2019年9月20日(金)

口頭講演 | R2: 結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

9:15 ~ 12:00 | 大講義室 Ia 大講義室

R2: 結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:徳田 誠、興野 純、中村 友梨江

9:15 ~ 9:30

[R2-01] CL法を用いた水晶の晶癖に対する重力効果の検討

*吉見 桃子[1]、長瀬 敏郎[2]、栗林 貴弘[1]、今井 裕之[3]、岡田 敏朗[4] (1. 東北大・院理、2. 東北大・総学博、3. 金石造形スタジオ、4. 福岡市和白丘中学校)

9:30 ~ 9:45

[R2-02] トリディマイト多形のラマン分光法による研究

*神崎 正美[1] (1. 岡大・惑星研)

9:45 ~ 10:00

[R2-03] CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5フラックスにおける石英，トリディマイト，クリストバライトの成長

*阿部 利弥[1] (1. 山口大・理)

10:00 ~ 10:15

[R2-04] Si原子は珪酸塩液体中でどのように拡散しているのか

*則竹 史哉[1] (1. 山梨大・院総合)

10:15 ~ 10:30

[R2-05] 一価のイオンのイオン半径の違いが引き起こすＯＣＰ形成誘導と抑制機構

*杉浦 悠紀[1]、齋藤 靖子[2]、遠藤 貴士[2]、槇田 洋二[1] (1. 産総研・健康工学、2. 産総研・機能化学)

10:30 ~ 10:45

[R2-06] XAFS法による斜長石単結晶での鉄化学種分析

*中田 亮一[1]、佐藤 雅彦[2]、潮田 雅司[3]、田村 裕二郎[4]、山本 伸次[4] (1. JAMSTEC、2. 東京大・院理、3. 産総研、4. 横国大・院環)

10:45 ~ 11:00

[R2-07] $Mn_{3-x}Fe_xO_4$固溶体の高圧下での電荷移動と磁気構造変化
（半導体—金属転移　磁気構造転移と結晶構造転移の圧力効果）

*山中 高光[1]、服部 高典[2]、小松 一生[3]、中本 有紀[4]、ラマン サキブ[1]、ワン リン[1]、マオ ホークァン[1]、平尾 尚久[5] (1. 北京高圧科学研究中心、2. 日本原子力研究開発機構　J-PARC 物質・生命科学実験施設、3. 東京大学大学院理学研究科地殻科学研究センター、4. 大阪大学大学院基礎工学研究科附属極限科学センター、5. 理科学研究所　大型加速器機構)

11:00 ~ 11:15

[R2-08] 15.5 GPa, 2473 Kで合成された新規$Al_2Si_2O_7$相の 放射光単結晶X線回折実験

*栗林 貴弘[1]、周 佑黙[2]、大藤 弘明[2]、入舩 徹男[2,3] (1. 東北大・院理、2. 愛媛大・GRC、3. 東工大・ELS)

11:15 ~ 11:30

[R2-09] 緻密な酸化インジウム焼結体の合成と酸素欠陥化学

*坂口 勲[1]、齊藤 紀子[1]、鈴木 拓[1] (1. 物材機構)

11:30 ~ 11:45

[R2-10] 透明ナノ多結晶ヒスイの超高圧合成に向けて

*入舩 徹男[1]、満 圭祐[1]、山田 明寛[2] (1. 愛媛大・GRC、2. 滋賀県立大・工)

11:45 ~ 12:00

[R2-11] 低圧構造部と高圧構造部が秩序配列したヒ素結晶相

*吉朝 朗[1]、徳田 誠[2]、三澤 賢明[3] (1. 熊本大学、2. 東北大学、3. 九州産業大学)

口頭講演 | R5: 地球外物質

9:15 ~ 12:00 | 大講義室 Ib 大講義室

R5: 地球外物質

座長:中村 智樹、瀬戸 雄介

9:15 ~ 9:30

[R5-01] CMコンドライトParis中エンスタタイトウィスカーの放射光ナノXCTおよびTEMによる分析

*安武 正展[1]、Vacarro Epifanio[2]、上杉 健太郎[3]、竹内 晃久[3]、中野 司[4]、圷山 明[1,5] (1. 立命館大学、2. ロンドン自然史博物館、3. SPring-8、4. GSJ/AIST、5. 中国科学院広州地球科学研究所)

9:30 ~ 9:45

[R5-02] 水質変質程度の異なるCMコンドライト中TCIの微細組織観察

「発表賞エントリー」

*家本 あかね[1]、瀬戸 雄介[1]、三宅 亮[2] (1. 神戸大・院理、2. 京都大・院理)

9:45 ~ 10:00

[R5-03] CM-COクランの再検討

*木村 眞[1] (1. 国立極地研究所)

10:00 ~ 10:15

[R5-04] Ivuna隕石(CI)中のドロマイトと流体包有物の探査

*土山 明[1]、橋野 桃子[2]、北山 晃[2]、三宅 亮[2] (1. 立命館大/広州地球化学研究所、2. 京大・院理)

10:15 ~ 10:30

[R5-05] CRコンドライトに関係する2つの隕石NWA 7317とTafassassetの鉱物学的研究

「発表賞エントリー」

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

10:30 ~ 10:45

[R5-06] NWA1723 Lコンドライトに含まれるDark inclusionの岩石鉱物学的研究

*高橋 実樹[1]、中村 智樹[1]、Zolensky Michael[2] (1. 東北大・院理、2. NASA/JSC)

10:45 ~ 11:00

[R5-07] 宇宙風化を模擬した水素イオン照射コランダムのナノオーダー化学状態分析

*伊神 洋平[1]、武藤 俊介[1]、大塚 真弘[2]、山本 悠太[1]、瀧川 晶[3]、三宅 亮[3] (1. 名大・未来研、2. 名大・院工、3. 京大・院理)

11:00 ~ 11:15

[R5-08] 含水炭素質隕石へのHe照射によるC型小惑星の宇宙風化再現実験

*中村 智樹[1]、Lantz Cateline[2]、小林 詩歩[1]、仲内 悠祐[3]、天野 香菜[1]、Brurnetto Rosario[2]、松本 恵[1]、高橋 実樹[1]、松岡 萌[3]、野口 高明[4]、松本 徹[1]、三宅 亮[5]、土山 明[6]、Zolensky Mike[7] (1. 東北大・院理、2. IAS, Univ of Paris Sud、3. 宇宙科学研究所、4. 九州大学・院理、5. 京都大学・院理、6. 立命館大学、7. NASA/JSC)

11:15 ~ 11:30

[R5-09] GEMS模擬粒子を用いたその場水質変成実験

*延寿 里美[1]、圷山 明[1,2] (1. 立命館大学、2. 中国科学院广州地球化学研究所)

11:30 ~ 11:45

[R5-10] X線回折法によるL6普通コンドライトの鉱物歪みの解析

*今栄 直也[1] (1. 極地研)

11:45 ~ 12:00

[R5-11] Northwest Africa 2139 LL6コンドライトの衝撃変成史

*竹之内 惇志[1]、角野 浩史[2]、下館 果林[2]、長尾 敬介[2]、山口 亮[1,3] (1. 極地研、2. 東大、3. 総研大)

口頭講演 | S1: 火成作用の物質科学 (スペシャルセッション)

10:00 ~ 12:00 | A-117 イースト1号館

S1: 火成作用の物質科学 (スペシャルセッション)

座長:松本 恵子、無盡 真弓、浜田 盛久

10:00 ~ 10:15

[S1-01] 一ノ目潟産スピネルカンラン岩捕獲岩の圧力推定による島弧域リソスフェア-アセノスフェア境界領域の復元

「発表賞エントリー」

*佐藤 侑人[1]、小澤 一仁[1] (1. 東京大学・院理・地球惑星)

10:15 ~ 10:30

[S1-02] 自然鉄を晶出させるマントル交代作用：Aitutaki産カンラン岩捕獲岩の例

*秋澤 紀克[1]、小澤 一仁[2]、Wallis Simon[2]、田村 明弘[3]、川本 竜彦[4]、安本 篤史[5]、大嶋 ちひろ[1]、石川 晃[6]、小木曽 哲[7] (1. 東大　大海研、2. 東大　地惑、3. 金沢大　地球、4. 静大　地球、5. 蒜山地質、6. 東工大　地惑、7. 京大　人環)

10:30 ~ 10:45

[S1-03] 完晶質な複合岩脈を用いたメルト中の拡散継続時間推定

「発表賞エントリー」

*山崎 あゆ[1]、河上 哲生[1]、東野 文子[2] (1. 京都大・院理、2. 岡山理大)

10:45 ~ 11:00

[S1-04] 妙高火山の関山噴火（43 ka）と貫ノ木噴火（41 ka）のメルト包有物の揮発性成分分析

*浜田 盛久[1]、ロズ－古賀 エステル[2]、古賀 ケネス[2]、牛久保 孝行[1]、清水 健二[1]、原田 英男[3]、山口 佳昭[3] (1. JAMSTEC、2. マグマ・火山研究所、3. 信州大学)

11:00 ~ 11:15

[S1-05] 伊豆大島1986年噴火の斑レイ岩捕獲岩中のメルト包有物

*石橋 秀巳[1]、種田 凌也[1]、安田 敦[2]、外西 奈津美[2]、千葉 達朗[3] (1. 静岡大・理、2. 東大地震研、3. アジア航測)

11:15 ~ 11:30

[S1-06] 火山ガラスの色調の要因：新燃岳2018年噴火火山灰の例

*松本 恵子[1] (1. 産総研，活断層・火山研究部門)

11:30 ~ 11:45

[S1-07] 低水蒸気圧下における安山岩質軽石の石基結晶化実験

「発表賞エントリー」

*安川 宙葵[1]、無盡 真弓[1]、中村 美千彦[1]、大槻 静香[2] (1. 東北大・院理、2. 日鉄テクノロジー)

11:45 ~ 12:00

[S1-08] 新燃岳2011年噴火噴出物に含まれる石基輝石結晶の微細組織TEM観察

「発表賞エントリー」

*奥村 翔太[1]、三宅 亮[1] (1. 京都大・院理)

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 ~ 15:30 | 大講義室 Ia 大講義室

R2: 結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:則竹 史哉、栗林 貴弘

14:00 ~ 14:15

[R2-12] 異極鉱高圧相における超周期構造のその場観察

「発表賞エントリー」

*岡本 啓太郎[1]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[2] (1. 東北大・院理、2. 東北大・総学博)

14:15 ~ 14:30

[R2-13] Loparite (Na, REE, Ca)(Ti, Nb)O_3の結晶化学：平均構造と局所構造について

「発表賞エントリー」

*北原 銀河[1]、吉朝 朗[1]、鳥羽瀬 翼[2]、徳田 誠[3]、杉山 和正[3] (1. 熊大・院自然、2. HPSTAR、3. 東北大・金研)

14:30 ~ 14:45

[R2-14] Crystal structure change in the grossular-Si-free katoite solid solution: oxygen position splitting in katoite

*興野 純[1]、Shubhi Arora[1] (1. 筑波大・生命環境)

14:45 ~ 15:00

[R2-15] メタミクト鉱物の熱処理について：フェルグソン石の場合

*徳田 誠[1]、吉朝 朗[2]、上原 誠一郎[3]、宮脇 律郎[4]、門馬 綱一[4]、杉山 和正[1] (1. 東北大・金研、2. 熊大・理、3. 九大・理、4. 国立科博)

15:00 ~ 15:15

[R2-16] ナミビア産ラブンツォフ石の細孔内におけるイオン分布

*中村 友梨江[1]、杉山 和正[1]、長瀬 敏郎[2] (1. 東北大・金研、2. 東北大・博物館)

15:15 ~ 15:30

[R2-17] 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[1]、藤原 惠子[1]、中塚 晃彦[1] (1. 山口大・院創成)

口頭講演 | R5: 地球外物質

14:00 ~ 16:30 | 大講義室 Ib 大講義室

R5: 地球外物質

座長:橘 省吾、松本 恵

14:00 ~ 14:15

[R5-12] 集積岩ユークライト中トリディマイト多形が示す低温領域での熱史について

*大野 遼[1]、竹之内 惇志[2]、三河内 岳[3]、山口 亮[2] (1. 東大・院理、2. 極地研、3. 東大・総研博)

14:15 ~ 14:30

[R5-13] ユークライト隕石に産するシリカ多形の成因

「発表賞エントリー」

*金丸 礼[1]、山口 亮[1,2]、今栄 直也[1,2]、西戸 裕嗣[3] (1. 総研大、2. 極地研、3. 岡理大)

14:30 ~ 14:45

[R5-14] Padvarninkaiに記録された複雑な衝撃変成履歴

*宮原 正明[1]、山口 亮[2]、大谷 栄治[3] (1. 広島大・院理、2. NIPR、3. 東北大・院理)

14:45 ~ 15:00

[R5-15] ZagamiおよびEETA 79001火星隕石中のマスケリナイト加熱実験から探る衝撃変成過程

*識名 里沙[1] (1. 東大・院理)

15:00 ~ 15:15

[R5-16] チクシュルーブ隕石孔の基盤岩石英の微細組織

谷 理帆[2,1]、*富岡 尚敬[1]、鹿山 雅裕[3]、常 昱[3]、西戸 裕嗣[4]、Das Kaushik[2]、Rae Auriol[5,6]、Ferrière Ludovic[7]、Gulick Sean[8]、Morgan Joanna[5]、IODP-ICDP Expedition 364 Scientists (1. 海洋研究開発機構、2. 広島大学、3. 東京大学、4. 岡山理科大学、5. Imperial College London、6. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg、7. Natural History Museum Vienna、8. University of Texas at Austin)

15:15 ~ 15:30

[R5-17] フォルステライト単結晶のレーザー衝撃圧縮その場X線回折実験

*奥地 拓生[1]、プレジャブ ナランゴー[1]、尾崎 典雅[2]、瀬戸 雄介[3]、薮内 俊毅[4] (1. 岡山大・惑星研、2. 大阪大・院工、3. 神戸大・院理、4. JASRI)

15:30 ~ 15:45

[R5-18] Esquelパラサイト隕石中のかんらん石に含まれる包有物

*江島 輝美[1]、米山 安澄[1]、赤坂 正秀[2]、昆 慶明[3]、平田 岳史[4] (1. 信大・理、2. 島大・理工、3. 産総研、4. 東大・院理)

15:45 ~ 16:00

[R5-19] NWA 7203アングライトの特異な岩石組織の結晶化過程

「発表賞エントリー」

*林 秀幸[1]、三河内 岳[2]、Bizzarro Martin[3] (1. 東大・院理、2. 東大・総研博、3. コペンハーゲン大)

16:00 ~ 16:15

[R5-20] 人工微小隕石作成実験による高層大気酸素分圧条件の再現

*磯部 博志[1] (1. 熊本大学大学院先端科学研究部)

16:15 ~ 16:30

[R5-21] **急冷指標の炭素含有固化過程：地球外生成物**

*三浦 保範[1] (1. 元ー山口大・トロント大)

口頭講演 | R8: 変成岩とテクトニクス

14:00 ~ 16:30 | A-117 イースト1号館

R8: 変成岩とテクトニクス

座長:遠藤 俊祐、中村 佳博

14:00 ~ 14:15

[R8-01] Zircon–monazite–garnet behaviours during high-grade metamorphism in the Kontum Massif, Vietnam

*Vuong Thi Sinh Bui[1], Yasuhito Osanai[2], Nobuhiko Nakano[2], Tatsuro Adachi[2], Ippei Kitano[2], Masaaki Owada[3] (1. ISGS, Kyushu Univ., 2. SCS, Kyushu Univ., 3. Sci, Yamaguchi Univ.)

14:15 ~ 14:30

[R8-02] **八幡浜大島に分布する大島変成岩体のLA-ICP-MSジルコンU-Pb年代と地体構造上の意義**

*小山内 康人[1]、北野 一平[1]、中野 伸彦[1]、足立 達朗[1]、Vuong Bui Sinh[1]、小松 正幸[2] (1. 九州大・比文、2. 愛媛大・理)

14:30 ~ 14:45

[R8-03] ドラマイラ岩体での過剰アルゴンの挙動

*板谷 徹丸[1]、兵藤 博信[2]、今山 武志[2] (1. 蒜山地質年代研、2. 岡山理大・フロンティア研)

14:45 ~ 15:00

[R8-04] **ヒマラヤ変成帯に産する高圧・超高圧エクロジャイトの電子後方散乱回折データ**

*れーまん はふぃーずうる[1] (1. 鹿児島大学)

15:00 ~ 15:15

[R8-05] SiO_2相を含む蘇魯超高圧エクロジャイト中に産する定永閃石

*榎並 正樹[1]、纐纈 佑衣[2]、道林 克禎[2]、田口 知樹[3] (1. 名古屋大、2. 名古屋大・院環境、3. 京都大・院理)

15:15 ~ 15:30

[R8-06] Temperature reconstructions of rocks deformed at shallow crustal depths: implications of calcite thermometry from MBT and NT rocks of Himachal Himalayas

*Dyuti Prakash Sarkar[1], Jun-ichi Ando[1], Akihiro Kano[3], Hirokazu Kato[3], Gautam Ghosh[2], Kaushik Das[1] (1. Hiroshima Univ., 2. Presidency Univ., 3. Tokyo Univ.)

15:30 ~ 15:45

[R8-07] U-Pb zircon geochronology of pre- to post-tectonic granite emplacement across the South Delhi Fold belt, India: Implication towards the age of transpressive orogeny

*Kaushik Das[1], Kalyanbrata Hatui[2], Anupam Chattopadhyay[2], Hikaru Sato[1] (1. Hiroshima University, Science, 2. University of Delhi)

15:45 ~ 16:00

[R8-08] Impure metachertによる物質輸送ー沈み込み帯の物質循環への新たな連結環

*薮田 渉[1]、平島 崇男[1] (1. 京大・院理学)

16:00 ~ 16:15

[R8-09] 八重山変成岩類に見られるタルク方解石脈とその意義

*吉川 正紘[1]、朝倉 顯爾[1]、平島 崇男[1] (1. 京都大)

16:15 ~ 16:30

[R8-10] 島根県江津地域緑れん石青色片岩とエクロジャイト質岩の変成作用と地質年代

*高須 晃[1]、Kabir Fazle[2]、遠藤 俊祐[1]、Li Weimin[3] (1. 島根大・総合理工、2. 藤井基礎設計、3. 中国・吉林大学)

口頭講演 | S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

15:30 ~ 17:00 | 大講義室 Ia 大講義室

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳、河上 哲生

15:30 ~ 15:45

[S2-01] **地殻の透水性と付与される流体の量**

*土屋 範芳[1]、宇野 正起[1]、Fajah Amanda[1]、Diana Mandaleva[1]、東野 文子[2] (1. 東北大・院環境、2. 岡山理大・理)

15:45 ~ 16:00

[S2-02] 多結晶岩石における組織形成が浸透率に与える効果

「発表賞エントリー」

*藤田 和果奈[1]、中村 美千彦[1]、Golabek Gregor[2]、Thielmann Marcel[2]、Eichheimer Philipp[2]、上杉 健太郎[3] (1. 東北大・院理、2. バイロイト大、3. JASRI)

16:00 ~ 16:15

[S2-03] 海洋下部地殻〜モホ遷移帯における加水作用と岩石物性変化について：ICDPオマーン掘削コア試料の「ちきゅう」船上計測結果

*阿部 なつ江[1]、岡崎 啓史[2]、片山 郁夫[3]、畠山 航平[3]、赤松 祐哉[3]、オマーン掘削プロジェクト サイエンスパーティー (1. 海洋研究開発機構MarE3マントル掘削プロモーション室、2. 海洋研究開発機構X-star高知コア研究所、3. 広島大学)

16:15 ~ 16:30

[S2-04] 酸素同位体を用いた地質速度計: 高温変成作用下で岩石―水相互作用を記録するザクロ石への適用

*東野 文子[1,2]、Rubatto Daniela[2,3]、河上 哲生[4]、Bouvier Anne-Sophie[3]、Baumgartner Lukas[3] (1. 岡山理科大、2. ベルン大学、3. ローザンヌ大学、4. 京大)

16:30 ~ 16:45

[S2-05] MgO-H_2O系における反応誘起破壊と透水率の時間発展

「発表賞エントリー」

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

16:45 ~ 17:00

[S2-06] 超臨界流通式水熱実験による玄武岩-海水系の元素の選択的溶脱に伴う変質過程

「発表賞エントリー」

*根津 勇介[1]、岡本 敦[1]、平野 伸夫[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1] (1. 東北大・院環境)

2019年9月21日(土)

口頭講演 | R4: 地球表層・環境・生命

14:00 ~ 16:15 | 大講義室 Ib 大講義室

R4: 地球表層・環境・生命

座長:川野 潤、横山 正、宇都宮 聡

14:00 ~ 14:15

[R4-01] 人形峠ウラン鉱山における坑水自然浄化機構の解明

*川本 圭佑[1]、落合 朝須美[1]、岳田 彩花[1]、中野 友里子[1]、横尾 浩輝[1]、沖 拓海[1]、大貫 敏彦[2]、小原 義之[3]、福山 賢仁[3]、宇都宮 聡[1] (1. 九州大学、2. 東京工業大学、3. 日本原子力研究開発機構)

14:15 ~ 14:30

[R4-02] 高濃度放射性セシウム含有微粒子の新規定量法(QCP法)開発とその移行挙動の解明

*宇都宮 聡[1]、池原 遼平[1]、末武 瑞樹[1]、栗原 英太郎[1]、小宮 樹[1]、諸岡 和也[1]、高見 龍[1]、武原 政人[1] (1. 九州大学)

14:30 ~ 14:45

[R4-03] 白色干渉計を用いた水溶液中でのジルコン溶解速度測定

*北垣 徹[1] (1. 原子力機構)

14:45 ~ 15:00

[R4-04] 鉱物の濡れ性の違いが溶解挙動に及ぼす影響

*横山 正[1]、西山 直毅[2] (1. 広大・院総科、2. 筑波大・院生命環境)

15:00 ~ 15:15

[R4-05] 蛍光プローブを用いた２次元可視化手法による結晶の溶解/成長メカニズムの検討

*川野 潤[1]、矢崎 誠[1]、豊福 高志[2,3]、長井 裕季子[2,4]、Teng Henry[5]、永井 隆哉[1] (1. 北大、2. JAMSTEC、3. 海洋大、4. 科博、5. 天津大)

15:15 ~ 15:30

[R4-06] 二酸化炭素と水蒸気存在下における珪灰石の炭酸塩化

*橋爪 秀夫[1] (1. 物・材機構)

15:30 ~ 15:45

[R4-07] 中性子回折とラマン分光によるNesquehoniteの化学式の再検討

「発表賞エントリー」

*山本 弦一郎[1]、興野 純[1]、阿部 淳[2]、佐野 亜沙美[3]、服部 高典[3] (1. 筑波大学、2. 総合科学研究機構、3. 日本原子力研究開発機構)

15:45 ~ 16:00

[R4-08] ヒザラガイ類の歯舌内のマンガンに富む組織の鉱物学的研究

*市村 康治[1]、小暮 敏博[1] (1. 東大・院理)

16:00 ~ 16:15

[R4-09] 急冷指標の炭素含有固化過程：地球上生成物

*三浦 保範[1] (1. 元ー山口大)

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

14:00 ~ 16:15 | 大講義室 Ia 大講義室

R6: 深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー

座長:亀井 淳志、江島 圭祐、児玉 省吾

14:00 ~ 14:15

[R6-01] 中央モンゴルハンガイ山地ハルグイットーウストルゴイ火山のアルカリ岩台地状溶岩の地質と岩石

*大場 司[1]、星出 隆志[1]、井村 匠[1]、ナツァグドルジ ムンフエルデネ[1] (1. 秋田大学・国際資源)

14:15 ~ 14:30

[R6-02] チューク諸島Weno島の火山岩類のマグマプロセス

*角縁 進[1]、下瀬 洸也[2] (1. 佐賀大・教育、2. 芦刈小)

14:30 ~ 14:45

[R6-03] 阿武火山群と青野山火山群のマグマ過程と火山地形

*大和田 正明[1]、井町 春花、永嶌 真理子[1] (1. 山口大学・院創成科学)

14:45 ~ 15:00

[R6-04] 流体包有物に記録されている沈み込み帯流体の塩濃度

*川本 竜彦[1] (1. 静岡大学・理・地球科学)

15:00 ~ 15:15

[R6-05] 花崗岩体の石英の結晶化プロセス：石英のCL累帯パターンとTitaniQ温度計

*湯口 貴史[1]、小北 康弘[2]、加藤 丈典[3]、横田 倫太郎[1]、笹尾 英嗣[2]、西山 忠男[4] (1. 山形大・理、2. 原子力機構、3. 名古屋大、4. 熊本大)

15:15 ~ 15:30

[R6-06] マントルかんらん岩の部分溶融によって生成される安山岩質メルトについて

*土谷 信高[1]、山崎 大輔[2] (1. 岩手大・教育、2. 岡山大・惑星研)

15:30 ~ 15:45

[R6-07] 島根県東部に分布する大東花崗閃緑岩の結晶作用

*野口 将志[1]、越智 博美[1]、小林 夏子[1]、奥田 佳奈[1]、亀井 淳志[1] (1. 島根大学)

15:45 ~ 16:00

[R6-08] 熊本県北部の花崗岩類のジルコンU-Pb年代

*堤 之恭[1] (1. 国立科学博物館)

16:00 ~ 16:15

[R6-09] 東南極セール・ロンダーネ山地に産する大陸衝突型の高Kアダカイト質花崗岩

*亀井 淳志[1]、大和田 正明[2]、堀江 憲路[3]、志村 俊昭[2]、柚原 雅樹[4]、束田 和弘[5] (1. 島根大、2. 山口大、3. 極地研、4. 福岡大、5. 名大)

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床一般 (資源地質学会共催セッション)

14:00 ~ 15:45 | A-117 イースト1号館

R7: 岩石・鉱物・鉱床一般 (資源地質学会共催セッション)

座長:片山 郁夫、越後 拓也

14:00 ~ 14:15

[R7-01] 海洋地殻構造が示すプレート拡大モードの解明―ハワイ沖モホール候補地における上部海洋地殻貫通計画

*海野 進[1]、森下 知晃[1]、木村 純一[2]、山下 幹也[3]、ガルシア マイケル[4]、クライン フリーダー[5]、島 伸和[6]、小野 重明[2]、阿部 なつ江[2]、道林 克禎[7]、富永 雅子[5] (1. 金沢大・理工、2. 海洋研究開発機構、3. 産総研、4. ハワイ大、5. ウッズホール海洋研、6. 神戸大・内海研、7. 名大・院理)

14:15 ~ 14:30

[R7-02] Mado Megamullionに分布する岩石の岩石学的・地球物理学的解釈

*秋澤 紀克[1]、沖野 郷子[1]、石塚 治[2]、山下 浩之[3]、町田 嗣樹[4]、小原 泰彦[5,6] (1. 東大　大海研、2. 産総研、3. 神奈川県立生命の星・地球博物館、4. 千葉工大、5. 海上保安庁、6. JAMSTEC)

14:30 ~ 14:45

[R7-03] ちきゅう船上での比抵抗測定に基づくオマーン掘削プロジェクトでの浸透率プロファイル

*片山 郁夫[1]、阿部 なつ江[2]、畠山 航平[1]、赤松 祐哉[1]、岡崎 啓史[2]、Ulven Ole Ivar[4]、Hong Gilbert[5]、Zhu Wenlu[6]、Cordonnier Benoit[4]、道林 克禎[3]、Godard Marguerite[7]、Kelemen Peter[8]、The Oman Drilling Project Phase 2 Science Party The Oman Drilling Project Phase 2 Science Party (1. 広島大学、2. 海洋研究開発機構、3. 名古屋大学、4. オスロ大学、5. ソウル国立大学、6. メリーランド大学、7. モンペリエ大学、8. コロンビア大学)

14:45 ~ 15:00

[R7-04] Attenuated Total Reflection Infrared (ATR-IR) Spectroscopy of Serpentine Minerals

*Ilona Sakaguchi[1], Yui Kouketsu[1], Katsuyoshi Michibayashi[1], Simon Wallis[2] (1. Nagoya University, GSES , 2. The University of Tokyo, EPS)

15:00 ~ 15:15

[R7-05] 沖縄トラフごんどうサイトの海底下における塊状硫化物の鉱物学的特徴

*戸塚 修平[1]、石橋 純一郎[1]、島田 和彦[1]、宮本 尭[1]、池端 慶[2] (1. 九州大・理、2. 筑波大・生命環境)

15:15 ~ 15:30

[R7-06] 2019年に新潟県糸魚川市小滝川で発生した白濁と砒素汚染の鉱物学的研究

*小河原 孝彦[1]、茨木 洋介[1]、竹之内 耕[1]、小西 博巳[2] (1. フォッサマグナミュージアム、2. 新潟大学・理)

15:30 ~ 15:45

[R7-07] 北海道北見地域生田原周辺の含アンモニウムカリ長石

*越後 拓也[1]、河原 礼佳[1]、渡辺 寧[1] (1. 秋田大院・国資)

2019年9月22日(日)

口頭講演 | S3：北東アジアの鉱物・岩石・資源 （スペシャルセッション）

9:15 ~ 12:00 | A-117 イースト1号館

S3：北東アジアの鉱物・岩石・資源 （スペシャルセッション）

座長:中野 伸彦、苗村 康輔、足立 達朗

9:15 ~ 9:35

[S3-01] **[INVITED]** New geochronological data of grantoid rocks related with Cu-Mo porphyry deposit, south Mongolia

*Sereenen Jargalan[1]、Boldbaatar Enkhjargal[1]、Adachi Tatsuro[2]、Nakano Nobuhiko[2]、Osanai Yasuhito[2] (1. MUST、2. Kyushu UNiversity)

9:35 ~ 9:55

[S3-02] **[INVITED]** Gold resources of Mongolia

*Chuluunkhuu Enkh-Amgalan[1]、Sereenen Jargalan[2] (1. Mongolian Society of Economic Geologists、2. Mongolian University of Science and Technology)

9:55 ~ 10:15

[S3-03] **[招待講演]** 安定陸塊の底が記録する東北アジアの進化史

*辻森 樹[1,2]、新堀 希望[2]、奥村 聡[2]、渡邉 了[3]、レーマン ハフィズ[4]、マリコベッツ ウラジミール[5] (1. 東北大学・CNEAS、2. 東北大学・院理、3. 富山大学・院理工、4. 鹿児島大学・院理工、5. ソボレフ地質学鉱物学研究所)

10:15 ~ 10:30

[S3-04] 山口県長門構造帯に産する変成岩・深成岩類のジルコンU–Pb年代の特徴

*北野 一平[1]、小山内 康人[1]、中野 伸彦[1]、足立 達朗[1]、加藤 涼介[2,3]、Bui Vuong[3] (1. 九大・比文、2. （株）ダイヤコンサルタント、3. 九大・地社統)

10:30 ~ 10:45

[S3-05] ベトナム・コンツム地塊，カンナック岩体，ペルム紀－三畳紀，火成作用と変成作用の関係

*大和田 正明[1]、小山内 康人[2]、中野 伸彦[2]、北野 一平[2]、足立 達朗[2] (1. 山口大学・院創成科学、2. 九州大学)

10:45 ~ 11:00

[S3-06] モンゴルアルタイ山脈の泥質変成岩に記録された古生代・沈み込みー付加ー大陸衝突に伴う造山帯運動

*中野 伸彦[1]、小山内 康人[1]、Jargalan Sereenen[2]、足立 達朗[1]、Syeryekkhaan Kundyz[1]、大和田 正明[3]、Satish-Kumar M.[4] (1. 九州大学、2. モンゴル科学技術大学、3. 山口大学、4. 新潟大学)

11:00 ~ 11:15

[S3-07] モンゴル北西部のザフハンエクロジャイトが経験した反時計回りの温度圧力履歴

*苗村 康輔[1]、オトコンクゥ ジャフハラン[2] (1. 京都大学理学研究科地質学鉱物学教室、2. 中国地質科学院)

11:15 ~ 11:30

[S3-08] Lithium Deposits of Mongolia

*Dashtseren Khashbat[1]、Sereenen Jargalan [1] (1. Mongolian University of Science and Technology., MUST)

11:30 ~ 11:45

[S3-09] Metallogeny of Rare Earth Elements of Mongolia

*Sereenen Jargalan[1]、Battogtokh Tamir[1] (1. Mongolian University of Science and Technology)

11:45 ~ 12:00

[S3-10] Coal deposits of Mongolia

*Magsarjav Ochirbat[1]、Sereenen Jargalan[2] (1. Mongolian Society of Economic Geologists、2. Mongolian University of Science and Technology)

口頭講演 | R1: 鉱物記載・分析評価

9:45 ~ 12:00 | 大講義室 Ia 大講義室

R1: 鉱物記載・分析評価

座長:黒澤 正紀、門馬 綱一、長瀬 敏郎

9:45 ~ 10:00

[R1-01] エジリンの*M*1席Fe^{3+}の電場勾配テンソルの実験値と計算値の比較

*篠田 圭司[1]、小林 康浩[2] (1. 阪市大•理、2. 京都大•複合研)

10:00 ~ 10:15

[R1-02] メスバウアー分光法による長野県産普通輝石の*M*2席のFe^{2+}の電場勾配テンソルの推定

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

10:15 ~ 10:30

[R1-03] 動力学効果を考慮した電子回折パターンの方位解析

*瀬戸 雄介[1]、大塚 真弘[2]、伊神 洋平[3]、三宅 亮[4] (1. 神戸大・院理、2. 名古屋大・院工、3. 名古屋大・未来研、4. 京都大・院理)

10:30 ~ 10:45

[R1-04] Precession electron diffraction法の鉱物への適用と評価

*三宅 亮[1]、瀬戸 雄介[2]、伊神 洋平[3]、大塚 真弘[4] (1. 京大・院理、2. 神戸大・院理、3. 名大・未来研、4. 名大・院工)

10:45 ~ 11:00

[R1-05] TAP分光結晶を用いた波長分散型分光器におけるバックグラウンドホール

*加藤 丈典[1]、陳 美呈[2] (1. 名大・ISEE、2. 釜山大・共同実験実習館)

11:00 ~ 11:15

[R1-06] “パライバ”・トルマリン(1）;宝石学的定義の変遷と原産地

*北脇 裕士[1]、江森 健太郎[1] (1. 中央宝石研究所)

11:15 ~ 11:30

[R1-07] ”パライバ”・トルマリン (2)；LA-ICP-MSを用いた組成分析と原産地鑑別への応用

*江森 健太郎[1]、北脇 裕士[1] (1. 中央宝石研究所)

11:30 ~ 11:45

[R1-08] ゲドル閃石の２種類の赤外OH伸縮振動バンド微細構造

*石田 清隆[1]、ホーソン フランク (1. 無所属)

11:45 ~ 12:00

[R1-09] 福島県多田野産加藤石の化学組成

*坂野 靖行[1]、豊 遙秋[2] (1. 産総研、2. 東大総博)

口頭講演 | R3: 高圧科学・地球深部

9:45 ~ 12:00 | 大講義室 Ib 大講義室

R3: 高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章、大藤 弘明

9:45 ~ 10:00

[R3-01] 圧力スケールの違いが与える核の密度欠損への影響

*境 毅[1] (1. 愛媛大地球深部研)

10:00 ~ 10:15

[R3-02] 高圧力下における含水非晶質ナトリウム珪酸塩の構造

「発表賞エントリー」

*大橋 智典[1]、坂巻 竜也[1]、舟越 賢一[2]、服部 高典[3]、佐野（古川） 亜沙美[3]、村主 樹[1]、市東 力[4]、池田 理[1]、伊東 義章[1]、柴﨑 裕樹[5]、鈴木 昭夫[1] (1. 東北大・院理、2. CROSS、3. 原研、4. 東大・院理、5. 物材研)

10:15 ~ 10:30

[R3-03] Fe-Sコアの固化モードと組成対流

*浦川 啓[1]、寺崎 英紀[2] (1. 岡山大・自然、2. 大阪大・理)

10:30 ~ 10:45

[R3-04] **アルゴンの地球内部循環**

*小野 重明[1] (1. JAMSTEC)

10:45 ~ 11:00

[R3-05] Mg_2SiO_4ワズレアイトの高温熱容量測定

*糀谷 浩[1]、恒川 有希[1]、赤荻 正樹[1] (1. 学習院大・理)

11:00 ~ 11:15

[R3-06] **高温高圧下におけるFe_5O_6とFe_4O_5の安定性**

彦坂 晃太郎[2]、*新名 良介[1,2]、廣瀬 敬[2,3]、石井 貴之[4]、大石 泰生[5] (1. 明治大、2. 東大、3. 東工大、4. BGI、5. JASRI)

11:15 ~ 11:30

[R3-07] クロムスピネルを含むケイ酸塩鉱物系の高圧相関係

吉田 和存[1]、糀谷 浩[1]、*赤荻 正樹[1] (1. 学習院大・理)

11:30 ~ 11:45

[R3-08] δ-(Al,Fe)OOH単結晶の高圧合成

*川添 貴章[1,2]、大平 格[3,4]、石井 貴之[2]、鈴木 昭夫[3]、大谷 栄治[3] (1. 広大・院理、2. バイロイト大・BGI、3. 東北大・院理、4. カーネギー研究所)

11:45 ~ 12:00

[R3-09] 高温高圧下における無水斜方輝石の転位クリープ

*坪川 祐美子[1]、大内 智博[1]、肥後 祐司[2]、丹下 慶範[2]、入舩 徹男[1] (1. 愛媛大学・GRC、2. JASRI)

口頭講演 | R1: 鉱物記載・分析評価

14:00 ~ 15:00 | 大講義室 Ia 大講義室

R1: 鉱物記載・分析評価

座長:坂野 靖行

14:00 ~ 14:15

[R1-10] 大分県木浦鉱山産ソーコナイト及びフライポンタイト

*井手 大生[1]、上原 誠一郎[1]、白勢 洋平[2] (1. 九大・理・地惑、2. 京大・博物館)

14:15 ~ 14:30

[R1-11] 河辺石の再定義に向けた再検討

*宮脇 律郎[1]、志村 俊昭[2]、門馬 綱一[1]、松原 聰[1]、加藤 昭[1] (1. 国立科博、2. 山口大・創成科学)

14:30 ~ 14:45

[R1-12] 沖縄HAKUREIサイトの磁硫鉄鉱仮像組織の解析

*長瀬 敏郎[1]、野崎 達生[2]、高谷 雄太郎[3]、石橋 純一郎[4]、熊谷 英憲[2]、前田 玲奈[2] (1. 東北大・総学博、2. 海洋機構、3. 早大・創造理工、4. 九大・理)

14:45 ~ 15:00

[R1-13] 京都府和束町石寺産ネバダ石

*白勢 洋平[1]、延寿 里美[3]、鶴田 憲次[4]、下林 典正[2] (1. 京大・博物館、2. 京大・院理、3. 立命館大、4. 京都芸大)

口頭講演 | R3: 高圧科学・地球深部

14:00 ~ 15:00 | 大講義室 Ib 大講義室

R3: 高圧科学・地球深部

座長:新名 良介

14:00 ~ 14:15

[R3-10] せん断変形場におけるオリビン–スピネル相転移：相転移誘起の軟化条件の探索

*久保 友明[1]、森山 一哉[1]、森 悠一郎[1]、今村 公裕[1]、小泉 早苗[2]、西原 遊[3]、鈴木 昭夫[4]、肥後 祐司[5]、丹下 慶範[5] (1. 九州大・理、2. 東大・地震研、3. 愛媛大・GRC、4. 東北大・理、5. JASRI)

14:15 ~ 14:30

[R3-11] 超高圧シュードタキライトとナノダイヤモンド

*西山 忠男[1]、鵜木 康平[1]、西 右京[1]、藤本 智也[1]、吉朝 朗[1]、大藤 弘明[2]、寺内 正己[3] (1. 熊本大学先端科学研究部、2. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、3. 東北大学多元物質科学研究所)

14:30 ~ 14:45

[R3-12] 西彼杵変成岩中のシュードタキライトより見出されたナノ多結晶ダイヤモンドの鉱物学的特徴

*大藤 弘明[1]、西山 忠男[2] (1. 愛媛大・GRC、2. 熊大・理)

14:45 ~ 15:00

[R3-13] 分析透過電顕における化学定量分析の特徴と問題点その２

*藤野 清志[1]、大藤 弘明[1] (1. 愛媛大GRC)

口頭講演 | R2: 結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

2019年9月20日(金) 9:15 ~ 12:00 | 大講義室 Ia 大講義室

R2: 結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:徳田 誠、興野 純、中村 友梨江

[座長]
徳田 誠: R2-01～R2-04
興野 純: R2-05～R2-08
中村 友梨江: R2-09～R2-11

9:15 ~ 9:30

[R2-01] CL法を用いた水晶の晶癖に対する重力効果の検討

*吉見 桃子[1]、長瀬 敏郎[2]、栗林 貴弘[1]、今井 裕之[3]、岡田 敏朗[4] (1. 東北大・院理、2. 東北大・総学博、3. 金石造形スタジオ、4. 福岡市和白丘中学校)

9:30 ~ 9:45

[R2-02] トリディマイト多形のラマン分光法による研究

*神崎 正美[1] (1. 岡大・惑星研)

9:45 ~ 10:00

[R2-03] CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5フラックスにおける石英，トリディマイト，クリストバライトの成長

*阿部 利弥[1] (1. 山口大・理)

10:00 ~ 10:15

[R2-04] Si原子は珪酸塩液体中でどのように拡散しているのか

*則竹 史哉[1] (1. 山梨大・院総合)

10:15 ~ 10:30

[R2-05] 一価のイオンのイオン半径の違いが引き起こすＯＣＰ形成誘導と抑制機構

*杉浦 悠紀[1]、齋藤 靖子[2]、遠藤 貴士[2]、槇田 洋二[1] (1. 産総研・健康工学、2. 産総研・機能化学)

10:30 ~ 10:45

[R2-06] XAFS法による斜長石単結晶での鉄化学種分析

*中田 亮一[1]、佐藤 雅彦[2]、潮田 雅司[3]、田村 裕二郎[4]、山本 伸次[4] (1. JAMSTEC、2. 東京大・院理、3. 産総研、4. 横国大・院環)

10:45 ~ 11:00

[R2-07] $Mn_{3-x}Fe_xO_4$固溶体の高圧下での電荷移動と磁気構造変化
（半導体—金属転移　磁気構造転移と結晶構造転移の圧力効果）

*山中 高光[1]、服部 高典[2]、小松 一生[3]、中本 有紀[4]、ラマン サキブ[1]、ワン リン[1]、マオ ホークァン[1]、平尾 尚久[5] (1. 北京高圧科学研究中心、2. 日本原子力研究開発機構　J-PARC 物質・生命科学実験施設、3. 東京大学大学院理学研究科　地殻科学研究センター、4. 大阪大学大学院基礎工学研究科附属極限科学センター、5. 理科学研究所　大型加速器機構)

11:00 ~ 11:15

[R2-08] 15.5 GPa, 2473 Kで合成された新規$Al_2Si_2O_7$相の 放射光単結晶X線回折実験

*栗林 貴弘[1]、周 佑黙[2]、大藤 弘明[2]、入舩 徹男[2,3] (1. 東北大・院理、2. 愛媛大・GRC、3. 東工大・ELS)

11:15 ~ 11:30

[R2-09] 緻密な酸化インジウム焼結体の合成と酸素欠陥化学

*坂口 勲[1]、齊藤 紀子[1]、鈴木 拓[1] (1. 物材機構)

11:30 ~ 11:45

[R2-10] 透明ナノ多結晶ヒスイの超高圧合成に向けて

*入舩 徹男[1]、満 圭祐[1]、山田 明寛[2] (1. 愛媛大・GRC、2. 滋賀県立大・工)

11:45 ~ 12:00

[R2-11] 低圧構造部と高圧構造部が秩序配列したヒ素結晶相

*吉朝 朗[1]、徳田 誠[2]、三澤 賢明[3] (1. 熊本大学、2. 東北大学、3. 九州産業大学)

CL 法を用いた水晶の晶癖に対する重力効果の検討

吉見桃子*(東北大・院理)，長瀬敏郎(東北大・総学博)，栗林貴弘(東北大・院理)，
今井裕之(金石造形スタジオ)，岡田敏朗(福岡市立和白丘中学校)

CL analysis for the gravitational influence on crystal habit of quartz.

Momoko Yoshimi*(Tohoku Univ.), Toshiro Nagase (Tohoku Univ.), Takahiro Kuribayashi (Tohoku Univ.),
Hiroyuki Imai (Kinseki Zoukei Studio), Toshiro Okada (Wajirogaoka junior high school)

はじめに　水晶の形態に現れる主な面は、菱面体面 $r\{10\bar{1}1\}$ 及び $z\{01\bar{1}1\}$ と柱面 $m\{10\bar{1}0\}$ であり、しばしば $x\{51\bar{6}1\}$ や $s\{11\bar{2}1\}$ も現れる。天然では菱面体面の発達の度合いが異なる形態が観察され、この一因として重力の影響が考えられている（Laemmlein, 1941）。水晶が壁面から水平方向に成長した場合、下側にある菱面体面は上側よりも大きく発達する。また x 面と s 面は下側で発達しやすい。上側の菱面体面が下側よりも速く成長するためにこのような形になると考えられているが、天然において、水晶が重力の影響をどのように受けて成長したか、その履歴を詳しく観察した研究例はない。本研究では、岩手県玉山鉱山などの水晶について、カソードルミネッセンス（CL）法による内部組織観察を行い、水晶の成長履歴と重力が晶癖に及ぼす影響を調べた。

実験　内部組織観察は走査型電子顕微鏡(JEOL 社製 JSM-6510)に付随した CL 装置(GATAN 社製 Mini-CL)を用いて行った。試料には深成岩に伴う石英脈である岩手県玉山鉱山と宮崎県板谷の水晶を用いた。菱面体面の晶癖が強く現れているものを選び、c 軸に平行に、$(11\bar{2}0)$面で切断し切断面に白金蒸着をして用いた。水平に近い角度で母岩から成長した水晶は上面に小さい結晶の付着や汚れが認められるため、試料は小さい結晶が付着している側と汚れが多く付着している側を上側と判断した。玉山鉱山産試料は、CL 像の明瞭な成長縞をトレースし、上側と下側それぞれについて線と線の間隔を測り成長履歴の解析を行った。

結果と考察　成長縞には産地ごとに共通するパターンが見られる。玉山鉱山産試料について、複数の試料間で同一の層の厚さを成長速度とみなして比較すると、菱面体面の上下の成長速度比 dr_{lower} / dr_{upper} は 0.5-2.5 の範囲でばらつきがある。dr_{lower} / dr_{upper} の平均は約 0.8 であり r_{upper} の成長が r_{lower} の成長よりも速いが、各層の成長幅が狭いため上下の菱面体面の成長速度差は晶癖に大きな影響は与えない。CL 像より、両産地の水晶には初期、中期、および末期の３つの成長ステージの存在が認められる。板谷産試料では、試料全長に対する初期、中期、末期ステージの割合はそれぞれ約 20%、約 60-70%、約 10-20%である。初期ステージにおいて下側の柱面の成長速度が上側の柱面の成長速度よりも速い。初期ステージは全長の約 20%であるが重力効果が最も強くはたらいており、この段階で下側の菱面体面が大きく発達した晶癖が生じる。中期および末期ステージにおける上下の菱面体面の成長速度差では、初期ステージでできた晶癖を解消するほどの変化は起こらない。そのため、初期ステージの晶癖が先端まで維持されると考えられる。

Keywords: quartz, crystal habit, cathode luminescence method
*Corresponding author: momoko.yoshimi.t5@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

トリディマイト多像のラマン分光法による研究

神崎正美（岡大・惑星研）

Raman spectroscopic study of tridymite modifications

Masami Kanzaki (IPM, Okayama U.)

Tridymite modifications stable at ambient conditions (PO-10, MC, MX-1) were studied by Raman spectroscopy including low-frequency region. Compiled spectra allow us to identify those modifications in natural rocks and synthetic samples. Temperature-induced transitions were also studied up tp 500 ºC starting from synthetic MC. Our result was mostly consistent with previous study of Hirose et al. (2005), but it also revealed significant changes at the low-frequency region for the first time. Although the anticipated soft mode for OC/HP transition was not observed, a low-frequency peak of OC disappeared at around 470 ºC, suggesting much higher transition temperature than that of previous X-ray diffraction studies.

イントロダクション：トリディマイトは多くの多形を持つが、それらのラマンスペクトルは十分確立していない（以下ではNukui &Nakazawaの表記法を使う）。また、MX-1については報告がない。MX-1については、粉砕等でMCからMX-1に変わることが知られているため、特に実験試料の同定に不可欠である。そこで、通常よく見られるMC, PO-10, MX-1についてスペクトルを整理したので、報告する。さらに、高温その場ラマン分光測定も行なって、多形の低周波数領域について特に調べた。

実験方法：PO-10は天然のものを複数、MCは天然および合成したものを使った。MX-1については、高温から液体窒素中に落下させて作成した。また、合成したMC (MX-1も少し混ざる）を使い、500 ºCまでの高温その場ラマン測定も行った。

結果と議論： 常温常圧におけるPO-10, MC, MX-1のラマンスペクトルをFig. 1に示す。それぞれ特徴的な位置にピークがあり、簡単に同定することができる。これまで報告されている文献との比較により、従来隕石中にはMCが報告されてきたが、Kimura et al. (2005)報告のスペクトルからはPO-10も存在することが分かった。

高温その場測定では、低周波数領域を除いて、Hirose et al.(2005)とほぼ同じ結果を得た。OP/OS転移においては、高周波数領域ではほとんど変化がないが、低周波数領域で明瞭な変化が見られた。

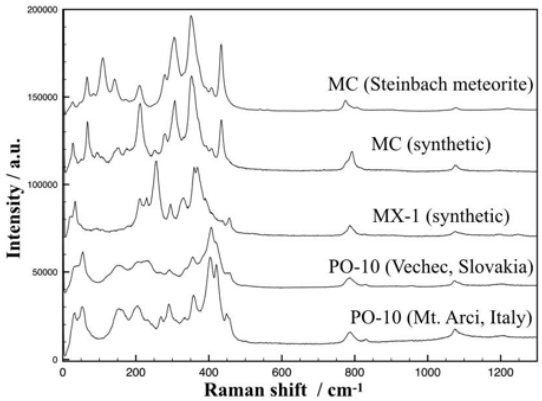


Figure 1. Raman spectra of MC, MX-1 and PO-10

OC/HP転移に予想されるOC相のソフトモードは観察されなかったが、OC相の低周波数ピークは470 ºCで消えた。この温度はLHP/HP転移とされている温度に近いが、OC/LHP転移に相当する変化は観察されなかった。それ故、この変化をOC/HP転移と解釈したが、回折法で得られるその転移温度(約380 ºC)よりもかなり高くなる。

Reference:
Hirose et al. (2005) JMPS, 100, 55-69.
Kimura et al. (2005) Meteor. & Planet. Sci., 40, 855-868.

Keywords: tridymite, Raman spectroscopy, polytypes, phase transition

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ フラックスにおける石英，トリディマイト，クリストバライトの成長

阿部利弥(山口大理)

Growth of Quartz, Tridymite and Cristobalite in a $CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ Flux System

Toshiya Abe* (Yamaguchi Univ.)

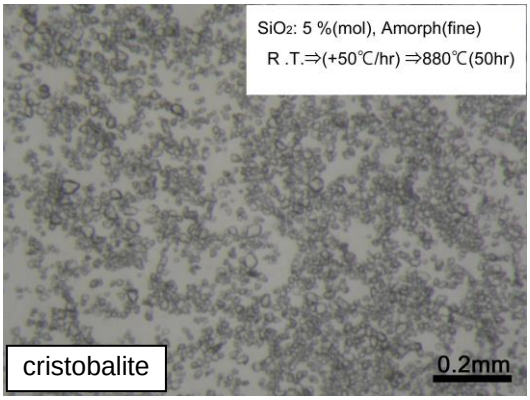
数年来, フラックス法によるシリカ結晶の合成を行ってきた．小サイズではあるが，両錐六角柱状結晶や柱面が存在しない六角両錐結晶の石英を得られるようになっている．

フラックスを変えることで, 異なる温度域での実験が可能となる. 昨年の鉱物科学会で報告したように， $CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ 系フラックスでは, 石英とトリディマイトの形成が認められた．加えて，クリストバライトも一部見られた. 生成条件確定のため追加実験をおこなったので，今回報告する．

実験では，粉末試薬の混合物を Pt 坩堝に入れ，電気炉を用いて，大気圧下空気中で所定の加熱, 冷却を行った. 回収坩堝試料には, 温水処理と HCl 処理を行い，生成 SiO_2 を回収した．回収物の秤量も，SiO_2-Flux 相関係(リキダス)把握のため行った．

$CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ フラックスでは，900~780℃での晶出実験が可能で，石英とトリディマイト, クリストバライトが認められた．石英は，800，780℃で観察され，六角両錐形で高温型の特徴を示した．トリディマイトは, 非晶質シリカを出発原料にした多くの実験，900，880，850，800，780℃などで，六角板状の結晶として認められた．さらに, 石英質シリカを出発原料にした実験でも, 1000℃から冷却したものなどでは，確認できた．多くのトリディマイトは，“870℃”以下でも観察でき, 準安定相としても普通に成長する．

クリストバライトは, 非晶質シリカを出発



原料にした場合，880℃から 800℃で準安定相として認められた．これらは XRD で容易に識別できるが, 石英とは異なる特徴を有する小粒結晶として認識できるのみで, 詳細な形態は識別できない(図参照).

870℃以下では，安定性としては Qtz > Trid > Crist > amorphous だが，非晶出シリカを使用した加熱実験 800~880℃での晶出は Crist > Trid >> Qtz であり，圧倒的にクリストバライトが優勢である．880℃の長時間加熱や徐冷実験などでは, トリディマイトの形成も見られるようになる．

Keywords: growth, flux, quartz, tridymite, cristobalite
* Corresponding author: toshiya@yamaguchi-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Si 原子は珪酸塩液体中でどのように拡散しているのか

則竹　史哉*（山梨大・院総合研究部、理研）

How do silicon atoms diffuse in silicate liquids?

Fumiya NORITAKE*(University of Yamanashi, RIKEN)

Mathematical-physical modeling of transportation phenomena in silicate liquids is important and challenging topic in physics, Earth science, metallurgy, and glass technology. Some thermodynamics-based theories for transportation coefficients in the silicate liquids indicates importance of the configurational entropy (Adam & Gibbs, 1965; Richet & Bottinga, 1994). Discussion of the entropy should become easier using lattice model, moreover, it would give atomistic insights into the silicate liquids. If the modeling the silicate liquids into simple lattice model is possible, we should know elemental processes of diffusion network forming elements (Si and O). There are some hypotheses for diffusion mechanism of network forming elements. For instance, Xue et al. (1991) proposed that 5-coordinated Si species is intermediate state for diffusion from NMR spectroscopy. On the other hands, Kubicki & Lasaga (1993) reported that Si atoms diffuse via 3-coordinated Si species from molecular dynamics simulations. Knowledge about conditions that enables Si atoms to diffuse is also important. They also suggested that Si atoms need bond-breaking event to diffuse. Moreover, our recent study (Noritake & Kawamura, 2016) reported that synchronized bond-breaking is needed for diffusion of network forming elements from relationship between diffusivity and bond-exchanging rate.

In this study, I performed molecular dynamics simulations of sodium silicate liquids ($Na_2O \cdot nSiO_2$, n = 1, 2, 3, and 4) at atmospheric pressure consist of approximately 10,000 particles with varying temperature. Adding to ordinary analysis methods, I analyzed mean square displacement of non-bond exchanged network forming elements, difference between lifetime obtained from pair function and bond exchange rate, distribution of time for bond exchanging event, collective function (Noritake, 2017) and its relation between jump distance, self/distinct part of van Hove function of network forming elements classified into Q^n species and BO/NBO, ring structure from graph theory, and radial distribution function of synchronized bond breaking event. The silicon diffusion mechanism in silicate liquids will be discussed using detailed analyses written above.

Keywords: Silicate Liquids, Molecular Dynamics Simulations

*Corresponding author: fnoritake@yamanashi.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

一価のイオンのイオン半径の違いが引き起こす OCP形成誘導と抑制機構

杉浦　悠紀*(産総研・健康工学)、齊藤　靖子(産総研・機能化学)、
遠藤　貴士(産総研・機能化学)、槇田　洋二(産総研・健康工学)

Effect of the Ionic Radius of Monovalent Ions on Octacalcium Phosphate Formation

Yuki Sugiura* (AIST·HRI), Yasuko Saito (AIST·RISC),
Takashi Endo (AIST·RISC), Yoji Makita (AIST·HRI)

Octacalcium phosphate (OCP), a layered calcium phosphate compound, is an attractive material for new medical combination products. OCP is fabricated primarily from soluble calcium salt via an aqueous-mediated hydrolysis process. The co-existing cations are likely to be incorporated into the OCP unit lattice during this process and affect the development of the OCP crystal structure and its thermodynamic stability. However, the key parameters of the co-existing cations, such as the ionic radii and charge number, that affect OCP formation are still unclear. In this study, we focused on the ionic radius of each monovalent ion of alkali metal ions (Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, and Cs^+) for OCP incorporation and formation in a $CaHPO_4·2H_2O$ (DCPD)-$(NH_4)_2HPO_4$ system with alkali metal salts. There was little incorporation of Li into the OCP unit lattice at low concentrations, whereas Li was incorporated into the OCP unit lattice as a conjugate form of NH_4 and K, which have ionic radii that are larger than Ca, resulting in a HPO_4–OH layered structure in the OCP unit lattice. The Na concentration increased hyperbolically and was incorporated into the OCP unit lattice, resulting in a HPO_4–OH layered structure in the OCP unit lattice. By contrast, Li, K, and Rb resulted in the HPO_4–OH layer in the OCP unit lattice at low concentrations and attenuated OCP formation at high concentrations. Cs only exhibited an attenuation effect on OCP formation. Considering the differences between the Ca ionic radius (1.00 Å) and those of alkali metal ions, the alkali metal ionic radii that were smaller than ~1.5 times the Ca ionic radius could be incorporated into the OCP unit lattice, whereas those greater than ~1.5 times the Ca ionic radius exhibited an inhibiting effect on OCP formation.

Keyword: リン酸カルシウム、骨補填材、バイオマテリアル、バイオミネラリゼーション

*杉浦　悠紀: yuki-sugiura@aist.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

XAFS 法による斜長石単結晶での鉄化学種分析

中田亮一[1]*，佐藤雅彦[2, 3]，潮田雅司[3]，田村裕二郎[4]，山本伸次[4]
（1 JAMSTE・高知コア，2 東京大・院理, 3 産総研, 4 横国大・院環）

Variation of iron species in plagioclase crystals by X-ray absorption fine structure analysis

Ryoichi Nakada[1]*, Masahiko Sato[2,3], Masashi Ushioda[3], Yujiro Tamura[4], and Shinji Yamamoto[4] (1 JAMSTEC, 2 Univ. of Tokyo, 3 AIST, 4 Yokohama National Univ.)

Valence state of Fe in plagioclase varies among crystals separated from the same plutonic rock. Two different sites are confirmed as a host of Fe in plagioclase from the same rock. L_{III}-edge XANES is more suitable for speciation analysis because K-edge XANES underestimate the contribution of tetrahedral Fe.

≪はじめに≫

天然の斜長石中には離溶マグネタイトがしばしば含まれている事が知られている．離溶マグネタイトは深成岩中にミクロンサイズ以下のマグネタイトを晶出する特異なプロセスであり，古地磁気情報の記録媒体，地殻深部に存在する磁気異常ソースとして注目を集めている．しかし，離溶マグネタイトに関する研究は少なく，その晶出メカニズムは未解明である．本研究では，マグネタイト離溶条件決定を目指し，複数の分析手法による斜長石単結晶試料の鉄科学種分析を行う．

≪試料と分析≫

本研究では，ミネソタ Duluth complex（FC1）と室戸岬斑レイ岩体（MT）から斜長石粒子を分離し，交番磁場勾配磁力計で斜長石中のマグネタイト含有量を測定した後，SPring-8 BL27SU で Fe-L_{III} 吸収端 XANES 分析，KEK-PF BL-12C で Fe-K 端 XANES 分析及び EXAFS 分析を行った．

Key words: XAFS, plagioclase, magnetic anomaly

*Corresponding author: nakadar@jamstec.go.jp

≪結果と考察≫

FC1 から分離した斜長石中のマグネタイト含有量は平均で 300ppm 程度であったのに対し，MT の斜長石では検出下限以下であった．全鉄に占める三価鉄成分の割合は，FC1 の斜長石が平均して 0.54 であったのに対し MT の斜長石では 0.75 であった．つまり，三価鉄成分の多い MT の斜長石では離溶マグネタイト晶出量が少なく，一方で三価鉄成分が少ない FC1 の斜長石では離溶マグネタイト晶出量が多いという結果であった．また，離溶磁鉄鉱の含有量がほぼ等しい FC1 の斜長石粒子 2 試料の Fe-K 端 EXAFS 分析から，各粒子ごとに斜長石中での鉄の配位環境が異なる事が確認され，斜長石中で鉄の配位環境変化が起こるよりも高温で磁鉄鉱が離溶した事が示唆された．これらの結果は，これまで行われてきたバルク分析では得られない知見であり，斜長石単結晶での分析を行う重要性を示している．

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$Mn_{3-x}Fe_xO_4$ 固溶体の高圧下の電荷移動と磁気構造転移

半導体−金属転移　磁気構造転移と結晶構造転移の圧力効果

山中高光[1]、 服部高典[2]、 小松一生[3]　中本有紀[4]、 平尾尚久[5]、 Saqib Rahman[1]、 Lin Wang[1]、Ho-kwang Mao[1]、(1. 北京高圧科学研究中心、2. J-PARC 物質・生命科学、3. 東京大学地殻科学、4. 大阪大学基礎工極限、5. 理科学研究所　SPring-8)

Fundamental study of charge transfer and magnetic structure change as a function of pressure of spinel and post-spinel of $Mn_{3-x}Fe_xO_4$ solid solution

T. Yamanaka,*　T. Hattori,　K. Komatsu,　Y. Nakamoto,　N. Hirano,　S. Raman,　L. Wang,　H-k, Mao

遷移元素を含む酸化物スピネルは、典型的な強磁性地殻鉱物であり、また最も基本的な磁性体材料でもある。本実験では$Mn_{3-x}Fe_xO_4$固溶体について高圧放射光回折実験を行なったが、原子散乱能がMn(25), Fe(26)で差が無く、Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Mn^{3+}の spinel と post-spinel 構造の２site の分布を決定する事は困難である。中性子回折実験では散乱断面積が Mn(-3.73 fm), Fe(9.54 fm)であり大きな差があり、J-PARC PLANET で高圧中性子回折実験を行った。Mn_2FeO_4 (2GPa 300K フェリ磁性)の正確な磁気構造（$I4_1/am'd'$）($a_M=a_{Tet}$ $b_M=2b_{Tet}$ $c_M=c_{Tet}$) が解析できた。また高圧電気伝導度測定実験、高圧 X-線メスバウアー実験も行なった。$MnFe_2O_4$ (Cubic $Fd3m$) と Mn_2FeO_4 (tetragonal $I4_1/amd$) は post-spinel 相 ($CaMn_2O_4$-type $Pbcm$) へ転移するが、転移圧は Mn 組成の増加と共に減少し、フェリ磁性 から反強磁性に転移する。また磁気転移圧は構造転移圧より低い事が判明した。電気伝導率は加圧に伴い伝導機構は electron hopping で著しく増大する。高圧相の post-spinel は 30GPa 以上では酸化物にも関わらず金属的な伝導度を示して Band conduction になった。磁気構造解析から陽イオンの席占有率が加圧により変化すること、Mn^{3+}による Jahn-Teller 効果は加圧により減少し、消滅する事が明らかになった.

Phase studies of iron bearing oxide spinels AB_2O_4 and post-spinels are essential investigations for geosciences and fundamental ferrite substances. We studied magnetic and structure transition together with Jahn-Teller (J-T) effect of $Mn_{3-x}Fe_xO_4$ solid solution by neutron time-of-flight scattering diffraction at extreme conditions up to about 30 GPa at room temperature at J-PARC PLANET and electric resistivity measurements under high pressure. Ambiguities in X-ray structure analyses are driven, because X-ray scattering factors of Fe and Mn are very similar: Fe (26) and Mn (25). Neutron diffraction has an effective advantage for the precise diffraction study, because of the big difference in the coherent scattering lengths: Mn (-3.73 fm) and Fe (9.54 fm). Magnetic structure of Mn_2FeO_4 ($I4_1/am'd'$ 2GPa 300K ferrimag) has different magnetic moments at the A and B site in the unit cell($a_M=a_{Tet}$, $b_M=2b_{Tet}$ $c_M=c_{Tet}$). X-ray Mössbauer is an excellent and effective facility to detect and define the precise distribution of Fe^{2+} and Fe^{3+} in the A and B sites. The observed hyperfine structure confirmed the magnetic transition pressure. The observed total magnetic moment can be evaluated the physical properties with Bohr magnetic quantum number.

Keywords:　$Mn_{3-x}Fe_xO_4$ solid solution、 High-pressure study, Charge transfer、 Magnetic structure transition, Neutron diffraction study

E-mail adderss: T.Yamanaka@cap.ocn.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

15.5 GPa, 2473 K で合成された新規 $Al_2Si_2O_7$ 相の放射光単結晶 X 線回折実験

栗林貴弘(東北大・院理)・周佑黙・大藤弘明・入舩徹男(愛媛大・GRC)

Single-crystal synchrotron X-ray diffraction study on a new $Al_2Si_2O_7$ phase synthesized at the condition of 15.5 GPa and 2473 K

T. Kuribayashi* (Tohoku Univ.) , Y. Zhou, H. Ohfuji, and T. Irifune (Ehime Univ.)

はじめに

$A_2B_2O_7$ 型の物質の構造タイプには、パイロクロア型構造やペロブスカイトスラブ型構造などが知られている。A, B の元素の価数の組み合わせは(+1, +6; +2, +5; +3, +4)があり、A, B 席を占有する元素の価数やその大きさにより、構造が複雑に変化する。例えば、レアアースを含む珪酸塩 $Yb_2Si_2O_7$ は、いわゆる層状構造を持ち、稜共有する 2 つの八面体のユニットが連結して、三角形のチャネルを作るように平面状に配列した層とそのチャネル同士を繋ぐ四面体の Si_2O_7 ユニットの層とのサンドイッチ構造をとる。

愛媛大の研究グループによって、$Al_2Si_2O_7$ の組成を持つ高圧合成相が、15.5 GPa, 2473K の条件で合成された。この新規合成相の結晶学的情報が欠如しているため、単結晶 X 線回折実験により結晶化学的な情報を得ることを試みた。本報告では、新規 $Al_2Si_2O_7$ 相の結晶構造の決定に成功したので、その結果について報告する。

実験・解析

愛媛大 GRC にて、15.5 GPa, 2473 K の条件で合成された試料を X 線回折実験に使用した。結晶サイズは、80 x 40 x 40 mm^3 である。X 線回折実験は、実験室(Rigaku, AFC-7S; MoKa 線源; 50 kV 40 mA)ならびに放射光共同利用施設 Photon Factory, BL10A において、四軸型自動回折計を用いてそれぞれ行った。放射光の波長 λ は 0.70116 Å である。実験室で、格子定数を精密化した結果(21 反射使用)、a = 7.0242(10) Å, b = 7.0971(13) Å, c = 6.6725(7) Å, α = 103.455(12)°, β = 99.087(11)°, γ = 60.548(10)°, V = 281.32(8) $Å^3$ であり、放射光(64 反射使用)では、a = 7.026 Å, b = 7.095 Å, c = 6.671 Å, α = 103.47°, β = 99.12°, γ = 60.55°, V = 281.23 $Å^3$ を得た。両者は誤差範囲で一致する。また、Z = 3 である。結晶サイズの問題から、$2\theta_{max}$ = 60°の $h\pm$, $k\pm$, $l+$ の領域に対して、放射光施設で強度データを収集した(測定数 1662 反射)。独立な 1511 反射を用いて、結晶構造の決定ならびに精密化を行った。格子ならびにラウエ対称性は、ともに三斜晶系を示した。対称中心がないことを示す積極的な根拠はないため、空間群 $P\bar{1}$ として構造決定を試みた。Charge Flipping 法に基づいた SUPERFLIP を用いて初期構造を決定し、SHELX97 により結晶構造の精密化を行った。解析精度は、R = 2.84 %, $wR2$ = 8.16 %, S = 1.125 である。原子散乱因子は、中性の値を用いた。Al と Si の散乱特性の類似性から両者を区別することは難しいため、Al と Si の結晶学的席への割り当ては、四配位席に Si, 六配位席については、八面体同士の共有状況を考慮して行った。また、実際の各席における Al/Si の占有状況を、配位多面体の平均結合距離に基づいて推定した。

結果と考察

$Al_2Si_2O_7$ の構造は、歪んだ酸素の六方最密充填(ABAB 型)を基本としており、構造中に、四配位席と六配位席が存在する。完全秩序配列を仮定すると、Si は四配位席 1 つと六配位席 2 つを占有し、Al は六配位席 3 つを占有する。四面体[$Si1O_4$]は、等価な四面体[$Si1O_4$]'と 1 つの頂点を共有し Si_2O_7 ユニットを形成しており、ソロ珪酸塩に分類できる。レアアースを含む珪酸塩 $R_2Si_2O_7$ と同様、層状構造と解釈できるが、層内には四面体と八面体が存在するため、明らかに異なっている。

本構造は、ペロブスカイト型構造と関係する構造タイプであるため、地球科学的に、三価のイオンを取り込む構造として、重要な役割を果たす可能性がある。

Keywords: Single-crystal X-ray diffraction, crystal structure, $Al_2Si_2O_7$, new high-PT phase

Corresponding Author: t-kuri@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

緻密な酸化インジウム焼結体の合成と酸素欠陥化学

（NIMS）坂口勲*、齋藤紀子、鈴木拓

Synthesis of polycrystalline In_2O_3 and oxygen defect chemistry

(NIMS) Isao Sakaguchi*, Noriko Saito, Taku T. Suzuki

Dense polycrystalline indium oxide (In_2O_3) was fabricated by the conventional sintering technique. Especially, we fabricated In_2O_3 with the relative density of 98% by SrO and GeO_2 doping. Oxygen diffusion showed the effect of Sr and Ge in In_2O_3.

I. 緒言

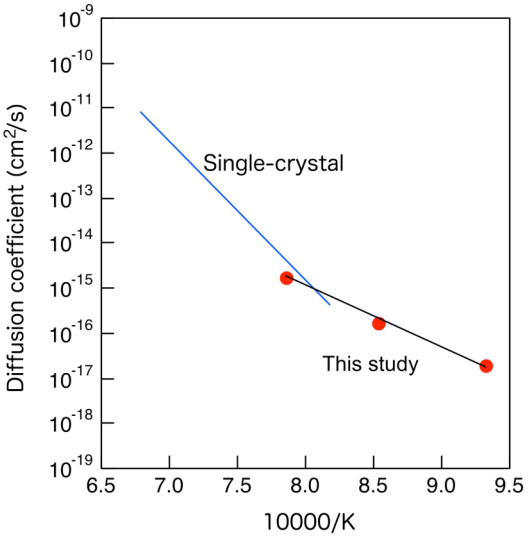
近年、酸化物半導体ガスセンサの応用の広がりでガスセンサの耐水蒸気性の向上、ガス選択性の向上、動作の省電力化、小型化が必要になってきている。そのため、これまでの粉末膜ではなくスパッタ法による薄膜化が必要となってきている。しかし、元々良好な酸化物半導体薄膜になってしまう ZnO, SnO_2, In_2O_3 薄膜をガスセンサに応用するための大きな技術課題はスパッタ法に利用するセラミックスターゲットにある。SnO_2 と In_2O_3 では緻密かつ高抵抗でスパッタ法に耐えうるセラミックスターゲットはない。本研究では緻密な In_2O_3 多結晶体を合成し、デバイス寿命に関連する酸素欠陥評価を行った結果を報告する。

II. 実験

高密度の酸化インジウム(In_2O_3)を合成するために、0.13 mol.%の SrO と GeO_2 をを添加した In_2O_3 を基本組成とした。この粉末を仮焼、粉砕した。この粉末を用い酸素気流中で 1300 - 1400℃の温度範囲で焼結した。焼結体の相対密度は 98%を超える。^{18}O をトレーサーとした酸素拡散実験を行い、酸素欠陥の評価を行った。

III. 結果と議論

図 1 に酸素拡散のアレニウスプロットを示した。得られた酸素拡散係数はフラックス法で得られた酸素拡散の延長線と一致する。酸素拡散の活性化エネルギーは単結晶よりも小さく、添加した Sr と Ge による不純物効果として考えられる。



@Japan Association of Mineralogical Sciences.

透明ナノ多結晶ヒスイの超高圧合成に向けて

入舩 徹男・満 圭祐（愛媛大GRC）・山田 明寛（滋賀県立大工）

Toward ultra-high pressure synthesis of transparent nano-polycrystalline jadeite

Tetsuo Irifune*, Keisuke Mitsu, (GRC, Ehime Univ.), Akihiro Yamada (School of Eng., Univ. Shiga Pref.)

We have been synthesizing various transparent polycrystalline minerals under ultrahigh pressure using multianvil apparatus. Here, we report the synthesis and some characteristics of transparent polycrystalline jadeite with grain sizes down to around 200 nm.

1. はじめに

ヒスイ（jadeite）は日本鉱物科学会により、日本の国石として選定されている。通常は多結晶体であり、高い靭性を示すことが知られているが、可視領域の透光性は低い。我々は、マルチアンビル装置を用いた超高圧合成法により、様々な高圧相鉱物の透明ナノ多結晶体合成に取り組んでいる。現在ヒスイの透明ナノ多結晶化を試みているが、これまでに得られている合成試料の特徴について報告する。

2. 実験方法

超高圧合成には、GRC設置のマルチアビル装置を用いた。出発物質として、酸化物・炭酸塩の混合物を電気炉で溶融・急冷して得られた $NaAlSi_2O_6$ 組成のガラスバルク体から、超音波加工装置によりくり抜いた円柱を用いた。実験は圧力10-20 GPa、温度800-1300℃の条件下で、1時間の加熱によりガラスの結晶化と焼結を同時におこなった。一部の実験では、粒成長を抑えるため加熱時間を短くした。回収試料に対して光学顕微鏡観察、微小部X線回折実験、及びSEM・TEM観察、透光率・硬度測定をおこなった。

3. 結果と考察

ヒスイの結晶化は900-1000℃付近でみられ、圧力の増加とともに結晶化温度はやや上昇した。加熱時間1時間で得られヒスイの多結晶体は、乳白色～半透明であった。得られた試料は、Irifune et al. (2016)によりグロシュラーガーネットに対して報告されているように、圧力が高いほど粒径が小さい傾向が認められた。しかし、この加熱時間では200-300 nm程度以下の試料は得られなかったため、粒径が最少になると期待される20 GPa・1300℃程度の条件で、加熱時間を20分と短くした合成実験を行った。この結果、透光性の高い試料が得られた（図1）が、現在のところ粒径100 nm以下の透明ナノヒスイを得るには至っていない。発表では、これらの試料の透光率や硬度についても報告する予定である。



図 1.超高圧合成透明多結晶ヒスイの例（透明部分）。直径約2 mm、厚み1.1 mm。

[1] Irifune et al. (2016) Nat. Commun., 7, 13753.

Keywords: jadeite, ultra-high pressure synthesis, multianvil apparatus, nano-crystals

*Corresponding author: irifune@dpc.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

低圧構造部と高圧構造部が秩序配列したヒ素結晶相

吉朝　朗（熊大），徳田　誠（東北大），三澤 賢明（九産大）

A unique arsenic crystalline phase with an ordered arrangement of low- and high-pressure structure parts

Akira Yoshiasa* (Kumamoto Univ), Makoto Tokuda (Tohoku Univ),
Masaaki Misawa (Kyushu Sangyo Univ.)

The crystal structure of *Pnm2*$_1$-As (pararsenolamprite) is a novel structure in which the basic portions of metalic grey-As and semi-conductor black-As are alternately arranged at the atomic level. Total charges are clearly divided into positive and negative in the same elements for the grey-As and black-As portions, respectively, is of importance. The sequence in which one-dimensional electron donor and acceptor portions alternate in the layer will be the first description [2].

大分県向野鉱山で発見された pararsenolamprite は、自然ヒ素結晶の第三の多形である[1]。今回リガク社製 XtaLAB SuperNova を用いた単結晶 X 線回折法により構造を決定し、第一原理計算により電子状態のシミュレーションを行ったので報告する[2]。この単体ヒ素の多形(*Pnm2*$_1$-As)は、低温低圧相 *Bmab*-As（黒リン構造）と高温高圧相 *R3m*-As の構造部が原子レベルで秩序配列（混在）したユニークな構造を持っている(図 1)。結晶学的に非等価な As 席は 8 種類である。全ての原子は(010)面に平行な鏡面上に位置している。結合角および結合距離は、化学結合特性および結合電子の軌道の有用な指標であるため、多形間で比較した。*Pnm2*$_1$-As 内での平均角度の 94.45°に対して、それよりも大きい角度を持つ As3 (98.2°) と As4 (96.3°)、小さい角度の As1 (89.4°) と As2 (94.0°)のグループに分かれる。*Pnm2*$_1$-As の層内および隣接層間の As-As 距離は、*R3m*-As と *Bmab*-As の中間値である。

この構造は、高温高圧構造部と低温低圧部が、それぞれ正と負に帯電し、同じ元素間で電子の供与・授与が起こり、化学結合論的にも極めて興味深い。電子状態の違いは、特に d 軌道の混成の違いにより現れる[2]。

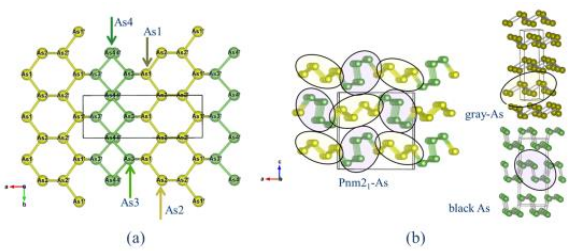


図 1. pararsenolamprite (*Pnm2*$_1$-As)と他のヒ素結晶相との構造比較[2]。

[1] S. Matsubara et al., Mineralogical Magazine, **65**, 807 (2001)
[2] A.Yoshiasa et al., Sci. Reports, **9**, 6275 (2019) https://doi.org/10.1038/s41598-019-42561-8

Keywords: pararsenolamprite, crystal structure, electronic structure, first-principles computational method.

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R5: 地球外物質

2019年9月20日(金) 9:15 ~ 12:00 | 大講義室 Ib 大講義室

R5: 地球外物質

座長:中村 智樹、瀬戸 雄介

[座長]
中村 智樹：R5-01〜R5-06
瀬戸 雄介：R5-07〜R5-11

9:15 ~ 9:30

[R5-01] CMコンドライトParis中エンスタタイトウィスカーの放射光ナノXCTおよびTEMによる分析

*安武 正展[1]、Vacarro Epifanio[2]、上杉 健太郎[3]、竹内 晃久[3]、中野 司[4]、圷山 明[1,5] (1. 立命館大学、2. ロンドン自然史博物館、3. SPring-8、4. GSJ/AIST、5. 中国科学院広州地球科学研究所)

9:30 ~ 9:45

[R5-02] 水質変質程度の異なるCMコンドライト中TCIの微細組織観察

「発表賞エントリー」

*家本 あかね[1]、瀬戸 雄介[1]、三宅 亮[2] (1. 神戸大・院理、2. 京都大・院理)

9:45 ~ 10:00

[R5-03] CM-COクランの再検討

*木村 眞[1] (1. 国立極地研究所)

10:00 ~ 10:15

[R5-04] Ivuna隕石(CI)中のドロマイトと流体包有物の探査

*土山 明[1]、橋野 桃子[2]、北山 晃[2]、三宅 亮[2] (1. 立命館大/広州地球化学研究所、2. 京大・院理)

10:15 ~ 10:30

[R5-05] CRコンドライトに関係する2つの隕石NWA 7317とTafassassetの鉱物学的研究

「発表賞エントリー」

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

10:30 ~ 10:45

[R5-06] NWA1723 Lコンドライトに含まれるDark inclusionの岩石鉱物学的研究

*高橋 実樹[1]、中村 智樹[1]、Zolensky Michael[2] (1. 東北大・院理、2. NASA/JSC)

10:45 ~ 11:00

[R5-07] 宇宙風化を模擬した水素イオン照射コランダムのナノオーダー化学状態分析

*伊神 洋平[1]、武藤 俊介[1]、大塚 真弘[2]、山本 悠太[1]、瀧川 晶[3]、三宅 亮[3] (1. 名大・未来研、2. 名大・院工、3. 京大・院理)

11:00 ~ 11:15

[R5-08] 含水炭素質隕石へのHe照射によるC型小惑星の宇宙風化再現実験

*中村 智樹[1]、Lantz Cateline[2]、小林 詩歩[1]、仲内 悠祐[3]、天野 香菜[1]、Brurnetto Rosario[2]、松本 恵[1]、高橋 実樹[1]、松岡 萌[3]、野口 高明[4]、松本 徹[1]、三宅 亮[5]、土山 明[6]、Zolensky Mike[7] (1. 東北大・院理、2. IAS, Univ of Paris Sud、3. 宇宙科学研究所、4. 九州大学・院理、5. 京都大学・院理、6. 立命館大学、7. NASA/JSC)

11:15 ~ 11:30

[R5-09] GEMS模擬粒子を用いたその場水質変成実験

*延寿 里美[1]、圷山 明[1,2] (1. 立命館大学、2. 中国科学院广州地球化学研究所)

11:30 ~ 11:45

[R5-10] X線回折法によるL6普通コンドライトの鉱物歪みの解析

*今栄 直也[1] (1. 極地研)

11:45 ~ 12:00

[R5-11] Northwest Africa 2139 LL6コンドライトの衝撃変成史

*竹之内 惇志[1]、角野 浩史[2]、下館 果林[2]、長尾 敬介[2]、山口 亮[1,3] (1. 極地研、2. 東大、3. 総研大)

CM コンドライト Paris 中エンスタタイトウィスカーの放射光ナノ XCT および TEM による分析

安武　正展（立命館大学）、Vaccaro　Epifanio（ロンドン自然史博物館）、上杉　健太郎（Spring-8）、竹内　晃久（Spring-8）、中野　司（GSJ/AIST）、土山　明（立命館大学、中国科学院広州地球科学研究所）

Mineralogical investigation of enstatite whiskers in Paris primitive CM chondrite by using SR-nanoXCT and TEM

M. Yasutake* (Ritsumeikan Univ.), E. Vacarro (Natural History Museum, London), K. Uesugi (SPring-8), A. Takeuchi (Spring-8), T. Nakano (GSJ/AIST), A. Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ., GIG/CAS)

はじめに　エンスタタイトウィスカーは、コンドライト的化学組成を持つ多孔質な惑星間塵（CP-IDPs）に含まれ、glass with embedded metal and sulfide (GEMS)とともにCP-IDPs に特有な構成物である[1]。エンスタタイトウィスカーは、[100]方向に極端に伸長した形状と[100]方向に平行ならせん転位と持ち、ガスから凝縮により形成されたと考えられている[3]。

近年、非常に始原的な炭素質コンドライト(PCC)のマトリックス中に、これらの CP-IDPs 構成物に類似するものが発見されている[2,3]。しかし、PCC にて発見されたウィスカー状エンスタタイトは主として研磨片により観察されており、これらのエンスタタイトが板状結晶の断面か CP-IDPs 中と同様のウィスカー結晶であるか不明である。本件では、PCC 中ウィスカー状エンスタタイトの産状および鉱物学的特徴を報告する。

試料と実験方法　本研究では、始原的CM コンドライト Paris 隕石を用いた。Paris 中のマトリックスを FIB（Helios G3, Thermofischer Sicence）を用いて約 25 μm 四方の微小試料に加工した。CT 撮影は Spring-8、ビームライン 47XU にて行った。撮影の際は DET 法を用いて、二つのエネルギーのX線(7 keV、7.35 keV）にて撮影し鉱物相と大まかな化学組成を推定した。その後、TEM 切片に加工し TEM（JEM 2100F、JEOL）にて観察した。

結果と議論　観察したマトリックスは、タイプ 1 コンドリュールの周囲に取り囲むように分布しており、表面は多孔質で主に非晶質ケイ酸塩（A.S.）から構成されている。また、A.S.はサブミクロンサイズの鉄に富む粒子を多数包有している。

CT 像による 3 次元観察により、このマトリックスは、観察した領域において表面とほぼ同様の多孔質な組織を持つ。また、一方向に著しく伸長した繊維状構成物を含むことが確認された。これらの中で最大の繊維状構成物（幅約 300 nm 長さ約 5 μm）は鉄を少量含むエンスタタイトであり、繊維状粘土鉱物ではないことが推定された。

TEM による微細組織観察の結果、マトリックスは、GEMS 様組織を持ち、Fe に富む包有物は主に Fe もしくは Ni に富む硫化物であった。また、マトリックスの一部は変質によるものと考えられる低結晶性層状ケイ酸塩鉱物を含む。一方、CT により観察された最大の繊維状エンスタタイトは、ほぼ変質の影響を受けておらず櫛状組織等は見られない。また、全体的に湾曲した形状をしており、破断面が存在する。これらの特徴は、コンドライト母天体中もしくは集積過程で形成されたと考えられる。この結晶は、CP-IDPs 中のものと同様に[100]方向に伸長しており、(100)面に多数の積層結果を含む。一方、CP-IDPs 中のものと異なり、らせん転位は含まれない。これは形状的特徴を形成した変形や破壊の過程で損失したためであると考えられる。

以上の結果から、少なくともある一定数のエンスタタイトウィスカーが、GEMS 様マトリックスと共にコンドライト母天体に集積されたことが考えられる。

参考文献：[1] Bradley (2014) Treat. Geochemi., 1, 287-208. [2] Leroux et al. (2015) GCA, 170, 247-265. [3] Vacarro (2016) Ph.D. thesis, The Open University.

Keyword: Primitive chondrite, CM chondrite, enstatite whisker, SR-XCT
Corresponding author: M. Yasutake, E-mail address: yasutakemasahiro.mteo@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

水質変質程度の異なる CM コンドライト中 TCI の微細組織観察

家本あかね*，瀬戸雄介（神戸大・院・理），三宅亮（京都大・院・理）

Micro textures of TCIs in CM carbonaceous chondrites

Akane IEMOTO*, Yusuke SETO (Kobe Univ. Sci.), Akira Miyake (Kyoto Univ. Sci.)

はじめに：CM コンドライトには、トチリナイトとクロンステッタイトの連晶組織(tochilinite-cronstedtite intergrowth, 以下 TCI)が普遍的に存在する。TCI には type-I と-II の二種類があり、前者はマッシブでコンドリュール中に存在することが多いのに対し、後者は繊維状でマトリックス中に存在する。Type-I は金属 Fe などの前駆物質が水質変質することによって生成すると考えられている[1]が、type-II については様々な前駆物質や形成プロセスが提案されている[2, 3 など]。TCI は水質変質程度を問わず全ての CM コンドライトに含まれており、母天体の水質変質環境に関する重要な情報を保持している。しかし、その組織は非常に細かいためサブミクロンスケールで詳細に記載した研究例は少ない。そこで、本研究では 5 つの CM コンドライトの type-II TCI について TEM による微細組織観察を行い、その形成プロセスを検討した。

試料と手法：QUE97990 (2.6), Murchison (2.5), Murray (2.4-2.5), Cold Bokkeveld (2.2), Nogoya (2.2)の 5 つの CM コンドライトを対象とした。括弧内の数値は文献[4]の見積もりによる水質変質の程度を表す(2.6 が最も低く、2.0 が最も高い)。それぞれの隕石に含まれる type-II TCI に対して、SEM-EDS (JEOL, JSM-6480LAII)による組織観察・組成分析を行ったのち、FIB (FEI, Quanta 3Di)を用いて薄膜加工し、STEM-EDS (JEOL, JEM2100F)による微細組織観察を行った。

結果と考察：水質変質程度の小さい二つの CM 隕石(QUE97990, Murchison)では、どちらの type-II TCI もマトリックス中に点在し、数 100 nm～数 μm のトチリナイトとクロンステッタイトで構成されている様子が観察された(図 1a)。TEM 観察では、クロンステッタイト中の非常に細かい割れ目やへき開に、脈状のトチリナイトが差し込まれた組織がみられた(図 1b)。このことは、クロンステッタイトの形成中あるいは形成後にトチリナイトが形成したことを示唆する。一方、水質変質程度の大きい Cold Bokkeveld の TCI はコア-リム構造を示した(図 1c)。コア部分は非常に細かい繊維状(数 10 nm)の Mg-rich クロンステッタイトと mixed-layer phase (MLP; トチリナイトとクロンステッタイトのシートが交互に積層したもの)で構成されており、リム部分は QUE97990 や Murchison のような比較的粗粒なトチリナイトとクロンステッタイトで構成されていた(図 1d)。水質変質程度が同程度に大きい Nogoya の TCI もコア-リム構造を示し、空隙の大きい繊維状のサーペンティンからなるコアから、繊維状のクロンステッタイトと MLP からなるリムにかけて、連続的に変化している様子が観察された。変成が中程度の Murray では、上記のどちらのタイプの TCI もみられた。

今回の観察において、中心に無水ケイ酸塩鉱物やメタルなどの前駆物質を含む TCI はみられず、また水質変質程度の大きい CM 隕石の TCI のコア部分は、細かい繊維状の組織を成していた。これらのことは、type-II TCI は何らかの前駆物質(固体)を置き換えたものではなく、液中から直接核形成したという可能性を示唆する。この場合、水質変質の大きい隕石でみられたコア-リム構造は、成長中の液体環境の変化に対応すると考えられる。また Cold Bokkeveld の TCI のリムが QUE97990 や Murchison の TCI と類似していることは、この 2 つの水質変質の小さい CM 隕石が Cold Bokkeveld の TCI が経験した変成プロセスの最後のステージと似た環境を経験したのかもしれない。

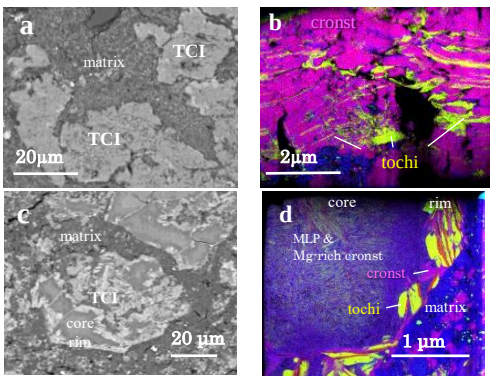


図 1. Murchison (a,b)及び Cold Bokkeveld (c,d)に含まれる代表的な type-II TCI の SEM による BEI と、STEM による EDX 元素マップ(赤:Fe, 緑:S, 青:Si)。

References: [1] Tomeoka & Buseck (1985) *GCA* **49**, 2149-2163. [2] Pignatelli et al. (2016) *MAPS* **51**, 785-805 [3] Lee et al. (2013) *GCA* **121**, 452-466. [4] Rubin et al. (2007) *GCA* **71**, 2361-2382.

Keywords: CM carbonaceous chondrites, aqueous alteration, TCIs, STEM

Corresponding author: a.iemoto@stu.kobe-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

CM-CO クランの再検討

木村　眞*（極地研）

Reinvestigation of CM-CO clan classification

M. Kimura* (NIPR)

The characteristic features of CM and CO chondrites are compared, based on the study of primitive CM-related and CO chondrites. The classification criteria and the genetic relationships between CM-CO clan chondrites are discussed.

CM コンドライトは炭素質コンドライト中では最大のグループで、小惑星探査機の回収試料との関連も議論されている。これらの隕石は CO コンドライトと共に CM-CO クランに属するとされている。しかしながら、CM コンドライトは全てが様々の程度の変質作用及び一部は熱変成作用を被っており、CO コンドライトとの特徴の比較や両者の始源物質の検討は困難であった。

最近 Kimura et al. (2019) は従来知られていたどの CM あるいは関連隕石よりも二次的作用の程度が低い３個の CM-related 隕石を報告した。本研究ではこれらの隕石の特徴を始源的特徴を保持していると考えられている CO コンドライト、Yamato (Y)-81020, Allan Hills (ALH)-77307 隕石と比較し、CM と CO コンドライトの特徴の類似点、相違点を明確化すると共に、両者の関係を議論する。

今回研究した CM-related 及び他の CM コンドライトは CO コンドライトと下記の類似性を持っている。

1. カンラン石組成の分布
2. コンドルール中のメソスタシスの特徴
3. マトリックス組成
4. メタルの特徴
5. マトリックスのラマン特性

これらの類似性は CM-CO クランの共通の特徴である。

一方、下記の相違点が観察される。

1. コンドルールの存在度
2. マトリックスの存在度
3. 難揮発性包有物の存在度
4. コンドルールのサイズ
5. 変質作用の程度

これらの相違点、特にコンドルールとマトリックスの存在比、コンドルールのサイズは両者で明瞭に異なり、両者を分類する上で基準となる。

これらの点から CM, CO コンドライトはおそらく同様の酸素同位体組成のリザーバーで前駆物質は生じたが、より多くの難揮発性包有物とやや小さなコンドルールと相対的に少量のマトリックス物質を集めたものが CO の始源物質となったと思われる。従って、両隕石は別の母天体、あるいは場所で生じた可能性が高い。

Keywords: CM chondrite, CO chondrite
*Corresponding author: kimura.makoto@nipr.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Ivuna 隕石(CI)中のドロマイトと流体包有物の探査

土`山 明* (立命館大, 広州地球化学研究所), 橋野桃子(京大理),
北山 晃 (京大院理), 三宅 亮 (京大院理)

Dolomite in the Ivuna meteorite (CI) and search for its fluid inclusions

A. Tsuchiyama* (Ritsumeikan Univ., Guangzhou Inst. Geochem., CAS), M. Hashino (Kyoto Univ.), A. Kitayama (Kyoto Univ.), A. Miyake (Kyoto Univ.),

はじめに

母天体で強い水質変成を受けたCI, CM, CRなどの炭素質コンドライト中の水は、OH 基や H_2O 分子として鉱物中に取り込まれており、液体の水の存在は確認されていなかった。最近、我々はX線ナノCTと低温ステージを用いた TEM 観察により、Sutter's Mill 隕石(CM)の方解石中に数 10 nm サイズのナノ流体包有物を見出した[1]。方解石は水質変成中に流体から析出し、流体の一部が包有物として取り込まれたものである。今回見出された流体包有物は CO_2 に富むと考えられ、流体の元となった氷は CO_2 スノーライン以遠で生成された可能性が高い。

本研究では、CM と同様に強い水質変成を受けた CI 隕石中に流体包有物を見出すことを目的として研究をおこなった。今回用いたIvuna 隕石をはじめとするCIは水質変成度の異なる岩相から成る角礫岩であり、またCIの主要炭酸塩鉱物は方解石ではなくドロマイトである[2]。このため、本研究では各岩相とそれに含まれるドロマイト粒子の特徴との関係をまず明らかにし、その後流体包有物の探索をおこなった。

試料と手法

Ivuna 隕石の研磨薄片 (~5×5 cm^2, ~1×1 mm^2 粒子 10 個)を用いた。大きな薄片全体の元素マップを SEM/EDS により求め、５つの岩相（L1~L5）に分け、さらに構成鉱物相の違いによりサブ岩相（L3a, L3b. L3c, L5a, L5b）に分けた。次に 109 個のドロマイト粒子について詳細な SEM/EDS 観察を行い、その特徴から３つのタイプ（A, B, C）に分けた。

ドロマイト８粒子から FIB を用いて X 線ナノ CT 用試料（~30×30 ×30 μm^2）を切り出し、DET 法[3]を用いて３次元吸収像を得た（~35 nm/voxel at 7 keV, ~40 nm/voxel at 8 keV）。いくつかの試料は SIXM[4]撮影を行い（~100 nm/voxel at 8 keV）、ミクロンサイズの包有物中の流体の有無を調べた。さらに、２つの CT サンプルについては、FIB により TEM 用薄片を切り出し、[1]と同様の手法で、低温(S)TEM/EDX によりナノ包有物中の流体の有無を調べた。

結果と考察

L4 を除く L1~L5 の岩相は[2]で提案された岩相とほぼ一致する。マトリクスの Fe/Mg 比は L1 から L5 へと増加し、この順に水質変成の程度が増加していると考えられる。ドロマイトは L1, L2 に少量、L3b に普通に、L3c に豊富に出現し、その他の岩相には認められなかった。ドロマイト粒子（~数 10 μm）の表面は一般的にギザギザで石膏によって覆われている。Type-A 粒子の石膏リムは薄く(< 1 μm)一部にファセットが見られるのに対して、Type-C 粒子は不定形で厚い石膏リム (数 μm) を持ち、Type-B 粒子はその中間である。Type-A(-C)粒子の割合は L1, L2, L3b, L3c の順に減少(増加)する。ドロマイトの化学組成は岩相を問わずほぼ一定（$Ca_{47}Mg_{44}Fe_4Mn_5$）である。これらより、ドロマイトは水質変成の初期に析出、水質変成が進むに連れて硫酸塩化 (石膏化）が起こり、やがて消滅したと考えられる。

ナノ CT によりドロマイト中には最大で 5 μm 程度のファセットを持つ包有物が見出せたが、SIXM により内部は空隙であることがわかった。そこで、CT 試料のナノ包有物（10~100 nm）が密集する領域より FIB により TEM 用のやや厚めの切片 (~200 nm 厚) を作成し、(S)TEM/EDX 観察を行なった。多くのナノ包有にはファセットが認められた。常温および−120℃での制限視野電子線回折(SAED)では、ドロマイトの回折のみが認められ、低温で氷に対応する回折スポットの新たな出現はなかった。ファセットの存在により包有物の中にかつては流体が存在していたと考えられるが、CM と異なり変形の影響を受けにくいナノ包有物でも、水質変成後期の硫酸塩化により、閉じ込められていた流体が逃げ出したものと考えられる。

参考文献

[1] Tsuchiyama et al. (2018) *MAPS* abstract #6187. [2] Morlock et al. (2006) *GCA* **70**, 5371. [3] Tsuchiyama et al. (2013) *GCA* **116**, 5. [4] Takeuchi et al. (2013) *J. Synchr. Rad.*, 20, 793.

Keywords: Ivuna meteorite, dolomite, fluid inclusion, X-ray nanotomography, cryo TEM
***Corresponding author:** atsuchi@fc.ritsumei.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

CR コンドライトに関係する 2 つの隕石 NWA 7317 と Tafassasset の鉱物学的研究

阿部 大樹*（東大・院理），三河内 岳（東大・総研博）

Mineralogical study of NWA 7317 and Tafassasset: Two “equilibrated” meteorites related to CR chondrites

Daiki Abe*(Univ. of Tokyo), Takashi Mikouchi (Univ. of Tokyo)

はじめに: 多くの CR コンドライトは水質変成を受けており、岩石学タイプ1もしくは 2 に分類される[1,2]。しかし、近年、熱変成を受けた CR コンドライト（CR6）が発見されている[3]。また、より分化が進んでいると考えられる Tafassasset や NWA 6704 の O, Cr, Ti 同位体組成が CR コンドライト領域にプロットされることがわかった[e.g., 4-6]。CR コンドライトの熱進化を理解する上でこれらの平衡（分化）隕石の岩石学・鉱物学的関係性を知ることは重要である。また、はやぶさ 2 探査機が訪れている小惑星リュウグウでは、水の量が少ないことが明らかになっており、水質変成後の熱変成による可能性があることから、CR コンドライトの熱進化は、含水小惑星の進化史においても重要な知見を与え得る。そこで、本研究では NWA 7317（CR6）と Tafassasset の鉱物学的研究を行ない、両者の関係を議論した。

試料と手法: 本研究では、NWA 7317 は 1 つ、Tafassasset は 2 つの薄片試料を調べた。光学顕微鏡による組織観察を行い、FE-EPMA（JEOL JXA-8530F）による鉱物組成分析を行った。

結果: NWA 7317 は poikiloblastic な組織を示し、barred オリビンコンドルールと考えられる破片が見られた。主要構成鉱物はオリビン（Fa_{35-36}）、高 Ca 輝石（$Fs_{11-13}Wo_{42-45}$）、低 Ca 輝石（$Fs_{27-29}Wo_{2-3}$）、斜長石（$An_{45-54}Or_{1-2}$）、Fe-Ni メタル、クロマイト、トロイライトだった。一方で Tafassasset には barred オリビンコンドルールは見られなかった。Tafassasset の主要構成鉱物はオリビン（Fa_{26-28}）、高 Ca 輝石（$Fs_{9-13}Wo_{37-44}$）、低 Ca 輝石（$Fs_{21-24}Wo_{2-12}$）、斜長石（$An_{21-57}Or_{1-8}$）、Fe-Ni メタル、クロマイト、トロイライトだった。Tafassasset は NWA 7317 と似た鉱物組み合わせであったが、Tafassasset の 2 薄片間で明らかな違いが見られた。例えば、一方の薄片では最大約 2 mm の Fe-Ni メタルが含まれていたのに対して、もう一方では最大 0.8 mm（平均約 0.2 mm）であった。また、1つの薄片内での鉱物分布（例えば Fe-Ni メタルや斜長石）も不均質であった。

議論と結論: NWA 7317 と Tafassasset 中のオリビンと輝石の化学組成はそれぞれほぼ均質であった。しかし、Tafassasset は NWA 7317 よりも Mg に富むオリビン、輝石の組成を示した。このことから 2 つの隕石の元々のオリビン、輝石組成は異なっていたことがわかる。また、それぞれの鉱物化学組成を比較すると 2 隕石間で違いがみられた。例えば、オリビン、輝石の Fe-Mg 組成は、NWA 7317 の方がより均質化していた。低 Ca 輝石中の Al と Ti 組成では、NWA 7317 は比較的均質な値であったのに対して（Al_2O_3: 0.6-0.9 wt%, TiO_2: 0.1-0.2 wt%）、Tafassasset はやや不均質な値を示した（Al_2O_3: 0.2-1.2 wt%, TiO_2: 0.1-0.6 wt%）。Fe-Ni メタル組成にも違いが見られ、NWA 7317 ではカマサイト（6-7 wt% Ni）とテーナイト（17-25 wt% Ni）が独立に存在していたが、Tafassaset には化学的ゾーニングが見られた（5-28 wt% Ni）。

以上のように、両者の鉱物学的特徴の違いから、Tafassasset は CR6 よりも “非平衡”であることがわかる[7]。しかし、Tafassasset は様々な分類が提案されているように、Tafassasset の方が、CR6 より分化度が高く、メルトからの結晶化によって非平衡組成になっている可能性がある。

参考文献: [1] Weisberg M. K. et al. (1993) *GCA* 57:1567-1586 [2] Schrader D. L. et al. (2011) *GCA* 75:308–325 [3] Irving A. J. et al. (2014) *LPS XLV*, #2465. [4] Sanborn M. E. et al. (2019) *GCA* 245: 577–596. [5] Gardner-Vandy K. G. et al. (2012) *GCA* 85:142–159. [6] Breton T.et al. (2015) *EPSL* 425:193-203. [7] Nehru C. E. et al. (2014) 77th MetSoc., #5382.

Keywords: CR chondrite, NWA7317, Tafassasset, thermal evolution, CR parent body

*Corresponding author: d_abe@um.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

NWA 1723 L コンドライトに含まれる Dark inclusion の岩石鉱物学的研究

高橋実樹*（東北大），中村智樹（東北大），
Michael E. Zolensky（NASA/JSC）

Mineralogical and petrological study of a dark inclusion in the NWA 1723 L chondrite

Miki Takahashi* (Tohoku Univ.), Tomoki Nakamura (Tohoku Univ.),
Michael E. Zolensky (NASA/JSC)

コンドライト隕石や HED 隕石に含まれる Dark inclusions（DIs）には、特異な岩石鉱物学的特性を示すものが存在し、それらは地球に直接飛来する隕石にはない物質情報を含んでいる可能性がある。本研究は NWA 1723 L コンドライトに含まれている DI の岩石鉱物学的研究を行った結果、これまで見つかったどの隕石のタイプにも分類されない DI であることがわかった。

NWA 1723 L3.3-3.4 コンドライトに含まれる DI の大きさは約 1.0×2.0cm である。DI の大部分は 10μm 以下の極細粒な olivine（$Fa_{23.3\pm0.4}$）、low-Ca pyroxene（$Fs_{2.6\text{-}22.2}$, $Wo_{0\text{-}49.4}$）、albite（$Ab_{81.8\text{-}99.9}$）、taenite、pyrrhotite で構成され、少量の serpentine と saponite も含む。olivine の組成は母岩（$Fa_{22.9\pm2.4}$）と近い組成を示している。一方で、pyroxene の組成は母岩（$Fs_{13.4\text{-}32.6}$, $Wo_{0.3\text{-}5.2}$）と DI で異なる。DI 中で olivine と low-Ca pyroxene は約 2:1 の存在比を示し、自形～半自形の組織であった。Taenite は Fe, Ni の他に Al を含む tetrataenite であり、結晶の中心に Al が濃集し、外側に向かうにつれて Al に乏しくなるゾーニングを示した。母岩は kamacite、troilite を含むが、DI はほとんど含まない。DI のコンドリュールは大変小さく、直径約 100μm で存在比は 10%以下である。大部分が斑状コンドリュールで、細粒な Ca-pyroxene、plagioclase、Fe-Ni metal、taenite などの鉱物組成を示す。一方、棒状コンドリュールも 1 つ含む。棒状コンドリュールのメソスタシスは硫化物（troilite）で、chromite、olivine を含む。

DI は微小なコンドリュールを少量含み、細粒なマトリクスが大部分を占めることから、母岩の L コンドライトとは岩石学的特徴が異なり、異なる起源を持っている。DI は水質変成と熱変成を経験している。層状珪酸塩を含むことから、DI はスノーラインの外側に起源を持つと考えられる。マトリクス存在度が非常に高いことからも、DI の母天体は太陽から遠い領域に存在したことが考えられる。また、olivine の組成が母岩とほとんど同じであることから、母岩の L コンドライトに集積後に熱変成を受け、組成が平衡に近づいたことが考えられる。

マトリクスを多く含む CI や CM コンドライト（Brearley and Jones, 1998）と比較すると、コンドリュールの大きさや層状珪酸塩の含有量、マトリクスの存在度が異なる。本研究で発見された DI は、これまで発見されたどの隕石タイプにも属さない。したがって、この DI の起源を解明することは、太陽系初期の物質進化を解明する上で非常に重要である。

Keywords: ordinary chondrites, dark inclusions
*Corresponding author: miki.takahashi.p4@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

宇宙風化を模擬した水素イオン照射コランダムのナノオーダー化学状態分析

伊神 洋平 ・ 武藤 俊介 ・ 大塚 真弘 ・ 山本 悠太(名古屋大学)・
瀧川 晶 ・ 三宅 亮(京都大学)

Nano-order chemical state analysis for H_2^+-irradiated corundum simulating space weathering

Yohei IGAMI*, Shunsuke MUTO, Masahiro OHTSUKA, Yuta YAMAMOTO (Nagoya Univ.),
Aki TAKIGAWA, Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)

【はじめに】 月や小惑星からのリターンサンプルからは太陽風照射による損傷組織が見出され、地球上と異なる鉱物の変成(宇宙風化)が実証された[e.g. 1]。また、星間空間に存在する星間塵も同様に、超新星爆発で加速された水素イオン等の照射による宇宙風化が起きている可能性がある[2]。こうした過程で照射された水素イオンは、鉱物内部の酸素などと化学的に相互作用し、新たな分子を形成する可能性がある。実際、走査透過電子顕微鏡と電子損失エネルギー分光 (STEM-EELS)により、惑星間塵の宇宙風化層から H_2O や H_2 の検出が報告された[3]。ただし、損傷組織との対応は明確ではなく、鉱物にも生じているであろう化学状態変化については不明点が多い。

本研究では、鉱物の水素イオン照射変成をより基礎から理解することを目指し、コランダム(α-Al_2O_3) への H_2^+照射実験と、回収物に対する STEM-EELS 詳細分析を行った。研究対象としたコランダムは星間塵の生き残り(プレソーラー粒子)としても見出されるうえに[4,5]、最も基本的な酸化物構造の一つであるため鉱物と水素イオンとの相互作用を考える上での基礎として重要な鉱物である。

【実験手法】 H_2^+照射実験は若狭湾エネルギー研究センターにて 40 keV, 10^{18} ions/cm^2 の条件で行った。回収試料から集束イオンビーム装置 (Thermo Fischer Scientific, Helios NanoLab G3 CX) にて TEM 用の断面片を切り出し、試料中に流体が存在する可能性を考慮して TEM 試料としてはやや厚めに加工した。観察・分析には加速電圧 200 kV および 1 MV の TEM (JEOL, JEM-2100, JEM-1000k RS) を用いた。

【結果・考察】 像観察の結果、表面から深さ ~300 nm までの領域に無数の格子欠陥が、深さ ~100–300 nm までの領域には約 1 nm 径のボイドが高密度で存在することが観察された。

EELS 分析では、まず、特徴的な各領域から一点ずつスペクトルを取得したが、コランダム以外の有意な特徴を見いだすことはできなかった。そこで、未損傷の基板部から照射表面までを含む領域で STEM-EELS スペクトラムイメージを取得し、多変量スペクトル分解の手法を用いて少数の素成分へ分解したところ、Al の還元と O の OH 基化を示すコアロススペクトル成分の存在を見出した。これらの成分は最表面ではなく深さ~200 nm(損傷ピーク部)に集中して分布しており、宇宙風化による鉱物内部の OH 基形成プロセスの存在が明確となった。さらにローロス領域のデータの分解結果からは、H_2 ガスと考えられるピークを伴うスペクトルが分解された。この成分は OH 基に比べて広い空間分布を示し、TEM 像で観察された約 1 nm 径のボイドの密度分布と一致した。このことは水素ガスがボイド中に一部残留していることを強く示す。一方、先行研究[3]でケイ酸塩から検出された H_2O は本研究では見られなかった。鉱物の構造や結合の違いにより、宇宙風化で内部に形成される分子種とその存在度には多様性が生じている可能性がある。

【引用文献】

[1] Noguchi et al. (2011), *Science*, **333**, 1121.
[2] Jones et al. (1996), *Astrophys. J.*, **469**, 740.
[3] Bradley et al. (2014), *PNAS*, **111**, 1732.
[4] Nguyen et al. (2007), *Astrophys. J.*, **656**, 1223.
[5] Takigawa et al. (2014), *Geochim. Cosmochim. Acta*, **124**, 309.

Key words: Corundum, space weathering, hydrogen analysis, electron microscopy/spectroscopy
*Corresponding author: y-igami@nagoya-u.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

含水炭素質隕石への He 照射による C 型小惑星の宇宙風化再現実験

中村智樹*（東北大）、C. Lantz (IAS, Univ of Paris Sud)、小林詩歩（東北大）、仲内悠祐（宇宙研）、天野香菜（東北大）、R. Brurnetto (IAS, Univ of Paris Sud), 松本恵（東北大）、高橋実樹（東北大）、松岡萌（宇宙研）、野口高明（九州大）、松本徹（九州大）、三宅亮（京都大）、土山明（立命館大）、M. E. Zolensky（NASA/JSC）

He irradiation experiments of hydrous carbonaceous chondrites to simulate space weathering of C-type asteroids

T. Nakamura* (Tohoku Univ), C. Lantz (IAS, Univ of Paris Sud), S, Kobayashi (Tohoku Univ), Y. Nakauchi (ISAS/JAXA), K. Amano (Tohoku Univ), R. Brurnetto (IAS, Univ of Paris Sud), M. Matsumoto (Tohoku Univ), M. Takahashi (Tohoku Univ), M. Matsuoka(ISAS/JAXA), T. Noguchi (Kyushu Univ), T. Matsumoto (Kyushu Univ), A. Miyake (Kyoto Univ), A. Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ), M. E. Zolensky（NASA/JSC）

小惑星探査機はやぶさ２による C 型小惑星 Ryugu の観測が行われ、可視、近赤外の分光データが取得された。Ryugu は大変暗い（550nm 波長で約 2%の反射率）小惑星であり、2.7μm 波長に約 10%の吸収があることから全球的に含水鉱物が分布していると考えられる（Sugita et al. 2019, Kitazato et al. 2019）。また、小惑星表面の色分布を見ると、多少赤暗い領域と青明るい領域が存在し、青い領域は「そろばん玉」状の形状の Ryugu の赤道域や極地域などの高い potential の領域に分布し、一方、赤い領域は中高度緯度域に分布している（Sugita et al. 2019）。解釈として、赤い物質は小惑星への宇宙風化作用で形成され、小惑星表層のみに分布しており、過去は Ryugu は赤い物質が表面全体を覆っていたが、その後の自転速度減少などにより、赤い物質が高い potential 域（赤道など）から滑り落ちることで表層以下に存在していた青い物質が露出したと考えられる。したがって、青い物質が Ryugu 本来の物質あり、この物質が太陽風 He 照射による宇宙風化により変成することにより赤い物質が形成されたと考えることが可能である。

一方、過去の含水炭素質隕石への宇宙風化の模擬実験では、He を照射することにより赤い物質が青い物質に変化することが確認されている（Lantz et al. 2017, 2018）。したがって、実際の Ryugu 表面で観測される宇宙風化作用によるスペクトル変化と He 照射実験で起こるスペクトルの変化が全く逆向きである。この不一致は C 型小惑星の宇宙風化作用は、現状我々が理解しているよりも複雑な現象であることを意味している。

我々はこれまでの過去の He 照射では検討されていない、含水炭素質隕石の物性（空隙率）や照射する He エネルギーのスペクトル変化に対する依存性を調べた。その結果、He 照射による色変化は、条件により赤→青になったり、青→赤になることが分かった。

Keywords: C-type asteroid, Space weathering
*Corresponding author: tomoki@m.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

GEM 模擬粒子を用いたその場水質変成実験

延寿里美（立命館大）、土山明（立命館大、中国科学院广州地球化学研究所）

In-situ hydrothermal alteration experiments using GEMS analog particles

Satomi Enju* (Ritsumeikan Univ.)
and Akira Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ., Guangzhou Inst. Geochem., CAS)

【はじめに】 GEMS (Glass with embedded metal and sulfides) は、彗星由来と考えられている始原的な惑星間塵 CP-IDPs (Chondritic Porous Interplanetary Dust Particles)の主要構成物であり、非晶質珪酸塩粒子の内部や表面に金属及び硫化物の微粒子を伴う特徴的な組織を有する(e.g. Ishii, 2019)。また、始原的炭素質コンドライト(e.g. Leroux et al., 2015) や微隕石 (Noguchi et al., 2015) でも GEMS に類似した物質が確認されている。非晶質珪酸塩はケイ酸塩鉱物に比べ反応性が高いため (Nakamura-Messenger et al., 2011)、その有無や層状珪酸塩鉱物との共生関係は始原的隕石における水質変成の度合いの指標となる。しかし、実際どの程度の条件にて水質変成がどのように進行していくのかについて明らかになっていない。本研究では誘導熱プラズマ装置(ITP)を用いて作成した GEMS 模擬粒子のその場水質変成実験を行うことで GEMS の水質変成過程を明らかにする。

【試料及び分析手法】 ITP 装置を用いた凝縮実験生成物を出発試料とした。凝縮実験生成物は主に Si-Mg-Fe-O 組成の非晶質珪酸塩と金属鉄及び硫化鉄の微粒子からなり、GEMS によく類似していた。本研究では出発物質と水を重量比 1：1 にて混合し、混合直後から連続的に X 線回折(XRD)パターンの取得を行った。54 時間反応させたのち窒素雰囲気下にて乾燥させ、XRD（RIGAKU, Smart Lab）、走査型電子顕微鏡(SEM: JEOL, JSM-7001F)、透過型電子顕微鏡(TEM: JEOL, JEM2100F)を用いて分析を行った（装置は全て京都大学に設置）。

【結果】XRD パターンにおいて反応の進行に伴い非晶質珪酸塩由来のピークの強度の減少がみられたが、Igami et al. (2018) にあるような層状珪酸塩鉱物由来のピーク発生は確認できなかった。また、出発物質でみられた金属鉄及び硫化鉄のピークは変わらず存在していた。乾燥後の試料の SEM 観察を行ったところ、非常に細粒な粒子の集合であり組成的に比較的均質であった。しかし、TEM における観察では多様な粒子が観察された。出発物質由来と思われる金属鉄及び硫化鉄微粒子を伴う Mg-Si-O 非晶質珪酸塩やより粗粒な薄膜状の Si-O 非晶質珪酸塩、まれに Fe に富む集合体や gypsum も見られた。以上の結果から本実験条件では非晶質珪酸塩は水と反応はしたが、層状珪酸塩鉱物の生成には至らなかったと考えられる。

【引用】[1] Ishii (2019) MAPS 54, 1, 202-219. [2] Leroux et al. (2015) GCA, 170, 247-265. [3] Noguchi et al. (2015) EPSL, 410, 1-11. [4] Nakamura-Messenger et al. (2011) MAPS, 46, 6, 843-856. [5] Igami et al. (2018) JpGU abstract, M-IS07.

Key words: GEMS, CP-IDPs, amorphous silicate, hydrothermal alteration
*Corresponding author: enju@fc.ritsumei.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

X線回折法によるL6普通コンドライトの鉱物歪みの解析

今栄直也*（極地研・総研大）

Strain analyses for the L6 ordinary chondrites by the X-ray diffraction method

Naoya Imae* (NIPR, SOKENDAI)

Random X-ray diffraction patterns for L6 ordinary chondrites were obtained from in-plane rotation of polished sections. The strains were then obtained using the Williamson-Hall plots for olivine and orthoenstatite. That of olivine nearly shows linear relation for shock stage S1-S6. On the other hand, that of orthoenstatite shows that linear relation starts to break more than S4, and this may suggest a significant amount of transition to clinoenstatite of orthoenstatite.

はじめに：研磨片の面内回転法を用いて得られた普通コンドライトのX線回折から衝撃の影響が評価されている[1]。本研究では、L6 普通コンドライトに対して[1]と再測定を行い、かんらん石と直方エンスタタイト(Oen)の Williamson-Hall (W-H)法による歪み解析[2]を行った。

実験： 14 個の L6 普通コンドライトの研磨薄片と薄片と共通する試料の 3 個のスラブ片を用いた。管電圧は 40 kV、管電流は 40mA で発生させた CuKα線を用いた。測定域は 2θ=3-75º (θは Bragg 角)、長手制限スリットは 5mm、発散角は(1/6)ºとした。Kβ除去に Ni を用いた。共通して着目したかんらん石の指数は 130, 211, 222, 331, 322 の 5 つである。Oen は 610, 511, 421, 12 00, 133, 12 12, 304 の 7 つである。この指数は、他相の主なピークと重ならない。2θ>~30ºを用いた。

結果：(かんらん石) 測定した L6 コンドライトの tanθ-積分幅の W-H プロットは共通して正の相関を示し、高い相関係数を持ち、0.64-0.99 の範囲で、11 試料は 0.85 以上であった。(Oen) S3 までは 0.7 以上の比較的良い相関係数を示す。S4 以上の高い衝撃段階の試料では相関係数が低くなる。

議論：(かんらん石) S1 から S6 に衝撃段階が上昇すると歪みは 0.1%から 0.6%まで上昇するが、上昇するほど幅がある。かんらん石の衝撃実験による歪みと衝撃圧の回帰式を利用し、衝撃圧に換算した[3]。その結果、高圧鉱物を含む S6 の Tenham[4] および Sahara 98222[5]の歪みから求まる圧力はそれぞれ 35GPa および 24GPa であった。この圧力は S6 の衝撃圧(~50-70GPa, [6]) としては低い。衝撃直後の焼きなましか衝撃後の再加熱により、一部歪みが解放されたと考えられる。(Oen) W-H 解析で S3 までは相関が見られる。最大歪みは約 0.3%であった。S4 以上では相関が低い。これは衝撃変成による Oen の単斜エンスタタイトへの転移の影響と考えられる。

謝辞：議論いただいた中牟田義博博士に感謝いたします。

文献：[1] Imae N. et al. (2019) M&PS 54:919. [2] Williamson G. K. and Hall W. H. 1953. Acta Metallurgica 1:22. [3] Uchizono A. et al. Min. J. 21:219. [4] Tomioka N. and Fujino K. 1997. Sci. 277:1084. [5] Ozawa S. et al. 2009. M&PS 44:1771. [6] Stöffler D. et al. 1991. GCA 55:3845.

Keywords: ordinary chondrites, olivine, enstatite, X-ray diffraction, Williamson-Hall plot

*Corresponding author: imae@nipr.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Northwest Africa 2139 LL6 コンドライトの衝撃変成史

竹之内惇志*（極地研），角野浩史（東大・総合文化），下館果林（東大），
長尾敬介（東大），山口亮（極地研，総研大）

Shock history of Northwest Africa 2139 LL6 chondrite

Atsushi. Takenouchi* (NIPR), H. Sumino, K. Shimodate, K. Nagao (Univ. of Tokyo),
and A. Yamaguchi (NIPR, SOKENDAI)

隕石中の衝撃変成組織から衝撃イベントの変遷（衝撃史）を明らかにすることは天体の進化史や過去の小天体の動きを制約する上で重要である。普通コンドライト(特にH、LL グループ)は太陽系形成初期に複雑な衝撃史を経験している可能性が指摘されているが[e.g.1-3]、各隕石グループの詳細な衝撃史やグループ毎の衝撃史の違いはあまり明らかではない。そのような複雑な衝撃史を解明するためには、多くの隕石において、衝撃変成組織と対応付けた衝撃変成年代の測定を行い、衝撃の形態とその発生時期の詳細な情報を得る必要がある。本研究では LL コンドライト母天体の衝撃史を制約するため、角礫岩である Northwest Africa (NWA) 2139 の衝撃変成組織観察及び Ar-Ar, I-Xe 同位体年代測定を行った。

NWA 2139 は白色のクラスト部(L)と黒色の細粒な基質部(D)が存在するため、希ガス年代分析用にそれぞれの領域から二つずつ（計四つ）の試料を用意し、京都大学複合原子力科学研究所において中性子線照射を行った。希ガス分析の補正用に合成 K_2SO_4 と CaF_2、年代の明らかな Shallowater 隕石[4]、Hb3gr 普通角閃石[5]も同時に照射を行った。希ガス同位体比測定には希ガス質量分析計(modified-VG3600)を用いた。また、クラスと部と基質部それぞれで薄片試料を作成し、国立極地研究所の走査型電子顕微鏡（FE-SEM、JEOL JSM-7100F）を用いた組織観察、顕微ラマン分光器（JASCO NRS-1000）を用いた相同定を行った。

組織観察の結果、いずれの試料でも斜長石のガラス化は見られず、波状消光を示すのみであった。また基質部では細粒な硫化物が全体に存在しており、珪酸塩のダークニングが見られた。クラスト部ではヒールドクラックが観察され、その上から新たにクラックが入っている様子も観察された。また、いずれの薄片にも二種類の衝撃溶融脈が観察された。一つはアニールされ再結晶化したと考えられる細粒なカンラン石、輝石と硫化物で構成される脈で、もう一つは大部分がガラス質で球状の硫化物を多く含む脈である。結晶質な脈はガラス質脈にシャープに切られていた。これらの衝撃脈中には今の所高圧鉱物は観察されていない。

Ar-Ar 分析ではリコイルや ^{39}Ar-loss によりすべての試料でプラトー年代は得られなかったが、三つの試料の一部で<4.31-4.56 Ga という幅広い年代が示され、クラスト部の試料では低温で 3.85 Ga、高温で 4.17 Ga という２つの年代が得られた。I-Xe 年代では 4.49-4.53 Ga の年代が得られた。

普通コンドライト中の I-Xe 系が示す年代(4.49-4.53 Ga)は高温のピーク(1000K 程度)の年代を示していると考えられ[4]、ヒールドクラックなどの高温時の衝撃や高温の残留熱で形成されると考えられる組織はこの年代よりも前に形成された可能性がある。そのため LL コンドライト母天体でも、H コンドライトで指摘されるような[e.g.1-2]熱変成中の衝撃イベントが 4.49 Ga 以前に起きていた可能性が示唆される[3]。角礫化は<4.31-4.56 Ga の間に起こり、その後クラストから得られた二つの Ar-Ar 年代（4.17 Ga, 3.85 Ga）で示される二回の衝撃イベントを経験し、二種類の衝撃溶融脈を形成したと考えられる。合計三回の衝撃イベントに於いて、残留熱の影響が徐々に弱まっていることから、太陽系形成初期の 5-6 億年間において衝撃の規模や頻度が急速に弱まった可能性が示唆される。

参考文献 : [1] Rubin (2004) *GCA* 68:673-689. [2] Scott et al. (2014) *GCA* 136:13-37. [3] Hugo et al. (2019) *MAPS* in press. [4] Gilmour and Clowther (2017) Geochem. J. 51:69-80. [5] Roddick (1983) *GCA* 47:887-898.

Keywords: Shock history, Ordinary chondrite, Ar-Ar age, I-Xe age

*Corresponding author: takenouchia24@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | S1: 火成作用の物質科学 (スペシャルセッション)

2019年9月20日(金) 10:00 ~ 12:00 | A-117 イースト1号館

S1: 火成作用の物質科学 (スペシャルセッション)

座長:松本 恵子、無盡 真弓、浜田 盛久

[座長]
松本 恵子：S1-01〜S1-03
無盡 真弓：S1-04〜S1-06
浜田 盛久：S1-07〜S1-08

10:00 ~ 10:15

[S1-01] 一ノ目潟産スピネルカンラン岩捕獲岩の圧力推定による島弧域リソスフェア-アセノスフェア境界領域の復元

「発表賞エントリー」

*佐藤 侑人[1]、小澤 一仁[1] (1. 東京大学・院理・地球惑星)

10:15 ~ 10:30

[S1-02] 自然鉄を晶出させるマントル交代作用：Aitutaki産カンラン岩捕獲岩の例

*秋澤 紀克[1]、小澤 一仁[2]、Wallis Simon[2]、田村 明弘[3]、川本 竜彦[4]、安本 篤史[5]、大嶋 ちひろ[1]、石川 晃[6]、小木曽 哲[7] (1. 東大　大海研、2. 東大　地惑、3. 金沢大　地球、4. 静大　地球、5. 蒜山地質、6. 東工大　地惑、7. 京大　人環)

10:30 ~ 10:45

[S1-03] 完晶質な複合岩脈を用いたメルト中の拡散継続時間推定

「発表賞エントリー」

*山崎 あゆ[1]、河上 哲生[1]、東野 文子[2] (1. 京都大・院理、2. 岡山理大)

10:45 ~ 11:00

[S1-04] 妙高火山の関山噴火（43 ka）と貫ノ木噴火（41 ka）のメルト包有物の揮発性成分分析

*浜田 盛久[1]、ロズ－古賀 エステル[2]、古賀 ケネス[2]、牛久保 孝行[1]、清水 健二[1]、原田 英男[3]、山口 佳昭[3] (1. JAMSTEC、2. マグマ・火山研究所、3. 信州大学)

11:00 ~ 11:15

[S1-05] 伊豆大島1986年噴火の斑レイ岩捕獲岩中のメルト包有物

*石橋 秀巳[1]、種田 凌也[1]、安田 敦[2]、外西 奈津美[2]、千葉 達朗[3] (1. 静岡大・理、2. 東大地震研、3. アジア航測)

11:15 ~ 11:30

[S1-06] 火山ガラスの色調の要因：新燃岳2018年噴火火山灰の例

*松本 恵子[1] (1. 産総研，活断層・火山研究部門)

11:30 ~ 11:45

[S1-07] 低水蒸気圧下における安山岩質軽石の石基結晶化実験

「発表賞エントリー」

*安川 宙葵[1]、無盡 真弓[1]、中村 美千彦[1]、大槻 静香[2] (1. 東北大・院理、2. 日鉄テクノロジー)

11:45 ~ 12:00

[S1-08] 新燃岳2011年噴火噴出物に含まれる石基輝石結晶の微細組織TEM観察

「発表賞エントリー」

*奥村 翔太[1]、三宅 亮[1] (1. 京都大・院理)

一ノ目潟産スピネルカンラン岩捕獲岩の圧力推定による島弧域リソスフェア–アセノスフェア境界領域の復元

佐藤 侑人*・小澤一仁（東京大学・院理・地球惑星科学）

Reconstruction of lithosphere-asthenosphere boundary in arc settings by geobarometry of spinel peridotites from Ichinomegata, NE Japan

Y. Sato* and K. Ozawa (Univ. Tokyo)

リソスフェア-アセノスフェア境界領域(LABZ)は、マントルの流動特性が急変する場である。LABZ はマグマの分離深度を支配し、マントルから地殻への熱・物質輸送を司る。従って、その深度・構造・形成要因を解明することは極めて重要である。本研究は、マントル捕獲岩を用いて 60 km より浅い島弧域マントルの高精度圧力推定を実現し、LABZ の構造を復元した。一ノ目潟産カンラン岩捕獲岩の由来圧力推定に基づいて、東北日本弧下 LABZ を復元した結果について報告する。

捕獲岩 9 試料を対象に、構成鉱物の組成累帯構造を網羅することで熱史を明らかにし、捕獲岩の抽出直前の化学平衡を代表する鉱物・粒内位置・成分を特定した。これにより小さな圧力依存性を持つ地質温度圧力計を用いて圧力推定を行うことに成功した(Sato & Ozawa, 2019 Am. Min.)。得られた圧力は 0.7-1.6 GPa、温度は 830-1080 °C で、~290 K/GPa という高い地温勾配を示す。由来深度から角閃石を含み・弱変形かつ粗粒な・斜長石カンラン岩からなる浅部マントル(28-32 km)が、メルトを含み・斜長石および角閃石を含まず・強変形かつ細粒の・スピネルカンラン岩からなる深部マントル(41- 55 km)の上に重なる層構造が復元された。

変形微細構造と組成累帯構造の関係から、捕獲岩抽出直前の加熱と同時期の流動変形を~40 km 以深にて検出した。これは深部マントルが粘性流動する LABZ に対応することを示す。カンラン石結晶方位から推定した地震波異方性の深さ変化や、鉱物モード組成から得た地震波速度構造は、地震学的 LAB が LABZ にほぼ一致することを示唆する。変形微細構造の発達とメルトの出現深度の一致は、島弧の LABZ が含水カンラン岩のソリダスに支配されることを示す。この LABZ の形成機構を、地球物理観測から得られる火山弧から背弧にかけ温度低下するウェッジマントルの熱構造に適用することで、東北日本弧の LAB が背弧から前弧に向けて浅くなることを明らかにした。この LAB の 2 次元構造は、地震波速度構造から推定される火山弧直下の LAB 深度や火山岩から推定される前弧から背弧に向けて深くなるマグマ分離深度(Tatsumi et al., 1994)と調和的である。

Keywords: Lithsosphere-Asthenosphere boundary, geobarometry, spinel peridotite xenolith, wet solidus

*Corresponding author: syuto@eps.s.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1-02

自然鉄を晶出させるマントル交代作用：Aitutaki 産カンラン岩捕獲岩の例

秋澤紀克(東大・大海研)，小澤一仁，Wallis S.R. (東大・地惑)，田村明弘(金沢大・地球)，川本竜彦(静大・地球)，安本篤史(蒜山地質)，大嶋ちひろ(東大・AORI)，石川晃(東工大・地惑)，小木曽哲(京大・人環)

Native iron formation during mantle metasomatism recorded in a mantle xenolith from Aitutaki island, Cook islands

Akizawa N.* (AORI, The Univ. Tokyo), Ozawa K., Wallis S.R. (Dept. Earth and Planetary Sci., The Univ. Tokyo), Tamura A. (Dept. Earth Sci., Kanazawa Univ.), Kawamoto T. (Dept. Geoscience, Shizuoka Univ.), Yasumoto A. (Hiruzen), Ohshima C. (AORI, The Univ. Tokyo), Ishikawa A. (Earth and Planetary Sci., Tokyo Tech.), & Kogiso T. (Grad. Sch. Hum. and Environ. Stud., Kyoto Univ.)

1. はじめに

これまでに数多くのマントル交代作用が報告されてきたが，本研究では報告例のない，ざくろ石の分解に伴う自然鉄の晶出が関与したマントル交代作用を報告する．

2. 岩石記載

本研究で使用した岩石サンプルは，Cook 諸島の Aitutaki 島と呼ばれる約 18 km^2 程度の面積の小さな島で採取されたカンラン岩捕獲岩である．このカンラン岩は主に，カンラン石，直方輝石，単斜輝石，くすんだ赤色の鉱物から成る．Raman 分光装置と FE-SEM-EDS を用いた解析の結果，くすんだ赤色の鉱物は，〜1 μm 程のサイズの細粒な鉱物の集合体であることがわかった．構成鉱物は，丸みを帯びたカンラン石と斜長石，丸みを帯びたものから自形の自然鉄であった．この細粒鉱物集合体の中心には，不規則で溶食されたような形のクロムスピネルが含まれていた．それには割れ目が発達しており，割れ目に沿って方解石が見つかった．しかし，割れ目を追っていくと方解石は消えてしまい，割れ目を充填する以外の方解石は見つからなかった．

3. 鉱物化学組成

細粒な鉱物集合体の主要元素のバルク分析を EPMA で行ったところ，ざくろ石カンラン岩中に報告されているざくろ石の組成に似ていることがわかった．さらに，LA-ICP-MS を用いた微量元素分析を行ったところ，軽希土類元素に富んでおり，ざくろ石カンラン岩中で報告されているざくろ石の組成と似ていた．以上のことから，細粒な鉱物集合体はもともとざくろ石であったと考えられる．単斜輝石の微量元素組成も，ざくろ石カンラン岩の単斜輝石の組成に似ていることは調和的である．

4. まとめ

これまでに，カーボナタイトメルトによる交代作用を記録したカンラン岩は数多く報告されてきた．しかし，その証拠としては CO_2 流体包有物を含んでいたり，単斜輝石の微量元素組成がカーボナタイトと平衡であるといった間接的な証拠からであった．本研究で紹介したカンラン岩は，クロムスピネルの割れ目を埋める方解石が存在し，カーボナタイトメルトによる交代作用の影響を強く示唆する．自然鉄の晶出は，還元的な環境下でのカーボナタイトメルトによる交代作用の結果であると考えられる．

Keywords: Native iron, carbonate, carbonatitic metasomatism, garnet
*Corresponding author: akizawa@aori.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

完晶質な複合岩脈を用いたメルト中の拡散継続時間推定

山崎あゆ*，河上哲生（京大・理），東野文子（岡山理大）

Estimating timescales of chemical diffusion in melts utilizing a holocrystalline composite dike

Ayu Yamazaki*, Tetsuo Kawakami (Kyoto Univ.), Fumiko Higashino (Okayama Univ. Science)

マグマプロセスの速度やタイムスケールは，火成活動の理解やモデル化に重要な情報である [1]．それらを推定する方法として，同位体年代測定や，拡散速度モデリングなどが挙げられる [1,2,3]. 例えば火山岩においては，斑晶の組成分析によって得られた拡散プロファイルから，拡散継続時間を推定し，マグマ混合等の非平衡イベントから噴火による急冷までの時間を見積もる研究がある[e.g.,3,4].しかし，完晶質な岩石において，拡散プロファイルからタイムスケールの推定を行った研究は，著者らが知る限り無い．そこで本研究では，完晶質な複合岩脈中の鉱物化学組成分析から拡散プロファイルを求め，マグマ混合過程における拡散継続時間の推定を試みる．

本研究で用いた試料は，領家変成帯高温部（三重県津市白山町）に産する複合岩脈である．岩脈は幅約 5m で，砂泥質ミグマタイトの片麻状構造に高角に貫入する．この複合岩脈の形成時には珪長質マグマと中間質マグマが共存していたと考えられる[5]. 複合岩脈中の珪長質岩と中間質岩の境界部分に注目し, EPMA による X 線元素マッピングや鉱物化学組成分析を行った．その結果，岩相境界から約 1.5cm 以内の珪長質岩側において，境界からの距離とともに，黒雲母の MgO 濃度や細粒斜長石リムの CaO 濃度が低下するプロファイルを得た．これらの濃度プロファイルは，拡散方程式の解[6]でよく近似できる（R^2＞0.8）ことから，前述の濃度変化は元素拡散に起因すると考えられる[5].

斜長石における粒界拡散係数と体積拡散係数の比(10^4-10^5)[7]と，本試料中の斜長石の粒径(100 μ m以上)を考慮すると，本試料において，結晶化後は粒界拡散よりも体積拡散が有効に働いたと考えられる[7]．また，黒雲母の多結晶体における粒界拡散係数は不明である。そこで以下ではそれぞれの結晶内での拡散係数を代用して議論する．黒雲母の(001)面に平行な方向の Fe-Mg 拡散係数は[8]-[10]のデータを勘案すると，斜長石の NaSi-CaAl 拡散係数より約 4 桁大きい[5]．一方，同温度のメルト中の Ca と Mg の拡散係数はせいぜい 1 桁しか違わない[11]．従って，本研究で得た Ca と Mg の拡散プロファイルがほぼ同じ拡散距離を示すことや，中間質岩と珪長質岩中で非対称な拡散プロファイルを示すことは，珪長質マグマと中間質マグマがマグマの状態で共存した時期にメルト中で生じた拡散が，鉱物組成に反映されたことを示す[5].

これを踏まえ，メルト組成と Mg の拡散係数との関係式[12]を用いて，任意の温度におけるメルト中の Mg 拡散係数を推定した．このとき必要なメルトの組成は，珪長質岩のモード組成と鉱物化学組成から推定した珪長質岩のバルク組成を用いた．こうして得られた拡散係数と，前述のフィッティングから得た拡散距離から，任意の温度での拡散継続時間が推定可能である．中間質岩の固結時の温度は，中間質岩中の斜長石リムと普通角閃石リムの組成ペアに Hbl-Pl 温度計[13]を適用することで，約 750℃と見積もられた．珪長質メルト中での拡散はこの温度より高温で起きたと考えられるので, 拡散継続時間は＜10^4年と推定できる．すなわち，本複合岩脈形成後のマグマ混合過程において，元素拡散が 1 万年未満継続したことが示唆される．

引用文献: [1] Turner & Costa, 2007, *Elements*, **3**, 267-272. [2] Hawkesworth et al., 2004, *EPSL*, **218**, 1-16. [3] Costa & Chakraborty, 2004, *EPSL*, **227**, 517-530. [4] Nakamura, 1995, *Geology*, **23**, 807-810. [5] 山崎ほか(2019), 日本地質学会講演要旨 [6] Crank, 1956, *Mathematics of diffusion*. [7] Dohmen & Milke, 2010, *RMG*, **72**, 921-970 [8] Usuki 2002, *Am min*, **87**, 1014-1017. [9] Cygan & Lasaga 1985, *AJS*, **285**, 328-350. [10] Liu & Yund 1992, *Am min*, **77**, 275-283. [11] Mungall et al. 1999, *GCA*, **63**, 2599-2610. [12] Zhang et al., 2010, *RMG*, **72**, 311-408. [13] Blundy & Holland, 1990, *CMP*, **104**, 208-224.

Keywords: chemical diffusion, timescale, holocrystalline rock, composite dike, magma mixing

*Corresponding author: yamazaki.ayu.36s@st.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1-04

妙高火山の関山噴火(43 ka)と貫ノ木噴火(41 ka)のメルト包有物の揮発性成分分析

浜田盛久[1*]，Estelle F. Rose-Koga[2]，Kenneth T. Koga[2]，牛久保孝行[1]，清水健二[1]，原田英男[3]，山口佳昭[3]（[1]海洋研究開発機構, [2]マグマ・火山研究所, フランス，[3]信州大学）

Analysis of volatiles in melt inclusions of the Myoko Sekiyama (43 ka) and Kannoki (41 ka) eruptions

M. Hamada[1*], E. F. Rose-Koga[2], K. T. Koga[2], T. Ushikubo[3], K. Shimizu[3], H. Harada[2], Y. Yamaguchi[2]
([1]Institute for Marine Geodynamics, JAMSTEC; [2]Laboratoire Magmas et Volcans, France; [3]Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC; [4]Shinshu University)

研究目的

一般に，島弧マグマは揮発性成分に富む．しかし，島弧の火山フロント側に比べて，背弧側のマグマがどの揮発性成分をどの程度含むのかについての知見は限られている．

信州大学の山口佳昭，原田英男らは，妙高火山をはじめとする中部日本背弧のいくつかの火山から採取された火山岩の石基やメルト包有物の観察・分析に基づき，マグマ溜まり中に K_2O に富むマグマバッチ（K_2O だけでなく，F, Cl および P_2O_5 にも富む）が注入されて不均質メルトが形成されると議論した．彼らは，それがスラブ起源流体による交代作用によって生じた veined mantle の部分溶融によって生成されたと議論した（例えば, 山口ほか, 日本鉱物科学会 2014 年年会）．

我々は，山口・原田らによる先行研究を発展させる目的で，妙高火山のメルト包有物の揮発性成分を，二次イオン質量分析計（SIMS）を用いて高精度に分析した．本講演では，現在までに得られた結果を報告する．

試料と分析手法

妙高火山は，約 30 万年前から活動を開始し，活動休止期を挟みそれぞれ数万年の寿命を持つ 4 つの独立した成層火山がほぼ同じ位置で古い火山体の上に重なるように成長した「多世代火山」である．本研究で分析に用いた試料は，妙高火山の第 4 活動期・先カルデラステージの関山噴火（43 ka）及び貫ノ木噴火（41 ka）のメルト包有物である．これらは急冷されてガラス化しているため，背弧火山のメルトの揮発性成分の分析に適している．

本研究では，SIMS を用いてメルト包有物の揮発性成分(H_2O, S, F, Cl)を分析した（分析法の詳細は Shimizu *et al.*, 2017, *Geochem. J.*を参照）．

結果

カンラン石に包有された関山噴火および貫ノ木噴火の玄武岩質メルト包有物は，いずれも最大で 6 wt.%の H_2O を含み，SiO_2 の増加に伴って H_2O が減少する傾向を示した．背弧の未分化メルトは，火山フロントの未分化メルトと同様に高含水量であり，水に飽和し，脱ガスしながら分化が進行する（例えば, Hamada et al., 2014, EPS）．

関山噴火（43 ka）のメルト包有物の F と Cl の組成は，MgO~4 wt.%の玄武岩質メルトの場合，600 ppm F, 1100 ppm Cl であった．貫ノ木噴火（41 ka）のメルト包有物は，MgO~4 wt.%の玄武岩質メルトの場合，400 ppm F, 1500 ppm Cl であり，両者のハロゲンの組成は有意に異なっている．両噴火のマグマは，起源マントルの枯渇度や，供給されたスラブ起源流体の量が異なっていた可能性が考えられる．Cl は地殻から混入した可能性も否定できない．

貫ノ木噴火の噴出物に認められる K_2O に富む不均質メルトに関して，今後，SIMS を用いて揮発性成分の追加分析を行うとともに，微量元素の分析も進めることにより，K_2O に富む不均質メルトの起源，さらには関山噴火と貫ノ木噴火のマグマの起源の違いについて明らかにしていく予定である．

Keywords: Myoko volcano, rear-arc volcano, melt inclusions, volatiles, SIMS
*Corresponding author: mhamada@jamstec.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1-05

伊豆大島 1986 年噴火の斑レイ岩捕獲岩中のメルト包有物

石橋秀巳*，種田凌也(静岡大・理)，安田敦，外西奈津美(東大地震研)，千葉達朗(アジア航測)

Melt inclusions in a gabbro xenolith of the Izu-Oshima 1986 eruption

Hidemi Ishibashi*, Ryoya Oida (Shizuoka Univ.), Atsushi Yasuda, Natsumi Hokanishi (ERI, Univ. Tokyo), Tatsuro Chiba (Asia Air Survay)

伊豆大島 1986 年噴火の B 火口噴出物中には稀に，粒間ガラスに富む斑レイ岩質捕獲岩が含まれることが報告されている(千葉他，1987; 石橋他，2017 火山学会要旨)．石橋他(2017)ではこの斑レイ岩質捕獲岩について岩石組織観察と相化学組成分析を行ない，以下のことを明らかにした：①この斑レイ岩捕獲岩は，自形～半自形の斜長石(～63vol.%)，オリビン(～5vol.%)，OPX(～4vol.%)と発泡した粒間ガラス(～28vol.%)から構成される，②この斑レイ岩捕獲岩に含まれる粒間ガラスには，墨流し状の明瞭な組成不均質が見られる，③粒間ガラスは SiO_2 含有量がおよそ 54.5-58.5 wt.%の玄武岩質安山岩～安山岩質であり，その主成分化学組成バリエーションが 1986 年噴火 B 火口噴出物のそれと一致する．これらの結果から，石橋他(2017)では，この斑レイ岩捕獲岩が 1986 年 B マグマのマグマだまりに由来するクリスタルマッシュの欠片であり，またクリスタルマッシュ粒間でメルトの浸透流およびメルト混合がおこっていたと議論した．しかし，メルト混合発生前にこのクリスタルマッシュがどのようなメルトと共存したかについては明らかでなかった．そこで本研究出は，この斑レイ岩捕獲岩の構成鉱物中に含まれるメルト包有物(MI)について化学分析を行い，クリスタルマッシュの形成過程について検討した．MI の化学分析は，東京大学地震研究所の EPMA (JEOL- XMA8800)を用いて行った．

MI は斜長石・オリビン・OPX 中に確認できたが，その化学組成はホスト鉱物ごとに異なった．斜長石中の MI は，他相中の MI および粒間メルトよりも系統的に MgO に富み，SiO_2 含有量は 54-56wt.%とやや低い範囲を示す．一方でオリビン中の MI は，斜長石中の MI や粒間メルトに比べて系統的に Al_2O_3 と CaO に富み，FeO に乏しい傾向がある．MI の K_2O/TiO_2 比はホスト鉱物種によらず，～0.36 で一定である． また，CaO/Al_2O_3 比もホスト鉱物種によらず～0.7 一定である．これらの値は，本研究試料中の粒間メルトも含めた伊豆大島の噴出物のうち，SiO_2＜～56wt.%のものと同等である．SiO_2＞56wt.%の噴出物では，SiO_2 の増加に伴って K_2O/TiO_2 比が増加し，CaO/Al_2O_3 比が減少する傾向があり，これは CPX や FeTi 酸化物の晶出が原因と考えられる．

以上の結果は，このクリスタルマッシュの構成鉱物と元々共存したメルトが SiO_2＜～56wt.%であり，後により SiO_2 に富む安山岩質メルトが浸透流として粒間へと流入し，メルト混合をおこしたことを示唆する．また，流入した安山岩メルトは，CPX または FeTi 酸化物の晶出の痕跡がみられることから，クリスタルマッシュのより低温部に由来するものと考えられる．

Keywords: melt inclusion, crystal mush, gabbro, Izu-Oshima, eruption
Corresponding author: ishibashi.hidemi@shizuoka.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1-06

火山ガラスの色調の要因：新燃岳 2018 年噴火火山灰の例

松本恵子*（産総研）

The color of volcanic glass: A case study of ash from the 2018 eruption of Shinmoedake volcano, Japan

Keiko Matsumoto* (Geological Survey of Japan, AIST)

火山噴出物は同一の化学組成でも噴火様式によって異なる色調を呈する場合がある（e.g., Paulick and Frantz, 1997）．噴出物の物質科学的特徴は噴火様式それぞれの噴火プロセスを反映するとされ，活動的火山での重要な観測量の一つである．特に直径2mm以下の噴出物である火山灰は，大気中での拡散により遠方で採取可能なため，火山活動における有望なモニタリング対象である．これまで，火山灰の形状や結晶度の違い，また構成粒子種と噴火様式との対比に基づく研究が行われてきた（e.g., Taddeucci et al., 2004）．しかし，火山灰の色調の要因と噴火プロセスとの明確な対応付けは行われていない．本研究では，色調の異なる火山灰粒子のガラス部分の顕微ラマン分光分析から，色調と噴火プロセスとの対応を試みる．

観察および分析には，霧島山新燃岳の2018年3月1日–4月5日噴火の火山灰を使用した．実体顕微鏡観察では，3月1–2日，3日，4月5日火山灰の大部分の粒子が黒色不透明のブロック状粒子であったのに対し，6–7日試料には淡色透明の発泡粒子（Type 1）が黒色透明の発泡粒子（Type 2）とともに含まれていた．6–7日試料のType 1，Type 2粒子についてSEM観察およびEDSでの化学組成分析を行ったところ，いずれも石基に斜長石，輝石，鉄チタン酸化物のマイクロライトを含み，石基結晶度は約27%，石基ガラスの化学組成はSiO_2=68–69 wt%であった．またSEMによる約4000倍の観察では，Type 2の一部粒子を除き，両者とも石基に<1 μmの結晶は確認されなかった．一方で，Type 1，Type 2粒子の石基ガラス部分のラマン分光分析では，Type 1粒子には顕著なピークが認められなかったのに対し，Type 2粒子には690 cm^{-1}付近にピークが見られた．690 cm^{-1}付近のピークは4月5日の黒色不透明のブロック状粒子にも認められた．

690 cm^{-1}付近のピークは，磁鉄鉱などの鉄酸化物のナノライトに該当する（Di Genova et al., 2017a）．鉄酸化物ナノライトの晶出は，残りのメルト粘性を2桁程度上昇させる（Di Genova et al., 2017b）ことから，石基ガラスが黒色であるType 2粒子は淡色のType 1粒子より高粘性だと推定される．新燃岳では，軽石礫を放出する噴火（3月6–7日）が溶岩流出期間中（6–9日）に発生した．黒色が高粘性マグマを示すならば，このType 2粒子は高粘性で溶岩となり流出したマグマに，淡色のType 1粒子は低粘性で停滞することなく軽石として次々と放出されたマグマに由来する粒子と考えると，観察された噴火様式と整合的である．石基ガラスの黒色化からメルト粘性を定性的に推定できるならば，肉眼や顕微鏡などの可視光観察から迅速に噴火プロセスの客観的評価が可能となり，火山灰での物質科学的モニタリングの実現に繋がる．

Keywords: volcanic glass, color, Shinmoedake volcano, Raman spectroscopy

***Corresponding author: k.matsumoto@aist.go.jp**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

低水蒸気圧下における安山岩質軽石の石基結晶化実験

安川宙葵*[1]、無盡真弓[1]、中村美千彦[1]、大槻静香[2#](1:東北大 2:産総研)

Groundmass crystallization experiments of an andesitic pumice under low vapor pressure.

Hiroki Yasukawa*[1] Mayumi Mujin[1] Michihiko Nakamura[1] Shizuka Otsuki[2]

(1:Tohoku University 2:AIST)

【研究背景】近年、火山岩の石基中のマイクロライトの間にナノスケールの結晶が見つかり、幅 30 nm–1 μm の結晶がナノライト、 直径 30 nm 以下の結晶がウルトラナノライトと定義された（Mujin et al., 2017)。これらの結晶は火道の非常に浅部で晶出すると考えられ、火道浅部での噴火様式の分岐を記録する可能性が示された(Mujin & Nakamura, 2014)。また、これらがマグマの粘性を上昇させることも示唆されている (Di Genova et al., 2017)。このためこれらの結晶の晶出・成長条件を明らかにすることは火山噴火のダイナミクスの理解において重要である。これまでマイクロライトの減圧結晶化実験は数多く行われてきたが（Hammer and Rutherford,2002 など)、ナノライトの結晶化実験は行われていない。本研究では火道浅部での減圧結晶化を模擬した低水蒸気圧下での結晶化実験を行い、ナノスケールの結晶の晶出条件を調べた。

【実験手法】出発物質には 1914 年桜島大正噴火で噴出した、石基結晶をほぼ含まない軽石を用いた。実験は試料をガラス管内に封入後電気炉で加熱し、一定時間保持することで行った。温度は 800-1000℃、時間は 30 分-32 時間、圧力は 0.07MPa(LVP)及び 2-6MPa(HVP)の条件で行った。

【結果・考察】磁鉄鉱と輝石の晶出状況に着目し、組織を次の４つに分類した。①マイクロライトが試料全体に晶出した組織、②ウルトラナノライトが試料全体に晶出した組織、③①と②の中間的な組織、④試料中に不均質に高結晶度領域が存在する組織。①のマイクロライトは 1000℃2MPa、30 分で晶出が確認できた。ウルトラナノライトは 800℃、LVP 条件のみで晶出し、2 時間後から晶出が確認できた。ウルトラナノライトの晶出には低水蒸気圧で、かつ温度もやや低下した非常に大きい過冷却度の環境を要すると考えられる。輝石ナノライトが全試料で観察されたのに対し、磁鉄鉱ナノライトは 1000℃HVP では観察されなかった。このため、磁鉄鉱は輝石に比べてより過冷却度の大きい環境で晶出しやすいと考えられる。これらの結果により、火道浅部においてマグマが経験した圧力、温度、及び定置時間を制約できる可能性がある。またこれまでの観察で、桜島火山の 2013 年及び 1978 年のブルカノ式噴火の試料において、④以外は同様の組織が観察された。

Keywords: Nanolite, Ultrananolite
*Hiroki Yasukawa: hiroki.yasukawa.q4@dc.tohoku.ac.jp, #現所属：日鉄テクノロジー（株）Nittetsu Technology

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

新燃岳 2011 年噴火噴出物に含まれる石基輝石結晶の微細組織 TEM 観察

奥村翔太*・三宅亮(京大・理)

TEM observation of microtexture of the groundmass pyroxene crystals in the ejecta of the Shinmoedake 2011 eruption

Shota OKUMURA*, Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)

噴火の規模は、マグマ溜まりからマグマが上昇する過程で決定されると考えられている[1]。その上昇過程を推定する上で、噴出物の物質科学的研究が重要な役割を持つ。最近では、単斜輝石（Cpx）斑晶の化学組成に基づいて火山深部のマグマの挙動を推定する研究が進められている[2]。一方で、噴火の爆発性が火山のごく浅部で決定された例が報告されており[3]、マグマ上昇過程を把握するためには、噴出直前に晶出したナノスケールの結晶から情報を引き出すことが重要である。しかしながら、その組織分析には透過型電子顕微鏡（TEM）を用いた観察を要するため、広く行われている走査型電子顕微鏡スケールでの組織観察に比べて研究例が少ない。

火山噴出物中の微細結晶を TEM 観察した例として、新燃岳 2011 年噴火を対象とした研究[4]が挙げられる。その中では、直方輝石（Opx）と普通輝石（Aug）から成る幅 1 μm 程の平行連晶の存在が報告されている。同様の結晶は他火山でも発見されており、Cpx のエピタキシャル成長が示唆されている[5]が、晶出環境との対応が明確にされていない。そこで本研究では、より多くの輝石平行連晶に対して詳細な分析を行い、ナノスケールの微細組織の記載を進めることで、晶出環境の推定を試みた。

試料には、新燃岳 2011 年噴火におけるサブプリニー式噴火の軽石[4]を用いた。樹脂包埋し表面研磨した試料から、集束イオンビーム装置（FIB, Thermo Fisher Scientific, Quanta 200 3DS）により TEM 観察用の薄膜試料を切り出し、TEM（JEOL, JEM-2100F）を用いて微細組織観察と電子回折図形による鉱物相の同定を行った。さらに走査型透過電子顕微鏡法（STEM）によるエネルギー分散型 X 線分析（EDS）（JET-2300T, JEOL）から化学組成を測定した。

観察の結果、ほとんどの平行連晶は Opx の両側に Cpx（Aug またはピジョン輝石：Pig）が {100} 面で接合し、*c* 軸と *a** の方向が共通である構造をもつことが分かった。また、両側の Cpx が互いに双晶の関係にある粒子が存在した。さらに、Aug と Pig から構成される Cpx 領域には粒子によって組織の違いが見られ、Opx と接している位置から、①Aug→Pig、あるいは②Pig→Aug、③Aug 単相、の 3 通りの順序で接合することが明らかになった。この順序は、一つの粒子の中でも Opx 層の両側で非対称である場合が認められた。

粒子ごとに組成を比較すると、組成分布にはばらつきがあるものの、細粒の粒子の方が Fe に富む傾向が得られた。また、個々の粒子内においても、リム部が Fe に富む傾向が認められた。

これらの結果から、輝石平行連晶は Opx に Cpx がエピタキシャルに成長して形成された構造であり、その微細組織はマグマ上昇過程における晶出環境の変化や不均質性を反映していると考えられる。

参考文献：

[1] Cashman & Sparks (2013) *GSA bulletin*, **125**, 664-690. **[2]** Ubide & Kamber (2018) *Nature communications*, **9**, 326. **[3]** Castro & Gardner (2008) *Geology*, **36**, 279-282. **[4]** Mujin *et al*. (2017) *American Mineralogist,* **102**, 2367–2380. **[5]** Sharp *et al*. (1996) *Bulletin of volcanology*, **57**, 631-640. **[6]** Lindsley (1983) *American Mineralo -gist*, **68**, 477-493.

Keywords: pyroxene, nanolite, Shinmoedake, TEM, microtexture
*Corresponding author: okumura@kueps.kyoto-u.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

2019年9月20日(金) 14:00 ~ 15:30 | 大講義室 Ia 大講義室

R2: 結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:則竹 史哉、栗林 貴弘

[座長]
則竹 史哉: R2-12〜R2-14
栗林 貴弘: R2-15〜R2-17

14:00 ~ 14:15

[R2-12] 異極鉱高圧相における超周期構造のその場観察

「発表賞エントリー」

*岡本 啓太郎[1]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[2] (1. 東北大・院理、2. 東北大・総学博)

14:15 ~ 14:30

[R2-13] Loparite (Na, REE, Ca)(Ti, Nb)O_3の結晶化学：平均構造と局所構造について

「発表賞エントリー」

*北原 銀河[1]、吉朝 朗[1]、鳥羽瀬 翼[2]、徳田 誠[3]、杉山 和正[3] (1. 熊大・院自然、2. HPSTAR、3. 東北大・金研)

14:30 ~ 14:45

[R2-14] Crystal structure change in the grossular-Si-free katoite solid solution: oxygen position splitting in katoite

*興野 純[1]、Shubhi Arora[1] (1. 筑波大・生命環境)

14:45 ~ 15:00

[R2-15] メタミクト鉱物の熱処理について：フェルグソン石の場合

*徳田 誠[1]、吉朝 朗[2]、上原 誠一郎[3]、宮脇 律郎[4]、門馬 綱一[4]、杉山 和正[1] (1. 東北大・金研、2. 熊大・理、3. 九大・理、4. 国立科博)

15:00 ~ 15:15

[R2-16] ナミビア産ラブンツォフ石の細孔内におけるイオン分布

*中村 友梨江[1]、杉山 和正[1]、長瀬 敏郎[2] (1. 東北大・金研、2. 東北大・博物館)

15:15 ~ 15:30

[R2-17] 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[1]、藤原 惠子[1]、中塚 晃彦[1] (1. 山口大・院創成)

異極鉱高圧相における超周期構造のその場観察

岡本啓太郎, 栗林貴弘(東北大・院理), 長瀬敏郎(東北大・総学博)

In-*situ* observation on the superstructure of a high-pressure phase of hemimorphite

Keitaro Okamoto*, Takahiro Kuribayashi (Tohoku Univ. Sci.), Toshiro Nagase (Tohoku Univ. Mus.)

1、はじめに

異極鉱 $Zn_4[Si_2O_7](OH)_2 \cdot H_2O$ は、亜鉛鉱床に二次鉱物として広く産出する。常温常圧下での空間群は *Imm*2 で、SiO_4 四面体と $ZnO_3(OH)$ 四面体による頂点共有の三次元網目構造中に、水分子とOH基で占められたチャネルが存在する。異極鉱は四面体 6 個から構成される、二次構造単位(SBU: Secondary Building Unit, 図 **1a**)を有する。約 2.5 GPa を境に SBU が回転し、空間群 *Pnn*2 への圧力誘起相転移を生じる(Seryotki & Bakakin, 2011)。また 20 K では、水素結合の秩序化による四倍格子の低温相が報告されている (Libowitzky *et al*., 1998)。本研究では、高圧下の異極鉱が低温相のような超周期構造を生じるかを、放射光線源を用いた単結晶 X 線回折実験によって調べた。

2、実験手法

中国雲南省産の異極鉱から、常圧用と高圧用に粒径の同じ別々の単結晶試料(60×70×80 μm^3)を取り出し、垂直型四軸自動回折計(BL-10A,PF)での X 線回折実験に用いた。圧力発生には、Merrill-Bassett 型ダイヤモンドアンビルセル使用し、ガスケットには SUS301 を、圧力媒体にはメタノール－エタノール 4:1 混合溶液を、圧力マーカーにはルビーを用いた。6 点の圧力で格子定数を精密化し、衛星反射や *I* 底心格子の消滅測を破る反射の有無を調べた。常圧と相転移後の圧力(3.01, 3.72 GPa)で回折強度を収集し、SHELXL-97 を用いた水素席以外の構造解析を行った。常圧及び 3.01 GPa での構造モデルでは、異方性温度因子を適用した。

3、結果と考察

3.01 GPa 以上の圧力では、*I* 底心格子の消滅測を破る反射が、衛星反射(*b**方向に約 8 倍周期)を伴って出現する。SBU の回転角に対応して強度の上昇する主反射と比べ、衛星反射の強度の圧力依存性は小さい。主反射のみによる構造解析から得られた、3.01 GPa における異方性温度因子に注目すると、SBU 同士を接合する酸素席では SBU の回転方向の成分が、SiO_4 四面体 2 個を繋ぐ酸素席では *x* 成分が、常圧時に比べて増大する。従って、異極鉱高圧相の超周期構造は、SBU 内部の多面体の結合角、特に Si-O-Si 角が *b* 軸方向に沿って蛇行することで生じると考えられる(図 **1b**)。

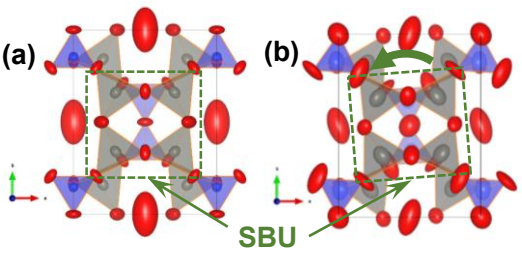


図 **1**. **(a)**常圧と**(b)**3.01 GPa における構造モデル [青:Si, 灰:Zn, 赤:O]

Keywords: Hemimorphite, Pressure-induced phase transition, Secondary building unit, Satellite reflection
*Corresponding author: keitaro.okamoto.p3@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Loparite (Na, REE, Ca)(Ti, Nb)O_3 の結晶化学：平均構造と局所構造について

北原銀河*（熊大・院自然），吉朝朗（熊大・院自然），鳥羽瀬翼（HPSTAR），
徳田誠（東北大・金研），杉山和正（東北大・金研）

Crystal chemistry of loparite (Na, REE, Ca)(Ti, Nb)O_3: on the average and local structures

Ginga Kitahara* (Kumamoto Univ.), Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ.), Tsubasa Tobase (HPSTAR), Makoto Tokuda (Tohoku Univ.), Kazumasa Sugiyama (Tohoku Univ.)

The structures analyses on natural-occurring loparite ($Na_{0.57}$, $REE_{0.31}$, $Ca_{0.07}$)($Ti_{0.75}$, $Nb_{0.25}$)O_3 were performed using single crystal X-ray diffraction and XAFS (X-ray absorption fine structure) experiments. The amount of local distortion at the B site is quite large. The local structure is shown to be lower than rhombohedral.

ペロブスカイト型構造 ABX_3 を有する鉱物は主に地球下部マントルの主要鉱物である。天然に産出するペロブスカイトグループ ABO_3 は、A サイト B サイトに様々な元素を置換占有する多成分系固溶体であり、主に 4 グループに分けられている。天然産 loparite: (Na, REE)TiO_3 の結晶構造については直方晶や正方晶が提案されているが、合成実験では菱面体晶も認められており[1,2]、欠陥を含めた化学組成や温度圧力条件の多様性等、詳細は知られていない。本研究では天然産 loparite 鉱物を対象に、XAFS 法による微量元素の局所構造解析や単結晶 X 線回折による平均構造の解析を行い、その両面から loparite の結晶構造について議論する。

試料として Russia, Kola 半島から採集された最大 10 mm の八面体 loparite 結晶を用いた。EDS 分析によってこの試料には A サイトに Na(57%), REE(31%), Ca(7%)、B サイトに Ti(75%), Nb(25%)が固溶している。他の特徴的な微量元素として A サイトにはアクチノイド元素 Th、B サイトには Fe が固溶している。単結晶 X 線回折実験では、菱面体晶 *R-3c* 相(R1=0.0332)の loparite-R と正方晶 *I4/mcm* 相(R1=0.0485)の loparite-T といった 2 通りの構造解析が行えた。双晶がみられ、組成のばらつきは少ないが、空間群の異なる平均構造データが得られた。一方 XAFS 法を用いると B サイトに含有する Ti, Nb の K-edge XANES による B サイトの局所の歪み量はかなり大きい。局所構造を考慮すると、loparite は菱面体晶よりは正方晶相的である。

[1] R.H. Mitchell et al., *Can Mineral* **38**, 145-152. (2000)

[2] R.H. Mitchell et al., *Phys Chem Minerals* **27**, 583-589. (2000)

Keywords: loparite, XAFS, single crystal X-ray diffraction, local structure, average structure

*Corresponding author: 184d8157@st.kumamoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Crystal structure change in the grossular–Si-free katoite solid solution: oxygen position splitting in katoite

Atsushi KYONO* and Shubhi ARORA

Division of Earth Evolution Sciences, University of Tsukuba

Single crystals of katoite hydrothermally synthesized were examined by single-crystal X-ray diffraction, EPMA, and Raman spectroscopic techniques. Chemical formulas of the katoite fall inside the miscibility gap proposed by Kyritsis et al. (2009). The systematic absences observed with the single-crystal X-ray diffraction were completely consistent with the cubic space group *Ia*-3*d*. In two katoites with chemical formulas, $Ca_3Al_2(SiO_4)_{0.57}(H_4O_4)_{2.43}$ and $Ca_3Al_2(SiO_4)_{0.69}(H_4O_4)_{2.31}$, O atom position was split into two independent crystallographic sites, O1 and O2; the O1 is coordinated to Si, whereas the O2 forms a tetrahedral interstice. The *a* lattice parameter monotonically decreased as increasing Si content. The coordination volume of *T* site decreased with Si incorporation into the *T* site. The variation lay on the straight lines between grossular and Si-free katoite solid solution. The coordination volume of CaO_8 dodecahedra also decreased with the Si incorporation into the *T* site because edges of the CaO_8 dodecahedron are shared with the adjacent TO_4 tetrahedra. These contractions lead to the monotonous decrease of the *a* lattice parameter. Volumes of AlO_6 octahedra, on the other hand, increased with the Si incorporation. There are no clear structural constraints resulting in the miscibility gap in the solid solution. The Raman band corresponding to the OH stretching vibration was observed at 3650 cm^{-1}, but with the substitution of Si for H a new Raman peak appeared at 3580 cm^{-1} (Fig. 1). The two Raman band positions remained unchanged with Si content. These results strongly suggest that there are two kinds of OH stretching vibration in the siliceous katoite. We therefore conclude that with Si substitution for H the O position is split into two inequivalent sites that correspond to SiO_4 and H_4O_4 tetrahedra (Fig. 2).

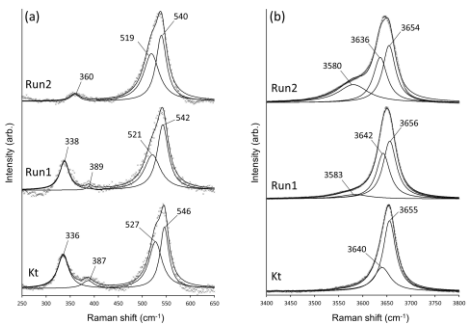


Fig. 1 Raman spectra of katoite (Runs 1 and 2) and Si-free katoite (Kt).

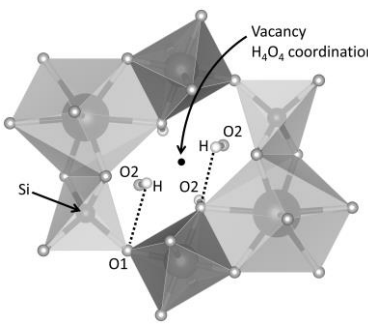


Fig. 2 Local structure around SiO_4 tetrahedron and H_4O_4 tetrahedral interstice.

Keywords: Hydrogrossular, Hydrogarnet substitution, Single-crystal X-ray diffraction, Raman spectroscopy

*Corresponding author: kyono@geol.tsukuba.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

メタミクト鉱物の熱処理について：フェルグソン石の場合

徳田誠*(東北大・金研), 吉朝朗 (熊大・理), 上原誠一郎 (九大・理),
宮脇律郎, 門馬綱一 (国立科博), 杉山和正 (東北大・金研)

Thermally treatment on metamict minerals: case of fergusonite

Makoto Tokuda, (IMR, Tohoku Univ.), Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ.),
Seiichiro Uehara (Kyushu Univ.), Ritsuro Miyawaki, Koichi Momma (Nat'l. Mus. Nat. Sci.),
Kazumasa Sugiyama (IMR, Tohoku Univ.)

メタミクト (metamict) とは本来の結晶外形を保ったまま原子的構造が、再配列して他の原子的構造に変わる、という意味の造語である。X 線的に非晶質であるメタミクト鉱物の同定には、空気中で 1000 ℃ ほどで加熱した後、室温の粉末 X 線回折 で同定するのが標準的手法とされてきた。注意しなければいけないのは、熱処理により結晶化した相がその鉱物本来の相と一致するとは限らないことである。

フェルグソン石 (Fergusonite) はメタミクト状態で産出することで代表的な鉱物の一つである。その構造研究のために熱処理による再結晶化が図られてきた。我々はメタミクト状態のフェルグソン石は加熱されることで、本来の構造に本当に回復しているのか、疑問に感じていた。最近、宮崎県大崩山から産したフェルグソン石は軽度のメタミクト状態であることが分かった。採取した結晶を Rigaku SuperNova X 線回折装置に搭載し、回折データを測定し、その構造精密化に成功した。

予備測定としてガンドルフィー法により結晶の粉末回折パターンを測定したところ、正方晶 (T 相)であると予測を立てた (Figure 1)。しかし、実際の格子は単斜格子であり、その格子定数は a = 5.2112(4), b = 10.9487(4), c = 5.1713(4) Å, β = 90.9597(7)°, a/c = 1.0077(4) となった。合成 $YNbO_4$ の M 相の軸率 a/c = 1.044(2) と β = 94.560(4) とは有意に異なる。メタミクト化によるブロードな粉末回折図形からでは T 相であると誤解しかねない単斜晶 (M 相)であると結論した。

同産地で別の結晶を 1000°C で熱処理した後、ガンドルフィー法で粉末回折パターンを得た(Fig. 1)。明らかに熱処理前後で回折図形は異なることが分かり、フェルグソン石は熱処理により、メタミクト化の情報が失われることが分かる。

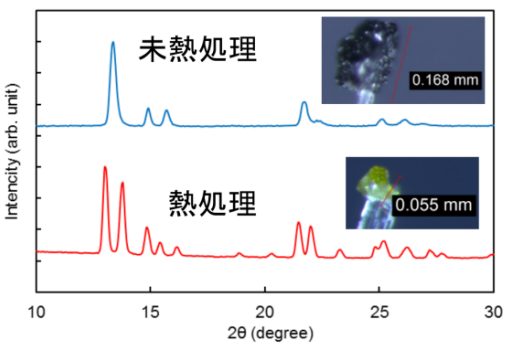


Figure 1. Powder X-ray diffraction patterns for thermally untreated (upper) and treated (lower) by Gandolif method (Mo $K\alpha$).

Key Words: Metamict, Fergusonite-(Y), Single-crystal X-ray diffraction

*Corresponding author: tokuda@imr.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ナミビア産ラブンツォフ石の細孔内におけるイオン分布

中村友梨江，杉山和正 (東北大・金研)，長瀬敏郎 (東北大・博物館)

Extra-framework sites of labuntsovite-Mn from Aris Quarries, Aris, Windhoek, Khomas, Namibia

Yurie Nakamura*, Kazumasa Sugiyama (Tohoku Univ. IMR),
Toshiro Nagase (Tohoku Univ. Museum)

はじめに　ラブンツォフ石グループに属する鉱物は結晶構造中に細孔が存在するチタノシリケートであり，ゼオライトと同様に機能性材料としての利用が期待され研究がなされている．化学組成の幅が広く現在は 30 種の端成分が報告されているが，一般式は $A_4B_4C_4D_2(Ti,Nb)_8(Si_4O_{12})_4(OH,O)_8{\cdot}nH_2O$（A = Na, K, □, B = K, C = Ba, K, H_2O, □, D = Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}, Zn^{2+}, □）で表され，単斜晶系(空間群 *C*2/*m*, *Cm*)または直方晶系(空間群 *Pbam*)の対称性を示す(Chukanov *et al*. 2002)．また一部のラブンツォフ石では *I*2/*m* の対称性を示すものが報告されており，このようなラブンツォフ石の格子定数は *c* 軸の長さが 2 倍となっているほか，X 線回折強度に散漫散乱が観測されている．Armbruster *et al*. (2004) は *I*2/*m* の対称性を示すラブンツォフ石について Ba など細孔内イオンの秩序配列が 2 倍周期の超構造を形成すると議論した．一方 *C*2/m の対称性を示すラブンツォフ石については完全な無秩序型であるとしている．

今回，labuntsovite-Mn 端成分に近い組成をもつナミビア産ラブンツォフ石の鉱物学的な記載からラブンツォフ石における超構造の有無と化学組成の関係を議論する．

実験　X 線回折強度の測定には単結晶 X 線構造解析装置(Rigaku XtaLAB Synergy-S)，構造の精密化には SHELXL (Sheldrick, 2015)を使用した．

結果と考察　試料の化学組成は $Na_{3.25}K_{4.12}(Mn_{1.70}Fe_{0.30})(Ti_{6.99}Nb_{1.01})(Si_4O_{12})_4(OH,O)_8{\cdot}12H_2O$ である．単結晶 X 線回折実験において回折強度に散漫散乱は観測されなかった．強度分布は空間群 *C*2/*m* の対称性を示し，格子定数は a = 14.4109 Å, b = 13.9182 Å, c = 7.8214 Å, β = 117.043°が得られた．

空間群 *C*2/*m* の構造モデルで精密化するにあたり，二価の陽イオンが占有する D サイトに欠陥の存在が確認されなかったことと，ラブンツォフ石グループにおける置換は結晶学的な制約により $(Mn, Fe, Mg, Zn)^D + 2H_2O^C \leftrightarrow \square^D + 2(Ba, K)^C$ で表されることから，C サイトは H_2O が 100%占有するものとした．精密化の結果，Ti と Nb が占有する 2 つの八面体サイト M1, M2 において Nb の占有率はそれぞれ 7.0%, 18.4%となった．さらに K が占有する B サイトの分裂が観測され，B1，B2 サイトの占有率はそれぞれ 68.5%，17.3%であった．B サイトの分裂には M2 サイトを優先的に占有する Nb の影響が考えられる．Armbruster *et al*. (2004) が示した超構造をもつためには D サイトに欠陥が存在する必要がある．今回の試料は D サイトが二価の陽イオンで 100%占有されているために超構造をもたないと考えられる．したがって lemmlenite-labunstovite 固溶体の中間組成をもつラブンツォフ石であれば超構造を持つ可能性が高いと考えている．

Keywords: labuntsovite, microporous titanosilicate
*Corresponding author: y_nakamura@imr.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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*、藤原惠子、中塚晃彦（山口大・院創成）

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

N. Kawata*, K. Fujiwara, A. Nakatsuka (Sci. Tech. Innov., Yamaguchi Univ.)

1. はじめに

菱沸石は天然ゼオライトの中でも高い蓄熱能力をもつため、ヒートポンプ用蓄熱材として期待されている。また、優れたイオン交換剤としても知られており、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の除去剤としても活用されている。ゼオライトの蓄熱能力やイオン交換能力の大きさは、ゼオライトフレームワーク・水分子・交換性陽イオンと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（OW1～OW5）と 4 つの交換性陽イオン席（Ca1～Ca4）が存在することを報告したが、水分子の脱水挙動とそれに伴う構造変化についてはほとんど明らかにされていない。そこで本研究において、水分子の脱水挙動を調べるために、高温下における菱沸石の単結晶 X 線構造解析を行う。

2. 実験と解析

本研究では、静岡県小室産の天然菱沸石単結晶を用いた。単結晶 X 線回折実験のため、試料を直径 0.20 mm の球状に整形した。MoKα 線（λ = 0.71069 Å）を用い、4 軸型 X 線回折計により $2° \leq 2\theta \leq 100°$ の領域で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、100 °C、200 °C、250 °C の各温度で回折強度測定を行った。得られた回析強度データに対して Lp 補正、吸収補正、消衰補正を行った。構造精密化には完全マトリックス最小二乗プログラム RADY を用いた。各温度における信頼度因子は、最終的に R = 0.0374～0.0436、wR = 0.0240～0.0294 に達した。

3. 結果と考察

差フーリエ合成で得た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、100 °C において 4 つの水分子席（OW1・OW2’・OW4）と 1 つの交換性陽イオン席（Ca3）、200 °C と 250 °C においては 1 つの水分子席（OW3）と 3 つの交換性陽イオン席（Ca3・Ca4・Ca5）の存在を確認した。過去に報告された室温での結果（Nakatsuka et al., 2007）を含めて、最終的に得た席占有率から、各 OW 席の水分子数と各 Ca 席の交換性陽イオン数の温度依存性を検討した。100 °C までには OW5 および OW3 分子は完全に脱離し、大部分の OW4 分子も脱離する。その後 200 °C までには、OW1、OW2（OW2’）、OW4 分子が完全に脱離するが、これらの一部は OW3 席に移動する。このような脱水挙動に伴って移動する交換性陽イオンの挙動も捕えることができた。

Keywords: zeolite, chabazite, high-temperature single-crystal X-ray diffraction, dehydration
*Corresponding author: b001we@yamaguchi-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R5: 地球外物質

2019年9月20日(金) 14:00 ~ 16:30 | 大講義室 Ib 大講義室

R5: 地球外物質

座長:橘 省吾、松本 恵

[座長]
松本 恵：R5-12〜R5-16
橘 省吾：R5-17〜R5-21

14:00 ~ 14:15

[R5-12] 集積岩ユークライト中トリディマイト多形が示す低温領域での熱史について

*大野 遼[1]、竹之内 惇志[2]、三河内 岳[3]、山口 亮[2] (1. 東大・院理、2. 極地研、3. 東大・総研博)

14:15 ~ 14:30

[R5-13] ユークライト隕石に産するシリカ多形の成因

「発表賞エントリー」

*金丸 礼[1]、山口 亮[1,2]、今栄 直也[1,2]、西戸 裕嗣[3] (1. 総研大、2. 極地研、3. 岡理大)

14:30 ~ 14:45

[R5-14] Padvarninkaiに記録された複雑な衝撃変成履歴

*宮原 正明[1]、山口 亮[2]、大谷 栄治[3] (1. 広島大・院理、2. NIPR、3. 東北大・院理)

14:45 ~ 15:00

[R5-15] ZagamiおよびEETA 79001火星隕石中のマスケリナイト加熱実験から探る衝撃変成過程

*識名 里沙[1] (1. 東大・院理)

15:00 ~ 15:15

[R5-16] チクシュルーブ隕石孔の基盤岩石英の微細組織

谷 理帆[2,1]、*富岡 尚敬[1]、鹿山 雅裕[3]、常 昱[3]、西戸 裕嗣[4]、Das Kaushik[2]、Rae Auriol[5,6]、Ferrière Ludovic[7]、Gulick Sean[8]、Morgan Joanna[5]、IODP-ICDP Expedition 364 Scientists (1. 海洋研究開発機構、2. 広島大学、3. 東京大学、4. 岡山理科大学、5. Imperial College London、6. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg、7. Natural History Museum Vienna、8. University of Texas at Austin)

15:15 ~ 15:30

[R5-17] フォルステライト単結晶のレーザー衝撃圧縮その場X線回折実験

*奥地 拓生[1]、プレジャブ ナランゴー[1]、尾崎 典雅[2]、瀬戸 雄介[3]、薮内 俊毅[4] (1. 岡山大・惑星研、2. 大阪大・院工、3. 神戸大・院理、4. JASRI)

15:30 ~ 15:45

[R5-18] Esquelパラサイト隕石中のかんらん石に含まれる包有物

*江島 輝美[1]、米山 安澄[1]、赤坂 正秀[2]、昆 慶明[3]、平田 岳史[4] (1. 信大・理、2. 島大・理工、3. 産総研、4. 東大・院理)

15:45 ~ 16:00

[R5-19] NWA 7203アングライトの特異な岩石組織の結晶化過程

「発表賞エントリー」

*林 秀幸[1]、三河内 岳[2]、Bizzarro Martin[3] (1. 東大・院理、2. 東大・総研博、3. コペンハーゲン大)

16:00 ~ 16:15

[R5-20] 人工微小隕石作成実験による高層大気酸素分圧条件の再現

*磯部 博志[1] (1. 熊本大学大学院先端科学研究部)

16:15 ~ 16:30

[R5-21] **急冷指標の炭素含有固化過程：地球外生成物**

*三浦 保範[1] (1. 元ー山口大・トロント大)

集積岩ユークライト中トリディマイト多形が示す低温領域での熱史について

大野 遼*（東大・院理），竹之内 惇志（極地研），三河内 岳（東大・総研博），山口 亮（極地研）

Low-temperature thermal history of cumulate eucrites as inferred from tridymite polymorphs

Haruka Ono*(Univ. of Tokyo), Atsushi Takenouchi (NIPR), Takashi Mikouchi (Univ. of Tokyo), Akira Yamaguchi (NIPR)

はじめに：ユークライトは小惑星ベスタの地殻で形成されたと考えられている玄武岩質のエコンドライト隕石グループである[e.g., 1]。ユークライトは主に、集積岩・非集積岩の２つのサブグループに分けられることが多い。特に、集積岩ユークライトは輝石の離溶ラメラから冷却速度が求められるなど、ベスタ地殻形成過程の議論に広く用いられている[e.g., 2, 3]。しかし、これまで議論されてきた熱史は、輝石が示す温度領域（600～1000℃程度[4]）に限られている。本研究ではこの温度領域以下での熱史を議論するために、シリカ鉱物に着目した。シリカ鉱物は様々な温度圧力条件下で多くの多形を持ち、特にトリディマイトは400℃以下で6つの多形を持つことが知られている[5]。トリディマイト多形は主に六方晶系、直方晶系、単斜晶系、擬直方晶系の4つの晶系に分かれており、それらの間には複雑な相転移関係がある[5]。本研究では、トリディマイトが低温での熱史を議論する上で有用であると考え、集積岩ユークライトに含まれるトリディマイト多形を用いて、輝石が示す温度領域を含めた広い温度範囲での熱史の議論を試みた。

結果：試料は Moore County、Yamato (Y) 980433、Moama の3つの集積岩ユークライト薄片試料を用いた。3つの試料中全てに単斜晶系トリディマイトが存在していた。中でも Moore County に含まれるものは約4 mm と最も大きいものであった。Y 980433 の単斜晶系トリディマイトには他の試料と比べて割れ目が多く含まれていた。Moama 中の単斜晶系トリディマイトには、他の試料には見られなかったラメラ状組織をした直方晶系トリディマイトが含まれていた。ラメラ状直方晶系トリディマイトはホストである単斜晶系トリディマイトに比べて割れ目が多く含まれていた。

考察と結論：直方晶系トリディマイトは400～210℃で安定領域を持つのに対して、単斜晶系トリディマイトは 160～110℃に安定領域があることが知られている[5]。さらに、これまでの我々の研究から、集積岩ユークライトよりも速く冷却された非集積岩ユークライト中の玄武岩質岩片中には直方晶系トリディマイトが存在していることを見出している[6]。これらのことから、Moama 中に存在した直方晶系トリディマイトは、冷却過程で一部に直方晶系を残したまま単斜晶系に部分的に相転移して形成されたと考えられる。そのため、Moama は単斜晶系トリディマイトのみを持つ他の2つの試料よりも速く冷却された可能性が高い。しかし、先行研究で輝石より見積もられている冷却速度は Moore County より Moama の方が遅い。そのため、Moore County と Moama の冷却速度が 400℃に至るまでに逆転した可能性があることが明らかになった。

以上のように、本研究からトリディマイトは輝石が示す温度領域以下の温度での熱史を議論する上で有用であることが示された。

参考文献：[1] Binzel R. P. and Xu S. (1993) *Science* 260:186-191. [2] Miyamoto M. and Takeda H. (1994) *EPSL* 122:343-349. [3] Harlow G. E. et al. (1979) *EPSL* 43:173-181. [4] Lindsley D. H. (1983) *Am. Min.* 68:477-493. [5] Graetsch H. and Flörke O. W. (1991) *Zeit. Krist.* 195:31-48. [6] Ono H. et al. (2016) 7th NIPR Symp. Polar Sci.

Keywords: Eucrite, Silica, Thermal history, Tridymite, Low-temperature

*Corresponding author: o-haruka@eps.s.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ユークライト隕石に産するシリカ多形の成因

金丸 礼(総研大), 山口 亮(極地研), 今栄 直也(極地研), 西戸 裕嗣(岡理大)

Petrogenesis of silica polymorphs in eucrites

R. Kanemaru* (SOKENDAI), A. Yamaguchi (NIPR), N. Imae (NIPR) and H. Nishido (OUS)

ユークライトは、母天体上(Vesta[1])で熱・衝撃変成作用・メタソマティズムなど複雑な２次的プロセスを経験している。従来、ユークライトの変成史の理解のため岩石・鉱物学的特徴に基づく熱変成度[2]や衝撃変成度[3]の推定が行われてきた。本研究では熱・衝撃変成度に加え、シリカ鉱物に注目した。シリカ鉱物は多くの多形を持ち、結晶化時や２次的プロセスの情報を保持していると考えられる。温度圧力条件から、ユークライトメルトから結晶化する初生シリカ鉱物相はトリディマイトとなること期待されるが、実際には様々な相が観察される。本研究では、光学顕微鏡、FE-SEM、ルミノスコープ、顕微ラマン分光装置を用いて 16 個のユークライト[3]のシリカ鉱物の相同定をした。

本研究では、ユークライトにおけるシリカ鉱物の産状をトリディマイトと石英の量比に基づき、Si-I(トリディマイト：＞ 90%)、Si-II(トリディマイトと石英の共存)、Si-III(石英：＞90%)に大別した。Si-I は、集積岩ユークライトなど固化時に徐冷したもの、また、熱変成度が高い玄武岩質ユークライトに多く、Si-III は、熱変成度の低い玄武岩質ユークライトに多く観察された。これらユークライトに産するトリディマイトは、粗粒で短冊状の外形を示す。石英は多孔質で不透明鉱物、リン酸塩鉱物などと共生する。

Si-I のトリディマイトは、メソスタシスと共生しない。溶融実験から、ソリダス温度付近の加熱により、メソスタシスが優先的に溶融することが知られている[4]。つまり、これらユークライトは高温熱変成作用過程により、トリディマイトの安定領域から徐冷したことが示唆される。急冷されたユークライトマグマから晶出するシリカ鉱物は、クリストバライトである[4]。クリストバライト(~2.36 g/cm^3)から相転移した石英(2.65 g/cm^3)は、密度差を解消するため微小なクラックを多く含む場合がある[5]。つまり、Si-II, III の多孔質な石英は、ユークライトマグマの急冷により結晶化したクリストバライトが熱変成作用により再結晶化したことが示唆される。Si-II のトリディマイトは自形であり、多孔質の石英に囲まれていることから、トリディマイトの結晶化中に急冷・再加熱により、Si-III と同様の石英が形成されたことが示唆される。

参考文献：[1] Binzel R. P. and Xu S. 1993, Science, 260, 5105. [2] Takeda H. and Graham A. 1991, Meteoritics, 26, 129-134. [3] Kanemaru R. et al. 2019, 60th LPSC #2132. [4] Yamaguchi A. et al. 2013, Earth Planet. Sci. Lett 368, 101-109. [5] Seddio S. M. et al., 2015, Amer. Mineral, 100, 1533–1543.

Keywords: Eucrite, Silica polymorphs

Corresponding author: kanemaru.rei@nipr.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Padvarninkai に記録された複雑な衝撃変成履歴

宮原正明（広島大・理）*，山口亮（極地研），大谷栄治（東北大・理）

The complex shock metamorphism history recorded in the Padvarninkai

Masaaki Miyahara (Hiroshima Uni.)*, Akira Yamaguchi (NIPR), Eiji Ohtani (Tohoku Uni.)

We investigated the shock-induced melting textures and high-pressure polymorphs therein in the eucrites Padvarninkai with FE-SEM and Raman spectroscopy. The shock-melt veins included coesite, Ca-pyroxene and garnet-like minerals as high-pressure polymorphs. Both the progressive and retrograde phase transitions occurred in the shock-melt veins, suggesting that the shock metamorphism recorded in Padvarninkai is not simple.

１．はじめに

HED 隕石は小惑星 Vesta の破片と見なされている[1]。しかし、HEDs 隕石の起源と地球への飛来プロセスに関しては議論が続いている[2]。HED 隕石の内、ユークライトは Vesta の表層を構成していた岩石と考えられている。Yamaguchi et al. (1993) [3]によれば、Padvarninkai は最も強い衝撃変成作用を記録しているユークライトである。しかし、Padvarninkai の衝撃変成作用の痕跡はこれまで詳しく調べられてこなかった。そこで、本研究では、Padvarninkai の衝撃溶融組織とそこに生成する高圧相を詳細に調査した。

２．実験試料と実験手法

2 枚の Padvarninkai の岩石薄片を研究に利用した。1 枚は衝撃溶融組織を持たない母岩、もう一枚は幅広い衝撃溶融組織を含む。溶融組織と高圧相の観察・分析には光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡（FE-SEM）、レーザーラマン分光装置を用いた。

３．結果と考察

Padvarninkai の母岩部分はオフィティック組織を持つ。主な構成鉱物は単斜輝石（普通輝石―単斜鉄珪輝石）と灰長石、他に少量のイルメナイト、クロマイト、 トロイライト、シリカ鉱物（トリディマイト、 クリストバライト、石英）及びリン酸鉱物も含まれていた。

母岩中の大部分の灰長石はアモルファス化していた。衝撃溶融脈に接している灰長石の内部には多数の微結晶が生成していた。小球状に集合した微結晶もあった。ラマンスペクトルに基づくと、この微結晶は Ca 輝石に類似する。一部の小球状微結晶集合体はその晶癖を保ったままアモルファス化していた。母岩中のシリカ鉱物はアモルファス化していたものもあった。衝撃溶融脈中のシリカ相はコーサイト、シリカガラス或いは石英であった。一部の石英粒子はコーサイト粒子或いはシリカガラスを取り囲むように生成していた。衝撃溶融脈の基質部分には単斜輝石とガーネット様鉱物が生成していた。衝撃溶融脈中では、低圧相から高圧相だけでなく、その逆の転移を示唆するものがあり、Padvarninkai に記録された衝撃変成履歴が複雑であることを示している。

引用文献

[1] M.C. De Sanctis et al., 2012, Science 336, 697–700. [2] A. Yamaguchi et al., 2002, Science 296, 334–336. [3] A. Yamaguchi et al., 1993, Meteoritics 28, 462–463.

Keywords: Eucrites, Silica, Plagioclase, high-pressure polymorph
Corresponding author: miyahara@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Zagami および EETA 79001 火星隕石中のマスケリナイト加熱実験から探る衝撃変成過程

識名 里沙*（東大・院理），三河内 岳（東大・総研博）

Heating experiments of maskelynite in Zagami and EETA 79001 Martian meteorites: Implication for their shock metamorphism

Risa Shikina*(Univ. of Tokyo), Takashi Mikouchi (Univ. of Tokyo)

はじめに：マスケリナイトは、強い衝撃によって斜長石が固相状態でガラス化したものであり、シャーゴッタイト火星隕石に普遍的に見られる[1]。マスケリナイトは加熱により容易に結晶質斜長石に戻ることが知られており、その再結晶化度は衝撃圧に依存する[2]。[2]は、衝撃実験によって得られたマスケリナイトを加熱したものであるが、天然とは衝撃エネルギーが著しく異なることから[3]、天然の衝撃変成試料を用いた再結晶化実験では、実験室の結果とは異なる傾向を示す可能性がある。本研究では、異なる衝撃変成度を経験した 2 つのシャーゴッタイト（Zagami と EETA 79001）のマスケリナイト加熱実験を行い、再結晶化度の評価を試みた。

加熱実験：Zagami と EETA 79001 の小片（約 5 mm）を、CO_2-H_2 ガス混合炉中（logfO_2=IW+2）で 900℃（1、4、8、12、24、168 時間）、1000℃（1 時間）および 800℃（24、168 時間）で加熱した。薄片試料の作成後、光学顕微鏡で観察し、斜長石再結晶度を評価した。鉱物組成は EPMA（JEOL JXA 8900L）で分析し、元素マップから再結晶斜長石の割合を求めた。

結果：[4]の報告のように、Zagami は 800℃、24 時間および 168 時間、900℃で 1 時間加熱した実験では再結晶の明確な証拠を示さなかったが、900℃、4 時間以上加熱した場合には繊維状の結晶質斜長石が見られた。900℃で 24 時間と 168 時間加熱されたマスケリナイトは、ほとんど完全に多結晶質の斜長石に変換された。 900℃で 4 時間加熱した試料と 1000℃で 1 時間加熱したマスケリナイトは、繊維状結晶質斜長石が元の粒子の割れ目と縁に沿ってのみ観察された。EPMA 分析から、Na と K が再結晶化領域で乏しくなり、Ca に富んでいることが分かった。900℃で 24 時間および 168 時間加熱されたマスケリナイトには、Na と K に富むガラス領域が存在し（Na_2O: ~6.5 wt%、K_2O: ~2.5 wt%）、再結晶がまだ起こっていない場所に Na と K が集中することを示唆する。Zagami とは異なり、EETA 79001 は 800℃、24 時間および 900℃、1 時間加熱した実験で既に再結晶を示し、900℃で加熱したすべての試料で繊維状の結晶質斜長石が観察された。1000℃で 1 時間加熱したマスケリナイトはほぼ完全に再結晶化し、800℃で 168 時間加熱したマスケリナイトは 1 粒子中の~33%で再結晶化が確認された。

考察と結論：マスケリナイトの再結晶度は、斜長石の元々の衝撃度と関係があると報告されており、同じ加熱時間の試料では衝撃度が高いほど再結晶化度が低いことが示されている[2]。Zagami と EETA 79001 の衝撃圧は、それぞれ 29.5±0.5 GPa と 39±4 GPa と推定されているが[1]、 本実験では衝撃度の高い EETA 79001 の再結晶化度が高く、[2]とは異なる傾向を示した。これは、より強い衝撃を受けた EETA 79001 の方が、マスケリナイト化後に乱された原子構造が残留熱により修復され、再結晶化が起こりやすかったためと考えられる。また実験全体を通して、天然試料の加熱実験では、[2]よりも高い再結晶化度を示した。これも、天然と実験室実験との衝撃エネルギーの差異により、残留熱の違いによって引き起こされたものと考えられる[5]。

参考文献：[1] Fritz et al. (2011) MAPS 40:1393-1411. [2] Ostertag & Stöffler (1982) Proc. 13th LPSC:A457-A463. [3] Tomeoka et al. (1999) GCA 63:3683-3703. [4] Mikouchi et al. (2002) MAPS 37:Suppl. A100. [5] Takenouchi et al. (2017) MAPS 52:2491-2504.

Keywords: Shergottite, Maskelynite, Recrystallization, Residual heat

*Corresponding author: r-shikina@um.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

チクシュルーブ隕石孔の基盤岩石英の微細組織

谷理帆[1,2]，富岡尚敬[2]，鹿山雅裕[3]，常昱[3]，西戸裕嗣[4]，Das Kaushik[1], Auriol Rae[5,6], Ludovic Ferrière[7], Sean Gulick[8], Joanna Morgan[5], IODP-ICDP expedition 364 scientists
([1]広島大学，[2]JAMSTEC，[3]東京大学，[4]岡山理科大学，[5]インペリアル・カレッジ・ロンドン，[6]アルベルト・ルードヴィッヒ大，[7]ウィーン自然史博物館，[8]テキサス大学)

Microstructural observations of quartz from the basement rocks of the Chicxulub impact structure and shock pressure estimation

Riho Tani[1,2], Naotaka Tomioka[2*], Masahiro Kayama[3], Yu Chang[3], Hirotsugu Nishido[4], Kaushik Das[1], Auriol Rae[5,6], Ludovic Ferrière[7], Sean Gulick[8], Joanna Morgan[5] and the IODP-ICDP Expedition 364 scientists ([1]Hiroshima University, [2]JAMSTEC, [3]University of Tokyo, [4]Okayama University of Science, [5]Imperial College London, [6]Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, [7]Natural History Museum Vienna, [8]University of Texas at Austin)

The Chicxulub impact structure, which is an only well-preserved peak-ring crater on Earth, was drilled by the joint IODP-ICDP Expedition 364 in 2016. A continuous core was successfully recovered from the peak ring between depths of 505.7–1334.7 mbsf [1]. Our study aims at evaluating a newly developed shock barometry method and to characterize shock effects in quartz from the basement granitic rocks (747.0–1334.7 mbsf). We have determined shock pressures recorded by each quartz grain from the basement rocks using the cathodoluminescence (CL) spectroscopy method, knowing that a part of blue emission band is caused by shock-induced defect centers and that its intensity drastically increases with increasing shock pressure. Estimated shock pressures are almost constant throughout the drilling depth in the range of 15–25 GPa. The results are in relatively good agreement with those determined by conventional universal stage method using PDFs orientations in shocked quartz [2].

TEM observations show that shocked quartz grains have dislocations, subgrain boundaries, and planar deformation features (PDFs) oriented parallel to (0001), {10-11}, and {10-13}. These PDF orientations, based on experimentally shocked single quartz grains, are typically formed at pressures below ~20 GPa [3]. Most of the investigated PDFs are not anymore made of amorphous silica but recrystallized quartz, associated with a high density of dislocations and voids. The decorated PDFs form as a result of post-impact hydrothermal alteration. It is known that hydrothermal quartz shows very weak blue CL intensity [4]. However, the presence of hydrothermally recrystallized PDFs does not affect shock pressure determination of quartz from the basement rocks probably due to their small volume fraction within the CL measurement area (35 x 45 μm^2). A quartz grain experienced a shock pressure of ~20 GPa, estimated based on CL measurements, showed superlattice reflections of quartz, corresponding to 3-fold periodicity of reflections along $[121]^*_{Qtz}$ in the vicinity of PDFs. The similar superstructure of quartz was previously reported in recovered quartz samples after experimental compression above 21 GPa [5]. Therefore, the crystal structure is also supporting evidence for shock pressure generation of ~20 GPa.

References: [1] Morgan et al. (2016) Science, 354, 878–882. [2] Rae et al. (2017) LPSC, 1934.pdf. [3] Langenhorst and Deutsch (1994) Earth Planet. Sci. Lett., 125, 407–420. [4] Richter et al. (2003) Mineral. Petrol., 79, 127–166. [5] Kingma et al. (1993) Phys. Rev. Lett. 70, 3927–3930.

Keywords: Chicxulub impact crater, drilling core samples, cathodoluminescence, quartz, TEM

*Corresponding author: tomioka@jamstec.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

フォルステライト単結晶のレーザー衝撃圧縮その場 X 線回折実験

奥地 拓生[1], プレジャブ ナランゴー[1], 尾崎 典雅[2], 瀬戸 雄介[3], 薮内 俊毅[4]
([1]岡山大惑星研, [2]大阪大院工, [3]神戸大院理, [4]JASRI)

Laser-shock compression experiments of forsterite coupled with XFEL diffraction

Takuo Okuchi*[1], Purevjav Narangoo[1], Norimasa Ozaki[2], Yusuke Seto[3] and Toshinori Yabuuchi[4]
([1]Okayama Univ., [2]Osaka Univ., [3]Kobe Univ., [4]JASRI)

Primitive meteorites often show features of shock metamorphism, including occurrences of dense polymorphs of major mineral phases. By previous transmission electron microscopy studies, it was demonstrated that olivine (α-Mg_2SiO_4) often had transformed into its denser polymorphs such as wadsleyite (β-Mg_2SiO_4) and ringwoodite (γ-Mg_2SiO_4), as well as a recently-discovered new structure (ε-Mg_2SiO_4: Tomioka and Okuchi, Sci. Rep. 2017). The impact events that produced these polymorphs played essential roles in the history of early solar system evolution. Here we tried to reproduce such a dynamic transformation process starting from forsterite olivine single crystals by using very strong laser beam and x-ray free electron laser (XFEL) beam in combination at SACLA, SPring-8, Japan.

The transformation process was analyzed with sub-nanosecond time resolution by ultrafast single-crystal diffraction scheme using XFEL (Fig). A series of synthetic α-Mg_2SiO_4 single crystal plates with 50 μm in thickness were separately compressed along it's a-axis by irradiation of strong laser beam with 532 nm wavelength and with 4 nanosconds of pulse width, that was focused into ~200 μm diameter on target. The transforming structures were analyzed at variable delay times by using femtosecond XFEL pulse, which was focused into even smaller dimension where the strongest shock wave was propagating.

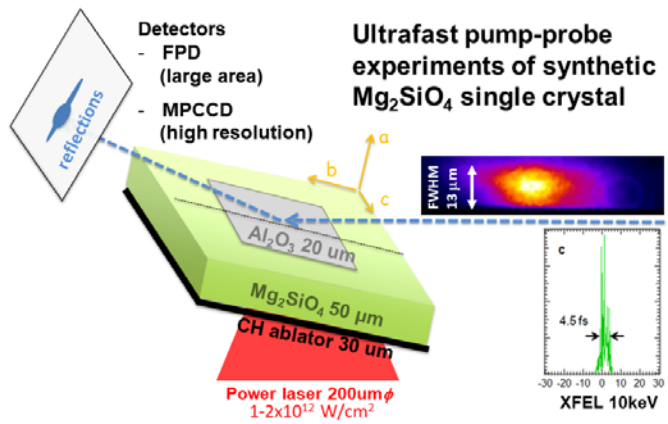


Fig. Experimental Setup

By anayzing the motion of Bragg reflection coming from hexagonal close-packed oxygen layer (200) of α-Mg_2SiO_4, we firstly observed propagation of decaying elastic wave, and secondly observed decaying plastic wave. We then discovered an ultrafast transformation process toward cubic close-packed oxygen layer structure, which is possibly related to γ-Mg_2SiO_4. The transformation had completed only within few nanoseconds, which was not expected to occur during shock metamorphism of meteorites. It can be a shear-induced fast lattice slipping proceeding without any atomic diffusion process. We conclude that formation processes and environments of some of dense Mg_2SiO_4 polymorphs in heavily shocked meteorites are needed to be reconsidered to involve this fast process.

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Esquel パラサイト隕石中のかんらん石に含まれる包有物

江島輝美（信州大学）、米山安澄（信州大学）、赤坂正秀（島根大学）、
昆慶明（産総研）、平田岳史(東大院理)

Inclusions within olivine in Esquel pallasite

Terumi Ejima (Shinshu Univ.), Azumi Yoneyama (Shinshu Univ.), Yoshiaki Kon (AIST), Masahide Akasaka (Shimane Univ.) and Takafumi Hirata (Univ. Tokyo)

Inclusions within olivine in an Esquel pallasite of the Main group pallasite was investigated using electron microprobe analysis and Raman spectroscopy. Esquel pallasite consists mainly of olivine, Ni-Fe metal, and aggregates of fine minerals. The average Fo content of olivine is 88.3. The inclusions within olivine crystals occur as droplets, grains of irregular form and tubular form. The droplets inclusions consist of fine Ni-Fe metal, troilite, olivine and cristobalite, or single phases of troilite, Ni-Fe metal and stanfieldite. Irregular form inclusions are chromite or aggregates of chromite + troilite + enstatite and/or cristobalite. The tubular inclusions consist of unidentified Ca-Cr-Si-rich phase.

パラサイト隕石中のかんらん石の包有物は、隕石の形成環境や履歴を明らかにするために注目されてきた。Esquel パラサイト隕石のかんらん石中の包有物に関しては、トロイライト、Fe-Ni 合金、クロマイト、リン酸塩鉱物が報告されている（Buseck 1977: Desrousseaux et al. 1997）。本研究では、Esquel 隕石のかんらん石の包有物中に先行研究で未報告の鉱物を認めたため、包有物構成鉱物の同定，記載，化学組成分析を行い、これらの形成過程について考察した。

鉱物の観察、組成分析，同定には、フィールドエミッションタイプ電子線微小部分分析装置およびラマン分光分析装置を用いた。

本研究で用いた Esquel 隕石試料（2.5×2.5×0.15 cm）は、主にかんらん石および Fe-Ni 合金からなり、まれに Fe-Ni 合金およびトロイライトなどからなる微細な鉱物の集合体を含む。かんらん石は黄緑色で，縁部は茶褐色～黒色を呈する。平均 Fo 含有量は 88.3 mol.%である。かんらん石には、数 μm～1mm の滴下状、不定形、チューブ状の包有物が存在する。滴下状の包有物は、Ni-Fe 合金＋トロイライト＋かんらん石＋クリストバライトの集合体から構成されるものや,トロイライト、Ni-Fe 合金，スタンフィルダイトの単相のものがある。まれに、クロマイト，エンスタタイト，シュライバーサイトの集合体のものがある。不定形の包有物には、クロマイト単相のものやクロマイト＋トロイライト＋エンスタタイト±クリストバライトの集合体のものがある。滴下状や不定形の包有物は、割れ目に沿って点在する。チューブ状のものは離溶状の産状で、短径 1μm×長さ数十 μm、顕微鏡下では褐色である。元素濃度分布では,母相のかんらん石より Ca、Cr、Si の含有量が高い。

包有物に含まれるかんらん石粒子は、母相のかんらん石の組成とほぼ同じである。一方、クロマイトは、かんらん石と Fe-Ni 合金の間に存在する微細な鉱物集合体中のもの、かんらん石の包有物の単相のもの、クロマイト＋トロイライト＋エンスタタイト±クリストバライトの集合体を構成しているもの、では組成が異なる。

包有物に含まれるクロマイトの組成の違いと包有物の産状から、Esquel 隕石は複数の形成時期の異なる包有物を形成するイベントを経験していると結論される。

Keywords: Olivine, Pallasite, FE-EPMA, Raman, Esquel

*Corresponding author: tejima@shinshu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R5-19

NWA 7203 アングライトの特異な岩石組織の結晶化過程

林秀幸*（東大・院理），三河内岳（東大・総研博），Martin Bizzarro（コペンハーゲン大）

Crystallization history of unusual petrological textures in the NWA 7203 angrite

Hideyuki Hayashi* (U. Tokyo), Takashi Mikouchi(U. Tokyo), Martin Bizzarro (U. Copenhagen)

はじめに：アングライトは太陽系最古の原始惑星地殻由来隕石の一種で、アルカリ元素に枯渇し、難揮発性元素に富む化学組成から、特異な鉱物組み合わせを示す（例えば Keil, 2012）。アングライトは NWA 1670 と NWA 7203 の例外を除き、衝撃変成組織を示さないため、広くタイムアンカーとして利用されている（Scott+, 2011; Hayashi+, 2018）。我々の過去の研究において、NWA 7203 の衝撃変成組織を明らかにし、この試料がアングライト母天体の進化史を解明する上で重要であることを報告した（Hayashi+, 2018）。NWA 7203 は急冷組織を示すアングライト隕石であり、粒子サイズが大きく変化する特異な岩石組織を示すが（Mikouchi+, 2012）、詳しい結晶化過程は明らかになっていない。そこで本研究では、詳細な鉱物学的研究により、NWA 7203 の結晶化過程の解明を目的とした。

試料と手法：NWA 7203 薄片試料を光学顕微鏡及び FE-SEM で観察し、化学組成分析は FE-EPMA（JEOL, JXA-8530F）を用いた。

結果：NWA 7203 は主にカンラン石、灰長石及び輝石から成る。粒子サイズは 1 μm 程度から 100 μm 以上に大きく変化する。細粒部では、灰長石が伸長し、その間をカンラン石及び輝石が埋めている。粗粒部では、カンラン石と灰長石が樹枝状共晶を成し、その間を輝石が埋めている。粒子サイズは細粒～粗粒部に連続的に変化している。また、細粒部は～1 cm の球状集合体で、樹枝状組織が放射状に細粒部から粗粒部に広がっている。バルク組成は、各種元素の MAP 分析からモード組成を求め、各鉱物種の平均組成を掛けて見積もった。その結果、粗粒部（Mg#=36）は、細粒部（Mg#=34）に比べ、わずかに Mg に富み Fe に乏しい組成であった。ただし、組成差はわずかで、誤差の範囲内でバルク組成は一致している可能性も否定できない。

カンラン石は粗粒部では Fo_{59-0} であり、細粒部では Fo_{54-4} であった。平均組成を考えると、粗粒部のカンラン石は、細粒部のものより、Mg に富んでいる。これは、バルク組成の結果と調和的である。一方で輝石は、粗粒部においては Mg#=0-44、細粒部では Mg#=24-50 であった。平均組成を考えると、輝石は細粒部のものの方は、粗粒部のものよりも、Mg に富んでおり、カンラン石と逆の結果である。

細粒部分にのみ、周辺のカンラン石よりも Mg に富んだカンラン石が見られた（$Fo_{\leqq 64}$）。これらのカンラン石は、バルク組成と平衡なカンラン石 Fo#より Mg に富んでいることから、外来結晶と考えられる。このカンラン石を核にし、灰長石が成長している様子が見られた。また、Fo_{64} の外来結晶は、薄片内で最も Mg に富んだカンラン石であり、光学顕微鏡観察により単結晶であることが分かった。またこのカンラン石を核に、カンラン石と灰長石の樹枝状の共晶が成長していた。

議論と結論：本研究から、NWA 7203 に初めてカンラン石外来結晶が見出された。今まで急冷組織を示すアングライト隕石に知られていたカンラン石外来結晶とは、Cr 含有量が少ない点（0.1 wt%以下）や、Fo#が最大 64 と低い点（例えば NWA 1670 の外来結晶は Fo_{96} が存在）、カンラン石と灰長石の樹枝状共晶が外来結晶を核に成長している点などが異なる。

本研究から NWA 7203 の結晶化過程は次のように考えられる。まずカンラン石外来結晶を核に、細粒部が結晶化した。次に、周囲のメルト組成が Mg に富むよう変化し、粗粒部が結晶化した。メルト組成の Mg 富化としては、例えばマグマ混合などの可能性が考えられる。また、バルク組成が細粒部と粗粒部で同じだったならば、実際にはメルト組成は変化せず、NWA 7203 の組織が形成された可能性も残されている。その場合、細粒部と粗粒部の組織の違いは、冷却速度の鈍化により起こされた可能性が考えられる。

Keywords: NWA 7203, Angrite, Crystallization history, Xenocryst
*Corresponding author: h.hayashi@eps.s.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

人工微小隕石作成実験による高層大気酸素分圧条件の再現

磯部博志*（熊本大）

Reproduction of oxygen fugacity of upper atmosphere based on artificial micrometeorites

Hiroshi Isobe* (Kumamoto Univ.)

Micrometeorites are the most abundant planetary materials accumulating to the Earth. Melted micrometeorites can record fO_2 of upper atmosphere. Magnetite crystals occur in artificial micrometeorites produced with fO_2 lower than FMQ buffer curve. Oxidation of micrometeorites may be controlled by accumulated interaction with oxygen molecules in the heating path of the meteorites.

定常的に地球に落下する隕石物質では，直径 0.1mm 前後の微粒子が最大の質量フラックスを持つ。それら微粒子は，高層大気突入時に高度 80km 付近を中心に強い加熱を受けて溶融し，その後の急冷によって溶融微小隕石と呼ばれる球粒となる。微小隕石中の鉄を含む相の酸化状態は，加熱時の酸素分圧条件によって影響を受けると考えられている。

現在の地球高層大気は高度約 100km までよく撹拌されており，地表とほぼ同じ組成を持つ。従って，酸素を約 21%の体積比で含む現在の高層大気の酸素分圧は高度に依存した大気圧によって決まっていると考えられ，高度 80km では $\log(fO_2)$は約-5.7 となる。太古代における地球大気の酸素量は様々な地質試料を用いて議論されている。なかでも，現世から太古代に至る海洋性堆積物中に見いだされる微小隕石粒子は，地球環境の変遷を解析する指標となる可能性が指摘されている(Tomkins et al., 2016)。

本研究では，高温炉中で微粒子を自由落下させる実験系（Isobe and Gondo, 2013）を用いた溶融急冷実験の結果をもとに，鉄の酸化挙動と fO_2 条件の関係について検討した。試料は，鉄隕石試料および FeS 試薬から作成した径約 100μm の不定形粒子である。試料粒子はおよそ 2 秒以内に最高温度の約 1600ºC に達した後急冷される。fO_2 は，FMQ バッファカーブを挟んで，最大±2.5 log unit となるよう，H_2/CO_2 混合ガスによって実験ごとに制御した。実験生成物は，鉄鉱物相に注目して組織および組成を解析した。

鉄隕石，硫化鉄由来の試料を用いた実験生成物ともに，fO_2 の高い実験ほど多量の酸化鉄が形成した。また，硫化鉄試料においてはメルト相が O に富む組成となった。一方，FMQ バッファよりも低い，最も低い fO_2 を設定した実験においても一部の粒子には酸化鉄が生じ，磁鉄鉱の急冷結晶が形成しているものも見られた。

本実験のような，H_2/CO_2 混合ガスを用いた系においては，温度に応じて H_2, CO_2, CO, H_2O 比が決まり，それらと平衡な fO_2 が実現する。本実験条件においては O_2 のモル比は CO_2 および CO と比較すると極めて小さいため，試料の酸化還元挙動は主に CO_2 および CO 分子との反応によって規定されると考えられる。微小隕石形成過程においては，溶融時の酸素分子との衝突頻度が鉄の酸化挙動を規定している可能性がある。

Keywords: micro meteorite, oxygen fugacity, atmospheric heating, troilite, iron meteorite
*Corresponding author: isobe_hrs@kumamoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

急冷指標の炭素含有固化過程：地球外生成物

三浦保範（元山口大）

Quenched indicator of carbon-bearing process: Extraterrestrial case

Yasunori MIURA (Post Yamaguchi Univ.)

Carbon-bearing grains called as quenched indicator of extraterrestrial rocks are required process applied for the accumulation of carbonaceous chondrites and carbon contents. The presence of quenched carbon-bearing grains remained in the primordial extraterrestrial meteorites indicates that the seawater fluid was not related totally.

.

はじめに : 地球の三圏の物質移動のない地球外の環境では海水圏が無いので、内部での徐冷過程より、表面での急冷過程が顕著である。本件では、地球内外広く利用できる状態間の固化物質を急冷指標の観点から地球外について考察する。

急冷指標の現状とその必要性 : 地球の内部と圏システム活動と異なり、火星の二圏惑星は固体岩石から(衝突)遊離した大気圏が形成されている。軽元素二圏のない月・小惑星は、固体圏だけなので、岩石に軽元素が散逸し、一部残存している。地球外では、高温高圧状態から急冷する継続過程は隕石衝突であり地球型の表層・環境とは異なる。

急冷過程での炭素含有物の重要性 : 地球外での固化過程は、揮発性炭素元素などが固体に混在して残留するタイプなので、地球型とは異なる。

地球外の炭素含有物の FE-SEM 観察 : ミクロな炭素含有物の FE-SEM（EPMA)観察で、地球外試料に観察できる(月、隕石、火星隕石等）。これは直接宇宙空間に接しているので、衝突時に固体と軽元素が取り込まれ手いることを示す。

地球外天体の活動を炭素含有物から考察 : ミクロな炭素含有物は、流体や継続的な極限状態で変化するので、その残存は広域の海水流体や継続的な火山活動などが無いことを示します。火星の隕石の若い年代については、その試料での広域確認が必要である。止まった若い年代は、「継続的な活動がなく残存している」ので、小惑星衝突等による溶融急冷での中断（若返り）で説明ができる。

地球外天体における大気と岩石 : 海水圏がないので大気中の炭酸ガス等は流体や石灰岩等を形成せず、無活動的な天体であることを示す。

水の形成 : 固体内に軽元素を残すので、加熱すると水は局所的にある状態で生成されるが、全域に及ぶ海水システムができる水量ではない。

生命に必要な炭素源 : 生命体は炭素化合物がメインであるので、その炭素集積過程が重要で、本件の急冷過程は地球内外で重要な一過程である。

まとめ : 地球外の急冷指標の炭素含有物は、炭素質隕石や、炭素の集積に必要な過程である。古い地球外隕石に急冷炭素含有物が残存しているのは、海水流体が関与していなかったことを示す。

参考文献 : 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. Miura Y. (2017) Planet. Sci.-2050, 8101 (USA). Miura Y. (2018) IMA-2018 (Melbourne, Australia) 2039.

Keywords: Quenched indicator, Solidified Process, Carbon-bearing process *yasmiura50@gmail.com*

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R8: 変成岩とテクトニクス

2019年9月20日(金) 14:00 ~ 16:30 | A-117 イースト1号館

R8: 変成岩とテクトニクス

座長:遠藤 俊祐、中村 佳博

[座長]
遠藤 俊祐:R8-01~R8-05
中村 佳博:R8-06~R8-10

14:00 ~ 14:15

[R8-01] Zircon–monazite–garnet behaviours during high-grade metamorphism in the Kontum Massif, Vietnam

*Vuong Thi Sinh Bui[1], Yasuhito Osanai[2], Nobuhiko Nakano[2], Tatsuro Adachi[2], Ippei Kitano[2], Masaaki Owada[3] (1. ISGS, Kyushu Univ., 2. SCS, Kyushu Univ., 3. Sci, Yamaguchi Univ.)

14:15 ~ 14:30

[R8-02] **八幡浜大島に分布する大島変成岩体のLA-ICP-MSジルコンU-Pb年代と地体構造上の意義**

*小山内 康人[1]、北野 一平[1]、中野 伸彦[1]、足立 達朗[1]、Vuong Bui Sinh[1]、小松 正幸[2] (1. 九州大・比文、2. 愛媛大・理)

14:30 ~ 14:45

[R8-03] ドラマイラ岩体での過剰アルゴンの挙動

*板谷 徹丸[1]、兵藤 博信[2]、今山 武志[2] (1. 蒜山地質年代研、2. 岡山理大・フロンティア研)

14:45 ~ 15:00

[R8-04] **ヒマラヤ変成帯に産する高圧・超高圧エクロジャイトの電子後方散乱回折データ**

*れーまん はふぃーずうる[1] (1. 鹿児島大学)

15:00 ~ 15:15

[R8-05] SiO_2相を含む蘇魯超高圧エクロジャイト中に産する定永閃石

*榎並 正樹[1]、纐纈 佑衣[2]、道林 克禎[2]、田口 知樹[3] (1. 名古屋大、2. 名古屋大・院環境、3. 京都大・院理)

15:15 ~ 15:30

[R8-06] Temperature reconstructions of rocks deformed at shallow crustal depths: implications of calcite thermometry from MBT and NT rocks of Himachal Himalayas

*Dyuti Prakash Sarkar[1], Jun-ichi Ando[1], Akihiro Kano[3], Hirokazu Kato[3], Gautam Ghosh[2], Kaushik Das[1] (1. Hiroshima Univ., 2. Presidency Univ., 3. Tokyo Univ.)

15:30 ~ 15:45

[R8-07] U-Pb zircon geochronology of pre- to post-tectonic granite emplacement across the South Delhi Fold belt, India: Implication towards the age of transpressive orogeny

*Kaushik Das[1], Kalyanbrata Hatui[2], Anupam Chattopadhyay[2], Hikaru Sato[1] (1. Hiroshima University, Science, 2. University of Delhi)

15:45 ~ 16:00

[R8-08] Impure metachertによる物質輸送ー沈み込み帯の物質循環への新たな連結環

*薮田 渉[1]、平島 崇男[1] (1. 京大・院理学)

16:00 ~ 16:15

[R8-09] 八重山変成岩類に見られるタルク方解石脈とその意義

*吉川 正紘[1]、朝倉 顯爾[1]、平島 崇男[1] (1. 京都大)

16:15 ~ 16:30

[R8-10] 島根県江津地域緑れん石青色片岩とエクロジャイト質岩の変成作用と地質年代

*高須 晃[1]、Kabir Fazle[2]、遠藤 俊祐[1]、Li Weimin[3] (1. 島根大・総合理工、2. 藤井基礎設計、3. 中国・吉林大学)

Zircon–monazite–garnet behaviours during high-grade metamorphism in the Kontum Massif, Vietnam

Vuong Bui Thi Sinh*, Yasuhito Osanai, Nobuhiko Nakano, Tatsuro Adachi, Ippei Kitano (Kyushu Univ.), Masaaki Owada (Yamaguchi Univ.)

The Kontum Massif is located at the southern part of the Trans Vietnam Orogenic Belt (Osanai et al., 2008), central Vietnam. It composes of three main complexes, namely the Kannak Complex in the southeastern, the Ngoc Linh Complex in the central and the Kham Duc Complex in the northwestern part of this massif (Tran Quoc Hai, 1986). The numerous geochronological studies have revealed two thermal events in these complexes: the Triassic event, at *ca*. 230–250 Ma (e.g., Nakano et al., 2007, 2013; Owada et al., 2016) and the Ordovician–Silurian event between 430 and 460 Ma (e.g., Nakano et al., 2013). Its metamorphic evolution in terms of petrography has been well understood on the basis of reaction textures, and mineral inclusions in porphyroblasts (e.g., Osanai et al., 2001, 2004; Nakano et al., 2007, 2013). However, the age information for the particular metamorphic stage during the metamorphic cycle is still obscured. Linking the growths of zircon–monazite–garnet can give the clues to reveal the relation between metamorphic stage and its timing. Therefore, this study carried out monazite chemical dating by EPMA from pelitic gneisses and conventional zircon U–Pb isotope dating by LA-ICP-MS from pelitic gneisses and mafic granulites from all three complexes, in the Kontum Massif, combining with geochemical relation of trace elements between zircon–monazite–garnet.

By combining the occurrences, cathodoluminescence images, trace elements as well as U–Pb isotopic data of zircon, the results indicated that the western Kannak Complex experienced the high temperature metamorphism at *ca*. 250 Ma with subsequent decompression. However, two high-grade metamorphic events were recorded in the Ngoc Linh Complex. The first high temperature metamorphism began at *ca*. 440–450 Ma with the attainment of the peak condition at *ca*. 430 Ma, overprinted by the second one at *ca*. 240–250 Ma with following decompression and exhumation stage at *ca*. 230 Ma. The medium pressure metamorphism, which involved in the Kham Duc Complex, occurred at *ca*. 240 Ma without any traces of early metamorphic event.

During the presentation, we also combine the results of the *in-situ* U–Pb measurement in thin section with above results to discuss the evolution of each complex in the Kontum Massif.

Keywords: *In-situ* U–Th–Pb ages, zircon, monazite, garnet, Kontum Massif.

*Corresponding author: buisinhvuongdc@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

八幡浜大島に分布する大島変成岩体の LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代と地体構造上の意義

小山内康人・北野一平・中野伸彦・足立達朗・Vuong Bui Thi Sinh（九州大）・
小松正幸（愛媛大）

LA-ICP-MS zircon U-Pb ages from Oshima metamorphic rocks and their tectonic background

Y. Osanai*, I. Kitano, N. Nakano, T. Adachi, S. Vuong Bui (Kyushu Univ.),
M. Komatsu (Ehime Univ.)

愛媛県・八幡浜大島は，北部の大島（北島），中央部の山王島，および南部の地大島からなる．八幡浜大島に高度片麻岩が存在することは鹿島・常磐井(1972)によって記載されて以来、その地体構造論上の帰属を巡って多くの調査研究がなされてきた（Murata, 1982;鹿野ほか, 1990; 武田、1995; 小松ほか, 1997 など）．高木(1991)はこの高度変成岩および関連火成岩体を大島変成岩体と呼称した．北島は主として三波川変成岩とみかぶ緑色岩帯弱変成岩からなり、南端部に約 500m に渡って大島変成岩体が分布する．地大島は主に真穴層によって占められ，北端部において逆転した真穴層の上位に花崗岩マイロナイトが衝上し，さらにその上にみかぶ緑色岩が衝上する．この花崗岩マイロナイトは大島岩体の一部に相当するとの見解もある．

大島変成岩は，変ハンレイ岩，変閃緑岩，変花崗閃緑岩などの火成岩起源の変成岩類を主要な構成メンバーとし，ザクロ石−角閃石片麻岩，ザクロ石−黒雲母片麻岩，石灰珪質片麻岩，花崗岩質片麻岩などを挟在する．宮下・小松（1999）は，大島変成岩体の最高変成条件はグラニュライト相（7kbar, 700−750℃）に達しているとみなしている．これらの変成岩類は，その上昇過程で複数時相のマイロナイト化作用（I〜IV 時相）により，極めて複雑な変形構造を有する．マイロナイト化作用の III 時相と IV 時相の間には大規模な断層活動に伴う顕著なシュードタキライト形成が認められる（小松ほか, 1997 など）．変形の弱いところでは堆積岩起源の片麻岩が広範な部分溶融が認められる．従って，大島変成岩は部分溶融を伴うグラニュライト相の主要な変成作用以降，マイロナイト化作用 III 期に至るまでは延性変形条件下にあったものが，脆性条件下のシュードタキライト形成期を経て，その後再び延性変形条件下に置かれた（小松, 2001）．

大島変成岩の帰属は，これまで岩相対比に基づいて検討され，みかぶ緑色岩（鹿島・常盤井, 1972）や黒瀬川帯（鈴木, 1975）の一部とみなす考え，および古領家帯（唐崎マイロナイト）や肥後変成岩との関連（例えば，吉村・高木, 1999, 武田ほか、2000 など）が提唱されてきた．なお，これまでに報告された大島変成岩の年代測定では，ホルンブレンドおよび黒雲母の K-Ar 鉱物年代として，角閃岩では 97.7Ma，ザクロ石角閃岩では 94.1Ma，ザクロ石−黒雲母片麻岩からは 90.9〜95.0Ma が得られている（鹿野ほか, 1990）．また，ジルコン SHRIMP 年代として，109Ma（変ハンレイ岩），117.2Ma（閃緑岩），113Ma（花崗岩質片麻岩）が得られていた（坂島ほか, 1998, Sakashima et al., 2003）．

本研究では，変成岩 7 試料および関連火成岩類 4 試料から， LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代測定を実施した．火成岩類からは，火成活動年代として 113±1.2〜108±1.4Ma のコンコーディア年代が得られる．一方，変成岩類からは 2000〜140Ma の極めて広範なインヘリテッド年代とともに，初期変成作用として 121〜118Ma，および火成活動に伴う変成作用として 110〜108Ma の隣接した 2 つの変成年代が得られた．このことは，堆積作用終了直後に最初の高温型変成作用が起こり，直後に約 110Ma の火成活動と連動した変成作用があったことを示す．ここで得られた火成活動年代および変成年代は，最近になって再測定された肥後変成岩の U-Pb 年代値（小山内ほか, 2017、Bui et al., 2019）と極めて良く一致し，変成岩から得られるインヘリテッド年代のスパイクも高い類似性を示す．武田（1998）や Sakashima et al. (2003)が指摘したように，大島変成岩と肥後変成岩の強い関連性を考慮する必要が改めて認識される．大島変成岩体の年代分布は，肥後変成岩のみならず関東山地や阿武隈変成帯の変成岩，火成岩の年代（Hiroi et al., 1998, Ishihara and Orihashi, 2015 など）とも一致する．今回の報告する多数の U-Pb 年代は，大島変成岩体の地体構造上の帰属を考察する上でも極めて重要なデータとなる．

Keywords: Zircon U-Pb age, 2 stage metamorphism, Oshima metamorphic rocks, tectonic background
*Corresponding author: osanai@scs.kyushu-u.ac.jp (Y. Osanai)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ドラマイラ岩体での過剰アルゴンの挙動

板谷徹丸（蒜山地質年代学研究所，地球年代学ネットワーク）
兵藤博信・今山武志（岡山理科大学フロンティア理工学研究所）

Excess Argon behavior in Dora-Maira

Tetsumaru ITAYA * (Hiruzen Institute for Geology & Chronology, and Japan Geochronology Network)
Hironobu Hyodo and Takeshi Imayama (IFST, Okayama University of Science)

Chopin and Maluski (1980) はドラマイラ岩体の北に位置するグランパラディソ岩体でエクロジャイト相の変成作用を被った岩石の白雲母 Ar-Ar 年代測定を実施し、その不一致年代から鉱物中のアルゴン拡散過程は地質学的には意味がなく、閉止温度論に疑問を投げかけた。この種の問題を知りながら、ドラマイラ岩体（1984 年にコース石が発見され世界初超高圧変成岩体）でも多くの Ar-Ar 年代学研究者は 1980 年代後半から主に白雲母（フェンジャイト）の Ar-Ar 年代を提出してきた。ほとんどの Ar-Ar 年代は不一致で意味がなかった(cf. Itaya *et al.*, 2011)。このことが過剰アルゴン問題として長く議論されてきたが、未だ、明快な説明はなされていない。

ドラマイラ岩体の超高圧変成岩(UHP)ユニット（ピーク P-T- t : P=4.2 GPa, T=730℃, t=35 Ma）から採集された変形作用を免れたバリスカン花崗岩の黒雲母のアルゴン年代学から過剰アルゴン波の発生が観察された（Itaya *et al.*, 2018）。原岩年代の 3〜4 倍の年代を示していることから、何らかの過程で巨大な過剰アルゴン波が発生し、黒雲母がそれを獲得した結果であると考えられる。個々の変成岩ユニットの上昇冷却過程で、岩石中の鉱物が蓄積した放射起源アルゴンを放出し、再度別の鉱物が獲得する過程を想定する場合、既に過剰アルゴンを獲得していた鉱物が後退変成作用で分解するしかない。問題としているバリスカン花崗岩はピーク温度の 730℃を経験していることからその時点では全ての鉱物の放射起源アルゴンは完全にリセットされていたと思われる。Itaya *et al.* (2018) は UHP ユニットの上位と下位に断層を介して存在するエクロジャイト相 (T=ca.550 ℃) や青色片岩相 (T=ca.400 ℃) のユニットに過剰アルゴン波の起源を考えた。それらは UHP ユニットよりかなり低温度での変成作用しか受けず原岩の白雲母が完全にリセットされていなかったと考えられる。その後の上昇冷却過程で変形を受けた白雲母から放出されたアルゴンが (cf. Itaya *et al.*, 2011) 、過剰アルゴン波を形成し、それを黒雲母が獲得したと考えた。

閉止温度が黒雲母より高い白雲母の Ar-Ar 年代フラクションは 70〜150 Ma である。明らかに UHP ユニットのピーク年代 35 Ma より古い結果であり、白雲母も過剰アルゴンを獲得したことになる。上昇冷却過程での事件なので黒雲母の閉止温度に達する前に獲得したことになる。閉止温度が非常に低いカリ長石の K-Ar 年代は 43Ma (Itaya *et al.*, 2017）で、Ar-Ar 年代フラクションは 20〜50 Ma であった。カリ長石もまた過剰アルゴン波の影響を一部受けていたことになる。現在、白雲母の閉止温度は 600℃ぐらいを考えている。カリ長石の閉止温度は非常に低い。UHP ユニットの上昇冷却過程で白雲母、黒雲母、カリ長石の順でそれぞれが過剰アルゴンを獲得したことになる。中でも黒雲母の獲得時期のアルゴン分圧が最大であったと推定される。次に白雲母であり、カリ長石の獲得時期では最低であった。

本講演では過剰アルゴン波の挙動モデルを提案したい。

引用文献

Chopin and Maluski (1980) CMP, 74, 109-122.
Itaya *et al.* (2011) JAES, 42, 1075-1090.
Itaya *et al.* (2017) JMPS, 112, 36-39.
Itaya *et al.* (2018) JMPS, 113, 171-180

Keywords: Dora-Maira, UHP unit, Excess argon behavior, Muscovite & K-feldspar Ar-Ar ages
Corresponding author: tetsumaru.itaya@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Electron back-scattered diffraction data of the Himalayan HP and UHP eclogites

Rehman H. U. (Kagoshima University)

Electron back-scattered diffraction (EBSD) maps and crystal-preferred orientation (CPO) of eclogite-facies phases (omphacite, garnet, phengite, quartz, epidote, ilmenite, and rutile) and their retrogressed products (hornblende, biotite, and titanite) are reported for understanding the rheological behavior of crustal material during the subduction- and exhumation-related deformation regimes. Two types of eclogites from the Himalayan metamorphic belt, Kaghan Valley, Pakistan, were investigated within polished thin sections. Group-I eclogites (HP) are composed of garnet, omphacite, quartz with accessory rutile, ilmenite, titanite, zircon and secondary hornblende and biotite. Group-II eclogites (UHP) are composed of omphacite, garnet, phengite, epidote, quartz/coesite, with accessory rutile, ilmenite and titanite and retrograde hornblende. Multiphase-analyzed EBSD maps from HP and UHP eclogites are characterized by relatively deformed and preferably oriented omphacite overgrown by hornblende and irregularly placed clustered garnets. Epidote, phengite and quartz are randomly oriented. Omphacite, the peak eclogite-facies phase, exhibits L-type CPO where the maximum density of [001] axes is parallel to and high density of {110} poles is normal to the lineation in HP eclogites. This type of LPO suggests intra-crystalline plasticity with [001] {110} and <110> {110} active slip systems that commonly develops in a constrictive strain regime at mantle depths. Omphacite in UHP eclogites also exhibits a similar fabric but with stronger CPO. Garnet, the second dominant phase in the eclogite-facies stage, exhibits weak and complex fabric patterns in both groups of eclogites, behaved like rigid bodies that did not deform plastically. Quartz in HP eclogites show irregular CPO but the density in UHP eclogites is stronger compared with those in HP eclogites. Rutile, although occurs as accessory, but show preferred orientations along [001], suggesting their deformation coeval to those with the omphacite. Titanite, the by product of rutile indicate different CPO than rutile, suggesting their growth in late-stages. Hornblende in both HP and UHP eclogites have a strong CPO along [001] axes aligned parallel to the lineation that indicate homotactic crystal growth by the replacement of omphacite during the early stages of retrogression.

Keywords: Himalayan metamorphic belt, UHP eclogites, Crystal deformation, Garnet, Clinopyroxene

* Corresponding Author: hafiz@sci.kagoshima-u.ac.jp

SiO_2 相を含む蘇魯超高圧エクロジャイト中に産する定永閃石

榎並正樹*（名古屋大）・纐纈佑衣・道林克禎（名古屋大・院環境）・
田口知樹（京都大・院理）

Sadanagaite in SiO_2 phase-bearing Sulu UHP eclogites

ENAMI Masaki*, KOUKETSU Yui, MICHIBAYASHI Katsuyoshi (Nagoya Univ.)
and TAGUCHI Tomoki (Kyoto Univ.)

定永閃石グループ鉱物は，Si = 5.0 (for O = 23) の理想組成式を持ち，それらは基本的に石英 (Qz) を含まない全岩組成が SiO_2 に乏しい岩石中に産する (Banno et al., 2004, EJM およびその引用文献）．しかし， SiO_2 相を含むエクロジャイト中に産する定永閃石 (IMA の命名規約に従う) が，例外的に中国・蘇魯超高圧変成帯から報告されている (e.g., Enami et al., 1993, JMG; Yamasaki et al., 2018, JMPS).

今回分析した試料は，上記の論文によって Si に乏しい角閃石が報告されている蘇魯帯，東海地域から産したものである．主要な構成鉱物は，ざくろ石 (Grt)，シンプレクタイト (Symp) 化したオンファス輝石 (Omp)，角閃石 (Amp), 緑れん石, 石英 (Qz)およびルチルであり，試料によってはフェンジャイトおよびパラゴナイトを含むことがある．Amp は，Grt の包有物として産するものを除くと，いずれも加水反応により降温期に形成されたものである．それらは，Grt を脈状に置き換える場合(Amp1)，Grt と Symp もしくは Qz の粒界に産する場合 (Amp2)，曹長石 (Ab) を伴う Symp を形成する場合 (Amp3)と，に大別される．Qz との粒界では，Grt 側から順に Amp2, 曹長石およびエリジン–オージャイト (Aeg) の鉱物帯が形成されている（図１）．

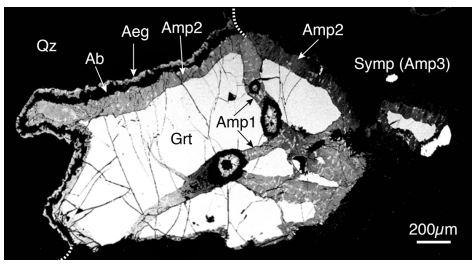


図１：Amp と Grt, Qz および Symp の組織を示す BSE 像.

【TEM および EPMA 観察】 FIB-TEM および STEM−EDS 観察によって, Grt–Amp2 粒界に他の鉱物相は認められない．そして，Grt には Amp2 との境界から幅数十 nm にわたって Mn の増加および Mg の減少が認められる．Grt の組成で規格化した Amp2 の Si/Al 値 $[(Si/Al)_{Amp}/(Si/Al)_{Grt}]$ は，Grt との接する部分ではほぼ 1 であるが, Qz や Symp 境界に向かって増加し，全体としてパーガス閃石—定永閃石間の固溶体を示す．一方，Grt 粒界の Amp1 では，ほぼ 1 と一定の値を持つ．そして，これらの多くは定永閃石に属する．Symp を形成する Amp3 は，パーガス閃石である．

【EBSD 観察】 脈状の Amp1 は (100)が弱く集中したガードルタイプの LPO を示すのに対し，Qz と接する Amp2 は共通の結晶軸の集中を示すいくつかの領域に分かれる．また, Symp と接する Amp2 は，全体として共通する結晶軸の集中を示すと同時に，それは接する Symp を構成する Amp3 の方位とも共通する．これらの特徴にもとづいて各 Amp の領域を決定し，互いの組織を比較することにより， Amp1 は Amp2 および 3 に比べてより早期に形成されたと見なせる．

【まとめ】 定永閃石をはじめとする Si に乏しい Amp は，接する鉱物に対応した局所的な系の組成に依存して成長した．Amp2 が形成される以前の Grt と Omp もしくは Qz の相境界は，現在の Amp2 の途中にあり，Amp2 は Grt を置換するのみならず，Omp や Qz 側にも成長していた. Grt と Omp の粒界の Amp2 は，Symp の Amp3 の結晶方位に影響を受けて形成された.

Keywords: EBSD, TEM, EPMA, Sadanagaite, eclogite, UHP
Corresponding author: enami@nagoya-u.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Temperature reconstructions of rocks deformed at shallow crustal depths: implications of calcite thermometry from MBT and NT rocks of Himachal Himalayas

Dyuti Prakash SARKAR*(Hiroshima Univ.), Jun-ich ANDO (Hiroshima Univ.), Akihiro KANO (Tokyo Univ.), Hirokazu KATO (Tokyo Univ.), Gautam GHOSH (Presidency Univ.), Kaushik DAS (Hiroshima Univ.)

Temperature and depth of formation of fault rocks provide important insights of fault zone processes. The temperature estimation from shallow crustal rock deformation, however, is still under investigation for optimizing simplicity and accuracy of the measurements. Current temperature estimations rely primarily on calcite twin morphology (Rybacki et al. 2013 and reference therein), Raman spectroscopy of carbonaceous material (Beyssac et al. 2002), illite crystallinity analysis (Hara and Kurihara 2010, and references therein). Each of these standard methods has its advantages and limitations in estimation accuracy of temperatures and complexity of analysis. In context with lithology, in the current study we try to elucidate the temperature and depth information for calcite bearing fault rocks.

The present study focuses on fault zone rocks developed within the Himalayan frontal wedge bounded by Main Boundary thrust (MBT) and Main frontal thrust (MFT) (Yin 2006). The MFT form boundary with the active Gangetic foreland basin, hence, the dearth outcrop exposures. Therefore, in thus study rocks from Nahan thrust (NT), a regionally prominent thrust within MFT sheet is considered. The calcite sample was collected from the core zone of the NT, exposed near Pinjore, Haryana, India. For rocks from MBT, the calcite samples were collected from the hangingwall and footwall rocks exposed near Gambarpul, Himachal Pradesh, India.

Calcite twin morphology from NT exhibits a primarily single set of Type-I twins (Ferrill et al., 2004). The footwall calcite sample from MBT also exhibits Type-I twins with few grains developing Type-II twins. However, the calcite sample of footwall rocks near the MBT boundary shows a predominance of Type-II twins and few Type-III twins. The calcite samples from the hangingwall have limited development of Type-II twins only, primarily due to finer grain size (Newman, 1994). Thus, calcites from NT as well as footwall of MBT yields a temperature <170°C, while the calcite from the hanging wall of MBT and from footwall rocks close to the boundary of MBT yields a temperature of >200°C. These temperature estimates are further confirmed with absolute values obtained from the carbonate clumped isotope thermometry (Kato et al., 2019). The calcite samples, therefore, show a significant difference in temperature values for NT (170±10°C) and MBT (262±30°C), implying a depth difference of ~4km between the two thrusts, considering standard continental geothermal gradient of 25°C /km.

This study thus provides the applicability of carbonate clumped isotope thermometry for estimating temperatures for deformed calcite at shallow crustal levels. Further studies are required to characterize the deformation microstructures from the varied crustal depths of MBT and NT.

Keywords: Calcite twinning, Clumped isotope thermometry, MBT, NT

References: Beyssac et al., (2002), Metamorph. Geol.; Ferrill et al., (2004), Journal of Struc. Geol.; Hara and Kurihara, (2010), Tectonophysics; Kato et al., (2019), Geo. et Cosmo. Acta; Newman, J., (1994), Journal of Struc. Geol.; Rybacki et al., (2013), Tectonophysics; Yin A., (2006), Earth Sci. Reviews.

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

U-Pb zircon geochronology of pre- to post-tectonic granite emplacement across the South Delhi Fold belt, India: Implication towards the age of transpressive orogeny

Kaushik Das[1*], Kalyanbrata Hatui[2], Anupam Chattopadhyay[2], Hikaru Sato[1]
([1]広島大学,[2]デリー大学、インド)

The South Delhi Fold Belt (SDFB)[1], a part of the Aravalli-Delhi Orogenic Belt of NW India is a NNE-SSW- trending mobile belt consisting of strongly deformed Mesoproterozoic rocks of Delhi Supergroup underlain successively by the older Paleoproterozoic Aravalli Supergroup rocks, and the Archean crystalline basement rocks of Banded Gneissic Complex[2]. The SDFB is bound by two nearly-parallel structural lineaments, called Rakhabdev-Khasangarh lineament in the east and Phulad lineament in the west. The present study area lies in the central part of the SDFB comprising amphibolite-grade metamorphosed calc-silicate rocks, pelitic schists and quartzite with the intermittent occurrence of granitic bodies. Calc-silicate rocks are more abundant on the west until Ranakpur Shear Zone (RSZ) which marks the boundary with Erinpura Granite country exposed in the west. The rocks in this part of the SDFB preserve the evidence of multiple phases of deformation and granitic emplacements.

A detailed meso- to micro-scale deformation study of the rocks in this area revealed regional-scale polyphase folding with broadly NNE-SSW trending axial planes parallel to the overall elongation of the fold belt. From the east to west of the present study area there are several large-scale alternate synforms and antiforms[2]. However, the fold vergence is different from east to west, folds are easterly-verging in the eastern sector (near Kumbhalgarh Fort), while they are westerly-verging in the western part (around Pokharia village). The central portion ("Kumbhalgarh Steep Zone"[3]), on the other hand, is characterized by the near-vertical shear zones with the dominance of sheath folds. The western boundary shear zone, i.e. RSZ also shows plenty of sheath-folds, and preserves the evidence of asymmetric slip/shearing both on the horizontal section (sinistral sense of shearing) and vertical section (top to the west reverse sense movement), indicating a resultant oblique slip. Combining this structural pattern on the western boundary shear zone with the east-west vertical cross-section in the north and central portions of the study area reveals a 'positive flower' structure with concomitant slip planes developed on the outcrop scale.

Generations of granitic rocks are sampled from this studied areas, one distinctly foliated variety co-folded with the surrounding calc-silicate rocks, and the other two varieties of late-tectonic to post-tectonic varieties. These later varieties are either intruded cutting across the foliation of the calc- silicate rocks and at places emplaced parallel to the limbs of the folds. Geochemically, these granite samples are mostly meta-aluminous granite to granodiorite in composition, with a distinct affinity towards I- and S- type granitic rocks. Primitive mantle normalized trace element distribution patterns show that these rocks are more LILE-enriched with distinct Pb- and Th-enrichment. Zircon grains are separated from pre-tectonic foliated granite and post-tectonic granitic pegmatite samples. The U-Pb zircon LA-ICPMS data from the former yield a strong concordant age probability peak at 995±13 Ma, and that for the latter is 851±7 Ma. These data put upper and lower age bracket for the major pulse of transpressive tectonics producing the crustal flower structure in the SDFB.

References: [1] Sinha-Roy (1984), Indian J. Earth Sci., pp. 84–91. [2] Heron (1953), G.S.I. Mem., 79, 1–389. [3] Sugden et al. (1990), Dev. Precam. Geol., 8. Elsevier, 367–396.

Keywords: Pre- to post-tectonic granite, South Delhi Fold Belt, U-Pb zircon age, Age for transpression
*Corresponding author: kaushik@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Blueschist facies impure metachert as remarkable oxygen- and overlooked water-carriers in the subduction zone

YABUTA Wataru* and HIRAJIMA Takao
Graduate School of Science, Kyoto University

Basalt-based models have long centred deep-fluid studies since basic rocks compensate for the greater part of the subducting slab. As to the impact of other lithotypes on the water subduction, Hacker et al. (2008) showed a possible water carriage of terrigenous sediments siliceous ooze. Although their thermodynamic models are powerful clues to the water behaviour in the subduction zone, water subduction are left to be verified by natural samples, let alone oxygen subduction, which might be conducted by highly-oxidized oceanic sediments, i.e., impure metacherts.

Despite their biogenous origin, certain metachert samples are abundant in manganese, which might derive from highly-oxidized Fe- and Mn-nodules / crusts on the ocean floor (Kato et al., 2011). Reinecke (1986) tackled de-oxidation reactions in Mn-bearing metachert under higher-blueschist facies (400-500°C, 0.6-1.0 GPa). Tumiati et al. (2015) portrayed an oxygen subduction based on oxygen carriage of eclogite-facies metacherts. As oxygen is abundant in impure metacherts and plays a crucial role in the metamorphism, their fate and legacy to deep-fluids are expected to be clarified.

This study focused on Mn-rich metacherts collected from the Kurosegwa Belt in Yatsushiro area, Kyushu, Japan. It is of central importance to characterize lower-grade (200-300°C, 0.45-0.8 GPa; Sato et al., 2016) samples because pseudo-section models are rather unreliable under such P-T condition. This study is also remarkable as the first study on water behaviour coupled with the oxidation states on low-grade impure metacherts. Now close observations on the samples reveal that Mn-rich siliceous rocks do contain considerable amounts of water, and deserve attention as possible oxygen carriers. These rocks are to increase their significance as a mass transporter in the subduction zone.

The samples are represented by high-pressure, hydrous and Mn-bg. minerals, e.g., sursassite, piedmontite and okhotskite, which are formed at the near-peak stage. These phases are promising water carriers, containing 1-6 wt% of H2O. Above all, Mn-bg. Lawsonite (Ibuki et al., 2009) is the most powerful water budget (11 wt% as H2O). In a sample KY1822, this mineral occupies a third of the volume, which enables 4 wt% H2O content.

Simultaneously, these minerals with Fe and Mn trivalent are oxygen budgets. Piedmontite and okhotskite accommodate about 2,000 mole of oxygen per a cubic metre, 10 times as much as eclogite (after Malaspina et al., 2017). In addition, haematite, the most common Fe-phase, is 500 times stronger oxygen budget than eclogite. On the whole, impure metacherts could be strong oxidizer of the mantle.

Post-peak veins (todorokite and K-feldspar) are developed to cut the layers of near-peak metamorphic minerals (OT10I). These veins, abundant in fluid-mobiles (K and Ba), are attributed to fluid activities. It is notable that todorokite contains Mn4+, which suggests extremely high oxygen fugacity. This reminds us oxygen transportation by veins, as pointed out by Tumiati et al. (2015).

This study depicts impure metacherts as remarkable oxygen- and disregarded water-vessels in the subduction zone. Though the fraction is small, the impact might be large enough to control local phenomena. In the rocks are also minute records of post-peak fluid activities. Although many things including the origin of post-peak fluids are left to be solved, metacherts without doubt have the key to much clearer image of the subduction zone.

Keywords: subduction zone, metacherts, deep-fluids, mass transfer

*Corresponding author: yabuta.wataru.25n@st.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

八重山変成岩類に見られるタルク方解石脈とその意義

吉川 正紘*、朝倉顯爾、平島崇男(京都大)

Significance of talc-calcite vein form the Yaeyama metamorphic rocks

Masahiro Yoshikawa*, Kenij Asakura, Takao Hirajima(Kyoto Uni.)

沖縄県石垣島には八重山変成岩類が広く露出しており、特徴的な変成鉱物およびその組み合わせによってⅠ帯からⅣ帯に分帯される。Ⅱ帯・Ⅲ帯・Ⅳ帯は鉱物組合せの変化から一連の累進変成作用によって形成されたと考えられている[1]。Ⅱ帯はパンペリー石(Pmp)-Na 角閃石(Gln)の組合せを特徴とし、ローソン石(Lws)や藿石が認められ，Ⅲ帯では Pmp と Lws が消滅し Gln-緑簾石(Ep)ないしアクチノ閃石(Act)の鉱物組合せ，Ⅳ 帯は、サブカルシック角閃石の出現で特徴付けられる[1,2]。また、泥質片岩中の炭質物の結晶化度から、変成温度はⅡ帯で 350℃前後、Ⅲ帯で 450℃前後、Ⅳ帯で 450℃以上と報告されている[3]。

本研究では、当該地域が被った深部流体活動を解明するために、変成岩中に発達した鉱物脈とその構成鉱物について組織観察および化学組成分析を行った。今回はⅣ帯に産する緑色片岩からタルク(Tlc)を含む方解石脈を見出したので、その概略について報告する。

母岩の緑色片岩は、主に Ep、Act、緑泥石(Chl)、石英(Qz)、曹長石(Ab)によって構成され、顕著な片理を持つ。鉱物脈は片理に斜交し、方解石(Cal)、Tlc、Chl、Qz、Ab によって構成される。母岩中の Act と脈中の Tlc の Mg:Fe 比はいずれも 3:1 程度の値を示した。

このことから、母岩中の Act と脈中の Cal と Tlc について、以下の反応が考えられる：

$$6Cal + 5Tlc + 4SiO_2 = 3Act + 6CO_2 + 2H_2O$$

この反応の安定条件を、CAMSH 系に単純して熱力学的解析を行った結果、450℃ 4~8kbar の条件では XCO_2=0.02~0.08 で反応が進行することがわかった。400℃、同圧力の場合では反応の進行する XCO_2 値は最大でも 0.02 となる。以上のことから、上昇中のⅣ帯の岩石に H_2O に富む流体が浸潤したときに、Tlc-Cal 脈が形成されたと考えられる。

引用文献：1. 西村他 (1983). 地質学論集, (22), 27-37. 2. Ishizuka & Imaizumi (1988). 3. Nuong, N. D., Itaya, T., & Nishimura, Y. (2008). Geological Magazine, 145(5), 677-684.

Keywords: talc, calcite, Yaeyama metamorphic rocks

*Corresponding author,
yoshikawa.masahiro.63s@st.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

島根県江津地域緑れん石青色片岩とエクロジャイト質岩の変成作用と地質年代

高須　晃*（島根大学・総合理工）・Kabir, Md Fazle（藤井基礎設計）・
遠藤俊祐（島根大学・総合理工）・Li, Weimin（中国・吉林大学）

Metamorphism and geochronology of epidote blueschists and eclogitic rocks from the Gotsu area, SW Japan

Takasu, A.* (Shimane Univ.), Kabir, Md Fazle (Fujii Consulting & Associates),
Endo, S. (Shimane Univ.)　and　Li, Weimin (Jiling Univ., Chaina)

江津地域には周防変成帯（変成年代 ca. 200 Ma）とされる青色片岩等の高圧型結晶片岩類が広範囲に分布する（Nishimura, 1998）. 中向井地区には径約 500 m の蛇紋岩体が存在し，その内部にざくろ石-緑れん石-バロワ閃石片岩等の高度変成岩（エクロジャイト質岩）が分布する（千貫, 1985 ; 高須ほか, 2018）.

青色片岩のピーク変成ステージは NCKFMASHO モデルシステムでの P-T シュードセクションにより 475-500℃, 14-16 kbar の変成条件が得られた（Kabir et al, 2018）.

一方, エクロジャイト質岩（ざくろ石-緑れん石-バロワ閃石片岩）はシュードセクション・モデリングにより， 570-580 ℃, 24-25 kbar のピーク変成条件を示した（高須ほか, 2018）. エクロジャイト質岩は産状と変成条件より蓮華帯（変成年代 ca. 300 Ma）のエクロジャイトに対比される可能性がある.

青色片岩と連続する泥質片岩（901, 902）とエクロジャイト質岩（903E）中のフェンジャイトの K-Ar 年代測定を行った. 901 と 902 はそれぞれ細粒(F)と粗粒(C)の粒子を分離し，測定を行った. 結果は，901F : 187.0 ± 4.0 Ma, 901C : 190.7 ± 4.1 Ma, 902F : 181.5 ± 3.9 Ma, 902C : 183.2 ± 3.9 Ma, 903E : 216 ± 4.6 Ma となった. 泥質片岩はいずれも粗粒の方が数 Ma 古い値を示すが，誤差の範囲で調和年代となる. 901 と 902 の比較では 901 が細粒，粗粒とも系統的に古い値を示すが，それぞれは誤差の範囲で調和的といえる. また，これらの年代はこれまでに江津の泥質片岩より報告されている 191 Ma 及び 195 Ma の年代値（Shibata and Nishimura, 1989）ともよい一致を示す. 一方，エクロジャイト質岩（903E）は 901 および 902 に比べて有意に古い年代を示すが，期待した 300 Ma 前後の蓮華変成岩の年代は得られなかった. 今後，LA-ICP-MS によるジルコンの年代測定等によりエクロジャイト質岩のピーク変成年代の確定が必用である.

引用文献: Kabir et al. (2018) Mineral. Petrol. 112, 819-836. Li et al. (2009) JMPS 104, 110-116. Li et al. (2011) JMPS 106, 326-331. Nishimura (1998) JMG, 16, 129-140. 千貫 (1985) 島大研報, 4, 41-59. Shibata and Nishimura (1989) Mem. GSJ 33, 317-341. 高須ほか（2018）地質学会講演要旨.

Keywords: Suo belt, Renge belt, blueschist, eclogite, pseudosection modeling, K-Ar age

* Corresponding author:
e-mail: takasu@riko.shimane-u.ac.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）

2019年9月20日(金) 15:30 ~ 17:00 | 大講義室 Ia 大講義室

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳、河上 哲生

[座長]
河上哲生　S2-01〜S2-03
土屋範芳　S2-04〜S2-06

15:30 ~ 15:45

[S2-01] 地殻の透水性と付与される流体の量

*土屋 範芳[1]、宇野 正起[1]、Fajah Amanda[1]、Diana Mandaleva[1]、東野 文子[2] (1. 東北大・院環境、2. 岡山理大・理)

15:45 ~ 16:00

[S2-02] 多結晶岩石における組織形成が浸透率に与える効果

「発表賞エントリー」

*藤田 和果奈[1]、中村 美千彦[1]、Golabek Gregor[2]、Thielmann Marcel[2]、Eichheimer Philipp[2]、上杉 健太郎[3] (1. 東北大・院理、2. バイロイト大、3. JASRI)

16:00 ~ 16:15

[S2-03] 海洋下部地殻〜モホ遷移帯における加水作用と岩石物性変化について：ICDPオマーン掘削コア試料の「ちきゅう」船上計測結果

*阿部 なつ江[1]、岡崎 啓史[2]、片山 郁夫[3]、畠山 航平[3]、赤松 祐哉[3]、オマーン掘削プロジェクト サイエンスパーティー (1. 海洋研究開発機構MarE3マントル掘削プロモーション室、2. 海洋研究開発機構X-star高知コア研究所、3. 広島大学)

16:15 ~ 16:30

[S2-04] 酸素同位体を用いた地質速度計: 高温変成作用下で岩石―水相互作用を記録するザクロ石への適用

*東野 文子[1,2]、Rubatto Daniela[2,3]、河上 哲生[4]、Bouvier Anne-Sophie[3]、Baumgartner Lukas[3] (1. 岡山理科大、2. ベルン大学、3. ローザンヌ大学、4. 京大)

16:30 ~ 16:45

[S2-05] MgO-H_2O系における反応誘起破壊と透水率の時間発展

「発表賞エントリー」

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

16:45 ~ 17:00

[S2-06] 超臨界流通式水熱実験による玄武岩-海水系の元素の選択的溶脱に伴う変質過程

「発表賞エントリー」

*根津 勇介[1]、岡本 敦[1]、平野 伸夫[1]、宇野 正起[1]、土屋 範芳[1] (1. 東北大・院環境)

S2-01

地殻の透水性と付与される流体の量

○土屋範芳，宇野正起，F. F. Amanda, D. Mindaleva
（東北大・環境），東野文子（岡山理大・理）

Permeability of the Earth's Crust and Amount of Geofluids

N. Tsuchiya, M. Uno. F. F. Amanda and D. Mindaleva (Tohoku Univ.)
and F. Higashino (Okayama Univ. of Sci.)

Transport phenomena of geofluids in the Earth's crust are controlled by both of diffusion equation (Fick's second law), and Darcy's law. In both cases, diffusion constant and permeability are key parameters to describe phenomena. We investigated transport phenomena of specific species in rock matrix around veinlets which were a supply source of external fluids, and then we evaluated diffusion constant and permeability of rock matrix under lower crustal environment. The total budget of geofluids were also evaluated.

沈み込み帯において，島弧地殻にどの程度の水が供給されているかは，沈み込み帯全体での水の循環（物質収支）から考える必要がある．このとき，地殻内の流体流動の基本的なプロセスは，濃度勾配に起因する拡散現象と圧力勾配に起因する流動現象に大別される．拡散現象は，拡散方程式，流動現象はダルシー則で記述されるのが一般的である．また，拡散現象に流れが加わると移流―拡散方程式となるが，この場合の移流項は，ダルシー則から求められる流速に支配される．

これらの移動プロセスで物質や環境により大きく変化するのは，拡散係数と浸透率（透水係数）である．拡散係数については，さまざまな研究が進められ，実験的も現象論的にも，一定の数値が推定されている（Higashino et al., 2019）．一方，地殻深部での浸透率は充分には明らかになっていない．本研究では，下部地殻においては，変成作用ならびに火成作用により母岩に供給された流体量とその移動現象を解析し(Uno *et al*., 2017, Amanda, *et al*., 2019)，下部地殻環境での岩石マトリックスの着目成分の拡散係数ならびに流体の浸透率を求めた．

Amanda, F. F., Yamada, R., Uno, M., Okumuma, S. and Tsuchiya, N., 2019, Evaluation of Caldera Hosted Geothermal Potential during Volcanism and Magnetism in Subduction System, NE Japan,*Geofluids*, 10.1155/2019/3031586

Higashino *et al*, 2019, Brine Infiltration in the Middle to Lower Crust in a Collision Zone: Mass Transfer and Microtexture Development Through Wet Grain–Boundary Diffusion, *J. Petrology*, 60, 329-358. 10.1093/petrology/egy116

Uno, M.. Okamoto, A., and Tsuchiya, N., 2017, Excess water generation during reaction-inducing intrusion of granitic melts into ultramafic rocks at crustal P–T conditions in the Sør Rondane Mountains of East Antarctica, *Lithos*, 10.1016/j.lithos.2017.04.016

Keyword: Diffusion, Permeability, Water Budget, Caldera, Magmatism, Fluid Flow, Metamorphism

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

多結晶岩石における組織形成が浸透率に与える効果

藤田和果奈*（東北大），中村美千彦（東北大），Gregor J. Golabek（バイロイト大），Marcel Thielmann（バイロイト大），Philipp Eichheimer（バイロイト大），上杉健太郎（JASRI）

Effect of microstructural evolution on permeability in polycrystalline aggregates

Wakana Fujita*, Michihiko Nakamura (Tohoku Univ.), Gregor J. Golabek, Marcel Thielmann, Philipp Eichheimer (University of Bayreuth), Kentaro Uesugi (JASRI)

背景・目的: 地球内部の岩石の結晶粒間にはしばしば超臨界水やマグマといった流体相が岩石から分離する過程は，沈み込むプレート内での地震発生やマグマの生成などの重要な諸現象を支配する．流体移動の効率を表す浸透率は，岩石粒間の流路の幾何学的構造に強く依存する．しかしながら，岩石の微細構造は温度圧力の変化に伴う変成・融解作用とその時間経過によって進化し，それによって流体の浸透率がどうコントロールされるのかはよく理解されていない．本研究では，高温高圧実験で定常的な粒成長段階にある多結晶体を合成し，放射光 X 線 CT を用いて空隙構造のイメージングを行い，浸透率の数値計算を行った．

手法: ピストンシリンダー型高圧発生装置を用い，1GPa，900℃の条件で石英多結晶体を合成した．流体量と二面角を流体の CO_2/H_2O 比で 52，61，71 °の三段階に制御し，流体体積分率で 3.7–13 vol.%とした．実験産物の X 線 CT 撮影を SPring-8 で行い，解像度 0.51μm/pixel の CT 像を得て，この空隙構造を用いて浸透率の数値計算（LaMEM model; Kaus et al., 2016）を行い，計算結果と流路構造の比較を行った．

結果: CT 像の空隙構造の観察から，(1)流体量や固液二面角の値に関わらず粒子スケールで流体のプールが形成されていること，(2)流体量が少ない試料では 0.7–1.8vol.%の流体が連結せず，孤立して分布していることが分かった．(1)の流体のプールは結晶粒成長に伴う間隙流体の移動・合体によって形成されたと考えられる．浸透率の計算結果を Wark and Watson (1998)による実測値と比較したところ，Qtz–H_2O 系の試料の計算結果は Qtz–H_2O–(NaCl)系の実測値と，Qtz–H_2O–CO_2 系の計算結果は Cal–H_2O 系の実測値と調和的であった．一方，二面角形状のみに基づく理想的な流体分布を仮定した理論モデルと比較すると，実験産物の計算結果は流体量が少ない試料で 1 桁ほど低い結果となった．この差は，単純化された理論モデルでは考慮されていない空隙構造；(1)の流体が粒子スケールで不均質に分布していることや(2)の浸透率に寄与しない流体が存在していることに起因すると考えられる．(2)の孤立した流体は，含水鉱物の安定領域を超えて沈み込むスラブとともに地球深部に運搬される可能性がある．

Keyword: grain growth, quartz aggregate, dihedral angle, permeability

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

海洋下部地殻～モホ遷移帯における加水作用と岩石物性変化について：ICDP オマーン掘削コア試料の「ちきゅう」船上計測結果

阿部なつ江*[1]・岡崎啓史[2]・片山郁夫[3]・畠山航平[3]・赤松祐哉[3]・The Oman Drilling Project Science Party

Relationship between the physical properties and hydration of the oceanic lower crust/ Moho TZ: results from onboard measurements of ICDP Oman Drilling Project (ChikyuOman)

Natsue Abe*[1], Keishi Okazaki[2], Ikuo Katayama[3], Kohei Hatakeyam[3], Yuya Akamatsu[3], The Oman Drilling Project Science Party

(1:MDP, MarE3, JAMSTEC; 2：KCC, X-star, JAMSTEC, 3：Hiroshima University)

オマーン・オフィオライトにおいて、2016 年から 2018 年にかけて陸上掘削を行い、回収率 100%で約 3200m 長分の岩石コア試料を採取した。下部地殻～上部マントル層相当の部分にかけて得られたコア試料著しく変質しており、かんらん石は 100%蛇紋石化していた。採取したコア試料は、清水港に停泊中の地球深部探査船「ちきゅう」へ搬送し、2017 年と 2018 年に合計 4 ヶ月間、世界 17 カ国からのべ 195 名の乗船研究者が参加し、火成岩岩石学、変成岩岩石学、構造地質学、古地磁気学、地球化学、岩石物性の 5 チームに分けて記載・分析した。

ここでは、2 年目の岩石物性計測データを元に、オフィオライトにおける地殻～マントル境界およびマントルセクションの物性変化を示す。X 線 CT スキャン、MSCL（マルチセンターコアロガー）による非接触電気比抵抗、密度、帯磁率計測データや、個別試料（2cm 角の立方体など）で測定した熱伝導率、密度、空隙率、P 波速度、塩水飽和および乾燥試料の電気伝導度、帯磁率などを測定した。その結果、これら岩石物性は、鉱物モード組成や全岩化学組成と良い相関を示すことがわかった。地殻～マントル境界を掘削した Hole CM1A において、平均 Vp 7km/s の変斑れい岩（下部地殻セクション）と平均 Vp 5 km/s の蛇紋岩（マントルセクション）との間の“古モホ面”において、予想された速度構造とは反対の速度逆転が見られた。特に、超マフィック岩（蛇紋岩）における Fe 含有量―帯磁率―電気伝導率―熱伝導率に非常に良い相関が見られることがわかった。

本発表では、モホ面の反射率やモホ面を構成する岩石層やその変質程度などについて議論する。

Key words: ICDP OmanDP, D/V Chikyu, Ophiolite, Oceanic Crust, Moho TZ

*Corresponding author: abenatsu@jamstec.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

酸素同位体を用いた地質速度計：高温変成作用下で岩石—水相互作用を記録するザクロ石への適用

東野文子（岡山理科大学）*、Daniela Rubatto（ベルン大学、ローザンヌ大学）、河上哲生（京都大）、Anne-Sophie Bouvier、Lukas P. Baumgartner（ローザンヌ大学）

Oxygen isotope speedometry in garnet recording fluid-rock interaction during high-temperature metamorphism

Fumiko Higashino* (OUS), Daniela Rubatto (Uni. Bern, Uni. Lausanne),
Tetsuo Kawakami (Kyoto Uni.), Anne-Sophie Bouvier, Lukas P. Baumgartner (Uni. Lausanne)

ザクロ石は、安定に存在する温度圧力領域が広く、しばしば他の鉱物を包有物として含むことから、異なる温度圧力条件の複数の変成ステージを記録する [1, 2, 3]。しかし、高温変成条件下では、拡散係数が大きいため [4]、化学組成ゾーニングは拡散により書き換えられることが多い。その拡散プロファイルが鉱物中に記録されるか否かは、拡散係数と高温継続時間、および対象鉱物の粒径に依存する。

地質速度計は、拡散プロファイルを拡散方程式でフィッティングすることにより、冷却速度・高温継続時間を制約する手法である [5, 6]。微量元素や同位体を用いた地質速度計は、既知の拡散係数と高度な分析技術が必要となるため未だ発展途上にあるが、価数の大きい希土類元素など拡散の遅い元素の有用性に注目が高まっている [7]。本研究では、近年、実験的研究による拡散係数の決定と分析技術の発達が目覚しい、ザクロ石中の酸素同位体に着目し、地質速度計を適用し、高温継続時間を制約することを試みた。

本研究で扱う試料は、東南極セール・ロンダーネ山地東部のバルヒェン山に産する、ザクロ石—黒雲母—珪線石片麻岩である。本試料に含まれるザクロ石斑状変晶は、リンのゾーニングで明確にコアとリムの境界を定義することができ、リンに富むコアには塩素濃度の低い黒雲母が、リンに乏しいリムには塩素濃度の高い黒雲母が包有される [8]。すなわちザクロ石のコア形成後、塩素に富む流体が流入したと考えられ、その温度圧力条件は約 800 ºC, 0.8 GPa と見積もられている [8]。本試料のザクロ石斑状変晶に対し、SIMS を用いてザクロ石のコアからリムにかけて酸素同位体比の線分析を行った。その結果、コアからリムにかけて酸素同位体比が、約 15.6 ‰ から約 10.8 ‰ に、徐々に減少するプロファイルが得られた [9]。酸素同位体比の変化は、ザクロ石のコア・リム境界の両側約 400 μm で対称に見られ、より遠方ではフラットな値を示す。コアからリムにかけて、酸素同位体比は約 5 ‰ 減少する [9]。この差は、閉鎖系で鉱物が結晶化する際に生じる同位体分別のみで説明するには大きすぎることから、コア形成後に、酸素同位体比の低い流体が流入したと考えられる [9, 10]。

この酸素同位体比のプロファイルは、拡散方程式でフィッティングすることができ、800 ºC における既知の拡散係数を用いると、高温継続時間は約 0.5-40 Myr と見積もられた [9]。本発表では高温継続時間の制約に加えて、流入した流体の起源についても議論する。

引用文献　1. Spear et al., 1984. *Geology* **12**, 87-90. 2. Caddick & Kohn, 2013. *Elements* **9**, 427-432. 3. Kohn & Penniston-Dorland, 2017. *RiMG* **83**, 103-152. 4. Borinski et al., 2012. *CMP* **164**, 571-586. 5. Pyle & Spear, 1999. *GMR* **1**, 1-49. 6. Ganguly, 2010. *RiMG* **72**, 559-601. 7. Vielzeuf et al. 2005. *Am Min* **90**, 463-472. 8. Higashino et al. 2013 *Precam. Res.* **234**, 229-246. 9. Higashino et al. *JMG* in press. 10. Kohn, 1993. *CMP* **113**, 249-261.

Keywords: oxygen isotope, garnet, SIMS, brine, granulite
*Corresponding author, f.higashino@das.ous.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$MgO-H_2O$ 系における反応誘起破壊と透水率の時間発展

笠原 久夢，宇野 正起，岡本 敦，土屋 範芳（東北大学環境科学研究科）

Reaction-induced fracturing and permeability development in $MgO-H_2O$ system

Hisamu Kasahara*, Masaoki Uno, Atsushi Okamoto, Noriyoshi Tsuchiya

(Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University)

To understand the different modes of fracturing in water-rock reactions, it is necessary to clarify the relationship between reaction-induced fracturing and permeability development in hydration reaction. In this research, we conducted hydrothermal flow-through experiments using the samples of sintered periclase (MgO) to investigate internal structural change and permeability development during hydration. From this result, the relationship between reaction-induced fracturing and permeability development was discussed.

岩石–流体反応にともなう固相の体積膨張は応力を発生させ，その誘起応力は蛇紋岩化作用において熱力学的には、1.5 GPa にもおよぶと予測される(Kelemen and Hirth, 2012)。このような反応に伴う固相の体積膨張は，き裂を生成させ，透水率上昇を引き起こし、反応を促進する。一方、体積膨張反応にもかかわらず破壊が生じず，流体供給や反応の進行が抑制される反応帯も報告されている(Centrella *et al*., 2015)。こうした極端な力学・水理学応答の違いは、熱力学的平衡論では説明できず，その相互作用のメカニズムは未だに明かになっていない。

本研究では、吸水反応に伴う反応誘起破壊と透水率挙動の相互作用の解明を目的として、流通式水熱実験を行った。試料は体積膨張率~120 %の MgO 焼結体で、空隙率 φ = ~ 0.5 %, 10~15 %の 2 種類を用意した。流体は H_2O を使用した。初期流体圧は 5.0 MPa、流量は試料の上流と下流の差圧が< 10 MPa となるよう適宜調整した。封圧は Max50 MPa、反応温度は 100 ~ 200 °C 内で設定した。

封圧 20 MPa で実験を行った結果、高空隙率の試料では、温度ごとに透水率挙動が変化し、200 °C では単調減少、100 °C では振動が見られた。また、CT 観察では試料全体が一様に反応し、$Mg(OH)_2$ が析出している様子が観察された。低空隙率の試料では、200 °C において、透水率が $< 5.6 \times 10^{-20} m^2$ から $\sim 3.0 \times 10^{-17} m^2$ まで上昇した。また、CT 観察により、ネットワーク上にき裂が発達している様子が観察された。従って、低空隙率の試料における透水率上昇は、吸水反応で観察される，応力発生とき裂生成，流体供給の反応促進機構を再現したと考えられる。

このような試料の内部構造変化と透水率挙動変化は、体積膨張反応に伴う応力発生と密接に関係している。このため、以前行った反応誘起応力測定実験の結果と本実験の結果を合わせて考察し、体積膨張反応における反応誘起破壊と透水率挙動変化との関係及びその支配要因に関して議論を行う。

Keywords : hydration, reaction-induced fracturing, permeability

*Corresponding author:h.kasahara@geo.kankyo.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

超臨界流通式水熱実験による玄武岩-海水系の元素の選択的溶脱に伴う変質過程

根津勇介、岡本敦、平野伸夫、宇野正起、土屋範芳（東北大・環境）

Alteration processes associated with selective leaching of elements in basalt-seawater system revealed by supercritical hydrothermal flow through experiment

Yusuke Netsu[1], Atsushi Okamoto[1], Nobuo Hirano[1], Masaoki Uno[1], Noriyoshi Tsuchiya[1]

[1]Graduate School of Environmental Studies Tohoku University

We conducted the hydrothermal flow-through experiments on basalt-fluid (distilled water, brine, seawater) interaction under supercritical conditions to understand the relationship between mass transfer and metamorphism within hydrothermal systems of oceanic crusts. We revealed that the reaching of albite component dominantly occurs in distilled water and brine, whereas in seawater, chlorite was formed throughout reaction vessel by reactions of clinopyroxene and plagioclase in matrix with Mg ion in seawater. Our result suggests that initial solution chemistry provides significant controls on the reaction pathways and evolution of fluids during hydrothermal alteration of oceanic crusts.

中央海嶺系ではアイスランドの掘削プロジェクトによって超臨界地熱資源の開発や、海洋底熱水鉱床の利用などの注目が集まっており、これらの系の理解のための超臨界条件下の岩石-海水相互作用の解明に向けた研究の重要性が高まっている。これまでの玄武岩-海水相互作用の研究は、閉鎖系実験と熱力学を用いた地化学モデリングなどが中心であり、系が平衡に達した時の鉱物、流体組成については理解が進んでいる。しかし海洋底熱水循環系のような開放系かつ超臨界条件での元素の移動と、変質作用の反応過程については、系は平衡に達しているとは限らず、実験を行うには過酷な条件という問題から、あまり解析が進められていない。そこで本研究では、超臨界条件下で玄武岩-海水系の流通式実験を行った。実験条件は IDDP2 の深部の超臨界環境かつ、溶存種の平衡解析が可能な 400 - 410 ℃、38 - 40 MPa で、実験は 2 - 6 日間行った。岩石はアイスランド玄武岩、流体は海水および比較のために蒸留水、塩水(2.5 wt% NaCl)を用いた。

海水実験では、反応容器の入り口で海水から石膏が析出し、pH=2.4 という(初期 pH = 8.4)著しい低下が見られた。6 日間の実験で岩石の約 50 wt%は緑泥石となった。顕著な緑泥石の生成が見られたのは、pH が低下した海水において単斜輝石と斜長石の溶解が非常に速く進んだためだと考えられる。また、上流で溶脱した鉄が、下流において鉄酸化物として再沈殿していた。一方で、蒸留水と塩水の実験においては、斜長石の Si、Al、Na が選択的に溶脱し、灰長石に置換され、単斜輝石はあまり反応しなかった。海水とは対照的に pH は 5.8 から 9 まで上昇した。

これらの実験結果は、玄武岩-海水の反応は、塩水、蒸留水の場合と大きく異なることを示しており、この違いは海水中の溶存種に関連する pH 変化とそれに伴う鉱物の溶解速度の変化によって生じたと考えられる。

Keyword: Basalt-Seawater interaction, Supercritical fluid, Flow-through experiments

E-mail: netsu@geo.kankyo.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R4: 地球表層・環境・生命

2019年9月21日(土) 14:00 ~ 16:15 | 大講義室 Ib 大講義室

R4: 地球表層・環境・生命

座長:川野 潤、横山 正、宇都宮 聡

[座長]
横山　正：R4-01～R4-03
宇都宮　聡：R4-04～R4-06
川野　潤：R4-07～R4-09

14:00 ~ 14:15

[R4-01] 人形峠ウラン鉱山における坑水自然浄化機構の解明

*川本 圭佑[1]、落合 朝須美[1]、岳田 彩花[1]、中野 友里子[1]、横尾 浩輝[1]、沖 拓海[1]、大貫 敏彦[2]、小原 義之[3]、福山 賢仁[3]、宇都宮 聡[1] (1. 九州大学、2. 東京工業大学、3. 日本原子力研究開発機構)

14:15 ~ 14:30

[R4-02] 高濃度放射性セシウム含有微粒子の新規定量法(QCP法)開発とその移行挙動の解明

*宇都宮 聡[1]、池原 遼平[1]、末武 瑞樹[1]、栗原 英太郎[1]、小宮 樹[1]、諸岡 和也[1]、高見 龍[1]、武原 政人[1] (1. 九州大学)

14:30 ~ 14:45

[R4-03] 白色干渉計を用いた水溶液中でのジルコン溶解速度測定

*北垣 徹[1] (1. 原子力機構)

14:45 ~ 15:00

[R4-04] 鉱物の濡れ性の違いが溶解挙動に及ぼす影響

*横山 正[1]、西山 直毅[2] (1. 広大・院総科、2. 筑波大・院生命環境)

15:00 ~ 15:15

[R4-05] 蛍光プローブを用いた２次元可視化手法による結晶の溶解/成長メカニズムの検討

*川野 潤[1]、矢崎 誠[1]、豊福 高志[2,3]、長井 裕季子[2,4]、Teng Henry[5]、永井 隆哉[1] (1. 北大、2. JAMSTEC、3. 海洋大、4. 科博、5. 天津大)

15:15 ~ 15:30

[R4-06] 二酸化炭素と水蒸気存在下における珪灰石の炭酸塩化

*橋爪 秀夫[1] (1. 物・材機構)

15:30 ~ 15:45

[R4-07] 中性子回折とラマン分光によるNesquehoniteの化学式の再検討

「発表賞エントリー」

*山本 弦一郎[1]、興野 純[1]、阿部 淳[2]、佐野 亜沙美[3]、服部 高典[3] (1. 筑波大学、2. 総合科学研究機構、3. 日本原子力研究開発機構)

15:45 ~ 16:00

[R4-08] ヒザラガイ類の歯舌内のマンガンに富む組織の鉱物学的研究

*市村 康治[1]、小暮 敏博[1] (1. 東大・院理)

16:00 ~ 16:15

[R4-09] 急冷指標の炭素含有固化過程：地球上生成物

*三浦 保範[1] (1. 元一山口大)

人形峠ウラン鉱山における坑水自然浄化機構の解明

川本圭佑(九大)，落合朝須美(九大)，岳田彩花(九大)，中野友里子(九大)，横尾浩輝(九大)，沖拓海(九大)，大貫敏彦(東工大)，小原義之(JAEA)，福山賢仁(JAEA)，宇都宮聡(九大)

Remediation mechanisms of uranium mill-tailing site at Ningyo-toge, Japan, under the circumneutral condition

Keisuke Kawamoto (Kyushu Univ.), Asumi Ochiai(Kyushu Univ.), Ayaka Takeda(Kyushu Univ.), Yuriko Nakano(Kyushu Univ.), Hiroki Yokoo(Kyushu Univ.), Takumi Oki(Kyushu Univ.), Toshihiko Ohnuki(Tokyo Tech.), Yoshiyuki Ohara(JAEA), Kenjin Fukuyama(JAEA), Satoshi Utsunomiya* (Kyushu Univ.)

In the Ningyo-toge uranium mine, Okayama, Japan, various toxic elements such as U, As, and Ra are present in the mine wastewaters, of which the concentration except for Ra in the wastewater decrease below the regulatory limit by transport to the slag dumping pond. The mechanisms of decreasing their concentrations in the wastewaters are not fully understood. In order to understand the fundamental processes of natural attenuation at this site, we have investigated the wastewaters and solids from upstream to the pond at the downstream. Wastewater was contacted with oxygenated water and the amount of dissolved oxygen increased. Simultaneously dissolved ferrous iron was oxidized to form ferrihydrite nanoparticles, which are associated with silica colloids, As and U. The ferrihydrite nanoparticles as suspended colloids were transported to the pond in downstream, where the waste stream is completely oxidized. In the slag dumping pond, Mn dioxide, birnessite, dominantly occurs forming a mixture with ferrihydrite+silica colloid, which has a potential to adsorb Ra^{2+}. Consequently, Fe hydroxides nanoparticles and Mn dioxides in Ningyo-toge play a key role on removing U, As and Ra from the wastewater.

岡山県に位置する人形峠ウラン鉱山では、現在も坑水中に U, As, Ra などの有害元素が含まれている。坑水中の有害元素は、表流させることで濃度が減少していることが分かっているが、この自然浄化機構は明らかになっていない。本研究では、U, As, Ra の収着が期待され、かつ人形峠坑水、堆積物中に多く存在している Fe, Mn 酸化物粒子に注目し、その生成過程、表面特性、シリカコロイドとの凝集をナノスケールで明らかにすることで、人形峠における坑水の自然浄化機構を解明することを目的とした。価数同定に XAFS、坑水と堆積物の組成同定に ICP-AES,MS,FIB,TEM、鉱物の同定に SEM,XRD、ゼータ電位、粒径の時間変化に DLS を用いた。なお、DLS は坑水サンプルの酸化を最小限にするため現地で行った。

地下水集水井において、溶存酸素量(DO)が低い地下坑水(DO=0.18 mg/L)が地上に放出されることで、DO が増加し(DO=1.65 mg/L)、即座に表面が正に帯びた粒子状 ferrihydrite が生じて、坑水中のアニオン種である As, U 分子を収着した。同時に負に帯電するシリカコロイドも ferrihydrite 上に付着し、ゼータ電位は徐々に減少して、1 日後には ferrihydrite のゼータ電位はシリカコロイドのゼータ電位範囲内の-23 mV になった。その後、吸着速度の遅い Mn^{2+}が吸着し、わずかに溶けている酸素により吸着した Mn の一部が酸化していた。また、この ferrihydrite 粒子は DO がさらに増加する下流地点(DO=3.09 mg/L)にも流れ、沈殿している。上流地点とは異なり、下流地点では Mn の大部分が酸化され、Ra 収着が期待される繊維状の birnessite として凝集していた。本研究で人形峠では ferrihydrite+シリカコロイド凝集体中の Fe, Mn 酸化物が坑水中の U, As, Ra の除去に関与していることが示唆された。

Keywords: natural attenuation, ferrihydrite, birnessite, uranium mine, Ningyo-toge
***Corresponding author:** utsunomiya.satoshi.998@m.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

高濃度放射性セシウム含有微粒子の新規定量法(QCP 法)開発とその移行挙動の解明

宇都宮聡 池原遼平 末武瑞樹 栗原英太郎 小宮樹 諸岡和也
高見龍 武原政人(九大院理)

Novel Method of Quantifying Radioactive Cesium-Rich Microparticles (CsMPs) at Fukushima and the Application to the Dynamics of CsMPs

Satoshi Utsunomiya*, Ryohei Ikehara, Mizuki Suetake, Eitaro Kurihara, Tatsuki Komiya
Kazuya Morooka, Ryu Takami, Masato Takehara(Kyushu Univ.)

Cesium-rich microparticles, which were released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) in March 2011, have high radioactivity per unit mass and contribute to Cs radioactivity in ambient environment near the FDNPP; however, little is known about the amount and distribution of CsMPs in the environment. Here we report new method to quantify CsMPs. The QCP method is based on quantitative autoradiography, in which photostimulated luminescence (PSL) is linearly correlated to the radioactivity. The relation between PSL and the radioactivity was carefully determined to be 0.0523 Bq/PSL/h using isolated microparticles with various radioactivity. In the soil collected from Nagadoro, Fukushima, Japan, CsMPs were only detected in soil sieved with a 114 μm mesh. There was no overlap between the radioactivities of CsMPs and Cs-clay. Based on the distribution of radioactivity of CsMPs, the threshold radioactivity of CsMPs in the size fraction of <114 μm was determined to be 0.06 Bq. In the application of QCP method, the amounts and radioactivity fractions (RF) of CsMPs in 20 surface soils collected from the vicinity of the FDNPP were determined to be 0.869−318 particles per gram and 1.63−80.2%, respectively. The result of the soils of northwest from FDNPP has smaller RF values and greater number of CsMPs than that of southwest. The lower RF values of the soils collected from northwest from FDNPP are ascribed to the wet deposition of the subsequent plumes that contain only soluble Cs species after March 15. Remarkably, a detailed analysis of accident events revealed that the only plumes released from the late afternoon of March 14 until late afternoon of March 15, 2011 contain CsMPs, strongly suggesting that unit 3 is the most plausible source of CsMPs than the other reactor units. This novel QCP method is applicable to the other environmental samples for determination of the RF values and numbers of CsMPs. These information also provide crucial insights into the timing of the formation, release, movement and distribution of CsMPs, which leads to the better understanding of a scenario of the Fukushima nuclear disaster.

2011 年 3 月に発生した東日本大震災後の原発事故により Cs が大気中に放出された。本研究では汚染土壌中の CsMP による放射能の割合を定量化するための新しい手法を開発した。福島県で採取された 20 の表層土壌中の CsMP の数と放射能画分（RF）は、それぞれグラム当たり 0.869-318 粒子と 1.63-80.2%であると決定された。この範囲の RF 値と CsMP の数は、プルームが移動した場所、プルーム移動中の降水量、および FDNPP からの距離に関与していた。 FDNPP から北西地点の土壌の低い RF 値は、その後の可溶性 Cs 種を含むプルームの影響を示している。3 月 14 日の午後から 15 日の午後までに放出されたプルームには CsMP が含まれており、放出初期には 3 号機が CsMP の供給源であることが示唆された。本研究で得られた CsMP の定量的分布図は、CsMP の動態、ならびに住宅地における潜在的なリスク評価および CsMP に由来する環境影響を理解するのに有用である。

Keywords: Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, CsMPs, QCP method
***Corresponding author:** utsunomiya.satoshi.998@m.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

白色干渉計を用いた水溶液中でのジルコン溶解速度測定

北垣 徹（原子力機構）

Dissolution rate measurements of zircon in aqueous solutions by Phase-shift interferometric microscope

Toru Kitagaki* (JAEA)

Zircon dissolution rates under flowing aqueous solutions of pH 0 (HCl), 7 (H_2O), 14 (NaOH aq) were *in-situ* measured from the zircon surface change by Phase-shift interferometric microscope.

1. 緒言　福島第一原子力発電所(1F)事故時の溶融燃料とコンクリートの相互作用（MCCI）により生成する溶融プール中において、ジルコンは地質環境と同様に、溶融プールの温度に応じて Ti、酸素分圧に応じて Ce 等を取り込み結晶成長すると推定しており、本特性を用いて、MCCI 生成物中のジルコンから 1F 事故時の溶融プール中の温度や酸素分圧の推移を解析する手法を開発している。一方、MCCI 生成物は 1F 事故後から炉内滞留水中に浸漬しているため、ジルコンの一部は溶解し、溶解した部分のジルコンが結晶成長した時の環境条件は解析不可となる。ここでは、1F 事故以降、原子炉内滞留水中に浸漬するジルコンのおおよその溶解量を推定するため、天然ジルコンの溶解速度を測定した。

2.実験方法　チタン製その場観察用セル内にスリランカ産ジルコンの(101)面を測定面として設置した後、セル内に pH 0 (HCl)、7 (H_2O)、14 (NaOH aq)の溶液を、HPLC ポンプを用いてそれぞれ送液し、ジルコン表面に付着固定した Au 微結晶を基準高さとした時の 1 次元の凹凸の変化を白色干渉計[1]を用いて測定し、溶解速度（nm/s）を算出した。

別途析出物の有無を確認するため、マラウイ産ジルコンを 70 μm程度以下まで粉砕し、pH 1 (HCl)、7 (H_2O)、13 (NaOH aq)の水溶液 7 mL 中にそれぞれ 500 mg ずつ 67 日間浸漬した後、表面の SEM 観察を実施した。

3.実験結果及び考察　pH 0 (HCl)、7 (H_2O)、14 (NaOH aq)の溶液を送液したときの平均の溶解速度はそれぞれ-4.848×10^{-4}、-1.470×10^{-4}、-4.362×10^{-5} (nm/s)であった。また、ジルコン粉末の浸漬では、NaOH aq 中へ浸漬した試料表面にのみ、針状結晶の生成を確認した。この 2 次生成物により pH14 の溶解速度が見かけ上低下した可能性が考えられる。

本測定結果を用いて pH 7 の炉内水中にジルコンが 10 年間浸漬した場合の溶解量を単純に外挿すると、表面から約 50 μm 程度溶解すると推定できる。

参考文献　[1] Satoh, H. et al., Ame. Mine., 92, 503-509. (2007).

謝辞　本研究の一部は JSPS 科研費 JP18052171 の助成を受けたものである。白色干渉計による測定にご協力頂いた佐藤久夫博士に感謝申し上げる。

Keywords: Fukushima Daiichi NPP, Fuel debris, zircon, in-situ measurement, Dissolution

*Corresponding author: kitagaki.toru@jaea.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

鉱物の濡れ性の違いが溶解挙動に及ぼす影響

横山　正*（広大）・西山直毅（筑波大）

Effect of the difference of wettability of mineral on dissolution behavior

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

岩石内部の間隙に水が浸透すると，水と鉱物の接触部で溶解や沈殿などの反応が起こる。地表付近では，一般に全ての間隙が水で満たされるわけではなく，間隙の一部には空気が入る（図 1）。空気が入った部分にある鉱物は水と反応しないように思われるが，実際には鉱物表面には“水膜”が存在し，この水膜を介して溶解が進むことが指摘されている[1]。Nishiyama & Yokoyama (2013)は，ほぼ 100%石英からなる Fontainebleau 砂岩を用いて，間隙が水で満たされる割合が 46%（空気が 54%）の不飽和状態と，間隙が全て水で満たされた飽和状態の両方で岩石内部に水を流して，Si の溶解量を測定した。その結果，飽和状態と不飽和状態とで溶解量に違いが認められず，間隙中に空気が存在しても，石英の表面は全て水膜で濡れて溶解が進むことが明らかになった。しかし，同様の現象が石英以外の鉱物でも生じるかは，よくわかっていない。

本研究では，石英の他にカリ長石や炭酸塩鉱物が含まれている Berea 砂岩を用いて，飽和状態と不飽和状態の両方で岩石内部に水を流して，溶出する元素の量を測定した。不飽和状態の実験として乾燥試料に水を流すと，開始後約 8 日間は間隙中に空気がある状態が続き，徐々に空気が減少して最終的には間隙が水で満たされた。飽和と不飽和のそれぞれの実験で得られた溶解速度（単位時間当たりに岩石全体から溶出するモル数）を比較すると，炭酸塩鉱物から溶出する Ca については，間隙中に空気がある間は溶解速度が飽和状態より小さかった。一方，珪酸塩鉱物から溶出する Si については，空気がある状態でも飽和状態との溶解速度の違いがなくなった。炭酸塩鉱物と比べて珪酸塩鉱物の表面では鉱物表面を濡らす水膜が厚くなりやすいと推定され，このため空気がある状態でも珪酸塩鉱物では水膜を介した溶解が効率よく進んだと考えられる。

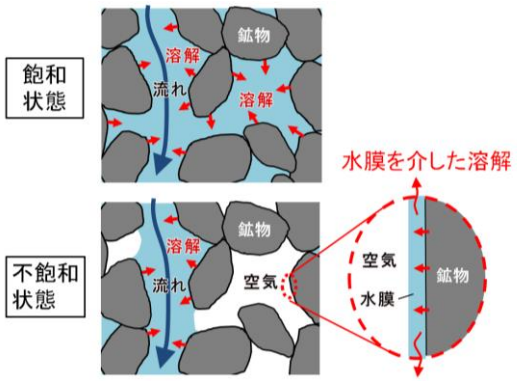


図 1　飽和状態と不飽和状態の間隙中の水・空気の分布と溶解の概念図

Keywords: Dissolution, Pore water, Wetting, Water film

*Corresponding author:

t-yokoyama@hiroshima-u.ac.jp

[1] Nishiyama & Yokoyama, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **122** (2013).

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

蛍光プローブを用いた２次元可視化手法による結晶の溶解/成長メカニズムの検討

川野 潤*・矢崎 誠(北大)・豊福高志(JAMSTEC,海洋大)・
長井裕季子(科博, JAMSTEC)・Henry TENG(天津大)・永井隆哉(北大)

Investigation on the crystal growth/dissolution mechanisms by using the 2-D visualization technique with fluorescent probes

Jun Kawano*, Makoto Yazaki (Hokkaido Univ.), Takashi Toyofuku (JAMSTEC,TUMSAT), Yukiko Nagai (NMNS,JAMSTEC), Henry Teng (Tianjin Univ.), Takaya Nagai (Hokkaido Univ.)

はじめに

水溶液中における鉱物の成長や溶解のメカニズムについて、これまで数多くの研究が行われてきたが、近年そのプロセスが想像以上に複雑であることが明らかになるなど、十分な理解が得られているとは言い難い。私達の研究グループはこれまで、鉱物表面における溶解メカニズムを明らかにするため、炭酸カルシウムを例として、溶解する結晶表面近傍の局所的な溶液環境の変化を２次元イメージングする試みを行ってきた。その結果、無機的な溶解プロセスに伴う結晶表面近傍における pH や Ca イオン濃度の変化の様子を初めて可視化することに成功したが、pH はこの現象にともなう様々な反応や拡散など、複雑なプロセスの影響を受けて変化している。本研究においては、この手法によって得られたプロファイルに基づいて、反応をモデリングすることを試みた。

実験手法

結晶の溶解に伴う pH および Ca イオン分布の変化の可視化は、それぞれの違いによって異なる蛍光を示す試薬（蛍光プローブ）により行った。蛍光試薬には、pH については HPTS を、Ca イオン濃度については Fura-FF を用い、既知の溶液を測定して検量線を作成した。溶液には、NaCl によりイオン強度を 0.1 に調整したものを用いた。これらの溶液に結晶を浸漬させたのち、等間隔で 2 種類の励起光に対する蛍光像を撮影し、検量線に従って定量化することにより pH および Ca イオン濃度の時間変化を示す連続画像を得た。

結果と考察

HPTS を含有する水溶液中に炭酸カルシウム結晶を浸漬すると、その直後から蛍光の変化が観察され、pH が変化していくことを本学会でも報告している。その pH プロファイルの変化が、炭酸カルシウムの溶解に伴って生成する OH^-の拡散によるものであると仮定し、Fick の法則により実験結果を再現するように pH プロファイルの計算を行うと、イオンの拡散係数が $D = 1\times10^{-6}$ cm^2/s のとき実験結果と近いものとなった。この値は、これまで報告されている OH^-や H^+などの拡散係数より一桁小さい。この結果は、この現象が、拡散よりも表面反応で律速されている可能性が高いことを示唆している。そのため、より正確なモデリングを行うためには、表面における Ca イオンの脱離速度をあわせて知る必要がある。すなわち Ca イオン濃度と pH を同時に測定・可視化することが望ましいと考えられ、本研究ではその可能性の検討も行っている。講演においては、その試みについても述べる。

Keywords: dissolution, diffusion, fluorescent probe, imaging, calcium carbonate
*Corresponding author: j-kawano@sci.hokudai.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

二酸化炭素と水蒸気存在下における珪灰石の炭酸塩化

橋爪秀夫（物・材機構）

Carbonation of wollastonite in the presence of carbon dioxide and water vapor

Hideo Hashizume (NIMS)

はじめに：二酸化炭素とカルシウム化合物の反応は化合物中のカルシウムイオンと二酸化炭素から炭酸カルシウムを合成することはよく知られている。地球温暖化防止の対策において、原因となるガスである二酸化炭素を回収し、鉱物等と反応させることにより、二酸化炭素の固定を試みる研究は盛んに行われている。また、構造材料のコンクリートなどのセメントを用いた材料では炭酸塩化による劣化が問題となっており、劣化の防止するための研究も進められている。

本報告では、温湿度制御粉末 X 線回折装置(XRD-RH)を用いて、カルシウム化合物である珪灰石と二酸化炭素の反応を行い、湿度の違いによる反応の速さを調べた。

実験：珪灰石は市販の試薬をそのまま用いた。XRD-RH の乾燥ガスを乾燥二酸化炭素ガスにし、飽和水蒸気と混合することにより、適度な湿度を持ったガス中に珪灰石を放置した。試料室の温度は 30℃で、湿度は 50、80%で珪灰石の炭酸塩化を行なった。X 線による測定は 0, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 20 時間行い、その後は 20 時間毎に測定し、200 時間保持した。比較のために、乾燥ガスを乾燥窒素ガスに変更し、温度が 30℃、湿度 80%により 200 時間保持した測定も行なった。

結果：珪灰石は湿度 50、80%で二酸化炭素と反応し炭酸カルシウムのバテライトに変化した。湿度が 80%の場合(Fig. 1)、測定開始から 5 時間後にバテライトのピークが現れ、10 時間放置するとそのピークは明瞭になった。また、湿度が 50%の場合では、バテライトのピークは約 100 時間後に現れた。

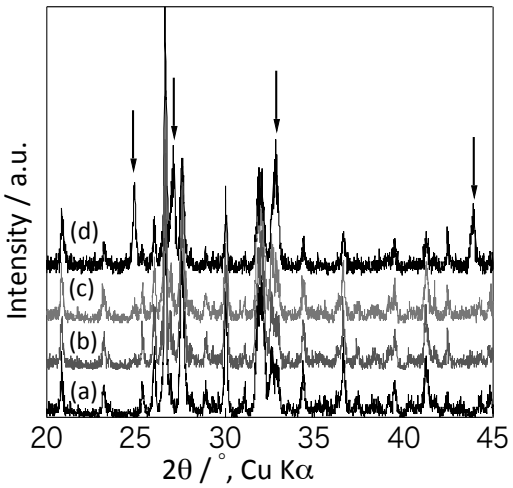


Fig. 1 湿度80%における珪灰石の相変化。(a) 0h, (b) 5h, (c) 10h, (d) 200h。矢印はバテライト。

また、二酸化炭素ガスの代わりに窒素ガスを用いた場合にはピークプロファイルに変化はなかった。水酸化カルシウムについて同様の実験を行った。水酸化カルシウムの場合は数分で反応が進んだが、合成物はバテライトではなくカルサイトであった。

Keywords: wollastonite, carbon dioxide, water vapor, vaterite

(Corresponding author: HASHIZUME.Hideo@nims.go.jp)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

中性子回折とラマン分光による **Nesquehonite** の化学式の再検討

山本弦一郎 [1]，興野純 [1]，阿部淳 [2]，佐野亜沙美 [3]，服部高典 [3]
（1: 筑波大学, 2: CROSS, 3: JAEA）

Neutron diffraction and Raman spectroscopy of nesquehonite: Which is the correct chemical formula, $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ or $Mg(OH)(HCO_3) \cdot 2H_2O$?

Gen-ichiro YAMAMOTO[*1], Atsushi KYONO[1], Jun ABE[2], Asami SANO-FURUKAWA[3], Takanori HATTORI[3] (1: Univ. Tsukuba, 2: CROSS, 3: JAEA)

Neutron diffraction and Raman spectroscopy were performed to determine the structure and chemical formula of nesquehonite. Nesquehonite was prepared from $MgCl_2$ and Na_2CO_3 solutions of pH 10.9. The crystal structure of deuterated nesquehonite was determined by Rietveld refinement of the time-of-flight neutron powder diffraction pattern. The crystal structure possessed monoclinic space group $P2_1/n$ with lattice parameters of a = 7.72100(12), b = 5.37518(7), c = 12.1430(3) Å, β = 90.165(4) °, and V = 503.956(13) Å^3. The refinement with a final crystal structure model of deuterated nesquehonite converged to wRp = 4.22 % and Rp = 3.50 % (Fig. 1). The positions of six deuterium (D) atoms were successfully determined. The results suggest that the D atoms are coordinated to O1, O2, and O6 atoms as water molecules in nesquehonite. It can be therefore considered that nesquehonite obtained in the study had the chemical formula of $MgCO_3 \cdot 3H_2O$. The crystal structure is composed of infinite ribbons of corner-sharing MgO_6 octahedra along b-axis. Within the ribbons, Mg atom is coordinated to two O atoms in water molecules and four O atoms in CO_3 groups. The ribbons are interconnected by hydrogen bonds of the water molecules located between the ribbons, forming a three dimensional hydrogen bonding network. The hydrogen bonds are ranged between 1.752(12) Å and 1.953(11) Å, except for the D5⋯O1 and D5⋯O2 bonds with distance of 2.346(14) and 2.483(13) Å, respectively. Raman spectra of undeuterated nesquehonite were in substantially coincidence with those given by Hales et al. (2008), but Raman bands corresponding to the CO_3 stretching and bending modes were considerably shifted to the higher wavenumbers (Fig. 2). This shifts imply that the CO_3 vibrations are not derived from the bicarbonate (HCO_3) unit, but the carbonate (CO_3) unit. The difference between our study and Hales et al. (2008) strongly indicates that nesquehonite can have two chemical formulas, $Mg(OH)(HCO_3) \cdot 2H_2O$ and $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ depending on the pH in the solution. That is, nesquehonite grown in a solution with pH around neutrality would have the chemical formula of $Mg(OH)(HCO_3) \cdot 2H_2O$, but that in a strongly alkaline solution results in the chemical formula of $MgCO_3 \cdot 3H_2O$.

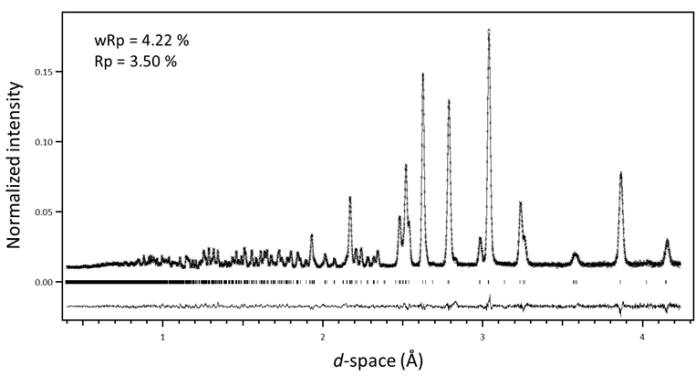


Fig. 1. Neutron powder diffraction pattern and the result of fitting by Rietveld refinement for nesquehonite.

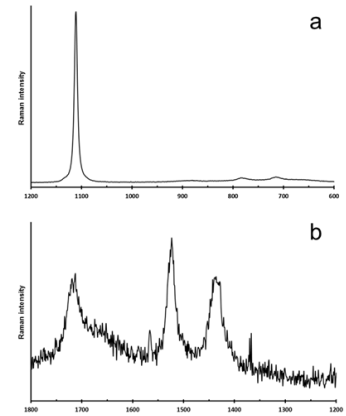


Fig.2 Raman spectra of nesquehonite

Keywords: Nesquehonite, Neutron diffraction, Raman spectroscopy, Hydrogen bonding network
*Corresponding author: g-yamamoto@geol.tsukuba.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ヒザラガイ類の歯舌内の マンガンに富む組織の鉱物学的研究

市村康治，小暮敏博（東京大学）

Mineralogical study of manganese-rich tissue in radular teeth of chitons

R4-08

Koji Ichimura*, Toshihiro Kogure (Univ. Tokyo)

ヒザラガイ類の歯舌には生体鉱物として磁鉄鉱が含まれることが知られている。昨年我々は EPMA によるヒザラガイ類歯舌内の磁鉄鉱中の $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ の定量の研究の過程で，複数種のヒザラガイ類の歯の摂餌面の基部でマンガンが濃集する組織を初めて見出した[1]。今回，この組織について化学組成分析と構造観察を試みた。

試料は神奈川県三浦市で採取した *Placiphorella stimpsoni* および数種から摘出した歯舌を乾燥，樹脂包埋，縦断面および横断面で切断，研磨した試料を用いて，歯舌内のマンガンに富む組織の EPMA による元素含有量と $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ の分析を行った。その後，FIB によりこの組織の薄膜化加工を行い，TEM により観察と分析を行った。

P. stimpsoni のマンガンに富む組織は磁鉄鉱のある摂餌面の基部にあり，反射電子像は磁鉄鉱よりもやや暗く，歯の中心のリン酸塩より明るい（Fig. 1a）。TEM 観察から，この組織は 10 – 30 nm のスピネル型の結晶の集合体で構成されており，結晶の方位は無秩序であった（Fig. 1b）。この組織は主に鉄，マンガン，銅を含み（Fig. 1c），鉄を 50 - 55 wt%，マンガンを 8 – 9 wt%，銅を 4 - 7 wt%を含有していた。鉄価数の解析の結果，摂餌面の磁鉄鉱中の $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ は 0.69 – 0.79 であった一方，この組織の $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ は 0.89 であった。

このような遷移金属の存在形態の詳細と磁鉄鉱の形成機構との関連，さらに生理的作用などを今後考察していきたい。

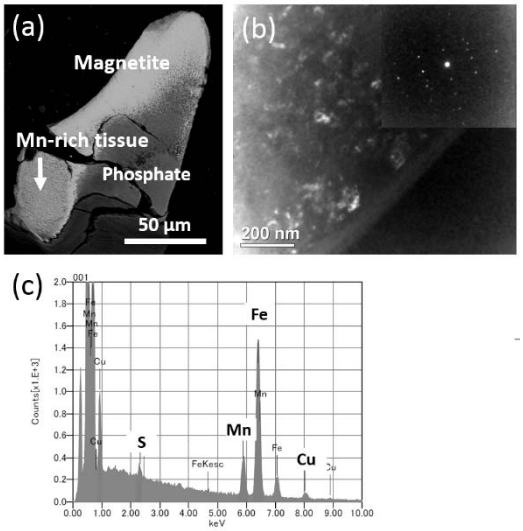


Fig. 1　Observation of manganese-rich tissue in the teeth　of *Placiphorella stimpsoni*
(a) backscattered image of a vertical cross section of a tooth, (b) diffraction pattern and dark field image, (c) corresponding EDX spectrum

[1] 市村・小暮 (2018) 第 13 回バイオミネラリゼーションワークショップ, #14

Keywords: biomineral, manganese, magnetite, EPMA, FIB-TEM
*Corresponding author: ichimura@eps.s.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

急冷指標の炭素含有固化過程：地球上生成物

三浦保範（元山口大）

Quenched indicator of solidified process with carbon: Earth case

Yasunori MIURA (Post Yamaguchi Univ.)

It has been obtained the carbon-bearing solidified grains of the quenched indicator formed by the activity of active Earth (by three major shock wave phenomena of earthquake, volcano and meteoritic impact) contributes in the fundamental processes of the Earth's surface, environment and life activity.

はじめに：地球上で肉眼的に観察できるマクロの物質状態は、徐冷から急冷で固体化形成される組織や岩石・鉱物などで多様化している。これは地球の安定化した三圏の物質状態間での生成であり、別の環境には応用できない事が多い。本件では、地球内外広く（地球内の未解明問題解決も含め）利用できる状態間の固化物質を急冷指標の観点から地球上（本件）、地球外と環境・生命・人工物についてこれまでの成果をまとめる。

急冷指標の現状とその必要性：高温物質からの冷却過程は、大きな岩石鉱物の形成する徐冷過程と、急冷過程で微小岩石の形成（利用面で制約）がある。他の状態（液体・気体）が消失される前者(徐冷)の固化過程に対して、後者（急冷）では他の状態（液体・気体）を残存する利点がある。急冷過程は、地球上の三圏システム相互間の移動や保持に重要な役目を果たす過程であると考えられる。そのため、地球表層（含深部初期）・環境・生命の未解明の問題も広く議論できる。

三圏間での安定的な循環元素：固体圏での固化過程は岩石鉱物の主要構成元素であるが、二圏を構成する揮発性元素でとして、固化しても安定的に存在できる炭素を本件では取り扱う。

三大衝撃波現象で形成される炭素含有物：活動的な地球上で高温高圧状態から急冷する過程は三大衝撃波現象（地震・火山・隕石衝突）である。これまでの地球上でのこれらの生成物には、すべて炭素含有物が FE－EPMA で観察されている。しかし徐冷の岩石鉱物は、揮発性元素は揮発消失して急冷炭素含有物は観察されていない。

地球環境問題における炭素含有物：地球の活動（三大衝撃波現象）以外に、産業革命以来の人工的な燃焼廃棄物の大気圏放出対策に対して、本件の揮発物の固化過程を応用する事ができる。

生命システムにおける役割：ミニ地球の生命体システムは、炭素源が未解明であり、その生成過程も本件の指標が貢献している。炭素以外に共存元素の水素酸素も海水形成に重要な元素である。

まとめ：地球の活動（三大衝撃波現象の地震・貨損・衝突過程）で形成される急冷指標の炭素含有固化物は、地球表層・環境・生命の基礎的な過程で貢献していることが分かった。

参考文献：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. Miura Y. (2017) Planet. Sci.-2050, 8101 (USA). Miura Y. (2018) IMA-2018 (Melbourne,Australia) 2039.

Keywords: Quenched indicator, Solidified Process, Carbon-bearing grains *yasmiura50@gmail.com*

@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

2019年9月21日(土) 14:00 ~ 16:15 | 大講義室 Ia 大講義室

R6: 深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー

座長:亀井 淳志、江島 圭祐、児玉 省吾

[座長]
亀井 淳志：R6-01〜R6-03
江島 圭祐：R6-04〜R6-06
児玉 省吾：R6-07〜R6-09

14:00 ~ 14:15

[R6-01] 中央モンゴルハンガイ山地ハルグイットーウストルゴイ火山のアルカリ岩台地状溶岩の地質と岩石

*大場 司[1]、星出 隆志[1]、井村 匠[1]、ナツァグドルジ ムンフエルデネ[1] (1. 秋田大学・国際資源)

14:15 ~ 14:30

[R6-02] チューク諸島Weno島の火山岩類のマグマプロセス

*角縁 進[1]、下瀬 洸也[2] (1. 佐賀大・教育、2. 芦刈小)

14:30 ~ 14:45

[R6-03] 阿武火山群と青野山火山群のマグマ過程と火山地形

*大和田 正明[1]、井町 春花、永嶌 真理子[1] (1. 山口大学・院創成科学)

14:45 ~ 15:00

[R6-04] 流体包有物に記録されている沈み込み帯流体の塩濃度

*川本 竜彦[1] (1. 静岡大学・理・地球科学)

15:00 ~ 15:15

[R6-05] 花崗岩体の石英の結晶化プロセス：石英のCL累帯パターンとTitaniQ温度計

*湯口 貴史[1]、小北 康弘[2]、加藤 丈典[3]、横田 倫太郎[1]、笹尾 英嗣[2]、西山 忠男[4] (1. 山形大・理、2. 原子力機構、3. 名古屋大、4. 熊本大)

15:15 ~ 15:30

[R6-06] マントルかんらん岩の部分溶融によって生成される安山岩質メルトについて

*土谷 信高[1]、山崎 大輔[2] (1. 岩手大・教育、2. 岡山大・惑星研)

15:30 ~ 15:45

[R6-07] 島根県東部に分布する大東花崗閃緑岩の結晶作用

*野口 将志[1]、越智 博美[1]、小林 夏子[1]、奥田 佳奈[1]、亀井 淳志[1] (1. 島根大学)

15:45 ~ 16:00

[R6-08] 熊本県北部の花崗岩類のジルコンU-Pb年代

*堤 之恭[1] (1. 国立科学博物館)

16:00 ~ 16:15

[R6-09] 東南極セール・ロンダーネ山地に産する大陸衝突型の高Ｋアダカイト質花崗岩

*亀井 淳志[1]、大和田 正明[2]、堀江 憲路[3]、志村 俊昭[2]、柚原 雅樹[4]、東田 和弘[5] (1. 島根大、2. 山口大、3. 極地研、4. 福岡大、5. 名大)

中央モンゴルハンガイ山地ハルグイットーウストルゴイ火山のアルカリ岩台地状溶岩の地質と岩石

大場 司・井村 匠・星出隆志・ナツァグドルジ ムンフエルデネ(秋田大学)

Shoshonitic-Mugearitic Plateau Lava from Harguit/Us-Tolgoi volcano, Khangai Mountains, Central Mongolia

Tsukasa Ohba*, Takumi Imura, Takashi Hoshide, Natsagdorj MunkhErdene (Akita Univ)

Geology and petrology of the plateau lava of Harguit-Us Tolgoi volcano, Central Mongolia, were studied. The northern lava was derived from Us Tolgoi small shield and the southern lava from Harguit cinder cone that consists of agglomerate and scoria lapilli layers. Northern lava and Us Tolgoi are composed of cpx-ol mugerite, whereas the rock of southern lava is shoshonite. The pyroclasts of Harguit cone broadly range from olivine basanite/K trachybasalt to cpx shoshonite. The variation of southern lava and Harguit cone can be accounted for by crystallization from the least differentiated basanite whereas the mugearitic northern lava was derived from an independent magma system.

1. 地質

中央モンゴル，ハンガイ山地に位置する後期更新世～完新世ハルグイット／ウストルゴイ火山の地質と岩石を調査した。本火山には新鮮な表面地形を残す溶岩台地が分布し，33km^{2}にわたり広がっている。ハルグイット火砕丘とウストルゴイ小盾状火山が噴出源であり，これら隣り合った火山体から南北に台地状溶岩が広がる。北部の溶岩はウストルゴイ小盾状火山を給源とし、北～北東側に 29km^{2}に渡って広がる。南部の溶岩は主にハルグイット火砕丘の側噴火口から噴出し、U 字谷を埋積する。

ハルグイット火砕丘は、スコリアと火山弾からなるストロンボリ式噴火堆積物からなる。一方、ウストルゴイ小盾状火山の表面はパホエホエ溶岩で覆われている。溶岩台地は主にパホエホエ溶岩から成り、縄状構造等の典型的な表面構造を呈するものの，溶岩表面はブロック化し Rubbly pahoehoe lava として産する。台地状溶岩全体にテュムリが発達し，クレフトの内壁にブロックが崩落・落下していることや，平板状空隙と鉛直クラックあるいは冷却節理によって溶岩内部が方状に割れていることから、テュムリの生成に伴ってブロック化したものと考えられる。溶岩内部に気泡が発達することが多い。

Keywords: Mongolian Quaternary volcano, Continental Alkaline Lava Plateau

2. 岩石

台地状溶岩を構成する岩石は，いずれもかんらん石，普通輝石，斜長石を斑晶として含む玄武岩質粗面安山岩であるが，ハルグイット火砕丘を給源とする南側の溶岩と，ウストルゴイ小盾状火山を給源とする北側の溶岩では化学組成が異なっている。前者は K に富むショショナイト組成であるが，後者はやや K に乏しく，ミュジアライト組成を示す。それぞれ台地状溶岩内での組成変化は乏しく斑晶組み合わせも変化しない。しかしながら，給源付近では組成変化が大きく，とりわけハルグイット火砕丘を構成する火砕物は未分化なベイサナイトおよびカリ質粗面玄武岩から分化したショショナイトまで，著しい変化が認められる。苦鉄質鉱物組み合わせも未分化な岩石ではかんらん石のみであるのに対し，分化したショショナイトでは普通輝石のみ認められる。

南部溶岩のショショナイトおよびハルグイット火砕丘の組成変化は一連の結晶分化作用で説明可能だが，北方溶岩とウストルゴイ小盾状火山のミュジアライト系列は，ベイサナイトからの一連の分化では説明できず，両火山は独立したマグマ供給系に由来すると考えられる。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

チューク諸島 Weno 島の火山岩類のマグマプロセス

角縁　進*（佐賀大・教育）・下瀬 洸也（芦刈小）

Magmatic Processe of volcanic rocks in Chuuk Islans, Micronesia

Susumu Kakubuchi *(Saga Univ.) and Khoya Shimose (Ashikari E.H.)

チューク環礁は, 西太平洋カロリン諸島内に位置する島々で, 環礁とその中に位置する複数の火山島群からなる。Stark and Hay(1963)は環礁内の火山島群はかつて一つの大きな火山島を形成していたものが浸食されたものだと推定した。今回調査対象とした Weno 島は火山群の中では北東部に位置する比較的大きな島で, 火山島の断面を調べることが出来ると考えられる。Weno 島は一辺が約 7 km の正三角形状で, 標高 368m の Tonoken 山が最高峰であり, 北東に向かって緩やかに傾斜している。海岸部はマングローブの湿地帯であるが, 内陸部は密林で, 至る所が溶岩の崖となっている。Weno 島の密林の中をくまなく調査し, 岩石試料を採取した。採取した岩石は薄片観察および 70 試料については XRF による主成分元素および微量元素分析および EPMA 測定を行った。

調査の結果, 溶岩は 13 層に区分され, これらはほぼ平坦に積み重なる形で分布し, 約 10 度の傾斜で北西に傾斜し, 最後の溶岩は岩脈である。ごく一部に薄い火山砕屑岩が挟まれる。 SiO_2 – (Na_2O+K_2O)図ではいずれもアルカリ岩の領域にプロットされ, 玄武岩~トラカイトまでの幅広い組成幅を有する。岩脈は SiO_2 含有量が低く（42.7~44.5wt％）アルカリの含有量が高い（3.7~5.4wt%）ベイサナイトに区分される。

Keating *et al.*, (1984)および Lee *et al.*, (2001)の全岩 K-Ar 年代データと今回の調査結果と合わせると，火山活動は 4 つのステージに区分される。

・Stage 1 ：溶岩 1～溶岩 4 (11.29±0.23~10.16±0.21Ma)

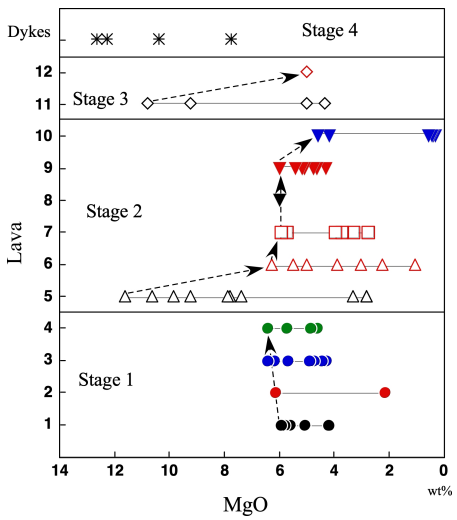
・Stage 2 ：溶岩 5～溶岩 10 (9.76±0.21~9.55±0.19Ma)

・Stage 3 ：溶岩 11～12 (6.68±0.29Ma)

・Stage 4 ：溶岩 13（岩脈） (4.0±0.3~5.4±0.2)

MgOwt%を横軸にとった組成変化図では，最も MgO に富む溶岩（Cpx-Ol Basalt: Lava 5）から連続的に組成を変化させているようにも認められるが，横軸に MgOwt%–縦軸に溶岩の層序（噴火順序）をとった図では，Stage 1 では MgO=6%の溶岩から順に，MgO=7wt%の溶岩へと変化する。しかし Stage 2 では MgO に富んだ未分化玄武岩から活動を開始し, MgO に乏しいトラカイトへと変化する。Stage 3 でも新たな MgO に富んだ未分化玄武岩から分化した溶岩へと組成を変えることが明らかとなった。

Stage 4 は他の玄武岩類と全く異なる化学組成を有し，異なったマントルに由来すると考えられる。



Keywords: Alkaline basalt, Chuuk, Caroline Islands

kakubuch@cc.saga-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

阿武火山群と青野山火山群のマグマ過程と火山地形

大和田正明*，井町春花，永嶌真理子（山口大学理学部）

Magmatic processes and geographical features of Abu and Aonoyama volcano groups, Yamaguchi Prefecture

Masaaki Owada*, Haruka Imachi, Mariko Nagashima (Fac. Science, Yamaguchi Univ.)

Quaternary andesite to dacite of the Abu and Aonoyama volcano groups, Yamaguchi Prefecture, shows distinct geographical features. The andesite to dacite of the Abu group occurs as a plateau, whereas that of the Aonoyama group shows a domal structure. The SiO_2 contents resemble each other from 53 to 65 wt% with a calc-alkaline signature; however, the K_2O and Rb contents of Abu group are relatively higher than those of the Aonoyama group. The andesite to dacite of the Abu group would be produced by magma mixing because of ubiquitously bearing disequilibrium textures between melt and phenocrysts. The magmatic temperature of Abu group reached up to 1050 ˚C higher than that of the Aonoyama group less than 950 ˚C based on a hornblende geothermometer. Consequently, the andesite to dacite magmas of Abu volcano group were solidified as lava plateaus because the magmas would be of low-viscosity conditions due to enrichment of alkali contents and high-temperature.

阿武火山群は山口県北部に分布し，約 200 万年前から活動を始めた（角縁ほか，2000）。火山岩は玄武岩からデイサイトまで幅広いマグマ組成を示す。特に安山岩～デイサイト噴出物（溶岩）は，台地状の特徴的な火山地形が発達し，溶岩平頂丘と呼ばれている（守屋, 1986）。この安山岩～デイサイト溶岩は玄武岩マグマと流紋岩マグマの混合によって生じたとされ，玄武岩質端成分としてアルカリ玄武岩が想定された (Koyaguchi, 1986)。一方，ほぼ同時代に活動した安山岩～デイサイトが島根県から山口県にかけて分布する。これらは青野山火山群と呼ばれ，ドーム状の火山地形が発達する。こうした地形の違いはマグマの粘性度を反映すると考えられるが，異なる火山地形でも溶岩の組成は，両火山群ともに安山岩～デイサイト質である。そこで，本研究では，記載的・岩石化学的特徴から両火山群のマグマ過程の違いを明らかにし，マグマの粘性に関与する要因を検討した。

阿武火山群の安山岩～デイサイトは，一般に篩状構造や汚濁帯を含む累帯構造の発達する斜長石の存在など，メルト－斑晶間の非平衡組織が顕著である。斜長石は燕の尻尾型を示すことが多い。玄武岩はカンラン石を含むがしばしば石英を含むなど非平衡組織を示す。一方，青野山火山群の岩石は，斑晶の角閃石や斜長石が正累帯構造を示す。稀に，角閃石斑晶の核部に長石やスピネルを伴うことがある。両火山群ともに安山岩～デイサイトは斑晶に角閃石を含む。角閃石の組成を Ridolfi et al. (2010)の地質温度計に適応した結果，阿武火山群のマグマ温度は 1050 ˚C に達し，青野山火山群の温度(<950 ˚C)よりも高い結果となった。

玄武岩はアルカリ岩系，非アルカリ岩系の両領域に区分され，アルカリ玄武岩は K_2O や Rb に富む。安山岩～デイサイトはカルクアルカリ岩系で，両火山群の岩石は共にアダカイト質の特徴を持つ。しかし，阿武火山群の安山岩～デイサイトはより K_2O や Rb に富む傾向を示す。すなわち，阿武火山群の安山岩～デイサイトには，アルカリ玄武岩によるマグマ混合の影響が組成に反映されている。アルカリ玄武岩マグマとアダカイト質マグマが混合した阿武火山群の安山岩～デイサイトマグマは，高い K_2O に加えて高温の状態で噴出した可能性がある。その結果，マグマは粘性に乏しく，台地状の火山地形を形成したと推察される。

Key words: Abu/Aonoyama volcano groups, alkali-basalt, adakite, magmatic process, volcanic landform

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

流体包有物に記録されている沈み込み帯流体の塩濃度

川本 竜彦[1,*] ([1]静岡大学・理・地球科学)

Salinity map of subduction zone fluids

KAWAMOTO, Tatsuhiko[1,*] ([1]Department of Earth Science, Shizuoka University)

I summarize salinity data of aqueous fluids in subduction zones and try to explain the variation of Cl/H_2O ratios in arc magmas.

島弧玄武岩に含まれるカンラン石中のガラス質包有物の塩素と水の比は、1−15%の広い範囲を持つ(Wallace 2005, JVGR)。これら広範囲にわたる変化をうまく説明することは難しく、沈み込み帯流体の塩濃度の統一的理解を困難にしている。一方、マントルカンラン岩や高圧変成岩中に含まれる流体包有物の塩濃度は、海水よりもやや高い値を示すものが多かったが、低温・低圧条件でできたと考えられる石英と炭酸塩鉱物からなるリストヴェナイトは、特徴的に低い塩濃度をもつことがわかってきた。

リストヴェナイトは、蛇紋岩中に見られる炭酸塩岩である。蛇紋岩化作用と炭酸塩岩化作用が同時に起こった(エチオピア、Sofiya ほか、2017、IGR) か、炭酸塩岩化に先行して蛇紋岩化作用が起こった (オマーン、Kelemen、2019 年日本地球惑星科学連合大会) と考えられるリストヴェナイト中の炭酸塩鉱物中の流体包有物の塩濃度は低い。これまで観察してきたエチオピアのオフィオライト中では、塩水流体の塩濃度は 2.4%±1.0% NaCl 当量 (川本ほか、2018 年日本鉱物科学会) で、オマーンのオフィオライト中に含まれるリストヴェナイトのそれは、1.0%±0.6% NaCl 当量 (Kawamoto ほか、2019 年日本地球惑星科学連合大会) である。これらの値は海水(3.5% NaCl)よりも低い。

神崎(2018 年日本地球惑星科学連合大会) は、アンティゴライトの結晶構造内に塩素が入りうることを示しているので、蛇紋岩化にともないアンティゴライトに塩素を奪われてしまったと仮定すると低い塩濃度を説明することができる。今後、アンティゴライトと塩水の間で Cl/H_2O の分配を知ることが重要である。

海水よりやや高い塩濃度は、最上部マントルカンラン岩 (Kawamoto ほか、2013、PNAS、Kumagai ほか、2014、CMP) や、ヒスイ輝石岩 (Fukuyama ほか、2017、JMPS、Kawamoto ほか、2018、Lithos) で報告してきた。さらに、Brine と呼んでも良いような高濃度の塩水がヒスイ輝石岩中の石英にあり、一つの岩石中の流体の塩濃度をすべて説明することが難しい時がある (Fukuyama ほか、2017、JMPS)。メルト包有物のデータと流体包有物のデータを統一的に説明することで、沈み込み帯流体の塩濃度変化を理解したい。

Keywords: fluid inclusion, salinity, serpentinite, melt inclusion, glass inclusion, dehydration

*Corresponding author: kawamoto.tatsuhiko@shizuoka.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

花崗岩体の石英の結晶化プロセス：

石英の CL 累帯パターンと TitaniQ 温度計

湯口貴史 (山形大)*・小北康弘 (原子力機構)・加藤丈典 (名古屋大)・
横田倫太郎 (山形大)・笹尾英嗣 (原子力機構)・西山忠男 (熊本大)

Crystallization processes of quartz in a granitic pluton: Cathodoluminescence zonation pattern and TitaniQ thermometer

Takashi Yuguchi (Yamagata Univ.) *, Yasuhiro Ogita (JAEA), Takenori Kato (Nagoya Univ.),
Rintaro Yokota (Yamagata Univ.), Eiji Sasao (JAEA), and Tadao Nishiyama (Kumamoto Univ.)

石英は普遍的に花崗岩体中に産出する鉱物である。石英の岩石学的知見は，花崗岩体中の他の鉱物（斜長石や黒雲母など）と比べ，乏しい。それは石英が偏光顕微鏡像や電子顕微鏡像（組成像）では均質に観察されることや，主成分元素の組成変化が乏しいことに起因する。しかし，近年のカソードルミネッセンス（CL）観察法の普及や，石英中の微量含有元素の定量技術の発展や，微量含有元素を用いた結晶化温度の導出方法の構築（チタンを用いた TitaniQ 温度計）によって新たな研究手法が見出されている。

そこで本研究では，中部日本の土岐花崗岩体を対象とし，①石英の岩石記載と②CL 観察，③チタン濃度定量分析を組み合わせて議論し、石英の結晶化プロセスについて言及を行う。

具体的には，①石英の岩石記載では，結晶の外形や産状に着目し，②CL 観察では，ゾーニングの有無や，ゾーニングの様態に応じてパターン分類を行った。③チタン濃度定量分析では，名古屋大学の EPMA を用いて高精度のチタン定量分析を行い，TitaniQ 温度計を用いて結晶化温度を決定した。分析の際には，結晶の形状や産状や CL パターンを考慮しつつ分析点を決定した。その結果，石英の CL パターンにはオシラトリーゾーニングを含む複数のパターンに区分でき，それらは形状や産状そして結晶化温度と関連を持つことが明らかになった。これらの結果から，石英が冷却する花崗岩質マグマ中で，結晶化プロセスの連続的なイベントを持つことを論じる。

また中部日本の土岐花崗岩体は 3 つの岩相を有するが，石英は 3 つの岩相で共通して観察される。このため 3 岩相を通じて産出する石英の結晶化プロセスから，土岐花崗岩体の形成プロセスに関する考察を行う。

Keywords: Quartz; Cathodoluminescence characterization; Oscillatory zonation; TitaniQ thermometer; Toki granite.

*Corresponding author: takashi_yuguchi@sci.kj.yamagata-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

マントルかんらん岩の部分溶融によって生成される安山岩質メルトについて

土谷 信高*(岩手大，教育)・山崎 大輔（岡山大，惑星物質科学研究センター）

Silicic melt obtained from the melting experiments of mantle peridotite reacted with slab melt

Nobutaka Tsuchiya* (Iwate Univ.) and Daisuke Yamazaki (Okayama Univ.)

本研究では，大陸地殻の形成機構の解明に重要な意味を持つスラブメルティングについて検討するために，かんらん岩にスラブメルトを加えた出発物質を使用し，1.5 GPa, 1000°C～1075°C，水飽和の条件で部分融解実験を行っている．これまでの研究の概要はすでに報告したが（土谷・山崎，2017; 2018a; b），今回はマントルかんらん岩の部分溶融で安山岩質メルトが形成される可能性について述べる．実験には岡山大学惑星物質研究所のピストンシリンダー型高圧発生装置を使用し，試料は金カプセルに封入して行った．実験を行った出発物質は，天然の変成斜方輝石岩に $Mg(OH)_2$ 試薬を加えた合成かんらん岩に天然のアダカイト質花崗岩を 40%および 20%加えたもの（H_2O の含有量は 7–12%），KLB-1 組成の合成かんらん岩に合成スラブメルトを 40%および 5%加えたもの（H_2O 含有量はそれぞれ 10–12%, 0.7%），一の目潟産レルゾライトにアダカイト質花崗岩を 40%加えたもの（カプセルに 10%以上の H_2O を直接加える）を使用した．

実験の結果，1000°C ではスラブメルトを加えなかった試料ではガラスが認められず，スラブメルトを 20, 40 ガラスの組成はいずれもデイサイト質であり，無水換算で SiO_2 = 67～68%，MgO = 0.5～1.1%であった．また 1050°C ではスラブメルトを加えなかった試料ではガラスが認められず，スラブメルトを 5%，20%, 40%加えた試料ではかんらん石（Fo89–90%），斜方輝石，単斜輝石と共存する 15%～40%のガラスが得られた．ガラスの量とガラス中の SiO_2 含有量はスラブメルト量と良い相関を示し，スラブメルトを 5%加えた試料では SiO_2 = 57～59%, MgO = 2.3～2.7%であり，スラブメルトを 40%加えた試料では SiO_2 = 61～64%, MgO = 1.6～4.4%であった．また 1075°C ではスラブメルトを 5%，20%, 40%加えた試料ではかんらん石（Fo89–90%），斜方輝石，単斜輝石と共存する 16%～40%のガラスが得られた．スラブメルトを 5%加えた試料では SiO_2 = 56～57%, MgO = 3.2～3.4%であり，スラブメルトを 40%加えた試料では SiO_2 = 60～61%, MgO = 2.6～3.8%であった．

これらのデイサイト質～安山岩質のメルトはいずれも Fo_{90} 前後のかんらん石と共存している．これらのメルトとかんらん石の Fe/Mg 分配を検討したところ，いずれの実験のガラス試料においても，FeO/MgO 値の最小値は Roeder and Emslie (1970) による KD = 0.3 の線の近くにプロットされており，そこから FeO/MgO 値が上昇している．このことから，液とかんらん石は元々はほぼ平衡であり，急冷結晶の成長によって液組成が FeO/MgO 比が増大する方向に組成変化したと考えられる．

以上の実験結果から，スラブメルトがマントルかんらん岩と反応した場合，高 Mg 安山岩ではなくカルクアルカリ質のデイサイト～安山岩質マグマが直接生成されることになる．これまでの先行研究では，マントルかんらん岩の部分溶融による MgO に乏しいデイサイト～安山岩質メルトが生成されることは知られておらず，たとえば Hirose (1997) による含水かんらん岩の部分融解実験では，1GPa, 1000°C で得られた液組成は SiO_2 = 60.26%の高 Mg 安山岩である．今回の実験結果からは，通常のマントルかんらん岩の部分溶融でもカルクアルカリ安山岩質メルトが形成されることが予想される．これらの実験で得られたガラスの組成は，いずれもカルクアルカリ質デイサイト～安山岩であるが，天然の火成岩よりも Al_2O_3 に富む（無水換算で 20.3–21.5%）点で大きく異なる．この点を説明するためには，メルトから初期に多量の斜長石が分別されることを仮定する必要がある．

文　献

Hirose, K. (1997), *Geology*, **25**, 42–44.
土谷信高・山崎大輔 (2017), 日本鉱物科学会 2017 年年会要旨.
土谷信高・山崎大輔 (2018a), 日本地球惑星科学連合 2018 年大会要旨.
土谷信高・山崎大輔 (2018b), 日本鉱物科学会 2018 年年会要旨.

Key words: experimenta petrology, slab melting

* Corresponding author: tsuchiya@iwate-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

島根県東部に分布する大東花崗閃緑岩の結晶作用

野口将志・越智博美・小林夏子・奥田佳奈・亀井淳志（島根大学）

Fractional crystallization of the Daito granodiorite, Eastern Shimane prefecture, Southwest Japan

Masashi NOGUCHI*, Hiromi OCHI, Natsuko KOBAYASHI,

Kana OKUDA and Atsushi KAMEI (Shimane Univ.)

【はじめに】西南日本内帯の山陰帯には，白亜紀～古第三紀の磁鉄鉱系花崗岩類が広く分布している．山陰帯中央部の山陰バソリスには，メタアルミナス花崗岩がいくつか存在し，その中でも最大級の大東花崗閃緑岩が本研究の対象である．既存研究では岩石記載，年代，金属鉱床などに関する報告があるが，成因に関する報告はまだない．そこで今回は，野外調査，岩石記載，帯磁率測定，モード測定，全岩化学分析に基づいて，岩体の結晶作用について検討した．

【地質調査】大東花崗閃緑岩は，普通角閃石－黒雲母花崗閃緑岩で構成されている．本岩体北部では，黒雲母花崗岩から構成される鴨花崗岩と接している．詳細な地質調査の結果，大東花崗閃緑岩と鴨花崗岩の間に普通角閃石－黒雲母斑状花崗岩相の分布が明らかとなった．これらの三者は漸移している．また，このことは既存研究でも一部で報告されており，普通角閃石－黒雲母斑状花崗岩相は鴨花崗岩に分類されている（鹿野ほか，1991）．しかし，この分類はモード組成に依存しており，帯磁率，化学組成などの考慮がなされていない．

【岩石記載】大東花崗閃緑岩は，主に斜長石，石英，カリ長石，黒雲母，普通角閃石から構成される．黒雲母と普通角閃石は自形結晶であり，不透明鉱物を伴う．鴨花崗岩は主にカリ長石，石英，斜長石，黒雲母から構成される．黒雲母は他形結晶であり，不透明鉱物が少ない．普通角閃石－黒雲母斑状花崗岩は主に斜長石，カリ長石，石英，黒雲母，普通角閃石から構成される．普通角閃石や黒雲母は自形結晶であり，不透明鉱物を伴う．

【帯磁率】大東花崗閃緑岩の帯磁率は，3.00 $\times 10^{-3}$ SI unit 以上を示す磁鉄鉱系花崗岩である．一方，鴨花崗岩はチタン鉄鉱系花崗岩の帯磁率を示す．普通角閃石－黒雲母斑状花崗岩の帯磁率は，両者の中間的な値である．

【全岩化学組成】各岩石の SiO_2 含有量は，大東花崗閃緑岩，普通角閃石－黒雲母斑状花崗岩，鴨花崗岩の順に増加する．大東花崗閃緑岩と普通角閃石－黒雲母斑状花崗岩は，ハーカー図上ですべての元素が連続するが，鴨花崗岩は Na,K,Th においてこれらと連続しない．

【考察】普通角閃石－黒雲母斑状花崗岩の形成は，①大東花崗閃緑岩と鴨花崗岩のマグマ混合，②鴨花崗岩からの結晶分化，③大東花崗閃緑岩からの結晶分化の可能性が考えられるが，①,②に関しては化学組成のトレンドの不連続などから否定された．一方で，③の可能性は１）両者が地質的に漸移している，２）黒雲母の自形性から両者が含水率の高いマグマ由来である，３）不透明鉱物と帯磁率より両者が酸化的マグマに由来する，４）全岩化学組成のハーカー図で連続的なトレンドを示すことにより肯定的となった．そこで，この結晶分化をモード組成と化学組成の変化で解析すると，SiO_2 の増加に伴い斜長石，黒雲母および普通角閃石が減少する．このことからレイリー分別モデルを用いて結晶作用のベクトル解析を行うと，Pl：Kfs：Bt：Hbl＝66：0：5：29 の割合で鉱物の分別がおこっていたと推定された．

Keyword: San’in belt, granitoids, fractional crystallization
*Corresponding author: n19m413@matsu.shimane-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

熊本県北部の花崗岩類のジルコン U-Pb 年代

堤　之恭（国立科学博物館）

Zircon U-Pb dating of granitoids in northern Kumamoto, southwest Japan

Yukiyasu TSUTSUMI* (Natl. Mus. Nat. Sci.)

Zircons U-Pb ages were obtained from granitoids in northern Kumamoto Prefecture. Two samples from the Kikuchi Granite indicate 106.6 ± 0.9 Ma and 105.7 ± 1.2 Ma. Two samples from Tamana Granodiorite indicate 105.7 ± 0.7 Ma and 105.5 ± 0.9 Ma. The sample from Tsutsugatake Granite indicates 106.0 ± 1.0 Ma. Errors are with 95% confidential interval. Ages of all samples concentrate around 106 Ma whereas age data obtained by various dating methods showed various age of 89 to 121 Ma.

熊本県北部に分布する花崗岩類の年代を決定することは，領家帯の西方延長を追跡するうえでも重要である．しかし，これまで様々な手法を用いて得られてきた年代値は，中央値で 89～121 Ma の範囲にわたっている．形成年代と考えられてきた全岩年代だけを見ても，ばらつき及び誤差は小さくない．そこで，これらの花崗岩類の形成年代を検証するためにジルコン U-Pb 年代測定を行った．その結果，菊池花崗岩 2 試料から 106.6 ± 0.9 Ma と 105.7 ± 1.2 Ma，玉名花崗閃緑岩 2 試料から 105.7 ± 0.7 Ma と 105.5 ± 0.9 Ma，筒ヶ岳花崗岩 1 試料から 106.0 ± 1.0 Ma の年代が得られ（誤差は 95% conf.），今回 5 試料全てが 106 Ma 周辺に誤差範囲内で集中し，それぞれの花崗岩類の形成年代に大差がないことが明らかになった．

また，これらの年代は領家帯・山陽帯の一般的な年代である 70～100 Ma より若干古い．しかし，山口県柳井地域の花崗岩質岩体から 105 Ma のジルコン U-Pb 年代が報告されており（Skrzypek et al., 2016), 一概に古いとも言い難い．一方で，約 110 Ma の年代を持つ肥後花崗岩類(Sakashimaet al., 2003)とは区別しうると考えられる．

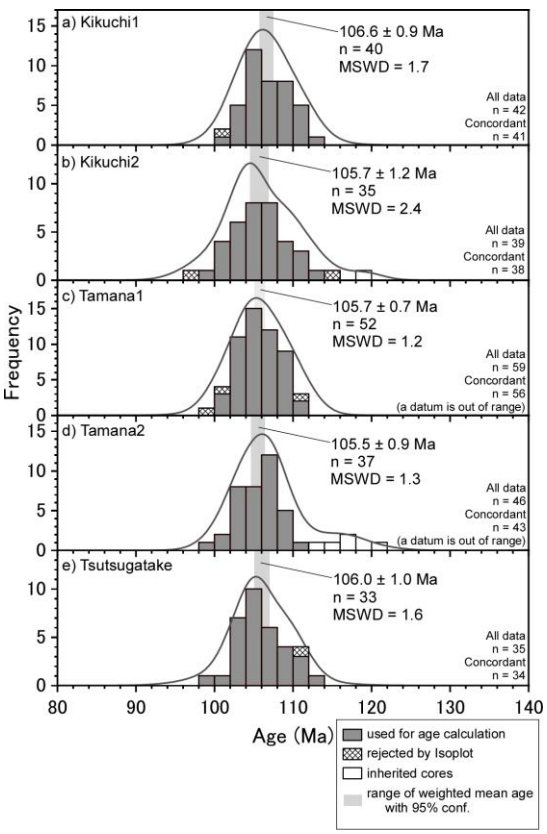


Figure. Histograms of age data of the samples. Errors of weighted mean ages are 95% conf.

Keywords: zircon, U-Pb age, emplacement, granitoid, Kyushu
***Corresponding author: ytsutsu@kakhaku.go.jp**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

東南極セール・ロンダーネ山地に産する大陸衝突型の高Kアダカイト質花崗岩

亀井淳志[1]・大和田正明[2]・堀江憲路[3]・志村俊昭[2]・柚原雅樹[4]・東田和弘[5]
([1]島根大，[2]山口大，[3]極地研，[4]福岡大，[5]名古屋大)

Collisional granite with high-K adakitic signature, the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

A. Kamei[1], M. Owada[2], K. Horie[3], T. Shimura[2], M. Yuhara[4], and K. Tsukada[5]
([1] Shimane Univ., [2] Yamaguchi Univ., [3] NIPR, [4] Fukuoka Univ., [5] Nagoya Univ.)

【はじめに】 アダカイト質マグマは玄武岩質岩石がザクロ石を生じる高圧下で融解して生成する(Sen and Dunn, 1994)．その最初のモデルは，火山弧下に沈み込んだ若い海洋地殻の部分融解で論じられた(Defant and Durmmond, 1990)．その後 Atherton and Petford (1993)は，分厚い大陸地殻下部の融解でも同マグマが生じることを示した．近年，大陸地殻起源のものは海洋地殻起源のものより K に富むことが示された(Wang et al., 2005)．したがって，高 K アダカイトは，大陸地殻融解によるという考えが一般的になってきた．今回我々は，東南極セール・ロンダーネ山地に産する高 K アダカイト質花崗岩の成因や，その火成活動の意義について報告する．

【地質概説】 研究対象は約 5×5km の岩体である．以前より 525±32 Ma の Rb-Sr 全岩年代が報告され(Takahashi et al. 1990)，我々の U-Pb SHRIMP ジルコン年代では 552±2 Ma が得られた．したがって，ゴンドワナ衝突に関連する活動である．我々の調査では，南側で新原生代の低 K アダカイト質トーナル岩に貫入し，北側の一部で閃長岩とミングリング様の境界で接することを確認した．また，本岩体は岩相の異なる3種の花崗岩で構成されており，灰色を帯びる中粒普通角閃石－黒雲母花崗閃緑岩(以下，Gray Gd)が桃色アルカリ長石を含む中粒黒雲母花崗岩(以下，Pink Gr)と桃色味を帯びる細粒両雲母花崗岩(以下，Fine Gr)に貫かれることを認識した．ただし，Pink Gr と Fine Gr の関係は確認できなかった．また，Gray Gd と Pink Gr には閃長岩マグマの捕獲岩が見られ，様々な程度の混合も確認された．しかし，Fine Gr にそのような産状は無かった．

【化学組成】 全岩組成では，ハーカー図上で3岩相のトレンドが一致せず，それぞれ異なるマグマに由来することが示唆される．これら3岩相はショショナイト～高カリウム系列の K 量を持ち，Sr 量は 600ppm 以上，Sr/Y が 60 以上である．K_2O/Na_2O は 1.3～2.1 と高いことから，大陸下部地殻起源であることが示唆される．MORB で規格化した微量元素パターンは，いずれの岩相も Rb, Ba, および Ce に富み，Nb および Ti に負異常がある．

微量元素を用いたバッチ融解モデルでは，玄武岩質岩石が 2GPa の高圧下で融解したときに Fine Gr の組成を上手く説明できることが示された．一方，Gray Gd と Pink Gr の各組成は，玄武岩質岩石が 2GPa で溶けて出来たメルトに閃長岩マグマが 30%程度混合することで非常によく再現された．この混合現象は露頭での観察結果と矛盾しない．

【火成活動の意義】 高Kアダカイト－閃長岩の同時活動は大陸－大陸衝突場にしばしば報告される(Yuan et al., 2010; Huang et al., 2012)．セール・ロンダーネ山地の高Kアダカイト－閃長岩の活動時期には，当地において大規模な地殻衝突が議論されており(Osanai et al., 2013)，したがって，この火成活動は大陸衝突に伴う地殻の厚化が約 50km 以上におよんでいたことを示唆するものである．

文献： Atherton and Petford (1993) Nature 362, 144-146. Defant and Durmmond (1990) Nature 347, 662-665. Huang et al. (2012) Lithos 140-141, 66-85. Osanai et al. (2013) Precambrian Res. 234, 8–29. Sen and Dunn (1994) CMP 117, 3945-404. Takahashi et al. (1990) Proc. NIPR Symp. Antarctic Geosci 4, 1-8. Wang et al. (2005) Geology 33, 465-468. Yuan et al. (2010) Earth Planet. Sci. Lett. 290. 481-492.

Keywords: adakite; Sør Rondane Mountains; Antarctica
Corresponding author: kamei-a@riko.shimane-u.ac.jp (A. Kamei)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R7: 岩石・鉱物・鉱床一般 (資源地質学会共催セッション)

2019年9月21日(土) 14:00 ~ 15:45 | A-117 イースト1号館

R7: 岩石・鉱物・鉱床一般 (資源地質学会共催セッション)

座長:片山 郁夫、越後 拓也

[座長]
越後拓也：R7-01〜04
片山郁夫：R7-05〜07

14:00 ~ 14:15

[R7-01] 海洋地殻構造が示すプレート拡大モードの解明―ハワイ沖モホール候補地における上部海洋地殻貫通計画

*海野 進[1]、森下 知晃[1]、木村 純一[2]、山下 幹也[3]、ガルシア マイケル[4]、クライン フリーダー[5]、島 伸和[6]、小野 重明[2]、阿部 なつ江[2]、道林 克禎[7]、富永 雅子[5] (1. 金沢大・理工、2. 海洋研究開発機構、3. 産総研、4. ハワイ大、5. ウッズホール海洋研、6. 神戸大・内海研、7. 名大・院理)

14:15 ~ 14:30

[R7-02] Mado Megamullionに分布する岩石の岩石学的・地球物理学的解釈

*秋澤 紀克[1]、沖野 郷子[1]、石塚 治[2]、山下 浩之[3]、町田 嗣樹[4]、小原 泰彦[5,6] (1. 東大　大海研、2. 産総研、3. 神奈川県立生命の星・地球博物館、4. 千葉工大、5. 海上保安庁、6. JAMSTEC)

14:30 ~ 14:45

[R7-03] ちきゅう船上での比抵抗測定に基づくオマーン掘削プロジェクトでの浸透率プロファイル

*片山 郁夫[1]、阿部 なつ江[2]、畠山 航平[1]、赤松 祐哉[1]、岡崎 啓史[2]、Ulven Ole Ivar[4]、Hong Gilbert[5]、Zhu Wenlu[6]、Cordonnier Benoit[4]、道林 克禎[3]、Godard Marguerite[7]、Kelemen Peter[8]、The Oman Drilling Project Phase 2 Science Party The Oman Drilling Project Phase 2 Science Party (1. 広島大学、2. 海洋研究開発機構、3. 名古屋大学、4. オスロ大学、5. ソウル国立大学、6. メリーランド大学、7. モンペリエ大学、8. コロンビア大学)

14:45 ~ 15:00

[R7-04] Attenuated Total Reflection Infrared (ATR-IR) Spectroscopy of Serpentine Minerals

*Ilona Sakaguchi[1], Yui Kouketsu[1], Katsuyoshi Michibayashi[1], Simon Wallis[2] (1. Nagoya University, GSES , 2. The University of Tokyo, EPS)

15:00 ~ 15:15

[R7-05] 沖縄トラフごんどうサイトの海底下における塊状硫化物の鉱物学的特徴

*戸塚 修平[1]、石橋 純一郎[1]、島田 和彦[1]、宮本 尭[1]、池端 慶[2] (1. 九州大・理、2. 筑波大・生命環境)

15:15 ~ 15:30

[R7-06] 2019年に新潟県糸魚川市小滝川で発生した白濁と砒素汚染の鉱物学的研究

*小河原 孝彦[1]、茨木 洋介[1]、竹之内 耕[1]、小西 博巳[2] (1. フォッサマグナミュージアム、2. 新潟大学・理)

15:30 ~ 15:45

[R7-07] 北海道北見地域生田原周辺の含アンモニウムカリ長石

*越後 拓也[1]、河原 礼佳[1]、渡辺 寧[1] (1. 秋田大院・国資)

海洋地殻構造が示すプレート拡大モードの解明―ハワイ沖モホール候補地における上部海洋地殻貫通計画

海野　進*[1]・森下知晃[1]・木村純一[2]・山下幹也[3]・Michael Garcia[4]・Frieder Klein[5]・島伸和[6]・小野重明[2]・阿部なつ江[2]・道林克禎[7]・富永雅子[5]

The penetration of the upper oceanic crust off-Hawaii — Toward understanding of the style of extension and the architecture of oceanic crust

UMINO, S.*[1], Morishita, T.[1], Kimura, J.[2], Yamashita, M.[3], Garcia, M.[4], Klein, F.[5], Seama, N.[6], Ono, S.[2], Abe, N.[2], Michibayashi, K.[7] and Tominaga, M.[5]

1．金沢大，2．JAMSTEC，3．産総研，4．ハワイ大，5．ウッズホール海洋研，6．神戸大，7．名古屋大

We propose to drill a complete upper crustal section and into the uppermost gabbros in 80 Ma crust spread at 8 cm/a on the North Arch off-Hawaii. The overarching goals to be addressed by drilling are to better constrain

1) the nature of layer 2/3 transition and its relations with the dike-plutonic transition,

2) the relationships between the style of crustal extension and the architecture of the upper crust,

3) the styles and vigor of hydrothermal circulation and alteration with declining temperature in the aged oceanic crust,

4) the physical and chemical evolution of oceanic lithosphere with special reference to the Moho diversity and the North Arch volcanism,

5) the frequency, size and possible failure mechanics of hazardous giant landslides caused by the periodic collapse of Hawaiian shield volcanoes

6) the depth limits of microbial life in aged, hydrated, and cold crust where metabolic strategies have remained completely unexplored.

The style of crustal extension differs in fast and intermediate spreading ridges, which makes the distinct density structures of the upper crust. Fast-spread oceanic crust comprises dense sheet flow-dominant extrusive rocks underlain by thin sheeted dikes. This density structure enhances more magma to extrude, allowing the crust to extend solely by magmatic accretion. In contrast, the intermediate-spread crust consists of less dense, pillow-dominant extrusive rocks, yielding a level of neutral buoyancy that traps magma to develop the sheeted dikes below. The crust consequently extends by dike intrusions in the lower levels and by faults in the shallow levels to form axial troughs. The style of crustal extension from magmatic accretion to stretching changes in a spreading rate interval of 7–10 cm/a, which bears a key to understand the relationship between the plate spreading mode and the resulting oceanic crustal architecture.

Previous drilling into tectonically undisturbed oceanic crust is limited and skewed to young and slow-spread crust <4 cm/a, with a wide gap of crustal age between 20 and 110 Ma, including the world average age of 63 Ma and spreading rate of 8 cm/a. Thus, previous drilling of oceanic crust has not sampled representative oceanic crust. The oceanic crust on the North Arch meets the target spreading rate (8cm/a) and the age gap (~80Ma) and is ideal to understand the physical and chemical evolution of aged oceanic lithosphere and the diversity of Moho, including the effect of intraplate volcanism and the history of hazardous landslides.

Key Words: IODP, ocean drilling, North Arch off Hawaii, upper crustal architecture, giant landslides, Layer 2/3 boundary

* sesumin@staff.kanazawa-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Mado Megamullion に分布する岩石の岩石学的・地球物理学的解釈

秋澤紀克・沖野郷子(東大), 石塚治(産総研),
山下浩之(神奈川県立生命の星・地球博物館), 町田嗣樹(千葉工大),
小原泰彦(海上保安庁/海洋研究開発機構)

Petrological and geophysical implications for Mado Megamullion, Philippine Sea

Akizawa N.*, Okino K. (The University of Tokyo), Ishizuka O. (Geological Survey of Japan),
Yamashita H. (Kanagawa Prefectural Museum of Natural History),
Machida S. (Chiba Institute of Technology), and Ohara Y. (Japan Coast Guard/JAMSTEC)

1. はじめに

中央海嶺では，メルト供給量の違いにより海洋リソスフェアの見かけが大きく異なる．特に，拡大による質量欠損の 50%がメルトで占められる拡大様式では，大規模なデタッチメント断層が発達し，海洋コアコンプレックスが形成されると言われている．海洋コアコンプレックスでは，デタッチメント断層の発達により深部マントル物質が引きずり出されて海底に直接露出するため，マントルプロセスを研究するための恰好のサンプル採取地である．しかし，そのマントル物質がどのような歴史を経てきたのか明らかにしなければ，真にマントルプロセスの評価はできない．そこで本研究では，近年 Mado Megamullion と命名された海洋コアコンプレックスに露出するマントル物質がどのような規模で，どのように海底にもたらされたのか岩石学的・地球物理学的手法を用いて明らかにすることを目標とする．

2. 地質概説・岩石記載

Mado Megamullion は，四国海盆南端部に位置しており, 近年実施した 3 回（YK18-07, KH-18-02, YK19-04S）の航海で岩石を採取すると共に，地球物理探査が行われた．採取された岩石のうち，本研究ではカンラン岩 17 個とガブロ～ドレライト 13 個を扱う．カンラン岩は蛇紋石化を被っており，LOI(強熱減量)は 5～13%に達した．しかし，ガブロやドレライトは比較的新鮮であった (LOI = ~3%)．ガブロやドレライトは相当量の Oxide を含んでいる(~10 vol.%)ことが特徴としてあげられる．

3. 全岩化学組成

カンラン岩は CaO や TiO_2 含有量が少ない(0~4 wt.% CaO, 0~1.5 wt.% TiO_2)が，ガブロ～ドレライトの組成（8~15 wt.% CaO, 0~9 wt.% TiO_2）に向かう傾向が見られた．さらに，他の微量元素でも同様な傾向が見られた．

4. まとめ

本研究で扱ったカンラン岩のうち，少なくとも Ca や Ti が増加しているものは，メルトによる交代作用を被っていることが明らかになった．しんかい 6500 による潜航では，カンラン岩に貫入する岩脈が確認されており, その観察と調和的である. 一方で，貫入したメルトはかなり分化が進んでおり，東太平洋海膨のような高速拡大海嶺で報告されている初生的なマグマのカンラン岩への貫入は確認できなかった．本研究で用いたサンプルは，周囲に比べて～20mGal 高いマントルブーゲー異常の場（～1000 km^2）で採取されており，比較的大規模にマントル物質が露出している可能性がある．

Keywords: Peridotite, Gabbro, Whole-rock chemistry, Gravity data, Oceanic Core Complex
*Corresponding author: akizawa@aori.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ちきゅう船上での比抵抗測定に基づく オマーン掘削プロジェクトでの浸透率プロファイル

片山郁夫[1]*, 阿部なつ江[2], 畠山航平[1], 赤松祐哉[1], 岡崎啓史[2], Ole Ivar Ulven[3], Gilbert Hong[4], Wenlu Zhu[5], Benoit Cordonnier[3], 道林克禎[6], Marguerite Godard[7], Peter Kelemen[8], and The Oman Drilling Project Phase 2 Science Party

Permeability profile in the Oman Drilling Project inferred from onboard measurements of resistivity at drilling vessel “CHIKYU”

Ikuo Katayama[1]*, Natsue Abe[2], Kohei Hatakeyama[1], Yuya Akamatsu[1], Keishi Okazaki[2], Ole Ivar Ulven[3], Gilbert Hong[4], Wenlu Zhu[5], Benoit Cordonnier[3], Katsuyoshi Michibayashi[6], Marguerite Godard[7], Peter Kelemen[8], and The Oman Drilling Project Phase 2 Science Party

[1]Hiroshima University, [2]JAMSTEC, [3]University of Oslo, [4]Seoul National University, [5]University of Maryland, [6]Nagoya University, [7]Universitè Montpellier, [8]Columbia University

2016年から2018年にかけて実施されたオマーン陸上掘削では，地殻とマントルセクションを含む計 3200m に渡るコア試料が回収された。そして，そのコア記載が 2017 年と 2018 年の夏に地球深部探査船“ちきゅう”の船内ラボで実施された。我々は，コア試料の物性測定を担当し，ほぼ 3m おきに地震波速度や比抵抗などの測定を行った。今回は，それらのうち比抵抗の測定から，浸透率のプロファイルを推定したので紹介させていただく。なお，浸透率は，海洋プレート内での流体循環を支配し，熱や物質移動そして生命活動にとっても重要なパラメーターである。

ちきゅう船内ラボでは，乾燥状態と含水状態での比抵抗の測定を行った。なお，含水測定では，試料を塩水（3.5g/L）に飽和させてから測定を行った。乾燥状態での比抵抗は，含水状態に比べ系統的に高い傾向を示す。これは，含水状態では岩石中の空隙を介した流体の連結によって，比抵抗が下がるためであると考えられる。そのため，乾燥状態と含水状態での比抵抗の差から流体の連結，すなわち浸透率を推定することが原理的に可能である。今回は，Hashin-Shtrikman の上限モデルを用い，比抵抗データから輸送空隙率を見積もった。また，浸透率については，空隙がクラック状であることを仮定し，浸透率が空隙の３乗に比例する関係則から推定した。

これら一連の測定そして計算から，各ホールでの浸透率プロファイルを作成した。予察的な傾向としては，（１）はんれい岩層がマントルセクションよりも低い浸透率をもつこと，（２）マントル内ではダナイトがハルツバージャイトよりも浸透率が高いこと，（３）断層近傍などの破砕帯では浸透率が顕著に高くなること，などが分かってきた。

Key words: permeability, resistivity, Oman Drilling Project, mantle drilling
*Corresponding author: katayama@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Attenuated Total Reflection Infrared (ATR-IR) Spectroscopy of Serpentine Minerals

Ilona Sakaguchi*[1], Yui Kouketsu[1], Katsuyoshi Michibayashi[1], Simon R. Wallis[2]
[1]Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University
[2]Department of Earth and Planetary Environmental Science, The University of Tokyo

Serpentine minerals antigorite, chrysotile and lizardite, are hydrous sheet silicates, which are formed when ultramafic rocks are hydrated. The formation of serpentine minerals is controlled by *P–T* conditions, kinetic factors and the composition of the metasomatic fluid. Thus, reliable identification and study of microstructural relationships of antigorite, chrysotile and lizardite can provide us with important information about the metamorphic history of serpentinite rocks. Identifying serpentine minerals from a thin section can be challenging due to the similarity of their optical properties and chemical composition. However, since each serpentine mineral has a distinct crystal structure, infrared spectroscopy can be applied to serpentine mineral identification.

Attenuated total reflection infrared spectroscopy (ATR-IR) is a method of infrared spectroscopy that allows for measurements to be made directly from the surface of a normal thin section, which significantly reduces sample preparation time in comparison to other IR methods. We applied the ATR-IR method to characterize the infrared spectra of antigorite, chrysotile and lizardite from samples from the Mt. Shiraga serpentinite body, which is located in the Sanbagawa belt in central Shikoku, SW Japan. We also used the ATR-IR method to map serpentinite samples in order to demonstrate the possibilities of this technique in analyzing thin section scale microstructures.

There were clear differences in the intensities and wavenumber values of the absorbance bands in the ATR-IR spectra of the three serpentine minerals. These spectral differences can be used to distinguish antigorite, chrysotile and lizardite from each other. The knowledge of the characteristic ATR-IR absorbance bands of antigorite, chrysotile and lizardite could also be utilized when analyzing mapping data from areas with multiple serpentine mineral phases.

Keywords: Attenuated total reflection infrared (ATR-IR) spectroscopy, Serpentine minerals, Antigorite, Chrysotile, Lizardite

*Corresponding author: sakaguchi.ilona.talvikki@j.mbox.nagoya-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

沖縄トラフごんどうサイトの海底下における塊状硫化物の鉱物学的特徴

戸塚修平*・石橋純一郎・島田和彦・宮本尭（九大・理），
池端慶（筑波大・生命環境）

Mineralogical study of massive sulfide deposits beneath the seafloor at the Gondou field in the Okinawa Trough

Shuhei Totsuka*, Jun-ichiro Ishibashi, Kazuhiko Shimada, Takashi Miyamoto
(Sci., Kyushu Univ.) and Kei Ikehata (Fac. of Life and Environ. Sci., Univ. of Tsukuba)

ごんどうサイトは沖縄トラフ第三久米海丘の西麓に位置する海底熱水活動域である．2017 年 10〜11 月にかけ JM17-04 調査航海が実施され，ごんどうサイトの Southern Area に当たる海域で海底設置型掘削装置を用いた掘削調査が行われた．この調査で得られた掘削コア中に含まれていた塊状硫化物から，研磨片試料を作製し，反射顕微鏡を用いた観察, X 線回折 (XRD) による鉱物同定, EPMA を用いた鉱物化学組成分析を行った．

鉱化作用の中心付近であると考えられる掘削点 GDUC06 から得られた掘削コア試料は，浅部から順に，

I. 0.00 - 2.52 mbsf (meters below sea floor)：泥質堆積物，
II-a. 2.52 - 6.80 mbsf：黒鉱質の塊状硫化物，
II-b. 6.80 - 8.62 mbsf：硫酸塩鉱物に富む黒鉱質の塊状硫化物，
III. 8.62 - 12.65 mbsf：鉱染状硫化物，
IV. 12.65 - 16.15 mbsf：珪化した火山砕屑物，
V. 16.15 - 24.93 mbsf: 黄鉱〜珪鉱質の硫化物，
VI. 24.93 -29.00 mbsf：珪化した火山砕屑物，

からなっていた．II. 黒鉱質の塊状硫化物は，主に閃亜鉛鉱，黄鉄鉱，方鉛鉱，重晶石から構成されており，微細で複雑な組織を示した．これに対して V. 黄鉱〜珪鉱質の硫化物は，主に黄鉄鉱，黄銅鉱，石英から構成されており，自形の黄鉄鉱を黄銅鉱が覆っているような組織がよく見られた．また硫化鉱物に不毛な部分は石英と共にイライトなどの粘土鉱物も多く含んでいた．沖縄トラフで実施された熱水域の掘削調査で，黒鉱鉱床の黒鉱と黄鉱に対比できる特徴をもつ塊状硫化鉱を含む層がそれぞれ数 m 程度の厚みをもって観察されたのは初めての例になる．

閃亜鉛鉱の Fe 含有量は黒鉱上部の II-a で比較的高く (av. 3.01 atm%, n = 19)，それ以下の II-b から深部では低かった (av. 0.99 atm% n = 120). 閃亜鉛鉱の Fe 含有量は硫黄フガシティ(と温度)によって決まることが知られている．浅部において硫黄フガシティの低下 (より還元的な環境)が示唆されたことから, 元々比較的高い硫黄フガシティを持っていた熱水が I の泥質堆積物に含まれる有機物と反応したことにより，硫黄フガシティが下がった可能性が考えられる．このような閃亜鉛鉱の Fe 含有量の深度方向に対する変化，また他にも四面銅鉱の鉱物化学組成は黒鉱鉱床 (特に東北地方の北鹿地域)で報告されている特徴, 値と近く，両者が似通った化学的環境下で生成していることを示唆するものであった．

謝辞

本研究の一部は，内閣府総合科学技術・イノベーション会議による SIP 課題「次世代海洋資源調査技術」の一環として実施したものです．本研究に用いた堆積物コア試料を提供いただいた J-MARES (次世代海洋資源調査技術研究組合)に感謝します．

Keywords: Seafloor massive sulfide deposit, Hydrothermal alteration

*Corresponding author: s.totsuka.634@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

2019 年に新潟県糸魚川市小滝川で発生した白濁と砒素汚染の鉱物学的研究

小河原孝彦・竹之内耕・茨木洋介（フォッサマグナミュージアム）・
小西博巳(新大・理)

Mineralogical examination of white turbidity and arsenic contamination occurring in Kotakigawa Itoigawa region, in 2019

Takahiko Ogawara*, Ko Takenouchi, Yosuke Ibaraki (Fossa Magna Museum),
Hiromi Konishi, (Niigata Uni. Sci.)

小滝川の流れる新潟県糸魚川市西部には，蓮華帯(Nishimura 1998)と呼ばれる，変成岩を構造岩塊として含む蛇紋岩メランジュが分布する(中水ほか 1989， 松本ほか 2011)．

この蛇紋岩メランジュ地帯は，まれに崩壊を引き起こし，近年では 2017 年 6 月に糸魚川市西部を流れる小滝川で白濁現象が発生している(小河原ほか，2017)．

今回，2017 年に引き続き，2019 年 6 月に同様の白濁現象が小滝川で発生した．また，白濁した河川水中に 0.084mg/kg の環境基準を上回るヒ素が含有していることが判明したため，原因物質を鉱物学的に検討し，結果について報告する．

分析は，フォッサマグナミュージアムの分析 SEM，新潟大学の XRD，顕微ラマン分光光度計を用いた．河川水の分析は，上越環境科学センターに委託した．

その結果，小滝川の白濁の原因は，2017 年の白濁現象と同様に河川水に懸濁している粘土鉱物サイズの緑泥石，滑石，クリソタイル，トレモライトと同定された．

クリソタイル及びトレモライトは，SEM の形態観察からアスベストであることが判明した．

新潟県の防災ヘリコプターによる調査の結果，小滝川上流の東俣沢付近で蛇紋岩を含む斜面の崩壊が確認され，この場所から白濁物質が供給されていると考えられる．

東俣沢から採取した蛇紋岩中には，直径 20 μm 程度の砒素を含むペントランド鉱が含まれており，この鉱物の溶解がヒ素汚染の原因であると考えられる．

7月3日に市内の大気中に含まれるアスベスト含有量を5カ所で調査したが，検出限界以下であり，アスベストの健康被害は発生しないと考えられる．

河川水へのヒ素汚染についても，白濁現象の収束に伴い，7 月 4 日現在では，0.004mg/kg と環境基準以下である．

蛇紋岩には初生的にペントランド鉱が含まれていることが知られており，蛇紋岩地帯の崩落の際には，アスベストだけではなく，ヒ素汚染についても注意を払う必要がある．

Keywords: 糸魚川，蛇紋岩メランジュ，アスベスト,砒素汚染

*Corresponding author: takahiko.ogawara@city.itoigawa.lg.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

北海道北見地域生田原周辺の含アンモニウムカリ長石

越後 拓也・河原礼佳・渡辺寧（秋田大・国際資源）

Ammonium-bearing K-feldspar from Ikutahara, Kitami Province, Hokkaido, Japan.

Takuya Echigo*, Ayaka Kawahara, Yasushi Watanabe (Akita Univ.)

北海道北見地域生田原周辺には古第三紀暁新世から新第三紀中新世の地層が分布しており，基盤岩である湧別層群（砂岩泥岩互層）の上位に，シルト岩・礫岩・デイサイトからなる豊原層および流紋岩層と凝灰角礫岩からなる生田原層が位置する．生田原層には複数の低硫化系浅熱水性金銀鉱床が胚胎されており，最近新たに行われた地表調査および地化学探査の結果，高いポテンシャルを有することが明らかになりつつある．また，これら一連の探査活動において，複数の試料からアンモニウムイオン（NH_4^+）を含む鉱物が発見された．NH_4^+は赤外線分光分析によって野外でも同定可能であることや，ASTERデータで検出可能であることから，浅熱水性鉱床の探査にNH_4^+の分布を利用する試みが報告されている．

本研究では，生田原周辺におけるNH_4^+含有鉱物の同定および産状記載と空間分布に関する調査を行い，金銀鉱床形成や熱水変質作用との関連を考察した．分析試料は，北ノ王・昭和・曙の3地域において地表で採取された58試料とJapan Gold社から提供されたボーリングコア試料IKDD001を用いた．これらの試料について，粉末XRD分析・カリウム含有鉱物の染色・薄片観察・赤外線分光分析・顕微ラマン分光分析・CHN元素分析を行った．

XRD分析の結果，熱水変質鉱物として石英・カリ長石・イライトが同定されたが，最も普遍的に含まれていたのはカリ長石であった．特に，北ノ王東部で採取された凝灰角礫岩（試料ID: 570）にはカリ長石が多く含有されており，ヘキサニトロコバルト酸ナトリウムによる染色でも多くの部分にカリ長石の存在が認められた．赤外線分光分析の結果，北ノ王・昭和の地表試料58試料中33試料からNH_4^+が検出され，曙のコア試料からもNH_4^+が普遍的に検出された．比較的高濃度のNH_4^+が検出された北ノ王東部の試料ID570の薄片を作成し，偏光顕微鏡で観察した結果，粒径20μm前後の微細な石英結晶に囲まれるように粒径300μm程度の自形カリ長石が観察された．顕微ラマン分光分析装置を用いてこのカリ長石結晶を分析したところ，California州Menlo Park産 buddingtonite [$(NH_4)AlSi_3O_8$] と類似したスペクトルが得られたので（Fig. 1），本研究地域におけるNH_4^+含有鉱物はイライト等の含水層状珪酸塩鉱物ではなく，カリ長石であると結論づけた．さらに，NH_4^+含有鉱物の分布は調査地域北部の北ノ王および曙に偏っており，基盤岩である湧別層群からNH_4^+が熱水に供給されたことを示唆する．金銀鉱床の分布とNH_4^+含有鉱物の分布に明確な相関は認められないが，生田原周辺の金銀鉱床を形成した熱水に基盤岩由来の有機物が作用した可能性が示された．

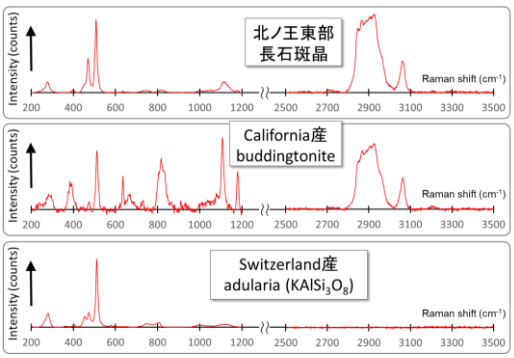


Fig 1. 生田原地域北ノ王鉱床東部で採集された凝灰角礫岩中の長石斑晶、カリフォルニア州Menlo Park 産 buddingtonite [$(NH_4)AlSi_3O_8$]、スイス産氷長石（$KAlSi_3O_8$）の顕微ラマンスペクトル比較。200-1200cm^{-1} の領域にはカリ長石のテクト珪酸塩フレームワークに起因するピークが現れ、2800-3100cm^{-1} の領域にはアンモニウムイオンに起因する N-H バンドのピークが現れる。

Key words: ammonium ion, K-feldspar, Ikutahara, epithermal Au deposit, Raman spectrum
Corresponding author: echigo@gipc.akita-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | S3：北東アジアの鉱物・岩石・資源 （スペシャルセッション）

2019年9月22日(日) 9:15 ~ 12:00 | A-117 イースト1号館

S3：北東アジアの鉱物・岩石・資源 （スペシャルセッション）

座長:中野 伸彦、苗村 康輔、足立 達朗

[座長]
中野 伸彦：S3-01～S3-03
苗村 康輔：S3-04～S3-06
足立 達朗：S3-07～S3-10

9:15 ~ 9:35

[S3-01] **[INVITED]** New geochronological data of grantoid rocks related with Cu-Mo porphyry deposit, south Mongolia

*Sereenen Jargalan[1]、Boldbaatar Enkhjargal[1]、Adachi Tatsuro[2]、Nakano Nobuhiko[2]、Osanai Yasuhito[2] (1. MUST、2. Kyushu UNiversity)

9:35 ~ 9:55

[S3-02] **[INVITED]** Gold resources of Mongolia

*Chuluunkhuu Enkh-Amgalan[1]、Sereenen Jargalan[2] (1. Mongolian Society of Economic Geologists、2. Mongolian University of Science and Technology)

9:55 ~ 10:15

[S3-03] **[招待講演]** 安定陸塊の底が記録する東北アジアの進化史

*辻森 樹[1,2]、新堀 希望[2]、奥村 聡[2]、渡邉 了[3]、レーマン ハフィズ[4]、マリコベッツ ウラジミール[5] (1. 東北大学・CNEAS、2. 東北大学・院理、3. 富山大学・院理工、4. 鹿児島大学・院理工、5. ソボレフ地質学鉱物学研究所)

10:15 ~ 10:30

[S3-04] 山口県長門構造帯に産する変成岩・深成岩類のジルコンU–Pb年代の特徴

*北野 一平[1]、小山内 康人[1]、中野 伸彦[1]、足立 達朗[1]、加藤 涼介[2,3]、Bui Vuong[3] (1. 九大・比文、2. （株）ダイヤコンサルタント、3. 九大・地社統)

10:30 ~ 10:45

[S3-05] ベトナム・コンツム地塊，カンナック岩体，ペルム紀－三畳紀，火成作用と変成作用の関係

*大和田 正明[1]、小山内 康人[2]、中野 伸彦[2]、北野 一平[2]、足立 達朗[2] (1. 山口大学・院創成科学、2. 九州大学)

10:45 ~ 11:00

[S3-06] モンゴルアルタイ山脈の泥質変成岩に記録された古生代・沈み込みー付加ー大陸衝突に伴う造山帯運動

*中野 伸彦[1]、小山内 康人[1]、Jargalan Sereenen[2]、足立 達朗[1]、Syeryekkhaan Kundyz[1]、大和田 正明[3]、Satish-Kumar M.[4] (1. 九州大学、2. モンゴル科学技術大学、3. 山口大学、4. 新潟大学)

11:00 ~ 11:15

[S3-07] モンゴル北西部のザフハンエクロジャイトが経験した反時計回りの温度圧力履歴

*苗村 康輔[1]、オトコンクゥ ジャフハラン[2] (1. 京都大学理学研究科地質学鉱物学教室、2. 中国地質科学院)

11:15 ~ 11:30

[S3-08] Lithium Deposits of Mongolia

*Dashtseren Khashbat[1]、Sereenen Jargalan [1] (1. Mongolian University of Science and Technology., MUST)

11:30 ~ 11:45

[S3-09] Metallogeny of Rare Earth Elements of Mongolia

*Sereenen Jargalan[1]、Battogtokh Tamir[1] (1. Mongolian University of Science and Technology)

11:45 ~ 12:00

[S3-10] Coal deposits of Mongolia

*Magsarjav Ochirbat[1]、Sereenen Jargalan[2] (1. Mongolian Society of Economic Geologists、2. Mongolian University of Science and Technology)

[INVITED]

New geochronological data of grantoid rocks related with Cu-Mo porphyry deposit, south Mongolia

Jargalan S*, Enkhjargal B (MUST), Adachi T, Nakano N, Osanai Y (Kyushu University)

Copper deposit is main source of world copper production and they genetically links with magmatic arc environment formed under subduction tectonic setting. During long history of evolution of Euro-Asian super continent, in the territory of south Mongolia developed Paleo Asian ocean in Paleozoic period and due to the subsequent subduction a lot of copper, copper-molybdenum and copper-gold porphyry deposits were formed. Therefore, Mongolia is one of the most promising country with porphyry type copper deposits. Regarding to the regional tectonic setting, traditionally, the territory of Mongolia is subdivided into a northern and southern domains. The southern domain is dominated by Lower to Middle Paleozoic arc related volcanic and volcano-clastic rocks with fragments of ophiolites and serpentinite mélanges and contains five island arc terranes, which are from west to east Baitag, Edrene, Gurvansaikhan, Mandal-Ovoo and Yonshoo.

We studied geochemistry and geochronology of granitoid rocks, which show close relation with porphyry type mineralization distributed along the above mentioned arc terranes. Our study includes thirty granitoid rocks from five porphyry deposits (Nariin khudag, Kharmagtai, Khul morit, Shaliin khudag and Khatsavch) and eighteen porphyry occurrences (Bronze fox, Ikh Shankh, Davaa ull, Javkhlant etc). The result of geochemical analyses indicates that rocks have subalkalic affinity with medium to high potassium calc-alkaline feature. On tectonic discrimination diagram all plots within subduction tectonic setting. The U-Pb measurements on zircon were conducted using LA-ICP-MS at Kyushu university. Result of U-Pb measurement shows that age of rocks vary from 302.1±3.1 Ma (Ulaan tolgoi occurrence) to 370.7±4.1 Ma (Bunkhan khudag occurrence), which can be roughly divided into three main age span as Late Devonian, Early and Late Carboniferous. Age of granitoid rocks in Edrene and Baitag terrane are similar and show narrow time span ranging from 317.5±3.7Ma (Olonbulag deposit) to 327±3Ma (Shalyn khudag deposit). In other side age of porphyry related granitoids in Mandal-Ovoo and Gurvaisaikhan terrane show wide range. Result of our study on geochemistry and geochronology of granitoid rocks, related with porphyry deposits, similar with some records on age and geochemistry in south Mongolia and it is vital importance for further study of Central Asian Orogenic Belt as well as reconstruction of paleo geo environment and related porphyry mineralization.

Keywords: porphyry, subduction, island arc, geochemistry, geochronology

*Corresponding author: *sjrgln@gmail.com*

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

[INVITED]

Gold resources of Mongolia

Enkh-Amgalan Ch* (Mongolian Society of Economic Geologists), Jargalan S (Mongolian University of Science and Technology)

Mongolia has considerable reserves and resources. Gold mining activity started since late XIX century, but it has significant role in country's economy only for the last 25 years. Main study of gold mineralization and mineral exploration started from 1960's and nowadays the statistic of various stage geological research indicate that there are more than 1400 localities of gold deposits and occurrences and half of them are placer gold. Dejidmaa et all (2002) compiled mineral map of Mongolia and they subdivided gold mineralization into 8 main mineralization types: 1/ volcanic associated massive sulphide; 2/epithermal; 3/scarn; 4/vein; 5/ regional metamorphism related; 6/granitoid related; 7/placer and 8/paleoplacer. Distribution of gold deposits and occurrences depends on mineralization type, but genetically shows linear form along the independent geotectonic unit, or bigger fault zone. Gold mineralization took place, with varying intensity in various metallogenic epochs. Two main types of gold mineralization are familiar in country which are placer gold and hard rock gold.

The placer gold deposits explored at a sufficient level and they are in active exploitation. Main placer gold deposits are located along flood plain in the Zaamar, Bayankhongor, Tolgoit, Ulz and Khangai area. Gold placers mined in large open-pit operations contain 1 to 5 grams of gold per cubic metric alluvial material and is mined from 5 to 80 m of depth. The hard rock gold deposits are prospected at low level and have reasonable potential to explore. Only Boroo gold hard rock deposit is produced over 70 tons of gold and others are under development stage. Besides of placer and hard rock gold deposits gold is mined from porphyry type copper mine. The main example is Oyu Tolgoi copper-gold porphyry deposit in south Mongolia, which has great resource and one of the world's largest copper mine.

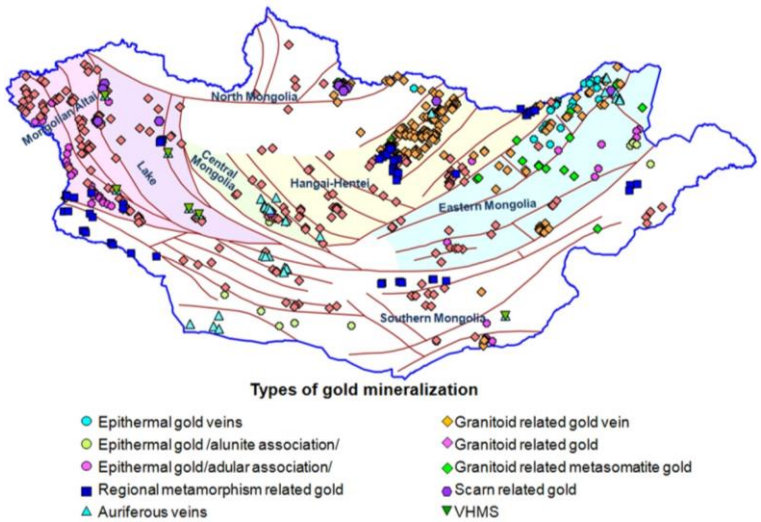


Figure 1. Distribution of gold mineralization of Mongolia with bigger faults and main metallogenic belts:

Keywords: Placer gold, hard rock gold, Mongolia,

*Corresponding author: Ch. Enkh-Amgalan *chenkhamgalan@yahoo.com*

S3-03

[招待講演] 安定陸塊の底が記録する東北アジアの進化史

辻森 樹*[1,2], 新堀 希望[2†], 奥村 聡[2], 渡邉 了[3],
レーマン H.U.[4], マリコベッツ V.G.[5]
([1]東北大・東北アジア,[2]東北大・理・地学,[3]富山大・理工・地球,
[4]鹿児島大・理工・地球環境,[5]ソボレフ地質学鉱物学研究所, [†]現所属 株式会社 SHIFT)

The bottom of cratonic lithosphere in Northeast Asia: the Rock record of evolution

Tatsuki TSUJIMORI*[1,2], Nozomi SHINBORI[2], Satoshi OKUMURA[2], Tohru WATANABE[3],
Hafiz U. REHMAN[4], Vladimir MALKOVETS[5]
([1] CNEAS, Tohoku Univ., [2] Dept. Earth Sci., Tohoku Univ. [3] Dept. Earth Sci, Univ. Toyama, [4] Dept. Earth Env. Sci, Kagoshima Univ., [5] Sobolev Inst. Geol. Mineral., SB RAS)

東北アジアは複数の大陸地塊の集合で形成され、ユーラシア大陸のかなりの面積を占める。過去四半世紀の間に表層の地質と岩石の研究が飛躍的に進み、東北アジアの広域的な地質とテクトニクスの全貌が加速度的に明らかになりつつある。表層地質の情報、大陸プレート内玄武岩の地球化学的情報、地震波トモグラフィーが推定するマントル構造などが互いに紐付けられて解釈される時代となり，ユーラシア大陸の一部としての東北アジアの理解が、過去の超大陸形成の過程で起きうる諸プロセスの解明の手助けとなる。

東北アジアの地質を巨視的に見ると、太古代の大陸地塊の縁辺部、又は地塊内部には原生代の造山帯が存在し、それらを取り囲むように顕生代の造山帯が発達する。顕生代の造山作用は大陸地塊の縁辺部で陸塊の成長を促進してきた一方、縁辺部は大陸リソスフェア薄化や構造浸食など大陸地塊の破壊の場として機能してきた。大陸地塊縁辺部におけるプレート沈み込みは、縁辺部だけでなく、太古代の大陸地塊の底、すなわち大陸リソスフェアマントル最下部物質に流体を媒介として痕跡を残してきた。本講演ではシベリア地塊のキンバレー岩産のざくろ石かんらん岩捕獲岩が記録する安定陸塊の底の情報について紹介する。

シベリア地塊のリソスフェア最下部を構成するざくろ石かんらん岩は、マイロナイト化が著しく、Cr に富むざくろ石（9 wt% Cr_2O_3)とアルミに乏しい直方輝石を特徴的に含み、ポーフィロクラストは圧力 6 GPa・温度 1220°C の平衡条件を示す。ざくろ石は Y・Zr に乏しく、枯渇マントルに特徴的な組成を示す。細粒かんらん石の結晶方位定向配列は C タイプで特徴付けられ、変形かんらん岩の封圧下での弾性波速度（ V_P = 7.27–8.04 km/s）と矛盾しない。C タイプの要因となった流体の関与は、ざくろ石のリムで Sr や LREE の付加が認められる事とも調和的で，変形には流体の関与が強く示唆される。ところが、赤外分光による細粒かんらん石の H_2O の含水量は 11 μg/g と‘ドライ’で、単斜輝石（114 μg/g）と直方輝石（16 μg/g）も同様であった。このように、安定陸塊の底は大陸の集合過程で、‘ウェット’(高含水量) から広域的に‘ドライ’に変化することがあり得る。

Keywords: NE Asia, continental lithospheric mantle, garnet peridotite xenolith, Siberia Craton

***Corresponding author: tatsukix@tohoku.ac.jp**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S3-04

山口県長門構造帯に産する変成岩・深成岩類のジルコン U–Pb 年代の特徴

北野 一平[1]*, 小山内 康人[1], 中野 伸彦[1], 足立 達朗[1], 加藤涼介[1,2],
Bui Thi Sinh Vuong[1]（[1]九州大, [2]（株）ダイヤコンサルタント）

The characteristics of zircon U–Pb ages for metamorphic and plutonic rocks in the Nagato tectonic belt, Yamaguchi

Ippei Kitano[1]*, Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1], Ryosuke Kato[2],
Vuong Bui Thi Sinh[1] ([1]Kyushu Univ., [2]DIA CONSULTANTS)

長門構造帯は西南日本山口県西部に位置し、北北東－南南西方向に狭長な分布を示す地質体であり、変成岩・深成岩類を伴う蛇紋岩メランジェ、三郡－蓮華帯相当の結晶片岩類、およびペルム紀の付加体から構成される（例えば椛島ほか、1993）。南東部でトリアス系美祢層群とは高角断層を介し、北西部でジュラ系豊浦層群に被覆されている（例えば椛島ほか、1993）。蛇紋岩中の花崗岩類は約 400 Ma の白雲母 K–Ar 年代を示すことから（例えば福富、2008）、長門構造帯は日本最古に相当する地質体とみなされており、その地質学的な特徴とペルム紀付加体中の微化石解析から、しばしば飛騨外縁帯に対比されている（例えば磯崎・田村、1989）。しかしながら、蛇紋岩メランジェ中の変成岩および深成岩類ブロックに関して、帰属を検証した例は少ない。そこで、本研究は長門構造帯の変成岩類および深成岩類から、LA-ICP-MS ジルコン年代測定を行い、これらの年代学的特徴を明らかにした。

長門構造帯の北部三隈地域、中央部台地域および南部豊ヶ岳地域の調査を行い、三隈地域の角閃岩（119T03C）、台地域の変形花崗岩（11902D: 含ザクロ石－黒雲母－白雲母花崗岩、119T06D: 含緑簾石－黒雲母－白雲母花崗岩）、豊ヶ岳地域の砂泥質片岩（12001: 緑簾石－白雲母－緑泥石片岩、120T01O: 緑泥石－白雲母片岩）および変形石灰珪質岩（120T01S, 120T01U: アクチノ閃石石灰珪質岩）からジルコンを分離し年代測定を行った。

三隈地域の角閃岩（119T03C）中のジルコンは、自形で弱いセクター構造の内部組織を呈し約 460 Ma の年代を示した。台地域の変形花崗岩（11902D, 119T06D）中のジルコンは共通して自形で波動累帯構造の内部組織を示し、約 470–460 Ma に集中した年代値が得られた。一方で、豊ヶ岳地域の砂泥質片岩（12001, 120T01O）および変形石灰珪質岩（120T01S, 120T01U）では、自形で波動累帯構造の内部組織のジルコンが卓越するものの、多様な形状および内部組織を示すジルコンが認められる。砂泥質片岩（12001, 120T01O）からは 670–650, 490–410 Ma、変形石灰珪質岩（120T01S, 120T01U）からは、2460–2430, 1900–910, 660–400 Ma の幅広い年代が得られ、共通して 470–420 Ma の卓越した年代ピークが検出された。

これらの長門構造帯の変成岩・深成岩類の年代学的特徴は、飛騨外縁帯よりもむしろ黒瀬川構造帯の蛇紋岩中に産する変成岩類および圧砕花崗岩類のそれと極めて類似している（Yoshimoto et al., 2013; 小山内ほか、2014）。さらに、年代だけでなく蛇紋岩メランジェ中に高温変成岩としての角閃岩、およびザクロ石・両雲母を含むアルミナスな圧砕花崗岩類が存在する点でも飛騨外縁帯ではなく黒瀬川構造帯に対比可能である。以上の点から、長門構造帯は黒瀬川構造帯と同一の起源をもち同一のテクトニクスで形成した可能性が強く示唆される。

Keywords: zircon ages, metamorphic rocks, plutonic rocks, Nagato tectonic belt, Yamaguchi
*Corresponding author: 3GS14010G@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ベトナム・コンツム地塊，カンナック岩体 ペルム紀－三畳紀，火成作用と変成作用の関係

大和田正明*（山口大学），小山内康人，中野伸彦，北野一平，
足立達朗（九州大学）

Permo-Triassic magmatic and metamorphic activities in Kannak complex, Kon Tum Massif, central Vietnam

Masaaki Owada* (Yamaguchi Univ.), Yasuhito Osanai, Nobuhiko Nakano, Ippei Kitano, Tatsuro Adachi (Kyushu Univ.)

The Kon Tum Massif, central Vietnam, contains various types of magmatic and metamorphic rocks, the latter including ultrahigh- to high-temperature units. The Late Permian–Early Triassic metamorphic rocks in the massif correspond well with the metamorphic characteristics of a collision between the Indochina and South China cratons in terms of P–T evolutions and the timescales of deformation. However, the relationships between metamorphism and magmatic activities are still unclear. As such, we have performed zircon U–Pb geochronological investigations of granitic rocks and reevaluated previously reported monazite Th–U–Pb electron microprobe dating to unravel Permo–Triassic tectonothermal event and elucidate magmatic processes and tectonic implications of the Kon Tum Massif. The U–Pb LA-ICP-MS geochronological analyses of zircon obtained from two samples of garnet granite yielded magmatic ages of 239.6 ± 3.9 Ma and 243.5 ± 3.4 Ma, respectively. In consideration of igneous activities in the Kon Tum Massif, the base of massif, already thickened by the collision, was situated on the place of underplating plume-related magma. As a result, such magma induced the high- to ultrahigh-temperature metamorphism and crustal melting during the Late Permian to Early Triassic, 260 – 240 Ma.

中部ベトナムコンツム地塊には，高温～超高温変成作用を被った変成岩類や各種火成岩類が分布する．コンツム地塊カンナック岩体の変成岩類はピーク変成作用時に 1.2 GPa で 1050 ˚C に達していた (Osanai et al., 2004, 2008)．このテクトニック事変は，ペルム紀末から三畳紀はじめにかけて怒った南中国地塊とインドシナ地塊の衝突によるとされた (Osanai et al., 2008)．しかしながら，変成作用と火成活動との関係には，不明な点も多い．そこで，本研究では，花崗岩のジルコン U–Pb 年代を求めた．あわせて，すでに Owada et al. (2006) によって公表された変成岩と花崗岩の U–Th–Pb 化学年代を再評価し，カンナック岩体の火成･変成史を検討した．分析試料は，カンナック岩体を流れる Ba river に沿って露出する花崗岩類と泥質グラニュライトである．

今回新たに分析したざくろ石花崗岩のジルコン U–Pb 年代 (LA-ICP-MS, 九州大学・比文院)は，それぞれ 239.6 ± 3.9 Ma と 243.5 ± 3.4 Ma である．また，モナザイトの化学年代によれば，泥質グラニュライトの変成年代は 255 Ma で，後退変成作用の時期は 233 Ma である．カンナック岩体から得られた火成・変成年代を考慮すると，超高温変成作用の年代は 260～250 Ma に起こり，高温変成作用は 255～240 Ma に起こったと想定される．

Owada et al. (2016)は火成活動の原因をマントルプルームに求め，衝突によって厚化した下部地殻中に貫入するマグマによって超高温に達する変成作用や地殻の溶融を引き起こしたとした．すなわち，南中国地塊とインドシナ地塊の衝突事変は 260 Ma 頃には始まり，そして，火成活動と変成作用は同じタイミングで 240 Ma まで継続したと推察される．

Keywords: The Kon Tum Massif, granitic rocks, pelitic gneiss, monazite EMP dating, zircon U–Pb dating
*Corresponding author: owada@yamaguchi-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

モンゴルアルタイ山脈の泥質変成岩に記録された古生代・沈み込み一付加一大陸衝突に伴う造山運動

中野伸彦・小山内康人（九州大）・S. Jargalan（モンゴル科学技術大）・
足立達朗・K. Syeryekkhaan（九州大）・大和田正明（山口大）・
M. Satish-Kumar（新潟大）

Paleozoic subduction–accretion–collision orogenesis in the Mongolian Altai Mountains: Constraints from *P–T–t* and provenance of metapelites

N. Nakano*, Y. Osanai (Kyushu Univ.), S. Jargalan (Mongolian Univ. Sci. Tec.), T. Adachi, K. Syeryekkhaan (Kyushu Univ.), M. Owada (Yamaguchi Univ.), M. Satish-Kumar (Niigata Univ.)

Amphibolite-facies pelitic gneisses are major lithology in the metamorphic belt from the Mongolian Altai Mountains in the Central Asian Orogenic Belt. Based on the widespread monazite EPMA dating, the metamorphosed pelitic gneisses are chronologically divided into three groups, which are pelitic gneisses metamorphosed at *c.* 360 Ma, *c.* 260 Ma, and both. Based on the analyses of andalusite-, sillimanite-, and kyanite-bearing metapelite, the *c.* 260 Ma metamorphism is characterized by a hairpin-shaped anti-clockwise evolution; from prograde of ~ 520°C at 2.5 kbar via peak of 600°C at 6 kbar until ~510°C at 3 kbar. On the other hand, kyanite- and sillimanite-bearing metapelites containing *c.* 360 Ma monazite grains suggest complex metamorphic history at this period. Although the all rock types experienced compressional evolution, the compression occurred at different crustal levels. One type represents compression at low-*P* conditions (~5.2 to 7.2 kbar) under moderate-*T* conditions (~620–660 °C). In contrast, another rock type was formed during compression at higher *P* with similar *T* conditions (~7.0 to 8.9 kbar at ~600–640 °C). The different metamorphic gradient has been considered to be due to the presence of ridge subduction in the Altai Range. The subducted ridge could supply heat to the accretionary wedge and produced new geotherm at *c.* 360 Ma (Nakano et al., 2015). The detrital zircon ages of *c.* 360 Ma metapelites show same provenance to the Devonian accretionary prism. Those of *c.* 260 Ma metapelites are also essentially similar to them (sharp peaks of 510–490 Ma and broad peaks of 900–800 Ma), whereas *c.* 260 Ma ones are characterized by abundant Proterozoic zircons (56 %) and older age of the youngest zircon (*c.* 460 Ma) than *c.* 360 Ma metapelites (20 % and *c.* 364 Ma, respectively). The results require the following sequence of events. (1) Subduction of an oceanic plate beneath a microcontinental block from at least 510 Ma. (2) Growth of volcanic front due to ongoing subduction and arc magmatism until *c.* 360 Ma, which became barrier for transportation of older continental material into trench. (3) Burial of the youngest accretionary wedge at *c.* 360–350 Ma with different metamorphic gradients due to ridge subduction. (4) Rollback of the trench and arc magmatism in the upper (older) part of the accretionary wedge during the late Permian. (5) Continental collision and burial of heated accretionary wedge at *c.* 270–260 Ma.

Keywords: metamorphic rocks, subduction–accretion–collision, Altai Mountains, Mongolia
*Corresponding author: n-nakano@scs.kyushu-u.ac.jp (N. Nakano)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S3-07

モンゴル北西部のザフハンエクロジャイトが経験した反時計回りの温度圧力履歴

苗村　康輔*（京都大学・理）& O. ジャフハラン（中国地質科学院）

Anticlockwise *P-T* path for the Zavkhan eclogite in the NW Mongolia

Kosuke Naemura* (Kyoto University) & Javkhlan, O. (Chinese Acad. Geol. Sci.)

Contrary to the prograde-type *P-T* path of subduction zone eclogites, the Zavkhan eclogite in the NW Mongolia, whose peak *P-T* condition was estimated at 480 ºC and 2 GPa, was transformed from the former kyanite-bearning amphibolite paragenesis (>600 ºC) by an anti-clockwise *P-T* path.

典型的なエクロジャイトの温度圧力経路は、ローソン石や藍閃石を含んだ青色片岩が脱水分解し緑簾石エクロジャイトへと相転移する累進変成経路である。一方、チリ南部やザグロス山脈における研究から、高温の角閃岩が冷却した結果エクロジャイトが形成されうることが明らかとなってきた。これらのレビューを踏まえ、本発表はモンゴル北西部のエクロジャイトの温度圧力履歴を紹介する。ザフハン・エクロジャイトでは、オンファス輝石(Jd<42 モル) がカルシウムに富んだざくろ石(Gros>30 モル), バロワ閃石, 白雲母(Si=3.4 apfu, O=11), 石英, 緑簾石, ルチルと少量の燐灰石、方解石, 赤鉄鉱と共存し、部分的に角閃岩相の共生に置換されている。エクロジャイトになるまでに岩石が経験した温度圧力履歴を調べるために、ざくろ石のゾーニングと包有物の関係を検討した。まず Mn に富むざくろ石・コア部($Spes_{2\text{-}16}Gros_{30\text{-}35}Pyr_{2\text{-}4}$)は藍晶石とパラゴナイト、方解石、石英を含むが緑簾石を欠いている。ざくろ石のマントル部($Spes_{<2}$ $Gros_{35\text{-}40}Pyr_{4\text{-}6}$)は、緑簾石や塩素に富むホルンブレンド、稀に曹長石が包有され、石英を多く含む。ラマン分光法で測定した結果、内圧パラメータ Δw_1 [1]が約 8~10 シフトしていることが判明した。ざくろ石マントル外縁部($Gros_{30\text{-}37}Pyr_{6\text{-}10}$)ではオンファス輝石とバロワ閃石が包有されて、リム部($Gros_{30}Pyr_{11\text{-}14}$)は上昇時の角閃岩相で形成されたと考えられる。これらの情報から温度圧力履歴を復元すると、まずエクロジャイト条件（ざくろ石マントル最外縁部に相当）は地質温度圧力計を用いて約 480 度・2 GPa と推定された。次に、ざくろ石マントル内縁部の形成条件は、角閃石・斜長石温度計と石英ラマン圧力計を用いて、約 550-590℃・1.4-1.8 GPa と推定された。この結果から、ざくろ石コア部は、Paragonite＋Quartz＝Albite＋Kyanite＋H_2O の反応曲線の右辺（1GPa だと 660 度以上）で形成されたと推定される。従って、藍晶石を含む角閃岩が冷却・増圧した結果、エクロジャイトが形成されたことが判明した。ザフハンエクロジャイトが記録する冷却イヴェントは、オホーツクプレートの表面温度が数千万年の時間スケールで冷却したことを示唆する。

Key words: Anti-clockwise P-T path, eclogite

[1] Enami et al., (2007), Am.Min. 92. pp. 1303-1315.

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Lithium Deposits of Mongolia

Khashbat Dashtseren[1*]., Jargalan Sereenen[1]
[1]Mongolian University of Science and Technology, Mongolia
khashbat.d@must.edu.mn

Due to the rapid growth of population and environmental issues, the traditional source is being rejected, whereas renewable resources are being accepted year by year following the increase in energy demand. As the demand for renewable energy grows, the storage is considered crucial for the technological development and environment. The most important means of storing energy is the lithium battery and the capacitor, therefore the significance is high for conducting studies on the most important raw material of lithium battery and assessing its future prospect.

Future global demand for lithium is difficult to forecast, most projections are for increasingly positive trends. Certainly, the progression of increasing consumption over the last decade points to comparable or greater demand into the future. The primary growth in demand has been driven using lithium in rechargeable batteries, not only for electronic devices but also for electric vehicles and storage of renewable and other energies.

In Mongolia, lithium mineralization is relatively low, but in recent years companies have started research in various level. Current studies have found three deposits, seven occurrences and some anomalies mineralized areas associated with pegmatite related silicate ores and sedimentary rocks.

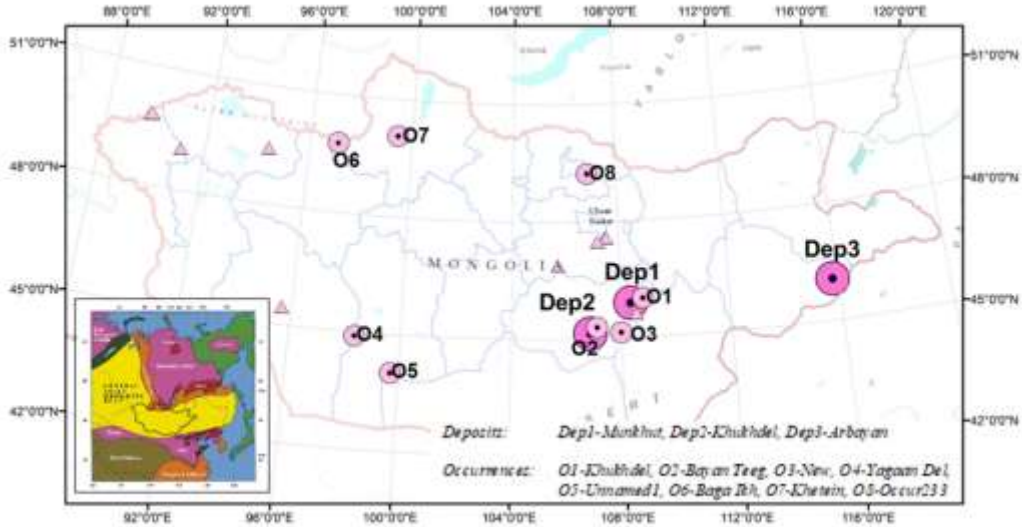


Figure 1. Location map of lithium deposits and occurrences

Lithium deposits have three different types and those related with Jurassic sediments, lithium bearing pegmatite and basic metal bearing greisen. Major lithium minerals showed lithium bearing micas, lepidolite, and zinnwaldite. Lithium grades of deposits are Li 0.3-1.0% Munkhut, Li 0.3% Khukhdel and Li 0.4% Arbayan. All lithium occurrences are related with lithium bearing pegmatites and associated silicate minerals are lepidolite and spodumene. Lithium grades of occurrences are Li 0.27-0.30% Khukhdel, Li 1.71-2.15% Bayanteeg, Li 0.3-0.6% New, Li 0.1-1.0% Yagaandel, Li 0.1% Unnamed1, Li 1.0% Baga Ikh, Li 0.04-0.15 Khetein and Li 1.0% Occur233.

In Central Mongolia, the Khukh Del deposit (KDD) related sedimentary rocks has around 37,700 tons of confirmed lithium resource in 122,300 tons of ore. As for the Munkhtiin Tsagaan Durvuljin (MTD) deposit related lithium bearing pegmatite, the Mineral Resources and Petroleum Authority of Mongolia reported that the deposit has actual reserves of 14,575 tons in 2.2 million tons of ores.

Keywords: Lithium, Pegmatite, Lepidolite

Metallogeny of Rare Earth Elements of Mongolia

Jargalan S and Tamir B*, Mongolian University of Science and Technology

Rare earth elements (REE) are widely used in high technologies, medical devices, and military defense systems, and are especially indispensable in emerging clean energy. Along with the growing market of green energy in the next decades, global demand for REE increases continuously. A number of geological processes can lead to concentration of REEs in specific types of rock. Understanding the distribution and origin of REE deposits and identifying and quantifying REE resources have become strategic priorities of Mongolia. Unlike other metals such as gold, copper etc, the REEs were not discovered and relatively poorly studied in Mongolia. Result of various types of geological study including geological mapping and academic research and exploration reports indicate that we have four REE bearing deposits, eighty occurrences and more than three hundred anomalous areas. Two main types of REE mineralization is identified, which are carbonatite related and alkaline related. In or der to make clear distribution characteristics and metallogenic features of REE mineralization in Mongolia, we studied more than 80 localities and analyzed more than 250 samples for major, trace and REE amount by ICP-MS technique. As a result, we understood that REE mineralization is strongly controlled by magma types and its distribution shows spatial relation with geodynamic setting.

Result of iour study indicates that REE related rocks are clearly alkaline. REE abundance shows clear difference between two types of mineralization: alkaline related REE mineralization indicates that amount of REE content shows positive correlation with silica content, indicating REE enrichment is influenced by magma differentiation, but carbonatite related mineralization shows weak or no correlation. On the chondrite normalized REE pattern rocks of alkaline related mineralization show clear negative europium anomaly, indicating plagioclase fractionation, but rocks from carbonatite related mineralization no europium anomaly detected, indicating difference between magma source.

Source of magma is very important for formation of REE mineralization, therefore, we plotted magma source discrimination diagram, and all REE mineralization related intrusive rocks A type or anorogenic magma source. Tectonic environment of REE related intrusive rocks checked on Pearce's tectonic discrimination diagram and result shows that rocks are formed within plate setting.

Keywords: Rare earth element, metallogeny, rift, geochemistry

Corresponding author: Sereenen Jargalan sjrgln@gmail.com

Coal deposits of Mongolia

Ochirbat M*(Mongolian Society of Economic Geologists), Jargalan S (Mongolian University of Science and Technology)

Coal deposition in Mongolia was occurred at four main geological periods: Carboniferous, Permian, Jurassic and Cretaceous. Carboniferous, Permian and Jurassic age coal is high in quality and partly they have coking feature as well as containing anthracite. Cretaceous coal is low quality and dominated by brown coal. In western and south western part of Mongolia formed carboniferous, Permian and Jurassic age coal, which deposited in the foreland depressions, formed by crustal compression. In contract, cretaceous age coal is formed eastern part of Mongolia and are deposited in the depressions related with crustal extension.

There are 15 coal basins in Mongolia, which includes more than 160 coal deposits and 345 coal occurrences. Mongolia has abundant resources of coal and it accounts about 150 billion tons. Main coal basins are described below.

Hotgor coal deposit (Carboniferous age) is located in the western Mongolia. Coal seams are hosted by Pennsylvan Uliastai formation. There are 13 coal seams, which makes approximately 1150 m thick. Currently, over 1022 million tons of coal resource has been estimated in the deposit. Coal rank is medium volatile bituminous using ASTM standard D388.

Tavantolgoi coal deposit (Permian age) is located in the Southern Mongolia. Coal seams form synclinal fold structure. Coal-bearing sediment is Guadalupian-Lopingian in age. There are 16 coal seams, which makes approximately totally 965-1990m thick. Coal reserve of Tavantolgoi is estimated at 7000 million tons. Coal rank is low to medium volatile bituminous using ASTM standard D388.

Ovoot Khural depression (Jurassic age) is located in the southwestern Mongolia. Coal-bearing sediments developed in an intermountain basin during the Lower-middle Jurassic age. Coal seams form monoclonal structure, dip 25 to 80 degree to south direction. There are 9 coal seams, making totally 1350m thick. Totally, 16 coal deposits found throughout Ovoot Khural coal bearing depression, which stretches more than 100km and 20km in width. The thickness of coal seams ranges from 5m to 150m. Currently, over 1300 million tons of coal reserve has been estimated.

Erdenetsogt coal deposit (Cretaceous age) is located in the southeastern Mongolia. The coal deposit hosted by Lower Cretaceous Khukh Teeg formation. The combined coal thickness of the eight seams averages 79 m. The coal resources 2000 million tons, and classified as Lignite A.

Keywords: brown coal, coking coal, anthracite, depression, Mongolia
Corresponding author: M.Ochirbat ochirbatgeo@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R1: 鉱物記載・分析評価

2019年9月22日(日) 9:45 ~ 12:00 | 大講義室 Ia 大講義室

R1: 鉱物記載・分析評価

座長:黒澤 正紀、門馬 綱一、長瀬 敏郎

[座長]
黒澤 正紀：R1-01〜R1-03
門馬 綱一：R1-04〜R1-06
長瀬 敏郎：R1-07〜R1-09

9:45 ~ 10:00

[R1-01] エジリンの*M*1席Fe^{3+}の電場勾配テンソルの実験値と計算値の比較

*篠田 圭司[1]、小林 康浩[2] (1. 阪市大•理、2. 京都大•複合研)

10:00 ~ 10:15

[R1-02] メスバウアー分光法による長野県産普通輝石の*M*2席のFe^{2+}の電場勾配テンソルの推定

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

10:15 ~ 10:30

[R1-03] 動力学効果を考慮した電子回折パターンの方位解析

*瀬戸 雄介[1]、大塚 真弘[2]、伊神 洋平[3]、三宅 亮[4] (1. 神戸大・院理、2. 名古屋大・院工、3. 名古屋大・未来研、4. 京都大・院理)

10:30 ~ 10:45

[R1-04] Precession electron diffraction法の鉱物への適用と評価

*三宅 亮[1]、瀬戸 雄介[2]、伊神 洋平[3]、大塚 真弘[4] (1. 京大・院理、2. 神戸大・院理、3. 名大・未来研、4. 名大・院工)

10:45 ~ 11:00

[R1-05] TAP分光結晶を用いた波長分散型分光器におけるバックグラウンドホール

*加藤 丈典[1]、陳 美呈[2] (1. 名大・ISEE、2. 釜山大・共同実験実習館)

11:00 ~ 11:15

[R1-06] “パライバ”・トルマリン(1）;宝石学的定義の変遷と原産地

*北脇 裕士[1]、江森 健太郎[1] (1. 中央宝石研究所)

11:15 ~ 11:30

[R1-07] ”パライバ”・トルマリン (2)；LA-ICP-MSを用いた組成分析と原産地鑑別への応用

*江森 健太郎[1]、北脇 裕士[1] (1. 中央宝石研究所)

11:30 ~ 11:45

[R1-08] ゲドル閃石の２種類の赤外OH伸縮振動バンド微細構造

*石田 清隆[1]、ホーソン フランク (1. 無所属)

11:45 ~ 12:00

[R1-09] 福島県多田野産加藤石の化学組成

*坂野 靖行[1]、豊 遙秋[2] (1. 産総研、2. 東大総博)

エジリンの *M*1 席 Fe^{3+}の電場勾配テンソルの実験値と計算値の比較

篠田圭司 (阪市大・理), 小林康浩 (京大・複合研)

Calculation of EFG due to ligand oxygens nearest neighbors to Fe^{3+}in the *M*1 site of aegirine

Keiji Shinoda* (Osaka City Univ.), Yasuhiro Kobayashi (KURNS)

Mössbauer spectroscopy is an excellent method for the analysis of Fe^{2+} and Fe^{3+} ratio in minerals, and has been used widely for the analysis of Fe-bearing minerals. Although a powdered sample has been used as a Mössbauer sample, it is not useful for the Mössbauer analysis of small areas in mineral grains. Recently, Mössbauer microspectroscopy is used to measure the spectra of individual single crystal in a thin section to overcome the disadvantage of spatial resolution of the powder method. The electric field gradient (EFG) tensor of the ^{57}Fe Mössbauer nucleus is an important physical property in Mössbauer spectra measurements of a single crystal because the EFG gives a constraint on the intensity of quadrupole splitting peaks. 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, we revealed the EFG tensor of Fe^{3+} in the octahedral *M*1 site of aegirine (JMPS, 2019). In principle, the EFG tensor can be calculated from the crystal structure because the EFG tensor components result from ligand and valence electron contributions and are the second partial derivatives of the potential of a point charge of an electron at the Mössbauer nucleus. In this study, the experimentally determined EFG tensor and asymmetric parameter η of aegirine were compared with the EFGs and ηs calculated from the crystal structure of aegirine reported by Clark et al. (1969) and Redhammer et al. (2000). The EFG due to ligand contributions is calculated from the nearest neighboring six oxygens coordinating Fe^{3+} in aegirine. As a result, the EFG tensors and the asymmetric parameter η calculated from the crystal structure show considerable variation, depending on small differences in atomic position suggested by X-ray diffraction analysis. Thus, the EFG calculated from crystal structure analysis may not be reliable for predicting the correct EFG and the intensity of a quadrupole doublet. Experimental determination of EFG is required for single crystal Mössbauer measurements.

Keywords:Mössbauer spectroscopy, microspectroscopy, electric field gradient, aegirine
*Corresponding author: shinoda@sci.osaka-cu.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

メスバウアー分光法による長野県産普通輝石の *M2* 席の Fe^{2+} の電場勾配テンソルの推定

福山大毅（阪市大），篠田圭司（阪市大），小林康浩（京大・複合研）

An estimate of electric field gradient tensor of Fe^{2+} in *M2* site of augite by Mössbauer microspectroscopy

Daiki Fukuyama* (Osaka City Univ.), Keiji Shinoda (Osaka City Univ.),
Yasuhiro Kobayashi (KURNS.)

輝石はイノケイ酸塩鉱物であり，化学式は $(Ca,Fe,Mg)_2Si_2O_6$ と表される．輝石は隣り合う SiO_4 四面体が 1 つの頂点の酸素を共有して鎖状につながっている．Si 以外の陽イオンは，SiO_4 四面体鎖の間に入り，SiO_4 四面体の頂点で囲まれる位置は *M1* 席，底面で囲まれる位置は *M2* 席と呼ばれる．鉄の *M1* 席と *M2* 席の分配を求める方法にメスバウアー分光法がある．メスバウアー分光法では粉末状の輝石が測定に用いられてきたが，この方法では薄片中の微小な輝石の測定は難しい．単結晶薄片でのメスバウアー分光法が確立されることでこの問題点は解決されると考えられる．単結晶薄片試料の場合，四極子ダブレットのピーク比（I^h/I^{total}）は，粉末状の測定時のように対称ではなく，結晶とγ線の入射方向によって異なる．ピーク比（I^h/I^{total}）とは高エネルギー側の吸収ピーク面積（I^h）と低エネルギーの吸収ピーク面積（I^l）の和（$I^{total}=I^h+I^l$）に対する高エネルギー側の吸収ピーク面積の比のことである．^{57}Fe メスバウアーダブレットは Fe^{2+} と Fe^{3+} の含まれている席の電場勾配(EFG)テンソルと関係している（Zimmermann 1975, 1983）．よって，単結晶薄片のメスバアウアー測定においてはEFGテンソルを決定するで，任意の方向におけるピーク比を算出することが可能となる．Tenannt *et al.*(2000)によって単斜輝石の *M1* 席の Fe^{2+} の EFG テンソルは明らかにされている．しかし，単斜輝石の *M2* 席の EFG については明らかにされていない．本研究では，Zimmermann(1975, 1983)の方法により，定方位薄片の普通輝石の ^{57}Fe メスバウアースペクトルから *C2/c* 単斜輝石の *M2* 席の EFG テンソルを求めることを目的とした．

単結晶メスバウアー測定試料として長野県の単結晶の普通輝石を用いた．プリセッションカメラを用いて，*a**，*b**に垂直，及び（-202）面に平行な 3 枚の定方位薄片を製作した．各薄片に 3 方向からγ線を照射して，計 9 つのメスバウアースペクトルを得た．スペクトルは *M1* 席の Fe^{2+} と *M2* 席の Fe^{2+} が重なり合っていると仮定し，メスバウアースペクトル解析ソフトウェア MossWinn を用いてピーク分離を行った．その際，*M1* 席の Fe^{2+} のピーク比は Tennant et al.(2000)を用いて計算した．生データのダブレットから *M1* 席の Fe^{2+} のダブレットを引き，残りのダブレットを *M2* 席の Fe^{2+} のダブレットとした．得られた *M2* 席の Fe^{2+} のダブレットのピーク比から *M2* 席の Fe^{2+} の EFG テンソルを求めた．しかし，EFG テンソルの誤差が大きいこと，及び固溶体組成と EFG テンソルとの関係が課題として残った．

Keyword: Augite, Mössbauer spectroscopy, electric field gradient tensor

E-mail:m19sc021@hb.osaka-cu.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

動力学効果を考慮した電子回折パターンの方位解析

瀬戸 雄介* (神戸大・院理), 大塚 真弘 (名大・院工), 伊神 洋平(名大・未来研), 三宅 亮 (京大・院理)

Pattern indexing of electron diffraction based on dynamical effect

Yusuke SETO* (Kobe Univ.), Masahiro OHTSUKA, Yohei IGAMI (Nagoya Univ.), Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)

はじめに

透過電子顕微鏡(TEM)による電子回折法は、ナノスケールでの結晶相同定や方位解析の強力なツールとして、鉱物科学における必須技術となっている。特に近年は、高感度のCCD/CMOS カメラが普及し、高速かつ定量的な回折強度の取得が出来るようになっている。ただし、低次の晶帯軸入射の場合や、低対称性あるいは複数の結晶が混ざった複雑な回折パターンを解析する場合は、試行錯誤的な指数付けを行わざるを得ない。さらに、電子と物質の相互作用は非常に大きく動力学的効果が顕著であるため、回折強度の定量的な評価は(X 線に比べて)簡単ではない。そこで本研究では、動力学的効果を加味した自動方位解析プログラムの開発を行った。

手法

撮影した回折パターンは、ノイズフィルタと加重 Median フィルタを施した後、2 次元フォークト関数でフィッティングし、回折スポットの強度と位置を検出する。一方、候補結晶の逆格子点座標は、ある基準方位の下で、予め必要な数だけ計算しておく。次に、検出された回折スポットの逆空間座標に適当な回転行列をかけ、回転後の座標集合(の一部)が候補結晶の逆格子点座標(の一部)に一致した場合は、指数付けを行う。この時点で座標が一致した回折スポットは除外されるが、一致しなかった残りの回折スポットについては、別の方位（あるいは別の結晶）からの寄与と見なし、さらに適当な回転行列を探索する。この手順によって、高次ラウエゾーン(HOLZ)まで含めた指数付けや、複数の粒子・相からなる回折パターンの解析が可能になる。さらに、得られた結晶方位を基準にして、わずかに結晶が回転した場合の回折強度を動力学計算し、観測した回折強度(の比)を最も再現する試料の厚みと方位を最終的に出力する。

動力学的計算ではBethe固有値法を用いた。この手法では、結晶中の電子を波動方程式とブロッホの定理で記述し、周期ポテンシャル場で存在可能な電子波(ブロッホ波)を求める。さらに試料の界面で入射波と散乱波をなめらかに繋げることによって回折波の振幅を計算する。

結果と考察

図 1 に柱石の収束電子回折(CBED)パターンを示す。構造が複雑な鉱物試料の回折強度を精度良く再現するには、ブロッホ波(N)の数を十分大きくする必要がある(>~500)が、動力学計算の時間は N^3 に比例する。そのため、固有値計算を高度に並列化し、さらに要素数に応じてライブラリを自動で選択することで計算時間を短縮するように工夫した。

図 2 に、エンスタタイト(直方晶系, *Pbca*)に対して比較的高次の晶帯軸から入射した回折パターンと、その指数付け結果を示す(図 1)。運動学的シミュレーション(図 1b)では、[001]晶帯軸から 10° 程度ずれたパターンのスポット位置は再現できている。ただし、動力学効果を考慮していないため、回折強度は再現できていない。観測結果の回折強度を最も良く再現するように、試料厚みと方位を細かく変化させて動力学シミュレーションを行い、観察強度も含めたパターンの再現に成功した(図 2c)。発表ではさらに他の解析例も紹介し、本手法の展望を述べる。

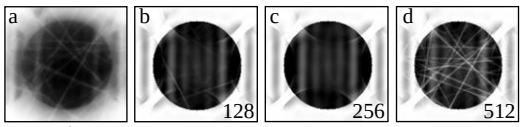


図 1. 柱石(scapolite)の(a)CBED パターンとそのシミュレーション結果 (b,c,d). N はブロッホ波の数.

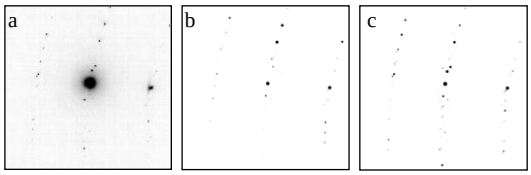


図 2. エンスタタイトの(a)電子回折パターンとその(b)運動学および(c)動力学的シミュレーション(t = 109nm)

Keywords: electron diffraction, crystal orientation, pattern indexing, dynamical simulation.

*Corresponding author: seto@crystal.kobe-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Precession electron diffraction 法の鉱物への適用と評価

三宅亮*（京大・院理）・瀬戸雄介（神戸大・院理）・伊神 洋平（名大・未来研）
・大塚真弘（名大・院工）

Precession electron diffraction method analysis of mineral.

Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)*, Yusuke SETO (Kobe Univ.),
Yohei IGAMI (Nagoya Univ.) and Masahiro OHTSUKA (Nagoya Univ.)

微小鉱物の相の決定や対称性の議論に透過型電子顕微鏡（TEM）を用いた電子回折法がよく用いられる。X 線回折の場合、反射が試料中で 1 回しか起こらないと仮定することができ、このことを運動学的回折とよぶ。一方、電子回折の場合、厚い試料中では 1 つの電子が何度も反射が起こるため、このことを考慮しなければならず、このことを動力学的回折とよぶ。このためらせん軸や映進面をもつ鉱物・結晶の場合、電子回折図形中に本来の消滅則では消える反射が観察できる場合がある。また、回折強度も動力学的回折の影響がでてくる。そのため、対称性の決定などに影響を与える。一方、この点を克服するために、入射電子線を円錐状に絞ることによって、ディスク上の回折図形を得る収束電子回折（Convergent-beam electron diffraction: CBED）法が知られている。CBED 法ではディスク内に現れる強度分布から対称性の議論が可能となる。しかし CBED 法では入射電子線を細く絞るため、試料ダメージが大きく、鉱物の適用範囲は限られる。

一方、近年注目されているプリセッション電子回折（Precession electron diffraction: PED）法（Vincent & Midgley, 1994 など）は、入射電子線を光軸に対して傾斜させ歳差運動させながら試料に照射し電子回折図形を取得する方法である。これにより、動力学的効果を軽減できるとされている。また、入射電子線を絞ることがないため、有機結晶はゼオライトなどの電子線ダメージに弱い試料にも適用が可能で、さらには 3 次元で取得する electron diffraction tomography と組み合わせることにより、構造解析も近年では行われている（例えば、Jiang et al., 2011）。そこで、本研究では、PED 法を鉱物に適用し、一般的な制限視野電子回折（Selected-area electron diffraction: SAED）法との差や、シミュレーションとの比較などを行った。

実験は、TEM（JEOL 社 JEM-2100F）と、HREM 社のソフト QED を組み合わせて行った。図 1 に forsterite の SAED 図形（a）、PED 図形（b）を示す。SAED 図形に比べて、PED 図形は、広角まで反射が得られていることがわかる。また、映進面の消滅則によって本来消える反射についても、SAED 図形にくらべて PED 図形では、強度が小さくなっていることがわかる。

図 1 a：SAED 図形

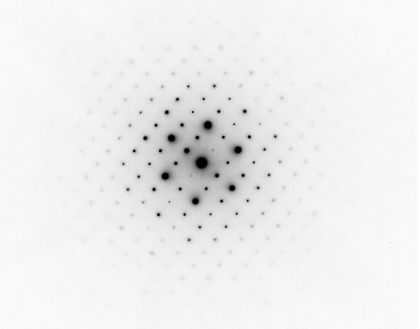
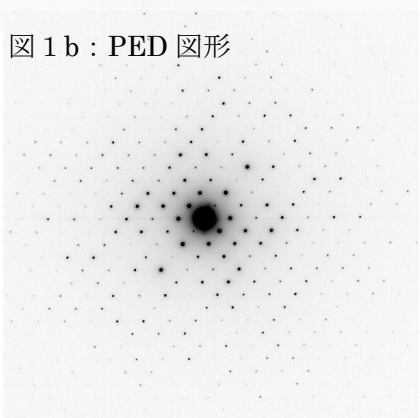


図 1 b：PED 図形



Vincent & Midgley (1994) Ultramicroscopy, 53, 271.
Jiang et al. (2011) Science 333, 1131.

Keyword: precession electron diffraction, selected-area electron diffraction, mineral
Corresponding author: miya@kueps.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

TAP 分光結晶を用いた波長分散型分光器におけるバックグラウンドホール

加藤丈典（名大・ISEE）・陳美呈（釜山大・共同実験実習館）

Background holes in wavelength-dispersive X-ray spectrometry using thallium acid phthalate analyzing crystal

Takenori Kato* (Nagoya Univ.) and Mi-Jung Jeen (Pusan Natl. Univ.)

X 線分光分析に用いる分光器には、波長分散型分光器（WDS）とエネルギー分散型分光器（EDS）がある。EPMA や XRF では正確に X 線強度を測定できることが前提となる。特に、P/B の低い極微量元素の定量分析においては微弱な X 線を正確に測定する必要がある。そのような場合に問題となる点の一つにバックグラウンドホールがある（Self et al., 1990; Kato & Suzuki, 2011）。WDS では分光結晶の一つの結晶面でのみブラッグの反射条件が満たされて X 線が反射することを前提にしている。しかし、特定の条件下では複数の結晶面でブラッグの反射条件が満たされ、検出器に到達する X 線の強度が見かけ上低くなる。これを、バックグラウンドホールと呼ぶ。この影響を無視してしまうと X 線強度を過少に見積もる恐れがある。そのため、バックグラウンドホールの位置を正確に把握し、分析に影響が生じないようにしなければならない。

Self et al. (1990) は、LiF (200) におけるバックグラウンドホールの発生条件を示した。また、Kato & Suzuki (2014) は、PET(002)におけるバックグラウンドホールの発生条件を示した。軽元素分析で用いられる TAP(001)においても同様の問題が発生しうるため、バックグラウンドホールが発生する位置を、以下の条件で求めた。

・バックグラウンドホールを発生させる反射面の面指数

h, *k*, *l*: -9 から 9

・(001)面の入射角

25° - 135°

ICDD の PDF (00-030-1973)には、International Tables for Crystallography に示された反射条件を満たす面以外の面での反射も示されている。そこで、消滅則については考慮せずすべての面の反射を考慮した。この条件において、8 ヶ所にバックグラウンドホールが存在しうることが示された。そのうち 3 ヶ所は(001)面の入射角が 29° 以下の低角であった。

Keywords: Wavelength-dispersive spectrometry (WDS), Analyzing crystal, background hole, electron probe microanalysis (EPMA), X-ray fluorescence analysis (XRF)

*Corresponding author: kato@nendai.nagoya-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

“パライバ”・トルマリン(1)；宝石学的定義の変遷と原産地

北脇　裕士、江森健太郎（中央宝石研究所）

“Paraiba” tourmaline (1); The gemological definition and its geographic origin.

Hiroshi Kitawaki*, Kentaro Emori　(Central Gem Lab.)

鉱物としてのトルマリンは、化学組成の幅が広く、スーパーグループを構成している。一般化学式は $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$ で表されており、X には Na^+, Ca^{2+}, K^+, □; Y には Fe^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Al^{3+}, Li^+, Fe^{3+}, Cr^{3+}; Z には Al^{3+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Cr^{3+}; T には Si^{4+}, Al^{3+}, B^{3+}; B には B^{3+}; V には OH^-, O^{2-}; W には OH^-, F^-, O^{2-}が入る。それぞれのサイトに入る元素の組み合わせにより、トルマリンには多くの種類が存在する。現在、IMA の CNMNC において 33 種が承認されている。

このうち、トルマリンとして宝石市場で見られるもののほとんどは elbaite で、一部が liddicotite（厳密には fluor-liddicotite）、dravite や uvite である。しかし、宝石の標準的な鑑別方法では、トルマリンの種類を厳密に同定するのが困難なため、宝石名としては一般に色名を冠して○○トルマリンと呼ばれている。例えばピンク色のトルマリンはピンク・トルマリンと呼ばれているが、鉱物学的には elbaite や liddicotite が存在している。

パライバ・トルマリンは、1989 年に宝石市場に登場した彩度が高く鮮やかな青色～緑色の銅着色のトルマリンである。当初ブラジルのパライバ州で発見されたため、パライバ・トルマリンと呼ばれるようになったが、1990 年代には隣接するリオグランデ・ド・ノルテ州からも採掘されるようになった。両州から産出したものは混在したまま宝石市場に流れ、区別されることなくパライバ・トルマリンと呼ばれていた。

さらに 2000 年代に入って、ブラジルから遠く離れたナイジェリアやモザンビークなどのアフリカ諸国からも同様の含銅トルマリンが産出されるようになり、そのネーミングが問題となった。国際的な宝石鑑別ラボで構成される Laboratory Manual Harmonisation Committee (LMHC)では、原産地に関係なく、銅およびマンガンを有する青色～緑色の elbaite をパライバ・トルマリンと呼ぶことにし、2006 年 6 月に Information Sheet を発行した。しかし、2010 年以降、モザンビーク産の一部の含銅トルマリンに liddicotite に属するものが確認された。そこで 2012 年、LMHC では産地やトルマリンの鉱物学的な種類に関係なく、青色～緑色の含銅トルマリンをパライバ・トルマリンと定義した。このような定義づけは、CIBJO（国際貴金属宝飾品連盟）および ICA(国際色石協会)においても踏襲されており、国際的な宝石市場で広く受け入れられている。

パライバ・トルマリンの原産地は、ブラジルパライバ州のバターリャ鉱山が発見の地として有名であるが、現在の産出は限定的である。隣接するリオグランデ・ド・ノルテ州にはキントス鉱山とムルング鉱山が操業していたが、現在は後者のみが継続している。ナイジェリア産の含銅トルマリンは 2001 年頃に市場に登場したが、産出量は少なく、現在は還流品に見られるのみである。2005 年以降、宝石市場に流通するパライバ・トルマリンの多くはモザンビーク産のもので現在も安定的に市場供給されている。



Fig: Paraiba tourmaline from Brazil (8.6ct, 14.9ct, 3.3ct)

Keywords: Paraiba tourmaline, Copper bearing tourmaline
Corresponding author: kitawaki@cgl.co.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

“パライバ”・トルマリン（2）; LA-ICP-MS を用いた組成分析と原産地鑑別への応用

江森健太郎、北脇裕士(中央宝石研究所)

Paraiba tourmaline (2); Chemical analysis using LA-ICP-MS and its application for origin determination

Kentaro Emori*, Hiroshi Kitawaki (Central Gem Laboratory)

Chemical Analysis of tourmaline using LA-ICP-MS is difficult because chemical composition of tourmaline is complex. In this study, we analyzed Paraiba- tourmaline using LA-ICP-MS based on some assumptions and studied the origin determination of Paraiba- tourmaline.

鉱物としてのトルマリンは化学組成の幅がきわめて広く、スーパーグループを構成している。一般化学式は $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$ で表される。一般に宝石市場で見られるものは elbaite、fluor-liddicoatite、uvite、dravite である。

LA-ICP-MS を用いてトルマリンの組成分析を行うには(1)組成範囲が非常に広く、内標準元素を設定することができないため各元素の定量分析が困難である、(2)LiとBを含み、それらはLA-ICP-MSによる分析は可能ではあるが、一般的に用いられている標準ガラス試料であるNIST612、NIST610 に含まれる Li と B の濃度との差が著しいため定量分析が難しい、という問題点がある。

本研究で取り扱うパライバトルマリンは殆どが elbaite であり、一部 fluor-liddicoatite を含む。LA-ICP-MS を用いたトルマリンの分析方法については Sun et al., 2019 による先行研究があるが、elbaite には Li が多く含まれることもあり、以下の仮定に基づき、Li、B を計算で求めることにした; (1) B site は B が占める、(2) T site は Si と Al が占める、(3)Z site を占める元素のうち Al 以外は極微量であるため Al が占める、(4) Li の濃度は Y site に入る陽イオンの合計から計算する、(5)V と W は OH が占める。この仮定に基づき、測定された濃度から mol 比を求め、陽イオン、陰イオンの価数の合計が等しくなるように組成式を求め、組成式から元素濃度を逆算するという手法を用いた。

筆者らはパライバトルマリンの産地鑑別について、鉱物科学会 2017 年会講演会にて「多変量解析を用いた宝石鑑別」の発表の中で紹介したが、2 産地間毎の比較であった。本研究では宝石品質パライバトルマリンについて以上の計算法を用いた LA-ICP-MS による組成分析と産地鑑別についての応用を検討した。

本研究では様々LA-ICP-MS は ICP-MS 装置として Agilent 7900rb、LA 装置として NWR UP213 を用い、ブラジル産 94 点、ナイジェリア 79 点、モザンビーク産 27 点のサンプルを分析に用いた。

ブルー系のパライバトルマリンは Cu vs Ga のプロッティングを行うことで Cu が多いブラジル産、Ga の多いモザンビーク産、両者の含有量が低いナイジェリア産と区別することができることが判った。また、ブルーグリーン～グリーンブルーの色相のパライバトルマリンは Cu-Ga-Zn プロットを行うことでおよそのグルーピングが可能である。ブラジル産は Zn が多く、ナイジェリア産は Zn が少ない傾向にある。またブラジル産でも Zn が少ないものはナイジェリア産に比べ Cu または Ga の含有量が多いことが明らかになった。グリーン系については、ブラジル産は Mg が多く、ナイジェリア産は Mg が少ないといった傾向がある。

産地鑑別の研究は出所の確かなサンプルの収集が肝要であり、現時点ではサンプル数が不十分な点が産地がある。今後はサンプルを増やしデータベースを充実させていく予定である。

Sun Z., Palke A. C., Breeding C. M., Dutrow B. L. (2019) A new method for determining gem tourmaline species by LA-ICP-MS. Gems and Gemology, vol. 55, pp. 2-17

Keywords: LA-ICP-MS, tourmaline, elbaite, Paraiba tourmaline

*Corresponding author: emori@cgl.co.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ゲドル閃石の２種類の赤外 OH 伸縮振動バンド微細構造

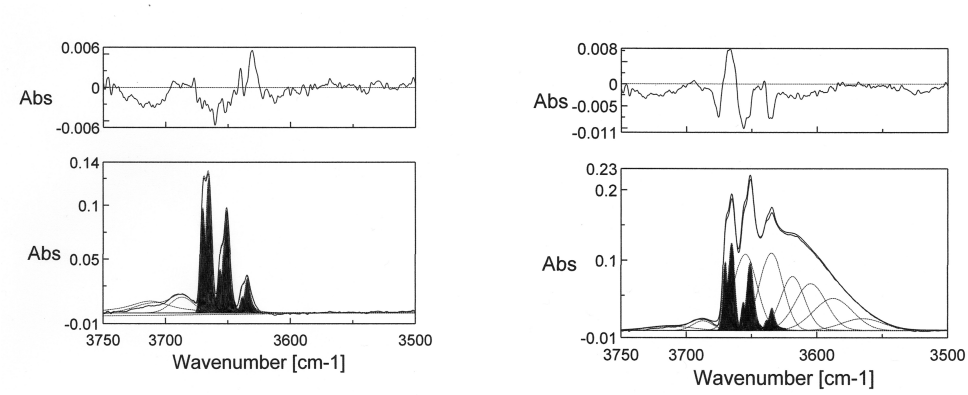
石田清隆（無所属）*・ Frank C. Hawthorne（マニトバ大学）

Two types of fine structure in the infrared OH-stretching bands of gedrite-group amphiboles

Kiyotaka Ishida (Non)* and Frank C. Hawthorne (Univ. of Manitoba)

Abstract

Bands assignment and decomposition analysis for the infrared OH-stretching bands of seven pairs hydrothermally treated (for 4 days at 700 °C, 200 MPa on the C–CH_4 buffer) and untreated anthophyllite–gedrite series amphiboles have been done. All samples were characterized in detail by Schindler et al. (2008) and Hawthorne et al. (2008). Below about 3690 cm^{-1}, two types of fine structure in the OH-stretching bands with vacant A-site occur due to the two types of configurations of SiSi and SiAl at adjacent T1T1 tetrahedra; the M1M1M3-OH-$^{A}\square$: $^{T1}Si^{T1}Si$-M2M3M2 series (labeled A_A–D_A, A_B–D_B, etc.) and the M1M1M3-OH-$^{A}\square$: $^{T1}Si^{T1}Al$-M2M3M2 ($^{A}\square$ = vacant A site) series (labeled A_{TA}–D_{TA}, A_{TB}– D_{TB}, etc.). With heat treatment, the intensities of the lower-frequency bands in both fine structures increase due to the exchange reaction: $^{M(1,2,3)}Mg + {}^{M4}Fe^{2+} \rightleftharpoons {}^{M(1,2,3)}Fe^{2+} + {}^{M4}Mg$. **Procedures for analysis:** The spectra for samples with $^{[4]}Al \leq 1.0$ a.p.f.u. (anthophyllite-rich samples) were analyzed in one stage: after the background was modeled by a spline, least-squares analysis with unconstrained frequencies, FWHMs (full-width at half-maximum height), peak intensities, and the ratios for Gaussian and Lorentzian components for each band was done. Gedrite samples containing $^{[4]}Al > 1.0$ a.p.f.u. were analyzed in two stages: using the parameters obtained in the first stage (cf. left Figure), additional unconstrained parameters for the same number of band-pairs from the first stage were introduced (cf. right Figure).



Keywords: gedrite, OH-stretching band, fine structure

*Corresponding author: kiyotakaishida@iki.bbiq.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

福島県多田野産加藤石の化学組成

坂野靖行*（産総研）・豊　遙秋（東大総博）

Chemical compositions of katoite from Tadano, Fukushima Prefecture, Japan

Yasuyuki Banno* (AIST), Michiaki Bunno (Univ. of Tokyo)

加藤石は Passaglia and Rinaldi (1984)によりイタリア Campomorto 採石場に分布するフォノライト中の空隙より発見され，新鉱物(IMA No. 1982-080)として記載された．原記載ではその理想化学式は $Ca_3Al_2(SiO_4)(OH)_8$ と定義され，灰礬石榴石($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$)と加藤石の間に $SiO_4 = □(OH)_4$ という置換関係が存在することが示された．最近，石榴石超族が IMA CNMNC により承認された(Grew *et al.*, 2013)．これによると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，加藤石の理想化学式は $\{Ca_3\}[Al_2](□_3)(OH)_{12}$ と再定義された．そして灰礬石榴石―加藤石系列の一般組成式は $\{Ca_3\}[Al_2](Si_{3-x}□_x)O_{12-4x}(OH)_{4x}$ となり，$x < 1.5$ の場合(Si > 1.5 apfu)は灰礬石榴石に，$x > 1.5$ の場合は加藤石に分類される．日本産の灰礬石榴石―加藤石系列の大部分は Si > 1.5 apfu を示すいわゆる“hydrogrossular”である．豊ほか(1983:三鉱学会要旨)は福島県郡山市多田野に分布する安山岩中のスカルンゼノリスより Si = 1.25-1.39 apfu を示す灰礬石榴石―加藤石系列に属する鉱物の化学組成を報告した．豊ほか(1983)ではこれは“hydrogrossular”と記述されているが組成的には加藤石に相当する．今回この加藤石の EPMA による化学組成の再検討を行い，少量の S, F, Cl が含まれることが判明したのでその概要を報告する．

多田野産加藤石は和田石結晶の縁辺部や割れ目に沿って和田石を置換して産する．完全に加藤石に置換され和田石仮像として産することも多い．定性分析の結果，原子番号 5 以上の元素としては O, F, Mg, Al, Si, S, Cl, Ca, Ti, Fe が検出された．BSE 像観察では，加藤石は不均質であり，中心部に比較的 S に富む明部が，縁辺部に S に乏しい暗部が分布する傾向が認められる．加藤石の実験式を全鉄 $= Fe^{3+}$, Ca = 3 として計算した．H_2O は total anions = 12 と charge balance より計算した．平均組成(n = 211)は $\{Ca_3\}[Al_{1.59}Fe^{3+}_{0.20}Mg_{0.07}Ti_{0.02}]_{\Sigma 1.88}(Si_{1.15}S_{0.11}□_{1.74})_{\Sigma 3}[(OH)_{6.99}O_{4.81}F_{0.16}Cl_{0.04}]_{\Sigma 12}$ である．*Z* site では□ (vacancy)が卓越し，加藤石に分類される．S の範囲は 0.00-0.20 apfu である．S の増加に伴い，^{Y}[Al,Fe^{3+},Mg,Ti] は減少し，その範囲は 1.73-2.03 apfu であり，S > 0.03 apfu を示すものは ^{Y}[Al,Fe^{3+},Mg,Ti]は理想値2 apfu を有意に下回る．縁辺部に分布する S < 0.03 apfu を示す加藤石の平均組成 (n = 17) は $\{Ca_3\}[Al_{1.74}Fe^{3+}_{0.23}Mg_{0.01}Ti_{0.02}]_{\Sigma 2.00}(Si_{0.99}S_{0.01}□_{2.00})_{\Sigma 3}[(OH)_{7.75}O_{4.05}F_{0.19}Cl_{0.01}]_{\Sigma 12}$ であり，*Y* site は理想値(2 apfu)を示す．今回の結果は，多田野産加藤石の *Y* site には□ (vacancy)が存在しており，それは最大で 0.27 apfu に達することを示唆する．

Keywords: katoite, wadalite, Tadano

*Corresponding author: y-banno@aist.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R3: 高圧科学・地球深部

2019年9月22日(日) 9:45 ~ 12:00 | 大講義室 Ib 大講義室

R3: 高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章、大藤 弘明

[座長]
川添 貴章：R3-01〜R3-05
大藤 弘明：R3-06〜R3-09

9:45 ~ 10:00

[R3-01] 圧力スケールの違いが与える核の密度欠損への影響

*境 毅[1] (1. 愛媛大地球深部研)

10:00 ~ 10:15

[R3-02] 高圧力下における含水非晶質ナトリウム珪酸塩の構造

「発表賞エントリー」

*大橋 智典[1]、坂巻 竜也[1]、舟越 賢一[2]、服部 高典[3]、佐野（古川） 亜沙美[3]、村主 樹[1]、市東 力[4]、池田 理[1]、伊東 義章[1]、柴崎 裕樹[5]、鈴木 昭夫[1] (1. 東北大・院理、2. CROSS、3. 原研、4. 東大・院理、5. 物材研)

10:15 ~ 10:30

[R3-03] Fe-Sコアの固化モードと組成対流

*浦川 啓[1]、寺崎 英紀[2] (1. 岡山大・自然、2. 大阪大・理)

10:30 ~ 10:45

[R3-04] アルゴンの地球内部循環

*小野 重明[1] (1. JAMSTEC)

10:45 ~ 11:00

[R3-05] Mg_2SiO_4ワズレアイトの高温熱容量測定

*糀谷 浩[1]、恒川 有希[1]、赤荻 正樹[1] (1. 学習院大・理)

11:00 ~ 11:15

[R3-06] 高温高圧下におけるFe_5O_6とFe_4O_5の安定性

彦坂 晃太郎[2]、*新名 良介[1,2]、廣瀬 敬[2,3]、石井 貴之[4]、大石 泰生[5] (1. 明治大、2. 東大、3. 東工大、4. BGI、5. JASRI)

11:15 ~ 11:30

[R3-07] クロムスピネルを含むケイ酸塩鉱物系の高圧相関係

吉田 和存[1]、糀谷 浩[1]、*赤荻 正樹[1] (1. 学習院大・理)

11:30 ~ 11:45

[R3-08] δ-(Al,Fe)OOH単結晶の高圧合成

*川添 貴章[1,2]、大平 格[3,4]、石井 貴之[2]、鈴木 昭夫[3]、大谷 栄治[3] (1. 広大・院理、2. バイロイト大・BGI、3. 東北大・院理、4. カーネギー研究所)

11:45 ~ 12:00

[R3-09] 高温高圧下における無水斜方輝石の転位クリープ

*坪川 祐美子[1]、大内 智博[1]、肥後 祐司[2]、丹下 慶範[2]、入舩 徹男[1] (1. 愛媛大学・GRC、2. JASRI)

圧力スケールの違いが与える核の密度欠損への影響

境毅（愛媛大・GRC）*

Effect of the pressure scale problem on the core density deficit

Takeshi Sakai (GRC, Ehime Univ.)*

Density of iron at the inner core boundary (ICB) condition depends on the pressure scale adopted to determine a pressure of its equation of state. Here we examined the effect of the pressure scale problem on the density deficit (cdd) of Earth's core. The density deficit value differs from 3.4% to 4.7% depending on the choice of pressure scale. I also estimate the possible amount of silicon in the inner core and its several errors come from each of the uncertainty of the ICB temperature, core density, average thermal expansivity, and nickel content. The silicon content variation due to the choice of pressure scale is comparable or larger than the errors come from other uncertainties.

１．はじめに

地震学的に観測・決定された地球の核の密度と，核の主要成分である鉄の密度との不一致（$\rho_{Fe} > \rho_{core}$）は、核の密度欠損問題として知られている。核に相当する高温高圧下での ρ_{Fe} は鉄の状態方程式から見積もられるが，圧力の校正に用いられた圧力スケールの選択によって，その結果は異なる。特に地球の内核に相当する 330-364 GPa の圧力では，スケール間の圧力差は顕著であり，核の密度欠損を考えるうえで圧力スケール問題は不可避の問題である。

２．手法

ここでは、MgO スケール(Keane EoS, Sakai et al., 2016)を基準として，MgO, Pt, NaCl, Fe, Fe-Ni, Fe-Ni-Si の 300 GPa に及ぶ圧縮データ(Sakai et al. 2011, 2012, 2014)を基に核の密度欠損および核の軽元素量を見積もった（ここでは Si のみ考慮)。これに対し，他の圧力スケール（後述）を採用した場合にそれぞれの推定値がどれだけ変化し得るかを計算した。

３．結果と考察

MgO スケールを基準とし，内核境界(ICB)の温度圧力条件，平均熱膨張率$\bar{\alpha}$をそれぞれ 329 GPa, 5000 K, $\bar{\alpha}$=1.0x10^{-5} とした場合に，内核境界における密度欠損は，純鉄の場合 4.7%，Ni=5 at.%の場合は 5.8%となった。純鉄について Dewaele et al (2006)で報告された密度欠損の値は 5.3%であり、下記に述べる種々の誤差の大きさを考えれば、今回の結果(4.7%)と比較的近い値といえる。一方、Dorogokupets and Oganov (2007), Yokoo et al. (2009), Holmes et al. (1989)の白金圧力スケールを基準とした場合には密度欠損の値はそれぞれ 4.5%, 3.5%, 3.4%となり，後者２つについては特に低い値を与える。

Fe-Ni-Si 合金の密度との比較から Si が密度低下に与える効果を算出し、密度欠損5.8%を説明するのに必要な Si を見積もると 6.4 wt％となった。これに対し、温度誤差±1000 K，$\bar{\alpha}$の誤差±0.1x10^{-5}，ICB での内核密度そのものの誤差±2%，Ni 量の誤差±5 at.%を考慮した場合，必要な Si 含有量はそれぞれ±1.6 wt.%，±0.6 wt.%，±2.4 wt.%，±1.3 wt.%だけ変化しうる。これに対し、Yokoo et al. (2009)の白金スケールを用いた場合の密度欠損を説明する Si 量は，2.4%となり，上述の MgO スケールの場合と比べて 4.0 wt%も少ない。密度欠損及び軽元素の推定量に与える圧力スケールの違いによる効果は，その他考えられ得る様々な誤差と比べても同等あるいはやや大きいと言えるだろう。

Keywords: Core density deficit, pressure scale, equation of state, light elements in the core
Corresponding author: sakai@sci.ehime-u.ac.jp
@Japan Association of Mineralogical Sciences.

高圧力下における含水非晶質ナトリウム珪酸塩の構造

大橋智典[1]*、坂巻竜也[1]、舟越賢一[2]、服部高典[3]、佐野(古川)亜沙美[3]、
村主樹[1]、市東力[4]、池田理[1]、伊東義章[1]、柴﨑裕樹[5]、鈴木昭夫[1]
([1]東北大院理、[2]CROSS、[3]原研、[4]東大院理、[5]物材研)

Structures of amorphous hydrous sodium silicates under pressure

Tomonori Ohashi[1]*, Tatsuya Sakamaki[1], Ken-ichi Funakoshi[2], Takanori Hattori[3], Asami Sano-Furukawa[3], Miki Muranushi[1], Chikara Shito[4], Osamu Ikeda[1], Yoshiaki Ito[1], Yuki Shibazaki[5], Akio Suzuki[1] ([1] Tohoku Univ., Sci., [2] CROSS, [3] JAEA, [4] Univ. Tokyo, Sci., [5] NIMS)

1. 目的

高圧下におけるマグマの振る舞いは、地球深部の物質循環を解明する上でたいへん重要である。マグマの駆動性はマグマの物理化学的な性質によって支配されており、特に水は密度（例えば Sakamaki et al., 2006）や粘度（例えば Suzuki et al., 2011; Poe et al. 2006）といったマグマの物性に多大な影響を及ぼす。加えて、このようなマグマの物性はその構造によって理解・説明できるため、圧力起因の構造変化を調べることは非常に興味深い。そこで、中性子回折（ND）法によって無水ナトリウム珪酸塩ガラスの高圧その場構造解析、および常圧下での含重水ナトリウム珪酸塩ガラスの構造解析を行った。また、放射光 X 線回折（XRD）によって含水ナトリウム珪酸塩メルトの高温高圧その場構造解析を行った。

2. 手法

ND の出発試料には、SiO_2, Na_2CO_3 粉末の混合物を融点以下の温度で脱炭酸させた後に熔融、急冷した無水 Na_2O-8/3SiO_2（NS8/3）ガラスを用いた。ND 実験による無水 NS8/3 ガラスの構造解析は J-PARC の BL11 PLANET で行い、VX4 型のパリ・エジンバラプレスを用いて室温のもと約 7 GPa まで加圧した。含重水 NS8/3 ガラスは、同ビームラインに設置の 6 軸型マルチアンビルプレス圧姫を使い、無水 NS8/3 ガラスに 5, 9, 12 wt% の重水を加えたものを白金容器に密封して約 2 GPa, 約 1000–1300 °C から回収して得た。放射光 XRD 実験では、無水ガラスに 5 wt% および 9 wt% の蒸留水を加えて出発試料として使った。XRD の試料容器には、ダイヤモンド管に白金で蓋をした複合容器（Yamada et al., 2007）を用いた。実験は高エネルギー加速器研究機構の PF-AR NE5C で実施し、高温高圧発生装置にはキュービックアンビルプレス MAX80 を使った。発生した圧力および温度は 1.5–3.6 GPa, 約 1100–1300 °C であった。

3. 結果・考察

試料から得られた全構造因子 $S(Q)$ では、XRD, ND のいずれにおいても圧力増加に伴い第一ピークが高 Q 側へシフトしており、珪酸塩ネットワーク構造の収縮を示していた。構造因子のフーリエ逆変換である全二体分布関数 $G(r)$ において、常圧における無水 NS8/3 ガラスに比べ含重水 NS8/3 ガラス Si-O 結合長の方が長い原子間距離を示した。また、含水量の違いによって Si-O 結合長の圧縮挙動も異なっていた。例えば、NS8/3-H_2O（9 wt%）メルトの Si-O 結合長は圧力上昇によって単調に収縮した一方で、NS8/3-H_2O（5 wt%）メルトの Si-O 結合長はほとんど変化していなかった。この結果は、含水量に依存した珪酸塩融体のネットワーク構造の違い（例えば Zotov and Keppler, 1998）が SiO_4 四面体の大きさや圧縮挙動に影響を及ぼす可能性を示唆する。

Keywords: silicate melt, water, amorphous structure, high pressure and temperature

***Corresponding author: tomonori.ohashi.s8@dc.tohoku.ac.jp**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Fe-S コアの固化モードと組成対流

浦川　啓(岡山大自然)，寺崎英紀（大阪大理）

Compositional convection and solidification modes of the Fe-S core

S. Urakawa* (Okayama Univ), H. Terasaki (Osaka Univ)

地球以外に，水星とガニメデが金属鉄からなる流体コアのダイナモ作用により生じた磁場を持っている。また，表面の残留磁気は火星と月に固有の磁場がかつて存在したことを示唆している。このような小天体のダイナモを駆動するのは，コアの組成対流である考えられ，コア上部で析出した固体鉄が沈降する“Fe-snowing”として知られるプロセスが組成対流を起こすという説がある。しかし，どのような圧力・組成条件において，コアが上部から固化するについてはまだよくわかっていない。本発表では Fe-S コアについて，この問題を検討する。

流体鉄合金からなるコアが上部から固化するのか，または下部から固化するのかという違いは，鉄合金の融点（リキダス）の圧力勾配とコアの断熱温度勾配の大小で決まる。リキダスの圧力勾配の方が小さい場合は上部から固化し，逆の場合は下部から固化する。

Fe-FeS 系の融点勾配については，Buono & Walker (2011)と我々の実験から 10GPa までデータがある。一方，断熱温度勾配は，我々の密度測定値から決めた高圧下の熱膨張率を用いて見積もった。10 GPa までの圧力範囲において，S < 10 at%ではリキダスの圧力勾配は断熱温度勾配よりやや大きいか同程度である。S > 10 at%を超えると，リキダス勾配の方が小さい状態が共融点まで続く。共融点より S に富む組成では，リキダス勾配と断熱温度勾配は拮抗するが，リキダス勾配の方がやや小さい傾向が見える。

この結果から，コアの圧力が 10 GPa までの範囲では，Fe-S コアの固化モードは次のようになる。S < 10 at%の組成では，コアは下部から Fe 結晶が析出し固体内核が成長する。このため，内核直上の流体核は低密度となり上昇し組成対流を起こす。一方，S > 10 at%ではコア上部から固化が始まる。共融点より Fe に富む領域では，析出した鉄が沈降するうちに再溶融する。また，共融点より S に富む領域では，析出した FeS が浮上して CMB 直下に溜まる。このように，コア上部で固化が始まる場合は，いずれも流体コア上部に Fe に富む高密度流体の領域が形成されて密度不安定が生じ，組成対流が駆動される。

Keywords: Planetary core, Fe-S liquid, planetary magnetism, compositional convection
*Corresponding author: urakawa@okayama-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

アルゴンの地球内部循環

小野　重明（国立研究開発法人海洋研究開発機構）

Argon cycle in Earth's interior

Shigeaki Ono* (JASTEC)

The high-pressure study of physical properties of argon (Ar) has been performed by high-pressure experiments and first-principles calculations. An equation of state, melting curve, and some thermoelastic properties of Ar have been investigated to 400 GPa and 3000 K. The estimated density of Ar is smaller that of the PREM mantle, which indicates that the density crossover does not occur at the bottom of the lower mantle. The melting temperature of Ar has a significant pressure dependence. In the case of cold slab, solid Ar can be carried down into the deep mantle. Melting of solid Ar in the upwelling mantle plume occurs at the bottom of the transition zone.

希ガス、特にその同位体比は、地球表層から地球深部へいたる物質の大循環を解明するためのトレーサーとして極めて有用である。希ガスの中でアルゴンに関しては、火山岩中に保有されるマントル由来のアルゴンの分析から、海水由来であることが示唆されている。つまり、大気中のアルゴンが海水に溶け込み、その海水中のアルゴンが何らかのメカニズムで沈み込むスラブに取り込まれ、長い時間をかけてマントル中を循環し、最終的に中央海嶺やホットスポットから地表へ放出されているはずである。しかしながら、アルゴンがスラブに取り込まれるメカニズムについては理解されていない。そのため、アルゴンの地球内部での振る舞い知る手掛かりとして、種々の物性を知ることが不可欠である。本研究では、地球マントルに相当する高温高圧条件下での、アルゴンの物性を見積もることを目的とした。本発表では、見積もった物性の中で、密度と溶融温度に注目して、その結果とそれから予想されるアルゴンの振る舞いを報告する。

本研究では高圧実験と数値計算の2つの手法を組み合わせた。高圧実験では、ダイヤモンドアンビルセル高圧発生装置を用い、試料の測定は放射光施設を利用して粉末 X 線回折データを取得した。数値実験では、第一原理分子動力学法を用い、計算結果の統計的平均値から種々の熱物性を推定した。高圧実験によって室温での圧縮曲線を決定し、数値計算から高温条件下での物性を見積もった。本研究での温度圧力条件は、最高で 400GPa、3000K である。

常温常圧で気体であるアルゴンは、常温高圧下では固体の状態が安定であるため、固体アルゴンの状態方程式を決定した。そして、固体アルゴンとマントルの平均的な密度（PREM）を比較したところ、マントル条件下ではアルゴンは常にマントル物質より密度が小さいことが明らかになった。先行研究では、マントル最下部で密度逆転が起こることが予言されていたが、密度逆転の予想は誤りであることが明らかになった。数値計算結果からアルゴンの溶融曲線を見積もったところ、大きな圧力依存性を持っていることが予言された。遷移層で 2000K を超え、下部マントルでは3000Kをはるかに超える溶融温度を持つことが判明した。このことは、下部マントル中では、アルゴンは固体として安定であることを意味する。また、上部マントルおよび遷移層中でも、沈み込むスラブのような低温の領域では、アルゴンは固体で存在しうる。一方、アルゴンの溶融曲線とマントルの地温勾配は遷移層最下部で交差する。このことから、マントル上昇流とともに運ばれる固体アルゴンは、遷移層最下部で溶融を開始することが予想される。これらの研究結果から、地球内部でのアルゴンの循環メカニズムを解明する上で、固体アルゴンの溶融温度の圧力依存性が鍵であることが明らかになった。

Keywords: Argon, Equation of state, Melting temperature
***Corresponding author: sono@jamstec.go.jp**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Mg_2SiO_4 ワズレアイトの高温熱容量測定

糀谷浩*、恒川有希、赤荻正樹(学習院大・理)

High-temperature heat capacity measurement of Mg_2SiO_4 wadsleyite

Hiroshi Kojitani*, Yuki Tsunekawa, Masaki Akaogi (Gakushuin Univ.)

Mg_2SiO_4 ワズレアイト(Wd) は、マントル遷移層における主要構成鉱物の一つと考えられている。Mg_2SiO_4 リングウッダイトの定圧熱容量(C_P)が、従来の値よりも大きいことが Kojitani et al. (2012) により明らかにされたため、その低圧相である Mg_2SiO_4 Wd との相対的なギブスエネルギー関係が調和的ではなくなっていた。このため、Mg_2SiO_4 Wd の高温 C_P を再決定する必要性が生じていた。そこで、本研究では、Mg_2SiO_4 Wd について DSC 法による高温熱容量測定を行った。また、実測された C_P を適用して熱弾性パラメータの再評価を行い、格子振動モデル計算により高温外挿を行った。

熱容量測定用の Mg_2SiO_4 Wd は、学習院大学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 Mg_2SiO_4 フォルステライトを 15 GPa, 1573 K で 2 時間保持後、急冷回収することにより高圧合成した。回収試料は、微小部 X 線回折測定および顕微ラマン分光測定により Mg_2SiO_4 Wd 単相であることを確認した。高温熱容量測定は、入力補償型の DSC 装置を用いることにより 300－820 K の温度範囲において 10 K の温度間隔かつ 10 K/min のスキャン速度でデータを取得した。なお、DSC 測定には粉末状の Wd 試料を用い、その重量は 16.978 mg であった。

本研究では、0.6%以下の測定精度で高温 C_P が決定された。先行研究の Watanabe (1982) や Ashida et al. (1987) によるデータと比較すると、本研究の測定値は 2－5%大きい。このことから、従来用いられてきた Wd の高温 C_P は、過小評価されていたことが実験的に示された。さらに、デバイの関係式 $\alpha = \gamma_{th}C_V/(K_TV)$ を用いた熱膨張率の計算と、Katsura et al. (2009) による P－V－T データへの Birch－Murnaghan 状態方程式の最小二乗フィットを組み合わせることにより、熱弾性パラメータの最適化を行った。得られた熱弾性パラメータを適用した格子振動モデル計算による C_P は、本研究で測定された高温 C_P データと非常によく一致しており、さらなる高温側への外挿値として妥当であることが示唆される。

References

Ashida et al. (1987) High-pressure research in mineral physics, Terra Scientific Publishing, pp 269-274.

Katsura et al. (2009) Geophys. Res. Lett., 36, L11307.

Kojitani et al. (2012) Am. Mineral., 97, 1314–1319.

Watanabe (1982) High-pressure research in geophysics, Center for Academic Publications, pp 441-464.

Keywords: wadsleyite, heat capacity, DSC, themoelastic parameter, lattice vibrational model calculation

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

高温高圧下における Fe_5O_6 と Fe_4O_5 の安定性

彦坂晃太郎(東大), 新名良介 (東大/明治大), 廣瀬敬 (東大/東工大), 石井貴之 (BGI), 大石泰生(JASRI)

The stability of Fe_5O_6 and Fe_4O_5 at high pressure and temperature

Koutaro Hikosaka* (U. Tokyo), Ryosuke Sinmyo (U. Tokyo/Meiji U.), Kei Hirose (U. Tokyo/Tokyo Tech.), Takayuki Ishii (BGI), Yasuo Ohishi (JASRI)

The oxygen fugacity in the interior of the Earth is largely controlled by iron-bearing minerals. Recent studies have reported a variety of iron oxides with chemical compositions between FeO and Fe_3O_4 above ~10 GPa. However, the stabilities of these high-pressure iron oxides remain mostly uninvestigated. In this study, we performed in-situ X-ray diffraction (XRD) measurements in a laser-heated diamond-anvil cell (DAC) to determine the phase relations in both Fe_5O_6 and Fe_4O_5 bulk compositions to 61 GPa and to 2720 K. The results show that Fe_5O_6 is a high-temperature phase stable above 1600 K and ~10 GPa, while FeO + Fe_4O_5 are formed at relatively low temperatures. We observed the decomposition of Fe_5O_6 into 2FeO + Fe_3O_4 above 38 GPa and the decomposition of Fe_4O_5 into FeO + h-Fe_3O_4 at a similar pressure range. The coexistence of FeO and Fe_3O_4 indicates that none of the recently discovered compounds between FeO and Fe_3O_4 (i.e., Fe_5O_6, Fe_9O_{11}, Fe_4O_5, and Fe_7O_9) are formed beyond ~40 GPa at 1800 K, corresponding to conditions in the shallow lower mantle. Additionally, as some superdeep diamonds have genetic links with these high-pressure iron oxides, our results give constraints on pressure and temperature conditions of their formation.

Key words: iron oxide, diamond-anvil cell, high pressure, Fe_4O_5, Fe_5O_6

***Corresponding author. (E-mail: hikosaka@g.ecc.u-tokyo.ac.jp)**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

クロムスピネルを含むケイ酸塩鉱物系の高圧相関係

[1]吉田和存, [1]糀谷浩, [1]赤荻正樹* ([1]学習院大理)

High-pressure phase relations in chromite spinel-bearing systems

[1]Kazuaki Yoshida, [1]Hiroshi Kojitani, [1]Masaki Akaogi*
([1]Fac. Sci., Gakushuin Univ.)

クロミタイトは Cr-spinel(Ch)と olivine(Ol)を主要構成鉱物とする岩石である。その中で、diopside(Di)の離溶組織や diamond を含む Ch を持つ“超高圧クロミタイト”はマントル深部を循環したと考えられ、その成因が広く議論されている。しかし、その基礎となる高圧相関係の研究はまだ十分にされていない。本研究では、Ch と Ol の主成分系である $MgCr_2O_4$- Mg_2SiO_4 系と、Di-Ch の主成分系である $CaMgSi_2O_6$-$MgCr_2O_4$ 系の高圧相関係を詳細に明らかにし、超高圧クロミタイトが経験した圧力条件を考察した。

マルチアンビル装置を用い、これらの系の 28GPa まで 1200~1600℃での相平衡実験を行い、回収試料の微小領域 X 線回折データと組成分析により相関係を決定した。

$MgCr_2O_4$-Mg_2SiO_4 系では、1600℃と 1400℃（図 1）のどちらの温度でも、約 13GPa 以上では Ol と Ch が反応し、wadsleyite(Wd)、anhydrous phase B (Anh-B)、modified ludwigite (mLd)、garnet(Gt)のいずれかを含む 2～3 相に変化し、20-23GPa で ringwoodite (Rw) + calcium titanate (CT)が安定になり、25-26GPa 以上で bridgmanite (Brg) + periclase (Pe) + CT が安定になった。各相の分析値からマスバランス計算により鉱物量比を求め、密度を計算し、圧力による相組合せの変化と共に密度が増加することを確認した。

$CaMgSi_2O_6$-$MgCr_2O_4$ 系では、Ch と Gt が約 10GPa 以上で六方晶(NAL)相(Hp)を生成し、圧力増加と共に Hp と共存する相が変化し、26GPa 以上では $CaSiO_3$ perovskite (CaPv)と CT を含む相組合せになることが示された。また、10GPa 以下では Gt と共存する Ch に Ca が含まれないことが示された。

超高圧クロミタイトには、Ch と Ol が反応して形成される相や Hp 相が見い出されていないことから、超高圧クロミタイトが経験した圧力は最大でも 10～13GPa であり、上部マントル内の圧力条件下で循環したと推定される。

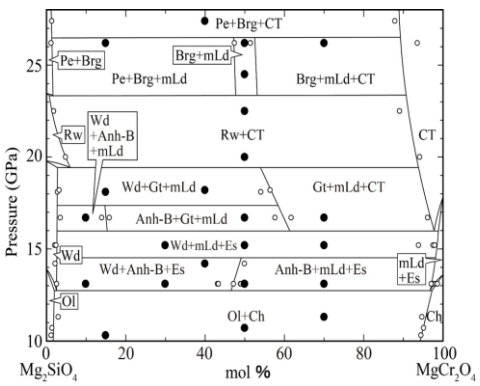


図 1. $MgCr_2O_4$-Mg_2SiO_4 系の相図(1400℃)

Keywords: high-pressure, UHP-chromitite

*Correspond. author: masaki.akaogi@gakushuin.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

δ-(Al,Fe)OOH 単結晶の高圧合成

川添貴章*、大平格、石井貴之、鈴木昭夫、大谷栄治

（広大・理、バイロイト大・BGI、東北大・理、カーネギー研究所）

Single crystal synthesis of δ-(Al,Fe)OOH

Takaaki Kawazoe*, Itaru Ohira, Takayuki Ishii, Akio Suzuki, Eiji Ohtani
(Hiroshima Univ., Univ. Bayreuth BGI, Tohoku Univ., Carnegie Institution of Washington)

<はじめに>

δ-(Al,Fe)OOH は、地球深部における水循環を解明する上で重要な相である。この相は ~17 wt%もの水を含み、マントル最下部まで水をもたらす可能性がある。このため、この相の物性を明らかにする必要がある。

大型単結晶は、精密加工により試料の形状・結晶方位を制御し、様々な物性が測定されている。近年では、ダイヤモンドアンビルセル（DAC）を用いた高圧実験の出発物質として活用されている [1]。

これらのため、本研究では δ-(Al,Fe)OOH 大型単結晶の高圧合成に取り組んだ [2]。

<実験方法>

出発物質には $Al(OH)_3$ 試薬粉末もしくは $Al(OH)_3$ と Fe_2O_3 の混合粉末を用いた。出発物質は $Au_{80}Pd_{20}$ カプセルに封入した。

高圧合成実験は、川井型マルチアンビル装置を用いて行った。実験圧力・温度は 21 GPa、1470 K であり、4 h 保持し急冷した。

回収試料は、偏光顕微鏡、単結晶 X 線回折装置、電子プローブマイクロアナライザーを用いて分析した。

<結果と議論>

δ-AlOOH・δ-(Al,Fe)OOH 大型単結晶の合成に成功した（図 1）。単結晶の大きさは、0.4-0.6 mm 以下であった。δ-(Al,Fe)OOH の Fe/(Al+Fe)は、0.0469(8)と 0.122(3)であった。

合成した δ-(Al,Fe)OOH は、DAC を用いた圧縮挙動とスピン状態の研究に活用している（Ohira et al. *Am Mineral* 印刷中）。

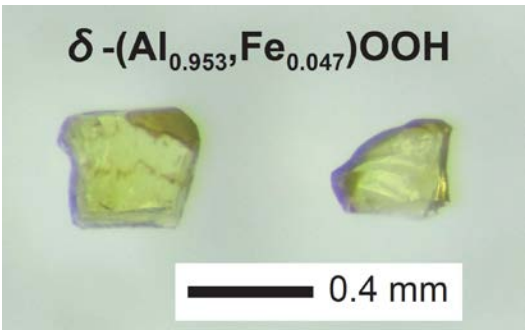


図 1。δ-$(Al_{0.953},Fe_{0.047})$OOH 大型単結晶の写真。

[1] J Buchen et al. (2018), *EPSL* 498, 77-87.

[2] T Kawazoe et al. (2017), *Am Mineral* 102, 1953-1956.

Keywords: δ-AlOOH, δ-(Al,Fe)OOH, water, single crystal, multi-anvil apparatus

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

高温高圧下における無水斜方輝石の転位クリープ

坪川祐美子[1]・大内智博[1]・肥後祐司[2]・
丹下慶範[2]・入舩徹男[1] ([1]愛媛大・GRC、[2]JASRI)

Dislocation creep of dry orthopyroxene aggregates under high P-T conditions

Yumiko Tsubokawa[*1]・Tomohiro Ohuchi[1]・Yuji Higo[2]・
Yoshinori Tange[2]・Tetsuo Irifune[1] ([1]Ehime Univ.・[2]JASRI)

地球においてプレートテクトニクスが起きるために必要なプレートの理論強度は 150 MPa 以下と考えられているが[1]、プレートの最主要鉱物であるカンラン石の強度は 500-600 MPa 程度と強すぎる[2]。つまり地球では何らかの理由においてプレート強度が「弱化」している必要がある。

斜方輝石はプレートで 2 番目に多い鉱物であり、カンラン石より低い強度を持ちうることが実験的に指摘されている[3]。しかしながらこれは単結晶試料を用いた最も容易なすべり系による評価であり、天然のような多数のすべり系が競合した中での強度検討を行うことは重要である。そこで本研究では、多結晶の斜方輝石を用いた変形実験から、プレート強度の「弱化」に及ぼす斜方輝石の影響を評価することを試みた。

本研究では、沈み込むプレート内の条件下 (圧力 1.4-6.8 GPa、温度 1273-1473 K) における無水の斜方輝石多結晶体のその場観察一軸圧縮実験を行った。出発物質は川井型マルチアンビル高圧発生装置を用いて焼結した。回収試料は雰囲気炉で加熱処理することで、溶存する水の除去を行った。変形実験には SPring-8 の BL04B1 に設置の D-DIA 型変形装置 (SPEED-Mk.Ⅱ) を用いた。変形中の試料歪および差応力の決定は、X 線ラジオグラフィーおよび二次元 X 線回折パターンをそれぞれ用いて行った。変形後の回収試料については TEM による転位の組織観察を行った。

実験で得られた応力−歪曲線から、各実験において試料歪が 4%以上で定常クリープ領域 (応力 200-1200 MPa) に至ることを確認した。この定常クリープ状態において、斜方輝石の転位クリープの流動則の応力指数は $n \approx 2.8$ となった。また活性化エネルギー (Q) および活性化体積 (V^*) はそれぞれ~180 kJ/mol と~11 cm^3/mol が求められた。得られた応力指数の値および回収試料中に多数存在する転位から、斜方輝石多結晶体では転位クリープによる変形が進行したと考えられる。試料中には少なくとも (100) 面および (010) 面の 2 つのすべり面が観察され、転位のバーガースベクトルは [001] または [0kl] であることが分かった。これらの結果は全て、斜方輝石で報告されている 2 つの主要なすべり系 ((100)[001]および(010)[001]) による変形と調和的である。

本研究で得られた無水斜方輝石の転位クリープ強度は、沈み込むプレートに対応する温度圧力条件において無水カンラン石のもの[4]より顕著に低い値であった。また本実験結果を用いて沈み込むプレートの強度 (約 30 %の斜方輝石が存在すると仮定した場合) を推察すると、その強度は 150 MPa 以下となりうることが明らかになった。以上のことより、無水斜方輝石の転位クリープが地球型惑星におけるプレートテクトニクスの可否を決定づけているものと考えられる。

[1] Richards et al. (2001) Geochem. Geophys. Geosyst., 2, 2000G000115.
[2] Hirth and Kohlstedt (1995) J. Geophys. Res., 100 (B8), 15441–15449.
[3] Ohuchi et al. (2011) Contrib. Mineral. Petrol., 161, 961–975.
[4] Karato and Jung (2003) Philos. Mag., 83, 401–414.

Keywords: Orthopyroxene, Deformation experiment, Dislocation creep, Upper mantle

*Corresponding author: tsubokawa@sci.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R1: 鉱物記載・分析評価

2019年9月22日(日) 14:00 ~ 15:00 | 大講義室 Ia 大講義室

R1: 鉱物記載・分析評価

座長:坂野 靖行

[座長]
坂野 靖行：R1-10〜R1-13

14:00 ~ 14:15

[R1-10] 大分県木浦鉱山産ソーコナイト及びフライポンタイト

*井手 大生[1]、上原 誠一郎[1]、白勢 洋平[2] (1. 九大・理・地惑、2. 京大・博物館)

14:15 ~ 14:30

[R1-11] 河辺石の再定義に向けた再検討

*宮脇 律郎[1]、志村 俊昭[2]、門馬 綱一[1]、松原 聰[1]、加藤 昭[1] (1. 国立科博、2. 山口大・創成科学)

14:30 ~ 14:45

[R1-12] 沖縄HAKUREIサイトの磁硫鉄鉱仮像組織の解析

*長瀬 敏郎[1]、野崎 達生[2]、高谷 雄太郎[3]、石橋 純一郎[4]、熊谷 英憲[2]、前田 玲奈[2] (1. 東北大・総学博、2. 海洋機構、3. 早大・創造理工、4. 九大・理)

14:45 ~ 15:00

[R1-13] 京都府和束町石寺産ネバダ石

*白勢 洋平[1]、延寿 里美[3]、鶴田 憲次[4]、下林 典正[2] (1. 京大・博物館、2. 京大・院理、3. 立命館大、4. 京都芸大)

大分県木浦鉱山産ソーコナイト及びフライポンタイト

井手大生・上原誠一郎(九大・理・地惑)・白勢洋平(京大・博物館)

Sauconite and fraipontite from Kiura mine, Oita Prefecture, Japan

Hiroki Ide*, Seiichiro Uehara (Dept. Earth & Planet Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ.),
Yohei Shirose (Mus., Kyoto Univ.)

1. はじめに　米国ペンシルベニア州のソーコンバレーからサポナイトの亜鉛置換体であるソーコナイト[$Na_{0.3}Zn_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 2H_2O$]が報告(Ross, 1946)されて以降，亜鉛粘土鉱物の報告例は非常に少ない(Steinberg *et al.*, 1985 など)。最近，Boni *et al.*(2009)はAccha 亜鉛鉱床からソーコナイトを，Choulet *et al.*(2016)は Bou Arhous 亜鉛鉱床からソーコナイト，フライポンタイト[$(Zn_{3-x}Al_x)(Si_{2-x}Al_x)O_5(OH)_4$]を報告した。フライポンタイトはアメス石[$Mg_2Al(SiAl)O_5(OH)_4$]の亜鉛置換体であると考えられる(e.g., Fransolet & Bourguignon, 1975)。今回，大分県木浦鉱山からソーコナイトとフライポンタイトを確認したので，それらの産状，組織，化学組成，X 線回折パターンなどの鉱物学的特徴を報告する。

2. 実験手法　全岩と定方位試料の X 線回折分析はリガク Ultima IV，不定方位試料の分析は RINT RAPID IIを用いた。化学組成分析，微細組織観察は Oxford Ins.製 EDS を装着した JEOL JSM-7001F を用いた。

3. 結果　X 線回折実験の結果，ソーコナイトを含む粘土の定方位試料は 15.0 Å，7.3 Å，4.8 Å，3.6 Å の反射を示し，EG 処理を行ったところ，17.7 Å，8.2 Å，7.2 Å の反射を示し，スメクタイトの他に，カオリン-蛇紋石グループに特徴的なピークを示した。また，060 = 1.54 Å を示し，3 八面体型層状珪酸塩の特徴を示した。

SEM 観察の結果，粘土部は粗粒部(粒径 1-3 μm)と細粒部(1 μm以下)からなる縞状組織が発達している。細粒部はソーコナイトの組成を示し，粗粒部ではソーコナイト，サポナイト，鉄サポナイト，アメス石，フライポンタイトの粒子が密に共生している。SEM-EDS による化学分析の結果，本産地のソーコナイトは Zn，Mg，Fe 置換が顕著に見られ，$(Ca_{0.17}K_{0.01})_{0.18}(Zn_{2.44}Fe_{0.32}Al_{0.25}Mg_{0.10}Ti_{0.03})_{3.14}(Si_{3.07}Al_{0.93})_{4.00}O_{10}(OH)_2 \cdot 2H_2O$ から $(Ca_{0.07}K_{0.06})_{0.13}(Zn_{1.00}Mg_{0.89}Fe_{0.83}Al_{0.47}Ti_{0.04})_{3.24}(Si_{2.74}Al_{1.26})_{4.00}O_{10}(OH)_2 \cdot 2H_2O$ の組成の幅を持つ。フライポンタイトの平均化学組成は$(Ca_{0.05}K_{0.01})_{0.06}(Zn_{0.86}Mg_{0.76}Fe_{0.62}Al_{0.59}Ti_{0.03})_{2.86}(Si_{1.57}Al_{0.43})_{2.00}O_5(OH)_4$ であり，Mg，Fe を多く含む。

浅成鉱床の酸化帯に含まれる亜鉛粘土鉱物は複雑な鉱物組み合わせ，産状があり，今後，さらに他の鉱床についても詳細な検討が必要である。

Keywords: sauconite, fraipontite, saponite, Kiura mine
*Corresponding author: ide.hiroki.506@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

河辺石の再定義に向けた再検討

宮脇 律郎*(国立科博)・志村 俊昭(山口大・創成科学)・門馬 綱一(国立科博)・
松原 聰(国立科博)・加藤 昭(国立科博)

A re-examination on kobeite-(Y) for the redefinition

Ritsuro Miyawaki*(NMNS**), Toshiaki Shimura (Yamaguchi Univ.), Koichi Momma (**NMNS**),
Satoshi Matsubara(**NMNS**) and Akira Kato(**NMNS**)**

Kobeite-(Y) was re-examined with a specimen from the type locality, Kobe, Kyoto, Japan. DTA/TG curves revealed 4 steps of weight loss of dehydrations. The metamictized kobeite-(Y) crystallized into a cubic phase showing a pyroclore-type structure at 650°C. The cubic phase transited into another phase of trigonal zirconolite-3*T* type structure at 775°C. The morphology of kobeite-(Y) indicates the pre-metamict original crystal structure is trigonal. Zirconium was confirmed as an essential constituent in kobeite-(Y) by means of EMP. Kobeite-(Y) should be redefined as $YZr(TiFe^{3+})O_7$, the Y-analogue of zirconolite, $CaZrTi_2O_7$.

河辺石[kobeite-(Y)]は田久保ら(1950)により京都府中郡河辺村(現在、京丹後市大宮町河辺)白石からイットリウムとチタンを主成分としウランとニオブ、タンタル、鉄などを含有するユークセン石・ポリクレース類縁の新種 $(Y,U)(Ti,Nb)_2(O,OH)_6$ として記載された。後年、化学組成の再分析によりジルコニウムが必須元素であることが指摘されたが、再定義には至っていない。河辺石は柱状の双晶とその平行連晶の集合体として産し、自形の結晶面を持つが、メタミクト化が進みX線回折は観測されないため、結晶構造のみならず晶系、格子定数が未だ不明である。加藤(1989)は、既報の焼成再結晶化実験結果の精査から、河辺石はジルコノ石の三方晶系ポリタイプの希土類元素置換体に相当すると指摘した。近年、ジルコノ石の直方晶系ポリタイプ(藤井・上原, 2011:福本・皆川, 2012)や類縁鉱物(志村ら, 2018)の報告もあり、河辺石の再定義に向けて、原記載産地の標本を用いた化学組成と加熱処理再結晶化による結晶データの測定を行った。

原記載産地産標本から NSM-M32642(櫻井標本)を選抜し、暗褐色の河辺石柱状連晶を母岩の灰肉色の長石(微斜長石・曹長石)から分離し、電子線マイクロプローブ(EMP)による化学組成定量、示差熱分析、粉末X線回折実験を行った。

示差熱分析は、室温から4段階の重量減少を示し、その減量は、吸着水や、メタミクト化に伴う水和反応で生じた水酸化物イオンなどの脱水反応によるものと考えられる。650°C まで加熱すると、面間隔 2.90 Å の回折線が現れ、750°C まで加熱した試料のX線回折パターンは、パイロクロア石の回折パターンに良く合致し、5本の回折線から a = 10.0662(6) Å の立方晶格子定数が得られた。1150°C まで加熱した試料の回折線の多くはジルコノ石の三方晶系ポリタイプの回折パターンに合致し、精密化した格子定数は、a = 7.25427(12), c = 16.7986(4) Å である。

河辺石の結晶の外形は、立方晶系ではなく三方晶系に整合することから、河辺石の原構造は、立方晶のパイロクロア石型ではなく、三方晶ジルコノ石型と結論される。従って河辺石は、ジルコノ石 $[(Ca,Y)Zr(Ti,Mg,Al)_2O_7]$の希土類置換体 $[(Y,Ca)Zr(Ti,Fe^{3+})_2O_7$、理想式は $YZr(TiFe^{3+})O_7]$と再定義されるべきである。

Keywords: kobeite-(Y), zirconium, zirconolite
*Corresponding author: miyawaki@kahaku.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

沖縄HAKUREIサイトの磁硫鉄鉱仮像組織の解析

長瀬敏郎(東北大・総博)，野崎達生(海洋機構)，高谷雄太郎(早大・創造理工)，石橋純一郎(九大・理)，熊谷英憲・前田怜奈(海洋機構)

Texture analyses of pyrrhotite pseudomorphs from Hakurei site, Okinawa

T. Nagase* (Tohoku Univ.), T. Nozaki (JAMSTEC), Y. Takaya (Waseda Univ.), J.-i. Ishibashi (Kyusyu Univ.), H. Kumagai and L. Maeda (JAMSTEC)

【はじめに】

磁硫鉄鉱が黄鉄鉱や白鉄鉱に交代された仮像は天然の鉱石中にしばしば観察され，これまでに多くの研究が行われてきた (例えば, Einaudi, 1971; Fleet, 1978; Ramdohr, 1980)。磁硫鉄鉱の仮像組織の多様性の原因については再現実験により確かめられ (Murowchich, 1992; Qian *et al*., 2011)，溶液の性質によって形成組織が異なることが示唆されている。

SIP沖縄トラフ熱水性堆積物掘削Ⅲ (CK16-05航海，Exp. 909) において，中部沖縄トラフ伊是名海穴HAKUREIサイトでの地球深部探査船「ちきゅう」による掘削が行われた。得られたコア試料中には磁硫鉄鉱が黄鉄鉱・白鉄鉱により交代された仮像が多く認められ，鉱石の主体部をなす。海底熱水鉱床ならびに黒鉱鉱床の形成過程において鉱物の交代作用は重要な役割を果たしていると考えられている。今回，磁硫鉄鉱の仮像組織について解析を行い，この鉱床での仮像の形成過程について考察する。

【試料ならびに観察方法】

観察試料には，伊是名海穴HAKUREIサイト (Sites C9025 - C9032) の掘削コア試料を用い，光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡 (SEM, JEOL JEM-7001) により鉱物組織を観察した。結晶方位解析には，SEMに付随した電子線後方散乱回折装置 (OXFORD, AZtec EBSD system) を用いた。

【結果ならびに考察】

HAKUREIサイトの鉱石は黄鉄鉱，白鉄鉱，閃亜鉛鉱，方鉛鉱，黄銅鉱を主体とし磁硫鉄鉱，アイソキューバ鉱，ウルツ鉱，硫砒銅鉱，重晶石，硬石膏，硫酸鉛鉱などを伴う。鉱石はその様相から黒鉱質，黄鉱質そして黄鉄鉱・白鉄鉱鉱石の3つのタイプに分類される。黄鉄鉱・白鉄鉱鉱石は多孔質な構造をもち，磁硫鉄鉱の仮像が普遍的に認められる。磁硫鉄鉱仮像組織の特徴としては，1) 黄鉄鉱が包晶することで型取りされ，結晶中心部が溶脱した“ヌケガラ”のタイプや，2) 黄鉄鉱が包晶し，結晶内部も黄鉄鉱結晶で埋められたもの，3) 磁硫鉄鉱の形態をそのままに内部が細粒な白鉄鉱により交代されたもの。などいくつかのタイプがある。磁硫鉄鉱と白鉄鉱にはトポタキシーの関係が確認され，両者の結晶学的関係はこれまで報告されているものと一致する。

これらの観察結果からHAKUREIサイトの鉱石は，最初温度300度以上の高温で低い硫黄フュガシティーの熱水溶液で鉱化し，磁硫鉄鉱が沈殿した。その後，より温度が低く，強酸性・高硫化の溶液によって交代作用を受けた。この際，この溶液を媒介した相変化により黄鉄鉱や白鉄鉱が生じ，磁硫鉄鉱の仮像が形成されたと考えられる。

Keywords: Pyrrhotite, Pseudomorph, Pyrite, Marcasite, Hakurei site
*Corresponding author: nagase@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

京都府和束町石寺産ネバダ石

白勢洋平（京大・博物館）・延寿里美（立命館大）・鶴田憲次（京都芸大）・
下林典正（京大・院理）

Nevadaite from Ishidera, Wazuka, Kyoto Prefecture, Japan

Yohei Shirose* (Univ. Mus., Kyoto Univ.), Satomi Enju (Ritsumeikan Univ.),
Kenji Tsuruta (Kyoto City Univ. Arts.), and Norimasa Shimobayashi (Grad. Sch., Kyoto Univ.)

ネバダ石（Nevadaite）は, Cooper et al. (2004) により米国ネバダ州 Gold Quarry 鉱山から初めて報告された二次燐酸塩鉱物であり, $(Cu^{2+},□,Al,V^{3+})_6[Al_8(PO_4)_8F_8](OH)_2 \cdot 22H_2O$ の理想化学組成が提唱された。その後は，キルギス共和国 Kara-Chagyr 地域からの産出が報告されたのみの極めて希産な鉱物である（Karpenko et al., 2009）。いずれの産地でもバナジウム鉱物を伴う。本研究では，京都府和束町石寺に分布する変堆積岩を貫く石英脈中から世界で三番目となるネバダ石を見出したので，その鉱物学的特徴を報告する。

石寺地域の石英脈からは，灰重石，燐灰石の変質により形成された多様なタングステン酸塩，燐酸塩鉱物が産する（鶴田ら，2008；Shimobayashi et al., 2012；白勢ら，2018）。ネバダ石は燐灰石の変質部の空洞中に，無色の不明鉱物，単斜燐鉄鉱，ストレング石，石膏，白雲母を伴い産出する。ネバダ石は水色の直径 0.1 mm 程度の球-膜状の集合である。SEM 観察の結果，厚さ 1 μm 以下、幅 10 μm 以下の微細な伸長した板状結晶が放射状に集合していることがわかった（Fig. 1）。

XRD 実験の結果，石寺産ネバダ石は PDF# 01-073-7360 とよく一致し，直方晶系で指数付けすると，格子定数は他産地のものよりやや大きく，a = 12.152(4) Å，b = 19.068(7) Å，c = 4.964(2) Å，V = 1150.1(5) Å^3 となった。

EPMA を用いた化学分析の結果，明瞭な組成変化はなく，$(Cu_{3.06}□_{2.94})_{\Sigma 6.00}Al_{7.96}(PO_4)_{4.00}[PO_3(OH)]_{4.00}[F_{4.95}(OH)_{3.05})]_{\Sigma 8.00}(OH)_2 \cdot 16.41(H_2O)$の平均値で表すことができた。これまでの報告例と異なり，バナジウムが一切含まれず，六配位の M 席の三価の陽イオンを二価の銅が置き換えていると考えられる。M 席に入る元素ついては，$^{M1}(Cu^{2+},□)_2{}^{M2}(□,Cu^{2+},V^{3+})_2{}^{M3}(Al,V^{3+},Cu^{2+})_2$ と考えられ，$^{M}(Cu^{2+}{}_2□_2Al_2)$ といった端成分が提唱されていた（Cooper et al., 2004）。しかしながら，本産地のネバダ石では $Cu^{2+}{}_2□_2(Cu,□)$となるため，理想化学式 $(Cu_3□_3)Al_8(PO_4)_4[PO_3(OH)]_4[F,(OH)]_8(OH)_2 \cdot n(H_2O)$の，ネバダ石の Cu 置換体と考えることもできる。今後結晶構造についてより詳細な検討が必要である。

共生する無色の不明燐酸塩鉱物もフッ素に富んでおり，これらの二次鉱物はフッ素燐灰石が分解し，アルミニウムに富む溶液と反応して形成されたと考えられる。この産地から報告されたエムプロロ石 $[WAlO_3(OH)_3 \cdot 2H_2O]$などの他の希少鉱物も、同様の形成環境にあったと考えられ、石寺地域の熱水変質反応を特徴づけるものである。

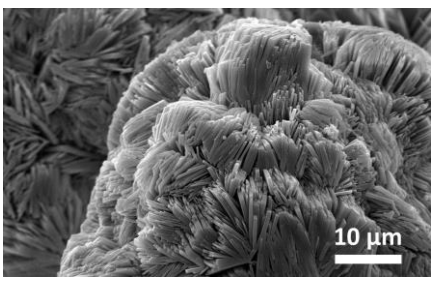


Fig. 1 Secondary electron image of spherical aggregates of platy nevadaite from Ishidera.

Keywords: Nevadaite, phosphate, unknown mineral, hydrothermal alteration, Ishidera

*Corresponding author: shirose.yohei.6n@kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演 | R3: 高圧科学・地球深部

2019年9月22日(日) 14:00 ~ 15:00 | 大講義室 Ib 大講義室

R3: 高圧科学・地球深部

座長:新名 良介

[座長]
新名 良介：R3-10〜R3-13

14:00 ~ 14:15

[R3-10] せん断変形場におけるオリビン–スピネル相転移：相転移誘起の軟化条件の探索

*久保 友明[1]、森山 一哉[1]、森 悠一郎[1]、今村 公裕[1]、小泉 早苗[2]、西原 遊[3]、鈴木 昭夫[4]、肥後 祐司[5]、丹下 慶範[5] (1. 九州大・理、2. 東大・地震研、3. 愛媛大・GRC、4. 東北大・理、5. JASRI)

14:15 ~ 14:30

[R3-11] 超高圧シュードタキライトとナノダイヤモンド

*西山 忠男[1]、鵜木 康平[1]、西 右京[1]、藤本 智也[1]、吉朝 朗[1]、大藤 弘明[2]、寺内 正己[3] (1. 熊本大学先端科学研究部、2. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、3. 東北大学多元物質科学研究所)

14:30 ~ 14:45

[R3-12] 西彼杵変成岩中のシュードタキライトより見出されたナノ多結晶ダイヤモンドの鉱物学的特徴

*大藤 弘明[1]、西山 忠男[2] (1. 愛媛大・GRC、2. 熊大・理)

14:45 ~ 15:00

[R3-13] 分析透過電顕における化学定量分析の特徴と問題点その２

*藤野 清志[1]、大藤 弘明[1] (1. 愛媛大GRC)

R3-10

せん断変形場におけるオリビン–スピネル相転移：相転移誘起の軟化条件の探索

久保友明*, 森山一哉, 森悠一郎, 今村公裕(九大理), 小泉早苗(東大地震研), 西原遊(愛媛大 GRC),
鈴木昭夫(東北大理), 肥後祐司, 丹下慶範(JASRI)

Olivine-spinel transformation under shear deformation: Conditions for transformation-induced weakening

T. KUBO, K. Moriyama, Y. Mori, M. Imamura (Kyushu Univ.), S. Koizumi (ERI), Y. Nishihara (GRC),
A. Suzuki (Tohoku Univ.), Y. Higo, Y. Tange (JASRI)

1. はじめに

近年、D-DIA 型および D-111 型高圧変形装置の開発により、マントル遷移層から下部マントル最上部条件における定量的な変形実験が可能になった。我々は、それらの高圧変形装置に放射光単色 X 線および AE 測定を組み合わせて、オリビン–スピネル非平衡相転移が誘起する軟化やせん断不安定化プロセスの解明に取り組んでいる。それは沈み込んだ深部プレート(遷移層スラブ)の力学特性、特に上下マントル境界付近での滞留や深発地震を理解する上で重要なプロセスであると考えている。本発表では、せん断変形場で行っている Fe_2SiO_4 および Mg_2SiO_4 のオリビン–スピネル相転移実験の結果を報告し、相転移が誘起する軟化現象に関して予備的な考察を行う。

2. 実験方法

出発物質として Fe_2SiO_4 fayalite および Mg_2SiO_4 forsterite 焼結多結晶体を用いて、前者は SPring-8 の BL04B1 設置の D-DIA 型装置に MA6-6 型セルを、後者は PF-AR の NE7A 設置の D-111 型装置に KAWAI 型セルを組み込んで、高圧せん断変形場でオリビン–スピネル相転移実験を行っている。厚さ 300 μm の出発物質の上下に 45°カットしたアルミナピストンを配置しせん断変形場を実現する。常温加圧後にまずオリビンの安定領域において焼きなましを行い、その後、相転移が起こらない低温下においてスピネル相安定領域まで加圧する。そこで上下アンビル変位速度(200-400 μm/h)と昇温速度(0.1-0.2 K/s)を一定にして、変形しながら昇温を開始する。50-60keV の放射光単色 X 線を用いて約 4-5 分毎に 2 次元 X 線回折パターンと X 線ラジオグラフィー像を取得し、せん断変形場での相転移の進行と応力–ひずみ曲線の同時測定を行う。このようにして、変形速度、反応速度(昇温速度)、過剰圧による相転移組織変化などをパラメータに、相転移誘起の軟化が起こる条件を探索している。せん断不安定化に着目した同様の実験は、一軸圧縮変形場で AE 測定を組み合わせて行っている(本年会、森他)。

3. 結果と考察

過剰圧が大きいほど相転移開始温度は低下し、Fe_2SiO_4 では 8-12GPa, 500-700°C 付近で、Mg_2SiO_4 では 17-22GPa, 900-1000°C 付近で、スピネル相(それぞれ ahrensite および ringwoodite)の出現が確認された。せん断ひずみ速度はそれぞれ 8.7×10^{-5}–7.3×10^{-4} s^{-1} および 2.7×10^{-6}–2.7×10^{-4} s^{-1}、最大せん断ひずみ量はそれぞれ 1.2-2.8 および 0.15-0.25 であり、全体として均質変形が進行した(Fig. 1)。後者ではせん断ピストンに溝加工を施しておらず、それが原因でひずみ量が少ないのかもしれない。アンビル変位速度が一定であってもせん断ひずみ速度は一定ではなく、昇温とともに、また相転移とともに上昇する傾向があり、特に D-111 型装置を用いた Mg_2SiO_4 の実験で顕著である。これが相転移誘起の軟化を示しているのかについてはもう少し検討が必要である。

せん断変形場で相転移が進行する際の応力変化を、オリビン、スピネルそれぞれの相から推定する解析を行っている。まだ予備的な段階ではあるが、特に過剰圧が大きい条件においてスピネル相の応力が小さくなる傾向にある。これは細粒化による軟化を示している可能性があるが、回収試料の変形相転移組織と合わせて検討していく必要がある。

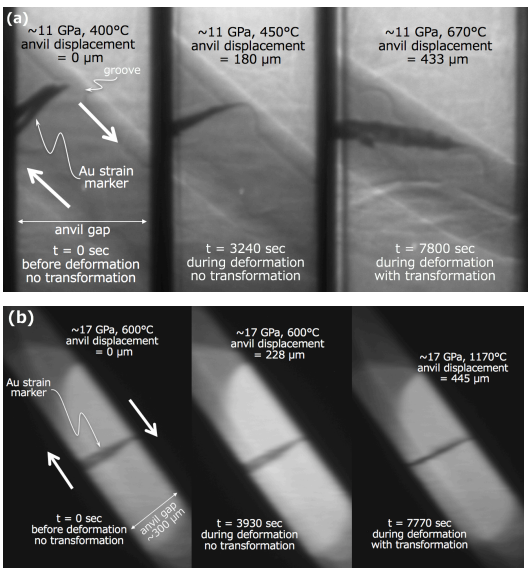


Fig.1. X-ray radiography images showing the rotation of Au stain marker during shear deformation with the olivine-spinel transformation in Fe_2SiO_4 (a, D-DIA) and Mg_2SiO_4 (b, D-111).

Keywords: olivine-spinel transformation, shear, weakening

*corresponding author: kubotomo@geo.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

超高圧シュードタキライトとナノダイヤモンド

西山忠男*, 鵜木康平, 西　右京, 藤本智也, 吉朝朗（熊大理）・
大藤弘明（愛媛大地球深部セ）・寺内正己（東北大多元研）

UHP pseudotachylyte and nanodiamond

Tadao Nishiyama*, Kouhei Unoki, Ukyo Nishi, Tomoya Fujimoto, Akira Yoshiasa (Kumamoto U.),
Hiroaki Ohfuji (Ehime U.) and Masami Terauchi (Touhoku U.)

長崎県西彼杵変成岩（白亜紀低温高圧型変成岩）と熊本県肥後変成岩（白亜紀高温低圧型変成岩）から超高圧シュードタキライトを発見した。また西彼杵変成岩中のシュードタキライトからはナノダイヤモンドが発見された。その鉱物学的詳細については、引き続く大藤氏の講演で紹介する。西彼杵変成岩中のものは、石英炭酸塩岩（蛇紋岩の一部が CO_2 の作用で分解生成した岩石）中に幅 1 cm 程度の黒色脈として発達する。ガラス状光沢を有し、分岐構造を示すが、ガラスは残存せず、微細な石英とマグネサイトの集合体となっている。この中に、径数 10 ミクロン程度の非晶質カーボンが含まれ、その一部にナノダイヤモンド集合体（ラマン分光法、TEM（大藤）、EPMA-SXES 法（寺内）により確認）が産する。ナノダイヤモンド集合体は径 1～2 ミクロンで、矩形を示し、一見単結晶のように見えるが、多結晶集合体であり、一部はロンズデーライトの構造を示す。シュードタキライトは、特徴的な組織（径 1 mm～数 mm の球状のマグネサイトに富む集合体が、石英に富む基質中に散在し、基質には流動したような組織が発達する）を有し、これはこのシュードタキライトが一度融解し、再び再結晶したことを示す。石英とマグネサイトの融解は Kakizawa et al. (2015: JMPS, 110, 179-188)によれば 6 GPa 以上、1600℃以上の条件であり、このシュードタキライトが超高圧条件で形成されたことを示す。

肥後変成岩中のシュードタキライトは、大理岩中に幅 10 cm 程度の黒色脈として産する。分岐構造を示すが、ガラスは残存していない。鏡下では、西彼杵のものと酷似する球状組織が観察される。SEM による観察では、ドロマイトを主とする基質中に、珪酸塩鉱物（石英と Al-Si 粘土鉱物）を主とするドメイン（径数 mm）が球状に発達している。ドロマイトは径 10 ミクロン程度の半自形～他形結晶集合体で、複雑な振動累帯構造を示す。この中には破砕組織を示す石英粒子が含まれ、破砕粒子の粒間をドロマイトが埋めている。この組織は、液相不混和を示す、炭酸塩メルトとケイ酸塩メルトからの結晶化を示唆する。$CaCO_3$ – $MgCO_3$ 系の相図から、融解条件を推定すると、3.5 GPa, 1280℃程度と見積もられる。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

西彼杵変成岩中のシュードタキライトより見出されたナノ多結晶ダイヤモンドの鉱物学的特徴

大藤 弘明*（愛媛大・GRC），西山 忠男（熊大・理）

Mineralogical characteristics of nano-polycrystalline diamond in pseudotachylyte from Nishisonogi metamorphic rock

Hiroaki Ohfuji* (GRC, Ehime Univ.), Tadao Nishiyama (Sci., Kumamoto Univ)

Here we report the mineralogical characteristics of nano-polycrystalline diamond grains included in quartz-carbonate pseudotachylyte in Nishisonogi metamorphic rock. They were found in carbonaceous aggregate of a few tens of micrometer in quartz and magnesite grains. The diamond grains are 1-2 μm and show angular to pseudo-euhedral shapes surrounded by amorphous carbon. They consist of very well-sintered diamond crystals of <5 - 20 nm and contain no pores. Electron diffraction revealed that they, as a whole, are randomly aggregated but showed weak preferred orientations at local scales in which the coaxial relation of diamond 111 // lonsdaleite 100 was sometimes found.

筆者らは数年前から長崎県に分布する西彼杵変成岩と熊本県の肥後変成岩中に含まれるマイクロダイヤモンドの記載を進めてきた（西山ほか，2014・2017・2018JpGU；大藤ほか，2018 JAMS 年会）．最近，西彼杵変成岩中に含まれる黒色のシュードタキライト中に，これまでの単結晶ダイヤモンドとは全く産状，特徴の異なる多結晶ダイヤモンドを見出したのでここに紹介したい．

多結晶ダイヤモンドを含むシュードタキライトは，蛇紋岩の一部が CO_2 の作用で分解生成したと考えらえる石英炭酸塩岩中に幅1cm 程度の黒色脈として産する．シュードタキライトはマグネサイトと激しく破砕された石英粒子が混在した組織を示すが（詳細は西山氏の講演要旨を参照），両鉱物中には直径数十 μm ほどの炭素濃集部が点在して含まれている．この炭素濃集部には，径 1～2 μm の一見すると単結晶のような角張った形態を示す粒子がしばしば含まれている．これらの粒子を含むように炭素濃集部位から収束イオンビーム（FIB）を用いて薄膜断面を切り出し，TEM でその詳細な微細組織と結晶特性を調べた．

TEM 観察の結果，炭素濃集部位は主にアモルファスカーボンより構成され，その中に点在している角張った粒子は，<5～20 nm ほどの極めて細粒なダイヤモンドの多結晶体であることが明らかとなった（図 1）．このナノダイヤ多結晶体は，グラファイトからの高温高圧下直接変換により合成されるナノ多結晶ダイヤモンドやロシアの隕石衝突孔から産するその天然版試料（Ohfuji et al., 2015）と類似の（より細粒だが）組織を示す．また，一部には層状をなす部分も観察され，制限視野電子線回折では，層構造に垂直な方向にダイヤモンドの 111 とロンズデーライトの 100 の配向（弧状）パターンが観察された．これらの産状は，本試料中のナノ多結晶ダイヤが，グラファイトからの直接変換によって生じたことを示唆すると考えられる．ナノ多結晶ダイヤの成因については現在検討中である．

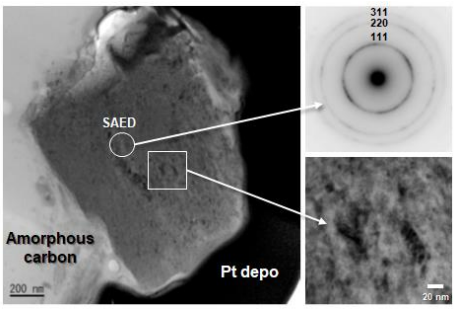


図 1. アモルファスカーボン中に含まれるナノ多結晶ダイヤモンドの TEM 像

Keywords: Nano-polycrystalline diamond; Pseudotachylyte; Microtexture; TEM
*Corresponding author: ohfuji@sci.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

分析透過電顕における化学定量分析の特徴と問題点 その２

藤野清志*，大藤弘明（愛媛大GRC）

Characteristics and problems of quantitative chemical analysis in ATEM part 2

Kiyoshi Fujino*, Hiroaki Ohfuji (GRC, Ehime Univ.)

1. はじめに

最近の走査透過電顕の技術的進展は目覚ましく，従来困難であった電磁レンズの球面収差が可能になり，今や 200 kV 電顕でも～0.1 nm の分解能が可能になってきている．また，化学組成分析面での技術進歩も目覚ましく，今や分析電顕で原子レベルの組成分析も可能になってきている．ただ，それらは電子線の入射方向の原子の重なりを反映したもので，地球惑星物質解析で多くの場合直面する異なった相が共存する基での３次元的な微細粒子や微細組織の組成分析に直結するわけではない．ここでは，地球惑星科学分野で分析透過電顕による化学定量分析法として現在広く用いられているCliff-Lorimerの *k*-ファクターによる解析を取り上げる．

２．*K*-ファクター法の特徴と問題点

K-ファクター法は一見簡便であるが，その問題点はあまり理解されてないように思われる．測定に当たってまず第一に気を付けるべき点は，測定条件が適切かどうかである．図１はパイロープガーネットで照射電流密度 5 pA/cm^2 で，STEM の電子線の走査領域(円)を変えて測定した時の Si に対する各元素の特性Ｘ線強度比のプロットである．図に見るように，X 線強度比は必ずある限界の照射領域(この場合直径約 30 nm)以下で急減する．従って，測定はこの限界以上の電子線照射領域で行わなければならない．この点は，*k*-ファクターの検量線による解析でも吸収法による解析でも変わらない．

前回述べた *k*-ファクターの検量線による解析法では，検量線の傾きは個々の試料におけるＸ線の吸収効果によって変わるため，検量線に用いた試料と未知試料の平均原子番号が近くないと，うまく適用できない．

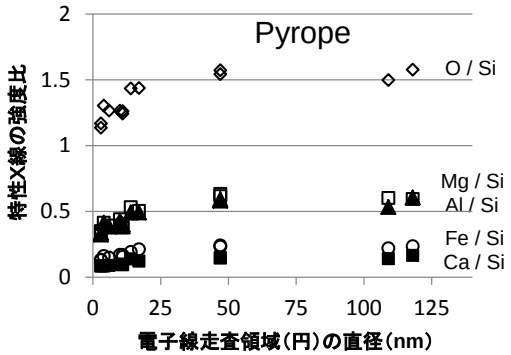


図１．電子線走査領域と特性Ｘ線の強度比

現在 EDS 分析の測定法として，TEM によるスポット分析(スポット径可変)，STEM によるエリア分析及びスポット分析(スポット径固定) があるが，３次元的に微小な空間分解能を得るには，STEM によるエリア分析が最も適していると思われる．

また，定量分析をする薄膜試料の作成法について言えば，ピンポイントの分析には FIB が向いているが，FIB による薄膜作成では薄膜の厚さがほぼ 100 nm に留まってしまうので，それより小さな微細粒子や組織の分析には向かない．イオン研磨では 100 nm より薄い薄膜部分が作成できるので，より小さな領域の分析には，イオン研磨の方が向いている．

講演では，前回触れなかった *k*-ファクターの吸収補正に基づく解析法や，特性Ｘ線測定の際の照射電流密度を下げることで，測定可能な領域の下限がどこまで下げられるかなどについて，議論する予定である．

Keywords: Analytical TEM, quantitative chemical analysis, *k*-factor

*Corresponding author: fujino@sci.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.