例―

*吉原 直志[1]、八反地 剛[2] (1.筑波大学大学院生命環境科学研究科、2.筑波大学生命環境系)

[HGM04-P06] 電気比抵抗探査に基づくドリーネの土層分布の推定
―山口県秋吉台カルストの事例―

*平本 直也[1]、八反地 剛[2] (1.筑波大学　大学院　生命環境科学研究科　地球科学専攻、2.筑波大学　生命環境系)

[HGM04-P07] 東京都伊豆諸島八丈島の三原山東側斜面にみられる甌穴(ポットホール)群とその成因

*石橋 隆[1]、松味 智晃[2]、樋口 蓮[2]、山本 由樹[2]、島田 圭吾[2]、森本 浩友[2]、島田 努[3]、朝倉 顯爾[4] (1.公益財団法人益富地学会館、2.立命館大学探検部、3.ポットホール調査隊、4.京都大学大学院理学研究科)

[HGM04-P08] 多摩川・荒川上流河谷における，最終氷期以降の支流の土砂供給様式の時空間変化

*高橋 尚志[1]、須貝 俊彦[1] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HGM04-P09] 大磯丘陵東部における吉沢層構成礫の特徴から見た地形発達史と活構造の推定

*村木 昌弘[1]、須貝 俊彦[1] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HGM04-P10] 鳥取県東部千代川における大規模出水の繰り返しによる砂礫移動と護岸崩壊

*小玉 芳敬[1]、竹本 健人[2] (1.鳥取大学農学部、2.兵庫県)

[HGM04-P11] 遷急点の後退からみた大隅半島串良川における阿多火砕流堆積以降の下刻過程

*高波 紳太郎[1] (1.明治大学)

[HGM04-P12] **日本列島における海成段丘と海底段丘の分布の比較**

*小松 哲也[1]、日浦 祐樹[1]、高橋 尚志[2]、舟津 太郎[2]、村木 昌弘[2]、木森 大我[2]、須貝 俊彦[2] (1.国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HGM04-P13] 与那国島南海岸の海蝕地形

*木村 颯[1]、浦田 健作[2]、長谷川 均[3]、市原 季彦[4]、鈴木 淳[5]、堀 信行[6]、菅 浩伸[2] (1.九州大学大学院地球社会統合科学府、2.九州大学大学院比較社会文化研究院 、3.国士舘大学 、4.堆積環境リサーチ、5.独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門 、6.奈良大学地理学科)

---

[HGM04-P14] 奄美大島住用湾の海底地形 ―マルチビーム測深による可視化―

*田中 美保[1]、渡久地 健[2]、堀 信行[3]、木村 颯[4]、今井 志彦[5]、中島 洋典[6]、名島 弥生[7]、菅 浩伸[8] (1.九州大学大学院地球社会統合科学府、2.琉球大学、3.首都大学東京、4.九州大学工学部、5.岡山大学理学部、6.有明工業高等専門学校、7.総合研究大学院大学、8.九州大学)

# DEMから算出した地形特徴量に対する自己組織化マップ(SOM)を利用した自動地形分類の試み

# Automatic landform classification using Self-Organizing Map (SOM) by geomorphological features calculated from DEM

*伊東 快起[1]、小田 義也[1]、松岡 俊文[2]
*Ito Yoshiki[1], Yoshiya Oda[1], Toshifumi Matsuoka[2]

1. 首都大学東京、2. 深田地質研究所
1. Tokyo Metropolitan University, 2. Fukada Geological Institute

DEMから算出される各種の地形的な特徴量をもとに作成された地形分類図は、非常に多くの場面において利用されている。Iwahashi and Pike(2007)は。地形の傾斜、凸度、表層テクスチャを利用した地形の分類方法を提案し、現在広く利用されている。本研究では、これらの先行研究を参考に、教師なしのニューラルネットワークである自己組織化マップ(Self-Organizing Maps)を利用した地形分類の自動化と使用する地形特徴量の組み合わせによって、分類結果が受ける影響の把握を目的とした。本研究での対象地域は、山梨県と長野県の県境に位置する八ヶ岳南部の地域(東西約22.5km、南北約20.0km)とした。

SOMの具体的な適応は以下の手順で行った。①DEMデータより傾斜量、凸度、表面テクスチャー、斜面方位、尾根谷度、曲率、起伏量、の地形特徴量の算出を行う。②これらの地形特徴量を組み合わせて、SOMへの入力データとした。地形特徴量の組み合わせは合計7パターン用意した。③これらのデータに対して、SOMによって教師無し学習を行い、地形分類図を作成した。また、SOMでの分類の特徴を可視化するため、各特徴量のヒストグラムも作成した。④作成された地形分類図とヒストグラムをもとに分類結果を比較し、利用した地形特徴量の組み合わせによる分類結果の影響を検討した。またIwahashi and Pike(2007)による分類結果との比較も行った。その結果、複数の地形特徴量を用いたSOMによる自動地形分類では、比較的一様に分布している地形特徴量が偏りのある地形特徴量と比べて分類に大きく影響していることが分かった。また、ヒストグラムが対称な分布で、かつデータの振れ幅が少ないヒストグラムを持つ地形特徴量は、SOMによる地形分類結果には大きな影響を与えないことが分かった。今後は教師ありニューラルネットワークの適用を通して、地形分類図の防災分野への適用を考えていきたい。

キーワード：数値標高モデル(DEM)、自己組織化マップ(SOM)、地形分類
Keywords: digital elevation model(DEM), Self-Organizing Maps(SOM), landform classifications

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# DEMを用いた流域の平均侵食量の関数化
# Functionalization of the Average Erosion of Drainage Basin Using DEM

*山中 玲[1]、青木 賢人[1]
*Rei Yamanaka[1], Tatsuto Aoki[1]

1. 金沢大学
1. Kanazawa University

**1.はじめに**

日本の湿潤変動帯における地形発達モデルは，これまでも数多く議論されている．吉川（1985）は，日本での湿潤変動帯における変動地形を考慮した地形発達モデルとして議論する必要性を示した．また，Ohmori（1978）は，50mDEMを用いた高度分散量から，山地の成長段階を評価している．

本研究では，全国的に入手可能な10mDEMを用い，ArcGISにより流域単位での平均侵食量を求め，Ohmori（1978）の高度分散量のデータと比較した．

**2.対象地域**

Ohmori（1978）で分析している山地から発達段階別で，宗谷丘陵，太平山地，阿武隈高原，白神山地，三河高原，白山，関東山地，赤石山地，飛騨山脈に絞った．

**3.解析方法**

ArcGISにて集水域ごとの平均侵食量を算出した．

対象地域のDEMより(1)集水域の作成，(2)接峰面の作成（グリッド法），(3)侵食深の算出，(4)集水域ごとの平均侵食量を算出，これを元に(5)グリッドサイズを3から301の間で変更し，平均侵食量を算出した．(1)については累積流量図と河川データによりしきい値を決定し，二次河川以上を集水域とみなした．接峰面は侵食前の仮想的な地表とみなすことができることから，(2)で求めた接峰面とDEMの差分で(3)侵食深を算出し，(4)集水域ごとの平均侵食量を求めた．

(2)から(5)はスクリプトによる処理の自動化（Arcpy）により処理を行った．

**4.平均侵食量の関数化**

接峰面を作成した際に使用したグリッドサイズと侵食量の関係を関数化した．その際，一次関数，べき関数，指数関数，対数関数にグラフフィッテングし，近似曲線とその誤差について求めた．

この結果，最もフィットした関数は対数関数「y=alog(1+bx)」であり，誤差が最小であった．

bが一定，aがN倍の場合，グラフはN倍となる．aが一定，bがN倍の場合，グラフは1/Nに縮小する．よって，aは谷の深さを，bは谷幅を表すと考えられる．

**5.山地別平均侵食量の評価**

関数化した山地別平均侵食量から，係数による散布図を作成した．

Ohmori（1978）の地形発達区分による同じ地形発達段階でも，白神山地や三河高原のように，地形発達としては三河の方が進んでいるとされているが，谷は白神山地の方が深いことが読み取られ，白神山地はより急な谷が存在していることがわかった．

**6.まとめ**

平均侵食量の関数化により，同じ山地内の侵食部分の特定が可能となる．また，Ohmori（1978）の地形発達区分と合わせ，これから侵食する場所も把握できる．

更に，山地の規模を広げた考察が可能であるため，山地の発達段階を予想することができる．反対に規模を狭め，集水域単位での考察も可能であることから，今後の地形変化の評価ができると考えられる．

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：地形発達、数値標高モデル（DEM）、平均侵食量、高度分散量、地理情報システム（GIS）
Keywords: Geomorphic development, Digital elevation model(DEM), Average erosion, Altitudinal dispersion, Geographic Information System(GIS)

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 地すべり崩壊地における土砂の移動とガリーの時系列的発達
# The Movement of Sediment and Development of Gullies Inside of Landslide area

*堀川 泰寛[1]、青木 賢人[2]
*Yasuhiro Horikawa[1], Tatsuto Aoki[2]

1. 筑波大学、2. 金沢大学
1. Tsukuba University, 2. Kanazawa University

ホートンの法則に代表される水系網の特性を理解する研究には、大きく分けて2つのアプローチがある。1つは既存の地形をもとに水系網を記述し、その特性を把握するものである。Schumm(1956)に見られるホートンの法則は、この経験則から導き出された．ただし，このアプローチでは水系網の形成プロセスを直接理解することは難しい。もう一つは、柏谷など(1974)に見られる、実験により水系網を発生させ特性を明らかにするアプローチである。ただし，土層構造などの各種条件を均一化して実験を行っているため，現実の斜面の状況を反映しているわけではない．本研究では，その両者のつなぐことを目的として、水系網が発生していない現実の初生的斜面をフィールドとしてガリーの発達過程を調べ、ホートンの法則との整合性を考察した。

調査地は、石川県金沢市にある第三紀海成層上に2017年11月に形成された新しい円弧状地すべりの発生域の斜面である。地形表面には大小の粒径が淘汰されていない土層が分布している。この斜面における水系網の時系列的な変化を、UAVによるリモートセンシングで調べた。並行して，水系網の発達プロセスを把握するために以下の4つの調査を行った。①地表面に塗料を塗布し降雨の前後における表面の剥離を把握した．②斜面に杭を差し侵食量と堆積量を求めた．③ガリーの横断面型を反復計測し，形状の変化を把握した．④ガリーの内部の土砂の移動を見るために、レンガを用い内部の礫の挙動を記述した。

2018年7月から11月までの調査の結果、水系網は崩壊地の奥まで侵入し、ガリーで覆われた。ホートンの第1及び第2法則について調べた結果、調査地の水系網は調査前後でホートンの第1法則と適合した。一方でホートンの第2法則については適合せず、水路の平均長はそれぞれの次数でほぼ同じであった。水系網の形状は形成初期の平行状から樹枝状へと変化し始める過程が見られた。この崩壊地の地表面は土壌硬度が2～4kg/㎠ほどと侵食されやすく、頻繁に土砂移動が発生する。また、滑落崖を除き斜面上では侵食と堆積が繰り返し発生した。ガリーに関して、下刻と側方侵食による堆積物中の粒径の大きな礫が抜け落ちる現象が見られた。レンガが最も大きく移動したのは7月から9月までの間で、累積降水量が多い時期であり、側方侵食と礫の抜け落ちが見られたのもこの時期である。崩壊地の内部では、侵食と堆積が頻繁に発生し、ガリー侵食は連続的ではなく間欠的に発生することが分かった。

実際の地形と実験での地形形成を比較した際、実験の場合では常に侵食量が堆積量を上回るように設計してある。一方で実際の地形では、長期的なスパンでは侵食速度の方が堆積速度を上回るものの、地表面の堆積速度を侵食速度が上回るまで水系網の拡張の元となる河川争奪が十分に発生せず水系もう発達の一部が阻害されたからだと考えられる。また、調査中は地すべり発生域の凹地が変化することがなく、リルがそのままガリー化した場合も見られ、水系網の活発な統合が起きなかったことが考えられる。これらを踏まえて、次数の低い谷の長さが小さくならなかったのには、崩壊地の内部の次数の低い谷がより上流に延長したことや、崩壊地内部の微細な高低差によって、2・3・4・次谷の延長が伸びなかったためだとみられる。

参考文献

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

・柏谷健二・横山康二・奥田節夫 1974 ガリーの発達に関する計測と考察. 地理学評論 47-4: 413-425

・S.A. Schumm 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. In Geological Society of America bulletin 67: 597-646.

キーワード：ガリー侵食、地すべり地、マスムーブメント
Keywords: Gully Erosion, Landslide, Mass Movement

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 地上レーザー測量（TSL）で識別される丘陵谷頭部の微細地形
# Detailed topographic survey of valley head in hill by terrestrial laser scanning

*西城 潔[1]、古市 剛久[2]、今野 明咲香[3]
*KIYOSHI SAIJO[1], Takahisa Furuichi[2], Asaka Konno[3]

1. 宮城教育大学、2. 北海道大学農学研究院、3. 常葉大学
1. Miyagi University of Education, 2. Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, 3. Tokoha University

宮城県大松沢丘陵の谷頭部において、地上レーザー測量（TSL）による精密測量を行い、等高線間隔0.5mの等高線図を作成した。その結果、谷頭部の微地形区分がより精確に行えるようになっただけでなく、従来、必ずしも十分には認識されてこなかった微細地形が容易に認識できるようになった。こうした微細地形の特徴を明らかにすることにより、谷頭部付近のミクロな土砂移動プロセス、炭焼きなどの里山利用に伴う人為的地形改変などが把握できる可能性がある。

キーワード：丘陵、谷頭部、微細地形、地上レーザー測量
Keywords: hill, head hollow, microtopography, terrestrial laser scanning

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 谷頭凹地の地下構造推定における電気探査の適用ー筑波山花崗岩斜面における事例ー

# Preliminary application of electrical resistivity tomography to estimate subsurface structure of unchanneled valley: A case at granitic hillslope near Mt. Tsukuba, Japan

*吉原 直志[1]、八反地 剛[2]
*Naoyuki Yoshihara[1], Tsuyoshi Hattanji[2]

1. 筑波大学大学院生命環境科学研究科、2. 筑波大学生命環境系
1. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

地下構造，特に土層厚は，表層崩壊の発生に関わる重要な一要素である．しかし，地下構造の空間的かつ連続的な把握には多大な労力と時間を要するため，より効率的な調査手法の確立が望まれる．地下構造の推定手法として電気探査の有用性が従来より議論されてきたが，実際には深層の水分分布に着目した探査事例が多いため，表層における地下構造の可視化を試みる余地がある．そこで，筑波山麓（茨城県）の花崗岩山地における谷頭凹地を対象として，二次元電気探査，簡易貫入試験，物性値の測定を実施し，表層地下構造の推定における電気探査の適用性について検討した．

電気探査の実施日には，先行降雨がほとんど観測されなかった．電極間隔を0.5 mに設定した探査により，高解像度の比抵抗分布図が得られ，土層（簡易貫入試験による抵抗値$N_c = 3$）の深度が4000～10000 Ω mの比抵抗域として可視化された．一方，基盤岩（$N_c = 30$）の深度と比抵抗域の対応関係は不明瞭であった．比抵抗分布図と物性値の測定結果から，探査時には地表面付近は乾燥しており，地下深部は地下水により湿潤状態であったことが示唆される．したがって，表層では物質ごとの表面伝導特性の違いが比抵抗値に反映されたと推定される．また地下深部の岩盤内部では，岩盤地下水に起因する液中伝導特性が比抵抗値に反映されたと推定される．

キーワード：表層崩壊、谷頭凹地、花崗岩、電気探査、地下構造
Keywords: Shallow landslide, Unchanneled valley, Granite, Electrical resistivity tomography, Subsurface structure

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 電気比抵抗探査に基づくドリーネの土層分布の推定 ー山口県秋吉台カルストの事例ー

# Estimating distribution of soil thickness in doline from electrical resistivity tomography: A case study in the Akiyoshi-dai Karst Plateau, Japan

*平本 直也[1]、八反地 剛[2]
*Naoya Hiramoto[1], Tsuyoshi Hattanji[2]

1. 筑波大学　大学院　生命環境科学研究科　地球科学専攻、2. 筑波大学　生命環境系
1. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

山口県秋吉台カルストの10個ドリーネにおいて2次元電気比抵抗探査を実施し，ドリーネの土層厚分布を推定した．また，GISを用いた地形解析を行い，地形量と土層厚の関係について考察した．電気探査により，すべてのドリーネの地下に比抵抗値の急激な遷移層が存在することを確認した．本研究では過去の簡易貫入試験による土層厚の測定結果に基づき，比抵抗値280 Ω·m～400 Ω·mを土層から基盤岩の遷移層と判断し，地表から比抵抗値280 Ω·mの層までを土層，比抵抗値400 Ω·mの層よりも深い部分を基盤岩と判別した．分析の結果，ドリーネ斜面上部の土層厚（最大6.5 m）は斜面下部（最大9 m）よりも小さく，ドリーネの底部の土層厚（最大11 m以上）は，斜面の土層厚（最大9 m）より大きいことが明らかになった．また，ドリーネ底部の場合，集水面積が大きいドリーネでは平均土層厚も大きくなる傾向があった．集水面積はドリーネ底部の土層厚を決定する主な要因の1つであることが推定される．

キーワード：カルスト地形、GIS、底部直径、傾斜、集水面積
Keywords: Karst landform, GIS, Bottom diameter, Slope, Catchment area

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 東京都伊豆諸島八丈島の三原山東側斜面にみられる甌穴(ポットホール)群とその成因

# Occurrence and origin of potholes developed on the eastern slope of Miharayama in Hachijojima, Izu Islands, Tokyo Prefecture, Japan

*石橋 隆[1]、松味 智晃[2]、樋口 蓮[2]、山本 由樹[2]、島田 圭吾[2]、森本 浩友[2]、島田 努[3]、朝倉 顯爾[4]
*Takashi Ishibashi[1], Tomoaki Mastumi[2], Ren Higuchi[2], Yuki Yamatmoto[2], Keigo Shimada[2], Hirotomo Morimoto[2], Tsutomu Shimada[3], Kenji Asakura[4]

1. 公益財団法人益富地学会館、2. 立命館大学探検部、3. ポットホール調査隊、4. 京都大学大学院理学研究科
1. Masutomi Museum of Geocience, 2. Ritsumeikan University Explorers Club, 3. Pothole Survey Team, 4. Kyoto University Graduate School of Science

【はじめに】　八丈島（東京都八丈町）の三原山東側の斜面を流れる沢筋には多数の欧穴（ポットホール，pothole）がみられる．この欧穴群が発見されたのは近年で，2016年に八丈町によって文化財指定がされた．しかし，欧穴群の分布状況やその成因については必ずしも明らかにされていないために，2014年から2016年にかけて欧穴の数や分布域，形態の計測，周辺の地質，水量，植生の調査が４次に渡って行われた．更に採取された岩石鉱物の諸分析も行われた．これらによって得られた情報を報告すると共に欧穴の形成機構について考察する．

なお，調査地域は富士箱根伊豆国立公園の特別地域内であり，試料の採取は自然公園法の定める環境省の許可（環関地国許第1509143号）を得て行なわれた．

【欧穴について】　甌穴については確たる定義づけがされていないが，『地学事典』（地団研，1996）では「河底や河岸の硬い岩面に浸食によりできた円形をした深い穴」とされている．定義が曖昧であるので八丈島では，次の基準設定のもとで調査が行われた．単に土砂が水流で削られている穴は含めず，周囲が岩盤で転礫などの運動等に伴って削られた穴で，次に述べる2点の測定基準において深さ10 cm，幅30 cm以上のものを欧穴とみなした．①深さは最深部を起点として，削られている高さまでの垂直距離とする．②幅は深さを測定した際の高さ基準（水の流出部の岩盤の頂点）から水平に測定し，長径と短径の平均直径とする．

【三原山東側斜面の欧穴群】　欧穴群は三原山東側末吉地区の斜面で多く発見されている．斜面には概ねWNW－ESE方向に小さい谷沢が幾つも並行してみられ，欧穴はこの谷沢の水路上に連続するように形成されている．9つの谷沢で欧穴が確認され，その総数は700に達する．中でも“本流”と称される谷沢はその延長および水量において最大で，欧穴の数も最も多く，欧穴群の形成様式が模式的といえる．今回は本流の調査結果を中心に報告する．本流では約530 mの水路において基盤岩に141の欧穴が確認された．欧穴の形態は大別して次の2タイプがみられる．①欧穴型：礫の運動などによって深く穿たれた典型的な欧穴，②スプーン型：直径の割に深さが浅いもの．スプーン型の小型のものは水流に対して調和的な方向に開口部が伸長しているものが多く認められる．欧穴型は19穴，スプーン型は122穴である．欧穴内には礫が認められるものもある．欧穴は傾斜12－18°程度の水路に数m間隔で階段状に連続して形成され，段の間は小さな滝状に斜面を水が流れる．欧穴がみられる基盤岩は玄武岩質溶岩であり，1-2 cm程の灰長石の自形結晶が多量に含まれるのが特徴的である．偏光顕微鏡による観察では，全体的にガラス質で流理構造が顕著で，前述の自形の灰長石以外には斜長石，単斜輝石，斜方輝石の1 mm以下の結晶が含まれる．露頭での観察では，しばしば数－数十cmのほぼ完晶質の玄武岩の角礫が捕獲岩として認められる．これはマグマが地表に至る過程で火道内壁などの岩石を捕獲したものと推定される．欧穴はこの玄武岩質溶岩の分布域のみに確認される．玄武岩質溶岩は，三原山の主成層火山体の一部であるとみなすことができ，その年代については菅(1998)によれば26-30 kaとされる．水路や周辺の岩盤の表面は磨滅により滑らかであり，水路の底や流量増加時には水路となる部分には，流れに調和的

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

な方向に筋状の窪みのパターンが認められる．歐穴内には礫がみられるが，円磨度の高いものが多く，岩石種は玄武岩質溶岩や捕獲岩と同様の玄武岩の割合が高い．水路脇の岩盤はコケなどにより覆われており，コケの群体には粒度3 mm以下程の砂礫が多量に抱えられていることが認められる．

【歐穴の形成機構】　歐穴の形成のためには，岩盤とそれを穿つ礫に加えて水の存在が不可欠である．歐穴がみられる玄武岩質溶岩の上下には，降下スコリアなどを主体とする層が認められる．この層では伏流する天水などが，不透水である玄武岩質溶岩の上部面で集まり，水路を形成する．玄武岩質溶岩の層には，火山性降下堆積物や火砕流堆積物の層が挟在している．これらの堆積物層は厚さが数十cmから6 m程度あり，浸食に著しく脆弱であるために水路においてはこの層のある場所で滝が形成されている．滝では堆積物層が側面切り崩し浸食作用によって滝が後退し，堆積層の上に載る玄武岩質溶岩層を滝壺に落下させて巨礫や礫が生産される．この礫が歐穴の形成に関与すると推定される．滝や歐穴内のボールミル的機構で発生する砂礫は，水流でのトラクションにより水路やその周辺の岩盤表面を磨滅して窪みを作ることに寄与し，スプーン型歐穴形成の一因となると推定される．参考文献：菅(1998): *第四紀研究*, **37**, 59-75. ; 地団研(1996): 1228.

キーワード：甌穴、八丈島、伊豆諸島、火山、玄武岩質溶岩
Keywords: pothole, Hachijojima, Izu Islands, volcano, basaltic lava

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 多摩川・荒川上流河谷における，最終氷期以降の支流の土砂供給様式の時空間変化

# Temporal and spatial changes of sediment supply processes from tributaries since the last glacial period in the upper valleys of the Tama and Ara rivers, central Japan

*高橋 尚志[1]、須貝 俊彦[1]
*Takayuki Takahashi[1], Toshihiko Sugai[1]

1. 東京大学大学院新領域創成科学研究科
1. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

山地から低地までの長期的な土砂動態システムを明らかにする上で，河川上流域における支流から本流への土砂移動過程とその時空間変化の評価は重要である．島津（1990; 1991）は，東北日本の山地河川において現河床礫を調査し，土石流停止勾配（80‰）を超える急勾配の支流が頻繁に流入する本流区間では，土石流により粗粒な礫が供給され，礫径のばらつきが大きくなること，80‰以下の支流が主に流入する区間では本流河川による選択運搬が卓越することを指摘した．しかし，支流から本流への土砂供給様式の長期的な時間変化を検討した事例は少ない．北海道および東北～中部日本の諸河川上流域では，最終氷期に河谷が埋積された結果，堆積段丘が発達している．関東山地を流れる多摩川・荒川上流河谷に発達する最終氷期の堆積段丘の多くは，支流性のToe-cut terraceである（Takahashi and Sugai, 2018など）．最終氷期の支流性段丘面の河谷横断方向への勾配（Sg）は，最終氷期の支流の河床勾配を示すと考えられ，これと現支流河床勾配（Sp）を比較することで，最終氷期以降の支流の河床勾配変化を推定できる．本報告では，多摩川・荒川上流河谷においてSpとSgを比較し，80‰を閾値として，最終氷期以降の支流の土砂供給様式の時空間変化について検討する．

多摩川・荒川上流域の同一支流では，SgよりSpが大きく，後氷期の本流の下刻に伴い，支流の侵食基準面高度が低下し，支流が急勾配化したことを示す．80‰を閾値として，支流を3タイプ（Type-A～C）に分類した．Type-Aは，Sg，Sp＞80‰，最終氷期以降土石流により本流河谷へ土砂を供給してきた支流である．Type-Bは，Sg≦80‰，Sp＞80‰，最終氷期に掃流，現在は土石流により土砂を供給する支流である．Type-Cは，Sg，Sp≦80‰，最終氷期以降掃流により土砂を供給してきた支流である．支流Typeに基づき，多摩川・荒川上流河谷を3つのセグメントタイプ（Seg. A～Seg. C）に分類した．Seg. Aは，Type-A支流が卓越する区間で，多摩川上流の軍畑より上流と，荒川の源流域に出現する．Seg. Bは，Type-B支流が卓越する区間で，多摩川の軍畑一青梅間と，荒川の秩父盆地上流部および狭窄部に出現する．Seg. Cは，Type-C支流が卓越する区間で，荒川の秩父盆地下流部および狭窄部に出現する．

多摩川，荒川ともに，Seg. Aは上流に限られ，最終氷期には，これより下流では本流のふるい分けが卓越していた可能性がある．Seg. Cが，荒川の秩父盆地下流部で出現することは，新第三系の丘陵に端を発する支流が流入するためと考えられる．荒川狭窄部は，新第三系に挟まれた変成岩が露出する区間であり，岩石制約によって河谷幅が狭くなることで，急勾配な支流が流入すると考えられる．Sp，Sgは，支流の集水域起伏比（Rr）と正の相関関係にある．Sp，Sg，Rrは，多摩川上流河谷では下流（東）へ減少する．荒川上流河谷では，これらの値が源流域（三峰口より上流）から秩父盆地（三峰口～皆野）にかけて減少し，狭窄部（皆野～寄居）で再び増加する．全体として下流へSp，Sg，Rrが減少する傾向は，関東山地の山稜が東へ低下する傾向を反映していると考えられる．本流の河床高度変化に応答した，支流から本流への河床勾配および土砂供給様式の変化は，上流河谷全体で一様ではなく，基盤の岩質や山地の起伏分布の影響を受けている可能性が示唆される．

キーワード：河成段丘、土石流、山地河川、土砂動態システム

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Keywords: fluvial terrace, debris flow, mountain river, sediment routing system

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 大磯丘陵東部における吉沢層構成礫の特徴から見た地形発達史と活構造の推定

# Landform evolution and active tectonics in the eastern part of Oiso Hills inferred by characteristics of gravels composing Kissawa Formation, Japan

*村木 昌弘[1]、須貝 俊彦[1]
*Masahiro Muraki[1], Toshihiko Sugai[1]

1. 東京大学大学院新領域創成科学研究科
1. Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo

**はじめに**

神奈川県南部に位置する大磯丘陵は周囲を活断層によって囲まれた隆起地塊で、第四紀後半における地殻変動のきわめて激しい地域であり、中でも大磯丘陵東部には、多数の短い活断層が存在する (図. 1: 活断層研究会編, 1991) が、本地域の地形発達史ならびに活構造については十分に解明されていない。筆者らは、対象地域に広く分布し最終間氷期を主堆積時期とする吉沢層 (町田・森山, 1968) の段丘礫を中心に堆積環境と古地形を推定し、現地形と比較することで、この地域の地形発達史と活構造を解明することを目的とし、調査・分析を行った。

**研究手法**

現成堆積物 (金目川現河床礫・相模湾現海浜礫) と吉沢層は、露頭面または堆積面のうえに 1 m ×1 m の方形枠を設け、表層 100 個の礫を大きい順に採取した。現河床礫は金目川沿い 5 地点、現海浜礫は金目川河口付近から西へ 7 地点、段丘構成層は 15 地点で採取した。採取した礫の礫径 (長・中・短径)、礫種、円磨度、風化度を計測・測定し、マトリクスはふるいを用いて全量分析した。露頭から採取した火山灰は、実体顕微鏡や偏光顕微鏡を用いて鉱物組成および火山ガラスの形状を観察し、SEM-EDS を用いた火山ガラスの主成分化学組成分析を行った。

また、研究対象地域を 2 つ (高麗山周辺地域と日向岡周辺地域) に分け、さらに高麗山周辺地域では活断層 (活断層研究会編, 1991) を境に 4 つのブロック (OSA ～ OSD) に分けて空中写真判読を行い、段丘面を区分した (図. 2)。

**結果**

金目川現河床礫 の平均中径は下流へ 7 cm から 3 cm に減少し、円磨度は 0.3 から 0.6 へ増大、扁平度は 0.3 ～ 0.4 程度で概ね一定する。構成礫種は、上流では火山砕屑岩が多数を占め、下流では砂岩・泥岩・礫岩の割合が増加する。相模湾沿現海浜礫 の平均中径は約 3 cm、円磨度は約 0.7、扁平度は地点によるが約 0.6 で、礫種は火山砕屑岩と砂岩・泥岩が卓越する。吉沢層構成礫の平均中径は約 2 cm で、円磨度は 0.6 ～ 0.7 程度、扁平度は 0.3 ～ 0.4 程度である。礫種は火山砕屑岩の割合が高く、砂岩・チャートが次ぐ。

空中写真判読より、対象地域一帯には、吉沢面に対比しうる最終間氷期に形成した段丘面 (吉沢 II 面)、七国峠海進 (230 ～ 250 Ka) 堆積物の堆積面である七国峠面が分布する。鷹取山東部地域の不動川右岸側に、不動川の支流によって形成されたと考えられる、角～亜角礫層からなる東部鷹取山面を認定し、その角～亜角礫層中に姶良丹沢火山灰 (AT: 30 ka ; 町田・新井, 2003 ; Smith et al., 2013) が挟在する。

**考察**

金目川現河床礫は上流から下流にかけて粒径が減少し、淘汰が良くなり、円磨度が増す一方、扁平化は進まないことや、相模川が完新世後期に相模平野の西寄りを流下し、現金目川の最下流部に相模川水系の礫を堆積

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

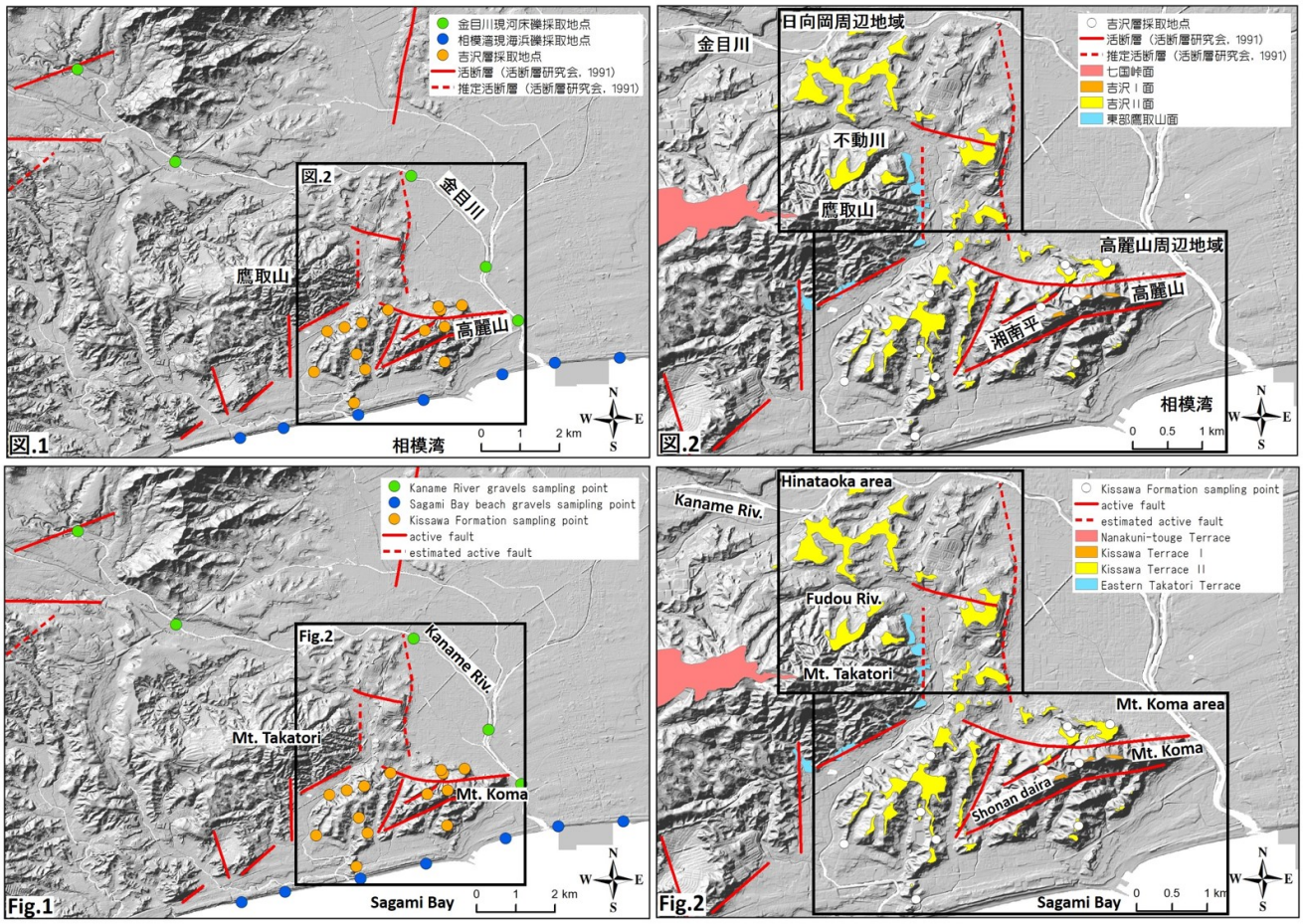
させた可能性があることが示唆された。相模湾現海浜礫は堆積場による影響を受けながら、波 (沿岸流) の営力によって磨耗作用とともに扁平作用も働くことが示唆された。また、金目川現河床礫が円磨度 0.6 以下、相模湾現海浜礫は円磨度 0.6 以上と区別できることを確認した。

吉沢層の分析結果から、OSB ブロックを境に、南北で堆積環境の違いが見られ、OSB ブロック (湘南平) の吉沢面 (吉沢 I 面) は最終間氷期より古い地形面である可能性が示唆された。また、最終間氷期 (吉沢層堆積完了期)、古金目川は生沢断層系によって生じた生沢構造谷に沿うように、現不動川流域に流れ込んでいた可能性が示唆された。吉沢層堆積後、現不動川上流が断ち切られ、日向岡断層や小向断層などの断層運動により流路が変化し、現在の流路位置となった可能性が高く、その後、現不動川が無能河川化することで、東部鷹取山面が、本流に削られることなく連続的に保存されたと考えられる。

引用文献

活断層研究会編 (1991) 東京大学出版会, 437 p. 町田・森山 (1968) 地理学評論, 41 巻, 4 号, p. 241-257. 町田 洋・新井房夫 (2003) 東京大学出版会, 336 p. Smith, V. C. et al., (2013) Quaternary Science Reviews, Vol. 67, p. 121-137.

キーワード：吉沢層、堆積環境、地形発達史、活構造、大磯丘陵
Keywords: Kissawa formation, depositional environment, landform evolution, active tectonics, Oiso hills




©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 鳥取県東部千代川における大規模出水の繰り返しによる砂礫移動と護岸崩壊

# Sediment movement and collapse of bank protections by a series of large flood events at the Sendai River, Tottori, southwest Japan

*小玉 芳敬[1]、竹本 健人[2]
*Yoshinori Kodama[1], Kento Takemoto[2]

1. 鳥取大学農学部、2. 兵庫県
1. Faculty of Agriculture, 2. Hyogo Prefecture

**はじめに**

2018年7月5日から7日に発生した西日本豪雨では，鳥取県智頭町では降り始めから7日午前10時までの総雨量が490.5 mm，同県佐治町では462.5 mm，同県若桜町では435.0 mmを記録した．これらはいずれも7月の観測史上最大値を示した．鳥取県東部を流れる千代川（流域面積：1,190 $km^2$，流路長：52km）では，河川護岸の崩壊が多発し，河原（砂礫堆）の形成が顕著に認められた．千代川では2017年7月，9月にも台風により2004年以来の大規模出水が生じていた．本研究の目的は，これらの大規模出水の繰り返しにより千代川で生じた土砂移動の実態を全川にわたり記載することである．そして，護岸崩壊の要因を明らかにすることである．

**調査方法**

石川においては，出水時の砂礫の移動に伴い砂礫堆と呼ばれる河床形がしばしば形成される．千代川で生じた大規模出水の前後における砂礫堆の変化を調べるために，比較的雲の少ない2016年3月，2018年2月，2018年11月のAirbus衛星写真を購入した．さらにより鮮明に写ったgoogle earthの画像（2018.06.02）を参考にしながら，Airbus衛星写真の解析を進め，堤外地で植生に覆われた部分，砂礫に覆われた部分，岩盤が露出した部分を判読し，砂礫堆の前縁部の傾斜急変線を描き，半波長の長さを計測した．砂礫堆前縁部に関しては，明瞭度に応じて実線と破線で区分した．

2018年8～11月に実施した現地調査では千代川本川にそって，護岸崩壊の位置をマッピングし，砂礫堆が明瞭な箇所では，レーザー距離計（Laser Technology社製，TruPulse360）を用いて，砂礫堆の最高点と水面との比高を計測した．

**結果および考察**

調査の結果，最上流部の未調査区間（流下距離：0-6.6 km）の除いて，千代川は3つの区間に分かれることが明らかになった．1つ目は，上流区間（流下距離6.6-11.8 km）で，河床砂礫が流亡し岩盤が広く河床に露出した河相が卓越した区間である．衛星写真は2018年6月に撮影された衛星写真では智頭町中原周辺の河道内には砂礫からなる河原が読み取れた．しかし，7月出水後の現地観察では，砂礫が流亡し岩盤が広く露出していた．この上流区間では11箇所の護岸崩壊を確認し，河床低下に伴い護岸の基礎部が宙に浮き上がった箇所もいくつか観察した．護岸はこのように支持を失い崩壊したと考えられる．

2つ目は流下距離11.8-31.0 kmの区間で，砂礫が河床を広く被覆して，砂礫堆が明瞭になった区間である．大規模な出水を重ねるに従って，それまで人為的に平滑化されていた河床に交互砂礫堆が発達し，それらの前縁部が明瞭になった．3つ目は流下距離31.0-48.4 kmの区間で，植生で覆われた高水敷きや河原と，低水

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

路内の砂礫堆の混在区間である．出水を重ねるに従って，低水路内の砂礫堆の連続性が良くなったことが分かった．

砂礫堆の半波長と比高の関係を調べた．下流区間では半波長が2,000 mに達するような波長の長い砂礫堆が観察されたのに対して，中流区間では半波長が500 m以下の砂礫堆がほとんどであった．これらのうち護岸の崩壊と関連した砂礫堆は，いずれも半波長400 m以下で，比高が2m程の起伏の大きい砂礫堆であっった．つまり水流の河岸への集中が激しくなり，局所洗掘が進み，護岸倒壊に至ったものと考えられる．

**おわりに**

千代川で2017年以降起きた大規模出水による砂礫の移動実態を衛星写真の比較と現地観察で明らかにした．上流部では砂礫が流亡し岩盤床が，下流部では砂礫堆が明瞭に発達する様子を捉えた．護岸の倒壊要因に関しては，砂礫の流亡による護岸支持基盤の喪失に伴う倒壊と，波長が短く比高の大きい砂礫堆による局所洗掘に伴う倒壊が明らかになった．

キーワード：大規模出水、護岸崩壊、岩盤露出、交互砂礫堆、衛星写真、平成30年西日本豪雨
Keywords: Large flood events, collapse of bank protection, bedrock exposure, alternate bar, satellite image, 2018 torrential rain in western Japan

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 遷急点の後退からみた大隅半島串良川における阿多火砕流堆積以降の下刻過程

# Channel incision history with knickpoint retreat in the Kushira River after the deposition of Ata pyroclastic flow, Osumi Peninsula, Kyushu, Japan

*高波 紳太郎[1]
*Shintaro Takanami[1]

1. 明治大学
1. Meiji University

笠野原の北縁を流れる串良川の河谷では、大隅降下軽石層の下位に阿多溶結凝灰岩が存在する（荒牧・宇井1966）．阿多溶結凝灰岩は谷田滝から上流で串良川河床に露出し，複数の遷急点を構成している．笠野原では入戸火砕流堆積物の侵食過程が横山（2000）によって明らかにされているが，阿多溶結凝灰岩の侵食に関しては不明である．そこで本研究は，串良川の阿多溶結凝灰岩形成（11万年前）から大隅降下軽石堆積（３万年前）までの８万年間，および最近３万年間のそれぞれにおける下刻過程を河床縦断形の変化により明らかにし，さらに，３期間（11万年間・８万年間・３万年間）での遷急点の平均後退速度を推定した．

まず，露頭調査やボーリングデータの整理によって得られた阿多溶結凝灰岩の上端および大隅降下軽石基底の高度をそれぞれ串良川の現河床縦断形に投影し，それらを阿多溶結凝灰岩の侵食開始時（11万年前），大隅降下軽石堆積直前（３万年前）における串良川の河床縦断形の上限とみなした．次いで11万年前・３万年前・現在の河床縦断形を互いに比較し，各河床縦断形上に認定された遷急点（現在の谷田滝）を対応づけて，平均後退速度を求めた．また，阿多溶結凝灰岩の一軸圧縮強度をシュミットロックハンマーＫＳ型によって13地点で測定した．

復元された河床縦断形は，11万年前の串良川が阿多溶結凝灰岩のなだらかな台地上を流れ，現在の河口から16 km付近に遷急点を伴っていたことを示す．この遷急点が現在の谷田滝の位置まで後退してきたと理解されることから，その平均後退速度は過去11万年間で5.4 cm／年と推定される．なお，阿多溶結凝灰岩の一軸圧縮強度は谷田滝の河床で突出して大きい値（$421\times10^6$ N／$m^2$）を示し，全体として下部ほど大きいという鉛直的変化がみられた．したがって，11万年前に形成された遷急点は河口から26 km付近に現存する遷急点にも対応づけられると考えた．この場合，過去11万年間の平均後退速度は8.6 cm／年となる．また，３万年前には河床縦断形が直線的かつ急勾配になり，阿多溶結凝灰岩を刻む串良川河谷は下流側ほど深くなっていたことが明らかとなった．このとき，現在の谷田滝に相当する遷急点は河口から19 km地点よりも下流側に存在し，11万年前から３万年前までの８万年間では最小でも2.6 cm／年，最近３万年間には最大で10 cm／年の後退速度であったといえる．

以上により，11万年前から３万年前までの間にも，串良川では阿多溶結凝灰岩の侵食が遷急点の後退とともに進行し，河床は低下していったと判断される．また，阿多溶結凝灰岩台地形成後に進行した串良川の下刻には，最終氷期における海面低下の寄与が大きいことも明らかとなった．

本研究には明治大学文学部の阿部英雄研究奨励金を使用した．

文献

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

荒牧重雄・宇井忠英（1966）阿多火砕流と阿多カルデラ．地質学雑誌 72：337-349.
横山勝三（2000）鹿児島県笠野原台地の地形と形成過程．地形 21：277-290.

キーワード：阿多溶結凝灰岩、遷急点、笠野原、串良川、海水準変動
Keywords: Ata welded ignimbrite, knickpoint, Kasanohara, Kushira River, sea-level change

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 日本列島における海成段丘と海底段丘の分布の比較
# Implications of the distribution of marine terraces and submerged terraces in Japanese Island

*小松 哲也[1]、日浦 祐樹[1]、高橋 尚志[2]、舟津 太郎[2]、村木 昌弘[2]、木森 大我[2]、須貝 俊彦[2]
*Tetsuya Komatsu[1], Hiura Yuki[1], Takayuki Takahashi[2], Taro Funatsu[2], Masahiro Muraki[2], Taiga Kimori[2], Toshihiko Sugai[2]

1. 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構、2. 東京大学大学院新領域創成科学研究科
1. Japan Atomic Energy Agency, 2. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

地層処分の信頼性向上に向けた技術開発課題の一つに、海域を含めた沿岸部付近における隆起・侵食に係る調査・評価技術の高度化がある。この課題の解決に向けた方法の一つとして、現在の陸域だけでなく、氷期に広く陸化すると考えられる大陸棚において地殻変動と侵食の指標となる地形の分布やその特徴から隆起・侵食量を推定することが考えられる。

大陸棚にみられる段丘地形、いわゆる海底段丘は氷河性海水準変動に伴う侵食・堆積により形成され、現在は海面下に分布している地形であると考えられている。このことを前提とすると、海底において隆起・沈降が生じている場合、その痕跡は連続した海底段丘の深度分布パターンにあらわれることが予想される。本研究では、そのような仮説を検証することを目的として、海底段丘とMIS 5eの海成段丘を投影断面図上に示し、両者の高度分布パターンの比較を行った。事例対象としたのは、オホーツク海沿岸、石狩湾～積丹半島、北海道南西岸～男鹿半島、津軽海峡（北海道側）、三陸、房総半島東部、土佐湾北東岸の7地域である。これらの地域における海底段丘とMIS 5eの海成段丘の投影断面図から読み取れた結果の要点を記す。

・海成段丘の高度と海底段丘群や大陸棚外縁の深度変化の傾向が調和的にみえる海域が存在する。注目すべきは、そのような海域の中には、海成段丘の高度変化の傾きに対して大陸棚外縁とそれ以浅の海底段丘の深度変化の傾きが小さく、逆に大陸棚外縁以深では海底段丘の傾きが同等か大きくなるケースがみられたことである。

・陸域の活断層ないしは推定活断層の海域延長部を境に海底段丘群の深度に変化がみられるケースが存在した。

これらのことは、海底段丘の深度分布の中に地殻変動を反映したものが含まれていることを示していると考えられる。それゆえ、海底段丘の発達史の理解が、海域における地殻変動様式の把握において重要である。海底段丘の発達史の理解に向けて、海底段丘の成因を音波探査記録等から把握すること、また海外の研究事例のように海底段丘から絶対年代試料を採取し、その形成年代を明らかにすることが望まれる。

本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「平成30年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（沿岸部処分システム高度化開発）」の成果の一部である。

キーワード：海底地形、海底段丘、海成段丘、地層処分
Keywords: seafloor landform, submerged terrace, marine terrace, geological disposal

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 与那国島南海岸の海蝕地形
# Marine erosional landforms along the southern coast of Yonaguni Island, Ryukyus

*木村 颯[1]、浦田 健作[2]、長谷川 均[3]、市原 季彦[4]、鈴木 淳[5]、堀 信行[6]、菅 浩伸[2]
*Hayate Kimura[1], Kensaku Urata[2], HASEGAWA Hitoshi[3], Toshihiko Ichihara[4], Atsushi Suzuki[5], Nobuyuki Hori[6], Hironobu Kan[2]

1. 九州大学大学院地球社会統合科学府、2. 九州大学大学院比較社会文化研究院 、3. 国士舘大学 、4. 堆積環境リサーチ、5. 独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門 、6. 奈良大学地理学科
1. Graduate school of integrated sciences for global society, 2. Graduate School of Integrated Sciences for Global Society, Kyushu University, 3. Kokushikan University, 4. Sedimentary Environments Research, 5. Geological Survey of Japan National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 6. Department of Geography, Nara University

与那国島は日本の最西端に位置する島である. その海岸域は三紀層である八重山層群の堆積岩, 更新統の琉球石灰岩より構成されており, 海蝕地形が広く見られる. 海崖は高低差が大きく, 接近が困難である. そのような地形の観察が難しい海蝕崖を含めた海岸を, ドローンにより撮影し, 3次元モデルを作成した. モデルの観察を行い, 海蝕地形の形成過程について考察をおこなった.

与那国島の東岸から南岸にかけて, 6地域を対象として調査を実施した. ドローンはDJI Phantom 4 Proを使用し, アクセス可能な場所についてはGCPを設置した. SfM-MVS用ソフトウェアとしてPhotoScan Professionalを用い, 地形のモデルを作成した.

観察の結果, 岩質によって形態の大きく異なる海蝕地形が形成されることが分かった. 石灰岩海岸では, 場所によっては数百m規模の崩壊地形が形成されていた. 崩壊は不整合面の未固結層, 石灰岩内の砕屑性堆積物で構成される箇所における活発な侵食を発端とすると考えられる. また, 三紀層である八重山層群の堆積岩よりなる海崖は, 砂岩頁岩互層と塊状砂岩よりなる崖で形態が異なる. 互層よりなる海崖においては層理面に沿って剥がれ落ちるように侵食を受けるため, 海蝕崖基部に平坦な地形がつくられる. 一方, 塊状砂岩は岩塊ごと崩壊するため, 崖基部に巨礫よりなる崖錐を形成する.

以上のように, 与那国島南海岸においては, 岩質を反映した海蝕地形の多様性が認められる.

キーワード：SfM多視点ステレオ写真測量、フォトグラメトリー、海蝕崖、波蝕棚、八重山層群、琉球石灰岩
Keywords: SfM-MVS, Photogrammetry, Sea cliff, Shore platform, Yaeyama Group, Ryukyu Limestone

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 奄美大島住用湾の海底地形 ーマルチビーム測深による可視化ー
# Seafloor topography of Amami Sumiyo Bay -Visualization of Seafloor derived from multibeam bathymetric survey-

*田中 美保[1]、渡久地 健[2]、堀 信行[3]、木村 颯[4]、今井 志彦[5]、中島 洋典[6]、名島 弥生[7]、菅 浩伸[8]
*Miho Tanaka[1], Ken Toguchi[2], Nobuyuki Hori[3], Hayate Kimura[4], Yukihiko Imai[5], Yosuke Nakashima[6], Yayoi Najima[7], Hironobu Kan[8]

1. 九州大学大学院地球社会統合科学府、2. 琉球大学、3. 首都大学東京、4. 九州大学工学部、5. 岡山大学理学部、6. 有明工業高等専門学校、7. 総合研究大学院大学、8. 九州大学
1. Graduate School of Integrated Sciences for Global Society, 2. University of the Ryukyus, 3. Tokyo Metropolitan University, 4. School of Engineering, Kyushu University, 5. Faculty of science, Okayama University, 6. National Institute of Technology, Ariake College, 7. The Graduate University for Advanced Studies, 8. Kyushu University

浅海域は最終氷期の海水準変動を明らかにするうえで非常に重要な地域である。本研究では,奄美大島住用湾にてマルチビーム音響測深調査を行い,1mグリッドという高精度で海底地形図を作成した。

住用湾は奄美大島東岸に位置し,川内川と住用川の2つの水系が流れ込んでいる。測深調査は, ワイドバンドマルチビーム測深機R2Sonic2022を用いて2018年8月20日~9月2日に行った。また,同機器に搭載されているサイドスキャンソナー機能(TruePix/Snippets)を用いて反射強度を測定し,底質を判別した。

測深の結果,海底の地形分布が明らかになった。住用湾中央部の水深100m付近では明瞭な崖地形の発達が確認でき,氷期の低海水準時の侵食によって形成されたと考えられる。

本発表では,マルチビーム測深調査によって作成した高精度の海底地形図に国土地理院が提供している陸域の10mメッシュのDEMデータを統合し,奄美大島住用湾における海底地形の分布や成因,陸域からの連続性,底質分布,海水準変動との関係等に関する考察を行う。

キーワード：マルチビーム測深、海底地形、最終氷期、海水準、数値標高モデル(DEM)
Keywords: multibeam bathymetry, seafloor topography, last glacial stage, sea level, Digital Elevation Model (DEM)

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-GM 地形学

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_19

**[H-GM04] 地形**

コンビーナ:八反地 剛(筑波大学生命環境系)、瀬戸 真之(福島大学うつくしま福島未来支援センター)

地形学に関する様々なテーマ，地形形成プロセス，地形発達およびその地球環境変動との関係，地形災害やその軽減，特に日本国内で発生した様々な自然災害に関する報告，ハザードマップ，人間活動と地形変化の関係，地形計測手法やその自動化などに関する研究成果が日本語または英語で発表されます．

[HGM04-P01] DEMから算出した地形特徴量に対する自己組織化マップ(SOM)を利用した自動地形分類の試み

*伊東 快起[1]、小田 義也[1]、松岡 俊文[2] (1.首都大学東京、2.深田地質研究所)

[HGM04-P02] **DEMを用いた流域の平均侵食量の関数化**

*山中 玲[1]、青木 賢人[1] (1.金沢大学)

[HGM04-P03] 地すべり崩壊地における土砂の移動とガリーの時系列的発達

*堀川 泰寛[1]、青木 賢人[2] (1.筑波大学、2.金沢大学)

[HGM04-P04] 地上レーザー測量（TSL）で識別される丘陵谷頭部の微細地形

*西城 潔[1]、古市 剛久[2]、今野 明咲香[3] (1.宮城教育大学、2.北海道大学農学研究院、3.常葉大学)

[HGM04-P05] 谷頭凹地の地下構造推定における電気探査の適用―筑波山花崗岩斜面における事例―

*吉原 直志[1]、八反地 剛[2] (1.筑波大学大学院生命環境科学研究科、2.筑波大学生命環境系)

[HGM04-P06] 電気比抵抗探査に基づくドリーネの土層分布の推定
―山口県秋吉台カルストの事例―

*平本 直也[1]、八反地 剛[2] (1.筑波大学　大学院　生命環境科学研究科　地球科学専攻、2.筑波大学　生命環境系)

[HGM04-P07] 東京都伊豆諸島八丈島の三原山東側斜面にみられる甌穴(ポットホール)群とその成因

*石橋 隆[1]、松味 智晃[2]、樋口 蓮[2]、山本 由樹[2]、島田 圭吾[2]、森本 浩友[2]、島田 努[3]、朝倉 顯爾[4] (1.公益財団法人益富地学会館、2.立命館大学探検部、3.ポットホール調査隊、4.京都大学大学院理学研究科)

[HGM04-P08] 多摩川・荒川上流河谷における，最終氷期以降の支流の土砂供給様式の時空間変化

*高橋 尚志[1]、須貝 俊彦[1] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HGM04-P09] 大磯丘陵東部における吉沢層構成礫の特徴から見た地形発達史と活構造の推定

*村木 昌弘[1]、須貝 俊彦[1] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HGM04-P10] 鳥取県東部千代川における大規模出水の繰り返しによる砂礫移動と護岸崩壊

*小玉 芳敬[1]、竹本 健人[2] (1.鳥取大学農学部、2.兵庫県)

[HGM04-P11] 遷急点の後退からみた大隅半島串良川における阿多火砕流堆積以降の下刻過程

*高波 紳太郎[1] (1.明治大学)

[HGM04-P12] **日本列島における海成段丘と海底段丘の分布の比較**

*小松 哲也[1]、日浦 祐樹[1]、高橋 尚志[2]、舟津 太郎[2]、村木 昌弘[2]、木森 大我[2]、須貝 俊彦[2] (1.国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科)

[HGM04-P13] 与那国島南海岸の海蝕地形

*木村 颯[1]、浦田 健作[2]、長谷川 均[3]、市原 季彦[4]、鈴木 淳[5]、堀 信行[6]、菅 浩伸[2] (1.九州大学大学院地球社会統合科学府、2.九州大学大学院比較社会文化研究院 、3.国士舘大学 、4.堆積環境リサーチ、5.独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門 、6.奈良大学地理学科)

---

[HGM04-P14] 奄美大島住用湾の海底地形 ―マルチビーム測深による可視化―

*田中 美保[1]、渡久地 健[2]、堀 信行[3]、木村 颯[4]、今井 志彦[5]、中島 洋典[6]、名島 弥生[7]、菅 浩伸[8] (1.九州大学大学院地球社会統合科学府、2.琉球大学、3.首都大学東京、4.九州大学工学部、5.岡山大学理学部、6.有明工業高等専門学校、7.総合研究大学院大学、8.九州大学)

# DEMから算出した地形特徴量に対する自己組織化マップ(SOM)を利用した自動地形分類の試み

# Automatic landform classification using Self-Organizing Map (SOM) by geomorphological features calculated from DEM

*伊東 快起[1]、小田 義也[1]、松岡 俊文[2]
*Ito Yoshiki[1], Yoshiya Oda[1], Toshifumi Matsuoka[2]

1. 首都大学東京、2. 深田地質研究所
1. Tokyo Metropolitan University, 2. Fukada Geological Institute

DEMから算出される各種の地形的な特徴量をもとに作成された地形分類図は、非常に多くの場面において利用されている。Iwahashi and Pike(2007)は。地形の傾斜、凸度、表層テクスチャを利用した地形の分類方法を提案し、現在広く利用されている。本研究では、これらの先行研究を参考に、教師なしのニューラルネットワークである自己組織化マップ(Self-Organizing Maps)を利用した地形分類の自動化と使用する地形特徴量の組み合わせによって、分類結果が受ける影響の把握を目的とした。本研究での対象地域は、山梨県と長野県の県境に位置する八ヶ岳南部の地域(東西約22.5km、南北約20.0km)とした。

SOMの具体的な適応は以下の手順で行った。①DEMデータより傾斜量、凸度、表面テクスチャー、斜面方位、尾根谷度、曲率、起伏量、の地形特徴量の算出を行う。②これらの地形特徴量を組み合わせて、SOMへの入力データとした。地形特徴量の組み合わせは合計7パターン用意した。③これらのデータに対して、SOMによって教師無し学習を行い、地形分類図を作成した。また、SOMでの分類の特徴を可視化するため、各特徴量のヒストグラムも作成した。④作成された地形分類図とヒストグラムをもとに分類結果を比較し、利用した地形特徴量の組み合わせによる分類結果の影響を検討した。またIwahashi and Pike(2007)による分類結果との比較も行った。その結果、複数の地形特徴量を用いたSOMによる自動地形分類では、比較的一様に分布している地形特徴量が偏りのある地形特徴量と比べて分類に大きく影響していることが分かった。また、ヒストグラムが対称な分布で、かつデータの振れ幅が少ないヒストグラムを持つ地形特徴量は、SOMによる地形分類結果には大きな影響を与えないことが分かった。今後は教師ありニューラルネットワークの適用を通して、地形分類図の防災分野への適用を考えていきたい。

キーワード：数値標高モデル(DEM)、自己組織化マップ(SOM)、地形分類
Keywords: digital elevation model(DEM), Self-Organizing Maps(SOM), landform classifications

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# DEMを用いた流域の平均侵食量の関数化
# Functionalization of the Average Erosion of Drainage Basin Using DEM

*山中 玲[1]、青木 賢人[1]
*Rei Yamanaka[1], Tatsuto Aoki[1]

1. 金沢大学
1. Kanazawa University

**1.はじめに**

日本の湿潤変動帯における地形発達モデルは，これまでも数多く議論されている．吉川（1985）は，日本での湿潤変動帯における変動地形を考慮した地形発達モデルとして議論する必要性を示した．また，Ohmori（1978）は，50mDEMを用いた高度分散量から，山地の成長段階を評価している．

本研究では，全国的に入手可能な10mDEMを用い，ArcGISにより流域単位での平均侵食量を求め，Ohmori（1978）の高度分散量のデータと比較した．

**2.対象地域**

Ohmori（1978）で分析している山地から発達段階別で，宗谷丘陵，太平山地，阿武隈高原，白神山地，三河高原，白山，関東山地，赤石山地，飛騨山脈に絞った．

**3.解析方法**

ArcGISにて集水域ごとの平均侵食量を算出した．

対象地域のDEMより(1)集水域の作成，(2)接峰面の作成（グリッド法），(3)侵食深の算出，(4)集水域ごとの平均侵食量を算出，これを元に(5)グリッドサイズを3から301の間で変更し，平均侵食量を算出した．(1)については累積流量図と河川データによりしきい値を決定し，二次河川以上を集水域とみなした．接峰面は侵食前の仮想的な地表とみなすことができることから，(2)で求めた接峰面とDEMの差分で(3)侵食深を算出し，(4)集水域ごとの平均侵食量を求めた．

(2)から(5)はスクリプトによる処理の自動化（Arcpy）により処理を行った．

**4.平均侵食量の関数化**

接峰面を作成した際に使用したグリッドサイズと侵食量の関係を関数化した．その際，一次関数，べき関数，指数関数，対数関数にグラフフィッテングし，近似曲線とその誤差について求めた．

この結果，最もフィットした関数は対数関数「y=alog(1+bx)」であり，誤差が最小であった．

bが一定，aがN倍の場合，グラフはN倍となる．aが一定，bがN倍の場合，グラフは1/Nに縮小する．よって，aは谷の深さを，bは谷幅を表すと考えられる．

**5.山地別平均侵食量の評価**

関数化した山地別平均侵食量から，係数による散布図を作成した．

Ohmori（1978）の地形発達区分による同じ地形発達段階でも，白神山地や三河高原のように，地形発達としては三河の方が進んでいるとされているが，谷は白神山地の方が深いことが読み取られ，白神山地はより急な谷が存在していることがわかった．

**6.まとめ**

平均侵食量の関数化により，同じ山地内の侵食部分の特定が可能となる．また，Ohmori（1978）の地形発達区分と合わせ，これから侵食する場所も把握できる．

更に，山地の規模を広げた考察が可能であるため，山地の発達段階を予想することができる．反対に規模を狭め，集水域単位での考察も可能であることから，今後の地形変化の評価ができると考えられる．

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：地形発達、数値標高モデル（DEM）、平均侵食量、高度分散量、地理情報システム（GIS）
Keywords: Geomorphic development, Digital elevation model(DEM), Average erosion, Altitudinal dispersion, Geographic Information System(GIS)

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 地すべり崩壊地における土砂の移動とガリーの時系列的発達
# The Movement of Sediment and Development of Gullies Inside of Landslide area

*堀川 泰寛[1]、青木 賢人[2]
*Yasuhiro Horikawa[1], Tatsuto Aoki[2]

1. 筑波大学、2. 金沢大学
1. Tsukuba University, 2. Kanazawa University

ホートンの法則に代表される水系網の特性を理解する研究には、大きく分けて2つのアプローチがある。1つは既存の地形をもとに水系網を記述し、その特性を把握するものである。Schumm(1956)に見られるホートンの法則は、この経験則から導き出された．ただし，このアプローチでは水系網の形成プロセスを直接理解することは難しい。もう一つは、柏谷など(1974)に見られる、実験により水系網を発生させ特性を明らかにするアプローチである。ただし，土層構造などの各種条件を均一化して実験を行っているため，現実の斜面の状況を反映しているわけではない．本研究では，その両者のつなぐことを目的として、水系網が発生していない現実の初生的斜面をフィールドとしてガリーの発達過程を調べ、ホートンの法則との整合性を考察した。

調査地は、石川県金沢市にある第三紀海成層上に2017年11月に形成された新しい円弧状地すべりの発生域の斜面である。地形表面には大小の粒径が淘汰されていない土層が分布している。この斜面における水系網の時系列的な変化を、UAVによるリモートセンシングで調べた。並行して，水系網の発達プロセスを把握するために以下の4つの調査を行った。①地表面に塗料を塗布し降雨の前後における表面の剥離を把握した．②斜面に杭を差し侵食量と堆積量を求めた．③ガリーの横断面型を反復計測し，形状の変化を把握した．④ガリーの内部の土砂の移動を見るために、レンガを用い内部の礫の挙動を記述した。

2018年7月から11月までの調査の結果、水系網は崩壊地の奥まで侵入し、ガリーで覆われた。ホートンの第1及び第2法則について調べた結果、調査地の水系網は調査前後でホートンの第1法則と適合した。一方でホートンの第2法則については適合せず、水路の平均長はそれぞれの次数でほぼ同じであった。水系網の形状は形成初期の平行状から樹枝状へと変化し始める過程が見られた。この崩壊地の地表面は土壌硬度が2～4kg/㎠ほどと侵食されやすく、頻繁に土砂移動が発生する。また、滑落崖を除き斜面上では侵食と堆積が繰り返し発生した。ガリーに関して、下刻と側方侵食による堆積物中の粒径の大きな礫が抜け落ちる現象が見られた。レンガが最も大きく移動したのは7月から9月までの間で、累積降水量が多い時期であり、側方侵食と礫の抜け落ちが見られたのもこの時期である。崩壊地の内部では、侵食と堆積が頻繁に発生し、ガリー侵食は連続的ではなく間欠的に発生することが分かった。

実際の地形と実験での地形形成を比較した際、実験の場合では常に侵食量が堆積量を上回るように設計してある。一方で実際の地形では、長期的なスパンでは侵食速度の方が堆積速度を上回るものの、地表面の堆積速度を侵食速度が上回るまで水系網の拡張の元となる河川争奪が十分に発生せず水系もう発達の一部が阻害されたからだと考えられる。また、調査中は地すべり発生域の凹地が変化することがなく、リルがそのままガリー化した場合も見られ、水系網の活発な統合が起きなかったことが考えられる。これらを踏まえて、次数の低い谷の長さが小さくならなかったのには、崩壊地の内部の次数の低い谷がより上流に延長したことや、崩壊地内部の微細な高低差によって、2・3・4・次谷の延長が伸びなかったためだとみられる。

参考文献

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

・柏谷健二・横山康二・奥田節夫 1974 ガリーの発達に関する計測と考察. 地理学評論 47-4: 413-425

・S.A. Schumm 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. In Geological Society of America bulletin 67: 597-646.

キーワード：ガリー侵食、地すべり地、マスムーブメント
Keywords: Gully Erosion, Landslide, Mass Movement

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 地上レーザー測量（TSL）で識別される丘陵谷頭部の微細地形
# Detailed topographic survey of valley head in hill by terrestrial laser scanning

*西城 潔[1]、古市 剛久[2]、今野 明咲香[3]
*KIYOSHI SAIJO[1], Takahisa Furuichi[2], Asaka Konno[3]

1. 宮城教育大学、2. 北海道大学農学研究院、3. 常葉大学
1. Miyagi University of Education, 2. Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, 3. Tokoha University

宮城県大松沢丘陵の谷頭部において、地上レーザー測量（TSL）による精密測量を行い、等高線間隔0.5mの等高線図を作成した。その結果、谷頭部の微地形区分がより精確に行えるようになっただけでなく、従来、必ずしも十分には認識されてこなかった微細地形が容易に認識できるようになった。こうした微細地形の特徴を明らかにすることにより、谷頭部付近のミクロな土砂移動プロセス、炭焼きなどの里山利用に伴う人為的地形改変などが把握できる可能性がある。

キーワード：丘陵、谷頭部、微細地形、地上レーザー測量
Keywords: hill, head hollow, microtopography, terrestrial laser scanning

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 谷頭凹地の地下構造推定における電気探査の適用ー筑波山花崗岩斜面における事例ー

# Preliminary application of electrical resistivity tomography to estimate subsurface structure of unchanneled valley: A case at granitic hillslope near Mt. Tsukuba, Japan

*吉原 直志[1]、八反地 剛[2]
*Naoyuki Yoshihara[1], Tsuyoshi Hattanji[2]

1. 筑波大学大学院生命環境科学研究科、2. 筑波大学生命環境系
1. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

地下構造，特に土層厚は，表層崩壊の発生に関わる重要な一要素である．しかし，地下構造の空間的かつ連続的な把握には多大な労力と時間を要するため，より効率的な調査手法の確立が望まれる．地下構造の推定手法として電気探査の有用性が従来より議論されてきたが，実際には深層の水分分布に着目した探査事例が多いため，表層における地下構造の可視化を試みる余地がある．そこで，筑波山麓（茨城県）の花崗岩山地における谷頭凹地を対象として，二次元電気探査，簡易貫入試験，物性値の測定を実施し，表層地下構造の推定における電気探査の適用性について検討した．

電気探査の実施日には，先行降雨がほとんど観測されなかった．電極間隔を0.5 mに設定した探査により，高解像度の比抵抗分布図が得られ，土層（簡易貫入試験による抵抗値$N_c = 3$）の深度が4000～10000 Ω mの比抵抗域として可視化された．一方，基盤岩（$N_c = 30$）の深度と比抵抗域の対応関係は不明瞭であった．比抵抗分布図と物性値の測定結果から，探査時には地表面付近は乾燥しており，地下深部は地下水により湿潤状態であったことが示唆される．したがって，表層では物質ごとの表面伝導特性の違いが比抵抗値に反映されたと推定される．また地下深部の岩盤内部では，岩盤地下水に起因する液中伝導特性が比抵抗値に反映されたと推定される．

キーワード：表層崩壊、谷頭凹地、花崗岩、電気探査、地下構造
Keywords: Shallow landslide, Unchanneled valley, Granite, Electrical resistivity tomography, Subsurface structure

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 電気比抵抗探査に基づくドリーネの土層分布の推定 ー山口県秋吉台カルストの事例ー

# Estimating distribution of soil thickness in doline from electrical resistivity tomography: A case study in the Akiyoshi-dai Karst Plateau, Japan

*平本 直也[1]、八反地 剛[2]
*Naoya Hiramoto[1], Tsuyoshi Hattanji[2]

1. 筑波大学　大学院　生命環境科学研究科　地球科学専攻、2. 筑波大学　生命環境系
1. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

山口県秋吉台カルストの10個ドリーネにおいて2次元電気比抵抗探査を実施し，ドリーネの土層厚分布を推定した．また，GISを用いた地形解析を行い，地形量と土層厚の関係について考察した．電気探査により，すべてのドリーネの地下に比抵抗値の急激な遷移層が存在することを確認した．本研究では過去の簡易貫入試験による土層厚の測定結果に基づき，比抵抗値280 Ω·m～400 Ω·mを土層から基盤岩の遷移層と判断し，地表から比抵抗値280 Ω·mの層までを土層，比抵抗値400 Ω·mの層よりも深い部分を基盤岩と判別した．分析の結果，ドリーネ斜面上部の土層厚（最大6.5 m）は斜面下部（最大9 m）よりも小さく，ドリーネの底部の土層厚（最大11 m以上）は，斜面の土層厚（最大9 m）より大きいことが明らかになった．また，ドリーネ底部の場合，集水面積が大きいドリーネでは平均土層厚も大きくなる傾向があった．集水面積はドリーネ底部の土層厚を決定する主な要因の1つであることが推定される．

キーワード：カルスト地形、GIS、底部直径、傾斜、集水面積
Keywords: Karst landform, GIS, Bottom diameter, Slope, Catchment area

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 東京都伊豆諸島八丈島の三原山東側斜面にみられる甌穴(ポットホール)群とその成因

# Occurrence and origin of potholes developed on the eastern slope of Miharayama in Hachijojima, Izu Islands, Tokyo Prefecture, Japan

*石橋 隆[1]、松味 智晃[2]、樋口 蓮[2]、山本 由樹[2]、島田 圭吾[2]、森本 浩友[2]、島田 努[3]、朝倉 顯爾[4]
*Takashi Ishibashi[1], Tomoaki Mastumi[2], Ren Higuchi[2], Yuki Yamatmoto[2], Keigo Shimada[2], Hirotomo Morimoto[2], Tsutomu Shimada[3], Kenji Asakura[4]

1. 公益財団法人益富地学会館、2. 立命館大学探検部、3. ポットホール調査隊、4. 京都大学大学院理学研究科
1. Masutomi Museum of Geocience, 2. Ritsumeikan University Explorers Club, 3. Pothole Survey Team, 4. Kyoto University Graduate School of Science

【はじめに】　八丈島（東京都八丈町）の三原山東側の斜面を流れる沢筋には多数の欧穴（ポットホール，pothole）がみられる．この欧穴群が発見されたのは近年で，2016年に八丈町によって文化財指定がされた．しかし，欧穴群の分布状況やその成因については必ずしも明らかにされていないために，2014年から2016年にかけて欧穴の数や分布域，形態の計測，周辺の地質，水量，植生の調査が４次に渡って行われた．更に採取された岩石鉱物の諸分析も行われた．これらによって得られた情報を報告すると共に欧穴の形成機構について考察する．

なお，調査地域は富士箱根伊豆国立公園の特別地域内であり，試料の採取は自然公園法の定める環境省の許可（環関地国許第1509143号）を得て行なわれた．

【欧穴について】　甌穴については確たる定義づけがされていないが，『地学事典』（地団研，1996）では「河底や河岸の硬い岩面に浸食によりできた円形をした深い穴」とされている．定義が曖昧であるので八丈島では，次の基準設定のもとで調査が行われた．単に土砂が水流で削られている穴は含めず，周囲が岩盤で転礫などの運動等に伴って削られた穴で，次に述べる2点の測定基準において深さ10 cm，幅30 cm以上のものを欧穴とみなした．①深さは最深部を起点として，削られている高さまでの垂直距離とする．②幅は深さを測定した際の高さ基準（水の流出部の岩盤の頂点）から水平に測定し，長径と短径の平均直径とする．

【三原山東側斜面の欧穴群】　欧穴群は三原山東側末吉地区の斜面で多く発見されている．斜面には概ねWNW－ESE方向に小さい谷沢が幾つも並行してみられ，欧穴はこの谷沢の水路上に連続するように形成されている．9つの谷沢で欧穴が確認され，その総数は700に達する．中でも“本流”と称される谷沢はその延長および水量において最大で，欧穴の数も最も多く，欧穴群の形成様式が模式的といえる．今回は本流の調査結果を中心に報告する．本流では約530 mの水路において基盤岩に141の欧穴が確認された．欧穴の形態は大別して次の2タイプがみられる．①欧穴型：礫の運動などによって深く穿たれた典型的な欧穴，②スプーン型：直径の割に深さが浅いもの．スプーン型の小型のものは水流に対して調和的な方向に開口部が伸長しているものが多く認められる．欧穴型は19穴，スプーン型は122穴である．欧穴内には礫が認められるものもある．欧穴は傾斜12－18°程度の水路に数m間隔で階段状に連続して形成され，段の間は小さな滝状に斜面を水が流れる．欧穴がみられる基盤岩は玄武岩質溶岩であり，1-2 cm程の灰長石の自形結晶が多量に含まれるのが特徴的である．偏光顕微鏡による観察では，全体的にガラス質で流理構造が顕著で，前述の自形の灰長石以外には斜長石，単斜輝石，斜方輝石の1 mm以下の結晶が含まれる．露頭での観察では，しばしば数－数十cmのほぼ完晶質の玄武岩の角礫が捕獲岩として認められる．これはマグマが地表に至る過程で火道内壁などの岩石を捕獲したものと推定される．欧穴はこの玄武岩質溶岩の分布域のみに確認される．玄武岩質溶岩は，三原山の主成層火山体の一部であるとみなすことができ，その年代については菅(1998)によれば26-30 kaとされる．水路や周辺の岩盤の表面は磨滅により滑らかであり，水路の底や流量増加時には水路となる部分には，流れに調和的

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

な方向に筋状の窪みのパターンが認められる．歐穴内には礫がみられるが，円磨度の高いものが多く，岩石種は玄武岩質溶岩や捕獲岩と同様の玄武岩の割合が高い．水路脇の岩盤はコケなどにより覆われており，コケの群体には粒度3 mm以下程の砂礫が多量に抱えられていることが認められる．

【歐穴の形成機構】　歐穴の形成のためには，岩盤とそれを穿つ礫に加えて水の存在が不可欠である．歐穴がみられる玄武岩質溶岩の上下には，降下スコリアなどを主体とする層が認められる．この層では伏流する天水などが，不透水である玄武岩質溶岩の上部面で集まり，水路を形成する．玄武岩質溶岩の層には，火山性降下堆積物や火砕流堆積物の層が挟在している．これらの堆積物層は厚さが数十cmから6 m程度あり，浸食に著しく脆弱であるために水路においてはこの層のある場所で滝が形成されている．滝では堆積物層が側面切り崩し浸食作用によって滝が後退し，堆積層の上に載る玄武岩質溶岩層を滝壺に落下させて巨礫や礫が生産される．この礫が歐穴の形成に関与すると推定される．滝や歐穴内のボールミル的機構で発生する砂礫は，水流でのトラクションにより水路やその周辺の岩盤表面を磨滅して窪みを作ることに寄与し，スプーン型歐穴形成の一因となると推定される．参考文献：菅(1998): *第四紀研究*, **37**, 59-75. ; 地団研(1996): 1228.

キーワード：甌穴、八丈島、伊豆諸島、火山、玄武岩質溶岩
Keywords: pothole, Hachijojima, Izu Islands, volcano, basaltic lava

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 多摩川・荒川上流河谷における，最終氷期以降の支流の土砂供給様式の時空間変化

# Temporal and spatial changes of sediment supply processes from tributaries since the last glacial period in the upper valleys of the Tama and Ara rivers, central Japan

*高橋 尚志[1]、須貝 俊彦[1]
*Takayuki Takahashi[1], Toshihiko Sugai[1]

1. 東京大学大学院新領域創成科学研究科
1. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

山地から低地までの長期的な土砂動態システムを明らかにする上で，河川上流域における支流から本流への土砂移動過程とその時空間変化の評価は重要である．島津（1990; 1991）は，東北日本の山地河川において現河床礫を調査し，土石流停止勾配（80‰）を超える急勾配の支流が頻繁に流入する本流区間では，土石流により粗粒な礫が供給され，礫径のばらつきが大きくなること，80‰以下の支流が主に流入する区間では本流河川による選択運搬が卓越することを指摘した．しかし，支流から本流への土砂供給様式の長期的な時間変化を検討した事例は少ない．北海道および東北～中部日本の諸河川上流域では，最終氷期に河谷が埋積された結果，堆積段丘が発達している．関東山地を流れる多摩川・荒川上流河谷に発達する最終氷期の堆積段丘の多くは，支流性のToe-cut terraceである（Takahashi and Sugai, 2018など）．最終氷期の支流性段丘面の河谷横断方向への勾配（Sg）は，最終氷期の支流の河床勾配を示すと考えられ，これと現支流河床勾配（Sp）を比較することで，最終氷期以降の支流の河床勾配変化を推定できる．本報告では，多摩川・荒川上流河谷においてSpとSgを比較し，80‰を閾値として，最終氷期以降の支流の土砂供給様式の時空間変化について検討する．

多摩川・荒川上流域の同一支流では，SgよりSpが大きく，後氷期の本流の下刻に伴い，支流の侵食基準面高度が低下し，支流が急勾配化したことを示す．80‰を閾値として，支流を3タイプ（Type-A～C）に分類した．Type-Aは，Sg，Sp＞80‰，最終氷期以降土石流により本流河谷へ土砂を供給してきた支流である．Type-Bは，Sg≦80‰，Sp＞80‰，最終氷期に掃流，現在は土石流により土砂を供給する支流である．Type-Cは，Sg，Sp≦80‰，最終氷期以降掃流により土砂を供給してきた支流である．支流Typeに基づき，多摩川・荒川上流河谷を3つのセグメントタイプ（Seg. A～Seg. C）に分類した．Seg. Aは，Type-A支流が卓越する区間で，多摩川上流の軍畑より上流と，荒川の源流域に出現する．Seg. Bは，Type-B支流が卓越する区間で，多摩川の軍畑一青梅間と，荒川の秩父盆地上流部および狭窄部に出現する．Seg. Cは，Type-C支流が卓越する区間で，荒川の秩父盆地下流部および狭窄部に出現する．

多摩川，荒川ともに，Seg. Aは上流に限られ，最終氷期には，これより下流では本流のふるい分けが卓越していた可能性がある．Seg. Cが，荒川の秩父盆地下流部で出現することは，新第三系の丘陵に端を発する支流が流入するためと考えられる．荒川狭窄部は，新第三系に挟まれた変成岩が露出する区間であり，岩石制約によって河谷幅が狭くなることで，急勾配な支流が流入すると考えられる．Sp，Sgは，支流の集水域起伏比（Rr）と正の相関関係にある．Sp，Sg，Rrは，多摩川上流河谷では下流（東）へ減少する．荒川上流河谷では，これらの値が源流域（三峰口より上流）から秩父盆地（三峰口～皆野）にかけて減少し，狭窄部（皆野～寄居）で再び増加する．全体として下流へSp，Sg，Rrが減少する傾向は，関東山地の山稜が東へ低下する傾向を反映していると考えられる．本流の河床高度変化に応答した，支流から本流への河床勾配および土砂供給様式の変化は，上流河谷全体で一様ではなく，基盤の岩質や山地の起伏分布の影響を受けている可能性が示唆される．

キーワード：河成段丘、土石流、山地河川、土砂動態システム

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Keywords: fluvial terrace, debris flow, mountain river, sediment routing system

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 大磯丘陵東部における吉沢層構成礫の特徴から見た地形発達史と活構造の推定

# Landform evolution and active tectonics in the eastern part of Oiso Hills inferred by characteristics of gravels composing Kissawa Formation, Japan

*村木 昌弘[1]、須貝 俊彦[1]
*Masahiro Muraki[1], Toshihiko Sugai[1]

1. 東京大学大学院新領域創成科学研究科
1. Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo

**はじめに**

神奈川県南部に位置する大磯丘陵は周囲を活断層によって囲まれた隆起地塊で、第四紀後半における地殻変動のきわめて激しい地域であり、中でも大磯丘陵東部には、多数の短い活断層が存在する (図. 1: 活断層研究会編, 1991) が、本地域の地形発達史ならびに活構造については十分に解明されていない。筆者らは、対象地域に広く分布し最終間氷期を主堆積時期とする吉沢層 (町田・森山, 1968) の段丘礫を中心に堆積環境と古地形を推定し、現地形と比較することで、この地域の地形発達史と活構造を解明することを目的とし、調査・分析を行った。

**研究手法**

現成堆積物 (金目川現河床礫・相模湾現海浜礫) と吉沢層は、露頭面または堆積面のうえに 1 m ×1 m の方形枠を設け、表層 100 個の礫を大きい順に採取した。現河床礫は金目川沿い 5 地点、現海浜礫は金目川河口付近から西へ 7 地点、段丘構成層は 15 地点で採取した。採取した礫の礫径 (長・中・短径)、礫種、円磨度、風化度を計測・測定し、マトリクスはふるいを用いて全量分析した。露頭から採取した火山灰は、実体顕微鏡や偏光顕微鏡を用いて鉱物組成および火山ガラスの形状を観察し、SEM-EDS を用いた火山ガラスの主成分化学組成分析を行った。

また、研究対象地域を 2 つ (高麗山周辺地域と日向岡周辺地域) に分け、さらに高麗山周辺地域では活断層 (活断層研究会編, 1991) を境に 4 つのブロック (OSA ～ OSD) に分けて空中写真判読を行い、段丘面を区分した (図. 2)。

**結果**

金目川現河床礫 の平均中径は下流へ 7 cm から 3 cm に減少し、円磨度は 0.3 から 0.6 へ増大、扁平度は 0.3 ～ 0.4 程度で概ね一定する。構成礫種は、上流では火山砕屑岩が多数を占め、下流では砂岩・泥岩・礫岩の割合が増加する。相模湾沿現海浜礫 の平均中径は約 3 cm、円磨度は約 0.7、扁平度は地点によるが約 0.6 で、礫種は火山砕屑岩と砂岩・泥岩が卓越する。吉沢層構成礫の平均中径は約 2 cm で、円磨度は 0.6 ～ 0.7 程度、扁平度は 0.3 ～ 0.4 程度である。礫種は火山砕屑岩の割合が高く、砂岩・チャートが次ぐ。

空中写真判読より、対象地域一帯には、吉沢面に対比しうる最終間氷期に形成した段丘面 (吉沢 II 面)、七国峠海進 (230 ～ 250 Ka) 堆積物の堆積面である七国峠面が分布する。鷹取山東部地域の不動川右岸側に、不動川の支流によって形成されたと考えられる、角～亜角礫層からなる東部鷹取山面を認定し、その角～亜角礫層中に姶良丹沢火山灰 (AT: 30 ka ; 町田・新井, 2003 ; Smith et al., 2013) が挟在する。

**考察**

金目川現河床礫は上流から下流にかけて粒径が減少し、淘汰が良くなり、円磨度が増す一方、扁平化は進まないことや、相模川が完新世後期に相模平野の西寄りを流下し、現金目川の最下流部に相模川水系の礫を堆積

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

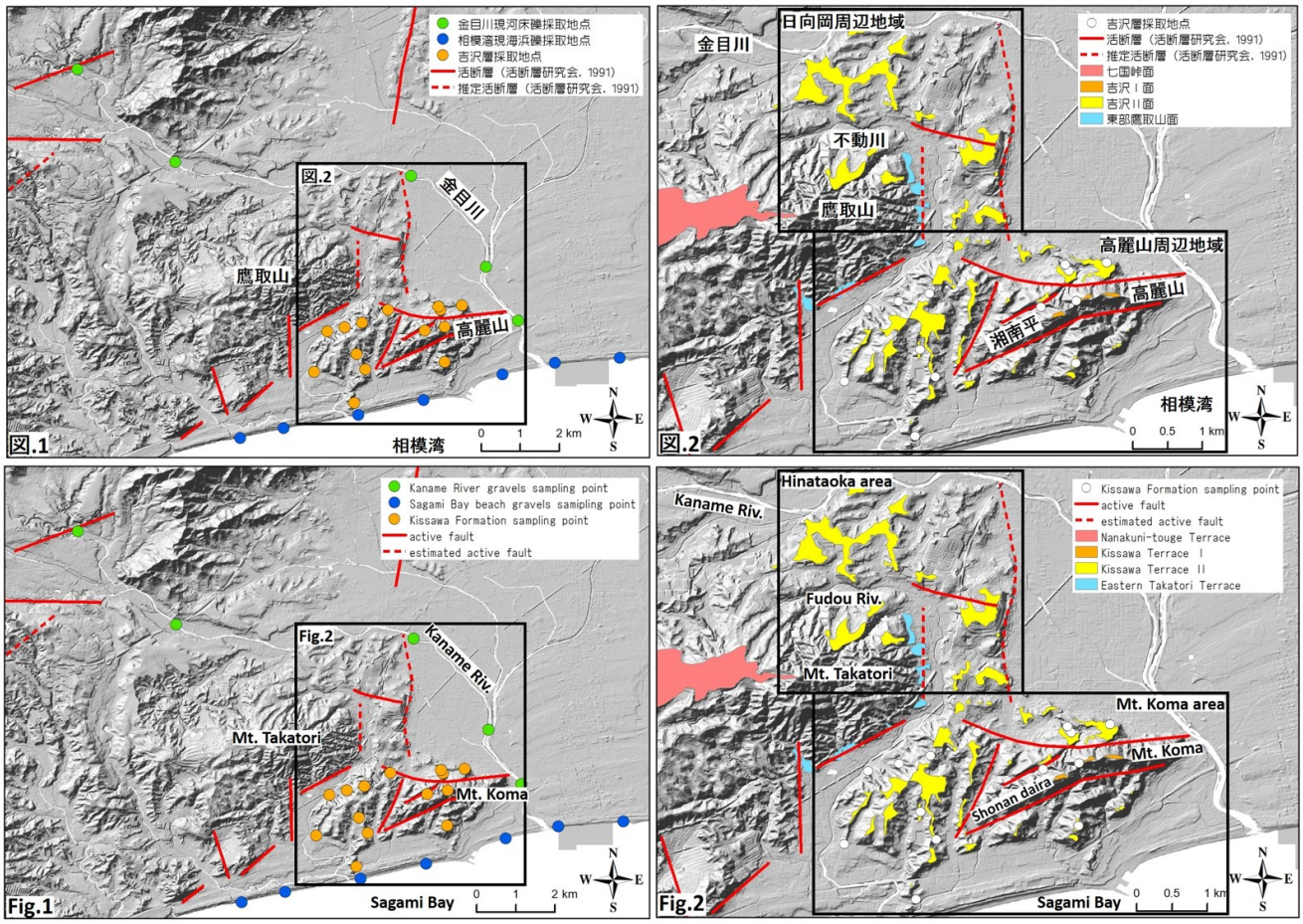
させた可能性があることが示唆された。相模湾現海浜礫は堆積場による影響を受けながら、波 (沿岸流) の営力によって磨耗作用とともに扁平作用も働くことが示唆された。また、金目川現河床礫が円磨度 0.6 以下、相模湾現海浜礫は円磨度 0.6 以上と区別できることを確認した。

吉沢層の分析結果から、OSB ブロックを境に、南北で堆積環境の違いが見られ、OSB ブロック (湘南平) の吉沢面 (吉沢 I 面) は最終間氷期より古い地形面である可能性が示唆された。また、最終間氷期 (吉沢層堆積完了期)、古金目川は生沢断層系によって生じた生沢構造谷に沿うように、現不動川流域に流れ込んでいた可能性が示唆された。吉沢層堆積後、現不動川上流が断ち切られ、日向岡断層や小向断層などの断層運動により流路が変化し、現在の流路位置となった可能性が高く、その後、現不動川が無能河川化することで、東部鷹取山面が、本流に削られることなく連続的に保存されたと考えられる。

引用文献

活断層研究会編 (1991) 東京大学出版会, 437 p. 町田・森山 (1968) 地理学評論, 41 巻, 4 号, p. 241-257. 町田 洋・新井房夫 (2003) 東京大学出版会, 336 p. Smith, V. C. et al., (2013) Quaternary Science Reviews, Vol. 67, p. 121-137.

キーワード：吉沢層、堆積環境、地形発達史、活構造、大磯丘陵
Keywords: Kissawa formation, depositional environment, landform evolution, active tectonics, Oiso hills




©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 鳥取県東部千代川における大規模出水の繰り返しによる砂礫移動と護岸崩壊

# Sediment movement and collapse of bank protections by a series of large flood events at the Sendai River, Tottori, southwest Japan

*小玉 芳敬[1]、竹本 健人[2]
*Yoshinori Kodama[1], Kento Takemoto[2]

1. 鳥取大学農学部、2. 兵庫県
1. Faculty of Agriculture, 2. Hyogo Prefecture

**はじめに**

2018年7月5日から7日に発生した西日本豪雨では，鳥取県智頭町では降り始めから7日午前10時までの総雨量が490.5 mm，同県佐治町では462.5 mm，同県若桜町では435.0 mmを記録した．これらはいずれも7月の観測史上最大値を示した．鳥取県東部を流れる千代川（流域面積：1,190 $km^2$，流路長：52km）では，河川護岸の崩壊が多発し，河原（砂礫堆）の形成が顕著に認められた．千代川では2017年7月，9月にも台風により2004年以来の大規模出水が生じていた．本研究の目的は，これらの大規模出水の繰り返しにより千代川で生じた土砂移動の実態を全川にわたり記載することである．そして，護岸崩壊の要因を明らかにすることである．

**調査方法**

石川においては，出水時の砂礫の移動に伴い砂礫堆と呼ばれる河床形がしばしば形成される．千代川で生じた大規模出水の前後における砂礫堆の変化を調べるために，比較的雲の少ない2016年3月，2018年2月，2018年11月のAirbus衛星写真を購入した．さらにより鮮明に写ったgoogle earthの画像（2018.06.02）を参考にしながら，Airbus衛星写真の解析を進め，堤外地で植生に覆われた部分，砂礫に覆われた部分，岩盤が露出した部分を判読し，砂礫堆の前縁部の傾斜急変線を描き，半波長の長さを計測した．砂礫堆前縁部に関しては，明瞭度に応じて実線と破線で区分した．

2018年8～11月に実施した現地調査では千代川本川にそって，護岸崩壊の位置をマッピングし，砂礫堆が明瞭な箇所では，レーザー距離計（Laser Technology社製，TruPulse360）を用いて，砂礫堆の最高点と水面との比高を計測した．

**結果および考察**

調査の結果，最上流部の未調査区間（流下距離：0-6.6 km）の除いて，千代川は3つの区間に分かれることが明らかになった．1つ目は，上流区間（流下距離6.6-11.8 km）で，河床砂礫が流亡し岩盤が広く河床に露出した河相が卓越した区間である．衛星写真は2018年6月に撮影された衛星写真では智頭町中原周辺の河道内には砂礫からなる河原が読み取れた．しかし，7月出水後の現地観察では，砂礫が流亡し岩盤が広く露出していた．この上流区間では11箇所の護岸崩壊を確認し，河床低下に伴い護岸の基礎部が宙に浮き上がった箇所もいくつか観察した．護岸はこのように支持を失い崩壊したと考えられる．

2つ目は流下距離11.8-31.0 kmの区間で，砂礫が河床を広く被覆して，砂礫堆が明瞭になった区間である．大規模な出水を重ねるに従って，それまで人為的に平滑化されていた河床に交互砂礫堆が発達し，それらの前縁部が明瞭になった．3つ目は流下距離31.0-48.4 kmの区間で，植生で覆われた高水敷きや河原と，低水

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

路内の砂礫堆の混在区間である．出水を重ねるに従って，低水路内の砂礫堆の連続性が良くなったことが分かった．

砂礫堆の半波長と比高の関係を調べた．下流区間では半波長が2,000 mに達するような波長の長い砂礫堆が観察されたのに対して，中流区間では半波長が500 m以下の砂礫堆がほとんどであった．これらのうち護岸の崩壊と関連した砂礫堆は，いずれも半波長400 m以下で，比高が2m程の起伏の大きい砂礫堆であっった．つまり水流の河岸への集中が激しくなり，局所洗掘が進み，護岸倒壊に至ったものと考えられる．

**おわりに**

千代川で2017年以降起きた大規模出水による砂礫の移動実態を衛星写真の比較と現地観察で明らかにした．上流部では砂礫が流亡し岩盤床が，下流部では砂礫堆が明瞭に発達する様子を捉えた．護岸の倒壊要因に関しては，砂礫の流亡による護岸支持基盤の喪失に伴う倒壊と，波長が短く比高の大きい砂礫堆による局所洗掘に伴う倒壊が明らかになった．

キーワード：大規模出水、護岸崩壊、岩盤露出、交互砂礫堆、衛星写真、平成30年西日本豪雨
Keywords: Large flood events, collapse of bank protection, bedrock exposure, alternate bar, satellite image, 2018 torrential rain in western Japan

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 遷急点の後退からみた大隅半島串良川における阿多火砕流堆積以降の下刻過程

# Channel incision history with knickpoint retreat in the Kushira River after the deposition of Ata pyroclastic flow, Osumi Peninsula, Kyushu, Japan

*高波 紳太郎[1]
*Shintaro Takanami[1]

1. 明治大学
1. Meiji University

笠野原の北縁を流れる串良川の河谷では、大隅降下軽石層の下位に阿多溶結凝灰岩が存在する（荒牧・宇井1966）．阿多溶結凝灰岩は谷田滝から上流で串良川河床に露出し，複数の遷急点を構成している．笠野原では入戸火砕流堆積物の侵食過程が横山（2000）によって明らかにされているが，阿多溶結凝灰岩の侵食に関しては不明である．そこで本研究は，串良川の阿多溶結凝灰岩形成（11万年前）から大隅降下軽石堆積（３万年前）までの８万年間，および最近３万年間のそれぞれにおける下刻過程を河床縦断形の変化により明らかにし，さらに，３期間（11万年間・８万年間・３万年間）での遷急点の平均後退速度を推定した．

まず，露頭調査やボーリングデータの整理によって得られた阿多溶結凝灰岩の上端および大隅降下軽石基底の高度をそれぞれ串良川の現河床縦断形に投影し，それらを阿多溶結凝灰岩の侵食開始時（11万年前），大隅降下軽石堆積直前（３万年前）における串良川の河床縦断形の上限とみなした．次いで11万年前・３万年前・現在の河床縦断形を互いに比較し，各河床縦断形上に認定された遷急点（現在の谷田滝）を対応づけて，平均後退速度を求めた．また，阿多溶結凝灰岩の一軸圧縮強度をシュミットロックハンマーＫＳ型によって13地点で測定した．

復元された河床縦断形は，11万年前の串良川が阿多溶結凝灰岩のなだらかな台地上を流れ，現在の河口から16 km付近に遷急点を伴っていたことを示す．この遷急点が現在の谷田滝の位置まで後退してきたと理解されることから，その平均後退速度は過去11万年間で5.4 cm／年と推定される．なお，阿多溶結凝灰岩の一軸圧縮強度は谷田滝の河床で突出して大きい値（$421\times10^6$ N／$m^2$）を示し，全体として下部ほど大きいという鉛直的変化がみられた．したがって，11万年前に形成された遷急点は河口から26 km付近に現存する遷急点にも対応づけられると考えた．この場合，過去11万年間の平均後退速度は8.6 cm／年となる．また，３万年前には河床縦断形が直線的かつ急勾配になり，阿多溶結凝灰岩を刻む串良川河谷は下流側ほど深くなっていたことが明らかとなった．このとき，現在の谷田滝に相当する遷急点は河口から19 km地点よりも下流側に存在し，11万年前から３万年前までの８万年間では最小でも2.6 cm／年，最近３万年間には最大で10 cm／年の後退速度であったといえる．

以上により，11万年前から３万年前までの間にも，串良川では阿多溶結凝灰岩の侵食が遷急点の後退とともに進行し，河床は低下していったと判断される．また，阿多溶結凝灰岩台地形成後に進行した串良川の下刻には，最終氷期における海面低下の寄与が大きいことも明らかとなった．

本研究には明治大学文学部の阿部英雄研究奨励金を使用した．

文献

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

荒牧重雄・宇井忠英（1966）阿多火砕流と阿多カルデラ．地質学雑誌 72：337-349.
横山勝三（2000）鹿児島県笠野原台地の地形と形成過程．地形 21：277-290.

キーワード：阿多溶結凝灰岩、遷急点、笠野原、串良川、海水準変動
Keywords: Ata welded ignimbrite, knickpoint, Kasanohara, Kushira River, sea-level change

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 日本列島における海成段丘と海底段丘の分布の比較
# Implications of the distribution of marine terraces and submerged terraces in Japanese Island

*小松 哲也[1]、日浦 祐樹[1]、高橋 尚志[2]、舟津 太郎[2]、村木 昌弘[2]、木森 大我[2]、須貝 俊彦[2]
*Tetsuya Komatsu[1], Hiura Yuki[1], Takayuki Takahashi[2], Taro Funatsu[2], Masahiro Muraki[2], Taiga Kimori[2], Toshihiko Sugai[2]

1. 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構、2. 東京大学大学院新領域創成科学研究科
1. Japan Atomic Energy Agency, 2. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

地層処分の信頼性向上に向けた技術開発課題の一つに、海域を含めた沿岸部付近における隆起・侵食に係る調査・評価技術の高度化がある。この課題の解決に向けた方法の一つとして、現在の陸域だけでなく、氷期に広く陸化すると考えられる大陸棚において地殻変動と侵食の指標となる地形の分布やその特徴から隆起・侵食量を推定することが考えられる。

大陸棚にみられる段丘地形、いわゆる海底段丘は氷河性海水準変動に伴う侵食・堆積により形成され、現在は海面下に分布している地形であると考えられている。このことを前提とすると、海底において隆起・沈降が生じている場合、その痕跡は連続した海底段丘の深度分布パターンにあらわれることが予想される。本研究では、そのような仮説を検証することを目的として、海底段丘とMIS 5eの海成段丘を投影断面図上に示し、両者の高度分布パターンの比較を行った。事例対象としたのは、オホーツク海沿岸、石狩湾～積丹半島、北海道南西岸～男鹿半島、津軽海峡（北海道側）、三陸、房総半島東部、土佐湾北東岸の7地域である。これらの地域における海底段丘とMIS 5eの海成段丘の投影断面図から読み取れた結果の要点を記す。

・海成段丘の高度と海底段丘群や大陸棚外縁の深度変化の傾向が調和的にみえる海域が存在する。注目すべきは、そのような海域の中には、海成段丘の高度変化の傾きに対して大陸棚外縁とそれ以浅の海底段丘の深度変化の傾きが小さく、逆に大陸棚外縁以深では海底段丘の傾きが同等か大きくなるケースがみられたことである。

・陸域の活断層ないしは推定活断層の海域延長部を境に海底段丘群の深度に変化がみられるケースが存在した。

これらのことは、海底段丘の深度分布の中に地殻変動を反映したものが含まれていることを示していると考えられる。それゆえ、海底段丘の発達史の理解が、海域における地殻変動様式の把握において重要である。海底段丘の発達史の理解に向けて、海底段丘の成因を音波探査記録等から把握すること、また海外の研究事例のように海底段丘から絶対年代試料を採取し、その形成年代を明らかにすることが望まれる。

本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「平成30年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（沿岸部処分システム高度化開発）」の成果の一部である。

キーワード：海底地形、海底段丘、海成段丘、地層処分
Keywords: seafloor landform, submerged terrace, marine terrace, geological disposal

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 与那国島南海岸の海蝕地形
# Marine erosional landforms along the southern coast of Yonaguni Island, Ryukyus

*木村 颯[1]、浦田 健作[2]、長谷川 均[3]、市原 季彦[4]、鈴木 淳[5]、堀 信行[6]、菅 浩伸[2]
*Hayate Kimura[1], Kensaku Urata[2], HASEGAWA Hitoshi[3], Toshihiko Ichihara[4], Atsushi Suzuki[5], Nobuyuki Hori[6], Hironobu Kan[2]

1. 九州大学大学院地球社会統合科学府、2. 九州大学大学院比較社会文化研究院 、3. 国士舘大学 、4. 堆積環境リサーチ、5. 独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門 、6. 奈良大学地理学科
1. Graduate school of integrated sciences for global society, 2. Graduate School of Integrated Sciences for Global Society, Kyushu University, 3. Kokushikan University, 4. Sedimentary Environments Research, 5. Geological Survey of Japan National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 6. Department of Geography, Nara University

与那国島は日本の最西端に位置する島である. その海岸域は三紀層である八重山層群の堆積岩, 更新統の琉球石灰岩より構成されており, 海蝕地形が広く見られる. 海崖は高低差が大きく, 接近が困難である. そのような地形の観察が難しい海蝕崖を含めた海岸を, ドローンにより撮影し, 3次元モデルを作成した. モデルの観察を行い, 海蝕地形の形成過程について考察をおこなった.

与那国島の東岸から南岸にかけて, 6地域を対象として調査を実施した. ドローンはDJI Phantom 4 Proを使用し, アクセス可能な場所についてはGCPを設置した. SfM-MVS用ソフトウェアとしてPhotoScan Professionalを用い, 地形のモデルを作成した.

観察の結果, 岩質によって形態の大きく異なる海蝕地形が形成されることが分かった. 石灰岩海岸では, 場所によっては数百m規模の崩壊地形が形成されていた. 崩壊は不整合面の未固結層, 石灰岩内の砕屑性堆積物で構成される箇所における活発な侵食を発端とすると考えられる. また, 三紀層である八重山層群の堆積岩よりなる海崖は, 砂岩頁岩互層と塊状砂岩よりなる崖で形態が異なる. 互層よりなる海崖においては層理面に沿って剥がれ落ちるように侵食を受けるため, 海蝕崖基部に平坦な地形がつくられる. 一方, 塊状砂岩は岩塊ごと崩壊するため, 崖基部に巨礫よりなる崖錐を形成する.

以上のように, 与那国島南海岸においては, 岩質を反映した海蝕地形の多様性が認められる.

キーワード：SfM多視点ステレオ写真測量、フォトグラメトリー、海蝕崖、波蝕棚、八重山層群、琉球石灰岩
Keywords: SfM-MVS, Photogrammetry, Sea cliff, Shore platform, Yaeyama Group, Ryukyu Limestone

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 奄美大島住用湾の海底地形 ーマルチビーム測深による可視化ー
# Seafloor topography of Amami Sumiyo Bay -Visualization of Seafloor derived from multibeam bathymetric survey-

*田中 美保[1]、渡久地 健[2]、堀 信行[3]、木村 颯[4]、今井 志彦[5]、中島 洋典[6]、名島 弥生[7]、菅 浩伸[8]
*Miho Tanaka[1], Ken Toguchi[2], Nobuyuki Hori[3], Hayate Kimura[4], Yukihiko Imai[5], Yosuke Nakashima[6], Yayoi Najima[7], Hironobu Kan[8]

1. 九州大学大学院地球社会統合科学府、2. 琉球大学、3. 首都大学東京、4. 九州大学工学部、5. 岡山大学理学部、6. 有明工業高等専門学校、7. 総合研究大学院大学、8. 九州大学
1. Graduate School of Integrated Sciences for Global Society, 2. University of the Ryukyus, 3. Tokyo Metropolitan University, 4. School of Engineering, Kyushu University, 5. Faculty of science, Okayama University, 6. National Institute of Technology, Ariake College, 7. The Graduate University for Advanced Studies, 8. Kyushu University

浅海域は最終氷期の海水準変動を明らかにするうえで非常に重要な地域である。本研究では,奄美大島住用湾にてマルチビーム音響測深調査を行い,1mグリッドという高精度で海底地形図を作成した。

住用湾は奄美大島東岸に位置し,川内川と住用川の2つの水系が流れ込んでいる。測深調査は, ワイドバンドマルチビーム測深機R2Sonic2022を用いて2018年8月20日~9月2日に行った。また,同機器に搭載されているサイドスキャンソナー機能(TruePix/Snippets)を用いて反射強度を測定し,底質を判別した。

測深の結果,海底の地形分布が明らかになった。住用湾中央部の水深100m付近では明瞭な崖地形の発達が確認でき,氷期の低海水準時の侵食によって形成されたと考えられる。

本発表では,マルチビーム測深調査によって作成した高精度の海底地形図に国土地理院が提供している陸域の10mメッシュのDEMデータを統合し,奄美大島住用湾における海底地形の分布や成因,陸域からの連続性,底質分布,海水準変動との関係等に関する考察を行う。

キーワード：マルチビーム測深、海底地形、最終氷期、海水準、数値標高モデル(DEM)
Keywords: multibeam bathymetry, seafloor topography, last glacial stage, sea level, Digital Elevation Model (DEM)

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-SC 社会地球科学・社会都市システム

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_13

## [H-SC07] 地球温暖化防止と地学（CO2地中貯留・有効利用、地球工学）

コンビーナ:徂徠 正夫(国立研究開発法人産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門)、薛 自求(公益財団法人地球環境産業技術研究機構)、愛知 正温(東京大学大学院新領域創成科学研究科)

地球温暖化防止は世界規模での喫緊の課題であり、科学技術の総力を挙げた取り組みが求められている。本セッションでは、CO2排出量の削減法の一つであるCCUSに特化し、CO2の分離・回収および貯留、CO2有効利用、CO2EOR/EGRに関わる諸現象を対象とするのみならず、これらを実現する上での環境影響評価、安全性評価、モニタリング、定量評価(MMV)、社会的受容性拡大等の各手法に関して、最新の研究開発動向を議論する。昨年度に引き続き、地下でのCO2挙動に対する理解の深化に加えて、CCUSの実用化に向けて解決すべき課題の再認識をメイントピックとする。

### [HSC07-P01] 苫小牧$CO_2$圧入サイトの地震イベント震源決定精度の評価：数値シミュレーション研究

*王 璐琛[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1] (1.公益財団法人地球環境産業技術研究機構)

### [HSC07-P02] 機械学習による孔隙率分布推定の技術的課題：長岡CCSサイトの例

*三善 孝之[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1] (1.地球環境産業技術研究機構)

### [HSC07-P03] 貯留層中の超臨界$CO_2$影響評価のための繰り返し音波検層における振幅減少情報の利用

*中島 崇裕[2,1]、王 璐琛[2,1]、薛 自求[2,1] (1.（公財）地球環境産業技術研究機構、2.二酸化炭素地中貯留技術研究組合)

### [HSC07-P04] Geological sequestration in saline carbonate formations: $CO_2$-brine-rock interaction

*Shachi Shachi[1]、Brijesh Kumar Yadav[1]、Mohammad Azizur Rahman[2]、Mayur Pal[3] (1.Indian Institute of Technology Roorkee、2.Texas A&M University Qatar、3.North Oil Company, Qatar)

### [HSC07-P05] 炭酸塩反応に伴うキャップロック模擬岩石の遮蔽性能変化

*徂徠 正夫[1] (1.国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター)

### [HSC07-P06] $CO_2$ migration characteristics of microbubble and conventional sequestration in Berea sandstone revealed by X-ray CT imaging

*Hongyu Zhai[1,2]、Yi Zhang[1,2]、Hyuck Park[1,2]、Ziqiu Xue[1,2] (1.Geological Carbon dioxide Storage Technology Research Association,9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan、2.Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE),9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan)

### [HSC07-P07] $CO_2$ 注入試料の光ファイバーによるひずみ検出

*朴 赫[1]、孫 艷坤[1]、薛 自求[1] (1.公益財団法人 地球環境産業技術研究機構)

### [HSC07-P08] 光ファイバーにより計測された地層変形とその堆積学的解釈：房総半島砂泥互層帯水層の例

*伊藤 拓馬[1,2]、橋本 励[1,2]、薛 自求[1,2] (1.公益財団法人地球環境産業技術研究機構、2.二酸化炭素地中貯留技術研究組合)

### [HSC07-P09] How many data are necessary to make a suitable threshold for anomalous $pCO_2$ owing to $CO_2$ leakage?

*内本 圭亮[1,2]、渡辺 雄二[1,2]、西村 真[1,2]、薛 自求[1,2] (1.二酸化炭素地中貯留技術研究組合、2.公益財団法人地球環境産業技術研究機構)

# 苫小牧$CO_2$圧入サイトの地震イベント震源決定精度の評価：数値シミュレーション研究

# Evaluation of seismic event location accuracy of Tomakomai CO2 injection site: a numerical simulation case study

*王 璐琛[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1]
*Luchen Wang[1], Takahiro Nakajima[1], Ziqiu Xue[1]

1. 公益財団法人地球環境産業技術研究機構
1. RITE, Research Institute of Innovative Technology for the Earth

For CO2 injection monitoring in many CCS project, the most basic monitoring information is the seismic events. The seismic event location is the first step to understanding the causal process of a natural or induced fracture. In the case of CO2 geological storage, the location of an event is of special importance. The events in the reservoir may affect the storage capability. The events in the cap-rock may indicate the CO2 leakage. However, the location of the seismic event is probably to contain bias, especially for the limited seismic observation system. Therefore, the operator should understand that there is uncertainty in the location estimation of a detected event. In this study, we use the Tomakomai (Ocean Bottom Cable) OBC and borehole system (OB1 well) to study the seismic location accuracy in Tomakomai site. We believe that it can help to evaluate the event location effect with different azimuths and different depths. Moreover, this study may also be applied to the optimization of the seismic observation system.

At Tomakomai site, the permanent OBC is arranged as a line (length 3.6 km, containing 55 available sensors), deployed 2 m under the seabed. It is located above the CO2 reservoir and the center point is 3 km from the coast. The OB1 contains 4 sensors in the well with depths ranging from 2 km to 2.2 km. All sensors of OBC and OB1 contain a three-component geophone. Therefore, we can use only detected P phase signal for seismic location. We assume that the velocity model is layered and homogeneous, so that a simple model can be built based on the logging result. The ray-tracing method is employed in the seismic simulation and location process.

We compared the modelling event location accuracy for different azimuths and different depths. All events were distributed around Tomakomai site. The results showed that as the epicenter distance increases, the location errors increases. For the events which the epicenter is far away from the area enclosed by OBC and OB1, the locating effect is significantly worse. In addition, as the event depth increases, the location error also increases. The location error of shallow (0-1 km) events can be maintained within 1 m, while the location error of deep (8 km) events can reach the scale of several hundred meters. Ignoring the effects of the simulation method, it is obviously affected by the geometric distribution of the observation system.

Secondly, we also compared different observation system optimization strategies. The result indicated that, based on the Tomakomai seismic monitoring system, if the number of sensor is fixed, the longer OBC line can provide a better location result. Based on these analyses, future seismic monitoring system designs can be optimized for specific purposes (number of sensors, expected depth of monitoring, etc.).

キーワード：震源決定、地震モニタリング、3Dレイトレーシング、苫小牧サイト

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Keywords: event location, Seismic monitoring, 3D ray tracing, Tomakomai site

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 機械学習による孔隙率分布推定の技術的課題：長岡CCSサイトの例
# Technical Challenges of Machine Learning Approach for Porosity Estimation in Nagaoka CCS site

*三善 孝之[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1]
*Takayuki Miyoshi[1], Takahiro Nakajima[1], Ziqiu Xue[1]

1. 地球環境産業技術研究機構
1. Research Institute of Innovative Technology for the Earth

$CO_2$地中貯留において、$CO_2$貯留層の水理学的パラメータの空間分布モデルは、貯留量評価や圧入$CO_2$の広がりを把握するために実施される流動シミュレーションの入力モデルとして重要な役割を果たしている。孔隙率や浸透率といった水理学的パラメータの推定は、掘削坑井から得られるデータを用いて推定する方法がとられるが、坑井近傍の一次元的な物性値プロファイルしか得られない。対して、三次元弾性波探査データは、空間データとして取得されるため、このデータをガイドとして、貯留層パラメータを外挿する方法が有効である。CCSでは少ない数の坑井データしか利用できないことが多いが、たとえ一本であっても検層データと弾性波探査データの関係性を推定しモデル化することができれば、弾性波探査データ領域全体に拡張することで、貯留層パラメータの推定が可能となる。

機械学習は、既知の入力データと予測対象の関係性を学習することで、未知の入力データに対する予測を行う技術である。入力データの選び方や、学習モデルの構造などハイパーパラメータの決定は、データ依存となることが多い。地質モデル予測においては特に、サイト固有のパラメータスタディが必須と言われている。本研究では、４坑井が使用できる長岡CCSサイトデータを用いて、複数アトリビュートを入力データとしたときに考慮すべき技術的課題について検討したので報告する。

キーワード：CO2地中貯留、機械学習、地質モデル
Keywords: CCS, Machine Learning, Geological model

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 貯留層中の超臨界$CO_2$影響評価のための繰り返し音波検層における振幅減少情報の利用

# Utilization of wave attenuation in time-lapse sonic logging data to evaluate the effect of super-critical $CO_2$ in the reservoir

*中島 崇裕[2,1]、王 璐琛[2,1]、薛 自求[2,1]
*Takahiro Nakajima[2,1], Luchen Wang[2,1], Ziqiu Xue[2,1]

1.（公財）地球環境産業技術研究機構、2. 二酸化炭素地中貯留技術研究組合
1. Research Institute of Innovative Technology for the Earth, 2. Geological Carbon Dioxide Storage Technology Research Association

This paper discusses seismic wave attenuation by injected $CO_2$ in the formation. Seismic methods have been broadly used for the monitoring of injected $CO_2$ at many CCS sites. Concerning the velocity change by the existence of $CO_2$, the relationship between P-wave velocity and $CO_2$ saturation in rock samples and formation have been studied well. Some laboratory experiments studied amplitude of P-wave as well as the velocity change by the invasion of $CO_2$, and the change in amplitude was larger than that of time delay (e.g. Muller et al., 2010). Meanwhile investigations on amplitude attenuation were rather limited. In this paper, we investigated P-wave data in the results of time-lapse sonic logging at the Nagaoka site.
At the Nagaoka site, time-lapse well loggings have been conducted during the injection period and post injection period at observation wells, which are 40 m and 60 m apart from the injection well. The sonic logging was conducted 45 times during 12 years using Halliburton’s LFDL (Low Frequency Dipole-Sonic Logging Tool). Since it is not ascertain that the monopole transmitter has emitted the same energy at every logging, we chose a reference point in the cap rock 10 m above the target zone. At this depth, the formation was highly cemented with very small slowness, so the position was easily recognized in wave data and its wave field would not change during the $CO_2$ injection. We took the amplitude of the first P-wave arrival as the reference. We also assume that the emitted energy from the transmitter would not change at the reservoir within 15 m interval from the reference point.
Firstly, we compared the wave data at the depth where the largest change observed by $CO_2$ injected. We can see that the first arrival of P-wave at the nearest observation logging was shifted from 1.64 to 1.8 micro-sec at 14-th run. Amplitude of the peak was also gradually decreased after the $CO_2$ breakthrough, and the amplitude at 21-st run was clearly small. Next we calculated spectrum around the first P-wave arrivals, and found that high frequency components decreased much than the lower frequency components. This frequency shift looked like to be recovered during the imbibition process. These could be an evidence of wave-induced flow of two phase liquid.
From these analyses, amplitude attenuation can be observed in the sonic logging at geological storage site. The combination of seismic wave amplitude and time-delay could be applied for more reliable evaluation of $CO_2$ saturation as Azuma et al. (2014) pointed out. The amplitude change might be effective in the early detection of $CO_2$ leakage along the well, if results as the laboratory experiments were obtained in the field. An effective measurement for this purpose could be realized with the use of DAS-VSP.

キーワード：CO2地中貯留、音波検層波形データ、P波速度、P波振幅、長岡サイト
Keywords: Geological CO2 storage, Sonic logging wave data, P-wave velocity, P-wave amplitude, Nagaoka site

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Geological sequestration in saline carbonate formations: $CO_2$ -brine-rock interaction

*Shachi Shachi[1], Brijesh Kumar Yadav[1], Mohammad Azizur Rahman[2], Mayur Pal[3]

1. Indian Institute of Technology Roorkee, 2. Texas A&M University Qatar, 3. North Oil Company, Qatar

To reduce unequivocal global warming due to continuous emission of greenhouse gas $CO_2$ into atmosphere, geo-sequestration is one such emerging technology. For geologic sequestration, $CO_2$ is injected into suitable deep subsurface formations at supercritical temperature and pressure conditions. Saline carbonate formations are one such promising sink due to its wide spread availability and enormous storage potential. In this study, a series of experiments have been performed on carbonate cores for finding out the effect of injected supercritical $CO_2$ in subsurface formations. The laboratory study reported here investigated the cyclic injection of $scCO_2$ and brine on two types (Edward White and Edward Yellow) of core samples under reservoir conditions. Further, the pre and post flooded carbonate core samples are analysed for mineralogical changes of $CO_2$-brine-rock interaction using image analysis techniques such as FeSEM and EDX. The cyclic injection provides the differential pressure (DP) profile of the two samples with time, and is found to have increased with successive injection cycles. The FeSEM images showed that there was some dissolution and precipitation of minerals after the $CO_2$ flooding emphasizing on solubility trapping and EDX provides the quantitative information about mineral compositions. The results are also compared for both porosity and permeability changes which are found to have decreased post $scCO_2$ flooding. The results of this study provide vital information about mineralogical changes and thus will enhance the knowledge of implementing full scale $CO_2$ sequestration in subsurface carbonate formations.

Keywords: Global warming, geo-sequestration, image analysis, mineralogical changes

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 炭酸塩反応に伴うキャップロック模擬岩石の遮蔽性能変化
# Changes in sealing performance of artificial caprocks caused by carbonate reactions

*徂徠 正夫[1]
*Masao Sorai[1]

1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター
1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

$CO_2$地中貯留は、キャップロックにより$CO_2$が地表に漏洩することなく安定に隔離され続けることを前提としている。しかしながら、$CO_2$が溶解した間隙水中で長期にわたる地化学プロセスを経た後も、キャップロックの遮蔽性能が保証されるかどうかは確認されていない。そこで、本研究では反応に伴う岩石の遮蔽性能の変化を定量的に評価した。

岩石の反応とそれに伴う空隙構造の変化を定量的に理解するためには、反応プロセスが明確、かつ空隙構造を制御した系で実験を行うことが合理的である。そこで、0.5、1、5、10μmの粒径からなる2種類の密度のシリカ粒子焼結体をベースとし、その間隙中に炭酸カルシウム（$CaCO_3$）を含む人工試料を作製して供試体とした。本試料を10 MPa、40ºCの超臨界$CO_2$ー水条件下で反応させ、浸透率$k$の経時変化を調べた。

岩石空隙中の$CaCO_3$が溶解すると$k$が増加し、逆に$CaCO_3$が沈殿すると$k$が低下することが予想される。このシナリオを実験結果に適用し、$CaCO_3$の反応に伴う$k$の変化のメカニズムを考察した。高密度試料では、$CO_2$溶存水の浸透により試料の周囲から$CaCO_3$が溶解するが、溶液が$CaCO_3$飽和濃度に達するとそれ以降の溶解は起こらない。また、溶液が飽和濃度に達していなくても、試料内部では溶出成分の逃げ場がないため、局所的に$CaCO_3$に対して過飽和となり、再沈殿が起こり得る。このため、$k$は初期に増加するが、その後は一定あるいは元のレベル程度まで低下することが予想される。これに対して低密度試料では、$CO_2$溶存水が試料深部にまで浸透し、試料表面と内部での物質の移動も容易であるため、より多くの$CaCO_3$が溶出することで$k$が増加する。今後は、$k$に依存した岩石内部での浸透速度と$CaCO_3$含有量に基づいて、キャップロックからの漏洩リスクの定量化を図ることが課題である。

キーワード：CO2地中貯留、遮蔽性能、地化学反応、キャップロック、炭酸塩鉱物
Keywords: Geological CO2 storage, Sealing performance, Geochemical reactions, Caprock, Carbonate minerals

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# $CO_2$ migration characteristics of microbubble and conventional sequestration in Berea sandstone revealed by X-ray CT imaging

*Hongyu Zhai[1,2], Yi Zhang[1,2], Hyuck Park[1,2], Ziqiu Xue[1,2]

1. Geological Carbon dioxide Storage Technology Research Association,9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan, 2. Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE),9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan

$CO_2$ geological sequestration is an effective technique to mitigate the increase of global $CO_2$ emission and warming effect. To improve $CO_2$ storage capacity in porous sediments, we applied a new technology, of which a particular filter is utilized to generate supercritical $CO_2$ (SC) microbubble, for the SC injection. A Berea sandstone sample was used for the tests: the microbubble injection (MBI) and conventional injection (CI). By X-ray CT imaging, we find that the MBI can enhance the SC migration and sweep efficiency, and finally result in a higher SC saturation. To quantify the difference in SC saturation variation for MBI and CI, we classify the porous space (as imaged volume) into three subsets (low-porosity: $\Phi_L \leqq$ 19%; medium-porosity: 19%$<\Phi_M \leqq$22%; and high-porosity: 22%$<\Phi_H$). We identify that there are different SC migration patterns (P1: rapid and high-massed SC flow occupied large-sized porosity sites with an apparent migration trace; P2: slow and low-massed SC flow diffused into small-sized porosity sites; and P3: a mixed migration pattern of P1 and P2) dominated by the porosity distribution and sediment layers. The main differences in the flow characteristics of MBI and CI for the three groups of porosity sites are outlined as follows.

(1)-$\Phi_H$: At the beginning, the MBI formed a step-increased SC saturation gradient in the $\Phi_H$ sites along the axial direction. Subsequently, several times of SC saturation accumulation occurred before the injected SC reached 0.15 PV. In contrast, in the CI, there was a continuous SC flow migrated in the high-porosity sites from the inlet side to the outlet side before the injected SC reached 0.1 PV. After the SC flow transported to the left part (with a distance >150 mm from inlet side), the SC sweep efficiency became weakened. When the injected SC was greater than 0.08 PV, the increase of SC saturation propagated simultaneously from the central position towards inlet and outlet sides.

(2)-$\Phi_M$: In the $\Phi_M$ sites, before the injected SC smaller than 0.9 PV, the P1 model controlled the flow migration for MBI. Then the P3 model dominated the SC flow migration. In the CI, similar SC flow transport features also occurred, however, with a lower SC sweep efficiency, and the P3 model commenced until the injected SC approximated 0.15 PV.

(3)-$\Phi_L$: In the $\Phi_L$ sites, both the MBI and CI produced only the P1-type SC transport pattern. But the MBI had an earlier trigger time and higher SC saturation than CI.

These analyses demonstrate that the SC flow in the MBI can permeate into more porous space and build a higher $CO_2$ saturation than CI. The MBI has the potential to provide a more efficient and lower cost choice for the $CO_2$ geological storage.

Keywords: CO2 migration, Microbubble sequestration, Conventional sequestration, X-ray CT imaging

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# $CO_2$ 注入試料の光ファイバーによるひずみ検出
# Strain detection by optical fiber for $CO_2$ injected core specimen

*朴 赫[1]、孫 艷坤[1]、薛 自求[1]
*Hyuck Park[1], Yankun Sun[1], Ziqiu Xue[1]

1. 公益財団法人 地球環境産業技術研究機構
1. Research Institute of Innovative Technology for the Earth

In order to detect strain of rock specimen during $CO_2$ injection using optical fiber, a laboratory experiment was carried out using porous sandstone. Spiral direction strain of core specimen was detected by optical fiber. We compared the strain profiles in the case of one-phase flow (water only) and the case of two-phase flow ($CO_2$ in water saturated specimen). CT image analysis was also used to determine the internal state of the specimen. Sarukawa sandstone (diameter: 34.83mm, length: 179.50mm) was used in this study. Porosity of the specimen determined by X-ray CT imaging is 23.38%. This specimen is homogeneous overall, but there are some gravels in some places. The permeability is about 7 mDarcy. The experiment was conducted under the pressure and temperature conditions that simulate underground environments; pore pressure: 10MPa, temperature: 40 degrees Celsius. The confining pressure selected in this study is 12MPa. The specimen was first saturated with KI aqueous solution (11.5 wt%). The permeability was confirmed using the KI aqueous solution. The upstream pump was prepared at 10.5 MPa for differential pressure of 0.5MPa. The $CO_2$ flooding was carried out until the total fluid injection reaches about 7.6PV (pore volume). Optical fiber measurement and X-ray CT imaging were performed in all experimental steps. In the case of one-phase flow (water only), as soon as the water injection started, the strain profile was completed. And the strain profile was almost constant until the test ended. In the case of two-phase flow ($CO_2$ flooding in water saturated specimen), there was a small strain increase up to $CO_2$ breakthrough and there was a sudden strain increase after the breakthrough. In this study, it was possible to measure the spiral direction strain of 180mm long core specimen. At the same time, we could visualize the process of $CO_2$ flooding by X-ray CT image analysis. It has become possible to measure distortion of a long distance under the ground with a single optical fiber. It reveals that the optical fiber sensing is a potential tool for future $CO_2$ storage industries.

キーワード：光ファイバー、CO2フラッド、ひずみ検出、ひずみプロファイル、Ｘ線ＣＴ
Keywords: Optical fiber, CO2 flooding, strain detection, strain profile, X-ray CT

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 光ファイバーにより計測された地層変形とその堆積学的解釈：房総半島砂泥互層帯水層の例

# Bed deformation measured by distributed optical fiber and its sedimentological interpretation: alternated sandstone and mudstone aquifer, Boso Peninsula, Japan

*伊藤 拓馬[1,2]、橋本 励[1,2]、薛 自求[1,2]
*Takuma Ito[1,2], Tsutomu Hashimoto[1,2], Ziqiu Xue[1,2]

1. 公益財団法人地球環境産業技術研究機構、2. 二酸化炭素地中貯留技術研究組合
1. Research Institute of Innovative Technology for the Earth, 2. Geological Carbon Dioxide Storage Technology Research Association

砂泥互層から構成される帯水層を対象とし，光ファイバー現場実証試験が行われている．本サイトでは既存井戸を利用した揚水試験が行われ，それに伴う地層変形を分布式光ファイバーにより計測できている．これまでに実施された揚水試験の結果は，地下水の汲み上げが地層の圧縮ひずみとして検知され，地層のひずみは一様でないことが計測されている．この地層のひずみは，地層を構成する岩相の差異に由来する不均質性と密接に関係する可能性が高い．これまでに，光ファイバーで地層変形を計測している井戸からコア試料を掘削しているが，コア分析に基づく堆積学的な特徴は充分に把握されていないのが現状であった．本研究の目的は，コア試料の堆積学的な検討から地層の堆積環境および粒度分布の特徴を把握し，その堆積学的特徴と揚水試験により生じた地層のひずみとの関係を検討することである．

コア試料は房総半島更新統の帯水層から採取され，その岩相は砂泥互層を主体とする．コア試料の堆積相解析の結果から，砂泥互層を構成する砂層の粒度や堆積構造の鉛直変化の特徴は大きく3タイプに区分される．タイプ1は基底部に浸食面を有し正級化構造の発達するもの，タイプ2は基底部付近で逆級化を示した後，正級化構造を示すもの，タイプ3は礫サイズの泥岩偽礫を含むものである．上記砂層の特徴は，先行研究でも記載例があり，火山灰鍵層を利用した空間的な砂層単層解析や砂岩形状解析から，陸棚外縁帯三角州前縁部付近で形成されたことが指摘され，本コア試料の堆積相もその解釈を支持する．コア深度164～230mの粒度分析を行った結果，砂泥互層には3つの堆積サイクルが認められた．この堆積サイクルは，鉛直方向の不均質性に由来しており，その成因は海進・海退サイクルに応答している可能性がある．

揚水試験の結果，深度164～230mには地層の圧縮ひずみの生じない部分が4深度で確認された．これらの深度は光ファイバー設置器具の位置とは無関係であり，地層の堆積岩石学的特徴を捉えている可能性が高い．揚水による地層変形とコア分析に基づく堆積サイクルを比較すると，圧縮ひずみの生じた深度では砂層が粗粒化しており，変形の小さな深度では砂層は細粒化する傾向があることが判明した．これは，砂泥互層を構成する粘土分に乏しい淘汰良好な粗粒な砂層から選択的に揚水される現象を捉えており，地下流体移動には地層の不均質性が大きく影響することを示唆している．コア試料に認められる砂泥互層の堆積サイクルは，自然ガンマ線検層や比抵抗検層等の物理検層には明瞭に現れておらず，コア分析から明らかになるような詳細な地質状況の違いが光ファイバーによるひずみの変化として捉えられていることが判明した．今回の砂泥互層帯水層の事例研究から，光ファイバーの現場利用は，帯水層の地質性状と密接に関係する透水性等の水理地質学的情報を地層変形モニタリングから間接的に評価できる可能性があることが示された．

キーワード：砂岩泥岩互層、光ファイバー、地層変形監視
Keywords: Alternated sandstone and mudstone, Optic fiber sensing, Monitoring of bed deformation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# How many data are necessary to make a suitable threshold for anomalous $pCO_2$ owing to $CO_2$ leakage?

*内本 圭亮[1,2]、渡辺 雄二[1,2]、西村 真[1,2]、薛 自求[1,2]
*Keisuke Uchimoto[1,2], Yuji Watanabe[1,2], Makoto Nishimura[1,2], Ziqiu Xue[1,2]

1. 二酸化炭素地中貯留技術研究組合、2. 公益財団法人地球環境産業技術研究機構
1. Geological Carbon dioxide Storage Technology Research Association , 2. Research Institute of Innovative Technology for the Earth

日本では、海底下$CO_2$貯留は海洋汚染防止法により規制され、万が一の漏出の場合に速やかに検知できるようにモニタリングすることが求められている。地下深くの地層に貯留された$CO_2$が海に漏出すると、海水の炭酸系（pH, DIC, $pCO_2$など）の値が変化すると考えられる。そこで、これら炭酸系の異常値を見つけることが海洋モニタリングの一つの手法となり得る。しかし、炭酸系の自然変動は比較的大きいため、観測値が異常値かどうか判定するのは難しい。苫小牧CCS実証試験においては$pCO_2$がモニターされているが、漏出が起きたことがないにもかかわらず、測定値が異常と判定されたことが多々ある。自然変動を異常値と誤判定する擬陽性自体は避けることができないが、避けることができる擬陽性もある。例えば、不十分なベースラインデータに基づいて作られた不適切な基準値によって生じる擬陽性がそうである。本研究では、大阪湾で2002年から2010年に観測された四季調査データを解析し、どれだけのデータがあれば適切な基準値を作ることができるかを調べた。N（1≦N≦9）年分のデータを使って、$pCO_2$と溶存酸素飽和度の相関関係に基づく基準線を求め、それに9年分全データを適用し、基準線を超えるデータ（すなわち擬陽性）の数を数えた。四季調査データの場合には、適切な基準線を作るには少なくとも5年前後のデータが必要である。

キーワード：海底下CO2貯留、漏出、海洋監視、CCS
Keywords: offshore CO2 storage, leakage, marine monitoring, CCS

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-SC 社会地球科学・社会都市システム

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_20

## [H-SC07] 地球温暖化防止と地学（CO2地中貯留・有効利用、地球工学）

コンビーナ:徂徠 正夫(国立研究開発法人産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門)、薛 自求(公益財団法人地球環境産業技術研究機構)、愛知 正温(東京大学大学院新領域創成科学研究科)

地球温暖化防止は世界規模での喫緊の課題であり、科学技術の総力を挙げた取り組みが求められている。本セッションでは、CO2排出量の削減法の一つであるCCUSに特化し、CO2の分離・回収および貯留、CO2有効利用、CO2EOR/EGRに関わる諸現象を対象とするのみならず、これらを実現する上での環境影響評価、安全性評価、モニタリング、定量評価(MMV)、社会的受容性拡大等の各手法に関して、最新の研究開発動向を議論する。昨年度に引き続き、地下でのCO2挙動に対する理解の深化に加えて、CCUSの実用化に向けて解決すべき課題の再認識をメイントピックとする。

### [HSC07-P01] 苫小牧$CO_2$圧入サイトの地震イベント震源決定精度の評価：数値シミュレーション研究

*王 璐琛[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1] (1.公益財団法人地球環境産業技術研究機構)

### [HSC07-P02] 機械学習による孔隙率分布推定の技術的課題：長岡CCSサイトの例

*三善 孝之[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1] (1.地球環境産業技術研究機構)

### [HSC07-P03] 貯留層中の超臨界$CO_2$影響評価のための繰り返し音波検層における振幅減少情報の利用

*中島 崇裕[2,1]、王 璐琛[2,1]、薛 自求[2,1] (1.（公財）地球環境産業技術研究機構、2.二酸化炭素地中貯留技術研究組合)

### [HSC07-P04] Geological sequestration in saline carbonate formations: $CO_2$-brine-rock interaction

*Shachi Shachi[1]、Brijesh Kumar Yadav[1]、Mohammad Azizur Rahman[2]、Mayur Pal[3] (1.Indian Institute of Technology Roorkee、2.Texas A&M University Qatar、3.North Oil Company, Qatar)

### [HSC07-P05] 炭酸塩反応に伴うキャップロック模擬岩石の遮蔽性能変化

*徂徠 正夫[1] (1.国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター)

### [HSC07-P06] $CO_2$ migration characteristics of microbubble and conventional sequestration in Berea sandstone revealed by X-ray CT imaging

*Hongyu Zhai[1,2]、Yi Zhang[1,2]、Hyuck Park[1,2]、Ziqiu Xue[1,2] (1.Geological Carbon dioxide Storage Technology Research Association,9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan、2.Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE),9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan)

### [HSC07-P07] $CO_2$ 注入試料の光ファイバーによるひずみ検出

*朴 赫[1]、孫 艶坤[1]、薛 自求[1] (1.公益財団法人 地球環境産業技術研究機構)

### [HSC07-P08] 光ファイバーにより計測された地層変形とその堆積学的解釈：房総半島砂泥互層帯水層の例

*伊藤 拓馬[1,2]、橋本 励[1,2]、薛 自求[1,2] (1.公益財団法人地球環境産業技術研究機構、2.二酸化炭素地中貯留技術研究組合)

### [HSC07-P09] How many data are necessary to make a suitable threshold for anomalous $pCO_2$ owing to $CO_2$ leakage?

*内本 圭亮[1,2]、渡辺 雄二[1,2]、西村 真[1,2]、薛 自求[1,2] (1.二酸化炭素地中貯留技術研究組合、2.公益財団法人地球環境産業技術研究機構)

# 苫小牧$CO_2$圧入サイトの地震イベント震源決定精度の評価：数値シミュレーション研究

# Evaluation of seismic event location accuracy of Tomakomai CO2 injection site: a numerical simulation case study

*王 璐琛[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1]
*Luchen Wang[1], Takahiro Nakajima[1], Ziqiu Xue[1]

1. 公益財団法人地球環境産業技術研究機構
1. RITE, Research Institute of Innovative Technology for the Earth

For CO2 injection monitoring in many CCS project, the most basic monitoring information is the seismic events. The seismic event location is the first step to understanding the causal process of a natural or induced fracture. In the case of CO2 geological storage, the location of an event is of special importance. The events in the reservoir may affect the storage capability. The events in the cap-rock may indicate the CO2 leakage. However, the location of the seismic event is probably to contain bias, especially for the limited seismic observation system. Therefore, the operator should understand that there is uncertainty in the location estimation of a detected event. In this study, we use the Tomakomai (Ocean Bottom Cable) OBC and borehole system (OB1 well) to study the seismic location accuracy in Tomakomai site. We believe that it can help to evaluate the event location effect with different azimuths and different depths. Moreover, this study may also be applied to the optimization of the seismic observation system.

At Tomakomai site, the permanent OBC is arranged as a line (length 3.6 km, containing 55 available sensors), deployed 2 m under the seabed. It is located above the CO2 reservoir and the center point is 3 km from the coast. The OB1 contains 4 sensors in the well with depths ranging from 2 km to 2.2 km. All sensors of OBC and OB1 contain a three-component geophone. Therefore, we can use only detected P phase signal for seismic location. We assume that the velocity model is layered and homogeneous, so that a simple model can be built based on the logging result. The ray-tracing method is employed in the seismic simulation and location process.

We compared the modelling event location accuracy for different azimuths and different depths. All events were distributed around Tomakomai site. The results showed that as the epicenter distance increases, the location errors increases. For the events which the epicenter is far away from the area enclosed by OBC and OB1, the locating effect is significantly worse. In addition, as the event depth increases, the location error also increases. The location error of shallow (0-1 km) events can be maintained within 1 m, while the location error of deep (8 km) events can reach the scale of several hundred meters. Ignoring the effects of the simulation method, it is obviously affected by the geometric distribution of the observation system.

Secondly, we also compared different observation system optimization strategies. The result indicated that, based on the Tomakomai seismic monitoring system, if the number of sensor is fixed, the longer OBC line can provide a better location result. Based on these analyses, future seismic monitoring system designs can be optimized for specific purposes (number of sensors, expected depth of monitoring, etc.).

キーワード：震源決定、地震モニタリング、3Dレイトレーシング、苫小牧サイト

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Keywords: event location, Seismic monitoring, 3D ray tracing, Tomakomai site

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 機械学習による孔隙率分布推定の技術的課題：長岡CCSサイトの例
# Technical Challenges of Machine Learning Approach for Porosity Estimation in Nagaoka CCS site

*三善 孝之[1]、中島 崇裕[1]、薛 自求[1]
*Takayuki Miyoshi[1], Takahiro Nakajima[1], Ziqiu Xue[1]

1. 地球環境産業技術研究機構
1. Research Institute of Innovative Technology for the Earth

$CO_2$地中貯留において、$CO_2$貯留層の水理学的パラメータの空間分布モデルは、貯留量評価や圧入$CO_2$の広がりを把握するために実施される流動シミュレーションの入力モデルとして重要な役割を果たしている。孔隙率や浸透率といった水理学的パラメータの推定は、掘削坑井から得られるデータを用いて推定する方法がとられるが、坑井近傍の一次元的な物性値プロファイルしか得られない。対して、三次元弾性波探査データは、空間データとして取得されるため、このデータをガイドとして、貯留層パラメータを外挿する方法が有効である。CCSでは少ない数の坑井データしか利用できないことが多いが、たとえ一本であっても検層データと弾性波探査データの関係性を推定しモデル化することができれば、弾性波探査データ領域全体に拡張することで、貯留層パラメータの推定が可能となる。

機械学習は、既知の入力データと予測対象の関係性を学習することで、未知の入力データに対する予測を行う技術である。入力データの選び方や、学習モデルの構造などハイパーパラメータの決定は、データ依存となることが多い。地質モデル予測においては特に、サイト固有のパラメータスタディが必須と言われている。本研究では、４坑井が使用できる長岡CCSサイトデータを用いて、複数アトリビュートを入力データとしたときに考慮すべき技術的課題について検討したので報告する。

キーワード：CO2地中貯留、機械学習、地質モデル
Keywords: CCS, Machine Learning, Geological model

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 貯留層中の超臨界$CO_2$影響評価のための繰り返し音波検層における振幅減少情報の利用

# Utilization of wave attenuation in time-lapse sonic logging data to evaluate the effect of super-critical $CO_2$ in the reservoir

*中島 崇裕[2,1]、王 璐琛[2,1]、薛 自求[2,1]
*Takahiro Nakajima[2,1], Luchen Wang[2,1], Ziqiu Xue[2,1]

1.（公財）地球環境産業技術研究機構、2. 二酸化炭素地中貯留技術研究組合
1. Research Institute of Innovative Technology for the Earth, 2. Geological Carbon Dioxide Storage Technology Research Association

This paper discusses seismic wave attenuation by injected $CO_2$ in the formation. Seismic methods have been broadly used for the monitoring of injected $CO_2$ at many CCS sites. Concerning the velocity change by the existence of $CO_2$, the relationship between P-wave velocity and $CO_2$ saturation in rock samples and formation have been studied well. Some laboratory experiments studied amplitude of P-wave as well as the velocity change by the invasion of $CO_2$, and the change in amplitude was larger than that of time delay (e.g. Muller et al., 2010). Meanwhile investigations on amplitude attenuation were rather limited. In this paper, we investigated P-wave data in the results of time-lapse sonic logging at the Nagaoka site.
At the Nagaoka site, time-lapse well loggings have been conducted during the injection period and post injection period at observation wells, which are 40 m and 60 m apart from the injection well. The sonic logging was conducted 45 times during 12 years using Halliburton’s LFDL (Low Frequency Dipole-Sonic Logging Tool). Since it is not ascertain that the monopole transmitter has emitted the same energy at every logging, we chose a reference point in the cap rock 10 m above the target zone. At this depth, the formation was highly cemented with very small slowness, so the position was easily recognized in wave data and its wave field would not change during the $CO_2$ injection. We took the amplitude of the first P-wave arrival as the reference. We also assume that the emitted energy from the transmitter would not change at the reservoir within 15 m interval from the reference point.
Firstly, we compared the wave data at the depth where the largest change observed by $CO_2$ injected. We can see that the first arrival of P-wave at the nearest observation logging was shifted from 1.64 to 1.8 micro-sec at 14-th run. Amplitude of the peak was also gradually decreased after the $CO_2$ breakthrough, and the amplitude at 21-st run was clearly small. Next we calculated spectrum around the first P-wave arrivals, and found that high frequency components decreased much than the lower frequency components. This frequency shift looked like to be recovered during the imbibition process. These could be an evidence of wave-induced flow of two phase liquid.
From these analyses, amplitude attenuation can be observed in the sonic logging at geological storage site. The combination of seismic wave amplitude and time-delay could be applied for more reliable evaluation of $CO_2$ saturation as Azuma et al. (2014) pointed out. The amplitude change might be effective in the early detection of $CO_2$ leakage along the well, if results as the laboratory experiments were obtained in the field. An effective measurement for this purpose could be realized with the use of DAS-VSP.

キーワード：CO2地中貯留、音波検層波形データ、P波速度、P波振幅、長岡サイト
Keywords: Geological CO2 storage, Sonic logging wave data, P-wave velocity, P-wave amplitude, Nagaoka site

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Geological sequestration in saline carbonate formations: $CO_2$ -brine-rock interaction

*Shachi Shachi[1], Brijesh Kumar Yadav[1], Mohammad Azizur Rahman[2], Mayur Pal[3]

1. Indian Institute of Technology Roorkee, 2. Texas A&M University Qatar, 3. North Oil Company, Qatar

To reduce unequivocal global warming due to continuous emission of greenhouse gas $CO_2$ into atmosphere, geo-sequestration is one such emerging technology. For geologic sequestration, $CO_2$ is injected into suitable deep subsurface formations at supercritical temperature and pressure conditions. Saline carbonate formations are one such promising sink due to its wide spread availability and enormous storage potential. In this study, a series of experiments have been performed on carbonate cores for finding out the effect of injected supercritical $CO_2$ in subsurface formations. The laboratory study reported here investigated the cyclic injection of $scCO_2$ and brine on two types (Edward White and Edward Yellow) of core samples under reservoir conditions. Further, the pre and post flooded carbonate core samples are analysed for mineralogical changes of $CO_2$-brine-rock interaction using image analysis techniques such as FeSEM and EDX. The cyclic injection provides the differential pressure (DP) profile of the two samples with time, and is found to have increased with successive injection cycles. The FeSEM images showed that there was some dissolution and precipitation of minerals after the $CO_2$ flooding emphasizing on solubility trapping and EDX provides the quantitative information about mineral compositions. The results are also compared for both porosity and permeability changes which are found to have decreased post $scCO_2$ flooding. The results of this study provide vital information about mineralogical changes and thus will enhance the knowledge of implementing full scale $CO_2$ sequestration in subsurface carbonate formations.

Keywords: Global warming, geo-sequestration, image analysis, mineralogical changes

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 炭酸塩反応に伴うキャップロック模擬岩石の遮蔽性能変化
# Changes in sealing performance of artificial caprocks caused by carbonate reactions

*徂徠 正夫[1]
*Masao Sorai[1]

1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター
1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

$CO_2$地中貯留は、キャップロックにより$CO_2$が地表に漏洩することなく安定に隔離され続けることを前提としている。しかしながら、$CO_2$が溶解した間隙水中で長期にわたる地化学プロセスを経た後も、キャップロックの遮蔽性能が保証されるかどうかは確認されていない。そこで、本研究では反応に伴う岩石の遮蔽性能の変化を定量的に評価した。

岩石の反応とそれに伴う空隙構造の変化を定量的に理解するためには、反応プロセスが明確、かつ空隙構造を制御した系で実験を行うことが合理的である。そこで、0.5、1、5、10μmの粒径からなる2種類の密度のシリカ粒子焼結体をベースとし、その間隙中に炭酸カルシウム（$CaCO_3$）を含む人工試料を作製して供試体とした。本試料を10 MPa、40ºCの超臨界$CO_2$ー水条件下で反応させ、浸透率$k$の経時変化を調べた。

岩石空隙中の$CaCO_3$が溶解すると$k$が増加し、逆に$CaCO_3$が沈殿すると$k$が低下することが予想される。このシナリオを実験結果に適用し、$CaCO_3$の反応に伴う$k$の変化のメカニズムを考察した。高密度試料では、$CO_2$溶存水の浸透により試料の周囲から$CaCO_3$が溶解するが、溶液が$CaCO_3$飽和濃度に達するとそれ以降の溶解は起こらない。また、溶液が飽和濃度に達していなくても、試料内部では溶出成分の逃げ場がないため、局所的に$CaCO_3$に対して過飽和となり、再沈殿が起こり得る。このため、$k$は初期に増加するが、その後は一定あるいは元のレベル程度まで低下することが予想される。これに対して低密度試料では、$CO_2$溶存水が試料深部にまで浸透し、試料表面と内部での物質の移動も容易であるため、より多くの$CaCO_3$が溶出することで$k$が増加する。今後は、$k$に依存した岩石内部での浸透速度と$CaCO_3$含有量に基づいて、キャップロックからの漏洩リスクの定量化を図ることが課題である。

キーワード：CO2地中貯留、遮蔽性能、地化学反応、キャップロック、炭酸塩鉱物
Keywords: Geological CO2 storage, Sealing performance, Geochemical reactions, Caprock, Carbonate minerals

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# $CO_2$ migration characteristics of microbubble and conventional sequestration in Berea sandstone revealed by X-ray CT imaging

*Hongyu Zhai[1,2], Yi Zhang[1,2], Hyuck Park[1,2], Ziqiu Xue[1,2]

1. Geological Carbon dioxide Storage Technology Research Association,9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan, 2. Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE),9-2, Kizugawadai, Kizugawa Shi, Kyoto, 6190292 Japan

$CO_2$ geological sequestration is an effective technique to mitigate the increase of global $CO_2$ emission and warming effect. To improve $CO_2$ storage capacity in porous sediments, we applied a new technology, of which a particular filter is utilized to generate supercritical $CO_2$ (SC) microbubble, for the SC injection. A Berea sandstone sample was used for the tests: the microbubble injection (MBI) and conventional injection (CI). By X-ray CT imaging, we find that the MBI can enhance the SC migration and sweep efficiency, and finally result in a higher SC saturation. To quantify the difference in SC saturation variation for MBI and CI, we classify the porous space (as imaged volume) into three subsets (low-porosity: $\Phi_L \leqq$ 19%; medium-porosity: 19%$<\Phi_M \leqq$22%; and high-porosity: 22%$<\Phi_H$). We identify that there are different SC migration patterns (P1: rapid and high-massed SC flow occupied large-sized porosity sites with an apparent migration trace; P2: slow and low-massed SC flow diffused into small-sized porosity sites; and P3: a mixed migration pattern of P1 and P2) dominated by the porosity distribution and sediment layers. The main differences in the flow characteristics of MBI and CI for the three groups of porosity sites are outlined as follows.

(1)-$\Phi_H$: At the beginning, the MBI formed a step-increased SC saturation gradient in the $\Phi_H$ sites along the axial direction. Subsequently, several times of SC saturation accumulation occurred before the injected SC reached 0.15 PV. In contrast, in the CI, there was a continuous SC flow migrated in the high-porosity sites from the inlet side to the outlet side before the injected SC reached 0.1 PV. After the SC flow transported to the left part (with a distance >150 mm from inlet side), the SC sweep efficiency became weakened. When the injected SC was greater than 0.08 PV, the increase of SC saturation propagated simultaneously from the central position towards inlet and outlet sides.

(2)-$\Phi_M$: In the $\Phi_M$ sites, before the injected SC smaller than 0.9 PV, the P1 model controlled the flow migration for MBI. Then the P3 model dominated the SC flow migration. In the CI, similar SC flow transport features also occurred, however, with a lower SC sweep efficiency, and the P3 model commenced until the injected SC approximated 0.15 PV.

(3)-$\Phi_L$: In the $\Phi_L$ sites, both the MBI and CI produced only the P1-type SC transport pattern. But the MBI had an earlier trigger time and higher SC saturation than CI.

These analyses demonstrate that the SC flow in the MBI can permeate into more porous space and build a higher $CO_2$ saturation than CI. The MBI has the potential to provide a more efficient and lower cost choice for the $CO_2$ geological storage.

Keywords: CO2 migration, Microbubble sequestration, Conventional sequestration, X-ray CT imaging

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# $CO_2$ 注入試料の光ファイバーによるひずみ検出
# Strain detection by optical fiber for $CO_2$ injected core specimen

*朴 赫[1]、孫 艷坤[1]、薛 自求[1]
*Hyuck Park[1], Yankun Sun[1], Ziqiu Xue[1]

1. 公益財団法人 地球環境産業技術研究機構
1. Research Institute of Innovative Technology for the Earth

In order to detect strain of rock specimen during $CO_2$ injection using optical fiber, a laboratory experiment was carried out using porous sandstone. Spiral direction strain of core specimen was detected by optical fiber. We compared the strain profiles in the case of one-phase flow (water only) and the case of two-phase flow ($CO_2$ in water saturated specimen). CT image analysis was also used to determine the internal state of the specimen. Sarukawa sandstone (diameter: 34.83mm, length: 179.50mm) was used in this study. Porosity of the specimen determined by X-ray CT imaging is 23.38%. This specimen is homogeneous overall, but there are some gravels in some places. The permeability is about 7 mDarcy. The experiment was conducted under the pressure and temperature conditions that simulate underground environments; pore pressure: 10MPa, temperature: 40 degrees Celsius. The confining pressure selected in this study is 12MPa. The specimen was first saturated with KI aqueous solution (11.5 wt%). The permeability was confirmed using the KI aqueous solution. The upstream pump was prepared at 10.5 MPa for differential pressure of 0.5MPa. The $CO_2$ flooding was carried out until the total fluid injection reaches about 7.6PV (pore volume). Optical fiber measurement and X-ray CT imaging were performed in all experimental steps. In the case of one-phase flow (water only), as soon as the water injection started, the strain profile was completed. And the strain profile was almost constant until the test ended. In the case of two-phase flow ($CO_2$ flooding in water saturated specimen), there was a small strain increase up to $CO_2$ breakthrough and there was a sudden strain increase after the breakthrough. In this study, it was possible to measure the spiral direction strain of 180mm long core specimen. At the same time, we could visualize the process of $CO_2$ flooding by X-ray CT image analysis. It has become possible to measure distortion of a long distance under the ground with a single optical fiber. It reveals that the optical fiber sensing is a potential tool for future $CO_2$ storage industries.

キーワード：光ファイバー、CO2フラッド、ひずみ検出、ひずみプロファイル、Ｘ線ＣＴ
Keywords: Optical fiber, CO2 flooding, strain detection, strain profile, X-ray CT

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 光ファイバーにより計測された地層変形とその堆積学的解釈：房総半島砂泥互層帯水層の例

# Bed deformation measured by distributed optical fiber and its sedimentological interpretation: alternated sandstone and mudstone aquifer, Boso Peninsula, Japan

*伊藤 拓馬[1,2]、橋本 励[1,2]、薛 自求[1,2]
*Takuma Ito[1,2], Tsutomu Hashimoto[1,2], Ziqiu Xue[1,2]

1. 公益財団法人地球環境産業技術研究機構、2. 二酸化炭素地中貯留技術研究組合
1. Research Institute of Innovative Technology for the Earth, 2. Geological Carbon Dioxide Storage Technology Research Association

砂泥互層から構成される帯水層を対象とし，光ファイバー現場実証試験が行われている．本サイトでは既存井戸を利用した揚水試験が行われ，それに伴う地層変形を分布式光ファイバーにより計測できている．これまでに実施された揚水試験の結果は，地下水の汲み上げが地層の圧縮ひずみとして検知され，地層のひずみは一様でないことが計測されている．この地層のひずみは，地層を構成する岩相の差異に由来する不均質性と密接に関係する可能性が高い．これまでに，光ファイバーで地層変形を計測している井戸からコア試料を掘削しているが，コア分析に基づく堆積学的な特徴は充分に把握されていないのが現状であった．本研究の目的は，コア試料の堆積学的な検討から地層の堆積環境および粒度分布の特徴を把握し，その堆積学的特徴と揚水試験により生じた地層のひずみとの関係を検討することである．

コア試料は房総半島更新統の帯水層から採取され，その岩相は砂泥互層を主体とする．コア試料の堆積相解析の結果から，砂泥互層を構成する砂層の粒度や堆積構造の鉛直変化の特徴は大きく3タイプに区分される．タイプ1は基底部に浸食面を有し正級化構造の発達するもの，タイプ2は基底部付近で逆級化を示した後，正級化構造を示すもの，タイプ3は礫サイズの泥岩偽礫を含むものである．上記砂層の特徴は，先行研究でも記載例があり，火山灰鍵層を利用した空間的な砂層単層解析や砂岩形状解析から，陸棚外縁帯三角州前縁部付近で形成されたことが指摘され，本コア試料の堆積相もその解釈を支持する．コア深度164～230mの粒度分析を行った結果，砂泥互層には3つの堆積サイクルが認められた．この堆積サイクルは，鉛直方向の不均質性に由来しており，その成因は海進・海退サイクルに応答している可能性がある．

揚水試験の結果，深度164～230mには地層の圧縮ひずみの生じない部分が4深度で確認された．これらの深度は光ファイバー設置器具の位置とは無関係であり，地層の堆積岩石学的特徴を捉えている可能性が高い．揚水による地層変形とコア分析に基づく堆積サイクルを比較すると，圧縮ひずみの生じた深度では砂層が粗粒化しており，変形の小さな深度では砂層は細粒化する傾向があることが判明した．これは，砂泥互層を構成する粘土分に乏しい淘汰良好な粗粒な砂層から選択的に揚水される現象を捉えており，地下流体移動には地層の不均質性が大きく影響することを示唆している．コア試料に認められる砂泥互層の堆積サイクルは，自然ガンマ線検層や比抵抗検層等の物理検層には明瞭に現れておらず，コア分析から明らかになるような詳細な地質状況の違いが光ファイバーによるひずみの変化として捉えられていることが判明した．今回の砂泥互層帯水層の事例研究から，光ファイバーの現場利用は，帯水層の地質性状と密接に関係する透水性等の水理地質学的情報を地層変形モニタリングから間接的に評価できる可能性があることが示された．

キーワード：砂岩泥岩互層、光ファイバー、地層変形監視
Keywords: Alternated sandstone and mudstone, Optic fiber sensing, Monitoring of bed deformation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# How many data are necessary to make a suitable threshold for anomalous $pCO_2$ owing to $CO_2$ leakage?

*内本 圭亮[1,2]、渡辺 雄二[1,2]、西村 真[1,2]、薛 自求[1,2]
*Keisuke Uchimoto[1,2], Yuji Watanabe[1,2], Makoto Nishimura[1,2], Ziqiu Xue[1,2]

1. 二酸化炭素地中貯留技術研究組合、2. 公益財団法人地球環境産業技術研究機構
1. Geological Carbon dioxide Storage Technology Research Association , 2. Research Institute of Innovative Technology for the Earth

日本では、海底下$CO_2$貯留は海洋汚染防止法により規制され、万が一の漏出の場合に速やかに検知できるようにモニタリングすることが求められている。地下深くの地層に貯留された$CO_2$が海に漏出すると、海水の炭酸系（pH, DIC, $pCO_2$など）の値が変化すると考えられる。そこで、これら炭酸系の異常値を見つけることが海洋モニタリングの一つの手法となり得る。しかし、炭酸系の自然変動は比較的大きいため、観測値が異常値かどうか判定するのは難しい。苫小牧CCS実証試験においては$pCO_2$がモニターされているが、漏出が起きたことがないにもかかわらず、測定値が異常と判定されたことが多々ある。自然変動を異常値と誤判定する擬陽性自体は避けることができないが、避けることができる擬陽性もある。例えば、不十分なベースラインデータに基づいて作られた不適切な基準値によって生じる擬陽性がそうである。本研究では、大阪湾で2002年から2010年に観測された四季調査データを解析し、どれだけのデータがあれば適切な基準値を作ることができるかを調べた。N（1≦N≦9）年分のデータを使って、$pCO_2$と溶存酸素飽和度の相関関係に基づく基準線を求め、それに9年分全データを適用し、基準線を超えるデータ（すなわち擬陽性）の数を数えた。四季調査データの場合には、適切な基準線を作るには少なくとも5年前後のデータが必要である。

キーワード：海底下CO2貯留、漏出、海洋監視、CCS
Keywords: offshore CO2 storage, leakage, marine monitoring, CCS

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-RE 応用地質学・資源エネルギー利用

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_14

## [H-RE16] 資源地質学

コンビーナ:大竹 翼(北海道大学大学院工学研究院　環境循環システム部門)、荒岡 大輔(産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門)、高橋 亮平(秋田大学大学院国際資源学研究科)、野崎 達生(海洋研究開発機構海底資源研究開発センター)

鉱床は地球表層において有用元素・有用鉱物が濃集したものであり、マグマ活動、熱水活動、変成作用、風化作用などの地球のダイナミクスにより生み出される。また鉱床の形成は地球史における環境変動や生物の進化とも密接に関わっており、鉱床形成プロセスの解明には地質学、岩石学、地球化学、鉱物学、微生物学など地球科学の幅広い分野を融合した研究が必要である。このような資源地質学の分野は、効率的な資源探査・開発のみならず、資源開発に伴って引き起こされうる有害元素を理解・評価するためにも不可欠である。本セッションでは、このような地球表層における元素の移動や濃集に関わる研究について、野外調査・観測、室内実験、理論計算、分析手法の開発など様々な視点での発表を募集する。

[HRE16-P01] Mineral Chemistry and Petrogenesis of the Mazua Ultramafic Massif, Northern Mozambique: Constraints on the Associated Fe-Ti Oxides Deposit

*David Augusto Bene Unganai[1]、Akira Imai[2]、Ryohei Takahashi[1]、Daud Liace Jamal[3]、Takashi Hoshide[1] (1.Akita University、2.Kyushu University、3.Eduardo Mondlane University)

[HRE16-P02] **Ni-Cu-PGM Mineralisation in the Bastard Reef and Merensky Reef of the Flatreef section, Turfspruit Farm, Northern Limb, Bushveld Igneous Complex, South Africa.**

*MOKHIRI MALESELA MAKHAFOLA[1]、Tsubasa Otake[1]、Tsutomu Sato[1]、Danie Grobler[2] (1.Hokkaido University、2.Ivanplats Pty. Ltd)

[HRE16-P03] インドネシア・パプア州グラスベルグ斑岩銅－金鉱床における鉱化作用の特徴

*川嵜 兼彦[1]、米津 幸太郎[2]、Reza Furqan[3]、Benny Bensaman[4]、Mega Rosana[4] (1.九州大学大学院工学府、2.九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門、3.PT Freeport Indonesia、4.Department of Geology, Padjadjaran University)

[HRE16-P04] Formation of Ni-bearing minerals during chemical weathering of ultramafic rocks in Myanmar

*室伏 文佳[1]、伊藤 茜[1]、大竹 翼[2]、実松 健造[3]、Kyaw Zay Ya[1,4]、佐藤 努[2] (1.北海道大学大学院工学院、2.北海道大学大学院工学研究院、3.国立研究開発法人 産業技術総合研究所、4.地質調査鉱物探鉱局)

[HRE16-P05] Geological Characteristics and Mineralogy of the Makorungo and Nalia Gold Prospects, Northeastern Mozambique

*Manuel Augusto Manuel Nopeia[1]、Ryohei Takahashi[1]、Akira Imai[2]、Daud Liace Jamal[3] (1.Akita University、2.Kyushu University、3.Eduardo Mondlane University)

[HRE16-P06] Geochemical features of the Hishikari epithermal gold deposit based on simultaneous multi-element analysis

*西田 草太[1]、石田 美月[1]、安川 和孝[1,2]、中村 謙太郎[1]、藤永 公一郎[2,1]、加藤 泰浩[3,1,2] (1.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター、3.東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター)

[HRE16-P07] Transformation of ore minerals and their geochemical signatures in submarine hydrothermal ore deposits in Izena Hole, Okinawa Trough

*池島 拓郎[1]、大竹 翼[1]、佐藤 努[1]、伊藤 茜[1]、小野 修司[1]、石橋 純一郎[2]、野崎 達生[3]、熊谷 英憲[3]、前田 玲奈[3] (1.北海道大学、2.九州大学、3.海洋研究開発機構)

[HRE16-P08] Geochemical behavior of heavy metals during wastewater treatment in Chingola Stream of the Zambia Copperbelt

*Cryton Phiri[1]、Daiki Shimazui[2]、Tsutomu Sato[2]、Tsubasa Otake[2] (1.University of Zambia、2.Hokkaido University)

# Mineral Chemistry and Petrogenesis of the Mazua Ultramafic Massif, Northern Mozambique: Constraints on the Associated Fe-Ti Oxides Deposit

*David Augusto Bene Unganai[1], Akira Imai[2], Ryohei Takahashi[1], Daud Liace Jamal[3], Takashi Hoshide[1]

1. Akita University, 2. Kyushu University, 3. Eduardo Mondlane University

Economic magmatic Fe-Ti-V deposits are commonly hosted by mafic-ultramafic intrusions and massif-type anorthosites. The Mazua Ultramafic Massif (MUM), located in northeast Mozambique, is one of the most promising intrusions that host Fe-Ti oxides ore deposit in the country. The orebody is a 10-km long ilmenite-rich hornblende pyroxenite, which is in sharp contact with a banded biotite gneiss. The ore commonly occurs as layers/lenses, massive and dissemination in host rocks. The average grade of the ore is 27 wt.% $TiO_2$, 35 wt.% $Fe_2O_{3tot}$ and ~2 ppm V (Norconsult Consortium, 2007). However, detailed studies regarding the petrogenesis of the intrusion and its related Fe-Ti oxides ores are still scarce. Thus, we carried out microprobe and petrographic analyses to elucidate these issues.

The hornblende pyroxenite consists of ilmenite, diopside, and magnesiohornblende as main phases. Petrography reveals that the Fe-Ti oxides and pyroxenes are syngenetic. The composition of diopside ($Wo_{43.5–48.5}En_{36.0–41.4}Fs_{11.1–20.5}$) and occurrence of magnesiohornblende suggest tholeiitic, non-alkaline and hydrous (>3.0 wt.% $H_2O$) parental ultrabasic melt. In addition, the absence of olivine and orthopyroxene supported by wide range of #Mg in diopside (63.8–78.7) and magnesiohornblende (68.9–85.4) confirms the idea that the magma which formed MUM was differentiated.

Texture and variable mineral composition suggest that Fe-Ti oxides underwent extensive subsolidus re-equilibration during cooling, supported by the following evidences: (1) The Fe-Ti oxides show different types of micro-intergrowths such as (a) lamellae of ilmenite with clothing textures hosted in magnetite, (b) fine pattern exsolution lamellae (trellis) and blebs of aluminous spinel in magnetite, (c) reaction rims of aluminous spinel distributed along the boundary between magnetite and ilmenite and (d) re-equilibration textures involving Fe-Ti oxides and silicate phases. (2) The very low MgO content of primary ilmenite (<2 wt.%) is interpreted as a result of postcumulus oxide-silicate re-equilibration involving clinopyroxene and amphibole. (3) Determination of equilibrium conditions using geothermobarometer by Spencer & Lindsley (1981) indicates that Mazua Fe-Ti oxides last equilibrated at subsolidus temperatures (<600 ˚C) and high oxygen fugacity ($\log fO_2 > -20.0$ bars). The reconstruction of the primary composition of Fe-Ti oxides, by reintegration of exsolved with the host phases, leads to primary titanomagnetite with an ulvospinel component of ~20 mol%.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Ni-Cu-PGM Mineralisation in the Bastard Reef and Merensky Reef of the Flatreef section, Turfspruit Farm, Northern Limb, Bushveld Igneous Complex, South Africa.

*MOKHIRI MALESELA MAKHAFOLA[1], Tsubasa Otake[1], Tsutomu Sato[1], Danie Grobler[2]

1. Hokkaido University, 2. Ivanplats Pty. Ltd

The Bushveld Igneous Complex of South Africa is the largest layered igneous complex in the world and it is the current leading producer of platinum group metals globally. The Northern Limb is the northern extension of the complex currently mined (open pit) for a Ni-Cu-PGM rich deposit hosted in a lithologically variable igneous sequence dipping at about 45 degrees and has been intensively affected by contamination and alteration termed the Platreef (Kinnaird et al, 2005). Westwards of the Platreef lies the Flatreef section, which is a recently discovered sub-horizontal down-dip extension of the Platreef. It hosts the Ni-Cu-PGM rich deposit in two successive high-grade reefs termed the Bastard Reef and the Merensky Reef that are amenable for underground mining methods (Grobler et al, 2018). The Flatreef has not been studied in detail and this study reports on the petrographical and semi-quantitative investigations done on the mineralized reefs.
Logging and petrographical investigations revealed the Bastard Reef to comprise a fine to medium-grained equigranular feldspathic orthopyroxenite. Several metres below the Bastard Reef lies the Merensky Reef, which has been subdivided into 3 different units (M2, M1U and M1L) mainly based on mineralogical and textural variations. The M2 is the uppermost layer comprising medium to coarse-grained equigranular orthopyroxenite, denoted by cumulus orthopyroxene and is bound irregularly by a chromite seam at its top contact. The M2 orthopyroxenite is underlain by the M1U denoted by a cumulate textured pegmatoidal orthopyroxenite and is commonly bound by a chromite stringer at its top contact and a less consistent one at its base. The M1L, which is laterally less continuous, comprises a poikilitic textured harzburgite and/or varied-textured olivine-bearing orthopyroxenite. SEM analysis revealed sulphide mineral assemblages in the reefs usually comprising pyrrhotite, pentlandite and chalcopyrite as fine to medium-grained disseminations, blebs and net-textured sulphides. PGM mineralisation comprise a wide range of PGMs, mostly Platinum and Palladium dominated, grouped into bismithotellurides (-Bi-Te), antimonides, arsenides, Fe and Sn alloys, sulphides, as well as laurite ($RuS_2$) and Ir-Ru-Rh-Pt-Pd sulfoarsenides alongside chromite seams. Semi-quantitative analysis illustrates the Flatreef section to be an undisturbed magmatic sequence that is much less affected by assimilation and contamination. It retains much of its magmatic characteristics and provides a great opportunity to furthermore study magmatic processes that resulted in the formation of such an enigmatic deposit.

References

Grobler, D.F., Brits, J.A.N., Maier, W.D. and Crossingham, A. (2018) Litho- and Chemostratigraphy of the Flatreef PGE deposit, northern Bushveld Complex. Mineralium Deposita, 126, 1-26.

Kinnaird, J.A., Hutchinson, D., Schurman, L., Nex, P. and de Lange, R. (2005) Petrology and Mineralisation of the Southern Platreef: Northern Limb of the Bushveld Complex, South Africa. Mineralium Deposita, 40, 576-597.

Keywords: Ni-Cu-PGM, Bushveld Igneous Complex, Flatreef Section, Northern Limb

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# インドネシア・パプア州グラスベルグ斑岩銅ー金鉱床における鉱化作用の特徴

# Characteristics of Porphyry Copper-Gold Mineralization in the Grasberg Mine, Papua, Indonesia

*川嵜 兼彦[1]、米津 幸太郎[2]、Reza Furqan[3]、Benny Bensaman[4]、Mega Rosana[4]
*Kanehiko Kawasaki[1], Kotaro Yonezu[2], Reza Al Furqan[3], Benny Bensaman[4], Mega Fatimah Rosana[4]

1. 九州大学大学院工学府、2. 九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門、3. PT Freeport Indonesia、4. Department of Geology, Padjadjaran University
1. Kyushu University Facurity of Engineering, 2. Deaprtment of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, 3. PT Freeport Indonesia, 4. Department of Geology, Padjadjaran University

グラスベルグ-エルツベルグ地区は、インドネシア・パプア州に位置するスディルマン山脈の西側の高地に位置する。この地区は、グラスベルグ鉱山として世界屈指の斑岩銅ー金鉱山が操業しており、鮮新世の貫入岩中に銅・金鉱物が賦存している。これらの貫入岩はグラスベルグ複合岩体（Grasberg Igneous Complex：GIC）と呼ばれており、カリ貫入岩（Kali Intrusion：KI）、メイングラスベルグ貫入岩（Main Grasberg Intrusion：MGI）およびダラム貫入岩（Dalam Intrusion：DI）に分けられる。本研究の目的は、特に主要な鉱化作用を有するグラスベルグ地区のMGIの中でも西側における斑岩銅ー金鉱化作用に関連した鉱化流体と銅ー金鉱化作用の特徴を明らかにすることである。

本研究で用いた、試料は全て試錐コアAM-30-08H-05より採取したものである。このコアはKIより掘進が行われ、MGIを貫きDIまで達している（東から西方向）。顕微鏡観察により、銅鉱化作用は3つの形態に分類できることが明らかになった。石英脈中に存在する含銅（鉄）硫化物脈、含銅（鉄）硫化物の細脈、および鉱染状の存在する含銅（鉄）硫化物である。鉱脈型および細脈型の主要な鉱石鉱物は黄銅鉱であった。これらの形態においては、斑銅鉱が黄銅鉱脈の内部および黄銅鉱の周縁部に多く分布しており、これは中間固溶体および斑銅鉱固溶体からの離溶によって説明できる。鉱染状型においては、黄銅鉱および斑銅鉱が主要な鉱石鉱物であり、産状から一次鉱物であると判明した。黄銅鉱および斑銅鉱はしばしば共存していることから、鉱染状型においても中間固溶体および斑銅鉱固溶体から離溶したものと考えられる。一方で、その他の含銅鉱物（輝銅鉱、銅藍および方輝銅鉱）は、部分的に葉状の組織を形成している。これは明らかに、これら含銅鉱物は斑銅鉱からの交代によって生成されたものとみられる。加えて、輝銅鉱、銅藍および方輝銅鉱が二次鉱物として斑銅鉱の周縁部を交代しており、これは一次鉱物の生成の後に地下水の関与があったことを示唆している。自然金は、石英脈中の黄銅鉱中および鉱染状に存在する黄銅鉱内部に分布していた。石英脈中の黄銅鉱中では、斑銅鉱およびメレンスキー鉱と共生していた。メレンスキー鉱は既にGIC北部および南部において報告されているが、本研究でGIC西部において初めて同定され、SEM-EDXにより組成は$Pd_{1.0}Te_{2.0}$であった。メレンスキー鉱は、ブッシュフェルト複合岩体におけるメレンスキー層のように、白金族元素の鉱化に関連する超苦鉄質岩においては一般的であり、この地区におけるメレンスキー鉱の存在は、初生的な苦鉄質マグマの存在とその鉱化への寄与を示唆している。このメレンスキー鉱の存在がMGIにおいて広く確認されたことで、初生的な苦鉄質マグマの寄与がMGI全体に及ぶことが示唆される。本研究では石英脈に関連する切ったー切られたの関係が明瞭には観察されなかったため、黄銅鉱脈を内部に持つ石英脈の結晶の成長の様子を見るため、カソードルミネッセンス観察を行った。コントラスト異常が石英脈の内部に観察され、石英脈が前期石英脈と黄銅鉱脈の形成に関与している後期石英脈という二種の石英脈により形成されていることが明らかとなった。前期石英脈に対し流体包有物の均質化温度測定および塩濃度の測定を実施したところ、前期石英脈における均質化温度は600℃を超え、また高い塩濃度（61.32 wt%）を持つことが明らかになった。この結果は、前期石英脈は鉱化作用が弱いか全くなく、後期石英脈が強い鉱化を引き起こしたことを示唆する先行研究を支持するものである。

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：グラスベルグ鉱山、斑岩銅鉱床、鉱化作用
Keywords: Grasberg Mine, Porphyry Copper Deposit, Mineralization

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Formation of Ni-bearing minerals during chemical weathering of ultramafic rocks in Myanmar

*室伏 文佳[1]、伊藤 茜[1]、大竹 翼[2]、実松 健造[3]、Kyaw Zay Ya[1,4]、佐藤 努[2]
*Ayaka Murofushi[1], Akane Ito[1], Tsubasa Otake[2], Kenzo Sanematsu[3], Kyaw Zay Ya[1,4], Tsutomu Sato[2]

1. 北海道大学大学院工学院、2. 北海道大学大学院工学研究院、3. 国立研究開発法人 産業技術総合研究所、4. 地質調査鉱物探鉱局
1. Graduate school of Engineering, Hokkaido University, 2. Facility of Engineering, Hokkaido University, 3. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. Department of Geological Survey and Mineral Exploration

Ni laterite deposit, an important resource for Ni, is formed by chemical weathering of ultramafic rocks under tropical climate conditions. Whereas many studies have aimed to understand the formation processes of Ni laterites in Indonesia and Philippines, few studies have investigated those in Myanmar, which also has a high potential of Ni laterite resources. The highest grade of Ni in a weathering profile is usually found in a saprolite zone, a weakly weathered section underlain by intensively-weathered laterite zone. Mobilization of Ni from the bedrock as well as laterite zone together with Fe has been proposed to be an important process for Ni enrichment in saprolite zone (e.g., Golightly, 2010). However, formation of various Ni-bearing minerals in saprolite zone (Tauler et al., 2017) may also govern the Ni enrichment though the common Ni-bearing mineral in saprolite zone is secondary-formed serpentine (Ser-II). It is important to understand the formation processes of Ni laterite deposits for efficient exploration and mine development. Therefore, in this study, we are focused on the formation of secondary minerals at different weathering degrees and its relationship to Ni enrichment during chemical weathering of ultramafic rocks in Myanmar by investigating 6 different weathering profiles in the Western and Central Ophiolite Belts.

The results of the bulk chemical analysis by XRF show that Ni is concentrated in saprolite zones up to 1.6 wt% as chemical weathering progresses as indicated by thickness of profiles and depletion of major elements (e.g., Mg). Ni is associated more closely with 0.2-2 $\mu$m fraction (e.g., clay minerals) of the samples as Ni concentration in this fraction was determined by acid digestion and ICP-AES. The results of mineralogical analysis by XRD and petrographic microscope show that minerals formed in saprolite zones varies depending on the degree of weathering regardless that all the bedrocks are serpentinite. Whereas smectite dominates in the saprolite zone of the least weathered profile, both smectite and Ser-II were present in the saprolite zone of the most weathered profile. This suggests that smectite is formed at the initial stage of chemical weathering of the ultramafic rocks in Myanmar. However, the results of SEM-EDS analysis show that Mn-oxide (e.g., asbolane) is the main mineral concentrating Ni in the least weathered profile whereas secondary silicate minerals (e.g., Ser-II, smectite, unidentified Fe-Ni silicates) are the main minerals in the most weathered profile. Therefore, Ni is preferentially associated with Mn-oxide possibly because of a strong electrostatic interaction. However, as weathering progresses and Mn-oxide dissolved away, Ni is enriched into secondary silicate minerals (e.g., Ser-II, smectite). No preferential incorporation of Ni was observed between Ser-II and smectite. Further progress in chemical weathering may result in the transformation of other silicate minerals into Ser-II, which would be then the main Ni-bearing mineral in Ni laterite deposit in Myanmar.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Geological Characteristics and Mineralogy of the Makorungo and Nalia Gold Prospects, Northeastern Mozambique

*Manuel Augusto Manuel Nopeia[1], Ryohei Takahashi[1], Akira Imai[2], Daud Liace Jamal[3]

1. Akita University, 2. Kyushu University, 3. Eduardo Mondlane University

The northeastern Mozambique is composed of medium-high grade metamorphic complexes of the Mozambique Belt, intruded by Neoproterozoic-Paleozoic granitoids (Norconsult, 2007). Mozambique Belt (MB) is a part of the East African Orogeny and has been associated with a large variety of mineralization, including base metals, gemstones, and gold (Lächelt, 2004). The lack of studies on gold deposits associated with metamorphic terrains in Mozambique weakens the discovery and further exploration of gold. This study focuses on the Makorungo and Nalia gold prospects, northeastern Mozambique, where artisanal and small-scale mining of placer and primary gold is conducted mainly by local people. These prospects belong to Xixano complex, interpreted as a Pan-African nappe, which is composed of supercrustal rocks, enveloping mafic and ganulitic rocks (Viola et al, 2008). This study aims to reveal the geological and mineralogical characteristics of the gold prospects to better understand the ore-forming process. Field observation and laboratory analysis, including petrography of host rocks and ores, and whole-rock and ore chemistry were applied. Quartz veins parallel and at low angle to amphibolite foliation host the gold mineralization in the Nalia and Makorungo prospects. The amphibolites in the Nalia prospect are strongly foliated and composed mainly of hornblende, plagioclase, quartz and clinopyroxene with minor titanite. Secondary minerals include hornblende replacing clinopyroxenes, and biotite replacing hornblende. Whole-rock geochemistry of the amphibolites indicates high silica and total alkali ($K_2O + Na_2O$) contents, 50 to 64 wt. % and 3.3 to 5.2 wt. %, respectively. On the other hand, the amphibolite rocks in the Makorungo prospect are less foliated and mainly comprises amphiboles, plagioclase, and biotite, with minor quartz. Secondary biotite replaces amphiboles. Based on the extinction angles, the plagioclase in the Makorungo prospect is more Na-rich, while the plagioclase from the Nalia prospect is more Ca-rich. The $TiO_2$ vs. MnO diagram shows that the amphibolites in both prospects are ortho-amphibolites. Total alkali and silica diagram (TAS diagram) indicates protolith of basaltic composition. The mineralized veins in the Nalia prospect show deformation textures including triple-point texture, undulose extinction and variability in cathodoluminescence brightness within individual quartz grain. Evidence of post-deformation is less common in the Makorungo prospect. The ore mineralogy in the Nalia and Makorungo prospects is very similar, despite the absence of sphalerite in the former. Pyrite, pyrrhotite, galena, magnetite and chalcopyrite commonly occur with minor tellurides and electrum (the Makorungo prospect) or native gold (the Nalia prospect). Bismuth, Te, Pb, and W bearing minerals commonly occur as sulfides and tellurides in both prospects. Sphalerite in the Makorungo prospect is characterized by high Fe and Cd contents, ranging 9.2-11.8 wt. %, and 2.9-3.4 wt. %, respectively. Pressure formation estimated from FeS contents in sphalerite coexisting with pyrite and pyrrhotite (sphalerite geobarometry) is within 1.6 and 2.1 Kb, which corresponds to a depth from 5.9 to7.4 Km. The coeval existence of pyrrhotite and sphalerite in the Makorungo prospect suggests a low sulfidation state, along the pyrite-pyrrhotite equilibrium.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Geochemical features of the Hishikari epithermal gold deposit based on simultaneous multi-element analysis

*西田 草太[1]、石田 美月[1]、安川 和孝[1,2]、中村 謙太郎[1]、藤永 公一郎[2,1]、加藤 泰浩[3,1,2]
*Sota Nishida[1], Mizuki Ishida[1], Kazutaka Yasukawa[1,2], Kentaro Nakamura[1], Koichiro Fujinaga[2,1], Yasuhiro Kato[3,1,2]

1. 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2. 千葉工業大学次世代海洋資源研究センター、3. 東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター
1. Department of Systems Innovation, School of Engineering, The University of Tokyo, 2. Ocean Resources Research Center for Next Generation, Chiba Institute of Technology, 3. Frontier Research Center for Energy and Resources, School of Engineering, The University of Tokyo

The Hishikari gold deposit, located in the northern part of Kagoshima prefecture, Japan, is known as one of the highest-grade gold deposits in the world. The origin of this low-sulfidation vein-type deposit has been extensively investigated since its discovery in the early 1980s. For example, Ishihara et al. (1986) suggested a magmatic source for gold (Au) and sulfur (S) based on sulfur isotope compositions of pyrites [1]. More recently, Morishita et al. (2018) demonstrated a positive correlation between Au and arsenic (As) in pyrites of the Hishikari veins and discussed their genetic relationship [2].

Understanding the mineralization process of the Hishikari deposit can provide key insights into an exploration strategy for new and high-grade gold deposits. To this end, identifying elements that show behaviors closely associated with Au can be one of the effective approaches. In this study, therefore, major and trace element geochemistry of the Hishikari ore samples have been investigated in order to obtain a new constraint on the Au mineralization processes. We determined multi-elemental composition (including Au) of the host rocks and vein samples by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

Previous studies suggested that adularia content is closely related to the Au content of the ore [3]. In the present study, however, we found no correlation between Au and adularia contents in the vein samples. The results of X-ray diffraction (XRD) analysis indicated that the samples with high Au mostly consist of quartz. The Au mineralization thus seems to have occurred concurrently with the quartz mineralization that followed the adularia mineralization.

Among the 49 elements measured in this study, silver (Ag) content was positively correlated with Au content, which is consistent with the fact that electrum is the main host of Au in the Hishikari deposit. Arsenic (As) content had no correlation with Au, although it is well known for a coupling behavior with Au. Most notably, bismuth (Bi) content had clear correlation with Ag ($r = 0.88$) and Au ($r = 0.91$) contents, whereas it had no clear correlation with cobalt (Co), copper (Cu), iron (Fe), zinc (Zn), lead (Pb), or As contents. Bi is known to be enriched in high-sulfidation gold deposits where the common host of Bi is sulfide minerals (e.g. [4]), and closely associated with Au in these deposits. However, elemental behavior of Bi in low-sulfidation gold deposits has so far been poorly understood. Our results imply that Bi in the Hishikari deposit is likely to be involved not in sulfide but in electrum. This in turn suggests that Bi could be an important tracer for Au mineralization in low-sulfidation deposits such as the Hishikari deposit.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[1] S. Ishihara, Y. Sakamaki, A. Sasaki et al. (1986) *Mining Geology*, **36**(200), 495-509.

[2] Y. Morishita, N. Shimada and K. Shimada (2018) *Ore Geology Reviews*, **95**, 79-93.

[3] K. Ibaraki, R. Suzuki and E. Fukuda (1991) *Mining Geology*, **41**(2), 63-75.

[4] B. Zheng, Y. Zhu, F. An et al. (2015) *Ore Geology Reviews*, **69**, 17-32.

キーワード：金、菱刈鉱床、全岩化学組成分析、ICP-MS、微量元素組成
Keywords: gold, Hishikari deposit, bulk chemical analysis, ICP-MS, trace element composition

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Transformation of ore minerals and their geochemical signatures in submarine hydrothermal ore deposits in Izena Hole, Okinawa Trough

*池島 拓郎[1]、大竹 翼[1]、佐藤 努[1]、伊藤 茜[1]、小野 修司[1]、石橋 純一郎[2]、野崎 達生[3]、熊谷 英憲[3]、前田 玲奈[3]
*IKESHIMA TAKURO[1], Tsubasa Otake[1], Tsutomu Sato[1], Akane Ito[1], Shuji Ono[1], Jun-ichiro Ishibashi[2], Tatsuo Nozaki[3], Hidenori Kumagai[3], Lena Maeda[3]

1. 北海道大学、2. 九州大学、3. 海洋研究開発機構
1. Hokkaido University, 2. Kyushu University, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

It is important for exploration and development of submarine hydrothermal ore deposits to understand zoning of ore bodies and their mineral assemblages, particularly with depth from the seafloor. Transformation of ore minerals via dissolution and re-precipitation may cause such a zoning corresponding to the evolution of a hydrothermal system because geochemical conditions may then vary with the depth from the seafloor. In this study, we aimed (1) to clarify the mineral assemblage changes with increasing depth of a mound sulfide deposit by microscopic observations and SEM-EDS analyses, (2) to understand geochemical evolution of hydrothermal fluids based on Fe contents in sphalerite determined by EPMA, and (3) to understand the formation processes of Fe sulfides by analyzing Fe isotopic composition of the bulk samples with MC-ICP-MS. The samples used for the analyses were obtained from Site C9027, which drilled up to 72.5 meter below seafloor (mbsf) through a mound sulfide deposit in Hakurei site, Izena Hole, middle Okinawa Trough during the CK16-05 cruise operated from November to December, 2016 under the SIP program.
Results of microscopic observations show that sphalerite and galena are comparatively dominant with minor occurrence of pyrrhotite and anglesite in the samples at shallow depths. In contrast, samples from middle and deep depths are more abundant on pyrite and chalcopyrite, and pyrite, respectively. The texture that pyrrhotite was dissolved and replaced by pyrite or marcasite was observed in the samples in the depth of 0.05 –44.0 mbsf. The Fe content in sphalerite tends to decrease with increasing depth, and also change within single sphalerite grain. These results suggest that hydrothermal fluid geochemistry such as fugacity of $S_2$ and $O_2$, and temperature changes for the depth and time. The $\delta^{56}$Fe values ($\delta^{56}$Fe (‰) = 1000 * [($^{56}$Fe/$^{54}$Fe) sample / ($^{56}$Fe/$^{54}$Fe) $_{IRMM-014}$ -1]) of the bulk samples range from -0.62 to +0.11‰, which tends to increase toward the deeper part. This indicates that Fe sulfides at shallow depths was formed by non-equilibrium precipitation with a rapid cooling, which caused a kinetic isotope effect. In contrast, those at deeper depths were likely formed near the equilibrium conditions.

キーワード：海底熱水鉱床、伊是名海穴、SIP、交代作用、鉄同位体、ちきゅう
Keywords: Submarine hydrothermal ore deposits, Izena Hole, SIP, Replacement, Fe isotope, D/V Chikyu

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Geochemical behavior of heavy metals during wastewater treatment in Chingola Stream of the Zambia Copperbelt

*Cryton Phiri[1], Daiki Shimazui[2], Tsutomu Sato[2], Tsubasa Otake[2]

1. University of Zambia, 2. Hokkaido University

The study focuses on an area at a copper mine in Chingola town of the Zambian Copperbelt where wastewater containing heavy metals (Cu-Co-Mn) at variable pH (3.5-6.5) mixes with a nearby municipal wastewater in Chingola Stream. The metal concentration of discharge is below the regulation limit because lime treatment has been conducted in the stream. However, remaining volume of ponds for sludge produced by lime treatment was limited. The objective of the study was therefore to understand the geochemical behavior of the metals for the optimization of wastewater treatment. Representative water and soil samples were obtained along the affected stream and analyzed for their target heavy metal content and geochemical distribution using ICP-AES/MS and sequential extraction (SQE) methods. Analyses of sediment mineralogy were made by XRD, optical microscopy, FE-SEM/EDS and TEM/EDS. Water chemistry results revealed relatively low metal concentrations of Cu-Co-Mn ranging from below detection limit (bdl) to 60mg/l. SQE analyses show high total target metal concentrations ranging from (1-12000mg/kg) in sediments, which obviously supports the possible adsorption and precipitation processes to be taking place. Low concentrations are as a result of the increasing pH and possible metal adsorption and precipitation on sediment. The target metal contents were highest in exchangeable fraction Cu (100-2500mg/kg), Co (1-50mg/kg), Mn (bdl-2g/kg), and in carbonate fraction Cu (2-500mg/kg), Co (0.5-20mg/kg), Mn (bdl-1.2g/kg) and in amorphous Fe mineral fraction Cu (2-1000mg/kg), Co (1-100mg/kg) and Mn (0.5-2.5g/kg) respectively. The other remaining fractions had very low metal concentrations. FE-SEM/EDS and TEM/EDS techniques showed some metal adsorption phases on biotite and kaolinite confirming the earlier results of SQE. The amorphous Fe mineral determined using SQE reveal an average of between 3.5-12 g/kg. From the surface complexation modeling between amorphous Fe mineral and the metals shows that the range of pH condition, 6.5-7.5 is strongly recommended for better sorbed fraction of Cu-Co-Mn on amorphous Fe mineral. From the above results, it was found that the geochemical partitioning of metals to the most labile exchangeable fraction which easily releases metals to the environment depending on the prevailing conditions (i.e pH) can as well be treated by ion exchange, surface complexation by amorphous Fe mineral and carbonation. The advantages of this treatment method is that heavy metal can easily be recovered from sludge through the application of relatively weak acid and at the same time reducing the sludge volumes through utilization of the sediments as sand for engineering purposes.

Keywords: Heavy metals, Geochemical behavior, Treatment

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 H (地球人間圏科学)：H-RE 応用地質学・資源エネルギー利用

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_22

## [H-RE16] 資源地質学

コンビーナ:大竹 翼(北海道大学大学院工学研究院　環境循環システム部門)、荒岡 大輔(産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門)、高橋 亮平(秋田大学大学院国際資源学研究科)、野崎 達生(海洋研究開発機構海底資源研究開発センター)

鉱床は地球表層において有用元素・有用鉱物が濃集したものであり、マグマ活動、熱水活動、変成作用、風化作用などの地球のダイナミクスにより生み出される。また鉱床の形成は地球史における環境変動や生物の進化とも密接に関わっており、鉱床形成プロセスの解明には地質学、岩石学、地球化学、鉱物学、微生物学など地球科学の幅広い分野を融合した研究が必要である。このような資源地質学の分野は、効率的な資源探査・開発のみならず、資源開発に伴って引き起こされうる有害元素を理解・評価するためにも不可欠である。本セッションでは、このような地球表層における元素の移動や濃集に関わる研究について、野外調査・観測、室内実験、理論計算、分析手法の開発など様々な視点での発表を募集する。

[HRE16-P01] Mineral Chemistry and Petrogenesis of the Mazua Ultramafic Massif, Northern Mozambique: Constraints on the Associated Fe-Ti Oxides Deposit

*David Augusto Bene Unganai[1]、Akira Imai[2]、Ryohei Takahashi[1]、Daud Liace Jamal[3]、Takashi Hoshide[1] (1.Akita University、2.Kyushu University、3.Eduardo Mondlane University)

[HRE16-P02] **Ni-Cu-PGM Mineralisation in the Bastard Reef and Merensky Reef of the Flatreef section, Turfspruit Farm, Northern Limb, Bushveld Igneous Complex, South Africa.**

*MOKHIRI MALESELA MAKHAFOLA[1]、Tsubasa Otake[1]、Tsutomu Sato[1]、Danie Grobler[2] (1.Hokkaido University、2.Ivanplats Pty. Ltd)

[HRE16-P03] インドネシア・パプア州グラスベルグ斑岩銅－金鉱床における鉱化作用の特徴

*川嵜 兼彦[1]、米津 幸太郎[2]、Reza Furqan[3]、Benny Bensaman[4]、Mega Rosana[4] (1.九州大学大学院工学府、2.九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門、3.PT Freeport Indonesia、4.Department of Geology, Padjadjaran University)

[HRE16-P04] Formation of Ni-bearing minerals during chemical weathering of ultramafic rocks in Myanmar

*室伏 文佳[1]、伊藤 茜[1]、大竹 翼[2]、実松 健造[3]、Kyaw Zay Ya[1,4]、佐藤 努[2] (1.北海道大学大学院工学院、2.北海道大学大学院工学研究院、3.国立研究開発法人 産業技術総合研究所、4.地質調査鉱物探鉱局)

[HRE16-P05] Geological Characteristics and Mineralogy of the Makorungo and Nalia Gold Prospects, Northeastern Mozambique

*Manuel Augusto Manuel Nopeia[1]、Ryohei Takahashi[1]、Akira Imai[2]、Daud Liace Jamal[3] (1.Akita University、2.Kyushu University、3.Eduardo Mondlane University)

[HRE16-P06] Geochemical features of the Hishikari epithermal gold deposit based on simultaneous multi-element analysis

*西田 草太[1]、石田 美月[1]、安川 和孝[1,2]、中村 謙太郎[1]、藤永 公一郎[2,1]、加藤 泰浩[3,1,2] (1.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター、3.東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター)

[HRE16-P07] Transformation of ore minerals and their geochemical signatures in submarine hydrothermal ore deposits in Izena Hole, Okinawa Trough

*池島 拓郎[1]、大竹 翼[1]、佐藤 努[1]、伊藤 茜[1]、小野 修司[1]、石橋 純一郎[2]、野崎 達生[3]、熊谷 英憲[3]、前田 玲奈[3] (1.北海道大学、2.九州大学、3.海洋研究開発機構)

[HRE16-P08] Geochemical behavior of heavy metals during wastewater treatment in Chingola Stream of the Zambia Copperbelt

*Cryton Phiri[1]、Daiki Shimazui[2]、Tsutomu Sato[2]、Tsubasa Otake[2] (1.University of Zambia、2.Hokkaido University)

# Mineral Chemistry and Petrogenesis of the Mazua Ultramafic Massif, Northern Mozambique: Constraints on the Associated Fe-Ti Oxides Deposit

*David Augusto Bene Unganai[1], Akira Imai[2], Ryohei Takahashi[1], Daud Liace Jamal[3], Takashi Hoshide[1]

1. Akita University, 2. Kyushu University, 3. Eduardo Mondlane University

Economic magmatic Fe-Ti-V deposits are commonly hosted by mafic-ultramafic intrusions and massif-type anorthosites. The Mazua Ultramafic Massif (MUM), located in northeast Mozambique, is one of the most promising intrusions that host Fe-Ti oxides ore deposit in the country. The orebody is a 10-km long ilmenite-rich hornblende pyroxenite, which is in sharp contact with a banded biotite gneiss. The ore commonly occurs as layers/lenses, massive and dissemination in host rocks. The average grade of the ore is 27 wt.% $TiO_2$, 35 wt.% $Fe_2O_{3tot}$ and ~2 ppm V (Norconsult Consortium, 2007). However, detailed studies regarding the petrogenesis of the intrusion and its related Fe-Ti oxides ores are still scarce. Thus, we carried out microprobe and petrographic analyses to elucidate these issues.

The hornblende pyroxenite consists of ilmenite, diopside, and magnesiohornblende as main phases. Petrography reveals that the Fe-Ti oxides and pyroxenes are syngenetic. The composition of diopside ($Wo_{43.5–48.5}En_{36.0–41.4}Fs_{11.1–20.5}$) and occurrence of magnesiohornblende suggest tholeiitic, non-alkaline and hydrous (>3.0 wt.% $H_2O$) parental ultrabasic melt. In addition, the absence of olivine and orthopyroxene supported by wide range of #Mg in diopside (63.8–78.7) and magnesiohornblende (68.9–85.4) confirms the idea that the magma which formed MUM was differentiated.

Texture and variable mineral composition suggest that Fe-Ti oxides underwent extensive subsolidus re-equilibration during cooling, supported by the following evidences: (1) The Fe-Ti oxides show different types of micro-intergrowths such as (a) lamellae of ilmenite with clothing textures hosted in magnetite, (b) fine pattern exsolution lamellae (trellis) and blebs of aluminous spinel in magnetite, (c) reaction rims of aluminous spinel distributed along the boundary between magnetite and ilmenite and (d) re-equilibration textures involving Fe-Ti oxides and silicate phases. (2) The very low MgO content of primary ilmenite (<2 wt.%) is interpreted as a result of postcumulus oxide-silicate re-equilibration involving clinopyroxene and amphibole. (3) Determination of equilibrium conditions using geothermobarometer by Spencer & Lindsley (1981) indicates that Mazua Fe-Ti oxides last equilibrated at subsolidus temperatures (<600 ˚C) and high oxygen fugacity ($\log fO_2 > -20.0$ bars). The reconstruction of the primary composition of Fe-Ti oxides, by reintegration of exsolved with the host phases, leads to primary titanomagnetite with an ulvospinel component of ~20 mol%.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Ni-Cu-PGM Mineralisation in the Bastard Reef and Merensky Reef of the Flatreef section, Turfspruit Farm, Northern Limb, Bushveld Igneous Complex, South Africa.

*MOKHIRI MALESELA MAKHAFOLA[1], Tsubasa Otake[1], Tsutomu Sato[1], Danie Grobler[2]

1. Hokkaido University, 2. Ivanplats Pty. Ltd

The Bushveld Igneous Complex of South Africa is the largest layered igneous complex in the world and it is the current leading producer of platinum group metals globally. The Northern Limb is the northern extension of the complex currently mined (open pit) for a Ni-Cu-PGM rich deposit hosted in a lithologically variable igneous sequence dipping at about 45 degrees and has been intensively affected by contamination and alteration termed the Platreef (Kinnaird et al, 2005). Westwards of the Platreef lies the Flatreef section, which is a recently discovered sub-horizontal down-dip extension of the Platreef. It hosts the Ni-Cu-PGM rich deposit in two successive high-grade reefs termed the Bastard Reef and the Merensky Reef that are amenable for underground mining methods (Grobler et al, 2018). The Flatreef has not been studied in detail and this study reports on the petrographical and semi-quantitative investigations done on the mineralized reefs.
Logging and petrographical investigations revealed the Bastard Reef to comprise a fine to medium-grained equigranular feldspathic orthopyroxenite. Several metres below the Bastard Reef lies the Merensky Reef, which has been subdivided into 3 different units (M2, M1U and M1L) mainly based on mineralogical and textural variations. The M2 is the uppermost layer comprising medium to coarse-grained equigranular orthopyroxenite, denoted by cumulus orthopyroxene and is bound irregularly by a chromite seam at its top contact. The M2 orthopyroxenite is underlain by the M1U denoted by a cumulate textured pegmatoidal orthopyroxenite and is commonly bound by a chromite stringer at its top contact and a less consistent one at its base. The M1L, which is laterally less continuous, comprises a poikilitic textured harzburgite and/or varied-textured olivine-bearing orthopyroxenite. SEM analysis revealed sulphide mineral assemblages in the reefs usually comprising pyrrhotite, pentlandite and chalcopyrite as fine to medium-grained disseminations, blebs and net-textured sulphides. PGM mineralisation comprise a wide range of PGMs, mostly Platinum and Palladium dominated, grouped into bismithotellurides (-Bi-Te), antimonides, arsenides, Fe and Sn alloys, sulphides, as well as laurite ($RuS_2$) and Ir-Ru-Rh-Pt-Pd sulfoarsenides alongside chromite seams. Semi-quantitative analysis illustrates the Flatreef section to be an undisturbed magmatic sequence that is much less affected by assimilation and contamination. It retains much of its magmatic characteristics and provides a great opportunity to furthermore study magmatic processes that resulted in the formation of such an enigmatic deposit.

References

Grobler, D.F., Brits, J.A.N., Maier, W.D. and Crossingham, A. (2018) Litho- and Chemostratigraphy of the Flatreef PGE deposit, northern Bushveld Complex. Mineralium Deposita, 126, 1-26.

Kinnaird, J.A., Hutchinson, D., Schurman, L., Nex, P. and de Lange, R. (2005) Petrology and Mineralisation of the Southern Platreef: Northern Limb of the Bushveld Complex, South Africa. Mineralium Deposita, 40, 576-597.

Keywords: Ni-Cu-PGM, Bushveld Igneous Complex, Flatreef Section, Northern Limb

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# インドネシア・パプア州グラスベルグ斑岩銅ー金鉱床における鉱化作用の特徴

# Characteristics of Porphyry Copper-Gold Mineralization in the Grasberg Mine, Papua, Indonesia

*川嵜 兼彦[1]、米津 幸太郎[2]、Reza Furqan[3]、Benny Bensaman[4]、Mega Rosana[4]
*Kanehiko Kawasaki[1], Kotaro Yonezu[2], Reza Al Furqan[3], Benny Bensaman[4], Mega Fatimah Rosana[4]

1. 九州大学大学院工学府、2. 九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門、3. PT Freeport Indonesia、4. Department of Geology, Padjadjaran University
1. Kyushu University Facurity of Engineering, 2. Deaprtment of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, 3. PT Freeport Indonesia, 4. Department of Geology, Padjadjaran University

グラスベルグ-エルツベルグ地区は、インドネシア・パプア州に位置するスディルマン山脈の西側の高地に位置する。この地区は、グラスベルグ鉱山として世界屈指の斑岩銅ー金鉱山が操業しており、鮮新世の貫入岩中に銅・金鉱物が賦存している。これらの貫入岩はグラスベルグ複合岩体（Grasberg Igneous Complex：GIC）と呼ばれており、カリ貫入岩（Kali Intrusion：KI）、メイングラスベルグ貫入岩（Main Grasberg Intrusion：MGI）およびダラム貫入岩（Dalam Intrusion：DI）に分けられる。本研究の目的は、特に主要な鉱化作用を有するグラスベルグ地区のMGIの中でも西側における斑岩銅ー金鉱化作用に関連した鉱化流体と銅ー金鉱化作用の特徴を明らかにすることである。

本研究で用いた、試料は全て試錐コアAM-30-08H-05より採取したものである。このコアはKIより掘進が行われ、MGIを貫きDIまで達している（東から西方向）。顕微鏡観察により、銅鉱化作用は3つの形態に分類できることが明らかになった。石英脈中に存在する含銅（鉄）硫化物脈、含銅（鉄）硫化物の細脈、および鉱染状の存在する含銅（鉄）硫化物である。鉱脈型および細脈型の主要な鉱石鉱物は黄銅鉱であった。これらの形態においては、斑銅鉱が黄銅鉱脈の内部および黄銅鉱の周縁部に多く分布しており、これは中間固溶体および斑銅鉱固溶体からの離溶によって説明できる。鉱染状型においては、黄銅鉱および斑銅鉱が主要な鉱石鉱物であり、産状から一次鉱物であると判明した。黄銅鉱および斑銅鉱はしばしば共存していることから、鉱染状型においても中間固溶体および斑銅鉱固溶体から離溶したものと考えられる。一方で、その他の含銅鉱物（輝銅鉱、銅藍および方輝銅鉱）は、部分的に葉状の組織を形成している。これは明らかに、これら含銅鉱物は斑銅鉱からの交代によって生成されたものとみられる。加えて、輝銅鉱、銅藍および方輝銅鉱が二次鉱物として斑銅鉱の周縁部を交代しており、これは一次鉱物の生成の後に地下水の関与があったことを示唆している。自然金は、石英脈中の黄銅鉱中および鉱染状に存在する黄銅鉱内部に分布していた。石英脈中の黄銅鉱中では、斑銅鉱およびメレンスキー鉱と共生していた。メレンスキー鉱は既にGIC北部および南部において報告されているが、本研究でGIC西部において初めて同定され、SEM-EDXにより組成は$Pd_{1.0}Te_{2.0}$であった。メレンスキー鉱は、ブッシュフェルト複合岩体におけるメレンスキー層のように、白金族元素の鉱化に関連する超苦鉄質岩においては一般的であり、この地区におけるメレンスキー鉱の存在は、初生的な苦鉄質マグマの存在とその鉱化への寄与を示唆している。このメレンスキー鉱の存在がMGIにおいて広く確認されたことで、初生的な苦鉄質マグマの寄与がMGI全体に及ぶことが示唆される。本研究では石英脈に関連する切ったー切られたの関係が明瞭には観察されなかったため、黄銅鉱脈を内部に持つ石英脈の結晶の成長の様子を見るため、カソードルミネッセンス観察を行った。コントラスト異常が石英脈の内部に観察され、石英脈が前期石英脈と黄銅鉱脈の形成に関与している後期石英脈という二種の石英脈により形成されていることが明らかとなった。前期石英脈に対し流体包有物の均質化温度測定および塩濃度の測定を実施したところ、前期石英脈における均質化温度は600℃を超え、また高い塩濃度（61.32 wt%）を持つことが明らかになった。この結果は、前期石英脈は鉱化作用が弱いか全くなく、後期石英脈が強い鉱化を引き起こしたことを示唆する先行研究を支持するものである。

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：グラスベルグ鉱山、斑岩銅鉱床、鉱化作用
Keywords: Grasberg Mine, Porphyry Copper Deposit, Mineralization

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Formation of Ni-bearing minerals during chemical weathering of ultramafic rocks in Myanmar

*室伏 文佳[1]、伊藤 茜[1]、大竹 翼[2]、実松 健造[3]、Kyaw Zay Ya[1,4]、佐藤 努[2]
*Ayaka Murofushi[1], Akane Ito[1], Tsubasa Otake[2], Kenzo Sanematsu[3], Kyaw Zay Ya[1,4], Tsutomu Sato[2]

1. 北海道大学大学院工学院、2. 北海道大学大学院工学研究院、3. 国立研究開発法人 産業技術総合研究所、4. 地質調査鉱物探鉱局
1. Graduate school of Engineering, Hokkaido University, 2. Facility of Engineering, Hokkaido University, 3. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. Department of Geological Survey and Mineral Exploration

Ni laterite deposit, an important resource for Ni, is formed by chemical weathering of ultramafic rocks under tropical climate conditions. Whereas many studies have aimed to understand the formation processes of Ni laterites in Indonesia and Philippines, few studies have investigated those in Myanmar, which also has a high potential of Ni laterite resources. The highest grade of Ni in a weathering profile is usually found in a saprolite zone, a weakly weathered section underlain by intensively-weathered laterite zone. Mobilization of Ni from the bedrock as well as laterite zone together with Fe has been proposed to be an important process for Ni enrichment in saprolite zone (e.g., Golightly, 2010). However, formation of various Ni-bearing minerals in saprolite zone (Tauler et al., 2017) may also govern the Ni enrichment though the common Ni-bearing mineral in saprolite zone is secondary-formed serpentine (Ser-II). It is important to understand the formation processes of Ni laterite deposits for efficient exploration and mine development. Therefore, in this study, we are focused on the formation of secondary minerals at different weathering degrees and its relationship to Ni enrichment during chemical weathering of ultramafic rocks in Myanmar by investigating 6 different weathering profiles in the Western and Central Ophiolite Belts.

The results of the bulk chemical analysis by XRF show that Ni is concentrated in saprolite zones up to 1.6 wt% as chemical weathering progresses as indicated by thickness of profiles and depletion of major elements (e.g., Mg). Ni is associated more closely with 0.2-2 $\mu$m fraction (e.g., clay minerals) of the samples as Ni concentration in this fraction was determined by acid digestion and ICP-AES. The results of mineralogical analysis by XRD and petrographic microscope show that minerals formed in saprolite zones varies depending on the degree of weathering regardless that all the bedrocks are serpentinite. Whereas smectite dominates in the saprolite zone of the least weathered profile, both smectite and Ser-II were present in the saprolite zone of the most weathered profile. This suggests that smectite is formed at the initial stage of chemical weathering of the ultramafic rocks in Myanmar. However, the results of SEM-EDS analysis show that Mn-oxide (e.g., asbolane) is the main mineral concentrating Ni in the least weathered profile whereas secondary silicate minerals (e.g., Ser-II, smectite, unidentified Fe-Ni silicates) are the main minerals in the most weathered profile. Therefore, Ni is preferentially associated with Mn-oxide possibly because of a strong electrostatic interaction. However, as weathering progresses and Mn-oxide dissolved away, Ni is enriched into secondary silicate minerals (e.g., Ser-II, smectite). No preferential incorporation of Ni was observed between Ser-II and smectite. Further progress in chemical weathering may result in the transformation of other silicate minerals into Ser-II, which would be then the main Ni-bearing mineral in Ni laterite deposit in Myanmar.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Geological Characteristics and Mineralogy of the Makorungo and Nalia Gold Prospects, Northeastern Mozambique

*Manuel Augusto Manuel Nopeia[1], Ryohei Takahashi[1], Akira Imai[2], Daud Liace Jamal[3]

1. Akita University, 2. Kyushu University, 3. Eduardo Mondlane University

The northeastern Mozambique is composed of medium-high grade metamorphic complexes of the Mozambique Belt, intruded by Neoproterozoic-Paleozoic granitoids (Norconsult, 2007). Mozambique Belt (MB) is a part of the East African Orogeny and has been associated with a large variety of mineralization, including base metals, gemstones, and gold (Lächelt, 2004). The lack of studies on gold deposits associated with metamorphic terrains in Mozambique weakens the discovery and further exploration of gold. This study focuses on the Makorungo and Nalia gold prospects, northeastern Mozambique, where artisanal and small-scale mining of placer and primary gold is conducted mainly by local people. These prospects belong to Xixano complex, interpreted as a Pan-African nappe, which is composed of supercrustal rocks, enveloping mafic and ganulitic rocks (Viola et al, 2008). This study aims to reveal the geological and mineralogical characteristics of the gold prospects to better understand the ore-forming process. Field observation and laboratory analysis, including petrography of host rocks and ores, and whole-rock and ore chemistry were applied. Quartz veins parallel and at low angle to amphibolite foliation host the gold mineralization in the Nalia and Makorungo prospects. The amphibolites in the Nalia prospect are strongly foliated and composed mainly of hornblende, plagioclase, quartz and clinopyroxene with minor titanite. Secondary minerals include hornblende replacing clinopyroxenes, and biotite replacing hornblende. Whole-rock geochemistry of the amphibolites indicates high silica and total alkali ($K_2O + Na_2O$) contents, 50 to 64 wt. % and 3.3 to 5.2 wt. %, respectively. On the other hand, the amphibolite rocks in the Makorungo prospect are less foliated and mainly comprises amphiboles, plagioclase, and biotite, with minor quartz. Secondary biotite replaces amphiboles. Based on the extinction angles, the plagioclase in the Makorungo prospect is more Na-rich, while the plagioclase from the Nalia prospect is more Ca-rich. The $TiO_2$ vs. MnO diagram shows that the amphibolites in both prospects are ortho-amphibolites. Total alkali and silica diagram (TAS diagram) indicates protolith of basaltic composition. The mineralized veins in the Nalia prospect show deformation textures including triple-point texture, undulose extinction and variability in cathodoluminescence brightness within individual quartz grain. Evidence of post-deformation is less common in the Makorungo prospect. The ore mineralogy in the Nalia and Makorungo prospects is very similar, despite the absence of sphalerite in the former. Pyrite, pyrrhotite, galena, magnetite and chalcopyrite commonly occur with minor tellurides and electrum (the Makorungo prospect) or native gold (the Nalia prospect). Bismuth, Te, Pb, and W bearing minerals commonly occur as sulfides and tellurides in both prospects. Sphalerite in the Makorungo prospect is characterized by high Fe and Cd contents, ranging 9.2-11.8 wt. %, and 2.9-3.4 wt. %, respectively. Pressure formation estimated from FeS contents in sphalerite coexisting with pyrite and pyrrhotite (sphalerite geobarometry) is within 1.6 and 2.1 Kb, which corresponds to a depth from 5.9 to7.4 Km. The coeval existence of pyrrhotite and sphalerite in the Makorungo prospect suggests a low sulfidation state, along the pyrite-pyrrhotite equilibrium.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Geochemical features of the Hishikari epithermal gold deposit based on simultaneous multi-element analysis

*西田 草太[1]、石田 美月[1]、安川 和孝[1,2]、中村 謙太郎[1]、藤永 公一郎[2,1]、加藤 泰浩[3,1,2]
*Sota Nishida[1], Mizuki Ishida[1], Kazutaka Yasukawa[1,2], Kentaro Nakamura[1], Koichiro Fujinaga[2,1], Yasuhiro Kato[3,1,2]

1. 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2. 千葉工業大学次世代海洋資源研究センター、3. 東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター
1. Department of Systems Innovation, School of Engineering, The University of Tokyo, 2. Ocean Resources Research Center for Next Generation, Chiba Institute of Technology, 3. Frontier Research Center for Energy and Resources, School of Engineering, The University of Tokyo

The Hishikari gold deposit, located in the northern part of Kagoshima prefecture, Japan, is known as one of the highest-grade gold deposits in the world. The origin of this low-sulfidation vein-type deposit has been extensively investigated since its discovery in the early 1980s. For example, Ishihara et al. (1986) suggested a magmatic source for gold (Au) and sulfur (S) based on sulfur isotope compositions of pyrites [1]. More recently, Morishita et al. (2018) demonstrated a positive correlation between Au and arsenic (As) in pyrites of the Hishikari veins and discussed their genetic relationship [2].

Understanding the mineralization process of the Hishikari deposit can provide key insights into an exploration strategy for new and high-grade gold deposits. To this end, identifying elements that show behaviors closely associated with Au can be one of the effective approaches. In this study, therefore, major and trace element geochemistry of the Hishikari ore samples have been investigated in order to obtain a new constraint on the Au mineralization processes. We determined multi-elemental composition (including Au) of the host rocks and vein samples by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

Previous studies suggested that adularia content is closely related to the Au content of the ore [3]. In the present study, however, we found no correlation between Au and adularia contents in the vein samples. The results of X-ray diffraction (XRD) analysis indicated that the samples with high Au mostly consist of quartz. The Au mineralization thus seems to have occurred concurrently with the quartz mineralization that followed the adularia mineralization.

Among the 49 elements measured in this study, silver (Ag) content was positively correlated with Au content, which is consistent with the fact that electrum is the main host of Au in the Hishikari deposit. Arsenic (As) content had no correlation with Au, although it is well known for a coupling behavior with Au. Most notably, bismuth (Bi) content had clear correlation with Ag ($r = 0.88$) and Au ($r = 0.91$) contents, whereas it had no clear correlation with cobalt (Co), copper (Cu), iron (Fe), zinc (Zn), lead (Pb), or As contents. Bi is known to be enriched in high-sulfidation gold deposits where the common host of Bi is sulfide minerals (e.g. [4]), and closely associated with Au in these deposits. However, elemental behavior of Bi in low-sulfidation gold deposits has so far been poorly understood. Our results imply that Bi in the Hishikari deposit is likely to be involved not in sulfide but in electrum. This in turn suggests that Bi could be an important tracer for Au mineralization in low-sulfidation deposits such as the Hishikari deposit.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[1] S. Ishihara, Y. Sakamaki, A. Sasaki et al. (1986) *Mining Geology*, **36**(200), 495-509.

[2] Y. Morishita, N. Shimada and K. Shimada (2018) *Ore Geology Reviews*, **95**, 79-93.

[3] K. Ibaraki, R. Suzuki and E. Fukuda (1991) *Mining Geology*, **41**(2), 63-75.

[4] B. Zheng, Y. Zhu, F. An et al. (2015) *Ore Geology Reviews*, **69**, 17-32.

キーワード：金、菱刈鉱床、全岩化学組成分析、ICP-MS、微量元素組成
Keywords: gold, Hishikari deposit, bulk chemical analysis, ICP-MS, trace element composition

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Transformation of ore minerals and their geochemical signatures in submarine hydrothermal ore deposits in Izena Hole, Okinawa Trough

*池島 拓郎[1]、大竹 翼[1]、佐藤 努[1]、伊藤 茜[1]、小野 修司[1]、石橋 純一郎[2]、野崎 達生[3]、熊谷 英憲[3]、前田 玲奈[3]
*IKESHIMA TAKURO[1], Tsubasa Otake[1], Tsutomu Sato[1], Akane Ito[1], Shuji Ono[1], Jun-ichiro Ishibashi[2], Tatsuo Nozaki[3], Hidenori Kumagai[3], Lena Maeda[3]

1. 北海道大学、2. 九州大学、3. 海洋研究開発機構
1. Hokkaido University, 2. Kyushu University, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

It is important for exploration and development of submarine hydrothermal ore deposits to understand zoning of ore bodies and their mineral assemblages, particularly with depth from the seafloor. Transformation of ore minerals via dissolution and re-precipitation may cause such a zoning corresponding to the evolution of a hydrothermal system because geochemical conditions may then vary with the depth from the seafloor. In this study, we aimed (1) to clarify the mineral assemblage changes with increasing depth of a mound sulfide deposit by microscopic observations and SEM-EDS analyses, (2) to understand geochemical evolution of hydrothermal fluids based on Fe contents in sphalerite determined by EPMA, and (3) to understand the formation processes of Fe sulfides by analyzing Fe isotopic composition of the bulk samples with MC-ICP-MS. The samples used for the analyses were obtained from Site C9027, which drilled up to 72.5 meter below seafloor (mbsf) through a mound sulfide deposit in Hakurei site, Izena Hole, middle Okinawa Trough during the CK16-05 cruise operated from November to December, 2016 under the SIP program.
Results of microscopic observations show that sphalerite and galena are comparatively dominant with minor occurrence of pyrrhotite and anglesite in the samples at shallow depths. In contrast, samples from middle and deep depths are more abundant on pyrite and chalcopyrite, and pyrite, respectively. The texture that pyrrhotite was dissolved and replaced by pyrite or marcasite was observed in the samples in the depth of 0.05 –44.0 mbsf. The Fe content in sphalerite tends to decrease with increasing depth, and also change within single sphalerite grain. These results suggest that hydrothermal fluid geochemistry such as fugacity of $S_2$ and $O_2$, and temperature changes for the depth and time. The $\delta^{56}$Fe values ($\delta^{56}$Fe (‰) = 1000 * [($^{56}$Fe/$^{54}$Fe) sample / ($^{56}$Fe/$^{54}$Fe) $_{IRMM-014}$ -1]) of the bulk samples range from -0.62 to +0.11‰, which tends to increase toward the deeper part. This indicates that Fe sulfides at shallow depths was formed by non-equilibrium precipitation with a rapid cooling, which caused a kinetic isotope effect. In contrast, those at deeper depths were likely formed near the equilibrium conditions.

キーワード：海底熱水鉱床、伊是名海穴、SIP、交代作用、鉄同位体、ちきゅう
Keywords: Submarine hydrothermal ore deposits, Izena Hole, SIP, Replacement, Fe isotope, D/V Chikyu

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Geochemical behavior of heavy metals during wastewater treatment in Chingola Stream of the Zambia Copperbelt

*Cryton Phiri[1], Daiki Shimazui[2], Tsutomu Sato[2], Tsubasa Otake[2]

1. University of Zambia, 2. Hokkaido University

The study focuses on an area at a copper mine in Chingola town of the Zambian Copperbelt where wastewater containing heavy metals (Cu-Co-Mn) at variable pH (3.5-6.5) mixes with a nearby municipal wastewater in Chingola Stream. The metal concentration of discharge is below the regulation limit because lime treatment has been conducted in the stream. However, remaining volume of ponds for sludge produced by lime treatment was limited. The objective of the study was therefore to understand the geochemical behavior of the metals for the optimization of wastewater treatment. Representative water and soil samples were obtained along the affected stream and analyzed for their target heavy metal content and geochemical distribution using ICP-AES/MS and sequential extraction (SQE) methods. Analyses of sediment mineralogy were made by XRD, optical microscopy, FE-SEM/EDS and TEM/EDS. Water chemistry results revealed relatively low metal concentrations of Cu-Co-Mn ranging from below detection limit (bdl) to 60mg/l. SQE analyses show high total target metal concentrations ranging from (1-12000mg/kg) in sediments, which obviously supports the possible adsorption and precipitation processes to be taking place. Low concentrations are as a result of the increasing pH and possible metal adsorption and precipitation on sediment. The target metal contents were highest in exchangeable fraction Cu (100-2500mg/kg), Co (1-50mg/kg), Mn (bdl-2g/kg), and in carbonate fraction Cu (2-500mg/kg), Co (0.5-20mg/kg), Mn (bdl-1.2g/kg) and in amorphous Fe mineral fraction Cu (2-1000mg/kg), Co (1-100mg/kg) and Mn (0.5-2.5g/kg) respectively. The other remaining fractions had very low metal concentrations. FE-SEM/EDS and TEM/EDS techniques showed some metal adsorption phases on biotite and kaolinite confirming the earlier results of SQE. The amorphous Fe mineral determined using SQE reveal an average of between 3.5-12 g/kg. From the surface complexation modeling between amorphous Fe mineral and the metals shows that the range of pH condition, 6.5-7.5 is strongly recommended for better sorbed fraction of Cu-Co-Mn on amorphous Fe mineral. From the above results, it was found that the geochemical partitioning of metals to the most labile exchangeable fraction which easily releases metals to the environment depending on the prevailing conditions (i.e pH) can as well be treated by ion exchange, surface complexation by amorphous Fe mineral and carbonation. The advantages of this treatment method is that heavy metal can easily be recovered from sludge through the application of relatively weak acid and at the same time reducing the sludge volumes through utilization of the sediments as sand for engineering purposes.

Keywords: Heavy metals, Geochemical behavior, Treatment

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

2019年5月29日(水) 13:45 ~ 15:15 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_3

## [S-SS09] 地震予知・予測

コンビーナ:大林 政行(独立行政法人海洋研究開発機構 地球深部ダイナミクス研究分野)、馬場 俊孝(徳島大学大学院産業理工学研究部)

将来の地震発生を予知・予測することをめざす，直接的な研究について討論する．長期・短期，あるいは，決定論的・確率的といった時定数や手法を問わず，理論・観測・シミュレーションなどに基づく，検証可能性を備えた科学的な研究発表を広く募集する．

[SSS09-P01] 地震前兆の検出法

*高橋 耕三

---

[SSS09-P02] 自然地震カタログとETASカタログに内在する前震活動の特徴の違い：前震予測モデルを用いた検証

*弘瀬 冬樹[1]、溜渕 功史[1]、前田 憲二[2] (1.気象研究所地震津波研究部、2.気象庁地震火山部)

---

[SSS09-P03] 2011年東北地方太平洋沖地震に先行したF-net連続波形画像の欠測増加（２）

*末 芳樹[1] (1.なし)

---

[SSS09-P04] 駿河湾石花海周辺におけるOBS地震観測の*b*値について

*曽谷 太洋[1]、馬塲 久紀[4]、西宮 隆仁[2]、中尾 凪佐[1]、長尾 年恭[3] (1.東海大学大学院、2.気象庁気象研究所、3.東海大学海洋研究所、4.東海大学海洋学部海洋地球科学)

---

[SSS09-P05] 更新過程のベイズ統計対数正規分布モデルを用いた中規模繰り返し相似地震の発生確率の成績

*田中 昌之[1] (1.気象研究所)

---

[SSS09-P06] **Structural heterogeneity under the 2018 Mw6.6 Eastern Iburi earthquake in Hokkaido, Japan and its implications for rupture initiations**

*WANG ZHI[1] (1.中国科学院南海海洋研究所)

# 地震前兆の検出法
# A method to ditect seismic precursors

*高橋 耕三
*Kozo Takahashi

はじめに：地震の前には、種々の地震前兆が観測されている。それらの殆どは、地震前の震源域での微少亀裂の発生に起因するものと推定できる。それ故、震源域での微少亀裂の発生を検出できれば、直接・間接に地震の予知につなげることが可能になる。 ３．微小亀裂の検出

震源域を中心として電極を4個所以上に設置して、電位・抵抗を測定すれば（海底では困難）微小亀裂の発生を検知できるであろう。しかし、高名な地震学者が予言しているように、地震予知は「地震の、場所・規模・日時が分かっているときしかできない」から、電位・抵抗の測定場所を決めることができない。我が国の噴火の場合は、その場所を推定し、Magma の場所・規模・動きを集中的に観測して噴火を予知することが、費用の額を無視できる場合は可能であろうが、地震の場合は費用の額が無視できても、場所の推定が困難なため、そのようには行かないであろう。

若し、震源域から、重力波（Gravitational Wave：GI）が出ていれば、検出の可能性は出てくるが、その可能性は全く無いことを以下定量的に示す。

最初に、検出できるGIの大きさを知るため、Black Hole（BHP)の合体の際、観測されたGIの強度を計算する。

本節で使用する記号、常数の近似値・推定値は下記のとおりである。

以下　＊：乗

光速ｃ＝3×(10＊5) km/sec

１光年＝9.46×(10＊12) km

太陽の質量：２×(10＊30) kg

GW150914の合体の際の数値

BHPの小さい方の質量 M：29太陽質量

BHP迄の距離　ｒ：13億光年

BHP 間の衝突とは、相手の Event Horizon 内に入ることだから合体のことになる。合体によりそれらの運動エネルギーはGIのエネルギーに変換される。

BHP間の相対速度はｃを超えることは出来ないから、一方の速度は約ｃ / ２以下となる。

GIは重力場の急変により発生するから、運動量（MV)の急変によっても発生する。

GIは、波であるから、観測点までの距離ｒの二乗に反比例する。よって

GW150914のGIの地表で観測される値GWbhは、次式の値に比例する。 GWbh＝ 29 ×2×(10＊30)×1.5×(10＊5)÷{(13×9.46×(10＊12 )}　＊2 ＝ 5.75 ×10＊8) (kg／sec・km) Mag ７の地震の際のGIを計算する。

この際、下記の値を用いる。

地震のエネルギーEは次式による。

log E＝4.8 + 1.5 M

＝ 4.8 + 10.5 ＝ 15.3

E ＝ 10＊15.3 J＝2×10＊15 J

＝2×10＊9 kg (km／sec)＊2

地震で動く質量mは次式から求める。

E＝0.5×m ×v＊2

ここにｖは地震波の速度で、地表近くの値5.45 km/sec を用いると

ｍv ＝2 E／ｖ

＝ 4×10＊9／5.45 kg・㎞／sec

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

＝0.734×10＊9 kg・㎞／sec

BHP 間の衝突では、相対速度がｃ／2に近い値になったから、地震の際もｃ／2に近い値になった部分だけがGIの発生に寄与すると考えられる。ところで、物理現象では、多くの場合Gauss 分布するため、S波の速度分布からσと平均値を求め、地震動のうちのｃ／２以上となる割合を求めると、限りなく零に近づくため、地震動に伴うGIは発生しないと推定される。そこで、どのような場合にGIが発生するかを知るために、月と同じ質量の隕石がｃ／２以上の速さで地表を直撃する場合のGIを計算する。なお大きな隕石などで月の軌道が乱されても月が地球に衝突することはない。月が地球に近づけば潮汐力のため月は砕け、地球に落下する破片は大気中で燃え尽きてしまう。また、ｃ／２以上の速さで到来する物体は、検知する前に到達してしまうため、Radarでは検知できない。

月と同じ質量のMeteoriteの衝突の際のGIをGWmeと書くことにする。観測点から震源域までの距離をｒとすると

GWmeは次式に比例することになる。

GWme＝m v／ｒ＊2 kg／km・sec m＝7.343×10＊22㎏ ｒ＝10000 km の場合 GWme＝1.10 ×10＊21 kg／㎞・sec よって GWme／GWbh＝1.10×10＊21／5.75×10＊8

＝1.91×10＊11

上記の値は、月の質量の1.91×10＊11分の一の質量：3.84×10＊8 tonのMeteorが地球に衝突した場合GIが発生することを示している。これまでに知らている最大のMeteorは、１万ton程度であるから、１億ton以上のMeteorが衝突した時には、地球に生物は存在していない。 終わりに

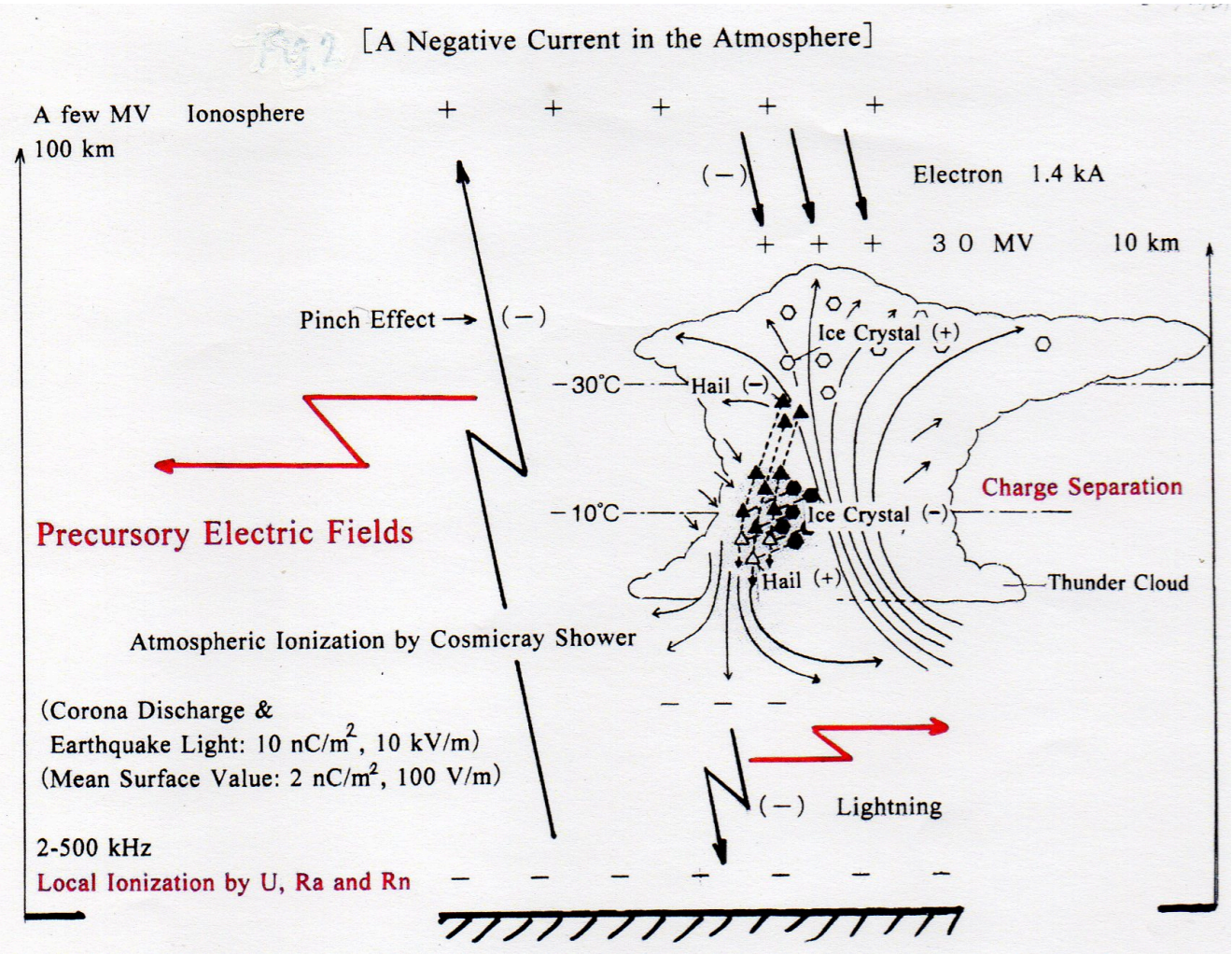
噴火に関しては、噴火が想定される場所に観測装置を重点的に配置して、Magmaの位置・規模・変化を推定して予知を試みることが可能であり、地震予知も、前兆の微小亀裂の発生場所を検出できれば、可能性があるが、「地震の場所・規模・日時が分かっている時しか予知出来ない」と言われており、現在もその通りで、地震発生の場所が推定できない限り、前兆の微小亀裂の場所の検出が困難で、予知に繋がる観測を始められない。

参考文献

高橋耕三　地震直前に観測される電磁界の発生メカニズム JpGU 2011 S-SS024-13

キーワード：地震予知、地震前兆電界、噴火予知、噴火前兆、重力波
Keywords: Earthquake Prediction, precursory seismic electric fields, eruption predicion, precursory eruptional magma, gravitational wave

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 




©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 自然地震カタログとETASカタログに内在する前震活動の特徴の違い：前震予測モデルを用いた検証

# Difference of foreshock characteristics between real data and synthetic ETAS catalogs: through the application of an empirical earthquake forecast model based on foreshocks

*弘瀬 冬樹[1]、溜渕 功史[1]、前田 憲二[2]
*Fuyuki Hirose[1], Koji Tamaribuchi[1], Kenji Maeda[2]

1. 気象研究所地震津波研究部、2. 気象庁地震火山部
1. Seismology and Tsunami Research Department, Meteorological Research Institute, 2. Seismology and Volcanology Department, Japan Meteorological Agency

全ての地震活動はETASモデルで再現できる確率現象であるため，ETASによる予測よりも効率の良い地震の予測は不可能であるという指摘［例えば，Felzer et al., 2004, BSSA; 2015, NatureGeo］がある．一方，前震活動はETASでは表現されない前駆的すべりなど，震源核形成過程の一部であり，その特徴を用いればより効率よく地震の予測が可能性であるという指摘［例えば，Lippiello et al., 2012, SciRep; Bouchon et al., 2013, NatureGeo］もある．

そこで，ETASモデルによる実データの再現性を検証するために，実データから推定されたETASパラメータを用いて，模擬的な地震カタログ（ETASカタログと呼ぶ）を作成し，実データの前震活動に基づいた予測モデル［例えば，前田・弘瀬, 2017, 予知連会報98］をETASカタログに適用し，その予測効率を調べた．伊豆諸島の地震活動に最適化した本予測モデルは，緯度0.2˚×経度0.2˚の領域内でM3.0以上の地震が3日間に3個だけ発生した時に，同領域内でその後5日間以内にM5.0以上の地震が発生すると予測するものである．本モデルは尤度の観点で最も効率が良い．

本予測モデルを実データとETASカタログそれぞれに適用した結果，成績はETASカタログよりも実データに適用した時の方が良かった．このことは，ETASでは前震活動（前駆すべりが関連？）の特徴を十分には再現することは困難であり，前震活動に基づく予測はETASによる予測よりも効率的である場合があることを示唆する．しかし，本検証では前震活動による予測モデルは実データにより最適されたモデルであるため，特殊なケースの検証となっている可能性がある．より信頼性の高い検証のためには，ETASカタログを用いて最適化を行った場合など，他の方法による検証も行うことが必要であろう．

キーワード：地震予測モデル、前震活動、ETASモデル、伊豆諸島
Keywords: Earthquake forecast model, Foreshocks, ETAS model, Izu Islands

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 2011年東北地方太平洋沖地震に先行したF-net連続波形画像の欠測増加（２）

# The increase in missing waveform images of the F-net broadband seismograph network preceding the 2011 Tohoku earthquake (2)

*末 芳樹[1]
*Yoshiki SUE[1]

1. なし
1. none

１．はじめに

主題地震では広帯域地震観測網F-netの欠測が本震の前後数カ月間に亘って増加したことが報告されている。

2010年12月22日から2011年1月18日にかけて１度目の増加があり最大４観測点となった．一旦減少の後，2月16日から2度目の増加があり，2月19日から3月2日にかけて再度４観測点（札幌(コード：HSS)，岩手山形(IYG),気仙沼(KSN),白峰(SRN)）となった．この後減少したが，本震発生時は通常より多い2観測点の欠測があった．本震後は5月2日に零に復帰した．… 2度目の増加期間は，本震域でM5クラスの地震が連続して発生していた2月13日から3月2日までとも概ね重なる．（末, 2013）

２．更なる調査

2011年2月中旬から3月上旬までの期間に対し更なる調査を行い、以下を得た。

<スロースリップ>

・ 本震発生前に震源域付近でスロースリップが起きた。スロースリップは2011年1月29日に始まり、2月19日頃に活動領域を拡大し、3月9日の三陸沖地震M7.3の直前まで存在しこの地震を誘起した。尚、3月9日の地震は前震と考えられている（内田・加藤・伊藤・太田, 2014）。

<F-netの欠測状況>

・ 2度目の欠測増加は2011年2月16日から始まり，2月19日から3月2日にかけて最大の４観測点（札幌(HSS)， 岩手山形(IYG)， 気仙沼(KSN)， 白峰(SRN)）となった。

・ 増加の始まる前から欠測していた観測点は、札幌(HSS)と岩手山形(IYG)であった。

・ 気仙沼観測点(KSN)の欠測が2月16日から3月2日に掛けて加わった。

・ さらに、白峰観測点(SRN)の欠測が2月19日から4月25日に掛けて加わり欠測は４観測点となった。白峰観測点は石川県白山市にあって三陸沖から遠いが、2月27日に近傍の飛騨地方でM5.5を始めとする群発地震が発生している。

・ 欠測観測点の増大は3月2日で終了し、その後減少してM7.3地震の前日である3月8日の欠測は、岩手山形(IYG)と白峰(SRN)の2観測点であった。

尚、日付は連続波形画像（Daily plot, UT）の情況であり、観測点に関する欠測情報は１日程度異なる場合がある。

３．まとめ

2011年2月中旬～3月上旬に掛けてのF-netの欠測の増加は、1月29日から始まり3月9日まで存在したスロースリップや2月中旬から下旬にかけての三陸沖を中心とする活発な地震活動などと時間的・空間的に重なるばかりでなく、スロースリップの領域拡大と同じ2月19日から最大の欠測数になるなど、後日震源となる付近で発生した何らかの振動に対する反応と考えられる。

謝辞

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

防災科学技術研究所のF-net観測網のデータを使用させて頂きました．記して感謝致します．

参考文献

末芳樹, 2013, 2011年東北地方太平洋沖地震に先行したF-net連続波形画像の欠測増加, JpGU2013, SSS30-P01.

内田直希・加藤愛太郎・伊藤喜宏・太田雄策, 2014, 特集 東北地方太平洋沖地震から3年 発生前に起きていたスロースリップ, なゐふる, Vol97.

キーワード：2011年東北地方太平洋沖地震、F-net、スロースリップ
Keywords: 2011 Tohoku earthquake, F-net, slow slip

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 駿河湾石花海周辺におけるOBS地震観測の*b*値について
# On the *b*-value of the OBS seismic observation around the Suruga Bay Senoumi

*曽谷 太洋[1]、馬塲 久紀[4]、西宮 隆仁[2]、中尾 凪佐[1]、長尾 年恭[3]
*Taiyo Sotani[1], Hisatoshi Baba[4], Takahito Nishimiya[2], Nakao Nagisa[1], Toshiyasu Nagao[3]

1. 東海大学大学院、2. 気象庁気象研究所、3. 東海大学海洋研究所、4. 東海大学海洋学部海洋地球科学
1. Toukai Univrsity, 2. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 3. Institute of Oceanic Research and development, Tokai University, 4. Department of Marine and Earth Science, Tokai University

駿河湾は，駿河トラフを有する急峡な湾で東海地震の推定震源域である．駿河トラフから南海トラフにかけてのプレート境界では，過去にM8.0クラスの巨大地震が繰り返し発生している．駿河湾で2009年8月「静岡沖の地震(M6.5)」と2011年8月「駿河湾南西部の地震(M6.2)」の契機に， 2011年11月より駿河湾中央部の石花海(せのうみ)周辺海域で自己浮上式海底地震計(OBS)を設置し地震観測を開始した．観測は3ヶ月毎に設置・回収を繰り返し行っており，7年間のデータが安定して蓄積されている．そこで，OBS観測で決められた震源要素を元に*b*値について議論を行った．

本研究では
(1) 2012年10月から2018年8月までのOBS観測で得られた震源を用いた3ヶ月毎の*b*値について

(2) 同期間のJMAデータにおける*b*値との比較

(3) 震源が集中している石花海周辺の *b* 値

について発表を行う．

キーワード：東海地震、 b 値
Keywords: Tokai Earthquake, b-value

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 更新過程のベイズ統計対数正規分布モデルを用いた中規模繰り返し相似地震の発生確率の成績

# Trial Result of Long-term Occurrence Probabilities with The Moderate Repeating Earthquakes Using The Lognormal Distribution Model with Bayesian Approach

*田中 昌之[1]
*Masayuki Tanaka[1]

1. 気象研究所
1. Meteorological Research Institute

１．はじめに

気象研究所では，中規模の繰り返し相似地震について，準リアルタイム的に発生状況を追跡している．そして，相似地震の長期的確率予測の精度把握のため，適宜，確率予測の実験を行っている．モデルは岡田・他(2007)による更新過程のベイズ統計対数正規分布モデル(LN-Bayes)を使っている．このモデルは，再帰間隔の確率分布が逆ガンマ事前分布で与えられており，逆ガンマ分布の２つのパラメータは，形状パラメータ $\phi$ =2.5，スケールパラメータ $\zeta$=0.23である．標本1個から計算可能である．2016年2月，2017年2月及び2018年2月に1年発生確率を計算しており，予測期間はすべて終わっていることから，評価指標を使って予測成績を確認する．そして，別の更新過程の小標本論対数正規分布モデル(LN-SST)，BPT分布モデル(BPT)及びポアソン過程の指数分布モデル(Exp)の成績と比較する．BPTのパラメータは地震本部(2010)の値 $\alpha$=0.24を使用する．

２．評価指標

平均対数尤度(Mean Log-Likelihood, *MLL)*とブライアスコア(Brier Score, *BS*)の2つの手法を，予測期間内の相似地震の発生有無と比較して求めた．*MLL*は負の値となる．予測確率0.5のとき-0.693で，これより小さな値となるモデルは非常に悪い成績と言える．予測確率0で予測期間内に該当地震が発生した場合，または予測確率1で予測期間内に該当地震が発生しなかった場合は解が求まらない．そのようなケースは評価対象から除外する．*BS*は正の値となる．予測確率0.5のとき0.25で，これより大きな値となるモデルは非常に悪い成績と言える．

３．成績

４つのモデルの成績は図１の通りである．*MLL*の成績は，2016年2月の予測はLN-SSTの成績が他のモデルよりも良く，2017年2月と2018年2月の予測はLN-Bayesが最も良い．3回の実験はそれぞれ独立であり，3回の結果を一つにして得られる成績はLN-Bayesが最も良い．LN-Bayes，LN-SST及びExpの成績は徐々に悪化している．LN-SSTの成績は他の２つのモデルよりも変化が大きく，2018年2月の成績はExpよりも悪い．原因は不明である．BPTは3回すべてにおいて非常に悪い成績である．大会当日は，*BS*の成績を紹介し，それら結果について考察する．

キーワード：繰り返し地震、予測結果、平均対数尤度
Keywords: Repeating earthquakes, Forecast results, Mean log-likelihood

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

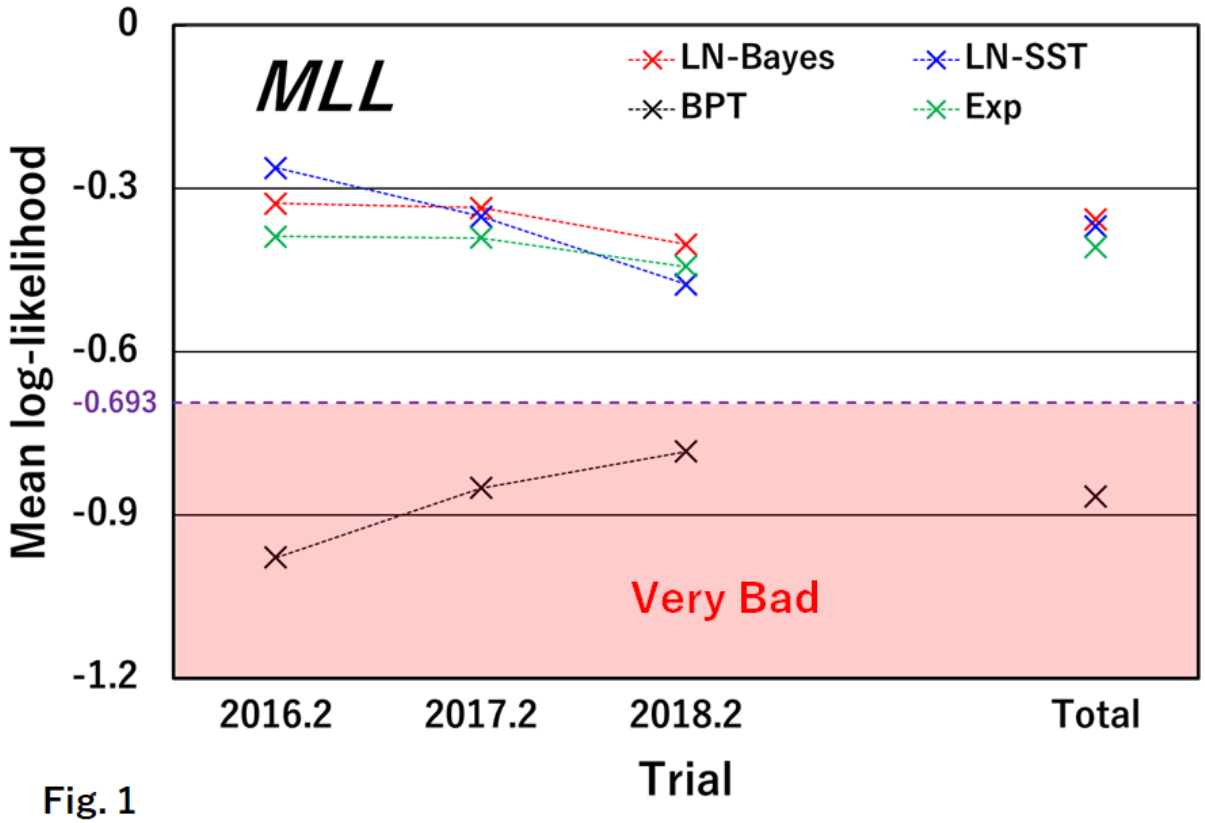



Fig. 1

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Structural heterogeneity under the 2018 Mw6.6 Eastern Iburi earthquake in Hokkaido, Japan and its implications for rupture initiations

*WANG ZHI[1]
*ZHI WANG[1]

1. 中国科学院南海海洋研究所
1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology at South China Sea Institute of Oceanology of CAS of China

On September 6, 2018, an Mw6.6 (moment magnitude) crustal earthquake occurred at Eastern Iburi on the island of Hokkaido, Japan (hereafter referred to as the Iburi Earthquake), where the northeastern Japan arc obliquely collides with the Kuril arc. It is the first time an earthquake has ever reached a maximum intensity of 7 (on scale of JMA: Japan Meteorological Agency) in Hokkaido. The 2018 Iburi earthquake caused serious damage across Hokkaido Prefecture and adjacent regions, including the death of 44 people, as many as 680 injuries, and a large number of landslides around the town of Atsuma. The focal mechanism solution of the earthquake showed that initiation occurred on either a moderately dipping reverse fault striking northwest (NW), or on a shallow-to-moderately dipping fault striking southeast (SE).

The hypocenter area is characterized by the mutual interactions of three plates: the Pacific plate, the North American (Okhotsk) plate, and the Eurasian plate. This reverse-faulting earthquake occurred close to the Hidaka main thrust belt, whose tectonics are driven by the convergence of the above three plates. The plate boundary between the Eurasian and Okhotsk plates is located near the eastern coastline of the Japan Sea. Under the Iburi earthquake, the Pacific slab is subducting towards the west (W) -NW beneath the Eurasian and North American plates from the northeastern (NE) Japan and Kuril Trenches. In the Hokkaido subduction zone, there have been 18 earthquakes ($M_J$ > 6.5: JMA magnitude) recorded since 1926; however, the majority are interplate thrust earthquakes associated with the Pacific slab subduction, and only five of these occurred at shallow depths under Hokkaido according to JMA focal depths.
The hypocenter determined by JMA indicated a focal depth of ~37 km. Given the focal mechanism solutions and depth, the main-shock was likely an intraplate event within the North American (upper) plate (or Okhotsk microplate), rather than on the interface between the subducting Pacific and North America plates. This was because the iso-depth of the upper boundary for the Pacific slab was about ~100 km beneath the epicenter. Although numerous seismic tomographic studies in the crust and uppermost mantle have been conducted in Hokkaido, the structure in the 2018 Iburi source area remains poorly resolved. It is worth noting that the seismic velocity and Poisson ratio images, together with geology and geothermal data, in the source area could provide some important information for a better understanding of earthquake generation. To investigate the rupture initiation of the earthquake, we conduct a high resolution seismic tomography study to determine the seismic velocity and Poisson ratio structures under the entire Hokkaido arc. Our results indicated that the main-shock was likely located at a blind-thrust fault close to the boundary between the negative and positive seismic anomalies. A strong low velocity and high Poisson ratio body that extended to a depth of ~120 km was clearly imaged northwest of the hypocenter under the back-arc side of the mantle wedge, indicating fluids were released from the subducting Pacific slab dehydration. Fluids released from the great depth of the back-arc mantle wedge would intrude into the positive anomaly from the more saturated negative side in the lower crust, leading to high pore-fluid pressure accumulation in that region. The descending brittle crustal material

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

sandwiched by two negative zones in the hypocenter was sufficiently large, resulting in strain concentration, decrease of rock effective stress in the hypocenter, and contributing to brittle deformation.

キーワード：2018 Mw6.6 Eastern Iburi earthquake、Fluid pore-pressure concentration、Role of fluids in triggering of earthquake
Keywords: 2018 Mw6.6 Eastern Iburi earthquake, Fluid pore-pressure concentration, Role of fluids in triggering of earthquake

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_25

## [S-SS09] 地震予知・予測

コンビーナ:大林 政行(独立行政法人海洋研究開発機構 地球深部ダイナミクス研究分野)、馬場 俊孝(徳島大学大学院産業理工学研究部)

将来の地震発生を予知・予測することをめざす，直接的な研究について討論する．長期・短期，あるいは，決定論的・確率的といった時定数や手法を問わず，理論・観測・シミュレーションなどに基づく，検証可能性を備えた科学的な研究発表を広く募集する．

[SSS09-P01] 地震前兆の検出法

*高橋 耕三

---

[SSS09-P02] 自然地震カタログとETASカタログに内在する前震活動の特徴の違い：前震予測モデルを用いた検証

*弘瀬 冬樹[1]、溜渕 功史[1]、前田 憲二[2] (1.気象研究所地震津波研究部、2.気象庁地震火山部)

---

[SSS09-P03] 2011年東北地方太平洋沖地震に先行したF-net連続波形画像の欠測増加（２）

*末 芳樹[1] (1.なし)

---

[SSS09-P04] 駿河湾石花海周辺におけるOBS地震観測の*b*値について

*曽谷 太洋[1]、馬塲 久紀[4]、西宮 隆仁[2]、中尾 凪佐[1]、長尾 年恭[3] (1.東海大学大学院、2.気象庁気象研究所、3.東海大学海洋研究所、4.東海大学海洋学部海洋地球科学)

---

[SSS09-P05] 更新過程のベイズ統計対数正規分布モデルを用いた中規模繰り返し相似地震の発生確率の成績

*田中 昌之[1] (1.気象研究所)

---

[SSS09-P06] **Structural heterogeneity under the 2018 Mw6.6 Eastern Iburi earthquake in Hokkaido, Japan and its implications for rupture initiations**

*WANG ZHI[1] (1.中国科学院南海海洋研究所)

# 地震前兆の検出法
# A method to ditect seismic precursors

*高橋 耕三
*Kozo Takahashi

はじめに：地震の前には、種々の地震前兆が観測されている。それらの殆どは、地震前の震源域での微少亀裂の発生に起因するものと推定できる。それ故、震源域での微少亀裂の発生を検出できれば、直接・間接に地震の予知につなげることが可能になる。 ３．微小亀裂の検出

震源域を中心として電極を4個所以上に設置して、電位・抵抗を測定すれば（海底では困難）微小亀裂の発生を検知できるであろう。しかし、高名な地震学者が予言しているように、地震予知は「地震の、場所・規模・日時が分かっているときしかできない」から、電位・抵抗の測定場所を決めることができない。我が国の噴火の場合は、その場所を推定し、Magma の場所・規模・動きを集中的に観測して噴火を予知することが、費用の額を無視できる場合は可能であろうが、地震の場合は費用の額が無視できても、場所の推定が困難なため、そのようには行かないであろう。

若し、震源域から、重力波（Gravitational Wave：GI）が出ていれば、検出の可能性は出てくるが、その可能性は全く無いことを以下定量的に示す。

最初に、検出できるGIの大きさを知るため、Black Hole（BHP)の合体の際、観測されたGIの強度を計算する。

本節で使用する記号、常数の近似値・推定値は下記のとおりである。

以下　＊：乗

光速ｃ＝3×(10＊5) km/sec

１光年＝9.46×(10＊12) km

太陽の質量：２×(10＊30) kg

GW150914の合体の際の数値

BHPの小さい方の質量 M：29太陽質量

BHP迄の距離　ｒ：13億光年

BHP 間の衝突とは、相手の Event Horizon 内に入ることだから合体のことになる。合体によりそれらの運動エネルギーはGIのエネルギーに変換される。

BHP間の相対速度はｃを超えることは出来ないから、一方の速度は約ｃ / ２以下となる。

GIは重力場の急変により発生するから、運動量（MV)の急変によっても発生する。

GIは、波であるから、観測点までの距離ｒの二乗に反比例する。よって

GW150914のGIの地表で観測される値GWbhは、次式の値に比例する。 GWbh＝ 29 ×2×(10＊30)×1.5×(10＊5)÷{(13×9.46×(10＊12 )}　＊2 ＝ 5.75 ×10＊8) (kg／sec・km) Mag ７の地震の際のGIを計算する。

この際、下記の値を用いる。

地震のエネルギーEは次式による。

log E＝4.8 + 1.5 M

＝ 4.8 + 10.5 ＝ 15.3

E ＝ 10＊15.3 J＝2×10＊15 J

＝2×10＊9 kg (km／sec)＊2

地震で動く質量mは次式から求める。

E＝0.5×m ×v＊2

ここにｖは地震波の速度で、地表近くの値5.45 km/sec を用いると

ｍv ＝2 E／ｖ

＝ 4×10＊9／5.45 kg・㎞／sec

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

＝0.734×10＊9 kg・㎞／sec

BHP 間の衝突では、相対速度がｃ／2に近い値になったから、地震の際もｃ／2に近い値になった部分だけがGIの発生に寄与すると考えられる。ところで、物理現象では、多くの場合Gauss 分布するため、S波の速度分布からσと平均値を求め、地震動のうちのｃ／２以上となる割合を求めると、限りなく零に近づくため、地震動に伴うGIは発生しないと推定される。そこで、どのような場合にGIが発生するかを知るために、月と同じ質量の隕石がｃ／２以上の速さで地表を直撃する場合のGIを計算する。なお大きな隕石などで月の軌道が乱されても月が地球に衝突することはない。月が地球に近づけば潮汐力のため月は砕け、地球に落下する破片は大気中で燃え尽きてしまう。また、ｃ／２以上の速さで到来する物体は、検知する前に到達してしまうため、Radarでは検知できない。

月と同じ質量のMeteoriteの衝突の際のGIをGWmeと書くことにする。観測点から震源域までの距離をｒとすると

GWmeは次式に比例することになる。

GWme＝m v／ｒ＊2 kg／km・sec m＝7.343×10＊22㎏ ｒ＝10000 km の場合 GWme＝1.10 ×10＊21 kg／㎞・sec よって GWme／GWbh＝1.10×10＊21／5.75×10＊8

＝1.91×10＊11

上記の値は、月の質量の1.91×10＊11分の一の質量：3.84×10＊8 tonのMeteorが地球に衝突した場合GIが発生することを示している。これまでに知らている最大のMeteorは、１万ton程度であるから、１億ton以上のMeteorが衝突した時には、地球に生物は存在していない。 終わりに

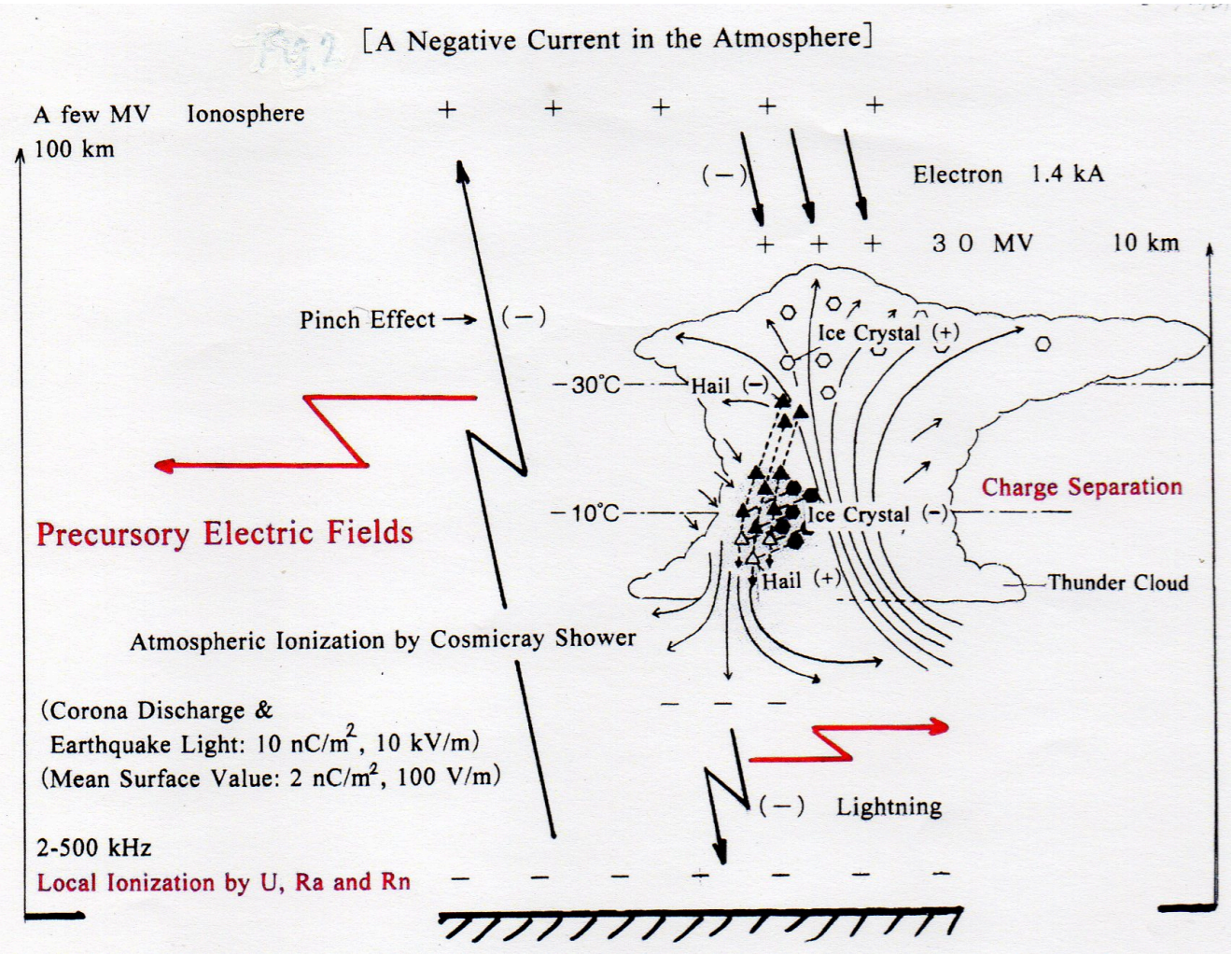
噴火に関しては、噴火が想定される場所に観測装置を重点的に配置して、Magmaの位置・規模・変化を推定して予知を試みることが可能であり、地震予知も、前兆の微小亀裂の発生場所を検出できれば、可能性があるが、「地震の場所・規模・日時が分かっている時しか予知出来ない」と言われており、現在もその通りで、地震発生の場所が推定できない限り、前兆の微小亀裂の場所の検出が困難で、予知に繋がる観測を始められない。

参考文献

高橋耕三　地震直前に観測される電磁界の発生メカニズム JpGU 2011 S-SS024-13

キーワード：地震予知、地震前兆電界、噴火予知、噴火前兆、重力波
Keywords: Earthquake Prediction, precursory seismic electric fields, eruption predicion, precursory eruptional magma, gravitational wave

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 




©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 自然地震カタログとETASカタログに内在する前震活動の特徴の違い：前震予測モデルを用いた検証

# Difference of foreshock characteristics between real data and synthetic ETAS catalogs: through the application of an empirical earthquake forecast model based on foreshocks

*弘瀬 冬樹[1]、溜渕 功史[1]、前田 憲二[2]
*Fuyuki Hirose[1], Koji Tamaribuchi[1], Kenji Maeda[2]

1. 気象研究所地震津波研究部、2. 気象庁地震火山部
1. Seismology and Tsunami Research Department, Meteorological Research Institute, 2. Seismology and Volcanology Department, Japan Meteorological Agency

全ての地震活動はETASモデルで再現できる確率現象であるため，ETASによる予測よりも効率の良い地震の予測は不可能であるという指摘［例えば，Felzer et al., 2004, BSSA; 2015, NatureGeo］がある．一方，前震活動はETASでは表現されない前駆的すべりなど，震源核形成過程の一部であり，その特徴を用いればより効率よく地震の予測が可能性であるという指摘［例えば，Lippiello et al., 2012, SciRep; Bouchon et al., 2013, NatureGeo］もある．

そこで，ETASモデルによる実データの再現性を検証するために，実データから推定されたETASパラメータを用いて，模擬的な地震カタログ（ETASカタログと呼ぶ）を作成し，実データの前震活動に基づいた予測モデル［例えば，前田・弘瀬, 2017, 予知連会報98］をETASカタログに適用し，その予測効率を調べた．伊豆諸島の地震活動に最適化した本予測モデルは，緯度0.2˚×経度0.2˚の領域内でM3.0以上の地震が3日間に3個だけ発生した時に，同領域内でその後5日間以内にM5.0以上の地震が発生すると予測するものである．本モデルは尤度の観点で最も効率が良い．

本予測モデルを実データとETASカタログそれぞれに適用した結果，成績はETASカタログよりも実データに適用した時の方が良かった．このことは，ETASでは前震活動（前駆すべりが関連？）の特徴を十分には再現することは困難であり，前震活動に基づく予測はETASによる予測よりも効率的である場合があることを示唆する．しかし，本検証では前震活動による予測モデルは実データにより最適されたモデルであるため，特殊なケースの検証となっている可能性がある．より信頼性の高い検証のためには，ETASカタログを用いて最適化を行った場合など，他の方法による検証も行うことが必要であろう．

キーワード：地震予測モデル、前震活動、ETASモデル、伊豆諸島
Keywords: Earthquake forecast model, Foreshocks, ETAS model, Izu Islands

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 2011年東北地方太平洋沖地震に先行したF-net連続波形画像の欠測増加（２）

# The increase in missing waveform images of the F-net broadband seismograph network preceding the 2011 Tohoku earthquake (2)

*末 芳樹[1]
*Yoshiki SUE[1]

1. なし
1. none

１．はじめに

主題地震では広帯域地震観測網F-netの欠測が本震の前後数カ月間に亘って増加したことが報告されている。

2010年12月22日から2011年1月18日にかけて１度目の増加があり最大４観測点となった．一旦減少の後，2月16日から2度目の増加があり，2月19日から3月2日にかけて再度４観測点（札幌(コード：HSS)，岩手山形(IYG),気仙沼(KSN),白峰(SRN)）となった．この後減少したが，本震発生時は通常より多い2観測点の欠測があった．本震後は5月2日に零に復帰した．… 2度目の増加期間は，本震域でM5クラスの地震が連続して発生していた2月13日から3月2日までとも概ね重なる．（末, 2013）

２．更なる調査

2011年2月中旬から3月上旬までの期間に対し更なる調査を行い、以下を得た。

<スロースリップ>

・ 本震発生前に震源域付近でスロースリップが起きた。スロースリップは2011年1月29日に始まり、2月19日頃に活動領域を拡大し、3月9日の三陸沖地震M7.3の直前まで存在しこの地震を誘起した。尚、3月9日の地震は前震と考えられている（内田・加藤・伊藤・太田, 2014）。

<F-netの欠測状況>

・ 2度目の欠測増加は2011年2月16日から始まり，2月19日から3月2日にかけて最大の４観測点（札幌(HSS)， 岩手山形(IYG)， 気仙沼(KSN)， 白峰(SRN)）となった。

・ 増加の始まる前から欠測していた観測点は、札幌(HSS)と岩手山形(IYG)であった。

・ 気仙沼観測点(KSN)の欠測が2月16日から3月2日に掛けて加わった。

・ さらに、白峰観測点(SRN)の欠測が2月19日から4月25日に掛けて加わり欠測は４観測点となった。白峰観測点は石川県白山市にあって三陸沖から遠いが、2月27日に近傍の飛騨地方でM5.5を始めとする群発地震が発生している。

・ 欠測観測点の増大は3月2日で終了し、その後減少してM7.3地震の前日である3月8日の欠測は、岩手山形(IYG)と白峰(SRN)の2観測点であった。

尚、日付は連続波形画像（Daily plot, UT）の情況であり、観測点に関する欠測情報は１日程度異なる場合がある。

３．まとめ

2011年2月中旬～3月上旬に掛けてのF-netの欠測の増加は、1月29日から始まり3月9日まで存在したスロースリップや2月中旬から下旬にかけての三陸沖を中心とする活発な地震活動などと時間的・空間的に重なるばかりでなく、スロースリップの領域拡大と同じ2月19日から最大の欠測数になるなど、後日震源となる付近で発生した何らかの振動に対する反応と考えられる。

謝辞

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

防災科学技術研究所のF-net観測網のデータを使用させて頂きました．記して感謝致します．

参考文献

末芳樹, 2013, 2011年東北地方太平洋沖地震に先行したF-net連続波形画像の欠測増加, JpGU2013, SSS30-P01.

内田直希・加藤愛太郎・伊藤喜宏・太田雄策, 2014, 特集 東北地方太平洋沖地震から3年 発生前に起きていたスロースリップ, なゐふる, Vol97.

キーワード：2011年東北地方太平洋沖地震、F-net、スロースリップ
Keywords: 2011 Tohoku earthquake, F-net, slow slip

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 駿河湾石花海周辺におけるOBS地震観測の*b*値について
# On the *b*-value of the OBS seismic observation around the Suruga Bay Senoumi

*曽谷 太洋[1]、馬塲 久紀[4]、西宮 隆仁[2]、中尾 凪佐[1]、長尾 年恭[3]
*Taiyo Sotani[1], Hisatoshi Baba[4], Takahito Nishimiya[2], Nakao Nagisa[1], Toshiyasu Nagao[3]

1. 東海大学大学院、2. 気象庁気象研究所、3. 東海大学海洋研究所、4. 東海大学海洋学部海洋地球科学
1. Toukai Univrsity, 2. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 3. Institute of Oceanic Research and development, Tokai University, 4. Department of Marine and Earth Science, Tokai University

駿河湾は，駿河トラフを有する急峡な湾で東海地震の推定震源域である．駿河トラフから南海トラフにかけてのプレート境界では，過去にM8.0クラスの巨大地震が繰り返し発生している．駿河湾で2009年8月「静岡沖の地震(M6.5)」と2011年8月「駿河湾南西部の地震(M6.2)」の契機に， 2011年11月より駿河湾中央部の石花海(せのうみ)周辺海域で自己浮上式海底地震計(OBS)を設置し地震観測を開始した．観測は3ヶ月毎に設置・回収を繰り返し行っており，7年間のデータが安定して蓄積されている．そこで，OBS観測で決められた震源要素を元に*b*値について議論を行った．

本研究では
(1) 2012年10月から2018年8月までのOBS観測で得られた震源を用いた3ヶ月毎の*b*値について

(2) 同期間のJMAデータにおける*b*値との比較

(3) 震源が集中している石花海周辺の *b* 値

について発表を行う．

キーワード：東海地震、 b 値
Keywords: Tokai Earthquake, b-value

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 更新過程のベイズ統計対数正規分布モデルを用いた中規模繰り返し相似地震の発生確率の成績

# Trial Result of Long-term Occurrence Probabilities with The Moderate Repeating Earthquakes Using The Lognormal Distribution Model with Bayesian Approach

*田中 昌之[1]
*Masayuki Tanaka[1]

1. 気象研究所
1. Meteorological Research Institute

１．はじめに

気象研究所では，中規模の繰り返し相似地震について，準リアルタイム的に発生状況を追跡している．そして，相似地震の長期的確率予測の精度把握のため，適宜，確率予測の実験を行っている．モデルは岡田・他(2007)による更新過程のベイズ統計対数正規分布モデル(LN-Bayes)を使っている．このモデルは，再帰間隔の確率分布が逆ガンマ事前分布で与えられており，逆ガンマ分布の２つのパラメータは，形状パラメータ $\phi$ =2.5，スケールパラメータ $\zeta$=0.23である．標本1個から計算可能である．2016年2月，2017年2月及び2018年2月に1年発生確率を計算しており，予測期間はすべて終わっていることから，評価指標を使って予測成績を確認する．そして，別の更新過程の小標本論対数正規分布モデル(LN-SST)，BPT分布モデル(BPT)及びポアソン過程の指数分布モデル(Exp)の成績と比較する．BPTのパラメータは地震本部(2010)の値 $\alpha$=0.24を使用する．

２．評価指標

平均対数尤度(Mean Log-Likelihood, *MLL)*とブライアスコア(Brier Score, *BS*)の2つの手法を，予測期間内の相似地震の発生有無と比較して求めた．*MLL*は負の値となる．予測確率0.5のとき-0.693で，これより小さな値となるモデルは非常に悪い成績と言える．予測確率0で予測期間内に該当地震が発生した場合，または予測確率1で予測期間内に該当地震が発生しなかった場合は解が求まらない．そのようなケースは評価対象から除外する．*BS*は正の値となる．予測確率0.5のとき0.25で，これより大きな値となるモデルは非常に悪い成績と言える．

３．成績

４つのモデルの成績は図１の通りである．*MLL*の成績は，2016年2月の予測はLN-SSTの成績が他のモデルよりも良く，2017年2月と2018年2月の予測はLN-Bayesが最も良い．3回の実験はそれぞれ独立であり，3回の結果を一つにして得られる成績はLN-Bayesが最も良い．LN-Bayes，LN-SST及びExpの成績は徐々に悪化している．LN-SSTの成績は他の２つのモデルよりも変化が大きく，2018年2月の成績はExpよりも悪い．原因は不明である．BPTは3回すべてにおいて非常に悪い成績である．大会当日は，*BS*の成績を紹介し，それら結果について考察する．

キーワード：繰り返し地震、予測結果、平均対数尤度
Keywords: Repeating earthquakes, Forecast results, Mean log-likelihood

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

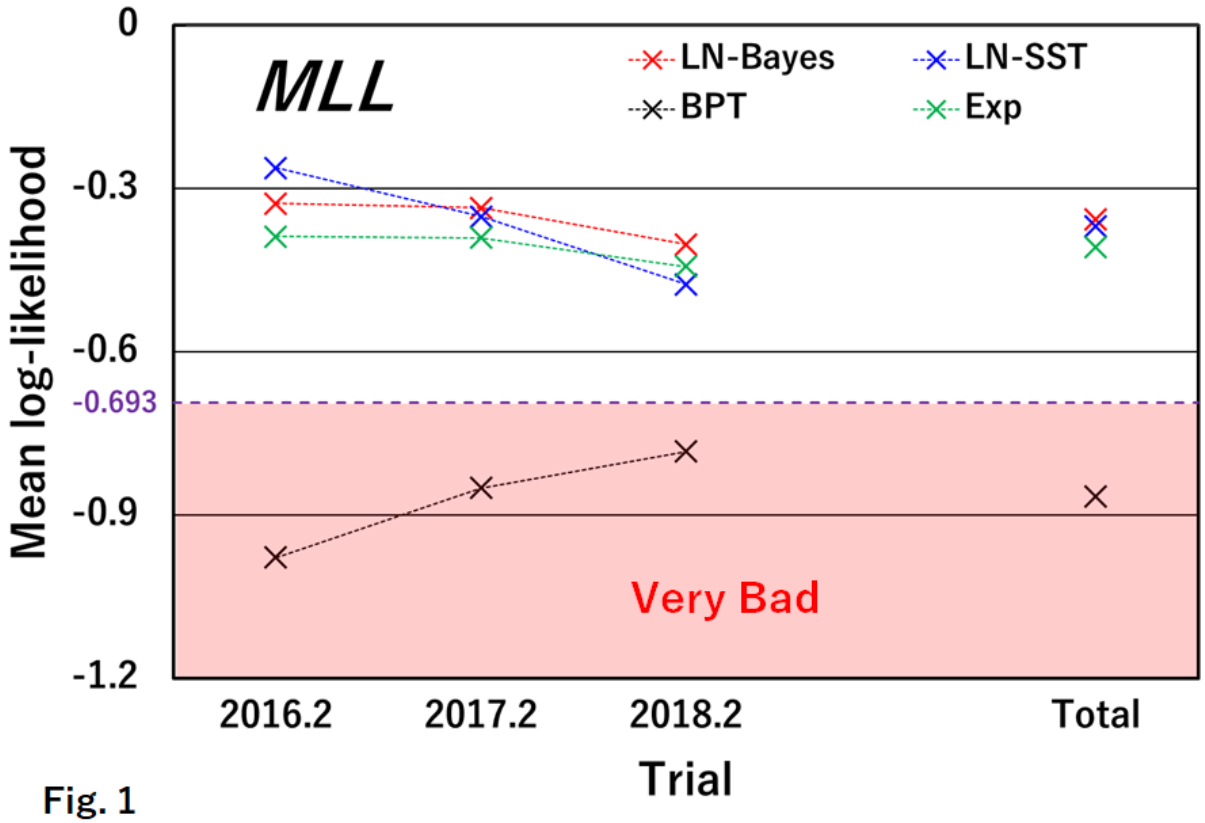



Fig. 1

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Structural heterogeneity under the 2018 Mw6.6 Eastern Iburi earthquake in Hokkaido, Japan and its implications for rupture initiations

*WANG ZHI[1]
*ZHI WANG[1]

1. 中国科学院南海海洋研究所
1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology at South China Sea Institute of Oceanology of CAS of China

On September 6, 2018, an Mw6.6 (moment magnitude) crustal earthquake occurred at Eastern Iburi on the island of Hokkaido, Japan (hereafter referred to as the Iburi Earthquake), where the northeastern Japan arc obliquely collides with the Kuril arc. It is the first time an earthquake has ever reached a maximum intensity of 7 (on scale of JMA: Japan Meteorological Agency) in Hokkaido. The 2018 Iburi earthquake caused serious damage across Hokkaido Prefecture and adjacent regions, including the death of 44 people, as many as 680 injuries, and a large number of landslides around the town of Atsuma. The focal mechanism solution of the earthquake showed that initiation occurred on either a moderately dipping reverse fault striking northwest (NW), or on a shallow-to-moderately dipping fault striking southeast (SE).

The hypocenter area is characterized by the mutual interactions of three plates: the Pacific plate, the North American (Okhotsk) plate, and the Eurasian plate. This reverse-faulting earthquake occurred close to the Hidaka main thrust belt, whose tectonics are driven by the convergence of the above three plates. The plate boundary between the Eurasian and Okhotsk plates is located near the eastern coastline of the Japan Sea. Under the Iburi earthquake, the Pacific slab is subducting towards the west (W) -NW beneath the Eurasian and North American plates from the northeastern (NE) Japan and Kuril Trenches. In the Hokkaido subduction zone, there have been 18 earthquakes ($M_J$ > 6.5: JMA magnitude) recorded since 1926; however, the majority are interplate thrust earthquakes associated with the Pacific slab subduction, and only five of these occurred at shallow depths under Hokkaido according to JMA focal depths.
The hypocenter determined by JMA indicated a focal depth of ~37 km. Given the focal mechanism solutions and depth, the main-shock was likely an intraplate event within the North American (upper) plate (or Okhotsk microplate), rather than on the interface between the subducting Pacific and North America plates. This was because the iso-depth of the upper boundary for the Pacific slab was about ~100 km beneath the epicenter. Although numerous seismic tomographic studies in the crust and uppermost mantle have been conducted in Hokkaido, the structure in the 2018 Iburi source area remains poorly resolved. It is worth noting that the seismic velocity and Poisson ratio images, together with geology and geothermal data, in the source area could provide some important information for a better understanding of earthquake generation. To investigate the rupture initiation of the earthquake, we conduct a high resolution seismic tomography study to determine the seismic velocity and Poisson ratio structures under the entire Hokkaido arc. Our results indicated that the main-shock was likely located at a blind-thrust fault close to the boundary between the negative and positive seismic anomalies. A strong low velocity and high Poisson ratio body that extended to a depth of ~120 km was clearly imaged northwest of the hypocenter under the back-arc side of the mantle wedge, indicating fluids were released from the subducting Pacific slab dehydration. Fluids released from the great depth of the back-arc mantle wedge would intrude into the positive anomaly from the more saturated negative side in the lower crust, leading to high pore-fluid pressure accumulation in that region. The descending brittle crustal material

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

sandwiched by two negative zones in the hypocenter was sufficiently large, resulting in strain concentration, decrease of rock effective stress in the hypocenter, and contributing to brittle deformation.

キーワード：2018 Mw6.6 Eastern Iburi earthquake、Fluid pore-pressure concentration、Role of fluids in triggering of earthquake
Keywords: 2018 Mw6.6 Eastern Iburi earthquake, Fluid pore-pressure concentration, Role of fluids in triggering of earthquake

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_16

## [S-SS14] 地震発生の物理・断層のレオロジー

コンビーナ:岡崎 啓史(海洋研究開発機構)、向吉 秀樹(島根大学大学院総合理工学研究科地球資源環境学領域)、野田 博之(京都大学防災研究所)、吉田 圭佑(東北大学理学研究科附属地震噴火予知研究観測センター)

地震の発生および断層内での物理学的化学的素過程に関わる諸問題に対して，地震学・測地学・地質学・鉱物学等の固体地球科学諸分野における，理論・実験・観測・観察・シミュレーションなどの多様な観点から，学際的に議論を深めることを目標とする．地震前，地震時及び地震後の過程，断層岩と断層帯のレオロジー，断層運動などの震源とその周辺における現象，摩擦構成則とそれに基づく地震プロセスのモデル化，地震発生場の応力状態，断層掘削，震源過程など，関連する話題を広く募集する．

[SSS14-P01] クラックを含んだ庵治花崗岩のせん断試験におけるS波偏向異方性の測定

*田中 仁貴[1]、片山 郁夫[1] (1.広島大学)

[SSS14-P02] 石英ガウジの摩擦特性に対する滑石含有量の影響

白鬚 里彩子[1]、多々良 祈里[1]、*平内 健一[1]、竹村 貴人[2] (1.静岡大学理学部地球科学科、2.日本大学文理学部地球科学科)

[SSS14-P03] 石英質岩石の中速摩擦強度の支配要因

*金川 久一[1]、杉田 明日郁[2]、高橋 美紀[3]、澤井 みち代[1] (1.千葉大学理学研究院、2.千葉大学理学部、3.産業技術総合研究所活断層・火山研究部門)

[SSS14-P04] 半遠洋性堆積物の続成作用に伴う摩擦・透水特性の変化

*岡崎 啓史[1]、片山 郁夫[2]、山口 飛鳥[3] (1.海洋研究開発機構高知コア研究所、2.広島大学大学院地球惑星システム学専攻、3.東京大学大気海洋研究所)

[SSS14-P05] 流体急減圧と流体流動によるシリカ析出の比較および断層特性への影響

*新部 貴理[1]、岡本 敦[1]、天谷 宇志[2]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院環境科学研究科、2.独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

[SSS14-P06] 二軸摩擦試験機によるSlide-Hold-Slide実験中の反射波と透過波の時間変化

*植村 美優[1]、伊藤 喜宏[2]、片山 郁夫[3] (1.京都大学大学院理学研究科、2.京都大学防災研究所、3.広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻)

[SSS14-P07] Monitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda wavesMonitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda waves

*Fan XIE[1]、Yaqiong REN[1] (1.Institute of Geophysics, China Earthquake Administration)

[SSS14-P08] Longer duration of meta-instability stage of laboratory earthquakes on a 1.5m granite fault

*yaqiong Ren[1] (1.Institute of Geophysics, China Earthquake Administration)

[SSS14-P09] シュードタキライトから見積もる地震時の摩擦熱と壁岩破壊量

*長手 彩夏[1]、氏家 恒太郎[1] (1.筑波大学)

[SSS14-P10] Porosity variation of fault rocks accompanied the Median Tectonic Line in Shikoku, southwestern Japan

*池田 倫治[1]、辻 健[2]、辻 智大[1]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3] (1.株式会社四国総合研究所、2.九州大学、3.四国電力株式会社)

[SSS14-P11] Characteristics of inactive section of the Median Tectonic Line from drillcore samples in Shikoku, southwestern Japan

*内田 嗣人[1]、池田 倫治[1]、辻 健[2]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3] (1.株式会社四国総合研究所土木技術部、2.九州大学工学研究院、3.四国電力株式会社)

[SSS14-P12] 未固結断層岩のクラストの表面及び内部組織とその重要性

*東郷 徹宏[1]、嶋本 利彦[2]、澤井 みち代[3] (1.THE EARTH、2.中国地震局地質研究所、3.千葉大学)

[SSS14-P13] **Fault Displacement Assessment of Surface-rupturing Earthquakes for Nuclear Installations and the use of Physics-based Rupture Models**

*Luis Angel Dalguer[1]、Yoshimitsu Fukushima[2] (1.3Q-Lab GmbH、2.International Atomic Energy Agency)

[SSS14-P14] 地震ハザード評価のための動力学的震源モデル：布田川断層帯・日奈久断層帯への応用（その2）

*加瀬 祐子[1] (1.産業技術総合研究所　活断層・火山研究部門)

[SSS14-P15] 自然地震のすべりー長さスケーリング則と室内実験との距離の定量化

*大庭 伸一[1]、三井 雄太[2] (1.静岡大学総合科学技術研究科、2.静岡大学理学部)

[SSS14-P16] Effect of Wear Process on Earthquake Recurrence

*Wang Jeen-Hwa[1] (1.Academia Sinica)

[SSS14-P17] On the Mechanical Relation between Individual Interaction and Collective Behavior of Multiple Fault Sets Subjected to Quasi-Static Loading

*上西 幸司[1,2]、福田 優貴[2]、亀 伸樹[3] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻、2.東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻、3.東京大学地震研究所)

[SSS14-P18] 過渡的で強制的な伸張水平地殻歪の領域における非弾性変形

*江口 孝雄、岩瀬 康行[1] (1.防衛大学校)

[SSS14-P19] 表現定理とグリーン関数 (3) ― 全無限グリーン関数の２階微分を用いた点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現 ―

*木村 将也[1]、亀 伸樹[1] (1.東京大学地震研究所)

[SSS14-P20] 断層面上における高周波励起現象の解釈を可能にするすべり速度・破壊伝播速度変化の可視化手法

*鮎貝 崇広[1]、八木 勇治[2]、奥脇 亮[3]、茅野 奎太[3]、清水 宏亮[3] (1.筑波大学生命環境学群、2.筑波大学大学院 生命環境系、3.筑波大学大学院生命環境科学研究科)

[SSS14-P21] インバージョン法を用いた震源過程解析に見られる諸問題

*茅野 奎太[1]、八木 勇治[1]、奥脇 亮[1]、清水 宏亮[1] (1.筑波大学)

[SSS14-P22] **Source process of recent M6-class inland earthquakes in Japan**

*柴田 律也[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、井出 哲[2] (1.東京工業大学理学院地球惑星科学系、2.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻)

[SSS14-P23] Expected slip direction on assumed fault planes of large earthquakes inferred from stress field after the 2016 Kumamoto earthquake sequence, in central Kyushu, Japan

*光岡 郁穂[1]、松本 聡[2]、志藤 あずさ[2]、清水 洋[2]、2016年熊本地震 合同地震観測グループ (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター)

[SSS14-P24] 2011年東北沖地震による繰り返し地震の震源パラメータ変化

*立岩 和也[1]、岡田 知己[1]、河野 俊夫[1]、内田 直希[1] (1.東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター)

[SSS14-P25] 房総スロースリップイベントのすべり分布とすべり速度－応力の関係

*小林 琢磨[1]、佐藤 利典[2] (1.千葉大学大学院融合理工学府、2.千葉大学大学院理学研究院)

[SSS14-P26] 2011年東北沖地震後に活発化した茨城県北部の地震活動：内陸地震の繰り返し

高橋 諒[1]、*吉田 圭佑[1]、長谷川 昭[1]、松澤 暢[1] (1.東北大学理学研究科附属地震噴火予知研究観測センター)

# クラックを含んだ庵治花崗岩のせん断試験におけるS波偏向異方性の測定
# Measurement of shear-wave polarization anisotropy in crack-bearing Aji granite during shear experiment

*田中 仁貴[1]、片山 郁夫[1]
*Jinki Tanaka[1], Ikuo Katayama[1]

1. 広島大学
1. Hiroshima University

The stress drop at the time of the earthquake not only releases the stress applied to the fault plane but also causes the rotation of the principal stress axis applied to the fault plane. In fact, the change in the direction of the principal stress axis after the earthquake is reported by the mechanism solution of aftershocks and the seismic wave anisotropy(e.g. Tadokoro and Ando 2002; Boness and Zoback 2006). It is thought that this is because the closing (opening) direction of the cracks around the fault plane correspond to the stress axis. Therefore, in this study, the elastic wave velocity was monitored during the shear experiment of the rock and the relation between the shear stress and the principal stress axis and elastic wave velocity was measured in the laboratory. Since the shear-wave polarization anisotropy has a characteristic which is sensitive to the direction of the crack, measurement of different vibration components of S wave is performed in addition to measurement of P wave velocity.

For the experiment, we investigated the change in elastic wave velocity according to shear deformation using a High-T biaxial frictional testing machine in Hiroshima University. For the experimental samples, Aji granite which generated thermal cracks inside by heating to 600 degrees Celsius was used. In the shear experiment, it was carried out by loading the central rock block at a constant speed while keeping the vertical stress constant. The shear sliding velocity was about 0.9 $\mu$m/s and the normal stress was 5 MPa. For measurement of elastic waves, probes with a resonance frequency of 1 MHz (manufactured by Olympus Corporation) were used, and S wave and P wave were measured by pulse transmission method. The propagation direction of elastic wave is parallel to the shear plane and perpendicular to the shear sliding direction, and for the S wave, we measured two components, wave (SH) oscillating in the plane orthogonal to the shear plane and wave (SV) oscillating parallel to the shear plane.

From the experimental results, with the increase of the shear stress, it was found that the velocity of SH wave rises earlier and the SV wave rises late. In addition, there was a phenomenon in which the initial motion of the SV wave jumped suddenly as the shear stress increased. This means that when the shear stress is low and the maximum principal stress axis in the sample is close to the direction of the normal stress, the shear direction cracks are frequently closed and the SH wave velocity increases, and the shear stress increases, when the inclination of the maximum principal stress axis becomes steeper with respect to the normal stress, it is considered that the direction of the crack which closes is correspondingly inclined. In this way, since the SH wave and SV wave behave differently due to the increase of the shear stress and the corresponding change of the principal stress axis angle, by utilizing this property, a good index for monitoring the stress state around the fault.

キーワード：地震予測、S波偏向異方性
Keywords: Earthquake prediction, Shear-wave polarization anisotropy

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 石英ガウジの摩擦特性に対する滑石含有量の影響
# Effects of talc content on frictional properties of quartz gouge

白鬚 里彩子[1]、多々良 祈里[1]、*平内 健一[1]、竹村 貴人[2]
Risako Shirahige[1], Inori Tatara[1], *Ken-ichi Hirauchi[1], Takato Takemura[2]

1. 静岡大学理学部地球科学科、2. 日本大学文理学部地球科学科
1. Department of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University, 2. Department of Earth and Environmental Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University

Phyllosilicates have low coefficients of friction and an effect of weakening fault strength. To understand effects of talc content on frictional strength and sliding stability, we conducted frictional sliding experiments on dry gouge mixtures of quartz and talc at room humidity, room temperature, a normal stress of 10 MPa and sliding velocities of 0.66–2 $\mu$m/s, using a single direct-shear apparatus. The coefficient of friction for the mixture ranged from 0.18 to 0.69 and fell between pure quartz and talc values. The overall trend was a decrease in the coefficient of friction with increasing talc content. The velocity dependence of friction, ($a-b$), ranged from −0.0018 to 0.0039 and increased with increasing talc content. The ($a-b$) values are highest in the mixture with a talc content of 80 wt.%. For the mixture with talc contents below 10 wt.%, the ($a-b$) values become negative, with the occurrence of slow to fast stick-slip behavior.

キーワード：摩擦、スティック・スリップ、断層弱化、層状珪酸塩
Keywords: friction, stick slip, fault weakening, phyllosilicate

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 石英質岩石の中速摩擦強度の支配要因
# Mechanism controlling the frictional strength of quartz rocks at intermediate slip rates

*金川 久一[1]、杉田 明日郁[2]、高橋 美紀[3]、澤井 みち代[1]
*Kyuichi Kanagawa[1], Asuka Sugita[2], Miki Takahashi[3], Michiyo Sawai[1]

1. 千葉大学理学研究院、2. 千葉大学理学部、3. 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門
1. School of Science, Chiba University, 2. Faculty of Science, Chiba University, 3. Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan

Frictional strength of quartz rocks is known to be extraordinary low at subseismic slip rates ranging from 1 mm/s to 10 cm/s, which has been ascribed to the hydration of comminuted amorphous silica, i.e., silica gel. In order to testify this hypothesis, we conducted rotary-shear friction experiments on intact agate or silica gel gouge at a normal stress of 1.5 MPa and slip rates ($V$) ranging from 1 mm/s to 10 cm/s. We also measured temperature ($T$) adjacent to the slip surface or the gouge layer during the experiments.

Steady-state friction coefficient of agate $\mu_{ss}$ was ≈0.6 at $V$ = 1 mm/s, ≈0.5 at $V$ = 7 mm/s, and ≦0.1 at $V$ = 10 cm/s. $T$ was ≈25˚C at $V$ = 1 mm/s, ≈30˚C at $V$ = 7 mm/s, and up to 85˚C at $V$ = 10 cm/s, but the actual temperature along the slip surface must have been much higher. $\mu_{ss}$ of silica gel gouge was ≈0.7 at $V$ = 1 mm/s, 0.4–0.5 at $V$ = 7 mm/s, and ≦0.2 at $V$ = 10 cm/s. $T$ was 25–28˚C at $V$ = 1 mm/s, 30–37˚C at $V$ = 7 mm/s, and 80–100˚C at $V$ = 10 cm/s, but again, the actual temperature in the gouge layer must have been much higher.

Thus our results show that agate or silica gel exhibits weakening with increasing $T$, and that the presence of silica gel does not reduce the frictional strength when $T$ is not high enough. Shear strength of quartz rocks is high so that significant amount of frictional heat would be produced at asperity contacts even at $V$ ≈1 cm/s, which must be responsible for weakening of quartz rocks at intermediate slip rates.

キーワード：めのう、シリカゲル、摩擦強度、中速
Keywords: agate, silica gel, frictional strength, intermediate slip rates

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 半遠洋性堆積物の続成作用に伴う摩擦・透水特性の変化

# Evolution of hydraulic and frictional properties of incoming hemipelagic sediments during diagenetic reactions

*岡崎 啓史[1]、片山 郁夫[2]、山口 飛鳥[3]
*Keishi Okazaki[1], Ikuo Katayama[2], Asuka Yamaguchi[3]

1. 海洋研究開発機構高知コア研究所、2. 広島大学大学院地球惑星システム学専攻、3. 東京大学大気海洋研究所
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Dept. of Earth & Planetary Systems Science, Hiroshima University, 3. AORI, the University of Tokyo

Deployments of seismic and geodetic observation networks had revealed the activity of slow earthquakes along the subduction plate boundaries, which are characterized as intermediate fault slip rate between earthquake (~1m/s) and stable sliding along the plate boundary (~1 nm/s). Diagenesis of subducting sediments has stimulated interest in their relationship to regular and slow seismicity in the subduction zone. We report experimental results on the effect of diagenetic reactions to hydraulic and frictional properties of incoming hemipelagic sediments. Hemipelagic sediments taken from KS-15-3 Shinseimaru cruise are used as the starting sample. Friction experiments and permeability measurements were carried out with a confining pressure of 150 MPa and a pore pressure of 58 MPa and temperatures ranging RT–230 degC. When the sample is sheared immediately after reaching the experimental condition, all experimental data at the temperature below 150 degC showed a velocity-strengthening behavior. On the other hand, at the temperature of 230 degC, the frictional behavior is no longer stable, but stick-slip behavior was observed during the experiments. We also measured a time-dependent permeability evolution of hemipelagic sediments to assess how diagenetic reactions consolidate the sediments. Permeability decreased about an order magnitude due to the mechanical compaction from the effective pressure of 3 MPa to 92 MPa, and decrease additional an order magnitude of permeability is observed during the hot-pressing of the sample at the pressure and the temperature of 92 MPa and 100 degC, respectively. Those experimental observations suggest that thermally activated compactions, possibly pressure solution creep, could contribute key role for understanding the physical property of subducting sediments.

キーワード：沈み込み帯、摩擦特性
Keywords: subduction zone, frictional property

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 流体急減圧と流体流動によるシリカ析出の比較および断層特性への影響
# Contrasting silica precipitation via flash vaporization and fluid flow and possible effects on fault properties

*新部 貴理[1]、岡本 敦[1]、天谷 宇志[2]、土屋 範芳[1]
*Takamasa Niibe[1], Atsushi Okamoto[1], Takashi Amagai[2], Noriyoshi Tsuchiya[1]

1. 東北大学大学院環境科学研究科、2. 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 2. Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

It is thought that precipitation of silica plays crucial roles on mechanical and hydrological properties of faults. The solubility of silica minerals varies significantly depending on temperature and water density (e.g., Manning, 1994). Okamoto *et al.* (2010) conducted the hydrothermal flow-through experiments at vapor-like supercritical condition (430 ℃, 31 MPa) and showed that silica precipitation predominantly occurred via quartz overgrowth and quartz nucleation (Okamoto *et al.*, 2010). In contrast, precipitation of silica is thought to be induced by decompression of fluids. Weatherley and Henley (2013) suggested that silica particles precipitate by flash vaporization at fault jog; however, the process of silica precipitation under such extreme condition has not been verified experimentally. The purpose of this study is to understand the mechanism of silica precipitation by hydrothermal experiments. In particular we focus on the difference in the mode of occurrences of silica precipitates between flashing and fluid flow system.
We conducted two types of experiments: (1) flash + batch experiments, and (2) flow-through experiments. Both experiments were carried out with using high-silica solutions (Si = 250-300 mg/kg$H_2O$, Na, Al, K = 4-6 mg/kg$H_2O$), that was prepared by dissolution of granite sand at 370 ℃ and 40 MPa. In the flashing experiments, after the input solution was enclosed into the autoclaves, elevated pressure and temperature, and flashed by opening the valve. Alumina filter (average pore size of 60 μm) was placed on the flow pathway to catch the silica particles. The flash P-T conditions were 261 ℃, 353 ℃, 400 ℃, and 450 ℃ at pressure of 35-38 MPa. In all conditions, silica precipitates did not include quartz, but spherical particles of amorphous silica with size of 0.1-10 μm were produced. Such amorphous silica was probably formed by nucleation and aggregation during the evaporation of water droplet. Then, we investigated the transformation of the flashing products (removed from the alumina filter and enclosed in Au tube) by the batch experiments at 261 ℃ and 351 ℃ at vapor saturated pressure, and at 400 ℃ and 450 ℃ under supercritical conditions. There was no change of silica after the batch experiments at 261℃ and 351℃ conditions within 5 days. In contrast, small quartz crystals (size of less than 10 μm) were produced in 5 days at 400 ℃ and in 3 days at 450 ℃. Albite was partly produced as the results of interaction with alumina-filter.
The silica precipitation was also investigated by the flow-through experiments at 390-430 ℃ and 25 MPa (supercritical condition) with constant flow-rate of 0.5 or 1 mL/min by using the granite-dissolved solution similar to the flash experiments. The silica was precipitated in alumina tube filled with alumina ball (diameter with 1 and 2mm). We found the silica precipitates clogged the pores within few days. Based on the XRD and SEM observation, the products of the flow-through experiments were mixture of amorphous silica and quartz. Some quartz crystals grew up to 100 micrometers and amorphous silica were precipitated on the alumina balls and the alumina pipe.
In both cases, amorphous silica was easily produced in response to the drop of water density at high temperatures. Such amorphous silica can move and clog effectively the pores. Also, our experiments revealed that such amorphous silica was changed to quartz, which depends on the temperature and fluid states (flow or batch). Such variation of silica by precipitation and transformation potentially would

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

provide a significant influence on the fault strength.

Weatherley D. K. and Henley R. W. (2013), *Nature Geoscience*, **6(4)**, 294.
Okamoto A., Saishu H., Hirano N. and Tsuchiya N. (2010), *Geochemica et Cosmochimica Acta*, **74**, 3692-3706.
Manning C. E. (1994), *Geochemica et Cosmochimica Acta*, **58**, 4831-4839.

キーワード：岩石-水相互作用、シリカ、流体急減圧
Keywords: Water-Rock Interaction, Silica, Flash Vaporization

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 二軸摩擦試験機によるSlide-Hold-Slide実験中の反射波と透過波の時間変化

# Temporal variations of reflected and transmitted wave during a slide-hold-slide experiment on a biaxial friction testing machine

*植村 美優[1]、伊藤 喜宏[2]、片山 郁夫[3]
*Miyuu Uemura[1], Yoshihiro Ito[2], Ikuo Katayama[3]

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 京都大学防災研究所、3. 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻
1. Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

Slow slip events (SSEs), which is one of the slow earthquakes differing from regular earthquakes, have been detected at both shallower and deeper portions of the seismogenic zones, such as Japan and New Zealand. We carried slide-hold-slide experiments with gouge layer under a slip velocity of an SSE using a biaxial friction testing machine under the condition with the temperature and the humidity of room. We measured temporal changes of acoustic impedance in the gouge layer with reflected and transmitted wave during slides and holds. As a result, we detected variations in travel time, amplitude, and cross-correlation coefficient on first arrival of reflected and transmitted wave.

The features of observed waveforms were classified clearly by a slide-hold-slide conditions into two categories: sliding and holing. We chose two materials as gouge powder, which were clay mineral (Ca-montmorillonite) and quartz. Regardless of the kinds of the gouge powder, the amplitude both of reflected and transmitted waves showed opposite temporal variation during the slide-hold-slide sequences; the amplitude of transmitted wave decreased during slides and increased during holds, respectively. This suggests that the amplitudes of reflected and transmitted waves indicate a change of an elastic-wave speed in the gouge layer.

The travel times of transmitted waves increased during slides and decrease during holds. According to Birch (1961), a propagation speed of elastic waves normally decreases as the density of media decreases, or as the porosity increases. Increasing travel times of transmitted waves in our experiments may indicate the change of the density, or porosity in the gouge layer. Although the travel times of reflected waves decreased during slides and increased during holds in the case of clay mineral, the travel time on quartz powder did not change through our experiment.

The temporal change on correlation of observed transmitted wave also shows significant changes from a slide to a hold. The change of travel time, the amplitude, and the cross-correlation coefficient of transmitted waves were more sensitive to a slide-hold-slide condition, such as slip rate on the gouge later than those of reflected wave. Those result suggests that a transmitted wave is more suitable for monitoring SSE although a reflected wave is also useful for monitoring, and that a beginning and an end of an SSE can be detected by reflected and transmitted waves.

キーワード：スロースリップ、二軸摩擦試験、ガウジ
Keywords: slow slip event, biaxial friction experiment, gouge

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Monitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda wavesMonitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda waves

*Fan XIE[1], Yaqiong REN[1]

1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration

It is increasing important to understand evolution in fault zone and find clear precursors to the earthquake. Nevertheless, the evolving behavior of crustal faults remains changeling due to its inaccessible and weakness.

Duo to their highly sensitivity, the seismic coda waves have been long used at kilometer scale to investigate stress changes by tracking seismic relative velocity changes during earthquake. However, detecting such changes and imaging their spatial distribution with satisfied resolution are still an ongoing project, for which laboratory developments may be useful.

This work aims to explore the applicability of coda waves to monitor spatiotemporal changes of laboratory fault.

Laboratory-scale experiments are performed by meter-scale biaxial loading apparatus in which coda waves at ultrasonic frequencies (100 kHz to 400 kHz) are transmitted and received by 16 broadband piezoelectric transducers using the state-of-the-art ultrasound research platform (Verasonics Vantage 64 Low Frequency Edition) across a 1.5-meter long granite simulated fault.

Before stick-slip events occurred by increasing shear stress at loading rate of 1 um/s , the normal stress was kept 500KPa constant for 60 minutes. The ultrasonic coda waves were recorded throughout the entire process of stress accumulation along the fault.

Coda wave interferometry (CWI) and Coda wave decorrelation (CWD) are performed to detect relative velocity changes and microstructural changes along the fault by measuring phase shifts and loss of coherence of received coda waves respectively.

We observe a ~0.4e-3 velocity increase and ~0.5% coherence loss within logarithm of stationary contact time during 1-hour normal stress holding time. A significant 1.4e-3 increase in relative velocity changes and 8% coherence loss during shear stress increasing test followed by 0.5e4 decease in relative velocity changes and 2% decrease in coherence loss respectively caused by ~200kPa stress drop of the emerging stick-slip event. We also observe that the such changes are localized at upper center of the fault by comparing the changes extracted at different transducers along the fault.

The results suggest that ultrasonic coda waves are a promising means to monitor weak but localized stress-induced changes of laboratory fault by detecting and characterization velocity and micro-structural changes. Considering such advantages, further works to temporal critical observations, such as nucleation process of laboratory earthquake, are conceivable from a practical and instrumental point of view.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Keywords: laboratory earthquake , stick slip , coda waves, stress-induced changes

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Longer duration of meta-instability stage of laboratory earthquakes on a 1.5m granite fault

*yaqiong Ren[1]

1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration

Laboratory earthquakes are a series of stick slip events occurred on an old or newly formed fracture in laboratory. It is widely used to study the properties and mechanisms of earthquake nucleation, dynamic rupture and post-seismic process since its similarities with nature earthquakes. Meta-instability stage is the later stage of the nucleation process. It holds that when the stress release accelerates and synergizes, the deformation enters an irreversible stage to instability. Thus studying its evolutionary characteristics is more conducive to identifying the arrival of earthquakes in advance.

We perform a series stick slip experiments on a 1.5m granite fault. Using a meter-scale rock as experimental sample can indirectly improve the spatial resolution of observation. More importantly, the scale effect of earthquake preparation process can be studied by comparing the results of centimeter-scale and meter-scale samples, which is helpful to the field application of experimental results.

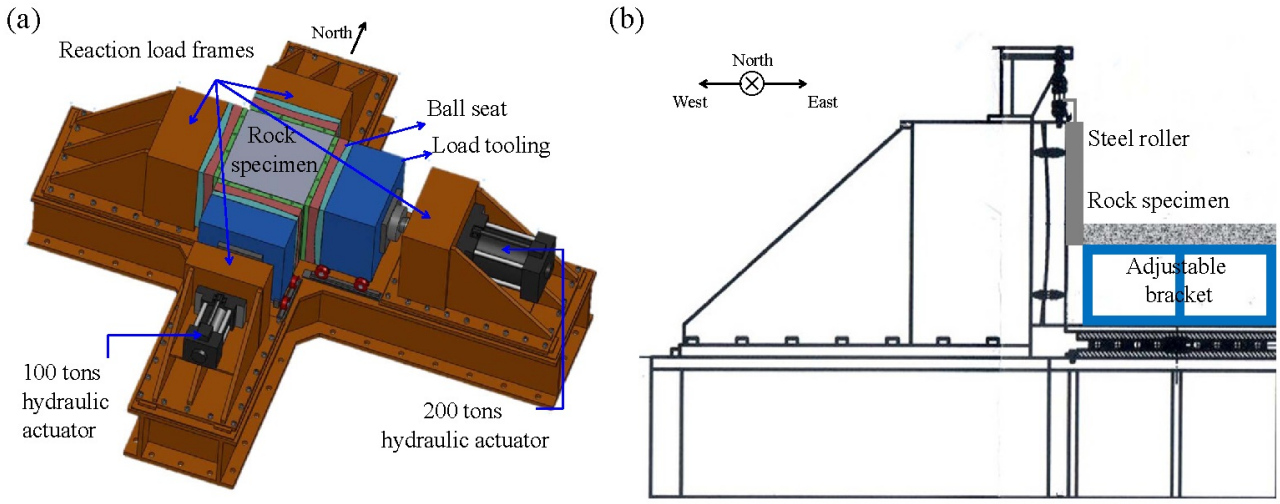
The experiment was carried out on a large horizontal two-direction servo-control press at the Institute of Geophysics, China Earthquake Administration. The maximum loading capacity of the press in two directions is 100 tons and 200 tons respectively. The local variations of stress and displacement along the fault as well as the variation of the whole sample were recorded during the experiment. The stiffness of the meter-scale sample and press system is 0.003 MPa/um, which is one order of magnitude smaller than that of the centimeter-scale sample and press system in the Institute of Geology, China Earthquake Administration. This enables us to obtain stick-slip events with small stress drop, large displacement and audible energy release at lower confining pressure.

For a single stick-slip event, the beginning of meta-instability stage and quasi-dynamic stage (the later stage of meta-instability stage) can be identified based on the relative displacement and strain observations along the fault. The meta-instability begins in the middle of the fault and extends toward both ends as the instability approaches. During the meta-instability stage, the variation rate of different parts of the fault varies greatly, and tends to synergize with the approach of instability.

The duration of meta-instability is longer under lower loading rate, and the change of normal stress has little effect on the duration of meta-instability under lower normal stress. The duration of meta-instability increases with the increase of fault scale, showing obvious scale effect. The results suggest that meta-instability on natural faults in the field may last for several years, and could be monitored. The non-uniformity of faults with the increase of fault scale may be an important mechanism for the scale effect of the duration of meta-instability.

Keywords: stick slip, earthquake nucleation, meta-instability stage, scale effect, meter-scale rock

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 




©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# シュードタキライトから見積もる地震時の摩擦熱と壁岩破壊量
# Estimation of the frictional heat and the amount of wall rock incorporation by thermal fracturing during an earthquake: An example from the pseudotachylyte in Jurassic accretionary complex

*長手 彩夏[1]、氏家 恒太郎[1]
*Ayaka Nagate[1], Kohtaro Ujiie[1]

1. 筑波大学
1. University of Tsukuba

Estimation of frictional heat is crucial to evaluate dynamic shear strength and fault behavior during an earthquake. Pseudotachylyte produced by solidification of frictional melt is an unequivocal geological evidence of seismic slip on faults. Here, we estimated frictional heat and amount of wall rock incorporation into coseismic slipping zone during an earthquake, based on microstructural observation and numerical analysis of the pseudotachylyte in the Jurassic accretionary complex. The pseudotachylyte-bearing thrust develops as an out-of-sequence thrust in the coherent chert-clastic sequence, which bounds middle Triassic chert above from early Jurassic siliceous mudstone below. The pseudotachylyte is ~2 mm-thick and sharply separates fractured grey chert above from cataclasite below. The pelagic black carbonaceous mudstone layer is distributed at the stratigraphic equivalent interval of the pseudotachylyte.

The microstructures of the pseudotachylyte are characterized by fault and injection veins, fragments of grey chert and quartz in the dark matrix of illite composition, and irregularly and embayed pseudotachylyte boundaries. The gray chert adjacent to the pseudotachylyte and fragments in the pseudotachylyte consisted of grey chert are intensely cracked, showing jigsaw puzzle-like structure. These microstructural features suggest that thermal erosion, thermal fracturing, and preferential melting of illite occurred during earthquake faulting. Frictional heat, which was estimated from temperature rise, volume fraction of fragments, and pseudotachylyte thickness, is ~7.1 MJ $m^{-2}$.

The comparison of volume fraction of fragments in the matrix between the pseudotachylyte and the black carbonaceous mudstone layer suggests that half amount of fragments in the pseudotachylyte were derived from wall rocks. The numerical modeling considering temperature rise, heating duration, and thermal properties of gray chert indicates that the temperatures of wall rocks a few millimeters away from the pseudotachylyte boundaries exceed the temperature of a-b transition in quartz (~573 ˚C) during earthquake faulting. This distance is consistent with spatial distribution of crack density, which shows exponentially decrease away from the pseudotachylyte boundaries. Thus, intensely cracked wall rocks are considered to represent thermal expansion of quartz grains in gray chert, which could contribute to unstable fault slip associated with decrease in stiffness of surrounding rocks.

キーワード：摩擦熱、シュードタキライト、ジュラ紀付加体
Keywords: Frictional heat, Pseudotachylyte, Jurassic accretionary complex

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Porosity variation of fault rocks accompanied the Median Tectonic Line in Shikoku, southwestern Japan

*池田 倫治[1]、辻 健[2]、辻 智大[1]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3]
*Michiharu Ikeda[1], Takeshi Tsuji[2], Tomohiro Tsuji[1], Kozo Onishi[3], Naoki Nishizaka[3]

1. 株式会社四国総合研究所、2. 九州大学、3. 四国電力株式会社
1. Shikoku Research Institute Incorporated, 2. Kyushu University, 3. Shikoku Electric Power Company, Incorporated

Petrophysical properties of fault rocks are important information to understand evolution processes of fault rocks. Among their properties, hydraulic properties of fault rocks are closely related to fault dynamics and potential of reservoirs of fluid or gas. In this research, we focused on distribution of porosities through fault rocks of the Median Tectonic Line in Shikoku.

The Median Tecotnic Line (MTL) is the longest geological terrane boundary fault. The northern and southern parts from the MTL are Ryoke Belt composed of low P/T metamorphic rocks, granitic rocks and sedimentary rocks and Sanbagawa metamorphic rocks consisted of high P/T metamorphic rocks, respectively. We drilled a bore hole to obtain a geological core sample penetrating the MTL. The total core length is 250 m-long. The fault plane of the MTL is within 37.45 m-depth. The hanging wall and foot wall zones are Izumi Group in Ryoke Belt and Sanbagawa metamorphic rocks, respectively.

The fault rocks in Izumi Group are composed of three zones, fault breccia zone (ca.4– ca.12.5 m-depth), transition zone (ca.12.5–ca.31.6 m-depth) and fault gouge zone (ca.31.6–ca.37.2 m-depth), based on geological observation. On the other hand, the fault rocks of the Sanbagawa metamorphic rocks are cataclasite just below the MTL fault plane (37.45–ca.47 m-depth) and intact rocks in the deeper parts of the core (ca.47–250.0 m-depth).

We measured 49 samples (24 samples in Izumi Group and 20 samples in Sanbagawa metramorphic rocks) from the core. In addition to them, 5 samples from outcrops of Izumi Group were measured to get porosities of intact rocks of Izumi Group, because all parts of Izumi Group in the core are damaged.

The porosities of the hanging wall (Izumi Group) range between 4.54% and 20.35%, whereas those of the foot wall (Sanbagawa metamorphic rocks) are lower (2.06%–11.4%) than those of the hanging wall. Additionally, the porosities of the outcrop samples of Izumi Group show quite low (0.97%–1.75%), corresponding to those of intact rocks of Izumi Group, whereas those of the intact rocks of Sanbagwa metamorphic rocks are estimated to be ca.2%–ca.3%. These porosities are measured for samples in the deep zone (ca.75–ca.200 m-depth) of the core, which are quite far from the fault plane. The porosities of the three zones of fault rocks in the hanging wall are 5.19%–15.27% for the fault breccia zone, 4.54–15.30% for the transition zone and 11.02–20.35% for the gouge zone. It should be noted that the porosities are corrected on the basis of CT values. As the fault rocks of Izumi Group are composed of matrix and clasts, we measured the porosities of both matrix and clasts (or blocks) for each sample. Then, we calculated the correction porosities based on the ratio of matrix and clasts of CT values.
The porosities in the hanging wall (Izumi Group) widely vary depending on characteristics of fault damage, however those gradually increase toward the fault plane. In addition, the porosities are quite higher than those of intact rocks. On the other hand, the high porosity zone in the foot wall (Sanbagawa metamorphic rocks) is limited in a narrow zone (37.45–ca.50 m-depth). These facts suggest that the hanging wall (Izumi Group) are strongly damaged compared to the foot wall (Sanbagawa metamorphic rocks). This is an

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

intriguing characteristics for understanding petrophysical properties of fault rocks.

キーワード：中央構造線、空隙率、断層岩
Keywords: Median Tectonic Line, porosity, fault rocks

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Characteristics of inactive section of the Median Tectonic Line from drillcore samples in Shikoku, southwestern Japan

*内田 嗣人[1]、池田 倫治[1]、辻 健[2]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3]
*Hideto Uchida[1], Michiharu Ikeda[1], Takeshi Tsuji[2], Kozo Onishi[3], Naoki Nishizaka[3]

1. 株式会社四国総合研究所土木技術部、2. 九州大学工学研究院、3. 四国電力株式会社
1. Department of Civil Engineering, Shikoku Research Institute incorporated, 2. Department of Earth Resources Engineering, Kyusyu University, 3. Shikoku Electronic Power

The Median Tectonic Line (MTL) is a geological boundary fault that divides southwestern Japan into Inner and Outer zones. The MTL is generally considered to be a long-lived fault system from the middle Cretaceous, although the details of the movement history are complex. On the other hand, it has been revealed from geomorphological and paleo-seismological surveys that the MTL from Shikoku to western Kii Peninsula has caused right-lateral slip during Quaternary. Therefore, the part of the MTL is active, and called as the Median Tectonic Line active fault system (MTLAFS) (e.g., Ikeda et al.,2017). To estimate present seismic condition (or environment) of the MTLAFS, we should understand details of its paleo-activities. However, outcrops widely exposed for geological survey about paleo-activities inactive MTL are limited. In this study, we obtained a geological core sample (125 m-long) penetrating the MTL and conducted downhole logging in Saijyo city, Ehime prefecture.
We focused on three points as follows. Firstly, we observed and described the core samples in detail. Secondly, we obtained structural data from the geological core and a borehole image data in order to predict paleo-stress conditions. Finally, we estimated physical properties around a fracture zone of the MTL based on the geological and geophysical data.

[Description of fault rocks]
The fault plane of the MTL is at about 109.45 m-depth in the borehole. The hanging wall and footwall of the fault system are Izumi Group (mainly alternating beds of mud and sand) and Sanbagawa metamorphic rocks (mainly pelitic schist), respectively. Orientation of the fault plane of the MTL is NE-SW strike with moderate-angle northwest dipping in our study area, and its fault zone is approximately 4m-width. The fault zone is composed of fault gouge, fault breccia and cataclasite. The altered dikes that is Ishizuchi volcanic rocks erupted in c.a. 15 Ma distribute in the fault zone. The MTL in this region reactivated after 15 Ma, because the altered dikes are fragmentated in the fault zone.

[Structural analysis]
Orientations of bedding planes of Izumi Group and schistosity planes of Sanbagawa metamorphic rocks are generally N–S strike with low-angle east dipping and ENE–WSW strike with low-angle north dipping. The dikes intrude into the fault zone in orientation of NE–SW strike with moderate-angle northwest dipping. Orientations of fractures concentrate in N–S strike with east dipping and E–W strike with north dipping based on the borehole camera data.
Moreover, we conducted paleo-stress analysis based on fault orientations and slickenlines and slickensteps on the fault surfaces. We adopted Hough transform inverse method (Sato, 2006) to estimate paleo-stress conditions of the MTL. As the result, a stress condition around the MTL is dominantly normal-faulting stress-regime, however strike-slip and reverse-faulting stress-regimes are also recognized.

[Physical properties]
There is a remarkable trend of the elastic wave velocity data around the fracture zone. P-wave velocity *Vp*

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

in fracture zone (95–109.5 m-depth) drastically decreases as compared with host rock in the upper zone due to intensive crack and lower elastic moduli. On the other hand, S-wave velocity *Vs* does not change in the fracture zone such as the trend of *Vp*.

The paleo-stress condition data are useful information for inactiveness of the MTL. And the physical properties are also crucial to understand the physical conditions what the MTL in this region have experienced. Therefore, the information derived in this study could contribute to understand fault evolution processes and activities of the MTL.

キーワード：中央構造線、断層岩、古応力場、物性
Keywords: Median Tectonic Line, fault rocks, paleostress field, physical property

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 未固結断層岩のクラストの表面及び内部組織とその重要性
# Surface and internal textures of clasts in incohesive fault rocks and their significance

*東郷 徹宏[1]、嶋本 利彦[2]、澤井 みち代[3]
*Tetsuhiro Togo[1], Toshihiko Shimamoto[2], Michiyo Sawai[3]

1. THE EARTH、2. 中国地震局地質研究所、3. 千葉大学
1. THE EARTH, 2. Institute of Geology, China Earthquake Administration, 3. Chiba Univ.

断層岩は個々の粒が肉眼で識別できるクラスト（clast）と、識別できないマトリックスの量比から分類されることが多い（例えばSibson, 1977, J. Geol. Soc. London）．クラストの研究は，少なくとも以下の3点において重要である．第1に，クラストは断層帯が形成されたときに母岩または古い固結断層岩の破壊によって形成されるので，後者の場合にはクラストを調べることによってより深部の断層岩の物質と情報が得られる可能性がある．第2に，クラストは断層帯内部における一連のプロセスを経験しているので，クラストの解析から断層帯内部の物理的・化学的変化の一部を復元できる可能性がある．第3に，クラストの表面及び内部構造をボーリング掘削時に回収されるカッティングスの組織と比べることによって，カッティングスから断層を見つけ出すことが可能かもしれない．全コアを回収するボーリングは非常に高コストなので，カッティングスから断層を発見できれば多くの実用的な応用が期待できる．

クラストの表面組織について，金折らは日本国内の主要断層（多くは活断層）のガウジから石英質クラストを回収して詳しい走査電子顕微鏡（SEM）観察をおこなった（Kanaori et al., 1980, Eng. Geol.; など）．彼らは，クラストの表面には，表面物質が水に溶解することによって新鮮な破壊面とは全く異なる多彩で凹凸に富む組織が発達することを示し，それらの組織はそれまでに多数報告されていた堆積物中の石英砕屑粒の表面組織に似ていることを指摘した．彼らはまた，クラストの表面組織を8タイプ・4グループに分類して，表面組織が時間とともにどのように変化するかを提唱した．金折らの研究の目的は，クラストの表面組織から断層の活動時期をおおまかに見積もることであったが，おそらく断層の活動年代の推定が容易ではなかったために，彼らの先駆的研究は体系的に発展しなかった．

本研究は上記第3の目標から触発されて始まったが，金折らの分類を単純に踏襲するのではなく，より広い視点から断層帯中のクラストを見直してみたいと考えている．調査を進めているのは，有馬・高槻構造線，野島断層，韓半島南東部のYangsan断層とYeongdeok断層の花崗岩質断層帯である．断層ガウジ中の石英質クラストのみならず，断層帯全体の全てのクラストを観察の対象として研究を進めている．発表者らも，金折らのミカン皮状組織，魚鱗状組織などに類似した組織を多くのクラストで認めたが，彼らの4グループ全ての組織を確認することはまだできていない．興味深いのは，Yeongdeok断層ガウジ中の破壊したクラストでその内部構造が明瞭に観察できたことである．そのクラストではおそらく長石の破片の周囲に厚く層状鉱物を多く含む細粒で多孔質な断層岩がマントル状に形成されており，クラストの表面構造は単純な表面物質の溶解のみによって形成されたものではないことを示している．このようなマントル状の組織は，クラストとマトリックス物質間の反応によって形成された可能性があり，今後詳しく調べていく（おそらく上記第2の目的に有用である）．有馬・高槻構造線沿いの幅広い花崗岩質断層帯には衝撃粉砕岩（pulverized rock）が分布することが提唱されている（Mitchell et al., 2011, EPSL）．この岩石では，著しい剪断変形を受けた形跡がないにも関わらず，結晶粒内部は激しく粉砕されており，クラストとマトリックスの区別は必ずしも明瞭でない場合が多い．SEM観察の結果，そのような結晶内部の破断面沿いにも溶解を示す凹凸に富む組織が発達しており，類似の組織はクラスト表面のみならず，岩石内部の破断面沿いにも発達していることがわかる．このような破断面の表面組織は，岩石内部に古くから存在した破断面を認定する上で有用である．これまでの予察的観察によって得られた組織は，ボーリングのカッティングスから断層を見つけるための有用な指標になり得ると考え

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

ている.

キーワード：断層ガウジ、断層角礫、カッティングス
Keywords: fault gouge, fault breccia, drill cuttings

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Fault Displacement Assessment of Surface-rupturing Earthquakes for Nuclear Installations and the use of Physics-based Rupture Models

*Luis Angel Dalguer[1], Yoshimitsu Fukushima[2]

1. 3Q-Lab GmbH, 2. International Atomic Energy Agency

Surface-rupturing faulting is usually expected from large earthquakes, but this phenomenon has been also observed sometimes in moderate earthquakes. The coseismic fault displacement (defined as the surface rupture offset or slip on the free-surface) associated to earthquakes can seriously compromise the safety of critical infra-structures located near faults, such as bridges, dams, railroads, pipelines, nuclear installations (NI) and nuclear waste repositories. The draft IAEA specific safety requirements (Site Evaluation for Nuclear Installations No.SSR-1, DS484) requires that the capability for surface faulting shall be assessed for the site of a NI. But current practices of fault displacement hazard assessments (FDHA) are in general very challenging and quite limited because recorded fault displacement data to develop empirical models are very sparse, as such, at present very few empirical models with large uncertainty are available for this purpose. IAEA has already recognised this issue and currently is making the effort to implement the physics-based rupture modelling in practice for FDHA. In general for seismic hazard assessments (SHA), the empirical and physics-based rupture models complement each other and all available efforts are encouraged for the nuclear safety. These efforts have been discussed through different international working group activities, being the most outstanding two international workshops on **Best** Practices in **P**hysics-based Fault Rupture Models for **S**eismic **H**azard **A**ssessment of **N**uclear **I**nstallations (BestPSHANI) in 2015 and 2018. Here we discuss the feasibility of the use of Physics-based rupture models for FDHA and presenting couple of examples of fault displacement prediction of past earthquakes.

Keywords: Fault displacement, Fault displacement hazard assessment, Dynamic rupture modeling, Earthquake physics

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 地震ハザード評価のための動力学的震源モデル：布田川断層帯・日奈久断層帯への応用（その2）
# Dynamic rupture simulation for seismic hazard assessment: Application to the Futagawa and Hinagu fault zones (Part 2)

*加瀬 祐子[1]
*Yuko Kase[1]

1. 産業技術総合研究所　活断層・火山研究部門
1. Geological Survey of Japan, AIST

確率論的地震ハザード評価をおこなう上では，想定する地震の規模を推定するための破壊領域及びその発生頻度を評価する必要がある．その基礎情報を提供するために，動力学的破壊シミュレーションを利用することを提案する．加瀬ほか（2017）では，布田川断層帯と日奈久断層帯に手法を適用し，2016年熊本地震以前の情報を用いて作成した動力学的震源モデルによるシミュレーション結果を2016年熊本地震の破壊過程と比較した結果，高野–白旗区間北東端から始まる破壊は，高野–白旗区間と布田川区間に広がり，2016年熊本地震と同様の破壊過程を示した．本稿では，破壊開始点やその他の震源モデルのパラメータのばらつきが，シミュレーション結果に与える影響を調べた．

断層形状及び広域応力場は，加瀬ほか（2017）と同様に設定した．断層形状は，地震調査研究推進本部（2013）の活断層位置を基に，布田川断層帯の布田川区間と，日奈久断層帯高野–白旗区間及び日奈久区間が連続しているとし，長さ74.6 km，幅15 kmの鉛直なモデルを設定した．また，広域応力場は，Matsumoto *et al.*（2015）の応力インバージョン結果を基に，最小水平圧縮応力の向きと応力比を区間ごとに設定し，応力場推定の誤差も考慮して，27通りを設定した．また，主応力は深さに比例，中間主応力の向きは鉛直方向で，大きさはかぶり圧に等しいとした．

上記のモデルに対し，布田川区間南西端と高野–白旗区間南西端の2通りの破壊開始点を設定し，すべりに依存する摩擦構成則を仮定して，差分法（Kase and Day，2006）により動的破壊過程を計算した．最小水平圧縮応力及び破壊の始まる区間の応力降下量の深さに対する比例係数を変えてシミュレーションをおこない，1回の活動による各区間のすべり量を概ね再現できる比例係数を，試行錯誤的に求めた．

布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合に，破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となったのは，布田川区間のみ破壊した場合だけであった．一方，日奈久断層帯高野–白旗区間南西端から破壊が始まる場合は，高野–白旗区間と布田川区間が連動した場合だけであった．これらの結果は，両区間の北東端から破壊を始めた加瀬ほか（2017）と調和的であり，布田川断層帯布田川区間と日奈久断層帯高野–白旗区間においては，破壊がどちらの端から始まるかは，連動の傾向に影響を与えていない．一方，産業技術総合研究所（2018）では，日奈久断層帯日奈久区間から破壊が始まる場合においては，北東端から破壊が始まる場合よりも，南西端から破壊が始まる場合の方が，高野–白旗区間へ破壊が広がりやすいという結果が得られている．この違いは，区間の長さによって説明できる．布田川区間の長さは18.6 km，高野–白旗区間は16.0 kmと比較的短いのに対し，日奈久区間は40.0 kmと長い．そのため，破壊の伝播の効果で連動しやすい南西端からの破壊と，そうではない北東端からの破壊の差が明瞭になっていると考えられる．

講演では，臨界変位量及び強度と応力降下量の比の値のばらつきによる影響についても述べる．

謝辞：本研究は，原子力規制庁「平成30年度原子力施設等防災対策等委託費（確率論的地震ハザード解析に係る不確かさ要因の検討）事業」により実施されました．

キーワード：動力学的震源モデル、地震ハザード評価、布田川断層帯・日奈久断層帯
Keywords: dynamic rupture model, seismic hazard assessment, Futagawa and Hinagu fault zone

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 自然地震のすべりー長さスケーリング則と室内実験との距離の定量化
# Quantification of gaps between slip-length scaling law of earthquakes and stick-slip experiments.

*大庭 伸一[1]、三井 雄太[2]
*Shinichi Oba[1], Yuta Mitsui[2]

1. 静岡大学総合科学技術研究科、2. 静岡大学理学部
1. Graduate School of Science and Tecnology, Shizuoka University, 2. Faculty of Science, Shizuoka University

Scaling relations of natural earthquake (over km scales) have been well studied, but their extension to smaller scales is difficult because of limited observation resolution. This study focuses on experimental stick-slip data and compares them with a slip-length scaling law of natural earthquakes. There seem gaps between the extension of the earthquake scaling and the stick-slip experiments. Here we perform correlation and multivariate analyses to investigate effects of apparatus type, mass and stiffness on the gaps. We find that a characteristic time composed of the mass and the stiffness shows a strong correlation with the gaps against the natural scaling in case of direct shear apparatus.

キーワード：スティックスリップ、地震すべり量-断層長さのスケーリング則
Keywords: stick-slip, earthquake slip-length scaling

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Effect of Wear Process on Earthquake Recurrence

Effect of Wear Process on Earthquake Recurrence

*Wang Jeen-Hwa[1]
*Jeen-Hwa Wang[1]

1. Academia Sinica
1. Academia Sinica

Earthquake recurrence is studied from the temporal variation in slip through numerical simulations based on the normalized form of equation of motion of a one-body spring-slider model with thermal-pressurized slip-weakening friction and viscosity. The wear process, whose effect is included in the friction law, is also taken into account in this study. The main parameters are the normalized characteristic displacement, $U_c$, of the friction law and the normalized damping coefficient (to represent viscosity), $\eta$. Define $T_R$, D, and $t_D$ to be the recurrence time of events, the final slip of an event, and the duration time of an event, respectively. Simulation results show that $T_R$ increases when $U_c$ decreases or $\eta$ increases; D and $t_D$ decrease with increasing $\eta$; and $t_D$ increases with $U_c$. The time- and slip-predictable model can describe the temporal variation in cumulative slip. When the wear process is considered, the thickness of slip zone, h which depends on the cumulated slip, $S(t)=\Sigma D(t)$, i.e., $h(t)=CS(t)$ (C=a dimensionless increasing rate of h with S) is an important parameter influencing $T_R$ and D. $U_c$ is a function of h and thus depends on cumulated slip, $\Sigma U$, with an increasing rate of C. In the computational time period, the wear process influences the recurrence of events and such an effect increases with C when $C>0.0001$. When viscosity is present, the effect due to wear process becomes stronger. Both $T_R$ and D decrease when the fault becomes more mature, thus suggesting that it is more difficult to produce large earthquakes along a fault when it becomes more mature. Neither the time-predictable model nor the slip-predictable one can describe the temporal variation in cumulative slip of earthquakes under the wear process with large C.

キーワード：Earthquake、Recurrence、Slip、Friction、Viscosity、Wear
Keywords: Earthquake, Recurrence, Slip, Friction, Viscosity, Wear

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# On the Mechanical Relation between Individual Interaction and Collective Behavior of Multiple Fault Sets Subjected to Quasi-Static Loading

On the Mechanical Relation between Individual Interaction and Collective Behavior of Multiple Fault Sets Subjected to Quasi-Static Loading

*上西 幸司[1,2]、福田 優貴[2]、亀 伸樹[3]
*Koji Uenishi[1,2], Yuki Fukuda[2], Nobuki Kame[3]

1. 東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻、2. 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻、3. 東京大学地震研究所
1. Department of Advanced Energy, The University of Tokyo, 2. Department of Aeronautics and Astronautics, The University of Tokyo, 3. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

In order to deepen our essential understanding of the connection between the local and the global or collective mechanical behavior of sets of geological faults in the solid earth, we have been performing laboratory rupture experiments using two-dimensional rectangular, linear elastic solid specimens with preset parallel cracks that model multiple fault planes under quasi-static tensile (mode-I) or tensile with in-plane shearing (mixed mode) loading conditions (Uenishi et al., SSJ Fall Meeting, 2017, 2018). Our special attention has been paid to the identification of when and how ruptures develop on each individual fault plane and interact with one another, and how the interaction influences the global nature of the solid. For that purpose, we have observed the local evolution of the isochromatic fringe patterns, i.e. the contours of the maximum in-plane shear stress, around the modeled fault planes in the photoelastic polycarbonate specimens with a high-speed digital video camera. At the same time, we have measured the global stress-strain relation utilizing a tensile testing machine that externally exerts a prescribed constant displacement rate to the specimen, and have compared its time history with the local observations of the isochromatic fringe patterns. Although the externally applied displacement or strain rate has been still in a relatively low, quasi-static range, the comparison may imply the effect of the local rupture development on the global properties of the solid specimen, and we have found that local rupture may not always propagate unidirectionally in the prepared specimens and ruptures may run into each other even on a single fault plane under very simple external loading conditions. We are now trying to investigate the mechanical characteristics of multiple fault sets that are subjected to more dynamic, impact loads and identify difference in the local-global relation, if any, between the dynamically-controlled and quasi-statically governed ruptures.

キーワード：fault rupture、fault stability、strain rate
Keywords: fault rupture, fault stability, strain rate

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 過渡的で強制的な伸張水平地殻歪の領域における非弾性変形
# Inelastic deformation in a region of the transient and forced extensional horizontal crustal strain

*江口 孝雄、岩瀬 康行[1]
*Takao Eguchi, Yasuyuki Iwase[1]

1. 防衛大学校
1. National Defense Academy, Japan

2011年東北地方太平洋沖地震（*M*～9）による震源域でのリバウンド変動の直後の日本列島では、強制的な水平伸張変動が確認された。例えば、上盤リソスフェアの宮城県から山形県では概略東西方向の伸張であった。

本研究では、このような強制的な東西伸張変動の直後での島弧環境における「過渡的非弾性変形過程」を検討する。

問題を簡略化するため、島弧側での非弾性変形の主たる原因は２軸方向でなく特定の１方向の過渡的な伸長によると考えよう。

島弧は必ずしも等方均質弾性体ではないので、島弧内部での「既存の物質ブロックの境界（弾性定数コントラスト）」、「第四紀火山近傍の地熱地帯」、または「既存の活構造（活断層など）」の幾何学的形態に依存する非弾性変形様式が考えられよう。

上記の一方向伸張が付加された後の環境における非弾性変形体としての島弧での応力-歪の関係を論じよう。

その後の環境下での応力変化に対する応答は、少なくとも過渡的には時空間依存性のある非線形現象となり、線形弾性体の場合と異なるであろう。

特に、その後の応力変化が僅かであっても線形弾性体の場合よりも大きな歪がもたらされよう。

本論では、チキソトロピーなどのレオロジーを導入しつつ、幾何学的ブロック変形などを伴う島弧での非弾性変形に関する幾つかの考察モデルを提示する。

キーワード：非弾性変形、海溝型巨大地震直後の島弧系、ブロック変形、チキソトロピー
Keywords: inelastic deformation, island-arc system just after a greater interplate earthquake, block deformation, thixotropy

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 表現定理とグリーン関数 (3) ー 全無限グリーン関数の２階微分を用いた点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現 ー
# Representation Theorem and Green's Function (3) -- Strain, Stress, and Density Perturbation Fields due to a Point Source Using 2nd Derivative of Green's Function in an Unbounded Homogeneous Isotropic Elastic Medium --

*木村 将也[1]、亀 伸樹[1]
*Masaya Kimura[1], Nobuki Kame[1]

1. 東京大学地震研究所
1. Earthquake Research Institute,The University of Tokyo

地震発生に伴う物理現象の数理モデルにおいて，弾性変形場の歪み・応力・密度摂動との相互作用を考える問題においては，グリーン関数の空間2階微分の評価がしばしば必要となる．断層面上で応力と滑り速度の間に成り立つ境界積分方程式を用いた動的破壊問題の定式化はその典型である．近年，地震の即時検知の高度化の可能性として，地震発生に伴い光速で伝わる重力場・電磁場摂動の検出が提案されている．弾性波速度で広がっていく応力や密度の摂動は，ピエゾ電気・磁気や重力変化を引き起こす．このようなモデルにおいてもグリーン関数の2階微分の評価が必要になる．これらの研究では，震源をダブルカップル点震源とし，関連する物理量（電磁場摂動研究の場合は応力，重力場摂動研究の場合は密度摂動）に対して全無限グリーン関数（全無限均質等方弾性媒質中における動弾性グリーン関数の解析解）の空間2階微分を含む表現を導出している．全無限グリーン関数の空間2階微分の導出は，特段の難しさはないものの高次テンソルのため大変煩雑である．任意の力源に対して関連する物理量が全て統一的に記された公式を利用できれば，各自の研究テーマに専念でき便利であろう．

そこで本研究では，全無限グリーン関数の空間2階微分，およびこれを用いたモーメントテンソルで記述される点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現を導き公式として記す．この過程で得られるシングルフォース震源に対する表現式も同時に記す．次に，近年注目を集める地震の即時重力変化検出の研究について紹介し，弾性体中のダブルカップル震源が引き起こす重力摂動の理論モデル波形が，本稿の公式により簡便に，任意の震源に拡張されることを示す．また，公式の応用例として，地震により4象限型に動的に再分配される質量をマグニチュードの関数として導き概算を示す (Table 1).

Table 1. The relationship between $M_w$ of an earthquake and dynamically induced quadratic earthquake mass redistribution.

Reference: 木村将也・亀伸樹, 2018, 表現定理とグリーン関数 (3) ー 全無限グリーン関数の２階微分を用いた点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現 ー, 地震2, 71, 153-160, doi:10.4294/zisin.2017-20

キーワード：グリーン関数
Keywords: Green's Function

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

| $M_w$ | $\delta m^{DQM}(M_w) = 10^{1.5M_w+1}[\mathrm{kg}]$ |
|---|---|
| 1.0 | $10^{2.5} \sim 3 \times 10^2$ |
| 2.0 | $10^{4.0} \sim 1 \times 10^4$ |
| 3.0 | $10^{5.5} \sim 3 \times 10^5$ |
| 4.0 | $10^{7.0} \sim 1 \times 10^7$ |
| 5.0 | $10^{8.5} \sim 3 \times 10^8$ |
| 6.0 | $10^{10.0} \sim 1 \times 10^{10}$ |
| 7.0 | $10^{11.5} \sim 3 \times 10^{11}$ |
| 8.0 | $10^{13.0} \sim 1 \times 10^{13}$ |
| 9.0 | $10^{14.5} \sim 3 \times 10^{14}$ |

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 断層面上における高周波励起現象の解釈を可能にするすべり速度・破壊伝播速度変化の可視化手法

# Development of a method of visualization of abrupt changes in slip-rate and rupture velocity toward better understanding of high-frequency radiation on a fault.

*鮎貝 崇広[1]、八木 勇治[2]、奥脇 亮[3]、茅野 奎太[3]、清水 宏亮[3]
*Takahiro ayukai[1], Yuji Yagi[2], Ryo Okuwaki[3], Keita Kayano[3], Kousuke Shimizu[3]

1. 筑波大学生命環境学群、2. 筑波大学大学院 生命環境系、3. 筑波大学大学院生命環境科学研究科
1. School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, 3. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

地震破壊時に断層にて放射される地震波の高周波成分は，断層面上におけるすべり速度と破壊伝播速度の急変によって励起されることが理論的研究 (例えばSpudich and Frazer, 1984, BSSA) によって予想されてきた．波形インバージョン法は，観測波形を説明しうる震源過程モデルを構築することで，断層面上におけるすべり速度の時空間分布を推定する手法である．波形インバージョン法では，平面断層を仮定した上でそれを格子状に分割し，その分割領域ごとのすべり速度の時間変化が重み付けされた基底関数の重ね合わせによって計算される．一方，Back Projection (BP) 法（Ishii et al., 2005, Nature）やHybrid BP (HBP) 法（Yagi et al., 2012, EPSL）は，観測波形を用いて地震波の放射源を推定する手法である．BP/HBP法は，波形インバージョン法では取り扱うことが難しい地震波の高周波成分に適用することができ，高周波励起源の推定に用いられてきた．これまで，BP/HBP法と波形インバージョン法を用いた統合的な解析によって高周波励起現象と破壊過程の関係が議論されてきたが，BP/HBP法によって求まる高周波イメージとすべり速度や破壊伝播速度との物理的な対応は必ずしも確立されておらず，断層面上での高周波励起現象と破壊過程の議論は，間接的かつ定性的な性質に留まっていた．

本研究は，波形インバージョン法によって得られるすべり速度の時空間分布を用いて，断層面上におけるすべり速度の変化と破壊伝播速度の変化を直接計算する手法を開発し，高周波励起に関係する破壊過程を定量的に検証することを目的とする．本手法において，断層面上のある領域におけるすべり速度時間関数のうち最大となる時のすべり速度をその領域での代表的なすべり速度，また，すべり速度時間関数が最大となるときの時刻を代表的な破壊の時刻であるとし，代表的なすべり速度の分布に対して空間勾配を計算することで，すべり速度の変化を求めた．また，代表的な破壊の時刻と破壊が一定の速度で伝播した時の時刻との差の空間勾配を計算することで，破壊伝播速度の変化を求めた．すべり速度・破壊伝播速度変化の抽出には，Yagi and Fukahata (2011, GJI) の手法 (以下，YF11とする) で求めた震源過程モデルを用いた．YF11は，グリーン関数の不確定性を観測誤差の共分散成分として考慮することで，従来手法に比べてすべり速度時間関数に対する基底関数の数を増加させることを可能とし，推定されるすべり速度時間関数の高い分解能を実現したことで，観測波形の高周波成分をより説明できるすべり速度時間関数を得ることに成功している．したがって，YF11により求められたモデルを用いることで，高周波励起に関与するすべり速度・破壊伝播速度の変化を抽出できることが期待される．

本研究で開発した手法を，2015年ネパール・ゴルカ地震 ($M_W$ 7.9) と2010年チリ・マウレ地震 ($M_W$ 8.8) に適用し，すべり速度・破壊伝播速度の急変域を求めた．すべりモデルはそれぞれ，Yagi & Okuwaki (2015, GRL)，Pulido et al. (2011, EPS) を用いた．解析の結果，両者の地震において，大すべり域のうち震源に近い方の端においてすべりが急加速し，震源から遠い方の端においてすべりが急減速している様子が推定された．また，破壊が大すべり域に差し掛かる直前と大すべり域から抜けた直後に破壊が急減速しており、すべり

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

速度の急変よりも破壊伝播速度の急変の方が早いタイミングで生じている様子も推定された．さらに，本解析結果とHBP法により求めた高周波励起源 (Yagi and Okuwaki, 2015, GRL; Okuwaki et al., 2014, Sci. Rep) の比較を行った．2つの地震について，本解析で得られた急変域の空間分布とHBP法による強い高周波励起の空間分布は調和的であった．本研究によって，高周波励起源の原因であるすべり速度と破壊伝播速度の急変が時空間的に独立して生じていることが明らかとなり，本結果は，大すべりを伴う巨大地震の破壊過程を理解する上で重要となる．

キーワード：高周波励起、波形インバージョン法、すべり速度、破壊伝播速度、2015年ネパール・ゴルカ地震、2010年チリ・マウレ地震
Keywords: High frequency, Waveform inversion, Slip rate, Rupture velocity, 2015 Gorkha, Nepal, earthquake, 2010 Maule, Chile, earthquake

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# インバージョン法を用いた震源過程解析に見られる諸問題
# Issues in earthquake-source-inversion analysis, evaluated through singular value decomposition

*茅野 奎太[1]、八木 勇治[1]、奥脇 亮[1]、清水 宏亮[1]
*Keita Kayano[1], Yuji Yagi[1], Ryo Okuwaki[1], Kousuke Shimizu[1]

1. 筑波大学
1. Tsukuba University

震源過程のインバージョン解析では，震源過程に対して先験的に得られた情報を用いることで,観測データに対する震源過程モデルの構築を安定化することができる．とくに観測データに対する先験的情報の重みの評価に赤池・ベイズ情報量規準(ABIC; Akaike, 1980) を用いることで，観測データがモデルを拘束する強さを一意に決めることができる．しかし，観測データ・先験的情報それぞれが拘束する像が，モデルでどのように発現するか把握しない限り，仮定した先験的情報とその重みの妥当性を評価することは難しい．モデルの拘束は，震源過程モデルから観測データ・先験的情報を写像するカーネルが実行するため，カーネルの構成要素を基準にモデルを眺めることで，観測データ・先験的情報が拘束する像の特性を捉えることができる．そこで本研究は, 2016 年熊本地震($M_W$7.0) の震源過程に対する線形インバージョン解析において，カーネルを特異値分解して得られた特異値・特異ベクトルによりモデルを基底展開した. さらに，観測データに対する先験的情報の重みを ABIC 評価値より強化，および弱化したときの特異値・特異ベクトルの特徴を, モデルの平滑化条件および L2 ノルム最小化条件をそれぞれ先験的情報とした場合で調べた．観測データ・先験的情報の誤差はガウス分布に従うとし，観測データに対する先験的情報の分散比を先験的情報の重みとした．観測データには，Global Seismographic Network 27 地点で記録された遠地実体波P 波速度波形の上下動成分を用いた．そして，断層破壊領域として仮定した長さ42 km，幅12 km の矩形領域に対して, 空間方向へ 2 km 間隔，時間方向へ0.3 秒間隔で与えた5 成分の基底モーメントテンソル(Kikuchi & Kanamori, 1991) の重みをモデルパラメターとした．5成分の基底モーメントテンソルをモデルの記述に用いることで，断層滑りと断層形状の時空間変化を同時に震源過程としてモデル化することができる(Shimizu et al., 2019, under review).

2016 年熊本地震では北西傾斜・北東走向の日奈久断層・布田川断層でそれぞれ，右横ずれ・正断層を伴う右横ずれの滑りが発生したことが，余震分布, 地表地震断層の露出位置・変位から示唆されている(Yoshida et al., 2016; Shirahama et al., 2016). 平滑化条件下の解析で推定されたモーメント速度テンソルの空間分布は, ABIC を用いた場合，破壊開始後5 秒で北東走向の右横ずれ滑り，破壊開始後9 秒で北東走向の正断層を伴う右横ずれ滑りを示し，余震分布・地表地震断層の特徴と整合的であった．一方, 先験的情報の重みを強めた場合では，破壊開始後5 秒において東西走向で北側隆起の垂直滑りが卓越し, 弱めた場合では，破壊開始後9 秒において逆断層滑りが見られたため, 余震分布・地表地震断層の特徴を説明できなかった. 平滑化条件下で特異値分解を行い, どのような因子がモデルを定めているか検討したところ, 先験的情報の重みを強めた場合は, グリーン関数(観測データのカーネル)の振幅特性を有する特異ベクトルが強調されたモデルが, 弱めた場合では, 先験的情報に対するカーネルが定める特異ベクトルの特性が反映されたモデルが得られていることがわかった. 観測データ・先験的情報に対するカーネルはそれぞれモデルを歪める因子を内包しており, 先験的情報の重みの強弱によりそれぞれの因子の発現の強弱が変化し, モデルが歪められる構造になっていた. L2 ノルム最小化条件下の解析で推定されたモーメント速度テンソルの空間分布は，ABIC を用いたにも関わらず破壊開始後5 秒において東西走向・北側隆起の垂直滑りが卓越していた．L2 ノルム最小化条件下では, グリーン関数から構築される特異値・特異ベクトルの特性が保持されているため，先験的情報の重みに関係なく，グリーン関数の振幅特性を有する特異ベクトルでモデルが強調されていた.

本研究から，平滑化条件下では, ABIC に基づいたインバージョン解析が, 観測データ・先験的情報が持つモ

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

デルを歪める因子の発現が顕著にならないように機能することがわかった．さらに，ノルム最小化条件を用いたインバージョン解析は，たとえABIC に基づいたとしても, グリーン関数の振幅特性がモデルが歪めるため, うまく機能しないことがわかった.

キーワード：特異値分解、先験的情報、平滑化、L2 ノルム最小化、グリーン関数、赤池・ベイズ情報量規準
Keywords: singular value decomposition, prior information, smoothing, L2 norm minimization, Green’s function, Akaike's Bayesian Information Criterion

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Source process of recent M6-class inland earthquakes in Japan

*柴田 律也[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、井出 哲[2]
*Ritsuya Shibata[1], Naofumi Aso[1], Junichi Nakajima[1], Satoshi Ide[2]

1. 東京工業大学理学院地球惑星科学系、2. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
1. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2. Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

In recent years, inland earthquakes frequently occur in Japan including the 2016 Kumamoto earthquake (Mw7.0). Among them, M6-class events are the best targets to study the mechanics of two-dimensional rupture propagation, since smaller events are more difficult to study finite slip distribution while rupture area of larger events tend to be restricted in depth. For this purpose, we investigate the source process of the 2016 Central Tottori earthquake (Mw6.2) and the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake (Mw6.6), which are characterized by strike-slip and reverse-fault types, respectively, by applying slip inversion to strong-motion seismograms.

We use KiK-net stations deployed and maintained by NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience) within 50 km from the epicenter for both earthquakes. Fault geometry is assumed to be same as Kubo et al. (2017) for the 2016 Central Tottori earthquake, while we assume the fault geometry of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake from the aftershock distribution. Fault discretization, source duration, source time discretization, and band-pass filters are optimized manually for each event.

Regarding 2016 Central Tottori earthquake, there has been discrepancies between previous studies. While Kubo et al. (2017) reported the slip of 0.3–0.6 m widely distributed over 5×8 $km^2$, Ross et al. (2018) estimated concentrated slip of >4 m in 3×3 $km^2$. Recently, Meneses-Gutierrez et al. (2019) obtained the slip of 1–2 m over 5×5 $km^2$ by analyzing GNSS (Global Navigation Satellite System) data. Our results mainly agree with Kubo et al. (2017), but larger slip is distributed more heterogeneously in our model because we do not apply smoothing. The concentration of slip near the hypocenter as reported by Ross et al. (2018) is also confirmed especially when we use finer model resolution. Therefore, the discrepancy reported in the previous studies may be due to the resolvability of slip with strong directivity in ordinary finite fault inversion, which usually requires sparse discretization and/or a smoothing constraint.

As a result of slip distribution of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake, we obtained the slip in between right-lateral strike-slip type and reverse-fault types at the beginning, which is consistent with the mechanism determined by JMA (Japan Meteorological Agency) using first-motion polarities, while total slip is predominated by the reverse-fault component, which is consistent with the CMT (centroid moment tensor) solution determined by NIED using surface wave amplitudes. The final slip is separated in the shallow part and the deep part, similar to the distribution of aftershocks.

In both earthquakes, the rupture tends to expand in the direction parallel to the slip regardless of the rake direction. The prevailing mode II rupture over mode III rupture is consistent with the expectation from rupture mechanics (e.g., Day, 1982; Madariaga et al., 1998).

キーワード：鳥取県中部地震、北海道胆振東部地震、内陸地震

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Keywords: 2016 Central Tottori earthquake, 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake, inland earthquake

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Expected slip direction on assumed fault planes of large earthquakes inferred from stress field after the 2016 Kumamoto earthquake sequence, in central Kyushu, Japan

*光岡 郁穂[1]、松本 聡[2]、志藤 あずさ[2]、清水 洋[2]、2016年熊本地震 合同地震観測グループ
*Ayaho Mitsuoka[1], Satoshi Matsumoto[2], Azusa Shito[2], Hiroshi Shimizu[2], Group for urgent joint seismic observation of the 2016 Kumamoto earthquake

1. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2. 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター
1. Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University

In order to understand generation of earthquake, knowing the force acting on a fault plane is the great interest problem for us. We should find with which direction and magnitude a fault plane slips. Shear and normal stresses on a fault plane can be estimated from the stress field around a fault. Maximum shear stress direction on a fault plane constrains the slip direction of an earthquake on the fault based on Wallace-Bott hypothesis. In this study, we estimated the maximum shear stress directions on some fault planes from the stress field at hypocentral area of the 2016 Kumamoto earthquake sequence.
The 2016 Kumamoto earthquake sequence occurred at Hinagu and Futagawa fault zones in Kumamoto prefecture, central Kyushu Island, Japan. The area was high seismicity area before the sequence. The largest foreshock with Mj 6.5 (Mj: magnitude by Japan Metrological Agency) on April 14, 2016 was located in Hingau fault zone. The mainshock (Mj 7.3) occurred on April 16, 2016. Many earthquakes occurred around these faults after the mainshock and continue until now. Some fault planes are determined from the aftershock hypocenter distribution.
Maximum shear stress direction on a fault is a projection of a traction vector that is calculated from the fault geometry and the stress field. In other word, we can consider slip direction on a fault from stress tensor and fault geometry. In the hypocentral area of the 2016 Kumamoto Earthquake sequence, evaluation of strong ground motion is important to mitigate damage of further coming earthquake. Slip direction is one of the key for the evaluation. Here, we showed expected slip direction on fault plane proposed by Iwata et al. [2019] from their geometry and the stress field estimated by Mitsuoka et al. [2019] using the seismic moment tensors.Most of the expected slip direction on the assumed faults reveal either simple strike slip or normal fault types. However the maximum shear stress directions on some faults change to have large upward component at shallow depth. The result suggests complicated slip could occur on the candidate faults in a case of large earthquake faulting.

キーワード：応力場、剪断応力、2016年熊本地震
Keywords: stress field, shear stress, 2016 Kumamoto earthquake

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 2011年東北沖地震による繰り返し地震の震源パラメータ変化
# Spaciotemporal change of source parameters of repeaters due to the 2011 Tohoku-Oki earthquake

*立岩 和也[1]、岡田 知己[1]、河野 俊夫[1]、内田 直希[1]
*Kazuya Tateiwa[1], Tomomi Okada[1], Toshio Kono[1], Naoki Uchida[1]

1. 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター
1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

東北日本の太平洋プレート沈み込み帯では多くの小繰り返し地震が発生している。これら繰り返し地震の震源特性やその時空間変化を理解することは、プレート運動に伴う載荷速度や繰り返し地震と同じ構造で発生すると考えられる大規模地震の発生メカニズムなどを理解するうえで重要な手掛かりとなる。本研究では2011年東北地方太平洋沖地震（本震）の前後（2011年の前後５年）にプレート境界で発生した繰り返し地震について、地震観測波形を用いて推定される震源パラメータの変化について調べた。なお、本研究で解析対象となる繰り返し地震は約3000系列で総数は約7000個である。本発表では岩手県釜石沖と岩手県岩泉で発生した繰り返し地震の特徴について述べる。

釜石沖では繰り返し間隔がおよそ５年でM4.9前後の地震が起きていたのだが、本震直後は繰り返し間隔が非常に短くなり、またマグニチュードも非常に大きくなった。その後は繰り返し間隔、マグニチュード共に本震前の傾向に近づいている。スペクトル比法から求めた応力降下量については、本震前は約14 MPaであったが、その後はバラつきがあるものの本震前よりも小さくなっていき、1-3 MPa程度に落ち着いていく様子が見られる。コーナー周波数から断層半径を推定しその時間変化を見ると、本震前は約1 kmであったが本震直後はおよそ５倍にまで大きくなったことが分かった。また、断層半径についても時間の経過とともに本震前のサイズに戻っていく様子が見られたが、これはすべりインバージョンによって破壊域を求めたUchida et al. (2015)の結果と一致するものである。このような本震前後の変化は本震の余効すべりの影響によると考えられる。

一方、岩泉で発生する繰り返し地震は本震前後での明瞭なマグニチュードの変化や応力降下量の変化は見られなかった。もし、この地域が釜石沖よりも本震の余効すべりの影響をあまり受けていないとすれば、釜石沖と異なり、東北沖地震の影響が小さい可能性が考えられる。一方、コーナー周波数の方位分布から破壊の指向性を推定すると、M4以上の繰り返し地震では指向性が現れないのに対して、小さな地震では指向性が現れることが分かり、これらの繰り返し地震が複雑な破壊からなることが示唆される。岩泉の繰り返し地震は複合的な破壊を起こすことがあるという先行研究（荒尾・他, 2007）もあるため、この地域では、複合的な破壊や小破壊間の相互作用も繰り返し地震の発生様式に関わることが考えられる。

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 房総スロースリップイベントのすべり分布とすべり速度ー応力の関係
# Slip distributions and relation of slip-rate and shear stress for the Boso slow slip events

*小林 琢磨[1]、佐藤 利典[2]
*Takuma Kobayashi[1], Toshinori Sato[2]

1. 千葉大学大学院融合理工学府、2. 千葉大学大学院理学研究院
1. Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, 2. Graduate School of Science, Chiba University

房総半島沖合のプレート境界では地震波を放射せずにゆっくりとすべるスロースリップイベント（SSE）が、GNSS観測が開始した1996年から2018年までに6回検出されている。本研究ではこれまでの6回のSSEを統一的な手法に基づいて解析を行い、プレート境界面の摩擦特性の理解に迫ることを目的としている。

用いたデータは国土地理院による日々の座標値（F3解）である。SSEによる変動を抽出するために線形トレンドや季節変動などを除き、なめらかなフィッティングを行って3日間ごとの変動を取り出した。次にその変動データからABICインバージョン法を用いてすべり分布を推定した。求めたすべり分布からCoulomb 3.3を用いて応力変化の計算を行った。

解析の結果、各SSEですべり量やすべり中心の場所に違いがあることがわかった。最大すべり量が1996年と2014年は7 cmほど、その他の年（2002, 2007, 2011, 2018）では14-20 cmであった。また1996年と2014年はすべりの発生から収束までほぼ同じ領域で推移したのに対し、他の4つのイベントはすべりがより浅い南方へと広がった。剪断応力変化は主なすべり領域で0.1-0.3 MPaほどであった。対数すべり速度と剪断応力変化の関係から、SSEの開始期から安定活動期、収束期の流れが見え、安定活動期の軌跡の傾きは深さとともに大きくなっていた。

断層面のすべりを考える際に速度状態依存摩擦則を用いた。定常状態の摩擦強度を表す式から、対数すべり速度と摩擦強度のグラフ上で定常状態摩擦の線の傾きは、摩擦パラメータ$a-b$　と有効法線応力$\sigma n$の積で表せる。SSEは準静的な安定すべりであり、その場の剪断応力変化は摩擦抵抗と釣りあっていると考えられる。上の摩擦則を用いた準静的すべりシミュレーションのモデル実験結果と本研究の結果を組み合わせることで、SSEの安定活動期の対数すべり速度と剪断応力変化の傾きを利用して、房総沖のイベント時の摩擦パラメータや有効法線応力を推定する事ができる。$a-b$=-0.003と仮定すると、傾きから有効法線応力は2ー20MPaほどであることが分かった。これはその深さにおける静岩圧よりはるかに小さな値であり、非常に高い間隙水圧の存在を示唆している可能性がある。

謝辞：解析では国土地理院の日々の座標値（F3解）とUSGSのCoulomb 3.3プログラムを使用しました。記して感謝します。

キーワード：スロースリップ、すべり速度、応力変化、有効法線応力、速度状態依存摩擦則
Keywords: slow slip, slip rate, stress change, effective normal stress, rate and state dependent friction low

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 2011年東北沖地震後に活発化した茨城県北部の地震活動：内陸地震の繰り返し

# Repeating inland earthquakes in northern Ibaraki Prefecture activated after the 2011 Tohoku-Oki earthquake

高橋 諒[1]、*吉田 圭佑[1]、長谷川 昭[1]、松澤 暢[1]
Ryo Takahashi[1], *Keisuke Yoshida[1], Akira Hasegawa[1], Toru Matsuzawa[1]

1. 東北大学理学研究科附属地震噴火予知研究観測センター
1. Tohoku University

2016年12月28日に茨城県北部で発生した M6.3の地震は，2011年3月19日 のM6.1茨城県北部の地震と同一の断層で，再び滑りを生じさせた可能性が指摘されている (Fukushima et al., 2018; Uchide, 2017, JpGU)。内陸断層においてそのような短期間に同一の場所で繰り返し地震が発生するという報告例は非常に珍しく，その発生過程を詳細に調べることは地震発生サイクルの理解のために非常に重要であると考えられる。本講演では，空間分解能の上では地表で得られる測地データよりも高い解像度を持つ地震の震源データを用いることにより，2011年と2016年の地震の発生過程について調べている内容について紹介する。

最初に，地震波形の相互相関を用いて茨城県北部で発生した地震の震源位置の再決定を行った。対象としたのは気象庁一元化カタログ記載の 2003年から 2018年10月31日まで$M_{JMA}$>2の地震 13,410個である。Yoshida & Hasegawa (2018)と同様に，波形相関により求めた精密な P, S波の相対到達時刻差データを用いた Double-Difference法 (Waldhauser & Ellsworth, 2002)により，相対震源決定精度を大幅に向上させた。

得られた震源分布は複雑な特徴を持つものの，茨城県北部地域においては西傾斜する一枚の卓越した面構造が見られ，メカニズム解との比較からもこの面が 2011年や2016にM6の地震を生じさせた断層面に対応すると考えられる。 2016年のM6地震後に周辺で震源の面構造が新たに生じると言うことは無く，余震のほとんどは以前から見えていたと同じ面に集中して分布する。このことは，2016年のM6.3の地震が 2011年に発生した M6.1の地震と同じ断層面で滑りを生じさせたとする Fukushima et al. (2017)らの推定結果を支持する。

M6規模の地震が同一場所で繰り返して発生したとすると，それより小さい規模の地震も同様に同じ場所で繰り返し生じていたかもしれない。詳細な震源位置と波形相関に基づき，M>2の地震の発生場所を調べた結果，M6規模の地震の主要な破壊域（Fukushima et al., 2018）の周囲に，それを取り囲むように繰り返し地震と推定される多数の地震群が見出だされた。これらの小繰り返し地震は、M6規模の地震の後に生じた余効滑りが原因で発生したと考えられる。Nadeau & Johnson (1998)による地震モーメントと滑り量の関係式に基づくと，場所にもよるが同一箇所で数十センチ程度と，本震滑りと同程度のすべりが生じていたことが推定され，その大きさはおよそ本震の滑り量と同程度であった。また、2011年の地震後の方が、2016年の地震後よりも滑り量が大きく、Fukushima et al. (2018)の推定と一致する。これらのことは，余震の発生や地震発生サイクルの理解のために，本震による応力変化の影響のみならず，本震後の余効滑りが大きく影響していることを意味する。

キーワード：earthquake cycle、northern Ibaraki earthquake、aftershock
Keywords: repeating earthquake, afterslip, the 2011 Tohoku-Oki earthquake

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_26

## [S-SS14] 地震発生の物理・断層のレオロジー

コンビーナ:岡崎 啓史(海洋研究開発機構)、向吉 秀樹(島根大学大学院総合理工学研究科地球資源環境学領域)、野田 博之(京都大学防災研究所)、吉田 圭佑(東北大学理学研究科附属地震噴火予知研究観測センター)

地震の発生および断層内での物理学的化学的素過程に関わる諸問題に対して，地震学・測地学・地質学・鉱物学等の固体地球科学諸分野における，理論・実験・観測・観察・シミュレーションなどの多様な観点から，学際的に議論を深めることを目標とする．地震前，地震時及び地震後の過程，断層岩と断層帯のレオロジー，断層運動などの震源とその周辺における現象，摩擦構成則とそれに基づく地震プロセスのモデル化，地震発生場の応力状態，断層掘削，震源過程など，関連する話題を広く募集する．

[SSS14-P01] クラックを含んだ庵治花崗岩のせん断試験におけるS波偏向異方性の測定

*田中 仁貴[1]、片山 郁夫[1] (1.広島大学)

[SSS14-P02] 石英ガウジの摩擦特性に対する滑石含有量の影響

白鬚 里彩子[1]、多々良 祈里[1]、*平内 健一[1]、竹村 貴人[2] (1.静岡大学理学部地球科学科、2.日本大学文理学部地球科学科)

[SSS14-P03] 石英質岩石の中速摩擦強度の支配要因

*金川 久一[1]、杉田 明日郁[2]、高橋 美紀[3]、澤井 みち代[1] (1.千葉大学理学研究院、2.千葉大学理学部、3.産業技術総合研究所活断層・火山研究部門)

[SSS14-P04] 半遠洋性堆積物の続成作用に伴う摩擦・透水特性の変化

*岡崎 啓史[1]、片山 郁夫[2]、山口 飛鳥[3] (1.海洋研究開発機構高知コア研究所、2.広島大学大学院地球惑星システム学専攻、3.東京大学大気海洋研究所)

[SSS14-P05] 流体急減圧と流体流動によるシリカ析出の比較および断層特性への影響

*新部 貴理[1]、岡本 敦[1]、天谷 宇志[2]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院環境科学研究科、2.独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

[SSS14-P06] 二軸摩擦試験機によるSlide-Hold-Slide実験中の反射波と透過波の時間変化

*植村 美優[1]、伊藤 喜宏[2]、片山 郁夫[3] (1.京都大学大学院理学研究科、2.京都大学防災研究所、3.広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻)

[SSS14-P07] Monitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda wavesMonitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda waves

*Fan XIE[1]、Yaqiong REN[1] (1.Institute of Geophysics, China Earthquake Administration)

[SSS14-P08] Longer duration of meta-instability stage of laboratory earthquakes on a 1.5m granite fault

*yaqiong Ren[1] (1.Institute of Geophysics, China Earthquake Administration)

[SSS14-P09] シュードタキライトから見積もる地震時の摩擦熱と壁岩破壊量

*長手 彩夏[1]、氏家 恒太郎[1] (1.筑波大学)

[SSS14-P10] Porosity variation of fault rocks accompanied the Median Tectonic Line in Shikoku, southwestern Japan

*池田 倫治[1]、辻 健[2]、辻 智大[1]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3] (1.株式会社四国総合研究所、2.九州大学、3.四国電力株式会社)

[SSS14-P11] Characteristics of inactive section of the Median Tectonic Line from drillcore samples in Shikoku, southwestern Japan

*内田 嗣人[1]、池田 倫治[1]、辻 健[2]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3] (1.株式会社四国総合研究所土木技術部、2.九州大学工学研究院、3.四国電力株式会社)

[SSS14-P12] 未固結断層岩のクラストの表面及び内部組織とその重要性

*東郷 徹宏[1]、嶋本 利彦[2]、澤井 みち代[3] (1.THE EARTH、2.中国地震局地質研究所、3.千葉大学)

[SSS14-P13] **Fault Displacement Assessment of Surface-rupturing Earthquakes for Nuclear Installations and the use of Physics-based Rupture Models**

*Luis Angel Dalguer[1]、Yoshimitsu Fukushima[2] (1.3Q-Lab GmbH、2.International Atomic Energy Agency)

[SSS14-P14] 地震ハザード評価のための動力学的震源モデル：布田川断層帯・日奈久断層帯への応用（その2）

*加瀬 祐子[1] (1.産業技術総合研究所　活断層・火山研究部門)

[SSS14-P15] 自然地震のすべりー長さスケーリング則と室内実験との距離の定量化

*大庭 伸一[1]、三井 雄太[2] (1.静岡大学総合科学技術研究科、2.静岡大学理学部)

[SSS14-P16] Effect of Wear Process on Earthquake Recurrence

*Wang Jeen-Hwa[1] (1.Academia Sinica)

[SSS14-P17] On the Mechanical Relation between Individual Interaction and Collective Behavior of Multiple Fault Sets Subjected to Quasi-Static Loading

*上西 幸司[1,2]、福田 優貴[2]、亀 伸樹[3] (1.東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻、2.東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻、3.東京大学地震研究所)

[SSS14-P18] 過渡的で強制的な伸張水平地殻歪の領域における非弾性変形

*江口 孝雄、岩瀬 康行[1] (1.防衛大学校)

[SSS14-P19] 表現定理とグリーン関数 (3) ― 全無限グリーン関数の２階微分を用いた点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現 ―

*木村 将也[1]、亀 伸樹[1] (1.東京大学地震研究所)

[SSS14-P20] 断層面上における高周波励起現象の解釈を可能にするすべり速度・破壊伝播速度変化の可視化手法

*鮎貝 崇広[1]、八木 勇治[2]、奥脇 亮[3]、茅野 奎太[3]、清水 宏亮[3] (1.筑波大学生命環境学群、2.筑波大学大学院 生命環境系、3.筑波大学大学院生命環境科学研究科)

[SSS14-P21] インバージョン法を用いた震源過程解析に見られる諸問題

*茅野 奎太[1]、八木 勇治[1]、奥脇 亮[1]、清水 宏亮[1] (1.筑波大学)

[SSS14-P22] **Source process of recent M6-class inland earthquakes in Japan**

*柴田 律也[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、井出 哲[2] (1.東京工業大学理学院地球惑星科学系、2.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻)

[SSS14-P23] Expected slip direction on assumed fault planes of large earthquakes inferred from stress field after the 2016 Kumamoto earthquake sequence, in central Kyushu, Japan

*光岡 郁穂[1]、松本 聡[2]、志藤 あずさ[2]、清水 洋[2]、2016年熊本地震 合同地震観測グループ (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター)

[SSS14-P24] 2011年東北沖地震による繰り返し地震の震源パラメータ変化

*立岩 和也[1]、岡田 知己[1]、河野 俊夫[1]、内田 直希[1] (1.東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター)

[SSS14-P25] 房総スロースリップイベントのすべり分布とすべり速度－応力の関係

*小林 琢磨[1]、佐藤 利典[2] (1.千葉大学大学院融合理工学府、2.千葉大学大学院理学研究院)

[SSS14-P26] 2011年東北沖地震後に活発化した茨城県北部の地震活動：内陸地震の繰り返し

高橋 諒[1]、*吉田 圭佑[1]、長谷川 昭[1]、松澤 暢[1] (1.東北大学理学研究科附属地震噴火予知研究観測センター)

# クラックを含んだ庵治花崗岩のせん断試験におけるS波偏向異方性の測定
# Measurement of shear-wave polarization anisotropy in crack-bearing Aji granite during shear experiment

*田中 仁貴[1]、片山 郁夫[1]
*Jinki Tanaka[1], Ikuo Katayama[1]

1. 広島大学
1. Hiroshima University

The stress drop at the time of the earthquake not only releases the stress applied to the fault plane but also causes the rotation of the principal stress axis applied to the fault plane. In fact, the change in the direction of the principal stress axis after the earthquake is reported by the mechanism solution of aftershocks and the seismic wave anisotropy(e.g. Tadokoro and Ando 2002; Boness and Zoback 2006). It is thought that this is because the closing (opening) direction of the cracks around the fault plane correspond to the stress axis. Therefore, in this study, the elastic wave velocity was monitored during the shear experiment of the rock and the relation between the shear stress and the principal stress axis and elastic wave velocity was measured in the laboratory. Since the shear-wave polarization anisotropy has a characteristic which is sensitive to the direction of the crack, measurement of different vibration components of S wave is performed in addition to measurement of P wave velocity.

For the experiment, we investigated the change in elastic wave velocity according to shear deformation using a High-T biaxial frictional testing machine in Hiroshima University. For the experimental samples, Aji granite which generated thermal cracks inside by heating to 600 degrees Celsius was used. In the shear experiment, it was carried out by loading the central rock block at a constant speed while keeping the vertical stress constant. The shear sliding velocity was about 0.9 $\mu$m/s and the normal stress was 5 MPa. For measurement of elastic waves, probes with a resonance frequency of 1 MHz (manufactured by Olympus Corporation) were used, and S wave and P wave were measured by pulse transmission method. The propagation direction of elastic wave is parallel to the shear plane and perpendicular to the shear sliding direction, and for the S wave, we measured two components, wave (SH) oscillating in the plane orthogonal to the shear plane and wave (SV) oscillating parallel to the shear plane.

From the experimental results, with the increase of the shear stress, it was found that the velocity of SH wave rises earlier and the SV wave rises late. In addition, there was a phenomenon in which the initial motion of the SV wave jumped suddenly as the shear stress increased. This means that when the shear stress is low and the maximum principal stress axis in the sample is close to the direction of the normal stress, the shear direction cracks are frequently closed and the SH wave velocity increases, and the shear stress increases, when the inclination of the maximum principal stress axis becomes steeper with respect to the normal stress, it is considered that the direction of the crack which closes is correspondingly inclined. In this way, since the SH wave and SV wave behave differently due to the increase of the shear stress and the corresponding change of the principal stress axis angle, by utilizing this property, a good index for monitoring the stress state around the fault.

キーワード：地震予測、S波偏向異方性
Keywords: Earthquake prediction, Shear-wave polarization anisotropy

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 石英ガウジの摩擦特性に対する滑石含有量の影響
# Effects of talc content on frictional properties of quartz gouge

白鬚 里彩子[1]、多々良 祈里[1]、*平内 健一[1]、竹村 貴人[2]
Risako Shirahige[1], Inori Tatara[1], *Ken-ichi Hirauchi[1], Takato Takemura[2]

1. 静岡大学理学部地球科学科、2. 日本大学文理学部地球科学科
1. Department of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University, 2. Department of Earth and Environmental Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University

Phyllosilicates have low coefficients of friction and an effect of weakening fault strength. To understand effects of talc content on frictional strength and sliding stability, we conducted frictional sliding experiments on dry gouge mixtures of quartz and talc at room humidity, room temperature, a normal stress of 10 MPa and sliding velocities of 0.66–2 $\mu$m/s, using a single direct-shear apparatus. The coefficient of friction for the mixture ranged from 0.18 to 0.69 and fell between pure quartz and talc values. The overall trend was a decrease in the coefficient of friction with increasing talc content. The velocity dependence of friction, ($a-b$), ranged from −0.0018 to 0.0039 and increased with increasing talc content. The ($a-b$) values are highest in the mixture with a talc content of 80 wt.%. For the mixture with talc contents below 10 wt.%, the ($a-b$) values become negative, with the occurrence of slow to fast stick-slip behavior.

キーワード：摩擦、スティック・スリップ、断層弱化、層状珪酸塩
Keywords: friction, stick slip, fault weakening, phyllosilicate

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 石英質岩石の中速摩擦強度の支配要因
# Mechanism controlling the frictional strength of quartz rocks at intermediate slip rates

*金川 久一[1]、杉田 明日郁[2]、高橋 美紀[3]、澤井 みち代[1]
*Kyuichi Kanagawa[1], Asuka Sugita[2], Miki Takahashi[3], Michiyo Sawai[1]

1. 千葉大学理学研究院、2. 千葉大学理学部、3. 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門
1. School of Science, Chiba University, 2. Faculty of Science, Chiba University, 3. Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan

Frictional strength of quartz rocks is known to be extraordinary low at subseismic slip rates ranging from 1 mm/s to 10 cm/s, which has been ascribed to the hydration of comminuted amorphous silica, i.e., silica gel. In order to testify this hypothesis, we conducted rotary-shear friction experiments on intact agate or silica gel gouge at a normal stress of 1.5 MPa and slip rates ($V$) ranging from 1 mm/s to 10 cm/s. We also measured temperature ($T$) adjacent to the slip surface or the gouge layer during the experiments.

Steady-state friction coefficient of agate $\mu_{ss}$ was ≈0.6 at $V$ = 1 mm/s, ≈0.5 at $V$ = 7 mm/s, and ≦0.1 at $V$ = 10 cm/s. $T$ was ≈25˚C at $V$ = 1 mm/s, ≈30˚C at $V$ = 7 mm/s, and up to 85˚C at $V$ = 10 cm/s, but the actual temperature along the slip surface must have been much higher. $\mu_{ss}$ of silica gel gouge was ≈0.7 at $V$ = 1 mm/s, 0.4–0.5 at $V$ = 7 mm/s, and ≦0.2 at $V$ = 10 cm/s. $T$ was 25–28˚C at $V$ = 1 mm/s, 30–37˚C at $V$ = 7 mm/s, and 80–100˚C at $V$ = 10 cm/s, but again, the actual temperature in the gouge layer must have been much higher.

Thus our results show that agate or silica gel exhibits weakening with increasing $T$, and that the presence of silica gel does not reduce the frictional strength when $T$ is not high enough. Shear strength of quartz rocks is high so that significant amount of frictional heat would be produced at asperity contacts even at $V$ ≈1 cm/s, which must be responsible for weakening of quartz rocks at intermediate slip rates.

キーワード：めのう、シリカゲル、摩擦強度、中速
Keywords: agate, silica gel, frictional strength, intermediate slip rates

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 半遠洋性堆積物の続成作用に伴う摩擦・透水特性の変化

# Evolution of hydraulic and frictional properties of incoming hemipelagic sediments during diagenetic reactions

*岡崎 啓史[1]、片山 郁夫[2]、山口 飛鳥[3]
*Keishi Okazaki[1], Ikuo Katayama[2], Asuka Yamaguchi[3]

1. 海洋研究開発機構高知コア研究所、2. 広島大学大学院地球惑星システム学専攻、3. 東京大学大気海洋研究所
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Dept. of Earth & Planetary Systems Science, Hiroshima University, 3. AORI, the University of Tokyo

Deployments of seismic and geodetic observation networks had revealed the activity of slow earthquakes along the subduction plate boundaries, which are characterized as intermediate fault slip rate between earthquake (~1m/s) and stable sliding along the plate boundary (~1 nm/s). Diagenesis of subducting sediments has stimulated interest in their relationship to regular and slow seismicity in the subduction zone. We report experimental results on the effect of diagenetic reactions to hydraulic and frictional properties of incoming hemipelagic sediments. Hemipelagic sediments taken from KS-15-3 Shinseimaru cruise are used as the starting sample. Friction experiments and permeability measurements were carried out with a confining pressure of 150 MPa and a pore pressure of 58 MPa and temperatures ranging RT–230 degC. When the sample is sheared immediately after reaching the experimental condition, all experimental data at the temperature below 150 degC showed a velocity-strengthening behavior. On the other hand, at the temperature of 230 degC, the frictional behavior is no longer stable, but stick-slip behavior was observed during the experiments. We also measured a time-dependent permeability evolution of hemipelagic sediments to assess how diagenetic reactions consolidate the sediments. Permeability decreased about an order magnitude due to the mechanical compaction from the effective pressure of 3 MPa to 92 MPa, and decrease additional an order magnitude of permeability is observed during the hot-pressing of the sample at the pressure and the temperature of 92 MPa and 100 degC, respectively. Those experimental observations suggest that thermally activated compactions, possibly pressure solution creep, could contribute key role for understanding the physical property of subducting sediments.

キーワード：沈み込み帯、摩擦特性
Keywords: subduction zone, frictional property

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 流体急減圧と流体流動によるシリカ析出の比較および断層特性への影響
# Contrasting silica precipitation via flash vaporization and fluid flow and possible effects on fault properties

*新部 貴理[1]、岡本 敦[1]、天谷 宇志[2]、土屋 範芳[1]
*Takamasa Niibe[1], Atsushi Okamoto[1], Takashi Amagai[2], Noriyoshi Tsuchiya[1]

1. 東北大学大学院環境科学研究科、2. 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 2. Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

It is thought that precipitation of silica plays crucial roles on mechanical and hydrological properties of faults. The solubility of silica minerals varies significantly depending on temperature and water density (e.g., Manning, 1994). Okamoto *et al.* (2010) conducted the hydrothermal flow-through experiments at vapor-like supercritical condition (430 ℃, 31 MPa) and showed that silica precipitation predominantly occurred via quartz overgrowth and quartz nucleation (Okamoto *et al.*, 2010). In contrast, precipitation of silica is thought to be induced by decompression of fluids. Weatherley and Henley (2013) suggested that silica particles precipitate by flash vaporization at fault jog; however, the process of silica precipitation under such extreme condition has not been verified experimentally. The purpose of this study is to understand the mechanism of silica precipitation by hydrothermal experiments. In particular we focus on the difference in the mode of occurrences of silica precipitates between flashing and fluid flow system.
We conducted two types of experiments: (1) flash + batch experiments, and (2) flow-through experiments. Both experiments were carried out with using high-silica solutions (Si = 250-300 mg/kg$H_2O$, Na, Al, K = 4-6 mg/kg$H_2O$), that was prepared by dissolution of granite sand at 370 ℃ and 40 MPa. In the flashing experiments, after the input solution was enclosed into the autoclaves, elevated pressure and temperature, and flashed by opening the valve. Alumina filter (average pore size of 60 μm) was placed on the flow pathway to catch the silica particles. The flash P-T conditions were 261 ℃, 353 ℃, 400 ℃, and 450 ℃ at pressure of 35-38 MPa. In all conditions, silica precipitates did not include quartz, but spherical particles of amorphous silica with size of 0.1-10 μm were produced. Such amorphous silica was probably formed by nucleation and aggregation during the evaporation of water droplet. Then, we investigated the transformation of the flashing products (removed from the alumina filter and enclosed in Au tube) by the batch experiments at 261 ℃ and 351 ℃ at vapor saturated pressure, and at 400 ℃ and 450 ℃ under supercritical conditions. There was no change of silica after the batch experiments at 261℃ and 351℃ conditions within 5 days. In contrast, small quartz crystals (size of less than 10 μm) were produced in 5 days at 400 ℃ and in 3 days at 450 ℃. Albite was partly produced as the results of interaction with alumina-filter.
The silica precipitation was also investigated by the flow-through experiments at 390-430 ℃ and 25 MPa (supercritical condition) with constant flow-rate of 0.5 or 1 mL/min by using the granite-dissolved solution similar to the flash experiments. The silica was precipitated in alumina tube filled with alumina ball (diameter with 1 and 2mm). We found the silica precipitates clogged the pores within few days. Based on the XRD and SEM observation, the products of the flow-through experiments were mixture of amorphous silica and quartz. Some quartz crystals grew up to 100 micrometers and amorphous silica were precipitated on the alumina balls and the alumina pipe.
In both cases, amorphous silica was easily produced in response to the drop of water density at high temperatures. Such amorphous silica can move and clog effectively the pores. Also, our experiments revealed that such amorphous silica was changed to quartz, which depends on the temperature and fluid states (flow or batch). Such variation of silica by precipitation and transformation potentially would

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

provide a significant influence on the fault strength.

Weatherley D. K. and Henley R. W. (2013), *Nature Geoscience*, **6(4)**, 294.
Okamoto A., Saishu H., Hirano N. and Tsuchiya N. (2010), *Geochemica et Cosmochimica Acta*, **74**, 3692-3706.
Manning C. E. (1994), *Geochemica et Cosmochimica Acta*, **58**, 4831-4839.

キーワード：岩石-水相互作用、シリカ、流体急減圧
Keywords: Water-Rock Interaction, Silica, Flash Vaporization

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 二軸摩擦試験機によるSlide-Hold-Slide実験中の反射波と透過波の時間変化

# Temporal variations of reflected and transmitted wave during a slide-hold-slide experiment on a biaxial friction testing machine

*植村 美優[1]、伊藤 喜宏[2]、片山 郁夫[3]
*Miyuu Uemura[1], Yoshihiro Ito[2], Ikuo Katayama[3]

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 京都大学防災研究所、3. 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻
1. Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

Slow slip events (SSEs), which is one of the slow earthquakes differing from regular earthquakes, have been detected at both shallower and deeper portions of the seismogenic zones, such as Japan and New Zealand. We carried slide-hold-slide experiments with gouge layer under a slip velocity of an SSE using a biaxial friction testing machine under the condition with the temperature and the humidity of room. We measured temporal changes of acoustic impedance in the gouge layer with reflected and transmitted wave during slides and holds. As a result, we detected variations in travel time, amplitude, and cross-correlation coefficient on first arrival of reflected and transmitted wave.

The features of observed waveforms were classified clearly by a slide-hold-slide conditions into two categories: sliding and holing. We chose two materials as gouge powder, which were clay mineral (Ca-montmorillonite) and quartz. Regardless of the kinds of the gouge powder, the amplitude both of reflected and transmitted waves showed opposite temporal variation during the slide-hold-slide sequences; the amplitude of transmitted wave decreased during slides and increased during holds, respectively. This suggests that the amplitudes of reflected and transmitted waves indicate a change of an elastic-wave speed in the gouge layer.

The travel times of transmitted waves increased during slides and decrease during holds. According to Birch (1961), a propagation speed of elastic waves normally decreases as the density of media decreases, or as the porosity increases. Increasing travel times of transmitted waves in our experiments may indicate the change of the density, or porosity in the gouge layer. Although the travel times of reflected waves decreased during slides and increased during holds in the case of clay mineral, the travel time on quartz powder did not change through our experiment.

The temporal change on correlation of observed transmitted wave also shows significant changes from a slide to a hold. The change of travel time, the amplitude, and the cross-correlation coefficient of transmitted waves were more sensitive to a slide-hold-slide condition, such as slip rate on the gouge later than those of reflected wave. Those result suggests that a transmitted wave is more suitable for monitoring SSE although a reflected wave is also useful for monitoring, and that a beginning and an end of an SSE can be detected by reflected and transmitted waves.

キーワード：スロースリップ、二軸摩擦試験、ガウジ
Keywords: slow slip event, biaxial friction experiment, gouge

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Monitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda wavesMonitoring stress-induced changes of laboratory fault by ultrasonic coda waves

*Fan XIE[1], Yaqiong REN[1]

1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration

It is increasing important to understand evolution in fault zone and find clear precursors to the earthquake. Nevertheless, the evolving behavior of crustal faults remains changeling due to its inaccessible and weakness.

Duo to their highly sensitivity, the seismic coda waves have been long used at kilometer scale to investigate stress changes by tracking seismic relative velocity changes during earthquake. However, detecting such changes and imaging their spatial distribution with satisfied resolution are still an ongoing project, for which laboratory developments may be useful.

This work aims to explore the applicability of coda waves to monitor spatiotemporal changes of laboratory fault.

Laboratory-scale experiments are performed by meter-scale biaxial loading apparatus in which coda waves at ultrasonic frequencies (100 kHz to 400 kHz) are transmitted and received by 16 broadband piezoelectric transducers using the state-of-the-art ultrasound research platform (Verasonics Vantage 64 Low Frequency Edition) across a 1.5-meter long granite simulated fault.

Before stick-slip events occurred by increasing shear stress at loading rate of 1 um/s , the normal stress was kept 500KPa constant for 60 minutes. The ultrasonic coda waves were recorded throughout the entire process of stress accumulation along the fault.

Coda wave interferometry (CWI) and Coda wave decorrelation (CWD) are performed to detect relative velocity changes and microstructural changes along the fault by measuring phase shifts and loss of coherence of received coda waves respectively.

We observe a ~0.4e-3 velocity increase and ~0.5% coherence loss within logarithm of stationary contact time during 1-hour normal stress holding time. A significant 1.4e-3 increase in relative velocity changes and 8% coherence loss during shear stress increasing test followed by 0.5e4 decease in relative velocity changes and 2% decrease in coherence loss respectively caused by ~200kPa stress drop of the emerging stick-slip event. We also observe that the such changes are localized at upper center of the fault by comparing the changes extracted at different transducers along the fault.

The results suggest that ultrasonic coda waves are a promising means to monitor weak but localized stress-induced changes of laboratory fault by detecting and characterization velocity and micro-structural changes. Considering such advantages, further works to temporal critical observations, such as nucleation process of laboratory earthquake, are conceivable from a practical and instrumental point of view.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Keywords: laboratory earthquake , stick slip , coda waves, stress-induced changes

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Longer duration of meta-instability stage of laboratory earthquakes on a 1.5m granite fault

*yaqiong Ren[1]

1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration

Laboratory earthquakes are a series of stick slip events occurred on an old or newly formed fracture in laboratory. It is widely used to study the properties and mechanisms of earthquake nucleation, dynamic rupture and post-seismic process since its similarities with nature earthquakes. Meta-instability stage is the later stage of the nucleation process. It holds that when the stress release accelerates and synergizes, the deformation enters an irreversible stage to instability. Thus studying its evolutionary characteristics is more conducive to identifying the arrival of earthquakes in advance.

We perform a series stick slip experiments on a 1.5m granite fault. Using a meter-scale rock as experimental sample can indirectly improve the spatial resolution of observation. More importantly, the scale effect of earthquake preparation process can be studied by comparing the results of centimeter-scale and meter-scale samples, which is helpful to the field application of experimental results.

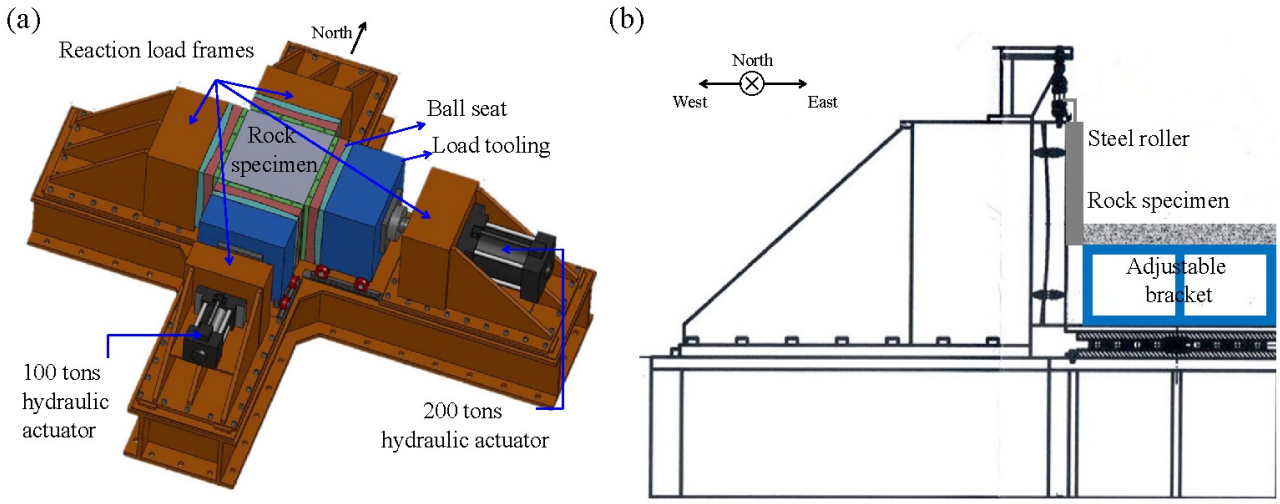
The experiment was carried out on a large horizontal two-direction servo-control press at the Institute of Geophysics, China Earthquake Administration. The maximum loading capacity of the press in two directions is 100 tons and 200 tons respectively. The local variations of stress and displacement along the fault as well as the variation of the whole sample were recorded during the experiment. The stiffness of the meter-scale sample and press system is 0.003 MPa/um, which is one order of magnitude smaller than that of the centimeter-scale sample and press system in the Institute of Geology, China Earthquake Administration. This enables us to obtain stick-slip events with small stress drop, large displacement and audible energy release at lower confining pressure.

For a single stick-slip event, the beginning of meta-instability stage and quasi-dynamic stage (the later stage of meta-instability stage) can be identified based on the relative displacement and strain observations along the fault. The meta-instability begins in the middle of the fault and extends toward both ends as the instability approaches. During the meta-instability stage, the variation rate of different parts of the fault varies greatly, and tends to synergize with the approach of instability.

The duration of meta-instability is longer under lower loading rate, and the change of normal stress has little effect on the duration of meta-instability under lower normal stress. The duration of meta-instability increases with the increase of fault scale, showing obvious scale effect. The results suggest that meta-instability on natural faults in the field may last for several years, and could be monitored. The non-uniformity of faults with the increase of fault scale may be an important mechanism for the scale effect of the duration of meta-instability.

Keywords: stick slip, earthquake nucleation, meta-instability stage, scale effect, meter-scale rock

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 




©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# シュードタキライトから見積もる地震時の摩擦熱と壁岩破壊量
# Estimation of the frictional heat and the amount of wall rock incorporation by thermal fracturing during an earthquake: An example from the pseudotachylyte in Jurassic accretionary complex

*長手 彩夏[1]、氏家 恒太郎[1]
*Ayaka Nagate[1], Kohtaro Ujiie[1]

1. 筑波大学
1. University of Tsukuba

Estimation of frictional heat is crucial to evaluate dynamic shear strength and fault behavior during an earthquake. Pseudotachylyte produced by solidification of frictional melt is an unequivocal geological evidence of seismic slip on faults. Here, we estimated frictional heat and amount of wall rock incorporation into coseismic slipping zone during an earthquake, based on microstructural observation and numerical analysis of the pseudotachylyte in the Jurassic accretionary complex. The pseudotachylyte-bearing thrust develops as an out-of-sequence thrust in the coherent chert-clastic sequence, which bounds middle Triassic chert above from early Jurassic siliceous mudstone below. The pseudotachylyte is ~2 mm-thick and sharply separates fractured grey chert above from cataclasite below. The pelagic black carbonaceous mudstone layer is distributed at the stratigraphic equivalent interval of the pseudotachylyte.

The microstructures of the pseudotachylyte are characterized by fault and injection veins, fragments of grey chert and quartz in the dark matrix of illite composition, and irregularly and embayed pseudotachylyte boundaries. The gray chert adjacent to the pseudotachylyte and fragments in the pseudotachylyte consisted of grey chert are intensely cracked, showing jigsaw puzzle-like structure. These microstructural features suggest that thermal erosion, thermal fracturing, and preferential melting of illite occurred during earthquake faulting. Frictional heat, which was estimated from temperature rise, volume fraction of fragments, and pseudotachylyte thickness, is ~7.1 MJ $m^{-2}$.

The comparison of volume fraction of fragments in the matrix between the pseudotachylyte and the black carbonaceous mudstone layer suggests that half amount of fragments in the pseudotachylyte were derived from wall rocks. The numerical modeling considering temperature rise, heating duration, and thermal properties of gray chert indicates that the temperatures of wall rocks a few millimeters away from the pseudotachylyte boundaries exceed the temperature of a-b transition in quartz (~573 ˚C) during earthquake faulting. This distance is consistent with spatial distribution of crack density, which shows exponentially decrease away from the pseudotachylyte boundaries. Thus, intensely cracked wall rocks are considered to represent thermal expansion of quartz grains in gray chert, which could contribute to unstable fault slip associated with decrease in stiffness of surrounding rocks.

キーワード：摩擦熱、シュードタキライト、ジュラ紀付加体
Keywords: Frictional heat, Pseudotachylyte, Jurassic accretionary complex

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Porosity variation of fault rocks accompanied the Median Tectonic Line in Shikoku, southwestern Japan

*池田 倫治[1]、辻 健[2]、辻 智大[1]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3]
*Michiharu Ikeda[1], Takeshi Tsuji[2], Tomohiro Tsuji[1], Kozo Onishi[3], Naoki Nishizaka[3]

1. 株式会社四国総合研究所、2. 九州大学、3. 四国電力株式会社
1. Shikoku Research Institute Incorporated, 2. Kyushu University, 3. Shikoku Electric Power Company, Incorporated

Petrophysical properties of fault rocks are important information to understand evolution processes of fault rocks. Among their properties, hydraulic properties of fault rocks are closely related to fault dynamics and potential of reservoirs of fluid or gas. In this research, we focused on distribution of porosities through fault rocks of the Median Tectonic Line in Shikoku.

The Median Tecotnic Line (MTL) is the longest geological terrane boundary fault. The northern and southern parts from the MTL are Ryoke Belt composed of low P/T metamorphic rocks, granitic rocks and sedimentary rocks and Sanbagawa metamorphic rocks consisted of high P/T metamorphic rocks, respectively. We drilled a bore hole to obtain a geological core sample penetrating the MTL. The total core length is 250 m-long. The fault plane of the MTL is within 37.45 m-depth. The hanging wall and foot wall zones are Izumi Group in Ryoke Belt and Sanbagawa metamorphic rocks, respectively.

The fault rocks in Izumi Group are composed of three zones, fault breccia zone (ca.4– ca.12.5 m-depth), transition zone (ca.12.5–ca.31.6 m-depth) and fault gouge zone (ca.31.6–ca.37.2 m-depth), based on geological observation. On the other hand, the fault rocks of the Sanbagawa metamorphic rocks are cataclasite just below the MTL fault plane (37.45–ca.47 m-depth) and intact rocks in the deeper parts of the core (ca.47–250.0 m-depth).

We measured 49 samples (24 samples in Izumi Group and 20 samples in Sanbagawa metramorphic rocks) from the core. In addition to them, 5 samples from outcrops of Izumi Group were measured to get porosities of intact rocks of Izumi Group, because all parts of Izumi Group in the core are damaged.

The porosities of the hanging wall (Izumi Group) range between 4.54% and 20.35%, whereas those of the foot wall (Sanbagawa metamorphic rocks) are lower (2.06%–11.4%) than those of the hanging wall. Additionally, the porosities of the outcrop samples of Izumi Group show quite low (0.97%–1.75%), corresponding to those of intact rocks of Izumi Group, whereas those of the intact rocks of Sanbagwa metamorphic rocks are estimated to be ca.2%–ca.3%. These porosities are measured for samples in the deep zone (ca.75–ca.200 m-depth) of the core, which are quite far from the fault plane. The porosities of the three zones of fault rocks in the hanging wall are 5.19%–15.27% for the fault breccia zone, 4.54–15.30% for the transition zone and 11.02–20.35% for the gouge zone. It should be noted that the porosities are corrected on the basis of CT values. As the fault rocks of Izumi Group are composed of matrix and clasts, we measured the porosities of both matrix and clasts (or blocks) for each sample. Then, we calculated the correction porosities based on the ratio of matrix and clasts of CT values.
The porosities in the hanging wall (Izumi Group) widely vary depending on characteristics of fault damage, however those gradually increase toward the fault plane. In addition, the porosities are quite higher than those of intact rocks. On the other hand, the high porosity zone in the foot wall (Sanbagawa metamorphic rocks) is limited in a narrow zone (37.45–ca.50 m-depth). These facts suggest that the hanging wall (Izumi Group) are strongly damaged compared to the foot wall (Sanbagawa metamorphic rocks). This is an

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

intriguing characteristics for understanding petrophysical properties of fault rocks.

キーワード：中央構造線、空隙率、断層岩
Keywords: Median Tectonic Line, porosity, fault rocks

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Characteristics of inactive section of the Median Tectonic Line from drillcore samples in Shikoku, southwestern Japan

*内田 嗣人[1]、池田 倫治[1]、辻 健[2]、大西 耕造[3]、西坂 直樹[3]
*Hideto Uchida[1], Michiharu Ikeda[1], Takeshi Tsuji[2], Kozo Onishi[3], Naoki Nishizaka[3]

1. 株式会社四国総合研究所土木技術部、2. 九州大学工学研究院、3. 四国電力株式会社
1. Department of Civil Engineering, Shikoku Research Institute incorporated, 2. Department of Earth Resources Engineering, Kyusyu University, 3. Shikoku Electronic Power

The Median Tectonic Line (MTL) is a geological boundary fault that divides southwestern Japan into Inner and Outer zones. The MTL is generally considered to be a long-lived fault system from the middle Cretaceous, although the details of the movement history are complex. On the other hand, it has been revealed from geomorphological and paleo-seismological surveys that the MTL from Shikoku to western Kii Peninsula has caused right-lateral slip during Quaternary. Therefore, the part of the MTL is active, and called as the Median Tectonic Line active fault system (MTLAFS) (e.g., Ikeda et al.,2017). To estimate present seismic condition (or environment) of the MTLAFS, we should understand details of its paleo-activities. However, outcrops widely exposed for geological survey about paleo-activities inactive MTL are limited. In this study, we obtained a geological core sample (125 m-long) penetrating the MTL and conducted downhole logging in Saijyo city, Ehime prefecture.
We focused on three points as follows. Firstly, we observed and described the core samples in detail. Secondly, we obtained structural data from the geological core and a borehole image data in order to predict paleo-stress conditions. Finally, we estimated physical properties around a fracture zone of the MTL based on the geological and geophysical data.

[Description of fault rocks]
The fault plane of the MTL is at about 109.45 m-depth in the borehole. The hanging wall and footwall of the fault system are Izumi Group (mainly alternating beds of mud and sand) and Sanbagawa metamorphic rocks (mainly pelitic schist), respectively. Orientation of the fault plane of the MTL is NE-SW strike with moderate-angle northwest dipping in our study area, and its fault zone is approximately 4m-width. The fault zone is composed of fault gouge, fault breccia and cataclasite. The altered dikes that is Ishizuchi volcanic rocks erupted in c.a. 15 Ma distribute in the fault zone. The MTL in this region reactivated after 15 Ma, because the altered dikes are fragmentated in the fault zone.

[Structural analysis]
Orientations of bedding planes of Izumi Group and schistosity planes of Sanbagawa metamorphic rocks are generally N–S strike with low-angle east dipping and ENE–WSW strike with low-angle north dipping. The dikes intrude into the fault zone in orientation of NE–SW strike with moderate-angle northwest dipping. Orientations of fractures concentrate in N–S strike with east dipping and E–W strike with north dipping based on the borehole camera data.
Moreover, we conducted paleo-stress analysis based on fault orientations and slickenlines and slickensteps on the fault surfaces. We adopted Hough transform inverse method (Sato, 2006) to estimate paleo-stress conditions of the MTL. As the result, a stress condition around the MTL is dominantly normal-faulting stress-regime, however strike-slip and reverse-faulting stress-regimes are also recognized.

[Physical properties]
There is a remarkable trend of the elastic wave velocity data around the fracture zone. P-wave velocity *Vp*

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

in fracture zone (95–109.5 m-depth) drastically decreases as compared with host rock in the upper zone due to intensive crack and lower elastic moduli. On the other hand, S-wave velocity *Vs* does not change in the fracture zone such as the trend of *Vp*.

The paleo-stress condition data are useful information for inactiveness of the MTL. And the physical properties are also crucial to understand the physical conditions what the MTL in this region have experienced. Therefore, the information derived in this study could contribute to understand fault evolution processes and activities of the MTL.

キーワード：中央構造線、断層岩、古応力場、物性
Keywords: Median Tectonic Line, fault rocks, paleostress field, physical property

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 未固結断層岩のクラストの表面及び内部組織とその重要性
# Surface and internal textures of clasts in incohesive fault rocks and their significance

*東郷 徹宏[1]、嶋本 利彦[2]、澤井 みち代[3]
*Tetsuhiro Togo[1], Toshihiko Shimamoto[2], Michiyo Sawai[3]

1. THE EARTH、2. 中国地震局地質研究所、3. 千葉大学
1. THE EARTH, 2. Institute of Geology, China Earthquake Administration, 3. Chiba Univ.

断層岩は個々の粒が肉眼で識別できるクラスト（clast）と、識別できないマトリックスの量比から分類されることが多い（例えばSibson, 1977, J. Geol. Soc. London）．クラストの研究は，少なくとも以下の3点において重要である．第1に，クラストは断層帯が形成されたときに母岩または古い固結断層岩の破壊によって形成されるので，後者の場合にはクラストを調べることによってより深部の断層岩の物質と情報が得られる可能性がある．第2に，クラストは断層帯内部における一連のプロセスを経験しているので，クラストの解析から断層帯内部の物理的・化学的変化の一部を復元できる可能性がある．第3に，クラストの表面及び内部構造をボーリング掘削時に回収されるカッティングスの組織と比べることによって，カッティングスから断層を見つけ出すことが可能かもしれない．全コアを回収するボーリングは非常に高コストなので，カッティングスから断層を発見できれば多くの実用的な応用が期待できる．

クラストの表面組織について，金折らは日本国内の主要断層（多くは活断層）のガウジから石英質クラストを回収して詳しい走査電子顕微鏡（SEM）観察をおこなった（Kanaori et al., 1980, Eng. Geol.; など）．彼らは，クラストの表面には，表面物質が水に溶解することによって新鮮な破壊面とは全く異なる多彩で凹凸に富む組織が発達することを示し，それらの組織はそれまでに多数報告されていた堆積物中の石英砕屑粒の表面組織に似ていることを指摘した．彼らはまた，クラストの表面組織を8タイプ・4グループに分類して，表面組織が時間とともにどのように変化するかを提唱した．金折らの研究の目的は，クラストの表面組織から断層の活動時期をおおまかに見積もることであったが，おそらく断層の活動年代の推定が容易ではなかったために，彼らの先駆的研究は体系的に発展しなかった．

本研究は上記第3の目標から触発されて始まったが，金折らの分類を単純に踏襲するのではなく，より広い視点から断層帯中のクラストを見直してみたいと考えている．調査を進めているのは，有馬・高槻構造線，野島断層，韓半島南東部のYangsan断層とYeongdeok断層の花崗岩質断層帯である．断層ガウジ中の石英質クラストのみならず，断層帯全体の全てのクラストを観察の対象として研究を進めている．発表者らも，金折らのミカン皮状組織，魚鱗状組織などに類似した組織を多くのクラストで認めたが，彼らの4グループ全ての組織を確認することはまだできていない．興味深いのは，Yeongdeok断層ガウジ中の破壊したクラストでその内部構造が明瞭に観察できたことである．そのクラストではおそらく長石の破片の周囲に厚く層状鉱物を多く含む細粒で多孔質な断層岩がマントル状に形成されており，クラストの表面構造は単純な表面物質の溶解のみによって形成されたものではないことを示している．このようなマントル状の組織は，クラストとマトリックス物質間の反応によって形成された可能性があり，今後詳しく調べていく（おそらく上記第2の目的に有用である）．有馬・高槻構造線沿いの幅広い花崗岩質断層帯には衝撃粉砕岩（pulverized rock）が分布することが提唱されている（Mitchell et al., 2011, EPSL）．この岩石では，著しい剪断変形を受けた形跡がないにも関わらず，結晶粒内部は激しく粉砕されており，クラストとマトリックスの区別は必ずしも明瞭でない場合が多い．SEM観察の結果，そのような結晶内部の破断面沿いにも溶解を示す凹凸に富む組織が発達しており，類似の組織はクラスト表面のみならず，岩石内部の破断面沿いにも発達していることがわかる．このような破断面の表面組織は，岩石内部に古くから存在した破断面を認定する上で有用である．これまでの予察的観察によって得られた組織は，ボーリングのカッティングスから断層を見つけるための有用な指標になり得ると考え

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

ている.

キーワード：断層ガウジ、断層角礫、カッティングス
Keywords: fault gouge, fault breccia, drill cuttings

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Fault Displacement Assessment of Surface-rupturing Earthquakes for Nuclear Installations and the use of Physics-based Rupture Models

*Luis Angel Dalguer[1], Yoshimitsu Fukushima[2]

1. 3Q-Lab GmbH, 2. International Atomic Energy Agency

Surface-rupturing faulting is usually expected from large earthquakes, but this phenomenon has been also observed sometimes in moderate earthquakes. The coseismic fault displacement (defined as the surface rupture offset or slip on the free-surface) associated to earthquakes can seriously compromise the safety of critical infra-structures located near faults, such as bridges, dams, railroads, pipelines, nuclear installations (NI) and nuclear waste repositories. The draft IAEA specific safety requirements (Site Evaluation for Nuclear Installations No.SSR-1, DS484) requires that the capability for surface faulting shall be assessed for the site of a NI. But current practices of fault displacement hazard assessments (FDHA) are in general very challenging and quite limited because recorded fault displacement data to develop empirical models are very sparse, as such, at present very few empirical models with large uncertainty are available for this purpose. IAEA has already recognised this issue and currently is making the effort to implement the physics-based rupture modelling in practice for FDHA. In general for seismic hazard assessments (SHA), the empirical and physics-based rupture models complement each other and all available efforts are encouraged for the nuclear safety. These efforts have been discussed through different international working group activities, being the most outstanding two international workshops on **Best** Practices in **P**hysics-based Fault Rupture Models for **S**eismic **H**azard **A**ssessment of **N**uclear **I**nstallations (BestPSHANI) in 2015 and 2018. Here we discuss the feasibility of the use of Physics-based rupture models for FDHA and presenting couple of examples of fault displacement prediction of past earthquakes.

Keywords: Fault displacement, Fault displacement hazard assessment, Dynamic rupture modeling, Earthquake physics

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 地震ハザード評価のための動力学的震源モデル：布田川断層帯・日奈久断層帯への応用（その2）
# Dynamic rupture simulation for seismic hazard assessment: Application to the Futagawa and Hinagu fault zones (Part 2)

*加瀬 祐子[1]
*Yuko Kase[1]

1. 産業技術総合研究所　活断層・火山研究部門
1. Geological Survey of Japan, AIST

確率論的地震ハザード評価をおこなう上では，想定する地震の規模を推定するための破壊領域及びその発生頻度を評価する必要がある．その基礎情報を提供するために，動力学的破壊シミュレーションを利用することを提案する．加瀬ほか（2017）では，布田川断層帯と日奈久断層帯に手法を適用し，2016年熊本地震以前の情報を用いて作成した動力学的震源モデルによるシミュレーション結果を2016年熊本地震の破壊過程と比較した結果，高野–白旗区間北東端から始まる破壊は，高野–白旗区間と布田川区間に広がり，2016年熊本地震と同様の破壊過程を示した．本稿では，破壊開始点やその他の震源モデルのパラメータのばらつきが，シミュレーション結果に与える影響を調べた．

断層形状及び広域応力場は，加瀬ほか（2017）と同様に設定した．断層形状は，地震調査研究推進本部（2013）の活断層位置を基に，布田川断層帯の布田川区間と，日奈久断層帯高野–白旗区間及び日奈久区間が連続しているとし，長さ74.6 km，幅15 kmの鉛直なモデルを設定した．また，広域応力場は，Matsumoto *et al.*（2015）の応力インバージョン結果を基に，最小水平圧縮応力の向きと応力比を区間ごとに設定し，応力場推定の誤差も考慮して，27通りを設定した．また，主応力は深さに比例，中間主応力の向きは鉛直方向で，大きさはかぶり圧に等しいとした．

上記のモデルに対し，布田川区間南西端と高野–白旗区間南西端の2通りの破壊開始点を設定し，すべりに依存する摩擦構成則を仮定して，差分法（Kase and Day，2006）により動的破壊過程を計算した．最小水平圧縮応力及び破壊の始まる区間の応力降下量の深さに対する比例係数を変えてシミュレーションをおこない，1回の活動による各区間のすべり量を概ね再現できる比例係数を，試行錯誤的に求めた．

布田川断層帯布田川区間南西端から破壊が始まる場合に，破壊が及んだ区間すべてで右横ずれ量が観測値と調和的となったのは，布田川区間のみ破壊した場合だけであった．一方，日奈久断層帯高野–白旗区間南西端から破壊が始まる場合は，高野–白旗区間と布田川区間が連動した場合だけであった．これらの結果は，両区間の北東端から破壊を始めた加瀬ほか（2017）と調和的であり，布田川断層帯布田川区間と日奈久断層帯高野–白旗区間においては，破壊がどちらの端から始まるかは，連動の傾向に影響を与えていない．一方，産業技術総合研究所（2018）では，日奈久断層帯日奈久区間から破壊が始まる場合においては，北東端から破壊が始まる場合よりも，南西端から破壊が始まる場合の方が，高野–白旗区間へ破壊が広がりやすいという結果が得られている．この違いは，区間の長さによって説明できる．布田川区間の長さは18.6 km，高野–白旗区間は16.0 kmと比較的短いのに対し，日奈久区間は40.0 kmと長い．そのため，破壊の伝播の効果で連動しやすい南西端からの破壊と，そうではない北東端からの破壊の差が明瞭になっていると考えられる．

講演では，臨界変位量及び強度と応力降下量の比の値のばらつきによる影響についても述べる．

謝辞：本研究は，原子力規制庁「平成30年度原子力施設等防災対策等委託費（確率論的地震ハザード解析に係る不確かさ要因の検討）事業」により実施されました．

キーワード：動力学的震源モデル、地震ハザード評価、布田川断層帯・日奈久断層帯
Keywords: dynamic rupture model, seismic hazard assessment, Futagawa and Hinagu fault zone

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 自然地震のすべりー長さスケーリング則と室内実験との距離の定量化
# Quantification of gaps between slip-length scaling law of earthquakes and stick-slip experiments.

*大庭 伸一[1]、三井 雄太[2]
*Shinichi Oba[1], Yuta Mitsui[2]

1. 静岡大学総合科学技術研究科、2. 静岡大学理学部
1. Graduate School of Science and Tecnology, Shizuoka University, 2. Faculty of Science, Shizuoka University

Scaling relations of natural earthquake (over km scales) have been well studied, but their extension to smaller scales is difficult because of limited observation resolution. This study focuses on experimental stick-slip data and compares them with a slip-length scaling law of natural earthquakes. There seem gaps between the extension of the earthquake scaling and the stick-slip experiments. Here we perform correlation and multivariate analyses to investigate effects of apparatus type, mass and stiffness on the gaps. We find that a characteristic time composed of the mass and the stiffness shows a strong correlation with the gaps against the natural scaling in case of direct shear apparatus.

キーワード：スティックスリップ、地震すべり量-断層長さのスケーリング則
Keywords: stick-slip, earthquake slip-length scaling

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Effect of Wear Process on Earthquake Recurrence

Effect of Wear Process on Earthquake Recurrence

*Wang Jeen-Hwa[1]
*Jeen-Hwa Wang[1]

1. Academia Sinica
1. Academia Sinica

Earthquake recurrence is studied from the temporal variation in slip through numerical simulations based on the normalized form of equation of motion of a one-body spring-slider model with thermal-pressurized slip-weakening friction and viscosity. The wear process, whose effect is included in the friction law, is also taken into account in this study. The main parameters are the normalized characteristic displacement, $U_c$, of the friction law and the normalized damping coefficient (to represent viscosity), $\eta$. Define $T_R$, D, and $t_D$ to be the recurrence time of events, the final slip of an event, and the duration time of an event, respectively. Simulation results show that $T_R$ increases when $U_c$ decreases or $\eta$ increases; D and $t_D$ decrease with increasing $\eta$; and $t_D$ increases with $U_c$. The time- and slip-predictable model can describe the temporal variation in cumulative slip. When the wear process is considered, the thickness of slip zone, h which depends on the cumulated slip, $S(t)=\Sigma D(t)$, i.e., $h(t)=CS(t)$ (C=a dimensionless increasing rate of h with S) is an important parameter influencing $T_R$ and D. $U_c$ is a function of h and thus depends on cumulated slip, $\Sigma U$, with an increasing rate of C. In the computational time period, the wear process influences the recurrence of events and such an effect increases with C when $C>0.0001$. When viscosity is present, the effect due to wear process becomes stronger. Both $T_R$ and D decrease when the fault becomes more mature, thus suggesting that it is more difficult to produce large earthquakes along a fault when it becomes more mature. Neither the time-predictable model nor the slip-predictable one can describe the temporal variation in cumulative slip of earthquakes under the wear process with large C.

キーワード：Earthquake、Recurrence、Slip、Friction、Viscosity、Wear
Keywords: Earthquake, Recurrence, Slip, Friction, Viscosity, Wear

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# On the Mechanical Relation between Individual Interaction and Collective Behavior of Multiple Fault Sets Subjected to Quasi-Static Loading

On the Mechanical Relation between Individual Interaction and Collective Behavior of Multiple Fault Sets Subjected to Quasi-Static Loading

*上西 幸司[1,2]、福田 優貴[2]、亀 伸樹[3]
*Koji Uenishi[1,2], Yuki Fukuda[2], Nobuki Kame[3]

1. 東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻、2. 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻、3. 東京大学地震研究所
1. Department of Advanced Energy, The University of Tokyo, 2. Department of Aeronautics and Astronautics, The University of Tokyo, 3. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

In order to deepen our essential understanding of the connection between the local and the global or collective mechanical behavior of sets of geological faults in the solid earth, we have been performing laboratory rupture experiments using two-dimensional rectangular, linear elastic solid specimens with preset parallel cracks that model multiple fault planes under quasi-static tensile (mode-I) or tensile with in-plane shearing (mixed mode) loading conditions (Uenishi et al., SSJ Fall Meeting, 2017, 2018). Our special attention has been paid to the identification of when and how ruptures develop on each individual fault plane and interact with one another, and how the interaction influences the global nature of the solid. For that purpose, we have observed the local evolution of the isochromatic fringe patterns, i.e. the contours of the maximum in-plane shear stress, around the modeled fault planes in the photoelastic polycarbonate specimens with a high-speed digital video camera. At the same time, we have measured the global stress-strain relation utilizing a tensile testing machine that externally exerts a prescribed constant displacement rate to the specimen, and have compared its time history with the local observations of the isochromatic fringe patterns. Although the externally applied displacement or strain rate has been still in a relatively low, quasi-static range, the comparison may imply the effect of the local rupture development on the global properties of the solid specimen, and we have found that local rupture may not always propagate unidirectionally in the prepared specimens and ruptures may run into each other even on a single fault plane under very simple external loading conditions. We are now trying to investigate the mechanical characteristics of multiple fault sets that are subjected to more dynamic, impact loads and identify difference in the local-global relation, if any, between the dynamically-controlled and quasi-statically governed ruptures.

キーワード：fault rupture、fault stability、strain rate
Keywords: fault rupture, fault stability, strain rate

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 過渡的で強制的な伸張水平地殻歪の領域における非弾性変形
# Inelastic deformation in a region of the transient and forced extensional horizontal crustal strain

*江口 孝雄、岩瀬 康行[1]
*Takao Eguchi, Yasuyuki Iwase[1]

1. 防衛大学校
1. National Defense Academy, Japan

2011年東北地方太平洋沖地震（*M*～9）による震源域でのリバウンド変動の直後の日本列島では、強制的な水平伸張変動が確認された。例えば、上盤リソスフェアの宮城県から山形県では概略東西方向の伸張であった。

本研究では、このような強制的な東西伸張変動の直後での島弧環境における「過渡的非弾性変形過程」を検討する。

問題を簡略化するため、島弧側での非弾性変形の主たる原因は２軸方向でなく特定の１方向の過渡的な伸長によると考えよう。

島弧は必ずしも等方均質弾性体ではないので、島弧内部での「既存の物質ブロックの境界（弾性定数コントラスト）」、「第四紀火山近傍の地熱地帯」、または「既存の活構造（活断層など）」の幾何学的形態に依存する非弾性変形様式が考えられよう。

上記の一方向伸張が付加された後の環境における非弾性変形体としての島弧での応力-歪の関係を論じよう。

その後の環境下での応力変化に対する応答は、少なくとも過渡的には時空間依存性のある非線形現象となり、線形弾性体の場合と異なるであろう。

特に、その後の応力変化が僅かであっても線形弾性体の場合よりも大きな歪がもたらされよう。

本論では、チキソトロピーなどのレオロジーを導入しつつ、幾何学的ブロック変形などを伴う島弧での非弾性変形に関する幾つかの考察モデルを提示する。

キーワード：非弾性変形、海溝型巨大地震直後の島弧系、ブロック変形、チキソトロピー
Keywords: inelastic deformation, island-arc system just after a greater interplate earthquake, block deformation, thixotropy

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 表現定理とグリーン関数 (3) ー 全無限グリーン関数の２階微分を用いた点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現 ー
# Representation Theorem and Green's Function (3) -- Strain, Stress, and Density Perturbation Fields due to a Point Source Using 2nd Derivative of Green's Function in an Unbounded Homogeneous Isotropic Elastic Medium --

*木村 将也[1]、亀 伸樹[1]
*Masaya Kimura[1], Nobuki Kame[1]

1. 東京大学地震研究所
1. Earthquake Research Institute,The University of Tokyo

地震発生に伴う物理現象の数理モデルにおいて，弾性変形場の歪み・応力・密度摂動との相互作用を考える問題においては，グリーン関数の空間2階微分の評価がしばしば必要となる．断層面上で応力と滑り速度の間に成り立つ境界積分方程式を用いた動的破壊問題の定式化はその典型である．近年，地震の即時検知の高度化の可能性として，地震発生に伴い光速で伝わる重力場・電磁場摂動の検出が提案されている．弾性波速度で広がっていく応力や密度の摂動は，ピエゾ電気・磁気や重力変化を引き起こす．このようなモデルにおいてもグリーン関数の2階微分の評価が必要になる．これらの研究では，震源をダブルカップル点震源とし，関連する物理量（電磁場摂動研究の場合は応力，重力場摂動研究の場合は密度摂動）に対して全無限グリーン関数（全無限均質等方弾性媒質中における動弾性グリーン関数の解析解）の空間2階微分を含む表現を導出している．全無限グリーン関数の空間2階微分の導出は，特段の難しさはないものの高次テンソルのため大変煩雑である．任意の力源に対して関連する物理量が全て統一的に記された公式を利用できれば，各自の研究テーマに専念でき便利であろう．

そこで本研究では，全無限グリーン関数の空間2階微分，およびこれを用いたモーメントテンソルで記述される点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現を導き公式として記す．この過程で得られるシングルフォース震源に対する表現式も同時に記す．次に，近年注目を集める地震の即時重力変化検出の研究について紹介し，弾性体中のダブルカップル震源が引き起こす重力摂動の理論モデル波形が，本稿の公式により簡便に，任意の震源に拡張されることを示す．また，公式の応用例として，地震により4象限型に動的に再分配される質量をマグニチュードの関数として導き概算を示す (Table 1).

Table 1. The relationship between $M_w$ of an earthquake and dynamically induced quadratic earthquake mass redistribution.

Reference: 木村将也・亀伸樹, 2018, 表現定理とグリーン関数 (3) ー 全無限グリーン関数の２階微分を用いた点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現 ー, 地震2, 71, 153-160, doi:10.4294/zisin.2017-20

キーワード：グリーン関数
Keywords: Green's Function

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

| $M_w$ | $\delta m^{DQM}(M_w) = 10^{1.5M_w+1}[\mathrm{kg}]$ |
|---|---|
| 1.0 | $10^{2.5} \sim 3 \times 10^2$ |
| 2.0 | $10^{4.0} \sim 1 \times 10^4$ |
| 3.0 | $10^{5.5} \sim 3 \times 10^5$ |
| 4.0 | $10^{7.0} \sim 1 \times 10^7$ |
| 5.0 | $10^{8.5} \sim 3 \times 10^8$ |
| 6.0 | $10^{10.0} \sim 1 \times 10^{10}$ |
| 7.0 | $10^{11.5} \sim 3 \times 10^{11}$ |
| 8.0 | $10^{13.0} \sim 1 \times 10^{13}$ |
| 9.0 | $10^{14.5} \sim 3 \times 10^{14}$ |

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 断層面上における高周波励起現象の解釈を可能にするすべり速度・破壊伝播速度変化の可視化手法

# Development of a method of visualization of abrupt changes in slip-rate and rupture velocity toward better understanding of high-frequency radiation on a fault.

*鮎貝 崇広[1]、八木 勇治[2]、奥脇 亮[3]、茅野 奎太[3]、清水 宏亮[3]
*Takahiro ayukai[1], Yuji Yagi[2], Ryo Okuwaki[3], Keita Kayano[3], Kousuke Shimizu[3]

1. 筑波大学生命環境学群、2. 筑波大学大学院 生命環境系、3. 筑波大学大学院生命環境科学研究科
1. School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, 3. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

地震破壊時に断層にて放射される地震波の高周波成分は，断層面上におけるすべり速度と破壊伝播速度の急変によって励起されることが理論的研究 (例えばSpudich and Frazer, 1984, BSSA) によって予想されてきた．波形インバージョン法は，観測波形を説明しうる震源過程モデルを構築することで，断層面上におけるすべり速度の時空間分布を推定する手法である．波形インバージョン法では，平面断層を仮定した上でそれを格子状に分割し，その分割領域ごとのすべり速度の時間変化が重み付けされた基底関数の重ね合わせによって計算される．一方，Back Projection (BP) 法（Ishii et al., 2005, Nature）やHybrid BP (HBP) 法（Yagi et al., 2012, EPSL）は，観測波形を用いて地震波の放射源を推定する手法である．BP/HBP法は，波形インバージョン法では取り扱うことが難しい地震波の高周波成分に適用することができ，高周波励起源の推定に用いられてきた．これまで，BP/HBP法と波形インバージョン法を用いた統合的な解析によって高周波励起現象と破壊過程の関係が議論されてきたが，BP/HBP法によって求まる高周波イメージとすべり速度や破壊伝播速度との物理的な対応は必ずしも確立されておらず，断層面上での高周波励起現象と破壊過程の議論は，間接的かつ定性的な性質に留まっていた．

本研究は，波形インバージョン法によって得られるすべり速度の時空間分布を用いて，断層面上におけるすべり速度の変化と破壊伝播速度の変化を直接計算する手法を開発し，高周波励起に関係する破壊過程を定量的に検証することを目的とする．本手法において，断層面上のある領域におけるすべり速度時間関数のうち最大となる時のすべり速度をその領域での代表的なすべり速度，また，すべり速度時間関数が最大となるときの時刻を代表的な破壊の時刻であるとし，代表的なすべり速度の分布に対して空間勾配を計算することで，すべり速度の変化を求めた．また，代表的な破壊の時刻と破壊が一定の速度で伝播した時の時刻との差の空間勾配を計算することで，破壊伝播速度の変化を求めた．すべり速度・破壊伝播速度変化の抽出には，Yagi and Fukahata (2011, GJI) の手法 (以下，YF11とする) で求めた震源過程モデルを用いた．YF11は，グリーン関数の不確定性を観測誤差の共分散成分として考慮することで，従来手法に比べてすべり速度時間関数に対する基底関数の数を増加させることを可能とし，推定されるすべり速度時間関数の高い分解能を実現したことで，観測波形の高周波成分をより説明できるすべり速度時間関数を得ることに成功している．したがって，YF11により求められたモデルを用いることで，高周波励起に関与するすべり速度・破壊伝播速度の変化を抽出できることが期待される．

本研究で開発した手法を，2015年ネパール・ゴルカ地震 ($M_W$ 7.9) と2010年チリ・マウレ地震 ($M_W$ 8.8) に適用し，すべり速度・破壊伝播速度の急変域を求めた．すべりモデルはそれぞれ，Yagi & Okuwaki (2015, GRL)，Pulido et al. (2011, EPS) を用いた．解析の結果，両者の地震において，大すべり域のうち震源に近い方の端においてすべりが急加速し，震源から遠い方の端においてすべりが急減速している様子が推定された．また，破壊が大すべり域に差し掛かる直前と大すべり域から抜けた直後に破壊が急減速しており、すべり

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

速度の急変よりも破壊伝播速度の急変の方が早いタイミングで生じている様子も推定された．さらに，本解析結果とHBP法により求めた高周波励起源 (Yagi and Okuwaki, 2015, GRL; Okuwaki et al., 2014, Sci. Rep) の比較を行った．2つの地震について，本解析で得られた急変域の空間分布とHBP法による強い高周波励起の空間分布は調和的であった．本研究によって，高周波励起源の原因であるすべり速度と破壊伝播速度の急変が時空間的に独立して生じていることが明らかとなり，本結果は，大すべりを伴う巨大地震の破壊過程を理解する上で重要となる．

キーワード：高周波励起、波形インバージョン法、すべり速度、破壊伝播速度、2015年ネパール・ゴルカ地震、2010年チリ・マウレ地震
Keywords: High frequency, Waveform inversion, Slip rate, Rupture velocity, 2015 Gorkha, Nepal, earthquake, 2010 Maule, Chile, earthquake

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# インバージョン法を用いた震源過程解析に見られる諸問題
# Issues in earthquake-source-inversion analysis, evaluated through singular value decomposition

*茅野 奎太[1]、八木 勇治[1]、奥脇 亮[1]、清水 宏亮[1]
*Keita Kayano[1], Yuji Yagi[1], Ryo Okuwaki[1], Kousuke Shimizu[1]

1. 筑波大学
1. Tsukuba University

震源過程のインバージョン解析では，震源過程に対して先験的に得られた情報を用いることで,観測データに対する震源過程モデルの構築を安定化することができる．とくに観測データに対する先験的情報の重みの評価に赤池・ベイズ情報量規準(ABIC; Akaike, 1980) を用いることで，観測データがモデルを拘束する強さを一意に決めることができる．しかし，観測データ・先験的情報それぞれが拘束する像が，モデルでどのように発現するか把握しない限り，仮定した先験的情報とその重みの妥当性を評価することは難しい．モデルの拘束は，震源過程モデルから観測データ・先験的情報を写像するカーネルが実行するため，カーネルの構成要素を基準にモデルを眺めることで，観測データ・先験的情報が拘束する像の特性を捉えることができる．そこで本研究は, 2016 年熊本地震($M_W$7.0) の震源過程に対する線形インバージョン解析において，カーネルを特異値分解して得られた特異値・特異ベクトルによりモデルを基底展開した. さらに，観測データに対する先験的情報の重みを ABIC 評価値より強化，および弱化したときの特異値・特異ベクトルの特徴を, モデルの平滑化条件および L2 ノルム最小化条件をそれぞれ先験的情報とした場合で調べた．観測データ・先験的情報の誤差はガウス分布に従うとし，観測データに対する先験的情報の分散比を先験的情報の重みとした．観測データには，Global Seismographic Network 27 地点で記録された遠地実体波P 波速度波形の上下動成分を用いた．そして，断層破壊領域として仮定した長さ42 km，幅12 km の矩形領域に対して, 空間方向へ 2 km 間隔，時間方向へ0.3 秒間隔で与えた5 成分の基底モーメントテンソル(Kikuchi & Kanamori, 1991) の重みをモデルパラメターとした．5成分の基底モーメントテンソルをモデルの記述に用いることで，断層滑りと断層形状の時空間変化を同時に震源過程としてモデル化することができる(Shimizu et al., 2019, under review).

2016 年熊本地震では北西傾斜・北東走向の日奈久断層・布田川断層でそれぞれ，右横ずれ・正断層を伴う右横ずれの滑りが発生したことが，余震分布, 地表地震断層の露出位置・変位から示唆されている(Yoshida et al., 2016; Shirahama et al., 2016). 平滑化条件下の解析で推定されたモーメント速度テンソルの空間分布は, ABIC を用いた場合，破壊開始後5 秒で北東走向の右横ずれ滑り，破壊開始後9 秒で北東走向の正断層を伴う右横ずれ滑りを示し，余震分布・地表地震断層の特徴と整合的であった．一方, 先験的情報の重みを強めた場合では，破壊開始後5 秒において東西走向で北側隆起の垂直滑りが卓越し, 弱めた場合では，破壊開始後9 秒において逆断層滑りが見られたため, 余震分布・地表地震断層の特徴を説明できなかった. 平滑化条件下で特異値分解を行い, どのような因子がモデルを定めているか検討したところ, 先験的情報の重みを強めた場合は, グリーン関数(観測データのカーネル)の振幅特性を有する特異ベクトルが強調されたモデルが, 弱めた場合では, 先験的情報に対するカーネルが定める特異ベクトルの特性が反映されたモデルが得られていることがわかった. 観測データ・先験的情報に対するカーネルはそれぞれモデルを歪める因子を内包しており, 先験的情報の重みの強弱によりそれぞれの因子の発現の強弱が変化し, モデルが歪められる構造になっていた. L2 ノルム最小化条件下の解析で推定されたモーメント速度テンソルの空間分布は，ABIC を用いたにも関わらず破壊開始後5 秒において東西走向・北側隆起の垂直滑りが卓越していた．L2 ノルム最小化条件下では, グリーン関数から構築される特異値・特異ベクトルの特性が保持されているため，先験的情報の重みに関係なく，グリーン関数の振幅特性を有する特異ベクトルでモデルが強調されていた.

本研究から，平滑化条件下では, ABIC に基づいたインバージョン解析が, 観測データ・先験的情報が持つモ

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

デルを歪める因子の発現が顕著にならないように機能することがわかった．さらに，ノルム最小化条件を用いたインバージョン解析は，たとえABIC に基づいたとしても, グリーン関数の振幅特性がモデルが歪めるため, うまく機能しないことがわかった.

キーワード：特異値分解、先験的情報、平滑化、L2 ノルム最小化、グリーン関数、赤池・ベイズ情報量規準
Keywords: singular value decomposition, prior information, smoothing, L2 norm minimization, Green’s function, Akaike's Bayesian Information Criterion

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Source process of recent M6-class inland earthquakes in Japan

*柴田 律也[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、井出 哲[2]
*Ritsuya Shibata[1], Naofumi Aso[1], Junichi Nakajima[1], Satoshi Ide[2]

1. 東京工業大学理学院地球惑星科学系、2. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
1. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2. Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

In recent years, inland earthquakes frequently occur in Japan including the 2016 Kumamoto earthquake (Mw7.0). Among them, M6-class events are the best targets to study the mechanics of two-dimensional rupture propagation, since smaller events are more difficult to study finite slip distribution while rupture area of larger events tend to be restricted in depth. For this purpose, we investigate the source process of the 2016 Central Tottori earthquake (Mw6.2) and the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake (Mw6.6), which are characterized by strike-slip and reverse-fault types, respectively, by applying slip inversion to strong-motion seismograms.

We use KiK-net stations deployed and maintained by NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience) within 50 km from the epicenter for both earthquakes. Fault geometry is assumed to be same as Kubo et al. (2017) for the 2016 Central Tottori earthquake, while we assume the fault geometry of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake from the aftershock distribution. Fault discretization, source duration, source time discretization, and band-pass filters are optimized manually for each event.

Regarding 2016 Central Tottori earthquake, there has been discrepancies between previous studies. While Kubo et al. (2017) reported the slip of 0.3–0.6 m widely distributed over 5×8 $km^2$, Ross et al. (2018) estimated concentrated slip of >4 m in 3×3 $km^2$. Recently, Meneses-Gutierrez et al. (2019) obtained the slip of 1–2 m over 5×5 $km^2$ by analyzing GNSS (Global Navigation Satellite System) data. Our results mainly agree with Kubo et al. (2017), but larger slip is distributed more heterogeneously in our model because we do not apply smoothing. The concentration of slip near the hypocenter as reported by Ross et al. (2018) is also confirmed especially when we use finer model resolution. Therefore, the discrepancy reported in the previous studies may be due to the resolvability of slip with strong directivity in ordinary finite fault inversion, which usually requires sparse discretization and/or a smoothing constraint.

As a result of slip distribution of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake, we obtained the slip in between right-lateral strike-slip type and reverse-fault types at the beginning, which is consistent with the mechanism determined by JMA (Japan Meteorological Agency) using first-motion polarities, while total slip is predominated by the reverse-fault component, which is consistent with the CMT (centroid moment tensor) solution determined by NIED using surface wave amplitudes. The final slip is separated in the shallow part and the deep part, similar to the distribution of aftershocks.

In both earthquakes, the rupture tends to expand in the direction parallel to the slip regardless of the rake direction. The prevailing mode II rupture over mode III rupture is consistent with the expectation from rupture mechanics (e.g., Day, 1982; Madariaga et al., 1998).

キーワード：鳥取県中部地震、北海道胆振東部地震、内陸地震

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Keywords: 2016 Central Tottori earthquake, 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake, inland earthquake

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Expected slip direction on assumed fault planes of large earthquakes inferred from stress field after the 2016 Kumamoto earthquake sequence, in central Kyushu, Japan

*光岡 郁穂[1]、松本 聡[2]、志藤 あずさ[2]、清水 洋[2]、2016年熊本地震 合同地震観測グループ
*Ayaho Mitsuoka[1], Satoshi Matsumoto[2], Azusa Shito[2], Hiroshi Shimizu[2], Group for urgent joint seismic observation of the 2016 Kumamoto earthquake

1. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2. 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター
1. Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University

In order to understand generation of earthquake, knowing the force acting on a fault plane is the great interest problem for us. We should find with which direction and magnitude a fault plane slips. Shear and normal stresses on a fault plane can be estimated from the stress field around a fault. Maximum shear stress direction on a fault plane constrains the slip direction of an earthquake on the fault based on Wallace-Bott hypothesis. In this study, we estimated the maximum shear stress directions on some fault planes from the stress field at hypocentral area of the 2016 Kumamoto earthquake sequence.
The 2016 Kumamoto earthquake sequence occurred at Hinagu and Futagawa fault zones in Kumamoto prefecture, central Kyushu Island, Japan. The area was high seismicity area before the sequence. The largest foreshock with Mj 6.5 (Mj: magnitude by Japan Metrological Agency) on April 14, 2016 was located in Hingau fault zone. The mainshock (Mj 7.3) occurred on April 16, 2016. Many earthquakes occurred around these faults after the mainshock and continue until now. Some fault planes are determined from the aftershock hypocenter distribution.
Maximum shear stress direction on a fault is a projection of a traction vector that is calculated from the fault geometry and the stress field. In other word, we can consider slip direction on a fault from stress tensor and fault geometry. In the hypocentral area of the 2016 Kumamoto Earthquake sequence, evaluation of strong ground motion is important to mitigate damage of further coming earthquake. Slip direction is one of the key for the evaluation. Here, we showed expected slip direction on fault plane proposed by Iwata et al. [2019] from their geometry and the stress field estimated by Mitsuoka et al. [2019] using the seismic moment tensors.Most of the expected slip direction on the assumed faults reveal either simple strike slip or normal fault types. However the maximum shear stress directions on some faults change to have large upward component at shallow depth. The result suggests complicated slip could occur on the candidate faults in a case of large earthquake faulting.

キーワード：応力場、剪断応力、2016年熊本地震
Keywords: stress field, shear stress, 2016 Kumamoto earthquake

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 2011年東北沖地震による繰り返し地震の震源パラメータ変化
# Spaciotemporal change of source parameters of repeaters due to the 2011 Tohoku-Oki earthquake

*立岩 和也[1]、岡田 知己[1]、河野 俊夫[1]、内田 直希[1]
*Kazuya Tateiwa[1], Tomomi Okada[1], Toshio Kono[1], Naoki Uchida[1]

1. 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター
1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

東北日本の太平洋プレート沈み込み帯では多くの小繰り返し地震が発生している。これら繰り返し地震の震源特性やその時空間変化を理解することは、プレート運動に伴う載荷速度や繰り返し地震と同じ構造で発生すると考えられる大規模地震の発生メカニズムなどを理解するうえで重要な手掛かりとなる。本研究では2011年東北地方太平洋沖地震（本震）の前後（2011年の前後５年）にプレート境界で発生した繰り返し地震について、地震観測波形を用いて推定される震源パラメータの変化について調べた。なお、本研究で解析対象となる繰り返し地震は約3000系列で総数は約7000個である。本発表では岩手県釜石沖と岩手県岩泉で発生した繰り返し地震の特徴について述べる。

釜石沖では繰り返し間隔がおよそ５年でM4.9前後の地震が起きていたのだが、本震直後は繰り返し間隔が非常に短くなり、またマグニチュードも非常に大きくなった。その後は繰り返し間隔、マグニチュード共に本震前の傾向に近づいている。スペクトル比法から求めた応力降下量については、本震前は約14 MPaであったが、その後はバラつきがあるものの本震前よりも小さくなっていき、1-3 MPa程度に落ち着いていく様子が見られる。コーナー周波数から断層半径を推定しその時間変化を見ると、本震前は約1 kmであったが本震直後はおよそ５倍にまで大きくなったことが分かった。また、断層半径についても時間の経過とともに本震前のサイズに戻っていく様子が見られたが、これはすべりインバージョンによって破壊域を求めたUchida et al. (2015)の結果と一致するものである。このような本震前後の変化は本震の余効すべりの影響によると考えられる。

一方、岩泉で発生する繰り返し地震は本震前後での明瞭なマグニチュードの変化や応力降下量の変化は見られなかった。もし、この地域が釜石沖よりも本震の余効すべりの影響をあまり受けていないとすれば、釜石沖と異なり、東北沖地震の影響が小さい可能性が考えられる。一方、コーナー周波数の方位分布から破壊の指向性を推定すると、M4以上の繰り返し地震では指向性が現れないのに対して、小さな地震では指向性が現れることが分かり、これらの繰り返し地震が複雑な破壊からなることが示唆される。岩泉の繰り返し地震は複合的な破壊を起こすことがあるという先行研究（荒尾・他, 2007）もあるため、この地域では、複合的な破壊や小破壊間の相互作用も繰り返し地震の発生様式に関わることが考えられる。

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 房総スロースリップイベントのすべり分布とすべり速度ー応力の関係
# Slip distributions and relation of slip-rate and shear stress for the Boso slow slip events

*小林 琢磨[1]、佐藤 利典[2]
*Takuma Kobayashi[1], Toshinori Sato[2]

1. 千葉大学大学院融合理工学府、2. 千葉大学大学院理学研究院
1. Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, 2. Graduate School of Science, Chiba University

房総半島沖合のプレート境界では地震波を放射せずにゆっくりとすべるスロースリップイベント（SSE）が、GNSS観測が開始した1996年から2018年までに6回検出されている。本研究ではこれまでの6回のSSEを統一的な手法に基づいて解析を行い、プレート境界面の摩擦特性の理解に迫ることを目的としている。

用いたデータは国土地理院による日々の座標値（F3解）である。SSEによる変動を抽出するために線形トレンドや季節変動などを除き、なめらかなフィッティングを行って3日間ごとの変動を取り出した。次にその変動データからABICインバージョン法を用いてすべり分布を推定した。求めたすべり分布からCoulomb 3.3を用いて応力変化の計算を行った。

解析の結果、各SSEですべり量やすべり中心の場所に違いがあることがわかった。最大すべり量が1996年と2014年は7 cmほど、その他の年（2002, 2007, 2011, 2018）では14-20 cmであった。また1996年と2014年はすべりの発生から収束までほぼ同じ領域で推移したのに対し、他の4つのイベントはすべりがより浅い南方へと広がった。剪断応力変化は主なすべり領域で0.1-0.3 MPaほどであった。対数すべり速度と剪断応力変化の関係から、SSEの開始期から安定活動期、収束期の流れが見え、安定活動期の軌跡の傾きは深さとともに大きくなっていた。

断層面のすべりを考える際に速度状態依存摩擦則を用いた。定常状態の摩擦強度を表す式から、対数すべり速度と摩擦強度のグラフ上で定常状態摩擦の線の傾きは、摩擦パラメータ$a-b$　と有効法線応力$\sigma n$の積で表せる。SSEは準静的な安定すべりであり、その場の剪断応力変化は摩擦抵抗と釣りあっていると考えられる。上の摩擦則を用いた準静的すべりシミュレーションのモデル実験結果と本研究の結果を組み合わせることで、SSEの安定活動期の対数すべり速度と剪断応力変化の傾きを利用して、房総沖のイベント時の摩擦パラメータや有効法線応力を推定する事ができる。$a-b$=-0.003と仮定すると、傾きから有効法線応力は2ー20MPaほどであることが分かった。これはその深さにおける静岩圧よりはるかに小さな値であり、非常に高い間隙水圧の存在を示唆している可能性がある。

謝辞：解析では国土地理院の日々の座標値（F3解）とUSGSのCoulomb 3.3プログラムを使用しました。記して感謝します。

キーワード：スロースリップ、すべり速度、応力変化、有効法線応力、速度状態依存摩擦則
Keywords: slow slip, slip rate, stress change, effective normal stress, rate and state dependent friction low

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 2011年東北沖地震後に活発化した茨城県北部の地震活動：内陸地震の繰り返し

# Repeating inland earthquakes in northern Ibaraki Prefecture activated after the 2011 Tohoku-Oki earthquake

高橋 諒[1]、*吉田 圭佑[1]、長谷川 昭[1]、松澤 暢[1]
Ryo Takahashi[1], *Keisuke Yoshida[1], Akira Hasegawa[1], Toru Matsuzawa[1]

1. 東北大学理学研究科附属地震噴火予知研究観測センター
1. Tohoku University

2016年12月28日に茨城県北部で発生した M6.3の地震は，2011年3月19日 のM6.1茨城県北部の地震と同一の断層で，再び滑りを生じさせた可能性が指摘されている (Fukushima et al., 2018; Uchide, 2017, JpGU)。内陸断層においてそのような短期間に同一の場所で繰り返し地震が発生するという報告例は非常に珍しく，その発生過程を詳細に調べることは地震発生サイクルの理解のために非常に重要であると考えられる。本講演では，空間分解能の上では地表で得られる測地データよりも高い解像度を持つ地震の震源データを用いることにより，2011年と2016年の地震の発生過程について調べている内容について紹介する。

最初に，地震波形の相互相関を用いて茨城県北部で発生した地震の震源位置の再決定を行った。対象としたのは気象庁一元化カタログ記載の 2003年から 2018年10月31日まで$M_{JMA}$>2の地震 13,410個である。Yoshida & Hasegawa (2018)と同様に，波形相関により求めた精密な P, S波の相対到達時刻差データを用いた Double-Difference法 (Waldhauser & Ellsworth, 2002)により，相対震源決定精度を大幅に向上させた。

得られた震源分布は複雑な特徴を持つものの，茨城県北部地域においては西傾斜する一枚の卓越した面構造が見られ，メカニズム解との比較からもこの面が 2011年や2016にM6の地震を生じさせた断層面に対応すると考えられる。 2016年のM6地震後に周辺で震源の面構造が新たに生じると言うことは無く，余震のほとんどは以前から見えていたと同じ面に集中して分布する。このことは，2016年のM6.3の地震が 2011年に発生した M6.1の地震と同じ断層面で滑りを生じさせたとする Fukushima et al. (2017)らの推定結果を支持する。

M6規模の地震が同一場所で繰り返して発生したとすると，それより小さい規模の地震も同様に同じ場所で繰り返し生じていたかもしれない。詳細な震源位置と波形相関に基づき，M>2の地震の発生場所を調べた結果，M6規模の地震の主要な破壊域（Fukushima et al., 2018）の周囲に，それを取り囲むように繰り返し地震と推定される多数の地震群が見出だされた。これらの小繰り返し地震は、M6規模の地震の後に生じた余効滑りが原因で発生したと考えられる。Nadeau & Johnson (1998)による地震モーメントと滑り量の関係式に基づくと，場所にもよるが同一箇所で数十センチ程度と，本震滑りと同程度のすべりが生じていたことが推定され，その大きさはおよそ本震の滑り量と同程度であった。また、2011年の地震後の方が、2016年の地震後よりも滑り量が大きく、Fukushima et al. (2018)の推定と一致する。これらのことは，余震の発生や地震発生サイクルの理解のために，本震による応力変化の影響のみならず，本震後の余効滑りが大きく影響していることを意味する。

キーワード：earthquake cycle、northern Ibaraki earthquake、aftershock
Keywords: repeating earthquake, afterslip, the 2011 Tohoku-Oki earthquake

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_17

## [S-SS17] 地震学的アプローチによる火山深部のマグマ供給系の解明

コンビーナ:麻生 尚文(東京工業大学)、行竹 洋平(神奈川県温泉地学研究所)

火山深部のマグマ供給系は、長期スケールの地球のダイナミクスおよび地球の進化を考える上で重要であり、様々な地震学的アプローチを駆使することにより、更なる理解が期待される。特に活火山直下のモホ面付近に発生する深部長周期地震は、マグマ供給系と密接に関連していると考えられているが、詳細な活動様式や発生機構については未解明な部分が多い現象である。マグマ供給系における深部長周期地震の役割を明らかにすることは、深部マグマ溜りなど下部地殻付近のマグマ供給過程を理解するために鍵となる。そのために、例えばマッチドフルター法や精密震源決定などの最新技術を駆使し詳細な活動時系列や震源分布を得たり、波形インバージョンなどにより同現象の発震機構解に関する情報を推定したりすることが重要である。加えて、雑微動解析の利用など最新のトモグラフィー技術により、稠密な観測網を活用して高解像度で火山深部の物性分布をイメージングすることも、マグマ供給系の詳細な描像を明らかにする上で重要である。本セッションは、上述のアプローチに限らず、様々な地震学的アプローチから火山深部のマグマ供給系を明らかにしようとする研究を歓迎する。

### [SSS17-P01] 東北地方　米沢-喜多方地域における地震波反射面の空間分布

*鈴木 真奈美[1]、長谷見 晶子[1]、岡田 知己[1]、松澤 暢[1]、海野 徳仁[1]、中山 貴史[1]、津村 紀子[2]、山品 匡史[3]、2011年東北地方太平洋沖地震 合同余震観測グループ (1.東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター、2.千葉大学理学部、3.高知大学理工学部)

### [SSS17-P02] 地震波干渉法による霧島山のマグマ供給系の解明

*長岡 優[1]、西田 究[2]、青木 陽介[2]、武尾 実[2]、大倉 敬宏[3]、吉川 慎[3] (1.気象研究所火山研究部、2.東京大学地震研究所、3.京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター)

### [SSS17-P03] 箱根火山の地形効果を考慮した火山性深部低周波地震に対する有限要素法による3次元地震波形計算

*山谷 里奈[1]、望月 公廣[1]、市村 強[1]、藤田 航平[1]、悪原 岳[1]、堀 高峰[2]、本多 亮[3]、行竹 洋平[3] (1.東京大学地震研究所、2.海洋研究開発機構、3.神奈川県温泉地学研究所)

### [SSS17-P04] 箱根火山深部低周波地震活動様式から見るマグマ供給過程

*行竹 洋平[1]、安部 祐希[1] (1.神奈川県温泉地学研究所)

### [SSS17-P05] 蔵王山深部低周波地震の震源分布と波形特性

*池谷 拓馬[1]、山本 希[1] (1.東北大学大学院理学研究科)

### [SSS17-P06] Mechanisms transition of LFEs beneath Zao volcano due to the stress change induced by the 2011 Tohoku earthquake

*及川 元己[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、松澤 暢[2] (1.東京工業大学、2.東北大学)

### [SSS17-P07] Magma/gas intrusion process of Shinmoedake Eruption in 2017 suggested by volcanic tremors location with ASL method

今村 翔哉[1]、*大久保 慎人[2] (1.高知大学 理学部、2.高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門)

### [SSS17-P08] GNSSデータのL1インバージョンに基づく2008-2010年富士山膨張イベントの力源深さ推定

*三井 雄太[1]、加藤 隆寛[2] (1.静岡大学理学部地球科学科、2.元・静岡大学理学部地球科学科)

# 東北地方　米沢-喜多方地域における地震波反射面の空間分布
# S-wave reflectors beneath the earthquake swarm in the Yonezawa-Kitakata area, NE Japan

*鈴木 真奈美[1]、長谷見 晶子[1]、岡田 知己[1]、松澤 暢[1]、海野 徳仁[1]、中山 貴史[1]、津村 紀子[2]、山品 匡史[3]、2011年東北地方太平洋沖地震 合同余震観測グループ
*Manami Suzuki [1], Akiko Hasemi[1], Tomomi Okada[1], Toru Matsuzawa[1], Norihito Umino[1], Takashi Nakayama[1], Noriko Tsumura[2], Tadashi Yamashina[3], Group for the aftershock observations of the 2011 off the Pacific of Tohoku Earthquake -

1. 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター、2. 千葉大学理学部、3. 高知大学理工学部
1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Graduate School of Science, Chiba University, 3. Faculty of Science and Technology, Kochi University

火山地域や内陸地震震源断層周辺において、自然地震波形の後続波に含まれるS波反射波に関する研究は日本各地で行われてきた。例えば、Mizoue et al. (1982)は日光・足尾地域においてS波反射点の空間分布を求め、SxP波とSxSの振幅比から推定される反射体の内部構造から反射体は部分溶融体からなる可能性が高いと示した。東北地方ではUmino et al. (2002)や堀・他(2004)などにより、上昇したメルトが冷却する過程で放出された水が、S波反射面を形成すると考えられてきた[Hasegawa et al., 2005]。このとき放出された水は内陸地震発生のメカニズムにも関与している可能性が指摘されており、東北地方の地殻内における流体の一層の挙動の解明が望まれる。

本研究の対象地域としている米沢-喜多方地域では、2011年東北地方太平洋沖地震から7日後に群発地震が発生し、その原因のひとつは流体圧の上昇による強度低下だと指摘されている[e.g., Okada et al., 2015]。震源域には中新世に形成された大峠カルデラ[山本・他., 1994]が存在しており、メルトから排出された流体が存在する可能性は十分考えられる。先行研究である長谷見・他(2016)によって米沢-喜多方地域のS波反射波はすでに発見されており、本研究ではS波反射面の空間分布を求めることを目的とする。この地域では2011年東北地方太平洋沖地震合同余震観測グループによって稠密に臨時観測点が展開されており、本研究ではこれらの臨時観測点およびHi-netによる定常観測点での地震波形データを使用する。また、正確にS波反射面の空間分布を求めるため、臨時観測点データを使用してDouble Difference法で再決定した震源を使用する。

まずS波反射波の走時を目視で読み取る。顕著にS波反射波が確認できた10個の観測点・震源クラスターの組み合わせで、Inamori et al. (1992)のように、地震波形の走時を深さに変換し、南北・東西方向に設定した測線に沿うように地震波形を並べた(以下これを記録断面図と呼ぶ)。記録断面図中、周囲の振幅よりもおよそ1.5倍以上、同じ深さで3つ以上揃った場合は反射波だと考え、その初動を読み取った。この時、測線の交点付近で同じ深さに反射波を検出した場合、同じ反射面から反射したものと解釈した。一つの記録断面図中に複数の反射波が確認できる場合はそれぞれ読み取りを行った。その結果、北東部のクラスターで16個、中央部で14個、南西部で3個の反射面を読み取った。

次に、読み取った走時を使用して鏡像観測点をグリッドサーチで求めた[例えば、 Horiuchi et al., 1988]。具体的には、反射面を一枚の面、波線を直線、速度構造を3.4km/sの一様構造と仮定し、読み取った走時と鏡像観測点への理論走時の残差二乗平方根が、最も小さくなる反射面を求めていく。求めた反射面の方程式から走向、傾斜、および個々の震源に対する反射点位置を求めた。

その結果、反射面は震源域の下で深さ10-20kmに位置し、走向は円や弧を描くように、傾斜は震源域に近いものほど水平に近く遠いものほど垂直に立っているように見えた。これをシームレス地質図[産総研]と比較すると、大峠カルデラ直下にある反射面はカルデラの縁に沿うような走向を、西側にある反射面は会津盆地西縁

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

断層帯や地質構造に沿うような走向に見える。これを地震波速度構造と比較すると、低速度域の上部付近に位置するように見え、Umino et al. (2002)や堀・他(2004)で求めた結果と整合的である。仮にS波反射面を流体により構成されていると考えると、米沢-喜多方地域における群発地震を誘発した流体は、震源域下にあるメルトから排出され既存の地質構造から上昇してきた可能性が考えられる。

キーワード：地震波反射波、地殻流体
Keywords: reflected wave, crustal fluid

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 地震波干渉法による霧島山のマグマ供給系の解明
# Imaging of the magma pathway beneath Kirishima volcanoes by seismic interferometry

*長岡 優[1]、西田 究[2]、青木 陽介[2]、武尾 実[2]、大倉 敬宏[3]、吉川 慎[3]
*Yutaka Nagaoka[1], Kiwamu Nishida[2], Yosuke Aoki[2], Minoru Takeo[2], Takahiro Ohkura[3], Shin Yoshikawa[3]

1. 気象研究所火山研究部、2. 東京大学地震研究所、3. 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター
1. Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 3. Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

2011年1月の霧島山新燃岳の噴火に際し、地殻変動の圧力源が新燃岳の北西5km、深さ約8kmの位置に検出され、噴火に関わるマグマだまりであると考えられている（Nakao et al., 2013）。地震波速度構造の推定によりマグマだまりの全体像をイメージングできれば、マグマ供給系に対して定量的な制約を与えられることが期待される。

本研究では、地震波干渉法により霧島山周辺の観測点間を伝播する表面波を用いて、マグマだまりの検出を試みた。地震波干渉法は脈動などのランダムな波動場の相互相関関数を計算することによって観測点間の地震波の伝播を抽出する手法である。相互相関関数は観測点間の速度構造に敏感であるため、地震波干渉法は局所的な構造推定に適している。

解析には、霧島山周辺の38観測点（東大地震研、京大火山研究センター、防災科研、気象庁）の3成分で記録された2011年4月～2013年12月の脈動記録を用いた。脈動記録の上下動成分の相互相関関数を計算することにより観測点間を伝播するRayleigh波を、Transeverse成分の相互相関関数からLove波を抽出した。抽出された表面波の位相速度推定では、まず解析領域全体の平均的な1次元構造に対して分散曲線を測定し、次に各パスの位相速度を領域平均構造に対する速度異常として測定する、という2段階の手順を踏んだ。各パスの位相速度を用いて表面波位相速度トモグラフィーを行い（Rawlinson and Sambridge, 2005）、各グリッド点の位相速度から、S波速度構造（$V_{SV}$, $V_{SH}$構造）を線形化インバージョン（Tarantola and Valette, 1982）を用いて推定した。

浅部では、$V_{SV}$, $V_{SH}$構造ともに標高に沿った基盤の盛り上がりに対応する高速度異常が見られた。海抜下約7 km以深では、$V_{SV}$構造で霧島山山体直下から北西にかけて水平方向に約15 kmにわたる大きな低速度体が見られたが、$V_{SH}$構造ではこの低速度体は確認できなかった。2011年噴火に伴う地殻変動源はこの低速度体の北西上端に対応していることから、低速度体は噴火に関わるマグマだまりであると推定される。また、$V_{SV}$と$V_{SH}$は海抜下約2 km以深で一致しておらず（$V_{SV}$の方が低速度）、radial anisotropyの存在が確認された。

霧島山の下では、本研究で求まったマグマだまりの南東下端に当たる海抜下10 kmからさらに深部（海抜下25 kmまで）の山体下で低周波地震が発生している。求まったマグマだまりと、深部低周波地震の震源と地殻変動源との位置関係から、マグマは山体の深部からマグマだまり内へ供給され、山体北西の地殻変動源の位置を出口として浅部へ上昇する、というマグマ供給系の描像が得られた。また、マグマだまり内のradial anisotropyは、部分溶融したメルトを含む薄い低速度層が多重に重なった構造によって説明できることから、マグマだまり内はシル状構造になっていると考えられる。

今後同様の手法を他の火山に適用し、マグマだまりやradial anisotropyの存在を系統的に調べることは、活動的火山のマグマ供給系を理解する上で重要だろう。

キーワード：霧島山、地震波干渉法、脈動記録、異方性
Keywords: Kirishima, seismic interferometry, ambient seismic noise, radial anisotropy

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 箱根火山の地形効果を考慮した火山性深部低周波地震に対する有限要素法による3次元地震波形計算

# Finite element three-dimensional seismic waveform calculations of volcanic deep low frequency earthquake including true topographic effects of Hakone volcano

*山谷 里奈[1]、望月 公廣[1]、市村 強[1]、藤田 航平[1]、悪原 岳[1]、堀 高峰[2]、本多 亮[3]、行竹 洋平[3]
*Lina Yamaya[1], Kimihiro Mochizuki[1], Tsuyoshi Ichimura[1], Kohei Fujita[1], Takeshi Akuhara[1], Takane Hori[2], Ryou Honda[3], Yohei Yukutake[3]

1. 東京大学地震研究所、2. 海洋研究開発機構、3. 神奈川県温泉地学研究所
1. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Hot Springs Research Institute of Kanagawa

Volcanic deep low frequency (DLF) earthquakes play an important role on revealing magma volcanic system because they are thought to reflect movements of volcanic fluid. Nakamichi et al. (2003) showed that the DLF earthquakes occurring beneath Iwate volcano have compensated linear vector dipole components, which suggests the relation with volcanic fluid.

Hakone volcano also has DLF earthquakes whose depths are from 10 to 30 km. Yukutake et al. (2018) showed that the number of DLF earthquakes increased just before crustal movement or increase of volcanic tremors in 2006, 2013, 2015, but mechanisms of the DLF earthquakes are still unrevealed. JMA reported that DLF earthquakes occur not just beneath Owakudani (the main crater of Hakone volcano) but around 10 km north from Owakudani, which is needed to be studied in detail. One of the difficulties to infer the source mechanisms and centroids is that the volcanic structure is complex not only due to its velocity structure but also due to its geometry. Calculation of three-dimensional seismic wave propagation are still challenging due to its computational cost, but it has become less difficult due to the recent development of efficient calculation techniques of computational science.

In this study, we used a technique of finite element three-dimensional waveform computation (Ichimura et al., 2017) to calculate the synthetic waveforms of the DLF earthquakes in Hakone volcano with respect to two different structure representations; direct inclusion of topography and flat surface with squashed topography in to the subsurface (Aagaard et al. 2008), and compared the resulted synthetic waveforms. We assumed the modified seismic velocity model reported in Yukutake et al. (2014). We used K computer and calculated the synthetics up to 1.5 Hz. As a result, although the arrival times of direct waves are similar, shapes of subsequent arrival phases are different. The amplitudes of subsequent arrival waves calculated including the true topography are larger than those calculated for the flat surface model with squashed topography. Observed data have such large amplitudes in subsequent arrival phases. Therefore, it is needed to calculate the synthetics including true topography for comparisons between data and synthetics. We further investigate generation mechanisms of such DLF earthquakes by synthetic modeling of the observed waveforms.

キーワード：深部低周波地震、有限要素法による3次元地震波形計算、京コンピュータ
Keywords: Deep low frequency earthquake, Finite element three-dimensional seismic waveform calculation, K computer

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 箱根火山深部低周波地震活動様式から見るマグマ供給過程
# Magma transport system beneath Hakone volcano inferred from deep low frequency earthquakes

*行竹 洋平[1]、安部 祐希[1]
*Yohei Yukutake[1], Yuki Abe[1]

1. 神奈川県温泉地学研究所
1. Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

はじめに

火山の地殻深部で発生する深部低周波地震（以下、DLFE）は、マグマ性流体の運動に起因し発生している現象と考えられている（例えば、Nakamichi et al., 2003）．一方でDLFE活動と浅部での火山活動との時間的な関連性は必ずしも明確になっていない．本研究では箱根火山の下深さ25km付近で発生するDLFE活動と深さ10kmより浅部で観測される群発地震活動や火山性地殻変動との関係性について検証を行った．

箱根火山では、最近20年間において2001年、2006年、2009年、2013年及び2015年に活発な群発地震が発生し、さらに群発地震活動にやや先行して深さ7km付近に膨張源を持つ火山性地殻変動が観測されている（例えば、Harada et al., 2018）．また地震波トモグラフィー解析からは、深さ10km付近にマグマ溜まり、その上部にマグマ由来の熱水が存在すると推定されている（Yukutake et al., 2015；行竹ほか、2018、火山学会）．先行研究（行竹・安部、2018、JpGU）では箱根火山において2003年以降のDLFE活動について、マッチドフィルター法（MF法）を用いたイベント検出を行い浅部火山活動時系列との比較を行った結果、活発な群発地震活動に先行してDLFEが増加していることを報告した．本発表では、MF法の解析期間を2000年まで拡張し、さらにDLFE活動の規模別頻度分布の特性（b値）の時間変化について詳細な検討を行い、これらの結果に基づきマグマ供給過程とDLFEとの関係について考察する．

データ及び手法

本研究では、箱根火山周辺の12箇所の定常観測点の連続波形記録を使用し、2000年1月から2017年1月までを解析対象とした．テンプレート地震として同期間に気象庁一元化カタログに記載されているMjma0.5以上のDLFE94イベントを用いた．イベント検出基準には相関係数の中央絶対偏差の9倍を用い、スタックした相関係数がこの基準を超える時刻を有意なイベントと見なした．検知されたイベントの震源は対応するテンプレート地震の震源位置を当てはめ、またマグニチュードはテンプレート地震波形との振幅比から求めた．b値の時間推移の推定には、各時間ウィンドウのコンプリートネスマグニチュード（Mc）を求めるWiemer and Wyss (2000)の方法を用い、MF法により作成された震源カタログに対して300イベント毎にMc及びb値を求めその時間変化を推定した．

結果及び議論

MF法により解析対象期間で気象庁一元化カタログの約46倍に相当する数のDLFEを検出した．
2006年、2009年、2013年及び2015年には、山体膨張を示す地殻変動とほぼ同時にDLFEの発生数が、その数週間後に浅部で群発地震が活発化することが分かった．ただし、2001年には、群発地震の活発化がDLFE発生数増加に先行した．さらにDLFE活発化に伴いb値が増加することが推定された．火山地域における群発地震活動で噴火直前にb値の増加が観測される場合があり、こうしたb値の時間変化はマグマ性流体の移動に伴う流体圧や温度変化を反映したものと解釈されている（Jacobs and McNutt 2010；Nanjo et al., 2018）．箱根火山で推定されたDLFEの活発化並びにb値の増加は、この領域におけるマグマ性流体の深部からの新たな供給及びそれに伴う流体圧や温度の上昇を反映しているかもしれない．DLFE発生域より浅部の深さ10km付近には、地震波トモグラフィー解析に基づき固化しつつあるマグマの存在を示唆するLow Vs及びHigh Vp/Vsの領域が、さらにその浅部深さ6km付近にはマグマから脱水した熱水溜りを示唆するLow Vs及びLow Vp/Vsの領域

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

が検出されている（行竹ほか、2018、火山学会）．また、火山性地殻変動の膨張源はLow Vp/Vs領域上部に推定され、群発地震活動はさらにその浅部で発生する．

群発地震の活発化は、浅部の脆性領域への熱水の供給量が急増したことで引き起こされたと考えられており（Yukutake et al., 2015）、その急増は熱水溜まり最上部で捉えられた膨張（増圧）により引き起こされていると思われる．またDLFEの活発化は、DLFE発生領域にマグマ性流体が上昇することと関連すると考えられる．

2006年、2009年、2013年及び2015年の群発地震活動では、DLFEが先行したことから、DLFE発生領域を上昇してきたマグマからの揮発成分または熱の供給が、熱水溜まり最上部の増圧および脆性領域における流体圧の上昇を引き起こしたと考えることができる．しかし、2001年には群発地震がDLFEの活発化に先行して発生しており、また解析期間内には、群発地震活動を伴わないDLFEの活発化も捉えられている．DLFEの活発化と群発地震には関連性があるように見えるが、上述のように単純なモデルでは説明できない活動もある．

今後は、DLFEの発生様式をさらに精査して圧力源の変動や群発地震活動様式と比較しながら、それらの活動の関連性をさらに詳細にモデル化する予定である．

謝辞

本研究では国立研究開発法人防災科学技術研究所Hi-netの地震波形データ、及び国土地理院Geo-netのGNSSデータを使用させていただきました．b値の推定には、zmapコード（Wiemer, 2001）を使用しました．

キーワード：深部低周波地震、群発地震、箱根火山
Keywords: Deep low frequency earthquake, earthquake swarm, Hakone volcano

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 蔵王山深部低周波地震の震源分布と波形特性
# Hypocenter and waveform characteristics of deep low-frequency earthquakes beneath Zao volcano

*池谷 拓馬[1]、山本 希[1]
*Takuma Ikegaya[1], Mare Yamamoto[1]

1. 東北大学大学院理学研究科
1. Graduate School of Science, Tohoku University

2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) の発生により，東北地方では広域にわたり歪・応力の変化が生じ，地殻内部の火山性流体も影響を受けたと考えられる．これを示唆する例として，東北地方の複数の火山において，活火山周辺の沈降が干渉SAR等により観測されていることや下部地殻で発生している深部低周波地震の活動度に東北地方太平洋沖地震以降変化が見られることが挙げられる．このような深部低周波地震の活動から深部マグマの活動を推定することは，巨大地震後の中長期的な火山活動を考える上で重要である．そこで，本発表では，東北地方太平洋沖地震後に火山活動の活発化が見られる蔵王山について，深部低周波地震の活動を解析した結果を報告する．

蔵王山は，山形県と宮城県の県境に位置する活火山の一つである．東北地方太平洋沖地震後，蔵王山直下では2012年初頭から深部低周波地震が増加し，2013年以降は浅部 (深さ約2 km以浅) で発生する火山性地震や長周期地震が観測されている．このような地震活動推移を調べる際，気象庁一元化震源カタログが広く用いられるが，規模の小さな深部低周波地震については検測の完全性が充分でない可能性がある．そこで，池谷・山本 (2018, JpGU) では一元化カタログに記載されている深部低周波地震の波形（テンプレート）と連続波形記録との相関によりイベントを検出するMatched Filter法（以下，MF法）を2015年1年間の記録に適用することで，小規模のイベントの検出を改善し，震源が深さ28 km付近を境に2つのクラスターに分かれる様子を明瞭化した．しかし，検出イベントの震源と最大相関となるテンプレートの震源は同一であると仮定したため，クラスターごとの震源の広がりを議論することは難しい．また，MF法の解析期間を延ばすことにより震源の時空間分布をさらに明瞭化できることが期待される．そこで本研究では，解析期間を2012年1月～2018年5月の約6年間に延ばし，検出したイベントについて相対震源決定を行った．

本研究では，東北大学 七ヶ宿，釜房，防災科学技術研究所Hi-net 上山，気象庁 蔵王坊平の4観測点の連続記録に対して，一元化カタログ記載の深部低周波地震146個（2012年1月～2016年9月）をテンプレート地震として，MF法を適用した．解析には深部低周波地震の卓越周波数を含む1-8 Hzの周波数帯域を用いた．地震検出の閾値はテンプレート間の相関を基に0.2とし，閾値を超えた時間窓の波形を目視で確認し，誤検出した波形を取り除き，残ったものを検出イベントとした．検出イベントと最大相関となるテンプレートのクロススペクトル及び相関関数の補間によって走時差を測定し，マスターイベント法を用いて検出イベントの相対震源を決定した．

2012年1月～2018年5月の連続記録に対してMF法を適用した結果，テンプレート地震数の約10倍にあたる1361個の深部低周波地震を検出し，そのうち，1357個のイベントの震源をマスターイベント法により決定することができた．イベント検出数を増加させたことによって，深さ約28 kmを境に2つのクラスターに震源がわかれる特徴をさらに明瞭にすることができた．また，検出イベントの震源と最大相関となるテンプレートの震源は同一であると仮定した場合には，震源の深さ分布が23 kmに際立って集中するのに対し，マスターイベント法により決定した震源では，23 kmを最頻値とする深さ方向にやや広がりをもった分布となった．次に，検出イベントについて個々の波形を確認したところ，「3～4 Hzの高周波成分がイベント開始部分1～2秒間に卓越し，それ以降は1～2 Hzの低周波成分が卓越するタイプ」（354個）と「波形全体にわたり1～2 Hzの

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

低周波成分が卓越するタイプ」（1007個）の2種類に大局的には分類できることが明らかとなった．前者の震源は深さ33 kmを最頻値とし，20～38 kmに幅広く分布するのに対し，後者は23 km付近を中心とした20～26 kmの狭い範囲に集中する．このことはクラスター間で深部低周波地震の震源過程が異なることを示唆する．一方で，両タイプのGutenberg-Richter則*b*値には明瞭な差異は見られなかった．

今後，検出された深部低周波地震の震源メカニズムの推定を行うことで，深さごとの深部火山性流体の分布形態の違いを明らかにできることが期待される．

キーワード：蔵王山、深部低周波地震、Matched Filter法
Keywords: Zao volcano, deep low-frequency earthquakes, Matched Filter method

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Mechanisms transition of LFEs beneath Zao volcano due to the stress change induced by the 2011 Tohoku earthquake

*及川 元己[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、松澤 暢[2]
*Genki Oikawa[1], Naofumi Aso[1], Junichi Nakajima[1], Toru Matsuzawa[2]

1. 東京工業大学、2. 東北大学
1. Tokyo Institute of Technology, 2. Tohoku University

Deep low-frequency earthquakes (LFEs) with dominant frequencies of 2–8 Hz occur at depths of 20–40 km, which is deeper than the depth of regular crustal earthquakes. Many previous studies indicated that focal mechanisms of LFEs have non-double-couple components such as CLVD (compensated linear vector dipole) and volumetric deformation. Therefore, LFEs are thought to be related to the magma or crustal fluid, but their physical mechanisms are still unknown. The focal mechanisms of LFEs are key information for understanding the physics underlying LFEs. Seismicity of LFEs in Zao has increased about two years after the Tohoku earthquake, so we are also interested in the potential variations of focal mechanisms in association with the seismicity change.
We analyze the mechanisms of 48 LFEs beneath Zao volcano by using the amplitude ratios of S-wave to P-wave.The site effect at each station is corrected using the radiation from regular earthquakes with known mechanisms. We assume four focal models (double-couple, CLVD, tensile-crack, and single-force) and determine an optimal model based on AIC (Akaike information criteria), to minimize the residuals between observed and theoretical S/P ratios with a penalty for the number of parameters.
We successfully determined focal mechanisms of 29 events. While the majorities are double couples (18 events; 62%), there are notable numbers of non-double-couple LFEs. The obtained mechanisms are classified into five groups, three types of double-couple (DC-A, DC-B, DC-C), a CLVD type (CLVD-D) and a single-force type (SF-E). Whereas the DC-A LFEs are observed only before the increase of LFE seismicity, most of the other types are generated after the increase of seismicity. The DC-A is consistent with the local stress field, and the symmetry axis of CLVD-D is sub-parallel to the P-axis of DC-A, so the CLVD-D is interpreted to be a shear-tensile-crack under the similar stress field. Considering that the transition of focal mechanisms was two years later than the Tohoku earthquake, we suggest that the lateral compressional stress field became less dominant near the source of LFEs two years after the Tohoku Earthquake, probably associated with afterslip and viscoelastic relaxation, and the change in local stress field altered the occurrence of LFEs.

キーワード：低周波地震、東北地方太平洋沖地震、発震機構解
Keywords: Low-frequency earthquake, The 2011 Tohoku earthquake, Focal Mechanisms

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Magma/gas intrusion process of Shinmoedake Eruption in 2017 suggested by volcanic tremors location with ASL method

今村 翔哉[1]、*大久保 慎人[2]
Shoya Imamura[1], *Makoto OKUBO[2]

1. 高知大学 理学部、2. 高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門
1. Faculty of Science, Kochi University, 2. Natural Science Cluster, Kochi University

Kirishima volcanoes, which located on border Miyazaki and Kagoshima prefecture in Kyushu, is still active after the large scale eruption in 2011. In this study, by using volcanic tremor/events distribution, we would like to discuss magma/gas intrusion process around magma chamber.

Recentlly, source location of volcanic tremors is usually determined by ASL (Amplitude Source Location) method (*c.f.* Nakamichi *et.al.*, 2017). ASL method is based on the idea that seismic (S) waves at higher frequency range (> 5 Hz) will propagate isotropically, an its amplitude will be simply attenuate with distance. If we can use dense seismic observation records around volcano, we can calculate the volcanic tremor location in automatically every time window. Thus, using with ASL we can easily discuss volcanic tremor/events distribution and its time variation.

According to Kirishima volcanoes activities reported by JMA (Oct, 2017), numbers of volcanic earthquakes/tremors located at southwestward of the Shinmoedake have been rapidly increased from Oct. 2017, and erupsed on 11th until 16th. Therefore, In this study we analyzed three stages, **(1)** stable condition on 9th, **(2)** earthquake/tremor activation on 10th, and **(3)** continuous eruption on 16th.

In this study, we choiced and used 10 stations, which were operated by JMA, NIED and ERI, established around Shinmoedake. For analysis, we assumed $V_S$ = 2.2 km/s, $Q_f$ = 175 @10Hz for volcanic events, and $Q_f$ = 300 for volcanic tremors beneath Shinmoedake and used 5 - 10 Hz band-passed envelope amplitude for ASL. Thus, we obtained three stages time-spatial volcanic tremor/events distribution.

According to Volcanic tremor/events distribution, these were located at southward of magma source at ~ 4 km depth estimated with GPS observations (Nakao et al., 2013); stage (1). After 18 o'clock, volcanic tremor/events were activated with numbers and magnitudes around magma source, and these location were move to shallower until -1 km; stage (2). Small magnitude and shallower tremors occurred continuously at Oct. 10th.
On 16th, tremor activity became in quiet, and just only located around southward of magma source; stage (3).

These results imply that magma/gas intrusion was occurred at stage (2), might have been occurred after magma vaporization in chamber. And we can considered that at stage(2), magma vent was already constructed, magma/gas was continuously supplyed from chamber at stage (3).

Acknowledgments:
In this study, we used seismic observation records obtained by JMA, NIED, ERI(University of Tokyo). A tool of ASL method was provided by Dr. Nakamichi, Kyoto university. We are very thanks to these cooperation.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：振幅を利用した震源推定、霧島火山、火山性微動/火山性地震
Keywords: ASL, Kirishima volcanoes, Volcanic tremors/events

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# GNSSデータのL1インバージョンに基づく2008-2010年富士山膨張イベントの力源深さ推定

# Source depth estimation of a magmatic inflation in 2008-2010 at Mt. Fuji, Japan, based on sparsity-promoting L1 inversion of GNSS data

*三井 雄太[1]、加藤 隆寛[2]
*Yuta Mitsui[1], Takahiro Kato[2]

1. 静岡大学理学部地球科学科、2. 元・静岡大学理学部地球科学科
1. Department of Geosciences, Shizuoka University, 2. formerly at Department of Geosciences, Shizuoka University

Mt. Fuji has not erupted since the Plinian eruption in 1707, but its volcanic activity such as low-frequency earthquakes has not finished. Here, using GNSS (Global Navigation Satellite System) time-series data, we investigate an inflation event of Mt. Fuji in 2008-2010. Referring to recent studies of igneous processes, we focus on “vertically-extensive” magma systems and estimate depth distribution of geodetic inflation sources. A sparsity-promoting L1 regularization algorithm for inversion analysis allows us to estimate concentrated distribution of the sources with sufficient performance of data fitting. Our result shows that the inflation sources were mainly distributed in a depth range from 20 km to 15 km, and the total volume change was on the order of 0.01 cubic kilometers. The magma clot might move upward, and not move back downward as far as we observed. Our sparsity-promoting method is useful to constrain magma movement from limited observation data.

キーワード：富士山、GNSS、L1正則化
Keywords: Mt. Fuji, GNSS, L1 regularization

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-SS 地震学

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_27

## [S-SS17] 地震学的アプローチによる火山深部のマグマ供給系の解明

コンビーナ:麻生 尚文(東京工業大学)、行竹 洋平(神奈川県温泉地学研究所)

火山深部のマグマ供給系は、長期スケールの地球のダイナミクスおよび地球の進化を考える上で重要であり、様々な地震学的アプローチを駆使することにより、更なる理解が期待される。特に活火山直下のモホ面付近に発生する深部長周期地震は、マグマ供給系と密接に関連していると考えられているが、詳細な活動様式や発生機構については未解明な部分が多い現象である。マグマ供給系における深部長周期地震の役割を明らかにすることは、深部マグマ溜りなど下部地殻付近のマグマ供給過程を理解するために鍵となる。そのために、例えばマッチドフルター法や精密震源決定などの最新技術を駆使し詳細な活動時系列や震源分布を得たり、波形インバージョンなどにより同現象の発震機構解に関する情報を推定したりすることが重要である。加えて、雑微動解析の利用など最新のトモグラフィー技術により、稠密な観測網を活用して高解像度で火山深部の物性分布をイメージングすることも、マグマ供給系の詳細な描像を明らかにする上で重要である。本セッションは、上述のアプローチに限らず、様々な地震学的アプローチから火山深部のマグマ供給系を明らかにしようとする研究を歓迎する。

### [SSS17-P01] 東北地方　米沢-喜多方地域における地震波反射面の空間分布

*鈴木 真奈美[1]、長谷見 晶子[1]、岡田 知己[1]、松澤 暢[1]、海野 徳仁[1]、中山 貴史[1]、津村 紀子[2]、山品 匡史[3]、2011年東北地方太平洋沖地震 合同余震観測グループ (1.東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター、2.千葉大学理学部、3.高知大学理工学部)

### [SSS17-P02] 地震波干渉法による霧島山のマグマ供給系の解明

*長岡 優[1]、西田 究[2]、青木 陽介[2]、武尾 実[2]、大倉 敬宏[3]、吉川 慎[3] (1.気象研究所火山研究部、2.東京大学地震研究所、3.京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター)

### [SSS17-P03] 箱根火山の地形効果を考慮した火山性深部低周波地震に対する有限要素法による3次元地震波形計算

*山谷 里奈[1]、望月 公廣[1]、市村 強[1]、藤田 航平[1]、悪原 岳[1]、堀 高峰[2]、本多 亮[3]、行竹 洋平[3] (1.東京大学地震研究所、2.海洋研究開発機構、3.神奈川県温泉地学研究所)

### [SSS17-P04] 箱根火山深部低周波地震活動様式から見るマグマ供給過程

*行竹 洋平[1]、安部 祐希[1] (1.神奈川県温泉地学研究所)

### [SSS17-P05] 蔵王山深部低周波地震の震源分布と波形特性

*池谷 拓馬[1]、山本 希[1] (1.東北大学大学院理学研究科)

### [SSS17-P06] Mechanisms transition of LFEs beneath Zao volcano due to the stress change induced by the 2011 Tohoku earthquake

*及川 元己[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、松澤 暢[2] (1.東京工業大学、2.東北大学)

### [SSS17-P07] Magma/gas intrusion process of Shinmoedake Eruption in 2017 suggested by volcanic tremors location with ASL method

今村 翔哉[1]、*大久保 慎人[2] (1.高知大学 理学部、2.高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門)

### [SSS17-P08] GNSSデータのL1インバージョンに基づく2008-2010年富士山膨張イベントの力源深さ推定

*三井 雄太[1]、加藤 隆寛[2] (1.静岡大学理学部地球科学科、2.元・静岡大学理学部地球科学科)

# 東北地方　米沢-喜多方地域における地震波反射面の空間分布
# S-wave reflectors beneath the earthquake swarm in the Yonezawa-Kitakata area, NE Japan

*鈴木 真奈美[1]、長谷見 晶子[1]、岡田 知己[1]、松澤 暢[1]、海野 徳仁[1]、中山 貴史[1]、津村 紀子[2]、山品 匡史[3]、2011年東北地方太平洋沖地震 合同余震観測グループ
*Manami Suzuki [1], Akiko Hasemi[1], Tomomi Okada[1], Toru Matsuzawa[1], Norihito Umino[1], Takashi Nakayama[1], Noriko Tsumura[2], Tadashi Yamashina[3], Group for the aftershock observations of the 2011 off the Pacific of Tohoku Earthquake -

1. 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター、2. 千葉大学理学部、3. 高知大学理工学部
1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Graduate School of Science, Chiba University, 3. Faculty of Science and Technology, Kochi University

火山地域や内陸地震震源断層周辺において、自然地震波形の後続波に含まれるS波反射波に関する研究は日本各地で行われてきた。例えば、Mizoue et al. (1982)は日光・足尾地域においてS波反射点の空間分布を求め、SxP波とSxSの振幅比から推定される反射体の内部構造から反射体は部分溶融体からなる可能性が高いと示した。東北地方ではUmino et al. (2002)や堀・他(2004)などにより、上昇したメルトが冷却する過程で放出された水が、S波反射面を形成すると考えられてきた[Hasegawa et al., 2005]。このとき放出された水は内陸地震発生のメカニズムにも関与している可能性が指摘されており、東北地方の地殻内における流体の一層の挙動の解明が望まれる。

本研究の対象地域としている米沢-喜多方地域では、2011年東北地方太平洋沖地震から7日後に群発地震が発生し、その原因のひとつは流体圧の上昇による強度低下だと指摘されている[e.g., Okada et al., 2015]。震源域には中新世に形成された大峠カルデラ[山本・他., 1994]が存在しており、メルトから排出された流体が存在する可能性は十分考えられる。先行研究である長谷見・他(2016)によって米沢-喜多方地域のS波反射波はすでに発見されており、本研究ではS波反射面の空間分布を求めることを目的とする。この地域では2011年東北地方太平洋沖地震合同余震観測グループによって稠密に臨時観測点が展開されており、本研究ではこれらの臨時観測点およびHi-netによる定常観測点での地震波形データを使用する。また、正確にS波反射面の空間分布を求めるため、臨時観測点データを使用してDouble Difference法で再決定した震源を使用する。

まずS波反射波の走時を目視で読み取る。顕著にS波反射波が確認できた10個の観測点・震源クラスターの組み合わせで、Inamori et al. (1992)のように、地震波形の走時を深さに変換し、南北・東西方向に設定した測線に沿うように地震波形を並べた(以下これを記録断面図と呼ぶ)。記録断面図中、周囲の振幅よりもおよそ1.5倍以上、同じ深さで3つ以上揃った場合は反射波だと考え、その初動を読み取った。この時、測線の交点付近で同じ深さに反射波を検出した場合、同じ反射面から反射したものと解釈した。一つの記録断面図中に複数の反射波が確認できる場合はそれぞれ読み取りを行った。その結果、北東部のクラスターで16個、中央部で14個、南西部で3個の反射面を読み取った。

次に、読み取った走時を使用して鏡像観測点をグリッドサーチで求めた[例えば、 Horiuchi et al., 1988]。具体的には、反射面を一枚の面、波線を直線、速度構造を3.4km/sの一様構造と仮定し、読み取った走時と鏡像観測点への理論走時の残差二乗平方根が、最も小さくなる反射面を求めていく。求めた反射面の方程式から走向、傾斜、および個々の震源に対する反射点位置を求めた。

その結果、反射面は震源域の下で深さ10-20kmに位置し、走向は円や弧を描くように、傾斜は震源域に近いものほど水平に近く遠いものほど垂直に立っているように見えた。これをシームレス地質図[産総研]と比較すると、大峠カルデラ直下にある反射面はカルデラの縁に沿うような走向を、西側にある反射面は会津盆地西縁

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

断層帯や地質構造に沿うような走向に見える。これを地震波速度構造と比較すると、低速度域の上部付近に位置するように見え、Umino et al. (2002)や堀・他(2004)で求めた結果と整合的である。仮にS波反射面を流体により構成されていると考えると、米沢-喜多方地域における群発地震を誘発した流体は、震源域下にあるメルトから排出され既存の地質構造から上昇してきた可能性が考えられる。

キーワード：地震波反射波、地殻流体
Keywords: reflected wave, crustal fluid

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 地震波干渉法による霧島山のマグマ供給系の解明
# Imaging of the magma pathway beneath Kirishima volcanoes by seismic interferometry

*長岡 優[1]、西田 究[2]、青木 陽介[2]、武尾 実[2]、大倉 敬宏[3]、吉川 慎[3]
*Yutaka Nagaoka[1], Kiwamu Nishida[2], Yosuke Aoki[2], Minoru Takeo[2], Takahiro Ohkura[3], Shin Yoshikawa[3]

1. 気象研究所火山研究部、2. 東京大学地震研究所、3. 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター
1. Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 3. Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

2011年1月の霧島山新燃岳の噴火に際し、地殻変動の圧力源が新燃岳の北西5km、深さ約8kmの位置に検出され、噴火に関わるマグマだまりであると考えられている（Nakao et al., 2013）。地震波速度構造の推定によりマグマだまりの全体像をイメージングできれば、マグマ供給系に対して定量的な制約を与えられることが期待される。

本研究では、地震波干渉法により霧島山周辺の観測点間を伝播する表面波を用いて、マグマだまりの検出を試みた。地震波干渉法は脈動などのランダムな波動場の相互相関関数を計算することによって観測点間の地震波の伝播を抽出する手法である。相互相関関数は観測点間の速度構造に敏感であるため、地震波干渉法は局所的な構造推定に適している。

解析には、霧島山周辺の38観測点（東大地震研、京大火山研究センター、防災科研、気象庁）の3成分で記録された2011年4月～2013年12月の脈動記録を用いた。脈動記録の上下動成分の相互相関関数を計算することにより観測点間を伝播するRayleigh波を、Transeverse成分の相互相関関数からLove波を抽出した。抽出された表面波の位相速度推定では、まず解析領域全体の平均的な1次元構造に対して分散曲線を測定し、次に各パスの位相速度を領域平均構造に対する速度異常として測定する、という2段階の手順を踏んだ。各パスの位相速度を用いて表面波位相速度トモグラフィーを行い（Rawlinson and Sambridge, 2005）、各グリッド点の位相速度から、S波速度構造（$V_{SV}$, $V_{SH}$構造）を線形化インバージョン（Tarantola and Valette, 1982）を用いて推定した。

浅部では、$V_{SV}$, $V_{SH}$構造ともに標高に沿った基盤の盛り上がりに対応する高速度異常が見られた。海抜下約7 km以深では、$V_{SV}$構造で霧島山山体直下から北西にかけて水平方向に約15 kmにわたる大きな低速度体が見られたが、$V_{SH}$構造ではこの低速度体は確認できなかった。2011年噴火に伴う地殻変動源はこの低速度体の北西上端に対応していることから、低速度体は噴火に関わるマグマだまりであると推定される。また、$V_{SV}$と$V_{SH}$は海抜下約2 km以深で一致しておらず（$V_{SV}$の方が低速度）、radial anisotropyの存在が確認された。

霧島山の下では、本研究で求まったマグマだまりの南東下端に当たる海抜下10 kmからさらに深部（海抜下25 kmまで）の山体下で低周波地震が発生している。求まったマグマだまりと、深部低周波地震の震源と地殻変動源との位置関係から、マグマは山体の深部からマグマだまり内へ供給され、山体北西の地殻変動源の位置を出口として浅部へ上昇する、というマグマ供給系の描像が得られた。また、マグマだまり内のradial anisotropyは、部分溶融したメルトを含む薄い低速度層が多重に重なった構造によって説明できることから、マグマだまり内はシル状構造になっていると考えられる。

今後同様の手法を他の火山に適用し、マグマだまりやradial anisotropyの存在を系統的に調べることは、活動的火山のマグマ供給系を理解する上で重要だろう。

キーワード：霧島山、地震波干渉法、脈動記録、異方性
Keywords: Kirishima, seismic interferometry, ambient seismic noise, radial anisotropy

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 箱根火山の地形効果を考慮した火山性深部低周波地震に対する有限要素法による3次元地震波形計算

# Finite element three-dimensional seismic waveform calculations of volcanic deep low frequency earthquake including true topographic effects of Hakone volcano

*山谷 里奈[1]、望月 公廣[1]、市村 強[1]、藤田 航平[1]、悪原 岳[1]、堀 高峰[2]、本多 亮[3]、行竹 洋平[3]
*Lina Yamaya[1], Kimihiro Mochizuki[1], Tsuyoshi Ichimura[1], Kohei Fujita[1], Takeshi Akuhara[1], Takane Hori[2], Ryou Honda[3], Yohei Yukutake[3]

1. 東京大学地震研究所、2. 海洋研究開発機構、3. 神奈川県温泉地学研究所
1. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Hot Springs Research Institute of Kanagawa

Volcanic deep low frequency (DLF) earthquakes play an important role on revealing magma volcanic system because they are thought to reflect movements of volcanic fluid. Nakamichi et al. (2003) showed that the DLF earthquakes occurring beneath Iwate volcano have compensated linear vector dipole components, which suggests the relation with volcanic fluid.

Hakone volcano also has DLF earthquakes whose depths are from 10 to 30 km. Yukutake et al. (2018) showed that the number of DLF earthquakes increased just before crustal movement or increase of volcanic tremors in 2006, 2013, 2015, but mechanisms of the DLF earthquakes are still unrevealed. JMA reported that DLF earthquakes occur not just beneath Owakudani (the main crater of Hakone volcano) but around 10 km north from Owakudani, which is needed to be studied in detail. One of the difficulties to infer the source mechanisms and centroids is that the volcanic structure is complex not only due to its velocity structure but also due to its geometry. Calculation of three-dimensional seismic wave propagation are still challenging due to its computational cost, but it has become less difficult due to the recent development of efficient calculation techniques of computational science.

In this study, we used a technique of finite element three-dimensional waveform computation (Ichimura et al., 2017) to calculate the synthetic waveforms of the DLF earthquakes in Hakone volcano with respect to two different structure representations; direct inclusion of topography and flat surface with squashed topography in to the subsurface (Aagaard et al. 2008), and compared the resulted synthetic waveforms. We assumed the modified seismic velocity model reported in Yukutake et al. (2014). We used K computer and calculated the synthetics up to 1.5 Hz. As a result, although the arrival times of direct waves are similar, shapes of subsequent arrival phases are different. The amplitudes of subsequent arrival waves calculated including the true topography are larger than those calculated for the flat surface model with squashed topography. Observed data have such large amplitudes in subsequent arrival phases. Therefore, it is needed to calculate the synthetics including true topography for comparisons between data and synthetics. We further investigate generation mechanisms of such DLF earthquakes by synthetic modeling of the observed waveforms.

キーワード：深部低周波地震、有限要素法による3次元地震波形計算、京コンピュータ
Keywords: Deep low frequency earthquake, Finite element three-dimensional seismic waveform calculation, K computer

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 箱根火山深部低周波地震活動様式から見るマグマ供給過程
# Magma transport system beneath Hakone volcano inferred from deep low frequency earthquakes

*行竹 洋平[1]、安部 祐希[1]
*Yohei Yukutake[1], Yuki Abe[1]

1. 神奈川県温泉地学研究所
1. Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

はじめに

火山の地殻深部で発生する深部低周波地震（以下、DLFE）は、マグマ性流体の運動に起因し発生している現象と考えられている（例えば、Nakamichi et al., 2003）．一方でDLFE活動と浅部での火山活動との時間的な関連性は必ずしも明確になっていない．本研究では箱根火山の下深さ25km付近で発生するDLFE活動と深さ10kmより浅部で観測される群発地震活動や火山性地殻変動との関係性について検証を行った．

箱根火山では、最近20年間において2001年、2006年、2009年、2013年及び2015年に活発な群発地震が発生し、さらに群発地震活動にやや先行して深さ7km付近に膨張源を持つ火山性地殻変動が観測されている（例えば、Harada et al., 2018）．また地震波トモグラフィー解析からは、深さ10km付近にマグマ溜まり、その上部にマグマ由来の熱水が存在すると推定されている（Yukutake et al., 2015；行竹ほか、2018、火山学会）．先行研究（行竹・安部、2018、JpGU）では箱根火山において2003年以降のDLFE活動について、マッチドフィルター法（MF法）を用いたイベント検出を行い浅部火山活動時系列との比較を行った結果、活発な群発地震活動に先行してDLFEが増加していることを報告した．本発表では、MF法の解析期間を2000年まで拡張し、さらにDLFE活動の規模別頻度分布の特性（b値）の時間変化について詳細な検討を行い、これらの結果に基づきマグマ供給過程とDLFEとの関係について考察する．

データ及び手法

本研究では、箱根火山周辺の12箇所の定常観測点の連続波形記録を使用し、2000年1月から2017年1月までを解析対象とした．テンプレート地震として同期間に気象庁一元化カタログに記載されているMjma0.5以上のDLFE94イベントを用いた．イベント検出基準には相関係数の中央絶対偏差の9倍を用い、スタックした相関係数がこの基準を超える時刻を有意なイベントと見なした．検知されたイベントの震源は対応するテンプレート地震の震源位置を当てはめ、またマグニチュードはテンプレート地震波形との振幅比から求めた．b値の時間推移の推定には、各時間ウィンドウのコンプリートネスマグニチュード（Mc）を求めるWiemer and Wyss (2000)の方法を用い、MF法により作成された震源カタログに対して300イベント毎にMc及びb値を求めその時間変化を推定した．

結果及び議論

MF法により解析対象期間で気象庁一元化カタログの約46倍に相当する数のDLFEを検出した．
2006年、2009年、2013年及び2015年には、山体膨張を示す地殻変動とほぼ同時にDLFEの発生数が、その数週間後に浅部で群発地震が活発化することが分かった．ただし、2001年には、群発地震の活発化がDLFE発生数増加に先行した．さらにDLFE活発化に伴いb値が増加することが推定された．火山地域における群発地震活動で噴火直前にb値の増加が観測される場合があり、こうしたb値の時間変化はマグマ性流体の移動に伴う流体圧や温度変化を反映したものと解釈されている（Jacobs and McNutt 2010；Nanjo et al., 2018）．箱根火山で推定されたDLFEの活発化並びにb値の増加は、この領域におけるマグマ性流体の深部からの新たな供給及びそれに伴う流体圧や温度の上昇を反映しているかもしれない．DLFE発生域より浅部の深さ10km付近には、地震波トモグラフィー解析に基づき固化しつつあるマグマの存在を示唆するLow Vs及びHigh Vp/Vsの領域が、さらにその浅部深さ6km付近にはマグマから脱水した熱水溜りを示唆するLow Vs及びLow Vp/Vsの領域

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

が検出されている（行竹ほか、2018、火山学会）．また、火山性地殻変動の膨張源はLow Vp/Vs領域上部に推定され、群発地震活動はさらにその浅部で発生する．

群発地震の活発化は、浅部の脆性領域への熱水の供給量が急増したことで引き起こされたと考えられており（Yukutake et al., 2015）、その急増は熱水溜まり最上部で捉えられた膨張（増圧）により引き起こされていると思われる．またDLFEの活発化は、DLFE発生領域にマグマ性流体が上昇することと関連すると考えられる．

2006年、2009年、2013年及び2015年の群発地震活動では、DLFEが先行したことから、DLFE発生領域を上昇してきたマグマからの揮発成分または熱の供給が、熱水溜まり最上部の増圧および脆性領域における流体圧の上昇を引き起こしたと考えることができる．しかし、2001年には群発地震がDLFEの活発化に先行して発生しており、また解析期間内には、群発地震活動を伴わないDLFEの活発化も捉えられている．DLFEの活発化と群発地震には関連性があるように見えるが、上述のように単純なモデルでは説明できない活動もある．

今後は、DLFEの発生様式をさらに精査して圧力源の変動や群発地震活動様式と比較しながら、それらの活動の関連性をさらに詳細にモデル化する予定である．

謝辞

本研究では国立研究開発法人防災科学技術研究所Hi-netの地震波形データ、及び国土地理院Geo-netのGNSSデータを使用させていただきました．b値の推定には、zmapコード（Wiemer, 2001）を使用しました．

キーワード：深部低周波地震、群発地震、箱根火山
Keywords: Deep low frequency earthquake, earthquake swarm, Hakone volcano

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 蔵王山深部低周波地震の震源分布と波形特性
# Hypocenter and waveform characteristics of deep low-frequency earthquakes beneath Zao volcano

*池谷 拓馬[1]、山本 希[1]
*Takuma Ikegaya[1], Mare Yamamoto[1]

1. 東北大学大学院理学研究科
1. Graduate School of Science, Tohoku University

2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) の発生により，東北地方では広域にわたり歪・応力の変化が生じ，地殻内部の火山性流体も影響を受けたと考えられる．これを示唆する例として，東北地方の複数の火山において，活火山周辺の沈降が干渉SAR等により観測されていることや下部地殻で発生している深部低周波地震の活動度に東北地方太平洋沖地震以降変化が見られることが挙げられる．このような深部低周波地震の活動から深部マグマの活動を推定することは，巨大地震後の中長期的な火山活動を考える上で重要である．そこで，本発表では，東北地方太平洋沖地震後に火山活動の活発化が見られる蔵王山について，深部低周波地震の活動を解析した結果を報告する．

蔵王山は，山形県と宮城県の県境に位置する活火山の一つである．東北地方太平洋沖地震後，蔵王山直下では2012年初頭から深部低周波地震が増加し，2013年以降は浅部 (深さ約2 km以浅) で発生する火山性地震や長周期地震が観測されている．このような地震活動推移を調べる際，気象庁一元化震源カタログが広く用いられるが，規模の小さな深部低周波地震については検測の完全性が充分でない可能性がある．そこで，池谷・山本 (2018, JpGU) では一元化カタログに記載されている深部低周波地震の波形（テンプレート）と連続波形記録との相関によりイベントを検出するMatched Filter法（以下，MF法）を2015年1年間の記録に適用することで，小規模のイベントの検出を改善し，震源が深さ28 km付近を境に2つのクラスターに分かれる様子を明瞭化した．しかし，検出イベントの震源と最大相関となるテンプレートの震源は同一であると仮定したため，クラスターごとの震源の広がりを議論することは難しい．また，MF法の解析期間を延ばすことにより震源の時空間分布をさらに明瞭化できることが期待される．そこで本研究では，解析期間を2012年1月～2018年5月の約6年間に延ばし，検出したイベントについて相対震源決定を行った．

本研究では，東北大学 七ヶ宿，釜房，防災科学技術研究所Hi-net 上山，気象庁 蔵王坊平の4観測点の連続記録に対して，一元化カタログ記載の深部低周波地震146個（2012年1月～2016年9月）をテンプレート地震として，MF法を適用した．解析には深部低周波地震の卓越周波数を含む1-8 Hzの周波数帯域を用いた．地震検出の閾値はテンプレート間の相関を基に0.2とし，閾値を超えた時間窓の波形を目視で確認し，誤検出した波形を取り除き，残ったものを検出イベントとした．検出イベントと最大相関となるテンプレートのクロススペクトル及び相関関数の補間によって走時差を測定し，マスターイベント法を用いて検出イベントの相対震源を決定した．

2012年1月～2018年5月の連続記録に対してMF法を適用した結果，テンプレート地震数の約10倍にあたる1361個の深部低周波地震を検出し，そのうち，1357個のイベントの震源をマスターイベント法により決定することができた．イベント検出数を増加させたことによって，深さ約28 kmを境に2つのクラスターに震源がわかれる特徴をさらに明瞭にすることができた．また，検出イベントの震源と最大相関となるテンプレートの震源は同一であると仮定した場合には，震源の深さ分布が23 kmに際立って集中するのに対し，マスターイベント法により決定した震源では，23 kmを最頻値とする深さ方向にやや広がりをもった分布となった．次に，検出イベントについて個々の波形を確認したところ，「3～4 Hzの高周波成分がイベント開始部分1～2秒間に卓越し，それ以降は1～2 Hzの低周波成分が卓越するタイプ」（354個）と「波形全体にわたり1～2 Hzの

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

低周波成分が卓越するタイプ」（1007個）の2種類に大局的には分類できることが明らかとなった．前者の震源は深さ33 kmを最頻値とし，20～38 kmに幅広く分布するのに対し，後者は23 km付近を中心とした20～26 kmの狭い範囲に集中する．このことはクラスター間で深部低周波地震の震源過程が異なることを示唆する．一方で，両タイプのGutenberg-Richter則*b*値には明瞭な差異は見られなかった．

今後，検出された深部低周波地震の震源メカニズムの推定を行うことで，深さごとの深部火山性流体の分布形態の違いを明らかにできることが期待される．

キーワード：蔵王山、深部低周波地震、Matched Filter法
Keywords: Zao volcano, deep low-frequency earthquakes, Matched Filter method

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Mechanisms transition of LFEs beneath Zao volcano due to the stress change induced by the 2011 Tohoku earthquake

*及川 元己[1]、麻生 尚文[1]、中島 淳一[1]、松澤 暢[2]
*Genki Oikawa[1], Naofumi Aso[1], Junichi Nakajima[1], Toru Matsuzawa[2]

1. 東京工業大学、2. 東北大学
1. Tokyo Institute of Technology, 2. Tohoku University

Deep low-frequency earthquakes (LFEs) with dominant frequencies of 2–8 Hz occur at depths of 20–40 km, which is deeper than the depth of regular crustal earthquakes. Many previous studies indicated that focal mechanisms of LFEs have non-double-couple components such as CLVD (compensated linear vector dipole) and volumetric deformation. Therefore, LFEs are thought to be related to the magma or crustal fluid, but their physical mechanisms are still unknown. The focal mechanisms of LFEs are key information for understanding the physics underlying LFEs. Seismicity of LFEs in Zao has increased about two years after the Tohoku earthquake, so we are also interested in the potential variations of focal mechanisms in association with the seismicity change.
We analyze the mechanisms of 48 LFEs beneath Zao volcano by using the amplitude ratios of S-wave to P-wave.The site effect at each station is corrected using the radiation from regular earthquakes with known mechanisms. We assume four focal models (double-couple, CLVD, tensile-crack, and single-force) and determine an optimal model based on AIC (Akaike information criteria), to minimize the residuals between observed and theoretical S/P ratios with a penalty for the number of parameters.
We successfully determined focal mechanisms of 29 events. While the majorities are double couples (18 events; 62%), there are notable numbers of non-double-couple LFEs. The obtained mechanisms are classified into five groups, three types of double-couple (DC-A, DC-B, DC-C), a CLVD type (CLVD-D) and a single-force type (SF-E). Whereas the DC-A LFEs are observed only before the increase of LFE seismicity, most of the other types are generated after the increase of seismicity. The DC-A is consistent with the local stress field, and the symmetry axis of CLVD-D is sub-parallel to the P-axis of DC-A, so the CLVD-D is interpreted to be a shear-tensile-crack under the similar stress field. Considering that the transition of focal mechanisms was two years later than the Tohoku earthquake, we suggest that the lateral compressional stress field became less dominant near the source of LFEs two years after the Tohoku Earthquake, probably associated with afterslip and viscoelastic relaxation, and the change in local stress field altered the occurrence of LFEs.

キーワード：低周波地震、東北地方太平洋沖地震、発震機構解
Keywords: Low-frequency earthquake, The 2011 Tohoku earthquake, Focal Mechanisms

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Magma/gas intrusion process of Shinmoedake Eruption in 2017 suggested by volcanic tremors location with ASL method

今村 翔哉[1]、*大久保 慎人[2]
Shoya Imamura[1], *Makoto OKUBO[2]

1. 高知大学 理学部、2. 高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門
1. Faculty of Science, Kochi University, 2. Natural Science Cluster, Kochi University

Kirishima volcanoes, which located on border Miyazaki and Kagoshima prefecture in Kyushu, is still active after the large scale eruption in 2011. In this study, by using volcanic tremor/events distribution, we would like to discuss magma/gas intrusion process around magma chamber.

Recentlly, source location of volcanic tremors is usually determined by ASL (Amplitude Source Location) method (*c.f.* Nakamichi *et.al.*, 2017). ASL method is based on the idea that seismic (S) waves at higher frequency range (> 5 Hz) will propagate isotropically, an its amplitude will be simply attenuate with distance. If we can use dense seismic observation records around volcano, we can calculate the volcanic tremor location in automatically every time window. Thus, using with ASL we can easily discuss volcanic tremor/events distribution and its time variation.

According to Kirishima volcanoes activities reported by JMA (Oct, 2017), numbers of volcanic earthquakes/tremors located at southwestward of the Shinmoedake have been rapidly increased from Oct. 2017, and erupsed on 11th until 16th. Therefore, In this study we analyzed three stages, **(1)** stable condition on 9th, **(2)** earthquake/tremor activation on 10th, and **(3)** continuous eruption on 16th.

In this study, we choiced and used 10 stations, which were operated by JMA, NIED and ERI, established around Shinmoedake. For analysis, we assumed $V_S$ = 2.2 km/s, $Q_f$ = 175 @10Hz for volcanic events, and $Q_f$ = 300 for volcanic tremors beneath Shinmoedake and used 5 - 10 Hz band-passed envelope amplitude for ASL. Thus, we obtained three stages time-spatial volcanic tremor/events distribution.

According to Volcanic tremor/events distribution, these were located at southward of magma source at ~ 4 km depth estimated with GPS observations (Nakao et al., 2013); stage (1). After 18 o'clock, volcanic tremor/events were activated with numbers and magnitudes around magma source, and these location were move to shallower until -1 km; stage (2). Small magnitude and shallower tremors occurred continuously at Oct. 10th.
On 16th, tremor activity became in quiet, and just only located around southward of magma source; stage (3).

These results imply that magma/gas intrusion was occurred at stage (2), might have been occurred after magma vaporization in chamber. And we can considered that at stage(2), magma vent was already constructed, magma/gas was continuously supplyed from chamber at stage (3).

Acknowledgments:
In this study, we used seismic observation records obtained by JMA, NIED, ERI(University of Tokyo). A tool of ASL method was provided by Dr. Nakamichi, Kyoto university. We are very thanks to these cooperation.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：振幅を利用した震源推定、霧島火山、火山性微動/火山性地震
Keywords: ASL, Kirishima volcanoes, Volcanic tremors/events

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# GNSSデータのL1インバージョンに基づく2008-2010年富士山膨張イベントの力源深さ推定

# Source depth estimation of a magmatic inflation in 2008-2010 at Mt. Fuji, Japan, based on sparsity-promoting L1 inversion of GNSS data

*三井 雄太[1]、加藤 隆寛[2]
*Yuta Mitsui[1], Takahiro Kato[2]

1. 静岡大学理学部地球科学科、2. 元・静岡大学理学部地球科学科
1. Department of Geosciences, Shizuoka University, 2. formerly at Department of Geosciences, Shizuoka University

Mt. Fuji has not erupted since the Plinian eruption in 1707, but its volcanic activity such as low-frequency earthquakes has not finished. Here, using GNSS (Global Navigation Satellite System) time-series data, we investigate an inflation event of Mt. Fuji in 2008-2010. Referring to recent studies of igneous processes, we focus on “vertically-extensive” magma systems and estimate depth distribution of geodetic inflation sources. A sparsity-promoting L1 regularization algorithm for inversion analysis allows us to estimate concentrated distribution of the sources with sufficient performance of data fitting. Our result shows that the inflation sources were mainly distributed in a depth range from 20 km to 15 km, and the total volume change was on the order of 0.01 cubic kilometers. The magma clot might move upward, and not move back downward as far as we observed. Our sparsity-promoting method is useful to constrain magma movement from limited observation data.

キーワード：富士山、GNSS、L1正則化
Keywords: Mt. Fuji, GNSS, L1 regularization

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-MP 岩石学・鉱物学

2019年5月29日(水) 13:45 ~ 15:15 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_4

## [S-MP32] 変形岩・変成岩とテクトニクス

コンビーナ:針金 由美子(産業技術総合研究所)、中村 佳博(国立研究開発法人産業技術総合研究所　地質調査総合センター)

プレート境界における地殻，マントルのダイナミクスを理解するために幅広い分野から研究成果を募集します．岩石学的，構造地質学的貢献のみならず，流体を含んだ地殻・マントルのレオロジー，熱や物質輸送の力学など，様々な手法，対象の成果を総合的に議論します．

[SMP32-P01] Pressure-temperature estimates of the Lützow-Holm Complex utilizing distributions of trace elements and inclusions in garnet porphyroblasts in pelitic gneisses

*鈴木 康太[1]、河上 哲生[1]、伊神 洋平[2] (1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 地質学鉱物学教室 地球物質科学講座 岩石学グループ、2.名古屋大学未来材料・システム研究所)

[SMP32-P02] 東南極, リュツォ・ホルム岩体の明るい岬における泥質片麻岩の微細組織と温度圧力条件

*淀屋 勇斗[1]、池田 剛[2] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門)

[SMP32-P03] 南インド・トリバンドラム岩体にみられる長時間（>9000万年）のグラニュライト相変成作用

*門脇 ひかる[1]、角替 敏昭[2]、Santosh M.[3]、Shaji E.[4]、高村 悠介[5]、堤 之恭[6] (1.筑波大学生命環境科学研究科地球科学専攻、2.筑波大学生命環境系、3.School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences Beijing、4.Department of Geology, University of Kerala、5.筑波大学生命環境科学研究科地球進化科学専攻、6.国立科学博物館地学研究部)

[SMP32-P04] Dislocation microstructures in garnet: Thermal effect during deeper crustal seismic slip in orogen-boundary shear zone

*Das Kaushik[1]、Tomioka Naotaka[2]、Ganguly Proloy[3]、Ando Jun-ichi[1]、Ghosh Gautam[3]、Bose Sankar[3] (1.Hiroshima University、2.Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC、3.Presidency University, India)

[SMP32-P05] 領家帯三河地域および讃岐東部地域のミグマタイトのU-Pbジルコン年代

*葛立 恵一[1]、河上 哲生[1]、Etienne Skrzypek[1]、坂田 周平[2]、平田 岳史[3] (1.京都大学、2.学習院大学、3.東京大学)

[SMP32-P06] 日高変成帯野塚岳地域における構造地質学的研究 -島弧・島弧接合による新生代大陸地殻の成長・形成過程とそのメカニズム-

*菅野 萌子[1]、豊島 剛志[2] (1.新潟大学大学院自然科学研究科、2.新潟大学理学部地質科学科)

[SMP32-P07] THE PRESSURE-TEMPERATURE PATH AND MINERAL ASSEMBLAGE OF THE KHONICHIIN OVOO AREA, SOUTHEASTERN MONGOLIA.

*Undarmaa Batsaikhan[1]、Noriyoshi Tsuchiya[1]、Masaoki Uno[1]、Yukio Isozaki[2]、Uyanga Bold[2]、OTGONBAYAR DANDAR[1]、Hikaru Sawada[2] (1.Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University、2.Graduate School of Arts and Sciences the University of Tokyo)

[SMP32-P08] **九州北西部糸島半島野北地域の接触変成作用の温度圧力条件**

*池田 剛[1]、太田 健斗[2] (1.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻)

[SMP32-P09] 天草下島に分布する長崎変成岩類の片麻岩に見られる部分溶融の証拠

*森 祐紀[1]、池田 剛[2]、宮崎 一博[3] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、3.産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門)

[SMP32-P10] **Microstructural Analysis of Quartz grains in Monomineralic and Polyphase domains: A case study from Main Central Thrust (MCT) Zone Mylonites, western Himalaya, India**

*Shivaji Saha[1]、Toru Takeshita[1]、Subhajit Ghosh[2]、Hari Bahadur Srivastava[3] (1.Department of Natural History Sciences, Hokkaido University、2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo、3.Department of Geology, Banaras Hindu University)

[SMP32-P11] **Tectono-thermal evolution of the Main Central Thrust (MCT) zone rocks of the Himalayan Crystalline Complex (*HCC*), Darjeeling-Sikkim Himalaya**

*Subhajit Ghosh[1,2]、Santanu Bose[2,3]、Nibir Mandal[4]、Arijit Laik[2] (1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-0032、2.Department of Geology, University of Calcutta, 35, Ballygunge Circular Road, Kolkata 700019, India、3.Department of Geology, Presidency University, 86/1 College Street, Kolkata 700073, India、4.Department of Geological Sciences, Jadavpur University, Kolkata 700032, India)

[SMP32-P12] 三波川帯の低変成度領域における温度構造と変形構造，およびテクトニックな意義

*山岡 健[1,2]、ウォリス サイモン[1]、森 宏[2] (1.東京大学、2.信州大学)

[SMP32-P13] Antigorite Raman spectrum: a case study in Shiraga region of the central Shikoku, Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan

*安藤 宏太[1]、纐纈 佑衣[1]、道林 克禎[1] (1.名古屋大学)

[SMP32-P14] A fluid inclusion study from the late Paleozoic retrograde eclogite from the Yunotani Valley of the Omi area, Hida-Gaien Belt, Japan

*進士 優朱輝[1]、辻森 樹[1]、川本 竜彦[2] (1.東北大学、2.静岡大学)

[SMP32-P15] Development of reaction-induced stress and permeability in MgO-$H_2O$ system

*笠原 久夢[1]、宇野 正起[1]、岡本 敦[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院 環境科学研究科)

[SMP32-P16] 透過菊池回折によるウルトラマイロナイト中のオリビン結晶方位解析：EBSDの微小部への拡張

*伊神 洋平[1]、道林 克禎[2]、柿畑 優季[2]、纐纈 佑衣[2] (1.名古屋大学 未来材料・システム研究所、2.名古屋大学 環境学研究科)

[SMP32-P17] Elucidation of effective diffusion coefficient along grain boundaries by hydrothermal experiment using low porosity rocks

*杉沢 直樹[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院　環境科学研究科　先進社会環境学専攻)

[SMP32-P18] **断層がウジ帯により記録される繰り返し地震すべり：野島断層ボーリングコアからの証拠**

*林 愛明[1]、西脇 隆文[1] (1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室)

[SMP32-P19] Evolution of fluid chemistry during basalt-water and basalt-seawater interactions revealed by hydrothermal flow-through experiments

*根津 勇介[1]、岡本 敦[1]、平野 伸夫[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学　環境科学研究科)

[SMP32-P20] **3D microstructural analyses of fault rocks using CT and μCT scanning techniques**

*Bingcheng Liu[1]、Aiming Lin[1]、Takafumi Nishiwaki[1] (1.Kyoto University)

[SMP32-P21] **Dissolution kinetics of forsterite olivine at >200 °C: implication for the kinetics of serpentinization.**

*大柳 良介[1]、桑谷 立[1]、鈴木 勝彦[1] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構)

# Pressure-temperature estimates of the Lützow-Holm Complex utilizing distributions of trace elements and inclusions in garnet porphyroblasts in pelitic gneisses

*鈴木 康太[1]、河上 哲生[1]、伊神 洋平[2]
*Kota Suzuki[1], Tetsuo Kawakami[1], Yohei Igami[2]

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 地質学鉱物学教室 地球物質科学講座 岩石学グループ、2. 名古屋大学未来材料・システム研究所
1. Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University

The Lützow-Holm Complex (LHC) in East Antarctica is a late Neoproterozoic to early Cambrian orogenic belt, formed during the amalgamation of Gondwana and composed of various bulk compositions of high-grade metamorphic rocks. Based on matrix mineral assemblages of mafic to intermediate mafic rocks, the LHC has been divided into three metamorphic facies zones; upper-amphibolite facies zone, transitional zone and granulite facies zone [1]. Because of the continuous distribution of upper-amphibolite facies to granulite facies metamorphic rocks, the LHC has been considered as a good exposure of the cross section of lower crust during continental collision events.
However, recent studies have found that high-*T* conditions above 850 °C are common even in the transitional zone and such temperatures are attained under kyanite stability field [3, 6, 7]. The aim of this study is to re-examine the peak metamorphic *P-T* conditions and *P-T* paths of selected regions in the LHC (Rundvågshetta, Skallen, Skarvsnes and Akarui Point) utilizing distributions of trace elements and inclusions such as $Al_2SiO_5$ minerals and rutile in garnet porphyroblasts in high-grade pelitic gneisses.
The Zr content of rutile coexisting with zircon+quartz strongly depends on the temperature condition and has been calibrated as Zr-in-rutile geothermometers that is more robust than the traditional Fe-Mg exchange type geothermometers during high-*T* metamorphism. In this study, experimentally calibrated Zr-in-rutile geothermometer [8] was applied to rutile grains in garnet and matrix.
The polymorphs of $Al_2SiO_5$ minerals are known as valuable indicators of the *P-T* conditions. In the course of this study, sillimanite with a characteristic Raman peak around 420 $cm^{-1}$ which is not listed as a sillimanite peak in the Lyon database (http://www.geologie-lyon.fr/Raman/) were found as inclusion minerals in garnet and as matrix minerals from all of the four studied regions. In order to examine whether such a peak is related to the phase transition from kyanite or mullite to sillimanite, we observed them in detail by TEM. However, no evidence for such transition was found. Therefore, sillimanite with 420 $cm^{-1}$ peak is dealt as normal sillimanite in this study.
Chemical zoning of garnet in high-*T* metamorphic rocks in terms of major elements (Fe, Mg, Ca and Mn) are commonly obscured by the diffusion under high-*T* conditions. On the other hand, chemical zoning of garnet in terms of trace elements, especially P, is less affected by the later diffusion, and commonly preserves sharp growth zoning [e.g., 2, 4]. Utilizing the sharp P zoning as a contemporaneous surface during garnet growth to define core and rim of garnet, and utilizing relic inclusions in garnet such as $Al_2SiO_5$ minerals and rutile to constrain the *P-T* conditions of each metamorphic stage [e.g., 5], we estimated metamorphic *P-T* conditions recorded in pelitic gneisses from the four regions in the LHC. Although Akarui Point is located in the “transitional zone” and three other regions are in the “granulite facies zone”, all of the inferred *P-T* paths of high-grade pelitic gneisses from Skallen, Skarvsnes and Akarui Point indicate nearly isothermal decompression starting from kyanite stability field at temperature around 850 °C. From Rundvågshetta, although pressure condition could not be well constrained, extremely high peak metamorphic temperature (> 900 °C) was inferred.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Since the peak metamorphic grades inferred from inclusion minerals in garnet porphyroblasts from Skallen, Skarvsnes and Akarui Point are almost the same, the traditional metamorphic zone mapping based on matrix mineral assemblages does not represent the highest metamorphic conditions attained, and needs re-evaluation utilizing petrochronological approach.

References

[1]Hiroi et al, 1991 [2]Hiroi et al, 1997 [3]Iwamura et al, 2013 [4]Kawakami and Motoyoshi, 2004 [5]Kawakami and Hokada, 2010 [6]Kawakami et al, 2016 [7]Nakamura et al, 2013 [8]Tomkins et al, 2007

キーワード：組成累帯構造、リン、藍晶石、珪線石、Zr-in-rutile温度計、部分溶融
Keywords: chemical zoning, Phosphorus, kyanite, sillimanite, Zr-in-rutile geothermometer, partial melting

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 東南極, リュツォ・ホルム岩体の明るい岬における泥質片麻岩の微細組織と温度圧力条件

# Microstructures and pressure-temperature condition in pelitic gneisses from the Lützow-Holm Complex at Akarui Point, East Antarctica

*淀屋 勇斗[1]、池田 剛[2]
*Hayato Yodoya[1], Takeshi Ikeda[2]

1. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門
1. Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Scinece, Kyushu University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of School of Scinece, Kyushu University

Metamorphic rocks have been considered to preserve the mineral assemblage and composition at the peak condition in each pressure (*P*) –temperature (*T*) path. If this assumption is valid, the metamorphic rocks in the same outcrop are expected to show the same *P-T* condition. However, different *P-T* conditions have been estimated based on different geothermobarometers for rocks even from the same outcrop. Systematic difference among the methods could be responsible for these differences. However, this study revealed that use of the same pair of geothermobarometers provides significantly different P-T conditions for two pelitic gneisses from the same outcrop of the Lützow-Holm Complex, at Akarui Point, East Antarctica. An alternative interpretation is proposed to account for this difference.

The mineral assemblages of the studied gneisses are garnet, biotite, plagioclase, K-feldspar, quartz with and without sillimanite. Garnet grains in the Sil-bg. sample show round shape and contain large amount of fine quartz inclusions, whereas those in the Sil-free sample represent irregular shape and sporadically include coarse-grained plagioclase.

Garnet in both samples have chemically heterogeneity such that $X_{Ca}$ (=Ca/Fe+Mg+Ca+Mn) and Mg/Fe decrease from the core to the rim. Furthermore, garnet in contact with biotite represents lower Mg/Fe than that in contact with other minerals. Garnet in the Sil-bg. sample is low in $X_{Ca}$ and Mg/Fe as compared with garnet in the Sil-free sample. Phosphorus in garnet of the Sil-bg. sample represents euhedral shape of chemical contour in contrast to the garnet in the Sil-free sample where phosphorus shows no zoning. Biotite in the Sil-bg. sample shows Al-rich and low Mg/Fe as compared with that in the Sil-free sample. No systematic difference in Ti content in biotite is recognized. The Sil-free sample contains plagioclase with higher anorthite content than the Sil-bg. sample.

In the AFM approximation, garnet and biotite coexisting with sillimanite are expected to show higher Mg/Fe than those free from sillimanite. However, the present observations disagree with the prediction. Garnet contains significant amount of Ca, requiring addition of CaO to the chemical system. A calculated garnet composition diagram with respect to Ca-Mg-Fe shows that garnet coexisting with sillimanite represents a univariant line lower Ca and Mg/Fe than that free from sillimanite, and the present data are consistent with it. This suggests that two samples were not necessarily equilibrated at different *P-T* condition.

Geothermobarometry, in contrast, indicates significant difference in *P-T* condition. That is, garnet-biotite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

geothermometer (Ferry and Spear., 1978) and garnet-biotite-plagioclase-quartz geobarometer (Hoisch., 1990) show 685-718 ℃ at 6.4-6.6 kbar for the Sil-free sample and 828-855 ℃ at 7.2-7.8 kbar for the Sil-bg. sample.

It is puzzling feature that different samples from the same outcrop provide different *P-T* estimations using the same geothermobarometers. The Sil-bg. sample records higher temperature than the Sil-free sample, as described before. Preservation of euhedral chemical contour of phosphorus in the Sil-bg. sample would indicate that the garnet grew maintaining surface equilibrium, at high temperatures. In contrast, absence of such euhedral contour and highly-rough surface of garnet in the Sil-free sample suggest relatively high growth rate, at low temperatures.

The *P-T* path of Akarui Point contains pressure decrease during temperature decrease (Iwamura et al., 2013). Considering this *P-T* path, it is expected that the garnet of Sil-free sample didn’ t exist at high temperatures and formed at low pressures and temperatures. The difference in estimated *P-T* conditions in the same outcrop can be attributed to not only the difference in the method but also the difference in the timing of the formation of minerals.

キーワード：温度圧力条件、相関係、リュツォ・ホルム岩体
Keywords: pressure-temperature condition, phase relation, Lützow-Holm Complex

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 南インド・トリバンドラム岩体にみられる長時間（>9000万年）のグラニュライト相変成作用
# Long-lived (>90 Myr) granulite-facies metamorphism in the Trivandrum Block, southern India.

*門脇 ひかる[1]、角替 敏昭[2]、Santosh M.[3]、Shaji E.[4]、高村 悠介[5]、堤 之恭[6]
*Hikaru Kadowaki[1], Toshiaki Tsunogae[2], Santosh M.[3], Shaji E.[4], Yusuke Takamura[5], Yukiyasu Tsutsumi[6]

1. 筑波大学生命環境科学研究科地球科学専攻、2. 筑波大学生命環境系、3. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences Beijing、4. Department of Geology, University of Kerala、5. 筑波大学生命環境科学研究科地球進化科学専攻、6. 国立科学博物館地学研究部
1. College of Geoscience, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 3. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences Beijing, 4. Department of Geology, University of Kerala, 5. Doctoral Program in Earth Evolution Sciences, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 6. Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science

南インドグラニュライト地塊は太古代～新原生代の様々な微小大陸や火山弧が、後期新原生代～カンブリア紀のゴンドワナ超大陸形成に伴う複雑な沈み込み一付加一衝突による高度変成作用を受けたことにより形成された。トリバンドラム岩体はインドの南端に位置し、主要な構成岩相は変堆積岩と正片麻岩である。このような高度変成岩体の変成温度一圧力一時間経路を求めることはゴンドワナ大陸衝突における変成過程を明らかにする上で重要である。トリバンドラム岩体の温度一圧力経路に関する先行研究は多く、現在も議論が続いている。Morimoto et al. (2004)やTadokoro et al. (2008)などはピーク変成条件が950 ˚Cを超え、12 kbarに達するとし、超高温変成作用を示唆した。一方でNandakumar and Harley (2000)やPattison et al. (2003)などは800-900 ˚C、4.5-6.0 kbarと、低い温度圧力条件を示している。先行研究で報告されているトリバンドラム岩体のピーク変成年代にも約600-510 Maと幅がある (Santosh et al., 2005, Harley and Nandakumar, 2014, Blereau et al., 2016など)。以上のことから、トリバンドラム岩体が温度圧力幅のある１回の変成作用を経たのか800-900 ˚Cと950 ˚C以上の２回の独立した変成作用を経たのかは議論の余地がある。そこで、本研究ではトリバンドラム岩体西部から採集したコンダライト、チャノッカイト、およびチャノッカイトの脱色帯の岩石学的記載、鉱物化学組成分析、変成温度圧力条件の計算、年代分析のデータを基に、当該地域の温度一圧力一時間経路を決定することで、高度変成作用の期間とメカニズムを解明することを目的とした。

トリバンドラム岩体西部のElavinmoodu採石場から採集したコンダライトを用いた鉱物平衡モデリングの結果から、超高温変成作用を示す920-1030 ˚C、6.0-7.6 kbarのピーク変成条件が得られた。累進・後退変成作用の温度圧力条件はそれぞれ˜750 ˚C/˜7 kbar、 ˜750 ˚C/˜4 kbarと決定され、地温勾配に沿って徐冷した時計回りの温度圧力経路が得られた。コンダライト中のパッチ状チャノッカイトや塊状チャノッカイト中の亀裂に沿った脱色部が見られるKakkod採石場から採集したコンダライトからも、調和的な温度圧力条件が得られた。チャノッカイトと脱色部の鉱物平衡モデリングでは820-950 ˚C/ 5-10 kbar、800-1000 ˚C/˜6 kbarの変成温度圧力条件が得られた。これはチャノッカイトの脱色が高度変成作用中に起こったことを示唆し、変成作用のピーク周辺で流体が浸透した可能性を示す。

Elavinmoodu採石場から採集したコンダライト中のジルコンとモナザイトを用いたU-Pb年代分析から、累進・ピーク・後退変成作用はそれぞれ約582±17 Ma、555.1±8.1 Ma、527.3±8.0～501.9±8.5 Maに、含水流体の浸透によるザクロ石の分解・黒雲母の形成は約489±12 Maに起きたと求まった。以上のことは地殻やマグマが熱源となり、高度変成作用が少なくとも582 Maから489 Ma の9000万年以上という非常に長い期間

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

続いたことを示す。

本研究結果は時計回りの一回の長期間の変成作用が起きたことを示す。この9000万年という変成期間はスリランカのワンニ岩体の変堆積岩から報告されているものとほぼ調和的であるが(>50 Myr; Hirayama et al., 2018)、スリランカのハイランド岩体からの報告(~180 Myr; He et al., 2018)よりも短い。Dharmapriya et al. (2016)やTakamura et al. (2018)などによる先行研究ではトリバンドラム岩体はハイランド岩体に延長することが示されているが、ゴンドワナ超大陸形成の過程でハイランド岩体の変成がトリバンドラム岩体の変成に先立って起きていた可能性が考えられる。

キーワード：トリバンドラム岩体、温度ー圧力ー時間経路、超高温変成作用、鉱物平衡モデリング、U-Pb年代分析
Keywords: Trivandrum Block, P–T–t evolution, Ultrahigh-temperature metamorphism, Phase equilibria modeling, U–Pb geochronology

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Dislocation microstructures in garnet: Thermal effect during deeper crustal seismic slip in orogen-boundary shear zone

Dislocation microstructures in garnet: Thermal effect during deeper crustal seismic slip in orogen-boundary shear zone

*Das Kaushik[1]、Tomioka Naotaka[2]、Ganguly Proloy[3]、Ando Jun-ichi[1]、Ghosh Gautam[3]、Bose Sankar[3]
*Kaushik Das[1], Naotaka Tomioka[2], Proloy Ganguly[3], Jun-ichi Ando[1], Gautam Ghosh[3], Sankar Bose[3]

1. Hiroshima University、2. Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC、3. Presidency University, India
1. Hiroshima University, 2. Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC, 3. Presidency University, India

A considerable amount of information regarding the growth and evolution of old continents are preserved at the boundaries between the orogenic belts and pre-existing cratonic blocks. These are the areas of intense and repeated deformation, metamorphism and activities of crustal fluids. Apart from the precise estimation of the pressure-temperature-fluid evolution through time, one of the major existing challenges is to understand the deformation mechanisms operated in the deep to shallow crustal depths for such geologically complex areas. The Phulbani domain in the north-western part of the Eastern Ghats Granulite Belt, India (EGB) provides a good opportunity as it is juxtaposed in its north and west by the Archean Singbhum Craton and Bastar Craton, respectively. Recent petrological and geochronological works of our group on the metapelitic granulite-charnockite-granitic gneiss of this domain reveal the pressure-temperature-fluid evolution with time. Though this domain is differentiated from the Visakhapatnam domain situated further south-southwest, the overall evolutionary history is observed to be very similar in style and time of occurrence. The Si-poor aluminous granulites preserve exotic reaction textures implying prograde heating-dominated path culminating at UHT condition (~1000 ˚C at 8 Kbar) followed by a retrograde cooling-decompression path, both in presence of $CO_2$-rich fluids. The age of metamorphism and associated magmatism ranges between ca. 1000 Ma and 900 Ma, similar to that of the Visakhapatnam domain.

The Phulbani domain, however, is bound on its north by a pronounced east-west shear zone, known as the Ranipathar shear zone. This deep crustal shearing affected the pelitic granulite and granitic gneiss. The mylonitic garnet-bearing granite gneiss preserves east-west foliation-parallel ultramylonite layers. Moreover, broadly east-west and north-south oriented black veins occur in these rocks. Thick (cm-scale) to thin (mm-scale) veins have mesoscopic characters of a pseudotachylite, e.g. injection veins. The microscopic observations on the foliation-parallel veins reveal that the vesicular groundmass of the veins is composed of micron-scale quartz-feldspar-biotite with clasts of garnet, at places. These veins, in certain cases, contain mm-scale clasts of the host granite mylonite gneiss.

キーワード：Garnet dislocation microstructures、Cataclastic flow、Seismic slip、Orogen-boundary shear zone
Keywords: Garnet dislocation microstructures, Cataclastic flow, Seismic slip, Orogen-boundary shear zone

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 領家帯三河地域および讃岐東部地域のミグマタイトのU-Pbジルコン年代
# U-Pb zircon ages of migmatitic rocks from the Ryoke belt in the Mikawa and eastern Sanuki areas

*葛立 恵一[1]、河上 哲生[1]、Etienne Skrzypek[1]、坂田 周平[2]、平田 岳史[3]
*Keiichi Kazuratachi[1], Tetsuo Kawakami[1], Etienne Skrzypek[1], Shuhei Sakata[2], Takafumi Hirata[3]

1. 京都大学、2. 学習院大学、3. 東京大学
1. Kyoto University, 2. Gakushuin University, 3. The University of Tokyo

高温低圧型の領家変成帯に産するミグマタイトの岩石学・年代学の融合的研究を行うことで、後期白亜紀イグニンブライト・フレアアップ時の、大陸地殻中部の部分溶融継続時間を見積もることができる。本研究では、領家帯に産するミグマタイト中の変成ジルコンの形成年代を変成作用のステージと結びつけて解釈することを目的とし、三河地域および讃岐東部地域の試料についてLA-ICP-MSによるU-Pb年代測定を行った。

領家帯三河地域においては、すでにTakatsuka et al. (2018a) が層状優白質部中のジルコンのU-Pb年代測定を行っている。同部分から得られた変成リムのU-Pb年代は~103 Maから~83 Maにかけてコンコーディア上に連続的に分布する。変成リムはCL像上での不連続なゾーニングおよび年代値や化学組成の違いから2段階に分けることができ、内側のリムは97.0±4.4 Maの昇温変成期、外側のリムは88.5±2.5 Maの降温変成期初期 (部分溶融メルトの固結時期) に形成されたと解釈された (Takatsuka et al., 2018a)。しかしこれらの変成リム年代値は、周囲のミグマタイト中のリューコゾームに比して顕著に厚い優白質部 (~20 cm) を用いて求められたもので、典型的なミグマタイト試料中のジルコンを測定したわけではなく、また試料数が1つで分析点数が少ないという問題点があった。

そこで本研究では、領家帯三河地域に産するミグマタイト4試料中のジルコン粒子に対し、U-Pbジルコン年代測定を行った。ミグマタイトの主要鉱物組合せは石英＋斜長石＋カリ長石＋黒雲母±菫青石＋珪線石±ざくろ石である。ジルコンには変成リムが発達し、珪線石および白雲母が包有されていた。年代測定の結果、~98 Maから~81 Maにかけてコンコーディア上に連続的に分布するU-Pb年代を得た。年代値に加えジルコン中の珪線石包有物の有無やジルコンのTh/U比・U濃度を考慮することで、以下の3つの変成ステージを認識できた。(1) 広域変成作用時の部分溶融メルト中でのリムの成長 (91.4±0.8 Ma; MSWD=1.4, Th/U＜0.08, n=29)、(2) 変成ピーク後の珪線石脈形成に伴うUに富むジルコン粒子の成長 (87.1±1.7 Ma; MSWD=2.1, Th/U=~0.002-0.01, n=3)、(3) (1) の外側に発達する~81 Ma (80.9±2.9 Maおよび81.5±7.3 Ma; Th/U<0.03) の変成リムの成長。(3) については、得られた分析点数が少ないながら、試料採取地点が81-75 Ma花崗岩類 (Takatsuka et al., 2018b) から約1.7 kmと近く、U-Pbジルコン年代も81-75 Ma花崗岩類に近いことから、同花崗岩類の貫入に伴う接触変成作用時に形成されたリムの可能性がある。

また、従来U-Pbジルコン年代値の報告がない讃岐東部地域 (沓掛ら, 1979) においても、2試料の変成ジルコンのU-Pb年代を決定した。1試料目は、讃岐東部に産する花崗岩類に囲まれた800m程度の変成岩岩体中の泥質片麻岩で、主要鉱物組み合わせは石英＋斜長石＋カリ長石＋黒雲母＋ざくろ石である。ジルコンには変成リム (Th/U=~0.02-0.18) が発達し、U-Pbジルコン年代は93.4±0.7 Ma (MSWD=0.85, n=27) を示した。2試料目は、同じく花崗岩に囲まれて約4 km幅で露出する変成岩岩体から得た泥質片麻岩で、片麻状構造は周囲の片麻状花崗岩類と調和的である。主要鉱物組み合わせは石英＋斜長石＋カリ長石＋黒雲母＋珪線石である。ジルコンには珪線石を包有する変成リム (Th/U=~0.05-0.08) が発達し、U-Pbジルコン年代は95.4±2.4 Ma (MSWD=0.47, n=6) を示した。これらは、周囲の~93 Maの片麻状花崗岩類のU-Pbジルコン年代 (Iida et al., 2015) と一致しているため、花崗岩類の貫入による接触変成作用時に、珪線石安定領域下で変成リムが成長した可能性が高い。

キーワード：U-Pbジルコン年代、ミグマタイト、高温変成作用

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Keywords: U-Pb zircon dating, migmatite, high-temperature metamorphism

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 日高変成帯野塚岳地域における構造地質学的研究 -島弧・島弧接合による新生代大陸地殻の成長・形成過程とそのメカニズム-
# Structural geology of Hidaka metamorphic belt in the Mt.Nozuka area, Hokkaido, Japan -Growth and formation process of the Cenozoic continental crust by island arc/arc join and its mechanism-

*菅野 萌子[1]、豊島 剛志[2]
*Moeko Kanno[1], Tsuyoshi Toyoshima[2]

1. 新潟大学大学院自然科学研究科、2. 新潟大学理学部地質科学科
1. Graduate school of Science and Technology, Niigata University , 2. Department of Geology,Faculty of Science,Niigata University

北海道日高変成帯は，白亜紀以降に形成された未成熟島弧の地殻衝上断片とみなされ（小松ほか，1982など），中新世の千島弧と東北日本弧の衝突により形成された日高山脈の大部分を構成する深成岩-変成岩複合岩体で，東から西に向かって順次地殻深部相が分布する単一の地殻衝上断面であるとされてきた．しかし，ジルコン年代の導入（Kemp et al 2007）により，従来1つの地殻衝上断片であるとされてきた日高変成帯は19Maと37Maの2回にわたって形成された2つの地殻断片が重なったものであるとされた（志村ほか，2015）．また，日高変成帯の周辺地質体のジルコン年代から，日高変成帯における３ステージの火成活動が予想されている（山崎ほか，2018）．これらにより，従来の日高変成帯の形成テクトニクスでは地殻の形成過程が説明できない状態となったため，日高変成帯の形成テクトニクスの再構築が必要となった．

本研究では日高変成帯の主要な変成岩や深成岩類（Sタイプトーナル岩・Iタイプトーナル岩・閃緑岩など）が分布する野塚岳地域のニオベツ川流域において，各種岩石の相互関係（接触関係，上下関係，時間的前後関係など）・形成史を調べ，日高変成帯形成テクトニクスの再構築に向けた基礎的なまとめを行った．

本地域の岩相のほとんどはNW-SE走向を示し変成帯の伸びの方向と平行であるのに対して，それらの岩相に貫入する閃緑岩（ニオベツ岩体）はN-S走向を示し，そのほかの岩相とは斜交する．閃緑岩周辺ではミグマタイトが形成されており，そのほかの深成岩類中にも変成岩の包有物が確認された．

深成岩類のジルコンU－Pb年代測定の結果，本地域の日高変成帯において約33Ma，約19Maとそれより古いと考えられる約45Maの３つの火成活動が考えられる．測定した深成岩類はいずれもミグマタイトや変成岩の包有物を伴っていることから，3つの火成活動はそれぞれ変成作用を伴っていたことが示唆される．従って，日高変成帯は3ステージの変成作用・深成作用によって形成されたと考えられる．

約19Maの深成岩である閃緑岩の南縁には不均質角閃岩が分布し，部分溶融を伴い激しく褶曲・変形している．変形帯としての不均質角閃岩層が19Ma深成岩・変成岩（ミグマタイト）とそれより古い深成岩・変成岩との境界となっているように見えることから，ニオベツ岩体の貫入が断層に沿って起こった可能性が考えられる．閃緑岩内部の非対称流理構造が正断層センスを示すことから，引張場における貫入が予想される．

日高主衝上断層（HMT）付近の岩相にはマイロナイト化が認められ，右横ずれ～右横ずれ正断層センスを示す．このマイロナイト化は構造解析の結果，3ステージに区分できると考えられる．

今後は変成作用・火成作用・変形作用の関係を明らかにするため，より詳細な変形作用の解析に加え，変成作用や火成作用との関係を明らかにし，日高変成帯の形成テクトニクスの再構築を行う必要がある．

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：構造地質学、日高変成帯、テクトニクス
Keywords: Structural geology, Hidaka Metamorphic belt, Tectonics

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# THE PRESSURE-TEMPERATURE PATH AND MINERAL ASSEMBLAGE OF THE KHONICHIIN OVOO AREA, SOUTHEASTERN MONGOLIA.

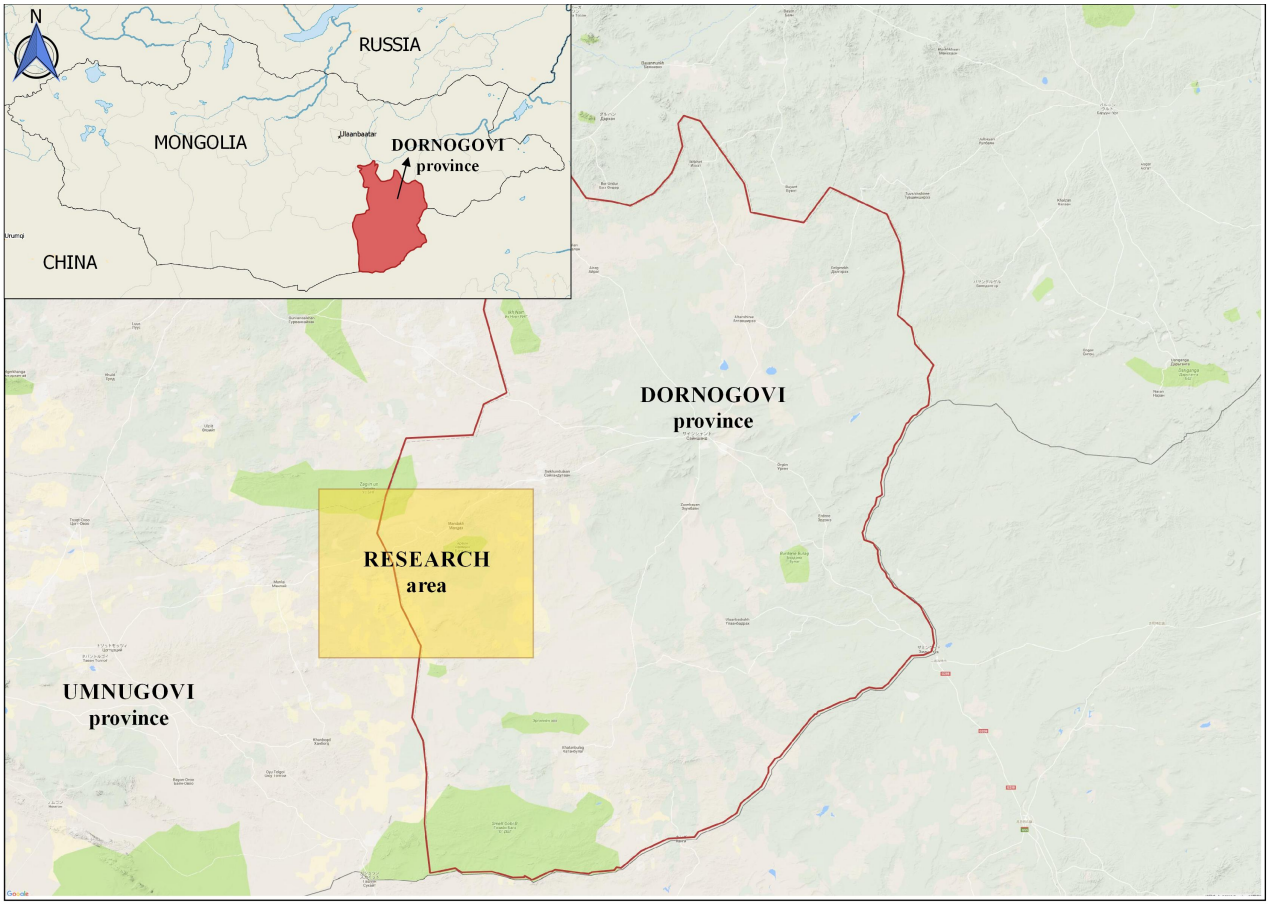
*Undarmaa Batsaikhan[1], Noriyoshi Tsuchiya[1], Masaoki Uno[1], Yukio Isozaki[2], Uyanga Bold[2], OTGONBAYAR DANDAR[1], Hikaru Sawada[2]

1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 2. Graduate School of Arts and Sciences the University of Tokyo

The Khonichiin ovoo area is located in the southeastern part of Mongolia of the Central Asian Orogenic belt, which is largest amalgamation history of during Phanerozoic time. The Khonichiin ovoo area mainly consists of the Khutaguul, the Norovzeeg metamorphic complexes that underwent high grade facies metamorphism, with rare igneous rocks. The Khutaguul metamorphic complex is composed of garnet-biotite, amphibolite-biotite, two mica gneiss, amphibolite schist, quartzite, marble, granite-gneiss, granulite and migmatites. The Norovzeeg metamorphic complex is composed of metasedimentary and metavolcanic rocks. P-T condition and mineral assemblage data/information for these metamorphic complexes are extremely limited. This is because international and local researchers had focused on investigations on Paleozoic igneous, volcanic and sedimentary rocks, which are somehow related to the porphyry copper deposits (Tsagaan suvarga Cu-Mo, Kharmagtai Cu-Au) in the south of Mongolia in the last two-decade years.
We will show new age dating and P-T conditions of the Khutaguul and the Norovzeeg metamorphic rocks.

Keywords: P-T path, Petrology, Southeastern Mongolia

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 




©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 九州北西部糸島半島野北地域の接触変成作用の温度圧力条件
# Pressure-temperature conditions of contact metamorphism in Nokita area, Itoshima Peninsula, northwest Kyushu

*池田 剛[1]、太田 健斗[2]
*Takeshi Ikeda[1], Kento Ota[2]

1. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻
1. Department of Earth and Planetary Sciences,Faculty of Scinece, Kyushu University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences,Graduate School of Scinece, Kyushu University

Gneissose granitic rocks are common in high-grade areas of high-temperature low-pressure metamorphic complex. Similarity in age and concordant relation to the surrounding rocks imply that they supplied heat to cause the high-temperature low-pressure metamorphism. Parallelism of internal structures of granitic and metamorphic rocks also suggests that both rocks underwent simultaneous deformation during and after the intrusion of the granitic rocks. The post-metamorphic deformation would rearrange the thermal structure formed at the heat supply.

The Renge metamorphic complex in the Nokita area of Itoshima Peninsula, northwest Kyushu, was intruded by the Kitazaki and Itoshima granodiorites on the north and south at Cretaceous, respectively. The complex was recrystallized by thses intrusions and underwent significant deformation that belongs to flattening after the peak of contact metamorphism (Yamasaki & Ikeda, 2018). This study estimates the pressure-temperature condition preserved in pelitic rocks to evaluate the post-metamorphic deformation.

The pelitic schists in the study area are composed of leucocratic and melanocratic layers depending on the modal amount of biotite. The common constituent minerals are quartz, plagioclase, biotite. Garnet, muscovite, and K-feldspar locally occur. In addition, chlorite is present as veins and schistosity-forming mineral, which is interpreted as retrograde products.

Four pelitic schists were employed to estimate the metamorphic conditions. Garnet shows euhedral shape and so-called normal zoning where Mg increases and Fe and Mn decreases towards the rim. The composition of rim ranges such that Xalm=0.72-0.80, Xprp=0.09-0.12, Xsps=0.06-0.16, and Xgrs=0.04-0.06. On the other hand, that of core varies Xalm=0.50-0.66, Xprp=0.03-0.05, Xsps=0.24-0.40, and Xgrs=0.04-0.10. The Mg/Fe of rim and core ranges 0.13-0.15 and 0.06-0.08, respectively. Biotite also shows significant variation in composition, i.e., Ti of 0.15 - 0.46 based on 22 oxygen, and Mg/Fe of 0.44 - 0.76. The Ti content of biotite near chlorite is low as compared with that far from chlorite. Plagioclase is chemically homogeneous in one sample. The anorthite content shows southward increase from 0.23 to 0.42.

We chose the composition equilibrated at peak of the metamorphism such as the highest Mg/Fe in the rim of garnet, highest Ti in biotite and highest anorthite content in plagioclase. Geothermobarometry using garnet-biotite geothermometer (Ferry & Spear 1978) and a garnet-biotite-plagioclase-quartz geobarometer (Hoisch 1990) provide the metamorphic conditions of 590 °C, 1.4 kbar, 650 °C, 3.5 kbar, 770 °C, 4.2 kbar, and 650 °C, 2.8 kbar from south to north ,which corresponds to 5.3-16 km depth. The pressure and temperature vary by 2.8 kbar and 180 °C, respectively, within ca. 300 m distance. The lithostatic pressure relevant to 300 m thickness cannot explain the pressure difference of 2.8 kbar. The

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

present result also supports the significant thinning deformation after the contact metamorphism.

キーワード：接触変成作用、変成後の変形、地質温度圧力計
Keywords: Contact metamorphism, Post-metamorphic deformation, Geothermobarometry

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 天草下島に分布する長崎変成岩類の片麻岩に見られる部分溶融の証拠
# Evidence of Partial Melting of Migmatitic Felsic Gneiss from Nagasaki Metamorphic Complex in Amakusa-Shimoshima, western Kyushu, Japan

*森 祐紀[1]、池田 剛[2]、宮崎 一博[3]
*Yuki Mori[1], Takeshi Ikeda[2], Kazuhiro Miyazaki[3]

1. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、3. 産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門
1. Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, 3. Research Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

The Nagasaki Metamorphic Complex in Amakusa-Shimoshima is divided into the lower and upper units. The former and the latter are composed mainly of pelitic schists and gneisses with mafic and felsic composition, respectively. The upper unit is considered to have located at lower crust that was shortened due to ductile flow toward trench side (Miyazaki et al., 2013). The unit belongs to the high-pressure granulite facies and represents migmatitic mode of occurrence, which implies potential presence of melt that enhanced the ductile deformation. This study reports microstructural features indicative of partial melting in a felsic migmatitic gneiss.

The migmatitic felsic gneiss dealt with this study represents U-Pb zircon age of 125.8±1.8 Ma (Mori et al., 2018 JpGU). It is composed mainly of garnet, quartz, muscovite, zoisite and aggregate of fine-grained zoisite + albite + muscovite that is former plagioclase. Minor amounts of graphite, zircon, apatite, rutile, chlorite, and iron sulfide also occur. Tiny grains of hornblende are included in the rim of garnet. The matrix zoisite commonly includes epidote in the core. The epidote contains significant amounts of rare earth elements (REE) and is composed of Y-poor core and Y-rich rim. The garnet grains are roughly divided into two types of coarse- and fine-grained. The $X_{Mg}$ [=Mg/(Mg+Fe)] of the coarse-grained garnet increases from the core to the rim and decreases at the extreme periphery, while that of the fine-grained garnet monotonically decreases from the core to the rim. The coarse-grained garnet represents Y-rich and P-poor core and Y-poor and P-rich rim whereas Y-poor and P-rich domain is dominant in the fine-grained garnet. A polyphase inclusion composed of chlorite + muscovite + quartz + $CaCO_3$ is found from the rim of coarse-grained garnet. The inclusion shows polygonal shape and has cuspate offshoots filled with chlorite or muscovite. Apatite is included in the core of the coarse-grained garnet but is not found from the rim. The fine-grained garnet and the rim of the coarse-grained garnet include Y-rich REE-epidote.

We applied Zr-in-rutile geothermometer (Ferry & Watson, 2007), garnet-hornblende geothermometers (Graham & Powell, 1984; Powell, 1985; Ravna, 2000), and hornblende-plagioclase geothermometer (Holland & Blundy, 1994). These results are consistent among them within their errors and represent 720 –770 ˚C as the peak condition. The pressure at the peak condition was estimated utilizing garnet-hornblende-plagioclase-quartz geobarometer of Kohn & Spear (1990), and we obtained the pressure of 9.1 –10.2 kbar.

The estimated condition lies above the melting reaction of zoisite + muscovite + quartz + water = kyanite + melt (cf. Schliestedt & Johannes, 1984). The polygonal shape of the polyphase inclusion in the rim of

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

coarse-grained garnet could represent negative crystal of garnet. Combining the constituent minerals of the inclusion, it is likely that the polyphase inclusion was originally melt inclusion.

The concentration of yttrium and phosphorus in the rim of coarse-grained garnet is similar to that in fine-grained garnet. Based on the presence of melt inclusion in the rim of coarse-grained garnet, we consider that fine-grained garnet nucleated during the partial melting with the formation of the rim of coarse-grained garnet. The Y-rich REE-epidote is in the matrix and included in the fine-grained garnet and the rim of the coarse-grained garnet, so we consider that Y-poor garnet and Y-rich REE-epidote coexisted with the melt. The lack of apatite inclusion in P-rich domain of both garnets may indicate that the phosphorus in P-rich domain in garnet was supplied by breakdown of apatite during the melting.

キーワード：部分溶融、メルトインクルージョン、柘榴石、REE緑簾石、アパタイト
Keywords: partial melting, melt inclusion, garnet, REE-epidote, apatite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Microstructural Analysis of Quartz grains in Monomineralic and Polyphase domains: A case study from Main Central Thrust (MCT) Zone Mylonites, western Himalaya, India

*Shivaji Saha[1], Toru Takeshita[1], Subhajit Ghosh[2], Hari Bahadur Srivastava[3]

1. Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 3. Department of Geology, Banaras Hindu University

Ongoing collision in the Himalayan orogeny causes crustal deformation owing to the thrust activity. Hence, the movement along the Main Central Thrust (MCT) enhances ductile deformation of the crust widely distributed across the orogenic belt. Therefore, detailed microstructural analysis is necessary to define the shear zone by the degree of strain intensification across the MCT. A study area along Madhmaheswar Ganga valley, Rudraprayag district, Uttarakhand, India, has been chosen. Purpose of this study is to perceive the heterogeneity of the deformational behavior of quartz grains in terms of thickness of quartz layers and other associated phases along with the understanding of fabric development with respect to the MCT. In this research, the lower Greater Himalayan Sequence (L-GHS) of *c.* 1.5 km thickness on the hangingwall side and upper Lesser Himalayan Sequence (U-LHS or Munsiari formation) of *c.* 4 km thickness on the footwall side of the MCT, has been studied.

Microstructural observations are essentially focused on the quartzo-feldspathic gneiss of the Munsiari formation and L-GHS. At lower Munsiari formation, Quartz microstructures are characterized by subgrain rotation recrystallization (SGR). Polygonal quartz grains with triple point junction indicate SGR followed by static grain growth. At upper Munsiari formation, lobate boundaries of quartz grains with sweeping extinction and deformation lamellae indicate high temperature grain boundary migration (GBM) overprinted by late stage low temperature deformation. Quartz grains in the lower GHS rocks are coarser than that of the Munsiari rocks and highly amoeboid in shape. High temperature deformation is evidenced by the presence of elongated sub-grains within these irregular grains.

To carry out further microstructural studies, 14 samples were selected for EBSD analysis. Quartz *c*-axis fabric from ~500-829 $\mu m$ thick quartz-rich monomineralic layer shows a series of type-*II* crossed girdle fabrics with *Y*-maximum. Here, the quartz *c*-axes are aligned parallel to intermediate finite strain axis *Y*, revealing the intracrystalline deformation by active prism {10 -10} *a* slip system. In contrast, c-axis orientations obtained from thin monomineralic quartz layers (thickness ~72-163 $\mu m$) records girdles ranging from small circle girdles to type-*I* crossed girdle fabric with r-maxima. In this case, the rhombohedral plane of quartz is aligned parallel to the foliation plane (*XY*), which indicate basal (0001) *a* slip and rhomb {10 -11} *a* slip system activity. Thus, there is an effect of thickness of monophase layers on fabric development and, perhaps the role of other phases has a strong impact on the fabric development for thin monomineralic layers.

On the other hand, polyphase domains are characterized by the quartz grains totally surrounded by other phases. The size of recrystallized quartz grains within polyphase domain increases from ~64.4 $\mu m$ in Munsiari to ~109 $\mu m$ in L-GHS. C-axes orientations are random for the Munsiari samples. Whereas, C-axis fabric with point maxima is observed for the L-GHS samples. However, those fabric patterns are strengthened with increasing modal abundance of quartz.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

The strength of the quartz *c*-axis fabric is quantified as a function of eigenvectors ( $\lambda_1$ = maximum; $\lambda_2$ = intermediate; $\lambda_3$ = minimum) from *c*-axes orientation distribution. Following, Vollmer (1990), three end member fabric types are determined from these eigenvectors; those are point (*P*), girdle (*G*) and random ( *R*). Then, by introducing cylindricity index (*B*) of Vollmer (1990), the variation in fabric strength of quartz LPO is shown as a function of strain localization throughout the Munsiari formation. Progressive increase in fabric intensity for both thin and thick monomineralic quartz layers indicate an increase in strain towards the MCT.

Keywords: Main Central Thrust Zone, Quart c-axis fabric, Strain intensification

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Tectono-thermal evolution of the Main Central Thrust (MCT) zone rocks of the Himalayan Crystalline Complex (*HCC*), Darjeeling-Sikkim Himalaya

*Subhajit Ghosh[1,2], Santanu Bose[2,3], Nibir Mandal[4], Arijit Laik[2]

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-0032, 2. Department of Geology, University of Calcutta, 35, Ballygunge Circular Road, Kolkata 700019, India, 3. Department of Geology, Presidency University, 86/1 College Street, Kolkata 700073, India, 4. Department of Geological Sciences, Jadavpur University, Kolkata 700032, India

The rheology of the Himalayan Crystalline Complex (*HCC*) laying above the Main Central Thrust (MCT), is the key boundary condition for all the tectonic models that deals with extrusion of lower crustal material. Therefore, it is important to understand the intricate relationship between the processes of crustal thickening, Barrovian metamorphism and strain localization in the high-grade rocks of the *HCC* that controls the rheology of a deforming wedge. Initially deformation was distributed and a series of repeated folding leads to crustal thickening and pro-grade metamorphism. The similarity between the peak metamorphic and peak deformation temperature, as documented by frozen high-temperature microstructures is indicative of this phase. The '*locked in*' deformation microstructures and syn-kinematic growth of metamorphic index minerals reveal that the MCT related shearing begins at or near the peak metamorphic condition (16-12 Ma), where grain size reduction by dislocation-controlled creep was the most effective mechanism for strain localization. The observed deformation microstructures and the available P-T data shows that the peak deformation and metamorphic condition progressively increases (~500 to >700˚C) towards the mountain interior. It is further evident that the now-exposed *HCC* begun to extrude under dominantly ductile mid-crustal condition at a temperature >700˚C, where the hotter mid-crustal rocks can flow in a viscous manner by melt enhanced depth-dependent ductile flow. Hence, initially the MCT represents a rheological and metamorphic boundary that separates material which can or cannot flow. Then with subsequent exhumation, cooling and strengthening of the *HCC* produced diffuse ductile shear zones along the same rheological boundary, where deformation was distributed for 4-6 km width (~ MCT zone). The base of the high strain zone is marked by base of the compressed reverse paleo-isograds that coincides with the SGR-GMB transition for quartz, leading to steep P-T gradient locally constrained within the MCT zone before it flattened in the migmatite gneisses. At further lowering of temperature (shallower depth), the MCT localized into narrow shear zone under dominantly brittle condition, transporting the entire *HCC* thrust sheets to the foreland.

Keywords: Himalaya, India-Asia collision, Superposed folding, Strain localization , Main Central Thrust Zone

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 三波川帯の低変成度領域における温度構造と変形構造，およびテクトニックな意義

# Thermal structure and deformation history of the low-grade Sanbagawa belt in the central of Kii Peninsula and tectonic implications

*山岡 健[1,2]、ウォリス サイモン[1]、森 宏[2]
*Ken Yamaoka[1,2], Simon Wallis[1], Hiroshi Mori[2]

1. 東京大学、2. 信州大学
1. University of Tokyo, 2. Shinshu University

The Sanbagawa belt in SW Japan is one of the best-documented regions of relatively warm subduction-type metamorphism and information from such regions are important to clarify our understanding of convergent plate margins. Much of the present knowledge is based on petrological studies in the higher grade parts of this belt. However, most of the Sanbagawa belt belongs to the lowest grade domain, the chlorite zone. The lack of reliable methods to determine the thermal structure in this low-grade zone has meant that information from the majority of the belt has been underrepresented. Development of the Raman carbonaceous material thermometer (RCMT) has opened up possibilities of determining the temperature structure of low-grade metamorphic domains such as the chlorite zone of the Sanbagawa metamorphism. Application of RCMT to pelitic rocks of the central Kii peninsula shows a progressive decrease in T from ~390 ˚C close to the northern boundary marked by the Median Tectonic Line (MTL) to ~270 ˚C ~7 km to the south and roughly constant thereafter. The thermal structure is not significantly affected by fault boundaries between different geological units. Meso and microstructural observations combined with strain analysis based on deformed shapes of detrital grains in metamudstone indicate a similar deformation history throughout the area and no correlation between strain and temperature gradients. These features can be used to asses possible models for the observed temperature rise. On this basis, we suggest the rise in T was not due to return flow of high T material in a subduction channel. We also conclude that the rise in T takes place over too narrow a distance to be explained as part of the expected thermal warping in a warm subduction zone. We find no evidence for heating related to the rise of magma or hot fluids. Shear heating along the MTL does provide a plausible explanation for the observed thermal structure compatible with all observations. One-dimensional thermal modeling shows that to account for the observed thermal structure requires slip rates of several mm/yr and relatively high coefficients of friction ($\mu$=??). A similar result was reported from an area to the east but with a much more limited domain of elevated temperatures, probably due to late-stage thinning related to normal faulting. Our results imply that long-lived major crustal faults such as the MTL are at least locally associated with high stresses and are relatively strong. Evidence for the faults being weak at shallow depth implies there is a rapid decrease in strength over the upper few km of the MTL fault zone.

キーワード：三波川帯、炭質物ラマン温度計、剪断熱
Keywords: Sanbagawa belt, Raman carbonaceous material thermometry, shear heating

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Antigorite Raman spectrum: a case study in Shiraga region of the central Shikoku, Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan

*安藤 宏太[1]、纐纈 佑衣[1]、道林 克禎[1]
*Kota Ando[1], Yui Kouketsu[1], Katsuyoshi Michibayashi[1]

1. 名古屋大学
1. Nagoya University

Serpentinites are important rocks and are associtated with water circulating in the earth's interior. However, it is difficult to estimate their metamorphic conditions because serpentine minerals are stable at wide P-T condition. In this study, we compared Raman spectrum of antigorite in different metamorphic grade samples and determined whether Raman spectrum could constrain metamorphic conditions of serpentinites. Serpentinites in this study have been sampled from Shiraga region of the central Shikoku, the Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan. All samples experienced the metamorphic conditions in which olivine were formed by the dehydration reaction of antigorite with brucite. Some samples show retrograde antigorite formed during exhumation. Raman spectrum were measured from various sizes and textures of antigorite grains. Comparing full width at half maximum (FWHM) of Raman spectrum, we found that the prograde-antigorite had different features from retrograde-antigorite. As a consequence, FWHM of Antigorite Raman spectrum could be used to constrain the timing of antigorite formation.

キーワード：アンチゴライト、蛇紋岩、ラマンスペクトル、三波川変成帯
Keywords: antigorite, Serpentinite, Raman spectrum, Sanbagawa metamorphic belt

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# A fluid inclusion study from the late Paleozoic retrograde eclogite from the Yunotani Valley of the Omi area, Hida-Gaien Belt, Japan

*進士 優朱輝[1]、辻森 樹[1]、川本 竜彦[2]
*Yuzuki Shinji[1], Tatsuki Tsujimori[1], Tatsuhiko Kawamoto[2]

1. 東北大学、2. 静岡大学
1. Tohoku University, 2. Shizuoka University

Primary fluid inclusions trapped in subduction metamorphic rocks can provide direct information concerning composition and origin of slab-derived fluids. In order to investigate fluid signatures at the mantle wedge beneath forearc regions, we conducted microthermometry for primary fluid inclusions in both prograde eclogite-stage omphacite and retrograde blueschist-stage quartz, in the late Paleozoic retrograde eclogite from the Yunotani Valley of the Omi area, Hida-Gaien Belt, Japan. Note that the investigated blueschist-stage quartz forms a microvein along cracks of omphacite. The investigated eclogite occurs as mafic layers or lenses which are intercalated in metasedimentary rocks with the mineral assemblage paragonite + phengite + garnet ±glaucophane + quartz + rutile. Recent study confirmed that the retrograde blueschist-stage reached the pumpellyite stability field of $P$ = ~0.62–0.70 GPa and $T$ = ~280–320°C (Shinji and Tsujimori 2019 doi:10.2465/jmps.180716).

The primary fluid-inclusions in both omphacite and quartz are aqueous two-phase inclusions of liquid and vapor. Their molecular species in a liquid and gas phase were identified using micro-Raman spectroscopy. The fluid inclusions of the eclogite-stage omphacite are characterized by relatively high salinity of ~8.0–8.2 wt% NaCl equivalent and the brine freezing temperatures at ~-70°C suggests presence of divalent ions such as $Ca^{2+}$ and/or $Mg^{2+}$. In contrast, fluid inclusion in blueschist-stage quartz shows relatively low value of ~2.4 wt% NaCl equivalent. The liquid phase of the fluid inclusion transforms completely into solid phases at ~-38°C, suggesting existence of the limited monovalent ions such as $Na^{+}$ or/and $K^{+}$ in the fluids.

Our preliminary data demonstrates that the pervasive fluids entrapped at prograde eclogite-stage and retrograde blueschist-stage had different chemical compositions. This suggests different fluid sources at eclogite and blueschist depth. Our observation is consistent with the different fluid compositions recorded in zoned lawsonite in Guatemalan eclogite (Hara et al. 2018 doi: 10.1016/j.lithos.2018.09.001). In our study, the existence of higher salinity fluids in the eclogite-facies conditions can suggest more effective transportation of the lithophile elements into the mantle wedge at deeper forearc regions.

キーワード：Slab-derived fluid、Mantle wedge beneath forearc region、Fluid inclusion、Microthermometry、Retrograde eclogite、Retrograde blueschist-stage pumpellyite
Keywords: Slab-derived fluid, Mantle wedge beneath forearc region, Fluid inclusion, Microthermometry, Retrograde eclogite, Retrograde blueschist-stage pumpellyite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Development of reaction-induced stress and permeability in MgO-$H_2O$ system

*笠原 久夢[1]、宇野 正起[1]、岡本 敦[1]、土屋 範芳[1]
*Hisamu Kasahara[1], Masaoki Uno[1], Atsushi Okamoto[1], Noriyoshi Tsuchiya[1]

1. 東北大学大学院 環境科学研究科
1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

Fractures are dominant flow path of fluid transport in the crust, and fluid flow through the fractures is important for the progress of fluid-rock interaction and material transport in the crust. The fractures enhance permeability in rocks, which has significant effects on the efficiency oil mining, geothermal development and Carbon dioxide Capture and Storage (CCS). Thus, the research on the fracture formations and associated permeability developments are increasingly important for geoscience and engineering.

Especially during fluid-rock interactions in the crust, hydration reactions increase solid-volume and generate stress. Recently such reaction-induced stress has been investigated as a new fracture generation process. For example, the fractures associated with reaction-induced stress are observed in serpentinized olivine (Jamtveit and Austrheim, 2010). In addition, the stress exceeding rock strength is reported from thermodynamic prediction (Kelemen and Hirth, 2012) and experimental measurements (e.g., Lambart et al., 2018). However, the existence of non-fractured rocks despite the volumetric expansion reaction (Centerrea et al., 2015) and the discrepancies between the experimental and theoretical values of reaction-induced stress have not yet been clarified. To understand the causes of these phenomena, it is important to constrain the controlling factors and the generation processes of reaction-induced stress. Therefore, we conducted direct measurements of reaction-induced stress and permeability development during hydration reactions, to clarify the relation between the reaction, stress generation, fracturing and permeability developments.

In our previous study, we measured the reaction-induced stress in MgO–$H_2O$ system, and observed stress generation of approximately 40 MPa, exceeding common tensile strength of rocks. It is indicated that temperature dependence exists in stress generation behavior: the higher the temperature, the higher stress are generated and the stronger stress relaxation are observed after a peak stress. We also showed that this behavior can be explained by competition between reaction and deformation strain rate. This result was consistent to a certain extent with the result of $CaSO_4$・$1/2H_2O$–$H_2O$ system reported by Skarbek et al. (2018).

In this report, we aimed to clarify the influence of reaction and deformation rate on stress generation and the permeability development during volumetric expansion reaction. We conducted two experiments, the stress measurement experiments and the permeability experiments. In the former, experiments were conducted using pellets ($\phi$=45–55%) of MgO powder as a starting material under conditions of approximately 80 to 120 ˚C and fluid pressure of approximately 0.100 MPa. The developments of reaction-induced stress were measured as a function of temperature. In the same experimental systems, the reaction and deformation rate were determined by measuring the strain and the reaction rate. In the latter, the experiment was conducted using the sintered MgO as a starting material under the conditions of approximately 100 to 300 ˚C, a fluid pressure of 0 to 10 MPa, and a confining pressure of 0 to 50 MPa. The permeability developments were measured under conditions of various temperatures, confining

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

pressures and fluid pressures. From the results, we consider the relation between stress, fracturing and permeability and discuss the modes of rock fracturing and fluid transfer enhancement during hydration reactions in the crust.

キーワード：反応誘起応力
Keywords: Reaction-induced stress

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 透過菊池回折によるウルトラマイロナイト中のオリビン結晶方位解析：EBSDの微小部への拡張
# Crystal orientation analysis of olivine in ultra-mylonite using TKD method: progress in spatial resolution from EBSD

*伊神 洋平[1]、道林 克禎[2]、柿畑 優季[2]、纐纈 佑衣[2]
*Yohei Igami[1], Katsuyoshi Michibayashi[2], Kakihata Yuki[2], Yui Kouketsu[2]

1. 名古屋大学 未来材料・システム研究所、2. 名古屋大学 環境学研究科
1. Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University, 2. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

マントルは地球全体の80%以上を占めており、地球内部における物質循環や地球の形成史を理解する上で重要な領域である。そのうち上部マントル層の主要構成物質はかんらん岩であり、オリビン（$[Mg,Fe]_2SiO_4$、かんらん石）粒子の集合体である。オリビンは斜方晶系の結晶で力学的にも異方性を示すため、かんらん岩が剪断的な変形作用を受けた際に含水量や差応力などを反映して様々パターンでの選択配向を示す(Karato et al., 2008)。この配向パターンはかんらん岩の変形場について理解するための重要な指標となる上に、バルクでの地震波異方性推定のためのパラメータにもなるため、マントルの物質科学において大変重要な意味を持つ情報である。

オリビンの配向パターンの解析には現在、ほとんどの場合で走査型電子顕微鏡および電子線後方散乱回折検出器(SEM-EBSD）による方位マッピングが用いられている。EBSDは試料表面から形成される菊池パターンを解析する手法で、現在では自動でのデータ取得・方位決定が可能なハード・ソフトウェアが充実している。そのため様々な地域で採取されたカンラン岩中のオリビン配向パターンのデータが蓄積されてきた。しかし、オリビンの粒径がミクロンオーダー以下となってくると明瞭なEBSDパターン取得が難化することもあって、構造地質学の議論の上ではサブミクロン～ナノ領域の粒子の影響は見過ごされてきたことも多い。

一方、菊池パターンを得る際には、試料を100nm程度の薄膜にすることで、試料内での電子線の広がりが抑えられて空間分解能の向上が可能である(Keller and Geiss, 2011)。これは、透過菊池回折法(TKD)と呼ばれる手法で、EBSDの検出器や自動解析環境をそのまま使うことができるという利点も持つ。そこで本研究では、構造地質学のサブマイクロオーダー粒子の解析への展開を念頭に、TKD法によるウルトラマイロナイト中のオリビン配向解析を試みた。ウルトラマイロナイトは強い剪断応力を受けて、数$\mu$mからそれ以下の粒子の多結晶体となったカンラン岩であり、より詳細な変形プロセス理解が望まれている。

試料は、PROTEA5航海での調査で得られたMarionトランスフォーム断層のウルトラマイロナイトを用いた。SEM観察によれば、当試料はオリビンや角閃石の斑晶および細粒粒子のマトリックスで構成され、その他には直方輝石やクロムスピネルも確認される (Kakihata et al., 2018, AGU)。この試料に対し、SEM-EBSDにより方位解析を試みたのち、FIB (HITACHI FB2100)を用いて、オリビン細粒結晶領域を切り出して薄膜化し、TKD解析を行った。EBSDおよびTKDでは同じSEM-EBSDシステム（HITACH, S-3400N + OXFORD Instruments, NordlysNano)を用いた。

実験の結果、ウルトラマイロナイトのTKDデータの取得に成功し、サブミクロンの粒子同士の粒界まで識別エラー無く方位同定された。WフィラメントのSEMを用いたにもかかわらず、同試料の薄片に対するFESEM-EBSDでの解析よりも高い空間分解能を有したデータが得られた。得られたTKDマップデータに対してはEBSD同様の統計解析システムを用い、三宅ら(2016, 鉱物科学会)の提案による設定を行うことで方位マップが得られ、細粒オリビンのb軸が剪断面構造に対して垂直の選択配向を示すことが分かった。また、いびつな形状の粒子の存在や、亜粒界により連なるような粒子の存在も可視化された。本研究で用いたTKD法は、TEM分析ほどの空間分解能には至らないものの、薄膜試料全体の方位解析における労力はとても小さく、TEM分析の事前準備としての活用は効果的である。今後、TKD法の活用により、これまで分析が困難であったカンラン岩中の細粒粒子の力学的影響の研究が促進されると考えられる。

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：電子線後方散乱回折法、透過菊池回折法、結晶選択配向、ウルトラマイロナイト、かんらん岩
Keywords: EBSD, TKD, crystal preferred orientation, ultra-mylonite, peridotite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Elucidation of effective diffusion coefficient along grain boundaries by hydrothermal experiment using low porosity rocks

*杉沢 直樹[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1]
*Naoki Sugisawa[1], Masaoki Uno[1], Noriyoshi Tsuchiya[1]

1. 東北大学大学院　環境科学研究科　先進社会環境学専攻
1. Graduate school of environmental studies Tohoku university

Elucidation of the time scale of the fluid activity recorded in the rock is important for understanding the actual condition of fluid activity in the crust. In recent years, it has become possible to estimate time-scale of fluid activity in the crust from isotopes and element concentration profile of natural metamorphic rocks. (e.g.John et al.,2012) To estimate the time-scale, the effective diffusion coefficient (Deff) is important as an indicator of diffusion via grain boundary fluid. It is known that the effective diffusion coefficient depends on the porosity (Φ) of rock and time due to grain boundary diffusion. (e.g.Boving and Grathwohl, 2001) The effective diffusion coefficient is conventionally substituted by the product of self-diffusion coefficient ($D_{self}$) and porosity ($D_{self}\Phi^x$). However, the effective diffusion coefficient varies depending on the power factor (x) of the porosity, and the estimated timescales depend significantly on the power factor (x). Therefore, we clarified the relationship between porosity vs effective diffusion coefficient and confining pressure vs effective diffusion coefficient using hydrothermal experiment under crustal condition with various low porosity granite. In this paper, we mention the following two experiments as the first step : (1) Fluorapatite (F-Ap) substitution reaction (2) Determination of effective diffusion coefficient using low porosity hydroxyapatite sintered body (OH-Ap).

In this study, natural F-Ap from Mexico and OH-Ap (Wako Pure Chemical corporation) were used as starting materials. In experiment (1), first, natural F-Ap was cut in the c-axis direction. And it was put in the gold tube with 0.0006-6 M HCl or 0.01-1 M NaOH two types solution. After that gold tube was putted in the batch type hydrothermal equipment and conducted hydrothermal experiment under 400 ℃, 50 MPa for168 hour. In experiment (2), OH-Ap powder was pressed under 200 MPa for 30 minutes and then the porosity was varied by sintering at deference temperature from 1500 ℃ to 1200 ℃. After cooling, the porosity was measured by the wet method. NaF solution saturated at room temperature and OH-Ap sintered body was added to the same apparatus as above and a hydrothermal experiment was conducted at 300 ℃ and 20 MPa for 168 hours. After the experiment (1) and (2), the samples were evaluated by quantitative analysis and mapping analysis with EPMA in both cases. Before the experiment, phase diagram of apatite under experimental temperature and pressure was prepared using SUPCRT92, GEMS to expect these reactions.

As a result of the hydrothermal experiment, in the experiment (1), it is suggested that the OH in F-Ap is substituted with Cl under HCl solution and the NaOH substitutes OH for F. In experiment (2), F diffusion zoning was generated along the clacks in the sintered OH-Ap, and an effective diffusion coefficient was calculated using diffusion equation. There was no apparent porosity dependency of the effective diffusion coefficient at porosities 1.68-5.83%. The effective diffusion coefficient obtained in this experiment was equivalent to the self-diffusion coefficient of fluorine multiplied by the porosity 2.26 power. ($D_{eff} = D_{self}\Phi^x$) (e.g. Oelkers and Helgeson, 1988) However, the porosity measured by the wet method needs to be investigated because it contains the cracks generated in making the sintered body. (e.g. mercury porosimeter)

Based on the above experimental results, it is discussed that the influence of temperature, pressure, solution condition, on substitution of monovalent halogen and hydroxyl group between apatite and fluid and relationship between porosity and effective diffusion coefficients.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

References
John et al. Nature Geosience, Vol.5, July 2012, Pages 489-492 Boving and Grathwohl Journal of Contaminant Hydrology, Vol.53, 8 May 2001, Pages 85-100 Oelkers and Helgeson, Geochemica et Cosmochimica Acta, Vol.52, October 1988, 63-85

キーワード：有効拡散係数、空隙率、地殻内流体
Keywords: effective diffusion coefficient, porosity, Crustal fluid

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 断層がウジ帯により記録される繰り返し地震すべり：野島断層ボーリングコアからの証拠

# Seismic slipping events recorded in a fault gouge zone: evidence from the Nojima Fault drill holes, SW Japan

*林 愛明[1]、西脇 隆文[1]
*Aiming Lin[1], Takafumi Nishiwaki[1]

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室
1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University

It is well known that large intra-continental earthquakes occur repeatedly along mature active faults and that the seismic slip may be recorded by cataclastic rocks, including fault gouge zones, that form at shallow depths in the upper crust (e.g., Lin, 2008). A fault gouge zone, bounded by a principal fault plane, is considered to represent the seismic slip zone that accommodates most of the accumulated fault displacement in the seismogenic regime. Therefore, studies of fault gouge zones along mature active faults would provide important information for reconstructing the long-term seismic faulting behavior of such faults, as well as providing new insights into the individual seismic slipping processes of active faults and their paleoseismic histories.

In the present study, we focused on the structural features of the fault gouge zone observed in drill cores acquired from nine holes that were drilled through the Nojima Fault (NF) at different depths from ~260 to 900 m at the Ogura site (Lin and Nishiwaki, 2019). Drilling investigations and structural analyses of drill cores reveal that a ~60 m wide fault damage zone containing a 10–30 cm thick fault gouge zone developed along the Nojima Fault (NF), on which the 1995 $M_w$ 6.9 Kobe (Japan) earthquake occurred. The fault gouge zone was observed at depths of ~260 to 900 m in nine drill holes that intersected the NF. Our findings show that i) the fault gouge zone observed at different depths in the nine drill cores is the principal fault slip zone of the NF, ii) the fault gouge zone can be divided into 11–20 thin layers of different color, and iii) the individually colored layers contain different color breccias of fault gouge that are offset and/or cut by cracks and crack-filled calcite and quartz veinlets. Our results reveal that the fault gouge zone probably records more than 11–20 paleoseismic faulting events along the NF during the late Pleistocene-Holocene.

References:

1) Lin, A., 2008. Fossil Earthquakes: The Formation and Preservation of Pseudotachylytes. Springer, Berlin, 348p (ISBN 978-3-540-74235-7).
2) Lin, A., Nishiwaki, T., 2019. Repeated seismic slipping events recorded in a fault gouge zone: evidence from the Nojima Fault drill holes, SW Japan. Geophys. Res. Lett., doi: 10.1029/2019GL081927.

キーワード：断層ガウジ、野島断層、地震すべり
Keywords: Fault gouge zone, Nojima Fault, Seismic slipping event

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Evolution of fluid chemistry during basalt-water and basalt-seawater interactions revealed by hydrothermal flow-through experiments

*根津 勇介[1]、岡本 敦[1]、平野 伸夫[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1]
*Yusuke Netsu[1], Atsushi Okamoto[1], Nobuo Hirano[1], Masaoki Uno[1], Noriyoshi Tsuchiya[1]

1. 東北大学　環境科学研究科
1. Tohoku University, Graduate School of Environment Studies

Recently, several deep drilling projects for exploiting the supercritical geothermal reservoirs in the world. For example, in 2017, the Island Deep Drilling Project (IDDP-2) reached 427 ˚C and 34 MPa, which exceeds the critical point of seawater. The drillcores revealed that the intense water-rock interaction under greenschist to amphibolite facies metamorphism. Although such deep drilling provides us direct information of active metamorphic processes. however, it is still unclear whether conventional petrological analyses could apply to reaction processes in open systems at high temperature hydrothermal alteration at seafloor. There have been few experiment studies on the water-rock interaction under supercritical conditions with some exceptions (Yardley et al. 2014).

In this study, we conducted hydrothermal flow-through experiments on the basalt-$H_2O$, basalt-NaCl.aq, basalt-seawater systems under the sub or supercritical conditions. The temperature and pressure were set to be 400 ˚C and 37 - 39 MPa, and the input solutions was flowed at constant flow rate (0.1 ml/min) for 1 –6 days. We placed a powder of MORB (Island, 250-500 $\mu$m), which is composed of plagioclase (Pl), olivine (Ol) phenocrysts and clinopyroxnene (Cpx), Pl groundmass, with lessor amount of volcanic glass, in a Ti inner tube (L=275 mm, I.D.= 4.35 mm). During the run, the solution was continuously pumped into the reaction vessel, and the output solution was collected every few hours. The concentration of Si, Al, Ti, Fe, Mg, Ca, Na, and K in the output solution was analyzed by ICP-AES.

In the basalt-$H_2O$ experiment, the products varied with distance from the inlet. At the inlet and middle of tube, Ca-rich Pl (An# 0.98) formed around primary Pl grain with producing abundant pores, whereas chlorite was dominantly formed around Ol and Pl at the middle to outlet of inner tube. The solution chemistry evolves with time: Si concentration was initially high and then decreases toward the steady state. pH, Na and Al increases with decreasing Si, whereas the Ca, Mg and Fe concentrations were low. These features indicate the dissolution of volcanic glass at the initial stage, and then the solution chemistry was controlled by preferential leaching of albite component of plagioclase.

In the basalt-saline water (2.5 wt% of NaCl) experiment, we observed pH rises accompanying the decrease Si concentration, indicating the leaching of Si and dissolution of Pl similar to the basalt- $H_2O$ experiment. One of the large differences between the two experiments was the extremely high Na concentration of saline water, resulting in the leaching of Ca (Ca concentration of the output solution was 40 to 80 times that of $H_2O$ experiment), or breakdown of Ca-bearing minerals. In the basalt reaction with artificial seawater, which contains a lot of $Mg^{2+}$, $SO_4^{2-}$, $CO_3^{2-}$ ions, revealed that the significant amount of precipitation of sulfate minerals occurred in the pre-heating parts of the vessel (before pass through the fluid reached the basalt sand), and that chlorite was formed throughout the reaction tube, which clogged the reaction vessel in a day. In contrast to the $H_2O$ and saline water experiments, pH decreased to 3. In spite that we conducted the experiments with the same rock sample (basalt sand) and the same P-T conditions, the products and solubitions after the water-rock interaction were quite different in response to the input solutions, probably because the open system, in which new fluids are continuously supplied,

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

is never rock-buffered. We will analyse the complicated reaction systems which control te evolution of solutions and minerals, based on the analyses of speciation of aqueous species, saturation of minerals and variation of replacement textures of minerals.

Reference
Yardley, B. W., Harlov, D. E., & Heinrich, W. (2010). Rates of retrograde metamorphism and their implications for crustal rheology. Geofluids, 10(1-2), 234-240.

キーワード：岩石-水相互作用、流通式実験、超臨界条件、玄武岩-水系、ザクロ石の生成
Keywords: Fluid-rock interaction, Flow through experiment, Supercritical condition, Basalt-seawater system, Garnet synthesis

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 3D microstructural analyses of fault rocks using CT and μCT scanning techniques

*Bingcheng Liu[1], Aiming Lin[1], Takafumi Nishiwaki[1]

1. Kyoto University

Meso- and microstructures of fault rocks including fault gouge developed in the active fault shear zone can reflect the deformation processes of fault motion and faulting mechanisms (Lin, 2008). Therefore, the study on structural features of fault rocks may provide new insights for understanding the nature of active faults. However, it is difficult to understand the spatial variation of microstructures of fault core zone based on traditional methods using two dimensional images under naked-eye and microscopic observations. Accordingly, it is necessary to develop an analytical method for three dimension (3D) analysis for understanding the spatial variation and internal structures of fault core zone. Computed tomography (CT) apparatus with micro-CT (μCT) accessories is a powerful tool which allows non-destructive 3D X-ray imaging and analyzing the spatial and internal structures within non-transparent objects, mainly determined by variations in density, chemical composition (effective atomic number) as well as thickness (Cnudde, 2005).

In this study, the CT and μCT imaging techniques are exploited to observe the 3D internal structures of a series of representative fault rocks: 1) pseudotachylytes of different origins (melting and crushing), and 2) cataclasitic rocks including fault gouge, fault breccia and cataclasite, by utilizing two types of scanning apparatuses (Bruker microCT, 2014): 1) μCT flat panel (FP), and 2) μCT charge coupled device (CCD). The samples of pseudotachylyte are from Fuyun, NW China (Lin, 1994), Ohsumi, Japan (Fabbri et al., 2000), and Musgrave Mt, Australia (Lin et al., 2005), respectively. The samples of fault gouge were acquired from two typical active fault zones in Japan: The Nojima Fault and Arima-Takatsuki Tectonic Line, SW Japan (Lin and Nishiwaki, 2019). The FP analysis shows that 1) the flow structures within the melting-origin pseudotachylytes are denoted by parallel colored glassy matrix layers with numerous rounded quartz clasts and quartz-filled amygdules which are oriented along the flow layers, and 2) chilled margins are characterized by fine-grained microlites orientated parallel to the margins. The 3D scanning images show that the layering structures developed within the fault gouge and fault breccia zones which are marked by sharp colored boundaries, oriented clasts and fine-grained matrixes. Our results demonstrate that 1) the CCD imaging makes it possible to observe sub-micron and even nano-scale 3D microsturctures fault rocks without destruction, and 2) μCT imaging can be further combined with traditional methods (such as optical microscope and SEM observation) to determine the spatial variations for both the meso- and microstructures and chemical compositions of fault rocks.

**References:**

1). Lin, A., 2008. Fossil Earthquakes: The Formation and Preservation of Pseudotachylytes. Springer, Berlin, 348p (ISBN 978-3-540-74235-7).

2). Veerle Cnudde, 2005. Exploring the potential of X-ray tomography as a new non-destructive research tool in conservation studies of natural building stones. Diss. Ghent University.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

3). Bruker microCT. SkyScan 2211 User Manual, 2014.

4). Lin, A., 1994. Jour. Struct. Geol., 16, 71-83.

5). Fabbri, O., Lin, A., Totsushige, H., 2000. Jour. Struct. Geol., 22, 1015-1026.

6). Lin et al., 2005. Tectonophysics, 402, 21-35.

7). Lin, A., Nishiwaki,T., 2019. Geophy. Res. Lett., 46, DOI: 10.1029/2019GL081927.

Keywords: computed tomography, fault rocks, microstructure

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Dissolution kinetics of forsterite olivine at >200 ˚C: implication for the kinetics of serpentinization.

*大柳 良介[1]、桑谷 立[1]、鈴木 勝彦[1]
*Ryosuke Oyanagi[1], Tatsu Kuwatani[1], Katsuhiko Suzuki[1]

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Serpentinization (hydration of mantle peridotite) gives significant changes to both chemical and physical properties of the oceanic lithosphere. Several studies suggested that the rate of serpentinization is maximized at 250-300˚C, and the rate-limiting process of serpentinization is the dissolution of primary mineral (e.g., Malvoisin et al., 2012). Therefore, the dissolution rate of olivine at 250-300˚C is consequently a critical parameter to understand the progress of serpentinization in the oceanic lithosphere. However, the olivine dissolution rates at > 150˚C have never been measured (Rimstidt et al. 2012), and the olivine dissolution rate extrapolatory calculated at 300˚C was inconsistent with the olivine serpentinization kinetics (Malvoisin et al., 2012). Towards the improved understanding of serpentinization kinetics, measuring dissolution rates of olivine as a function of solution composition and the temperature is required.

In this study, the dissolution rate of natural olivine ($(Mg_{0.91}, Fe_{0.09})_2SiO_4$) was measured at 200-400 ˚C and 50 MPa using a flow-through reactor (Suzuki et al., 2015). A 0.5 mol/kg NaCl solution was introduced at a constant rate of 2.0 mL/min during experiments. A preliminary experiment revealed that steady-state dissolution rate of olivine at 200 ˚C and far-from-equilibrium conditions was ca. -4.8 [mol/$m^2$/s] in log units. The obtained dissolution rate was consistent with the extrapolated dissolution rate ($log_{10}$(Rate) = ca. -4.72 [mol/$m^2$/s]), which was extrapolated from their pH-temperature dependence at 25-150 ˚C (Rimstidt et al., 2012). Based on dependences of temperature, salinity, and ΔG on dissolution rate, the timescales on hydrothermal alteration of peridotite will be discussed.

## References

Malvoisin B, Brunet F, Carlut J, et al (2012) Serpentinization of oceanic peridotites: 2. Kinetics and processes of San Carlos olivine hydrothermal alteration. J Geophys Res Solid Earth 117:1–13. doi: 10.1029/2011JB008842

Rimstidt JD, Brantley SL, Olsen AA (2012) Systematic review of forsterite dissolution rate data. Geochim Cosmochim Acta 99:159–178. doi: 10.1016/j.gca.2012.09.019

Suzuki K, Kato S, Shibuya T, et al (2015) Development of Hydrothermal and Frictional Experimental Systems to Simulate Sub-seafloor Water–Rock–Microbe Interactions. In: Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems. Springer Japan, Tokyo, pp 71–85

キーワード：蛇紋岩、反応速度、かんらん石、溶解速度
Keywords: Serpentine, Reaction rate, Olivine, Dissolution rate

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-MP 岩石学・鉱物学

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_29

## [S-MP32] 変形岩・変成岩とテクトニクス

コンビーナ:針金 由美子(産業技術総合研究所)、中村 佳博(国立研究開発法人産業技術総合研究所　地質調査総合センター)

プレート境界における地殻，マントルのダイナミクスを理解するために幅広い分野から研究成果を募集します．岩石学的，構造地質学的貢献のみならず，流体を含んだ地殻・マントルのレオロジー，熱や物質輸送の力学など，様々な手法，対象の成果を総合的に議論します．

[SMP32-P01] Pressure-temperature estimates of the Lützow-Holm Complex utilizing distributions of trace elements and inclusions in garnet porphyroblasts in pelitic gneisses

*鈴木 康太[1]、河上 哲生[1]、伊神 洋平[2] (1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 地質学鉱物学教室 地球物質科学講座 岩石学グループ、2.名古屋大学未来材料・システム研究所)

[SMP32-P02] 東南極, リュツォ・ホルム岩体の明るい岬における泥質片麻岩の微細組織と温度圧力条件

*淀屋 勇斗[1]、池田 剛[2] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門)

[SMP32-P03] 南インド・トリバンドラム岩体にみられる長時間（>9000万年）のグラニュライト相変成作用

*門脇 ひかる[1]、角替 敏昭[2]、Santosh M.[3]、Shaji E.[4]、高村 悠介[5]、堤 之恭[6] (1.筑波大学生命環境科学研究科地球科学専攻、2.筑波大学生命環境系、3.School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences Beijing、4.Department of Geology, University of Kerala、5.筑波大学生命環境科学研究科地球進化科学専攻、6.国立科学博物館地学研究部)

[SMP32-P04] Dislocation microstructures in garnet: Thermal effect during deeper crustal seismic slip in orogen-boundary shear zone

*Das Kaushik[1]、Tomioka Naotaka[2]、Ganguly Proloy[3]、Ando Jun-ichi[1]、Ghosh Gautam[3]、Bose Sankar[3] (1.Hiroshima University、2.Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC、3.Presidency University, India)

[SMP32-P05] 領家帯三河地域および讃岐東部地域のミグマタイトのU-Pbジルコン年代

*葛立 恵一[1]、河上 哲生[1]、Etienne Skrzypek[1]、坂田 周平[2]、平田 岳史[3] (1.京都大学、2.学習院大学、3.東京大学)

[SMP32-P06] 日高変成帯野塚岳地域における構造地質学的研究 -島弧・島弧接合による新生代大陸地殻の成長・形成過程とそのメカニズム-

*菅野 萌子[1]、豊島 剛志[2] (1.新潟大学大学院自然科学研究科、2.新潟大学理学部地質科学科)

[SMP32-P07] THE PRESSURE-TEMPERATURE PATH AND MINERAL ASSEMBLAGE OF THE KHONICHIIN OVOO AREA, SOUTHEASTERN MONGOLIA.

*Undarmaa Batsaikhan[1]、Noriyoshi Tsuchiya[1]、Masaoki Uno[1]、Yukio Isozaki[2]、Uyanga Bold[2]、OTGONBAYAR DANDAR[1]、Hikaru Sawada[2] (1.Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University、2.Graduate School of Arts and Sciences the University of Tokyo)

[SMP32-P08] **九州北西部糸島半島野北地域の接触変成作用の温度圧力条件**

*池田 剛[1]、太田 健斗[2] (1.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻)

[SMP32-P09] 天草下島に分布する長崎変成岩類の片麻岩に見られる部分溶融の証拠

*森 祐紀[1]、池田 剛[2]、宮崎 一博[3] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、3.産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門)

[SMP32-P10] **Microstructural Analysis of Quartz grains in Monomineralic and Polyphase domains: A case study from Main Central Thrust (MCT) Zone Mylonites, western Himalaya, India**

*Shivaji Saha[1]、Toru Takeshita[1]、Subhajit Ghosh[2]、Hari Bahadur Srivastava[3] (1.Department of Natural History Sciences, Hokkaido University、2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo、3.Department of Geology, Banaras Hindu University)

[SMP32-P11] **Tectono-thermal evolution of the Main Central Thrust (MCT) zone rocks of the Himalayan Crystalline Complex (*HCC*), Darjeeling-Sikkim Himalaya**

*Subhajit Ghosh[1,2]、Santanu Bose[2,3]、Nibir Mandal[4]、Arijit Laik[2] (1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-0032、2.Department of Geology, University of Calcutta, 35, Ballygunge Circular Road, Kolkata 700019, India、3.Department of Geology, Presidency University, 86/1 College Street, Kolkata 700073, India、4.Department of Geological Sciences, Jadavpur University, Kolkata 700032, India)

[SMP32-P12] 三波川帯の低変成度領域における温度構造と変形構造，およびテクトニックな意義

*山岡 健[1,2]、ウォリス サイモン[1]、森 宏[2] (1.東京大学、2.信州大学)

[SMP32-P13] Antigorite Raman spectrum: a case study in Shiraga region of the central Shikoku, Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan

*安藤 宏太[1]、纐纈 佑衣[1]、道林 克禎[1] (1.名古屋大学)

[SMP32-P14] A fluid inclusion study from the late Paleozoic retrograde eclogite from the Yunotani Valley of the Omi area, Hida-Gaien Belt, Japan

*進士 優朱輝[1]、辻森 樹[1]、川本 竜彦[2] (1.東北大学、2.静岡大学)

[SMP32-P15] Development of reaction-induced stress and permeability in MgO-$H_2O$ system

*笠原 久夢[1]、宇野 正起[1]、岡本 敦[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院 環境科学研究科)

[SMP32-P16] 透過菊池回折によるウルトラマイロナイト中のオリビン結晶方位解析：EBSDの微小部への拡張

*伊神 洋平[1]、道林 克禎[2]、柿畑 優季[2]、纐纈 佑衣[2] (1.名古屋大学 未来材料・システム研究所、2.名古屋大学 環境学研究科)

[SMP32-P17] Elucidation of effective diffusion coefficient along grain boundaries by hydrothermal experiment using low porosity rocks

*杉沢 直樹[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学大学院　環境科学研究科　先進社会環境学専攻)

[SMP32-P18] **断層がウジ帯により記録される繰り返し地震すべり：野島断層ボーリングコアからの証拠**

*林 愛明[1]、西脇 隆文[1] (1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室)

[SMP32-P19] Evolution of fluid chemistry during basalt-water and basalt-seawater interactions revealed by hydrothermal flow-through experiments

*根津 勇介[1]、岡本 敦[1]、平野 伸夫[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1] (1.東北大学　環境科学研究科)

[SMP32-P20] **3D microstructural analyses of fault rocks using CT and μCT scanning techniques**

*Bingcheng Liu[1]、Aiming Lin[1]、Takafumi Nishiwaki[1] (1.Kyoto University)

[SMP32-P21] **Dissolution kinetics of forsterite olivine at >200 °C: implication for the kinetics of serpentinization.**

*大柳 良介[1]、桑谷 立[1]、鈴木 勝彦[1] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構)

# Pressure-temperature estimates of the Lützow-Holm Complex utilizing distributions of trace elements and inclusions in garnet porphyroblasts in pelitic gneisses

*鈴木 康太[1]、河上 哲生[1]、伊神 洋平[2]
*Kota Suzuki[1], Tetsuo Kawakami[1], Yohei Igami[2]

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 地質学鉱物学教室 地球物質科学講座 岩石学グループ、2. 名古屋大学未来材料・システム研究所
1. Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University

The Lützow-Holm Complex (LHC) in East Antarctica is a late Neoproterozoic to early Cambrian orogenic belt, formed during the amalgamation of Gondwana and composed of various bulk compositions of high-grade metamorphic rocks. Based on matrix mineral assemblages of mafic to intermediate mafic rocks, the LHC has been divided into three metamorphic facies zones; upper-amphibolite facies zone, transitional zone and granulite facies zone [1]. Because of the continuous distribution of upper-amphibolite facies to granulite facies metamorphic rocks, the LHC has been considered as a good exposure of the cross section of lower crust during continental collision events.
However, recent studies have found that high-*T* conditions above 850 °C are common even in the transitional zone and such temperatures are attained under kyanite stability field [3, 6, 7]. The aim of this study is to re-examine the peak metamorphic *P-T* conditions and *P-T* paths of selected regions in the LHC (Rundvågshetta, Skallen, Skarvsnes and Akarui Point) utilizing distributions of trace elements and inclusions such as $Al_2SiO_5$ minerals and rutile in garnet porphyroblasts in high-grade pelitic gneisses.
The Zr content of rutile coexisting with zircon+quartz strongly depends on the temperature condition and has been calibrated as Zr-in-rutile geothermometers that is more robust than the traditional Fe-Mg exchange type geothermometers during high-*T* metamorphism. In this study, experimentally calibrated Zr-in-rutile geothermometer [8] was applied to rutile grains in garnet and matrix.
The polymorphs of $Al_2SiO_5$ minerals are known as valuable indicators of the *P-T* conditions. In the course of this study, sillimanite with a characteristic Raman peak around 420 $cm^{-1}$ which is not listed as a sillimanite peak in the Lyon database (http://www.geologie-lyon.fr/Raman/) were found as inclusion minerals in garnet and as matrix minerals from all of the four studied regions. In order to examine whether such a peak is related to the phase transition from kyanite or mullite to sillimanite, we observed them in detail by TEM. However, no evidence for such transition was found. Therefore, sillimanite with 420 $cm^{-1}$ peak is dealt as normal sillimanite in this study.
Chemical zoning of garnet in high-*T* metamorphic rocks in terms of major elements (Fe, Mg, Ca and Mn) are commonly obscured by the diffusion under high-*T* conditions. On the other hand, chemical zoning of garnet in terms of trace elements, especially P, is less affected by the later diffusion, and commonly preserves sharp growth zoning [e.g., 2, 4]. Utilizing the sharp P zoning as a contemporaneous surface during garnet growth to define core and rim of garnet, and utilizing relic inclusions in garnet such as $Al_2SiO_5$ minerals and rutile to constrain the *P-T* conditions of each metamorphic stage [e.g., 5], we estimated metamorphic *P-T* conditions recorded in pelitic gneisses from the four regions in the LHC. Although Akarui Point is located in the “transitional zone” and three other regions are in the “granulite facies zone”, all of the inferred *P-T* paths of high-grade pelitic gneisses from Skallen, Skarvsnes and Akarui Point indicate nearly isothermal decompression starting from kyanite stability field at temperature around 850 °C. From Rundvågshetta, although pressure condition could not be well constrained, extremely high peak metamorphic temperature (> 900 °C) was inferred.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Since the peak metamorphic grades inferred from inclusion minerals in garnet porphyroblasts from Skallen, Skarvsnes and Akarui Point are almost the same, the traditional metamorphic zone mapping based on matrix mineral assemblages does not represent the highest metamorphic conditions attained, and needs re-evaluation utilizing petrochronological approach.

References

[1]Hiroi et al, 1991 [2]Hiroi et al, 1997 [3]Iwamura et al, 2013 [4]Kawakami and Motoyoshi, 2004 [5]Kawakami and Hokada, 2010 [6]Kawakami et al, 2016 [7]Nakamura et al, 2013 [8]Tomkins et al, 2007

キーワード：組成累帯構造、リン、藍晶石、珪線石、Zr-in-rutile温度計、部分溶融
Keywords: chemical zoning, Phosphorus, kyanite, sillimanite, Zr-in-rutile geothermometer, partial melting

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 東南極, リュツォ・ホルム岩体の明るい岬における泥質片麻岩の微細組織と温度圧力条件

# Microstructures and pressure-temperature condition in pelitic gneisses from the Lützow-Holm Complex at Akarui Point, East Antarctica

*淀屋 勇斗[1]、池田 剛[2]
*Hayato Yodoya[1], Takeshi Ikeda[2]

1. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門
1. Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Scinece, Kyushu University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of School of Scinece, Kyushu University

Metamorphic rocks have been considered to preserve the mineral assemblage and composition at the peak condition in each pressure (*P*) –temperature (*T*) path. If this assumption is valid, the metamorphic rocks in the same outcrop are expected to show the same *P-T* condition. However, different *P-T* conditions have been estimated based on different geothermobarometers for rocks even from the same outcrop. Systematic difference among the methods could be responsible for these differences. However, this study revealed that use of the same pair of geothermobarometers provides significantly different P-T conditions for two pelitic gneisses from the same outcrop of the Lützow-Holm Complex, at Akarui Point, East Antarctica. An alternative interpretation is proposed to account for this difference.

The mineral assemblages of the studied gneisses are garnet, biotite, plagioclase, K-feldspar, quartz with and without sillimanite. Garnet grains in the Sil-bg. sample show round shape and contain large amount of fine quartz inclusions, whereas those in the Sil-free sample represent irregular shape and sporadically include coarse-grained plagioclase.

Garnet in both samples have chemically heterogeneity such that $X_{Ca}$ (=Ca/Fe+Mg+Ca+Mn) and Mg/Fe decrease from the core to the rim. Furthermore, garnet in contact with biotite represents lower Mg/Fe than that in contact with other minerals. Garnet in the Sil-bg. sample is low in $X_{Ca}$ and Mg/Fe as compared with garnet in the Sil-free sample. Phosphorus in garnet of the Sil-bg. sample represents euhedral shape of chemical contour in contrast to the garnet in the Sil-free sample where phosphorus shows no zoning. Biotite in the Sil-bg. sample shows Al-rich and low Mg/Fe as compared with that in the Sil-free sample. No systematic difference in Ti content in biotite is recognized. The Sil-free sample contains plagioclase with higher anorthite content than the Sil-bg. sample.

In the AFM approximation, garnet and biotite coexisting with sillimanite are expected to show higher Mg/Fe than those free from sillimanite. However, the present observations disagree with the prediction. Garnet contains significant amount of Ca, requiring addition of CaO to the chemical system. A calculated garnet composition diagram with respect to Ca-Mg-Fe shows that garnet coexisting with sillimanite represents a univariant line lower Ca and Mg/Fe than that free from sillimanite, and the present data are consistent with it. This suggests that two samples were not necessarily equilibrated at different *P-T* condition.

Geothermobarometry, in contrast, indicates significant difference in *P-T* condition. That is, garnet-biotite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

geothermometer (Ferry and Spear., 1978) and garnet-biotite-plagioclase-quartz geobarometer (Hoisch., 1990) show 685-718 ℃ at 6.4-6.6 kbar for the Sil-free sample and 828-855 ℃ at 7.2-7.8 kbar for the Sil-bg. sample.

It is puzzling feature that different samples from the same outcrop provide different *P-T* estimations using the same geothermobarometers. The Sil-bg. sample records higher temperature than the Sil-free sample, as described before. Preservation of euhedral chemical contour of phosphorus in the Sil-bg. sample would indicate that the garnet grew maintaining surface equilibrium, at high temperatures. In contrast, absence of such euhedral contour and highly-rough surface of garnet in the Sil-free sample suggest relatively high growth rate, at low temperatures.

The *P-T* path of Akarui Point contains pressure decrease during temperature decrease (Iwamura et al., 2013). Considering this *P-T* path, it is expected that the garnet of Sil-free sample didn’ t exist at high temperatures and formed at low pressures and temperatures. The difference in estimated *P-T* conditions in the same outcrop can be attributed to not only the difference in the method but also the difference in the timing of the formation of minerals.

キーワード：温度圧力条件、相関係、リュツォ・ホルム岩体
Keywords: pressure-temperature condition, phase relation, Lützow-Holm Complex

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 南インド・トリバンドラム岩体にみられる長時間（>9000万年）のグラニュライト相変成作用
# Long-lived (>90 Myr) granulite-facies metamorphism in the Trivandrum Block, southern India.

*門脇 ひかる[1]、角替 敏昭[2]、Santosh M.[3]、Shaji E.[4]、高村 悠介[5]、堤 之恭[6]
*Hikaru Kadowaki[1], Toshiaki Tsunogae[2], Santosh M.[3], Shaji E.[4], Yusuke Takamura[5], Yukiyasu Tsutsumi[6]

1. 筑波大学生命環境科学研究科地球科学専攻、2. 筑波大学生命環境系、3. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences Beijing、4. Department of Geology, University of Kerala、5. 筑波大学生命環境科学研究科地球進化科学専攻、6. 国立科学博物館地学研究部
1. College of Geoscience, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 3. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences Beijing, 4. Department of Geology, University of Kerala, 5. Doctoral Program in Earth Evolution Sciences, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 6. Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science

南インドグラニュライト地塊は太古代～新原生代の様々な微小大陸や火山弧が、後期新原生代～カンブリア紀のゴンドワナ超大陸形成に伴う複雑な沈み込み一付加一衝突による高度変成作用を受けたことにより形成された。トリバンドラム岩体はインドの南端に位置し、主要な構成岩相は変堆積岩と正片麻岩である。このような高度変成岩体の変成温度一圧力一時間経路を求めることはゴンドワナ大陸衝突における変成過程を明らかにする上で重要である。トリバンドラム岩体の温度一圧力経路に関する先行研究は多く、現在も議論が続いている。Morimoto et al. (2004)やTadokoro et al. (2008)などはピーク変成条件が950 ˚Cを超え、12 kbarに達するとし、超高温変成作用を示唆した。一方でNandakumar and Harley (2000)やPattison et al. (2003)などは800-900 ˚C、4.5-6.0 kbarと、低い温度圧力条件を示している。先行研究で報告されているトリバンドラム岩体のピーク変成年代にも約600-510 Maと幅がある (Santosh et al., 2005, Harley and Nandakumar, 2014, Blereau et al., 2016など)。以上のことから、トリバンドラム岩体が温度圧力幅のある１回の変成作用を経たのか800-900 ˚Cと950 ˚C以上の２回の独立した変成作用を経たのかは議論の余地がある。そこで、本研究ではトリバンドラム岩体西部から採集したコンダライト、チャノッカイト、およびチャノッカイトの脱色帯の岩石学的記載、鉱物化学組成分析、変成温度圧力条件の計算、年代分析のデータを基に、当該地域の温度一圧力一時間経路を決定することで、高度変成作用の期間とメカニズムを解明することを目的とした。

トリバンドラム岩体西部のElavinmoodu採石場から採集したコンダライトを用いた鉱物平衡モデリングの結果から、超高温変成作用を示す920-1030 ˚C、6.0-7.6 kbarのピーク変成条件が得られた。累進・後退変成作用の温度圧力条件はそれぞれ˜750 ˚C/˜7 kbar、 ˜750 ˚C/˜4 kbarと決定され、地温勾配に沿って徐冷した時計回りの温度圧力経路が得られた。コンダライト中のパッチ状チャノッカイトや塊状チャノッカイト中の亀裂に沿った脱色部が見られるKakkod採石場から採集したコンダライトからも、調和的な温度圧力条件が得られた。チャノッカイトと脱色部の鉱物平衡モデリングでは820-950 ˚C/ 5-10 kbar、800-1000 ˚C/˜6 kbarの変成温度圧力条件が得られた。これはチャノッカイトの脱色が高度変成作用中に起こったことを示唆し、変成作用のピーク周辺で流体が浸透した可能性を示す。

Elavinmoodu採石場から採集したコンダライト中のジルコンとモナザイトを用いたU-Pb年代分析から、累進・ピーク・後退変成作用はそれぞれ約582±17 Ma、555.1±8.1 Ma、527.3±8.0～501.9±8.5 Maに、含水流体の浸透によるザクロ石の分解・黒雲母の形成は約489±12 Maに起きたと求まった。以上のことは地殻やマグマが熱源となり、高度変成作用が少なくとも582 Maから489 Ma の9000万年以上という非常に長い期間

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

続いたことを示す。

本研究結果は時計回りの一回の長期間の変成作用が起きたことを示す。この9000万年という変成期間はスリランカのワンニ岩体の変堆積岩から報告されているものとほぼ調和的であるが(>50 Myr; Hirayama et al., 2018)、スリランカのハイランド岩体からの報告(~180 Myr; He et al., 2018)よりも短い。Dharmapriya et al. (2016)やTakamura et al. (2018)などによる先行研究ではトリバンドラム岩体はハイランド岩体に延長することが示されているが、ゴンドワナ超大陸形成の過程でハイランド岩体の変成がトリバンドラム岩体の変成に先立って起きていた可能性が考えられる。

キーワード：トリバンドラム岩体、温度ー圧力ー時間経路、超高温変成作用、鉱物平衡モデリング、U-Pb年代分析
Keywords: Trivandrum Block, P–T–t evolution, Ultrahigh-temperature metamorphism, Phase equilibria modeling, U–Pb geochronology

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Dislocation microstructures in garnet: Thermal effect during deeper crustal seismic slip in orogen-boundary shear zone

Dislocation microstructures in garnet: Thermal effect during deeper crustal seismic slip in orogen-boundary shear zone

*Das Kaushik[1]、Tomioka Naotaka[2]、Ganguly Proloy[3]、Ando Jun-ichi[1]、Ghosh Gautam[3]、Bose Sankar[3]
*Kaushik Das[1], Naotaka Tomioka[2], Proloy Ganguly[3], Jun-ichi Ando[1], Gautam Ghosh[3], Sankar Bose[3]

1. Hiroshima University、2. Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC、3. Presidency University, India
1. Hiroshima University, 2. Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC, 3. Presidency University, India

A considerable amount of information regarding the growth and evolution of old continents are preserved at the boundaries between the orogenic belts and pre-existing cratonic blocks. These are the areas of intense and repeated deformation, metamorphism and activities of crustal fluids. Apart from the precise estimation of the pressure-temperature-fluid evolution through time, one of the major existing challenges is to understand the deformation mechanisms operated in the deep to shallow crustal depths for such geologically complex areas. The Phulbani domain in the north-western part of the Eastern Ghats Granulite Belt, India (EGB) provides a good opportunity as it is juxtaposed in its north and west by the Archean Singbhum Craton and Bastar Craton, respectively. Recent petrological and geochronological works of our group on the metapelitic granulite-charnockite-granitic gneiss of this domain reveal the pressure-temperature-fluid evolution with time. Though this domain is differentiated from the Visakhapatnam domain situated further south-southwest, the overall evolutionary history is observed to be very similar in style and time of occurrence. The Si-poor aluminous granulites preserve exotic reaction textures implying prograde heating-dominated path culminating at UHT condition (~1000 ˚C at 8 Kbar) followed by a retrograde cooling-decompression path, both in presence of $CO_2$-rich fluids. The age of metamorphism and associated magmatism ranges between ca. 1000 Ma and 900 Ma, similar to that of the Visakhapatnam domain.

The Phulbani domain, however, is bound on its north by a pronounced east-west shear zone, known as the Ranipathar shear zone. This deep crustal shearing affected the pelitic granulite and granitic gneiss. The mylonitic garnet-bearing granite gneiss preserves east-west foliation-parallel ultramylonite layers. Moreover, broadly east-west and north-south oriented black veins occur in these rocks. Thick (cm-scale) to thin (mm-scale) veins have mesoscopic characters of a pseudotachylite, e.g. injection veins. The microscopic observations on the foliation-parallel veins reveal that the vesicular groundmass of the veins is composed of micron-scale quartz-feldspar-biotite with clasts of garnet, at places. These veins, in certain cases, contain mm-scale clasts of the host granite mylonite gneiss.

キーワード：Garnet dislocation microstructures、Cataclastic flow、Seismic slip、Orogen-boundary shear zone
Keywords: Garnet dislocation microstructures, Cataclastic flow, Seismic slip, Orogen-boundary shear zone

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 領家帯三河地域および讃岐東部地域のミグマタイトのU-Pbジルコン年代
# U-Pb zircon ages of migmatitic rocks from the Ryoke belt in the Mikawa and eastern Sanuki areas

*葛立 恵一[1]、河上 哲生[1]、Etienne Skrzypek[1]、坂田 周平[2]、平田 岳史[3]
*Keiichi Kazuratachi[1], Tetsuo Kawakami[1], Etienne Skrzypek[1], Shuhei Sakata[2], Takafumi Hirata[3]

1. 京都大学、2. 学習院大学、3. 東京大学
1. Kyoto University, 2. Gakushuin University, 3. The University of Tokyo

高温低圧型の領家変成帯に産するミグマタイトの岩石学・年代学の融合的研究を行うことで、後期白亜紀イグニンブライト・フレアアップ時の、大陸地殻中部の部分溶融継続時間を見積もることができる。本研究では、領家帯に産するミグマタイト中の変成ジルコンの形成年代を変成作用のステージと結びつけて解釈することを目的とし、三河地域および讃岐東部地域の試料についてLA-ICP-MSによるU-Pb年代測定を行った。

領家帯三河地域においては、すでにTakatsuka et al. (2018a) が層状優白質部中のジルコンのU-Pb年代測定を行っている。同部分から得られた変成リムのU-Pb年代は~103 Maから~83 Maにかけてコンコーディア上に連続的に分布する。変成リムはCL像上での不連続なゾーニングおよび年代値や化学組成の違いから2段階に分けることができ、内側のリムは97.0±4.4 Maの昇温変成期、外側のリムは88.5±2.5 Maの降温変成期初期 (部分溶融メルトの固結時期) に形成されたと解釈された (Takatsuka et al., 2018a)。しかしこれらの変成リム年代値は、周囲のミグマタイト中のリューコゾームに比して顕著に厚い優白質部 (~20 cm) を用いて求められたもので、典型的なミグマタイト試料中のジルコンを測定したわけではなく、また試料数が1つで分析点数が少ないという問題点があった。

そこで本研究では、領家帯三河地域に産するミグマタイト4試料中のジルコン粒子に対し、U-Pbジルコン年代測定を行った。ミグマタイトの主要鉱物組合せは石英＋斜長石＋カリ長石＋黒雲母±菫青石＋珪線石±ざくろ石である。ジルコンには変成リムが発達し、珪線石および白雲母が包有されていた。年代測定の結果、~98 Maから~81 Maにかけてコンコーディア上に連続的に分布するU-Pb年代を得た。年代値に加えジルコン中の珪線石包有物の有無やジルコンのTh/U比・U濃度を考慮することで、以下の3つの変成ステージを認識できた。(1) 広域変成作用時の部分溶融メルト中でのリムの成長 (91.4±0.8 Ma; MSWD=1.4, Th/U＜0.08, n=29)、(2) 変成ピーク後の珪線石脈形成に伴うUに富むジルコン粒子の成長 (87.1±1.7 Ma; MSWD=2.1, Th/U=~0.002-0.01, n=3)、(3) (1) の外側に発達する~81 Ma (80.9±2.9 Maおよび81.5±7.3 Ma; Th/U<0.03) の変成リムの成長。(3) については、得られた分析点数が少ないながら、試料採取地点が81-75 Ma花崗岩類 (Takatsuka et al., 2018b) から約1.7 kmと近く、U-Pbジルコン年代も81-75 Ma花崗岩類に近いことから、同花崗岩類の貫入に伴う接触変成作用時に形成されたリムの可能性がある。

また、従来U-Pbジルコン年代値の報告がない讃岐東部地域 (沓掛ら, 1979) においても、2試料の変成ジルコンのU-Pb年代を決定した。1試料目は、讃岐東部に産する花崗岩類に囲まれた800m程度の変成岩岩体中の泥質片麻岩で、主要鉱物組み合わせは石英＋斜長石＋カリ長石＋黒雲母＋ざくろ石である。ジルコンには変成リム (Th/U=~0.02-0.18) が発達し、U-Pbジルコン年代は93.4±0.7 Ma (MSWD=0.85, n=27) を示した。2試料目は、同じく花崗岩に囲まれて約4 km幅で露出する変成岩岩体から得た泥質片麻岩で、片麻状構造は周囲の片麻状花崗岩類と調和的である。主要鉱物組み合わせは石英＋斜長石＋カリ長石＋黒雲母＋珪線石である。ジルコンには珪線石を包有する変成リム (Th/U=~0.05-0.08) が発達し、U-Pbジルコン年代は95.4±2.4 Ma (MSWD=0.47, n=6) を示した。これらは、周囲の~93 Maの片麻状花崗岩類のU-Pbジルコン年代 (Iida et al., 2015) と一致しているため、花崗岩類の貫入による接触変成作用時に、珪線石安定領域下で変成リムが成長した可能性が高い。

キーワード：U-Pbジルコン年代、ミグマタイト、高温変成作用

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Keywords: U-Pb zircon dating, migmatite, high-temperature metamorphism

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 日高変成帯野塚岳地域における構造地質学的研究 -島弧・島弧接合による新生代大陸地殻の成長・形成過程とそのメカニズム-
# Structural geology of Hidaka metamorphic belt in the Mt.Nozuka area, Hokkaido, Japan -Growth and formation process of the Cenozoic continental crust by island arc/arc join and its mechanism-

*菅野 萌子[1]、豊島 剛志[2]
*Moeko Kanno[1], Tsuyoshi Toyoshima[2]

1. 新潟大学大学院自然科学研究科、2. 新潟大学理学部地質科学科
1. Graduate school of Science and Technology, Niigata University , 2. Department of Geology,Faculty of Science,Niigata University

北海道日高変成帯は，白亜紀以降に形成された未成熟島弧の地殻衝上断片とみなされ（小松ほか，1982など），中新世の千島弧と東北日本弧の衝突により形成された日高山脈の大部分を構成する深成岩-変成岩複合岩体で，東から西に向かって順次地殻深部相が分布する単一の地殻衝上断面であるとされてきた．しかし，ジルコン年代の導入（Kemp et al 2007）により，従来1つの地殻衝上断片であるとされてきた日高変成帯は19Maと37Maの2回にわたって形成された2つの地殻断片が重なったものであるとされた（志村ほか，2015）．また，日高変成帯の周辺地質体のジルコン年代から，日高変成帯における３ステージの火成活動が予想されている（山崎ほか，2018）．これらにより，従来の日高変成帯の形成テクトニクスでは地殻の形成過程が説明できない状態となったため，日高変成帯の形成テクトニクスの再構築が必要となった．

本研究では日高変成帯の主要な変成岩や深成岩類（Sタイプトーナル岩・Iタイプトーナル岩・閃緑岩など）が分布する野塚岳地域のニオベツ川流域において，各種岩石の相互関係（接触関係，上下関係，時間的前後関係など）・形成史を調べ，日高変成帯形成テクトニクスの再構築に向けた基礎的なまとめを行った．

本地域の岩相のほとんどはNW-SE走向を示し変成帯の伸びの方向と平行であるのに対して，それらの岩相に貫入する閃緑岩（ニオベツ岩体）はN-S走向を示し，そのほかの岩相とは斜交する．閃緑岩周辺ではミグマタイトが形成されており，そのほかの深成岩類中にも変成岩の包有物が確認された．

深成岩類のジルコンU－Pb年代測定の結果，本地域の日高変成帯において約33Ma，約19Maとそれより古いと考えられる約45Maの３つの火成活動が考えられる．測定した深成岩類はいずれもミグマタイトや変成岩の包有物を伴っていることから，3つの火成活動はそれぞれ変成作用を伴っていたことが示唆される．従って，日高変成帯は3ステージの変成作用・深成作用によって形成されたと考えられる．

約19Maの深成岩である閃緑岩の南縁には不均質角閃岩が分布し，部分溶融を伴い激しく褶曲・変形している．変形帯としての不均質角閃岩層が19Ma深成岩・変成岩（ミグマタイト）とそれより古い深成岩・変成岩との境界となっているように見えることから，ニオベツ岩体の貫入が断層に沿って起こった可能性が考えられる．閃緑岩内部の非対称流理構造が正断層センスを示すことから，引張場における貫入が予想される．

日高主衝上断層（HMT）付近の岩相にはマイロナイト化が認められ，右横ずれ～右横ずれ正断層センスを示す．このマイロナイト化は構造解析の結果，3ステージに区分できると考えられる．

今後は変成作用・火成作用・変形作用の関係を明らかにするため，より詳細な変形作用の解析に加え，変成作用や火成作用との関係を明らかにし，日高変成帯の形成テクトニクスの再構築を行う必要がある．

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：構造地質学、日高変成帯、テクトニクス
Keywords: Structural geology, Hidaka Metamorphic belt, Tectonics

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# THE PRESSURE-TEMPERATURE PATH AND MINERAL ASSEMBLAGE OF THE KHONICHIIN OVOO AREA, SOUTHEASTERN MONGOLIA.

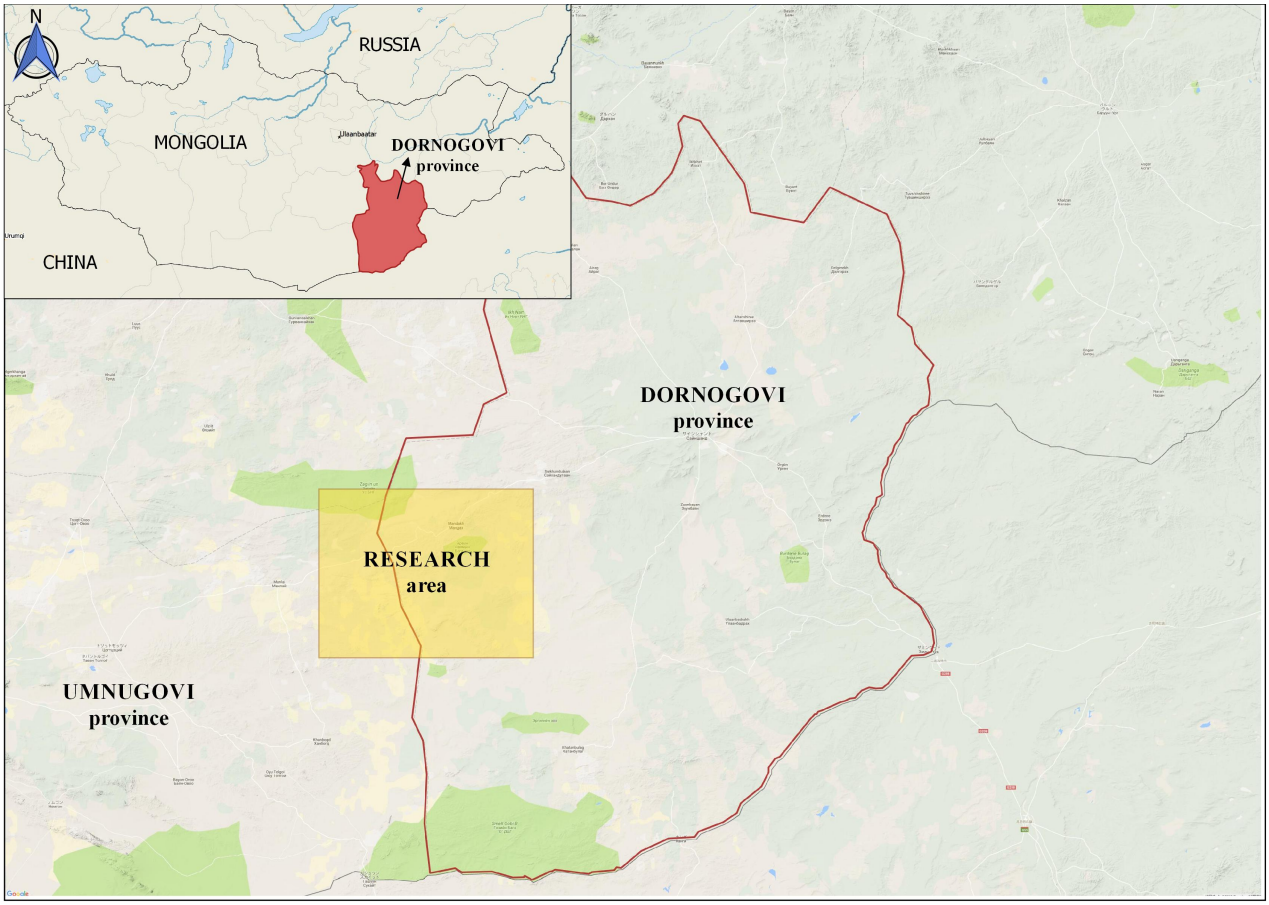
*Undarmaa Batsaikhan[1], Noriyoshi Tsuchiya[1], Masaoki Uno[1], Yukio Isozaki[2], Uyanga Bold[2], OTGONBAYAR DANDAR[1], Hikaru Sawada[2]

1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 2. Graduate School of Arts and Sciences the University of Tokyo

The Khonichiin ovoo area is located in the southeastern part of Mongolia of the Central Asian Orogenic belt, which is largest amalgamation history of during Phanerozoic time. The Khonichiin ovoo area mainly consists of the Khutaguul, the Norovzeeg metamorphic complexes that underwent high grade facies metamorphism, with rare igneous rocks. The Khutaguul metamorphic complex is composed of garnet-biotite, amphibolite-biotite, two mica gneiss, amphibolite schist, quartzite, marble, granite-gneiss, granulite and migmatites. The Norovzeeg metamorphic complex is composed of metasedimentary and metavolcanic rocks. P-T condition and mineral assemblage data/information for these metamorphic complexes are extremely limited. This is because international and local researchers had focused on investigations on Paleozoic igneous, volcanic and sedimentary rocks, which are somehow related to the porphyry copper deposits (Tsagaan suvarga Cu-Mo, Kharmagtai Cu-Au) in the south of Mongolia in the last two-decade years.
We will show new age dating and P-T conditions of the Khutaguul and the Norovzeeg metamorphic rocks.

Keywords: P-T path, Petrology, Southeastern Mongolia

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 




©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 九州北西部糸島半島野北地域の接触変成作用の温度圧力条件
# Pressure-temperature conditions of contact metamorphism in Nokita area, Itoshima Peninsula, northwest Kyushu

*池田 剛[1]、太田 健斗[2]
*Takeshi Ikeda[1], Kento Ota[2]

1. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻
1. Department of Earth and Planetary Sciences,Faculty of Scinece, Kyushu University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences,Graduate School of Scinece, Kyushu University

Gneissose granitic rocks are common in high-grade areas of high-temperature low-pressure metamorphic complex. Similarity in age and concordant relation to the surrounding rocks imply that they supplied heat to cause the high-temperature low-pressure metamorphism. Parallelism of internal structures of granitic and metamorphic rocks also suggests that both rocks underwent simultaneous deformation during and after the intrusion of the granitic rocks. The post-metamorphic deformation would rearrange the thermal structure formed at the heat supply.

The Renge metamorphic complex in the Nokita area of Itoshima Peninsula, northwest Kyushu, was intruded by the Kitazaki and Itoshima granodiorites on the north and south at Cretaceous, respectively. The complex was recrystallized by thses intrusions and underwent significant deformation that belongs to flattening after the peak of contact metamorphism (Yamasaki & Ikeda, 2018). This study estimates the pressure-temperature condition preserved in pelitic rocks to evaluate the post-metamorphic deformation.

The pelitic schists in the study area are composed of leucocratic and melanocratic layers depending on the modal amount of biotite. The common constituent minerals are quartz, plagioclase, biotite. Garnet, muscovite, and K-feldspar locally occur. In addition, chlorite is present as veins and schistosity-forming mineral, which is interpreted as retrograde products.

Four pelitic schists were employed to estimate the metamorphic conditions. Garnet shows euhedral shape and so-called normal zoning where Mg increases and Fe and Mn decreases towards the rim. The composition of rim ranges such that Xalm=0.72-0.80, Xprp=0.09-0.12, Xsps=0.06-0.16, and Xgrs=0.04-0.06. On the other hand, that of core varies Xalm=0.50-0.66, Xprp=0.03-0.05, Xsps=0.24-0.40, and Xgrs=0.04-0.10. The Mg/Fe of rim and core ranges 0.13-0.15 and 0.06-0.08, respectively. Biotite also shows significant variation in composition, i.e., Ti of 0.15 - 0.46 based on 22 oxygen, and Mg/Fe of 0.44 - 0.76. The Ti content of biotite near chlorite is low as compared with that far from chlorite. Plagioclase is chemically homogeneous in one sample. The anorthite content shows southward increase from 0.23 to 0.42.

We chose the composition equilibrated at peak of the metamorphism such as the highest Mg/Fe in the rim of garnet, highest Ti in biotite and highest anorthite content in plagioclase. Geothermobarometry using garnet-biotite geothermometer (Ferry & Spear 1978) and a garnet-biotite-plagioclase-quartz geobarometer (Hoisch 1990) provide the metamorphic conditions of 590 °C, 1.4 kbar, 650 °C, 3.5 kbar, 770 °C, 4.2 kbar, and 650 °C, 2.8 kbar from south to north ,which corresponds to 5.3-16 km depth. The pressure and temperature vary by 2.8 kbar and 180 °C, respectively, within ca. 300 m distance. The lithostatic pressure relevant to 300 m thickness cannot explain the pressure difference of 2.8 kbar. The

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

present result also supports the significant thinning deformation after the contact metamorphism.

キーワード：接触変成作用、変成後の変形、地質温度圧力計
Keywords: Contact metamorphism, Post-metamorphic deformation, Geothermobarometry

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 天草下島に分布する長崎変成岩類の片麻岩に見られる部分溶融の証拠
# Evidence of Partial Melting of Migmatitic Felsic Gneiss from Nagasaki Metamorphic Complex in Amakusa-Shimoshima, western Kyushu, Japan

*森 祐紀[1]、池田 剛[2]、宮崎 一博[3]
*Yuki Mori[1], Takeshi Ikeda[2], Kazuhiro Miyazaki[3]

1. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、3. 産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門
1. Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, 3. Research Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

The Nagasaki Metamorphic Complex in Amakusa-Shimoshima is divided into the lower and upper units. The former and the latter are composed mainly of pelitic schists and gneisses with mafic and felsic composition, respectively. The upper unit is considered to have located at lower crust that was shortened due to ductile flow toward trench side (Miyazaki et al., 2013). The unit belongs to the high-pressure granulite facies and represents migmatitic mode of occurrence, which implies potential presence of melt that enhanced the ductile deformation. This study reports microstructural features indicative of partial melting in a felsic migmatitic gneiss.

The migmatitic felsic gneiss dealt with this study represents U-Pb zircon age of 125.8±1.8 Ma (Mori et al., 2018 JpGU). It is composed mainly of garnet, quartz, muscovite, zoisite and aggregate of fine-grained zoisite + albite + muscovite that is former plagioclase. Minor amounts of graphite, zircon, apatite, rutile, chlorite, and iron sulfide also occur. Tiny grains of hornblende are included in the rim of garnet. The matrix zoisite commonly includes epidote in the core. The epidote contains significant amounts of rare earth elements (REE) and is composed of Y-poor core and Y-rich rim. The garnet grains are roughly divided into two types of coarse- and fine-grained. The $X_{Mg}$ [=Mg/(Mg+Fe)] of the coarse-grained garnet increases from the core to the rim and decreases at the extreme periphery, while that of the fine-grained garnet monotonically decreases from the core to the rim. The coarse-grained garnet represents Y-rich and P-poor core and Y-poor and P-rich rim whereas Y-poor and P-rich domain is dominant in the fine-grained garnet. A polyphase inclusion composed of chlorite + muscovite + quartz + $CaCO_3$ is found from the rim of coarse-grained garnet. The inclusion shows polygonal shape and has cuspate offshoots filled with chlorite or muscovite. Apatite is included in the core of the coarse-grained garnet but is not found from the rim. The fine-grained garnet and the rim of the coarse-grained garnet include Y-rich REE-epidote.

We applied Zr-in-rutile geothermometer (Ferry & Watson, 2007), garnet-hornblende geothermometers (Graham & Powell, 1984; Powell, 1985; Ravna, 2000), and hornblende-plagioclase geothermometer (Holland & Blundy, 1994). These results are consistent among them within their errors and represent 720 –770 ˚C as the peak condition. The pressure at the peak condition was estimated utilizing garnet-hornblende-plagioclase-quartz geobarometer of Kohn & Spear (1990), and we obtained the pressure of 9.1 –10.2 kbar.

The estimated condition lies above the melting reaction of zoisite + muscovite + quartz + water = kyanite + melt (cf. Schliestedt & Johannes, 1984). The polygonal shape of the polyphase inclusion in the rim of

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

coarse-grained garnet could represent negative crystal of garnet. Combining the constituent minerals of the inclusion, it is likely that the polyphase inclusion was originally melt inclusion.

The concentration of yttrium and phosphorus in the rim of coarse-grained garnet is similar to that in fine-grained garnet. Based on the presence of melt inclusion in the rim of coarse-grained garnet, we consider that fine-grained garnet nucleated during the partial melting with the formation of the rim of coarse-grained garnet. The Y-rich REE-epidote is in the matrix and included in the fine-grained garnet and the rim of the coarse-grained garnet, so we consider that Y-poor garnet and Y-rich REE-epidote coexisted with the melt. The lack of apatite inclusion in P-rich domain of both garnets may indicate that the phosphorus in P-rich domain in garnet was supplied by breakdown of apatite during the melting.

キーワード：部分溶融、メルトインクルージョン、柘榴石、REE緑簾石、アパタイト
Keywords: partial melting, melt inclusion, garnet, REE-epidote, apatite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Microstructural Analysis of Quartz grains in Monomineralic and Polyphase domains: A case study from Main Central Thrust (MCT) Zone Mylonites, western Himalaya, India

*Shivaji Saha[1], Toru Takeshita[1], Subhajit Ghosh[2], Hari Bahadur Srivastava[3]

1. Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 3. Department of Geology, Banaras Hindu University

Ongoing collision in the Himalayan orogeny causes crustal deformation owing to the thrust activity. Hence, the movement along the Main Central Thrust (MCT) enhances ductile deformation of the crust widely distributed across the orogenic belt. Therefore, detailed microstructural analysis is necessary to define the shear zone by the degree of strain intensification across the MCT. A study area along Madhmaheswar Ganga valley, Rudraprayag district, Uttarakhand, India, has been chosen. Purpose of this study is to perceive the heterogeneity of the deformational behavior of quartz grains in terms of thickness of quartz layers and other associated phases along with the understanding of fabric development with respect to the MCT. In this research, the lower Greater Himalayan Sequence (L-GHS) of *c.* 1.5 km thickness on the hangingwall side and upper Lesser Himalayan Sequence (U-LHS or Munsiari formation) of *c.* 4 km thickness on the footwall side of the MCT, has been studied.

Microstructural observations are essentially focused on the quartzo-feldspathic gneiss of the Munsiari formation and L-GHS. At lower Munsiari formation, Quartz microstructures are characterized by subgrain rotation recrystallization (SGR). Polygonal quartz grains with triple point junction indicate SGR followed by static grain growth. At upper Munsiari formation, lobate boundaries of quartz grains with sweeping extinction and deformation lamellae indicate high temperature grain boundary migration (GBM) overprinted by late stage low temperature deformation. Quartz grains in the lower GHS rocks are coarser than that of the Munsiari rocks and highly amoeboid in shape. High temperature deformation is evidenced by the presence of elongated sub-grains within these irregular grains.

To carry out further microstructural studies, 14 samples were selected for EBSD analysis. Quartz *c*-axis fabric from ~500-829 $\mu m$ thick quartz-rich monomineralic layer shows a series of type-*II* crossed girdle fabrics with *Y*-maximum. Here, the quartz *c*-axes are aligned parallel to intermediate finite strain axis *Y*, revealing the intracrystalline deformation by active prism {10 -10} *a* slip system. In contrast, c-axis orientations obtained from thin monomineralic quartz layers (thickness ~72-163 $\mu m$) records girdles ranging from small circle girdles to type-*I* crossed girdle fabric with r-maxima. In this case, the rhombohedral plane of quartz is aligned parallel to the foliation plane (*XY*), which indicate basal (0001) *a* slip and rhomb {10 -11} *a* slip system activity. Thus, there is an effect of thickness of monophase layers on fabric development and, perhaps the role of other phases has a strong impact on the fabric development for thin monomineralic layers.

On the other hand, polyphase domains are characterized by the quartz grains totally surrounded by other phases. The size of recrystallized quartz grains within polyphase domain increases from ~64.4 $\mu m$ in Munsiari to ~109 $\mu m$ in L-GHS. C-axes orientations are random for the Munsiari samples. Whereas, C-axis fabric with point maxima is observed for the L-GHS samples. However, those fabric patterns are strengthened with increasing modal abundance of quartz.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

The strength of the quartz *c*-axis fabric is quantified as a function of eigenvectors ( $\lambda_1$ = maximum; $\lambda_2$ = intermediate; $\lambda_3$ = minimum) from *c*-axes orientation distribution. Following, Vollmer (1990), three end member fabric types are determined from these eigenvectors; those are point (*P*), girdle (*G*) and random ( *R*). Then, by introducing cylindricity index (*B*) of Vollmer (1990), the variation in fabric strength of quartz LPO is shown as a function of strain localization throughout the Munsiari formation. Progressive increase in fabric intensity for both thin and thick monomineralic quartz layers indicate an increase in strain towards the MCT.

Keywords: Main Central Thrust Zone, Quart c-axis fabric, Strain intensification

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Tectono-thermal evolution of the Main Central Thrust (MCT) zone rocks of the Himalayan Crystalline Complex (*HCC*), Darjeeling-Sikkim Himalaya

*Subhajit Ghosh[1,2], Santanu Bose[2,3], Nibir Mandal[4], Arijit Laik[2]

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-0032, 2. Department of Geology, University of Calcutta, 35, Ballygunge Circular Road, Kolkata 700019, India, 3. Department of Geology, Presidency University, 86/1 College Street, Kolkata 700073, India, 4. Department of Geological Sciences, Jadavpur University, Kolkata 700032, India

The rheology of the Himalayan Crystalline Complex (*HCC*) laying above the Main Central Thrust (MCT), is the key boundary condition for all the tectonic models that deals with extrusion of lower crustal material. Therefore, it is important to understand the intricate relationship between the processes of crustal thickening, Barrovian metamorphism and strain localization in the high-grade rocks of the *HCC* that controls the rheology of a deforming wedge. Initially deformation was distributed and a series of repeated folding leads to crustal thickening and pro-grade metamorphism. The similarity between the peak metamorphic and peak deformation temperature, as documented by frozen high-temperature microstructures is indicative of this phase. The '*locked in*' deformation microstructures and syn-kinematic growth of metamorphic index minerals reveal that the MCT related shearing begins at or near the peak metamorphic condition (16-12 Ma), where grain size reduction by dislocation-controlled creep was the most effective mechanism for strain localization. The observed deformation microstructures and the available P-T data shows that the peak deformation and metamorphic condition progressively increases (~500 to >700˚C) towards the mountain interior. It is further evident that the now-exposed *HCC* begun to extrude under dominantly ductile mid-crustal condition at a temperature >700˚C, where the hotter mid-crustal rocks can flow in a viscous manner by melt enhanced depth-dependent ductile flow. Hence, initially the MCT represents a rheological and metamorphic boundary that separates material which can or cannot flow. Then with subsequent exhumation, cooling and strengthening of the *HCC* produced diffuse ductile shear zones along the same rheological boundary, where deformation was distributed for 4-6 km width (~ MCT zone). The base of the high strain zone is marked by base of the compressed reverse paleo-isograds that coincides with the SGR-GMB transition for quartz, leading to steep P-T gradient locally constrained within the MCT zone before it flattened in the migmatite gneisses. At further lowering of temperature (shallower depth), the MCT localized into narrow shear zone under dominantly brittle condition, transporting the entire *HCC* thrust sheets to the foreland.

Keywords: Himalaya, India-Asia collision, Superposed folding, Strain localization , Main Central Thrust Zone

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 三波川帯の低変成度領域における温度構造と変形構造，およびテクトニックな意義

# Thermal structure and deformation history of the low-grade Sanbagawa belt in the central of Kii Peninsula and tectonic implications

*山岡 健[1,2]、ウォリス サイモン[1]、森 宏[2]
*Ken Yamaoka[1,2], Simon Wallis[1], Hiroshi Mori[2]

1. 東京大学、2. 信州大学
1. University of Tokyo, 2. Shinshu University

The Sanbagawa belt in SW Japan is one of the best-documented regions of relatively warm subduction-type metamorphism and information from such regions are important to clarify our understanding of convergent plate margins. Much of the present knowledge is based on petrological studies in the higher grade parts of this belt. However, most of the Sanbagawa belt belongs to the lowest grade domain, the chlorite zone. The lack of reliable methods to determine the thermal structure in this low-grade zone has meant that information from the majority of the belt has been underrepresented. Development of the Raman carbonaceous material thermometer (RCMT) has opened up possibilities of determining the temperature structure of low-grade metamorphic domains such as the chlorite zone of the Sanbagawa metamorphism. Application of RCMT to pelitic rocks of the central Kii peninsula shows a progressive decrease in T from ~390 ˚C close to the northern boundary marked by the Median Tectonic Line (MTL) to ~270 ˚C ~7 km to the south and roughly constant thereafter. The thermal structure is not significantly affected by fault boundaries between different geological units. Meso and microstructural observations combined with strain analysis based on deformed shapes of detrital grains in metamudstone indicate a similar deformation history throughout the area and no correlation between strain and temperature gradients. These features can be used to asses possible models for the observed temperature rise. On this basis, we suggest the rise in T was not due to return flow of high T material in a subduction channel. We also conclude that the rise in T takes place over too narrow a distance to be explained as part of the expected thermal warping in a warm subduction zone. We find no evidence for heating related to the rise of magma or hot fluids. Shear heating along the MTL does provide a plausible explanation for the observed thermal structure compatible with all observations. One-dimensional thermal modeling shows that to account for the observed thermal structure requires slip rates of several mm/yr and relatively high coefficients of friction ($\mu$=??). A similar result was reported from an area to the east but with a much more limited domain of elevated temperatures, probably due to late-stage thinning related to normal faulting. Our results imply that long-lived major crustal faults such as the MTL are at least locally associated with high stresses and are relatively strong. Evidence for the faults being weak at shallow depth implies there is a rapid decrease in strength over the upper few km of the MTL fault zone.

キーワード：三波川帯、炭質物ラマン温度計、剪断熱
Keywords: Sanbagawa belt, Raman carbonaceous material thermometry, shear heating

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Antigorite Raman spectrum: a case study in Shiraga region of the central Shikoku, Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan

*安藤 宏太[1]、纐纈 佑衣[1]、道林 克禎[1]
*Kota Ando[1], Yui Kouketsu[1], Katsuyoshi Michibayashi[1]

1. 名古屋大学
1. Nagoya University

Serpentinites are important rocks and are associtated with water circulating in the earth's interior. However, it is difficult to estimate their metamorphic conditions because serpentine minerals are stable at wide P-T condition. In this study, we compared Raman spectrum of antigorite in different metamorphic grade samples and determined whether Raman spectrum could constrain metamorphic conditions of serpentinites. Serpentinites in this study have been sampled from Shiraga region of the central Shikoku, the Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan. All samples experienced the metamorphic conditions in which olivine were formed by the dehydration reaction of antigorite with brucite. Some samples show retrograde antigorite formed during exhumation. Raman spectrum were measured from various sizes and textures of antigorite grains. Comparing full width at half maximum (FWHM) of Raman spectrum, we found that the prograde-antigorite had different features from retrograde-antigorite. As a consequence, FWHM of Antigorite Raman spectrum could be used to constrain the timing of antigorite formation.

キーワード：アンチゴライト、蛇紋岩、ラマンスペクトル、三波川変成帯
Keywords: antigorite, Serpentinite, Raman spectrum, Sanbagawa metamorphic belt

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# A fluid inclusion study from the late Paleozoic retrograde eclogite from the Yunotani Valley of the Omi area, Hida-Gaien Belt, Japan

*進士 優朱輝[1]、辻森 樹[1]、川本 竜彦[2]
*Yuzuki Shinji[1], Tatsuki Tsujimori[1], Tatsuhiko Kawamoto[2]

1. 東北大学、2. 静岡大学
1. Tohoku University, 2. Shizuoka University

Primary fluid inclusions trapped in subduction metamorphic rocks can provide direct information concerning composition and origin of slab-derived fluids. In order to investigate fluid signatures at the mantle wedge beneath forearc regions, we conducted microthermometry for primary fluid inclusions in both prograde eclogite-stage omphacite and retrograde blueschist-stage quartz, in the late Paleozoic retrograde eclogite from the Yunotani Valley of the Omi area, Hida-Gaien Belt, Japan. Note that the investigated blueschist-stage quartz forms a microvein along cracks of omphacite. The investigated eclogite occurs as mafic layers or lenses which are intercalated in metasedimentary rocks with the mineral assemblage paragonite + phengite + garnet ±glaucophane + quartz + rutile. Recent study confirmed that the retrograde blueschist-stage reached the pumpellyite stability field of $P$ = ~0.62–0.70 GPa and $T$ = ~280–320°C (Shinji and Tsujimori 2019 doi:10.2465/jmps.180716).

The primary fluid-inclusions in both omphacite and quartz are aqueous two-phase inclusions of liquid and vapor. Their molecular species in a liquid and gas phase were identified using micro-Raman spectroscopy. The fluid inclusions of the eclogite-stage omphacite are characterized by relatively high salinity of ~8.0–8.2 wt% NaCl equivalent and the brine freezing temperatures at ~-70°C suggests presence of divalent ions such as $Ca^{2+}$ and/or $Mg^{2+}$. In contrast, fluid inclusion in blueschist-stage quartz shows relatively low value of ~2.4 wt% NaCl equivalent. The liquid phase of the fluid inclusion transforms completely into solid phases at ~-38°C, suggesting existence of the limited monovalent ions such as $Na^{+}$ or/and $K^{+}$ in the fluids.

Our preliminary data demonstrates that the pervasive fluids entrapped at prograde eclogite-stage and retrograde blueschist-stage had different chemical compositions. This suggests different fluid sources at eclogite and blueschist depth. Our observation is consistent with the different fluid compositions recorded in zoned lawsonite in Guatemalan eclogite (Hara et al. 2018 doi: 10.1016/j.lithos.2018.09.001). In our study, the existence of higher salinity fluids in the eclogite-facies conditions can suggest more effective transportation of the lithophile elements into the mantle wedge at deeper forearc regions.

キーワード：Slab-derived fluid、Mantle wedge beneath forearc region、Fluid inclusion、Microthermometry、Retrograde eclogite、Retrograde blueschist-stage pumpellyite
Keywords: Slab-derived fluid, Mantle wedge beneath forearc region, Fluid inclusion, Microthermometry, Retrograde eclogite, Retrograde blueschist-stage pumpellyite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Development of reaction-induced stress and permeability in MgO-$H_2O$ system

*笠原 久夢[1]、宇野 正起[1]、岡本 敦[1]、土屋 範芳[1]
*Hisamu Kasahara[1], Masaoki Uno[1], Atsushi Okamoto[1], Noriyoshi Tsuchiya[1]

1. 東北大学大学院 環境科学研究科
1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

Fractures are dominant flow path of fluid transport in the crust, and fluid flow through the fractures is important for the progress of fluid-rock interaction and material transport in the crust. The fractures enhance permeability in rocks, which has significant effects on the efficiency oil mining, geothermal development and Carbon dioxide Capture and Storage (CCS). Thus, the research on the fracture formations and associated permeability developments are increasingly important for geoscience and engineering.

Especially during fluid-rock interactions in the crust, hydration reactions increase solid-volume and generate stress. Recently such reaction-induced stress has been investigated as a new fracture generation process. For example, the fractures associated with reaction-induced stress are observed in serpentinized olivine (Jamtveit and Austrheim, 2010). In addition, the stress exceeding rock strength is reported from thermodynamic prediction (Kelemen and Hirth, 2012) and experimental measurements (e.g., Lambart et al., 2018). However, the existence of non-fractured rocks despite the volumetric expansion reaction (Centerrea et al., 2015) and the discrepancies between the experimental and theoretical values of reaction-induced stress have not yet been clarified. To understand the causes of these phenomena, it is important to constrain the controlling factors and the generation processes of reaction-induced stress. Therefore, we conducted direct measurements of reaction-induced stress and permeability development during hydration reactions, to clarify the relation between the reaction, stress generation, fracturing and permeability developments.

In our previous study, we measured the reaction-induced stress in MgO–$H_2O$ system, and observed stress generation of approximately 40 MPa, exceeding common tensile strength of rocks. It is indicated that temperature dependence exists in stress generation behavior: the higher the temperature, the higher stress are generated and the stronger stress relaxation are observed after a peak stress. We also showed that this behavior can be explained by competition between reaction and deformation strain rate. This result was consistent to a certain extent with the result of $CaSO_4$・$1/2H_2O$–$H_2O$ system reported by Skarbek et al. (2018).

In this report, we aimed to clarify the influence of reaction and deformation rate on stress generation and the permeability development during volumetric expansion reaction. We conducted two experiments, the stress measurement experiments and the permeability experiments. In the former, experiments were conducted using pellets ($\phi$=45–55%) of MgO powder as a starting material under conditions of approximately 80 to 120 ˚C and fluid pressure of approximately 0.100 MPa. The developments of reaction-induced stress were measured as a function of temperature. In the same experimental systems, the reaction and deformation rate were determined by measuring the strain and the reaction rate. In the latter, the experiment was conducted using the sintered MgO as a starting material under the conditions of approximately 100 to 300 ˚C, a fluid pressure of 0 to 10 MPa, and a confining pressure of 0 to 50 MPa. The permeability developments were measured under conditions of various temperatures, confining

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

pressures and fluid pressures. From the results, we consider the relation between stress, fracturing and permeability and discuss the modes of rock fracturing and fluid transfer enhancement during hydration reactions in the crust.

キーワード：反応誘起応力
Keywords: Reaction-induced stress

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 透過菊池回折によるウルトラマイロナイト中のオリビン結晶方位解析：EBSDの微小部への拡張
# Crystal orientation analysis of olivine in ultra-mylonite using TKD method: progress in spatial resolution from EBSD

*伊神 洋平[1]、道林 克禎[2]、柿畑 優季[2]、纐纈 佑衣[2]
*Yohei Igami[1], Katsuyoshi Michibayashi[2], Kakihata Yuki[2], Yui Kouketsu[2]

1. 名古屋大学 未来材料・システム研究所、2. 名古屋大学 環境学研究科
1. Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University, 2. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

マントルは地球全体の80%以上を占めており、地球内部における物質循環や地球の形成史を理解する上で重要な領域である。そのうち上部マントル層の主要構成物質はかんらん岩であり、オリビン（$[Mg,Fe]_2SiO_4$、かんらん石）粒子の集合体である。オリビンは斜方晶系の結晶で力学的にも異方性を示すため、かんらん岩が剪断的な変形作用を受けた際に含水量や差応力などを反映して様々パターンでの選択配向を示す(Karato et al., 2008)。この配向パターンはかんらん岩の変形場について理解するための重要な指標となる上に、バルクでの地震波異方性推定のためのパラメータにもなるため、マントルの物質科学において大変重要な意味を持つ情報である。

オリビンの配向パターンの解析には現在、ほとんどの場合で走査型電子顕微鏡および電子線後方散乱回折検出器(SEM-EBSD）による方位マッピングが用いられている。EBSDは試料表面から形成される菊池パターンを解析する手法で、現在では自動でのデータ取得・方位決定が可能なハード・ソフトウェアが充実している。そのため様々な地域で採取されたカンラン岩中のオリビン配向パターンのデータが蓄積されてきた。しかし、オリビンの粒径がミクロンオーダー以下となってくると明瞭なEBSDパターン取得が難化することもあって、構造地質学の議論の上ではサブミクロン～ナノ領域の粒子の影響は見過ごされてきたことも多い。

一方、菊池パターンを得る際には、試料を100nm程度の薄膜にすることで、試料内での電子線の広がりが抑えられて空間分解能の向上が可能である(Keller and Geiss, 2011)。これは、透過菊池回折法(TKD)と呼ばれる手法で、EBSDの検出器や自動解析環境をそのまま使うことができるという利点も持つ。そこで本研究では、構造地質学のサブマイクロオーダー粒子の解析への展開を念頭に、TKD法によるウルトラマイロナイト中のオリビン配向解析を試みた。ウルトラマイロナイトは強い剪断応力を受けて、数$\mu$mからそれ以下の粒子の多結晶体となったカンラン岩であり、より詳細な変形プロセス理解が望まれている。

試料は、PROTEA5航海での調査で得られたMarionトランスフォーム断層のウルトラマイロナイトを用いた。SEM観察によれば、当試料はオリビンや角閃石の斑晶および細粒粒子のマトリックスで構成され、その他には直方輝石やクロムスピネルも確認される (Kakihata et al., 2018, AGU)。この試料に対し、SEM-EBSDにより方位解析を試みたのち、FIB (HITACHI FB2100)を用いて、オリビン細粒結晶領域を切り出して薄膜化し、TKD解析を行った。EBSDおよびTKDでは同じSEM-EBSDシステム（HITACH, S-3400N + OXFORD Instruments, NordlysNano)を用いた。

実験の結果、ウルトラマイロナイトのTKDデータの取得に成功し、サブミクロンの粒子同士の粒界まで識別エラー無く方位同定された。WフィラメントのSEMを用いたにもかかわらず、同試料の薄片に対するFESEM-EBSDでの解析よりも高い空間分解能を有したデータが得られた。得られたTKDマップデータに対してはEBSD同様の統計解析システムを用い、三宅ら(2016, 鉱物科学会)の提案による設定を行うことで方位マップが得られ、細粒オリビンのb軸が剪断面構造に対して垂直の選択配向を示すことが分かった。また、いびつな形状の粒子の存在や、亜粒界により連なるような粒子の存在も可視化された。本研究で用いたTKD法は、TEM分析ほどの空間分解能には至らないものの、薄膜試料全体の方位解析における労力はとても小さく、TEM分析の事前準備としての活用は効果的である。今後、TKD法の活用により、これまで分析が困難であったカンラン岩中の細粒粒子の力学的影響の研究が促進されると考えられる。

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：電子線後方散乱回折法、透過菊池回折法、結晶選択配向、ウルトラマイロナイト、かんらん岩
Keywords: EBSD, TKD, crystal preferred orientation, ultra-mylonite, peridotite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Elucidation of effective diffusion coefficient along grain boundaries by hydrothermal experiment using low porosity rocks

*杉沢 直樹[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1]
*Naoki Sugisawa[1], Masaoki Uno[1], Noriyoshi Tsuchiya[1]

1. 東北大学大学院　環境科学研究科　先進社会環境学専攻
1. Graduate school of environmental studies Tohoku university

Elucidation of the time scale of the fluid activity recorded in the rock is important for understanding the actual condition of fluid activity in the crust. In recent years, it has become possible to estimate time-scale of fluid activity in the crust from isotopes and element concentration profile of natural metamorphic rocks. (e.g.John et al.,2012) To estimate the time-scale, the effective diffusion coefficient (Deff) is important as an indicator of diffusion via grain boundary fluid. It is known that the effective diffusion coefficient depends on the porosity (Φ) of rock and time due to grain boundary diffusion. (e.g.Boving and Grathwohl, 2001) The effective diffusion coefficient is conventionally substituted by the product of self-diffusion coefficient ($D_{self}$) and porosity ($D_{self}\Phi^x$). However, the effective diffusion coefficient varies depending on the power factor (x) of the porosity, and the estimated timescales depend significantly on the power factor (x). Therefore, we clarified the relationship between porosity vs effective diffusion coefficient and confining pressure vs effective diffusion coefficient using hydrothermal experiment under crustal condition with various low porosity granite. In this paper, we mention the following two experiments as the first step : (1) Fluorapatite (F-Ap) substitution reaction (2) Determination of effective diffusion coefficient using low porosity hydroxyapatite sintered body (OH-Ap).

In this study, natural F-Ap from Mexico and OH-Ap (Wako Pure Chemical corporation) were used as starting materials. In experiment (1), first, natural F-Ap was cut in the c-axis direction. And it was put in the gold tube with 0.0006-6 M HCl or 0.01-1 M NaOH two types solution. After that gold tube was putted in the batch type hydrothermal equipment and conducted hydrothermal experiment under 400 ℃, 50 MPa for168 hour. In experiment (2), OH-Ap powder was pressed under 200 MPa for 30 minutes and then the porosity was varied by sintering at deference temperature from 1500 ℃ to 1200 ℃. After cooling, the porosity was measured by the wet method. NaF solution saturated at room temperature and OH-Ap sintered body was added to the same apparatus as above and a hydrothermal experiment was conducted at 300 ℃ and 20 MPa for 168 hours. After the experiment (1) and (2), the samples were evaluated by quantitative analysis and mapping analysis with EPMA in both cases. Before the experiment, phase diagram of apatite under experimental temperature and pressure was prepared using SUPCRT92, GEMS to expect these reactions.

As a result of the hydrothermal experiment, in the experiment (1), it is suggested that the OH in F-Ap is substituted with Cl under HCl solution and the NaOH substitutes OH for F. In experiment (2), F diffusion zoning was generated along the clacks in the sintered OH-Ap, and an effective diffusion coefficient was calculated using diffusion equation. There was no apparent porosity dependency of the effective diffusion coefficient at porosities 1.68-5.83%. The effective diffusion coefficient obtained in this experiment was equivalent to the self-diffusion coefficient of fluorine multiplied by the porosity 2.26 power. ($D_{eff} = D_{self}\Phi^x$) (e.g. Oelkers and Helgeson, 1988) However, the porosity measured by the wet method needs to be investigated because it contains the cracks generated in making the sintered body. (e.g. mercury porosimeter)

Based on the above experimental results, it is discussed that the influence of temperature, pressure, solution condition, on substitution of monovalent halogen and hydroxyl group between apatite and fluid and relationship between porosity and effective diffusion coefficients.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

References
John et al. Nature Geosience, Vol.5, July 2012, Pages 489-492 Boving and Grathwohl Journal of Contaminant Hydrology, Vol.53, 8 May 2001, Pages 85-100 Oelkers and Helgeson, Geochemica et Cosmochimica Acta, Vol.52, October 1988, 63-85

キーワード：有効拡散係数、空隙率、地殻内流体
Keywords: effective diffusion coefficient, porosity, Crustal fluid

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 断層がウジ帯により記録される繰り返し地震すべり：野島断層ボーリングコアからの証拠

# Seismic slipping events recorded in a fault gouge zone: evidence from the Nojima Fault drill holes, SW Japan

*林 愛明[1]、西脇 隆文[1]
*Aiming Lin[1], Takafumi Nishiwaki[1]

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室
1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University

It is well known that large intra-continental earthquakes occur repeatedly along mature active faults and that the seismic slip may be recorded by cataclastic rocks, including fault gouge zones, that form at shallow depths in the upper crust (e.g., Lin, 2008). A fault gouge zone, bounded by a principal fault plane, is considered to represent the seismic slip zone that accommodates most of the accumulated fault displacement in the seismogenic regime. Therefore, studies of fault gouge zones along mature active faults would provide important information for reconstructing the long-term seismic faulting behavior of such faults, as well as providing new insights into the individual seismic slipping processes of active faults and their paleoseismic histories.

In the present study, we focused on the structural features of the fault gouge zone observed in drill cores acquired from nine holes that were drilled through the Nojima Fault (NF) at different depths from ~260 to 900 m at the Ogura site (Lin and Nishiwaki, 2019). Drilling investigations and structural analyses of drill cores reveal that a ~60 m wide fault damage zone containing a 10–30 cm thick fault gouge zone developed along the Nojima Fault (NF), on which the 1995 $M_w$ 6.9 Kobe (Japan) earthquake occurred. The fault gouge zone was observed at depths of ~260 to 900 m in nine drill holes that intersected the NF. Our findings show that i) the fault gouge zone observed at different depths in the nine drill cores is the principal fault slip zone of the NF, ii) the fault gouge zone can be divided into 11–20 thin layers of different color, and iii) the individually colored layers contain different color breccias of fault gouge that are offset and/or cut by cracks and crack-filled calcite and quartz veinlets. Our results reveal that the fault gouge zone probably records more than 11–20 paleoseismic faulting events along the NF during the late Pleistocene-Holocene.

References:

1) Lin, A., 2008. Fossil Earthquakes: The Formation and Preservation of Pseudotachylytes. Springer, Berlin, 348p (ISBN 978-3-540-74235-7).
2) Lin, A., Nishiwaki, T., 2019. Repeated seismic slipping events recorded in a fault gouge zone: evidence from the Nojima Fault drill holes, SW Japan. Geophys. Res. Lett., doi: 10.1029/2019GL081927.

キーワード：断層ガウジ、野島断層、地震すべり
Keywords: Fault gouge zone, Nojima Fault, Seismic slipping event

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Evolution of fluid chemistry during basalt-water and basalt-seawater interactions revealed by hydrothermal flow-through experiments

*根津 勇介[1]、岡本 敦[1]、平野 伸夫[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1]
*Yusuke Netsu[1], Atsushi Okamoto[1], Nobuo Hirano[1], Masaoki Uno[1], Noriyoshi Tsuchiya[1]

1. 東北大学　環境科学研究科
1. Tohoku University, Graduate School of Environment Studies

Recently, several deep drilling projects for exploiting the supercritical geothermal reservoirs in the world. For example, in 2017, the Island Deep Drilling Project (IDDP-2) reached 427 ˚C and 34 MPa, which exceeds the critical point of seawater. The drillcores revealed that the intense water-rock interaction under greenschist to amphibolite facies metamorphism. Although such deep drilling provides us direct information of active metamorphic processes. however, it is still unclear whether conventional petrological analyses could apply to reaction processes in open systems at high temperature hydrothermal alteration at seafloor. There have been few experiment studies on the water-rock interaction under supercritical conditions with some exceptions (Yardley et al. 2014).

In this study, we conducted hydrothermal flow-through experiments on the basalt-$H_2O$, basalt-NaCl.aq, basalt-seawater systems under the sub or supercritical conditions. The temperature and pressure were set to be 400 ˚C and 37 - 39 MPa, and the input solutions was flowed at constant flow rate (0.1 ml/min) for 1 –6 days. We placed a powder of MORB (Island, 250-500 $\mu$m), which is composed of plagioclase (Pl), olivine (Ol) phenocrysts and clinopyroxnene (Cpx), Pl groundmass, with lessor amount of volcanic glass, in a Ti inner tube (L=275 mm, I.D.= 4.35 mm). During the run, the solution was continuously pumped into the reaction vessel, and the output solution was collected every few hours. The concentration of Si, Al, Ti, Fe, Mg, Ca, Na, and K in the output solution was analyzed by ICP-AES.

In the basalt-$H_2O$ experiment, the products varied with distance from the inlet. At the inlet and middle of tube, Ca-rich Pl (An# 0.98) formed around primary Pl grain with producing abundant pores, whereas chlorite was dominantly formed around Ol and Pl at the middle to outlet of inner tube. The solution chemistry evolves with time: Si concentration was initially high and then decreases toward the steady state. pH, Na and Al increases with decreasing Si, whereas the Ca, Mg and Fe concentrations were low. These features indicate the dissolution of volcanic glass at the initial stage, and then the solution chemistry was controlled by preferential leaching of albite component of plagioclase.

In the basalt-saline water (2.5 wt% of NaCl) experiment, we observed pH rises accompanying the decrease Si concentration, indicating the leaching of Si and dissolution of Pl similar to the basalt- $H_2O$ experiment. One of the large differences between the two experiments was the extremely high Na concentration of saline water, resulting in the leaching of Ca (Ca concentration of the output solution was 40 to 80 times that of $H_2O$ experiment), or breakdown of Ca-bearing minerals. In the basalt reaction with artificial seawater, which contains a lot of $Mg^{2+}$, $SO_4^{2-}$, $CO_3^{2-}$ ions, revealed that the significant amount of precipitation of sulfate minerals occurred in the pre-heating parts of the vessel (before pass through the fluid reached the basalt sand), and that chlorite was formed throughout the reaction tube, which clogged the reaction vessel in a day. In contrast to the $H_2O$ and saline water experiments, pH decreased to 3. In spite that we conducted the experiments with the same rock sample (basalt sand) and the same P-T conditions, the products and solubitions after the water-rock interaction were quite different in response to the input solutions, probably because the open system, in which new fluids are continuously supplied,

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

is never rock-buffered. We will analyse the complicated reaction systems which control te evolution of solutions and minerals, based on the analyses of speciation of aqueous species, saturation of minerals and variation of replacement textures of minerals.

Reference
Yardley, B. W., Harlov, D. E., & Heinrich, W. (2010). Rates of retrograde metamorphism and their implications for crustal rheology. Geofluids, 10(1-2), 234-240.

キーワード：岩石-水相互作用、流通式実験、超臨界条件、玄武岩-水系、ザクロ石の生成
Keywords: Fluid-rock interaction, Flow through experiment, Supercritical condition, Basalt-seawater system, Garnet synthesis

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 3D microstructural analyses of fault rocks using CT and μCT scanning techniques

*Bingcheng Liu[1], Aiming Lin[1], Takafumi Nishiwaki[1]

1. Kyoto University

Meso- and microstructures of fault rocks including fault gouge developed in the active fault shear zone can reflect the deformation processes of fault motion and faulting mechanisms (Lin, 2008). Therefore, the study on structural features of fault rocks may provide new insights for understanding the nature of active faults. However, it is difficult to understand the spatial variation of microstructures of fault core zone based on traditional methods using two dimensional images under naked-eye and microscopic observations. Accordingly, it is necessary to develop an analytical method for three dimension (3D) analysis for understanding the spatial variation and internal structures of fault core zone. Computed tomography (CT) apparatus with micro-CT (μCT) accessories is a powerful tool which allows non-destructive 3D X-ray imaging and analyzing the spatial and internal structures within non-transparent objects, mainly determined by variations in density, chemical composition (effective atomic number) as well as thickness (Cnudde, 2005).

In this study, the CT and μCT imaging techniques are exploited to observe the 3D internal structures of a series of representative fault rocks: 1) pseudotachylytes of different origins (melting and crushing), and 2) cataclasitic rocks including fault gouge, fault breccia and cataclasite, by utilizing two types of scanning apparatuses (Bruker microCT, 2014): 1) μCT flat panel (FP), and 2) μCT charge coupled device (CCD). The samples of pseudotachylyte are from Fuyun, NW China (Lin, 1994), Ohsumi, Japan (Fabbri et al., 2000), and Musgrave Mt, Australia (Lin et al., 2005), respectively. The samples of fault gouge were acquired from two typical active fault zones in Japan: The Nojima Fault and Arima-Takatsuki Tectonic Line, SW Japan (Lin and Nishiwaki, 2019). The FP analysis shows that 1) the flow structures within the melting-origin pseudotachylytes are denoted by parallel colored glassy matrix layers with numerous rounded quartz clasts and quartz-filled amygdules which are oriented along the flow layers, and 2) chilled margins are characterized by fine-grained microlites orientated parallel to the margins. The 3D scanning images show that the layering structures developed within the fault gouge and fault breccia zones which are marked by sharp colored boundaries, oriented clasts and fine-grained matrixes. Our results demonstrate that 1) the CCD imaging makes it possible to observe sub-micron and even nano-scale 3D microsturctures fault rocks without destruction, and 2) μCT imaging can be further combined with traditional methods (such as optical microscope and SEM observation) to determine the spatial variations for both the meso- and microstructures and chemical compositions of fault rocks.

**References:**

1). Lin, A., 2008. Fossil Earthquakes: The Formation and Preservation of Pseudotachylytes. Springer, Berlin, 348p (ISBN 978-3-540-74235-7).

2). Veerle Cnudde, 2005. Exploring the potential of X-ray tomography as a new non-destructive research tool in conservation studies of natural building stones. Diss. Ghent University.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

3). Bruker microCT. SkyScan 2211 User Manual, 2014.

4). Lin, A., 1994. Jour. Struct. Geol., 16, 71-83.

5). Fabbri, O., Lin, A., Totsushige, H., 2000. Jour. Struct. Geol., 22, 1015-1026.

6). Lin et al., 2005. Tectonophysics, 402, 21-35.

7). Lin, A., Nishiwaki,T., 2019. Geophy. Res. Lett., 46, DOI: 10.1029/2019GL081927.

Keywords: computed tomography, fault rocks, microstructure

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Dissolution kinetics of forsterite olivine at >200 ˚C: implication for the kinetics of serpentinization.

*大柳 良介[1]、桑谷 立[1]、鈴木 勝彦[1]
*Ryosuke Oyanagi[1], Tatsu Kuwatani[1], Katsuhiko Suzuki[1]

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Serpentinization (hydration of mantle peridotite) gives significant changes to both chemical and physical properties of the oceanic lithosphere. Several studies suggested that the rate of serpentinization is maximized at 250-300˚C, and the rate-limiting process of serpentinization is the dissolution of primary mineral (e.g., Malvoisin et al., 2012). Therefore, the dissolution rate of olivine at 250-300˚C is consequently a critical parameter to understand the progress of serpentinization in the oceanic lithosphere. However, the olivine dissolution rates at > 150˚C have never been measured (Rimstidt et al. 2012), and the olivine dissolution rate extrapolatory calculated at 300˚C was inconsistent with the olivine serpentinization kinetics (Malvoisin et al., 2012). Towards the improved understanding of serpentinization kinetics, measuring dissolution rates of olivine as a function of solution composition and the temperature is required.

In this study, the dissolution rate of natural olivine ($(Mg_{0.91}, Fe_{0.09})_2SiO_4$) was measured at 200-400 ˚C and 50 MPa using a flow-through reactor (Suzuki et al., 2015). A 0.5 mol/kg NaCl solution was introduced at a constant rate of 2.0 mL/min during experiments. A preliminary experiment revealed that steady-state dissolution rate of olivine at 200 ˚C and far-from-equilibrium conditions was ca. -4.8 [mol/$m^2$/s] in log units. The obtained dissolution rate was consistent with the extrapolated dissolution rate ($log_{10}$(Rate) = ca. -4.72 [mol/$m^2$/s]), which was extrapolated from their pH-temperature dependence at 25-150 ˚C (Rimstidt et al., 2012). Based on dependences of temperature, salinity, and ΔG on dissolution rate, the timescales on hydrothermal alteration of peridotite will be discussed.

## References

Malvoisin B, Brunet F, Carlut J, et al (2012) Serpentinization of oceanic peridotites: 2. Kinetics and processes of San Carlos olivine hydrothermal alteration. J Geophys Res Solid Earth 117:1–13. doi: 10.1029/2011JB008842

Rimstidt JD, Brantley SL, Olsen AA (2012) Systematic review of forsterite dissolution rate data. Geochim Cosmochim Acta 99:159–178. doi: 10.1016/j.gca.2012.09.019

Suzuki K, Kato S, Shibuya T, et al (2015) Development of Hydrothermal and Frictional Experimental Systems to Simulate Sub-seafloor Water–Rock–Microbe Interactions. In: Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems. Springer Japan, Tokyo, pp 71–85

キーワード：蛇紋岩、反応速度、かんらん石、溶解速度
Keywords: Serpentine, Reaction rate, Olivine, Dissolution rate

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-MP 岩石学・鉱物学

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_18

## [S-MP33] 鉱物の物理化学

コンビーナ:鎌田 誠司(東北大学学際科学フロンティア研究所)、鹿山 雅裕(東北大学大学院理学研究科地学専攻)

本セッションでは，地球や惑星を構成する物質について，物理・化学的な視点から議論を行なう．ミクロな原子・分子スケールからマクロな組織スケールにわたる各種実験，理論および計算機シミュレーションによる研究を募集する．研究対象は鉱物結晶のみならず，融解物やガラス，およびそれらの共存系も含む．また，アナログ物質やモデル物質を用いた研究も歓迎する．

[SMP33-P01] ザイフェルタイトのラマン分光分析

*鹿山 雅裕[1]、大谷 栄治[1]、宮原 正明[2]、金子 詳平[1]、関根 利守[3]、小澤 信[1]、平尾 直久[4] (1.東北大学、2.広島大学、3.HPSTAR、4.高輝度光科学研究センター)

[SMP33-P02] 衝突ダイヤモンドの微細組織の結晶化プロセス

*大藤 弘明[1]、中谷 元祐[1] (1.愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター)

[SMP33-P03] Hコンドライト隕石の変成温度解析：改良型Lindsley輝石温度計による

*上原 亮[1]、桑原 義博[1]、島田 和彦[1]、中牟田 義博[1]、上原　誠一郎[1]、足立 達朗[1] (1.九州大学)

[SMP33-P04] 小笠原諸島父島における沸石の共生関係について

伊藤 道玄[1]、*井上 裕貴[1]、安井 万奈[2]、山崎 淳司[2]、萩谷 宏[1] (1.東京都市大学知識工学部自然科学科、2.早稲田大学理工学術院総合研究所)

[SMP33-P05] Title: Single-crystal X-ray diffraction study of mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) from 213 to 303 K

*池田 龍太郎[1] (1.筑波大学)

[SMP33-P06] Elastic constants of single-crystal topaz studied via sphere-resonance method

*荒舘 佳子[1]、渡辺 了[1]、浜田 盛久[2] (1.富山大学、2.海洋研究開発機構)

[SMP33-P07] シート状鉱物の研磨によるダメージの検証

*纐纈 佑衣[1]、安藤 宏太[1]、道林 克禎[1] (1.名古屋大学大学院　環境学研究科)

[SMP33-P08] Zebra Rock の記載とパターン形成モデル

*吉村 薫[1]、寅丸 敦志[2]、市原 美恵[3]、野口 高明[4]、松本 徹[5] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学院理学研究院地球惑星科学部門、3.東京大学地震研究所、4.九州大学基幹教育院、5.宇宙研究開発機構/宇宙科学研究所)

[SMP33-P09] Thermal conductivity anomaly of $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution across the spin transition

*趙 耕賢[1]、謝 文斌[1,2] (1.台湾中央研究院地球科学研究所、2.台湾国立台湾大学地質学科)

[SMP33-P10] **Melting experiments in the $MgSiO_3$ – $SiO_2$ system under high pressures**

*森口 拓弥[1]、米田 明[1]、伊藤 英司[1] (1.岡山大学惑星物質研究所)

[SMP33-P11] Melting relations of the Fe-Ni-S-C system and the formation of superdeep diamonds

*伊丹 佑[1]、浦川 啓[1] (1.岡山大学)

[SMP33-P12] タイタン内部条件におけるメタンハイドレートの安定性

*門林 宏和[1]、平井 寿子[2]、大藤 弘明[1]、川村 英彰[1]、大竹 道香[3]、山本 佳孝[3] (1.愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、2.立正大学地球環境科学部環境システム学科、3.産業技術総合研究所)

[SMP33-P13] Magnetite-maghemite-hematite相転移の研究

*杵渕 伊吹[1]、興野 純[1]、佐野 喜成[1] (1.筑波大学)

[SMP33-P14] The Effects of Temperature and Pressure on Hydromagnesite

*山本 弦一郎[1]、興野 純[1]、阿部 淳[2]、服部 高典[3]、松下 能孝[4]、米田 安宏[3] (1.筑波大学、2.総合科学研究機構、3.日本原子力研究開発機構、4.物質・材料研究機構)

[SMP33-P15] Synthesis and crystal structure of Mg-bearing $Fe_9O_{11}$: New insight in the complexity of Fe-Mg oxides at conditions of the deep upper mantle

*石井 貴之[1]、Uenver-Thiele Laura[2]、Alan B Woodland[2]、Edith Alig[3]、Tiziana Boffa Ballaran[1] (1.バイロイト大学バイエルン地球科学研究所、2.Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt、3.Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Goethe-Universität Frankfurt)

[SMP33-P16] **Changes in specific surface area and morphology of kaolin group minerals with pressure treatment**

*Soyeon Kwon[1]、Yongjae Lee[1] (1.YONSEI University)

# ザイフェルタイトのラマン分光分析
# Raman spectroscopy of seifertite

*鹿山 雅裕[1]、大谷 栄治[1]、宮原 正明[2]、金子 詳平[1]、関根 利守[3]、小澤 信[1]、平尾 直久[4]
*Masahiro KAYAMA[1], Eiji Ohtani[1], Masaaki Miyahara[2], Shohei Kaneko[1], Toshimori Sekine[3], Shin Ozawa[1], Naohisa Hirao[4]

1. 東北大学、2. 広島大学、3. HPSTAR、4. 高輝度光科学研究センター
1. Tohoku University, 2. Hiroshima University, 3. HPSTAR, 4. Japan Synchrotron Radiation Research Institute

$SiO_2$多形であるザイフェルタイト（Seifertite）は$\alpha$-$PbO_2$構造を有し、~100 GPaを超える高圧条件下において熱力学的に安定な高圧相である。クリストバライトを出発試料とした静的圧縮実験では、少なくとも~11 GPaかつ0.01 sの条件でSi-O結合の破断を生じずにザイフェルタイトへ準安定的に相転移することが知られており、この場合、減圧時に低圧相に戻らず、ザイフェルタイトのまま常温常圧で回収することが可能である。そのため、月・火星隕石から発見されたザイフェルタイトは、母天体に産するクリストバライトから天体衝突により相転移した準安定相である。また、ザイフェルタイトの存在から衝突時の圧力・保持時間が制約され、衝突速度を算出することで衝突天体やクレーターの直径を推定することができる。このように、ザイフェルタイトは各種隕石が経験した衝突履歴を明らかにするための重要な指標となり得る。一方で、ポストスティショバイトは熱的に非常に不安定であると考えられており、レーザー光を用いた分析手法では信号を検出することが困難とされてきた。従って、ザイフェルタイトのラマン分光分析に関する事例はほとんど無く、そのラマン散乱特性については現状では分かっていない。本研究では、クリストバライトの静的圧縮実験により合成した試料及び月・火星隕石に産するザイフェルタイトから固有のラマン信号を検出するに至り、各スペクトルピークを第一原理計算により得られた結果と比較して、振動モードの帰属を行った。

ザイフェルタイトの合成試料は、クリストバライト粉末を対象にマルチアンビルプレスを用いて16 GPa、673 K及び0.5 hの条件で加圧して回収されたものである。また、火星隕石NWA2975及びZagamiと月隕石NWA 4734に産するザイフェルタイトを分析に供した。合成・天然試料ともに放射光XRD分析（BL10XU, Spring-8）からザイフェルタイトを含むシリカ粒子であることを確認している。ラマン分析にはNd: YAG 532 nmのレーザーを用い、出力を20 mW並びに露光時間3分の条件で実施した。

ラマン分光分析の結果、ザイフェルタイトを含むシリカ粒子は合成及び隕石試料共に、他の$SiO_2$多形とは明らかに異なるスペクトピークを示した。両試料とも、380、401、496、515、539、547、564、606、739、749および796 $cm^{-1}$に顕著なピークが認められる。先行研究により報告されているザイフェルタイトの結晶構造のパラメーターを基に、第一原理計算によりラマンスペクトルの相対強度と波数を算出したところ、合成及び隕石試料で得られた値と一致した。また、振動モードに関して380、515、564及び796 $cm^{-1}$のスペクトルピークはAgの原子振動に、401、496及び539 $cm^{-1}$のものはB1gに、606及び749 $cm^{-1}$はB2gに、547及び739 $cm^{-1}$はB3gに帰属される。また、20 mWで30分間にわたるレーザー照射後をしても、ザイフェルタイトが示す固有のラマン信号の強度や波数、半値幅に変化はほとんど認められないことから、熱による影響はほとんどないと考えられる。ラマン分光分析により固有の信号が取得できたことから、隕石に含まれるザイフェルタイトをより簡便かつ非破壊で同定するが可能である

キーワード：ザイフェルタイト、ラマン分光、隕石
Keywords: Seifertite, Raman spectroscopy, Meteorite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 衝突ダイヤモンドの微細組織の結晶化プロセス
# Microtexture and crystallization process of impact diamonds

*大藤 弘明[1]、中谷 元祐[1]
*Hiroaki Ohfuji[1], Motosuke Nakaya[1]

1. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター
1. Geodynamics Research Center, Ehime University

Impact diamonds from the Popigai crater located in the central Siberia, Russia show unique nano-polycrystalline texture composed of diamond and a small amount of lonsdaleite of ~50 nm (Ohfuji et al., 2015), which is well comparable to the nano-polycrystalline diamond synthesized by direct conversion of graphite under high pressure and high temperature (Irifune et al., 2003). However, subsequent studies noted that they show a variety of microtexture such as lamellar or layer textures and granular textures. In the present study, we investigated the mineralogical and crystallographic characteristics of the various microtextures shown by the Popigai diamonds by TEM.

The microtextures found in Popigai diamonds are divided into two types, 1) lamellar type and 2) granular type. The former is further classified into two types, 1a) less-mosaiced lamellar and 1b) mosaiced lamellar. The latter can also be divided further into 2a) granular texture composed of fine crystals of <50 nm and 2b) granular texture composed of larger (~100 nm) crystals. Careful textural observations and electron diffraction analysis revealed that the microtextures of Popigai diamonds vary from layered texture to granular texture (1a →1b →2a →2b) as the phase transitions from graphite to lonsdaleite to diamond proceed. The phase transition mechanism also changes from martensitic process involving a lattice relationship (Graphite (001) // Lonsdaleite (100) // Diamond (111)) to diffusion process where the nucleation of new grains and the their growth are promoted.

The most important factor controlling the degree of the phase transitions and the resulting microtexture is probably the shock temperature, which is supposed to have decreased gradually from the center to rim in the crater.

キーワード：衝突ダイヤモンド、ポピガイクレーター、高温高圧
Keywords: Impact diamonds, Pipogai crater, High temperature and high pressure

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Hコンドライト隕石の変成温度解析：改良型Lindsley輝石温度計による
# Metamorphic temperature analysis of H chondrites: Using revised Lindsley's pyroxene thermometer

*上原 亮[1]、桑原 義博[1]、島田 和彦[1]、中牟田 義博[1]、上原　誠一郎[1]、足立 達朗[1]
*Ryo Uehara[1], Yoshihiro Kuwahara[1], Kazuhiko Shimada[1], Yoshihiro Nakamuta[1], Seiichiro Uehara[1], Tatsuro Adachi[1]

1. 九州大学
1. Kyushu university

1. はじめに

これまで小惑星の熱進化モデルについては多くの研究者が議論を展開してきた（Wood, 1979; Miyamoto et al., 1981; Yomogida and Matsui., 1984; McSween et al., 2002）。この熱進化モデルを考える上での重要なパラメーターとして，コンドライト隕石母天体の最高到達温度，年代，冷却速度などが挙げられている（McSween et al., 2002）。これらのパラメーターの中でも，母天体内部の最高到達温度については様々な地質温度計を用いて求められてきた（Olsen and Bunch, 1984; Nakamuta and Motomura., 1999; Kessel et al., 2002; Slater-Reynolds and McSween., 2005）。中でも， Lindsley. (1983)による輝石温度計は他の温度計とは違い，同じ隕石内で斜方輝石(Opx)と単斜輝石(Cpx)の各々から温度を求めることができることから広く用いられてきた。しかし，これまで報告された単斜–斜方輝石間の温度差が50～100℃程度と大きいことから，斜方輝石と単斜輝石で得られる温度のどちらが実際の変成温度を表しているのか，多くの議論がなされてきた。これを受けて，Nakamuta et al . (2017) は隕石中に存在する単斜輝石にコスモクロア輝石成分を考慮し，従来のLindsley輝石温度計にその成分を加えた改良型Lindsley輝石温度計を提案した。これにより，LLコンドライト隕石中の単斜輝石と斜方輝石から得られた変成温度の差が20℃未満と,従来の輝石温度計を用いた先行研究の結果より精度の高い結果が得られることを報告した。本研究ではNakamuta et al. (2017)が考案した改良型Lindsley輝石温度計を用いて，Hグループに属する変成度の異なる３タイプの隕石の変成温度の推定を行った。ここでは，その結果について報告する。

２. 試料と方法

本研究で用いた試料は，Edmondson(b) (H4)，Faucett (H5)，Faith (H5)，Plainview (H5)，Mulga(north) (H6)，Great bend (H6)，NWA7875(H7)である。まず，試料毎に薄片を作成し，偏光顕微鏡，反射顕微鏡を用いて組織観察を行った。その後，電子プローブマイクロアナライザ[EPMA (JEOL JXA-8530F)] を用いて，斜方輝石(Opx), 単斜輝石(Cpx)に加え，カンラン石，斜長石の多結晶粒子に対する化学分析を行った。これらの結果を元に，各隕石試料の分類を再確認すると同時に，改良型Lindsley輝石温度計による変成温度解析を行った。

３. 結果と考察

隕石試料の組織観察及び化学分析の結果，各隕石の分類（H4, H5, H6, H7）に間違いがないことを再確認した。改良型Lindsley輝石温度計による変成温度推定については，Edmondson(b) (H4)，Faucett (H5)，Faith (H5)，Plainview (H5)，Mulga(north) (H6)，Great Bend (H6)，NWA7875 (H7)において各々779-1236℃（Opx-Cpx），814-875℃，832-843℃，844-838℃，807-797℃，811-818℃，1183-1247℃という平均値が得られた。H5，H6のほとんどの隕石試料ではOpxとCpxとの差は20℃未満に収まっている結果となった。

このことから，Nakamuta et al. (2017)による改良型Lindsley輝石温度計はHコンドライト隕石でも有効であることが示唆される。H5タイプであるFaucett，Faith，Plainview隕石の変成温度は840℃程度，H6タイプであるMulga(north)，Great Bend隕石は810℃程度，H4タイプであるEdmondson(b)隕石はOpxから判断して780℃未満であったであろうと推定される。H７タイプであるNWA7875隕石に関しては，以前H5あるいはH6であったものが衝撃変成作用によって，組織の一部が溶融され，母天体内部の熱変成作用による最高到達温

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

度が上書きされたことを反映していると思われる。
　これらの推定温度データとMonnereau et al.（2013）によって報告されているモデルシミュレーションとの結果の比較により，Hコンドライト隕石母天体は集積期間が短い（<0.2Myr）場合に形成されるオニオンシェル型の内部熱構造をとっていたと推定される。

キーワード：Hコンドライト、Lindsley輝石温度計、コスモクロア輝石、最高到達温度、オニオンシェルモデル
Keywords: H chondrite, Lindsley pyroxene thermometer, Kosmoclor, Peak temperature, Onion-shell model

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 小笠原諸島父島における沸石の共生関係について
# The occurrence combinations of Zeolites at Chichijima, Ogasawara Islands

伊藤 道玄[1]、*井上 裕貴[1]、安井 万奈[2]、山崎 淳司[2]、萩谷 宏[1]
Michiharu Ito[1], *Yuki Inoue[1], Mana Yasui[2], Atsushi Yamazaki[2], Hiroshi Hagiya[1]

1. 東京都市大学知識工学部自然科学科、2. 早稲田大学理工学術院総合研究所
1. Tokyo City University, 2. Waseda research institute for science and engineering

小笠原諸島は東京から南に1000km離れた太平洋上に位置する聟島列島、父島列島、母島列島からなる群島である。母島列島を除く小笠原諸島ではボニナイトと呼ばれる$SiO_2$>55% MgO>8% $TiO_2$ <0.5%という特異な組成を持つ火山岩の産地としても知られている。また、父島では、溶岩の冷却に伴う熱水循環などの要因により様々な種類の沸石が、同一の火山岩の空隙中に形成されている。

本研究では沸石の産状を調べ、その共生状態を見ることによって沸石産出地域ごとの沸石形成プロセスを検討する。

父島宮之浜海岸で産出した晶洞にはErioniteの二段階の成長が確認された。晶洞中のErioniteの各所において化学組成分析を行ったところ、内側に形成されたErioniteでは陽イオンとして$Na^+$を多く含むが、外側に成長したErioniteでは$Na^+$は減少し、$K^+$の増加が見られた。また、Erioniteの二段階成長の境界付近では$Mg_2^+$が検出された。

また、父島初寝浦海岸で産出した晶洞についても、沸石の二段階成長とみられる構造が観察された。分析を行ったところ内側からPhillipsite,　Stillbiteの2種類の沸石が確認された。

これらの沸石に対し、EDSによる化学組成分析を行ったところ、晶洞の内側のPhillipsiteでは陽イオンの$Na^+$の値が大きく、結晶の外側であるStillbiteでは$Na^+$の減少及び、$K^+$の増加が見られた。さらに$Mg_2^+$値については沸石種が異なる境界付近で高い値が検出された。

これらのことから、宮之浜海岸、初寝浦海岸の晶洞における沸石の二段階成長について一段階目の成長の後に新たに熱水活動があり、周囲の母岩から$Mg_2^+$、$K^+$が晶洞内に供給されたと考えられる。その後、$Mg_2^+$を消費する粘土化などの現象の後に、$Na^+$, $K^+$型の沸石が成長したと推測できる。

また、今回、島の北部と東部という離れた産地にもかかわらず、晶洞内で沸石の二段階成長が確認され、いずれも$Na^+$、$Mg_2^+$、$K^+$の増減の挙動が似ていることから、広い範囲で類似の現象が発生したと思われる。このことから、父島の他の沸石共生試料についても同様の手法で検討を行った。

キーワード：沸石、無人岩、熱水活動、共生関係
Keywords: Zeolite, boninite, hydrothermal activity, occurrence combinations

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Title: Single-crystal X-ray diffraction study of mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) from 213 to 303 K

*池田 龍太郎[1]
*Ryutaro Ikeda[1]

1. 筑波大学
1. University of tsukuba

## Introduction

Renewable energy is of increasing importance in modern society due to its low environmental impact, ubiquity and sustainability. Since some renewable energy resources (e.g. sunlight, wind and tides) have variable outputs, storage technologies have great potential for affording the supply from these resources. In recent years, much attention has been paid to phase change materials (PCMs) due to its high energy storage capacity. PCMs are substances with a heat of fusion which can store and releasing large amounts of energy. Mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) is known as one of the PCMs. With increasing temperature, mirabilite transforms to thenardite ($Na_2SO_4$) at a dehydration temperature of 306 K. On the contrary, thenardite is rehydrated back to mirabilite at 283 K. The reversible reaction involves large exothermic and endothermic heats. To date, however, there is little information on temperature dependence of crystal structure in mirabilite. The structure of mirabilite contains ribbons consisting of edge-sharing $Na(H_2O)_6$ octahedra along the *c*-axis. These ribbons alternate with chains of the $SO_4$ tetrahedra and the two $H_2O$ molecules. Levy and Lisensky (1978) identified disorder over two orientations of the $SO_4$ tetrahedra by single-crystal neutron diffraction measurement at room temperature. The characteristic two orientations, related by a rotation of about 30° about the S×××O5 vector, generate pairs of partially occupied sulfate oxygen sites (O4’/O4’’, O6’/O6’’, and O7’/O7’’). Levy and Lisensky (1978) found that the primed sites are about 25% occupied, and the double-primed sites are about 75% occupied. Recently, Brand et al. (2008) performed powder neutron diffraction measurements on mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10D_2O$) in the temperature range from 10 to 300 K. They reported that the unit cell of mirabilite is isotopically expanded up to 300 K. The authors however couldn’t observe the two orientations for the $SO_4$ tetrahedra in the structure, which was previously identified by Levy and Lisensky (1978). In the study, we performed temperature-dependent single-crystal X-ray diffraction measurement of mirabilite in the temperature range between 213 and 303 K. Here, we report the crystal structure change of mirabilite associated with the characteristic exothermic and endothermic heats.

## Methods

Single crystals of mirabilite were obtained by slow cooling of a saturated solution of $Na_2SO_4$. After the synthesis, a single crystal was stored in a 0.7 mm Lindemann glass capillary to avoid dehydration. Temperature dependent single-crystal X-ray diffraction study on mirabilite was performed using a single-crystal diffractometer (APEXII ULTRA, Bruker AXS Inc., Germany) equipped with a liquid nitrogen cryostat, a CCD detector, multilayer optics, and graphite monochromated Mo$K\alpha$ radiation ($\lambda$ = 0.71073 Å) generated by a rotating anode. The measurements were conducted at temperature ranges between 213 and 303 K with 10 K step in both heating and cooling processes.

## Results and Discussion

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

The *a* and *c* lattice parameters and unit cell volume were monotonously changed with temperature, whereas the *b* lattice parameter remained almost unchanged. The result is entirely consistent with the previous report that thermal expansivities of the *a*- and *c*-axes are of similar magnitude, while the *b*-axis shows a much smaller thermal expansion (Brand et al. 2008). The disorder over two orientations of the $SO_4$ tetrahedra was observed in the present study. At room temperature, the primed and double-primed sites are about 25% and 75% occupied, respectively, which is completely consistent with the result by single-crystal neutron diffraction study (Levy and Lisensky 1978). A clear temperature dependence of the disorder over two orientations was, however, unobserved in the study. It is noteworthy that the $SO_4$ tetrahedral volume coordinated by primed oxygen atoms showed a pronounced temperature dependence. In the vicinity of dehydration temperature of mirabilite, it approached to that of thenardite ($Na_2SO_4$), which would be a trigger initiating the dehydration of mirabilite.

キーワード：硫酸ナトリウム、単結晶XRD、芒硝、相変化
Keywords: sodium sulfate, Single crystal XRD, mirabilite, Phase change

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Elastic constants of single-crystal topaz studied via sphere-resonance method

*荒舘 佳子[1]、渡辺 了[1]、浜田 盛久[2]
*Kako Aradachi[1], Tohru Watanabe[1], Morihisa Hamada[2]

1. 富山大学、2. 海洋研究開発機構
1. University of Toyama, 2. JAMSTEC

Transport of ocean floor sediments by plate motions might play an important role in the circulation of materials within the Earth. Imaging subducted sediments through seismological observations requires a thorough understanding of elastic properties of sediment origin hydrous minerals. Topaz is a hydrous mineral, which can be formed from subducted sediment at high pressures. We have studied elastic constants of single-crystal topaz by the sphere-resonance method.

A sphere sample (D=2.665(1) mm) was made from a topaz single-crystal (Al1.97SiO4(F1.17,OH0.82)) collected from Ouro preto, Mines Gerais, Brazil by the two-pipe method. Lattice parameters are a=4.663, b=8.835, c=8.386 A (orthorhombic). Resonant frequencies were measured at frequencies from 1.6 MHz to 3.5 MHz with different specimen-holding forces. Extrapolating to the specimen-holding force of zero, we obtained frequencies of "free" oscillation. Elastic constants were determined by comparing measured and calculated resonant frequencies. The xyz algorithm (Visscher et al., 1991) was employed to calculate resonant frequencies of the sphere sample. At an ambient temperature, C11=281.2(5), C22=350.3(7), C33=288.4(5), C44=108.8(2), C55=130.9(2), C66=131.4(2), C12=121.3(2), C13=81.6(2), C23=82.1(2) (GPa).

キーワード：トパーズ、弾性定数、水
Keywords: Topaz, Elastic constants, Water

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# シート状鉱物の研磨によるダメージの検証
# Verification of damage by polishing of sheet-like minerals

*纐纈 佑衣[1]、安藤 宏太[1]、道林 克禎[1]
*Yui Kouketsu[1], Kota Ando[1], Katsuyoshi Michibayashi[1]

1. 名古屋大学大学院　環境学研究科
1. Department of Earth & Planetary Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Sheet-like minerals such as mica, serpentine, clay minerals and graphite are affected by shearing due to polishing. In addition, a damage due to electron beam irradiation during observation by the electron microscope also occurs. In this study, the damage due to polishing and irradiation of the electron beam for sheet-like minerals of graphite and serpentine minerals was evaluated by Raman spectroscopic analysis. First, we evaluated the crystallinity change of graphite in each polishing stage. As a result, a decrease in crystallinity was observed in all stages from rough polishing to fine grain polishing by diamond paste. The chemical polishing with colloidal silica also lowered the crystallinity of graphite. In order to reduce the shearing effect to graphite, we tested a low load polishing using the polisher ISPP-1000 (Ikegami Seiki Co., Ltd.) which is controlling the load by a weight. However, it was revealed that even a load of only 25g was damaged to graphite. Next we examined the polishing effect of serpentine minerals. Raman spectroscopic analysis was performed after polishing, however no spectral change at each polishing stage like graphite was detected. On the other hand, the antigorite Raman spectra after SEM-EBSD analysis showed a decrease in intensity at the depth of about 3 micrometre from the surface, suggesting that the crystal structure was damaged by electron beam irradiation. We also tried a low load polishing for serpentine minerals, and we detected an electron backscatter pattern of lizardite for the first time. In the case of pure lizardite sample, a clear Kikuchi band was confirmed. On the other hand, almost no pattern was detected for serpentine minerals (antigorite, lizardite, chrysotile) in the serpentinite samples, because of the contrast of hardness with surrounding hard minerals such as olivine. For analysis of sheet-like minerals contained in rock samples including minerals of various hardness, further improvement of the polishing method or other methods such as ion milling is needed.

キーワード：石墨、アンチゴライト、リザダイト、低荷重研磨、ラマン分光法、後方散乱電子回折
Keywords: graphite, antigorite, lizardite, low load polish, Raman spectroscopy, EBSD

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Zebra Rock の記載とパターン形成モデル
# Description of Zebra Rock and the pattern formation model

*吉村 薫[1]、寅丸 敦志[2]、市原 美恵[3]、野口 高明[4]、松本 徹[5]
*Kaoru Yoshimura[1], Atsushi Toramaru[2], Mie Ichihara[3], Takaaki Noguchi[4], Toru Matsumoto[5]

1. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2. 九州大学院理学研究院地球惑星科学部門、3. 東京大学地震研究所、4. 九州大学基幹教育院、5. 宇宙研究開発機構/宇宙科学研究所
1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Kyushu University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, 3. Earthquake Research Institute, University of Tokyu, 4. Department of Arts and Science, Kyushu University, 5. Japan Aerospace Exploration Agency/ Institute of Space and Astronautical Science

Zebra Rock is a sedimentary rock characterized by a pattern consisting of red and whitein color, which is characteristically seen in Australia. Loughnan and Roberts (1990) conclude that the origin of the pattern is due to the diffusion process in a sediment on the basis of their study of the mineral assemblage.However, the mechanism of the specific reaction is not explained, lacking the detailed description. Our aim is to describe Zebra Rock in more detail and to develop a pattern formation model including the reaction of mineral formation.
Six samples taken from the vicinity of Lake Argyle in the East Kimberley region of Western Australia are used. We refer to the characteristic banding pattern consisting of red bands and white bands as Red and White, respectively.
We examined the mineral compositions with XRD (Mac science CuK$\alpha$ radiation) and SEM-EDS (FE-SEM 15 kev, OXFORD Aztec) and the occurrence of minerals with SEM (FE-SEM 15 kev) and TEM (JEM-3200FSk) for each White and Red. By using BSD images, we examined the fraction of minerals, and the characteristics of the spatial correlations between minerals and void for White and Red. As a result, we found that there are two distinctive differences in the mineral abundance and occurrence of iron oxide between White and Red. Red contains more iron oxide than White as shown by previous study. In the occurrence of iron oxide is different. The iron oxide in White takes a shape of planer sheet of polycrystal (<100 $\mu$m) which consists of hematite grains (~100 nm), whereas the iron oxides in Red are aligned in interstitial spaces between kaolinite and quartz crystals, as aggregates (<100 $\mu$m) which consists of granular hematite grains (~ $\mu$m). In addition, from the spatial distribution analysis it is found that the iron oxides concentrate near voids both in White and Red.
Integrating these results,on the basis of the idea that the formation of iron oxide plays an essential role in the formation of zebra pattern,we develop a pattern formation model using a reaction diffusion system. In our model, the pattern is defined as the variation of concentration of ferric irons. We assume the formation process ofhematite in an aqueous solution is simplified as “ferrous ion →goethite (monomers) →goethite (precipitates) →hematite”. We propose an autocatalytic reaction in which ferrous ion are adsorbed in goethite, and thereby the reaction is accelerated. As a result of the linear stability analysis for this simplest model, it is found that the equilibrium point is stable and no pattern forms. Thus, we will develop more complex reaction models to produce the zebra pattern.

キーワード：ゼブラロック、パターン形成、反応拡散系
Keywords: Zebra Rock, pattern formation, reaction diffusion system

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Thermal conductivity anomaly of $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution across the spin transition

*趙 耕賢[1]、謝 文斌[1,2]
*Keng-Hsien Chao[1], Wen-Pin Hsieh[1,2]

1. 台湾中央研究院地球科学研究所、2. 台湾国立台湾大学地質学科
1. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan, 2. Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan

Deep carbon cycle is a process carrying carbon into Earth’s interior by subduction of slabs and returning to Earth’s surface by volcanic activities. Given the abundance of iron in Earth’s interior, it is believed that $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution is an important candidate of carbon-hosting mineral in the mantle. Prior studies have shown that the iron in the $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution undergoes a pressure-induced spin transition at 40-55 GPa and the iron content has a minor effect on the onset pressure of spin transition. Across the spin transition, the physical properties of $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution, e.g. sound velocity and unit cell volume, typically change accordingly. Lattice thermal conductivity of mantle minerals is key to control the heat flux and temperature profile of the mantle. However, the thermal conductivity of $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution under relevant mantle pressure-temperature conditions remains largely unknown. Here we used Raman spectroscopy to characterize the extent of spin transition of natural $(Fe_{0.18}Mn_{0.01}Mg_{0.80}Ca_{0.01})CO_3$ ferromagnesite and time-domain thermoreflectance to measure its thermal conductivity from ambient conditions to 65 GPa. Our preliminary study shows that the thermal conductivity of $(Fe_{0.18}Mn_{0.01}Mg_{0.80}Ca_{0.01})CO_3$ ferromagnesite is 20 W $m^{-1}$ $K^{-1}$ at 40 GPa and drastically increases to 80 W $m^{-1}$ $K^{-1}$ at the beginning of spin transition, and then suddenly drops to 20 W $m^{-1}$ $K^{-1}$ during the middle period of spin transition, similar to its iron-rich counterpart, $(Fe_{0.78}Mg_{0.22})CO_3$ siderite, investigated in our previous work. Our results suggest that if the $(Mg,Fe)CO_3$ carbonates can be transported by the subduction slabs to 1400-1800 km depth with iron contents of 18 to 78 %, their thermal conductivity anomalies across the spin transition may induce anomalies in local thermo-chemical profiles in subduction zones, which in turn alter the distribution fields of subducting minerals.

キーワード：スピン転移、熱伝導率、菱鉄苦土鉱、菱鉄鉱
Keywords: Spin transition, Thermal conductivity, Ferromagnesite, Siderite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Melting experiments in the $MgSiO_3$ –$SiO_2$ system under high pressures

*森口 拓弥[1]、米田 明[1]、伊藤 英司[1]
*Takuya Moriguti[1], Akira Yoneda[1], Eiji Ito[1]

1. 岡山大学惑星物質研究所
1. Institute for Planetary Materials, Okayama University

Melting of silicates played important roles in chemical differentiation in a deep magma ocean in the early Earth. Therefore, melting relations of the MgO–$SiO_2$ system have been extensively studied since a pioneer work by Bowen and Anderson (1914). Furthermore, chemical differentiation in the deep magma ocean has been simulated extensively based on results of high pressure melting experiments (e.g. Kato and Kumazawa, 1985; Ito and Katsura, 1992). However, almost all of these works have been carried out on the compositions ranging from MgO to $MgSiO_3$, assuming that the bulk mantle composition is peridotitic or close to that derived from CI chondrite. Recently, enstatite chondrite (E-chondrite) has been attracted as the bulk earth source material (Javoy et al., 2010) because the isotope systematics of the Earth and Moon are nearly identical to those of E-chondrite over O, N, Mo, Re, Os, and Cr. In E-chondrite, the silicate composition is characterized by $SiO_2$/($SiO_2$+MgO) = ˜0.6, which is substantially higher than that of the peridotitic mantle (˜0.4).

In this context, understanding of the melting relations over compositions between $MgSiO_3$ and $SiO_2$ is indispensable to clarify the mantle fractionation. That also relates to investigations of chemical compositions of the crust at early stage of the Earth. Nevertheless, there have been very limited works on the pressure effect on melting in the $MgSiO_3$–$SiO_2$ system. Available information regarding phase relations in the system has been so far limited to 5 GPa (Dalton and Presnall, 1997). In this study, we are determining the melting relations in the $MgSiO_3$–$SiO_2$ system at pressures 5 to 20 GPa. Here we present the results obtained at 10 GPa.

References

Bowen and Anderson (1914) The binary system MgO-$SiO_2$. Am. J. Sci. 4th ser. 37, 487-500.

Dalton and Presnall (1997) No liquid immiscibility in the system $MgSiO_3$-$SiO_2$ at 5.0 GPa. Geochim. Cosmochim. Acta 61, 2367-2373.

Ito and Katsura (1992) Melting of ferromagnesian silicates under the lower mantle conditions. Am. Geophys. Union Monogr. 67, 315-322.

Javoy et al. (2010) The chemical composition of the Earth: Enstatite chondrite models. Earth Planet. Sci. Lett. 293, 259-268.

Kato and Kumazawa (1985) Garnet phase of $MgSiO_3$ filling the pyroxene-ilmenite gap at very high temperature. Nature 316, 803-805.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

.

キーワード：エンスタタイトコンドライト、溶融関係、マグマオーシャン、マントル分化、高圧
Keywords: enstatite chondrite, melting relation, magma ocean, mantle differentiation, high pressure

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Melting relations of the Fe-Ni-S-C system and the formation of superdeep diamonds

*伊丹 佑[1]、浦川 啓[1]
*Yu Itami[1], Satoru Urakawa[1]

1. 岡山大学
1. Okayama University

天然に産する多くのダイヤモンドは、深さ150-200 kmの上部マントル内で生成する。しかし、マントル遷移層や下部マントルに由来する超深部起源ダイヤモンドの存在も近年では多数報告されている。Smith et al.（2016）は、超深部起源ダイヤモンドの一つであるCLIPPIRダイヤモンドの包有物中に固化したFe-Ni-S-Cメルトを発見し、このダイヤモンドがマントル遷移層に沈み込んだスラブの上面でFe-Ni-S-Cメルトから生成したと考えた。本研究ではマントル遷移層でのダイヤモンド生成条件を明らかにすることを目的として、Fe-Ni-S-C系の高温高圧急冷実験を行った。

高温高圧実験はKAWAI型マルチアンビル装置を用い、15 GPa、900-1400 Kの条件で行った。15 GPaでは1400 K以上でダイヤモンドがFe-Ni-S-Cメルトと共存する。ダイヤモンドと共存する液相は硫黄濃度が約12 wt.%までは最大炭素溶解度が1.5 wt.%まで減少するが、硫黄濃度が12 wt.%より高くなると最大炭素溶解度が増加する。マントル中の炭素含有量を考慮すると、15 GPaでは硫黄濃度が5から15 wt.%の範囲にあるとき炭素が過飽和となり鉄合金メルトからダイヤモンドが析出される。

マントル遷移層の深さ450 km（15 GPa）での温度は1400 Kよりも高いのでFe-Ni-S-Cメルトからダイヤモンドが生成され得る。一方、マントル遷移層に沈み込んだスラブの上面は低温であるため、ダイヤモンドは生成できない。したがって、CLIPPIRダイヤモンドは古代のより温度が高いスラブ中で生成した可能性があると考えられる。また、マントル遷移層自体が玄武岩組成である場合はCLIPPIRダイヤモンドのようなエクロジャイト質ダイヤモンドの起源はスラブに限定されない。

キーワード：ダイヤモンド、マントル遷移層、Fe-Ni-S-C系、液体合金、沈み込むスラブ
Keywords: diamond, mantle transition zone, the Fe-Ni-S-C system, liquid alloy, subducting slab

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# タイタン内部条件におけるメタンハイドレートの安定性
# Effect of ammonia on the stability of methane hydrate under high-pressure and high-temperature

*門林 宏和[1]、平井 寿子[2]、大藤 弘明[1]、川村 英彰[1]、大竹 道香[3]、山本 佳孝[3]
*Hirokazu Kadobayashi[1], Hisako Hirai[2], Hiroaki Ohfuji[1], Hideaki Kawamura[1], Michika Ohtake[3], Yoshitaka Yamamoto[3]

1. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、2. 立正大学地球環境科学部環境システム学科、3. 産業技術総合研究所
1. Geodynamics Research Center, Ehime University, 2. Department of Environment System, Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Methane hydrate may be present in significant amounts in the interior of Titan and other icy moons and is thought to be a candidate for a source of their atmospheric methane [e.g., Loveday *et al.* (2001); Choukroun *et al.* (2010)]. The icy mantles of these moons mainly consist of water, methane and ammonia, but the stability of methane hydrate coexisting with these components under high-pressure and high-temperature have been still unknown. In this study, we report a high-pressure and high-temperature investigation of the effect of ammonia on the stability of methane hydrate using X-ray diffraction and Raman spectroscopy combined with externally heated diamond anvil cell under 0.2-20 GPa and 298-413 K. X-ray diffraction studies revealed that methane hydrate in water-methane-ammonia system transforms from sI cage structure into sH cage structure at approximately 0.8 GPa at room temperature, and further transforms into a filled-ice Ih structure at approximately 1.8 GPa without decomposition into water ice and solid methane. These transition pressures at room temperature were same as those reported for pure methane hydrate [Hirai *et al.* (2001); Loveday *et al.* (2001); Shimizu *et al.* (2002)]. At higher temperature, the melting temperatures for the sI and sH cage structures below 1.8 GPa determined by in situ Raman spectroscopy were good agreement with those of pure methane hydrate reported by previous studies [Dyadin *et al.* (1997); Bezacier *et al.* (2014)]. On the other hand, the decomposition temperatures of filled-ice Ih above 1.8 GPa were about 10-20 K lower than those of water-methane system reported by Kadobayashi *et al.* (2018). Our results suggest that ammonia has a potential to vary the stability of filled-ice Ih of methane hydrate in the interiors of icy moons. Finally, we briefly discuss the implications of our new results for the fate of methane hydrate in concerned with a source of atmospheric methane in Titan.

キーワード：氷衛星、タイタン、メタンハイドレート、ダイヤモンドアンビルセル、高圧実験
Keywords: icy satellite, Titan, methane hydrate, diamond anvil cell, high-pressure experiment

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Magnetite-maghemite-hematite相転移の研究
# Study on magnetite-maghemite-hematite transformation

*杵渕 伊吹[1]、興野 純[1]、佐野 喜成[1]
*Ibuki Kinebuchi[1], Atsushi Kyono[1], Yoshinari Sano[1]

1. 筑波大学
1. University of Tsukuba

地殻中に普遍的に存在するmagnetite ($Fe_3O_4$)は$Fe^{2+}$が$Fe^{3+}$に酸化することによってhematite ($\alpha$-$Fe_2O_3$)に相転移する．この酸化過程において，magnetiteと同形構造であるmaghemite ($\gamma$-$Fe_2O_3$)が中間相として形成される．Maghemiteはmagnetite中の八面体席の一部が空孔になったものであり，magnetiteからmagnetiteへの局所構造の連続的な変化については未解明な部分が多い．そこで本研究では，magnetiteからmaghemiteを経てhematiteまで相転移するメカニズムを解明するために，熱重量・示差熱分析，粉末XRD測定，X線吸収微細構造(XAFS)の高温ex-situおよびin-situ測定を行って，magnetiteの酸化過程での局所構造変化を調べた．熱重量・示差熱分析の結果，magnetiteには加熱開始と同時に400 °Cまで連続的な発熱と重量増加が観察され，その後500 °Cまでは発熱量は減少し重量は一定となった．高温ex-situ EXAFSの動径構造関数から，250 °Cまで加熱したmagnetiteでは，出発物質のmagnetiteと比較して$Fe_{oct}$-O，$Fe_{oct}$-$Fe_{oct}$，$Fe_{tet}$-$Fe_{oc}$tのピークが弱く，Fe-Oの平均結合距離が短いことが分かった．これはmagnetite中の八面体席のFeの席占有率が減少していることを示しており，すでにmaghemiteへの相転移を示唆している．また，500 °Cまで加熱したmagnetiteでは，hematiteに特徴的なピークが強くなっていることから，hematiteに相転移していることが分かった．500 °Cでの高温in-situ XANESの結果から，Feの平均酸化数は加熱開始から135分まで連続的に増加し，135分以降はほぼ一定となることが明らかになった．また，高温in-situ EXAFSの動径構造関数から，加熱開始から70分まではmagnetiteのFe-O，$Fe_{oct}$-$Fe_{oct}$，$Fe_{tet}$-$Fe_{oct}$のピークが連続的に減少しており，maghemiteへの相転移と非晶質な相の存在を示唆した．その後，80分以降からhematiteに対応するピークが出現し始めた．以上の結果から，magnetiteは，加熱によってはじめに八面体席の$Fe^{2+}$が拡散し八面体席の一部が空孔となりmaghemiteに相転移する．さらに，拡散した$Fe^{2+}$の一部は非晶質相に濃集する．その後，maghemiteの空孔となった八面体席が再びFeの八面体配位を形成し，それと同時に非晶質相の$Fe^{2+}$が酸化して，hematiteに相転移していると考えられる．

キーワード：磁鉄鉱、赤磁鉄鉱、赤鉄鉱、熱分析、X線回折、X線吸収微細構造
Keywords: magnetite, maghemite, hematite, thermal analysis, X-ray diffraction, X-ray absorpition fine structure

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# The Effects of Temperature and Pressure on Hydromagnesite

*山本 弦一郎[1]、興野 純[1]、阿部 淳[2]、服部 高典[3]、松下 能孝[4]、米田 安宏[3]
*Gen-ichiro Yamamoto[1], Atsushi Kyono[1], Jun Abe[2], Takanori Hattori[3], Yoshitaka Matsushita[4], Yasuhiro Yoneda[3]

1. 筑波大学、2. 総合科学研究機構、3. 日本原子力研究開発機構、4. 物質・材料研究機構
1. University of Tsukuba, 2. CROSS, 3. JAEA, 4. NIMS

In recent years, the global warming is the most important environment problem. Therefore, attempts of $CO_2$ geological storage have been made to reduce carbon dioxide in the atmosphere all over the world (Xue and Nakano 2008). Among some $CO_2$ geological storage methods, the $CO_2$ mineral trapping can store the carbon dioxide safety for a long time. In the case of geological storage, magnesium carbonate hydrates are important minerals since they precipitate easily from water saturated with carbon dioxide. The major magnesium carbonate hydrates formed from aqueous solution are nesquehonite $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ and hydromagnesite $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$. The stability of these minerals are critically important factors to assess environmental safety and phase stability over geological time scale, but they have not been fully investigated yet, especially of hydromagnesite. Here, we investigated the effects of pressure and temperature on hydromagnesite by using thermal analysis, high-temperature X-ray diffraction, X-ray total scattering, high-pressure X-ray diffraction, and high-pressure and high-temperature neutron diffraction techniques.
With temperature, hydromagnesite was decomposed into periclase MgO through the poor crystalline phase, accompanied with dehydration, dihydroxylation, and decarbonation of hydromagnesite. The *a* and *c* lattice parameters were monotonously increased as increasing temperature whereas *b* lattice parameter almost remained unchanged. At just before the dehydration reaction, the unit cell was contracted due to the dehydration. With pressure, hydromagnesite structure was maintained up to 8.7 GPa. Decomposition into magnesite $MgCO_3$ or periclase was unobserved up to at least 21.0 GPa. With compression, the unit cell was isotopically contracted. The fit to the Birch-Murnaghan equation of state gives $K_0 = 32(2)$ and $V_0 = 658(4)$ with $K' = 4.0$ (fixed). Under high-pressure and high-temperature conditions, hydromagnesite broke down into magnesite and brucite $Mg(OH)_2$ at 200 °C and 1.2 GPa. The unit cell was isotopically expanded up to just before the breakdown. The breakdown of hydromagnesite could be caused by the dissolution by dehydration water, and subsequently magnesite and brucite were hydrothermally grown from the solution at the condition. The results obtained from this study would provide insight the $CO_2$ geological storage.

キーワード：ハイドロマグネサイト、マグネサイト、相変化、高圧、高温、CO2地中貯留
Keywords: Hydromagnesite, magnesite, phase change, high-pressure, high-temperature, CO2 geological storage

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Synthesis and crystal structure of Mg-bearing $Fe_9O_{11}$: New insight in the complexity of Fe-Mg oxides at conditions of the deep upper mantle

*石井 貴之[1]、Uenver-Thiele Laura[2]、Alan B Woodland[2]、Edith Alig[3]、Tiziana Boffa Ballaran[1]
*Takayuki Ishii[1], Uenver-Thiele Laura[2], Alan B Woodland[2], Edith Alig[3], Tiziana Boffa Ballaran[1]

1. バイロイト大学バイエルン地球科学研究所、2. Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt、3. Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Goethe-Universität Frankfurt
1. Bavarian Research Institute, University of Bayreuth, 2. Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt, 3. Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Goethe-Universität Frankfurt

The Fe-O system is fundamental for understanding redox processes operating in the Earth’s interior. Recent experimental studies have revealed several new mixed-valence Fe-oxides to be stable at high pressures and temperatures, such as the orthorhombic-structured phases $Fe^{2+}_2Fe^{3+}_2O_5$ and $Fe^{2+}_3Fe^{3+}_2O_6$. and the monoclinic-structured $Fe^{2+}_3Fe^{3+}_4O_9$. It has been also demonstrated that $Fe_4O_5$ and $Fe_7O_9$ form solid solutions with the Mg-endmembers such as $Mg_2Fe_2O_5$ and $Mg_3Fe_4O_9$, suggesting possible existence of complicated Mg-Fe oxides in the deep mantle. We synthesized a new Mg-Fe oxide with a composition of $Mg_{0.9}Fe_{8.1}O_{11}$. We report the synthesis and crystal structure analyzed by the Rietveld method.

A novel Mg-bearing iron oxide $Mg_{0.87(1)}Fe^{2+}_{4.13(1)}Fe^{3+}_4O_{11}$ was synthesized at 12 GPa and 1300 ˚C using a large volume press. Rietveld structural analysis was conducted with a laboratory X-ray diffraction pattern obtained at ambient conditions.
The crystal structure, which has one oxygen trigonal prism site and four octahedral sites for the cations, was found to be isostructural with $Ca_2Fe_7O_{11}$. The unit-cell lattice parameters are $a$ = 9.8441(5) Å, $b$ = 2.8920(1) Å, $c$ = 14.1760(6) Å, $\beta$ = 99.956(4)˚, $V$ = 397.50(3) Å, and $Z$ = 2 (monoclinic, $C2/m$). Mg and Fe cations are disordered on the trigonal prism site and on two of the four octahedral sites, and the remaining Fe is accommodated at the other two octahedral sites. The present structure is closely related to the other recently discovered Fe oxide structures, e.g. $Fe_4O_5$ and $Fe_5O_6$, by distortion derived either from incorporation ($Fe_4O_5$) or removal ($Fe_5O_6$) of an edge-shared $FeO_6$ single octahedral chain in their structures. The present synthesis at deep upper mantle conditions and the structural relationships observed between various novel Mg-Fe oxides indicate that a series of different phases become stable above 10 GPa and that their relative stabilities ($Fe^{2+}/Fe^{3+}$) must be controlled by oxygen fugacity.

キーワード：酸化鉄、マントル、酸素分圧、マルチアンビル高圧発生装置、リートベルト解析
Keywords: iron oxide, mantle, oxygen fugacity, multi-anvil apparatus, Rietveld analysis

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Changes in specific surface area and morphology of kaolin group minerals with pressure treatment

*Soyeon Kwon[1], Yongjae Lee[1]

1. YONSEI University

Pressure can tailor the properties of a material by changing its atomistic arrangements and/or crystal morphology. We have investigated the changes in the adsorption properties of kaolin group minerals as a function of pressure treatment in gigapascal range. External pressure has been applied using a Large Volume Press (LVP) to kaolinite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) and halloysite ($H_4Al_2O_9Si_2{\cdot}2H_2O$), which represent natural 2D layered and 1D nanowire structures, respectively. Powdered samples have been compressed up to 3 GPa in 1 GPa steps at room temperature and recovered by up to ~0.35g from each pressure step. The BET (Brunauer, Emmett, Teller) measurement was conducted using $N_2$ gas to measure the specific surface area, pore size distribution, and pore volume of the pressure-treated samples. Before pressure-treatment, the specific surface area of kaolinite has been measured to be 10.702($m^2g^{-1}$), which increases to 12.090($m^2g^{-1}$) after 1 GPa, 17.101($m^2g^{-1}$) after 2 GPa, and 17.864($m^2g^{-1}$) after 3 GPa treatments. These lead to a gradual increase in the total volume of adsorbed pores from 0.01216 ($cm^3g^{-1}$) at ambient, to 0.01368($cm^3g^{-1}$) after 1 GPa, 0.074337($cm^3g^{-1}$) after 2 GPa, and 0.09546($cm^3g^{-1}$) after 3 GPa treatments. Unlike Kaolinite, the specific surface area of halloysite decreases from 47.476($m2g^{-1}$) from ambient to 44.348($m^2g^{-1}$) after 1 GPa, 41.579($m^2g^{-1}$) after 2 GPa, and 42.796($m^2g^{-1}$) after 3 GPa treatment, which results in overall decrease in the total volume of the pore from 0.1914($cm^3g^{-1}$) at ambient to 0.1863($cm^3g^{-1}$) after 1 GPa, 0.1572($cm^3g^{-1}$) after 2 GPa, and 0.1187($cm^3g^{-1}$) after 3 GPa treatments.
We discuss the contrasting effects of pressure-treatment on the two morphologically-distinct kaolin group minerals based on SEM (Scanning Electron Microscope) images and analyses of selected diffraction peaks measured on each recovered material. We observe that the layers in kaolinite separate into smaller units upon increasing pressure treatment, whereas the tubes in halloysite become flattened, which led to the contrasting changes in surface area and pore volume. Further study is in progress to compare these results to when water is used as a pore-penetrating pressure-transmitting medium.

Keywords: kaolinite, halloysite, high pressure treatment, specific surface area, morphology

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Changes in specific surface area and morphology of kaolin group minerals with pressure treatment

**Soyeon Kwon, Yongjae Lee***

*Department of Earth System Sciences, Yonsei University*

*yongjaelee@yonsei.ac.kr*

ABSTRACT

Pressure can tailor the properties of a material by changing its atomistic arrangements and/or crystal morphology. We have investigated the changes in the adsorption properties of kaolin group minerals as a function of pressure treatment in gigapascal range. External pressure has been applied using a Large Volume Press (LVP) to kaolinite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) and halloysite ($H_4Al_2O_9Si_2 \cdot 2H_2O$), which represent natural 2D layered and 1D nanowire structures, respectively. Powdered samples have been compressed up to 3 GPa in 1 GPa steps at room temperature and recovered by up to ~0.35g from each pressure step. The BET (Brunauer, Emmett, Teller) measurement was conducted using $N_2$ gas to measure the specific surface area, pore size distribution, and pore volume of the pressure-treated samples. Before pressure-treatment, the specific surface area of kaolinite has been measured to be 10.702($m^2g^{-1}$), which increases to 12.090($m^2g^{-1}$) after 1 GPa, 17.101($m^2g^{-1}$) after 2 GPa, and 17.864($m^2g^{-1}$) after 3 GPa treatments. These lead to a gradual increase in the total volume of adsorbed pores from 0.01216 ($cm^3g^{-1}$) at ambient, to 0.01368($cm^3g^{-1}$) after 1 GPa, 0.074337($cm^3g^{-1}$) after 2 GPa, and 0.09546($cm^3g^{-1}$) after 3 GPa treatments. Unlike Kaolinite, the specific surface area of halloysite decreases from 47.476(m2$g^{-1}$) from ambient to 44.348($m^2g^{-1}$) after 1 GPa, 41.579($m^2g^{-1}$) after 2 GPa, and 42.796($m^2g^{-1}$) after 3 GPa treatment, which results in overall decrease in the total volume of the pore from 0.1914($cm^3g^{-1}$) at ambient to 0.1863($cm^3g^{-1}$) after 1 GPa, 0.1572($cm^3g^{-1}$) after 2 GPa, and 0.1187($cm^3g^{-1}$) after 3 GPa treatments.

We discuss the contrasting effects of pressure-treatment on the two morphologically-distinct kaolin group minerals based on SEM (Scanning Electron Microscope) images and analyses of selected diffraction peaks measured on each recovered material. We observe that the layers in kaolinite separate into smaller units upon increasing pressure treatment, whereas the tubes in halloysite become flattened, which led to the contrasting changes in surface area and pore volume. Further study is in progress to compare these results to when water is used as a pore-penetrating pressure-transmitting medium.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-MP 岩石学・鉱物学

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_30

## [S-MP33] 鉱物の物理化学

コンビーナ:鎌田 誠司(東北大学学際科学フロンティア研究所)、鹿山 雅裕(東北大学大学院理学研究科地学専攻)

本セッションでは，地球や惑星を構成する物質について，物理・化学的な視点から議論を行なう．ミクロな原子・分子スケールからマクロな組織スケールにわたる各種実験，理論および計算機シミュレーションによる研究を募集する．研究対象は鉱物結晶のみならず，融解物やガラス，およびそれらの共存系も含む．また，アナログ物質やモデル物質を用いた研究も歓迎する．

[SMP33-P01] ザイフェルタイトのラマン分光分析

*鹿山 雅裕[1]、大谷 栄治[1]、宮原 正明[2]、金子 詳平[1]、関根 利守[3]、小澤 信[1]、平尾 直久[4] (1.東北大学、2.広島大学、3.HPSTAR、4.高輝度光科学研究センター)

[SMP33-P02] 衝突ダイヤモンドの微細組織の結晶化プロセス

*大藤 弘明[1]、中谷 元祐[1] (1.愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター)

[SMP33-P03] Hコンドライト隕石の変成温度解析：改良型Lindsley輝石温度計による

*上原 亮[1]、桑原 義博[1]、島田 和彦[1]、中牟田 義博[1]、上原　誠一郎[1]、足立 達朗[1] (1.九州大学)

[SMP33-P04] 小笠原諸島父島における沸石の共生関係について

伊藤 道玄[1]、*井上 裕貴[1]、安井 万奈[2]、山崎 淳司[2]、萩谷 宏[1] (1.東京都市大学知識工学部自然科学科、2.早稲田大学理工学術院総合研究所)

[SMP33-P05] Title: Single-crystal X-ray diffraction study of mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) from 213 to 303 K

*池田 龍太郎[1] (1.筑波大学)

[SMP33-P06] Elastic constants of single-crystal topaz studied via sphere-resonance method

*荒舘 佳子[1]、渡辺 了[1]、浜田 盛久[2] (1.富山大学、2.海洋研究開発機構)

[SMP33-P07] シート状鉱物の研磨によるダメージの検証

*纐纈 佑衣[1]、安藤 宏太[1]、道林 克禎[1] (1.名古屋大学大学院　環境学研究科)

[SMP33-P08] Zebra Rock の記載とパターン形成モデル

*吉村 薫[1]、寅丸 敦志[2]、市原 美恵[3]、野口 高明[4]、松本 徹[5] (1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学院理学研究院地球惑星科学部門、3.東京大学地震研究所、4.九州大学基幹教育院、5.宇宙研究開発機構/宇宙科学研究所)

[SMP33-P09] Thermal conductivity anomaly of $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution across the spin transition

*趙 耕賢[1]、謝 文斌[1,2] (1.台湾中央研究院地球科学研究所、2.台湾国立台湾大学地質学科)

[SMP33-P10] **Melting experiments in the $MgSiO_3$ – $SiO_2$ system under high pressures**

*森口 拓弥[1]、米田 明[1]、伊藤 英司[1] (1.岡山大学惑星物質研究所)

[SMP33-P11] Melting relations of the Fe-Ni-S-C system and the formation of superdeep diamonds

*伊丹 佑[1]、浦川 啓[1] (1.岡山大学)

[SMP33-P12] タイタン内部条件におけるメタンハイドレートの安定性

*門林 宏和[1]、平井 寿子[2]、大藤 弘明[1]、川村 英彰[1]、大竹 道香[3]、山本 佳孝[3] (1.愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、2.立正大学地球環境科学部環境システム学科、3.産業技術総合研究所)

[SMP33-P13] Magnetite-maghemite-hematite相転移の研究

*杵渕 伊吹[1]、興野 純[1]、佐野 喜成[1] (1.筑波大学)

[SMP33-P14] The Effects of Temperature and Pressure on Hydromagnesite

*山本 弦一郎[1]、興野 純[1]、阿部 淳[2]、服部 高典[3]、松下 能孝[4]、米田 安宏[3] (1.筑波大学、2.総合科学研究機構、3.日本原子力研究開発機構、4.物質・材料研究機構)

[SMP33-P15] Synthesis and crystal structure of Mg-bearing $Fe_9O_{11}$: New insight in the complexity of Fe-Mg oxides at conditions of the deep upper mantle

*石井 貴之[1]、Uenver-Thiele Laura[2]、Alan B Woodland[2]、Edith Alig[3]、Tiziana Boffa Ballaran[1] (1.バイロイト大学バイエルン地球科学研究所、2.Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt、3.Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Goethe-Universität Frankfurt)

[SMP33-P16] **Changes in specific surface area and morphology of kaolin group minerals with pressure treatment**

*Soyeon Kwon[1]、Yongjae Lee[1] (1.YONSEI University)

# ザイフェルタイトのラマン分光分析
# Raman spectroscopy of seifertite

*鹿山 雅裕[1]、大谷 栄治[1]、宮原 正明[2]、金子 詳平[1]、関根 利守[3]、小澤 信[1]、平尾 直久[4]
*Masahiro KAYAMA[1], Eiji Ohtani[1], Masaaki Miyahara[2], Shohei Kaneko[1], Toshimori Sekine[3], Shin Ozawa[1], Naohisa Hirao[4]

1. 東北大学、2. 広島大学、3. HPSTAR、4. 高輝度光科学研究センター
1. Tohoku University, 2. Hiroshima University, 3. HPSTAR, 4. Japan Synchrotron Radiation Research Institute

$SiO_2$多形であるザイフェルタイト（Seifertite）は$\alpha$-$PbO_2$構造を有し、~100 GPaを超える高圧条件下において熱力学的に安定な高圧相である。クリストバライトを出発試料とした静的圧縮実験では、少なくとも~11 GPaかつ0.01 sの条件でSi-O結合の破断を生じずにザイフェルタイトへ準安定的に相転移することが知られており、この場合、減圧時に低圧相に戻らず、ザイフェルタイトのまま常温常圧で回収することが可能である。そのため、月・火星隕石から発見されたザイフェルタイトは、母天体に産するクリストバライトから天体衝突により相転移した準安定相である。また、ザイフェルタイトの存在から衝突時の圧力・保持時間が制約され、衝突速度を算出することで衝突天体やクレーターの直径を推定することができる。このように、ザイフェルタイトは各種隕石が経験した衝突履歴を明らかにするための重要な指標となり得る。一方で、ポストスティショバイトは熱的に非常に不安定であると考えられており、レーザー光を用いた分析手法では信号を検出することが困難とされてきた。従って、ザイフェルタイトのラマン分光分析に関する事例はほとんど無く、そのラマン散乱特性については現状では分かっていない。本研究では、クリストバライトの静的圧縮実験により合成した試料及び月・火星隕石に産するザイフェルタイトから固有のラマン信号を検出するに至り、各スペクトルピークを第一原理計算により得られた結果と比較して、振動モードの帰属を行った。

ザイフェルタイトの合成試料は、クリストバライト粉末を対象にマルチアンビルプレスを用いて16 GPa、673 K及び0.5 hの条件で加圧して回収されたものである。また、火星隕石NWA2975及びZagamiと月隕石NWA 4734に産するザイフェルタイトを分析に供した。合成・天然試料ともに放射光XRD分析（BL10XU, Spring-8）からザイフェルタイトを含むシリカ粒子であることを確認している。ラマン分析にはNd: YAG 532 nmのレーザーを用い、出力を20 mW並びに露光時間3分の条件で実施した。

ラマン分光分析の結果、ザイフェルタイトを含むシリカ粒子は合成及び隕石試料共に、他の$SiO_2$多形とは明らかに異なるスペクトピークを示した。両試料とも、380、401、496、515、539、547、564、606、739、749および796 $cm^{-1}$に顕著なピークが認められる。先行研究により報告されているザイフェルタイトの結晶構造のパラメーターを基に、第一原理計算によりラマンスペクトルの相対強度と波数を算出したところ、合成及び隕石試料で得られた値と一致した。また、振動モードに関して380、515、564及び796 $cm^{-1}$のスペクトルピークはAgの原子振動に、401、496及び539 $cm^{-1}$のものはB1gに、606及び749 $cm^{-1}$はB2gに、547及び739 $cm^{-1}$はB3gに帰属される。また、20 mWで30分間にわたるレーザー照射後をしても、ザイフェルタイトが示す固有のラマン信号の強度や波数、半値幅に変化はほとんど認められないことから、熱による影響はほとんどないと考えられる。ラマン分光分析により固有の信号が取得できたことから、隕石に含まれるザイフェルタイトをより簡便かつ非破壊で同定するが可能である

キーワード：ザイフェルタイト、ラマン分光、隕石
Keywords: Seifertite, Raman spectroscopy, Meteorite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 衝突ダイヤモンドの微細組織の結晶化プロセス
# Microtexture and crystallization process of impact diamonds

*大藤 弘明[1]、中谷 元祐[1]
*Hiroaki Ohfuji[1], Motosuke Nakaya[1]

1. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター
1. Geodynamics Research Center, Ehime University

Impact diamonds from the Popigai crater located in the central Siberia, Russia show unique nano-polycrystalline texture composed of diamond and a small amount of lonsdaleite of ~50 nm (Ohfuji et al., 2015), which is well comparable to the nano-polycrystalline diamond synthesized by direct conversion of graphite under high pressure and high temperature (Irifune et al., 2003). However, subsequent studies noted that they show a variety of microtexture such as lamellar or layer textures and granular textures. In the present study, we investigated the mineralogical and crystallographic characteristics of the various microtextures shown by the Popigai diamonds by TEM.

The microtextures found in Popigai diamonds are divided into two types, 1) lamellar type and 2) granular type. The former is further classified into two types, 1a) less-mosaiced lamellar and 1b) mosaiced lamellar. The latter can also be divided further into 2a) granular texture composed of fine crystals of <50 nm and 2b) granular texture composed of larger (~100 nm) crystals. Careful textural observations and electron diffraction analysis revealed that the microtextures of Popigai diamonds vary from layered texture to granular texture (1a →1b →2a →2b) as the phase transitions from graphite to lonsdaleite to diamond proceed. The phase transition mechanism also changes from martensitic process involving a lattice relationship (Graphite (001) // Lonsdaleite (100) // Diamond (111)) to diffusion process where the nucleation of new grains and the their growth are promoted.

The most important factor controlling the degree of the phase transitions and the resulting microtexture is probably the shock temperature, which is supposed to have decreased gradually from the center to rim in the crater.

キーワード：衝突ダイヤモンド、ポピガイクレーター、高温高圧
Keywords: Impact diamonds, Pipogai crater, High temperature and high pressure

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Hコンドライト隕石の変成温度解析：改良型Lindsley輝石温度計による
# Metamorphic temperature analysis of H chondrites: Using revised Lindsley's pyroxene thermometer

*上原 亮[1]、桑原 義博[1]、島田 和彦[1]、中牟田 義博[1]、上原　誠一郎[1]、足立 達朗[1]
*Ryo Uehara[1], Yoshihiro Kuwahara[1], Kazuhiko Shimada[1], Yoshihiro Nakamuta[1], Seiichiro Uehara[1], Tatsuro Adachi[1]

1. 九州大学
1. Kyushu university

1. はじめに

これまで小惑星の熱進化モデルについては多くの研究者が議論を展開してきた（Wood, 1979; Miyamoto et al., 1981; Yomogida and Matsui., 1984; McSween et al., 2002）。この熱進化モデルを考える上での重要なパラメーターとして，コンドライト隕石母天体の最高到達温度，年代，冷却速度などが挙げられている（McSween et al., 2002）。これらのパラメーターの中でも，母天体内部の最高到達温度については様々な地質温度計を用いて求められてきた（Olsen and Bunch, 1984; Nakamuta and Motomura., 1999; Kessel et al., 2002; Slater-Reynolds and McSween., 2005）。中でも， Lindsley. (1983)による輝石温度計は他の温度計とは違い，同じ隕石内で斜方輝石(Opx)と単斜輝石(Cpx)の各々から温度を求めることができることから広く用いられてきた。しかし，これまで報告された単斜–斜方輝石間の温度差が50～100℃程度と大きいことから，斜方輝石と単斜輝石で得られる温度のどちらが実際の変成温度を表しているのか，多くの議論がなされてきた。これを受けて，Nakamuta et al . (2017) は隕石中に存在する単斜輝石にコスモクロア輝石成分を考慮し，従来のLindsley輝石温度計にその成分を加えた改良型Lindsley輝石温度計を提案した。これにより，LLコンドライト隕石中の単斜輝石と斜方輝石から得られた変成温度の差が20℃未満と,従来の輝石温度計を用いた先行研究の結果より精度の高い結果が得られることを報告した。本研究ではNakamuta et al. (2017)が考案した改良型Lindsley輝石温度計を用いて，Hグループに属する変成度の異なる３タイプの隕石の変成温度の推定を行った。ここでは，その結果について報告する。

２. 試料と方法

本研究で用いた試料は，Edmondson(b) (H4)，Faucett (H5)，Faith (H5)，Plainview (H5)，Mulga(north) (H6)，Great bend (H6)，NWA7875(H7)である。まず，試料毎に薄片を作成し，偏光顕微鏡，反射顕微鏡を用いて組織観察を行った。その後，電子プローブマイクロアナライザ[EPMA (JEOL JXA-8530F)] を用いて，斜方輝石(Opx), 単斜輝石(Cpx)に加え，カンラン石，斜長石の多結晶粒子に対する化学分析を行った。これらの結果を元に，各隕石試料の分類を再確認すると同時に，改良型Lindsley輝石温度計による変成温度解析を行った。

３. 結果と考察

隕石試料の組織観察及び化学分析の結果，各隕石の分類（H4, H5, H6, H7）に間違いがないことを再確認した。改良型Lindsley輝石温度計による変成温度推定については，Edmondson(b) (H4)，Faucett (H5)，Faith (H5)，Plainview (H5)，Mulga(north) (H6)，Great Bend (H6)，NWA7875 (H7)において各々779-1236℃（Opx-Cpx），814-875℃，832-843℃，844-838℃，807-797℃，811-818℃，1183-1247℃という平均値が得られた。H5，H6のほとんどの隕石試料ではOpxとCpxとの差は20℃未満に収まっている結果となった。

このことから，Nakamuta et al. (2017)による改良型Lindsley輝石温度計はHコンドライト隕石でも有効であることが示唆される。H5タイプであるFaucett，Faith，Plainview隕石の変成温度は840℃程度，H6タイプであるMulga(north)，Great Bend隕石は810℃程度，H4タイプであるEdmondson(b)隕石はOpxから判断して780℃未満であったであろうと推定される。H７タイプであるNWA7875隕石に関しては，以前H5あるいはH6であったものが衝撃変成作用によって，組織の一部が溶融され，母天体内部の熱変成作用による最高到達温

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

度が上書きされたことを反映していると思われる。
　これらの推定温度データとMonnereau et al.（2013）によって報告されているモデルシミュレーションとの結果の比較により，Hコンドライト隕石母天体は集積期間が短い（<0.2Myr）場合に形成されるオニオンシェル型の内部熱構造をとっていたと推定される。

キーワード：Hコンドライト、Lindsley輝石温度計、コスモクロア輝石、最高到達温度、オニオンシェルモデル
Keywords: H chondrite, Lindsley pyroxene thermometer, Kosmoclor, Peak temperature, Onion-shell model

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 小笠原諸島父島における沸石の共生関係について
# The occurrence combinations of Zeolites at Chichijima, Ogasawara Islands

伊藤 道玄[1]、*井上 裕貴[1]、安井 万奈[2]、山崎 淳司[2]、萩谷 宏[1]
Michiharu Ito[1], *Yuki Inoue[1], Mana Yasui[2], Atsushi Yamazaki[2], Hiroshi Hagiya[1]

1. 東京都市大学知識工学部自然科学科、2. 早稲田大学理工学術院総合研究所
1. Tokyo City University, 2. Waseda research institute for science and engineering

小笠原諸島は東京から南に1000km離れた太平洋上に位置する聟島列島、父島列島、母島列島からなる群島である。母島列島を除く小笠原諸島ではボニナイトと呼ばれる$SiO_2$>55% MgO>8% $TiO_2$ <0.5%という特異な組成を持つ火山岩の産地としても知られている。また、父島では、溶岩の冷却に伴う熱水循環などの要因により様々な種類の沸石が、同一の火山岩の空隙中に形成されている。

本研究では沸石の産状を調べ、その共生状態を見ることによって沸石産出地域ごとの沸石形成プロセスを検討する。

父島宮之浜海岸で産出した晶洞にはErioniteの二段階の成長が確認された。晶洞中のErioniteの各所において化学組成分析を行ったところ、内側に形成されたErioniteでは陽イオンとして$Na^+$を多く含むが、外側に成長したErioniteでは$Na^+$は減少し、$K^+$の増加が見られた。また、Erioniteの二段階成長の境界付近では$Mg_2^+$が検出された。

また、父島初寝浦海岸で産出した晶洞についても、沸石の二段階成長とみられる構造が観察された。分析を行ったところ内側からPhillipsite,　Stillbiteの2種類の沸石が確認された。

これらの沸石に対し、EDSによる化学組成分析を行ったところ、晶洞の内側のPhillipsiteでは陽イオンの$Na^+$の値が大きく、結晶の外側であるStillbiteでは$Na^+$の減少及び、$K^+$の増加が見られた。さらに$Mg_2^+$値については沸石種が異なる境界付近で高い値が検出された。

これらのことから、宮之浜海岸、初寝浦海岸の晶洞における沸石の二段階成長について一段階目の成長の後に新たに熱水活動があり、周囲の母岩から$Mg_2^+$、$K^+$が晶洞内に供給されたと考えられる。その後、$Mg_2^+$を消費する粘土化などの現象の後に、$Na^+$, $K^+$型の沸石が成長したと推測できる。

また、今回、島の北部と東部という離れた産地にもかかわらず、晶洞内で沸石の二段階成長が確認され、いずれも$Na^+$、$Mg_2^+$、$K^+$の増減の挙動が似ていることから、広い範囲で類似の現象が発生したと思われる。このことから、父島の他の沸石共生試料についても同様の手法で検討を行った。

キーワード：沸石、無人岩、熱水活動、共生関係
Keywords: Zeolite, boninite, hydrothermal activity, occurrence combinations

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Title: Single-crystal X-ray diffraction study of mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) from 213 to 303 K

*池田 龍太郎[1]
*Ryutaro Ikeda[1]

1. 筑波大学
1. University of tsukuba

## Introduction

Renewable energy is of increasing importance in modern society due to its low environmental impact, ubiquity and sustainability. Since some renewable energy resources (e.g. sunlight, wind and tides) have variable outputs, storage technologies have great potential for affording the supply from these resources. In recent years, much attention has been paid to phase change materials (PCMs) due to its high energy storage capacity. PCMs are substances with a heat of fusion which can store and releasing large amounts of energy. Mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) is known as one of the PCMs. With increasing temperature, mirabilite transforms to thenardite ($Na_2SO_4$) at a dehydration temperature of 306 K. On the contrary, thenardite is rehydrated back to mirabilite at 283 K. The reversible reaction involves large exothermic and endothermic heats. To date, however, there is little information on temperature dependence of crystal structure in mirabilite. The structure of mirabilite contains ribbons consisting of edge-sharing $Na(H_2O)_6$ octahedra along the *c*-axis. These ribbons alternate with chains of the $SO_4$ tetrahedra and the two $H_2O$ molecules. Levy and Lisensky (1978) identified disorder over two orientations of the $SO_4$ tetrahedra by single-crystal neutron diffraction measurement at room temperature. The characteristic two orientations, related by a rotation of about 30° about the S×××O5 vector, generate pairs of partially occupied sulfate oxygen sites (O4’/O4’’, O6’/O6’’, and O7’/O7’’). Levy and Lisensky (1978) found that the primed sites are about 25% occupied, and the double-primed sites are about 75% occupied. Recently, Brand et al. (2008) performed powder neutron diffraction measurements on mirabilite ($Na_2SO_4 \cdot 10D_2O$) in the temperature range from 10 to 300 K. They reported that the unit cell of mirabilite is isotopically expanded up to 300 K. The authors however couldn’t observe the two orientations for the $SO_4$ tetrahedra in the structure, which was previously identified by Levy and Lisensky (1978). In the study, we performed temperature-dependent single-crystal X-ray diffraction measurement of mirabilite in the temperature range between 213 and 303 K. Here, we report the crystal structure change of mirabilite associated with the characteristic exothermic and endothermic heats.

## Methods

Single crystals of mirabilite were obtained by slow cooling of a saturated solution of $Na_2SO_4$. After the synthesis, a single crystal was stored in a 0.7 mm Lindemann glass capillary to avoid dehydration. Temperature dependent single-crystal X-ray diffraction study on mirabilite was performed using a single-crystal diffractometer (APEXII ULTRA, Bruker AXS Inc., Germany) equipped with a liquid nitrogen cryostat, a CCD detector, multilayer optics, and graphite monochromated Mo$K\alpha$ radiation ($\lambda$ = 0.71073 Å) generated by a rotating anode. The measurements were conducted at temperature ranges between 213 and 303 K with 10 K step in both heating and cooling processes.

## Results and Discussion

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

The *a* and *c* lattice parameters and unit cell volume were monotonously changed with temperature, whereas the *b* lattice parameter remained almost unchanged. The result is entirely consistent with the previous report that thermal expansivities of the *a*- and *c*-axes are of similar magnitude, while the *b*-axis shows a much smaller thermal expansion (Brand et al. 2008). The disorder over two orientations of the $SO_4$ tetrahedra was observed in the present study. At room temperature, the primed and double-primed sites are about 25% and 75% occupied, respectively, which is completely consistent with the result by single-crystal neutron diffraction study (Levy and Lisensky 1978). A clear temperature dependence of the disorder over two orientations was, however, unobserved in the study. It is noteworthy that the $SO_4$ tetrahedral volume coordinated by primed oxygen atoms showed a pronounced temperature dependence. In the vicinity of dehydration temperature of mirabilite, it approached to that of thenardite ($Na_2SO_4$), which would be a trigger initiating the dehydration of mirabilite.

キーワード：硫酸ナトリウム、単結晶XRD、芒硝、相変化
Keywords: sodium sulfate, Single crystal XRD, mirabilite, Phase change

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Elastic constants of single-crystal topaz studied via sphere-resonance method

*荒舘 佳子[1]、渡辺 了[1]、浜田 盛久[2]
*Kako Aradachi[1], Tohru Watanabe[1], Morihisa Hamada[2]

1. 富山大学、2. 海洋研究開発機構
1. University of Toyama, 2. JAMSTEC

Transport of ocean floor sediments by plate motions might play an important role in the circulation of materials within the Earth. Imaging subducted sediments through seismological observations requires a thorough understanding of elastic properties of sediment origin hydrous minerals. Topaz is a hydrous mineral, which can be formed from subducted sediment at high pressures. We have studied elastic constants of single-crystal topaz by the sphere-resonance method.

A sphere sample (D=2.665(1) mm) was made from a topaz single-crystal (Al1.97SiO4(F1.17,OH0.82)) collected from Ouro preto, Mines Gerais, Brazil by the two-pipe method. Lattice parameters are a=4.663, b=8.835, c=8.386 A (orthorhombic). Resonant frequencies were measured at frequencies from 1.6 MHz to 3.5 MHz with different specimen-holding forces. Extrapolating to the specimen-holding force of zero, we obtained frequencies of "free" oscillation. Elastic constants were determined by comparing measured and calculated resonant frequencies. The xyz algorithm (Visscher et al., 1991) was employed to calculate resonant frequencies of the sphere sample. At an ambient temperature, C11=281.2(5), C22=350.3(7), C33=288.4(5), C44=108.8(2), C55=130.9(2), C66=131.4(2), C12=121.3(2), C13=81.6(2), C23=82.1(2) (GPa).

キーワード：トパーズ、弾性定数、水
Keywords: Topaz, Elastic constants, Water

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# シート状鉱物の研磨によるダメージの検証
# Verification of damage by polishing of sheet-like minerals

*纐纈 佑衣[1]、安藤 宏太[1]、道林 克禎[1]
*Yui Kouketsu[1], Kota Ando[1], Katsuyoshi Michibayashi[1]

1. 名古屋大学大学院　環境学研究科
1. Department of Earth & Planetary Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Sheet-like minerals such as mica, serpentine, clay minerals and graphite are affected by shearing due to polishing. In addition, a damage due to electron beam irradiation during observation by the electron microscope also occurs. In this study, the damage due to polishing and irradiation of the electron beam for sheet-like minerals of graphite and serpentine minerals was evaluated by Raman spectroscopic analysis. First, we evaluated the crystallinity change of graphite in each polishing stage. As a result, a decrease in crystallinity was observed in all stages from rough polishing to fine grain polishing by diamond paste. The chemical polishing with colloidal silica also lowered the crystallinity of graphite. In order to reduce the shearing effect to graphite, we tested a low load polishing using the polisher ISPP-1000 (Ikegami Seiki Co., Ltd.) which is controlling the load by a weight. However, it was revealed that even a load of only 25g was damaged to graphite. Next we examined the polishing effect of serpentine minerals. Raman spectroscopic analysis was performed after polishing, however no spectral change at each polishing stage like graphite was detected. On the other hand, the antigorite Raman spectra after SEM-EBSD analysis showed a decrease in intensity at the depth of about 3 micrometre from the surface, suggesting that the crystal structure was damaged by electron beam irradiation. We also tried a low load polishing for serpentine minerals, and we detected an electron backscatter pattern of lizardite for the first time. In the case of pure lizardite sample, a clear Kikuchi band was confirmed. On the other hand, almost no pattern was detected for serpentine minerals (antigorite, lizardite, chrysotile) in the serpentinite samples, because of the contrast of hardness with surrounding hard minerals such as olivine. For analysis of sheet-like minerals contained in rock samples including minerals of various hardness, further improvement of the polishing method or other methods such as ion milling is needed.

キーワード：石墨、アンチゴライト、リザダイト、低荷重研磨、ラマン分光法、後方散乱電子回折
Keywords: graphite, antigorite, lizardite, low load polish, Raman spectroscopy, EBSD

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Zebra Rock の記載とパターン形成モデル
# Description of Zebra Rock and the pattern formation model

*吉村 薫[1]、寅丸 敦志[2]、市原 美恵[3]、野口 高明[4]、松本 徹[5]
*Kaoru Yoshimura[1], Atsushi Toramaru[2], Mie Ichihara[3], Takaaki Noguchi[4], Toru Matsumoto[5]

1. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2. 九州大学院理学研究院地球惑星科学部門、3. 東京大学地震研究所、4. 九州大学基幹教育院、5. 宇宙研究開発機構/宇宙科学研究所
1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Kyushu University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, 3. Earthquake Research Institute, University of Tokyu, 4. Department of Arts and Science, Kyushu University, 5. Japan Aerospace Exploration Agency/ Institute of Space and Astronautical Science

Zebra Rock is a sedimentary rock characterized by a pattern consisting of red and whitein color, which is characteristically seen in Australia. Loughnan and Roberts (1990) conclude that the origin of the pattern is due to the diffusion process in a sediment on the basis of their study of the mineral assemblage.However, the mechanism of the specific reaction is not explained, lacking the detailed description. Our aim is to describe Zebra Rock in more detail and to develop a pattern formation model including the reaction of mineral formation.
Six samples taken from the vicinity of Lake Argyle in the East Kimberley region of Western Australia are used. We refer to the characteristic banding pattern consisting of red bands and white bands as Red and White, respectively.
We examined the mineral compositions with XRD (Mac science CuK$\alpha$ radiation) and SEM-EDS (FE-SEM 15 kev, OXFORD Aztec) and the occurrence of minerals with SEM (FE-SEM 15 kev) and TEM (JEM-3200FSk) for each White and Red. By using BSD images, we examined the fraction of minerals, and the characteristics of the spatial correlations between minerals and void for White and Red. As a result, we found that there are two distinctive differences in the mineral abundance and occurrence of iron oxide between White and Red. Red contains more iron oxide than White as shown by previous study. In the occurrence of iron oxide is different. The iron oxide in White takes a shape of planer sheet of polycrystal (<100 $\mu$m) which consists of hematite grains (~100 nm), whereas the iron oxides in Red are aligned in interstitial spaces between kaolinite and quartz crystals, as aggregates (<100 $\mu$m) which consists of granular hematite grains (~ $\mu$m). In addition, from the spatial distribution analysis it is found that the iron oxides concentrate near voids both in White and Red.
Integrating these results,on the basis of the idea that the formation of iron oxide plays an essential role in the formation of zebra pattern,we develop a pattern formation model using a reaction diffusion system. In our model, the pattern is defined as the variation of concentration of ferric irons. We assume the formation process ofhematite in an aqueous solution is simplified as “ferrous ion →goethite (monomers) →goethite (precipitates) →hematite”. We propose an autocatalytic reaction in which ferrous ion are adsorbed in goethite, and thereby the reaction is accelerated. As a result of the linear stability analysis for this simplest model, it is found that the equilibrium point is stable and no pattern forms. Thus, we will develop more complex reaction models to produce the zebra pattern.

キーワード：ゼブラロック、パターン形成、反応拡散系
Keywords: Zebra Rock, pattern formation, reaction diffusion system

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Thermal conductivity anomaly of $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution across the spin transition

*趙 耕賢[1]、謝 文斌[1,2]
*Keng-Hsien Chao[1], Wen-Pin Hsieh[1,2]

1. 台湾中央研究院地球科学研究所、2. 台湾国立台湾大学地質学科
1. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan, 2. Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan

Deep carbon cycle is a process carrying carbon into Earth’s interior by subduction of slabs and returning to Earth’s surface by volcanic activities. Given the abundance of iron in Earth’s interior, it is believed that $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution is an important candidate of carbon-hosting mineral in the mantle. Prior studies have shown that the iron in the $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution undergoes a pressure-induced spin transition at 40-55 GPa and the iron content has a minor effect on the onset pressure of spin transition. Across the spin transition, the physical properties of $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution, e.g. sound velocity and unit cell volume, typically change accordingly. Lattice thermal conductivity of mantle minerals is key to control the heat flux and temperature profile of the mantle. However, the thermal conductivity of $(Mg,Fe)CO_3$ solid solution under relevant mantle pressure-temperature conditions remains largely unknown. Here we used Raman spectroscopy to characterize the extent of spin transition of natural $(Fe_{0.18}Mn_{0.01}Mg_{0.80}Ca_{0.01})CO_3$ ferromagnesite and time-domain thermoreflectance to measure its thermal conductivity from ambient conditions to 65 GPa. Our preliminary study shows that the thermal conductivity of $(Fe_{0.18}Mn_{0.01}Mg_{0.80}Ca_{0.01})CO_3$ ferromagnesite is 20 W $m^{-1}$ $K^{-1}$ at 40 GPa and drastically increases to 80 W $m^{-1}$ $K^{-1}$ at the beginning of spin transition, and then suddenly drops to 20 W $m^{-1}$ $K^{-1}$ during the middle period of spin transition, similar to its iron-rich counterpart, $(Fe_{0.78}Mg_{0.22})CO_3$ siderite, investigated in our previous work. Our results suggest that if the $(Mg,Fe)CO_3$ carbonates can be transported by the subduction slabs to 1400-1800 km depth with iron contents of 18 to 78 %, their thermal conductivity anomalies across the spin transition may induce anomalies in local thermo-chemical profiles in subduction zones, which in turn alter the distribution fields of subducting minerals.

キーワード：スピン転移、熱伝導率、菱鉄苦土鉱、菱鉄鉱
Keywords: Spin transition, Thermal conductivity, Ferromagnesite, Siderite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Melting experiments in the $MgSiO_3$ –$SiO_2$ system under high pressures

*森口 拓弥[1]、米田 明[1]、伊藤 英司[1]
*Takuya Moriguti[1], Akira Yoneda[1], Eiji Ito[1]

1. 岡山大学惑星物質研究所
1. Institute for Planetary Materials, Okayama University

Melting of silicates played important roles in chemical differentiation in a deep magma ocean in the early Earth. Therefore, melting relations of the MgO–$SiO_2$ system have been extensively studied since a pioneer work by Bowen and Anderson (1914). Furthermore, chemical differentiation in the deep magma ocean has been simulated extensively based on results of high pressure melting experiments (e.g. Kato and Kumazawa, 1985; Ito and Katsura, 1992). However, almost all of these works have been carried out on the compositions ranging from MgO to $MgSiO_3$, assuming that the bulk mantle composition is peridotitic or close to that derived from CI chondrite. Recently, enstatite chondrite (E-chondrite) has been attracted as the bulk earth source material (Javoy et al., 2010) because the isotope systematics of the Earth and Moon are nearly identical to those of E-chondrite over O, N, Mo, Re, Os, and Cr. In E-chondrite, the silicate composition is characterized by $SiO_2$/($SiO_2$+MgO) = ˜0.6, which is substantially higher than that of the peridotitic mantle (˜0.4).

In this context, understanding of the melting relations over compositions between $MgSiO_3$ and $SiO_2$ is indispensable to clarify the mantle fractionation. That also relates to investigations of chemical compositions of the crust at early stage of the Earth. Nevertheless, there have been very limited works on the pressure effect on melting in the $MgSiO_3$–$SiO_2$ system. Available information regarding phase relations in the system has been so far limited to 5 GPa (Dalton and Presnall, 1997). In this study, we are determining the melting relations in the $MgSiO_3$–$SiO_2$ system at pressures 5 to 20 GPa. Here we present the results obtained at 10 GPa.

References

Bowen and Anderson (1914) The binary system MgO-$SiO_2$. Am. J. Sci. 4th ser. 37, 487-500.

Dalton and Presnall (1997) No liquid immiscibility in the system $MgSiO_3$-$SiO_2$ at 5.0 GPa. Geochim. Cosmochim. Acta 61, 2367-2373.

Ito and Katsura (1992) Melting of ferromagnesian silicates under the lower mantle conditions. Am. Geophys. Union Monogr. 67, 315-322.

Javoy et al. (2010) The chemical composition of the Earth: Enstatite chondrite models. Earth Planet. Sci. Lett. 293, 259-268.

Kato and Kumazawa (1985) Garnet phase of $MgSiO_3$ filling the pyroxene-ilmenite gap at very high temperature. Nature 316, 803-805.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

.

キーワード：エンスタタイトコンドライト、溶融関係、マグマオーシャン、マントル分化、高圧
Keywords: enstatite chondrite, melting relation, magma ocean, mantle differentiation, high pressure

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Melting relations of the Fe-Ni-S-C system and the formation of superdeep diamonds

*伊丹 佑[1]、浦川 啓[1]
*Yu Itami[1], Satoru Urakawa[1]

1. 岡山大学
1. Okayama University

天然に産する多くのダイヤモンドは、深さ150-200 kmの上部マントル内で生成する。しかし、マントル遷移層や下部マントルに由来する超深部起源ダイヤモンドの存在も近年では多数報告されている。Smith et al.（2016）は、超深部起源ダイヤモンドの一つであるCLIPPIRダイヤモンドの包有物中に固化したFe-Ni-S-Cメルトを発見し、このダイヤモンドがマントル遷移層に沈み込んだスラブの上面でFe-Ni-S-Cメルトから生成したと考えた。本研究ではマントル遷移層でのダイヤモンド生成条件を明らかにすることを目的として、Fe-Ni-S-C系の高温高圧急冷実験を行った。

高温高圧実験はKAWAI型マルチアンビル装置を用い、15 GPa、900-1400 Kの条件で行った。15 GPaでは1400 K以上でダイヤモンドがFe-Ni-S-Cメルトと共存する。ダイヤモンドと共存する液相は硫黄濃度が約12 wt.%までは最大炭素溶解度が1.5 wt.%まで減少するが、硫黄濃度が12 wt.%より高くなると最大炭素溶解度が増加する。マントル中の炭素含有量を考慮すると、15 GPaでは硫黄濃度が5から15 wt.%の範囲にあるとき炭素が過飽和となり鉄合金メルトからダイヤモンドが析出される。

マントル遷移層の深さ450 km（15 GPa）での温度は1400 Kよりも高いのでFe-Ni-S-Cメルトからダイヤモンドが生成され得る。一方、マントル遷移層に沈み込んだスラブの上面は低温であるため、ダイヤモンドは生成できない。したがって、CLIPPIRダイヤモンドは古代のより温度が高いスラブ中で生成した可能性があると考えられる。また、マントル遷移層自体が玄武岩組成である場合はCLIPPIRダイヤモンドのようなエクロジャイト質ダイヤモンドの起源はスラブに限定されない。

キーワード：ダイヤモンド、マントル遷移層、Fe-Ni-S-C系、液体合金、沈み込むスラブ
Keywords: diamond, mantle transition zone, the Fe-Ni-S-C system, liquid alloy, subducting slab

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# タイタン内部条件におけるメタンハイドレートの安定性
# Effect of ammonia on the stability of methane hydrate under high-pressure and high-temperature

*門林 宏和[1]、平井 寿子[2]、大藤 弘明[1]、川村 英彰[1]、大竹 道香[3]、山本 佳孝[3]
*Hirokazu Kadobayashi[1], Hisako Hirai[2], Hiroaki Ohfuji[1], Hideaki Kawamura[1], Michika Ohtake[3], Yoshitaka Yamamoto[3]

1. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、2. 立正大学地球環境科学部環境システム学科、3. 産業技術総合研究所
1. Geodynamics Research Center, Ehime University, 2. Department of Environment System, Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Methane hydrate may be present in significant amounts in the interior of Titan and other icy moons and is thought to be a candidate for a source of their atmospheric methane [e.g., Loveday *et al.* (2001); Choukroun *et al.* (2010)]. The icy mantles of these moons mainly consist of water, methane and ammonia, but the stability of methane hydrate coexisting with these components under high-pressure and high-temperature have been still unknown. In this study, we report a high-pressure and high-temperature investigation of the effect of ammonia on the stability of methane hydrate using X-ray diffraction and Raman spectroscopy combined with externally heated diamond anvil cell under 0.2-20 GPa and 298-413 K. X-ray diffraction studies revealed that methane hydrate in water-methane-ammonia system transforms from sI cage structure into sH cage structure at approximately 0.8 GPa at room temperature, and further transforms into a filled-ice Ih structure at approximately 1.8 GPa without decomposition into water ice and solid methane. These transition pressures at room temperature were same as those reported for pure methane hydrate [Hirai *et al.* (2001); Loveday *et al.* (2001); Shimizu *et al.* (2002)]. At higher temperature, the melting temperatures for the sI and sH cage structures below 1.8 GPa determined by in situ Raman spectroscopy were good agreement with those of pure methane hydrate reported by previous studies [Dyadin *et al.* (1997); Bezacier *et al.* (2014)]. On the other hand, the decomposition temperatures of filled-ice Ih above 1.8 GPa were about 10-20 K lower than those of water-methane system reported by Kadobayashi *et al.* (2018). Our results suggest that ammonia has a potential to vary the stability of filled-ice Ih of methane hydrate in the interiors of icy moons. Finally, we briefly discuss the implications of our new results for the fate of methane hydrate in concerned with a source of atmospheric methane in Titan.

キーワード：氷衛星、タイタン、メタンハイドレート、ダイヤモンドアンビルセル、高圧実験
Keywords: icy satellite, Titan, methane hydrate, diamond anvil cell, high-pressure experiment

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Magnetite-maghemite-hematite相転移の研究
# Study on magnetite-maghemite-hematite transformation

*杵渕 伊吹[1]、興野 純[1]、佐野 喜成[1]
*Ibuki Kinebuchi[1], Atsushi Kyono[1], Yoshinari Sano[1]

1. 筑波大学
1. University of Tsukuba

地殻中に普遍的に存在するmagnetite ($Fe_3O_4$)は$Fe^{2+}$が$Fe^{3+}$に酸化することによってhematite ($\alpha$-$Fe_2O_3$)に相転移する．この酸化過程において，magnetiteと同形構造であるmaghemite ($\gamma$-$Fe_2O_3$)が中間相として形成される．Maghemiteはmagnetite中の八面体席の一部が空孔になったものであり，magnetiteからmagnetiteへの局所構造の連続的な変化については未解明な部分が多い．そこで本研究では，magnetiteからmaghemiteを経てhematiteまで相転移するメカニズムを解明するために，熱重量・示差熱分析，粉末XRD測定，X線吸収微細構造(XAFS)の高温ex-situおよびin-situ測定を行って，magnetiteの酸化過程での局所構造変化を調べた．熱重量・示差熱分析の結果，magnetiteには加熱開始と同時に400 °Cまで連続的な発熱と重量増加が観察され，その後500 °Cまでは発熱量は減少し重量は一定となった．高温ex-situ EXAFSの動径構造関数から，250 °Cまで加熱したmagnetiteでは，出発物質のmagnetiteと比較して$Fe_{oct}$-O，$Fe_{oct}$-$Fe_{oct}$，$Fe_{tet}$-$Fe_{oc}$tのピークが弱く，Fe-Oの平均結合距離が短いことが分かった．これはmagnetite中の八面体席のFeの席占有率が減少していることを示しており，すでにmaghemiteへの相転移を示唆している．また，500 °Cまで加熱したmagnetiteでは，hematiteに特徴的なピークが強くなっていることから，hematiteに相転移していることが分かった．500 °Cでの高温in-situ XANESの結果から，Feの平均酸化数は加熱開始から135分まで連続的に増加し，135分以降はほぼ一定となることが明らかになった．また，高温in-situ EXAFSの動径構造関数から，加熱開始から70分まではmagnetiteのFe-O，$Fe_{oct}$-$Fe_{oct}$，$Fe_{tet}$-$Fe_{oct}$のピークが連続的に減少しており，maghemiteへの相転移と非晶質な相の存在を示唆した．その後，80分以降からhematiteに対応するピークが出現し始めた．以上の結果から，magnetiteは，加熱によってはじめに八面体席の$Fe^{2+}$が拡散し八面体席の一部が空孔となりmaghemiteに相転移する．さらに，拡散した$Fe^{2+}$の一部は非晶質相に濃集する．その後，maghemiteの空孔となった八面体席が再びFeの八面体配位を形成し，それと同時に非晶質相の$Fe^{2+}$が酸化して，hematiteに相転移していると考えられる．

キーワード：磁鉄鉱、赤磁鉄鉱、赤鉄鉱、熱分析、X線回折、X線吸収微細構造
Keywords: magnetite, maghemite, hematite, thermal analysis, X-ray diffraction, X-ray absorpition fine structure

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# The Effects of Temperature and Pressure on Hydromagnesite

*山本 弦一郎[1]、興野 純[1]、阿部 淳[2]、服部 高典[3]、松下 能孝[4]、米田 安宏[3]
*Gen-ichiro Yamamoto[1], Atsushi Kyono[1], Jun Abe[2], Takanori Hattori[3], Yoshitaka Matsushita[4], Yasuhiro Yoneda[3]

1. 筑波大学、2. 総合科学研究機構、3. 日本原子力研究開発機構、4. 物質・材料研究機構
1. University of Tsukuba, 2. CROSS, 3. JAEA, 4. NIMS

In recent years, the global warming is the most important environment problem. Therefore, attempts of $CO_2$ geological storage have been made to reduce carbon dioxide in the atmosphere all over the world (Xue and Nakano 2008). Among some $CO_2$ geological storage methods, the $CO_2$ mineral trapping can store the carbon dioxide safety for a long time. In the case of geological storage, magnesium carbonate hydrates are important minerals since they precipitate easily from water saturated with carbon dioxide. The major magnesium carbonate hydrates formed from aqueous solution are nesquehonite $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ and hydromagnesite $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$. The stability of these minerals are critically important factors to assess environmental safety and phase stability over geological time scale, but they have not been fully investigated yet, especially of hydromagnesite. Here, we investigated the effects of pressure and temperature on hydromagnesite by using thermal analysis, high-temperature X-ray diffraction, X-ray total scattering, high-pressure X-ray diffraction, and high-pressure and high-temperature neutron diffraction techniques.
With temperature, hydromagnesite was decomposed into periclase MgO through the poor crystalline phase, accompanied with dehydration, dihydroxylation, and decarbonation of hydromagnesite. The *a* and *c* lattice parameters were monotonously increased as increasing temperature whereas *b* lattice parameter almost remained unchanged. At just before the dehydration reaction, the unit cell was contracted due to the dehydration. With pressure, hydromagnesite structure was maintained up to 8.7 GPa. Decomposition into magnesite $MgCO_3$ or periclase was unobserved up to at least 21.0 GPa. With compression, the unit cell was isotopically contracted. The fit to the Birch-Murnaghan equation of state gives $K_0 = 32(2)$ and $V_0 = 658(4)$ with $K' = 4.0$ (fixed). Under high-pressure and high-temperature conditions, hydromagnesite broke down into magnesite and brucite $Mg(OH)_2$ at 200 °C and 1.2 GPa. The unit cell was isotopically expanded up to just before the breakdown. The breakdown of hydromagnesite could be caused by the dissolution by dehydration water, and subsequently magnesite and brucite were hydrothermally grown from the solution at the condition. The results obtained from this study would provide insight the $CO_2$ geological storage.

キーワード：ハイドロマグネサイト、マグネサイト、相変化、高圧、高温、CO2地中貯留
Keywords: Hydromagnesite, magnesite, phase change, high-pressure, high-temperature, CO2 geological storage

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Synthesis and crystal structure of Mg-bearing $Fe_9O_{11}$: New insight in the complexity of Fe-Mg oxides at conditions of the deep upper mantle

*石井 貴之[1]、Uenver-Thiele Laura[2]、Alan B Woodland[2]、Edith Alig[3]、Tiziana Boffa Ballaran[1]
*Takayuki Ishii[1], Uenver-Thiele Laura[2], Alan B Woodland[2], Edith Alig[3], Tiziana Boffa Ballaran[1]

1. バイロイト大学バイエルン地球科学研究所、2. Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt、3. Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Goethe-Universität Frankfurt
1. Bavarian Research Institute, University of Bayreuth, 2. Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt, 3. Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Goethe-Universität Frankfurt

The Fe-O system is fundamental for understanding redox processes operating in the Earth’s interior. Recent experimental studies have revealed several new mixed-valence Fe-oxides to be stable at high pressures and temperatures, such as the orthorhombic-structured phases $Fe^{2+}_2Fe^{3+}_2O_5$ and $Fe^{2+}_3Fe^{3+}_2O_6$. and the monoclinic-structured $Fe^{2+}_3Fe^{3+}_4O_9$. It has been also demonstrated that $Fe_4O_5$ and $Fe_7O_9$ form solid solutions with the Mg-endmembers such as $Mg_2Fe_2O_5$ and $Mg_3Fe_4O_9$, suggesting possible existence of complicated Mg-Fe oxides in the deep mantle. We synthesized a new Mg-Fe oxide with a composition of $Mg_{0.9}Fe_{8.1}O_{11}$. We report the synthesis and crystal structure analyzed by the Rietveld method.

A novel Mg-bearing iron oxide $Mg_{0.87(1)}Fe^{2+}_{4.13(1)}Fe^{3+}_4O_{11}$ was synthesized at 12 GPa and 1300 ˚C using a large volume press. Rietveld structural analysis was conducted with a laboratory X-ray diffraction pattern obtained at ambient conditions.
The crystal structure, which has one oxygen trigonal prism site and four octahedral sites for the cations, was found to be isostructural with $Ca_2Fe_7O_{11}$. The unit-cell lattice parameters are $a$ = 9.8441(5) Å, $b$ = 2.8920(1) Å, $c$ = 14.1760(6) Å, $\beta$ = 99.956(4)˚, $V$ = 397.50(3) Å, and $Z$ = 2 (monoclinic, $C2/m$). Mg and Fe cations are disordered on the trigonal prism site and on two of the four octahedral sites, and the remaining Fe is accommodated at the other two octahedral sites. The present structure is closely related to the other recently discovered Fe oxide structures, e.g. $Fe_4O_5$ and $Fe_5O_6$, by distortion derived either from incorporation ($Fe_4O_5$) or removal ($Fe_5O_6$) of an edge-shared $FeO_6$ single octahedral chain in their structures. The present synthesis at deep upper mantle conditions and the structural relationships observed between various novel Mg-Fe oxides indicate that a series of different phases become stable above 10 GPa and that their relative stabilities ($Fe^{2+}/Fe^{3+}$) must be controlled by oxygen fugacity.

キーワード：酸化鉄、マントル、酸素分圧、マルチアンビル高圧発生装置、リートベルト解析
Keywords: iron oxide, mantle, oxygen fugacity, multi-anvil apparatus, Rietveld analysis

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Changes in specific surface area and morphology of kaolin group minerals with pressure treatment

*Soyeon Kwon[1], Yongjae Lee[1]

1. YONSEI University

Pressure can tailor the properties of a material by changing its atomistic arrangements and/or crystal morphology. We have investigated the changes in the adsorption properties of kaolin group minerals as a function of pressure treatment in gigapascal range. External pressure has been applied using a Large Volume Press (LVP) to kaolinite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) and halloysite ($H_4Al_2O_9Si_2{\cdot}2H_2O$), which represent natural 2D layered and 1D nanowire structures, respectively. Powdered samples have been compressed up to 3 GPa in 1 GPa steps at room temperature and recovered by up to ~0.35g from each pressure step. The BET (Brunauer, Emmett, Teller) measurement was conducted using $N_2$ gas to measure the specific surface area, pore size distribution, and pore volume of the pressure-treated samples. Before pressure-treatment, the specific surface area of kaolinite has been measured to be 10.702($m^2g^{-1}$), which increases to 12.090($m^2g^{-1}$) after 1 GPa, 17.101($m^2g^{-1}$) after 2 GPa, and 17.864($m^2g^{-1}$) after 3 GPa treatments. These lead to a gradual increase in the total volume of adsorbed pores from 0.01216 ($cm^3g^{-1}$) at ambient, to 0.01368($cm^3g^{-1}$) after 1 GPa, 0.074337($cm^3g^{-1}$) after 2 GPa, and 0.09546($cm^3g^{-1}$) after 3 GPa treatments. Unlike Kaolinite, the specific surface area of halloysite decreases from 47.476($m2g^{-1}$) from ambient to 44.348($m^2g^{-1}$) after 1 GPa, 41.579($m^2g^{-1}$) after 2 GPa, and 42.796($m^2g^{-1}$) after 3 GPa treatment, which results in overall decrease in the total volume of the pore from 0.1914($cm^3g^{-1}$) at ambient to 0.1863($cm^3g^{-1}$) after 1 GPa, 0.1572($cm^3g^{-1}$) after 2 GPa, and 0.1187($cm^3g^{-1}$) after 3 GPa treatments.
We discuss the contrasting effects of pressure-treatment on the two morphologically-distinct kaolin group minerals based on SEM (Scanning Electron Microscope) images and analyses of selected diffraction peaks measured on each recovered material. We observe that the layers in kaolinite separate into smaller units upon increasing pressure treatment, whereas the tubes in halloysite become flattened, which led to the contrasting changes in surface area and pore volume. Further study is in progress to compare these results to when water is used as a pore-penetrating pressure-transmitting medium.

Keywords: kaolinite, halloysite, high pressure treatment, specific surface area, morphology

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Changes in specific surface area and morphology of kaolin group minerals with pressure treatment

**Soyeon Kwon, Yongjae Lee***

*Department of Earth System Sciences, Yonsei University*

*yongjaelee@yonsei.ac.kr*

ABSTRACT

Pressure can tailor the properties of a material by changing its atomistic arrangements and/or crystal morphology. We have investigated the changes in the adsorption properties of kaolin group minerals as a function of pressure treatment in gigapascal range. External pressure has been applied using a Large Volume Press (LVP) to kaolinite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) and halloysite ($H_4Al_2O_9Si_2 \cdot 2H_2O$), which represent natural 2D layered and 1D nanowire structures, respectively. Powdered samples have been compressed up to 3 GPa in 1 GPa steps at room temperature and recovered by up to ~0.35g from each pressure step. The BET (Brunauer, Emmett, Teller) measurement was conducted using $N_2$ gas to measure the specific surface area, pore size distribution, and pore volume of the pressure-treated samples. Before pressure-treatment, the specific surface area of kaolinite has been measured to be 10.702($m^2g^{-1}$), which increases to 12.090($m^2g^{-1}$) after 1 GPa, 17.101($m^2g^{-1}$) after 2 GPa, and 17.864($m^2g^{-1}$) after 3 GPa treatments. These lead to a gradual increase in the total volume of adsorbed pores from 0.01216 ($cm^3g^{-1}$) at ambient, to 0.01368($cm^3g^{-1}$) after 1 GPa, 0.074337($cm^3g^{-1}$) after 2 GPa, and 0.09546($cm^3g^{-1}$) after 3 GPa treatments. Unlike Kaolinite, the specific surface area of halloysite decreases from 47.476(m2$g^{-1}$) from ambient to 44.348($m^2g^{-1}$) after 1 GPa, 41.579($m^2g^{-1}$) after 2 GPa, and 42.796($m^2g^{-1}$) after 3 GPa treatment, which results in overall decrease in the total volume of the pore from 0.1914($cm^3g^{-1}$) at ambient to 0.1863($cm^3g^{-1}$) after 1 GPa, 0.1572($cm^3g^{-1}$) after 2 GPa, and 0.1187($cm^3g^{-1}$) after 3 GPa treatments.

We discuss the contrasting effects of pressure-treatment on the two morphologically-distinct kaolin group minerals based on SEM (Scanning Electron Microscope) images and analyses of selected diffraction peaks measured on each recovered material. We observe that the layers in kaolinite separate into smaller units upon increasing pressure treatment, whereas the tubes in halloysite become flattened, which led to the contrasting changes in surface area and pore volume. Further study is in progress to compare these results to when water is used as a pore-penetrating pressure-transmitting medium.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-GC 固体地球化学

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_19

## [S-GC41] 固体地球化学・惑星化学

コンビーナ:下田 玄(産業技術総合研究所地質調査総合センター)、鈴木 勝彦(国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター)、山下 勝行(岡山大学大学院自然科学研究科)、石川 晃(東京工業大学理学院地球惑星科学系)

このセッションは、地球の形成とその後の４６億年間の化学的進化、地球の物質循環の解明を目的とする地球化学と、原始太陽星雲内での諸過程、太陽系の起源、火星、月、小惑星等の天体の形成・進化の解明を目的とする惑星化学との連携を指向する。化学組成や存在形態，同位体比を用いて、対象の具体像を明確に捉える為に、地質学、岩石学、鉱物学など複数の分野から講演者を募集し、学際的で多角的な議論を目指す。

[SGC41-P01] Experimental and Simulation Study on the Migration Rule of Arsenic in the Soil of Surface Karst Zone in Southwest China

*bin zeng[1] (1.China University of Geosciences)

---

[SGC41-P02] $H_2$ production and $CO_2$ storage during peridotite serpentinization under $CO_2$-rich hydrothermal conditions: Influence of pyroxene

*Jiajie Wang[1]、Noriaki Watanabe[1]、Atsushi Okamoto[1]、Kengo Nakamura[1]、Takeshi Komai[1] (1.Tohoku Univ.)

---

[SGC41-P03] **Age determination of spherical carbonate concretions by Sr isotope stratigraphy**

*淺原 良浩[1]、吉田 英一[2]、山本 鋼志[1]、勝田 長貴[3]、南 雅代[4]、メトカルフェ リチャード[5] (1.名古屋大学大学院環境学研究科、2.名古屋大学博物館、3.岐阜大学教育学部、4.名古屋大学宇宙地球環境研究所、5.Quintessa UK)

---

[SGC41-P04] オスミウム同位体と強親鉄性元素組成からみたハワイ諸島、カウラ島産マントル捕獲岩の起源

*藤田 遼[1]、石川 晃[1]、横山 哲也[1]、Michael Garcia[2] (1.東京工業大学、2.ハワイ大学)

---

[SGC41-P05] 西南日本，北陸地域東部に分布する中新世アダカイト質火山岩の岩石学的・地球化学的特徴

*渡邉 駿[1]、高橋 俊郎[1] (1.新潟大学)

---

[SGC41-P06] Trace element and isotopic characteristics of high Nb basalts from Kyushu arc and back arc

*Bidisha Dey[1]、Tomoyuki Shibata[1] (1.Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University)

---

[SGC41-P07] Evaluation of digestion methods for Molybdenum concentration analysis for geological materials

六鹿 悠[1]、*石川 晃[1]、横山 哲也[1] (1.東京工業大学理学院地球惑星科学系)

---

[SGC41-P08] *fs*LA-ICPMS analysis of XRF glass beads

*常 青[1]、佐藤 智紀[2]、木村 純一[1] (1.国立研究開発法人・海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野、2.国立研究開発法人・海洋研究開発機構・海洋掘削科学研究開発センター)

# Experimental and Simulation Study on the Migration Rule of Arsenic in the Soil of Surface Karst Zone in Southwest China

*bin zeng[1]

1. China University of Geosciences

Karst Underground River is an important water source in southwest China. In addition to entering and polluting the groundwater directly through the sinkholes, arsenic pollutants produced from the industrial production process will also adsorb, remain, and concentrate in the dissolution cracks and gaps in the surface karst zone, and remigrate under certain conditions to become a "secondary pollution source". Taking an arsenic pollution event in Guangxi province as an example, the dynamic adsorption and desorption experiments of arsenic were carried out by using narrow slot physical model device, and the migration rule of arsenic contamination in the soil of surface karst zone was studied, combined with geochemical simulation. The experimental results show that the adsorption of arsenic in the surface karst zone is mainly physical adsorption (diffusion process), and the desorption rate is slow compared with the adsorption process, while the acid solution can promote the desorption process of arsenic compared with deionized water. The results of geochemical simulation show that goethite contributes most to arsenic adsorption in soil minerals, while acid solution weakens the ability of arsenic adsorption by corroding goethite and other minerals. It is concluded that in the karst area of southwest China, once the surface karst zone system is integrated with arsenic pollutants, the desorption process is slow, and it is easy to form the retention and enrichment of arsenic pollutants; while the accelerated desorption and migration process of arsenic under acid rain will increase the pollution risk of groundwater system.

Keywords: surface karst zone, arsenic pollution, physical model experiment, geochemical simulation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# $H_2$ production and $CO_2$ storage during peridotite serpentinization under $CO_2$-rich hydrothermal conditions: Influence of pyroxene

*Jiajie Wang[1], Noriaki Watanabe[1], Atsushi Okamoto[1], Kengo Nakamura[1], Takeshi Komai[1]

1. Tohoku Univ.

Serpentinization of peridotite (mainly includes olivine and pyroxene) usually produces molecular $H_2$, which may potentially contribute to today’s always-increasing energy demands. On the other hand, peridotite also appears to be a good candidate for $CO_2$ sequestration by mineralization. Based on this, our previous research has successfully combined the strategies of $H_2$ production and $CO_2$ mineralization by olivine alteration in $CO_2$-rich hydrothermal system. However, olivine may not necessarily act as a peridotite equivalent during alteration, and the pyroxene influence is still poorly understood.
In this study, we examined the reactions in $H_2O$-olivine/pyroxene-$CO_2$ systems by performing hydrothermal experiments in 0.5 mol/L $NaHCO_3$ solutions under conditions of 300 °C and 10 MPa. The results show that $H_2$ was produced when olivine and/or pyroxene reacted in $NaHCO_3$ solution, and the presence of pyroxene in starting material suppressed $H_2$ production from per kg of mineral. Pyroxene was converted solely to serpentine, rather than brucite and magnesite even in $CO_2$-contained solutions, which indicates $CO_2$ mineralization was only realized in olivine-contained systems. In addition, the pyroxene serpentinization process is quicker than olivine. In the experiment with olivine/pyroxene weight ratio of 3/2, all of the pyroxene was altered after 72 h reaction, whereas half of the olivine particles have remained. Based on experimental results, we propose that the presence of pyroxene in starting material will suppress the $H_2$ production and $CO_2$ storage during peridotite alteration; however, the inhibition effect will be decreased along the reaction time.

Keywords: Pyroxene, Olivine, Hydrothermal, H2 production, CO2 storage

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Age determination of spherical carbonate concretions by Sr isotope stratigraphy

*淺原 良浩[1]、吉田 英一[2]、山本 鋼志[1]、勝田 長貴[3]、南 雅代[4]、メトカルフェ リチャード[5]
*Yoshihiro Asahara[1], Hidekazu Yoshida[2], Koshi Yamamoto[1], Nagayoshi Katsuta[3], Masayo Minami[4], Richard Metcalfe[5]

1. 名古屋大学大学院環境学研究科、2. 名古屋大学博物館、3. 岐阜大学教育学部、4. 名古屋大学宇宙地球環境研究所、5. Quintessa UK
1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Material Research Section, Nagoya University, University Museum, 3. Faculty of Education, Gifu University, 4. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, 5. Quintessa UK

Isolated spherical carbonate ($CaCO_3$) concretions are frequently observed in marine clayey sediments but do not always contain index fossils. Although carbonate concretions with fossil inside can be used to estimate sedimentation ages, concretions without fossils inside have never previously been used for age determination. In this study, we used $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios to determine the ages of these spherical concretions.

The studied concretions formed in the Yatsuo Group of Miocene age in central Japan. Some formed post-mortem around tusk-shells (*Fissidentalium*spp.), while other concretions have no shell fossils inside. The concretions formed under highly constrained conditions by reactions between the decay products of organic matter and $Ca^{2+}$ from the marine water (Yoshida et al., 2015; 2018). And the sedimentary structure around the concretions and geochemical analyses reveal that Sr was incorporated into the $CaCO_3$ concretions during their rapid formation.

The $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of calcite in the tusk-shell concretions lie within 0.70865~0.70867 and vary little. The values are similar to those of tusk-shell aragonite, 0.70865~0.70868. In addition, the isolated carbonate concretions without shell fossils have $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of 0.70865~0.70868, which are also well consistent with the tusk-shell aragonite values. Based on the Sr isotope stratigraphy (McArthur et al., 2001) and the measured $^{87}Sr/^{86}Sr$ values, the age of the tusk-shell concretions lies within a narrow range of 17.08 (+0.27, −0.28) Ma. The age determined from the $^{87}Sr/^{86}Sr$ of the tusk-shells themselves (16.86 +/− 0.34 Ma) is almost the same. The age determined from the $^{87}Sr/^{86}Sr$ of concretions without fossils, 16.95 (+0.36, −0.37) Ma, is almost the same as that of the tusk-shell concretions. Strontium isotopic stratigraphy using $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of all concretions with tusk-shell and without fossils indicates an age of 17.02 +/− 0.27 Ma, with higher accuracy than the ages estimated using microfossils from the Yatsuo Group. The results imply that the $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio of isolated spherical carbonate concretions can be applied generally to estimate the ages of all kinds of spherical concretions in marine sediments (Yoshida et al., 2019).

キーワード：炭酸塩コンクリーション、化石、ストロンチウム同位体、年代決定、海洋堆積物
Keywords: carbonate concretion, fossil, Sr isotope, age determination, marine sediment

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# オスミウム同位体と強親鉄性元素組成からみたハワイ諸島、カウラ島産マントル捕獲岩の起源

# Origin of mantle xenoliths from Kaula Island, Hawaii:Constrains from Os isotope and highly siderophile element compositions

*藤田 遼[1]、石川 晃[1]、横山 哲也[1]、Michael Garcia[2]
*Ryo Fujita[1], Akira Ishikawa[1], Tetsuya Yokoyama[1], Michael O Garcia[2]

1. 東京工業大学、2. ハワイ大学
1. Tokyo Institute of Technology, 2. University of Hawaii

The Emperor Seamount-Hawaiian island chain is thought to originate from melting of a heterogeneous mantle plume, although the nature and extent of heterogeneity remain unclear. It has been suggested that some Hawaiian mantle xenoliths with highly unradiogenic Os isotope ratios (down to 187Os/188Os=0.1138) represent the depleted part of ascending Hawaiian plume, and that the depleted materials are more commonly distributed in mantle plumes than has been inferred from the compositions of erupted lavas. To better understand the lithological and geochemical variations of Hawaiian xenoliths and to evaluate the robustness of the above model, we conducted petrological and geochemical studies on 11 peridotite xenoliths (9 lherzolites, 1 dunite, and 1 wehlrite) collected from the island of Kaula, Hawaii. Here we present the results on the whole-rock Re-Os isotope systematics and highly siderophile element compositions in the xenoliths, together with the major element compositions of constituent minerals (olivine, clinopyroxene, orthopyroxene and spinel). The rock texture and mineral compositions indicate that the Kaula peridotites are samples from normal oceanic mantle and residues of variable degrees of melting. However, they have highly unradiogenic Os isotope ratios (down to 187Os/188Os=0.1187) yielding minimum rhenium-depletion ages of up to ~1.3 Ga, which are similar to those of O’ahu peridotites. Such unradiogenic Os isotopic compositions are not found in Hawaiian lavas and in depleted mantles (e.g., mid-oceanic ridge basalts). Importantly, as is observed in the O’ahu peridotites, the 187Os/188Os ratios of Kaula peridotites correlate with the degree of depletion, suggesting that they are related to an ancient melting event. Therefore, the Kaula peridotites are possibly the fragments of a Hawaiian mantle plume that consists of ancient depleted and recycled mantle lithosphere.

キーワード：Os同位体、ハワイ、マントル捕獲岩
Keywords: Os isotope, hawaii, mantle xenolith

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 西南日本，北陸地域東部に分布する中新世アダカイト質火山岩の岩石学的・地球化学的特徴

# Petrological and Geochemical features of Miocene adakitic volcanic rocks in eastern part of Hokuriku region, SW Japan

*渡邉 駿[1]、高橋 俊郎[1]
*Watanabe Syun[1], Toshiro Takahashi[1]

1. 新潟大学
1. Niigata university

Miocene volcanic rocks are widely distribution from the eastern part of Toyama prefecture to the northern part of Fukui prefecture in Hokuriku region, Central Japan. These volcanic rocks are broadly classified in to mafic volcanic rocks and felsic volcanic rocks, and in this study the petrological and geochemical features of mafic volcanic rocks are considered. Mafic volcanic rocks of the Hokuriku region consists of various types that have characteristic petrologic and geochemical features; tholeiitic volcanic rocks, calc-alkaline volcanic rocks, high-magnesia andesite and adakitic andesite (Takahashi and Shuto, 1999; Ishiwatari and Ohama, 1997).

The present study area is in the eastern part of the Miocene volcanic rocks. Volcanic rocks of this study area can be classified into four groups; Group-1 basalts, bulk rock chemical composition of group-1 indicate low $SiO_2$ (<53 wt %) composition and Nd and Ta depletion. Group-2 tholeiitic andesites, bulk rock chemical composition of group-2 indicate increasing FeO*/MgO ratio with increasing $SiO_2$. Group-3 calc-alkaline andesites, bulk rock chemical composition of group-3 indicate stable FeO*/MgO ratio with increasing $SiO_2$. Group-4 Hornblende-bearing andesites, Bulk rock chemical composition of group-4 indicate low FeO*/MgO ratio, high Sr, MgO, Cr, Ni concentration and low LILE and HFSE concentration. All types of volcanic rocks are distributed in Iwaine formation except in Fukuhira formation, only group-1 and group-2 are distributed.

The volcanic rocks of this study area can be classified two types by their isotopic features. First type have nearly bulk earth isotopic composition (SrI=0.7040-0.7060, NdI=0.5125-0.5129) whereas the second type have very enriched isotopic composition (SrI=0.7085-0.7100, NdI=0.5119-0.5125). In terms of rock types Groups-1 to 3 shows both the isotopic composition, whereas only group-4 rocks have only bulk earth isotopic composition.

Here, we focus on petrological and geochemical features, because these features of group-4 is different from other groups. Group-4 have hornblende, plagioclase, clinopyroxene and olthopyroxene phenocrysts. Pyroxene phenocrysts have a wide range of composition (Mg#= Cpx 70-86; Opx 69-85).

It is difficult to explain the petrological features of group-4 by crystallization differentiation of magma that formed group-1 to 3 rocks types. This study uses trace element composition of clinopyroxene phenocryst for magma genesis of group-4. The results indicate that the group-4 magma is a product of magma mixing of high Mg# magma that have adakitic signatures (Defant and Drummond, 1991) and low Mg# magma that have enriched isotopic signature. In general, adakitic volcanic rocks are formed by partial melting of subducted oceanic crust, and so adakitic magma usually have depleted isotopic composition like a subducted oceanic crust (MORB; Castillo, 2012). However, adakitic rocks in this study area has more

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

depleted isotopic signatures. Previous study indicated a model that involves the addition of sediment on subducted basaltic crust melt during slab melting (Sato et al., 2013). However, this model cannot explain the observed isotopic compositions. Therefore, this study proposes a model that involved an enriched component of magma mixing that resulted in the observed isotopic features.

In general, adakitic magma genesis needs heat source for slab melting. Previous studies suggest that heat source is hot asthenospheric upwelling preceding Japan sea opening (Takahashi and Shuto, 1999). Petrological features of group-4, for example, high MgO, Cr, Ni concentration are similar to bajaite (Rogers et al., 1985). Previous studies suggest that magma genesis of bajaitic magma result from ridge subducting (Tsuchiya et al., 1995). But this study area doesn’ t show evidence of ridge subducting. It is necessary to discuss from more various view point.

キーワード：北陸地域、アダカイト、島弧火成活動
Keywords: Hokuriku region, adakite, island-arc magmatism

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Trace element and isotopic characteristics of high Nb basalts from Kyushu arc and back arc

*Bidisha Dey[1], Tomoyuki Shibata[1]

1. Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

Basalts and basaltic andesites from south-west Japan arc and Back arc region show signature of HFSE enrichment similar to high Nb basalts (HNB) and Nb enriched basalts (NEB) (i.e. Philippines, Castillo et al., 2007; Central America, Hastie et al., 2011).

We use previously published data from Kyushu basalts and basaltic andesites from both arc and back arc setting to compare the geochemical characteristics of these rocks. We observe that the rocks of our interest in this area, show a much higher Nb/Zr and Nb/Hf ratio than that of typical MORB values (0.032, Sun and McDonough, 1989) or of NE Japan arc (similar to MORB, Shibata and Nakamura, 1997). The samples from Kita-Matsuura area as reported by Sakuyama et al (2009, 2014) and Fukuejima- Goto island volcanoes (Uto et al., 2004; Hoang et al., 2013; Kuritani et al., 2017) also show significantly high Nb content, up to 50 ppm and 60 ppm respectively. This type of signature is more common to OIB type mantle than to MORB type mantle (Sun and McDonough, 1989); however, isotopic plots using Sr, Nd and Pb isotopic data in 2D and 3D space show that these rocks are not likely to be related to the enriched mantle (EM1, EM2) or the HIMU components and more likely to be related to MORB type mantle and a mixture with Philippine sea plate (PHS) sediments or slab melt as suggested by Shibata et al. (2014). Samples from Fukuejima islands show the same trend as arc rocks in Pb-Pb isotopic space despite not likely to be affected by PHS plate sediment or slab melt. This suggests that the mantle geochemistry beneath Kyushu is the product of mixing between MORB type mantle and slab or sediment like Pb isotope enriched component, which may have also contributed to the HFSE enrichment. The nature of this component is subject to further investigation.

Keywords: Kyushu basalts, High Nb basalts

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Evaluation of digestion methods for Molybdenum concentration analysis for geological materials

六鹿 悠[1]、*石川 晃[1]、横山 哲也[1]
Yu Mutsushika[1], *Akira Ishikawa[1], Tetsuya Yokoyama[1]

1. 東京工業大学理学院地球惑星科学系
1. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

Molybdenum, one of redox-sensitive trace elements showing slightly chalcophile and moderately siderophile character, is recognized as a useful element for tracing chemical evolution of the Earth ranging from core-mantle differentiation to low temperatures surface processes. Despite this, determination of Mo concentration is frequently abandoned for the studies of rock samples dominated by silicate materials because formation of insoluble molybdenum oxides in hydrochloric (HCl) or nitric ($HNO_3$) acid solutions precludes accurate measurements of Mo concentration with ICP-MS in typical multi-element determination methods for other lithophile trace elements such as Rb, Sr, and rare earth elements (REE). Makishima and Nakamura (1999) and Lu et al. (2007) proposed that isotope-dilution ICP-MS (ID-ICP-MS) employing dissolution with hydrofluoric (HF) acid is a well-suited method for the simultaneous determination of Mo and other elements such as W, Sb and high-field strength elements (HFSE). However, most of these elements are hosted in acid resistant minerals such zircon and Cr-spinel in rock samples, high-temperature/pressure HF digestions with longer duration are sometimes required in order to achieve complete recovery of these elements. Here we develop a rapid and universal method for the determination of Mo in geological samples using ID-ICP-MS combined with fused-glass bead digestion (sample + lithium tetraborate). The fused-glass beads were properly dissolved into a diluted HF with spike solution. The optimized procedure and analytical capability using ICP-QMS with HF-resistant setting will be presented by showing results of replicate analyses for reference materials such as volcanic rocks (JB-1, JB-1a, JB-2, JB-3, JA-1, JA-1a, JA-2, JA-3, JR-1, JR-2, JR-3, BIR-1a, BCR-2, BHVO-2 and W-2a), plutonic rocks (JGb-1, JGb-2, WMG-1, JG-1, JG-1a, JG-2, JG-3 andJSy-1), ultramafic rocks (JP-1, JH-1, OKUM, GP-13 and UB-N), sedimentary rocks (SCo-1, SDo-1, Jdo-1, JLs-1, JCp-1, NIST694, JCh-1, JSd-1, JSd-2, JSd-3, JSl-1, JSl-2 and JLk-1) and ore-materials (JF-1, JF-2, JZn-1, JMn-1 and SARM32).

キーワード：モリブデン、誘導結合プラズマ質量分析、同位体希釈
Keywords: Molybdenum, ICP-MS, isotope dilution

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# *fs*LA-ICPMS analysis of XRF glass beads

*常 青[1]、佐藤 智紀[2]、木村 純一[1]
*Q. Chang[1], T. Sato[2], J.-I. Kimura[1]

1. 国立研究開発法人・海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野、2. 国立研究開発法人・海洋研究開発機構・海洋掘削科学研究開発センター
1. Dept. Solid Earth Geochem., JAMSTEC, 2. R&D Center for Ocean Drilling Sci., JAMSTEC

Analysis of naturally heterogeneous rock samples by ICP-MS requires laborious sample preparation including acid/alkali digestion. Crystalline plutonic rocks or sediments remains as challenging analysis by ICP-MS because of the difficulty in complete digestion of acid resistant minerals which contain significant fraction of high field strength elements (HFSE) or rare earth elements (REE). We tested femto-second laser ablation (fsLA) ICP-MS analysis of glass beads prepared for X-ray fluorescence spectrometry (XRF). This method maintains benefits of no sample digestion by wet chemistry, high sensitivity, high sample throughput and low costs. A comprehensive examination of measurement parameters was made on wave length and repetition rate of the laser beam. Choice of internal standard and external calibration method were also examined. Using high-diluted glass beads (1:10 sample to lithium tetraborate ratio) and optimized in-house developed fsLA system coupled to a quadruple-type ICP-MS (iCAP Qs, ThermoFisher Sci.), the parameters and methods were validated by determining 48 elements including ten major (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P), refractory lithophile (Sr, Ba, REE and HFSE) and volatile (Ga, Rb, Cs, Tl, Pb) elements in well-established geological reference materials (GSJ JB-1, JG-1a, JG-2 and JR-1) and synthetic reference glasses (NIST SRM 612, USGS GSD-1G). Laboratory bias (or trueness by ISO 5725-1) for most elements was better than 10% when compared to the reference or consensus values. Poorly determined or failed elements were P, Sc, V, Ni, Sn, Sb, and W, whose data deviated from the reference values >20%. Volatile elements such as Rb, Cs and Ga showed no substantial loss; however, Tl and Pb exhibited always lower values suggesting their loss during fusion in the glass bead preparation. Repeatability and intermediate precision (ISO 5725-1) of all measured elements were better than 5–7% RSD except Cu, Sn, Sb, Cs and Tl which showed 10–40% RSD due to extremely low abundances or strong spectral interferences. The low limits of detection by this method were comparable to those obtained by solution ICP-MS for most elements of geochemical interests. Our results demonstrate that the fsLA-ICPMS using XRF glass bead can be used for rapid bulk-rock analyses of trace, minor and major elements.

キーワード：femto-second LA-ICP-MS、bulk analysis、XRF glass bead、 geological reference materials
Keywords: femto-second LA-ICP-MS, bulk analysis, XRF glass bead, geological reference materials

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-GC 固体地球化学

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_32

## [S-GC41] 固体地球化学・惑星化学

コンビーナ:下田 玄(産業技術総合研究所地質調査総合センター)、鈴木 勝彦(国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター)、山下 勝行(岡山大学大学院自然科学研究科)、石川 晃(東京工業大学理学院地球惑星科学系)

このセッションは、地球の形成とその後の４６億年間の化学的進化、地球の物質循環の解明を目的とする地球化学と、原始太陽星雲内での諸過程、太陽系の起源、火星、月、小惑星等の天体の形成・進化の解明を目的とする惑星化学との連携を指向する。化学組成や存在形態，同位体比を用いて、対象の具体像を明確に捉える為に、地質学、岩石学、鉱物学など複数の分野から講演者を募集し、学際的で多角的な議論を目指す。

[SGC41-P01] Experimental and Simulation Study on the Migration Rule of Arsenic in the Soil of Surface Karst Zone in Southwest China

*bin zeng[1] (1.China University of Geosciences)

---

[SGC41-P02] $H_2$ production and $CO_2$ storage during peridotite serpentinization under $CO_2$-rich hydrothermal conditions: Influence of pyroxene

*Jiajie Wang[1]、Noriaki Watanabe[1]、Atsushi Okamoto[1]、Kengo Nakamura[1]、Takeshi Komai[1] (1.Tohoku Univ.)

---

[SGC41-P03] **Age determination of spherical carbonate concretions by Sr isotope stratigraphy**

*淺原 良浩[1]、吉田 英一[2]、山本 鋼志[1]、勝田 長貴[3]、南 雅代[4]、メトカルフェ リチャード[5] (1.名古屋大学大学院環境学研究科、2.名古屋大学博物館、3.岐阜大学教育学部、4.名古屋大学宇宙地球環境研究所、5.Quintessa UK)

---

[SGC41-P04] オスミウム同位体と強親鉄性元素組成からみたハワイ諸島、カウラ島産マントル捕獲岩の起源

*藤田 遼[1]、石川 晃[1]、横山 哲也[1]、Michael Garcia[2] (1.東京工業大学、2.ハワイ大学)

---

[SGC41-P05] 西南日本，北陸地域東部に分布する中新世アダカイト質火山岩の岩石学的・地球化学的特徴

*渡邉 駿[1]、高橋 俊郎[1] (1.新潟大学)

---

[SGC41-P06] Trace element and isotopic characteristics of high Nb basalts from Kyushu arc and back arc

*Bidisha Dey[1]、Tomoyuki Shibata[1] (1.Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University)

---

[SGC41-P07] Evaluation of digestion methods for Molybdenum concentration analysis for geological materials

六鹿 悠[1]、*石川 晃[1]、横山 哲也[1] (1.東京工業大学理学院地球惑星科学系)

---

[SGC41-P08] *fs*LA-ICPMS analysis of XRF glass beads

*常 青[1]、佐藤 智紀[2]、木村 純一[1] (1.国立研究開発法人・海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野、2.国立研究開発法人・海洋研究開発機構・海洋掘削科学研究開発センター)

# Experimental and Simulation Study on the Migration Rule of Arsenic in the Soil of Surface Karst Zone in Southwest China

*bin zeng[1]

1. China University of Geosciences

Karst Underground River is an important water source in southwest China. In addition to entering and polluting the groundwater directly through the sinkholes, arsenic pollutants produced from the industrial production process will also adsorb, remain, and concentrate in the dissolution cracks and gaps in the surface karst zone, and remigrate under certain conditions to become a "secondary pollution source". Taking an arsenic pollution event in Guangxi province as an example, the dynamic adsorption and desorption experiments of arsenic were carried out by using narrow slot physical model device, and the migration rule of arsenic contamination in the soil of surface karst zone was studied, combined with geochemical simulation. The experimental results show that the adsorption of arsenic in the surface karst zone is mainly physical adsorption (diffusion process), and the desorption rate is slow compared with the adsorption process, while the acid solution can promote the desorption process of arsenic compared with deionized water. The results of geochemical simulation show that goethite contributes most to arsenic adsorption in soil minerals, while acid solution weakens the ability of arsenic adsorption by corroding goethite and other minerals. It is concluded that in the karst area of southwest China, once the surface karst zone system is integrated with arsenic pollutants, the desorption process is slow, and it is easy to form the retention and enrichment of arsenic pollutants; while the accelerated desorption and migration process of arsenic under acid rain will increase the pollution risk of groundwater system.

Keywords: surface karst zone, arsenic pollution, physical model experiment, geochemical simulation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# $H_2$ production and $CO_2$ storage during peridotite serpentinization under $CO_2$-rich hydrothermal conditions: Influence of pyroxene

*Jiajie Wang[1], Noriaki Watanabe[1], Atsushi Okamoto[1], Kengo Nakamura[1], Takeshi Komai[1]

1. Tohoku Univ.

Serpentinization of peridotite (mainly includes olivine and pyroxene) usually produces molecular $H_2$, which may potentially contribute to today’s always-increasing energy demands. On the other hand, peridotite also appears to be a good candidate for $CO_2$ sequestration by mineralization. Based on this, our previous research has successfully combined the strategies of $H_2$ production and $CO_2$ mineralization by olivine alteration in $CO_2$-rich hydrothermal system. However, olivine may not necessarily act as a peridotite equivalent during alteration, and the pyroxene influence is still poorly understood.
In this study, we examined the reactions in $H_2O$-olivine/pyroxene-$CO_2$ systems by performing hydrothermal experiments in 0.5 mol/L $NaHCO_3$ solutions under conditions of 300 °C and 10 MPa. The results show that $H_2$ was produced when olivine and/or pyroxene reacted in $NaHCO_3$ solution, and the presence of pyroxene in starting material suppressed $H_2$ production from per kg of mineral. Pyroxene was converted solely to serpentine, rather than brucite and magnesite even in $CO_2$-contained solutions, which indicates $CO_2$ mineralization was only realized in olivine-contained systems. In addition, the pyroxene serpentinization process is quicker than olivine. In the experiment with olivine/pyroxene weight ratio of 3/2, all of the pyroxene was altered after 72 h reaction, whereas half of the olivine particles have remained. Based on experimental results, we propose that the presence of pyroxene in starting material will suppress the $H_2$ production and $CO_2$ storage during peridotite alteration; however, the inhibition effect will be decreased along the reaction time.

Keywords: Pyroxene, Olivine, Hydrothermal, H2 production, CO2 storage

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Age determination of spherical carbonate concretions by Sr isotope stratigraphy

*淺原 良浩[1]、吉田 英一[2]、山本 鋼志[1]、勝田 長貴[3]、南 雅代[4]、メトカルフェ リチャード[5]
*Yoshihiro Asahara[1], Hidekazu Yoshida[2], Koshi Yamamoto[1], Nagayoshi Katsuta[3], Masayo Minami[4], Richard Metcalfe[5]

1. 名古屋大学大学院環境学研究科、2. 名古屋大学博物館、3. 岐阜大学教育学部、4. 名古屋大学宇宙地球環境研究所、5. Quintessa UK
1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Material Research Section, Nagoya University, University Museum, 3. Faculty of Education, Gifu University, 4. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, 5. Quintessa UK

Isolated spherical carbonate ($CaCO_3$) concretions are frequently observed in marine clayey sediments but do not always contain index fossils. Although carbonate concretions with fossil inside can be used to estimate sedimentation ages, concretions without fossils inside have never previously been used for age determination. In this study, we used $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios to determine the ages of these spherical concretions.

The studied concretions formed in the Yatsuo Group of Miocene age in central Japan. Some formed post-mortem around tusk-shells (*Fissidentalium*spp.), while other concretions have no shell fossils inside. The concretions formed under highly constrained conditions by reactions between the decay products of organic matter and $Ca^{2+}$ from the marine water (Yoshida et al., 2015; 2018). And the sedimentary structure around the concretions and geochemical analyses reveal that Sr was incorporated into the $CaCO_3$ concretions during their rapid formation.

The $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of calcite in the tusk-shell concretions lie within 0.70865~0.70867 and vary little. The values are similar to those of tusk-shell aragonite, 0.70865~0.70868. In addition, the isolated carbonate concretions without shell fossils have $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of 0.70865~0.70868, which are also well consistent with the tusk-shell aragonite values. Based on the Sr isotope stratigraphy (McArthur et al., 2001) and the measured $^{87}Sr/^{86}Sr$ values, the age of the tusk-shell concretions lies within a narrow range of 17.08 (+0.27, −0.28) Ma. The age determined from the $^{87}Sr/^{86}Sr$ of the tusk-shells themselves (16.86 +/− 0.34 Ma) is almost the same. The age determined from the $^{87}Sr/^{86}Sr$ of concretions without fossils, 16.95 (+0.36, −0.37) Ma, is almost the same as that of the tusk-shell concretions. Strontium isotopic stratigraphy using $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of all concretions with tusk-shell and without fossils indicates an age of 17.02 +/− 0.27 Ma, with higher accuracy than the ages estimated using microfossils from the Yatsuo Group. The results imply that the $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio of isolated spherical carbonate concretions can be applied generally to estimate the ages of all kinds of spherical concretions in marine sediments (Yoshida et al., 2019).

キーワード：炭酸塩コンクリーション、化石、ストロンチウム同位体、年代決定、海洋堆積物
Keywords: carbonate concretion, fossil, Sr isotope, age determination, marine sediment

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# オスミウム同位体と強親鉄性元素組成からみたハワイ諸島、カウラ島産マントル捕獲岩の起源

# Origin of mantle xenoliths from Kaula Island, Hawaii:Constrains from Os isotope and highly siderophile element compositions

*藤田 遼[1]、石川 晃[1]、横山 哲也[1]、Michael Garcia[2]
*Ryo Fujita[1], Akira Ishikawa[1], Tetsuya Yokoyama[1], Michael O Garcia[2]

1. 東京工業大学、2. ハワイ大学
1. Tokyo Institute of Technology, 2. University of Hawaii

The Emperor Seamount-Hawaiian island chain is thought to originate from melting of a heterogeneous mantle plume, although the nature and extent of heterogeneity remain unclear. It has been suggested that some Hawaiian mantle xenoliths with highly unradiogenic Os isotope ratios (down to 187Os/188Os=0.1138) represent the depleted part of ascending Hawaiian plume, and that the depleted materials are more commonly distributed in mantle plumes than has been inferred from the compositions of erupted lavas. To better understand the lithological and geochemical variations of Hawaiian xenoliths and to evaluate the robustness of the above model, we conducted petrological and geochemical studies on 11 peridotite xenoliths (9 lherzolites, 1 dunite, and 1 wehlrite) collected from the island of Kaula, Hawaii. Here we present the results on the whole-rock Re-Os isotope systematics and highly siderophile element compositions in the xenoliths, together with the major element compositions of constituent minerals (olivine, clinopyroxene, orthopyroxene and spinel). The rock texture and mineral compositions indicate that the Kaula peridotites are samples from normal oceanic mantle and residues of variable degrees of melting. However, they have highly unradiogenic Os isotope ratios (down to 187Os/188Os=0.1187) yielding minimum rhenium-depletion ages of up to ~1.3 Ga, which are similar to those of O’ahu peridotites. Such unradiogenic Os isotopic compositions are not found in Hawaiian lavas and in depleted mantles (e.g., mid-oceanic ridge basalts). Importantly, as is observed in the O’ahu peridotites, the 187Os/188Os ratios of Kaula peridotites correlate with the degree of depletion, suggesting that they are related to an ancient melting event. Therefore, the Kaula peridotites are possibly the fragments of a Hawaiian mantle plume that consists of ancient depleted and recycled mantle lithosphere.

キーワード：Os同位体、ハワイ、マントル捕獲岩
Keywords: Os isotope, hawaii, mantle xenolith

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 西南日本，北陸地域東部に分布する中新世アダカイト質火山岩の岩石学的・地球化学的特徴

# Petrological and Geochemical features of Miocene adakitic volcanic rocks in eastern part of Hokuriku region, SW Japan

*渡邉 駿[1]、高橋 俊郎[1]
*Watanabe Syun[1], Toshiro Takahashi[1]

1. 新潟大学
1. Niigata university

Miocene volcanic rocks are widely distribution from the eastern part of Toyama prefecture to the northern part of Fukui prefecture in Hokuriku region, Central Japan. These volcanic rocks are broadly classified in to mafic volcanic rocks and felsic volcanic rocks, and in this study the petrological and geochemical features of mafic volcanic rocks are considered. Mafic volcanic rocks of the Hokuriku region consists of various types that have characteristic petrologic and geochemical features; tholeiitic volcanic rocks, calc-alkaline volcanic rocks, high-magnesia andesite and adakitic andesite (Takahashi and Shuto, 1999; Ishiwatari and Ohama, 1997).

The present study area is in the eastern part of the Miocene volcanic rocks. Volcanic rocks of this study area can be classified into four groups; Group-1 basalts, bulk rock chemical composition of group-1 indicate low $SiO_2$ (<53 wt %) composition and Nd and Ta depletion. Group-2 tholeiitic andesites, bulk rock chemical composition of group-2 indicate increasing FeO*/MgO ratio with increasing $SiO_2$. Group-3 calc-alkaline andesites, bulk rock chemical composition of group-3 indicate stable FeO*/MgO ratio with increasing $SiO_2$. Group-4 Hornblende-bearing andesites, Bulk rock chemical composition of group-4 indicate low FeO*/MgO ratio, high Sr, MgO, Cr, Ni concentration and low LILE and HFSE concentration. All types of volcanic rocks are distributed in Iwaine formation except in Fukuhira formation, only group-1 and group-2 are distributed.

The volcanic rocks of this study area can be classified two types by their isotopic features. First type have nearly bulk earth isotopic composition (SrI=0.7040-0.7060, NdI=0.5125-0.5129) whereas the second type have very enriched isotopic composition (SrI=0.7085-0.7100, NdI=0.5119-0.5125). In terms of rock types Groups-1 to 3 shows both the isotopic composition, whereas only group-4 rocks have only bulk earth isotopic composition.

Here, we focus on petrological and geochemical features, because these features of group-4 is different from other groups. Group-4 have hornblende, plagioclase, clinopyroxene and olthopyroxene phenocrysts. Pyroxene phenocrysts have a wide range of composition (Mg#= Cpx 70-86; Opx 69-85).

It is difficult to explain the petrological features of group-4 by crystallization differentiation of magma that formed group-1 to 3 rocks types. This study uses trace element composition of clinopyroxene phenocryst for magma genesis of group-4. The results indicate that the group-4 magma is a product of magma mixing of high Mg# magma that have adakitic signatures (Defant and Drummond, 1991) and low Mg# magma that have enriched isotopic signature. In general, adakitic volcanic rocks are formed by partial melting of subducted oceanic crust, and so adakitic magma usually have depleted isotopic composition like a subducted oceanic crust (MORB; Castillo, 2012). However, adakitic rocks in this study area has more

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

depleted isotopic signatures. Previous study indicated a model that involves the addition of sediment on subducted basaltic crust melt during slab melting (Sato et al., 2013). However, this model cannot explain the observed isotopic compositions. Therefore, this study proposes a model that involved an enriched component of magma mixing that resulted in the observed isotopic features.

In general, adakitic magma genesis needs heat source for slab melting. Previous studies suggest that heat source is hot asthenospheric upwelling preceding Japan sea opening (Takahashi and Shuto, 1999). Petrological features of group-4, for example, high MgO, Cr, Ni concentration are similar to bajaite (Rogers et al., 1985). Previous studies suggest that magma genesis of bajaitic magma result from ridge subducting (Tsuchiya et al., 1995). But this study area doesn’ t show evidence of ridge subducting. It is necessary to discuss from more various view point.

キーワード：北陸地域、アダカイト、島弧火成活動
Keywords: Hokuriku region, adakite, island-arc magmatism

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Trace element and isotopic characteristics of high Nb basalts from Kyushu arc and back arc

*Bidisha Dey[1], Tomoyuki Shibata[1]

1. Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

Basalts and basaltic andesites from south-west Japan arc and Back arc region show signature of HFSE enrichment similar to high Nb basalts (HNB) and Nb enriched basalts (NEB) (i.e. Philippines, Castillo et al., 2007; Central America, Hastie et al., 2011).

We use previously published data from Kyushu basalts and basaltic andesites from both arc and back arc setting to compare the geochemical characteristics of these rocks. We observe that the rocks of our interest in this area, show a much higher Nb/Zr and Nb/Hf ratio than that of typical MORB values (0.032, Sun and McDonough, 1989) or of NE Japan arc (similar to MORB, Shibata and Nakamura, 1997). The samples from Kita-Matsuura area as reported by Sakuyama et al (2009, 2014) and Fukuejima- Goto island volcanoes (Uto et al., 2004; Hoang et al., 2013; Kuritani et al., 2017) also show significantly high Nb content, up to 50 ppm and 60 ppm respectively. This type of signature is more common to OIB type mantle than to MORB type mantle (Sun and McDonough, 1989); however, isotopic plots using Sr, Nd and Pb isotopic data in 2D and 3D space show that these rocks are not likely to be related to the enriched mantle (EM1, EM2) or the HIMU components and more likely to be related to MORB type mantle and a mixture with Philippine sea plate (PHS) sediments or slab melt as suggested by Shibata et al. (2014). Samples from Fukuejima islands show the same trend as arc rocks in Pb-Pb isotopic space despite not likely to be affected by PHS plate sediment or slab melt. This suggests that the mantle geochemistry beneath Kyushu is the product of mixing between MORB type mantle and slab or sediment like Pb isotope enriched component, which may have also contributed to the HFSE enrichment. The nature of this component is subject to further investigation.

Keywords: Kyushu basalts, High Nb basalts

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Evaluation of digestion methods for Molybdenum concentration analysis for geological materials

六鹿 悠[1]、*石川 晃[1]、横山 哲也[1]
Yu Mutsushika[1], *Akira Ishikawa[1], Tetsuya Yokoyama[1]

1. 東京工業大学理学院地球惑星科学系
1. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

Molybdenum, one of redox-sensitive trace elements showing slightly chalcophile and moderately siderophile character, is recognized as a useful element for tracing chemical evolution of the Earth ranging from core-mantle differentiation to low temperatures surface processes. Despite this, determination of Mo concentration is frequently abandoned for the studies of rock samples dominated by silicate materials because formation of insoluble molybdenum oxides in hydrochloric (HCl) or nitric ($HNO_3$) acid solutions precludes accurate measurements of Mo concentration with ICP-MS in typical multi-element determination methods for other lithophile trace elements such as Rb, Sr, and rare earth elements (REE). Makishima and Nakamura (1999) and Lu et al. (2007) proposed that isotope-dilution ICP-MS (ID-ICP-MS) employing dissolution with hydrofluoric (HF) acid is a well-suited method for the simultaneous determination of Mo and other elements such as W, Sb and high-field strength elements (HFSE). However, most of these elements are hosted in acid resistant minerals such zircon and Cr-spinel in rock samples, high-temperature/pressure HF digestions with longer duration are sometimes required in order to achieve complete recovery of these elements. Here we develop a rapid and universal method for the determination of Mo in geological samples using ID-ICP-MS combined with fused-glass bead digestion (sample + lithium tetraborate). The fused-glass beads were properly dissolved into a diluted HF with spike solution. The optimized procedure and analytical capability using ICP-QMS with HF-resistant setting will be presented by showing results of replicate analyses for reference materials such as volcanic rocks (JB-1, JB-1a, JB-2, JB-3, JA-1, JA-1a, JA-2, JA-3, JR-1, JR-2, JR-3, BIR-1a, BCR-2, BHVO-2 and W-2a), plutonic rocks (JGb-1, JGb-2, WMG-1, JG-1, JG-1a, JG-2, JG-3 andJSy-1), ultramafic rocks (JP-1, JH-1, OKUM, GP-13 and UB-N), sedimentary rocks (SCo-1, SDo-1, Jdo-1, JLs-1, JCp-1, NIST694, JCh-1, JSd-1, JSd-2, JSd-3, JSl-1, JSl-2 and JLk-1) and ore-materials (JF-1, JF-2, JZn-1, JMn-1 and SARM32).

キーワード：モリブデン、誘導結合プラズマ質量分析、同位体希釈
Keywords: Molybdenum, ICP-MS, isotope dilution

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# *fs*LA-ICPMS analysis of XRF glass beads

*常 青[1]、佐藤 智紀[2]、木村 純一[1]
*Q. Chang[1], T. Sato[2], J.-I. Kimura[1]

1. 国立研究開発法人・海洋研究開発機構・地球内部物質循環研究分野、2. 国立研究開発法人・海洋研究開発機構・海洋掘削科学研究開発センター
1. Dept. Solid Earth Geochem., JAMSTEC, 2. R&D Center for Ocean Drilling Sci., JAMSTEC

Analysis of naturally heterogeneous rock samples by ICP-MS requires laborious sample preparation including acid/alkali digestion. Crystalline plutonic rocks or sediments remains as challenging analysis by ICP-MS because of the difficulty in complete digestion of acid resistant minerals which contain significant fraction of high field strength elements (HFSE) or rare earth elements (REE). We tested femto-second laser ablation (fsLA) ICP-MS analysis of glass beads prepared for X-ray fluorescence spectrometry (XRF). This method maintains benefits of no sample digestion by wet chemistry, high sensitivity, high sample throughput and low costs. A comprehensive examination of measurement parameters was made on wave length and repetition rate of the laser beam. Choice of internal standard and external calibration method were also examined. Using high-diluted glass beads (1:10 sample to lithium tetraborate ratio) and optimized in-house developed fsLA system coupled to a quadruple-type ICP-MS (iCAP Qs, ThermoFisher Sci.), the parameters and methods were validated by determining 48 elements including ten major (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P), refractory lithophile (Sr, Ba, REE and HFSE) and volatile (Ga, Rb, Cs, Tl, Pb) elements in well-established geological reference materials (GSJ JB-1, JG-1a, JG-2 and JR-1) and synthetic reference glasses (NIST SRM 612, USGS GSD-1G). Laboratory bias (or trueness by ISO 5725-1) for most elements was better than 10% when compared to the reference or consensus values. Poorly determined or failed elements were P, Sc, V, Ni, Sn, Sb, and W, whose data deviated from the reference values >20%. Volatile elements such as Rb, Cs and Ga showed no substantial loss; however, Tl and Pb exhibited always lower values suggesting their loss during fusion in the glass bead preparation. Repeatability and intermediate precision (ISO 5725-1) of all measured elements were better than 5–7% RSD except Cu, Sn, Sb, Cs and Tl which showed 10–40% RSD due to extremely low abundances or strong spectral interferences. The low limits of detection by this method were comparable to those obtained by solution ICP-MS for most elements of geochemical interests. Our results demonstrate that the fsLA-ICPMS using XRF glass bead can be used for rapid bulk-rock analyses of trace, minor and major elements.

キーワード：femto-second LA-ICP-MS、bulk analysis、XRF glass bead、 geological reference materials
Keywords: femto-second LA-ICP-MS, bulk analysis, XRF glass bead, geological reference materials

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-CG 固体地球科学複合領域・一般

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_20

## [S-CG57] 日本列島の構造と進化: 島弧の形成から巨大地震サイクルまで

コンビーナ:佐藤 比呂志(東京大学地震研究所地震予知研究センター)、篠原 雅尚(東京大学地震研究所)、石川 正弘(横浜国立大学大学院環境情報研究院)、松原 誠(防災科学技術研究所)

日本列島は地質時代を通じて大陸と海洋の境界部に位置し、その地殻構造にはプレートの沈み込み運動、背弧海盆の形成、島弧-島弧の衝突など多様な造構運動が記録されている。近年の地殻構造探査技術の進展や自然地震観測は、詳細な地殻マントル構造を明らかにしつつある。このような地質時代を通じて形成された地殻-マントル構造は、断層の再活動やレオロジー特性を通じて、地震活動や地殻変動のような現在進行しているテクトニクスにも大きな影響を及ぼしている。構造を一つの軸として、様々な時間帯に及ぶ変形プロセスを総合的に議論することは、現在、日本列島で進行しているテクトニクスを理解する上で重要である。本セッションでは、地質学・地球物理学的な観測をはじめとして様々な手法によって得られた日本列島の地殻・マントル構造を基軸として、地殻構造とレオロジー、地質構造の形成プロセス、変動地形から測地学帯域に及ぶ幅広い時間帯域のテクトニクスについて, 数値実験も含め総合的に議論する。

### [SCG57-P01] 地震探査による北海道南西沖・日本海盆～渡島半島沿岸部の島弧―背弧海盆域の地殻構造

*佐藤 壮[1]、野 徹雄[1]、小平 秀一[1]、三浦 誠一[1]、石山 達也[2]、佐藤 比呂志[2] (1.海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター、2.東京大学地震研究所)

### [SCG57-P02] Three-dimensional plate geometry model from the Nankai to the Ryukyu subduction zone

*仲西 理子[1]、高橋 努[1]、山本 揚二朗[1]、山下 幹也[1]、勝山 美奈子[1]、三浦 誠一[1]、高橋 成実[3,1]、鎌田 弘己[1]、小平 秀一[1]、金田 義行[2,1] (1.海洋研究開発機構、2.香川大学、3.防災科学技術研究所)

### [SCG57-P03] 下北半島，中新世泊層火山岩類の岩石化学　―微量元素組成およびSr-Nd-Hf-Pb同位体組成―

*相澤 正隆[1]、稲葉 充[2]、岡村 聡[3,4]、新城 竜一[5] (1.琉球大学　理工学研究科、2.GeoPuck Association、3.北海道教育大学、4.北海道土質試験協同組合、5.琉球大学　理学部)

### [SCG57-P04] Acceleration of oceanic plate following megathrust earthquakes

*Mohammad Yuzariyadi[1]、Kosuke Heki[1] (1.Hokkaido University)

### [SCG57-P05] 南海トラフ周辺海域の三次元速度構造

*勝山 美奈子[1]、仲西 理子[1]、新井 麗[1]、田中 恵介[1]、高橋 成実[2]、鎌田 弘己[1]、金田 義行[3] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.国立研究開発法人防災科学技術研究所、3.香川大学)

### [SCG57-P06] 2018年大阪府北部の地震および2018年北海道胆振東部地震地域の地震発生層深さ

*YANO Tomoko Elizabeth[1]、松原 誠[1] (1.防災科学技術研究所)

### [SCG57-P07] 中央構造線活断層系（愛媛・徳島地域）を横断する高分解能反射法地震探査

*加藤 直子[1]、石山 達也[1]、佐藤 比呂志[1]、越谷 信[2]、小池 太郎[3]、野田 克也[3] (1.東京大学地震研究所、2.岩手大学理工学部、3.株式会社ジオシス)

# 地震探査による北海道南西沖・日本海盆～渡島半島沿岸部の島弧ー背弧海盆域の地殻構造

# Crustal structure from the Japan Sea back-arc basin to the margin off SW Hokkaido deduced from the seismic survey

*佐藤 壮[1]、野 徹雄[1]、小平 秀一[1]、三浦 誠一[1]、石山 達也[2]、佐藤 比呂志[2]
*Takeshi Sato[1], Tetsuo No[1], Shuichi Kodaira[1], Seiichi Miura[1], Tatsuya Ishiyama[2], Hiroshi Sato[2]

1. 海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター、2. 東京大学地震研究所
1. Research and Development Center for Earthquake and Tsunami, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. ERI, Univ. of Tokyo

初期中新世に形成された背弧海盆である日本海の東縁から南縁にかけての縁辺域では，1983年日本海中部地震等のマグニチュード7を超す地震，またこれらの地震による津波が発生し，沿岸部を中心に大きな被害が発生している．またこの領域では，背弧拡大時に形成された正断層が現在の短縮変形によって逆断層として再活動（インバージョンテクトニクス）している断層（例えば，Sato, 1994，Okamura et al., 1995）や，地殻構造の境界域に発達している逆断層（No et al., 2014）が数多く分布している．縁辺域で発生する地震発生メカニズム等の理解のために必要な情報である地殻構造や断層分布等を明らかにするために、日本海背弧海盆域から縁辺域において，マルチチャンネル反射法地震（MCS）探査と海底地震計（OBS）を用いた地震探査（OBS探査）が実施されている（野・他, 2014，No et al., 2018）．その結果，青森沖から鳥取沖の縁辺域では，日本海背弧拡大の影響を受けた地殻構造と被害地震の震源断層を含む活断層や活褶曲の分布が対応し，背弧拡大プロセスと地震発生メカニズムが大きく関係していることがわかってきた（例えば、No et al., 2014、Sato et al., 2014）．

北海道南西沖の海域では，大きな被害を生じた1993年北海道南西沖地震(Mj7.8)が発生し，さらに，南北走向に西傾斜，東傾斜の断層面をもつ活断層が複雑に分布していることが推定されている（例えば、Okamura et al., 1995）．しかしながら，南西沖の背弧海盆域から沿岸域にかけての地殻構造スケールの探査が行われていないため，詳細な地殻構造，断層分布やその傾斜方向ついては不明である．詳細な地殻構造，および構造と断層分布等との関係を明らかにするために，「日本海地震・津波調査プロジェクト」の一環で，2018年4～5月に北海道南西沖の海域において，MCS探査とOBS探査を実施した．

OBS探査は北海道南西沖の奥尻海盆から南部奥尻海嶺，背弧海盆である日本海盆に至る長さ約243 kmの東西方向に，1993年北海道南西沖地震震源域を横断する測線にて実施した．本探査測線は，東京大学地震研究所が実施した陸域の地震探査と併せて海陸統合調査の一部となっている．OBS探査は最大容量7,800 cubic inchのエアガンアレーとOBS57台を用いた．OBS探査と同一測線で実施したMCS探査は，上記のエアガンアレーと長さ約5,800 mのマルチチャンネルストリーマケーブルを用いている（野・他，本学会）．得られたOBS記録，MCS記録ともに良好である．

暫定的な結果では，背弧海盆である日本海盆の地殻は薄く，海洋性地殻の特徴に類似している．地殻構造は海盆から南部奥尻海嶺，沿岸域にいくにしたがい変化し，特に海盆と南部奥尻海嶺の境界域において，地殻構造は大きく変化している．また南部奥尻海嶺の上部地殻の速度分布は朝鮮半島の大陸性上部地殻に対応するP波速度5.4～6.2 km/sの部分を持ち，日本海盆の速度分布と大きく異なっている．また南部奥尻海嶺から奥尻海盆のP波速度は不均質に分布している．

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Three-dimensional plate geometry model from the Nankai to the Ryukyu subduction zone

*仲西 理子[1]、高橋 努[1]、山本 揚二朗[1]、山下 幹也[1]、勝山 美奈子[1]、三浦 誠一[1]、高橋 成実[3,1]、鎌田 弘己[1]、小平 秀一[1]、金田 義行[2,1]
*Ayako Nakanishi[1], Tsutomu Takahashi[1], Yojiro Yamamoto[1], Mikiya Yamashita[1], Minako KATSUYAMA[1], Seiichi Miura[1], Narumi Takahashi[3,1], Hiromi Kamata[1], Shuichi Kodaira[1], Yoshiyuki Kaneda[2,1]

1. 海洋研究開発機構、2. 香川大学、3. 防災科学技術研究所
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Kagawa University, 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

Considering the large slip distribution of the 2004 Sumatra earthquake, possible coseismic rupture area of megathrust earthquakes from the Tokai to Ryukyu cannot be denied. Characteristics of occurrence of great earthquakes is also different between these neighboring subduction zones. Historically, megathrust earthquakes have been generated repeatedly along the Nankai Trough at intervals of approximately 100-200yrs (e.g. Ando, 1975).Along the Ryukyu Trench, although great earthquakes have occurred only twice over the last 300 years: the 1771 Yaeyama earthquakes and the 1911 earthquake off Kikai, recent studies of tsunami deposits indicated that the Ryukyu Islands have been periodically hit by large tsunamis with an interval of several hundred years [e.g. Ando et al., 2017]. Moreover, the coupling condition of the plate interface along the Ryukyu Trench is different from that of the Nankai Trough based on the seismic survey and observations [Arai et al. 2016]. They reported that the Ryukyu Trench is dominated by slow earthquakes at any depths and lacks a typical locked zone such as the Nankai Trough.
To understand relation between the structure around the subducting Philippine Sea plate and seismicity including slow earthquake phenomena, it is necessary to know the geometry and property of the plate boundary from the Nankai to the Ryukyu subduction zone. Three-dimensional plate geometry model will be also important for a precise estimate of the maximum range of the coseismic rupture zone of the Nankai megathrust earthquake. The model is also very useful to construct a new three-dimensional seismic velocity model of the Nankai Trough for depth conversion of interpreted active faults in time section of seismic reflection data [Katsuyama et al., 2019 JPGU].
Based on the result (three-dimensional plate geometry model of the Nankai Trough) from marine active and passive source seismic data [Nakanishi et al., 2018], three-dimensional plate geometry model from Nankai to Ryukyu subduction zone is tried to be constructed using the result of seismic studies around the Ryukyu Trench [Iwasaki et al, 1990; Kodaira et al., 1996; Arai et al., 2016, 2017; Nishizawa et al, 2017; Yamamoto et al., 2018].The model of Nakanishi et al. [2018] is also updated by using the result of deep seismic tomography off the Kii peninsula [Yamamoto et al., 2014, 2017].
In this presentation, a preliminary version of the combined three-dimensional model will be shown.
This study is part of 'Research project for compound disaster mitigation on the great earthquakes and tsunamis around the Nankai trough region' and the project 'Comprehensive evaluation of faults information on offshore Japan' funded by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan.

キーワード：沈み込むプレート、南海トラフ、琉球海溝
Keywords: subducting plate, Nankai Trough, Ryukyu Trench

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 下北半島，中新世泊層火山岩類の岩石化学　ー微量元素組成および Sr-Nd-Hf-Pb同位体組成ー
# Trace elements and Sr-Nd-Hf-Pb isotopic composition of Miocene Tomari volcanic rocks, Shimokita Peninsula, Aomori, NE Japan

*相澤 正隆[1]、稲葉 充[2]、岡村 聡[3,4]、新城 竜一[5]
*Masataka Aizawa[1], Mitsuru Inaba[2], Satoshi Okamura[3,4], Ryuichi Shinjo[5]

1. 琉球大学　理工学研究科、2. GeoPuck Association、3. 北海道教育大学、4. 北海道土質試験協同組合、5. 琉球大学　理学部
1. Graduate School of Engineering and Sience, University of Ryukyus, 2. GeoPuck Association, 3. Hokkaido Education University, 4. Hokkaido Soil Research Co-op., 5. Faculty of Science, University of Ryukyus

**はじめに**

中新世の東北日本弧火山フロントにあたる青森県下北半島の泊層火山岩類は，未分化ソレアイト質玄武岩がみられるなど（滝本，1986，岩鉱），日本海拡大を引き起こしたアセノスフェア湧昇流との関連が強く示唆される．本層は13～15 MaのK-Ar年代値を示し（Watanabe *et al.*, 1993, *J. Min. Petr. Geol.*），4つの火山活動ステージに区分されI期からIV期へ活動時代が新しくなる（周藤ほか，1988，地質雑）．本研究では，青森県むつ市において原子力規制庁により掘削されたボーリング試料（SN-010；掘止深度1484 m）を用いる．本コアは308.82 m以深に泊層火山岩がみられ，深度385 mで13.1～14.5 Maの微化石年代，および467 mで16.0 Ma，818 mで24.2 MaのU-Pb年代が得られている（原子力規制庁，2016）．

**泊層火山岩の岩相と産状**

本研究では，SN-010コアの8つの深度，および地表のI期，II期の泊層火山岩から試料を採取した．
＜563.48-563.70 m＞火山角礫岩
＜862.26-862.42 m＞溶岩
＜999.00-999.16 m＞火山礫凝灰岩
＜1003.20-1003.35 m＞溶岩
＜1197.86-1200.00 m＞火山礫凝灰岩
＜1246.40-1246.55 m＞火山礫凝灰岩
＜1335.87-1336.00 m＞火山礫凝灰岩
＜1482.00-1482.27 m＞火山礫凝灰岩
地表のI期火山岩は，赤色の火山円礫が層状構造を示す堆積層中にみられ，枕状溶岩の産状を示すことがある．II期火山岩は枕状溶岩・ハイアロクラスタイトを中心とする．

**地球化学的特徴**

コアの泊層火山岩類は，浅部コア（862.26 m以浅）と中部コア（999.00 mー1003.20 m）が中間K系列，深部コア（1197.86 m以深）が低K系列を示す．不適合元素濃度は浅～中部コアで高い傾向があり，特にLILEで顕著である．地表のI期・II期泊層火山岩は中間K系列を示し，不適合元素の傾向は浅～中部コアに類似する．N-MORB規格化パターンはいずれも高いLILE，Nb-Taの負異常，Pbの正異常がみられ，沈み込み帯における火成活動の特徴を示す．Sr-Nd同位体組成は，中～深部コアはやや枯渇した組成，浅部コアはやや肥沃な組成を示す．Pb同位体組成は層準ごとの明瞭な差異は見られず，いずれも東北日本弧の第四紀火山フロント火山岩の組成範囲にプロットされる．なお，発表ではHf同位体組成も報告する予定である．未分化ソレアイト質玄武岩は地表のII期火山岩に産出し，最も肥沃な同位体組成を示す（Hanyu *et al.*, 2006, *G*$^3$）．この未分化玄武岩を含む地表の火山岩と浅～中部コアは，深部コアに比べてより高いBa/Nbを有する．

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

**日本海拡大イベントとの関係**

SN-010コアの年代値は，泊層の活動が後期漸新世～前期中新世には既に開始していたことを示唆する．全岩化学組成は563.48 mの試料と地表の泊層I期火山岩が類似することから，本コア上部が泊層I期に対比される可能性がある（相澤ほか，2018，地質学会）．

未分化玄武岩の肥沃な同位体組成は，下部地殻の混染では高いMgO，Cr，Ni含有量を説明できない．また浅～中部コアと未分化玄武岩の高Ba/Nbと，中～深部コアの高$^{143}Nd/^{144}Nd$の枯渇組成から，深部コアの火山岩はDMM寄りの同位体組成のマントルの部分融解により生じ，中部コアは同様のマントルで沈み込み流体による汚染の程度がより高かった（高Ba/Nb）可能性がある．その後，浅部コアと地表のI期，II期火山岩は，やや肥沃な組成のリソスフェアマントル（EM IIに似た同位体組成）が部分融解したメルトに由来したと考えられる．

深部コアの1482.00 mと1335.87 mに赤色の火山礫，中部コアの999.00 mに基質が赤色の火山礫凝灰岩が産出し，これらの産状は陸域環境での火山活動を示唆する．浅部コアでは定置環境を判別できる証拠は見られないが，地表のI期火山岩は層状構造を示す堆積層中に赤色の火山円礫や枕状溶岩がみられ，II期火山岩は枕状溶岩やハイアロクラスタイトを中心とすることから，後期漸新世～中期中新世にかけてのリフティングにともなって，火山活動の定置環境が変化していったと考えられる．リソスフェアのリフティングがアセノスフェアの貫入により引き起こされているとすれば，マグマが枯渇的な組成から肥沃な組成に移行する地球化学的特徴は，高温のアセノスフェア湧昇流により部分融解深度が変化していることを示唆している可能性がある．

キーワード：中新世、火山フロント、日本海、背弧海盆、泊火山岩
Keywords: Miocene, Volcanic front, Japan Sea, Back-arc basin, Tomari volcanic rocks

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Acceleration of oceanic plate following megathrust earthquakes

*Mohammad Yuzariyadi[1], Kosuke Heki[1]

1. Hokkaido University

Accelerated subduction of tectonic plates following megathrust earthquakes was proposed by D. Anderson (1975, Science). Heki and Mitsui (2013 EPSL) found postseismic enhancements of inter-plate coupling in the adjacent segments of the 2003 Tokachi-Oki and the 2011 Tohoku-Oki earthquakes. They hypothesized that these earthquakes caused accelerated subduction of the Pacific plate slab in addition to already-known postseismic processes such as afterslip and viscous relaxation. Melnick et al. (2017 GRL) found a similar enhancement of coupling to the north of the 2010 Maule earthquake rupture zone, and Loveless (2017 GRL) considered this a common phenomenon after megathrust earthquakes and named it as the super-interseismic phase. Accelerated subduction occurs during a period after the earthquakes, but its duration and amount depend on the magnitude. Here we investigate how long and how much is the acceleration over the time period covering several years after the earthquakes. So far, we have been using data from GNSS stations on arcs near the segments adjacent to megathrust ruptures. In the present study, we use data from GNSS stations on the subducting oceanic plates and on a subducted continental plate.

We present GNSS velocity data from oceanic islands showing post-megathrust accelerations. They include the Marcus Island (1098), Japan, that showed significant acceleration following the Mw 9 2011-3-11 Tohoku-Oki Earthquake. The Cocos Island (COCO), Australia, seems to have been accelerated after the Mw 8.4 2007-9-12 Bengkulu earthquake, Southern Sumatra. The JRGN in the west coast tip of Chile was accelerated after the Mw 8.2 2014-4-1 Iquique Earthquake. We also found there was a certain velocity change in Christmas Island (XMIS), Australia, after the Mw 7.7 2006-7-17 South Java earthquake. All stations are located on the oceanic plate except JRGN that is located on the continental plate.

Marcus Island (1098) GNSS station showed a significant velocity change after the 2011 Tohoku-Oki Earthquake. The maximum transient acceleration occurred in the period 2-3 years following the earthquake with a maximum velocity change of 9.4 mm/yr. After 3.0 years, The acceleration has been decaying, and the original velocity resumed by now. Cocos Island (COCO) GNSS station shows that the maximum transient acceleration occurred between 0.75-1.5 years after the 2007 Bengkulu earthquake with a maximum change of 4.9 mm/yr. After 1.5 years, the acceleration has decayed and has been showing the velocity similar to the value before the earthquake since 4.5 years after the earthquake. Chile (JRGN) GNSS station shows that the transient acceleration reached the maximum in ~1 year after the 2014 Iquique earthquake with a maximum change of 4.7 mm/yr. The accelerated velocity decayed to the original value in 2.5 years after that. The acceleration of the Christmas Island (XMIS) GNSS station was 2.7 mm/yr and occurred in ~1.0 year after the 2006 South Java earthquake. The acceleration seems to have decayed in 2.5 years after the earthquake.

In general, we found that the transient acceleration of oceanic plate occurs shortly after a megathrust earthquake and continue over a certain period. Then it decays, and finally the velocity before earthquake recovers in a few years.

Keywords: megathrust earthquake, plate acceleration, Subduction

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 南海トラフ周辺海域の三次元速度構造
# 3D velocity model in the region of Nankai Trough

*勝山 美奈子[1]、仲西 理子[1]、新井 麗[1]、田中 恵介[1]、高橋 成実[2]、鎌田 弘己[1]、金田 義行[3]
*Minako KATSUYAMA[1], Ayako Nakanishi[1], Rei Arai[1], Shigeyoshi Tanaka[1], Narumi Takahashi[2], Hiromi Kamata[1], Yoshiyuki Kaneda[3]

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 国立研究開発法人防災科学技術研究所、3. 香川大学
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Kagawa University

This is a part of the project “Comprehensive evaluation of faults information on offshore Japan”, by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). The project consists of three themes, 1) Collecting seismic survey data and building a database of offshore faults, 2) Interpreting distribution of active faults using seismic data collected, and conducting the seismic re-processing by leading-edge seismic technology for the seismic data obtained in previous decades, 3) Building the fault models for a simulation of strong motion and tsunami disaster, based on the interpreted faults. Our purpose of this study is make a 3D velocity model in the Nankai Trough to provide with the support we needs to interpret faults.
The Nankai Trough, where the Philippine sea plate is subducting beneath the Eurasian plate. Some seamounts and ridges are subducted here.
3D velocity model was constructed by seismic data and ocean bottom seismometer(OBS) refraction survey data which were obtained by a various agencies and private companies. Horizons such as acoustic basment and unconformity were interpreted using reflection seismic sections. Conrad discontinuity and Mohorovicic discontinuity were interpreted on refraction surveys and consulted previous study. Layer structure and velocity model were created on these horizons.
We obtain a result that understands geological structure in Nankai Trough. So in this session, we will take a discussion concerning structural characteristic based on the 3D velocity model.

キーワード：3次元速度構造、南海トラフ、沈み込み帯
Keywords: 3D velocity model , Nankai Trough, subduction zone

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 2018年大阪府北部の地震および2018年北海道胆振東部地震地域の地震発生層深さ
# Depth of seismogenic layer at the 2018 North Osaka and the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake sites

*YANO Tomoko Elizabeth[1]、松原 誠[1]
*Tomoko Elizabeth Yano[1], Makoto MATSUBARA[1]

1. 防災科学技術研究所
1. National Research Institute of Earth Science and Disaster Prevention

**背景：**
活断層周辺の地震発生層を理解することは、その断層上で起こり得る地殻内地震の最大規模を予測する上で重要である。地震発生層の深さはまた、地殻のレオロジーにも関連するため、脆性領域の深さも示している。D95 (あるグリッド内で発生した地震を地表から数えた個数が全地震の95%となるまでの深さ) は、過去の微小地震活動から求めることができる。この研究の目的は、D95が地震発生層の深部限界を示す指標となっているかどうかを検証することであり、2018年大阪府北部の地震と2018年北海道胆振東部地震が発生する前の段階で、本震前の微小地震活動から地震発生層の下限を予測できたかどうかを調べた。

**データ・手法：**
D95は各本震前の地震活動から計算される。本研究ではDD法により震源再決定されたJUICEカタログ（2001-2012）のイベントカタログを使用した。 JUICEカタログに掲載されているM1.5以上のイベントから、0.02°間隔の格子点ごとにD95を計算した。格子点から0.1°の範囲内にあるイベントの総数が50個以上となる格子のみを対象とした。

また、地下の温度データから推定された摂氏250度、300度、および450度の深度と地震の深さとの対応を確認した。地表から深さ約300 mまで、および深さ約1000 mまでの温度プロファイルを含むデータセットを使用して、地殻内温度が250、300、450度に達する深さ(D250deg、D300deg、D450deg) を計算した。

**結果：**
2018年大阪府北部の地震では、再決定された本震の震源は深さ13.7 kmであるのに対し、再決定した余震は主に深さ8～14 kmに分布する。余震域のD95は深さ13 kmから14 kmの間と計算された。 また、D250degからD450degまでの範囲は深さ10 kmから24 kmであり、 D300degは約13kmだった。

2018年北海道胆振東部地震では、本震の再決定震源の深さは35.9 kmであるのに対し、再決定された余震は、主に深さ25～50 kmの範囲に分布する。 D95はおよそ25 kmと推定され、D250degからD400degまでの範囲は深さ10 kmから34 kmと推定された。

**議論・結論：**
2018年大阪府北部の地震については、D95を地震発生層の下限とすることと、本震と余震の分布に矛盾はなかった。一方で、2018年北海道胆振東部地震のD95は、実際の震源分布と整合していない。D95は本震よりも約10 km浅く、最も深い余震に比べ約25 km浅かった。本研究では、本震の西側に位置する石狩低地東縁断層帯の地震活動を用いてD95を算出した。そのため、このD95は石狩低地東縁断層帯の地震発生層の下限を示したものであり、2018年北海道胆振東部地震の断層そのものを反映したものではないことが、本震－余震の分布とD95における矛盾の原因と考えられる。

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：地震発生層、大阪府北部、北海道胆振東部、地震、地殻熱流量
Keywords: seismogenic depth, North Osaka, Hokkaido Eastern Iburi, Earthquake, heat flow

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 中央構造線活断層系（愛媛・徳島地域）を横断する高分解能反射法地震探査

# Seismic reflection profiling across the Median Tectonic Line (MTL) active fault system in Ehime and Tokushima Prefectures

*加藤 直子[1]、石山 達也[1]、佐藤 比呂志[1]、越谷 信[2]、小池 太郎[3]、野田 克也[3]
*Naoko Kato[1], Tatsuya Ishiyama[1], Hiroshi Sato[1], Shin Koshiya[2], Taro Koike[3], Katsuya Noda[3]

1. 東京大学地震研究所、2. 岩手大学理工学部、3. 株式会社ジオシス
1. Earthquake Research Institute,University of Tokyo, 2. Faculty of science and engineering, Iwate University, 3. Geosys, Inc.

The Median Tectonic Line (MTL) is the most significant inland fault in SW Japan, which extends more than 1000 km and divides SW Japan into the inner and outer zone. The western part of the MTL shows late Quaternary right-lateral strike-slip movements at several mm/y (eg. Tsutsumi and Okada, 1996). According to the seismic reflection profile, northward gently dipping character of the Median Tectonic Line has already been suggested in the eastern Shikoku (Ito et al., 1996) and eastern Kyushu (Yusa et al., 1992). For the deeper extension of MTL, north-dipping geometry was obtained by low-fold seismic reflection images in Shikoku island (Kawamura et al., 2003; Sato et al., 2005). For the MTL active fault system, the geometry of its deeper extension is poorly understood in Shikoku island. To reveal deeper geometry of fault surface, shallow to deep seismic reflection profiling was performed in Ehime and Tokushima Prefectures. This research was performed as a research program funded by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan.
Three seismic lines were deployed perpendicular to the MTL and major geologic boundaries. The length of seismic lines is 11 km (Saijo area, Ehime), 4.8 km (Wakimachi area, Tokushima) and 6.4 km (Awa area, Tokushima). To obtain a high-resolution seismic image of the shallow part of MTL, a 10-m spacing receiver array was formed using offline recorders. The seismic source was vibroseis trucks. The sweep signals (5-100 Hz for high resolution reflection profiling, 5-40 Hz for refraction profiling) were recorded 10 Hz vertical geophones. The seismic data were processed using conventional CMP-reflection methods. The high-energy shot gathers at Saijo seismic line clearly demonstrate the reflectors at 1.5, 2-3, 4 sec. (Two-way travel time). The reflectors from 2-3 s (TWT) are interpreted as northward dipping Sambagawa Metamorphic belt. The seismic sections portray the seismic image down to 2 km in Wakimachi and Awa area. The reflectors are interpreted as northward dipping Sambagawa Metamorphic belt. These structural characters found in the seismic section may show that the deeper extension of MTL shows northward dipping in Shikoku.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 S (固体地球科学)：S-CG 固体地球科学複合領域・一般

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_34

## [S-CG57] 日本列島の構造と進化: 島弧の形成から巨大地震サイクルまで

コンビーナ:佐藤 比呂志(東京大学地震研究所地震予知研究センター)、篠原 雅尚(東京大学地震研究所)、石川 正弘(横浜国立大学大学院環境情報研究院)、松原 誠(防災科学技術研究所)

日本列島は地質時代を通じて大陸と海洋の境界部に位置し、その地殻構造にはプレートの沈み込み運動、背弧海盆の形成、島弧-島弧の衝突など多様な造構運動が記録されている。近年の地殻構造探査技術の進展や自然地震観測は、詳細な地殻マントル構造を明らかにしつつある。このような地質時代を通じて形成された地殻-マントル構造は、断層の再活動やレオロジー特性を通じて、地震活動や地殻変動のような現在進行しているテクトニクスにも大きな影響を及ぼしている。構造を一つの軸として、様々な時間帯に及ぶ変形プロセスを総合的に議論することは、現在、日本列島で進行しているテクトニクスを理解する上で重要である。本セッションでは、地質学・地球物理学的な観測をはじめとして様々な手法によって得られた日本列島の地殻・マントル構造を基軸として、地殻構造とレオロジー、地質構造の形成プロセス、変動地形から測地学帯域に及ぶ幅広い時間帯域のテクトニクスについて, 数値実験も含め総合的に議論する。

### [SCG57-P01] 地震探査による北海道南西沖・日本海盆～渡島半島沿岸部の島弧―背弧海盆域の地殻構造

*佐藤 壮[1]、野 徹雄[1]、小平 秀一[1]、三浦 誠一[1]、石山 達也[2]、佐藤 比呂志[2] (1.海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター、2.東京大学地震研究所)

### [SCG57-P02] Three-dimensional plate geometry model from the Nankai to the Ryukyu subduction zone

*仲西 理子[1]、高橋 努[1]、山本 揚二朗[1]、山下 幹也[1]、勝山 美奈子[1]、三浦 誠一[1]、高橋 成実[3,1]、鎌田 弘己[1]、小平 秀一[1]、金田 義行[2,1] (1.海洋研究開発機構、2.香川大学、3.防災科学技術研究所)

### [SCG57-P03] 下北半島，中新世泊層火山岩類の岩石化学　―微量元素組成およびSr-Nd-Hf-Pb同位体組成―

*相澤 正隆[1]、稲葉 充[2]、岡村 聡[3,4]、新城 竜一[5] (1.琉球大学　理工学研究科、2.GeoPuck Association、3.北海道教育大学、4.北海道土質試験協同組合、5.琉球大学　理学部)

### [SCG57-P04] Acceleration of oceanic plate following megathrust earthquakes

*Mohammad Yuzariyadi[1]、Kosuke Heki[1] (1.Hokkaido University)

### [SCG57-P05] 南海トラフ周辺海域の三次元速度構造

*勝山 美奈子[1]、仲西 理子[1]、新井 麗[1]、田中 恵介[1]、高橋 成実[2]、鎌田 弘己[1]、金田 義行[3] (1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.国立研究開発法人防災科学技術研究所、3.香川大学)

### [SCG57-P06] 2018年大阪府北部の地震および2018年北海道胆振東部地震地域の地震発生層深さ

*YANO Tomoko Elizabeth[1]、松原 誠[1] (1.防災科学技術研究所)

### [SCG57-P07] 中央構造線活断層系（愛媛・徳島地域）を横断する高分解能反射法地震探査

*加藤 直子[1]、石山 達也[1]、佐藤 比呂志[1]、越谷 信[2]、小池 太郎[3]、野田 克也[3] (1.東京大学地震研究所、2.岩手大学理工学部、3.株式会社ジオシス)

# 地震探査による北海道南西沖・日本海盆～渡島半島沿岸部の島弧ー背弧海盆域の地殻構造

# Crustal structure from the Japan Sea back-arc basin to the margin off SW Hokkaido deduced from the seismic survey

*佐藤 壮[1]、野 徹雄[1]、小平 秀一[1]、三浦 誠一[1]、石山 達也[2]、佐藤 比呂志[2]
*Takeshi Sato[1], Tetsuo No[1], Shuichi Kodaira[1], Seiichi Miura[1], Tatsuya Ishiyama[2], Hiroshi Sato[2]

1. 海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター、2. 東京大学地震研究所
1. Research and Development Center for Earthquake and Tsunami, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. ERI, Univ. of Tokyo

初期中新世に形成された背弧海盆である日本海の東縁から南縁にかけての縁辺域では，1983年日本海中部地震等のマグニチュード7を超す地震，またこれらの地震による津波が発生し，沿岸部を中心に大きな被害が発生している．またこの領域では，背弧拡大時に形成された正断層が現在の短縮変形によって逆断層として再活動（インバージョンテクトニクス）している断層（例えば，Sato, 1994，Okamura et al., 1995）や，地殻構造の境界域に発達している逆断層（No et al., 2014）が数多く分布している．縁辺域で発生する地震発生メカニズム等の理解のために必要な情報である地殻構造や断層分布等を明らかにするために、日本海背弧海盆域から縁辺域において，マルチチャンネル反射法地震（MCS）探査と海底地震計（OBS）を用いた地震探査（OBS探査）が実施されている（野・他, 2014，No et al., 2018）．その結果，青森沖から鳥取沖の縁辺域では，日本海背弧拡大の影響を受けた地殻構造と被害地震の震源断層を含む活断層や活褶曲の分布が対応し，背弧拡大プロセスと地震発生メカニズムが大きく関係していることがわかってきた（例えば、No et al., 2014、Sato et al., 2014）．

北海道南西沖の海域では，大きな被害を生じた1993年北海道南西沖地震(Mj7.8)が発生し，さらに，南北走向に西傾斜，東傾斜の断層面をもつ活断層が複雑に分布していることが推定されている（例えば、Okamura et al., 1995）．しかしながら，南西沖の背弧海盆域から沿岸域にかけての地殻構造スケールの探査が行われていないため，詳細な地殻構造，断層分布やその傾斜方向ついては不明である．詳細な地殻構造，および構造と断層分布等との関係を明らかにするために，「日本海地震・津波調査プロジェクト」の一環で，2018年4～5月に北海道南西沖の海域において，MCS探査とOBS探査を実施した．

OBS探査は北海道南西沖の奥尻海盆から南部奥尻海嶺，背弧海盆である日本海盆に至る長さ約243 kmの東西方向に，1993年北海道南西沖地震震源域を横断する測線にて実施した．本探査測線は，東京大学地震研究所が実施した陸域の地震探査と併せて海陸統合調査の一部となっている．OBS探査は最大容量7,800 cubic inchのエアガンアレーとOBS57台を用いた．OBS探査と同一測線で実施したMCS探査は，上記のエアガンアレーと長さ約5,800 mのマルチチャンネルストリーマケーブルを用いている（野・他，本学会）．得られたOBS記録，MCS記録ともに良好である．

暫定的な結果では，背弧海盆である日本海盆の地殻は薄く，海洋性地殻の特徴に類似している．地殻構造は海盆から南部奥尻海嶺，沿岸域にいくにしたがい変化し，特に海盆と南部奥尻海嶺の境界域において，地殻構造は大きく変化している．また南部奥尻海嶺の上部地殻の速度分布は朝鮮半島の大陸性上部地殻に対応するP波速度5.4～6.2 km/sの部分を持ち，日本海盆の速度分布と大きく異なっている．また南部奥尻海嶺から奥尻海盆のP波速度は不均質に分布している．

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Three-dimensional plate geometry model from the Nankai to the Ryukyu subduction zone

*仲西 理子[1]、高橋 努[1]、山本 揚二朗[1]、山下 幹也[1]、勝山 美奈子[1]、三浦 誠一[1]、高橋 成実[3,1]、鎌田 弘己[1]、小平 秀一[1]、金田 義行[2,1]
*Ayako Nakanishi[1], Tsutomu Takahashi[1], Yojiro Yamamoto[1], Mikiya Yamashita[1], Minako KATSUYAMA[1], Seiichi Miura[1], Narumi Takahashi[3,1], Hiromi Kamata[1], Shuichi Kodaira[1], Yoshiyuki Kaneda[2,1]

1. 海洋研究開発機構、2. 香川大学、3. 防災科学技術研究所
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Kagawa University, 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

Considering the large slip distribution of the 2004 Sumatra earthquake, possible coseismic rupture area of megathrust earthquakes from the Tokai to Ryukyu cannot be denied. Characteristics of occurrence of great earthquakes is also different between these neighboring subduction zones. Historically, megathrust earthquakes have been generated repeatedly along the Nankai Trough at intervals of approximately 100-200yrs (e.g. Ando, 1975).Along the Ryukyu Trench, although great earthquakes have occurred only twice over the last 300 years: the 1771 Yaeyama earthquakes and the 1911 earthquake off Kikai, recent studies of tsunami deposits indicated that the Ryukyu Islands have been periodically hit by large tsunamis with an interval of several hundred years [e.g. Ando et al., 2017]. Moreover, the coupling condition of the plate interface along the Ryukyu Trench is different from that of the Nankai Trough based on the seismic survey and observations [Arai et al. 2016]. They reported that the Ryukyu Trench is dominated by slow earthquakes at any depths and lacks a typical locked zone such as the Nankai Trough.
To understand relation between the structure around the subducting Philippine Sea plate and seismicity including slow earthquake phenomena, it is necessary to know the geometry and property of the plate boundary from the Nankai to the Ryukyu subduction zone. Three-dimensional plate geometry model will be also important for a precise estimate of the maximum range of the coseismic rupture zone of the Nankai megathrust earthquake. The model is also very useful to construct a new three-dimensional seismic velocity model of the Nankai Trough for depth conversion of interpreted active faults in time section of seismic reflection data [Katsuyama et al., 2019 JPGU].
Based on the result (three-dimensional plate geometry model of the Nankai Trough) from marine active and passive source seismic data [Nakanishi et al., 2018], three-dimensional plate geometry model from Nankai to Ryukyu subduction zone is tried to be constructed using the result of seismic studies around the Ryukyu Trench [Iwasaki et al, 1990; Kodaira et al., 1996; Arai et al., 2016, 2017; Nishizawa et al, 2017; Yamamoto et al., 2018].The model of Nakanishi et al. [2018] is also updated by using the result of deep seismic tomography off the Kii peninsula [Yamamoto et al., 2014, 2017].
In this presentation, a preliminary version of the combined three-dimensional model will be shown.
This study is part of 'Research project for compound disaster mitigation on the great earthquakes and tsunamis around the Nankai trough region' and the project 'Comprehensive evaluation of faults information on offshore Japan' funded by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan.

キーワード：沈み込むプレート、南海トラフ、琉球海溝
Keywords: subducting plate, Nankai Trough, Ryukyu Trench

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 下北半島，中新世泊層火山岩類の岩石化学　ー微量元素組成および Sr-Nd-Hf-Pb同位体組成ー
# Trace elements and Sr-Nd-Hf-Pb isotopic composition of Miocene Tomari volcanic rocks, Shimokita Peninsula, Aomori, NE Japan

*相澤 正隆[1]、稲葉 充[2]、岡村 聡[3,4]、新城 竜一[5]
*Masataka Aizawa[1], Mitsuru Inaba[2], Satoshi Okamura[3,4], Ryuichi Shinjo[5]

1. 琉球大学　理工学研究科、2. GeoPuck Association、3. 北海道教育大学、4. 北海道土質試験協同組合、5. 琉球大学　理学部
1. Graduate School of Engineering and Sience, University of Ryukyus, 2. GeoPuck Association, 3. Hokkaido Education University, 4. Hokkaido Soil Research Co-op., 5. Faculty of Science, University of Ryukyus

**はじめに**

中新世の東北日本弧火山フロントにあたる青森県下北半島の泊層火山岩類は，未分化ソレアイト質玄武岩がみられるなど（滝本，1986，岩鉱），日本海拡大を引き起こしたアセノスフェア湧昇流との関連が強く示唆される．本層は13～15 MaのK-Ar年代値を示し（Watanabe *et al.*, 1993, *J. Min. Petr. Geol.*），4つの火山活動ステージに区分されI期からIV期へ活動時代が新しくなる（周藤ほか，1988，地質雑）．本研究では，青森県むつ市において原子力規制庁により掘削されたボーリング試料（SN-010；掘止深度1484 m）を用いる．本コアは308.82 m以深に泊層火山岩がみられ，深度385 mで13.1～14.5 Maの微化石年代，および467 mで16.0 Ma，818 mで24.2 MaのU-Pb年代が得られている（原子力規制庁，2016）．

**泊層火山岩の岩相と産状**

本研究では，SN-010コアの8つの深度，および地表のI期，II期の泊層火山岩から試料を採取した．
＜563.48-563.70 m＞火山角礫岩
＜862.26-862.42 m＞溶岩
＜999.00-999.16 m＞火山礫凝灰岩
＜1003.20-1003.35 m＞溶岩
＜1197.86-1200.00 m＞火山礫凝灰岩
＜1246.40-1246.55 m＞火山礫凝灰岩
＜1335.87-1336.00 m＞火山礫凝灰岩
＜1482.00-1482.27 m＞火山礫凝灰岩
地表のI期火山岩は，赤色の火山円礫が層状構造を示す堆積層中にみられ，枕状溶岩の産状を示すことがある．II期火山岩は枕状溶岩・ハイアロクラスタイトを中心とする．

**地球化学的特徴**

コアの泊層火山岩類は，浅部コア（862.26 m以浅）と中部コア（999.00 mー1003.20 m）が中間K系列，深部コア（1197.86 m以深）が低K系列を示す．不適合元素濃度は浅～中部コアで高い傾向があり，特にLILEで顕著である．地表のI期・II期泊層火山岩は中間K系列を示し，不適合元素の傾向は浅～中部コアに類似する．N-MORB規格化パターンはいずれも高いLILE，Nb-Taの負異常，Pbの正異常がみられ，沈み込み帯における火成活動の特徴を示す．Sr-Nd同位体組成は，中～深部コアはやや枯渇した組成，浅部コアはやや肥沃な組成を示す．Pb同位体組成は層準ごとの明瞭な差異は見られず，いずれも東北日本弧の第四紀火山フロント火山岩の組成範囲にプロットされる．なお，発表ではHf同位体組成も報告する予定である．未分化ソレアイト質玄武岩は地表のII期火山岩に産出し，最も肥沃な同位体組成を示す（Hanyu *et al.*, 2006, *G*$^3$）．この未分化玄武岩を含む地表の火山岩と浅～中部コアは，深部コアに比べてより高いBa/Nbを有する．

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

**日本海拡大イベントとの関係**

SN-010コアの年代値は，泊層の活動が後期漸新世～前期中新世には既に開始していたことを示唆する．全岩化学組成は563.48 mの試料と地表の泊層I期火山岩が類似することから，本コア上部が泊層I期に対比される可能性がある（相澤ほか，2018，地質学会）．

未分化玄武岩の肥沃な同位体組成は，下部地殻の混染では高いMgO，Cr，Ni含有量を説明できない．また浅～中部コアと未分化玄武岩の高Ba/Nbと，中～深部コアの高$^{143}Nd/^{144}Nd$の枯渇組成から，深部コアの火山岩はDMM寄りの同位体組成のマントルの部分融解により生じ，中部コアは同様のマントルで沈み込み流体による汚染の程度がより高かった（高Ba/Nb）可能性がある．その後，浅部コアと地表のI期，II期火山岩は，やや肥沃な組成のリソスフェアマントル（EM IIに似た同位体組成）が部分融解したメルトに由来したと考えられる．

深部コアの1482.00 mと1335.87 mに赤色の火山礫，中部コアの999.00 mに基質が赤色の火山礫凝灰岩が産出し，これらの産状は陸域環境での火山活動を示唆する．浅部コアでは定置環境を判別できる証拠は見られないが，地表のI期火山岩は層状構造を示す堆積層中に赤色の火山円礫や枕状溶岩がみられ，II期火山岩は枕状溶岩やハイアロクラスタイトを中心とすることから，後期漸新世～中期中新世にかけてのリフティングにともなって，火山活動の定置環境が変化していったと考えられる．リソスフェアのリフティングがアセノスフェアの貫入により引き起こされているとすれば，マグマが枯渇的な組成から肥沃な組成に移行する地球化学的特徴は，高温のアセノスフェア湧昇流により部分融解深度が変化していることを示唆している可能性がある．

キーワード：中新世、火山フロント、日本海、背弧海盆、泊火山岩
Keywords: Miocene, Volcanic front, Japan Sea, Back-arc basin, Tomari volcanic rocks

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Acceleration of oceanic plate following megathrust earthquakes

*Mohammad Yuzariyadi[1], Kosuke Heki[1]

1. Hokkaido University

Accelerated subduction of tectonic plates following megathrust earthquakes was proposed by D. Anderson (1975, Science). Heki and Mitsui (2013 EPSL) found postseismic enhancements of inter-plate coupling in the adjacent segments of the 2003 Tokachi-Oki and the 2011 Tohoku-Oki earthquakes. They hypothesized that these earthquakes caused accelerated subduction of the Pacific plate slab in addition to already-known postseismic processes such as afterslip and viscous relaxation. Melnick et al. (2017 GRL) found a similar enhancement of coupling to the north of the 2010 Maule earthquake rupture zone, and Loveless (2017 GRL) considered this a common phenomenon after megathrust earthquakes and named it as the super-interseismic phase. Accelerated subduction occurs during a period after the earthquakes, but its duration and amount depend on the magnitude. Here we investigate how long and how much is the acceleration over the time period covering several years after the earthquakes. So far, we have been using data from GNSS stations on arcs near the segments adjacent to megathrust ruptures. In the present study, we use data from GNSS stations on the subducting oceanic plates and on a subducted continental plate.

We present GNSS velocity data from oceanic islands showing post-megathrust accelerations. They include the Marcus Island (1098), Japan, that showed significant acceleration following the Mw 9 2011-3-11 Tohoku-Oki Earthquake. The Cocos Island (COCO), Australia, seems to have been accelerated after the Mw 8.4 2007-9-12 Bengkulu earthquake, Southern Sumatra. The JRGN in the west coast tip of Chile was accelerated after the Mw 8.2 2014-4-1 Iquique Earthquake. We also found there was a certain velocity change in Christmas Island (XMIS), Australia, after the Mw 7.7 2006-7-17 South Java earthquake. All stations are located on the oceanic plate except JRGN that is located on the continental plate.

Marcus Island (1098) GNSS station showed a significant velocity change after the 2011 Tohoku-Oki Earthquake. The maximum transient acceleration occurred in the period 2-3 years following the earthquake with a maximum velocity change of 9.4 mm/yr. After 3.0 years, The acceleration has been decaying, and the original velocity resumed by now. Cocos Island (COCO) GNSS station shows that the maximum transient acceleration occurred between 0.75-1.5 years after the 2007 Bengkulu earthquake with a maximum change of 4.9 mm/yr. After 1.5 years, the acceleration has decayed and has been showing the velocity similar to the value before the earthquake since 4.5 years after the earthquake. Chile (JRGN) GNSS station shows that the transient acceleration reached the maximum in ~1 year after the 2014 Iquique earthquake with a maximum change of 4.7 mm/yr. The accelerated velocity decayed to the original value in 2.5 years after that. The acceleration of the Christmas Island (XMIS) GNSS station was 2.7 mm/yr and occurred in ~1.0 year after the 2006 South Java earthquake. The acceleration seems to have decayed in 2.5 years after the earthquake.

In general, we found that the transient acceleration of oceanic plate occurs shortly after a megathrust earthquake and continue over a certain period. Then it decays, and finally the velocity before earthquake recovers in a few years.

Keywords: megathrust earthquake, plate acceleration, Subduction

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 南海トラフ周辺海域の三次元速度構造
# 3D velocity model in the region of Nankai Trough

*勝山 美奈子[1]、仲西 理子[1]、新井 麗[1]、田中 恵介[1]、高橋 成実[2]、鎌田 弘己[1]、金田 義行[3]
*Minako KATSUYAMA[1], Ayako Nakanishi[1], Rei Arai[1], Shigeyoshi Tanaka[1], Narumi Takahashi[2], Hiromi Kamata[1], Yoshiyuki Kaneda[3]

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 国立研究開発法人防災科学技術研究所、3. 香川大学
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Kagawa University

This is a part of the project “Comprehensive evaluation of faults information on offshore Japan”, by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). The project consists of three themes, 1) Collecting seismic survey data and building a database of offshore faults, 2) Interpreting distribution of active faults using seismic data collected, and conducting the seismic re-processing by leading-edge seismic technology for the seismic data obtained in previous decades, 3) Building the fault models for a simulation of strong motion and tsunami disaster, based on the interpreted faults. Our purpose of this study is make a 3D velocity model in the Nankai Trough to provide with the support we needs to interpret faults.
The Nankai Trough, where the Philippine sea plate is subducting beneath the Eurasian plate. Some seamounts and ridges are subducted here.
3D velocity model was constructed by seismic data and ocean bottom seismometer(OBS) refraction survey data which were obtained by a various agencies and private companies. Horizons such as acoustic basment and unconformity were interpreted using reflection seismic sections. Conrad discontinuity and Mohorovicic discontinuity were interpreted on refraction surveys and consulted previous study. Layer structure and velocity model were created on these horizons.
We obtain a result that understands geological structure in Nankai Trough. So in this session, we will take a discussion concerning structural characteristic based on the 3D velocity model.

キーワード：3次元速度構造、南海トラフ、沈み込み帯
Keywords: 3D velocity model , Nankai Trough, subduction zone

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 2018年大阪府北部の地震および2018年北海道胆振東部地震地域の地震発生層深さ
# Depth of seismogenic layer at the 2018 North Osaka and the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake sites

*YANO Tomoko Elizabeth[1]、松原 誠[1]
*Tomoko Elizabeth Yano[1], Makoto MATSUBARA[1]

1. 防災科学技術研究所
1. National Research Institute of Earth Science and Disaster Prevention

**背景：**
活断層周辺の地震発生層を理解することは、その断層上で起こり得る地殻内地震の最大規模を予測する上で重要である。地震発生層の深さはまた、地殻のレオロジーにも関連するため、脆性領域の深さも示している。D95 (あるグリッド内で発生した地震を地表から数えた個数が全地震の95%となるまでの深さ) は、過去の微小地震活動から求めることができる。この研究の目的は、D95が地震発生層の深部限界を示す指標となっているかどうかを検証することであり、2018年大阪府北部の地震と2018年北海道胆振東部地震が発生する前の段階で、本震前の微小地震活動から地震発生層の下限を予測できたかどうかを調べた。

**データ・手法：**
D95は各本震前の地震活動から計算される。本研究ではDD法により震源再決定されたJUICEカタログ（2001-2012）のイベントカタログを使用した。 JUICEカタログに掲載されているM1.5以上のイベントから、0.02°間隔の格子点ごとにD95を計算した。格子点から0.1°の範囲内にあるイベントの総数が50個以上となる格子のみを対象とした。

また、地下の温度データから推定された摂氏250度、300度、および450度の深度と地震の深さとの対応を確認した。地表から深さ約300 mまで、および深さ約1000 mまでの温度プロファイルを含むデータセットを使用して、地殻内温度が250、300、450度に達する深さ(D250deg、D300deg、D450deg) を計算した。

**結果：**
2018年大阪府北部の地震では、再決定された本震の震源は深さ13.7 kmであるのに対し、再決定した余震は主に深さ8～14 kmに分布する。余震域のD95は深さ13 kmから14 kmの間と計算された。 また、D250degからD450degまでの範囲は深さ10 kmから24 kmであり、 D300degは約13kmだった。

2018年北海道胆振東部地震では、本震の再決定震源の深さは35.9 kmであるのに対し、再決定された余震は、主に深さ25～50 kmの範囲に分布する。 D95はおよそ25 kmと推定され、D250degからD400degまでの範囲は深さ10 kmから34 kmと推定された。

**議論・結論：**
2018年大阪府北部の地震については、D95を地震発生層の下限とすることと、本震と余震の分布に矛盾はなかった。一方で、2018年北海道胆振東部地震のD95は、実際の震源分布と整合していない。D95は本震よりも約10 km浅く、最も深い余震に比べ約25 km浅かった。本研究では、本震の西側に位置する石狩低地東縁断層帯の地震活動を用いてD95を算出した。そのため、このD95は石狩低地東縁断層帯の地震発生層の下限を示したものであり、2018年北海道胆振東部地震の断層そのものを反映したものではないことが、本震－余震の分布とD95における矛盾の原因と考えられる。

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

キーワード：地震発生層、大阪府北部、北海道胆振東部、地震、地殻熱流量
Keywords: seismogenic depth, North Osaka, Hokkaido Eastern Iburi, Earthquake, heat flow

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 中央構造線活断層系（愛媛・徳島地域）を横断する高分解能反射法地震探査

# Seismic reflection profiling across the Median Tectonic Line (MTL) active fault system in Ehime and Tokushima Prefectures

*加藤 直子[1]、石山 達也[1]、佐藤 比呂志[1]、越谷 信[2]、小池 太郎[3]、野田 克也[3]
*Naoko Kato[1], Tatsuya Ishiyama[1], Hiroshi Sato[1], Shin Koshiya[2], Taro Koike[3], Katsuya Noda[3]

1. 東京大学地震研究所、2. 岩手大学理工学部、3. 株式会社ジオシス
1. Earthquake Research Institute,University of Tokyo, 2. Faculty of science and engineering, Iwate University, 3. Geosys, Inc.

The Median Tectonic Line (MTL) is the most significant inland fault in SW Japan, which extends more than 1000 km and divides SW Japan into the inner and outer zone. The western part of the MTL shows late Quaternary right-lateral strike-slip movements at several mm/y (eg. Tsutsumi and Okada, 1996). According to the seismic reflection profile, northward gently dipping character of the Median Tectonic Line has already been suggested in the eastern Shikoku (Ito et al., 1996) and eastern Kyushu (Yusa et al., 1992). For the deeper extension of MTL, north-dipping geometry was obtained by low-fold seismic reflection images in Shikoku island (Kawamura et al., 2003; Sato et al., 2005). For the MTL active fault system, the geometry of its deeper extension is poorly understood in Shikoku island. To reveal deeper geometry of fault surface, shallow to deep seismic reflection profiling was performed in Ehime and Tokushima Prefectures. This research was performed as a research program funded by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan.
Three seismic lines were deployed perpendicular to the MTL and major geologic boundaries. The length of seismic lines is 11 km (Saijo area, Ehime), 4.8 km (Wakimachi area, Tokushima) and 6.4 km (Awa area, Tokushima). To obtain a high-resolution seismic image of the shallow part of MTL, a 10-m spacing receiver array was formed using offline recorders. The seismic source was vibroseis trucks. The sweep signals (5-100 Hz for high resolution reflection profiling, 5-40 Hz for refraction profiling) were recorded 10 Hz vertical geophones. The seismic data were processed using conventional CMP-reflection methods. The high-energy shot gathers at Saijo seismic line clearly demonstrate the reflectors at 1.5, 2-3, 4 sec. (Two-way travel time). The reflectors from 2-3 s (TWT) are interpreted as northward dipping Sambagawa Metamorphic belt. The seismic sections portray the seismic image down to 2 km in Wakimachi and Awa area. The reflectors are interpreted as northward dipping Sambagawa Metamorphic belt. These structural characters found in the seismic section may show that the deeper extension of MTL shows northward dipping in Shikoku.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 B (地球生命科学)：B-CG 地球生命科学複合領域・一般

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_21

## [B-CG07] 地球史解読：冥王代から現代まで

コンビーナ:小宮 剛(東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻)、加藤 泰浩(東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻)、鈴木 勝彦(国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター)

冥王代から現代まで地球史46億年を通じての地球の進化や地質学的プロセスについて，フィール<br/>ド調査，化学分析，実験，理論計算などの様々なアプローチから研究した最新の成果を集約し，<br/>地球深部の進化と表層の環境変動や生命の発生・進化との因果関係・相互作用などを総括的に議<br/>論する．惑星科学，地質学，テクトニクス，火成岩・変成岩岩石学，層位・古生物学，進化学，<br/>環境学，地球化学など関連する幅広い話題を歓迎する．

[BCG07-P01] カナダ北東部初期大古代ヌブアギツック表成岩帯の地質:堆積岩の原岩と年代の再検討

*小宮 剛[1]、山本 伸次[2]、上原 啓幹[1]、吉田 聡[1]、村上 葵[1]、石原 湧樹[1] (1.東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻、2.横浜国立大学大学院環境情報研究院)

[BCG07-P02] Behavior of phosphorus during hydrothermal alteration of basalt under $CO_2$-rich condition

*村上 葵[1]、澤木 佑介[2]、上田 修裕[3]、折橋 裕二[4]、町田 嗣樹[5]、小宮 剛[2] (1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2.東京大学大学院総合文化研究科、3.東京工業大学理学院地球惑星科学系、4.弘前大学理工学部地球環境防災学科、5.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター)

[BCG07-P03] 西グリーンランド南部アクレックテレーンに産するクロミタイトの成因

*高橋 歓太[1]、森下 知晃[1]、グオタナ ジュアン ミゲル[1]、谷 健一郎[2]、針金 由美子[3]、西尾 郁也[1]、ジラス クリストファー[4]、田村 明弘[1] (1.金沢大学、2.国立科学博物館地学研究部、3.産業技術総合研究所、4.コペンハーゲン大学)

[BCG07-P04] Metamorphic P–T condition of the Inyoni shear zone rocks in the Barberton Greenstone Belt, South Africa and its significance

*加藤 大地[1]、青木 一勝[1]、土屋 裕太[2]、青木 翔吾[2]、小宮 剛[3] (1.岡山理科大学理学部、2.岡山理科大学生物地球学部、3.東京大学大学院総合文化研究科)

[BCG07-P05] Discovery of possible traces of asteroid impact within the fossil-bearing carbonaceous chert from the 3.4 Ga Strelley Pool Formation, Pilbara Craton of Western Australia - a preliminary study

*杉谷 健一郎[1]、仙田 量子[3]、飯塚 毅[2]、Wallis Simon[2] (1.名古屋大学、2.東京大学、3.九州大学)

[BCG07-P06] 原生代前期ストロマトライトの縞状構造における高分解能解析：安定同位体比と化学組成分析

宮西 勇太[1]、高村 一希[1]、*勝田 長貴[1]、森本 真紀[1]、安田 敦[2]、川上 紳一[3] (1.岐阜大学教育学部、2.東京大学地震研究所、3.岐阜聖徳学園大学)

[BCG07-P07] 物質循環モデルによって制約された大酸化イベントに伴う物質循環動態

*三浦 優奈[1]、尾崎 和海[1] (1.東邦大学)

[BCG07-P08] 後期トニア紀のマグネサイトから想定される全球凍結前の海水組成

*宮崎 彩[1]、狩野 彰宏[1]、白石 史人[2] (1.東京大学　理学系研究科　地球惑星科学専攻、2.広島大学　地球惑星システム学専攻)

[BCG07-P09] 独立成分分析により抽出された日本列島付加体中ペルム紀-トリアス紀境界黒色頁岩の地球化学的特徴

*矢野 萌生[1]、安川 和孝[1,3]、藤永 公一郎[3,2]、中村 謙太郎[1]、加藤 泰浩[2,1,3] (1.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2.東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター、3.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター)

---

[BCG07-P10] オーストラリア・アジアテクタイトイベント起源のイジェクタ堆積物の分布：衝突地点への示唆

*多田 賢弘[1]、多田 隆治[1,2]、Carling Paul[3]、Songtham Wickanet[4]、Thuyen Xuan[5]、常 昱、田近 英一[1] (1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2.雲南大学、3.サウサンプトン大学、4.ナコンラチャシマラジャハト大学、5.ホーチミン市工科大学)

---

[BCG07-P11] 新原生代変火山岩類からなるエジプト・中部東砂漠のエル・ダバー地域の層序/地質構造の復元

*清川 昌一[1]、鈴木 大志[1]、Maher Dawoud[3]、Mohamed El-Hasan[3]、堀江 憲路[2]、竹原 真美[2] (1.九州大学大学院理学研究院地球惑星部門、2.国立極地研究所、3.Menoufiya University,)

# カナダ北東部初期大古代ヌブアギツック表成岩帯の地質:堆積岩の原岩と年代の再検討

# Geology of the Eoarchean Nuvvuagittuq supracrustal belt, northeastern Canada: Reappraisal of Protoliths and ages of the sedimentary rocks

*小宮 剛[1]、山本 伸次[2]、上原 啓幹[1]、吉田 聡[1]、村上 葵[1]、石原 湧樹[1]
*Tsuyoshi Komiya[1], Shinji Yamamoto[2], Hiroki Uehara[1], Yoshida Satoshi[1], Aoi Murakami[1], Yuki Ishihara[1]

1. 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻、2. 横浜国立大学大学院環境情報研究院
1. Department of Earth Science & Astronomy Graduate School of Arts and Sciences The University of Tokyo, 2. Graduate School of Environment and Information Sciences, Yohohama National University

The Nuvvuagittuq supracrustal belt in the northeastern Canada is one of the oldest supracrustal rocks in the world, thus the geological, petrological and geochemical study allows us to constrain the evolution of surface environment and sold earth in the early earth. The belt consists of ultramafic rocks, coarse-graind and fine-grained greenstone, banded iron formation (BIF), siliceous rock, carbonate rock, and conglomerate. The ultramafic rocks and coarse-grained greenstone are considered as ultramafic and grabbroic intrusions, respectively. The fine-grained greensone is classified into three types based on the petrography: cummingtonite-bearing amphibolite (faux-amphibolite), hornblende-bearing amphibolite (green-amphibolite) and actinolite-bearing greenschist. The greenschist occurs only in the southwestern area. The faux- and green-amphibolite are ubiquitously present over the belt. Moreover, O'Neil et al. (2011) classified the amphibolite into three types based on their $TiO_2$ contents and REE patterns. The BIF mainly occurs in three areas, and has different occurrence and petrography. The BIF in the northwestern area is accompanied with the ultramafic rocks, and comprises interlayering of magnetite and amphibole/serpentine/talc. The BIF in the southwestern area occurs together with fine-grained greenstone, and mainly contains hematite and quartz (jaspillite). Dodd et al. (2017) found possible biogenic fabric, formed by iron-oxiding bacteria in the jaspillite. The BIF in the southeastern part is interlayered with the faux-amphibolite, and occurs above the siliceous rock. It mainly comporises magnetite and quartz.
The belt is intruded by some precursors of orthogneiss, whose igneous ages of *ca.* 3.8 Ga and constrain the minimum age of the belt. O'Neil et al. (2008, 2012) proposed that the igneous age of the fine-grained amphibolite is *ca.* 4.38 Ga based on a putative $^{147}Sm/^{144}Nd$-$^{142}Nd/^{144}Nd$ isochron age. On the other hand, Cates et al. (2013) proposed that a felsic layer within the faux-amphibolite originates from a clastic felsic sedimentary rock, and the maximum age of the belt is *ca.* 3.78 Ga based on ages of the zircons. David et al. (2009) interpreted a felsic layer as a volcanosedimentary rock, and proposed that the supracrustal rock was formd at 3817 Ma based on the ages of zircons.
We made a quite detailed geological map using a drone, which enables easily to trace even tens centimeter layers and intrusions. Many tens centimeter thick intrusions with an intermediate composition are present in the faux-amphibolite, whereas no intrusions are apparently found in the green-amphibolite. The distribution of the two types of amphibolite corresponds to that of three geochemical types of greenstone proposed by O'Neil et al. (2011), suggesting that the geochemical signature is due to secondary alteration. In addition, the apparent isochron on the $^{147}Sm/^{144}Nd$-$^{142}Nd/^{144}Nd$ diagram possibly originates from mixing between the mafic/ultramafic component and secondary intermediate

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

component. O'Neil et al. (2008) proposed that the Nd isochron age of gabbroic dikes is 4.3 Ga. But, the gabboric dikes are younger than 3.8 Ga, and the isochron is putative because our map clearly shows that some thin gabbroic dikes are intruded into ambient orthogneiss, whose age is *ca.* 3.8 Ga. We found many conglomerate layers over the belt, but the layers finally change felsic intrusions. The occurrence means that they are putative conglomerate. In addition, the carbonate rocks occur along the felsic intrusions, suggesting they also have metasomatic origin. The petrograhy and occurrence of the BIF in the northwestern area indicate that the BIF was formed from metamorphism of the ultramafic rock. The siliceous rock is intruded by many felsic intrusions and quartz veins, but the detailed map can differentiate between the siliceous layers and intrusions, and shows that the siliceous layers originate from siliceous sediment.

キーワード：冥王代、初期地球、初期生命、表層環境
Keywords: Hadean, Early Earth, Early life, Surface environment

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Behavior of phosphorus during hydrothermal alteration of basalt under $CO_2$-rich condition

*村上 葵[1]、澤木 佑介[2]、上田 修裕[3]、折橋 裕二[4]、町田 嗣樹[5]、小宮 剛[2]
*Aoi Murakami[1], Yusuke Sawaki[2], Hisahiro Ueda[3], Yuji Orihashi[4], Shiki Machida[5], Tsuyoshi Komiya[2]

1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 東京大学大学院総合文化研究科、3. 東京工業大学理学院地球惑星科学系、4. 弘前大学理工学部地球環境防災学科、5. 千葉工業大学次世代海洋資源研究センター
1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2. The University of Tokyo, 3. Tokyo Institute of Technology, 4. Hirosaki University, 5. Chiba Institute of Technology

It is well known that a unique environment is created around seafloor hydrothermal systems by element exchange between circulating seawater and surrounding rocks: enrichment in transition elements and sulfide, emission of quite hot water, and even even electric current flow. In addition, a number of hyperthermophilic microorganisms inhabit around hydrothermal vents. 16S rRNA-based phylogenetic tree suggests that the hyperthermophilic organisms are closest to the earliest lineage; thus the hydrothermal environment is one of the candidates for habitat and evolution of early life.

Phosphorus is one of essential elements for life. In order to maintain an early ecosystem around the hydrothermal vent, phosphorus should have been supplied from the hydrothermal vent through high-temperature water-rock reaction. In the modern basalt-hosted hydrothermal systems, phosphorus is removed due to its adsorption to iron oxide precipitated from hydrothermal fluid and/or formation of metamorphic apatite in the hydrothermally metamorphosed basalt. On the other hand, it is well known that middle Archean basaltic rocks, which constituted upper part of oceanic crust, suffered from severe carbonation during hydrothermal alteration due to quite high atmospheric $CO_2$ content on the early Earth. Under the $CO_2$-rich condition, calcium was removed from the seawater/hydrothermal fluid due to extensive carbonate formation. Because the carbonate formation inhibits the formation of apatite, the phosphorus might be released from hydrothermally altered rocks. Actually, the hydrothermally altered basaltic rocks in the Archean are more depleted in phosphorus than hydrothermally altered modern mid-ocean ridge basalt.

In order to quantify phosphorus content of fluid supplied from the basalt-hosted hydrothermal system on the early Earth, we conducted hydrothermal experiments involving hypothetical seawater and basalt under both $CO_2$-free and $CO_2$-rich conditions at 200 ˚C, 100 bars. The basalt used in this study was collected from the Indian Ocean Marie Celeste Fracture Zone. The initial solution was prepared by mixture of standard reagents by reference to modern seawater, except for Ca and P. The calcium and phosphorus contents in the solution were regulated to 30 mmol/kg and 0.60 ppm, respectively. The latter is ten times higher than the modern equivalent. For the $CO_2$-rich experiment, $NaHCO_3$ and HCl were added to the hypothetic seawater to substantialize 400 mmol/kg of $\Sigma CO_2$ at the beginning of the experiment.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

The $CO_2$ concentration decreased from 400 mmol/kg to 250 mmol/kg as water-rock reaction advanced, indicating precipitation of carbonate minerals. The SEM-EDS observation demonstrated that the run products contain calcite, dolomite, and magnesite. Phosphorus content of the fluid decreased to *ca.* 0.10 ppm under the $CO_2$-rich condition and *ca.* 0.04 ppm under the $CO_2$-free condition, respectively. The pH value of the produced fluid for the $CO_2$-rich experiment, measured at room temperature, was 6.6, by *ca.* 2 unit higher than that of the $CO_2$-free experiment. Calcium concentration decreased from 30 mmol/kg to 25 mmol/kg under the $CO_2$-free condition. On the other hand, calcium concentration of the formed fluid under the $CO_2$-rich condition decreased to 18 mmol/kg at 96 hours, and then increased to 25 mmol/kg. The formation of high alkaline and Ca-poor fluid under the $CO_2$-rich condition suggests that the fluid was oversaturated with carbonate, whereas undersaturated with apatite. Because the produced fluid under the $CO_2$-rich condition contained more phosphorus than the modern seawater, the basalt-hosted hydrothermal system may have served as a source of phosphorus under the $CO_2$-rich condition, probably on the early earth.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 西グリーンランド南部アクレックテレーンに産するクロミタイトの成因
# Origin of chromitites in the Akulleq terrane, southern West Greenland

*高橋 歓太[1]、森下 知晃[1]、グオタナ ジュアン ミゲル[1]、谷 健一郎[2]、針金 由美子[3]、西尾 郁也[1]、ジラス クリストファー[4]、田村 明弘[1]
*Kanta Takahashi[1], Tomoaki Morishita[1], Juan Miguel Ramirez Guotana[1], Kenichiro Tani[2], Yumiko Harigane[3], Ikuya Nishio[1], Kristoffer Szilas[4], Akihiro Tamura[1]

1. 金沢大学、2. 国立科学博物館地学研究部、3. 産業技術総合研究所、4. コペンハーゲン大学
1. Kanazawa University, 2. Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science, 3. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 4. University of Copenhagen

The studies dealing with the Hadean-Archaean geologic samples are recently expanding. Research on Hadean-Archaean terranes is an important part in reconstructing the geologic past of the Earth which is thought to have differences from the present conditions. Southern West Greenland preserves a wide exposure of ancient geologic materials and structures. This study focuses on chromitites and peridotites from the Ujaragssuit nunāt area in southern West Greenland. The Ujaragssuit nunāt area is about 20 km south from the 3.8 Ga Isua Supracrustal Belt (Moorbath et al., 1977). In Ujaragssuit nunāt, ultramafic rocks occur as lenses of several meters to several hundred meters hosted in silicic gneiss (Chadwick and Crewe, 1986). It is important to understand the origin and processes related to the formation of the peridotites and chromitites in Ujaragssuit nunāt as a contribution to the Archaean magmatic processes and tectonics of the early Earth.

Chromitites are rocks with significant amount of chromites (>20 vol.%) (Arai and Miura, 2016). The unaltered composition of spinel is regarded as a useful petrological indicator (Irvine, 1967). However, chromite composition could be modified as a result of chemical re-equilibration, metamorphism, hydrothermal alteration. The impacts of these processes are evaluated in this study. In Ujaragssuit nunāt, chromitites, dunites and amphibole harzburgites are widely exposed. In some areas, the chromitites occur as layers with thickness ranging from several centimeters to a meter. Massive chromitites (2 m thick) are also exposed. The lithologies present in the area were also described in detail in previous works such as of Rollinson et al. (2002).

Chromites are subhedral and account for about 50-70% of the Ujaragssuit nunāt chromitites. Interstitial grains are mainly phlogopite and minor chlorite and talc. The dunite host consists mainly of olivine (~80%) and accessory spinel and phlogopite. Some spinel grains in the host dunite exhibit zonation as evidenced by darker cores and lighter rims under reflected light microscope and scanning electron microscope observations. The zonation observed is associated with compositional variation from core to rim (Fe enrichment towards the rim). The amphibole harzburgites are mainly composed of amphibole, orthopyroxene, spinel, phlogopite. Orthopyroxenes occur both around olivine and in some parts as inclusions inside olivine grains. Talc replacement of orthopyroxenes is also common. Spinel are surrounded by phlogopite and edenitic amphibole.

Spinel in the host peridotites has a higher $Fe^{3+}$content. The spinel $Fe^{3+}$ content is higher in samples with higher phlogopite and spinel ratio. This suggests that phlogopite was formed by the reaction of spinel (+olivine) with an alkaline element-rich fluid. Spinel serves as a source of the $Al_2O_3$ in the phlogopite formation. It is considered that the chemical composition change of spinel is caused by the formation of

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

phlogopite. Furthermore, phlogopite in the sample containing amphiboles has lower K/(K+Na) ratio than samples without amphibole. Amphiboles are also found around the spinel. The K/(K+Na) ratio in the fluid decreases as the alkaline element-rich fluid forms phlogopite and amphibole was formed by the reaction between this differentiated fluid and spinel (+olivine). The abundance of orthopyroxene is higher in the sample containing amphiboles. The $Cr_2O_3$- and $Al_2O_3$- poor characteristic of the orthopyroxenes suggests a secondary origin. The differentiated fluid is also abundant in silica component and reacts with olivine to react to form the secondary orthopyroxenes. Although the possibility of crystal differentiation cannot be completely ruled out, it is thought that these peridotites were originally dunites and chromitites and the chemical composition was modified by alkali alteration.

キーワード：西グリーンランド南部、クロミタイト、交代作用
Keywords: southern West Greenland, chromitite, metasomatism

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Metamorphic P–T condition of the Inyoni shear zone rocks in the Barberton Greenstone Belt, South Africa and its significance

*加藤 大地[1]、青木 一勝[1]、土屋 裕太[2]、青木 翔吾[2]、小宮 剛[3]
*Daichi Kato[1], Kazumasa Aoki[1], Yuta Tsuchiya[2], Shogo Aoki[2], Tsuyoshi Komiya[3]

1. 岡山理科大学理学部、2. 岡山理科大学生物地球学部、3. 東京大学大学院総合文化研究科
1. Department of Applied Science,Okayama University of Science, 2. Department of Biosphere-Geosphere Science,Okayama University of Science, 3. Department of Earth Science and Astronomy,University of Tokyo

The metamorphic P–T conditions and processes of the mid-Archean Barberton Greenstone Belt (BGB), South Africa were examined from metamorphosed banded iron formation (BIF) and garnet amphibolite in the Inyoni shear zone (ISZ). Their metamorphic P–T conditions were estimated from thermodynamic calculations combined with several geothermobarometries such as garnet–clinopyroxene geothermometry, Raman geobarometry and Zr-in-sphene geothermometry. Moreover, in order to constrain the protolith age and origin of our studied sample, we conducted zircon U-Pb and trace elements analyses by using Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS).The following results were obtained: the P–T conditions of the meta-BIF changed from ca. 600–680 ˚C and 10–12.7 kbar through ca. 510–540 ˚C and 8–11 kbar to less than 500 ˚C and 4 kbar. On the other hand, the P–T conditions of the garnet amphibolite changed from ca. 9.5–10.5 kbar and 620–660˚C to less than 5 kbar and 500 ˚C. Integration of these new results with previous studies for the BGB suggest that the geothermal gradients of the prograde and retrograde metamorphisms were ca. 15–20 ˚C/km and 20–30 ˚C/km, respectively. Igneous zircon separated from the Garnet amphibolite sample yield $^{207}$Pb-$^{206}$Pb age of ca. 3.4-3.2 Ga. This new data together with previous geochronological data indicate that the protoliths of ISZ rocks began to subduct at ca. 3.37-3.24 Ga. The prograde P-T path was kinked at P = 8.0 kbar and T = 560 ℃ by difference in geothermal gradient between crust and upper mantle. The change of geothermal gradient in the ISZ rocks between prograde and retrograde conditions might have relation to the collision of ca. 3.4 Ga Stoluzburg domain. The last P-T trajectory characterized by isothermal decompression might be caused by the intrusion of the ca. 3.23-3.21 Ga TTG Badplaas pluton attendant on plate subduction.

キーワード：太古代、バーバートン緑色岩帯、プレートテクトニクス
Keywords: Archean, Barberton greenstone belt, Plate tectonics

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Discovery of possible traces of asteroid impact within the fossil-bearing carbonaceous chert from the 3.4 Ga Strelley Pool Formation, Pilbara Craton of Western Australia - a preliminary study

*杉谷 健一郎[1]、仙田 量子[3]、飯塚 毅[2]、Wallis Simon[2]
*Kenichirio Sugitani[1], Ryoko Senda[3], Tsuyoshi Iizuka[2], Simon Wallis[2]

1. 名古屋大学、2. 東京大学、3. 九州大学
1. Nagoya University, 2. The University of Tokyo, 3. Kyushu University

Large asteroid impacts are thought to be a common feature of the Archean in particular as a result of the Late Heavy Bombardment (LHB). One line of supporting evidence is the presence of “impact layers” containing silicate spherules that were formed by condensation of rocks vaporized by bombardment events. Two Early Archean impact layers with ages of 3.47 and 3.46 Ga have been identified from the Pilbara greenstone belt, Western Australia (Glikson et al., 2016; Lowe and Byerly, 1986). In contrast 5 separate impact layers with ages of 3.47 to 3.24 Ga have been identified in the Barberton greenstone belt, South Africa (e.g., Lowe et al., 2014; Byerly et al., 2002). Such extraterrestrial impacts likely influenced the Earth’s early environment, including crustal deformation, terrain amalgamation, evaporation of significant volumes of ocean water, and even triggering the development of a modern-like plate tectonic regime (Lowe et al, 2014). It is also reasonable to assume that the early life was influenced significantly by these impacts (Lowe et al., 2003). The early evolution of life might have been accelerated as a consequence of adaptation to such environmental agitations (Kozawa et al., 2018; Oehler et al., 2017). Thus, a close association of traces of life, such as microfossils with cellular preservation, and of impact events recorded in Archean sedimentary successions is of special interest.

In this study we describe the new discovery of traces of asteroid impacts in the ca. 3.4 Ga Strelley Pool Formation (SPF) in the Panorama greenstone belt of the Pilbara Craton, Western Australia. Spherules of possible impact origin were identified in carbonaceous black chert 15 cm thick from which morphologically diverse microfossils have been described (e.g., Sugitani et al., 2013) (Fig. 1). Evidence for an asteroid impact includes the presence of a thin sedimentary layer rich in silicate spherules (Fig. 2) associated with enrichment of platinum-group elements (PGE) (Fig. 3a). However, our detailed analyses revealed that PGE-enrichment is more conspicuous in the lower horizon and are associated with $^{178}Os/^{188}$Os initial values close to 0.1. In contrast, spherule-rich layers have significantly higher $^{178}Os/^{188}Os$ values ~1.0 (Fig. 3b). One exception is a sample from the upper portion, which has an unusually low value. It is also noteworthy that the spherule-rich layer is enriched in Al and Ti (Fig. 3c). There is a clear higher contribution by clastic materials to this layer, and this feature may explain the apparent contradiction between the PGE-enrichment and Os isotopic values described above. In either case, the layer contains abundant volcanic fragments and clasts in which spherules tend to occur. This occurrence suggests that the spherules were likely reworked from the original site of deposition. A layer composed of carbonaceous grains including rip-up clasts that is found just below the spherule-rich layer (Fig. 1) indicates a steep high-energy depositional environment. This layer contrasts with the fine parallel lamination of carbonaceous chert layers seen at the other horizons, which indicates a quiet depositional environment. We infer that the original impact layer is present below the examined carbonaceous black chert layer and that a high-energy environment related to volcanic activity caused reworking of the spherule-rich deposits, which were transported to the present site of deposition. If this is the case, the high PGE concentrations and the significantly low $^{187}Os/^{188}Os$ initial ratios of the lower cherty samples could be

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

explained as representing the aftermath of an impact event associated with precipitation of vaporized PGE from the atmosphere to the sediment.

*References*

Byerly et al. (2002) Science 297, 1325-1327; Glikson et al. (2016) Precam. Res. 279: 103-122; Kozawa et al. (2018) *Geobiology* DOI: 10.1111/gbi12319; Lowe et al. (2014) Geology 42: 747-750; Lowe et al. (2003) Astrobiology 3: 7-48; Lowe and Byerly (1986) Geology 14, 83-86; Oehler et al. (2017) Precambrian Research 296, 112-119; Sugitani et al. (2015) Geobiology 13, 507-521.

キーワード：太古代、微化石、小惑星衝突、白金族元素、オスミウム同位体「
Keywords: Archean, microfossils, asteroid impact, platinum group elements, osmium isotope

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Fig. 1

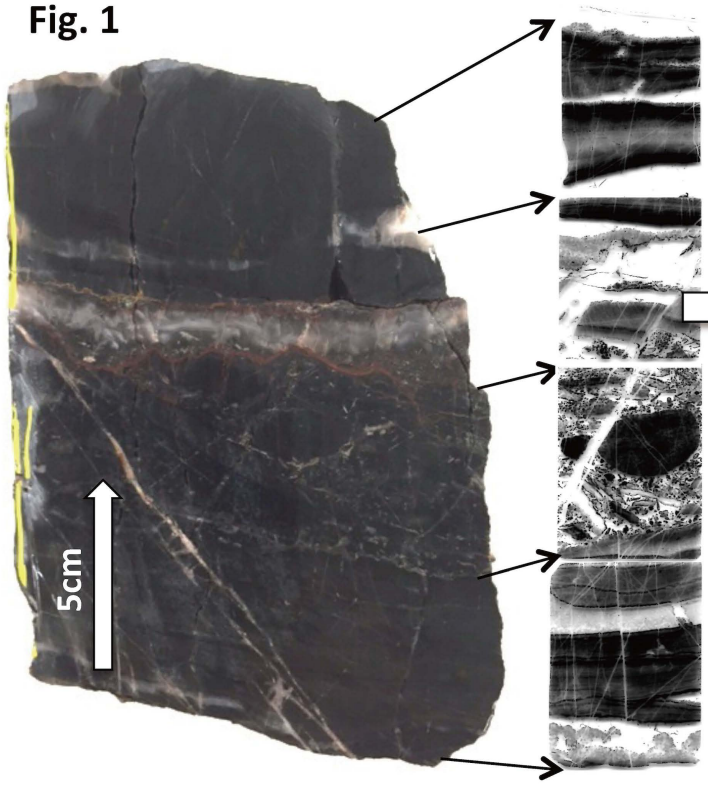
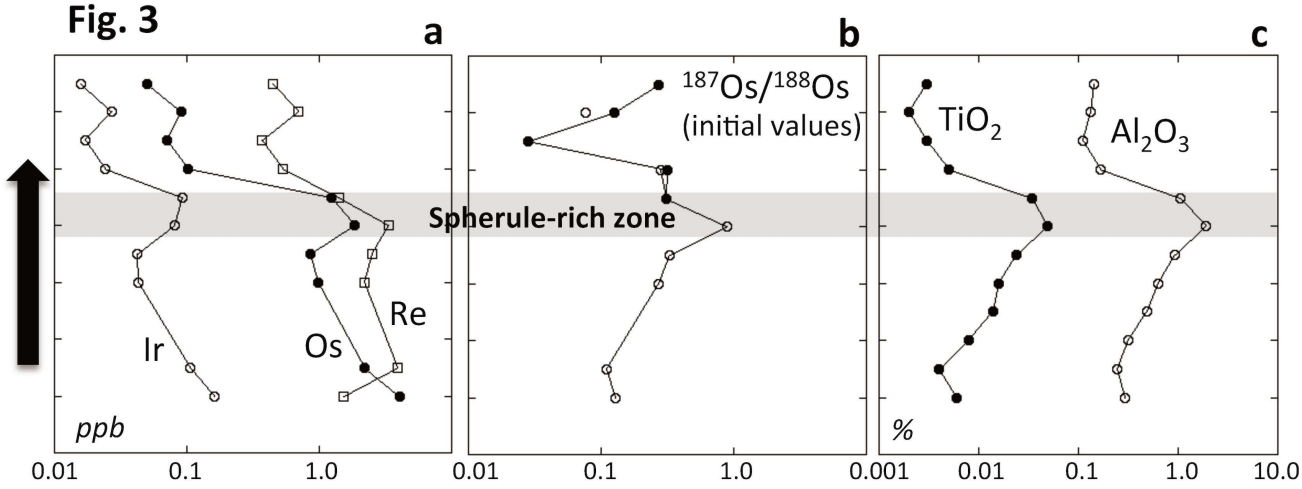



Fig. 2




Fig. 3




©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved.

# 原生代前期ストロマトライトの縞状構造における高分解能解析：安定同位体比と化学組成分析

# High-resolution stable isotopes and chemical analyses on laminations of the early Proterozoic stromatolite

宮西 勇太[1]、高村 一希[1]、*勝田 長貴[1]、森本 真紀[1]、安田 敦[2]、川上 紳一[3]
Yuta Miyanishi[1], Kazuki Takamura[1], *Nagayoshi Katsuta[1], Maki Morimoto[1], ATSUSHI YASUDA[2], Shin-ichi Kawakami[3]

1. 岐阜大学教育学部、2. 東京大学地震研究所、3. 岐阜聖徳学園大学
1. Faculty of Education, Gifu University, 2. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 3. Faculty of Education, Gifu Shotoku Gakuen University

今日ストロマトライトと呼ばれる先カンブリア時代の堆積岩は、縞状構造の発達したドーム状の炭酸塩岩であり、初期地球の生命進化と環境変動を知る上で重要な物証とされている。本研究は、ストロマトライトの縞状構造に記録される環境変動を明らかにするために、高分解能の炭素・酸素同位体比（$\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$）と化学組成分析を行った。

解析に用いた試料は北西カナダの原生代初期（1.9 Ga）・ハーン累層のストロマトライトである。このストロマトライトは、緩斜面と急斜面からなる非対称のドーム状縞状構造を持ち、縞状構造は薄い暗色縞と厚い明色縞が繰り返される。斜面と急斜面の縞の厚さは、ほぼ同一のリズムを持つ。暗色縞と明色縞の1組の厚さは約300 μm~約800 μmの間で変動し、その厚さの変動は明色縞の厚さに起因している。本研究は、そこから記録を読み出すために、同一試料の試料を用いて、次のように分析を行った。まず、炭素・酸素同位体比分析については、マイクロミルを用いて75 μmごとに試料採取を行った。その際に、マイクロミルの1点だけでは、分析に必要な試料量を回収できないため、縞模様に沿って分析に必要な約60 μg以上を取り分けた。その後、リン酸を用いて、炭酸塩前処理装置付き同位体比量分析計で炭酸塩$\delta^{13}C$·$\delta^{18}O$の測定が行われた。化学組成分析は、ダイアモンドペーストで表面研磨した試料を準備し、EPMAを用いて点分析と元素マッピングが行われた。測定条件は、ビーム径とステップ幅は共に10 μmとなる。

縞状構造の構成元素は、暗色縞がAl, Si, K、明色層がCa, Mg, Feに富み、構成鉱物は暗色縞が石英、カリ長石、雲母、ドロマイト、明色縞がFeドロマイトを主体とする。また、ルチル、磁鉄鉱、アパタイトが微量に含まれる。EPMA画像をもとに計測した、暗色縞と明色縞の1組の厚さの変動は、3~5枚の卓越周期を示す。一方、縞の炭酸塩の同位体比については、45本の縞の連続記録を得ることができ、明色層では$\delta^{13}C$が平均約-9.0‰、$\delta^{18}O$が平均約0.3‰、暗色層では$\delta^{13}C$が平均約-10.3‰、$\delta^{18}O$が約1.3‰であった。また、$\delta^{13}C$·$\delta^{18}O$変動の振幅は縞の厚さと共に増大する。

暗色層に比べて明色層の高$\delta^{13}C$値と低$\delta^{18}O$値は、水温上昇による蒸発作用で塩濃度が上昇し、ドロマイトの生成が促進されたことに起因する。したがって、ハーンストロマトライトの縞状構造は、明色層は夏季、暗色層は冬季にそれぞれ形成された年層とみなすことができる。また、$\delta^{13}C$·$\delta^{18}O$の年々変動は、夏季の水温と蒸発量を反映したものと考えられる。その変動はエルニーニョの3~5年周期を持つことから、原生代初期の浅海環境は、今日の地球表層環境で見られる同様の外力によって支配されてきたと考えることができる。

キーワード：ストロマトライト、縞状構造、安定同位体比、化学組成
Keywords: Stromatolite, Laminated structure, Stable isotope, Chemical composition

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 物質循環モデルによって制約された大酸化イベントに伴う物質循環動態
# Biogeochemical dynamics in during the Great Oxidation Event constrained by a biogeochemical cycle model

*三浦 優奈[1]、尾崎 和海[1]
*Yuna Miura[1], Kazumi Ozaki[1]

1. 東邦大学
1. Toho University

The accumulated geological and geochemical data indicate that Earth’s ocean-atmosphere system has seen a fundamental increase in oxygen abundances from anoxic conditions ($pO_2$ <$10^{-5}$ present atmospheric level (PAL)) to oxic conditions ($pO_2$ >$10^{-2}$ PAL) during the Paleoproterozoic. This marked transition, known as the ‘Great Oxidation Event (GOE)’, may be accompanied by a transient time of relatively high oxygen levels in the atmosphere and ocean (called an ‘oxygen overshoot’). However, the ultimate cause and biogeochemical consequences of the GOE remain unclear.
Harada et al. (2015) hypothesized the snowball Earth glaciation at 2.2 Ga as an ultimate cause of the GOE with a prolonged (~$10^8$ year) oxygen overshoot. Sedimentary record of iron and manganese oxides above the glacial deposit in the Transvaal Supergroup, South Africa, implies an oxygenation of Earth’s surface environments just after the glaciation. The red beds and sulfate evaporites (gypsum, $CaSO_4$) also suggest a sustained oxygenation of the Earth surface environment. They constructed a biogeochemical cycle model of carbon, phosphorous and oxygen, and conducted sensitivity experiments to assess the biogeochemical dynamics after the snowball Earth glaciation. By assuming an atmospheric $CO_2$ level of 0.7 atm required to end the snowball Earth glaciation, they found that an extremely warm climate accelerates chemical weathering on land and phosphorus riverine input. This marked increase in phosphorus input results in a dramatic increase in biospheric oxygen production, with an oxygen overshoot lasting for ~$10^8$ years. However, it remains unclear whether their calculations are consistent with available geological constraints (e.g., sulfate evaporite depositions and sulfur isotope data), because they ignore the geochemical cycle of sulfur. A recent geochemical study suggests that concentration of sulfate ([$SO_4^{2-}$]) in the ocean may have been unusually high (>10 mM) during the gypsum formation. If correct, this provides a strong constraint on the biogeochemical conditions.
In this study we constructed a sulfur cycle model with a goal of finding the feasible conditions for the geochemical constraint ([$SO_4^{2-}$] >10 mM). The model consists of three reservoirs—oceanic sulfate, crustal gypsum, and crustal pyrite. Sulfur enters the ocean through weathering of gypsum and pyrite. We assumed that the oxidative weathering of pyrite is a function of atmospheric $O_2$ levels and that the gypsum weathering is proportional to the global weathering rate. Sulfur is removed from the ocean via deposition of gypsum and pyrite. We assumed that sulfate burial in the ocean is proportional to seawater sulfate levels. Pyrite burial is assumed to be governed by microbial sulfate reduction dependent on marine sulfate content, biological production (i.e., the availability of organic matter), and oceanic $O_2$ levels. In this study, we performed a series of sensitivity experiment with a Harada et al.’s model, and obtained biogeochemical dynamics (e.g., atmospheric $O_2$ levels and weathering rates) were used as a forcing for our sulfur cycle model, enabling us to simulate the evolution of oceanic $SO_4^{2-}$ levels after the glaciation. Our sensitivity experiments of a Harada et al.’s model demonstrate that the biogeochemical dynamics after the glaciation depend mainly on the initial value of atmospheric $CO_2$ levels: >0.2 bar and >0.25 bar of $CO_2$ are required for the GOE and the occurrence of an oxygen overshoot, respectively. Our sulfur cycle model, however, demonstrates that 0.25 bar of $CO_2$ is not sufficient to explain the unusually high levels of

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

$[SO_4^{2-}]$ >10 mM during the overshoot. The systematic sensitivity experiments reveal that at least ~0.75 bar of $CO_2$ will be required. This result provides an additional support for the hypothesis that the severe glaciation was an ultimate cause of the GOE in the Paleoproterozoic.

キーワード：大酸化イベント、物質循環、硫黄循環
Keywords: Great Oxidation Event, biogeochemical cycle, sulfur cycle

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 後期トニア紀のマグネサイトから想定される全球凍結前の海水組成
# Composition of seawater before the Sturtian Snowball Earth estimated by the occurrence of late Tonian evaporitic magnesite

*宮崎 彩[1]、狩野 彰宏[1]、白石 史人[2]
*Aya Miyazaki[1], Akihiro Kano[1], Fumito Shiraishi[2]

1. 東京大学　理学系研究科　地球惑星科学専攻、2. 広島大学　地球惑星システム学専攻
1. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, 2. Department of Earth and Planetary Systen Sciences, Hiroshima University

藻類・原生動物・多細胞動物の放散が進行した新原生代は生命進化にとって重要な時代である。その背景には全球凍結のような激変があり，エディアカラ紀以降の環境変動と化石記録についての理解は大きく進みつつある。しかし，地球表層が全球凍結にいたるまでの環境的背景については良く理解されていない。

南オーストラリア州フリンダーズレンジには新原生代～カンブリア紀の浅海成堆積物が発達し，特にスターチアン氷期前後の優れた地層記録が保存される。今回対象とするのは北部のLeigh Creek (LC section) に露出するSkillogalee Dolomiteである。本層はスターチアン氷期堆積物の下位にあり，年代は788±7Ma (後期トニア紀) とされている (Hood and Wallace 2018)。岩相は少量のケイ質砕屑物を含むが，大半は炭酸塩からなり，層内レキ岩・ストロマトライト・tepee構造を含む極浅海での堆積物である。本層の最も顕著な特徴はマグネサイトを大量に含んでいることにある。マグネサイトは厚さ1m程度の層，もしくは層内レキ岩のクラストとして存在し，ドロマイトと共産する。Tepee構造などから蒸発性の環境が示され，マグネサイトのより高い炭素同位体比と酸素同位体比は，マグネサイトがドロマイトより後に沈殿したことを示唆する。ただし，ジプサムの仮像は認められない。

Skillogalee Dolomiteの鉱物組合せは原生代の限られた時期の蒸発性環境にしか認められない。一方，顕生代の蒸発環境ではCa炭酸塩とドロマイト，ジプサム，ハライトの順番に沈殿し，マグネサイトは生成しない (Hardie and Eugster 1980)。特異な鉱物組合わせ（ドロマイト–マグネサイト）を説明するために，海水の連続的蒸発で予想される鉱物沈殿のモデル計算を行ったところ，Mg/Ca > 10かつMg > Alkalinity > Caの条件に解が得られた。硫酸濃度は現在のレベルでも結果に関係しない。アルカリ度は現在の10倍以上になり，高い二酸化炭素分圧か低いCa濃度を反映したものと考えられる。また，高いMg/Ca比の原因として，低い中央海嶺での海水循環と活発な炭酸塩堆積に加え，800Ma頃のジプサムを含む蒸発岩生成 (Evans 2006) によるCaの枯渇が考えられる。海水のpHが炭酸カルシウムの溶解平衡に支配されているのであれば，Ca濃度の極端な低下が海水のpH上昇を促し，大気二酸化炭素の低下につながったのかもしれない。

Evans 2006, Nature 444, 51-55.
Hardie and Eugster 1980, Science 208, 498-500.
Hood and Wallace 2018. Global and Planetary Change 160, 28-45.

キーワード：新原生代、蒸発岩、海水成分
Keywords: Neoproterozoic, evaporite, seawater chemistry

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 独立成分分析により抽出された日本列島付加体中ペルム紀-トリアス紀境界黒色頁岩の地球化学的特徴

# Geochemical characteristics of black shales in the Japanese accretionary complex across the Permian-Triassic boundary extracted by independent component analysis

*矢野 萌生[1]、安川 和孝[1,3]、藤永 公一郎[3,2]、中村 謙太郎[1]、加藤 泰浩[2,1,3]
*Moei Yano[1], Kazutaka Yasukawa[1,3], Koichiro Fujinaga[3,2], Kentaro Nakamura[1], Yasuhiro Kato[2,1,3]

1. 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2. 東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター、3. 千葉工業大学次世代海洋資源研究センター
1. Department of Systems Innvation, School of Engineering, The University of Tokyo, 2. Frontier Research Center for Energy and Resources, School of Engineering, The University of Tokyo, 3. Ocean Resources Research Center for Next Generation, Chiba Institute of Technology

The Permian-Triassic boundary (PTB) is characterized by an oxygen-depleted condition in the superocean Panthalassa. However, the degree of the oxygen depletion in deep-sea environments remains an open question.Deep-sea sediments that deposited from the latest Permian to early Triassic constitute black shale within the accretionary complexes of Japan, showing a distinct enrichment of redox sensitive trace metals (e.g., V, Mo, U) that precipitate under reducing conditions.In contrast to the Panthalassa at the PTB, the modern ocean is generally oxygenated from the surface to the bottom due to a sufficiently strong global ocean circulation. However, oxygen-depleted water masses can develop in some specific areas such as restricted basins and coastal upwelling areas, and blackish sediments in these areas show laminated facies and/or high total organic carbon contents reflecting oxygen-depleted conditions.Comparing the black shales at the PTB with the other sediments that deposited in oxygen-depleted conditions can characterize the Panthalassa across the PTB in a context of a broad spectrum of oceanic environmental changes throughout the Earth’s history. To this end, clarifying geochemical features of multiple elements, especially of redox sensitive trace metals, is quite a useful approach to extract the information of the oceanic environments involving variations in redox conditions. Here we applied independent component analysis to the multi-elemental data set composed of major- and trace-element contents of the samples from the PTB sections within the accretionary complexes of Japan, and black mud and shale of other geological times obtained by scientific drillings in the modern oceans. We will discuss the geochemical characteristics of the PTB black shales and the other blackish sediments, and oceanic environmental conditions across the PTB.

キーワード：ペルム紀ートリアス紀境界、黒色頁岩、酸化還元敏感微量金属、独立成分分析、付加体
Keywords: Permian-Triassic boundary, black shale, redox sensitive trace metals, independent component analysis, accretionary complex

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# オーストラリア・アジアテクタイトイベント起源のイジェクタ堆積物の分布：衝突地点への示唆

# The Distribution of the Ejecta Deposit derived from Australasian Tektite Event: Implication for the Location of the Impact

*多田 賢弘[1]、多田 隆治[1,2]、Carling Paul[3]、Songtham Wickanet[4]、Thuyen Xuan[5]、常 昱、田近 英一[1]

*Toshihiro Tada[1], Ryuji Tada[1,2], Paul Carling[3], Wickanet Songtham[4], Le Xuan Thuyen[5], Yu Chang, Eiichi Tajika[1]

1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 雲南大学、3. サウサンプトン大学、4. ナコンラチャシマラジャハト大学、5. ホーチミン市工科大学
1. Department of Earth and Planetary Science, 2. Yunnan University, 3. Geography and Environment, University of Southampton, 4. Northeastern Research institute of Petrified Wood and Mineral Resources, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, 5. Ho Chi Minh City University of Science

大規模な天体衝突によって形成されるガラススフェリュールであるテクタイトは、地球上では主に4つの地域に分布している (e.g, McCall, 2001)。そのうち、東南アジアから南極にまで及ぶ最大の分布域を持つオーストラリア・アジアテクタイトは、およそ79万年まえに東南アジアで起きた天体衝突（オーストラリア・アジアテクタイトイベント: AATE）によって形成されたとされる。この天体衝突イベントは、衝突天体の直径が数kmに達するような大規模な天体衝突イベントの中で最も新しく、衝突クレーターやイジェクタ層（衝突地点から放出された物質が堆積して形成される地層）などの衝突の証拠やそれに伴う古環境変動記録が長期間にわたる風化変質や侵食を受けることなくよく保存されていることが期待される。そのため、大規模天体衝突が引き起こす地球環境変動を調べるうえで重要な研究対象である。

地球表面積の10%以上を覆うテクタイト分布域の広さから、直径30-120kmの衝突クレーターが形成されたと推定されている (e.g., Prasad et al., 2007)。しかし、衝突クレーターは未だに発見されず、正確な衝突地点や衝突の規模、様式（衝突角度や速度、複数衝突であった可能性など）が明らかにされていないという問題がある。

従来、AATEの衝突地点推定は、テクタイトの分布に基づいて行われてきた。10cmを超える大きさや化学組成の不均質性から衝突地点近傍に分布するとされる層状テクタイトがタイ・ラオス・ベトナムの限られた地域に分布すること、海洋コア堆積物中のマイクロテクタイトの個数密度がインドシナ半島に近い程大きくなることは、衝突地点がインドシナ半島東部であることを示唆している (Shnetzler, 1992; Prasad et al., 2007)。

衝突地点をより厳密に制約するためには、イジェクタ層の分布が重要となる。イジェクタ層は、衝突地点に近い程層厚が厚くなり、そこに含まれる衝撃変成鉱物の含有量や粒径も大きくなることが知られているためである (e.g., Morgan et al., 2006)。しかし、インドシナ半島陸上において、この衝突によるイジェクタ層はこれまで報告されていなかった。

そこで我々は、インドシナ半島においてイジェクタ層を特定し、その分布を調べるため、タイ東北部・ベトナム中部・ラオス南部において野外調査を行ってきた。これまでに、タイ・ラオス国境付近のHuai Om セクションにおいて白亜系基盤岩を不整合に覆う第四紀層中から、天体衝突の最も確実な証拠の一つとされる衝撃変成石英を発見し、イジェクタ堆積物を特定した。この地点のイジェクタ堆積物は、下位より、基盤岩の同時礫を含む層厚およそ1mのシルト～砂層（ユニットⅠ）、テクタイトを含む層厚20cm～1mの礫層（ユニットⅡ）、層厚およそ3mの塊状砂層（ユニットⅢ）に区分される。

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

ユニットII・ユニットIIIに相当するテクタイトを含む礫層とそれを覆う塊状砂層は、インドシナ半島東部の広い範囲に分布する。特にユニットIIの層厚は、タイ・ラオス国境南部に近づく程厚くなる傾向が見られた。タイ東北部の、Hua Omセクションを含めた3地点のユニットII・IIIについて衝撃変成石英の含有量及び粒径を測定した結果、粒径は200μm程度で地点間に明確な差が見られなかったものの、含有量は5–10%程度で、タイ・ラオス国境南部に向かって大きくなることが分かった。 ユニットIIの層厚の変化及び、衝撃変成石英の含有量の分布は、衝突地点がタイ・ラオス国境南部付近であることを示唆している。

現在、さらに多くの地点で衝撃変成石英の含有量・粒径の測定を行っている。本発表ではインドシナ半島東部広域におけるイジェクタ堆積物の層厚、衝撃変成石英の含有量・粒径の分布を報告し、衝突地点のより確からしい推定を試みる。

キーワード：テクタイト、衝撃変成石英、イジェクタ、オーストラリア・アジアテクタイト
Keywords: Tektite, Shocked quartz, Ejecta, Australasian Tektite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 新原生代変火山岩類からなるエジプト・中部東砂漠のエル・ダバー地域の層序/地質構造の復元

# Tectonic-sedimentation reconstruction of Neoproterozoic metavolcanic sequences; the El-Dabbah area, Central Eastern Desert, Egypt

*清川 昌一[1]、鈴木 大志[1]、Maher Dawoud[3]、Mohamed El-Hasan[3]、堀江 憲路[2]、竹原 真美[2]
*Shoichi Kiyokawa[1], TAISHI SUZUKI[1], Maher Dawoud[3], El-Hasan Mohamed[3], Kenji Horie[2], Mami Takehara[2]

1. 九州大学大学院理学研究院地球惑星部門、2. 国立極地研究所、3. Menoufiya University,
1. Department of Earth and Planetary Sciences Faculty of sciences, Kyuushu University, 2. National Institute of Polar Research, 3. Department of Geology, Faculty of Science, Menoufiya University,

エジプト，東砂漠地域には縞状鉄鉱層を含む新原生代の火山岩ー堆積岩層序を持つ地質帯が広がっている．一般的に東砂漠地域では広い範囲で，変形や変成作用が強く，初期段階の層序／地質構造の復元が進んでいない．我々は，変形変成が低く，縞状鉄鉱層の層序が比較的残っている中部東砂漠地域のEl-Dabbah地域について，地質図作成，年代測定により地質構造／地質層序 の復元を行った．本地域は，El-Dabbah層，Atsham層，Hammamat Groupからなり，それぞれ不整合で接する地質帯である．El-Dabbah層は，島弧起源の火山岩ー砕屑岩層からなり，厚い枕状溶岩や火山砕屑岩，部分的に縞状鉄鉱層を含む地層である．Atsham層はモラッセタイプの礫岩を多く含む陸源堆積物である．Hammamat Groupは東砂漠地域に広く分布するプルアパート堆積盆であり，陸生層の赤色岩や湖起源の堆積物からなる．El-Dabbah地域ではこの不整合境界が広くみられており，不整合以前の火山岩・堆積岩層の地質構造が記録されている．SHRIMPによる3カ所の貫入年代（granite at *ca.*638.1±2.9 Ma and a rhyodacite at 659.6±3.0 Ma）およびHammamat Groupの砂岩中の砕屑性ジルコン年代が明らかになり，地質構造とともに，3回の変動ステージを明らかにした．$D_1$: 700–680 Ma: 島弧付加時期；$D_2$: 650–640 Ma：横ずれに伴うAtsham 層堆積とそれに伴う横ずれ運動および花崗岩類の貫入（大陸形成造山期）; $D_3$: 638–600~ Ma：プルアパート堆積盆形成と造山運動の終始期.

キーワード：新原生代、島弧、横ずれ堆積盆、縞状鉄鉱層
Keywords: Neoproterozoic, Island arc, strike-slip basin, banded iron formation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 B (地球生命科学)：B-CG 地球生命科学複合領域・一般

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_35

## [B-CG07] 地球史解読：冥王代から現代まで

コンビーナ:小宮 剛(東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻)、加藤 泰浩(東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻)、鈴木 勝彦(国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター)

冥王代から現代まで地球史46億年を通じての地球の進化や地質学的プロセスについて，フィール<br/>ド調査，化学分析，実験，理論計算などの様々なアプローチから研究した最新の成果を集約し，<br/>地球深部の進化と表層の環境変動や生命の発生・進化との因果関係・相互作用などを総括的に議<br/>論する．惑星科学，地質学，テクトニクス，火成岩・変成岩岩石学，層位・古生物学，進化学，<br/>環境学，地球化学など関連する幅広い話題を歓迎する．

[BCG07-P01] カナダ北東部初期大古代ヌブアギツック表成岩帯の地質:堆積岩の原岩と年代の再検討

*小宮 剛[1]、山本 伸次[2]、上原 啓幹[1]、吉田 聡[1]、村上 葵[1]、石原 湧樹[1] (1.東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻、2.横浜国立大学大学院環境情報研究院)

[BCG07-P02] Behavior of phosphorus during hydrothermal alteration of basalt under $CO_2$-rich condition

*村上 葵[1]、澤木 佑介[2]、上田 修裕[3]、折橋 裕二[4]、町田 嗣樹[5]、小宮 剛[2] (1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2.東京大学大学院総合文化研究科、3.東京工業大学理学院地球惑星科学系、4.弘前大学理工学部地球環境防災学科、5.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター)

[BCG07-P03] 西グリーンランド南部アクレックテレーンに産するクロミタイトの成因

*高橋 歓太[1]、森下 知晃[1]、グオタナ ジュアン ミゲル[1]、谷 健一郎[2]、針金 由美子[3]、西尾 郁也[1]、ジラス クリストファー[4]、田村 明弘[1] (1.金沢大学、2.国立科学博物館地学研究部、3.産業技術総合研究所、4.コペンハーゲン大学)

[BCG07-P04] Metamorphic P–T condition of the Inyoni shear zone rocks in the Barberton Greenstone Belt, South Africa and its significance

*加藤 大地[1]、青木 一勝[1]、土屋 裕太[2]、青木 翔吾[2]、小宮 剛[3] (1.岡山理科大学理学部、2.岡山理科大学生物地球学部、3.東京大学大学院総合文化研究科)

[BCG07-P05] Discovery of possible traces of asteroid impact within the fossil-bearing carbonaceous chert from the 3.4 Ga Strelley Pool Formation, Pilbara Craton of Western Australia - a preliminary study

*杉谷 健一郎[1]、仙田 量子[3]、飯塚 毅[2]、Wallis Simon[2] (1.名古屋大学、2.東京大学、3.九州大学)

[BCG07-P06] 原生代前期ストロマトライトの縞状構造における高分解能解析：安定同位体比と化学組成分析

宮西 勇太[1]、高村 一希[1]、*勝田 長貴[1]、森本 真紀[1]、安田 敦[2]、川上 紳一[3] (1.岐阜大学教育学部、2.東京大学地震研究所、3.岐阜聖徳学園大学)

[BCG07-P07] 物質循環モデルによって制約された大酸化イベントに伴う物質循環動態

*三浦 優奈[1]、尾崎 和海[1] (1.東邦大学)

[BCG07-P08] 後期トニア紀のマグネサイトから想定される全球凍結前の海水組成

*宮崎 彩[1]、狩野 彰宏[1]、白石 史人[2] (1.東京大学　理学系研究科　地球惑星科学専攻、2.広島大学　地球惑星システム学専攻)

[BCG07-P09] 独立成分分析により抽出された日本列島付加体中ペルム紀-トリアス紀境界黒色頁岩の地球化学的特徴

*矢野 萌生[1]、安川 和孝[1,3]、藤永 公一郎[3,2]、中村 謙太郎[1]、加藤 泰浩[2,1,3] (1.東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2.東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター、3.千葉工業大学次世代海洋資源研究センター)

---

[BCG07-P10] オーストラリア・アジアテクタイトイベント起源のイジェクタ堆積物の分布：衝突地点への示唆

*多田 賢弘[1]、多田 隆治[1,2]、Carling Paul[3]、Songtham Wickanet[4]、Thuyen Xuan[5]、常 昱、田近 英一[1] (1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2.雲南大学、3.サウサンプトン大学、4.ナコンラチャシマラジャハト大学、5.ホーチミン市工科大学)

---

[BCG07-P11] 新原生代変火山岩類からなるエジプト・中部東砂漠のエル・ダバー地域の層序/地質構造の復元

*清川 昌一[1]、鈴木 大志[1]、Maher Dawoud[3]、Mohamed El-Hasan[3]、堀江 憲路[2]、竹原 真美[2] (1.九州大学大学院理学研究院地球惑星部門、2.国立極地研究所、3.Menoufiya University,)

# カナダ北東部初期大古代ヌブアギツック表成岩帯の地質:堆積岩の原岩と年代の再検討

# Geology of the Eoarchean Nuvvuagittuq supracrustal belt, northeastern Canada: Reappraisal of Protoliths and ages of the sedimentary rocks

*小宮 剛[1]、山本 伸次[2]、上原 啓幹[1]、吉田 聡[1]、村上 葵[1]、石原 湧樹[1]
*Tsuyoshi Komiya[1], Shinji Yamamoto[2], Hiroki Uehara[1], Yoshida Satoshi[1], Aoi Murakami[1], Yuki Ishihara[1]

1. 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻、2. 横浜国立大学大学院環境情報研究院
1. Department of Earth Science & Astronomy Graduate School of Arts and Sciences The University of Tokyo, 2. Graduate School of Environment and Information Sciences, Yohohama National University

The Nuvvuagittuq supracrustal belt in the northeastern Canada is one of the oldest supracrustal rocks in the world, thus the geological, petrological and geochemical study allows us to constrain the evolution of surface environment and sold earth in the early earth. The belt consists of ultramafic rocks, coarse-graind and fine-grained greenstone, banded iron formation (BIF), siliceous rock, carbonate rock, and conglomerate. The ultramafic rocks and coarse-grained greenstone are considered as ultramafic and grabbroic intrusions, respectively. The fine-grained greensone is classified into three types based on the petrography: cummingtonite-bearing amphibolite (faux-amphibolite), hornblende-bearing amphibolite (green-amphibolite) and actinolite-bearing greenschist. The greenschist occurs only in the southwestern area. The faux- and green-amphibolite are ubiquitously present over the belt. Moreover, O'Neil et al. (2011) classified the amphibolite into three types based on their $TiO_2$ contents and REE patterns. The BIF mainly occurs in three areas, and has different occurrence and petrography. The BIF in the northwestern area is accompanied with the ultramafic rocks, and comprises interlayering of magnetite and amphibole/serpentine/talc. The BIF in the southwestern area occurs together with fine-grained greenstone, and mainly contains hematite and quartz (jaspillite). Dodd et al. (2017) found possible biogenic fabric, formed by iron-oxiding bacteria in the jaspillite. The BIF in the southeastern part is interlayered with the faux-amphibolite, and occurs above the siliceous rock. It mainly comporises magnetite and quartz.
The belt is intruded by some precursors of orthogneiss, whose igneous ages of *ca.* 3.8 Ga and constrain the minimum age of the belt. O'Neil et al. (2008, 2012) proposed that the igneous age of the fine-grained amphibolite is *ca.* 4.38 Ga based on a putative $^{147}Sm/^{144}Nd$-$^{142}Nd/^{144}Nd$ isochron age. On the other hand, Cates et al. (2013) proposed that a felsic layer within the faux-amphibolite originates from a clastic felsic sedimentary rock, and the maximum age of the belt is *ca.* 3.78 Ga based on ages of the zircons. David et al. (2009) interpreted a felsic layer as a volcanosedimentary rock, and proposed that the supracrustal rock was formd at 3817 Ma based on the ages of zircons.
We made a quite detailed geological map using a drone, which enables easily to trace even tens centimeter layers and intrusions. Many tens centimeter thick intrusions with an intermediate composition are present in the faux-amphibolite, whereas no intrusions are apparently found in the green-amphibolite. The distribution of the two types of amphibolite corresponds to that of three geochemical types of greenstone proposed by O'Neil et al. (2011), suggesting that the geochemical signature is due to secondary alteration. In addition, the apparent isochron on the $^{147}Sm/^{144}Nd$-$^{142}Nd/^{144}Nd$ diagram possibly originates from mixing between the mafic/ultramafic component and secondary intermediate

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

component. O'Neil et al. (2008) proposed that the Nd isochron age of gabbroic dikes is 4.3 Ga. But, the gabboric dikes are younger than 3.8 Ga, and the isochron is putative because our map clearly shows that some thin gabbroic dikes are intruded into ambient orthogneiss, whose age is *ca.* 3.8 Ga. We found many conglomerate layers over the belt, but the layers finally change felsic intrusions. The occurrence means that they are putative conglomerate. In addition, the carbonate rocks occur along the felsic intrusions, suggesting they also have metasomatic origin. The petrograhy and occurrence of the BIF in the northwestern area indicate that the BIF was formed from metamorphism of the ultramafic rock. The siliceous rock is intruded by many felsic intrusions and quartz veins, but the detailed map can differentiate between the siliceous layers and intrusions, and shows that the siliceous layers originate from siliceous sediment.

キーワード：冥王代、初期地球、初期生命、表層環境
Keywords: Hadean, Early Earth, Early life, Surface environment

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Behavior of phosphorus during hydrothermal alteration of basalt under $CO_2$-rich condition

*村上 葵[1]、澤木 佑介[2]、上田 修裕[3]、折橋 裕二[4]、町田 嗣樹[5]、小宮 剛[2]
*Aoi Murakami[1], Yusuke Sawaki[2], Hisahiro Ueda[3], Yuji Orihashi[4], Shiki Machida[5], Tsuyoshi Komiya[2]

1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 東京大学大学院総合文化研究科、3. 東京工業大学理学院地球惑星科学系、4. 弘前大学理工学部地球環境防災学科、5. 千葉工業大学次世代海洋資源研究センター
1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2. The University of Tokyo, 3. Tokyo Institute of Technology, 4. Hirosaki University, 5. Chiba Institute of Technology

It is well known that a unique environment is created around seafloor hydrothermal systems by element exchange between circulating seawater and surrounding rocks: enrichment in transition elements and sulfide, emission of quite hot water, and even even electric current flow. In addition, a number of hyperthermophilic microorganisms inhabit around hydrothermal vents. 16S rRNA-based phylogenetic tree suggests that the hyperthermophilic organisms are closest to the earliest lineage; thus the hydrothermal environment is one of the candidates for habitat and evolution of early life.

Phosphorus is one of essential elements for life. In order to maintain an early ecosystem around the hydrothermal vent, phosphorus should have been supplied from the hydrothermal vent through high-temperature water-rock reaction. In the modern basalt-hosted hydrothermal systems, phosphorus is removed due to its adsorption to iron oxide precipitated from hydrothermal fluid and/or formation of metamorphic apatite in the hydrothermally metamorphosed basalt. On the other hand, it is well known that middle Archean basaltic rocks, which constituted upper part of oceanic crust, suffered from severe carbonation during hydrothermal alteration due to quite high atmospheric $CO_2$ content on the early Earth. Under the $CO_2$-rich condition, calcium was removed from the seawater/hydrothermal fluid due to extensive carbonate formation. Because the carbonate formation inhibits the formation of apatite, the phosphorus might be released from hydrothermally altered rocks. Actually, the hydrothermally altered basaltic rocks in the Archean are more depleted in phosphorus than hydrothermally altered modern mid-ocean ridge basalt.

In order to quantify phosphorus content of fluid supplied from the basalt-hosted hydrothermal system on the early Earth, we conducted hydrothermal experiments involving hypothetical seawater and basalt under both $CO_2$-free and $CO_2$-rich conditions at 200 ˚C, 100 bars. The basalt used in this study was collected from the Indian Ocean Marie Celeste Fracture Zone. The initial solution was prepared by mixture of standard reagents by reference to modern seawater, except for Ca and P. The calcium and phosphorus contents in the solution were regulated to 30 mmol/kg and 0.60 ppm, respectively. The latter is ten times higher than the modern equivalent. For the $CO_2$-rich experiment, $NaHCO_3$ and HCl were added to the hypothetic seawater to substantialize 400 mmol/kg of $\Sigma CO_2$ at the beginning of the experiment.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

The $CO_2$ concentration decreased from 400 mmol/kg to 250 mmol/kg as water-rock reaction advanced, indicating precipitation of carbonate minerals. The SEM-EDS observation demonstrated that the run products contain calcite, dolomite, and magnesite. Phosphorus content of the fluid decreased to *ca.* 0.10 ppm under the $CO_2$-rich condition and *ca.* 0.04 ppm under the $CO_2$-free condition, respectively. The pH value of the produced fluid for the $CO_2$-rich experiment, measured at room temperature, was 6.6, by *ca.* 2 unit higher than that of the $CO_2$-free experiment. Calcium concentration decreased from 30 mmol/kg to 25 mmol/kg under the $CO_2$-free condition. On the other hand, calcium concentration of the formed fluid under the $CO_2$-rich condition decreased to 18 mmol/kg at 96 hours, and then increased to 25 mmol/kg. The formation of high alkaline and Ca-poor fluid under the $CO_2$-rich condition suggests that the fluid was oversaturated with carbonate, whereas undersaturated with apatite. Because the produced fluid under the $CO_2$-rich condition contained more phosphorus than the modern seawater, the basalt-hosted hydrothermal system may have served as a source of phosphorus under the $CO_2$-rich condition, probably on the early earth.

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 西グリーンランド南部アクレックテレーンに産するクロミタイトの成因
# Origin of chromitites in the Akulleq terrane, southern West Greenland

*高橋 歓太[1]、森下 知晃[1]、グオタナ ジュアン ミゲル[1]、谷 健一郎[2]、針金 由美子[3]、西尾 郁也[1]、ジラス クリストファー[4]、田村 明弘[1]
*Kanta Takahashi[1], Tomoaki Morishita[1], Juan Miguel Ramirez Guotana[1], Kenichiro Tani[2], Yumiko Harigane[3], Ikuya Nishio[1], Kristoffer Szilas[4], Akihiro Tamura[1]

1. 金沢大学、2. 国立科学博物館地学研究部、3. 産業技術総合研究所、4. コペンハーゲン大学
1. Kanazawa University, 2. Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science, 3. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 4. University of Copenhagen

The studies dealing with the Hadean-Archaean geologic samples are recently expanding. Research on Hadean-Archaean terranes is an important part in reconstructing the geologic past of the Earth which is thought to have differences from the present conditions. Southern West Greenland preserves a wide exposure of ancient geologic materials and structures. This study focuses on chromitites and peridotites from the Ujaragssuit nunāt area in southern West Greenland. The Ujaragssuit nunāt area is about 20 km south from the 3.8 Ga Isua Supracrustal Belt (Moorbath et al., 1977). In Ujaragssuit nunāt, ultramafic rocks occur as lenses of several meters to several hundred meters hosted in silicic gneiss (Chadwick and Crewe, 1986). It is important to understand the origin and processes related to the formation of the peridotites and chromitites in Ujaragssuit nunāt as a contribution to the Archaean magmatic processes and tectonics of the early Earth.

Chromitites are rocks with significant amount of chromites (>20 vol.%) (Arai and Miura, 2016). The unaltered composition of spinel is regarded as a useful petrological indicator (Irvine, 1967). However, chromite composition could be modified as a result of chemical re-equilibration, metamorphism, hydrothermal alteration. The impacts of these processes are evaluated in this study. In Ujaragssuit nunāt, chromitites, dunites and amphibole harzburgites are widely exposed. In some areas, the chromitites occur as layers with thickness ranging from several centimeters to a meter. Massive chromitites (2 m thick) are also exposed. The lithologies present in the area were also described in detail in previous works such as of Rollinson et al. (2002).

Chromites are subhedral and account for about 50-70% of the Ujaragssuit nunāt chromitites. Interstitial grains are mainly phlogopite and minor chlorite and talc. The dunite host consists mainly of olivine (~80%) and accessory spinel and phlogopite. Some spinel grains in the host dunite exhibit zonation as evidenced by darker cores and lighter rims under reflected light microscope and scanning electron microscope observations. The zonation observed is associated with compositional variation from core to rim (Fe enrichment towards the rim). The amphibole harzburgites are mainly composed of amphibole, orthopyroxene, spinel, phlogopite. Orthopyroxenes occur both around olivine and in some parts as inclusions inside olivine grains. Talc replacement of orthopyroxenes is also common. Spinel are surrounded by phlogopite and edenitic amphibole.

Spinel in the host peridotites has a higher $Fe^{3+}$content. The spinel $Fe^{3+}$ content is higher in samples with higher phlogopite and spinel ratio. This suggests that phlogopite was formed by the reaction of spinel (+olivine) with an alkaline element-rich fluid. Spinel serves as a source of the $Al_2O_3$ in the phlogopite formation. It is considered that the chemical composition change of spinel is caused by the formation of

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

phlogopite. Furthermore, phlogopite in the sample containing amphiboles has lower K/(K+Na) ratio than samples without amphibole. Amphiboles are also found around the spinel. The K/(K+Na) ratio in the fluid decreases as the alkaline element-rich fluid forms phlogopite and amphibole was formed by the reaction between this differentiated fluid and spinel (+olivine). The abundance of orthopyroxene is higher in the sample containing amphiboles. The $Cr_2O_3$- and $Al_2O_3$- poor characteristic of the orthopyroxenes suggests a secondary origin. The differentiated fluid is also abundant in silica component and reacts with olivine to react to form the secondary orthopyroxenes. Although the possibility of crystal differentiation cannot be completely ruled out, it is thought that these peridotites were originally dunites and chromitites and the chemical composition was modified by alkali alteration.

キーワード：西グリーンランド南部、クロミタイト、交代作用
Keywords: southern West Greenland, chromitite, metasomatism

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Metamorphic P–T condition of the Inyoni shear zone rocks in the Barberton Greenstone Belt, South Africa and its significance

*加藤 大地[1]、青木 一勝[1]、土屋 裕太[2]、青木 翔吾[2]、小宮 剛[3]
*Daichi Kato[1], Kazumasa Aoki[1], Yuta Tsuchiya[2], Shogo Aoki[2], Tsuyoshi Komiya[3]

1. 岡山理科大学理学部、2. 岡山理科大学生物地球学部、3. 東京大学大学院総合文化研究科
1. Department of Applied Science,Okayama University of Science, 2. Department of Biosphere-Geosphere Science,Okayama University of Science, 3. Department of Earth Science and Astronomy,University of Tokyo

The metamorphic P–T conditions and processes of the mid-Archean Barberton Greenstone Belt (BGB), South Africa were examined from metamorphosed banded iron formation (BIF) and garnet amphibolite in the Inyoni shear zone (ISZ). Their metamorphic P–T conditions were estimated from thermodynamic calculations combined with several geothermobarometries such as garnet–clinopyroxene geothermometry, Raman geobarometry and Zr-in-sphene geothermometry. Moreover, in order to constrain the protolith age and origin of our studied sample, we conducted zircon U-Pb and trace elements analyses by using Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS).The following results were obtained: the P–T conditions of the meta-BIF changed from ca. 600–680 ˚C and 10–12.7 kbar through ca. 510–540 ˚C and 8–11 kbar to less than 500 ˚C and 4 kbar. On the other hand, the P–T conditions of the garnet amphibolite changed from ca. 9.5–10.5 kbar and 620–660˚C to less than 5 kbar and 500 ˚C. Integration of these new results with previous studies for the BGB suggest that the geothermal gradients of the prograde and retrograde metamorphisms were ca. 15–20 ˚C/km and 20–30 ˚C/km, respectively. Igneous zircon separated from the Garnet amphibolite sample yield $^{207}$Pb-$^{206}$Pb age of ca. 3.4-3.2 Ga. This new data together with previous geochronological data indicate that the protoliths of ISZ rocks began to subduct at ca. 3.37-3.24 Ga. The prograde P-T path was kinked at P = 8.0 kbar and T = 560 ℃ by difference in geothermal gradient between crust and upper mantle. The change of geothermal gradient in the ISZ rocks between prograde and retrograde conditions might have relation to the collision of ca. 3.4 Ga Stoluzburg domain. The last P-T trajectory characterized by isothermal decompression might be caused by the intrusion of the ca. 3.23-3.21 Ga TTG Badplaas pluton attendant on plate subduction.

キーワード：太古代、バーバートン緑色岩帯、プレートテクトニクス
Keywords: Archean, Barberton greenstone belt, Plate tectonics

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# Discovery of possible traces of asteroid impact within the fossil-bearing carbonaceous chert from the 3.4 Ga Strelley Pool Formation, Pilbara Craton of Western Australia - a preliminary study

*杉谷 健一郎[1]、仙田 量子[3]、飯塚 毅[2]、Wallis Simon[2]
*Kenichirio Sugitani[1], Ryoko Senda[3], Tsuyoshi Iizuka[2], Simon Wallis[2]

1. 名古屋大学、2. 東京大学、3. 九州大学
1. Nagoya University, 2. The University of Tokyo, 3. Kyushu University

Large asteroid impacts are thought to be a common feature of the Archean in particular as a result of the Late Heavy Bombardment (LHB). One line of supporting evidence is the presence of “impact layers” containing silicate spherules that were formed by condensation of rocks vaporized by bombardment events. Two Early Archean impact layers with ages of 3.47 and 3.46 Ga have been identified from the Pilbara greenstone belt, Western Australia (Glikson et al., 2016; Lowe and Byerly, 1986). In contrast 5 separate impact layers with ages of 3.47 to 3.24 Ga have been identified in the Barberton greenstone belt, South Africa (e.g., Lowe et al., 2014; Byerly et al., 2002). Such extraterrestrial impacts likely influenced the Earth’s early environment, including crustal deformation, terrain amalgamation, evaporation of significant volumes of ocean water, and even triggering the development of a modern-like plate tectonic regime (Lowe et al, 2014). It is also reasonable to assume that the early life was influenced significantly by these impacts (Lowe et al., 2003). The early evolution of life might have been accelerated as a consequence of adaptation to such environmental agitations (Kozawa et al., 2018; Oehler et al., 2017). Thus, a close association of traces of life, such as microfossils with cellular preservation, and of impact events recorded in Archean sedimentary successions is of special interest.

In this study we describe the new discovery of traces of asteroid impacts in the ca. 3.4 Ga Strelley Pool Formation (SPF) in the Panorama greenstone belt of the Pilbara Craton, Western Australia. Spherules of possible impact origin were identified in carbonaceous black chert 15 cm thick from which morphologically diverse microfossils have been described (e.g., Sugitani et al., 2013) (Fig. 1). Evidence for an asteroid impact includes the presence of a thin sedimentary layer rich in silicate spherules (Fig. 2) associated with enrichment of platinum-group elements (PGE) (Fig. 3a). However, our detailed analyses revealed that PGE-enrichment is more conspicuous in the lower horizon and are associated with $^{178}Os/^{188}$Os initial values close to 0.1. In contrast, spherule-rich layers have significantly higher $^{178}Os/^{188}Os$ values ~1.0 (Fig. 3b). One exception is a sample from the upper portion, which has an unusually low value. It is also noteworthy that the spherule-rich layer is enriched in Al and Ti (Fig. 3c). There is a clear higher contribution by clastic materials to this layer, and this feature may explain the apparent contradiction between the PGE-enrichment and Os isotopic values described above. In either case, the layer contains abundant volcanic fragments and clasts in which spherules tend to occur. This occurrence suggests that the spherules were likely reworked from the original site of deposition. A layer composed of carbonaceous grains including rip-up clasts that is found just below the spherule-rich layer (Fig. 1) indicates a steep high-energy depositional environment. This layer contrasts with the fine parallel lamination of carbonaceous chert layers seen at the other horizons, which indicates a quiet depositional environment. We infer that the original impact layer is present below the examined carbonaceous black chert layer and that a high-energy environment related to volcanic activity caused reworking of the spherule-rich deposits, which were transported to the present site of deposition. If this is the case, the high PGE concentrations and the significantly low $^{187}Os/^{188}Os$ initial ratios of the lower cherty samples could be

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

explained as representing the aftermath of an impact event associated with precipitation of vaporized PGE from the atmosphere to the sediment.

*References*

Byerly et al. (2002) Science 297, 1325-1327; Glikson et al. (2016) Precam. Res. 279: 103-122; Kozawa et al. (2018) *Geobiology* DOI: 10.1111/gbi12319; Lowe et al. (2014) Geology 42: 747-750; Lowe et al. (2003) Astrobiology 3: 7-48; Lowe and Byerly (1986) Geology 14, 83-86; Oehler et al. (2017) Precambrian Research 296, 112-119; Sugitani et al. (2015) Geobiology 13, 507-521.

キーワード：太古代、微化石、小惑星衝突、白金族元素、オスミウム同位体「
Keywords: Archean, microfossils, asteroid impact, platinum group elements, osmium isotope

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

Fig. 1

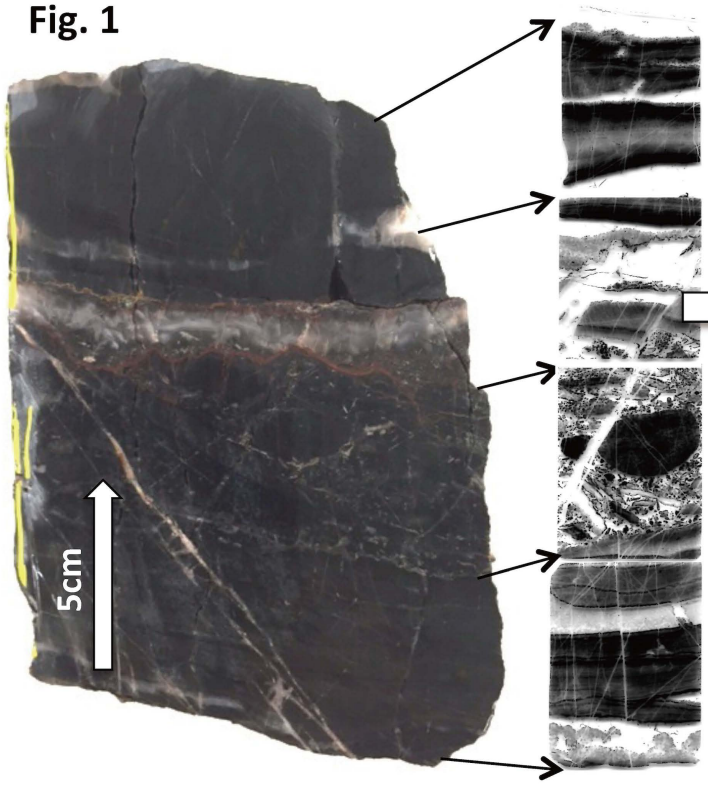
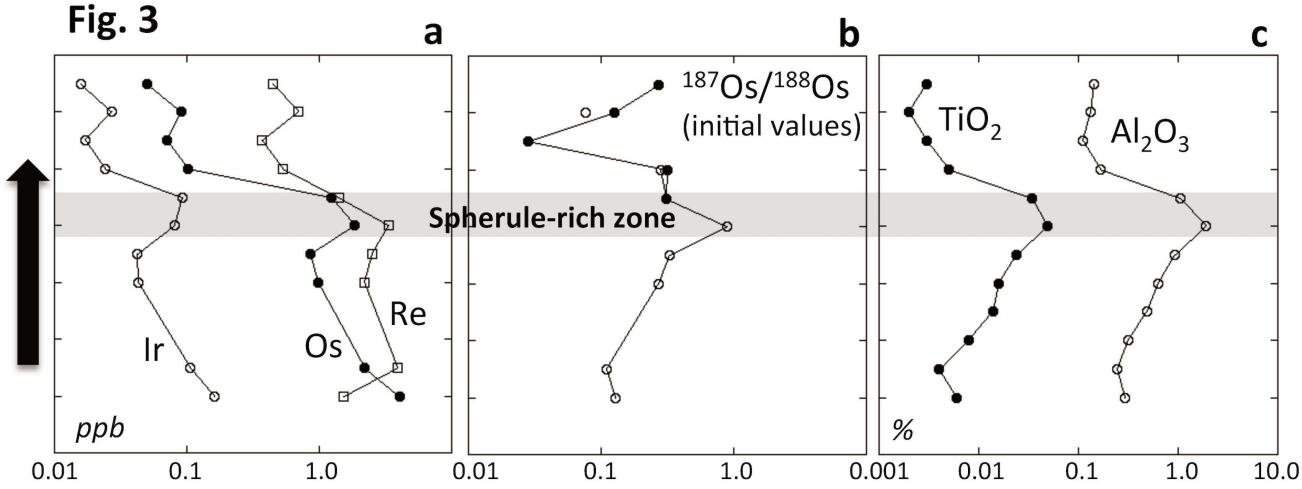



Fig. 2




Fig. 3




©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved.

# 原生代前期ストロマトライトの縞状構造における高分解能解析：安定同位体比と化学組成分析

# High-resolution stable isotopes and chemical analyses on laminations of the early Proterozoic stromatolite

宮西 勇太[1]、高村 一希[1]、*勝田 長貴[1]、森本 真紀[1]、安田 敦[2]、川上 紳一[3]
Yuta Miyanishi[1], Kazuki Takamura[1], *Nagayoshi Katsuta[1], Maki Morimoto[1], ATSUSHI YASUDA[2], Shin-ichi Kawakami[3]

1. 岐阜大学教育学部、2. 東京大学地震研究所、3. 岐阜聖徳学園大学
1. Faculty of Education, Gifu University, 2. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 3. Faculty of Education, Gifu Shotoku Gakuen University

今日ストロマトライトと呼ばれる先カンブリア時代の堆積岩は、縞状構造の発達したドーム状の炭酸塩岩であり、初期地球の生命進化と環境変動を知る上で重要な物証とされている。本研究は、ストロマトライトの縞状構造に記録される環境変動を明らかにするために、高分解能の炭素・酸素同位体比（$\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$）と化学組成分析を行った。

解析に用いた試料は北西カナダの原生代初期（1.9 Ga）・ハーン累層のストロマトライトである。このストロマトライトは、緩斜面と急斜面からなる非対称のドーム状縞状構造を持ち、縞状構造は薄い暗色縞と厚い明色縞が繰り返される。斜面と急斜面の縞の厚さは、ほぼ同一のリズムを持つ。暗色縞と明色縞の1組の厚さは約300 μm~約800 μmの間で変動し、その厚さの変動は明色縞の厚さに起因している。本研究は、そこから記録を読み出すために、同一試料の試料を用いて、次のように分析を行った。まず、炭素・酸素同位体比分析については、マイクロミルを用いて75 μmごとに試料採取を行った。その際に、マイクロミルの1点だけでは、分析に必要な試料量を回収できないため、縞模様に沿って分析に必要な約60 μg以上を取り分けた。その後、リン酸を用いて、炭酸塩前処理装置付き同位体比量分析計で炭酸塩$\delta^{13}C$·$\delta^{18}O$の測定が行われた。化学組成分析は、ダイアモンドペーストで表面研磨した試料を準備し、EPMAを用いて点分析と元素マッピングが行われた。測定条件は、ビーム径とステップ幅は共に10 μmとなる。

縞状構造の構成元素は、暗色縞がAl, Si, K、明色層がCa, Mg, Feに富み、構成鉱物は暗色縞が石英、カリ長石、雲母、ドロマイト、明色縞がFeドロマイトを主体とする。また、ルチル、磁鉄鉱、アパタイトが微量に含まれる。EPMA画像をもとに計測した、暗色縞と明色縞の1組の厚さの変動は、3~5枚の卓越周期を示す。一方、縞の炭酸塩の同位体比については、45本の縞の連続記録を得ることができ、明色層では$\delta^{13}C$が平均約-9.0‰、$\delta^{18}O$が平均約0.3‰、暗色層では$\delta^{13}C$が平均約-10.3‰、$\delta^{18}O$が約1.3‰であった。また、$\delta^{13}C$·$\delta^{18}O$変動の振幅は縞の厚さと共に増大する。

暗色層に比べて明色層の高$\delta^{13}C$値と低$\delta^{18}O$値は、水温上昇による蒸発作用で塩濃度が上昇し、ドロマイトの生成が促進されたことに起因する。したがって、ハーンストロマトライトの縞状構造は、明色層は夏季、暗色層は冬季にそれぞれ形成された年層とみなすことができる。また、$\delta^{13}C$·$\delta^{18}O$の年々変動は、夏季の水温と蒸発量を反映したものと考えられる。その変動はエルニーニョの3~5年周期を持つことから、原生代初期の浅海環境は、今日の地球表層環境で見られる同様の外力によって支配されてきたと考えることができる。

キーワード：ストロマトライト、縞状構造、安定同位体比、化学組成
Keywords: Stromatolite, Laminated structure, Stable isotope, Chemical composition

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 物質循環モデルによって制約された大酸化イベントに伴う物質循環動態
# Biogeochemical dynamics in during the Great Oxidation Event constrained by a biogeochemical cycle model

*三浦 優奈[1]、尾崎 和海[1]
*Yuna Miura[1], Kazumi Ozaki[1]

1. 東邦大学
1. Toho University

The accumulated geological and geochemical data indicate that Earth’s ocean-atmosphere system has seen a fundamental increase in oxygen abundances from anoxic conditions ($pO_2$ <$10^{-5}$ present atmospheric level (PAL)) to oxic conditions ($pO_2$ >$10^{-2}$ PAL) during the Paleoproterozoic. This marked transition, known as the ‘Great Oxidation Event (GOE)’, may be accompanied by a transient time of relatively high oxygen levels in the atmosphere and ocean (called an ‘oxygen overshoot’). However, the ultimate cause and biogeochemical consequences of the GOE remain unclear.
Harada et al. (2015) hypothesized the snowball Earth glaciation at 2.2 Ga as an ultimate cause of the GOE with a prolonged (~$10^8$ year) oxygen overshoot. Sedimentary record of iron and manganese oxides above the glacial deposit in the Transvaal Supergroup, South Africa, implies an oxygenation of Earth’s surface environments just after the glaciation. The red beds and sulfate evaporites (gypsum, $CaSO_4$) also suggest a sustained oxygenation of the Earth surface environment. They constructed a biogeochemical cycle model of carbon, phosphorous and oxygen, and conducted sensitivity experiments to assess the biogeochemical dynamics after the snowball Earth glaciation. By assuming an atmospheric $CO_2$ level of 0.7 atm required to end the snowball Earth glaciation, they found that an extremely warm climate accelerates chemical weathering on land and phosphorus riverine input. This marked increase in phosphorus input results in a dramatic increase in biospheric oxygen production, with an oxygen overshoot lasting for ~$10^8$ years. However, it remains unclear whether their calculations are consistent with available geological constraints (e.g., sulfate evaporite depositions and sulfur isotope data), because they ignore the geochemical cycle of sulfur. A recent geochemical study suggests that concentration of sulfate ([$SO_4^{2-}$]) in the ocean may have been unusually high (>10 mM) during the gypsum formation. If correct, this provides a strong constraint on the biogeochemical conditions.
In this study we constructed a sulfur cycle model with a goal of finding the feasible conditions for the geochemical constraint ([$SO_4^{2-}$] >10 mM). The model consists of three reservoirs—oceanic sulfate, crustal gypsum, and crustal pyrite. Sulfur enters the ocean through weathering of gypsum and pyrite. We assumed that the oxidative weathering of pyrite is a function of atmospheric $O_2$ levels and that the gypsum weathering is proportional to the global weathering rate. Sulfur is removed from the ocean via deposition of gypsum and pyrite. We assumed that sulfate burial in the ocean is proportional to seawater sulfate levels. Pyrite burial is assumed to be governed by microbial sulfate reduction dependent on marine sulfate content, biological production (i.e., the availability of organic matter), and oceanic $O_2$ levels. In this study, we performed a series of sensitivity experiment with a Harada et al.’s model, and obtained biogeochemical dynamics (e.g., atmospheric $O_2$ levels and weathering rates) were used as a forcing for our sulfur cycle model, enabling us to simulate the evolution of oceanic $SO_4^{2-}$ levels after the glaciation. Our sensitivity experiments of a Harada et al.’s model demonstrate that the biogeochemical dynamics after the glaciation depend mainly on the initial value of atmospheric $CO_2$ levels: >0.2 bar and >0.25 bar of $CO_2$ are required for the GOE and the occurrence of an oxygen overshoot, respectively. Our sulfur cycle model, however, demonstrates that 0.25 bar of $CO_2$ is not sufficient to explain the unusually high levels of

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

$[SO_4^{2-}]$ >10 mM during the overshoot. The systematic sensitivity experiments reveal that at least ~0.75 bar of $CO_2$ will be required. This result provides an additional support for the hypothesis that the severe glaciation was an ultimate cause of the GOE in the Paleoproterozoic.

キーワード：大酸化イベント、物質循環、硫黄循環
Keywords: Great Oxidation Event, biogeochemical cycle, sulfur cycle

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 後期トニア紀のマグネサイトから想定される全球凍結前の海水組成
# Composition of seawater before the Sturtian Snowball Earth estimated by the occurrence of late Tonian evaporitic magnesite

*宮崎 彩[1]、狩野 彰宏[1]、白石 史人[2]
*Aya Miyazaki[1], Akihiro Kano[1], Fumito Shiraishi[2]

1. 東京大学　理学系研究科　地球惑星科学専攻、2. 広島大学　地球惑星システム学専攻
1. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, 2. Department of Earth and Planetary Systen Sciences, Hiroshima University

藻類・原生動物・多細胞動物の放散が進行した新原生代は生命進化にとって重要な時代である。その背景には全球凍結のような激変があり，エディアカラ紀以降の環境変動と化石記録についての理解は大きく進みつつある。しかし，地球表層が全球凍結にいたるまでの環境的背景については良く理解されていない。

南オーストラリア州フリンダーズレンジには新原生代～カンブリア紀の浅海成堆積物が発達し，特にスターチアン氷期前後の優れた地層記録が保存される。今回対象とするのは北部のLeigh Creek (LC section) に露出するSkillogalee Dolomiteである。本層はスターチアン氷期堆積物の下位にあり，年代は788±7Ma (後期トニア紀) とされている (Hood and Wallace 2018)。岩相は少量のケイ質砕屑物を含むが，大半は炭酸塩からなり，層内レキ岩・ストロマトライト・tepee構造を含む極浅海での堆積物である。本層の最も顕著な特徴はマグネサイトを大量に含んでいることにある。マグネサイトは厚さ1m程度の層，もしくは層内レキ岩のクラストとして存在し，ドロマイトと共産する。Tepee構造などから蒸発性の環境が示され，マグネサイトのより高い炭素同位体比と酸素同位体比は，マグネサイトがドロマイトより後に沈殿したことを示唆する。ただし，ジプサムの仮像は認められない。

Skillogalee Dolomiteの鉱物組合せは原生代の限られた時期の蒸発性環境にしか認められない。一方，顕生代の蒸発環境ではCa炭酸塩とドロマイト，ジプサム，ハライトの順番に沈殿し，マグネサイトは生成しない (Hardie and Eugster 1980)。特異な鉱物組合わせ（ドロマイト–マグネサイト）を説明するために，海水の連続的蒸発で予想される鉱物沈殿のモデル計算を行ったところ，Mg/Ca > 10かつMg > Alkalinity > Caの条件に解が得られた。硫酸濃度は現在のレベルでも結果に関係しない。アルカリ度は現在の10倍以上になり，高い二酸化炭素分圧か低いCa濃度を反映したものと考えられる。また，高いMg/Ca比の原因として，低い中央海嶺での海水循環と活発な炭酸塩堆積に加え，800Ma頃のジプサムを含む蒸発岩生成 (Evans 2006) によるCaの枯渇が考えられる。海水のpHが炭酸カルシウムの溶解平衡に支配されているのであれば，Ca濃度の極端な低下が海水のpH上昇を促し，大気二酸化炭素の低下につながったのかもしれない。

Evans 2006, Nature 444, 51-55.
Hardie and Eugster 1980, Science 208, 498-500.
Hood and Wallace 2018. Global and Planetary Change 160, 28-45.

キーワード：新原生代、蒸発岩、海水成分
Keywords: Neoproterozoic, evaporite, seawater chemistry

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 独立成分分析により抽出された日本列島付加体中ペルム紀-トリアス紀境界黒色頁岩の地球化学的特徴

# Geochemical characteristics of black shales in the Japanese accretionary complex across the Permian-Triassic boundary extracted by independent component analysis

*矢野 萌生[1]、安川 和孝[1,3]、藤永 公一郎[3,2]、中村 謙太郎[1]、加藤 泰浩[2,1,3]
*Moei Yano[1], Kazutaka Yasukawa[1,3], Koichiro Fujinaga[3,2], Kentaro Nakamura[1], Yasuhiro Kato[2,1,3]

1. 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、2. 東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター、3. 千葉工業大学次世代海洋資源研究センター
1. Department of Systems Innvation, School of Engineering, The University of Tokyo, 2. Frontier Research Center for Energy and Resources, School of Engineering, The University of Tokyo, 3. Ocean Resources Research Center for Next Generation, Chiba Institute of Technology

The Permian-Triassic boundary (PTB) is characterized by an oxygen-depleted condition in the superocean Panthalassa. However, the degree of the oxygen depletion in deep-sea environments remains an open question.Deep-sea sediments that deposited from the latest Permian to early Triassic constitute black shale within the accretionary complexes of Japan, showing a distinct enrichment of redox sensitive trace metals (e.g., V, Mo, U) that precipitate under reducing conditions.In contrast to the Panthalassa at the PTB, the modern ocean is generally oxygenated from the surface to the bottom due to a sufficiently strong global ocean circulation. However, oxygen-depleted water masses can develop in some specific areas such as restricted basins and coastal upwelling areas, and blackish sediments in these areas show laminated facies and/or high total organic carbon contents reflecting oxygen-depleted conditions.Comparing the black shales at the PTB with the other sediments that deposited in oxygen-depleted conditions can characterize the Panthalassa across the PTB in a context of a broad spectrum of oceanic environmental changes throughout the Earth’s history. To this end, clarifying geochemical features of multiple elements, especially of redox sensitive trace metals, is quite a useful approach to extract the information of the oceanic environments involving variations in redox conditions. Here we applied independent component analysis to the multi-elemental data set composed of major- and trace-element contents of the samples from the PTB sections within the accretionary complexes of Japan, and black mud and shale of other geological times obtained by scientific drillings in the modern oceans. We will discuss the geochemical characteristics of the PTB black shales and the other blackish sediments, and oceanic environmental conditions across the PTB.

キーワード：ペルム紀ートリアス紀境界、黒色頁岩、酸化還元敏感微量金属、独立成分分析、付加体
Keywords: Permian-Triassic boundary, black shale, redox sensitive trace metals, independent component analysis, accretionary complex

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# オーストラリア・アジアテクタイトイベント起源のイジェクタ堆積物の分布：衝突地点への示唆

# The Distribution of the Ejecta Deposit derived from Australasian Tektite Event: Implication for the Location of the Impact

*多田 賢弘[1]、多田 隆治[1,2]、Carling Paul[3]、Songtham Wickanet[4]、Thuyen Xuan[5]、常 昱、田近 英一[1]

*Toshihiro Tada[1], Ryuji Tada[1,2], Paul Carling[3], Wickanet Songtham[4], Le Xuan Thuyen[5], Yu Chang, Eiichi Tajika[1]

1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 雲南大学、3. サウサンプトン大学、4. ナコンラチャシマラジャハト大学、5. ホーチミン市工科大学
1. Department of Earth and Planetary Science, 2. Yunnan University, 3. Geography and Environment, University of Southampton, 4. Northeastern Research institute of Petrified Wood and Mineral Resources, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, 5. Ho Chi Minh City University of Science

大規模な天体衝突によって形成されるガラススフェリュールであるテクタイトは、地球上では主に4つの地域に分布している (e.g, McCall, 2001)。そのうち、東南アジアから南極にまで及ぶ最大の分布域を持つオーストラリア・アジアテクタイトは、およそ79万年まえに東南アジアで起きた天体衝突（オーストラリア・アジアテクタイトイベント: AATE）によって形成されたとされる。この天体衝突イベントは、衝突天体の直径が数kmに達するような大規模な天体衝突イベントの中で最も新しく、衝突クレーターやイジェクタ層（衝突地点から放出された物質が堆積して形成される地層）などの衝突の証拠やそれに伴う古環境変動記録が長期間にわたる風化変質や侵食を受けることなくよく保存されていることが期待される。そのため、大規模天体衝突が引き起こす地球環境変動を調べるうえで重要な研究対象である。

地球表面積の10%以上を覆うテクタイト分布域の広さから、直径30-120kmの衝突クレーターが形成されたと推定されている (e.g., Prasad et al., 2007)。しかし、衝突クレーターは未だに発見されず、正確な衝突地点や衝突の規模、様式（衝突角度や速度、複数衝突であった可能性など）が明らかにされていないという問題がある。

従来、AATEの衝突地点推定は、テクタイトの分布に基づいて行われてきた。10cmを超える大きさや化学組成の不均質性から衝突地点近傍に分布するとされる層状テクタイトがタイ・ラオス・ベトナムの限られた地域に分布すること、海洋コア堆積物中のマイクロテクタイトの個数密度がインドシナ半島に近い程大きくなることは、衝突地点がインドシナ半島東部であることを示唆している (Shnetzler, 1992; Prasad et al., 2007)。

衝突地点をより厳密に制約するためには、イジェクタ層の分布が重要となる。イジェクタ層は、衝突地点に近い程層厚が厚くなり、そこに含まれる衝撃変成鉱物の含有量や粒径も大きくなることが知られているためである (e.g., Morgan et al., 2006)。しかし、インドシナ半島陸上において、この衝突によるイジェクタ層はこれまで報告されていなかった。

そこで我々は、インドシナ半島においてイジェクタ層を特定し、その分布を調べるため、タイ東北部・ベトナム中部・ラオス南部において野外調査を行ってきた。これまでに、タイ・ラオス国境付近のHuai Om セクションにおいて白亜系基盤岩を不整合に覆う第四紀層中から、天体衝突の最も確実な証拠の一つとされる衝撃変成石英を発見し、イジェクタ堆積物を特定した。この地点のイジェクタ堆積物は、下位より、基盤岩の同時礫を含む層厚およそ1mのシルト～砂層（ユニットⅠ）、テクタイトを含む層厚20cm～1mの礫層（ユニットⅡ）、層厚およそ3mの塊状砂層（ユニットⅢ）に区分される。

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

ユニットII・ユニットIIIに相当するテクタイトを含む礫層とそれを覆う塊状砂層は、インドシナ半島東部の広い範囲に分布する。特にユニットIIの層厚は、タイ・ラオス国境南部に近づく程厚くなる傾向が見られた。タイ東北部の、Hua Omセクションを含めた3地点のユニットII・IIIについて衝撃変成石英の含有量及び粒径を測定した結果、粒径は200μm程度で地点間に明確な差が見られなかったものの、含有量は5–10%程度で、タイ・ラオス国境南部に向かって大きくなることが分かった。 ユニットIIの層厚の変化及び、衝撃変成石英の含有量の分布は、衝突地点がタイ・ラオス国境南部付近であることを示唆している。

現在、さらに多くの地点で衝撃変成石英の含有量・粒径の測定を行っている。本発表ではインドシナ半島東部広域におけるイジェクタ堆積物の層厚、衝撃変成石英の含有量・粒径の分布を報告し、衝突地点のより確からしい推定を試みる。

キーワード：テクタイト、衝撃変成石英、イジェクタ、オーストラリア・アジアテクタイト
Keywords: Tektite, Shocked quartz, Ejecta, Australasian Tektite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 新原生代変火山岩類からなるエジプト・中部東砂漠のエル・ダバー地域の層序/地質構造の復元

# Tectonic-sedimentation reconstruction of Neoproterozoic metavolcanic sequences; the El-Dabbah area, Central Eastern Desert, Egypt

*清川 昌一[1]、鈴木 大志[1]、Maher Dawoud[3]、Mohamed El-Hasan[3]、堀江 憲路[2]、竹原 真美[2]
*Shoichi Kiyokawa[1], TAISHI SUZUKI[1], Maher Dawoud[3], El-Hasan Mohamed[3], Kenji Horie[2], Mami Takehara[2]

1. 九州大学大学院理学研究院地球惑星部門、2. 国立極地研究所、3. Menoufiya University,
1. Department of Earth and Planetary Sciences Faculty of sciences, Kyuushu University, 2. National Institute of Polar Research, 3. Department of Geology, Faculty of Science, Menoufiya University,

エジプト，東砂漠地域には縞状鉄鉱層を含む新原生代の火山岩ー堆積岩層序を持つ地質帯が広がっている．一般的に東砂漠地域では広い範囲で，変形や変成作用が強く，初期段階の層序／地質構造の復元が進んでいない．我々は，変形変成が低く，縞状鉄鉱層の層序が比較的残っている中部東砂漠地域のEl-Dabbah地域について，地質図作成，年代測定により地質構造／地質層序 の復元を行った．本地域は，El-Dabbah層，Atsham層，Hammamat Groupからなり，それぞれ不整合で接する地質帯である．El-Dabbah層は，島弧起源の火山岩ー砕屑岩層からなり，厚い枕状溶岩や火山砕屑岩，部分的に縞状鉄鉱層を含む地層である．Atsham層はモラッセタイプの礫岩を多く含む陸源堆積物である．Hammamat Groupは東砂漠地域に広く分布するプルアパート堆積盆であり，陸生層の赤色岩や湖起源の堆積物からなる．El-Dabbah地域ではこの不整合境界が広くみられており，不整合以前の火山岩・堆積岩層の地質構造が記録されている．SHRIMPによる3カ所の貫入年代（granite at *ca.*638.1±2.9 Ma and a rhyodacite at 659.6±3.0 Ma）およびHammamat Groupの砂岩中の砕屑性ジルコン年代が明らかになり，地質構造とともに，3回の変動ステージを明らかにした．$D_1$: 700–680 Ma: 島弧付加時期；$D_2$: 650–640 Ma：横ずれに伴うAtsham 層堆積とそれに伴う横ずれ運動および花崗岩類の貫入（大陸形成造山期）; $D_3$: 638–600~ Ma：プルアパート堆積盆形成と造山運動の終始期.

キーワード：新原生代、島弧、横ずれ堆積盆、縞状鉄鉱層
Keywords: Neoproterozoic, Island arc, strike-slip basin, banded iron formation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 M (領域外・複数領域)：M-IS ジョイント

2019年5月29日(水) 13:45 ~ 15:15 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_5

## [M-IS22] 地震・火山等の地殻活動に伴う地圏・大気圏・電離圏電磁現象

コンビーナ:児玉 哲哉(宇宙航空研究開発機構研究開発部門第一研究ユニット)、長尾 年恭(東海大学海洋研究所)

地震および火山噴火に先行した電磁現象の報告は古くから存在し、特に電離層に関する異常については、統計的有意性を示す論文が多数出版されてい る。しかしながら先行現象を説明するメカニズムは依然として仮説の段階である。本セッションでは震源域や火山からの電磁放射や地震・火山噴火前の大気圏・電離圏異常などの電磁現象を総合的に論じる。また近年，地震活動を臨界現象として扱い、地震活動度変化等に長距離相関という概念が持ち込まれるようになった。このようなアプローチも歓迎する。

### [MIS22-P01] 巨大地震前に起こるTEC変化：標準曲線の導出とそれが示唆する物理過程

*高坂 宥輝[1]、日置 幸介[1] (1.北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門)

### [MIS22-P02] HFドップラーを用いた異なる高度での東北地方太平洋沖地震に伴う電離圏擾乱の解析

*大野 夏樹[1]、中田 裕之[1]、大矢 浩代[1]、鷹野 敏明[1]、冨澤 一郎[2]、細川 敬祐[2]、津川 卓也[3]、西岡 未知[3] (1.千葉大学大学院融合理工学府基幹工学専攻電気電子工学コース、2.電気通信大学、3.情報通信研究機構)

### [MIS22-P03] 短期・直前地震発生予測を目指したVLF帯パルス電磁波の観測

*長尾 年恭[1]、井筒 潤[2]、鴨川 仁[3]、織原 義明[1]、杉浦 繁貴[4]、近藤 斎[4] (1.東海大学海洋研究所、2.中部大学中部高等学術研究所 国際GISセンター、3.東京学芸大学物理学分野、4.（株）コンポン研究所)

### [MIS22-P04] DEMETER衛星によって検知された地震先行的VLF強度現象時のELF帯電波強度について

*鴨川 仁[1]、児玉 哲哉[2]、長尾 年恭[3] (1.東京学芸大学教育学部物理学科、2.宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門、3.東海大学海洋研究所)

# 巨大地震前に起こるTEC変化：標準曲線の導出とそれが示唆する物理過程
# Ionospheric TEC changes immediately before large earthquakes: Derivation of the standard curve and discussion on the physical mechanisms

*高坂 宥輝[1]、日置 幸介[1]
*Yuki Takasaka [1], Kosuke Heki[1]

1. 北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門
1. Department of Earth and Planetary Science, Faculty of Science, Hokkaido University

2011年東北沖地震を契機に、大地震の前兆が地球の超高層大気である電離圏の全電子数（Total Electron content、TEC）変化として直前に現れることが、GNSS（Global Navigation Satellite System）衛星の2周波マイクロ波の位相差から見いだされた(Heki, 2011)。その後の数多くの地震前後のTECデータの解析により観測事実は充実していったが(e.g. He & Heki, 2017)、原因となる物理過程に関しては未解明な部分が多い。この前兆の存在は、本格的な断層滑りが始まる前に地震の最終的なサイズがある程度決まっていることを示唆し、地震学的にも重要である。

現在考えられている地震直前のTEC変化のシナリオは以下のようなものである。地震直前に断層を一方の端から侵食（弱化）する過程が起こる際に、微小な割目や食い違いが岩石中に生じる。そこで過酸化架橋と呼ばれる格子欠陥が切断されて生じた電子の空隙（正孔）が電子の移動とともに岩石中を移動し、互いの反発によって拡散した結果地表に蓄積する。蓄積した正孔は大気中に上向き電場を作り、地震断層が大きい場合電場は超高層大気に達する。電離圏内では磁力線に沿った電気抵抗が極めて小さいため、磁力線に沿って荷電粒子が移動してその方向の外部電場を打ち消す誘導電場が生じる。その過程で震源上空の電離圏下端の電子密度が上昇し、逆に高高度の電離圏では電子密度が減少する。この構造は電離圏トモグラフィーで推定した2015年Illapel地震直前の電子密度異常の3次元構造からも支持される(He and Heki, 2018)。

本研究では地震直前TEC変化の物理過程の解明に向けて、地震直前直後のTEC変化を、前兆が認められた18の地震（Mw7.3-9.2）について比較し、それらの間のスケーリング則を議論する。またそれらをスタックしたTEC変化標準曲線を導出し、物理過程のヒントを探す。上述のシナリオから考えると、地震とともに応力が解放され、新たな食い違いや割れ目の発生が起こらなくなると、地表の正電荷蓄積も停止し、TEC異常の成長も頭打ちになるだろう。導出した標準曲線から、地震発生時から音波擾乱が生じる約十分後までの間は、予測どおりTECは増加せず、ほぼ一定で推移することが示唆された。

またTEC異常の蓄積曲線は地域性を持つ可能性がある。陸域に対する海域の割合が大きい地域の地震では、電気伝導度の高い海水中の電荷拡散が速く、電荷が地表に蓄積しにくい。そのためTEC異常の成長も早期に定常状態になるだろう。逆に陸域では電荷の消散が遅く、地震まで継続してTEC異常が成長するかも知れない。TEC標準曲線と各々の地震におけるTEC変化曲線との形の比較から、一見かなり違って見える各地震の地震前TEC上昇曲線の形の差異は小さく、地域性はそれほど顕著ではないことが示唆された。

キーワード：電離圏の全電子数（TEC）、地震前TEC変化
Keywords: Total Electron Content (TEC), TEC changes immediately before large earthquakes

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# HFドップラーを用いた異なる高度での東北地方太平洋沖地震に伴う電離圏擾乱の解析

# Examination of ionospheric disturbances at different altitudes associated with Tohoku earthquake using HF Doppler sounding

*大野 夏樹[1]、中田 裕之[1]、大矢 浩代[1]、鷹野 敏明[1]、冨澤 一郎[2]、細川 敬祐[2]、津川 卓也[3]、西岡 未知[3]
*Natsuki Ono[1], Hiroyuki Nakata[1], Hiroyo Ohya[1], Toshiaki Takano[1], Ichiro Tomizawa[2], Keisuke Hosokawa[2], Takuya Tsugawa[3], Michi Nishioka[3]

1. 千葉大学大学院融合理工学府基幹工学専攻電気電子工学コース、2. 電気通信大学、3. 情報通信研究機構
1. Department of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, 2. The University of Electro-Communications, 3. NICT

大規模な地震の発生後に地面変動や津波により生じた音波や大気重力波が電離圏高度まで伝搬し電離圏擾乱が発生することが知られているが，地震発生後の電離圏中での鉛直方向の伝搬を捉えた例は多くない．本研究で用いる HFドップラー(HFD)では， 異なる送信周波数(5.006，6.055，8.006，9.595 MHz)の電波を用いることで複数の高度での変動を観測することが可能である．国土地理院のGNSS連続観測システム(GNSS Earth Observation Network : GEONET)により導出されるGPS-TECのデータと合わせて，地震に伴う電離圏擾乱の変動について高度方向の変化に注目し,解析を行った．

2011年3月11日 14:46(JST)に発生したM9.0の東北地方太平洋沖地震において，観測点( HFDの電波反射点)直下付近の地震計に変動が確認された．HFDでは地震計に表面波が到達した約9分後に菅平，木曽受信点の両データに変動を確認しGPS-TECでは約10分後に変動を確認した．津波から直接音波が到達するには約20分かかるため,変動初期の10分は地面の変動により励起された音波が上空に伝搬して発生したと考えられる。さらにHFD, GPS-TEC, 地震計のデータにより観測された擾乱の周波数解析を行った．地震計および比較的低高度電離圏で反射したHFDデータ(5.006，6.055 MHz)の変動は，3～20 mHzまで周波数成分を含んでいたが高高度で反射したHFDデータ( 8.006，9.595 MHz)は3～5 mHzの周波数成分が卓越していることが分かった．3～5 mHzは多くの地震に伴うTEC変動で卓越する周波数帯であり本イベントでも同様の変動が確認され，高高度で反射したHFDデータにおいて近い周波数成分をもつ変動が確認された．7～20 mHzの周波数成分は，地震波が励起した音波は高い周波数ほど高高度で減衰するため，8.006，9.595 MHzのデータでは変動が減衰したと考えられる．この変動について，他の受信点のHFDデータとGPS-TECデータ, 地震計データを用いて比較・解析を行っており，発表ではその結果について報告する予定である．

キーワード：電離圏、地震、HFドップラー、電離圏全電子数
Keywords: ionosphere, earthquake, HF Doppler, TEC

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 短期・直前地震発生予測を目指したVLF帯パルス電磁波の観測
# Electromagnetic observation addressed to the short-term earthquake prediction research in VLF band

*長尾 年恭[1]、井筒 潤[2]、鴨川 仁[3]、織原 義明[1]、杉浦 繁貴[4]、近藤 斎[4]
*Toshiyasu Nagao[1], Jun Izutsu[2], Masashi Kamogawa[3], Yoshiaki Orihara[1], Shigeki Sugiura[4], Hitoshi Kondo[4]

1. 東海大学海洋研究所、2. 中部大学中部高等学術研究所 国際GISセンター、3. 東京学芸大学物理学分野、4. （株）コンポン研究所
1. Institute of Oceanic Research and development, Tokai University, 2. Intl. Digital Earth Applied Sci. Res. Ctr, Chubu Inst. for Advanced Studies, Chubu Univ., 3. Department of Physics, Tokyo Gakugei University, 4. Genesis Research Institute, Inc.

地震発生の数日前より、電磁放射によるノイズかが増加することか〝1980 年代になり報告されるようになってきた。尾池和夫によれば、これらは地震発生の数日前からノイズの増加が始まり、地震発生の後に次第に終了するという特徴があると述べていた。しかしなか〝ら当時の観測では、VLF帯のノイズの増加が、単に空電を観測しているだけで、地震活動との相関は擬似的なものであるとの意見も根強かった。

東海大学では、VLF帯の観測装置を１９９４年ごろから開発し、水平磁場2成分波形を測定し、見かけ到来方位を決定できるシステムを構築した。観測はその後、立案者の死去や、観測担当教官の異動などもあり中断する事となったが、本手法は検証すべきであると、国の予知研究を統括している、「地震予知・火山噴火予知研究協議会」て〝認められ、２０１４年度から新たな研究が開始された。浅田らは直線偏波の電磁波のみを解析していたため、ゴニオメーター法で、波源の推定を行っていたが、今回の計測装置は時計の精度が極めて高く、かつ100MHzサンプリングが可能なため、電磁波の到達時間差を用いた波源決定法を採用した。今回の発表では、現時点で観測ネットワーク内で発生した最大の内陸地震である2017年6 月23日の長野県の地震（M5.6）についての解析結果を主に報告する。予察的な結果として、地震発生２日前の６月２３日に震央付近から到来する電磁波を観測する事ができた。

本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」、東海大学海洋研究所・２０１８年度コア研究プロジェクトおよび（株）コンポン研究所の支援を受けて実施されました。

キーワード：短期予測、地震予知、VLF帯
Keywords: short-term prediction, earthquake prediction, VLF band

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# DEMETER衛星によって検知された地震先行的VLF強度現象時のELF帯電波強度について
# ELF electric field intensity at the time of VLF precursor in the DEMETER data

*鴨川 仁[1]、児玉 哲哉[2]、長尾 年恭[3]
*Masashi Kamogawa[1], Tetsuya Kodama[2], Toshiyasu Nagao[3]

1. 東京学芸大学教育学部物理学科、2. 宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門、3. 東海大学海洋研究所
1. Department of Physics, Tokyo Gakugei University, 2. Japan Space Exploration Agency, 3. Tokai University

地震に関連する電磁気現象として大気圏および電離圏擾乱は1980年代後半ごろから指摘されてきた。これらの擾乱は、比較的大きなマグニチュードの地震前でも変動が微少であるので、先行現象の存否を示すには大量なイベント収集による統計的な評価が求められる。その意味で、2004年6月にフランスCNESによって地震電磁気衛星DEMETERが打ち上げられ、地震に先行する夜間VLF帯電磁波強度減少現象がM4.8以上の地震、震央距離が500 km以内、地震発生前4時間前に見いだされた (Nemec et al., GRL, 2008)。このVLF帯電波強度減少現象は我々の先行研究によってD領域の電子密度上昇によって引き起こされていることが示唆されている。本研究では、D領域の変動が発生しているのであればELF帯電波強度にも変動があると予想し、ELFデータを用いて、先行現象発生時の強度現象について解析を行った。

キーワード：地震、電離圏、DEMETER衛星
Keywords: Earthquake, Ionosphere, DEMETER satellite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 M (領域外・複数領域)：M-IS ジョイント

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_36

## [M-IS22] 地震・火山等の地殻活動に伴う地圏・大気圏・電離圏電磁現象

コンビーナ:児玉 哲哉(宇宙航空研究開発機構研究開発部門第一研究ユニット)、長尾 年恭(東海大学海洋研究所)

地震および火山噴火に先行した電磁現象の報告は古くから存在し、特に電離層に関する異常については、統計的有意性を示す論文が多数出版されてい る。しかしながら先行現象を説明するメカニズムは依然として仮説の段階である。本セッションでは震源域や火山からの電磁放射や地震・火山噴火前の大気圏・電離圏異常などの電磁現象を総合的に論じる。また近年，地震活動を臨界現象として扱い、地震活動度変化等に長距離相関という概念が持ち込まれるようになった。このようなアプローチも歓迎する。

### [MIS22-P01] 巨大地震前に起こるTEC変化：標準曲線の導出とそれが示唆する物理過程

*高坂 宥輝[1]、日置 幸介[1] (1.北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門)

### [MIS22-P02] HFドップラーを用いた異なる高度での東北地方太平洋沖地震に伴う電離圏擾乱の解析

*大野 夏樹[1]、中田 裕之[1]、大矢 浩代[1]、鷹野 敏明[1]、冨澤 一郎[2]、細川 敬祐[2]、津川 卓也[3]、西岡 未知[3] (1.千葉大学大学院融合理工学府基幹工学専攻電気電子工学コース、2.電気通信大学、3.情報通信研究機構)

### [MIS22-P03] 短期・直前地震発生予測を目指したVLF帯パルス電磁波の観測

*長尾 年恭[1]、井筒 潤[2]、鴨川 仁[3]、織原 義明[1]、杉浦 繁貴[4]、近藤 斎[4] (1.東海大学海洋研究所、2.中部大学中部高等学術研究所 国際GISセンター、3.東京学芸大学物理学分野、4.（株）コンポン研究所)

### [MIS22-P04] DEMETER衛星によって検知された地震先行的VLF強度現象時のELF帯電波強度について

*鴨川 仁[1]、児玉 哲哉[2]、長尾 年恭[3] (1.東京学芸大学教育学部物理学科、2.宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門、3.東海大学海洋研究所)

# 巨大地震前に起こるTEC変化：標準曲線の導出とそれが示唆する物理過程
# Ionospheric TEC changes immediately before large earthquakes: Derivation of the standard curve and discussion on the physical mechanisms

*高坂 宥輝[1]、日置 幸介[1]
*Yuki Takasaka [1], Kosuke Heki[1]

1. 北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門
1. Department of Earth and Planetary Science, Faculty of Science, Hokkaido University

2011年東北沖地震を契機に、大地震の前兆が地球の超高層大気である電離圏の全電子数（Total Electron content、TEC）変化として直前に現れることが、GNSS（Global Navigation Satellite System）衛星の2周波マイクロ波の位相差から見いだされた(Heki, 2011)。その後の数多くの地震前後のTECデータの解析により観測事実は充実していったが(e.g. He & Heki, 2017)、原因となる物理過程に関しては未解明な部分が多い。この前兆の存在は、本格的な断層滑りが始まる前に地震の最終的なサイズがある程度決まっていることを示唆し、地震学的にも重要である。

現在考えられている地震直前のTEC変化のシナリオは以下のようなものである。地震直前に断層を一方の端から侵食（弱化）する過程が起こる際に、微小な割目や食い違いが岩石中に生じる。そこで過酸化架橋と呼ばれる格子欠陥が切断されて生じた電子の空隙（正孔）が電子の移動とともに岩石中を移動し、互いの反発によって拡散した結果地表に蓄積する。蓄積した正孔は大気中に上向き電場を作り、地震断層が大きい場合電場は超高層大気に達する。電離圏内では磁力線に沿った電気抵抗が極めて小さいため、磁力線に沿って荷電粒子が移動してその方向の外部電場を打ち消す誘導電場が生じる。その過程で震源上空の電離圏下端の電子密度が上昇し、逆に高高度の電離圏では電子密度が減少する。この構造は電離圏トモグラフィーで推定した2015年Illapel地震直前の電子密度異常の3次元構造からも支持される(He and Heki, 2018)。

本研究では地震直前TEC変化の物理過程の解明に向けて、地震直前直後のTEC変化を、前兆が認められた18の地震（Mw7.3-9.2）について比較し、それらの間のスケーリング則を議論する。またそれらをスタックしたTEC変化標準曲線を導出し、物理過程のヒントを探す。上述のシナリオから考えると、地震とともに応力が解放され、新たな食い違いや割れ目の発生が起こらなくなると、地表の正電荷蓄積も停止し、TEC異常の成長も頭打ちになるだろう。導出した標準曲線から、地震発生時から音波擾乱が生じる約十分後までの間は、予測どおりTECは増加せず、ほぼ一定で推移することが示唆された。

またTEC異常の蓄積曲線は地域性を持つ可能性がある。陸域に対する海域の割合が大きい地域の地震では、電気伝導度の高い海水中の電荷拡散が速く、電荷が地表に蓄積しにくい。そのためTEC異常の成長も早期に定常状態になるだろう。逆に陸域では電荷の消散が遅く、地震まで継続してTEC異常が成長するかも知れない。TEC標準曲線と各々の地震におけるTEC変化曲線との形の比較から、一見かなり違って見える各地震の地震前TEC上昇曲線の形の差異は小さく、地域性はそれほど顕著ではないことが示唆された。

キーワード：電離圏の全電子数（TEC）、地震前TEC変化
Keywords: Total Electron Content (TEC), TEC changes immediately before large earthquakes

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# HFドップラーを用いた異なる高度での東北地方太平洋沖地震に伴う電離圏擾乱の解析

# Examination of ionospheric disturbances at different altitudes associated with Tohoku earthquake using HF Doppler sounding

*大野 夏樹[1]、中田 裕之[1]、大矢 浩代[1]、鷹野 敏明[1]、冨澤 一郎[2]、細川 敬祐[2]、津川 卓也[3]、西岡 未知[3]
*Natsuki Ono[1], Hiroyuki Nakata[1], Hiroyo Ohya[1], Toshiaki Takano[1], Ichiro Tomizawa[2], Keisuke Hosokawa[2], Takuya Tsugawa[3], Michi Nishioka[3]

1. 千葉大学大学院融合理工学府基幹工学専攻電気電子工学コース、2. 電気通信大学、3. 情報通信研究機構
1. Department of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, 2. The University of Electro-Communications, 3. NICT

大規模な地震の発生後に地面変動や津波により生じた音波や大気重力波が電離圏高度まで伝搬し電離圏擾乱が発生することが知られているが，地震発生後の電離圏中での鉛直方向の伝搬を捉えた例は多くない．本研究で用いる HFドップラー(HFD)では， 異なる送信周波数(5.006，6.055，8.006，9.595 MHz)の電波を用いることで複数の高度での変動を観測することが可能である．国土地理院のGNSS連続観測システム(GNSS Earth Observation Network : GEONET)により導出されるGPS-TECのデータと合わせて，地震に伴う電離圏擾乱の変動について高度方向の変化に注目し,解析を行った．

2011年3月11日 14:46(JST)に発生したM9.0の東北地方太平洋沖地震において，観測点( HFDの電波反射点)直下付近の地震計に変動が確認された．HFDでは地震計に表面波が到達した約9分後に菅平，木曽受信点の両データに変動を確認しGPS-TECでは約10分後に変動を確認した．津波から直接音波が到達するには約20分かかるため,変動初期の10分は地面の変動により励起された音波が上空に伝搬して発生したと考えられる。さらにHFD, GPS-TEC, 地震計のデータにより観測された擾乱の周波数解析を行った．地震計および比較的低高度電離圏で反射したHFDデータ(5.006，6.055 MHz)の変動は，3～20 mHzまで周波数成分を含んでいたが高高度で反射したHFDデータ( 8.006，9.595 MHz)は3～5 mHzの周波数成分が卓越していることが分かった．3～5 mHzは多くの地震に伴うTEC変動で卓越する周波数帯であり本イベントでも同様の変動が確認され，高高度で反射したHFDデータにおいて近い周波数成分をもつ変動が確認された．7～20 mHzの周波数成分は，地震波が励起した音波は高い周波数ほど高高度で減衰するため，8.006，9.595 MHzのデータでは変動が減衰したと考えられる．この変動について，他の受信点のHFDデータとGPS-TECデータ, 地震計データを用いて比較・解析を行っており，発表ではその結果について報告する予定である．

キーワード：電離圏、地震、HFドップラー、電離圏全電子数
Keywords: ionosphere, earthquake, HF Doppler, TEC

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 短期・直前地震発生予測を目指したVLF帯パルス電磁波の観測
# Electromagnetic observation addressed to the short-term earthquake prediction research in VLF band

*長尾 年恭[1]、井筒 潤[2]、鴨川 仁[3]、織原 義明[1]、杉浦 繁貴[4]、近藤 斎[4]
*Toshiyasu Nagao[1], Jun Izutsu[2], Masashi Kamogawa[3], Yoshiaki Orihara[1], Shigeki Sugiura[4], Hitoshi Kondo[4]

1. 東海大学海洋研究所、2. 中部大学中部高等学術研究所 国際GISセンター、3. 東京学芸大学物理学分野、4. （株）コンポン研究所
1. Institute of Oceanic Research and development, Tokai University, 2. Intl. Digital Earth Applied Sci. Res. Ctr, Chubu Inst. for Advanced Studies, Chubu Univ., 3. Department of Physics, Tokyo Gakugei University, 4. Genesis Research Institute, Inc.

地震発生の数日前より、電磁放射によるノイズかが増加することか〝1980 年代になり報告されるようになってきた。尾池和夫によれば、これらは地震発生の数日前からノイズの増加が始まり、地震発生の後に次第に終了するという特徴があると述べていた。しかしなか〝ら当時の観測では、VLF帯のノイズの増加が、単に空電を観測しているだけで、地震活動との相関は擬似的なものであるとの意見も根強かった。

東海大学では、VLF帯の観測装置を１９９４年ごろから開発し、水平磁場2成分波形を測定し、見かけ到来方位を決定できるシステムを構築した。観測はその後、立案者の死去や、観測担当教官の異動などもあり中断する事となったが、本手法は検証すべきであると、国の予知研究を統括している、「地震予知・火山噴火予知研究協議会」て〝認められ、２０１４年度から新たな研究が開始された。浅田らは直線偏波の電磁波のみを解析していたため、ゴニオメーター法で、波源の推定を行っていたが、今回の計測装置は時計の精度が極めて高く、かつ100MHzサンプリングが可能なため、電磁波の到達時間差を用いた波源決定法を採用した。今回の発表では、現時点で観測ネットワーク内で発生した最大の内陸地震である2017年6 月23日の長野県の地震（M5.6）についての解析結果を主に報告する。予察的な結果として、地震発生２日前の６月２３日に震央付近から到来する電磁波を観測する事ができた。

本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」、東海大学海洋研究所・２０１８年度コア研究プロジェクトおよび（株）コンポン研究所の支援を受けて実施されました。

キーワード：短期予測、地震予知、VLF帯
Keywords: short-term prediction, earthquake prediction, VLF band

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# DEMETER衛星によって検知された地震先行的VLF強度現象時のELF帯電波強度について
# ELF electric field intensity at the time of VLF precursor in the DEMETER data

*鴨川 仁[1]、児玉 哲哉[2]、長尾 年恭[3]
*Masashi Kamogawa[1], Tetsuya Kodama[2], Toshiyasu Nagao[3]

1. 東京学芸大学教育学部物理学科、2. 宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門、3. 東海大学海洋研究所
1. Department of Physics, Tokyo Gakugei University, 2. Japan Space Exploration Agency, 3. Tokai University

地震に関連する電磁気現象として大気圏および電離圏擾乱は1980年代後半ごろから指摘されてきた。これらの擾乱は、比較的大きなマグニチュードの地震前でも変動が微少であるので、先行現象の存否を示すには大量なイベント収集による統計的な評価が求められる。その意味で、2004年6月にフランスCNESによって地震電磁気衛星DEMETERが打ち上げられ、地震に先行する夜間VLF帯電磁波強度減少現象がM4.8以上の地震、震央距離が500 km以内、地震発生前4時間前に見いだされた (Nemec et al., GRL, 2008)。このVLF帯電波強度減少現象は我々の先行研究によってD領域の電子密度上昇によって引き起こされていることが示唆されている。本研究では、D領域の変動が発生しているのであればELF帯電波強度にも変動があると予想し、ELFデータを用いて、先行現象発生時の強度現象について解析を行った。

キーワード：地震、電離圏、DEMETER衛星
Keywords: Earthquake, Ionosphere, DEMETER satellite

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 M (領域外・複数領域)：M-GI 地球科学一般・情報地球科学

2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_22

## [M-GI36] ソーシャルメディアと地球惑星科学

コンビーナ:天野 一男(茨城大学理学部地球生命環境科学科)、小口 高(東京大学空間情報科学研究センター)、伊藤 昌毅(東京大学生産技術研究所)、山本 佳世子(国立大学法人　電気通信大学)

ソーシャルメディアは、研究情報の収集や研究の推進に活用されているばかりでなく、研究成果の社会へのアウトリーチなどにも大いに利用されている。本セッションは、2011年以降毎年開催され、今回で9回目になる。本年もソーシャルメディアの急速な発展を踏まえつつ、従来の事例紹介・手法の開発・レビュー・意見表明などに加えて、環境問題・防災対策等への応用にまでテーマを広げ、学際的な議論を展開したい。幅広い分野にわたる発表を歓迎する。

### [MGI36-P01] 防災チャットボットの研究開発

*東 宏樹[1]、萩行 正嗣[2]、大竹 清敬[3] (1.国立研究開発法人防災科学技術研究所、2.株式会社ウェザーニューズ、3.国立研究開発法人情報通信研究機構)

### [MGI36-P02] 極地研究所における画像プラットフォームとソーシャルメディアとの連携

*照井 健志[1]、南山 泰之[2]、肥田野 正輝[3] (1.国立極地研究所、2.東京財団政策研究所、3.インフォ・ラウンジ株式会社)

### [MGI36-P03] 日本地理学会のツイッターアカウントの開設と初期運用

*小口 高[1]、西村 雄一郎[2]、河本 大地[3]、新名 阿津子[4]、齋藤 仁[5] (1.東京大学空間情報科学研究センター、2.奈良女子大学人文科学系研究院、3.奈良教育大学、4.伊豆半島ジオパーク推進協議会、5.関東学院大学経済学部)

### [MGI36-P04] 茨城県北ジオパーク構想におけるJGC認定取り消し後のSNSの活用

*天野 一男[1]、細井 淳[2] (1.日本大学文理学部自然科学研究所、2.産業技術総合研究所地質情報研究部門)

# 防災チャットボットの研究開発
# Research and Development on Chatbot for Disaster Response

*東 宏樹[1]、萩行 正嗣[2]、大竹 清敬[3]
*Hiroki Azuma[1], Masatsugu Hangyo[2], Kiyonori Ohtake[3]

1. 国立研究開発法人防災科学技術研究所、2. 株式会社ウェザーニューズ、3. 国立研究開発法人情報通信研究機構
1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Weathernews Inc., 3. National Institute of Information and Communications Technology

災害時には、災害対応機関の人的・時間的リソースが限られる。このためソーシャルメディア等のICT技術を活用した効率的な災害対応が求められる。本研究では、大きく分けて二つの課題に取り組む。一つ目は、防災チャットボットが被災者との対話を通して、様々な被災状況を収集し、自動で要約し災害対応機関に提供するシステムの開発である。二つ目は、防災チャットボットが被災者との対話を通して得た、被災者の状況に基づき、被災者一人ひとりに最適化された情報を被災者に提供するシステムの開発である。本発表では、技術的背景とともに、ソーシャルメディア活用技術の社会実装の事例として、本研究テーマを紹介する。

キーワード：災害対応、チャットボット、社会実装
Keywords: Disaster response, Chatbot, Social implementation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

第2期SIP「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」

共同研究開発機関：株式会社ウェザーニューズ
国立研究開発法人情報通信研究機構

# 対話型災害情報流通基盤の研究開発




## 2018年度～ 防災チャットボットをつくっています。




【研究の概要】
●個人が避難や活動に必要な情報をスマホ等での対話システムを介して入手・提供できるようにすることで、迅速・確実な避難を実現するとともに、その情報に基づいて災害対応機関の業務を効率化する情報流通基盤を研究開発する。
●①個人の状況・要望に応じて情報提供する技術（個人適応型対話技術）、②社会動態を観測する情報収集・要約技術（対話からの社会動態抽出技術）を開発し、個人との自動対話システムとして確立する。




●各種災害情報と発話情報の融合処理と、対話を介することで誤情報等を排除しながら効果的に情報収集を行い、社会動態として抽出

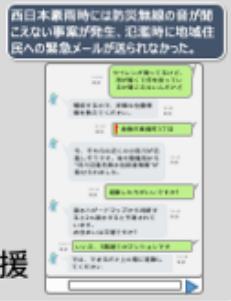
●LINE等、普段使いのメッセージングアプリ等で数十万人規模で実現



## 防災チャットボットはどんな課題を解決するの？

こんなことを実現する予定です。

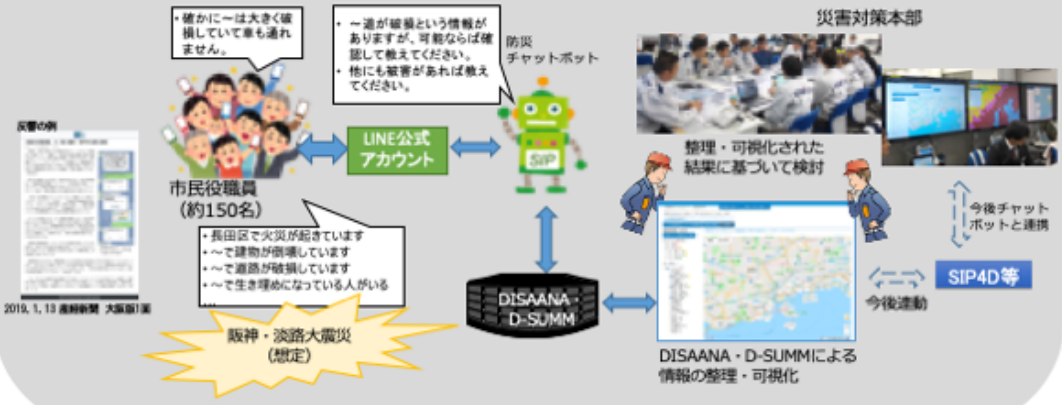
- 国民一人ひとりに最適化された避難等の支援
- 逐次変化する状況/要望に合わせた最適な情報提供
- 従来のセンサーでは得られなかった情報の取得
- 大量の個別要望等を短時間に自動処理し、人的資源が不足する災害対応機関の業務効率化を支援




## すでに始まっている取り組みを教えて

神戸市での実証実験（2018.12.21）をおこないました。

- SIP第2期で開発中の防災チャットボットのプロトタイプを用いてコンセプトを実証しました
- 防災チャットボットの有用性を確認しました
- 神戸の震災で救援の対応をされた経験のある危機管理室長から、「大変わかりやすく、阪神淡路大震災の時とは隔世の感がある」とコメントをいただきました




NIED 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 極地研究所における画像プラットフォームとソーシャルメディアとの連携
# Collaboration between NIPR image platform service and social media

*照井 健志[1]、南山 泰之[2]、肥田野 正輝[3]
*Takeshi Terui[1], Yasuyuki Minamiyama[2], Masaki Hidano[3]

1. 国立極地研究所、2. 東京財団政策研究所、3. インフォ・ラウンジ株式会社
1. National Institute of Polar Research, 2. Tokyo Foundation for Policy Research, 3. Info Lounge Corporation

国立極地研究所では南極・北極観測の歴史を記録した画像データ及びそのメタデータの公開プラットフォームを開発中である。NIPR Image Archive (https://image.nipr.ac.jp)として試験的に公開されている。画像プラットフォームで公開される画像は南極・北極における記録写真や映像が含まれており、両極における日本の公的活動を記録してきた画像データである。これらの画像データの利活用やメタデータ流通を効率的に行うため各種外部Webサービスとの連携を視野に入れている。そのため標準規格となるIIIFやWeb API, JSON-LDへの対応を行い、Web上での流通の試験中である。将来的には一般的な画像検索サービスを通じてソーシャルメディア(FlickerやInstagramなど)や各種クラウドサービス上での検索や共有などの流通の強化について対応予定である。本研究発表では、研究機関による画像データの公開の推進に期待されるデータ流通への効果と、ソーシャルメディアや検索エンジンとの連携強化に期待をしている事を紹介する。

キーワード：画像検索、データ流通、Omeka、極域、IIIF、Web API
Keywords: Image Search, Data Dissemination, Omeka, Polar Region, IIIF, Web API

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 日本地理学会のツイッターアカウントの開設と初期運用
# Twitter account of the Association of Japanese Geographers: History of establishment and operation

*小口 高[1]、西村 雄一郎[2]、河本 大地[3]、新名 阿津子[4]、齋藤 仁[5]
*Takashi Oguchi[1], Yuichiro Nishimura[2], Daichi Kohmoto[3], Atsuko Niina[4], Hitoshi Saito[5]

1. 東京大学空間情報科学研究センター、2. 奈良女子大学人文科学系研究院、3. 奈良教育大学、4. 伊豆半島ジオパーク推進協議会、5. 関東学院大学経済学部
1. Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo, 2. Division of Humanities and Social Sciences, Nara Women's University, 3. Nara University of Education, 4. Izu Peninsula Geopark Promotion Council, 5. College of Economics, Kanto Gakuin University

日本地理学会が運用しているツイッターアカウント（@ajgeog）は約1万5千人がフォローしており、諸学会のアカウントの中でも知名度が高く、一定の影響力を持っている。このアカウントは多くの学会のアカウントとは異なり、地理学に関連した一般的なツイートを多数リツイートしたり、フォローを返したりすることが多い。アカウントの運用は同学会の広報専門委員会が担当しており、過去5年間以上にわたり地理学に関する情報の伝達に継続的に寄与してきた。本発表では、2012年9月の同アカウントの開設と、その後の初期運用において中心的な役割を担った5名が、当時の経緯と背後で行われていた議論の内容を紹介する。

キーワード：日本地理学会、ツイッター、歴史
Keywords: Association of Japanese Geographers, Twitter, History

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 茨城県北ジオパーク構想におけるJGC認定取り消し後のSNSの活用
# Utilization of SNS for the North-Ibaraki Geopark Plan after canceling the certification of JGC

*天野 一男[1]、細井 淳[2]
*Kazuo Amano[1], Jun Hosoi[2]

1. 日本大学文理学部自然科学研究所、2. 産業技術総合研究所地質情報研究部門
1. The Institute of Natural Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon Univ., 2. Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, AIST

「茨城県北ジオパーク」は，2017年に日本ジオパークネットワーク(JGN)のメンバーの認定を日本ではじめて取り消された。現時点で，認定取り消しになった唯一のジオパークである。現在は，早期の再認定をめざして「茨城県北ジオパーク構想」として，活動を継続的に展開している。認定取り消しの理由について虚心坦懐に分析することは，茨城県北ジオパークの再認定に向けても重要であるが，日本におけるジオパークのあり方について考える際にもさまざまな示唆を与えるものと考える。本講演では，再認定に向けた活動の内，SNSの活用に焦点をしぼって報告する。

茨城県北ジオパーク構想で使われている主なSNSは，Website, Twitter, Facebook, Facebook Pageである。推進協議会公式のものは，WebsiteとTwitterで，FacebookとFacebook Pageは，非公式のものである。公式のWebsite，Twitterでは，基本的には推進協議会で決定した事項にしたがった報告がなされている。Twitterは，早い情報提供をめざして，ジオツアーの予告，報告を中心に活用している。正規の情報提供の道具としては効果的であった。一方，非公開のFacebookでは，かなり自由な議論が展開されている。非公開のFacebookで，公開しても問題のないテーマについては，非公式のFacebook Pageで報告した。このFacebook Pageは，推進協議会の公式のものでないため，投稿者の自由な意見が反映されていて興味深い。組織の公式のSNSと非公式のSNSの特性を把握した上で，両者を組み合わせて活用してきた。

非公開のSNSでは，ジオパークのしくみ，認定制度のあり方，自治体の関わり方，市民の関わり方など議論が展開されてきた。これらについて主要なものについて報告し，今後の日本のジオパークのあり方についても議論したい。

キーワード：SNS、茨城県北ジオパーク、日本ジオパークネットワーク
Keywords: SNS, North Ibaraki Geopark, Japan Gepark Network

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

[J] ポスター発表 | セッション記号 M (領域外・複数領域)：M-GI 地球科学一般・情報地球科学

2019年5月29日(水) 17:15 ~ 18:30 | ポスター会場 幕張メッセ国際展示場 8ホール_38

## [M-GI36] ソーシャルメディアと地球惑星科学

コンビーナ:天野 一男(茨城大学理学部地球生命環境科学科)、小口 高(東京大学空間情報科学研究センター)、伊藤 昌毅(東京大学生産技術研究所)、山本 佳世子(国立大学法人　電気通信大学)

ソーシャルメディアは、研究情報の収集や研究の推進に活用されているばかりでなく、研究成果の社会へのアウトリーチなどにも大いに利用されている。本セッションは、2011年以降毎年開催され、今回で9回目になる。本年もソーシャルメディアの急速な発展を踏まえつつ、従来の事例紹介・手法の開発・レビュー・意見表明などに加えて、環境問題・防災対策等への応用にまでテーマを広げ、学際的な議論を展開したい。幅広い分野にわたる発表を歓迎する。

### [MGI36-P01] 防災チャットボットの研究開発

*東 宏樹[1]、萩行 正嗣[2]、大竹 清敬[3] (1.国立研究開発法人防災科学技術研究所、2.株式会社ウェザーニューズ、3.国立研究開発法人情報通信研究機構)

### [MGI36-P02] 極地研究所における画像プラットフォームとソーシャルメディアとの連携

*照井 健志[1]、南山 泰之[2]、肥田野 正輝[3] (1.国立極地研究所、2.東京財団政策研究所、3.インフォ・ラウンジ株式会社)

### [MGI36-P03] 日本地理学会のツイッターアカウントの開設と初期運用

*小口 高[1]、西村 雄一郎[2]、河本 大地[3]、新名 阿津子[4]、齋藤 仁[5] (1.東京大学空間情報科学研究センター、2.奈良女子大学人文科学系研究院、3.奈良教育大学、4.伊豆半島ジオパーク推進協議会、5.関東学院大学経済学部)

### [MGI36-P04] 茨城県北ジオパーク構想におけるJGC認定取り消し後のSNSの活用

*天野 一男[1]、細井 淳[2] (1.日本大学文理学部自然科学研究所、2.産業技術総合研究所地質情報研究部門)

# 防災チャットボットの研究開発
# Research and Development on Chatbot for Disaster Response

*東 宏樹[1]、萩行 正嗣[2]、大竹 清敬[3]
*Hiroki Azuma[1], Masatsugu Hangyo[2], Kiyonori Ohtake[3]

1. 国立研究開発法人防災科学技術研究所、2. 株式会社ウェザーニューズ、3. 国立研究開発法人情報通信研究機構
1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Weathernews Inc., 3. National Institute of Information and Communications Technology

災害時には、災害対応機関の人的・時間的リソースが限られる。このためソーシャルメディア等のICT技術を活用した効率的な災害対応が求められる。本研究では、大きく分けて二つの課題に取り組む。一つ目は、防災チャットボットが被災者との対話を通して、様々な被災状況を収集し、自動で要約し災害対応機関に提供するシステムの開発である。二つ目は、防災チャットボットが被災者との対話を通して得た、被災者の状況に基づき、被災者一人ひとりに最適化された情報を被災者に提供するシステムの開発である。本発表では、技術的背景とともに、ソーシャルメディア活用技術の社会実装の事例として、本研究テーマを紹介する。

キーワード：災害対応、チャットボット、社会実装
Keywords: Disaster response, Chatbot, Social implementation

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

第2期SIP「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」

共同研究開発機関：株式会社ウェザーニューズ
国立研究開発法人情報通信研究機構

# 対話型災害情報流通基盤の研究開発




## 2018年度～ 防災チャットボットをつくっています。




【研究の概要】
●個人が避難や活動に必要な情報をスマホ等での対話システムを介して入手・提供できるようにすることで、迅速・確実な避難を実現するとともに、その情報に基づいて災害対応機関の業務を効率化する情報流通基盤を研究開発する。
●①個人の状況・要望に応じて情報提供する技術（個人適応型対話技術）、②社会動態を観測する情報収集・要約技術（対話からの社会動態抽出技術）を開発し、個人との自動対話システムとして確立する。




●各種災害情報と発話情報の融合処理と、対話を介することで誤情報等を排除しながら効果的に情報収集を行い、社会動態として抽出

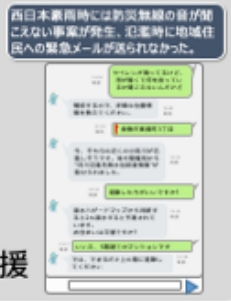
●LINE等、普段使いのメッセージングアプリ等で数十万人規模で実現



## 防災チャットボットはどんな課題を解決するの？

こんなことを実現する予定です。

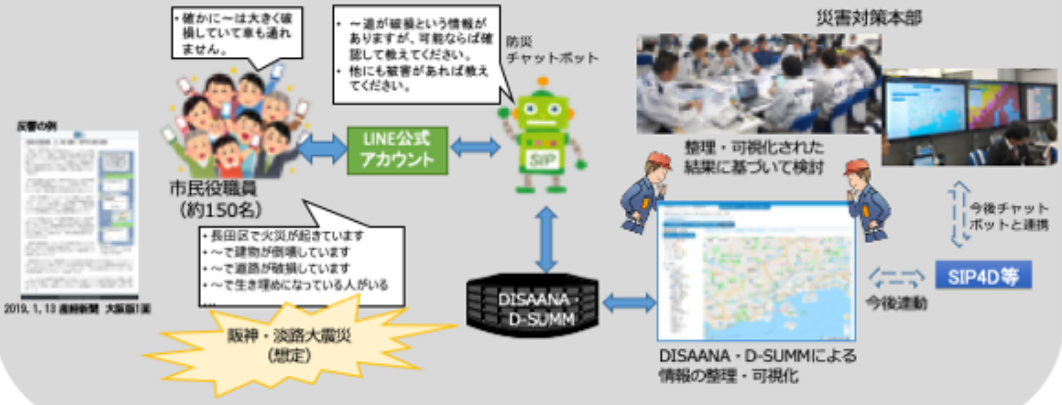
- 国民一人ひとりに最適化された避難等の支援
- 逐次変化する状況/要望に合わせた最適な情報提供
- 従来のセンサーでは得られなかった情報の取得
- 大量の個別要望等を短時間に自動処理し、人的資源が不足する災害対応機関の業務効率化を支援




## すでに始まっている取り組みを教えて

神戸市での実証実験（2018.12.21）をおこないました。

- SIP第2期で開発中の防災チャットボットのプロトタイプを用いてコンセプトを実証しました
- 防災チャットボットの有用性を確認しました
- 神戸の震災で救援の対応をされた経験のある危機管理室長から、「大変わかりやすく、阪神淡路大震災の時とは隔世の感がある」とコメントをいただきました




NIED 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 極地研究所における画像プラットフォームとソーシャルメディアとの連携
# Collaboration between NIPR image platform service and social media

*照井 健志[1]、南山 泰之[2]、肥田野 正輝[3]
*Takeshi Terui[1], Yasuyuki Minamiyama[2], Masaki Hidano[3]

1. 国立極地研究所、2. 東京財団政策研究所、3. インフォ・ラウンジ株式会社
1. National Institute of Polar Research, 2. Tokyo Foundation for Policy Research, 3. Info Lounge Corporation

国立極地研究所では南極・北極観測の歴史を記録した画像データ及びそのメタデータの公開プラットフォームを開発中である。NIPR Image Archive (https://image.nipr.ac.jp)として試験的に公開されている。画像プラットフォームで公開される画像は南極・北極における記録写真や映像が含まれており、両極における日本の公的活動を記録してきた画像データである。これらの画像データの利活用やメタデータ流通を効率的に行うため各種外部Webサービスとの連携を視野に入れている。そのため標準規格となるIIIFやWeb API, JSON-LDへの対応を行い、Web上での流通の試験中である。将来的には一般的な画像検索サービスを通じてソーシャルメディア(FlickerやInstagramなど)や各種クラウドサービス上での検索や共有などの流通の強化について対応予定である。本研究発表では、研究機関による画像データの公開の推進に期待されるデータ流通への効果と、ソーシャルメディアや検索エンジンとの連携強化に期待をしている事を紹介する。

キーワード：画像検索、データ流通、Omeka、極域、IIIF、Web API
Keywords: Image Search, Data Dissemination, Omeka, Polar Region, IIIF, Web API

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 日本地理学会のツイッターアカウントの開設と初期運用
# Twitter account of the Association of Japanese Geographers: History of establishment and operation

*小口 高[1]、西村 雄一郎[2]、河本 大地[3]、新名 阿津子[4]、齋藤 仁[5]
*Takashi Oguchi[1], Yuichiro Nishimura[2], Daichi Kohmoto[3], Atsuko Niina[4], Hitoshi Saito[5]

1. 東京大学空間情報科学研究センター、2. 奈良女子大学人文科学系研究院、3. 奈良教育大学、4. 伊豆半島ジオパーク推進協議会、5. 関東学院大学経済学部
1. Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo, 2. Division of Humanities and Social Sciences, Nara Women's University, 3. Nara University of Education, 4. Izu Peninsula Geopark Promotion Council, 5. College of Economics, Kanto Gakuin University

日本地理学会が運用しているツイッターアカウント（@ajgeog）は約1万5千人がフォローしており、諸学会のアカウントの中でも知名度が高く、一定の影響力を持っている。このアカウントは多くの学会のアカウントとは異なり、地理学に関連した一般的なツイートを多数リツイートしたり、フォローを返したりすることが多い。アカウントの運用は同学会の広報専門委員会が担当しており、過去5年間以上にわたり地理学に関する情報の伝達に継続的に寄与してきた。本発表では、2012年9月の同アカウントの開設と、その後の初期運用において中心的な役割を担った5名が、当時の経緯と背後で行われていた議論の内容を紹介する。

キーワード：日本地理学会、ツイッター、歴史
Keywords: Association of Japanese Geographers, Twitter, History

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 

# 茨城県北ジオパーク構想におけるJGC認定取り消し後のSNSの活用
# Utilization of SNS for the North-Ibaraki Geopark Plan after canceling the certification of JGC

*天野 一男[1]、細井 淳[2]
*Kazuo Amano[1], Jun Hosoi[2]

1. 日本大学文理学部自然科学研究所、2. 産業技術総合研究所地質情報研究部門
1. The Institute of Natural Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon Univ., 2. Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, AIST

「茨城県北ジオパーク」は，2017年に日本ジオパークネットワーク(JGN)のメンバーの認定を日本ではじめて取り消された。現時点で，認定取り消しになった唯一のジオパークである。現在は，早期の再認定をめざして「茨城県北ジオパーク構想」として，活動を継続的に展開している。認定取り消しの理由について虚心坦懐に分析することは，茨城県北ジオパークの再認定に向けても重要であるが，日本におけるジオパークのあり方について考える際にもさまざまな示唆を与えるものと考える。本講演では，再認定に向けた活動の内，SNSの活用に焦点をしぼって報告する。

茨城県北ジオパーク構想で使われている主なSNSは，Website, Twitter, Facebook, Facebook Pageである。推進協議会公式のものは，WebsiteとTwitterで，FacebookとFacebook Pageは，非公式のものである。公式のWebsite，Twitterでは，基本的には推進協議会で決定した事項にしたがった報告がなされている。Twitterは，早い情報提供をめざして，ジオツアーの予告，報告を中心に活用している。正規の情報提供の道具としては効果的であった。一方，非公開のFacebookでは，かなり自由な議論が展開されている。非公開のFacebookで，公開しても問題のないテーマについては，非公式のFacebook Pageで報告した。このFacebook Pageは，推進協議会の公式のものでないため，投稿者の自由な意見が反映されていて興味深い。組織の公式のSNSと非公式のSNSの特性を把握した上で，両者を組み合わせて活用してきた。

非公開のSNSでは，ジオパークのしくみ，認定制度のあり方，自治体の関わり方，市民の関わり方など議論が展開されてきた。これらについて主要なものについて報告し，今後の日本のジオパークのあり方についても議論したい。

キーワード：SNS、茨城県北ジオパーク、日本ジオパークネットワーク
Keywords: SNS, North Ibaraki Geopark, Japan Gepark Network

©2019. Japan Geoscience Union. All Right Reserved. 