2021年9月16日(木)

口頭講演 | R3：高圧科学・地球深部

9:30 ~ 12:15 | Zoom Session 1

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)、境 毅(愛媛大学)

9:30 ~ 9:45

[R3-01] ウォズリアイトの熔融温度に及ぼす高酸素分圧の影響

「発表賞エントリー」

*山口 和貴[1]、川添 貴章[1]、井上 徹[1] (1. 広島大・院先進理工系科学)

9:45 ~ 10:00

[R3-02] オリビンーリングウッダイト相転移が誘起する軟化現象

「発表賞エントリー」

*本田 陸人[1]、久保 友明[1]、森 悠一郎[2]、後藤 佑太[1]、岩里 拓弥[3]、肥後 祐司[4]、宮原 正明[5] (1. 九大・院理、2. 東大・院理、3. 新日本非破壊検査（株）、4. （公財）高輝度光科学研究センター、5. 広島大・院理)

10:00 ~ 10:15

[R3-03] マントル遷移層~下部マントル条件下で安定な高圧含水鉱物におけるAlの影響

「発表賞エントリー」

*太田 明緒[1]、井上 徹[1]、野田 昌道[4]、柿澤 翔[1]、川添 貴章[1]、佐藤 友子[1]、新名 亨[2]、入舩 徹男[2]、坂本 直哉[3]、圷本 尚義[3] (1. 広島大・院先進理工、2. 愛媛大・GRC、3. 北海道大・院理、4. 広島大・院理)

10:15 ~ 10:30

[R3-04] Mg_2SiO_4 ワズレアイトのエンタルピーの再決定

*糀谷 浩[1]、井上 徹[2]、野田　昌道[2]、赤荻 正樹[3] (1. 学習院大・理、2. 広島大・院先進理工、3. 東大・院理)

10:30 ~ 10:45

[R3-05] アキモトアイトの格子選択配向

管 隆莉[1]、*山崎 大輔[1]、辻野 典秀[1] (1. 岡大・惑星研)

11:00 ~ 11:15

[R3-06] **$(Mg,Fe)_2SiO_4$系ポストスピネル相転移における水の影響**

篠田 由梨、*井上 徹[1]、柿澤 翔[1]、野田 昌道[3]、川添 貴章[1]、佐藤 友子[1]、新名 亨[2]、入舩 徹男[2] (1. 広島大・院先進理工、2. 愛媛大・GRC、3. 広島大・院理)

11:15 ~ 11:30

[R3-07] 輝石ーザクロ石系の高圧相転移における水の影響

*上野 恭史[1]、井上 徹[1]、野田 昌道[2]、柿澤 翔[1]、川添 貴章[1]、佐藤 友子[1]、新名 亨[3]、入舩 徹男[3]、尾原 幸治[4] (1. 広島大・院先進理工、2. 広島大・院理、3. 愛媛大・GRC、4. 高輝度光科学研究センター)

11:30 ~ 11:45

[R3-08] 硫酸コバルト六水和物(Moorhouseite)の圧力誘起相転移と未知高圧相の構造決定

*趙 政皓[1]、小松 一生[1]、山下 恵史朗[1]、鍵 裕之[1]、中野 智志[2] (1. 東大・院理、2. 物材機構)

11:45 ~ 12:00

[R3-09] Compressibility and blue-shifting OH groups of Mg(OH)F under high pressure

*Xuejing He[1], Hiroyuki Kagi[1], Kazuki Komatsu[1], Satoshi Nakano[2] (1. UTokyo, 2. NIMS)

12:00 ~ 12:15

[R3-10] ナトリウムケイ酸塩水流体の高圧下における構造

*佐藤 友子[1]、則竹 史哉[2]、山本 あかね[1]、浦川 啓[4]、若林 大佑[3]、船守 展正[3] (1. 広島大・院先進理工、2. 山梨大・院総合研究部、3. 物構研・高エネ研、4. 岡山大・院自然科学)

口頭講演 | R6：深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

9:30 ~ 12:00 | Zoom Session 2

R6：深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

座長:川本 竜彦(静岡大学)、亀井 淳志(島根大学)、伴 雅雄(山形大学)

9:30 ~ 9:45

[R6-01] 利尻火山における玄武岩質マグマのNa/K多様性とその成因

*谷内 元[1,2]、栗谷 豪[2]、中川 光弘[2] (1. 静大・理、2. 北大・院理)

9:45 ~ 10:00

[R6-02] 紀伊半島中央部に産する中新世玄武岩の同位体とREE組成

*佐藤 隆春[1]、相澤 正隆[2] (1. 大阪自然史博、2. 琉球大)

10:00 ~ 10:15

[R6-03] 北部九州・糸島半島に分布する志賀島塩基性岩類について

伊福 澪[1]、*宮本 知治[1]、島田 和彦[1] (1. 九州大・院理)

10:15 ~ 10:30

[R6-04] Petrogenesis of the Khangai granitoids, central Mongolia: Implications for the crustal generation

*Dolzodmaa Boldbaatar[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Atsushi Kamei[2], Tatsuro Adachi[1] (1. Kyushu Univ, 2. Shimane Univ)

10:45 ~ 11:00

[R6-05] はんれい岩ー閃緑岩ートーナル岩複合岩体：アジア大陸東縁，前期白亜紀沈み込み帯の地殻形成，北部九州の例

*大和田 正明[1]、砺山 駿吾[4]、亀井 淳志[2]、小山内 康人[3]、中野 伸彦[3]、足立 達朗[3] (1. 山口大学・院創成、2. 島根大学・院総合理工、3. 九州大学・院地球、4. アイ総合技術)

11:00 ~ 11:15

[R6-06] ICDPオマーン掘削計画による高速海嶺系の下部地殻構造

*海野 進[1]、草野 有紀[2]、石塚 治[2]、普代 貴大[3]、田村 明弘[1]、森下 知晃[1] (1. 金沢大・地球、2. 産総研・地調、3. 太平洋セメント)

11:15 ~ 11:30

[R6-07] オマーンオフィオライトの古拡大軸セグメント構造

*岡田 颯馬[1]、海野 進[2]、草野 有紀[3]、宮下 純夫[4]、足立 佳子[5] (1. 金沢大・院理、2. 金沢大、3. 産総研、4. 北海道総合地質研、5. 電中研)

11:30 ~ 11:45

[R6-08] Petrology of pumice stone in the 39 ka caldera-forming eruption of Mendeleev volcano (Kunashir Island)

[Presentation award entry]

*Alexey Kotov[1], Sergey Smirnov[2], Noriyoshi Tsuchiya[1], Masaoki Uno[1] (1. Tohoku Uni, 2. Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk)

11:45 ~ 12:00

[R6-09] **北西インドNidarオフィオライト層火成岩類の岩石学的・地球化学的研究**

「発表賞エントリー」

*佐藤 成修[1]、今山 武志[1]、Dripta Dutta[2]、金田 泰明[3]、渡部 将太[3]、長谷川 健[3]、南 雅代[4]、若杉 勇輝[4]、若木 重行[5] (1. 岡山理大、2. インド工科大学ボンベイ校、3. 茨城大、4. 名古屋大、5. JAMSTEC・高知コア研)

口頭講演 | S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

9:30 ~ 12:45 | Zoom Session 3

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳(東北大・環境科学)

9:30 ~ 9:35

[greeting] セッションコンビーナー挨拶

9:50 ~ 10:05

[S2-02] 酸化的環境における火山灰及び軽石の風化変質実験

*岡部 凪紗[2]、磯部 博志[1] (1. 熊本大・院先端科学、2. 熊本大・院自然科学)

10:05 ~ 10:20

[S2-03] オマーンオフィオライトCM1A陸上掘削試料の$^{87}Sr/^{86}Sr$同位体比

*芳川 雅子[1]、柴田 知之[1]、Aminuddin Asyraf [2]、仙田 量子[3]、森下 知晃[2] (1. 広島大学・先進理工、2. 金沢大学・理工学、3. 九州大学・共創学部)

10:20 ~ 10:35

[S2-04] オマーンオフィオライト地殻―マントル遷移帯 におけるアンチゴライト脈形成と流体流動

「発表賞エントリー」

*吉田 一貴[1]、岡本 敦[1]、大柳 良介[2]、木村 正雄[3] (1. 東北大、2. 国士舘大、3. 高エネ研)

10:35 ~ 10:50

[S2-05] オマーンオフィオライト・ワジディマ蛇紋岩の炭酸塩中の流体包有物：海洋底と大陸での変成作用

「発表賞エントリー」

*犬飼 知宏[1]、川本 竜彦[1]、Godard Marguerite[2] (1. 静岡大・理、2. モンペリエ大・CNRS)

10:50 ~ 11:05

[S2-06] 掘削コア試料X線CT画像中の脈状鉱物の自動検出による浸透率構造の推定：オマーン掘削計画GTサイトへの適用

「発表賞エントリー」

*赤松 祐哉[1]、片山 郁夫[1]、岡﨑 啓史[2]、道林 克禎[3]、The Oman Drilling Project Phase 1 Science Party (1. 広島大、2. 海洋研究開発機構、3. 名古屋大)

11:05 ~ 11:20

[S2-07] Dynamics Rupturing of Hydrothermal Vein Revealed in Ichinokawa Breccia, Central Shikoku

[Presentation award entry]

*Geri Agroli[1], Masaoki Uno[1], Atsushi Okamoto[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (1. Tohoku Univ.)

11:35 ~ 11:50

[S2-08] Dissolution behaviors of silicate minerals in the presence of chelating agents under alkaline conditions

*Jiajie Wang[1], Noriaki Watanabe[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (1. Tohoku Uni.)

11:50 ~ 12:05

[S2-09] 静的相平衡解析による地殻破壊および流体流れのダイナミクスの評価

*ミンダリョワ ディアナ[1]、宇野 正起[1]、永冶 方敬[2]、土屋 範芳[1] (1. 東北大学、2. 東京大学)

12:05 ~ 12:20

[S2-10] ポロエラスティシティによる脱水分解した岩石の膠結作用：流体沈み込みへの応用

*藤田 和果奈[1]、中村 美千彦[1]、上杉 健太朗[2] (1. 東北大・院理、2. JASRI)

12:20 ~ 12:35

[S2-11] **流体包有物の合成とタンパク質の検出に関する基礎的検討**

*陳 嘯天[1]、王 佳婕[1]、平野 伸夫[1]、土屋 範芳[1] (1. 東北大・環境科学研究科)

12:35 ~ 12:45

[greeting] セッションコンビーナー挨拶

口頭講演 | R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

14:00 ~ 17:15 | Zoom Session 2

R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:小松 一生、篠崎 彩子、永嶌 真理子

14:00 ~ 14:15

[R2-01] 黄鉄鉱型$PdSb_2$の合成と単結晶構造解析

*吉朝 朗[1]、徳田 誠[2]、北原 銀河[1]、鵜木 康平[1]、中塚 晃彦[3]、杉山 和正[2] (1. 熊本大・院理、2. 東北大・金研、3. 山口大・院工)

14:15 ~ 14:30

[R2-02] swedenborgiteの化学式・結晶構造の再検討と誘電特性の考察

*本宮 秀朋[1]、吉朝 朗[1]、吉原 茉由[1]、北原 銀河[1]、鵜木 康平[1]、徳田 誠[2]、杉山 和正[2]、門馬 綱一[3]、宮脇 律郎[3] (1. 熊本大・自然科学、2. 東北大・金研、3. 国立科学博物館)

14:30 ~ 14:45

[R2-03] 京都府大谷鉱山産低対称錫石の結晶構造

*金沢 一輝[1]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[2] (1. 東北大・院理、2. 東北大・総学博)

14:45 ~ 15:00

[R2-04] 含Al-$CaTiO_3$ペロブスカイトの構造変化

*永井 隆哉[1]、高倉 直樹[1]、松本 洋輔[1]、薛 献宇[2] (1. 北大・院理、2. 岡山大・IPM)

15:05 ~ 15:20

[R2-05] $Au_{1-x}Ag_xTe_2$系鉱物krennerite (x=0.13)とsylvanite (x=0.32)の結晶構造解析と関連金鉱物の結晶化学

「発表賞エントリー」

*北原 銀河[1]、吉朝 朗[1]、本宮 秀朋[1]、徳田 誠[2]、杉山 和正[2]、門馬 綱一[3]、宮脇 律郎[3] (1. 熊大・院理、2. 東北大・金研、3. 科博)

15:20 ~ 15:35

[R2-06] Fe,CoおよびNiを含むPentlanditeの陽イオン分布の決定

「発表賞エントリー」

*市村 卓視[1]、徳田 誠[2]、杉山 和正[2]、吉朝 朗[3]、三河内 岳[4] (1. 東北大・院工、2. 東北大・金研、3. 熊大・理、4. 東大・総博)

15:35 ~ 15:50

[R2-07] 珪灰鉄鉱ilvaiteの構造解析：Fe^{2+},Fe^{3+}およびMn^{2+}の分布

「発表賞エントリー」

*井上 裕太郎[1]、川又 透[2]、三河内 岳[3]、杉山 和正[2] (1. 東北大・院工、2. 東北大・金研、3. 東京大学・総合研究博物館)

15:50 ~ 16:05

[R2-08] Cs交換菱沸石の高温単結晶X線構造解析：脱水挙動の結晶学的研究

「発表賞エントリー」

*河田 尚美[1,2]、藤原 惠子[1]、大川 真紀雄[3]、中塚 晃彦[1] (1. 山口大・院創成、2. 広島大・N-BARD、3. 広島大・院先進理工)

16:10 ~ 16:25

[R2-09] CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5フラックスにおけるクリストバライトとトリディマイトの晶出： 非晶質シリカの等温加熱実験

*阿部 利弥[1] (1. 山口大・理)

16:25 ~ 16:40

[R2-10] 構造中にバリウムを含むカルサイトの高圧下での挙動

*鍵 裕之[1]、斉藤 綾花[1] (1. 東大・院理)

16:40 ~ 16:55

[R2-11] 非晶質炭酸カルシウムを経由したカルサイト格子中へのL-アスパラギン酸の取り込み

*丸形 詩歩[1]、鍵 裕之[1]、小松 一生[1] (1. 東大・院理)

16:55 ~ 17:10
[R2-12] 「けい酸加里」肥料の鉱物学的特徴と土壌中における溶解プロセス

*大藤 弘明[1]、竹内 洋貴[2]、当真 要[3]、羽生 友治[2] (1. 東北大・院理、2. 開発肥料（株）、3. 北大・農)

17:10 ~ 17:15
[discussion] 総合討論

口頭講演 | R3：高圧科学・地球深部

14:00 ~ 15:00 | Zoom Session 1

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)

14:00 ~ 14:15
[R3-11] 高圧鉱物の逆相転移カイネティクス

*久保 友明[1]、嘉村 航[1]、今村 公裕[1]、丹下 慶範[2]、肥後 祐司[2]、宮原 正明[3] (1. 九州大・院理、2. JASRI、3. 広島大・院理)

14:15 ~ 14:30
[R3-12] 下部マントル最上部条件におけるAlを含む無水ブリッジマナイトの存在可能領域

*野田 昌道[1]、井上 徹[2]、柿澤 翔[2]、川添 貴章[2]、新名 亨[3]、入舩 徹男[3]、尾原 幸治[4] (1. 広島大・院理、2. 広島大・院先進理工、3. 愛媛大・GRC、4. 高輝度光科学研究センター)

14:30 ~ 14:45
[R3-13] レニウムマルチメガバール圧力スケールによる内核の密度欠損

*大谷 栄治[1]、生田 大穣[1]、福井 宏之[2,3]、坂巻 竜也[1]、石川 大輔[4,3]、バロン アルフレッド[3,4] (1. 東北大・院理、2. 兵庫県立大・院理、3. 理化学研究所、4. 高輝度光科学研究センター)

14:45 ~ 15:00
[R3-14] $(FeO)_m(Fe_2O_3)_n$酸化鉄の高圧力下電気伝導度

「発表賞エントリー」

*米谷 珠萌[1]、新名 良介[1]、石井 貴之[2]、河口 沙織[3] (1. 明治大・院理工、2. BGI/HPSTAR、3. JASRI)

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

14:00 ~ 17:15 | Zoom Session 3

R4：地球表層・環境・生命

座長:福士 圭介(金沢大学)、横山 正(広島大学)、川野 潤(北海道大学)、佐久間 博(物質材料研究機構)、宇都宮 聡(九州大学)

14:00 ~ 14:15

[R4-01] 表面錯体モデリングによる酸化物のモリブデン吸着形態の解析

「発表賞エントリー」

*奥山 晃浩[1]、福士 圭介[1]、柏原 輝彦[2] (1. 金大・院理、2. JAMSTEC)

14:15 ~ 14:30

[R4-02] 福島第一原子力発電所から放出されたプルトニウム含有デブリ微粒子

*宇都宮 聡[1] (1. 九州大・院理)

14:30 ~ 14:45

[R4-03] 環境中における放射性セシウムの鉱物への吸着特性に係る研究 -角閃石、長石への吸着-

*萩原 大樹[1]、小西 博巳[2] (1. 原子力機構、2. 新潟大学)

14:45 ~ 15:00

[R4-04] Speciation and solubility of arsenic, lead, and cadmium in contaminated soils from Kamegai mine tailing, Toyama, Japan

*Baasansuren Gankhurel[1], Keisuke Fukushi[1], Akitoshi Akehi[1], Yoshio Takahashi[2], Natsumi Takeda[1], Xiaolan Zhao[3], Kazuo Kawasaki[4] (1. Kanazawa Uni., 2. Uni. of Tokyo, 3. Chang`an Uni., 4. Uni. of Toyama)

15:00 ~ 15:15

[R4-05] 汚染土壌からの重金属溶出挙動：表面錯体モデリングによるアプローチ

*武田 夏泉[1]、奥山 晃浩[1]、バーサンスレン ガンクレル[1]、福士 圭介[1] (1. 金沢大・院理)

15:15 ~ 15:30

[R4-06] 人工風化金雲母中の層間構造変化

*井上 紗綾子[1]、田村 堅志[2]、緑川 慶[2,3]、小暮 敏博[4] (1. 愛媛大・GRC、2. 物材機構、3. 法政大、4. 東大・院理)

15:45 ~ 16:00

[R4-07] サポナイト－アンモニウム相互作用：セレス初期海洋のアンモニウム濃度制約

*徳門 弘都[1]、福士 圭介[2]、関根 康人[3]、井上 浩介[1] (1. 金沢大学・院理、2. 金沢大学環日本海域研究センター、3. 東京工業大学)

16:00 ~ 16:15

[R4-08] 生物起源あられ石におけるNa置換による格子定数変化

*奥村 大河[1]、吉村 真裕[1]、小暮 敏博[1] (1. 東大・院理)

16:15 ~ 16:30

[R4-09] 炭酸カルシウム1/2水和物の生成条件

*酢山 真衣[1]、福士 圭介[1]、北島 卓真[1] (1. 金沢大・院理)

16:30 ~ 16:45

[R4-10] 間隙中の空気が炭酸塩鉱物の溶解を特に低減させる理由

*横山 正[1]、西山 直毅[2] (1. 広島大・院先進理工、2. 筑波大・院生命環境)

16:45 ~ 17:00

[R4-11] 低温条件における非晶質マグネシウム炭酸塩の溶解度

*北島 卓磨[1]、福士 圭介[2]、関根 康人[3]、依田 優大[4]、ガンフレル バーサンスレン[1]、ダバースレン ダバードルジ[5]、高橋 嘉夫[6] (1. 金沢大・院理、2. K-INET、3. 東京大・院理、4. ELSI、5. モンゴル大、6. 東京大)

17:00 ~ 17:15

[R4-12] **イリデッセントラブラドライト長石の炭素軽元素の混入**

*三浦 保範[1] (1. 元山口大学・理)

口頭講演 | R8：変成岩とテクトニクス

15:30 ~ 17:00 | Zoom Session 1

R8：変成岩とテクトニクス

座長:遠藤 俊祐(島根大学)、纐纈 佑衣(名古屋大学)

15:30 ~ 15:45

[R8-01] ラマン地質圧力計における問題点の検証

*纐纈 佑衣[1]、冨岡 優貴[1]、西山 忠男[2]、榎並 正樹[3] (1. 名古屋大・院環境、2. 熊本大学、3. 名古屋大学)

15:45 ~ 16:00

[R8-02] **超高圧変成岩のレオロジー研究～中国大別山のヒスイ石英岩を例として～**

*道林 克禎[1]、浅野 航平[1]、竹林 智大[1] (1. 名古屋大学・院環境)

16:00 ~ 16:15

[R8-03] **四国西部, 唐崎マイロナイトの変形温度条件の制約**

*中村 佳博[1]、宮崎 一博[1] (1. 産総研地質調査総合センター)

16:15 ~ 16:30

[R8-04] Coalescing detrital zircon geochronology and litho-structural mapping in identification of MBT in Himachal Himalayas

*Sarkar Dyuti Prakash[1]、Ando Jun-ichi[1]、Das Kaushik[1]、Ghosh Gautam[2] (1. Hiroshima Uni.、2. Presidency Uni.)

16:30 ~ 16:45

[R8-05] **The Physico-chemical evolution of carbonaceous material during low-grade metamorphism of Archean stromatolites by Raman spectroscopy and carbon isotopes**

*Sasidharan Kiran[1]、Satish-Kumar Madhusoodhan[1]、Nakamura Yoshihiro[2]、Hokada Tomozaku[3]、Ohfuji Hiroaki[4] (1. Niigata Uni.、2. Geological Survey of Japan, AIST、3. National Institute of Polar Research、4. Tohoku Uni.)

16:45 ~ 17:00

[R8-06] インドSarwar-Junia断層帯に露出するシュードタキライト形成の摩擦溶融プロセス

*岡崎 淳哉[1]、安東 淳一[1]、Das Kaushik[1] (1. 広島大・院理)

2021年9月17日(金)

口頭講演 | R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共通 セッション）

14:00 ~ 16:45 | Zoom Session 2

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共通 セッション）

座長:黒澤 正紀(筑波大学)、門馬 綱一(国立科学博物館)、坂野 靖行(産総研)

14:00 ~ 14:15

[R1-01] 分析電顕での吸収補正による定量分析の特徴と問題点

*藤野 清志[1]、富岡　尚敬[2]、大藤 弘明[3] (1. 無所属、2. 海洋研究開発機構、3. 東北大)

14:15 ~ 14:30

[R1-02] Caに富む輝石の*M*1席Fe^{2+}の電場勾配テンソルと鉄の固溶成分の相関

福山 大毅[1]、*篠田 圭司[1]、小林 康浩[2] (1. 阪市大・院理、2. 京大・複合研)

14:30 ~ 14:45

[R1-03] マントル起源のカンラン石・蛇紋石に含まれるU・Th・PbのICP-MS定量分析結果

*加藤 丈典[1]、小坂 由紀子[3]、淺原 良浩[2]、纐纈 佑衣[2]、道林 克禎[2] (1. 名大・ISEE、2. 名大・院環境、3. 名大・ISEE, 高知大)

14:45 ~ 15:00

[R1-04] 国産アコヤ真珠の養殖地による微量元素の相違

*江森 健太郎[1]、北脇 裕士[1]、佐藤 昌弘[2]、矢﨑 純子[2] (1. 株式会社中央宝石研究所、2. 真珠科学研究所)

15:00 ~ 15:15

[R1-05] 福島県多田野産加藤石榴石に含まれる硫黄の原子位置について

*坂野 靖行[1]、門馬 綱一[2]、宮脇 律郎[2]、豊 遙秋[3] (1. 産総研、2. 国立科博、3. 東大総博)

15:15 ~ 15:30

[R1-06] 岡山県津山地域加治子山に産するベイサナイト中のCaに富むネフェリン及び共生鉱物の産状と成因

「発表賞エントリー」

*米岡 佳弥[1]、濵田 麻希[1]、荒井 章司[1] (1. 金沢大・院自)

15:30 ~ 15:45

[R1-07] 長崎変成岩西彼杵ユニット中に産するリストベナイト中のNiの局所構造とNi鉱物

*鵜木 康平[1]、西山 忠男[1]、北原 銀河[1]、吉朝 朗[1]、徳田 誠[2]、湯蓋 邦夫[3]、杉山 和正[2] (1. 熊大　院理、2. 東北大、3. 九州大)

16:00 ~ 16:15

[R1-08] 福岡県飯塚市八木山産の円筒状アメサイト

一色 優希[2]、武田 侑也[2]、*上原 誠一郎[1]、延寿 里美[3] (1. 九州大・博物館、2. 九州大・院理、3. 愛媛大・理工)

16:15 ~ 16:30

[R1-09] **北部フォッサマグナ地域から産出した千葉石の続報**

*門馬 綱一[1]、宮島 宏[2]、下林 典正[3]、石橋 隆[4]、高山 信之[5]、長瀬 敏郎[6]、宮脇 律郎[1]、松原 聰[1]、井尻 暁[7]、古川 善博[8] (1. 国立科博、2. 糸魚川市議会議員、3. 京大・院理、4. 益富地学会館、5. フォッサマグナミュージアム友の会、6. 東北大総学博、7. 神戸大学、8. 東北大・院理)

16:30 ~ 16:45

[R1-10] **北海道手稲鉱山から産出したMn^{2+}が卓越する安四面銅鉱**

*門馬 綱一[1]、清水 正明[2]、草葉 陽子[1]、大木 良弥[3] (1. 国立科博、2. 北陸能開大、3. 日本地学研究会)

口頭講演 | R8：変成岩とテクトニクス

14:00 ~ 16:45 | Zoom Session 1

R8：変成岩とテクトニクス

座長:中村 佳博(産総研)、遠藤 俊祐(島根大学)

14:00 ~ 14:15

[R8-07] ミャンマー・モゴック北方に見出されるUHT変成岩

Htay Khaing[2]、*小山内 康人[1]、中野 伸彦[1]、Dolzodmaa Bolgbaatar[4]、北野 一平[3]、Htet Zaw[4]、足立 達朗[1]、大和田 正明[5] (1. 九大・院比文、2. ミャンマー宝石研究所、3. 栃木県博、4. 九大・地球社会統合科学府、5. 山口大・理)

14:15 ~ 14:30

[R8-08] Mixing and fluid-related processes in the slab-mantle interface during incipient subduction: records from the Dalrymple Amphibolite, Philippines

[Presentation award entry]

*Gabriel Theophilus Vinalay Valera[1], Tetsuo Kawakami[1], Betchaida Duetes Payot[2] (1. Kyoto Univ., 2. Univ. of the Philippines)

14:30 ~ 14:45

[R8-09] **東南極セール・ロンダーネ山地メーニパに産する泥質片麻岩の温度圧力履歴**

*河上 哲生[1]、鈴木 将晏[1] (1. 京都大・院理)

14:45 ~ 15:00

[R8-10] 東南極セール・ロンダーネ山地メーニパに産する泥質片岩中の灰礬柘榴石，チタン石および燐灰石ウラン–鉛年代

*仁木 創太[1]、河上 哲生[2]、足立 達朗[3]、宇野 正起[4]、東野 文子[2]、平田 岳史[1] (1. 東京大・院理、2. 京都大・院理、3. 九州大、4. 東北大)

15:00 ~ 15:15

[R8-11] 単一岩石中に反時計回りと時計回りの*P-T*履歴が共存?: 東南極 セール・ロンダーネ山地ブラットニーパネの例

*池田 勇人[1]、河上 哲生[1]、東野 文子[1] (1. 京都大・院理)

15:30 ~ 15:45

[R8-12] 青色片岩相Na輝石の非圧力依存的挙動

*薮田 渉[1]、平島 崇男[2] (1. 無所属、2. 京大)

15:45 ~ 16:00

[R8-13] **Crystal size distribution and compositional zoning of garnet formed by two-stage growth in the Kotsu eclogite and basic schist, Sanbagawa belt**

*ダンダル オトゴンバヤル[1]、岡本 敦[1]、宇野 正起[1] (1. 東北大学・環境科学研究科)

16:00 ~ 16:15

[R8-14] Formation of garnet aggregate of the Khungui eclogite in the Zavkhan Terrane, Western Mongolia

*Manzshir Bayarbold[1], Atsushi Okomata[1], Otgonbayar Dandar[1], Masaoki Uno[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (1. Tohoku University)

16:15 ~ 16:30

[R8-15] Occurrence of CH_4–N_2-bearing aqueous fluid inclusions in jadeite-bearing chlorite–grossular rock from the New Idria serpentinite body, California

*Rio Rio[1], Tatsuki Tsujimori[1] (1. Tohoku University)

16:30 ~ 16:45

[R8-16] 西彼杵変成岩雪浦メランジュ中のザクロ石の累帯構造

*西山 忠男[1]、鵜木 康平[1]、吉朝 朗[1] (1. 熊本大学先端科学研究部)

口頭講演 | S1, S4：火成作用及びプレート収束域の物質科学合同セッション

14:00 ~ 16:45 | Zoom Session 3

S1, S4：火成作用及びプレート収束域の物質科学合同セッション

座長:DYUTI PRAKASH SARKAR(広島大)、浜田 盛久(海洋研究開発機構)

14:00 ~ 14:30

[S1,S4-01] 紀伊半島下のゆっくりすべり，スラブ内地震と内陸地震

*北 佐枝子[1]、ヒューストン ハイジ[2]、矢部 優[3]、田中 佐千子[4]、浅野 陽一[4]、澁谷 拓郎[5]、須田 直樹[6] (1. 建築研・国地、2. 南カリフォルニア大、3. 産総研、4. 防災科研、5. 京大防災研、6. 広大・院理)

14:30 ~ 14:45

[S1,S4-02] 南海トラフC0002掘削地点でのカッティングス試料を用いた摩擦特性プロファイルの作成

*藤岡 里帆[1]、片山 郁夫[1]、北村 真奈美[2]、奥田 花也[3]、廣瀬 丈洋[4] (1. 広島大、院理、2. 産総研、3. 東京大、大気海洋研、4. JAMSTEC 高知コア研究所)

14:45 ~ 15:00

[S1,S4-03] 室温から高温における単結晶白雲母の摩擦における直接効果の温度依存性

*佐久間 博[1]、Moore Diane[2]、Lockner David[2] (1. 物材機構、2. USGS)

15:00 ~ 15:15

[S1,S4-04] 熱水流体に起因したイライトと空孔の形成および断層発生過程との関係

*安東 淳一[1]、兒島 巧太[1]、DAS Kaushik[1]、富岡 尚敬[2]、上原 誠一郎[3] (1. 広島大、2. JAMSTEC・高知コア研、3. 九州大)

15:30 ~ 15:45

[S1,S4-05] オマーン陸上掘削プロジェクトで採取されたエピドサイトの地震波速度に空隙形状と変質鉱物が与える影響

*長瀬 薫平[1]、片山 郁夫[1]、畠山 航平[2]、赤松 祐哉[1]、岡﨑 啓史[3] (1. 広島大・院理、2. 明星大・教育、3. 海洋研究開発機構)

15:45 ~ 16:00

[S1,S4-06] マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中のカルサイト中の流体包有物

「発表賞エントリー」

*山本 千早[1]、釘宮 健人[1]、石戸 慎也[1]、川本 竜彦[1]、市山 祐司[2] (1. 静岡大・理、2. 千葉大・理)

16:00 ~ 16:15

[S1,S4-07] **流紋岩質メルト中における炭素同位体の拡散分別**

*川原 爽[1]、吉村 俊平[1] (1. 北大・院理)

16:15 ~ 16:30

[S1,S4-08] 角閃石の主要元素・微量元素組成を用いたマグマの進化過程の解明

「発表賞エントリー」

*岡田 郁生[1]、柴田 知之[1]、芳川 雅子[1]、石橋 秀巳[2]、杉本 健[3]、早坂 康隆[1] (1. 広島大、2. 静岡大、3. 地熱エンジニアリング株式会社)

16:30 ~ 16:45

[S1,S4-09] 火道上昇履歴に応じた石基輝石晶相変化の実験的検証

「発表賞エントリー」

*奥村 翔太[1]、奥村 聡[2]、三宅 亮[1] (1. 京都大・院理、2. 東北大・院理)

2021年9月18日(土)

口頭講演 | R5：地球外物質

9:00 ~ 12:15 | Zoom Session 2

R5：地球外物質

座長:中村 智樹(東北大学)、瀬戸 雄介(神戸大学)、 橘 省吾(東京大学)

9:00 ~ 9:15

[R5-01] **地球鉱物の三大極限現象の対比考察：地球外の固体形成**

*三浦 保範[1] (1. 元山口大学・院理)

9:15 ~ 9:30

[R5-02] カンラン岩質エコンドライト隕石のカンラン石結晶方位解析：原始惑星でのマグマ結晶化・変形過程の検証

*三河内 岳[1]、竹之内 惇志[2]、山口 亮[3]、安武 正展[4]、アンソニー アービング[5] (1. 東大・総研博、2. 京大・総博、3. 極地研、4. 高輝度光科学研究センター、5. ワシントン大)

9:30 ~ 9:45

[R5-03] コマチアイトとの対比を通した急冷アングライトの形成場

*林 秀幸[1]、三河内 岳[2] (1. 東大・院理、2. 東大・総研博)

9:45 ~ 10:00

[R5-04] メソシデライトを用いたシリカ鉱物が記録する冷却速度の推定

*大野 遼[1]、竹之内 惇志[2]、三河内 岳[3]、山口 亮[4]、杉浦 直治[1] (1. 千葉工大・惑星探査、2. 京大・博物館、3. 東大・博物館、4. 極地研)

10:00 ~ 10:15

[R5-05] Nakhlite隕石 NWA 10153とNWA 6148の複合顕微分析

*久木原 翔[1]、宮原 正明[1]、山口 亮[2]、高橋 嘉男[3]、武市 泰男[4]、富岡 尚敬[5]、大谷 栄治[6] (1. 広島大・院理、2. 極地研、3. 東京大学・院理、4. KEK、5. JAMSTEC、6. 東北大学・院理)

10:15 ~ 10:30

[R5-06] 放射光マイクロXANESを用いた衝撃による斜長石中の鉄の価数変化の評価

*佐竹 渉[1]、三河内 岳[2]、黒澤 耕介[1]、大野 遼[1]、新原 隆史[2]、松井 孝典[1] (1. 千葉工大、2. 東大)

10:45 ~ 11:00

[R5-07] ジャロサイトの衝撃回収実験

川野 晃平[2]、*宮原 正明[1]、小林 敬道[3]、関根 利守[4]、菅 大暉[5]、高橋 嘉夫[6] (1. 広島大・院先進、2. 広島大・理、3. NIMS、4. 大阪大・院工、5. JASRI、6. 東京大・院理)

11:00 ~ 11:15

[R5-08] 南極産H6コンドライトの衝撃変成組織

*竹之内 惇志[1]、山口 亮[2,3] (1. 京大・総博、2. 極地研、3. 総研大)

11:15 ~ 11:30

[R5-09] **隕石母天体における水質変成作用の解析に用いる層状ケイ酸塩のマルチエレメントXANESライブラリの構築**

*井上 皓介[1]、福士 圭介[1]、菅 大暉[3]、高橋 嘉夫[2]、河合 敬宏[2]、武市 泰男[4] (1. 金沢大・院理、2. 東京大・院理、3. SPring－８、4. KEK)

11:30 ~ 11:45

[R5-10] 再現I-type溶融微小隕石の酸化的熱水変質実験とXAFS法による解析

*Shao Huimin[2]、磯部 博志[1]、北原 銀河[2]、吉朝 朗[1] (1. 熊本大・院先端科学、2. 熊本大・院自然科学)

11:45 ~ 12:00

[R5-11] 非晶質微粒子の高温水質変成過程の中性子準弾性散乱

*奥地 拓生[1]、富岡 尚敬[2]、瀬戸 雄介[3]、梅田 悠平[1]、山田 武[4]、玉造 博夢[5]、柴田 薫[5] (1. 京都大・複合研、2. JAMSTEC・高知コア研、3. 神戸大・院理、4. CROSS、5. 原子力機構)

12:00 ~ 12:15
[R5-12] 難揮発性包有物メルトとCOガスとの酸素同位体交換実験
*山本 大貴[1]、川崎 教行[2]、橘 省吾[3]、上林 海ちる[3]、圦本 尚義[2] (1. JAXA、2. 北大、3. 東大)

口頭講演 | R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質 学会 との共催 セッション)

9:30 ~ 12:15 | Zoom Session 3
R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質 学会 との共催 セッション)
座長:越後 拓也(秋田大学)、秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)

9:30 ~ 9:45
[R7-01] 幌満かんらん岩体上部の肥沃なレルゾライトについて
木暮 優芽斗[2]、*高澤 栄一[1]、木村 仁美[1] (1. 新潟大・理、2. 新潟大・院自然)

9:45 ~ 10:00
[R7-02] 中学校理科教科書における鉱物名の表記について
*林 信太郎[1]、川手 新一[2]、貴治 康夫[3]、宮嶋 敏[4] (1. 秋大・院教、2. 武蔵高校、3. 立命館高校、4. 熊谷高校)

10:00 ~ 10:15
[R7-03] High purity elemental separation technique for LREEs from silicate matrix
*Bidisha Dey[1], Tomoyuki Shibata[1], Masako Yoshikawa[1] (1. Hiroshima Uni. Sci.)

10:15 ~ 10:30
[R7-04] 新潟県新発田市赤谷スカルン鉱床の地質と鉄鉱化作用
*瀬野 洸太朗[1]、渡辺 寧[1]、越後 拓也[1]、青木 翔吾[1] (1. 秋田大・国際資源)

10:30 ~ 10:45
[R7-05] 前弧域マントルが記録する古溶融イベント
*秋澤 紀克[1]、石川 晃[2]、藤田 遼[2]、石井 輝秋[3] (1. 東大・大気海洋研究所、2. 東工大、3. 静岡大)

10:45 ~ 11:00
[R7-06] 三浦半島葉山帯に産する蛇紋岩の岩石学的特徴
*阿部 なつ江[1,2] (1. 海洋研究開発機構、2. 金沢大学)

11:00 ~ 11:15
[R7-07] 秋田県仙北市坊沢鉱床の地質及び浅熱水性低硫化型金銀鉱化作用
*平田 和希[1]、渡辺 寧[1]、越後 拓也[1]、青木 翔吾[1] (1. 秋田大・国際資源)

11:15 ~ 11:30
[R7-08] **秋田県大仙市畑鉱床の地質と金鉱化作用**
*小沼 優希[1]、渡辺 寧[1]、越後 拓也[1] (1. 秋田大・院国)

11:30 ~ 11:45
[R7-09] CaO-Na_2O-CO_2に富む流体から析出したオンファス輝石の微細組織観察
*大井 修吾[1]、木下 周祐[2]、伊神 洋平[2]、三宅 亮[2]、平島 崇男[2] (1. 滋賀大・教育、2. 京都大・院理)

11:45 ~ 12:00
[R7-10] 下立トラバーチンの炭酸塩鉱物U-Pb年代
*福山 繭子[1]、小笠原 正継[2] (1. 秋田大・理工、2. 産総研)

12:00 ~ 12:15
[discussion] 総合討論

口頭講演 | S3：東アジアのテクトニクス （スペシャルセッション）

10:00 ~ 12:00 | Zoom Session 1

S3：東アジアのテクトニクス （スペシャルセッション）

座長:木村 光佑(呉工業高等専門学校)、ダス カウシク(広島大・院理)

10:00 ~ 10:15

[S3-01] 長崎県西部の花崗岩類のジルコンU-Pb年代

*堤 之恭[1]、谷 健一郎[1] (1. 国立科学博物館地学研究部)

10:15 ~ 10:45

[S3-02] 日本列島隠岐片麻岩類の複数変成史：古原生代変成作用と北東アジアのテクトニクス

*今山 武志[1]、川端 凌市[1]、加藤 丈典[2]、Oh Chang Whan[3]、堀江 憲路[4]、竹原 真美[4] (1. 岡理大、2. 名古屋大、3. 全北大、4. 極地研)

10:45 ~ 11:00

[S3-03] **Tonoshiki breccia recording the signature of the closure of Maizuru back-arc basin during Permian-Triassic boundary**

*Larissa NGOMBI MAVOUNGOU[1], Kaushik DAS[1,2], Yasutaka HAYASAKA[1,2], Kenta KAWAGUCHI[3], Jun-ichi ANDO[1,2] (1. Hiroshima Univ. Sci., 2. HIPER, 3. Jeonbuk Nat. Univ., Korea)

11:00 ~ 11:15

[S3-04] 舞鶴帯における背弧盆性海洋地殻と大陸地殻の混合過程

*早坂 康隆[1] (1. 広島大・院理)

11:15 ~ 11:30

[S3-05] 舞鶴帯津和野コンプレックス花崗岩質岩の年代の多様性

*木村 光佑[1]、早坂 康隆[2]、柴田 知之[2]、ダス カウシク[2]、川口 健太[3] (1. 呉高専、2. 広島大・院理、3. 全北大学校)

11:30 ~ 12:00

[S3-06] The tectonic evolution of the Northeast Asia including Korea and Japan from Permian to Cretaceous

*Oh Chang Whan[1] (1. Jeonbuk National Univ., Republic of Korea)

口頭講演 | R3：高圧科学・地球深部

2021年9月16日(木) 9:30 ~ 12:15 | Zoom Session 1

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)、境 毅(愛媛大学)

[座長]
境　　毅：R3-01～R3-07
川添 貴章：R3-08～R3-10

9:30 ~ 9:45

[R3-01] ウォズリアイトの熔融温度に及ぼす高酸素分圧の影響

「発表賞エントリー」

*山口 和貴[1]、川添 貴章[1]、井上 徹[1] (1. 広島大・院先進理工系科学)

9:45 ~ 10:00

[R3-02] オリビンーリングウッダイト相転移が誘起する軟化現象

「発表賞エントリー」

*本田 陸人[1]、久保 友明[1]、森 悠一郎[2]、後藤 佑太[1]、岩里 拓弥[3]、肥後 祐司[4]、宮原 正明[5] (1. 九大・院理、2. 東大・院理、3. 新日本非破壊検査（株）、4. （公財）高輝度光科学研究センター、5. 広島大・院理)

10:00 ~ 10:15

[R3-03] マントル遷移層~下部マントル条件下で安定な高圧含水鉱物におけるAlの影響

「発表賞エントリー」

*太田 明緒[1]、井上 徹[1]、野田 昌道[4]、柿澤 翔[1]、川添 貴章[1]、佐藤 友子[1]、新名 亨[2]、入舩 徹男[2]、坂本 直哉[3]、坎本 尚義[3] (1. 広島大・院先進理工、2. 愛媛大・GRC、3. 北海道大・院理、4. 広島大・院理)

10:15 ~ 10:30

[R3-04] Mg_2SiO_4 ワズレアイトのエンタルピーの再決定

*糀谷 浩[1]、井上 徹[2]、野田　昌道[2]、赤荻 正樹[3] (1. 学習院大・理、2. 広島大・院先進理工、3. 東大・院理)

10:30 ~ 10:45

[R3-05] アキモトアイトの格子選択配向

管 隆莉[1]、*山崎 大輔[1]、辻野 典秀[1] (1. 岡大・惑星研)

10:45 ~ 11:00

休憩

11:00 ~ 11:15

[R3-06] **$(Mg,Fe)_2SiO_4$系ポストスピネル相転移における水の影響**

篠田 由梨、*井上 徹[1]、柿澤 翔[1]、野田 昌道[3]、川添 貴章[1]、佐藤 友子[1]、新名 亨[2]、入舩 徹男[2] (1. 広島大・院先進理工、2. 愛媛大・GRC、3. 広島大・院理)

11:15 ~ 11:30

[R3-07] 輝石ーザクロ石系の高圧相転移における水の影響

*上野 恭史[1]、井上 徹[1]、野田 昌道[2]、柿澤 翔[1]、川添 貴章[1]、佐藤 友子[1]、新名 亨[3]、入舩 徹男[3]、尾原 幸治[4] (1. 広島大・院先進理工、2. 広島大・院理、3. 愛媛大・GRC、4. 高輝度光科学研究センター)

11:30 ~ 11:45

[R3-08] 硫酸コバルト六水和物(Moorhouseite)の圧力誘起相転移と未知高圧相の構造決定

*趙 政皓[1]、小松 一生[1]、山下 恵史朗[1]、鍵 裕之[1]、中野 智志[2] (1. 東大・院理、2. 物材機構)

11:45 ~ 12:00

[R3-09] Compressibility and blue-shifting OH groups of Mg(OH)F under high pressure

*Xuejing He[1], Hiroyuki Kagi[1], Kazuki Komatsu[1], Satoshi Nakano[2] (1. UTokyo, 2. NIMS)

12:00 ~ 12:15

[R3-10] ナトリウムケイ酸塩水流体の高圧下における構造

*佐藤 友子[1]、則竹 史哉[2]、山本 あかね[1]、浦川 啓[4]、若林 大佑[3]、船守 展正[3] (1. 広島大・院先進理工、2. 山梨大・院総合研究部、3. 物構研・高エネ研、4. 岡山大・院自然科学)

ウォズリアイトの溶融温度に及ぼす高酸素分圧の影響

山口和貴*、川添貴章、井上徹 （広島大・院先進理工）

Influence of high oxygen fugacity on melting temperature of wadsleyite

Kazutaka YAMAGUCHI*, Takaaki KAWAZOE, Toru INOUE
(Advanced Science and Engineering, Hiroshima Univ.)

1．はじめに

地球のマントル遷移層上部の約 60%はカンラン石の高圧相であるウォズリアイトで構成されている。マントル遷移層には海洋プレートの沈み込みにより水や3価の鉄イオンが供給されている。3 価の鉄イオンが加わった MgO-FeO-Fe_2O_3-SiO_2 系は MgO-FeO-SiO_2 系と比較して下部マントルの融点を下げることが分かっている（Sinmyo et al., 2019)。しかし、マントル遷移層上部のウォズリアイトの溶融温度に及ぼす3価の鉄イオン、すなわち高酸素分圧の影響はこれまでに研究されていない。そこで本研究では、川井型マルチアンビル装置を用いてマントル遷移層上部のウォズリアイトの溶融温度に及ぼす高酸素分圧の影響を明らかにするための実験を行った。

2．実験方法

出発物質にはサンカルロス産カンラン石の粉末を用いた。出発物質は、酸素分圧バッファーとともに Au カプセルに封入した。

高温高圧実験は、広島大学設置の川井型マルチアンビル装置 MAPLE600 を用いて行った。実験は 16.6 GPa で 1300℃と 1500℃の条件でそれぞれ 2 回行った。これらの温度圧力条件を 10 分から 30 分保持し急冷した。酸素分圧は Re-ReO_2 バッファーと Mo-MoO_2 バッファーを用いて制御した。

回収試料は、鏡面研磨後、反射顕微鏡および電子プローブマイクロアナライザーを用いて観察し、化学組成を分析した。回収試料の相同定には、顕微ラマン分光法を用いた。

3．結果および考察

1500℃で Re-ReO_2 バッファーを用いた高酸素分圧の条件で急冷結晶が観察された。一方、Mo-MoO_2 を用いた低酸素分圧の条件では急冷結晶は観察されなかった。

$(Mg_{0.9},Fe_{0.1})_2SiO_4$ 組成のウォズリアイトは低酸素分圧下において 2300℃で溶融する (Ohtani et al., 1998)。よって本実験の結果に基づくとウォズリアイトの溶融温度は高酸素分圧の影響により約 800℃下がると言える。

Keywords: Wadsleyite, Ferric iron, High oxygen fugacity, Melting temperature

*Corresponding author: m213373@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

オリビン－リングウッダイト相転移が誘起する軟化現象

本田陸人*[1], 久保友明[1], 森悠一郎[2], 後藤佑太[1], 岩里拓弥[3], 肥後祐司[4], 宮原正明[5]
([1]九大理, [2]東大理, [3]新日本非破壊検査, [4]JASRI, [5]広大理)

Rheological weakening induced by the olivine-ringwoodite transformation

R. Honda*[1], T. Kubo[1], Y. Mori[2], Y. Goto[1], T. Iwasato[3], Y. Higo[4], M. Miyahara[5]
([1] Kyushu Univ., [2] U Tokyo, [3] SHK, [4] JASRI, [5] Hiroshima Univ.)

1．はじめに

沈み込む冷たいスラブでは主要鉱物であるオリビンの非平衡相転移による細粒化によって，深部プレートの軟化や深発地震の原因となるせん断不安定化が起こると考えられている。これまで低圧下(1-2GPa)で相転移するアナログ物質での実験が多く行われてきた。本研究では，D111 型高圧変形装置に新たに8素子アコースティックエミッション(AE)測定システムを開発・実装し，マントル遷移層領域(~13-23 GPa)で相転移誘起の岩石の軟化やせん断不安定化現象を直接，実験的に検討する。

2．実験方法

放射光施設 PF-AR NE7 に設置の D111 型高圧変形装置を用いて，~10-20GPa, 500-1100℃，歪み速度 0.4-7.5x10^{-5}s^{-1} の条件で，San Carlos オリビン(Ol)多結晶の一軸圧縮応力場における変形-相転移挙動の X 線その場観察実験を行なった。60keV の単色 X 線を用いて，約 1-5 分毎に 2 次元 X 線回折パターンとラジオグラフィーを時分割測定し，相転移速度と応力-歪曲線を測定した。また，九州大学の D111 型装置に 8 素子 AE 測定システムを組み込み，NE7 と同じ温度圧力条件で試料急冷法による実験を行なった。回収試料の微細組織は FE-SEM，EBSD 等を用いて観察した。

3．結果・考察

相転移は過剰圧が大きいほどより低温で進行し，20GPa では~720℃，16GPa では~750℃でリングウッダイト(Rw)へ，14GPa では~990℃でワズレアイト(Wds)への相転移が起こった。

Fig.1 に圧力 20GPa で 1000℃までの昇温変形中に得られた相転移速度と応力-歪み曲線を示す。新相 Rw の応力はオリビンの 10-20 %程度と非常に小さく，昇温に依らず変化しなかった。同じ圧力で800℃等温変形した場合，Rw応力は最初小さいが時間とともに硬化した。これらRw の変形挙動は相転移による細粒化とその後の粒成長を考慮した拡散クリープで説明できそうである。一方で母相 Ol の応力はパイエルス機構で説明可能であるが，相転移の後半ではより軟化している。これらの観察から，低温大過剰圧下で硬い母相 Ol から細粒で軟らかい新相 Rw が出現し，相転移後半ではその新相が連結して試料全体の軟化に至っている可能性が示唆される。

回収試料では，母相 Ol 粒内に多様な Rw ラメラが発達していた。その伸張方向や直線性にはばらつきがあり，応力場や母相の結晶方位に依存していないように見える。ラメラはサブミクロンの超微細粒子からなり，細粒化による軟化現象を支持する。一方，800℃等温変形の試料では相転移率が低くラメラがより細く発達している。そこでは，ラメラに沿ってすべり変位をもつ場合もあり，せん断不安定化も示唆された。しかし，同条件の急冷実験では，AE が検出されていない。すべり量が数 μm 程度と小さいため AE を検出できていないか，または安定すべりなのかもしれない。今後は軟化とせん断不安定化条件の制約を行ない，両現象の詳細を検討していく。

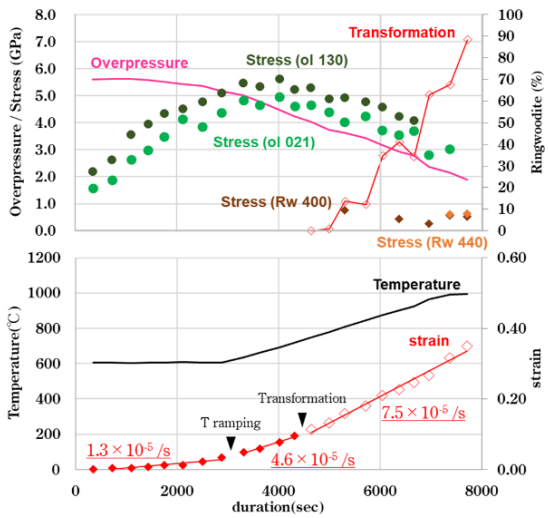


Fig1. 一軸圧縮変形場におけるオリビン-リングウッダイト相転移の放射光その場観察結果（Run oldt12, 圧力 20GPa 付近)。平衡相境界からの過剰圧，温度，歪量，相転移量および各相の応力の時間変化

Keywords: slab weakening, deep earthquake, transformation, in-situ X-ray observation, acoustic emission
*Corresponding author: honda.rikuto.860@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

マントル遷移層～下部マントル条件下で安定な高圧含水鉱物におけるAlの影響

太田明緒*、井上徹、野田昌道、柿澤翔、川添貴章、佐藤友子（広島大）
新名亨、入舩徹男（愛媛大）、坂本直哉、坎本尚義（北海道大）

Effect of Al on high pressure hydrous minerals stable under mantle transition zone and lower mantle conditions

Akio Ohta*, Toru Inoue, Masamichi Noda, Sho Kakizawa, Takaaki Kawazoe, Tomoko Sato (Hiroshima Univ.), Toru Shinmei, Tetsuo Irifune (Ehime Univ.), Naoya Sakamoto, Hisayoshi Yurimoto (Hokkaido Univ.)

水は地球表層に大量に存在する主要な揮発成分の一つであり、スラブの沈み込みによって常に地球内部へ供給され、鉱物の物性や溶融温度に大きな影響を与えている。マントルの主要構成鉱物はolivineであり、その高圧相であるwadsleyite (Wd) 及びringwoodite (Rw) には2-3wt%もの水が含まれ得ることが実験的に明らかにされ、マントル遷移層は水の貯蔵庫となり得ることが指摘されている（Inoue et al., 1995）。近年ダイヤモンド包有物中に含水Rwが発見され（Pearson et al., 2014）、マントル遷移層は少なくとも局所的には含水化していることが示され、地球内部の水の議論は活発化してきている。一方、沈み込むプレート物質中でMg、Fe、Si に次いで多く存在する元素・Alの価数は奇数（Al^{3+}）であるため、H^+とのカップリング置換により鉱物中の含水量を増加させる可能性がある。ただし、Al置換の影響は結晶構造の違いにより異なることが予想される。そこで、各種高圧含水鉱物におけるAl置換様式の違いについて明らかにするため、実験的研究を行った。

高温高圧実験には愛媛大学GRC及び広島大学超高圧研究室設置のマルチアンビル型高圧発生装置を使用した。出発物質にはMg_2SiO_4-Al_2O_3-H_2O系の酸化物・水酸化物の混合体を用い、Al量を変えた四種類のものを用意した。実験条件はマントル遷移層条件を再現するため、15-20 GPa、1400 ℃に設定した。回収試料は鏡面研磨後、反射電子像による組織観察及びEPMAによる化学組成の測定を行った。試料の含水量は、北海道大学坎本研究室設置のSIMSを用いて測定した。

今回の生成された鉱物、Wd、phase E、superhydrous phase B、phase DのSiO_2量は約20-50 wt%とかなり幅があり、含水量の見積もりにマトリックス効果と呼ばれるSiO_2量の違いによる影響が出ると想定される。よって、Kakizawa et al. (2018) 及びその際に測定された標準物質を用いてこのSiO_2量の違いによるマトリックス効果を定式化し、その補正値を用いて含水量の見積もりを行った。

今回の結果は、Siサイトが6配位の鉱物では$Si^{4+} \rightleftarrows Al^{3+} + H^+$の置換が起こりやすい一方、Siサイトが4 配位の鉱物ではこの含水置換は起こりにくいことを明瞭に示している。この結果は限界イオン半径比からの考察と調和的である。このように、Al^{3+}とH^+のカップリング置換は6配位のSiサイトを持つ場合に起きやすいことが明らかとなった。下部マントル鉱物はSiサイトが6配位であることから、$Si^{4+} \rightleftarrows Al^{3+} + H^+$の置換により多少の含水化を起こしている可能性がある。

References
[1] Inoue et al. (1995) Geophys. Res. Lett., 22, 117-120.
[2] Pearson et al. (2014) Nature, 507, 221-224.
[3] Kakizawa et al. (2018) Am. Min., 103, 1221-122.

Keywords: hydrous phase, mantle transition zone, coupling substitution, water content, lower mantle
*Corresponding author: m206383@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Mg_2SiO_4 ワズレアイトのエンタルピーの再決定

糀谷浩*（学習院大・理）、井上徹、野田昌道（広島大・院先進理工）、
赤荻正樹（東大・院理）

Redetermination of enthalpy of Mg_2SiO_4 wadsleyite

Hiroshi Kojitani* (Sci., Gakushuin Univ.), Toru Inoue, Masamichi Noda (Advanced Sci. and Eng., Hiroshima Univ.), Masaki Akaogi (Sci., Univ. Tokyo)

鉱物の高温高圧下での安定性を熱力学的に検討する場合、ギブスエネルギーの大部分を占めるのがエンタルピーであり、熱力学計算による相転移圧はこのエンタルピー値に大きく影響を受ける。マントル遷移層の主要構成鉱物の一つと考えられているワズレアイト（Wd）の Mg 端成分 Mg_2SiO_4 Wd のエンタルピー値は、Akaogi et al. (2007) による落下溶解エンタルピー測定によって既に決定されている。しかし、かなり大きな測定誤差のため、計算される相転移境界線には大きな不確実さが伴っていた。そこで、本研究では単結晶の Mg_2SiO_4 フォルステライト（Fo）から高圧合成された純粋な Mg_2SiO_4 Wd について再度落下溶解エンタルピー測定を行うことにより、精度のよいエンタルピーの決定を試みた。

熱量測定用の Mg_2SiO_4 Wd は、愛媛大学 GRC 設置の川井型マルチアンビル高圧発生装置を用いて、出発物質の単結晶 Mg_2SiO_4 Fo を 16 GPa, 1773 K で 1 時間半保持後、急冷回収することにより高圧合成した。X 線回折測定とラマン分光測定により、高圧回収試料は Wd 単相であることを確認した。熱量測定にはカルベー型高温熱量計を使用し、試料の溶解を促進させるため Ar ガスによるバブリング法を併用した。約 3〜4 mg の粉末状の試料をペレットに圧し固め、熱量計の外（室温）から 978 K に保たれた熱量計内のホウ酸鉛（$2PbO \cdot B_2O_3$）溶媒に落下・溶解させたときのエンタルピーを測定した。

7 回分の測定データの平均値から、Mg_2SiO_4 Wd の落下溶解エンタルピーは 141.38±1.13 kJ/mol と決定された。本研究の測定値は、Akaogi et al. (2007) の 142.19±2.65 kJ/mol と比べると誤差の範囲内で一致してはいるが、落下溶解エンタルピー値自体は約 0.8 kJ/mol 小さい。また測定誤差は半分以下に抑えられた。この結果は、Mg_2SiO_4 Wd が従来考えられていたよりも格子エネルギー的にわずかながら不安定であることを示し、熱力学的に計算される Mg_2SiO_4 Wd の温度－圧力安定領域は、従来のものに比べ狭くなることが予想される。

引用文献

Akaogi et al. (2007) Phys. Chem. Miner., 34, 169－183.

Keywords: wadsleyite, enthalpy, drop-solution calorimetry, thermodynamics, high-pressure synthesis.

*Corresponding author: hiroshi.kojitani@gakushuin.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

アキモトアイトの格子選択配向

管隆莉、山崎大輔、辻野典秀（岡大惑星研）

Lattice preferred orientation of akimotoite

Longli GUAN, Daisuke YAMAZAKI*, Noriyoshi TSUJINO (IPM, Okayama Univ.)

地球のマントル遷移帯には地震波速度の異方性が観測されている。一般的に地震波速度の異方性は、構成鉱物が弾性的異方性を呈する場合にはその格子選択配向で説明可能である。また、格子選択配向はマントル流動などの固体流動によって形成される。すなわち、実験的な変形流動場における格子選択配向の様式を明らかにすることにより、地震波速度異方性の観測をマントル流動と結びつけることが可能となる。

マントル遷移帯下部は主要にリングウッダイトとメジャライトで構成されており、両者とも弾性的異方性が弱い。他方、沈み込んで行くスラブのような低温領域では、アキモトアイトが出現する。アキモトアイトはイルメナイト構造をしており、弾性的異方性が強い。

そこで、本研究では、新たに開発導入された D111 型マルチアンビル型高圧変形装置を用いて、~22 GPa・1000-1300℃でアキモトアイト多結晶体の変形実験を行った。回収試料に対して、FE-SEM に装着された EBSD 装置、あるいは 2 次元X線回折法により、結晶方位の測定を行った。

図 1 にはその代表的な測定結果を示している。顕著なスベリ方向は確認されなかったが、スベリ面は顕著に確認され、(0001)面となる。これらの結果は、結晶構造から推定される結果といい一致を示しており、応力緩和試験での先行研究（Shiraishi et al., 2008）における高温（>1200℃）でのパターンと調和的である。一方で、先行研究で観察された低温（1000℃）での選択配向パターンの変化は見られなかった。アキモトアイトの弾性定数から算出された変形した試料の弾性波速度は、水平方向の流動が卓越する場合には、方位角方向に対称的なモデルにおいては、水平方向に偏向した地震波速度が鉛直方向のそれよりも大きい（V_{SH}>V_{SV}）というよくある異方性を示す。これは、マントル遷移帯下部で観測されている V_{SV}>V_{SH} という異方性を水平方向の流動変形で説明することは困難であることを意味している。

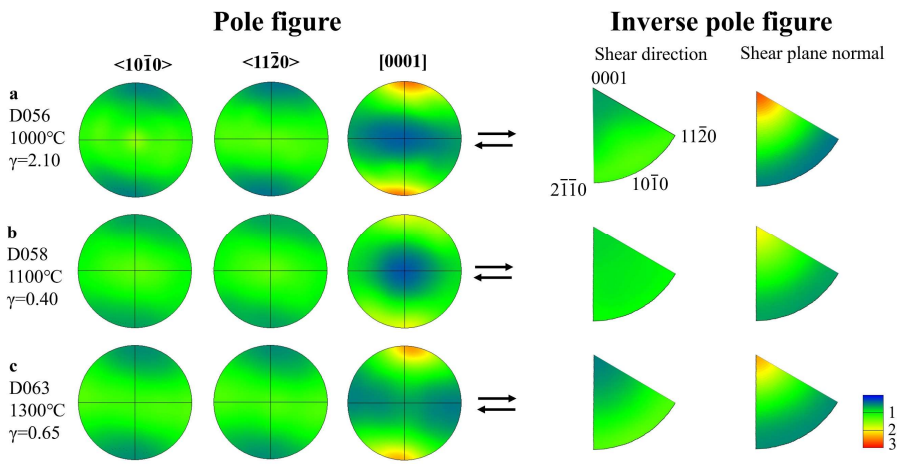


図 1. 剪断変形された試料の極点図（左図）と逆極点図。剪断方向は矢印で示されている。

Keyword: akimotoite, lattice preferred orientation, deformation, high-pressure
Corresponding author: dy@misasa.okayama-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$(Mg,Fe)_2SiO_4$ 系ポストスピネル相転移における水の影響

篠田由梨，井上徹*，柿澤翔，野田昌道，川添貴章，佐藤友子
（広島大・院先進理工），新名亨，入舩徹男（愛媛大・GRC）

Effect of water on the post-spinel transition in $(Mg,Fe)_2SiO_4$ system

Yuri SHINODA, Toru INOUE*, Sho KAKIZAWA, Masamichi NODA, Takaaki KAWAZOE, Tomoko SATO (Adv. Sci. Eng., Hiroshima Univ.), Toru SHINMEI, Tetsuo IRIFUNE (GRC, Ehime Univ.)

[はじめに]

地球深部 660km には顕著な地震波速度不連続面があり，ringwoodite (Rw) から bridgmanite (Brg) と ferropericlase (fPc) への分解相転移である「ポストスピネル相転移」が原因と考えられている。一方，Rw には 2-3wt%もの H_2O が結晶構造中に含まれ得ることが実験的に明らかにされていたが, 実際にダイヤモンド包有物中に含水 Rw が発見され, マントル遷移層中の水の存在が現実となった。

ポストスピネル相転移境界における水の影響については Mg_2SiO_4-H_2O 系で先行研究が行われ（Higo et al., 2001），相転移圧力が高圧側に移動することが報告された。一方, この相転移境界においては Fe の影響があまり大きくないことが指摘されていたが（Ito and Takahashi, 1989)，最近今までの相転移共存ループとは異なる相図が提示された（Ishii et al., 2019)。このように Fe の影響を再検討する必要がでてきた。

したがって本研究ではポストスピネル相境界における水の影響について「Fe」を含んだ系で，すなわち Mg_2SiO_4-Fe_2SiO_4 二成分系で明らかにすることを目的に高圧実験を行った。加えて比較として無水相図の再検討も同時に行った。

[実験方法]

高温高圧実験は愛媛大学GRC及び広島大大学超高圧研究室設置のマルチアンビル型高圧発生装置（ORANGE-3000及びMAPLE-600）を用いて行った。実験条件は23.5-24.3GPa, 1650℃, 保持時間は3時間であった。

無水系の出発物質にはMg:Feのモル比を変えた4種類の試料（Fe 0, 5, 10, 20 mol%）を金の箔で区切って1つのAuPdカプセルに封入した。また含水系ではMg:Fe比が9:1 (Fe 10 mol%) のマントルオリビン組成のものに，水は$Mg(OH)_2$で導入し，含水量は1 wt%で固定してAuPdカプセルに封入した。

高圧実験では無水系含水系カプセルを同一セルに封入し, 同一温度圧力条件で比較できるようにした。試料は回収後鏡面研磨し，XRD，SEM，EPMAを用いて解析を行った。

[結果及び考察]

＜無水と含水での比較＞

23.8 GPaでは，Fe10(Mg:Fe=9:1)の試料において無水含水ともBrgとRwの共存がみられた。しかし24GPaでは，Fe10の試料において無水ではBrgのみ，含水ではRwとBrgの共存がみられた。よって水の影響により相転移圧力が約0.2 GPa高くなることが明らかとなった。この結果はMg_2SiO_4端成分での先行研究の結果（Higo et al., 2001）と調和的である。またBrgに比較してRw中に水を多く含むことも調和的である。

＜無水でのFe量による比較＞

無水の試料においては, Fe量が増えるにしたがい，単調に相転移圧力が低くなった。この結果は従来のIto and Takahashi (1989) と一致し，Ishii et al.(2019)とは異なる。更なる検討が必要と思われる。

References

[1] Higo et al. (2001) Geophys. Res. Lett., 28, 3505-3508.

[2] Ito and Takahashi (1989) J. Geophys. Res., 94, 10637-10646.

[3] Ishii et al. (2019) Nat. Geosci., 12, 869-872.

Key words: post-spinel transition, high pressure experiment, effect of water, effect of Fe content

Corresponding author: toinoue@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

輝石－ザクロ石系の高圧相転移における水の影響

上野恭史*、井上徹、野田昌道、柿澤翔、川添貴章、佐藤友子（広島大・先進理工）、新名亨、入舩徹男（愛媛大・GRC）、尾原幸治（JASRI）

The effect of water on the high-pressure phase transition of pyroxene–garnet system

Yasushi UENO*, Toru INOUE, Masamichi NODA, Sho KAKIZAWA, Takaaki KAWAZOE, Tomoko SATO (Hiroshima Univ.), Toru SHINMEI, Tetsuo IRIFUNE (Ehime Univ.), Koji OHARA (JASRI)

2014 年にダイヤモンド包有物中に天然含水 ringwoodite が発見され、少なくとも局所的にはマントル遷移層に 1.5 wt%の水が含まれていることが明らかになった(Pearson et al., 2014)。現在までにマントル組成の約 6 割を占めるカンラン石系は無水及び含水条件で多くの研究が行われてきたが、残りの 4 割を占める輝石－ザクロ石系での含水条件下での研究結果は乏しい。そのため、本研究では輝石－ザクロ石 2 成分系相図における水の影響を明らかにするために実験的研究を行った。今回は特にマントル遷移層下部から下部マントル上部にかけて起こる garnet (Gar) - bridgmanite (Brg) 相転移に焦点を当て、水の影響の検討を行った。

高温高圧実験は川井型高圧発生装置である広島大学 MAPLE600 及び愛媛大学(GRC) ORANGE3000 を使用した。実験条件は、マントル遷移層下部から下部マントル上部に相当する圧力 21~26 GPa で行い、温度は 1600℃で固定した。出発組成は$MgSiO_3$-Al_2O_3系で無水と含水の試料を用意した。特にAl_2O_3量については、それぞれパイロライト組成で晶出する下部マントル Brg 及びマントル遷移層 Gar の Al 量に相当するものを用いた。出発物質には無水ではガラスの塊を、含水では酸化物・水酸化物粉末混合体を用いた。出発物質に用いたガラスの塊は、SPring-8 BL04B2 設置のレーザー加熱浮遊炉装置にて合成した。回収試料は SEM、EPMA、XRD での分析を行った。

＜水の影響＞ 23 GPa の無水試料では akimotoite (Ak) + Brg + Gar の三相共存であったが、含水試料では Brg + Gar の二相共存であった。このことから水の影響により、Ak - Brg の相転移境界が低圧側へシフトすることが明らかになった。

＜Gar の組成＞ ガラスロッドを用いた無水試料では粒径が 1 ㎛以下であったため、化学組成は Irifune et al.(1996)で報告された化学組成－格子定数関係を参考に格子定数から見積もった。一方で酸化物混合粉末を用いた含水試料では 10 ㎛程度まで粒成長したため EPMA で直接化学組成を測定した。その結果、先行研究（例えば Kubo & Akaogi,2000）の Gar の Al_2O_3 の固溶量よりもかなり多くなった。本結果については更なる検討を進めている。

References

[1] Pearson et al. (2014) Nature, 507, 221-224.

[2] Irifune et al. (1996) Phys. Earth Planet. Inter., 96, 147-157.

[3] Kubo & Akaogi (2000) Phys. Earth Planet. Inter., 121, 85-102

Key words: pyroxene-garnet system, bulk glass, wet condition, garnet-bridgmanite, akimotoite-bridgmanite
E-mail address: m213942@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

硫酸コバルト六水和物(Moorhouseite)の圧力誘起相転移と未知高圧相の構造決定

趙政皓、小松一生、山下恵史朗、鍵裕之*(東大院理)、中野智志(物材機構)

Pressure-induced phase transformation of $CoSO_4 \cdot 6H_2O$ (Moorhouseite) and determination of crystal structure of a new high-pressure phase

Zhenghao Zhao, Kazuki Komatsu, Keishiro Yamashita, Hiroyuki Kagi* (UTokyo), Satoshi Nakano (NIMS)

氷衛星内部には硫酸塩水和物の存在が推測されており、硫酸塩水和物の高圧下での挙動に関心が集まっている。近年、$MgSO_4 \cdot 11H_2O$ と $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ の脱水を伴う圧力誘起相転移が報告され、高圧環境では水和数が低いほど硫酸塩水和物が安定化すると考えられている。しかし、他の硫酸塩水和物の高圧下での挙動はほとんど未解明である。本研究では、スピン転移や Jahn-Teller 効果が結晶構造に影響を与える可能性がある、$CoSO_4 \cdot 6H_2O$ (Moorhouseite)の高圧下での挙動に着目した。

$CoSO_4 \cdot 7H_2O$ の微小結晶を粉砕することで得た $CoSO_4 \cdot 6H_2O$ 粉末試料を、圧力媒体のヘリウムと共にダイアモンドアンビル(DAC)に封入して加圧した。室温、高圧下での粉末X線回折実験はKEK-PFのBL-18Cで行った。$CoSO_4 \cdot 6H_2O$ 単結晶試料は 55 ℃の $CoSO_4$ 過飽和水溶液から結晶化させて得た単結晶試料を、圧力媒体である 90 %エタノール水溶液とともに DAC に封入して加圧した。XtaLAB Synergy (Rigaku)を用いて、室温条件で単結晶 X 線回折実験を行った。

粉末 X 線回折パターンから、$CoSO_4 \cdot 6H_2O$ は 0.4 ~ 2.3 GPa の圧力範囲で相転移を起こすことがわかった。また、得られた高圧相を 16.4 GPa まで加圧しても回折パターンの明瞭な変化はなく、高圧相はこの圧力まで安定であった。常圧まで減圧すると常圧相に戻り、圧力誘起相転移は可逆的であった。高湿度環境で得られた $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ (Bieberite)粉末試料についても同様の実験を行い、0.6 ~ 1.9 GPa で同一の粉末パターンを示す高圧相に相転移することがわかった。

1.3 GPa で測定した単結晶 X 線回折データから直接法により、この高圧相の結晶構造を決定した。その結果、本研究で得られた高圧相は未報告の $CoSO_4 \cdot 5H_2O$ であることがわかった。得られた構造モデルから粉末パターンをシミュレートしたところ、上記の粉末パターンを再現でき、粉末・単結晶のいずれも同じ高圧相に相転移したことを確認した。図 1 に示すように、高圧相の構造は$[Co(H_2O)_6]$と$[Co(H_2O)_4(SO_4)_2]$の二種類の配位多面体で構成されており、既に報告された $MSO_4 \cdot 5H_2O$ (M = Mg, Mn, Fe, Cu)の結晶構造とは大きく異なる。

今後は、氷衛星内部で存在する可能性がある $(Mg, Co)SO_4 \cdot nH_2O$ や $(Fe, Co)SO_4 \cdot nH_2O$ などの固溶体の高圧下での挙動を明らかにする必要がある。

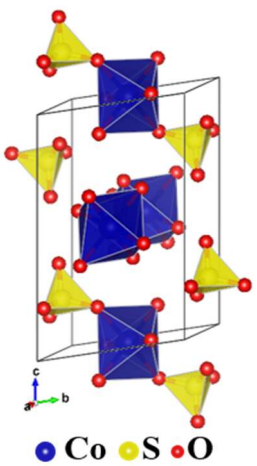


図1 高圧下で出現した $CoSO_4 \cdot 5H_2O$ の結晶構造。水素原子は表示しない。

Keywords: sulfate hydrates, high pressure, phase transition
*Corresponding author E-mail address: kagi@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Compressibility and blue-shifting OH groups of Mg(OH)F under high pressure

Xuejing He* (UTokyo), Hiroyuki Kagi (UTokyo), Kazuki Komatsu (UTokyo), Satoshi Nakano (NIMS)

Fluorine is recycled into the Earth's mantle together with water mainly through subduction processes, and most subducted hydrous minerals are not only important water carriers but also fluorine carriers. Substitution of OH^- by F^- has been found to have significant effects on the pressure response of O-H···O hydrogen bonds in hydrous minerals. Magnesium hydroxyfluoride, Mg(OH)F (*Pnma*, Z = 4), serves as a good analogue for studying elastic properties and O-H···F hydrogen-bonding behaviors in hydrous minerals with the diaspore-type structure under high pressure.

In this study, *in-situ* high-pressure synchrotron X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared absorption spectroscopy (FTIR) measurements have been conducted up to ~20 GPa at room temperature using diamond anvil cells (DAC), to investigate compressibility and spectroscopic properties of Mg(OH)F. XRD experiments were conducted in BL18C, PF, KEK, with helium as transmitting medium. KBr was used as pressure transmitting medium in FTIR spectroscopic measurements.

XRD results showed no phase transition up to 20.8 GPa, the pressure-volume (*P*-*V*) correlation was fitted by the second-order Birch-Murnaghan equation of state, yielding K_0 = 80(2) GPa, K_0' = 4.0 (fixed), V_0 = 145.2(3) Å^3. In accordance with other isostructural compounds crystallizing in the diaspore-type structure, higher contraction occurs along the *c* axis of Mg(OH)F. In the infrared absorption spectra, six bands were observed at 730 (ν_1), 851 (ν_2), 944 (ν_3), 3537 (ν_4), 3641 (ν_5), and 3680 cm^{-1} (ν_6), with ν_1, ν_2, and ν_3 related to libration modes and ν_4, ν_5, and ν_6 assignable to O-H stretching modes. Positive pressure dependences were observed for ν_4 (1.56 cm^{-1}/GPa), ν_5 (0.67 cm^{-1}/GPa), and ν_6 (2.85 cm^{-1}/GPa) up to 19.8 GPa, which indicates that the O-H···F hydrogen-bond does not strengthen under compression (Fig. 1). According to previously published structure data obtained from XRD and neutron diffraction experiments, this phenomenon might be resulted from the fact that the O-H···F hydrogen bond in Mg(OH)F is bent, weak, and far from symmetrization under ambient condition compared with α-AlOOH, α-FeOOH, and α-MnOOH.

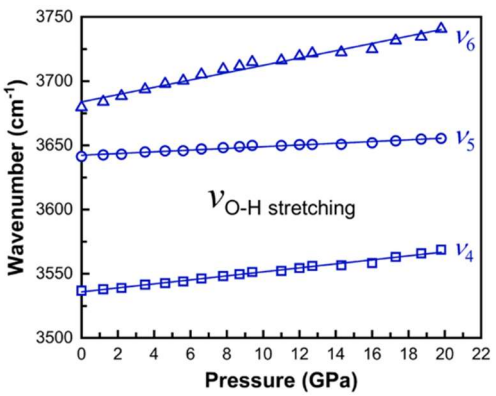


Figure 1 Pressure dependence of O-H stretching mode frequencies of Mg(OH)F up to 19.8 GPa

Keywords: magnesium hydroxyfluoride, high pressure, diamond anvil cell, X-ray diffraction, infrared spectroscopy
*Corresponding author: xuejinghe@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ナトリウムケイ酸塩水流体の高圧下における構造

佐藤友子*、山本あかね（広島大・院先進理工）、
則竹文哉（山梨大・院総合研究部）、浦川啓（岡山大・院自然科学）、
若林大佑、船守展正（物構研・KEK）

Structure of sodium silicate aqueous solution under high pressure

Tomoko Sato*, Akane Yamamoto (Hiroshima Univ.), Fumiya Noritake (Yamanashi Univ.), Satoru Urakawa (Okayama Univ.), Daisuke Wakabayashi, and Nobumasa Funamori (KEK)

[はじめに]

水ケイ酸塩流体は、ある温度圧力条件以上になると、含水マグマと流体の区別がなくなり、超臨界流体から成る一相となって存在することが知られている（第二臨界点）[1]。本研究では、ナトリウムケイ酸塩―水流体（水ガラス）についての常圧と高圧下におけるX線小角散乱・回折測定および分子動力学シミュレーションを実施して、水ケイ酸塩流体の第二臨界点前後における構造の変化を明らかにすることを試みた。

[実験・計算]

X線小角散乱・回折測定では和光純薬のケイ酸ナトリウム水溶液（水ガラス）試薬を試料として用いた。組成はおよそNa_2O-2.2SiO_2-9.5H_2O、SiO_2/H_2Oモル比~ 0.23であった。高エネルギー加速器研究機構・Photon FactoryのBL-18Cにおいて、ダイヤモンドアンビルセルと小角散乱実験セッティング[2]を用いて室温・20GPaまでの測定を実施した。加えて、常圧下における高Q領域（Q<~17Å^{-1}）までの回折測定もAR-NE1Aにおいて行った。

分子動力学シミュレーションは、Mahadevanらにより提案されたポテンシャルモデル[3]を用いて行った。系の原子数は約20000個とした。Na/Si比は実験と同程度にとり、高濃度（SiO_2/H_2Oモル比~ 0.30）の水ガラスについては低圧（<0.3GPa）および高圧（9.1GPa）条件で、低濃度（SiO_2/H_2Oモル比~ 0.10, 0.06）では低圧条件のみで計算を実施した。

[結果と考察]

X線小角散乱・回折パターンには、第一回折ピーク（FSDP）がQ=2.2Å^{-1}付近に観察されたのに加え、Q=0.6Å^{-1}付近に特徴的なピークが見られた。FSDPは圧力とともに単調に高Q側にシフトしたが、低Qピークは、4～8GPa付近で低角側にシフトする異常を示した。ピーク強度は圧力とともに減少したが、同じく4～8GPaで減少率に異常が見られ、この圧力領域において何らかの構造変化があることが強く示唆される。

分子動力学シミュレーションでは、低圧ではどの濃度でも水和したケイ酸塩アニオンに囲まれたNaクラスターと水に分離した構造が得られた。高濃度の散乱パターンは実験のパターンと比較的よく一致し、Q=0.6Å^{-1}付近のピークも再現された。低QピークはNaクラスター内のNa-Na相関に起因することが示唆される。一方、高圧ではNaクラスターは水に溶解し、低Qピークは消滅した。これも実験結果と調和的であり、計算結果は第二臨界点前後における構造変化をよく再現していると期待される。

References
[1] Mibe et al. (2003) J Geophys. 112, 970.
[2] Sato et al. (2018) Phys. Rev. B 98, 144111.
[3] Mahadevan et al. (2019) J. Phys. Chem. B., 123, 4452.

Keywords: sodium silicate water glass, x-ray scattering, molecular dynamic simulation, second end critical point
*Corresponding author: tomokos@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R6：深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

2021年9月16日(木) 9:30 ~ 12:00 | Zoom Session 2

R6：深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

座長:川本 竜彦(静岡大学)、亀井 淳志(島根大学)、伴 雅雄(山形大学)

[座長」
亀井 淳志：R6-01～R6-04
伴　雅雄，川本竜彦：R6-06～R6-08
川本 竜彦：R6-09～R6-10

9:30 ~ 9:45

[R6-01] 利尻火山における玄武岩質マグマのNa/K多様性とその成因

*谷内 元[1,2]、栗谷 豪[2]、中川 光弘[2] (1. 静大・理、2. 北大・院理)

9:45 ~ 10:00

[R6-02] 紀伊半島中央部に産する中新世玄武岩の同位体とREE組成

*佐藤 隆春[1]、相澤 正隆[2] (1. 大阪自然史博、2. 琉球大)

10:00 ~ 10:15

[R6-03] 北部九州・糸島半島に分布する志賀島塩基性岩類について

伊福 澪[1]、*宮本 知治[1]、島田 和彦[1] (1. 九州大・院理)

10:15 ~ 10:30

[R6-04] Petrogenesis of the Khangai granitoids, central Mongolia: Implications for the crustal generation

*Dolzodmaa Boldbaatar[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Atsushi Kamei[2], Tatsuro Adachi[1] (1. Kyushu Univ, 2. Shimane Univ)

10:30 ~ 10:45

休憩

10:45 ~ 11:00

[R6-05] はんれい岩－閃緑岩－トーナル岩複合岩体：アジア大陸東縁，前期白亜紀沈み込み帯の地殻形成，北部九州の例

*大和田 正明[1]、砺山 駿吾[4]、亀井 淳志[2]、小山内 康人[3]、中野 伸彦[3]、足立 達朗[3] (1. 山口大学・院創成、2. 島根大学・院総合理工、3. 九州大学・院地球、4. アイ総合技術)

11:00 ~ 11:15

[R6-06] ICDPオマーン掘削計画による高速海嶺系の下部地殻構造

*海野 進[1]、草野 有紀[2]、石塚 治[2]、普代 貴大[3]、田村 明弘[1]、森下 知晃[1] (1. 金沢大・地球、2. 産総研・地調、3. 太平洋セメント)

11:15 ~ 11:30

[R6-07] オマーンオフィオライトの古拡大軸セグメント構造

*岡田 颯馬[1]、海野 進[2]、草野 有紀[3]、宮下 純夫[4]、足立 佳子[5] (1. 金沢大・院理、2. 金沢大、3. 産総研、4. 北海道総合地質研、5. 電中研)

11:30 ~ 11:45

[R6-08] Petrology of pumice stone in the 39 ka caldera-forming eruption of Mendeleev volcano (Kunashir Island)

[Presentation award entry]

*Alexey Kotov[1], Sergey Smirnov[2], Noriyoshi Tsuchiya[1], Masaoki Uno[1] (1. Tohoku Uni, 2. Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk)

11:45 ~ 12:00

[R6-09] **北西インドNidarオフィオライト層火成岩類の岩石学的・地球化学的研究**

「発表賞エントリー」

*佐藤 成修[1]、今山 武志[1]、Dripta Dutta[2]、金田 泰明[3]、渡部 将太[3]、長谷川 健[3]、南 雅代[4]、若杉 勇輝[4]、若木 重行[5] (1. 岡山理大、2. インド工科大学ボンベイ校、3. 茨城大、4. 名古屋大、5. JAMSTEC・高知コア研)

利尻火山における玄武岩質マグマの Na/K 多様性とその成因

谷内 元(静岡大)*・栗谷 豪(北海道大)・中川 光弘(北海道大)

Origin of Na/K diversity of basaltic magmas from Rishiri Volcano

Hajime Taniuchi* (Shizuoka Univ.), Takeshi Kuritani, Mitsuhiro Nakagawa (Hokkaido Univ.)

1. はじめに

沈み込み帯の初生玄武岩質マグマは、単一火山においても化学的多様性を示す（e.g., Le Voyer, 2010）。我々は、この化学的多様性（特に Na/K）の要因を、利尻火山の高 Na/K タイプ玄武岩と低 Na/K タイプ玄武岩の比較研究から検討してきた（谷内ほか, 2020, 火山学会）が、今回新たにマグマ生成条件の推定からその要因を制約したので報告する。

2. 研究対象

利尻火山は千島弧南部の背弧火山である（石塚, 1999）。高 Na/K タイプ玄武岩の代表には活動初期の豊漁沢溶岩流（SiO_2 = 51.9–53.4 wt.%）を、低 Na/K タイプ玄武岩の代表には活動末期の野塚溶岩流（SiO_2 = 49.2–51.8 wt.%）を選択した。両溶岩流の岩石学的特徴は、両者の最も未分化なマグマが、初生マグマからのかんらん石の分別のみでもたらされたことを示し、両者の化学的多様性は初生マグマの違いに起因すると考えらえる。

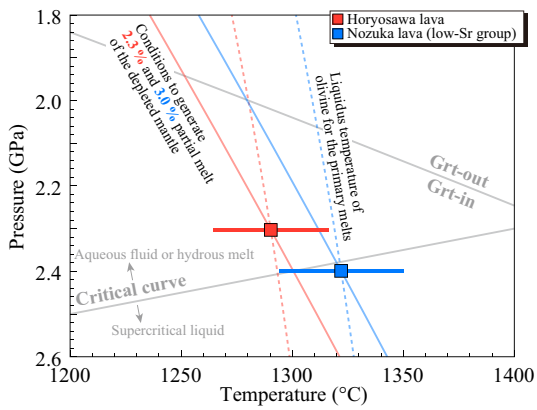
3. 豊漁沢および野塚溶岩のマグマ生成条件

まず、斜長石とメルト間の平衡関係からマグマ含水量を推定し、豊漁沢は 3.0 wt.% 野塚は 2.3 wt.% の結果を得た（Putirka, 2008）。次に、ソースマントルを DMM 組成と仮定し、かんらん石最大分別モデルを用いて推定した初生マグマ組成と、マントル/メルト間の分配係数（Kelemen et al., 2004）から部分溶融度を推定した。その結果、豊漁沢で 2.3 % 野塚で 3.0 % の結果を得た。さらに起源マントルの含水量として豊漁沢は 0.102 wt.% 野塚は 0.095 wt.% の結果を得た（Kelley et al., 2006）。

以上から、豊漁沢溶岩流の初生マグマの生成時には、含水量 0.102 wt.% の枯渇マントルが 2.3% 部分溶融する条件（Katz et al., 2003）および初生マグマがかんらん石と平衡共存する条件（pMELTS モデル; Ghiorso et al., 2002）の両者が満たされていたと考えられ、このマグマ生成条件として T = 1290 ℃、P = 2.30 GPa 得られた。同様の手法で野塚溶岩流のマグマ生成条件についても推定した結果、T = 1320 ℃、P = 2.40 GPa の結果が得られた（図）。

4. 初生マグマの化学的多様性の要因

以上の結果から、1) 部分溶融度は豊漁沢 < 野塚であること、2) 豊漁沢の初生マグマは野塚のそれよりも浅部で生成したこと、が明らかとなった。さらに HMA-H_2O 系における臨界点の温度圧力条件（Kawamoto et al., 2012）との比較結果は、野塚溶岩流の初生マグマは臨界点より深部で超臨界流体がフラックスとなり生成した一方、豊漁沢溶岩流の初生マグマは臨界点より浅部で超臨界流体から分離した水流体がフラックスとなって生成したことを示唆する（図）。以上に加えて、水流体とメルト間における Na/K の交換分配係数（$D^{melt/fluid}_{Na/K}$）が 1 より小さい（Shinohara et al., 1989）ことも考慮すれば、利尻火山における初生マグマの化学的多様性（特に Na/K）の要因として、超臨界流体が水流体とメルトへ分離する際の元素分配が考えられる。



Keywords: Slab-derived supercritical liquid, Primary magma, Rishiri Volcano, Water, Melt
*taniuchi.hajime@shizuoka.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

紀伊半島中央部に産する中新世玄武岩の同位体と REE 組成

佐藤隆春*（大阪自然史博）・相澤正隆（琉球大）

Isotope and REE compositions of Miocene basalt in the central Kii Peninsula, Japan

Takaharu SATO*(Osaka Museum Nat. Hist.) and Masataka AIZAWA (Ryukyus Univ.)

紀伊半島の南東から中央部では中新世中期にほぼ南北に配列するカルデラ群が形成された[1]．カルデラ群の北端に位置する紀伊半島中央部の奈良県吉野町南国栖に未分化玄武岩の産出が報告され[2]，大峯・大台コールドロン[3]を形成した流紋岩質マグマの熱源となった可能性がある．玄武岩は幅約 6 m の流紋岩との複合岩脈を構成しており，岩脈の両サイド 30～50 cm 幅に産する（以下，国栖玄武岩・流紋岩）．

本研究では国栖玄武岩と国栖流紋岩の Sr，Nd，Pb，Hf の各同位体組成と微量元素組成の特徴を報告する．

国栖玄武岩と国栖流紋岩の Sr，Nd 同位体比（εNd，εSr）は異なり，両者の起源物質が違うことを示す（Figure）．

国栖玄武岩は肥沃なマントル起源と推定される．瀬戸内区の玄武岩[4]も国栖玄武岩と類似した同位体比を示す．一方，潮岬の玄武岩質岩の同位体比[5]は国栖玄武岩と異なり，また幅がある．

国栖玄武岩の REE 組成は EMORB と類似した組成パターンを示す．始原マントルで規格化した不適合元素パターン図では Nb や Ta の負異常は認められず，沈み込み流体の寄与を受けずにマントルが部分融解して生成されたマグマであることを示す．

一方，国栖流紋岩は HREE に枯渇せず，Eu の負の異常が認められる．このことは，国栖流紋岩は地殻の比較的浅部が部分融解して形成された可能性を示唆する．この特徴は紀伊半島の流紋岩質火成岩に共通する[6]．

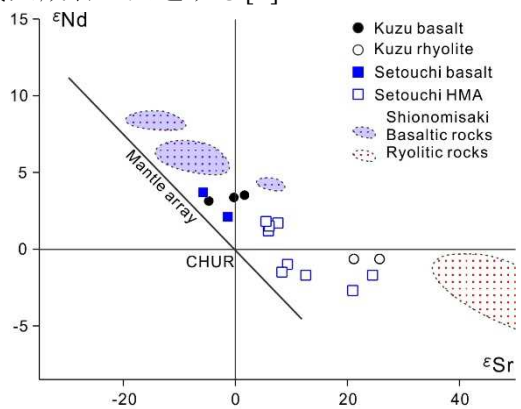


Fig. εSr versus εNd diagram
Setouchi basalt and HMA data are from [4], Shionomisaki data is from [5].

文献 [1] Miura and Wada, 2007, JVGR, 167, 271; [2] 佐藤, 2020, 火山学会 2020 年予稿, 94； [3] 佐藤・大和大峯研究 G, 2006, 地球科学，60，403; [4] Shimoda et al. (1998), EPSL, 160, 237； [5] 三宅・本間（1989）地質学会 96 年要旨，508； [6] 新正ほか, 2007, 地質雑，89，395.

Keywords: Primary basalt, Isotope, REE, Miocene, Kii Peninsula
*Corresponding author: qzt00360@nifty.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

北部九州・糸島半島に分布する志賀島塩基性岩類について

伊福　澪・宮本知治*・島田和彦（九州大学）

Petrography of Shikanoshima basic rocks at Itoshima Peninsula.

M. Ifuku, T. Miyamoto*, and K. Shimada (Kyushu University)

The Shikanoshima basic plutonic rocks are emplaced at the Shikanoshima Is. and Itoshima Peninsula of northern Fukuoka, north Kyushu, associated with Shikanoshima granodiorite (Karakida *et al.*, 1994). The plutonic rocks are characterized by coarse-grained euhedral hornblende. Their occurrence is important to understand their origin and relation between them and surrounded contemporaneous plutonic intrusions. The origin of the basic intrusion on Shikanoshima Is. has been discussed in detail as Yuhara and Uto (2007) and Tiepolo *et al*. (2012), however, there are few studies about the basic intrusion on the Itoshima Peninsula. In order to considering about the origin of the mafic intrusion, it is necessary to understand the situation and detailed relationship of each other in each distribution. Therefore, in this study, the mafic rocks in the Itoshima Peninsula was described for considering the origin of the basic plutonic intrusions.

The Shikanoshima basic rocks on the Itoshima Peninsula were grouped following with a maximum grain size of hornblende into to coarse (> 5 mm), medium (1 - 5 mm), and fine (< 1 mm) groups. At the southwest of Itoshima Peninsula, the mafic rocks with fine to medium lithology were observed in contact with the Shikanoshima granodiorite. The boundary between mafic and granodiorite changed gradually, and no clear discontinuous boundary could be found. On the northern side, coarse grained mafic rocks were also found with the medium to fine mafic rocks and granodiorite. These mafic plutonic rocks were commonly composed mainly of hornblende (Hbl), plagioclase (Pl), and quartz (Qtz), with minor amount of biotite (Bt) and microcline (Mc) subsequently. The Hbl in the fine-grained mafic rocks showed an equigranular structure together with Pl and Qtz of the same grain size. In the medium and coarse grain mafic rock, some euhedral Hbl were colored green uniformly and others had a brown color near the core and a light green color on the rim side. They were commonly surrounded by Pl, Qtz, and Mc, and sometimes contained Bt and Pl in them. In some samples, Clinopyroxene (Cpx) was found in matrix and inclusion in Hbl. The chemical compositions were analyzed for medium to coarse-grained mafic rocks for monitoring between color change and composition of coarse Hbl. For all Hbl, the brown part tended to have more Al and Ti and lower #Mg (= Mg / (Mg + Fe_{tot})) than green ones. Also, temperature and pressure were estimated approximately to 1.8-2.0 kbar and approximately 650-710°C following to Hbl geothermo-barometry of Mutch *et al.* (2016) and Holland and Blundy (1994). Therefore, it is considered that Hbl was crystallized from host magma under these temperature and pressure conditions, then other felsic minerals were substantially crystallized in the emplacements from the Itoshima Peninsula. In addition, the difference in lithofacies characterized by constituent minerals, especially grain size of Hbl, were possibly influenced by the composition of the host during their crystallization.

References; Holland and Blundy (1994): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, 433-447. Karakida *et al*. (1994): Geology of the Fukuoka district. 1:50000, Geological Survey of Japan, 192p (in Japanese with English abstract). Mutch *et al*. (2016): *Contrib. Minera.l Petrol.,* 171, 85. Tiepolo *et al*. (2012): *Jornal of Petrology*, 35, 6, 1255-1285. Yuhara and Uto. (2007): *Jour. Geol. Soc. Japan*, 113, 519-531.

Keywords: Shikanoshima Basic rocks, Hbl geothermobarometry, whole rock compositions.
*Corresponding author: miyamoto@geo.kyushu-u.ac.jp

Petrogenesis of the Khangai granitoids, central Mongolia: Implications for the crustal generation

Boldbaatar Dolzodmaa* (Kyushu Univ), Yasuhito Osanai (Kyushu Univ),
Nobuhiko Nakano (Kyushu Univ), Atsushi Kamei (Shimane Univ),
Tatsuro Adachi (Kyushu Univ)

Mongolia is the heartland of the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) and that CAOB is renowned for the massive generation of juvenile crust in the Phanerozoic. In central Mongolia, the Khangai basin filled by Devonian to Carboniferous sedimentary rocks (Kelty et al., 2008; Purevjav and Roser, 2012; Erdenechimeg et al., 2018) and intruded by voluminous granitoid plutons in the Late Permian–Early Triassic of 269–237 Ma (Jahn et al., 2008; Yarmolyuk et al., 2016; Dolzodmaa et al., 2020). We present new whole-rock Sr–Nd isotopic data and combining with previous our published geochemical, geochronological data set on the Khangai granitoids (Dolzodmaa et al., 2020) emplaced in central Mongolia. The Khangai granitoids have unique geochemical and isotopic features, to know the origin(s) of them is important for understanding crustal generation. The Khangai granitoids can be divided into two stages magmatism: (1) 269–248 Ma granitoids that consist of Bt–Hbl granodiorite with mafic microgranular enclave and Bt granite have high-K calc-alkaline, I-type granite affinity, on the other hand (2) associated 238–237 Ma granitoids consist of pegmatitic granite have a post-orogenic A-type affinity. Both Bt–Hbl granodiorite and Bt granite have SiO_2 content ranging from 54.44 to 75.93 wt% and both define a single trend on silica vs. major and trace elements diagrams that likely reflects fractional crystallization processes (Dolzodmaa et al., 2020). Using whole-rock chemical data, Bt–Hbl granodiorites and Bt granites plotted on the hornblende, biotite, and plagioclase vector diagram indicates that these two suites of granitoids can be linked by the fractionation of plagioclase and hornblende (Dolzodmaa et al., 2020).

Newly obtained whole-rock Sr–Nd isotopic data of (1) granitoids have a low variation of initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios between 0.7062 and 0.7283 and characterized by near-zero $\varepsilon_{Nd}(T)$ values of −2.13 ~ +1.11 suggests that granitoids may have been derived from a source composed of juvenile material involving crystal fractionation and assimilation processes supported by above geochemical features whereas (2) granitoids have high initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios between 0.7128 and 0.7576 and show near-zero $\varepsilon_{Nd}(T)$ values of −1.68 ~ −1.52 suggests that the (2) granitoids may be formed by assimilation fractional crystallization processes with the interaction between lower crust derived magma and meta-sedimentary rocks supported by their high silica concentration ranging from 71.46 to 78.32 wt% and have high TFe_2O_3/MgO, Ga/Al values, strong depletions in Ba, Sr, relatively flat REE patterns, significant negative Eu anomalies, and high-K calk-alkaline compositions (Dolzodmaa et al., 2020).

Keywords: central Mongolia, granitoid, whole-rock Sr–Nd isotopes, Assimilation fractional crystallization (AFC) process

*Corresponding author: odmaa390b@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

はんれい岩－閃緑岩－トーナル岩複合岩体：アジア大陸東縁，前期白亜紀沈み込み帯の地殻形成，北部九州の例

大和田正明（山口大学），砺山駿吾（アイ総合技術），亀井淳志（島根大学）
小山内康人，中野伸彦，足立達朗（九州大学）

Gabbro–Diorite–Tonalite complex: Formation of juvenile crust in active continental margin, Cretaceous north Kyushu batholiths, southwest Japan

M. Owada* (Yamaguchi Univ.), S. Toyama (AI United Eng. Inc.), A. Kamei (Shimane Univ.)
Y. Osanai, N. Nakano, T. Adachi (Kyushu Univ.)

The magmatic processes in subduction zones are one of important issues to understand the evolution of continental crust through the earth's history. The gabbro–diorite–tonalite complex in the Sefuri Mountains, north Kyushu geochemically resembles high-Nb basalt, high-Mg andesite, and adakite, respectively, and shows juvenile character with positive epsilon Nd isotopic compositions. These rocks were produced by partial melting of metasomatized wedge-mantle and already underplated mafic lower crust during 115 to 105 Ma. Considering the early Cretaceous tectonic setting, the magmatism occurred as an unusual heat flow due to mantle upwelling affected by the slab rollback.

沈み込み帯における火成活動は大陸地殻の形成と分化を担い，大陸成長と安定化を促す．北部九州には，白亜紀に活動した花崗岩バソリスが分布し，散点的であるが苦鉄質岩を伴う．最近のジルコン U–Pb 年代測定によると，バソリスは 105 Ma から 95 Ma の約 1000 万年の間に起こった”magmatic flare-up”によって形成した．バソリス西部の浮嶽周辺には，花崗閃緑岩のブロックとしてグラニュライト相の変成岩類を伴うはんれい岩－閃緑岩－トーナル岩複合岩体が産する．泥質変成岩の変成年代はモナズ石 Th–U–Pb 年代とジルコン U–Pb 年代によって 115–105 Ma が報告されている．産状と組織・鉱物組み合わせから複合岩体は変成作用のピーク時に貫入した．

複合岩体はそれぞれ貫入－貫入関係や包有－包有関係を示す．はんれい岩はホルンブレンドを含むのに対して，閃緑岩とトーナル岩は主に輝石を含み，含水鉱物をほとんど伴わない．はんれい岩は中～高 K 系列に属すのに対して，閃緑岩は主に低 K 系列の特徴を示す．トーナル岩ははんれい岩と閃緑岩の中間的な特徴を持つ．そして，はんれい岩，閃緑岩およびトーナル岩の化学組成は，それぞれ高 Nb 玄武岩，高 Mg 安山岩，アダカイトの特徴に類似する．105 Ma で年代補正したεNd 同位体組成は 0 以上で，マントル由来の特徴を示す．最も MgO の高い閃緑岩の Sr–Nd 同位体組成は，はんれい岩のそれより肥沃的である．はんれい岩と閃緑岩の MgO, Cr, Ni 含有量はほぼ同じだが SiO_2 含有量は異なり，ハーカー図で異なるトレンドを示す．また，トーナル岩の同位体組成は bulk earth に近く，沈み込み帯アダカイトと類似する．マントル組成で規格化したスパイダー図で，はんれい岩と閃緑岩のパターンは類似する．

前期白亜紀のテクトニックセッティングを考慮すると，はんれい岩と閃緑岩は，沈み込み帯の汚染されたウェッジマントルに由来し，溶融の熱源はスラブロールバックによって上昇した高温のアセノスフェアと推察される．また，トーナル岩マグマはすでに底付けされた苦鉄質下部地殻の部分溶融によって形成され，地殻成長を促したと考えられる．

Keywords: High-Nb basalt, High-Mg andesite, adakite, slab rollback

***Corresponding author: owada@yamaguchi-u.ac.jp**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ICDP オマーン掘削計画による高速海嶺系の下部地殻構造

海野　進 (金沢大) ・草野有紀・石塚　治（産総研）・普代貴大（太平洋セメント）・田村明弘・森下知晃（金沢大）

Architecture of the lower crust beneath the fast-spreading axis of the Oman Ophiolite deduced from the ICDP Oman Drilling

Susumu Umino (Kanazawa Univ.), Yuki Kusano, Osamu Ishizuka (AIST), Takahiro Fudai (Pacific Cement, Co. Ltd.), Akihiro Tamura and Tomoaki Morishita (Kanazawa Univ.)

#

ICDPオマーン掘削計画では，Ibra北方のWadi Gideahでオマーン・オフィオライトの地殻下部を掘削し，GT1A孔とGT2A孔からそれぞれ400 mのコアを採取した。われわれは地殻の厚さと掘削コアの層準を明らかにするために，フィールド調査と衛星画像・標高モデルを用いてモホ面の3次元構造をマッピングした。その結果，下部地殻の厚さは3.5 km，GT1A孔とGT2A孔の層準はモホからそれぞれ0.4～0.8 kmと2.0～1.6 kmとなることがわかった。下部地殻ガブロには普遍的に面構造とハイパーソリダス変形構造が発達する。モード層状構造も見られるが，局所的である。モード層状構造の発達した層状ガブロはモホ面から高さ125 mまでの下部地殻最下部に限られる。

掘削コア試料は主としてカンラン石ガブロからなり，伸張したカンラン石集合体や四半構造をした単斜輝石，汚濁したコアを包有する大きな自形斜長石が，グラノブラスティック組織を示す細粒の斜長石に取り囲まれた組織を示す。これらの組織はメルトの存在下での変形を示唆しており，細粒の斜長石の再結晶とマグマ性の斜長石コアの周りに自形リムが成長することで，歪みを解消している。また，GT1A, GT2Aを通してポイキリティックやオフィティック組織を示す単斜輝石が存在する。ハイパーソリダス変形の痕跡は層準にかかわらず，偏在する。

ガブロの全岩化学組成は，主に斜長石，カンラン石，斜方輝石の集積と間隙メルトの混合によって支配される。GT1A下部とGT2A上部の岩石全体のMg#はそれぞれ72-83と68-79であり，最も低いMg#はシート状岩脈群と重なる。集積鉱物はシート状岩脈群の全岩化学組成で代表されるメルトと平衡であったと考えられる()。そこで間隙メルトのLa，Pr，Ce組成濃度が平衡なシート状岩脈群のそれらと等しいと仮定し，ガブロとシート状岩脈群の全岩La，Pr，Ce濃度からマスバランス計算によって，ガブロ中の間隙メルト量を推定した。間隙メルト量はGT1A, GT2Aともに5–10 mass%，最大でも15 mass%である。平均値はGT2Aで6 mass%，GT1Aで5 mass%と，層準が下位の方がやや少ない傾向がある。

GT1A，GT2Aともに掘削コアは，ハイパーソリダス変形によって鉱物が配列して面構造をなすフォリエーションが発達する。掘削孔と同層準の露頭観察でもモード層状構造の発達は乏しい。全てのコアに普遍的に見られる集積鉱物の単斜輝石と斜長石の累帯構造，高い過冷却度のもとでの晶出を示すオフィティックな単斜輝石，5 mass%を越える間隙メルトは，いわゆるフォリエーティッドガブロの特徴に一致する。

以上のことから，GT1A孔とGT2A孔はいずれもフォリエーティッドガブロを掘削したと結論される。このようにWadi Gideahセクションでは上部ガブロとされる厚いフォリエーティッドガブロが発達している。これは，海嶺軸セグメント中央にあったとされるWadi Gideahの下部地殻はマグマ供給率が高く，長期間に渡って高温状態であったために，マッシュ状のガブロ氷河が厚く発達し，メルトレンズの底で晶出した集積鉱物が，下部地殻深部にまで輸送されたと考えられる。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

オマーンオフィオライトの古拡大軸セグメント構造

岡田颯馬・海野　進（金沢大）・草野有紀（産総研）・宮下純夫（北海道総合地質研）・足立佳子（電中研）

Intrasegment variation of oceanic crustal structure of the Oman Ophiolite

Soma Okada, Susumu Umino (Kanazawa Univ.), Yuki Kusano (AIST), Sumio Miyashita (Hokkaido Sogo Chishitsu), Yoshiko Adachi (CRIEPI)

はじめに　北部オマーンオフィオライトのWadi Fizh～Wadi Sadam間の古拡大軸セグメントにおける海洋地殻構造及び岩脈組成について報告する。従来，厚いモホ遷移帯，未分化な岩脈群及びガブロの鉱物組成から，同セグメント中央に位置するWadi Thuqbah付近にセグメント中心があり，北端のWadi Fizhへ向けて岩脈群の組成幅が広がり，噴出岩層とシート状岩脈群からなる上部地殻が繰り返す二階建て構造の存在が知られていた（Adachi and Miyashita, 2003；Umino et al., 2003；Miyashita et al., 2003）。今回，われわれはセグメント南端と考えられるWadi SadamにおいてFizhと同様の上部地殻の二階立て構造を確認した。そこで，同セグメント南半部の地殻構造と岩脈群の全岩組成のセグメント内変化について調査した。

古海嶺軸走向の復元　古海嶺軸の走向の変化を明らかにするため，オフィオライトの褶曲と傾動を補正し，拡大軸下にあった時のシート状岩脈群の姿勢を復元した。先ず，拡大軸期のV1噴出岩の走向傾斜の分布に基づいて，南東にプランジした褶曲軸を推定した。褶曲軸に直交する回転軸まわりにプランジを水平に戻した後，左ずれ断層で南北に隔てられた西翼部のシート状岩脈群について，傾斜を鉛直に戻した。断層の西側のブロックはセグメント北半部と連続しているが，東側は相対的に北方にずれている。そこで，東側のブロックを断層に沿って南方にスライドさせ，断層の西側に対する原位置に戻した。その結果，セグメント南半部のシート状岩脈群はセグメント南端の北10 kmのWadi Salahi付近で約20°屈曲し，北側は~160°，南側は~0°走向であった。

シート状岩脈群の全岩化学組成　セグメント南半部の岩脈組成は北半部と同様の組成範囲にある。南半部の岩脈のほとんどはMg#35-60，TiO_2 0.5-3 wt%，P_2O_5 0.04-0.37 wt%である。セグメント半部中央付近のWadi Bidi付近に最も未分化な岩脈が多く，その南のWadi Hilti付近に最も分化したものが出現する。セグメント全体では，南半部の岩脈群の方が北半部よりもやや分化したものが多い。

議論　セグメント南半部のシート状岩脈群の走向は10−15 km長の2つの小セグメントに分けられ，両者の間には断層や相互に貫入する走向の異なる岩脈は存在しないことから，古海嶺軸の折れ曲がり(DEVAL)に相当すると考えられる。小セグメントの規模は，セグメント北半部と同程度である。DEVAL付近は上部フォリエーティッドガブロが薄く，下部地殻ガブロの層状構造の乱構造帯の分布域に対比される(戸松, 2004MS)。またDEVAL付近のフォリエーティッドガブロの単斜輝石のMg#は70-88と組成幅が大きいことが報告されている(野川, 2011)。以上より，DEVAL付近はマグマ溜まりのメルトレンズが薄いか，途切れた部分に相当し，マグマが冷却しやすく，分化した集積鉱物や岩脈が形成されたと考えられる。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Petrology of pumice stone in the 39 ka caldera-forming eruption of Mendeleev volcano (Kunashir Island)

Alexey Kotov[1]*, Sergey Smirnov[2], Noriyoshi Tsuchiya[1], Masaoki Uno[1]
([1]Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, [2]Institute of Geology and Mineralogy, Siberia Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk)

Caldera eruption of Mendeleev volcano occurred about 39 thousand years ago on Kunashir Island. The volume of pyroclastic material is estimated at 60 km^3, which makes this eruption one of the largest eruptions of the Upper Pleistocene in the Southern Kuril Islands.

The pumice stones of the caldera eruption are dacitic. The proportion of porphyry phenocrysts in pumice is not higher than 20 vol. %. Phenocrysts are represented by plagioclase, augite, hypersthene, quartz, magnetite, and ilmenite, immersed in glassy groundmass. Amphibole was found only in the form of crystalline inclusions in pyroxenes. Amphibole is Mg-Fe^{3+} hornblende (Al_2O_3 7 - 11 wt. %). To estimate pressures, we used an amphibole geobarometer (Ridolfi et al., 2010). We argue that the amphibole is a relic of a mineral association which formed during the partial melting of crustal metabasites of Kunashir Island. Thus, the estimates of the PT parameters correspond to the process of generation of the melt that participated in the formation of the upper crustal magmatic chamber. The maximum estimates of the PT parameters were about 3 kbar and 920°C. Most of the compositions of amphibole correspond to 1-2 kbar and temperatures of 780 - 890°C. Melts were formed at high fO_2 corresponding to the NNO +0.1-1.9 buffer.

Pumice phenocrysts often contain primary glassy melt inclusions (MI). Sometimes these MI's contain empty shrinkage bubbles. The composition of MI corresponds to low-K_2O dacite-rhyodacite. MI's differ from the bulk rocks by a higher SiO_2 content and do not differ in alkali content. The most important part of this study is to determine the content of volatile components in the melts that participated in the caldera eruption. By combining the methods of Raman spectroscopy and the measurement of oxygen by the EMPA EDS, we found that MI's contain from 4.2 to 7.4 wt. % H_2O. At the same time, the water content in the glass of the groundmass does not exceed 4.5 wt% H_2O, which indicates significant losses of volatile melts during a caldera eruption. Comparison of the content of volatile components in glasses of the groundmass and in melt inclusions allows us to estimate the amount of volatile components emitted into the atmosphere during a caldera eruption.

Phenocrysts of plagioclase and clinopyroxene also contain primary and pseudo-secondary fluid inclusions (FI). The features of the composition and location of FI's show that during the evolution the melt degassed. And this degassing is not associated with the final large eruption, as indicated by the presence of pseudo-secondary FI. Also, combined melt inclusions were found. They are represented by melt, trapped non-daughter crystals and two-phase fluid segregations (liquid H_2O and gaseous CO_2). These inclusions indicate that the fluid pressure in the chamber could have exceeded the lithostatic one. An additional drop in lithostatic pressure (for example, due to the rise of magma) allowed additional portions of fluid to migrate from the glass of the melt inclusion into these segregations. The data obtained make it possible to accurately describe the evolution of magma from Mendeleev volcano before the caldera eruption and to compare it with other Pleistocene-Holocene calderas of the Southern Kuriles.

References

1. Ridolfi F., Renzulli A., Puerini M. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction- related volcanoes, 2010, Contrib. Mineral Petrol 160:45–66

Keywords: Melt inclusions, Caldera eruptions, Dacite
*Corresponding author: kotov.alexey.s1@dc.tohoku.ac.jp

北西インドNidarオフィオライト層火成岩類の岩石学的・地球化学的研究

佐藤成修，今山武志(岡山理大), Dutta Dripta（インド工科大学ボンベイ校),
金田泰明，渡部将太，長谷川 健(茨城大)，南 雅代，若杉勇輝（名古屋大），
若木重行（JAMSTEC 高知コア研）

Petrological and geochemical studies of igneous rocks in the Nidar ophiolite complex, northwest India

Akinori Sato*, Takeshi Imayama (Okayama Univ. of Sci.), Dutta Dripta (IIT Bombay.),
Yasuaki Kaneda, Shota Watanabe, Takeshi Hasegawa (Ibaraki Univ.),
Masayo Minami, Yuki Wakasugi (Nagoya Univ.), Shigeyuki Wakaki (Kochi JAMSTEC)

北西インド Ladakh 地域の Nidar オフィオライトは、インド―アジア大陸衝突の地質学的境界であるインダス―ツァンポ縫合帯内部の西側に分布し、大陸衝突前に形成された白亜紀前期の海洋地殻の断片である。本オフィオライトは、沈み込み初期の島弧の前弧域で形成されたとされる(Ahmad et al., 2008)。このようなテクトニクス場では、沈み込み開始時に上盤側のプレートで海底拡大が起こり、島弧的マグマだけでなく海嶺的マグマが生成される(van Hinsbergen et al., 2015)。しかし、これらの異なる組成を示す複数のマグマがどのように同一場で生じるのか、あるいは本当に同時期に生成したマグマなのかは、明らかではない。Nidar オフィオライト斑レイ岩は、単斜輝石と斜長石から主に構成され、少量の緑簾石と緑泥石を含む。粗粒玄武岩と玄武岩は、角閃石と斜長石から主に構成され、少量の単斜輝石、緑簾石、緑泥石、石英を含む。単斜輝石の Mg# [Mg/(Mg+Fe^{2+})比]は、斑れい岩(0.85-0.92)、粗粒玄武岩(0.79)、玄武岩(0.66-0.77)と層序的上位に向けて、Mg# が低下する。粗粒玄武岩の角閃石は普通角閃石で、コア（Mg#: 0.73-0.90）からリム(Mg#: 0.54-0.71）にかけて Mg が減少し、一部アクチノライトによって置換される。斑レイ岩の斜長石は亜灰長石(An: 70-90 %)である。玄武岩の自形の斜長石は、灰長石（An: 94-99 %)であるが、緑簾石と緑泥石と共存する斜長石は曹長石(An: 0.2-2.2 %)である。これらの結果は、単斜輝石と An 成分に富む斜長石は火成鉱物であるが、曹長石、アクチノライト、緑簾石、緑泥石は緑色片岩相～角閃岩相下部の変成作用によって生成したことを示唆する。粗粒玄武岩と玄武岩は、平坦な希土類元素パターンを示し、先行研究(Ahmad et al., 2008)で報告された島弧的マグマと類似している。一方で、斑レイ岩は希土類元素濃度が低く、軽希土類元素に著しく乏しく、枯渇したマントルから由来した海嶺的マグマの特徴を示す。Th/Yb-Nb/Yb 図では、Nidar オフィオライト火成岩類は、海嶺型から島弧ソレアイトの領域にプロットされる。Nd 同位体比は 0.513022－0.513191 の狭い範囲で、枯渇した海嶺起源マントルに比較的類似する。一方、Sr 同位体比は、0.702957－0.706713 の間で幅広い値を示し、熱水変質などの影響を被っている。Ladakh 地域の他オフィオライトの岩石学的・年代学的データも考慮すると、沈み込み開始時に海底拡大に伴う海嶺的マグマが生成し、沈み込み帯の発達に伴い島弧ソレアイト質から島弧カルクアルカリ質マグマへ変化した可能性がある。

Keywords: Nidar ophiolite, subduction initiation, petrology, geochemistry

*Akinori Sato: s21sm03oy@ous.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

2021年9月16日(木) 9:30 ~ 12:45 | Zoom Session 3

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳(東北大・環境科学)

[座長」
土屋 範芳：S2-01〜S2-14

9:30 ~ 9:35

[greeting] セッションコンビーナー挨拶

9:50 ~ 10:05

[S2-02] 酸化的環境における火山灰及び軽石の風化変質実験

*岡部 凪紗[2]、磯部 博志[1] (1. 熊本大・院先端科学、2. 熊本大・院自然科学)

10:05 ~ 10:20

[S2-03] オマーンオフィオライトCM1A陸上掘削試料の$^{87}Sr/^{86}Sr$同位体比

*芳川 雅子[1]、柴田 知之[1]、Aminuddin Asyraf [2]、仙田 量子[3]、森下 知晃[2] (1. 広島大学・先進理工、2. 金沢大学・理工学、3. 九州大学・共創学部)

10:20 ~ 10:35

[S2-04] オマーンオフィオライト地殻―マントル遷移帯 におけるアンチゴライト脈形成と流体流動

「発表賞エントリー」

*吉田 一貴[1]、岡本 敦[1]、大柳 良介[2]、木村 正雄[3] (1. 東北大、2. 国士舘大、3. 高エネ研)

10:35 ~ 10:50

[S2-05] オマーンオフィオライト・ワジディマ蛇紋岩の炭酸塩中の流体包有物：海洋底と大陸での変成作用

「発表賞エントリー」

*犬飼 知宏[1]、川本 竜彦[1]、Godard Marguerite[2] (1. 静岡大・理、2. モンペリエ大・CNRS)

10:50 ~ 11:05

[S2-06] 掘削コア試料X線CT画像中の脈状鉱物の自動検出による浸透率構造の推定：オマーン掘削計画GTサイトへの適用

「発表賞エントリー」

*赤松 祐哉[1]、片山 郁夫[1]、岡崎 啓史[2]、道林 克禎[3]、The Oman Drilling Project Phase 1 Science Party (1. 広島大、2. 海洋研究開発機構、3. 名古屋大)

11:05 ~ 11:20

[S2-07] Dynamics Rupturing of Hydrothermal Vein Revealed in Ichinokawa Breccia, Central Shikoku

[Presentation award entry]

*Geri Agroli[1], Masaoki Uno[1], Atsushi Okamoto[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (1. Tohoku Univ.)

11:20 ~ 11:35

休憩

11:35 ~ 11:50

[S2-08] Dissolution behaviors of silicate minerals in the presence of chelating agents under alkaline conditions

*Jiajie Wang[1], Noriaki Watanabe[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (1. Tohoku Uni.)

11:50 ~ 12:05
[S2-09] 静的相平衡解析による地殻破壊および流体流れのダイナミクスの評価
*ミンダリョワ ディアナ[1]、宇野 正起[1]、永冶 方敬[2]、土屋 範芳[1] (1. 東北大学、2. 東京大学)

12:05 ~ 12:20
[S2-10] ポロエラスティシティによる脱水分解した岩石の膠結作用：流体沈み込みへの応用
*藤田 和果奈[1]、中村 美千彦[1]、上杉 健太朗[2] (1. 東北大・院理、2. JASRI)

12:20 ~ 12:35
[S2-11] **流体包有物の合成とタンパク質の検出に関する基礎的検討**
*陳 嘯天[1]、王 佳婕[1]、平野 伸夫[1]、土屋 範芳[1] (1. 東北大・環境科学研究科)

12:35 ~ 12:45
[greeting] セッションコンビーナー挨拶

口頭講演

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳(東北大・環境科学)

2021年9月16日(木) 09:30 〜 12:45 Zoom Session 3

[座長」

土屋 範芳：S2-01〜S2-14

09:30 〜 09:35

[greeting]セッションコンビーナー挨拶

©日本鉱物科学会

酸化的環境における火山灰及び軽石の風化変質実験

岡部凪紗（熊大・院自然），磯部博志（熊大）

Weathering and alteration experiments of volcanic ash and pumice in an oxidative environment

Nagisa Okabe* (Kumamoto Univ.), Hiroshi Isobe (Kumamoto Univ.)

＜背景・目的＞地球科学や工学、農学など多くの分野と密接に関係する粘土鉱物は、あらゆる場面で私たちの生活に恵みをもたらす一方で、がけ崩れや地滑りといった自然災害を引き起こす要因の一つでもある。

2018 年北海道胆振東部地震や 2016 年熊本地震の地滑り災害では、すべり面として火山灰や軽石層が報告されており、その多くは風化変質によってハロイサイトを多く含む粘土層と化していたことがわかっている（王ほか 2019；佐藤ほか 2017）。

そこで本研究では、火山灰及び軽石の地表環境における粘土化の初期過程について議論するべく、未変質に近い試料を用いて酸化的環境での風化変質実験を行った。

＜手法＞試料は桜島火山灰及び阿蘇中央火口丘第一軽石を用いた。メノウ乳鉢で粉砕し、pH1, 3, 5 に調整した硫酸溶液あるいは pH7 のイオン交換水とともにテフロン容器に密封して 100, 150, 200℃で 10, 35, 120 日間水熱反応を行った。100℃に関しては pH5, 7 条件のみ実験を行っている。試料：溶液は 1：10 である。溶液には火山ガスの影響を考慮して硫酸溶液を用いた。テフロン容器内が地表環境に近い酸化条件となるよう、MnO_2を入れた非密封 AgPd チューブによって酸素分圧を MnO_2-Mn_2O_3 buffer に保った。反応後は自然乾燥させた生成物について FTIR 分析、定方位法による XRD 分析、SEM 観察および EPMA 分析を行う。

＜結果＞FTIR 分析の結果、条件によって差はあるが高温・長期間の反応になるにしたがって 3600，3400, 1040cm^{-1}付近のピーク面積が増大することがわかった。

また pH1 条件では火山灰及び軽石ともに 10 日時点で 3450cm^{-1}，1090cm^{-1}に鋭いピークがみられた。さらに火山灰 200℃-120 日条件のみで 3622cm^{-1}にピークを確認した。XRD 分析でも 15Åを中心に幅広いピークがみられたこと、250℃で 3 時間加熱後そのピークはほぼ消滅したことから層間に H_2O を含むスメクタイト系の粘土鉱物が生成したと考えられる。SEM 観察では、軽石 pH5, 7-200℃-120 日条件において Si，Al を主体とする繊維状の生成物を確認している。

本研究により、表層環境における低 pH 条件では軽石より火山灰のほうが風化変質の進行が速い可能性が示された。さらに詳細な解析により、酸化的環境における火山噴出物の風化変質挙動について議論する。

Keywords: clay mineral, volcanic ash, pumice, landslide

*Corresponding author: 204d1402@st.kumamoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

オマーンオフィオライトCM1A 陸上掘削試料の $^{87}Sr/^{86}Sr$ 同位体比

芳川雅子，柴田知之（広島大），Asyraf Mohamed Aminuddin（金沢大学），
仙田量子(九州大学)，森下知晃（金沢大）

Sr isotopic variation of the CM1A core samples of Oman ophiolite

Masako Yoshikawa*, Tomoyuki Shibata (Hiroshima Univ.),
Asyraf Mohamed Aminuddin (Kanazawa Univ.), Ryoko Senda (Kyushu Univ.),
Tomoaki Morishita (Kanazawa Univ.)

地球表面の約7割を占める海洋プレートの実体は，系統的に試料を直接採取することが困難で，未だ不明点が多い。このため，海洋プレート断片だと考えられるオフィオライト岩体の詳細な観察から，海洋プレートの断面やその物理学・化学的特徴が推定されている。世界で最大級（400 ㎞以上）かつ保存の良い海洋プレート断面であるオマーンオフィオライト（例えば, Nicolas et al., 1988）では，国際陸上科学掘削計画のもと複数地点で掘削が行われた。南部 Wadi Tayin ブロック CM1A サイトで採取された掘削試料は全長 404.15m で，構成する岩石層の特徴から上位から下位へと以下の 4 層に区部されている。第 I 層：層状斑れい岩卓越層，第 II 層：強蛇紋岩化ダナイト層，第 III 層：部分的蛇紋岩化ダナイト層，第 IV 層：ハルツバーガイト卓越層。このうち第 II・III 層が地殻－マントル遷移層とされる（Tamura et al., 2018; Takazawa et al., 2019）。本研究では 19 試料について広島大学設置の表面電離型質量分析計で Sr 同位体（$^{87}Sr/^{86}Sr$）比を，融合結合プラズマ質量分析計で希土類元素（REE）を含む微量元素濃度を測定した。また，薄片観察による二次鉱物モード組成から変質度を求めた。

第 I 層の斑れい岩の Sr 同位体比・REE 組成は上位から下位への系統的な変化は観察されず，組成幅も小さい（$^{87}Sr/^{86}Sr$ ＝0.7031～0.7033）。ダナイトの Sr 同位体比は第 I 層から第 III 層へと $^{87}Sr/^{86}Sr$＝0.7072 から 0.7039 へと低くなり，第 I 層のダナイトの軽希土類（LREE）濃度は，Eu 以外類似した REE 濃度をもつ, 第 II･III 層ダナイトと比べ数倍高い。第 I 層のダナイトのみ，他の組織を切るマグネタイト脈が観察される。第 IV 層のハルツバーガイトは非常に広範な REE 組成を示すが，Sr 同位体比は組成幅が小さく，上位から下位への系統的変化は認められない（$^{87}Sr/^{86}Sr$ ＝0.7038～0.7040）。

全岩 Sr 同位体比と変質度には第 I 層のダナイトを除き明瞭な正の相関（R^2=0.94）が観察される。このことから，CM1A 掘削試料の Sr 同位体比は変質度に依存していると考えられる。この線形関係から，変質を被っていない試料の Sr 同位体比を外挿したところ $^{87}Sr/^{86}Sr$＝0.7030 であった。この値は，オマーンオフィオライト南部イブラ山塊の新鮮な斑れい岩の値と一致する（$^{87}Sr/^{86}Sr$ ＝0.7028～0.7033; Lanphere et al., 1986; Zhilman et al., 2018）。Kawahata et al.（2001）は 100％変質した試料が示す Sr 同位体比が変質にかかわった熱水と平衡であると仮定し，変質度 80％以上のオマーンオフィオライト試料について, 熱水の Sr 同位体比を推測している。同様の方法を用い計算したところ，ダナイト・ハルツバーガイト中を循環した熱水の Sr 同位体比は $^{87}Sr/^{86}Sr$ =0.7039～0.70421 であった。これらの値は Kawahata et al.（2001）が求めた角閃岩相の平均的な高温熱水流体の値（$^{87}Sr/^{86}Sr$ ＝0.70413）と類似する。

Keywords: Oman drilling project, CM1A site, crust-mantle transition zone, $^{87}Sr/^{86}Sr$ isotopic variation
*Corresponding author: masako@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

オマーンオフィオライト地殻—マントル遷移帯におけるアンチゴライト脈形成と流体流動

吉田一貴（東北大）・岡本敦（東北大）・大柳良介（国士舘大）
木村正雄（高エネ研）

Antigorite vein formation and fluid flow in the crust-mantle transition zone in the Oman ophiolite

Kazuki Yoshida* (Tohoku Univ.), Atsushi Okamoto (Tohoku Univ.),
Ryosuke Oyanagi (Kokushikan Univ.), Masao Kimura (KEK)

Antigorite is high temperature polymorph of serpentine minerals. In contrast to the common occurrence of antigorite within the ultramafic rocks within related to the subduction zone, it is still unclear its formation conditions within the oceanic lithospheres and ophiolites (Cluzel et al., 2020; Rouméjion et al., 2019). In this study, we report the multi-stage serpentinization and novel occurrences of antigorite veins with brucite salvage in completely serpentinized dunite from the crust - mantle transition zone of the Oman ophiolite, taken from Oman Drilling Project drill hole CM1A (Wadi Zeeb, Northern Sharqiyah). Based on the mass balance and thermodynamic consideration, we discuss the time integrated fluid flux during the antigorite vein formation during the obduction of the Oman ophiolite.

Along the hole CM1A, the dunite in the crust-mantle transition zone (160-313 m) is pervasively serpentinized with lizardite + brucite + magnetite (Yoshida et al., 2020). This earlier-stage texture of serpentinite are cut by the distinct antigorite vein networks, that is continuous networks over 100 m by X-ray CT on Chikyu. Interestingly, the antigorite veins have the salvage of brucite, where enriched in magnetite. The wormhole structure of magnetite shell and antigorite was observed in the reaction zone, which could be act as fluid pathways in the process of forming the reaction zone. The relic of the mesh-like texture of the earlier stage serpentinizaiton were preserved, suggesting the volume-constant replacement during the reaction zone formation. The mass balance relationship indicates the loss of silica and gains of magnesium and water are required to form brucite salvage after lizardite. Given the formation of the antigorite vein with brucite salvage at 350 ˚C and 200 MPa, thermodynamic calculations revealed that (1) pH at reaction front was 5.85 (high compared to neutral pH (= 5.10)), and (2) the time integrated fluid flux is estimated to be 2.3×10^2 m^3(fluids) /m^2(rock). Our results suggests that substantial flow of the alkaline fluids occurred through fracture networks at the stage of the obduction of the Oman ophiolite

Keywords: Serpentinization, Oman Ophiolite, Antigorite, Fluid flux
*Corresponding author: kazuki.yoshida.t4@dc.tohoku.ac.jp
References : Rouméjion, et al. (2019). CMP. 174:60, https://doi.org/10.1007/s00410-019-1595-1
Cluzel et al. (2020), Int. J. Earth. Sci. 109:171-196, https://doi.org/10.1007/s00531-019-01796-6
Yoshida et al. (2020). J. Geophys. Res. : Solid Earth, 125, 11. https://doi.org/10.1029/2020JB020268

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

オマーンオフィオライト・ワジディマ蛇紋岩の炭酸塩中の流体包有物：海洋底と大陸での変成作用

犬飼知宏[1,*]，川本竜彦[1]，Godard Marguerite[2]
([1] 静岡大学・理・地球科学，[2] CNRS,モンペリエ大学,フランス)

Submarine and subaerial metamorphism recorded in fluid inclusions of carbonates in Wadi Dima serpentinite, Sultanate of Oman

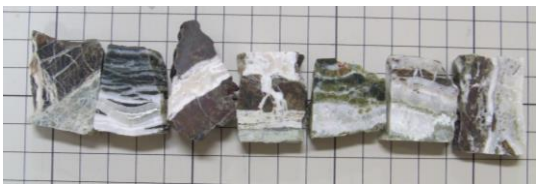
Tomohiro Inukai[1*], Tatsuhiko Kawamoto[1], Marguerite Godard[2] ([1] Dept Geoscience, Shizuoka Univ., [2] Géosciences Montpellier, CNRS, Univ. Montpellier, France).

We report two groups of fluid inclusions in carbonates in veined serpentinites in Oman ophiolite complex previously studied by Noël et al. (2018, Lithos): saline fluids (2.7% NaCl) in type 1 carbonates that were formed through submarine hydrothermal alternation, and pure water (0.1% NaCl) in type 2 and 3 carbonates that were formed through continental alternation processes.

オマーンオフィオライトの蛇紋岩中に炭酸塩の脈が発達する岩体がある。これまでに炭酸塩の岩石記載、微量成分元素組成と安定同位体比によって、炭酸塩は 3 つのタイプに分類されている（Noël et al., 2018, Lithos）。彼らの分類に従うと、Type 1 炭酸塩は炭酸塩コアと微細脈からなり、海洋底の変成作用により形成されたものである。Type 2 と 3 炭酸塩は陸側での変成作用によって形成された脈である。この多世代の炭酸塩が入った岩石試料を 2020 年 1 月に行われたオマーンでの野外巡検で川本が採取し、犬飼が産状を記載した上で、炭酸塩中の流体包有物を観察した。

顕微ラマン分光法により、炭酸塩鉱物は主にカルサイトで、数ミクロン程度の気液二相の流体包有物がまれに含まれる。488nm の青色レーザーの照射によるラマンスペクトルは炭酸塩からの蛍光が高く、質のよいスペクトルを取ることは難しいが、流体包有物は水と同定できる。

マイクロサーモメトリー法を用いて、流体包有物中の氷の最終融解温度と均質化温度を測定した。現在までのところ均質化温度は幅広い温度を示し、200℃を超えるものもある。Type 2 と 3 炭酸塩の脈中の流体包有物の塩濃度は 0.1±0.2 重量%NaCl 当量（n＝6）であるため、真水と考えられる。一方、Type 1 炭酸塩である炭酸塩コアと微細脈中の流体包有物の塩濃度は 2.7±2.3 重量%NaCl 当量（n＝5）であり、Type2 と 3 の炭酸塩より高い値を示す。このことは Type1 が海洋底での熱水循環による炭酸塩であり、Type2 と 3 が陸上での変質作用との従来の考え（Noël et al., 2018, Lithos）と整合的である。



図：観察している岩石試料のチップ。目で見えるような太い脈は大陸での変成作用による Type2 と 3 の炭酸塩脈である。

Keywords: carbonization, fluid inclusion, salinity, microthermometry, serpentine,
*Corresponding author: inukai.tomohiro.18@shizuoka.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

掘削コア試料 X 線 CT 画像中の脈状鉱物の自動検出による浸透率構造の推定：オマーン掘削計画 GT サイトへの適用

赤松祐哉*，片山郁夫（広島大），岡崎啓史（JAMSTEC），道林克禎（名古屋大），
The Oman Drilling Project Phase 1 Science Party

Estimation of vein-permeability structure based on automated characterization of veins in the 3-D X-ray CT core images: Application to the GT sites of the Oman Drilling Project

Yuya Akamatsu*, Ikuo Katayama (Hiroshima Univ.), Keishi Okazaki (JAMSTEC),
Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya Univ.), The Oman Drilling Project Phase 1 Science Party

浸透率は海洋プレート内での水の流れを理解する上で重要な物性であり，岩石内の割れ目の存在に大きく影響を受ける．海底の掘削孔を用いたその場観測により求められる海洋地殻の浸透率は，ミニコア試料を用いた室内実験で測定される値よりも 2–3 桁大きいことが報告されている．これは，実際の海洋地殻内ではマイクロクラックよりも大きいスケールの割れ目が巨視的な流体の移動を支配していることを示唆する．水の流路として機能した割れ目は岩石中に脈状鉱物として保存されるため，脈状鉱物の分布や形状を流体の浸透モデルに適用することで，岩石の浸透率を推定することができる．そこで本研究では，オマーン掘削計画において海洋地殻セクション（GT サイト）で掘削された 3 つのホール（GT1, GT2, GT3）のコア試料 X 線 CT 画像から，コアに含まれる脈状鉱物とその特徴を自動で検出する手法を開発し，コア試料の浸透率構造の推定を行った．

円柱状のコア試料に含まれる平板状の脈状鉱物は，その側面の展開図において正弦波として現れるため，その正弦波を表すパラメータを求めることで，コアに含まれる脈状鉱物を検出することができる．本研究では，CT 値の勾配から脈状鉱物を構成するピクセルを抽出し，ハフ変換を用いて脈状鉱物の形状や方向を決定した．決定された脈状鉱物の開口幅と空隙率から，等価管路モデルを用いてコア試料の浸透率を計算した．各ホールの全長は約 400 m であり，それぞれ約 500 枚の CT 画像を用いて解析を行った．

解析の結果，開口幅が約 1 mm の脈状鉱物または割れ目が各ホールで 1200–1500 本検出された．脈状鉱物は CT 値に基づいて High CT vein (HCT vein)と Low CT vein (LCT vein)の 2 種類に分類され，それらの vein density は各ホールでそれぞれ異なる深さ傾向を示した．LCT vein の浸透率は各ホール全体を通して 10^{-12}–10^{-11} m^2 の値を示した一方で，HCT vein はそれよりも数桁低い値を示した．また，LCT vein と HCT vein の走向・傾斜は互いに高角度で交わる方向に集中しており，海洋地殻において HCT vein と LCT vein の浸透率が異なる異方性をもつ可能性を示唆している．

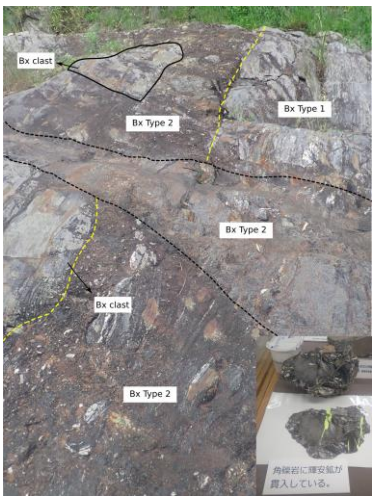
Key words: vein, permeability, oceanic crust, X-ray CT, The Oman Drilling Project
*Corresponding author: y-akamatsu@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

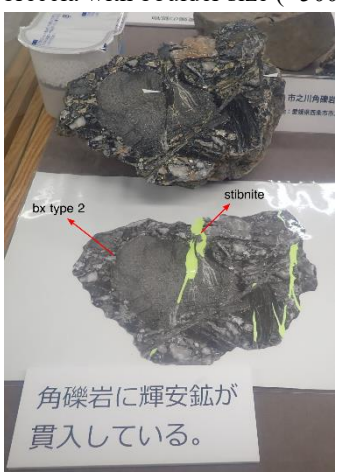
Dynamics Rupturing of Hydrothermal Vein Revealed in Ichinokawa Breccia, Central Shikoku

Geri Agroli*, Masaoki Uno, Atsushi Okamoto, Noriyoshi Tsuchiya
(Graduated School of Environmental Studies, Tohoku University)

Breccias are distinct and prominent features in the fluid-saturated environment. Recently detailed observation of breccia texture was used as a **new tool** for identifying **paleoseismic slip**, and **fluid velocity** in the rock record. **The Ichinokawa** preserve an excellent record of hydraulic induced brecciation, yet many aspects and the dynamics processes behind brecciation needs further investigation.



Ichinokawa is situated in **Central Shikoku**, which was famous as a stibnite deposit. The pelitic schist of the Sanbagawa metamorphic belt host the deposit and the structural setting is mainly controlled by the **Median Tectonic Line** (MTL) which is located very close to this area. Ichinokawa exhibits massive brecciation phenomena where breccia underpins the formation of stibnite. Field observation shows that **2 types of breccia** occurred in Ichinokawa on the basis of the **particle size distribution (PSD)**. Type 1 consists of monomict breccia with boulder size (>500mm) and is distributed at the bottom of the outcrop. While Type 2 of the pebble size (2-100mm) polymict breccia concentrated within the pipe or dike ?? with a varying thickness/wide from 5cm to greater 1m. The breccia clast mainly composed of pelitic schist, and quartz. While matrix comprised of rock-flour of ferroan-dolomite, quartz, muscovite, and pyrite.



Fractal analysis indicates that there is a **positive correlation** between pipe size and clast diameter. This suggests subsequent fragmentation (communition) occur from bigger clast. Fractal dimension (D_s) also indicates the changing of **brecciation energy**, From high energy dilatational breccia (type 1) to lower energy of attrition breccia (type 2). This is also reflected in the smaller breccia size and continued fragmentation resulting in a more **chaotic** clast texture. The last hydrothermal activity in this area is marked by precipitation of **stibnite** which cut the former two breccia types as veinlet. The stibnite corresponds to the more acid hydrothermal fluid by the presence of **vuggy texture** alongside the vein and host rock.

Keyword: Brecciation, Ichinokawa, Hydrothermal Breccia, Stibnite, Fractal Analysis
* Corresponding author: geri@geo.kankyo.tohoku.ac.jp

キレート剤の存在におけるアルカリ条件下での ケイ酸塩鉱物の溶解挙動

王佳婕*・渡邉則昭・土屋範芳（東北大・環境）

Dissolution behaviors of silicate minerals in the presence of chelating agents under alkaline conditions

Jiajie Wang*, Noriaki Watanabe, Noriyoshi Tsuchiya (GSES, Tohoku Univ.)

The dissolution behaviours of silicate minerals have been considered by a lot of studies in part due to their potential to aid in carbon storage. Acid conditions are usually applied to promote silicate minerals dissolution; however, the dissolution is easily suppressed due to the formation of silica-rich surface layers as a result of the incongruent dissolution of cations and Si. Due to the strong ability to bind metals at acid to alkaline pHs, chelating agents are used in this study to investigate their potential in promoting silicates dissolution under alkaline conditions. The dissolution behaviours of olivine and basalt in the presence of chelating agents N,N-Dicarboxymethyl glutamic acid tetrasodium salt (GLDA) and hydroxyethylethylenediaminetriacetic acid (HEDTA), will be clarified through experiments.

Experimental results found a significant enhancement in olivine and basalt dissolutions in the presence of either GLDA or HEDTA. For instance, the including of 0.3 M GLDA and 0.3 M HEDTA promoted Mg extraction from olivine by 11.3 and 14.6 times in 120 min, respectively; at the same time, Si extractions were also enhanced by ~27 times (Fig. 1). These values can further increase with temperature and reaction time. Moreover, the (Mg+Fe)/Si atomic ratios in extraction solutions with chelating agents were lower, for instance, 1.74 in 0.3 M GLDA solution, while that in Milli-Q water extraction solution was 3.96 (Fig. 2). The low (Mg+Fe)/Si ratio may suggest the suppressed formation of silica-rich layers, which is consistent with SEM observation that Si was not enriched on the surface of the mineral after reacting with GLDA.

Basalt dissolution experiments suggest that GLDA and HEDTA have favoured different elements extractions. GLDA has a better performance in extracting Ca and Si than HEDTA, while HEDTA is more suitable for Mg, Al and Fe extraction. Therefore, a mixture of GDTA and HEDTA solution with certain ratios is suggested for basalt dissolution. No significant changes in mineral compositions during extraction process using chelating agents implies the simultaneous consumption of minerals in basalt, i.e., pyroxene, feldspar, olivine, etc.

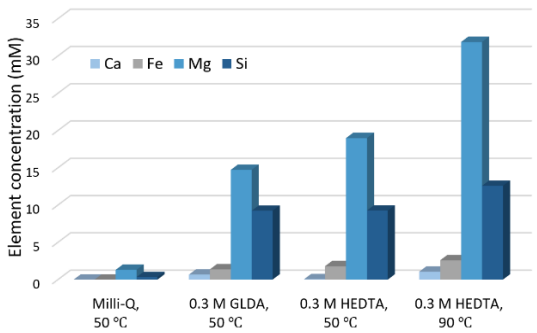


Fig. 1 Fluid chemical compositions after reacting with olivine for 120 min at various conditions (pH=9).

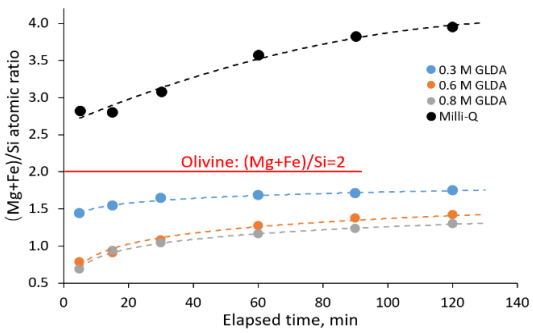


Fig. 2 (Mg+Fe)/Si ratio in solution after reacting with Milli-Q water or GLDA solutions (50 ℃, 120 min, pH=9).

Keywords: silicate minerals, dissolution, chelating agent, alkaline condition

*Corresponding author: wang.jiajie.e4@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Evaluation of dynamics of crustal fracturing and fluid flow revealed by static and petro-equilibrium analyses.

Diana Mindaleva* (Tohoku University), Masaoki Uno (Tohoku University),
Takayoshi Nagaya (The University of Tokyo), Noriyoshi Tsuchiya (Tohoku University)

Fluid flow in the crust promote hydration reactions, and changes rheology of rocks. Fluid pressure rise cause rock fracturing and permeability enhancement allowing fluid infiltration. Such fluid activity is related to shear fracturing and can possibly induce earthquakes generation (e.g., Katsumata and Kamaya, 2003; Obara et al., 2004). However, quantitative constraints on fluid fluxes associated with shear fracturing are limited, particularly regarding its temporal and spatial heterogeneity. Therefore, it is important to estimate amount of fluid fluxes to understand roles of fluids in earthquakes triggering. We constrain fluid fluxes by thermodynamic modeling of fluid chemistry in the metamorphic fluid-rock reaction zones and discuss their relation to potential seismic events based on shear fracturing evidence.

We investigated reaction zones in hydrated metamorphic rocks samples from the Mefjell and Brattnipene Sør Rondane Mountains (SRM), East Antarctica. Several amphibolite- and granulite-facies (0.3–0.65 GPa, 400–740°C) millimeter-scale hydration zones provide information on duration and hydraulic parameters of fluid infiltration. Here we analyse samples underwent rapid hydration (~10 h) and permeability evolution from low-permeable (~10^{-22}–10^{-20} m^2) to highly-permeable rocks (~10^{-9}–10^{-8} m^2) related to crustal fracturing at depths around 10-20 km (Mindaleva et al., 2020). We used these estimations to calculate fluid fluxes in the reaction zones and through the fracture.

We present new methodology based on alteration processes in the reaction zone estimating the fluid volume required to induce fluid-driven seismic activity via coupled reactive-transport modelling and thermodynamic analyses. To evaluate the moment magnitude of potential seismic events we apply two approaches, based on estimated fluid volumes (10^2 to 10^4 m^3) and on the shear fractures characteristics, such as slip geometry. We find that moment magnitudes, short fluid infiltration timescales (~10 h) are comparable to some tremor and/or slow-slip events within continental crust. Our observation corresponds to the depth of ~10–20 km, and are shallower than source region of tremor and slow-slip events (~plate interface depth). Thus, we conclude that large amount of fluid transported over short timescales through the single fracture may be widespread mechanism to generate crustal fracturing and induce seismic activity above source regions of tremor and slow slip events in the lower–middle crust.

References: Katsumata, Akio, and Noriko Kamaya. Geophysical Research Letters 30.1 (2003): 20-1.
Obara, Kazushige, et al. Geophysical Research Letters 31.23 (2004).
Mindaleva, Diana, et al. Lithos 372 (2020): 105521.

Keywords: fluid flux, hydration reaction, reaction zone, crustal fracturing

*Corresponding author: diana@geo.kankyo.tohoku.ac.jp

ポロエラスティシティによる脱水分解した岩石の膠結作用：流体沈み込みへの応用

藤田和果奈*（東北大），中村美千彦（東北大），上杉健太朗（JASRI）

Poroelasticity-driven cementation of dehydrating rocks: Implications for dawn-dragged fluids in subduction zones

Wakana Fujita,* Michihiko Nakamura (Earth Sci., Tohoku U.), Kentaro Uesugi (SPring-8, JASRI)

背景・目的：超臨界水やマグマといった結晶粒間に分布する流体相の岩石からの分離は普遍的な地球科学現象である。流体は連結したネットワークを形成する場合、浮力と岩石の圧密によって分離する一方で、多くの岩石では連結の流路が切れて浸透率が事実上0になる臨界空隙率が存在する。臨界空隙率以下、すなわち非排水系において緻密な岩石が形成されるメカニズムは分かっていない。本研究では，高温高圧下・流体に富む条件で非常に緻密な石英多結晶体を合成することに成功し、緻密化のメカニズムを考察した。またその数理モデルを立て、沈み込み帯において間隙流体が深部に持ち込まれる条件を推定した。

手法：ピストンシリンダー型高圧発生装置を用い、1 GPa・900℃で石英多結晶体を合成した。流体の CO_2/H_2O 比は X_{CO2}= 0–0.47、流体体積分率は1.9–18vol.%とした。実験産物のSPring-8でのX線CT撮影と電子顕微鏡観察結果から、幅広い条件で、カプセルスケールでの流体量の不均質が形成されたり、流体の大部分が外部に吐き出され緻密な石英多結晶体を生成したりした。緻密化方向はカプセルの温度勾配とは無関係であったことから、この現象は非排水系岩石のporoelasticityに由来する流体圧差に駆動されたシリカの溶解析出作用であると推定し、発生する流体圧の不均質を見積もった。最後にセメンテーションの時間発展をモデル化し、実験結果と比較することで溶解したシリカの拡散流束を見積り、拡散係数を計算した。

結果：得られた拡散係数は、H_2O 流体の中のシリカの拡散係数よりも1.3–1.8桁低く、緻密な石英粒界における Si の拡散係数よりは7桁ほど高い結果となった。これは流体量不均質に伴う間隙流体圧勾配によって効率的なシリカの移動が起ったことを示す。沈み込み帯においてporoelasticityにより静岩圧の約1%の流体圧差が生じると仮定すると、深さ100 kmまでに沈み込む間に、温度に応じて数 cm–数 m スケールで流体分離と緻密化が起きうることが分かった。これ以下の流体分布の不均質構造は緻密化によって均され、分離した流体は連結した流路を形成して効率的に抜ける可能性が示唆された。

Keyword: quartzite, cementation, poroelasticity, subduction zone

*Corresponding author: w.fujita@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

流体包有物の合成とタンパク質の検出に関する基礎的検討

陳嘯天・王佳婕・平野 伸夫・土屋範芳（東北大・院・環境）

Synthesis of fluid inclusion under moderate hydrothermal conditions and determination of protein

X. Chen, J. Wang, N. Hirano, N. Tsuchiya
(Graduate School of Environmental Studies, Tohoku Univ.)

岩石中には流体包有物と呼ばれる岩石の周囲の液体もしくは気体が取り込まれた相が存在する。その岩石中の包有物内に閉じ込められた古細菌あるいはタンパク質を確認する必要があります。本研究は人工流体包有物を作ることによって、タンパク質を封入する可能性と条件を検証した。生化学物質としてウシアルブミン溶液を使用し、低温水熱条件下においてアルブミンを含む流体包有物の作成を試みた。

実験はパイプ型オートクレーブ（L ： 180 mm, φ ：10 mm）を使用する。まず、試料として、石英片(3 mm×3 mm×7 mm)を 400 ℃で 2 時間加熱した後、急冷してき裂を発生させた（図 1）。次にオートクレーブ内にき裂を発生させた石英片と反応溶液として流体包有物の元となる 250 mg/ml ウシアルブミン溶液、さらに反応を起こしやすくするために石英粉末を入れ、両端を溶接して密閉した。オートクレーブを充填率95(±1)％の状況で125℃加熱した。反応時間は 4 及び 8 日間とし、反応後は石英片試料による顕微鏡観察を行った（図 1）。

図 2 から、赤枠内に示すように試料には流体包有物が確認された。このことから、反応溶液がタンパク質溶液であっても低温水熱条件下において流体包有物が生成可能であるといえる。

実験結果は、8 日間の低温水熱加熱後に流体包有物を形成できるが、4 日間では形成できないことを示しており、この方法の実現可能性を証明している。実験中観察された流体包有物のサイズは 6.5～8.5 μm である。さらに、この研究では、調製した流体包有物からウシ血清アルブミンを抽出し、その定量計測を予定している。

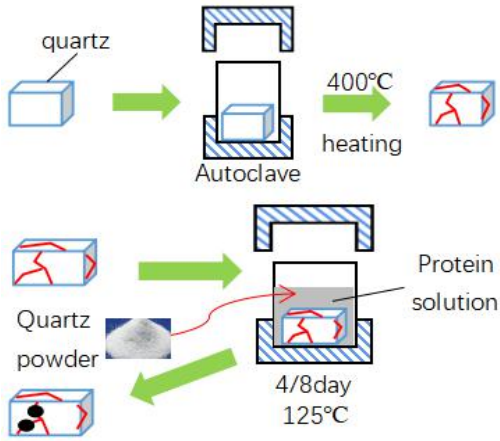


図 1　流体包有物の合成方法

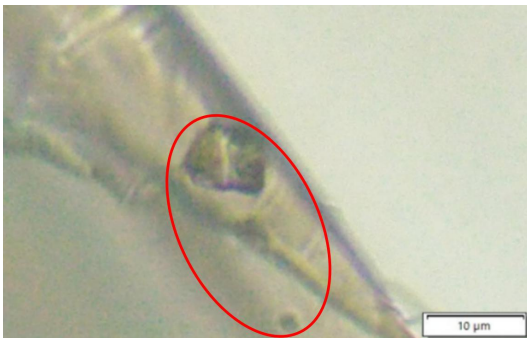


図 2　流体包有物（8 日）

口頭講演

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳(東北大・環境科学)

2021年9月16日(木) 09:30 〜 12:45 Zoom Session 3

[座長」

土屋 範芳：S2-01〜S2-14

12:35 〜 12:45

[greeting]セッションコンビーナー挨拶

©日本鉱物科学会

口頭講演 | R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

2021年9月16日(木) 14:00 ~ 17:15 | Zoom Session 2

R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:小松 一生、篠崎 彩子、永嶌 真理子

[座長]
小松 一生：R2-01〜R2-04
篠崎 彩子：R2-05〜R2-08
永嶌 真理子：R2-09〜R2-12

14:00 ~ 14:15

[R2-01] 黄鉄鉱型$PdSb_2$の合成と単結晶構造解析

*吉朝 朗[1]、徳田 誠[2]、北原 銀河[1]、鵜木 康平[1]、中塚 晃彦[3]、杉山 和正[2] (1. 熊本大・院理、2. 東北大・金研、3. 山口大・院工)

14:15 ~ 14:30

[R2-02] swedenborgiteの化学式・結晶構造の再検討と誘電特性の考察

*本宮 秀朋[1]、吉朝 朗[1]、吉原 茉由[1]、北原 銀河[1]、鵜木 康平[1]、徳田 誠[2]、杉山 和正[2]、門馬 綱一[3]、宮脇 律郎[3] (1. 熊本大・自然科学、2. 東北大・金研、3. 国立科学博物館)

14:30 ~ 14:45

[R2-03] 京都府大谷鉱山産低対称錫石の結晶構造

*金沢 一輝[1]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[2] (1. 東北大・院理、2. 東北大・総学博)

14:45 ~ 15:00

[R2-04] 含Al-$CaTiO_3$ペロブスカイトの構造変化

*永井 隆哉[1]、高倉 直樹[1]、松本 洋輔[1]、薛 献宇[2] (1. 北大・院理、2. 岡山大・IPM)

15:00 ~ 15:05

休憩

15:05 ~ 15:20

[R2-05] $Au_{1-x}Ag_xTe_2$系鉱物krennerite (x=0.13)とsylvanite (x=0.32)の結晶構造解析と関連金鉱物の結晶化学

「発表賞エントリー」

*北原 銀河[1]、吉朝 朗[1]、本宮 秀朋[1]、徳田 誠[2]、杉山 和正[2]、門馬 綱一[3]、宮脇 律郎[3] (1. 熊大・院理、2. 東北大・金研、3. 科博)

15:20 ~ 15:35

[R2-06] Fe,CoおよびNiを含むPentlanditeの陽イオン分布の決定

「発表賞エントリー」

*市村 卓視[1]、徳田 誠[2]、杉山 和正[2]、吉朝 朗[3]、三河内 岳[4] (1. 東北大・院工、2. 東北大・金研、3. 熊大・理、4. 東大・総博)

15:35 ~ 15:50

[R2-07] 珪灰鉄鉱ilvaiteの構造解析：Fe^{2+},Fe^{3+}およびMn^{2+}の分布

「発表賞エントリー」

*井上 裕太郎[1]、川又 透[2]、三河内 岳[3]、杉山 和正[2] (1. 東北大・院工、2. 東北大・金研、3. 東京大学・総合研究博物館)

15:50 ~ 16:05

[R2-08] Cs交換菱沸石の高温単結晶X線構造解析：脱水挙動の結晶学的研究

「発表賞エントリー」

*河田 尚美[1,2]、藤原 惠子[1]、大川 真紀雄[3]、中塚 晃彦[1] (1. 山口大・院創成、2. 広島大・N-BARD、3. 広島大・院先進理工)

16:05 ~ 16:10
休憩

16:10 ~ 16:25
[R2-09] CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5フラックスにおけるクリストバライトとトリディマイトの晶出：非晶質シリカの等温加熱実験

*阿部 利弥[1] (1. 山口大・理)

16:25 ~ 16:40
[R2-10] 構造中にバリウムを含むカルサイトの高圧下での挙動

*鍵 裕之[1]、斉藤 綾花[1] (1. 東大・院理)

16:40 ~ 16:55
[R2-11] 非晶質炭酸カルシウムを経由したカルサイト格子中へのL-アスパラギン酸の取り込み

*丸形 詩歩[1]、鍵 裕之[1]、小松 一生[1] (1. 東大・院理)

16:55 ~ 17:10
[R2-12] 「けい酸加里」肥料の鉱物学的特徴と土壌中における溶解プロセス

*大藤 弘明[1]、竹内 洋貴[2]、当真 要[3]、羽生 友治[2] (1. 東北大・院理、2. 開発肥料（株）、3. 北大・農)

17:10 ~ 17:15
[discussion] 総合討論

黄鉄鉱型 $PdSb_2$ の合成と単結晶構造解析

吉朝　朗*（熊大），徳田　誠（東北大），北原銀河（熊大），鵜木康平（熊大），
中塚晃彦（山口大），杉山和正（東北大）

Synthesis and single crystal structure analysis of pyrite-type $PdSb_2$.

Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ), Makoto Tokuda (Tohoku Univ), Ginga Kitahara (Kumamoto Univ),
Kohei Unoki (Kumamoto Univ)), Akihiko Nakatsuka (Yamaguchi Univ.),
and Kazumasa Sugiyama (Tohoku Univ)

Single crystals of $PtSb_2$ with several tens of microns in size were synthesized in evacuated silica glass tubes. The crystal structures of $PdSb_2$ [space group $Pa\bar{3}$, a = 6.4659(2) Å, u=0.37331(3) z=4] were refined to R1=0.028 for 234 unique reflections. The obtained Debye temperature θ_D values for Pd and Sb are 258 K and 214 K, respectively..

鉄・金・白金族遷移金属のニクトゲン(第15族元素)およびカルコゲン(第16族元素)化合物の多くが黄鉄鉱型をとる。pyrite (硬度6.5)や laurite (硬度7.5)は硫化物としては極めて高い硬度を持っている。黄鉄鉱型化合物は、対称性の高さに起因した系統的でユニークな結合距離変化やスピン状態が観測される[1]。単結晶構造解析では Debye-Waller 因子から各サイトの Debye 温度 θ_D を観測することができる[2]。Debye 温度は硬度や融点に関連した物質の固有値である。

今回 geversite 端成分の単結晶を封入管法により作製した。リガク社製 R-AXIS RAPID による単結晶構造解析を行い，Debye-Waller 因子を測定した。Pd と Sb の θ_D 値は、それぞれ 258K と 214K であった。これらは、金属 Pd と半金属 Sb 元素固体の θ_D 値（271K と 220K）と大きくは変わらない。これまでに報告されている単結晶構造解析法により得られた Debye-Waller 因子から、静的成分を仮定した Debye 近似から各黄鉄鉱型鉱物の Debye 温度 θ_D を見積もり、原子間距離を指標に比較した(図 1)。ニクトゲンとカルコゲンを問わず黄鉄鉱型化合物には大きな規則性があることが判明した。

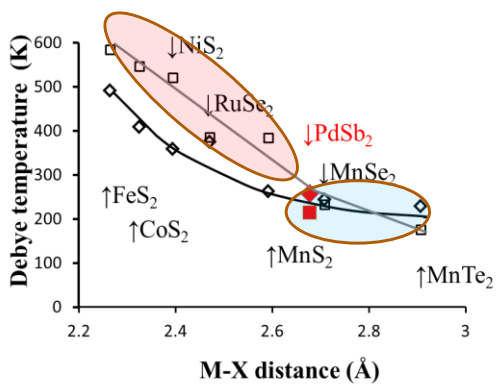


Fig. 1. Relationship between the bond distance and θ_D (□: anion,◇: cation) found in pyrite-type compounds

[1] M. Tokuda et al. Zeit. Krist.,¥ 234 371 (2019)
[2] A. Nakatsuka et al. Am. Mineral. 96, 1593

Keywords: $PdSb_2$, pyrite-type compounds, single crystal diffraction, Debye temperature, hardness

*Corresponding author: yoshiasa@kumamoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

swedenborgite の化学式・結晶構造の再検討と誘電特性の考察

本宮秀朋*、吉朝　朗、吉原茉由、北原銀河、鵜木康平（熊本大自然）、
徳田　誠、杉山和正（東北大金研）、
門馬綱一、宮脇律郎（科博）

Chemical formula, crystal structure and dielectric properties of swedenborgite

H. Hongu*, A. Yoshiasa, M. Yoshihara, G. Kitahara, K. Unoki (Kumamoto Univ.),
M. Tokuda, K. Sugiyama (Tohoku Univ.),
K. Momma and R. Miyawaki (Nat'l. Mus. Nat. Sci.)

The crystal structure of swedenborgite [space group $P6_3mc$, a = 5.4402(10), c = 8.8690(9) Å, Z = 2] was refined to the $R1$ value of 0.012 for 1573 unique reflections. The chemical formula of swedenborgite can be expressed as $(Na_{1-x}Ca_x)Be_{4-0.5x}SbO_7$ ($x \leqq 0.05$).

swedenborgite は Aminoff (1924)によって Långban, Sweden で最初に記載されたナトリウムベリリウムアンチモン酸塩鉱物である。結晶構造・赤外線吸収スペクトルに関して Pauling et al. (1935), Povarennykh et al. (1982) の研究があり、Huminicki and Hawthorne (2001) によって結晶構造精密化が行われた。swedenborgite の化学式は $(Na_{0.89}Ca_{0.04}\square_{0.07})Be_4SbO_7$ と表され、Ca + □ → 2Na の置換反応によって少量の Ca が構造中に取り込まれるとされてきた。また、bromellite (BeO) 構造のフラグメントである$[Be_4O_{13}]$クラスターと交互に配置された SbO_6 八面体から成る（Huminicki and Hawthorne, 2001）。今回、同じ産地の swedenborgite 試料について SEM/EDS 分析と XAFS 解析によって前述の置換の存在と Sb の価数の確認を行った。そして、bromellite が圧電・誘電特性を有することから、単結晶 X 線回折法を用いて swedenborgite の詳細構造の再検討と絶対構造の決定を行った。

化学分析の結果、同一結晶で Ca を含む領域と含まない領域が観察された。紫外線による蛍光は Ca を含む領域でより強く発する。Ca を含む領域の平均化学組成は $(Na_{0.95}Ca_{0.05})Be_{4-x}SbO_7$、含まない領域は $NaBe_4SbO_7$ となり、Na 席の空孔ではなく Be 席の欠陥を示唆している。また、Sb の XAFS 測定から XANES スペクトルを検討すると、swedenborgite の Sb は 5 価である。単結晶構造解析の結果、swedenborgite の結晶構造は Na が 12 個の O に配位している十四面体と SbO_6 八面体、BeO_4 四面体から成る。Na-O 十四面体で c 軸方向の Na-O 距離は上側より下側の 3 本の方が長い。SbO_6 八面体でも c 軸方向の Sb-O 距離は下側の 3 本の方が長い。また、BeO_4 四面体でも Be-O 距離は c 軸方向の下側が長く、Na, Sb, Be はそれぞれの多面体の中心より c 軸方向の上側に存在する。swedenborgite の各原子の Z 座標において理想位置と比較すると酸素原子に大きなずれが見られた。よって、swedenborgite は c 軸方向の上下に電荷の偏りを持ち、強誘電特性を説明できる。次に swedenborgite の BeO_4 四面体と bromellite（Hazen, 1986）において温度による Be-O 距離と結合角の変化を比較すると swedenborgite の BeO_4 四面体の歪みが非常に大きいことが判明した。広い温度領域において swedenborgite は bromellite より大きい誘電特性を持つことが期待できる。

Keywords: swedenborgite, bromellite, chemical formula, structure refinement, dielectric properties
*Corresponding author: stnjjrg9135@mb.pikara.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

京都府大谷鉱山産低対称錫石の結晶構造

金沢一輝，栗林貴弘（東北大院理），長瀬敏郎（東北大総学博）

Crystal structure of low-symmetry cassiterite from Ohtani mine, Kyoto, Japan

Kazuki Kanazawa*, Takahiro Kuribayashi, Toshiro Nagase (Tohoku Univ.)

はじめに　錫石(SnO_2)は正方晶系の対称性をもち、光学的一軸性の鉱物であることが一般的に知られているが、天然では光学的二軸性を示すものが見つかっている(Gotman, 1938; Hutton, 1950)。Gotman(1939)は光学的二軸性を示す原因について累帯構造の形成との関連を指摘しているが、Hutton(1950)は累帯構造のない錫石において光学的二軸性を観察したためこれを否定している。また、光学的二軸性を示す低対称な錫石においてその構造を調べた報告はない。本研究では京都府大谷鉱山産の錫石を *c* 軸に垂直に切断した薄片において、光学的二軸性が観察された{231}分域と{111}分域の結晶構造を単結晶 X 線回折法により調べ対称性低下の原因を明らかにすることを目的とする。

実験　*c* 軸に垂直に切断した薄片に対して偏光顕微鏡観察および電界放射型走査型電子顕微鏡(JEOL JSM-7001F)付属のエネルギー分散型 X 線分光器(Oxford, INCA)による化学組成分析、単結晶 X 線回折実験を行った。単結晶 X 線回折実験は、薄片中の各分域から取り出した結晶に対して四軸型自動 X 線回折計(Rigaku, AFC-7S)を用いて行った。結晶構造解析には SHELXL-2018/3 (Sheldrick, 2015)および WinGX (Farrugia, 1999)を使用した。

結果と考察　*c* 軸に垂直に切断した薄片の偏光顕微鏡観察により、消光と光学的二軸性を示すコノスコープ像が見られ、対称性の低下が確認できた。化学組成分析では両分域とも Ti が微量元素として検出された。

X 線回折実験の結果、正方晶系の錫石が属する空間群 $P4_2/mnm$ の消滅則を破る反射が観測され、{231}分域では直方晶系以下、{111}分域では単斜晶系以下の低い対称性が示唆された。消滅則から示唆されたすべての空間群モデルについて結晶構造の精密化を行い、{231}分域では $P2/m$ モデルの R 値が最も低くなった。$P2/m$ モデルは頂点位置と体心位置に存在する Sn のサイトが非等価であり、実際に Sn の占有率に差が現れた。このことは{231}分域の対称性の低下は陽イオンの秩序的な配列によって引き起こされることを示唆する。一方、{111}分域では $P2/m$ モデルと $P2$ モデルの R 値が同程度に低くなった。両モデルの差異は対称心の有無であり、体心位置の Sn サイトが厳密な体心位置からずれることに相当する。{111}分域の構造は完全に決定できておらず、2 つの分域間で空間群が異なる可能性がある。

Keywords: cassiterite, single-crystal X-ray diffraction, optical anomaly

*Corresponding author: kazuki.kanazawa.q6@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

含 Al-$CaTiO_3$ ペロブスカイトの構造変化

永井隆哉，高倉直樹，松本洋輔（北大院理）薛献宇（岡山大惑星研）

Structural change of Al-bearing $CaTiO_3$ perovskite

Takaya NAGAI*, Naoki TAKAKURA, Yosuke MATSUMOTO (Hokkaido Univ.)
Xianyu XUE (Okayama Univ., IPM)

Structure change of Al-bearing $CaTiO_3$-perovskite synthesized by the conventional solid-state reaction method was investigated. Chemical composition of Al-bearing $CaTiO_3$-perovskite showed that Al exchanges Ti and the solubility of the Al component is up to about 25 mol%. XRD patterns indicated a series of morphotropic transition from orthorhombic to cubic via tetragonal. The orthorhombic phase appears at $0 \leq x < 2.2$ in $Ca(Ti_{1-x}Al_x)O_{3-\delta}$. The compositional ranges of tetragonal and cubic phase are narrow. The tetragonal and cubic phase were confirmed only at $x = 0.23$ and 0.25, respectively. NMR spectra showed Al occurring in octahedral, pentahedral and tetrahedral sites.

はじめに　本研究では$CaTiO_3$ペロブスカイトへのAl^{3+}の固溶に着目し，固溶に伴う構造変化と固溶限界について検討を行った。材料分野では，チタン酸ペロブスカイト構造相のTi^{4+}を3価陽イオンで置換する形の固溶が酸素欠陥を伴うことから，電気伝導との関係で研究が進められている。一方，地球深部科学においては，$MgSiO_3$ ブリッジマイトへのAl^{3+}の固溶は，弾性的な変化や水の固溶との関係で興味が持たれていることから，本研究のアナログとしての視点も重要である。

実験手法　$CaCO_3$, Al_2O_3, TiO_2 の各試薬を焼成後の化学組成が$Ca(Ti_{1-x}Al_x)O_{3-\delta}$となるように様々な$x$で秤量し，複数回仮焼・混合を繰り返した後，1300℃で約50時間焼成し，急冷回収した。回収試料は，X 線回折及び SEM-EDS により生成相の同定と化学組成の定量分析を行った。また，Al の局所構造を知るため，$x \leq 2$のいくつかの回収試料について，^{27}Al に対する NMR 測定を岡山大学惑星物質研究所の共同利用研究で行った。

結果と考察　$CaTiO_3$ ペロブスカイトへのAl^{3+}の固溶は，Ti^{4+}を置換する形で起こり，固溶限界は$Ca(Ti_{1-x}Al_x)O_{3-\delta}$でおよそ$x = 0.25$であり，それ以上では $Ca_3Al_2O_6$ と $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ が共存するようになることがわかった。また XRD の結果から，$0 \leq x < 2.2$では直方晶系であるが，格子定数を擬立方晶でみると，Al の固溶に伴い 3 軸の大きさが近くなり，いくつかのピークの合体や消滅から$x = 0.23$では正方晶系，$x = 0.25$では立方晶系と，モルフォトロピックな構造変化を示すことがわかった（正方晶系と立方晶系の組成範囲は極めて狭い）。$x = 0.1, 0.15, 0.2$の試料の ^{27}Al の NMR 測定の結果は，Al の配位環境は主に 6 配位であるが，Al^{3+}と Ti^{4+}の置換に伴う酸素欠損の生成により，一部 4 配位や 5 配位の Al も存在し，定性的には Al の固溶量の増加により 4 配位，5 配位が増加することがわかった。

Keywords: Al-bearing $CaTiO_3$, morphotropic transition, XRD, NMR
*Corresponding author: nagai@sci.hokudai.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$Au_{1-x}Ag_xTe_2$系鉱物 krennerite (x=0.13)と sylvanite (x=0.32) の結晶構造解析と関連金鉱物の結晶化学

北原銀河*（熊大），吉朝朗（熊大），本宮秀朋（熊大），徳田誠（東北大），
杉山和正（東北大），門馬綱一(科博)，宮脇律郎(科博)

Crystal chemistry of $Au_{1-x}Ag_xTe_2$ minerals: structure analyses krennerite (x=0.13) and sylvanite (x=0.32)

Ginga Kitahara* (Kumamoto Univ), Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ), Hidetomo Hongu (Kumamoto Univ)), Makoto Tokuda (Tohoku Univ), Kazumasa Sugiyama (Tohoku Univ), Koichi Momma (National Museum) and Ritsuro Miyawaki(National Museum)

The structures analyses on krennerite ($Au_{0.87}Ag_{0.13}Te_2$) and sylvanite ($Au_{0.68}Ag_{0.32}Te_2$) were performed using single crystal X-ray diffraction and XAFS (X-ray absorption fine structure) experiments. The chemical formula of krennerite and sylvanite can be expressed as $Au^{3+}{}_2(Au^{1+}{}_{2-x}Ag^{1+}{}_x)[Te_3]^{2-}[Te_2]^{2-}{}_2Te^{2-}$, and $Au^{3+}(Au^{1+}{}_{1-x}Ag^{1+}{}_x)\,[Te_2]^{2-}{}_2$, respectively.

$AuTe_2$ 端成分組成の calaverite は常圧下ではインコメンシュレート構造を持ち、10GPa 以上の高圧下で初めて規則構造になる。Au は 1 価と 3 価状態が安定であり、$Au_{1-x}Ag_xTe_2$固溶体中の Au は混合原子価が想定されている。合成研究に基づいて calaverite では Ag 量が x=0.0-0.11, krennerite では x=0.14-0.25, sylvanite では x=0.27-0.50 の組成範囲を有するとされてきた（Cabri 1965）。今回 x=0.12-0.13 組成の krennrite を発見し、krennrite と sylvanite の Ag の含有量に伴う構造変化や Te の結合状態など調査した。

Cripple Creek, Colorado, USA 産 krennerite、および Emperor Mine, Vatukoula, Fiji 産 sylvanite について、化学組成分析とリガク社製 R-AXIS RAPID による単結晶構造解析、XAFS 測定を行い、これまでに構造解析されたものと組成の異なる krennerite, sylvanite の構造、化学結合性の比較検討を試みた。構造解析の結果、両構造に共通して Au のみにより占有される席があることが確認できた。また Au と Ag が占有する他の席での、銀の占有量に関連して(Au, Ag)-Te 距離の系統的変化を発見した。短い共有結合性の Te-Te 距離が観測され、krennerite には Te-Te-Te グループ$[Te_3]^{2-}$と Te-Te 分子$[Te_2]^2$、Te^{2-}イオンの構造単位が含まれる。Sylvanite は、Te-Te 分子$[Te_2]^2$のみより構成される。krennerite の化学式は、$Au^{3+}{}_2(Au^{1+}{}_{2-x}Ag^{1+}{}_x)[Te_3]^{2-}[Te_2]^{2-}{}_2Te^{2-}$, sylvanite の化学式は $Au^{3+}(Au^{1+}{}_{1-x}Ag^{1+}{}_x)[Te_2]^{2-}{}_2$ と表せる。

Keywords: krennrite, sylvanite, single crystal diffraction, XAFS, chemical formula

*Corresponding author: galaxy.kitahara@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Fe, Co および Ni を含む Pentlandite の陽イオン分布の決定

市村卓視*(東北大・院工), 徳田誠 (東北大・金研),
杉山和正 (東北大・金研), 吉朝朗 (熊大・理), 三河内岳(東大・総博)

Cation distribution in Fe, Co, Ni-bearing Pentlandite

Takumi Ichimura, (Tohoku Univ. Eng.), Makoto Tokuda (IMR, Tohoku Univ.),
Kazumasa Sugiyama (IMR, Tohoku Univ.), Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ. Sci.),
Mikouchi Takashi (Mus. Tokyo Univ.)

Pentlandite は, Fe,Co および Ni など原子番号が隣接する元素を含む硫化物である. 単位胞中に立方最密充填した 32 個の S 原子席があり, また 4 個の八面体席(MO)および 32 個の四面体席(MT)に遷移金属原子が位置した構造を取る. 理想的には M_9S_8(M=Fe,Co,Ni)という組成式で表され, Tsukimura(1989) は Sudbury 産 pentlandite $Fe_{4.40}Ni_{4.57}Co_{0.03}S_8$ の MO および MT 席の Fe/(Fe+Ni)比を異常散乱効果を利用して見積もった. このような系における陽イオン分布の決定には, 目的元素のシグナルを際立たせる異常散乱(Anomalous X-ray Scattering: AXS)法が強力なツールとなり得る. そこで本研究では, AXS 法を用いて pentlandite の Fe,Co,Ni 分布の決定を試みた.

試料は長野県天竜鉱山より産出した pentlandite を使用した. EDS による組成分析の結果, Fe に比べ Ni に富んだ結晶であり, 陽イオンの欠損が示唆されるが, 本研究では構造モデルを $Fe_{4.1}Co_{0.2}Ni_{4.7}S_8$ として AXS 解析を行った. AXS 実験は, 物質構造科学研究所 Photon Factory BL-6C にて,Fe および Ni 吸収端近傍の異なるエネルギーの X 線 (Fe:6.96keV, 7.09keV Ni:8.23keV, 8.31keV)を用いて行った.

着目元素の吸収端近傍で得られた構造因子の差をフーリエ変換して算出した陽イオンコントラストマップを Fig.1(a)および(b)に示す. Fe について, MO および MT どちらのサイトにも Fe 異常分散項のエネルギー依存性に起因するコントラストが観測できた. 一方 Ni については, MT 席にのみコントラストが観測され, Ni は MT 席のみに分布していることが判明した. これらの結果は, 天然 pentlandite の陽イオン分布に関する先行研究の結果とも整合性がある(Tsukimura 1989). 当日は, violarite{$Fe_{1.0}Co_{0.4}Ni_{1.6}$}の結果を含めて, 原子番号が隣接する元素を含む硫化鉱物の AXS 解析について報告する.

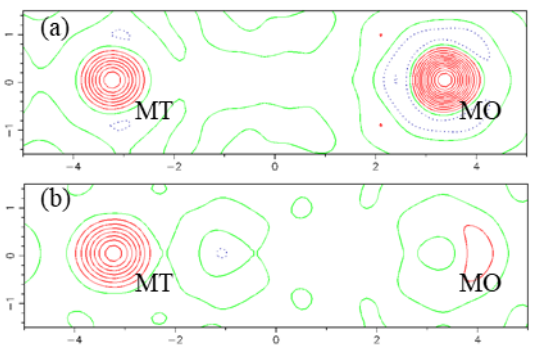


Figure 1. Cation contrast map of pentlandite;
(a) Fe-AXS (6.96keV, 7.09keV)
(b) Ni-AXS (8.23keV, 8.31keV)

Key Words: Pentlandite, Anomalous X-ray Scattering, Cation distribution

*Corresponding author: takumi.ichimura.t4@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

珪灰鉄鉱 ilvaite の構造解析：Fe^{2+}, Fe^{3+}および Mn^{2+}の分布

井上裕太郎[1], 川又透[2], 三河内岳[3], 杉山和正[2]
([1]東北大 院工, [2]東北大 金研, [3]東大 総合研究博物館)

Structural Analysis of ilvaite: distribution of Fe^{2+}, Fe^{3+} and Mn^{2+}.

Yutaro Inoue[1], Toru Kawamata[2], Takashi Mikouchi[3], Kazumasa Sugiyama[2]
([1]Grad Scholl of Eng. Tohoku Univ. [2]Institute of Material Research, Tohoku Univ.,
[3]The University Museum, The Univ. of Tokyo)

【序論】珪灰鉄鉱 ilvaite ($CaFe^{2+}{}_2Fe^{3+}Si_2O_7O(OH)$) 空間群 $P2_1/a$ の結晶構造には，3 種類の陽イオン八面体席（Fe11，Fe12 および Fe2）がある．そして，八面体席間の Fe^{2+}および Fe^{3+}の分布あるいは八面体席に含有される Mn 量と β 角が強い相関を持っていることが示唆されている(Takéuchi et. al., 1983) ．しかし，Fe^{2+}および Fe^{3+}が秩序配列していることを直接的に示す実験および Mn の分布に関する研究は未踏の領域にあり，より精密な結晶構造解析が必要であると考えられる．今回，吸収端近傍で生ずる異常分散項のエネルギー依存性を積極的に用いる X 線異常散乱法を用いて，Mn を著量含む Bulgaria Smolyan 産 ilvaite ($Ca_{1.00}Al_{0.01}Fe^{2+}{}_{1.31}Fe^{3+}{}_{0.99}Mn_{0.64}Mg_{0.05}Si_{2.00}O_7O(OH)$) を試料に，X 線異常散乱法 (Anomalous X-ray Scattering: AXS) を用いて，Mn^{2+}, Fe^{2+}および Fe^{3+}の分布を決定した．

【実験】Mn 含有量に着目して，産地の異なる 6 種類の ilvaite の平均構造解析 (RIGAKU XtaLAB Synergy)を行った．また，Mn 含有量の最も多い Smolyan 産 ilvaite に関しては，物質構造科学研究所 BL-6C において Mn-*K* 吸収端および Fe-*K* 吸収端単結晶 AXS 測定を行った．

【結果】平均構造解析の結果，これまで報告されている，Mn 含有量と β 角に関する負の相関関係，そして Fe11 および Fe12 席のオーダリングパラメータ σ と β 角に関する正の相関関係を確認することができた．単結晶 AXS 測定から，Mn は Fe2 席に選択的に配置(Fig.1 a)し，Fe11 および Fe12 席には分布しないことが判明した．また，Fe^{2+}は Fe11 および Fe12 サイトにほぼ均等に分布(Fig.1 b)し，低 σ 値から予想される無秩序分布の傾向に一致することを直接検証することができた．

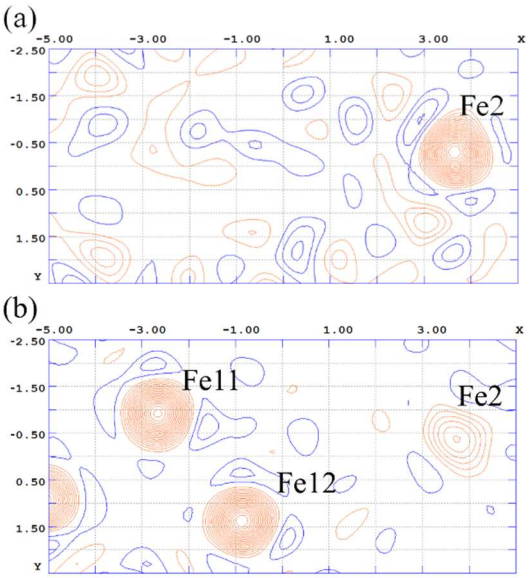


Figure 1. Cation contrast map of ilvaite; Extracted from the energy combination of (a) Mn K edge -25 eV and -150 eV (b) Fe K edge -3.5 eV and -150 eV.

Key Words: Ilvaite, Single-crystal X-ray diffraction, Anomalous X-ray Scattering.
*Corresponding author: yutaro.inoue.r3@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Cs 交換菱沸石の高温単結晶 X 線構造解析: 脱水挙動の結晶学的研究

河田尚美(山口大・院創成, 広島大・N-BARD)、藤原惠子(山口大・院創成)、
大川真紀雄(広島大・院先進理工)、中塚晃彦*(山口大・院創成)

High-temperature single-crystal X-ray diffraction study of Cs-exchanged chabazite: a crystallographic study on dehydration behavior

N. Kawata (Yamaguchi Univ. Sci. Tech. Innov., Hiroshima Univ. N-BARD),
K. Fujiwara (Yamaguchi Univ. Sci. Tech. Innov.), M. Ohkawa (Hiroshima Univ. Sci. Eng.),
A. Nakatsuka* (Yamaguchi Univ. Sci. Tech. Innov.)

1. はじめに

天然ゼオライトである菱沸石は優れたイオン交換剤として知られており、福島第一原発事故で生じた汚染水に含まれる放射性元素除去剤のひとつとして重用されている。ゼオライトのイオン交換能力の大きさはフレームワーク・水分子・交換性陽イオンの間の相互作用が大きく関与していると考えられる。そのため細孔内の水分子と交換性陽イオンの結晶学的配置を明らかにすることが重要である。特に水分子とその近傍原子との相互作用の大きさを知るには、水分子の脱水挙動を調べることが有効である。過去に我々は単結晶 X 線構造解析から菱沸石には室温で 5 つの水分子席と4 つの交換性陽イオン席が存在することを報告し、その脱水過程における水分子席の占有率変化とそれに伴う交換性陽イオンの移動の詳細を報告した。本研究では菱沸石の放射性元素除去剤としての優れた特性の発現メカニズムを調べるべく、交換性陽イオン(Ca^{2+}, Na^{+}等)を Cs 交換した試料の脱水挙動を調査するために高温単結晶 X 線構造解析を行った。

2. 実験と解析

本研究ではオレゴン(USA)産の天然菱沸石単結晶 $(Ca_{1.67}Na_{0.13}K_{0.09}Mg_{0.02}Sr_{0.02})(Si_{8.25}Al_{3.79})O_{24}\cdot 12.53H_2O$ を用いた。交換性陽イオン(Ca^{2+}, Na^{+}など)を Cs^{+}で交換するために、1 M の CsCl 水溶液中 80 °C で 64 日間振とう処理を行った。振とう処理後の化学組成は原子吸光分析・EPMA により、含水量は TG-DTA により得た。単結晶 X 線構造解析では CCD 型 X 線回折計(Bruker smart APEXII)により回折強度測定を行った。測定には窒素ガス吹付型高温装置を用い、室温(23 °C)・50 °C・100 °C・150 °C・200 °C の各温度で回折強度測定を行った。構造精密化には SHELXL を用いた。

3. 結果と考察

振とう処理後の菱沸石の化学分析から、Cs 交換率は 91%と求まり、交換性陽イオンの大部分が Cs^{+}に交換されたことが分かった。単結晶 X 線構造解析では、差フーリエ合成で得た差電子密度ピークに水分子あるいは交換性陽イオンを割り当て、席占有率から求めた化学組成が化学分析値と一致するまで、これら差電子密度ピークへの原子 assignment を変えながら、最小二乗法による構造精密化を繰り返し行った。その結果 Cs^{+}の占有席としてイオン交換前には存在しなかった新たな交換性陽イオン席を見出した。この Cs 席は今回測定したすべての温度で見出された。昇温過程の席占有率の変化に着目すると、Cs 交換前の試料で見られたダイナミックな交換性陽イオン移動とは対照的に、Cs 席の席占有率は各温度でほとんど変化せず、Cs^{+}が Ca^{2+}などに比べて特定の席を強く嗜好することがわかった。

Keywords: zeolite, chabazite, high-temperature single-crystal X-ray diffraction, dehydration, ion exchange
*Corresponding author: tuka@yamaguchi-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ フラックスにおけるクリストバライトとトリディマイトの晶出： 非晶質シリカの等温加熱実験

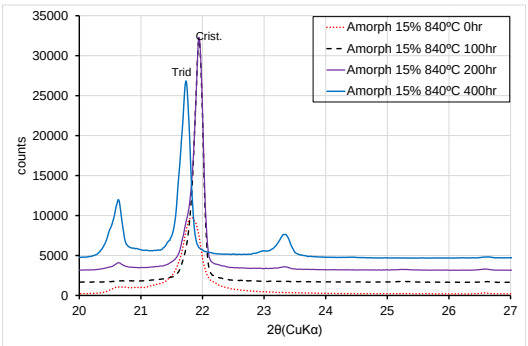
阿部利弥(山口大理)

Crystallization of Cristobalite and Tridymite in a $CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ Flux System: Isothermal Heating Experiments of Amorphous Silica

Toshiya Abe* (Yamaguchi Univ.)

2019 と 2020 年の本学会では，シリカ結晶を目的とした $CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ (CaO= 0.35)フラックスでの実験を報告した。1050～780℃まで昇温加熱した後の等速冷却実験では，900~780℃で石英(Qtz)，トリディマイト(Trid)，クリストバライト(Crist)が認められた。一方，非晶質シリカ(Amorph)を出発原料した場合，900～780℃の冷却実験では Trid がみられた。800~880℃の等温加熱実験では，870℃以下で Qtz が安定相であるが，Crist が優勢であった。ただし，1000 や 900℃の加熱，特に長時間実験では，逆に安定相の Trid が優勢であった。このように，Trid と Crist の晶出関係にはまだ不明な点も多い。本研究では Trid と Crist の挙動，優劣関係を明らかにするために，Amorph を用い，840 と 900℃を中心に等温加熱実験を行った。

図に，Amorph を出発物質した等温加熱実験による XRD 測定結果の一例を示す(シリカ 15wt%濃度，840℃，0～400hr)。試料は，実験回収産物からフラックスを除去し，得たものである。図に示すように，200hr まではほぼ Crist であるが，400hr ではほぼ Trid となっている。Crist は 0 hr でも認められるので，昇温過程で形成されると思われる。ただし，0hr 時点では強度も弱く，低角度にシフトしたものであった。一方，安定相である Qtz の明確な晶出は認められない。900℃の実験でも同様の結果が得られている。ただし，100hr でも Trid のピークが認められ，200hr で Trid のみとなり Crist が消滅している。



結果，Amorph を出発原料と用いると，準安定ではあるが Crist が最も容易に形成され，後に Trid が置き換わることが明らかになった。六角板状の Trid と小 Crist 結晶が共に観察できることから，溶媒介在状態での溶解，成長による変化であると思われる。900℃の方が早期に Trid が優勢になるのは，840 より 900℃の方が Trid の核形成が容易であるためである。今回は，Amorph からの Qtz 形成が如何に困難かを示す結果となったが，Trid 相を合成する上では有用な情報が得られた。

Keywords: synthesis, flux, amorphous silica, tridymite, cristobalite.
* Corresponding author: toshiya@yamaguchi-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

構造中にバリウムを含むカルサイトの高圧下での挙動

鍵 裕之*、斉藤 綾花(東大院理)

Pressure-response of Ba-bearing calcite

Hiroyuki Kagi*, and Ayaka Saito (UTokyo)

カルサイトはバイオミネラルに代表される普遍的な炭酸塩鉱物で、地球内部の炭素循環とも関連して、高圧下での相転移や構造変化が研究されている。常温常圧で安定な calcite I は室温下約 1.5 GPa で calcite II に、約 2.0 GPa で calcite III に相転移する。一方、アルカリ土類の Sr や Ba といったイオン半径の大きな元素はカルサイトには不適合で、結晶構造に取り込まれにくい。筆者らは、構造がフレキシブルな非晶質炭酸カルシウム(ACC)にこれらの不適合元素を取り込ませた後に結晶化させることで、不適合な Sr、Ba イオンを構造中に取り込んだカルサイトを得た(Matsunuma et al., 2014; Saito et al., 2020)。ACC を経由した合成法によって、Ba/(Ba + Ca)比が最大 0.69 となるカルサイトが得られ、単位胞体積が純粋なカルサイトよりも約 16%増加した。バリウムを主成分とする炭酸塩鉱物はアラゴナイト構造をもつ witherite であるが、ACC を経由することで Ba を主成分とするカルサイトが得られたことになる。

本研究では Ba を含むカルサイトの高圧下での構造変化を観察した。高圧発生はキュレット径 600 μm のダイヤモンドアンビルセルを用い、4:1 メタノール-エタノールを圧力媒体とし、粉末 X 線回折パターンは KEK PF BL18C で約 20 keV の X 線を用いて、イメージングプレートによって取得した。

図 1 に Ba 濃度 50.2 mol%のカルサイトの高圧下での粉末 X 線パターンを示す。純粋なカルサイトでは 1.8 GPa で calcite I から calcite II への相転移が観察されたのに対して、Ba を含むカルサイトでは相転移は観察されなかった。Ba 濃度 8.2 mol%のカルサイトでも同様の結果が得られた。また、カルサイト構造からアラゴナイト構造をもつ witherite への相転移も観測されなかった。

1250 K 以上の高温条件ではカルサイトの 113 反射が炭酸イオンの disorder によって消失する (e.g., Ishizawa et al., 2013)。一方、Ba を含むカルサイトでは室温条件で 113 反射が消失する (Saito et al., 2020)。Ba を含むカルサイトは単位胞体積が顕著に増加するために室温条件でも炭酸イオンの disorder が起こったと解釈すると、高圧下で単位胞体積が減少すれば 113 反射が出現する可能性もある。しかし、図 1 に示すように高圧下でも 113 反射は消失したままで、高圧下で単位胞体積が減少しても炭酸イオンは disorder の状態であることがわかった。カルサイトに不適合な Ba が構造中に取り込まれることで、カルサイトの高圧下での挙動が大きく変化することが明らかになった。

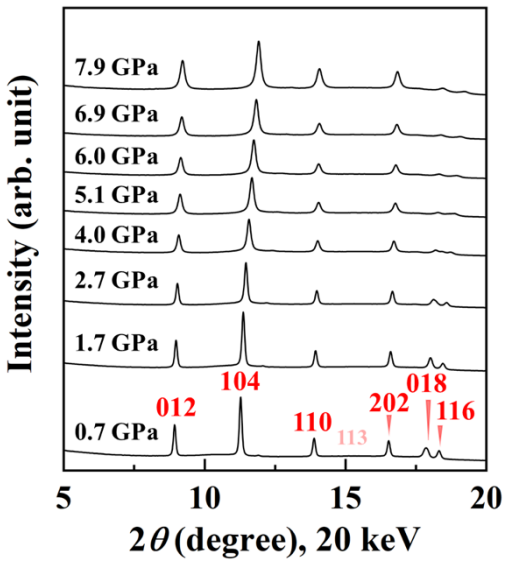


図 1 Ba 濃度 50.2 mol%のカルサイトの高圧下での粉末 X 線回折パターン。赤字の数字はカルサイトの *hkl* を示す。

Keywords: calcite, barium, high pressure
*Corresponding author E-mail address: kagi@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

非晶質炭酸カルシウムを経由したカルサイト格子中へのL-アスパラギン酸の取り込み

丸形詩歩*, 鍵裕之, 小松一生 (東大院理)

Incorporation of L-aspartic acid into calcite lattice through amorphous calcium carbonate

S. Marugata*, H. Kagi, K. Komatsu (Univ. Tokyo)

1. はじめに

炭酸カルシウムにはカルサイト、アラゴナイト、ファーテライトの3種類の多形があり、バイオミネラルに代表される普遍的な鉱物として知られる。天然の炭酸カルシウムには有機分子が不純物として含まれ、その取り込み機構が研究されている。Kim et al. (2016)は、L-アスパラギン酸(Asp)を含む炭酸カルシウムの過飽和水溶液から析出させたカルサイト格子中に最大で 3.9 mol% の Asp が取り込まれ、格子体積が 0.395% 膨張することを報告した。一方、非晶質炭酸カルシウム(ACC)を経由した結晶化により、本来カルサイトに不適合な大きなイオンを高濃度で取り込ませることができることも報告されている(Matsunuma et al., 2014; Saito et al., 2020)。そこで、ACC を経由した結晶化により、カルサイト格子中に高濃度の有機分子が取り込まれるのではないかと考えた。本研究では高濃度の Asp を含む ACC を経由したカルサイトの合成を試み、得られたカルサイトの構造変化について調べた。

2. 実験方法

氷冷した 0.1 M Na_2CO_3 水溶液と様々な濃度で L-アスパラギン酸ナトリウムを添加した 0.1 M $CaCl_2$ 水溶液を 1:1 で混合した。生成した析出物を吸引ろ過した後に真空中で乾燥して Asp を取り込んだ ACC を合成した。ACC を 0.8 GPa で 10 分間加圧した後に空気中で 200 ℃で 2 時間加熱して、粉末結晶を得た。それらの試料に対して、放射光施設 KEK の BL-18C で粉末 X 線回折測定を行った。

3. 実験結果と考察

出発水溶液中の Asp 濃度が 0-0.8 M の範囲で ACC が生成した。図 1 に得られた炭酸カルシウムの粉末 X 線回折パターンを示す。Asp を含む ACC 試料を 0.8 GPa に加圧した後に 200 ℃に加熱すると、カルサイトとファーテライトが結晶化した。母液中の Asp 濃度が増加するにつれて、ピークのブロードニングと高角側へのシフトが見られた。出発溶液中の Asp 濃度が 0-0.4 M の範囲でカルサイトの 104 反射の d 値は最大で 0.204 %、ファーテライトの 011 反射の d 値は 0.173 % 低下した。これらの結果はカルサイトとファーテライトの構造中に Asp が取り込まれることで、構造が歪んだためと考えられる。d 値の変動幅の比較から Asp はファーテライトよりカルサイト構造中に取り込まれやすいことが示唆される。また、Asp 濃度が増加するにつれて、カルサイトは a, b 軸方向に収縮し、c 軸方向に膨張して、格子体積が 1.15% 減少することがわかった。本研究で得られた ACC を経由して結晶化した Asp を含むカルサイトは Kim et al. (2016)で報告されたカルサイトとは結晶内での Asp の配置が異なることが示唆される。

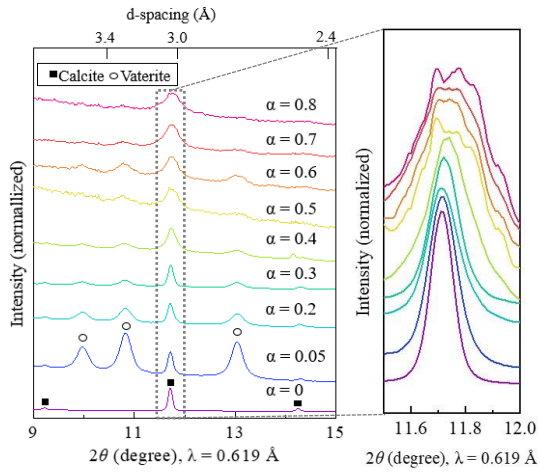


図 1. Asp-doped $CaCO_3$(左)とカルサイトの 104 反射(右)の X 線回折パターン。α は出発水溶液中の Asp/(Ca+Asp) を表す。Asp 濃度の増加に伴い、ピークシフトとブロードニングが見られる。

Keywords: Calcite, Vaterite, Amino acid, Aspartic acid
*Corresponding author: marugata@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

「けい酸加里」肥料の鉱物学的特徴と土壌中における溶解プロセス

大藤弘明（東北大・院理），竹内洋貴（開発肥料㈱），当真要（北大・農），羽生友治（開発肥料㈱）

Mineralogical property of a silica potassium fertilizer, “Keisankari” and its dissolution process in soil

Hiroaki Ohfuji (Tohoku Univ. Sci.)*, Hiroki Takeuchi (Kaihatsuhiryou Co Ltd.), Yo Toma, (Hokkaido Univ. Agr.), Tomoji Hanyu (Kaihatsuhiryou Co Ltd.)

はじめに

「けい酸加里」は，石炭火力発電の副産物（産業廃棄物）として生じるフライアッシュ（石炭灰）にカリウム分などを添加して高温焼成することによって得られるカリ質鉱物肥料（径数 mm の顆粒状）で，主に水稲用肥料として広く利用されている．イネ科植物は，土壌中から吸収したケイ酸分を非晶質シリカ（プラントオパール）として特定の細胞に蓄積するため，植物の必須元素の一つであるカリウムに加え，ケイ酸分を多量に含む「けい酸加里」の施用は，米の品質や収穫量の向上に効果的である．我が国で 40 年に渡り製造，利用されてきた鉱物肥料であるが，その詳細な鉱物学的特徴と土壌中での化学成分の溶出過程は未知のままとなっていた．そこで，本研究では鉱物学的手法と知見に基づき，それらにメスを入れることとした．

研究手法

原料のフライアッシュおよび「けい酸加里」の構成鉱物の相同定，組織観察・化学分析には，粉末 XRD，SEM-EDS，FIB-TEM を使用した．また，土壌中での元素溶出過程を調べるため，栽培ポットを用いたイネの生育試験土壌中より回収した「けい酸加里」粒子（径 2 mm 程度）についても断面を作成し，SEM-EDS で観察・分析を行った．なお，試料が多孔質であるため，より詳細な組織観察，化学分析が必要な試料については，Ar イオン研磨（クロスセクションポリッシャ）を用いた．

結果と考察

「けい酸加里」は，主にカリオフィライト（$KAlSiO_4$）とオケルマナイト（$Ca_2MgSi_2O_7$）より構成され，SEM-EDS 観察の結果，前者は顆粒状～不定形塊状（～100 μm）をなし，後者は前者の隙間を充填する組織を示すことが分かった．イネの生育試験土壌中より回収した「けい酸加里」の断面を観察すると，経過時間に応じて，肥料顆粒の外縁部から徐々に多孔質になってゆく様子が見られた．また，最初は肥料粒子内部に均質に分布していた，オケルマナイトの主成分である Ca と Mg の空間的分布や濃度相関が，施用後 35 日までに大きく変化していることが分かった．一方，カリオフィライトの主成分である K，Al の空間的分布には大きな変化はなく，その濃度減少の程度もだいぶ小さかった．

以上より，土壌中における「けい酸加里」からの化学成分の溶出は，カリオフィライト粒子の間隙を埋めるオケルマナイトから始まり（Ca, Mg, Si），カリオフィライトからの K，Al，Si の溶出は比較的穏やかで長期に渡って継続すると推測される．土壌中での元素溶出のプロセスやタイムスケールを正しく把握し，その上で肥料を構成する鉱物の微細組織や化学組成，溶出効率などを制御できれば，より施用効果の高い製品の開発へも繋がると期待される．

Keywords: silica potassium fertilizer, kaliophilite, akermanite, dissolution

*Corresponding author: ohfuji@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演

R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:小松 一生、篠崎 彩子、永嶌 真理子

2021年9月16日(木) 14:00 〜 17:15 Zoom Session 2

[座長]

小松 一生：R2-01〜R2-04

篠崎 彩子：R2-05〜R2-08

永嶌 真理子：R2-09〜R2-12

17:10 〜 17:15

[discussion]総合討論

©日本鉱物科学会

口頭講演 | R3：高圧科学・地球深部

2021年9月16日(木) 14:00 ~ 15:00 | Zoom Session 1

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)

[座長」
川添 貴章：R3-11〜R3-14

14:00 ~ 14:15

[R3-11] 高圧鉱物の逆相転移カイネティクス

*久保 友明[1]、嘉村 航[1]、今村 公裕[1]、丹下 慶範[2]、肥後 祐司[2]、宮原 正明[3] (1. 九州大・院理、2. JASRI、3. 広島大・院理)

14:15 ~ 14:30

[R3-12] 下部マントル最上部条件におけるAlを含む無水ブリッジマナイトの存在可能領域

*野田 昌道[1]、井上 徹[2]、柿澤 翔[2]、川添 貴章[2]、新名 亨[3]、入舩 徹男[3]、尾原 幸治[4] (1. 広島大・院理、2. 広島大・院先進理工、3. 愛媛大・GRC、4. 高輝度光科学研究センター)

14:30 ~ 14:45

[R3-13] レニウムマルチメガバール圧力スケールによる内核の密度欠損

*大谷 栄治[1]、生田 大穣[1]、福井 宏之[2,3]、坂巻 竜也[1]、石川 大輔[4,3]、バロン アルフレッド[3,4] (1. 東北大・院理、2. 兵庫県立大・院理、3. 理化学研究所、4. 高輝度光科学研究センター)

14:45 ~ 15:00

[R3-14] $(FeO)_m(Fe_2O_3)_n$酸化鉄の高圧力下電気伝導度

「発表賞エントリー」

*米谷 珠萌[1]、新名 良介[1]、石井 貴之[2]、河口 沙織[3] (1. 明治大・院理工、2. BGI/HPSTAR、3. JASRI)

高圧鉱物の逆相転移カイネティクス

久保友明*, 嘉村航, 今村公裕(九州大理), 丹下慶範, 肥後祐司(JASRI), 宮原正明(広島大理)

Back-transformation kinetics in high-pressure minerals

T. Kubo*, K. Kamura, M. Imamura (Kyushu Univ.), Y. Tange, Y. Higo (JASRI), M. Miyahara (Hiroshima Univ.)

High-pressure minerals stable at deep mantle pressures have been naturally found on Earth such as shocked meteorites and diamond inclusions, which provides important constraints on detailed processes of planetary collisions and deep mantle dynamics. Because the timescales are limited in these dynamic processes, the reactions often remain incomplete and/or metastable state. Additionally, it is necessary to consider the possibility of the backward reactions to the low-pressure phases. The kinetics on the forward reactions have been widely discussed for this topic, however those on the backward reaction had been very limited so far. Here we present some experimental results on mechanisms and kinetics of the back-transformation.

A conventional method combining MA-type high-pressure apparatus with synchrotron white X-ray (MAX-80@PF-AR NE-5C, SPEED Mk.II@SP8 BL04B1) was used to observe back-transformation behaviors and their kinetics at 0-10 GPa and 300-900°C by collecting XRD data every 10-200 sec. The starting materials are polycrystalline ringwoodite (Rw), bridgmanite (Brg), and lingunite (Lgn), those were synthesized by using another MA press (QDES) at Kyushu Univ. in advance.

Time-resolved XRD measurements have revealed that, in contrast to Rw that simply transforms to the low-pressure polymorph olivine (Ol), Brg and Lgn do not directly transform to their low-pressure phases, but through the amorphous state. In Brg, the amorphization temperature rapidly increases with pressures from 300°C at 1 GPa to 800°C at 7 GPa, whereas the crystallization temperature does not. As a result, Brg directly back-transformed to high-pressure clinoenstatite (HP-CEn) at around 800°C and 8 GPa. Analysis of kinetic data on the back-transfotmation in Rw and Brg by the Avrami rate equation suggested the rapid nucleation in Rw to Ol and Brg to HP-Cen transformation, and slow nucleation in the crystallization of Opx from amorphous Brg. The amorphization kinetics of Brg is too fast to be constrained by the present kinetic data. On the basis of P and T dependencies of these reaction rates, we can construct P-T-t kinetic boundaries for survival of high-P phases and formation of low-P phases in a given timescale. For example, in the timescales of 0.1 to 10 sec generally considered for shock events in the early solar system (Fig. 1), Rw transforms to Ol at 700-900°C and 800-1000°C at ~1 GPa and ~10 GPa, respectively. Brg is thought to become amorphous state when decompression less than 800°C. At higher than 800°C, Brg rapidly transforms to HP-CEn, and then low-pressure CEn (LP-CEn).

Both high-pressure and low-pressure phases are enigmatically present in shocked meteorites and diamond inclusions. To precisely understand their P-T-t histories, not only the forward, but also the backward reaction kinetics shown here need to be considered.

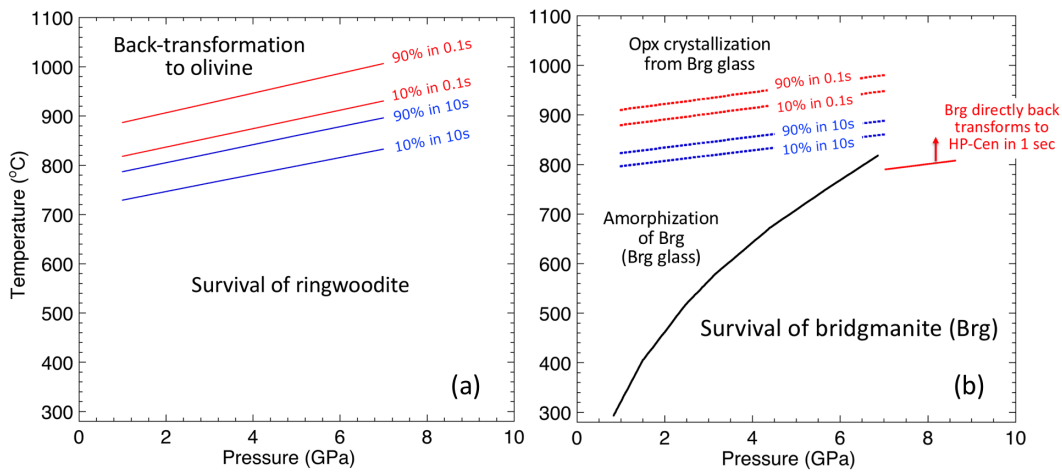


Fig. 1 P-T-t kinetic boundaries for the back-transformation in ringwoodite (a) and bridgmanite (b) estimated from the experimentally obtained kinetic data.

Keywords: high-pressure mineral, back-transformation, kinetics, shocked meteorite, diamond inclusion
*corresponding author: kubotomo@geo.kyushu-u.ac.jp

下部マントル最上部条件における Al を含む無水ブリッジマナイトの存在可能領域

野田昌道*(広島大・院理)、井上徹、柿澤翔、川添貴章(広島大・院先進理工)
新名亨、入舩徹男（愛媛大・GRC)、尾原幸治（JASRI）

Possible compositional area of Al bearing anhydrous bridgmanite at the uppermost lower mantle condition

Masamichi NODA*, Toru INOUE Sho KAKIZAWA and Takaaki KAWAZOE (Hiroshima Univ.)
Toru SHINMEI, Tetsuo IRIFUNE (Ehime Univ.), Koji OHARA (JASRI)

Al は地球を構成する主要元素の 1 つであり、パイロライト組成では Al のほとんどは下部マントルでブリッジマナイト（**Brg**）中に固溶する。現在 Brg 中への Al の置換様式には、チェルマック置換型と酸素欠損置換型、含水置換型の 3 種類が存在すると考えられている。先行研究で報告されている Brg の化学組成を注意深く観察すると、純粋なチェルマック置換型はほとんど報告されておらず、また純粋な酸素欠損型の報告はなかった(例えば Irifune et al., 1996, Kubo & Akaogi, 2000; Kojitani et al., 2007)。先行研究では出発物質として粉末試料や粉砕ガラスを用い、また試料をカプセルで封入しないケースもあり、出発物質の表面吸着水の付着および周囲からの水の流入の可能性があった。

これまでに我々は無水 Brg の低 Al 量での置換様式を明らかにするため、出発物質としてガラスの塊を用いて限りなく無水条件で高温高圧実験を行った。出発物質は理想的な置換様式を想定し、4 つの異なる Al 量をもつ試料を用意した。高圧実験には愛媛大学 GRC 設置の川井型マルチアンビル高圧発生装置（ORANGE-3000）を用いて、下部マントル最上部条件を想定し、28 GPa、1600-1700℃で 1 時間保持後、急冷回収した。限りなく無水条件で試料合成したため結晶径がサブミクロンとなり、EPMA を用いて個々の Brg の化学組成測定が不可能であった。したがって XRD 分析結果とバルク組成から Brg の化学組成を見積もった。その結果、初めて単相の酸素欠損置換型 Brg（Al=0.025 pfu, 総カチオン 2）の合成に成功し、また Al 量によらず純粋なチェルマック置換型 Brg が存在する可能性を確認した。しかしながら、酸素欠損置換型の場合、Al > 0.025 pfu 領域では極少量の共存相の同定が困難で Brg の化学組成を正確に推定できなかった。

本研究では、酸素欠損置換型無水 Brg の Al > 0.025 pfu 領域での置換様式を明らかにするため、加熱保持時間を 1 時間から 100 時間に変えて広島大学及び愛媛大学設置の超高圧発生装置を用いて行った。そして Brg を粒成長させることにより、個々の Brg の定量分析を試みた。結果、MgO 飽和条件下における Al > 0.025 pfu 領域での無水 Brg の存在可能領域が明らかとなった。

References
[1] Irifune et al. (1996) Phys. Earth Planet. Inter., 96, 147-157.
[2] Kubo and Akaogi (2000) Phys. Earth Planet. Inter., 121, 85-102.
[3] Kojitani et al. (2007) Phys. Chem. Minerals, 34, 257-267.

Keywords: Al bearing bridgmanite, extremely anhydrous condition, the uppermost lower mantle
*Corresponding author: d190007@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Density deficit of Earth's inner core revealed by a multi-megabar rhenium pressure scale

Daijo Ikuta (Dept. Earth Sci., Tohoku Univ.), Eiji Ohtani* (Dept. Earth Sci., Tohoku Univ.), Hiroshi Fukui (Dept. Mat. Sci. Univ. Hyogo), Tatsuya Sakamaki (Dept. Earth Sci., Tohoku Univ.), Daisuke Ishikawa (RIKEN / JASRI), Alfred Baron (RIKEN / JASRI)

Precise information about the composition of the Earth's core is critical to understand planetary evolution and for discussing geodynamic behaviors, such as the core-mantle boundary heat flow. Our knowledge on the Earth's core is based on comparison of laboratory measurements with seismological observations, informed by meteorite composition, and indications of the Earth's core temperature. One of the most interesting results of such work has been the suggestion that Earth's inner core must contain light elements because the density of the core, as determined from seismological measurements, is lower than the density of pure iron, its main constituent, as determined from laboratory measurements and/or theoretical work: the density deficit of the inner core has been considered ~ 4%. However, this conclusion relies critically on an accurate pressure scale to relate laboratory generated pressures to geological pressures. Establishing such a scale has been the subject of intensive research but still involves significant extrapolation and approximations, especially at higher pressures of the Earth's core. Further, a pressure scale to the multi-megabar pressures is indispensable for discussing super-Earth planets. We report here the first primary pressure scale extending to the multi-megabar pressures of Earth's core by measuring acoustic phonon velocities using inelastic X-ray scattering from a rhenium sample in a diamond anvil cell. Our new pressure scale agrees with previous primary scales at lower pressures and also shock compression experiments, but it is lower than previous secondary and theoretical scales at Earth's core pressures: previous scales have overestimated laboratory pressures by at least 20% at 230GPa. Our new scale suggests the density deficit of the inner core is ~9%, doubling the light-element content of the inner core.

Keywords: primary pressure scale, high pressure, Earth's core, density deficit, inelastic x-ray scattering.

*Corresponding author: eohtani@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$(FeO)_m(Fe_2O_3)_n$ 酸化鉄の高圧力下電気伝導度

米谷珠萌(明治大), 新名良介(明治大), 石井貴之(BGI/HPSTAR),
河口沙織(JASRI)

The electrical conductivity of $(FeO)_m(Fe_2O_3)_n$ iron oxides at high pressure

Shuhou Maitani* (Meiji U.), Ryosuke Sinmyo (Meiji U.), Takayuki Ishii
(BGI/HPSTAR), Saori I. Kawaguchi (JASRI)

鉄はマントル内で３番目に多い陽イオン元素であり、価数が容易に変化する元素としては地球で最も豊富な元素である。酸化鉄は最も単純な含鉄鉱物であり、その高圧力下における安定性や物理的性質は、マントル内部の構造や酸化還元状態を議論するために長い間研究され続けている。大気圧下では FeO, Fe_3O_4, Fe_2O_3 のストイキオメトリーを持つ酸化鉄のみが安定であるが、近年の高圧力実験から、$(FeO)_m(Fe_2O_3)_n$ であらわされる新しい酸化鉄グループがマントル条件で安定となることが明らかになった。ダイヤモンド包有物中に、これらの酸化鉄がマントル内に存在していた痕跡も報告されている。しかし、これらの新しい酸化鉄相の安定性と物理的性質は、未だよくわかっていない。今回、私たちはダイヤモンドアンビルセルを用い Fe_4O_5, Fe_5O_6, Fe_7O_9 の電気伝導度を 60 GPa まで常温・低温下で測定した。常温高圧力下の測定結果から、全ての相において 40 GPa 付近に電気伝導度の変曲点がみられた。これは先行研究で示唆された、高スピン低スピンクロスオーバーがおこる圧力と一致している。得られた結果から、マントルに相当する温度圧力条件下での $(FeO)_m(Fe_2O_3)_n$ の電気伝導度を推定した。発表ではマントル内に観測される電気伝導度異常と高圧酸化鉄相の関係を議論する。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2021年9月16日(木) 14:00 ~ 17:15 | Zoom Session 3

R4：地球表層・環境・生命

座長:福士 圭介(金沢大学)、横山 正(広島大学)、川野 潤(北海道大学)、佐久間 博(物質材料研究機構)、宇都宮 聡(九州大学)

[座長]
佐久間 博：R4-01～R4-04
横山 正：R4-05～R4-09
宇都宮 聡：R4-10～R4-13

14:00 ~ 14:15
[R4-01] 表面錯体モデリングによる酸化物のモリブデン吸着形態の解析
「発表賞エントリー」
*奥山 晃浩[1]、福士 圭介[1]、柏原 輝彦[2] (1. 金大・院理、2. JAMSTEC)

14:15 ~ 14:30
[R4-02] 福島第一原子力発電所から放出されたプルトニウム含有デブリ微粒子
*宇都宮 聡[1] (1. 九州大・院理)

14:30 ~ 14:45
[R4-03] 環境中における放射性セシウムの鉱物への吸着特性に係る研究 -角閃石、長石への吸着-
*萩原 大樹[1]、小西 博巳[2] (1. 原子力機構、2. 新潟大学)

14:45 ~ 15:00
[R4-04] Speciation and solubility of arsenic, lead, and cadmium in contaminated soils from Kamegai mine tailing, Toyama, Japan
*Baasansuren Gankhurel[1], Keisuke Fukushi[1], Akitoshi Akehi[1], Yoshio Takahashi[2], Natsumi Takeda[1], Xiaolan Zhao[3], Kazuo Kawasaki[4] (1. Kanazawa Uni., 2. Uni. of Tokyo, 3. Chang`an Uni., 4. Uni. of Toyama)

15:00 ~ 15:15
[R4-05] 汚染土壌からの重金属溶出挙動：表面錯体モデリングによるアプローチ
*武田 夏泉[1]、奥山 晃浩[1]、バーサンスレン ガンクレル[1]、福士 圭介[1] (1. 金沢大・院理)

15:15 ~ 15:30
[R4-06] 人工風化金雲母中の層間構造変化
*井上 紗綾子[1]、田村 堅志[2]、緑川 慶[2,3]、小暮 敏博[4] (1. 愛媛大・GRC、2. 物材機構、3. 法政大、4. 東大・院理)

15:30 ~ 15:45
休憩

15:45 ~ 16:00
[R4-07] サポナイト‐アンモニウム相互作用：セレス初期海洋のアンモニウム濃度制約
*徳門 弘都[1]、福士 圭介[2]、関根 康人[3]、井上 浩介[1] (1. 金沢大学・院理、2. 金沢大学環日本海域研究センター、3. 東京工業大学)

16:00 ~ 16:15
[R4-08] 生物起源あられ石におけるNa置換による格子定数変化
*奥村 大河[1]、吉村 真裕[1]、小暮 敏博[1] (1. 東大・院理)

16:15 ~ 16:30
[R4-09] 炭酸カルシウム1/2水和物の生成条件

*酢山 真衣[1]、福士 圭介[1]、北島 卓真[1] (1. 金沢大・院理)

16:30 ~ 16:45

[R4-10] 間隙中の空気が炭酸塩鉱物の溶解を特に低減させる理由

*横山 正[1]、西山 直毅[2] (1. 広島大・院先進理工、2. 筑波大・院生命環境)

16:45 ~ 17:00

[R4-11] 低温条件における非晶質マグネシウム炭酸塩の溶解度

*北島 卓磨[1]、福士 圭介[2]、関根 康人[3]、依田 優大[4]、ガンフレル バーサンスレン[1]、ダバースレン ダバードルジ[5]、高橋 嘉夫[6] (1. 金沢大・院理、2. K-INET、3. 東京大・院理、4. ELSI、5. モンゴル大、6. 東京大)

17:00 ~ 17:15

[R4-12] **イリデッセントラブラドライト長石の炭素軽元素の混入**

*三浦 保範[1] (1. 元山口大学・理)

表面錯体モデリングによる酸化物のモリブデン吸着形態の解析

奥山晃浩*（金大）・福士圭介（金大）・柏原輝彦（JAMSTEC）

Analysis of molybdenum adsorption formation on oxide by surface complexation model

Akihiro Okuyama* (Kanazawa Univ.), Keisuke Fukushi (Kanazawa Univ.), Teruhiko Kashiwabara (JAMSTEC)

モリブデンは酸化還元状態に影響を強く受ける元素である。酸化還元状態に応じて海水からの除去過程が変化し、海洋堆積物中にこの違いが同位体組成として記録される。この特性から古海洋の酸化還元状態の代替指標として期待されている。モリブデンは酸化的な環境ではモリブデン酸（MoO_4^{2-}）として溶液中に存在し、その濃度は鉱物表面への吸着反応に支配される。

様々な酸化物に対してモリブデンの吸着実験を行われているが、異なる表面錯体モデルによって解析されており、統一的な評価がされていない。本研究は報告されている酸化物のモリブデン酸吸着データを表面錯体モデルの Extended Triple Layer Model（ETLM）を用いて解析した。加えてδMnO_2のモリブデン吸着実験を行い、その結果も解析した。

δMnO_2は Foster et al. (2003)の方法により、室内で合成したものを用いた。使用したδMnO_2の比表面積は 22.89m^2/g であった。δMnO_2へのモリブデンの吸着実験は、初期モリブデン濃度（100-200 ppb）、イオン強度（0.005-0.5 M）、固液比（1-2 g/L）に調整しグローブボックスを用いて窒素雰囲気下で行った。pH を 4 から 11 の範囲で調整し 48 時間反応後ろ液を採取し ICPMS（iCAP RQ）でモリブデン濃度を測定した。モリブデンの初期添加量とろ液のモリブデン濃度を差し引くことで吸着したモリブデン量を測定した。

フェリハイドライト、ゲーサイト、アモルファスアルミニウム酸化物、ギブサイト、δAl_2O_3、アナターゼ及びδMnO_2へのモリブデン吸着実験データを ETLM で解析した。解析には表面錯体モデリング支援コード ETL（MIN）2（Kosugi and Fukushi 2021）を用いた。分光分析（Arai 2010, Kashiwabara et al. 2011）によって酸化物上のモリブデン酸塩は四面体の外圏錯体と八面体の内圏錯体を形成すると報告されている。下記の１つの外圏錯体と２つの内圏錯体の形成反応を用いて吸着データを再現できた。

$>SOH_2^+ + MoO_4^{2-} + H^+ = >SOH_2^+_HMoO_4^-$

$>S(OH)_2 + MoO_4^{2-} + H^{2+} = >S(OH)_2MoO_3(H_2O)$

$>S(OH)_2 + MoO_4^{2-} + H^+ = >S(OH)_2MoO_3OH^-$

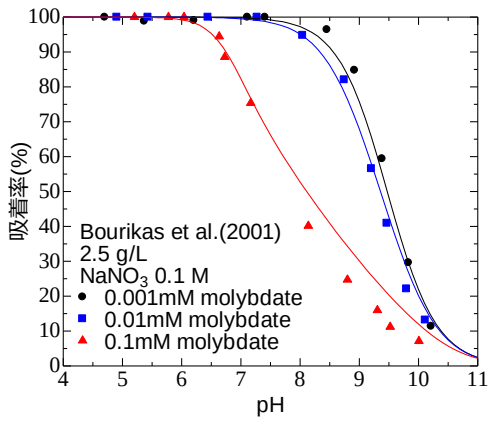


図１　アナターゼへのモリブデン吸着

アナターゼによる吸着は内圏錯体の形成が支配的だったが、アルミニウム酸化物による吸着は外圏錯体の形成が支配的だった。鉄酸化物による吸着は外圏錯体と内圏錯体ともに必要だった。δMnO_2の吸着形態は解析中であり、発表で報告する。

Keywords: molybdate, adsorption, surface complexation modeling

*Corresponding author: nature019@stu.kanazawa-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

福島第一原子力発電所から放出された プルトニウム含有デブリ微粒子

宇都宮聡 （九大院理）*

Particulate plutonium released from the Fukushima Daiichi meltdowns

S. Utsunomiya (Dept. Chemistry, Kyushu Univ.)

1. 緒言

2011 年 3 月に福島第一原子力発電所(FDNPP)で起きた原子力災害によって放出された放射性核種には核分裂生成物(Xe, I, Cs)だけでなく、微量のアクチノイド(U, Pu, Am)も含まれていた。Pu は揮発性が低いため放出量は炉内の〜2.0×10^{-5} %と微量であると推定されているが、その高い実効線量係数のために被ばくが懸念されている。また、現在行われている廃炉作業にはデブリの性状把握、特に Pu の分布を把握する必要があるが、これまでに Pu 化学種の同定には至っていない。本研究では原子炉から放出された高濃度放射性 Cs 含有微粒子（CsMP）内部から燃料微粒子を発見し、U と Pu の同位体の分析と化学種の同定に初めて成功した結果を報告する。

2. 実験

福島県で採取した土壌からオートラジオグラフィーと走査型電子顕微鏡(SEM + EDX)を用いて 2 つの CsMP (AQC, OTZ)を単離した後、ゲルマニウム半導体検出器を用いて粒子の $^{134}Cs/^{137}Cs$ 放射能比を測定した。その後、二次イオン質量分析装置 (SIMS)とシンクロトロン放射光分析装置 (μXRF)を用いて Pu や U の同位体比分析と化学種の同定を行った。

3. 結果・考察

本研究で発見した CsMP は、その $^{134}Cs/^{137}Cs$ 放射能比がそれぞれ 1.05 (AQC)、1.12 (OTZ)で FDNPP の 2 または 3 号機由来と考えられる。次に、SIMS によって、^{235}U / ^{238}U、^{240}Pu / ^{239}Pu、および ^{242}Pu / ^{239}Pu の同位体比がそれぞれ〜0.0193、〜0.347、および〜0.0660 と測定され、ORIGEN2 を基に算出された計算値と近い値を示した。一方 ^{241}Pu / ^{239}Pu の同位体比は ORIGEN2 を基に算出された計算値からずれていた。ORIGEN2 は燃料の平均組成を算出するため、燃料棒の照射日数の差が考慮されていない。そのため短半減期である ^{241}Pu には十分な精度がないためと考えられる。μXRF の結果から、CsMP 中にサブミクロンサイズの Pu 酸化物と被覆管の主成分である Zr が局在した〜20 μm 程度の UO_2 のドメインが確認された。高分解能 HAADF-STEM によってウランは数 10 nm 程度のナノ粒子が密に存在していることが示唆された。使用済み燃料のふちの部分では Pu が濃集し UO_2 粒子中の一部の UO_2 結晶格子の U が Pu に置換されることが知られており、Pu の濃集は燃料ペレットのふちの部分が微粒子として CsMP に取り込まれたものと考えられる。つまり、現存しているデブリ中の Pu の性状も部分的に使用済み燃料中の Pu 保持形態と近い可能性が示唆される。また、これらの結果から Pu は揮発・拡散過程を経て環境中に放出されたのではなく、燃料微粒子の一部として CsMP に取り込まれて環境中に放出され、Pu の長距離輸送・広範囲の拡散と不均一な分布につながったと考えられる。CsMP の粒径が平均数ミクロン程度であることを考えると、Pu 含有燃料微粒子は CsMP とともに吸引された可能性も残される。

Keywords: Plutonium, Cesium-rich microparticles (CsMPs), Fukushima Daiichi, SIMS

*Corresponding author: utsunomiya.satoshi.998@m.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

環境中における放射性セシウムの鉱物への吸着特性に係る研究 –角閃石、長石への吸着–

萩原大樹*（日本原子力研究開発機構），小西博巳（新潟大学）

Study of absorption characterization of radiocesium for environmental mineral -Possibility of absorption in amphibole and feldspars-

Hiroki Hagiwara*(Japan Atomic Energy Agency),
Hiromi Konishi (Niigata University)

福島第一原子力発電所（FDNPP）の事故により環境中に放出された放射性セシウムは、湖や河川の堆積物中に沈着し、台風等の増水時に移動する 2 次的な汚染プロセスが懸念されている。河床堆積物中の鉱物の放射性セシウムの吸着特性を明らかにすることは、動態予測の観点で重要である。近年、著者らは福島県内の河川水系の放射性セシウムの含有量が支配的な細粒分画（250-106 μm）において、雲母鉱物だけでなく、有色鉱物や無色鉱物にも放射性セシウムが吸着し、移動に寄与する可能性があることを報告した。本研究では、有色鉱物および無色鉱物のうち、特に角閃石と長石の結晶構造を把握することを目的として、走査型電子顕微鏡（SEM）および透過型電子顕微鏡（TEM）観察を行った。

試料は、FDNPP 周辺の富岡川でサンプリングした河床土を乾燥、分画及び放射能測定後、ハンドピックで鉱物を選別した。TEM 分析用試料は、集束イオンビーム加工装置を用いて薄膜化し、角閃石については、001 方向の断面を作成した。

エネルギー分散型 X 線分析結果から、角閃石は、普通角閃石、長石は、曹長石に分類された。SEM 観察より、角閃石、長石いずれの表面は、風化に伴う変質を確認した。また、TEM 分析結果から、角閃石内部には、数 μm サイズの劈開があり、その周辺にはより細かい劈開が発達していた。さらに、劈開周辺の構成元素組成比がホストと異なり、粘土鉱物化していることが明らかとなった。また、長石表面にはチューブ状のハロイサイトおよび劈開には鉄鉱物の挟在を確認した。

これらの結果から、角閃石、長石の表面は、風化し、粘土鉱物に変質している可能性がある。また、劈開が角閃石、長石内部への放射性セシウムの移動を促進させるとともに、劈開付近の変質部が比表面積を増加させ、放射性セシウムの吸着媒体としての役割を果たす可能性が示唆された。

Keywords: Mineral, Radiocaesium, River basin
*Corresponding author: hagiwara.hiroki@jaea.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Speciation and solubility of arsenic, lead, and cadmium in contaminated soils from Kamegai mine tailing, Toyama, Japan

Gankhurel Baasansuren[1*], Keisuke Fukushi[2], Akitoshi Akehi[1], Yoshio Takahashi[3], Natsumi Takeda[1], Xiaolan Zhao[4] and Kazuo Kawasaki[5]

[1]Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, [2]Instutute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, [3]Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, [4]Faculty of Science, Chang'an University,[5]School of Sustainable Design, University of Toyama

Mining extraction and processing generate large volumes of metal-rich waste tailings. This tailing is considered to be a principal cause of soil contamination in mining areas. Once these toxic metals are introduced into soils with surface water, they can be transported deep into the soil and into groundwater, threatening environmental health. The objectives of the present study were to determine the speciation of As, Pb, and Cd in soils from the mine tailing area, by employing a sequential extraction (SEP) and X-ray absorption fine structure (XAFS) so as to better understand the solubility of these heavy metals in that area.

The study area is located south of Toyama city, Japan. The Kamegai mine is an abandoned silver mine and operated from 1596 to 1680 and again from 1887 to 1898. After the closure of the mine, the mine tailings from the ore processing were left in mount Hachibuse. A total of 32 soil samples were collected in September 2016 along two sampling transects near the mine tailings. A total of 5 water samples were taken from the Oguchi river and its tributaries at sites near the Kamegai mine tailing area in October 2018. Soil samples were analyzed by using six-step sequential chemical extraction and XAFS for chemical speciation of As, Pb, and Cd. The major cation and anion concentrations of the water sample were analyzed using inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES; ES-710, Varian Inc., Palo Alto, CA, USA) and high-performance liquid chromatography (8020 Series: Tosoh Corp., Tokyo, Japan). The trace elements of water samples were analyzed by using an inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS; iCAP RQ, Thermo Inc., Waltham, MA, USA).

The results revealed that most of As in the soil is pentavalent oxidation states and is adsorbed on primarily goethite and secondarily ferrihydrite. The As(V) favorably can adsorb to the ferric oxides under acidic conditions, while it prefers to desorb from the minerals under alkaline conditions. Results showed most of Pb was adsorbed on goethite which is rich in the soil sample. Based on the SEP, the high ionic strength and/or slightly lower pH solution can lead to the significant release of Pb to solutions. Cd is mainly adsorbed on clay minerals. Due to the high cation exchange capacity of clay minerals, Cd placed in the interlayer can be released with the other cations with high concentrations in the surrounding solutions.

The river water in this area is characterized by low ionic strength and slightly alkaline pH. The concentrations of Pb and Cd in the river are always less than 0.07 ug/L, while that of As in the river sometimes exceeds 10 ug/L but the concentrations of Pb and Cd were low. The solubilities of heavy metals in the river in this area are consistent with those predicted by the chemical speciation.

Keywords: arsenic, cadmium, lead, solubility, contaminated soil

*Corresponding author: gbaasnsrn@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

汚染土壌からの重金属溶出挙動：表面錯体モデリングによるアプローチ

武田夏泉*、Baasansuren Gankhurel、奥山晃浩、福士圭介(金沢大)

Desorption behavior of heavy metals from contaminated soils: A surface complexation modeling

Natsumi Takeda*, Baasansuren Gankhurel, Akihiro Okuyama, Keisuke Fukushi (Kanazawa Univ.)

表層土壌は人間活動に与える影響が大きく、農作物を通して有害元素が体内に取り込まれる可能性がある。鉱物に吸着した重金属は接触する水の化学的条件に依存して溶出量が変化することが報告されている(Usiyama and Fukushi 2016 など)。これまで様々な水質条件における重金属の吸着・脱離挙動はモデル鉱物を用いた室内実験からよく検討されているが、天然の鉱物を用いて行われた例は少ない。そこで本研究では様々な水質条件における亀谷鉱山の汚染土壌からの有害元素の溶出挙動を特徴づけることを目的とした。

試料に含まれる重金属の脱離挙動を理解するためにバッチ脱離実験を室温で行った。イオン強度は 0.005M または 0.05M、固液比は 1.0g/L または 0.1g/L とし、実験は窒素雰囲気のグローブボックス内で行った。pH を 3〜10 にそれぞれ調整して 24 時間反応後 0.2 μmのシリンジフィルターで濾過し、濾液は ICP-MS を用いて測定した。

表面錯体モデリングを用いて実験結果の解析を行った。サブモデルの一つである DLM(Diffuse Double Layer Model(Dzombak and Morel 1990)を用いた。

図に脱離実験結果を示す。どの元素も pH の上昇に伴って溶出濃度は減少した。Cu と Pb は pH7〜8 で最小濃度を示し、Cd と Zn は pH8〜10 で最小となった。さらに pH が上昇すると溶出濃度は増加もしくは停滞した。

一般的に微量元素の吸着は鉱物表面の電荷に依存する。実験範囲で最も表面電荷が正になる pH3 では陽イオン(Cd, Cu, Pb, Zn)を吸着しないため最も溶出濃度が高いと考えられる。pH 上昇に従う溶出量の増加は負電荷の増加による陽イオンの吸着を反映すると考えられる。一方、より高い pH では負電荷が卓越するため溶出量は減少すると予想されるが実験結果ではむしろ増加した。

これら 4 つの元素は溶液中では 2 価陽イオン(Me^{2+})と 1 価陽イオン($Me(OH)^{+}$)の形態をとることが知られている。実験で認められた溶出量が最小となる pH は、溶液中で優勢な化学種が切り替わる pH とほぼ一致している。したがって Me^{2+}は鉱物によく吸着する一方、$Me(OH)^{+}$は比較的吸着しないとするとこの挙動を説明できる。この仮説を検証するために表面錯体モデリングを行ったところ、実測を定量的に説明することができた。

モデル鉱物を用いた重金属の吸着・脱離実験では、今までに高 pH で重金属が脱離する挙動は報告されていない。発表ではゲーサイトをモデル鉱物とした重金属脱離挙動と本実験結果の比較を行う予定である。

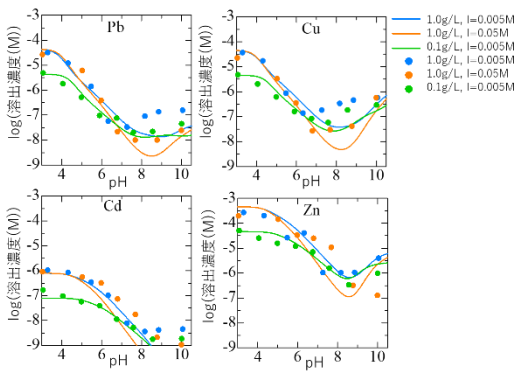


図 1　バッチ脱離実験の結果

Keywords: surface complexation modeling, heavy metal, DLM, desorption

*E-mail: nattsu-uzn@stu.kanazawa-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

人工風化金雲母中の層間構造変化

井上紗綾子*（愛媛大 GRC）、田村堅志（物材機構）、緑川慶（物材機構、法政大学）、小暮敏博（東大院理）

Interlayer structure changes of experimentally weathered phlogopite

Sayako Inoué* (GRC, Ehime Univ.), Kenji Tamura (NIMS), Kei Midorikawa (NIMS, Hosei Univ), Toshihiro Kogure (Univ. Tokyo)

雲母は地球表層で最も一般的な層状珪酸塩鉱物の一つである。土壌中にも広く存在し、そのほとんどは風化変質を受けている。風化変質を受けた雲母の構造中では、層間の K が溶出し、代わりに水和した陽イオンを含む部分と、雲母構造を保ち層間に K を有する部分が混在する。また、同じ層間内で水和した陽イオンを含む部分と K を含む部分の遷移領域には「くさび型空間」が存在すると想定される。このくさび型空間は風化雲母が Cs^+を選択的に吸着・固定する機構と深く関係していると考えられている。しかし、くさび型空間の実態や形成機構については未解明な点が多く、さらに、Cs^+の吸着・固定メカニズムの定量的な検討はほとんど行われていない。本研究では、イオン交換実験により得られた人工風化雲母の層間構造の解析を行い、風化雲母層間でのくさび型空間の形成機構を考察した。

出発物質には粉砕した金雲母を使用し、2種類の経路による層間 K と Al のイオン交換実験を行った。第一の方法では、まず NaCl 溶液中で金雲母層間の K と Na を交換し、Na 型金雲母を形成した。さらに、Na 型金雲母を 1M $AlCl_3$ 溶液に加え、Al を層間に含む金雲母（Al-Phl）を得た。Al-Phl の一部については 180ºC で水熱処理を行った（HTAl-Phl）。第二の方法では、金雲母を 1M $AlCl_3$ 溶液中で処理し、直接 Al 型金雲母を得た(KAl-Phl)。調製した試料の積層構造は粉末 X 線回折（XRD）と高分解能透過電子顕微鏡法(HRTEM)により評価した。

Al-Phl と HTAl-Phl については、化学分析の結果から、イオン交換処理により層間 K が Al と完全に交換されたことが確認できた。Al-Ph と HTAl-Phl の XRD パターン中では 14 Å の位置にシャープな底面反射が見られたが、出発物質で見られた 10 Å ピークは見られなかった。化学組成分析と XRD の結果は、どちらの試料も層間に Al を含むバーミキュライトまたは緑泥石に近い積層構造、あるいは両者が混合した構造を持つことを示していた。層間に水和 Al イオンを含むバーミキュライト型の積層構造を持つ場合には、透過電子顕微鏡中では脱水により底面間隔が 10Å 程度に収縮する予想される。一方で、緑泥石型の積層構造を持つ場合には、透過電子顕微鏡中でも14Åの底面間隔を持つ。この関係を利用して、Al-Phl と HTAl-Phl の HRTEM 観察を行い、層間 Al の形態を調べた。その結果、Al-Phl と HTAl-Phl 共にバーミキュライト型と緑泥石型構造が混合した構造であることが明らかになった。また、2種類の層間構造は一層内で混合する様子が観察された。さらに、この 2 つの試料について K 飽和処理を行なったところ、K 飽和処理後の Al-Phl では 10Å 層だけが見られた。観察領域の化学組成分析の結果から、この 10Å 層は層間に K を含む雲母型構造を持つ部分と水和 Al イオンを含むバーミキュライト型構造部分両方が含まれていると考えられる。一方、K 飽和処理後の HTAl-Phl の HRTEM 像中では、10Å 層と緑泥石型層（14Å 層）の両方が見られ、くさび型空間も観察された。この結果は、HTAl-Phl に含まれる緑泥石型層層間の Al 水酸化物は再交換されずに柱として残り、くさび型構造が形成されたことを示している。今後、2種類の経路で得られた試料の層間構造を比較し、層間くさび型空間の形成機構を検討する。

Keywords: phlogopite, weathered mica, interlayer structure, HRTEM
*Corresponding author: inoue.sayako.nr@ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

サポナイト - アンモニウム相互作用
–セレス初期海洋のアンモニウム濃度制約–

徳門 弘都 1、福士 圭介 2、関根 康人 3、井上 皓介 1
（1. 金沢大学、2. 金沢大学環日本海域研究センター、3. 東京工業大学）

Saponite – ammonium interaction
-Reconstruction of ammonium concentration of early ocean on Ceres –

Hiroto Tokumon1*、Keisuke Fukushi2、Yasuhito Sekine3、Kousuke Inoue1
(1. Kanazawa Univ, 2. Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa Univ, 3. Tokyo Institute of Technology)

準惑星セレスは氷と岩石で構成されており、原始惑星の生き残りであるとされ、近年注目される天体である。NASA のドーン調査から、セレスには層間にアンモニウムイオンを含むアンモニウム型サポナイトが存在することが分かっている。サポナイトは周囲の水中に存在する陽イオンを層間に保持する特性を持つため、そのアンモニウム型サポナイトは過去セレスに存在した海洋のアンモニウム濃度を記録している可能性が高い。

グランドタックモデル（Walsh et al. 2011）として知られる太陽系形成論では、惑星形成期に、木星や土星などの巨大ガス惑星の軌道が進化する過程で、セレスを含む大規模な物質移動が起きたことを示唆している。アンモニウム型サポナイトからセレス初期海洋におけるアンモニウム濃度を推定できれば、アンモニアスノーラインから初期セレスの位置について考察することができる。そのため、セレス初期海洋の水質を理解することは惑星科学的に重要であるが、水質復元に必要とされるサポナイト Na^+-NH_4^+選択係数の値は未だに報告されていない。そこで本研究では、そのサポナイト Na^+-NH_4^+選択係数の測定を定量的に行い、得られた結果をドーンのセレス探査における赤外分光結果と対応させることで、セレス初期海洋に存在した溶液中のアンモニウム濃度の詳細な復元を試みる。

試料はクニミネ工業株式会社の合成サポナイトであるスメクトン-SA を使用した。実験室でサポナイトの層間陽イオン交換実験を行い、Na^+ : NH_4^+イオン組成を 8:2~3:7 の範囲になるようにサポナイトサンプルを作成した。溶液中のイオン濃度はオンクロマトグラフィー及び ICP-OES にて測定した。溶液中のイオン活量を αX で、サポナイト層間におけるイオン種の割合を β_x で表すと、Na^+-NH_4^+選択係数 Kは

$$K_{(Na\rightarrow NH_4)} = \frac{(\beta_{NH_4^+})(\alpha Na^+)}{(\beta_{Na^+})(\alpha NH_4^+)} \quad \cdots (1)$$

で表される。(1)式のイオン活量については、測定した pH および成分濃度を使い、地球化学コードパッケージ GWB の REACT にて Na^+-NH_4^+選択係数を算出した。

測定の結果、ほとんど１：１の割合で、層間へ NH_4^+が取り込まれた分、Na^+が層間外へ出ていく関係性がみられた。また、Na^+-NH_4^+選択係数について、異なる条件下でも比較的一定の値が得られ定数値として見積もることができた。

今後は作成した Na^+ : NH_4^+イオン組成を 8:2~3:7 のサンプルを FTIR で測定し、その結果をスペクトルミキシングモデルにて、サーペンティンの測定値と対応させることで、実際の探査機ドーン IR データと比較・検討を行い、セレス初期海洋の水質における陽イオン組成を解明する予定である。

Keyword: Ceres, Saponite, exchange coefficient
Corresponding author: mm00533@stu.kanazawa-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

生物起源あられ石における Na 置換による格子定数変化

奥村 大河*，吉村 真裕，小暮 敏博（東大・院理）

Variation of lattice constants with Na substitution in biogenic aragonites

Taiga Okumura*, Masahiro Yoshimura, Toshihiro Kogure (Univ. Tokyo Sci.)

Lattice constants of many biogenic aragonites are known to be different from those of abiogenic ones. To reveal the origins of the differences, we measured the lattice constants of 14 biogenic and five abiogenic aragonites. Axial ratios (*a*/*b* and *c*/*b*) of terrestrial molluscan shells (land snails) were similar to those of abiogenic aragonites, however, marine molluscan shells showed the largest axial ratios, followed in order by brackish- and fresh-water molluscan shells. The aragonites with larger axial ratios showed a higher concentration of Na. Furthermore, the axial ratios of a marine molluscan shell decreased and became comparable to those of abiogenic aragonites by heating at 250°C. Na was homogeneously distributed inside the crystals before heating, whereas it was diffused out of the aragonite crystals and locally concentrated after heating. These results infer that variation of the lattice constants in biogenic aragonites is caused by the substitution of Na^+ for Ca^{2+}.

多くの生物起源あられ石は非生物起源のものと異なる性質を持つと考えられている。特に、直方晶系（*Pmcn*，$a < c < b$）における軸率（*a*/*b* および *c*/*b*）が生物起源あられ石では大きいという報告があり、この原因は結晶内に含まれる有機分子に起因する格子歪みであると提唱された（Pokroy *et al.*, 2007）。しかし、この先行研究で調べたのは海水生の 3 種の軟体動物貝殻のみであり、生物起源のあられ石に普遍的な特徴であるかは不明である。また、無機結晶に含まれる有機分子が軸率の変化を起こす機構も明らかでない。本研究では、非生物起源のあられ石 5 種（鉱物及び合成），陸生の貝殻 3 種，淡水生の貝殻 4 種, 汽水生の貝殻 1 種, 海水生の貝殻 6 種（貝殻はすべて軟体動物門）のあられ石について、格子定数変化とその原因について調べた。

粉末 X 線回折により各試料の格子定数を測定した結果、非生物起源あられ石からの軸率のずれは、陸生 ＜ 淡水生 ＜ 汽水生 ＜ 海水生の貝殻の順であった。また、Na の含有量が多いほど軸率が大きかった（概して *b* 軸は変化しないか短くなり、*a* 軸と *c* 軸が長くなる）。よって、格子定数変化の原因は Na^+による Ca^{2+}の置換が関係していることが推測された。次に、海水生のアワビ（*Haliotis discus*）の貝殻真珠層を 250°C で加熱すると、軸率が小さくなり非生物起源あられ石と同等な値になった。加熱前後の貝殻の元素分布を走査透過電子顕微鏡に装着したエネルギー分散型 X 線検出器により調べると、加熱前は Na が結晶内に均一に分布していたのに対し、加熱後は結晶のほとんどの領域でその濃度が減少し、局所的に濃集していた。これは結晶中に固溶していた Na が加熱によって結晶格子から抜けたことを示す。以上から、生物起源あられ石に特徴的な格子定数は、Ca^{2+}を置換した Na^+によって誘起されると考えられる。これに伴う電荷の補償のため、海水中の 1 価の陰イオンが O^{2-}を置換していると推測される。Cl はほとんど検出されないことから、OH^-による置換の可能性が考えられる。

Keywords: biogenic aragonite, sodium, lattice constant, axial ratio, biomineralization
*Corresponding author: okumura@eps.s.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

炭酸カルシウム 1/2 水和物の生成条件

酢山真衣*，福士圭介，北島卓磨（金沢大）

Formation conditions of calcium carbonate hemihydrate

Mai Suyama*, Keisuke Fukushi, Takuma Kitazima (Kanazawa Univ.)

近年、Zou et al. (2019)にて炭酸カルシウム 1/2 水和物(Calcium carbonate hemi hydrate: CCHH, $CaCO_3 \cdot 1/2H_2O$)が世界で初めて合成された。Zou et al. (2019)は $CaCl_2$、$MgCl_2$、Na_2CO_3溶液を混合すると 60 分前後で CCHH が生成することを示している。CCHH は地球上に豊富に存在する成分から容易に合成されるため、自然界に存在している可能性が高いが、未だ自然界では発見されていない。地球上での CCHH の生成環境を予測するために、CCHH の生成条件の理解が必要である。そこで、本研究は Ca、Mg、CO_3を含む初期溶液から様々な濃度条件で炭酸カルシウムの形成を試みることにより CCHH の生成条件を明らかにすることを目的とした。

初期溶液の Ca 濃度は 0.05 mol/kg 一定とし、Mg 濃度は 0〜0.07 mol/kg、CO_3濃度は 0.01〜0.11 mol/kg の範囲に調製し、合成実験を行った。Na_2CO_3溶液を添加した時間を反応開始時間とし、25℃のインキュベータ内で混合ローターにより 60 分撹拌した。撹拌後、懸濁液の pH を測定し減圧濾過による固液分離を行った。固相はすぐに液体窒素で凍結し、凍結乾燥させた。固相は粉末 X 線回折計(XRD)を用いて分析した。液相は誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP-OES)により Ca、Mg および Na 濃度を測定した。測定した pH、アルカリニティ、Ca 濃度、Mg 濃度および初期 Na 濃度と初期 Cl 濃度を Geochemist Workbench（GWB）(Bethke, 1998) の REACT に入力し、スペシェーション計算を行うことで各種の活量を計算した。

XRD 回折パターンからはカルサイト、バテライト、モノハイドロカルサイト（MHC)、非晶質、CCHH の 5 種類の生成物が確認された。CCHH の生成は CO_3濃度と Mg 濃度が共に 0.04mol/kg 以下を除き、ほとんどの条件で認められた。63 個のサンプル中、CCHH の回折ピークが検出されたサンプルは 30 個であり、そのうちほとんどのサンプルは CCHH とカルサイトまたはバテライトと共存していた。Mg と CO_3濃度がともに高く Nishiyama et al.(2013)にて明らかとなった非晶質 Mg 炭酸塩(AMC)に過飽和にある条件では 60 分の反応時間では CCHH 生成は確認されず、MHC と非晶質のみが生成した。ただし、本条件において 30 分から 6 時間までの生成物の変化を観察したところ、非晶質から CCHH が生成し、その後 MHC への転移が確認された。なお溶液に Mg 成分を含まない条件においても CCHH の生成が確認された。

Zou et al. (2019)では Mg の存在が CCHH の生成に必要であることを示唆しているが、本研究では Mg が含まれない条件でさえも CCHH の生成が認められた。Mg 濃度と CO_3濃度が共に 0.04 mol/kg 以下の条件以外で生成が確認されたことは、CO_3濃度と Mg 濃度が共に低い条件を除くと、CCHH に対して成分濃度が過飽和であれば生成することを示唆している。また、Mg および CO_3濃度が高くなるほど CCHH が生成するまでの時間は長くなる。本研究で CCHH とカルサイトとバテライトの混合物が見られたことから、準安定相である CCHH はカルサイトとバテライトの前駆体であると考えられる。また、CCHH の MHC への転移が確認されたことから、CCHH は MHC の前駆体ともいえる。

Fukushi and Matsumiya (2018)よりカルサイト、アラゴナイト、バテライト、MHC、イカイト、非晶質 Ca 炭酸塩(ACC)の溶解度積の対数値はそれぞれ-8.48, -8.34, -7.91, -7.65, -6.58, -6.0 である。CCHH は ACC より安定で、MHC より不安定な結晶相であると結論付けられる。したがって、溶解度も MHC と ACC の中間にあることが推測される。MHC よりも過飽和な条件を有する天然水はアルカリ湖が合致する（Fukushi and Matsumiya 2018)。そのため CCHH はアルカリ湖に存在する可能性が高い。Fukushi and Matsumiya (2018)では MHC がアルカリ湖の水質をコントロールしていると報告されているが、MHC より過飽和なアルカリ湖が多数確認されている。そのため、CCHH も MHC と共にアルカリ湖の水質を制御している重要な炭酸カルシウムであるかもしれない。

Keywords: Calcium carbonate hemihydrate, formation conditions, precursor, solubility
Corresponding author: mai_1910_s@stu.kanazawa-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

間隙中の空気が炭酸塩鉱物の溶解を特に低減させる理由

横山　正*（広大）・西山直毅（筑波大）

The reason why the air in pores specifically reduces the dissolution of carbonate minerals

Tadashi Yokoyama* (Hiroshima Univ.), Naoki Nishiyama (Univ. Tsukuba)

岩石間隙中に空気が存在する不飽和状態では，空気に面した鉱物は鉱物表面を濡らす水膜を介して溶解する[1]（図 1）。間隙中に空気が存在すると，炭酸塩鉱物からの溶出速度は大きく低下し，その低下幅が珪酸塩鉱物の場合よりも大きいことが明らかになっている[2]。この主な原因の一つとして，炭酸塩鉱物は溶解速度定数が大きいため，水膜中に溶出した元素の洗い流しが不十分になり，水膜の大部分で飽和濃度に至り溶解がほとんど進まないことが考えられる[2]。しかし，他の要因もいくつか考えられ，本研究ではそれらについて検討した。

水膜の厚さは水膜を介した溶解に大きな影響を及ぼす。空気による電気二重層の切断や溶存イオンの影響を考慮した新しいモデルで見積もった水膜の平衡厚さは，Calcite の場合約 4 nm であるのに対し，Silica の場合約 15 nm である（間隙半径が 10 μm の場合）[3]。水膜が薄いと水膜中に溶出した元素の洗い流しの効率が下がる[1-3]。炭酸塩鉱物表面の水膜が薄いことは，空気の存在下で炭酸塩鉱物の溶出速度が大きく下がる一因と考えられる。

水膜が成長する速さも溶出速度に影響を及ぼしうる。石灰岩や珪酸塩鉱物主体の砂岩を用いて水蒸気の吸着実験を行った結果，吸着平衡に達するまでの時間の違いはあまり認められなかった。すなわち，水膜の成長速度は炭酸塩鉱物も他の鉱物と大差なく，これが溶出速度に及ぼす影響は比較的小さいと予想される。

飽和状態と不飽和状態とで砂岩の溶解を比較した実験によれば[2]，間隙の 60–80%程度が水で満ちていても，炭酸塩鉱物からの溶出速度は飽和状態の 30%前後に下がる。このことから，炭酸塩鉱物から離れた場所に水の主流路があることが多いと推察される（図 1）。実験に用いた砂岩中では，炭酸塩鉱物は砂粒子の間にセメントとして存在する場合が多く，主流路から離れた場所でセメントができやすいことを示唆しているかもしれない。

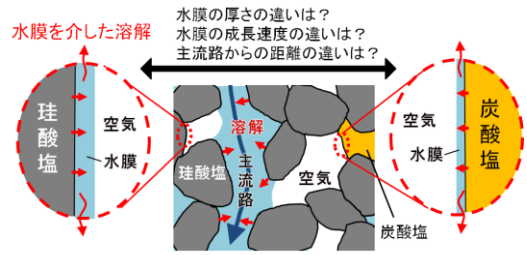


図 1　不飽和状態での溶解の概念図

Keywords: Carbonates, Dissolution, Pore, Water film

*Corresponding author:

t-yokoyama@hiroshima-u.ac.jp

[1] Nishiyama & Yokoyama, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **122** (2013).
[2] Yokoyama & Nishiyama, *ACS Earth Space Chem.*, **4** (2020).
[3] Nishiyama & Yokoyama, *Water Resour. Res.*, **57** (2021).

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

低温条件における非晶質マグネシウム炭酸塩の溶解度

北島卓磨*(金沢大・院理)、福士圭介(K-INET)、関根康人(ELSI)、
依田優大(東京大・院理)、ガンフレル バーサンスレン(金沢大・院理)、
ダバースレン ダバードルジ(モンゴル大)、高橋嘉夫(東京大)

Solubility of Amorphous Magnesium Carbonate at Low Temperature

Takuma Kitajima(Kanazawa Univ. Sci), Keisuke Fukushi(K-INET), Yasuhito Sekine(ELSI), Yoda Masahiro(Tokyo Univ. Sci), Baasansuren Gankhurel(Kanazawa Univ. Sci), Davaadorj Davaasuren(Mongol Univ), Yoshio Takahashi(Tokyo Univ)

地球表層ではネスケホナイトやハイドロマグネサイトなどの結晶性の Mg 炭酸塩が見られる。Mg 炭酸塩は CO_2 の人工的な貯蔵物としての活用が注目されており、天然での超苦鉄質岩の風化による CO_2 固定プロセスを模擬した Mg 炭酸塩の散布などの研究も行われている(Rigopoluos et al., 2018)。

陸水域の約 2 割を占めるアルカリ塩湖などの閉鎖湖環境は乾燥寒冷地域に多く存在し、大気 CO_2 を由来とする Mg 炭酸塩が常に析出している。閉鎖湖では結晶性 Mg 炭酸塩ではなく、不安定かつそれらの先駆物質でもある非晶質 Mg 炭酸塩(AMC)が析出している(Fukushi and Matsumiya, 2018)。しかし、閉鎖湖の CO_2 固定プロセスについての研究は少なく、詳細が明らかになっていない。特にアルカリ塩湖は大陸内部の寒冷地域に多く分布するが、寒冷時期における調査はほとんど行われていない。また、AMC の熱力学データも乏しく、湖環境 CO_2 収支の詳細な理解や人工的利用に向けて研究が必要である。本研究では低温条件での AMC 溶解度の見積もりと冬期アルカリ塩湖調査の結果との比較を行った。

Mg 濃度 0.05M、CO_3 濃度 0.05M の $MgCl_2 \cdot 6H_2O - Na_2CO_3$ 混合溶液 500ml を約 800 時間サンプリングした。サンプルは pH・水温測定後、減圧濾過し、固相は X 線回折(XRD)と X 線吸収分光(XAFS)、液相は誘導結合プラズマ発光分光分析(ICP-OES)にて Mg 濃度を測定した。その後、地球化学コード GWB を用いて AMC のイオン活量積を算出し溶解度を見積もった。さらに、室温で合成したモノハイドロカルサイト・AMC 混合粉末をイオン交換水 500ml と pH を 9.5 に調整した NaOH 溶液 500ml に十分な量溶解させ約 800 時間サンプリングを行った。採取後は前述と同様に溶解度を見積もった。

2020 年 1 月に Olgoi 湖にて結氷下の水を採水し、水温・pH・アルカリニティを測定した。また 0.45μm のフィルターで濾過した湖水の主要成分を帰国後に ICP-OES・液体クロマトグラフィーにて測定した。

実験の結果、AMC は実験終了(800 時間)まで変質が見られず、低温ではより安定して得ることができることが示された。また、先行研究で報告されている常温での溶解度よりも顕著に AMC の溶解度が大きく、AMC が低温でより溶けやすいことが示された。

Olgoi 湖での野外調査結果と比較を行った。湖水の夏期から冬期への Mg 濃度の増加と実験で得られた AMC 溶解度の温度変化は整合していることが分かった。

閉鎖湖の CO_2 収支に関するプロセスの理解には析出する炭酸塩の熱力データや生成に関する研究が不可欠である。本研究は閉鎖湖の CO_2 収支プロセスの解明に寄与すると考える。

Keywords: Amorphous Magnesium Carbonate, Solubility

*Corresponding author: takuma.sizen@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

イリデッセントラブラドライト長石の炭素軽元素の混入

三浦保範（元山口大）

Mixing of carbon element in iridescent labradorite feldspar

Yasunori MIURA　(Post Yamaguchi Univ.)

Iridescent labradorite plagioclase is “environmental mineral” that can control carbon element. The recent analytical electron microscopic observations reveal that carbon element is detected in lamellar texture with higher carbon at Ca-rich lamellar parts. Possible carbon sources are expected from biological fossil and limestone (local geology) near the samples as well as air-water environments.

はじめに： 筆者のラブラドライト斜長石の発光現象（イリデッセンス）の解明を行った。当時の電子顕微鏡観察によるラメラ構造観察（分析電子顕微鏡観察・イオン照射観察）を報告したが軽元素は観察しなかった。本件では最新機器観察で炭素元素を検討する。

新入手試料による特徴：地殻の深成岩起源であるが地球活動での破砕や混入が顕著で試料の風化が進み CO2 炭酸ガス運搬（石灰岩）を支援していると思われる。

ラメラ組織の発光現象の寄与：本斜長石だけでなくは発光性鉱物（石英）に微細ラメラ組織が観察され普遍的な現象である。

極限現象と固体システム圏：極限三大現象（隕石衝突、地震、火山）はその箇所の「局所現象」で不活動天体では全圏的となる。

鉄鋼の微細組織の炭素量の寄与：砂鉄から木炭燃焼でタララ製法（中世の中国地方の製鉄）でも炭素を使用している。

赤色斜長石の流動固結状の発光分布：南半球の島産（石灰岩分布）には赤色（虹色）発光の斜長石が産出し、北米の青色発光長石とは違い、炭素軽元素が取り込まれ固化時に一部固化して残存または蒸発したと思われる。

最新分析顕微鏡(FESEM)による観察：　本件の試料では、炭素が濃縮している箇所やCa含有量が多くなると炭素量が多くなった。また、ラメラ組織の均質性がなく微細な集合体のラメラ組織が交差を繰り返している特徴が得られている。これは構造的なものか炭素の影響なのか更に検討する必要がある。これまで前者で考えていたが、軽元素の寄与の効果があると考える。宝石や健康に本試料は世界的に好評であるが、地球地殻の環境維持鉱物（炭素の交換）でもある。

まとめ：本件は下記のようにまとめられる。１）イリデッセンスのラブラドライト斜長石は炭素を出し入れできる環境鉱物である。２）同資料の最新式電顕観察から炭素やCa量が高いラメラ組織から炭素が検出される。３）炭素源として環境以外生物源や石灰岩（現地）が考えられる［1-3］。

参考文献：［1］Miura Y. et al. (1973): Geol.Soc. Japan,11,145-165. [2] Miura Y. (1982):Am. Min., 63, 584-590.　[3] Miura Y. (2006)IMA-2006 (Kobe) 1348, 163.

Keywords: Iridescent labradorite, Carbon content, fossil and limestone sources. *yasmiura50@gmail.com*

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R8：変成岩とテクトニクス

2021年9月16日(木) 15:30 ~ 17:00 | Zoom Session 1

R8：変成岩とテクトニクス

座長:遠藤 俊祐(島根大学)、纐纈 佑衣(名古屋大学)

[座長]
遠藤 俊祐：R8-01〜R8-03
纐纈 佑衣：R8-04〜R8-06

15:30 ~ 15:45

[R8-01] ラマン地質圧力計における問題点の検証

*纐纈 佑衣[1]、冨岡 優貴[1]、西山 忠男[2]、榎並 正樹[3] (1. 名古屋大・院環境、2. 熊本大学、3. 名古屋大学)

15:45 ~ 16:00

[R8-02] **超高圧変成岩のレオロジー研究〜中国大別山のヒスイ石英岩を例として〜**

*道林 克禎[1]、浅野 航平[1]、竹林 智大[1] (1. 名古屋大学・院環境)

16:00 ~ 16:15

[R8-03] **四国西部, 唐崎マイロナイトの変形温度条件の制約**

*中村 佳博[1]、宮崎 一博[1] (1. 産総研地質調査総合センター)

16:15 ~ 16:30

[R8-04] Coalescing detrital zircon geochronology and litho-structural mapping in identification of MBT in Himachal Himalayas

*Sarkar Dyuti Prakash[1]、Ando Jun-ichi[1]、Das Kaushik[1]、Ghosh Gautam[2] (1. Hiroshima Uni.、2. Presidency Uni.)

16:30 ~ 16:45

[R8-05] **The Physico-chemical evolution of carbonaceous material during low-grade metamorphism of Archean stromatolites by Raman spectroscopy and carbon isotopes**

*Sasidharan Kiran[1]、Satish-Kumar Madhusoodhan[1]、Nakamura Yoshihiro[2]、Hokada Tomozaku[3]、Ohfuji Hiroaki[4] (1. Niigata Uni.、2. Geological Survey of Japan, AIST、3. National Institute of Polar Research、4. Tohoku Uni.)

16:45 ~ 17:00

[R8-06] インドSarwar-Junia断層帯に露出するシュードタキライト形成の摩擦溶融プロセス

*岡崎 淳哉[1]、安東 淳一[1]、Das Kaushik[1] (1. 広島大・院理)

ラマン圧力計における問題点の検証

纐纈佑衣*（名古屋大学），冨岡優貴（名古屋大学）
西山忠男（熊本大学），榎並正樹（名古屋大学）

Verification of problems in Raman barometry

Yui Kouketsu* (Nagoya Univ.), Yuki Tomioka (Nagoya Univ.),
Tadao Nishiyama (Kumamoto Univ.), Masaki Enami (Nagoya Univ.)

【はじめに】 ラマン圧力計は，ホスト鉱物中に包有された鉱物をラマン分光分析し，スペクトルのピーク位置のシフトから残留圧力を見積もる事で，変成岩が被った変成圧力を推定する手法である。Enami et al. (2007)では，ザクロ石中の石英包有物を用いた Quartz-in-Garnet ラマン圧力計が提案され，変成相の区別が可能であることが示された。Enami et al. (2007)では，残留圧力を評価する指標として，石英の 464cm^{-1} と 205cm^{-1} のピーク位置の幅(ω_1)を用いている。この残留圧力の評価方法は，ラマンスペクトルの室温の変化に伴うピークのドリフトを相殺できる簡便かつ画期的なアイデアである。一方，近年のラマン圧力計では，ピーク幅は誤差が大きいという理由のため，輝線を用いたピーク位置の補正を行う手法が主流となっている。輝線を用いた補正は，ピーク位置の決定精度を大幅に向上させる(0.05cm^{-1}: Odake et al., 2008)が，変成岩の変成圧力を決定する際に，そこまでの精度が必要であるかは十分に検証されていない。また，近年の研究では，残留圧力ではなく，歪を求めることで平均応力を算出して変成圧力を制約する手法も提案されており，残留圧力からダイレクトに変成圧力へ変換する手法に対する問題点も呈されている(Bonazzi et al., 2019; Mazzucchelli et al., 2021)。本研究では，このような近年のラマン圧力計の状況をふまえて，下記の 2 点について検証を行った：(1) ピーク幅ω_1を用いた残留圧力値の誤差の評価，(2) 天然試料中に含まれる石英包有物の残留圧力の異方性と歪の値の検証。

【標準試料の長期間測定】 2019 年から 2020 年にかけて分析したブラジル産石英自形結晶のラマンスペクトルの変動を検証した。その結果，ピーク幅ω_1 の値の差は最大で 0.6cm^{-1} であった。この結果は，Enami et al. (2007)で報告されている 5 時間連続観察した石英ラマンスペクトルのうち，最もドリフトの大きい 205cm^{-1} ピークの誤差(±0.3cm^{-1})と調和的である。

【残留圧力の異方性と歪】 三波川帯石英エクロジャイト中に含まれるザクロ石中の石英包有物のラマンマッピングを行い，残留圧力値の分布を検証した。その結果，石英包有物の形に依存した粒界付近の応力集中は見られたが，顕著な異方性は確認されなかった。一方で，Angel et al. (2019)にて公開されている歪計算ソフト stRAinMAN を用いて石英包有物の歪を計算した結果，多くの包有物は静水圧条件から外れ，*c* 軸方向(ε_3)に応力が緩和する傾向が見られた。

【議論】 長期間観測した石英のピーク幅の差は最大で 0.6cm^{-1} であった。これは，残留圧力値に換算すると 20MPa 程度であり，変成岩の圧力を評価するうえで大きな支障はないと言える。Bonazzi et al. (2019)では，弾性異方性の強い石英包有物は偏差応力条件下で包有されていると主張しているが，天然試料において顕著な異方性は確認されず，静水圧条件と仮定しても問題ないことが示唆された。これは，Bonazzi et al. (2019)ではピストンシリンダーを用いた合成実験試料を用いているため，静水圧から大きく外れた可能性が考えられる。一方で，歪計算では静水圧条件から外れた結果となったが，歪計算に用いる係数も合成実験試料を用いている(Murri et al., 2018)ため，歪計算の手法そのものを慎重に検証する必要がある。

[引用文献] Bonazzi et al. (2919) *Lithos*; Enami et al. (2007) *American Mineralogist*; Mazzucchelli et al. (2021) *American Mineralogist*; Murri et al. (2018) *American Mineralogist*; Odake et al. (2008) *Applied Spectroscopy*

Keywords: Raman barometry, quartz Raman spectrum, peak calibration, strain, hydrostatic pressure
*Corresponding author: kouketsu.yui@nagoya-u.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

超高圧変成岩のレオロジー研究 ～中国大別山のヒスイ石英岩を例として～

道林克禎・浅野航平・竹林知大（名古屋大学・院環境）

Rheological study of ultrahigh pressure metamorphic rocks: an example from Jadeite-quartzite, Dabie-Shan, China

Katsuyoshi MICHIBAYASHI*, Kohei ASANO, Tomohiro TAKEBAYASHI (Nagoya Univ.)

中国の Dabie-Sulu 造山帯では、超高圧変成岩が産出する(Cong, 1996; Ji et al., 2003)。一般的に、超高圧変成岩は超高圧条件の指標となるコース石またはその仮像を含む。超高圧変成岩は Dabie-Sulu 地域のみならず、多くの大陸衝突帯においてその産出が報告され、大陸衝突帯における物質循環の情報が記録されているため、これまでに岩石学的、同位体地球化学的側面から、数多くの研究が行われてきた。しかし、超高圧変成岩は、最深部から地殻中部への上昇時に、後退変成作用による再結晶化によって岩石組織を改変されやすいため、超高圧変成条件における変形微細構造を保持する例はあまり報告されていない(Fan and Yan, 2019)。そのため、超高圧条件での地殻物質の流動特性に関する理解はあまり進んでいない。本研究では、超高圧条件における超高圧変成岩の変形微細構造と結晶方位ファブリックに注目し、大陸衝突帯の地下深部での地殻物質の流動特性を考察することを目的とした。

研究試料として、Dabie-Shan の超高圧変成帯に属する Bixiling 地域から苦鉄質－超苦鉄質岩 3 試料(エクロジャイト、ザクロ石単斜輝岩、ザクロ石カンラン岩)を、また Shuanghe 地域から珪長質岩 1 試料(ヒスイ輝石－石英岩)を採取した。研究方法として、鉱物の同定・主要元素組成分析は EPMA、微細構造観察は偏光顕微鏡と鉱物相マップ、結晶方位解析は SEM-EBSD システムを用いて分析を行った。

本研究の試料は石英を除き、超高圧条件における変形微細構造を保持していた。各試料に含まれるザクロ石は、苦鉄質－超苦鉄質岩と珪長質岩の間で、異なる変形微細構造と結晶方位ファブリックを示し、苦鉄質－超苦鉄質岩では、細粒な粒子の集合層・ランダムな結晶方位定向配列（CPO）をもち、珪長質岩では、粗粒で伸張した粒子・弱い CPO を示した。これらの違いは、超高圧条件でそれぞれの岩石相が受けた歪の程度を表すと考えられ、観察された変形微細構造について、各岩石試料が受けた歪の程度に基づいて主に 2 種類に分類した。1 つは大きな歪を受けた苦鉄質－超苦鉄質岩、もう 1 つが比較的大きな歪を受けていない珪長質岩である。

岩相による変形微細構造の違いは、超高圧条件において、珪長質岩が苦鉄質－超苦鉄質岩と比較してあまり変形していないことを示す。コース石は 700℃(Dabie-Shan に産出する超高圧変成岩の推定ピーク変成温度、Zhang et al., 1995)の温度条件において、石英と比較しておよそ一桁大きい流動強度をもつため、超高圧条件において、珪長質岩の主要な鉱物だったコース石が珪長質岩全岩の流動強度を増加させた結果、珪長質岩は苦鉄質－超苦鉄質岩よりも小さな歪しか受けなかったと考えると、変形微細構造の違いは説明される。

また、観察された岩相による変形微細構造の違いは、超高圧条件において、苦鉄質－超苦鉄質岩に歪の局所化、つまり延性剪断帯を形成したことを示唆する。高圧－超高圧条件における延性剪断帯の形成は、沈み込み帯において沈み込むリソスフェアから地殻物質が分離して地表へ上昇するために必要とされるプロセスである(Warren, 2013)。従って、珪長質岩に含まれるコース石の物性が超高圧条件下で苦鉄質－超苦鉄質岩に歪を局所化させる要因となっており、超高圧変成岩の上昇を誘導しているのかもしれない。

Cong, B. L. (1996) Science Press, 226pp.
Fan, A. and Yan, Z-Z. (2019) Journal of Structural Geology, **124**, 8-22.
Ji, S. et al. (2003) Tectonophysics, **370**, 49-76.
Warren, C. J. (2013) Solid earth, **4**, 75-92.
Zhang, R. Y. et al. (1995) Journal of Petrology, **36**, 1011-1037.

Key words: UHP, Jadeite-quartzite, coesite, quartz, CPO, rheology, Dabie-Shan
*Corresponding author: michibayashi@nagoya-u.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

四国西部，唐崎マイロナイトの変形温度条件の制約

中村佳博*，宮崎一博 (産総研)

Constraint on deformation temperatures of the Karasaki mylonite, western Shikoku

Yoshihiro NAKAMURA*, Kazuhiro MIYAZAKI (Geological Survey of Japan, AIST)

愛媛県松山市南方には，ナップ構造によって肥後変成岩起源のマイロナイトが小規模に露出する．このマイロナイト(以下唐崎マイロナイト)は，中央構造線深部の初生構造を保存している可能性があるため，西南日本の白亜紀―古第三紀テクトニクスを議論する上で重要な断層岩である．先行研究では，唐崎マイロナイトは下盤側の三波川変成岩と共に大きく褶曲しており，上昇中に下盤と接合して変形したと示唆されている．一方で三波川変成作用を被っていないと報告されており，マイロナイト形成時の接合条件に不明な点が多い．そこで本研究では，詳細な唐崎マイロナイトの変形・変成作用解析からマイロナイト形成場の制約を試みた．

本研究では，双海地域に産出する角閃岩マイロナイト，ザクロ石角閃岩マイロナイト，泥質マイロナイトと下盤側の三波川変成岩を対象に SEM-EBSD 分析による再結晶石英 C 軸ファブリック解析を実施した．鏡下では，すべての試料で非常に大きなアスペクト比の再結晶石英が観察され，不規則な境界を有する．このような微細組織は低温型マイロナイトで一般的に観察されることが多く，中温や高温条件で変形したことを示唆する石英微細組織は保有試料で発見することはできなかった．EBSD 解析では，ほとんどの試料は Rhomb<a>-basal<a> slip が卓越し，多くの場合 Type I cross girdle を示した．Basal <a> スリップ集中から推定する開口角度は 41-48° のものが多く 1 試料は 57° となった．また下盤側の三波川変成岩も Type I cross girdle が卓越し，開口角は 51° となった．以上の開口角度から Faleiros et al. (2016)の opening-angle deformation thermometry を利用すると，約 330-440 ℃の温度条件で唐崎マイロナイトが形成され，下盤側の三波川変成岩も 400℃前後で延性変形を被っている．これらの変形温度は，三波川変成岩の炭質物ラマン温度計(Beyssac et al. 2002)から得られた変成温度(421 ± 41 ℃)とよく一致する．つまり三波川変成岩の最高変成時には，唐崎マイロナイトがすでに上盤側に定置し，沈み込み帯深部で低温のマイロナイト化を被っていたことが今回明らかになった．今後マイロナイトの化学分析を実施し，より詳細な接合条件の制約に関して発表を行う．

[**参考文献**]: Faleiros et al. (2016), *Tectonophysics*, 671, 173–182. Beyssac et al. (2002), *Journal of Metamorphic Geology*, 20(9), 859–871.

Key wards: Karasaki mylonite, Sanbagawa metamorphic rock, EBSD

*Corresponding author: yoshi-nakamura@aist.go.jp (Yoshihiro Nakamura)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Coalescing detrital zircon geochronology and litho-structural mapping in identification of MBT in Himachal Himalayas

Dyuti Prakash SARKAR*(Hiroshima Univ.), Jun-ich ANDO (Hiroshima Univ.), Kaushik DAS (Hiroshima Univ.), Gautam GHOSH (Presidency Univ)

Deformation associated with faults are exhibited at fault core and damage zone. A prerequisite for elucidating deformation mechanisms and fault behavior is identification of the fault core and damage zone. However, fault contacts are not always preserved or easily discernible in outcrop scale. In our current research, one such thrust contact from the regionally prominent Main Boundary Thrust (MBT) of the Himalayan fold-thrust belt, India, has been considered. Large scale mapping of the MBT indicate the occurrence of Proterozoic rocks in the hanging wall and younger Cenozoic rocks in the footwall. The current study comprises the MBT near Gambarpul town of Himachal Pradesh, India. For exact identification of the thrust contact, we conducted detrital zircon geochronology and high resolution litho-structural mapping in the study area. U-Pb detrital zircon geochronology using LA-ICP-MS of the nine sandstone samples indicate a sharp change in age of deposition from 625 (+110 -780) Ma to 61.25(+1.2 -1.5) Ma indicating the thrust contact. Considering the lithological assemblage and the age data, we have identified alternating lithology of argillaceous and arenitic sandstone and the unified depositional age from ca.700 Ma to ca. 500 Ma for the hanging wall rocks. In comparison, the footwall rocks exhibit argillaceous to calcareous sandstone and limestone, and the depositional age of ca. 61 Ma. The U-Pb age and litho-structural data thus suggest the fault contact in the current study area is part of the MBT. The fold geometry indicates the occurrence of non-cylindrical fold in the hanging wall, exhibiting intricate parasitic folds in argillaceous sandstone and fractured large wavelength folding of arenitic sandstone. The footwall exhibits buckle fold with steeper dip of sedimentary beds toward the thrust contact, and gentle dip away from the contact. Furthermore, recent study of calcite thermometry (e-twin morphology and carbonate clumped isotope thermometry) from the area have reported the depth of the fault related calcites to be 10–11 Km. Future research in the study area might help to elucidate the deformation mechanisms of the brittle-ductile transition zone that is represented by the MBT.

Keywords: MBT, U-Pb geochronology, Calcite e-twins

Corresponding author: sarkardp16@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

The physico-chemical evolution of carbonaceous material during low-grade metamorphism of Archean stromatolites by Raman spectroscopy and carbon isotopes

S. Kiran*[1], M. Satish-Kumar[2], Y. Nakamura [3], T. Hokada [4] and H. Ohfuji [5]

1 Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Japan
2 Faculty of Science, Niigata University, Japan
3 Geological Survey of Japan, AIST, Japan
4 National Institute of Polar Research, Tachikawa, Japan
5 Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, Japan

Chitradurga Schist Belt (CSB) in the Archean Western Dharwar Craton (WDC), southern India is a sediment dominated greenstone belt (3-2.5 Ga) that has undergone low- to medium-grade metamorphism with diverse occurrence of carbonates including stromatolites. The present study compares the Raman spectroscopy of CM thermometry (RSCM) and carbon isotope thermometry of the low-grade meta-carbonates to evaluate the changes in the physicochemical conditions of CM included in carbonate rocks during progressive metamorphism and also to understand the role of precursor material and host rocks in the thermal maturation process. Three types of CMs have been recognized in the CSB; a) irregular globular or subhedral type found as inclusions b) aggregates in grain boundaries c) thin and slightly elongated filamentous carbon found along the grain boundaries. The carbonates with type a and b CM are consistent with RSCM and carbon isotope thermometry, meanwhile, the carbonates which possess type c CM has a lower crystallinity (R2 ratio = 0.35), when compared to type a CM (R2 ratio = 0.2) which yielded temperature of equilibration at around 475 and 535 °C, respectively. Contrastingly, the carbon isotopes equilibrated at a lower temperature around 400 °C. The possible reasons for the inconsistencies between the conditions of equilibration might be due to (1) pervasive post metamorphic aqueous hydrothermal fluid infiltration, deduced from the lowering of $\delta^{18}O$ values of carbonates without significant variation in $\delta^{13}C$ (2) the negative $\delta^{13}C$ shift in CM from -8.5 to -13 ‰ caused by dissolution recrystallization following CO_2 degassing, lowered the crystallinity of CM. Here we reach the conclusion that the type a CM might preserve the actual thermal condition and the bulk carbon isotope analysis is not suitable to the temperature estimate as it gets mixed with different types of CM. Therefore, our results suggest that by evaluating the complementary relationship between the physico-chemical properties of CM hosted in carbonates, we can constrain the applicability of both thermometry. Further morphological and carbon isotopic characterization of CM using SEM and HRTEM is being carried out to understand the structural and isotopic evolution and extend of preservation of the precursor material.

Key words:
Raman Spectra of carbonaceous material thermometry
Carbon isotope thermometry
Chitradurga Schist Belt
Hydrothermal infiltration
Degassing and dissolution reprecipitation

* f20n010h@mail.cc.niigata-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

インド Sarwar-Junia 断層帯に露出する シュードタキライト形成の摩擦溶融プロセス

岡崎 淳哉*，安東 淳一，Das Kaushik (広島大・院理)

Frictional melting process during formation of pseudotachylyte, Sarwar-Junia fault zone, India

Jun-ya Okazaki, Jun-ichi Ando, Das Kaushik (Hiroshima Univ.)

はじめに：シュードタキライト（Pst）は、断層の高速すべりに起因する母岩の摩擦溶融によって形成される黒色、非顕晶質な岩石であり、断層面に沿って脈状、ネットワーク状に発達する。そのため、Pst は過去の断層運動の情報を保持する重要な岩石である。通常、Pst は脆性変形領域で形成されるが、塑性変形しているものやマイロナイトに関連している Pst が報告されており（例えば、Chattopadhyay et al., 2008）、塑性変形領域で断層運動が発生していることを示唆している。塑性変形領域での断層発生メカニズムには、脆性変形領域からのすべりの伝播や塑性不安定性が提案されているが、現在も議論が続いている。本研究では、インド Sarwar-Junia 断層帯から採取された花崗片麻岩中に発達する 2 種類の Pst 試料を用いて、微細組織観察と鉱物相同定の結果から、それぞれの摩擦溶融プロセスと塑性変形領域での断層発生メカニズムを明らかにすることを目的とした。

結果：野外観察において、母岩の面構造に対して、平行な Pst 脈（P-Pst）と大きく斜交する Pst 脈（C-Pst）の 2 種類の系統的な Pst 脈を確認した。P-Pst は母岩の塑性変形と同様の応力場で形成されたと考えられる。

微細組織観察では、どちらの Pst 脈も両端にメルトの急冷によって形成された黒色の急冷縁が存在している。P-Pst の急冷縁の幅は C-Pst のものより大きい。これは冷却速度の違いを示唆しており、冷却速度が P-Pst では比較的遅く、対して C-Pst では比較的速いと考えられる。Pst 脈中にクラストとして残っている鉱物を比較すると、P-Pst は主に石英、珪線石であるのに対し、C-Pst ではそれらに加えて、斜長石、カリ長石が多く存在している。加えて、母岩に多く含まれていた黒雲母は、どちらの Pst 脈でもクラストとして残っていないため、Pst 形成時に完全に溶融したことが考えられる。一方、特に P-Pst で、多数の針状の黒雲母が基質中に存在しており、これらはメルトからの晶出によって形成されたと考えられる。これらの鉱物の融点から、メルトの最高温度は P-Pst で 1400-1726 ℃、C-Pst で 1200-1300 ℃であったと考えられる。ただし、非平衡溶融や黒雲母の脱水による融点の降下を考慮すると、実際の温度は推定より低いと考えられる。上記から、P-Pst と C-Pst は塑性変形領域と脆性変形領域でそれぞれ形成されたと考えられ、それらの摩擦溶融プロセスは以下である。初めに、断層運動によって母岩が破砕され、高速すべりに起因して摩擦溶融が起こる。この時、形成されたメルトの最高温度は、C-Pst より P-Pst の方が高く、斜長石、カリ長石はほとんど溶融した。その後、P-Pst では比較的遅い冷却速度により、C-Pst よりも幅の大きな急冷縁が形成され、またメルトから針状の黒雲母が晶出した。

また、塑性変形領域での P-Pst の形成には、黒雲母の定向配列が関連していることが考えられる。母岩中の黒雲母のへき開面（(001)）の方向は不規則であるが、Pst 脈に近づくにつれて、片理面（もしくは Pst 脈）に平行な向きに定向配列している。黒雲母の（001）は層間陽イオンによって結合しており、その強度は非常に小さい。この観察結果から、黒雲母の（001）が断層運動の弱面として働き、この面上で応力集中が引き起こされ、歪速度が増加することによって、塑性変形領域中で脆性破壊が起こったと考えられる。

Keyword: Pseudotachylyte, Fault activity, Frictional melting, Ductile deformation zone
E-mail address: d202541@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共通 セッション）

2021年9月17日(金) 14:00 ~ 16:45 | Zoom Session 2

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共通 セッション）

座長:黒澤 正紀(筑波大学)、門馬 綱一(国立科学博物館)、坂野 靖行(産総研)

[座長]
黒澤 正紀：R1-01〜R1-04
門馬 綱一：R1-05〜R1-07
坂野 靖行：R1-08〜R1-11

14:00 ~ 14:15

[R1-01] 分析電顕での吸収補正による定量分析の特徴と問題点

*藤野 清志[1]、富岡　尚敬[2]、大藤 弘明[3] (1. 無所属、2. 海洋研究開発機構、3. 東北大)

14:15 ~ 14:30

[R1-02] Caに富む輝石の*M*1席Fe^{2+}の電場勾配テンソルと鉄の固溶成分の相関

福山 大毅[1]、*篠田 圭司[1]、小林 康浩[2] (1. 阪市大・院理、2. 京大・複合研)

14:30 ~ 14:45

[R1-03] マントル起源のカンラン石・蛇紋石に含まれるU・Th・PbのICP-MS定量分析結果

*加藤 丈典[1]、小坂 由紀子[3]、淺原 良浩[2]、纐纈 佑衣[2]、道林 克禎[2] (1. 名大・ISEE、2. 名大・院環境、3. 名大・ISEE, 高知大)

14:45 ~ 15:00

[R1-04] 国産アコヤ真珠の養殖地による微量元素の相違

*江森 健太郎[1]、北脇 裕士[1]、佐藤 昌弘[2]、矢﨑 純子[2] (1. 株式会社中央宝石研究所、2. 真珠科学研究所)

15:00 ~ 15:15

[R1-05] 福島県多田野産加藤石榴石に含まれる硫黄の原子位置について

*坂野 靖行[1]、門馬 綱一[2]、宮脇 律郎[2]、豊 遙秋[3] (1. 産総研、2. 国立科博、3. 東大総博)

15:15 ~ 15:30

[R1-06] 岡山県津山地域加治子山に産するベイサナイト中のCaに富むネフェリン及び共生鉱物の産状と成因

「発表賞エントリー」

*米岡 佳弥[1]、濵田 麻希[1]、荒井 章司[1] (1. 金沢大・院自)

15:30 ~ 15:45

[R1-07] 長崎変成岩西彼杵ユニット中に産するリストベナイト中のNiの局所構造とNi鉱物

*鵜木 康平[1]、西山 忠男[1]、北原 銀河[1]、吉朝 朗[1]、徳田 誠[2]、湯蓋 邦夫[3]、杉山 和正[2] (1. 熊大　院理、2. 東北大、3. 九州大)

15:45 ~ 16:00

休憩

16:00 ~ 16:15

[R1-08] 福岡県飯塚市八木山産の円筒状アメサイト

一色 優希[2]、武田 侑也[2]、*上原 誠一郎[1]、延寿 里美[3] (1. 九州大・博物館、2. 九州大・院理、3. 愛媛大・理工)

16:15 ~ 16:30

[R1-09] **北部フォッサマグナ地域から産出した千葉石の続報**

*門馬 綱一[1]、宮島 宏[2]、下林 典正[3]、石橋 隆[4]、高山 信之[5]、長瀬 敏郎[6]、宮脇 律郎[1]、松原 聰[1]、井尻 暁[7]、古川 善博[8] (1. 国立科博、2. 糸魚川市議会議員、3. 京大・院理、4. 益富地学会館、5. フォッサマグナミュージアム友の会、6. 東北大総学博、7. 神戸大学、8. 東北大・院理)

16:30 ~ 16:45

[R1-10] **北海道手稲鉱山から産出したMn^{2+}が卓越する安四面銅鉱**

*門馬 綱一[1]、清水 正明[2]、草葉 陽子[1]、大木 良弥[3] (1. 国立科博、2. 北陸能開大、3. 日本地学研究会)

分析電顕での吸収補正による定量分析の特徴と問題点

藤野清志*，富岡尚敬(海洋研究開発機構)，大藤弘明（東北大）

Characteristics and problems of absorption correction in quantitative chemical analysis by ATEM

Kiyoshi Fujino*, Naotaka Tomioka (JAMSTEC), Hiroaki Ohfuji (Tohoku Univ.)

1. はじめに

分析電顕による化学組成の定量分析では，以下の Cliff-Lorimer の式が広く用いられる．

$$\frac{C_i}{C_j} = k_{ij}\frac{I_i}{I_j} \qquad (1)$$

ここに，C_i，C_jは i，j 元素の重量%，I_i，I_jは i，j 元素の X 線強度，k_{ij}は k ファクターと呼ばれる．K_{ij}が既知なら，I_i，I_jを測ることで C_i，C_jが得られる．逆に C_i，C_jが既知の試料で I_i，I_jを測れば，k ファクターが実験的に得られる．多くの場合は，同じ鉱物種の同じような組成でkーファクターの厚さに対する検量線を求めておき，未知試料の k ファクターをその検量線上に求めて定量計算を行っている．この方法は簡便ではあるが，平均原子番号が大きく異なる試料には使えない．しかし，同じ鉱物種の検量線を外挿して厚さ 0 での k ファクターを実験的に求めておけば，理論的な吸収補正計算によって幅広い組成範囲で試料の定量分析を行う事ができる．

吸収補正計算による定量分析はこのような利点を持つが，適正な使用法が確立されてないため，あまり広く使われていない．我々はこの吸収補正計算による定量分析で，簡便で有効な使用法を見出したので，紹介する．

２．吸収補正計算による定量分析

吸収補正計算による定量分析では，式(1)の k_{ij}として，$k_{ij} = K^0_{ij}A(\Delta t)$を用いる．$K^0_{ij}$は厚さ 0 での k ファクター，$A(\Delta t)$は厚さ Δt での吸収補正項で，以下の式になる．

$$A(\Delta t) = \frac{\mu_i^m}{\mu_j^m}\cdot\frac{\{1-exp(-\mu_j^m\rho\Delta t\alpha)\}}{\{1-\exp(-\mu_i^m\rho\Delta t\alpha)\}} \qquad (2)$$

$\alpha = \mathrm{cosec}\,\theta$

ここで，μ^m_i，μ^m_j は i, j X 線に対する質量吸収係数，ρ は試料の密度，θ は検出器の X 線取り込み角である．最近の分析ソフトでは，どれもこの計算式を用いている．

吸収補正計算では，酸素を独立の元素として計算する場合と，すべて酸化物として計算する場合の２通りがある．前者の場合は，未知な薄膜の厚さを選ぶのに，酸素の値が理想化学式通りになるようにする，あるいは電荷中和となるようにする(E. Van Cappellen の方法）等の選択が行われている．一方，後者の場合は，すでに電荷中和は成り立っているので，酸素の値が理想化学式通りになるようにする等の選択が行われている．しかし，どのように厚さを選択すれば正確な組成が得られるかの方法が確立されておらず，選んだ薄膜の厚さが実際の厚さと同じかどうかについても，ほとんど議論されてこなかった．

３．結果

今回，我々はあらかじめ厚さを実測した組成既知の試料を用いて，それぞれの計算法で得られた組成が正確なのはどの方法か，またその時に選んだ厚さは実測の値と合うかどうかを調べた．結論として，酸素を独立元素として計算するよりも，酸化物として計算した方が正確な組成が得られることが分かった．その際の厚さを選ぶのに用いた有効な方法と，そうして選んだ厚さが実測に比べてどうであるか等について，講演で報告したい．

Keywords: Analytical TEM, quantitative chemical analysis, absorption correction.

*Corresponding author: kfujino7241@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Ca に富む輝石の *M*1 席 Fe^{2+}の電場勾配テンソルと鉄の固溶成分の相関

福山大毅(阪市大・理), 篠田圭司 (阪市大・理), 小林康浩 (京大・複合研)

Compositional dependence of EFG tensor of Fe^{2+} in *M*1site of Ca-rich pyroxene

Daiki Fukuyama (Osaka City Univ.), Keiji Shinoda* (Osaka City Univ.),
Yasuhiro Kobayashi (KURNS)

^{57}Fe Mössbauer spectroscopy has been used widely to analyze Fe^{2+} and Fe^{3+} ratio in minerals. Recently, Mössbauer microspectroscopy is used to measure the spectra of individual single crystal in a thin section. There are two crystallographically different cation sites named *M*1 and *M*2 in pyroxene structure. Fe^{2+} ions which occupy *M*1 and *M*2 sites give similar and overlapping quadrupole doublet. For powdered samples, intensity of quadrupole doublet can be assumed to be equal. However, intensity of quadrupole doublet of single crystal thin section is not equal and depends on the direction between γ-ray and crystallographic axes. Therefore, peak intensities of two doublets are necessary for reliable peak analyses of Mössbauer spectra which include similar and overlapping quadrupole doublets. The electric field gradient (EFG) tensor of the ^{57}Fe Mössbauer nucleus gives a constraint on the intensity of quadrupole doublet. Zimmermann (1975, 1983) introduced an experimental determination method of the EFG tensor from the Mössbauer spectrum of a single crystal and proposed a formulation of the EFG tensor from the intensities of the component peaks of an asymmetric Mössbauer doublet. Using Zimmermann's formulation, Shinoda and Kobayashi revealed the EFG tensor of Fe^{3+} in the octahedral *M*1 site of aegirine (JMPS, 2019). In this study, we measured Mössbauer spectra of thin sections of single crystal of Ca-rich pyroxenes (diopside, augite and hedenbergite) and calculated EFG tensors of three different compositional pyroxene from intensity variation of quadrupole doublet. Crystallographic orientation of three pyroxenes were determined using X-ray precession camera. From three EFG tensors of this study and an EFG tensor studied by Tennant et al. 2000, we will discuss compositional dependence of EFG tensor of Fe^{2+} in *M*1site of Ca-rich pyroxene.

Keywords:Mössbauer spectroscopy, microspectroscopy, electric field gradient, Ca-rich pyroxene
*Corresponding author: shinodakeiji@osaka-cu.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

マントル起源のカンラン石・蛇紋石に含まれるU・Th・Pbの ICP-MS 定量分析結果

加藤丈典（名古屋大）・小坂由紀子（名古屋大・高知大）・淺原良浩・纐纈佑衣・道林克禎（名古屋大）

Preliminary report on ICP-MS quantitative analysis of U, Th, and Pb in mantle-derived olivine and serpentine

Takenori Kato* (Nagoya Univ.), Yukiko Kozaka (Nagoya Univ, Kochi Univ.), Yoshihiro Asahara, Yui Kouketsu and Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya Univ.)

マントルの化学的不均質性が地震波や Sr、Nd、Pb 同位体比などから議論されている。しかし、厳密なモデルは確立されておらず、より多くの情報が必要とされている。また、マントル物質に含まれる微量元素濃度も、上部マントルをモデル化するうえで重要な役割を果たすと考えられる。

カンラン石は上部マントルの主要構成鉱物である。しかし、カンラン石の微量元素濃度分析は玄武岩・斑レイ岩に含まれるものや熔融実験の結果などがほとんどであり、マントルに直接由来するカンラン石中の微量元素濃度の報告は多くない。特に、アクチノイドであるウラン（U）やトリウム（Th）と、その放射壊変で生成される鉛（Pb）については、限られた報告しかない（Heier & Carter, 1964; Cargnan et al., 1996; De Hoog et al., 2010 など）。本研究では、マントル由来のカンラン石、および、蛇紋石について U、Th および Pb の濃度を定量分析し、それらの元素の濃度範囲を明らかにすることにした。

カンラン石試料は、ハルツバージャイト（トンガ海溝）、レルゾライト（マリアナ海溝）、キンバーライト中のザクロ石レルゾライト捕獲岩（南アフリカ・キンバリー）及び玄武岩中の捕獲岩（中国・大麻坪）を用いた。

蛇紋石類は、蛇紋岩（マリアナ海溝）、アンチゴライト（京都府）、リザーダイト及びクリソタイル（鉱物標本）の各試料を用いた。

岩石試料については鉱物を粉砕し、包有物の認められない試料を実体顕微鏡で採取した。試料を酸分解し、名古屋大学環境学研究科の ICP-MS（アジレント・テクノロジー製 7700x）を用い、XSTC-331（SPEX）を標準物質として定量分析を行った。

カンラン石中の U、Th、Pb の濃度はいずれも数百 pg/g～数十 ng/g であった。また、蛇紋石はいずれも数 ng/g～数百 ng/g の範囲内であった。

（１）いずれの試料も検出可能な濃度の U、Th、Pb を含んでいること、（２）産状によるばらつきがあること、および、（３）蛇紋石はカンラン石よりも多くの U、Th、Pb を含んでいることが示された。

Keyword: olivine, serpentine, trace elements, ICP-MS, mantle

*Corresponding author: kato@nendai.nagoya-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

国産アコヤ真珠の養殖地による微量元素の相違

江森健太郎、北脇裕士(中央宝石研究所)、
佐藤昌弘、矢﨑純子(真珠科学研究所)

Differences of trace element in Japanese Akoya Cultured Pearl

Kentaro Emori*, Hiroshi Kitawaki (Central Gem Laboratory),
Masahiro Sato, Junko Yazaki (Pearl Science Laboratory)

In order to try for origin determination of pearl using LA-ICP-MS, we analyzed changes through the treatments of pearls and differences among “Shima, Mie”, “Komobuchi, Ehime”, “Amakusa, Kumamoto”, “Iki, Nagasaki”, “Tsushima, Nagasaki” and “Sasebo, Nagasaki”.

近年、アコヤ養殖真珠は、海外でも養殖がおこなわれているが、JAPAN ブランドとしての国産アコヤ養殖真珠の人気は高い。また、他分野でよく話題となるトレーサビリティーの問題からも国産アコヤ養殖真珠の産地鑑別は商業的な意義があり、養殖地による微量元素の相違は自然科学的にも興味深い。

毎年母貝から取り出され加工される宝石である。加工は薬品等に浸漬する作業を伴うため、真珠層中のタンパク質に含まれる成分が流出、もしくは薬品成分の沈着が想定される。また、養殖する海域の化学組成も毎年均一でない可能性があるため、浜揚げされた年による微量元素濃度差がある可能性も存在する。

本研究では真珠の産地鑑別の可能性を探るため、LA-ICP-MS による真珠の加工による真珠の微量元素の変化、また、浜揚げ産地による微量元素の差を比較した。

加工による微量元素の変化は、産地毎に行うべきであるが、産地・加工過程が多く、煩雑になるため、比較的近い同一県内である長崎県対馬・壱岐・佐世保で浜揚げされたアコヤ養殖真珠計 20 点をサンプルとして用いた。未加工の浜揚げ珠 5 点、浜揚げ後、メタノールを用い 50℃で一晩前処理を行った真珠 5 点(前処理珠)、前処理後に 2%過酸化水素水を用い 1~6 週間漂白した真珠 5 点(漂白珠)、漂白後 0.1%の染色溶液を用い一晩調色を行った 5 点(調色珠)に分け、分析を行った。

また、産地による違いを確認するため、2021 年三重県志摩、愛媛県蒋渕、熊本県天草、長崎県壱岐・対馬・佐世保の 6 つの産地で浜揚げされたアコヤ養殖真珠 10 点ずつ分析を行った。

分析に用いた LA-ICP-MS 装置は LA 装置として NWR UP-213、ICP-MS 装置として Agilent 7900rb を用いた。

加工の変化を追った結果、それぞれの元素に多少の変動が見られたが、誤差範囲で違いを見出すことはできず、加工過程による元素の動きを追うことはできなかった。

また 2021 年浜揚げを行った 6 つの産地の真珠について三重県志摩産の真珠からは他産地と比較し Mn が多く、長崎県の産地は Mg が少ないという特徴が見いだされた。また、線形判別分析のアルゴリズムを用いて分別したところ、長崎県の 3 つの産地(壱岐・対馬・佐世保)の区別は難しいが、三重県、愛媛県、熊本県、長崎県の 4 つの県の区別が可能であることが判った。

LA-ICP-MS を用いた真珠の産地鑑別については、加工による影響、海洋による影響が存在する上、生産地も多く、調査しなければいけない項目は非常に多い。しかし、本研究において県別の区別を行うことができた。これは、海域による影響の違いが真珠に影響を与えていると推測される。

Keywords: Akoya Cultured Pearl, LA-ICP-MS
*Corresponding author: emori@cgl.co.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

福島県多田野産加藤石榴石に含まれる硫黄の原子位置について

坂野靖行*（産総研）・門馬綱一・宮脇律郎（国立科博）・豊　遙秋（東大総博）

Sulphur atom positions of katoite from Tadano, Fukushima Prefecture, Japan

Yasuyuki Banno* (AIST), Koichi Momma, Ritsuro Miyawaki (NMNS),
Michiaki Bunno (Univ. of Tokyo)

加藤石榴石は石榴石超族鉱物の 1 種である。石榴石超族の一般組成式は $\{X_3\}[Y_2](Z_3)\varphi_{12}$ と表現され，灰礬石榴石―加藤石榴石系列の一般組成式は $\{Ca_3\}[Al_2](Si_{3-x}\square_x)O_{12-4x}(OH)_{4x}$ と表現でき，Ca が *X* 席（8 配位，24*c* 位置），Al が *Y* 席（6 配位，16*a* 位置），Si 及び空孔(□)が *Z* 席（4 配位，24*d* 位置）を占める。加藤石榴石は少量の硫黄(S)を含むことが知られており，S は$(SO_4)^{2-}$として，すなわち S^{6+}として *Z* 席を占めると考えられている(e.g., Passaglia and Rinaldi, 1984)。

坂野・豊(2019:日本鉱物科学会講演要旨)は福島県郡山市多田野産加藤石榴石の EPMA による化学組成分析を行い，加藤石榴石は少量の S, F, Cl を含むことを明らかにし，S は$(SO_4)^{2-}$として *Z* 席を占めるとした場合，*Y* 席には最大で 0.27 apfu の空孔(□)が存在すると結論づけた。今回この仮説を検証するために多田野産加藤石榴石の単結晶構造解析を行なった。

構造解析用の試料は EPMA により分析を行なった薄片から掘削した加藤石榴石断片（100 x 50 x 30 μm）を使用した。断片の実験式(S は *Z* 位置を占めると仮定，n = 1)は $\{Ca_3\}[Al_{1.466}Fe^{3+}_{0.260}Mg_{0.103}Ti_{0.016}\square_{0.155}]_{\Sigma 2.000}(Si_{1.191}S^{6+}_{0.154}\square_{1.655})_{\Sigma 3}[(OH)_{6.689}O_{5.140}F_{0.119}Cl_{0.052}]_{\Sigma 12}$ である。最初の解析結果は *R*1 = 3.8 %で，*Y* 席の電子数は 29.6 epfu, *Z* 席は 16.9 epfu であった。これらは EPMA 実験式から計算される値（*Y* = 27.4 epfu，*Z* = 19.1 epfu）に比べ，*Y* 席は予想よりも重く *Z* 席は予想より軽い結果となった。そこで S はすべて *Y* 席を占めるとした EPMA 実験式を仮定して電子数を計算すると *Y* = 29.9 epfu, *Z* = 16.7 epfu となり，解析結果から得られる値とよく一致した。差フーリエ図において *Y* 席の周囲に残差が認められたため，それを S と仮定して解析を進めた結果（*S* 席を設定。*S* 席の占有率を EPMA 値の S = 0.154 apfu となるように固定。*Y* 席占有率 + *S* 席占有率 = 1 を仮定），*R*1 は 3.5 %に低下し，*S* 席は 32*e* 位置を占め，原子座標 x = 0.0285(16), y = 0.0285(16), z = 0.0285(16) が得られた。原子間距離から S は$(SO_3)^{2-}$もしくは$(S_2O_6)^{2-}$として存在していると解釈できる。この解析結果から得られる *Y* 席 + *S* 席の電子数は 31.4 epfu, *Z* 席は 17.0 epfu であった。

Keywords: katoite, structure refinement, Tadano
*Corresponding author: y-banno@aist.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

岡山県津山地域加治子山に産するベイサナイト中のCaに富むネフェリン及び共生鉱物の産状と成因

米岡佳弥*、濵田麻希、荒井章司（金沢大・院自）

Occurrence and genesis of Ca-rich nepheline and associated minerals in the Kajishiyama basanite, Tsuyama, Okayama Prefecture, SW Japan

Keiya Yoneoka*, Maki Hamada and Shoji Arai (Kanazawa Uni. Nat.)

準長石族鉱物に属するネフェリンはシリカに不飽和なアルカリ岩に産する鉱物であり、理想化学式は $K_2Na_6Al_8Si_8O_{32}$ ($Z = 1$)で表される。これまでにCaに富むネフェリンは、エチオピアのKorath Range (0.28 atoms per formula unit)や静岡県南崎 (0.319 apfu)から報告されているが、報告例が少なく成因は不詳である。岡山県津山市加治子山ベイサナイトの全岩化学組成およびノルム組成は、鷹村 (1973)により報告され、Hirai and Arai (1983)は初めて同地域のベイサナイト中からネフェリンを発見した。そして、加治子山ベイサナイトのネフェリンは、理想的なものよりもCaに富むことが明らかになった。そこで、加治子山ベイサナイトを構成する鉱物、特にCaに富むネフェリンについて詳細な記載および化学分析を行い、その成因を明らかにしたい。

加治子山ベイサナイトは暗青灰色で塊状細粒であり、カンラン岩捕獲岩及びそれら由来の外来結晶を含む。また、沸石や稀に方解石を含む晶洞が存在する。斑晶はカンラン石と単斜輝石であり、石基はネフェリン、カンラン石、単斜輝石、スピネル、斜長石、アルカリ長石、アパタイト及び沸石で構成される。ネフェリンは不定形の間隙充填鉱物として結晶の間を埋めており、一部、沸石に変質している。

ネフェリンはCaを最大0.467 apfu (CaO, 2.31 wt.%) 含み、他地域のCaに富むネフェリンと比べてもCaに富んでいる。また、ネフェリンのCaO量と全岩の P_2O_5 含有量には負の相関が認められる。

加治子山ベイサナイト中のCaに富む鉱物は、単斜輝石、斜長石及びアパタイトである。産状より、ネフェリンは間隙充填鉱物であるため結晶化の最後のステージで晶出し、針状のアパタイトはネフェリンと前後して晶出したと考えられる。これらから、低Pのベイサナイト質マグマ中ではアパタイトの晶出量が少なくなり、残留メルト中のCa量が高くなるためにCaに富むネフェリンが形成したと考えられる。

Keywords: nepheline, basanite, apatite, calcic

*Corresponding author: kei8.103a@stu.kanazawa-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

長崎変成岩西彼杵ユニット中に産するリストベナイト中のNiの局所構造とNi鉱物

鵜木康平*（熊大）、西山忠男（熊大）、北原銀河（熊大），吉朝朗（熊大），
徳田誠（東北大）、湯蓋邦夫（九大）、杉山和正（東北大）

Local structure of Ni and Ni minerals in listvenite in the Nishisonogi unit Nagasaki metamorphic rocks.

Kohei Unokia* (Kumamoto Univ.), Tadao Nishiyama (Kumamoto Univ.), Ginga Kitahara (Kumamoto Univ.), Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ.), Makoto Tokuda (Tohoku Univ.), Kunio Yubuta (Kyushu Univ.), Masakazu Sugiyama (Tohoku Univ.)

Mineralogical studies of Ni minerals in listvenite in Nagasaki metamorphic rocks were performed by chemical analyses, single crystal structure analyses and XAFS measurements.

長崎変成岩西彼杵ユニット中に産するリストベナイト（炭酸塩化蛇紋岩：石英炭酸塩岩）に含まれるNi鉱物の鉱物学的検討を行った．西彼杵半島西部雪浦には超高圧変成条件を示す蛇紋岩メランジュが産し，その温度圧力条件は450℃，2. 8GPa程度と推定されている[1]．リストベナイトは一般的にはCrとNiに富む岩石であるが，雪浦のリストベナイトにはCr鉱物は少なく，多様なNi鉱物が産出する。Ni鉱物は、Millerite、Ulmannite、Gersdorffite、Violarite、Pentlanditeなど多様であり、PyriteやChalcopyriteも産する。Coは特にViolariteに凝集している。Niを非常に多く含むPhengiteも産する。これらの鉱物は複合粒子を形成しておりその組織から、ChalcopyriteやChromite、Pyriteが初生鉱物であり、その後Violarite、Millerite、Pentlanditeが産し、Gersdorffite、Ulmannite、の順に晶出したと考えられる。化学組成分析と単結晶構造解析、XAFS測定を行った。これらの結果より、デバイ温度のθ_D計算した。θ_Dは高い順からpyrite, Violarite、Millerite、Pentlandite、Ulmannite、Gersdorffiteの順となり、産出順序と良い一致が見られた。UlmannitteとGersdorffiteの固溶体の産状と化学組成から、これらの間に不混和領域が存在することが判明した。この系の新たな相図を提唱する。また、Pentlanditeの結晶構造と化学組成から温度・圧力の推定を行った[2]。雪浦のリストベナイト細粒部分は特徴的な明るい緑色を呈する。XAFS解析から、6配位Ni^{2+}の特徴的な占有が確認できた。Crは Chromiteに主に存在し、CoやNiがカルコゲンやニクトゲン鉱物として沈殿していることなど、他の産地のリストベナイトと異なった点が多く見られた。

［1］T. Nishiyama et al. 2020
［2］K. Tsukimura et al. 1992

Keywords: listvenite (listwanite), Ni minerals, Ulmanite, Gersdorffite, Pentlandite

*Corresponding author: 194d8151@st.kumamoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

福岡県飯塚市八木山産の円筒状アメサイト

一色優希・武田侑也(九大・理・地惑)・上原誠一郎*（九大・博物館）・
延寿里美（愛媛大・理工）

Cylindrical amesite from Yakiyama, Iizuka, Fukuoka Prefecture, Japan

Yuki Isshiki, Yuya Takeda (Dept. Earth & Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ.), Seiichiro Uehara*
(Kyushu Univ. Museum) and Satomi Enjyu (Ehime Univ.)

1. はじめに

蛇紋石は理想組成 $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ で，一般に少量の Fe や Al を含む。Mg に富む蛇紋石鉱物は円筒状のクリソタイル，板状で波状の超構造を持つアンチゴライト，板状のリザーダイトに分類される。蛇紋石と固溶体関係にある鉱物としてアメサイト(理想組成 $(Mg_2Al)(SiAl)O_5(OH)_4$) があり，一般に比較的粗粒の板状結晶として産する。昨年の年会で本産地の蛇紋岩体に伴うロジン岩中の Al-蛇紋石とアメサイトの産状等について報告した。今回，Al-蛇紋石とアメサイトの微細組織観察及び化学組成の検討を行った。その結果，ナノスケールの化学組成不均質および新しい蛇紋石鉱物の微細構造を見いだした。

2. 試料および実験

Al-蛇紋石･アメサイトの微細組織観察と化学組成を走査電子顕微鏡(SEM-EDS: JEOL JSM-7001F 等)および九州大学超顕微解析研究センターの透過電子顕微鏡 (TEM-EDS JEOL JEM-ARM 200CF 等)を使用し検討した。

3. 結果

ロジン岩を切る Mg 端成分組成に近い蛇紋石あるいは Al-蛇紋石からなる細脈に沿ってロジン岩の構成鉱物の変質部があり，Al-蛇紋石，アメサイトなどを生じている。試料 Rod3 では薄茶色透明のアメサイト中に白色不透明の Al-蛇紋石を産すると昨年報告したが，この白色部は微細な結晶で(約 50-300 nm)，化学組成の異なる円筒状，板状，繊維状，不定形の粒子からなっていた(Fig.)。化学組成は 3 相(アメサイト，蛇紋石，蛇紋石＋タルク)に分けられる。この中で円筒状の粒子は内直径 80-250 nm，外直径 120-350 nm，長さ(最長) 2 μm で，Al 陽イオン数 1.3 (O=7) のアメサイト組成である。また，内部に板状結晶を伴うことが多い(Fig. 中の矢印の先)。この円筒状結晶は異常に大きな内径と外径を持つ特徴がある。

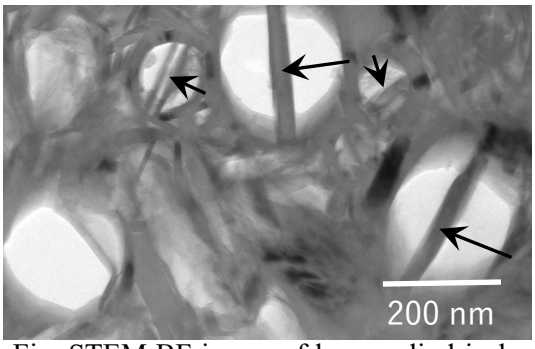


Fig. STEM BF image of large cylindrical amesites in the specimen Rod3 from Yakiyama, Iizuka, Fukuoka Prefecture, Japan. Arrows indicate platy crystals in cylindrical amesite.

Keywords: cylindrical amesite, Al-serpentine, new structure, Yakiyama
Corresponding author: uehara@geo.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

北部フォッサマグナ地域から産出した千葉石の続報

門馬綱一・(国立科博)・宮島宏(糸魚川市議会議員)・下林典正(京大・院理)・
石橋隆(益富地学会館)・高山信之(フォッサマグナミュージアム友の会)・
長瀬敏郎(東北大総学博)・宮脇律郎・松原　聰(国立科博)・井尻暁(神戸大学)・
古川善博(東北大・院理)

Follow-up report on Chibaite from north Fossa Magna area, central Japan

Koichi Momma* (Nat'l. Mus. Nat. Sci.), Hiroshi Miyajima (Itoigawa City Council Member), Norimasa Shimobayashi (Kyoto Univ.), Takashi Ishibashi (Masutomi Mus. Geo. Sci.), Nobuyuki, Takayama (Friends of Fossa Magna Museum), Toshiro Nagase (Tohoku Univ., Mus.), Ritsuro Miyawaki, Satoshi Matsubara (Nat'l. Mus. Nat. Sci.), Akira Ijiri (Kobe Univ.), Yoshihiro Furukawa (Tohoku Univ.)

千葉石は千葉県南房総市荒川から産出し、2011 年に記載されたシリカクラスレート鉱物で、結晶構造中にメタンやエタンなどの炭化水素ガス分子を含むことが特徴である。その後、2013 年の鉱物科学会年会において、世界で2番目となる千葉石の産地として「北部フォッサマグナ地域から産出した千葉石」の報告を行なった。その際、私有地内に位置する露頭の荒廃を懸念して詳細位置は伏せていたが、このたび、地元自治体において天然記念物に指定されたことから、改めて続報として報告する。

千葉石の産出が確認されたのは長野県小谷村沖で、母岩は後期中新世の前沢層に貫入した鮮新世の安山岩の小岩体である。この安山岩体は、破砕構造が顕著であり、一部は角礫状を呈す。安山岩の裂罅および角礫の間を埋めて方解石・石英脈が発達し、部分的には炭酸塩岩質の砂岩が取り込まれている。こうした特徴から、この火成岩体は、未固結の海底堆積物に貫入したハイアロクラスタイトと考えられる。周囲には、堆積岩層に貫入した類似の小規模な火成岩体がいくつか存在するが、顕著な破砕構造を示し、千葉石の産出を確認できたのは、今のところ1つの岩体だけである。

産出する結晶の大半は石英の仮晶に変化しているが、一部、未変質の千葉石が確認された。原産地の千葉石は室温にて立方晶系から正方晶系への対称性低下が見られたが、本産地の千葉石は、単結晶 X 線構造解析の結果、平均構造については、骨格構造の最高の対称性である $Fd\bar{3}m$ であった。しかし、差フーリエ図では、酸素原子の周囲に顕著に残差がみられ、酸素原子がその平均位置の周囲に統計的にディスオーダーすることで、ローカルな対称性は依然として $Fd\bar{3}m$ よりも低下していることが示唆される。ガスクロマトグラフ同位体質量分析計による分析の結果、千葉石中のガス分子のモル比は、メタン 55%、CO_2 38%, その他 *i*-ブタン、プロパン、エタン、*n*-ブタンの順であった。メタンの $\delta^{13}C$ は –42.2‰であった。この同位体比は、熱分解起源のメタンの同位体比(およそ –25‰ ～ –50‰)と整合的である。

千葉石を産出した「沖岩体」そのもの、および「シリカクラスレート鉱物とその仮晶」の2件が、2021 年 4 月に長野県小谷村の天然記念物に指定され、露頭の一部には盗掘を防止するための防護柵が設置された。

Keywords: chibaite, silica clathrate, pseudomorph, Fossa Magna
*Corresponding author: k-momma@kahaku.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

北海道手稲鉱山から産出した Mn^{2+} が卓越する安四面銅鉱

門馬綱一・(国立科博)・清水正明(北陸能開大)・
草葉陽子(国立科博)・大木良弥(日本地学研究会)

Mn-dominant variety of tetrahedrite from Teine mine, Hokkaido

Koichi Momma* (Nat'l. Mus. Nat. Sci.), Masaaki Shimizu (Hokuriku Polytechnic College),
Yoko Kusaba (Nat'l. Mus. Nat. Sci.), Yoshiya Ohki (Nippon Chigaku Kenkyu-kai)

四面銅鉱の結晶構造は歪んだソーダライト型とみなすことができ、空間群 $I\bar{4}3m$,一般構造式は $M(2)_6M(1)_6X(3)_4S(1)_{12}S(2)$ (Z = 2)と書ける。$M(2)$および $M(1)$の双方を Cu^+が主に占める種として、従来は安四面銅鉱(tetrahedrite, X = Sb)と砒四面銅鉱(tennantite, X = As)に分類されていた。しかし、電荷バランスを保つためには2価の陽イオンが必須であるため、それぞれの組成式は $Cu_6[Cu_4(Fe,Zn)_2]Sb_4S_{13}$, $Cu_6[Cu_4(Fe,Zn)_2]As_4S_{13}$ といった形で書かれていた。一般に、たとえある元素がいずれの結晶学的サイトにおいても卓越しない場合であっても、それが電荷バランス上必須の元素である場合、本質的な構成元素として鉱物種を分ける基準として扱うことが基本である。そこで、四面銅鉱グループにおいても、2価の陽イオンにより種名を細分化するよう命名規約が改定された (Biagioni, *et al.*, 2020)。従来の安四面銅鉱と砒四面銅鉱は、2 価の陽イオンとして鉄が卓越するものと、亜鉛が卓越するもの、双方が古くから知られているため、鉄安四面銅鉱と亜鉛安四面銅鉱、鉄砒四面銅鉱と亜鉛砒四面銅鉱に細分され、その他の2価陽イオンを主体とする種は新鉱物として扱われることとなった。その後、水銀安四面銅鉱などが報告されているが、このたび、2価イオンとして Mn^{2+}が卓越する安四面銅鉱を見出したので報告する。

試料は手稲鉱山のズリより採集された 2 個体の石英片で、Mn^{2+}が卓越する安四面銅鉱は石英中に 2mm 以下の結晶粒として点在する。共生鉱物は重晶石、黄鉄鉱、および微細な鉄砒四面銅鉱である。鉄砒四面銅鉱は常に黄鉄鉱に接する一方、安四面銅鉱は黄鉄鉱と直接接することはなく、また個々の結晶粒には累帯や離溶組織は見られず均質であった。波長分散型の EPMA により決定した実験式は $[Cu_{5.99}Ag_{0.01}]_{\sum 6}[Cu_{4.20}(Mn_{1.73}Zn_{0.14}Fe_{0.05})_{\sum 1.12}]_{\sum 6.12}(Sb_{2.22}As_{1.78})_{\sum 4}S_{12.75}$ である。単結晶 X 線回折法による結晶構造解析を行い、信頼度因子 $R1$ = 0.0098 の結果が得られた。Mn^{2+}は $M(1)$サイトに入ることが確認され、これは他の四面銅鉱グループの傾向と調和的である。また、$M(2)$サイト(ワイコフ位置 12*e*)を占める Cu の一部は、24*g* の位置に統計的にディスオーダーしていることが確認された。

この鉱物は四面銅鉱グループの新種に相当すると考えられるため、申請を準備中である。

参考文献

Biagioni, C., George, L. L., Cook, N. J., Makovicky, E., Moëlo, Y., Pasero, M., *et al.* (2020). *Am. Mineral.*, **105**, 109–122.

Keywords: tetrahedrite group, tetrahedrite, tennantite, Teine mine,
*Corresponding author: k-momma@kahaku.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R8：変成岩とテクトニクス

2021年9月17日(金) 14:00 ~ 16:45 | Zoom Session 1

R8：変成岩とテクトニクス

座長:中村 佳博(産総研)、遠藤 俊祐(島根大学)

[座長]
中村 佳博：R8-07〜R8-11
遠藤 俊祐：R8-12〜R8-16

14:00 ~ 14:15

[R8-07] ミャンマー・モゴック北方に見出されるUHT変成岩

Htay Khaing[2]、*小山内 康人[1]、中野 伸彦[1]、Dolzodmaa Bolgbaatar[4]、北野 一平[3]、Htet Zaw[4]、足立 達朗[1]、大和田 正明[5] (1. 九大・院比文、2. ミャンマー宝石研究所、3. 栃木県博、4. 九大・地球社会統合科学府、5. 山口大・理)

14:15 ~ 14:30

[R8-08] Mixing and fluid-related processes in the slab-mantle interface during incipient subduction: records from the Dalrymple Amphibolite, Philippines

[Presentation award entry]

*Gabriel Theophilus Vinalay Valera[1], Tetsuo Kawakami[1], Betchaida Duetes Payot[2] (1. Kyoto Univ., 2. Univ. of the Philippines)

14:30 ~ 14:45

[R8-09] **東南極セール・ロンダーネ山地メーニパに産する泥質片麻岩の温度圧力履歴**

*河上 哲生[1]、鈴木 将晏[1] (1. 京都大・院理)

14:45 ~ 15:00

[R8-10] 東南極セール・ロンダーネ山地メーニパに産する泥質片岩中の灰礬柘榴石，チタン石および燐灰石ウラン–鉛年代

*仁木 創太[1]、河上 哲生[2]、足立 達朗[3]、宇野 正起[4]、東野 文子[2]、平田 岳史[1] (1. 東京大・院理、2. 京都大・院理、3. 九州大、4. 東北大)

15:00 ~ 15:15

[R8-11] 単一岩石中に反時計回りと時計回りの*P-T*履歴が共存?: 東南極 セール・ロンダーネ山地 ブラットニーパネの例

*池田 勇人[1]、河上 哲生[1]、東野 文子[1] (1. 京都大・院理)

15:15 ~ 15:30

休憩

15:30 ~ 15:45

[R8-12] 青色片岩相Na輝石の非圧力依存的挙動

*薮田 渉[1]、平島 崇男[2] (1. 無所属、2. 京大)

15:45 ~ 16:00

[R8-13] **Crystal size distribution and compositional zoning of garnet formed by two-stage growth in the Kotsu eclogite and basic schist, Sanbagawa belt**

*ダンダル オトゴンバヤル[1]、岡本 敦[1]、宇野 正起[1] (1. 東北大学・環境科学研究科)

16:00 ~ 16:15

[R8-14] Formation of garnet aggregate of the Khungui eclogite in the Zavkhan Terrane, Western Mongolia

*Manzshir Bayarbold[1], Atsushi Okomata[1], Otgonbayar Dandar[1], Masaoki Uno[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (1. Tohoku University)

16:15 ~ 16:30

[R8-15] Occurrence of CH_4–N_2-bearing aqueous fluid inclusions in jadeite-bearing chlorite–grossular rock from the New Idria serpentinite body, California

*Rio Rio[1], Tatsuki Tsujimori[1] (1. Tohoku University)

16:30 ~ 16:45

[R8-16] 西彼杵変成岩雪浦メランジュ中のザクロ石の累帯構造

*西山 忠男[1]、鵜木 康平[1]、吉朝 朗[1] (1. 熊本大学先端科学研究部)

ミャンマー・モゴック北方に見出される UHT 変成岩

Khaing Nyein Htay（GIM, Myanmar）・小山内康人*（九州大）・中野伸彦（九州大）・
Boldbaatar Dolzodmaa（九州大）・北野一平（栃木県博）・
Zaw Htet（九州大）・足立達朗（九州大）・大和田正明（山口大）

UHT metamorphic rocks from northern Mogok, Myanmar

Khaing Nyein Htay（GIM, Myanmar）, Osanai, Y.*（Kyushu Univ）, Nakano, N.（Kyushu Univ）,
Boldbaatar Dolzodmaa（Kyushu Univ）, Kitano, I.（Tochigi Pref. Mus.）,
Zaw Htet（Kyushu Univ）, Adachi, T.（Kyushu Univ）, Owada, M.（Yamaguchi Univ）

ミャンマーには，北部のチベット国境から南部のマレー半島基部を経てアンダマン海に至る南北を縦断するモゴック変成帯とよばれる狭長な変成岩分布域が存在する．同変成帯の中部に位置するマンダレーおよびやや北方のモゴック付近から南部では，近年詳細な変成岩岩石学的，地質年代学的解析が盛んに行われ（Yonemura et al., 2013, Maw Maw Win et al., 2016, Ye Kyaw Thu & Enami, 2018 など），800℃を越える高温のグラニュライト相変成条件と始新世～漸新世の変成年代が報告されていた．Yonemura et al.（2013）は，モゴック北部の Grt-Opx グラニュライトから最高変成温度を 950℃と見積もったが，これまでには超高温変成条件を示す典型的な変成鉱物組み合わせなどは見出されていない．

今回，モゴック北方のモーメイック地域から，新たに典型的な変成鉱物（組み合わせ）を含む超高温変成岩類が見出された．モーメイック地域の変成岩類は，各種大理石を主体とし，多様な石灰珪質岩や花崗岩質片麻岩，泥質片麻岩，苦鉄質片麻岩，コンダライト質片麻岩などが挟在する．本報告では，Spl–Qz 共生を含む Grt–Sil–Qz–Kfs 珪長質片麻岩（以下，コンダライト），および超高温変成条件下で減圧により形成された Opx–Crd–Spl コロナ状シンプレクタイトを含む Grt–Opx–Crd–Sil グラニュライト（以下，GOC グラニュライト）についての解析結果を中心に報告する．

コンダライトは細粒優白質な珪長質変成岩で，Grt, Sil, Kfs, Qzを主成分とし，Spl, Crd, Mag, Ilmを含む．ゴンドワナ諸地域に見られる典型的なコンダライトとは異なり，Grは認められない．この岩石では，Grt＋Sil＝Spl＋Qz の反応が顕著である．一部では，Spl＋Qz=Crd の後退変成反応もみとめられる．Grt, Spl ともに極めて Fe に富み，Spl＋Qz シンプレクタイト形成反応の分配係数は lnK=0.02 を示して Bohlen et al.（1986）の実験結果に極めて近い反応曲線が想定され，5.5kbar 以上では 900 ℃を越える超高温変成条件が得られる．

一方，GOC グラニュライトは極めて粗粒でミグマタイト質片麻岩中にレンズ状ブロックとして見出される．後退変成に伴う Bt を除き，極めてドライな条件下での形成が示唆され，Grt, Sil, Crd, Opx, Spl, Pl, Kfs, Qz から構成される．これらの鉱物は全てが平衡共存するわけではなく，部分溶融反応を伴う時計回りの減圧昇温過程で，(1) Opx＋Crd, (2) Crd＋Spl, (3) Opx＋Spl などのコロナ状シンプレクタイトが連続的に形成された．各種温度・圧力計や変成反応曲線網，および残存 Bt のフッ素含有量などから見積もられた GOC グラニュライトのピーク変成条件は，5.5～8 kbar, 850～1000 ℃であり．コンダライトの変成条件と一致する．

GOC グラニュライトについて，予察的に LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代測定を実施した．3100 Ma から 60 Ma のコンコーダント年代を示す多様なインヘリテッドジルコンの存在が確認されるとともに，26.56±0.76 Ma の変成年代がコンコーディア年代として得られた．このような漸新世の変成年代（30～20 Ma）は，近年モゴック変成帯の主要な変成年代として認識されるようになり，同変成帯の一部は主要な変成作用時に約 6.5 kbar, 950 ℃の超高温変成条件に達していたことが明らかになった．

Keywords: Mogok metamorphic belt, UHT metamorphism, Spl-Qz symplectite, Opx-Spl-Crd corona, Oligocene.
*Corresponding author: osanai@scs.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Mixing and fluid-related processes in the slab-mantle interface during incipient subduction: records from the Dalrymple Amphibolite, Philippines

Gabriel Theophilus Valera[1*], Tetsuo Kawakami[1], Betchaida Payot[2]
[1]Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University
[2]National Institute of Geological Sciences, University of the Philippines

The slab-mantle interface separates the downgoing slab from the mantle wedge in arcs. This shear zone is the locus of complex mechanical and fluid-related processes which control the chemistry of fluids and/or melts passing through. During incipient subduction, the slab-mantle interface is sometimes preserved at the base of the ophiolite as a high grade metamorphic sequence. In this study, we present the petrographic and geochemical signatures of the Dalrymple Amphibolite, a mélange sequence which occur at the base of the Palawan Ophiolite, Philippines. The block-and-matrix sequence is composed predominantly of metamafic blocks which record prograde metamorphism (~625 °C, 11.5 kbar to ~700 °C, 13 kbar) surrounded by a hybridized matrix with comparable peak metamorphic conditions (~700 °C and 13 kbar). The surrounding matrix share characteristics of both metamafic and metasedimentary blocks and is composed of kyanite+ilmenite±Ca-amphibole±biotite±garnet±epidote.

The edge of some amphibolite blocks adjacent to the matrix are characterized by enrichment in light rare earth elements (REEs), Th, U, Nb and Ta relative to their mid oceanic ridge (MOR) basalt protolith. Such enriched signatures follow an apparent mixing line connecting metamafic and metasedimentary blocks in the ternary Ni-Th-Rb diagram. The same trend is followed by surrounding matrix. This indicate that the edges of the blocks may have experienced substantial mixing with the surrounding matrix material during matrix-forming deformation events and before recrystallizing at peak *P-T* conditions. The Grt amphibolite block B214-21furthermore, is cut by a Qz-Ky vein and contain local Al-rich zones composed of Ky and Ep. These Al-rich zones occur in the interstices of Hbl and Grt and were possibly once dilatant sites filled with fluids equilibrated with the matrix. Rutile grains included in the prograde mantle and rim of Grt porphyroblasts of this sample record an abrupt increase in Nb content (= 161-6664 ppm) compared to those in the Grt core (= 175-266 ppm). This possibly indicate the pre-peak *P-T* mixing processes during matrix formation.

The geochemical characteristics of the matrix largely mirrors the REE and extended trace element patterns of some metasedimentary blocks. This is marked by enrichment in light REEs and large ion lithophile elements such as Th and Pb in the MORB-normalized spidergrams. Notable differences between the metasedimentary blocks and matrix were however also observed. At a given FeO/MgO ratio, the matrix has lower Cl, Si and Sr content and higher concentrations of Th, Ni, Zr, Al and light REEs with respect to the matrix. The potential role of mechanical mixing between end member components, i.e. mafic basalt, sediments and ultramafics, and fluid infiltration in controlling the chemistry of the matrix will be investigated.

Keywords: slab-mantle interface, fluid infiltration, Dalrymple Amphibolite
Corresponding author: gtv.valera@gmail.com

東南極セール・ロンダーネ山地メーニパに産する高度変成岩の温度圧力履歴

河上哲生*・鈴木将晏（京大・院理）

Pressure-Temperature path of high-grade metamorphic rocks from Menipa, Sør Rondane Mountains, East Antarctica

Tetsuo Kawakami*, Masayasu Suzuki (Kyoto Uni.)

東南極セール・ロンダーネ山地（SRM）には、四国一島分程度の広さにわたり約 6-5 億年前の中部～下部地殻岩石が露出している。本地域は Main Tectonic Boundary (MTB)を境として、SW テレーンと NE テレーンに分けられる。変堆積岩類に含まれる砕屑性ジルコンの年代的制約に加え、SW テレーンの高度変成岩類が反時計回りの温度圧力（*P-T*）履歴を持つ一方、NE テレーンの高度変成岩類が時計回りの *P-T* 履歴を持つことから、約 650-600 Ma に NE テレーンが SW テレーン上に衝上したとされる[1]。[1]は、これが East African Orogeny で形成された岩石からなる Namuno Terrane（Nmn）と、Nampula Terrane (Nmp)の衝突時に起きた可能性が高く、MTB がその衝突境界であると考えた。

一方、[2]は SRM 東部のバルヒェン地域の変成温度圧力時間履歴がモザンビーク北部の Nmp の一部と類似することから、SRM は、Nmn などからなる北ゴンドワナと、Nmp や西ドロンイングモード・ランドからなる南ゴンドワナの衝突（Kuunga Orogeny）に伴って定置した巨大ナップの下盤側の一部であると考えた。このように、SRM を形成したテクトニクスについては諸説あり、その検証には、変成岩類の温度圧力時間履歴の解析を、SRM 全域にわたって広げる必要がある。

そこで本研究では SRM 中央部メーニパ地域の変成温度圧力条件の推定を行った。試料は Bt-Sil-Grt 片麻岩で、直径 4 mm 程度のザクロ石を多数含む。ザクロ石は組織的なセクター構造を示すことが多く、Y によるゾーニングを用いてコアとリムに分けられる。主要元素はコアからリムに向かって Ca が減少し、Mg が若干増えるゾーニングを示す。コアは包有物に富み、マトリクスに比して高い An 値を持つ斜長石が多数包有されるが Al_2SiO_5 鉱物は包有されない。リムには主として珪線石が包有され、藍晶石と珪線石がともに包有されるザクロ石も 1 粒存在した。マトリクスには珪線石のみが産する。コア・リムともにルチルが多数包有されることから、Zr-in-Rt 地質温度計[3]を適用したところ、コアのルチルは 1.0 GPa を仮定すると約 680-820℃、リムのルチルは約 0.9-1.15 GPa で約 750-870℃の温度を与えた。一方、ザクロ石と接する 2 次的な斜長石、黒雲母、ザクロ石リムの組成ペアにザクロ石-黒雲母地質温度計と GASP 地質圧力計[4]を適用すると約 0.38 GPa で約 610℃を得た。これらの条件間の履歴はまだ明らかではないが、時計回りに近い *P-T* 履歴が得られる可能性が高い。この変成作用の年代は、約 600 Ma である可能性が高く[5]、こうした *P-T-t* 履歴は[1]のモデルに合わない結果である一方、バルヒェン地域で得られている履歴[6]に近い。[2]の説が SRM 中央地域にも適応可能かどうかの検証には、本研究試料の *in situ* 年代決定に基づく詳細な *P-T-t* 履歴の構築とともに、SRM の他地域での、同様の成果が待たれる。

[1] Osanai et al. (2013) Precambrian Res. [2] Grantham et al. (2013) Precambrian Res. [3] Tomkins et al. (2007) JMG [4] Holdaway (2001) Am Min. [5] 仁木ほか (2021) 日本鉱物科学会講演要旨 [6] Higashino et al. (2013) Precambrian Res.

Keywords: collision zone, *P-T* path, granulite, crust

*Corresponding author,
t-kawakami@kueps.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

東南極セール・ロンダーネ山地メーニパに産する泥質片岩中の灰礬柘榴石，チタン石および燐灰石ウラン–鉛年代

仁木創太(東京大)，河上哲生(京都大)，足立達朗（九州大），宇野正起（東北大），東野文子（京大），平田岳史(東京大)

Uranium–Lead ages of grossular, titanite and apatite in a pelitic schist (Menipa, Sør Rondane Mountains, East Antarctica)

Sota Niki (Univ. Tokyo), Tetsuo Kawakami (Kyoto Univ.), Tatsuro Adachi (Kyushu Univ.), Masaoki Uno (Tohoku Univ.), Fumiko Higashino (Kyoto Univ.), Takafumi Hirata (Univ. Tokyo)

局所年代測定法が適用可能な鉱物種は限定的であり，このことは様々な鉱物の年代値比較を通じた変成履歴の解明を妨げてきた．特に柘榴石は変成条件の指標鉱物である一方，低いウラン濃度のため局所年代測定が困難であった．しかしながら，近年のレーザーアブレーション ICP 質量分析法(LA-ICP-MS)の改良[1–3]に伴い，柘榴石を含む多種類の鉱物に対する正確かつ高精度な局所ウラン–鉛(U–Pb)年代測定が可能となった[4].

本研究では東南極セール・ロンダーネ山地(SRM)メーニパに産する泥質片岩に着目し，三種類の鉱物(柘榴石；チタン石；燐灰石)に対する LA-ICP-MS を用いた局所 U–Pb 年代測定を試みた．泥質片岩中には主要構成鉱物として含 V 柘榴石(~0.6-21.2 wt%V_2O_3)が産し，その産状から Type 1-3 に分類される[5].

Type 1 は粗粒な緑色柘榴石部分である．柘榴石の U 濃度は約 3 ppm であり，U–Pb 年代は 612.2±7.7 Ma (95%信頼区間)であった．Type 1 の外縁部にはケリファイト組織を示す Type 2 の細粒結晶が存在する．Type 2 の柘榴石は U をほぼ含まず，同組織中の U 濃集鉱物はチタン石(300–600 ppm U)であった．その U–Pb 年代は 527±11 Ma (95%信頼区間)であった．更にケリファイトリム外縁部には Type 3 柘榴石が産するが U 濃度は低く,燐灰石が U 濃集鉱物（50–90 ppm U）として産する．燐灰石の U–Pb 年代は 496.0±8.6 Ma (95%信頼区間)であった．

本研究試料中には 1 つの柘榴石分解組織中に SRM における 1 億年の歴史が記録されていると言える．柘榴石の 612.2±7.7 Ma は柘榴石を形成した累進変成作用の時期であり，燐灰石の 496.0±8.6 Ma は燐灰石 U–Pb 系の閉鎖温度(c.a. 500℃)に制約される冷却年代だと考えられる．チタン石の 527±11 Ma は Type 1 柘榴石が分解・再結晶した時期，もしくはチタン石 U–Pb 系の閉鎖温度(c.a. 600℃)に対応する冷却年代だと考えられる．前者の場合，約 530 Ma に貫入した花崗岩体[6]を熱源として再加熱が起こり，流体活動が駆動され，柘榴石と流体との反応によりチタン石が形成した可能性がある．後者の冷却年代である可能性も検討し，鉱物粒子内部での U–Pb 年代の分布から温度履歴再構築を試みる．

引用文献：[1] Hattori, K. et al., 2017, *JAAS*. [2] O-bayashi, H. et al., 2017, *JAAS*. [3] Makino, Y., Kuroki, Y., Hirata, T., 2019, *JAAS*. [4] Niki et al., 2021, *JpGU*. [5] Osanai, Y. et al., 1999, *Nankyoku Siryo*. [6] Erburg et al., 2016, *Jour. Geol.*

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

単一岩石中に反時計回りと時計回りの *P–T* 履歴が共存？：東南極セール・ロンダーネ山地ブラットニーパネの例

池田勇人*・河上哲生・東野文子(京大・院理)

Counterclockwise and clockwise *P-T* histories recorded in a single sample? (Brattnipene, Sør Rondane Mountains, Antarctica)

Hayato Ikeda*, Tetsuo Kawakami, Fumiko Higashino (Kyoto Univ.)

東南極セール・ロンダーネ山地にはゴンドワナ大陸形成時の下部地殻が露出している [1]. 同山地は Main Tectonic Boundary (MTB)を境として, 時計回りの温度—圧力—時間 (*P-T-t*) 履歴と約 1200 Ma より古い砕屑性 U-Pb Zrn 年代を示す高度変成岩類からなる NE テレーンと, 反時計回りの *P-T-t* 履歴と約 1200 Ma より若い砕屑性 U-Pb Zrn 年代を示す SW テレーンに区分される [2].ブラットニーパネは同山地中央部の SW テレーンに属し,反時計回りの *P-T* 履歴が報告されてきた [3, 4]. 本研究では, ブラットニーパネ中指尾根から採取した, Grt-Sil-Bt 片麻岩 1 試料を用いて *P-T* 履歴の制約を行った.

本試料は主に Grt, Bt, Sil, Crd, Qz, Kfs, Pl からなり, 副成分鉱物として Rt, Zrn, Ap, Mnz, Po, Py ,Gr を含む. 面構造は Bt と Sil の配列で定義され, 面構造と平行に石英リボンが発達する. 本試料は, Pl が卓越する層と, Grt と Bt が卓越する層に区分できる. Pl が卓越する層に含まれる Grt A は粒径約 1 mm で, Sil を包有する. Grt A のリムは, Bt+Pl+Ky+Sil+Qtz+Rt の鉱物組合せに分解しており,

Grt A+Kfs+H_2O or melt → Bt+Pl+Ky/Sil+Qz+Rt (1)

の減温反応で形成されたと考えられる[6]. (1)の反応は先行研究 [3] で提案されている反時計回りの *P-T* 履歴の根拠の 1 つである. さらに Grt 直近ではより細粒な Bt + Pl に分解している. Ky+Sil を含む分解組織中に産する Rt (Cr~370 ppm, V~1900 ppm, Nb~8100 ppm) に Zr-in-rutile 地質温度計 [5] を適用すると, Ky/Sil 境界付近の圧力(0.9 GPa)で約 770 ºC の *P-T* 条件を得た. これは Grt A の分解反応の条件を記録していると解釈した.

一方, Grt と Bt が卓越する層に含まれる Grt B は粒径約 8 mm であり, Sil, Qz, Rt, Zrn, Bt, Crd を包有する. Grt B に包有される Rt (Cr~150-290 ppm, V~1200-1900 ppm, Nb<~430 ppm)に Zr-in-rutile 温度計[5]を適用し, マトリクスの Sil と Qz と共存する Pl と Grt B に Grt-Als-Qz-Pl (GASP)地質圧力計[7]を適用すると, 750-850 ºC, 0.5-0.7 GPa の *P-T* 条件を得た. Grt B に包有される Sil の一部はクラックでマトリクスに繋がっており, Grt B と Sil の間に局所的に薄い Crd+Spl の層が発達することから, 次の減圧反応で形成されたと考える.

Grt B+Sil+H_2O → Crd+Spl (2)

Grt B のリムには, Sil, Po, Bt, Rt を含む Crd+Qz のシンプレクタイトが発達する. Crd+Qz シンプレクタイトは Grt を消費して, 減圧過程で形成されたと考える [6]. Crd+Qz シンプレクタイト中に産する Rt (Cr~370-580 ppm, V~1900-2200 ppm, Nb~310-370 ppm) からは, 0.4 GPa を仮定すると 750-800 ºC の *T* 条件が得られた [5]. さらに, Crd+Qz シンプレクタイトを切って, Bt+Pl+Sil インターグロウスが発達する.

また, 両層に共通して, 繊維状 Ky+Qz±Sil±Spl ±Po からなる脈状の鉱物集合体が マトリクスの結晶粒界に沿って, あるいは, Grt リムの分解組織を切るように発達する. 本試料中に産する Rt はいずれも同程度の温度を示すが,産状による Cr, V, Nb 濃度の系統的な違いを有する. これは Rt 形成反応の違いを反映し, それぞれの Rt に Zr-in-Rt 地質温度計を適用して得た温度条件はそれぞれの Rt の形成温度を記録していると考える.

Grt A リムの分解組織は先行研究により提案されている反時計回りの *P-T* 履歴を示唆する一方, Grt B は Sil 安定領域内での減圧を伴う時計回りの *P-T* 履歴を示す. Grt B 形成時の *P-T* 条件は, Grt A の分解組織と比べて低圧かつ高温である. 以上より, 単一試料から時計回りの *P-T* 履歴と反時計回りの *P-T* 履歴を示唆する組織が得られた. ブラットニーパネからは時計回りの *P-T* 履歴は今まで報告がない. 今後 2 種類の Grt の前後関係や形成年代を制約し, *P-T* 履歴の全体像と, テクトニクスの解明を進める.

引用文献: [1] Jacobs et al., 2003, Precam. Res., 126, 27-53. [2] Osanai et al., 2013, Precam. Res., 234, 8-29. [3] Adachi et al., 2013, GSL, 383, 113-133. [4] Baba et al., 2013, Precam. Res., 234, 210-228. [5] Tomkins et al., 2007, JMG, 25, 703-713. [6] Spear et al., 1999, CMP, 134, 17-32. [7] Holdaway, 2001, Am. Min., 86, 1117-1129.

Keywords: continental collision, granulite, Zr-in-rutile geothermometry, trace element
*Corresponding author: ikeda.hayato.78c@st.kyoto-u.ac.jp

Non-barometric behaviour of Na pyroxenes in blueschist(BS)-facies metamorphic rocks

YABUTA Wataru*, HIRAJIMA Takao (Kyoto University)

We provide a report on the chemical compositions of Na pyroxenes (Na-Px) in low-grade metabasalitic and metasiliceous rocks and envisage the reaction relations involving them.

Na-Px provides premier pressure indicators applicable to a wide range of metamorphic rocks. Although thermodynamic modelings have been developed to reproduce natural mineral assemblages in most P-T ranges (Carpenter, 1980; Holland, 1983; Holland and Powell, 1996; Green et al., 2007; Diener and Powell, 2011), Jd-Di-Aeg ternary diagram is still under debate. Therefore, observations on natural occurrence have a crucial role in constraining such models.

The Hakoishi sub-unit (Kamimura et al., 2012), in the Yatsushiro area, Kyushu, Japan is represented by the intercalation of metachert and metabasaltic rocks in serpentinite melange. The metabasaltic rocks are characterized by the mineral assemblage of Pmp + Na-Px + Chl or Lws + Na-Amp + Pmp, with the latter Amp-bg. one representing higher grades. The sub-unit is interpreted as a former oceanic crust metamorphosed at 30 km depth (200-300 °C, 0.45-0.80 GPa; Sato et al., 2016). The metacherts in the study area are mixed with Fe/Mn ores to various extents.

In the metacherts, Na-Px occurs as acicular or fibrous grains, coexisting with Chl + Pmp, Chl + Lws or Lws + Ab in the Qz-rich part and Na-Amp + Pmt in the Fe-rich parts. In addition, Na-Px occurs as mono-mineralic veins, possibly synchronous to the matrix Na-Px. Generally, the Na-Px are Di-poor and show a variety of Jd contents, perhaps reflecting the Ca-poor nature of metacherts. With importance, 2 points characterise the observations: (1) chemical variations within a hand-specimen size (X_{Jd} = 0.3-0.45 in Qz-rich part and 0.15-0.25 in Fe/Mn-rich parts) (2) strong correlation of Jd contents to the presence of Na-Amp (X_{Jd} = 0.15-0.35 in coexistence, 0.20-0.60 in others).

Interestingly, this tendency is also the case for Na-Px in the metabasaltic rocks in the study area (Sato et al., 2016); Na-Px associated with Na-Amp is Jd-poorer than those in Na-amp-free samples even in the higher-grade area. We performed Schreinemakers' analysis of the phase relations in both metabasaltic rocks and metacherts to evaluate the effect of Na-Px compositions. The revised Schreinemakers' nets in the two systems suggested that the Na-Amp bearing assemblages (1) should occur in higher grades of the study area and (2) could have a stability field enlarged to lower-grade when Jd-poor (and Di-rich) compositions are assumed.

These observations demonstrate difficulty in determining representative compositions of Na-Px in low-grades and needs for further natural observations. As for now, we conclude that (1) Jd components of Na-Px in the Di-Poor Aeg-Jd system are affected by other associated minerals, even when coexisting with Ab and Qz and (2) Na-Amp effectively reduces Jd contents when coexisting with Na-Px, in BS facies.

keywords: Na pyroxene, Blueschist, Geobarometry, Schreinemakers' analysis
*corresponding author: YABUTA W. yabuta.wataru.25n@kyoto-u.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Crystal size distribution and compositional zoning of garnet formed by two-stage growth in the Kotsu eclogite and basic schist, Sanbagawa belt

OTGONBAYAR DANDAR[1*], ATSUSHI OKAMOTO[1], MASAOKI UNO[1]

[1] Department of Earth Science, Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

The nucleation and growth history of crystals during metamorphism are recorded both as crystal size distribution (CSD) and compositional zoning from core to rim. In particular, the crystal size distribution of garnet has been investigated and modeled by relative rate of nucleation and growth, and coupled with diffusion. As garnet is commonly formed during prograde metamorphism, the incremental amount of the garnet growth at individual P-T conditions is essential information to elucidate the water release at the subduction interfaces. Conventionally, there are two type models on CSD; one is the nucleation and growth rates are defined as a function of time (e.g., Špillar V. & Dolejš D. 2013), and the other one is growth rate is defined as the size (Eberl et al., 1998). However, it is still uncertain which model is more appropriate, as the data aquations of CSD from thin sections and the composition of "true" core are very difficult due to the cut effects. In this contribution, we showed the detailed data showing the relationship between CSD and compositional zoning of garnet in the Kotsu eclogite and basic schist in the Sanbagawa metamorphic belt, Japan. This eclogite sample is suitable to this trial, because garnet grains show euhedral shape and record two-stage growth history composed of the core containing abundant mineral inclusions (epidote, plagioclase, chlorite, carbonate, titanite, quartz, and omphacite) and poor-rim.

The crystal growth of garnet in the eclogite is divided into two stages. The garnet grains are euhedral and composed of the inclusion-rich core (stage 1) and poor-rim (stage 2). The core shows prograde zoning (from core to rim), characterized by decrease of X_{Mn} (0.025 to 0.005), increase of X_{Mg} (0.06 to 0.12), decrease of X_{Fe} (0.65-0.55), and almost constant of X_{Ca} (0.27-0.35). The smaller cores have lower Mn and higher Mg contents, suggesting that nucleation at the later stage. All grains have an inclusion-poor rim showing Mn increase. Similarly, the crystal growth of garnet in the basic schist is divided into two stages: core showing increase of X_{Fe} (0.52-0.65) and rim displaying decrease of X_{Fe} (0.65-0.56). One of the interesting observations is a positive relationship between the diameter of the inclusion-rich core and the growth width of the inclusion-poor rim, meaning that the growth rate is proportional to the grain size. We will construct the nucleation and growth model to reproduce the CSD and the trend of growth zoning, and discuss the mechanism and water production history.

Keywords: Crystal size distribution, Compositional zoning, the Kotsu eclogite, Sanbagawa belt
*Corresponding author: dandar.otgonbayar.a7@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Formation of garnet aggregate of the Khungui eclogite in the Zavkhan Terrane, Western Mongolia

Manzshir Bayarbold*; Atsushi Okamoto; Otgonbayar Dandar; Masaoki Uno, Noriyoshi Tsuchiya

Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

Garnet is one of the most important minerals that records the dehydration process within the subduction zone. The chemical composition of garnet is usually used to constrain the P-T conditions, but the fluid chemistry and the amounts of fluids related to the garnet formation are not fully understood within the deep subduction zone. For example, previous studies suggested that the mobility of HFSE (Ti, Nb, and Ta) are high in the eclogite-facies conditions compared to the low-grade rocks (Chen et al. 2018). In this study, we report the novel texture of garnet aggregate from the Khungui eclogite in the Zavkhan terrane of western Mongolia. We reveal that the variation of garnet texture and compositional zoning is closely related to the occurrence of the distribution of Ti-bearing minerals (rutile, ilmenite, and titanite).

The Khungui eclogite consists of garnet, omphacite, quartz, amphibole (barrosite, taramite, hornblende), phengite, plagioclase, epidote, Ti-bearing minerals, with minor K-feldspar, zircon and carbonate mineral. Based on the mineral assemblage, three metamorphic stages can be classified: pre-eclogite, eclogite (2.0–2.1 GPa, 445–610 °C), and decompression (0.5–1 GPa, 540–615 °C). The eclogite stage is presented by garnet + omphacite + barrosite + epidote + phengite + rutile. Based on the garnet microstructure and modal abundances of minerals, the Khungui eclogite is composed of two-types of layers: layer I consists of garnet aggregate (GA), quartz and abundant Ti-bearing minerals whereas layer II composed of single garnet grain (SG) with epidote and omphacite. The major element (Fe, Ca, Mg, and Mn) compositional zoning of the GA shows asymmetric zoning whereas the SG shows symmetric zoning. The EBSD analysis reveals that the GA contains numerous small individual garnet grains that are separated by high angle orientations and the grain boundary of the GA is not controlled by the major element zoning. The GA has inclusions of rutile and shows the close spatial relationship with rutile, ilmenite, and titanite in matrix which are revealed through an analysis of thin section (Microscopy), element map (EPMA), and core sample (μX-ray CT). In addition, each garnet grains of GA and SG show the concentric zoning of a trace element such as V, Ti and are increasing concentration core to rim. The GA was often fractured and shows the Mn-rich compositions along the fracture that is close to Ti-bearing minerals which reveals that they formed in order of rutile => ilmenite => titanite at the retrograde stage. These observations suggest that nucleation of garnet to form aggregate could be induced by infiltration V and Ti-rich aqueous fluid at the eclogite-facies condition, and also later fluid-infiltration caused the modification of garnet to form asymmetric compositional zoning of the GA and Ti-bearing minerals (ilmenite to titanite) at the exhumation stage.

Keywords**:** Garnet aggregation, Fluid infiltration, Ti-mobility, HP metamorphism

*Corresponding author: bayarbold.manzshir.t1@dc.tohoku.ac.jp

References

Chen W, Xiong X, Wang J, et al (2018) TiO2 Solubility and Nb and Ta Partitioning in Rutile-Silica-Rich Supercritical Fluid Systems: Implications for Subduction Zone Processes. J Geophys Res Solid Earth 123:4765–4782. https://doi.org/10.1029/2018JB015808

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ニューイドリア蛇紋岩体産のひすい輝石を含む緑泥石–グロシュラー岩中のメタンと窒素を含む流体包有物

リオ*・辻森 樹（東北大）

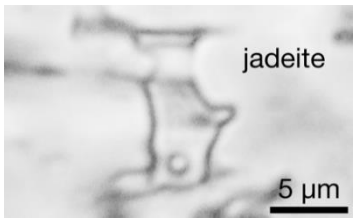
Occurrence of CH_4–N_2-bearing aqueous fluid inclusions in jadeite-bearing chlorite–grossular rock from the New Idria serpentinite body, California

Rio* and Tatsuki Tsujimori (Tohoku Univ.)

New Idria serpentinite body in California represents an exhumed forearc serpentinite containing jadeitite precipitated in the mantle wedge. Jadeite-bearing chlorite-grossular rock found in the Clear Creek of the New Idria serpentinite is one of the metasomatic 'jadeitite' varieties with a botryoidal texture. The rock consists mainly of chlorite, grossular, and jadeite; irregular-shaped grossular aggregates and euhedral to subhedral jadeites occur in the chlorite-rich matrix. The brittle deformation features of the grossular aggregates suggest the grossular formation prior to jadeite. The characteristic botryoidal growth texture and mineralogical features of the rock indicate that the rock preserves an incipient formation process of jadeitite in serpentinite.

We studied primary fluid inclusions hosted in jadeite and grossular in the jadeite-bearing chlorite-grossular rock. Jadeite crystals contain abundant, relatively large, two-phases liquid-rich inclusions (~1.5–6 μm in size) (Figure 1). The fluid inclusions are commonly isolated and/or form clusters with various shapes, including irregular, ellipsoid, and prismatic shapes. Over 200 Raman spectroscopy analyses have identified three groups of fluid inclusions comprising M, MN, and N-types. There were, however, no relations among the shape, size, and fluid types. Type-M (mixed CH_4–H_2O) and type-MN (mixed CH_4–N_2–H_2O) inclusions are found in jadeite crystals. The distribution of those two types of inclusions within a single jadeite crystal is random; they can be found next to each other. In contrast, type-N (mixed N_2–H_2O) inclusions occur characteristically in grossular. Although the type-MN inclusions are also found in grossular, no type-M was confirmed similarly in grossular.

N_2-rich fluids have been found in some mantle xenoliths and rare orogenic eclogites. However, they commonly coexist with CO_2-rich fluids. Despite CH_4-bearing aqueous fluids are very common in jadeite-rich (or -bearing) metasomatic rocks associated with serpentinite, N_2-bearing fluids seem extremely rare in the 'jadeitite' (*sensu lato*). H_2, CH_4, and N_2 gas mixtures have been reported from serpentinization-related hyperalkaline springs and/or olivine-hosted fluid inclusions in mantle wedge serpentinites. Recent studies notably concluded that the abiotic CH_4 generation was linked with serpentinization. Naturally, the source of CH_4 of the New Idria jadeitite and the related-metasomatic rocks can correlate to a serpentinization process. In addition, previous geochemical studies of New Idria jadeitite revealed that the jadeite-forming fluids therein were derived from metasedimentary rocks. Considering the hypothesis, the N_2 was also most likely derived from the subducted sediments.



In this contribution, we will report the occurrence of the CH_4–N_2-bearing aqueous fluid inclusions and discuss the possible source of nitrogen. Our finding might bring new insights into the nitrogen cycle in the mantle wedge.

Figure 1. Primary aqueous fluid inclusion in a jadeite crystal.

Keywords: jadeite, fluid inclusion, nitrogen, methane, serpentine
*Corresponding author: rio.s2@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

西彼杵変成岩雪浦メランジュ中のザクロ石の累帯構造

Garnet zoning in the Yukinoura serpentinite mélange, the Nishisonogi metamorphic rock.

西山忠男*・鵜木康平・吉朝　朗（熊本大理）
Tadao Nishiyama*, Kouhei Unoki and Akira Yoshiasa (Kumamoto U.)

九州西端西彼杵変成岩の雪浦メランジュは，マイクロダイヤモンドを産することから超高圧変成作用で形成された蛇紋岩メランジュであることが明らかになった[1]. 一方，メランジュ中のメタペイサイトや泥質砂質片岩中からは，マイクロダイヤモンド（およびコーサイト仮像）以外に超高圧変成作用を示唆する鉱物は見いだされていない. そこで, これらの変成岩の形成条件を，ザクロ石の累帯構造により検討した.

雪浦メランジュでは，塊状蛇紋岩の一部に，泥質砂質片岩ならびに塩基性片岩が，大小さまざまの小岩体（最大 200×100 ㎡）ならびにブロック（径 2～5m大の構造岩塊）として含まれる．塩基性片岩の鉱物組み合わせは，ザクロ石＋Ca 角閃石＋アルバイト±緑簾石±緑色黒雲母±フェンジャイト±緑泥石で，オンファス輝石仮像とローソン石仮像と思われる鉱物集合体が含まれる．ザクロ石中の包有物として，多量のチタン石が含まれ，まれに藍閃石とパラゴナイトが含まれる．ザクロ石はスペサルティン成分に乏しいアルマンディン―グロシュラール系列の組成を有し，リムでグロッシュラール成分が最大 40%にまで増加する累帯構造を示す.

泥質片岩の鉱物組み合わせは，ザクロ石＋フェンジャイト＋緑泥石＋緑簾石＋アルバイト＋石英で，ザクロ石の組成はコアで $Alm_{70}Grs_{25}Sps_{5}$～$Alm_{60}Grs_{25}Sps_{15}$程度であり，リムで急激にグロッシュラール成分が増加し，$Alm_{50}Grs_{40}Sps_{10}$程度となる．リムにおけるグロッシュラール成分の増加は，2 チタン石＋2 クリノゾイサイト＋石英＝３グロッシュラール＋ルチル＋H_2O という反応で説明可能であり，この反応は右辺が高圧である. このような顕著な圧力増加を示す累帯構造は西彼杵変成岩の他の地域のザクロ石では見られない．このことから雪浦メランジュが他地域の西彼杵変成岩より高圧の条件を受けたことは間違いない.

[1]Nishiyama et al. (2020) Sci.Rept

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | S1, S4：火成作用及びプレート収束域の物質科学合同セッション

2021年9月17日(金) 14:00 ~ 16:45 | Zoom Session 3

S1, S4：火成作用及びプレート収束域の物質科学合同セッション

座長:DYUTI PRAKASH SARKAR(広島大)、浜田 盛久(海洋研究開発機構)

[座長]
Dyuti Prakash Sarkar：S1,S4-01～S1,S4-04
浜田 盛久：S1,S4-05～S1,S4-09

14:00 ~ 14:30

[S1,S4-01] 紀伊半島下のゆっくりすべり，スラブ内地震と内陸地震

*北 佐枝子[1]、ヒューストン ハイジ[2]、矢部 優[3]、田中 佐千子[4]、浅野 陽一[4]、澁谷 拓郎[5]、須田 直樹[6] (1. 建築研・国地、2. 南カリフォルニア大、3. 産総研、4. 防災科研、5. 京大防災研、6. 広大・院理)

14:30 ~ 14:45

[S1,S4-02] 南海トラフC0002掘削地点でのカッティングス試料を用いた摩擦特性プロファイルの作成

*藤岡 里帆[1]、片山 郁夫[1]、北村 真奈美[2]、奥田 花也[3]、廣瀬 丈洋[4] (1. 広島大、院理、2. 産総研、3. 東京大、大気海洋研、4. JAMSTEC 高知コア研究所)

14:45 ~ 15:00

[S1,S4-03] 室温から高温における単結晶白雲母の摩擦における直接効果の温度依存性

*佐久間 博[1]、Moore Diane[2]、Lockner David[2] (1. 物材機構、2. USGS)

15:00 ~ 15:15

[S1,S4-04] 熱水流体に起因したイライトと空孔の形成および断層発生過程との関係

*安東 淳一[1]、兒島 巧太[1]、DAS Kaushik[1]、富岡 尚敬[2]、上原 誠一郎[3] (1. 広島大、2. JAMSTEC・高知コア研、3. 九州大)

15:15 ~ 15:30

休憩

15:30 ~ 15:45

[S1,S4-05] オマーン陸上掘削プロジェクトで採取されたエピドサイトの地震波速度に空隙形状と変質鉱物が与える影響

*長瀬 薫平[1]、片山 郁夫[1]、畠山 航平[2]、赤松 祐哉[1]、岡崎 啓史[3] (1. 広島大・院理、2. 明星大・教育、3. 海洋研究開発機構)

15:45 ~ 16:00

[S1,S4-06] マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中のカルサイト中の流体包有物

「発表賞エントリー」

*山本 千早[1]、釘宮 健人[1]、石戸 慎也[1]、川本 竜彦[1]、市山 祐司[2] (1. 静岡大・理、2. 千葉大・理)

16:00 ~ 16:15

[S1,S4-07] **流紋岩質メルト中における炭素同位体の拡散分別**

*川原 爽[1]、吉村 俊平[1] (1. 北大・院理)

16:15 ~ 16:30

[S1,S4-08] 角閃石の主要元素・微量元素組成を用いたマグマの進化過程の解明

「発表賞エントリー」

*岡田 郁生[1]、柴田 知之[1]、芳川 雅子[1]、石橋 秀巳[2]、杉本 健[3]、早坂 康隆[1] (1. 広島大、2. 静岡大、3. 地熱エンジニアリング株式会社)

16:30 ~ 16:45

[S1,S4-09] 火道上昇履歴に応じた石基輝石晶相変化の実験的検証

「発表賞エントリー」

*奥村 翔太[1]、奥村 聡[2]、三宅 亮[1] (1. 京都大・院理、2. 東北大・院理)

紀伊半島下のゆっくりすべり，スラブ内地震と内陸地震

北佐枝子*（建築研，UC バークレ）、Heidi Houston（南カリフォルニア大）、
矢部優（産総研）、田中佐千子、浅野陽一（防災科研）
澁谷拓郎、須田直樹（広大・院先進理工）

Relationship of slow earthquakes to intraslab and inland earthquakes in the Nankai subduction zone

Saeko Kita*(BRI & UC Berkeley), Heidi Houston (USC), Suguru Yabe (AIST), Sachiko Tanaka, Youichi Asano (NIED) , Takuo Shibutani (DPRI, Kyoto Univ.), Naoki Suda (Hiroshima Univ.)

日本列島の陸プレートと海洋性プレートの境界では「ゆっくりすべり」と呼ばれる，継続時間の長い地殻変動現象が，東北沖及び南海トラフ等で発生していることが知られている．「ゆっくりすべりが発生すれば、その下の海洋性スラブ内での応力場や地震活動も変化する」と考え，紀伊半島下にて発生する短期的スロースリップイベントと呼ばれる繰り返し周期約 6 ヶ月のゆっくりすべり発生前後のスラブ内地震の観測データ（防災科研による発震機構解，気象庁一元化震源）約17年分の時間変化を調べた．なお，ゆっくりすべり(slowslip)は，深さ30-40km程度にて深部低周波微動（episodic tremor）も伴って発生するため，以下ETSとして記す．

得られた結果は下記の通りである．1) ETS 発生前後でのスラブ内の応力軸の変化を捉えられ，さらに応力軸の変化が ETS 発生域直下（5 度）と比べ，より浅部の領域で大きいこと（12 度）を見出した．また，その浅部の領域でも，ETS 後にゆっくりすべりを示唆する地震活動が見られた．これらの結果は，測地学的研究(Kano and Kato, 2020)で報告のある ETS 後の浅部でのゆっくりすべりを，地震データ解析でも検出可能なことを意味する．また 2）ETS 発生の約 1 ヶ月前にスラブ内地震の b 値のピーク及び発生個数の急激な上昇が見られた．これらの特徴は，流体注入による誘発地震の特徴[Bachmann et al. 2012]に似ており，スラブ内からプレート境界への流体の流入により ETS が発生することを意味すると考えられる．Ujiie et al. [2018]では，ゆっくりすべりの発生周期への石英脈形成の関与が指摘されており，ETS 前後でのスラブ内の応力軸の回転にも，石英脈の形成過程の関与があるかもしれない．

紀伊半島の内陸地震についても調べたところ，ETS 後に活発になるクラスターも見つかった．さらなる詳細な解析により，流体を介した沈み込み帯における地震・地殻変動現象間の関係の解明が期待される（図 1）．

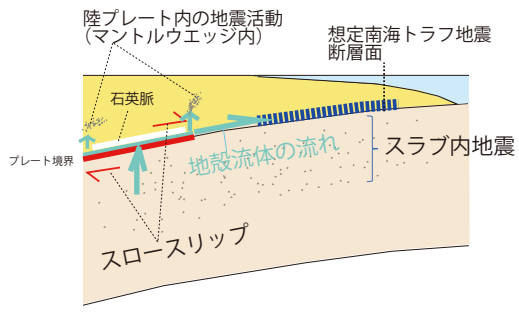


図 1: 紀伊半島下でのスロースリップ，スラブ内地震，マントルウエッジ内の地震活動と地殻流体との関係（概念図）

Key words: Slow earthquake, Intermediate-depth intraslab earthquake, Stress field, Quartz vein, b-value
Corresponding author: kita@kenken.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

南海トラフ C0002 掘削地点でのカッティングス試料を用いた摩擦特性プロファイルの作成

藤岡里帆，片山郁夫（広島大・院理），北村真奈美（産総研），
奥田花也（東京大・大気海洋研）廣瀬丈洋（海洋研究開発機構）

Depth profile of frictional properties inferred from cuttings obtained at the Nankai Trough C0002 drilling site

Riho Fujioka*, Ikuo Katayama (Hiroshima Univ. Sci.), Manami Kitamura (AIST),
Hanaya Okuda (Univ. of Tokyo, AORI), Takehiro Hirose (JAMSTEC)

南海トラフの地震発生メカニズムを解明するために、2007 年から 2019 年にかけて、南海トラフ地震発生帯掘削計画（NanTroSEIZE）が IODP の一環として実施された。これまでの摩擦実験の研究では，IODP 掘削計画で採取されたコアサンプルを用いて行われていたが（e.g.，Takahashi et al.2014; Ikari et al.2018）、これらのサンプルは南海付加体の比較的浅い部分から採取されたものであった。本研究では、掘削地点 C0002 で海底下 875～3262m から連続的に採取されているカッティングス試料に対し約 50m ごとに摩擦実験を行い、摩擦特性−深さプロファイルを作成した。

摩擦実験は広島大学設置の高温二軸摩擦試験機を用い、静水圧を想定した原位置と同じ有効垂直応力（σ_e = 9–34 MPa）を設定し、海水を模擬した NaCl 水溶液（0.5mol/l）を用いた含水条件下で行った。カッティングス試料をすりつぶし、粒径を 106μm 以下にそろえ模擬ガウジを作成した。すべり速度は 3μm/s で定常状態に達した後、0.3、3、33μm/s の間で段階的に変化させた。この実験より、定常状態での摩擦係数、摩擦の速度依存性（a-b）および臨界すべり距離（Dc）を調べた。実験結果より摩擦特性−深さプロファイルを作成し、カッティングス試料の粘土鉱物総含有量（Underwood 2017）との比較検討を行い、摩擦特性と粘土鉱物含有量の関連性を検証した。

摩擦係数 μ は海底下 875～3262m において 0.472≤μ≤0.657 の範囲であり、深さが深くなるにつれやや上昇する傾向が見られた。また、スメクタイトの含有量は深さとともに減少しているため，摩擦係数の深さ依存性はスメクタイトからイライトへの相転移に関係していると考えられる。南海トラフで得られた掘削試料を用いた先行研究（Takahashi et al.,2014 , Ikari et al., 2018）の結果と比較すると、本研究で得られた摩擦係数は粘土鉱物の含有量が多いにも関わらず高めであった。これは、粘土鉱物のうちスメクタイト以外の鉱物含有量が多いためであると考えられる。一方、摩擦の速度依存性パラメータ（a-b）は 0.001≤a-b≤0.006 の範囲となり、いずれの深さでも速度強化の性質を示した。これらの結果より、掘削地点 C0002 の摩擦特性は、粘土鉱物の種類や含有量に依存する可能性が高いことがわかった。また、摩擦の速度依存性が正であることから、掘削地点 C0002 は安定すべり領域であると考えられる。紀伊半島沖の掘削地点近傍で観測されている Slow Slip Events（Araki et al 2017, Yokota & Ishikawa 2020）は、本研究で明らかになった摩擦特性に起因する可能性がある。

Key words: Friction, Nankai Trough, Accretionary prism, clay minerals
*Corresponding author: m202543@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

室温から高温における単結晶白雲母の摩擦における直接効果の温度依存性

佐久間博*（物材機構）、Diane Moore（USGS）、David Lockner（USGS）

Temperature dependence of direct effect on the friction of single-crystal muscovite from room to elevated temperature

H. Sakuma* (NIMS), D. Moore (USGS), D. Lockner (USGS)

Deformation in the crust often localizes along weak faults. Characterizing the frictional behavior of materials in faults is essential to understand the crustal dynamics. The rate and state friction (RSF) law (Dieterich 1979; Ruina 1983) achieved great success in characterizing the friction of simulated fault and gouges as a function of slip velocity and holding time. The RSF law is, however, semi-empirical and it is difficult to apply at temperatures and pressures beyond the experimentally tested ranges. To develop a non-empirical RSF law, the physics behind the semi-empirical parameters must be revealed.

We have studied the direct-effect parameter "*a*" which is the critical parameter in the RSF law for the response of the change in slip rate. The parameter has been interpreted as a thermally activated process at asperity contacts (Stesky 1978; Heslot *et al.*, 1994). Based on the process, the "*a*" value should increase with increasing temperature. Our velocity-stepping shear tests on single-crystal muscovite, however, indicate that the "*a*" value clearly decreases with increasing temperature from ~25° to 400°C. This implies that the thermally activated process may not be applied to the friction of muscovite.

We also conducted the non-equilibrium molecular dynamics simulations of single-crystal muscovite to reveal the behavior occurring at the contact area during the sliding. Simulation conditions are: 25 to 600°C, normal stress of 6 GPa, shear rate of 10^{8} to 10^{12} s^{-1}. The "*a*" value is calculated by the difference in the steady state friction coefficient among different shear rates. The simulated "*a*" value decreases with increasing temperature at shear rate higher than 10^{10} s^{-1}. At shear rates $<10^{10}$ s^{-1}, the simulated "*a*" values are constant independent of temperature. These results indicate that the physics of direct effect of single-muscovite may not be interpreted by the thermal activation theory.

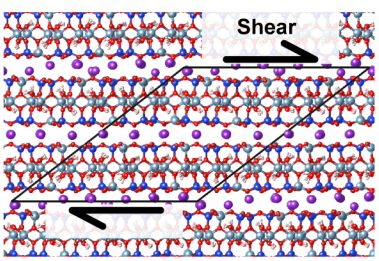


Fig. A snapshot of MD simulations

Keywords: direct effect, thermal activation process, mica, molecular dynamics, rate and state friction law

*Corresponding author: SAKUMA.Hiroshi@nims.go.jp

熱水流体に起因したイライトと空孔の形成および断層発生過程との関係

安東淳一*（広島大），兒島巧太（広島大），DAS Kaushik（広島大），
富岡尚敬（JAMSTEC・高知コア研），上原誠一郎（九州大）

Relationship between hydrothermal fluid-induced illite and void, and faulting process

J. Ando* (Hiroshima Univ.), K. Kojima (Hiroshima Univ.), K. Das (Hiroshima Univ.),
N. Tomioka (JAMSTEC), S. Uehara (Kyushu Univ.)

【はじめに】 本研究では、地質調査と岩石の微細組織観察をもとに、熱水流体が関与したイライトの晶出と空孔の形成が断層形成に大きく関与した可能性を報告する。

【研究対象】 研究対象とした断層は、秩父帯南帯に属する三重県度会町内の塊状チャート岩体中に発達する。この断層は、塊状チャート岩体中央部に発達し、数 10 m にわたり直線的に露出する。

【地質調査の結果】 以下のことが明らかとなった。1）塊状チャート岩体中には、スタイロライトシームと、スタイロライトシームから形成された幅約 0.5 mm から 1 cm 程度の白色バンドが無数に認められる。スタイロライトシームと白色バンド、それと研究対象とした断層の走向と傾斜は、ほぼ平行である。2）断層から幅約 100 m の領域は、断層ダメージ帯となっている。未変形の塊状チャート部と断層ダメージ帯の間には、幅約 10 m の褶曲部が存在する。3）断層近傍では、白色バンドを横ずれさせるリーデル剪断面が発達する。4）断層面は、白色バンドが滑動して形成されている。

【微細組織観察の結果】 未変形塊状チャート、断層ダメージ帯のチャット、断層面を構成するチャートを採取し、偏光顕微鏡と SEM を用いて微細組織観察を行った。また未変形塊状チャート、スタイロライトシーム、白色バンド、断層すべり面を構成する鉱物を同定するために XRD、EPMA および ATEM を用いて分析を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。1）未変形塊状チャート、スタイロライトシーム、白色バンド、断層面はそれぞれ、石英と緑泥石、緑泥石とイライト、石英と約 10 μm以下のイライト、石英とイライトで構成されている。2)白色バンドには、特徴的な組織として直径数μm以下の多数の空孔が認められた。3）イライトの結晶化度は、スタイロライトシームや白色バンドよりも断層面のものが良い。

【考察】 スタイロライトシームと白色バンドを構成するイライトは、未変形塊状チャート中には存在しないため、浸透してきた熱水流体から晶出したことがわかる。またスタイロライトシームは圧力溶解で形成されるため、白色バンド中に顕著に認められる空隙は、石英の溶解によって形成されたと考えられる。今回の研究では、白色バンドにはイライトと空隙が濃集している為に、塊状チャート岩体中内での弱面となり、リーデル剪断面や褶曲部で示唆される応力場において、断層を形成させた可能性が高い。

Keywords: Illite, Fluid, Fault, stylolite
*Corresponding author: jando@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

オマーン陸上掘削プロジェクトで採取されたエピドサイトの地震波速度に空隙形状と変質鉱物が与える影響

長瀬薫平，片山郁夫（広島大・院理），畠山航平（明星大・教育），
赤松祐哉（広島大・院理）岡﨑啓史（海洋研究開発機構）

Influence of pore geometry and alteration minerals on seismic wave velocities of Epidosite collected from the Oman Drilling Projects

Kumpei Nagase*, Ikuo Katayama (Hiroshima Uni. Sci.), Kohei Hatakeyama (Meisei Uni.),
Yuya Akamatsu (Hiroshima Uni. Sci.), Keishi Okazaki (JAMSTEC)

海洋地殻の含水化は沈み込み帯への水輸送に重要な役割を果たしている．特に，地震波速度が遅い海洋地殻浅部(Layer 2)には多くの水が割れ目中に存在していると考えられている(e.g., Detrick et al., 1994)．しかし，Layer 2 の最下部において例外的に V_P/V_S の低い領域が観測されており(Spudich and Orcutt 1980)，割れ目のようにアスペクト比が小さい空隙は岩石の V_P/V_S を増加させることが理論モデルから予想されているため，割れ目だけでは説明することができない．V_P/V_S の低い領域を説明する要因として，(1) アスペクト比が大きな丸みを帯びた空隙，(2) 熱水変質の影響の二つが考えられる．オフィオライトにみられるエピドサイトは熱水循環に伴って形成された多孔質な岩石であり，造岩鉱物の中でも特に低い V_P/V_S を示す石英を多く含んだ岩石であることから，低 V_P/V_S 構造と関連している可能性がある．そこで，本研究ではエピドサイトの地震波速度(V_P/V_S)について空隙形状と変質鉱物に着目した物性測定と組織観察を行った．

研究にはオマーンオフィオライト陸上掘削プロジェクトのGT3Aサイトで採取されたエピドサイトとダイアベースを用いた．弾性波速度と空隙率の同時測定は容器内変形透水試験機を用いて常温下で行い，間隙水圧は 1 MPa で一定にして，封圧を 3 MPa から 200 MPa まで段階的に上げた．実験後の回収試料は直径 6 mm に成形し，高知コア研究所設置のマイクロフォーカス X 線 CT を用いて三次元での組織観察を行った．

ダイアベースは，封圧の増加に伴って空隙率が 1.5 %から 1.1 %まで減少し，P 波速度は 5.58 km/s から 5.81 km/s, S 波速度は 3.09 km/s から 3.32 km/s まで増加する結果が得られた．V_P/V_S は加圧に伴って減少していく傾向が見られ，200 MPa における V_P/V_S は 1.75 であった．また，回収試料の三次元での組織観察からは割れ目のような空隙形状を示していることが確認された．エピドサイトは，空隙率が 4.9 %から 4.8 %まで減少し，P 波速度は 5.43 km/s から 5.92 km/s, S 波速度は 3.33 km/s から 3.62 km/s まで増加する結果が得られた．V_P/V_S はあまり変化せず，200 MPa における V_P/V_S は 1.64 であった．また，回収試料の組織観察からは丸みを帯びた空隙形状を示した．

実験試料のモード組成と各構成鉱物の弾性定数から固相の V_P/V_S を計算した結果，ダイアベースは V_P/V_S = 1.73，エピドサイトは V_P/V_S = 1.67 と見積もられ，エピドサイト化が岩石の固相の V_P/V_S を低下させている可能性を支持する計算結果が得られた．続いて，計算から求めた固相の V_P/V_S と封圧 200 MPa において実験で得られた V_P/V_S を比較することで，空隙の効果についての検討を行った．これらの比較から，実験で得られたダイアベースの V_P/V_S は固相の計算値に比べて高い値であったのに対して，エピドサイトの V_P/V_S は固相よりも低い値を示した．空隙を含んだ実験試料の傾向は，空隙形状の違いを反映している可能性が高い．そこで，有効媒質理論で与えられる V_P/V_S の理論モデルと比較を行うことで空隙のアスペクト比を推定した．その結果，ダイアベースの空隙のアスペクト比は ~ 0.01，エピドサイトのアスペクト比は~ 0.1 と見積もられた．このように，実験結果と理論モデルの比較から得たエピドサイトの空隙は丸みを帯びた空隙であることが示唆され，このことは，CT 観察から得られた空隙形状とも整合的であった．以上のことから，Layer 2 最下部の低 V_P/V_S は空隙形状の違いと苦鉄質地殻における変質の二つを反映している可能性が考えられる．

Key words: Epidosite, Pore geometry, Seismic wave velocities
*Corresponding author: kumpei-nagase@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中のカルサイト中の流体包有物

山本千早[1*], 釘宮健人[1], 石戸慎也[1], 川本竜彦[1], 市山祐司[2]
([1]静岡大・理・地球科学, [2]千葉大・理・地球科学)

Fluid inclusions in calcite of serpentinite mud seamounts in the Mariana forearc

Chihaya Yamamoto[1*], Kento Kugimiya[1], Shinya Ishido[1], Tatsuhiko Kawamoto[1], Yuji Ichiyama[2]
([1]Dept Geosciences, Faculty Science, Shizuoka Univ., [2]Dept Geosciences, Faculty Science, Chiba Univ.)

We report chemical species, salinity and homogenization temperature of fluid inclusions in calcite in serpentinite mud seamounts in the Mariana forearc and provide constraints on the chemical composition of subduction fluids. Based on the obtained data, we suggest that the fluid inclusions represent saline fluids derived from the plate boundary.

はじめに：マリアナ海溝の前弧域では，いくつかの蛇紋岩泥海山の存在が確認されている．マリアナ沈み込み帯は非付加型であるため，蛇紋岩や流体が上昇する際に化学組成が陸源物質によって化学的に乱されない．また，蛇紋岩や流体は既に水－岩石相互作用を経験した断層に沿って上昇するため，プレート境界の流体の組成変動を最小限にすると考えられる (Salisbury et al., 2002, Proc Ocean Drill Prog)．流体包有物は鉱物中に流体が取り込まれた時の温度や化学組成などの情報を持つ．本研究は，マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中のカルサイトに含まれる流体包有物を分析し，沈み込み帯流体の化学組成に束縛条件を与える．

方法：Asùt Tesoru 海山と South Chamorro 海山で採取された蛇紋岩の礫・砂・泥を観察した．Asùt Tesoru 海山の試料は，IODP Exp.366 の掘削試料(U1496A)，South Chamorro 海山の試料は，ODP Leg195 の掘削試料(1200E)である．両面研磨片を作成し，偏光顕微鏡を用いて炭酸塩鉱物と鉱物中の流体包有物を探した．続いて，ラマン分光分析を行い，ホスト鉱物はカルサイト，流体は水であると同定し，マイクロサーモメトリー法により，流体包有物の塩濃度と均質化温度を測定した．

結果と考察：Asùt Tesoru 海山の試料から 22 点の流体包有物を分析し，塩濃度は 5.7±1.9 (wt.% NaCl 当量)，均質化温度は 184±62℃を得た．South Chamorro 海山は，38 点の流体包有物の分析から，塩濃度は 3.7±1.3 (wt.% NaCl 当量)，均質化温度は 280±46℃を得た．これらの均質化温度は，この地域のプレート境界の温度に近い(Hulme et al., 2010, G-cube; Ichiyama et al., 2021, Lithos; Debret et al., 2019, Lithos; Maekawa et al., 1993, Nature; Pabst et al., 2012, Lithos)ので，流体包有物はプレート境界から上昇した塩水流体が取り込まれたものであると提案する．

Asùt Tesoru 海山と South Chamorro 海山の下のプレート境界の深さは 18km と 19km で，海溝軸からの距離も 72km と 78km で，ほぼ等しい(Debret et al. 2019, Lithos; Fryer et al. 2017, IODP Publications)．海溝軸からの距離に応じて蛇紋岩泥海山の間隙流体組成と鉱物相は変化する(Fryer et al., 2017, IODP Publications）ため，流体の塩濃度や均質化温度も海溝軸からの距離に応じて変化する可能性はある．両海山におけるプレート境界からの位置関係は類似しているが，それぞれの塩濃度の測定値には差があった．もう少しデータをとることで値の確実性が増し，より考察を深めたい．本地域では，ほかにも Fantangisña 海山と Yinazao 海山の二つの海山の掘削試料が入手でき，今後これらの蛇紋岩泥海山中の炭酸塩鉱物の流体包有物の観察を行うことで，海溝軸からの距離，プレート境界の深度と流体の塩濃度との関係をより詳細に解明したい．

Keyword : fluid inclusion, salinity, plate boundary, Mariana forearc, subduction zone fluids
*Corresponding author: yamamoto.chihaya.18@shizuoka.ac.jp

流紋岩質メルト中における炭素同位体の拡散分別

川原 爽*・吉村俊平（北海道大学）

Diffusive fractionation of carbon isotopes in rhyolitic melt

Akira Kawahara*, Shumpei Yoshimura (Hokkaido Univ.)

We measured diffusivity of $^{12}CO_2$ and $^{13}CO_2$ in dry and hydrous rhyolitic melts. We found that diffusive fractionation occurred significantly between $^{12}CO_2$ and $^{13}CO_2$ in hydrous rhyolitic melts, while it did not occur in dry melts.

揮発性成分を含むマグマが上昇すると、圧力が低下し発泡が起こる。このとき、一つの揮発性成分でも複数の同位体が存在し、それらの間で拡散速度が異なることから、短時間の間に同位体分別（拡散分別）が起こることが知られている（e.g., Fortin et al., 2017）。主要な揮発性成分である CO_2 についても、$^{12}CO_2$ と $^{13}CO_2$ の間で拡散分別が起こり(Watson, 2017)、全地球の炭素循環などに重大な影響を及ぼす可能性があるが、その有無や程度は全く不明である。そこで本研究では、①FT-IR を用いた超低濃度 $^{13}CO_2$ の定量分析法の開発、②流紋岩質ガラスへの CO_2 の拡散実験の 2 つを行い、$^{12}CO_2$ と $^{13}CO_2$ の拡散分別が起こるかどうかを検証した。

＜手法＞

和田峠産の流紋岩質黒曜石を 750–1000℃, 6–100 MPa の条件で CO_2–H_2O 混合流体または純粋 CO_2 流体中に 24–576 時間保持し、CO_2 を拡散させた。そして、FT-IR を用いて試料内部の $^{12}CO_2$・$^{13}CO_2$・H_2O の濃度分布を分析した。$^{13}CO_2$ は 2280 cm^{-1} に吸光帯をもつことが知られているが（Ihinger et al., 1994)、その濃度はあまりに低いため、従来はこれを測定することは困難であった。本研究では光学系と試料室を真空排気できる FT-IR を用い、50×50 ㎛のビームで積算回数を 1024 回まで増やすことで、濃度 0.3 ppm の $^{13}CO_2$ を±0.01 ppm(3%)の精度で測定できるようにした。

＜結果＞

純粋 CO_2 を用いた実験では、ガラス含水量は 0.1 ~0.2 wt%であった。$^{12}CO_2$ の拡散係数は 5.15×10^{-14} m^2/s（750℃）～1.57×10^{-12} m^2/s（1000℃)、活性化エネルギーは 148 kJ/ mol であった。これは、同様の実験を行った Blank (1994)の結果とほぼ一致していた。また，$^{13}CO_2$ の拡散係数は $^{12}CO_2$ の値とほぼ等しく、有意な拡散分別は認められなかった。一方，CO_2–H_2O 混合流体を用いた実験ではガラス含水量は 0.3~3.0 wt%であった。このとき $^{13}CO_2$ と $^{12}CO_2$ で拡散プロファイルの形状は大きく異なり、$^{13}CO_2$ の拡散係数の方が 18～30%ほど低く、拡散分別が起こっていることが判明した。このことから、含水量の違いが $^{13}CO_2$ と $^{12}CO_2$ の拡散分別に影響を与えていることが示唆され、現在検証を行っている。

Keywords: CO_2, diffusive fractionation, silicic melt
*Corresponding author: kawahara.akira.s3@elms.hokudai.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

角閃石の主要元素・微量元素組成を用いたマグマの進化過程の解明

岡田郁生，柴田知之，芳川雅子（広島大），石橋秀巳（静岡大），
杉本健（地熱エンジニアリング株式会社），早坂康隆（広島大）

Investigation of the magma evolution process inferred from major and trace element compositions of amphibole

Ikuo Okada*, Tomoyuki. Shibata, Masako Yoshikawa (Hiroshima Univ.),
Hidemi Ishibashi (Shizuoka Univ.), Takeshi Sugimoto (Geothermal Engineering Co., Ltd.),
Yasutaka Hayasaka (Hiroshima Univ.)

斑晶鉱物の化学・同位体組成は，平衡共存するメルトの物理化学的特性を記録するため，マグマの進化過程のある時点での情報を提供する．最近，多変量回帰分析を用いることで，相平衡論に基づいた伝統的なメルトの物理化学的特性の推定の限界を超える，成果が報告されるようになった．例えば，高温高圧実験データを多変量回帰分析することで，角閃石の主要元素組成から晶出時の温度・圧力やメルトの主要元素組成を推定する方法が提案され（e.g., Putirka 2016; Ridolfi & Renzulli 2012; Zhang et al., 2017），これらを火山噴出物中の角閃石に適用する試みが精力的に行われている（e.g., Nagasaki et al., 2017; 石橋ほか 2021）．さらには，組成依存性が高く推定困難であった角閃石‐メルト間の微量元素の分配係数も高温・高圧実験の多変量回帰分析で推定することが可能となった（Shimizu et al., 2017; Humphreys et al., 2019）．我々は，これらの新たに開発された手法を統合して用いることで，マグマの進化過程のある時間微分における，温度・圧力，主要元素・微量元素組成を推定することを目的に，九州北東部に位置する第四紀由布火山の安山岩中の角閃石の主要元素・微量元素組成を分析した．また，角閃石の微量元素組成分析にあたって，LA-ICP-MS による局所分析法を確立した．角閃石の主要元素組成は EPMA で分析した．

由布火山の安山岩中の角閃石は，相対的に Si に乏しいグループ（5.8-6.2 atomic per formula unit (apfu)）と富むグループ（6.5-7.0 apfu）に分けられ，これらのグループは同一安山岩中に共存する．本研究では，前者を pSi，後者を rSi と呼ぶ．推定した角閃石の晶出温度圧力条件，および共存メルトの主要元素組成は，pSi が 356–600 MPa，932–1016ºC，玄武岩質からデイサイト質（SiO_2 = 52.3–62.9 wt.%）で，rSi が 73–221 MPa，773–846ºC，流紋岩質（SiO_2 = 72.2–80.3 wt.%）でそれぞれ異なる範囲が得られた．始原的マントル規格化パターン（PM パターン）図において，pSi と rSi と平衡なメルト（以下 pSi メルトと rSi メルトと呼ぶ）は両者とも LIL 元素に富み，HFS 元素が枯渇した典型的な島弧マグマの特徴を示す．しかしながら，pSi メルトは正の Sr の異常と相対的に高 Sr/Y 比（90–180）で特徴づけられるのに対し，rSi メルトは負の Sr の異常と低 Sr/Y 比（24–42）を示す．pSi メルトの PM パターンや Sr/Y 比はアダカイトの特徴を持つ姫島火山群のデイサイト（Shibata et al., 2014）と類似する．一方，rSi メルトは姫島火山群の流紋岩（Shibata et al., 2014）や九重火山の大規模噴火由来のテフラ中の火山ガラス（Albert et al., 2019）と類似する．この類似性は，大規模噴火を起こしうる珪長質マグマの成因として一般的に地殻物質の部分溶融が考えられている（e.g., Kimura et al., 2015）ことから，rSi メルトも地殻物質の部分溶融が起源であると考えることで説明できるかもしれない．

以上のことから，由布火山下では，アダカイト質マグマと地殻溶融を起源とするマグマが，それぞれ，異なる深度と温度で存在し，これらマグマの混合が由布火山のマグマ進化に関与していると考えられる．これらのことから，角閃石の主要元素・微量元素組成は複雑なマグマプロセスを経て生成されたマグマの起源を知る上で強力な地球化学的ツールであることを示すと考えられる．

Keywords: amphibole, magma evolution, magma mixing, P-T conditions, Yufu volcano
*Corresponding author: ikuo-okada@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

火道上昇履歴に応じた石基輝石晶相変化の実験的検証

奥村翔太(京都大), 奥村聡(東北大), 三宅亮(京都大)

Crystal habit change of groundmass pyroxenes depending on magma ascent paths revealed by single-step decompression experiments

Shota OKUMURA*(Kyoto Univ.), Satoshi OKUMURA (Tohoku Univ.), Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)

近年、マグマの火道上昇中にレオロジーや脱ガス機構が噴火様式に影響することが指摘されている[1]。この噴火様式分岐条件の理解に重要な上昇履歴は、噴火噴出物の結晶数密度といった岩石組織に記録されている。一般的には減圧脱水で生じた実効過冷却度の増加とともに核形成速度は上昇するが、上昇速度が速すぎることで結晶数密度が却って低くなる場合があり、桜島大正噴火（プリニー式）の軽石はその一例であると考えられている[2]。すなわち、このような噴火では結晶数密度から上昇速度を制約できない可能性があるため、他の岩石組織から制約することが求められる。一方で、新燃岳 2011 年噴火（サブプリニー式、ブルカノ式）における研究から、我々は石基輝石結晶の晶相（結晶面の組合せ）が上昇に伴う過冷却度の指標になりうることを示唆した[3]。サブプリニー式噴火では{110}, {010}からなる六角柱状の石基輝石が多く含まれる一方、ブルカノ式噴火ではさらに{100}が追加された八角柱が主であった。他方、桜島大正噴火において、結晶に富む軽石は六角柱に富んでいたが、結晶に乏しい軽石中からは{110}の卓越した四角柱を確認し[4]、過冷却度の増大に伴って石基輝石結晶の面の種類が減少することを示唆した。しかしながら、その実験的検証は未だ行われていない。

そこで本研究では、桜島大正軽石を用いた減圧結晶化実験を行い、回収物の石基輝石晶相を観察した。実効過冷却度に応じた晶相変化を明らかにし、マグマ上昇過程の指標として石基輝石晶相が有用か考察した。

減圧実験は東北大学所有の外熱式水熱合成装置で行った。出発物質として、桜島大正軽石の欠片と、それらを完全溶融させた均質なガラスの 2 種類を用いた。それぞれ Au パイプに水と封入したものを実験試料として、NNO±１の酸化還元環境、120 MPa, 920 ℃の状態から、等温急減圧（終端圧 120–10 MPa）して保持し、急冷回収した。実験回収物に対して、電界放出形走査型電子顕微鏡による石基輝石結晶の粒径・形状分析を行った。

観察の結果、軽石を出発物質とした実験回収物では、減圧量が大きくなるにつれて輝石晶相が八角柱から六角柱へと変化した。溶融ガラスを出発物質とした実験回収物では、120 MPa で保持して急冷回収した場合は六角柱が主であり、終端圧 10 MPa の回収物では四角柱が主であった。

実験結果から、過冷却度が大きくなるにつれて晶相が八角柱⇒六角柱⇒四角柱へ変化することが確認された。この結果は、結晶に乏しく四角柱が特徴的な桜島軽石のほうが、結晶に富み六角柱が特徴的な軽石よりも過冷却度が高かったことを示唆し、マグマ上昇速度の違いに言及した先行研究[2]を実証した。一方、天然試料で確認された四角柱の晶相は、溶融ガラスでないと再現できなかった。この結果は、減圧前の結晶の有無に起因すると考えられる。すなわち、減圧直後に新たに核が形成するよりも先に既存結晶が成長したことで、系に生じた実効過冷却度が緩和されたと推察される。このことは、大正噴火の一部のマグマが、石基結晶に極めて乏しい均質なメルトの状態から一気に上昇したことを示唆する。石基輝石晶相は、火道での停滞のような複雑な上昇履歴を制約する手掛かりにもなることが期待される。

[引用文献]

[1]Cassidy *et al*. 2018, *Nat. Commun.*, **9**, 2839.

[2]Nakamura 2006, *J. Miner. Petrol. Sci.*, **101**, 178–198.

[3] 奥村ほか 2019, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会.

[4] 奥村ほか 2020, 日本鉱物科学会 2020 年年会.

[謝辞] 本研究は、日本科学協会の笹川科学研究助成による助成を受けたものである。

Keywords: pyroxene, crystal habit, decompression experiment, Sakurajima volcano

*Corresponding author: okumura@kueps.kyoto-u.ac.jp

口頭講演 | R5：地球外物質

2021年9月18日(土) 9:00 ~ 12:15 | Zoom Session 2

R5：地球外物質

座長:中村 智樹(東北大学)、瀬戸 雄介(神戸大学)、 橘 省吾(東京大学)

[座長]
瀬戸 雄介, 橘 省吾：R5-01〜R5-06
橘 省吾, 中村 智樹：R5-06〜R5-13

9:00 ~ 9:15

[R5-01] **地球鉱物の三大極限現象の対比考察：地球外の固体形成**

*三浦 保範[1] (1. 元山口大学・院理)

9:15 ~ 9:30

[R5-02] カンラン岩質エコンドライト隕石のカンラン石結晶方位解析：原始惑星でのマグマ結晶化・変形過程の検証

*三河内 岳[1]、竹之内 惇志[2]、山口 亮[3]、安武 正展[4]、アンソニー アービング[5] (1. 東大・総研博、2. 京大・総博、3. 極地研、4. 高輝度光科学研究センター、5. ワシントン大)

9:30 ~ 9:45

[R5-03] コマチアイトとの対比を通した急冷アングライトの形成場

*林 秀幸[1]、三河内 岳[2] (1. 東大・院理、2. 東大・総研博)

9:45 ~ 10:00

[R5-04] メソシデライトを用いたシリカ鉱物が記録する冷却速度の推定

*大野 遼[1]、竹之内 惇志[2]、三河内 岳[3]、山口 亮[4]、杉浦 直治[1] (1. 千葉工大・惑星探査、2. 京大・博物館、3. 東大・博物館、4. 極地研)

10:00 ~ 10:15

[R5-05] Nakhlite隕石 NWA 10153とNWA 6148の複合顕微分析

*久木原 翔[1]、宮原 正明[1]、山口 亮[2]、高橋 嘉男[3]、武市 泰男[4]、富岡 尚敬[5]、大谷 栄治[6] (1. 広島大・院理、2. 極地研、3. 東京大学・院理、4. KEK、5. JAMSTEC、6. 東北大学・院理)

10:15 ~ 10:30

[R5-06] 放射光マイクロXANESを用いた衝撃による斜長石中の鉄の価数変化の評価

*佐竹 渉[1]、三河内 岳[2]、黒澤 耕介[1]、大野 遼[1]、新原 隆史[2]、松井 孝典[1] (1. 千葉工大、2. 東大)

10:30 ~ 10:45

休憩

10:45 ~ 11:00

[R5-07] ジャロサイトの衝撃回収実験

川野 晃平[2]、*宮原 正明[1]、小林 敬道[3]、関根 利守[4]、菅 大暉[5]、高橋 嘉夫[6] (1. 広島大・院先進、2. 広島大・理、3. NIMS、4. 大阪大・院工、5. JASRI、6. 東京大・院理)

11:00 ~ 11:15

[R5-08] 南極産H6コンドライトの衝撃変成組織

*竹之内 惇志[1]、山口 亮[2,3] (1. 京大・総博、2. 極地研、3. 総研大)

11:15 ~ 11:30

[R5-09] **隕石母天体における水質変成作用の解析に用いる層状ケイ酸塩のマルチエレメントXANESライブラリの構築**

*井上 皓介[1]、福士 圭介[1]、菅 大暉[3]、高橋 嘉夫[2]、河合 敬宏[2]、武市 泰男[4] (1. 金沢大・院理、2. 東京大・院理、3. SPring－８、4. KEK)

11:30 ~ 11:45

[R5-10] 再現I-type溶融微小隕石の酸化的熱水変質実験とXAFS法による解析

*Shao Huimin[2]、磯部 博志[1]、北原 銀河[2]、吉朝 朗[1] (1. 熊本大・院先端科学、2. 熊本大・院自然科学)

11:45 ~ 12:00

[R5-11] 非晶質微粒子の高温水質変成過程の中性子準弾性散乱

*奥地 拓生[1]、富岡 尚敬[2]、瀬戸 雄介[3]、梅田 悠平[1]、山田 武[4]、玉造 博夢[5]、柴田 薫[5] (1. 京都大・複合研、2. JAMSTEC・高知コア研、3. 神戸大・院理、4. CROSS、5. 原子力機構)

12:00 ~ 12:15

[R5-12] 難揮発性包有物メルトとCOガスとの酸素同位体交換実験

*山本 大貴[1]、川崎 教行[2]、橘 省吾[3]、上林 海ちる[3]、圦本 尚義[2] (1. JAXA、2. 北大、3. 東大)

地球鉱物の三大極限現象の対比考察:地球外の固体形成

三浦保範（元山口大）

Comparative consideration of Earth's mineral from three major events: Solid formation of other celestial bodies

Yasunori MIURA (Post Yamaguchi Univ.)

Regional and global phenomena by extreme phenomena in Earth's and other planets etc. are discussed, where the Earth is involved in all types. The formation of global system is predicated on the existence of ocean system. Carbonated sedimentary rocks remain on the Earth. Research and exploration of "uniqueness of celestial materials" are expected in the future works by comparative analyses.

はじめに: 昨年の本学会で地球の基本物質の鉱物の固体物質は流動的な大気圏と海洋圏と反応して本惑星活動の一部を残す固体圏であること、その主反応に炭素含有物が活動して固体圏に残存すること、海水圏のない他惑星（月、火星、小惑星）にも炭素含有物が残存することを報告した。本件では地球の三大現象の活動から固体残存物で形成することを他天体物質と対比的に検討する。

固体鉱物の極限生成条件の分類: 天然現象で極限現象は三大現象（隕石衝突、地震、火山）が地球にすべて発生して変動をしている。他天体では天体衝突と内部振動が主体で火山は各天体で制限される（Table 1）。

極限現象と固体システム圏: 極限三大現象（隕石衝突、地震、火山）はその箇所の「局所現象」で不活動天体では全圏的となる。

海水圏による全圏的固体層の形成: 全圏的な固体圏の形成は海水圏の存在が前提で、地球には大規模な堆積層（石灰岩、砂岩、頁岩）が報告されている。特に石灰岩は炭素含有物が大量に広範囲に関与している。

Table 1. Extreme event of Earth and other bodies [1].

Event	Planet and others	Extreme event
Impact (Sky)	**Earth**, the Moon, Mars, Asteroids	Asteroids (meteorite) Impacts
Quake (Solid)	**Earth**, the Moon, Mars	Interior quakes (with & without ocean system)
Volcano (Eruption)	**Earth** (Ocean), Mars (Solid)	Surface (rocks, ocean)

天体の各物質モデルの展開: 天体の軌道観測で地動説が解明された。今後は物質面からの「天体の独自性」が研究や探査などで期待される。

まとめ: 本件は下記のようにまとめられる。１）天然現象で極限現象には局所と広範囲な現象があり、地球は全てに関与している。２）全圏的固体圏の形成は海水圏の存在が前提である。地球には堆積層の炭酸岩が残存している。３）「天体物質独自性」の対比的な研究探査議論などが今後期待される[1-3]。

参考文献: [1]三浦保範（1996）「衝撃波ﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸ」（ｼｭﾌﾟﾘﾝｶﾞｰﾌｪｱﾗｰｸTokyo), 1073-1209. [2] Miura Y. (2018) IMA-2018 (Melbourne, Austra-lia) 2039. [3] Miura Y. (2021) JpGU, PPS04-P18 (Yokohama).

Keywords: Earth's minerals, Water-system, Carbonate rock, Material differences. *yasmiura50@gmail.com*

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

カンラン岩質エコンドライト隕石のカンラン石結晶方位解析：原始惑星でのマグマ結晶化・変形過程の検証

三河内 岳*（東大・総研博／院理）、竹之内 惇志（京大・総博）、安武 正展（高輝度光科学研究センター）、山口 亮（国立極地研）、Anthony J. Irving（ワシントン大・地球宇宙科学）

Crystallographic orientation analysis of olivine in dunitic achondrites: Magmatic crystallization and deformation in protoplanets

Takashi Mikouchi* (Univ. of Tokyo), A. Takenouchi (Kyoto Univ.), M. Yasutake (JASRI), A. Yamaguchi (NIPR), A. J. Irving (Washington Univ.)

はじめに：マグマ溜まり中での結晶集積過程やその後の変形過程により鉱物粒子に結晶方位の配向性が見られることは地球では一般的である。原始惑星起源のカンラン岩質エコンドライト中のカンラン石にも同様の報告がなされており、特にブラチナイトのカンラン石には形態定向配列（SPO）と結晶方位定向配列（CPO）が普遍的に見られることが明らかになっている（Hasegawa+ 2017 など）。近年、サハラ砂漠およびその周辺から多くのブラチナイトおよびカンラン岩質で ungrouped のエコンドライト隕石が発見されていることから、原始惑星で起こったマグマ結晶化および変形過程の多様性をさらに理解するためにこれらの隕石合計 14 試料中のカンラン石結晶方位解析を新たに行った。

試料と分析手法：本研究で分析した試料は、11 個のブラチナイト（NWA 3151, NWA 4872, NWA 4874, NWA 4876, NWA 4882, NWA 5969, NWA 5971, NWA 6349, NWA 6474, NWA 7388, NWA 7605）および 3 個のカンラン岩質で ungrouped のエコンドライト（NWA 6077, NWA 6962, NWA 13446）で、それぞれの薄片試料の数 mm^2〜2 cm^2 ほどの領域を FE-SEM（国立極地研 JEOL JSM-7100M）に付属した EBSD 分析装置で分析した。得られたカンラン石の結晶方位（空間群：P_{bnm}）は AZtec ソフトで解析し、1 結晶につき 1 方位データとした。それぞれの試料で解析したカンラン石結晶数は 238 個〜3603 個で、CPO の議論に十分に有意な数と考えられる。

結果：分析したブラチナイト 11 個のうち、5 試料には SPO と有意なカンラン石の CPO（*M* index : 0.071〜0.101）の両方が見られた。ただし、結晶方位の集中が見られた結晶軸は、*b* 軸が NWA 4874 と NWA 5969、*c* 軸が NWA 7388、*b* 軸と *c* 軸の両方が NWA 3151 と NWA 7605 と多様であった。明らかな SPO が見られなかった 6 試料については CPO も見られなかった。また、Ungrouped のカンラン岩質エコンドライト 3 試料では、NWA 6962 と NWA 13446 には SPO も CPO も見られなかったが、NWA 6077 では弱い SPO と CPO（*b* 軸, *M* index：0.093）が見られた。

考察と結論：以上のように、今回分析した合計 14 個のカンラン岩質エコンドライトのうち、半分近くの試料で *b*, *c*, *b*+*c* 軸のカンラン石 CPO が見られた。ブラチナイトの結果は先行研究とよく一致している（Hasegawa+ 2017）。*c* 軸集中の CPO はカンラン石の長軸方向であることから、流れのある溶岩流中などで、カンラン石長軸が揃うような集積過程が考えられる。一方で *b* 軸集中の CPO は自形のカンラン石での広い結晶面（柱面）である (010) 面を重力的に上下にして結晶がマグマ溜まりの底に静穏に沈積した集積過程が考えられるが、天体内部での変形による過程も知られている。実際、NWA 6077 は微量元素分析からコンドライト的物質の部分溶融後残渣であると指摘されているため（Burkhardt+ 2017）、原始惑星内部での変形過程により *b* 軸集中が生じた可能性がある。

Keywords: Dunitic achondrite, Olivine, Crystallographic preferred orientation, EBSD
*Corresponding author: mikouchi@um.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

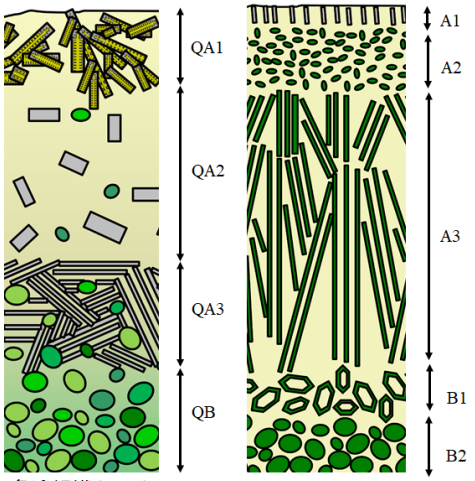
コマチアイトとの対比を通した急冷アングライトの形成場

林秀幸（東大・院理）、三河内岳（東大・総研博）

Igneous body of quenched angrites in comparison with komatiites

Hideyuki Hayashi* (U. Tokyo) and Takashi Mikouchi (U. Tokyo)

はじめに：アングライトは太陽系最古のエコンドライトの一種であり、急冷または徐冷組織を示す。急冷組織を示すアングライトは結晶化年代が特に古く、タイムアンカーとして重要視されている。Hayashi & Mikouchi (2019) は、急冷組織を示すアングライトを岩石組織的に QA1、QA2、QA3 に分類し、それらは冷却速度の大小に従って生じることを示した（下図）。QA1 はカンラン石と灰長石の共晶から成る樹枝状組織を持つ。QA2 は、比較的粗粒で、灰長石がランダムな結晶方位を示す。QA3 は、短冊状の灰長石が複数粒子で、同一の結晶方位を持つ。一部の急冷組織を示すアングライトは、Mg に富むカンラン石外来結晶を含んでいる。



このような組織は、地球上に見られるコマチアイトと類似している。コマチアイト溶岩流の上部では、骸晶状や平板状のカンラン石を特徴的に含むスピニフェックス組織を示す。この組織は、比較的速い冷却速度の下で形成されたと考えられている。コマチアイトの層序は、上部チルドマージン（A1）、ランダムスピニフェックス（A2）、平板状スピニフェックス（A3）のように岩相が変化している（Pyke+ 1973）。本研究では、急冷組織を示すアングライトとコマチアイトの組織、冷却速度およびバルク組成をそれぞれ比較し、急冷組織を示すアングライトの形成場を明らかにすることを試みた。

化学組成：急冷組織を示すアングライトのバルク組成は相関を示しており、Mg に富むカンラン石外来結晶の同化度合いに応じて変化している (Mikouchi+ 2004)。Sahara 9955、D'Orbigny、NWA 1296 および NWA 7203 は純粋なアングライト質マグマと考えられた。

組織と冷却速度：急冷組織を示すアングライトとコマチアイトはそれぞれ、岩体の深さに応じて組織が変化しており、組織や冷却速度が対応している。QA1 は、細粒な粒子サイズという点で A1 に対応する。冷却速度は NWA 7203 の細粒部分（QA1）では>300 ºC/hr、A1 では>150 ºC/hr (Faure+ 2006) と見積もられ、いずれも岩体内で最も速い冷却速度を持つ。QA2 は、灰長石がランダムな結晶方位を持っており、A2 のカンラン石がランダムな結晶方位を持つ点と類似する。冷却速度は、Asuka-881371（QA2）では約 50 ºC/hr である一方、A2 では>10 ºC/hr (Faure+ 2006) と見積もられており、類似している。QA3 は、結晶方位の揃い、伸長した灰長石を含んでおり、A3 が同様のカンラン石を含んでいる点と類似する。NWA 1670（QA3）では約 4 ºC/hr である一方、A3 では 2~5 ºC/hr (Faure+ 2006) と見積もられており、よく対応している。

結果と考察：急冷組織を示すアングライトとコマチアイトの組織、冷却速度およびバルク組成を比較したところ、それぞれよく対応する岩相が存在することが明らかになった。このことは、急冷組織を示すアングライトはコマチアイトと同様な形成場で結晶化した可能性を示している。コマチアイトの形成場は、Hill+ (1995) により、フィッシャーからの連続的な噴火であると考えられている。溶岩流は、噴火地点近傍では連続的である一方、末端部では散発的である。アングライト母天体でも同様の溶岩流を生じた可能性がある。その場合、急冷組織を示すアングライトは、NWA 7203 が冷却速度の異なる細粒な組織と粗粒な組織を持つことから、溶岩流の冷却速度が、新たな溶岩流が覆い被さることで変化するような、溶岩流の末端部分に由来すると考えられる。

Keywords: Angrite, Komatiite, stratigraphy, cooling rate, xenocryst

*Corresponding author: h.hayashi@eps.s.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

メソシデライトを用いたシリカ鉱物が記録する冷却速度の推定

大野 遼*（千葉工大），竹之内 惇志（京大・博物館）三河内 岳（東大・総研博），山口 亮（極地研），杉浦 直治（千葉工大）

Constraints on the cooling rate recorded by silica minerals using Mesosiderites

Haruka Ono*(Chiba Inst. Tech.), Atsushi Takenouchi (Kyoto Univ.), Takashi Mikouchi (Univ. of Tokyo), Akira Yamaguchi (NIPR), Naoji Sugiura (Chiba Inst. Tech.)

はじめに：シリカ鉱物は、幅広い温度圧力条件下において 23 以上の多形を持つことが知られている [1]。例えば、シリカ鉱物の一つであるトリディマイトは、400℃以下で準安定相を含む 8 つの多形を持ち、常温では異なる 3 つの結晶系が存在する [2]。本研究では、これらのシリカ鉱物の特性から、1200-400 ℃以下に至るまで、幅広い温度範囲でシリカ鉱物が熱史を推定するのに有用であることを示してきた [3, 4]。しかし、期待される冷却速度は 10^-4 ℃/yr と非常に遅いため、実験ではシリカ鉱物の相転移による冷却速度の定量的な推定には至らなかった。そこで本研究では、400℃以下の冷却速度を定量的に推定可能な Fe-Ni メタルとシリカ鉱物の両方を含むメソシデライトに着目した。メソシデライトは、メタルとシリカ鉱物だけでなく、800℃程度での冷却速度を定量的に推定可能な輝石も含まれている。そのため、メタルと輝石が示す冷却速度と存在するシリカ鉱物の相や形態を比較することで、シリカ鉱物による高温～低温における定量的な冷却速度を見積もることができると期待される。

結果：試料には、メソシデライトの中で熱変成度が最も低いと報告された [5] NWA 1878 とその次に低い熱変成度の Vaca Muerta を用いた。Vaca Muerta のシリカ鉱物は、単斜晶系のトリディマイトのみが存在していた。NWA 1878 中では、先行研究 [5] 同様、クリストバライトと石英が確認され、それらは集合体を成していることが新しく観察された。クリストバライトには、高温型から低温型に相転移する際にみられる“fish-scale”と呼ばれる割れが存在していた。クリストバライトには 1 μm 以下の包有物が含まれていた。

考察と結論：先行研究より、トリディマイトは徐冷によりメルトから晶出する場合とクリストバライトから相転移によって形成される場合がある [4]。Vaca Muerta 中の Fe-Ni メタルから見積もられた冷却速度は 10^-7 ℃/yr と徐冷であり [6]、トリディマイトの存在はその冷却速度と整合的な結果となった。しかし、NWA 1878 中でトリディマイトが存在していないことから、クリストバライト晶出後は速やかに冷却されたことを示唆している。先行研究では輝石の離溶ラメラから、NWA 1878 が 850 ℃程度において 0.01 ℃/day 以上の冷却速度を経験したと見積もられている [5]。このことから、クリストバライトは 0.01 ℃/day の冷却速度ではトリディマイトに相転移しないことが推測される。一方で、近年新しく見つかった Erg Chech 002 (EC 002)では、クリストバライトとトリディマイトの集合体の存在が報告されており、冷却速度が~1200−1000°C で 0.003-0.014 ℃/day であると見積もられている [7-9]。以上のことから、クリストバライトがトリディマイトに相転移する冷却速度は、0.003-0.01 ℃/day 以下であることが示唆された。

参考文献：[1] Sosman R. B 1965. *Rutgers University Press*, 388 pp. [2] Graetsch H. and Flörke O. W. (1978) *Z. Kristallogr.* 195, 31-48. [3] Ono H. et al. (2019) *MAPS.*, 54, 2744-2757. [4] Ono H. et al. (2021) *MAPS.*, in press. [5] Kimura M. et al. (2020) *MaPS.* 55:1116-1127. [6] Powell B. N. (1969) *GCA*. 33:789. [7] Mikouchi T. and Zolensky M. K. (2021) *LPS LII*, Abstract # 2548. [8] Yamaguchi A. et al. (2021) *LPS LII*, Abstract #1892. [9] Barrat J. A. et al. (2021) *PNAS* 118:11.

Keywords: Silica, Cooling rate, Tridymite, Cristobalite, Mesosiderite

*Corresponding author: o.haruka527@gmail.com

Nakhlite 隕石 NWA 10153 と NWA 6148 の複合顕微分析

久木原翔*，宮原正明（広島大学），山口亮（極地研），高橋嘉男（東京大学），武市泰男（KEK），富岡尚敬（JAMSTEC），大谷栄治（東北大学）

Multi-probe microscopy analysis of NWA 10153 and NWA 6148

Kakeru Kukihara*, Masaaki Miyahara (Hiroshima Univ.), Akira Yamaguchi (NIPR), Yoshio Takahashi (Tokyo univ.), Yasuo Takeichi (KEK), Naotaka Tomioka (JAMSTEC), Eiji Ohtani (Tohoku univ.)

We conducted petrological and mineralogical studies of the nakhlites NWA 6148 and NWA 10153 to clarify aqueous alteration and stratigraphy in the nakhlites complex. As a result, NWA 6148 and NWA 10153 were originated from that rapidly cooled and solidified near surface, and two different aqueous alteration events likely occurred in NWA 10153.

１．はじめに

火星隕石ナクライトは複数回の溶岩流によって形成され、その後に生じた水質変成の痕跡を多く示す。これまで様々なナクライトを用いた岩体の層序や変質に関する研究が行われてきたが，岩体内での変質作用の鉛直方向の変化は未解明である。そこで、ナクライト岩体の層序と鉛直方向での変質作用の変化に新たな知見を加えるため，岩体内での位置が分かっていない NWA 10153 と岩体の深部由来と推定されている NWA 6148 の鉱物学的・岩石学的記載を行った。

２．実験手法

NWA 6148 と 10153 の研磨片を用意し，FE-SEM-EDS による組織観察を行った。化学組成の定量分析には EPMA を用いた。FIB で変質組織の薄膜加工を行い、STXM によって XANES を取得し、化学種解析を行った。その後、TEM/STEM-EDS を用いて変質鉱物の組織観察、化学組成分析、結晶構造解析を行った。

３．結果と考察

NWA 6148 は主に橄欖石(約 5.3%)、輝石(約 39.5%)、メソスタシス(約 55.2%)で構成され，メソスタシス中には斜長石、カリ長石、磁硫鉄鉱、Fe-Ti 酸化物が確認できた。輝石の組成累帯構造には Ca が増加する傾向が見られた。変質はほとんど確認できなかった。これはナクライト中では異例であり，その理由については現在検討中である。

一方，NWA 10153 は主に橄欖石(約 1.5%)、輝石(約 39.5%)、メソスタシス(約 35.1%)で構成され、メソスタシス中には斜長石、カリ長石、黄鉄鉱、Fe-Ti 酸化物が確認できた。変質は橄欖石、輝石、黄鉄鉱の周辺で見られた。輝石周辺での変質は卓越する変質鉱物により①ゲータイト、②ジャロサイト、③サポナイト、④炭酸塩鉱物領域に分けられる。橄欖石の変質組織は現在分析中であり，今後の課題である。目下判明している変質鉱物の組み合わせから，NWA 10153 には塩基性～中性の流体が作用するイベントの後に酸性の流体が作用するイベントがあったと考えられる。一連の変質過程はこれまで調べられたナクライトのものと一致する[1-2]。

NWA10153 と NWA 6148 はメソスタシスの割合が大きいことから、溶岩流の浅部由来である可能性がある。NWA 6148 に見られた輝石中の Ca が増加する傾向は、同じくナクライトの NWA 5790[3]と MIL 隕石[4]に共通しており、これらの隕石が同一の溶岩流イベントで形成した可能性がある。NWA10153 と NWA 6148 の岩体内での位置については今後さらに検討を行う。

引用文献

[1] Nakamura et al. (2020) Japan Geoscience Union Meeting 2020 PPS10-P13.
[2] Shiraishi et al. (2019) National Institute of Polar Research the Tenth Symposium on Polar Science OA Antarctic meteorites
[3] Jambon et al. (2016) Geochimica et Cosmochimica Acta 190, 191–212.
[4] Mikouchi et al. (2006) 37thLPSC, abstract no.1865.

Keywords: Mars, NWA 10153, NWA 6148, Aqueous alteration, Nakhlites complex
Corresponding author: M210891@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

放射光マイクロ XANES を用いた衝撃による斜長石中の鉄の価数変化の評価

佐竹 渉*（千葉工大）、三河内 岳（東大）、黒澤 耕介（千葉工大)、
大野 遼（千葉工大）、新原 隆史（東大）、松井 孝典（千葉工大）

Evaluation of Fe valence state change in plagioclase by shock events as inferred from micro-XANES analysis

W. Satake* (CIT), T. Mikouchi (Univ. Tokyo), K. Kurosawa (CIT), H. Ono (CIT),
T. Niihara (Univ. Tokyo) and T.Matsui (CIT)

研究背景：マグマの酸素分圧は、形成される鉱物の組合せや化学組成に強い影響を与えることから、火成岩の形成環境について重要な情報を持つ。発表者らは斜長石とマスケリナイト（斜長石が強い衝撃を受けガラス化したもの）中の鉄価数に注目し、放射光 Fe マイクロ XANES（X 線吸収端近傍構造）を用いて分析することで、火星隕石最大のグループであるシャーゴッタイトの酸素分圧を相対的に評価している (Satake+ 2014)。このような測定においては、斜長石中の鉄価数が衝撃の前後で変化しないことを前提とし、実際に少数の衝撃実験試料でそのことを確認しているが、この試料では熱履歴が分からないため、温度の考察ができない。そこで、申請者らが近年行っている 3 次元での衝撃回収実験試料の分析により、その検証がより確かなものになると考えて、衝撃実験試料の Fe マイクロ XANES 分析を実施したのでその結果を報告する。

試料と分析手法：分析試料として、千葉工業大学に設置されている、二段式軽ガス銃を用いた 3 次元での衝撃回収実験によって得られた玄武岩を用いた。この玄武岩は内モンゴル自治区産であり、斜長石の組成は $An_{54\sim66}Ab_{33\sim44}$ と、シャーゴッタイト中のマスケリナイトと似た組成を持つ。回収した試料は、iSALE を用いた 2 次元の数値衝突シミュレーションによって、衝突点で 10 GPa、500 K の圧力と温度を経験したと見積もられる。分析手法としては、偏光顕微鏡による斜長石の光学観察、EPMA (JEOL JXA-8900L)による鉱物組成分析、放射光マイクロ XANES 分析（高エネ研、Photon Factory、BL-4A）による斜長石中の鉄の 2 価 3 価比の測定（ビーム径：約 5 μm）を行った。

結果と考察：偏光顕微鏡の観察の結果、回収実験後の試料中において、衝突点付近の領域にある斜長石に、強い波動消光が見られた。EPMA による分析の結果、衝撃後の斜長石の組成は $An_{48\sim61}Ab_{37\sim50}$ であった。顕微鏡観察により、他の鉱物などの包有物が含まれておらず、強い波動消光を示す斜長石の粒子を XANES 分析に選んだ。XANES 分析の結果は、衝突前の斜長石の $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ 比の値は 11-20%、衝突後の試料の値は 11-20%であり、衝突前後で $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ 比の値は変わらなかった。この結果から、少なくとも 10 GPa、500K の環境下では、鉄の 2 価 3 価比は変化しないと考えられる。しかし、火星隕石はより大きな衝撃を受けているため、より高圧・高温を経験した試料の分析が必要である。

Keyword: Shock metamorphism, Plagioclase, XANES

Corresponding author. Satake, E-mail: wataru.satake@p.chibakoudai.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ジャロサイトの衝撃回収実験

川野晃平，宮原正明*（広島大・理），小林敬道（NIMS），関根利守（大坂大・工），菅大暉（JASRI），高橋嘉夫（東京大・理）

Shock recovery experiments of jarosite

Kouhei Kawano, Masaaki Miyahara*, (Hiroshima Univ.), Takamichi Kobayashi (NIMS), Toshimori Sekine (Osaka Univ.), Hiroki Suga (JASRI), and Yoshio Takahashi (Tokyo Univ.)

Shock recovery experiments of jarosite and natrojarosite were conducted in the shock pressure range of 13–41 GPa to clarify shock-induced dehydration. Based on the XRD/DTA analysis of recovered samples, jarosite decomposes into hematite (+magnetite) and $FeSO_4$ with the dehydration of OH above ~23 GPa.

1．はじめに

火星探査機マーズ・エクスプレスは可視光･赤外線分光器により 3 価の鉄の硫酸塩が火星表面に存在することを突き止めた[1]。火星探査車オポチュニティはメスバウアー分光装置を用いて火星表土に鉄明礬石（ジャロサイト：$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$）が含まれることを明らかにした[2]。ジャロサイトの存在は火星表層で起きた水－岩石反応の痕跡の１つと見なされている。

火星では今なおメテオロイドによる衝突が起きている。含水硫酸塩鉱物は加熱すると分解し脱水反応が起きる。衝突に伴う衝撃圧縮がジャロサイトに加わると加熱時同様の脱水反応が起きると予想される。しかし，ジャロサイトを用いた衝撃回収実験はなく，分解脱水を起こす衝撃圧や分解反応は未知である。そこで，本研究ではジャロサイトとソーダ鉄明礬石（ナトロジャロサイト：$NaFe_3(SO_4)_2(OH)_6$）の衝撃銃実験を行い、脱水圧力と分解反応を明らかにした。

2．実験試料と実験手法

ジャロサイトは草津白根山の北東に位置する茶つぼみ公園にて採集したものを使用した。ナトロジャロサイトはギリシャの Kamariza 鉱山のものを使用した。試料を乳鉢で粉砕しよく乾燥して吸着水を取り除き衝撃実験試料とした。粉末試料を SUS304 のコンテナに封入し，衝撃銃実験は NIMS の一段式火薬銃を使用し，衝撃圧はインピーダンスマッチング法で求めた。実験は衝撃圧 13–41 GPa の範囲で行った。衝撃実験後，コンテナから粉末試料を回収し，XRD と DTA/TG 分析を行った。

3．結果と考察

13 GPa の衝撃圧を加えたジャロサイトの XRD パターンは出発物質とほとんど変わらないが，ピークの半値幅がわずかに大きくなっていた。22.6 GPa ではジャロサイトのピークの半値幅がさらに大きくなり，ヘマタイトのピークが現れた。33.0 GPa ではジャロサイトのピークが消失し，ヘマタイトに加えマグネタイトの弱いピークが現れた。41.0 GPa ではヘマタイト，マグネタイトと Szomolnokite（$FeSO_4 \cdot H_2O$）のピークが現れた。

以上の結果と DTA 分析から，ジャロサイトは約 23 GPa 以上でヘマタイト，$FeSO_4$，K_2SO_4(非晶質)に分解し，OH が脱水し始めることが判明した。Szomolnokite は $FeSO_4$ が空気中で水和し生成したものである。マグネタイトはヘマタイトの分解生成物と推定される。

一方，ナトロジャロサイトは 32.6 GPa でも分解は完了しておらず，分解にはジャロサイトに比べて高い衝撃圧が必要かもしれない。

引用文献
[1] Gendrin et al., Science, **307**, 1587 (2005).
[2] Squyres et al., Science, **306**, 1698 (2004).

Keywords: Mars, jarosite, shock experiment, dehydration
Corresponding author: miyahara@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

南極産 H6 コンドライトの衝撃変成組織

竹之内惇志*（京大・総博），山口亮（極地研，総研大）

Shock features in Antarctic H6 chondrites

Atsushi. Takenouchi* (The Kyoto Univ. Museum) and Akira Yamaguchi (NIPR, SOKENDAI)

過去の天体運動を推定するために、これまで衝撃変成組織観察と Ar/Ar 年代測定により隕石の衝突史の解明を行ってきた[e.g., 1]。

L コンドライトは比較的数多くの試料で高圧鉱物の存在が報告されている[2]。高圧鉱物の有無[2]と Ar/Ar 年代の報告[3]見ると、L コンドライトでは<5 億年前や 16 億年前といった若い衝撃変成年代を示している試料（e.g., Taiban, Mbale, Peace River, Seagraves (c)）が高圧鉱物を含む傾向がみられる[e.g., 1]。一方、高圧鉱物を含む H コンドライトの衝撃変成年代は報告されておらず、高圧鉱物を生成するような天体衝突現象が H コンドライト母天体上でいつ発生したのかは未だ明らかではない。

H コンドライトの衝撃史を明らかにするために、これまで約 30 個の H コンドライトの組織観察と Ar/Ar 年代分析を進めてきた。本研究では新たに分析に加えた 3 つの H6 コンドライトの衝撃変成組織の観察結果について報告する。

試料は A 12363, A 10174, Y 981909 の３つで、いずれも国立極地研究所から貸与された薄片試料を用いた（A 12363,51-1 A10174,41-1, Y 981909,51-1）。組織観察は国立極地研究所の走査型電子顕微鏡（FE-SEM, JEOL JSM-7100F）を用い、鉱物相同定には電子顕微鏡に付属する電子線後方散乱回折（EBSD）解析装置（AZtec, Oxford Instruments）を使用した。

A 12363：薄片全体に細粒な不透明鉱物が散らばっており（silicate darkening）、斜長石が硫化鉄中で針状に結晶化した組織や、クロマイトの融食組織など高温の経験を示唆する組織がみられた。カンラン石や輝石は弱い波状消光を示し、細い衝撃溶融脈も観察された。脈内部は細粒なカンラン石・輝石の自形結晶と他形の不透明鉱物及びガラスの集合であり、高圧鉱物は観察されなかった。これらは衝撃溶融脈が徐冷または再加熱を経験して形成した組織であると考えられる。

A 10174：ネットワーク状の太い衝撃溶融脈が観察された。溶融脈周囲では斜長石の EBSD パターンが不明瞭となるが、脈から離れると明瞭なパターンを示した。衝撃溶融脈が断層のように切られた組織が観察され、2 回以上の衝撃変成作用を経験していることが示唆された。衝撃溶融脈は細粒で等粒状の輝石やカンラン石と、その間を埋める不透明鉱物・ガラスで構成されており、高圧鉱物は観察されなかった。

Y 981909：斜長石がマスケリナイト化しており、カンラン石や輝石は波状消光と弱いモザイク化を示した。溶融脈内部の見た目は A 10174 と類似するが、ringwoodite, wadsleyite, garnet などの高圧鉱物が豊富に存在した。Ringwoodite-wadsleyite は脈内部と周囲のカンラン石を置き換えており、garnet は自形結晶で脈内部に形成していた。

A 12363 は全体的に高温の経験を示唆しおり、衝撃変成組織はその熱によりリカバリーされている。衝撃変成作用と加熱作用が同一のイベントか否かは明らかではないが、強い加熱を伴う衝撃イベントの存在を示唆する。一方、Y 981909 は高圧鉱物を保持するため、溶融脈は高圧下で冷却固化している。そのため Y 981909 が記録する衝撃イベントは局所的な加熱のみを伴っており、A 12363 とは異なる衝撃イベントを記録している。A 10174 は熱的影響が A 12363 よりは弱く Y 981909 よりは強い衝撃変成作用を経験し、その後、いずれの衝撃イベントよりも弱い衝撃変成作用を経験している。

本研究では 3 つの H6 隕石がそれぞれ異なる４つの衝撃イベントを記録していることを明らかとした。今後、これらの隕石の Ar/Ar 年代分析を進め、各隕石の衝撃変成作用がいつ起きたのかを明らかにする。

参考文献：[1] Takenouchi et al. (2020) The 11th Symp. on Pol. Sci. abst. [2] Tomioka and Miyahara (2017) *MaPS*, 52, 2017-2039. [3] Swindle et al. (2014) *Archaeology to Planet. Sci*. 378:333-347.

Keywords: Shock history, Ordinary chondrite, high-pressure phases

*Corresponding author: takenouchia24@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

隕石母天体における水質変成作用の解析に用いる層状ケイ酸塩のマルチエレメントXANESライブラリの構築

○井上皓介[1]、福士圭介[2]、菅大暉[3]、河合敬宏[4]、高橋嘉夫[4]、武市泰男[5]（[1]金沢大学大学院自然科学研究科、[2]環日本海域環境研究センター、[3]JASRI/SPring-8、[4]東京大学大学院理学系研究科、[5]高エネルギー加速器研究機構）

Construction of a multi-element XANES library of layered silicates used for water metamorphism analysis in meteorite mother celestial bodies

*K. Inoue[1], K. Fukushi[2], K. Morida[1], H. Suga[3], T. Kawai[4], Y. Takahashi[4], Y. Takeichi[5]([1] Graduate School of Science, The University of Kanazawa, [2] Institute of Nature and Environmental Technology, [3] JASRI/SPring-8 [4]Graduate School of Science, The University of Tokyo, [5]High Energy Accelerator Research Organization)

【はじめに】隕石には、含水鉱物の一種である層状ケイ酸塩が含まれていることがある。層状ケイ酸塩は液体の水の存在下で生成する鉱物であるため、隕石中における層状ケイ酸塩の存在は過去に地球外天体で生じた水循環の存在を意味する。層状ケイ酸塩は構造元素の含有量や配位位置によって様々な鉱物種が存在し、この鉱物種の違いは生成環境に関連づけられる。故に、隕石試料に含まれる層状ケイ酸塩の鉱物種の同定から、地球外天体の水環境を推定できる可能性がある。だが、隕石試料は得られる試料の量に限りがあるため、少ない情報から多くの知見を推定できる新たな判断指標の構築が必須である。本研究では微小領域から情報を得る手法として「走査型透過X線顕微鏡(STXM)」に注目した。STXMは局所領域での元素の存在状態を分析するツールであり、元素が構造中のどの部分に配位しているかなどの情報を有している為、層状ケイ酸塩の種類を推定できる可能性を秘めている。またSTXMは電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)と比べ、より微小な領域下でスペクトルを検出して鉱物の存在状態を確認することが可能である。加えて、層状ケイ酸塩粒子もナノスケールサイズほど微小である為、EPMA以上に正確な鉱物相の同定を行う事が可能である。本研究では地球上の様々な層状ケイ酸塩を標準試料とし、構成元素のX線吸収スペクトルと試料の特徴とを集約することで、STXMにおける層状ケイ酸塩同定の判断指標の基準となるライブラリの構築を目指した。

【試料】ライブラリ構築のための標準試料として、2八面体型のモンモリロナイト3種類、鉄モンモリロナイト、ノントロナイト4種類、イライト、白雲母、カオリナイト2種類、ハロイサイト、パイロフィライト、及び3八面体型のサポナイト3種類、鉄サポナイト、ヘクトライト、アンチゴライト、クリソタイル、鉄蛇紋石、クリノクロア、タルクを用意した。また、これらの標準試料ライブラリが実際にSTXMに適用可能か確かめる実証分析用試料として、マーチソン隕石試料、タギシュレイク隕石試料、火星隕石ナクライト試料を用意した。

【方法】試料に対し、鉱物相同定のために粉末X線回折を、鉱物化学分析のために蛍光X線分析を行った。構成主要元素のX線吸収スペクトル取得は、高エネルギー加速器研究機構Photon FactoryのBL-19Bで行った。尚BL-19AがSTXM本体でBL-19Bは同じビームを用いたバルク試料用XAFSとなっているが、標準試料が想定上ほぼ100%の層状ケイ酸塩であることから、わずかに存在する不純物を分析するリスクや測定にかかる時間を考慮し、標準試料においてはSTXM本体ではなくバルク試料用のXAFSを上記25個の層状ケイ酸塩試料の構成元素であるSi, AlおよびMgのK端についてX線吸収端近傍構造(XANES)スペクトルを得た。また、各隕石試料について集束イオンビーム(FIB)を用いて加工し、BL-19AのSTXMを用いてナノスケール下での画像マッピングを行った。得られたマップ内で元素ごとに範囲を限定してAl.Mgにおけるスペクトルを測定した。また見いだされたAl,Mgのスペクトルに対しては解析ソフトREX2000を用いて標準試料のスペクトルをフィッティングさせ、その際の合致度の高いものほど存在する可能性の高い鉱物であるとして鉱物同定を行った。

【結果と考察】標準試料の分析において、Siではスペクトルの試料間での明瞭な違いは見られなかったが、Alでは四面体に配位するAlと八面体に配位するAlを区別することが可能な、Mgでは3八面体型と2八面体型を区別して更に3八面体型のうち1:1構造と2:1構造を区別することが可能なスペクトルが検出された。隕石試料のSTXM分析においては、全ての試料で層状ケイ酸塩由来と考えられるAl,Mgのスペクトルが見いだされた。詳細な分析結果及び考察について、発表の際に報告する。

The application of the XAFS method and oxidative hydrothermal alteration experiments from reproduced I-type cosmic spherules

Huimin Shao (Kumamoto Univ.), Hiroshi Isobe* (Kumamoto Univ.), Ginga Kitahara (Kumamoto Univ.), and Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ.)

The formation mechanism of hematite spherules in Meridiani Planum on Mars was widely discussed by researchers (Misra et al., 2014; Morris et al., 2005; Nie et al., 2020). Misra et al. (2014) proposed a possibility that the hematite spherules may be derived from cosmic spherules. Therefore, we carried out experiments on reproduced I-type cosmic spherules (Shao et al., 2020) by oxidative hydrothermal alteration experiments. The starting material was oxidized with the oxygen fugacity controlled by $Mn_2O_3 – Mn_3O_4$ solid buffer in the hematite stability field. The sulfuric acid solution and deionized water were used to control pH values to be 4 and 7, respectively. The vessels were heated at 150°C and 200°C for 10 days and 30 days. The detailed experimental conditions are shown in the table.

Experimental conditions

Exp.	Tem (°C)	Dur (days)	pH	CO_2
1	150	10	7	√
2	200	10	7	×
3	150	10	4	×
4	200	10	4	×
5	150	30	7	√
6	150	30	7	×
7	200	30	7	√
8	200	30	7	×

SEM and EDS analysis revealed that the hematite, magnetite, wustite, and Fe-Ni metal were the main mineral of run products. Fe K-edge XAFS measurements were performed using beamline NW-10A in fluorescence mode at the Photon Factory, KEK, Tsukuba, Japan. The shift of the first derivative spectra peak position from low energy to a higher energy value suggests that the oxidation degree increased as follows: 1. Starting material, Exp.1, Exp.3, and Fe metal; 2. Fe_3O_4 and Exp.4; 3. Exp.2, Exp.8, and Fe_2O_3. It could be inferred that Exp.1 and 3 were nearly not oxidized; Exp.4 contains mainly magnetite; Exp.2 and 8 are almost completely transferred to hematite. According to the above results, the run products from 150°C 10 days show not a big difference from the starting materials both in pH4 or 7. However, when the temperature at 200°C (10 days), the run products were oxidized to be magnetite (in pH4), or hematite (in pH7). At the same time, under 200°C pH7 condition, both 10 days and 30 days are identical spectra to hematite. The oxidation behavior of reproduced I-type cosmic spherules showed that relatively slow oxidation on metallic spherules could progress under around 200°C. Moreover, the run product under the neutral condition could be oxidized to a higher oxidation state than acidic condition (pH4). From our experiments, it is possible to form hematite from extraterrestrial solid Fe-Ni metal spherules by oxidative hydrothermal conditions. Hence, we suggest that the slow oxidation on melted and quenched droplets derived from iron meteorite bodies may also create hematite minerals in a similar process on the Martian surface.

Keywords: Martian hematite, oxidative hydrothermal alteration, XAFS, cosmic spherules
Corresponding author: isobe_hrs@kumamoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

非晶質微粒子の高温水質変成過程の中性子準弾性散乱

奥地拓生[1], 富岡尚敬[2], 瀬戸雄介[3], 梅田悠平[1], 山田武[4], 玉造博夢[5], 柴田薫[5]
([1]京都大・複合研, [2]JAMSTEC・高知コア研, [3]神戸大・院理, [4]CROSS, [5]原子力機構)

Hydration process of amorphous silicate nanoparticles analyzed by quasielastic neutron scattering at high temperature

Takuo Okuchi*[1], Naotaka Tomioka[2], Yusuke Seto[3], Yuhei Umeda[1], Takeshi Yamada[4], Hiromu Tamatsukuri[5] and Kaoru Shibata[5] [1]Kyoto Univ., [2]JAMSTEC, [3]Kobe Univ., [4]CROSS, [5]JAEA)

We previously demonstrated that quasielastic neutron scattering is uniquely effective for analyzing atomic-scale hydrogen transport in hydrous minerals. In the current study, this scheme has been applied for analyzing atomic-scale reaction and transport processes of water within amorphous silicate nanoparticle medium. We obtained the results at temperatures to ~500 K where hydrated amorphous medium starts to crystallize into layered hydrous mineral structure. Microscopic mechanisms of water storage and transport in such hydrous media were revealed, which have implication for understanding of aqueous alteration and water transport processes in asteroids occurring in the early solar system.

地球の進化において水は特別な役割を果たしてきた。地球の水は誕生期に微惑星などから供給された後に、内部で分配され、輸送、貯蔵されてきた。我々は J-PARC などの高強度中性子施設において、地球に供給された後の水の分配・輸送・貯蔵を理解するための中性子散乱実験を進めてきた[1-4]。その過程で、地球に届く以前の水の研究にも中性子が強力な道具になると考えて、本研究を着想した。

水をつくる元素である水素は、最も軽くて動きやすい元素である。一方で水素は中程度の結合力を持ち、長さと結合角度が柔軟な、水素結合を形成することができる。含水鉱物は地球内部の水の貯蔵と輸送の主たる媒質である。その結晶構造の内部では、水素結合の働きによって、動きやすい水素が巧みに保持される[1,2]。このような水素は隣接原子間程度の距離において、水酸基の配向の静的・動的な切替わり、イオンあるいは欠陥としての高速の拡散など、多様なダイナミクス(移動または運動、分子振動とは異なる)を示す。これらの水素のダイナミクスの解析のために、中性子準弾性散乱法が特に有効であることを私たちは発見して提示してきた[3,4]。

それでは地球に届く以前の水の重要な貯蔵と輸送の媒質の一つである、非晶質の含水(または水和)ケイ酸塩の水素は、どのようなダイナミクスを示すのであろうか。準弾性散乱法では、水素原子核によって非干渉性散乱された中性子の運動量とエネルギーの変化を通して、水素のサイト間跳躍の距離と頻度を解析する。そこから水素のダイナミクスを、体積拡散や表面拡散などの素過程に仕分けて調べることができる。この手法は非晶質物質に対しても結晶質物質と同程度に有効である[5]。そこで本研究では、吸着した水分子との反応を経て徐々に結晶化しつつある、非晶質ケイ酸塩の状態を高温その場で解析した。その結果、水質変成過程における水素の貯蔵と輸送の状態がわかってきた。

誘導熱プラズマ装置で合成した平均粒径 70nm の Mg_2SiO_4 組成の非晶質ケイ酸塩[6]に水蒸気を吸収させて試料を合成した。この試料を目標温度まで加熱した後に保持して、反応を進めた後に、さらに温度を保持しながら準弾性散乱の計測を行った。得られた結果から二種類の水素のダイナミクスの存在が示された。一方はケイ酸塩と水の界面、もう一方はその界面で閉じられた nm オーダーの空間に存在する水分子と考えられる。非晶質の媒質中の水素の貯蔵と輸送の状態は、結晶質のものと大きく異なる可能性が高いといえる。講演では以上の結果の詳細を説明する。

References: [1] 奥地拓生ほか (2017) 日本結晶学会誌, 59, 309. [2] Purevjav et al. (2020) IUCrJ, 7, 370. [3] Okuchi et al. (2018) J. Appl. Cryst. 51, 1564. [4] 奥地拓生 (2021) 日本結晶学会誌, 63, 129. [5] 奥地拓生ほか (2018) 日本鉱物科学会年会 R5-12. [6] Imai (2012) PhD Thesis, Osaka Univ. Keywords: amorphous silicate, aqueous alteration, hydrogen dynamics, quasielastic neutron scattering.
*Corresponding author: okuchi@rri.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

難揮発性包有物メルトと CO ガスとの酸素同位体交換実験

山本大貴*(JAXA)、川崎教行(北大)、橘省吾(東大)、上林海ちる(東大)、
坏本尚義 (北大)

Oxygen isotope exchange experiments between Ca-, Al-rich inclusion (CAI) melt and carbon monoxide gas

Daiki Yamamoto* (JAXA), Noriyuki Kawasaki (Hokkaido Univ.), Shogo Tachibana (Univ. of Tokyo), Michiru Kamibayashi (Univ. of Tokyo), Hisayoshi Yurimoto (Hokkaido Univ.)

始原的隕石中の Ca, Al に富む難揮発性包有物 (Ca-, Al-rich inclusion; 以降 CAI) は太陽系最初期に形成した高温鉱物の集合体である (e.g., Grossman, 1972; Connelly et al., 2012)。CAI の構成鉱物内・鉱物間には、質量非依存型の酸素同位体不均質が見られ、その成因の一つには再加熱・溶融時におけるメルト-ガス間での酸素同位体交換反応が挙げられる。 (e.g., Yurimoto et al., 1998; Kawasaki et al., 2018)。Yamamoto et al. (under review) は、模擬 CAI メルト-低圧 H_2O ガス間の酸素同位体交換実験をおこない、メルト中の酸素自己拡散係数 D やメルト表面での同位体交換効率 α を決定した。しかし、^{16}O に富む端成分である CO ガスと CAI メルトとの酸素同位体交換速度論は理解されていない。そのため、本研究では CAI メルト-低圧 CO ガス間の酸素同位体交換実験をおこなった。

同位体交換実験には、CO ガスボンベとマスフローコントローラーからなるガス導入機構を備えた高温加熱真空炉を用いた。Type B CAI の平均化学組成 (Stolper, 1982) の CAI 模擬物資を出発物質として、^{18}O に富む低圧 CO ガス環境下 (P_{CO} = 0.1, 0.5, 1 Pa) で 1420°C で加熱した。加熱後試料は FE-SEM 及び二次イオン質量分析計 (Cameca ims-1280HR) で分析した。

回収試料はガラスと少量のスピネルからなり、全ての加熱条件でガラス中の酸素同位体組成は、加熱時間とともに液滴表面が ^{18}O に濃集し、内部から液滴表面に向かうにつれ ^{18}O に富む同位体ゾーニングを示した。このことはメルト表面での同位体交換過程と内部への拡散過程が同時に進行していることを示す。また CO ガス圧増加に伴い表面から内部への ^{18}O 濃度勾配が急になっており、これは表面での同位体交換過程が高い CO ガス圧条件ほど速いためであると考えられる。酸素同位体プロファイルは、表面濃度非定常三次元拡散方程式 (Crank, 1975) で説明可能であり、得られた D (~1.41 × 10^{-11} m^2 s^{-1}) は、H_2O との同位体交換実験で決定した値 (~1.62 × 10^{-11} m^2 s^{-1}) とほぼ一致する。一方、α は、10^{-3}–10^{-4} 程度であり H_2O ガスとの場合 (~0.28) より 2-3 桁小さく、CAI メルト–CO ガスとの同位体交換速度は、H_2O ガスとの場合に対して圧倒的に遅いことがわかった。これに対して H_2O-CO ガス間の同位体平衡は、メルト–ガス間の同位体交換が起こる前に達成されるため (Alexander, 2004)、CAI メルト-ガス間の同位体交換速度は、H_2O と同位体平衡となった CO ガスによって大きく増大されず、CAI メルト-H_2O との同位体交換速度で決定されることがわかった。

Keywords: CAI melt, CO, Oxygen isotopic exchange

*daiki@planeta.sci.isas.jaxa.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質 学会 との共催 セッション)

2021年9月18日(土) 9:30 ~ 12:15 | Zoom Session 3

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質 学会 との共催 セッション)

座長:越後 拓也(秋田大学)、秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)

[座長]
越後 拓也：R7-01〜R7-05
秋澤 紀克：R7-06〜R7-10

9:30 ~ 9:45
[R7-01] 幌満かんらん岩体上部の肥沃なレルゾライトについて
木暮 優芽斗[2]、*高澤 栄一[1]、木村 仁美[1] (1. 新潟大・理、2. 新潟大・院自然)

9:45 ~ 10:00
[R7-02] 中学校理科教科書における鉱物名の表記について
*林 信太郎[1]、川手 新一[2]、貴治 康夫[3]、宮嶋 敏[4] (1. 秋大・院教、2. 武蔵高校、3. 立命館高校、4. 熊谷高校)

10:00 ~ 10:15
[R7-03] High purity elemental separation technique for LREEs from silicate matrix
*Bidisha Dey[1], Tomoyuki Shibata[1], Masako Yoshikawa[1] (1. Hiroshima Uni. Sci.)

10:15 ~ 10:30
[R7-04] 新潟県新発田市赤谷スカルン鉱床の地質と鉄鉱化作用
*瀬野 洸太朗[1]、渡辺 寧[1]、越後 拓也[1]、青木 翔吾[1] (1. 秋田大・国際資源)

10:30 ~ 10:45
[R7-05] 前弧域マントルが記録する古溶融イベント
*秋澤 紀克[1]、石川 晃[2]、藤田 遼[2]、石井 輝秋[3] (1. 東大・大気海洋研究所、2. 東工大、3. 静岡大)

10:45 ~ 11:00
[R7-06] 三浦半島葉山帯に産する蛇紋岩の岩石学的特徴
*阿部 なつ江[1,2] (1. 海洋研究開発機構、2. 金沢大学)

11:00 ~ 11:15
[R7-07] 秋田県仙北市坊沢鉱床の地質及び浅熱水性低硫化型金銀鉱化作用
*平田 和希[1]、渡辺 寧[1]、越後 拓也[1]、青木 翔吾[1] (1. 秋田大・国際資源)

11:15 ~ 11:30
[R7-08] **秋田県大仙市畑鉱床の地質と金鉱化作用**
*小沼 優希[1]、渡辺 寧[1]、越後 拓也[1] (1. 秋田大・院国)

11:30 ~ 11:45
[R7-09] CaO-Na_2O-CO_2に富む流体から析出したオンファス輝石の微細組織観察
*大井 修吾[1]、木下 周祐[2]、伊神 洋平[2]、三宅 亮[2]、平島 崇男[2] (1. 滋賀大・教育、2. 京都大・院理)

11:45 ~ 12:00
[R7-10] 下立トラバーチンの炭酸塩鉱物U-Pb年代
*福山 繭子[1]、小笠原 正継[2] (1. 秋田大・理工、2. 産総研)

12:00 ~ 12:15
[discussion] 総合討論

幌満かんらん岩体上部の肥沃なレルゾライトについて

木暮優芽斗（新潟大院）・高澤栄一*（新潟大・理）・木村仁美（新潟大・理）

Fertile lherzolite in the Upper Zone of Horoman peridotite complex

Yumeto Kogure (Niigata Univ. Grad.), Eiichi Takazawa* (Niigata Univ. Sci.), Hitomi Kimura (Niigata Univ. Sci.)

幌満かんらん岩体は北海道中軸部の日高変成帯最下部に位置し，ポロシリオフィオライト起源とされる変ハンレイ岩を隔てて日高主衝上断層と接している。同岩体ではこれまで多くの研究がなされ，中央海嶺およびプレート衝突域の深部におけるマントルプロセスが議論されてきた。筆者らのグループは，これまで幌満岩体上部の代表的なセクションに沿うかんらん岩および苦鉄質レイヤーの全岩化学組成に注目し，岩体上部におけるメルトの抽出およびメルト–マントル反応について詳細な検討を行なってきた[1]。本講演では，それらの結果を踏まえ，幌満岩体下部との比較を行い，幌満かんらん岩体のマグマプロセスの変遷について検討する。

幌満岩体上部は幌満川に沿って連続する他，主にアポイ岳～ピンネシリ稜線部や坊主山付近より北方域に分布する。幌満川に沿って露出するのは，岩体上部の最下部であり，それよりも上位の層準を観察するには，幌満川に注ぐ支流および稜線に露出する限られた数の露頭に頼らざるを得ない。それに対し，筆者らのグループが研究対象とした不毛の沢セクションには，岩体上部の約 263m が連続して露出し，岩体上部の斜長石レルゾライト，ハルツバージャイトおよび苦鉄質レイヤーの層状構造および連続的な組成変化を観察するのに適している。

全岩主成分組成では，Depleted MORB mantle (DMM [2])よりも玄武岩質メルト成分に肥沃な斜長石レルゾライトが頻出することが不毛の沢セクションの特徴である。とくに，数センチ厚の苦鉄質レイヤーの薄層が多く観察されるところでは，上記の DMM よりも肥沃な斜長石レルゾライトが多く，苦鉄質レイヤーをもたらしたメルトによる母岩のかんらん岩の再肥沃化作用を示唆する。しかしながら，再肥沃化する前のかんらん岩はどの程度メルト成分に枯渇したかんらん岩であったのか（つまり，レルゾライト，あるいはハルツバージャイトか）については不明である。数センチ厚の苦鉄質レイヤーの薄層の全岩組成には，微量元素のコンドライト規格化パターンにおいて，Sr や Eu の正の異常が認められることから，斜長石が安定な比較的浅部のマントルにおいて，これらの苦鉄質レイヤーが形成した可能性が考えられる。苦鉄質レイヤー，およびメルト成分に肥沃な斜長石レルゾライトが頻出する層準では，Takahashi (2001)[3]によって報告された斜長石の濃集するパッチ状の集合体も分布することから incipient melting の可能性も考えられる。その場合，肥沃な斜長石レルゾライトが形成されたのは，幌満かんらん岩体上昇時ではなく，Yoshikawa and Nakamura (2000)[4] や Saal et al. (2001)[5]で報告された約 1 億年前の部分溶融，もしくは，かんらん岩と苦鉄質メルトの混合による再肥沃化のイベントに由来する可能性も考えられる。これらの可能性に制約を与えるには，岩体上部の肥沃なかんらん岩の Re-Os 同位体組成の検討が必要であろう。

これまで，岩体下部の代表的な層序（坊主セクション [6]）では，最も肥沃な斜長石レルゾライトの微量元素組成が DMM と同等であり，他のかんらん岩はそれよりも枯渇した組成を示す。レルゾライトやハルツバージャイトは不適合元素にエンリッチしたものが多いが，肥沃化作用とは異なる交代作用によるものと考えられる。岩体上部でも，ハルツバージャイトは不適合元素にエンリッチしており，交代作用と再肥沃化作用との関係については今後の検討課題である。

引用文献：[1] Kogure and Takazawa (2020) JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SCG64-P04. [2] Workman and Hart (2005) EPSL, 231, 53-72. [3] Takahashi (2001) J. Petrol., 42, 39-54. [4] Yoshikawa and Nakamura (2000) JGR, 2897-2901. [5] Saal et al. (2001) J. Petrol., 42, 25-37. [6] Takazawa et al. (2000) GCA, 64, 695-716.

Keywords: Horoman peridotite, orogenic lherzolite, refertilization, partial melting

*Corresponding author: takazawa@geo.sc.niigata-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

中学校理科教科書における鉱物名の表記について

林信太郎（秋大），川手新一（武蔵高校），貴治康夫（立命館高校），宮嶋敏（熊谷高校）

About notation of mineral names seen in junior high school science textbooks

Shintaro Hayashi(Akita Univ.), Shin-ichi Kawate(Musashi High School), Michio Kiji (Ritsumeikan Senior High School) and Satoshi Miyajima (Kumagaya High School)

5社から発行されている，現行学習指導要領における最新の中学校理科教科書について，教科書中での鉱物名の表記についてチェックした。鉱物科学会の教育普及委員会活動では，5社の中学校理科教科書について，その内容や表記の鉱物科学的妥当性のチェックを行なっている。義務教育の教科書は広く使われ多くの国民の目に触れるため，教科書における記述は重要である。今回はその中で発見された鉱物名について報告する。

このチェックの結果，中学校理科教科書における鉱物名の表記は，漢字表記，漢字混じりのカタカナ表記の2種類があり，教科書会社ごとに異なることが明らかになった。いずれの教科書についても主要な造岩鉱物の表があり，鉱物名，代表的な写真，その鉱物の特徴が掲載されている。例えば，石英の表記では，D社は「石英」とのみ表記され，A社は「セキエイ（石英)」と表記されている。このように鉱物名の表記は漢字，漢字カタカナ混じりの2種類があることがわかる。チェックした教科書のうち，3社が漢字表記，2社が漢字混じりのカタカナ表記である。前者の典型例は，「石英，長石，黒雲母，角閃石，輝石，カンラン石，磁鉄鉱」後者の典型例は「セキエイ，チョウ石，クロウンモ，カクセン石，キ石，カンラン石，磁鉄鉱」である。

このように，鉱物名の表記方法は，教科書間で統一が取れていないことが明らかになった。

この不一致には弊害がある。特に2点だけ指摘したい。第一に中学生の学習への影響である。「セキエイ」「石英」のどれを答えたり，覚えたりすれば良いのか分からずに，生徒に余分な負担をかけてしまうことである。第二に大学における教員養成での問題である。教科書がバラバラな表記を使っている状態では，すべてのパターンについて触れる必要がある。例えば，角閃石は「角閃石」「カクセン石」「角セン石」と3パターンもあり煩雑である。

このような不一致は解消していく必要があると著者らは考える。例えば，生物の和名は「カンラン」「クロユリ」「トゲナシトゲトゲ」などカタカナ表記で統一されている（かつて日本鉱物学会では鉱物名の和名表記をカタカナで統一しようとしていたことがあった（森本ほか，1975))。

もし仮に，鉱物科学会で「教科書に使用する鉱物名のガイドライン」のような統一的な基準を示しておけば，将来の教科書改訂の際に参考にされる可能性が高く，この表記上の不一致は解消される可能性が高い。鉱物科学会において広く議論する必要があるだろう。

なお，岩石名についても様々な表記があり，表記の統一が必要である。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

High purity elemental separation technique for LREEs from silicate matrix

Bidisha Dey[1], Tomoyuki Shibata[1], Masako Yoshikawa[1]

(1: Hiroshima Uni. Sci.)

Rare earth elements (REEs) are difficult to separate from each other due to their similarity in chemical characters. Elemental separation is essential for isotopic analysis in thermal ionisation mass spectrometry or multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry to generate precise and accurate isotopic data. REE isotope geochemistry can be limited for the want of an efficient method which can prepare and analyse several REEs from rare materials such as minerals, xenoliths, or extra-terrestrial material, as well as bulk silicate rock samples. We have developed a technique, improving on previous efforts (i.e., Kagami & Yokoyama, 2016), which can separate La, Ce, Nd and Sm as well as Ba from a single aliquot of sample using two columns and minimum processing time. We have used miniaturised columns to efficiently process small amount of material while minimising the possibility of contamination. We have used AG50W-X8 from BioRad® and Ln spec resin from Eichrom® to efficiently separate the REEs from each other. The eluent used is a mixture of dilute HNO_3 (0.2M) and $NaBrO_3$ (20mM) which is very effective in separating LREEs, especially Ce from Nd. Previous works have used similar approaches to separate Ce from Nd, but with concentrated HNO_3 (~10M) which is difficult to work with due to its corrosive nature which damages lab equipment and is dangerous to handle on regular basis. Methods with conc. HNO_3 also require an extra step to separate LREEs (i.e., La, Nd, Sm) from each other. The merit of the dilute mixture is that it can elute the individual LREEs in a single step and with high degree of separation between REEs. This method can easily be combined with other elemental separation techniques such as Pb-Sr or Hf separation technique to use the same sample aliquot for measurement of these isotopes, thus reducing wastage of sample material. Results show > 90% recovery yield for all of the target elements with accurate values for $^{143}Nd/^{144}Nd$ isotopic ratios for GSJ basalt standard JB-2. The method is relatively fast and cost effective, as well as showing high purity and recovery yield and is suitable for processing rare silicate material as well as bulk rocks.

Reference:

Kagami, S., & Yokoyama, T. (2016). Chemical separation of Nd from geological samples for chronological studies using146Sm–142Nd and147Sm–143Nd systematics. *Analytica Chimica Acta*, *937*, 151–159. https://doi.org/10.1016/j.aca.2016.07.004

Keyword: REE geochemistry, Nd isotope geochemistry

Corresponding author: bidisha-dey@hiroshima-u.ac.jp

新潟県新発田市赤谷スカルン鉱床の地質と鉄鉱化作用

瀬野 洸太朗・渡辺 寧・越後 拓也・青木 翔吾（秋田大・国際資源）

Geology and iron mineralization in the Akatani skarn deposit, Shibata city, Niigata Prefecture.

Kotaro Seno*, Yasushi Watanabe, Takuya Echigo, Shogo Aoki (Akita Univ.)

赤谷スカルン鉱床は，新潟県新発田市の新潟県及び山形県県境の飯豊山地南西側に位置し，主に赤鉄鉱鉱石を採掘していた鉱床である．赤鉄鉱を主とする鉄スカルン鉱床は世界的に稀であり，日本では赤谷鉱床以外，岩手県和賀仙人鉱床で認められている．鉱床母岩は前期ジュラ系の足尾帯の結晶質石灰岩（一部苦灰岩）やチャート，泥質変成岩からなり，後期白亜紀の二王子岳花崗岩や前期中新世のドレライトが母岩に貫入，これらを被覆または貫入する前期中新世の流紋岩類が分布する．主な赤鉄鉱鉱床は二王子岳花崗岩に伴う proximal skarn 及び distal skarn に胚胎し，前期中新世の流紋岩にも鉱体は伴われる．本研究では，野外踏査により地質図の作成及びスカルンの分布を把握し，採取した試料の肉眼及び顕微鏡観察による記載や粉末X線回折およびSEM-EDSにより鉱物同定を行い，スカルン鉱物の累帯配列及び鉄鉱化作用との関連を明らかにした．

二王子岳花崗岩に伴う proximal skarn には細粒磁鉄鉱から自形針状赤鉄鉱が晶出する鉱体（帯磁率：21×10^{-3} SI）が胚胎し，母岩中の distal skarn には自形針状赤鉄鉱の磁鉄鉱化が認められる鉱体（帯磁率：$200\sim520\times10^{-3}$ SI）(Fig. 1-A)が胚胎する．ドレライトの proximal skarn には細・粗粒磁鉄鉱から自形針状赤鉄鉱が晶出する鉱体（帯磁率：$52\sim430\times10^{-3}$ SI）(Fig. 1-B)が認められ，赤鉄鉱を主とする鉱体(自形黄鉄鉱やカオリナイトを多量に含む)（帯磁率：$0.01\sim2.1\times10^{-3}$ SI）も認められる．このスカルン帯では，灰鉄輝石の透閃石化及び珪灰鉄鉱化や結晶質石灰岩の苦灰岩化が，肉眼・薄片観察及び粉末 X 線回折結果より認められる．二王子岳花崗岩は $0\sim0.09\times10^{-3}$ SI の帯磁率を示す.二王子岳花崗岩の distal skarn が分布する簀立沢では磁鉄鉱化した赤鉄鉱鉱石中に黄鉄鉱（一部白鉄鉱化）やカオリナイト，緑泥石が産するほか，黄銅鉱に Ag-Bi-Pb-S 鉱物が包有されることが鏡下観察で認められる．

当鉱床に近接する二王子岳花崗岩は帯磁率の結果より，チタン鉄鉱系花崗岩に区分される．赤鉄鉱鉱体の産状から，本鉱床は二王子岳花崗岩やドレライト，流紋岩の貫入に伴う3期の形成時期があり，それぞれ磁鉄鉱の赤鉄鉱化(martitization)や赤鉄鉱の磁鉄鉱化（hypogene secondary magnetite）を伴う鉄鉱体を形成している．磁鉄鉱の赤鉄鉱化には2つの過程があることが考察される．

このように，赤谷鉱床は異なる複数の鉱化作用による酸化還元反応によって，異種の赤鉄鉱に富む鉱床が形成したと結論付けられた．先行研究で提案された各説（初生熱水から赤鉄鉱が生成，または流紋岩によって赤鉄鉱が生成，または磁鉄鉱の生成後二次的に赤鉄鉱が生成）だけでなく，これら全ての説および赤鉄鉱の生成後二次的に磁鉄鉱が生成したという新たな説において鉄鉱化作用が認められたことも明らかになった．

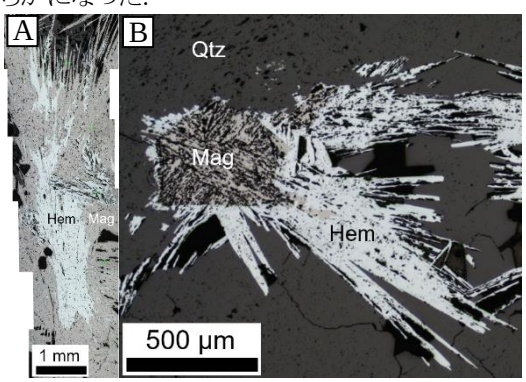


Fig. 1： 鉄鉱石の反射顕微鏡写真
(A) 一部磁鉄鉱化した針状赤鉄鉱．花崗岩の distal skarn 中の鉱体（帯磁率：520×10^{-3} SI）でみられる．
(B) 赤鉄鉱がオーバーグロースした磁鉄鉱．ドレライトの proximal skarn 中の鉱体（帯磁率：200×10^{-3} SI）でみられる．〈Hem:赤鉄鉱, Mag:磁鉄鉱, Qtz:石英〉

Key words: Fe skarn deposit, hematite, magnetite, Ninoujidake Granite, magnetic susceptibility
Corresponding author: koutarou-apophyllite.323@outlook.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

前弧域マントルが記録する古溶融イベント

秋澤紀克(東大・大海研)・石川晃/藤田遼(東工大)・石井輝秋(静岡大)

Ancient melting event recorded in fore-arc peridotite

Akizawa N.* (AORI, Univ. Tokyo), Ishikawa A./Fujita R. (Tokyo Tech.), Ishii T. (Shizuoka Univ.)

1. はじめに

前弧域では、前弧火成活動に関連しない、より古い溶融イベントを記録したマントルが存在すると報告されている(Parkinson et al., 1998, Nature 281, 2011-2013)。さらに近年、Os 同位体と Yb を用いた溶融-年代モデルの適応により、ボニナイトのソースは不均質であり、一部太古代（～3600 Ma）に溶融したマントルの寄与があると推定された（Umino et al., 2017 Isl. Arc 439, 110-119)。本研究では、前弧域マントルの溶融時期に関連した不均質性の実態を正確につかむため、伊豆-小笠原-マリアナ海溝の前弧域で採取したカンラン岩の全岩化学組成分析・Re-Os 同位体分析を実施した。

2. サンプル採取位置・岩石記載・分析結果

本研究では、伊豆-小笠原海溝とマリアナ海溝の会合部西方に位置する母島海山（白鳳丸 KH-82-4 次航海、KH98-1 次航海、KH03-3 次航海）と南部マリアナ海溝斜面（白鳳丸 KH98-1 次航海)で採取された合計 16 のハルツバーガイトーダナイトサンプルを使用した。強熱減量（LOI）は、6.6-15.4 wt%であり、変質や蛇紋石化を被っている。

全岩主要元素組成を分析したところ、Mg/Si は 1.1-1.3、Al/Si は 0.005-0.025 程度を示し、様々なセッティングで採取されるカンラン岩がつくる組成トレンドの中でも枯渇した組成範囲に収まった。

$^{187}Os/^{188}Os$ は広い組成範囲を示した(0.122-0.241)。Re 含有量（0.004-2.2 ng g^{-1})・$^{187}Re/^{188}Os$(～16.8)・$^{187}Os/^{188}Os$ 間には正の相関関係が認められた。

3. 議論

全岩主要元素組成から判断すると、本研究で用いたカンラン岩は枯渇していると言える。一般的に、枯渇したカンラン岩は Re 含有量が低いと期待される。しかし、本研究ではそれと反する結果が得られた。Re 含有量が高いサンプルでは、$^{187}Re/^{188}Os$・$^{187}Os/^{188}Os$ 共に高く、溶融時、もしくは溶融後に Re/Os が擾乱を受けたことを示唆する。

一方で、Re 含有量の低い、擾乱の影響が小さいサンプルは、$^{187}Os/^{188}Os$ が 0.122 と低く、過去に溶融して Re がほとんど抜けてしまったと期待される（Re 枯渇年代＝T_{RD} は約 750 Ma)。これは、前弧域マントルの溶融時期に不均質性があったことを支持する。

Umino et al. (2017)は、ボニナイトのソースとして(1)約 1500-1700 Ma に 20-30%の溶融を被ったマントルと(2)約 3200 -3600 Ma に 7-10 %の溶融を被ったマントルの 2 つあると提唱した。しかし、本研究で用いたカンラン岩からはそれほど古い溶融イベントを記録するものは見出すことができなかった。同様に、伊豆-小笠原-マリアナ海溝前弧域で採取されたカンラン岩の Re-Os 同位体を分析した Parkinson et al. (1998)が報告した $^{187}Os/^{188}Os$ は 0.119-0.127 程度であり、最も古い T_{RD} は約 1230 Ma であった。太古代の溶融年代を報告した Umino et al. (2017)では、擾乱の影響を加味しないモデル計算を適応しているが、その方法に問題があったのではないかと考えられる。

Keywords: Fore-arc peridotite, Hahajima seamount, Mariana trench, Harzburgite, Lherzolite
*Corresponding author: akizawa@aori.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

三浦半島葉山帯に産する蛇紋岩の岩石学的特徴

阿部なつ江（JAMSTEC/金沢大学）

Petrology of the serpentinized peridotite from Hayama Blet in Miura peninsula

Natsue Abe* (JAMSTEC/ Kanazawa Univ.)

We report the petrological characteristics of serpentinized peridotite from the Nobi Beach, southern zone of the Hayama Group in Miura Peninsula, one of Circum-Izu serpentinite belt. The serpentinized peridotite of the Hayama Group is characterized by a relatively low-temperature and common occurrence of hydrous minerals as spinel inclusions and the high Fe3+/ΣCation of spinel. On the other hand, the Nobi Beach sample rarely has hydrous minerals and shows slightly higher 2-Py equilibrium temperature (about 980°C) and lower Fe3+/ΣCation than other Hayama Group samples. This suggests that the serpentinized peridotites in the Hayama Group are either horizontally heterogeneous in the original mantle or differences in the peridotites' ascending and cooling processes.

三浦半島葉山層群に産する蛇紋岩ブロックや蛇紋岩化かんらん岩の転石について、記載を行ったのでその岩石学的特徴を報告する。対象とする試料は、荒井・石田(1987)によって“環伊豆地塊蛇紋岩類”と命名された蛇紋岩類に属する。環伊豆地塊蛇紋岩類の特徴は、荒井(1994)や高橋ほか(2008)などで詳細に記載されている。それらは、少量の単斜輝石を含むハルツバージャイト～レルゾライトで、しばしば Ca に富む斜長石や、希に初生的な含水鉱物（フロゴパイト、パーガサイト）を含み、クロムスピネルはほぼ Cr#=0.4~0.6 に集中していることである（荒井, 1994）。葉山層群の蛇紋岩は、環伊豆地塊蛇紋岩類中で瀬戸川帯の蛇紋岩と類似して、低温型―高酸化度で特徴付けられる（Uchida & Arai, 1978；江藤, 1986)。

野比海岸付近の北岳断層周辺に存在することが、浅見ほか(1992)により報告されており、それらは付近の地質構造から、三浦半島の葉山層群南帯からの転石である可能性が指摘されている。野比海岸に露出する蛇紋岩ブロックと転石計 10 個の蛇紋岩試料について詳しい記載を行った。これらの試料は、斜長石ハルツバージャイトであり、カーボネイト化している部分や希に珪質化している部分があるが、比較的蛇紋岩度が低く、初生鉱物であるかんらん石も残存している。かんらん石 Fo 値は約 91、クロムスピネルの Cr#は 0.4~0.6 であり、他の葉山層群の蛇紋岩類とほぼ同様であった。しかしクロムスピネルの Mg#は約 0.6、Fe3+/(Cr+Al+Fe3+)原子比は 0.1 以下であり、葉山層群の蛇紋岩よりはむしろ嶺岡層群中のものに類似する。さらに両輝石地質温度計（Witt-Eickshen & Seck, 1991）による平衡温度は約 980℃で、環伊豆地塊蛇紋岩類の高温型と低温型の中間的な温度を示す。これらのデータを元に、野比海岸蛇紋岩類の起源を考察すると、葉山層群とは異なる別の蛇紋岩対が付近に存在していた可能性がある。

[引用文献]

浅見茂雄・蟹江康光・有馬眞(1992) 横須賀市博研報(自然), 40, 21-23
荒井章司・石田高 (1987) 岩鉱, 82, 336-344
荒井章司 (1994) 静岡大地球科学研究報告, 20, 175-185.
江藤哲人(1986) Sci. Rep. Yokohama National Univ., Sec. II, 33, 68-105.
Uchida, T. & Arai, S. (1978) Jour. Geol. Soc. Jap., 84, 561-570.
Witt-Eickschen & Seck (1991) Contrib. Mineral. Petrol. 106, 431-439

Keywords: Circum-Izu Serpentine Belt, Serpentinized peridotite, Hayama Group, Nobi Beach
*Corresponding author: abenatsu@jamstec.go.jp

秋田県仙北市坊沢鉱床の地質及び浅熱水性低硫化型金銀鉱化作用

平田和希・渡辺寧・越後拓也・青木翔吾（秋田大・国際資源）

Geology and Epithermal gold-silver mineralization of Bousawa deposit in Akita, Japan

Kazuki Hirata*, Yasushi Watanabe, Takuya Echigo, Shougo Aoki (Akita Univ.)

秋田県仙北市坊沢鉱床の周辺に分布する新第三系下部中新統桂渕層および桂渕層に胚胎する坊沢鉱床は約20Maの年代を示し，日本海拡大初期の珪長質火山活動に伴って坊沢鉱床が形成されたことが明らかになっている．本研究では，坊沢鉱床周辺における詳細な地質調査及びXRD分析によって鉱床が形成された地質背景と鉱化流体の組成，石英脈の記載から鉱化作用が生じた条件を明らかにすることを目的とした．

野外踏査では365カ所で露頭の記載，258カ所でサンプリングを行った． 桂渕層の岩相は主に，火山豆石を含む凝灰岩・稀に炭化木片を含む軽石質火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩・凝灰質泥岩からなる，貫入岩（斑状珪長質火山岩）はその分布から平行岩脈群を呈していると考えられる．

サンプリングした試料から定方位試料を作成しXRD分析を行い熱水変質鉱物の同定を行った結果，変質帯はカオリナイト帯・セリサイト-カリ長石帯・緑泥石帯の3つに区分された．カオリナイト帯とセリサイト-カリ長石帯は鉱床周辺に見られ，カオリナイト帯はセリサイト-カリ長石帯に重複している．また，凝灰質泥岩を除くほぼすべての岩相（116カ所）に$2\theta = 6^{\circ}$（d = 14-15Å）付近に最強線である(001)反射を示す，エチレングリコール処理で変化しないピークがみられた．他の熱水変質鉱物の回折ピークがみられない試料の示差熱分析を行ったところ，バーミキュライトに類似したDTA曲線が得られた（Fig. 1）．さらに，同じ試料を500°Cで1時間加熱処理した後にXRD分析したところ，(001)ピークが$2\theta = 9^{\circ}$（d = 10Å）付近に移動したので，本研究地域における6°（14-15Å）付近に最強線を示す粘土鉱物はバーミキュライトであると結論づけられる．

坊沢鉱床の廃石でみられる石英脈の試料の薄片を偏光顕微鏡で観察し，鉱物組み合わせと組織を基にステージ区分を行った結果，石英脈は主にカリ長石と銀黒バンドを含む累被状脈・熱水角礫岩脈・葉片状石英脈からなることが観察された．鉱石鉱物はエレクトラムと輝銀鉱からなり，Pseudo-acicular組織を呈すカリ長石と共生してみられる．廃石のため各サンプル間の直接的なステージ順序は不明であるが，観察結果からは金銀鉱化作用に繰り返しがあったと考えられる．

鉱化流体は鉱床近傍の変質鉱物組み合わせと脈中のカリ長石からは200℃以上のアルカリ-中性流体がであったことを示している．石英脈の組織は金銀鉱化作用が沸騰によって生じたことを示唆しており，蒸気加熱変質起源のカオリナイトの分布と一致している．本研究地域の桂渕層にみられる岩相とバーミキュライトは鉱床形成後，同地域が陸上風化を蒙ったことを示し，坊沢鉱床がアジア大陸縁辺の陸域環境で形成されたことを示唆する．

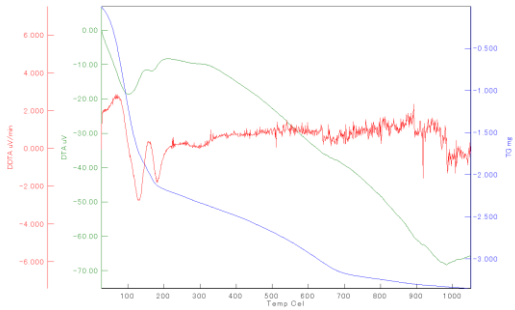


Fig 1. 軽石質火山礫凝灰岩を水簸処理した試料の示唆熱分析結果．DTA 曲線（緑）は 100-200・600・900-1000℃付近に吸熱反応を示すピークが認められバーミキュライトと類似する．

Key words: Vermiculite, DTA, Early Miocene, Epithermal Au-Ag deposit, XRD
Corresponding author: m6021116@s.akita-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

秋田県大仙市畑鉱床の地質と金鉱化作用

小沼優希・渡辺寧・越後拓也(秋田大・国際資源)

Geology and Au mineralization of the Hata deposit, Akita, Japan

Yuki Konuma*, Yasushi Watanabe, Takuya Echigo (Akita Univ.)

新第三紀に形成された，金・銀のほかに銅・鉛・亜鉛などの硫化物にも富み，重晶石や石膏などの硫酸塩鉱物を産出する熱水鉱床が主に東北日本に広く分布している．その鉱物組み合わせは黒鉱型鉱床の特徴を有しているが，鉱床の形態は鉱脈型鉱床の特徴をしめす．本研究では、黒鉱型鉱床と鉱脈型鉱床の特徴を併せ持つ鉱床における金の鉱化作用を明らかにするため，秋田大仙市にある畑鉱床周辺の地質調査，熱水変質鉱物の同定、鉱石鉱物の顕微鏡観察、鉱物化学分析、流体包有物マイクロサーモメトリおよび塩濃度測定を行った．

鉱床周辺の地質は上部中新世船川層であり，珪長質凝灰岩・暗灰色泥岩・火山角礫岩及びラピリストーンの 3 相が分布し，直方輝石デイサイト質溶岩が堆積層の上部に被覆する．鉱床を胚胎するのは珪長質凝灰岩である．

鉱体下部と上部の鉱石を比較するため、鉱体下部 (標高 255.4m) から採鉱された鉱石からなる 3 番坑捨石場と，鉱体上部に位置し地表で確認できる 5 番坑 (標高 210m) から試料を採取した．3 番坑で採取した鉱石は方鉛鉱や閃亜鉛鉱の硫化物に富む鉱石であり，5 番坑で得られた鉱石は銀黒を伴う石英脈であり重晶石を多量に伴う．金は硫化物に富む 3 番坑の鉱石中に多く見られ，5 番坑の鉱石の銀黒部には金はわずかで，輝銀鉱が主として認められる．

粉末 XRD 分析による熱水変質鉱物同定の結果，熱水変質鉱床周辺と 5 番坑の銀黒を伴う鉱石の母岩はセリサイト変質を被っていることが判明した．また，方鉛鉱や閃亜鉛鉱などの硫化物に富む 3 番坑鉱石はセリサイト変質に加えてカリ長石変質を伴っていた．この違いは，鉱体下部を形成した熱水は中性～アルカリ性の熱水であったが，鉱床上部に移動するにつれて中性～酸性に変化したことを示す．

石英と重晶石中の流体包有物を用いて鉱化流体の均質化温度と塩濃度を測定した結果，5 番坑鉱石の均質化温度は 177.4 ~ 230.2℃，塩濃度は 2.90 ~ 6.01%，3 番坑鉱石の均質化温度は 209.8 ~ 250.2℃，塩濃度は 5.11 ~ 6.16%であった．鉱床下部では塩濃度が高く，均質化温度も高い結果になった．

SEM-EDS による鉱物化学分析の結果，5 番坑鉱石は閃亜鉛鉱中の鉄含有量は 0.13 ~ 0.225atom%でエレクトラム中の金の含有量は 57.1 ~ 58.5%であった．3 番坑鉱石の閃亜鉛鉱の鉄の含有量は 0.26 ~ 0.57atom%となり，エレクトラム中の金の含有量は 60.2 ~ 69.3 atom%である．エレクトラムターニッシュ法と閃亜鉛鉱鉱地質温度計に基づくと，本鉱床における金鉱化作用は、熱水中の金が HS^- 錯体を形成して運搬される低硫化系熱水性鉱床に近い性質を持つと考えられる．

以上の結果から、畑鉱床の金鉱化作用は低硫化系の網状鉱脈型鉱床と分類され，熱水中の硫酸イオンが鉱体下部から上部へ増加する過程で，金の溶解度が下がることによって金が沈殿したと結論づけた．

Key words: epithermal Au deposit, low sulfidation, base metal sulfide, barite, sea water
Corresponding author: m6021104@s.akita-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$CaO\text{-}Na_2O\text{-}CO_2$ に富む流体から析出したオンファス輝石の微細組織観察

大井修吾*(滋賀大教育)、木下周祐、伊神洋平、三宅亮、平島崇男(京大)

Fine structures of omphacite in $CaO\text{-}Na_2O\text{-}CO_2$ rich fluid

Shugo Ohi* (Edu. Shiga), Shusuke Kinoshita, Yohei Igami, Akira Miyake and Takao Hirajima (Kyoto Univ.)

1.はじめに：

オンファス輝石 (Omphacite, Omp)は、diopside(Di) - jadeite (Jd) 系で中間程度の化学組成を持ち、高温下では M1 席の Mg, Al および M2 席の Ca, Na の配列が無秩序で $C2/c$ となり、低温になると配列が秩序化し相転移が起こり、低温では $P2/n$ の空間群が安定であると考えられている(Carpenter, 1980; CMP, 71, 289-300)。$C2/c$ 相が秩序化した際に出現可能性な空間群は $P2/n$, $P2/c$, $C2$, $P2$ であるが(Carpenter 1978, CMP 67, 17-24)、ごく一部の低温試料を除き、$P2/c$, $C2$, $P2$ の観察例はない。

木下・平島(2016, JpGU)は北海道幌加内地域の神居古潭変成岩中に発達する $CaO\text{-}Na_2O\text{-}CO_2$ に富む淡緑色脈(構成鉱物は apatite, albite, Omp/Di, pumpellyite, aragonite/calcite, chlorite)中の Omp/Di は連晶組織を示し、Omp は $Jd_{31\text{-}42}Acm_{18\text{-}25}Di_{38\text{-}55}$ の組成範囲で Al-poor, 中間, Al-rich の 3 領域に区分できることを示した。また、上述の Omp の一部は透過型電子顕微鏡(TEM) 観察から C 格子を示した(木下他, 2017, JpGU)。今回は、同一試料について追加の TEM 観察を行ったので、その結果を報告する。

2. TEM 観察で見出した 3 種類の微細組織：

TEM 観察でも、Omp は 3 領域に分類することができ、それぞれに特徴的な微細組織を認めた。

微細組織 1 : [010]から観察すると、転位が多く、主に $C2$ で現れる反射と一部 $C2/c$ や $P2/n$ と思われる電子線回折図形が得られた。

微細組織 2 : [010]から観察すると、(100)に平行な離溶ラメラを認めた。Ca-rich 相の回折図形は主に $P2/n$ で、一部では $P2/n$ の反射と $C2$ の反射が同時に現れる $P2$ の電子線回折図形が得られた。Ca-poor 相の回折像は $C2/c$ であった。

微細組織 3 : [001]から観察すると、(010)に平行な $C2/c$ と $P2/c$ のラメラを認めた。しかし、化学組成マッピング像ではこの組織を確認できなかった。

3.考察と結論：

TEM を用いた化学組成分析で得られた微細組織 1, 2, 3 のバルク組成はおよそ木下・平島 (2016, JpGU)の Al-rich, Al-poor, 中間領域と一致する。また脈を構成する鉱物組合せからその形成条件は<300℃ & <0.8GPa であり、この条件下での Omp の安定相は 3 領域とも $P2/n$ である。流体から最初に析出する Omp の空間群は $C2/c$ 相であり (Carpenter 1978)、その後、安定相である $P2/n$ に転移する過程において、Omp 領域のわずかな化学組成の差を反映して、$P2/c$, $C2$, $P2$ などの準安定相が残ったと考えられる。

Keyword: omphacite, CO2-rich fluid, TEM
Corresponding author: s-ohi@edu.shiga-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

下立トラバーチンの炭酸塩鉱物U–Pb年代

福山繭子（秋田大）・小笠原正継（産総研）

U-Pb age of the Oritate travertine from Unazuki area, Toyama, Japan.

Mayuko Fukuyama (Akita Univ.) *・Masatsugu Ogasawara (GSJ, AIST)

富山県黒部市下立地区には、一般に”オニックスマーブル”と呼ばれ装飾用石材として利用されるトラバーチンが産する。過去の研究では、下立トラバーチンを整合に覆う砂岩層から得られたジルコンについてレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計（LA-ICP-MS） U-Pb年代測定が行われ、104±1 Maが得られているが（久保, 2017）、下立トラバーチンからの年代は得られていない。そこで、本研究では、この下立トラバーチンのU-Pb炭酸塩鉱物年代測定を実施し、その形成年代を検討した。U-Pb年代測定には、秋田大学理工学研究科に設置されたLA-ICP-MS（NWR193UCとAgilent 7700x）を用いた。下立トラバーチンのU/Pb比は1.1～2.2と低く、またウランは0.2μg/gと乏しい。一次標準試料には91500ジルコン（Wiedenbeck et al., 2004）とWC-1（Roberts et al., 2017）を使用した。

U-Pb年代測定を行なった下立トラバーチンのうち、試料によってはU-Pb同位体系が保存されず年代値を得られないものもあるが、１試料からは62±26 Ma (MSWD=1.1)との結果が得られた。この地域に分布する太美山層群の溶結凝灰岩からは70Maの年代が得られている（金子ほか、2019）。下立トラバーチンは太美山層群に見られる白亜紀末の火成活動に伴って形成された可能性がある。また、試料の元素マップを作成し、U濃度の変化の指標となる元素についても検討した。

謝辞

宇奈月町下立財産区議会、長谷川晴夫議長には野外調査の便宜を図っていただき、また装飾用石材として保管されていたトラバーチン試料を提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

文献

金子ほか(2019)地質学雑誌, 125, 781-792. 久保(2017)日本地質学会講演要旨. Roberts et al. (2017) Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 18, 2807-2814. Wiedenbeck et al. (2004) Geostandards and Geoanalytical Research, 28, 9-39.

Keywords: travertine, U-Pb age, carbonate mineral, LA-ICP-MS

*Corresponding author: mayuko@gipc.akita-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質 学会 との共催 セッション)

座長:越後 拓也(秋田大学)、秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)

2021年9月18日(土) 09:30 〜 12:15 Zoom Session 3

[座長]

越後 拓也：R7-01〜R7-05

秋澤 紀克：R7-06〜R7-10

12:00 〜 12:15

[discussion]総合討論

©日本鉱物科学会

口頭講演 | S3：東アジアのテクトニクス （スペシャルセッション）

2021年9月18日(土) 10:00 ~ 12:00 | Zoom Session 1

S3：東アジアのテクトニクス （スペシャルセッション）

座長:木村 光佑(呉工業高等専門学校)、ダス カウシク(広島大・院理)

木村 光佑：S3-01〜S3-03
ダス カウシク：S3-04〜S3-06

10:00 ~ 10:15

[S3-01] 長崎県西部の花崗岩類のジルコンU-Pb年代

*堤 之恭[1]、谷 健一郎[1] (1. 国立科学博物館地学研究部)

10:15 ~ 10:45

[S3-02] 日本列島隠岐片麻岩類の複数変成史：古原生代変成作用と北東アジアのテクトニクス

*今山 武志[1]、川端 凌市[1]、加藤 丈典[2]、Oh Chang Whan[3]、堀江 憲路[4]、竹原 真美[4] (1. 岡理大、2. 名古屋大、3. 全北大、4. 極地研)

10:45 ~ 11:00

[S3-03] **Tonoshiki breccia recording the signature of the closure of Maizuru back-arc basin during Permian-Triassic boundary**

*Larissa NGOMBI MAVOUNGOU[1], Kaushik DAS[1,2], Yasutaka HAYASAKA[1,2], Kenta KAWAGUCHI[3], Jun-ichi ANDO[1,2] (1. Hiroshima Univ. Sci., 2. HIPER, 3. Jeonbuk Nat. Univ., Korea)

11:00 ~ 11:15

[S3-04] 舞鶴帯における背弧盆性海洋地殻と大陸地殻の混合過程

*早坂 康隆[1] (1. 広島大・院理)

11:15 ~ 11:30

[S3-05] 舞鶴帯津和野コンプレックス花崗岩質岩の年代の多様性

*木村 光佑[1]、早坂 康隆[2]、柴田 知之[2]、ダス カウシク[2]、川口 健太[3] (1. 呉高専、2. 広島大・院理、3. 全北大学校)

11:30 ~ 12:00

[S3-06] The tectonic evolution of the Northeast Asia including Korea and Japan from Permian to Cretaceous

*Oh Chang Whan[1] (1. Jeonbuk National Univ., Republic of Korea)

長崎県西部の花崗岩類のジルコン U-Pb 年代

堤　之恭・谷　健一郎（国立科学博物館）

Zircon U-Pb dating of granitoids in western Nagasaki, southwest Japan

Yukiyasu TSUTSUMI*, Kenichiro TANI (Natl. Mus. Nat. Sci.)

Zircons U-Pb ages were obtained from granitoids in western Nagasaki Prefecture. Considering the ages, it is thought that granitoids in Enoshima Island and Irose Shoal emplaced ~100 Ma whereas Oseto and Otate emplaced in ~97 Ma and Oseto suffered later activity in ~90 Ma. These ages are equivalent of the granitoids in the Ryoke belt. The Oseto granodiorite contacts the Nagasaki Metamorphic Complex which is equivalent of the Sanbagawa belt, across the Yobukonoseto fault system. These data will be important when considering the framework of Kyushu.

長崎県の西彼杵半島と五島列島との間は「相の島帯」とよばれ，花崗岩を含む先第三紀基盤岩が伏在している．西彼杵半島西端の大瀬戸花崗閃緑岩と，「大立島背斜」に沿って東から小立島，大立島，色瀬，江島に花崗岩質岩の露出が確認できる．これらの花崗岩質岩についてジルコン年代測定を行った．その結果，江島・色瀬・大立島の花崗岩試料からは年代を得られた．しかし小立島のジルコン年代は明確なピークを成さず，また大瀬戸花崗閃緑岩の年代は分散が大きく，有効な年代とは言い難い（右図）．

年代的には，より西の江島・色瀬が約 100 Ma，大立島が約 97 Ma を示し，この間にギャップが存在すると思われる．また，大瀬戸花崗閃緑岩は約 97 Ma に形成されたものが後（90 Ma 頃？）の熱影響を被っている可能性がある．

これらの年代は北部九州を含む領家花崗岩の年代に対応し，大瀬戸花崗閃緑岩は呼子ノ瀬戸断層系を介して三波川帯に対応する長崎変成岩と接する．この事実は，九州の地体構造を論じる上で意味を持つと考えられる．

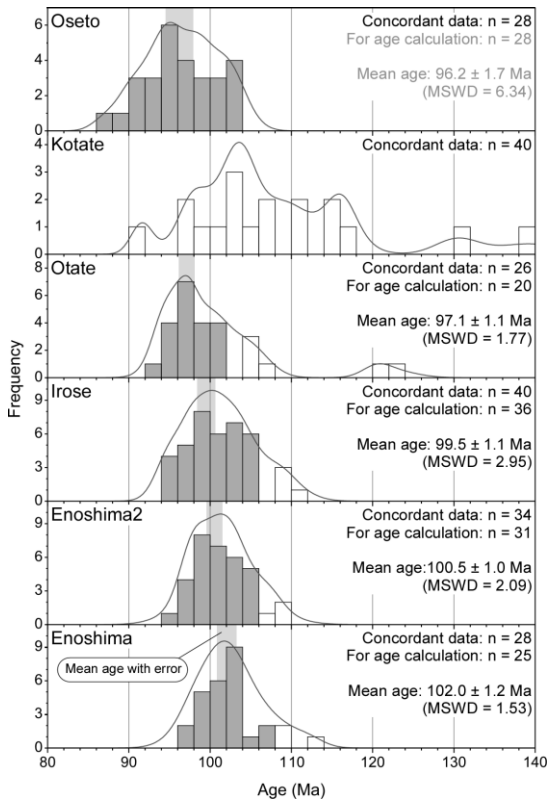


Figure.　Histograms of age data of the samples. Errors of weighted mean ages are 95% conf.

Keywords: zircon, U-Pb age, granitoid, Nagasaki, Ryoke

***Corresponding author: ytsutsu@kakhaku.go.jp**

日本列島隠岐片麻岩類の複数変成史：古原生代変成作用と北東アジアのテクトニクス

今山武志，川端凌市(岡山理大)，加藤丈典(名古屋大)，Oh Chang Whan(全北大)，堀江憲路，竹原真美(極地研)

Multi-stage metamorphic history of the Oki gneisses in Japan: Implications for Paleoproterozoic metamorphism and tectonic correlations in northeastern Asia

Takeshi Imayama*, Ryoichi Kawabata (Okayama Univ. of Sci.), Takenori Kato (Nagoya Univ.), Chang Whan Oh (Jeonbuk Univ.), Kenji Horie, Mami Takehara (NIPR)

Metamorphic P–T conditions, monazite chemical ages, and zircon U–Pb ages from the gneisses exposed in the Oki belt, Japan, were integrated to unravel the multi-stage metamorphic history of the belt. Microstructural observations combined with obtained P–T conditions and metamorphic ages reveal three distinct stages of metamorphism: M1, M2, and M3. The M1 stage occurred c. 1.85 Ga with high-T granulite-facies metamorphism (793–803°C and 9.8–12.3 kbar and 738–755°C and 9.1–12.0 kbar in the southwestern and southeastern Oki gneisses, respectively). The age of the M1 stage is well recorded in monazites included in large garnet porphyroblasts and low Th/U metamorphic rims in zircons from the Oki gneisses. The M1 metamorphism was overprinted by c. 230 Ma metamorphism (M2), which occurred at granulite-facies conditions (817–829°C and 9.0–10.3 kbar) in the southwestern Oki gneisses and at upper amphibolite-facies conditions (693°C and 5.3 kbar) in the southeastern Oki gneisses. Monazites in small garnets, euhedral zircons, and outermost rims of zircons crystallized during this stage. The final metamorphism occurred as retrograde amphibolite-facies recrystallization (M3) at conditions of 558–638°C and 3.7–4.8 kbar. The inherited cores in zircons yield ages from Paleoarchean to Paleoproterozoic but lack Paleozoic ages. The detrital zircon distribution and the Paleoproterozoic metamorphic event in the Oki belt support the idea that the Oki gneisses are fragments of a Precambrian terrane rather than Paleozoic sediments derived from the terrane. Combined with previous studies, we concluded that the c. 1.85 Ga M1 high-T granulite-facies metamorphism in the Oki belt could be related to that of the Jiao-Liao-Ji belt in the eastern North China block via the northern Gyeonggi and Nangrim Massifs on the Korean Peninsula, whereas the c. 250–230 Ma M2 stage could be associated with collision between the North and South China blocks. The Oki belt geologically corresponds to the northern Gyeonggi Massif in South Korea due to their similar Paleoproterozoic and Triassic tectonothermal events.

Keywords: Multi-stage metamorphic history, Oki belt, Paleoproterozoic metamorphic event, Triassic tectonic event

*Takeshi Imayama: imayama@ifst.ous.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Tonoshiki breccia recording the signature of the closure of Maizuru back-arc basin during Permian-Triassic boundary

Ngombi Mavoungou, L.[1*], Das, K.[1,2], Hayasaka, Y.[1,2], Kawaguchi, K.[3], Ando, J. [1,2]

(1) Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University, Japan.
(2) Hiroshima Institute of Plate Convergence Region Research, Hiroshima.
(3) Department of Earth and Environmental Sciences, Jeonbuk National University, Republic of Korea.

Tonoshiki Formation, a breccia-dominated unit which is made up of different sized extremely angular clasts occurred in Maizuru back-arc basin that closed during Late Permian. One of the dominant types is a breccia dominated by mafic rock clasts derived from the Yakuno ophiolites. Recently, clasts with different features, mostly felsic shallow crustal rocks fragments, have been found in the breccia. These two types of breccia might not only differ in terms of their petrology, but they are likely to also present different geochronological and microstructural characteristics. In this study, we report the depositional timing and some microstructural features for Tonoshiki breccia. The detrital zircon LA-ICP-MS dating of Tonoshiki breccia provide Latest Permian maximum depositional ages of 259 and 251 Ma for the mafic-rock clast-rich type and the felsic-rock block-dominated unit, respectively. These characteristics of Tonoshiki breccia suggest its formation as a result of two phases of tectonic activity-induced debris flow occurring during Late Permian. The optical microscopic observation of 2 specimens of Tonoshiki breccia reveal several microstructural features for both types. The two types of Tonoshiki breccia commonly display internal fracturing within several single clasts (e.g., tonalitic, rhyolitic rock fragments). Moreover, evidence of hydraulic fracturing has been found in both types of the breccia. In contrast, following two different types of veins are prominent for both types. Prehnite-pumpellyite and quartz-filled veins are found in the mafic rock-clast rich unit whereas a network of multi-directional calcite-filled fractures are present in some felsic rock fragments. The examination of a Triassic sandstone sample of the Fukumoto Formation under optical microscope does not reveal any evidence of hydraulic fracturing. This provides a possible constraint for the timing of veins formation in Tonoshiki breccia. The development of veins was triggered by fluid overpressure that possibly occurred during the last evolutional stage of Maizuru back-arc basin represented by the collision with the eastern margin of the East Asian continent, which marks the present Maizuru terrane. The Permo-Triassic transition in Maizuru-back-arc basin is characterized by the deposition of Tonoshiki breccia during two pulses of tectonic activity and is accompanied by hydraulic fractures affecting the breccia. Hydraulic fracturing might represent the tectonic signature related to the closure of the basin.

Keywords: Basin closure, Hydraulic fracturing, Late Permian, Maizuru back-arc basin, Tonoshiki breccia.

*Corresponding author: ngombilarissa@hiroshima-u.ac.jp

舞鶴帯における背弧盆性海洋地殻と大陸地殻の混合過程

早坂康隆* (広島大)

Mixing process of oceanic crust of BAB spectrum and continental crust in the Maizuru belt, SW Japan

Yasutaka Hayasaka* (Hiroshima Univ.)

舞鶴帯の構成：舞鶴帯は模式地の舞鶴–大江地域において北帯，中帯，南帯に三分される．北帯は圧砕花崗岩類を主とし，変斑れい岩–ドレライトや少量の泥質片麻岩を伴い，南帯は変斑れい岩–ドレライト主体で，圧砕花崗岩を伴う火成岩複合岩体からなる．その間に存在する中帯には主としてペルム系舞鶴層群と，これを不整合に覆うトリアス系夜久野層群，難破江層群が分布し，変斑れい岩や圧砕花崗岩などのレンズ状小岩体がテクトニックに「貫入」している．舞鶴帯を構成する変斑れい岩–ドレライトや圧砕花崗岩類などは，一括して夜久野岩類と呼ばれている．

夜久野岩類の起源と年代：南帯の夜久野岩類は，前期石炭紀の約 340 Ma に形成された海洋プレート内にペルム紀前・中期の 290-270 Ma に形成・成長した海洋内島弧地殻起源である（早坂ほか，1996）が， 石炭紀の海洋地殻の大部分は背弧盆起源である（Suda et al., 2014）．北帯は模式地の舞鶴–大江地域で断層によって東部の舞鶴花崗岩（Ca. 280-240 Ma）と西部の桑飼岩体（Ca. 440-400 Ma, 290 Ma）に分けられる（池田・早坂，1994; Fujii et al., 2008; Tsutsumi et al., 2014）．これらを近隣の大陸地殻と比較すると，桑飼岩体はロシア沿海州のハンカ地塊に，舞鶴花崗岩は飛騨帯のペルム紀–ジュラ紀花崗岩類と共に，北朝鮮北東端の咸北帯の豆満江複合岩体に対比される．桑飼複合岩体の西方延長は岡山県久米地域の取首山岩体（Ca. 490-300 Ma; 原田ほか，2015）である．中帯の夜久野岩類は，大部分 290-270 Ma の背弧盆起源の変斑れい岩（小出，1986）や花崗岩類からなるが，津和野地域には新太古代–古原生代，およびシルル・デボン紀の花崗岩類やメタコーツァイトなどからなる大陸クラトン起源の津和野コンプレックスが伴われる．(木村ほか，2019; Kimura et al., 2021).

海洋地殻と大陸地殻の混合プロセス：中帯の西方延長である福山市北部の山野層群などに厚さ 50 m 以上の半遠洋性赤色珪質粘土岩が伴われることから，中帯の起源となった背弧盆は現在の四国海盆ほどの広さになって海洋性の地殻を伴っていたと推定される．そこに大陸クラトンの断片が伴われるのは，日本海のように，大陸縁内で形成・拡大する際に大和堆のような大陸地殻の断片を取り残した背弧盆が収束したためと考えられる．その後舞鶴帯は幅の広い右横ずれ運動によってメランジュ化した．

Keywords: Maizuru belt, Yakuno complex, Tsuwano complex, closure of back-arc basin

*Corresponding author: hayasaka@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

舞鶴帯津和野コンプレックス花崗岩質岩の年代の多様性

木村光佑* (呉高専)，早坂康隆，柴田知之，ダス　カウシク (広島大)，川口健太 (全北大学校)

Age variation of granitoids of Tsuwano Complex, SW Japan

Kosuke Kimura* (KOSEN, Kure College), Yasutaka Hayasaka, Tomoyuki Shibata, Kaushik Das (Hiroshima Univ.), and Kenta Kawaguchi (Jeonbuk National Univ.)

島根県津和野地域の舞鶴帯から見出された新太古代–古原生代の花崗片麻岩，花崗岩類やメタコーツァイトなどからなる津和野コンプレックス(木村ほか, 2019; Kimura et al., 2021)のうち, 特に花崗岩類の年代バリエーションをより広く詳細に把握するため，津和野地域西部に露出する戸谷川岩体(新称)の花崗岩質岩 5 試料，部栄岩体の花崗岩質岩 1 試料のジルコン，および戸谷川岩体のメタコーツァイト 1 試料の砕屑性ジルコンの U-Pb 年代を LA-ICP-MS を用いて測定した．

戸谷川岩体は西北西-東南東方向に伸びた長さ約 1 km, 幅約 100 m のレンズ状小岩体であり，戸谷川沿いに露出する．メタドレライトと花崗岩質岩を主体とし，メタコーツァイトを伴う．花崗岩質岩は主に石英，斜長石，カリ長石からなり，いずれも強いカタクラシスを被っているが，火成岩組織を残している．メタコーツァイトは少量のカリ長石を伴う．

戸谷川岩体の花崗岩質岩 2 試料からは 1842 ± 9 Ma と 771 ± 5 Ma の単一年代がそれぞれ得られた．別の 2 試料からは，波動累帯構造を示すリム部から 479 ± 5 Ma の年代 (Th/U < 0.1)が，コアから約 915–845 Ma と約 815–755 Ma の inherited 年代がともに得られた．更に 1 試料からは約 490–400 Ma の年代が得られた．また部栄岩体からは 1760 ± 11 Ma の年代が得られた．一方，メタコーツァイトからは約 2705–2140 Ma (n = 21/102)のコンコーダント年代が得られ，約 2675 Ma に最大のピークを持つ. また約 1850 Ma にも Th/U 比が 0.1 未満のコンコーダントなデータが 1 点認められる．

戸谷川岩体の花崗岩質岩は VAG の特徴を示し, 771 Ma のものは特に高い A/CNK(>1.5) を示す. 一方，部栄岩体のものは A タイプ花崗岩であり，WPG の特徴を示す.

戸谷川岩体にも古原生代の花崗岩類およびメタコーツァイトが分布していることが明らかとなった．戸谷川岩体から得られた 915–755 Ma の年代は, 南中国地塊で最大のピークを形成しているが北中国地塊の南縁にも知られており，韓半島の京畿地塊北部から狼林地塊南部に延長している(Lee et al., 2020). また 1.8–1.75 Ga の A タイプ花崗岩は例えば北中国地塊南縁で知られており(Bai et al., 2021)，コロンビア超大陸の分裂に伴うリフトの活動との関連が指摘されている．今後アジア大陸との精密な対比によって，津和野コンプレックスの起源を制約する．

Keywords: Maizuru Terrane, Tsuwano Complex, Zircon U-Pb age

*Corresponding author: koske.kimura@gmail.com

The tectonic evolution of the Northeast Asia including Korea and Japan from Permian to Cretaceous

Chang Whan Oh (Dept. of Earth and Environmental Sciences, Jeonbuk National University, Jeonju, Republic of Korea)

The Permo-Triassic collision between the North and South China Cratons (NCC and SCC) occurred in the Korean Peninsula (KP). The tectonic model in which the collision was considered to occur along the Hongseong-Odesan collision belt in the Gyeonggi Massif (GM), is most suitable one because it can explain most recent new geological findings and Korea-China correlation. During the collision, the subduction began along the south margin of the SCC. Another Permo-Triassic collision between the NCC and Khangka Block occurred along the Dumangang belt in the northeast KP. Whereas the subduction zone was maintained in the east coast of the northern KP, forming the Paleozoic-Triassic subduction complex which is now the Paleozoic subduction complex in the southwest Japan. During the Permo-Triassic time, the collision and post collision related igneous activities occurred in the northern GM, Nangrim Massif and Kwanmo Massif, whereas the subduction related igneous activities occurred along the southern margin of the KP. During Jurassic before 190 Ma, the subduction related igneous activities occurred in the southern and eastern margins of the KP and the Hida and Oki belts in Japan. After 190-180 Ma, the subduction related igneous activities stopped in Japan and the southeastern and eastern margins of the KP, representing movement of arc front towards west and northwest with decreasing subduction angle. During 180~150 Ma, the igneous activities occurred regionally in the northeast China and inner part of the Korean Peninsula, representing a flat subduction under the Northeast Asia which continued until 145 Ma. After 145 Ma, the Cretaceous igneous activities moved southeastwards from Beijing through Sandong and Liaoning areas to KP until 80 Ma. The Cretaceous igneous activities occurred due to the mantle uplift caused by slab roll-back. The southeastwards movement occurred due to the movement of location where mantle uplift with destruction of flat subducted oceanic slab. On the other hand, the subduction related Cretaceous igneous activities occurred from 128 Ma in Japan, which is not coincide with a southeastwards trend of decreasing age of the Cretaceous igneous activities. These data indicate that the subducted slab below Japan was disconnected from that under the KP at 128 Na due to extension tectonic regime in the Northeast Asia and then began to subduct separately under Japan. The extensional regime was stopped at 80 Ma with stopping of mantle upwelling related igneous activities in the KP and was changed into compressional regime with subduction related igneous activities occurred along the southern margin of the KP and in Japan.

Key words; Permo-Triassic collision, Jurassic flat subduction, Cretaceous slab roll-back, Northeast Asia

Corresponding author; ocwhan@jbnu.ac.kr