

2021年9月17日(金)

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

14:00 ~ 16:45 | Zoom Session 2

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本)との共通セッション）

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

14:00 ~ 14:15

[R1-01] 分析電顕での吸収補正による定量分析の特徴と問題点

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

14:15 ~ 14:30

[R1-02] Caに富む輝石のM1席Fe²⁺の電場勾配テンソルと鉄の固溶成分の相関福山 大毅¹、*篠田 圭司¹、小林 康浩² (1. 阪市大・院理、2. 京大・複合研)

14:30 ~ 14:45

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

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

14:45 ~ 15:00

[R1-04] 国産アコヤ真珠の養殖地による微量元素の相違

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

15:00 ~ 15:15

[R1-05] 福島県多田野産加藤石榴石に含まれる硫黄の原子位置について

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

15:15 ~ 15:30

[R1-06] 岡山県津山地域加治子山に産するベイサナイト中のCaに富むネフェリン及び共生鉱物の産状と成因
「発表賞エントリー」*米岡 佳弥¹、濱田 麻希¹、荒井 章司¹ (1. 金沢大・院自)

15:30 ~ 15:45

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

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

16:00 ~ 16:15

[R1-08] 福岡県飯塚市八木山産の円筒状アメサイト

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

16:15 ~ 16:30

[R1-09] 北部フォッサマグナ地域から産出した千葉石の続報

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

16:30 ~ 16:45

[R1-10] 北海道手稲鉱山から産出したMn²⁺が卓越する安四面銅鉱*門馬 綱一¹、清水 正明²、草葉 陽子¹、大木 良弥³ (1. 国立科博、2. 北陸能開大、3. 日本地学研究会)

口頭講演 | R8: 変成岩とテクトニクス

14:00 ~ 16:45 | Zoom Session 1

R8: 変成岩とテクトニクス

座長: 中村 佳博(産総研)、遠藤 俊祐(島根大学)

14:00 ~ 14:15

[R8-07] ミャンマー・モゴック北方に見出されるUHT変成岩

Htay Khaing²、*小山内 康人¹、中野 伸彦¹、Dolzodmaa Bolgbaatar⁴、北野 一平³、Htet Zaw⁴、足立 達朗¹、大和田 正明⁵ (1. 九大・院比文、2. ミャンマー宝石研究所、3. 栃木県博、4. 九大・地球社会統合科学府、5. 山口大・理)

14:15 ~ 14:30

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

[Presentation award entry]

*Gabriel Theophilus Vinalay Valera¹, Tetsuo Kawakami¹, Betchaida Duetes Payot² (1. Kyoto Univ., 2. Univ. of the Philippines)

14:30 ~ 14:45

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

*河上 哲生¹、鈴木 将晏¹ (1. 京都大・院理)

14:45 ~ 15:00

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

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

15:00 ~ 15:15

[R8-11] 単一岩石中に反時計回りと時計回りの*P-T*履歴が共存?: 東南極 セール・ロンダーネ山地ブラットニーパネの例*池田 勇人¹、河上 哲生¹、東野 文子¹ (1. 京都大・院理)

15:30 ~ 15:45

[R8-12] 青色片岩相Na輝石の非圧力依存的挙動

*薮田 渉¹、平島 崇男² (1. 無所属、2. 京大)

15:45 ~ 16:00

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

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

16:00 ~ 16:15

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

*Manzshir Bayarbold¹, Atsushi Okomata¹, Otgonbayar Dandar¹, Masaaki Uno¹, Noriyoshi Tsuchiya¹ (1. Tohoku University)

16:15 ~ 16:30

[R8-15] Occurrence of CH₄-N₂-bearing aqueous fluid inclusions in jadeite-bearing chlorite-grossular rock from the New Idria serpentinite body, California*Rio Rio¹, Tatsuki Tsujimori¹ (1. Tohoku University)

16:30 ~ 16:45

[R8-16] 西彼杵変成岩雪浦メランジュ中のザクロ石の累帯構造

*西山 忠男¹、鵜木 康平¹、吉朝 朗¹ (1. 熊本大学先端科学研究部)

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

14:00 ~ 16:45 | Zoom Session 3

S1, S4 : 火成作用及びプレート収束域の物質科学合同セッション

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

14:00 ~ 14:30

[S1, S4-01] 紀伊半島下のゆっくりすべり、スラブ内地震と内陸地震

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

14:30 ~ 14:45

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

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

14:45 ~ 15:00

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

*佐久間 博¹、Moore Diane²、Lockner David² (1. 物材機構、2. USGS)

15:00 ~ 15:15

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

*安東 淳一¹、兒島 巧太¹、DAS Kaushik¹、富岡 尚敬²、上原 誠一郎³ (1. 広島大、2. JAMSTEC・高知コア研、3. 九州大)

15:30 ~ 15:45

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

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

15:45 ~ 16:00

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

「発表賞エントリー」

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

16:00 ~ 16:15

[S1, S4-07] 流紋岩質メルト中における炭素同位体の拡散分別

*川原 爽¹、吉村 俊平¹ (1. 北大・院理)

16:15 ~ 16:30

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

「発表賞エントリー」

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

16:30 ~ 16:45

[S1, S4-09] 火道上昇履歴に応じた石基輝石晶相変化の実験的検証

「発表賞エントリー」

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

口頭講演 | R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本)との共通セッション）**■ 2021年9月17日(金) 14:00～16:45 | 金 Zoom Session 2****R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本)との共通セッション）**

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

[座長]

黒澤 正紀：R1-01～R1-04

門馬 綱一：R1-05～R1-07

坂野 靖行：R1-08～R1-11

14:00～14:15

[R1-01] 分析電顕での吸収補正による定量分析の特徴と問題点

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

14:15～14:30

[R1-02] Caに富む輝石のM1席Fe²⁺の電場勾配テンソルと鉄の固溶成分の相関福山 大毅¹、*篠田 圭司¹、小林 康浩² (1. 阪市大・院理、2. 京大・複合研)

14:30～14:45

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

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

14:45～15:00

[R1-04] 国産アコヤ真珠の養殖地による微量元素の相違

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

15:00～15:15

[R1-05] 福島県多田野産加藤石榴石に含まれる硫黄の原子位置について

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

15:15～15:30

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

「発表賞エントリー」

*米岡 佳弥¹、濱田 麻希¹、荒井 章司¹ (1. 金沢大・院自)

15:30～15:45

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

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

15:45～16:00

休憩

16:00～16:15

[R1-08] 福岡県飯塚市八木山産の円筒状アメサイト

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

16:15～16:30

[R1-09] 北部フォッサマグナ地域から産出した千葉石の続報

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

16:30 ~ 16:45

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

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

分析電顕での吸収補正による定量分析の特徴と問題点

藤野清志*, 富岡尚敬(海洋研究開発機構), 大藤弘明(東北大)

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

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

1. はじめに

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

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

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

吸収補正計算による定量分析はこのような利点を持つが、適正な使用法が確立されていないため、あまり広く使われていない。我々はこの吸収補正計算による定量分析で、簡便で有効な使用法を見出したので、紹介する。

2. 吸収補正計算による定量分析

吸収補正計算による定量分析では、式(1)の k_{ij} として、 $k_{ij} = k_{ij}^0 A(\Delta t)$ を用いる。 k_{ij}^0 は厚さ 0 での k ファクター、 $A(\Delta t)$ は厚さ Δt での吸収補正項で、以下の式になる。

$$A(\Delta t) = \frac{\mu_i^m}{\mu_j^m} \cdot \frac{\{1 - \exp(-\mu_j^m \rho \Delta t \alpha)\}}{\{1 - \exp(-\mu_i^m \rho \Delta t \alpha)\}} \quad (2)$$

$$\alpha = \text{cosec } \theta$$

ここで、 μ_i^m , μ_j^m は i , j X 線に対する質量吸収係数、 ρ は試料の密度、 θ は検出器の X 線取り込み角である。最近の分析ソフトでは、どれもこの計算式を用いている。

吸収補正計算では、酸素を独立の元素として計算する場合と、すべて酸化物として計算する場合の 2 通りがある。前者の場合は、未知な薄膜の厚さを選ぶのに、酸素の値が理想化学式通りになるようにする、あるいは電荷中和となるようにする (E. Van Cappellen の方法) 等の選択が行われている。一方、後者の場合は、すでに電荷中和は成り立っているの、酸素の値が理想化学式通りになるようにする等の選択が行われている。しかし、どのように厚さを選択すれば正確な組成が得られるかの方法が確立されておらず、選んだ薄膜の厚さが実際の厚さと同じかどうかについて、ほとんど議論されてこなかった。

3. 結果

今回、我々はあらかじめ厚さを実測した組成既知の試料を用いて、それぞれの計算法で得られた組成が正確なのはどの方法か、またその時に選んだ厚さは実測の値と合うかどうかを調べた。結論として、酸素を独立元素として計算するよりも、酸化物として計算した方が正確な組成が得られることが分かった。その際の厚さを選ぶのに用いた有効な方法と、そうして選んだ厚さが実測に比べてどうであるか等について、講演で報告したい。

Keywords: Analytical TEM, quantitative chemical analysis, absorption correction.

*Corresponding author: kfujino7241@gmail.com

Caに富む輝石の *M1* 席 Fe^{2+} の電場勾配テンソルと鉄の固溶成分の相関

福山大毅(阪市大・理), 篠田圭司 (阪市大・理), 小林康浩 (京大・複合研)

Compositional dependence of EFG tensor of Fe^{2+} in

M1 site of Ca-rich pyroxene

Daiki Fukuyama (Osaka City Univ.), Keiji Shinoda* (Osaka City Univ.),

Yasuhiro Kobayashi (KURNS)

^{57}Fe Mössbauer spectroscopy has been used widely to analyze Fe^{2+} and Fe^{3+} ratio in minerals. Recently, Mössbauer microspectroscopy is used to measure the spectra of individual single crystal in a thin section. There are two crystallographically different cation sites named *M1* and *M2* in pyroxene structure. Fe^{2+} ions which occupy *M1* and *M2* sites give similar and overlapping quadrupole doublet. For powdered samples, intensity of quadrupole doublet can be assumed to be equal. However, intensity of quadrupole doublet of single crystal thin section is not equal and depends on the direction between γ -ray and crystallographic axes. Therefore, peak intensities of two doublets are necessary for reliable peak analyses of Mössbauer spectra which include similar and overlapping quadrupole doublets. The electric field gradient (EFG) tensor of the ^{57}Fe Mössbauer nucleus gives a constraint on the intensity of quadrupole doublet. Zimmermann (1975, 1983) introduced an experimental determination method of the EFG tensor from the Mössbauer spectrum of a single crystal and proposed a formulation of the EFG tensor from the intensities of the component peaks of an asymmetric Mössbauer doublet. Using Zimmermann's formulation, Shinoda and Kobayashi revealed the EFG tensor of Fe^{3+} in the octahedral *M1* site of aegirine (JMPS, 2019). In this study, we measured Mössbauer spectra of thin sections of single crystal of Ca-rich pyroxenes (diopside, augite and hedenbergite) and calculated EFG tensors of three different compositional pyroxene from intensity variation of quadrupole doublet. Crystallographic orientation of three pyroxenes were determined using X-ray precession camera. From three EFG tensors of this study and an EFG tensor studied by Tennant et al. 2000, we will discuss compositional dependence of EFG tensor of Fe^{2+} in *M1* site of Ca-rich pyroxene.

Keywords: Mössbauer spectroscopy, microspectroscopy, electric field gradient, Ca-rich pyroxene

*Corresponding author: shinodakeiji@osaka-cu.ac.jp

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

加藤丈典 (名古屋大)・小坂由紀子 (名古屋大・高知大)・浅原良浩・瀬瀬佑衣・道林克禎 (名古屋大)

Preliminary report on ICP-MS quantitative analysis of U, Th, and Pb in mantle-derived olivine and serpentine

Takenori Kato* (Nagoya Univ.), Yukiko Kozaka (Nagoya Univ, Kochi Univ.), Yoshihiro Asahara, Yui Kouketsu and Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya Univ.)

マントルの化学的不均質性が地震波や Sr、Nd、Pb 同位体比などから議論されている。しかし、厳密なモデルは確立されておらず、より多くの情報が必要とされている。また、マントル物質に含まれる微量元素濃度も、上部マントルをモデル化するうえで重要な役割を果たすと考えられる。

カンラン石は上部マントルの主要構成鉱物である。しかし、カンラン石の微量元素濃度分析は玄武岩・斑レイ岩に含まれるものや熔融実験の結果などがほとんどであり、マントルに直接由来するカンラン石中の微量元素濃度の報告は多くない。特に、アクチノイドであるウラン (U) やトリウム (Th) と、その放射壊変で生成される鉛 (Pb) については、限られた報告しかない (Heier & Carter, 1964; Cargnan et al., 1996; De Hoog et al., 2010 など)。本研究では、マントル由来のカンラン石、および、蛇紋石について U、Th および Pb の濃度を定量分析し、それらの元素の濃度範囲を明らかにすることにした。

カンラン石試料は、ハルツバージャイト

(トンガ海溝)、レルゾライト (マリアナ海溝)、キンバーライト中のザクロ石レルゾライト捕獲岩 (南アフリカ・キンバリー) 及び玄武岩中の捕獲岩 (中国・大麻坪) を用いた。

蛇紋石類は、蛇紋岩 (マリアナ海溝)、アンチゴライト (京都府)、リザーダイト及びクリソタイル (鉱物標本) の各試料を用いた。

岩石試料については鉱物を粉砕し、包有物の認められない試料を実体顕微鏡で採取した。試料を酸分解し、名古屋大学環境学研究科の ICP-MS (アジレント・テクノロジー製 7700x) を使い、XSTC-331 (SPEX) を標準物質として定量分析を行った。

カンラン石中の U、Th、Pb の濃度はいずれも数百 pg/g~数十 ng/g であった。また、蛇紋石はいずれも数 ng/g~数百 ng/g の範囲内であった。

(1) いずれの試料も検出可能な濃度の U、Th、Pb を含んでいること、(2) 産状によるばらつきがあること、および、(3) 蛇紋石はカンラン石よりも多くの U、Th、Pb を含んでいることが示された。

Keyword: olivine, serpentine, trace elements, ICP-MS, mantle

*Corresponding author: kato@nendai.nagoya-u.ac.jp

国産アコヤ真珠の養殖地による微量元素の相違

江森健太郎、北脇裕士(中央宝石研究所)、
佐藤昌弘、矢崎純子(真珠科学研究所)

Differences of trace element in Japanese Akoya Cultured Pearl

Kentaro Emori*, Hiroshi Kitawaki (Central Gem Laboratory),
Masahiro Sato, Junko Yazaki (Pearl Science Laboratory)

In order to try for origin determination of pearl using LA-ICP-MS, we analyzed changes through the treatments of pearls and differences among “Shima, Mie”, “Komobuchi, Ehime”, “Amakusa, Kumamoto”, “Iki, Nagasaki”, “Tsushima, Nagasaki” and “Sasebo, Nagasaki”.

近年、アコヤ養殖真珠は、海外でも養殖がおこなわれているが、JAPAN ブランドとしての国産アコヤ養殖真珠の人気は高い。また、他分野でよく話題となるトレーサビリティーの問題からも国産アコヤ養殖真珠の産地鑑別は商業的な意義があり、養殖地による微量元素の相違は自然科学的にも興味深い。

毎年母貝から取り出され加工される宝石である。加工は薬品等に浸漬する作業を伴うため、真珠層中のタンパク質に含まれる成分が流出、もしくは薬品成分の沈着が想定される。また、養殖する海域の化学組成も毎年均一でない可能性があるため、浜揚げされた年による微量元素濃度差がある可能性も存在する。

本研究では真珠の産地鑑別の可能性を探るため、LA-ICP-MS による真珠の加工による真珠の微量元素の変化、また、浜揚げ産地による微量元素の差を比較した。

加工による微量元素の変化は、産地毎に行うべきであるが、産地・加工過程が多く、煩雑になるため、比較的近い同一県内である長崎県対馬・壱岐・佐世保で浜揚げされたアコヤ養殖真珠計 20 点をサンプルとして用いた。未加工の浜揚げ珠 5 点、浜揚げ後、メタノールを用い 50℃で一晩前処理を行った真珠 5 点(前処理珠)、前処理後に 2% 過酸化水素水を用い 1~6 週間漂白した真珠 5 点(漂白珠)、漂白後 0.1%の染色溶液を用

Keywords: Akoya Cultured Pearl, LA-ICP-MS

*Corresponding author: emori@cgl.co.jp

い一晩調色を行った 5 点(調色珠)に分け、分析を行った。

また、産地による違いを確認するため、2021 年三重県志摩、愛媛県伊予、熊本県天草、長崎県壱岐・対馬・佐世保の 6 つの産地で浜揚げされたアコヤ養殖真珠 10 点ずつ分析を行った。

分析に用いた LA-ICP-MS 装置は LA 装置として NWR UP-213、ICP-MS 装置として Agilent 7900rb を用いた。

加工の変化を追った結果、それぞれの元素に多少の変動が見られたが、誤差範囲で違いを見出すことはできず、加工過程による元素の動きを追うことはできなかった。

また 2021 年浜揚げを行った 6 つの産地の真珠について三重県志摩産の真珠からは他産地と比較し Mn が多く、長崎県の産地は Mg が少ないという特徴が見いだされた。また、線形判別分析のアルゴリズムを用いて分別したところ、長崎県の 3 つの産地(壱岐・対馬・佐世保)の区別は難しいが、三重県、愛媛県、熊本県、長崎県の 4 つの県の区別が可能であることが判った。

LA-ICP-MS を用いた真珠の産地鑑別については、加工による影響、海洋による影響が存在する上、生産地も多く、調査しなければいけない項目は非常に多い。しかし、本研究において県別の区別を行うことができた。これは、海域による影響の違いが真珠に影響を与えていると推測される。

福島県多田野産加藤石榴石に含まれる

硫黄の原子位置について

坂野靖行* (産総研)・門馬綱一・宮脇律郎 (国立科博)・豊 遙秋 (東大総博)

Sulphur atom positions of katoite from Tadano, Fukushima Prefecture, Japan

Yasuyuki Banno* (AIST), Koichi Momma, Ritsuro Miyawaki (NMNS),

Michiaki Bunno (Univ. of Tokyo)

加藤石榴石は石榴石超族鉱物の 1 種である。石榴石超族の一般組成式は $\{X_3\}[Y_2](Z_3)\phi_{12}$ と表現され、灰簪石榴石—加藤石榴石系列の一般組成式は $\{Ca_3\}[Al_2](Si_{3-x}\square_x)O_{12-4x}(OH)_{4x}$ と表現でき、Ca が X 席 (8 配位, 24c 位置), Al が Y 席 (6 配位, 16a 位置), Si 及び空孔($\square$)が Z 席 (4 配位, 24d 位置) を占める。加藤石榴石は少量の硫黄(S)を含むことが知られており, S は $(SO_4)^{2-}$ として, すなわち S^{6+} として Z 席を占めると考えられている(e.g., Passaglia and Rinaldi, 1984)。

坂野・豊(2019:日本鉱物科学会講演要旨)は福島県郡山市多田野産加藤石榴石の EPMA による化学組成分析を行い, 加藤石榴石は少量の S, F, Cl を含むことを明らかにし, S は $(SO_4)^{2-}$ として Z 席を占めるとした場合, Y 席には最大で 0.27 apfu の空孔($\square$)が存在すると結論づけた。今回この仮説を検証するために多田野産加藤石榴石の単結晶構造解析を行なった。

構造解析用の試料は EPMA により分析を行なった薄片から掘削した加藤石榴石断片 (100 x 50 x 30 μm) を使用した。断片の実験式(S は Z 位置を占めると仮定, n = 1)は $\{Ca_3\}[Al_{1.466}Fe^{3+}_{0.260}Mg_{0.103}Ti_{0.016}\square_{0.155}]\Sigma_{2.000}(Si_{1.191}S^{6+}_{0.154}\square_{1.655})\Sigma_3[(OH)_{6.689}O_{5.140}F_{0.119}Cl_{0.052}]\Sigma_{12}$

である。最初の解析結果は $R1 = 3.8\%$ で, Y 席の電子数は 29.6 epfu, Z 席は 16.9 epfu であった。これらは EPMA 実験式から計算される値 ($Y = 27.4$ epfu, $Z = 19.1$ epfu) に比べ, Y 席は予想よりも重く Z 席は予想より軽い結果となった。そこで S はすべて Y 席を占めるとした EPMA 実験式を仮定して電子数を計算すると $Y = 29.9$ epfu, $Z = 16.7$ epfu となり, 解析結果から得られる値とよく一致した。差フーリエ図において Y 席の周囲に残差が認められたため, それを S と仮定して解析を進めた結果 (S 席を設定。S 席の占有率を EPMA 値の $S = 0.154$ apfu となるように固定。Y 席占有率 + S 席占有率 = 1 を仮定), $R1$ は 3.5% に低下し, S 席は 32e 位置を占め, 原子座標 $x = 0.0285(16)$, $y = 0.0285(16)$, $z = 0.0285(16)$ が得られた。原子間距離から S は $(SO_3)^{2-}$ もしくは $(S_2O_6)^{2-}$ として存在していると解釈できる。この解析結果から得られる Y 席 + S 席の電子数は 31.4 epfu, Z 席は 17.0 epfu であった。

Keywords: katoite, structure refinement, Tadano

*Corresponding author: y-banno@aist.go.jp

岡山県津山地域加治子山に産するベイサナイト中の

Ca に富むネフェリン及び共生鉱物の産状と成因

米岡佳弥*、濱田麻希、荒井章司（金沢大・院自）

Occurrence and genesis of Ca-rich nepheline and associated minerals in the Kajishiyama basanite, Tsuyama, Okayama Prefecture, SW Japan

Keiya Yoneoka*, Maki Hamada and Shoji Arai (Kanazawa Uni. Nat.)

準長石族鉱物に属するネフェリンはシリカに不飽和なアルカリ岩に産する鉱物であり、理想化学式は $K_2Na_6Al_8Si_8O_{32}$ ($Z=1$) で表される。これまでに Ca に富むネフェリンは、エチオピアの Korath Range (0.28 atoms per formula unit) や静岡県南崎 (0.319 apfu) から報告されているが、報告例が少なく成因は不詳である。岡山県津山市加治子山ベイサナイトの全岩化学組成およびノルム組成は、鷹村 (1973) により報告され、Hirai and Arai (1983) は初めて同地域のベイサナイト中からネフェリンを発見した。そして、加治子山ベイサナイトのネフェリンは、理想的なものよりも Ca に富むことが明らかになった。そこで、加治子山ベイサナイトを構成する鉱物、特に Ca に富むネフェリンについて詳細な記載および化学分析を行い、その成因を明らかにしたい。

加治子山ベイサナイトは暗青灰色で塊状細粒であり、カンラン岩捕獲岩及びそれら由来の外来結晶を含む。また、沸石や稀に方解石を含む晶洞が存在する。斑晶はカン

ラン石と単斜輝石であり、石基はネフェリン、カンラン石、単斜輝石、スピネル、斜長石、アルカリ長石、アパタイト及び沸石で構成される。ネフェリンは不定形の空隙充填鉱物として結晶の間を埋めており、一部、沸石に変質している。

ネフェリンは Ca を最大 0.467 apfu (CaO, 2.31 wt.%) 含み、他地域の Ca に富むネフェリンと比べても Ca に富んでいる。また、ネフェリンの CaO 量と全岩の P_2O_5 含有量には負の相関が認められる。

加治子山ベイサナイト中の Ca に富む鉱物は、単斜輝石、斜長石及びアパタイトである。産状より、ネフェリンは空隙充填鉱物であるため結晶化の最後のステージで晶出し、針状のアパタイトはネフェリンと前後して晶出したと考えられる。これらから、低 P のベイサナイト質マグマ中ではアパタイトの晶出量が少なくなり、残留メルト中の Ca 量が高くなるために Ca に富むネフェリンが形成したと考えられる。

Keywords: nepheline, basanite, apatite, calcic

*Corresponding author: kei8.103a@stu.kanazawa-u.ac.jp

長崎変成岩西彼杵ユニット中に産するリストベナイト中

の Ni の局所構造と Ni 鉱物

鶴木康平* (熊本)、西山忠男(熊本)、北原銀河(熊本)、吉朝朗 (熊本)、
徳田誠(東北大)、湯蓋邦夫(九大)、杉山和正 (東北大)

Local structure of Ni and Ni minerals in listvenite in the Nishisonogi unit Nagasaki metamorphic rocks.

Kohei Unokia* (Kumamoto Univ.), Tadao Nishiyama (Kumamoto Univ.), Ginga Kitahara (Kumamoto Univ.), Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ.), Makoto Tokuda (Tohoku Univ.), Kunio Yubuta (Kyushu Univ.), Masakazu Sugiyama (Tohoku Univ.)

Mineralogical studies of Ni minerals in listvenite in Nagasaki metamorphic rocks were performed by chemical analyses, single crystal structure analyses and XAFS measurements.

長崎変成岩西彼杵ユニット中に産するリストベナイト（炭酸塩化蛇紋岩：石英炭酸塩岩）に含まれる Ni 鉱物の鉱物学的検討を行った。西彼杵半島西部雪浦には超高压変成条件を示す蛇紋岩メランジュが産し、その温度圧力条件は 450°C, 2.8GPa 程度と推定されている[1]。リストベナイトは一般的には Cr と Ni に富む岩石であるが、雪浦のリストベナイトには Cr 鉱物は少なく、多様な Ni 鉱物が産出する。Ni 鉱物は、Millerite、Ulmannite、Gersdorffite、Violarite、Pentlandite など多様であり、Pyrite や Chalcopyrite も産する。Co は特に Violarite に凝集している。Ni を非常に多く含む Phengite も産する。これらの鉱物は複合粒子を形成しておりその組織から、Chalcopyrite や Chromite、Pyrite が初生鉱物であり、その後 Violarite、Millerite、Pentlandite が産し、Gersdorffite、Ulmannite、の順に晶出したと考えられる。化学組成分析と単結晶構

造解析、XAFS 測定を行った。これらの結果より、デバイ温度の θ_D 計算した。 θ_D は高い順から pyrite, Violarite, Millerite, Pentlandite, Ulmannite, Gersdorffite の順となり、産出順序と良い一致が見られた。Ulmannite と Gersdorffite の固溶体の産状と化学組成から、これらの間に不混和領域が存在することが判明した。この系の新たな相図を提唱する。また、Pentlandite の結晶構造と化学組成から温度・圧力の推定を行った[2]。雪浦のリストベナイト細粒部分特徴的な明るい緑色を呈する。XAFS 解析から、6 配位 Ni^{2+} の特徴的な占有が確認できた。Cr は Chromite に主に存在し、Co や Ni がカルコゲンやニクトゲン鉱物として沈殿していることなど、他の産地のリストベナイトと異なった点が多く見られた。

[1] T. Nishiyama et al. 2020

[2] K. Tsukimura et al. 1992

Keywords: listvenite (listwanite), Ni minerals, Ulmanite, Gersdorffite, Pentlandite

*Corresponding author: 194d8151@st.kumamoto-u.ac.jp

福岡県飯塚市八木山産の円筒状アメサイト

一色優希・武田侑也(九大・理・地惑)・上原誠一郎* (九大・博物館)・

延寿里美 (愛媛大・理工)

Cylindrical amesite from Yakiyama, Iizuka, Fukuoka Prefecture, Japan

Yuki Isshiki, Yuya Takeda (Dept. Earth & Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ.), Seiichiro Uehara*

(Kyushu Univ. Museum) and Satomi Enjyu (Ehime Univ.)

1. はじめに

蛇紋石は理想組成 $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ で、一般に少量の Fe や Al を含む。Mg に富む蛇紋石鉱物は円筒状のクリソタイル、板状で波状の超構造を持つアンチゴライト、板状のリザーダイトに分類される。蛇紋石と固溶体関係にある鉱物としてアメサイト(理想組成 $(Mg_2Al)(SiAl)O_5(OH)_4$) があり、一般に比較的粗粒の板状結晶として産する。昨年の年会で本産地の蛇紋岩体に伴うロジン岩中の Al-蛇紋石とアメサイトの産状等について報告した。今回、Al-蛇紋石とアメサイトの微細組織観察及び化学組成の検討を行った。その結果、ナノスケールの化学組成不均質および新しい蛇紋石鉱物の微細構造を見いだした。

2. 試料および実験

Al-蛇紋石・アメサイトの微細組織観察と化学組成を走査電子顕微鏡(SEM-EDS: JEOL JSM-7001F 等)および九州大学超顕微解析研究センターの透過電子顕微鏡(TEM-EDS JEOL JEM-ARM 200CF 等)を使用し検討した。

3. 結果

ロジン岩を切る Mg 端成分組成に近い蛇紋石あるいは Al-蛇紋石からなる細脈

に沿ってロジン岩の構成鉱物の変質部があり、Al-蛇紋石、アメサイトなどを生じている。試料 Rod3 では薄茶色透明のアメサイト中に白色不透明の Al-蛇紋石を産すると昨年報告したが、この白色部は微細な結晶で(約 50-300 nm), 化学組成の異なる円筒状、板状、繊維状、不定形の粒子からなっていた(Fig.)。化学組成は3相(アメサイト、蛇紋石、蛇紋石+タルク)に分けられる。この中で円筒状の粒子は内直径 80-250 nm, 外直径 120-350 nm, 長さ(最長) 2 μm で、Al 陽イオン数 1.3 (O=7) のアメサイト組成である。また、内部に板状結晶を伴うことが多い(Fig. 中の矢印の先)。この円筒状結晶は異常に大きな内径と外径を持つ特徴がある。

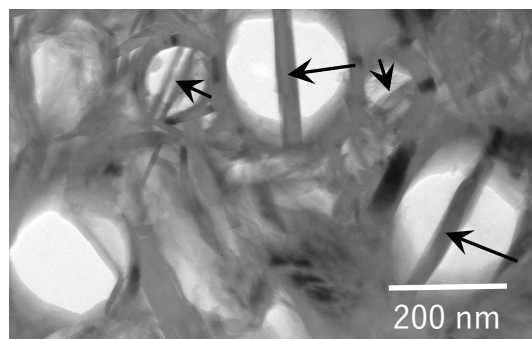


Fig. STEM BF image of large cylindrical amesites in the specimen Rod3 from Yakiyama, Iizuka, Fukuoka Prefecture, Japan. Arrows indicate platy crystals in cylindrical amesite.

Keywords: cylindrical amesite, Al-serpentine, new structure, Yakiyama

Corresponding author: uehara@geo.kyushu-u.ac.jp

北部フォッサマグナ地域から産出した千葉石の続報

門馬綱一・(国立科博)・宮島宏(糸魚川市議会議員)・下林典正(京大・院理)・

石橋隆(益富地学会館)・高山信之(フォッサマグナミュージアム友の会)・

長瀬敏郎(東北大総学博)・宮脇律郎・松原 聡(国立科博)・井尻暁(神戸大学)・

古川善博(東北大・院理)

Follow-up report on Chibaite from north Fossa Magna area, central Japan

Koichi Momma* (Nat'l. Mus. Nat. Sci.), Hiroshi Miyajima (Itoigawa City Council Member),

Norimasa Shimobayashi (Kyoto Univ.), Takashi Ishibashi (Masutomi Mus. Geo. Sci.), Nobuyuki Takayama (Friends of Fossa Magna Museum), Toshiro Nagase (Tohoku Univ., Mus.), Ritsuro Miyawaki, Satoshi Matsubara (Nat'l. Mus. Nat. Sci.), Akira Ijiri (Kobe Univ.), Yoshihiro Furukawa (Tohoku Univ.)

千葉石は千葉県南房総市荒川から産出し、2011年に記載されたシリカクラスレート鉱物で、結晶構造中にメタンやエタンなどの炭化水素ガス分子を含むことが特徴である。その後、2013年の鉱物科学会年会において、世界で2番目となる千葉石の産地として「北部フォッサマグナ地域から産出した千葉石」の報告を行なった。その際、私有地内に位置する露頭の荒廃を懸念して詳細位置は伏せていたが、このたび、地元自治体において天然記念物に指定されたことから、改めて続報として報告する。

千葉石の産出が確認されたのは長野県小谷村沖で、母岩は後期中新世の前沢層に貫入した鮮新世の安山岩の小岩体である。この安山岩体は、破碎構造が顕著であり、一部は角礫状を呈す。安山岩の裂隙および角礫の間を埋めて方解石・石英脈が発達し、部分的には炭酸塩岩質の砂岩が取り込まれている。こうした特徴から、この火成岩体は、未固結の海底堆積物に貫入したハイアロクラスタイトと考えられる。周囲には、堆積岩層に貫入した類似の小規模な火成岩体がいくつか存在するが、顕著な破碎構造を示し、千葉石の産出を確認できたのは、今のところ1つの岩体だけである。

産出する結晶の大半は石英の仮晶に変化しているが、一部、未変質の千葉石が確認された。原産地の千葉石は室温にて立方晶系から正方晶系への対称性低下が見られたが、本産地の千葉石は、単結晶 X 線構造解析の結果、平均構造については、骨格構造の最高の対称性である $Fd\bar{3}m$ であった。しかし、差フーリエ図では、酸素原子の周囲に顕著に残差がみられ、酸素原子がその平均位置の周囲に統計的にディスオーダーすることで、ローカルな対称性は依然として $Fd\bar{3}m$ よりも低下していることが示唆される。ガスクロマトグラフ同位体質量分析計による分析の結果、千葉石中のガス分子のモル比は、メタン 55%、CO₂ 38%、その他 *i*-ブタン、プロパン、エタン、*n*-ブタンの順であった。メタンの $\delta^{13}C$ は -42.2‰ であった。この同位体比は、熱分解起源のメタンの同位体比(およそ -25‰ ~ -50‰)と整合的である。

千葉石を産出した「沖岩体」そのもの、および「シリカクラスレート鉱物とその仮晶」の2件が、2021年4月に長野県小谷村の天然記念物に指定され、露頭の一部には盗掘を防止するための防護柵が設置された。

Keywords: chibaite, silica clathrate, pseudomorph, Fossa Magna

*Corresponding author: k-momma@kahaku.go.jp

北海道手稲鉱山から産出した Mn^{2+} が卓越する安四面銅鉱

門馬綱一・(国立科博)・清水正明(北陸能開大)・

草葉陽子(国立科博)・大木良弥(日本地学研究会)

Mn-dominant variety of tetrahedrite from Teine mine, Hokkaido

Koichi Momma* (Nat'l. Mus. Nat. Sci.), Masaaki Shimizu (Hokuriku Polytechnic College),

Yoko Kusaba (Nat'l. Mus. Nat. Sci.), Yoshiya Ohki (Nippon Chigaku Kenkyu-kai)

四面銅鉱の結晶構造は歪んだソーダライト型とみなすことができ、空間群 $\bar{I}43m$, 一般構造式は $M(2)_6M(1)_6X(3)_4S(1)_{12}S(2)$ ($Z = 2$) と書ける。 $M(2)$ および $M(1)$ の双方を Cu^+ が主に占める種として、従来は安四面銅鉱 (tetrahedrite, $X = Sb$) と砒四面銅鉱 (tennantite, $X = As$) に分類されていた。しかし、電荷バランスを保つためには2価の陽イオンが必須であるため、それぞれの組成式は $Cu_6[Cu_4(Fe,Zn)_2]Sb_4S_{13}$, $Cu_6[Cu_4(Fe,Zn)_2]As_4S_{13}$ といった形で書かれていた。一般に、たとえある元素がいずれの結晶学的サイトにおいても卓越しない場合であっても、それが電荷バランス上必須の元素である場合、本質的な構成元素として鉱物種を分ける基準として扱うことが基本である。そこで、四面銅鉱グループにおいても、2価の陽イオンにより種名を細分化するよう命名規約が改定された (Biagioni, *et al.*, 2020)。従来の安四面銅鉱と砒四面銅鉱は、2 価の陽イオンとして鉄が卓越するものと、亜鉛が卓越するもの、双方が古くから知られているため、鉄安四面銅鉱と亜鉛安四面銅鉱、鉄砒四面銅鉱と亜鉛砒四面銅鉱に細分され、その他の2価陽イオンを主体とする種は新鉱物として扱われることとなった。その後、水銀安四面銅鉱などが報告されているが、このたび、2価イオンとして Mn^{2+} が卓越する安四面銅鉱を見出したので報告する。

試料は手稲鉱山のズリより採集された 2 個体

の石英片で、 Mn^{2+} が卓越する安四面銅鉱は石英中に 2mm 以下の結晶粒として点在する。共生鉱物は重晶石、黄鉄鉱、および微細な鉄砒四面銅鉱である。鉄砒四面銅鉱は常に黄鉄鉱に接する一方、安四面銅鉱は黄鉄鉱と直接接することはない、また個々の結晶粒には累帯や離溶組織は見られず均質であった。波長分散型の EPMA により決定した実験式は $[Cu_{5.99}Ag_{0.01}]_{\Sigma 6}[Cu_{4.20}(Mn_{1.73}Zn_{0.14}Fe_{0.05})_{\Sigma 1.12}]_{\Sigma 6.12}(Sb_{2.22}As_{1.78})_{\Sigma 4}S_{12.75}$ である。単結晶 X 線回折法による結晶構造解析を行い、信頼度因子 $R1 = 0.0098$ の結果が得られた。 Mn^{2+} は $M(1)$ サイトに入ることが確認され、これは他の四面銅鉱グループの傾向と調和的である。また、 $M(2)$ サイト (ワイコフ位置 $12e$) を占める Cu の一部は、 $24g$ の位置に統計的にディスオーダーしていることが確認された。

この鉱物は四面銅鉱グループの新種に相当すると考えられるため、申請を準備中である。

参考文献

Biagioni, C., George, L. L., Cook, N. J., Makovicky, E., Močlo, Y., Pasero, M., *et al.* (2020). *Am. Mineral.*, **105**, 109–122.

Keywords: tetrahedrite group, tetrahedrite, tennantite, Teine mine,

*Corresponding author: k-momma@kahaku.go.jp

口頭講演 | R8: 変成岩とテクトニクス

■ 2021年9月17日(金) 14:00 ~ 16:45 | 📺 Zoom Session 1

R8: 変成岩とテクトニクス

座長: 中村 佳博(産総研)、遠藤 俊祐(島根大学)

[座長]

中村 佳博: R8-07~R8-11

遠藤 俊祐: R8-12~R8-16

14:00 ~ 14:15

[R8-07] ミャンマー・モゴック北方に見出されるUHT変成岩

Htay Khaing²、*小山内 康人¹、中野 伸彦¹、Dolzodmaa Bolgbaatar⁴、北野 一平³、Htet Zaw⁴、足立 達朗¹、大和田 正明⁵ (1. 九大・院比文、2. ミャンマー宝石研究所、3. 栃木県博、4. 九大・地球社会統合科学府、5. 山口大・理)

14:15 ~ 14:30

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

[\[Presentation award entry\]](#)

*Gabriel Theophilus Vinalay Valera¹, Tetsuo Kawakami¹, Betchaida Duetes Payot² (1. Kyoto Univ., 2. Univ. of the Philippines)

14:30 ~ 14:45

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

*河上 哲生¹、鈴木 将晏¹ (1. 京都大・院理)

14:45 ~ 15:00

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

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

15:00 ~ 15:15

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

*池田 勇人¹、河上 哲生¹、東野 文子¹ (1. 京都大・院理)

15:15 ~ 15:30

休憩

15:30 ~ 15:45

[R8-12] 青色片岩相Na輝石の非圧力依存的挙動

*薮田 渉¹、平島 崇男² (1. 無所属、2. 京大)

15:45 ~ 16:00

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

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

16:00 ~ 16:15

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

*Manzshir Bayarbold¹, Atsushi Okomata¹, Otgonbayar Dandar¹, Masaoki Uno¹, Noriyoshi Tsuchiya¹ (1. Tohoku University)

16:15 ~ 16:30

[R8-15] Occurrence of CH₄-N₂-bearing aqueous fluid inclusions in jadeite-bearing chlorite-grossular rock from the New Idria serpentinite body, California

*Rio Rio¹, Tatsuki Tsujimori¹ (1. Tohoku University)

16:30 ~ 16:45

[R8-16] 西彼杵変成岩雪浦メランジュ中のザクロ石の累帯構造

*西山 忠男¹、鵜木 康平¹、吉朝 朗¹ (1. 熊本大学先端科学研究部)

ミャンマー・モゴック北方に見出される UHT 変成岩

Khaing Nyein Htay (GIM, Myanmar)・小山内康人^{*}(九州大)・中野伸彦(九州大)・
Boldbaatar Dolzodmaa(九州大)・北野一平(栃木県博)・
Zaw Htet(九州大)・足立達朗(九州大)・大和田正明(山口大)

UHT metamorphic rocks from northern Mogok, Myanmar

Khaing Nyein Htay (GIM, Myanmar), Osanai, Y.^{*}(Kyushu Univ), Nakano, N. (Kyushu Univ),
Boldbaatar Dolzodmaa (Kyushu Univ), Kitano, I. (Tochigi Pref. Mus.),
Zaw Htet (Kyushu Univ), Adachi, T. (Kyushu Univ), Owada, M. (Yamaguchi Univ)

ミャンマーには、北部のチベット国境から南部のマレー半島基部を経てアンダマン海に至る南北を縦断するモゴック変成帯とよばれる狭長な変成岩分布域が存在する。同変成帯の中部に位置するマンドレーおよびやや北方のモゴック付近から南部では、近年詳細な変成岩岩石学的、地質年代学的解析が盛んに行われ (Yonemura et al., 2013, Maw Maw Win et al., 2016, Ye Kyaw Thu & Enami, 2018 など), 800°C を越える高温のグラニュライト相変成条件と始新世～漸新世の変成年代が報告されていた。Yonemura et al. (2013) は、モゴック北部の Grt-Opx グラニュライトから最高変成温度を 950°C と見積もったが、これまでは超高温変成条件を示す典型的な変成鉱物組み合わせなどは見出されていない。

今回、モゴック北方のモーメイック地域から、新たに典型的な変成鉱物(組み合わせ)を含む超高温変成岩類が見出された。モーメイック地域の変成岩類は、各種大理石を主体とし、多様な石灰珪質岩や花崗岩質片麻岩、泥質片麻岩、苦鉄質片麻岩、コンダライト質片麻岩などが挟在する。本報告では、Spl-Qz 共生を含む Grt-Sil-Qz-Kfs 珪長質片麻岩(以下、コンダライト)、および超高温変成条件下で減圧により形成された Opx-Crd-Spl コロナ状シンプレクタイトを含む Grt-Opx-Crd-Sil グラニュライト(以下、GOC グラニュライト)についての解析結果を中心に報告する。

コンダライトは細粒優白質な珪長質変成岩で、Grt, Sil, Kfs, Qz を主成分とし、Spl, Crd, Mag, Ilm を含む。ゴンドワナ諸地域に見られる典型的なコンダライトとは異なり、Gr は認められない。こ

の岩石では、 $Grt + Sil = Spl + Qz$ の反応が顕著である。一部では、 $Spl + Qz = Crd$ の後退変成反応もみとめられる。Grt, Spl ともに極めて Fe に富み、Spl + Qz シンプレクタイト形成反応の分配係数は $\ln K = 0.02$ を示して Bohlen et al. (1986) の実験結果に極めて近い反応曲線が想定され、5.5 kbar 以上では 900 °C を越える超高温変成条件が得られる。

一方、GOC グラニュライトは極めて粗粒でミグマタイト質片麻岩中にレンズ状ブロックとして見出される。後退変成に伴う Bt を除き、極めてドライな条件下での形成が示唆され、Grt, Sil, Crd, Opx, Spl, Pl, Kfs, Qz から構成される。これらの鉱物は全てが平衡共存するわけではなく、部分熔融反応を伴う時計回りの減圧昇温過程で、(1) Opx + Crd, (2) Crd + Spl, (3) Opx + Spl などのコロナ状シンプレクタイトが連続的に形成された。各種温度・圧力計や変成反応曲線網、および残存 Bt のフッ素含有量などから見積もられた GOC グラニュライトのピーク変成条件は、5.5～8 kbar, 850～1000 °C であり、コンダライトの変成条件と一致する。

GOC グラニュライトについて、予察的に LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代測定を実施した。3100 Ma から 60 Ma のコンコールド年代を示す多様なインヘリテッドジルコンの存在が確認されるとともに、 26.56 ± 0.76 Ma の変成年代がコンコーディア年代として得られた。このような漸新世の変成年代(30～20 Ma)は、近年モゴック変成帯の主要な変成年代として認識されるようになり、同変成帯の一部は主要な変成作用時に約 6.5 kbar, 950 °C の超高温変成条件に達していたことが明らかになった。

Keywords: Mogok metamorphic belt, UHT metamorphism, Spl-Qz symplectite, Opx-Spl-Crd corona, Oligocene.

^{*}Corresponding author: osanai@scs.kyushu-u.ac.jp

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

Gabriel Theophilus Valera^{1*}, Tetsuo Kawakami¹, Betchaida Payot²

¹Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

²National Institute of Geological Sciences, University of the Philippines

The slab-mantle interface separates the downgoing slab from the mantle wedge in arcs. This shear zone is the locus of complex mechanical and fluid-related processes which control the chemistry of fluids and/or melts passing through. During incipient subduction, the slab-mantle interface is sometimes preserved at the base of the ophiolite as a high grade metamorphic sequence. In this study, we present the petrographic and geochemical signatures of the Dalrymple Amphibolite, a mélange sequence which occur at the base of the Palawan Ophiolite, Philippines. The block-and-matrix sequence is composed predominantly of metamafic blocks which record prograde metamorphism (~625 °C, 11.5 kbar to ~700 °C, 13 kbar) surrounded by a hybridized matrix with comparable peak metamorphic conditions (~700 °C and 13 kbar). The surrounding matrix share characteristics of both metamafic and metasedimentary blocks and is composed of kyanite+ilmenite±Ca-amphibole±biotite±garnet±epidote.

The edge of some amphibolite blocks adjacent to the matrix are characterized by enrichment in light rare earth elements (REEs), Th, U, Nb and Ta relative to their mid oceanic ridge (MOR) basalt protolith. Such enriched signatures follow an apparent mixing line connecting metamafic and metasedimentary blocks in the ternary Ni-Th-Rb diagram. The same trend is followed by surrounding matrix. This indicate that the edges of the blocks may have experienced substantial mixing with the surrounding matrix material during matrix-forming deformation events and before recrystallizing at peak *P-T* conditions. The Grt amphibolite block B214-21 furthermore, is cut by a Qz-Ky vein and contain local Al-rich zones composed of Ky and Ep. These Al-rich zones occur in the interstices of Hbl and Grt and were possibly once dilatant sites filled with fluids equilibrated with the matrix. Rutile grains included in the prograde mantle and rim of Grt porphyroblasts of this sample record an abrupt increase in Nb content (= 161-6664 ppm) compared to those in the Grt core (= 175-266 ppm). This possibly indicate the pre-peak *P-T* mixing processes during matrix formation.

The geochemical characteristics of the matrix largely mirrors the REE and extended trace element patterns of some metasedimentary blocks. This is marked by enrichment in light REEs and large ion lithophile elements such as Th and Pb in the MORB-normalized spidergrams. Notable differences between the metasedimentary blocks and matrix were however also observed. At a given FeO/MgO ratio, the matrix has lower Cl, Si and Sr content and higher concentrations of Th, Ni, Zr, Al and light REEs with respect to the matrix. The potential role of mechanical mixing between end member components, i.e. mafic basalt, sediments and ultramafics, and fluid infiltration in controlling the chemistry of the matrix will be investigated.

Keywords: slab-mantle interface, fluid infiltration, Dalrymple Amphibolite

Corresponding author: gtv.valera@gmail.com

東南極セール・ロンダーネ山地メニパに産する 高度変成岩の温度圧力履歴

河上哲生*・鈴木将晏(京大・院理)

Pressure-Temperature path of high-grade metamorphic rocks from Menipa, Sør Rondane Mountains, East Antarctica

Tetsuo Kawakami*, Masayasu Suzuki (Kyoto Uni.)

東南極セール・ロンダーネ山地 (SRM) には、四国一島分程度の広さにわたり約 6-5 億年前の中部～下部地殻岩石が露出している。本地域は Main Tectonic Boundary (MTB) を境として、SW テレーンと NE テレーンに分けられる。変堆積岩類に含まれる碎屑性ジルコンの年代的制約に加え、SW テレーンの高度変成岩類が反時計回りの温度圧力 (P - T) 履歴を持つ一方、NE テレーンの高度変成岩類が時計回りの P - T 履歴を持つことから、約 650-600 Ma に NE テレーンが SW テレーン上に衝上したとされる[1]。[1]は、これが East African Orogeny で形成された岩石からなる Namuno Terrane (Nmn) と、Nampula Terrane (Nmp) の衝突時に起きた可能性が高く、MTB がその衝突境界であると考えた。

一方、[2]は SRM 東部のバルヒェン地域の変成温度圧力時間履歴がモザンビーク北部の Nmp の一部と類似することから、SRM は、Nmn などからなる北ゴンドワナと、Nmp や西ドロニングモード・ランドからなる南ゴンドワナの衝突 (Kuunga Orogeny) に伴って定置した巨大ナップの下盤側の一部であると考えた。このように、SRM を形成したテクトニクスについては諸説あり、その検証には、変成岩類の温度圧力時間履歴の解析を、SRM 全域にわたって広げる必要がある。

そこで本研究では SRM 中央部メニパ地域の変成温度圧力条件の推定を行った。試料は Bt-Sil-Grt 片麻岩で、直径 4 mm 程度のザクロ石を多数含む。ザクロ石は組織的なセクター構造を示すことが多く、Y によるゾーニングを用いてコアとリムに分けられる。主要元素はコアからリムに向かって Ca が減少し、Mg が若干増えるゾーニングを示す。コアは包有物に富み、マト

リクスに比して高い An 値を持つ斜長石が多数包有されるが Al_2SiO_5 鉱物は包有されない。リムには主として珪線石が包有され、藍晶石と珪線石がともに包有されるザクロ石も 1 粒存在した。マトリクスには珪線石のみが産する。コア・リムともにルチルが多数包有されることから、Zr-in-Rt 地質温度計[3]を適用したところ、コアのルチルは 1.0 GPa を仮定すると約 680-820°C、リムのルチルは約 0.9-1.15 GPa で約 750-870°C の温度を与えた。一方、ザクロ石と接する 2 次的な斜長石、黒雲母、ザクロ石リムの組成ペアにザクロ石-黒雲母地質温度計と GASP 地質圧力計[4]を適用すると約 0.38 GPa で約 610°C を得た。これらの条件間の履歴はまだ明らかではないが、時計回りに近い P - T 履歴が得られる可能性が高い。この変成作用の年代は、約 600 Ma である可能性が高く[5]、こうした P - T - t 履歴は[1]のモデルに合わない結果である一方、バルヒェン地域で得られている履歴[6]に近い。[2]の説が SRM 中央地域にも適応可能かどうかの検証には、本研究試料の *in situ* 年代決定に基づく詳細な P - T - t 履歴の構築とともに、SRM の他地域での、同様の成果が待たれる。

[1] Osanai et al. (2013) Precambrian Res. [2] Grantham et al. (2013) Precambrian Res. [3] Tomkins et al. (2007) JMG [4] Holdaway (2001) Am Min. [5] 仁木ほか (2021) 日本鉱物科学会講演要旨 [6] Higashino et al. (2013) Precambrian Res.

Keywords: collision zone, P - T path, granulite, crust

*Corresponding author,

t-kawakami@kueps.kyoto-u.ac.jp

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

仁木創太(東京大), 河上哲生(京都大), 足立達朗(九州大), 宇野正起(東北大), 東野文子(京大), 平田岳史(東京大)

Uranium-Lead ages of grossular, titanite and apatite in a pelitic schist (Menipa, Sør Rondane Mountains, East Antarctica)

Sota Niki (Univ. Tokyo), Tetsuo Kawakami (Kyoto Univ.), Tatsuro Adachi (Kyushu Univ.), Masaaki Uno (Tohoku Univ.), Fumiko Higashino (Kyoto Univ.), Takafumi Hirata (Univ. Tokyo)

局所年代測定法が適用可能な鉱物種は限定的であり, このことは様々な鉱物の年代値比較を通じた変成履歴の解明を妨げてきた. 特に柘榴石は変成条件の指標鉱物である一方, 低いウラン濃度のため局所年代測定が困難であった. しかしながら, 近年のレーザーアブレーション ICP 質量分析法(LA-ICP-MS)の改良[1-3]に伴い, 柘榴石を含む多種類の鉱物に対する正確かつ高精度な局所ウラン-鉛(U-Pb)年代測定が可能となった[4].

本研究では東南極セール・ロンダーネ山地(SRM)メーニパに産する泥質片岩に着目し, 三種類の鉱物(柘榴石; チタン石; 燐灰石)に対する LA-ICP-MS を用いた局所 U-Pb 年代測定を試みた. 泥質片岩中には主要構成鉱物として含 V 柘榴石(~0.6-21.2 wt%V₂O₃)が産し, その産状から Type 1-3 に分類される[5].

Type 1 は粗粒な緑色柘榴石部分である. 柘榴石の U 濃度は約 3 ppm であり, U-Pb 年代は 612.2±7.7 Ma (95%信頼区間)であった. Type 1 の外縁部にはケリファイト組織を示す Type 2 の細粒結晶が存在する. Type 2 の柘榴石は U をほぼ含まず, 同組織中の U 濃集鉱物はチタン石(300-600 ppm U)であった. その U-Pb 年代は 527±11 Ma (95%信頼区間)

であった. 更にケリファイトリム外縁部には Type 3 柘榴石が産するが U 濃度は低く, 燐灰石が U 濃集鉱物 (50-90 ppm U) として産する. 燐灰石の U-Pb 年代は 496.0±8.6 Ma (95%信頼区間)であった.

本研究試料中には 1 つの柘榴石分解組織中に SRM における 1 億年の歴史が記録されていると言える. 柘榴石の 612.2±7.7 Ma は柘榴石を形成した累進変成作用の時期であり, 燐灰石の 496.0±8.6 Ma は燐灰石 U-Pb 系の閉鎖温度(c.a. 500°C)に制約される冷却年代だと考えられる. チタン石の 527±11 Ma は Type 1 柘榴石が分解・再結晶した時期, もしくはチタン石 U-Pb 系の閉鎖温度(c.a. 600°C)に対応する冷却年代だと考えられる. 前者の場合, 約 530 Ma に貫入した花崗岩体[6]を熱源として再加熱が起こり, 流体活動が駆動され, 柘榴石と流体との反応によりチタン石が形成した可能性がある. 後者の冷却年代である可能性も検討し, 鉱物粒子内部での U-Pb 年代の分布から温度履歴再構築を試みる.

引用文献: [1] Hattori, K. et al., 2017, *JAAS*. [2] O-bayashi, H. et al., 2017, *JAAS*. [3] Makino, Y., Kuroki, Y., Hirata, T., 2019, *JAAS*. [4] Niki et al., 2021, *JpGU*. [5] Osanai, Y. et al., 1999, *Nankyoku Siryo*. [6] Erburg et al., 2016, *Jour. Geol.*

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

池田勇人*・河上哲生・東野文子(京大・院理)

Counterclockwise and clockwise P - T histories recorded in a single sample? (Brattnipene, Sør Rondane Mountains, Antarctica)

Hayato Ikeda*, Tetsuo Kawakami, Fumiko Higashino (Kyoto Univ.)

東南極セール・ロンダーネ山地には Gondwana 大陸形成時の下部地殻が露出している [1]。同山地は Main Tectonic Boundary (MTB) を境として、時計回りの温度-圧力-時間 (P - T - t) 履歴と約 1200 Ma より古い碎屑性 U-Pb Zm 年代を示す高度変成岩類からなる NE テレーンと、反時計回りの P - T - t 履歴と約 1200 Ma より若い碎屑性 U-Pb Zm 年代を示す SW テレーンに区分される [2]。ブラットニーパネは同山地中央部の SW テレーンに属し、反時計回りの P - T 履歴が報告されてきた [3, 4]。本研究では、ブラットニーパネ中指尾根から採取した、Grt-Sil-Bt 片麻岩 1 試料を用いて P - T 履歴の制約を行った。

本試料は主に Grt, Bt, Sil, Crd, Qz, Kfs, Pl からなり、副成分鉱物として Rt, Zm, Ap, Mnz, Po, Py, Gr を含む。面構造は Bt と Sil の配列で定義され、面構造と平行に石英リボンが発達する。本試料は、Pl が卓越する層と、Grt と Bt が卓越する層に区分できる。Pl が卓越する層に含まれる Grt A は粒径約 1 mm で、Sil を包有する。Grt A のリムは、Bt+Pl+Ky+Sil+Qtz+Rt の鉱物組合せに分解しており、

$\text{Grt A} + \text{Kfs} + \text{H}_2\text{O} \text{ or melt} \rightarrow \text{Bt} + \text{Pl} + \text{Ky} + \text{Sil} + \text{Qtz} + \text{Rt} \text{ (1)}$ の減圧反応で形成されたと考えられる [6]。(1) の反応は先行研究 [3] で提案されている反時計回りの P - T 履歴の根拠の 1 つである。さらに Grt 直近ではより細粒な Bt + Pl に分解している。Ky+Sil を含む分解組織中に産する Rt (Cr~370 ppm, V~1900 ppm, Nb~8100 ppm) に Zr-in-rutile 地質温度計 [5] を適用すると、Ky/Sil 境界付近の圧力 (0.9 GPa) で約 770 °C の P - T 条件を得た。これは Grt A の分解反応の条件を記録していると解釈した。

一方、Grt と Bt が卓越する層に含まれる Grt B は粒径約 8 mm であり、Sil, Qz, Rt, Zm, Bt, Crd を包有する。Grt B に包有される Rt (Cr~150-290 ppm, V~1200-1900 ppm, Nb~430 ppm) に Zr-in-rutile 温度計 [5] を適用し、マトリクスの Sil と Qz と共存する Pl と Grt B に Grt-Als-Qz-Pl (GASP) 地質圧力計 [7] を適用すると、750-850 °C, 0.5-0.7 GPa の P - T 条件を得た。Grt B に包有される Sil の一部はクラ

ックでマトリクスに繋がっており、Grt B と Sil の間に局所的に薄い Crd+Spl の層が発達することから、次の減圧反応で形成されたと考える。

$\text{Grt B} + \text{Sil} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Crd} + \text{Spl} \text{ (2)}$

Grt B のリムには、Sil, Po, Bt, Rt を含む Crd+Qz のシンプレクタイトが発達する。Crd+Qz シンプレクタイトは Grt を消費して、減圧過程で形成されたと考える [6]。Crd+Qz シンプレクタイト中に産する Rt (Cr~370-580 ppm, V~1900-2200 ppm, Nb~310-370 ppm) からは、0.4 GPa を仮定すると 750-800 °C の T 条件が得られた [5]。さらに、Crd+Qz シンプレクタイトを切って、Bt+Pl+Sil インターグロウスが発達する。

また、両層に共通して、繊維状 Ky+Qz+Sil±Spl ±Po からなる脈状の鉱物集合体がマトリクスの結晶粒界に沿って、あるいは、Grt リムの分解組織を切るように発達する。本試料中に産する Rt はいずれも同程度の温度を示すが、産状による Cr, V, Nb 濃度の系統的な違いを有する。これは Rt 形成反応の違いを反映し、それぞれの Rt に Zr-in-Rt 地質温度計を適用して得た温度条件はそれぞれの Rt の形成温度を記録していると考えられる。

Grt A リムの分解組織は先行研究により提案されている反時計回りの P - T 履歴を示唆する一方、Grt B は Sil 安定領域内での減圧を伴う時計回りの P - T 履歴を示す。Grt B 形成時の P - T 条件は、Grt A の分解組織と比べて低圧かつ高温である。以上より、単一試料から時計回りの P - T 履歴と反時計回りの P - T 履歴を示唆する組織が得られた。ブラットニーパネからは時計回りの P - T 履歴は今まで報告がない。今後 2 種類の Grt の前後関係や形成年代を制約し、 P - T 履歴の全体像と、テクトニクスの解明を進める。

引用文献: [1] Jacobs et al., 2003, Precam. Res., 126, 27-53. [2] Osanai et al., 2013, Precam. Res., 234, 8-29. [3] Adachi et al., 2013, GSL, 383, 113-133. [4] Baba et al., 2013, Precam. Res., 234, 210-228. [5] Tomkins et al., 2007, JMG, 25, 703-713. [6] Spear et al., 1999, CMP, 134, 17-32. [7] Holdaway, 2001, Am. Min., 86, 1117-1129.

Keywords: continental collision, granulite, Zr-in-rutile geothermometry, trace element

*Corresponding author: ikeda.hayato.78c@st.kyoto-u.ac.jp

Non-barometric behaviour of Na pyroxenes in blueschist(BS)-facies metamorphic rocks

YABUTA Wataru*, HIRAJIMA Takao (Kyoto University)

We provide a report on the chemical compositions of Na pyroxenes (Na-Px) in low-grade metabasaltic and metasiliceous rocks and envisage the reaction relations involving them.

Na-Px provides premier pressure indicators applicable to a wide range of metamorphic rocks. Although thermodynamic modelings have been developed to reproduce natural mineral assemblages in most P-T ranges (Carpenter, 1980; Holland, 1983; Holland and Powell, 1996; Green et al., 2007; Diener and Powell, 2011), Jd-Di-Aeg ternary diagram is still under debate. Therefore, observations on natural occurrence have a crucial role in constraining such models.

The Hakoishi sub-unit (Kamimura et al., 2012), in the Yatsushiro area, Kyushu, Japan is represented by the intercalation of metachert and metabasaltic rocks in serpentinite melange. The metabasaltic rocks are characterized by the mineral assemblage of Pmp + Na-Px + Chl or Lws + Na-Amp + Pmp, with the latter Amp-bg. one representing higher grades. The sub-unit is interpreted as a former oceanic crust metamorphosed at 30 km depth (200-300 °C, 0.45-0.80 GPa; Sato et al., 2016). The metacherts in the study area are mixed with Fe/Mn ores to various extents.

In the metacherts, Na-Px occurs as acicular or fibrous grains, coexisting with Chl + Pmp, Chl + Lws or Lws + Ab in the Qz-rich part and Na-Amp + Pmt in the Fe-rich parts. In addition, Na-Px occurs as mono-mineralic veins, possibly synchronous to the matrix Na-Px. Generally, the Na-Px are Di-poor and show a variety of Jd contents, perhaps reflecting the Ca-poor nature of metacherts. With importance, 2 points characterise the observations: (1) chemical variations within a hand-specimen size ($X_{Jd} = 0.3-0.45$ in Qz-rich part and $0.15-0.25$ in Fe/Mn-rich parts) (2) strong correlation of Jd contents to the presence of Na-Amp ($X_{Jd} = 0.15-0.35$ in coexistence, $0.20-0.60$ in others).

Interestingly, this tendency is also the case for Na-Px in the metabasaltic rocks in the study area (Sato et al., 2016); Na-Px associated with Na-Amp is Jd-poorer than those in Na-amp-free samples even in the higher-grade area. We performed Schreinemakers' analysis of the phase relations in both metabasaltic rocks and metacherts to evaluate the effect of Na-Px compositions. The revised Schreinemakers' nets in the two systems suggested that the Na-Amp bearing assemblages (1) should occur in higher grades of the study area and (2) could have a stability field enlarged to lower-grade when Jd-poor (and Di-rich) compositions are assumed.

These observations demonstrate difficulty in determining representative compositions of Na-Px in low-grades and needs for further natural observations. As for now, we conclude that (1) Jd components of Na-Px in the Di-Poor Aeg-Jd system are affected by other associated minerals, even when coexisting with Ab and Qz and (2) Na-Amp effectively reduces Jd contents when coexisting with Na-Px, in BS facies.

keywords: Na pyroxene, Blueschist, Geobarometry, Schreinemakers' analysis

*corresponding author: YABUTA W. yabuta.wataru.25n@kyoto-u.jp

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

OTGONBAYAR DANDAR^{1*}, ATSUSHI OKAMOTO¹, MASAOKI UNO¹

¹ Department of Earth Science, Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

The nucleation and growth history of crystals during metamorphism are recorded both as crystal size distribution (CSD) and compositional zoning from core to rim. In particular, the crystal size distribution of garnet has been investigated and modeled by relative rate of nucleation and growth, and coupled with diffusion. As garnet is commonly formed during prograde metamorphism, the incremental amount of the garnet growth at individual P-T conditions is essential information to elucidate the water release at the subduction interfaces. Conventionally, there are two type models on CSD; one is the nucleation and growth rates are defined as a function of time (e.g., Špillar V. & Dolejš D. 2013), and the other one is growth rate is defined as the size (Eberl et al., 1998). However, it is still uncertain which model is more appropriate, as the data aquations of CSD from thin sections and the composition of “true” core are very difficult due to the cut effects. In this contribution, we showed the detailed data showing the relationship between CSD and compositional zoning of garnet in the Kotsu eclogite and basic schist in the Sanbagawa metamorphic belt, Japan. This eclogite sample is suitable to this trial, because garnet grains show euhedral shape and record two-stage growth history composed of the core containing abundant mineral inclusions (epidote, plagioclase, chlorite, carbonate, titanite, quartz, and omphacite) and poor-rim.

The crystal growth of garnet in the eclogite is divided into two stages. The garnet grains are euhedral and composed of the inclusion-rich core (stage 1) and poor-rim (stage 2). The core shows prograde zoning (from core to rim), characterized by decrease of X_{Mn} (0.025 to 0.005), increase of X_{Mg} (0.06 to 0.12), decrease of X_{Fe} (0.65-0.55), and almost constant of X_{Ca} (0.27-0.35). The smaller cores have lower Mn and higher Mg contents, suggesting that nucleation at the later stage. All grains have an inclusion-poor rim showing Mn increase. Similarly, the crystal growth of garnet in the basic schist is divided into two stages: core showing increase of X_{Fe} (0.52-0.65) and rim displaying decrease of X_{Fe} (0.65-0.56). One of the interesting observations is a positive relationship between the diameter of the inclusion-rich core and the growth width of the inclusion-poor rim, meaning that the growth rate is proportional to the grain size. We will construct the nucleation and growth model to reproduce the CSD and the trend of growth zoning, and discuss the mechanism and water production history.

Keywords: Crystal size distribution, Compositional zoning, the Kotsu eclogite, Sanbagawa belt

*Corresponding author: dandar.otgonbayar.a7@tohoku.ac.jp

Formation of garnet aggregate of the Khungui eclogite in the Zavkhan Terrane, Western Mongolia

Manzshir Bayarbold^{*}; Atsushi Okamoto; Otgonbayar Dandar; Masaaki Uno, Noriyoshi Tsuchiya

Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

Garnet is one of the most important minerals that records the dehydration process within the subduction zone. The chemical composition of garnet is usually used to constrain the P-T conditions, but the fluid chemistry and the amounts of fluids related to the garnet formation are not fully understood within the deep subduction zone. For example, previous studies suggested that the mobility of HFSE (Ti, Nb, and Ta) are high in the eclogite-facies conditions compared to the low-grade rocks (Chen et al. 2018). In this study, we report the novel texture of garnet aggregate from the Khungui eclogite in the Zavkhan terrane of western Mongolia. We reveal that the variation of garnet texture and compositional zoning is closely related to the occurrence of the distribution of Ti-bearing minerals (rutile, ilmenite, and titanite).

The Khungui eclogite consists of garnet, omphacite, quartz, amphibole (barrosite, taramite, hornblende), phengite, plagioclase, epidote, Ti-bearing minerals, with minor K-feldspar, zircon and carbonate mineral. Based on the mineral assemblage, three metamorphic stages can be classified: pre-eclogite, eclogite (2.0–2.1 GPa, 445–610 °C), and decompression (0.5–1 GPa, 540–615 °C). The eclogite stage is presented by garnet + omphacite + barrosite + epidote + phengite + rutile. Based on the garnet microstructure and modal abundances of minerals, the Khungui eclogite is composed of two-types of layers: layer I consists of garnet aggregate (GA), quartz and abundant Ti-bearing minerals whereas layer II composed of single garnet grain (SG) with epidote and omphacite. The major element (Fe, Ca, Mg, and Mn) compositional zoning of the GA shows asymmetric zoning whereas the SG shows symmetric zoning. The EBSD analysis reveals that the GA contains numerous small individual garnet grains that are separated by high angle orientations and the grain boundary of the GA is not controlled by the major element zoning. The GA has inclusions of rutile and shows the close spatial relationship with rutile, ilmenite, and titanite in matrix which are revealed through an analysis of thin section (Microscopy), element map (EPMA), and core sample (μ X-ray CT). In addition, each garnet grains of GA and SG show the concentric zoning of a trace element such as V, Ti and are increasing concentration core to rim. The GA was often fractured and shows the Mn-rich compositions along the fracture that is close to Ti-bearing minerals which reveals that they formed in order of rutile => ilmenite => titanite at the retrograde stage. These observations suggest that nucleation of garnet to form aggregate could be induced by infiltration V and Ti-rich aqueous fluid at the eclogite-facies condition, and also later fluid-infiltration caused the modification of garnet to form asymmetric compositional zoning of the GA and Ti-bearing minerals (ilmenite to titanite) at the exhumation stage.

Keywords: Garnet aggregation, Fluid infiltration, Ti-mobility, HP metamorphism

^{*}Corresponding author: bayarbold.manzshir.t1@dc.tohoku.ac.jp

References

Chen W, Xiong X, Wang J, et al (2018) TiO₂ Solubility and Nb and Ta Partitioning in Rutile-Silica-Rich Supercritical Fluid Systems: Implications for Subduction Zone Processes. *J Geophys Res Solid Earth* 123:4765–4782. <https://doi.org/10.1029/2018JB015808>

ニューイドリア蛇紋岩体産のひすい輝石を含む緑泥石-グロシュラー岩中のメタンと窒素を含む流体包有物

リオ*・辻森 樹 (東北大)

Occurrence of CH₄-N₂-bearing aqueous fluid inclusions in jadeite-bearing chlorite-grossular rock from the New Idria serpentinite body, California

Rio* and Tatsuki Tsujimori (Tohoku Univ.)

New Idria serpentinite body in California represents an exhumed forearc serpentinite containing jadeite precipitated in the mantle wedge. Jadeite-bearing chlorite-grossular rock found in the Clear Creek of the New Idria serpentinite is one of the metasomatic ‘jadeitite’ varieties with a botryoidal texture. The rock consists mainly of chlorite, grossular, and jadeite; irregular-shaped grossular aggregates and euhedral to subhedral jadeites occur in the chlorite-rich matrix. The brittle deformation features of the grossular aggregates suggest the grossular formation prior to jadeite. The characteristic botryoidal growth texture and mineralogical features of the rock indicate that the rock preserves an incipient formation process of jadeite in serpentinite.

We studied primary fluid inclusions hosted in jadeite and grossular in the jadeite-bearing chlorite-grossular rock. Jadeite crystals contain abundant, relatively large, two-phases liquid-rich inclusions (~1.5–6 μm in size) (Figure 1). The fluid inclusions are commonly isolated and/or form clusters with various shapes, including irregular, ellipsoid, and prismatic shapes. Over 200 Raman spectroscopy analyses have identified three groups of fluid inclusions comprising M, MN, and N-types. There were, however, no relations among the shape, size, and fluid types. Type-M (mixed CH₄-H₂O) and type-MN (mixed CH₄-N₂-H₂O) inclusions are found in jadeite crystals. The distribution of those two types of inclusions within a single jadeite crystal is random; they can be found next to each other. In contrast, type-N (mixed N₂-H₂O) inclusions occur characteristically in grossular. Although the type-MN inclusions are also found in grossular, no type-M was confirmed similarly in grossular.

N₂-rich fluids have been found in some mantle xenoliths and rare orogenic eclogites. However, they commonly coexist with CO₂-rich fluids. Despite CH₄-bearing aqueous fluids are very common in jadeite-rich (or -bearing) metasomatic rocks associated with serpentinite, N₂-bearing fluids seem extremely rare in the ‘jadeitite’ (*sensu lato*). H₂, CH₄, and N₂ gas mixtures have been reported from serpentinization-related hyperalkaline springs and/or olivine-hosted fluid inclusions in mantle wedge serpentinites. Recent studies notably concluded that the abiogenic CH₄ generation was linked with serpentinization. Naturally, the source of CH₄ of the New Idria jadeitite and the related-metasomatic rocks can correlate to a serpentinization process. In addition, previous geochemical studies of New Idria jadeitite revealed that the jadeite-forming fluids therein were derived from metasedimentary rocks. Considering the hypothesis, the N₂ was also most likely derived from the subducted sediments.



In this contribution, we will report the occurrence of the CH₄-N₂-bearing aqueous fluid inclusions and discuss the possible source of nitrogen. Our finding might bring new insights into the nitrogen cycle in the mantle wedge.

Figure 1. Primary aqueous fluid inclusion in a jadeite crystal.

Keywords: jadeite, fluid inclusion, nitrogen, methane, serpentine

*Corresponding author: rio.s2@dc.tohoku.ac.jp

西彼杵変成岩雪浦メランジュ中のザクロ石

の累帯構造

西山忠男*・鵜木康平・吉朝 朗（熊本大理）

Garnet zoning in the Yukinoura serpentinite mélange, the Nishisonogi metamorphic rock.

Tadao Nishiyama*, Kouhei Unoki and Akira Yoshiasa (Kumamoto U.)

九州西端西彼杵変成岩の雪浦メランジュは、マイクロダイヤモンドを産することから超高压変成作用で形成された蛇紋岩メランジュであることが明らかになった[1]。一方、メランジュ中のメタベイサイトや泥質砂質片岩中からは、マイクロダイヤモンド（およびコーサイト仮像）以外に超高压変成作用を示唆する鉱物は見だされていない。そこで、これらの変成岩の形成条件を、ザクロ石の累帯構造により検討した。

雪浦メランジュでは、塊状蛇紋岩の一部に、泥質砂質片岩ならびに塩基性片岩が、大小さまざまの小岩体（最大 $200 \times 100 \text{ m}^2$ ）ならびにブロック（径 2~5m 大の構造岩塊）として含まれる。塩基性片岩の鉱物組み合わせは、ザクロ石 + Ca 角閃石 + アルバイト ± 緑簾石 ± 緑色黒雲母 ± フェンジャイト ± 緑泥石で、オンファス輝石仮像とローソン石仮像と思われる鉱物集合体が含まれる。ザクロ石中の包有物として、多量のチタン石が含まれ、まれに藍閃石とパラゴナ

イトが含まれる。ザクロ石はスペサルティン成分に乏しいアルマンディン-グロッシュュール系列の組成を有し、リムでグロッシュュール成分が最大 40% にまで増加する累帯構造を示す。

泥質片岩の鉱物組み合わせは、ザクロ石 + フェンジャイト + 緑泥石 + 緑簾石 + アルバイト + 石英で、ザクロ石の組成はコアで $\text{Alm}_{70}\text{GrS}_{25}\text{Sps}_5$ ~ $\text{Alm}_{60}\text{GrS}_{25}\text{Sps}_{15}$ 程度であり、リムで急激にグロッシュュール成分が増加し、 $\text{Alm}_{50}\text{GrS}_{40}\text{Sps}_{10}$ 程度となる。リムにおけるグロッシュュール成分の増加は、 $2 \text{ チタン石} + 2 \text{ クリノゾイサイト} + \text{石英} = 3 \text{ グロッシュュール} + \text{ルチル} + \text{H}_2\text{O}$ という反応で説明可能であり、この反応は右辺が高压である。このような顕著な圧力増加を示す累帯構造は西彼杵変成岩の他の地域のザクロ石では見られない。このことから雪浦メランジュが他地域の西彼杵変成岩より高压の条件を受けたことは間違いない。

[1]Nishiyama et al. (2020) Sci.Rept

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

■ 2021年9月17日(金) 14:00 ~ 16:45 | 金 Zoom Session 3

S1, S4: 火成作用及びプレート収束域の物質科学合同セッション

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

[座長]

Dyuti Prakash Sarkar: S1, S4-01 ~ S1, S4-04

浜田 盛久: S1, S4-05 ~ S1, S4-09

14:00 ~ 14:30

[S1, S4-01] 紀伊半島下のゆっくりすべり、スラブ内地震と内陸地震

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

14:30 ~ 14:45

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

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

14:45 ~ 15:00

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

*佐久間 博¹、Moore Diane²、Lockner David² (1. 物材機構、2. USGS)

15:00 ~ 15:15

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

*安東 淳一¹、兒島 巧太¹、DAS Kaushik¹、富岡 尚敬²、上原 誠一郎³ (1. 広島大、2. JAMSTEC・高知コア研、3. 九州大)

15:15 ~ 15:30

休憩

15:30 ~ 15:45

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

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

15:45 ~ 16:00

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

「発表賞エントリー」

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

16:00 ~ 16:15

[S1, S4-07] 流紋岩質メルト中における炭素同位体の拡散分別

*川原 爽¹、吉村 俊平¹ (1. 北大・院理)

16:15 ~ 16:30

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

「発表賞エントリー」

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

16:30～16:45

[S1,S4-09] 火道上昇履歴に応じた石基輝石晶相変化の実験的検証

「発表賞エントリー」

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

紀伊半島下のゆっくりすべり，スラブ内地震と内陸地震

北佐枝子*（建築研，UC バークレ）、Heidi Houston（南カリフォルニア大）、

矢部優（産総研）、田中佐千子、浅野陽一（防災科研）

澁谷拓郎、須田直樹（広大・院先進理工）

Relationship of slow earthquakes to intraslab and inland earthquakes in the Nankai subduction zone

Saeko Kita* (BRI & UC Berkeley), Heidi Houston (USC), Suguru Yabe (AIST), Sachiko Tanaka, Youichi Asano (NIED), Takuo Shibutani (DPRI, Kyoto Univ.), Naoki Suda (Hiroshima Univ.)

日本列島の陸プレートと海洋性プレートの境界では「ゆっくりすべり」と呼ばれる、継続時間の長い地殻変動現象が、東北沖及び南海トラフ等で発生していることが知られている。「ゆっくりすべりが発生すれば、その下の海洋性スラブ内での応力場や地震活動も変化する」と考え、紀伊半島下にて発生する短期的スロースリップイベントと呼ばれる繰り返し周期約6ヶ月のゆっくりすべり発生前後のスラブ内地震の観測データ（防災科研による発震機構解，気象庁一元化震源）約17年分の時間変化を調べた。なお，ゆっくりすべり(slow slip)は，深さ30-40km程度にて深部低周波微動(episodic tremor)も伴って発生するため，以下ETSとして記す。

得られた結果は下記の通りである。1) ETS発生前後のスラブ内の応力軸の変化を捉えられ，さらに応力軸の変化が ETS 発生域直下(5度)と比べ，より浅部の領域で大きいこと(12度)を見出した。また，その浅部の領域でも，ETS後にゆっくりすべりを示唆する地震活動が見られた。これらの結果は，測地学的研究(Kano and Kato, 2020)で報告のある ETS 後の浅部でのゆっくりすべりを，地震データ解析でも検出可能なことを意味する。また2) ETS 発生約1ヶ月前にスラ

ブ内地震の b 値のピーク及び発生個数の急激な上昇が見られた。これらの特徴は，流体注入による誘発地震の特徴[Bachmann et al. 2012]に似ており，スラブ内からプレート境界への流体の流入により ETS が発生することを意味すると考えられる。Ujiie et al. [2018]では，ゆっくりすべりの発生周期への石英脈形成の関与が指摘されており，ETS 前後でのスラブ内の応力軸の回転にも，石英脈の形成過程の関与があるかもしれない。

紀伊半島の内陸地震についても調べたところ，ETS後に活発になるクラスターも見つかった。さらなる詳細な解析により，流体を介した沈み込み帯における地震・地殻変動現象間の関係の解明が期待される(図1)。

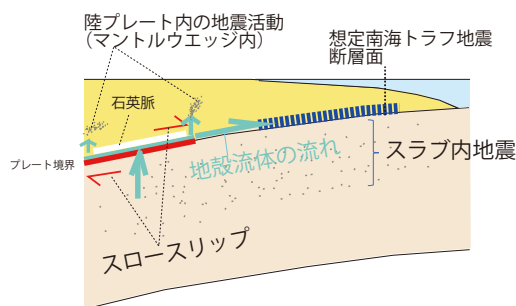


図 1: 紀伊半島下でのスロースリップ，スラブ内地震，マントルウエッジ内の地震活動と地殻流体との関係（概念図）

Key words: Slow earthquake, Intermediate-depth intraslab earthquake, Stress field, Quartz vein, b-value

Corresponding author: kita@kenken.go.jp

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

藤岡里帆, 片山郁夫 (広島大・院理), 北村真奈美 (産総研),
奥田花也 (東京大・大気海洋研) 廣瀬丈洋 (海洋研究開発機構)

Depth profile of frictional properties inferred from cuttings obtained at the Nankai Trough C0002 drilling site

Riho Fujioka*, Ikuo Katayama (Hiroshima Univ. Sci.), Manami Kitamura (AIST),
Hanaya Okuda (Univ. of Tokyo, AORI), Takehiro Hirose (JAMSTEC)

南海トラフの地震発生メカニズムを解明するために、2007年から2019年にかけて、南海トラフ地震発生帯掘削計画(NanTroSEIZE)がIODPの一環として実施された。これまでの摩擦実験の研究では、IODP掘削計画で採取されたコアサンプルを用いて行われていたが(e.g., Takahashi et al.2014; Ikari et al.2018)、これらのサンプルは南海付加体の比較的浅い部分から採取されたものであった。本研究では、掘削地点C0002で海底下875~3262mから連続的に採取されているカッティングス試料に対し約50mごとに摩擦実験を行い、摩擦特性-深さプロファイルを作成した。

摩擦実験は広島大学設置の高温二軸摩擦試験機を用い、静水圧を想定した原位置と同じ有効垂直応力($\sigma_e = 9\text{--}34\text{ MPa}$)を設定し、海水を模擬したNaCl水溶液(0.5mol/l)を用いた含水条件下で行った。カッティングス試料をすりつぶし、粒径を106 μm 以下にそろえ模擬ガウジを作成した。すべり速度は3 $\mu\text{m/s}$ で定常状態に達した後、0.3、3、33 $\mu\text{m/s}$ の間で段階的に変化させた。この実験より、定常状態での摩擦係数、摩擦の速度依存性(a-b)および臨界すべり距離(Dc)を調べた。実験結果より摩擦特性-深さプロファイルを作成し、カッティングス試料の粘土鉱物総含有量(Underwood 2017)との比較検討を行い、摩擦

特性と粘土鉱物含有量の関連性を検証した。

摩擦係数 μ は海底下875~3262mにおいて $0.472 \leq \mu \leq 0.657$ の範囲であり、深さが深くなるにつれやや上昇する傾向が見られた。また、スメクタイトの含有量は深さとともに減少しているため、摩擦係数の深さ依存性はスメクタイトからイライトへの相転移に関係していると考えられる。南海トラフで得られた掘削試料を用いた先行研究(Takahashi et al., 2014, Ikari et al., 2018)の結果と比較すると、本研究で得られた摩擦係数は粘土鉱物の含有量が多いにも関わらず高めであった。これは、粘土鉱物のうちスメクタイト以外の鉱物含有量が多いためであると考えられる。一方、摩擦の速度依存性パラメータ(a-b)は $0.001 \leq a-b \leq 0.006$ の範囲となり、いずれの深さでも速度強化の性質を示した。これらの結果より、掘削地点C0002の摩擦特性は、粘土鉱物の種類や含有量に依存する可能性が高いことがわかった。また、摩擦の速度依存性が正であることから、掘削地点C0002は安定すべり領域であると考えられる。紀伊半島沖の掘削地点近傍で観測されているSlow Slip Events(Araki et al 2017, Yokota & Ishikawa 2020)は、本研究で明らかになった摩擦特性に起因する可能性がある。

Key words: Friction, Nankai Trough, Accretionary prism, clay minerals

*Corresponding author: m202543@hiroshima-u.ac.jp

室温から高温における単結晶白雲母の摩擦における 直接効果の温度依存性

佐久間博* (物材機構)、Diane Moore (USGS)、David Lockner (USGS)

Temperature dependence of direct effect on the friction of single-crystal muscovite from room to elevated temperature

H. Sakuma* (NIMS), D. Moore (USGS), D. Lockner (USGS)

Deformation in the crust often localizes along weak faults. Characterizing the frictional behavior of materials in faults is essential to understand the crustal dynamics. The rate and state friction (RSF) law (Dieterich 1979; Ruina 1983) achieved great success in characterizing the friction of simulated fault and gouges as a function of slip velocity and holding time. The RSF law is, however, semi-empirical and it is difficult to apply at temperatures and pressures beyond the experimentally tested ranges. To develop a non-empirical RSF law, the physics behind the semi-empirical parameters must be revealed.

We have studied the direct-effect parameter “ a ” which is the critical parameter in the RSF law for the response of the change in slip rate. The parameter has been interpreted as a thermally activated process at asperity contacts (Stesky 1978; Heslot *et al.*, 1994). Based on the process, the “ a ” value should increase with increasing temperature. Our velocity-stepping shear tests on single-crystal muscovite, however, indicate that the “ a ” value clearly decreases with increasing temperature from $\sim 25^\circ$ to 400°C . This implies that the thermally activated process may not be applied to the friction of muscovite.

We also conducted the non-equilibrium molecular dynamics simulations of single-crystal muscovite to reveal the behavior occurring at the contact area during the sliding. Simulation conditions are: 25 to 600°C , normal stress of 6 GPa, shear rate of 10^8 to 10^{12} s^{-1} . The “ a ” value is calculated by the difference in the steady state friction coefficient among different shear rates. The simulated “ a ” value decreases with increasing temperature at shear rate higher than 10^{10} s^{-1} . At shear rates $< 10^{10} \text{ s}^{-1}$, the simulated “ a ” values are constant independent of temperature. These results indicate that the physics of direct effect of single-muscovite may not be interpreted by the thermal activation theory.

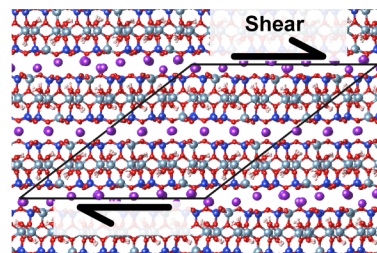


Fig. A snapshot of MD simulations

Keywords: direct effect, thermal activation process, mica, molecular dynamics, rate and state friction law

*Corresponding author: SAKUMA.Hiroshi@nims.go.jp

熱水流体に起因したイライトと空孔の形成および 断層発生過程との関係

安東淳一* (広島大), 児島巧太 (広島大), DAS Kaushik (広島大),

富岡尚敬 (JAMSTEC・高知コア研), 上原誠一郎 (九州大)

Relationship between hydrothermal fluid-induced illite and void, and faulting process

J. Ando* (Hiroshima Univ.), K. Kojima (Hiroshima Univ.), K. Das (Hiroshima Univ.),

N. Tomioka (JAMSTEC), S. Uehara (Kyushu Univ.)

【はじめに】 本研究では、地質調査と岩石の微細組織観察をもとに、熱水流体が関与したイライトの晶出と空孔の形成が断層形成に大きく関与した可能性を報告する。

【研究対象】 研究対象とした断層は、秩父帯南帯に属する三重県度会町内の塊状チャート岩体中に発達する。この断層は、塊状チャート岩体中央部に発達し、数 10 m にわたり直線的に露出する。

【地質調査の結果】 以下のことが明らかとなった。1) 塊状チャート岩体中には、スタイロライトシームと、スタイロライトシームから形成された幅約 0.5 mm から 1 cm 程度の白色バンドが無数に認められる。スタイロライトシームと白色バンド、それと研究対象とした断層の走向と傾斜は、ほぼ平行である。2) 断層から幅約 100 m の領域は、断層ダメージ帯となっている。未変形の塊状チャート部と断層ダメージ帯の間には、幅約 10 m の褶曲部が存在する。3) 断層近傍では、白色バンドを横ずれさせるリーデル剪断面が発達する。4) 断層面は、白色バンドが滑動して形成されている。

【微細組織観察の結果】 未変形塊状チャート、断層ダメージ帯のチャット、断層面を構成するチャートを採取し、偏光顕微鏡と SEM

を用いて微細組織観察を行った。また未変形塊状チャート、スタイロライトシーム、白色バンド、断層すべり面を構成する鉱物を同定するために XRD、EPMA および ATEM を用いて分析を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。1) 未変形塊状チャート、スタイロライトシーム、白色バンド、断層面はそれぞれ、石英と緑泥石、緑泥石とイライト、石英と約 10 μm 以下のイライト、石英とイライトで構成されている。2) 白色バンドには、特徴的な組織として直径数 μm 以下の多数の空孔が認められた。3) イライトの結晶化度は、スタイロライトシームや白色バンドよりも断層面のものが良い。

【考察】 スタイロライトシームと白色バンドを構成するイライトは、未変形塊状チャート中には存在しないため、浸透してきた熱水流体から晶出したことがわかる。またスタイロライトシームは圧力溶解で形成されるため、白色バンド中に顕著に認められる空隙は、石英の溶解によって形成されたと考えられる。今回の研究では、白色バンドにはイライトと空隙が濃集している為に、塊状チャート岩体中内での弱面となり、リーデル剪断面や褶曲部で示唆される応力場において、断層を形成させた可能性が高い。

Keywords: Illite, Fluid, Fault, stylolite

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

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

長瀬薫平, 片山郁夫 (広島大・院理), 畠山航平 (明星大・教育),
赤松祐哉 (広島大・院理) 岡崎啓史 (海洋研究開発機構)

Influence of pore geometry and alteration minerals on seismic wave velocities of Epidosite collected from the Oman Drilling Projects

Kumpei Nagase*, Ikuo Katayama (Hiroshima Uni. Sci.), Kohei Hatakeyama (Meisei Uni.),
Yuya Akamatsu (Hiroshima Uni. Sci.), Keishi Okazaki (JAMSTEC)

海洋地殻の含水化は沈み込み帯への水輸送に重要な役割を果たしている。特に、地震波速度が遅い海洋地殻浅部(Layer 2)には多くの水が割れ目中に存在していると考えられている(e.g., Detrick et al., 1994)。しかし、Layer 2 の最下部において例外的に V_p/V_s の低い領域が観測されており (Spudich and Orcutt 1980), 割れ目のようにアスペクト比が小さい空隙は岩石の V_p/V_s を増加させることが理論モデルから予想されているため、割れ目だけでは説明することができない。 V_p/V_s の低い領域を説明する要因として、(1) アスペクト比が大きな丸みを帯びた空隙、(2) 熱水変質の影響の二つが考えられる。オフィオライトにみられるエピソードサイトは熱水循環に伴って形成された多孔質な岩石であり、造岩鉱物の中でも特に低い V_p/V_s を示す石英を多く含んだ岩石であることから、低 V_p/V_s 構造と関連している可能性がある。そこで、本研究ではエピソードサイトの地震波速度(V_p/V_s)について空隙形状と変質鉱物に着目した物性測定と組織観察を行った。

研究にはオマーンオフィオライト陸上掘削プロジェクトのGT3A サイトで採取されたエピソードサイトとダイアベースを用いた。弾性波速度と空隙率の同時測定は容器内変形透水試験機を用いて常温で行い、間隙水圧は 1 MPa で一定にして、封圧を 3 MPa から 200 MPa まで段階的に上げた。実験後の回収試料は直径 6 mm に成形し、高知コア研究所設置のマикроフォーカス X 線 CT を用いて三次元での組織観察を行った。

ダイアベースは、封圧の増加に伴って空隙率が 1.5 % から 1.1 % まで減少し、P 波速度は 5.58 km/s から 5.81 km/s、S 波速度は 3.09 km/s から 3.32 km/s まで増加する結果が得られた。 V_p/V_s は加圧に伴って減少していく傾向が見られ、200 MPa における V_p/V_s は 1.75 であ

った。また、回収試料の三次元での組織観察からは割れ目のような空隙形状を示していることが確認された。エピソードサイトは、空隙率が 4.9 % から 4.8 % まで減少し、P 波速度は 5.43 km/s から 5.92 km/s、S 波速度は 3.33 km/s から 3.62 km/s まで増加する結果が得られた。 V_p/V_s はあまり変化せず、200 MPa における V_p/V_s は 1.64 であった。また、回収試料の組織観察からは丸みを帯びた空隙形状を示した。

実験試料のモード組成と各構成鉱物の弾性定数から固相の V_p/V_s を計算した結果、ダイアベースは $V_p/V_s = 1.73$ 、エピソードサイトは $V_p/V_s = 1.67$ と見積もられ、エピソードサイト化が岩石の固相の V_p/V_s を低下させている可能性を支持する計算結果が得られた。続いて、計算から求めた固相の V_p/V_s と封圧 200 MPa において実験で得られた V_p/V_s を比較することで、空隙の効果についての検討を行った。これらの比較から、実験で得られたダイアベースの V_p/V_s は固相の計算値に比べて高い値であったのに対して、エピソードサイトの V_p/V_s は固相よりも低い値を示した。空隙を含んだ実験試料の傾向は、空隙形状の違いを反映している可能性が高い。そこで、有効媒質理論で与えられる V_p/V_s の理論モデルと比較を行うことで空隙のアスペクト比を推定した。その結果、ダイアベースの空隙のアスペクト比は ~ 0.01 、エピソードサイトのアスペクト比は ~ 0.1 と見積もられた。このように、実験結果と理論モデルの比較から得たエピソードサイトの空隙は丸みを帯びた空隙であることが示唆され、このことは、CT 観察から得られた空隙形状とも整合的であった。以上のことから、Layer 2 最下部の低 V_p/V_s は空隙形状の違いと苦鉄質地殻における変質の二つを反映している可能性が考えられる。

Key words: Epidosite, Pore geometry, Seismic wave velocities

*Corresponding author: kumpei-nagase@hiroshima-u.ac.jp

マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中の カルサイト中の流体包有物

山本千早^{1*}, 釘宮健人¹, 石戸慎也¹, 川本竜彦¹, 市山祐司²
(¹静岡大・理・地球科学,²千葉大・理・地球科学)

Fluid inclusions in calcite of serpentinite mud seamounts in the Mariana forearc

Chihaya Yamamoto^{1*}, Kento Kugimiya¹, Shinya Ishido¹, Tatsuhiko Kawamoto¹, Yuji Ichiyama²
(¹Dept Geosciences, Faculty Science, Shizuoka Univ., ²Dept Geosciences, Faculty Science, Chiba Univ.)

We report chemical species, salinity and homogenization temperature of fluid inclusions in calcite in serpentinite mud seamounts in the Mariana forearc and provide constraints on the chemical composition of subduction fluids. Based on the obtained data, we suggest that the fluid inclusions represent saline fluids derived from the plate boundary.

はじめに：マリアナ海溝の前弧域では、いくつかの蛇紋岩泥海山の存在が確認されている。マリアナ沈み込み帯は非付加型であるため、蛇紋岩や流体が上昇する際に化学組成が陸源物質によって化学的に乱されない。また、蛇紋岩や流体は既に水-岩石相互作用を経験した断層に沿って上昇するため、プレート境界の流体の組成変動を最小限にすると考えられる (Salisbury et al., 2002, Proc Ocean Drill Prog). 流体包有物は鉱物中に流体が取り込まれた時の温度や化学組成などの情報を持つ。本研究は、マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中のカルサイトに含まれる流体包有物を分析し、沈み込み帯流体の化学組成に束縛条件を与える。

方法：Asùt Tesoru 海山と South Chamorro 海山で採取された蛇紋岩の礫・砂・泥を観察した。Asùt Tesoru 海山の試料は、IODP Exp.366 の掘削試料(U1496A), South Chamorro 海山の試料は、ODP Leg195 の掘削試料(1200E)である。両面研磨片を作成し、偏光顕微鏡を用いて炭酸塩鉱物と鉱物中の流体包有物を探した。続いて、ラマン分光分析を行い、ホスト鉱物はカルサイト、流体は水であると同定し、マイクロサモメトリー法により、流体包有物の塩濃度と均質化温度を測定した。

結果と考察：Asùt Tesoru 海山の試料から 22 点の流体包有物を分析し、塩濃度は 5.7 ± 1.9 (wt.% NaCl 当量)、均質化温度は $184 \pm 62^\circ\text{C}$ を得た。South Chamorro 海山は、38 点の流体包有

物の分析から、塩濃度は 3.7 ± 1.3 (wt.% NaCl 当量)、均質化温度は $280 \pm 46^\circ\text{C}$ を得た。これらの均質化温度は、この地域のプレート境界の温度に近い (Hulme et al., 2010, G-cube; Ichiyama et al., 2021, Lithos; Debret et al., 2019, Lithos; Maekawa et al., 1993, Nature; Pabst et al., 2012, Lithos) ので、流体包有物はプレート境界から上昇した塩水流体を取り込まれたものであると提案する。

Asùt Tesoru 海山と South Chamorro 海山の下のプレート境界の深さは 18km と 19km で、海溝軸からの距離も 72km と 78km で、ほぼ等しい (Debret et al. 2019, Lithos; Fryer et al. 2017, IODP Publications). 海溝軸からの距離に応じて蛇紋岩泥海山の間隙流体組成と鉱物相は変化する (Fryer et al., 2017, IODP Publications) ため、流体の塩濃度や均質化温度も海溝軸からの距離に応じて変化する可能性はある。両海山におけるプレート境界からの位置関係は類似しているが、それぞれの塩濃度の測定値には差があった。もう少しデータをとることで値の確実性が増し、より考察を深めたい。本地域では、ほかにも Fantangisña 海山と Yinazao 海山の二つの海山の掘削試料が入手でき、今後これらの蛇紋岩泥海山中の炭酸塩鉱物の流体包有物の観察を行うことで、海溝軸からの距離、プレート境界の深度と流体の塩濃度との関係をより詳細に解明したい。

Keyword : fluid inclusion, salinity, plate boundary, Mariana forearc, subduction zone fluids

*Corresponding author: yamamoto.chihaya.18@shizuoka.ac.jp

流紋岩質メルト中における炭素同位体の拡散分別

川原 爽*・吉村俊平（北海道大学）

Diffusive fractionation of carbon isotopes in rhyolitic melt

Akira Kawahara*, Shumpei Yoshimura (Hokkaido Univ.)

We measured diffusivity of $^{12}\text{CO}_2$ and $^{13}\text{CO}_2$ in dry and hydrous rhyolitic melts. We found that diffusive fractionation occurred significantly between $^{12}\text{CO}_2$ and $^{13}\text{CO}_2$ in hydrous rhyolitic melts, while it did not occur in dry melts.

揮発性成分を含むマグマが上昇すると、圧力が低下し発泡が起こる。このとき、一つの揮発性成分でも複数の同位体が存在し、それらの間で拡散速度が異なることから、短時間の間に同位体分別（拡散分別）が起こることが知られている（e.g., Fortin et al., 2017）。主要な揮発性成分である CO_2 についても、 $^{12}\text{CO}_2$ と $^{13}\text{CO}_2$ の間で拡散分別が起こり (Watson, 2017)、全地球の炭素循環などに重大な影響を及ぼす可能性があるが、その有無や程度は全く不明である。そこで本研究では、①FT-IR を用いた超低濃度 $^{13}\text{CO}_2$ の定量分析法の開発、②流紋岩質ガラスへの CO_2 の拡散実験の2つを行い、 $^{12}\text{CO}_2$ と $^{13}\text{CO}_2$ の拡散分別が起こるかどうかを検証した。

<手法>

和田峠産の流紋岩質黒曜石を 750–1000°C、6–100 MPa の条件で $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 混合流体または純粋 CO_2 流体中に 24–576 時間保持し、 CO_2 を拡散させた。そして、FT-IR を用いて試料内部の $^{12}\text{CO}_2 \cdot ^{13}\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ の濃度分布を分析した。 $^{13}\text{CO}_2$ は 2280 cm^{-1} に吸収帯をもつことが知られているが (Ihinger et al., 1994)、その濃度はあまりに低いた

め、従来はこれを測定することは困難であった。本研究では光学系と試料室を真空排気できる FT-IR を用い、 $50 \times 50\text{ }\mu\text{m}$ のビームで積算回数を 1024 回まで増やすことで、濃度 0.3 ppm の $^{13}\text{CO}_2$ を ± 0.01 ppm(3%)の精度で測定できるようにした。

<結果>

純粋 CO_2 を用いた実験では、ガラス含水量は 0.1 ~ 0.2 wt% であった。 $^{12}\text{CO}_2$ の拡散係数は $5.15 \times 10^{-14}\text{ m}^2/\text{s}$ (750°C) ~ $1.57 \times 10^{-12}\text{ m}^2/\text{s}$ (1000°C)、活性化エネルギーは 148 kJ/mol であった。これは、同様の実験を行った Blank (1994) の結果とほぼ一致していた。また、 $^{13}\text{CO}_2$ の拡散係数は $^{12}\text{CO}_2$ の値とほぼ等しく、有意な拡散分別は認められなかった。一方、 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 混合流体を用いた実験ではガラス含水量は 0.3~3.0 wt% であった。このとき $^{13}\text{CO}_2$ と $^{12}\text{CO}_2$ で拡散プロファイルの形状は大きく異なり、 $^{13}\text{CO}_2$ の拡散係数の方が 18~30% ほど低く、拡散分別が起こっていることが判明した。このことから、含水量の違いが $^{13}\text{CO}_2$ と $^{12}\text{CO}_2$ の拡散分別に影響を与えていることが示唆され、現在検証を行っている。

Keywords: CO_2 , diffusive fractionation, silicic melt

*Corresponding author: kawahara.akira.s3@elms.hokudai.ac.jp

角閃石の主要元素・微量元素組成を用いた マグマの進化過程の解明

岡田郁生, 柴田知之, 芳川雅子 (広島大), 石橋秀巳 (静岡大),
杉本健 (地熱エンジニアリング株式会社), 早坂康隆 (広島大)

Investigation of the magma evolution process inferred from major and trace element compositions of amphibole

Ikuko Okada*, Tomoyuki Shibata, Masako Yoshikawa (Hiroshima Univ.),
Hidemi Ishibashi (Shizuoka Univ.), Takeshi Sugimoto (Geothermal Engineering Co., Ltd.),
Yasutaka Hayasaka (Hiroshima Univ.)

斑晶鉱物の化学・同位体組成は、平衡共存するメルトの物理化学的特性を記録するため、マグマの進化過程のある時点での情報を提供する。最近、多変量回帰分析を用いることで、相平衡論に基づいた伝統的なメルトの物理化学的特性の推定の限界を超える、成果が報告されるようになった。例えば、高温高压実験データを多変量回帰分析することで、角閃石の主要元素組成から晶出時の温度・圧力やメルトの主要元素組成を推定する方法が提案され (e.g., Putirka 2016; Ridolfi & Renzulli 2012; Zhang et al., 2017), これらを火山噴出物中の角閃石に適用する試みが精力的に行われている (e.g., Nagasaki et al., 2017; 石橋ほか 2021)。さらには、組成依存性が高く推定困難であった角閃石・メルト間の微量元素の分配係数も高温・高压実験の多変量回帰分析で推定することが可能となった (Shimizu et al., 2017; Humphreys et al., 2019)。我々は、これらの新たに開発された手法を統合して用いることで、マグマの進化過程のある時間微分における、温度・圧力、主要元素・微量元素組成を推定することを目的に、九州北東部に位置する第四紀由布火山の安山岩中の角閃石の主要元素・微量元素組成を分析した。また、角閃石の微量元素組成分析にあたって、LA-ICP-MS による局所分析法を確立した。角閃石の主要元素組成は EPMA で分析した。

由布火山の安山岩中の角閃石は、相対的に Si に乏しいグループ (5.8-6.2 atomic per formula unit (apfu)) と富むグループ (6.5-7.0 apfu) に分けられ、これらのグループは同一安山岩中に共存する。本研究では、前者を pSi、後者を rSi と呼ぶ。推定した角閃石の晶出温

度圧力条件、および共存メルトの主要元素組成は、pSi が 356–600 MPa, 932–1016°C、玄武岩質からデイサイト質 ($\text{SiO}_2 = 52.3\text{--}62.9 \text{ wt.}\%$) で、rSi が 73–221 MPa, 773–846°C、流紋岩質 ($\text{SiO}_2 = 72.2\text{--}80.3 \text{ wt.}\%$) でそれぞれ異なる範囲が得られた。始原的のマントル規格化パターン (PM パターン) 図において、pSi と rSi と平衡なメルト (以下 pSi メルトと rSi メルトと呼ぶ) は両者とも LIL 元素に富み、HFS 元素が枯渇した典型的な島弧マグマの特徴を示す。しかしながら、pSi メルトは正の Sr の異常と相対的に高 Sr/Y 比 (90–180) で特徴づけられるのに対し、rSi メルトは負の Sr の異常と低 Sr/Y 比 (24–42) を示す。pSi メルトの PM パターンや Sr/Y 比はアダカイトの特徴を持つ姫島火山群のデイサイト (Shibata et al., 2014) と類似する。一方、rSi メルトは姫島火山群の流紋岩 (Shibata et al., 2014) や九重火山の大規模噴火由来のテフラ中の火山ガラス (Albert et al., 2019) と類似する。この類似性は、大規模噴火を起こしうる珪長質マグマの成因として一般的に地殻物質の部分溶融が考えられている (e.g., Kimura et al., 2015) ことから、rSi メルトも地殻物質の部分溶融が起源であると考えられるかもしれない。

以上のことから、由布火山下では、アダカイト質マグマと地殻溶融を起源とするマグマが、それぞれ、異なる深度と温度で存在し、これらマグマの混合が由布火山のマグマ進化に関与していると考えられる。これらのことから、角閃石の主要元素・微量元素組成は複雑なマグマプロセスを経て生成されたマグマの起源を知る上で強力な地球化学的ツールであることを示すと考えられる。

Keywords: amphibole, magma evolution, magma mixing, P-T conditions, Yufu volcano

*Corresponding author: ikuko-okada@hiroshima-u.ac.jp

火道上昇履歴に応じた石基輝石晶相変化の実験的検証

奥村翔太(京都大), 奥村聡(東北大), 三宅亮(京都大)

Crystal habit change of groundmass pyroxenes depending on magma ascent paths revealed by single-step decompression experiments

Shota OKUMURA*(Kyoto Univ.), Satoshi OKUMURA (Tohoku Univ.), Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)

近年、マグマの火道上昇中にレオロジーや脱ガス機構が噴火様式に影響することが指摘されている^[1]。この噴火様式分岐条件の理解に重要な上昇履歴は、噴火噴出物の結晶数密度といった岩石組織に記録されている。一般的には減圧脱水で生じた実効過冷却度の増加とともに核形成速度は上昇するが、上昇速度が速すぎることによって結晶数密度が却って低くなる場合があり、桜島大正噴火(プリニー式)の軽石はその一例であると考えられている^[2]。すなわち、このような噴火では結晶数密度から上昇速度を制約できない可能性があるため、他の岩石組織から制約することが求められる。一方で、新燃岳 2011 年噴火(サブプリニー式、ブルカノ式)における研究から、我々は石基輝石結晶の晶相(結晶面の組合せ)が上昇に伴う過冷却度の指標になりうることを示唆した^[3]。サブプリニー式噴火では{110}, {010}からなる六角柱状の石基輝石が多く含まれる一方、ブルカノ式噴火ではさらに{100}が追加された八角柱が主であった。他方、桜島大正噴火において、結晶に富む軽石は六角柱に富んでいたが、結晶に乏しい軽石中からは{110}の卓越した四角柱を確認し^[4]、過冷却度の増大に伴って石基輝石結晶の面の種類が減少することを示唆した。しかしながら、その実験的検証は未だ行われていない。

そこで本研究では、桜島大正軽石を用いた減圧結晶化実験を行い、回収物の石基輝石晶相を観察した。実効過冷却度に応じた晶相変化を明らかにし、マグマ上昇過程の指標として石基輝石晶相が有用か考察した。

減圧実験は東北大学所有の外熱式水熱合成装置で行った。出発物質として、桜島大正軽石の欠片と、それらを完全溶融させた均質なガラスの2種類を用いた。それぞれ Au パイプに水と封入したものを実験試料として、

Keywords: pyroxene, crystal habit, decompression experiment, Sakurajima volcano

*Corresponding author: okumura@kueps.kyoto-u.ac.jp

NNO±1の酸化還元環境、120 MPa, 920 °Cの状態から、等温急減圧(終端圧 120–10 MPa)して保持し、急冷回収した。実験回収物に対して、電界放出形走査型電子顕微鏡による石基輝石結晶の粒径・形状分析を行った。

観察の結果、軽石を出発物質とした実験回収物では、減圧量が大きくなるにつれて輝石晶相が八角柱から六角柱へと変化した。溶融ガラスを出発物質とした実験回収物では、120 MPa で保持して急冷回収した場合は六角柱が主であり、終端圧 10 MPa の回収物では四角柱が主であった。

実験結果から、過冷却度が大きくなるにつれて晶相が八角柱⇒六角柱⇒四角柱へ変化することが確認された。この結果は、結晶に乏しく四角柱が特徴的な桜島軽石のほうが、結晶に富み六角柱が特徴的な軽石よりも過冷却度が高かったことを示唆し、マグマ上昇速度の違いに言及した先行研究^[2]を実証した。一方、天然試料で確認された四角柱の晶相は、溶融ガラスでないとは再現できなかった。この結果は、減圧前の結晶の有無に起因すると考えられる。すなわち、減圧直後に新たに核が形成するよりも先に既存結晶が成長したことで、系に生じた実効過冷却度が緩和されたと推察される。このことは、大正噴火の一部のマグマが、石基結晶に極めて乏しい均質なメルトの状態から一気に上昇したことを示唆する。石基輝石晶相は、火道での停滞のような複雑な上昇履歴を制約する手掛かりにもなることが期待される。

[引用文献]

¹Cassidy *et al.* 2018, *Nat. Commun.*, **9**, 2839.

²Nakamura 2006, *J. Miner. Petrol. Sci.*, **101**, 178–198.

³奥村ほか 2019, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会.

⁴奥村ほか 2020, 日本鉱物科学会 2020 年年会.

[謝辞] 本研究は、日本科学協会の笹川科学研究助成による助成を受けたものである。