2023年9月14日(木)

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

13:30 ~ 16:30 | 820 杉本キャンパス

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共催セッション）

座長:北脇 裕士(中央宝石研究所)、黒澤 正紀(筑波大学)、坂野 靖行(産総研)

13:30 ~ 13:45
[R1-01] グリーンランド産ルビーとモンタナ産サファイア; LA-ICP-MSを用いた微量元素分析と原産地鑑別
*江森 健太郎[1]、北脇 裕士[1] (1. ㈱中央宝石研究所)

13:45 ~ 14:00
[R1-02] スカルンと蛇紋岩起源のアンドラダイト・ガーネットの変種デマントイドの微量化学元素の比較研究
*阿依 アヒマディ[1,2] (1. Tokyo Gem Science(合同)、2. GSTV宝石学研究所)

14:00 ~ 14:15
[R1-03] 希少な宝石品質の青緑色と緑青色のアウイン
*趙 政皓[1]、北脇 裕士[1]、岡野 誠[1]、小松 一生[2] (1. 中央宝石研究所、2. 東大・院理)

14:15 ~ 14:30
[R1-04] 希少な赤色“マスグラバイト”の名称と宝石鑑別
*北脇 裕士[1]、趙 政皓[1]、江森 健太郎[1]、岡野 誠[1]、間中 裕二[1]、海老坪 聡[1] (1. 中宝研)

14:30 ~ 14:45
[R1-05] マダガスカル産天然サファイア中のナノインクルージョン
*三宅 亮[1]、乙 星華[1]、伊神 洋平[1]、埋橋 淳[2]、大久保 忠勝[2]、北脇 裕士[3]、江森 健太郎[3] (1. 京都大学、2. 物質・材料研究機構、3. 中央宝石研究所)

14:45 ~ 15:00
[R1-06] 岐阜県中津川市蛭川産columbite supergroupの 高分解能STEM観察
*小暮 敏博[1]、坂野 靖行[2]、奥村 大河[1] (1. 東大・院理、2. 産総研)

15:00 ~ 15:15
[R1-07] 位置分解電子回折による天川村産イリデッセントガーネットの局所対称性決定
*伊神 洋平[1]、三宅 亮[1] (1. 京大・院理)

15:15 ~ 15:30
[R1-08] 兵庫県琢美鉱山から産するデュモルチ石及び電気石について
*白勢 洋平[1]、上世 莉可子[1]、西田 勝一、藤原 由輝 (1. 愛媛大・理)

15:30 ~ 15:45
[1Lecture-101-11-9add] 休憩

15:45 ~ 16:00
[R1-09] **福岡市西区長垂地域の産出鉱物**
*上原 誠一郎[1] (1. 九州大学・博物館)

16:00 ~ 16:15
[R1-10] 福島県南相馬市の中新世堆積物中の巻貝化石内部に産する沸石の鉱物学的産状と成因
「発表賞エントリー」
*石原 篤[1]、大藤 弘明[1] (1. 東北大・院理)

16:15 ~ 16:30
[R1-11] 熱水性シリカ脈に付随する種々の有機鉱物類の成因と生成メカニズム
*田中 陵二[1,2]、井上 裕貴[3]、石橋 隆[4]、萩原 昭人 (1. 相模中央化学研究所、2. 東海大理、3. 九大院理、4. 阪大総合博)

[zoom] Zoom

口頭講演 | S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

14:00 ~ 16:30 | 821 杉本キャンパス

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳

14:00 ~ 14:05

[1Lecture-201-09-1add] コンビーナ挨拶

14:05 ~ 14:20

[S2-01] 名張はんれい岩体の風化過程、とくにkaolinite/smectite混合層鉱物の生成について

*奥村 滋[1] (1. 無所属)

14:20 ~ 14:35

[S2-02] 東北沖プチスポット玄武岩中のスメクタイトの産状と鉱物学的特徴について

「発表賞エントリー」

*城戸 太朗[1]、秋澤 紀克[2]、鈴木 庸平[1] (1. 東大・院理、2. 東大・大海研)

14:35 ~ 14:50

[S2-03] ウォラストナイトとカンラン石および玄武岩の天然キレート剤による溶解挙動の特徴と促進効果

「発表賞エントリー」

*菊池 星南[1]、王 佳婕[1]、土屋 範芳[1] (1. 東北大・環境科学)

14:50 ~ 15:05

[S2-04] 陸上掘削試料の微量元素・Sr-Nd同位体組成から導かれたオマーンオフィオライトに記録された２つの地球化学的プロセス

*芳川 雅子[1]、柴田 知之[1]、片山 郁夫[1]、Asyraf Aminuddin[2]、仙田 量子[3]、森下 知晃[2] (1. 広島大学・院先進理工系、2. 金澤大・院理工学域、3. 九州大・院比較社会)

15:05 ~ 15:20

[S2-05] オマーンオフィオライト北部サラヒ岩体マントルセクションにおける蛇紋岩化作用の初期段階

吉羽 洋紀[1]、*髙澤 栄一[1,2]、野坂 俊夫[3] (1. 新潟大・理、2. JAMSTEC、3. 岡山大・自然研)

15:20 ~ 15:30

[1Lecture-201-09-7add] 休憩

15:30 ~ 15:45

[S2-06] 沈み込み帯における含ホウ素流体ー岩石相互作用の時期：三波川変成帯の例

「発表賞エントリー」

*横井 雅範[1]、河上 哲生[1] (1. 京都大・院理)

15:45 ~ 16:00

[S2-07] フッ素の移動・鉱化作用と水ー岩石相互作用の関係

「発表賞エントリー」

*砂田 雅裕[1]、渡辺 寧[1]、越後 拓也[1]、青木 翔吾[1]、瀬野 洸太朗[1] (1. 秋田大・院国資)

16:00 ~ 16:15

[S2-08] 異なる海域から得られた海洋掘削コア試料に見られる斑れい岩の岩石物性の違いについて

*阿部 なつ江[1,2]、冨士原 敏也[1] (1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 金沢大学大学院自然科学研究科)

16:15 ~ 16:30

[S2-09] 流体が関与した岩石のマイロナイト化と断層形成過程

*安東 淳一[1,2]、Sakar Dyuti Prakash[1,2]、樹神 洸寿[1]、Das Kaushik[1,2]、Ghosh Gautam[3,2]、富岡 尚敬[4,2] (1. 広島大・先進理工、2. 広島大・HiPeR、3. Presidency Univ、4. JAMSTEC・高知コア研)

[zoom] Zoom

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

14:45 ~ 16:30 | 822 杉本キャンパス

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

座長:秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)、越後 拓也(秋田大学)

14:45 ~ 15:00

[R7-01] 熱水変質作用による有機物の分解：北海道北見地域の浅熱水金鉱床を例として

國場 海里[1]、*越後 拓也[1]、渡辺 寧[1] (1. 秋田大学・国際資源)

15:00 ~ 15:15

[R7-02] 東松浦玄武岩の晶洞に産する淡青色セピオライトの呈色要因について

「発表賞エントリー」

*木尾 颯月[1]、江島 輝美[2]、昆 慶明[3]、南澤 比佳理[4]、堀田 将臣[4] (1. 信州大・院理、2. 信州大・理、3. 産総研、4. 信州大・工)

15:15 ~ 15:30

[R7-03] 海底火山活動地域に産する玉髄の形成過程1　宮城県奥松島地域

「発表賞エントリー」

*佐野 菜津子[1]、宮本 毅[2]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[3] (1. 東北大・院理、2. 東北大・東北アジア研セ、3. 東北大・総学博)

15:30 ~ 15:45

[R7-04] タヒチ島産マントル捕獲岩中の多環芳香族を含む包有物に対するX線吸収端近傍構造解析

「発表賞エントリー」

*三津川 到[1]、三宅 亮[1]、伊神 洋平[1]、高橋 嘉夫[2]、山下 翔平[3]、河合 敬宏[2]、小木曽 哲[1]、秋澤 紀克[2] (1. 京都大、2. 東京大、3. 高エネルギー加速器研究機構)

15:45 ~ 16:00

[R7-05] ハワイ・ソルトレイククレーター産ザクロ石カンラン岩の再解析

*秋澤 紀克[1]、石川 晃[2]、藤田 遼[2]、森下 知晃[3]、田村 明弘[3]、佐野 貴司[4] (1. 東京大・大海研、2. 東工大・理、3. 金沢大・理工、4. 国立科学博物館)

16:00 ~ 16:15

[R7-06] ピストンシリンダー装置を使用した高圧グラニュライトのザクロ石かんらん岩に見られる多相固体包有物の均質化実験

*苗村 康輔[1]、阿部 梨[1]、小木曽 哲[2] (1. 岩手大・教育、2. 京都大・院人環)

16:15 ~ 16:30

[R7-07] フォトンカウンティングCTの岩石・結晶試料への応用：原子量が大きい元素を含む物質に着目して

石黒 歩[1]、有元 誠[1,3,4]、佐藤 大地[1]、供田 崇弘[1]、寺澤 慎祐[5]、塩田 諭[5]、*森下 知晃[3,2] (1. 金沢大学・院自然、2. 海洋研究開発機構、3. 金沢大学・理工、4. 早稲田大学・理工、5. （株）プロテリアル)

[zoom] Zoom

16:45 ~ 18:15 | 822 杉本キャンパス

企業ー学生交流会

16:45 ~ 18:15

[E-01] 企業ー学生交流会

[zoom] Zoom

18:15 ~ 18:45 | 822 杉本キャンパス

YMO企画

18:15 ~ 18:45

[E-02] YMO企画

2023年9月15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

9:00 ~ 12:00 | 820 杉本キャンパス

R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:小松 一生、山根 崚(東北大学)、永嶌 真理子

9:00 ~ 9:15

[R2-01] キータイト(SiO_2)における低温・高圧相転移の可能性

*神崎 正美[1] (1. 岡大・惑星研)

9:15 ~ 9:30

[R2-02] 層状ケイ酸塩鉱物のリプロケーションによる変形メカニズム：分子動力学計算による検討

*佐久間 博[1]、末原 茂[1]、田村 堅志[1] (1. 物質・材料研究機構)

9:30 ~ 9:45

[R2-03] 珪酸塩ガラス・液体中に於ける混合アルカリ効果の再考

*則竹 史哉[1]、内藤 奏一郎[1] (1. 山梨大学)

9:45 ~ 10:00

[R2-04] ホウ酸塩鉱物を構成する基本構成単位の構造多様性と安定性

西保 亘[1]、*興野 純[1] (1. 筑波大学・生命環境)

10:00 ~ 10:15

[R2-05] インハウス単結晶X線回折測定装置を用いた固体地球構成物質の結晶構造決定

「発表賞エントリー」

*米谷 珠萌[1]、新名 良介[1]、石井 貴之[2]、与座 健治[3] (1. 明治大・院理工、2. 岡山大学惑星物質研究所、3. ブルカージャパン株式会社)

10:15 ~ 10:30

[2Lecture-101-11-6add] 休憩

10:30 ~ 10:45

[R2-06] 熱量測定を用いた$MgAl_2O_4$スピネルの陽イオン無秩序に関する研究

*糀谷 浩[1]、松木 龍志[1]、大平 格[1] (1. 学習院大・理)

10:45 ~ 11:00

[R2-07] 含Al-$CaTiO_3$ペロブスカイにおけるAlの局所構造のNMRによる研究

*永井 隆哉[1]、薛 献宇[2] (1. 北大・院理、2. 岡山大・惑星研)

11:00 ~ 11:15

[R2-08] ABF/ADF-STEMにより推定されるvateriteの結晶構造

*奥村 大河[1]、高橋 玄[1]、小暮 敏博[1] (1. 東大・院理)

11:15 ~ 11:30

[R2-09] 合成時のpHが非晶質炭酸カルシウムの結晶化挙動に与える影響

*森田 千歩[1]、村岡 賢佑[1]、小林 大輝[1]、鍵 裕之[1] (1. 東大・院理)

11:30 ~ 11:45

[R2-10] X線異常散乱法によるコサラ鉱中のAg, Cuの存在形態の解明

*山根 崚[1]、三河内 岳[2]、杉本 邦久[3]、小澤 徹[4]、杉山 和正[1] (1. 東北大・金研、2. 東大・総研博、3. 近畿大・理工、4. 東大・院理)

11:45 ~ 12:00

[R2-11] マントル鉱物Ir_2S_3 kashiniteとRh_2S_3 bowieiteの合成と 単結晶構造解析

*吉朝 朗[1]、徳田 誠[1]、北原 銀河[1]、石丸 聡子[1]、中塚 晃彦[2]、杉山 和正[3] (1. 熊本大学、2. 山口大学、3. 東北大学)

[zoom] Zoom

口頭講演 | R8：変成岩とテクトニクス

9:00 ~ 12:00 | 821 杉本キャンパス

R8：変成岩とテクトニクス

座長:遠藤 俊祐(島根大学)、東野 文子(京都大学)

9:00 ~ 9:15

[R8-01] 四国中央部三波川帯の泥質片岩に産するフェンジャイトの微量元素・ストロンチウム同位体地球化学

「発表賞エントリー」

*原田 浩伸[1]、辻森 樹[1]、ファインマン モリーン[2]、青木 一勝[3]、板谷 徹丸[4] (1. 東北大、2. ペンシルベニア州立大、3. 岡山理大、4. 地球年代学ネットワーク)

9:15 ~ 9:30

[R8-02] 北上山地宮古地域の接触変成大理石に産する変成かんらん石中の含メタン流体包有物

*原田 浩伸[1]、辻森 樹[1] (1. 東北大)

9:30 ~ 9:45

[R8-03] **Amphibolite-Granulite facies metamorphism at the base of island arcs: Clues from Calaton Hill, Tablas island, Philippines**

*Gabriel Theophilus V. VALERA[1], Andrew Exequiel S. Tabilog[1], John Kenneth B. Badillo[1], Betchaida D. Payot[1] (1. Univ. of the Philippines)

9:45 ~ 10:00

[R8-04] **Brittle fracturing during the closure of the Maizuru back-arc basin**

*Larissa NGOMBI MAVOUNGOU[1], Kaushik DAS[1,2], Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Jun-ichi ANDO[1,2], Yasutaka HAYASAKA[1,2] (1. Hiroshima Univ., 2. HiPeR, Hiroshima)

10:00 ~ 10:15

[R8-05] **Elucidation of slip characteristics in shallow crustal faults from deformation experiments on sandstone gouges within Himalayan Main Frontal Thrust**

*Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Takehiro Hirose[2,3] (1. Hiroshima University, 2. HiPeR, 3. KCC JAMSTEC)

10:15 ~ 10:30

[R8-06] 石英ラマン圧力計のデータの取り扱い

*纐纈 佑衣[1] (1. 名古屋大・院環境)

10:30 ~ 10:45

[2Lecture-201-11-7add] 休憩

10:45 ~ 11:00

[R8-07] 四国西部三波川帯の変成斑れい岩：沈み込む海洋地殻の深部付加における役割

*遠藤 俊祐[1]、栗原 那知[1]、田口 知樹[2] (1. 島根大学、2. 早稲田大学)

11:00 ~ 11:15

[R8-08] **An approach to understand the mode of formation of titanite microtube texture in Tumbiana formation stromatolite, Pilbara Craton, western Australia**

*Kiran SASIDHARAN[1], Yoshihiro Nakamura[2], Satish-Kumar Madhusoodhan[1], Ohfuji Hiroaki[3] (1. Niigata University, 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. Tohoku University)

11:15 ~ 11:30

[R8-09] ドラマイラ岩体南部、超高圧白色片岩中の藍晶石が包有するコース石の形態と残留応力について

*武田 菜実[1]、辻森 樹[1,2]、川本 竜彦[3]、板谷 徹丸[4] (1. 東北大・院理、2. 東北大・CNEAS、3. 静岡大・理・地球科学、4. NPO法人地球年代学ネットワーク)

11:30 ~ 11:45

[R8-10] ローソン石青色片岩の白雲母K-Ar年代の評価:
神居古潭帯・幌加内地域と黒瀬川帯・箱石ユニットの例

*平島 崇男[1]、苗村 康輔[2] (1. 京都大学、2. 岩手大学・教育)

11:45 ~ 12:00

[R8-11] Precipitation of graphite in continental crust from CO_2-rich fluids: Evidence from fluid inclusions, Raman spectroscopy and carbon stable isotopes

*Madhusoodhan SATISH-KUMAR[1], Sasidharan KIRAN[1], Kana UMETSU[1], Sanjeewa MALAVIARACHCHI[2] (1. Niigata University, 2. University of Peradeniya)

[zoom] Zoom

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

9:00 ~ 11:30 | 822 杉本キャンパス

R4：地球表層・環境・生命

座長:宇都宮 聡(九州大学)、横山 正(広島大学)、川野 潤(北海道大学)

9:00 ~ 9:15

[R4-01] 広島花崗岩のボーリングコア解析：浸透率・間隙率の深さ変化と風化速度への含意

*横山 正[1]、吉田 淳樹[3]、海堀 正博[2]、片山 郁夫[1]、谷本 和優[1] (1. 広島大・院先進理工、2. 広島大・防災減災センター、3. 京都大・院)

9:15 ~ 9:30

[R4-02] 火星のヘマタイト・ゲーサイト問題：塩溶液中におけるフェリハイドライトから結晶性鉄酸化物への変質挙動

*深谷 創[1]、福士 圭介[2]、高橋 嘉夫[3] (1. 金沢大・院自然、2. 金沢大、3. 東京大)

9:30 ~ 9:45

[R4-03] 地球表層環境における鉄酸化物のバンド構造の検討

*井上 紗綾子[1]、樽谷 直紀[2] (1. 愛媛大学・GRC、2. 広島大学・院先進理工)

9:45 ~ 10:00

[R4-04] スメクタイト層間陽イオン交換選択係数の測定と分光学的キャラクタリゼーション

*野路 陽平[1]、福士 圭介[2]、長 勇一郎[3,2]、田畑 陽久[3] (1. 金沢大・院自然、2. 金沢大、3. 東京大)

10:00 ~ 10:15

[2Lecture-301-09-5add] 休憩

10:15 ~ 10:30

[R4-05] ゲル中で形成する炭酸カルシウム多形の形成過程：形成場のpH可視化による解析

松本 信二[1]、*川野 潤[1]、三木 康誠[1]、豊福 高志[2]、長井 裕季子[2]、永井 隆哉[1] (1. 北大・院理、2. JAMSTEC)

10:30 ~ 10:45

[R4-06] 魚類耳石の中心近傍に見られる特異な構造と化学組成

「発表賞エントリー」

*髙橋 玄[1]、奥村 大河[1]、鈴木 道生[2]、小暮 敏博[1] (1. 東京大・院理、2. 東京大・院農)

10:45 ~ 11:00

[R4-07] 石灰華上を覆うバイオマットの変色物質と要因の解明
~バイオマット中の鉱物晶出と酸化~

*鈴木 未希[1]、立岩 実久[2]、江島 輝美[3]、山崎 陽生[4]、南澤 比佳理[5]、堀田 将臣[5]、濱田 麻希[6] (1. 信州大・院理、2. 信州大・理、3. 信州大・理，産総研、4. 信州大・院理，産総研、5. 信州大・工、6. 金沢大)

11:00 ~ 11:15

[R4-08] モノハイドロカルサイトの変質過程におけるU(VI)の取り込み

*森田 祐未[1]、福士 圭介[2]、高橋 嘉夫[3] (1. 金沢大・院自然、2. 金沢大、3. 東京大)

11:15 ~ 11:30

[R4-09] **福島第一原発由来CsMPのB同位体が示す制御棒の揮発**

笛田 和希[1]、大貫 敏彦[7]、山崎 信哉[2]、堀江 憲路[3]、竹原 真美[3]、Law Gareth[6]、Grambow Bernd[5]、Ewing Rodney[4]、*宇都宮 聡[1] (1. 九州大学、2. 筑波大、3. 極地研、4. Stanford Univ.、5. Univ. Nantes、6. Univ. Helsinki、7. 東工大)

[zoom] Zoom

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

12:00 ~ 14:00

[S2P-01] 弾性波速度と比抵抗のジョイントモデルに基づく海洋地殻でのクラックや水質変成の変遷

*片山 郁夫[1]、谷本 和優[1]、赤松 祐哉[2] (1. 広島大学、2. 海洋研究開発機構)

12:00 ~ 14:00

[S2P-02] 愛媛県四国中央市浦山川に産するリスウェナイト及び蛇紋岩

*高垣 光[1]、白勢 洋平[1] (1. 愛媛大・理)

12:00 ~ 14:00

[S2P-03] 愛媛県西部、頃時鼻超苦鉄質岩体の蛇紋岩類

「発表賞エントリー」

*城口 結衣[1]、延寿 里美[1] (1. 愛媛大・院理工)

12:00 ~ 14:00

[S2P-04] マントルウェッジ起源超苦鉄質岩中の輝石仮像組織と化学組成

*和仁 拓望[1]、市山 祐司[1]、森下 知晃[2]、田村 明弘[2] (1. 千葉大学、2. 金沢大学)

12:00 ~ 14:00

[S2P-05] オマーンオフィオライトと西アルプスシュナイエ・ラゴネロオフィオライト蛇紋岩の多世代の炭酸塩脈中の流体包有物が記録する熱水流体

「発表賞エントリー」

*犬飼 知宏[1]、川本 竜彦[1]、影田 樹哉[1]、田阪 美樹[1]、谷内 元[2]、Kenneth Koga[3]、Estelle Rose-Koga[3]、Christian Nicollet[4]、Baptiste Debret[5]、Marguerite Godard[6] (1. 静岡大学、2. 産業技術総合研究所、3. オルレアン大学・CNRS、4. クレルモン・オーベルニュ大学・CNRS、5. パリ地球物理学研究所・CNRS、6. モンペリエ2大学・CNRS)

12:00 ~ 14:00

[S2P-06] 東南極セール・ロンダーネ山地メーニパに産する含V緑色グロッシュラーに伴う石墨の炭素同位体組成とCOH流体の起源

*河上 哲生[1]、足立 達朗[3]、M Satish-Kumar[2]、東野 文子[1]、宇野 正起[4] (1. 京都大・院理、2. 新潟大・院自然、3. 九州大・院比文、4. 東北大・院環境)

ポスター | R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共催セッション）

12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共催セッション）

12:00 ~ 14:00

[R1P-01] 福島県石川地方産モナズ石の化学組成とCHIME年代

*坂野 靖行[1] (1. 産総研)

12:00 ~ 14:00

[R1P-02] エジリンーオージャイトの*M*1席を占めるFe^{3+}のメスバウアー四極子ダブレットの強度テンソル

*篠田 圭司[1]、小林 康浩[2] (1. 大公大・院理、2. 京大・複合研)

12:00 ~ 14:00

[R1P-03] 単結晶X線回折を用いたcordieriteのSiとAlの秩序度指標の作成

*西川 千尋[1]、篠田 圭司[1]、瀬戸 雄介[1] (1. 大公大・院理)

12:00 ~ 14:00

[R1P-04] EPMAによる斜長石中のSr濃度定量分析手法の提案

*岩橋 くるみ[1]、安田 敦[2]、西原 歩[1] (1. 産総研、2. 地震研)

12:00 ~ 14:00

[R1P-05] イラク北東部ヤシン・テペ遺跡出土の青銅腐食片の鉱物学的・化学的特徴

*黒澤 正紀[1]、池端 慶[1]、西山 伸一[2] (1. 筑波大・生命環境、2. 中部大・人間力創成)

12:00 ~ 14:00

[R1P-06] 群馬県南牧村三ッ岩岳産アメシストについて

*川崎 雅之[1] (1. つくば市)

12:00 ~ 14:00

[R1P-07] 栃木県足尾鉱山産Claraite

*丹羽 健文[1]、浜根 大輔[2]、土井 正一[1]、櫻井 浩[1]、沼尾 淳 (1. 名古屋鉱物同好会、2. 東大・物性研)

12:00 ~ 14:00

[R1P-08] 愛媛県梶島に産出する斑れい岩中に見られる電気石と斑れい岩ペグマタイトに関する鉱物学的研究

「発表賞エントリー」

*太田 一樹[1]、下岡 和也[1]、斉藤 哲[1]、白勢 洋平[1] (1. 愛媛大・院理工)

12:00 ~ 14:00

[R1P-09] 広島県能美島の花崗岩ペグマタイト産プロト鉄直閃石

*大西 政之[1]、下林 典正[2]、浜根 大輔[3]、篠田 圭司[4]、延寿 里美[5] (1. 無所属、2. 京大・院理、3. 東大・物性研、4. 阪公大・院理、5. 愛媛大・院理工)

12:00 ~ 14:00

[R1P-10] 岩手県舟子沢鉱山および小玉川鉱山から産出するノリッシュ雲母について

*浜根 大輔[1]、永嶌 真理子[2]、鈴木 保光 (1. 東大・物性研、2. 山口大・創成科学)

12:00 ~ 14:00

[R1P-11] **西オーストラリア，ピルバラ地域，クリーバービル層におけるBIF中のチャート中のベルチェリンとシャモサイト**

*井口 祐輔[1]、清川 昌一[2]、武田 侑也[3]、上原 誠一郎[4] (1. 九大・院理・地惑、2. 九大・理・地惑、3. 九大・院地球社会、4. 九大・博物館)

12:00 ~ 14:00

[R1P-12] 長野県大鹿村のカンラン岩中の自然鉄を含む蛇紋石脈の微細構造

*武田 侑也[1]、桑原 義博[2]、上原 誠一郎[3] (1. 九大・地球社会、2. 九大・比文、3. 九大・博物館)

ポスター | R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

12:00 ~ 14:00

[R2P-01] 動力学散乱理論に基づく電子顕微鏡像および電子回折パターンのシミュレーションソフトウェアの開発

*瀬戸 雄介[1]、大塚 真弘[2] (1. 大阪公立大・院理、2. 名古屋大・未来材料・システム研)

12:00 ~ 14:00

[R2P-02] 漂着軽石を出発物質としたカリ質ケイ酸質鉱物肥料合成の試み

「発表賞エントリー」

*浦添 春記[1]、大藤 弘明[1] (1. 東北大学)

12:00 ~ 14:00

[R2P-03] 低温下または高圧下X線回折によるNH_4Clの相転移その場観察

*小松 一生[1]、村上 喬紀[1]、中野 智志[2]、鍵 裕之[1] (1. 東大・院理、2. 物材機構)

12:00 ~ 14:00

[R2P-04] **アルカリフラックスを用いた風化花崗岩（マサ土）からの ケイ酸質カリ質鉱物肥料の合成**

「発表賞エントリー」

*石田 大輝[1]、大藤 弘明[1] (1. 東北大・院理)

12:00 ~ 14:00

[R2P-05] イソプロピルアミンを包接するシリカクラスレート自形結晶の合成とその特徴

*磯谷 舟佑[1]、玉井 伸幸[1]、横山 優花[1]、谷 篤史[1]、瀬戸 雄介[2] (1. 神戸大・院人間発達環境、2. 大阪公立大・院理)

12:00 ~ 14:00

[R2P-06] 微細組織と包有物から探る多結晶ダイヤモンド，カーボナードの起源

「発表賞エントリー」

*種谷 渉[1]、大藤 弘明[1] (1. 東北大学)

12:00 ~ 14:00

[R2P-07] **vateriteのcalcite化に与えるNaとKの効果の相違**

*古川 登[1]、木之田 亜海[1] (1. 千葉大学理学部地球科学科)

12:00 ~ 14:00

[R2P-08] アルファリコイルトラック検出のための合成ジルコンの作成・検証

*濵田 麻希[1]、長谷部 徳子[2] (1. 金沢大学・理工、2. 金沢大学環日本海域環境研究センター)

12:00 ~ 14:00

[R2P-09] ラマンスペクトルによるAl-Fe^{3+}系緑簾石中のFe^{3+}含有量の見積り

*永嶌 真理子[1,2]、Mihailova Boriana[2] (1. 山口大・院創成、2. Erdsystemwiss. Uni Hamburg)

ポスター | R4：地球表層・環境・生命

12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R4：地球表層・環境・生命

12:00 ~ 14:00

[R4P-01] アラゴナイトとカルサイトを含有する人工飼育サンゴの骨格組織観察

*甕 聡子[1]、波利井 佐紀[2]、富岡 尚敬[3]、伊藤 元雄[3] (1. 山形大・理、2. 琉大・熱生研、3. JAMSTEC・高知コア研)

12:00 ~ 14:00

[R4P-02] 陽イオンの水和状態の違いが炭酸塩鉱物形成プロセスに与える影響：非水和溶媒を用いた検討

*岩根 直[1]、川野 潤[1]、篠崎 彩子[1]、永井 隆哉[1] (1. 北海道大・院理)

12:00 ~ 14:00

[R4P-03] **超高感度STEMイメージング法を用いたクロシドライト石綿断面微細組織観察**

大西 市朗[1]、*三浦 颯人[1] (1. 日本電子㈱)

ポスター | R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

12:00 ~ 14:00

[R7P-01] 北海道然別地域産蛍光オパールの蛍光スペクトルおよび蛍光寿命

*飯森 俊文[1]、藤井 悠菜[2] (1. 室蘭工大・院工、2. 室蘭工大・工)

12:00 ~ 14:00

[R7P-02] 石川県富来鉱山生神地区の変質帯と鉱床の形成温度の推定

「発表賞エントリー」

*川崎 大樹[1]、濵田 麻希[1] (1. 金沢大学)

12:00 ~ 14:00

[R7P-03] 愛媛県八幡浜市に産出する含クロム石榴石脈

*延寿 里美[1]、白勢 洋平[1]、島村 洋輔 (1. 愛媛大学・理)

12:00 ~ 14:00

[R7P-04] 茨城県常陸太田市妙見山リチウムペグマタイトの成因

「発表賞エントリー」

*石嵜 拓海[1] (1. 秋田大・院資源)

12:00 ~ 14:00

[R7P-05] 山口県東部，玖珂層群に胚胎する層状マンガン鉱床～荒瀬谷鉱山・倉谷鉱山

「発表賞エントリー」

*秋本 悠作[1]、永嶌 真理子[1]、大和田 正明[1] (1. 山口大・創成科学)

12:00 ~ 14:00

[R7P-06] 秋田県荷葉岳大黒溶岩に含まれている灰長石巨晶の包有物からの成因の考察

「発表賞エントリー」

*西脇 健凱[1]、越後 拓也[1] (1. 秋田大学・院国際資源)

12:00 ~ 14:00

[R7P-07] 海底火山活動地域に産する玉髄の形成過程2　秋田県男鹿地域

*佐野 菜津子[1]、宮本 毅[2]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[3] (1. 東北大・院理、2. 東北大・東北アジア研セ、3. 東北大・総学博)

12:00 ~ 14:00

[R7P-08] 福徳岡ノ場の2021年噴火由来軽石に見られるクリストバライトを含む長石集合体岩片

*吉田 健太[1]、沢田 輝[2]、丸谷 由[3]、松田 渉[3] (1. 海洋研究開発機構、2. 富山大学、3. ネコのわくわく自然教室)

12:00 ~ 14:00

[R7P-09] 伊豆－マリアナ前弧域のマントル加水作用とマグマ形成史

*山岡 璃音[1]、秋澤 紀克[1]、市山 祐司[2]、田村 明弘[3]、森下 知晃[3] (1. 東大、2. 千葉大、3. 金沢大)

12:00 ~ 14:00

[R7P-10] 北部マリアナトラフ、Central Grabenの最上部マントルの不均質性について―KR02-01航海から得られたかんらん岩類の（再）微細構造解析

*針金 由美子[1]、田村 明弘[2]、仙田 量子[3]、森下 知晃[2]、山下 浩之[4] (1. 産業技術総合研究所、2. 金沢大学、3. 九州大学、4. 神奈川県立生命の星・地球博物館)

12:00 ~ 14:00

[R7P-11] 北極圏ウラル，ライ・イズ岩体の直方輝石に富む変成カンラン岩の形成過程

*石丸 聡子[1]、薗田 梨衣[1]、三浦 真[2,3]、シュメレフ ウラジミール[4]、荒井 章司[3] (1. 熊大、2. GIA、3. 金沢大、4. Zavaritskii Inst. Geol. Geochem., RAS)

14:00 ~ 15:15 | 810 杉本キャンパス
総会

14:00 ~ 15:15
[E-03] 総会

[zoom] Zoom

15:30 ~ 17:00 | 810 杉本キャンパス
受賞講演

15:30 ~ 17:00
[E-04] 受賞講演

[zoom] Zoom

18:30 ~ 20:30 | 都シティ 大阪天王寺
懇親会

18:30 ~ 20:30
[E-05] 懇親会

2023年9月16日(土)

口頭講演 | S1: 火成作用のダイナミクス (スペシャルセッション)

9:00 ~ 10:00 | 820 杉本キャンパス

S1: 火成作用のダイナミクス (スペシャルセッション)

座長:浜田 盛久(海洋研究開発機構)、吉村 俊平(北海道大学)

9:00 ~ 9:15

[S1-01] 組成累帯構造から読み解く一ノ目潟産カンラン岩捕獲岩のマグマ輸送過程

*佐藤 侑人[1]、高橋 栄一[1]、小澤 一仁[2] (1. 広州地球化学研究所、2. 東大大気海洋研)

9:15 ~ 9:30

[S1-02] 弾性変形による流体包有物の密度変化：流体包有物地質圧力計への影響とその補正法

*萩原 雄貴[1]、Angel Ross[2]、山本 順司[3]、Esposito Rosario[4]、Alvaro Matteo[5] (1. 海洋研究開発機構、2. IGG-CNR、3. 九州大、4. University of Milano-Bicocca、5. University of Pavia)

9:30 ~ 9:45

[S1-03] 花崗岩の非平衡溶融に伴うアルカリ長石の組織・組成変化

*川畑 博[1]、山下 茂[2] (1. 高知大学・理工学部、2. 岡山大学・惑星物質研究所)

9:45 ~ 10:00

[S1-04] 流紋岩質溶岩に含まれるスフェルライトとクリスタライトの再現実験

*菅原 維[1]、吉村 俊平[1] (1. 北大・院自然)

[zoom] Zoom

口頭講演 | R5：地球外物質

9:00 ~ 12:00 | 821 杉本キャンパス

R5：地球外物質

座長:松本　恵　(東北大学)、山本 大貴(九州大学)、瀬戸 雄介(大阪公立大学)、橘 省吾(東京大学)

9:00 ~ 9:15

[R5-01] ルチルの衝撃変形微細組織

*梅田 悠平[1]、永井 優馬[1]、富岡 尚敬[2]、関根 利守[3]、宮川 仁[4]、小林 敬道[4]、遊佐 斉[4]、奥地 拓生[1] (1. 京大・複合研、2. 海洋研究開発機構、3. 中国高圧科学研究中心、4. 物質材料研究機構)

9:15 ~ 9:30

[R5-02] 3次元衝撃実験により変形したカルサイトの微細組織

*富岡 尚敬[1]、黒澤 耕介[2]、大野 遼[3]、新原 隆史[4]、松井 孝典[2] (1. 海洋研究開発機構・高知コア研究所、2. 千葉工業大学・惑星探査研究センター、3. 立命館大学・総合科学技術研究機構、4. 岡山理科大学・基礎理学科)

9:30 ~ 9:45

[R5-03] 分化隕石中シリカ鉱物共存組織のFIB-TEM観察

*竹之内 惇志[1]、伊神 洋平[2]、三宅 亮[2]、大野 遼[3]、三河内 岳[4]、山口 亮[5] (1. 京大・総博、2. 京大・理、3. 立命館、4. 東大・総研博、5. 極地研)

9:45 ~ 10:00

[R5-04] 玄武岩と火星模擬土壌の短時間加熱実験による火星隕石の衝撃溶融の検証

「発表賞エントリー」

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

10:00 ~ 10:15

[R5-05] 放射光X線CTを用いたDaG999ユレイライト中炭素粒子の内部構造観察

*安武 正展[1]、松本 恵[3]、松野 淳也[2]、土山 明[2,4]、上杉 健太朗[1]、竹内 晃久[1] (1. JASRI、2. 立命館大、3. 東北大、4. 広州地球化学研究所)

10:15 ~ 10:30

[3Lecture-201-11-6add] 休憩

10:45 ~ 11:00

[R5-07] **はやぶさ2リターンサンプル表面の微隕石衝突メルトとマイクロクレータの ナノCT・TEM分析**

*松本 恵[1]、松野 淳也[2]、土`山 明[2,3]、中村 智樹[1]、榎戸 祐馬[1]、菊入 瑞葉[1]、安武 正展[4]、上杉 建太朗[4]、竹内 晃久[4]、延寿 里美[5]、奥村 翔太[6]、三津川 到[6]、　　琦[3]、三宅 亮[6]、はやぶさ2 初期分析コアチーム (1. 東北大学、2. 立命館大学、3. 中国科学院・广州地化研、4. （公財）高輝度光科学研究センター、5. 愛媛大学、6. 京都大学)

11:00 ~ 11:15

[R5-08] CIコンドライト及び小惑星リュウグウ試料のカンラン石主要・微量元素組成から推測する起源物質

*三河内 岳[1]、吉田 英人[1]、増田 みなみ[1]、ゾレンスキー マイケル[2] (1. 東京大学、2. NASAジョンソン宇宙センター)

11:15 ~ 11:30

[R5-09] Orgueil(CI コンドライト)隕石中角礫化岩片の鉱物モード多様性と水質変成度の関連について

*増田 みなみ[1]、三河内 岳[2]、Zolensky Michael[3] (1. 東大・院理、2. 東大・総研博／院理、3. NASA JSC)

11:30 ~ 11:45

[R5-10] Kaidun隕石におけるC1岩相の鉱物学的多様性

「発表賞エントリー」

*荻谷 賢英[1]、三河内 岳[2]、Zolensky Michael[3] (1. 東京大学・院理、2. 東京大学・総研博/院理、3. NASA ジョンソン宇宙センター)

11:45 ~ 12:00

[R5-11] コンドライトのサブタイプ3.0分類の検討

*木村 眞[1]、ワイスバーク マイケル[2]、山口 亮[1] (1. 国立極地研究所、2. ニューヨーク市立大学)

[zoom] Zoom

口頭講演 | R3：高圧科学・地球深部

9:00 ~ 12:00 | 822 杉本キャンパス

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)、境 毅(愛媛大学)、西 真之(大阪大学)

9:00 ~ 9:15

[R3-01] 第一原理計算によるアンチゴライトのポリソマティズムの研究

*土屋 旬[1]、井上 紗綾子[1]、溝口 大河[1] (1. 愛媛大学)

9:15 ~ 9:30

[R3-02] Alの固溶による斜方輝石の含水メカニズムの変化

*櫻井 萌[1]、佐久間 博[2]、辻野 典秀[3]、高橋 栄一[4]、河村 雄行[5] (1. 岡山大学、2. NIMS、3. JASRI、4. 広州地球化学研究所、5. 東工大)

9:30 ~ 9:45

[R3-03] スティショバイトにおける水素とアルミニウムの存在状態：多核種NMR及び第一原理計算による新知見

*薛 献宇[1]、神崎 正美[1] (1. 岡山大・惑星研)

9:45 ~ 10:00

[R3-04] ウォズリアイトの熔融温度に及ぼす高酸素分圧の影響の解明と 生成したメルトの化学組成

「発表賞エントリー」

*山口 和貴[1]、川添 貴章[1]、井上 徹[1]、境 毅[2] (1. 広島大・院先進理工、2. 愛媛大学・地球深部)

10:00 ~ 10:15

[R3-05] $FeTiO_3$ ilmeniteの電気伝導度の圧力変化、陽イオン席の圧縮率とスピン状態の圧力変化

*山中 高光[1] (1. 中国高圧科学技術研究中心)

10:15 ~ 10:30

[R3-06] マントル遷移層から下部マントル最上部における MgO-SiO_2-H_2O 系の溶融関係について

*井上 徹[1]、奥村 晃太[1]、川添 貴章[1]、柿澤 翔[2]、野田 昌道[3]、入舩 徹男[4]、新名 亨[4] (1. 広島大・院先進理工、2. JASRI、3. デラウエア州立大、4. 愛媛大GRC)

10:30 ~ 10:45

[3Lecture-301-11-7add] 休憩

10:45 ~ 11:00

[R3-07] **高圧高温実験から予測されるマントル遷移層でのマグマの含水量プロファイル**

「発表賞エントリー」

*江木 祐介[1]、井上 徹[1]、奥村 晃太[1]、川添 貴章[1] (1. 広島大・院先進理工)

11:00 ~ 11:15

[R3-08] フェロペリクレース中の鉄-スピン転移に伴う弾性異常の検出 ：GHz-DAC音速測定法による再検討

*加藤 拓人[1]、米田 明[1]、近藤 忠[1]、山崎 大輔[2] (1. 阪大・院理、2. 岡大・惑星研)

11:15 ~ 11:30

[R3-09] 核・マントル境界における水と鉄の交換反応

「発表賞エントリー」

*河野 克俊[1]、西 真之[1]、柿澤 翔[2]、井上 徹[3]、桑原 秀治[4]、近藤 忠[1] (1. 阪大・院理、2. JASRI、3. 広大・院理、4. 愛媛大・GRC)

11:30 ~ 11:45

[R3-10] Siがもたらす鉄の水素化による体積膨張増加と地球核推定水素量への影響

「発表賞エントリー」

*森 悠一郎[1]、鍵 裕之[1]、青木 勝敏[1]、高野 将大[1]、柿澤 翔[2]、佐野 亜沙美[3]、舟越 賢一[4] (1. 東大・院理、2. JASRI、3. 日本原子力研究開発機構 J-PARC、4. CROSS)

11:45 ~ 12:00

[R3-11] 高温高圧下におけるFe_2SiO_4アーレンサイトのポストスピネル転移

*赤荻 正樹[1,2]、宮崎 奈月[1]、田島 太亮[1]、糀谷 浩[1] (1. 学習院大・理、2. 東大院・理)

[zoom] Zoom

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

10:15 ~ 12:00 | 820 杉本キャンパス

R6：深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

座長:湯口 貴史(熊本大学)、亀井 淳志(島根大学)

10:15 ~ 10:30

[R6-01] 東南極リュツォ・ホルム複合岩体の天文台岩に産する変花崗岩類をもたらした火成活動

*亀井 淳志[1]、市川 もも[1]、外田 智千[2]、谷 健一郎[3]、北野 一平[4]、馬場 壮太郎[5]、Setiawan Nugroho[6]、Nantasin Prayath[7]、Dashbaatar Davaa-ochir[8]、本吉 洋一[2] (1. 島根大学、2. 国立極地研究所、3. 国立科学博物館、4. 北海道大学、5. 琉球大学、6. Universitas Gadjah Mada、7. Kasetsart University、8. Mongolian University of Science and Technology)

10:30 ~ 10:45

[R6-02] オマーン掘削プロジェクトで回収されたマントルセクションコア中の苦鉄質脈：背弧拡大の産物か？

*市山 祐司[1]、伊藤 久敏[2]、田村 明弘[3]、森下 知晃[3] (1. 千葉大学、2. 電力中央研究所 、3. 金沢大学)

10:45 ~ 11:00

[R6-03] ミュオグラフィー観測が明かすオマーンオフィオライトの海洋地殻ーマントルの密度構造

*海野 進[1]、田中 宏幸[2]、オラー ラズロ[2]、バルガ デジュー[4]、森下 知晃[1]、平松 良宏[1]、草野 有紀[3] (1. 金沢大学、2. 東京大学、3. 産業技術総合研究所、4. ウイグナー物理学研究所)

11:00 ~ 11:15

[R6-04] 岩船閃緑岩の成因

「発表賞エントリー」

*山崎 陽生[1,2]、江島 輝美[1,2]、昆 慶明[2] (1. 信州大・理、2. 産総研)

11:15 ~ 11:30

[R6-05] Zircon U-Pb age combined with trace element geochemistry constraining the source of Miocene granitoids of the Kagoshima Prefecture, Japan

*Hafiz Ur REHMAN[1], Marimo NAKABAYASHI[1], Yuki OTA[1], Kaushik DAS[2], Chung Sun LIN[3], Hao YANG LEE[3], Daisuke YAMASHITA[4], Hiroshi YAMAMOTO[1] (1. Kagoshima Uni., 2. Hiroshima Uni., 3. IES, Academia Sinica, Taiwan, 4. Satsumasendai Kosh. Mus.)

11:30 ~ 11:45

[R6-06] 関門層群の年代の再検討：残された未解決問題

*堤 之恭[1]、長谷川 遼[2]、磯﨑 行雄[3] (1. 国立科学博物館、2. 富士フイルムビジネスイノベーション（株）、3. 東京大学大学院総合文化研究科)

11:45 ~ 12:00

[R6-07] 近畿領家帯青山高原地域に産する花崗岩類のジルコンU-Pb年代

*東野 文子[1]、河上 哲生[1]、坂田 周平[2]、工藤 駿平[1]、伊神 洋平[1] (1. 京大・院理、2. 東大・地震研)

[zoom] Zoom

口頭講演 | R5：地球外物質

14:00 ~ 15:00 | 821 杉本キャンパス

R5：地球外物質

座長:松本　恵　(東北大学)、山本 大貴(九州大学)、瀬戸 雄介(大阪公立大学)、橘 省吾(東京大学)

14:00 ~ 14:15

[R5-12] 星周非晶質ケイ酸塩ダストの化学組成の制約：Na-Mg-Al-Si-Ca-Fe-Ni-O系での凝縮実験

*榎本 華子[1]、瀧川 晶[1] (1. 東大・院地惑)

14:15 ~ 14:30

[R5-13] 原始太陽系円盤におけるプレソーラーSiC粒子の残存可能性に関する実験的研究

*山本 大貴[1]、瀧川 晶[2]、橘 省吾[2] (1. 九州大学、2. 東京大学)

14:30 ~ 14:45

[R5-14] メラノフロジャイト仮晶を含む多孔質な南極微隕石：氷衛星地下海からの放出物か，未知の太陽系外縁天体の物質か？

*野口 高明[1]、光成 拓也[2,3]、松本 里佳子[4,5]、山口 亮[6]、今栄 直也[6]、松本 徹[1]、荒木 暢[7]、湯澤 勇人[7]、三宅 亮[1] (1. 京都大・院理、2. 茨城大・理、3. 三菱電機ソフトウェア、4. 九州大・院理、5. 伊根町役場、6. 極地研、7. 分子研)

14:45 ~ 15:00

[R5-15] **地球鉱物と地球外の混合岩石物質の固体系での対比研究**

*三浦 保範[1] (1. 元・予定（山口大・院理）)

[zoom] Zoom

口頭講演 | R3：高圧科学・地球深部

14:00 ~ 15:00 | 822 杉本キャンパス

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)、境 毅(愛媛大学)、西 真之(大阪大学)

14:00 ~ 14:15

[R3-12] 高温における酸素に富む火星核の形成過程

*大谷 栄治[1]、マクドノア ウイリアム[1,2] (1. 東北大学、2. メリーランド大学)

14:15 ~ 14:30

[R3-13] 静的圧縮によるアルミニウムの微細組織の形成過程

*奥地 拓生[1,2]、田中 友登[2,1]、富岡 尚敬[3]、佐野 智一[4]、松田 朋己[4]、荒河 一渡[5]、瀬戸 雄介[6] (1. 京都大・複合研、2. 京都大・院工・機械、3. 海洋研究開発機構・高知コア研、4. 阪大・院工、5. 島根大・たたらセンター、6. 大阪公立大・院理)

14:30 ~ 14:45

[R3-14] 天然及び合成による鉱物微細組織の分析電顕による 定量化学分析

*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)

14:45 ~ 15:00

[R3-15] ガラス状炭素の高温高圧下での直接変換による多結晶ダイヤモンドの合成

小川 千夏[1]、*入舩 徹男[1]、井上 紗綾子[1]、國本 健広[1]、新名 亨[1]、鈴村 明政[2]、伊藤 正一[2] (1. 愛媛大学・GRC、2. 京都大学・理)

[zoom] Zoom

ポスター | S1: 火成作用のダイナミクス (スペシャルセッション)

12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

S1: 火成作用のダイナミクス (スペシャルセッション)

12:00 ~ 14:00

[S1P-01] 妙高火山のマグマ溜まりへのK_2Oに富むマグマの注入

*浜田 盛久[1]、Rose-Koga Estelle[2]、Koga Kenneth[2]、清水 健二[1]、牛久保 孝行[1]、原田 英男[3]、Auer Andreas[4]、山口 佳昭[3] (1. JAMSTEC、2. ISTO, CNRS-Universite d'Orleans、3. 信州大学、4. 島根大学)

12:00 ~ 14:00

[S1P-02] 石基ガラスの揮発性成分の濃度分布から推定される発泡マグマの再加圧過程

*吉村 俊平[1] (1. 北海道大学)

ポスター | R3：高圧科学・地球深部

12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R3：高圧科学・地球深部

12:00 ~ 14:00

[R3P-01] NanoSIMSおよびIRMSを用いた高圧実験合成ダイヤモンド/グラファイトの炭素同位体分析

川村 英彰[1]、*大藤 弘明[1]、Satish-Kumar M.[2]、Sasidharan Kiran[2]、石田 章純[1]、笹木 晃平[3]、高畑 直人[3]、白井 厚太朗[3]、鈴木 昭夫[1] (1. 東北大学・院理、2. 新潟大学・院自然、3. 東京大学・大気海洋研)

12:00 ~ 14:00

[R3P-02] 巨大氷惑星のマントル上部におけるダイヤモンド生成

劔持 嘉[1]、*境 毅[1]、門林 宏和[2] (1. 愛媛大学、2. 高輝度光科学研究センター)

12:00 ~ 14:00

[R3P-03] 冷たいスラブにおけるポストアンチゴライト反応

*久保 友明[1]、吉田 真吾[1]、本田 陸人[1]、平本 雄大[1]、辻野 典秀[2]、柿澤 翔[2]、肥後 祐司[2] (1. 九州大学、2. JASRI)

12:00 ~ 14:00

[R3P-04] 準安定オリビンのレオロジー

「発表賞エントリー」

*本田 陸人[1]、久保 友明[1]、辻野 典秀[2]、肥後 祐司[2]、柿澤 翔[2]、柴崎 裕樹[3]、西原 遊[4] (1. 九大・理、2. JASRI、3. 高エネルギー加速器研究機構、4. 愛媛大・GRC)

12:00 ~ 14:00

[R3P-05] 回転式DACを用いた下部マントル圧力下大歪変形実験より検討するWüstite多結晶体の変形特性

「発表賞エントリー」

*夏井 文凜[1]、東 真太郎[1]、岡崎 啓史[2]、上杉 健太朗[3]、安武 正展[3]、河口 沙織[3]、野村 龍一[4]、太田 健二[1] (1. 東工大、2. 広大、3. JASRI、4. 京大)

12:00 ~ 14:00

[R3P-06] 近赤外線加熱法による回転式ダイヤモンドアンビルセルの高温条件の実現

*東 真太郎[1]、岡崎 啓史[2]、上杉 健太朗[3]、安武 正展[3]、夏井 文凜[1]、Jayawickrama Eranga[2]、野村 龍一[4] (1. 東京工業大学、2. 広島大学、3. 高輝度光科学研究センター、4. 京都大学)

12:00 ~ 14:00

[R3P-07] 透過型電子顕微鏡内その場圧縮観察による応力測定と高圧相転移の可能性

*三宅 亮[1]、伊神 洋平[1]、野村 龍一[1] (1. 京都大学)

12:00 ~ 14:00

[R3P-08] DAC試料長のリアルタイム測定：ダイヤモンドアンビル背面間距離測定具の開発とダイヤモンドアンビル弾性変形解析

*米田 明[1]、加藤 拓人[1] (1. 大阪大・理)

12:00 ~ 14:00

[R3P-09] レーザー加熱式DACとX線吸収法を組み合わせた 高温高圧下でのニッケル密度測定

*寺崎 英紀[1]、紙名 宏幸[1]、鶴岡 椋[2]、近藤 忠[2]、米田 明[2]、森岡 康[1]、櫻井 萌[1]、鎌田 誠司[3]、河口 沙織[4] (1. 岡山大学、2. 大阪大学、3. 東北大学、4. JASRI)

12:00 ~ 14:00

[R3P-10] レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いた X線吸収法によるFeSの密度測定

「発表賞エントリー」

*森岡 康[1]、寺崎 英紀[1]、紙名 宏幸[1]、鶴岡 椋[2]、近藤 忠[2]、米田 明[2]、櫻井 萌[1]、河口 沙織[3] (1. 岡山大・院自然、2. 大阪大・院理、3. JASRI)

12:00 ~ 14:00

[R3P-11] 中性子回折と分子動力学法を用いたFeS Vの水素化挙動の探索

「発表賞エントリー」

*高野 将大[1]、鍵 裕之[1]、森 悠一郎[1]、青木 勝敏[1]、柿澤 翔[2]、佐野 亜沙美[3]、飯塚 理子[4]、土屋 卓久[5] (1. 東大・院理、2. JASRI、3. 日本原子力研究開発機構 J-PARC、4. 早稲田大 教育・総合科学学術院、5. 愛媛大・GRC)

12:00 ~ 14:00

[R3P-12] 3GPaにおけるFe-FeS-FeO系の融解関係

辻 航輔[1]、*浦川 啓[1]、寺﨑 英紀[1] (1. 岡山大学)

12:00 ~ 14:00

[R3P-13] 高温高圧下でのビスマス研究

*小野 重明[1] (1. 海洋研究開発機構)

ポスター | R5：地球外物質

12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R5：地球外物質

12:00 ~ 14:00

[R5P-01] 二酸化ゲルマニウムの衝撃圧縮による構造変化

*荒賀 大翔[1,2]、梅田 悠平[1,2]、小林 敬道[3]、遊佐 斉[3]、瀬戸 雄介[4]、奥地 拓生[1,2] (1. 京都大・院工、2. 京都大・複合研、3. 物質・材料研究機構、4. 大阪公立大・院理)

ポスター | R6：深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R6：深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

12:00 ~ 14:00

[R6P-01] 北部九州，尺岳北部火成岩類の閉鎖系・開放系における組成変化過程

*江島 圭祐[1] (1. 山口大・創成科学)

12:00 ~ 14:00

[R6P-02] 火山帯における最上部地殻の形成過程：兵庫県産，白亜紀火山ー深成複合岩体の例

*大和田 正明[1]、福田 俊介[1]、亀井 淳志[2] (1. 山口大学、2. 島根大学)

12:00 ~ 14:00

[R6P-03] アダカイト質マグマの大陸地殻浅部への貫入・定置機構：北上山地，堺ノ神深成岩体を例として

「発表賞エントリー」

*鈴木 哲士[1]、浅井 信夫[1]、中島 和夫[1]、小北 康弘[2]、横山 立憲[2]、坂田 周平[3]、大野 剛[4]、湯口 貴史[5] (1. 山形大学、2. 原子力機構、3. 東大地震研、4. 学習院大学、5. 熊本大学)

12:00 ~ 14:00

[R6P-04] 背弧域マントルの希ガス同位体比に基づいた不均質同定

*横倉 伶奈[1]、角野 浩史[1]、栗谷 豪[2]、萩原 雄貴[3]、山本 順司[4] (1. 東京大、2. 北海道大、3. JAMSTEC、4. 九州大)

12:00 ~ 14:00

[R6P-05] 鉱物中に分布する物質移動に資する内部構造の三次元的な評価： 土岐花崗岩体のカリ長石中の微小孔

*野中 麻衣[1,2]、湯口 貴史[3] (1. 山形大学、2. 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、3. 熊本大学)

12:00 ~ 14:00

[R6P-06] 九重火山群第四紀マグマの起源や進化過程について

*山中 壮馬[1]、柴田 知之[3]、藤原 涼太郎[1]、折戸 達紀[1]、幣島 太一[1]、芳川 雅子[3]、柴田 智郎[2] (1. 広島大・理、2. 福岡大・理、3. 広島大学・先進理工)

12:00 ~ 14:00

[R6P-07] 岐阜県中濃地域に分布する前期中新統蜂屋層の地球化学的特徴

「発表賞エントリー」

*西條 成[1]、髙橋俊郎 俊郎[2] (1. 新潟大・院自然、2. 新潟大)

12:00 ~ 14:00

[R6P-09] 北上山地，遠野複合深成岩体に産出する石英のカソードルミネッセンスパターンとチタン濃度・アルミニウム濃度の定量分析

*小北 康弘[1,2]、加藤 丈典[3]、湯口 貴史[4] (1. 山形大、2. 原子力機構、3. 名古屋大、4. 熊本大)

12:00 ~ 14:00

[R6P-10] 花崗岩中の石英のカソードルミネッセンスパターンとチタン濃度定量による石英の結晶化プロセスの解明

*加藤 あすか[1]、加藤 丈典[2]、小北 康弘[1,3]、湯口 貴史[4]、笹尾 英嗣[3] (1. 山形大、2. 名古屋大、3. 原子力機構、4. 熊本大)

12:00 ~ 14:00

[R6P-11] 東南極リュッツォホルム岩体二番岩に産する苦鉄質岩脈の記載岩石学とRb-Sr鉱物年代

*宮本 知治[1]、山下 勝行[2]、Dunkley Daniel J.[3]、角替 敏昭[4]、加藤 睦実[5] (1. 九州大学、2. 岡山大学、3. Polish Academy of Sciences、4. 筑波大学、5. 千葉大学)

ポスター | R8：変成岩とテクトニクス

12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R8：変成岩とテクトニクス

12:00 ~ 14:00

[R8P-01] 北海道, 幌満かんらん岩体の層状構造を明らかにするための構造岩石学的研究

「発表賞エントリー」

*日原 彩[1]、田阪 美樹[1]、栗原 圭佑[1]、川本 竜彦[1]、谷内 元[2] (1. 静岡大学、2. 産業技術総合研究所)

12:00 ~ 14:00

[R8P-02] Geology and petrography of metamorphic rocks in Sibuyan Island, Romblon, Philippines

[Presentation award entry]

*John Kenneth Badillo[1], Gabriel Theophilus Valera[1], Betchaida Payot[1] (1. University of the Philippines Diliman)

12:00 ~ 14:00

[R8P-03] **山口県南部、大島半島に産する変成岩類の変成作用：西瀬戸内領家変成帯の変成条件と地質構造**

「発表賞エントリー」

*LU Zejin[1]、大和田 正明[1] (1. 山口大学)

12:00 ~ 14:00

[R8P-04] プレートの沈み込みに伴って形成される層面滑りの研究

「発表賞エントリー」

*吉朝 開[1]、安東 淳一[2]、SARKAR Prakash[2]、DAS Kaushik[2]、GHOSH Gautam[3] (1. 広島大・理、2. 広島大・院先進理工、3. Presidency University)

12:00 ~ 14:00

[R8P-05] コロラド台地産ローソン石エクロジャイト捕獲岩を構成するオンファス輝石の電子線散漫散乱：予察的報告

「発表賞エントリー」

*福島 諒[1]、辻森 樹[1,2]、宮島 延吉[3]、Boffa-Ballaran Tiziana[3]、Criniti Giacomo[3]、McCammon Catherine[3] (1. 東北大・院理、2. 東北大・CNEAS、3. バイロイト大・BGI)

12:00 ~ 14:00

[R8P-06] **Exhumation process of serpentinite in the Sangun-Renge belt exposed at Sasaguri, Fukuoka prefecture**

[Presentation award entry]

*Swarnaa ANNADURAI MUNUSAMY[1], Jun-ichi ANDO[1,2], Yuki IWASAKI[3], Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Kaushik DAS[1,2], Seiichiro UEHARA[4] (1. Hiroshima Univ., 2. HiPeR, Hiroshima, 3. NIPPON STEEL CORP., 4. The Kyushu Univ. Museum)

12:00 ~ 14:00

[R8P-07] 幌満かんらん岩体上部のかんらん岩とマフィック岩からなる対称性がよい露頭の鉱物化学組成と全岩化学組成

「発表賞エントリー」

*栗原 圭佑[1]、川本 竜彦[1]、日原 彩[1]、田阪 美樹[1]、谷内 元[2]、栗谷 豪[3]、松本 亜希子[3] (1. 静岡大、2. 産総研、3. 北海道大)

12:00 ~ 14:00

[R8P-08] 塑性変形領域でのシュードタキライト形成に関連した地震性断層発生のメカニズム: インドSarwar-Junia断層帯の例

「発表賞エントリー」

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

12:00 ~ 14:00

[R8P-09] 花崗岩質マイロナイト中の動的再結晶石英粒子の含水量分布：大阪府岸和田地域の領家帯内部剪断帯の場合

*法村 武昌[1]、福田 惇一[1] (1. 阪公大・理・地球)

12:00 ~ 14:00

[R8P-10] **Deformation microstructures and slip systems developed in olivine from the Petit-spot peridotite xenoliths: Insights on deformation mechanisms and anisotropy of upper mantle**

*Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Norikatsu Akizawa[3], Jun-ichi Ando[1,2], Masako Yoshikawa[1,2] (1. Hiroshima University, 2. HiPeR, 3. The University of Tokyo)

12:00 ~ 14:00

[R8P-11] EMアルゴリズムを利用した岩石中炭質物の新しい被熱温度推定法自動化の試み

*中村 佳博[1]、松村 太郎次郎[1]、宮崎 一博[1] (1. 産総研)

12:00 ~ 14:00

[R8P-12] 京都府大浦半島に産する大浦複合岩体のジルコンU-Pb年代とその帰属

*木村 光佑[1]、川口 健太[2]、中野 伸彦[2]、足立 達朗[2]、Das Kaushik[3] (1. 大公大・院理、2. 九州大・院比文、3. 広島大・院理)

12:00 ~ 14:00

[R8P-13] Metasomatic syenite at the interface between charnockite and calc-silicate granulite, Eastern Ghats Belt, India: Mineral-chemical characterization and its implications during orogenesis

*Kaushik DAS[1,4], Proloy Ganguly[2], Sankar Bose[3,4] (1. Hiroshima University, 2. Durgapur Government College, Department of Geology, Durgapur, India, 3. Presidency University, Kolkata, India, 4. HiPeR, Hiroshima)

12:00 ~ 14:00

[R8P-14] 東南極セール・ロンダーネ山地，メーニパ地域に産するバナジウムと亜鉛に富む亜鉛スピネル-珪線石-白雲母片麻岩の記載岩石学的特徴

*足立 達朗[1]、河上 哲生[2]、東野 文子[2]、宇野 正起[3] (1. 九州大学、2. 京都大学、3. 東北大学)

12:00 ~ 14:00

[R8P-15] Unraveling the Link Between Deformation, Metamorphism, and Fluid Flow in the Archean Dharwar Craton, Southern India

*Sreehari LAKSHMANAN[1], Kiran Sasidharan[2], Satish-Kumar Madusoodhan[2], Tsuyoshi Toyoshima[2] (1. Shimane Uni., 2. Niigata Uni.)

15:30 ~ 17:00 | 820 杉本キャンパス

一般普及講演

15:30 ~ 17:00

[E-06] 一般普及講演

[zoom] Zoom

15:30 ~ 17:00 | 822 杉本キャンパス

理事会

15:30 ~ 17:00

[E-07] 理事会

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

2023年9月14日(木) 13:30 ~ 16:30 | 820 杉本キャンパス

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共催セッション）

座長:北脇 裕士(中央宝石研究所)、黒澤 正紀(筑波大学)、坂野 靖行(産総研)

[座長]
北脇 裕士:R1-01〜R1-03
黒澤 正紀:R1-04〜R1-07
坂野 靖行:R1-08〜R1-11

13:30 ~ 13:45

[R1-01] グリーンランド産ルビーとモンタナ産サファイア; LA-ICP-MSを用いた微量元素分析と原産地鑑別

*江森 健太郎[1]、北脇 裕士[1] (1. ㈱中央宝石研究所)

13:45 ~ 14:00

[R1-02] スカルンと蛇紋岩起源のアンドラダイト・ガーネットの変種デマントイドの微量化学元素の比較研究

*阿依 アヒマディ[1,2] (1. Tokyo Gem Science(合同)、2. GSTV宝石学研究所)

14:00 ~ 14:15

[R1-03] 希少な宝石品質の青緑色と緑青色のアウイン

*趙 政皓[1]、北脇 裕士[1]、岡野 誠[1]、小松 一生[2] (1. 中央宝石研究所、2. 東大・院理)

14:15 ~ 14:30

[R1-04] 希少な赤色“マスグラバイト”の名称と宝石鑑別

*北脇 裕士[1]、趙 政皓[1]、江森 健太郎[1]、岡野 誠[1]、間中 裕二[1]、海老坪 聡[1] (1. 中宝研)

14:30 ~ 14:45

[R1-05] マダガスカル産天然サファイア中のナノインクルージョン

*三宅 亮[1]、乙 星華[1]、伊神 洋平[1]、埋橋 淳[2]、大久保 忠勝[2]、北脇 裕士[3]、江森 健太郎[3] (1. 京都大学、2. 物質・材料研究機構、3. 中央宝石研究所)

14:45 ~ 15:00

[R1-06] 岐阜県中津川市蛭川産columbite supergroupの 高分解能STEM観察

*小暮 敏博[1]、坂野 靖行[2]、奥村 大河[1] (1. 東大・院理、2. 産総研)

15:00 ~ 15:15

[R1-07] 位置分解電子回折による天川村産イリデッセントガーネットの局所対称性決定

*伊神 洋平[1]、三宅 亮[1] (1. 京大・院理)

15:15 ~ 15:30

[R1-08] 兵庫県琢美鉱山から産するデュモルチ石及び電気石について

*白勢 洋平[1]、上世 莉可子[1]、西田 勝一、藤原 由輝 (1. 愛媛大・理)

15:30 ~ 15:45

[1Lecture-101-11-9add] 休憩

15:45 ~ 16:00

[R1-09] **福岡市西区長垂地域の産出鉱物**

*上原 誠一郎[1] (1. 九州大学・博物館)

16:00 ~ 16:15

[R1-10] 福島県南相馬市の中新世堆積物中の巻貝化石内部に産する沸石の鉱物学的産状と成因

「発表賞エントリー」

*石原 篤[1]、大藤 弘明[1] (1. 東北大・院理)

16:15 ~ 16:30

[R1-11] 熱水性シリカ脈に付随する種々の有機鉱物類の成因と生成メカニズム

*田中 陵二[1,2]、井上 裕貴[3]、石橋 隆[4]、萩原 昭人 (1. 相模中央化学研究所、2. 東海大理、3. 九大院理、4. 阪大総合博)

[zoom] Zoom

グリーンランド産ルビーとモンタナ産サファイア; LA-ICP-MSを用いた微量元素分析と原産地鑑別

Greenland Ruby and Montana Sapphire; Trace element analysis using LA-ICP-MS and Origin determination

*江森 健太郎[1]、北脇 裕士[1]
*Kentaro EMORI[1], Hiroshi Kitawaki[1]

1. ㈱中央宝石研究所
1. Central Gem Laboratory

宝石鉱物は母岩や産出環境といった地質学的な環境情報を保持している。宝石鉱物の構成成分の分析は、その母結晶の地質環境、産状を特定することに繋がるため、原産地鑑別における重要な情報となる。

LA-ICP-MS(レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置)は、コランダムのBe拡散加熱処理の看破や、各種宝石鉱物の原産地鑑別等に用いられている。宝石鑑別における分析は、非破壊分析が基本であるが、LA-ICP-MSで分析を行う際の分析痕(半径15~80 μm)は10倍のルーペで視認困難であることから準非破壊分析として宝石分野では定着している。

筆者らは2015年日本鉱物科学会一般講演会にてLA-ICP-MSを用いた宝石コランダムの原産地鑑別について発表を行っており、その後もLA-ICP-MSを用いた原産地鑑別の研究を継続的に行っている。 今回は最近新たに流通がはじまったグリーンランド産ルビーと、国内での流通量が増えつつあるアメリカ合衆国モンタナ州産(以下モンタナ産)ブルーサファイアを対象に検討を行った。

グリーンランドにおいては1966年に南西海岸でルビーとピンクサファイアが回収された。その後、2014年True North Gems Inc.がAaappaluttoq鉱床地域でのコランダム採掘ライセンスを得、ルビーとピンクサファイアの最初の販売が2017年にスタートした。Aaappaluttoqの岩石は高温高圧の変成作用を受けており、最近の研究(Polat et al., 2010)によると地質年代は約29億年であることが示唆されている。このことから、グリーンランド産ルビーは「最古のルビー」と呼ばれている。小粒で品質が中～低のものが多く、タイで硼砂を用いた熱処理が行われているものが殆どである。

一方、アメリカ、モンタナ州から採掘されるサファイアにはヨーゴ峡谷産の一次鉱床のものとミズーリ河流域産の二次鉱床のものがある。ヨーゴ峡谷のコランダム鉱山は現在閉山状態にあり、近年国内市場で多くみられるものは後者のミズーリ河流域で採掘されるサファイアである。ミズーリ河流域でのコランダム採掘は1800年代後半より採掘がはじまり1930年代後半まで続いた。そして2011年Potentate Mining社がロッククリーク鉱山を含むジェムマウンテン地域の北部の採掘権、2014年には南部を購入し、商業的な採掘が再スタートした。ヨーゴ峡谷産はランプロファイアを母岩とするが、ミズーリ河流域で採掘されるサファイアは二次鉱床ということもあり、母岩や生成環境等は未だ論争中である。モンタナ産サファイアは色が薄いものが多く、加熱処理が施されるものがほとんどである。

分析に用いたLA-ICP-MS装置は、レーザーアブレーション装置としてESI UP-213、ICP-MS装置としてAgilent 7900rbを使用した。サンプルはグリーンランド産ルビー9点、モンタナ産ブルーサファイア45点を分析に用いた。 グリーンランド産のルビーについての微量元素組成は、変成岩起源のルビーと一致し、特にMg, Ti, Fe, Gaの濃度範囲がモザンビーク産ルビーと類似する。しかし、Vの量がモザンビーク産よりわずかに多く両者を分別することが可能であることがわかった。また、モンタナ産ブルーサファイアについては変成岩起源と玄武岩起源のコランダムの中間的組成を示す。しかし、変成岩起源のサファイアと比較するとFeが多く、玄武岩起源と比較するとGaが少ないという特徴が見いだされた。

LA-ICP-MS法を用いた微量元素測定による原産地鑑別は一部データがオーバーラップする部分もあり、詳細な内部特徴の観察や標準的な宝石学特性を併用し相互補充的に用いられるべきである。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

キーワード：コランダム、LA-ICP-MS、グリーンランド、モンタナ、原産地鑑別
Keywords: Corundum, LA-ICP-MS, Greenland, Montana, Origin determination

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

スカルンと蛇紋岩起源のアンドラダイト・ガーネットの変種デマントイドの微量化学元素の比較研究

Comparing study of trace element chemistry of skarn hosted and serpentinite hosted demantoid, a variety of andradite garnet

*阿依 アヒマディ[1,2]
*Ahmadjan ABDURIYIM[1,2]

1. Tokyo Gem Science(合同)、2. GSTV宝石学研究所
1. Tokyo Gem Science LLC, 2. GSTV Gemological Laboratory

　アンドラダイトの変種であるデマントイドガーネットは、スカルンホスト型と蛇紋岩ホスト型の二つのグループに大きく分けることができる。後者のグループでは、ロシアのウラル山脈のTagil地区のNizhny鉱山とイタリアのVal Malendo鉱山は代表的な産出地であったが、イランのケルマーン州やパキスタンのハザラ地区のカガン渓谷地域は新たな供給源となった。これらのデマントイドを含んでいる蛇紋岩層は、超苦鉄質な母岩の比較的低程度の熱水/変成交代作用によるものです。<br data-uw-rm-sr="" />　枯渇になったロシアのNizhny鉱山から200㎞離れたKorkodinとPoldnevaya地域から新たにデマントイドが発見され、Korkodin鉱山では褐色味の強い緑色が多く産出され、加熱の対すようになります。Poldnevaya鉱山のものは褐色味が少なく、明るい緑色を呈したデマントイドを加熱処理しないで国際マーケティングに提供しています。また、パキスタンのBaluchistan州のKhuzdar地域の新しい鉱床から産出されたデマントイドが、やや薄く、黄緑色から緑色の範囲で、ロシア産デマントイドと同様に美しい繊維状のChrysotile(クリソタイル)が含まれ、蛇紋岩起源であることを確認した。顕微鏡拡大検査では、クリソタイルの繊維状内包物は結晶面に向かって放射状に広がります。多くのサンプルの中心部には、黒色不透明なクロマイトも観察され、蛇紋岩ホストのデマントイドで一般的に観察されるインクルージョンと同様であることを再度確認できている。 本研究では、両国の新鉱山からサンプルを入手し、そして同蛇紋岩起源であるイラン産、イタリア産のデマントイドと、スカルン起源であるナミビア産、マダガスカル産デマントイドと比較研究を行い、内包物の種類、緑色の主な発色元素であるクロムの含有量、その他の特異な微量元素の分布などについて詳細に調べた。 蛇紋岩起源のデマントイドに結晶周囲へ放射状に分布したクリソタイル以外に黒色クロマイトがよく含まれ、唯一パキスタン産サンプルにクロマイトの代わりにマグネタイトが存在したことが初めて分かった。スカルン起源のデマントイドにこのよう内包物がなく、wollastonite(珪灰石)、diopside(透輝石)の集合体、成長管などが含まれている。レーザーアブレーション-誘導結合プラズマ-質量分析(LA-ICP-MS)分析では、イラン産デマントイドには数千ppmの高含有量のCrが検出され、その次はロシア産、パキスタン産とイタリア産の順になっている。しかし、Crが10 ppmを下回るものもあり、その含有量はスカルン起源のデマントイドと同範囲を示した。そのような低Cr含有の蛇紋岩起源のデマントイドとCrに乏しいスカルン起源のデマントイドをさらに分析し、その他の微量元素の分布を比較した結果、スカルン起源では高いGaが検出され、両者を明確に識別することができた。また、同蛇紋岩起源の四か国からのデマントイドと、スカルン起源の二か国のデマントイド同士を比較し、それぞれ識別できるケミカルフィンガープリンのダイヤグラムを確立した。

キーワード：デマントイド、スカルン起源と蛇紋岩起源
Keywords: demantoid, skarn hosted and serpentinite hosted



@Japan Association of Mineralogical Sciences.

希少な宝石品質の青緑色と緑青色のアウイン

Rare gem-quality blue-green and green-blue haüyne

*趙 政皓[1]、北脇 裕士[1]、岡野 誠[1]、小松 一生[2]
*Zhenghao Zhao[1], Hiroshi Kitawaki[1], Makoto Okano[1], Kazuki Komatsu[2]

1. 中央宝石研究所、2. 東大・院理
1. Central Gem Laboratory, 2. Sci. UTokyo

アウインはソーダライトグループに属する立方晶系の準長石鉱物の一種であり、理想的な化学組成は$Na_3Ca(Si_3Al_3)O_{12}(SO_4)$となる。鉱物学的には青、白、黒、緑、黄、赤、無色などのものが知られているが、宝石として一般に流通しているものは鮮やかな青色を呈するもので、その多くはドイツ西部のアイフェル地域産である。アイフェル地域のアウインはフォノライトマグマから結晶化したものとされており、サニディン、ノゼアン、ネフェリンなどと共生している。今回、写真に示すようなアフガニスタン産の青緑色と緑青色のアインを検査し、色の原因について検討を行ったので報告する。

本年2月、筆者らは青緑色(0.860 ct)と緑青色(0.873 ct)の原石2点を検査した。試料の提供者によると、アフガニスタンのバダフシャーン地域で“ラピスラズリ”(ラズーライト、$Na_7Ca(Al_6Si_6O_{24})(S_3)^{-}\cdot H_2O$)やソーダライト($Na_4(Si_3Al_3)O_{12}Cl$)が採掘される鉱山の近辺から新しく産出したものであり、“ハックマナイト”(フォトクロミズムを示すソーダライト)だと思われていたらしい。バダフシャーン地域は古くから“ラピスラズリ”の有名な産地であり、ラズーライトを始め、アウイン、ソーダライト、アフガナイトなど多種多様な準長石鉱物を産出している。原石のまま予備的に蛍光X線分析を行った結果、硫黄の含有量が高く、塩素の含有量が低いため、“ハックマナイト”と短絡的な結論は得られないことがわかった。そのため、これらの原石の正確な鉱物種を明らかにすることを目的に分析を行うこととした。

本研究では、多種多様な準長石鉱物の可能性を考えるため、最初に単結晶X線回折分析を行った。その結果、2点の原石試料は立方晶系に属することが確認できたが、変調構造であったため、詳細を明らかにするには至らなかった。ただ、他の結晶系に属する準長石鉱物を排除できたため、ソーダライトグループに絞り込めた。その後、2点の原石を研磨して平滑な面を作成し、CGLが所有するファセット加工された鮮やかな青色のアウインとソーダライトのサンプル2点ずつと比較分析を行った。検査試料の屈折率は2つとも1.496であり、CGLのアウインは1.494と1.499、ソーダライトは1.480と1.485であった。蛍光X線元素分析の結果により、原石試料の化学式は2点とも$Na_{3.3}Ca_{0.7}(Si_{2.9}Al_{3.1})O_{12}(SO_4)_{0.9}Cl_{0.1}$になった。

赤外反射スペクトルとラマンスペクトルはアウインのスペクトルと一致し、ソーダライトのスペクトルとは相違していた。以上の分析結果から、“ハックマナイト”いわれていた2点の原石はアウインであると結論付けられた。しかし、一般に市場に流通するアウインもCGLの試料も鮮やかな青色を呈しており、本研究に用いた2点の原石は明らかに色調が異なっている。そのため、続いてこの色の違いについての検討を行った。

N. V. Chukanov et al. (2022) によると、緑色を呈するソーダライトグループ鉱物の色の原因は基本的に黄色の発色団$S_2^{\bullet-}$と青色の発色団$S_3^{\bullet-}$の2種類のラジカルイオンである。本研究に用いた原石サンプルのラマンスペクトルは、2点とも$S_3^{\bullet-}$によるピークが確認されたが、青緑色のサンプルのスペクトルのみ$S_2^{\bullet-}$によるショルダーが確認できた。また、CGLのサンプルからは$S_2^{\bullet-}$による吸収を確認できなかった。一方、紫外可視吸収スペクトルにおいて2点とも$S_2^{\bullet-}$関連の400 nm中心吸収と$S_3^{\bullet-}$関連の600 nm中心吸収が確認できた。しかも、400 nm中心吸収が明らかに600 nm中心吸収よりも強くなっていた。CGLのサンプルからは400 nm中心吸収はほとんどなかった。

D. M. Kondo et al. (2008) はバダフシャーン産ターコイズ色のアウインについて報告しているが、その産状については言及しなかった。ただし、バダフシャーンのラピスラズリはスルカンから産出すると報告され、本研究で測定したアウインも同じ母岩から産出される可能性が高いと考えられる。発色団$S_2^{\bullet-}$と$S_3^{\bullet-}$は安定な温度領域が異なり、700 ℃を超えると$S_3^{\bullet-}$が優勢になる。一般的な宝石品質の鮮やかな青色のアウインは800 ℃も

超えるフォノライトマグマに由来し、今回の検査試料はより温度の低いスカルンで生成したと推定することができ、両者の地質学的な生成温度の違いがこれらの色の相違を生み出したのかもしれない。

キーワード：アウイン、ソーダライト、単結晶Ｘ線回折、蛍光X線、分光法
Keywords: Haüyne, Sodalite, Single Crystal X-Ray Diffraction, X-Ray Fluorescence, Spectroscopy



希少な赤色“マスグラバイト”の名称と宝石鑑別

The nomenclature and gem identification of unusual red “musgravite”

*北脇 裕士[1]、趙 政皓[1]、江森 健太郎[1]、岡野 誠[1]、間中 裕二[1]、海老坪 聡[1]
*Hiroshi KITAWAKI[1], Zhenghao Zhao[1], Kentaro Emori[1], Makoto Okano[1], Yuji Manaka[1], Satoshi Ebitsubo[1]

1. 中宝研
1. CGL

宝石の中古市場にルビーとして流通していた赤色石を鑑別した結果、きわめて希産な赤色の“マスグラバイト”であることが分かった。“マスグラバイト”はIMAに登録されている鉱物名としてはMagnesiotaaffeite-*6N’ 3S*（$Mg_2BeAl_6O_{12}$：三方晶系）であるが、宝石としては伝統的に“マスグラバイト”と呼ばれている。類縁の希少宝石“ターフェアイト”よりもさらに希産で、コレクターの垂涎の的となっている。宝石として“ターフェアイト”と呼ばれているMagnesiotaaffeite-*2N’ 2S*、（$Mg_3BeAl_8O_{16}$：六方晶系）と“マスグラバイト”は共にターフェアイト・グループの鉱物で、ほぼ重複する特性値と類似する化学組成を有するため、その鑑別は宝石学の課題のひとつとなっている。 “ターフェアイト”は1945年にファセットカットされた宝石の鑑別中に見つかった。宝石から新種の鉱物種が発見された初めての例であった。1981年には赤色の“ターフェアイト”とされていた石が調べられた結果、“ターフェアイト”とは異なる新種の鉱物Taprobaniteとして記載された。しかし、その後、オリジナルの“ターフェアイト”の化学組成の記載に誤りがあったことがわかり、Taprobaniteはオリジナルの“ターフェアイト”と同種の鉱物とみなされた。それにより、IMAのCNMMNは “ターフェアイト”に名称の優先権があるとしてTaprobaniteは削除された。1967年に発見された“マスグラバイト”は当初“ターフェアイト”のポリタイプと考えられていたが、1981年に独立種とされた。しかしながら、2002年に“マスグラバイト”と“ターフェアイト”はPolysomeであり、前者はMagnesiotaaffeite-*6N’ 3S*後者はMagnesiotaaffeite-*2N’ 2S*とされることになった。 鉱物の同定には伝統的にＸ線粉末回折分析などの手法が利用されているが、宝石鑑別では非破壊という大きな制約がある。特に希少宝石の場合、分析のために粉末を削り取るということが許されない。本研究では、標準的な宝石学的検査に加えて紫外-可視反射スペクトル、蛍光Ｘ線元素分析、ラマンスペクトル、赤外反射スペクトルおよびフォトルミネッセンス・スペクトルによる同定を行った。 図1に示すように検査石は重さ1.593ct（1ct＝0.2ｇ）、サイズ6.33×5.80×5.03mmでファセットカットが施されていた。ファセットエッジは一部破損および摩耗しており、長い期間鑑別されずに見た目だけでルビーと思われていたようである。しかし、屈折率はルビーの1.76-1.77と異なり、1.715-1.721で複屈折量は0.006であった。さらにシャドーエッジの動きと干渉像から一軸性負号であることが確認できた。通常光では紫赤色、異常光では黄赤色の明瞭な多色性が見られた。また、比重は3.60であった。紫外線下ではルビーと同様の鮮やかな赤色の蛍光を示した。宝石顕微鏡による包有物の観察において特筆すべきものは見られず、主軸の対称性を示唆する痕跡も認められなかった。蛍光X線元素分析の結果、二価金属酸化物のモル分数の合計ΣXO Mol%(X = Mg, Ca, Mn, Fe, Zn) = 40.25%となった。マスグラバイトは2価と3価の金属酸化物の比率は2：3でターフェアイトは3：4であり、この二価金属酸化物のモル分数の合計値はマスグラバイトであることを示唆している。ラマンスペクトルでは、409、441および489 cm^{-1}付近の3つのピークは明瞭に分離しており、574 cm^{-1}付近にピークが見られるが、767 cm^{-1}付近のピークが見られない。これらの特徴はターフェアイトではなく、マスグラバイトと考えられる。また、赤外反射スペクトルやフォトルミネッセンス・スペクトルもマスグラバイトの特徴に一致した。 マスグラバイトは希少性の高い宝石である上、鮮やかな赤色を呈するカット石は筆者らの知る限りこれまで報告された例がない。“ターフェアイト”が初めて発見されたのも宝石の鑑別においてであり、今後も日常の鑑別において新たな珍しい宝石鉱物が見いだされるかもしれない。

キーワード：マスグラバイト、蛍光X線元素分析、ラマンスペクトル、赤外反射スペクトル
Keywords: Musgravite, EDXRF, Raman spectrum, Infrared spectrum



@Japan Association of Mineralogical Sciences.

マダガスカル産天然サファイア中のナノインクルージョン

Nno-inclusion in blue sapphire from Diego, Madagascar

*三宅 亮[1]、乙 星華[1]、伊神 洋平[1]、埋橋 淳[2]、大久保 忠勝[2]、北脇 裕士[3]、江森 健太郎[3]
*Akira MIYAKE[1], Seika oto[1], Yohei Igami[1], Jun Uzuhashi[2], Tadakatsu Ohkubo[2], Hiroshi Kitawaki[3], Kentaro Emori[3]

1. 京都大学、2. 物質・材料研究機構、3. 中央宝石研究所
1. Kyoto Univ., 2. NIMS, 3. CGL

【はじめに】サファイアという宝石名で一般的に広く知られているコランダム（Al_2O_3, Crn）には、しばしば針状のルチル（TiO_2）がインクルージョンとして含まれる。しかし、マダガスカル産の天然サファイア中では、ルチルとは異なるナノインクルージョンが発見されている（Shen et al., 2012; 江森ほか, 2018）。Shen et al. (2012)は、イラカカ産非加熱サファイア中のBe, Ti, Nb, Taを微量に含む雲状に濁った箇所からナノインクルージョンを観察し、長さ20~40 nm、幅5~10 nm で、α-PbO_2構造をもつTi-richな単一相（スリランカイト, Sri）であると報告した。江森ほか(2018)も、Be, Ti, Nb, Taを微量に含むディエゴ産天然サファイア中にTi, Nb, Taを含む長さ40 nm、幅10 nm程度のナノインクルージョンを発見し、組成がBe: Ti : Nb : Ta = 3 : 16 : 1 : 4の未知の鉱物である可能性があるとした。本研究では江森ほか(2018)で報告したナノインクルージョンについて、さらに詳細な観察をおこなったので、その結果について報告を行う。

【試料と手法】本研究では、江森ほか(2018)で使用した天然Beを含有するマダガスカル・ディエゴ産非加熱ブルーサファイア原石サンプルを用いた。このサンプルは、江森ほか(2018)の分析により、Beの濃度が検出限界未満~14.16 ppmwであり、LA-ICP-MSを用いて分析が行われている。その結果BeとNb、Taには非常によい相関関係が認められるが、Tiとは相関関係が認められなかった。この試料のうちBeが一番高濃度であった付近で、FEI（Thermo Fisher scientific）社Helios G3 CXを用いてFIB加工を行いコランダムの[001]方向からの試料を作製し、JEOL JEM-2100Fを用いてTEM観察を行った。さらに、FEI (Thermo Fisher scientific)社Helios G4 UXを用いてFIB加工を行い、アトムプローブ（AMETEK CAMECA社 LEAP-5000XS）を用いて、3Dアトムプローブ分析を行った。 【結果】TEMによるHAADF-STEM観察により、直径20~30 nmの円形のナノインクルージョンが観察された。STEM-EDSによるマッピング、分析を行った結果、ナノインクルージョンからはTi、Nb、Sn、Taが検出された。Beの有無はEDSでは測定できないので不明であったが、アトムプローブを用いた分析の結果、インクルージョン中にTi, Fe, Nb, Taが含まれていることがわかった。さらにBeはインクルージョンの周辺に濃集していることがわかった。

【考察】電子回折図形を指数付けした結果、スリランカイト(Sri: (Zr, Ti)O_2)のTiO_2端成分でのみ説明可能な図形で、他のTiO_2相(ルチル、アナターゼ、ブルッカイト、赤萩石等)では説明がつかなかった。また、4D-STEM (Diffraction Mapping)の結果、3つの方位を有したスリランカイトが三連双晶していることが分かった。 全てのナノインクルージョンのスリランカイトと母相であるコランダムの間には$\{010\}_{Sri} \parallel \{10\text{-}10\}_{Crn}$、$\{100\}_{Sri} \parallel \{0001\}_{Crn}$、$\{001\}_{Sri} \parallel \{1\text{-}210\}_{Crn}$の方位関係が得られた。ナノインクルージョン相と母相がトポタキシャルな関係であり、ナノインクルージョンがコランダムから析出してできたことを示唆する。Xiao et al. (1997) の実験では1300℃ から10 時間かけて徐冷することで、サファイア中にスリランカイトの析出物を得たことから、サンプル中のナノインクルージョンは準安定相としてコランダム中に析出し、α-PbO_2 構造を保ったまま冷却され地上に産出したと考えられる。また、Beは、その際に母相であるコランダムとスリランカイトの格子のわずかとはいえ存在するミスフィットからその界面に濃集していると考えられる。

Shen A. & Wirth R., (2012). Gems & Gemology, 48(2), 150-151 江森健太郎, 北脇裕士, 三宅亮 (2018) GCL通信, 45号, 1-8 Xiao S. Q., Dahmen U. and Heuer A. H. (1997)Philosophical Magazine A, 75 (1), 221-238

キーワード：コランダム、スリランカイト、透過型電子顕微鏡、3Dアトムプローブ
Keywords: corundum, srilankite, transmission electron microscope, 3D atomprobe

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

岐阜県中津川市蛭川産columbite supergroupの 高分解能STEM観察

HRSTEM observation of columbite supergroup from Hirukawa, Nakatsugawa, Gifu Prefecture, Japan

*小暮 敏博[1]、坂野 靖行[2]、奥村 大河[1]
*Toshihiro KOGURE[1], Yasuyuki Banno[2], Taiga Okumura[1]

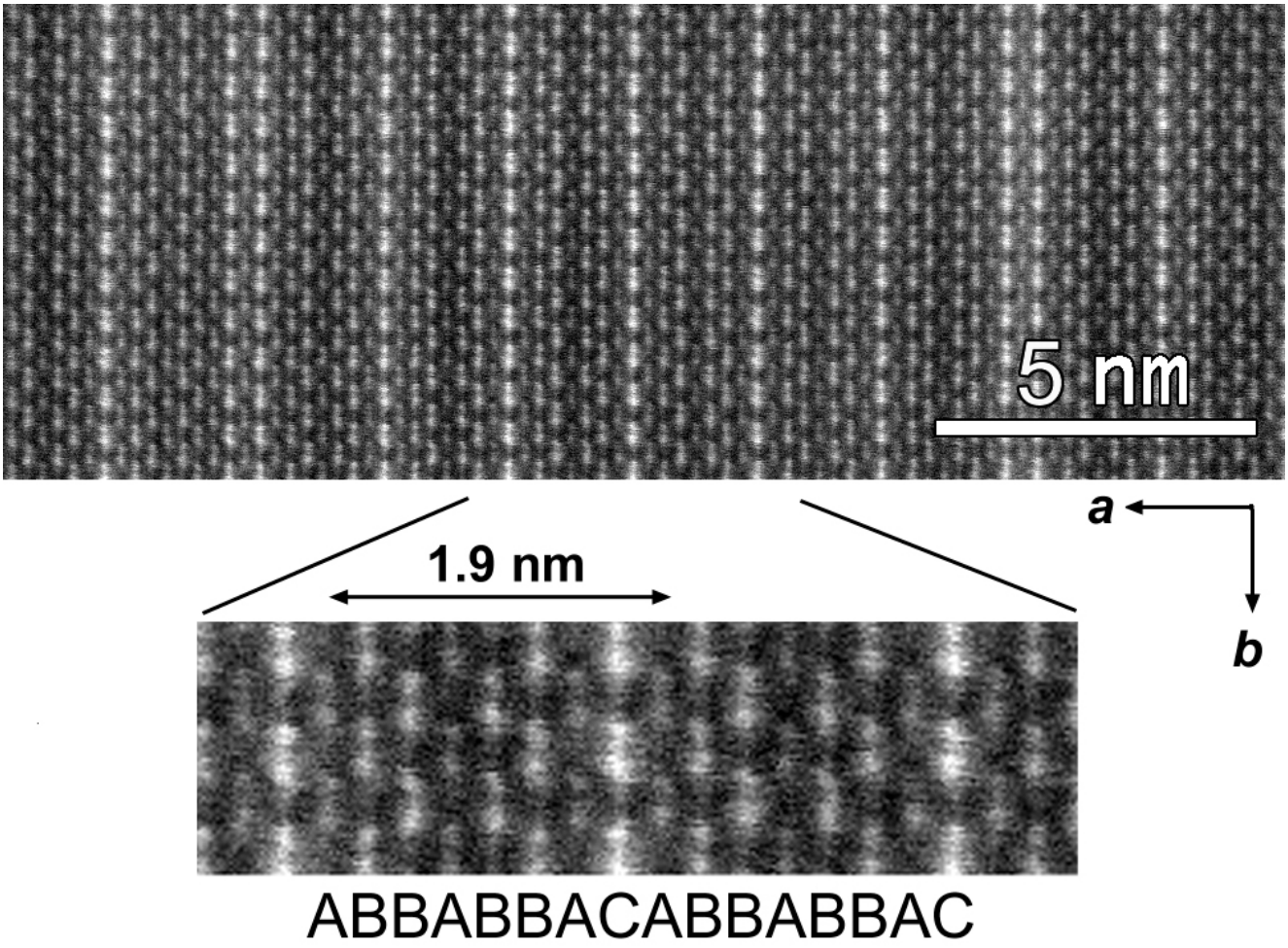
1. 東大・院理、2. 産総研
1. Univ. Tokyo, Sci, 2. AIST

Columbite supergroupは，以下のような構造的特徴をもつ酸化鉱物群である(Chukanov et al., 2023).
・その組成式はMO_2と概略できる.
・酸素の六方最密充填(*hcp*)を構造の基本とする.
・*M*は*hcp*の八面体の隙間に入り，6配位（*M*のイオン半径によっては8配位に近づく）を取る.
・この八面体は稜共有をしてジグザグ鎖を形成する.

ここで*M*は6配位に適したイオン半径をもつ金属イオンを表す．今回我々は花崗岩ペグマタイト中で見つかった，中心から周囲に向かってほぼ連続的に組成が変化するcolumbite supergroupと考えられる酸化鉱物(Fe, Mn, Sc, W, Nb, Ta)O_2の結晶構造を，主に電子回折と高分解能STEM観察によって明らかにした． 試料は岐阜県中津川市蛭川産花崗岩ペグマタイトの曹長石中に埋没して産出した，長さ 30～900 μm，幅 10～100 μmの黒色不透明の針状結晶であり，その組成的特徴は昨年の本学会で報告した(坂野，2022)． SEM-BSE像では中心部に非常に輝度の高い部分があり，その周囲や結晶先端では相対的に輝度の低い部分が観察される．前者をコア，後者をマントルと呼ぶことにする．まずは電子後方散乱回折（EBSD）を用いて岩石薄片中のこの結晶の方位を調べ，集束イオンビーム（FIB）でTEM観察用薄膜を切り出すときに，直方晶系の**a**軸に垂直な結晶軸からのTEM観察をするためのFIB試料作製手順を検討した (Kogure et al., 2014)．尚，得られたEBSDは，コアとマントル間での大きな組成の違いにもかかわらず同様なパターンを示した．高分解能STEM観察は，冷陰極電界放射銃と球面収差補正付き収束レンズを備えたJEOL ARM-200Fを用いて行なった． 今，(Fe, Mn) $^{2+}$-O の八面体鎖を A，(Nb, Ta)$^{5+}$-O の八面体鎖を B，W^{6+}-O の八面体鎖をC とすると，**a**　軸方向の配列（2周期分で表示）はwolframiteではACAC，columbiteでは ABBABBとなる．コアの部分はNb/Wの原子比が約1/3であるにも拘わらず，電子回折及び環状暗視野(ADF)像よりcolumbiteの構造の混入がまったく見られないwolframiteとなっていることを確認した．一方，コアに近いマントルからの**c**軸方向からのADF像には，そのコントラストからqitianlingiteとして報告されているABBACABBACと推定される約1.19 nm周期の長周期構造が頻繁に観察された．またこの領域からの制限視野回折(SAD)は，qitianlingiteとwolframiteのパターンの重ね合わせでほぼ説明できた．さらに，コアから離れた針状結晶先端のマントル部分ではABBABBACABBABBACと推測される約1.9 nmの長周期構造が頻繁に観察され (Fig. 1)，SADの**a**軸方向にもこの周期が確認できた．このようなcolumbite supergroupの結晶内の組成変化に伴う構造のバリエーションは，(Fe, Mn)WO_4のwolframiteの構造には価数の異なるNb^{5+}が容易に固溶するのに対して（その電荷補償機構については今後検討していく），(Fe, Mn)Nb_2O_6のcolumbite構造には価数の大きいW^{6+}はまったく固溶しないためcolumbiteとwolframiteとの混合構造あるいは長周期構造を取るという仮説で説明できる.

(Figure Caption)
Fig. 1. Cs-corrected STEM-HAADF image of the crystal along [001], showing a long-period stacking sequence along the **a**-axis. In the figure, A, B and C represent the positions of (Fe, Mn)-, Nb- and W-dominant cation columns, respectively, observed as bright spots in the image (see the text for the detail). The image was modified to delete distortion caused by specimen drift and suppress the quantum noise using proper filtering.

キーワード：columbite group、wolframite、qitianlingite、走査透過型電子顕微鏡、制限視野回折
Keywords: columbite group, wolframite, qitianlingite, STEM, selected area diffraction



位置分解電子回折による天川村産イリデッセントガーネットの局所対称性決定

Determination of local symmetry within the iridescent garnet from Tenkawa by spatially-resolved electron diffractometry

*伊神 洋平[1]、三宅 亮[1]
*Yohei IGAMI[1], Akira Miyake[1]

1. 京大・院理
1. Kyoto Univ. Sci

天然に産するグランダイト系列ガーネット($Ca_3[Fe^{3+},Al^{3+}]_2Si_3O_{12}$)の中には稀に遊色により表面が虹色に輝くもの（イリデッセントガーネットと呼ばれる）があり、国内では奈良県天川村からの産出報告がある[1]。天川村産ガーネット内部にはAlに富む領域とFeに富む領域とがなす数百nm周期の交互層(fine lamellae)組織が存在することが知られ、表面の遊色の原因となっている[1]。このガーネットは偏光顕微鏡クロスニコル下で干渉色を示すこと（光学的異方性）から、対称性が一般のガーネット（空間群*Ia*-3*d*）から低下していることが知られ、その構造決定を目指して研究が進められてきた。Nakamura et al. [2]は、単一成長セクターから試料を切り出しての単結晶X線回折実験で得られた平均構造と透過型電子顕微鏡（TEM）観察とを組み合わせることでAl-rich fine lamellae領域でのAl/Feの配列秩序を示し、また消滅側を破る反射の出現から空間群として*I*-1を提示した。他の低対称ガーネットの研究でも*I*-1の報告は多い[e.g., 3]。しかし、特に天川村産ガーネットは上述のように明らかに結晶内部で不均質性を示しており、各領域の低対称構造を正確に決定するのはそれほど容易ではない。例えば単一成長セクター内で双晶が生じている可能性を考えると[4]、格子の変化がわずかな場合には回折学的データだけからの解釈は大変困難で、顕微的な側からも研究を進めることが重要となる。これらを踏まえて本研究では、TEM装置で行う4D-STEM法を用いたナノオーダー位置分解電子回折実験により、天川村産イリデッセントガーネットのfine lamellae組織周辺の局所空間群の評価を行った。4D-STEMはナノ電子プローブを試料上で二次元スキャンし、各グリッド点における回折信号を網羅取得する手法である[5]。本研究では準平行ビームを用いることで、~10 nmの空間分解能と消滅側を破る微弱な回折スポットの検出とを両立した。試料には、天川村産ガーネット単結晶(001)面薄片から、fine lamellae面の(1-10)に垂直な(110)面薄膜および(001) 面薄膜を集束イオンビーム装置により作成した。

4D-STEMによる位置分解電子回折実験の結果、Al-rich領域から*Ia*-3*d*の消滅側を破る1-10反射の出現を捉えた。さらに極微弱な002反射が出現する領域も検出したが、Al-rich領域と空間的に明確な一致はしなかった。Al-rich領域内からの回折信号のみを積算した回折図形を構築し、動力学回折計算[6]結果とも比較して、対応する空間群を*Ia*-3*d*の部分群の中から絞り込んだ。また、同じ4D-STEMデータを用いて各回折図形の回折スポット位置から二次元格子歪みの分布を可視化したところ、Al-rich領域でfine lamellae面の垂直方向のみに数%の格子収縮が見られた。さらに、[110], [111], [11-1], [001]方位の空間分布を可視化したところ、Al-rich領域とFe-rich領域との間で方位変化がみられるだけでなく、Al-rich領域内でも方位差が確認でき、Al-rich領域が二領域に分類されることが分かった。単一のAl-rich fine lamellae領域内で低対称相が異なる方位で共存していることは、単結晶X線回折データを解釈する上でも重要な情報になると考えられる。以上の消滅側を破る反射・二次元格子歪み・軸方位変化のデータを統合した考察によれば、各領域の対称性は*I*-1よりも高い可能性がある。

引用文献 [1] 下林ほか, 日本鉱物科学会年会80 (2005). [2] Nakamura et al., J. Mineral. Petrol. Sci., 112, 97 (2017). [3] Nakamura et al., J. Mineral. Petrol. Sci., 111, 385 (2016). [4] Xu et al., Am. Mineral., 108, 572 (2023). [5] Ophus, Microsc. Microanal. 25, 563 (2019). [6] Seto & Ohtsuka, J. Appl. Crystallogr. 55, 397

(2022).

キーワード：イリデッセントガーネット、局所対称性、電子顕微鏡、4D-STEM
Keywords: iridescent garnet, local symmetry, electron microscopy, 4D-STEM

兵庫県琢美鉱山から産するデュモルチ石及び電気石について

Dumortierite and tourmaline from the Takumi Mine, Hyogo Prefecture, Japan

*白勢 洋平[1]、上世 莉可子[1]、西田 勝一、藤原 由輝
*Yohei SHIROSE[1], Rikako KAMISE[1], Katsuichi NISHIDA, Yoshiteru FUJIWARA

1. 愛媛大・理
1. Ehime Univ. Sci.

【はじめに】

デュモルチ石は$AlAl_6BSi_3O_{18}$の理想化学組成を持ち，アルミニウムに富む変成岩やペグマタイトなどから産するが，本邦ではろう石鉱床中からの産出が特徴的である。また，中でも福島県月形鉱山，群馬県四万鉱山，栃木県百村，山梨県京ノ沢などではフォイト電気石や苦土フォイト電気石組成となる繊維状の電気石が共に産出することが報告されている（中村・上野, 1960; 吉田，1966; 松原ら，1994; Hawthorne et al., 1999; 吉川ら，2010）。上記のろう石鉱床中のデュモルチ石はいずれも青～紫色であるが，本報告の兵庫県琢美鉱山産のデュモルチ石は断層に伴うセリサイト鉱床中からの産出であり，桃色を呈している。また，共生する繊維状電気石はフォイト電気石，苦土フォイト電気石に加え，酸化フォイト電気石，“苦土フォイト電気石のoxy-type置換体”といったアルミニウムと*X*席に空位を多く含む電気石種であった。本研究では兵庫県琢美鉱山から産するデュモルチ石及び電気石の産状及び鉱物学的な特徴を報告する。

【産状・試料】

琢美鉱山は，兵庫県中部神河町の砥峰高原の西部に位置し，古くは銅を，大昭から昭和初期にかけては砒素を目的として稼行されていた（橋本・松内，2011）。鉱床は，上部白亜系峰山層への花崗閃緑岩の貫入に伴い胚胎した熱水鉱脈鉱床であり，断層破砕帯中の粘土脈中に硫化鉱を伴う。粘土脈は主にセリサイトからなり，周囲の珪質な母岩もセリサイト化作用を受けており，細粒な黄鉄鉱や硫砒鉄鉱が形成されている。デュモルチ石は桃色塊状の集合として産出し，硫砒鉄鉱，黄銅鉱や細粒な白雲母，電気石を伴う。電気石は硫砒鉄鉱やデュモルチ石に伴う細粒なものや，幅1 mm程度の黒色～無色の脈状のものが産出する。

【実験手法】

観察，分析にはJEOL製走査型電子顕微鏡JSM-6510LV及びRIGAKU製粉末X線回折装置Ultima IVを用いた。

【結果・考察】

粘土脈の大部分は細粒なセリサイトであり，自形の硫砒鉄鉱，黄鉄鉱，鋭錐石を伴う。硫化鉱は，硫砒鉄鉱，黄銅鉱，閃亜鉛鉱，方鉛鉱，輝蒼鉛鉱，未同定Bi鉱物などからなり，二次鉱物として含亜鉛亜砒藍鉄鉱，未同定砒酸塩鉱物が産出する。これらの鉱物については今後さらなる研究を行う予定である。

デュモルチ石は長さ0.2-1 mm，幅0.5 mm程度の柱状結晶が放射状に集合しており，鏡下で観察すると結晶内で無色～赤色のカラーゾーニングを有し，多色性を持つ。0.5 mm以下の細粒な白雲母を伴い，自形の硫砒鉄鉱を密接に伴うことがある。化学組成としては微量の鉄，チタンを含み，Fe^{2+} = 0.00-0.05，Ti = 0.04-0.20 (*apfu*)となり，無色部に比べ赤色部はチタンをやや多く含む傾向にある。呈色の要因として，Fe/(Fe + Ti)の値が高いと青色，低いと桃色を呈することが報告されており（Alexanders et al., 1986），琢美鉱山産デュモルチ石においてはFe/(Fe + Ti) < 0.2となるものがほとんどであり，他の粘土鉱床に比べ低い値を示す。晶出の際に，硫砒鉄鉱の晶出により鉄が消費されることもその組成に影響を与えていると考えられる。

電気石は鏡下で無色，深緑色，褐色であり，ゾーニングが顕著である。*X*席はNaに富むものから空位に富むものまで連続的な組成変化を示し，NaM^{2+}-□Al置換と$NaM^{2+}{}_2(OH)$-□Al_2O置換が生じている。鉱物種としては鉄電気石，苦土電気石，フォイト電気石，苦土フォイト電気石，酸化フォイト電気石，“苦土フォイト電気

石のoxy-type置換体”からなる。“苦土フォイト電気石のoxy-type置換体（□-Mg-O root name; $\square MgAl_2Al_6Si_6O_{18}(BO_3)_3(OH)_3O$; Henry et al., 2011）”は鉱物種としての報告は未だなされていないが，Dutrow & Henry (2016)は，もともとHwathorne et al., (1999)により報告された京ノ沢産の“苦土フォイト電気石”がこれに該当するのではないかと示唆している。

琢美鉱山では，粘土脈を形成するようなアルミニウムに富む鉱化流体にホウ素に富む流体が混合した結果，デュモルチ石やアルミニウムに富む特徴的な電気石が形成されたと考えられる。

キーワード：デュモルチ石、電気石、琢美鉱山、フォイト電気石、苦土フォイト電気石
Keywords: dumortierite, tourmaline, Takumi Mine, foitite, magnesio-foitite

口頭講演

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共催セッション）

座長:北脇 裕士(中央宝石研究所)、黒澤 正紀(筑波大学)、坂野 靖行(産総研)

2023年9月14日(木) 13:30 〜 16:30 820 (杉本キャンパス)

[座長]

北脇 裕士:R1-01〜R1-03

黒澤 正紀:R1-04〜R1-07

坂野 靖行:R1-08〜R1-11

15:30 〜 15:45

[1Lecture-101-11-9add]休憩

©日本鉱物科学会

福岡市西区長垂地域の産出鉱物

Minerals from Nagatare area, Fukuoka

*上原 誠一郎[1]
*Seiichiro UEHARA[1]

1. 九州大学・博物館
1. Kyushu Uni. Museum

1. はじめに

2023年に福岡石の会は創立90周年を迎えました。その記念事業の1つとして5月13日-21日に福岡市科学館主催の「はっけん！福岡のすごい石展」を特別協力で開催しました。この展覧会では福岡市科学館に保管されている福岡市天然記念物「長垂のリチウムペグマタイト鉱物標本522点」の中から代表的な標本約70点を中心に展示しました。また，5月13日に福岡市科学館のサイエンスホールで福岡石の会90周年事業で記念式典・記念講演会，14日に「福岡石の会ONEDAY博物館～身近な鉱物の世界～」のイベントを開催し，会期中に約5800名の来場者がありました。このイベントで科学館所有の長垂標本を含め既採集標本の再検討および文献調査を行い，長垂地域で約100種類の鉱物が産出していることが明らかになりました。ここではその再検討の結果と産出鉱物とその特徴について報告します。

2. 試料および実験

試料は科学館所有及び既採集の長垂標本で，また，今回，天然記念物指定地域のペグマタイト岩脈の現状変更の際に出た試料と蛇紋岩分布地とその周辺の野外調査を行い，分析試料に加えた。一部薄片を作成し，肉眼及び偏光・反射顕微鏡観察を行った．構成鉱物はX線回折分析(Rigaku Ultima Ⅳ，Rigaku RINT RAPID Ⅱ)で決定した．化学組成分析，微細組織観察には九州大学理学部地球惑星科学教室のSEM (JEOL JSM-7001F) 及びFE-EPMA(JEOL JXA-8530F)を用いた。

3. 結果

長垂地域の産出鉱物は70種程度とされていたが，約100種に及ぶ鉱物の大産地であることが明らかになった。以下にそれらの鉱物を示す。＜元素鉱物＞：自然蒼鉛．＜硫化鉱物＞：黄鉄鉱，黄銅鉱．＜酸化鉱物＞：石英，（コランダム），亜鉛スピネル，*クリプトメレーン*，*ホランド鉱*，軟マンガン鉱，フッ素灰マイクロ石，磁鉄鉱，**クローム鉄鉱**，褐鉄鉱，*リシオフォル鉱*．＜炭酸塩鉱物＞：孔雀石，泡蒼鉛，*灰泡蒼鉛土*．＜リン酸塩鉱物＞：モナズ石，ゼノタイム，フッ素燐灰石，アンブリゴナイト，モンブラサイト，*ラクロワ石*，*ビータニエミ石*，*モリノー石*，*ワード石*，*クランダル石*，*ゴヤス石*，*トリプル石*，*ロバーツ石*，*ケララ石*，燐灰ウラン石，**メタ燐灰ウラン石**，燐銅ウラン石，**メタ燐銅ウラン石**，*ウェイランド石*，*プチジーン石*，*スムルコベッツ石*．＜バナジン酸塩鉱物＞：*ナミビア石*，*ヘヒツベルグ石*，*単斜ビスバナ石*，**プッチャー石**．＜ニオブ・タンタル酸塩鉱物＞：マンガンコルンブ石，鉄コルンブ石，マンガンタンタル石，*鉄タンタル石*，蒼鉛タンタル石，安タンタル石，（フェルグソン石）．＜珪酸塩鉱物＞：**苦土かんらん石**，*満礬柘榴石*，鉄礬柘榴石，灰礬柘榴石，ジルコン，チタン石，*珪蒼鉛石*，トロゴム石，**トール石**，トパーズ，単斜灰簾石，緑簾石，褐簾石，ベスブ石，紅柱石，透輝石，普通角閃石，**透閃石**，緑閃石，緑柱石，リシア電気石，*フッ素リシア電気石*，*ロスマン電気石*，*フッ素鉄電気石*，鉄電気石，金雲母，白雲母，*ポリリチオ雲母*，トリリチオ雲母，チンワルド雲母，イライト，苦土蛭石，クッカアイト，モンモリロナイト，*バイデライト*，*トスダイト*，**ハロイサイト**，カオリナイト，カオリン，クリノクロア（緑泥石)，蛇紋石，**リザーダイト，クリノクリソタイル**，タルク，正長石，微斜長石，曹長石，ペタル石，ポルクス石．以上の96種（独立種)，なお，下線を引いた鉱物名は独立種名ではない。（）は私たちが未確認の鉱物。これまでに27種（斜体字で示した）を報告したが，今回新たに10種（太字）を確認した。まだ，フッ素の定量分析が必要なマイクロ石族鉱物（CaとNaの2種の存在は確認），未同定のバナジン酸塩鉱物，追加の試験が必要なカオリン/モンモリロナイト混合層鉱物などの粘土鉱物があり100種を超えると思われる。この多数の鉱物種を産出したのはLiペグマタイトの存在が

挙げられるが，その形成末期に粘土鉱物（イライト，クッカイト，トスダイト，モンモリロナイト，カオリン鉱物）を生じる変質作用で多数の二次リン酸塩鉱物（Fig.1），バナジン酸塩鉱物が形成されたことによると考えられる。

キーワード：長垂
Keywords: Nagatare

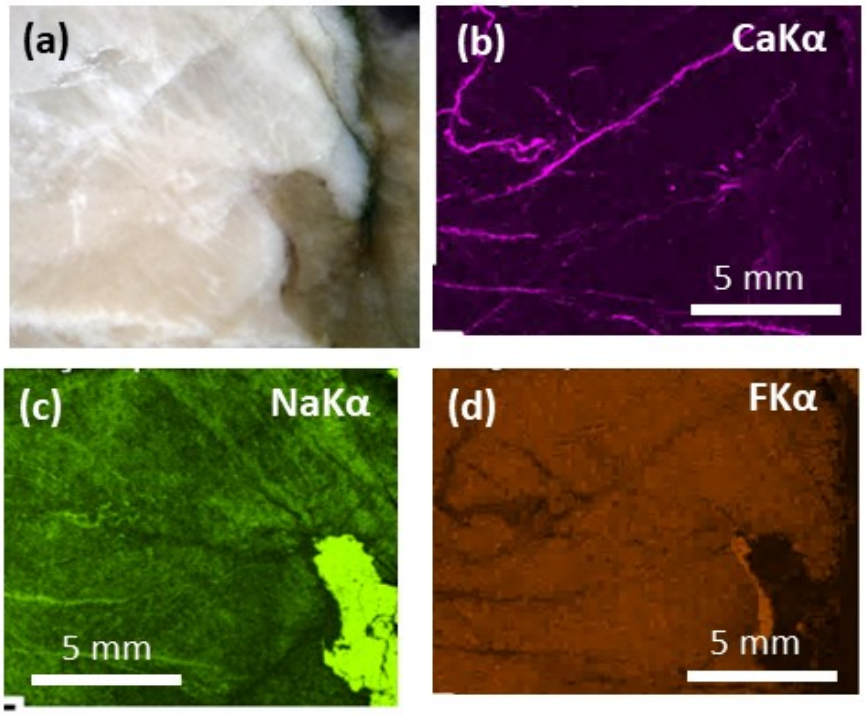


Fig.1. Secondary Ca-Na phosphates veins in Nagatare amblygonite.
(a) Sample photograph.
(b) Ca*Kα* X-ray image obtained by montaged SEM-EDS stage mapping.
(c) Na*Kα* X-ray image. (d) F*Kα* X-ray image.

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

福島県南相馬市の中新世堆積物中の巻貝化石内部に産する沸石の鉱物学的産状と成因

Occurrence and genesis of zeolites in gastropod fossils in Miocene sediments in Minamisoma, Fukushima, Japan.

*石原 篤[1]、大藤 弘明[1]
*Atsushi Ishihara[1], Hiroaki Ohfuji[1]

1. 東北大・院理
1. Tohoku Univ. Sci.

はじめに

材化石や貝化石などの化石化した生体組織を鉱物が交代・置換したり、内部に鉱物が晶出したりする例はよく知られている。このような化石の鉱化は石英やオパールなどのシリカによるものが一般的で他にも方解石や黄鉄鉱などの例もあるが、沸石で交代されている例は稀である。その数少ない例として、Modreski et al. (1982)は材化石の組織内部を沸石が充填した産状を記載し、その起源が火山砕屑物を多量に含む母層のDenver Formation全体の変質（沸石化）にあることを論じている。また、Staple(1965)は沸石によって内部を充填された貝化石を報告し、沸石は貝化石を含む母層周辺での熱水活動にともなって形成されたと推測している。これらのケースでは、いずれも化石を含む地層の周囲で大規模な沸石生成が起こっており、化石内部での沸石形成もそれに付随するものと解釈できる。一方、今回報告する福島県南相馬市に分布する中新世堆積物中のケースでは、沸石の生成は巻貝化石の内部で特に顕著で、母岩中での沸石化は比較的小規模であった。本研究ではこの巻貝化石中に特徴的に産する沸石の起源と形成プロセスについて検討を行った。

手法

南相馬市鹿島区橲原の沢沿いの塩手層の露頭より、化石を含む細粒砂岩試料および遊離した巻貝化石試料を採取した。試料を風乾後、エポキシ樹脂中に包埋し機械研磨により薄片および厚片を作成した。また、一部試料についてはArイオンビーム（JEOL，クロスセクションポリッシャ）を用いてイオン研磨断面を作成した。試料の観察には偏光顕微鏡およびSEM-EDS、顕微ラマン分光分析を使用した。岩石及び化石中の構成鉱物を粉末X線回折によって同定した。

さらに、SEM-EDSを用いた局所分析により輝沸石の組成変化を調べた。この際、電子線ビームの照射による試料ダメージを軽減するために、結晶の伸張方向に沿うような矩形の領域にラスタースキャンを行ない、データを収集した。それらのスキャンデータからOxford Instruments 社製EDS解析ソフトAZtecを用いてスペクトルの切り出し（再構築）を行い、それらのスペクトルのピーク強度から化学定量計算を行った。

結果・考察

観察の結果、巻貝化石は細粒砂岩中のものと炭酸塩コンクリーション中のものの2タイプに大分された。砂岩中では、巻貝化石内部では殻入り口付近(下層階)は多量の砕屑物で充填され、上層階では貝殻の壁面から内側に向かってに成長した輝沸石の板状結晶(～300㎛)が観察された。貝殻内部の輝沸石は結晶の基底部から先端にかけてSi/Al比が低下しており、生成時の環境変化を示している可能性がある。また、巻貝化石の下層階（入口近く）を充填する砕屑物粒子の粒間や化石を含む母岩の砂岩中の基質部において、細粒のモンモリロナイトと沸石(～10㎛)が空隙を充填するように生成している様子が観察された。

一方、炭酸塩コンクリーション中の巻貝化石の内部にも自形の輝沸石とモルデン沸石が観察されたが、全体として生成量は小規模であった。さらに、それらの沸石を覆うよう数mmサイズの大きな方解石の自形結晶も観察された。

以上のような産状から、本研究地域に産する巻貝化石内部における沸石の形成プロセスは以下の様に進行したと考えられる。

1）火山砕屑物と巻貝化石を含む地層の埋没

2）埋没深度増加に伴う温度上昇による微化石や火山砕屑物粒子の溶解（沸石や粘土鉱物の材料となる元素が間隙流体中へ溶出）

3）巻貝化石内部に滞留した高過飽和溶液からの沸石の晶出

つまり、巻貝化石内部において沸石が優先的に形成されたのは、続成過程において貝殻内に高過飽和流体が長期間保持されていたためと推測される。火山砕屑物の溶解反応(Zhi and Ying,1993)では元素ごとの溶解速度の違いによって流体組成に経時変化が生じ得ることが知られており、化石内部と母岩の基質部で間隙流体の組成にギャップが生じていた可能性が高い。結果として、貝化石内部では比較的Siに富んだ沸石の形成が促進され、基質部では沸石に加えて相対的にSiに乏しい粘土鉱物も生成されたと考えられる。

キーワード：沸石、輝沸石、鉱化、化石
Keywords: Zeolite, Heulandite, Mineralization, fossil



熱水性シリカ脈に付随する種々の有機鉱物類の成因と生成メカニズム

Origins and formation mechanisms of various organic minerals associated with hydrothermal silica veins

*田中 陵二[1,2]、井上 裕貴[3]、石橋 隆[4]、萩原 昭人
*Ryoji Tanaka[1,2], Yuki Inoue[3], Takashi Ishibashi[4], Akihito Hagiwara

1. 相模中央化学研究所、2. 東海大理、3. 九大院理、4. 阪大総合博
1. Sagami Chemical Research Institute, 2. Tokai Univ., 3. Kyushu Univ., 4. Museum of Osaka Univ.

北海道二ヶ所をはじめとする国内サイト数ヶ所で、浅熱水性シリカ脈に付随する多環芳香族炭化水素（PAH）系有機鉱物の産出を見出した。これらは、カルパチア石（コロネン結晶）、ベンゾ[ghi]ペリレン結晶、ピセン結晶などよりなる。これらは若干の固溶挙動は見られるが、大部分は純度の高い有機物の分子結晶である。これは、PAH系有機鉱物においては、分別結晶化が強く起こることを意味する。ベンゾ[ghi]ペリレンについては、北海道石（hokkaidoite）の名で新鉱物認可を受けた。

キーワード：浅熱水性、多環芳香族炭化水素、北海道石、ベンゾ[ghi]ペリレン、有機鉱物
Keywords: epithermal, polycyclic aromatic hydrocarbon, hokkaidoite, benzo[ghi]perylene, organic minerals

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共催セッション）

座長:北脇 裕士(中央宝石研究所)、黒澤 正紀(筑波大学)、坂野 靖行(産総研)
2023年9月14日(木) 13:30 〜 16:30 820 (杉本キャンパス)
[座長]
北脇 裕士:R1-01〜R1-03
黒澤 正紀:R1-04〜R1-07
坂野 靖行:R1-08〜R1-11

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

口頭講演 | S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

2023年9月14日(木) 14:00 ~ 16:30 | 821 杉本キャンパス

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳

14:00 ~ 14:05

[1Lecture-201-09-1add] コンビーナ挨拶

14:05 ~ 14:20

[S2-01] 名張はんれい岩体の風化過程、とくにkaolinite/smectite混合層鉱物の生成について

*奥村 滋[1] (1. 無所属)

14:20 ~ 14:35

[S2-02] 東北沖プチスポット玄武岩中のスメクタイトの産状と鉱物学的特徴について

「発表賞エントリー」

*城戸 太朗[1]、秋澤 紀克[2]、鈴木 庸平[1] (1. 東大・院理、2. 東大・大海研)

14:35 ~ 14:50

[S2-03] ウォラストナイトとカンラン石および玄武岩の天然キレート剤による溶解挙動の特徴と促進効果

「発表賞エントリー」

*菊池 星南[1]、王 佳婕[1]、土屋 範芳[1] (1. 東北大・環境科学)

14:50 ~ 15:05

[S2-04] 陸上掘削試料の微量元素・Sr-Nd同位体組成から導かれたオマーンオフィオライトに記録された２つの地球化学的プロセス

*芳川 雅子[1]、柴田 知之[1]、片山 郁夫[1]、Asyraf Aminuddin[2]、仙田 量子[3]、森下 知晃[2] (1. 広島大学・院先進理工系、2. 金澤大・院理工学域、3. 九州大・院比較社会)

15:05 ~ 15:20

[S2-05] オマーンオフィオライト北部サラヒ岩体マントルセクションにおける蛇紋岩化作用の初期段階

吉羽 洋紀[1]、*髙澤 栄一[1,2]、野坂 俊夫[3] (1. 新潟大・理、2. JAMSTEC、3. 岡山大・自然研)

15:20 ~ 15:30

[1Lecture-201-09-7add] 休憩

15:30 ~ 15:45

[S2-06] 沈み込み帯における含ホウ素流体－岩石相互作用の時期：三波川変成帯の例

「発表賞エントリー」

*横井 雅範[1]、河上 哲生[1] (1. 京都大・院理)

15:45 ~ 16:00

[S2-07] フッ素の移動・鉱化作用と水－岩石相互作用の関係

「発表賞エントリー」

*砂田 雅裕[1]、渡辺 寧[1]、越後 拓也[1]、青木 翔吾[1]、瀬野 洸太朗[1] (1. 秋田大・院国資)

16:00 ~ 16:15

[S2-08] 異なる海域から得られた海洋掘削コア試料に見られる斑れい岩の岩石物性の違いについて

*阿部 なつ江[1,2]、冨士原 敏也[1] (1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 金沢大学大学院自然科学研究科)

16:15 ~ 16:30

[S2-09] 流体が関与した岩石のマイロナイト化と断層形成過程

*安東 淳一[1,2]、Sakar Dyuti Prakash[1,2]、樹神 洸寿[1]、Das Kaushik[1,2]、Ghosh Gautam[3,2]、富岡 尚敬[4,2] (1. 広島大・先進理工、2. 広島大・HiPeR、3. Presidency Univ、4. JAMSTEC・高知コア研)

[zoom] Zoom

口頭講演

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳

2023年9月14日(木) 14:00 〜 16:30 821 (杉本キャンパス)

14:00 〜 14:05

[1Lecture-201-09-1add]コンビーナ挨拶

©日本鉱物科学会

名張はんれい岩体の風化過程、とくにkaolinite/smectite混合層鉱物の生成について

Weathering process of Nabari gabbroic body, especially formation of kaolinite/smectite mixed layer mineral

*奥村 滋[1]
*Shigeru OKUMURA[1]

1. 無所属
1. Non

［緒言］
名張はんれい岩体の風化過程の研究において、kaolinite/smectite混合層鉱物を見出した。その産状と水質の安定関係からその生成条件を考察する。
［風化分帯］
名張はんれい岩体は、三重県名張地方に分布し、領家帯に属する。主に風化過程を調査した地域は、旧名張鉱山と呼ばれたilmeniteを露天で採掘していた地域で、本岩体の主岩相は、中粒両輝石はんれい岩である。本岩体は、少なくとも中新世以降風化作用を蒙り、表層には厚い風化殻が発達している。原岩はひろくサプロライトに風化し、未風化の原岩は、核岩としてサプロライト中にわずかに点在するのみである。
風化殻は２種の基準に基づき分帯された。第１の基準は、サプロライト中の風化生成鉱物の組合せによるもので、上位より、Ⅰ帯：kaolin mineral(s) - goethite、Ⅱ帯：smectite - kaolin mineral(s) - goethite(±)となる。第２の基準は、サプロライト中に残存する未風化の核岩の産状を用いたもので。上位よりA帯、B帯、C帯となる。上位のA帯は、核岩が、周囲のサプロライトとは外観上異なる褐色・空隙質な「シェル」と呼ばれる風化生成物に覆われて産し、シェル中にはgibbsiteが生成している。中位のB帯は、核岩が直接サプロライトに接して産し、シェルは認められない。Ⅰ帯とA帯は概ね一致し、B帯とC帯の境界は地下水面である。
［試料］
旧名張鉱山地域は、現在は宅地開発され、宅地に作られた小学校脇の新たな法面で試料を採取した。採取地点は、風化帯のⅡ帯で、B帯及びC帯に対応する。採取した試料は、サプロライトと核岩で、サプロライトは詳しく見ると白、淡緑、赤、褐、黒のまだら模様を呈し、核岩は、厚さ３㎜程度の薄いシェルで覆われており、シェルは概ね褐色で白い斑点が混じっている。
［結果］
サプロライトの各色部を手選で分離し、X線回折により構成鉱物を同定した。いずれの部分にもsmectiteが認められ、d(060)値よりその種類を判定した。結果は、白色部がbeidelliteとkaolinite、淡緑色部が、montmorillonite、kaoliniteとchlorite、赤色部がnontroniteとgoethite、褐色部がnontronite、goethite、kaoliniteとamphiboles、黒色部がnontroniteとgeothiteであった。
シェルの構成鉱物は、褐色部・白色部ともに、主体は(hk)バンドに比べ底面反射が著しく弱いkaolinite/smectite混合層鉱物と判断され、微量のamphibolesを伴っている。
［考察］
旧名張鉱山地域の水質分析の結果より、本地域の地下水は、beidellite及びkaoliniteと平衡関係にあると判断され、このような水が原岩と反応し、plagioclaseのような初生鉱物が溶解すると、その近傍で溶解成分の濃度が上昇し、特に溶解度の低いアルミニウムイオンは、濃度の上昇が有意であり、化学ポテンシャルが大きく上昇、準安定鉱物であるhalloysiteが生成されることが示された(Okumura, 1990)。本地域で見出されたkaolinite/smectite混合層鉱物も同様の化学条件下で、plagioclase, pyroxenesのような初生鉱物の溶解により生成したと考えられる。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

謝辞：X線回折にあたっては、大阪公立大学（院）理学研究科篠田圭司教授のお世話になった。記して感謝します。

［参考文献］

S. Okumura (1990): Proc. 9th Internat. Clay Conf., Strasbourg, 1989, V.C. Farmer and Y. Tardy (Eds), Sci. Geol., Mem., 85. P.129-138. Strasbourg (FRANCE).

キーワード：kaolinite/smectite混合層鉱物、はんれい岩、風化、準安定鉱物
Keywords: kaolinite/smectite mixed layer mineral, gabbro, weathering, metastable mineral

東北沖プチスポット玄武岩中のスメクタイトの産状と鉱物学的特徴について

Occurrence and mineralogy of smectite in petit-spot basalts from the Northwest Pacific

*城戸 太朗[1]、秋澤 紀克[2]、鈴木 庸平[1]
*Taro KIDO[1], Norikatsu AKIZAWA[2], Yohey SUZUKI[1]

1. 東大・院理、2. 東大・大海研
1. Univ. Tokyo, Sci., 2. Univ. Tokyo, AORI

東北沖のプチスポットと呼ばれる海底火山の玄武岩（以下、プチスポット玄武岩）は、プレート内部に亀裂が生じることで上部マントル由来の物質がマントル捕獲岩・捕獲結晶として存在することが知られている。このマントル捕獲岩・捕獲結晶はカンラン石や輝石、ザクロ石等から構成されている。また、プチスポット玄武岩中には、茶色に変質したマントル捕獲岩・捕獲結晶も存在している。このマントル捕獲岩・捕獲結晶の変質は、海水との反応によると推定されるが、これまで研究されてこなかった。本研究では、カンラン石の低温での変質過程を明らかにするために、茶色に変質したマントル捕獲岩・捕獲結晶を含むプチスポット玄武岩を対象にX線回折法（XRD）、顕微赤外線分光法（顕微IR）、エネルギー分散型X線分光装置付属の走査型電子顕微鏡(SEM-EDS)で分析を行った。 本研究では、YK21-07S次航海において、しんかい6500を用いた潜航でSite B（北緯37'37.5'、東経149'30.4'、水深約5900m）から採取されたプチスポット玄武岩を用いた。プチスポット玄武岩は、マグマ上昇時に周囲の海底堆積物を取り込んでおり、イライトと含水アルミノ珪酸塩ナトリウムを含んでいると報告されている。 取り込まれた海底堆積物を観察すると、一部に十字沸石の結晶が認められ、低温の岩石-水反応が起きていた可能性が示唆された。プチスポット玄武岩のうち、茶色のマントル捕獲岩・捕獲結晶を含む試料から水簸法によって粘土画分を取り出し、XRDを行った。その結果、底面間隔に相当する14.6 Åのピークが認められ、エチレングリコール処理でピークのシフトが認められた。また、(060)反射が15.0 Åのピークとして認められた。また、顕微I Rでは、モンモリロナイトに特徴的なAl-OHの伸長に由来する~3620 cm^{-1}のピークが認められた。一方で、取り込まれた海底堆積物からは、XRD、顕微I Rの分析でイライト、十字沸石のピークは認められるが、スメクタイトのピークは認められなかった。これらの分析結果から、プチスポット玄武岩中で、２八面体型のスメクタイトであるモンモリロナイトが形成されていることが示された。SEM-EDSの分析で得た、岩石薄片中のスメクタイトの化学組成を様々な形成環境のスメクタイトと比較し、プチスポット玄武岩中のモンモリロナイトの形成環境を議論する。

キーワード：マントル捕獲岩、低温変質、モンモリロナイト、粘土鉱物
Keywords: mantle xenolith, low-temperature alteration, montmorillonite, clay minerals

ウォラストナイトとカンラン石および玄武岩の天然キレート剤による溶解挙動の特徴と促進効果

Dissolution behavior of wollastonite, olivine and basalt with natural chelating agents: features and promotion effects

*菊池 星南[1]、王 佳婕[1]、土屋 範芳[1]
*Sena Kikuchi[1], Jiajie Wang[1], Noriyoshi Tsuchiya[1]

1. 東北大・環境科学
1. Tohoku Univ. Environmental sci.

鉱物の溶解過程は、土壌の肥沃度、貯留層の空隙率、鉱床の形成、地球規模の炭素循環など、多くの地球化学的特性や現象に寄与している。近年、CaやMgを含むケイ酸塩鉱物の溶解は、大気中のCO_2削減・貯留に寄与するとして注目されている。本研究グループも含め、人工キレート剤(GLDA、HEDTAなど)を用いて2価の陽イオンを抽出することでケイ酸塩鉱物の溶解を促進することが提案されている。天然では、このようなキレート能力を有する有機物が生物から豊富に分泌され、鉱物の溶解促進に重要な役割を果たすと考えられている。本研究は、有機酸を用いた室内実験によりケイ酸塩鉱物の溶解において天然キレート剤の促進効果がもたらす可能性について検証することである。 ウォラストナイト($MgSiO_3$) 、カンラン石[$(Mg_{0.91}Fe_{0.09})_2SiO_4$]および玄武岩の粉末とアミノ酸を含む13種類の有機酸溶液を用いて、室温（～20 ℃）常圧で溶解実験を行った。pH 8.0でシュウ酸以外の有機酸がそれぞれ鉱物からの金属の抽出を促進した。ウォラストナイトからのCa抽出は、最も抽出量が多かった有機酸の水溶液中では水中と比較して35倍に増加した。また、かんらん石のMgやFe、玄武岩のMg、Ca、Feにおいても、有機酸により選択的に抽出された。次に、有機酸による鉱物溶解の促進作用の環境影響を評価するために、pHと温度における比較実験を行った。pH 4.0~10.0では、有機酸による岩石から金属イオンを抽出する量は弱酸性で大きくなった。pH 10.0では、促進作用は見られず抽出量は純水と変わらなかった。興味深いことに、天然キレート剤を含む環境では、pHの影響が非常に大きい。pH4.0の純水では、pH 8.0より、ウォラストナイトの溶解は2.6倍促進されたが、キレート剤の溶液では12倍促進される。この結果、キレート剤を使用する場合と使用しない場合では、pHに対するミネラルの溶解度のトレンドが異なる。また、天然のキレート剤が存在する場合、20℃から60℃の範囲では、鉱物の溶解に対する温度の影響は小さい。しかし、20℃におけるCaの抽出量が60℃とほぼ変わらないため、温度上昇におけるCaの抽出量について純水の二次関数的変化に対して、有機酸では緩やかな一次関数的変化となり、通常の鉱物溶解とは異なる溶解挙動を示した。そして、これらの天然キレート剤による鉱物溶解は、水溶液中の炭酸イオンの溶解度にも影響した。pH 8.0で有機酸を用いた水溶液の場合、反応後の溶存している炭酸イオンの濃度が純水と比較して22倍多くなっていた。これは、有機酸の鉱物溶解促進が炭酸イオンの溶解度変化に影響したことが考えられ、有機酸がCO_2回収への利用可能性もある。 これらの発見は、天然キレート剤を用いた鉱物の促進溶解を大気中のCO_2削減と、地球化学の分野にも重要な貢献が期待されている。

キーワード：有機酸、キレート剤、鉱物溶解
Keywords: Organic acid, chelate agents, Mineral dissolution

陸上掘削試料の微量元素・Sr-Nd同位体組成から導かれたオマーンオフィオライトに記録された２つの地球化学的プロセス

Two geochemical processes recorded in trace element and Sr-Nd isotopic compositions of the CM1A core samples from the Oman ophiolite

*芳川 雅子[1]、柴田 知之[1]、片山 郁夫[1]、Asyraf Aminuddin[2]、仙田 量子[3]、森下 知晃[2]
*Masako YOSHIKAWA[1], Tomoyuki Shibata[1], Ikuo Katayama[1], Asyraf Mohamed Aminuddin[2], Ryoko Senda[3], Tomoaki Morishita[2]

1. 広島大学・院先進理工系、2. 金澤大・院理工学域、3. 九州大・院比較社会
1. Hiroshima Univ., 2. Kanazawa Univ., 3. Kyushu Univ.

地球表面の約7割を占める海洋プレートの実体は，系統的に試料を直接採取することが困難で，未だ不明点が多い。このため，構造運動で地表にもたらされた海洋プレートの断片と考えられているオフィオライト岩体の詳細な観察から，海洋プレートの断面やその物理学・化学的特徴が推定されている。アラビア半島南東部に位置するオマーンオフィオライトは，世界最大級（400 ㎞以上）かつ保存状態の良い海洋プレートの断面とされている（例えば, Nicolas et al., 1988）。オマーンオフィオライトでは，国際陸上科学掘削計画のもと，2016年12月から2018年3月に複数の地点で掘削が行われた。南部Wadi Tayinブロックの CM1A・CM2Bサイトでは地殻ーマントル境界を含む連続試料が回収された（Kelemen et al., 2020）。本研究で対象とするCM1Aサイトで採取された掘削試料は全長404.15mで，構成する岩石層の特徴から上位から下位へと次の4層に区部されている。第I層：層状斑レイ岩卓越層，第II層：ダナイト層，第III層：斑レイ岩を伴うダナイト層，第IV層：ハルツバーガイト卓越層。このうち第II・III層が地殻ーマントル遷移層とされる（Tamura et al., 2018; Takazawa et al., 2019）。 第I層の斑レイ岩は，下位のダナイトやハルツバージャイトと比べ，かんらん石や2次的な脈が少なくSr同位体比が低い（^{87}Sr / ^{86}Sr ＝0.7031～0.7033）。一方かんらん石を主要構成鉱物とする，第II・III・IV層のダナイトやハルツバージャイトは変質度が高く（蛇紋岩化度 80～100%）Sr同位体比が高い（^{87}Sr / ^{86}Sr ＝0.7038～0.7040）。この結果から，芳川ほか（2021）は，(1) CM1A掘削試料のSr同位体比は全岩の変質度に依存すること，（2）ダナイト・ハルツバーガイト中を循環した熱水のSr同位体比（$^{87}Sr/^{86}Sr$ =0.7039～0.7042）はKawahata et al. (2001)がオマーンオフィオライトで求めた海水由来の高温熱水流体の値（^{87}Sr / ^{86}Sr ＝0.70413）と一致することを報告した。 第IV層のハルツバージャイト４試料から新たに分析されたNd同位体比は，La_{CN}/Sm_{CN}（CNはコンドライトで規格化したことを表す）比と負の相関を示す。オマーンオフィオライトの露頭試料で観察されるハルツバージャイトやダナイトの中希土類元素（例えばSm）に対する軽希土類元素（例えばLa）のエンリッチメントはメルト・流体と溶け残りマントルの相互作用の結果と解釈されており（たとえばGodard et al., 2000），CM1A・CM2Bサイトの試料からも報告されている（Kourim et al., 2021）。従って，CM1Aサイトの試料において，Nd同位体比はメルト・流体ー固相相互作用のプロセスを，Sr同位体比はメルト・流体ー固相相互作用後の高温熱水流体循環のプロセスを記録していると推測される。

キーワード：オマーン掘削試料、Sr-Nd同位体比、微量元素組成
Keywords: Oman drilling project samples, Sr-Nd isotopic ratios, trace element compositions

オマーンオフィオライト北部サラヒ岩体マントルセクションにおける蛇紋岩化作用の初期段階

Early stages of serpentinization in the mantle section of the Salahi mantle section in the northern Oman ophiolite

吉羽 洋紀[1]、*髙澤 栄一[1,2]、野坂 俊夫[3]
Yohki Yoshiba[1], *Eiichi TAKAZAWA[1,2], Toshio Nozaka[3]

1. 新潟大・理、2. JAMSTEC、3. 岡山大・自然研
1. Niigata Univ. Sci., 2. JAMSTEC, 3. Okayama Univ.Sci.

海洋マントルにおける蛇紋岩化過程の初期段階を理解するために，オマーンオフィオライト・サラヒマントルセクションのかんらん岩における蛇紋石と付随鉱物の鏡下観察，組成分析，およびラマン分光分析を行った。サラヒマントルセクションのかんらん岩には，リザダイトやクリソタイルなどの低温で安定な蛇紋石が様々な割合で含まれている。高温で安定な蛇紋石であるアンチゴライトも広く分布するが，その頻度はマントルセクションの北西部に向かって減少する傾向がある。アンチゴライトの大部分は幅0.1mmから3.0mmの脈を形成する。アンチゴライト脈の中央部には低温型の蛇紋石が平行に，あるいは脈を横断するように切断している。蛇紋石中（特にアンチゴライト脈中）では，磁鉄鉱はパッチ状または紐状に産出する。磁鉄鉱はほとんどすべての岩石試料に含まれるが，その量と分布は一様ではない。タルクは直方輝石のリムまたは全体を置き換えて，蛇紋石とともにバスタイトを形成する。トレモライトと緑泥石は，しばしばアンチゴライト脈の近傍に出現する。これらはタルクやアンチゴライトなどの他の鉱物と集合体を形成することがある。また，炭酸塩鉱物（方解石，アラゴナイト，マグネサイト）も調査地域全体にわたって出現する。ブルーサイトは脈中にはほとんど存在せず，顕微鏡で確認することは難しい。Si対Mg+Fe分子比のグラフでは，ブルーサイト，かんらん石，蛇紋石の組成はほぼ直線上に並ぶ。メッシュ状の蛇紋石は脈状の蛇紋石よりも組成範囲が広く，SiよりもMg+Feに富む傾向があり，ブルーサイトとの混合が示唆される。一方，脈状のアンチゴライトは，理想的な組成よりもSiに富み，Alも含む可能性がある。かんらん石と接触する蛇紋石では，化学組成からブルーサイトと蛇紋石の混合が示唆される。また，クリソタイルはブルーサイトとアンチゴライトから，蛇紋石と磁鉄鉱はブルーサイトとSiから形成されることから，蛇紋岩化初期の段階で形成されたブルーサイトの多くが反応によって消費された可能性が考えられる。鉄に富むかんらん石が幅0.02-0.3 mmの脈を形成して，しばしばアンチゴライト脈を伴いつつ，初生かんらん石中に存在する。一般的な初生かんらん石のFo含有量は約90であるのに対し，鉄に富むかんらん石は71-88である。鉄に富むかんらん石と接するアンチゴライト脈はMgに富み，Feに乏しい。Mg-Fe相互拡散率は温度が高いほど高いことから，アンチゴライト脈は高温で形成されたか，あるいはアンチゴライト脈形成後に加熱された可能性が考えられる。サラヒマントルセクション全域にアンチゴライトとタルクが存在することから，熱水反応は300-700℃付近で起こったと考えられる。かんらん石，アンチゴライト，トレモライトの共存は，500-600℃での熱水反応の可能性を示唆している。さらに，すべての試料にリザダイトとクリソタイルが存在することから，300℃より低い温度で広範囲に水の浸透が起こったことが示唆される。アンチゴライト脈で観察された切断関係は，かんらん石，アンチゴライト，クリソタイル，磁鉄鉱，炭酸塩鉱物の順に形成したことを示唆する。したがって，蛇紋岩化は温度の漸減とともに進行したと考えられる。アンチゴライトはリザダイトよりもシリカの活量が高いことから，シリカに富む流体の流入あるいは加熱による形成の可能性が示唆される。サラヒ岩体におけるアンチゴライトとタルクの出現頻度の空間分布と古海嶺セグメント構造との関係が示唆される。古海嶺セグメントの中心はサラヒブロックの北に位置するフィズ岩体の南端付近に，セグメントの末端部はサラヒ岩体の南端部に位置すると推定されている。海嶺セグメントの末端付近では，海水がマントル深部まで浸透し，冷却の初期段階でアンチゴライトが形成された可能性が考えられる。一方，サラヒ岩体の北西部は，海嶺セグメントの中心部に近く，深部にあたる

ため，モホ面近傍や海嶺セグメントの末端部付近よりも高温状態が継続し，アンチゴライトの形成が遅れた可能性がある。その結果，サラヒ岩体の北西部において，アンチゴライトおよびタルクの出現率が低くなった可能性が考えられる。

キーワード：オマーンオフィオライト、海洋マントル、蛇紋岩化作用、アンチゴライト
Keywords: Oman ophiolite, oceanic mantle, serpentinization, antigorite

口頭講演

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳

2023年9月14日(木) 14:00 〜 16:30 821 (杉本キャンパス)

15:20 〜 15:30

[1Lecture-201-09-7add]休憩

©日本鉱物科学会

沈み込み帯における含ホウ素流体ー岩石相互作用の時期：三波川変成帯の例

Timing of B-bearing fluid-rock interaction in a subduction zone: an example from the Sanbagawa metamorphic belt

*横井 雅範[1]、河上 哲生[1]
*Masanori YOKOI[1], Tetsuo KAWAKAMI[1]

1. 京都大・院理
1. Kyoto Univ. Sci.

沈み込みスラブ表面には、スラブを構成する岩石やマントル物質のブロックが変形したマトリクスに取り込まれるblock in matrix構造を呈し、スラブ由来流体との間で様々な岩石-水反応を起こしながら混合する、「ミキシングゾーン」が存在すると考えられている[1]。電気石は流体中に取り込まれやすいホウ素(B)を主成分にもち、形成時の温度や流体組成などの情報を記録する。また、Bは塩基性岩に数十ppm以下、泥質岩には数百ppm以下しか含まれない[2]。それゆえ、電気石の濃集を形成するには外部からのBの添加が必要であり、その電気石を解析することで流体活動の情報を抽出できる。

三波川変成帯におけるナップ境界やブロック・マトリクス境界での含B流体-岩石相互作用の痕跡として、四国中央部から電気石濃集層が報告されている[3][4]。このうち、愛媛県新居浜市端出場のブロック・マトリクス境界に産する電気石濃集層は包有物の角閃石の組成から、変成ピーク直後以降の後退変成期に形成したとされる[4]。三波川変成帯における含B流体-岩石相互作用の全貌を明らかにするには他地域・他産状での議論が必要となる。本研究ではミキシングゾーンのマトリクス中における含B流体-岩石相互作用のタイミングを制約する目的で、和歌山県紀の川市藤崎の塩基性片岩中に産する緑簾石に富むレンズ中の電気石濃集部分の詳細な研究を行った。

和歌山県紀の川市藤崎では、赤鉄鉱とバロワ閃石を含む曹長石ー黒雲母帯の塩基性片岩中に長径約3-20 cmの緑簾石に富むレンズが点在する。多くのレンズ中にはDs変形段階の褶曲構造が見られる。レンズ内外共に主要鉱物組合せは、緑簾石+角閃石+曹長石+緑泥石+石英で、副成分鉱物として白雲母、チタン石、ルチル、赤鉄鉱、燐灰石、電気石を含む。曹長石の斑状変晶がレンズの内外に存在するが、伸びの方向が異なる。

角閃石はレンズ内外で組成累帯構造をもつ。曹長石に包有されない場合、コアからリムに向かってバロワ閃石、普通角閃石、アクチノ閃石の順に組成変化する。この累帯構造は角閃石＋緑簾石＋緑泥石＋斜長石＋石英が平衡共存する塩基性片岩の鉱物組合せでは減温減圧を表す[5]。レンズ内の曹長石に包有される角閃石はバロワ閃石～普通角閃石組成を示すため、曹長石がピーク変成時に形成されたと解釈できる。曹長石内の角閃石に対して、角閃石-斜長石温度計[6]を、バロワ閃石と普通角閃石の安定領域が重なる8 kbar [5]を仮定して適用した結果、515-578℃の温度条件が得られ、この温度をピーク変成温度と解釈した。

レンズ内の電気石はDr片理面に沿って濃集し、Ds褶曲に曲げられている。電気石の累帯構造はBSE像で明るいコア、暗いマントル、中間の明るさのリムに分けられる。曹長石に包有される電気石はリムまで成長している。 Ca/(Na+Ca)はコア、マントル（c+極側で 0.04-0.1）、リム（c+極側で>0.1）と増加し、これは定性的に昇温を表す。各段階に対しCa/Naの分配を用いた電気石極性温度計[7]を適用すると、コア、マントルからは490-520℃、リムからは530-560℃が得られた。リム成長時の温度は角閃石-斜長石温度計によって求められたピーク変成温度と一致する。この結果と曹長石との包有関係から、電気石コア、マントルは昇温期に成長し、リムはピーク時に成長したといえる。

以上の結果をまとめると、和歌山県紀の川市藤崎の緑簾石レンズ内部の電気石は、周囲の泥質岩由来の含B流体がDr片理面に沿って流入し形成された可能性が高い。四国中央部の例[4]と総合すると、三波川帯における含B流体は変成ピーク前の昇温期から後退変成期にかけて時間的広がりを持って沈み込み帯表面で活動

し、片理面や岩相境界を流路として水-岩石相互作用を引き起したと結論づけられる。

引用文献

[1] Bebout (2007) Earth Planet. Sci. Lett. 260, 373-393.
[2] Dutrow & Henry (2011) Elements 7, 301–306.
[3] 砂田・榊原 (2004) 日本地質学会第111年学術大会講演要旨 235.
[4] 石山ほか (2016) 日本鉱物科学会2016年年会講演要旨集 24.
[5] Okamoto & Toriumi (2005) J. Metamorphic Geol. 23, 335–356.
[6] Holland & Blundy (1994) Contrib. Mineral. Petrol. 116, 433-447.
[7] van Hinsberg & Schumacher (2007) Contrib. Mineral. Petrol. 153, 289–301.

キーワード：ホウ素、流体、沈み込み帯、三波川変成帯、ミキシングゾーン
Keywords: boron, fluid, subduction zone, Sanbagawa metamorphic belt, mixing zone

フッ素の移動・鉱化作用と水ー岩石相互作用の関係

Behavior of fluorine, relationship between mineralization and water-rock interaction: an example of the Jinmu-Mihara fluorite skarn deposit.

*砂田 雅裕[1]、渡辺 寧[1]、越後 拓也[1]、青木 翔吾[1]、瀬野 洸太朗[1]
*Masahiro SUNADA[1], Yasushi Watanabe[1], Takuya Echigo[1], Shogo Aoki[1], Kotaro Seno[1]

1. 秋田大・院国資
1. Akita Univ. Ers.

揮発性元素の挙動について知ることができれば，これらが関係する地質現象の問題を紐解く情報を得ることができる．そのためには元素の移動，濃集ー沈殿メカニズムを解明する必要がある．天然ではスカルン鉱床がいいモデルとなる．スカルン鉱床は水ー岩石相互作用が関係する熱水鉱床の一種で，物質移動が盛んに行われる系であり，元素の挙動が「鉱化作用」として詳細に保存されている．広島県には蛍石(Fluorite; CaF_2)がスカルンに伴われて産出する神武ー三原鉱床があり，この地域でFを沈殿する鉱化作用をもたらす熱水の特徴がわかればスカルン系での揮発性元素「F」の挙動を理解することができる．

神武ー三原鉱床は棚倉構造線以西のF含有量の高いチタン鉄鉱系花崗岩に伴われる．鉱床母岩はルーフペンダント状のジュラ紀丹波帯の堆積岩コンプレックスに後期白亜紀の黒雲母花崗岩が貫入しており，スカルンはその境界に分布する．本鉱床における蛍石鉱化作用は①花崗岩類に伴われるものと②スカルンに伴われる２つの産状がみられる．

地質調査と顕微鏡観察，EPMAを用いた化学分析による結果を以下に述べる．縞状スカルンの構成鉱物はAndradite, Hedenbergite-Diopside, Vesuvianite(F content: Max 4.11, Ave. 3.43 a.p.f.u.), Albite-Alkali feldsparからなる．一部のスカルンではAndradite + Hedenbergite + Cassiterite (SnO_2)の鉱物組み合わせがみられた．花崗岩類では長石＋蛍石の鉱物組み合わせからなる「優白質花崗岩」に，スカルンでは，Andradite, Hedenbergite-Diopside, Vesuvianite, Albite-Alkali feldspar, Fluoriteが交互に縞状の組織をなしてみられる．Fは還元環境下で沈殿することがわかっており，これらからAndradite, Diopsideは酸性条件下，Albite-Alkali feldsparは中性～酸性条件下，FluoriteやVesuvianite, Hedenbergiteは還元条件下で含F鉱物はFが熱水から鉱物として保存される条件下になったことが示唆される．このような縞状組織は「Wrigglite」と呼称され，構成鉱物の沈殿条件がリズミカルに変化し，鉱物が互層状に晶出したものであると考えられる．この条件はスカルン系においてPrograde stage (開放系)→Retrograde stage(閉鎖系)に変化したRetrograde stageの始まりから終わりまでの情報を保存している．F(-Sn)に富む鉱化流体はアルカリ花崗岩に類似的に認められることから，アルカリ花崗岩の関与が示唆される．

スカルン系における揮発性元素「F」の挙動は以下のように考えられる．移動は関係火成岩が冷却し，熱水が放出される開放系から閉鎖系に推移するときから鉱物として保存されるまで，濃集は熱水に分配されたとき，含F鉱物として沈殿するまで，沈殿は還元条件下で含F鉱物として沈殿するというメカニズムである．

キーワード：フッ素、スカルン鉱床、山陽帯、蛍石鉱化作用、神武ー三原鉱床
Keywords: Fluorine, Skarn deposit, Sanyo-belt, Fluorite mineralization, Jinmu-Mihara deposit

異なる海域から得られた海洋掘削コア試料に見られる斑れい岩の岩石物性の違いについて

Differences in petrophysics of gabbroic rock in ocean drilling core samples from different regions

*阿部 なつ江[1,2]、冨士原 敏也[1]
*Natsue ABE[1,2], Toshiya Fujiwara[1]

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 金沢大学大学院自然科学研究科
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2. Kanazawa University

海洋科学掘削では、過去に海洋下部地殻を構成する物質である斑れい岩の掘削を様々な海域で複数回行っている。大西洋ではODP Legs 153 (Kane FZ)、Leg 209 (15˚20'N FZ), IODP Exp. 304 & 305(Atlantis Massif)で、インド洋ではAtlantis Bankと呼ばれる箇所でODP Legs 118 & 176および IODP Exp. 360による掘削、太平洋ではODP Leg 147およびIODP Exp. 345でHess Deepから斑れい岩試料を採取している。これらの斑れい岩コア試料は、海洋下部地殻の実態を解明する貴重な試料である。これらの地域産の斑れい岩と弾性波速度の間には大きな違いがあることが報告されている。つまり、インド洋の斑れい岩試料と太平洋試料は、一般的に海洋下部地殻として想定されている斑れい岩の弾性波速度と密度の関係を示すが、大西洋の斑れい岩試料の弾性波速度は、同程度の密度を示す他の産地の斑れい岩に比べて、約1km/s遅い。この弾性波速度の違いを生ずる原因として、 (1)鉱物組成や変質の程度の違い、(2)空隙率（またはクラック密度）の違い、(3)変形の程度の違い、(4)形成年代（温度）の違い、などが挙げられる。今回これらの原因について検討した結果を紹介し、弾性波速度の違いについて考察したい。

キーワード：斑れい岩、国際深海掘削計画、海洋下部地殻、弾性波速度、岩石物性
Keywords: Gabbro, IODP, Oceanic lower crust, compressional velocity, petrophysics

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

流体が関与した岩石のマイロナイト化と断層形成過程

Fluid induced mylonitization and faulting processes

*安東 淳一[1,2]、Sakar Dyuti Prakash[1,2]、樹神 洸寿[1]、Das Kaushik[1,2]、Ghosh Gautam[3,2]、富岡 尚敬[4,2]

*Jun-ichi ANDO[1,2], Dyuti Prakash Sakar[1,2], Hirotoshi Kotama[1], Kaushik Das[1,2], Gautam Ghosh[3,2], Naotaka Tomioka[4,2]

1. 広島大・先進理工、2. 広島大・HiPeR、3. Presidency Univ、4. JAMSTEC・高知コア研
1. Hiroshima Univ., 2. Hiroshima Univ. HiPeR, 3. Presidency Univ., 4. JAMSTEC

岩石のマイロナイト化に起因して断層が形成される可能性が指摘されている（例えばWehrens et at., 2016）。本研究が対象としている北アルモラ衝上断層(NAT)においても、NATと密接に関係して花崗岩がマイロナイト化している。本研究の目的は、露出の良いNATの近郊において系統的に採取したマイロナイト化した花崗岩の微細組織のキャラクタリゼーションを行い、岩石のマイロナイト化と断層形成の関係を明らかにすることである。

NATはインド北部 Uttarakhand州 Almora北部に露出する。NATはインド大陸がアジア大陸に衝突することで形成された大規模断層である主中央衝上断層の一部と考えられている。本研究の対象地域では主中央衝上断層は褶曲を受けており、NATの南部が上盤側となっている。上盤には、インド大陸を構成していた花崗岩が主に露出する。NATから南方約8 kmの範囲の調査を行い、花崗岩がマイロナイト化していることを確認した。マイロナイトの面構造はNATの走向とほぼ平行であることから、マイロナイト化とNATの運動は関係していることが分かる。またマイロナイト化した花崗岩は、塑性変形した石英と黒雲母/白雲母といった層状珪酸塩鉱物、それと脆性変形した長石から構成されており、変形が脆性-塑性遷移の深度で生じたことが分かる。マイロナイト化の程度はNATに近づくほど、プロトマイロナイトからマイロナイト、そしてウルトラマイロナイトへと大きくなる傾向が認められる。

採集した花崗岩マイロナイトに対し、偏光顕微鏡、SEM、SEM-EBSD、TEMといった装置、及びImageJやMATLABを用いて微細組織のキャラクタリゼーションを行った。これによりマイロナイト化の①温度と応力値、②剪断方向、③マイロナイト化に与えた層状珪酸塩鉱物の影響を明らかにした。これらのデータを基に、花崗岩のマイロナイト化とNAT形成の関係を考察した。

微細組織のキャラクタリゼーションの結果、以下のことが明らかとなった。1）まず重要なことは、花崗岩マイロナイトに占める層状珪酸塩鉱物の量がNATに近づくにつれて増加することである。それに伴って、プロトマイロナイトからマイロナイト、そしてウルトラマイロナイトへとマイロナイトの程度が強くなる。2）石英は波動消光を示し、亜結晶回転によって動的再結晶をしている微細組織が確認できるの。すなわち転位クリープによって塑性変形したことが分かる。石英が亜結晶回転によって動的再結晶を生じるのは約450℃-550℃なので、マイロナイト化はこの温度範囲で進行したと考えられる。また再結晶石英の粒径は約50μmであるが、NATの近傍のみ約25μmと小さくなる。このことはNAT近傍に応力集中が生じたことを示唆する。3）動的再結晶のメカニズムは主に亜結晶回転であるが、層状珪酸塩鉱物の量が増えると圧力溶解クリープによって形成された組織が上書きされる。圧力溶解クリープよって再結晶化した石英のアスペクト比は2-2.5程度と大きくなる。4）長石は脆性変形を受けているが、石英と同様に層状珪酸塩鉱物の量が増えると圧力溶解クリープによる再結晶化が顕著になる。5）再結晶した石英のc 軸の集中度はNATの近傍で、また層状珪酸塩鉱物の含有量が増えると低下する。このことは上記した石英と長石の変形のメカニズムが、層状珪酸塩鉱物の量が増えると圧力溶解クリープに変化することと関係していると考えられる。6）非対称組織と再結晶石英のc軸ファブリックから求めたマイロナイト形成時の剪断方向は、インド大陸の衝突・沈み込みに整合的なtop-to-southである。しかしNAT近傍に露出するマイロナイト中の層状珪酸塩鉱物が示す非対称組織はtop-to-northを示す。

以上の観察結果は、花崗岩が流体の関与によりマイロナイト化が進行したことを示す。特にウルトラマイロナイト化した領域では、変形メカニズムが圧力溶解クリープへと変化することで岩石強度が低下し、それによりウルトラマイロナイト化した花崗岩部分に応力集中と歪集中が生じ、その結果断層（NAT）が形成されたと考えられる。

キーワード：断層、マイロナイト、圧力溶解クリープ、層状珪酸塩鉱物、マントルポーフィロクラスト
Keywords: Fault, Mylonite, pressure solution creep, Phyllosilicate mineral, Mantle porphyroclast

口頭講演

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

座長:土屋 範芳

2023年9月14日(木) 14:00 〜 16:30 821 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

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

2023年9月14日(木) 14:45 ~ 16:30 | 822 杉本キャンパス

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

座長:秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)、越後 拓也(秋田大学)

14:45 ~ 15:00

[R7-01] 熱水変質作用による有機物の分解：北海道北見地域の浅熱水金鉱床を例として

國場 海里[1]、*越後 拓也[1]、渡辺 寧[1] (1. 秋田大学・国際資源)

15:00 ~ 15:15

[R7-02] 東松浦玄武岩の晶洞に産する淡青色セピオライトの呈色要因について

「発表賞エントリー」

*木尾 颯月[1]、江島 輝美[2]、昆 慶明[3]、南澤 比佳理[4]、堀田 将臣[4] (1. 信州大・院理、2. 信州大・理、3. 産総研、4. 信州大・工)

15:15 ~ 15:30

[R7-03] 海底火山活動地域に産する玉髄の形成過程1　宮城県奥松島地域

「発表賞エントリー」

*佐野 菜津子[1]、宮本 毅[2]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[3] (1. 東北大・院理、2. 東北大・東北アジア研セ、3. 東北大・総学博)

15:30 ~ 15:45

[R7-04] タヒチ島産マントル捕獲岩中の多環芳香族を含む包有物に対するX線吸収端近傍構造解析

「発表賞エントリー」

*三津川 到[1]、三宅 亮[1]、伊神 洋平[1]、高橋 嘉夫[2]、山下 翔平[3]、河合 敬宏[2]、小木曽 哲[1]、秋澤 紀克[2] (1. 京都大、2. 東京大、3. 高エネルギー加速器研究機構)

15:45 ~ 16:00

[R7-05] ハワイ・ソルトレイククレーター産ザクロ石カンラン岩の再解析

*秋澤 紀克[1]、石川 晃[2]、藤田 遼[2]、森下 知晃[3]、田村 明弘[3]、佐野 貴司[4] (1. 東京大・大海研、2. 東工大・理、3. 金沢大・理工、4. 国立科学博物館)

16:00 ~ 16:15

[R7-06] ピストンシリンダー装置を使用した高圧グラニュライトのザクロ石かんらん岩に見られる多相固体包有物の均質化実験

*苗村 康輔[1]、阿部 梨[1]、小木曽 哲[2] (1. 岩手大・教育、2. 京都大・院人環)

16:15 ~ 16:30

[R7-07] フォトンカウンティングCTの岩石・結晶試料への応用：原子量が大きい元素を含む物質に着目して

石黒 歩[1]、有元 誠[1,3,4]、佐藤 大地[1]、供田 崇弘[1]、寺澤 慎祐[5]、塩田 諭[5]、*森下 知晃[3,2] (1. 金沢大学・院自然、2. 海洋研究開発機構、3. 金沢大学・理工、4. 早稲田大学・理工、5. （株）プロテリアル)

[zoom] Zoom

熱水変質作用による有機物の分解：北海道北見地域の浅熱水金鉱床を例として

Decomposition of organic matter by hydrothermal alteration in epithermal Au deposit in Kitami area, Hokkaido, Japan

國場 海里[1]、*越後 拓也[1]、渡辺 寧[1]
Misato Kuniba[1], *Takuya ECHIGO[1], Yasushi Watanabe[1]

1. 秋田大学・国際資源
1. Internat. Resour. Sci., 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金銀鉱床が胚胎されており，近年活発に行われている試錐探査の結果，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^+) を含むカリ長石 [(K, NH_4)$AlSi_3O_8$] が発見された．有機物に富む堆積岩と熱水が反応することによって堆積岩中の有機物が分解し、熱水の還元的な環境が維持されることは複数の先行研究で知られている。北見地域の浅熱水金鉱床の形成にも熱水変質作用による堆積岩中の有機物の分解が関与した可能性があるが、堆積岩由来の有機物が熱水変質作用を被った際にどのような条件で分解あるいは構造変化するかはほとんど分かっていない。そこで本研究では、北海道北見地域の浅熱水金鉱床における有機物の分解と性質変化を明らかにすることを目的とし、同地域の隆尾鉱床で得られた試錐試料観察（Japan Gold社 IKDD22-007）、地表調査、薄片観察、XRD分析、赤外線分光（FTIR）分析、顕微ラマン分光分析、CHN元素分析を行った．コア観察および薄片観察の結果、深度30~95mは主に湖沼成堆積物、深度95~230mは主に珪長質な火砕岩および貫入岩、深度230~290mは主に黒色泥岩と岩相区分された。XRD分析の結果，熱水変質鉱物として石英・セリサイト・カリ長石・緑泥石が同定された。石英は全ての試料で普遍的に観察されたが、石英以外の特徴的な熱水変質鉱物としては、深度30~95mでセリサイト、深度95~230mでカリ長石、深度230~290mでセリサイトであった．顕微鏡観察ではいずれの深度でも炭質物が確認されたが、深度30~95mの試料はCHN分析による炭素濃度、FTIR分析によるN-H吸光度ともに深度95~230mおよび深度230~290mの試料よりも高く、N-Hを含む有機物が最も多く含まれていることが分かった。また、顕微ラマン分光分析で試料中の炭質物を分析した結果、グラファイト化の指標となるGバンド（1580 cm^{-1}）とDバンド（1360 cm^{-1}）のピーク強度比は全試料を通して有意な差はみられなかったが、レーザー光照射による蛍光強度を比べると、深度30~95mおよび深度230~290mの蛍光強度が深度95~230mよりも高いことが判明した。炭質物の蛍光強度は有機物の分解・熟成の程度に依存し、例えば続成作用においては150℃程度で有機物の蛍光がみられなくなる。深度30~95mおよび深度230~290mでセリサイト、深度95~230mでカリ長石が主な熱水変質鉱物として同定されたことは、深度95~230mにおける熱水の[K^+]/[H^+]が比較的高かったことを示す。また、バイオマスの分解に関する実験的研究によって熱水中のK^+イオンが触媒として作用し有機物の分解と酸化（CO_2発生）を促進することが分かっており、K^+に富む熱水が堆積岩中の有機物と反応した場合により多くの有機物が分解・酸化し、結果として熱水の還元的な環境が維持されると結論づけた。

キーワード：浅熱水金鉱床、有機物、熱水変質作用、粘土鉱物、ラマン分光分析
Keywords: epithermal gold deposit, organic matter, hydrothermal alteration, clay minerals, Raman spectroscopy

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

東松浦玄武岩の晶洞に産する淡青色セピオライトの呈色要因について

The coloration Factor of Pale Blue Sepiolite in amygdales in Higashimatsuura basalt from Kabeshima island, Saga Prefecture, SW Japan

*木尾 颯月[1]、江島 輝美[2]、昆 慶明[3]、南澤 比佳理[4]、堀田 将臣[4]
*Satsuki Kio[1], Terumi Ezima[2], Yoshiaki Kon[3], Hikari Minamisawa[4], Masaomi Horita[4]

1. 信州大・院理、2. 信州大・理、3. 産総研、4. 信州大・工
1. Shinshu Univ. Sci., 2. Shinshu Univ. Sci. , 3. GSJ, AIST, 4. Shinshu Univ. Eng.

佐賀県呼子町周辺に分布する東松浦玄武岩と呼ばれるアルカリ玄武岩には白色～淡緑色のセピオライトが産出し，石橋（1974）にて新産例として報告されている。呼子町の加部島には，石橋によってセピオライトの産出が報告された玄武岩と同一のフローユニット（無斑晶質玄武岩B2）（小林ほか，1955）が分布するが，加部島の玄武岩晶洞中に産するセピオライトは淡緑色でなく淡青色を呈する。セピオライトはFeやNiの遷移金属元素が含まれると緑色系統の色を呈色することが知られている（大塚ほか，1992）が，なぜ加部島でのみ他地域に産出しない淡青色のセピオライトが見られるのかについては未解明である。そこで，本研究では淡青色セピオライトの呈色要因を解明することを目的とした。本研究にはエネルギー分散型X線分析装置搭載の走査型電子顕微鏡および電界放出形電子プローブマイクロアナライザ，高分解能透過型電子顕微鏡，レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置（LA-ICP-MS）等の機材を用いた。

淡青色セピオライトが産する加部島のアルカリ玄武岩は岩石中に直径100–500 μmの楕円形の晶洞が存在する青灰色で緻密な岩石であり，100 μm以下のかんらん石および斜長石の斑晶と斜長石，アルカリ長石，イルメナイトおよびチタノマグネタイトからなる基質から構成されている。母岩であるアルカリ玄武岩の特徴としては，斑晶が少なく，マントルおよび地殻由来の捕獲岩を含むことが挙げられる。加えて，極まれに1 μm程度の黄銅鉱や離溶組織を有するクロム鉄鉱が存在する。二次鉱物としては，CoおよびNiを含有する濃青色のマンガン酸化物が見られる。

加部島のアルカリ玄武岩晶洞中に産する晶洞鉱物としては，セピオライトの他にイルメナイト，方解石，およびMn酸化物が認められる。セピオライトは長径20 μm程度の半球状をしており，白色～淡青色を呈し、鉱物表面にはいずれも0.5 μm以下の隙間を有する海綿状組織が存在する。また，晶洞断面を観察するとセピオライトは母岩を覆う黄褐色の緑泥石様鉱物をさらに覆うように産し，その厚さは5-10 μmである。淡青色セピオライトの主成分の割合は，SiO_2が46.48 wt.%，MgOが16.89 wt.%，Al_2O_3が4.69 wt.%であり，LA-ICP-MSによる微量元素測定では遷移金属元素として，Mnが0.403 wt.%，Fe^{3+}が0.392 wt.%，Cuが0.145 wt.%，Tiが0.036 wt.%，Crが0.012 wt.%，Niが0.010 wt.%検出され，Zn，CoおよびV は0.01 wt.%以下であった。また，晶洞中の緑泥石様鉱物からセピオライトにかけて直線上に微量元素測定を行った結果，緑泥石様鉱物から晶洞中のセピオライトにかけてFeの含有量は減少し，Cuの含有量は増加する傾向が見られた。LA-ICPMSの微量元素測定の結果，遷移金属元素としてはMnとFeの含有量が高いが，レーザーの照射径は5 μm程度であるため，得られた値は晶洞中に共生するFeの含有量の高い緑泥石様鉱物やMn酸化物が一部混ざった値である可能性がある。そこで，透過型電子顕微鏡を用いて晶洞中のセピオライトの微細領域において定性分析を行った。その結果，淡青色セピオライトのEDSスペクトル中にFeおよびMnのピークは検出されなかった。

以上の結果より，淡青色セピオライトに含まれる青色を呈する要因となる遷移金属元素としてはCuが最も多く含まれていることが分かった。セピオライトは重金属元素では特にCuを吸着しやすいことで知られており（Brigatti et. al.，2000），６配位席のMgがCuと置換することも実験によって確認されている（北山ほか，1996）。Cuを含む粘土鉱物（アロフェン）が青色を呈することは知られており（Grundmann et. al.,

1990）， Cuがセピオライトの淡青色の呈色要因である可能性は高い。しかし，セピオライトにCuが吸着もしくは6配位席を置換した場合に，どのような色を呈色するかについての報告はないため，Cuを含むセピオライトが淡青色を呈するかどうかは今後検討が必要である。

キーワード：加部島、セピオライト、銅、アルカリ玄武岩
Keywords: Kabeshima Island, sepiolite, copper, alkali basalt

海底火山活動地域に産する玉髄の形成過程1　宮城県奥松島地域

Formation process of chalcedony at subaqueous volcanism 1 Oku-Matsushima region, Japan

*佐野 菜津子[1]、宮本 毅[2]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[3]
*Natsuko Sano[1], Tsuyoshi Miyamoto[2], Takahiro Kuribayashi[1], Toshiro Nagase[3]

1. 東北大・院理、2. 東北大・東北アジア研セ、3. 東北大・総学博
1. Tohoku Univ. Sci., 2. Tohoku Univ. CNEAS, 3. Tohoku Univ. Museum

【はじめに】

玉髄（chalcedony）は微細な石英結晶の集合体からなり固有の組織をもつことから，その形成過程に関する結晶成長機構などの観点からの研究が多い（例えば，Flörke et al．1982）．玉髄は凝灰岩や火山岩などの岩石中に広く産し，新第三紀中新世の岩石中に多い．玉髄の形成モデルとしては，海底噴出溶岩の冷却クラックに流入した海水が溶岩により熱せられ，周囲の岩石からシリカ成分を溶かし出し，岩石のクラックに玉髄を沈殿させるといった，地下を循環した海水を起源とするモデルも考えられている（宮地ほか，2003;青木ほか，2017）．しかし多くの研究は玉髄の組織を鉱物学的に解析した研究であり地質過程には焦点を当てておらず，溶液の起源について触れていないか，触れていたとしても地下から上昇した溶液を想定している場合がほとんどである（例えば，清水・青木，2001）．本研究では宮城県奥松島地域において，中新世の海底火山噴火に伴う玉髄の形成過程を地質学的に考察する．

【結果】

宮城県松島湾周辺域には，シルト岩層中に狭在する火砕流堆積物を主とした前期～中期中新世の松島層が分布する．石井ほか（1983）は松島層を岩相の違いから5つの部層（Mt1層~Mt5層）に分けている．調査地域である奥松島地域には，凝灰角礫岩部層（Mt3），シルト岩部層 （Mt4），上部軽石凝灰岩部層（Mt5）が広く存在する．地質調査の結果から，Mt3層は水中堆積の特徴を示し，Mt5層は軽石凝灰岩層と砂~シルト岩層の互層からなる浅海成の特徴を示す．Mt5層の分布する複数地点では軽石凝灰岩中のクラックにダイク状のシルトがみられ，クラスティックダイクであると考えられる．クラスティックダイクとは，地下水で飽和した未固結の地層が液状化現象により軽石凝灰岩のクラックに沿って上昇してできたダイク状のシルトである（成尾・小林，1995）．この地域の軽石凝灰岩中に存在するクラスティックダイクの形成時期は，火砕流堆積物の冷却固結後である．

玉髄は，Mt5層が分布する地域のうち2地点（乙女が浜，大高森）でのみ確認される．大高森ではクラスティックダイクは存在せず，玉髄の脈のみが軽石凝灰岩中に存在する一方，乙女が浜ではクラスティックダイクに沿った玉髄の脈と，クラスティックダイクを伴わない玉髄の脈が存在する．クラスティックダイクに伴う玉髄の脈の詳細な産状としては，クラスティックダイクが一部途切れた部分にその空間を埋めるように存在するものや，クラスティックダイクと凝灰岩の間に存在するものがある．

乙女が浜の玉髄の薄片観察では，クラスティックダイクや軽石凝灰岩といった母岩の種類によらず玉髄の壁面にオパールが存在し，そこから繊維状の玉髄が伸長した組織が観察される．玉髄とクラスティックダイクとの境界付近では，玉髄の脈の内部にクラスティックダイク片があり，その周囲にオパールが存在し，そこから繊維状に伸長した玉髄の組織が観察される．このことから，クラスティックダイクの固結後に玉髄が形成されたと考えられる．

【考察】

乙女が浜ではクラスティックダイクに関連した玉髄の脈が確認されるが，大高森ではクラスティックダイクに伴っていない玉髄の脈のみが確認されることから，玉髄の形成にクラスティックダイクは必要不可欠ではないと考えられる．また，乙女が浜における玉髄の産状と薄片観察から，クラスティックダイクの固結後に玉髄が形成されたと考えられる．つまり，軽石凝灰岩中のクラックやクラスティックダイクは玉髄を形成した溶

液の通路としての役割を担っている可能性がある．玉髄を形成した溶液の起源は，マグマなどの熱源を考慮すると地下に求めることが容易である．そのためこれまでの研究では，地下を循環する溶液の上昇を想定する場合が多く，奥松島でも地下からの溶液の上昇を考えることも可能であるが，その場合には溶液の流入時期を特定することは困難である．Mt5層での地質調査の結果から，奥松島では乙女が浜よりも上位の層序で火砕流堆積物が繰り返し浅海に堆積していると考えられ，玉髄が産する層の上位に熱源の存在を仮定することも可能である．この時，火砕流堆積物が海水を敷き込んで熱する可能性がある（谷口，1996）．そこで生じた溶液が堆積面にあるクラスティックダイクやクラックなどの弱線を通じて下位に流入し，玉髄が形成したと考えることができる．以上のように火山噴火に伴って上位から溶液が流入するモデルを考察したが，海水の敷き込みや弱線の存在といった条件が揃った場合のみで玉髄が形成されたとすると，奥松島において玉髄の分布が限定的であることとも整合的である．

キーワード：玉髄、海底火山活動、クラスティックダイク
Keywords: Chalcedony, Subaqueous volcanism, Clastic Dyke

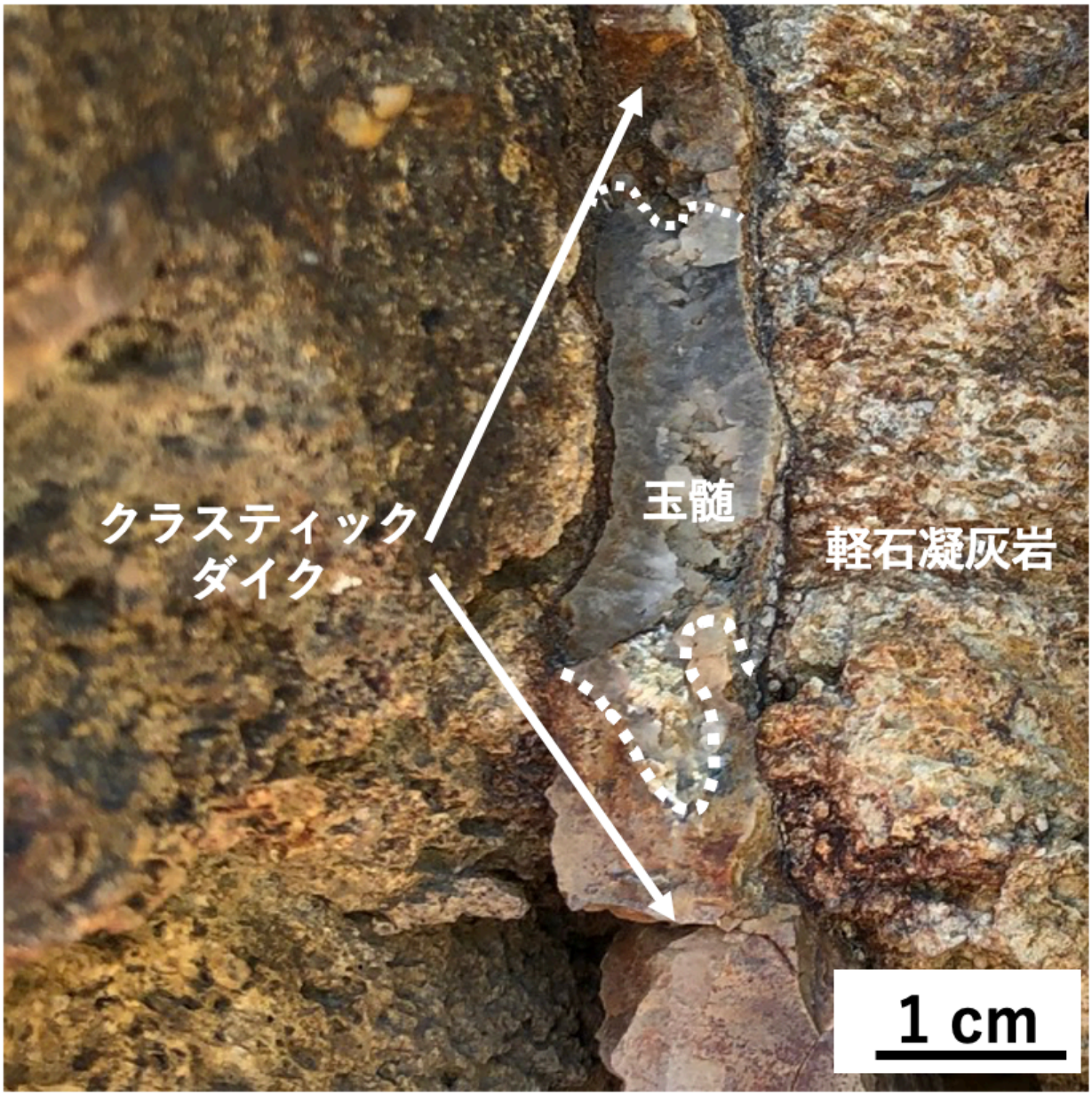


図1. 軽石凝灰岩の割れ目に存在する玉髄

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

タヒチ島産マントル捕獲岩中の多環芳香族を含む包有物に対するX線吸収端近傍構造解析

XANES analysis of inclusions containing polycyclic aromatic hydrocarbons in Tahitian mantle xenolith

*三津川 到[1]、三宅 亮[1]、伊神 洋平[1]、高橋 嘉夫[2]、山下 翔平[3]、河合 敬宏[2]、小木曽 哲[1]、秋澤 紀克[2]
*Itaru Mitsukawa[1], Akira Miyake[1], Yohei Igami[1], Yoshio Takahashi[2], Shohei Yamashita[3], Takahiro Kawai[2], Tetsu Kogiso[1], Norikatsu Akizawa[2]

1. 京都大、2. 東京大、3. 高エネルギー加速器研究機構
1. Kyoto Univ. Sci., 2. Univ. Tokyo, 3. KEK

マントル中のC-O-H流体の種類を決定することは、地球内部での軽元素循環を理解する上で重要である。一般的に、マントル浅部（< 100 km）では、水や二酸化炭素等の酸化的な流体が分布している一方で、マントル深部（> 100 km）においては、メタン等の還元的な流体が増加すると考えられている[1]。また、実験やシミュレーション研究により、マントル内の高温高圧環境下ではメタンよりも分子量の大きい炭化水素が安定であると推定されている[2]。したがって、マントル内部では生物が関与することなく有機物が生成し、分布している可能性がある。しかし、天然のカンラン岩から有機物を見出した研究例はごく一部に限定されており（e.g., [3]）、それらがマントル内で生物が関与せず生成された有機物であるかも不明である。

我々は、これまでにタヒチ島産のマントル捕獲岩中から有機物を含む列状包有物を発見した。列状包有物は単斜輝石中に分布しており、白金族鉱物、Fe-Ni-Cu硫化鉱物、珪酸塩ガラス、軽元素物質により構成される[4]。このうち軽元素物質に対してラマン分光分析を実施し、多環芳香族の分布を示すスペクトルを取得したが、包有物が微小であるために有機物の詳細な特徴が明らかになっていない[5]。そこで、本研究では、カンラン岩中に分布する有機物の特徴をより詳細に決定し、その形成過程を明らかにすることを目的としてX線吸収端近傍構造（XANES）解析を実施した。試料は、集束イオンビーム（FIB）加工装置を使用し、有機物が分布していた単斜輝石中の列状包有物（~数百 nm）を内部に含むように厚さ約500 nmの薄膜試料を作製した。このとき、包有物の一部は試料表面に露出したが、一部の包有物は完全に試料内部に包有されていることを走査型電子顕微鏡（SEM）により確認した。また、透過型電子顕微鏡（TEM）による観察の結果、列状包有物中には白金族鉱物、Fe-Ni-Cu硫化鉱物、珪酸塩ガラス、および軽元素物質が見られた。その後、放射光施設Photon FactoryのビームラインBL-19Aにおいて走査透過型X線顕微鏡（STXM）を用いてXANES解析を実施した。XANES解析は炭素（280 - 310 eV）、酸素（520 –560 eV）、窒素（390 –415 eV）のK吸収端近傍のエネルギーで実施した。

炭素K吸収端付近での分析の結果、有機物を含むと考えられる軽元素物質領域からは285.2、287.5、290.9 eVにピークが見られた。このうち、285.2 eV付近のピークは全ての包有物から得られたが、287.5 eVと290.9 eVのピークは試料表面に露出していない包有物でのみ見られた。また、酸素K吸収端付近での分析の結果、試料表面に露出していない包有物でのみ534.2 eVと 535.8 eVにピークが見られた。窒素K吸収端付近での分析では、有意なピークは見られなかった。

285.2 eVに見られたピークは表面に露出した包有物からも得られた。このピークはベンゼン環や炭素の二重結合に帰属されることから、固体として分布する多環芳香族に由来するものであると考えられる。一方で、287.5, 290.9, 534.2, 535.8 eVのピークは試料表面に露出していない包有物からのみ得られており、包有物中の流体に由来することが示唆される。287.5 eVと534.2 eVのピーク、また、290.9 eVと 535.8 eVのピークの特徴から、包有物中の流体は二酸化炭素と一酸化炭素の混合物である可能性が高い。287.5 eVのピークは脂肪族炭化水素からも得られることから、低分子量のアルカンが分布している可能性もある。したがって、有機物を含有する包有物内部では固体の多環芳香族と流体（二酸化炭素、一酸化炭素、メタン等）が

共存していることが示唆される。実験的研究からは、C-O-H流体から多様な有機物が生成されることが示されているが、生成されるのは主に低分子量のアルカンであり[6]、今回の記載結果とは異なる。ホスト鉱物である輝石は多環芳香族生成反応において触媒として機能することが報告されており[7]、今回の多環芳香族生成に関与している可能性がある。

[1] McCollom, 2013, *Rev. in Mineral. Geochem.* [2] Kenney et al., 2002, *PNAS* [3] Sugisaki and Mimura, 1994, *Geochim. Cosmochim. Acta* [4] Akizawa et al., 2017, *Chem. Geol.* [5] Mitsukawa et al., 2022, JAMS [6] Sokol et al., 2019, *Phys. Earth Planet. Inter.* [7] Tian et al., 2013, *Phil. Trans. R. Soc. A*

キーワード：有機物、マントル、カンラン岩、多環芳香族、X線吸収端近傍構造解析
Keywords: Organic compounds, mantle, pridotite, polycyclic aromatic hydrocarbons, XANES

ハワイ・ソルトレイククレーター産ザクロ石カンラン岩の再解析

Re-investigation of garnet peridotite xenolith from Salt Lake Crater, Hawaii

*秋澤 紀克[1]、石川 晃[2]、藤田 遼[2]、森下 知晃[3]、田村 明弘[3]、佐野 貴司[4]
*Norikatsu AKIZAWA[1], Akira Ishikawa[2], Ryo Fujita[2], Tomoaki Morishita[3], Akihiro Tamura[3], Takashi Sano[4]

1. 東京大・大海研、2. 東工大・理、3. 金沢大・理工、4. 国立科学博物館
1. Uni. Tokyo, AORI, 2. Tokyo Tech., School Sci., 3. Kanazawa Uni., College Sci. Eng., 4. Natl. Mus. Nat. Sci.

1.はじめに

海洋域で採取されるカンラン岩は海洋リソスフェア構成物質のアナログであり、その熱化学状態を明らかにすることができる有用な研究対象となる。特に、ザクロ石カンラン岩はスピネルカンラン岩よりも高圧（約60 km以深）由来であるため、深部海洋リソスフェアの物質的情報を引き出すのに重要となる。また、ザクロ石カンラン岩は正確に圧力推定ができるため、海洋リソスフェアの熱化学状態を明らかにする上で必須のマントル物質と言える。しかし、ザクロ石カンラン岩の出現頻度はスピネルカンラン岩に比べて圧倒的に少なく、海洋域ではほとんど報告されてこなかった。その少ない報告例のうちの1つが、Goto and Yokoyama (1988, Lithos, vol.21, 67–80)が記載した、ハワイのソルトレイククレーターにおいてネフェリナイト凝灰岩に含まれるザクロ石レールゾライトである。本研究では、Goto and Yokoyama (1988)が扱ったサンプルの中で、唯一ザクロ石を含むカンラン岩と記載されたサンプルの再解析を実施し、その鉱物組成や全岩科学組成を明らかにした上で岩石学的実態を明らかにする。

2.地質概説と岩石記載

ハワイのオアフ島は約90 Maの海洋リソスフェアに位置しており、その東側に位置するソルトレイククレーターからは、捕獲岩が報告されている。Goto and Yokoyama (1988)は80個の捕獲岩を報告し、その中から1つのザクロ石レールゾライトを見出した。このザクロ石レールゾライトはSL014と名付けられており、粗粒等粒状で最も大きい直方輝石は直径~8 mmであった。直方輝石と単斜輝石はそれぞれ単斜輝石と直方輝石のラメラを含んでおり、単斜輝石は直方輝石に比べて細粒であった（直径~数mm）。また、多形で細粒の（直径~1 mm）スピネルを含んでいた。Goto and Yokoyama (1988)は、SL014から直径~1 mmのザクロ石を報告しているが、我々が作成した薄片からは見つからなかった。その新たな薄片の鉱物モード組成はカンラン石60.7 vol.%、直方輝石20.4 vol.%、単斜輝石17.7 vol.%、スピネル1.2 vol.%と見積もられた。

3.鉱物化学組成

カンラン石、直方輝石、単斜輝石のMg#（Mg/(Mg+Fe^{2+})原子比）は約0.89、スピネルのCr#（Cr/(Cr+Al)原子比）は0.1であり、一般的なレールゾライトと同様な鉱物化学組成を示した。Goto and Yokoyama (1988)が報告したSL014の全岩化学組成はAl_2O_3やCaOに富んでおり（それぞれ、3.7 wt%, 3.4 wt%）、他のサンプルに比べて肥沃な組成であった。

4.議論

本研究で新たに作成したSL014の薄片からは、ザクロ石を見つけることができなかった。これは、サンプルの取り違えでザクロ石がないか、ザクロ石が局所的であるためと考えられる。Goto and Yokoyama (1988)が報告している鉱物化学組成と新たに分析し直した鉱物化学組成に違いは見られなかったため、前者の可能性は低いと推察する。一方で後者の可能性は、ザクロ石輝岩とカンラン岩の複合捕獲岩がソルトレイククレーターから多数報告されていることも考慮すると、最もらしいと考えられる。本研究の議論のためにはザクロ石が平衡にカンラン岩と存在するかどうかが鍵となるため、鉱物微量元素組成の測定や、全岩化学組成を用いたザクロ石／スピネルと他のカンラン岩構成鉱物との平衡関係を考察した上で議論を展開する。

キーワード：マントル、海洋リソスフェア、ザクロ石、カンラン岩
Keywords: Mantle, Oceanic lithosphere, Garnet, Peridotite

ピストンシリンダー装置を使用した高圧グラニュライトのザクロ石かんらん岩に見られる多相固体包有物の均質化実験

The preliminary results of piston cylinder experiments to homogenize multiphase solid inclusions observed in high pressure granulites and garnet-bearing peridotite in the Bohemian Massif

*苗村 康輔[1]、阿部 梨[1]、小木曽 哲[2]
*Kosuke NAEMURA[1], Rin Abe[1], Tetsu Kogiso[2]

1. 岩手大・教育、2. 京都大・院人環
1. Iwate Univ. Edu., 2. Kyoto Univ. Human Env.

現在のアルプスヒマラヤ山脈や古生代のバリスカン造山帯では造山運動後期に超カリウム質火山活動が生じている。カリウムの供給源は、沈み込んだ泥質変成岩が深部で部分融解した結果、白雲母が融解しカリウムに富むメルトが上盤側の上部マントルに付加されると予想される（Grassi and Schmidt, 2011, J. Petrolなど）。その結果マントルウェッジに金雲母を含むかんらん岩が形成され、さらにそれが部分融解すると超ポタシック火山活動（チェコ共和国に見られるドルバッハ岩やイタリアのカマフジャイト）が発生すると考えられてきた。このプロセスを定量的に理解するためには、まず沈み込んだ地殻物質や上部マントル由来の岩石に実際に見られるメルトの化学組成を把握する必要がある。高圧～超高圧変成岩にはプレート収斂帯深部域–深度50～200km–で発生したメルトや超臨界流体がザクロ石などの高圧鉱物中に捕獲されて産することがある。メルトや超臨界流体は上昇時に冷却し結晶化して、多相固体包有物を形成することが多い。近年、多相固体包有物からダイヤモンドが見つかったこともあり、それを復元して超臨界流体の組成復元を行う研究が行われている（例えばBorghini et al., 2019, JMG）。本研究ではバリスカン造山帯に見られる沈み込んだ大陸地殻とマントルウェッジかんらん岩に見られる多相固体包有物を研究することで、プレート収斂域深部で生じているメルトの化学組成を解明し、上述した問題の解明に寄与することを目指している。　今回用いた研究試料はいずれもチェコ共和国・南ボヘミアから採取した。南ボヘミアでは数mから数kmサイズのザクロ石かんらん岩が花崗岩質グラニュライト中に取り込まれて産する。本研究では金雲母を含むザクロ石かんらん岩とグラニュライト中に見られるザクロ石単斜輝石岩を出発物質として、そこに見られる多相固体包有物を均質化する実験を行った。 ザクロ石輝石岩はグラニュライトの一部として産出し、おもに単斜輝石、ザクロ石、黒雲母、燐灰石、カリ長石、石英で構成される。ザクロ石は斜方輝石＋斜長石に分解し、単斜輝石は角閃石に分解している。ザクロ石中には石英、曹長石、カリ長石、黒雲母、燐灰石で構成された多相固体包有物が無数に存在する。ザクロ石かんらん岩はカンラン石、斜方輝石、ザクロ石、クロムスピネルと少量の単斜輝石で構成され、ザクロ石の大部分はスピネル＋輝石へ分解している。多相固体包有物は粗粒なクロムスピネル中に包有されている（Naemura et al., 2018, Sci.Rep.）。　多相固体包有物を均質化する実験を行うために、まずザクロ石輝石岩から数mmのザクロ石を分離して石英とともに、金カプセルに封入した。このとき、少量のギブズ石を加えたものと加えないものを用意し、加水と無水条件での対比実験を行った。つぎにピストンシリンダー装置を用いて3 GPa, 1000℃の条件で24時間保ったのち、急冷させた試料を回収し電子顕微鏡で観察した。その結果、加水条件だとザクロ石が分解することが分かった。一方で無水条件では、多相固体包有物は均質化し、複数のメルト包有物を測定したところかなり均質な化学組成を持つことが明らかとなった： SiO_2 *=70—74 wt%, Al_2O_3≃12 wt%、MgO=0.3—2.0 wt%, CaO=1.1—1.8 wt%, K_2O=6.0—6.5 wt% (*の値はLOIを除いて規格化した値)。酸化物の総重量は80—87wt%だったため、メルト中の流体成分の質量は13—20 wt%に達すると推測される。 次にザクロ石かんらん岩からクロムスピネル分離し、カンラン石と共に白金カプセルに入れて3 GPa, 1300℃で約30分間保持させたのち急冷した。試料を電子顕微鏡で観察したところ、包有物を一つ見つけることができた。多相包有物の大部分は均質化しているが、反射電子で見て色むらが見られた。また

ガラスと思われる部分は脆く、包有物には脱落による隙間が見られた。脱落による影響を最小にするために酸化物総重量が66–73wt%の分析値で見ると、包有物の化学組成は、SiO_2=10—18 wt%, Al_2O_3≃4—6 wt%, MgO=16—20 wt%, CaO=13—17 wt%, K_2O<0.1 wt%のシリカに不飽和な化学組成のメルトが示唆される。以上のように、地殻物質とマントル物質のそれぞれに見られる多相固体包有物の均質化実験に成功した。今後、データを追加しレーザーICP-MSで微量分析を行うことで、プレート収斂域深部に存在するメルト化学組成のデータを追加し、造山運動後期の超ポタシック火山活動の定量的理解に繋がるデータを出していきたい。

キーワード：大陸衝突帯、ザクロ石かんらん岩、高圧グラニュライト、多相固体包有物、ピストンシリンダー
Keywords: Continental collision, garnet peridotite, high pressure granulite, multiphase solid inclusion, piston cylinder

フォトンカウンティングCTの岩石・結晶試料への応用：原子量が大きい元素を含む物質に着目して

Application of photon-counting computed tomography to rocks/crystals containing heavy elements

石黒 歩[1]、有元 誠[1,3,4]、佐藤 大地[1]、供田 崇弘[1]、寺澤 慎祐[5]、塩田 諭[5]、*森下 知晃[3,2]
Ayumi Ishiguro[1], Makoto Arimoto[1,3,4], Daichi Sato[1], Takahiro Tomoda[1], Shinsuke Terazawa[5], Satoshi Shiota[5], *Tomoaki MORISHITA[3,2]

1. 金沢大学・院自然、2. 海洋研究開発機構、3. 金沢大学・理工、4. 早稲田大学・理工、5. （株）プロテリアル
1. Kanazawa Univ. Nat. Sci., 2. JAMSTEC, 3. Kanazawa Univ. Sci.Engineer., 4. Waseda Univ. Sci. Engineer. , 5. Proterial Ltd.

フォトンカウンティング・コンピュータ断層撮影（Photon Counting Computed Tomography: 以下PC-CTと呼ぶ）は従来のCTで使用されている検出器（エネルギー積分型X線検出器）とは異なるタイプの検出器（エネルギー分解型X線検出器）を使用したCTである．この検出器を使うことによって検出器に入射する光子をエネルギーごとにカウントすることができる（Willemink et.al., 2018）．これにより、X線の吸収の程度を表す線減弱係数のエネルギー依存性から，適切なエネルギー領域を選択することによるアーチファクトの軽減，画像コントラストの向上に加え，撮影対象の物質を同定し，その密度や濃度の分布を推定することなどが期待される． Kiji et al. (2020)では，ヨウ素とガドリニウムの混合造影剤に対して，PC-CT観察に基づき，その混合比を見積もることに成功し，CT画像の各画素を構成する物質の量比を可視化できることを示した。　本研究チームでは，金沢大学で開発が進められているPC-CTを用いて，岩石・結晶試料の観察を行なっている．本発表では， X線CT撮影に用いる連続X線のエネルギー範囲内にK吸収端をもつ元素を含む物質に着目し，以下のような物質をPC-CTで観察を行った結果を報告する．使用した試料は，(1)プラチナ粉末と石英粉末を混合した試料, (2)石英粉末内に直径0.1 mmのプラチナワイヤーを埋めたもの, (3)タングステン粉末と石英粉末を混合したものの3種類を円柱容器に詰めたものを用意し，それらをCT撮影した。結果は，プラチナ，タングステンがそれぞれ固有にもつK吸収端を反映したデータを取得できたと考えている．この手法により，岩石中に含まれる重金属を含む結晶などについて，非破壊でその存在の有無を確認できることが期待される. 参考文献：Kiji et al. (2020) DOI: 10.1016/j.nima.2020.164610; Willemink et al. (2018) DOI: 10.1148/radiol.2018172656

キーワード：フォトンカウンティングCT
Keywords: Photon-counting computed tomography

口頭講演

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

座長:秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)、越後 拓也(秋田大学)

2023年9月14日(木) 14:45 〜 16:30 822 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

2023年9月14日(木) 16:45 ~ 18:15 | 822 杉本キャンパス

企業ー学生交流会

16:45 ~ 18:15

[E-01] 企業ー学生交流会

[zoom] Zoom

企業ー学生交流会

企業ー学生交流会

2023年9月14日(木) 16:45 〜 18:15 822 (杉本キャンパス)

16:45 〜 18:15

[E-01]企業ー学生交流会

©日本鉱物科学会

企業ー学生交流会

企業ー学生交流会

2023年9月14日(木) 16:45 〜 18:15 822 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

2023年9月14日(木) 18:15 ~ 18:45 | 822 杉本キャンパス

YMO企画

18:15 ~ 18:45

[E-02] YMO企画

YMO企画

YMO企画

2023年9月14日(木) 18:15 〜 18:45 822 (杉本キャンパス)

18:15 〜 18:45

[E-02]YMO企画

©日本鉱物科学会

口頭講演 | R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

2023年9月15日(金) 9:00 ~ 12:00 | 820 杉本キャンパス

R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:小松 一生、山根 崚(東北大学)、永嶌 真理子

9:00 ~ 9:15

[R2-01] キータイト(SiO_2)における低温・高圧相転移の可能性

*神崎 正美[1] (1. 岡大・惑星研)

9:15 ~ 9:30

[R2-02] 層状ケイ酸塩鉱物のリプロケーションによる変形メカニズム：分子動力学計算による検討

*佐久間 博[1]、末原 茂[1]、田村 堅志[1] (1. 物質・材料研究機構)

9:30 ~ 9:45

[R2-03] 珪酸塩ガラス・液体中に於ける混合アルカリ効果の再考

*則竹 史哉[1]、内藤 奏一郎[1] (1. 山梨大学)

9:45 ~ 10:00

[R2-04] ホウ酸塩鉱物を構成する基本構成単位の構造多様性と安定性

西保 亘[1]、*興野 純[1] (1. 筑波大学・生命環境)

10:00 ~ 10:15

[R2-05] インハウス単結晶X線回折測定装置を用いた固体地球構成物質の結晶構造決定

「発表賞エントリー」

*米谷 珠萌[1]、新名 良介[1]、石井 貴之[2]、与座 健治[3] (1. 明治大・院理工、2. 岡山大学惑星物質研究所、3. ブルカージャパン株式会社)

10:15 ~ 10:30

[2Lecture-101-11-6add] 休憩

10:30 ~ 10:45

[R2-06] 熱量測定を用いた$MgAl_2O_4$スピネルの陽イオン無秩序に関する研究

*糀谷 浩[1]、松木 龍志[1]、大平 格[1] (1. 学習院大・理)

10:45 ~ 11:00

[R2-07] 含Al-$CaTiO_3$ペロブスカイトにおけるAlの局所構造のNMRによる研究

*永井 隆哉[1]、薛 献宇[2] (1. 北大・院理、2. 岡山大・惑星研)

11:00 ~ 11:15

[R2-08] ABF/ADF-STEMにより推定されるvateriteの結晶構造

*奥村 大河[1]、高橋 玄[1]、小暮 敏博[1] (1. 東大・院理)

11:15 ~ 11:30

[R2-09] 合成時のpHが非晶質炭酸カルシウムの結晶化挙動に与える影響

*森田 千歩[1]、村岡 賢佑[1]、小林 大輝[1]、鍵 裕之[1] (1. 東大・院理)

11:30 ~ 11:45

[R2-10] X線異常散乱法によるコサラ鉱中のAg, Cuの存在形態の解明

*山根 崚[1]、三河内 岳[2]、杉本 邦久[3]、小澤 徹[4]、杉山 和正[1] (1. 東北大・金研、2. 東大・総研博、3. 近畿大・理工、4. 東大・院理)

11:45 ~ 12:00

[R2-11] マントル鉱物Ir_2S_3 kashiniteとRh_2S_3 bowieiteの合成と 単結晶構造解析

*吉朝 朗[1]、徳田 誠[1]、北原 銀河[1]、石丸 聡子[1]、中塚 晃彦[2]、杉山 和正[3] (1. 熊本大学、2. 山口大学、3. 東北大学)

[zoom] Zoom

キータイト(SiO_2)における低温・高圧相転移の可能性

Prediction of low-temperature and high-pressure phase transition in keatite (SiO_2)

*神崎 正美[1]
*Masami KANZAKI[1]

1. 岡大・惑星研
1. Okayama Univ.

キータイト(keatite)は天然では稀なSiO_2の多形であり、安定領域を持たない。なお、キータイトは正式な鉱物名ではないが、60年以上に渡ってこの名称が広く使われており、ここでもその名称を使用する。密度的にはクリストバライトと石英の間に位置する。Keat(1954)が最初に報告したように、非晶質シリカを出発物質にした水熱合成でキータイトは比較的簡単に合成できる。最近、Kanzaki & Xue (2023)はSiと水を出発物質とした水熱実験でキータイトを合成して、結晶構造の精密化を行い、そのラマンと^{29}Si MAS NMRスペクトルを初めて報告している。キータイトは室温から250 ºCまでは負の体積熱膨張率を示す(Keat, 1954)。それを活かして、キータイトとbeta-スポジュメン($LiAlSi_2O_6$)の固溶体を90%程度結晶化させたガラスが耐熱材料として実用化されている。低圧シリカ多形の多くは温度誘起相転移を持ち、低温相から高温相への転移で体積熱膨張率が大きく下がり、高温石英のように負の熱膨張率を示すものまである。一方、キータイトでは相転移は今のところ知られておらず、室温でも負の熱膨張率を示し、他の多形とは振る舞いが異なるように見える。これを説明するために以下の仮説を立てた。「キータイトの転移は室温以下にあり、室温のキータイトは高温石英のような高温相である」。この仮説を検証するために、DFT計算や古典的MD計算を実施した。

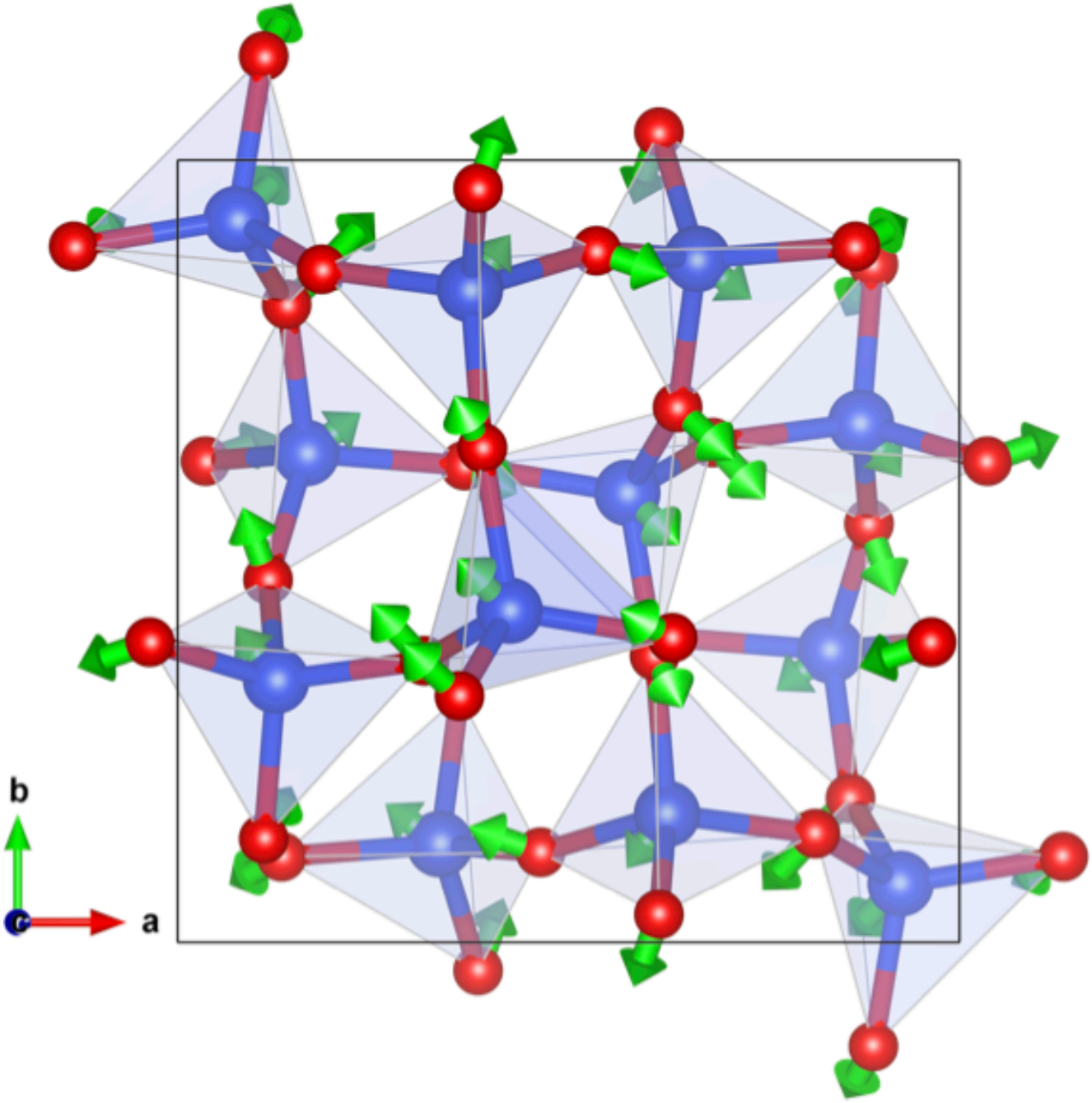
DFTP振動計算にはQuantum Espressoのphコードを使った。pbesol-PAWポテンシャルを使っている。古典的MD計算にはMXDORTOとLAMMPSを使い、4x4x4または5x5x5のスーパーセルで、常行ら(1989)、Vashishtaら(1997)、Tersoff型(Muneyuki et al., 2007)のポテンシャルを試した。

まず常圧0 KでのDFPT計算(Quantum Espresso)を使った振動モード計算を行った。その結果、21 cm^{-1}付近にラマン活性なB_1モードが見つかり(図を参照)、少し圧力をかけると0 cm^{-1}以下の振動数になった。これはこのソフトモードの変位に対して構造が不安定化することを示している。そこでソフトモードの変位方向に原子を移動させて構造最適化させたところ、元々の正方晶のキータイト構造($P4_32_12$ or $P4_12_12$)から少し歪んだ直方晶格子($P2_12_12_{1)}$へと変化した。この直方晶相は体積がより小さく、エンタルピーから0.4 GPa以上で安定となることが分かった。したがってこの相がキータイトの高圧相と予想された。一方、常圧低温でこの相が安定することが考えられるため、古典的なMD計算（常圧）を実施した。その結果、高温側では*a*/*b*軸比の時間平均が1であるが、低温にすると1からずれた値で落ち着くことが分かった。また、高温において時間平均した*a*/*b*軸比が1であっても、その時間発展を見ると*a*, *b*軸の長さが時間と共に逆位相で揺らいでおり、温度が下がるほどその揺らぎは長周期となる。つまり、２つの等価な直方晶構造の間を時間空間的に揺れ動いており、正方晶相のキータイトは時間空間平均として実現していると考えられる。同様なモデルは高温石英の構造を説明するために提案されており、キータイトにおける負の熱膨張率は高温相である故に発現していると思われる。なお、使ったポテンシャルによっては負の熱膨張率の再現はできないが、低温相の存在はどのポテンシャルでも生じた。最初に立てた仮説は計算からは支持された。シリカ相で室温においても構造に大きな揺らぎがあり得ることは興味深い。

しかし、現在まで低温における直方晶相は実験では確認できていない。あいちシンクロトロン光センターで-100 ºCにおける粉末X線回折測定を実施したが（Kanzaki and Xue, 2023)、この温度では正方晶相のままであった。しかし、体積膨張率が室温以下で正に転じていることがこの測定から分かった。ただ転移点が-100 ºC以下に存在する可能性は残り、さらに実験を続ける予定である。また、負の熱膨張率の起源についても調べたいと考えている。

Reference:
Kanzaki, M. & Xue, X. (2023) Keatite revisited, JMPS投稿予定
Keat, P.P. (1954) Science, 120, 328-330
Munetoh, S. et al. (2007) Comp Mat Sci, 39, 334-339

キーワード：キータイト、SiO2、相転移、負の熱膨張率、分子動力学
Keywords: keatite, SiO2, phase transition, negative thermal expansion coefficient, molecular dynamics



B_1 soft mode displacement of tetragonal keatite (SiO_2)

層状ケイ酸塩鉱物のリプロケーションによる変形メカニズム：分子動力学計算による検討

Deformation mechanism of layered silicate minerals by repplocations

*佐久間 博[1]、末原 茂[1]、田村 堅志[1]
*Hiroshi SAKUMA[1], Shigeru Suehara[1], Kenji Tamura[1]

1. 物質・材料研究機構
1. National Institute for Materials Science

層状ケイ酸塩鉱物は層状であるため、結晶の方向に依存して、圧縮やせん断に対して異方的に変形する。これらの変形において、転位が重要と考えられているが、層状ケイ酸塩鉱物の底面に垂直方向の歪による変形メカニズムについて議論が続いている。また底面と平行方向の変形については、せん断速度の温度依存性について特異な性質を示しその原因が解明されていない。

そこで層状結晶について提案された新しいタイプの転位とされるリプロケーション(Ripplocations)（Kushima *et al.*, 2015）に着目する。黒雲母の層と垂直方向の歪に対する変形については、リプロケーションの役割がTEM観察から考察されている（Aslin *et al.*, 2019）。本研究では層と平行方向のせん断歪に対する変形について、白雲母を研究対象とし、歪速度・温度を変化させた場合に白雲母の底面と平行方向のせん断応力がリプロケーションの有無でどう変化するかを明らかとする。

研究方法としては分子動力学（MD）計算を採用し、変形時のリプロケーションの挙動を観察する。力場はSakuma and Kawamura (2011)のモデルに加えて四面体Alのパラメータを調整したモデルを使用した。まずリプロケーションの構造モデルを作製した。なるべく小さな周期構造を持つ構造モデルを作ることを目指したが、リプロケーションによる曲げの曲率半径が小さすぎると不安定な構造となり構造モデルが壊れる。本研究ではいくつか検討した中で、*b*軸方向に0.95倍の長さに圧縮した際に生成するリプロケーション構造モデル（図 1 a）を計算に使用した。図の作製にはVESTA（Momma and Izumi, 2011）を用いた。

このモデルを常温常圧に持って行くと、リプロケーションの山型構造が構造緩和される（図1b）。結晶表面では大きな山型の構造が安定でも、結晶内部では層間距離の小さい構造が安定だった。上下の層でカリウムイオンの安定化する六員環の位置が合わない部分では、カリウムイオンの位置に乱れが発生した。この構造モデルで圧力 6 GPa, 温度 300-873 Kにおける格子定数をMD計算から導出し、変形前の初期構造に使用した。圧力を6 GPaとしたのは、摩擦試験時の真実接触点における圧力に近い状態を再現するためである。

せん断変形の計算は、セルにせん断歪を与えることで実現し、その際に発生する応力からせん断応力を求めた。この計算結果・リプロケーションの特徴について報告する。

参考文献
Aslin *et al.*, *Nat. Comm.*, 2019, **10**, 686.
Kushima *et al.*, *Nano Letters*, 2015, **15**, 1302-1308.
Momma and Izumi, *J. Appl. Crystallogr.*, 2011, **44**, 1272-1276.
Sakuma and Kawamura, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2011, **75**, 63-81.

キーワード：リプロケーション、白雲母、分子動力学、せん断
Keywords: Ripplocations, Muscovite, Molecular dynamics, Shear

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

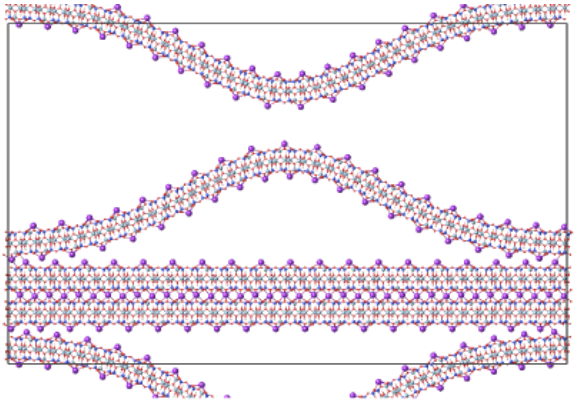


図 1 a

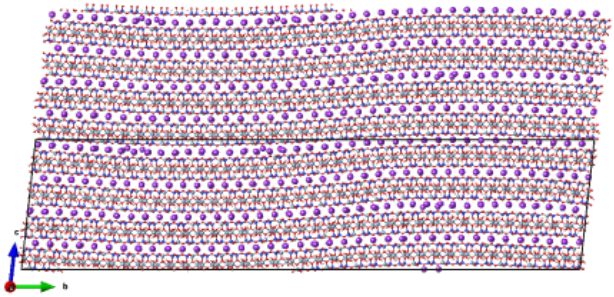


図 1 b

珪酸塩ガラス・液体中に於ける混合アルカリ効果の再考

Revisiting the mechamism of mixed alkali effect in silicate glass/liquid

*則竹 史哉[1]、内藤 奏一郎[1]
*Fumiya NORITAKE[1], Soichiro Naito[1]

1. 山梨大学
1. University of Yamanashi

珪酸塩液体及びガラスは二酸化珪素とその他の酸化物で構成され、SiO_4四面体が頂点共有したネットワーク、及びそれを所々切断するネットワーク修飾子の二要素でその構造の特徴を表すことができる。ネットワーク修飾子は主にアルカリとアルカリ土類金属イオンであり、ガラスおよび液体中にアルカリおよびアルカリ土類金属が複数種含まれる場合、混合アルカリ効果という物性異常が現れる。混合アルカリ効果は二つの異常がある、一つはアルカリイオンの拡散係数が低下すること、もう一つは粘性が低下することである (Day, 1976, J. Non-Cryst. Sol.)。古くから知られている物性異常でこれまで多くの研究がなされてきており、分子動力学法を用いた研究によるとアルカリイオンの拡散係数の低下はお互いの拡散経路を阻害しあうことによって起こるとされている (Habasaki et al., 1995, J. Non-Cryst. Sol.)。しかしながら、その経路に関する統計的解析がなされておらず、例えvan Hove関数のDistinct-Partから異種のアルカリ元素同士による拡散の阻害が確認されたとしても同種同士の経路が接続していれば拡散係数の低下は起きないはずである。粘性の低下については、Wilkinson ら(2019, J. Phys. Chem. B)は後述の機構で説明できるとしている。異なるイオン半径、電荷をもつアルカリおよびアルカリ土類金属の周囲のシロキサン結合は異なった架橋角を好む。もし単一のアルカリ元素だけ存在していれば、架橋に対する歪みは発生しないが異種のアルカリ元素が存在する場合は架橋に対する歪みが発生しそれがガラス移転温度の低下につながるとしている。 本研究では他研究より粒子数および実時間を大きく取った分子動力学シミュレーションによって混合アルカリ効果の機構について再考した。アルカリの混合によるアルカリイオンの拡散係数の低下の解析についてはvan Hove関数のDistinct-Partの解析に加え、経路の解析にはドロネー分割に基づくシンプレックス解析 (Noritake, 2017, J. Non-Cryst. Sol.)を用いた。粘性の低下についてはアルカリの混合による架橋角の変化というジオメトリーの変化ではなくトポロジーの変化を明らかにするために、Q^n_{ijkl}解析とリングスペクトル解析を開発しそれを適応した (Noritake & Naito, 2023, J. Non-Cryst. Sol.)。計算した系は$3[(1-x)Na_2O \cdot xK_2O]SiO_2$系で、ユニットセル内の粒子は9996、原子間ポテンシャルはPedoneら(2006, J. Phys. Chem. B)の二体間ポテンシャルを用いた。 酸素シンプレックス解析の結果、単一のアルカリだけが存在している場合、アルカリ元素を内包する酸素シンプレックスのうち９割以上が接続し拡散経路を形成している。しかしながらアルカリの添加によって半数から八割程度がサブクラスタへと分解してしまう。そのため、異種のアルカリ同士で拡散阻害によって拡散係数が低下する。 シミュレーションで得られた応力の時間発展から線形応答理論を用いて計算された粘性は$x = 0.25$に極小値を持つ。しかしながら、トポロジーの変化は線形で、またその配置エントロピー変化も粘性率に対して非常に小さかった。

キーワード：珪酸塩液体、珪酸塩ガラス、分子動力学シミュレーション、混合アルカリ効果
Keywords: Silicate Liquid, Silicate Glass, Molecular Dynamics Simulation, Mixed Alkali Effect

ホウ酸塩鉱物を構成する基本構成単位の構造多様性と安定性

Structural variability and stability of FBUs in borate minerals

西保 亘[1]、*興野 純[1]
Nishiyasu Wataru[1], *Atsushi KYONO[1]

1. 筑波大学・生命環境
1. University of Tsukuba

【はじめに】Grew et al. (2017)は，ホウ素鉱物の多様性は地質学的な時間と共に増加し，高温変成作用を伴う超大陸集合時に加速されることを提唱した．本研究では，ホウ酸塩鉱物の構造の多様性と安定性を明らかにするために，ホウ砂(Borax) $Na_2B_4O_5(OH)_4{\cdot}8H_2O$の熱分解過程で出現する脱水相および無水相，さらにホウ酸塩鉱物を構成する基本構成単位(Fundamental Building Units, FBU)の全エネルギーを量子化学計算によって求め，FBUの構造安定性とホウ酸塩鉱物の頻出頻度の関係を調べた．

【実験方法】出発物質には，ホウ砂（富士フイルム和光純薬）を用いた．はじめに．粉末化したホウ砂を白金るつぼに入れ，その後電気炉にセットし，30℃から750℃までの温度範囲の各温度で1時間加熱した．電気炉から取り出した試料は，デシケーターに入れXRD測定まで保管した．XRD測定は，KEK-PFのBL8Bで実施した．各試料はリンデンマンガラスキャピラリーに入れ，X線照射時間5分で測定した．量子化学計算は，Gaussian16Wプログラムを用いてホウ酸塩鉱物のFBUの全エネルギーを求めた．ホウ酸塩鉱物の結晶データ(CIF)は，American Mineralogist Crystal Structure Databaseに登録されているものを用いた．

【結果と考察】ホウ砂の熱分解は，30℃で脱水相のチンカルコナイト$Na_2B_4O_5(OH)_4{\cdot}3H_2O$が現れ160℃で分解した．その後，600℃で無水相のγ-$Na_2B_4O_7$が結晶化し，650℃でα-$Na_2B_4O_7$に変化した．ホウ砂のFBUは，2つの3員環からなり，それぞれがBO_3三角形と2つのBO_4四面体から構成されている．これらの3員環は2つのBO_4四面体を共有するので，FBUは<△2□>=<△2□>で表される（=は両方の環に共通な2つの多面体を示す）．脱水相のチンカルコナイトは，ホウ砂と同じFBUを持つ．一方，無水相のγ-$Na_2B_4O_7$のFBUは，1つのBO_3三角形と2つのBO_4四面体からなる3員環と2つのBO_3三角形と1つのBO_4四面体からなる3員環がBO_4四面体を共有した2重環である<△2□>-<2△□>からなる．α-$Na_2B_4O_7$は，γ-$Na_2B_4O_7$と同じ<△2□>-<2△□>と，2つのBO_3三角形と1つのBO_4四面体からなる3員環である<2△□>の2種類のFBUからなる．したがって，ホウ砂の熱分解で出現する脱水相，無水相には，ホウ砂のFBUの一部に共通する<△2□>がそれぞれの構造内に残っていることが特徴である．代表的なホウ酸塩鉱物のFBUの全エネルギーを比較した．最も広く産出するホウ酸塩鉱物には，ホウ砂，コレマナイト$CaB_3O_4(OH)_3{\cdot}H_2O$，ウレキサイト$NaCaB_5O_6(OH)_6{\cdot}5H_2O$，カーナイト$Na_2B_4O_6(OH)_2{\cdot}3H_2O$が知られている．コレマナイトのFBUは，1つの$BO_3$三角形と2つの$BO_4$四面体からなる3員環を含む<△2□>である．ウレキサイトとカーナイトのFBUは，<△2□>-<2□>である．ホウ砂，コレマナイト，ユーレキサイト，カーナイトのFBUには<△2□>が共通しており，それぞれの全エネルギーは，ホウ酸塩鉱物の中では比較的低い値を示した．したがって，FBUの構造安定性は，ホウ酸塩鉱物の産出頻度とほぼ一致していた．また，Burns et al. (1995)は，ホウ酸塩鉱物における様々なFBU形状を調べ，3員環の出現頻度には，<△2□> >> <2△□> > <3□> > <3△>の順位があることを示した．また，<△2□>がホウ酸塩のFBUとして最も好まれた構造であると結論づけた．Burns et al. (1995)の結果は，本研究の量子化学計算結果ともよく一致する．また，α-$Na_2B_4O_7$とγ-$Na_2B_4O_7$のFBUの全エネルギーは，ホウ砂と比較すると明らかに高い値となっていた．このことは，無水の$Na_2B_4O_7$相が5種類の多形を持ち，大きなエネルギーを必要とせずに容易にFBU形状を変化させる事実を裏付けているかもしれない．本研究の結果は，高温で脱水するとBO_3三角形とBO_4四面体の接続様式が容易に再構築できるようになることから，Grew et al. (2017)が提案した，高温変成作用を伴う超大陸集合時に，ホウ素鉱物の多様性が加速されることは，ホウ酸塩鉱物のFBUの構造変化の特徴ともよく一致している．

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

キーワード：ホウ酸塩鉱物、ホウ砂、構造多様性、基本構成単位、量子化学計算
Keywords: Borate minerals, Borax, Structural variability, Fundamental Building Units, Quantum chemical calculation

インハウス単結晶X線回折測定装置を用いた固体地球構成物質の結晶構造決定

Determination of the crystal structure of Earth’s constituent materials using in-house single-crystal X-ray diffraction measurements

*米谷 珠萌[1]、新名 良介[1]、石井 貴之[2]、与座 健治[3]
*Shuhou MAITANI[1], Ryosuke Sinmyo[1], Takayuki Ishii[2], Kenji Yoza[3]

1. 明治大・院理工、2. 岡山大学惑星物質研究所、3. ブルカージャパン株式会社
1. Meiji University, 2. Institute for Planetary Materials, Okayama University, 3. Bruker Japan

固体地球内部の物理・化学的性質を理解する上で、地球構成物質の結晶構造は欠かすことのできない基礎的な情報である。X線回折測定(XRD)は結晶構造の決定に広く用いられている手法であるが、なかでも単結晶XRDは結晶構造を精密決定する上で大変有力な手法である。固体地球科学分野の研究においても高圧力実験回収試料、ダイヤモンド包有物試料、隕石中衝撃脈中試料に対し単結晶XRD測定を行うことで、数多くの発見がなされている。従来のインハウス測定装置では比較的大きい結晶を用いる必要があったが、近年の技術的な進歩の結果、粒径数10 mmの微小単結晶試料で測定が行われるようになってきている。今回私たちはX線回折測定装置(Bruker, D8 Venture)を用い、高圧力実験回収試料と、高圧力下その場単結晶XRD測定をインハウスで行った。ImS3.0マイクロフォーカス線源とコンフォーカル多層膜ミラー(HELIOS Optic)を用いることでX線を高効率で集光し、低加速電圧でも微小試料に対し良いシグナルを得ることができる。陽極ターゲットはダイヤモンドアンビルセル(DAC)内の酸化物試料測定に適したMoを用いた。検出器は二次元検出器(PHOTON Ⅲ)を用い、測定後のデータ処理には統合解析ソフトウェアAPEX4を用いた。結晶構造精密化にはAPEX4に組み込まれたSHELXLを用いた。高圧力実験の回収試料測定では、マルチアンビルセルを用い合成されたFeとAlを含むbridgmaniteと、高温高圧下で安定な酸化鉄Fe_5O_6を測定した。回収試料内の粒径数10 mmスケールの微小単結晶試料を測定することができ、結晶構造精密化もR ~ 0.02まで達成することができた。高圧力下その場測定では$ZrSiO_4$ジルコンを測定した。高圧力発生にはBoehler-Almaxタイプの開口角が広いDACを用いた。R値が比較的大きいものの、高圧力下測定で結晶構造精密化を行うことができた。決定した結晶構造データを用い、bridgmaniteとFe_5O_6に関して、原子間距離からbond valence sum法により電荷を計算した。Fe_5O_6中のFeは、FeO_6三角柱プリズムサイトではほぼ+2であり、FeO_6八面体サイトでは+2と+3の中間であった。この結果は、FeO_6八面体サイトで形成される連続鎖が高圧酸化鉄の電気伝導性を支配するとした先行研究と整合的であった。高圧力下単結晶XRDの結果から、DAC試料内の静水圧性や、試料の精密な位置決めによってデータの質が大きく左右されることが示された。インハウス装置は放射光施設における測定と比べて時間の制限がないため、多数の試料を測定する必要がある場合に効果を発揮すると考えられる。高圧力実験回収試料に限らず、地質学的試料や隕石試料の分析などの測定に際し、放射光施設と補完的に用いることで固体地球科学研究の進展に寄与することができると期待される。

キーワード：単結晶X線回折測定
Keywords: single-crystal X-ray diffraction measurements

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演

R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:小松 一生、山根 崚(東北大学)、永嶌 真理子

2023年9月15日(金) 09:00 〜 12:00 820 (杉本キャンパス)

10:15 〜 10:30

[2Lecture-101-11-6add]休憩

©日本鉱物科学会

熱量測定を用いた$MgAl_2O_4$スピネルの陽イオン無秩序に関する研究

Calorimetric study of cation disordering in $MgAl_2O_4$ spinel

*糀谷 浩[1]、松木 龍志[1]、大平 格[1]
*Hiroshi KOJITANI[1], Ryuji MATSUKI[1], Itaru OHIRA[1]

1. 学習院大・理
1. Gakushuin Univ. Sci.

スピネル型酸化物AB_2O_4において、四面体型と八面体型の陽イオンサイト間で陽イオンAとBの交換反応：$(A)^{tet} + [B]^{oct}$ $(B)^{tet} + [A]^{oct}$ を考え、四面体サイトを占めるBイオンのモル分率をxとしたとき、一般的な化学式は$(A_{1-x}B_x)[B_{2-x}A_x]O_4$と表される。xは無秩序の程度と呼ばれる。この交換反応において、完全秩序化状態のx＝0とある無秩序状態ｘとのギブスエネルギー差ΔG_Dが最も大きな負の値（極小値）となるところが平衡状態であることから、$d\Delta G_D/dx = d\Delta H_D/dx - T(d\Delta S_D/dx) = 0$ よりxとTの関係式：

$RT\ln[x^2/(1-x)(2-x)] = -\Delta H_D/dx$ (1)

が導かれる。ΔH_DおよびΔS_Dは、無秩序化のエンタルピーとエントロピーである。そして、ΔS_Dは実質的に完全ランダムを仮定した配置のエントロピーに等しいとしている。 スピネル型構造の名前の由来でもある$MgAl_2O_4$スピネルにおいては、地質温度計としての有用性からx－T関係を明らかにする試みが多くの研究者によってなされてきた。しかしながら、室温下のNMR測定や単結晶X線回折測定でｘが決定されているものの、xが凍結されている温度は不明であった（例えばMillard et al., 1991; Andreozzi et al., 2000）。また、高温その場NMR測定によるx－T関係の直接決定（Maekawa et al., 1997）もあるが、データのばらつきが大きい。したがって、$MgAl_2O_4$スピネルについてのx－T関係は未だに明確にはなっていない。本研究では、ｘが既知な$MgAl_2O_4$試料について落下溶解熱測定を行うことによりΔH_Dを決定し、式(1)よりx－T関係を制約することを試みた。

MgO：Al_2O_3＝１：１（モル比）の混合物をペレットにし、1773 Kで14時間加熱して$MgAl_2O_4$スピネルを合成した。それを973 Kで600時間、1373 Kで47時間、または1973 Kで17時間アニール後、急冷した3種類の試料を準備した。それぞれについてリートベルト解析により酸素の原子座標パラメータuを決定し、Andreozzi and Princivalle (2002)によるx－u関係からxの値を求めた。落下溶解熱測定にはカルベー型高温微少熱量計を用いた。978 Kの熱量計内に置かれたホウ酸鉛（$2PbO{\cdot}B_2O_3$）溶媒に熱量計の外からペレット状に固めた約3 mgの試料を落下させ、室温から978 Kまでの熱含量と溶解エンタルピーの和である落下溶解エンタルピー（$\Delta H_{d\text{-}s}$）を測定した。なお、試料の溶解促進のためにＡｒガスを使った泡により溶媒を攪拌させた。

リートベルト解析の結果から得られたuより、973、1373、または1973 Kの各温度でアニールした試料のxは、それぞれ0.23、0.30、0.35と決定された。また、落下溶解熱測定を行った結果をFig. 1に示す。973、1373、または1973 Kでアニールした試料の$\Delta H_{d\text{-}s}$は、それぞれ163.1±1.1、161.4±1.0、159.8±1.0 kJ/molと測定された。xの増加に伴い$\Delta H_{d\text{-}s}$はほぼ直線的に減少する傾向が見られる。x＝０の時に完全に秩序化された$MgAl_2O_4$スピネルを基準とすると、xの無秩序の程度を持つ試料はΔH_Dだけより高いエネルギー準位にあるため、$\Delta H_{d\text{-}s}$はその分小さくなると解釈できる。このことを式で表すと

$\Delta H_{d\text{-}s}(x) = \Delta H_{d\text{-}s}(x=0) - \Delta H_D(x)$ (2)

となる。また、$\Delta H_{d\text{-}s}$とxの直線関係（つまり$\Delta H_D = \alpha x$）を仮定し、$\Delta H_{d\text{-}s}(x=0)$と$\alpha$を変数として式(2)を最小二乗フィットすると、$\Delta H_{d\text{-}s}(x=0)$ =169.6(7) kJ/mol、α = 28(2) kJ/molが得られる。よって、熱量測定からΔH_D を決定する手法により、x－Ｔ関係は　$RT\ln[x^2/(1-x)(2-x)] = -28$ と求められた。この式を用いて、熱測定試料のアニール温度である978、1373、1973 Kについてxを計算すると、それぞれ0.21(2)，0.32(2)，0.41(2)となる。1400Ｋ付近まではxはアニール温度の状態でほぼ凍結されているが、それ以上の温度では急冷時にxの低下が起こっていることが示唆される。このことはAndreozzi and Princivall (2002)により示された$MgAl_2O_4$スピネルの陽イオン無秩序のカイネティクスと調和的である。

キーワード：MgAl2O4、スピネル、落下溶解熱測定、陽イオン無秩序
Keywords: MgAl2O4, spinel, drop-solution calorimetry, cation disorder

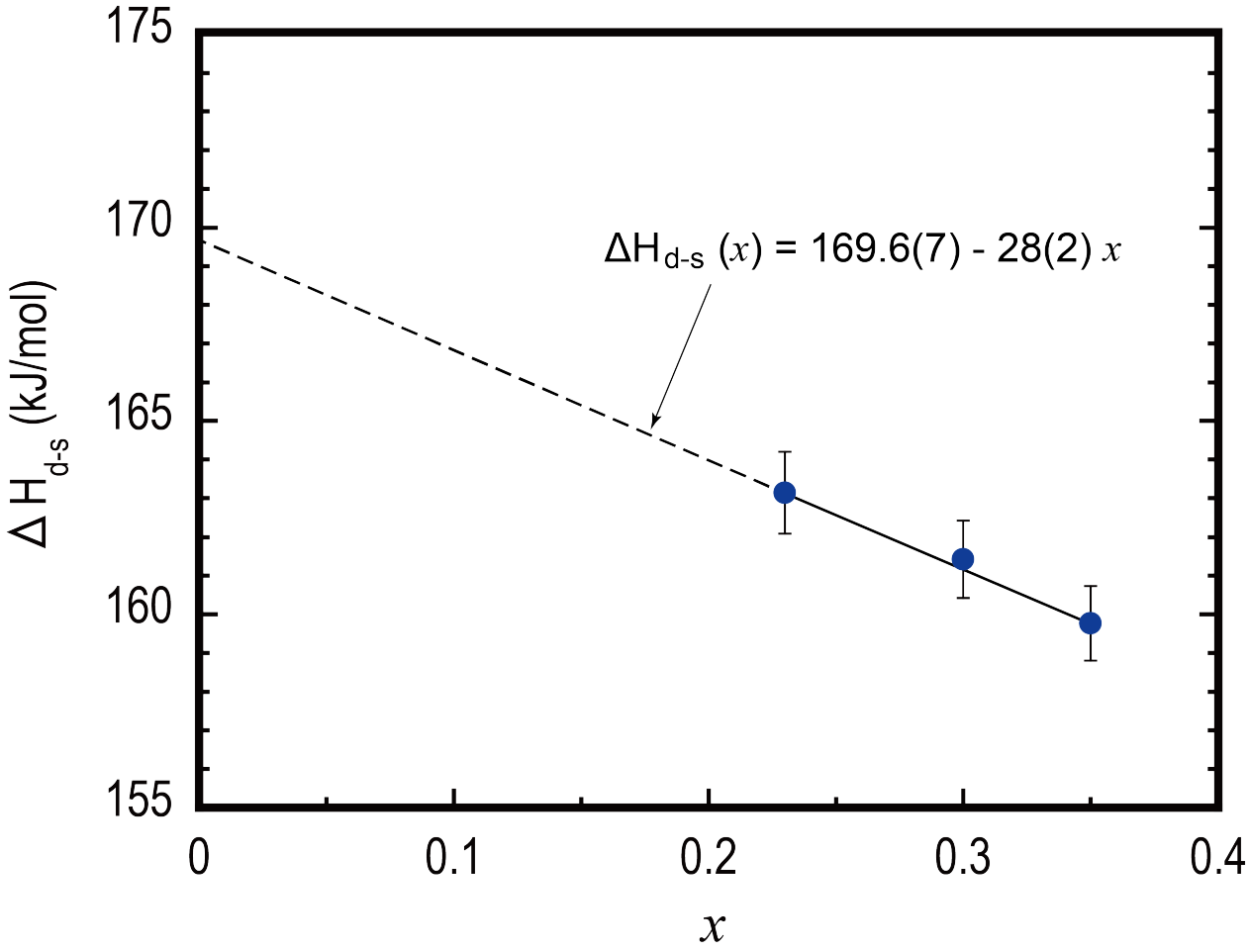


Fig. 1. $MgAl_2O_4$スピネルの無秩序の程度 x と落下溶解エンタルピーの関係

含Al-$CaTiO_3$ペロブスカイトにおけるAlの局所構造のNMRによる研究

NMR study on Al local structures in Al-bearing $CaTiO_3$ perovsskite

*永井 隆哉[1]、薛 献宇[2]
*Takaya NAGAI[1], Xianyu XUE[2]

1. 北大・院理、2. 岡山大・惑星研
1. Hokkaido Univ. Sci., 2. Okayama Univ. IPM

はじめに

チタン酸ペロブスカイト構造相のBサイトを占める4価陽イオンであるTi^{4+}のみを3価陽イオンで置換する形の固溶メカニズムは，電荷補償のために酸素欠陥の生成を伴う必要があることから，材料分野においては電気特性との関係で研究が進められている。一方，地球深部科学においても，$MgSiO_3$ブリッジマイトのSi^{4+}をAl^{3+}で置換する固溶メカニズムは，弾性的性質や水の固溶に関連する可能性があるとして注目されている。本研究では$CaTiO_3$ペロブスカイトへのAl^{3+}の固溶について，固溶に伴う構造変化と固溶限界について検討を行ってきており，大気圧下においては$Ca(Ti_{1-x}Al_x)O_{3-\delta}$の$0<x<0.25$の組成範囲の固溶が認められ，$Al^{3+}$の固溶に伴い格子体積は単調に減少し，固溶限界に近い$0.21<x<0.25$の組成範囲において直方晶系→正方晶系→立方晶系のモルフォトロピックな構造変化を示すことを本学会の過去の年会において報告してきた。また，構造中に導入される酸素欠陥の分布に関する知見を得るため，Alの局所構造を知る手法として有用な^{27}Alに対するNMR測定を行い，予察的な結果としてAlの局所構造は主にVI配位で，一部IV配位やV配位も存在することを報告した。本発表では，2次元の^{27}Al-3QMAS-NMR測定の結果を含め，含Al-$CaTiO_3$ペロブスカイトにおけるAlの局所構造のさらに詳細な議論を行う。

実験手法

合成後の$Ca(Ti_{1-x}Al_x)O_{3-\delta}$において，$0<x<0.25$の範囲のいくつかの組成の生成物が得られるよう，$CaCO_3$，$Al_2O_3$，$TiO_2$の試薬を出発試料として秤量，混合し，1000～1300℃での焼成・混合を5～8回繰り返した後，最終的に1300℃で約50時間焼成し，急冷回収した。回収試料は，XRD測定及びSEM-EDSにより生成相の同定と化学組成の定量分析を行った後，^{27}Al-NMR測定を岡山大学惑星物質研究所との共同利用研究で行った。

結果

1例として，x=0.05の2次元の^{27}Al-3QMAS-NMR測定の結果を図1(a)に示す。NMR測定が微量なAlにも敏感なプローブであるため，XRD測定及びSEM-EDSでは，目的の含Al-$CaTiO_3$ペロブスカイト以外の相が認められないにも係わらず，共存相に含まれるのIV配位Alからのシグナルと考えられるピークが観察された。それゆえ，スピニングサイドバンドの積算パターンの化学シフト80 ppm付近にあるIV配位Alのピーク（図1(b)）には，特にAl固溶量が少ないときは，そのピーク強度に対する含Al-$CaTiO_3$ペロブスカイト相からの比較的幅の広いピークに重畳した共存相に含まれるAlからの幅の狭いピークの寄与が無視できないことに留意して解釈を加えることが必要である。

キーワード：含Al-CaTiO3ペロブスカイト、Alの局所構造、NMR
Keywords: Al-bearing CaTiO3 perovskite, Al local structures, NMR

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

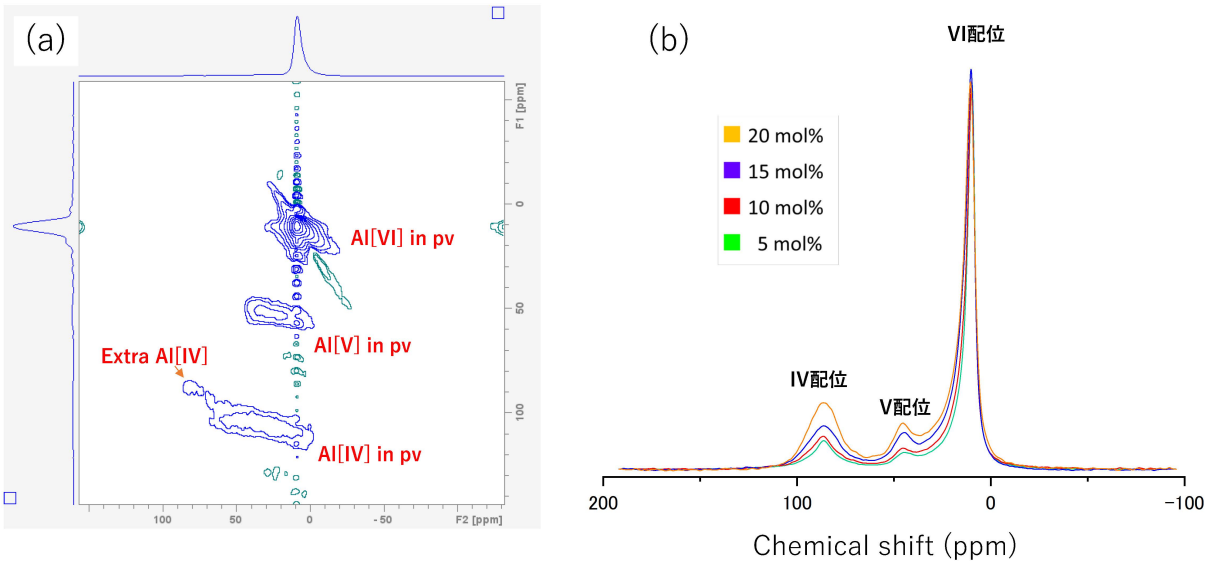


図1(a) 2D-^{27}Al -3QMAS NMR at $x = 0.05$ (b) Compositional variation of spinning sideband sums

ABF/ADF-STEMにより推定されるvateriteの結晶構造

Crystal structure of vaterite proposed by ABF/ADF-STEM

*奥村 大河[1]、高橋 玄[1]、小暮 敏博[1]
*Taiga OKUMURA[1], Gen TAKAHASHI[1], Toshihiro KOGURE[1]

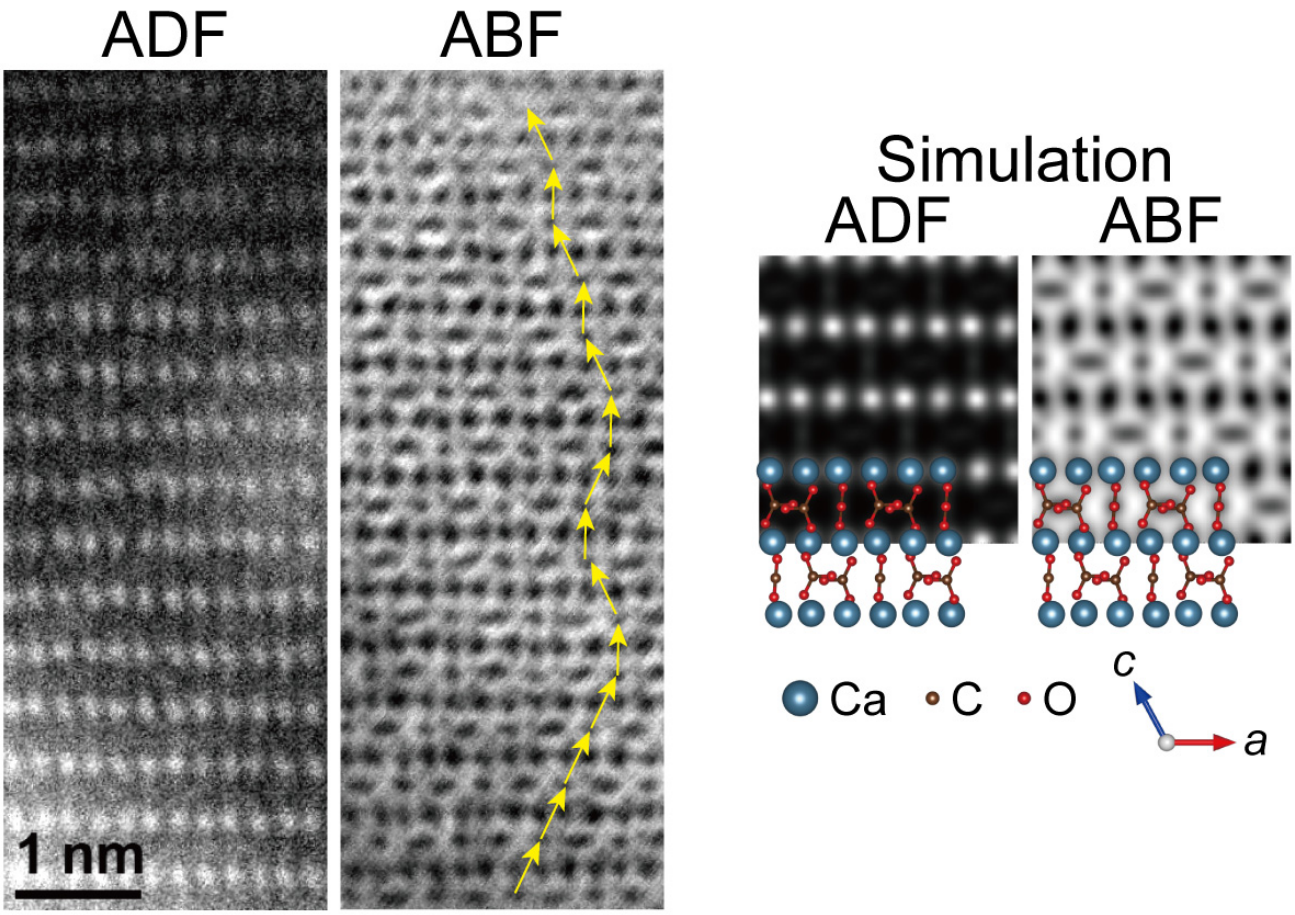
1. 東大・院理
1. UTokyo Sci.

無水の炭酸カルシウム（$CaCO_3$）結晶にはcalcite，aragonite，vateriteの3種類の多形が存在する。その中でもvateriteは他の多形と比べて溶解度が高く、地球表層環境で産出することは稀である。またvateriteは単結晶X線構造解析に適した良質な単結晶を合成することが難しく、その結晶構造は完全には解明されていない。これまでに様々なモデルが提案されてきたが、Caイオンが六方の副格子を形成することや、炭酸イオンの三角形平面がその6回回転軸と平行に配向することは広く受け入れられている。現在は主に炭酸イオンの位置や配列，積層構造が議論されているため、Caイオンだけでなく炭酸イオンの位置も原子レベルで把握する必要がある。そこで本研究では、球面収差補正装置付属の走査透過電子顕微鏡を用いた環状明視野法（annular bright-field-scanning transmission electron microscopy，ABF-STEM）によって炭酸イオンを可視化し、vateriteの結晶構造およびその積層構造を明らかにすることを目指した。環状暗視野法（annular dark-field-STEM，ADF-STEM）では原子番号の大きな原子、すなわちCaイオンのみが観察されるが、ABF-STEMでは炭酸イオンのような軽い原子も同時に可視化することができる。

一部のバイオミネラルはvateriteで構成されることが知られており、本研究では金魚（*Carassius auratus*）の耳石の一つである星状石を試料として用いた。まず金魚の星状石を粉末X線回折により測定すると、これまで報告されたvateriteと同様なパターンが得られ、主要なピークはKamhi (1963)で平均構造から提案された六方晶系$P6_3/mmc$（a = 4.13 Å, c = 8.49 Å）の副格子モデルで説明できた。しかし、一部の弱いピークはこのモデルでは再現できず、炭酸イオンの規則的な配列によってさらに大きな単位胞になっていることが考えられた。集束イオンビーム試料加工装置により薄膜試料を作製して透過電子顕微鏡で観察すると、上記モデルの<210>入射で得られた電子回折パターンでは$\boldsymbol{c}^*$軸方向にストリークが見られた。また高分解能観察により積層不整が高密度で導入されていることが確認された。この入射方位でADF/ABF-STEMによる観察を行うと（図）、そのコントラストはMugnaioli et al. (2012)で提案された2層構造の単斜晶系$C2/c$（a = 12.17 Å, b = 7.12 Å, c = 9.47 Å, β = 118.37°）のモデルで説明できた。すなわち、Caイオンの原子面の間に存在する炭酸イオンはその三角形平面が入射電子線に対して平行または±60°傾いているものが層内で交互に配列しており、その配列が層ごとにずれて積層不整が生じていた。この積層不整は、Caイオン原子面における±60°または180°の回転によって生じると考えられる。さらに図のABF像では層間での炭酸イオンの位置のずれを矢印で示しているが、右ずれと左ずれの連続や、ずれない層の連続は観察されなかった。これは±60°，180°の回転のすべてが常に許されているわけではなく、+60°と−60°の連続や、180°の連続は制限されていることが示唆される。電子回折パターンにおいて、$h \neq 3n$のスポットが本来の逆格子の位置から$\boldsymbol{c}^*$軸方向にずれることがわかっているが、これも上記のような回転の制約が反映された結果と考えられる。

［参考文献］
Kamhi (1963) *Acta Crystallogr.* 16, 770–772.
Mugnaioli et al. (2012) *Angew. Chem. Int. Ed.* 51, 7041–7045.

キーワード：vaterite、ABF-STEM、結晶構造、炭酸カルシウム、積層不整
Keywords: vaterite, ABF-STEM, crystal structure, calcium carbonate, stacking fault



（左）vaterite の ADF/ABF-STEM 像。黄色の矢印は入射電子線と平行な三角形平面を持つ炭酸イオンの位置のずれを示す。ただし画像下方に向かって Ca の位置が少しずつ右にずれているのは試料ドリフトによる。
（右）Mugnaioli et al. (2012) で提案されたモデルの ***b*** 軸入射における ADF/ABF-STEM 像のシミュレーション。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

合成時のpHが非晶質炭酸カルシウムの結晶化挙動に与える影響

Effect of solution pH at synthesis on the crystallization behavior of amorphous calcium carbonate

*森田 千歩[1]、村岡 賢佑[1]、小林 大輝[1]、鍵 裕之[1]
*Chiho Morita[1], Kensuke Muraoka[1], Hiroki Kobayashi[1], Hiroyuki Kagi[1]

1. 東大・院理
1. Tokyo Univ. Sci.

代表的なバイオミネラルである炭酸カルシウムにはカルサイト、アラゴナイト、ファーテライトと呼ばれる3つの多形が存在する。さらに、組成式$CaCO_3 \cdot nH_2O$ (n<1.5) で表される非晶質炭酸カルシウム（Amorphous Calcium Carbonate: ACC) も存在し、高温や高圧、高湿度条件で容易に炭酸カルシウムに結晶化する。ACCは生体内で結晶多形の前駆体として存在しており、高湿度環境でのACCの結晶化挙動の観察は、バイオミネラリゼーションの機構解明に貢献しうる。本研究ではACCを高湿度条件に曝して生成する結晶多形の種類や量比を制御する1つの要因として、合成時の溶液のpHを考慮した。

ACC試料は、氷冷された0.1 M塩化カルシウム水溶液10 mLと0.1 M炭酸ナトリウム水溶液10 mLを混合し、懸濁液を0.45 μmのメンブレンフィルターで吸引濾過したのち10 mLのアセトンで2回洗浄し、得られた濾過物を真空デシケーターで1日乾燥することで得た。なお、混合溶液のpHは炭酸ナトリウム水溶液に1 M水酸化ナトリウム水溶液を加えることで調節し、3種類の溶液 (9.3, 9.8, 10.2) から試料を合成した。 高湿度条件での結晶化実験は、3 Lビーカー内にACC試料、温湿度計、約30 mLの水を入れた50 mLビーカーを入れ、ラップで蓋をし、30 ℃に保ったインキュベーター内に2時間静置することで行った。なお、この時3 Lビーカー内の湿度は約90%に保たれていた。得られた試料の多形や量比は粉末X線回折 (XRD) パターンを測定して求めた。また、高エネルギー加速器研究機構Photon FactoryのBL-18Cにて時間分解X線回折を測定し、高湿度条件での結晶化の様子をその場観察した。ACCおよび結晶化後の粒子形状を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した。合成したACCの含水量は、常温から800 ℃まで昇温速度10 ℃/minの熱分析 (TG-DTA) を用いて求めた。また全反射測定(ATR)法により、合成したACC及び結晶化後の試料の赤外スペクトルを取得した。

合成したACC試料 ($CaCO_3 \cdot 1.3H_2O$) のXRDパターンには結晶由来のシャープなピークが見られなかったことから、湿潤条件下での結晶化実験に用いた試料はACC単相であることが確かめられた。時間分解X線回折の結果から、高湿度条件下でのACCの結晶化は約2時間で完結していることが確認された。XRDパターンから、結晶化により晶出した多形はカルサイトとファーテライトであることがわかった。図1にリートベルト解析により求めた2つの多形の量比と合成時に加えたNaOHの量との関係を示す。NaOHの添加量が増え、溶液中のpHが上がるとともに、カルサイト/ファーテライト比が直線的に増加することが明らかになった。またSEMで得た二次電子像の観察結果から、ACCは直径50 ~ 100 nm程度の小球状で、合成時のpHの差異による変化は特に見受けられなかった。結晶化後の試料には、一辺100 ~ 200 nm程度の菱形状の結晶および直径100 nm程度の球状結晶がいずれの試料にも観察された。これはそれぞれカルサイト、ファーテライトであると考えられるが、pHの高い条件で合成した試料の方が菱形状の結晶をより含み、XRDパターンから得られた多形量比の結果と調和的であった。

TG-DTAの結果から、各ACC試料は330 ℃付近で結晶化していたが、その後400 ℃付近に重量減少と弱い吸熱ピークが見られ、またその重量減少量は合成時のpHの上昇に伴い増加することが分かった。これは炭酸カルシウム中に存在するOHイオンの脱離で説明できる可能性があり、合成時のpHの上昇がACCの組成を変化させることが示唆された。これは湿潤条件下で、結晶化後の多形がカルサイトに偏りやすくなる要因である可能性がある。

今後の展望として、NaOH水溶液ではなくアンモニア水など他の塩基性溶液や塩酸など酸性溶液によるpH変

化についても検討し、より広いpHの範囲で結晶化後の多形の変化を検証したいと考えている。

キーワード：非晶質炭酸カルシウム、カルサイト、ファーテライト
Keywords: Amorphous calcium carbonate, Calcite, Vaterite

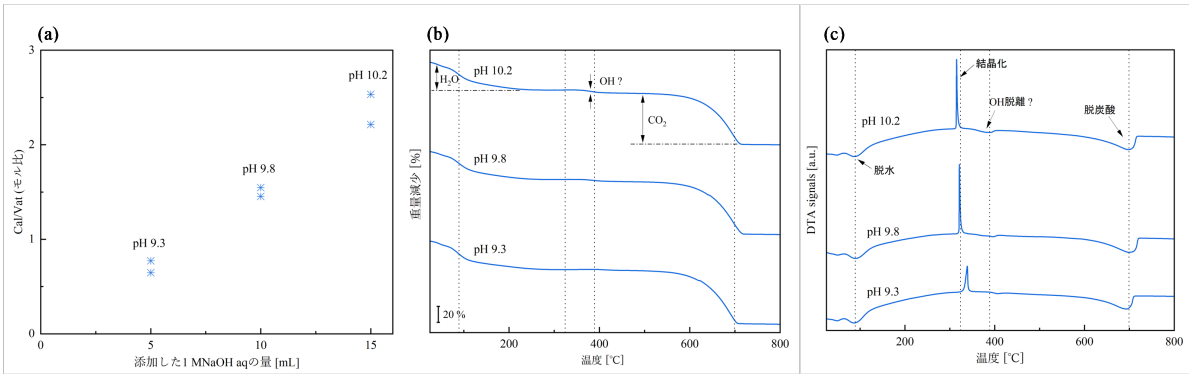


図 1. (a) NaOH aq 添加量とカルサイト/ファーテライト比　(b) TG 曲線　(c) DTA 曲線

X線異常散乱法によるコサラ鉱中のAg, Cuの存在形態の解明

Ordered Distribution of Ag and Cu in cosalite studied by Anomalous X-ray Scattering

*山根 崚[1]、三河内 岳[2]、杉本 邦久[3]、小澤 徹[4]、杉山 和正[1]
*Ryo YAMANE[1], Takashi Mikouchi[2], Kunihisa Sugimoto[3], Toru Ozawa[4], Kazumasa Sugiyama[1]

1. 東北大・金研、2. 東大・総研博、3. 近畿大・理工、4. 東大・院理
1. Tohoku Univ. IMR, 2. Univ. of Tokyo UMUT, 3. KINDAI Univ., 4. Univ. of Tokyo Sci.

研究の背景

Pb - Bi系の硫塩鉱物cosalite（$Pb_2Bi_2S_5$）には，微量のAg^+とCu^+が含まれている[1,2]．先行研究ではPb欠損サイト近傍に，AgおよびCuが分布可能な二種類の非等価なinterstitialサイトが存在することが報告され，組成式$Pb^{2+} \leftrightarrow 2(Ag^+, Cu^+)$で表される構造変化がこれらの微量元素の存在によって生じていることが示唆されている[1,2]．これらのサイト間における元素選択的配列に関して構造的な議論は進んでいるが，直接的な証拠はこれまで得られていない．本研究ではAgの空間分布を単結晶X線異常散乱（AXS）法を用いて特定し，実験的にAgとCuのinterstitialサイトにおける分布の議論を進展させる．

実験方法

Cosaliteの単結晶試料は，東京大学総合研究博物館の提供を受けて，栃木県足尾産の試料を用いた．予め，研究室の単結晶X線回折装置，Synergy-S（Mo $K\alpha$）を用いて，良質な単結晶試料を選んだ後，SPring-8 BL02B1においてAg K吸収端（25514 eV）-120および -5 eVのエネルギーを用いて単結晶X線異常散乱測定を行った．測定した回折点の強度抽出はCrysAlis Pro (Rigaku Oxford Diffraction)を用いた．構造解析は，SHELXL（GUI: WinGX）を用いて行った．化学組成分析は電子線マイクロアナライザー（EPMA）により行った．

結果および考察

EPMAの分析により，本試料の化学組成は$Pb_{1.85}(Ag_{0.09}Cu_{0.05}Mn_{0.07})_{\Sigma 0.21}Bi_{2.01}S_{4.91}$と求めた．Biはほぼcosaliteの理想組成通りの値であるのに対し，Pbはその値が理想組成と比べ小さく，Pbに代わり微量の金属元素が構造中に含まれていると考えられる．Mo $K\alpha$ －X線源を用いた予備的な単結晶構造解析の結果，図1(a)に示すPbサイト近傍で組成式$Pb^{2+} \leftrightarrow 2(Ag^+, Cu^+)$で表される構造変化を示す残差が確認された．このPbサイト近傍の構造について，図1(b)に，Ag K吸収端 -120および -5 eVのエネルギーで取得したデータをもとに求めたコントラストマップを示す．このコントラストマップは，非等価な二つのinterstitialサイトのうち，一つにAgが濃集することを直接的に示し，Cuはもう一方の置換サイトに濃集することを示している．二つのサイトにはそれぞれ3つのSが配位しており，中心元素からの平均距離はAgの濃集が確認されたサイトが2.39 Å，Cuの濃集するサイトは2.33 Åである．これまでこの構造的な特徴から，二つのinterstitialサイトにおけるAgの分布の偏りが予想されていたが[1,2]，今回の実験および解析で初めてその直接的な証拠を得ることに成功した．

参考文献

[1] Topa, D. and Makovicky, E., Can. Mineral. 48, 1081-1107 (2010).
[2] Kovač, S., et al., Can. Mineral. 57, 647-662 (2019).

キーワード：コサラ鉱、X線異常散乱、硫塩鉱物
Keywords: cosalite, Anomalous X-ray scattering, Sulfosalt mineral

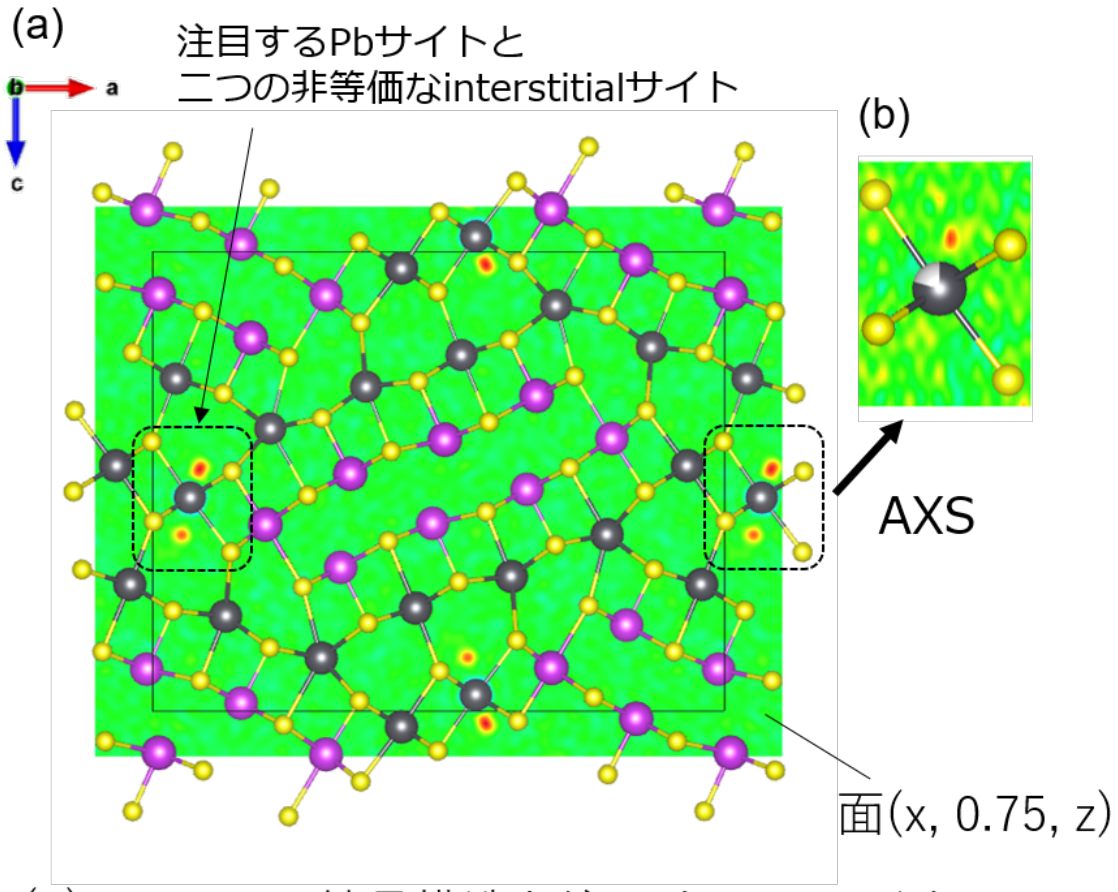


図1. (a)Cosaliteの結晶構造と注目するPbサイト
(b) AXS法で得られたPbサイト近傍のコントラストマップ

マントル鉱物Ir_2S_3 kashiniteとRh_2S_3 bowieiteの合成と 単結晶構造解析

Syntheses and single crystal structure analyses of Ir_2S_3 kashinite and Rh_2S_3 bowieite

*吉朝 朗[1]、徳田 誠[1]、北原 銀河[1]、石丸 聡子[1]、中塚 晃彦[2]、杉山 和正[3]
*Akira YOSHIASA[1], Makoto Tokuda[1], Ginga Kitahara[1], Satoko Ishimaru[1], Akihiko Nakatsuka[2], Kazumasa Sugiyama[3]

1. 熊本大学、2. 山口大学、3. 東北大学
1. Kumamoto University, 2. Yamaguchi University, 3. Tohoku University

Ir_2S_3 kashinite-Rh_2S_3 bowieiteは連続固溶体を形成し、アクセサリ鉱物としてマントル岩に広く産出する。Lauriteなどの白金族鉱物はマントル岩の分類に役立つが、各鉱物の結晶学的詳細については知られていないことが多い (Arai et al. 1999, Zaccarini et al., 2016)。Rh_2S_3の構造はParthe et al. (1967)により解析されているがIr_2S_3の報告は無い。これらはRh_2O_3の高圧相と同構造である。単結晶構造解析ではDebye-Waller因子からDebye温度θ_Dを見積もることができる。Debye温度は硬度や融点に関連した物質の固有値である。

Ir_2S_3 kashiniteとRh_2S_3 bowieiteの端成分単結晶を封入管法により作製し、リガク社製XtaLAB Synergyによる単結晶構造解析を行い, Debye-Waller因子を測定した[1]。kashiniteとbowieiteはいずれも化学組成は単純であるが、複雑な結晶構造を有している(図１)。歪んだ陽イオン八面体は、隣接する八面体と１つの面を共有してM_2S_9ユニットを形成する。 M_2S_9 は隣接するユニットと4つのエッジを共有することで (100) に平行なスラブを形作る。精密構造解析により得られたDebye-Waller因子から、Debye温度θ_Dを決定した。中央海嶺下のマグマだまりの底部で形成されたマントル岩に由来した(Osanai et al. 2014)熊本県払川産kashinite-bowieite固溶体についてDebye温度を基に議論する。

キーワード：Ir2S3 kashinite、Rh2S3 bowieite、単結晶構造解析、Debye 温度、マントル構成鉱物
Keywords: Ir2S3 kashinite, Rh2S3 bowieite, single crystal diffraction, Debye temperature,, Mantle constituent mineral

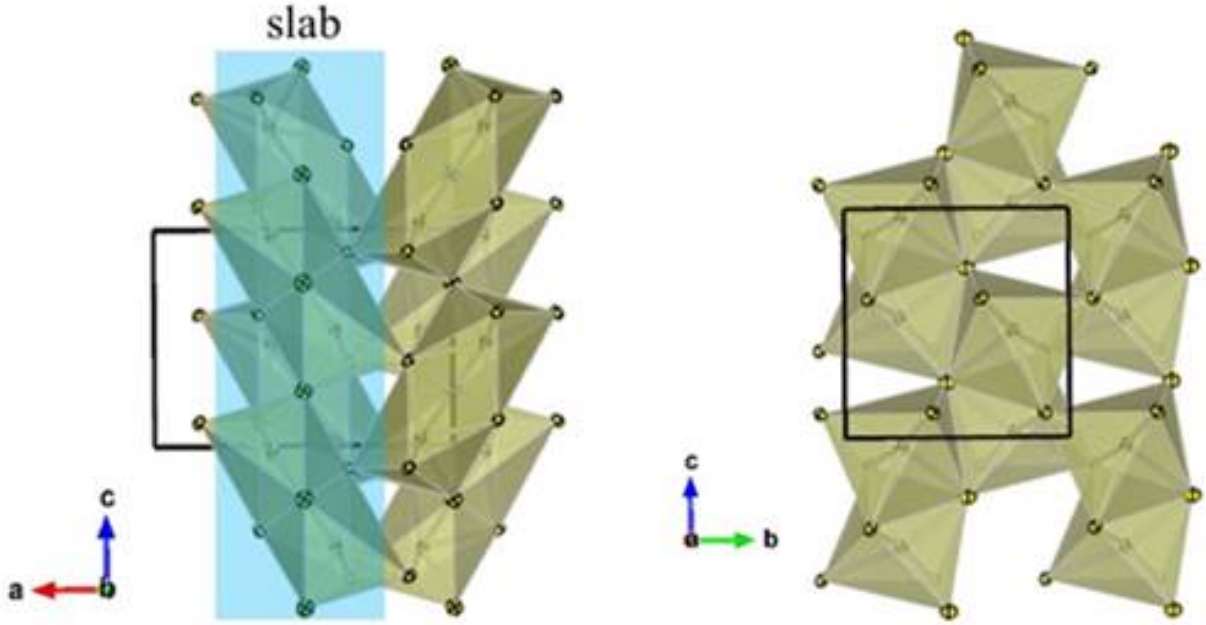


Fig. 1. Crystal structure of Ir_2S_3 view parallel to the crystallographic axes. The distorted IrS_6 octahedron forms an Ir_2S_9 unit by sharing one face with the adjacent octahedron (a). Ir_2S_9 becomes a slab parallel to (100) by sharing four edges with adjacent units (b).

口頭講演

R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

座長:小松 一生、山根 崚(東北大学)、永嶌 真理子

2023年9月15日(金) 09:00 〜 12:00 820 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

口頭講演 | R8：変成岩とテクトニクス

2023年9月15日(金) 9:00 ~ 12:00 | 821 杉本キャンパス

R8：変成岩とテクトニクス

座長:遠藤 俊祐(島根大学)、東野 文子(京都大学)

9:00 ~ 9:15

[R8-01] 四国中央部三波川帯の泥質片岩に産するフェンジャイトの微量元素・ストロンチウム同位体地球化学

「発表賞エントリー」

*原田 浩伸[1]、辻森 樹[1]、ファインマン モリーン[2]、青木 一勝[3]、板谷 徹丸[4] (1. 東北大、2. ペンシルベニア州立大、3. 岡山理大、4. 地球年代学ネットワーク)

9:15 ~ 9:30

[R8-02] 北上山地宮古地域の接触変成大理石に産する変成かんらん石中の含メタン流体包有物

*原田 浩伸[1]、辻森 樹[1] (1. 東北大)

9:30 ~ 9:45

[R8-03] **Amphibolite-Granulite facies metamorphism at the base of island arcs: Clues from Calaton Hill, Tablas island, Philippines**

*Gabriel Theophilus V. VALERA[1], Andrew Exequiel S. Tabilog[1], John Kenneth B. Badillo[1], Betchaida D. Payot[1] (1. Univ. of the Philippines)

9:45 ~ 10:00

[R8-04] **Brittle fracturing during the closure of the Maizuru back-arc basin**

*Larissa NGOMBI MAVOUNGOU[1], Kaushik DAS[1,2], Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Jun-ichi ANDO[1,2], Yasutaka HAYASAKA[1,2] (1. Hiroshima Univ., 2. HiPeR, Hiroshima)

10:00 ~ 10:15

[R8-05] **Elucidation of slip characteristics in shallow crustal faults from deformation experiments on sandstone gouges within Himalayan Main Frontal Thrust**

*Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Takehiro Hirose[2,3] (1. Hiroshima University, 2. HiPeR, 3. KCC JAMSTEC)

10:15 ~ 10:30

[R8-06] 石英ラマン圧力計のデータの取り扱い

*纐纈 佑衣[1] (1. 名古屋大・院環境)

10:30 ~ 10:45

[2Lecture-201-11-7add] 休憩

10:45 ~ 11:00

[R8-07] 四国西部三波川帯の変成斑れい岩：沈み込む海洋地殻の深部付加における役割

*遠藤 俊祐[1]、栗原 那知[1]、田口 知樹[2] (1. 島根大学、2. 早稲田大学)

11:00 ~ 11:15

[R8-08] **An approach to understand the mode of formation of titanite microtube texture in Tumbiana formation stromatolite, Pilbara Craton, western Australia**

*Kiran SASIDHARAN[1], Yoshihiro Nakamura[2], Satish-Kumar Madhusoodhan[1], Ohfuji Hiroaki[3] (1. Niigata University, 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. Tohoku University)

11:15 ~ 11:30

[R8-09] ドラマイラ岩体南部、超高圧白色片岩中の藍晶石が包有するコース石の形態と残留応力について

*武田 菜実[1]、辻森 樹[1,2]、川本 竜彦[3]、板谷 徹丸[4] (1. 東北大・院理、2. 東北大・CNEAS、3. 静岡大・理・地球科学、4. NPO法人地球年代学ネットワーク)

11:30 ~ 11:45

[R8-10] ローソン石青色片岩の白雲母K-Ar年代の評価:
神居古潭帯・幌加内地域と黒瀬川帯・箱石ユニットの例

*平島 崇男[1]、苗村 康輔[2] (1. 京都大学、2. 岩手大学・教育)

11:45 ~ 12:00

[R8-11] Precipitation of graphite in continental crust from CO_2-rich fluids: Evidence from fluid inclusions, Raman spectroscopy and carbon stable isotopes

*Madhusoodhan SATISH-KUMAR[1], Sasidharan KIRAN[1], Kana UMETSU[1], Sanjeewa MALAVIARACHCHI[2] (1. Niigata University, 2. University of Peradeniya)

[zoom] Zoom

四国中央部三波川帯の泥質片岩に産するフェンジャイトの微量元素・ストロンチウム同位体地球化学

Trace elements and strontium isotope geochemistry of phengite in pelitic schists from the Sambagawa Belt, central Shikoku

*原田 浩伸[1]、辻森 樹[1]、ファインマン モリーン[2]、青木 一勝[3]、板谷 徹丸[4]
*Hironobu Harada[1], Tatsuki Tsujimori[1], Maureen Feineman[2], Kazumasa Aoki[3], Tetsumaru Itaya[4]

1. 東北大、2. ペンシルベニア州立大、3. 岡山理大、4. 地球年代学ネットワーク
1. Tohoku Univ., 2. Penn State, 3. Okayama Univ. Sci., 4. jGnet

フェンジャイト質白色雲母（フェンジャイト）は、高圧・超高圧変成岩において幅広い温度圧力条件かつ変成堆積岩から変成玄武岩までの様々な岩相に普遍的に産する主要な含水変成鉱物である。フェンジャイトには、Li、B、N、Rb、Cs、Baなどの流体活動に敏感な元素が高濃度で分配される。そのため、変成脱水反応、流体–岩石相互作用、後退変成作用など、流体が関与する物質移動の定量化に適しており、K–Ar系の年代測定や地質圧力計だけでなく、強力な地球化学的トレーサーになりうる鉱物である。

オロジェンに露出した高圧変成地帯から過去の沈み込みスラブ流体の特徴を明らかにするために、我々は四国中央部三波川帯（汗見川–銅山川ルート）で採取され、Itaya and Takasugi (1988) によってK–Ar年代測定が行われたフェンジャイト計84試料について包括的な地球化学の解析を行なってきた。本講演では現在までに得られているSr同位体比及び微量元素組成について報告する。泥質片岩13試料のSr同位体比 ($^{87}Sr/^{86}Sr$) は 0.70955–0.71836（年代補正なし）の幅をもつ。緑泥石帯からアルバイト–黒雲母帯までの泥質片岩22試料のフェンジャイト局所微量元素組成分析の結果、変成度及びSr同位体比との間に明瞭な相関はみられず、見かけのK–Ar年代 (Itaya and Takasugi, 1988)、酸素・水素同位体組成とも明瞭な相関を示さない。

北米カタリナ島の変成堆積岩に含まれるフェンジャイトではRb/Cs比が変成度の上昇に伴って高くなる傾向が示されており (Bebout et al., 2007)、これは水流体–フェンジャイト間においてRbに比較してCsが流体に分配されやすく (Melzer and Wunder, 2000)、脱水反応の進行とともにCsが流体へ選択的に分配されるためと考えられている。しかし、三波川帯の泥質片岩のフェンジャイトでは変成度上昇に伴ったRb/Cs比の上昇はみられない。また、測定したフェンジャイトのRb/Cs比は10–60 (5点を除くと10–30) で、これは沈み込む堆積物 (Plank, 2014) や四万十帯の堆積岩 (Hasegawa et al., 2019; Honda et al., 2011; Ishikawa and Ujiie, 2019) と同程度である。フェンジャイトのRb/Cs比は全岩のRb/Cs比を反映することが知られており (Bebout et al., 2007)、三波川帯の泥質片岩が少なくとも一部の微量元素組成については原岩の特徴を保持している可能性、あるいは後退変成作用の際に堆積物由来の流体と相互作用を起こし微量元素組成について均質になるようなプロセスを経た可能性を示唆する。

引用文献

Bebout et al., 2007. *Chem. Geol.* 239, 284–304. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.10.016

Hasegawa et al., 2019. *Prog. Earth Planet. Sci.* 6, 36. https://doi.org/10.1186/s40645-019-0281-2

Honda et al., 2011. *Geophys. Res. Lett.* 38, L06310. https://doi.org/10.1029/2011GL046722

Ishikawa & Ujiie, 2019. *Geology* 47, 343–346. https://doi.org/10.1130/G45889.1

Itaya and Takasugi, 1988. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 100, 281–290. https://doi.org/10.1007/BF00379739

Melzer & Wunder, 2000. *Geology* 28, 583–586. https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<583:IBARCF>2.0.CO;2

Plank, 2014. Treatise on Geochemistry 2nd Edition, 4.17, 607–29. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00319-3

キーワード：フェンジャイト、三波川帯、微量元素、ストロンチウム同位体比、上昇したスラブ
Keywords: phengite, Sambagawa Belt, trace element, strontium isotope ratio, exhumed slab

北上山地宮古地域の接触変成大理石に産する変成かんらん石中の含メタン流体包有物

Methane-bearing olivine-hosted fluid inclusions in a contact metamorphosed dolomitic marble from the Miyako area, Kitakami Mountains

*原田 浩伸[1]、辻森 樹[1]
*Hironobu Harada[1], Tatsuki Tsujimori[1]

1. 東北大
1. Tohoku Univ.

変成炭酸塩岩は地球史を通して造山帯に普遍的に産出し、地殻における炭素の主要なホストであることに加えて地殻でのCO_2（及び含CO_2流体）挙動の理解において最適な岩石である（Cook-Kollars et al., 2015; Harada et al., 2021; Satish-Kumar et al., 2010など）。変成炭酸塩岩はその全岩化学組成、変成温度圧力条件、流体組成などにより多様な鉱物組み合わせを示すが、ドロマイト質大理石は炭酸塩鉱物として方解石とドロマイトの両者を含むような変成炭酸塩岩で、しばしば変成かんらん石を含む鉱物組み合わせを生じる。マグネシウムに富む炭酸塩堆積物の接触変成作用でも同様に変成かんらん石を含むようなドロマイト質大理石が形成される。本講演では、接触変成作用を被った炭酸塩堆積物から地質情報を抽出する試みとして、岩手県宮古市上根市の接触変成地域に産するドロマイト質大理石の変成かんらん石に着目し、かんらん石にホストされる流体包有物から得た新知見について紹介する。

岩手県宮古市周辺において、ジュラ紀付加体である北部北上帯（葛巻–釜石帯）は白亜紀前期の宮古花崗岩類の貫入による接触変成作用を被っており、上根市（かみねいち）ではマグネシウムに富んだ炭酸塩堆積物に対する接触変成作用により形成したドロマイト質大理石の岩体が複数みられる。ドロマイト質大理石の変成温度は、鉱物組み合わせ及び方解石ードロマイト地質温度計から、500–550°Cと見積もられている（石山ほか, 1998）。本研究で着目した上根市の試料は方解石、ドロマイト、かんらん石から構成され、少量のトレモラ閃石、金雲母を含む。かんらん石は一部が蛇紋石化しており、リザダイト・クリソタイル蛇紋石に伴って微細な磁鉄鉱が産する。かんらん石にホストされる初生的な流体包有物 (＜10 μm) に対して顕微ラマン分光分析を行ったところ、メタンが確認された。メタンを含む流体包有物はリザダイト蛇紋石を含む。包有物中におけるメタンと蛇紋石の共存から、トラップした流体とホストかんらん石の相互作用による包有物内での蛇紋石化及び、それにより生じた還元的な流体によるメタンの生成が示唆される。かんらん石にホストされる流体包有物内での蛇紋石化に伴うメタン生成は海洋底や造山帯の苦鉄質・超苦鉄質岩に含まれるかんらん石で広く確認されるようになりつつある（Grozeva et al., 2020; Klein et al., 2019; Zhang et al., 2021, 2022）。さらに、飛騨帯の広域変成作用を受けたドロマイト質大理石のかんらん石でも同様のメタン生成が示唆され、かんらん石を含む岩相における流体包有物内での蛇紋石化に伴う無機的なメタン生成の普遍性を支持する。

引用文献

Cook-Kollars et al., 2014. *Chem. Geol.* 386, 31–48. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.07.013

Grozeva et al., 2020. *Philos. Trans. Royal. Soc. A* 378, 20180431. https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0431

Harada et al., 2021. *Isl. Arc* 30, e12389. https://doi.org/10.1111/iar.12389

石山大三ほか, 1998. 資源地質 48, 61–76. https://doi.org/10.11456/shigenchishitsu1992.48.61

Klein et al., 2019. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116, 17666–17672. https://doi.org/10.1073/pnas.1907871116

Satish-Kumar et al., 2010. *Lithos* 114, 217–228. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.08.010

Zhang et al., 2021. *Geochim. Cosmochim. Acta* 296, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.gca.2020.12.016

Zhang et al., 2022. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 127, e2022JB024508. https://doi.org/10.1029/2022JB024508

キーワード：ドロマイト質大理石、かんらん石、流体包有物、メタン、接触変成作用
Keywords: dolomitic marble, olivine, fluid inclusion, methane, contact metamorphism

Amphibolite-Granulite facies metamorphism at the base of island arcs: Clues from Calaton Hill, Tablas island, Philippines

*Gabriel Theophilus V. VALERA[1], Andrew Exequiel S. Tabilog[1], John Kenneth B. Badillo[1], Betchaida D. Payot[1]

1. Univ. of the Philippines

The Philippine island arc system preserve records of multiple orogenic events throughout its history. In particular, the rifting and drifting of the Palawan-Mindoro Microcontinental block from mainland Asia and its subsequent collision with the Philippine Mobile Belt likely caused the exhumation of oceanic lithosphere fragments in western Philippines and the regional metamorphism in the area. Uncertainties still abound however on the exact location of this arc-continent collision zone and its timing relative to other tectonic events in the region (e.g. arc magmatism, opening of the South China Sea Basin). Detailed estimation of the pressure-temperature-deformation-time (*P-T-D-t*) history of the different metamorphic units in the region which are required in order to link these metamorphic rocks with each other and to the PMB-PCB collision are also lacking. In Tablas island of the Romblon Island Group, earlier studies identified at least two distinct stages of metamorphism: a prevalent greenschist to amphibolite facies event recorded in most Romblon metamorphic rocks, and a higher *T* amphibolite-granulite facies metamorphism preserved in the southeast section of the island in Calaton Hill. In this work, we present new field and petrological data from exposures in and around Calaton Hill. Calaton Hill is mainly composed of gabbros and pyroxenite-hornblendites thought to represent the base of an ancient arc. Samples from the area revealed both unmetamorphosed, i.e. with cumulate texture, and highly foliated gabbroic-ultramafic lithologies. The lithologies comprise varying amounts of olivine, clino- and orthopyroxenes, plagioclase and hornblende with the metamorphosed variety only exhibiting grain size reduction and foliation. The surrounding paraschists in Calaton Hill meanwhile are composed of aluminosilicates, biotite, quartz, and alkali feldspar. These assemblages suggest high *T* metamorphism in SE Tablas island.

Keywords: Calaton Hill, Tablas, Romblon Metamorphic rocks, Amphibolite and granulite facies

Brittle fracturing during the closure of the Maizuru back-arc basin

*Larissa NGOMBI MAVOUNGOU[1], Kaushik DAS[1,2], Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Jun-ichi ANDO[1,2], Yasutaka HAYASAKA[1,2]

1. Hiroshima Univ., 2. HiPeR, Hiroshima

The Maizuru basin is a Permian paleo back-arc basin that opened during Early Permian with the deposition of a massive mudstone-dominated cover, the Maizuru Group lying on the Yakuno ophiolitic rocks that constitute the basement of the basin. During the Permo-Triassic boundary, the Maizuru back-arc basin closed with the deposition of the breccia-dominated Tonoshiki Formation. This closure occurred in a tectonically active environment generating two pulses of debris flow events and the formation of two types of the Tonoshiki breccia. Field investigation and microscopic observations revealed the presence of an intensive fracture network in the Tonoshiki breccia. A considerable amount of calcite veins is present in the breccia. The fracture analysis conducted on the Tonoshiki breccia allowed a tentative reconstruction of the paleostress. The results showed a general NW-SE compression, which is supported on a microscopic scale by the presence of stylolites in a sample of a quartz-rich block showing similar compression direction. The microstructural analysis of calcite veins revealed the presence of three different types of twins, Type I, Type II, and Type III, with Type II being the most dominant twin pattern. In the quartz-rich block, mostly cataclastic deformation is observed, with an extensive network of calcite veins. Some quartz grains are highly strained and show undulose extinction, which indicates high temperature and high stress conditions. This extensive fracturing that probably occurred as a result of the closure of the Maizuru back-arc basin, affected not only the Tonoshiki Formation, which is the topmost unit of the basin, but also the underlying units, namely, the Maizuru Group and the Yakuno ophiolitic basement rocks.

Keywords: Maizuru back-arc basin closure, Tonoshiki breccia, Fracture, Vein, Paleostress

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Elucidation of slip characteristics in shallow crustal faults from deformation experiments on sandstone gouges within Himalayan Main Frontal Thrust

*Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Takehiro Hirose[2,3]

1. Hiroshima University, 2. HiPeR, 3. KCC JAMSTEC

Faults are structural discontinuities within the rock that range from few centimeters to kilometer- scale, in response to the stress buildup and their eventual release within the rock. The stress release can be instantaneous as is the case of earthquakes or it can be at infinitesimally small rates over the geological timescale that is also called aseismic creep. Therefore, elucidating the deformation mechanisms affecting the development of earthquakes or aseismic creep within rock bodies are a prerequisite in understanding the fault rheology and dynamics. This research focusses on the understanding the controls of constituent mineralogy on the active deformation mechanism and earthquake generation in Himalayas. The mean convergence rate of Himalaya is considered to be ~ 15 mm/year leading to stress accumulation along crustal-scale Main Himalayan Thrust. However, only few stress release events represented by greater than M5+magnitude earthquakes in the Himalayan region have been observed. Hence, elucidating the constraints leading to the disparity in stress accumulation and stress release, is crucial to understand the stress accommodation mechanism and seismicity in the Himalayas. The current active subduction boundary is marked by Main Frontal Thrust separating the sub-Himalayas and the Gangetic alluvial plains. The rock types within the Main Frontal Thrust sheet show two primary types of sandstone protoliths, and three gouge types exhibiting cataclastic to foliated microstructural features. In this study, we have performed rotary-shear velocity step experiments on the powdered samples of the sandstone, as well as the gouge rocks, within the Main Frontal Thrust to determine their frictional properties at slow (10-200 μ m/s; creep) to fast (1.5 m/s; seismic) velocity under 10 MPa effective normal stress condition. We discuss these results and their implications on seismic nucleation in Himalayan Main Frontal Thrust.

Keywords: Main Frontal Thrust, Main Himalayan Thrust, Rotary Shear experiments, seismic nucleation

石英ラマン圧力計のデータの取り扱い

Handling of the data obtained by quartz Raman barometry

*纐纈 佑衣[1]
*Yui KOUKETSU[1]

1. 名古屋大・院環境
1. Nagoya Univ. Env.

石英ラマン圧力計とは，ざくろ石などのホスト鉱物中に含まれる微小な石英包有物をラマン分光分析し，そのピークシフトから残留圧力を計測することで，ホスト鉱物中に石英が取り込まれた変成条件を制約する手法である．石英ラマン圧力計は，何点かのデータを取得した上で，最高残留圧力値を保持する石英をピーク条件で取り込まれたと解釈し，変成条件の制約に用いられてきた．しかし，実際には石英包有物の残留圧力は幅広い値を取り，最高値以外にも様々な情報を含んでいる可能性がある．そこで，本研究ではこれまで著者が取得してきた残留圧力データを基にして，測定データの取り扱い方法について検証を行った． Franciscan帯のJenner Beachで採取されたエクロジャイトに含まれるざくろ石中の石英包有物は，0.15–0.70 GPaの残留圧力値を示し，ヒストグラムを作成すると，0.51 GPaを平均値とする正規分布を示した．一方で，石英が含まれている領域をざくろ石のcore, mantle, rimに分けると，残留圧力値の平均値は，0.43 GPa, 0.54 GPa, 0.58 GPaとcoreからrimに向かって上昇することが明らかになった．この結果は，すべてのデータを統合して平均値や最高値で議論するだけでなく，ざくろ石の累帯構造と対応づけることで，prograde成長経路が明らかになる可能性を示唆している．一方，三波川帯の権現地域で採取された石英エクロジャイトは，ヒストグラムを作成すると複数のピークを示すため，様々なタイミングでの変成条件が複合的に反映されているのではないかと考えられる．最も高い0.7 GPaのピークは石英エクロジャイトのピーク変成条件に相当すると考えられる．一方で，低圧側の0.4-0.6 GPaの範囲の残留圧力のピークは，累進変成作用時にざくろ石が成長したタイミング，もしくはエクロジャイト相変成作用後の緑簾石ー角閃岩相での再加熱時の変成条件を反映している可能性が示唆される．これらのデータから，ざくろ石中の石英の残留圧力は様々な変成条件を反映しているため，石英ラマン圧力計を用いる際は，岩石の変成履歴を考慮した上でどの値を変成条件の制約に用いるか慎重に検討する必要があると言える．

キーワード：石英ラマン圧力計、残留圧力、石英、ざくろ石
Keywords: Quartz Raman barometry, Residual pressure, Quartz, Garnet

口頭講演

R8：変成岩とテクトニクス

座長:遠藤 俊祐(島根大学)、東野 文子(京都大学)

2023年9月15日(金) 09:00 〜 12:00 821 (杉本キャンパス)

10:30 〜 10:45

[2Lecture-201-11-7add]休憩

©日本鉱物科学会

四国西部三波川帯の変成斑れい岩：沈み込む海洋地殻の深部付加における役割

Metagabbro from the Sanbagawa belt in western Shikoku, and its roles in deep underplating of subducting oceanic crust

*遠藤 俊祐[1]、栗原 那知[1]、田口 知樹[2]
*Shunsuke ENDO[1], Nachi Kurihara[1], Tomoki Taguchi[2]

1. 島根大学、2. 早稲田大学
1. Shimane University, 2. Waseda University

四国三波川帯の主要部を占める白滝ユニットは，側方連続性の極めて良い中央海嶺玄武岩（MORB）起源の苦鉄質片岩（キースラーガーを伴う）の厚層を含むことにより特徴づけられる．沈み込んだ海洋地殻が20 km以深で大規模に付加するプロセス（Endo et al. 2018）は，深部での海洋地殻の剪断破壊を意味し，それはthermo-mechanicalモデリングの結果（Menant et al. 2019）や現世の沈み込み帯の地球物理学的観測情報（Kimura et al. 2010）との比較されるべき重要な地質情報である．桜樹屈曲以西の四国西部では，特にこの苦鉄質片岩層が厚いため，このプロセスの検討に適している．四国西部では，苦鉄質片岩は，変成斑れい岩を伴っている．我々は愛媛県東温市の滑川地域で鮮緑色の含クロム白雲母を含み緑れん石・ゾイサイトに富む優白質岩を見出し，それを「石灰珪質片岩」として報告したが（栗原・遠藤2021），これは四国西部で記載されている変成斑れい岩（例えば，坂野ほか2010）や「粗粒な変塩基性岩」（仲田ほか2019）と同一岩相であり，その分布の最東端にあたる．Kawaguchi et al.(2022)は大洲地域でこの変成斑れい岩の火成ジルコンU-Pb年代（139-135 Ma）を報告した．この年代はMORB起源の苦鉄質片岩の原岩年代（155-144 Ma：Nozaki et al.2013）より明らかに若い．Kawaguchi et al.(2022)は，ジルコンの微量元素判別図と変成斑れい岩に高圧型変成作用の痕跡がないことにもとづいて，三波川変成岩の上昇期に沈み込み帯上盤から取り込まれたものと解釈した．しかし，栗原・遠藤(2021)は変成斑れい岩からローソン石⇒パンペリー石⇒緑れん石・ゾイサイトの変化を示す組織を報告しており，周囲の結晶片岩と沈み込み変成履歴を共有していたことは明白である．変成斑れい岩は，MORB起源の苦鉄質片岩に密接に伴われ，残留クロムスピネル組成もMORB領域に収まるが，上記のジルコン年代は変成斑れい岩の原岩が苦鉄質片岩と同源ではないことを示す．すなわち139-135 Maに海洋域で斑れい岩がMORBに貫入したと考えられる．それはKawaguchi et al. (2022)がもう一つの可能性として挙げた海洋性島弧の存在を示すものかもしれないが，今回は火成活動場の問題には立ち入らない．三波川変成岩は上昇期に高歪みの延性変形を受けており，変成斑れい岩も例外ではない．変成斑れい岩は，緑れん石集合体と基質部のレオロジーコントラストにより，眼球状片麻岩のような組織をもつLSテクトナイトとなっている（仲田ほか2019）．海洋地殻の剪断破壊を伴う付加時の構造は，この上昇期変形のオーバープリントにより保存されていないが，地質図スケールの岩相境界は有効な情報である．滑川地域での詳細なマッピングにより，変成斑れい岩はMORB起源の苦鉄質片岩の厚層の下底に沿って薄く広範に分布しいることが明らかになった．このことは海洋地殻の深部付加プロセスにおいて変成斑れい岩が破壊核形成に寄与した可能性を示唆する．滑川地域で観察する限り，変成斑れい岩の原岩は優白質で斜長岩（CAS系）に近いものであり，沈み込みと吸水によりローソン石を主とする岩石がいったん形成されたと考えられる．ローソン石は現在は方解石の包有物としてのみ残存している．一方，苦鉄質片岩はFe2O3に富み緑れん石安定領域が拡大するため，三波川変成作用でローソン石は形成されなかっただろう．変成斑れい岩の320℃前後でのローソン石（＋パンペリー石）脱水に伴う流体圧上昇が海洋地殻の弱化・破壊を引き起こしたと考えられる．また，一部の変成斑れい岩には，大量の炭質物が含まれる．この炭質物は，隣接する泥質片岩（炭質物ラマン温度計で400℃程度）に含まれるものより，著しく結晶化度が高い．これは，組成の異なるCHO流体の混合（CH4 + CO2 = 2H2O + 2C）が起こり，流体から結晶化度の高い炭質物が沈殿したことを示す可能性が高い．その流

体の起源のひとつはローソン石分解に伴うものと考えられる．

文献
坂野ほか（2010）大洲地域の地質（5万分の1地質図幅）．
Endo et al. (2018) Island Arc 27, e12261.
Kawaguchi et al.(2022) Geoscience Journal 26, 37–54.
Kimura et al. (2010) Science 329, 210–212.
栗原・遠藤（2021）地質学会講演要旨
Menant et al. (2019) Scientific Reports 9, 9714.
仲田ほか（2019）地質雑125，447-452.
Nozaki et al. (2013) Scientific Reports 3, 1889.

キーワード：三波川帯、変成斑れい岩
Keywords: Sanbagawa belt, metagabbro

An approach to understand the mode of formation of titanite microtube texture in Tumbiana formation stromatolite, Pilbara Craton, western Australia

*Kiran SASIDHARAN[1], Yoshihiro Nakamura[2], Satish-Kumar Madhusoodhan[1], Ohfuji Hiroaki[3]

1. Niigata University, 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. Tohoku University

Titanite filled microtubes protruding from healed fractures have been observed in metamorphosed basaltic glass as old as 3.5 Ga (Banerjee et al., 2006). Their rooting in fractures, morphological similarities with modern microtubes, and the in-situ detection of carbonaceous linings were suggested to support a biogenic origin. These titanite microtubes are considered evidence of early life thriving in the oceanic crust during the Archean. However, such titanite microtubes were re-investigated by Lepot et al. (2011) on a pyroclastic tuff in the Tumbiana formation (2.72 Ga) and suggested an abiotic origin by observing the structure, chemistry, and their root zone. In this study, with the help of detailed petrography, mineral chemistry, and EBSD, five morphological types of titanite were observed without any root zone in a stromatolite segment in the Tumbiana Formation, where two types were always associated with carbonaceous material. Raman spectra of these carbonaceous materials correspond to 300 ˚C. The Fe/Al ratio of titanites shows an off-trend to common titanite composition compared to the global occurrences (Kowallis et al., 2022). The EBSD data suggests that the titanites have not been subjected to any deformation and titanites with microtubular texture show an aggregation of grains with distinct crystal orientation. However, coarser irregular titanites have low-angle boundaries with preferred crystal orientation. In addition, the $\delta^{13}C$ value of the carbonaceous material (bulk) in the stromatolite is highly depleted (−39.6 to −47.3 ‰). The possible reasons for the origin of different types of titanites and if any signature for microbial activity is preserved will be discussed in the presentation.

Keywords: Titanite microtubes, Mineral chemistry, EBSD, Stromatolites, Pilbara craton

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ドラマイラ岩体南部、超高圧白色片岩中の藍晶石が包有するコース石の形態と残留応力について

Morphology and residual elastic stress of coesite within kayanite from the UHP whiteschist of the Southern Dora-Maira Massif

*武田 菜実[1]、辻森 樹[1,2]、川本 竜彦[3]、板谷 徹丸[4]
*Nami Takeda[1], Tatsuki Tsujimori[1,2], Tatsuhiko Kawamoto[3], Tetsumaru Itaya[4]

1. 東北大・院理、2. 東北大・CNEAS、3. 静岡大・理・地球科学、4. NPO法人地球年代学ネットワーク
1. Tohoku Univ. Sci, 2. Tohoku Univ. CNEAS, 3. Shizuoka Univ. Sci, 4. jGnet

変成岩の構成鉱物に保有された鉱物（鉱物包有物）は、そのホスト鉱物との間の熱膨張率、体積弾性率の差により生じた残留応力を保持することが知られている。例えば、ざくろ石に包有された石英の残留応力の大きさはラマンスペクトルのピークのずれ（ラマンシフト）によっても観察され、地質圧力計としてよく利用される。しかしながら、石英の高圧相であるコース石包有物については、超高圧変成作用を被ったか否かの認定のための記載が主目的で、ラマンスペクトルに着目した研究はほとんど行われてこなかった。本研究は、オロジェンに露出した超高圧変成岩のなかで粗粒なコース石とその仮像がマトリクスに最も良く残存することで知られるドラマイラ岩体の白色片岩中のコース石包有物に着目した。系統的にコース石包有物を解析するため、粉砕した白色片岩試料からパイロープざくろ石（~400粒）、藍晶石（88粒）、ジルコン（40粒）、ルチル（~400粒）を分離し、それらに包有されたコース石約120個について、ラマンシフトの特徴と傾向を調べた。本講演ではコース石包有物のラマンシフトとホスト鉱物の残留応力の異方性など、いくつかの新知見を紹介し、超高圧変成岩のコース石包有物に着目した研究の可能性について展望する。

観察したコース石包有物のラマンシフトはそのホスト鉱物によって異なる。とりわけ、藍晶石に包有されたコース石（大きさ4–58 μm）において、Si–O–Si対称伸縮振動に起因する~521 cm^{-1} のピークが残留圧力に依存したシフトを示し、その最大値は524.4 cm^{-1}であった。なお、~176 cm^{-1} のピークも大きくシフトし、その程度から1.74 GPaの最大の残留応力が推定された。藍晶石中のコース石は結晶の表面（研磨面）付近であっても高い残留応力を保持し、その観察事実は既存の報告（Zhong et al., 2020）と矛盾する。コース石包有物は、そのリムに厚さ~2 μm程度の石英シェルをもつものも存在する。これら一連の観察事実は藍晶石の残留応力保持能力の高さを示すものである。藍晶石中のコース石包有物は、円形、擬六方晶、不定形の３つの形状に分類され、それらのうち擬六方晶と不定形の包有物は円形のものよりも高いラマンシフトを示す。さらに、ラマンマッピングにより擬六方晶コース石を包有した藍晶石にのみ残留応力の異方性が確認された。

一般に、包有物の形状の違いと包有物内外に記録された残留応力は、包有後のホストー包有物相互作用の過程を記録している。我々の観察は、円形のコース石は擬六方晶のコース石や不定形のコース石に比べて表面エネルギーが低く、包有後の形状変化を経験した可能性を示唆する。また、シリカ鉱物包有物の形状変化は残留応力の喪失につながることが先行研究で知られており、形状によるラマンシフトの傾向の違いは形状変化の影響を示している可能性が高い。このように、コース石のラマンシフトに加え、包有後の形状変化と残留応力の減衰のプロセスを追うことで、超高圧変成岩が上昇してくる過程の包有物–ホスト鉱物間の相互作用の定量的な理解が進むかもしれない。

キーワード：コース石、ラマン分光法、超高圧変成作用、白色片岩
Keywords: coesite, Raman spectroscopy, UHP metamorphism, whiteschist

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ローソン石青色片岩の白雲母K-Ar年代の評価: 神居古潭帯・幌加内地域と黒瀬川帯・箱石ユニットの例

On the evaluation of the phengite K-Ar age of the Lawsonite blueschist: Examples from the Horokanai area in the Kamuikotan Belt and the Hakoishi-unit in the Kurosegawa Belt.

*平島 崇男[1]、苗村 康輔[2]
*Takao HIRAJIMA[1], Kosuke Naemura[2]

1. 京都大学、2. 岩手大学・教育
1. Kyoto University, 2. Iwate University

変成岩中の白雲母類を用いたK-Ar年代測定は、これまでに日本各地の変成帯で実施され、日本の地帯構造発達史の理解に大きく貢献してきた（e.g., Itaya & Takasugi, 1988, CMP; Tsujimori & Itaya,1999, Island Arc; Nuong et al. 2008, Geol. Mag.）。その一方で、同一露頭で採取した白雲母の年代値が測定誤差を優位に超える例がしばしば散見されるため、白雲母類のK-Ar年代値を解釈する際には、測定に用いた白雲母の評価（例えば、変成白雲母が形成された後の組成改変・変質・変形の有無、過剰アルゴンの付加、砕屑性、等）が必要であると指摘されている（e.g., Itaya et al. 2011, JAES）。更に、最近、Lu, Shimizu & Itaya, (2022; Minerals) は、年代測定に用いた絹雲母・イライトのフラクションのK含有量の多寡にかかわらず、同一露頭から採取したフラクションの粒子径が小さくなると、年代が若くなる傾向を指摘した(0.5～4μmで10～30Ma)。
我々は、北海道・神居古潭帯・幌加内地域で、ローソン石・緑簾石・パンペリー石を含む青色片岩（Tpriple-point blueschist）４試料の白雲母K-Ar年代を蒜山地質年代学研究所で測定した結果、123～127Maと105～109Maに2クラスター化した。この結果を考察するために、白雲母の化学組成、緑泥石化の強弱、分離試料の粒径等を検討した。 化学組成：白雲母の化学組成は4試料ともSi＝3.4～3.6 apfu（O=11）であったため、青色片岩相相当の変成作用で形成されたものであることを確認した。その反面、123～127Ma の年代を示した白雲母は比較的粗粒（最大約１mm幅）、かつ、緑泥石化は比較的稀であり、その組成はSi-Al図上で白雲母ーセラドナイを結ぶ線上にプロットされた。それに対して、105～109 Maの年代を示した白雲母は、細粒（＜数十μm）で緑泥石化が顕著であった。更に、Si-Al図上でSi＝3.5～3.6 apfuの組成を示す粒子は白雲母ーセラドナイを結ぶ線上にプロットされるが、Si<3.5 apfu以下の白雲母は白雲母ーセラドナイを結ぶ線から低Si低Al側に外れ、緑泥石との混相が示唆された。 白雲母フラクションの粒径：上記のような白雲母の産状を考慮して、年代測定に用いた白雲母フラクションのサイズは123～127Ma の年代を示した試料は50～120μm、105～109Maの年代を示した試料は0.2～2μmで調整した。 白雲母フラクションのK(wt%)｛各年代につき、2つの試料の値を示した｝：123～127Ma 年代：4.65/ 4.22 105～109Ma 年代：1.80/2.71 以上のように、105～109Maを示した白雲母フラクションは白雲母の純度も低く、かつ、粒径も小さかった。これら２つの要素は白雲母K-Ar年代の若返りを示唆するものとされている。 では、どちらの要素がより強く若返りに寄与しているのであろうか？　Sato et al. (2014, JMPS) は、九州・黒瀬川帯のローソン石青色片岩地域から採集した２試料の変成泥質片岩から分離した３つの白雲母フラクションのK-Ar年代を報告しており、得られた年代とフラクションサイズ・K(wt%)は以下のとおりである： OD28： 299Ma、50－100μm、5.32 wt% OD113：280Ma、50－75μm、 1.22 wt% OD113：245Ma、0.5－2μm, 2.14 wt% Sato et al. (2014) が年代測定を実施した変成泥質片岩には、ローソン石、アルカリ角閃石、アルカリ輝石が含まれており、白雲母の化学組成は、OD28では3.55～3.64 apfu（O=11）、OD113ではSi＝3.35～3.72 apfuであった。OD28の白雲母は無色で緑泥石化は稀であったが、OD113のSi＜3.62apfu の白雲母は淡い茶色を呈し、緑泥石化の進行が認められた。OD113のフラクションサイズが50～75μmのK含有量は非常に低くく、緑泥石の分離が不十分であったとみなし、0.5～2μmと小さなフラクションサイズで調整した結果、白雲母の純度は約75%上昇した

ものの、35Maも若い年代値が得られた。 以上のように、Sato et al. (2014) やLu et al. (2022) の結果から、白雲母年代の若返りにはフラクションサイズが大きな影響を与えていると考え、引き続き検証中である。

キーワード：白雲母K-Ar年代、ローソン石青色片岩、年代若返りの理由、幌加内地域、箱石サブ・ユニット
Keywords: Phengite K-Ar age, Lawsonite blueschist, Reasons for age rejuvenation, Horokanai area, Hakoishi sub-unit

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Precipitation of graphite in continental crust from CO_2-rich fluids: Evidence from fluid inclusions, Raman spectroscopy and carbon stable isotopes

*Madhusoodhan SATISH-KUMAR[1], Sasidharan KIRAN[1], Kana UMETSU[1], Sanjeewa MALAVIARACHCHI[2]

1. Niigata University, 2. University of Peradeniya

Carbon, the fourth most abundant element in the solar system, is a key element that controls life, environment and resources. Carbon isotope geochemistry is a widely applied tool for understanding the movement of carbon through different reservoirs in the Earth. Here we present the results of a detailed study on fluid inclusions and Raman spectroscopy of graphite-bearing fluid inclusions and combine them with carbon isotopic compostion in a vein-type graphite occurrence at Kahatagaha mine in Sri Lanka. Graphite occurs in a variety of lithological units in the basement rocks of Sri Lanka (Binu-Lal et al., 2003), however the most spectacular occurrence in Sri Lanka is the vein-type graphite (Touret et al., 2018; Touzain et al., 2010), which is well known for its high purity, high crystallinity, and large reserves. Graphite vein and associated rocks from the Kahatagaha mine were reexamined. Irrespective of various morphological varieties of graphite crystals, the carbon isotope composition of graphite showed only small variation, with an average value of $\delta^{13}C$ = -6.79 +/- 0.42‰ (n=28). All fluid inclusions preserved in quartz pods embedded in graphite vein are pure CO_2, H_2O-CO_2 and H_2O-graphite inclusions. Raman spectroscopy of primary fluid inclusions suggested that the fluid from which the vein-type graphite was precipitated is enriched in CO_2, and the absence of CH_4 indicates no mixing of fluids has occurred. The temperature of graphite precipitation was estimated to be around 500 °C. A comprehensive analysis of carbon isotopic composition and fluid inclusion studies helped to understand the precipitation mechanism of graphite from fluids (e.g. Satish-Kumar, 2005; Touzain et al., 2010) and vein graphite formation in the continental crust.

References: Binu-Lal, S.S., et al. 2003. Chemical Geology 197, 253 –270; Satish-Kumar, M., 2005, Geochimical et Cosmochimica Acta, 69, 3841-3856; Touret, J.L.R., et al. Chemical Geology, 508, 167-181; Touzain, P., et al., 2010. Canadian Mineralogist 48, 1373-1384.

Keywords: Graphite, Fluid inclusions, Carbon isotopes, Raman spectra

口頭講演

R8：変成岩とテクトニクス

座長:遠藤 俊祐(島根大学)、東野 文子(京都大学)

2023年9月15日(金) 09:00 〜 12:00 821 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

口頭講演 | R4：地球表層・環境・生命

2023年9月15日(金) 9:00 ~ 11:30 | 822 杉本キャンパス

R4：地球表層・環境・生命

座長:宇都宮 聡(九州大学)、横山 正(広島大学)、川野 潤(北海道大学)

9:00 ~ 9:15

[R4-01] 広島花崗岩のボーリングコア解析：浸透率・間隙率の深さ変化と風化速度への含意

*横山 正[1]、吉田 淳樹[3]、海堀 正博[2]、片山 郁夫[1]、谷本 和優[1] (1. 広島大・院先進理工、2. 広島大・防災減災センター、3. 京都大・院)

9:15 ~ 9:30

[R4-02] 火星のヘマタイト・ゲーサイト問題：塩溶液中におけるフェリハイドライトから結晶性鉄酸化物への変質挙動

*深谷 創[1]、福士 圭介[2]、高橋 嘉夫[3] (1. 金沢大・院自然、2. 金沢大、3. 東京大)

9:30 ~ 9:45

[R4-03] 地球表層環境における鉄酸化物のバンド構造の検討

*井上 紗綾子[1]、樽谷 直紀[2] (1. 愛媛大学・GRC、2. 広島大学・院先進理工)

9:45 ~ 10:00

[R4-04] スメクタイト層間陽イオン交換選択係数の測定と分光学的キャラクタリゼーション

*野路 陽平[1]、福士 圭介[2]、長 勇一郎[3,2]、田畑 陽久[3] (1. 金沢大・院自然、2. 金沢大、3. 東京大)

10:00 ~ 10:15

[2Lecture-301-09-5add] 休憩

10:15 ~ 10:30

[R4-05] ゲル中で形成する炭酸カルシウム多形の形成過程：形成場のpH可視化による解析

松本 信二[1]、*川野 潤[1]、三木 康誠[1]、豊福 高志[2]、長井 裕季子[2]、永井 隆哉[1] (1. 北大・院理、2. JAMSTEC)

10:30 ~ 10:45

[R4-06] 魚類耳石の中心近傍に見られる特異な構造と化学組成

「発表賞エントリー」

*髙橋 玄[1]、奥村 大河[1]、鈴木 道生[2]、小暮 敏博[1] (1. 東京大・院理、2. 東京大・院農)

10:45 ~ 11:00

[R4-07] 石灰華上を覆うバイオマットの変色物質と要因の解明
~バイオマット中の鉱物晶出と酸化~

*鈴木 未希[1]、立岩 実久[2]、江島 輝美[3]、山崎 陽生[4]、南澤 比佳理[5]、堀田 将臣[5]、濱田 麻希[6] (1. 信州大・院理、2. 信州大・理、3. 信州大・理，産総研、4. 信州大・院理，産総研、5. 信州大・工、6. 金沢大)

11:00 ~ 11:15

[R4-08] モノハイドロカルサイトの変質過程におけるU(VI)の取り込み

*森田 祐未[1]、福士 圭介[2]、高橋 嘉夫[3] (1. 金沢大・院自然、2. 金沢大、3. 東京大)

11:15 ~ 11:30

[R4-09] **福島第一原発由来CsMPのB同位体が示す制御棒の揮発**

笛田 和希[1]、大貫 敏彦[7]、山崎 信哉[2]、堀江 憲路[3]、竹原 真美[3]、Law Gareth[6]、Grambow Bernd[5]、Ewing Rodney[4]、*宇都宮 聡[1] (1. 九州大学、2. 筑波大、3. 極地研、4. Stanford Univ.、5. Univ. Nantes、6. Univ. Helsinki、7. 東工大)

[zoom] Zoom

広島花崗岩のボーリングコア解析：浸透率・間隙率の深さ変化と風化速度への含意

Borehole core analysis of Hiroshima Granite: Depth variation of permeability and porosity and implications for weathering rates

*横山 正[1]、吉田 淳樹[3]、海堀 正博[2]、片山 郁夫[1]、谷本 和優[1]
*Tadashi YOKOYAMA[1], Atsuki Yoshida[3], Masahiro Kaibori[2], Ikuo Katayama[1], Kazumasa Tanimoto[1]

1. 広島大・院先進理工、2. 広島大・防災減災センター、3. 京都大・院
1. Hiroshima Univ. Adv. Sci. Eng., 2. Hiroshima Univ. Resilience Research Center, 3. Kyoto Univ.

中国地方には，花崗岩とその風化物が広く分布する。花崗岩の風化の進行に伴い，初生鉱物が溶解すると共に鉱物粒子同士の結合が分離し，間隙率や浸透率（水の流れやすさ）が増大する。本研究では，東広島市のがら山において地表から20 mの深さまで掘削された花崗岩ボーリングコアを対象として，硬度・間隙率・浸透率の深さ変化を調べ，得られた結果の含意を風化の速度論的観点から考察した。

ボーリングコアの観察から，母岩の風化とは直接関係ない堆積物の可能性がある地表付近を除いて，深さ2.5-10 mの部分に注目して分析を行った。まず，リバウンド式硬さ計で深さ約10 cmおきに硬度を測定した。その結果，深さ約5 mより浅い部分の硬度は概ね測定下限以下であり，最も風化が進んだ状態と見なされた。約5-8 mでは，深さの増大と共に，全体として硬度が上昇し風化程度が低下した。約8 mより深い部分の硬度は高い値でほぼ一定であり，未風化状態と見なされた。

硬度の測定結果を基に，風化程度が異なる5箇所（深さ2.8，5.2，6.2，7.6，9.3 m）を選び，間隙率ϕ（外部に開いた間隙）と浸透率kを測定した。ϕの値は，ϕ =(水飽和重量ー乾燥重量)/水の密度/試料体積で算出した。kの値は，kが小さい場合は透水試験で，kが大きい場合は透気試験で測定した。5箇所の測定点ではϕ，k共に深部ほど低下した。また，硬度-ϕ，硬度-kにはある程度よい相関がみられた。

岩石の風化は，構成鉱物から溶出した元素が，間隙水の流れ（移流）と水中の拡散で移動することにより進行する。移流と拡散の大小関係を示す値としてペクレ数P_eが用いられる[1]。$P_e = UL/D_a$であり（U：平均流速，L：代表長さ，D_a：みかけの拡散係数），P_e >1では移流が支配的，P_e <1では拡散が支配的になる。Uはダルシー流速/ϕに相当し，$U = (k\rho g/\mu\phi)i$で求まる（ρ：水の密度，g：重力加速度，μ：水の粘度，i：動水勾配）。D_aの値は，従来報告されている有効拡散係数D_e (=$D_a\phi$)とϕの関係式[2]から推定できる。

連続的な深さ変化が得られている硬度の測定結果と，硬度とϕ，kの相関式に基づき，ϕ，k，D_aについても連続的な深さ変化を評価した。さらに，それらの値を用いて，P_eの深さ変化を見積もった。Lやiの値によりP_eの値は変わるものの，一例としてL = 1 mm，i = 0.1 - 1とすると，最も風化が進んだ状態に相当する深さ約5 mより浅部では，概ねP_e >1の部分が卓越し，風化速度は主に移流で支配されると考えられる。一方，深さ約6.5 mより深部では，割れ目近傍を除くと概ねP_e <1の部分が卓越し，風化速度は主に拡散で支配されると考えられる。

[1] Lasaga A.C. (1998) Kinetic theory in the earth sciences. Princeton University Press, pp. 811.
[2] Nishiyama K., Nakashima S., Tada R., and Uchida T. (1990) Diffusion of an ion in rock pore water and its relation to pore characteristics. Mining Geology, 40(5), 323-336.

キーワード：花崗岩、浸透率、間隙率、拡散、風化速度
Keywords: Granite, Permeability, Porosity, Diffusion, Weathering rate

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

火星のヘマタイト・ゲーサイト問題：塩溶液中におけるフェリハイドライトから結晶性鉄酸化物への変質挙動

Hematite-Goethite Problem on Mars: Transformation of Ferrihydrite to Crystalline Fe Oxides in Salt Solutions

*深谷 創[1]、福士 圭介[2]、高橋 嘉夫[3]
*So Fukaya[1], Keisuke Fukushi[2], Yoshio Takahashi[3]

1. 金沢大・院自然、2. 金沢大、3. 東京大
1. Kanazawa Univ. Sci., 2. Kanazawa Univ., 3. The University of Tokyo

火星にはかつて液体の水が存在したことが火星探査から明らかになっており、NASA火星探査車オポチュニティーやキュリオシティによる詳細な観測から、水の作用によって生成した鉄酸化物が火星表層には大量に存在することが認められている。水中に溶存したFe(III)の加水分解で形成される鉄酸化物としてフェリハイドライトがあり、それを前駆体とした結晶性生成物がヘマタイトとゲーサイトである。ヘマタイトとゲーサイトは、両者の持つ熱力学的安定性が類似しているため、共に形成されることが多く、競争的な関係にあることが知られている(Cornell and Schwertmann, 2003, John Wiley & Sons)。フェリハイドライトがヘマタイトとゲーサイトのどちらに転移するかは水質条件によって主に制御されており、pHが中性もしくは強酸性のときにヘマタイトが優勢となり、それ以外の酸性もしくはアルカリ性ではゲーサイトが優勢である(Schwertmann and Murad, 1983, Clays and Clay Minerals)。Fukushi et al., (2022, GCA)では、ゲールクレーターでの最後の湿潤イベントにおける水のpHを3-5と推定している。このpH条件ではゲーサイトが優勢であるはずだが、ゲールクレーターの堆積物からゲーサイトはほとんど見つかっていない。フェリハイドライトの変質挙動に影響を与える水質因子として塩濃度（イオン強度）があげられる (Torrent and Guzman, 1982, Clay Minerals)。しかし、pHとイオン強度を共に制御した条件におけるフェリハイドライトの変質挙動はこれまで研究されていない。そこで本研究では、火星ゲールクレーター堆積物においてゲーサイトが認められていない原因を明らかにすることを目的として、pHとイオン強度を変化させた系における、フェリハイドライトの変質挙動を検討した。

フェリハイドライトは$FeCl_3$溶液にNaOH溶液を加えて合成し、遠心洗浄によりフェリハイドライト懸濁液の脱塩を行った。懸濁液を4バッチに等しく分け、3つのバッチには、イオン強度が0.01, 0.1および1となるようにそれぞれNaClを加え、もう1つのバッチは塩を加えない条件とした。各イオン強度の懸濁液を3本のボトルに分け、pHが4, 6, 8となるように、HCl溶液もしくはNaOH溶液を用いて調整した。これらの懸濁液を振盪させながら、70℃で10日間反応させた。同様にして、$MgCl_2$を添加した条件も行った。10日間反応後、固相を遠心洗浄し、凍結乾燥させた。乾燥後、粉末状にした固相に対し、粉末X線回折分析(XRD)とX線吸収分光分析(XAFS)を行い、フェリハイドライトの変質挙動を調べた。

XRDよりヘマタイトは、pHが中性付近でイオン強度によらず優勢であることが認められた。また、中性pH条件では、NaCl溶液よりも$MgCl_2$溶液において、ヘマタイトが顕著に優勢となる結果が得られた。これは、2価の陽イオンによってヘマタイト形成が促進されることを示唆している。一方、酸性条件では、イオン強度が低いとゲーサイトが優勢であったが、イオン強度の増加とともにヘマタイトの割合が増加した。XAFSによる結果は、XRDによって得られた結果と調和的であった。これらの結果は、酸性条件でもイオン強度が高いためにゲーサイト形成が抑制されることを示唆しており、ゲールクレーターの堆積物にゲーサイトがほぼ見つかっておらず、ヘマタイトばかり認められていることを説明できるかもしれない。さらに、ゲーサイトが形成される水質条件は限定的であり、ゲールクレーターでゲーサイトが見つかった場合、それは過去の水質復元の一助となる可能性が示唆される。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

キーワード：火星、ヘマタイト、ゲーサイト
Keywords: Mars, Hematite, Goethite

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

地球表層環境における鉄酸化物のバンド構造の検討

Band structure of Fe oxides in the Earth surface

*井上 紗綾子[1]、樽谷 直紀[2]
*Sayako INOUE[1], Naoki Tarutani[2]

1. 愛媛大学・GRC、2. 広島大学・院先進理工
1. Ehime Univ. GRC, 2. Hiroshima Univ. Adv. Sci. Eng,

ナノスケールの鉄酸化物鉱物は河川や土壌中に広く産する。これらの鉱物表面への溶存物質の濃集は水環境中での溶存物質の循環と深く関係している。さらに鉄酸化物鉱物は半導体としての性質を持つことから、溶存遷移元素の酸化還元反応を促進する特性を持つことが実験的に示されている。鉄酸化物の半導体としての性質と水環境中での触媒としての効果の関係については、概念的な理解に止まっており、鉄酸化物鉱物のバンド構造評価と鉱物表面での酸化還元反応の評価を合わせて行うことで、水環境中での鉄酸化物鉱物の役割のより厳密な理解が可能になると期待される。本発表では、地球表層環境で一般的にみられる鉄酸化物鉱物である赤鉄鉱(α-Fe_2O_3)と針鉄鉱(α-FeOOH)のバンド構造の測定を行い、地球表層環境での鉄酸化物の特性を理解するのに最適な測定方法の検討を行う。また、鉄酸化物バンド構造が水中における酸化還元反応に与える影響を、マンガン酸化反応を例に議論する。測定には合成赤鉄鉱と針鉄鉱を使用した。赤鉄鉱については、平均粒径7 nmと38 nmを持つ２種類の試料を用いた。光学的バンドギャップの測定は紫外可視分光法(UV-Vis)により行い、同一の試料について、分散液を乾燥した粉体の拡散反射法による測定と分散液の透過法による測定を行なった。分散液の濃度は100 mg/L, 50 mg/L, 20 mg/Lで測定した。また同様の鉄酸化物について、マンガン酸化実験のために、反応容器中で20 mg の鉄酸化物とpH 7.5 ・濃度1 mMのMn^{2+}水溶液50mLを２週間混合した。粉体の拡散反射法測定により得られたバンドギャップは、1.96 eV （平均粒径7 nm 赤鉄鉱）、1.97 eV （平均粒径38nm 赤鉄鉱）、2.27 eV（針鉄鉱）であった。測定結果は先行研究で報告されている赤鉄鉱と針鉄鉱のバルク結晶のバンドギャップと調和的な値である。赤鉄鉱について、粒径とバンドギャップの相関はみられなかった。同様の試料を水中で測定した結果、粉体の状態での測定結果に比べてバンドギャップが大きく算定された。Chernyshova et al. (2011)では、本研究と同様の方法で合成された赤鉄鉱のバンドギャップを分散液を用いたUV-Vis測定にて決定し、粒径が小さくなるにつれてバンドギャップが広大化することを報告している。本研究においても、分散液での測定結果をChernyshova et al. (2011)と同様の方法で算定すると7 nm赤鉄鉱のバンドギャップの方が38nm赤鉄鉱のバンドギャップよりも大きくなり、先行研究の結果と調和的な傾向が見られた。一方で、分散液の測定では、分散液の濃度やTaucプロットの変曲点の選択がバンドギャップの算定結果に大きな影響を与えることが確認でき、鉄酸化物の電子構造を踏まえて最適な測定方法の慎重な検討が必要と考えられる。真空中と水中での測定結果の違いは、バンドギャップと表面構造の関係を示唆しており、地球表層における鉄酸化物鉱物の電気化学的特性の理解のためには、地球表層に近い環境で測定を行う必要がある。発表では、測定により得られた赤鉄鉱、針鉄鉱のバンド構造とマンガン酸化実験の結果を比較し、鉄酸化物の半導体としての特性がマンガン酸化物の生成に与える影響について議論する。

キーワード：鉄酸化物鉱物、バンド構造、酸化還元反応
Keywords: Fe oxide minerals, band structure, Redox reaction

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

スメクタイト層間陽イオン交換選択係数の測定と分光学的キャラクタリゼーション

Measurement of Exchange Selectivity Coefficients of Interlayer Cations in Smectites and their Raman Spectroscopic Characterization

*野路 陽平[1]、福士 圭介[2]、長 勇一郎[3,2]、田畑 陽久[3]
*Yohei NOJI[1], Keisuke Fukushi[2], yuichiro Cho[3,2], HaHaruhisa Tabata[3]

1. 金沢大・院自然、2. 金沢大、3. 東京大
1. Kanazawa Univ. Sci., 2. Kanazawa Univ., 3. Tokyo Univ.

現在の火星は寒冷・乾燥化した惑星であるが、約40億年前は温暖な時期があり、表面では大規模な水循環が存在していたことが明らかとなっている(Wordsworth, 2016, Annual Review)。NASAの火星探査車パーサヴィアランスは、かつての湖であったジェゼロクレーターを探査している。ジェゼロクレーターには、湖成堆積物としてスメクタイト族のサポナイトなどの鉱物が存在することが確認されている(Ehlmann et al., 2008)。溶液中でサポナイト構造内の層間陽イオンは溶液内の陽イオンと交換しやすいという性質を持つ。したがって、サポナイトの層間陽イオン組成からかつて接触していた間隙水の水質を制約することが可能である(Fukushi et al., 2019)。サポナイトの層間陽イオン組成を水質に変換するためには、様々なイオン種のサポナイト層間への入りやすさを表す数値である選択係数を求める必要がある。特定のイオン種における選択係数から、サポナイトが接触していた水中のイオン濃度が推定できる。スメクタイトの陽イオン交換選択係数は古くから測定されているが、その多くは大陸地殻表層に存在するモンモリロナイトのものであり、火星など太陽系天体で水質変成作用によって生成したサポナイトではほとんど測定例がない。そこで本研究ではサポナイトによる陽イオン選択係数を実験的に求め、これまで報告されているスメクタイトの選択係数と比較することを目的とした。 実験はオーストラリア産サポナイト、 山形県月布産のモンモリロナイトであるクニピア-Fを使用した。イオン交換実験に先立ち層間陽イオンが完全Na型のスメクタイト懸濁液を作成した。遠心管に作成したNa型スメクタイト懸濁液、溶液中のK,Mg²,Ca²濃度が順に4–26 ｍM程度になるように、KCl溶液、またはMgCl溶液、またはCaClを添加し、その後、全量が40 mLになるようにイオン交換水を添加した。作成した懸濁液を25℃の温度条件下で、24時間インキュベーター内でミックスローターにより攪拌し、反応させ、遠心分離機にて固相と液相に分離した。さらに、液相をろ過したものをICP-OESにてNa, K,Mg²,Ca²の濃度測定を行い、測定した陽イオン濃度からNa^+-K^+，Na^+-Mg^{2+}，Na^+-Ca^{2+}選択係数を求めた。固相は凍結乾燥をして、ラマン分光測定を行う。 実験の結果、さまざまな層間陽イオン組成条件のおけるモンモリロナイトのNa^+-K^+選択係数、Na^+-Mg^{2+}選択係数、Na^+-Ca^{2+}選択係数が見積もられた。モンモリロナイトのNa^+-K^+選択係数は層間陽イオンの割合によって大きく変化しなかったが、Na^+-Mg^{2+}選択係数とNa^+-Ca^{2+}選択係数は層間陽イオンとしてNaの含有率が増大に伴って選択係数の値が小さくなるという似た挙動を示した。Na^+-Mg^{2+}選択係数の方がNa^+-Ca^{2+}選択係数より少し低いという結果になった。発表ではサポナイトの各陽イオン選択係数の測定結果とモンモリロナイトとの違いを報告する予定である。 また、Mars2020の探査車パーサヴィアランスは遠隔でのラマン分光測定を行う装置を搭載しており、含水鉱物に対して詳細な分析を行うはずである(Wiens et al., 2021)。パーサヴィアランスの測定データから層間陽イオン組成を見積もる方法を確立するために、本研究では、実験室で作成した層間陽イオン種が既知なスメクタイトをパーサヴィアランス搭載のラマン分光装置を模擬した時間ゲートラマン分光法により測定する。ラマン分光測定を行い、吸収率の増減や、ピーク位置のシフトについて分析することによって、今後パーサヴィアランスが火星で測定したスメクタイトのラマン分光測定の結果から、火星のスメクタイトの層間陽イオン組成を決定しうる可能性について検討する。

キーワード：スメクタイト
Keywords: Smectite

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演

R4：地球表層・環境・生命

座長:宇都宮 聡(九州大学)、横山 正(広島大学)、川野 潤(北海道大学)

2023年9月15日(金) 09:00 〜 11:30 822 (杉本キャンパス)

10:00 〜 10:15

[2Lecture-301-09-5add]休憩

©日本鉱物科学会

ゲル中で形成する炭酸カルシウム多形の形成過程：形成場のpH可視化による解析

Analysis of the formation process of calcium carbonate polymorphs in gels with the pH visualization technique

松本 信二[1]、*川野 潤[1]、三木 康誠[1]、豊福 高志[2]、長井 裕季子[2]、永井 隆哉[1]
Matsumoto Shinji[1], *Jun KAWANO[1], Kousei Miki[1], Takashi Toyofuku[2], Yukiko Nagai[2], Takaya Nagai[1]

1. 北大・院理、2. JAMSTEC
1. Hokkaido Univ. Sci., 2. JAMSTEC

はじめに

炭酸カルシウム$CaCO_3$は生体硬組織を構成する主要な鉱物であり、その形成メカニズムを解明するために数多くの研究が行われてきた。そのための$CaCO_3$合成手法の一つとして、ゲルの両側からイオンを拡散させ、会合部で結晶を形成させるゲル内二重拡散法が古くから行われてきたが、生体環境を模した手法として近年再び注目されるようになった。本手法においては、ゲル中の場所と時間によって、さまざまな多形や形態の異なる結晶が形成することが知られてきたが、形成場の環境を直接知ることができないために、それらの形成メカニズムの検討は限定的にならざるを得なかった。私達のグループでは近年、蛍光プローブを用いた可視化手法を適用することで、ゲル内の$CaCO_3$形成場のpHを可視化し、それと結び付けて形成プロセスを検討する試みを行ってきた。本研究においては、さまざまな濃度のゲルを用いることで、イオンの拡散速度が異なる条件でのpH変化を可視化し、形成する多形や形態への影響を考察した。

実験手法

pHの可視化は、試薬HPTS(8-hydroxyprene-1,3,6-trisulfonic acid)を用いて行った。この試薬を含むpHが既知の溶液に紫外線を照射し、得られる蛍光強度を測定して校正曲線を作成した。HPTSを含んだ2 cm幅の寒天ゲルの両側から0.3 M の$CaCl_2 \cdot 2H_2O$及び$NaHCO_3$溶液を拡散させ、10分間隔で蛍光像を撮影し、校正曲線に従って定量化することにより、pHの時間変化を示す連続画像を得た。ゲルの濃度は0.5、1、3 wt%とし、拡散速度の違いによる影響を検討した。結晶形成過程の観察およびpHの可視化には、様々な位置で形成する結晶を捉えるために自動ステージを搭載した蛍光顕微鏡を用いたほか、レーザー共焦点顕微鏡により形成する結晶近傍の詳細な観察を行った。また形成した結晶に関して、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて形態の観察を行うとともに、ラマン分光分析により結晶相の同定を行った。

結果と考察

0.5 wt% 寒天ゲルの両側から$CaCl_2 \cdot 2H_2O$及び$NaHCO_3$溶液をそれぞれ拡散させると、$NaHCO_3$側からpHが上昇していくが、中心からやや$NaHCO_3$よりの場所で菱面体のカルサイトの結晶化が始まると、その場のpHが急激に低下するのが確認された。それよりやや遅れて、CO_3^{2-}リザーバー側のpHが高く保たれた場所でダンベル形のアラゴナイトが形成したが、結晶化開始後も急激なpH低下は見られなかった。これは、この場所でのアラゴナイト形成が、CO_3イオンが豊富に存在する環境にCaイオンが遅れて到達したことにより起こったことを示している。1 wt% 寒天ゲルを用いた実験においても、カルサイトの形態がより複雑になった以外は、0.5 wt%寒天ゲルの場合と同様の形成プロセスが観察された。より濃度の高い3 wt% 寒天ゲルを用いた実験では、pH変化が他の2つと比較してゆっくりと進行したほか、結晶化の開始も他の2つより遅かったが、菱面体が多数複合化した球状のカルサイトとダンベル型のアラゴナイトの結晶化がほぼ同時に進行した。ただしこの場合においても、アラゴナイトの形成場所では、結晶化開始後もpHが高い状態が続いており、この傾向はカルサイトの形成環境とは異なる。このようなpH変化と結晶形成時期との関係から、Ca^{2+}とCO_3^{2-}の過飽和度に対する寄与の違いが、多形の形成に影響を及ぼしていると考えられる。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

さらに、いずれのゲル濃度の実験においても、個々の結晶近傍の詳細な観察により、カルサイトが成長する際には、形態によらず、その近傍のpHが周囲の平均的なpHより0.1~0.2程度低くなることが観察された。その一方で、アラゴナイトの成長場ではこの傾向は観察されなかった。この傾向の違いが、多形の性質によるものであるかどうかは不明であるが、結晶化前後のpH変化や成長時の局所的なpH分布の違いが、異なる多形の形成に影響を与えている可能性がある。今後pHだけでなく、Ca^{2+}濃度などの定量化を行うことにより、より詳細な多形・形態の形成メカニズムの解明につながると考えられる。

キーワード：炭酸カルシウム、pH、可視化
Keywords: calcium carbonate, pH, visualization

魚類耳石の中心近傍に見られる特異な構造と化学組成

Unique structures and chemical compositions found around the center of fish otoliths

*髙橋 玄[1]、奥村 大河[1]、鈴木 道生[2]、小暮 敏博[1]
*Gen Takahashi[1], Taiga Okumura[1], Michio Suzuki [2], Toshihiro Kogure[1]

1. 東京大・院理、2. 東京大・院農
1. Univ. Tokyo Sci., 2. Univ. Tokyo Agri.

魚類の内耳中に形成される耳石は塊状の炭酸カルシウム（$CaCO_3$）でできており、体の傾き、加速度、音などを検知するセンサーとして使われる。一般的な硬骨魚類には礫石、扁平石、星状石と呼ばれる3種類の耳石があり、礫石と扁平石はaragonite、星状石はvateriteでできているが、これらの多形をどのように作り分けているかはわかっていない。本研究では魚類耳石における多形選択機構を解明するため、稚魚における形成初期の各耳石を採取し、結晶成長の起点となる耳石の中心近傍の構造や化学組成を主に透過電子顕微鏡によって明らかにした。 試料として金魚(*Carassius auratus*)の稚魚から直径20～50 μm程度の礫石、扁平石、星状石を採取し、集束イオンビーム装置によってその中心部を含む薄膜を作製し、透過電子顕微鏡によって観察した。その結果、礫石と扁平石の中心部では、複数の球状の物質が凝集した構造が見られた（図1、2）。制限視野電子回折ではこれらの球状の物質からは単結晶のcalciteで説明できるパターンが得られた。そしてその周囲から微細なaragonite結晶が放射状に成長していた。これに対して星状石の中心は密度の低い物質（おそらく有機物）と複雑に入り組んだほぼ単結晶のvateriteが見られ（図3）、その周囲に成長する結晶はこれと概ね同じ方位を持つvateriteのモザイク結晶となっていた。また、走査透過電子顕微鏡に装着したエネルギー分散型X線検出器によってこれらの耳石中心部の元素分布を調べた。C、O、Ca以外に礫石と扁平石では、球状の物質にMnが、その周囲にFが局在していた(図4、5)。一方で、星状石の中心付近ではMnは殆ど検出されず、Fのみが局在していた(図6)。このように耳石の中心近傍の構造や化学組成はaragoniteの礫石・扁平石とvateriteの星状石で全く異なっており、これらの多形の選択は結晶の起点となる物質の違いに起因する可能性が考えられる。

キーワード：バイオミネラリゼーション、炭酸カルシウム、vaterite、結晶多形、TEM
Keywords: biomineralization, calcium carbonate, vaterite, polymorph, TEM

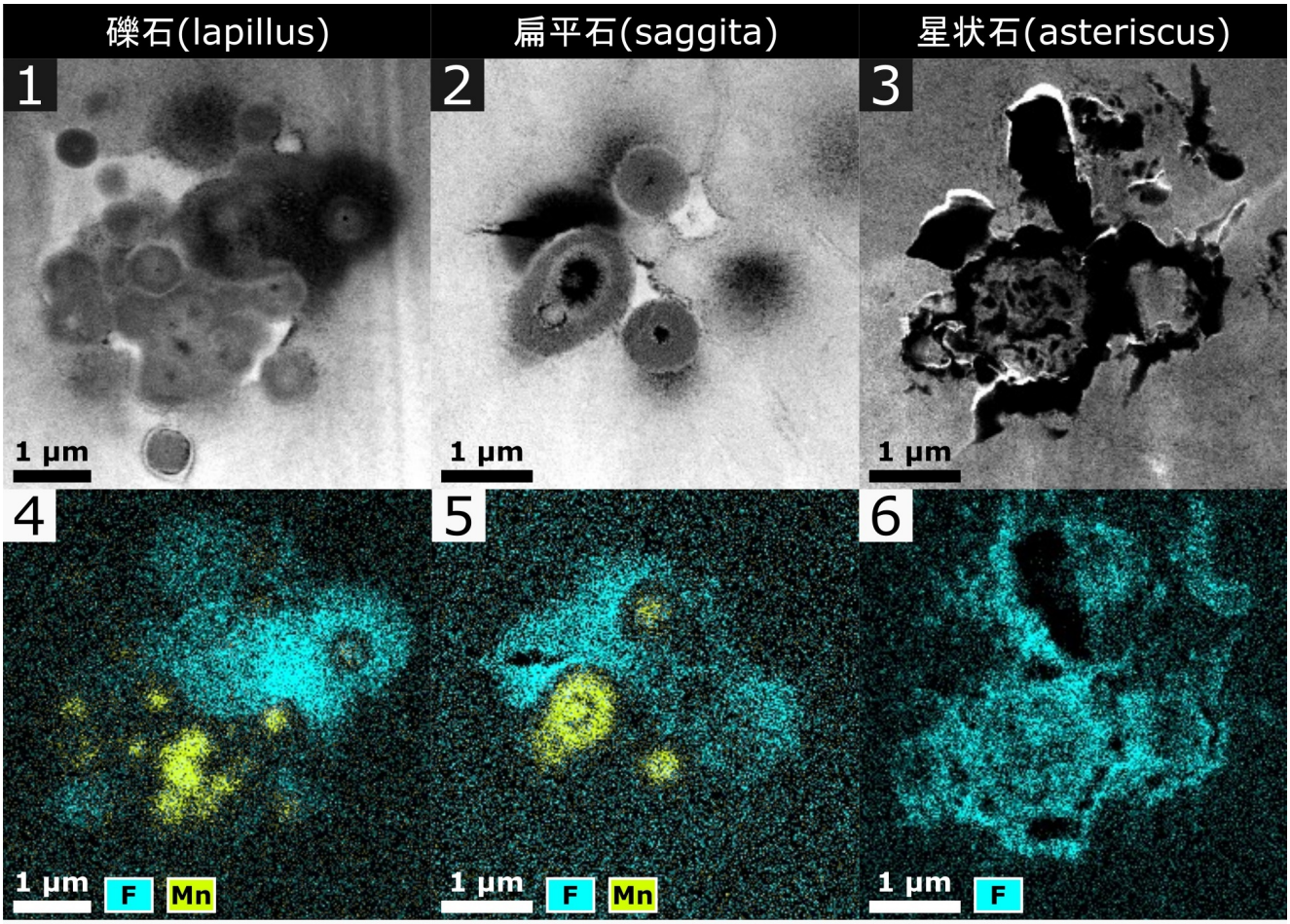


図. 各耳石の中心近傍の HAADF-STEM 像及び F と Mn の分布
Fig. HAADF-STEM image of the center of each otolith, and the distribution of F and Mn

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

石灰華上を覆うバイオマットの変色物質と要因の解明
~バイオマット中の鉱物晶出と酸化～

The color change materials and cause of the coloring of the microbial mats on the surface of the calcareous sinter and the color change materials
~Mineral crystallization and oxidation in microbial mats~

*鈴木 未希[1]、立岩 実久[2]、江島 輝美[3]、山崎 陽生[4]、南澤 比佳理[5]、堀田 将臣[5]、濱田 麻希[6]
*Miki Suzuki[1], Miku Tatuiwa[2], Terumi Ejima[3], Haruki Yamazaki[4], Hikari Minamisawa[5], Masaomi Horita[5], Maki Hamada[6]

1. 信州大・院理、2. 信州大・理、3. 信州大・理，産総研、4. 信州大・院理，産総研、5. 信州大・工、6. 金沢大
1. Shinshu Univ. Sci., 2. Shinshu Univ. Sci., 3. Shinshu Univ. Sci., GSJ, AIST, 4. Shinshu Univ. Sci., GSJ, AIST, 5. Shinshu Univ. Eng., 6. Kanazawa Univ.

【はじめに】

長野県安曇白骨温泉湧出地点周辺に分布する石灰華は，表面が透明のバイオマットに覆われており，採取から時間が経過すると，紫色，赤紫色および水色に表面が変色する。石灰華の表面が着色したバイオマットで覆われている例はあるが，緑色から黒色などが多い（伊藤他，2002）。バイオマットの着色要因については，白色，茶色および緑色について考察されており，その色の違いは，バイオマットを構成する微生物の種類，クロロフィルおよび微生物が作り出す硫黄，水酸化鉄，方解石などの生体鉱物を反映していると報告されている（大野他，2000）。しかし，本研究対象のような鮮やかな色や，透明のバイオマットに採取後に色がつく要因については報告例がなく，メカニズムも解明されていない。以上より，本研究対象であるバイオマットの変色物資と要因を明らかにすることは，着色要因である生体鉱物の形成メカニズムについて解明することにつながる。本研究対象である石灰華上のバイオマットを形成したバクテリアは，細胞の表面が典型的な陰イオンの性質をもつため，可用性の金属イオンを，生体鉱物として多量に吸着する能力もつ（田崎，1991）。そのため，バクテリアの生体鉱物形成メカニズムを解明することは，可用性のイオンの固定メカニズムの解明につながり，自然環境における元素循環を理解する上で重要である。

【目的】

本研究では，変色の経過観察，電界放出型電子線マイクロアナライザ（FE-EPMA）による有色部の組成分析および透過型電子顕微鏡（TEM）像観察と局所での組成分析を行うことで，変色物質の特定と，変色要因の解明を目的として研究を行った。

【結果】

本研究対象である変色した石灰華本体は白色から灰色を呈し，表面のバイオマットの一部が紫色，水色および赤紫色を呈している。各色の境界は不明瞭で，漸移的に変色している。実体顕微鏡観察下では，石灰華の粒状結晶の上に短径5 μm以下の繊維状の色のついたバイオマットが絡みついている様子が観察される。採取直後の石灰華を空気中と真空中に分けて保存し，経過観察を行った。採取直後の石灰華の表面に透明のバイオマットが観察される。空気中に保存した石灰華は約1ヶ月後に変色が始まり，バイオマットの色が徐々に濃くなっていく。透明のまま変色しないバイオマットも観察される。真空中に保存した石灰華は，空気中に保存した石灰華に比べて変色が遅く，約半年後に変色が始まる。

FE-EPMAを用いて，紫色，赤紫色，および水色のバイオマットの観察及び組成分析を行った。観察では，各色の形態的特徴に差異は無く，繊維状物質の中心に筒状の空洞が見られた。定性分析では，各色共通で石灰華（$CaCO_3$）の構成元素であるCaの他に，N，P，SおよびClが検出された。また、各色の遷移金属元素の種類お

よび強度比に違いが見られた。紫色および赤紫色のバイオマットはFeおよびMnを含み，両者はFeの強度比が異なる。水色のバイオマットはFe，Mnに加えTiを微量に含む 。

変色しなかった透明のバイオマットおよび変色した紫色のバイオマットから走査電子顕微鏡搭載集束イオンビーム加工装置（FIB-SEM）を用いて薄膜を切り出し，TEM像観察およびEDS分析による組成分析を行った。どちらのバイオマットも，主にC，N，O，SおよびClからなる有機物のマトリックスの中に，全体に散在する直径10 nm程度の微粒子が確認された。微粒子に構造は確認できなかった。透明のバイオマットの微粒子はSiおよびOにより構成され，一方紫色のバイオマットの微粒子はFeおよびPにより構成される。

【考察】

FE-EPMAの結果，バイオマットの色ごとに含まれる遷移金属元素の種類と強度比が異なることから，変色には遷移金属元素が関わる可能性が高い。TEMによる局所分析の結果，紫色のバイオマット中の微粒子の構成元素としてFeが検出された。この結果からバイオマットの変色物質は微粒子であると考察される。上記に加え，真空中に保存した試料では変色が遅かったことから，変色は遷移金属元素であるFeの酸化によるものである可能性が高いと考えた。FeとPを構成元素し，2価鉄が3価鉄に変化することで，色が透明から藍色～青緑色に変化する生体鉱物として，藍鉄鉱（$Fe_3(PO_4)_2 \cdot H_2O$）が知られており，本研究で確認した紫色のバイオマット中に存在するFeとPからなる微粒子は藍鉄鉱である可能性が考えられる。

キーワード：バイオマット、藍鉄鉱、白骨温泉
Keywords: biomats, vivianite, shirahone hot spring

モノハイドロカルサイトの変質過程におけるU(VI)の取り込み

U(VI) uptake during transformation of monohydrocalcite

*森田 祐未[1]、福士 圭介[2]、高橋 嘉夫[3]
*Yumi Morita[1], Keisuke Fukushi[2], Yoshio Takahashi[3]

1. 金沢大・院自然、2. 金沢大、3. 東京大
1. Kanazawa Univ. Sci, 2. Kanazawa Univ., 3. The University of Tokyo

ウラン(U(VI))はpHとCO分圧の変化により様々な化学形態をとり、低pH条件では陽イオン、高pH条件では陰イオンとしての挙動を示すという特徴がある。環境中に溶出する微量元素の濃度は鉱物表面への吸着によって制御され、吸着は主に鉱物表面の電荷に依存している。低pH条件では鉱物表面が正に帯電するため陰イオンが吸着し、高pH条件では表面が負に帯電するため陽イオンが吸着し易い傾向がある。有害とされる重金属元素は、一般的に比較的広範囲のpH条件で主に陽イオンとして存在し、溶液のpHを高く保つことで除去されている。一方で、U(VI)はpHが高くなることにより、化学種が陰イオンの形態へと変化する。したがって、高pH条件では負に帯電した鉱物表面とU(VI)の溶存種が反発し、環境中へのU(VI)の溶出が懸念される。

モノハイドロカルサイト(MHC；CaCO・HO)は、天然に存在する含水炭酸カルシウムである。MHCはカルサイトやアラゴナイトに対して準安定相であり、その不安定性から微量元素に対する反応性が高いことが指摘されている(Fukushi et al., 2011）。また、MHCは溶解と再沈殿によって安定相へと変質する(Munemoto and Fukushi, 2008)。このような変質過程において、MHCは表面電荷特性に依らず構造内にヒ素や鉛などの微量元素を取り込むことができる(Munemoto et al., 2014; Fukushi et al., 2016）。以上の性質により、MHCを溶液中に添加することにより自発的に有害元素の除去が進むため、MHCは高pH条件においてU(VI)の効果的な除去材料となることが期待される。

本研究では、MHCの懸濁液にU(VI)溶液を添加した系における鉱物組成とU(VI)濃度の時間変化を観察する取り込み実験を行い、変質する鉱物相の違いによるU(VI)の取り込み挙動の変化や取り込みメカニズムについて検討した。実験に用いたMHCは実験室で合成した。取り込み実験では、U(VI)濃度5μM、イオン強度0.01 M、固液比1 g/Lの初期反応溶液をそれぞれ50 ml調製した。この一連の実験に加え、Mg濃度1 mMとなるようにMgCl・6HO溶液を添加し、その他同様の溶液条件となるように実験を行った。

各反応時間のMHCの変質挙動とU(VI)の取り込み量を観察した結果、溶液中のMgの有無により、MHCが変質した際のU(VI)の除去率に有意な差が認められた。溶液中にMgを含む場合、MHCはアラゴナイトに変質し、U(VI)の除去率は上昇した。一方、Mgを含まない場合、MHCはカルサイトに変質し、U(VI)の除去率は低下した。このことから、アラゴナイトの生成はU(VI)を溶液から効果的に除去し、カルサイトの生成はU(VI)の除去に寄与しないことが示唆された。

本実験のpH条件(pH8.2~9.0)では[UO(CO)]が主要なU(VI)の溶存種であった。反応後の固体試料のX線吸収微細構造(XAFS)から、アラゴナイトの構造内に取り込まれたU(VI)は[UO(CO)]の赤道配位を維持しながら取り込まれていることが示唆された。一方、カルサイトの構造はU(VI)溶存種の配位環境を変化させる必要があることが報告されている(Reeder et al., 2000)。このことから、アラゴナイトへのU(VI)の取り込みは、溶存種との構造の類似性が寄与していると考えられる。したがって、アラゴナイト中のU(VI)は構造的に安定であるため、溶液中のU(VI)を効果的に除去していると推察される。

キーワード：モノハイドロカルサイト、ウラン、共沈
Keywords: monohydrocalcite, uranium, coprecipitation

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

福島第一原発由来CsMPのB同位体が示す制御棒の揮発

Volatilization of B_4C control rods in Fukushima Daiichi nuclear reactors during meltdown: B–Li isotopic signatures in cesium-rich microparticles

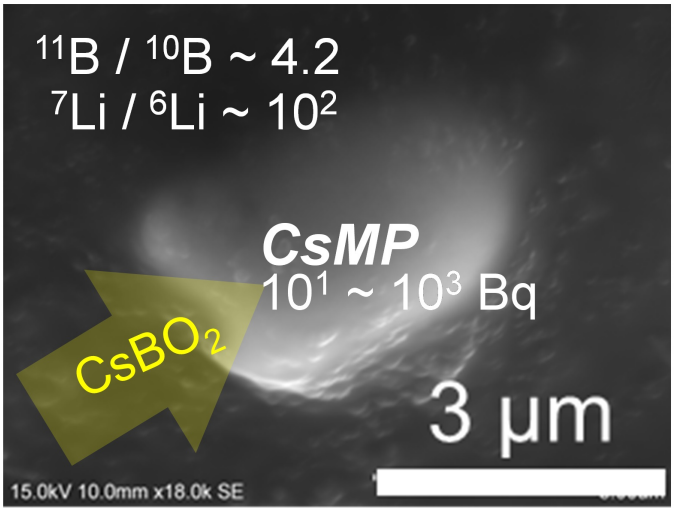
笛田 和希[1]、大貫 敏彦[7]、山崎 信哉[2]、堀江 憲路[3]、竹原 真美[3]、Law Gareth[6]、Grambow Bernd[5]、Ewing Rodney[4]、*宇都宮 聡[1]
Kazuki Fueda[1], Toshihiko Ohnuki[7], Shinya Yamasaki[2], Kenji Horie[3], Mami Takehara[3], Gareth Law[6], Bernd Grambow[5], Rodney C. Ewing[4], *Satoshi UTSUNOMIYA[1]

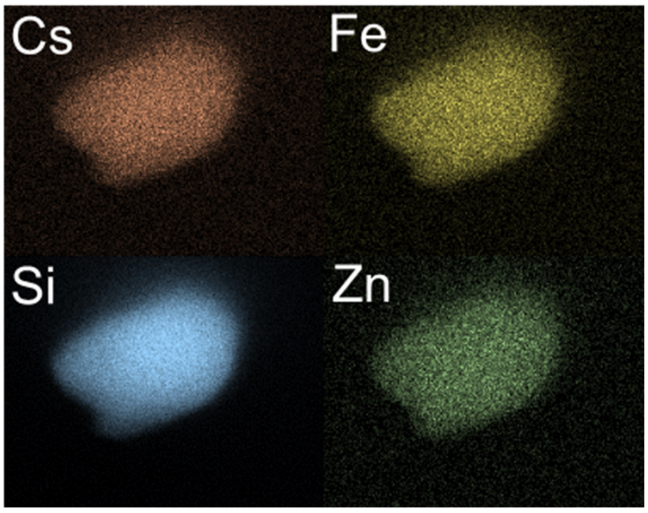
1. 九州大学、2. 筑波大、3. 極地研、4. Stanford Univ.、5. Univ. Nantes、6. Univ. Helsinki、7. 東工大
1. Kyushu University, 2. Tsukuba Univ., 3. NIPR, 4. Stanford Univ., 5. Univ. Nantes, 6. Univ. Helsinki, 7. TITECH

2011 年、福島第一原発炉内には、中性子を吸収して核分裂反応を制御していた制御棒（炭化ホウ素（B_4C）で構成される）も燃料デブリ中に残存し、核分裂の連鎖反応を防ぐ重要な要因になっている。一方でメルトダウン時には揮発したSiとCsが凝縮して原子炉内で大量のCsMPが生成し、環境中に放出された。本研究は４つのCsMPに含まれるホウ素同位体、^{10}Bと^{11}B、リチウム同位体、^{6}Liと^{7}Liを初めて定量することに成功し、$^{10+11}$Bは1518～6733 mg kg^{-1}、^{7}Liは11.99～1213 mg kg^{-1}含まれることを示した。CsMP中の^{11}B/^{10}B同位体比は4.15～4.21と分析され、天然存在比4.05よりも高くなった。また^{7}Li/^{6}Li同位体比も213～406と分析され、天然存在比12.5より高い。これはメルトダウン以前にB_4C制御棒の中で^{10}B(n,α)^{7}Li核反応が起きていた証拠であり、ケイ素やセシウムが揮発、凝縮してCsMPが生成する時にB_4C制御棒から揮発していたホウ素とリチウムが同時に取り込まれたことを示している。その時、BりもLiの方がより揮発して取り込まれたことも分かった。また、熱力学計算コードより、揮発したホウ素の主要な化学形態が$CsBO_2$であることも示唆された。一方でCsMPのホウ素含有量に基づき、CsMPの飛散量（>3×10^{12}個）から原発から外部に放出されたホウ素量を計算すると0.024 g程度、放射性核種を大量に含んだ2011年3月14～16日頃に放出された大気流（プルーム2と3）のほとんどがCsMPだったと仮定しても放出されたホウ素量は62 gと計算される。これから、原子炉内にはB_4Cが十分な量残留していることが分かるが、揮発したホウ素は原子炉内部、周辺で容易に凝縮、沈積する性質があるため、デブリ内部と周囲における不均一なホウ素分布に注意しながらデブリの取り出し方法を選定し、安全に遂行する必要があるだろう。

キーワード：福島第一原発、高濃度Cs含有微粒子、ボロン同位体、制御棒、二次イオン質量分析計
Keywords: Fukushima Daiichi, Cesium-rich microparticles (CsMPs), Boron isotope, Control rod, Secondary ion mass spectrometry

@Japan Association of Mineralogical Sciences.





@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演

R4：地球表層・環境・生命

座長:宇都宮 聡(九州大学)、横山 正(広島大学)、川野 潤(北海道大学)

2023年9月15日(金) 09:00 〜 11:30 822 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

2023年9月15日(金) 12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

12:00 ~ 14:00

[S2P-01] 弾性波速度と比抵抗のジョイントモデルに基づく海洋地殻でのクラックや水質変成の変遷

*片山 郁夫[1]、谷本 和優[1]、赤松 祐哉[2] (1. 広島大学、2. 海洋研究開発機構)

12:00 ~ 14:00

[S2P-02] 愛媛県四国中央市浦山川に産するリスウェナイト及び蛇紋岩

*高垣 光[1]、白勢 洋平[1] (1. 愛媛大・理)

12:00 ~ 14:00

[S2P-03] 愛媛県西部、頃時鼻超苦鉄質岩体の蛇紋岩類

「発表賞エントリー」

*城口 結衣[1]、延寿 里美[1] (1. 愛媛大・院理工)

12:00 ~ 14:00

[S2P-04] マントルウェッジ起源超苦鉄質岩中の輝石仮像組織と化学組成

*和仁 拓望[1]、市山 祐司[1]、森下 知晃[2]、田村 明弘[2] (1. 千葉大学、2. 金沢大学)

12:00 ~ 14:00

[S2P-05] オマーンオフィオライトと西アルプスシュナイエ・ラゴネロオフィオライト蛇紋岩の多世代の炭酸塩脈中の流体包有物が記録する熱水流体

「発表賞エントリー」

*犬飼 知宏[1]、川本 竜彦[1]、影田 樹哉[1]、田阪 美樹[1]、谷内 元[2]、Kenneth Koga[3]、Estelle Rose-Koga[3]、Christian Nicollet[4]、Baptiste Debret[5]、Marguerite Godard[6] (1. 静岡大学、2. 産業技術総合研究所、3. オルレアン大学・CNRS、4. クレルモン・オーベルニュ大学・CNRS、5. パリ地球物理学研究所・CNRS、6. モンペリエ2大学・CNRS)

12:00 ~ 14:00

[S2P-06] 東南極セール・ロンダーネ山地メーニパに産する含V緑色グロッシュラーに伴う石墨の炭素同位体組成とCOH流体の起源

*河上 哲生[1]、足立 達朗[3]、M Satish-Kumar[2]、東野 文子[1]、宇野 正起[4] (1. 京都大・院理、2. 新潟大・院自然、3. 九州大・院比文、4. 東北大・院環境)

弾性波速度と比抵抗のジョイントモデルに基づく海洋地殻でのクラックや水質変成の変遷

Crack and alteration changes in oceanic crust inferred from joint model of elastic-wave velocity and electrical resistivity

*片山 郁夫[1]、谷本 和優[1]、赤松 祐哉[2]
*Ikuo KATAYAMA[1], Kazumasa Tanimoto[1], Yuya Akamatsu[2]

1. 広島大学、2. 海洋研究開発機構
1. Hiroshima University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

地震波速度や電気比抵抗は岩石中のクラックの存在に敏感なのに加え，岩石の水質変成にも影響を受ける。我々のグループでは，実験室で地震波速度と電気比抵抗の同時測定を実施し，それらのジョイントモデルを弾性有効媒質理論とパーコレーション理論を組み合わせることで提案している（Akamatsu et al. 2023 JGR）。本研究では，オマーンオフィオライトの苦鉄質岩の弾性波速度と電気比抵抗の同時測定を静水圧下で200MPa（地殻深部圧力に相当）まで行い，本モデルの妥当性を検証したのでその結果を報告する。また，弾性波速度と比抵抗のジョイントモデルをHole 504Bの掘削データに適応し，海洋地殻内でのクラックの変化に加え水質変成の影響についても考察した。コスタリカ海嶺近傍で実施されたHole 504Bでは海底下1.8kmまで掘削され，深さとともに地震波速度が連続的に増加し，約1.2kmでその増加率が低下しほぼ横ばいとなる。地殻内の1.2km以浅の地震波速度が急激に増加する領域はLayer2に相当し，1.2km以深の速度変化が緩やかになった領域がLayer3に相当すると考えられている。一方，電気比抵抗はLayer2に位置する深さ0.6kmあたりから急激に増加し，1.2km以深ではほぼ一定となる。このような地震波速度と電気比抵抗の深さ変化の違いは，クラックの分布だけでは説明がつかない。地震波速度はクラックの密度や変質の程度に敏感であるのに対し，電気比抵抗はクラックの連結性に敏感な特徴を持つ。ジョイントモデルを適応すると，クラック密度は深さとともに連続的に低下するのに対し，クラックの連結性は深さ0.6kmあたりで急激に低下することが示唆される。また，地震波速度は岩石の水質変成にも影響を受けることを考慮し，モデルインバージョンからクラック密度と連結性に加え水質変成の程度を推定すると，浅部では著しく水質変成を被っているのに対し，深さ0.8kmあたりから変質の程度は急激に下がることが推察される。これはクラックの連結度が低下することで流体移動のフラックスが限定的になることと関係していると考えられる。

キーワード：地震波速度、電気比抵抗、海洋地殻
Keywords: Seismic velocity, Electrical resistivity, Oceanic crust

愛媛県四国中央市浦山川に産するリスウェナイト及び蛇紋岩

Listvenite and serpentinite from Urayama River, Shikokuchuo City, Ehime Prefecture, Japan

*高垣 光[1]、白勢 洋平[1]
*Hikaru Takagaki[1], Yohei Shirose[1]

1. 愛媛大・理
1. Ehime Univ. Sci.

【はじめに】 リスウェナイトは蛇紋岩などの超苦鉄質岩及び苦鉄質岩の変質によって形成され，苦灰石や菱苦土石などの炭酸塩鉱物や石英を主とし，含クロム白雲母や硫化鉱物を伴うことを特徴とする緑色の岩石である。またリスウェナイトは剪断帯の中や近くに位置することが多い（Hall and Zhao, 1995）。日本では四国の中央構造線の活動に伴う剪断帯及び三波川帯の変成岩中から，蛇紋岩および泥質片岩が原岩と考えられるリスウェナイトなどが報告されている（皆川ほか，2008；白勢ほか，2022）。本研究では愛媛県四国中央市浦山川の中央構造線の活動に伴う剪断帯より，蛇紋岩や泥質片岩が起源のリスウェナイト及び塊状の変質した蛇紋岩を見出したのでそれらの産状と鉱物学的な特徴，成因について報告する。

【産状・試料】 中央構造線付近の浦山川には三波川変成帯に属する泥質片岩の剪断帯が分布している。剪断帯中に幅20 cm - 2 m程度の特徴の異なる3タイプの緑色の層状～塊状のリスウェナイトが共に産する。それぞれのリスウェナイトは下流から淡緑色で脆く片状，濃緑色で硬く塊状，青緑色で硬く塊状である (Figure)。いずれも緑色部には数mmの針ニッケル鉱などの硫化鉱物が含まれる。また青緑色の硬く塊状のリスウェナイトに伴って2 m程度の塊状の暗緑色の蛇紋岩が産する。 【実験手法】 観察，分析にはJEOL製走査型電子顕微鏡（SEM）JSM-6510LV及びRIGAKU製粉末X線回折装置Ultima IVを用いた。

【結果・考察】 分析の結果， ３タイプのリスウェナイトはいずれも石英，菱苦土石，苦灰石を主とし，淡緑色片状リスウェナイトでは菱鉄鉱，含クロムカオリナイト，濃緑色塊状リスウェナイトではクロム鉄鉱，細粒の含クロム白雲母，青緑色塊状リスウェナイトでは菱鉄鉱，細粒の含クロムモンモリロナイトを含む。また，微量の針ニッケル鉱，ゲルスドルフ鉱，黄鉄鉱，輝コバルト鉱，チタン酸化物，ビオラル鉱が含まれる。淡緑色片状リスウェナイトは石英と菱苦土石，苦灰石による脈状の組織，濃緑色塊状リスウェナイトでは苦灰石脈，青緑色塊状リスウェナイトでは菱苦土石と苦灰石からなる炭酸塩脈が石英や菱苦土石を切るような組織が観察された。淡緑色片状リスウェナイト中の菱苦土石はコアとリムとで鉄の含有量に大きく差があり，コアでは0.09-0.12（*apfu*），リムでは0.40-0.45（*apfu*）となり，リム部ではFe^{2}によるMgの置換が顕著である。淡緑色片状リスウェナイトの肉眼にて緑色が認められる部分では菱苦土石と苦灰石中に50～500 μmの含クロムカオリナイトが脈状に含まれる。濃緑色塊状リスウェナイトでは緑色部はブロック状で，細粒の石英の集合からなり，25 μm程度の含クロム白雲母が含まれる。青緑色塊状リスウェナイトは試料全体が緑色を呈しており，細粒の石英中に5 μm程度の含クロムモンモリロナイトが含まれる。 塊状蛇紋岩はアンチゴライト，菱苦土石，苦灰石，石英を主とし，クロム鉄鉱，輝コバルト鉱，針ニッケル鉱，紅砒ニッケル鉱，ゲルスドルフ鉱を含む。またSEM観察の結果，アンチゴライトの化学組成は鉄を多く含み，0.26-0.31（*apfu*）となる。苦灰石付近のアンチゴライト短冊状結晶は周縁部が菱苦土石に置換されていた。 塊状蛇紋岩と濃緑色塊状リスウェナイトではクロム鉄鉱が含まれ，共にコアとリムとで組成差を有する。塊状蛇紋岩のクロム鉄鉱のコアでは$Mg = 0.13\text{-}0.18$，$Al = 0.70\text{-}0.74$，$Fe^{3} = 0.14\text{-}0.18$（*apfu*）,リムでは$Mg = 0.02\text{-}0.03$，$Al = 0.15\text{-}0.26$，$Fe^{3} = 0.71\text{-}0.78$（*apfu*）となる。濃緑色塊状リスウェナイトのクロム鉄鉱のコアでは$Mg = 0.09\text{-}0.29$，$Al = 0.73\text{-}0.79$，$Fe^{3} = 0.15\text{-}0.23$（*apfu*），リムでは$Mg = 0.02\text{-}0.03$，$Al = 0.15\text{-}0.26$，$Fe^{3} = 0.63\text{-}0.81$（*apfu*）となる。リムはコアと比較するとMgとAlが少なく，Fe^{3}が多い。またリムはコアと比較すると， Tiがわずかに増加する。 浦山川の3タイプのリスウェナイトはCa，COに富む流体との反応によって形成され，蛇紋岩のリスウェナイト化に伴い，Mg，Siに富む流体へと流体の組成が変化したと考えられる。クロ

ムを含む粘土鉱物の種類がいずれも異なり，変質した環境や時期が異なることが考えられる。また濃緑色塊状リスウェナイトと塊状蛇紋岩はいずれもクロム鉄鉱を含み，類似の化学組成と組織を有するため，起源を同じとする蛇紋岩が完全にリスウェナイト化したものとほとんど未変質の蛇紋岩が共に産していると考えられる。

キーワード：リスウェナイト、蛇紋岩、アンチゴライト、浦山川、クロム鉄鉱
Keywords: listvenite, serpentinite, antigorite, Urayama River, chromite

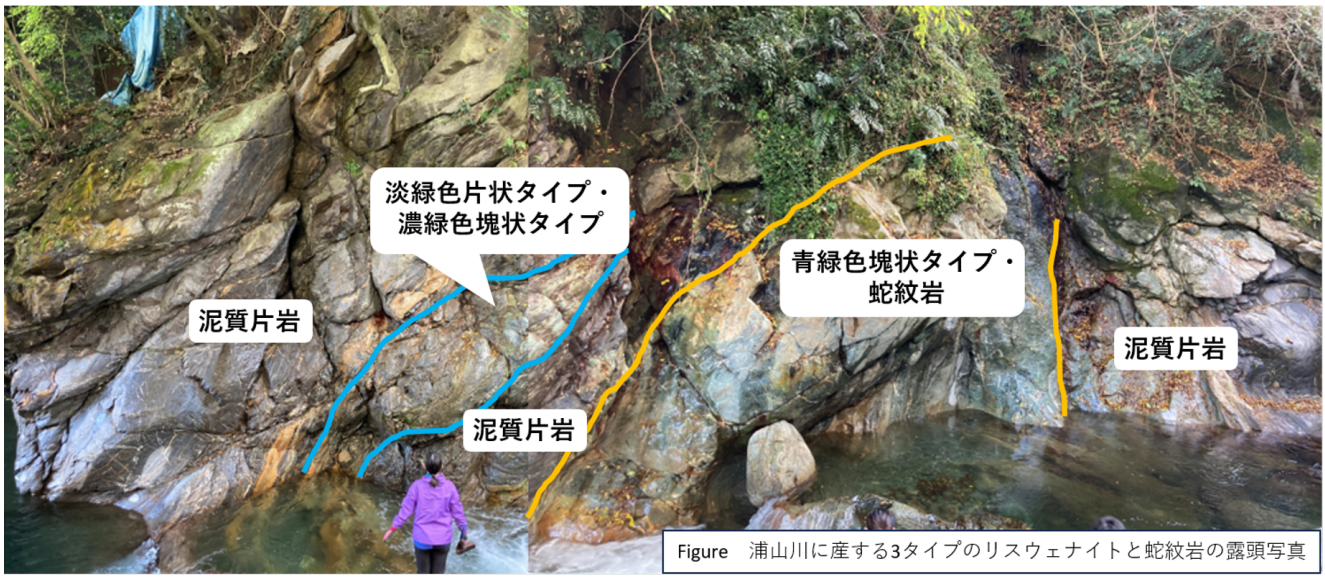


Figure　浦山川に産する3タイプのリスウェナイトと蛇紋岩の露頭写真

愛媛県西部、頃時鼻超苦鉄質岩体の蛇紋岩類

Serpentinites from the Udonohana ultramafic body, Western Ehime Prefecture, Japan.

*城口 結衣[1]、延寿 里美[1]
*Yui Joguchi[1], Satomi Enju[1]

1. 愛媛大・院理工
1. Ehime Univ. Sci. & Eng.

【はじめに】

蛇紋岩は超苦鉄質岩であるかんらん岩や輝岩が熱水変質をうけることで形成され，主にプレートの沈み込み帯や海嶺，海洋底に分布している．また蛇紋岩化作用に伴う反応として，蛇紋岩化過程を経験した熱水が斑レイ岩や玄武岩と反応することでロジン岩，CO流体との反応にて炭酸塩鉱物が形成される．

愛媛県八幡浜市の三瓶超苦鉄質岩体は東部の鴫山超苦鉄質岩体と西部の頃時鼻超苦鉄質岩体から構成され，島弧環境下で生成された様々な枯渇度を持つマグマから形成されたキュームレートの一部であったと考えられている(Ichiyama 2015)．鴫山超苦鉄質岩体はダナイトやウェールライト，輝岩，頃時鼻超苦鉄質岩体はダナイトやウェールライト起源の蛇紋岩から構成される．頃時鼻超苦鉄質岩体は蛇紋岩化した後，400～500℃で脱水したといわれているが蛇紋岩化の過程やその多様性については明らかになっていない．本調査地域である頃時鼻海岸では頃時鼻超苦鉄質岩体と隣接する北部秩父帯の連続した露頭が見られ，蛇紋岩が広く分布している．本研究では蛇紋岩の多様性を明らかにし，それらの形成過程について考察を行う．

【研究手法】

調査地域における22地点で野外調査と観察できた岩相ごとに55サンプルの採取を行った．RIGAKU製Ultima Ⅳを使用して粉末X線回折実験(XRD)と，偏光顕微鏡にて組織観察を行った．また代表的な蛇紋岩の試料に関してはOxford製エネルギー分散型X線分析装置EDSを装着したJEOL製 走査型顕微鏡(SEM)JSM-6510LVを用いて分析を行った．

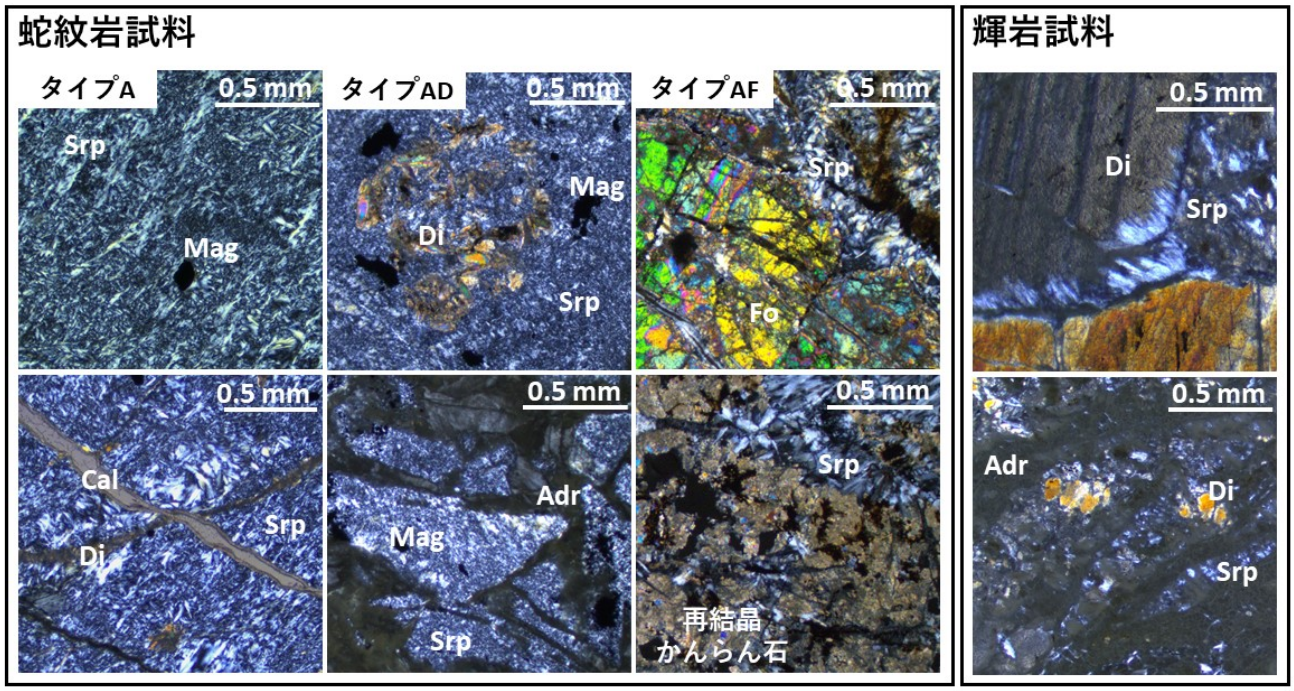
【結果・考察】

本調査地域では蛇紋岩が最も多く見られ，輝岩，ロジン岩，緑色片岩が共存している．蛇紋岩は片状と塊状のものが見られ，透輝石脈，灰鉄ザクロ石脈，炭酸塩鉱物脈，クロム鉄鉱脈を含む．輝岩は塊状～片状を呈しており，断面では粗粒な結晶の劈開が発達していた．輝岩の一部に灰鉄ザクロ石脈を含んでいた．蛇紋岩や透輝石脈は比較的全域に分布しているが，ロジン岩や緑色片岩，灰鉄ザクロ石脈は北部，輝岩，炭酸塩鉱物脈やクロム鉄鉱脈は南部で特に多く見られた．蛇紋岩試料を蛇紋石・苦土かんらん石・透輝石の含有量から３タイプに分類した．いずれのタイプでも蛇紋石のほとんどはアンチゴライトであり，一部の試料でクリノクリソタイルが見られた．タイプAは主にアンチゴライトから構成され，苦土かんらん石や透輝石を含まない．アンチゴライトは主に短冊状結晶として産し，タイプAのものが他の２タイプに比べ粗粒であった(図)．タイプADは主にアンチゴライトと少量の透輝石から構成される．透輝石は0.5mm~1.0mmの粗粒な結晶として産する．タイプADと輝岩は透輝石と蛇紋石の量比で区別しているが，両者の間には大きなギャップがあり中間的なものは見られなかった．タイプAFは主にアンチゴライトと苦土かんらん石から構成され，一部の試料は少量の透輝石を含む．苦土かんらん石は0.2mm~0.6mmの粗粒な結晶と細粒な再結晶かんらん石が見られた．本調査地域ではタイプA，タイプADは普遍的に分布しており，タイプAFは南部に分布していた．蛇紋岩はタイプごとに蛇紋石のFeの含有量や磁鉄鉱・クロム鉄鉱のコア部分のCrやAlの含有量に差が見られ，タイプAF，タイプAD，タイプAの順に蛇紋石中のFeが増加していた(0.03-0.06 *apfu*, 0.08-0.12 *apfu*, 0.22-0.28 *apfu*)．透輝石脈，炭酸塩鉱物脈は全てのタイプの蛇紋岩で観察され，灰鉄ザクロ石脈はタイプAとタイプAD，一部の輝岩，クロム鉄鉱脈はタイプAFでのみ見られた．透輝石脈と炭酸塩鉱物脈は比較的直線的な亀裂を充填するような産状を示したが，灰鉄ザクロ石脈は破砕された蛇紋岩の角礫の間を埋めるような産状であった．一部の試料

にて炭酸塩鉱物脈が透輝石脈や灰鉄ザクロ石脈を切っている様子が見られた．

タイプごとの蛇紋石の割合やその化学組成の傾向からタイプAFが最も変質の程度が弱く，タイプAとタイプADは強い変質を受けていると考えられる．タイプADと輝岩の蛇紋石の割合に大きなギャップがあることからタイプADは輝岩ではなくタイプAFのうち少量の透輝石を含むものが変質して形成された可能性が高い．これらのことから，調査地域における蛇紋岩と輝岩の原岩はダナイト～ダナイトよりのウェールライトと単斜輝石岩であり，透輝石よりも苦土かんらん石の方が優先的に蛇紋石へと変化したと考えられる．また脈の前後関係を示す組織などから，超苦鉄質岩が蛇紋岩化作用を受けたのちにCaに富む(あるいはロジン岩のようにCaの活動度が高い)流体によって透輝石脈，灰鉄ザクロ石脈が形成され，その後，COに富む流体によって炭酸塩鉱物脈が形成されたと考えられる．

キーワード：蛇紋岩、超苦鉄質岩
Keywords: serpentinite, ultramafic rocks



図：蛇紋岩と輝岩の偏光顕微鏡写真(クロスニコル)
Srp:蛇紋石Mag:磁鉄鉱Fo:苦土かんらん石Di:透輝石Adr:灰鉄ザクロ石Cal:方解石

マントルウェッジ起源超苦鉄質岩中の輝石仮像組織と化学組成

Texture and chemical composition of pyroxene pseudomorphs in ultramafic rocks derived from mantle wedges

*和仁 拓望[1]、市山 祐司[1]、森下 知晃[2]、田村 明弘[2]
*Takumi Wani[1], Yuji Ichiyama[1], Tomoaki Morishita[2], Akihiro Tamura[2]

1. 千葉大学、2. 金沢大学
1. Chiba University, 2. Kanazawa University

マントルウェッジでは，スラブ起源流体の浸透とそれによる交代作用によって含水鉱物が形成され，Ca，Na，Kなどの流体移動元素がマントルウェッジ中に固定されると考えられる．含水鉱物のうち金雲母と角閃石は，アルカリ元素の貯蔵庫として，島弧のマグマ組成変化に関与するなど(Tatsumi, 1989)，沈み込み帯における元素移動・元素循環を解明する上で重要な含水鉱物である．キンバーライトに捕獲されたかんらん岩中には，メルトや流体による交代作用によって金雲母やKリヒター閃石が形成され（例えば，Aoki, 1975; Kargin et al., 2019），幌満岩体やフィネロ岩体のようなアルプス型かんらん岩体からも，メルト/流体の交代作用によって金雲母が形成される（例えば，Zanetti et al., 1998; Arai and Takahashi, 1989）．また，早池峰・宮守オフィオライトからはメルト由来のKに富むホルンブレンドや金雲母(Ozawa, 1988)が含まれ，大江山オフィオライトのNaに富むトレモラ閃石はマントルウェッジにおけるNa，K交代作用を示唆する(町・石渡, 2010)． 関東山地山中地溝帯には，黒瀬川帯相当の蛇紋岩が分布しており，古生代のマントルウェッジに由来すると考えられる（荒井・久田, 1991）．関東山地黒瀬川帯に産する蛇紋岩中には，金雲母と角閃石等で置き換えられた輝石仮像が含まれ，スラブ由来のH_2O流体による交代作用によって形成されたことが示唆される．本研究では，この黒瀬川帯蛇紋岩中の輝石の交代組織に着目し，古生代沈み込み帯マントルウェッジの交代作用について考察する． 関東山地では，山中地溝帯の白亜紀堆積物の分布域に黒瀬川帯相当の小規模な超苦鉄質岩が存在する．超苦鉄質岩類はハルツバージャイト，ダナイト，単斜輝岩で，ダナイトと単斜輝岩はクロミタイト鉱床を伴って空間的に隣接して産する．いずれも様々な程度に蛇紋岩化し，蛇紋石鉱物としてアンチゴライトが卓越する．主要な変成鉱物はハルツバージャイト中の初生単斜輝石を置換するCa角閃石と初生直方輝石を置換するNaCa角閃石，金雲母，変成単斜輝石，変成かんらん石，アンチゴライトである．さらにモンチセリ石がアンチゴライトとともに初生/変成かんらん石を置き換えて形成される．輝石仮像中の金雲母とNaCa角閃石は高温蛇紋岩化に特徴的なアンチゴライト＋鉄に富む変成かんらん石という鉱物組み合わせを伴うことから，500～600℃程度で後退変成作用によって形成されたと考えられる． ハルツバージャイトとダナイト中の初生かんらん石は，Mg#=0.89～0.92，NiO=0.33～0.51wt%とマントルかんらん石組成を示し，クロムスピネルのTiO_2量はハルツバージャイトで0.04～0.38 wt%，ダナイトで0.10～0.43 wt%，Cr#（＝Cr/〔Cr＋Al〕）はハルツバージャイトで0.36～0.66 wt%，ダナイトで0.54～0.85 wt%を示す．輝石仮像内の鉱物のモードから計算した仮像の全体組成は初生直方輝石と比べSiO_2，MgOに乏しく，CaO，Na_2O，K_2Oに富む．ハルツバージャイト中の単斜輝石の微量元素パターンは，軽希土類元素に富み，Nb やTiの負異常とCs，Rb，Baの正異常を示す．直方輝石は，Nbの負異常とCs，Pb，Srに正異常を示す微量元素パターンを示す．直方輝石仮像の微量元素パターンは直方輝石と比べ，同程度の重希土類元素濃度に対し，軽希土類元素（Laで10倍）とCs，Rb，Ba（それぞれ100倍）に著しく富む．金雲母の微量元素はフィネロかんらん岩体のメルト起源の金雲母と比べTiに著しく枯渇し，Csに富むことからH_2O流体による交代作用が示唆される．直方輝石を交代する類似の仮像組織は神居古潭帯鷹泊岩体とマリアナ弧コニカル海山に産する超苦鉄質岩からも確認される．構成鉱物はそれぞれNaCa角閃石(＋金雲母)＋変成単斜輝石＋変成かんらん石＋アンチゴライトと，NaCa角閃石＋Kに富むNaCa角閃石＋変成単斜輝石＋タルク＋アンチゴライトである．仮像鉱物のモード比から計算した仮像全体組成を比較すると，神居古潭帯は黒瀬川帯と比べCaO，K_2Oに乏しくNa_2Oに富み，コニカル海山はCaO，K_2Oに乏しい．ハルツバージャイトとダナイト中にモンチセリ石が形成されることからも

黒瀬川帯の超苦鉄質岩に流入した流体は他地域と比べCa，Kに富むことが示唆される．このようなマントルウェッジ起源超苦鉄質岩中の異なる輝石の仮像鉱物は，スラブ脱水流体組成の違いに起因すると考えられる．黒瀬川帯の超苦鉄質岩には，Kに富むスラブ脱水流体が流入したと考えられ，このKに富む流体は，変堆積岩に含まれる雲母の分解反応に関連して形成された可能性がある．

キーワード：黒瀬川帯、マントルウェッジ、輝石仮像、リヒター閃石
Keywords: Kurosegawa Belt, Mantle wedge , Pyroxene pseudomorph, Richiterite

オマーンオフィオライトと西アルプスシュナイエ・ラゴネロオフィオライト蛇紋岩の多世代の炭酸塩脈中の流体包有物が記録する熱水流体

Fluid inclusions of multi-generational carbonated veins in serpentinite at Chenaillet ophiolite and Lago Nero ophiolite, Western Alps, and Oman ophiolite

*犬飼 知宏[1]、川本 竜彦[1]、影田 樹哉[1]、田阪 美樹[1]、谷内 元[2]、Kenneth Koga[3]、Estelle Rose-Koga[3]、Christian Nicollet[4]、Baptiste Debret[5]、Marguerite Godard[6]
*Tomohiro INUKAI[1], Tatsuhiko Kawamoto[1], Mikiya Kageta[1], Miki Tasaka[1], Hajime Taniuchi[2], Kenneth Koga[3], Estelle Rose-Koga[3], Christian Nicollet[4], Baptiste Debret[5], Marguerite Godard[6]

1. 静岡大学、2. 産業技術総合研究所、3. オルレアン大学・CNRS、4. クレルモン・オーベルニュ大学・CNRS、5. パリ地球物理学研究所・CNRS、6. モンペリエ2大学・CNRS
1. Shizuoka University, 2. AIST, 3. Université Orléans, CNRS, 4. Université Clermont Auvergne, CNRS, 5. Institut de physique du globe de Paris, CNRS, 6. Université Montpellier 2, CNRS

炭酸塩鉱物は超苦鉄質岩がCOH流体と反応する際に結晶化する。そのため超苦鉄質岩は炭素の最も重要なリザーバーの一つであり、地球規模の炭素循環に大きな影響を与えている。浅部マントルウェッジの炭酸塩化はスロースリップ現象の原因とも考えられており、炭酸塩化の条件と流体の移動性は関心を集めている（Okamoto et al., 2021）。蛇紋岩化と炭酸塩化は、海洋底熱水循環（Kelly et al., 2001）、沈み込み帯（Beinlich et al., 2020）、陸上での風化（Kelemen et al., 2011）など、様々な環境で起こる。異なる環境で形成された炭酸塩化蛇紋岩（オフィカーボネート）は、海洋リソスフェアの残骸であるオフィオライトに露出している。高速拡大海嶺で形成された海洋リソスフェアはペンローズ型の層状構造をとるが (Anonymous, 1972)、低速拡大海嶺で形成された海洋リソスフェアは斑レイ岩やマントルが海洋底に露出する海洋コアコンプレックスを形成する (Cann et al., 1997; Ohara et al., 2001)。海洋底熱水循環と沈み込み帯での超苦鉄質岩の炭酸塩化反応に違いがあるかもしれない。本講演では高速拡大海嶺で形成されたオマーンオフィオライトと低速拡大海嶺で形成された西アルプスのシェナイエオフィオライトとラゴネロオフィオライトに露出するオフィカーボネートに見られる多世代の炭酸塩脈中の流体包有物の分析結果を報告する。

オマーンオフィオライトのオフィカーボネートは炭酸塩の微量成分元素や酸素・炭素同位体比より海洋底(Type 1)、衝上中(Type 2)、衝上後(Type 3)の異なる環境で形成された炭酸塩脈が蛇紋岩に貫入したと提案されている(Noël et al., 2018)。一方西アルプスのシュナイエオフィオライトのオフィカーボネートは角礫化した蛇紋岩を炭酸塩鉱物が埋める構造をしており、炭酸塩鉱物の大きな結晶や炭酸塩脈が一部の蛇紋岩の角礫中に形成されている(Lafay et al., 2017)。角礫中の炭酸塩結晶（炭酸塩コア）と炭酸塩脈はデタッチメント断層に沿ってマントルが海洋底へ露出する過程で形成され、露出後に海洋底熱水循環によってマトリックス炭酸塩が形成されたと提案されている (Lafay et al., 2017)。ラゴネロオフィオライトのオフィカーボネートは枝状に分岐する炭酸塩脈が蛇紋岩に貫入した構造をしており、沈み込み時の変成を受けている。各炭酸塩脈中の流体包有物のマイクロサーモメトリーの結果は表、図a-lのとおりである。これらの炭酸塩脈中の流体包有物の塩濃度の結果から炭酸塩化を引き起こす流体を分類した。

(i)オマーンオフィオライトのType 1炭酸塩脈とシュナイエオフィオライトのマトリックス炭酸塩中の流体包有物は0-11 wt.% NaCl eq.の幅広い塩濃度をとる(図 a, i)。これは海水が沸騰して分離した水と水蒸気の混合を示唆しており(Kelly & Delaney, 1987)、海洋底の熱水循環によって形成されたという推定と整合的である(Noël et al., 2018; Lafay et al., 2017)。

(ii)オマーンオフィオライトのType 2炭酸塩脈中の大きなカルサイト中の流体包有物のほとんどが0-1 wt.% NaCl eq.の真水に近い塩濃度をとる(図 c)。これは天水の浸透によって形成されたと考えられる。しかし、間

を埋める微小なドロマイトに接している大きなカルサイトの中には4 wt.% NaCl eq.を超える流体包有物もあり、天水の浸透後に沈み込み帯流体が混合した可能性がある。Type 2 炭酸塩脈の微小ドロマイト中にも0-1 wt.% NaCleq.の流体包有物と3.5 wt.% NaCl eq.を超える流体包有物が観察され(図 e)、前者は天水、後者は沈み込み帯流体由来であると考えられる。

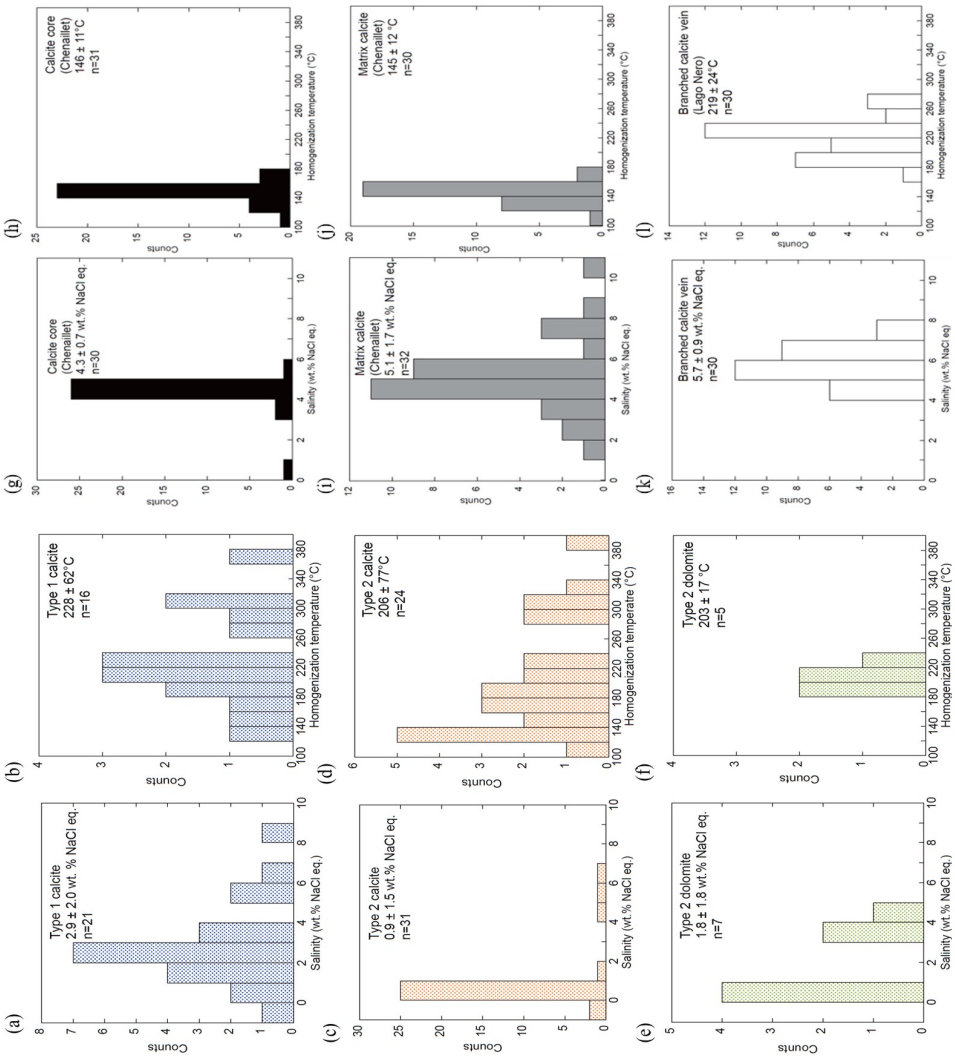
(iii)シュナイエオフィオライトの炭酸塩コア、ラゴネロオフィオライトの枝状炭酸塩脈には4-6 wt.% NaCl eq.の塩濃度の流体包有物が見られる(図 g, k)。これは塩素を含まない蛇紋岩が海水（3.5 wt.% NaCL eq.）を吸収することによって、相対的に塩濃度が高くなった流体が炭酸塩鉱物を形成したと考えられる（Debure et al., 2019）。このプロセスは、沈み込み帯流体の多くが5 wt.% NaCl eq.を持つことと関連しているかもしれない（Kawamoto et al. 2018; Joachim-Mrosko et al., 2022）。

なお、オマーンオフィオライトの炭酸塩脈は10-100℃の低温で形成されたと提案されているが(Noël et al., 2018)、流体包有物の均質化温度はそれよりも高温を示した(図 b, d, f)。そのため海洋底での熱水環境で形成されたことを提案する。

キーワード：オフィカーボネート、流体包有物、塩濃度、均質化温度、熱水流体
Keywords: ophicarbonate, fluid inclusion, salinity, homogenization temperature, hydrothermal fluid

	Type 1 炭酸塩脈 (Oman)	Type 2 カルサイト (Oman)	Type 2 ドロマイト (Oman)	炭酸塩コア (Chenaillet)	マトリックス炭酸塩 (Chenaillet)	枝状炭酸塩脈 (Lago Nero)
塩濃度 (wt.% NaCl eq.)	2.9 ± 2.0	0.9 ± 1.5	1.8 ± 1.8	4.3 ± 0.7	5.1 ± 1.7	5.7 ± 0.9
均質化温度 (°C)	228 ± 62	206 ± 77	203 ± 17	146 ± 11	145 ± 12	219 ± 24

表：マイクロサーモメトリーの結果



図：マイクロサーモメトリーの結果

東南極セール・ロンダーネ山地メーニパに産する含V緑色グロッシュラーに伴う石墨の炭素同位体組成とCOH流体の起源

C-isotope composition of graphite associated with green V-bearing grossular and origin of COH fluid from Menipa, Sør Rondane Mountains, East Antarctica

*河上 哲生[1]、足立 達朗[3]、M Satish-Kumar[2]、東野 文子[1]、宇野 正起[4]
*Tetsuo KAWAKAMI[1], Tasuro Adachi[3], Satish-Kumar M.[2], Fumiko Higashino[1], Masaoki Uno[4]

1. 京都大・院理、2. 新潟大・院自然、3. 九州大・院比文、4. 東北大・院環境
1. Kyoto Univ. Sci., 2. Niigata Univ. Sci., 3. Kyushu Univ. Soc., 4. Tohoku Univ. Env.

東南極セール・ロンダーネ山地には6.5-5.0億年前に下部地殻深度で形成された高度変成岩類や10億年前～同時代にかけての火成岩類が露出している。同地域は見かけ上、東アフリカ造山帯とクンガ造山帯が交差する場所に位置しており、ゴンドワナ大陸形成時のテクトニクスを理解するうえで重要な地域である。また、同山地には広く地殻流体活動が記録された岩石が分布しており、衝突帯中～下部地殻における流体活動の研究に最適な地域でもある。同山地はMain Tectonic Boundary (MTB)と名付けられた構造境界によって、NEテレーンとSWテレーンに区分され、前者を構成する変成岩類は650-530 Maの変成時に時計回りの温度-圧力-時間（*P-T-t*）履歴を示すのに対し、後者を構成する変成岩類は反時計回りに*P-T-t*履歴を示すとされてきた。 Kawakami et al. (2022)はSWテレーンに属するメーニパ地域の珪線石-黒雲母-ザクロ石片麻岩から時計回りの*P-T-t*履歴を報告し、約600-560 Maにかけてザクロ石を形成する昇温期変成があり、約560 Maに1.0 GPa, 800 °C程度の最高変成条件を達成したことを明らかにした。また、含石墨珪線石-黒雲母片麻岩に含まれる含Ｖ緑色グロッシュラーのU-Pb年代測定から、緑色グロッシュラーが約590 Maに形成されたことを明らかにした。さらに、緑色グロッシュラーのリムに発達するシンプレクタイト（An+V-Cpx+V-Grt+V-Ttn+V-Zoi＋Qz+Ap+V-Ti-Fe oxide+Pyh+Py+Cal）中のチタン石のU-Pb年代測定から、約550 Maに減圧に伴うザクロ石分解を経験したことを明らかにした。 含石墨珪線石-黒雲母片麻岩には、稀に直径10 cmに達する緑色グロッシュラーが産し、その周囲には石英からなる殻を伴うことがある。その石英中にはCO_2＋CH_4を含む流体包有物が存在している。このため、緑色グロッシュラーの粗粒化には流体活動が関与した可能性がある。また、緑色グロッシュラーの周囲の面構造に調和的なプレッシャーシャドウの形状をしているシンプレクタイトが見つかった。このことは、シンプレクタイトの形成同時ないしはその後に、Sil+Btの鉱物配列によって定義されるマトリクスの面構造が形成されたことを示す。シンプレクタイトの最外縁部は内部より粗粒であり、粗粒な石墨を伴う。この石墨のC同位体組成を測定したところδ^{13}C=-24.74±0.01であった。これは生物起源と言ってよい低い値である（e.g., Luque et al., 2012）。緑色グロッシュラー内のクラックに沿ってもシンプレクタイトが形成されており、その延長上には直線的で周囲に比して高V濃度をもつグロッシュラー部分として認識されるヒールドクラックが見られる。またヒールドクラックに沿って、方解石の包有物が見られる。従って、シンプレクタイト化時にCOH流体の流入が起きたと考えられる。クラックに沿って発達したシンプレクタイト中にも稀に石墨を産することから、減圧期に流入したCOH流体から石墨の一部が再結晶化したことがわかる。また、石墨を伴うシンプレクタイト最外縁部の粗粒化にも、同流体が寄与したと考えられる。Vの濃集には還元的な環境が必要であることから、含石墨珪線石-黒雲母片麻岩は原岩の時点から炭質物に富んでいた可能性が高い。従ってCOH流体は、含石墨珪線石-黒雲母片麻岩中の石墨とH_2O流体が反応して生じた可能性が高い。

キーワード：大陸衝突帯、COH流体、変成作用、石墨、炭素同位体組成

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Keywords: Continental collision zone, COH fluid, metamorphism, graphite, C-isotope composition

ポスター | R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共催セッション）

2023年9月15日(金) 12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R1：鉱物記載・分析評価（宝石学会(日本) との共催セッション）

12:00 ~ 14:00

[R1P-01] 福島県石川地方産モナズ石の化学組成とCHIME年代

*坂野 靖行[1] (1. 産総研)

12:00 ~ 14:00

[R1P-02] エジリンーオージャイトの*M*1席を占めるFe^{3+}のメスバウアー四極子ダブレットの強度テンソル

*篠田 圭司[1]、小林 康浩[2] (1. 大公大・院理、2. 京大・複合研)

12:00 ~ 14:00

[R1P-03] 単結晶X線回折を用いたcordieriteのSiとAlの秩序度指標の作成

*西川 千尋[1]、篠田 圭司[1]、瀬戸 雄介[1] (1. 大公大・院理)

12:00 ~ 14:00

[R1P-04] EPMAによる斜長石中のSr濃度定量分析手法の提案

*岩橋 くるみ[1]、安田 敦[2]、西原 歩[1] (1. 産総研、2. 地震研)

12:00 ~ 14:00

[R1P-05] イラク北東部ヤシン・テペ遺跡出土の青銅腐食片の鉱物学的・化学的特徴

*黒澤 正紀[1]、池端 慶[1]、西山 伸一[2] (1. 筑波大・生命環境、2. 中部大・人間力創成)

12:00 ~ 14:00

[R1P-06] 群馬県南牧村三ッ岩岳産アメシストについて

*川崎 雅之[1] (1. つくば市)

12:00 ~ 14:00

[R1P-07] 栃木県足尾鉱山産Claraite

*丹羽 健文[1]、浜根 大輔[2]、土井 正一[1]、櫻井 浩[1]、沼尾 淳 (1. 名古屋鉱物同好会、2. 東大・物性研)

12:00 ~ 14:00

[R1P-08] 愛媛県梶島に産出する斑れい岩中に見られる電気石と斑れい岩ペグマタイトに関する鉱物学的研究

「発表賞エントリー」

*太田 一樹[1]、下岡 和也[1]、斉藤 哲[1]、白勢 洋平[1] (1. 愛媛大・院理工)

12:00 ~ 14:00

[R1P-09] 広島県能美島の花崗岩ペグマタイト産プロト鉄直閃石

*大西 政之[1]、下林 典正[2]、浜根 大輔[3]、篠田 圭司[4]、延寿 里美[5] (1. 無所属、2. 京大・院理、3. 東大・物性研、4. 阪公大・院理、5. 愛媛大・院理工)

12:00 ~ 14:00

[R1P-10] 岩手県舟子沢鉱山および小玉川鉱山から産出するノリッシュ雲母について

*浜根 大輔[1]、永嶌 真理子[2]、鈴木 保光 (1. 東大・物性研、2. 山口大・創成科学)

12:00 ~ 14:00

[R1P-11] **西オーストラリア，ピルバラ地域，クリーバービル層におけるBIF中のチャート中のベルチェリンとシャモサイト**

*井口 祐輔[1]、清川 昌一[2]、武田 侑也[3]、上原 誠一郎[4] (1. 九大・院理・地惑、2. 九大・理・地惑、3. 九大・院地球社会、4. 九大・博物館)

12:00 ~ 14:00

[R1P-12] 長野県大鹿村のカンラン岩中の自然鉄を含む蛇紋石脈の微細構造

*武田 侑也[1]、桑原 義博[2]、上原 誠一郎[3] (1. 九大・地球社会、2. 九大・比文、3. 九大・博物館)

福島県石川地方産モナズ石の化学組成とCHIME年代

Chemical compositions and a CHIME age of monazite from the Ishikawa district, Fukushima Prefecture, Japan

*坂野 靖行[1]
*Yasuyuki BANNO[1]

1. 産総研
1. AIST

Ⅰ．はじめに

福島県石川地方は花崗岩ペグマタイトの鉱物産地として有名であり，各種の希土類元素(REE)鉱物を産出したことで知られている（長島・長島，1960）。EPMAを用いたCHIME (Chemical Th-U-total Pb Isochron Method)年代測定法がSuzuki *et al.* (1991)により開発され，1990年代からREE鉱物の一種であるモナズ石が年代測定用試料として注目されるようになってきた。石川地方産モナズ石のEPMA定量分析を行ない，年代測定を試みた。本講演内容の詳細は岩石鉱物科学, **50**, 113-118に公表されている（坂野，2021）。

Ⅱ．分析方法と結果

JEOL JXA-iHP200Fを用いて最初にREE等の定量を行ない，次にTh, U, Pb等の定量を行なった。すべての測定元素に対して各特性X線のエネルギー幅に波高分析器を設定した。

1．REE等の定量

加速電圧は15 kV，照射電流は50 nA，ビーム径は3 μmである。標準試料と測定X線は以下の通り：$Y_3Al_5O_{12}$ (Y$L\alpha$)，LaB_6 (La$L\alpha$)，CeB_6 (Ce$L\alpha$)，NdB_6 (Nd$L\beta$)，含Pr, Dy, Er合成ガラス(Pr$L\beta$, Dy$L\alpha$, Er$L\alpha$)，含Sm, Gd合成ガラス(Sm$L\beta$, Gd$L\beta$)，$BaSO_4$ (S$K\alpha$)，$SrBaNb_4O_{12}$ (Nb$L\alpha$)，GaP (P$K\alpha$)，Fe_2SiO_4 (Si$K\alpha$)，$CaSiO_3$ (Ca$K\alpha$)，ThO_2 (Th$M\alpha$)，U metal (U$M\beta$)。X線計測時間はTh・Uが100秒，他の元素が20秒である。ピーク及びバックグラウンドは4回計測してその平均を真のX線強度とした。U$M\beta$線に対するThの1次線の干渉についてはThO_2を用いて干渉補正係数を決定して補正を行なった。

平均組成(n = 11)は，P_2O_5 28.35, SiO_2 1.02, SO_3 0.01, ThO_2 5.08, UO_2 0.56, Y_2O_3 2.95, La_2O_3 9.27, Ce_2O_3 26.35, Pr_2O_3 3.46, Nd_2O_3 14.38, Sm_2O_3 4.44, Gd_2O_3 3.01, Dy_2O_3 1.07, Er_2O_3 0.02, Nb_2O_5 0.00, CaO 0.26, total 100.41 wt%であり，その実験式は$(Ce_{0.383}Nd_{0.204}La_{0.136}Y_{0.062}Sm_{0.061}Pr_{0.050}Gd_{0.040}Dy_{0.014}Er_{0.002}Th_{0.046}U_{0.005}Ca_{0.011})_{\Sigma 1.014}(P_{0.952}Si_{0.040})_{\Sigma 0.992}O_4$である。

2．Th, U, Pb等の定量

加速電圧は15 kV，照射電流は50 nA，ビーム径は3 μmである。PbとCaの標準試料は含Pb, Ca合成ガラス(Pb$M\alpha$, Ca$K\alpha$)で，その他の元素(Th, U, Y, S, Nb, Si)については前節 1 で述べたものを使用した。X線計測時間はPbが200秒，Th・Uが100秒，Yが80秒，他の元素が20秒である。ピーク及びバックグラウンドは3回計測してその平均を真のX線強度とした。ZAF補正では上記測定元素は実際の測定値を使用し，Yを除くREEとPは前節 1 で得られたモナズ石の平均組成を与えて計算した。U$M\beta$線に対するThの1次線の干渉については前節 1 の方法で補正し，Pb$M\alpha$線に対するTh・Y・Nb・Sの1次線の干渉については上記4元素用標準試料を用いて各妨害線に対応する干渉補正係数を決定して補正を行なった。PbOの検出限界(2 σ)は60-62 ppmである。PbOの分析誤算(1 σ)は0.05 wt%レベルで7-8%，0.03 wt%レベルで10-12%である。

14点のThO_2，UO_2及びPbOの組成範囲はそれぞれ4.53-7.97 wt%，0.479-0.973 wt%及び0.027-0.050 wt%である。上記データセットから計算されたCHIME年代（誤差2 σ）は103 ±26 Maである。MSWDは0.22である。PbO-ThO_2*図上のアイソクロンの傾斜は0.00432±0.0011，切片は0.0013±0.0090である（誤差は2 σ）。

キーワード：モナズ石、化学組成、CHIME年代測定、花崗岩ペグマタイト、石川地方
Keywords: Monazite, Chemical composition, CHIME dating, Granite pegmatite, Ishikawa district

エジリンーオージャイトの*M*1席を占めるFe^{3+}のメスバウアー四極子ダブレットの強度テンソル

Intensity tensor of Mössbauer quadrupole doublet for Fe^{3+} at *M*1 site of aegirine-augite

*篠田 圭司[1]、小林 康浩[2]
*Keiji SHINODA[1], Yasuhiro KOBAYASHI[2]

1. 大公大・院理、2. 京大・複合研
1. Osaka Metro. Univ. Sci., 2. Kyoto Univ. KURNS.

輝石は典型的な多席固溶体で、結晶構造中には*M*1席と*M*2席があることが知られている。Caを含む単斜輝石（(Ca, Mg, Fe)SiO_3）では*M*1席は正八面体に近い6配位席で、*M*2席は*M*1席より大きく歪んだ八配位席である。一般的にMgは*M*1席を、Caは*M*2席を占め、Fe^{2+}は両席を占めるとされている。Fe^{3+}は*M*1席を占める。メスバウアースペクトルにおいて、輝石中の鉄イオンは四極子分裂によるダブレットピークを示す。*M*1席を占めるFe^{2+}の四極子分裂は*M*2席を占めるFe^{2+}の四極子分裂よりわずかに大きい。*M*1席と*M*2席にFe^{2+}が分布する輝石では、四極子分裂のわずかに異なるダブレットが重なることになる。四極子分裂ダブレットピークは、アイソマーシフト、四極子分裂幅、半値幅、ピーク強度の4つのパラメーターで特徴づけられる。4つのパラメーターのうちピーク強度は、Zimmermann (1975)のreduced intensityの定義に従って、ダブレットピークの全強度に対する高エネルギー側のピーク強度の割合とする。粉末試料のメスバウアースペクトルではダブレットピークのピーク強度は0.5、つまり2本のピークの高さは等しいとみなせる。一方、薄片などの輝石単結晶試料のメスバウアースペクトルでは、2本のピークの高さは等しいとは限らず、ピーク強度はガンマ線入射方向に対する結晶方向によって変化する。顕微メスバウアー分光法には、従来の粉末試料を用いたメスバウアー分光法に比べ薄片試料の局所分析が可能になるという利点がある一方で、ピーク分離の際ダブレットピークのパラメータが1つ増え、輝石の*M*1席*M*2席のFe^{2+}ダブレットが重なっている場合、ピーク分離解が収束しないという問題が発生する。輝石単結晶薄片のメスバウアースペクトルを解析する際には、測定の輝石単結晶薄片の*M*席毎のダブレットピークのピーク強度は非常に重要なパラメーターとなる。

Zimmermann (1975)は単結晶試料に対するメスバウアーダブレットピークのピーク強度の計算方法を以下のように提案した。結晶中に直交軸を設定し、その直交軸系に対してガンマ線の入射方向を方向余弦で表すと、ピーク強度と方向余弦はテンソル（3行3列の行列）を介して一定の関係にある。Tennant et al. (2000)はZimmermannの方法を用いてMg-hedenbergiteの*M*1席を占めるFe^{2+}の強度テンソルを求めた。Fukuyama et al. (2022)は、diopside, augite, hedenbergiteを用いて*M*1席を占めるFe^{2+}の強度テンソルを求め、Tennant et al. (2000)の結果を合わせて強度テンソル各成分の固溶成分依存性を検討した。その結果、Caに富む輝石の場合、*M*1席を占めるFe^{2+}の強度テンソル成分はFs成分依存性は弱い一方で、Wo成分依存性が強いと考えられることを報告した。しかし、この系以外での輝石の強度テンソルの固溶成分依存性は求められていない。Shinoda and Kobayashi (2019)はaegirineの定方位薄片を用いてaegirineの*M*1席を占めるFe^{3+}の強度テンソルを求めた。本発表では、Ca含有のaegirine-augiteで*M*1席を占めるFe^{3+}のメスバウアーダブレットの強度テンソルを求め、Ca固溶成分依存性を検討したので報告する。パキスタン産のaegirine-augite単結晶の結晶方位を、背面バックラウエカメラX線回折を用いて特定し*a*、*b*、*c*軸に垂直な薄片を作成した。それぞれの方向の薄片についてプリセッションカメラを用いて結晶方位を定め、メスバウアースペクトルを測定した。6方向のメスバウアースペクトルから求めた強度テンソルは、aegirineの*M*1席のFe^{3+}の強度テンソル（Shinoda and Kobayashi (2019)）とaugiteの*M*1席のFe^{3+}の強度テンソル（Fukuyama et al. (2022)）と近い値を示した。年会の発表では9方向の単結晶のメスバウアースペクトルをまとめた結果を報告する予定である。

キーワード：エジリンーオージャイト、メスバウアー分光法、強度テンソル
Keywords: aegirine-augite, Mössbauer spectroscopy, intensity tensor

単結晶X線回折を用いたcordieriteのSiとAlの秩序度指標の作成

Si and Al ordering indices for cordierite using single crystal X-ray diffraction

*西川 千尋[1]、篠田 圭司[1]、瀬戸 雄介[1]
*Nishikawa Chihiro[1], Shinoda Keiji[1], Seto Yusuke[1]

1. 大公大・院理
1. Osaka Metro Univ. Sci

造岩鉱物中のSiとAlの秩序配列の程度を表すSiとAlの配列秩序度は, その鉱物の熱履歴を推定する上で重要である. Cordieriteは変成岩中に産出するサイクロ珪酸鉱物で, 一般的な化学組成は$(Mg, Fe)_2Si_5Al_4O_{18}$である. CordieriteとindialiteはSiとAlが秩序配列すると直方晶系のcordierite, 無秩序配列すると六方晶系のindialiteになる. CordieriteとindialiteにおけるSiとAl配列の秩序度は, 結晶化における冷却過程によって異なる, 急激に冷却された場合, SiとAlの無秩序配列が低温でも保持されるためindialiteが形成される. ゆっくり冷却された場合, SiとAlが冷却過程で秩序配列しcordieriteが形成される. *c*軸に垂直な平面でそれぞれの六員環を比較すると, indialiteは正六角形であるがcordieriteの六員環は*a*軸方向に伸びた構造になっている. これはSiとAl配列の秩序度の違いによるものであり, 秩序度が高いほど六員環の形は歪んでいく. Cordieriteの六員環の歪み度を測定できれば, SiとAl配列秩序度の指標となり, 結晶化した地点での温度履歴の推定に役立てられる.

この歪み度を表す指標として, 粉末X線回折図から測定できるdistortion-index(Δ) (Miyashiro, 1957)があるが, 単結晶X線回折から測定できる歪み度の指標はない. 単結晶試料から歪み度を測定できれば, 粉末試料にするのが困難な岩石中の微小なcordieriteでもSiとAlの秩序度を推定できる. そこで本研究ではcordieriteの単結晶X線回折パターンから歪み度を測定することを試みた. Cordieriteは天然にも産出する典型的な鉱物であるが, indialiteは稀産鉱物で良質な単結晶の入手が困難である. cordieriteの多形であるSiとAlが無秩序配列したindialiteの単結晶X線回折パターンを測定するために, cordieriteの加熱実験によるindialiteの合成も本研究で試みた.

単結晶X線回折に用いたcordieriteはブラジル産, マダガスカル産, 京都大文字山産である. まず, バックラウエカメラで結晶方位を決定し, *c**軸に垂直な薄片を作成したのち, プリセッションカメラで回折パターンを得た. 歪み度は, cordieriteの単位格子の*a*軸と*b*軸の比から決まるunit cell ratio(*x*)という指数を新たに設定し, 0次ラウエゾーンの回折パターンから測定を行った. またdistortion-index(Δ)を1次ラウエゾーンから測定し, *x*とΔの相関関係を求めた. *x*とΔには弱い相関が見られ, distortion-indexに代わる歪み度の指標としてunit cell ratioが有効であると考えられる. しかし, プリセッションカメラで1次ラウエゾーンの回折パターンを得る際に, 用いたcordierite試料すべてにおいて*c**軸方向の長さが等しいと仮定している. そのため, 1次ラウエゾーンから測定したdistortion-index(Δ)は有効な値ではない可能性がある. この問題点の改善方法の模索や, 新たな歪み度の指標の検討を今後行っていく.

ブラジル産の単結晶試料を出発物質としてindialite合成のための加熱実験を, 縦型管状炉を用いて行った. 加熱条件は, 雰囲気制御なしの空気中で①1400℃-20分 ②1400℃-60分であった. 生成試料の同定は粉末X線回折を用いて行った. その結果どちらもindialiteの特徴的なピークが見られる一方で, mulliteのピークも一部見られた. mulliteへの分解を防ぐためには, 1400℃-20分以内の加熱, あるいは1400℃以下で加熱処理を行う必要があるだろう. 加熱後の回収試料は黒く変色していた. 回収試料のバックラウエカメラやプリセッションカメラで撮影した回折斑点は, 過熱前の回折斑点に比べ明瞭ではなくなっていた. これは結晶性の低下または結晶表面での反応生成物を示唆している. 加熱後の回収試料が黒くなり透明度がなくなるのは, cordieriteに含まれるFe^{2+}の酸化によるものと思われる. 本発表では二酸化炭素と水素の混合ガスを用いた雰囲気制御下で加熱することで良質なindialiteの単結晶生成の結果を紹介する.

キーワード：菫青石、秩序-無秩序相転移、単結晶X線回折
Keywords: cordierite, order-disorder transition, sigle crystal X-ray diffraction

EPMAによる斜長石中のSr濃度定量分析手法の提案

Proposal of analytical method for determination of Sr concentration in plagioclase by EPMA

*岩橋 くるみ[1]、安田 敦[2]、西原 歩[1]
*Kurumi IWAHASHI[1], Atsushi Yasuda[2], Ayumu Nishihara[1]

1. 産総研、2. 地震研
1. GSJ, AIST, 2. ERI

本発表では，電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)を用いた斜長石中のストロンチウム(Sr)の非破壊定量分析手法を提案する．

これまで，斜長石中のSr濃度分析は，主にレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析法(LA-ICP-MS)やnano-SIMS等により実施されてきた.しかし，これらの手法は破壊分析であり，多くの場合，分析に使用しうるビーム径は比較的大きい（～20 μm）. そこで，非破壊であり，ビーム径をより絞ることができ，かつ簡便な分析が可能なEPMAによる分析がこれまでに提案されてきた(e.g., 氏家, 2001). 本研究では，先行研究の手法を改良・発展させ，より狭いビーム径における非破壊かつ簡便な斜長石中のSr濃度の定量分析を可能にする方法を確立した．

EPMAによる斜長石中のストロンチウム(Sr)含有量の分析に当たって，本研究では，検量線法を用いた．分析条件は，十分なカウント数が得られる条件である30kV，50nA，ビーム径10μmとした．分析に使用する検量線作成に際しては，Sr濃度が知られている2つの標準試料と、濃度が均質であることが先行研究(e.g., Kimura et al., 2013)により知られている 天然の斜長石の3個の標準試料を使用した．

次に，得られた検量線を使った分析における分析精度の検討を実施した．この検討は，三宅島アノーサイトを用いて行った．三宅島アノーサイトは，先行研究によって均質であることが確かめられている (Arakawa et al., 1992; Kimura et al., 2013; Seino et al., 2021)．そこで，まず二つの三宅島アノーサイトについてLA-ICP-MSによる分析を行い，EPMA分析結果と比較するための基準となる値を得た．その結果，三宅島アノーサイトのSr含有量は0.034wt.%であった． この値を参考値として，EPMA分析結果と比較した．その結果，EPMAによる分析結果とLA-ICP-MSによる分析結果の差は0.0044 wt.%以下であった．この結果は，EPMA分析が信頼性の高い定量値を得られることを裏付けている．

最後に，雲仙火山1663年噴火の斜長石に対して，我々の手法を適用した。この分析では、累帯構造を有する斜長石のリム部分からコア部分にかけて、ビーム径10μm, 分析点間の距離10μmで分析を実施し、9点の分析点を得ることができた。得られた濃度範囲は、SrO濃度 0.065–0.0725 wt.%であった。また、本研究では、EPMAによるSr濃度定量分析の分析誤差は、0.0018 wt.% と見積もられた。このプロファイルからは、例えば共存メルトの組成と温度の変化を推定したり、拡散計算を実施することが可能である．本手法は、将来的に斜長石中のSrを利用した様々な取り組み，例えば，マグマ供給系の組成の変遷やマグマ溜りでのマグマ蓄積のタイムスケールなどの解明に広く貢献できる．

キーワード：EPMA、ストロンチウム、斜長石、定量分析
Keywords: EPMA, Strontium , Plagioclase, Quantitative analysis

イラク北東部ヤシン・テペ遺跡出土の青銅腐食片の鉱物学的・化学的特徴

Mineralogical and chemical features of tiny bronze fragments from the Yashin Tepe archaeological site, northeastern Iraq

*黒澤 正紀[1]、池端 慶[1]、西山 伸一[2]
*Masanori KUROSAWA[1], Kei Ikehata[1], Shin'ichi Nishiyama[2]

1. 筑波大・生命環境、2. 中部大・人間力創成
1. Univ. Tsukuba, 2. Chubu Univ.

考古学遺物としての金属器は、完成までに多くの知識・技術・組織的作業を必要とするため、組織・化学組成・同位体などの分析を通じて、多様な情報が抽出できる重要な資料となっている。非常に貴重なため、微小部分を切り出して分析されることが多いが、破壊分析は困難な場合が多い。また、多くの金属器は土中に埋没している間に腐食されるため、その影響が少ない部分を局所的に分析する必要がある。但し、サイズの小さい遺物では、腐食が進行して断片状に分解し、さらに土中に金属成分として溶け込む場合も多い。従来、そうした腐食分解物は廃棄され、研究対象とされなかったが、それらも有用な情報を持っている可能性が高い。実際、完全に腐食・溶解して土中に染み込んだ状態でも、溶存した金属成分から元の金属器の情報が得られた例がある。そのため、金属の腐食断片からも元の金属器の情報が復元できれば、従来手法では金属情報が得られない遺跡からも情報が得られる可能性があり、さらに、破壊分析を通じた詳細な解析も可能となる。そこで、今回は、イラク北東部のヤシン・テペ遺跡出土の青銅腐食片を分析し、元の青銅器の化学的特徴について解読することを試みた。

ヤシン・テペ遺跡は、イラク共和国スレイマニヤ県にある新アッシリア帝国(911 BC～609 BC)の都市遺跡である。当時の帝国の東端に位置し、規模が大きいことから当時の主要都市の一つとされている。この遺跡は、2015年から中部大学を中心とした組織により発掘調査がなされ、2017年には紀元前8～前7世紀頃の貴重な未盗掘墓が発見された。墓室内部には、土器製の棺が置かれ、その中に4体の人骨と、金製品・銀製品・ビーズ・ガラス製品・土器・多数の青銅製品が副葬されていた。今回、中部大学ヤシン・テペ考古学プロジェクトの了承とイラクのスレイマニヤ文化財局の許可を得て、棺内部の底に堆積した残渣物を調べた結果、遺骸に由来した骨片を主とする残渣物の隙間に、大きさ1 mm～数十ミクロンの微細青銅腐食片を発見した。この微細片は、副葬された青銅器の腐食片と考えられる。今回は、この微細腐食片について、SEM-EDSによる組織観察・組成分析、顕微ラマン分光法による分析、ICP-MSによる不純物分析、MC-ICP-MSによる銅の同位体分析を行った。

観察・分析の結果、この微細青銅腐食片は、表面が孔雀石等の銅炭酸塩に覆われ、その内側に少量の銅硫酸塩と微小粒状の鉛塩化物を時々挟み、中心部に錫–銅合金が存在していた。錫–銅合金には、腐食の過程で分離した微小な純銅部分がパッチ状に存在し、そのため、純銅付近の錫–銅合金の錫濃度は相対的に大きく上昇していた。また、腐食の進行によって、鉛を含む青銅から鉛が塩化物の形で分離することが分かった。つまり、錫濃度が相対的に低く、かつ鉛の分離も少ない錫–銅合金部分が、元の青銅器の化学組成に近いということが示された。そこで、腐食の少ない青銅部分を分析した結果、腐食する前の青銅製品の化学組成は、93 wt.% のCu, 6 wt.%の Sn, 1 wt. %の Pbと推定された。この組成は、ほぼ同時期の新アッシリア帝国中心部のNimrud 遺跡から出土した青銅器の組成とほぼ同じであった。つまり、中心部から200㎞程離れたヤシン・テペでも中心部と変わらない組成の青銅製品が副葬されており、ヤシン・テペと中央との交流や結び付きが示唆された。 また、10個の微細青銅腐食片をバルクで組成分析した結果、ほぼ青銅合金と銅炭酸塩の混合物であることが確認され、その他に骨片や銀製品腐食物なども数%～60%ほど付着していることが分かった。組成的には、青銅器の成分以外に、数～18 wt%のCa、数百～数千ppmのMg・Al・Fe・Ag・Sr・Znも検出された。Agは副葬された銀製品に由来した可能性があり、その他は骨片に由来した可能性が高い。青銅原料の不純物に由来するとされるAs, Sb, Ni, Ag, Biなどは、Agを除くとほぼ認められず、非常に純粋な銅を原料としたこ

とが示唆された。さらに、これらの銅同位体比を測定した結果、δ^{65}Cuの値は-0.83‰～0.57‰であった。測定値が狭い範囲に集中するので、元の青銅器に使用された銅素材の同位体比が比較的均一なことが示唆された。測定値は、マグマ起源の初生硫化物の同位体比とされる0±1‰の範囲に相当するため、元の青銅製品は、鉱床深部に存在する黄銅鉱などの鉱石を原料とした可能性が高い。この値は、大規模に銅を生産したキプロス・ヨルダンなどの鉱石およびその周辺遺跡からの銅インゴット、後期青銅器時代から鉄器時代の各遺跡から得られた銅製品の値と同じで、西アジア地域全体の金属利用の潮流と調和的な青銅品であることが分かった。

キーワード：青銅器、腐食、化学分析、銅同位体、新アッシリア
Keywords: bronzeware, corrosion, chemical analysis, copper isotope, Neo Assyria

群馬県南牧村三ッ岩岳産アメシストについて

Amethyst Crystals from Mitsuiwa-mountain in Nanmoku Village, Gunma Prefecture

*川崎 雅之[1]
*Masayuki KAWASAKI[1]

1. つくば市
1. Tsukuba City

群馬県南牧村の三ッ岩岳から産出したアメシストについて報告する。三ッ岩岳は水晶の日本式双晶の産地として有名であるが、2013年頃、新たにアメシストの産出が明らかになった。しかし、最近まで、その産状は不明のままであった。ここでは現地調査と採集者の証言をもとに、産出鉱物とその産状を報告する。 三ッ岩岳は三波川変成帯に属しており、低温高圧型の変成作用を受け、緑色片岩、結晶質石灰岩、チャートが分布している。現在、産出地の露頭は切り開かれた堀跡になっていて、その中央部に結晶質石灰岩（大理石）が露出している。その大理石と周囲の 緑色片岩の間に黒い粘土で充填された脈があり、その中に大小さまざまな晶洞が20個程度あった。個々の晶洞の大きさは10～最大数十cmに達した。晶洞の外殻は微小な水晶の集合体で構成され、その内部にアメシストとインクルージョンを含む白色～緑色の水晶が形成されている。

この地で産出する鉱物は主に水晶であり、それらは大きく、次の４種類に分けられる。 1）アメシスト、2)アメシスト様不透明水晶 、3）インクルージョンにより白～緑色を呈する不透明水晶 、4）晶洞の外殻を構成する無色～白色の微小な水晶 。

なお、水晶以外の鉱物として、黄鉄鉱（武石を含む）、方解石、褐鉄鉱が得られている。

産状から推測される形成過程は次の通りである。岩石中の空洞に微小水晶が急速に形成された後、その内側でインクルージョン含有水晶とアメシストが成長した。さらに同時期または成長後期に母岩が粘土化した。

キーワード：水晶、アメシスト、粘土脈
Keywords: Quartz, Amethyst, Clay Vein



アメシスト(写真幅13cm)



微小水晶とインクルージョン含有水晶(写真幅7.5cm)

栃木県足尾鉱山産Claraite

Claraite from the Ashio mine, Tochigi prefecture, Japan

*丹羽 健文[1]、浜根 大輔[2]、土井 正一[1]、櫻井 浩[1]、沼尾 淳
*Takefumi NIWA[1], Daisuke Nishio-Hamane[2], Shouichi Doi[1], Hiroshi Sakurai[1], Numao Atsushi

1. 名古屋鉱物同好会、2. 東大・物性研
1. Min. Soc. Nagoya, 2. ISSP, Univ. of Tokyo

はじめに

栃木県足尾鉱山小滝坑露頭から産した試料を調査したところ、本邦初産となるClaraiteと一致するデータが得られた。 Claraiteは現在知られている鉱物の中で唯一の、砒酸基、硫酸基、炭酸基を持つ世界的にも珍しい鉱物である。足尾産Claraiteについて、その産状と観測されたデータについて紹介する。

Claraiteについて

Claraiteは、原産地であるドイツの黒い森にあるClara鉱山に因んで命名された鉱物で、当初、三斜晶系（擬六方晶系として指数付けは行われている）で、$(Cu,Zn)_3CO_3(OH)_4 \cdot 4H_2O$の理想化学式を持つと報告された（Walenta and Dunn 1982）。この時点では、単結晶X線回折のデータはなく、粉末X線回折の結果のみが報告されている。その後、三斜晶系に基づいた格子定数と指数付けが行われた（Walenta 1999）ほか、化学組成にAsやSを含む点が指摘されてきた。 現在ではBiagioni and Orlandi (2017)によって、結晶構造が明らかにされるとともに、理想式が$(Cu,Zn)_{15}(AsO_4)_2(CO_3)_4(SO_4)(OH)_{14} \cdot 7H_2O$と再定義された。

足尾鉱山の鉱脈露頭について

Claraiteは栃木県日光市足尾町にある備前楯山西側の露頭から産出した。この産出地点は、沼尾ほか(2005)によって、フィリップスボーン石、ミメット鉱や葉銅鉱といった砒酸塩鉱物、ブロシャン銅鉱、青鉛鉱といった硫酸塩鉱物、炭酸青針銅鉱、孔雀石といった炭酸塩鉱物の産出が報告された地点と同一である。沼尾ほか(2005)によると、現地には閃亜鉛鉱や黄銅鉱、方鉛鉱等の各種金属鉱物を含む石英脈と、それらが風化して生じた二次鉱物が、露頭やそれ由来の転石で観察されたが、露頭の崩落により鉱脈露頭部は埋もれたとある。

調査した試料について

調査した試料は、2005年ごろに同地から産し、筆者の1人の丹羽が譲り受け、入手したものである。母岩となる流紋岩に鉱脈の風化で生じた褐鉄鉱が付着し、その隙間に種々の二次鉱物を生じている。Claraiteはその1つとして産し、ターコイズブルーをした球形の集合体で、顕微鏡で観察すると薄板状の結晶集合体であり、破面では完全な劈開が確認できる。同様の産状で、葉銅鉱、ブロシャン銅鉱や孔雀石等が産出する。

ラマン分光分析について

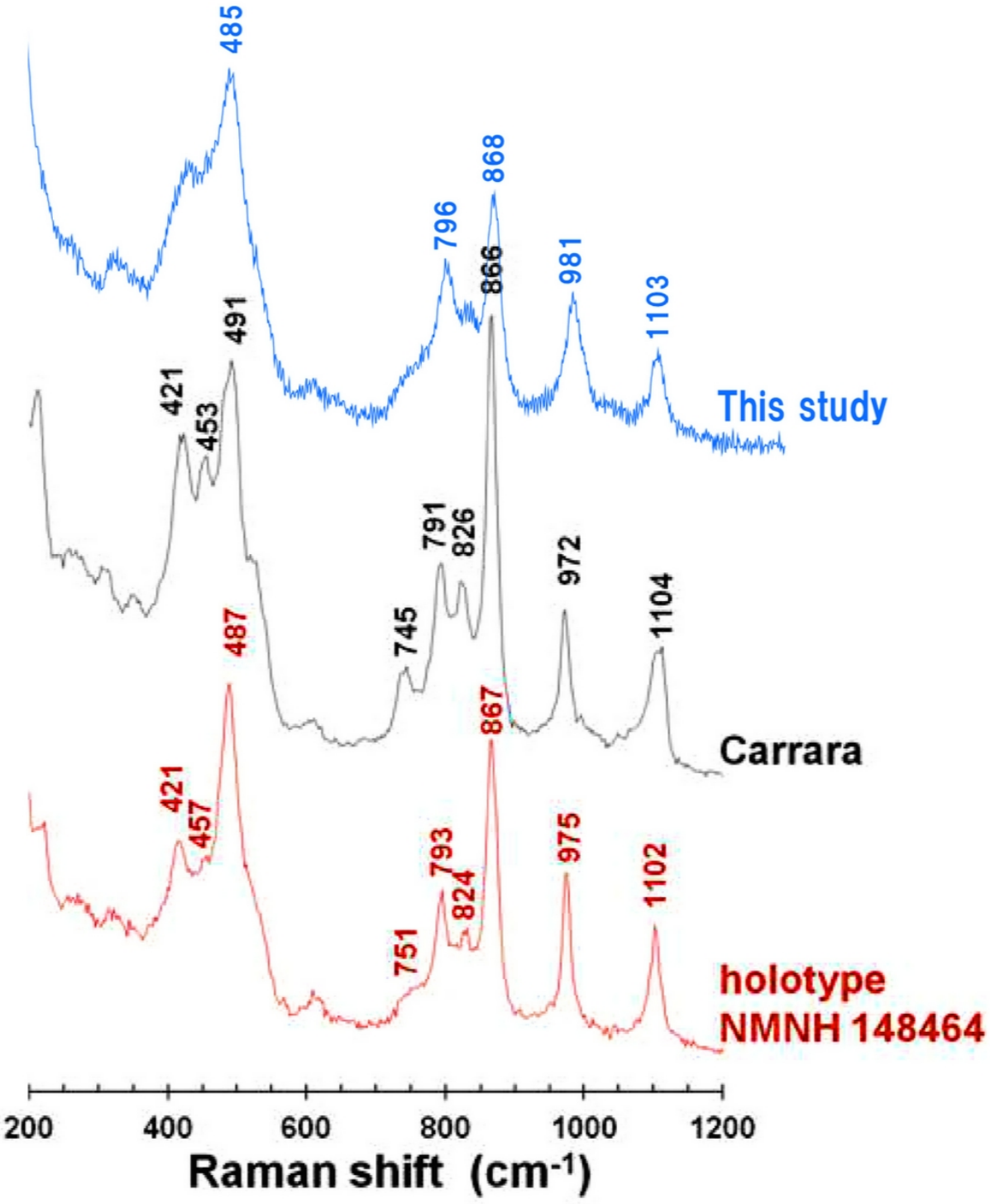
名古屋大学の Nicolet Almega XR（Thermo Scientific 社製）により、Nd-YAG レーザー（λ＝532 nm）を用いて測定。共焦点顕微鏡 (Olympus BX51) 、10倍対物レンズ（NA = 0.25）使用した。 Biagioni and Orlandi (2017)は、砒酸基、硫酸基、炭酸基に起因するスペクトルが記録されている200～1,200の範囲と、水酸基、結晶水に起因するスペクトルが記録されている3,000～4,000の範囲における、ホロタイプ標本と分析に用いられたcarrara産の標本のラマンスペクトルを報告しており、足尾産のClaraiteから得られたスペクトルは、それとよく一致している。このことから、砒酸基、硫酸基、炭酸基のいずれもが存在することが裏付けられる。

化学組成について
EDSにより定量分析を試みたが、極めて微細な結晶の集合であるため、十分な研磨ができず、完全なデータは得られなかった。しかし、検出された元素は、Cu, Zn, As, Sで、Claraiteの主要元素が過不足なく検出されている。

X線回折について
微小部XRDにより測定したため、低角側のデータは無い。Claraiteの最強線は底角側にあり、観測できなかったのは残念だが、観測できた範囲では、よく一致している。観測された値で計算した格子定数は、a = 10.34853 Å, b = 12.81070 Å, c = 14.74675 Å, α = 113.102°, β = 90.793°, γ = 89.760°, V = 1798.051 Å^{3}で、Biagioni and Orlandi (2017)による値 a = 10.3343(6) Å , b = 12.8212(7) Å , c = 14.7889(9) Å , α = 113.196(4)°, β = 90.811(4)°, γ = 89.818(4)°, V = 1800.9(2) Å^{3}とよく一致している。

まとめ
化学組成、X線回折のいずれのデータにも、まだ改善の余地が残されているが、現状で得られているデータはClaraiteであることを支持している。 産出した露頭が埋没しているため、追加調査は困難な状況であるが、追加試料の入手をして、より精度の高いデータ取得を目指したい。

キーワード：クララ石、足尾鉱山
Keywords: Claraite, Ashio mine


485
796
868
866
981
1103
This study
491
421
453
791
826
745
972
1104
Carrara
487
867
421
457
793
824
751
975
1102
holotype
NMNH 148464
200
400
600
800
1000
1200
Raman shift (cm-1)

愛媛県梶島に産出する斑れい岩中に見られる電気石と斑れい岩ペグマタイトに関する鉱物学的研究

Mineralogical study of tourmaline and gabbroic pegmatites in gabbro from Kajishima, Ehime Prefecture, Japan

*太田 一樹[1]、下岡 和也[1]、斉藤 哲[1]、白勢 洋平[1]
*Itsuki Ota[1], Kazuya Shimooka[1], Satoshi Saitou[1], Yohei Shirose[1]

1. 愛媛大・院理工
1. Ehime Univ. Sci. and Eng.

１．はじめに

愛媛県梶島は愛媛県新居浜市の北約20 kmの瀬戸内海に位置しており、島全体が斑れい岩類からなる。梶島の斑れい岩類は５岩相に区分され、珪長質岩が斑れい岩類中や境界部に片状から塊状の岩脈として産する(堀内, 1985；下岡ほか, 2022)。また、梶島の斑れい岩中には幅１ｍ以下の岩脈として粗粒なペグマタイトが産し、斑れい岩と珪長質岩脈の境界部に電気石が産する(吉村, 1940)。本発表では梶島の斑れい岩類に伴う電気石と斑れい岩ペグマタイトについて、その産状と鉱物学的特徴を報告する。

２．産状

梶島から産する斑れい岩ペグマタイトは斑れい岩類中に脈状または、塊状に産する。脈状のものは幅７cm程度であり、周囲の斑れい岩との境界が明瞭である。塊状のものは直径30cm程度で、斑れい岩との境界が不明瞭である。 電気石は梶島の斑れい岩類に伴い脈状・塊状に産するほか、珪長質岩脈や石英脈に伴って産する。斑れい岩類に伴い脈状に産する電気石は、幅2cm～５cm程度、黒色で母岩との境界部が緑色のものと白色のものがあった。緑色部の構成鉱物は緑泥石、苦土普通角閃石、石英、白色部の構成鉱物は石英、曹長石、灰長石、カリ長石、緑泥石である。斑れい岩類に伴い塊状に産する電気石は直径が5cm程度、黒色で放射状に伸長する。珪長質岩脈に伴い塊状に産する電気石は直径2cm程度、黒色で周縁部が緑色であった。石英脈に伴い脈状に産する電気石は幅１cm程度、褐色を帯びた黒色であった。

３．実験手法

組織観察及び化学分析にはEDSを装着したJEOL製走査型電子顕微鏡JSM-6510LVを使用した。

４．結果

化学分析の結果、脈状に産する斑れい岩ペグマタイトの構成鉱物は苦土普通角閃石、灰長石、チタン鉄鉱、磁鉄鉱、緑泥石であった。また、周囲の斑れい岩の構成鉱物であるかんらん石が斑れい岩ペグマタイト中で微量に認められた。苦土普通角閃石はラメラ状及び粒状のチタン鉄鉱のインクルージョンを特徴的に含む。ラメラ状のチタン鉄鉱は苦土普通角閃石のコア部分に多く含まれ、リム部分では明瞭に減少する。また、ラメラ状のチタン鉄鉱は苦土普通角閃石中で3方向に配列しており、離溶組織と考えられる(Figure 1)。一方、粒状のチタン鉄鉱は苦土普通角閃石中に産するほか、苦土普通角閃石に包有される灰長石・かんらん石と苦土普通角閃石との粒界に沿って産する。灰長石は半自形のものが多く、辺縁部が緑泥石に変質している。かんらん石は苦土普通角閃石中に微量に包有され、結晶の大部分が緑泥石に変質している。

斑れい岩類に伴い脈状・塊状に産する電気石は鏡下でゾーニングが見られ、コア部分は薄青色、リム部分は濃青色から褐色であった。脈状に産する電気石の鏡下観察の結果、白色の周縁部では、灰長石がへき開面や辺縁部に沿って緑泥石化しており、緑色の周縁部では、苦土普通角閃石の結晶が部分的に緑泥石化していた。化学分析の結果、*X*席はNa、*Y*席はMgに富み、鉱物種はいずれも苦土電気石であった。また、塊状の電気石と脈状の電気石の組成に大きな差異は見られなかった。ゾーニングが顕著に見られる塊状の電気石のコア部分は$(Na_{\square}Ca)(Mg_{Fe}Al)Al_{(Si}O)(BO)(OH)$、リム部分は$(Na_{Ca}\square)(Mg_{Fe}Al)Al_{(Si}O)(BO)(OH)$ であった。リム部分はコア部分に比べ、*X*席にCa、*Y*席にMg、Feを多く含む。

キーワード：梶島、斑れい岩、電気石、ペグマタイト、苦土普通角閃石
Keywords: Kajishima, Gabbro, Tourmalime, Pegmatite, Magnesio-hornblend

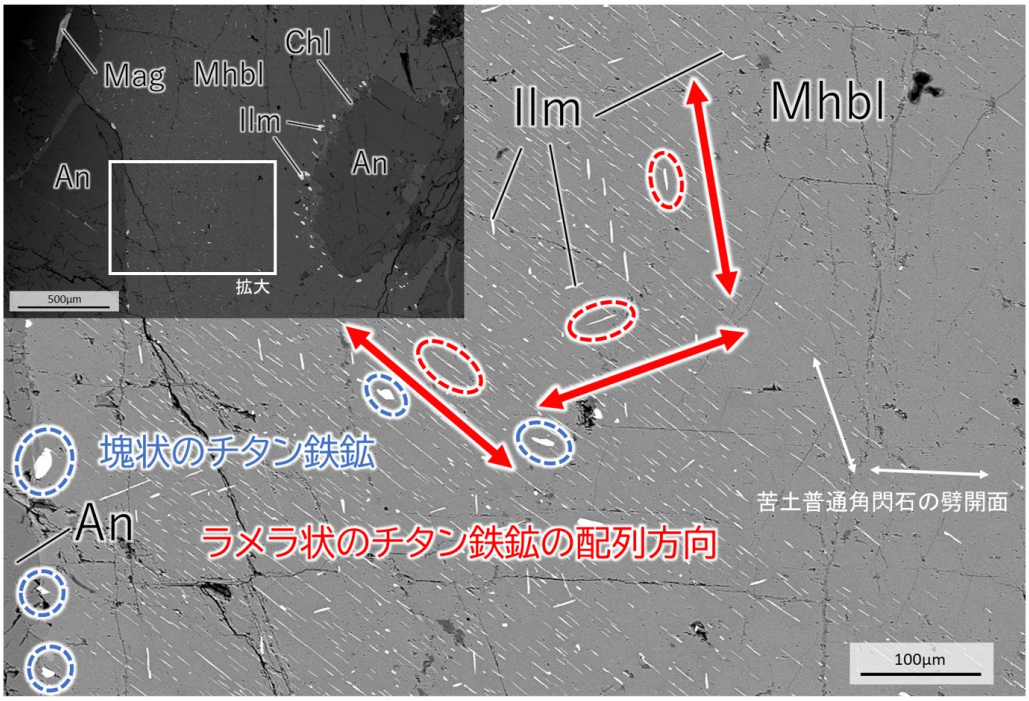


Figure 1　斑れい岩ペグマタイト中の苦土普通角閃石中のチタン鉄鉱(反射電子像)
An：灰長石、Chl：緑泥石、Ilm：チタン鉄鉱、Mag：磁鉄鉱、Mhbl：苦土普通角閃石

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

広島県能美島の花崗岩ペグマタイト産プロト鉄直閃石

Proto-ferro-anthophyllite in a granitic pegmatite from Nomi Island, Hiroshima Prefecture, Japan

*大西 政之[1]、下林 典正[2]、浜根 大輔[3]、篠田 圭司[4]、延寿 里美[5]
*Masayuki Ohnishi[1], Norimasa Shimobayashi[2], Daisuke Nishio-Hamane[3], Shinoda Keiji[4], Satomi Enju[5]

1. 無所属、2. 京大・院理、3. 東大・物性研、4. 阪公大・院理、5. 愛媛大・院理工
1. Non, 2. Kyoto Univ., 3. ISSP, Univ. of Tokyo, 4. Osaka Metro. Univ., 5. Ehime Univ.

1. はじめに

プロト鉄直閃石はSueno *et al.* (1998, 2002)[1][2]によって岐阜県中津川市 (旧蛭川村) および米国コロラドのCheyenneの花崗岩ペグマタイトから記載された直方晶系でプロト型 (空間群*Pnmn*) のマグネシウムー鉄ーマンガン角閃石の一種で，最新の角閃石スーパーグループの命名規約[3]による端成分組成は，□$Fe^{2+}_2Fe^{2+}_5Si_8O_{22}(OH)_2$である．本鉱物の産出報告は少なく，原記載以外では香川県小豆島小浜，愛媛県鉢巻山および立岩のペグマタイトからの記載があるものの，鉱物学的性質は示されていない[4]．今回，広島県能美島南東部 (江田島市大柿町大君) の花崗岩ペグマタイトからプロト鉄直閃石を見出したので，その産状および鉱物学的性質を報告する．

2. 産状

本地域には，呉花崗岩と呼ばれる白亜紀後期の中～粗粒黒雲母花崗岩が分布している[5]．この中にはしばしば脈状・塊状のペグマタイトが発達しており，花崗岩側からアプライト帯ー文象帯ー巨晶帯ー石英帯の帯状構造が認められる．プロト鉄直閃石は，このうちの巨晶帯 (10 cm以上に達する粗大な石英，アルカリ長石，斜長石，黒雲母からなる) から，鉄かんらん石，磁鉄鉱，黒雲母，石英に伴い，最大長さ4 mmの針～毛状結晶の集合体をなして産出する．集合体はしばしば磁鉄鉱の粒状結晶 (直径0.5 mm以下) を中心に放射状をなす．肉眼的には白～無色または淡褐色，透明，条痕は白色である．制限視野電子回折 (SAED) ではプロト鉄直閃石のみとそれに鉄直閃石を伴う試料が認められたが，肉眼的に区別することはできない．

3. 鉱物学的性質

本研究における光学的データ，化学組成および粉末X線回折 (XRD) の測定には，プロト鉄直閃石のみからなる試料 (Fig. 1a) を用いた．浸液法による屈折率はα = 1.670(3)，β = n.d.，γ = 1.704(3) で，伸長は正，多色性は認められない．SEM-EDSによる10点の平均的な分析値 (FeはすべてFeOとした) は，Na_2O 0.32，K_2O 0.03，FeO 44.22，MgO 1.63，MnO 2.54，CaO 0.10，Al_2O_3 0.50，Cr_2O_3 0.04，SiO_2 46.65，TiO_2 0.09，$H_2O_{calc.}$ 1.78，合計97.89 wt%で，無水部分をO = 22として求めた実験式は $(□_{0.89}Na_{0.10}K_{0.01})_{1.00}(Fe_{6.24}Mg_{0.41}Mn_{0.36}Ca_{0.02}Cr_{0.01}Ti_{0.01})_{7.05}(Si_{7.90}Al_{0.10})_{8.00}O_{22}(OH)_2$である．SAEDではプロト型の回折パターンを示す (Fig. 1b)．ガンドルフィカメラ (Cu$K\alpha$) による主な粉末XRDデータ [*d* Å (*I*) *hkl*] は，8.32 (100) 110，3.07 (51) 231，2.77 (45) 330，2.51 (35) 170，2.64 (33) 002，2.21 (27) 142，9.1 (25) 020，2.10 (24) 152，3.29 (22) 221，1.598 (22) 551，3.48 (20) 211，1.517 (20) 253で，最小二乗法によって求めた格子定数は，a = 9.43(3)，b = 18.13(3)，c = 5.34(1) Åである．なお，本鉱物を乳鉢で粉末化すると，単斜晶系 (空間群$C2/m$) のグリュネル閃石に相転移するようである．

4. 成因

能美島産プロト鉄直閃石は，その産状から花崗岩ペグマタイト形成末期に鉄かんらん石の熱水変質によって生成したものと考えられる．

引用文献

[1] Sueno, S. *et al.* (1998) *Phys. Chem. Miner.*, **25**, 366-377.

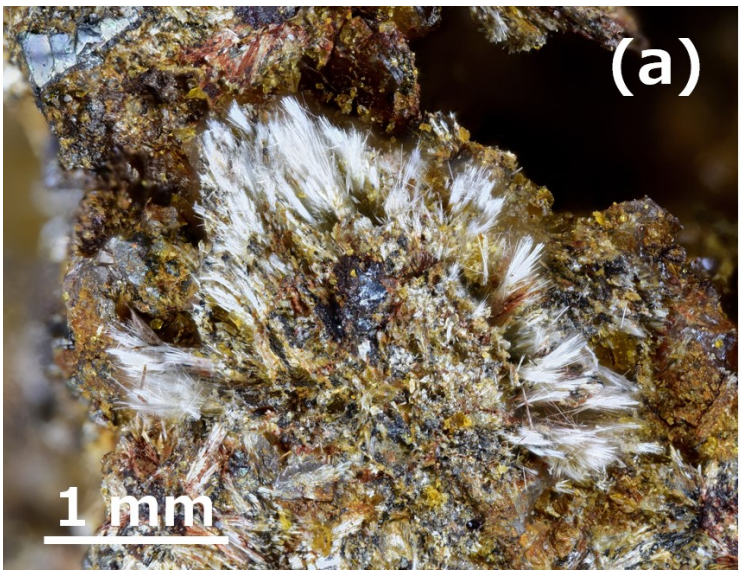
[2] Sueno, S. *et al.* (2002) *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **97**, 127-136.

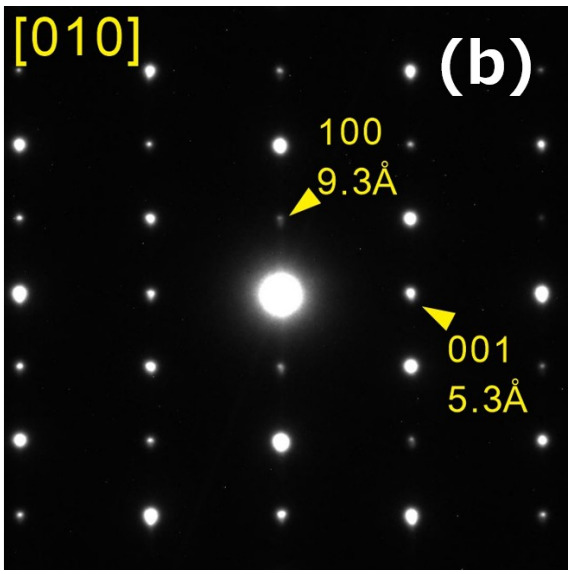
[3] Hawthorne, F.C. *et al.* (2012) *Am. Mineral.*, **97**, 2031–2048.

[4] 皆川鉄雄，西尾大輔 (2004) 愛媛大学理学部紀要，**9・10**，17-68.

[5] 松浦浩久 (1997) 倉橋島及び柱島地域の地質．地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅)，地質調査所，53p.

キーワード：プロト鉄直閃石、角閃石、花崗岩ペグマタイト、能美島、江田島
Keywords: Proto-ferro-anthophyllite, Amphibole, Granitic pegmatite, Nomi Island, Etajima





岩手県舟子沢鉱山および小玉川鉱山から産出するノリッシュ雲母について

Norrishite from Funakozawa mine and Kotamagawa mine, Iwate Prefecture, Japan

*浜根 大輔[1]、永嶌 真理子[2]、鈴木 保光
*Daisuke HAMANE[1], Mariko Nagashima[2], Yasumitsu Suzuki

1. 東大・物性研、2. 山口大・創成科学
1. ISSP, 2. Yamaguchi Univ.

舟子沢鉱山および小玉川鉱山は岩手県洋野町～軽米町に位置し、粘板岩やチャートに胚胎される層状マンガン鉱床であり、東方に分布する花崗岩類によって接触変成作用を受けている。舟子沢鉱山では南部石をはじめアルミノ杉石、マンガンチェルキアラ石、フェリリーキ閃石の産出が確認され、フェリリーキ閃石については小玉川鉱山からも見いだされた。これらはいずれもリチウムを主成分とする、もしくは固溶し、当該地域はリチウムの交代作用を強く被っていると考えられる。本研究では検証をさらにすすめ、舟子沢鉱山及び小玉川鉱山からリチウムを主成分とするノリッシュ雲母が多量に産出することを確認した。

ノリッシュ雲母（norrishite: $KLiMn^{3+}_2Si_4O_{10}O_2$）は1989年にHoskins鉱山（オーストラリア）から見いだされたリチウムを主成分とする酸化雲母であり、土壌科学者Keith Norrishにちなんで命名された。その後、Wessels鉱山（南アフリカ）やCerchiara鉱山（イタリア）からも産出が確認され、日本でも2013年に古宮鉱山（愛媛県）から50μm程度であるが産出することが報告された。いずれの産地でも（アルミノ）杉石の産出が知られており、Wessels鉱山ではノリッシュ雲母と杉石の共存が報告されている。一方で、舟子沢鉱山においてはアルミノ杉石(alminossugilite: $KNa_2Al_2Li_3Si_{12}O_{30}$)やその変質物であるSwinefordite: $Ca_{0.2}(Li,Al,Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH,F)_2{\cdot}nH_2O$とノリッシュ雲母の共存はいまのところ確認されていない。舟子沢鉱山及び小玉川鉱山のノリッシュ雲母の産状は共通し、粘板岩の片理と平行な薄層に褐色透明の薄板状もしくは箔状結晶で産出する。外観はいわゆる黒雲母に相当し、一般に0.5 mm以下の大きさだが、最大で2 mmとなる。ノリッシュ雲母を含む層は微細な石英を主体とし、エジリン、フェリリーキ閃石などの角閃石、およびブラウン鉱が伴われる。

後述する単結晶XRD実験からリチウムと三価マンガンの存在が明白であったため、EDSによる分析値はAl + Si = 4で規格化したのちにMサイトの不足をリチウムとみなして解析された。化学組成は$K_{1.02}(Mn^{3+}_{2.10}Mg_{0.07}Ti_{0.02}Li_{0.81})_{\Sigma 3}(Al_{0.17}Si_{3.83})_{\Sigma 4}O_{12.16}$（舟子沢鉱山）、$K_{1.00}(Mn^{3+}_{1.94}Mg_{0.13}Ti_{0.06}Li_{0.87})_{\Sigma 3}(Al_{0.24}Si_{3.76})_{\Sigma 4}O_{11.94}$（小玉川鉱山）となった。

透過型電子顕微鏡よる観察ではM1型ポリタイプ構造のみであったが、強い選択配向の影響で粉末X線回折では00l回折しか検出できなかったため、結晶構造の検討は単結晶XRDで行われ、より包有物の少ない舟子沢産の結晶が用いられた。単結晶XRDでは空間群$C2/m$においてa = 5.3024(2), b = 8.9520(4), c = 10.0812(5) Å, β = 98.191(4)°, V = 473.65(3) Å^{3}の格子定数が得られ、構造の精密化はR_1=4.3%で収束した。M1サイトはLiとMnで占有率を見積もって$Li_{0.944(4)}Mn_{0.056}$となり、M2サイトについてはMnのみで占有率を見積もって$Mn_{0.970(3)}$の結果となったことから、リチウムとマンガンは完全に秩序化しているとみなせる。BVS計算ではM1サイト=1.02、M2サイト=3.08、O4サイト=1.68の結果となり、M1＝リチウム、M2＝三価マンガン、かつ無水というノリッシュ雲母の特徴と調和的な結果が得られた。またM2サイトは三価マンガンのヤーン・テラー効果で強くひずんでおり、このことはM2サイトへほかの元素の固溶を拒む原因になると考えられる。このような特徴によりノリッシュ雲母はほかのケイ酸塩雲母とはごく限られた固溶体しか作らない可能性があり、実際に本研究やこれまで報告されたノリッシュ雲母の化学組成は常に端成分に近い。

キーワード：ノリッシュ雲母、舟子沢鉱山、小玉川鉱山

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Keywords: Norrishite, Funakozawa mine, Kotamagawa mine



Norrishite from the Funakozawa mine (FOV = 3.5 cm)

西オーストラリア，ピルバラ地域，クリーバービル層におけるBIF中のチャート中のベルチェリンとシャモサイト

Berthierine and Chamosite in BIF of the Cleaverville Formation, Pilbara craton, Western Australia

*井口 祐輔[1]、清川 昌一[2]、武田 侑也[3]、上原 誠一郎[4]
*Yusuke Inokuchi[1], Shoichi Kiyokawa[2], Yuya Takeda[3], Seiichirou Uehara[4]

1. 九大・院理・地惑、2. 九大・理・地惑、3. 九大・院地球社会、4. 九大・博物館
1. Kyushu Univ. Sci. , 2. Kyushu Univ. Sci. , 3. Kyushu Univ. ISGS., 4. Kyushu Univ. Museum.

1. 緒言

西オーストラリア，ピルバラ海岸グリーンストーン帯中には，黒色頁岩からBIF（縞状鉄鉱層）に移り変わる31億年前の連続層（クリーバービル層：CL層)が保存良く残っている(Kiyokawa *et al*.2002)．CL層は，下位から黒色頁岩部層，BIF部層に区分され，プレーナイト・パンペリー石相の変成作用しか受けておらず，堆積時の地層状態が記録されている(Kiyokawa *et al*. 2002, Kiyokawa *et al*. 2012)．太古代BIFの形成作用については，光合成による酸化作用や異化鉄還元作用（DIR）などの鉄還元菌による2価鉄の沈殿作用など議論されている(*eg*. Bekker *et al*. 2014)．近年，鉄沈殿物の形成は，生物活動を伴わなず，初生鉱物としてグリーナライトとして沈殿した報告がなされてきた(Rasmussen *et al*. 2013, Rasmussen *et al*. 2023)．一般に，鉄沈殿物は後の続成作用や変成作用で形態を簡単にかえていくため，初期状態を復元することが難しい．本研究では，31億年前において世界で最も保存状態が良いクリーバービル層中のBIF中に含まれる鉱物について， 電子顕微鏡観察を行おこない，どのような鉱物が含まれているかを明らかにした．

2. 方法

CL3掘削コアの岩石サンプルの薄片を作成し，肉眼及び偏光顕微鏡観察を行った．全岩の構成鉱物はX線回折分析(Rigaku Ultima Ⅳ)で決定した．化学組成分析及び微細構造観察はSEM(JEOL JSM-6500M)，EPMA(JEOL JXA-8200)，XRF(Rigaku ZSX Primus Ⅳ)，ICP-MS(アジレント・テクノロジーAgilena 7700X)を用いた．また，一部の試料に対し九州大学超顕微解析研究センターのFIB-SEM（FEI Quanta 3D 200i，HITACHI MI4000L）を用いて針状結晶を含むチャート中の石英より薄膜試料を作成し，電子顕微鏡(JEOL JEM-ARM300F2)を用いて組織観察，鉱物種の同定を行った．

3. 結果

層状チャート層は，1 cm以下の淡緑色の粘土質ラミナと白色のチャート質ラミナの互層になっている．XRDの結果から，構成鉱物はシデライトと石英，マグネタイトであった．偏光顕微鏡およびSEM観察により粘土質ラミナは，細粒のシデライトによって構成され，続成作用により堆積当時の構造を失っていた．一方，チャート質ラミナは，主に直径2~10 μm石英によって構成されているが，一部自形結晶のシデライト，10~50 μm程の板状結晶の緑泥石がみられ，シリカマトリックス中においては5 μm以下の針状結晶が観察できた. 針状結晶を含むFIB試料は石英のほか，球状で直径約2 μmの鉄酸化物，石英中や石英の粒界に数μmの針状結晶が観察でき，これらの針状結晶は14 Åの底面反射の緑泥石鉱物．STEM-EDSマッピングより化学組成は$(Fe^{2+}_{3.92}, Al_{1.49}, Mg_{0.64})_{\Sigma 6.05}(Si_{2.43}Al_{1.57})_{\Sigma 4.00}O_{10}(OH)_8$であり，鉱物種はシャモサイトであった．また，薄膜試料中の石英粒の一部に1 μm以下の空隙が多数存在するものがある．この石英中に500 nm以下の針状結晶がいくつか見られた．これらの針状結晶は7 Åの底面反射の蛇紋石鉱物で，STEM-EDSマッピングより化学組成は$(Fe^{2+}_{1.94,} Al_{0.73,} Mg_{0.28})_{\Sigma 2.95}(Si_{1.38}Al_{0.62})_{\Sigma 2.00}O_5(OH)_4$であり，鉱物種はベルチェリンであった．ベルチェリンが初期堆積鉱物であるとしたら，当時の海洋に初期大陸などからのAlの供給されていた可能性が考

えられる.

４．引用文献

Kiyokawa *et al.*, 2012, Lateral variations in the lithology and organic chemistry of a black shale sequence on the Mesoarchean seafloor affected by hydrothermal processes: The Dixon Island Formation of the coastal Pilbara Terrane, Western Australia. Island Arc, 21, 118–147

Rasmussen, B., *et al.*, 2013. Iron silicate microgranules as precursor sediments to 2.5 billion-year-old banded iron formations. Geology, 41, 435–438.

キーワード：縞状鉄鉱層、ベルチェリン
Keywords: Bannded Iron Formation, Berthierine

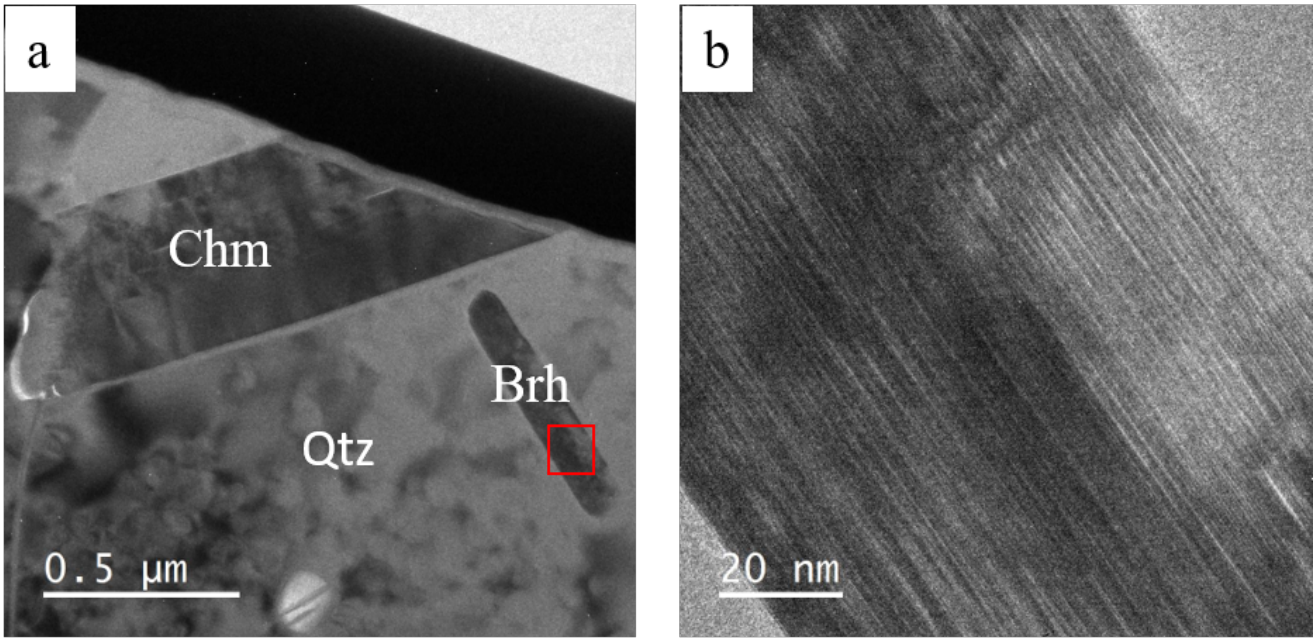


Fig. 1 (a)TEM images of chamosite and berthierine. (b) Enlarged TEM image of berthierine in the red box area of (a). Qtz: Quartz. Chm: chamosite. Brh: berthierine.

長野県大鹿村のカンラン岩中の自然鉄を含む蛇紋石脈の微細構造

Microstructure of serpentine veins containing native iron in dunite in Oshika Village, Nagano Prefecture, Japan

*武田 侑也[1]、桑原 義博[2]、上原 誠一郎[3]
*Yuya TAKEDA[1], Yoshihiro Kuwahara[2], Seiichiro Uehara[3]

1. 九大・地球社会、2. 九大・比文、3. 九大・博物館
1. kyushu Univ. ISGS, 2. kyushu Univ. SCS, 3. kyushu Univ. Museum

1. はじめに

蛇紋岩化作用はカンラン石と熱水から蛇紋石を生成する反応で，カンラン石中の2価鉄から磁鉄鉱を生成するため2価鉄の一部が3価鉄になる．そのときに水素が発生し，より還元的な環境が形成され，自然鉄，アワルワ鉱(NiFe-NiFe)などが形成される場合がある (Frost, 1985).

長野県大鹿村のカンラン岩は入沢井と大河原にあり，その中の蛇紋石脈に日本で初めて蛇紋岩化作用で生じる自然鉄が報告され(岡本ら, 1981; Sakai & Kuroda , 1983)，蛇紋石脈はその前後関係から3段階あり，自然鉄は蛇紋石脈の2段階目のクリノクリソタイルとブルース石からなる脈に見られるとされた．本研究では楕円形の自然鉄を含む蛇紋石脈について微細構造観察を行った．

2. 方法

長野県大鹿村のカンラン岩体について野外調査を行い，ダナイト，ウェールライト，蛇紋岩について薄片を作成し，肉眼及び偏光・反射顕微鏡観察を行った．全岩及び蛇紋石脈の構成鉱物はX線回折分析(Rigaku Ultima Ⅳ，Rigaku RINT RAPID Ⅱ)で決定した．化学組成分析，微細組織観察にはSEM (JEOL JSM-7001F) 及びFE-EPMA(JEOL JXA-8530F)を用いた．また，九州大学超顕微研究センターのFIB-SEM(FEI Quanta 3D 200i, HITACHI MI4000L)を用いて薄膜試料を作成し，電子顕微鏡(JEOL JEM-ARM300F2)で組織観察及び化学組成の測定を行った．

3. 結果

カンラン岩は主にカンラン石，クロム鉄鉱で構成され，その中に幅数cm～数10μmの直線的な蛇紋石脈がある．脈は4方向あり，薄片による観察により脈の前後関係から蛇紋石脈Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳとした。蛇紋石脈は主にリザーダイト，多角柱状蛇紋石，ブルース石，磁鉄鉱，自然鉄，アワルワ鉱で構成される．脈中の蛇紋石とブルース石の化学組成をSEM-EDSで測定し，#Mg=Mg/(Mg+Fe)を求めた結果，蛇紋石脈Ⅰ，Ⅱの蛇紋石は#Mg=0.94ブルース石は#Mg＝0.66˜0.79であり，蛇紋石脈Ⅲ，Ⅳの蛇紋石は#Mg＝0.96，ブルース石は#Mg=0.77～0.86であった．

自然鉄は蛇紋石脈Ⅲ及びⅣに存在する．蛇紋石脈Ⅲは10 μm ˜ 100 μm，薄片の肉眼観察では灰緑色で，偏光顕微鏡では無色透明に見える。脈の中心にブルース石に富む部分があり，脈とカンラン石の境界には長さ数μmから20 μmの針状の変質部が蛇紋石脈からカンラン石結晶内部に向かって見られた.自然鉄は楕円形を呈していて，脈に沿って楕円の長軸が脈に対して垂直になるように並び，脈の縁や中心には微小な結晶のアワルワ鉱が観察された．

TEMによる観察で，針状変質部はリザーダイトとブルース石で構成され，カンラン石との境界は蛇紋石で中心にはブルース石が存在していた．針状変質部に近い蛇紋石中には長径3.5μmの自然鉄も確認され，Niに富む粒子も確認でき，Niに富む部分の化学組成はNiFeのアワルワ鉱であった．また，蛇紋石脈は、カンラン石に近い場所は多角柱状蛇紋石で構成され，一部クリソタイルを含む．脈の中心に近くなるとリザーダイトとブルース石で構成されていた．STEM-EDSマッピングの結果から蛇紋石，ブルース石の化学組成を求めた．針状変質部の蛇紋石の#Mgは0.94でブルース石の#Mgは0.83であった．また，脈中のリザーダイトの#Mgは0.96，多角柱状蛇紋石＋クリソタイルの#Mgは0.97で，ブルース石の#Mgは0.87であった．

過去の研究で本産地のカンラン岩の蛇紋岩化は3段階としていたが今回の観察から，蛇紋岩化作用は大き

く２回あったと考えられる．また，自然鉄を含む蛇紋石脈はクリノクリソタイルとブルース石で構成されるとしたが，実際はリザーダイトと多角柱状蛇紋石，ブルース石であった．また，ブルース石の組成は針状変質部よりも蛇紋石脈の方が鉄に乏しく，自然鉄の生成に関連する可能性がある．

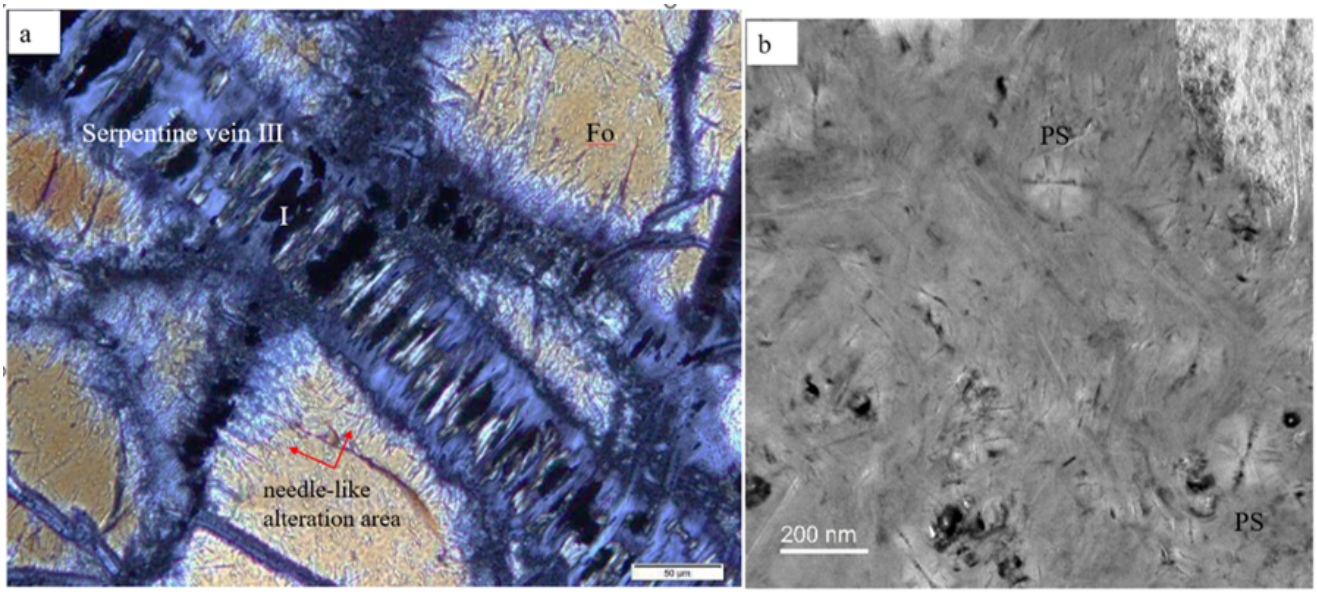
4. 参考文献

Frost, B.R. (1985) On the Stability of Sulfides, Oxides, and Native Metals in Serpentinite, J. Petrol, 26, 31-63.

岡本 正也，井上 善嗣，黒田 吉益, (1981)長野県大河原付近のかんらん岩より自然鉄の発見, 地質学雑誌, 87, 597-599.

Sakai, R. and Kuroda, Y. (1983) Native iron and the associated minerals from the ultramafic masses in the Sanbagawa belt, central Japan, J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol. 78, 467-478.

キーワード：蛇紋石、自然鉄
Keywords: serpentine, native iron



Photographs of serpentine vein including native iron.
(a) Polarized optical microscope image of serpentine vein and needle-like alternation area.
(b) Bright field TEM images of polygonal serpentine.
I: iron. Fo: forsterite. PS: polygonal serpentine.

ポスター | R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

2023年9月15日(金) 12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R2：結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

12:00 ~ 14:00

[R2P-01] 動力学散乱理論に基づく電子顕微鏡像および電子回折パターンのシミュレーションソフトウェアの開発

*瀬戸 雄介[1]、大塚 真弘[2] (1. 大阪公立大・院理、2. 名古屋大・未来材料・システム研)

12:00 ~ 14:00

[R2P-02] 漂着軽石を出発物質としたカリ質ケイ酸質鉱物肥料合成の試み

「発表賞エントリー」

*浦添 春記[1]、大藤 弘明[1] (1. 東北大学)

12:00 ~ 14:00

[R2P-03] 低温下または高圧下X線回折によるNH_4Clの相転移その場観察

*小松 一生[1]、村上 喬紀[1]、中野 智志[2]、鍵 裕之[1] (1. 東大・院理、2. 物材機構)

12:00 ~ 14:00

[R2P-04] **アルカリフラックスを用いた風化花崗岩（マサ土）からの ケイ酸質カリ質鉱物肥料の合成**

「発表賞エントリー」

*石田 大輝[1]、大藤 弘明[1] (1. 東北大・院理)

12:00 ~ 14:00

[R2P-05] イソプロピルアミンを包接するシリカクラスレート自形結晶の合成とその特徴

*磯谷 舟佑[1]、玉井 伸幸[1]、横山 優花[1]、谷 篤史[1]、瀬戸 雄介[2] (1. 神戸大・院人間発達環境、2. 大阪公立大・院理)

12:00 ~ 14:00

[R2P-06] 微細組織と包有物から探る多結晶ダイヤモンド，カーボナードの起源

「発表賞エントリー」

*種谷 渉[1]、大藤 弘明[1] (1. 東北大学)

12:00 ~ 14:00

[R2P-07] **vateriteのcalcite化に与えるNaとKの効果の相違**

*古川 登[1]、木之田 亜海[1] (1. 千葉大学理学部地球科学科)

12:00 ~ 14:00

[R2P-08] アルファリコイルトラック検出のための合成ジルコンの作成・検証

*濵田 麻希[1]、長谷部 徳子[2] (1. 金沢大学・理工、2. 金沢大学環日本海域環境研究センター)

12:00 ~ 14:00

[R2P-09] ラマンスペクトルによるAl-Fe^{3+}系緑簾石中のFe^{3+}含有量の見積り

*永嶌 真理子[1,2]、Mihailova Boriana[2] (1. 山口大・院創成、2. Erdsystemwiss. Uni Hamburg)

動力学散乱理論に基づく電子顕微鏡像および電子回折パターンのシミュレーションソフトウェアの開発

Development of simulation software for electron microscope images and electron diffraction patterns based on dynamical scattering theory

*瀬戸 雄介[1]、大塚 真弘[2]
*Yusuke SETO[1], Masahiro OHTSUKA[2]

1. 大阪公立大・院理、2. 名古屋大・未来材料・システム研
1. Osaka Metropolitan Univ. Sci., 2. Nagoya Univ. IMaSS.

透過電子顕微鏡(TEM)法は、ナノメートルスケールでの結晶相同定・構造解析・方位解析の強力なツールとして普及しており、鉱物科学を含む多くの物質科学分野において必須の分析手法である。近年、電子銃の高輝度化や高感度CMOSカメラの普及に伴って高速かつ定量的な回折強度の取得が可能となり、その重要性はますます高くなっている。一方、TEMによって得られるデータの解釈には空間群や逆空間の理解が必要となり、初学者にとってはやや敷居の高い面もある。また電子回折やTEM像は、多重散乱の効果や電磁レンズの収差によって変調されるため、定量的なデータ解析を行うためには精密なシミュレーションが不可欠となる。このような背景を踏まえ、著者らはオープンソースの結晶学ソフトウェアReciProを長年開発している (Seto & Ohtsuka, 2022)。本発表では最近のReciProの概要、主要な計算アルゴリズム、および将来展望を紹介する。

ReciProは、結晶データベースの探索、結晶構造とゴニオメーターの可視化、ステレオネット投影、回折パターンとTEM像のシミュレーション、回折スポットの指数付けといった機能を提供するソフトウェアである。ReciProは標準表記の空間群 (230種) に加えて軸交換を考慮した空間群 (530種) の対称操作情報を内蔵しており、任意の結晶構造をソフトウェア上で再現できる。またインストールファイルの中にAmerican Mineralogist Crystal Database (AMCSD) (Downs & Hall-Wallace, 2003)を同梱しており、オフライン環境でも2万以上の鉱物構造モデルを利用できる。結晶の回転状態は全ての機能 (3D結晶構造、ステレオネット、単結晶回折など) で同期されており、いずれかの機能上で結晶を回転させると他の機能に即座に反映される。

主要な機能の一つとして、単結晶回折のシミュレーション機能がある。入射波としてX線、電子、中性子が選択できる。X線および中性子線源については、運動学的散乱近似 (1次の摂動論) に基づいて計算を行う。すなわち回折強度は、単純に結晶構造因子の振幅の2乗と励起誤差から推定される。電子ビームについては、ブロッホ波法 (Bethe, 1928) に基づいて動力学的効果を計算する。この手法では、結晶中の電子の状態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、さらに試料界面で入射/出射波と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。ReciProでは制限視野電子回折 (SAED)、歳差電子回折 (PED)、収束ビーム電子回折 ((LA)-CBED) の動力学的散乱シミュレーションをサポートしている。CBEDでは収束電子線を多数の平面波の重ね合わせとして表現する。なお、ブロッホ波法は一般に計算コストが高いという問題があるが、アルゴリズムの工夫とCPUの並列化により、実用上問題ないレベルの計算速度を実現できている。

さらに、ReciProは高分解能TEM (HRTEM) 像および走査TEM (STEM) 像の計算にも対応している。前者 (HRTEM) は、対物レンズの球面収差やデフォーカスによる収差、電子ビームの部分的な時空間的コヒーレンス、動的散乱効果による試料の厚みの変化などによって変調される効果を考慮し、任意の倍率/解像度でシミュレーションを行う。後者 (STEM) では、CBED同様に入射する収束電子を多数の平面波として表現する。さらにフォノン励起に伴う熱散漫散乱（TDS）によって非弾性散乱する効果を、散乱角依存性を考慮して積分計算することで、環状検出器を利用したSTEM像 (たとえばSTEM-HAADFなど) のシミュレーションに対応している。

ReciProは、MITライセンスのもとで配布されている

(https://github.com/seto77/ReciPro/releases/latest/)完全なフリー・ソフトウェアであり、Microsoft Windows 7以降とMicrosoft .NET Desktop 7.0ランタイム上で動作する。すべてのソースコードと詳細なドキュメントは、上記のGitHubリポジトリで公開されている。

参考文献:
Downs, R. T. & Hall-Wallace, M. (2003). American Mineralogist 88: 247-250.
Seto, Y. & Ohtsuka, M. (2022) Journal of Applied Crystallography 55: 397-410.

キーワード：電子回折、透過電子顕微鏡、動力学的散乱理論、高角環状暗視野像、コンピュータシミュレーション
Keywords: Electron diffraction, Transmission electron microscopy, Dynamical scattering theory, HAADF, Computer simulation

漂着軽石を出発物質としたカリ質ケイ酸質鉱物肥料合成の試み

Synthesize of potassium silicate mineral fertilizer from drifted pumice

*浦添 春記[1]、大藤 弘明[1]
*Haruki Urazoe[1], Hiroaki Ohfuji[1]

1. 東北大学
1. Tohoku University

2021年８月に発生した福徳岡ノ場の海底火山噴火により、南西諸島を中心に日本の海岸各地には、大量の軽石が漂着し、船舶の航行や漁業、観光業などに大きな被害をもたらしたことは記憶に新しい。漂着軽石はコンクリートの材料、テトラポットの製造、水はけを良くする土壌改良剤や、鉱山跡地への埋め戻しに使うなど、その扱いには苦慮していた。

本研究ではそれらの漂着軽石の有効な活用法の一つとして、カリ質ケイ酸質鉱物肥料の合成を試みた。カリ質珪酸質鉱物肥料「けい酸加里」は水稲用肥料として、４０年にわたり製造、販売、利用されている、土壌中へK、Siを供給する肥料である。「けい酸加里」は、火力発電の副産物として生じる石炭灰（フライアッシュ）を原料とし、KOHや$Mg(OH)_2$などの添加物を加え、1000℃超えの高温で焼成して製造されている。漂着軽石はフライアッシュとよく似た（SiとAlを主成分とした）全岩組成を有し、全体的にガラス質であることから、「けい酸加里」と同等の性質をもつ鉱物肥料の合成は可能であると予想される。そこで本研究では、漂着軽石を出発物質としたカリ質珪酸質鉱物肥料の合成を試みた。

漂着軽石は蒸留水で洗浄し、乾燥後、鉄乳鉢及びメノウ乳鉢を用いて粉末にした。XRF分析で求めた軽石の全岩化学組成をもとに、市販の「けい酸加里」に近い組成になるようにKOH溶液 (5 M), $Al(OH)_3$, $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$の各試薬を添加し、磁性るつぼに入れ、130℃で予備乾燥を行った後、電気炉中で加熱合成を行った。加熱温度は800℃、900℃、1000℃、1100℃、加熱時間は２時間を基準とした。また、加熱時間の違いによる生成物の変化を見るために、加熱温度1100℃で加熱時間を5分、1時間、12時間とした実験も行った。加熱後、電気炉ごと徐冷して試料を回収した。回収試料の評価、化学組成の分析には、粉末XRD及びSEM-EDSを用いた。

XRD測定の結果、800℃、900℃からの回収試料からはカリオフィライト（理想組成$KAlSiO_4$）とマグネサイトのピークが検出された。前者は市販の「けい酸加里」の主要構成相であり、軽石を出発原料に用いた場合でもKOHとの反応によりカリオフィライトが生じることを確認できた。一方、マグネサイトは試薬として加えた$Mg(OH)_2$と空気中のCO_2との反応によって生じたものと推測される。一方、1000℃以上からの回収試料では、カリオフィライトに加え多形であるカルシライト、及び製品の「けい酸加里」の第二相を構成するオケルマナイトのピークが認められた。1100℃で加熱時間を変えた実験では、加熱時間の増加に伴いカルシライトとオケルマナイトのピークが高くなり、相対的にカリオフィライトのピークは低くなった。先行研究（Dimitrijevic and Dondurt, 1994）においても加熱温度の上昇もしくは加熱時間の増加に応じてカルシライトが増加していくことから、カリオフィライトは準安定相として生成されていると考えられる。

SEM-EDSによる試料断面の観察の結果、800℃～900℃からの試料は空隙に富み、出発物質の火山ガラスの粒子形状がほぼ保たれていたが、1000℃以上からの回収試料では各粒子が連結・癒着し、空隙が減少している様子が確認された。断面において$KAlSiO_4$相（カリオフィライト/カルシライト）の粒子形状は不明瞭で全体として塊状であるのに対して、オケルマナイトは単柱状の自形結晶として$KAlSiO_4$相の基質中に析出していた。900℃からの回収試料では、軽石由来の火山ガラス粒子の周縁からKとAlが拡散してきているような組成累帯が観察され、オリジナルの粒子形状を残していることを踏まえても、$KAlSiO_4$相およびオケルマナイトの生成は、固相反応によって進行すると考えられる。

本研究の結果、漂着軽石を原料として1100℃で、２時間程度加熱することにより、製品の「けい酸加里」とほぼ同等なカリ質ケイ酸質鉱物肥料の合成が可能であることが分かった。近年では小笠原諸島やトンガ

の例にみられるように、海底火山の爆発的噴火により大量の軽石が発生し、沿岸域に漂着することは今後も繰り返される可能性が高い。邪魔者扱いされ、処理に困る漂着軽石であるが、水稲用の鉱物肥料への転換はその有効活用の１つとなり得るだろう。

キーワード：漂着軽石、カリ質ケイ酸質鉱物肥料、カリオフィライト、カルシライト、オケルマナイト
Keywords: drifted pumice, potassium silicate mineral fertilizer, kaliophilite, kalsilite, akermanite

低温下または高圧下X線回折によるNH_4Clの相転移その場観察

In-situ observation using x-ray diffraction for phase transitions of NH_4Cl under low-temperature or high-pressure

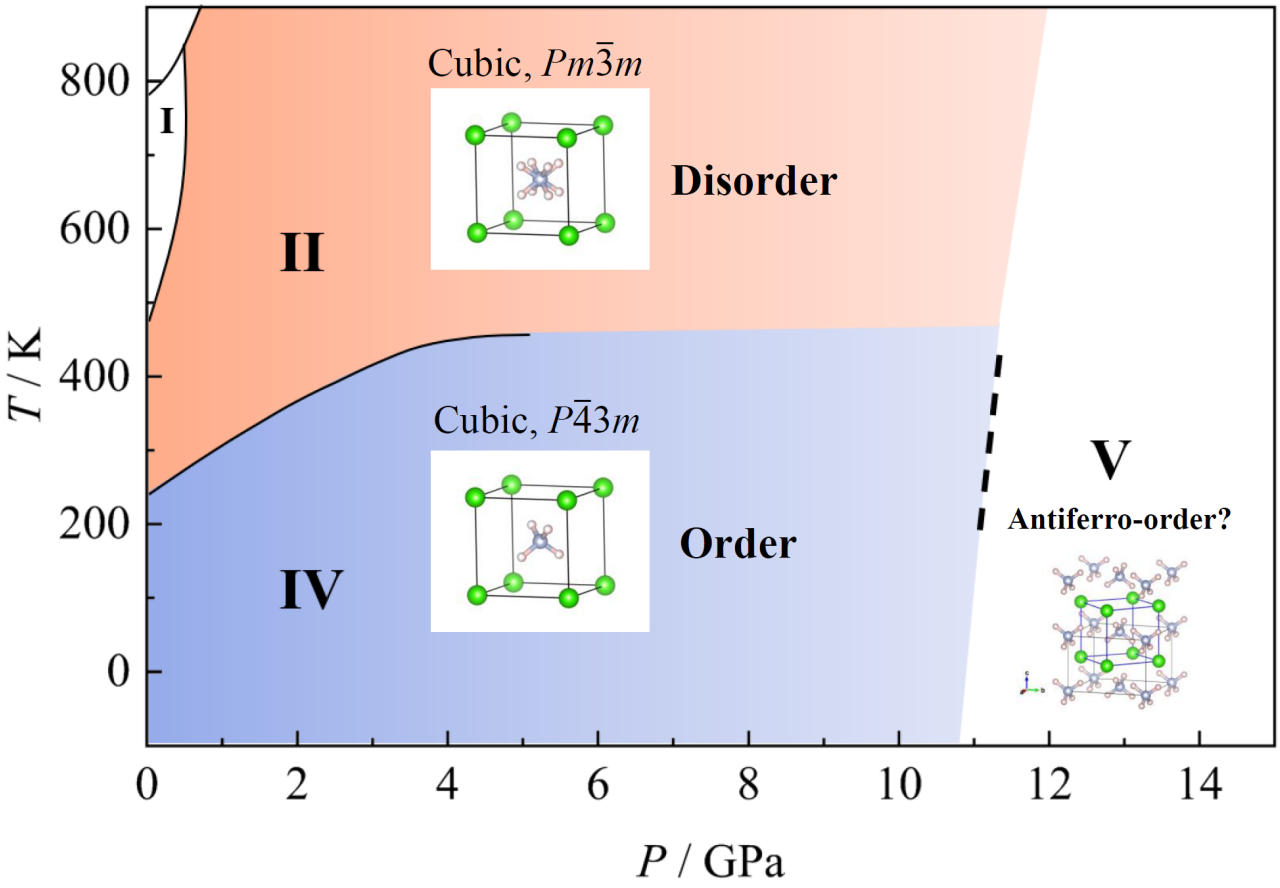
*小松 一生[1]、村上 喬紀[1]、中野 智志[2]、鍵 裕之[1]
*Kazuki Komatsu[1], Takanori Murakami[1], Satoshi Nakano[2], Hiroyuki Kagi[1]

1. 東大・院理、2. 物材機構
1. Sci. UTokyo, 2. NIMS

ハロゲン化アンモニウム(NH_4X; X = Cl, Br, I)は一般に単純なCsCl型構造を持ち、アンモニウムイオンの配向に関係する秩序-無秩序転移を起こす。NH_4Clは常温ではCsCl型構造(空間群 *Pm*-3*m*)を持ち、これはII相と呼ばれ、アンモニウムイオンは2つの可能な配向の間で無秩序構造をとる。II相を常圧で243Kまで冷却すると、IV相（空間群*P*-43*m*）に変化し、アンモニウムイオンは秩序構造をとる（図1）。室温では、II-IV相転移は約1 GPaで起こり、さらに圧縮すると、IV相は約11 GPa以上でV相に転移する[1]。NH_4Cl の V 相の構造はラマン分光法 [1] やエネルギー分散型 XRD [2] から NH_4I のV相の結晶構造との類似 [3] が示唆されている。しかし、V相の結晶構造はいまだ回折法によっては決定されていない。本研究では、NH_4Cl の低温あるいは高圧下での X 線回折実験を行い、II-IV 遷移と IV-V 遷移の体積変化を調べるとともに、V相の結晶構造の解析を試みた。 X線回折実験は、高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーBL-18Cにて単色X線(λ = 0.6192 Å）を用いて行った。2次元フラットパネル検出器で得られた回折パターンは、IPAnalyzerとPDIndexerを用いて1次元回折プロファイルに変換した[4]。II-IV転移については、室温での高圧実験を常圧から約3 GPaまで連続的に行った。ベローズを用い、0.5 MPaから2.5 MPaまで0.01 MPa/minの速度でヘリウムガス圧力によりDACの荷重を精密に制御した。圧力伝達媒体にはDaphne 7575オイルを使用した。得られた回折パターンから、NH_4Clの単位胞体積の圧力依存性と温度依存性を調べたところ、室温高圧下でのII-IV転移に伴う体積変化は極めて微小であるのに対し、常圧低温下での体積変化はX線回折でもはっきりと観察することができた。 一方、V相の構造決定実験では、圧力媒体としてヘリウムを用いた。V相の安定領域である15.4 GPaで得られた回折パターンをNH_4IのV相と同形の構造モデルを用いてリートベルト解析したところ、比較的良い一致を示すことが明らかになった。

[1] Heyns, *J. Phys. Chem. Solids*, **1980**, 41, 769-776 [2] Schulte and Holzapfel, *High Press. Research*, **1990**, 4, 321-323 [3] Huang et al., *RSC Adv.*, **2015**, 5, 40336-40340 [4] Seto *et al.*, *Rev. High Press. Sci. Technol.*, **2010**, 20, 269-276

キーワード：NH4Cl、X線回折、低温、高圧
Keywords: NH4Cl, X-ray diffraction, Low temperature, High pressure


Cubic, $Pm\bar{3}m$
Disorder
II
I
Cubic, $P\bar{4}3m$
Order
IV
V
Antiferro-order?
800
600
400
200
0
T / K
0
2
4
6
8
10
12
14
P / GPa

アルカリフラックスを用いた風化花崗岩（マサ土）からの ケイ酸質カリ質鉱物肥料の合成

Synthetic of potassium silicate minerals from a weathered granite with alkaline fluxes

*石田 大輝[1]、大藤 弘明[1]
*Hiroki Ishida[1], Hiroaki Ohfuji[1]

1. 東北大・院理
1. Tohoku Univ. Sci.

はじめに

カリウムは, 植物の成長において欠かすことができない重要な元素で, 窒素（N）やリン（P）と合わせて植物の三大必須栄養素である. 一方, 自然界に存在するカリウムの大半はカリ長石や黒雲母などの造岩鉱物に含まれる不溶性形態であり, そのまま肥料として用いることは難しい．資源としては可溶性の塩化カリウムが採掘されているが，その産出はカナダやロシアなどごく一部の国に限られている．よって，日本を含めた多くの国では，それらの産出国から輸入することでカリウム需要を満たしている. 昨今, 世界情勢の不安定化によってカリウム価格が高騰し，農業用肥料としてのカリウムの安定確保が重要な課題となっている． 水稲用の緩効性カリ肥料として，石炭火力発電で生じるフライアッシュ（石炭灰）を原料として製造される「けい酸加里」が知られている．けい酸加里はフライアッシュにカリウムやアルミニウム, マグネシウム分を添加し，約1100℃で焼成して製造されている.カリウムに加えてケイ酸を多く含むため, 組織内に非晶質シリカ（プラントオパール）を蓄積するイネの栽培にとって「けい酸加里」は重要な肥料である．「けい酸加里」の原料のフライアッシュは石英，ムライトおよびガラス質で構成されSiOとAlOに富むバルク組成を持っている．本研究では，フライアッシュの代替として比較的バルク組成の似た風化花崗岩（マサ土）を用いたケイ酸質カリ質鉱物肥料の合成を試みた．将来的には，風化花崗岩中のカリ長石や雲母類に含まれるカリウムの利用を検討したいが，まずは生成相や生成プロセスを理解するため，カリウムを添加した系における実験を行った．

出発物質と手法

出発原料として愛媛県松山市北条産のマサ土（領家花崗岩の風化物）を用いた. 光学顕微鏡観察やSEM-EDS, XRF分析を行いマサ土の含有鉱物やバルク組成を調べた. 合成実験には磁製るつぼを用い, 粉末にしたマサ土試料2 gに5M濃度のKOH溶液および Al(OH), Ca(OH), Mg(OH)粉末試薬を規定量加え, 爪楊枝を使って攪拌した後130℃で乾燥させ，その後, 電気炉中で800-1100℃で10-720分の加熱を行った. その後徐冷して試料を回収し, 粉末XRDおよびSEM-EDSを用いて生成相の同定と微細組織観察, 化学分析を行った.

結果と考察

出発試料として用いたマサ土は主に石英, 斜長石, カリ長石, 黒雲母から構成され, 黒雲母は部分的にバーミキュライト化が進行していた. XRFによるバルク組成分析から70.8 wt.%のSiOと14.7 wt.%のAlO, 3.6 wt.%のKOが含まれていることが分かった. 実験回収試料のXRDの結果, 800℃で120分間焼成したものでは原料であるマサ土の構成鉱物である石英や長石が多く残っていたが, リューサイト（KAlSiO）と製品の「けい酸加里」の主要構成相であるカリオフィライト（$KAlSiO_4$）が少量生成されていた. 900℃で120分間焼成したものでは800℃よりは反応が進んでいたものの石英のピークが残留していた. 1000～1100℃で120分間焼成したものでは出発物質は全て反応し, 主にカリオフィライト, リューサイト, オケルマナイト（CaMgSiO）で構成されていたが, カリオフィライトの生成量はより高温条件で多く，また, 同じ焼成温度では，加熱時間を長くするほど多くなる傾向が見られた. 次に, 回収試料の断面をSEM-EDSで観察した結果, 焼成温度の上昇に伴い，石英や長石粒子の周縁からK，Alが拡散し，固相のまま出発粒子を交代してゆく様子が観察された. 元素ごとに拡散速度に差がありKは拡散が速く, Alは遅く, カリオフィライトの生成はAlの拡散速度に律速されていることが分

かった．XRDの結果を合わせて考えると，[OH1] 反応初期には拡散速度の速いKが先行して石英，長石粒子内部に浸透し，非晶質相が形成される. その後, Alが拡散してくると，非晶質領域はまずSiOに富むリューサイトが結晶化し，K，Alの拡散が十分に進行した領域ではリューサイトよりもSiOに乏しいカリオフィライトが生成されたと推測される. 焼成温度が1000℃, 1100℃と上昇するにつれて出発物質の鉱物粒子の境界は不明瞭になり，（多孔質ではあるが）全体として塊状の組織へと変化していく様子が確認された.

以上より，出発物質に風化花崗岩を用いた場合でも，1000℃程度の加熱による固相反応の結果「けい酸加里」と同等のカリ質ケイ酸質鉱物肥料が合成できることが分かった.

キーワード：風化花崗岩、カリ質ケイ酸質肥料、カリオフィライト、オケルマナイト
Keywords: weathered granite, potassic silicic fertilizer, kaliophilite, åkermanite

イソプロピルアミンを包接するシリカクラスレート自形結晶の合成とその特徴

Synthesis and characterization of euhedral silica clathrate with isopropylamine

*磯谷 舟佑[1]、玉井 伸幸[1]、横山 優花[1]、谷 篤史[1]、瀬戸 雄介[2]
*Shusuke Isogai[1], Nobuyuki Tamai[1], Yuka Yokoyama[1], Atsushi Tani[1], Yusuke Seto[2]

1. 神戸大・院人間発達環境、2. 大阪公立大・院理
1. Kobe Univ. Human Dev. Environ., 2. Osaka Metroplitan Univ. Sci.

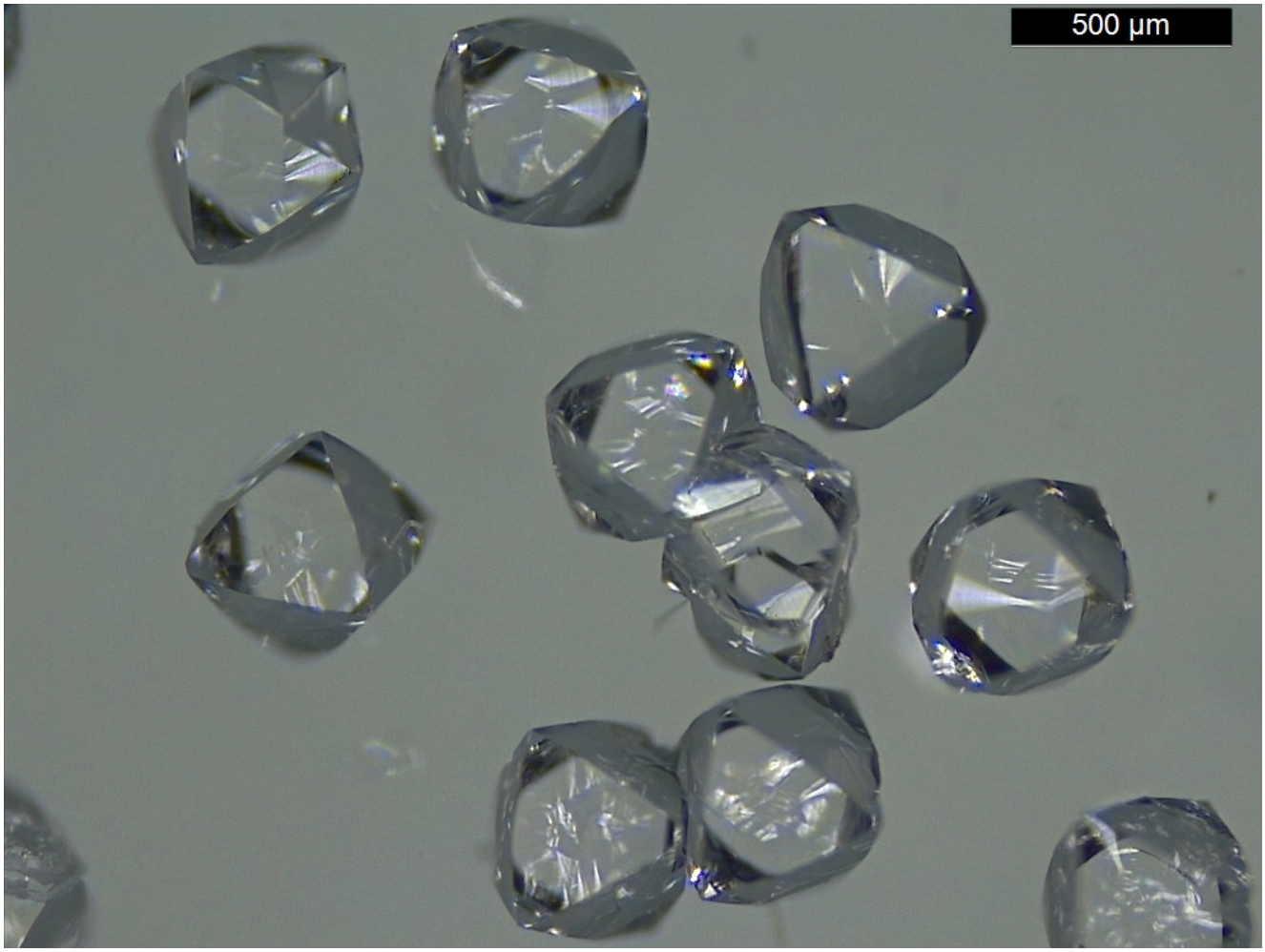
シリカクラスレートは，二酸化ケイ素（SiO_2）がホストとしてかご状構造を形成し，かごの中に入っているガス分子をゲスト分子として包接する化合物である．ゲスト分子のサイズにより，構造の異なるメラノフロジャイト，千葉石，房総石などの鉱物に分類される．

千葉石は，千葉県南房総市荒川の海洋堆積層群の石英脈から発見された鉱物であり，十二面体と十六面体のかごが組み合わさって，メタン，エタン，プロパンやイソブタンといった炭化水素ガスを包接する構造を持つ[1]．この産地の千葉石は堆積岩層の形成後に生成したと考えられているが，正確な生成年代についてはよく分かっていない．我々は，この千葉石を電子スピン共鳴法 (ESR) により観察し*tert*-ブチルラジカルなどの有機ラジカル種が天然の状態で残存していることが明らかにした．さらにこれらの有機ラジカル種が年代とともに増加していくことを想定し，年代測定が可能かについて検討を行ったところ，有機ラジカル種とゲスト分子の間で水素引抜反応が起こることが示唆された[2]．すなわち，ESR年代測定に必要な総被曝線量の評価には千葉石構造におけるラジカル種の挙動を調べる必要があり，そのためには組成を制御した千葉石が必要となる．以上の背景を踏まえ，本研究では，実験室で良質の千葉石を合成し，その鉱物学的特徴を明らかにすることを目的とした．

まず，一種類の炭化水素分子を包接する千葉石の合成を試みたが，炭化水素ガスの水への溶解度が低いこともあり，試料合成は困難であった．そのためイソブタンのメチル基がアミノ基となったイソプロピルアミンに着目し，これを包接した千葉石と同様の構造をもつ結晶を次のように合成した．まず，オルトケイ酸テトラエチル (TEOS) と水を混合し，加水分解させてオルトケイ酸溶液を作製した．これにイソプロピルアミン水溶液を10：3の体積比で混ぜ，テフロン内筒耐圧容器に入れて180 ºCで約1.5か月静置した．回収した溶液には，Fig. 1に示すような直径500 μm程度の八面体構造の自形結晶の生成が確認された．これらの生成物の粉末X線回折測定を行ったところ，千葉石と同様の結晶構造を持つことが分かった．また，ラマン分光測定により結晶中にイソプロピルアミンが含まれていることが確認された．発表では，薄片観察の結果に加え，光学特性，発達した成長面の面指数，単結晶X線回折，およびγ線照射により生成するラジカル種についても報告する．

[1] K. Momma *et al.* (2011) *Nature Comm.*, 2, 199 [2] S. Isogai *et al.*, (2023) *Radiat. Phys. Chem.* in review

キーワード：シリカクラスレート、千葉石、合成
Keywords: Silica clathrate, chibaite, synthesis


500 μm

微細組織と包有物から探る多結晶ダイヤモンド，カーボナードの起源

Searching for clues to the origin of carbonado, an enigmatic polycrystalline diamond through analysis of nano-inclusions

*種谷 渉[1]、大藤 弘明[1]
*Wataru Taneya[1], Hiroaki Ohfuji[1]

1. 東北大学
1. Tohoku University

＜はじめに＞

カーボナードは多結晶ダイヤモンドの一つで、灰色から黒色を呈し、多孔質かつ塊状で不規則な形態を示す。通常のマントル起源のダイヤモンドと異なり、炭素同位体組成が極めて低い（-25～30 ‰）(Haggerty, 2014)、産出地がブラジルと中央アフリカ共和国の漂砂鉱床に限定されている、形成年代が極めて限定的である(2.6~ 3.5Ga) (Sano et al., 2002)など、特異な特徴を多く有しており、カーボナードの起源と成因については未だよく分かっていない。本研究では、カルボナドの起源と形成環境の手がかりを見つけるために、ブラジル産と中央アフリカ共和国産カーボナードの微細組織と初生包有物に特に着目し、電界放出型走査電子顕微鏡（FE-SEM）と透過型電子顕微鏡（TEM）を用いたナノーミクロスケールでの記載・分析を行った。

＜試料と分析方法＞

本研究には、アフリカ産（4つ）とブラジル産（3つ)の試料を用い、FE-SEM（JEOL，JSM-7001F）とTEM（JEOL, JEM-2100F）で観察を行った。試料には内部の組織・包有物を観察するための基礎加工として、厚さ数ミリになるようレーザーで割断した後、JEOLクロスセクションポリッシャを使用したArイオンミリング法と機械研磨法による仕上げを観察面に施し、試料帯電防止のため５nm厚のオスミウム蒸着を行った。さらに、TEMによる観察をする際には、FIB（Thermo Fisher Sci., SiosおよびScios2）を使用して試料から厚さ100nm以下の薄膜を作製した。

＜結果と考察＞

SEMによる断面観察の結果、カーボナードは径2～50μmの不定形のダイヤモンド粒子で構成され，それらの粒界のほとんどは直線的ではなくジグザグ状で、径1μm程度の空隙が普遍的に観察された．それらの空隙の壁面を詳しく観察すると，幾何学的な関係から｛111｝や｛100｝に相当するファセットとして解釈することができ，空隙が（半）負晶状の産状を示すことから流体で満たされていてた可能性が高いといえる．これらの空隙を伴う粒界を跨ぐようにFIBで薄膜を切り出しTEMで観察したところ、そのような空隙の内部に析出相が含まれ，また1μｍ以下の微細な空隙（負晶）がダイヤモンド粒子の内部にも含まれ，同様の析出相が含まれることがわかった。析出相のほとんどは数百nm以下で、STEM-EDSによる組成分析からSiO2，K-Alケイ酸塩、Caリン酸塩、Fe酸化物であることが確認できた。制限視野電子線回折によりK-Alケイ酸塩は、Microclineの逆格子パターンで最もよく説明され、SiO2相はたいていの場合非晶質であった。これらのダイヤモンド粒内や粒界に含まれる負晶は、ダイヤモンドの結晶成長中に捕捉された初生包有物と考えられ、カーボナードが流体に飽和した系で形成されたことを示唆するものである。負晶の内部に観察された複数の析出物は、捕獲流体から析出した娘結晶であると考えられる。析出物としてSiO2やMicroclineが含まれるということは、カーボナードがマントルの比較的浅い部分で花崗岩質の地殻物質やC-H-O流体の相互作用の結果、形成されたことを示しているのかもしれない。

キーワード：カーボナード、マイクロクリン、ダイヤモンド、TEM
Keywords: Carbonado, microcline, diamond, TEM

vateriteのcalcite化に与えるNaとKの効果の相違

Differences in the effects of Na and K on the calcitization of vaterite.

*古川 登[1]、木之田 亜海[1]
*Noboru FURUKAWA[1], Ami Kinoda[1]

1. 千葉大学理学部地球科学科
1. Chiba University

炭酸カルシウムの多形の一つであるvateriteの合成方法に，$CaCl_2$の溶液に炭酸塩の水溶液を混合する方法がある．このとき，炭酸塩としてK_2CO_3を用いた場合とNa_2CO_3を用いた場合では，生成されたvateriteの性質に差異はないものとして扱われている． 発表者らは，K_2CO_3の溶液を使用してvateriteを作成したが，Na_2CO_3を使用して作成したvaterite(松田 他，1968）よりも短時間でcalcite化が進んだ。このことから合成したvateriteをK_2CO_3およびNa_2CO_3の溶液中で反応させ，calcite化の速度を実験的に観察したところ，Kはcalcite化を促進，Naは抑制する可能性があることを見いだした。 しかし，生成物の回収時に乾燥温度が高すぎた（60℃）ため，乾燥中にcalcite化が進んでいたこと，vateriteの合成条件の違異による結晶形態の違いがカルサイト化の速度に影響を与えている可能性があることなどから，vateriteの合成方法を松田 他，(1968)の方法に統一して，再検討を行った。 出発物質のvateriteは，撹拌した30℃の3.0M/L $CaCl_2$溶液20ｍLに，同温度の1.0M/L K_2CO_3溶液もしくは1M/L Na_2CO_3溶液180ｍLを混合し，230rpmのスターラーで15分間撹拌後，ろ過し回収した。0.5ｍLのマイクロチューブに，これらのvateriteと溶液を入れ，30℃の恒温槽に設置し48時間後まで定期的に回収し，XRDでcalcite化した量を求めた。溶液は超純水，及び0.1, 0.25, 0.5M/LのK_2CO_3もしくNa_2CO_3溶液を用いた。，vateriteからcalciteへの変化量は，Rao（1973）の方法を用いて求めた。Na_2CO_3溶液で生成したvaterite（以下Vtr(Na))とK_2CO_3溶液で生成したvaterite（以下Vtr(K))では，超純水で反応させた結果，Vtr(K)のほうがVtr(Na)よりも早くcalciteになる傾向を示し，予想とは逆の結果となった。 一方，反応させた溶液による違いは，Naを含む溶液は，溶液の濃度が増加すると，カルサイト化の速度が低下する傾向を示したのに対し，溶液中のK濃度が増加するとcalcite化する速度が増加する傾向を示した。vateriteのcalcite化は水溶液中でvateriteが溶解しcalciteが沈殿する溶解沈殿反応と考えられている。水溶液中では，K^+イオンは構造破壊型イオンなのに対し，Na^+イオンは構造形成型イオンという違いがあり（上平, 1998），このような，溶液中での振る舞いの違いがcalcite化の速度に影響しているのかもしれない。 これらの結果は，これまでのvateriteの関する研究において，出発物質にNaを使用した場合とKを使用した場合の結果を単純に比較することはできないことを示している。

キーワード：バテライト、方解石化、ナトリウム、カリウム
Keywords: vaterite, calcitization, sodium, potassium

アルファリコイルトラック検出のための合成ジルコンの作成・検証

Synthesis and validation of zircon for detection of alpha recoil tracks

*濵田 麻希[1]、長谷部 徳子[2]
*Maki HAMADA[1], Noriko Hasebe[2]

1. 金沢大学・理工、2. 金沢大学環日本海域環境研究センター
1. Kanazawa University, 2. Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University

アルファリコイルトラック（ART）は，鉱物中のUやThなどの重原子がアルファ壊変する際に，元の原子核が反跳することで形成する傷で年代を決定するために用いられる．またARTがジルコン中に多く形成することで，古い時代のジルコンのメタミクト化が起こると考えられている．ジルコンは物理的にも化学的にも強く，風化の影響を受けにくいため，ARTやフィッショントラックを保存できるという利点がある．しかしこれまでにジルコン中のARTを観測した例がなく，ARTがどのように見えるのかは誰も知らない．したがって本研究では，ARTを持たない合成ジルコンに人工的にARTを発生させ，原子間力顕微鏡下でどのように見えるか検証するため，均質なジルコンの合成およびその特徴を調査するための研磨およびエッチングを行った．今回の実験でジルコン中のARTを認定する方法を確立できれば，将来的に多様な原子核やイオンの衝突による構造の認定にも道を拓き，宇宙からの粒子線の検出など，年代測定以外の分野にも応用ができるため，均質・かつ欠陥のない合成ジルコンの作成法の確立は重要だと考える． ジルコンはフラックス法で合成をした．Shinno (1987)と同様にZrO_2，MoO_3，Li_2MoO_4，およびLi_2SiO_3を84:10:3:3 molの割合で混合した出発物質を，1270℃で2時間加熱し，その後10℃/minで900℃まで冷却した．この温度条件で形成したジルコンは多くが両錐，または柱状の自形結晶であり，大きさは36 - 296 mmである．大きい自形結晶は包有物を含む．合成された結晶の1/3程度は，成長線がよく見える薄い透明の結晶であった．化学組成分析の結果，こちらもジルコンであると明らかになった．化学組成が同じであり，成長線がよく見えるため，この結晶はジルコンの骸晶であると考えられる． 生成した合成ジルコン中の骸晶の割合を減らし，均質な自形結晶を作成するため，900度まで5℃/minで温度を下げて合成を行った．結晶の大きさは37 - 375 mmであり，結晶の外形は両錐及び柱状，針状である．ゆっくり冷却を行ったためできた結晶は大きくなったが，骸晶の割合は初めに作成したものよりも多く，半分程度が骸晶であった．一見自形に見える結晶も裏側が骸晶であることが多い． 合成ジルコンのうち，比較的均質な柱状の7粒子の表面を研磨し，その後，230ºCのNaOH:KOH = 1:1の溶液で13時間エッチングを行った．観察面には研磨による傷のほかに，それに垂直な短い傷がいくつか観察された．特に粒子の最表層は不均質なエッチングによる構造が現れた。結晶内部の短い傷は研磨の際についた傷か，結晶中の線欠陥であると考えられる．この傷がART発生に影響を及ぼさないかを検討するため，ARTの観察時と同等の研磨・エッチング条件で試料を調整し，原子間緑顕微鏡を用いて観察を行う．

キーワード：合成ジルコン、アルファリコイルトラック、フラックス法
Keywords: synthetic zircon, alpha recoil tracks, flux method

ラマンスペクトルによるAl-Fe^{3+}系緑簾石中のFe^{3+}含有量の見積り

Raman spectra for estimation of the Fe^{3+} content in clinozoisite-epidote series

*永嶌 真理子[1,2]、Mihailova Boriana[2]
*Mariko NAGASHIMA[1,2], Boriana Mihailova[2]

1. 山口大・院創成、2. Erdsystemwiss. Uni Hamburg
1. Yamaguchi Univ. Sci., 2. Univ. Hamburg

本研究では15試料の天然Al-Fe^{3+}系緑簾石[$Ca_2(Al, Fe^{3+})_3Si_3O_{12}(OH)$] 33分析点から得られた化学分析値およびラマンスペクトルに基づいて，Al-Fe^{3+}系緑簾石中のFe^{3+}含有量とラマンピークの関係を提案する．各鉱物粒の化学組成と組成変化をEPMAで検討し，ラマンスペクトル取得に適した分析点を選定した．選定された分析点から得られた緑簾石のFe^{3+}含有量は0.22-1.13 Fe apfu (atoms per formula unit)である．ラマンスペクトルは格子振動に由来するピークが出現する15-1215 cm^{-1}とOH伸縮振動に由来するピークが出現する3215-3615 cm^{-1}の範囲で取得された．OH伸縮振動に由来するピークは赤外分光スペクトルの場合と同様，緑簾石中のFe^{3+}含有量の増加に伴い高波長側にシフトするため，その関係から OHに由来するピークはFe^{3+}の見積もりに適しているように考えられるが，本ピークは結晶方位による強度変化が著しく，さらに重複した複数のピークが存在するため，Fe^{3+}含有量の見積もりに本ピークを使用することは避けるべきである．一方，格子振動に由来するピークはFe^{3+}含有量の増加に伴い全体に低波長側にシフトする．特に250, 570, 600, 1090 cm^{-1}付近でみられる4つのピークは，Fe^{3+}含有量の変化に伴ってピーク位置が直線的に変化する．これらのうち6配位席MO_6に由来する250cm^{-1}付近のピークは結晶方位に強い依存性を示し，通常，隣接したピークとの重複も観察されるため，得られたスペクトルで本ピークが十分な強度を持ち，且つ隣接したピークからよく分離している場合を除き，Fe^{3+}含有量の見積もりに使用することは難しい．一方，Si_2O_7振動モードに由来する他の3つのピーク(570, 600, 1090 cm^{-1})は結晶方位による強度変化がみられるものの，いずれも周囲のピークからよく分離される傾向がある．特に570 cm^{-1}付近のピークは最も半価幅が狭く(< 10 cm^{-1})，独立したピークとしての認識が容易である．したがって，570 cm^{-1}付近のピークのピーク位置とFe^{3+}含有量から得られた関係式 w570 = 577.1(3)-12.7(4)x (R^2 = 0.97, 分析点数 = 33)を用いて見積もったFe^{3+}含有量x (apfu)は最も信頼性が高いと結論付けられる．見積もられたxの誤差は±0.04 apfuである．さらに600 cm^{-1}および1090 cm^{-1}付近のピークから得られた次の関係式 w600 = 611.6(2)-13.8(4)x (R^2 = 0.98)，w1090 = 1098.8(3)-13.5(5)x (R^2 = 0.96) を相補的に用いることで，より正確な緑簾石のFe^{3+}含有量の見積もりにつながるだろう．

キーワード：ラマン分光、緑簾石、クリノゾイサイト、鉄含有量
Keywords: Raman spectroscopy, Epidote, Clinozoisite, Fe content

ポスター | R4：地球表層・環境・生命

2023年9月15日(金) 12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R4：地球表層・環境・生命

12:00 ~ 14:00

[R4P-01] アラゴナイトとカルサイトを含有する人工飼育サンゴの骨格組織観察

*甕 聡子[1]、波利井 佐紀[2]、富岡 尚敬[3]、伊藤 元雄[3] (1. 山形大・理、2. 琉大・熱生研、3. JAMSTEC・高知コア研)

12:00 ~ 14:00

[R4P-02] 陽イオンの水和状態の違いが炭酸塩鉱物形成プロセスに与える影響：非水和溶媒を用いた検討

*岩根 直[1]、川野 潤[1]、篠崎 彩子[1]、永井 隆哉[1] (1. 北海道大・院理)

12:00 ~ 14:00

[R4P-03] **超高感度STEMイメージング法を用いたクロシドライト石綿断面微細組織観察**

大西 市朗[1]、*三浦 颯人[1] (1. 日本電子㈱)

アラゴナイトとカルサイトを含有する人工飼育サンゴの骨格組織観察

Texture observation for the skeletons consisting of aragonite and calcite of culturing scleractinian corals

*甕 聡子[1]、波利井 佐紀[2]、富岡 尚敬[3]、伊藤 元雄[3]
*Satoko MOTAI[1], Saki Harii[2], Naotaka Tomioka[3], Motoo Ito[3]

1. 山形大・理、2. 琉大・熱生研、3. JAMSTEC・高知コア研
1. Yamagata University, 2. Univ. of Ryukyus, 3. KOCHI, JAMSTEC

造礁性サンゴは主に熱帯・亜熱帯の浅海で体内の褐虫藻と共生する動物であり，炭酸カルシウム（$CaCO_3$）で構成される外骨格を持つ．これまで造礁性サンゴ骨格はアラゴナイトの多結晶集合体であると考えられてきた．しかし，近年になって，低温海域の南極海に生息し褐虫藻を持たない種や，海水の元素組成比が現在と異なる白亜紀に，カルサイトが骨格構成鉱物のサンゴがいることが報告されている（Stolarski et al., 2007; Stolarski et al., 2021）．本研究では，造礁性サンゴの石灰化における多形選択の過程および骨格形成過程ついて検証するため，カルサイトの析出しやすい環境下でサンゴを飼育し，骨格の微細組織観察を行った． カルサイトを形成させるため，共生藻から隔離した造礁サンゴ幼生（*Acropora* sp.）をカルサイトが析出しやすいとされるMg/Caモル比2.0以下の海水中で保持した．その後，ペプチド試薬（Hym-248）の添加により稚ポリプへと変態を促し石灰化を開始させ，1~2週間飼育した．生体部は次亜塩素酸ナトリウムで除去した．得られた骨格は6回対称のセプタで形成されるコラライトと底盤を持つ典型的な造礁サンゴ骨格構造を有することを，光学顕微鏡下で確認した．骨格は樹脂包埋し，その成長方向に平行な断面を研磨した．高知コア研究所に設置されている分析走査型電子顕微鏡（SEM-EDS）で骨格中の元素マッピングと，ラマン顕微鏡(RAMANtouch, Nanophoton, Osaka）による分析から，骨格のMgに乏しい領域にはアラゴナイト，Mgに富む領域にはカルサイトが分布すること確認された．集束イオンビームで骨格底盤とセプタの下部に位置するアラゴナイト–カルサイト両領域を含む薄膜を作成し，透過型電子顕微鏡（TEM）で観察した． SEM-EDSによる元素マッピングとRaman分析により，サンゴ骨格の下部にあたる底盤に集中してカルサイトが分布し，上部にアラゴナイトが分布することが示された．このことから，石灰化の初期にカルサイトが析出するような環境が続き，その後アラゴナイトのみを析出するような環境に変化したと考えられる． TEM-EDSによる元素マッピングにて， Mgに富む領域とMgに乏しい領域を確認した．制限視野電子線回折像による鉱物相同定では，Mgに富む領域にカルサイト粒子，Mgに乏しい領域にアラゴナイト粒子が存在することが確かめた．組織観察から骨格底盤下部で粒径100 nm程度の粒状，底盤上部にあたるセプタ下部では数μmの粒径の粒状や針状の結晶が骨格を構成していることが示された．粒界には10 nm程度の空隙がみられる場合がある．細粒部と粗粒部の境界は，Mgの濃度境界と一致しない．よって，結晶粒径と鉱物相の変化には関連性がないと考えられる．共生藻を有するサンゴ骨格の観察から，底盤とセプタで骨格の形成方法が異なることが示唆されている（Sugiura et al., 2021）．そのため，粒径の変化は底盤とセプタという骨格構造の違いに起因している可能性がある．ただし，本研究の観察試料は共生藻が排除されたサンゴ骨格であり，今後共生藻の影響を加味して検討する必要がある． Stolarski et al., 2007, Science, 318, 92–94. Stolarski et al., 2021, Proc. Natl. Acad. Sci., 118, e2013316117. Sugiura et al., 2021, CrystEngComm, 20, 3693-3700

キーワード：造礁性サンゴ、バイオミネラリゼーション、アラゴナイト、カルサイト
Keywords: reef-building coral, biomineralization, aragonite, calcite

陽イオンの水和状態の違いが炭酸塩鉱物形成プロセスに与える影響：非水和溶媒を用いた検討

Formation process of carbonate minerals in nonaqueous solvents

*岩根 直[1]、川野 潤[1]、篠崎 彩子[1]、永井 隆哉[1]
*Naoki Iwane[1], Jun Kawano[1], Ayako Shinozaki[1], Takaya Nagai[1]

1. 北海道大・院理
1. Hokkaido Univ. Sci

はじめに

炭酸塩鉱物はCO_2のリザーバーとして有用であり、その形成メカニズムについては古くから研究が行われてきた。近年、非晶質炭酸カルシウム（ACC）を前駆物質とする結晶の形成過程が注目を集め、数多くの研究が行われた結果、その形成過程は、従来想像されてきたよりも多様であることが明らかになっている。このような形成プロセスを決定づける大きな要因は、陽イオンの水和状態の違いであると考えられる。特に溶存Mgイオンは、ACCの安定性や、最終的に形成する結晶相に、大きな影響を与えることが知られているが、溶液中で強い水和殻を形成しており、その水和状態の違いが、炭酸カルシウムの形成プロセスに大きな影響を与える可能性がある。

そこで私たちは、誘電率や双極子モーメントが水と比較的近いホルムアミド($HCNH_2$)を、水と一定の割合で混合した非水溶媒を用いることで、陽イオンの水和状態をコントロールすることを試みた。その条件下でMg-Ca-CO_3系の合成実験を行い、形成相やそれらの相転移の様子を確認することで、Mgイオンの水和が炭酸塩形成プロセスに与える影響について考察した。さらに、Mgイオンは、その脱水和のしにくさから、固相には取り込まれにくいことが知られてきたことから、水和状態をコントロールすることによる生成物への取り込み量の変化もあわせて検討する。

手法

本研究では、溶媒として水とホルムアミドを混合したものを用いた。このとき溶媒中のホルムアミドが体積比で0,10,25%となるように調整した。それらを用いて、$CaCl_2 \cdot 2H_2O$と$MgCl_2 \cdot 6H_2O$をそれぞれ10mM含む溶液と、Na_2CO_3を20mM含む溶液を50mLずつ作成し、混合することで炭酸塩を合成した。混合後は密閉し、25℃に設定したインキュベーター内で溶液を攪拌した。混合直後、1時間、2時間、24時間後に実験溶液をろ過することで析出物を回収し、デシケーター内で1日乾燥した。その後、粉末X線回折装置により回収試料の相の同定を行うとともに、SEM-EDSを用いて形態観察及び組成分析を行った。

結果と考察

いずれの実験においても溶液混合直後に白濁が生じた。回収した析出物について粉末X線回折実験を行った結果、これらは非晶質相であることが明らかになった。EDSを用いて定性分析を行ったところ、これらはある程度のMgを含むACCであることが確認された。溶媒として水のみを用いた実験では、1時間後に回収された析出物は大部分が同様の非晶質であった。しかし、2時間経過後に回収された析出物はほとんどがモノハイドロカルサイトの結晶となっており、溶媒媒介転移が起こったことが示唆された。それに対して、溶媒として10%ホルムアミドを混合した溶液を用いた実験では、1時間経過後の析出物はほぼすべてモノハイドロカルサイトであった。水溶液中におけるACCの安定性には、溶存するMgイオンが寄与しているとの報告もあることから、本研究の結果は、非水溶媒を用いたことによるMgイオンの水和状態の違いが、ACCの安定性に影響を及ぼしたものと考えらえる。

一方、25%ホルムアミドを混合した溶液を用いた実験においては、混合直後にはACCであった析出物が1時間後にはMgを約10%含有しているカルサイトとなっていたことが、X線回折ピーク位置の解析から確認された。この結果は、水和状態の違いがACCから転移する結晶相にも影響を与えている可能性を示唆している。さらに非水溶媒の割合を変えた環境で実験を行うことにより、 Mgイオンの水和の影響を、定量化して解

析することができるようになると期待できる。

キーワード：炭酸塩鉱物、水和、非晶質炭酸カルシウム
Keywords: Carbonate minerals, Hydration, Amorphous calcium carbonate

超高感度STEMイメージング法を用いたクロシドライト石綿断面微細組織観察

Observations of nano-texture for crocidolite asbestos by using an ultra-highly sensitive STEM imaging method.

大西 市朗[1]、*三浦 颯人[1]
Ichiro Ohnishi[1], *Hayato Miura[1]

1. 日本電子㈱
1. JEOL Ltd.

はじめに：角閃石系石綿の一つであるクロシドライト石綿は，微細化しやすく，吸引性が高いことから，6種類の石綿の中でも人体への毒性が最も高いと考えられている。クロシドライト石綿の微細化に関しては，これまで多くの研究がなされている。Ahn and Buseck(1991)[1]は，高分解能透過電子顕微鏡(HRTEM)法を用いてクロシドライト石綿断面の観察を行い，クロシドライト石綿が多結晶の微繊維の集まりであり，微繊維内外に多くの積層不整や層状ケイ酸塩などが存在することを明らかにし，多結晶粒界や積層不整に沿って繊維が微細化する可能性を示唆した。しかしながら，微細化のメカニズムを明らかにするためには，積層不整などのより詳細な観察が必要である。近年急速に発達した高角度散乱暗視野走査透過電子顕微鏡(HAADF-STEM)法や環状明視野STEM(ABF-STEM)法を用いたクロシドライト石綿断面の原子分解能観察も試みられてはいる(例えば，[2, 3])ものの，微繊維内外の積層不整や層状ケイ酸塩は電子線に非常に弱く，詳細な構造解析には至っていない。最近，超高感度STEMイメージング法の一つとして，最適明視野STEM(OBF-STEM)法が開発された[4]。OBF-STEM法は，従来のABF-STEM法と比較して約2桁程度高い感度で像観察ができることから，従来ではSN比が低く観察が困難だった低電子線照射条件においても，高コントラストでの試料観察が可能となり，電子線敏感材料であるゼオライトや有機金属錯体の原子分解能観察が実現されるようになった。本研究では，OBF-STEM法を用いて，クロシドライト石綿の微細組織観察を試みた。 **実験方法：**試料はケープ産クロシドライト石綿を用いた。石綿繊維をエポキシ樹脂に包埋後，日本電子製イオンミリング装置・イオンスライサを用いて断面薄膜試料を作製した。OBF-STEM観察には，8分割STEM検出器を搭載した300kV収差補正S/TEM・JEM-ARM300F2を用いた。OBF-STEM観察時の加速電圧は300kV，プローブ電流は4pAである。 **結果＆考察：**図1はクロシドライト石綿断面の原子分解能OBF-STEM観察結果である。クロシドライト石綿の微繊維の隙間にはしばしば層状ケイ酸塩が観察され，クロシドライトと層状ケイ酸塩は特定の結晶学的方位関係を有して接合している。OBF-STEM観察により，クロシドライトおよび層状ケイ酸塩のシリコンや鉄の原子サイトのみならず，ナトリウムや酸素といった軽元素の原子サイトまで明瞭に可視化されており，クロシドライトと層状ケイ酸塩は(010)面にて，酸素とナトリウムを共有して接合していることが明らかとなった。また，層状ケイ酸塩の層間には明瞭な原子の存在を示すコントラストが認められないことから，存在する層状ケイ酸塩が層間にイオンを含まないタルク様の層状ケイ酸塩であることが示唆された。HRTEMを用いた先行研究[1]では，タルクではなく，層間にアルカリイオンを内包する雲母の存在が示唆されており，これらの違いは石綿の産地の違いによる層状ケイ酸塩の形成条件の違いを反映しているのかもしれない。以上のように，OBF-STEM法はクロシドライト石綿中に存在する層状ケイ酸塩鉱物などの電子線損傷を受けやすい構造の観察に有効であることが分かった。OBF-STEM法を用いることで，石綿の内部構造を詳細に調べることが可能となり，今後，微細化のメカニズムを解明する手掛かりが得られると期待できる。 **引用文献：**[1] J.H. Ahn & P.R. Buseck (1991) *Am. Min.*, **76**, 1467-1478, [2] 大西 & 西岡(2010) 日本鉱物科学会2010年年会講演要旨集R5-03，[3] I. Ohnishi (2022) *JEOL News*, **57**, 1, 23-27, [4]Ooe et al. (2021) *Ultramicroscopy* **220**, 113133.

キーワード：石綿、クロシドライト、走査透過電子顕微鏡法、最適明視野走査透過電子顕微鏡法
Keywords: asbestos, crocidolite, scanning transmission electron microscopy, optimum bright-field STEM

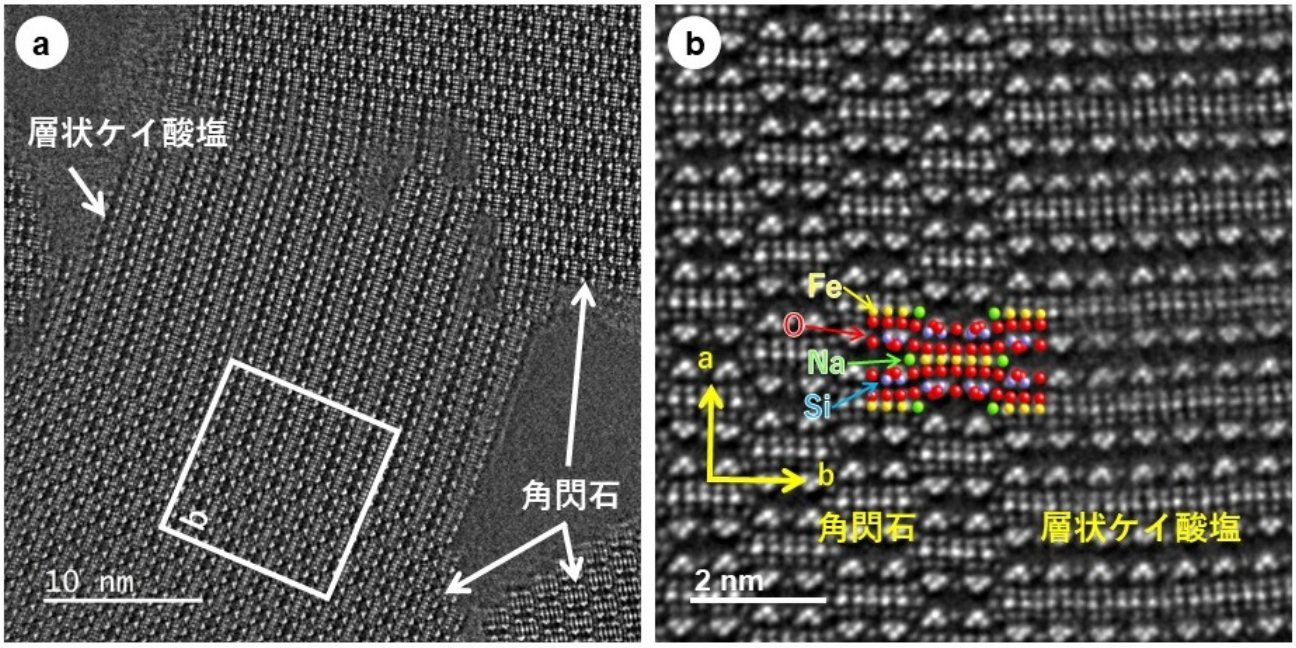


図1(a)クロシドライト石綿中の層状ケイ酸塩OBF-STEM像。
(b)角閃石と層状ケイ酸塩の界面の原子分解能OBF-STEM像

ポスター | R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

2023年9月15日(金) 12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

12:00 ~ 14:00

[R7P-01] 北海道然別地域産蛍光オパールの蛍光スペクトルおよび蛍光寿命

*飯森 俊文[1]、藤井 悠菜[2] (1. 室蘭工大・院工、2. 室蘭工大・工)

12:00 ~ 14:00

[R7P-02] 石川県富来鉱山生神地区の変質帯と鉱床の形成温度の推定

「発表賞エントリー」

*川崎 大樹[1]、濵田 麻希[1] (1. 金沢大学)

12:00 ~ 14:00

[R7P-03] 愛媛県八幡浜市に産出する含クロム石榴石脈

*延寿 里美[1]、白勢 洋平[1]、島村 洋輔 (1. 愛媛大学・理)

12:00 ~ 14:00

[R7P-04] 茨城県常陸太田市妙見山リチウムペグマタイトの成因

「発表賞エントリー」

*石嵜 拓海[1] (1. 秋田大・院資源)

12:00 ~ 14:00

[R7P-05] 山口県東部，玖珂層群に胚胎する層状マンガン鉱床～荒瀬谷鉱山・倉谷鉱山

「発表賞エントリー」

*秋本 悠作[1]、永嶌 真理子[1]、大和田 正明[1] (1. 山口大・創成科学)

12:00 ~ 14:00

[R7P-06] 秋田県荷葉岳大黒溶岩に含まれている灰長石巨晶の包有物からの成因の考察

「発表賞エントリー」

*西脇 健凱[1]、越後 拓也[1] (1. 秋田大学・院国際資源)

12:00 ~ 14:00

[R7P-07] 海底火山活動地域に産する玉髄の形成過程2　秋田県男鹿地域

*佐野 菜津子[1]、宮本 毅[2]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[3] (1. 東北大・院理、2. 東北大・東北アジア研セ、3. 東北大・総学博)

12:00 ~ 14:00

[R7P-08] 福徳岡ノ場の2021年噴火由来軽石に見られるクリストバライトを含む長石集合体岩片

*吉田 健太[1]、沢田 輝[2]、丸谷 由[3]、松田 渉[3] (1. 海洋研究開発機構、2. 富山大学、3. ネコのわくわく自然教室)

12:00 ~ 14:00

[R7P-09] 伊豆－マリアナ前弧域のマントル加水作用とマグマ形成史

*山岡 璃音[1]、秋澤 紀克[1]、市山 祐司[2]、田村 明弘[3]、森下 知晃[3] (1. 東大、2. 千葉大、3. 金沢大)

12:00 ~ 14:00

[R7P-10] 北部マリアナトラフ、Central Grabenの最上部マントルの不均質性について―KR02-01航海から得られたかんらん岩類の（再）微細構造解析

*針金 由美子[1]、田村 明弘[2]、仙田 量子[3]、森下 知晃[2]、山下 浩之[4] (1. 産業技術総合研究所、2. 金沢大学、3. 九州大学、4. 神奈川県立生命の星・地球博物館)

12:00 ~ 14:00

[R7P-11] 北極圏ウラル，ライ・イズ岩体の直方輝石に富む変成カンラン岩の形成過程

*石丸 聡子[1]、薗田 梨衣[1]、三浦 真[2,3]、シュメレフ ウラジミール[4]、荒井 章司[3] (1. 熊大、2. GIA、3. 金沢大、4. Zavaritskii Inst. Geol. Geochem., RAS)

北海道然別地域産蛍光オパールの蛍光スペクトルおよび蛍光寿命

Fluorescence spectra and fluorescence lifetime of photoluminescent opal coming from Sikaribetu area

*飯森 俊文[1]、藤井 悠菜[2]
*Toshifumi Iimori[1], Yuna Fujii[2]

1. 室蘭工大・院工、2. 室蘭工大・工
1. Muroran Tech. Eng., 2. Muroran Tech.

北海道然別地域で産出されるオパールは、紫外線を照射すると多彩な蛍光色を示すことが知られている。この蛍光オパールについてこれまでにいくつかの調査が行われ、オパールの元素組成と蛍光色との関係についての研究などが報告されてきた。しかし、蛍光オパールの蛍光の起源については不明であった。我々のグループでは、蛍光オパールがなぜ蛍光を示すのか明らかにすることを目指し、2020年から研究に取り組んできた。本研究では、蛍光オパールの蛍光特性のキャラクタリゼーションについて報告する。

蛍光オパールを乳鉢で粉砕し、粉末状の試料を作成して蛍光スペクトルを測定した。サンプルとして用いた蛍光オパールは、黄色やオレンジ色など様々な色の蛍光を示していた。オレンジ色に発光する部分を選別して粉砕し蛍光スペクトルを測定したところ500から700 nmにかけてブロードな蛍光バンドが確認された。蛍光スペクトルの極大は約600 nmに見られた。蛍光励起スペクトルを測定したところ358, 410, 475 nmにピークが見られた。これは有機分子に特有の振動構造であると考えられる。蛍光寿命を測定したところ、３成分の蛍光減衰曲線でフィッティングできた。平均蛍光寿命（$<\tau>$）は試料によって変化が見られたが、約8 nsであった。蛍光オパールの黄色い蛍光を示す部分を選別して測定したところ、蛍光スペクトルの極大波長は543 nm、蛍光励起スペクトルは約408, 355 nmに極大を示し、$<\tau> = 9$ nsであった。

オレンジ色に発光する部分を粉砕してエタノールを加えると、蛍光が青白く変化することを見いだした。そこでエタノールを添加したオパールをろ過し、粉末とろ液に分離した。ろ液は紫外光照射により青白い蛍光を示した。メタノール、アセトン、トルエン、ヘキサンを用いても同様の蛍光を示したが、蛍光スペクトルの形状に変化が見られた。したがってオパールには有機溶媒に溶解しやすい蛍光物質が含まれていることが明らかになった。エタノール抽出物は400–600 nmの範囲に蛍光スペクトルを示し、422および446 nmに鋭いピークを示した。蛍光励起スペクトルを測定したところ、404および383 nmにピーク、418-420 nmにショルダーバンドが見られた。鋭いピークは有機分子に特有の振動構造であると考えられる。また励起波長が変化すると蛍光スペクトルの形状も変化した。ヘキサンで抽出した試料の蛍光および蛍光励起スペクトルは、エタノールの場合と同様の特徴を示した。トルエンで抽出した試料は409 nmに比較的強い蛍光励起ピークを示し、420 nmにショルダーバンドを示した。蛍光寿命を測定したところ２成分で蛍光減衰曲線をフィッティングでき、$<\tau>$はおよそ8 nsであった。また抽出に用いる溶媒によって蛍光寿命は少し変化した。

以上の結果を総括すると、次のことが明らかになった：

(1)蛍光オパールの蛍光物質は有機分子であることが強く示唆される

(2)少なくとも２種類の蛍光分子が存在する

(3)溶媒によって抽出物の組成が変化する

2023年に、田中らにより新鉱物である「北海道石」が発見された。北海道石は、ベンゾ[g,h,i]ペリレンを構成成分とする鉱物であり、紫外線を照射すると黄色～黄緑色の蛍光を示すことが知られている。また鹿追町で産出する鉱物には、北海道石とともに、コロネンを構成成分とする鉱物カルパチア石が含まれているとされている。過去の文献（Aihara et al., Bull. Chem. Soc. Jpn. (1970)）によると、ベンゾペリレンの吸収スペクトル（溶媒ヘキサン）は405 nmに弱いピーク、383 nmに強いピークを示す。またコロネン（溶媒ベンゼン）は428, 419 nmに弱いピーク、410 nmに強いピークを示す。蛍光オパールのヘキサン抽出物の蛍光励起スペクトルは、ベンゾペリレンの吸収スペクトルと波長はほぼ一致するが、383 nmのピークの大きさが文献と比べ

て弱い原因は不明である。トルエン抽出物は409 nmに蛍光励起ピークを示し、コロネンの吸収スペクトルと一致した。またヘキサン中コロネンは8.0 nsの単一指数関数の蛍光寿命を示すとされており(Davenport et al., Biophys. J. (1996))、本研究で得られた<τ>と近い。したがってオレンジ色の蛍光を示すオパールにはコロネンが含まれていると考えて矛盾しない。ベンゾペリレンやコロネンなどの多環式芳香族化合物分子は、パイーパイスタッキングの構造によって発光色が変化する可能性がある。講演では、分子結晶中の特異的な会合状態が蛍光オパールの蛍光色の起源になっている可能性等も議論する予定である。

キーワード：オパール、北海道石、蛍光有機分子
Keywords: Opal, Hokkaidoite, Fluorescent organic molecules

石川県富来鉱山生神地区の変質帯と鉱床の形成温度の推定

The alteration zone and estimation of formation temperature of the deposit in Urukami area, Togi gold silver deposit in Ishikawa Prefecture.

*川崎 大樹[1]、濵田 麻希[1]
*Taiju Kawasaki[1], Maki Hamada[1]

1. 金沢大学
1. Kanazawa University

富来鉱山は石川県羽咋郡志賀町に位置する浅熱水金銀鉱脈鉱床である。富来鉱山の周辺には新第三紀中新世穴水累層群輝石安山岩が分布する。先行研究ではエレクトラム、フィシェサー鉱、ウィッテンボガード鉱、セレンに富むピアース鉱、Ag_2S-Ag_2Se固溶体鉱物、黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、α-ブラス、自然ビスマス、錫石および自然銅の産出について報告しており、これらの鉱物組み合わせから低硫化鉱床およびセレンタイプに分類されると報告している（Hamada et al. 2022）。しかし分類された鉱床タイプでは角銀鉱、濃紅銀鉱、淡紅銀鉱および四面銅鉱などが報告されているため、富来鉱山からも産出する可能性がある。これらの鉱石鉱物を形成する鉱液は、形成時に周囲の岩石に変質を引き起こし、鉱液の性質や鉱液との距離に対応する変質帯を形成する。そのため、変質帯を調査することにより鉱床を形成した鉱液の性質を解明できる可能性があるが、富来鉱山においては鉱液について検討がされていない。本研究では富来鉱山の形成に関わった鉱液の性質を解明するため、生神地区に分布する変質帯、産出する鉱石鉱物および鉱床の形成温度を決定する。 試料は東郷三番抗内および東郷三番抗周辺で、それぞれ15試料および23試料を採取した。すべての試料を水簸した後に粉末X線回折測定を行い、試料中に含まれる粘土鉱物を同定した。東郷三番抗内では坑道入口から緑泥石/モンモリロナイト混合層鉱物（38、45、49、66、70、71、75.5 m）、モンモリロナイト（33、60、86.5、92、95 m）、イライト/モンモリロナイト混合層鉱物（66、70 m）が分布していることが明らかになった。東郷三番抗周辺では、三番抗入口周辺の約100 mの範囲にイライトおよびモンモリロナイト、川沿いおよび三番抗入口周辺の約300 mの範囲にイライト/モンモリロナイト混合層鉱物および緑泥石が分布する。東郷三番抗入口より200 m以北ではカオリナイト、緑泥石およびイライトが試料中に含まれていたが、イライトのポリタイプが続成変質の初期段階にみられる1M_dであったことから、この地点で確認したカオリナイト、緑泥石およびイライトは続成変質作用により形成した粘土鉱物であると考えられる。また、富来鉱山周辺に分布している安山岩中で斜長石が雲母類、直方輝石が雲母類および緑泥石に変質している。以上の結果をまとめると、東郷三番抗内では主に緑泥石/モンモリロナイト混合層鉱物帯およびモンモリロナイト帯、坑道入口より100 mの範囲にはイライト・モンモリロナイト帯、さらにその周囲300 mの範囲にイライト/モンモリロナイト混合層鉱物帯およびプロピライト帯が分布していると考えられる。 東郷三番抗坑道内では、入口より46 mおよび52 mには赤褐色に汚濁した石英脈中がみられる。石英脈中にエレクトラム、Ag_2S-Ag_2Se固溶体鉱物、角銀鉱、黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、青銅が鉱石鉱物として産出する。脈石鉱物は石英、氷長石、方解石である。東郷三番坑の鉱脈の形成温度を、エレクトラム-閃亜鉛鉱温度計（Barton and Toulmin, 1966; Shikazono, 1985）を用いて算出した。この式を利用するにあたり、二つの仮定を設定した。一つは、本研究で産出を認めたAg_2S-Ag_2Se固溶体鉱物は輝銀鉱であるという仮定である。もう一つは、富来鉱山ではエレクトラム、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱および輝銀鉱は一つの集合体として産出していないが、鉱脈中の狭い範囲での産出が認められたため、同時期に形成したとする仮定である。得られた富来鉱山の鉱床形成温度は171-215℃である。 低硫化鉱床は150 –250℃の中性の天水主体の鉱液により形成されることが報告されている(White and Hedequist, 1995）。この温度とエレクトラム-閃亜鉛鉱温度計を用いて求めた東郷三番坑の鉱脈の形成温度は一致している。さらに、東郷三番抗内で緑泥石/スメクタイト混合層鉱物およびモンモリロナイト、東郷三番抗周辺でイライト/モンモリロナイト混

合層鉱物といった中性の鉱液により形成される粘土鉱物が多く存在することとは低硫化鉱床の鉱液の性質と一致している。したがって、本研究で明らかとなった鉱床の形成温度および変質帯を形成した鉱液の性質に基づいても低硫化鉱床に分類することができる。

キーワード：富来金銀鉱脈型鉱床、熱水変質、形成温度、低硫化鉱床、セレンタイプ
Keywords: Togi gold-silver vein-type deposit, hydrothermal alteration, formation temperature, low-sulfidation type, Se-type

愛媛県八幡浜市に産出する含クロム石榴石脈

Cr-bearing garnet veins in Yawatahama City, Ehime Prefecture, Japan

*延寿 里美[1]、白勢 洋平[1]、島村 洋輔
*Satomi ENJU[1], Yohei Shirose[1], Yosuke Shimamura

1. 愛媛大学・理
1. Ehime Univ. Sci.

1.はじめに

石榴石グループの中でも灰礬石榴石、灰鉄石榴石、灰クロム石榴石はウグランダイトと呼ばれ固溶体を形成する。その中でもCrを含有するものは比較的めずらしく、Crの供給源となるクロム鉄鉱とともにクロミタイト、蛇紋岩、輝岩、ロジン岩などに産する(小林, 1986)。多くは脈状や塊状であり、下部地殻や沈み込み帯における熱水変質により形成されるといわれている(Arai et al. 2020; Zhang et al. 2021)。本研究地である愛媛県八幡浜市において、クロム鉄鉱を伴わず鏡肌を有する特徴的な含クロム石榴石脈が確認されたため報告する。

2.地質背景・研究手法

調査地は愛媛県八幡浜市の沿岸部であり、三波川帯中の角閃岩や角閃石岩等から構成される川舞岩体(石本、1973)に位置する。野外調査を行い、採取した試料に対し粉末X線回折装置RIGAKU製Ultima Ⅳやエネルギー分散型X線分析装置を装着した走査型電子顕微鏡 JEOL製JSM-6510LVを用いて分析を行った。

3.結果と考察

含Cr石榴石脈を含む輝岩岩体は10×2 mほどで周囲の角閃石岩の片状構造に沿ってレンズ状の産状をとっていた。石榴石脈は角閃石岩との境界付近の輝岩中に分布していた。輝岩は粗粒な透輝石と少量の斜長石、そして粒間や脈に産するクリノクロア石、アクチノライトから構成される。試料採集の際に脈に沿って割れるため、石榴石脈のほとんどは輝岩試料の表面に平坦な脈として産する。灰クロム石榴石に似た濃い緑色を示し、厚さは10-100 μmで、試料表面側は直線的で鏡肌もみられ、輝岩側は湾曲し粗粒な粒子間に伸びた不明瞭な境界を有する。一部の試料では表面の脈に平行な脈が試料内部でも見られ、二本の脈の間は破砕帯が形成されていた。試料内部の脈は両側で湾曲した不明瞭な境界を示す。破砕帯は粗粒部と鉱物種が類似する一方で、アクチノライトの量が多いことや透輝石中のCr量が粗粒部よりも少ないという違いが見られた。分析した石榴石のほとんどが灰礬石榴石であり、Al、Fe、Crを同程度含有していた(Grs_{36-42}, And_{28-44}, Uv_{20-34})。

本産地の石榴石脈の形成には輝岩の変形過程が大きくかかわっていると考えられる。まず、輝岩が変形を受け破砕帯が形成される。その際、熱水によって破砕帯中の岩片の隙間や粗粒部の脈においてアクチノライトが形成される。その後、再び変形が起き破砕帯と粗粒部の境界にて石榴石脈や鏡肌が形成されるというモデルが想定される。石榴石脈や輝岩にはクロム鉄鉱が見られなかったため代わりのCr供給源を考える必要があるが、透輝石中の微量のCr (0.3-0.5 wt%)が関与しているのかもしれない。また、本産地の石榴石はAl、Fe、Crをほぼ同量含む中間的な組成をとるのも特徴的である。蛇紋岩中の石榴石は灰クロム石榴石と灰鉄石榴石の間の組成、輝岩中の石榴石は灰クロム石榴石と灰磐石榴石の間の組成をとることが多い(Kobayashi, 1986; Arai et al., 2020)。ロジン岩中のものでは灰鉄石榴石から中間的な組成がみられた(Zhang et al., 2021)。本産地の組成の傾向は透輝石のFe含有量が大きい(Mg# = 80-82)ことや周辺に分布している蛇紋岩の小岩体の影響が考えられる。

キーワード：含クロム石榴石、輝岩
Keywords: Cr-bearing garnet, pyroxenite

茨城県常陸太田市妙見山リチウムペグマタイトの成因

Genesis of Lithium Pegmatites from Myokenzan, Ibaraki Prefecture, Japan

*石嵜 拓海[1]
*Takumi Ishizaki[1]

1. 秋田大・院資源
1. Akita Univ.

1.はじめに　茨城県常陸太田市に位置する妙見山リチウムペグマタイトは，日本有数のリチウムペグマタイトであり，鉱物組み合わせからLCTペグマタイトに分類される（櫻井ほか, 1977）．本ペグマタイトに産する鉱物記載は多くの研究者によってなされている（櫻井ほか 1977 ; Matsubara, et al. 1995）．また、本ペグマタイトの周辺には前期白亜紀に貫入した含ザクロ石両雲母花崗岩をはじめとする花崗岩類が複数分布している.この含ザクロ石両雲母花崗岩を形成した花崗岩質マグマの結晶分化によって本ペグマタイトが生成したと推定されているが (石原, 2010), 確証は得られていない. 今回, 妙見山周辺の岩相分布や産状の記載, 本ペグマタイトの構成鉱物の記載, 花崗岩類及び変成岩類の微量元素組成分析, 花崗岩類におけるザクロ石ー黒雲母温度計による花崗岩類の形成温度の推定を行うことで, ペグマタイトの起源となった花崗岩質マグマの検討を行った．
2.研究手法　妙見山リチウムペグマタイト周辺の地表踏査を行い, 岩相及び産状の記載を行った. 薄片観察とXRF分析結果に基づき岩石種を決定し、SEM-EDSにより鉱物化学組成を決定した．花崗岩類の形成温度の推定はHodges and Spear (1982)のザクロ石ー黒雲母温度計を用いて行った．
3.岩相分布　妙見山周辺には砂質片麻岩，輝石角閃石石英斑れい岩~斑れい岩，黒雲母角閃石トーナル岩~石英閃緑岩及び角閃石トーナル岩，角閃石黒雲母花崗岩及び黒雲母花崗岩，含ザクロ石白雲母黒雲母花崗岩といった多様な岩相が分布する．
4.ペグマタイトの構成鉱物　本ペグマタイトは構成鉱物によって, TypeⅠ: 石英，長石，白雲母，リチウム鉱物 TypeⅡ: 石英，長石，白雲母 TypeⅢ: 石英，長石，白雲母，黒雲母 TypeⅣ: 石英，長石，黒雲母 の4種類に分けられる．TypeⅠ~Ⅳペグマタイトはザクロ石を一部伴う．
5.全岩化学元素組成　化学組成の分析結果から, 花崗岩類のアルミナ飽和度を求めたところ, ASI≧1.1の岩石は含柘榴石白雲母黒雲母花崗岩のみで黒雲母花崗岩, 角閃石黒雲母花崗岩はASI≦1.1を示した．Li濃度は角閃石黒雲母花崗岩で96ppmと最も高く,次いで砂質片麻岩,含柘榴石白雲母黒雲母花崗岩であった．
6.　ザクロ石ー黒雲母温度計　温度計の結果から, 本ペグマタイトはリチウム鉱物の産出する最も分化の進んだペグマタイトに近づくに従ってザクロ石ー黒雲母温度計で見積もられた固結温度が低くなる傾向にあることがわかった．
7.考察　鉱物記載から, 本ペグマタイトの構成鉱物が黒雲母を主体とするTypeⅣから白雲母を主体とするTypeⅠに変化したことが判明した．また,温度計の結果はTypeⅣからTypeⅠに近づくに従って花崗岩質マグマの固結温度が低下したことを示す．このことから本ペグマタイトはTypeⅣからTypeⅠにかけて結晶分化作用が進んだと考えられる．リチウムの分配係数は白雲母より黒雲母の方が高く, 白雲母に対しては不適合元素だが，黒雲母に対しては適合元素となる. 本研究で調べた含ザクロ石白雲母黒雲母花崗岩はリチウム濃度が低いが, 白雲母の結晶分化作用によって残余メルトにリチウムが濃集したためと考えられる. 以上の結果は, 含ザクロ石白雲母黒雲母花崗岩が妙見山リチウムペグマタイトの関係火成岩であることを示している.

キーワード：妙見山リチウムペグマタイト、結晶分化作用、ザクロ石ー黒雲母温度計
Keywords: Myokenzan Li-pegmatite, crystallization differentiation, garnet-biotite geothermometer

山口県東部，玖珂層群に胚胎する層状マンガン鉱床～荒瀬谷鉱山・倉谷鉱山

Stratiform manganese ore deposits in the Kuga group, eastern Yamaguchi Prefecture: The Arasedani and Kuratani mines

*秋本 悠作[1]、永嶌 真理子[1]、大和田 正明[1]
*Yusaku AKIMOTO[1], Mariko NAGASHIMA[1], Masaaki OWADA[1]

1. 山口大・創成科学
1. Yamaguchi Univ. Sci

日本の層状マンガン鉱床は，海底のマンガン団塊やマンガンクラストを含む珪質堆積物が沈み込み帯の付加プロセスで変成作用を受けることで形成されると考えられており，その成因に基づいて，付加プロセスによる低温高圧型接触変成作用のみを被った鉱床，その後花崗岩類による接触変成作用を受けた鉱床，緑色岩や赤色チャートに伴う鉱床に大別される (Nakagawa et al., 2011)．山口県東部の玖珂層群には，複数の層状マンガン鉱床が胚胎することが知られている．それらは，構成鉱物に基づき炭酸マンガン鉱型，珪酸マンガン鉱型，酸化マンガン鉱型に区分され，初生的に形成された炭酸マンガン鉱型鉱床が，後期白亜紀の火成活動に伴う花崗岩類の接触変成作用によって珪酸マンガン鉱型に変化すると述べられている(宮本, 1953)．上述したNakagawa et al. (2011)の議論によれば，付加プロセスによる低温高圧型変成作用で炭酸マンガン鉱型を形成したのち，白亜紀貫入岩によって，珪酸マンガン鉱型鉱床を形成したと考えられる．鉱床の形成年代が不明なため，現時点ではこれ以上の議論はできないが，玖珂層群では層状チャートに伴って多数のマンガン鉱床が胚胎されている．特に，岩国市に分布する土生花崗閃緑岩の周囲には，岩体から距離に応じて複数のマンガン鉱床が分布している．そのため，宮本(1953)で提唱された変成温度と鉱床の種類の関係を解明するのに適しており，層状マンガン鉱床の形成過程の理解に貢献できる．本研究は，土生花崗閃緑岩周辺の層状チャート中に胚胎するマンガン鉱床 (炭酸マンガン鉱型荒瀬谷鉱山，珪酸マンガン鉱型倉谷鉱山）の形成過程や条件について検討する． 玖珂層群はジュラ紀の付加体で，主に泥質岩や砂質岩から構成され，少量のチャート，石灰岩ブロック，緑色岩から構成される．形成年代は古い順からユニットIIIàIIàIに区分される (高見ほか, 1993)．本地域の層状マンガン鉱床はユニットIに分布し，20万分の1シームレス地質図 (AIST, 2022）によれば，荒瀬谷鉱山と倉谷鉱山は同じチャート層に胚胎している．これらのマンガン鉱床は上述した土生花崗閃緑岩 (東西約5km，南北約4km）の周囲に位置する．土生花崗閃緑岩は，主に角閃石を含む優黒質相と角閃石を含まない優白質相の2つの岩相から構成され，優白質相の構造的上位に後から上昇してきた優黒質相のマグマが定置し，両岩相の境界部ではマグマ混交が起こったと考えられる (秋本ほか, 2022)． 荒瀬谷鉱山産の鉱石は主に菱マンガン鉱とバラ輝石から構成される鉱石，ハウスマン鉱，アレガニー石，菱マンガン鉱から構成される鉱石に分類される．本鉱床の菱マンガン鉱[$(Mn_{0.77\text{-}0.85}Ca_{0.10\text{-}0.21}Fe_{0.00\text{-}0.03}Mg_{0.01\text{-}0.03})CO_3$]は鉄に乏しく，バラ輝石の組成は$(Mn_{4.17\text{-}4.25}Ca_{0.14\text{-}0.63}Fe_{0.10\text{-}0.47}Mg_{0.01\text{-}0.08})Si_5O_{15}$と表される．鉱石鉱物は主に自形～半自形のリンネ鉱などの含Co硫化鉱物から構成され，少量の黄銅鉱，方鉛鉱，閃亜鉛鉱を含む． 倉谷鉱山産鉱石の主要構成鉱物はざくろ石とバラ輝石で，これらの粒間を菱マンガン鉱が充填する．ざくろ石ではスペサルティン成分が卓越し($Sps_{78.7\text{-}83.8}Alm_{7.0\text{-}14.0}Grs_{4.7\text{-}7.7}Adr_{1.3\text{-}1.6}Prp_{0.3\text{-}1.1}$)，Mn ⇄ Fe置換がみられる．バラ輝石[$(Mn_{2.70\text{-}3.55}Ca_{0.75}Fe_{0.45\text{-}1.25}Mg_{0.20})Si_5O_{15}$]および菱マンガン鉱[$(Mn_{0.62\text{-}0.81}Ca_{0.12\text{-}0.30}Fe_{0.05\text{-}0.10}Mg_{0.01\text{-}0.05})CO_3$]は，荒瀬谷鉱山の鉱石中に見られるものに比べて鉄に富む傾向がある．主要鉱石鉱物は半自形の輝コバルト鉱・ゲルスドルフ鉱などの含Co, Ni鉱物で，磁硫鉄鉱，黄鉄鉱，黄銅鉱がそれらの粒間を充填する． 珪酸マンガン鉱型倉谷鉱山と炭酸マンガン鉱型荒瀬谷鉱山の鉱石を構成する主要マンガン鉱物の組み合わせの違いや鉄含有量に代表される化学的な特徴の違いは，土生花崗閃緑岩の接触変成作用やそれに由来する熱水に起因すると推定される．一方，主要鉱石鉱物としてコバルトに富む相を含むことは両鉱山共通の特徴であり．起源物質に由来する可能性が示唆

され，このことは層状マンガン鉱床の起源物質とされるマンガン団塊やマンガンクラストにCoが比較的多く含まれる(例えば，臼井ほか, 1994)ことによって支持される．

キーワード：玖珂層群、マンガン鉱床
Keywords: Kuga group, manganese deposit

秋田県荷葉岳大黒溶岩に含まれている灰長石巨晶の包有物からの成因の考察

Formation of anorthite megacrysts in Oguro lava of Mt. Kayo, Akita Prefecture: Insights from their inclusions

*西脇 健凱[1]、越後 拓也[1]
*Takeyoshi NISHIWAKI[1], Takuya Echigo[1]

1. 秋田大学 ·院国際資源
1. Akita Univ. IRS.

火山岩を構成する斑晶鉱物のうち，粒径が著しく大きく An 成分が高い斜長石（典型的には粒径 1cm 以上かつ An＞90）は灰長石巨晶と呼ばれ、日本列島産火山岩に特徴的な鉱物であることが知られている(Kimata et al. 1995)．灰長石巨晶形成の生成機構として複数の仮説が提案されているが，灰長石巨晶の内部構造や化学ゾーニングを考慮したモデルはない．本研究では，秋田県仙北市荷葉岳火山に産出する灰長石巨晶の鉱物学的特徴を記載し．得られた分析結果に基づき荷葉岳火山に産出する灰長石巨晶の成因を考察する．

研究試料は荷葉岳の南側に分布する大黒溶岩の下部および上部から採取された玄武岩質火山岩である．偏光顕微鏡観察により，斑晶鉱物は普通輝石と灰長石，石基は自形斜長石からなり，まれに灰長石斑晶が融食して丸くなった普通輝石とかんらん石を包有していることが観察できた．EPMA を用いた観察により，灰長石斑晶には低 An #(50% 程度) な部分と高 An# (86%-93%) な部分があり， (1) 中心部が高 An# で縁辺部は石基斜長石と近い An # を示す正累帯型、(2) 高 An# の中心部から低 An＃ の縁辺部に至るまでに．正累帯と逆累帯を繰り返す波状累帯型，(3) ひとつの斑晶中に複数の高 An 領域が島状に存在し，その間を低 An 斜長石が埋めるように晶出した合体型の 3 型である．大黒溶岩上部に産出する灰長石巨晶では縁辺部に幅100μm程度の波状累帯構造が見られたが，大黒溶岩下部に産出する灰長石巨晶には波状累帯構造は見られなかった．また，EPMAの元素マッピング画像では灰長石斑晶内部のNa·Ca元素濃度に明確な濃淡が見られた． 上記 (3) 合体型斜長石の高An#領域と灰長石巨晶が近い Cps を示したことは，これらの斜長石が似た環境で成長したことを示唆する．

以上の結果から荷葉岳火山の灰長石巨晶の成因と生成環境を考察する．まず， マグマだまりに新鮮なマグマが複数回注入されると，波状累帯構造を持つ斜長石が生成することが知られている（Shcherbakov et al. 2010）．また，メルト中で周期的な温度変化が起きると結晶が大きく成長することから（Mills and Glazner 2011, 2013），荷葉岳火山のマグマだまりでは，新鮮なマグマが地下深部から複数回注入されることによって，灰長石の成長が促進されたと考えられる．EPMA マッピングの結果より，灰長石巨晶コア部分と (3) 合体型斜長石の高 An# 領域が似た環境で成長したと考えられ，周期的に温度が変化するマグマだまりの中でそのような高An＃結晶が種結晶となることで著しく粗大な結晶が成長したと結論づけた．

キーワード：灰長石、荷葉岳、EPMA、化学的ゾーニング、結晶成長
Keywords: Anorthite, Mt Kayo, EPMA, Chemical zoning, Crystal growth

海底火山活動地域に産する玉髄の形成過程2　秋田県男鹿地域

Formation process of chalcedony at subaqueous volcanism 2 Oga region, Japan

*佐野 菜津子[1]、宮本 毅[2]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[3]
*Natsuko Sano[1], Tsuyoshi Miyamoto[2], Takahiro Kuribayashi[1], Toshiro Nagase[3]

1. 東北大・院理、2. 東北大・東北アジア研セ、3. 東北大・総学博
1. Tohoku Univ. Sci., 2. Tohoku Univ. CNEAS, 3. Tohoku Univ. Museum

【はじめに】

玉髄に関する多くの研究は組織を鉱物学的に解析した研究であり地質過程には焦点を当てておらず，玉髄を形成した溶液の起源について触れていないか，触れていたとしても地下から上昇した溶液を想定している場合が多い（例えば，清水・青木，2001)．この場合，玉髄を形成した溶液は海水を起源とする溶液が地下を循環し上昇してきたと考えられている (宮地ほか，2003;青木ほか，2017)．佐野（2022, 卒論）は宮城県奥松島地域に産する玉髄について調査した．調査の結果，奥松島では海水が火砕流堆積物で熱せられることで生じる溶液から玉髄が形成したとすることも可能であるとしたが，実際には地下から上昇した溶液でも説明可能であり，玉髄を形成したシリカ成分の起源を特定できなかった．その原因は，溶液の流入時期を特定できず，火山噴火に伴って形成されたかどうかを確定できなかったことが原因であると考えられる．そこで本研究では，玉髄を形成した溶液の起源，特にシリカ成分の起源を明らかにすることを目的とする．

【手法】

玉髄を形成した溶液の流入が海底火山噴火に伴っていると考えられる秋田県男鹿地域を調査地域に選んだ．地質過程を明らかにするために地質調査を行い，試料を採取した．採取した試料は偏光顕微鏡による薄片観察，EPMA分析，蛍光X線分析（XRF），粉末X線回折（XRD），ラマン分光分析をし，鉱物同定や全岩化学組成を決定した．

【結果】

調査露頭は，男鹿半島加茂青砂地域の南東˜北西方向に約100 mの海岸線に露出する流紋岩質溶岩からなる．南東から北西に向かって赤褐色を示す結晶質な流紋岩と黒色の黒曜岩が分布する．流紋岩と黒曜岩は石基の結晶化度に違いがあるが斑晶鉱物組み合わせや全岩化学組成は同じである．黒曜岩は南東から北西に向かって塊状からブロック状に変化し，ブロック状の産状を示す部分にはブロック同士の境界に細粒な基質が存在する．流紋岩と黒曜岩の両方にクラックが存在するが，玉髄は黒曜岩のクラックにのみ脈状に分布し，流紋岩中のクラックには存在しない．また，黒曜岩のクラックにはセラドン石を含む緑色の岩脈もあり，セラドン石を含む岩脈と玉髄脈の分布は概ね一致する．露頭上では両者の形成の前後関係は特定できないが，明瞭な境界を持つ．

薄片観察の結果から，黒曜岩は斑晶として斜長石と黒雲母を含み，石基は真珠状組織を示す．セラドン石を含む岩脈では二つの岩相が観察される．一つは黒曜岩と同様の真珠状組織のクラックに細粒なセラドン石が充填した組織である．もう一方は黒曜岩のガラスが存在するものの，ガラスの多くが細粒な斜プチロル沸石や顕微鏡下では同定できない極細粒な結晶に置き換わり真珠状組織が認められない組織であり，結晶の間を細粒なセラドン石が埋める．また，白色を示す岩脈もあり，セラドン石を含む岩脈のうち細粒な斜プチロル沸石が組織の大部分を占めるものと類似した組織を示すが，セラドン石が存在しない．玉髄脈とセラドン石を含む岩脈との境界には細粒な斜プチロル沸石が存在する．

XRDの結果では，黒曜岩では明瞭なピークが認められないのに対し，セラドン石を含む岩脈には斜プチロル沸石に加え、顕微鏡下では同定できない石英のピークが認められる．XRFの結果では，セラドン石を含む岩脈のうち細粒な斜プチロル沸石が組織の大部分を占めるものは，黒曜岩や真珠状組織を示すセラドン石を含む岩脈に比べてSiO_2の量が約3 %多く，SrやK_2Oといった海水に含まれる元素も多く含まれる．

【考察】

調査露頭に存在する流紋岩と黒曜岩は石基の結晶化度に違いがあるが斑晶鉱物組み合わせや全岩化学組成が同じであることから，ここの流紋岩と黒曜岩は一連の溶岩であると考えられる．黒曜岩は露頭上で南東から北西に向かって塊状からブロック状に変化し，ブロック状の産状を示す部分にはブロック同士の境界に細粒な基質が存在することからハイアロクラスタイトの構造であるとみられる．黒曜岩は海水で急冷された溶岩表面部分にあたり，結晶質な流紋岩はゆっくりと冷却された溶岩内部に相当すると考えられる．玉髄やセラドン石を含む岩脈が溶岩内部に認められないことは，玉髄やセラドン石を含む岩脈が形成された際に，溶岩内部がクラックを生じていない状態であったことを示唆する．つまり玉髄やセラドン石を含む岩脈の形成時期は水中に噴出した溶岩の内部が固結するまでの短期間に制約される．玉髄やセラドン石を含む岩脈は火山噴火に伴ってできたと考えられ，玉髄を形成した溶液はハイアロクラスタイトに取り込まれた海水が熱せられて生じた可能性がある．海水が溶液の起源であるとした場合，溶液が関与してできたセラドン石を含む岩脈に，海水中に多く含まれるSrやK_2Oが多いことも整合的である．

キーワード：玉髄、海底火山活動、ハイアロクラスタイト、セラドン石
Keywords: Chalcedony, Subaqueous volcanism, Hyaloclastite, Celadonite

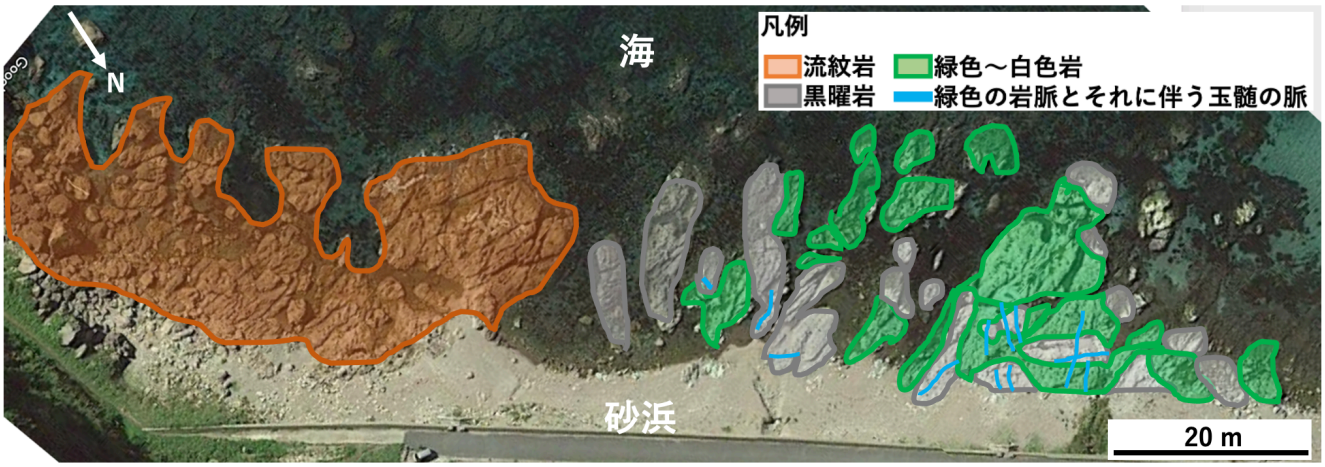


図. 男鹿地域の露頭の全体図

福徳岡ノ場の2021年噴火由来軽石に見られるクリストバライトを含む長石集合体岩片

The occurrence of feldspar-dominated cristobalite-bearing clast found in a drift pumice of the 2021 eruption of Fukutoku-Oka-no-Ba

*吉田 健太[1]、沢田 輝[2]、丸谷 由[3]、松田 渉[3]
*Kenta Yoshida[1], Hikaru Sawada[2], Yu Maruya[3], Wataru Matsuda[3]

1. 海洋研究開発機構、2. 富山大学、3. ネコのわくわく自然教室
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2. University of Toyama, 3. Necono-Wakuwaku Nature School

小笠原弧の海底火山「福徳岡ノ場」で2021年8月に起きた爆発的な噴火では，多量の軽石が放出されるとともに，大規模な軽石漂流現象が起き，2021年10月の奄美・沖縄地域への漂着を皮切りに，日本列島各地の海岸およびフィリピンや台湾，タイへと軽石の漂着が見られた[1,2]．漂着した軽石は SiO2=62%，Na2O+K2O=8-10%程度で一様な粗面岩組成をしていたが，その色や組織は明るい灰色のものから黒色のものまで多様であった [1]．黒色の軽石には高Mgカンラン石（Fo~90%）等の初生的な苦鉄質マグマに由来する成分が見られるとともに，磁鉄鉱や黒雲母のナノ結晶が観察され，福徳岡ノ場の粗面岩マグマだまりに苦鉄質のマグマが一部貫入し，水の供給とマグマの酸化を引き起こすことでナノ結晶の晶出とその後の噴火を引き起こしたモデルが提案されている[1,3].

福徳岡ノ場からの漂着軽石の中には，稀に異質な岩片を取り込んでいるものがある．これまでに苦鉄質岩の特徴を持つもの（高Mgカンラン石やディオプサイドを含む）が[1]で記載がされており，福徳岡ノ場のマグマ供給系と噴火活動に初生的な苦鉄質マグマが関与したことを強く示す証拠となった．本研究では福徳岡ノ場噴火由来の軽石から，新たにアルカリ長石を主成分とする特異な岩片を発見したので，その産状を報告する．

岩片は，茶色と黒色の軽石の複合岩塊の中に，黒色軽石部分に包含される形で産し，大きさは1cm程度で角ばっており，やや暗い灰色をしている．斑晶鉱物として最大で2mmに達する斜長石（An30程度）を含み，石基は細粒のアルカリ長石から成る．石基のアルカリ長石は空隙や細粒な斜長石の周辺でKに乏しくNa, Caに富む傾向が見られるが，比較的大きな（2mm）斜長石の周辺ではこの特徴は見られない．岩片断面の１辺にNaに乏しい外殻が見られ，その殻に向けて石基Mgの減少が見られる非対称な不均質性が見られる．

不透明鉱物として鉄硫化物を含み，細粒のルチルおよびアナテースから成るチタン鉱物濃集部も観察された．石基には，多くの場合空隙を伴う形で，クリストバライトの結晶が最大0.1mm程度の大きさで見られる．このクリストバライトは，カソードルミネッセンス観察では放射状の組織が見られるとともに，化学組成として0.4%程度のAl2O3と0.2%程度のNa2Oを含む．福徳岡ノ場では，近海のドレッジで得られた軽石試料からも，ガラス質石基の空隙中に晶出するクリストバライトが報告されており，噴火活動が収まっている活動静穏期に火道内で火山ガスとガラスが反応した結果生成したものだと考えられている[4]．本試料のクリストバライトはガラスではなく結晶化した石基鉱物に伴われている点で産状が異なる．

アルカリ長石の化学組成は，空隙周辺でのCa量増加トレンドがCa-Na-Kの三成分図上で850℃程度のソルバスと準平行に並び，これは福徳岡ノ場のマグマだまりで推定される温度（約930℃）[1] よりやや低い．

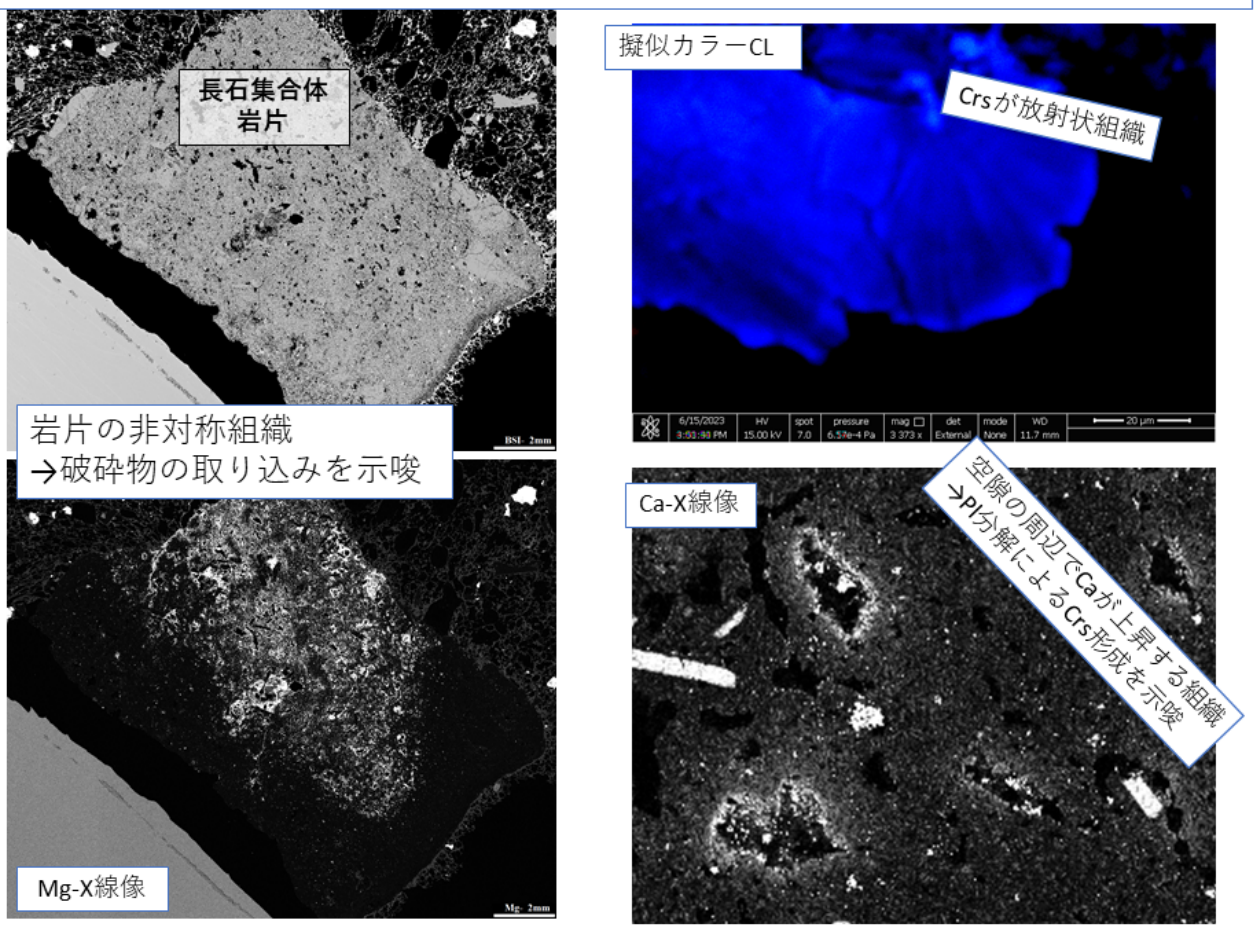
以上の観察から，この岩片は噴火に際して破砕した岩石の一部が，噴出するマグマに取り込まれたものであると考えられる．岩片は元々火道を閉塞する岩石の一部で，比較的深部の850℃程度の高温下で，火道閉塞物が火山ガスと反応することで，斜長石の分解とクリストバライトの晶出が起きた可能性が高い．

[1] https://doi.org/10.1111/iar.12441
[2] https://doi.org/10.2343/geochemj.GJ22011
[3] https://doi.org/10.1038/s41598-023-34301-w

[4] https://doi.org/10.31223/X5P06W

キーワード：福徳岡ノ場、クリストバライト、漂着軽石
Keywords: Fukutoku-Oka-no-Ba, Cristobalite, drift pumice

福徳岡ノ場の2021年噴火由来軽石に見られるクリストバライトを含む長石集合体岩片



伊豆ーマリアナ前弧域のマントル加水作用とマグマ形成史

Hydration of the mantle and magma genesis in the Izu–Mariana fore-arc region.

*山岡 璃音[1]、秋澤 紀克[1]、市山 祐司[2]、田村 明弘[3]、森下 知晃[3]
*Rion Yamaoka[1], Norikatsu Akizawa[1], Yuji Ichiyama[2], Akihiro Tamura[3], Tomoaki Morishita[3]

1. 東大、2. 千葉大、3. 金沢大
1. University of Tokyo, 2. Chiba university, 3. Kanazawa university

沈み込み帯では、巨大地震や島弧火成活動が生じるなど、地球上で最も活動的なテクトニックセッティングである。また、海洋リソスフェアが地球内部に沈み込む場として汎地球規模の物質循環が進行しており、地球の進化に重要な役割を果たしている。伊豆ーマリアナ前弧域に分布する蛇紋岩海山や海溝陸側斜面では、沈み込み帯マントル由来の物質を採取できるため、沈み込み帯マントルに記録された物質循環を理解する上で格好の研究対象である。本研究では、前弧域のマントルの加水作用とそれに伴うマグマ活動を総合的に理解するために、伊豆ーマリアナ弧海溝陸側斜面に露出する地殻起源の岩石と上部マントルかんらん岩を用いて、岩石記載と地球化学的解析を実施した。 本研究で用いられた試料は、海洋研究開発機構(JAMSTEC)が保有している潜水船で採取された小笠原海溝、南マリアナ海溝、ヤップ海溝の海溝陸側斜面からの試料と、大気海洋研究所所有のマリアナ海溝陸側斜面から白鳳丸で採取された大気海洋研究所所有の安山岩とボニナイトである。 3 つの海溝から採取されたかんらん岩は、様々な程度に蛇紋岩化したハルツバージャイトとダナイトで、形成されている蛇紋石は低温で安定なリザーダイト/クリソタイルである。南マリアナ海溝のかんらん岩は針状～繊維状の角閃石に富む(組成としてはパーガス閃石、エデン閃石、マグネシオホルンブレンド、トレモラ閃石、カミングトン閃石)。一方で、ヤップ海溝のかんらん岩は角閃石を含まず、単斜輝石を含むことで特徴づけられる。かんらん岩に含まれるクロムスピネルの Cr#(=Cr/(Cr+Al)原子比)は南マリアナ海溝で最も高く（0.62～0.95）、直方輝石の重希土類元素濃度が枯渇した特徴を示すことから、南マリアナ海溝のかんらん岩は他の地域のものよりも枯渇していることを示す。 角閃石の微量元素組成は、鉱物種によらずBaやSrに富む一方で、トレモラ閃石のリム部とカミングトン閃石はCsやRbに富む。 角閃石を対象とした地質温度計からは、Al_2O_3 に富む Ca 角閃石(パーガス閃石、エデン閃石、マグネシオホルンブレンド)が 780～930℃で形成され、トレモラ閃石が 710～840℃で形成されたと見積もられる。前者は後者よりもアルカリ元素に富み、より深部で形成した可能性が示唆される。トレモラ閃石はカミングトン閃石に囲まれており、カミングトン閃石形成後にタルクが形成されていることから、角閃石は温度冷却過程に伴う加水作用によって形成されたことが推察される。 本研究では、角閃石を作る流体の特徴を明らかにするとともに、マグマ活動への示唆を議論する。現在、全岩主要元素組成及び微量元素組成分析を実施しており、それらの結果を合わせて議論を展開する。

キーワード：沈み込み帯、加水作用、前弧域マグマ生成過程、かんらん岩、角閃石
Keywords: Subduction zone, hydration, fore-arc magma genesis, peridotite, amphibole

北部マリアナトラフ、Central Grabenの最上部マントルの不均質性について―KR02-01航海から得られたかんらん岩類の（再）微細構造解析

Heterogeneity of the uppermost mantle below the Central Graben, Northern Mariana Trough - ReMicrostructural analysis of peridotites from KR02-01 cruse

*針金 由美子[1]、田村 明弘[2]、仙田 量子[3]、森下 知晃[2]、山下 浩之[4]
*Yumiko HARIGANE[1], Akihiro Hasebe Tamura[2], Ryoko Senda[3], Tomoaki Morishita[2], Hiroyuki Yamashita[4]

1. 産業技術総合研究所、2. 金沢大学、3. 九州大学、4. 神奈川県立生命の星・地球博物館
1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Kanazawa University, 3. Kyusyu University, 4. Kanawaga Prefectural Museum of Natural History

背弧海盆や中央海嶺などの海底拡大系において、マントルや海洋地殻物質がどのような特徴を持つのか、どのような過程を経て形成するか、それらの物質がどのように分布するのかは、水平方向・垂直方向・時間スケールで未だに不明な点が多い。近年では北極海や南西インド洋の超低速拡大系でマントル物質の不均質性（Liu et al., 2008; Seyler et al., 2003など）が報告されている。

マリアナトラフにおいても、南北で地殻物質の厚さが変化していることから、メルト供給に影響するマントル物質の不均質性の可能性が指摘されている(Kitada et al., 2006)。マリアナトラフはマリアナ海溝の西側に発達した現在も活動中の背弧海盆であり、トラフ軸の南北で地球物理学的特徴やマグマの組成が異なっている（Martinez et al., 1995など)。北部マリアナトラフ、北緯19度40分-21度周辺は、2つの非常に深い地溝がありCentral Grabenと呼ばれる（Yamazaki et al., 2003）。ここは非常に高いマントルブーゲー異常値をもつこと、マントル物質が多く露出することから、マグマに枯渇した領域であり、非マグマ性の拡大が生じたと考えられている（Martinez et al., 1995; Ohara et al., 2002; Yamazaki et al., 2003）。

本研究では背弧の拡大軸下のマントル不均質性について議論するために、2002年1月にJAMSTEC深海調査研究船「かいれい」による調査航海KR02-01にて採取されたかんらん岩類の微細構造解析を行った。タイトルに（再）とつけたのは、Ohara et al. (2002)(1991_Tunes 7航海とYK96-13_leg2航海)と千葉ほか（2007, 2008）、千葉・新井田(2009)（KR02-01航海）で、ある程度の岩石学的検討が行われたためである。本研究はこれらを考慮しつつ、マントル物質の不均質性に着目して、新たに分析・解析を行った。KR02-01航海では、Central Graben Southのドレッジにより，かんらん岩類、はんれい岩類、トーナル岩類、および角閃岩が採取されている（有馬・増田, 2005）。本研究ではCentral Graben Southにおける東側斜面2地点のドレッジにより採取されたかんらん岩試料(35個)について、微細構造、主要・微量化学組成と同位体組成の分析・解析を行った。

微細構造：かんらん岩試料はほとんどが蛇紋岩化作用を受けており、かんらん石は蛇紋石となっていた。かんらん岩はハルツバーガイトとダナイトからなる。肉眼観察と偏光顕微鏡観察から、かんらん岩の微細構造を4つに分類した：（a）丸みを帯びた粗粒～中粒な輝石を持つプロトグラニュラー組織。（b）輝石のポーフィロクラストと細粒基質部で構成されたポーフィロクラスト状組織。（c）スピネルの伸長構造をもつマイロナイト様組織。（d）細粒化したスピネルをもつ細粒化組織。ハルツバーガイトは(a-b)の特徴、ダナイトは(c-d)の特徴をそれぞれ持つ。またこれらは優白質岩脈、角閃石や輝石に富んだ岩脈、はんれい岩脈の貫入を受けている。細粒化組織を持つダナイトに関しては、スピネルの周囲に変質した斜長石が観察された。産総研のSEM-EBSDを用いてかんらん岩試料の結晶方位の測定を試みた。ただし蛇紋岩化作用に加え、粗粒の輝石が多いことから集中度の判定に使えるデータが少なく，結晶方位パターンが特定できなかった。

主要・微量化学組成：かんらん岩を構成する鉱物の主要および微量元素化学組成を産総研のEPMAと金沢大

学のLA-ICP-MSを用いて分析した。スピネルの主要元素組成はCr#が0.29から0.55を示し、先行研究結果よりも幅広いCr#を示した。単斜輝石と直方輝石の微量元素組成は軽希土類元素に乏しい左下がりのパターンを示すが、角閃石や輝石に富んだ岩脈、はんれい岩脈が貫入したかんらん岩は軽希土類元素に富むパターンを示した。

同位体組成：Os（オスミウム）同位体比はJAMSTECのTIMS（TRITON:ThermoFisher Scientific）により、白金族元素（PGEs）組成は九州大学のAgilent4500で分析した。ほとんどのかんらん岩試料において、PGEsパターンは全体的にフラットであること、またOs同位体比は典型的なマントルの値を示した。

講演ではこれらの詳細な観察・分析の結果を説明するとともに、後に貫入してきた岩脈によるかんらん岩の改変やダナイトーハルツバーガイトの成因などについて議論し、マリアナトラフにおけるマントル物質の不均質性について評価する。

キーワード：かんらん岩、背弧海盆、マリアナトラフ、マントル不均質性、セントラルグラーベン
Keywords: Peridotite, Backarc basin, Mariana Trough, Mantle heterogeneity, Central Graben

北極圏ウラル，ライ・イズ岩体の直方輝石に富む変成カンラン岩の形成過程

Possible deserpentinized origin of orthopyroxene-rich metaperidotite in the Ray-Iz peridotite massif, Polar Ural

*石丸 聡子[1]、薗田 梨衣[1]、三浦 真[2,3]、シュメレフ ウラジミール[4]、荒井 章司[3]
*Satoko ISHIMARU[1], Rie SONODA[1], Makoto MIURA[2,3], Vladimir R. SHMELEV[4], Shoji ARAI[3]

1. 熊大、2. GIA、3. 金沢大、4. Zavaritskii Inst. Geol. Geochem., RAS
1. Kumamoto Univ., 2. GIA, 3. Kanazawa Univ., 4. Zavaritskii Inst. Geol. Geochem., RAS

北極圏，ウラル地域に露出するライ・イズ岩体は，ボイカー岩体，シムキョウ岩体と共に一連のオフィオライト帯を構成する超苦鉄質岩体である．ライ・イズ岩体は主にレールゾライト～ハルツバージャイト，ハルツバージャイト～ダナイトで構成されており，中央部に変成カンラン岩が帯状に存在する（例えば，Shmelev, 2011）．また，大規模なクロマイト鉱床（Central Chromite Deposit）を伴うダナイトが存在し（例えば，Shmelev, 2011），クロマイト鉱床からダイヤモンドや高圧を示唆する鉱物の産出が報告されている (Yang et al., 2015)．また，スラブ由来流体との反応により形成されたと考えられるコランダムを含む珪長質脈が観察されるなど (Glodny et al., 2003; Ishimaru et al., 2015; Meng et al., 2018)，様々な交代作用を被っている．

ライ・イズ岩体中央部の変成カンラン岩帯中に，放射状の直方輝石集合体を含む変成カンラン岩が観察される．この岩石は，CO_2に富む流体とカンラン岩の反応によって形成されたサグバンダイト（直方輝石–炭酸塩岩）として記載されていたが (Shmelev et al., 2014)，実際に採集した試料を観察すると，炭酸塩鉱物（マグネサイト）のモードは低く（< 5 vol.%），緑泥石や滑石，角閃石などの含水鉱物，蛇紋石を含むハルツバージャイトであった．また，カンラン石などの珪酸塩鉱物中には多量の磁鉄鉱の包有物が観察された．放射状の集合体を形成している直方輝石だけではなく，全ての直方輝石が低いCaO，Al_2O_3，Cr_2O_3含有量を示す（いずれも<0.15 wt.%）．直方輝石の組織と化学組成は，脱蛇紋岩化作用によって形成された変成カンラン岩の特徴と類似している．本発表では，この変成カンラン岩の形成過程について検討をおこなう．

Glodny et al. (2003) Geochimica et Cosmochimica Acta, 67, 4535-4371.
Glodny et al. (2004) Gological Society of London, Memoirs, 30, 87-105.
Ishimaru et al., (2015) Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 110, 76-81.
Meng et al. (2018) Lithos, 302-314.
Sharma et al. (1995) Earth and Planetary Science Letters, 135, 191-114.
Shmelev (2011) Petrology, 19, 618-640. Shmelev et al. (2014) 12th International Platinum Symposium, Yaketerinburg, Field Trip Guidebook，IGG UB RAS，44p.
Yang et al. (2015) Gondwana Research, 27, 459-485.

キーワード：直方輝石、脱蛇紋岩化、磁鉄鉱包有物、ライ・イズカンラン岩体
Keywords: Orthopyroxene, Deserpentinization, magnetite inclusion, Ray-Iz peridotite massif

> 🏛2023年9月15日(金) 14:00 ~ 15:15 | 🏛810 杉本キャンパス
> **総会**

14:00 ~ 15:15
[E-03] 総会

[zoom] Zoom

総会

総会

2023年9月15日(金) 14:00 〜 15:15 810 (杉本キャンパス)

14:00 〜 15:15

[E-03]総会

©日本鉱物科学会

総会

総会

2023年9月15日(金) 14:00 〜 15:15 810 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

📅2023年9月15日(金) 15:30 ~ 17:00 | 🏛810 杉本キャンパス
受賞講演

15:30 ~ 17:00
[E-04] 受賞講演

[zoom] Zoom

受賞講演

受賞講演

2023年9月15日(金) 15:30 〜 17:00 810 (杉本キャンパス)

15:30 〜 17:00

[E-04]受賞講演

©日本鉱物科学会

受賞講演

受賞講演

2023年9月15日(金) 15:30 〜 17:00 810 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

📅2023年9月15日(金) 18:30 ~ 20:30 | 🏛都シティ 大阪天王寺
懇親会

18:30 ~ 20:30
[E-05] 懇親会

懇親会

懇親会

2023年9月15日(金) 18:30 〜 20:30 都シティ 大阪天王寺

18:30 〜 20:30

[E-05]懇親会

©日本鉱物科学会

口頭講演 | S1: 火成作用のダイナミクス (スペシャルセッション)

2023年9月16日(土) 9:00 ~ 10:00 | 820 杉本キャンパス

S1: 火成作用のダイナミクス (スペシャルセッション)

座長:浜田 盛久(海洋研究開発機構)、吉村 俊平(北海道大学)

9:00 ~ 9:15

[S1-01] 組成累帯構造から読み解く一ノ目潟産カンラン岩捕獲岩のマグマ輸送過程

*佐藤 侑人[1]、高橋 栄一[1]、小澤 一仁[2] (1. 広州地球化学研究所、2. 東大大気海洋研)

9:15 ~ 9:30

[S1-02] 弾性変形による流体包有物の密度変化：流体包有物地質圧力計への影響とその補正法

*萩原 雄貴[1]、Angel Ross[2]、山本 順司[3]、Esposito Rosario[4]、Alvaro Matteo[5] (1. 海洋研究開発機構、2. IGG-CNR、3. 九州大、4. University of Milano-Bicocca、5. University of Pavia)

9:30 ~ 9:45

[S1-03] 花崗岩の非平衡溶融に伴うアルカリ長石の組織・組成変化

*川畑 博[1]、山下 茂[2] (1. 高知大学・理工学部、2. 岡山大学・惑星物質研究所)

9:45 ~ 10:00

[S1-04] 流紋岩質溶岩に含まれるスフェルライトとクリスタライトの再現実験

*菅原 維[1]、吉村 俊平[1] (1. 北大・院自然)

[zoom] Zoom

組成累帯構造から読み解く一ノ目潟産カンラン岩捕獲岩のマグマ輸送過程

Dehydration and heating processes during magma transportation decoded from chemical zonings in peridotite xenolith from Ichinomegata, NE Japan

*佐藤 侑人[1]、高橋 栄一[1]、小澤 一仁[2]
*Yuto SATO[1], Eiichi Takahashi[1], Kazuhito Ozawa[2]

1. 広州地球化学研究所、2. 東大大気海洋研
1. GIGCAS, 2. AORI, Univ. Tokyo

マントル捕獲岩は玄武岩質マグマやキンバーライト質マグマによって地表にもたらされたマントル物質の断片であり、マントルから地表に至るまでの連続的な履歴を保存している。秋田県男鹿半島に位置する一ノ目潟マールでは、火砕堆積物中にマントル起源のカンラン岩捕獲岩を産する(林1955; Katsui, 1979)。これらの捕獲岩の熱史や岩石学的性質の多様性については、マントルにおける貫入マグマとの反応 (阿部ほか1992)や、地殻内マグマ溜まりにおける加熱 (Koyaguchi, 1986)による説明がなされてきた。それらに対し、我々はスピネルカンラン岩の由来圧力推定によって捕獲岩の岩石学的多様性と由来深度の系統的関係を見出し、一ノ目潟下マントルが成層構造をしていると主張した(Sato & Ozawa, 2019 Amer. Min.)。以上を踏まえ本研究では、捕獲岩の由来深度推定に基づいて、捕獲岩がマグマに取り込まれてから地表にもたらされるまでの上昇過程において、捕獲岩に生じた影響について議論する。

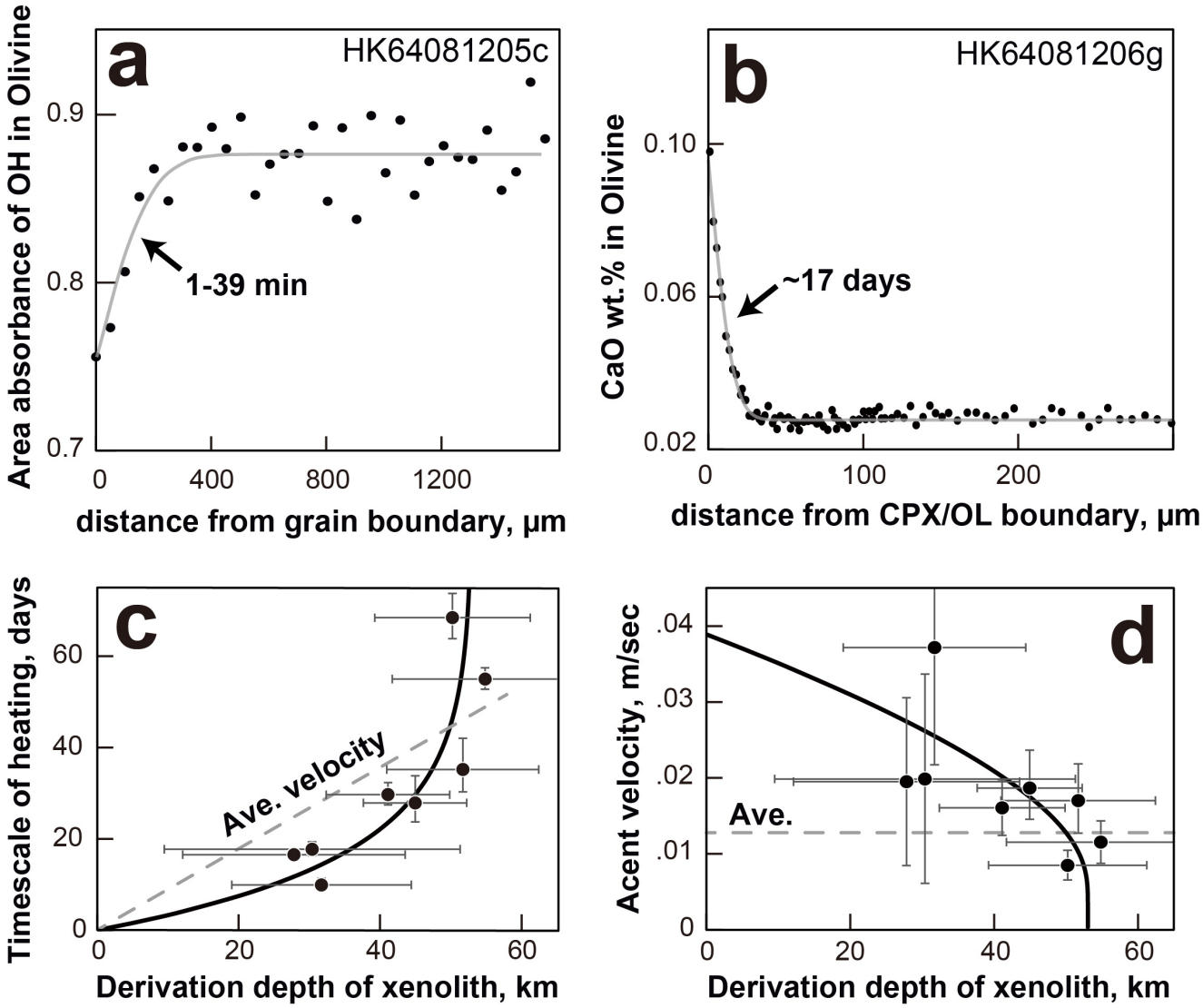
カンラン岩捕獲岩を対象に、主要構成鉱物の組成累帯構造へ拡散モデルを適用することにより、拡散時間を推定した。それぞれ、①カンラン石と直方輝石の縁にみられる水が減少する累帯構造(<200μm; 図a)から脱水の時間スケールを、②単斜輝石と接する界面までカンラン石のCaが増加する累帯構造(<100μm; 図b)を用いてマグマ輸送による加熱の時間スケールを推定し、両者を比較した。前者についてはSato et al. (2023EPSL)に詳報がある。①捕獲岩10試料に含まれるカンラン石と直方輝石における水の累帯構造を、FTIRおよびSIMSを用いた線・面分析によって得た。カンラン岩に含まれる角閃石が分解していないことから、脱水の温度を1000℃と仮定して脱水時間を推定した。これに対し、②EPMAによる線分析により、捕獲岩9試料について、単斜輝石と接するカンラン石の縁におけるCaの累帯構造を得た。更に、単斜輝石からのCaの二次蛍光X線効果(Dalton & Lane, 1996)を補正した。以上を用いて、一ノ目潟の初生マグマの化学組成(Sakuyama & Koyaguchi, 1984)からマグマの加熱の温度を1200℃と仮定して加熱時間を推定した。

水の累帯構造から推定した捕獲岩の脱水は、誤差を考慮しても1分から48分という極めて短い時間スケールで起きたことが推定された。また、推定された捕獲岩の脱水時間と由来深度との間に相関は認められなかった。一方、カンラン石のCa累帯構造から推定した加熱は、1日から68日という幅のある時間スケールで生じたことが推定された。捕獲岩の平均上昇速度は0.013 ±0.004 m/secと推定されたが(図cd中の灰破線)、これはマグマの粘性から推定したアルカリ玄武岩についての値(Spera, 1984)と整合的である。加熱時間と由来深度は非線形な正相関を示し、深部由来の捕獲岩ほどゆっくりと上昇することが示唆されたが、この時、捕獲岩の上昇率は線形な深さ依存性を考慮して、v(m/sec) = -7.3±1.7×10^{-4} d(km) + 3.9±0.7×10^{-2}という関係式で最も良く再現される(図cd中の黒実線)。上記の式で上昇率(v)が0になる深度(d)は~53kmであるが、これは捕獲岩の最も深い由来深度推定値(~55km)と一致する。

以上より、(1)一ノ目潟のカンラン岩捕獲岩は、深さ~55kmのマントルから地表までダイレクトに上昇してきたこと、マグマ輸送を開始してから徐々に上昇速度を増していき、浅部由来の捕獲岩では数日、深部由来の

捕獲岩では数十日ほどで噴出に至ったことが示唆された。また、(2)捕獲岩の内側を構成する鉱物の脱水は、地上付近の浅部において極めて短時間(数分から一時間未満)のうちに生じたが、これはマグマの脱ガスを生じるような低圧環境において、捕獲岩の粒界が開くことで脱水が開始したことを示唆する。

キーワード：マントル捕獲岩、マグマ輸送、組成累帯構造、水、カンラン石
Keywords: mantle xenolith, magma transportation, chemical zoning, water content, olivine



弾性変形による流体包有物の密度変化：流体包有物地質圧力計への影響とその補正法

Post-entrapment density modification of fluid inclusions by elastic deformation: Implications for fluid inclusion geobarometry of peridotites

*萩原 雄貴[1]、Angel Ross[2]、山本 順司[3]、Esposito Rosario[4]、Alvaro Matteo[5]
*Yuuki HAGIWARA[1], Ross John Angel[2], Junji Yamamoto[3], Rosario Esposito[4], Matteo Alvaro[5]

1. 海洋研究開発機構、2. IGG-CNR、3. 九州大、4. University of Milano-Bicocca、5. University of Pavia
1. JAMSTEC, 2. IGG-CNR, 3. Kyushu University, 4. University of Milano-Bicocca, 5. University of Pavia

ホスト鉱物の弾性変形による流体包有物密度(ρ_{inc})の変化は，流体包有地質圧力計の系統誤差の原因となることが長い間認識されてきたが(e.g., Ermakov 1950)，状態方程式の非線形性や弾性緩和の影響を考慮に入れてその影響を評価するのは困難であった．しかし，最近の弾性地質圧力計理論(e.g., Angel et al. 2014; 2017)やホスト鉱物の状態方程式(e.g., Angel et al. 2018; Hagiwara et al. 2022)の改良により，弾性変形が流体包有地質圧力計にもたらす不確定性を正確に評価できるようになった．本研究では，流体包有物地質圧力計によるかんらん岩の由来深度推定を例にその影響を評価し補正法を提案する．

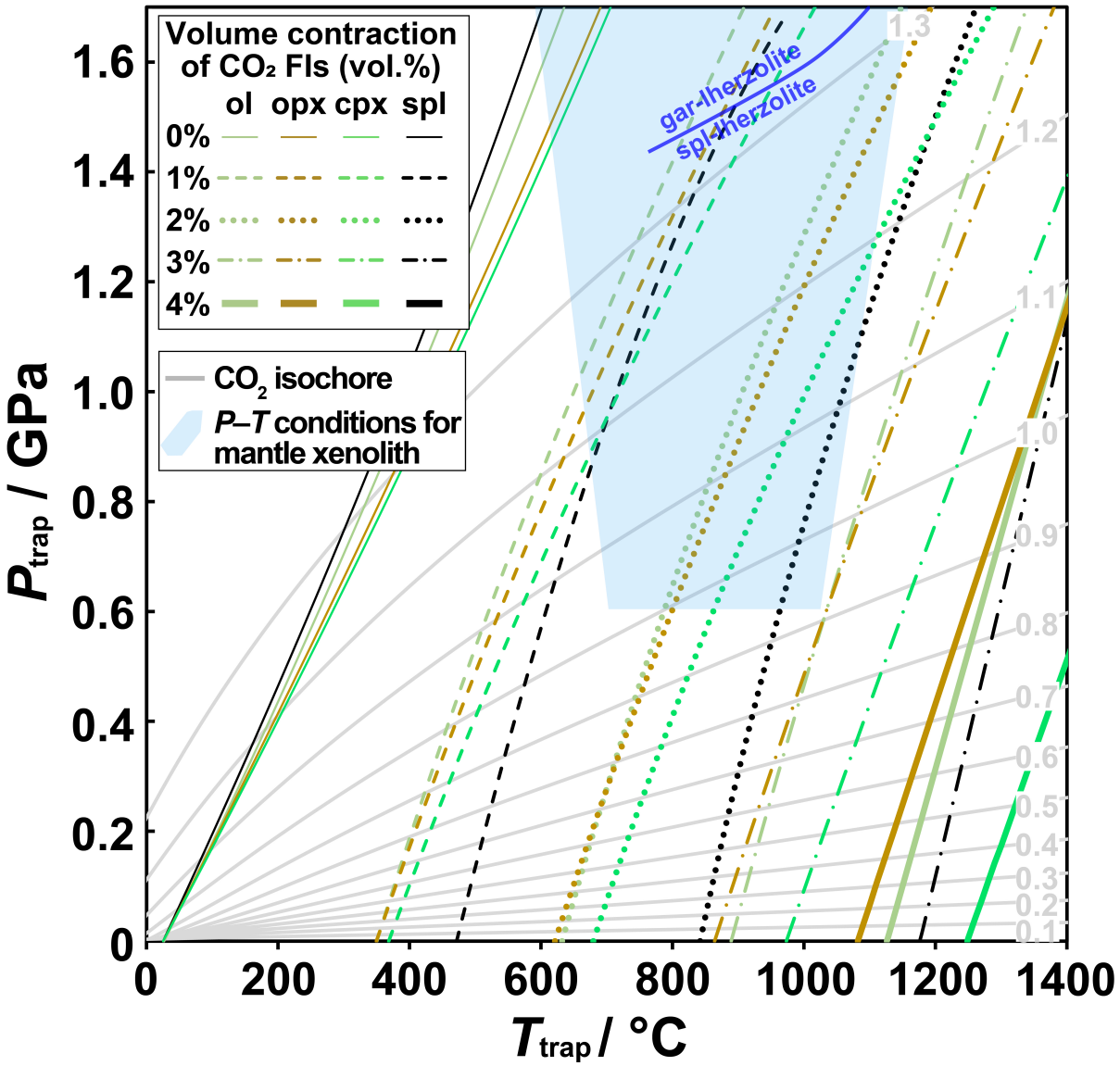
試料として極東ロシアEnnokentievのマントル捕獲岩 (spinel-lherzolite)(e.g., Yamamoto et al. 2012)中のスピネル，直方輝石，単斜輝石，かんらん石に含まれるpure CO_2流体包有物を利用した．CO_2の密度は，CO_2のラマンスペクトルの2つの大きなピークの波数差(Δ in cm^{-1})から推定した．先行研究によって異なるρ_{inc}-Δ関係式が報告されている問題については，標準CO_2流体包有物を用いてHagiwara et al. (2020)の手順に従い対処した．また，レーザー加熱により密度の過小評価してしまう問題は，Hagiwara et al. (2021a)のρ_{inc}-Δ式の温度依存性と，Hagiwara et al. (2021b)の単位レーザーパワー当たりの各鉱物中の流体包有物の温度上昇量を利用し補正した．

計算の結果，spinel-lherzoliteの典型的な由来*P-T*条件下でトラップされた流体包有物の密度(ρ_{inc})(つまり，研究室での分析値)は，トラップされた*P-T*条件下での密度(ρ_{trap})よりも弾性変形により約0-3%大きくなることが示された．これは，流体包有物地質圧力計により推定した圧力は，トラップ圧力の下限値であるというこれまでの考えを覆すものである．従って，弾性変形の影響を補正しない限り，ρ_{inc}から推定したトラップ圧力は過大評価されることになる．また，Hagiwara et al. (2022)によるとspinelの陽イオンの秩序化もトラップ圧力の過大評価に繋がる可能性があり，実際に鉱物包有物地質圧力計では系統誤差の要因になることが示されている．しかし，流体包有物の場合，流体の圧縮性の高さによりこの影響は無視できることが明らかになった．また，かんらん岩で広く報告されている流体密度の鉱物種依存性（スピネル > 直方輝石 ~ 単斜輝石 > かんらん石）には，ホスト鉱物の弾性特性の違いは全く関与していないことが示された．更に，レーザー加熱による見かけ上の流体密度低下(Hagiwara et al. 2021a; 2021b)では，この鉱物種依存性は説明できないことも示された．弾性変形や陽イオンの秩序化以外にρ_{inc}を上昇させる機構は考えづらいため，直方輝石，単斜輝石，かんらん石中の流体包有物のρ_{inc}は弾性変形以外の要因で減少している可能性が高い．したがって，spinel中のFIを用いたP_{trap}の推定値は，直方輝石，単斜輝石，かんらん石中の流体包有物から得られる推定値よりも，真のトラップ圧力に近いはずである．

References Angel et al. (2014) *Am Mineral*, **99**, 2146-2149; Angel et al. (2017) *Am Mineral*, **102**, 1957-1960; Angel et al. (2018) *Phys Chem Miner*, **45**, 95-113; Ermakov (1950) University of Kharkov

Press, 460 pp.; Hagiwara et al. (2020) *J. Raman Spectros.* **51**, 1003–1018; Hagiwara et al. (2021a) *J. Raman Spectros.* **52**, 1744–1757; Hagiwara et al. (2021b) *Chem. Geol.* **559**, 119928; Hagiwara et al. (2022) *Contrib. Min. Petrol.* **177**, 108; Yamamoto et al. (2012) Tectnophysics. **554-557**, 74-78

キーワード：流体包有物、地質圧力計、状態方程式、弾性変形、ラマン分光法
Keywords: Fluid inclusion, Geobarometry, Equation of state, Elastic deformation, Raman spectroscopy



トラップ条件(P_{trap}とT_{trap})から標準状態(0 GPaと25°C)まで*P-T*が低下する過程でolivine, opx, cpx, spinel中のCO_2流体包有物の体積が0, 1, 2, 3, 4%減少する等積変化線. 青い領域はマントル捕獲岩の典型的な由来P-T領域である(Hasterok & Chapman 2011). 灰色の曲線はCO_2の等密度線である(Pitzer and Sterner 1994).

花崗岩の非平衡溶融に伴うアルカリ長石の組織・組成変化

Textural and chemical changes of alkali feldspar during disequilibrium melting of granite

*川畑 博[1]、山下 茂[2]
*Hiroshi KAWABATA[1], Shigeru YAMASHITA[2]

1. 高知大学・理工学部、2. 岡山大学・惑星物質研究所
1. Kochi University, 2. Okayama University

マグマに取り込まれたゼノリスは急速に加熱され、非平衡な状態で溶融が進む。こうした非平衡溶融は、条件が揃えばマグマ溜まりの壁岩でも生じうる。岩石の非平衡溶融を理解するためには、メルト内の元素拡散だけでなく、鉱物ーメルト界面で起こる現象を鉱物種ごとに理解することが不可欠である。本発表では、部分溶融を経験した花崗岩ゼノリスと、細粒花崗岩を用いた非平衡溶融実験の観察・解析から得られた、アルカリ長石の溶解に関する知見を報告する。研究に用いたゼノリスは、瀬戸内安山岩にとりこまれた花崗岩・花崗閃緑岩であり、新鮮なガラスが鉱物粒間に沿って分布するのが特徴である。一方、非平衡溶融実験にはアプライト質の細粒花崗岩を用いた。金カプセル内に円柱状に成形した岩石と蒸留水を封入し、50 MPa、H_2O飽和条件の下で、温度（800℃から1000℃）と時間（最長86時間）を変えて実験を行った。ゼノリスと実験に用いた出発物質はともに、ノルム石英（Qz）−−正長石（Or）−曹長石（Ab）三角図においてgranite minimumに近い全岩化学組成をもつ。また、ゼノリスと実験生成物に見られるガラスの組成は、ノルムQz−Or−Ab三角図で同一のトレンド上にのる。AlとSiの遅い拡散速度を反映して、これらの酸化物濃度でガラスの組成幅が大きい。石英近傍のメルトはSiに富む一方、長石や苦鉄質鉱物近傍のメルトはAlに富んでいる。以下には、アルカリ長石について得られた2つの知見をまとめる。

【離溶組織の有無で鉱物溶解過程、岩石中のメルト分布が変化する】 実験に用いた細粒花崗岩には、アルカリ長石にパッチ状パーサイトが発達している。一方、ゼノリス中のアルカリ長石には、とけのこり部分でもパーサイト構造は認められない。こうしたパーサイト構造の有無によって、アルカリ長石の溶解様式が異なることが明らかとなった。実験生成物のアルカリ長石を観察すると、パーサイト構造を作るOr-rich zoneとAb-rich zoneの境界でメルトが発生し、特にAb-rich zoneでメルトとの反応が進み長石組成が改変されていた。また、高温の実験ではAb-rich zoneが完全にメルト化し、残存するOr-rich zoneが次第に消失する様子が確認できた。このように、パーサイトアルカリ長石は結晶内部からも溶解が進むと考えられる。一方、パーサイト構造を示さないゼノリス中のアルカリ長石では、結晶表面だけから溶解が進行している。これらのことから、離溶組織の有無によって、鉱物の溶解速度（たとえば結晶量の時間変化）に違いが生じることが示唆される。 パーサイト構造の有無は、さらにメルトの分布にも違いをもたらす。鉱物の3重点のほか、2種の鉱物間（石英ー斜長石、石英ーアルカリ長石、斜長石ーアルカリ長石など）の粒界に沿ってメルトバンドが網目状に分布する様子が、ゼノリス・実験生成物ともに観察される。しかし、高温長時間条件（1000℃、24−86時間）の実験生成物では、残存する石英と斜長石の粒界に網目状のメルトが分布するだけでなく、アルカリ長石の効率的な溶解・消滅でできたと考えられる大きなメルト領域が点在することが明らかとなった。離溶組織をもつ鉱物の効率的な消滅によりメルト分布に不均質が生まれることで、メルト一粒子混合相の物性にも影響を与えるかもしれない。

【界面メルト組成がCotectic surfaceを横切ることで生じる長石の変化】 ゼノリスに含まれるアルカリ長石には、溶解析出過程で生じたふるい状組織が結晶内部に向かって発達する。ふるい状組織は反応によって生じた新しい組成の長石と、それを埋めるメルトから構成される。ふるい状組織を示すアルカリ長石は、灰長石（An）−Ab−Or組成三角図において、湾曲した組成変化トレンドを示す。その組成変化は、とけ残り部分が示

すOr60%程度のサニディン領域に始まり、反応で生じた長石が示すOr40%からAn30%程度のアンデシン領域に至る。この大きな組成変化は１つの粒子内でも見られ、溶解反応が進行するとともにOr値が減少し、An値が大きくなったと解釈できる。この組成変化は一見すると、ソルバス上の長石組成変化に思える。しかし実際は、アルカリ長石近傍のメルト組成（または反応領域の局所バルク組成）が、ノルムQz–Or–Ab–An四面体内のアルカリ長石ー斜長石cotectic surfaceを横切るように変化したことが原因であると考えられる。Cotectic surfaceを横切るために必要なCaは、アルカリ長石に隣接した含Ca鉱物（斜長石、普通角閃石）の鉱物溶解で供給される場合が考えられる。また、岩石がノルムAnに富むほどメルトのCa濃度が高くなることから、アルカリ長石ーメルト反応で斜長石が作られやすくなると予想される。

キーワード：アルカリ長石、非平衡溶融
Keywords: Alkali feldspar, Disequilibrium melting

流紋岩質溶岩に含まれるスフェルライトとクリスタライトの再現実験

Experimental simulation of crystallite and spherulite in rhyolitic lava

*菅原 維[1]、吉村 俊平[1]
*Tamotsu Sugawara[1], Shumpei Yoshimura[1]

1. 北大・院自然
1. Hokkaido Univ. Sci.

はじめに

流紋岩溶岩のガラス質の石基には、長さ数10㎛のマイクロライト（斜長石、輝石、磁鉄鉱など）に加え、棒状や毛状の不透明鉱物からなるクリスタライト（晶子）や針状あるいは長柱状の結晶が一点から放射状に広がり形成される球状結晶であるスフェルライト（球顆）などの形状が異なる結晶が存在していることが知られている。これらのうち、クリスタライトやスフェルライトは、必ずしも岩石の中で空間的に均質に分布するわけではなく、しばしば偏って存在することが知られている（例えばFink & Manley, 1987; Stasiuk et al., 1989; Gardner et al., 2016; Bullock et al. 2017; 中村 2022)。しかし、クリスタライトやスフェルライトがどのような条件で晶出するかについて詳しくは分かっていない。そこで本研究では流紋岩質溶岩の定置後の条件を再現する実験を行い、これらの結晶がどのような条件で形成されるかを調べた。

実験手法

出発物質には，静岡県カワゴ平火山の溶岩流（ガラス質の部分）を用いた。これを角柱状の整形し、石英ガラス管に水と共に封入し、1000℃～650℃、>386時間の条件で実験を行った。水の量は、ガラス管の内圧が約100気圧になるよう調節した。実験後、試料の両面研磨薄片を作製し、結晶組織の透過観察、SEM-EDSを用いた観察および化学組成分析、顕微FT-IRを用いた含水量測定を行った。

結果

実験温度750℃を境に、結晶組織は大きく異なっていた。750℃よりも高温の実験では、ガラス中に褐色で球形のスフェルライトが形成された。化学組成の分析から、スフェルライトは斜長石およびシリカ鉱物の集合体と推定される。スフェルライトの量は、各温度で時間とともに増加した。ただし、増加の速度は温度とともに増加するのではなく、900℃でピークをもち、それより高温、または低温では速度は低下した。また、試料の発泡度は時間とともに増加した。これは、スフェルライト形成が進行することでメルトにH_2O成分が濃集し、過飽和となり発泡したものと考えられる（二次沸騰）。一方、750℃よりも低温では、黒色不透明で針状または毛状のクリスタライトが形成された。その量は時間とともに増加し、試料は真っ黒になった。この鉱物は磁鉄鉱と推定されるが、現在調査中である。また、この条件下でスフェルライトは形成されなかった。

考察

クリスタライトやスフェルライトの形成条件は、温度の違い（過冷却度の違い）によるものと考えられる。溶岩内部で結晶の種類にバリエーションがあることは、溶岩の冷却履歴が局所的に異なることを反映している可能性がある。

キーワード：結晶化、流紋岩、スフェルライト、クリスタライト
Keywords: Crystallization, Rhyolite, Spherulite, Crystallite

口頭講演

S1: 火成作用のダイナミクス (スペシャルセッション)

座長:浜田 盛久(海洋研究開発機構)、吉村 俊平(北海道大学)

2023年9月16日(土) 09:00 〜 10:00 820 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

口頭講演 | R5：地球外物質

2023年9月16日(土) 9:00 ~ 12:00 | 821 杉本キャンパス

R5：地球外物質

座長:松本　恵　(東北大学)、山本 大貴(九州大学)、瀬戸 雄介(大阪公立大学)、橘 省吾(東京大学)

9:00 ~ 9:15

[R5-01] ルチルの衝撃変形微細組織

*梅田 悠平[1]、永井 優馬[1]、富岡 尚敬[2]、関根 利守[3]、宮川 仁[4]、小林 敬道[4]、遊佐 斉[4]、奥地 拓生[1] (1. 京大・複合研、2. 海洋研究開発機構、3. 中国高圧科学研究中心、4. 物質材料研究機構)

9:15 ~ 9:30

[R5-02] 3次元衝撃実験により変形したカルサイトの微細組織

*富岡 尚敬[1]、黒澤 耕介[2]、大野 遼[3]、新原 隆史[4]、松井 孝典[2] (1. 海洋研究開発機構・高知コア研究所、2. 千葉工業大学・惑星探査研究センター、3. 立命館大学・総合科学技術研究機構、4. 岡山理科大学・基礎理学科)

9:30 ~ 9:45

[R5-03] 分化隕石中シリカ鉱物共存組織のFIB-TEM観察

*竹之内 惇志[1]、伊神 洋平[2]、三宅 亮[2]、大野 遼[3]、三河内 岳[4]、山口 亮[5] (1. 京大・総博、2. 京大・理、3. 立命館、4. 東大・総研博、5. 極地研)

9:45 ~ 10:00

[R5-04] 玄武岩と火星模擬土壌の短時間加熱実験による火星隕石の衝撃溶融の検証

「発表賞エントリー」

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

10:00 ~ 10:15

[R5-05] 放射光X線CTを用いたDaG999ユレイライト中炭素粒子の内部構造観察

*安武 正展[1]、松本 恵[3]、松野 淳也[2]、土山 明[2,4]、上杉 健太朗[1]、竹内 晃久[1] (1. JASRI、2. 立命館大、3. 東北大、4. 広州地球化学研究所)

10:15 ~ 10:30

[3Lecture-201-11-6add] 休憩

10:45 ~ 11:00

[R5-07] はやぶさ2リターンサンプル表面の微隕石衝突メルトとマイクロクレータの ナノCT・TEM分析

*松本 恵[1]、松野 淳也[2]、土`山 明[2,3]、中村 智樹[1]、榎戸 祐馬[1]、菊入 瑞葉[1]、安武 正展[4]、上杉 建太朗[4]、竹内 晃久[4]、延寿 里美[5]、奥村 翔太[6]、三津川 到[6]、　　琦[3]、三宅 亮[6]、はやぶさ2 初期分析コアチーム (1. 東北大学、2. 立命館大学、3. 中国科学院・广州地化研、4. （公財）高輝度光科学研究センター、5. 愛媛大学、6. 京都大学)

11:00 ~ 11:15

[R5-08] CIコンドライト及び小惑星リュウグウ試料のカンラン石主要・微量元素組成から推測する起源物質

*三河内 岳[1]、吉田 英人[1]、増田 みなみ[1]、ゾレンスキー マイケル[2] (1. 東京大学、2. NASAジョンソン宇宙センター)

11:15 ~ 11:30

[R5-09] Orgueil(CI コンドライト)隕石中角礫化岩片の鉱物モード多様性と水質変成度の関連について

*増田 みなみ[1]、三河内 岳[2]、Zolensky Michael[3] (1. 東大・院理、2. 東大・総研博／院理、3. NASA JSC)

11:30 ~ 11:45

[R5-10] Kaidun隕石におけるC1岩相の鉱物学的多様性

「発表賞エントリー」

*荻谷 賢英[1]、三河内 岳[2]、Zolensky Michael[3] (1. 東京大学・院理、2. 東京大学・総研博/院理、3. NASA ジョンソン宇宙センター)

11:45 ~ 12:00

[R5-11] コンドライトのサブタイプ3.0分類の検討

*木村 眞[1]、ワイスバーク マイケル[2]、山口 亮[1] (1. 国立極地研究所、2. ニューヨーク市立大学)

[zoom] Zoom

ルチルの衝撃変形微細組織

Shock deformation microstructures in rutile

*梅田 悠平[1]、永井 優馬[1]、富岡 尚敬[2]、関根 利守[3]、宮川 仁[4]、小林 敬道[4]、遊佐 斉[4]、奥地 拓生[1]
*Yuhei Umeda[1], Yuma Nagai[1], Naotaka Tomioka[2], Toshimori Sekine[3], Masashi Miyakawa[4], Takamichi Kobayashi[4], Hitoshi Yusa[4], Takuo Okuchi[1]

1. 京大・複合研、2. 海洋研究開発機構、3. 中国高圧科学研究中心、4. 物質材料研究機構
1. Kyoto Univ. KURNS., 2. JAMSTEC, 3. HPSTAR, 4. NIMS

惑星構成鉱物の衝撃変形特性に関する研究は、インパクトクレーターの岩石や隕石が経験した衝突履歴を読み解くために必要不可欠である。二酸化チタン（TiO_2）は圧力・温度によって様々な結晶構造に変化し[1]、常圧安定相としてはルチルがある。自然界では、TiO_2の多形がドイツ・リースクレーター[2]、月クレーター[3]、コンドライト隕石[4]などから見つかっている。これらの衝撃を受けた岩石試料の組織分析から、積層欠陥などの衝撃変成組織やα-PbO_2型構造への高圧相転移が確認されているが、その形成機構や高圧下での変形特性は十分に理解されていない。TiO_2の衝撃変成についての実験的研究は、主に衝撃回収実験によって行われてきた。単結晶ルチルの衝撃回収試料には、強い剪断応力によって積層欠陥が形成され、その近傍でα-PbO_2型構造への相転移が確認された[5]。一方で、高空隙率の粉末のルチルでは、同様の衝撃圧力においても積層欠陥および高圧相は確認されなかった[6]。このことから、出発試料の空隙に起因する衝撃温度の違いは、TiO_2の衝撃変成機構や高圧相転移機構に大きな影響を与えることが示唆されている。

本研究では、物質・材料研究機構の一段式火薬銃を用いて衝撃回収実験を行った。空隙の効果を検討するために、出発試料にはルチルの単結晶とペレット化した粉末（空隙率30%）を準備した。両者の衝撃圧力は30 GPaで行った。衝撃圧縮実験後、回収した試料について、X線回折法（XRD）による結晶相同定、透過型電子顕微鏡（TEM）による微細組織観察を行った。単結晶試料のXRDとTEM分析の結果、ルチルの{101}面に積層欠陥が卓越していることが明らかとなり、塑性変形における支配的な転位のすべり系が{101}<01>であったことが示唆された。また、一部のルチルがα-PbO_2型構造へ相転移していることが確認され、その結晶方位関係は[010]Rt//[001]α-PbO_2であった。トポロジー解析により、この相転移は中間構造としてフッ化カルシウム型構造を経由して、無拡散型の機構により起きた可能性が高いことが明らかとなった。一方、衝撃圧縮後の粉末試料は、ルチル相のみから成り、絡み合った転位を持つ粒子と転位がほとんどない再結晶化した粒子から構成されていることが分かった。積層欠陥はほとんど確認されなかった。粉末ルチルについては、すべり系{110}[001]が卓越した可能性が高いことが明らかとなった。

参考文献[1] Nishio-Hamane et al., Physics and Chemistry of Minerals, (2010).[2] El Goresy et al., Earth and Planetary Science Letters, (2001). [3] Hou et al., IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, (2021).[4] Xie et al., Acta Geochimica, (2023).[5] Kusaba et al., Physics and Chemistry of Minerals, (1988).[6] Tan et al., Journal of Physics: Condensed Matter, (2018).

キーワード：ルチル、衝撃回収実験、変形、欠陥
Keywords: Rutile, Shock recovery experiment, Deformation, Defect

3次元衝撃実験により変形したカルサイトの微細組織

Microstructures of calcite deformed by 3-D shock experiments

*富岡 尚敬[1]、黒澤 耕介[2]、大野 遼[3]、新原 隆史[4]、松井 孝典[2]
*Naotaka TOMIOKA[1], Kosuke Kurosawa[2], Haruka Ono[3], Takafumi Niihara[4], Takafumi Matsui[2]

1. 海洋研究開発機構・高知コア研究所、2. 千葉工業大学・惑星探査研究センター、3. 立命館大学・総合科学技術研究機構、4. 岡山理科大学・基礎理学科
1. KOCHI, JAMSTEC, 2. PERC, Chiba Inst. Tech., 3. Res. Org. Sci. Tech., Ritsumeikan Univ., 4. Dept App. Sci., Okayama Sci. Univ.

【はじめに】衝突現象は太陽系の形成に基礎的なプロセスの一つである。この履歴を読み解くために隕石鉱物の衝撃実験が行われ、その回収試料と隕石試料の変形・相転移組織の比較から、衝撃変成度の評価が行われてきた [1] 。含水コンドライトの主要鉱物の一つである炭酸塩鉱物については、変形双晶・転位・分解が圧力指標として用いられているが、10GPa以下の低圧力領域では、明確な指標が存在しないのが現状である [2]。このような中我々は、3次元的に衝撃が減衰する、天然の衝突現象に近いジオメトリでのカルサイトの衝撃実験を行った[3]。その回収試料の偏光顕微鏡観察とiSALEコードを用いた圧力分布の見積もりに基づき、2.5–3.0 GPaを超える圧力では、粒子に波状消光が卓越することを明らかにした[3]。波状消光の観察は、簡便に薄片全体の低圧力条件の評価を行える利点がある。一方で、サンプルリターン試料の様に加工による試料損失を可能な限り避けたい微小・希少試料に対しては、観察が困難である。そこで本研究では、微小領域加工・観察が可能なFIB-TEM法によりカルサイトの変形微細組織を行い、その圧力効果を探ることを目的とした。

【実験】3次元衝撃実験は、Carara産大理石を直径30mm、長さ24mmの円筒形に加工し、チタン製コンテナに封入した後、惑星探査研究センターの2段式軽ガス銃を用いて、直径4.8mmのポリカーボネート球を衝突させ、衝突点近傍にてピーク圧力13GPaを発生させた [3]。本研究では、新たにピーク圧力が16 GPaでの実験も行った。これら２試料から研磨薄片を作成し、偏光顕微鏡にて光学性の観察を行った。更に、高知コア研究所のFIB（Hitachi SMI-4050）を用いて、超薄切片を作成し、透過電子顕微鏡（TEM: JEOL JEM-ARM200F）による微細組織観察を行った。非衝撃圧縮のカルサイトについても、同様にTEM観察を行った。

【結果】非衝撃圧縮のカルサイトは、偏光顕微鏡下でシャープな消光を示す。TEMによる観察では、双晶ラメラに加えて転位が観察され、その平均密度は1.4×10^9 （$1/cm^2$）であった。1–2 GPaの衝撃圧力を受けたカルサイト粒子は、非衝撃圧縮試料と同様にシャープな消光を示した。転位密度は$4.1–7.4 \times 10^8$ ($1/cm^2$) で、非衝撃圧縮のカルサイトと顕著な差は認められない。一方4 GPaの試料は明瞭な波状消光を示す。TEM観察では、自由転位に加えて１μｍ以下の幅で絡まり帯状になった転位組織が観察された。「帯」以外の領域の転位密度は9.2×10^8 ($1/cm^2$)で、2GPa以下の粒子と同程度である。同様に波状消光を示す5 GPaの試料では転位が絡まった領域が広く分布し、7–16GPaの試料では、切片の全領域で高密度に転位が絡まった組織を持つ。上記いずれの試料においても、制限視野電子線回折はシャープな単結晶パターンを示し、結晶亜粒界は認められなかった。

【考察】本研究で観察された自由転位の密度は圧力に依存せず、非圧縮のカルサイトが元々持っている組織に近いと考えられる。一方、波状消光を示す粒子が急増する約3GPa以上の圧力条件では、高密度に絡まった転位網が発達することが明らかになった。ユゴニオ弾性限界（1.2–1.4 GPa）を越える圧力条件では、大理石中の個々のカルサイト粒子は塑性変形をおこすが、歪速度が極めて早いために、特定の結晶面に転位の形成が集中すると考えられる。更に高い圧力条件では、結晶方位の依存性は小さくなり、絡まった転位が粒子全体に

形成される。高密度転位歪によるミクロンスケールでの結晶方位の変化は、電子線回折で特定できないほど小さいものの、数百ミクロンスケールでは優位な変化量を持ち、偏光顕微鏡にて観察される波状消光を作り出している可能性が高い。

小惑星リュウグウの表層粒子は強い水質変成を受けカルサイトを含むが、その衝撃変形については、まだ詳しい報告はない。最近、微小断層や硫化物高圧相等の評価から、リュウグウの経験した圧力は約2GPaと見積られた [4]。今後カルサイトの転位組織観察を行うことで、衝撃圧力が更に制約できると期待できる。

文献 [1] Stöffler et al. (2008) MaPS, 53, 5–49. [2] Langenhorst (2002) Bull. Czech. Geol., Sur.,77, 265–282. [3] Kurosawa et al. (2022) JGR. Planet., 127, e2021JE007133. [4] Tomioka et al. (2023) Nat. Astron., 7, 669–677.

キーワード：カルサイト、衝撃実験、転位、透過電子顕微鏡
Keywords: Calcite, Shock experiments, Dislocations, Transmission electron microscopy

分化隕石中シリカ鉱物共存組織のFIB-TEM観察

FIB-TEM observation of silica minerals coexisting in achondrites

*竹之内 惇志[1]、伊神 洋平[2]、三宅 亮[2]、大野 遼[3]、三河内 岳[4]、山口 亮[5]
*Atsushi TAKENOUCHI[1], Youhei Igami[2], Akira Miyake[2], Haruka Ono[3], Takashi Mikouchi[4], Akira Yamaguchi[5]

1. 京大・総博、2. 京大・理、3. 立命館、4. 東大・総研博、5. 極地研
1. The Kyoto Univ. Museum, 2. Kyoto Univ., 3. Ritsumeikan Univ., 4. The Univ. Museum, The Univ. of Tokyo, 5. Natl. Inst. of Polar Res.

シリカにはいくつかの多形が存在し，分化隕石中にはシリカ多形が様々な組み合わせで共存している。シリカの各相はメルトやガラスからの結晶化か，結晶化後の相転移で形成されたと考えられる。常温常圧では石英が安定相であるため，多形の多様な組み合わせは，主に相転移時の温度と速度論に支配されている。そのため，シリカの組み合わせと隕石の熱履歴の対応関係が指摘されており（e.g., Ono et al. 2019; 2021），各相の相転移速度や相転移条件を精査することで冷却速度計としての利用が期待されている。本研究では分化隕石中のシリカの形成過程を精査するため，昨年度の単斜-擬直方トリディマイト共存組織（MC-trd, PO-trd）の観察（竹之内他2022）に引き続き，様々な組み合わせのシリカについて集束イオンビーム（FIB）による切り出しと透過型電子顕微鏡（TEM）による観察を行った。

試料加工と観察は京都大学大院理学研究科のFIB（Helios NanoLab G3 CX）とTEM（JEM-2100F）を用いた。試料はクリストバライト（Crs）と擬直方トリディマイト（PO-trd）の共存組織を持つ安山岩質の分化隕石Erg Chech 002（EC002）とCrsと石英（Qtz）の共存組織を持つユークライト隕石のStannern，単斜トリディマイト（MC-trd）とQtzの共存組織を持つユークライト隕石のMillbillillieを用いた。

EC002ではCrsとPO-trdの直線的な境界が観察され，境界には他形の曹長石と自形のチタン鉄鉱が分布していた。また，境界面と平行に$(110)_{Crs}$//（110）$_{PO}$及び $[1\text{-}1\text{-}1]_{Crs}$//$[001]_{PO}$の方位関係が見られた。このtrdはアルカリ長石の包有物を含んでおり，回折像では超構造を示す回折点が観察されなかった。StannernではCrsとQtz間に明瞭な方位関係は今のところ観察されておらず，球状のCrsがQtz中に存在する組織が観察された。両者ともクロム鉄鉱やチタン鉄鉱の包有物を含み，Crsには積層欠陥や双晶が見られた。MillbillillieではMC-trd中に半自形で存在するQtzを観察したところ，複数のQtz粒子が同じ結晶学的方位で存在していた。QtzとMC-trd間に方位関係があると考えられるが，MC-trdの指数をつけることができていないため，今後電子後方散乱回折法（EBSD）も組み合わせて解析を進める予定である。また，Millbillillie中のQtz粒子には特徴的な毛鉤状の割れを持つ粒子が存在するため，それらも同様に観察を行った。毛鉤状の割れを持つQtzはいくつかの結晶で形成されており，各単結晶の中で弱い劈開面{10-11}に平行に割れが入っていることが確認された。

本研究によるとCrsとQtzの共存組織は方位関係を持たない形成過程をもつ。CrsとQtzの共存組織の比較的単純な形成過程としては，全体がCrsとして結晶化し，一部がQtzへ相転移する場合と，一部がCrsとして結晶化し，その後残ったメルトまたは固化したガラス部がQtzとして結晶化する場合などが考えられる。CrsからQtzへの相転移が方位関係を持つかは未確認であり，今回の結果だけでは形成過程を制約するには至らないが，球状のCrsの存在から後者の形成過程を経ている可能性が高いと考えられる。これに対し，CrsとPO-trd間，QtzとMC-trd間には方位関係が存在し，それらの多形は結晶方位関係を持つような形成過程を経ている。特にCrsとPO-trdはSiO_4四面体が作る六員環シートの積層方向である$[111]_{Crs}$と$[001]_{PO}$が平行であり，僅かな変位で相転移した組織であることが示唆された。これはCrsからtrdへの相転移途中でクエンチした組織と考えられ，EC002が比較的高温なtrdの安定領域から急に冷却したことを示唆している。MCとQtzの共存組織は，Crs+trdやCrs+Qtzの共存組織からCrsがQtzまたはtrdへと相転移する場合や，すべてMC-trdとなってから一部がQtzへ相転移する場合などが考えられる。前者の場合，QtzとMCの方位関係を説明するため

にはCrsとQtzの共存組織または相転移時にも方位関係がある必要がある。一方，MC-trdは加熱実験により毛鉤状の割れを伴うQtzへ相転移するという報告（Ono et al. 2021）もあるため，MC-trdとQtzの共存組織はMC-trdからのQtzへの相転移により形成された可能性が高い。

本研究により一部のシリカ多形の組み合わせには明瞭な方位関係が存在し，相転移で形成されることが明らかとなった。今後も観察・実験を通して各シリカ組み合わせの形成過程を明らかにしていく。

キーワード：シリカ、分化隕石、相転移、熱履歴、トリディマイト
Keywords: silica, achondrites, phase transition, thermal history, tridymite

玄武岩と火星模擬土壌の短時間加熱実験による火星隕石の衝撃溶融の検証

Assessment of Shock Melting of Martian Meteorites as Deduced from Short Time Heating Experiments of Basalt and Martian Soil Simulants

*佐藤 武[1]、三河内 岳[2]
*Takeru Sato[1], Takashi Mikouchi[2]

1. 東大・院理、2. 東大・総研博
1. Univ. of Tokyo, 2. Univ. of Tokyo

はじめに：火星隕石は岩石・鉱物学的特徴からシャーゴッタイト、ナクライト、シャシナイトの大きく3種類に分類される。このうちシャーゴッタイトには、EETA 79001など火星での強い衝撃によって形成した衝撃溶融物（shock melt）を豊富に含むものが存在する（Bogard and Johnson, 1983）。また、これらの衝撃溶融物には、火星の土壌（レゴリス）成分が含まれている可能性があることが長年議論されてきた（e.g., Rao et al., 2018, 2021; Walton et al., 2010）。しかし、実際の衝撃溶融は岩石と微粒の土壌との間の反応であり、そのような再現実験はこれまで実施されていない。そこで我々はシャーゴッタイトの衝撃溶融を想定して、玄武岩バルク試料と火星の模擬土壌を用いた短時間の加熱実験を行った。特に、火星土壌候補として火星土壌模擬物質（JSC Mars-1）と火星探査機により火星表層で豊富に発見されている鉄明礬石粉末（e.g., Toscart al., 2005; King et al., 2010）を用いた検証を行い、本学会ではその経過を報告する。

方法：本研究の加熱実験では、カンラン石フィリック質シャーゴッタイトを模した、ハワイ島産のピクライト玄武岩を使用し、火星土壌の模擬物質としてJSC Mars-1（Allen et al., 1997）と鉄明礬石粉末（スペインEl Descuido 鉱山）の２種類を使用した。2枚の玄武岩スライス（約1 x 1 x 0.2 cm）の間にいずれかの模擬土壌粉末を挟み、全体をPt箔で包み、これを白金るつぼに入れ、酸素分圧制御縦型電気炉（株式会社シリコニット製）を用いて1100~1300度における10秒~60分までの加熱を行った。実際の衝撃溶融は高温・高圧下で起こっているが、高圧の継続時間よりも残留熱の寄与する時間の方がはるかに長く、溶融の主要因と考えられるため（e.g., Takenouchi et al., 2017）、本実験では圧力はあえて考慮せずに高温のみを模擬した実験とした。加熱実験は全圧1気圧下で行い、H2とCO2の混合ガスにより火星マグマ固化時の酸素雰囲気に近い$\log fO_2$=QFM-1に設定した。各実験時間後には室温で急冷し、実験生成物を断面が見えるように切断して研磨片を作製した。岩石組織は反射光学顕微鏡で観察し、鉱物およびガラス組成の分析はEPMA（JEOL JXA-8900L及びJEOL JXA-8530F、いずれも東京大学）により行った。

結果：表1にJSC Mars-1を用いた実験の結果を示す。1150度の5分、10分、60分加熱ではシャーゴッタイトの衝撃溶融に似た組織が生成した。また、元の玄武岩に比べて輝石と斜長石の量が減少しており、一部の結晶は完全に、残りの結晶でもリムの溶融が確認された。JSC Mars-1粉末は60分間で完全に溶融し、5分間と10分間で部分的に溶融した。また、異なる位置に生成したガラスの組成分析では有意な組成差が確認されず、加熱中に融液が試料内部に広く運ばれ、メルト組成が均一化したことが示唆された。1分以上の加熱によって生成したメルト組成は輝石及び斜長石の混合物（輝石：斜長石＝3：2）に近いものであったが、1分未満の加熱では輝石のみが溶融しており、JSC Mars-1や斜長石の溶融はほとんど観察されなかった。1125度での鉄明礬石粉末の実験では、10秒間の加熱で部分的に溶融し、30秒と1分間の加熱では完全に溶融していた。

考察と結論：本研究から、カンラン石フィリック質シャーゴッタイトを模擬したピクライト玄武岩のバルク試料と火星模擬土壌との混合に対応する溶融温度条件は、～1150度であることが判明した。一般的に火星隕石をはじめとする玄武岩組成では、斜長石は輝石よりも溶融温度が低いことから、斜長石の方がより早く溶融すると予想されるが、加熱時間が1分より短いと斜長石はほとんど溶融せず、輝石の寄与が大きい溶融物が形成された。このような短時間の加熱における斜長石の溶融しにくさは、斜長石溶融のカイネティクスに依存すると考えられるが、シャーゴッタイトに含まれるマスケリナイトは溶融することなく非晶質化したことが指摘されており（e.g., Milton and De Carli, 1963; Fritz et al., 2005）、本実験の結果は衝撃変成によるマスケリ

ナイトの形成に関連していると考えられる。1分以下の短時間溶融実験では、JSC Mars-1に比べて鉄明礬石粉末の方がより溶融しやすかった。これは、これらの粒径の違い（JSC Mars-1：0.3mm, 鉄明礬石粉末：0.1mm）に関連していると考えられるが、衝撃溶融時の火星土壌の取り込みをよりよく理解するために追加の実験（特に高温で短時間の実験）を行う予定である。

キーワード：火星隕石、シャーゴッタイト、加熱実験、レゴリス、マスケリナイト
Keywords: Martian Meteorite, Shergottite, Heating Experiment, Regolith, Maskelynite

表 1 JSC Mars-1 を用いた加熱実験の結果

	10秒	30秒	1分	5分	10分	60分
1300度	△	○	○	-	-	◎
1200度	△	△	○	-	-	◎
1150度	△	△	△	○	○	○
1125度	△	△	△	-	-	○
1100度	-	-	-	-	-	△

◎：ほとんど(~90%)が溶融、○：少量(~10%)が溶融、△：わずかに(~5%)溶融

放射光X線CTを用いたDaG999ユレイライト中炭素粒子の内部構造観察

Observation of internal structure of diamond in carbon grains in DaG 999 ureilite.

*安武 正展[1]、松本 恵[3]、松野 淳也[2]、土山 明[2,4]、上杉 健太朗[1]、竹内 晃久[1]
*Masahiro YASUTAKE[1], Megumi Matsumoto[3], Junya Matsuno[2], Akira Tsuchiyama[2,4], Kentaro Uesugi[1], Akihisa Takeuchi[1]

1. JASRI、2. 立命館大、3. 東北大、4. 広州地球化学研究所
1. JASRI, 2. Ritsumeikan Univ., 3. Tohoku Univ., 4. CAS/GIG

はじめに：ユレイライトは主に粗粒なカンラン石と輝石からなる超苦鉄質深成岩様のエコンドライトである。この隕石はサンプル間で酸素同位体が質量分別線に乗らないことから、大規模溶融は経験していないと考えられており、始原的エコンドライトとされることもある。この隕石中には、エコンドライトとしては例外的に多量の炭素が含まれており、主にグラファイトとダイヤモンドから成る炭素粒子として産する。炭素粒子中のダイヤモンドの成因としては、結晶構造的特徴、及び準安定相であるロンズデレアイトが産することから衝撃によって形成したとする説が有力視されている[1など]。一方で近年の研究により、従来想定されていたナノスケールの微細結晶ではなくマイクロサイズのダイヤが発見されるなど[2]、衝撃説に疑問を呈する報告も存在しており整合的理解には至っていない。我々は、走査結像X線顕微鏡（SIXM）を用いることで、ほとんど理解されていなかった炭素粒子の組織を詳細に観察できることを明らかにした。本件では、複数の炭素粒子を観察した結果から、それらの形成過程を考察する。 試料と手法 試料はDaG 999の薄片試料を用いた。表面観察にて確認した3つの炭素粒子から集束イオンビーム装置（Helios NanoLab G3, FEI）を用いて、それぞれの粒子から2-3個の微小試料を作成した。CT撮影は、SPring-8、BL47XUにて行った。CT撮影は、8keVでのSIXMに加えて、詳細な鉄の３次元分布を明らかにするために鉄吸収端(7.11keV)を挟んで7keV及び7.35keVでのナノCTを行った。 結果と考察 観察した炭素粒子を粒子1-3とする。粒子１は破砕された鉱物片で構成された領域に産する。平板状の形状をしており表面は凹凸である。粒子２と３は、Ol-Pigモノミクトユレイライト様の岩片中に産する。この岩片中のカンラン石は、平面割れ目を示し、細粒化した輝石も一部確認される。衝撃変成度はU-S3であると推測される。粒子２は不定形でありアメーバ状の突起がカンラン石中、粒間に潜りこむような形状をしている。粒子３はブレード状であり、大部分がカンラン石に取り囲まれている。粒子２、粒子３の表面状態は共に凹凸である。粒子３中央部の凹凸は、粒子先端部と比較して細粒であり、凹凸に弱い配向性が見られる。 CT撮影によりこれら粒子の3次元構造を確認すると、粒子１、粒子２は比較的一様なグラファイト中に10-20um程度のマイクロダイヤが産する構造を持っている(図１a)。一部のダイヤモンドは特徴的な産状を持ち、双晶のように産するもの、板状に集合して産するものが確認された。マイクロダイヤ中には鉄に富む包有物が多く存在している。 一方で、粒子3は、非常に細粒な粒子からなっており、粒径は数十nmサイズであると推測される（図1b）。微細粒子はダイヤモンドとグラファイトの中間的な値を持ち、2相が混合した値であると考えられる。全ての微小試料は層構造が発達しており、粒子伸長方向とほぼ平行である。また観察した試料全てに鉄に富むシートが存在する。一部には、板状に発達した粗粒なマイクロダイヤの集合体が層構造と平行に存在する。これらの粗粒ダイヤモンド中には鉄に富む包有物が多く存在する。一部には層構造とほぼ直行方向に面構造があり、画素値が完全に一致しないもののダイヤモンドと思われる相から成る。この構造は層構造に切られるように存在し、層構造の発達以前に形成したものと推測される。 粒子１と粒子２に産するマイクロダイヤは、惑星説の根拠の一つであるマイクロダイヤの産状と類似している。一方で、粒子３の細粒組織は、Goalparaなどの強い衝撃を受けた試料に見られる炭素粒子の構造に類似している。しかしながら、粒子２と粒子３は同じ岩片中に産するため、これら粒子の熱史や衝撃史は同じはずである。またマイクロダイヤ中に選択的に鉄包有物が観察され、これは粗粒ダイヤの形成過程に関与していることが示唆される。 本結果は、ユレイライト中炭素粒子の組織が複雑かつ多様性のあるものである事を示している。ダイヤモンドの形成過程も

これまでに想定されている単一プロセス、シングルイベントではない可能性が高い。 [1] Nakamuta et al. (2016) JMPS, 111, 252-269. [2] Miyahara et al. (2015) GCA, 163, 25-26.

キーワード：放射光CT、隕石、ユレイライト、ダイヤモンド、グラファイト
Keywords: SR-CT, mateorite, ureilite, diamond, graphite

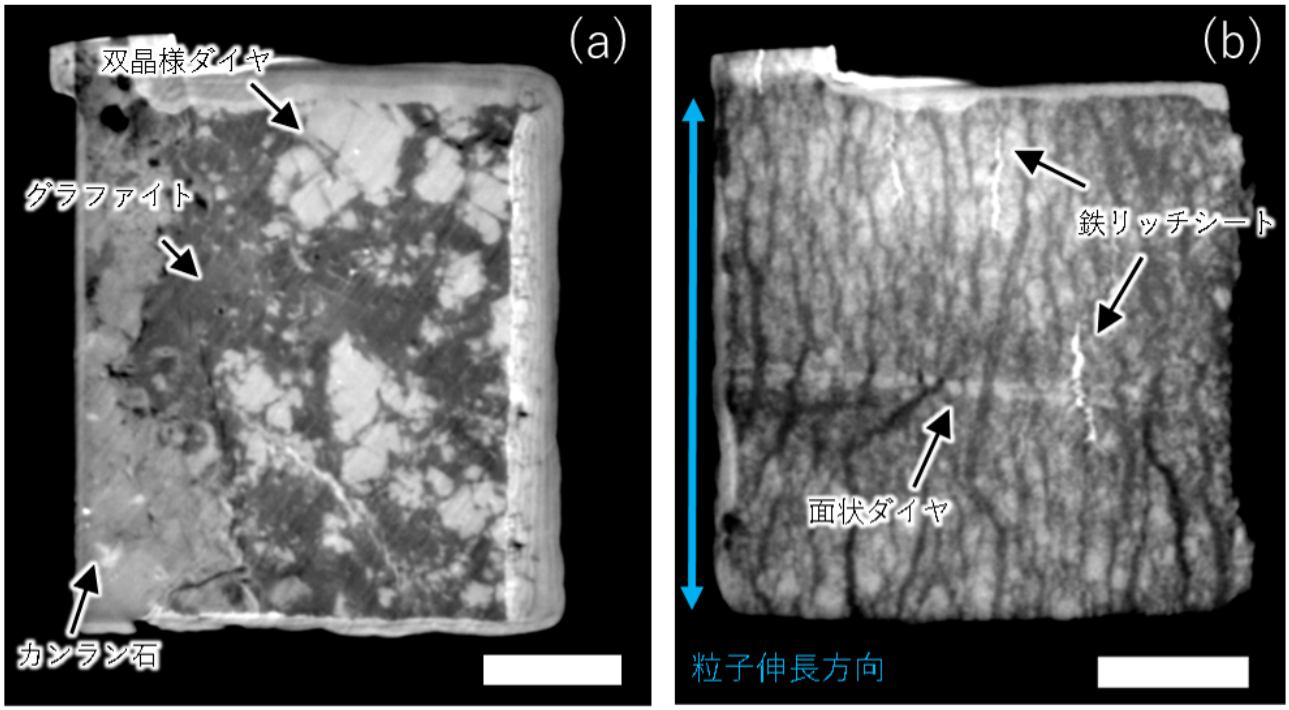


図1. 炭素粒子のCT断面像. （a）粒子2の位相像. グラファイト中にマイクロダイヤが囲まれるように産する. 図上部には双晶様に産するダイヤが見られる. （b）粒子3の位相像. 試料全体に粒子伸長方向（紙面上下）と平行な層構造が発達している。また、特徴的に鉄に富むシートが含まれる. 図中央には層構造とほぼ直行方向（紙面左右）に面状のダイヤと思われるものが分布する. この構造上下方向の層構造に切られている事が分かる. 図中スケールバーは10μm.

口頭講演

R5：地球外物質

座長:松本　恵　(東北大学)、山本 大貴(九州大学)、瀬戸 雄介(大阪公立大学)、橘 省吾(東京大学)

2023年9月16日(土) 09:00 〜 12:00 821 (杉本キャンパス)

10:15 〜 10:30

[3Lecture-201-11-6add]休憩

©日本鉱物科学会

はやぶさ2リターンサンプル表面の微隕石衝突メルトとマイクロクレータの ナノCT・TEM分析

Nano-CT and TEM analysis of impact melt splashes and microcraters on asteroid Ryugu samples

*松本 恵[1]、松野 淳也[2]、土`山 明[2,3]、中村 智樹[1]、榎戸 祐馬[1]、菊入 瑞葉[1]、安武 正展[4]、上杉 建太朗[4]、竹内 晃久[4]、延寿 里美[5]、奥村 翔太[6]、三津川 到[6]、 琦[3]、三宅 亮[6]、はやぶさ2 初期分析コアチーム
*Megumi MATSUMOTO[1], Junya Matsuno[2], Akira Tsuchiyama[2,3], Tomoki Nakamura[1], Yuma Enokido[1], Mizuha Kikuiri[1], Masahiro Yasutake[4], Kentaro Uesugi[4], Akihisa Takeuchi[4], Satomi Enju[5], Shota Okumura[6], Itaru Mitsukawa[6], Sun Mingqi[3], Akira Miyake[6], Hayabusa2 initial analysis core-team

1. 東北大学、2. 立命館大学、3. 中国科学院・広州地化研、4. （公財）高輝度光科学研究センター、5. 愛媛大学、6. 京都大学
1. Tohoku Univ., 2. Ritsumeikan Univ., 3. GIG, CAS, 4. JASRI, 5. Ehime Univ., 6. Kyoto Univ.

探査機はやぶさ2が持ち還った小惑星リュウグウ粒子は、主にMgに富む層状ケイ酸塩からなり、Fe-Ni硫化物、マグネタイト、炭酸塩、アパタイトを含み、CIコンドライトに類似した化学的・岩石鉱物学的特徴をもつ[e.g., 1,2]。これらの粒子のなかには、表面に微隕石衝突によって生成したと考えられるマイクロクレータや衝突溶融メルトが見られ、小惑星表層で宇宙空間への暴露を経験したと考えられるものが見つかっている[e.g., 3]。本研究では、このような粒子のうち、A0067、A0094粒子について観察を行い、多数のマイクロクレータと衝突溶融メルトを確認した。本発表では、このうち比較的大きな衝突溶融メルト（A0067-melt#1, A0094-melt#1）とマイクロクレータ（A0067-crater#1）について、走査型電子顕微鏡（SEM）、放射光X線ナノCT（7-8 keV）、透過型電子顕微鏡（TEM）による観察・分析を行った結果を報告する。
A0067-melt#1は径~20 μmの液滴形状を示し、ケイ酸塩ガラス部分とその上に付着する液滴状のFeに富む硫化物（径~10 μm）からなる。これを集束イオンビーム（FIB）を用いてA0067粒子本体から切り出し、ナノCT/TEMによる断面観察を行ったところ、ケイ酸塩ガラスと硫化物の境界は滑らかで、ガラス内部には径~7 μmの気泡が含まれていた。ケイ酸塩ガラスは均質でMg-Feに富む組成（Mg#:~0.64）をもつ。硫化物部分は、トロイライトとペントランダイトからなるマトリクス中にデンドライト様のα-(Fe-Ni)粒子（200-300 nm）を多数含んでおり、Fe-S-Niメルトの急冷により形成したと考えられる。 A0094-melt#1は砂時計様の形状を示し（~15×5 μm）、2つのケイ酸塩ガラス液滴が接合して固化したものと考えられる。これについても同様にナノCT/TEM観察を行ったところ、内部は不均質で、径2-5 μm程度の大きさのFeに富む領域（Mg#:~0.52-0.55）とFeに乏しい領域（Mg#:~0.79）からなるまだら状組織を示した。両領域の境界は不鮮明で、どちらの中にも多数の気泡（径<2 μm）および少量の低結晶炭素質物質（径0.3-1 μm）が見られた。低結晶炭素質物質は多孔質で、微小なFe-Ni硫化物粒子やMg-Feケイ酸塩ガラスを含むものもあり、彗星塵中に見られる始原的有機物によく似た組織をもつ[e.g., 4]。また、Feに富む領域中には多数の球形～不定形のFe-Ni硫化物（径<500nm）、カンラン石（径1-2 μm）粒子が見られた。 A0067-crater#1は径~5 μm、深さ~4 μmのすり鉢形状を示し、クレータ壁面は衝突溶融メルトによって覆われていた。メルトは壁面に平行に発達したケイ酸塩ガラス層と硫化鉄層からなる互層構造を示す（層厚30-250 nm）。硫化鉄層は主にトロイライト粒子（径200-500 nm）からなる。ケイ酸塩ガラス層は、大部分を占めるMg-Feに富むケイ酸塩ガラス部（Mg#:~0.72）とクレータ壁面沿って分布するシリカに富むガラス部からなり、両者は滑らかで明瞭な境界をもつ。また、どちらのケイ酸塩ガラスも気泡（径<200 nm）と硫化鉄粒子（径<100 nm）を含む。産状および化学組成から、これらのケイ酸塩ガラスは、ケイ酸塩メルトの液相不混和により分離したものではなく、もともと異なる組成をもつケイ酸塩がガラス転移点付近の温度で混合した可能性が高い。 本研究の衝突溶融メルト

は、微隕石衝突時の加熱により、リュウグウ表層物質や衝突体が溶融急冷し形成したと考えられる。A0094-melt#1に見られるまだら状の組織は、衝突溶融メルト中に複数の起源の異なる物質が混合している可能性を示唆する。衝突溶融メルトの大部分を占めるMg-Feケイ酸塩ガラスの組成は、上述のようにMg#にバリエーションをもつが、これらの組成は(Si+Al)–Mg–Fe三角ダイヤグラム上で、CI（太陽）組成[5]とFe頂点を結ぶラインの延長上にプロットされる。このことは、本研究の衝突溶融メルトがいずれも同じ材料物質から生成したことを示唆する。発表では、これらの材料物質の起源および衝突溶融メルトの形成過程について議論する。 [1] Yokoyama et al. (2022) *Science*. [2] Nakamura et al. (2022) *Science*. [3] Noguchi et al. (2022) *Nat. Astronom*. [4] Matrajt et al. (2012) *MAPS*. [5] Lodders (2021) *Space Sci. Rev.*

キーワード：小惑星リュウグウ、微隕石衝突、衝突溶融メルト
Keywords: asteroid (162173) Ryugu, micrometeoroid impact, impact melt splash

CIコンドライト及び小惑星リュウグウ試料のカンラン石主要・微量元素組成から推測する起源物質

Origins of olivine grains in CI chondrites and asteroid Ryugu samples as inferred from their major and minor element compositions

*三河内 岳[1]、吉田 英人[1]、増田 みなみ[1]、ゾレンスキー マイケル[2]
*Takashi MIKOUCHI[1], Hideto Yoshida[1], Minami Masuda[1], Michael E. Zolensky[2]

1. 東京大学、2. NASAジョンソン宇宙センター
1. Univ. of Tokyo, 2. NASA/JSC

はじめに：小惑星リュウグウ試料中に微小量の無水ケイ酸塩（特にカンラン石）が発見されたことから、リュウグウ母天体において、少量の前駆物質がその後の水質変成を免れたことが示唆されている[1]。これら無水鉱物の起源は、酸素同位体組成からアメーバ状カンラン石集合体（AOA）様物質かコンドルール様物質と考えられている [2,3]。我々はCIコンドライトのIvuna隕石とOrgueil隕石を小惑星リュウグウ試料と同様の方法で分析し、これらの角レキ化隕石にも同様の無水ケイ酸塩が存在することを見出したが[4]、今回もう一つのCIコンドライトであるAlaisのカンラン石粒を分析したので、その分析値も合わせて、CIコンドライト／リュウグウ試料中のカンラン石組成と起源の制約について報告する。

結果：Alaisのカンラン石粒は、Mgマップによって明らかなように、Feに富む層状ケイ酸塩マトリックスを持つ岩相中に散在する鉱物片（～20ミクロンの大きさ）または凝集体として存在する。ほとんどのカンラン石粒は10ミクロン以下の大きさであるため、鉱物モード組成は0.1%以下である。カンラン石粒の形態は様々で、角ばったものもあれば丸みを帯びたものもあるが、常に薄い（<0.5ミクロン）Feに富んだリムを伴っている。これらの薄いリムを除けば、カンラン石組成は主要元素、微量元素ともに均質である。カンラン石組成はFo99に集中しており（ほとんどがFo99.3-98.5）、まれにFeに富むカンラン石（Fo~92.3）が存在する。MnO含有量は0.0-0.7 wt%であるが、LIMEカンラン石（MnO/FeO>1 in wt%）が1%程度存在する。Cr2O3は0.03-0.67 wt%である。ほとんどのカンラン石粒はCaに乏しいが（CaO: <0.1wt%）、一部のFeに富むカンラン石（Fo~98.5）はわずかに高いCaを含む（~0.2wt% CaO）。

考察と結論：Alaisのカンラン石組成は、Ivuna、Orgueil、そしてリュウグウ試料と、組織と鉱物組成の両方で顕著な類似性を示し、CIコンドライトとリュウグウ試料が共通の起源を共有していたことが再確認できた。Alaisのカンラン石存在量はIvunaと似るが、Orgueilとリュウグウ試料よりも明らかに高い。この違いは、我々が分析したAlaisの研磨試料が小さかったためのサンプルバイアスの可能性があるが、母天体での角レキ化過程において、カンラン石を含む岩相の量比が多い（水質変成[1]が弱い）部分を起源とする岩片を多く含んだ可能性も示唆される。これらCIコンドライト／リュウグウ試料中のカンラン石の主要・微量元素含有量をプロットすると、明らかに2つの成分があることがわかった。例えば、MnとCrの間には正の相関があるが、明らかに2つのトレンドを示している[4]。1つは比較的Mnに富みCrに乏しいトレンド（MnO: 0-2 wt%、Cr2O3: 0-0.5 wt%）で、酸素同位体分析[2,3]からAOA起源を示唆する。LIMEカンラン石粒は、Mnに富む末端がこのトレンドに沿ってプロットされている。これとは対照的に、他のトレンドは比較的Crに富み、Mnに乏しく（MnO: 0-0.5 wt%、Cr2O3: 0-0.6 wt%）、このような組成は酸素同位体データからコンドルール起源を示唆する [2,3]。同様に、Fa含有量とCaO量は2つの組成クラスターを示す。1つは比較的Mgに富み（Fo99.3-98.8）、Caが低い（CaO：<0.05 wt%）もので、もう1つは比較的Mgに乏しく（Fo98.8-98.2）、Caが高い（CaO：~0.2 wt%）ものである。前者はAOA起源で、後者はコンドルール起源と考えられる。これらのCI／リュウグウ前駆物質の寄与を母天体の構成要素として考えると、AOA様物質の寄与

がより大きく見え、母天体の形成領域と関係している可能性がある。また、カンラン石の大きさと組成の間に明確な相関は見られないことから、これらの前駆物質は母天体集積時に等しく取り込まれたと考えられる。

参考文献：[1] Nakamura T. et al. (2022) Science 10.1126/science.abn8671. [2] Liu M.-C. et al. (2022) Nature Astron., 10.1038/s41550-022-01762-4. [3] Nakashima D. et al. (2023) Nature Comm., 14:532. [4] Mikouchi T. et al. (2022) 85th Ann. Meeting of MetSoc, #6180.

キーワード：CIコンドライト、小惑星リュウグウ、カンラン石、アメーバ状カンラン石集合体（AOA)、コンドルール
Keywords: CI chondrite, Asteroid Ryugu, Olivine, Amoeboid olivine aggregat (AOA), Chondrule

Orgueil(CI コンドライト)隕石中角礫化岩片の鉱物モード多様性と水質変成度の関連について

On the relationship between modal abundances of minerals and degrees of aqueous alteration of the brecciated fragments in the Orgueil CI chondrite

*増田 みなみ[1]、三河内 岳[2]、Zolensky Michael[3]
*Minami Masuda[1], Takashi Mikouchi[2], Michael Zolensky[3]

1. 東大・院理、2. 東大・総研博／院理、3. NASA JSC
1. UTokyo Sci., 2. UTokyo UMUT/Sci., 3. NASA JSC

はじめに：CIコンドライトは、多くの元素存在比が太陽組成とよく一致することから、太陽系で最も原始的な隕石と考えられている。近年、JAXAの探査機「はやぶさ2」が持ち帰った小惑星リュウグウの試料が、化学的・鉱物学的にCIコンドライトグループとほぼ一致することが報告されている [e.g., 1-3]。CIコンドライトの主要構成鉱物は層状ケイ酸塩、マグネタイト、硫化鉄(磁硫鉄鉱)、炭酸塩、リン酸塩、カンラン石、輝石であるが [4,5]、CIコンドライトは岩石学的・鉱物学的に不均質な角礫岩であり、様々な大きさや岩相の異なる岩片で構成される。先行研究ではCIコンドライトの異なる隕石間の鉱物モード組成の違いを調査しているが、個々の隕石内の岩片の不均質性についての情報は不十分である[6,7]。CIコンドライトは角礫化していることが大きな特徴であるため、個別の隕石ごとの鉱物モード組成よりも岩片ごとの鉱物モード組成の方がより重要であると考え、本研究では、Orgueil隕石の個々の岩片に注目して、鉱物モード組成を比較することで、岩片同士の不均質性を議論することを目的とする。

試料と手法：試料としてOrgueil隕石の1~3mmサイズの小粒子3つの研磨片と、1.5 cm~2 cmの大きな試料の研磨片を用意した。まず光学顕微鏡による観察を行い、次にFE-EPMA (JEOL JXA-8530F)を用いて、各試料について15元素の元素マッピングを実施した。EPMA分析によって得られた元素マッピングの結果から、ImageJソフトを用いて鉱物モード組成を求めた。また、各試料中の個々の角礫化岩片についても同様の解析を行った。

結果と考察：EPMA分析から、Orgueil隕石は主に200 μm~2,3 mmの範囲の岩片で主に構成される角礫岩であることが観察された。まず、小粒子3つの試料について、研磨片全体の鉱物モード組成を求め、次に、角礫化岩片であると明確に識別できる21の岩片について、鉱物モード組成を求めた。大きい粒子についても、角礫化岩片であると明確に識別できる12の岩片について、同様に鉱物モード組成を求めた。

小粒子３試料と大きな１試料で分析した全33岩片の鉱物モード組成をまとめると表1のようになる(硫酸塩を除いて100%に規格化)。カンラン石と輝石が岩片に含まれる場合、マグネタイトの含有量は平均以下となる傾向がある。マグネタイトはCI母天体における水質変成が進むことで形成される二次鉱物であるのに対し、カンラン石や輝石は水質変成前から存在し、水質変成を経験するほど存在量が減っていく鉱物であると考えられるので、このような岩片は、他の岩片よりも水質変成の影響が少ない岩片であると推測できる。マグネタイトとドロマイトはどの岩片にもある程度含まれているが、強い相関関係はみられなかった。小粒子中の岩片サイズが小さいこと、解析した岩片の数が少ないことからデータにばらつきが多く、また、マップの解像度が足りないため、本来みられる相関関係が示されていない可能性が考えられる。

CIコンドライト隕石は地球での風化を経験した際、微小な硫化物が変質し、脈状の硫酸塩を形成したことが指摘されており[8]、硫酸塩を除いて規格化することで地球風化の影響を考慮して鉱物モード組成を比較することができるが、地球風化を受ける前の硫化物の含有量を推測することは難しい。リュウグウ試料は地球風化の影響を受けていないため、CIコンドライト試料とリュウグウ試料を比較する際には、地球風化の影響を考慮することが重要であり、また、CI コンドライトは岩片によって異なる性質や水質変成の程度が反映されている可

能性があるので、今後CIコンドライトとリュウグウ試料の研究では、試料全体だけでなく、角礫化したそれぞれの岩片に注目することが必要である。

参考文献 [1] Yada, T. et al. (2021) Nature Astron. 6, 214–220. [2] Yokoyama, T. et al. (2022) *Science*, eabn7850. [3] Nakamura, T. et al. (2022) *Science*, eabn8671. [4] Tomeoka, K., & Buseck, P. R. (1988) *GCA*, *52*, 1627-1640. [5] Lee, M. R., & Nicholson, K. (2009) *EPSL*, *280*, 268-275. [6] Morlok, A. et al. (2006) *GCA*, *70*, 5371-5394. [7] Alfing, J. et al. (2019) *Chem. Erde*, *Geochem., 79*, 125532. [8] Gounelle, M., & Zolensky, M. E. (2001) *MAPS*, *36*, 1321-1329.

キーワード：CIコンドライト、オルゲイユ隕石、鉱物モード組成
Keywords: CI chondrite, Orgueil meteorite, modal abundance

	Org小1_01	Org小1_02	Org小1_03	Org小1_04	Org小2_01	Org小2_02	Org小2_03	Org小2_04	Org小2_05	Org小2_06
層状ケイ酸塩	96.32	95.43	93.82	93.90	94.10	95.53	94.44	99.11	96.50	92.62
マグネタイト	1.56	3.73	3.66	2.78	2.43	3.96	2.85	0.89	2.30	6.61
硫化鉄	1.69	0.07	0.14	0.13	0.15	0.26	0.05	—	—	0.12
ドロマイト	0.33	0.54	1.79	3.19	1.66	0.21	2.53	—	0.89	0.64
ブリューネライト	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ca炭酸塩	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Caリン酸塩	0.10	0.21	0.59	0.00	1.66	0.04	0.14	—	0.31	0.01
カンラン石、輝石	—	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—

Org小2_07	Org小2_08	Org小2_09	Org小3_01	Org小3_02	Org小3_03	Org小3_04	Org小3_05	Org小3_06	Org小3_07	Org小3_08
93.29	98.08	95.50	95.87	99.10	96.63	96.66	97.10	96.70	96.65	98.45
2.83	1.85	2.68	3.15	0.83	1.82	2.67	2.05	3.11	1.40	1.10
0.02	—	1.06	0.01	—	0.02	0.00	0.01	—	—	—
3.72	0.07	0.72	0.92	—	1.15	0.41	0.44	0.14	0.43	0.41
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.13	—	0.04	0.04	—	0.39	0.26	0.40	0.05	—	—
—	—	—	0.01	0.07	—	—	—	—	1.52	0.04

Org大_00	Org大_01	Org大_04	Org大_17	Org大_18	Org大_21	Org大_26	Org大_30	Org大_31	Org大_33	Org大_35	Org大_36
92.96	95.37	91.43	94.44	90.34	90.06	94.93	96.16	93.12	92.56	92.79	92.74
6.76	4.63	7.49	5.02	7.82	9.04	4.48	3.44	6.26	6.46	6.56	6.69
0.04	—	—	—	—	0.05	0.59	0.45	0.46	—	0.33	0.31
0.28	—	1.08	0.55	1.84	0.90	0.59	0.40	0.62	0.98	0.66	0.58
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	0.06	—	—
—	—	—	—	—	—	—	0.04	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 1

Kaidun隕石におけるC1岩相の鉱物学的多様性

Mineralogical diversity of the C1 lithologies in the Kaidun meteorite

*荻谷 賢英[1]、三河内 岳[2]、Zolensky Michael[3]
*Kenei OGIYA[1], Takashi Mikouchi[2], Michael E Zolensky[3]

1. 東京大学・院理、2. 東京大学・総研博/院理、3. NASA ジョンソン宇宙センター
1. Univ. of Tokyo, 2. Univ. of Tokyo , 3. NASA

はじめに：Kaidun隕石はポリミクト角礫岩であり、コンドライト物質には
C1、C2、CM1、CM2、CV3、EH3-5、EL3、OC関連物質等、様々な物質が含まれる。本研究はKaidunにおける強い水質変成を受けたC1物質(Kaidun C1)に焦点を当てる。C1は岩石学的特徴に乏しく、その分類が難しいことが知られているが、近年の新規に発見された隕石や小惑星リュウグウ試料等に関する研究からその多様性が強調されている(e.g., Russell+ 2022, Nakamura+ 2022)。Kaidun C1は、Kaidunの母天体に集積する以前に異なる小惑星母天体にて水質変成を受けたことが指摘されており、それらを分析することで様々な小惑星母天体の形成・進化史に定量的な制約を与えることが可能である。また、Kaidunは多様な起源の岩片を含む他に類を見ない隕石のため、そのC1物質を調べることで、ungrouped C1など、C1の多様性をさらに拡大する物質の発見が期待される。そこで、本研究ではKaidun C1を既知のC1であるCI1やCM1、CR1などと比較し、C1物質の多様性に関して体系的に理解することを目的としている。また、Kaidun C1に含まれる主要鉱物である層状ケイ酸塩や鉄硫化物、炭酸塩の詳細な化学組成分析が先行研究にて網羅的に行われていないことから、特にこれらの分析を行った。

試料と分析手法：本研究ではKaidunの6枚の研磨片について分析を行った。試料の観察や分析には東京大学地球惑星科学専攻のFE-EPMA (JEOL JXA-8530F)を用いた。

結果と考察：6試料の観察から発見されたC1関連岩片は45個である。このうち38個の岩片は定量分析を行う上で十分な大きさの粗粒な硫化物を含んでおり、342個の硫化物を分析した。硫化物は主に
pyrrhotite、pentlanditeで一部はtroiliteであると考えられる(図1)。
さらに21個の岩片でdolomiteが観察され、187個の粒子について分析を行った。Dolomiteの含まれる岩片のマトリックス組織はCIのものと類似する特徴があり、また、ほとんどのdolomite組成はCaよりもMgに富んでおり、CIで見られる傾向と一致している(Johnson & Prinz 1993, de Leuw+ 2010)。一方で、一部でCaに富む組成の粒子が存在している(図2)。このような組成のdolomiteはCIでは見られず、既知の隕石ではCMのみで見られる特徴であり、このような特徴がCI類似岩片で観測された点が特徴的である。
また、本研究ではコンドリュール仮晶を含む岩片で、既知のKaidun CM1と組織的にも異なるC1岩片を見出した。変質したコンドリュールにはAlに富む層状ケイ酸塩が含まれており、CR1との関連が推測される(Weisberg & Huber 2007)。他にもCV1-2と考えられる特異な岩片も観察され、Kaidunですでに報告されているCV3岩片がさらに強い水質変成を受けたものである可能性がある(Tomeoka & Ohnishi 2011)。

結論：先行研究ではKaidunにおける炭素質岩片が、CI、CM、CRのそれぞれのグループの範囲に収まらず、場合によっては中間に位置するような酸素同位体的特性を持つことが報告されている(MacPherson+ 2009)。また、岩石・鉱物学的観察を加え、Kaidunの炭素質岩片は初期の$\Delta^{18}O$値に関わらず(前駆物質がCM様であっても)、CI-CRと同様の条件で変質したと結論づけている。このようにKaidun炭素質岩片には少なくともCI、CM、CRを包含する連続した物質が存在するという考えが支持されている。
本研究においてKaidun C1岩片の組織観察、及び鉱物化学組成分析を行った結果、半数以上の岩片はCIと関連していることが示唆された。一方で、CI類似岩片において、いくつかのdolomiteの分析からはCMとの関連

性が見出された。この結果はKaidun炭素質岩片にCI-CMの中間的な物質が存在することを鉱物学的分析から示したと同時に、そのような特性がC1物質においても観察されることを見出した。

また、コンドリュール仮晶を含むC1岩片が観察され、CR1やCV1-2との関連が示された。これらの岩片は前駆物質がCR3やCV3であり、それらがCI-CRと同様の条件で、岩石学的タイプ1に分類されるほど強い水質変成を受けた可能性を示している。この観察結果からは、Kaidun C1岩相の更なる多様性の広がりを示すとともに、CI-CMを含む連続性がさらに拡張され、CRやCVをも含む可能性を示した。

キーワード：炭素質コンドライト、水質変成、岩石学的タイプ1、炭酸塩鉱物、鉄硫化物
Keywords: Carbonaceous chondrite, Aqueous alteration, Petrological type 1, Carbonate minerals, Iron sulfides

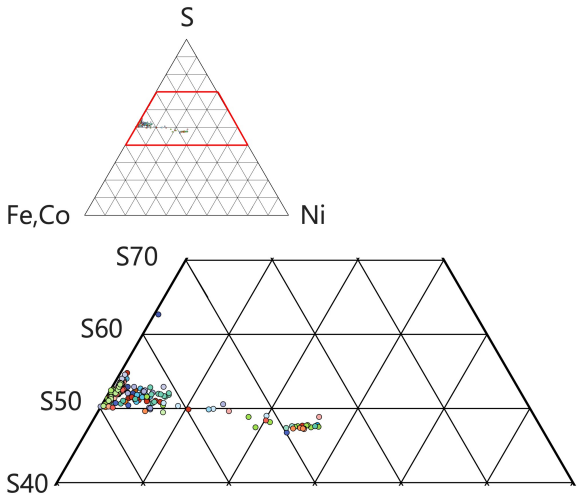


図1
38個のKaidun C1岩片における鉄硫化物組成

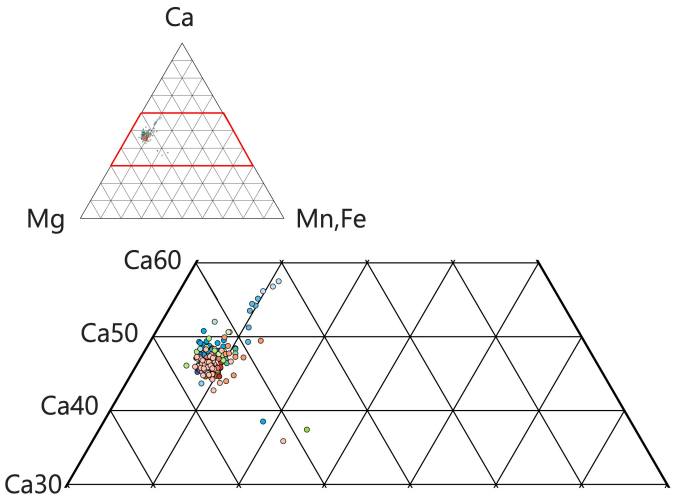


図 2
21個のKaidun C1岩片におけるdolomite組成

コンドライトのサブタイプ3.0分類の検討

Classification of subtype 3.0 chondrites

*木村 眞[1]、ワイスバーク マイケル[2]、山口 亮[1]
*Makoto Kimura[1], Michale K. Weisberg[2], Akira Yamaguchi[1]

1. 国立極地研究所、2. ニューヨーク市立大学
1. National Institute of Polar Rsearch, 2. City University of New York

コンドライトは始源的隕石とされるが、大部分のものは様々な程度に熱変成作用や水質変成作用などの二次的作用を被っている。このような作用を反映する岩石鉱物学的特徴などにより、コンドライトは岩石学的タイプ1–6に分類されている。その中でもタイプ3コンドライトは二次的作用の影響が少ない最も始源的なものとされている。しかしながらタイプ3コンドライトも軽微な熱変成作用や水質変成作用を受けており、その程度は様々である。そのため熱変成作用を反映するサブタイプがタイプ3コンドライトには提唱され、熱ルミネッセンス法によりサブタイプ3.0から3.9に細分類されている [1]。それらの中ではサブタイプ3.0コンドライトが二次的作用の影響が最少で始原的な特徴をほぼ保存しているものと考えられている。このため母天体集積以前のコンドライト構成物質の岩石鉱物学的特徴や化学組成･同位体組成、年代などを明らかにするためにサブタイプ3.0コンドライトは最も重要な試料となっている。

サブタイプ3.0コンドライトの分類に関しては様々な基準がさらに検討されてきた。本研究では多種の鉱物データを文献からまとめ、このように重要な試料であるサブタイプ3.0の分類基準を主として岩石鉱物学的観点から再検討した。特に着目したものはカンラン石の微量元素分布と長石中の[ ]Si4O8およびMgO成分である。これらの含有量からサブタイプ3.0とサブタイプ3.1以上を区別することが可能である。またFe-Ni金属の組織および化学的特徴によってもサブタイプ3.0は他と区別することが可能である [2]。加えて純粋なクロム鉄鉱の存在、Amoeboid olivine inclusion中のFeに富むオリビンのリム幅、ラマン分光分析などによってもサブタイプ3.0は特徴づけられる。またサブタイプ3.0のコンドライトはサブタイプ3.1以上のものに比べてAl-Mg年代やコンドルール中の構成鉱物の酸素同位体組成が乱されていないといった特徴も保持している。なおサブタイプ3.0はオリビン中のCr組成 [3] やFe-Ni金属の組織 [2] によりさらに3.00-3.10に区分されているが、このような細分類は他の鉱物あるいは化学的特徴では困難である。

一方、水質変成作用を受けたCM及びCRコンドライトは岩石鉱物学的特徴によりサブタイプ 3.0-2.0 (あるいは１）に分類されている [4, 5]。しかしながら、上記のような鉱物組成に基づいてサブタイプ3.0と2.9を区別することは困難である。また同位体組成などでも区別は困難である。したがって、サブタイプ3.0と2.9を区別するために次の基準を提案する。１）タイプ3.0コンドライトでは、主要なケイ酸塩鉱物(カンラン石、輝石、斜長石)、金属鉄、及び硫化鉱物は水質変成作用による組織上の変化を光学顕微鏡あるいはSEMスケールでは示さない。２）難揮発性包有物やコンドルール中では水質変成作用に弱いとされるメリライトや斜長石は変質の特徴を全く示さない。これらはサブタイプ2.9では変質し存在量も減少する。３）最も水質変成作用に弱いコンドルール中のガラスはサブタイプ3.0では大部分が変質しないで残っているが、サブタイプ2.9では変質し、存在量は減少する。なお酸素を含むプレソーラー粒子やマトリックス中の非晶質物質の存在度はサブタイプ3.0と2.9の区分と調和的である。

サブタイプ3.0はすべてのコンドライトグループで確認されているわけではない。CI, CV, CK, R, H, EH, ELグループではサブタイプ3.0は報告されていない。サブタイプ3.0が存在しないことは、主に母天体におけるコンドライトグループ間の二次的作用の程度の違いを反映していると思われる。

文献： [1] Sears et al. 1980. Nature 287: 791-795. [2] Kimura et al. 2008. MAPS 43: 1161-1177. [3] Grossman and Brearley. 2005. MAPS 40: 87-122. [4] Rubin et al. 2007. GCA 71: 2361-2382. [5] Kimura et al. 2020. Polar Sci. 26: 100565.

キーワード：コンドライト、分類
Keywords: Chondrite, Classification

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演

R5：地球外物質

座長:松本　恵　(東北大学)、山本 大貴(九州大学)、瀬戸 雄介(大阪公立大学)、橘 省吾(東京大学)

2023年9月16日(土) 09:00 〜 12:00 821 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

口頭講演 | R3：高圧科学・地球深部

2023年9月16日(土) 9:00 ~ 12:00 | 822 杉本キャンパス

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)、境 毅(愛媛大学)、西 真之(大阪大学)

9:00 ~ 9:15

[R3-01] 第一原理計算によるアンチゴライトのポリソマティズムの研究

*土屋 旬[1]、井上 紗綾子[1]、溝口 大河[1] (1. 愛媛大学)

9:15 ~ 9:30

[R3-02] Alの固溶による斜方輝石の含水メカニズムの変化

*櫻井 萌[1]、佐久間 博[2]、辻野 典秀[3]、高橋 栄一[4]、河村 雄行[5] (1. 岡山大学、2. NIMS、3. JASRI、4. 広州地球化学研究所、5. 東工大)

9:30 ~ 9:45

[R3-03] スティショバイトにおける水素とアルミニウムの存在状態：多核種NMR及び第一原理計算による新知見

*薛 献宇[1]、神崎 正美[1] (1. 岡山大・惑星研)

9:45 ~ 10:00

[R3-04] ウォズリアイトの熔融温度に及ぼす高酸素分圧の影響の解明と 生成したメルトの化学組成

「発表賞エントリー」

*山口 和貴[1]、川添 貴章[1]、井上 徹[1]、境 毅[2] (1. 広島大・院先進理工、2. 愛媛大学・地球深部)

10:00 ~ 10:15

[R3-05] $FeTiO_3$ ilmeniteの電気伝導度の圧力変化、陽イオン席の圧縮率とスピン状態の圧力変化

*山中 高光[1] (1. 中国高圧科学技術研究中心)

10:15 ~ 10:30

[R3-06] マントル遷移層から下部マントル最上部における MgO-SiO_2-H_2O 系の溶融関係について

*井上 徹[1]、奥村 晃太[1]、川添 貴章[1]、柿澤 翔[2]、野田 昌道[3]、入舩 徹男[4]、新名 亨[4] (1. 広島大・院先進理工、2. JASRI、3. デラウエア州立大、4. 愛媛大GRC)

10:30 ~ 10:45

[3Lecture-301-11-7add] 休憩

10:45 ~ 11:00

[R3-07] **高圧高温実験から予測されるマントル遷移層でのマグマの含水量プロファイル**

「発表賞エントリー」

*江木 祐介[1]、井上 徹[1]、奥村 晃太[1]、川添 貴章[1] (1. 広島大・院先進理工)

11:00 ~ 11:15

[R3-08] フェロペリクレース中の鉄-スピン転移に伴う弾性異常の検出 ：GHz-DAC音速測定法による再検討

*加藤 拓人[1]、米田 明[1]、近藤 忠[1]、山崎 大輔[2] (1. 阪大・院理、2. 岡大・惑星研)

11:15 ~ 11:30

[R3-09] 核・マントル境界における水と鉄の交換反応

「発表賞エントリー」

*河野 克俊[1]、西 真之[1]、柿澤 翔[2]、井上 徹[3]、桑原 秀治[4]、近藤 忠[1] (1. 阪大・院理、2. JASRI、3. 広大・院理、4. 愛媛大・GRC)

11:30 ~ 11:45

[R3-10] Siがもたらす鉄の水素化による体積膨張増加と地球核推定水素量への影響

「発表賞エントリー」

*森 悠一郎[1]、鍵 裕之[1]、青木 勝敏[1]、高野 将大[1]、柿澤 翔[2]、佐野 亜沙美[3]、舟越 賢一[4] (1. 東大・院理、2. JASRI、3. 日本原子力研究開発機構 J-PARC、4. CROSS)

11:45 ~ 12:00

[R3-11] 高温高圧下におけるFe_2SiO_4アーレンサイトのポストスピネル転移

*赤荻 正樹[1,2]、宮崎 奈月[1]、田島 太亮[1]、糀谷 浩[1] (1. 学習院大・理、2. 東大院・理)

[zoom] Zoom

第一原理計算によるアンチゴライトのポリソマティズムの研究

First-principles investigations of the polysomatism of antigorite under pressure

*土屋 旬[1]、井上 紗綾子[1]、溝口 大河[1]
*Jun TSUCHIYA[1], Sayako Inoue[1], Taiga Mizoguchi[1]

1. 愛媛大学
1. Ehime University

蛇紋岩は、かんらん岩と沈み込むスラブ中の含水鉱物の分解によって放出される水との反応によってマントルウェッジで形成されることが知られている [e.g. Schmidt and Poli,1998]。部分的に蛇紋岩化したかんらん岩はマントルウェッジの重要な水の貯蔵庫である可能性があり、蛇紋岩の脱水は島弧火山の生成に重要な貢献をしていると考えられている。このことは、稍深発部地震との関連でも広く研究されている [例えば Irifune et al., 1996]。

地球内部への水の輸送過程を調べるためには、アンチゴライトの熱力学的安定性と弾性特性を明らかにする必要がある。アンチゴライトは蛇紋石の高温多形であり、沈み込み帯における重要な含水鉱物である。この相は圧力と温度の条件によってポリソマティズムを示すことが報告されている。これまでの電顕観察により、m値（m = a軸に沿った波長におけるSiO4四面体の数）が圧力・温度によって増減することが報告されている[e.g. Wunder et al. 2001]。しかし、沈み込む海洋プレートの圧力・温度条件に沿ったアンチゴライトの安定なポリソームに関する構造的・熱力学的な裏付けは十分ではない。

本研究では、いくつかの異なる m 値を持つアンチゴライトの構造と弾性を 第一原理計算によって調べ、沈み込む海洋プレートにおけるアンチゴライトの安定なポリソームについて議論する。

キーワード：第一原理計算、アンチゴライト
Keywords: ab initio calculation, antigorite

Alの固溶による斜方輝石の含水メカニズムの変化

The change in the hydrous mechanism of enstatite with Al incorporation

*櫻井 萌[1]、佐久間 博[2]、辻野 典秀[3]、高橋 栄一[4]、河村 雄行[5]
*Moe Sakurai[1], Hiroshi Sakuma[2], Noriyoshi Tsujino[3], Eiichi Takahashi[4], Katsuyuki Kawamura[5]

1. 岡山大学、2. NIMS、3. JASRI、4. 広州地球化学研究所、5. 東工大
1. Okayama Univ., 2. NIMS, 3. JASRI, 4. GIG, CAS, 5. Tokyo Tech.

1. 目的

無水鉱物中に水はOH基として取り込まれ、極微量でも鉱物物性に大きな影響を与えることから、盛んに研究が行われている。特に、上部マントルの主要鉱物である斜方輝石(Orthopyroxene：以下Opx)はAl濃度の増加に伴い飽和含水量が増加することが知られている(Rauch and Keppler, 2002)。しかし、Alを固溶することで水素の置換様式がどのように変化し、飽和含水量が増加するのかは未だ明らかではない。 そこで本研究では、実験から得られたIRスペクトルと、計算から得られた振動数・強度比をもとに再現したIRスペクトルを比較することで、Opx中の水素原子がどのような置換反応により取り込まれるかを決定し、Opxの含水メカニズムがAlの固溶でどのように変化するのかを考察した。

2. 方法

密度汎関数理論に基づく第一原理電子状態計算により、様々な位置に水素を配置したOpx中のOH伸縮振動を求め、高温高圧実験(Sakurai et al., 2014)で得られたIR吸光スペクトルとの比較を行った。ユニットセルはa = 18.233 Å，b = 8.8191 Å，c = 5.1802 Åの直方体(Demelza et al., 1994)、K点メッシュは1×2×4、価電子のみをあらわに扱う擬ポテンシャル法を採用し、平面波のカットオフエネルギーは40 Ryとした。電子の交換相関項の近似は一般化された勾配近似（GGA-PBE）を用いた。計算コードにはQuantum-ESPRESSO(Giannozzi et al., 2009)を用いた。Opxは、結晶構造の対称性によって、2種のSiO_4四面体（それぞれ*T*1, *T*2 siteと呼ばれる）と2種のMgO_6八面体（それぞれ*M*1, *M*2 site）と区別でき、SiO_4四面体が単鎖構造をなしている。本研究では(1)*T2* siteのSiを4個のHで置換した構造、(2)*M1*または*M2* siteのMgを2個のHで置換した構造、(3) *T2* siteのSiをAlとHで置換した構造、(4) *M1*と*M2* site2個のMgをAlとHで置換した構造、および(5)(1)のうち1種類と(3)を同一セル中で同時に置換した構造を考え、それぞれの全エネルギーとOH伸縮振動・強度比を計算した。スペクトルの分布にはガウシアン分布を使用した。

3. 結果・考察

Al-free Opxでは、高波数のピーク(>3450 cm^{-1})は主に(1) Si→4Hの置換反応によって得られ、(2) Mg→2Hの置換からは3400 cm^{-1}より小さい波数しか得られないことが分かった。一方OpxがAlを固溶するとき、水素とともに置換反応を生じる(4) 2Mg→Al+Hの置換が新たに可能になり、この構造から得られる波数は実験から得たIRスペクトルの最強線(~3575 cm^{-1})を再現した。さらに、OpxがAlを固溶するとき、周囲の電子状態の変化を考察するため、LUMOを計算した。結果、(3) Si→Al+Hの置換によってOpxがAlを固溶するとき、近傍の*T2* siteの反応性が上がることが分かった。この結果は、反応性の上昇した*T2* siteにおいて、新たに(1) Si→4Hの置換が生じる(5)のペアの置換が起こりうることを示唆する。つまり、本研究から得られた結果は、Alの固溶により含水メカニズムに変化が生じ、含水量の大幅な増加が生じたことを示すものであり、化学組成の変化が含水量に与える影響が理論的に明らになった。今回明らかになったAlを伴う含水メカニズムが、ほかのマントル鉱物中でも生じると、ブリッジマナイトを含むAlを固溶するマントル鉱物は大きな水溶性を持つ可能性がある。

キーワード：含水メカニズム、密度汎関数理論、赤外分光
Keywords: Hydrous mechanism, DFT calculation, FT-IR

スティショバイトにおける水素とアルミニウムの存在状態：多核種NMR及び第一原理計算による新知見

H and Al incorporation mechanisms in stishovite: New insights from multi-nuclear NMR and first-principles calculation

*薛 献宇[1]、神崎 正美[1]
*Xianyu XUE[1], Masami Kanzaki[1]

1. 岡山大・惑星研
1. Okayama University

Alを含むスティショバイトは沈み込み帯の海洋玄武岩物質において、水の重要なキャリアとして注目され、一部の観測された地震波速度異常に寄与することが推定されている。HとAlの溶存がスティショバイトの物性にどのような影響を及ぼすかを知る上では、これらの元素の溶存状態を明らかにする必要がある。これまでの研究からはほとんど、H/Al比が1を大きく下回ることが報告され、Al+HによるSiのカープリング置換のほか、酸素欠陥を伴う余分なAlの存在が推定された。しかし、このような置換機構を裏付ける直接な根拠が乏しかった。 本研究では、Xue et al. 2006 Am Mineral 91, 850-861で報告された、0.95SiO_2.0.05AlOOH組成の出発物質から、18 GPa、 1800Cで合成した含水スティショバイト試料を用いて、詳細な^{1}H MASとstatic NMR, ^{27}Al MAS と 3QMAS NMR, ^{1}H-^{29}Si と ^{1}H-^{27}Si CPMAS NMR測定を行った。NMR測定は、Bruker Avance NEO 400 NMR装置及び3.2 mm HX MAS NNRプローブを用いた。また、スペクトル解釈を支援するため、第一原理計算により、さまざまなAl+HによるSiのカップリング置換、及び2Al+酸素欠陥による2Siの置換を含むスティショバイト構造モデルのエネルギーとNMRパラメータの計算を行った。計算は、Quantum-ESPRESSO package (v.7.0)を用いて、GIPAW 法で行った。NMR測定からは、サンプルは約0.3 wt%の水を含むスティショバイトとAl_2O_3コランダム相が共存することが分かった。含水スティショバイト相からは、9.4 ppm付近の^{1}H MAS NMR ピーク, 6配位Siに由来する-191 ppm付近の （高い化学シフト側の弱い肩をもつ） ^{1}H-^{29}Si CPMAS NMR ピーク、及び6配位Alに由来する1.9 ppm 付近の^{1}H-^{27}Al CPMAS NMR ピーク が観測された。これらの ^{1}H, ^{27}Al, ^{29}Si NMR スペクトルの特徴は、いずれも第一原理計算によるAl+HによるSiのカップリング置換モデルの結果と調和する。2Al+酸素欠陥による2Siの置換により生じると予想される、５配位Al（計算値：^{27}Al化学シフト：42~46 ppm, C_Q: 6.0~9.4 MHz）、５配位Si（^{29}Si化学シフト計算値：-125~-130 ppm）、または４配位Si、Alは、いずれも観測されていない。従って、本研究から、従来で推定されたスティショバイトにおけるH と Al の溶解機構 の一般化の再考の必要性が示唆された。ラマンやEPMA測定も計画中であり、最新結果は学会当日に発表する。

キーワード：水、スティショバイト、核磁気共鳴法、第一原理計算、アルミニウム
Keywords: water, stishovite, NMR, first-principles calcualtion, aluminum

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ウォズリアイトの熔融温度に及ぼす高酸素分圧の影響の解明と 生成したメルトの化学組成

Influence of high oxygen fugacity on melting temperature of wadsleyite and chemical composition of the generated melts

*山口 和貴[1]、川添 貴章[1]、井上 徹[1]、境 毅[2]
*Kazutaka YAMAGUCHI[1], Takaaki Kawazoe[1], Toru Inoue[1], Takeshi Sakai[2]

1. 広島大・院先進理工、2. 愛媛大学・地球深部
1. Hiroshima Univ. Adv, 2. Ehime Univ. Geodynamics

1. はじめに

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

2. 実験方法

出発物質にはサンカルロス産カンラン石の粉末を用いた。出発物質は酸素分圧バッファーとともにAuカプセルに封入した。高温高圧実験は、広島大学設置の川井型マルチアンビル装置MAPLE600を用いて行った。実験は13.7～16.6 GPaで1300℃と1600℃の条件で行った。これらの温度圧力条件を10分から30分保持し急冷した。酸素分圧は$Re-ReO_2$バッファーと$Mo-MoO_2$バッファーを用いて制御した。回収試料は、鏡面研磨後、反射顕微鏡および電子プローブマイクロアナライザーを用いて観察し、化学組成を分析した。回収試料の相同定には、微小領域Ｘ線回折法と顕微ラマン分光法を用いた。ウォズリアイトの含水量測定はFTIRを用いて行った。

3. 結果および考察

1500℃で$Re-ReO_2$バッファーを用いた高酸素分圧の条件で急冷結晶が観察された。一方、$Mo-MoO_2$を用いた低酸素分圧の条件では急冷結晶は観察されなかった。$(Mg_{0.9}, Fe_{0.1})_2SiO_4$組成のウォズリアイトは低酸素分圧下において2300℃で熔融する（Ohtani et al., 1998）。ウォズリアイトの含水量は約0.2～0.4 wt%であった。ウォズリアイトに0.4 wt%の水が含まれると、本実験の圧力条件では熔融温度が約200℃下がる (Litasov and Ohtani 2003)。よって、含水のみの効果では本研究の結果を説明することはできないため高酸素分圧の影響で融点が低下したと言える。 本実験で生成したメルトの化学組成は16.6 GPa、1500℃の条件ではFe/(Mg+Fe)=0.18(1)、14.6 GPa、1500℃及び1600℃の条件ではFe/(Mg+Fe)=0.19(1)であった。一方、固相のFe/(Mg+Fe)は0.091(3)～0.095(3)であった。出発物質の組成はFe/(Mg+Fe)=0.1であるため、今回の結果は、熔融組織から見出すことのできる熔融度が極めて低いという観察結果と一致する。すなわち、本研究の結果は1500-1600℃での高酸素分圧下での平衡な$Mg_2SiO_4-Fe_2SiO_4$系熔融固溶体ループが観察できていると考えることができる。 15-17 GPaにおける低酸素分圧下、すなわちFe^{3+}が寄与しない条件での熔融固溶体ループのデータがないため現時点で直接の比較ができないが、Ohtani et al. (1998)の8.5 GPaの相図より推定することは可能である。この考察によると、高酸素分圧すなわちFe^{3+}の影響により、$Mg_2SiO_4-Fe_2SiO_4$系熔融固溶体ループがFe成分の増加に伴い大きく温度低下している可能性が見いだされる。今後は、低酸素分圧下での熔融の様子との直接比較が必要であると考える。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

キーワード：ウォズリアイト、３価の鉄イオン、酸素フィガシティー、熔融温度、マントル遷移層
Keywords: Wadsleyite, Ferric iron, Oxygen fugacity, Melting temperature, Mantle transition zone

$FeTiO_3$ ilmeniteの電気伝導度の圧力変化、陽イオン席の圧縮率とスピン状態の圧力変化

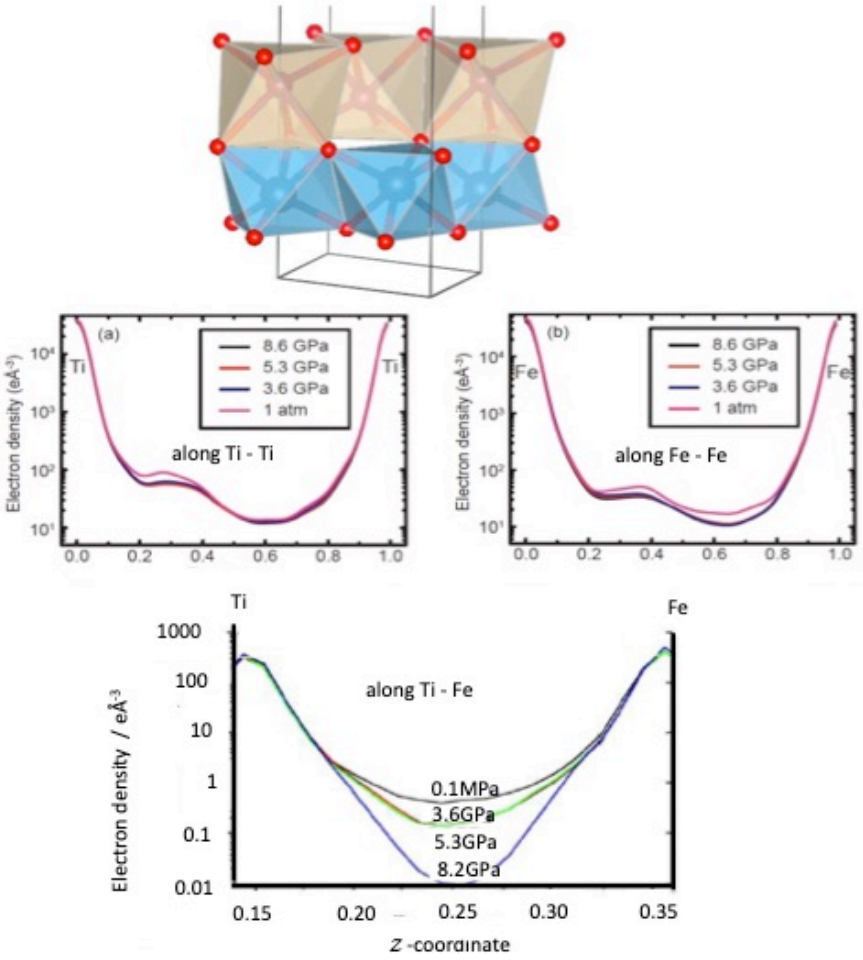
Anoisotropic electrical resistivity in $FeTiO_3$ ilmenite, compressibility and spin state under high pressure.

*山中 高光[1]
*Takamitsu YAMANAKA[1]

1. 中国高圧科学技術研究中心
1. Chinese HPSTAR

緒言　1950代に,磁性を示すFeイオンを含む鉱物がgeochronological studyやplate tectonics research が研究された（Ishikawa at al. 1958; Akimoto at al. 1951; Syono et al. 1981）.その後,ダイアモンドアンビル、マルチアンビルの開発に伴ってこれら鉱物のphase studyや物性測定が精力的に行われてきた (Fei et al. 1999; Mao et al. 1974). また誘電体，半導体，金属などの構造物性は温度，圧力に即応して変化するが,それらは電子状態の格子力学的な効果,格子振動，原子間の電子密度，電子状態の変化に起因している． $FeTiO_3$ イルメナイトは．陽イオン間の電子ホッピングの圧力効果，電気伝導の異方性を把握するために，高圧中性子回折で正確な陽イオン分布解析から電荷移動の機構の解明を行った．**試料合成**　$FeTiO_3$の単結晶（8mm x 30mm）はFZ法で合成した。粉末試料は酸素分圧を制御し1300℃で48時間の焼成を４回繰りかえした。分析と試料の均質はEPMAで確認した。**高圧電気伝導測定**　DACを用いた4端子法で単結晶の方位をc軸の並行と垂直方向で、室温で1atm ~12GPaまでの高圧での電気伝導度の測定を行った。**高圧中性子回折実験**　$FeTiO_3$ ilmenite（*R*3_） はFeとTiは６配位で、それぞれ独立した層構造をし、高圧相の斜方晶perovskite 構造　(*Pnma*)に25.2 GPa で転移する。しかし降圧過程ではilmenite 構造に戻らず、$LiNbO_3$構造（*R*3）に転移することが知られている。X線の原子散乱因子はFe(26), Ti(22)で散乱能に差がないが、中性子散乱断面積はFe(9.54*fm*)とTi(-3.30*fm*)で大きな差があるため、Ilmenite 構造での陽イオン分布が正確に決定できた。J-PARCのパルス中性子源を用いて28 GPaまで高圧回折実験を行った。**結果と考察***c*軸に垂直方向の電気伝導度は単調に上昇し、c軸に並行な方向の伝導度は6 GPaで減少し8 GPaでまた加圧により上昇した。$FeTiO_3$はFeO_6とTiO_6の8面体が層構造をしており、それらは圧縮率が異なり、前者は圧縮されやすい。しかし構造転移は認められない。c軸に方向の層間のFe-Tiの原子間距離は層内のFe-Fe, Ti-Tiの原子間距離より著しく短い。Fe-Ti間の電子超交換が$FeTiO_3$の電気伝導度の異方性の起因になっている。過去に行った(Yamanaka,T. et al. PCM, 2007). $FeTiO_3$のMEM 解析から高圧になると電子がFe, Tiのイオンに局在化を増す (Figure)。 Fe_2TiO_4やFe_2SiO_4のXESで高圧実験を行った(Yamanaka et al.2013).high-spin 状態かintermediate-spin状態に15GPa近傍で徐々に転移していくことを確認した。 S. Akimoto, (1951). Journal of geomagnetism and geoelectricity, 3(3-4), 47–58.　Y. Ishikawa Jour. Phys. Soc. Jpn. **13**, 37-42 (1958).　Y. Syono, H. Takei and A. Ito. Physics and Chemistry Minerals. **7,**82-87 (1981).H.K. Mao, Takahashi T, Bassett WA, Kinsland GL, Merrill L (1974) . J Geophys Res 79:1165–1170Y. Fei, D.J. Frost, Prewitt, C. and Hauserman, D. Amer Miner (1999)T. Yamanaka, Y. Komatsu and H. Nomori Phys. Chem. Minerals **34**, 307-318, (2007)T. Yamanaka, A. Kyono, Y. Nakamoto, Y. Meng, S. Kharlamova, V.V. Struzhkin　and H.k. Mao. American Mineralogist **98,** 736-744 **(**2013)

キーワード：FeTiO3 イルメナイト 、高圧中性子回折実験、電気伝導度測定、異方性電子超交換、電子動径分布
Keywords: FeTiO3 ilmenita, high-pressure neutron diffraction, electrical resistivity measurement, anisotropic electron super exchange, electron radial distribution


(a)
8.6 GPa
5.3 GPa
3.6 GPa
1 atm
Ti
Ti
along Ti - Ti
Electron density (eÅ⁻³)
(b)
Fe
Fe
along Fe - Fe
Ti
Fe
along Ti - Fe
0.1MPa
3.6GPa
5.3GPa
8.2GPa
Electron density / eÅ⁻³
Z -coordinate

マントル遷移層から下部マントル最上部における $MgO\text{-}SiO_2\text{-}H_2O$ 系の溶融関係について

Melting relations at the mantle transition zone to uppermost lower mantle in the $MgO\text{-}SiO_2\text{-}H_2O$ system

*井上 徹[1]、奥村 晃太[1]、川添 貴章[1]、柿澤 翔[2]、野田 昌道[3]、入舩 徹男[4]、新名 亨[4]
*Toru INOUE[1], Kota OKUMURA[1], Takaaki KAWAZOE[1], Sho KAKIZAWA[2], Masamichi NODA[3], Tetsuo IRIFUNE[4], Toru SHINMEI[4]

1. 広島大・院先進理工、2. JASRI、3. デラウエア州立大、4. 愛媛大GRC
1. Hiroshima Univ.y, 2. JASRI, 3. Delaware State Univ., 4. Ehime Univ. GRC

1. はじめに

近年の地震学的観測から、660 km 地震波速度不連続面直下に低地震波速度領域の存在が明らかにされており(Schmandt et al., 2014)、下部マントル最上部付近でのマグマの生成の可能性が指摘されている。 これまでの研究から、水は生成されるマグマの組成を大きく変化させることが明らかにされている。

含水条件下では、Mg_2SiO_4 olivine は約 8 GPa 以上で不一致融解し Mg/Si>2 の MgO に富んだ方向のマグマが生成され (Inoue, 1994) 、さらにマントル遷移層条件下（約 15 GPa）になると $MgSiO_3$ clinoenstatite でさえも不一致融解し MgO に富んだ方向のマグマを生成し、SiO_2 stishovite を晶出することが明らかにされている (Yamada et al., 2004) 。

無水条件下では $MgSiO_3$ clinoenstatite は一致融解するため、含水条件と無水条件で生成されるマグマの組成は著しく異なる。では、15 GPa から 25 GPa の下部マントル最上部付近で生成させる含水マグマの組成はどうであろうか。加えて、マグマ中の含水量はどの程度であろうか。

これらの疑問を解決するべくマントル遷移層から下部マントル最上部条件下で、$MgSiO_3$ - H_2O 系で高温高圧実験を行った。そして、その結果から$MgO\text{-}SiO_2\text{-}H_2O$系の溶融相平衡図を作成し、考察を行った。特にマグマ中の含水量の算出については、今までの推定よりも定量的に決定できるように各種考察を行った。

2. 実験方法

高温高圧実験には川井型 600 ton（広島大学設置）及び 3000 ton（愛媛大学設置）高圧発生装置を使用した。マントル遷移層から下部マントル最上部条件を再現するため圧力は約 15.5 GPa と 25 GPa に固定し、温度は 1200 から 1800℃の範囲で実験を行った。出発物質には、マントルの主要構成鉱物 $MgSiO_3$に水を加えた含水量 8.2 wt%と 15.2 wt%の 2 種類を用意した。マグマおよび共存する固相の化学組成（ただし、H_2Oを除く）は EPMA を用いて明らかにした。そしてその化学組成からマスバランス計算により固相及びマグマ（液相）の構成比、すなわち溶融度を求めた。この結果を用いてマグマ中の含水量を計算した。

3. 結果及び考察

図1に本研究から明らかとなった$MgSiO_3\text{-}H_2O$系で生じる含水マグマの15.5 GPa と 25 GPaでの共融線を示す。高圧含水条件下では$MgSiO_3$ bridgmaniteは、stishoviteとliquidに不一致融解を起こし、無水条件下での融解関係とは大きく異なることが理解できる。

Inoue (1994) 及び Yamada et al. (2004) より約8 GPa以上の圧力条件ではMgOに富んだマグマが生成され、この傾向は15 GPaまで続くと報告された。本研究から共融線は更にMgOに富む方向へとシフトすることが25 GPaまでで示され、このMgOに富む傾向はさらに高圧下まで続くことが確認できた。

参考文献

[1] B. Schmandt et al.: Science, **344**, 1265-1268 (2014)
[2] T. Inoue: Physics of the Earth and Planetary Interiors, **85**, 237-263 (1994)
[3] A. Yamada et al.: Physics of the Earth and Planetary Interiors, **147**, 45-56 (2004)

キーワード：MgO-SiO2-H2O 系、溶融関係、マントル遷移層、下部マントル、含水マグマ
Keywords: MgO-SiO2-H2O system, Melting relations, mantle transition zone, lower mantle , hydrous magma

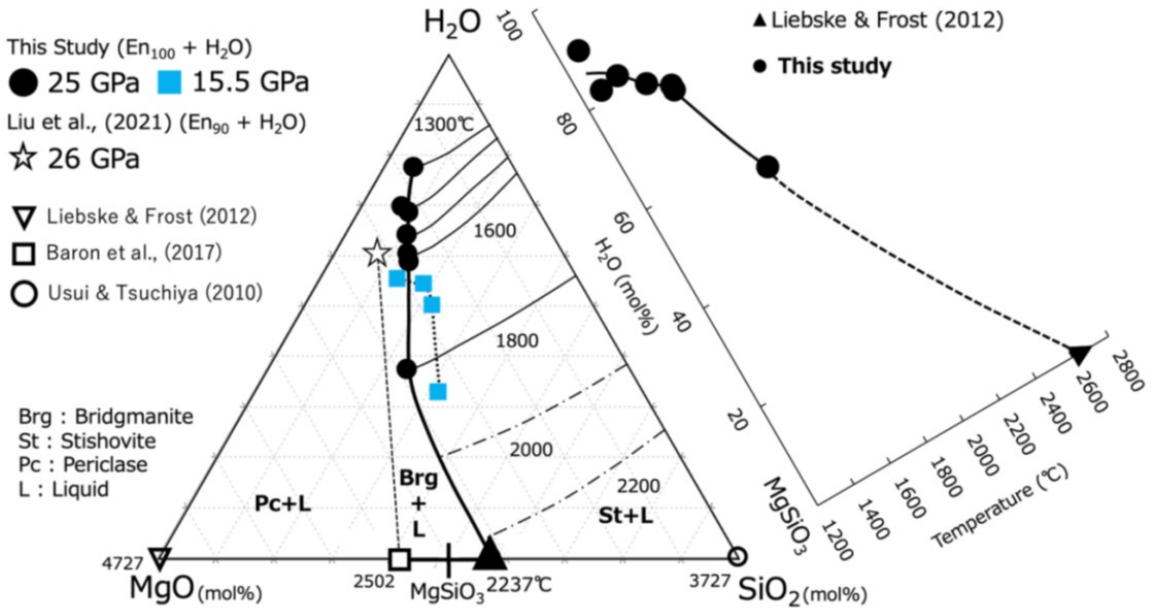


図 1. MgO-SiO_2-H_2O 系における共融線（15.5 GPa (点線) , 25 GPa (太線) 。細線は等温線。（Brg : Bridgmanite , St : Stishovite , Pc : Periclase , L : Liquid）

口頭講演

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)、境 毅(愛媛大学)、西 真之(大阪大学)

2023年9月16日(土) 09:00 〜 12:00 822 (杉本キャンパス)

10:30 〜 10:45

[3Lecture-301-11-7add]休憩

©日本鉱物科学会

高圧高温実験から予測されるマントル遷移層でのマグマの含水量プロファイル

Water content profile of magma in the mantle transition zone predicted from high-pressure, high-temperature experiments

*江木 祐介[1]、井上 徹[1]、奥村 晃太[1]、川添 貴章[1]
*Yusuke Egi[1], Toru Inoue[1], Kota Okumura[1], Takaaki Kawazoe[1]

1. 広島大・院先進理工
1. Hiroshima Univ. Sci.

近年、地球内部での水の影響についての議論が活発に行われている。特にマントル遷移層においては、卓越する鉱物であるwadsleyite及びringwoodite中に最大3 wt%もの水が固定され得ることが知られており、水が貯蔵されている可能性が指摘されている。地球深部鉱物における水の影響の中で、特に重要なものとして鉱物の融点降下がある。含水スラブの沈み込みに伴う含水鉱物の脱水分解反応、それに起因した含水マグマ（島弧マグマ）の生成はその一例である。マントル遷移層に存在する水は、同様に地球深部でのマグマの生成を促進する可能性が考えられる。しかし、マントル遷移層領域での含水マグマの研究はあまり系統的には行われておらず、化学組成やその含水量などは十分に明らかにされていない。このようなデータは、地球内部でのマグマの挙動について理解するために非常に重要なパラメーターである。本研究ではマントル遷移層条件下での高温高圧実験により含水マグマを生成し、各種分析を行うことによりその特徴を明らかにすることを試みた。

高温高圧実験は広島大学及び愛媛大学設置の川井型 600, 3000 ton マルチアンビル型高圧発生装置を用いて行った。温度圧力条件はマントル遷移層程度の条件を想定し、温度 1125 - 1800℃、圧力 14 - 25 GPa で行った。出発試料はモデルマントル物質である pyrolite 組成に水を加えた試料を用意し、SiO_2、Al_2O_3、Fe_2SiO_4、$CaSiO_3$、MgO、$Mg(OH)_2$ の粉末試料を調合したものを使用した。試料の含水量は 8.3 wt% と 14.8 wt% の 2 種類を用意した。含水量の違いは MgOと $Mg(OH)_2$ の量比で調整した。実験試料は急冷回収後、鏡面研磨をし、反射電子像で組織観察を行い、 EPMA を用いて各固相及び液相（マグマ）の急冷結晶の化学組成を測定した（ただし H_2O は除く）。また XRD を用いて固相の同定を行った。そして測定した化学組成値からマスバランス計算を用いて各固相の割合及び液相（マグマ）の割合（溶融度）を求めた。さらに含水鉱物の含水量を EPMA トータル欠損から推定し、マグマ中の含水量をマスバランス計算から得られた溶融度を用いて算出した(eq.1)。

Eq.1: マグマの含水量 = (出発物質の含水量 - 含水鉱物の含水量 ×含水鉱物の割合) ÷溶融度

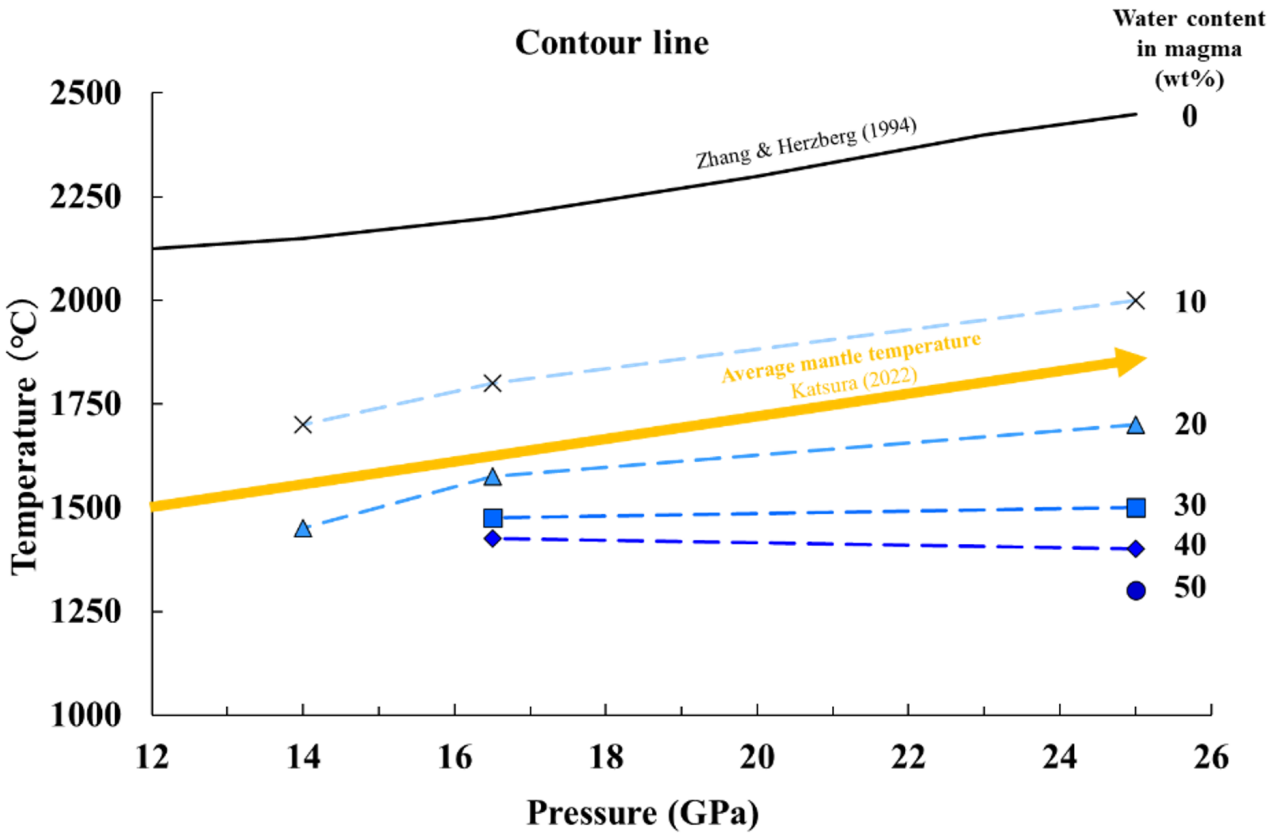
実験を行ったすべての温度・圧力において、無水条件下[1]では溶融が起こらないような温度下でもマグマが生成されることを確認した。そして溶融度の結果を基に、Eq1.を用いてマグマの含水量を算出し、各圧力ごとのマグマの含水量と温度のグラフからリキダスラインを作成し、マグマ中の含水量の温度依存性について明らかにした。溶融度は温度が高くなるほど明瞭に増えていき、それに従いマグマの含水量は低下する様子が示された。またEPMAによる化学組成分析から温度が低くなるほど、マグマ中のSiO_2含有量が低下した超塩基性のマグマが生成されることも明らかになった。 図に、今回作成したリキダスラインから推定した、各温度圧力で生成する含水マグマの等含水量線を示す。このグラフにより地球深部で生成された含水マグマがどのような温度圧力の経路をたどっても、そのマグマ中の含水量を推定することが可能となる。例えば温度圧力の移動経路を黄色矢印のように仮定すると[2]、含水量の温度圧力勾配の違いから 16.5 GPa (= 約 480 km)で最も含水量が多くなることが推定される。このように今回作成した含水マグマの等含水量線は、マントルダイナミクスを議論するうえで非常に重要な情報を与える。

参考論文

[1] J. Zhang, C. Herzberg: J. Geophys. Res.: Solid Earth, **99**, 17729-17742 (1994)

[2] T. Katsura: J. Geophys. Res.: Solid Earth, **127**, e2021JB023562 (2022)

キーワード：マグマの含水量
Keywords: Water content in magma



図：各温度圧力で生成する含水マグマの等含水量線

フェロペリクレース中の鉄-スピン転移に伴う弾性異常の検出：GHz-DAC音速測定法による再検討

Elastic anomaly at the spin transition in ferropericlase: Revisited by GHz-DAC Ultrasonic Velocity Measurement newly developed

*加藤 拓人[1]、米田 明[1]、近藤 忠[1]、山崎 大輔[2]
*Takuto Kato[1], Akira Yoneda[1], Tadashi Kondo[1], Daisuke Yamazaki[2]

1. 阪大・院理、2. 岡大・惑星研
1. Osaka Univ. Sci., 2. Okayama. IPM

地球内部構造は地震波速度構造として調べられてきており、地球構成物質の高圧・高温下での音速データ取得は重要である。物質の音速を測定する方法の一つである超音波法は、試料に弾性波を入れ、その伝播する速度を測定する。また、GHz帯の細かい弾性波を伝播させることで、10μmオーダー厚みの試料の音速を計測することが可能である。この手法を「ギガヘルツ(GHz)法」と呼んでいる。GHz法は、ダイヤモンドアンビルセル（DAC）で圧縮された試料の弾性波速度を測定することができる。ブリルアン散乱やピコ秒超音波と比較して、本手法は鉄等の不透明試料の縦波速度・横波速度（V_P&V_S）の両方を測定することができる。 このようなGHz法の特徴を生かし、(Fe,Mg)Oフェロペリクレースの音速測定に取り組んでいる。フェロペリクレースは、地球の下部マントルで2番目に多く含まれる鉱物である。これまでの研究で、フェロペリクレース中の鉄イオンが地球下部マントル中部域の圧力（40～60 GPa）でスピン転移を起こすことが明らかになっている。この鉄-スピン転移は、粘性や音速など様々な物理特性に影響を与える。特に、速度測定によるスピン転移の検出はブリルアン散乱法やX線非弾性散乱法を用いた実験で行われているが、先行研究の中でも相違点がある。例えば、Yan et al.2015では可視光を用いて$(Mg_{0.92}Fe_{0.08})O$ の音速を測定し、40～60 GPaの圧力領域でV_Pの減衰を確認した。しかし、X線非弾性散乱法を用いて$(Mg_{0.83}Fe_{0.17})O$ の音速を測定したAntonangeli et al.2011では、同様の速度異常は観測されなかった。そこで我々は、GHz法とDACを組み合わせたGHz-DAC音速測定法を用いて、$(Mg_{0.83}Fe_{0.17})O$と$(Mg_{0.83}Fe_{0.17})O$の高圧下でのV_PとV_Sを測定し、このような弾性異常が検出されるかを再検討する。 今回の発表では、GHz-DAC音速測定法の進展状況を紹介するとともに、GHz-DAC音速測定法を用いたフェロペリクレースの音速測定の現状を報告する。

キーワード：フェロペリクレイス、スピン転移、ギガヘルツ法、ダイアモンドアンビル
Keywords: Ferropericlase, Spin transition, GHz method, Diamond Anvil Cell

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

核・マントル境界における水と鉄の交換反応

Iron-Water Exchange at the Earth's Core-Mantle Boundary

*河野 克俊[1]、西 真之[1]、柿澤 翔[2]、井上 徹[3]、桑原 秀治[4]、近藤 忠[1]
*Katsutoshi Kawano[1], Masayuki Nishi[1], Sho Kakizawa[2], Toru Inoue[3], Hideharu Kuwahara[4], Tadashi Kondo[1]

1. 阪大・院理、2. JASRI、3. 広大・院理、4. 愛媛大・GRC
1. Osaka Univ. Sci, 2. JASRI, 3. Hiroshima Univ. Sci, 4. Ehime Univ. GRC

地球の核ーマントル境界部 (以下、CMB) は固体ケイ酸塩鉱物を主成分とするマントルと液体鉄である核が超高温高圧下で接する化学的不連続領域である。近年の地震学的研究により、CMBのマントル側には密度が高く、地震波の遅い地震波超低速度領域 (以下、ULVZs) が局所的に存在することが知られている。しかし、その成因については現在も議論が続いている。一方で、ULVZsの地震学的特徴は鉄に富んだ層の存在により説明可能であるため、外核からマントルへの鉄成分の移動は有力なULVZsの成因の一つとなっている。しかしながら、高圧下におけるケイ酸塩鉱物中の鉄の拡散速度は非常に遅く、単純な化学反応ではULVZsの厚みを形成することができない。 我々は、CMBの化学反応を促進する成分として「水」に着目する。近年の研究から、鉱物に含まれる少量の水成分はマントル対流により循環することが示唆されている。そのため本研究では、鉄ーケイ酸塩鉱物間の化学反応における少量の水成分の影響を明らかにすることを目的とした高温高圧下反応実験を行った。 高温高圧下反応実験にはマルチアンビル装置 (Orange-3000,GRC) を用いた。出発物質として0.5 wt.%のH_2O成分を含んだブリッジマナイトと金属鉄および鉄ニッケル合金を層状に張り合わせたものを用いた。圧力は全ての実験で25 GPaであり、温度は1473 Kから2573 Kまでの範囲で行った 無水条件の先行研究では見られなかった (Fe,Mg)O 、即ちフェロペリクレースに富んだ反応帯の形成がすべての実験を通じて確認された。反応帯の厚さは試料に含まれる水の総量に依存し増加した。この反応帯は(1)鉱物中のH_2O成分と鉄の化学反応 ($H_2O+3Fe \rightarrow 2FeH+FeO$) と、(2)酸化鉄 (FeO) 成分のブリッジマナイト側への分配・拡散 (浸透) ($FeO+MgO+MgSiO_3=(Fe,Mg)O+(Fe,Mg)SiO_3$) により説明可能である。この反応帯の形成は鉄が溶けない低温条件でも溶ける高温条件でも確認された。溶融した鉄ニッケル合金はその組成を保ったままブリッジマナイト側へ移動しており、鉄ニッケル合金がフェロペリクレースに富んだブリッジマナイト内を浸透したことを強く示唆した。 また、フェロペリクレースのFeO成分の増加はフェロペリクレースの融点を大きく下げる効果があるためにこの層の部分溶融を引き起こすことが示唆される。 観測されるULVZsの体積を形成するために必要な水の量を上記反応メカニズム及び液体鉄ー鉱物間の酸素の分配係数に基づき見積もった。フェロペリクレースの融点降下による6 %の部分溶融の存在を仮定すると1.5×10^{20} kgの水 (海水の約10 %に相当する量) が反応に使われた場合、ULVZsの大きさ、密度、地震波速度を同時に説明することが可能であった。このことから、地質学的時間スケールにおける地球深部への水循環を通じて起こる核ーマントル境界の化学反応がULVZsを形成する可能性が示唆された。

キーワード：地震波超低速度領域、マルチアンビルプレス実験、ブリッジマナイト、フェロペリクレース、水
Keywords: ultralow velocity zones, multi-anvil apparatus experiment, bridgmanite, ferropericlase, water

Siがもたらす鉄の水素化による体積膨張増加と地球核推定水素量への影響

Increase of hydrogen-induced volume expansion by incorporation of Si into iron and the effect in estimated hydrogen content in the Earth’s core

*森 悠一郎[1]、鍵 裕之[1]、青木 勝敏[1]、高野 将大[1]、柿澤 翔[2]、佐野 亜沙美[3]、舟越 賢一[4]
*Yuichiro MORI[1], Hiroyuki Kagi[1], Katsutoshi Aoki[1], Masahiro Takano[1], Sho Kakizawa[2], Asami Sano[3], Ken-ichi Funakshi[4]

1. 東大・院理、2. JASRI、3. 日本原子力研究開発機構 J-PARC、4. CROSS
1. UTokyo, 2. JASRI, 3. J-PARC Center, JAEA, 4. CROSS

水素は高圧条件下で金属鉄に固溶し鉄水素化物を生成する。さらに、水素は高温高圧下では非常に親鉄性が高まり、ケイ酸塩よりも金属鉄へ強く分配される。一方、地震学的観測から地球核には軽元素が溶け込んでいることが古くより知られている。水素は上で述べた性質を持つことから核の重要な軽元素候補である。鉄水素化物は高圧環境下のみで安定で、常圧状態に鉄水素化物を回収することは極めて難しい。古くには、急冷回収試料や急速脱圧によって水素量や水素の固溶サイトを決定した革新的な研究はあるものの、鉄水素化物が安定な高温高圧条件におけるその場観察により、水素の固溶量ならびに固溶サイトを決定することが必要である。中性子回折は水素の散乱断面積が大きいため金属中の水素量決定に有効な手法だが、中性子と原子核の相互作用は弱く、大きな試料体積が必要となるため、高温高圧下での中性子回折測定は放射光X線回折と比較すると困難をともなう。 Machida *et al.* (2014)によるfcc構造を持つ重水素化鉄の高温高圧下中性子回折の成功を皮切りに、中性子回折実験による鉄水素化物の研究が数多く行われた。しかし、これらの研究のほとんどは鉄一水素2成分系での実験であり、他の元素を含んだ系での水素化を調べた実験はきわめて少ない。また、核の密度欠損と照らし合わせる際に重要な指標である水素誘起体積膨張への軽元素共存効果はこれまで調べられていない。本研究では同じく軽元素の候補であり、特に内核の軽元素候補として有力なケイ素に着目し、ケイ素がもたらす鉄の水素誘起体積膨張への影響を調べた。また、ここで得られた結果を用いて先行研究から求められる核の水素量の再計算をおこなった。

水素誘起体積膨張とは単位胞内に水素原子1個が固溶することによる体積膨張を単位胞内のホスト原子数で規格化した量である。水素誘起体積膨張を求めるためには、水素化物の単位胞体積と水素原子の占有率に加えて、水素を含まない試料の単位胞体積を決める必要がある。本研究では、前者をJ-PARC MLF BL-11での高温高圧中性子回折実験から、後者を放射光施設SPring-8 BL04B1でのX線回折実験から状態方程式を求めることによって決定した。 両実験の出発試料として$Fe_{0.95}Si_{0.05}$粉末を用いた。$Fe_{0.95}Si_{0.05}$は常温常圧下では純鉄同様にbcc構造をとるが、12 GPaを超えた付近でhcp構造に相転移する。hcp構造は内核温度圧力相当の条件下において、純鉄ならびにケイ素を含んだ鉄の安定構造のひとつである。中性子回折において軽水素は角度依存性のない非干渉性弾性散乱が強く、結晶構造の精密化に使用する回折プロファイルのS/N比を著しく下げる。また、これまでの金属水素化物の研究により水素誘起体積膨張の同位体効果は誤差の範囲内で一致するとの結果があり、現に、fcc鉄水素化物高温高圧中性子回折実験では水素誘起体積膨張に関して顕著な同位体効果は見られていない。そこで、本研究では高温下で分解して水素を放出する重水素化アンモニアボランを用いて試料の水素化をおこなった。$Fe_{0.95}Si_{0.05}$試料をhcp領域まで常温で加圧したのちに、加熱して水素源を分解、放出された水素を$Fe_{0.95}Si_{0.05}$に固溶させて重水素化物を生成した。重水素化による体積膨張を確認したのちに、13.5 GPa、900 Kでの回折プロファイルを39時間かけて測定した。更に、温度を300 Kまで下げ、12.1 GPa、300 Kの回折プロファイルを47時間測定した。得られたプロファイルは、リートベルト法をもちいた結晶構造精密化をおこなった。一方、高温高圧下X線回折実験は12-27 GPa, 300-800 Kで行い、得られたデータに

バーチ・マーナハンの状態方程式を適用させた。

以上の実験の結果、hcp相$Fe_{0.95}Si_{0.05}$の水素誘起体積膨張は純鉄の値に比べ、約15%大きいことが明らかになった。Tagawa *et al*. (2016) ではSiを含んだhcp鉄水素化物の圧縮曲線を用いて内核外核境界の密度を満たすようなSi, H量を見積もった。ただし、ここで見積もられた水素量はAntonov *et al*. (1998) による鉄重水素化物の急冷回収試料の水素誘起体積膨張が用いられている。本研究で得られた結果を用いると、核の水素量を著しく (内核では約5割減、Tagawa *et al*. (2016) らが推定している外核では約3割) 低下させることがわかった。これは、Siを含んだ系において単純にhcp構造を持つ純鉄の水素誘起体積膨張を用いて水素量を計算した場合、核の水素量の過大評価になることに他ならない。

キーワード：高圧実験、中性子回折、核の軽元素、水素、ケイ素
Keywords: High-pressure experiments, Neutron diffraction, Light element in the core, Hydrogen, Silicon

高温高圧下におけるFe_2SiO_4アーレンサイトのポストスピネル転移

Post-spinel transition of Fe_2SiO_4 ahrensite at high pressure and high temperature

*赤荻 正樹[1,2]、宮崎 奈月[1]、田島 太亮[1]、糀谷 浩[1]
*Masaki AKAOGI[1,2], Natsuki MIYAZAKI[1], Taisuke TAJIMA[1], Hiroshi KOJITANI[1]

1. 学習院大・理、2. 東大院・理
1. Gakushuin Univ. Sci. , 2. Univ. Tokyo Sci.

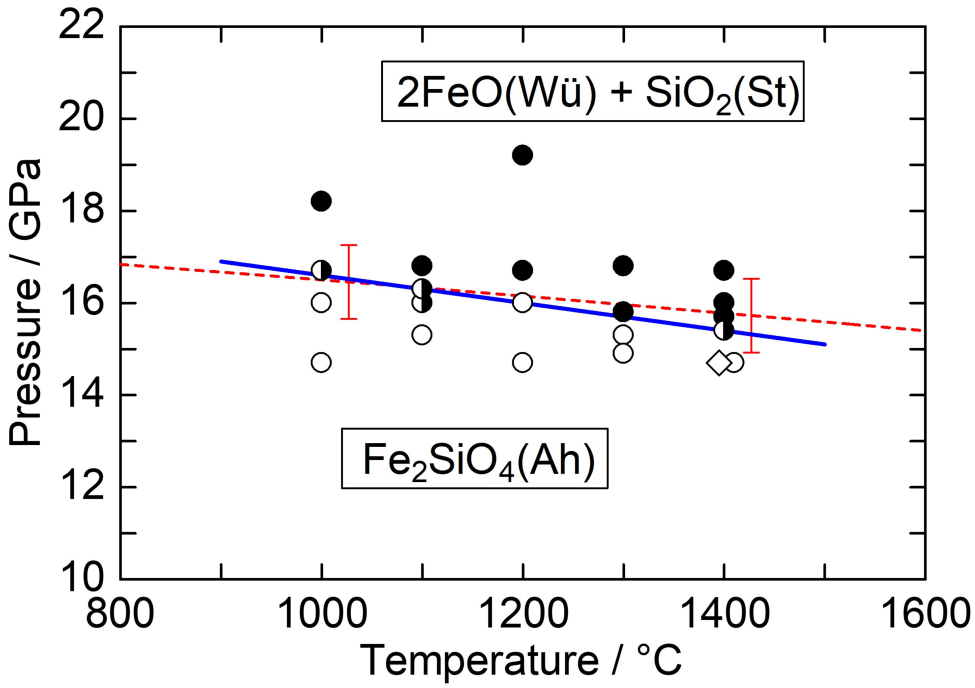
Mg_2SiO_4-Fe_2SiO_4系のポストスピネル転移の高圧相平衡関係は、マントルの660㎞不連続面の解明のため、Mgに富む組成領域で多くの研究がなされてきた。一方、スピネル型Fe_2SiO_4（アーレンサイト）は高圧下でFeO（ウスタイト）とSiO_2（スティショバイト）に分解するが、このFe_2SiO_4のポストスピネル転移の相平衡関係については、1970－90年代になされた少数の研究しかなく、それらの結果には大きな相違が見られる。本研究では、Fe_2SiO_4アーレンサイトのウスタイト＋スティショバイトへの分解反応の相平衡関係を高圧実験により20 GPa、1400 ºCまでの条件で決定し、熱力学計算による相平衡境界線との比較を行い、従来の研究結果との相違を議論した。また、それらの結果を用いて、衝撃変成を受けた隕石中に発見されたFe_2SiO_4に富むアーレンサイトの生成圧力条件を推定した。

出発試料としてオリビン型Fe_2SiO_4、ウスタイト、金属鉄の混合物を鉄カプセルに封入し、マルチアンビル装置を用いて20 GPa、1400 ºCまでの圧力温度条件に3-6時間保持した後、急冷回収した。回収試料の一部を使って粉末X線回折法で相を同定し、ウスタイトの格子定数を測定した。また回収試料を研磨し、微小部X線回折法で相を同定し、走査電子顕微鏡で組成分析を行った。

得られた結果を図に示す。各圧力温度で3-6時間保持することにより、反応が完全に進行したと判断される。また逆反応実験も行って、平衡相境界を求めた。相境界線（図の実線）は負の勾配を持ち、P(GPa) = 19.6 –0.003T(ºC)で表される。従来の研究と比べると、この相境界線は1000-1200 ºCで約1-4 GPa低い位置にある。この相違は、従来の研究における圧力較正の不確定さ、アーレンサイトの分解反応が比較的遅いこと、酸素分圧の違いなどに原因があると考えられる。アーレンサイト、ウスタイト、スティショバイトの熱力学データを用いて計算した相境界線（点線）は、今回の高圧実験で決めた相境界線よりやや小さい負の勾配を持ち、高圧実験による相境界線と誤差範囲内で良く合うことが示された。

2002年以降、衝撃変成を受けた隕石中にFe_2SiO_4に富むアーレンサイトが相次いで発見された。Xie et al. (2002) によって最初に発見されたMg_2SiO_4-Fe_2SiO_4系アーレンサイト（Fe_2SiO_4成分が62-99 mol%）は、FeOとSiO_2に富む組成のメルトポケット内にスティショバイトと共に見い出された。今回の実験で得られたFe_2SiO_4の相関係などを用いると、これらのアーレンサイトは約13-16GPa以下、約9-12GPa以上の圧力条件下でメルトから結晶化したと推定される。

キーワード：ポストスピネル転移、アーレンサイト、高圧実験、熱力学計算
Keywords: Post-spinel transition , ahrensite, high-pressure experiment, thermodynamic calculation


2FeO(Wü) + SiO2(St)
Fe2SiO4(Ah)
Pressure / GPa
Temperature / °C
22
20
18
16
14
12
10
800
1000
1200
1400
1600

口頭講演

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)、境 毅(愛媛大学)、西 真之(大阪大学)

2023年9月16日(土) 09:00 〜 12:00 822 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

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

2023年9月16日(土) 10:15 ~ 12:00 | 820 杉本キャンパス

R6：深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

座長:湯口 貴史(熊本大学)、亀井 淳志(島根大学)

10:15 ~ 10:30

[R6-01] 東南極リュツォ・ホルム複合岩体の天文台岩に産する変花崗岩類をもたらした火成活動

*亀井 淳志[1]、市川 もも[1]、外田 智千[2]、谷 健一郎[3]、北野 一平[4]、馬場 壮太郎[5]、Setiawan Nugroho[6]、Nantasin Prayath[7]、Dashbaatar Davaa-ochir[8]、本吉 洋一[2] (1. 島根大学、2. 国立極地研究所、3. 国立科学博物館、4. 北海道大学、5. 琉球大学、6. Universitas Gadjah Mada、7. Kasetsart University、8. Mongolian University of Science and Technology)

10:30 ~ 10:45

[R6-02] オマーン掘削プロジェクトで回収されたマントルセクションコア中の苦鉄質脈：背弧拡大の産物か？

*市山 祐司[1]、伊藤 久敏[2]、田村 明弘[3]、森下 知晃[3] (1. 千葉大学、2. 電力中央研究所 、3. 金沢大学)

10:45 ~ 11:00

[R6-03] ミュオグラフィー観測が明かすオマーンオフィオライトの海洋地殻ーマントルの密度構造

*海野 進[1]、田中 宏幸[2]、オラー ラズロ[2]、バルガ デジュー[4]、森下 知晃[1]、平松 良宏[1]、草野 有紀[3] (1. 金沢大学、2. 東京大学、3. 産業技術総合研究所、4. ウイグナー物理学研究所)

11:00 ~ 11:15

[R6-04] 岩船閃緑岩の成因

「発表賞エントリー」

*山崎 陽生[1,2]、江島 輝美[1,2]、昆 慶明[2] (1. 信州大・理、2. 産総研)

11:15 ~ 11:30

[R6-05] Zircon U-Pb age combined with trace element geochemistry constraining the source of Miocene granitoids of the Kagoshima Prefecture, Japan

*Hafiz Ur REHMAN[1], Marimo NAKABAYASHI[1], Yuki OTA[1], Kaushik DAS[2], Chung Sun LIN[3], Hao YANG LEE[3], Daisuke YAMASHITA[4], Hiroshi YAMAMOTO[1] (1. Kagoshima Uni., 2. Hiroshima Uni., 3. IES, Academia Sinica, Taiwan, 4. Satsumasendai Kosh. Mus.)

11:30 ~ 11:45

[R6-06] 関門層群の年代の再検討：残された未解決問題

*堤 之恭[1]、長谷川 遼[2]、磯﨑 行雄[3] (1. 国立科学博物館、2. 富士フイルムビジネスイノベーション（株）、3. 東京大学大学院総合文化研究科)

11:45 ~ 12:00

[R6-07] 近畿領家帯青山高原地域に産する花崗岩類のジルコンU-Pb年代

*東野 文子[1]、河上 哲生[1]、坂田 周平[2]、工藤 駿平[1]、伊神 洋平[1] (1. 京大・院理、2. 東大・地震研)

[zoom] Zoom

東南極リュツォ・ホルム複合岩体の天文台岩に産する変花崗岩類をもたらした火成活動

Igneous activity formed meta-granitoid in the Tenmondai rocks of the Lützow-Holm complex, East Antarctica

*亀井 淳志[1]、市川 もも[1]、外田 智千[2]、谷 健一郎[3]、北野 一平[4]、馬場 壮太郎[5]、Setiawan Nugroho[6]、Nantasin Prayath[7]、Dashbaatar Davaa-ochir[8]、本吉 洋一[2]
*Atsushi KAMEI[1], Momo Ichikawa[1], Tomokazu Hokada[2], Kenichiro Tani[3], Ippei Kitano[4], Sotaro Baba[5], Nugroho I. Setiawan[6], Prayath Nantasin[7], Davaa-ochir Dashbaatar[8], Yoichi Motoyoshi[2]

1. 島根大学、2. 国立極地研究所、3. 国立科学博物館、4. 北海道大学、5. 琉球大学、6. Universitas Gadjah Mada、7. Kasetsart University、8. Mongolian University of Science and Technology
1. Shimane University, 2. National Institute of Polar Research, 3. National Museum of Nature and Science, 4. Hokkaido University, 5. University of the Ryukyus, 6. Universitas Gadjah Mada, 7. Kasetsart University, 8. Mongolian University of Science and Technology

原生代にはKenorland (約2.7～2.4 Ga)，Columbia (約1.8～1.5 Ga)，Rodinia (約1.2～0.7 Ga)，Pannotia (約6.0 Ga)の超大陸が相次いだ（Hoffman, 1991など）．超大陸研究は若いPannotiaで進むがKenorland～Rodiniaには北アメリカ・北ヨーロッパが中心で（Goodge et al., 2008など），その「外側」に未解明が多い．そこで我々は，この「外側」にあたる東南極リュツォ・ホルム複合岩体（全長約450km）の変花崗岩研究を進めている．最近，本岩体のジルコンU-Pb年代より約2.5 Ga, 1.85 Ga, 1.0 Gaの火成活動が浮き彫りとなったが（Dunkley et al., 2020），成因や活動場の情報は未だ限られる．本報告では当岩体の天文台岩に産する変花崗岩類の記載的・年代学的特徴について述べる．

天文台岩は氷床沿岸部に約3×1 km^2の範囲で露出し，基盤は層状黒雲母普通角閃石片麻岩とミグマタイト質黒雲母普通角閃石片麻岩を主体とする（Shiraishi et al., 1985）．これらはザクロ石黒雲母片麻岩や角閃岩を伴い，小規模なドーム状花崗岩や岩脈も散在する．我々はミグマタイト質黒雲母普通角閃石片麻岩の露岩域に変花崗岩類を認め，桃色変花崗岩14試料と灰色変トーナル岩3試料を採取した．桃色変花崗岩は主に石英，斜長石，アルカリ長石，黒雲母で構成され，灰色変トーナル岩は主に石英，斜長石，黒雲母で構成される．両者とも片麻状構造が明瞭で，鏡下における火成岩組織は残していない．

両変花崗岩類は中カリウム系列のカルクアルカリ組成をもち，SiO_2量は68～78 wt%で比較的高い．MORBで規格化したスパイダー図にはNbとTiに負異常があり，LIL元素に富む．コンドライトで規格化した希土類元素パターンにはEu負異常があってLREEにやや富む．Pearce et al. (1984)のRb vs Y+Nb判別図では火山弧型花崗岩となる． ジルコンのU-Pb年代では桃色変花崗岩の$^{206}Pb/^{238}U$比と$^{207}Pb/^{235}U$比の年代値が約950～560 Maを示し，ほぼ全てコンコーディア曲線に一致する．ただしTh/U比が0.2以上の粒子は780 Maより古く，その中心値は約890 Maである．ジルコンCL像は暗くて明瞭さに欠けるが，プリズム状の累帯構造を確認できる．これらより火成作用は～890 Ma頃であり，若い粒子は変成作用の影響を受けていると推測される．この様な年代極性はTakamura et al. (2020)が天文台岩の苦鉄質グラニュライトからも報告している（高Th/U：808～614 Ma，低Th/U：582～481 Ma）．一方，灰色変トーナル岩は同コンコーディア図で約550 Maに分析点が集中し，２点のみ古い年代値を示した．ただし古い粒子はコンコーディア曲線から外れる．CL像は暗くて判読しにくいが不規則な同心円状のものが多い．約550 Maの粒子群は全てTh/U比が0.2以下であるため変成年代を示す可能性が高い．ここでは760 Ma～550 Maを変成作用に関連すると考えており，これはTakamura et al. (2020)やKitano et al. (2023)が当地の苦鉄質グラニュライトもしくは準片麻岩から報告した620～530 Maの変成年代と矛盾しない．両変花崗岩類より得たSr・Nd同位体比組成を890 Maで補正したイプシロン図では，プロットがバルクアースよりもやや枯渇した領域に入る．このことから変花崗岩類

の形成場はやや未成熟な火山弧と解釈される．

天文台岩での変成作用と年代の解析は最近充実しつつある．従来，リュツォ・ホルム岩体の変成作用は時計回りのP-T経路とされ（Motoyoshi et al., 1989；Hiroi et al., 1991），Takamura et al. (2020)も天文台岩の準片麻岩解析でこれを支持した．しかしBaba et al. (2023)は同地の準片麻岩から反時計回り経路を見出し，既存研究と比較して，地質構造レベルの異なる複数レイヤーの存在を提案した．一方，ジルコンU-Pb年代ではTakamura et al. (2018)やKitano et al. (2023)による準片麻岩のデータに3330～900 Maの砕屑性ジルコンがあるが，本論の変花崗岩類やTakamura et al. (2018)の苦鉄質グラニュライトにはそれが無い．この様な状況より，天文台岩は小露岩ながら複数の異なる地質履歴を持つ原岩が寄せ集まり，Pannotia超大陸期に620～530 Maの変成作用を様々な経路で経たレイヤーが接合して現在に至ると考えられる．Rodinia超大陸以前の位置づけは単純でないが新たなデータを示しながら議論したい．

キーワード：変花崗岩、天文台岩、リュツォ・ホルム複合岩体、東南極
Keywords: Meta-granitoid, Tenmondai rocks, Lützow-Holm complex, East Antarctica

オマーン掘削プロジェクトで回収されたマントルセクションコア中の苦鉄質脈：背弧拡大の産物か？

Mafic veins in the mantle section recovered during Oman Drilling Project: products of backarc spreading?

*市山 祐司[1]、伊藤 久敏[2]、田村 明弘[3]、森下 知晃[3]
*Yuji ICHIYAMA[1], Hisatoshi Ito[2], Akihiro Tamura[3], Tomoaki Morishita[3]

1. 千葉大学、2. 電力中央研究所 、3. 金沢大学
1. Chiba University, 2. Central Research Institute of ElectricPower Industry, 3. Kanazawa University

マーン掘削プロジェクトで実施されたオマーンオフィオライトのマントルセクションにおける科学掘削によって、連続コアサンプルが高回収率で採取された。3 つの掘削サイト（BA 1 B、BA3A、BA4A）から回収されたコアサンプルは、主にハルツバージャイト、非調和性ダナイトおよびウェールライトであり、これらを多数の苦鉄質の細脈と岩脈が貫入する。本研究では、これらのマントルセクションから得られたコアサンプルの苦鉄質脈に着目し、オマーンオフィオライトに記録された沈み込み帯進化プロセスの解読を試みる。 苦鉄質脈は、ハルツバージャイトと非調和性ダナイトの両方を貫入し、塑性変形を被っているものや断層に沿って貫入しているものが観察される。非調和性ダナイトに伴うウェールライトは、島弧火山岩に類似したFe^{3+}に富み、TiO_2に乏しいクロムスピネルを含んでおり、非調和性ダナイトとウェールライトが島弧火成活動に関連して形成されたことを示唆している。 苦鉄質脈中の単斜輝石と斜長石の組成関係や、単斜輝石の希土類元素 (REE) パターンは、苦鉄質脈が中央海嶺玄武岩 (MORB) に類似したマグマから生成されたことを示す一方で、角閃石を含むことや早期の単斜輝石の結晶化は、苦鉄質脈の親マグマが含水していたことを示唆する。このことは、含有されるクロムスピネルの高Fe^{3+}と低TiO_2によっても支持される。苦鉄質脈に含まれるジルコンのU–Pb年代は、火山岩ユニットのV1 および V2溶岩に相当する深成岩相から得られたU–Pb年代（それぞれ95.5–96.4 Maと95.3–95.6 Ma；例えばRioux et al., 2021）よりも若い約 91 Maを示す。ハルツバージャイト中の単斜輝石とCa角閃石のREEパターン変化は、苦鉄質脈からの距離に応じて変化することから、ハルツバージャイトは苦鉄質脈を形成したマグマの浸透によって局所的な化学的改変を与えられたと考えられる。かんらん岩と苦鉄質脈中のCa 角閃石は、流体移動元素に顕著に富むことはなく、Ca 角閃石を形成した流体がスラブ由来の流体ではなく、拡大環境での熱水活動に関連する流体によって形成されたことが考えられる。地質学的産状とジルコンU–Pb年代データは苦鉄質脈が、V1 および V2溶岩の形成の後に貫入したことを示している。苦鉄質脈の岩石学的性質は、苦鉄質脈を形成したマグマが含水MORBマントルに由来することを示している。苦鉄質脈の形成は、沈み込み帯上での拡大環境、すなわち背弧拡大を通じて生産されたマグマによってもたらされたと考えられる。

キーワード：オマーンオフィオライト、オマーン掘削プロジェクト、苦鉄質脈、背弧拡大
Keywords: Oman ophiolite, Oman Drilling Project, Mafic veins, Backarc spreading

ミュオグラフィー観測が明かすオマーンオフィオライトの海洋地殻ーマントルの密度構造

Muographic study of the oceanic crust-mantle density structure of the Oman Ophiolite

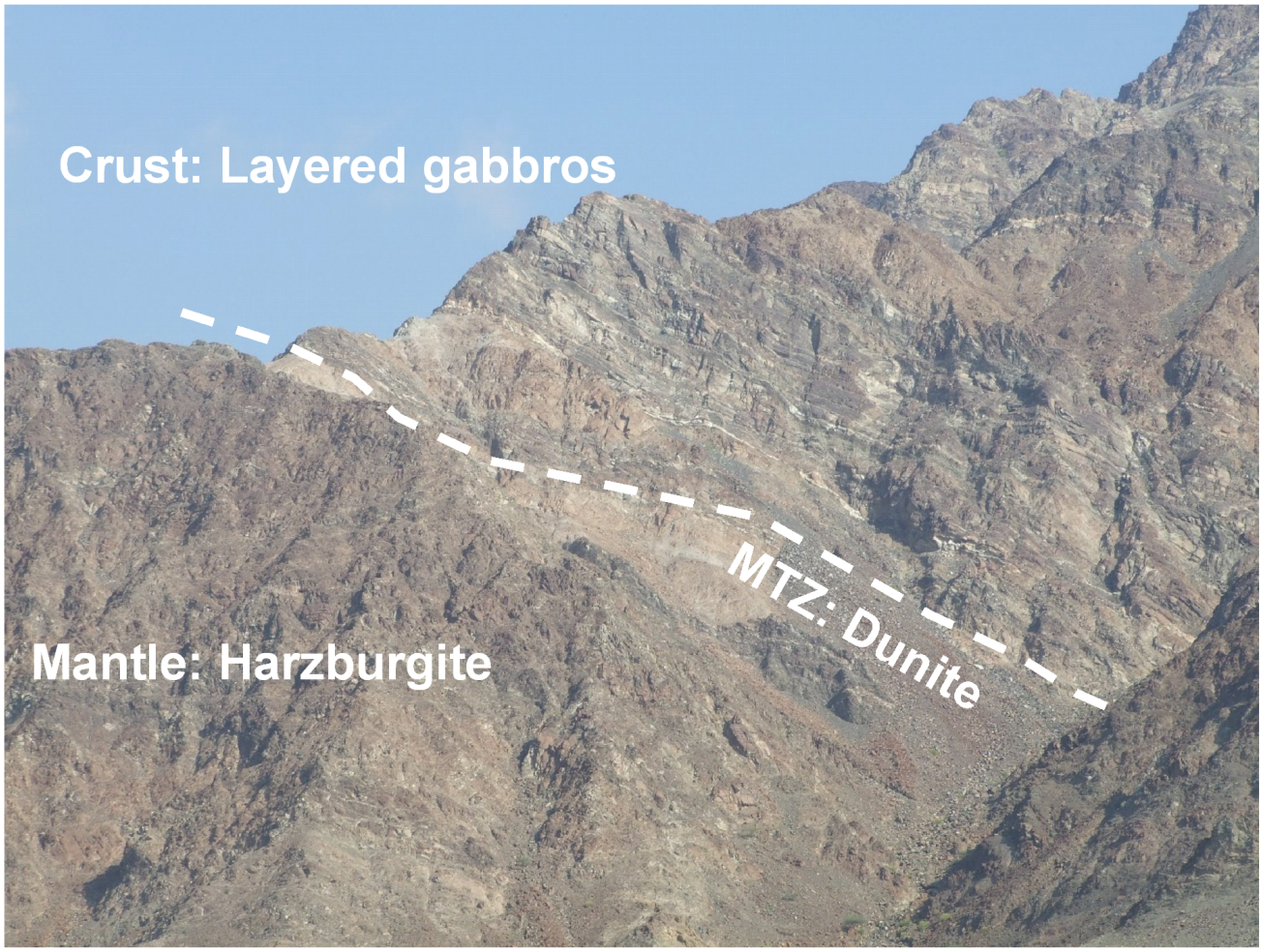
*海野 進[1]、田中 宏幸[2]、オラー ラズロ[2]、バルガ デジュー[4]、森下 知晃[1]、平松 良宏[1]、草野 有紀[3]
*Susumu UMINO[1], Hiroyuki Tanaka[2], László Oláh[2], Dezső Varga[4], Tomoaki Morishita[1], Yoshihiro Hiramatsu[1], Yuki Kusano[3]

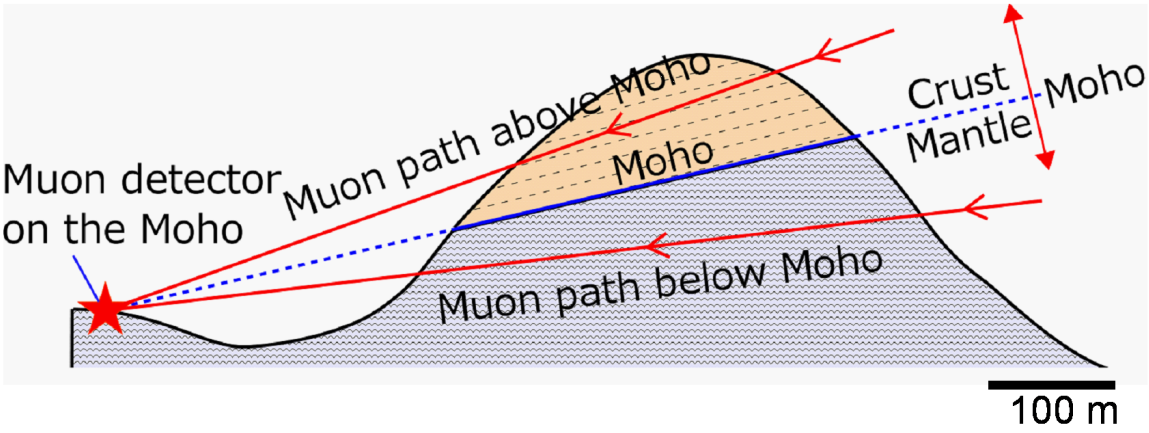
1. 金沢大学、2. 東京大学、3. 産業技術総合研究所、4. ウイグナー物理学研究所
1. Kanazawa University, 2. University of Tokyo, 3. AIST, 4. Wigner Research Center for Physics

海洋リソスフェアは地震波の反射面と速度構造によって地殻（第1～3層）とマントル（第4層）に分けられる。第1層ー2層境界は堆積物と基盤岩の境界に対応する。一方，第2層ー3層境界（上部ー下部地殻境界）と第3層ー4層境界（モホ面）は，観測の困難さから構成する地質・岩相の実体という基本的な理解も十分ではない。従来，オフィオライトの地質と比較して第2，3，4層はそれぞれ岩脈群，ハンレイ岩，カンラン岩に対比されてきた。しかし，第2ー3層境界を貫通した唯一の深海掘削504B孔では岩脈群の中程に境界が位置し，変質と空隙率の減少のためとされた[a]。ハンレイ岩まで貫通した1256D孔では第2ー3層境界は未到達である[b]。モホ面の掘削は次期IODPのフラッグシップ研究課題であり，モホール計画の最重要ターゲットであるが，未だに達成されていない。従って，オフィオライトとの比較が地震波速度構造と地質の対応を理解するための唯一の手がかりとなる。とりわけ世界最大で最も保存状態がよいオマーンオフィオライトは高速拡大地殻・マントルのアナログとして注目されてきた。 海底構造探査によれば，海底下モホは明瞭な反射面や多重反射面，不明瞭なものなど多様である[c]。オマーンオフィオライトの“モホ”に相当する岩相境界は遷移帯であり，マントルカンラン岩から下部地殻ハンレイ岩まで構成岩石が漸移する。海嶺軸セグメント中心ではダナイトーハンレイ岩が互層する厚いモホ遷移帯が発達する[d]。マグマが乏しいセグメント端ではモホ遷移帯は薄い。これが観測されるモホの多様性を生み出した可能性がある。 マグマ供給率が高い海嶺軸セグメント中心はマグマの貫入付加だけで地殻が形成・拡大し，地殻全体が高密度となる。そのためバルク密度の勾配が変わる第2層ー3層境界は，岩脈群ーハンレイ岩境界よりも下位の上部ハンレイ岩ー集積岩境界となる可能性がある。一方，セグメント端では地殻の拡大量をまかなう十分なマグマがないため，マグマの貫入付加で生じる下部地殻は薄く，上部地殻は断層によって破壊・引き延ばされ，低密度で厚くなる。このようにマグマ供給率と呼応してモホ遷移帯や地殻の地質構造・バルク密度構造は海嶺軸セグメントに沿って変化する[e,f]。 従来，掘削コアやオフィオライトの岩石試料の弾性波速度から海洋地殻～マントルの速度構造が推定されてきた[g,h]。しかし，数cm大の試料スケールは地震波トモグラフィーの解像度(>~1 km)とは大きく異なる上，岩相は<数mスケールで鉛直・水平方向に変化する。亀裂や破砕帯の３次元分布の把握は困難であるため，弾性波速度への影響は考慮されない。そのため岩石試料から推定される地殻～マントルの速度構造は実際の海底構造探査の結果とは乖離している可能性がある。 金沢大学，東大地震研，ハンガリーウイグナー物理学研究所，オマーンエネルギー鉱物省は共同して，オマーンオフィオライトの地殻ーマントル境界，上部ー下部地殻境界，第2A-2B層境界に相当する岩相境界について，海底構造探査データと直接対比可能な100 m～kmスケールのバルク密度構造をミュオグラフィーによってイメージ化する国際共同プロジェクトを今秋から実施する[i]。本講演ではプロジェクトの概要と予備調査の結果について紹介する。 a. Detrick, R. et al. 1994 Nature, 370, 288–290; b. Ildefonse, B. et al. 2014 Developments in Marine Geology, 7, Elsevier, Amsterdam, 449–505; c. Ohira, A. et al. 2017 Earth, Planets and Space, 476, 111–121; d. 荒井章司・阿部なつ江 2008 地学雑誌, 117, 110–123; e. 海野進・草野有紀 2021.地学雑誌 130, 599 –614, doi:10.5026/jgeography.130.599; f. Umino S. et al. 2021 *Sci. Dril.* 29, 69 –82; g. Christensen, N.I. and Smewing, J.D. 1981 J. Geophys. Res., 86, 2545–2555; h.

Katayama, I. et al. 2020 J. Geophys. Res., 125, e2019JB018698; i. 海野　進ほか 2023 J-DESCニュースレター, 16, 30–31

キーワード：ミュオグラフィー、オマーンオフィオライト、海洋地殻ーマントル、モホ遷移帯、密度構造
Keywords: Muography, Oman Ophiolite, Oceanic crust - Mantle, Moho transition zone, density structure





Muon detectors installed on the Moho acquire muon signals passing through the target.

岩船閃緑岩の成因

Magma genesis of the Iwafune diorites, Ibaraki Prefecture

*山崎 陽生[1,2]、江島 輝美[1,2]、昆 慶明[2]
*Haruki YAMAZAKI[1,2], Terumi EJIMA[1,2], Yoshiaki KON[2]

1. 信州大・理、2. 産総研
1. Shinshu Univ. Sci., 2. GSJ, AIST

岩船岩体は，茨城県城里町に位置する深成岩体であり，その周辺には，領家帯および山陽帯の東縁部にあたる 八溝山地および筑波産地の深成岩類が分布している。後期白亜紀から古第三紀は，西南日本において深成岩類の形成が活発であった年代であり，この年代のマグマ形成場を明らかにすることは，日本列島の地殻形成史を解明する上で重要である。西南日本東縁部の後期白亜紀から古第三紀の火成活動は，斑れい岩と花崗岩の成因については報告されているが(Wang et al., 2021)，閃緑岩の成因については報告されていない。岩船岩体は，西南日本東縁部の閃緑岩の中では地表露出面積が大きく，代表的な閃緑岩体である。したがって，岩船閃緑岩の初生メルトの成因を明らかにすることは，後期白亜紀から古第三紀のマグマ形成場をより詳細に理解するために必要である。そこで本研究では，岩船閃緑岩の初生メルトの成因を議論する。

岩船岩体は，閃緑岩と小規模に分布する花崗岩から構成される深成岩体である。岩船閃緑岩は，構成鉱物および量比から主岩相である閃緑岩と直方輝石を含む直方輝石閃緑岩に区分される。閃緑岩中の直方輝石および単斜輝石の鉱物化学組成はそれぞれ$En_{42.4–52.4}Fs_{44.9–48.9}Wo_{2.2–3.2}$，$En_{31.5–43.5}Fs_{18.7–24.4}Wo_{37.7–45.7}$であり，直方輝石閃緑中のものはそれぞれ$En_{52.0–56.5}Fs4_{0.8–46.5}Wo_{1.5–3.1}$，$En_{35.9–38.8}Fs_{16.3–18.3}Wo_{43.4–47.8}$である。閃緑岩の$SiO_2$含有量(56.99–58.61 wt%)は，直方輝石閃緑岩の値(54.75–54.90 wt%)と比較して高い値を示す。C1-コンドライト(McDonough and Sun, 1995)で規格化した$[La]_N/[Yb]_N$，$[Yb]_N$は，閃緑岩はそれぞれ5.49-5.99,14.8-18.4，直方輝石閃緑岩は5.03-5.13,13.4-14.7であり，両者はともに重希土類元素に枯渇していない特徴を持つ。

岩船岩体の閃緑岩のなかでも直方輝石閃緑岩は，最もSiO_2含有量が低く，輝石の En成分が高い特徴を持つ。この直方輝石閃緑岩から単斜輝石および斜長石を分別することで岩船閃緑岩の組成変化が説明できるため（山崎ほか, 2023），直方輝石閃緑岩の化学組成が岩船閃緑岩の中で最も未分化であり，岩船閃緑岩の初生メルト組成に最も近い値であると考えられる。そこで，岩船岩体の直方輝石閃緑岩組成が，岩船閃緑岩の初生メルトの組成であるとして，以下の考察を行う。

閃緑岩の初生メルトの成因として，マントルかんらん岩の部分溶融によって生じた玄武岩質マグマの結晶分化作用 もしくは玄武岩質な下部地殻の部分溶融によって生じた安山岩質マグマが挙げられる。

岩船閃緑岩の初生メルトの成因を考察するにあたり，岩船閃緑岩形成時の上部マントルおよび下部地殻のSr同位体比を推定した。岩船岩体の近傍に分布し，かつ同時期に活動した深成岩類で，先行研究（Wang et al., 2021）において，マントルかんらん岩の部分溶融に由来することが報告されている斑れい岩（筑波山地の斑れい岩）および下部地殻の部分溶融に由来することが報告されている花崗岩（筑波山地の花崗岩）のSr同位体初生値(SrI)を，岩船閃緑岩が活動した時期の上部マントルおよび下部地殻のSr同位体比であると仮定した。考察に使用したSrI値は，Arakawa and Takahashi, (1989)， Shibata and Ishihara (1979)および 柴田・高木 (1989)らにより報告されたものを，U-Pb年代(Wang et al., 2021; 山崎ほか,2023)で補正したものを用いた。岩船閃緑岩のSrIは，形成時の上部マントルのSr同位体比とは一致しない。一方，形成時の下部地殻のSr同位体比は誤差の範囲で岩船閃緑岩のSrIと一致することから，岩船閃緑岩の初生メルトは下部地殻の部分溶融で形成した可能性が高いと考察される。

次に，下部地殻の部分溶融で岩船閃緑岩の初生メルト組成が生じるかを検討した。直方輝石閃緑岩が重希土類元素に枯渇していない特徴を示すことおよび下部地殻の温度(Coinde, 2005)から，岩船閃緑岩形成時の下部地殻は，約0.8 GPaで水に飽和していない環境であったと考えられる。この条件を満たす玄武岩の部分溶融実

験(Rapp and Watson, 1995)で形成したメルトの化学組成は，直方輝石閃緑岩の全岩化学組成とほぼ一致する。
　したがって，岩船閃緑岩の初生メルトは下部地殻の部分溶融で形成された可能性が最も高いと結論される。

キーワード：閃緑岩、マグマ成因、岩船岩体　、筑波山地
Keywords: Diorite, Magma genesis, Iwafune pluton, Tsukuba Mountains

Zircon U-Pb age combined with trace element geochemistry constraining the source of Miocene granitoids of the Kagoshima Prefecture, Japan

*Hafiz Ur REHMAN[1], Marimo NAKABAYASHI[1], Yuki OTA[1], Kaushik DAS[2], Chung Sun LIN[3], Hao YANG LEE[3], Daisuke YAMASHITA[4], Hiroshi YAMAMOTO[1]

1. Kagoshima Uni., 2. Hiroshima Uni., 3. IES, Academia Sinica, Taiwan, 4. Satsumasendai Kosh. Mus.

This study reports zircon U-Pb age and trace element geochemistry of the Miocene granitoids exposed in Kagoshima to constrain their magmatic source. More than 150 zircon grains were U-Pb age-dated along with trace element contents from four plutons (#1. Osumi, #2. Takakuma Yama, #3. Shibi san, and #4. Koshikishima). Zircon grains from Osumi yielded U-Pb age values in the range from 13.4 ~ 15.8 Ma in sample OsG-3, 13.9 ~ 16.8 Ma in OsG-9, 13.3 ~ 14.7 in OsG-12, 14.2 ~ 16.4 in OsG-36. Zircons from Takakuma Yama yielded ages of 12.7 ~ 15.2 Ma from TkG-1 and 12.8 ~ 15.9 Ma in TkG-2. Shibi Pluton yielded ages of 12.7 ~ 14.3 Ma and a hornfels sample (Shb-19) yielded U-Pb age scattered between 13.9 and 206 Ma, with three spots giving values of 1803 Ma, 1873 Ma, and 2194 Ma from the detrital core domains. Zircons separated from Koshikishima Island yielded relatively younger age of 9 ~ 12 Ma in Kos-2, 8.8 ~ 12.1 Ma in Kos-11, 7.8 ~ 10.4 Ma in Kos-19, 8.7 ~ 10.6 Ma in Kos-30, 9.3 ~ 11.4 Ma in Kos-35, and 9.4 ~ 12.3 Ma in Kos-42. Trace element data of zircons, particularly, rare-earth elements, show typical magmatic type patterns with pronounced positive Ce and negative Eu anomalies. Ti-in-zircon thermometry data revealed temperature of crystallization ranging from 609 ~ 895 ℃, with majority of grains showing fall within 650 to 780 ℃ range. Age-data from plutons #1~3 are more or less identical and suggest Miocene magmatism possibly due to the trench-parallel ridge subduction that triggered partial melting in the overlying continental crust. Proterozoic cores suggest incorporation of the recycled crust during the magma formation. Pluton #4, yielding relatively younger age, may have resulted from partial melting of crust enriched in mafic component. Zircon trace element data, along with whole-rock major and trace element contents, also indicate the involvement of mafic component to generate the Koshikishima granitoids in a different tectonic scenario than the others.

Keywords: Zircon, U-Pb age, Miocene, Kagoshima Prefecture, Koshikishima

関門層群の年代の再検討：残された未解決問題

Chronological re-examination of the Kanmon Group, Southwest Japan: and remaining unsolved problems

*堤 之恭[1]、長谷川 遼[2]、磯﨑 行雄[3]
*Yukiyasu TSUTSUMI[1], Ryo Hasegawa[2], Yukio Isozaki[3]

1. 国立科学博物館、2. 富士フイルムビジネスイノベーション（株）、3. 東京大学大学院総合文化研究科
1. National Museum of Nature and Science, 2. FUJIFILM Business Innovation Corp., 3. Graduate school of Arts and Sciences, University of Tokyo

日本列島の白亜紀整然層の堆積場は，前弧・弧内・背弧盆地の3種類に分類される．前弧堆積物は主に海成層からなり，示準化石や放散虫化石等による精密な対比が可能である．一方，弧内・背弧盆地の陸成層については，対比精度が劣る非海棲生物化石と凝灰岩・火山岩の放射年代のみが年代推定手段だった．近年，ジルコン U-Pb 年代測定の精度が向上し，凝灰岩の噴出・堆積年代の決定（例：Hirayama et al., 2021; Kusuhashi et al., 2013）のみならず，砕屑性ジルコンを用いた後背地推定（例：Vermeesch, 2004）や年代制限（例：Dickinson & Gehrels, 2009）が可能となった．

西南日本の弧内堆積物は，九州北部から中国山地中央部に分布しており，特に関門層群は多くの研究がある．砕屑性ジルコン年代測定も行われた（Aoki et al., 2014）が，測定粒数が少なく統計的に有用（Vermeesch, 2004）とは言い難い．そこで，新たに砕屑性ジルコン年代の測定と検証を行った．測定結果と過去のジルコン年代データを表および図(A)に示す．なお，一部はAoki et al. (2014)と同一の試料を用いた．

下関亜層群の以前のデータは，堆積上限年代が層序学的に逆転したように見えていたが，おそらく測定数不足が原因だったと思われる．新たに得たYC1σは筋ヶ浜層で97 Ma，塩浜層で101 Maであり，下関亜層群最上部の堆積年代は，以前の見積（アルビアン後期）より若く，セノマニアン以降と考えられる．貫入する香春花崗岩の年代（94.8 ±0.9 Ma；堤・谷, 2022）を併せて考慮すると，同亜層群の上限はセノマニアンに限定される．一方，脇野亜層群最下部の千石層のYC1σは128 Maであり，吉母層の130 Maと近い値を示した．この結果より，従来推定された通り千石層は吉母層の同時異相であると思われるが，堆積年代はより若いバレミアン以降と考えられる（図B）．

一方で，矛盾点も顕わになった．北彦島層の「凝灰岩の年代」は106.3 ±1.0 Ma（Miyazaki et al., 2019）で，下位の塩浜層のYC1σより有意に古い．しかしながら，凝灰岩は砕屑性ジルコンの影響が大きい場合が少なく無い（例：Tsutsumi et al., 2017）．北彦島層のデータを砕屑性として扱うとYC1σは99.3 ±1.3 Maとなり，矛盾は解消される．もう一つの矛盾は，「下部若宮層が若すぎる」点にある．熊谷層（上部若宮層相当）の凝灰岩の年代が111.8 ±1.3 Ma（Miyazaki et al., 2019），砂岩のYC1σが114 Maであり，この2つの年代は調和的である．しかし，下部若宮層のYC1σは106 Ma（データはAoki et al., 2014より）と，有意に若い年代を示す．この矛盾を検証および解消するには，広域的かつ測定地点数を増やした追加調査が必要である．

Aoki et al. (2014) *Terra Nova*, **26**, 139-149.; Dickinson & Gehrels (2009) *EPSL* **288**, 115-125.; Hirayama et al. (2021) *Int. J. Paleobiol. Paleontol.*, **4**, 000122.; Imaoka et al. (1993) *J. Min. Petr. Econ. Geol.* **88**, 265-271.; Kusuhashi et al. (2013) *Proc. Royal Soc. B* **280**, 20130142.; 松本ほか (1982) *化石* **31**, 1-26.; 松浦 (1998) *岩鉱* **93**, 307-312.; Miyazaki et al. (2019) *Int. Geol. Rev.* **61**, 649-674.; Tsuysumi et al. (2017) *Island Arc* **26**, e12194.; 堤・谷 (2022) *地質学会要旨* **129**, T6-O-5.; Vermeesch (2004) *EPSL* **224**, 441-451.

キーワード：関門層群、砕屑性、ジルコン年代、砂岩、凝灰岩
Keywords: Kanmon Group, detrital, zircon age, sandstone, tuff

Table. Youngest age indexes for detrital zircons from each sample.

Sample		n of data		YSG	YC1σ			YC2σ		
		All	Conc.	Age (Ma)	Age (Ma)	n	MSWD	Age (Ma)	n	MSWD
Kanmon Group										
SJ*	Sujigahama Fm.	47	33	99.9 ± 1.9	101.0 ± 0.8	3	0.64	103.2 ± 0.4	9	2.16
SJH	Sujigahama Fm.	168	160	94.4 ± 1.7	96.6 ± 0.6	9	0.35	99.2 ± 0.3	42	0.92
SHI*	Shiohama Fm.	39	28	98.1 ± 1.1	98.7 ± 0.6	2	0.44	100.0 ± 0.5	5	2.36
SOH	Shiohama Fm.	155	148	98.4 ± 2.3	101.3 ± 0.9	30	0.43	104.6 ± 0.5	102	1.15
GMO	Kumagai Fm. (Eq. Upper Wakamiya Fm.)	56	47	102.1 ± 2.3	113.9 ± 0.9	2	0.93	113.5 ± 0.7	4	3.12
WA*	Lower Wakamiya Fm.	37	22	105.2 ± 1.0	105.5 ± 0.9	2	0.41	107.2 ± 0.5	4	2.05
SG	Sengoku Fm.	170	157	126.4 ± 3.3	127.6 ± 1.9	2	0.19	177.1 ± 0.9	10	3.30
Toyonishi Group										
YM*	Yoshimo Fm.	33	28	125.2 ± 1.8	221.8 ± 2.0	2	0.21	226.4 ± 1.4	3	6.02
YSM	Yoshimo Fm.	117	98	127.7 ± 1.7	129.7 ± 1.1	3	1.23	130.4 ± 0.9	4	1.51
KS*	Kiyosue Fm.	60	55	124.6 ± 1.1	135.4 ± 0.8	3	0.66	135.4 ± 0.8	3	0.66

Errors are 1σ, *: data from Aoki et al. (2014)

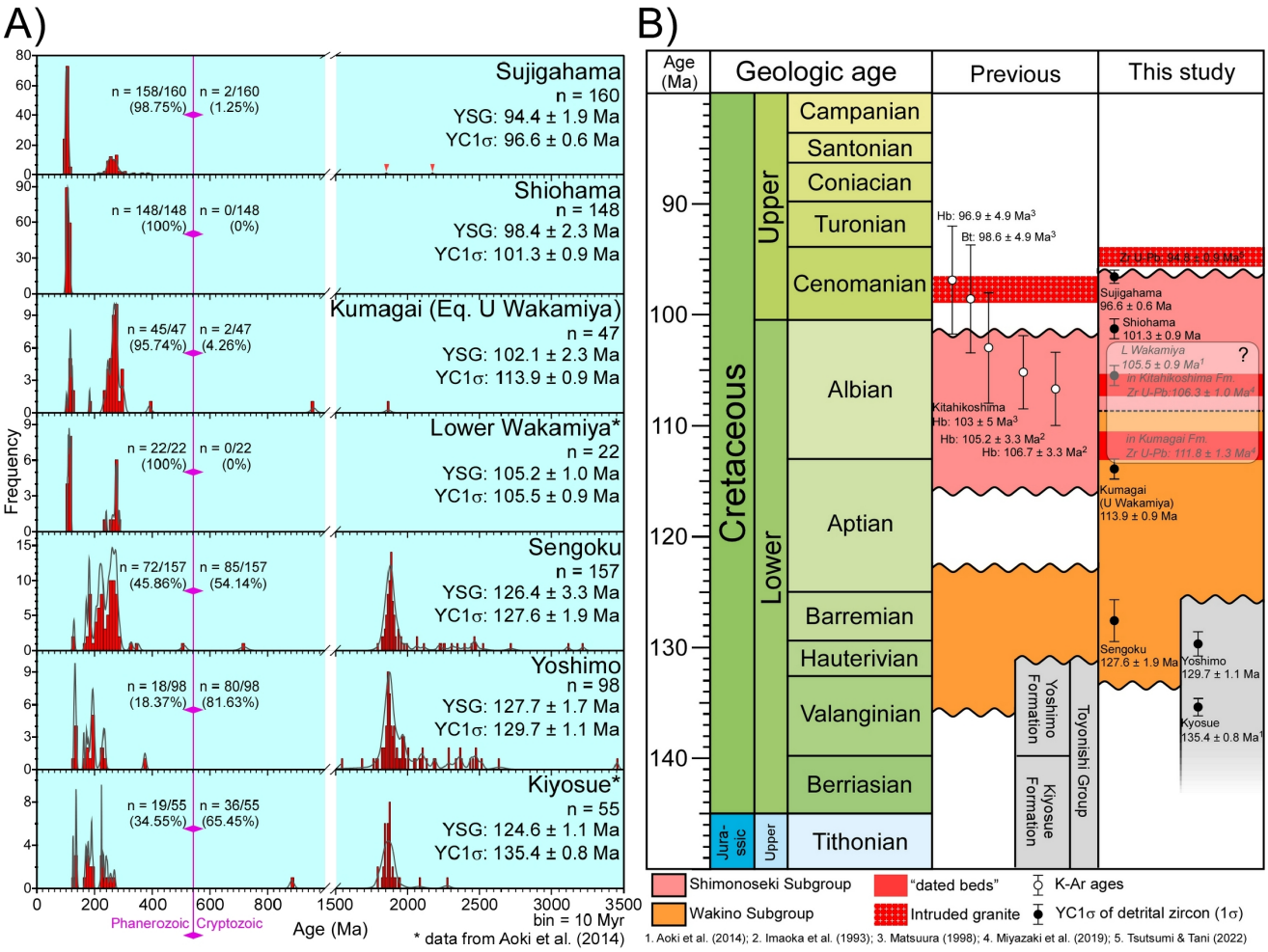


Figure. (A) Probability density diagrams and histograms of concordant age data from each sample. ^{238}U-$^{206}Pb^*$ ages are used for less than or equal to 1000 Ma data and $^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$ ages are used for the other data. (B) Stratigraphic charts of Kanmon Group. Previous age estimation is modified after Matusmoto et al. (1982).

近畿領家帯青山高原地域に産する花崗岩類のジルコンU-Pb年代

U-Pb zircon age of granitoids in the Aoyama area, Ryoke belt, SW Japan

*東野 文子[1]、河上 哲生[1]、坂田 周平[2]、工藤 駿平[1]、伊神 洋平[1]
*Fumiko HIGASHINO[1], Tetsuo KAWAKAMI[1], Shuhei SAKATA[2], Shunpei Kudo[1], Yohei IGAMI[1]

1. 京大・院理、2. 東大・地震研
1. Kyoto Univ. Sci., 2. Univ. Tokyo

領家帯は西南日本において約800kmにわたって分布し、主に白亜紀後期の高温低圧型変成岩類と、花崗岩類から構成される。花崗岩類に関しては、黒雲母および角閃石のK-Ar年代、黒雲母および全岩のRb-Sr年代が西から東にかけて若くなるということが知られている [1, 2]。しかし、ジルコンのU-Pb年代やCHIMEモナズ石年代は、この傾向に一致しないという報告もある [3, 4]。領家帯柳井地域や三河地域では、ジルコンU-Pb年代測定により、花崗岩類の固結年代が決定されているが、他地域の報告は未だ少ない [4-6]。近畿領家帯青山高原地域では、変成岩類と面構造を持たない花崗岩類が北部に、面構造を持つ花崗岩類が南部に広く露出する。これまで、貫入関係に基づく花崗岩類の分類が行われてきたが [7]、各岩相に対して、統一的な分析方法による年代測定は行われてこなかった。そこで本研究では、青山高原地域に産する5種の花崗岩類に対して、LA-ICPMSを用いたジルコンU-Pb年代測定を行った結果を報告する。

本研究では、加太花崗閃緑岩、阿保花崗岩、城立トーナル岩、美杉トーナル岩、君ヶ野花崗閃緑岩の年代測定をおこなった。阿保花崗岩は、2地点から採取した2試料を分析した。固結年代の推定においては、97-103 % のコンコーダンスを基準とし、CL像を用いて火成作用で晶出したと考えられる分析点を選定した。その結果、美杉トーナル岩以外の5試料では、得られた年代データのばらつきが大きく、加重平均年代を計算するに十分なデータの集中が得られなかった。そのため、各試料の固結年代は、加太花崗閃緑岩 ca. 83-75 Ma、阿保花崗岩 ca. 76-65 Ma および ca. 77-70 Ma、城立トーナル岩 ca. 92-84 Ma、美杉トーナル岩 75 ±1 Ma、君ヶ野花崗閃緑岩 ca. 110-99 Maと制約した。

ジルコン中の包有物は、いずれの花崗岩類においても、燐灰石、石英、アルバイト、カリ長石が多く、Caを含む斜長石はほとんど見られない。また、美杉トーナル岩中のジルコンを詳細に調べたところ、ca. 73 Maの年代値を示す領域に、SiO_2相・Na-rich相・燐灰石・ガラスを含む多相固体包有物が確認された。電子回折図形から、SiO_2相とNa-rich相は、それぞれcristobalite とkumdykoliteと同定された。kumdykoliteはアルバイトの高圧多形である。cristobalite とkumdykoliteの共存は、高温変成岩中のザクロ石に包有されるナノ花崗岩からの報告があり、非平衡組織であると解釈されている [8]。本研究で見いだされたcristobalite とkumdykoliteも先行研究同様に準安定相と考えられ、ジルコンに包有されたメルトから急速に結晶化した可能性がある。このように、ジルコン中の包有物を精査することで、花崗岩類が示す固結年代値および年代幅の意義を検討することが可能になると考えられる。

引用文献 [1] Nakajima (1994) Lithos. [2] Nakajima et al. (1990) CMP. [3] Suzuki & Adachi (1998) JMG. [4] Takatsuka et al. (2018) Island Arc. [5] Takatsuka et al. (2018) Lithos.[6] Skrzypek et al. (2016) Lithos. [7] 端山ほか (1982) 地質学雑誌. [8] Ferrero et al. (2016) CMP.

キーワード：花崗岩、ジルコン、メルト包有物、準安定相
Keywords: granite, zircon, melt inclusion, metastable phase

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

座長:湯口 貴史(熊本大学)、亀井 淳志(島根大学)

2023年9月16日(土) 10:15 〜 12:00 820 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

口頭講演 | R5：地球外物質

2023年9月16日(土) 14:00 ~ 15:00 | 821 杉本キャンパス

R5：地球外物質

座長:松本　恵　(東北大学)、山本 大貴(九州大学)、瀬戸 雄介(大阪公立大学)、橘 省吾(東京大学)

14:00 ~ 14:15

[R5-12] 星周非晶質ケイ酸塩ダストの化学組成の制約：Na-Mg-Al-Si-Ca-Fe-Ni-O系での凝縮実験

*榎本 華子[1]、瀧川 晶[1] (1. 東大・院地惑)

14:15 ~ 14:30

[R5-13] 原始太陽系円盤におけるプレソーラーSiC粒子の残存可能性に関する実験的研究

*山本 大貴[1]、瀧川 晶[2]、橘 省吾[2] (1. 九州大学、2. 東京大学)

14:30 ~ 14:45

[R5-14] メラノフロジャイト仮晶を含む多孔質な南極微隕石：氷衛星地下海からの放出物か，未知の太陽系外縁天体の物質か？

*野口 高明[1]、光成 拓也[2,3]、松本 里佳子[4,5]、山口 亮[6]、今栄 直也[6]、松本 徹[1]、荒木 暢[7]、湯澤 勇人[7]、三宅 亮[1] (1. 京都大・院理、2. 茨城大・理、3. 三菱電機ソフトウェア、4. 九州大・院理、5. 伊根町役場、6. 極地研、7. 分子研)

14:45 ~ 15:00

[R5-15] **地球鉱物と地球外の混合岩石物質の固体系での対比研究**

*三浦 保範[1] (1. 元・予定（山口大・院理）)

[zoom] Zoom

星周非晶質ケイ酸塩ダストの化学組成の制約：Na-Mg-Al-Si-Ca-Fe-Ni-O系での凝縮実験

Chemical Composition of Circumstellar Amorphous Silicate Dust: Condensation Experiments in the Na-Mg-Al-Si-Ca-Fe-Ni-O System

*榎本 華子[1]、瀧川 晶[1]
*Hanako Enomoto[1], Aki Takigawa[1]

1. 東大・院地惑
1. UTokyo

中小質量星が進化した漸近巨星分枝（AGB）星周ダストは，多くのプレソーラー粒子の起源であることが知られており[1]，AGB星からの質量放出風のような高温ガスの急冷場は，彗星塵の主要物質GEMS（Glass with embedded metal and sulfides）の組織を再現できる環境としても重要である[2].

酸素が豊富なAGB星の赤外分光観測では，10 μmと18 μmに，それぞれ非晶質ケイ酸塩のSiO_4四面体中のSi-O伸縮とO-Si-O変角に由来するピークが確認されている．しかし，化学組成，温度，構造，サイズなどの複数の要素が縮退した観測スペクトルのみから特に非晶質ダストの性質を一意に定めることは困難である．これまで様々なMg/Si比やMg/Fe比を持つ非晶質ケイ酸塩ダスト模擬物質が合成されてきたが[3, 4]，限られた組成範囲でしか実験は行われておらず，観測される多様なダストの化学組成や構造の決定には至っていない．

そこで本研究では，CIコンドライト組成を基準にNa-Mg-Al-Si-Ca-Fe-Ni-O系で組成を系統的に変化させて気相凝縮実験を行った．組成の変化と生成物の赤外スペクトルの対応を調べ，観測スペクトルと比較してAGB星周ダストの化学組成の制約を試みる．

凝縮実験は誘導熱プラズマ（induction thermal plasma: ITP）装置（TP-40020NPS, JEOL [2]）を用いて行った．この装置では，粉末状の出発試料を~10^4 Kのプラズマ炎に投入し即座に気化させ，急冷（$10^{4\text{-}5}$ K/s）させることでナノ粒子が凝縮する．出発物質は，Na_2SiO_3，MgO，Al，$CaCO_3$，Fe，Ni，SiO_2のミクロンサイズの粉末試薬（Kojundo Chemical Lab. Co., Ltd.）の混合物である．出発物質の組成を変え，８回の実験を実施した（表1）．

生成物を粉末X線回折(XRD; Rigaku Rint-2100)，電界放出型電子線マイクロアナライザー（FE-EPMA; JEOL JXA-8530F），透過型電子顕微鏡（FE-STEM; JEOL JSM-2800）で分析し，KBrペレットに埋め込んでフーリエ変換赤外分光法（FT-IR; FT/IR-4200 JASCO）により赤外スペクトルを測定した．

TEM観察により，凝縮物は20–80 nm程度の大きさの非晶質ケイ酸塩粒子であることがわかった．XRDでは出発物質の蒸発残渣とみられるピークが確認されたが，EPMAとTEM分析の結果，凝縮した非晶質ケイ酸塩粒子のバルク組成は出発物質とほぼ変わらず，蒸発残渣による化学組成変化の影響は無視できる程度に小さいことがわかった．

得られた赤外スペクトルの比較から，以下(1)–(5)が示された．(1) 非晶質ケイ酸塩内部の金属粒子は12 μm以降の強度をやや増加させるが，スペクトルに大きな影響を与えない．(2) Al含有量の増加に伴い，10，18 μmのケイ酸塩ピークは長波長へシフトするとともに，11，14 μmにそれぞれAlO_4四面体結合中のAl–O-Al振動，孤立したAlO_4四面体またはAlO_5六面体中のAl–O伸縮に由来するピークが現れる．(3) Ca含有量の増加に伴い，10，18 μmのケイ酸塩ピークは長波長へシフトする．(4) CIコンドライト組成のもとでのCa，Naの有無は，ペクトルに大きな影響を与えない．(5)ITPを用いた先行研究[5]の非晶質$MgSiO_3$と，本実験$Al_8Si_{100}Mg_{103}$との比較から，Alの存在により20 μm以降のスペクトルは上に凸のブロードフィーチャーを示す．

Al/Si比を様々に変えた実験生成物の赤外スペクトルとAGB星Z Cygの観測[6]との比較から，AGB星周ダストはCIコンドライト組成[7]よりもAlに富んでおり，Al/Siは0.08~ 0.75であると考えられる．しかし，AGB星起源とされる非晶質ケイ酸塩プレソーラー粒子の多くはAlに乏しい（<~1 at%）ことから[8]，AGB星周非晶質ケ

イ酸塩ダストはAlに富んだものと，Alに乏しいものの混合物である可能性がある．

[1] Nguyen A. N. et al. (2016) *ApJ*, **818**, 51. [2] Kim T. H. et al. (2021) *A&A*, **656**, A42. [3] Jäger C. et al. (2003) *A&A*,**408**,193. [4] Dorschner J. et al. (1995) *A&A*, **300**, 503. [5] Imai (2012) Ph.D. thesis. [6] Onaka T. et al. (2002) *A&A*, **388**, 573. [7] Lodders K. et al. (2009) *Landolt-Börnstein* (Springer) [8] Vollmer C. et al., (2009) *ApJ*, **700**, 774.

キーワード：星周ダスト、非晶質ケイ酸塩、実験
Keywords: circumstellar dust, amorphous silicate, experiment

表 1　出発物質の化学組成

実験	Mg	Si	Fe	Al	Ca	Na	Ni
CI-02	1.03	1.00	0.85	0.08	0.06	0.06	0.05
CI-03	1.03	1.00	-	0.08	0.06	0.06	-
CI-04	1.03	1.00	-	0.75	0.06	0.06	-
$Al_8Si_{100}Mg_{103}$	1.03	1.00	-	0.08	-	-	-
$Al_{31}Si_{100}Mg_{103}$	1.03	1.00	-	0.31	-	-	-
$Al_{64}Si_{100}Mg_{103}$	1.03	1.00	-	0.64	-	-	-
$Al_8Si_{100}Ca_{103}$	-	1.00	-	0.08	1.03	-	-
$Al_8Si_{100}Mg_{51.5}Ca_{51.5}$	0.515	1.00	-	0.08	0.515	-	-

原始太陽系円盤におけるプレソーラーSiC粒子の残存可能性に関する実験的研究

Survivability of presolar SiC grains in the protosolar disk: An experimental study

*山本 大貴[1]、瀧川 晶[2]、橘 省吾[2]
*Daiki YAMAMOTO[1], Aki TAKIGAWA[2], Shogo TACHIBANA[2]

1. 九州大学、2. 東京大学
1. Kyushu University, 2. University of Tokyo

プレソーラーSiC 粒子は、原始太陽系円盤の酸化的環境下では蒸発反応を起こすため (Larimer and Bartholomay, 1979)、円盤の円盤物理化学条件 (温度、圧力等) の指標となり得る。円盤でSiCは、酸化還元状態に応じてSiO_2残渣層を形成しないアクティブ酸化またはSiO_2残渣層を形成しSiO_2が蒸発するパッシブ酸化を経験する (e.g., Narushima et al., 1997)。Mendybaev et al. (2002) では、1気圧の酸素分圧をコントロールした様々な酸化還元環境化でSiC蒸発実験をおこなった。その結果、酸化的な環境下 (IW-03) では、SiO_2残渣層の形成が確認され、一方還元的な環境下では (IW-06) ではSiO_2残渣層が形成されない (または極めて薄い) ことが確認された。SiO_2残渣層は円盤ガス・SiC間の直接の接触を妨げることでSiC蒸発速度を左右する。更に始原的隕石中のプレソーラーSiC粒子表面に見られる10–30 nm程度の酸化リム (Bernatowicz et al., 2006) の起源においても重要である。SiC蒸発速度やメカニズムは、ガス分圧やガス組成に関連している可能性があり、1気圧条件での反応速度を円盤環境での反応速度に直接応用できない可能性がある。そのため、本研究では、原始太陽系円盤でのプレソーラーSiC粒子の残存可能性の理解のため、円盤を模した低圧H_2-H_2O混合ガス環境下でのSiCの蒸発実験をおこなった。

実験出発物質には、主要なプレソーラーSiC粒子の多形であるβ-SiCのチップを用いた。加熱実験には、ガス供給系を備えた真空高温加熱縦型炉を用いて、温度1250–1450˚C、H_2-H_2O混合ガス圧力0.5, 2.5 Paで4–110.3 hおこなった。ガス供給系では、室温でのH_2Oからの蒸発ガスとガスボンベから供給されるH_2ガスとが混合され、H_2Oの消費量から推定したP_{H2O}は、全圧0.5, 2.5 Paの実験でそれぞれP_{H2O} = 2.2 ×10^{-3} Pa, 6.0 ×10^{-3} Paであった。また全圧2.5 Paの一部の実験では、H_2Oを50, 75˚Cに加熱し室温での飽和水蒸気圧を作り出すことで、P_{H2O} = 3.7 ×10^{-2} Paの条件での実験もおこなった。サンプル質量変化から蒸発量の推定をおこなった。いくつかのサンプルに関してFIB切片を作成し、透過型電子顕微鏡 (STEM-EDS; JEOL JEM-2800) で観察をおこなった。

STEM-EDS分析から表面に酸素を含む極めて薄い層 (~5–10 nm) の存在が確認され、パッシブ酸化を通した蒸発の可能性が示唆された。これは、プレソーラーSiC粒子表面の酸化リムが円盤でも形成可能であることを示唆する。蒸発速度k (cm s^{-1}) は質量損失と初期サンプルサイズにより推定し (Takigawa et al., 2009)、蒸発フラックスJ (g cm^{-2} s^{-1}) に変換した。Jは1350–1450˚Cの高温領域では温度にほとんど依存しない一方、ガス圧・ガス組成に依存した。1300˚C以下の低温領域では、Jは大きく温度に依存し、ばらつきの範囲内で異なるガス条件の結果は一致し、さらに先行研究 (Mendybaev et al., 2002) のIW-03, IW-06条件でのJと近い値を示した。高温領域においてJの小さな温度依存性は、ガス供給 (ガス供給速度に律速されたSiO_2形成速度) が律速段階である可能性を示す。高温領域でのJは、P_{H2O}の平方根に依存したことから、表面でのH_2O分子の乖離が蒸発速度に関係している可能性がある。一方低温領域では、Jがガス種に非依存、また非常に薄いSiO_2残渣層であったことを考慮すると、SiC-SiO_2界面反応が反応速度を律速している可能性があり、本研究で得られた活性化エネルギー (~531 kJ mol^{-1}) が先行研究で報告しているSiC-SiO_2界面反応における活性化エネルギー

(~548–563 kJ mol^{-1}; (Pultz & Hertl, 1966; Mendybaev et al., 2002)) と整合的であることも説明可能である。

本研究で得られた蒸発速度に基づくと、プレソーラーSiC粒子は溶融CAI形成をもたらした熱的イベント (~1400°C, P_{H2O} > 0.1 Pa, 2–3日; Yamamoto et al., 2021) において完全に蒸発する可能性がある。また、プレソーラーSiC粒子は、酸素同位体交換により同位体的特徴を失うプレソーラーケイ酸塩粒子に対して高温で残存する可能性があるが、プレソーラーコランダムが円盤ガスと酸素同位体交換をする温度領域においては、プレソーラーコランダムより先に蒸発し消失する可能性があることがわかった。

キーワード：プレソーラー粒子、シリコンカーバイド (SiC)、蒸発/酸化、速度論、原始太陽系円盤
Keywords: Presolar grains, Silicon carbide (SiC), Evaporation/Oxidation, Kinetics, Protosolar disk

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

メラノフロジャイト仮晶を含む多孔質な南極微隕石：氷衛星地下海からの放出物か，未知の太陽系外縁天体の物質か？

Antarctic micrometeorites containing pseudomorphs of melanophlogite: Dust from the sub-surface ocean of icy satellites or from an unknown type of trans-Neptunian objects?

*野口 高明[1]、光成 拓也[2,3]、松本 里佳子[4,5]、山口 亮[6]、今栄 直也[6]、松本 徹[1]、荒木 暢[7]、湯澤 勇人[7]、三宅 亮[1]
*Takaaki NOGUCHI[1], Takuya Mitsunari[2,3], Rikako Matsumoto[4,5], Akira Yamaguchi[6], Naoya Imae[6], Toru Matsumoto[1], Toru Araki[7], Hayato Yuzawa[7], Akira Miyake[1]

1. 京都大・院理、2. 茨城大・理、3. 三菱電機ソフトウェア、4. 九州大・院理、5. 伊根町役場、6. 極地研、7. 分子研
1. Kyoto Univ. Sci., 2. Ibaraki Univ. Sci., 3. Mitsubishi Elect. Soft. Co., 4. Kyushu Univ. Sci., 5. Ine T.H., 6. NIPR, 7. IMS

原始太陽系円盤ではシリカ鉱物は比較的まれな鉱物である。明らかな円盤内凝縮物は，Y-793261 CRコンドライトのアメーバ状オリビンアグリゲート(AOA)に含まれる石英である[1]。コンドライト，エコンドライト，南極微隕石(AMMs)，惑星間塵(IDPs)，81P/Wild 2彗星からスターダスト探査機が回収した試料にもシリカ鉱物は含まれるが，融液からの結晶化，あるいは，母天体の熱変成過程で形成されたものと考えられる[e.g. 2–6]。本研究では，AMMs中に，熱水環境で熱水溶液から形成されたと考えられるシリカ鉱物を見出したので報告する。

2つのAMM，D10IB324とD12IB086は，2010年と2012年にドームふじ基地近くから回収した表層雪より発見された。どちらも多孔質であり，SEM-EDSによるバルク定性分析から，コンドライト的組成に多く含まれる元素であるO, Mg, Si, Fe, Sの内で，Mg Kα線強度が明らかに低く，Si Kα線強度が高い。

D10IB324は，ほぼSiO_2からFeに非常に乏しいサポナイトとの間に連続的な組成を持つ非晶質物質（サポナイトに近い組成の部分は約1.0 nmの格子縞を持つ層状珪酸塩に置換），正方形形状のSiO_2（電子線回折は石英で指数付け可）を多量に含み，<50 nmの磁硫鉄鉱を多く含む物体（GEMS様物体とここではよぶ），>200 nmの磁硫鉄鉱，低Ca輝石も含む。D12IB086はより水質変成の程度が高く，非常に多孔質であるにもかかわらず，多量のフィラメント状の，ほぼSiO_2からFeに非常に乏しいサポナイトとの間に連続的な組成を持つ非晶質物質（サポナイトに近い組成の部分は約1.0 nmの格子縞を持つ層状珪酸塩に置換）, GEMS様物体，>200 nmの磁硫鉄鉱，低および高Ca輝石，正方形形状のSiO_2（電子線回折は石英で指数付け可），分解して約10 nmサイズの酸化物集合体となっているMg-Fe炭酸塩分解物からなる。どちらにもかんらん石は含まれない。これらのAMMsに含まれるSiO_2結晶は例外なく立方体形状である。そのような（擬）立方体形状でも産するシリカ鉱物として，クラスラシルの一種であるメラノフロジャイト$46SiO_2{\cdot}6(N_2, CO_2){\cdot}2(CH_4, N_2)$がある [e.g. 7]。メラノフロジャイトの形成には，これら小さいガス分子の存在下で，ガスがテンプレートとして働くことが重要である［e.g. 8］。このことは，これらAMMsの前駆物質は，これらのガス分子の存在下でSiO_2に富む熱水から結晶化したことを示唆する。現状ではガス分子が残留しているかは確認できていないが，引き続き分析を計画している。

このような環境を達成でき，惑星間空間に形成した物質を放出している既知の太陽系天体は，地下海から盛んに間欠泉を噴出している土星の衛星エンケラドスや，噴出物が地表に分布する木星の衛星のエウロパである。しかし，これらのAMMsの輝石とロダー石 $(Na,K)_2(Mg,Fe)_5Si_{12}O_{30}$には$>5 \times 10^{10}$ cm^{-2}を越える太陽フレアトラックが含まれる。 [9]によると，そのようなIDPsやAMMsの母天体は太陽系外縁天体とされる。高トラック数密度は，太陽系外縁天体にも内部海を持ちかつて盛んな質量放出をした天体が存在したことを示唆するのか，ダストが木星や土星の重力圏から離脱して地球にまで到達するのに長期間かかったことを示すのか，今後更に検討が必要である。

References [1] Komatsu et al. 2018 PNAS 115, 7497–7502. [2] Rubin and Ma 2021. Meteorite Mineralogy. Cambridge Univ. Press. [3] Imae et al. 2013 GCA 100, 116-157. [4] Mikouchi et al. 2007 38th LPSC 1946 (abstract). [5] Matrajt et al. 2008 MaPS 43, 315–334. [6] Rietmeijer and McKay 1986 Meteoritics 743 (abstract). [7] Momma 2014 Phys. Condens. Matter 26, 103203. [8] D’ Alessio et al. 2019 Microporous Mesoporous Mater. 286, 9-17. [9] Keller and Flynn 2022 Nat. Astronom. 6, 731-735.

キーワード：南極微隕石、メラノフロジャイト、内部海、太陽フレアトラック
Keywords: AMM, melanophlogite, sub-surface ocean, solar flare track

地球鉱物と地球外の混合岩石物質の固体系での対比研究

Studies of Earth’s minerals and rocky mixtures beyond Earth

*三浦 保範[1]
*Yasunori MIURA[1]

1. 元・予定（山口大・院理）
1. Post Yamaguchi Univ. Sci.

はじめに：地球定義の鉱物が1970年頃の地球外物質の月面、南極・炭素隕石のミクロ分析研究のために地球外鉱物の名称を使用した。1986年頃月アポロ試料の国内で紹介をしたが光学的な観察で「鉱物」で紹介した。月や隕石の鉱物（斜長石）や衝撃変成物の分析結晶構造解析も行った。EPMA分析で地球内外鉱物報告レビューをした。地球鉱物は多様な実験授業を行った。アポロ月試料の斜長石は地球と異なっていた。地球三状態の全圏活動生成鉱物と他天体物質を区別するのが本目的である。

長時間継続形成: 地球の3圏の状態変化では若い鉱物が継続的に形成され組成構造の定義が可能である。造岩鉱物のシリカ・斜長石構造がマクロ結晶で広く分布するが、衝撃変成石英（斜長石）は急冷形成で不規則な歪（ガラス化）を示す。地球外に大結晶（石英・長石）が無い事を示す。

海水圏の有無: 液体層は固体-気体相図の中間相なので長期存在するには現在の穏やかな海水圏でなく全圏活動で急な高温・冷却過程で存在できる。海水の全圏は3圏で循環可能な状態変化の活動が必要で海水圏鉱物を多量形成する。地球外には無いです。

三圏地球での地球外分析の問題点: 3圏惑星が形成された継続的な活動惑星でないと生命有機物形成は長期的に継続存在できない。地球外の運搬試料を地球内分析の場合は地球の3圏反応下での汚染には要注意である。

地球の地域と全圏生成物の問題点: 活動地球惑星の継続成長で各地での地域地学と全圏での全圏地学が三圏惑星に混在するが両見方は大切で全圏的視野での研究教育がこれから望まれる。

日本の大学研究機関の大切な点:大学研究では地球物質の教育研究の人材育成が大切です（学位）。

まとめ:１）地球の鉱物は3圏の活動的な状態変化で形成される。地球外で海水圏の無いと地球型のミクロ結晶化は困難である。２）形成議論はミクロ鉱物でできる。地球外の不純物の多いマクロな粒形は鉱物名称でないと分類での指定ができない。３）地球には局所と全域現象がある。４）全圏的固体圏の形成は海水圏が関与する[1-3]。

参考文献： [1]日本の結晶学（1988）16.山口大学.271-272 . [2] Miura Y. (2018) IMA-2018 (Melbourne、Aus.) 2039. [3] Miura Y. (2021) JAMS, R501-P01 (Hiroshima).

キーワード：地球鉱物、岩石状混合物、隕石、月、海洋圏
Keywords: Earth mineral , Rocky mixtures, Meteorite, The Moon, Ocean system

口頭講演

R5：地球外物質

座長:松本　恵　(東北大学)、山本 大貴(九州大学)、瀬戸 雄介(大阪公立大学)、橘 省吾(東京大学)
2023年9月16日(土) 14:00 〜 15:00 821 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

口頭講演 | R3：高圧科学・地球深部

🏛2023年9月16日(土) 14:00 ~ 15:00 | 🏛822 杉本キャンパス

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)、境 毅(愛媛大学)、西 真之(大阪大学)

14:00 ~ 14:15

[R3-12] 高温における酸素に富む火星核の形成過程

*大谷 栄治[1]、マクドノア ウイリアム[1,2] (1. 東北大学、2. メリーランド大学)

14:15 ~ 14:30

[R3-13] 静的圧縮によるアルミニウムの微細組織の形成過程

*奥地 拓生[1,2]、田中 友登[2,1]、富岡 尚敬[3]、佐野 智一[4]、松田 朋己[4]、荒河 一渡[5]、瀬戸 雄介[6] (1. 京都大・複合研、2. 京都大・院工・機械、3. 海洋研究開発機構・高知コア研、4. 阪大・院工、5. 島根大・たたらセンター、6. 大阪公立大・院理)

14:30 ~ 14:45

[R3-14] 天然及び合成による鉱物微細組織の分析電顕による 定量化学分析

*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)

14:45 ~ 15:00

[R3-15] ガラス状炭素の高温高圧下での直接変換による多結晶ダイヤモンドの合成

小川 千夏[1]、*入舩 徹男[1]、井上 紗綾子[1]、國本 健広[1]、新名 亨[1]、鈴村 明政[2]、伊藤 正一[2] (1. 愛媛大学・GRC、2. 京都大学・理)

[zoom] Zoom

高温における酸素に富む火星核の形成過程

High temperature formation of the oxygen-rich Martian core

*大谷 栄治[1]、マクドノア ウイリアム[1,2]
*Eiji OHTANI[1], William F McDonough[1,2]

1. 東北大学、2. メリーランド大学
1. Tohoku University, 2. University of Maryland

火星探査機インサイトによる観測によって，火星の核がこれまでの予想に比べて大きいことが明らかになり，火星の核は，これまで推定していたよりも軽元素を多く含むことが明らかになった，軽元素の有力な候補として，硫黄が提案されこれが主流の考え方になっている．しかし，コンドライト隕石の硫黄量から推定される火星核の硫黄量は少なく，硫黄以外の元素が火星核の主要な軽元素になっている可能性がある． SNC隕石のW-Hf同位体から推定される火星の核の形成時期は~5 Ma程度と早く，26Alなどの消滅核種の存在から,火星の核は非常に高温で形成されたことが示唆される．金属鉄とケイ酸塩の間の硫黄と酸素の元素分配の実験によると，火星マントルのリキダス温度に比べて400-600K高温では，核中に多量の酸素が固溶する．したがって，火星の核が太陽系初期の高温時に分離したとすると，火星核の主要元素は硫黄ではなく酸素であると可能性が高い．鉄一酸素一硫黄系では，高温高圧で液相不混和状態が存在する．火星核の冷却にしたがって，火星核は均質な液体核から，酸素の多い液体核と金属鉄を内核として分離した可能性ある．液相不混和にともなう火星核の液体組成の変化が，初期に存在しその後消失した火星ダイナモの変化を説明できる可能性がある．

キーワード：火星核、酸素、液相不混和
Keywords: Martian core, Oxygen, liquid immscibility

静的圧縮によるアルミニウムの微細組織の形成過程

Microtexture evolution of pure aluminum severely deformed at static high pressures

*奥地 拓生[1,2]、田中 友登[2,1]、富岡 尚敬[3]、佐野 智一[4]、松田 朋己[4]、荒河 一渡[5]、瀬戸 雄介[6]
*Takuo OKUCHI[1,2], Yuto TANAKA[2,1], Naotaka TOMIOKA[3], Tomokazu SANO[4], Tomoki MATSUDA[4], Kazuto ARAKAWA[5], Yusuke SETO[6]

1. 京都大・複合研、2. 京都大・院工・機械、3. 海洋研究開発機構・高知コア研、4. 阪大・院工、5. 島根大・たたらセンター、6. 大阪公立大・院理
1. Kyoto Univ. KURNS, 2. Kyoto Univ. Mech. Eng., 3. Kochi JAMSTEC, 4. Osaka Univ. Eng., 5. Shimane Univ. NEXTA, 6. Osaka Metropolitan Univ. Sci.

アルミニウムは代表的な軽金属材料の一つであり、その軽さ、加工しやすさ、延性を活かして多種多様な工学の用途に使われている。純金属として製造されたアルミニウムはそのままでは柔らかすぎるので、強い塑性変形（Severe Plastic Deformation: SPD）の手法によって強化される。SPDによってアルミニウムが強化される際には、その微細組織中の転位密度の増加が特に重要である。強化されたアルミニウムが、オリジナルの特徴である延性を大きく失わないようにするためには、超微細結晶粒が微細組織内部に形成される必要がある．そこで本研究では、静的な高圧力の環境をアルミニウムに与えながらSPDを引き起こすことで微細組織を形成させつつ、転位の密度増加や超微細結晶粒化等の組織形成過程を、従来とは異なる形で制御することを試みた。 特に高密度転位と超微細結晶粒を共存させ得る方法として、高圧力の環境に由来する組織形成の特徴的な過程を調べた。実験ではダイアモンドアンビルセル型圧力発生装置を用いて多様な圧縮条件と圧縮方法でアルミニウムを静的に圧縮しつつ変形させ，ひずみ量をできる限り大きく増加させた。得られた試料を透過型電子顕微鏡で観察することで微細組織の高分解能観察を行った。以上の実験の結果から、静的な高圧力環境でSPDが進む際の転位の増殖と超微細結晶化の機構を観察した。また超微細結晶化する際の転位の再配列の過程を段階的に可視化してその全体像を解明した。以上の手順により静的な高圧力環境におけるアルミニウムの微細組織の形成の過程を支配する要因を明らかにした。

キーワード：金属微細組織、静的高圧力、応力場、転位、アルミニウム
Keywords: Microtexture of metal, Static high pressure, Stress field, Dislocation, Aluminium

天然及び合成による鉱物微細組織の分析電顕による 定量化学分析

Quantitative chemical analysis of the fine textures of natural and synthetic materials using ATEM

*藤野 清志[1]、富岡 尚敬[2]、大藤 弘明[3]
*Kiyoshi FUJINO[1], Naotaka TOMIOKA[2], Hiroaki OHFUJI[3]

1. 無所属、2. 海洋研究開発機構、3. 東北大
1. Non, 2. JAMSTEC, 3. Tohoku Univ.

1. はじめに

天然の鉱物及び合成による生成物の微細組織の化学組成分析には，分析電顕は欠かせない．特に，粒径の小さな事の多い高圧合成試料の解析にはなくてはならない．しかし，分析電顕による微細組織の吸収補正による定量化学分析は，未だ確立されているとは言えない．それは，測定点の吸収補正計算でどのような厚さを用いたら良いか，またその厚さは実際の厚さに等しいかどうかが，確立されてないためである．我々はこの問題を解決するために，化学組成と厚さの分かったガーネットとオリビン試料を用いて，吸収補正計算で各種の試みを行った．その結果，精度の良い定量化学組成値を得る方法を見い出したので，報告する．

２．分析電顕による定量化学分析の問題点

分析電顕による鉱物の定量化学分析には，CLiff-Lorimerの式（1975）にGoldsteinらの吸収補正項 k_{ir} (1977)を組み込んだ以下の式が広く用いられている．

$C_i / C_r = k_{ir} (X_i / X_r)$ $(i = 1, 2, , ,)$ (1)

ここに，C_i, C_r はそれぞれ i 及び参照元素 r (ケイ酸塩鉱物では Si が用いられる)の化学組成，X_i, X_r は i 及び r 元素の特性X線カウント数である．この k_{ir} に，測定点の薄膜の厚さが含まれる．最近の分析電顕に組み込まれた吸収補正計算のソフトウエアでは，ほぼこの計算式が用いられている．問題は，これらのソフトウエアで測定点の厚さを入力すれば，正しい化学組成が得られるかどうかであるが，我々が行った実験では，正しい化学組成値は得られなかった．実際の分析電顕による定量分析の運用をみてみると，面倒な測定点の厚さを求めることはせずに，いろいろな薄膜の厚さをソフトウエアに入力して定量計算結果を得ているのが現状である．

分析電顕による定量計算では，酸素も他の元素と同様に扱う方法（以下“酸素独立”と称す）と，酸素以外の元素を酸化物として扱い，酸素は独立の元素として扱わない方法（以下“酸化物”と称す）がある．前者の場合は，薄膜の厚さとして計算の結果得られる酸素や Si などの特定の元素の値が理想化学式に合うような厚さを選ぶ，あるいは計算の結果電荷中和が得られるような厚さを選ぶ（Van Cappellen and Doukhan, 1994）等のことが行われる．一方，後者の場合は，計算の結果得られる酸素やSiの値が理想化学式に合うような厚さを選ぶ等のことが行われる．しかし，いずれの場合もどのように測定点の厚さを選べば正確な化学組成が得られるかが確立されておらず，そのとき選んだ薄膜の厚さが実際の厚さと同じかどうかについても，ほとんど議論されてこなかった．

我々は，同じガーネットの試料を異なる200 kVの分析電顕システムA,Bで，またオリビンの試料をシステムBで定量化学分析を行った．その結果，いずれのシステムでも実測の厚さでは正確な化学組成は得られないことが判明した．

３．正確な化学組成を得る新たな解析法

我々は，分析電顕で正確な化学組成を得る新たな方法として，以下に述べるSSRを用いるのが有効であることを見い出した．

$SSR(t) = [n_1 - \{n_{11}(t) + . .\}]^2 + . . + [n_i - \{n_{i1}(t) + . . + n_{ij}(t) + . .\}]^2 + . .$ (2)

ここに t は吸収補正計算で用いた測定点の厚さ，n_i は分析試料の i サイトの理想原子％，$n_{i1}(t) + . . + n_{ij}(t) + . .$ は吸収補正計算で得られた i サイトを占める各種イオンの原子％の和である．(2)式は，SSR(t)が試料のすべて

の原子サイトの n_iと計算で得られた i サイトのイオンの総和との差の二乗和を示す．このSSRの値が最小となる厚さ t での計算ソフトウエアの値が，最適な化学組成を与えることが判明した．

　　各試料についての計算の結果，”酸素独立”の計算の場合より”酸化物”の計算の場合の方が，SSRの最小値が低くなることが判明した．以下，詳細については，講演で述べる．

キーワード：分析透過電顕、定量化学分析、吸収補正
Keywords: Analytical TEM, Quantitative chemical analysis, Absorption correction

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ガラス状炭素の高温高圧下での直接変換による多結晶ダイヤモンドの合成

Synthesis of polycrystalline diamond from glassy carbon by direct conversion at high pressure and temperature

小川 千夏[1]、*入舩 徹男[1]、井上 紗綾子[1]、國本 健広[1]、新名 亨[1]、鈴村 明政[2]、伊藤 正一[2]
Chinatsu Ogawa[1], *Tetsuo Irifune[1], Sayako Inoue[1], Takehiro Kunimoto[1], Toru Shinmei[1], Akimasa Suzumura[2], Shoichi Itoh[2]

1. 愛媛大学・GRC、2. 京都大学・理
1. Ehime University, 2. Kyoto University

ガラス状炭素（グラッシーカーボン）バルク体を出発物質として、マルチアンビル高圧装置を用いて圧力9, 12, 15 GPa、温度2300℃までの条件下での直接変換によるダイヤモンド合成を行った。圧力15 GPaにおける純粋なダイヤモンド多結晶が合成可能な温度下限は1700℃程度であり、グラファイトバルク体を出発物質に用いた場合に比べて600℃程度低下する。一方、圧力12 GPaにおいては、純粋なダイヤモンド多結晶体合成温度下限は急激に上昇し約2300℃であり、更により低圧の9 GPaでは3000℃程度の高温が必要であると推定された。

いくつかの合成試料に対してTEM観察を行ったところ、9 GPaと12 GPaで2000℃付近で合成された試料においては、ガラス状炭素中においてグラファイト的層状構造の発達が認められた。このような、ガラス状炭素中におけるグラファイトの準安定的生成が、ダイヤモンドへの転換を阻害し、15 GPa以下の圧力下における純粋なダイヤモンド合成温度の上昇をもたらしたと理解される。我々の研究により、ガラス状炭素を出発物質として用いた純粋な多結晶ダイヤモンドの合成には、20-25 GPaの圧力では2000℃近い温度が必要であることが報告されており、15 GPa付近の圧力において最も低温条件下での合成が可能であることが示された。

15 GPaで得られた純粋なダイヤモンド多結晶体は、ナノ領域（<100 nm）の粒径をもつナノ多結晶ダイヤモンド（NPD）であるが、12 GPaで得られたダイヤモンド多結晶体においては、部分的に数ミクロンに達する粒成長が認められ、NPDの合成は困難であった。また、12 GPaで得られたダイヤモンド多結晶体のヌープ硬度は90 GPa程度であり、グラファイトから合成されたNPDに比べてあまり高くなく、我々の先行研究の結果と整合的である。

キーワード：ダイヤモンド、高圧合成、ナノ多結晶、ガラス状炭素、TEM観察
Keywords: diamond, high-pressure synthesis, nano-polycrystals, glassy carbon, TEM observations

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

口頭講演

R3：高圧科学・地球深部

座長:川添 貴章(広島大学)、境 毅(愛媛大学)、西 真之(大阪大学)

2023年9月16日(土) 14:00 〜 15:00 822 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

ポスター | S1: 火成作用のダイナミクス (スペシャルセッション)

2023年9月16日(土) 12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

S1: 火成作用のダイナミクス (スペシャルセッション)

12:00 ~ 14:00

[S1P-01] 妙高火山のマグマ溜まりへのK_2Oに富むマグマの注入

*浜田 盛久[1]、Rose-Koga Estelle[2]、Koga Kenneth[2]、清水 健二[1]、牛久保 孝行[1]、原田 英男[3]、Auer Andreas[4]、山口 佳昭[3] (1. JAMSTEC、2. ISTO, CNRS-Universite d'Orleans、3. 信州大学、4. 島根大学)

12:00 ~ 14:00

[S1P-02] 石基ガラスの揮発性成分の濃度分布から推定される発泡マグマの再加圧過程

*吉村 俊平[1] (1. 北海道大学)

妙高火山のマグマ溜まりへのK_2Oに富むマグマの注入

Injection of K_2O-rich magma into magma chambers beneath Myoko volcano

*浜田 盛久[1]、Rose-Koga Estelle[2]、Koga Kenneth[2]、清水 健二[1]、牛久保 孝行[1]、原田 英男[3]、Auer Andreas[4]、山口 佳昭[3]
*Morihisa HAMADA[1], Estelle F. ROSE-KOGA[2], Kenneth T. KOGA[2], Kenji SHIMIZU[1], Takayuki USHIKUBO[1], Hideo HARADA[3], Andereas AUER[4], Yoshiaki YAMAGUCHI[3]

1. JAMSTEC、2. ISTO, CNRS-Universite d'Orleans、3. 信州大学、4. 島根大学
1. JAMSTEC, 2. ISTO, CNRS-Universite d'Orleans, 3. Shinshu Univ., 4. Shimane Univ.

研究目的

妙高火山や立山火山などの中部日本背弧の火山の火山岩には，K_2Oに富む数十ミクロンサイズの領域を含む不均質な石基が観察される。信州大学の山口佳昭や原田英男らは，妙高火山の火山岩の観察に基づき，妙高火山のマグマ溜まり中にK_2Oに富むマグマバッチが注入することにより不均質メルトが形成される，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ため，妙高火山のメルト包有物の主成分元素と揮発性元素を局所分析した。本発表では，現在までに得られた知見を報告する。

試料と分析手法

妙高火山は，約30万年前から活動している活火山である。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，活動休止期を挟みながら，ほぼ同じ位置で古い火山体の上に重なるように活動・成長している。４つの活動期は，いずれも玄武岩マグマの噴出で始まり，デイサイトの噴出で終わる。現在の妙高火山の活動は噴気活動で特徴づけられ，第４活動期の末期に位置づけられる。 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最初期の関山火山（43 ka）及び貫ノ木噴火（41 ka）の玄武岩質スコリア中のメルト包有物である。これらの試料は急冷されてガラス化している。本研究では，メルト包有物の主成分元素と揮発性元素（H_2O, S, F, Cl）を，それぞれ電子線プローブマイクロアナライザー（EPMA）と二次イオン質量分析計（SIMS）を用いて局所分析した。

分析結果と議論

関山噴火（43 ka）のメルト包有物は玄武岩から流紋岩までの組成バリエーションを示し，カルクアルカリ系列の分化トレンドを示す。メルト包有物の組成バリエーションは，妙高火山からこれまで噴出した火山岩の全岩化学組成のバリエーションとも一致する。メルト包有物は最大で5 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す。このような組成バリエーションは，H_2Oに飽和したマグマが200MPa以下の圧力条件下で減圧・脱ガスしながら玄武岩マグマから流紋岩マグマまで結晶分化し，噴火に至ったと考えることにより説明可能である。一方，貫ノ木噴火（41 ka）のメルト包有物は玄武岩からデイサイトまでの組成バリエーションを示す。メルト包有物は最大で5 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すことから，H_2Oに飽和したマグマが200MPa以下の圧力条件下で減圧・脱ガスしながら玄武岩マグマからデイサイトマグマまで結晶分化し，噴火に至ったと考えられる。関山噴火と貫ノ木噴火は，H_2Oに飽和したマグマが減圧・脱ガスしながら結晶分化して噴火したと考えられる，という点に関しては共通している。

一方，関山噴火と貫ノ木噴火は，メルト包有物のSiO_2量のバリエーション及び化学組成のトレンドに違いがある。すなわち，関山噴火のメルト包有物（50wt%$SiO_2$80ｗt%）がカルクアルカリ系列のトレンドを示すのに対して，貫ノ木噴火のメルト包有物（50wt%$SiO_2$65ｗt%）はソレアイト系列のトレンドを示す。このような化学組成のトレンドの違いを生じる理由として，結晶分化作用が起こる圧力条件に違いがあった可能性が考

えられる。貫ノ木噴火のマグマは，関山噴火のマグマと比較して，より深部のマグマ溜まりにおける結晶分化作用が卓越したため，メルトのSiO_2の増加が抑えられたままFeO^T/MgOが増加し，ソレアイト系列の組成トレンドが得られたと考えられる。

関山噴火のスコリアが清澄な斑晶のみを含むのに対し，貫ノ木噴火のスコリアは清澄な斑晶に加え，ピジョン輝石のリムを持つカンラン石や汚濁帯を持つ単斜輝石を含むことが特徴的である。貫ノ木噴火の汚濁帯を有する鉱物中のメルト包有物はK_2O及びClに富んでおり，上述した妙高火山の火山岩の不均質な石基中に見られるK_2Oに富む領域に相当するメルトであると考えられる。

K_2Oに富むメルト（包有物）はなぜ，関山噴火（43 ka）の噴出物には認められず，貫ノ木噴火（41 ka）の噴出物に認められるのかについては，検討中である。K_2Oに富むメルトの起源についても，交代作用を受けたマントルの部分溶融や地殻物質の部分溶融などが考えられ，今後明らかにしていく予定である。

キーワード：妙高火山、メルト包有物
Keywords: Myoko volcano, melt inclusion

石基ガラスの揮発性成分の濃度分布から推定される発泡マグマの再加圧過程

Repressurization of vesiculated magma inferred from volatile distribution in groundmass glass

*吉村 俊平[1]
*Shumpei YOSHIMURA[1]

1. 北海道大学
1. Hokkaido University

はじめに

SiO2成分に富む珪長質マグマは，一般に粘性係数が高くガスを解放しにくいため，爆発的な噴火を起こしやすいとされてきた．しかし実際は，爆発せずに溶岩を流すような非爆発的噴火も多く発生する．なぜ，噴火の仕方に違いが生まれるかは，火道内でのマグマの脱ガス過程に違いがあるため考えられており，その詳細な理解が求められている．近年，私たちは溶岩の石基ガラスを対象に塩素濃度マッピング分析を行うことで，非爆発的噴火が起こる際の火道上昇中のマグマの脱ガス履歴を部分的に明らかにすることに成功した．本研究では，同じ手法を爆発的噴火の噴出物に適応し，同時にH2OとCO2のマッピング分析も組み合わせることで，爆発的噴火が起こる際の脱ガス過程を解明することに挑戦した．

手法

新島向山火山の886年の爆発的噴火をモデル噴火とし，そのテフラからガラス質の本質岩片を多数採取した．これは一般的な軽石とは異なり，発泡度が低く，緻密な黒曜石質の物質である．この物質を厚さ200マイクロメートル前後の両面研磨薄片に加工し，FE-EPMAを用いて0.84 mm x 0.63 mmの範囲を対象に塩素濃度マッピング分析を行った．その際，電子ビームの径は2マイクロメートルとした．その後，真空顕微FT-IRを用いて同じ範囲を対象に透過でH2O,CO2のマッピング分析を行った．赤外光のビーム径は20マイクロメートルとした．

結果

石基ガラスの揮発性成分濃度分布は不均質であった．塩素については幅1～2マイクロメートル，長さ数10～数100マイクロメートルの帯状で塩素濃度の高い領域が，１つの方向に伸張して多数配列した状態で分布していた．この高Cl濃度の帯は，試料中にまんべんなく見つかった．試料には気泡がわずかに含まれ，研磨面にはまれに気泡が露出していることがあり，そのようなところではメルトの塩素濃度は高く，塩素濃度の高い帯と直接つながっていた．H2OとCO2についても不均質であり，気泡の付近で濃度が高まる傾向があった．

考察

気泡近傍で揮発性成分の濃度が高まっているという事実は，気泡はメルトに溶解している最中であることを示唆する．わずかに存在する気泡は溶解中の最後の気泡であり，高塩素濃度の帯状領域は，すでに溶解した大部分の気泡のかつての界面（現在では焼結している）を示すと考えられる．塩素の高濃度の帯は一方向に伸びていることから，溶解する直前の気泡の形はその方向に伸びた形状をしていたと考えられる．気泡の溶解を起こすには， 1) マグマを加圧する，または2)メルトの含水量を低下させる，のいずれかが必要である．試料全体で均等に気泡溶解を起こすには，1が都合がよい． 2で均等に気泡溶解を起こすには，メルト含水量がまんべんなく低下する必要があり，それにはメルトの中に開放系の通路がまんべんなく形成されなければならない．もしそのようなことが起きたとすると，その通路は塩素濃度マップにおいて低塩素濃度の帯として認識さ

れるはずであるが，その痕跡は見つからなかった．したがって，気泡の溶解は加圧によるものと考えられる．このことは，爆発的噴火においては，火道を上昇しマグマが減圧発泡を起こす中で，少なくとも一部のマグマは再加圧され，黒曜石質の物質に戻る過程が起きていることを示す．どのような仕組みでこれが起こるかについては現在検討中である．

キーワード：マグマ、発泡、再加圧、気泡
Keywords: magma, vesiculation, repressurization, bubble

ポスター | R3：高圧科学・地球深部

2023年9月16日(土) 12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R3：高圧科学・地球深部

12:00 ~ 14:00

[R3P-01] NanoSIMSおよびIRMSを用いた高圧実験合成ダイヤモンド/グラファイトの炭素同位体分析

川村 英彰[1]、*大藤 弘明[1]、Satish-Kumar M.[2]、Sasidharan Kiran[2]、石田 章純[1]、笹木 晃平[3]、高畑 直人[3]、白井 厚太朗[3]、鈴木 昭夫[1] (1. 東北大学・院理、2. 新潟大学・院自然、3. 東京大学・大気海洋研)

12:00 ~ 14:00

[R3P-02] 巨大氷惑星のマントル上部におけるダイヤモンド生成

劒持 嘉[1]、*境 毅[1]、門林 宏和[2] (1. 愛媛大学、2. 高輝度光科学研究センター)

12:00 ~ 14:00

[R3P-03] 冷たいスラブにおけるポストアンチゴライト反応

*久保 友明[1]、吉田 真吾[1]、本田 陸人[1]、平本 雄大[1]、辻野 典秀[2]、柿澤 翔[2]、肥後 祐司[2] (1. 九州大学、2. JASRI)

12:00 ~ 14:00

[R3P-04] 準安定オリビンのレオロジー

「発表賞エントリー」

*本田 陸人[1]、久保 友明[1]、辻野 典秀[2]、肥後 祐司[2]、柿澤 翔[2]、柴崎 裕樹[3]、西原 遊[4] (1. 九大・理、2. JASRI、3. 高エネルギー加速器研究機構、4. 愛媛大・GRC)

12:00 ~ 14:00

[R3P-05] 回転式DACを用いた下部マントル圧力下大歪変形実験より検討するWüstite多結晶体の変形特性

「発表賞エントリー」

*夏井 文凜[1]、東 真太郎[1]、岡崎 啓史[2]、上杉 健太朗[3]、安武 正展[3]、河口 沙織[3]、野村 龍一[4]、太田 健二[1] (1. 東工大、2. 広大、3. JASRI、4. 京大)

12:00 ~ 14:00

[R3P-06] 近赤外線加熱法による回転式ダイヤモンドアンビルセルの高温条件の実現

*東 真太郎[1]、岡崎 啓史[2]、上杉 健太朗[3]、安武 正展[3]、夏井 文凜[1]、Jayawickrama Eranga[2]、野村 龍一[4] (1. 東京工業大学、2. 広島大学、3. 高輝度光科学研究センター、4. 京都大学)

12:00 ~ 14:00

[R3P-07] 透過型電子顕微鏡内その場圧縮観察による応力測定と高圧相転移の可能性

*三宅 亮[1]、伊神 洋平[1]、野村 龍一[1] (1. 京都大学)

12:00 ~ 14:00

[R3P-08] DAC試料長のリアルタイム測定：ダイヤモンドアンビル背面間距離測定具の開発とダイヤモンドアンビル弾性変形解析

*米田 明[1]、加藤 拓人[1] (1. 大阪大・理)

12:00 ~ 14:00

[R3P-09] レーザー加熱式DACとX線吸収法を組み合わせた 高温高圧下でのニッケル密度測定

*寺崎 英紀[1]、紙名 宏幸[1]、鶴岡 椋[2]、近藤 忠[2]、米田 明[2]、森岡 康[1]、櫻井 萌[1]、鎌田 誠司[3]、河口 沙織[4] (1. 岡山大学、2. 大阪大学、3. 東北大学、4. JASRI)

12:00 ~ 14:00

[R3P-10] レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いたX線吸収法によるFeSの密度測定
「発表賞エントリー」

*森岡 康[1]、寺崎 英紀[1]、紙名 宏幸[1]、鶴岡 椋[2]、近藤 忠[2]、米田 明[2]、櫻井 萌[1]、河口 沙織[3] (1. 岡山大・院自然、2. 大阪大・院理、3. JASRI)

12:00 ~ 14:00

[R3P-11] 中性子回折と分子動力学法を用いたFeS Vの水素化挙動の探索
「発表賞エントリー」

*高野 将大[1]、鍵 裕之[1]、森 悠一郎[1]、青木 勝敏[1]、柿澤 翔[2]、佐野 亜沙美[3]、飯塚 理子[4]、土屋 卓久[5] (1. 東大・院理、2. JASRI、3. 日本原子力研究開発機構 J-PARC、4. 早稲田大 教育・総合科学学術院、5. 愛媛大・GRC)

12:00 ~ 14:00

[R3P-12] 3GPaにおけるFe-FeS-FeO系の融解関係

辻 航輔[1]、*浦川 啓[1]、寺﨑 英紀[1] (1. 岡山大学)

12:00 ~ 14:00

[R3P-13] 高温高圧下でのビスマス研究

*小野 重明[1] (1. 海洋研究開発機構)

NanoSIMSおよびIRMSを用いた高圧実験合成ダイヤモンド/グラファイトの炭素同位体分析

Carbon isotope analysis of diamond/graphite recovered from high-pressure experiments by NanoSIMS and IRMS

川村 英彰[1]、*大藤 弘明[1]、Satish-Kumar M.[2]、Sasidharan Kiran[2]、石田 章純[1]、笹木 晃平[3]、高畑 直人[3]、白井 厚太朗[3]、鈴木 昭夫[1]
Hideaki Kawamura[1], *Hiroaki OHFUJI[1], Satish-Kumar Satish-Kumar[2], Kiran Sasidharan[2], Akizumi Ishida[1], Kouhei Sasaki[3], Naoto Takahata[3], Kotaro Shirai[3], Akio Suzuki[1]

1. 東北大学・院理、2. 新潟大学・院自然、3. 東京大学・大気海洋研
1. Tohoku Univ. Sci, 2. Niigata Univ. Sci., 3. Univ. Tokyo, AORI

1．はじめに

ダイヤモンドの起源と形成場の解明は，地球深部における炭素循環を解明する重要な糸口になると期待されるが，マントル深部由来のダイヤモンドの起源に関する統一的な見解は未だ得られていない．本研究では，地球深部でのダイヤモンドの形成と密接な関連があるとされる炭酸塩鉱物と還元的な流体(C-H-O流体)の2つの炭素源物質に着目し，現実的な地球内部条件を再現した高温高圧実験を行うことで，マントル深部のダイヤモンド形成場で想定される炭酸塩ー流体の相互作用の解明を目指す．第一段階として，高圧実験で使用するC-H-O流体の炭素同位体組成δ13Cを把握するために，流体源物質のステアリン酸が高圧下で熱分解(C-H-O流体と固体炭素を生成; Yamaoka et al., 2002)した際の炭素同位体分別を調査した．次に，地球深部環境を再現した炭酸塩ーC-H-O流体共存系での高圧実験によって合成した微小なダイヤモンドの炭素同位体組成をNanoSIMSを用いて分析した．

2．実験手法

高圧実験にはマルチアンビル装置を使用し，圧力温度条件は10 GPaおよび17 GPa，800～1600℃で実施した．ステアリン酸の熱分解により生成した固体炭素のバルク同位体分析は同位体比質量分析計(新潟大学設置)，炭酸塩ーC-H-O流体共存系で合成した微小なダイヤモンドの同位体分析はNanoSIMS (東京大学大気海洋研設置)を用いて実施した．

3．結果と考察

ステアリン酸の分解を調べた実験では，分解によって生じたダイヤモンド/グラファイトのδ^{13}C値が出発物質のステアリン酸の値(δ^{13}C=-28.3‰)を概ね引き継ぐことが分かり，間接的に見積もられたC-H-O流体のδ^{13}C値が，今回行った実験条件の範囲内においてほぼ一定であることが示された．つまり，高温高圧実験において有機物起源の^{12}Cに富むC-H-O流体を試料室中で再現したい場合，ステアリン酸は有用な出発物質であるといえる．

次に，δ^{13}C=-2‰の組成を持ったマグネサイトを共存させた実験を行い，固液共存系におけるダイヤモンド合成実験を行った．実験で生成したダイヤモンドは最大でも3μm程度と非常に細粒であったため，その炭素同位体組成をNanoSIMSで分析することを試みた．本研究の回収試料は共存流体の影響により極めて脆く機械研磨はほぼ不可能であるため，試料の汚染や物理ダメージを最小限に抑えつつ研磨断面を作成できるAr^+イオン研磨を用いた．しかし，イオン研磨ではイオンビーム照射による微細な切削痕が試料表面に残るため．試料の表面状態に極めて敏感なNanoSIMS分析においてどの程度分析値へ影響を及ぼすかは未知数であった．そこで，試料調整から試行錯誤を繰り返し，NanoSIMSでの分析条件について検討を行った．その結果，δ^{13}C値で5~10‰程度の比較的大きな誤差が伴われる場合あるが，それよりも優位に大きな同位体組成の変化を追跡する

場合，例えば，本研究のような炭酸塩（約-2‰）とC-H-O流体（約-28‰）共存系におけるダイヤモンド生成反応を追跡するようなケースでは，NanoSIMS分析は十分有効であることが分かった．今後，分析条件や補正方法に最適化の余地はあるが，イオン研磨を併用した微細な高圧実験試料のNanoSIMS分析はおそらく世界初の成功例であろう．これまで同位体分析が難しかった微細な高圧実験回収試料の分析において，新たな可能性を提示する結果であるといえる．

キーワード：ダイヤモンド、C-H-O流体、NanoSIMS、炭素同位体
Keywords: Diamond, C-H-O fluid, NanoSIMS, Carbon isotope

巨大氷惑星のマントル上部におけるダイヤモンド生成

Diamond formation at upper mantle of ice giants

劔持 嘉[1]、*境 毅[1]、門林 宏和[2]
Yoshiki Kenmochi[1], *Takeshi SAKAI[1], Hirokazu Kadobayashi[2]

1. 愛媛大学、2. 高輝度光科学研究センター
1. Ehime University, 2. JASRI

天王星のマントルの化学組成モデルは，太陽系の元素存在度をもとに水(H_2O):メタン(CH_4):アンモニア(NH_3)=7:4:1の混合比になっていると推定されている(e.g., Bethkenhagen et al., 2017)．主要成分のひとつであるメタンは高温高圧下で分解し，2000-3000 K，10-80 GPaにおいてダイヤモンドを生成することが報告され，“ダイヤモンドの雨”が降るとして注目されている(Anchilotto et al., 1997; Benedetti et al., 1999; Hirai et al., 2009)．また，メタンハイドレートを用いたレーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセル (LHDAC)による実験では，メタンのみの場合に比べ400 Kほど低温の温度条件でダイヤモンドが生成し，水の存在がダイヤモンド生成条件に影響を与えることが報告されている (Kadobayashi et al., 2021)．一方，有機高分子を出発試料とした実験もあり，ポリスチレン(PS)を試料とした衝撃圧縮実験では5000 K，150 GPaという比較的高温高圧条件でようやくダイヤモンドが生成している(Kraus et al., 2017)．これに対しポリエチレンテレフタレート(PET)を用いた静的圧縮実験では1400-1900 K，8-9 GPaにてダイヤモンド生成が確認された(Kondorina et al., 2018)．ダイヤモンドが生成する温度圧力条件の違いは，試料の組成や実験手法の違いによって生じると考えられる．より低圧低温でダイヤモンドが生成したPET試料は，炭素と水を組み合わせた元素比ではあるがベンゼン環を含む芳香族化合物であり，天王星内部を模擬する場合に適切ではないと考えられる． 本研究では，天王星マントル上部におけるダイヤモンド生成条件の推定を目的とし，最も単純な高分子であるポリエチレン(PE, $(C_2H_4)_n$)と水(H_2O) (体積比1 : 1)を用いて高温高圧実験を行った．この試料の組成比はC : H : O = 2 : 6 : 1で先行研究よりも天王星マントルの組成比に近い．高圧の発生にはDACを用い，加熱にはCO_2レーザー加熱光学系を用いた。加熱前後の試料に対してラマン分光測定，加熱後の試料に対してXRD測定による相同定，SEMでの組織観察を行った。 実験の結果，1800 K，14 GPa以上の条件においてダイヤモンド生成を確認した．また，それよりも低温低圧下では非晶質炭素が生成した．またラマン分光測定から水素分子の存在も確認され，高分子が炭素と水素に分解する反応が起きたことが確認された．比較としてポリエチレン単体での高温高圧実験を行ったが，XRD測定の結果，ダイヤモンド生成は確認できなかった．このことから，高分子を用いた実験でも水が触媒の働きをしてC-H系の分解を促進していると考えられる．

キーワード：ダイヤモンド、巨大氷天体
Keywords: Diamond, Ice giants

冷たいスラブにおけるポストアンチゴライト反応

Post-antigorite reaction in cold slab

*久保 友明[1]、吉田 真吾[1]、本田 陸人[1]、平本 雄大[1]、辻野 典秀[2]、柿澤 翔[2]、肥後 祐司[2]
*Tomoaki KUBO[1], Shingo Yoshida[1], Rikuto Honda[1], Yuta Hiramoto[1], Noriyoshi Tsujino[2], Sho Kakizawa[2], Yuji Higo[2]

1. 九州大学、2. JASRI
1. Kyushu University, 2. JASRI

アンチゴライトはスラブかんらん岩における代表的な含水鉱物であり、沈み込みにともなうポストアンチゴライト反応は地球深部への水の輸送および（稍）深発地震の発生にとって重要である。その高圧相平衡に関する研究は多いが、特に深発地震が起こるような冷たいスラブ（thermal parameterが4000km以上、深さ240km付近で400-500℃）におけるポストアンチゴライト反応はあまりよくわかっていない。また金属カプセル等を用いた閉鎖系での実験や、出発試料に粉末や酸化物混合体を用いた実験が多く、それらのデータを用いて実際のスラブ条件下での反応プロセスやカイネティクスを議論することは難しい。我々は、冷たいスラブコアで実際に起っているポストアンチゴライト反応の実体、その反応にともなうDHMSおよび(無水)かんらん岩相への水の移動、それらのレオロジーへの影響等を明らかにするための実験研究を行っている。本発表では特に、深発地震を起こしうる冷たいスラブでのポストアンチゴライト反応プロセスとカイネティクスに着目し、圧力5-9GPa付近での予備的実験結果を報告する。

実験はSPring-8のBL04B1およびBL05XUにおいてDIA型の高圧装置にMA6-6型装置を組み込んで行った。前者ではBM放射光と分光結晶を用いて得られた60keVの単色光により50-300秒毎の時分割測定、後者ではアンジュレータ放射光と多層膜ミラーを用いて得られた100keVの単色光により100msec毎の時分割測定を行った。実験条件は5-9GPa, 450-750度付近である。出発試料には長崎県川原木場産の比較的等粒状の天然アンチゴライト多結晶を直径1.4mmにコア抜きしたものを用い、それをNaCl媒体に埋め込んで金属カプセル等は用いない開放系で実験を行った。

圧力6.5GPa付近までは、過去の研究と同様に、アンチゴライトがオリビンとタルク相に脱水分解していく反応が観察された。一方で約8GPa前後ではアンチゴライトがPhase Eと10Å相に分解する反応が新たに観察された。この反応は450度では約1時間で半分くらい進行、510度では約30分でおおよそ完了するペースであった。さらに610度ではPhase Eと10Å相からオリビンと高圧単斜輝石へのゆっくりとした脱水反応が観察された。一方で8GPa付近でアンチゴライトを直接700度以上の条件にもっていくと、始めの1秒前後で急速にPhase Eと10Å相の分解が起こり、その後比較的ゆっくりと数分以内のペースでオリビンと高圧単斜輝石に脱水分解する様子も観察された。

今回新たに見いだされたアンチゴライトからPhase Eと10Å相への分解はほとんど脱水が起こっておらず、地震性低温スラブコアにおいてアンチゴライトの水をより深部へ輸送する重要な反応となる可能性も否定できない。今後カイネティクスも含めてより詳細な検討を行いスラブで存在できる可能性を探りつつ、このポストアンチゴライト反応がレオロジーに与える影響も検討していく。

キーワード：放射光その場観察、高圧実験、脱水反応、深部スラブ
Keywords: in-situ X-ray observation, high pressure experiment, dehydration reaction, deep slab

準安定オリビンのレオロジー

On the low temperature plasticity of metastable olivine

*本田 陸人[1]、久保 友明[1]、辻野 典秀[2]、肥後 祐司[2]、柿澤 翔[2]、柴崎 裕樹[3]、西原 遊[4]
*Rikuto Honda[1], Tomoaki Kubo[1], Noriyoshi Tsujino[2], Yuji Higo[2], Sho Kakizawa[2], Yuki Shibazaki[3], Yu Nishihara[4]

1. 九大・理、2. JASRI、3. 高エネルギー加速器研究機構、4. 愛媛大・GRC
1. Kyushu Univ., 2. JASRI, 3. KEK, 4. Ehime Univ. GRC

地球内部に沈み込んだスラブの中心部は温度が低く、マントル遷移層（深さ410-670 km）ではスラブの主要構成鉱物のオリビンが相転移せずに残存し、準安定オリビンウェッジ（metastable olivine wedge）を形成していると考えられている。そのレオロジーはプレートテクトニクスを駆動するマントル対流や深発地震をはじめとする深部スラブのダイナミクスを考えるうえで非常に重要である。これまで比較的低圧の実験（4-9 GPa, e.g. Kawazoe et al., 2009; Mei et al., 2010）により、低温で卓越するパイエルス機構による塑性流動（low temperature plasticity）による変形強度が調べられてきたが、その圧力依存性はよく決まっておらず（V*=0-30 cm^3/mol）、マントル遷移層圧力での直接的な実験が必要であった。そこで、本研究では準安定領域を含む11-20GPa、570-1120℃のより広い温度圧力領域でマントルオリビンの変形実験を行ない、オリビンのパイエルス機構の圧力依存性を直接的に測定した。

変形-相転移実験はKEK PF-AR NE7AおよびSPring-8 BL04B1設置のD111型高圧変形装置を用いて、11-20GPa、570-1120℃、歪速度2.8-8.5x10^{-5} /sの一軸圧縮変形場で行なった。60keV単色X線を用いて2次元X線回折パターンと試料部イメージングの時分割測定（1-5分毎）を行ない、応力-歪曲線を取得し、相転移の開始もモニタした。また、オリビン準安定領域の高温側では、相転移に伴う断層形成（せん断不安定化）が起こる可能性が予想される。そこで、一部の実験では独自の8素子アコースティックエミッション（AE）測定システムも組み合わせ、変形中のせん断不安定化挙動もその場観察した。回収試料はFE-SEM、FE-TEM等で微細組織観察を行なっている。

本実験の全温度圧力領域において、オリビンの強度は転位クリープ（Kawazoe et al., 2009）や粒径依存クリープ（Ohuchi et al., 2015）で推定される強度よりも小さく、またその温度依存性も小さい。これらのことから本実験領域のオリビンの流動機構はパイエルス機構であることが示唆された。本実験の~11-20GPaにおいてオリビン強度の圧力依存性はかなり大きい。またいずれの実験でも加工硬化する傾向がみられた。

本実験領域の高温側、~15-16GPaでは870℃以上、~20GPaでは760℃以上においては、それぞれウォズレアイト、リングウッダイトへのごく少量の相転移が始まっている。特に20GPaでは相転移の開始温度付近でのみAEを伴う応力降下（~1.5GPa）と断層形成が確認され、相転移誘起のせん断不安定化が起こった。

相転移がみられなかった570-580℃でのオリビンの強度は、圧力~11-20GPaの範囲で4.5-6.8GPaと上昇する。これらのデータと過去に常圧で得られているEvans and Goetze（1979）のパラメータを基にパイエルス機構の流動則を求めると、活性化体積はV*=35.3(9) cm^3/molとなった。この流動則はKawazoe et al.(2009)やMei et al.(2010)において圧力~5-9GPa付近で得られているオリビン強度をおおよそ説明できる。この流動則をスラブスケール（20GPa、 500-600℃、10^{-14}/s）に外挿すると、ドライな準安定オリビンウェッジでは、パイエルス機構による変形が卓越し、その強度は比較的大きく~5GPa程度であると見積もられた。

一方、より高温側でごく少量の相転移が起こり始めている実験では、せん断不安定化の出現に加え、オリビ

ンの流動強度もやや小さく、相転移による軟化が示唆された。準安定オリビンウェッジの外側部分のレオロジーは、細粒スピネル相によるせん断不安定化や超塑性軟化の影響を考慮する必要がある。これらの結果は、冷たい遷移層スラブの強度プロファイルを直接的に理解し、下部マントルに沈み込む冷たいスラブコアへの応力集中を検討する上で重要である。

キーワード：準安定オリビン、パイエルス機構、深部スラブレオロジー、高圧変形実験、放射光その場観察
Keywords: metastable olivine, Peierls mechanism, deep slab rheology, high-pressure deformation experiments, X-ray in-situ observation

回転式DACを用いた下部マントル圧力下大歪変形実験より検討するWüstite多結晶体の変形特性

Deformation property of Wüstite polycrystals developed by large strain deformation experiments under lower mantle pressures using rotational DAC

*夏井 文凜[1]、東 真太郎[1]、岡崎 啓史[2]、上杉 健太朗[3]、安武 正展[3]、河口 沙織[3]、野村 龍一[4]、太田 健二[1]
*Bunrin Natsui[1], Shintaro Azuma[1], Keishi Okazaki[2], Kentaro Uesugi[3], Masahiro Yasutake[3], Saori Kawaguchi[3], Ryuichi Nomura[4], Kenji Ohta[1]

1. 東工大、2. 広大、3. JASRI、4. 京大
1. Tokyo Tech, 2. Hiroshima Univ., 3. JASRI, 4. Kyoto Univ.

地震波観測より、アフリカと南太平洋地下の下部マントル中部から最下部マントルにかけてS波速度が遅い領域（LLSVP：Large Low Shear Velocity Provinces）が存在することが確認されている[Lekic et al., 2012]。さらにその縁部では地震波速度が地震波の進む方向によって異なる地震波異方性が報告されている。地震波異方性は鉱物の結晶軸が特定の方向に並ぶ結晶方位選択配向（CPO : Crystallographic preferred orientation）の発達によって生じている可能性があり、その領域における構成鉱物の変形とCPO発達の関係を調べることで重要な知見が得られる。しかし、下部マントル圧力条件での変形実験の困難さにより実験的アプローチからその関係を議論した研究は少ない。LLSVPが熱的特徴なのか組成的特徴なのかは現在時点で未だ不明であるが、マントル対流による撹拌に耐えるためには、周辺マントルに対して約10%高い密度の組成である必要があり、鉄に富むフェロペリクレースとブリッジマナイトが構成鉱物の候補として考えられている[McNamara, 2019]。本研究ではフェロペリクレースの端成分であるWüstite多結晶体について下部マントル圧力条件での大歪変形実験を行い、変形に伴うCPOの発達とすべり系を調査し、LLSVPの地震波異方性との関係を考察することを目的とする。 本研究では回転式ダイヤモンドアンビルセル（rDAC）を用いて、Wüstite多結晶体のねじりの変形実験を行った。試料には実験前後の歪測定のためのPtマーカーを集束イオンビーム（FIB）により蒸着することで、試料回転軸に平行に配置した。変形実験は、圧力8-63 GPa、温度300-600 K、歪速度一定の条件で、大型放射光施設SPring-8 BL47XUにて行った。変形実験前後のX線ラミノグラフィー法によるPt歪マーカーの観察、および変形実験中のその場X線回折測定（XRD）を行った。X線ラミノグラフィー法から得られたPtマーカーの再構成断面像から試料の歪を決定し、１角度（回転軸に対して60˚方向）XRDより変形実験中のWüstiteの応力とCPOの決定を試みた。CPOの解析からは、B1構造を持つWüstiteが変形後に、[100]が圧縮軸方向とせん断方向に強く配向し、[101]がせん断方向に弱く配向する組織が観察された。実験後、減圧し回収した試料についてSPring-8 BL10XUで取得した多角度XRDおよび電子線後方散乱回折（EBSD）測定からCPOを決定し、１角度XRD結果と比較を行った。得られた結果から、LLSVP構成鉱物のCPOの発達とLLSVPの地震波異方性との関係を議論する。

キーワード：レオロジー、変形実験、下部マントル、ウスタイト
Keywords: Rheology, Deformation experiment, Lower mantle, Wüstite

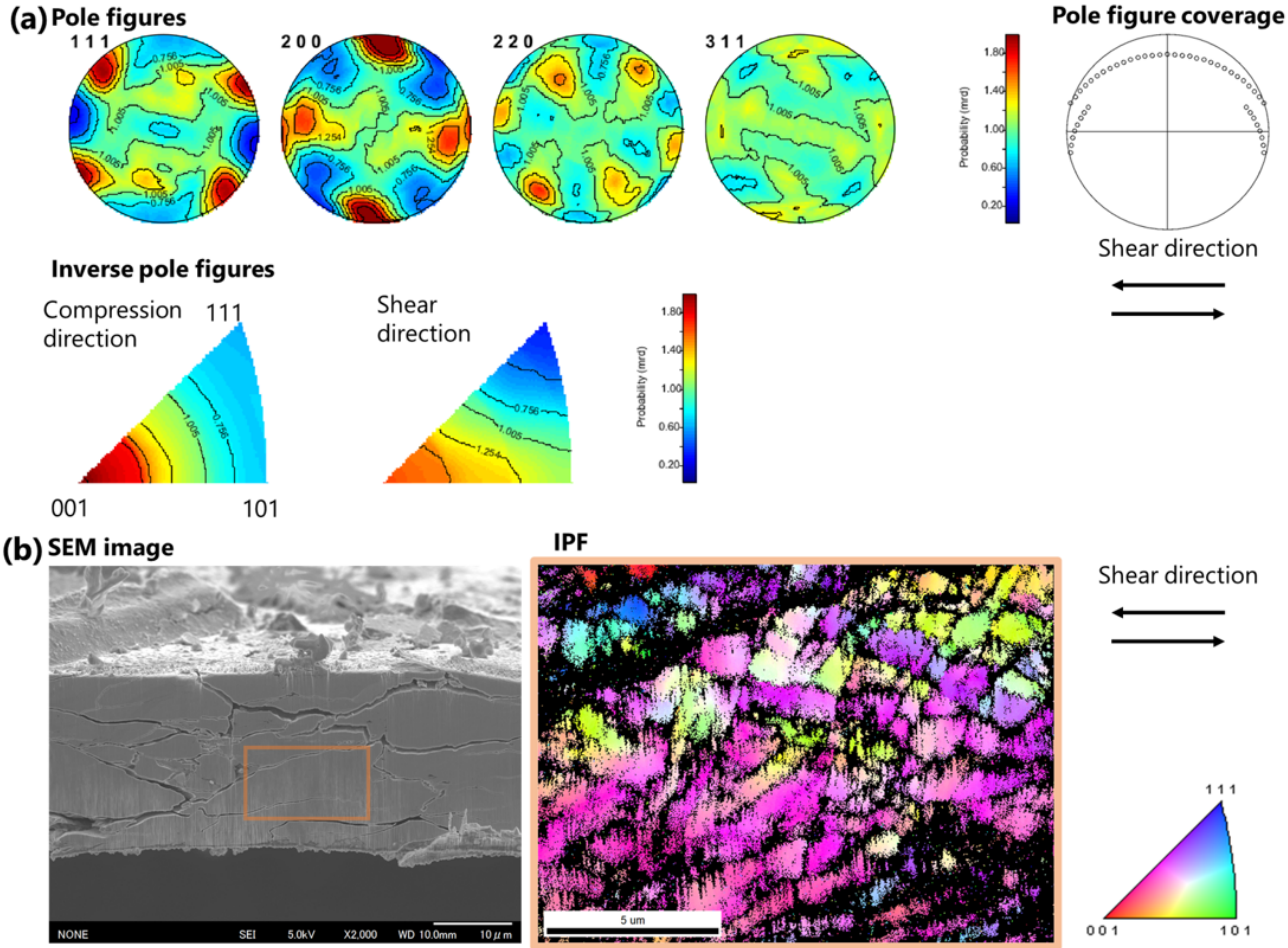


図 結晶方位データ
rDACによるねじり変形実験後のWüstite(結晶構造:B1 ε =0.3 T=600 K P=8 GPa)
(a) XRDデータの解析より得られたCPO
(b) EBSD分析より得られた結晶方位マッピング

近赤外線加熱法による回転式ダイヤモンドアンビルセルの高温条件の実現

High-temperature conditions for the rotational diamond anvil cell by near-infrared heating method

*東 真太郎[1]、岡崎 啓史[2]、上杉 健太朗[3]、安武 正展[3]、夏井 文凛[1]、Jayawickrama Eranga[2]、野村 龍一[4]

*Shintaro AZUMA[1], Keishi Okazaki[2], Kentaro Uesugi[3], Masahiro Yasutake[3], Bunrin Natsui[1], Eranga Jayawickrama[2], Ryuichi Nomura[4]

1. 東京工業大学、2. 広島大学、3. 高輝度光科学研究センター、4. 京都大学
1. Tokyo Institute of Technology, 2. Hiroshima University, 3. JASRI, 4. Kyoto University

これまで地球科学における高圧(変形)実験のための様々な高温技術が開発されてきた。特にダイヤモンドアンビルセル(DAC)における高温技術は、外熱式抵抗加熱、内熱式抵抗加熱、レーザー集光加熱など、抵抗加熱の素材、形状やレーザ媒質も含めて多岐にわたっており、それらは目的や温度条件に合わせて使い分けられている。一方で、我々研究グループは超高圧変形実験のために開発した回転式DACに適応できる高温技術の開発に取り組んできた。回転式DACに応用できる高温技術にはいくつかの制限がある。例えば、応力や結晶選択配向(CPO)測定のための高輝度X線を回転軸に対して斜め入射させることから、ダイヤモンドアンビルの周囲に入射X線と回折X線の経路を確保する必要や、長時間の変形を行うために安定かつ試料室全体の均質な昇温が不可欠である。そこで我々研究グループでは、これらの要件を満たした加熱を行えるように、新たに回転式DAC試料部に近赤外線を集光する装置を導入した。本発表では、この近赤外線加熱装置を用いて、融点が既知の試料に対して加熱融解実験を行なった結果を報告する。本加熱実験は、回転式DACと近赤外線加熱装置をSPring-8(BL47XU)のビームライン上に設置して行われた。近赤外線加熱装置は、2対のハロゲンランプ、リフレクター、交流電源(2000 W)、温調器から構成され、リフレクターの内側には金メッキが施されている。実験中、ハロゲンランプとリフレクターはキュレットやガスケットに平行になるように、回転式DAC用の真空チャンバーに固定される。加熱する試料には、ディスク上に加工された銀(直径0.09 mm、融点961 ℃@大気圧)と粉末のMgOを用いた。試料はタングステンガスケットに空けられた直径約0.15 mmの穴に封入され、キュレットサイズ0.3 mmのダイヤモンドアンビルに挟みこまれて加熱された。温度測定には熱電対（R-type）を２対使用しており、1対は試料室外側のガスケットに限りなく近づけ、もう１対はダイヤモンドとガスケットに挟み込むことで測定を行なった。加熱実験中は真空引きをしつつ(<100 Pa)、電流、電圧、温度をモニタリングしながら、高輝度X線（36 keV）による試料部のXRD測定とラジオグラフィーによる撮像を行なった。加熱実験により、熱電対の温度が～970 ℃に到達すると、それまで観察されていた銀の回折ピークが消失したことを確認できた。試料部全体をカバーするようにXRD測定を行なったが、銀の回折ピークを検出することはできなかったため、試料に用いた銀は均質に加熱され、融点を超えたことを示している。ラジオグラフィーによる撮像からは、加熱前には確認できていた銀の形状が融点以上の温度で確認できなくなったことに加え、銀の溶融によって試料室の形状が変形していることが確認された。他にも蛇紋石を用いた高圧加熱実験でも、安定領域の境界温度付近で回折ピークが消失し、脱水分解していることが確認された。以上の結果から、今回導入した近赤外線加熱装置は回転式DACを用いた高圧変形実験においても、必要条件(X線経路の確保、安定かつ均質な昇温)を満たせる有効な加熱法であると考えられる。

キーワード：回転式ダイヤモンドアンビルセル、高温高圧、近赤外加熱法
Keywords: Rotational diamond anvil cell, high temperature and pressure, near-infrared heating method

透過型電子顕微鏡内その場圧縮観察による応力測定と高圧相転移の可能性

Measurements of local stress and high pressure phase transition of Fe in in-situ TEM indentation experiments

*三宅 亮[1]、伊神 洋平[1]、野村 龍一[1]
*Akira MIYAKE[1], Yohei Igami[1], Ryuichi nomura[1]

1. 京都大学
1. Kyoto Univ.

【はじめに】材料科学の分野において、透過型電子顕微鏡内で荷重をかけ材料の圧縮試験や破壊のその場観察実験が多く行われている。このとき、試料の微小領域にはおおきな圧縮応力がかかっている。そこで、我々は電子顕微鏡内での圧縮実験をおこない、微小領域での応力を求め、高圧相転移のその場観察実験に取り組んでいる。三宅ほか(日本鉱物科学会2021年年会)では、電子回折図形から格子の圧縮率を求め、それをもとに微小領域での圧縮応力を求めた発表を行ったが、そのときは試料が封圧されていないなどの課題が残っていた。そこで本発表では、さらなる改良を行い実験を行ったので、その結果について報告を行う。

【試料と手法】試料は、ダイヤモンドおよびFeの単結晶を用いた。試料加工は集束イオンビーム加工装置（Thermo Fisher Scientific社製Helios NanoLab G3 CX）を用い、板状およびロッド状の試料を作製した。作製した試料に対して、透過型電子顕微鏡内でその場圧縮実験を荷重制御により行った。圧縮実験は、電界放射型透過型電子顕微鏡（JEOL社製 JEM-2100F）内で試料に対してダイヤモンド圧子を押し込むことが可能な専用ホルダ（Bruker社製 Hysitron PI95 TEM PicoIndenter）を使用して行った。実験は、２０～１０００ μNの荷重で行い、電子回折図形および、その２次元マッピング（4D-STEM, Diffraction mapping)を取得した。得られた回折図形から圧縮率を求め、圧縮応力（圧力）の推定を行った。 本発表では、以下の２実験について発表を行う。

１．ダイヤモンドのロッドを作製し、ダイヤモンドの板に押し付けて、最大圧縮応力を求める実験

２．厚さ約200nmのダイヤモンドの板を作製し、その断面に50~100nmの穴をあける。その後、その穴にFeを埋め、ダイヤモンドのロッドでそのFe試料を押す実験

【結果と考察】 １．ダイヤモンドロッドを用いた実験において、荷重1000 μNの圧縮実験では顕著な応力集中が発生し、ロッド先端の約20nm径の領域で圧縮方向に約17%もの格子の縮みが見られた。そこから約400 GPa以上の圧縮応力が局所的にかかっていることがわかった。その一方、圧縮方向と垂直な方向には、ほとんど変化しないことがわかった。

２．Feは、室温で約14 GPaで、bcc (α相) から hcp (ε相)へ相転移することが知られている。Fe(α相)をダイヤモンドの穴の中で圧縮する実験では、荷重200 μNでの圧縮の結果、Feの圧縮率から最大応力約14GPaの結果を得た。このとき、得られた電子回折図形を解析したところ、ダイヤモンドおよびFeのα相では指数がつかない反射が出現しており、これはFeのε相で矛盾がない反射であった。つまり、局所的にε相へ相転移したと考えられる。

課題として、圧子全体のクリープに伴い、測定中に試料から圧子がずれる、あるいは試料が壊れるなどが起きてしまうことが挙げられる。このための改良が、電子顕微鏡内での高圧実験を行う上での大きな課題である。

キーワード：透過型電子顕微、高圧相転移、その場観察
Keywords: TEM, high pressure phase transition, in situ experiment

DAC試料長のリアルタイム測定：ダイヤモンドアンビル背面間距離測定具の開発とダイヤモンドアンビル弾性変形解析

Real-time measurement of DAC specimen length: Direct measurement of back-to-back distance between diamond anvils and elastic deformation analysis of diamond anvils.

*米田 明[1]、加藤 拓人[1]
*Akira Yoneda[1], Takuto Kato[1]

1. 大阪大・理
1. Osaka Univ. Sci.

DAC試料の音速や熱伝導率測定において試料長（試料厚み）は測定結果の解析において不可欠のパラメーターである。従来は加圧回収後の試料の厚さをもとに弾性変形補償を行って見積もられてきたが、この方法では実験結果をリアルタイムに評価できないという欠点があった。

我々は大阪大学においてGHz-DAC音速法の開発を行ってきている。音波のトラベルタイムをGHz法で測定するが、音速に変換するためには試料長のデータが必須である。加圧測定中の試料長をリアルタイム測定するために、以下の二項目の開発を行った。

(1)ダイヤモンドアンビル背面間距離測定具

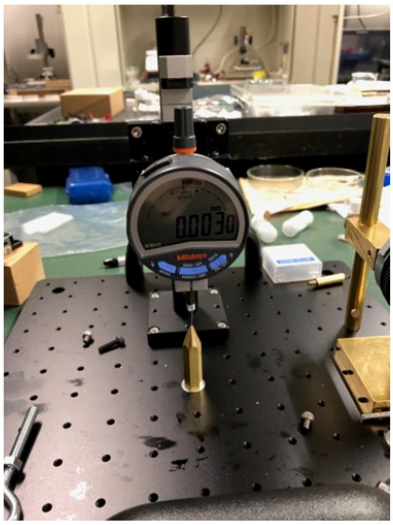
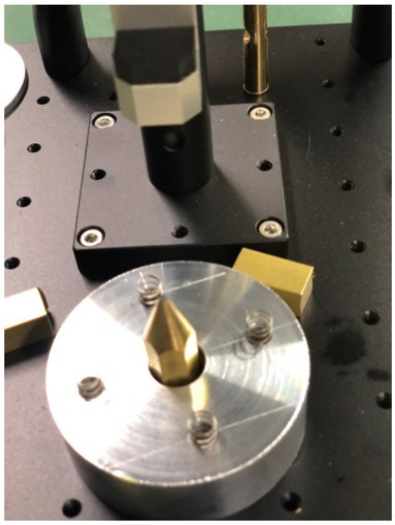
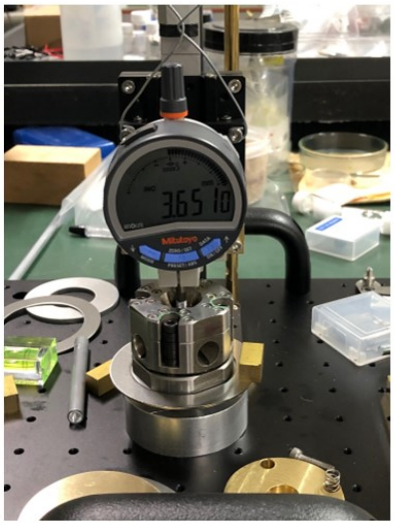
ダイヤモンドアンビル背面間距離は~4mm程度である。これがDACセル（直径~40mm厚さ~30mm）内部に所在するため、通常のマイクロメーターやダイヤルゲージでの測定が困難であった。通常のマイクロメーターではフレームの懐が小さく触針が測定部に届かなかった。ダイヤルゲージでは可動域が小さくDACセルを触針下部に配置することが困難であった。

これらの問題を可動長39mmのXステージの導入で解決した。写真で示すようにDAC支持台とダイヤルゲージ触針が触れている状態からダイヤルゲージを持ち上げ、DACを支持台に置いた後、ダイヤルゲージを下げればダイヤモンドアンビル背面間距離が測定できる。試行的測定では誤差２μm程度の結果が得られた。精度・再現性・操作性を上げるためにいくつかの改良を行った。詳細は学会で発表する。

(2)ダイヤモンドアンビル弾性変形解析

ダイヤモンドアンビル先端部に印可する圧力分布をもとにダイヤモンドアンビルの弾性変形を有限要素法で解析した。弾性変形量は圧力だけでなく荷重も重要なパラメーターである。ネジで力を加えるタイプDACセルでは、荷重はサラバネの縮み量から求まる。圧力と荷重からダイヤモンドアンビルの弾性変形量を推定できる。(1)で実測したダイヤモンドアンビル背面間距離から弾性変形量を考慮したアンビル長を差し引くことにより、試料長拘束が可能となる。

キーワード：DAC、弾性変形、測定器具、GHz音速法
Keywords: DAC, elastic deformation, Distance measuring instrument, GHz ultrasonics

レーザー加熱式DACとX線吸収法を組み合わせた 高温高圧下でのニッケル密度測定

Density measurement of Ni under high pressure and high temperature using laser-heated DAC combined with X-ray absorption method

*寺崎 英紀[1]、紙名 宏幸[1]、鶴岡 椋[2]、近藤 忠[2]、米田 明[2]、森岡 康[1]、櫻井 萌[1]、鎌田 誠司[3]、河口 沙織[4]
*Hidenori TERASAKI[1], Hiroyuki KAMINA[1], Ryo TSURUOKA[2], Tadashi KONDO[2], Akira YONEDA[2], Ko MORIOKA[1], Moe SAKURAI[1], Seiji KAMADA[3], Saori I KAWAGUCHI[4]

1. 岡山大学、2. 大阪大学、3. 東北大学、4. JASRI
1. Okayama University, 2. Osaka University, 3. Tohoku University, 4. JASRI

1. 目的

これまでの惑星探査による測地観測や磁場観測、最近では地震波観測から、水星から火星に至る地球型惑星はFe-Ni合金から成る液体コアを持つとされている(e.g., Margot, 2007, Stahler et al. 2021)。これら惑星コアのサイズや化学組成を明らかにするには、探査・測地データと共にコア条件におけるFe-Ni合金液体の状態方程式が必要となる。我々はこれまでに外熱式ダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用い、低融点金属(In, Ga)の固体・液体の密度を10 GPa, 720 Kまで測定してきた(Takubo et al. 2019, Tsuruoka et al. 2021)。そこで本研究では、温度条件を大幅に拡張しコア条件でのFe-Ni合金液体の状態方程式を明らかにすることを目指して、レーザー加熱式DACを用いた高温高圧下での密度測定法を開発し、コアの１端成分であるNiの密度測定を行った。具体的な手法としては、レーザー加熱式DACと高圧下の非晶質物質の密度測定として有効なX線吸収法を組み合わせ実施した。本研究では、X線吸収法によるNi固体の密度測定に加えて、X線回折法から求めた試料密度と比較を行い、X線吸収法により得られた密度の精度評価も行った。

2. 方法

実験は、SPring-8のBL10XUビームラインにて30 keVの単色X線を用い実施した。X線吸収法では、試料のX線透過率(I/I_0)は、入射X線強度(I_0)と透過X線強度(I)の比から求められる。入射・透過X線強度はDACの上・下流に設置したイオンチャンバーを用いてそれぞれ測定した。得られたX線透過率と試料厚み情報からランベルト・ベールの式を用いて試料密度を導出した。試料厚みは、同じ試料室にある参照試料の密度とI/I_0から求めた。圧力発生装置には、先端アンビルサイズ600˜300 mmのDACを使用した。加熱はファイバーレーザーによる両面加熱を行い、X線光路とレーザーミラーとの干渉を避けるため、斜入射加熱を実施した。試料はNi箔、参照試料にはKBrを用い、これらをAl_2O_3単結晶円板の断熱材兼圧媒体で挟んだ。実験圧力は参照試料の格子体積から見積もった。

3. 結果・考察

Ni固体の密度は、10.5-20.8 GPa , 1400-1980 Kの圧力・温度条件で測定した。測定では、１つの圧力条件につき2〜3点の温度条件で測定した。Ni固体は本実験範囲ではすべてfcc構造であった。得られたX線吸収法によるNi固体の密度は、X線回折密度と0.4–3.5 %の差の範囲で一致した。特にNi試料と参照試料を同じ試料室に入れたセルでは、回折密度と0.4–1.2 %の範囲でよく一致した。またX線吸収法により得られたNi密度は、これまでに報告されている高温のNiの圧縮曲線(Campbell et al. 2009)とも整合的であった。以上より、レーザー加熱式DACとX線吸収法を組み合わせた本測定法により、Ni固体の密度を精度良く求めることができ、これまでに報告されている外熱式DACを用いた密度測定条件（˜10 GPa, ˜720 K）と比べ、特に測定温度条件を大きく拡張することが出来た。

キーワード：密度、中心核、X線吸収法、高圧
Keywords: Density, Core, X-ray absorption method, High pressure

レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いた X線吸収法による FeSの密度測定

Density measurement of FeS by X-ray absorption method with laser-heated diamond anvil cell

*森岡 康[1]、寺崎 英紀[1]、紙名 宏幸[1]、鶴岡 椋[2]、近藤 忠[2]、米田 明[2]、櫻井 萌[1]、河口 沙織[3]
*Ko Morioka[1], Hidenori Terasaki[1], Hiroyuki Kamina[1], Ryo Tsuruoka[2], Tadashi Kondo[2], Akira Yoneda[2], Moe Sakurai[1], Saori Kawaguchi[3]

1. 岡山大・院自然、2. 大阪大・院理、3. JASRI
1. Okayama Univ. Sci., 2. Osaka Univ. Sci., 3. JASRI

1. 目的

地球型惑星の中心核（コア）は、鉄-ニッケル-軽元素系合金から構成される。近年、Insight 探査機による地震波観測により火星外核が液体であることが明らかになり、コアのサイズが推定された。この情報をもとに火星コアの組成を推定するためには、火星コア条件における鉄-軽元素系液体の密度情報が不可欠である。火星コア中の軽元素の有力な候補としては、硫黄が考えられている（Dreibus and Wanke, 1987）。そこで本研究では、火星コア条件（20 –40 GPa, 1700 - 2300 K）での密度測定を目指し、レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセル（DAC）を用いて、まずFeS固体の密度測定をおこなった。密度測定には液体試料にも適用可能なX線吸収法を用いた。

2. 方法

ダイヤモンドアンビルは、先端キュレットサイズが 450 μm のものを使用した。Reガスケットの2つの試料室の片方に FeS 試料、もう片方に参照物質（KBrまたは RbBr)を、それぞれ圧媒体である単結晶アルミナで挟んで封入した。X 線吸収法では、試料前後の X 線強度から試料のX 線透過率を求め、ランベルト・ベールの式を用いて試料密度を求める。試料厚みは、参照物質の測定から決定した。実験はSPring-8 放射光の BL10XU ビームラインで行い、30 keV の単色 X 線を用いた。X 線強度はイオンチャンバーで、X線回折はフラットパネル検出器を用いて測定した。加熱用レーザーは両面から試料に対し斜めに照射した。測定時の圧力は試料の格子体積から決定した。

3. 結果・考察

X線吸収法により、固体FeSの密度を10.8 –16.9 GPa、1550 –2450 K の圧力・温度条件で測定した。測定範囲でのFeSはすべて、NiAs型構造を持つFeS-V相であった。X線吸収法により得た密度と同時に測定したX線回折法による密度と比較を行い、結果を検証した。X線吸収法によるFeS密度は、試料厚みが7 μm以上確保されたものでは、回折法による密度との差が0.3 –6.9 %であった。特に1550 –1650 Kでの吸収法による密度は、回折密度と0.3 –1.4 %の差でよく一致しくた。一方1900 K以上のより高温条件の結果は、回折密度との差が2.1 –7.5 %と大きくなった。これは高温時の試料膨張が大きく、厚みの見積誤差が大きくなったためと考えられる。

キーワード：密度、中心核、ダイヤモンドアンビルセル、高圧
Keywords: Density, Core, Diamond anvil cell, High pressure

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

中性子回折と分子動力学法を用いたFeS Vの水素化挙動の探索

Neutron diffraction measurements and molecular dynamics simulations on FeS hydrides

*高野 将大[1]、鍵 裕之[1]、森 悠一郎[1]、青木 勝敏[1]、柿澤 翔[2]、佐野 亜沙美[3]、飯塚 理子[4]、土屋 卓久[5]
*Masahiro Takano[1], Hiroyuki Kagi[1], Yuichiro Mori[1], Katsutoshi Aoki[1], Sho Kakizawa[2], Asami Sano[3], Riko Iizuka[4], Taku Tsuchiya[5]

1. 東大・院理、2. JASRI、3. 日本原子力研究開発機構 J-PARC、4. 早稲田大 教育・総合科学学術院、5. 愛媛大・GRC
1. The Univertsity of Tokyo, 2. JASRI, 3. J-PARC, 4. Waseda University, 5. Ehime University

水素は高温高圧条件下で鉄の結晶格子間サイトに侵入し、水素化鉄FeH_xを生成する (e.g., Fukai et al., 1984)。水素化鉄の単位胞体積は単位胞中の水素量に比例して増加し、その比例係数は水素誘起体積膨張係数ΔV_Hと呼ばれる。これまでに鉄水素化物中の水素安定位置と水素誘起体積膨張係数に関する議論が多く行われてきた(e.g., Machida et al., 2014)。 一方、鉄と硫黄の化合物であるFeSの高温高圧相であるFeS Vも鉄と同様に高温高圧条件下で水素化することがX線回折その場観察実験により示されている(Shibazaki et al., 2011)。FeS Vは水素化鉄と同様にdhcp構造を持つため、dhcp水素化鉄と同様に結晶格子間サイトに水素が存在していると考えられる。一方で、FeS V中の水素原子の安定位置とΔV_Hは決定されておらず、先行研究におけるFeS V中の水素溶存量の上限は鉄のΔV_Hを用いて推定されている。本研究では、①FeS V中の水素安定位置、②FeS VのΔV_H、③水素溶存量の上限の３つを、高温高圧下での中性子回折によるその場観察実験と第一原理計算をはじめとした数値シミュレーションを併用して明らかにすることを目的としている。

中性子回折によるその場観察実験はJ-PARC MLF BL11(PLANET)に設置されている6軸マルチアンビルプレス「圧姫」を用い、加圧には中性子回折用に開発されたAlジャケット付きMA6-6方式 (TEL=10 mm)(Sano-Furukawa et al., 2014)を採用した。ヒーターにはグラファイトを用いた。出発試料にはFeS(troilite)、重水素源にはND_3BD_3を用い、放出される重水素の物質量がFeSと等しくなるよう調整した。試料容器には水素封止材であり、圧力マーカーとしても機能するNaClを用いた。 5.35 GPa, 1000 Kで中性子回折パターンの時分割測定を行いFeS Vの単位胞体積の時間変化を調べたところ、FeS Vの単位胞体積が0.1 $Å^3$程度膨張する現象が見られた。膨張量が非常に小さく、この体積膨張がFeS Vの水素化起因なのか、長時間保持による圧力の僅かな低下に起因するものなのかは判断できなかった。FeS V中の水素位置と水素量を決定するため、5.35 GPa, 1000 Kと4.68 GPa, 700 Kの2点で長時間測定を行い、得られた回折プロファイルに対して結晶構造精密化を行った。dhcp水素化鉄において水素は八面体サイトのみを占有するため、FeS Vについても重水素は八面体サイトのみを占有すると考え、結晶構造精密化を行った。重水素の等方原子変位パラメータ(ADP)が極端に大きな値に収束する傾向が見られたため、重水素のADPを鉄水素化物の先行研究(e.g., Machida et al., 2019; Saitoh et al., 2020)に基づきBFe=2.2(700 K)、4.0(1000 K)に固定して結晶構造精密化を行った。その結果、重水素の八面体サイトの占有率は5.35 GPa, 1000 Kで0.022(2)、4.68 GPa, 700 Kで0.014(2)となった。X線回折で求めた体積膨張からFeSの水素化量を求めた先行研究では、5 GPaにおける水素化FeS Vの単位胞中の水素量を0.2と見積もっており、本実験で得られた水素量は先行研究より非常に小さい。FeSがほぼ水素化しなかった原因として、①本研究の温度圧力条件ではFeSはほぼ水素化しない、②NaClカプセルの予期せぬ変形により、水素がNaClカプセル内に保持されなかった、という2つの可能性が考えられる。①は、水素化起因の体積膨張と融点の低下を報告した先行研究(Shibazaki et al., 2011)と矛盾することから有力な説とは言い切れず、②は、実験中に水素が漏れ出た際に観察されるヒーターの抵抗の上昇が確認されていないため、水素が漏れ出たとは言い難い。水素化がほぼ起きなかった理由については更なる検討が必要である。

また、第一原理MDシミュレーションを行い、FeS V中での水素の運動を追跡した。基本セルとしてFe原子16個、S原子16個を含んだFeS Vのスーパーセルに水素が1個入った構造を与えた。時間ステップは0.5 fs、温度条件は800 Kとし、圧力は11.3(13) GPaであった。計算結果から水素原子に着目して動径分布関数を求めたところ、Feがつくるポテンシャルと Sがつくるポテンシャルの形状が大きく異なり、ポテンシャルの重ね合わせによりFeS Vの八面体サイト内での水素の安定性が大きく低下していることがわかった。この結果は、水素がFeS Vの八面体サイト内に存在している時間が短く、回折への寄与が小さい可能性を示している。

キーワード：FeS、水素、中性子回折、高圧実験、分子動力学法
Keywords: FeS, hydrogen, neutron diffraction, high-pressure experiments, molecular dynamics

3GPaにおけるFe-FeS-FeO系の融解関係

Melting relations in the system Fe-FeS-FeO at 3 GPa

辻 航輔[1]、*浦川 啓[1]、寺﨑 英紀[1]
Kosuke Tsuji[1], *Satoru URAKAWA[1], Hidenori Terasaki[1]

1. 岡山大学
1. Okayama University

惑星のコアは鉄ニッケル合金と硫黄や酸素などの軽元素から構成されていると考えられている。鉄-軽元素系の融解関係は、コアを形成する液体鉄合金の物性と密接に関係しているため、惑星のコアの形成過程や化学組成を解明する手がかりとなる。太陽系形成期の微惑星や惑星胚のコア形成は数GPaの圧力下で進行して惑星の核の化学組成に大きな影響を与えたと考えられている。この点に着目して 3 GPaでのFe-FeS-FeO系の融解関係を実験的に調べた。

実験は岡山大学の川井型高圧装置を用いて行った。回収試料の組織観察と化学分析からFe-FeS-FeO系の融解関係を検討した。

Fe-FeS-FeO三成分系の液相面には液体不混和領域が1気圧（0.1 MPa）から約20 GPaの圧力まで存在する。Feに富む金属液体とOに富むイオン性液体に分離する液体不混和領域はFe-FeO二成分系側からFeS端成分に向かって広がっている。0.1 MPaでは、Feの融点はFeSやFeOの融点よりもはるかに高いため、三成分共融点はFeS－FeO二成分系の中間付近に位置し、Feの初晶領域は液体不混和領域をはさんでFeS-FeO二成分系付近まで広がっている。FeSとFeOはFeよりも融点の圧力勾配が大きいため、液相面は0.1 MPaと3 GPaでは大きく異なる。3 GPaでは三成分共融点はFe-FeS二成分共融点の近くにあり、Feの初晶領域はFe-FeS二成分系近傍に制限され，かわりにFeOの初晶領域が拡大する。

Wendlandt & Huebner (1979)の報告した3GPaの融解関係と比較すると，三成分共融点の位置は一致するがFeとFeOの初晶領域については異なっている。彼らの相図ではFeとFeOの初晶領域は0.1 MPaとほぼ同じである。一方，今回の結果は，Fe-FeS-FeO系の液相面がUrakawa et al. (1987)に報告された6 GPaのものと調和的であることを示している。Wendlandt & Huebner (1979)の結果と今回の結果から，Fe-FeS-FeO系の融解関係は3 GPa付近で大きく変化すると考えられる。

References
Urakawa S., Kato M., Kumazawa M., in AGU Monograph Series, vol. 39, 95-111, 1987. https://doi.org/10.1029/GM039p0095
Wendlandt R.F. and Huebner J.S., *Lunar Planet.Sci.*, X, 1329-1331, 1979.

キーワード：核、軽元素
Keywords: Core, Light elements

高温高圧下でのビスマス研究

Bismuth at high temperature and high pressure

*小野 重明[1]
*Shigeaki ONO[1]

1. 海洋研究開発機構
1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

高圧実験において、実験中の発生圧力を正確に知ることは極めて重要である。近年、量子ビームを利用した高圧実験おいては、装置で発生する圧力は、比較的正確に見積もることができる。一方、量子ビームの併用が困難な研究手法が多々あることや、量子ビームの利用機会が限られていることなどの理由から、従来の室内実験の重要性が低下することはなく、今後も精力的に室内実験研究が行われることが予想される。そこで問題となるのは、室内実験における圧力情報の正確さであろう。地球内部科学においては、圧力は深度の情報に対応し、緻密な研究を進める上では、きわめて正確な実験圧力条件を知ることが不可欠である。そこで本研究においては、室内実験で頻繁に利用されるビスマスの相図について、相関係や相転移圧力の再決定を行い、従来から使われている相図との比較を行った。

高圧実験では、マルチアンビル型装置を用い、放射光X線回折実験を行った。実験はPR-AR（KEK）を利用した。実験方法は、これまで我々のグループが行ってきた方法とほぼ同様の手法を用いた[1]。実験の温度圧力履歴は、まず目的にプレス過重まで加圧し、加圧後に目的の温度まで昇温し、データ取得後、次の目的温度へ変更し、データを取得するという事を繰り返した。加熱中に試料の粉末X線回折データを取得し、安定相の同定を行った。

本研究で得られたデータから見積もられる相図は、過去の研究結果[2]とおおよその一致を示した。しかしながら、相図の3重点の相関係において、過去の研究と異なる点が確認された。過去の研究では、II相-IV相-液相の3重点とII相-III相-IV相の3重点が報告されていた。本研究では、II相-III相-液相とIII相-IV相-液相の3重点が確認された。この3重点の温度圧力条件は極めて近いため、過去の研究では、実験誤差の大きさなどの理由から、3重点の見積もりが誤っていた可能性が指摘されるであろう。

[1] S. Ono (2018) High-pressure phase transition of bismuth, High Pressure Research, 38:4, 414-421, DOI: 10.1080/08957959.2018.1541456
[2] W. Klement Jr. et al. (1963) Phase diagrams of Arsenic, Antimony, and Bismuth at Pressure up to 70 kbars, Physical Review, 131, 632-637.

キーワード：ビスマス
Keywords: Bismuth

ポスター | R5：地球外物質

2023年9月16日(土) 12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R5：地球外物質

12:00 ~ 14:00

[R5P-01] 二酸化ゲルマニウムの衝撃圧縮による構造変化

*荒賀 大翔[1,2]、梅田 悠平[1,2]、小林 敬道[3]、遊佐 斉[3]、瀬戸 雄介[4]、奥地 拓生[1,2] (1. 京都大・院工、2. 京都大・複合研、3. 物質・材料研究機構、4. 大阪公立大・院理)

二酸化ゲルマニウムの衝撃圧縮による構造変化

Structural Evolution of Dynamically-compressed Germanium Dioxide

*荒賀 大翔[1,2]、梅田 悠平[1,2]、小林 敬道[3]、遊佐 斉[3]、瀬戸 雄介[4]、奥地 拓生[1,2]
*Hiroto Araga[1,2], Yuhei Umeda[1,2], Takamichi Kobayashi[3], Hitoshi Yusa[3], Yusuke Seto[4], Takuo Okuchi[1,2]

1. 京都大・院工、2. 京都大・複合研、3. 物質・材料研究機構、4. 大阪公立大・院理
1. Kyoto Univ. Eng., 2. KURNS Kyoto Univ., 3. NIMS, 4. Osaka Metropolitan Univ. Sci.

1. はじめに

ケイ素酸化物の衝撃圧縮挙動はこれまで，隕石や地球表面の衝突現象を理解するために研究されてきた[1]．一方でゲルマニウム酸化物の系も，地球惑星物質および隕石の主成分であるケイ素酸化物やケイ酸塩のアナログとして，高圧挙動の理解のために研究されてきた．ケイ素とゲルマニウムは価電子配置に類似性をもつが，Si^{4+}に比べてGe^{4+}のイオン半径が大きいため，後者ではより低い圧力で配位数が増える方向の相転移が引き起こされる．例えば地球内部および隕石に含まれる$MgSiO_3$に関して，そのポストペロブスカイト構造が約半分の圧力値で$MgGeO_3$によって再現され，高圧挙動の理解に際し重要な役割を果たしている[2]．$MgSiO_3$と同様にMg_2SiO_4に関しても高圧力の下ではMg_2GeO_4が8配位型をとりえることがMg_2SiO_4に先駆けて報告された[3]．以上により，Ge^{4+}はSi^{4+}よりも低圧側で圧力効果を反映するため，その構造変化過程を理解することは，高圧下での衝突現象の理解のためにも重要な課題の一つといえる．

Ge^{4+}はガラスにおいても比較的低い圧力で配位変化を起こすことが知られている．GeO_2ガラスは常圧では頂点共有した四面体からなり，20 GPaまでの圧力範囲で4から6へと徐々にGe^{4+}の配位数が変化する．これまで，非晶質GeO_2は衝撃圧縮下において，結晶GeO_2と同様に4配位から6配位へ相転移を起こすと考えられてきた[4]．しかしながら，非晶質GeO_2の衝撃圧縮回収試料の構造観察はあまり行われておらず，結晶GeO_2との実験における構造比較については調べられていない．本研究では，物質・材料研究機構（NIMS）の一段式火薬銃を用いることで動的圧縮された非晶質GeO_2の構造変化について調べた．

2. 実験方法

出発試料の非晶質GeO_2は，純度99.999%のGeO_2粉末を1400 ℃で14時間，1450 ℃で6時間シリコニット炉で溶融し，大気下で急冷して作成した．衝撃回収実験はNIMSの一段式火薬銃を用いて行なった．試料をTaC製の乳鉢と乳棒によって粉末にした後，ペレット化した試料をSUS304製の試料容器に封入した．反射衝撃波によって試料圧力が容器と圧力平衡に到達するように試料厚みは1mm以下に設計した．

先行研究[4,5]にて推定されている非晶質GeO_2の相転移圧力をもとに，目標圧力を決定した．衝突速度はマグネットフライヤー法を用いて計測した[6]．インピーダンスマッチング法により，衝撃圧力を計算すると17 GPaであった．衝撃圧縮後の試料を回収し，粉末XRDによりX線構造解析を行った．

3. 結果と考察

衝撃圧縮後の粉末XRD回折パターンを調べた(Fig.1)．衝撃圧縮により非晶質GeO_2母相に加え，4配位結晶であるα-quartz型GeO_2と6配位結晶であるrutile型GeO_2のピークが見られた．また，今回の圧力領域においては，非晶質GeO_2から結晶GeO_2が凍結されることも明らかとなった．先行研究[7]において，結晶GeO_2は衝撃圧縮によって圧力誘起非晶質化を起こすと考えられている．今回の結果は，出発物質によって衝撃圧縮後の状態が異なることを示していると考えられる．このことは衝撃圧縮後の状態を調べることにより，圧縮前の構造を特定できる可能性を示している．本結果をSiO_2系の挙動と比較対照することで，地球表面の衝突現象についての理解の進展にもつながると考えられる．

参考文献
[1] S. J. Tracy et al., Science Advances, 6, eabb3913 (2020).
[2] K. Hirose et al., American Mineralogist, 90, 262-265 (2005).
[3] R. Dutta et al., PNAS, 119, 8, e2114424119 (2022).
[4] I. Jackson et al., Physics of the Earth and Planetary Interiors, 20, 60-70 (1979).
[5] 泉谷健介ら, 日本鉱物学会年会講演要旨集, 日本鉱物学会2005年度年会, 50-50 (2005).
[6] S. Nakazawa et al., Planetary and Space Science, 45, 11, 1489-1492 (1997).
[7] N. Suresh et al., Journal of Applied Physics, 76, 3, 1530-1534 (1994).

謝辞
本研究はNIMS連携拠点制度(QN3510地方連携創出)の支援を受けて行われたものです．また本研究はJSPS科研費 20K20947, 23K17702の助成を受けたものです．

キーワード：二酸化ゲルマニウム、衝撃圧縮、非晶質構造、粉末X線回折
Keywords: GeO2, Shock compression, amorphous, powder XRD diffraction

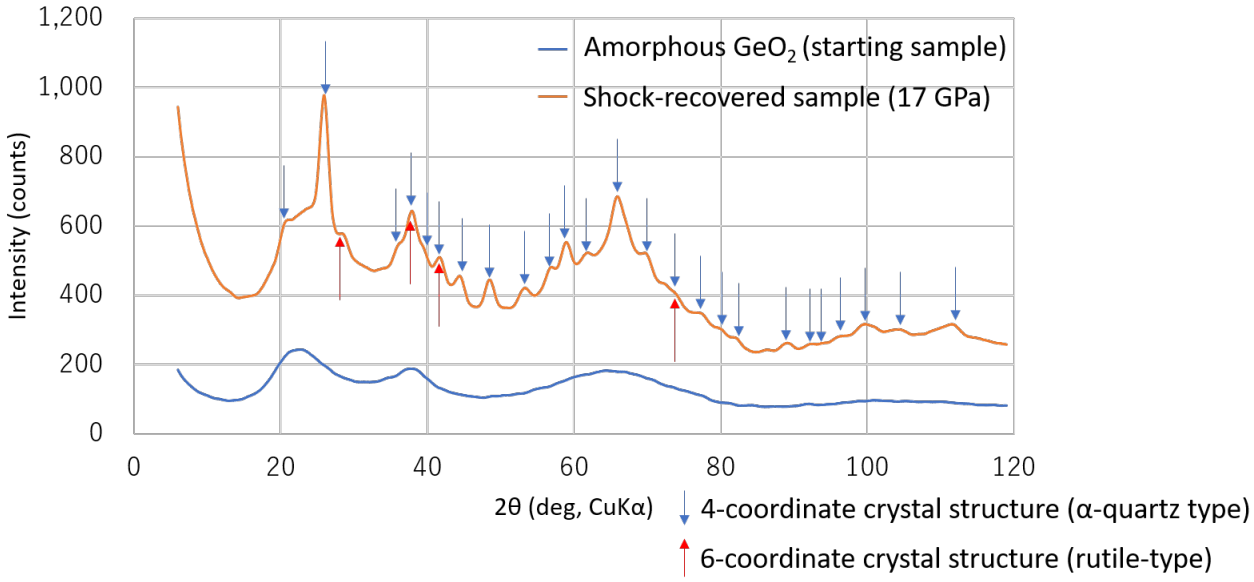


Fig.1 Powder XRD diffraction patterns of the shock-recovered sample and an amorphous GeO_2 before compression.

ポスター | R6：深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

2023年9月16日(土) 12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R6：深成岩・火山岩及び サブダクションファクトリー

12:00 ~ 14:00

[R6P-01] 北部九州，尺岳北部火成岩類の閉鎖系・開放系における組成変化過程

*江島 圭祐[1] (1. 山口大・創成科学)

12:00 ~ 14:00

[R6P-02] 火山帯における最上部地殻の形成過程：兵庫県産，白亜紀火山－深成複合岩体の例

*大和田 正明[1]、福田 俊介[1]、亀井 淳志[2] (1. 山口大学、2. 島根大学)

12:00 ~ 14:00

[R6P-03] アダカイト質マグマの大陸地殻浅部への貫入・定置機構：北上山地，堺ノ神深成岩体を例として

「発表賞エントリー」

*鈴木 哲士[1]、浅井 信夫[1]、中島 和夫[1]、小北 康弘[2]、横山 立憲[2]、坂田 周平[3]、大野 剛[4]、湯口 貴史[5] (1. 山形大学、2. 原子力機構、3. 東大地震研、4. 学習院大学、5. 熊本大学)

12:00 ~ 14:00

[R6P-04] 背弧域マントルの希ガス同位体比に基づいた不均質同定

*横倉 伶奈[1]、角野 浩史[1]、栗谷 豪[2]、萩原 雄貴[3]、山本 順司[4] (1. 東京大、2. 北海道大、3. JAMSTEC、4. 九州大)

12:00 ~ 14:00

[R6P-05] 鉱物中に分布する物質移動に資する内部構造の三次元的な評価： 土岐花崗岩体のカリ長石中の微小孔

*野中 麻衣[1,2]、湯口 貴史[3] (1. 山形大学、2. 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、3. 熊本大学)

12:00 ~ 14:00

[R6P-06] 九重火山群第四紀マグマの起源や進化過程について

*山中 壮馬[1]、柴田 知之[3]、藤原 涼太郎[1]、折戸 達紀[1]、幣島 太一[1]、芳川 雅子[3]、柴田 智郎[2] (1. 広島大・理、2. 福岡大・理、3. 広島大学・先進理工)

12:00 ~ 14:00

[R6P-07] 岐阜県中濃地域に分布する前期中新統蜂屋層の地球化学的特徴

「発表賞エントリー」

*西條 成[1]、髙橋俊郎 俊郎[2] (1. 新潟大・院自然、2. 新潟大)

12:00 ~ 14:00

[R6P-09] 北上山地，遠野複合深成岩体に産出する石英のカソードルミネッセンスパターンとチタン濃度・アルミニウム濃度の定量分析

*小北 康弘[1,2]、加藤 丈典[3]、湯口 貴史[4] (1. 山形大、2. 原子力機構、3. 名古屋大、4. 熊本大)

12:00 ~ 14:00

[R6P-10] 花崗岩中の石英のカソードルミネッセンスパターンとチタン濃度定量による石英の結晶化プロセスの解明

*加藤 あすか[1]、加藤 丈典[2]、小北 康弘[1,3]、湯口 貴史[4]、笹尾 英嗣[3] (1. 山形大、2. 名古屋大、3. 原子力機構、4. 熊本大)

12:00 ~ 14:00

[R6P-11] 東南極リュッツォホルム岩体二番岩に産する苦鉄質岩脈の記載岩石学とRb-Sr鉱物年代

*宮本 知治[1]、山下 勝行[2]、Dunkley Daniel J.[3]、角替 敏昭[4]、加藤 睦実[5] (1. 九州大学、2. 岡山大学、3. Polish Academy of Sciences、4. 筑波大学、5. 千葉大学)

北部九州，尺岳北部火成岩類の閉鎖系・開放系における組成変化過程

Compositional changes in closed and open systems of igneous rocks from northern part of Mt. Shaku-dake, northern Kyushu, SW Japan

*江島 圭祐[1]
*Keisuke ESHIMA[1]

1. 山口大・創成科学
1. Yamaguchi Univ.

【はじめに】近年，北部九州に産する白亜紀苦鉄質岩から高Mg安山岩（HMA）組成の閃緑岩（HMD）の貫入岩が報告されている．例えば，国東半島，北多久（Kamei et al., 2004），尺岳および牛斬山地域（Eshima et al., 2020; Eshima, 2021; Eshima and Owada, 2023）などが挙げられる．このようなマントル起源の苦鉄質マグマは，親マグマや地殻溶融の熱源として花崗岩質マグマの成因に強く関与すると考えられており（Reid et al., 1983），北部九州白亜紀花崗岩バソリスのマグマ成因論や花崗岩地殻の成長過程を包括的に理解するために非常に重要な岩石である．一方，HMAマグマの成因やその発生過程を明らかにする上で，HMA（HMD）岩体と同時期に活動した周囲の岩体との地質学的・岩石学的関係を検討することは極めて重要である．このような検討はHMAの活動を有する火成活動の理解を火山–深成活動や地質学的時間軸を含めた包括的な理解へと展開させる．そこで，本発表は北部九州最大のHMD岩体である尺岳岩体の北部に産する半深成岩体を含む火成岩類の閉鎖系・開放系における組成変化について検討し，白亜紀火成活動早期の深成作用について議論する． 【地質概要】尺岳北部の地質は，脇野亜層群を母岩とし，それを貫く斑状細粒トーナル岩体（PFT），単斜輝石石英閃緑岩（CQD）および小規模岩脈類から構成される．PFT岩体は5.0 km ×3.0 kmの北東–南西方向に伸びた楕円状に産し，脇野亜層群に接触変成作用を与えている．大和田ほか（1999）はPFTから109.5 ±2.4 MaのホルンブレンドK–Ar年代を報告しており，この年代値は，北部九州花崗岩バソリス活動の早期に相当する．また，岩体内部には熱水変質作用による石英，緑泥石およびカルサイトを主とする脈が発達し，脇野亜層群との貫入境界部では，脇野亜層群の泥質部と混じり合ったペペライト状の組織が観察される．CQD岩体は，PFTの東に隣接し，東西約1 km，南北約700 mの小規模ストック状岩体として産する．PFTと異なり母岩（脇野亜層群，PFT）に明瞭な境界を持って貫入する．小規模岩脈類は斑状細粒閃緑岩（PFD）と単斜輝石安山岩（CA）の2岩相があり，どちらも幅1–10 m，延長は100 m以下の高角度岩脈としてPFT岩体内部で確認される．【閉鎖系（CQD）の組成変化】CQDのSiO_2含有量の範囲は55.7 –60.9 wt%であり，各元素は一連の組成変化トレンドを形成する．また，全岩–モード組成変化図では，全岩SiO_2含有量58 wt%付近で組成変化トレンドの角度が変化する．斜長石の集積組織・自形性および少量の直方輝石の存在から，組成トレンドの変曲点を境にLow-SiO_2 groupとHigh-SiO_2 groupに区別することができる．これらのグループは微量元素組成を用いたモデル計算から分別結晶作用と集積作用を同一系内で経験したと考えられる．High-SiO_2 groupには汚濁帯を伴う斜長石が一般的に産する．また，変曲点付近の試料にはAutolithが含まれる．こうした記載岩石学的特徴と化学組成の検討から，CQDは同一起源のマグマが系内で混合作用も起こしていたと考えられる．【PFTの変質鉱物】PFTは斑状組織を示す硬質な岩石である．しかし，熱水変質作用の影響で生じた変質鉱物や変質鉱物脈が確認できる．変質鉱物組み合わせから，これらは約200 –350℃の中性変質帯で形成したと考えられる（Inoue et al., 1995）．【開放系（PFT）の組成変化】PFTは0.8–5.8の幅広いLOI値を持ち，記載的な変質度に密接に関連する．そこで，LOI値の量比からPFTを3タイプ（High-, Medium-, Low-LOI group）に区別して各種化学組成を検討した． PFTのアルカリ金属とアルカリ土類金属はLow-, Medium-およびHigh-LOIの順に組成幅が大きくなり，その変化トレンドは湾曲する．物質収支計算の検討結果から， Low-LOI group（LOI < 1.5）は，mobile elementsの移動量が少なく，分別結晶作用で説明可能である．一方で，High-LOI group （3.0 < LOI）はアルカリ金属・土類金属元素やSiO_2の溶脱や付加作用が確認できる．さらに，サンプル採取密度の高い岩体西部で溶脱または付加した元素のコンターマップを作成する

と，変質度の高い試料には元素の溶脱・付加作用が確認でき，岩体内部ほど，元素の溶脱や付加作用の傾向が顕著であることが明らかになった.

キーワード：白亜紀北部九州バソリス、半深成岩、混合、熱水変質作用
Keywords: Cretaceous Northern Kyushu Batholith, Porphyry, Mixing, Hydrothermal alteration

火山帯における最上部地殻の形成過程：兵庫県産，白亜紀火山ー深成複合岩体の例

Formation of upper-most crust in volcanic belt: Example for Cretaceous volcano–plutonic complex, Hyogo Prefecture, southwest Japan

*大和田 正明[1]、福田 俊介[1]、亀井 淳志[2]
*Masaaki OWADA[1], Shunsuke Fukuda[1], Atsushi Kamei[2]

1. 山口大学、2. 島根大学
1. Yamaguchi University, 2. Shimane University

沈み込み帯における火山ー深成複合岩体の活動年代，火成活動史そして岩石化学的特徴を明らかにすることは，活動的大陸縁辺部の最上部地殻の形成過程の解明に貢献できる。このような場で，マグマによる熱の供給が長期間続くと，地殻の浅部で高い地温勾配が形成される。実際，領家帯柳井地域では，最上部の岩石は既に削剥されているが，低変成度地域の温度構造は地下3-4 kmの深度で400℃を越えると推定されている (Ikeda, 2004)。兵庫県，加古川市から姫路市周辺には，白亜紀末の主に流紋岩質ないしデイサイト質の火山岩類を花崗岩類が貫く火山-深成複合岩体が分布する。火山岩類のジルコン FT 年代は 73.2 ±3.4 Ma，深成岩類の黒雲母のK-Ar 法は 77.5 ±1.3 Ma で，噴出岩と貫入岩がほぼ同じ年代値を示す。しかし，本地域の複合岩体は，層序・貫入関係や岩石記載の概要が報告されているのみで，形成史の解明には至っていない。そこで，本研究は，岩相分布・地質構造の調査，および岩石記載・全岩化学分析等により，複合岩体の貫入関係と成因的関係性を検討する。

調査地域西部には，主に凝灰岩類が分布し，薄い安山岩質シートを挟む。凝灰岩類は北西部で強溶結構造を示す岩相がまとまって分布する。その他の地域では粒度・溶結の程度・結晶片や岩片の含有量などは様々である。凝灰岩類の堆積・溶結構造の走向は，およそ東西方向で中～低角度の北傾斜で，北西側ほど上位層が分布する。安山岩は調査地域の南東部に位置し，東西に伸びる尾根に沿ってシート状に分布するが，明瞭な急冷周縁相を伴わない。一方，調査地域東部の大藤山周辺には， 1.5 x 1.5 km四方の小規模なストック状文象花崗閃緑岩が凝灰岩類に貫入している。また，細粒な石英閃緑岩や斑状花崗岩，そして細粒花崗岩の岩脈が文象花崗閃緑岩を貫く。

凝灰岩類は一般に溶結構造が弱いか示さない主岩相と強溶結凝灰岩からなる。主岩相は流紋岩質～デイサイト質で，岩相変化に富み，同質あるいは異質岩片を多量に含む。破断した石英，斜長石，アルカリ長石の結晶片や火山岩片や完晶質岩片を含む。また文象花崗閃緑岩との境界部には，再結晶組織が発達する。強溶結凝灰岩は溶結構造が顕著であるほか，構成鉱物の特徴は主岩相と一致する。安山岩は少量の斜長石斑晶と微細な斜長石を主とする石基から構成される。変質が著しく，石基に方解石やゾイサイトを含むほか，有色鉱物の微斑晶は大部分緑泥石やゾイサイトに置換されている。文象花崗閃緑岩は文象構造が顕著な斑状～半自形粒状組織で，主に斜長石，石英，アルカリ長石，黒雲母，普通角閃石から構成され，副成分鉱物として不透明鉱物，燐灰石，褐簾石及びジルコンを含む。斑状花崗閃緑岩の構成鉱物は文象花崗閃緑岩とほぼ同じである。細粒花崗閃緑岩は細粒，等粒状組織を示し，微文象構造が発達している。石英閃緑岩は半自形粒状組織を示し，主に斜長石，普通角閃石，黒雲母，石英からなり，副成分鉱物として不透明鉱物，ジルコン，燐灰石を含む。斜長石は汚濁帯を伴うものが多い。また斜長石の内部に長径 0.2 mm 未満の微少な角閃石を含むことがある。燐灰石は微細な針状結晶が卓越する。

顕微鏡下で変質の程度を考慮して，全岩化学組成を分析する試料を選別した。安山岩質シートを含む貫入岩類のSiO_2含有量は58～75 wt%で，シリカ・アルカリ図で非アルカリ岩系の組成を示す。アルミナ飽和指数は0.87～1.04である。また，FeO*/MgO比は，石英閃緑岩の2.1～2.3を除くと，他の岩相は全て4.5以上を示す。Miyashiro (1974)の図では，石英閃緑岩がカルクアルカリ岩系に，それ以外は全ての岩相はソレアイト岩系の組成領域に点示される。調査地域は，西南日本内帯の南部に位置すること，ソレイアイト岩系の岩石が卓越し，少量のカルクアルカリ岩系の岩石を伴うことから，本地域は白亜紀後期の火山フロントを形成していた可能性が高い。また，文象花崗閃緑岩と接する凝灰岩層は，接触変成作用を受けている。調査地域の周辺には，広く噴出岩類が分布するが，これらは，いずれも貫入岩類を伴い，火山一深成複合岩体を形成する。以上から，白亜紀後期の火山フロント付近では，沈み込み帯の火成活動によって，高い地温勾配が地表付近まで保たれていたと推察される。

キーワード：後期白亜紀、火山一深成複合岩体、火山フロント、ソレアイト岩系
Keywords: Late Cretacous, Volcano-plutonic complex, volcanic front, Tholeiitic seriese

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

アダカイト質マグマの大陸地殻浅部への貫入・定置機構：北上山地，堺ノ神深成岩体を例として

Intrusion and emplacement processes of adakitic magma into the shallow crust: A case study of the Sakainokami plutonic body, Kitakami mountains, northeast Japan

*鈴木 哲士[1]、浅井 信夫[1]、中島 和夫[1]、小北 康弘[2]、横山 立憲[2]、坂田 周平[3]、大野 剛[4]、湯口 貴史[5]
*Satoshi SUZUKI[1], Nobuo ASAI[1], Kazuo NAKASHIMA[1], Yasuhiro OGITA[2], Tatsunori YOKOYAMA[2], Shuhei SAKATA[3], Takeshi OHNO[4], Takashi YUGUCHI[5]

1. 山形大学、2. 原子力機構、3. 東大地震研、4. 学習院大学、5. 熊本大学
1. Yamagata Univ., 2. Japan Atomic Energy Agency, 3. Univ of Tokyo. , 4. Gakushuin Univ. , 5. Kumamoto Univ.

島弧-海溝系の沈み込み帯で生じるカルクアルカリ～ショショナイト質マグマの形成は，大陸地殻の発達・進化に大きく寄与することが報告されている（例えば，Gill, 1981; 巽, 2004）．このような島弧-海溝系ではマグマの生成量が増加する時期「フレアアップ（Chapman et al., 2021）」が生じており，大陸地殻の発達・進化を理解する上でフレアアップを把握する必要がある．

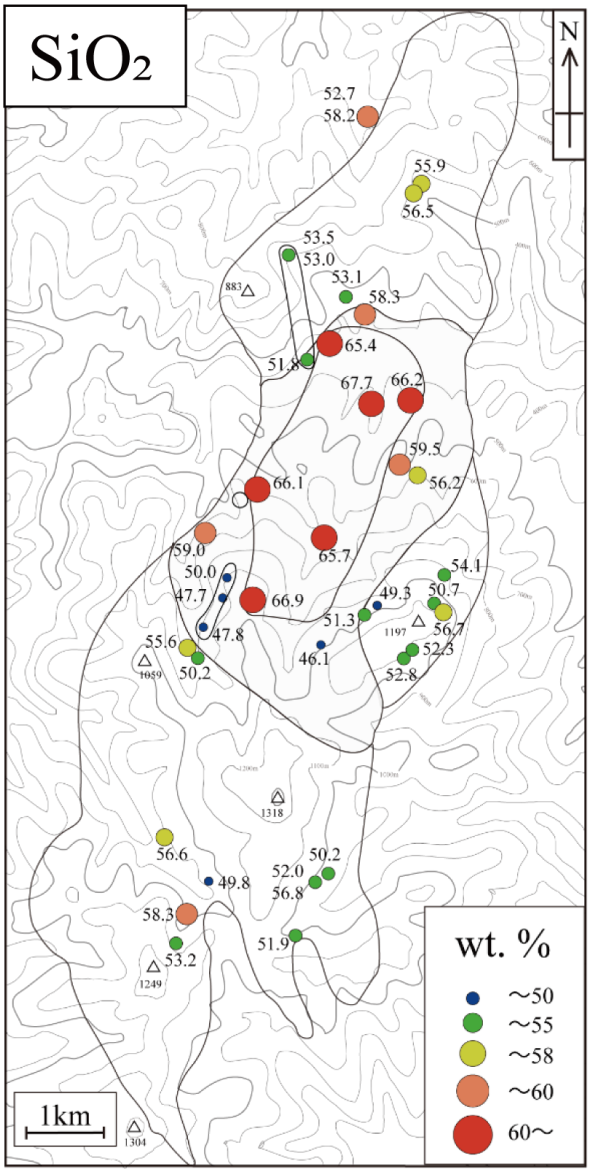
北上山地の深成岩類は島弧-海溝系のマグマ活動によって形成され，125～110 Maの年代を示すことが知られている（沢田，2018）．さらに白亜紀砕屑性ジルコンのU-Pb年代から，約112 Maにピークを持つフレアアップによって北上山地の深成岩類が形成されたことが報告されている（Pastor-Galán et al., 2021）．これに加えて，北上山地の深成岩ではアダカイト由来の岩石の産出が確認されている（土屋，2015）．つまり，北上山地の深成岩類はカルクアルカリ～ショショナイト質マグマである非アダカイト質マグマとアダカイト質マグマの両方から形成され，白亜紀フレアアップは非アダカイト質マグマだけではなく，アダカイト質マグマとの関連性も示されてきた．そのため，島弧-海溝系の沈み込み帯における白亜紀フレアアップを理解する上で，アダカイト質マグマと非アダカイト質マグマ活動の解明は重要である．北上山地の深成岩類はアダカイト質マグマと非アダカイト質マグマの両方から形成されるため，島弧-海溝系の白亜紀フレアアップの理解するモデルとして妥当な地域である．特に，アダカイト質マグマと非アダカイト質マグマの貫入・定置機構（特にマグマの貫入・上昇，定置，固化に至るまでの冷却過程，貫入速度）は不明瞭であり，この解明はフレアアップ期の大量のマグマ供給に由来する大陸地殻の発達・進化の理解につながる．

北上山地に産する深成岩類の多くは白亜紀フレアアップに形成された岩体である．しかし，岩石学的特徴の違い（特にアダカイト質岩の有無）から土屋ほか (2015)では岩体を2つのタイプに分類，異なる貫入・定置機構を有すると論じている．1つが非アダカイト質マグマ単独で形成される岩体（例えば久喜岩体など）で，もう1つがアダカイト質マグマを中心として形成された岩体であり，中心部にアダカイト質岩，周囲に非アダカイト質岩の累帯構造を示す岩体（例えば遠野岩体など）である．一方，我々の露頭調査や岩石学的研究により，堺ノ神深成岩体はアダカイト質マグマと非アダカイト質マグマによって形成された岩体であり，中心部がアダカイト質岩の産出を伴うため後者のタイプに類似するものの，明瞭な累体構造を呈さないことが分かっている．このことから，これまでの2つの分類とは外れる岩体である．我々は白亜紀フレアアップのアダカイト質マグマと非アダカイト質マグマで形成され，土屋ほか (2015)のモデルに該当しない堺ノ神岩体を研究対象とする．このような堺ノ神岩体をモデルとすることで，白亜紀フレアアップ期のアダカイト質マグマと非アダカイト質マグマの貫入・定置機構の解明を行う．

この岩体において岩石学的研究と年代学的研究を実施した．岩石学的研究ではサンプル112個を疎がないように，岩体の標高差の異なる露頭から採取し，岩体内における広域の空間的岩石学的特徴（露頭情報，モード，全岩化学組成）を取得した．これらの結果から，堺ノ神深成岩体は5つの岩相に区分される（図1）．これに加え，ホルンブレンド粒子内の同一地点の化学組成から，地質温度計・圧力計に基づき圧力と温

度条件を同時に導出し，圧力-温度履歴（*P-T*）履歴を構築した．この*P-T*履歴をアダカイト質マグマ（温度・圧力範囲：740～842℃，133～151 MPa）と非アダカイト質マグマ（温度・圧力範囲：708～934℃，151～594 MPa）で求めた．一方で，年代学的研究では学習院大学のLA-ICP-MSを用いて，ジルコンU-Pb年代・Ti濃度同時定量を実施した．U-Pb年代からはジルコンの結晶化年代，Ti濃度からは結晶化温度を鉱物中の同一地点から同時に定量し，時間-温度（*t-T*）履歴を構築した．この*t-T*履歴をアダカイト質マグマ（年代・温度範囲：145～113 Ma，736～971℃）と非アダカイト質マグマ（年代・温度範囲：144～114 Ma，827～1066℃）で求めた．本報告では，これら*P-T*履歴と*t-T*履歴を組み合わせることでマグマの貫入・上昇，定置，固化に至るまでの冷却過程，およびマグマの定性的な貫入速度の違いの議論を行う．なお，本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和4年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（地質環境長期安定性評価技術高度化開発）」（JPJ007597）の成果の一部である．

キーワード：フレアアップ、（非）アダカイト質マグマ、空間的岩石学的特徴、P-T履歴、t-T履歴
Keywords: flare-up, (non) adakitic magma, spatial petrographical characteristics , P-T history, t-T history



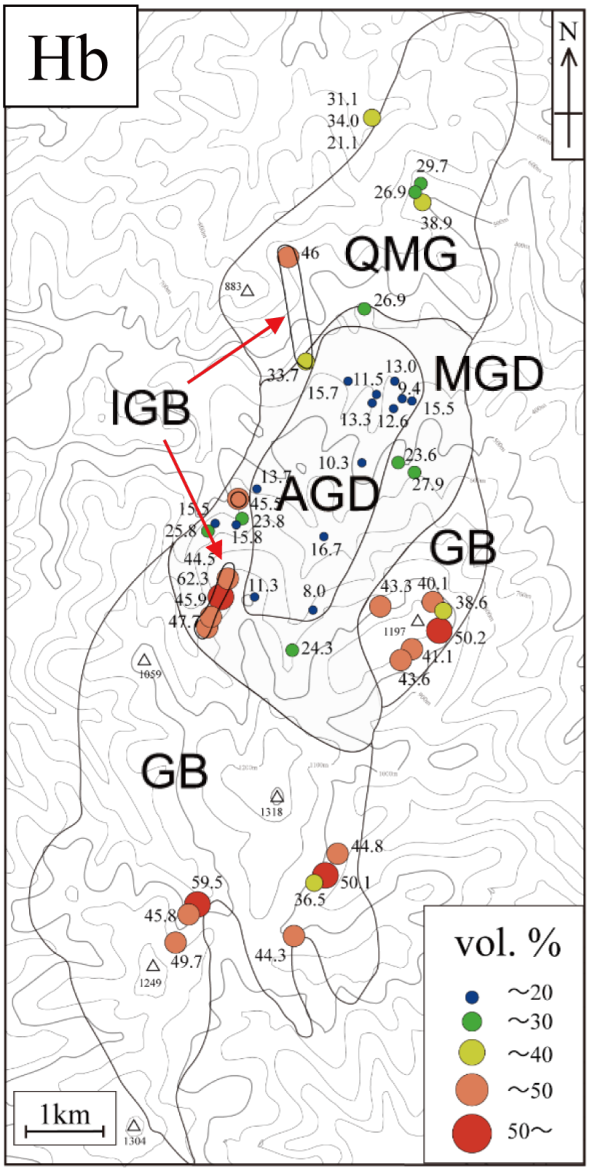


図１　堺ノ神岩体の全岩化学組成，モードによる空間的岩石学的特徴（左：全岩化学組成の SiO_2，右：ホルンブレンドのモード）

IGB	Intrusive gabbro
AGD	Adakitic biotite hornblende granodiorite
MGD	Biotite hornblende granodiorite
QMG	Biotite hornblende quratz monzodiorite - granodiorite
GB	Biotite two-pyroxene hornblende quartz gabbro

背弧域マントルの希ガス同位体比に基づいた不均質同定

Identification of multiple components of noble gas isotopes in back-arc lithospheric mantle

*横倉 伶奈[1]、角野 浩史[1]、栗谷 豪[2]、萩原 雄貴[3]、山本 順司[4]
*Lena Yokokura[1], Hirochika Sumino[1], Takeshi Kuritani[2], Yuuki Hagiwara[3], Junji Yamamoto[4]

1. 東京大、2. 北海道大、3. JAMSTEC、4. 九州大
1. The University of Tokyo, 2. Hokkaido University, 3. JAMSTEC, 4. Kyushu University

鉱物や岩石から抽出した希カ゛ス同位体比の測定は，試料の起源を調へ゛るために有効て゛ある．中国東北部のロンカ゛ン火山群は、沈み込んた゛スラフ゛に関連する成分の影響か゛予想される．同火山て゛噴出した5 つのマントル捕獲岩（スピネルレルゾライト）から 1-2 g のカンラン石粒を粉砕した結果，6.45 Raから0.14 Ra の^{3}He/^{4}Heを 示した．破砕法によって比較的高い ^{3}He/^{4}He を示す試料は，顕微鏡観察て゛ CO_2 流体包有物(ネカ゛ティフ゛クリスタルタイフ゜)か゛多く，5 つの捕獲岩サンフ゜ルの値の大きなは゛らつきの原因は鉱物粒内の包有物タイフ゜の量比にあることか゛予想された．包有物の形状に基づき，未成熟なものから順に包有物（1）,(2),（3）タイフ゜として分類を行なった. 例としてネガティブクリスタルを示す包有物はタイプ（3）として分類している．そして各試料のカンラン石粒中の ^{3}He/^{4}He と，包有物タイプ（1）から(3)の存在比の相関を検証した．実験て゛は、局所レーサ゛ーアフ゛レーション によってタイフ゜(2),(3)の包有物の希カ゛ス同位体比を紫外線レーサ゛ーて゛直径約 100-200 μm の穴を開けて包有物のカ゛ス抽出を行い，希カ゛ス同位体比を分析した．その結果、タイフ゜(3)の ^{3}He/^{4}He と ^{40}Ar/^{36}Ar は、同し゛捕獲岩のカンラン石1-2 g を破砕法て゛抽出したものよりいす゛れも高い傾向を示し，なおかつ典型的な大陸下リソスフェリックマントル (SCLM)的て゛あった．反対にタイフ゜(2)の包有物は ^{3}He/^{4}He は比較的低く，^{40}Ar/^{36}Ar は大気的て゛あった．つまり，より高い成熟度の包有物に比較的高いヘリウム同位体比か゛含まれたことになる．包有物の形状の成長段階と沈み込んた゛スラフ゛の影響の存在か゛示唆される背弧域のテクトニクス を考慮すると，元々は SCLM 的な希カ゛ス同位体組成を持つ上部マントルか゛，スラフ゛関連成分に伴う メルトによって後から影響を受けたという現象か゛捕獲岩中の包有物の形状とその希カ゛ス同位体比に直接反映されていることが示唆される．

キーワード：マントル捕獲岩、流体包有物
Keywords: Mantle xenolith, Fluid inclusions

鉱物中に分布する物質移動に資する内部構造の三次元的な評価： 土岐花崗岩体のカリ長石中の微小孔

Three-dimensional evaluation of internal structures contributing to mass transport distributed in minerals: micropores in K-feldspar in the Toki granite, central Japan.

*野中 麻衣[1,2]、湯口 貴史[3]
*Mai Nonaka[1,2], Takashi Yuguchi[3]

1. 山形大学、2. 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、3. 熊本大学
1. Yamagata University, 2. Japan Atomic Energy Agency, 3. Kumamoto University

花崗岩は日本列島に普遍的に分布しており，石油や天然ガスをはじめとした資源の地下貯蔵の場である深部地質領域として活用されている。地下貯蔵では，貯蔵物を長期的・安定的にかつ外部に漏らさずその場に留める必要がある。このため，地質環境の将来的な安全評価は不可欠であり，花崗岩中の物質移動に関する研究はしばしば行われてきた（野原ほか, 2015）。しかし，鉱物およびその物質移動特性や経路に着目した研究は乏しい。本研究では，花崗岩の主たる造岩鉱物であるカリ長石を研究対象とし，分離した鉱物試料を用いて，a）カリ長石の内部構造の三次元的な分布を記載，その量を定量し，物質移動経路となり得る微小孔の定量的な評価を行うこと，b）a）を実施するための手法の構築の 2 点を目的とした。

研究対象である土岐花崗岩体は，岐阜県東濃地域に位置する深成岩体である（湯口ほか, 2010）。試料は，瑞浪超深地層研究所内で採取されたボーリングコア試料（06MI03号孔: ホルンブレンド黒雲母花崗岩）を使用した。このうち，標高の異なる 岩石試料2 試料から分離したカリ長石を研究対象とした。

手法構築に際しては，鉱物分離を実施したジルコン試料の前処理などに用いられる樹脂埋めの手法（Yuguchi et al., 2023）を参考とし，樹脂マウントを作成した。この樹脂マウントに対して， 14 回の研磨・琢磨および SEM-CL（JEOL JSM-IT100A＋Gatan MiniCL）による研磨面観察を繰り返すことで，粒子の内部構造を BSE 像として連続的に取得した。また先行研究（Yuguchi et al., 2021）で報告されている他形カリ長石における波状累帯構造（oscillatory zoning；OZ）の三次元的な分布も併せて評価するため，CL 像も取得した。加えて，内部組織の分布面積（量）の定量的な評価を行うため，取得した BSE 像とAdobe Photoshop®を用いて計 84 枚の画像解析を実施した。画像解析の対象は，画像取得したカリ長石全体の面積，内部構造のパーサイトラメラ（パッチパーサイトラメラ・マイクロパーサイトラメラ）の面積，微小孔の面積の3つのパラメータを算出した。

結果と議論は以下の通りである。SEM-CLを用いた内部構造の記載：①パーサイトラメラは，粒子中でシート状に産する。②物質移動に寄与する微小孔は，粒子のリムからコアまで研磨を行っても，その形状（円状もしくは楕円状で，最大長径6 ㎛）に変化はなかった。また粒子内の位置（リム／コア）によらず粒子全体に分布し，ラメラ部分もしくはその周辺に多産する偏在性が認められる。③鉱物の成長様式を反映する OZ の三次元的分布について，OZ は粒子のコアだけでなくリムにも存在し，また粒子中に複数存在する場合も観察される。これはカリ長石が外形的中心から結晶成長するのではなく，メルト中の複数地点を核として成長することを示唆する。

Adobe Photoshop®による内部構造の面積の算出・比較：①粒子のリムからコアに至る距離（研磨開始地点からの深さ）と，パーサイトラメラおよび微小孔の面積分率を比較すると，観察面に占めるラメラは最大16.6%，微小孔は最大1.3%であり，研磨開始地点からの深さ（粒子内の位置）による系統的な変化傾向は認められない。②カリ長石粒子の面積とパーサイトラメラの面積には正の相関が認められた。ラメラの形成においては，鉱物中のNa-K の相互拡散（Lee and Parsons, 1997）や外部からの元素供給（Yuguchi et al. 2011）が論じられているが，カリ長石粒子自体の量もラメラの分布量を支配していることは，Na-K の相互拡

散の影響を強く受けていることが示唆される。これに対して，カリ長石粒子の面積と微小孔の面積の間では明確な相関はみられなかった．一方で，観察事実として微小孔とラメラの分布領域が一致していることから，外部からの元素供給の通路として機能することを示唆する。

キーワード：微小孔、カリ長石、物質移動、三次元的評価、土岐花崗岩
Keywords: Micropore, K-feldspar, mass transfer, Three-dimensional evaluation, Toki granite

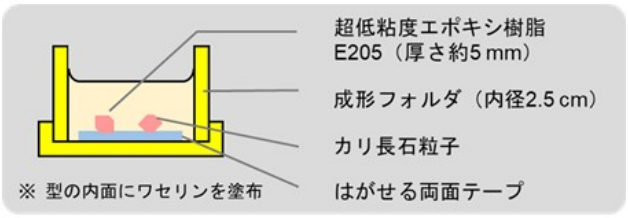


図1 作成試料の概念図

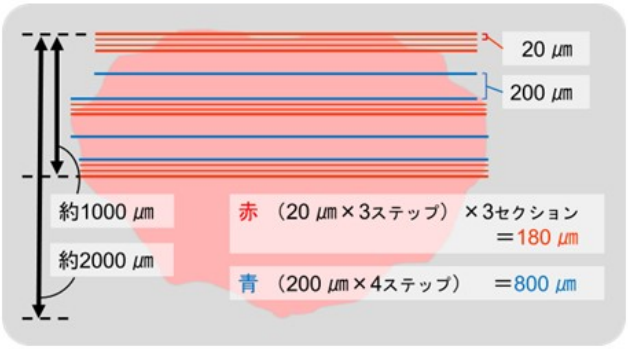


図2 試料研磨の概念図

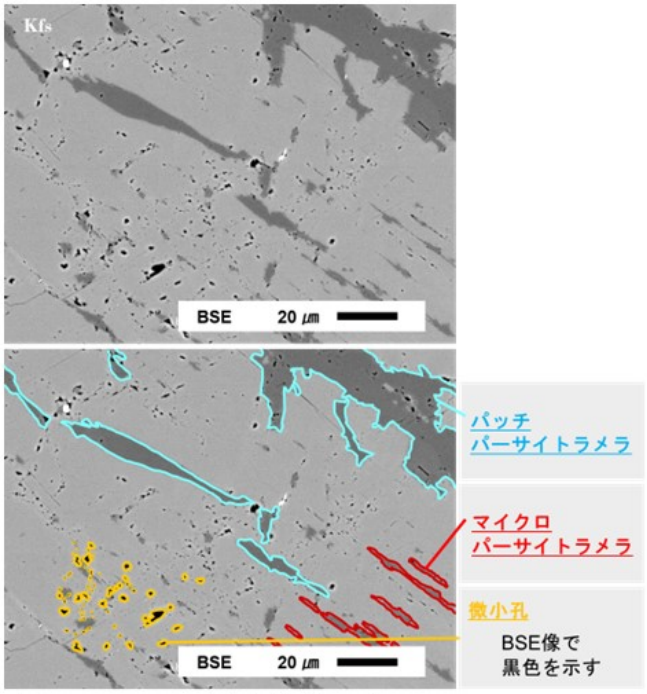


図3 SEM-CLで画像取得した
カリ長石の内部構造（BSE像）

九重火山群第四紀マグマの起源や進化過程について

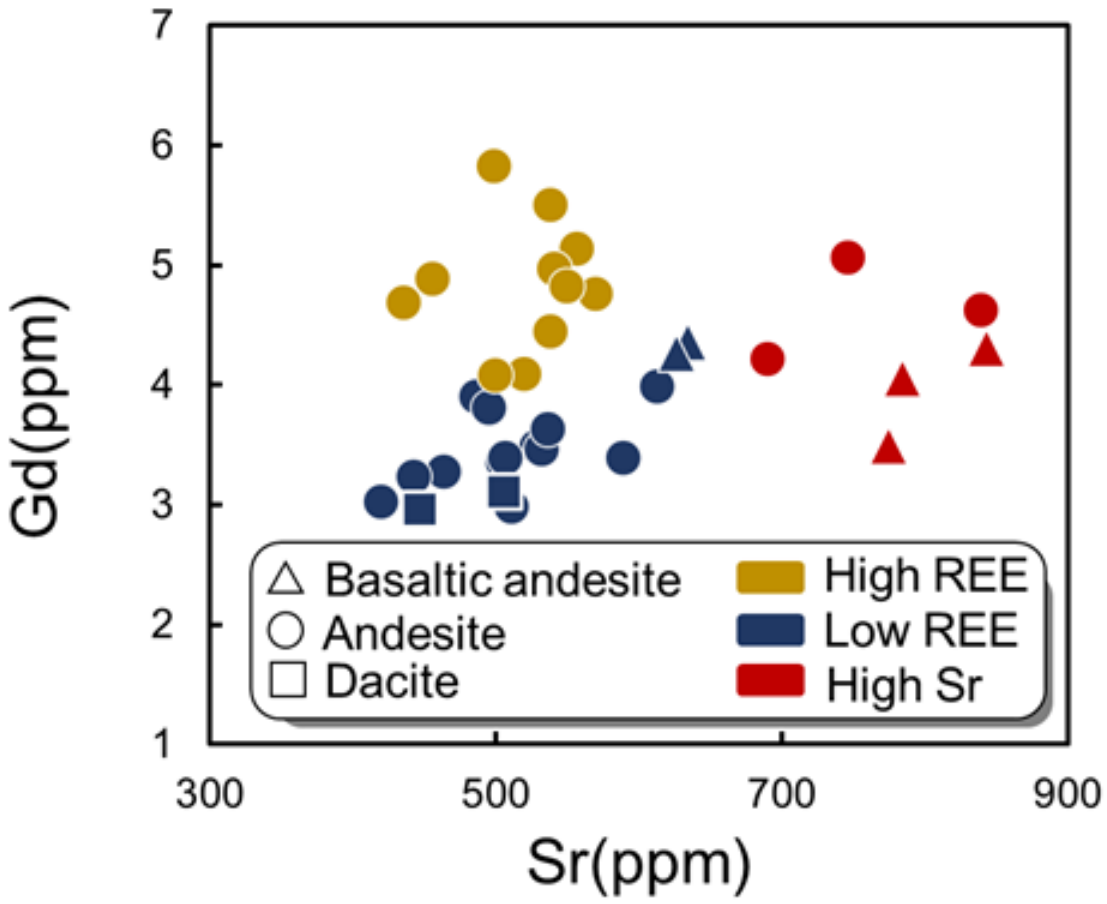
Magma source and evolution process for Quaternary Magmas from Kuju Volcanoes, Kyushu Island, Southwest Japan Arc.

*山中 壮馬[1]、柴田 知之[3]、藤原 涼太郎[1]、折戸 達紀[1]、幣島 太一[1]、芳川 雅子[3]、柴田 智郎[2]
*Soma Yamanaka[1], Tomoyuki Shibata[3], Ryotaro Fujihara[1], Tatsuki Orito[1], Taichi Heijima[1], Masako Yoshikawa[3], Tomo Shibata[2]

1. 広島大・理、2. 福岡大・理、3. 広島大学・先進理工
1. Hiroshima Univ. Sci., 2. Fukuoka Univ. Sci., 3. Hiroshima Univ. Sci. & Tech.

九重火山は約200 kaに活動を開始した，九州東部の西南日本弧火山フロントに位置する活火山である（川辺ほか，2015）。川辺ほか（2015）によれば，九重火山の火山活動は，第1期から第4期の4つのステージに分けられる。第1期から第3期は主に普通角閃石斑晶を含む安山岩マグマが活動し，一部デイサイトマグマを伴う。それに対し，第4期は普通角閃石斑晶を含まない苦鉄質マグマの活動が多く認められている。川辺ほか（2015）は，安山岩中で石英とかんらん石が共存する非平衡な斑晶鉱物組み合わせなどから，苦鉄質マグマと珪長質マグマの混合を，マグマの成因として主張している。これら第四紀マグマの主成分元素組成は小野（1963），太田（1991），川辺ほか（2015）などで報告されているが，微量元素組成や同位体組成はKita *et al.*（2001）での4試料と芳川ほか（2018）、藤原ほか（2019）での報告にとどまる。そこで本研究では，岩石記載と主成分元素，Sr-Nd-Pb同位体組成分析を行い，藤原（2020）で報告された同試料の微量元素組成も含め,その結果の解析から九重火山の第四紀マグマの進化過程を議論することを目的とした。 岩石記載と主成分化学組成を比較すると，玄武岩質安山岩組成を示す試料には角閃石は含まれず，安山岩およびデイサイトには普遍的に角閃石が含まれる。主成分元素とSiO_2含有量の関係を見ると，多くの元素では大局的には直線的な傾向を示すように見えるが，玄武岩質安山岩と安山岩の間に顕著な組成ギャップが認められる。また，TiO_2濃度はSiO_2含有量の増加に伴いSiO_2濃度が約57 wt%までは増加傾向を示すがその後減少に転じる。同様にAl_2O_3濃度はSiO_2濃度が約60 wt%まで単調に減少するが，その後増加するものと減少するものに分かれる。さらに， K_2O- SiO_2含有量の変化図上ではSiO_2濃度約57 wt%で傾きの変化が認められるなど，主成分化学組成の変化傾向全体を単純な２成分混合で説明できない傾向が多数認められた。 微量元素組成は中央海嶺玄武岩（MORB）と比べLILEに富みHFSEに枯渇する典型的な島弧マグマの特徴を示す。また，NbとZr濃度の変化図上で，九重火山群のマグマの組成はIndian MORBの組成範囲に含まれる。このことは，九重火山群直下のマントルウェッジはIndian MORBに類似したものであることを示すと考えられる。各微量元素とSiO_2濃度の関係を見ると，同じSiO_2濃度範囲でSr濃度が高いグループ（High Sr）と低いグループ(Low Sr)に明瞭に分かれる傾向が認められた。さらに，Low Srは同じSiO_2濃度範囲で希土類元素濃度が高いグループ（High REE）と低いグループ（Low REE）に明瞭に区分される。すべてのデータをGdとSrの濃度の変化図にプロットした（下図）。玄武岩質安山岩，安山岩およびデイサイトを形で，High Sr，High REE とLow REEを色で，それぞれ，区別してプロットした。３つのグループは明瞭に異なる傾向を示す。High Srには玄武岩質安山岩と安山岩が含まれ，Low REEには玄武岩質安山岩，安山岩およびデイサイトが，High REEには安山岩が含まれる。このように，九重火山群では少なくてもこれら3系列の第四紀マグマが活動していたことが明らかになった。講演では，これらの九重火山のマグマの起源・進化過程とそれぞれのマグマの成因関係について, サンプルのステージやSr-Nd-Pb同位体組成の解析も加え議論する。

キーワード：島弧マグマ、微量元素、Sr-Nd-Pb同位体、マグマ混合、分別結晶作用
Keywords: island arc, trace elements, Sr-Nd-Pb isotope, magma mixing, fractional crystallization


Gd(ppm)
Sr(ppm)
7
6
5
4
3
2
1
300
500
700
900
Basaltic andesite
Andesite
Dacite
High REE
Low REE
High Sr

岐阜県中濃地域に分布する前期中新統蜂屋層の地球化学的特徴

Geochemical features of the Early Miocene Hachiya Formation in the Chuno Area, Gifu Prefecture, Japan

*西條 成[1]、髙橋俊郎 俊郎[2]
*Seiya Saijou[1], Toshiro Takahashi[2]

1. 新潟大・院自然、2. 新潟大
1. Niigata Univ. Sci., 2. Niigata Univ

蜂屋層は岐阜県中濃地域に分布し，前期中新世（20Ma前後）の主に凝灰角礫岩～凝灰岩から構成される．西南日本孤では18Ma頃の火山フロントは北陸地域に想定されている[1]．しかし，より前弧側の岐阜県中濃地域において蜂屋層の火成活動が知られているにも関わらず，これまで詳細な岩石学的、地球化学的研究は行われていなかったが，[2]は当地域の岩石学的特徴について報告した．本研究では蜂屋層を構成する火山岩類について地球科学的特徴を明らかにすることで，そのマグマプロセスの解明，そして前期中新世における西南日本孤前弧域～火山フロントでの火成活動の理解に寄与することを目的とした． 蜂屋層は美濃帯を基盤とし，中新統蜂屋層が不整合で覆う．蜂屋層は複数の部層に細分され，下位から流紋岩質溶結凝灰岩の栃洞溶結凝灰岩層，デイサイト質凝灰角礫岩の糠洞火砕岩層，玄武岩質～安山岩質凝灰角礫岩および凝灰岩の広橋火砕岩類，上則友火砕岩類，中川辺火砕岩類，洞火砕岩類，野上火砕岩類，塩火砕岩類がそれぞれ整合で累重する[3] ． 蜂屋層火山岩類は全岩化学組成において，流紋岩質溶結凝灰岩，角閃石両輝石デイサイトそして安山岩～玄武岩の3グループで各酸化物図や微量元素図でそれぞれ独立した分化トレンドを示す．本発表では流紋岩質の栃洞溶結凝灰岩層よりも上位層の地球化学的特徴について報告する． ●Group1：角閃石両輝石デイサイト 主な斑晶鉱物は斜長石，角閃石，斜方輝石，単斜輝石で，希に石英が含まれる．SiO_2=63-68%である．FeO^*/MgO vs SiO_2図でカルクアルカリ系列のトレンドを示す．また，高Sr/Y比（>30.2），低Y量（<24ppm）でありY vs Sr/Y図でアダカイト領域にプロットされる[4]． ●Group2：カンラン石玄武岩～角閃石安山岩 斑晶鉱物として斜長石，斜方輝石，角閃石，仮像カンラン石，単斜輝石を含み，捕獲結晶として石英が含まれる．SiO_2=51-63%である．また，FeO^*/MgO vs SiO_2図ではソレアイト系列のトレンドを示す． 本研究ではGroup1,Group2に対し,Sr-Nd同位体比組成分析を行った．Group1はBulk Earthよりもやや枯渇的～同等の同位体比組成を示し，Ndl値に差が見られる．Group2はBulk Earth付近からやや肥沃的な同位体比組成を示す．よって，Group1、Group2の一部の試料は同程度の同位体比組成を示すが，全体的にはGroup1がより枯渇的な同位対比組成を示す. Group1はスラブメルトとマントルかんらん岩との反応によって形成された可能性が指摘されている[2]が， Pacific-MORBよりも肥沃的な同位体比組成を示すことから，マントルかんらん岩との反応だけではなく沈み込む堆積物起源メルトの関与も示唆される．ただし，瀬戸内火山岩類のHMAと比較すると[5]，Group1はそれらより枯渇的な同位体比組成を示すため，Group1への堆積物起源メルトの寄与の程度は瀬戸内火山岩類HMAより相対的に少なかったと考えられる． [2]は，微量元素組成の特徴からGroup2は玄武岩質マグマのAFCによって形成された可能性を指摘したが，同位体比組成も分化に伴い肥沃化していることが分かった．これはGroup2がAFCによって形成されたことを支持する．また，Group2の地球化学的特徴は，東北日本弧の15Ma以前に活動した背弧側の火山岩[6]と共通点があり，このことは，Group2の起源マントル物質が大陸性リソスフェアであった可能性を示唆する． 引用文献 [1] 高橋, 2006，地質学雑誌，112，1，14-32.; [2] 西條ほか，2022，岩石鉱物科学会発表要旨; [3]野村，1992，瑞浪市化石博物館研究報告，19，75-102.; [4] Defant et al., 1990，NATURE，347，662－665.; [5] Shimoda et al., 1998，Earth and Planetary Science Letters，160，479-492.;[6]Shuto et al., 2015，JOURNAL OF　PETROLOGY，56，2257-2294

キーワード：蜂屋層、アダカイト、スラブメルティング
Keywords: Hachiya Formation, adakite, slab melting

北上山地，遠野複合深成岩体に産出する石英のカソードルミネッセンスパターンとチタン濃度・アルミニウム濃度の定量分析

Cathodoluminescence pattern of quartz and quantitative determination of titanium and aluminum concentration within quartz crystals in the Tono plutonic complex, Kitakami mountains

*小北 康弘[1,2]、加藤 丈典[3]、湯口 貴史[4]
*Yasuhiro OGITA[1,2], Takenri KATO[3], Takashi YUGUCHI[4]

1. 山形大、2. 原子力機構、3. 名古屋大、4. 熊本大
1. Yamagata Univ., 2. JAEA, 3. Nagoya Univ., 4. Kumamoto Univ.

はじめに

珪長質マグマの地殻への貫入から定置，固化の間に生じる種々のマグマ溜りプロセスは，マグマ中で結晶化する初生鉱物の結晶成長の履歴として記録され得る．初生鉱物のうち，石英は珪長質岩に普遍的に含まれる鉱物であり，そのカソードルミネッセンス（CL）像観察やチタン（Ti）濃度定量によって石英の結晶成長プロセスを明らかにすることが可能となりつつある（例えば，Yuguchi et al., 2020）．マグマ起源の石英のCL像は主にTi濃度と相関することが報告されているものの（Wark and Watson, 2006），石英中にはＴｉの他にも微量に含まれる元素が複数知られており（例えばアルミニウム（Al），リチウム），その含有量とCLとの関係や，結晶成長の様式との関連については明らかにされていない．そこで本研究では，石英の結晶化プロセス解明に資する情報として微量含有元素（Ti濃度，Al濃度）とCLパターンとの関係を明らかにすることを目的として，マグマ起源の石英についてCL像観察とTi濃度・Al濃度定量を実施した．また本研究は，電子線マイクロアナライザ（EPMA）を用いて石英中のTi濃度の高精度定量を実施するとともに，Al濃度を同時に定量する技術の構築を目指すものである．

試料・手法

分析に用いた試料は，東北日本・北上山地の遠野複合深成岩体（遠野岩体）に産出する岩石試料4試料である．遠野岩体の中心部はアダカイト質岩からなり（Tsuchiya and Kanisawa, 1994），その周囲に分布するカルクアルカリ花崗岩との起源や貫入時期の相違について議論されている（Tsuchiya et al., 2007）．本研究で用いた4試料はいずれも優白質な花崗閃緑岩～トーナル岩で，岩体の中心部付近から西側に向かって試料採取を行った（東から順に試料No.103，No.403，No.406，No.407）．石英の結晶成長プロセスを議論するために，遠野岩体の4試料それぞれについて薄片を作製し，山形大学の走査型電子顕微鏡（JEOL JSM-IT100A + Gatan mini CL）を用いて石英のCL像による結晶成長様式の観察を行った．その観察結果に基づいて，名古屋大学のEPMA（JEOL JCXA-733）によりTi濃度・Al濃度の定量分析を行った．

結果・議論

遠野岩体の石英の形状は他形から半自形で，一部，自形粒子も認められた．石英のCL像観察の結果，多くの自形・半自形粒子では，コア部が高輝度でリム部に向かって輝度が低くなるゾーニング（CLパターンA）が分布する．他形粒子では，粒子内の局所的な領域のみ高輝度なCL（CLパターンB）を有する傾向が認められた．石英中のTi濃度とAl濃度を同一地点から同時に取得するために，EPMAでの測定手法を検討した．5台の分光結晶のうち，4台をTi，1台をAlの検出にそれぞれ使用し，測定時間200秒（ピークカウント100秒、バックグラウンドカウント100秒）を同一地点で8回繰り返してカウントを積算することで1点の定量値を得た．この手法では，Ti濃度の検出限界は約15 ppm，Al濃度の検出限界は約23 ppmとなった．また，測定中に電流値やAlのカウントを8回モニターすることで，測定中のノイズや他鉱物の混入等を評価することが可能となった． 遠野岩体の4試料に含まれる石英18粒子について，計87点でTi濃度及びAl濃度の定量分析を行った．80点以上の分析点においてAl濃度は検出限界以下であったことから，遠野岩体の石英ではCLの輝度とAl濃度に相関が無いと

判断できる．Ti濃度は18点の分析点を除き検出限界以上の定量値を得た．CLパターンA，Bいずれの粒子でも，CLの輝度に対応して，高輝度な領域でTi濃度が比較的高い傾向が認められた．得られたTi濃度から，TitaniQ地質温度計（Wark and Watson, 2006）を用いて結晶化温度を導出した．SiO_2活動度，TiO_2活動度はいずれも1.0を仮定して温度を計算した．また，粒子内でCLの輝度が最も高い分析点をその粒子の結晶化温度を反映する分析点（本研究ではTiO_2活動度1.0）と考え，1粒子につき1つの温度条件を導出した．試料No.407の最高温度条件は他の3試料に比べて石英の結晶化温度に誤差を超え，有意に高い傾向が認められる．石英の結晶化温度は，石英が晶出した際のマグマ溜り内の温度を反映すると考えられることから，得られた温度に基づいてマグマ溜り内の温度の不均質性を議論可能である．また，岩体の中央部付近で石英の結晶化温度が比較的低く，西側の試料で結晶化温度が高い傾向が認められることは，アダカイト質マグマとカルクアルカリ質マグマの貫入・定置から固化に至る過程の相違を示唆する．

キーワード：石英、カソードルミネッセンスパターン、チタン濃度、アルミニウム濃度、遠野複合深成岩体
Keywords: Quartz, cathodoluminescence pattern, titanium concentration, aluminum concentration, Tono plutonic complex

花崗岩中の石英のカソードルミネッセンスパターンとチタン濃度定量による石英の結晶化プロセスの解明

Cathodoluminescence patterns of quartz crystals in granite and their titanium concentrations: implication to crystallization process of quartz in the magma chamber

*加藤 あすか[1]、加藤 丈典[2]、小北 康弘[1,3]、湯口 貴史[4]、笹尾 英嗣[3]
*Asuka Kato[1], Takenori Kato[2], Yasuhiro Ogita[1,3], Takashi Yuguchi[4], Eiji Sasao[3]

1. 山形大、2. 名古屋大、3. 原子力機構、4. 熊本大
1. Yamagata Univ. , 2. Nagoya Univ, 3. JAEA, 4. Kumamoto Univ

本研究では珪長質の深成岩体に普遍的に産出する鉱物である石英を対象とし，石英の結晶化プロセスを解明することを目的とする．ここで，カソードルミネッセンス (CL) 像とは鉱物中の微量元素や格子欠陥を輝度の違いとして反映することが知られている (Drivenes et al.,2016)．また, 石英のチタン (Ti) 濃度は石英の結晶化温度に依存することがWark and Watson (2006)で報告されている．このような特徴を持つCL像と石英のTi濃度を組み合わせ，石英の結晶化プロセスを解明する手法はYuguchi et al. (2020)で報告されている．石英の結晶化プロセスの解明において，Yuguchi et al. (2020)の手法と石英の形状や粒径などの記載岩石学的な情報と関連づけることは，石英の結晶化プロセスの解明，加えてマグマ溜まりの発達進化を検討する上で精緻な議論を可能にする．このことから本研究は，北上山地の久喜花崗岩体の石英を用いて，石英のCLパターンとTi濃度，鏡下観察による形状と産状の情報から花崗岩体の石英の結晶化プロセスの解明を行った．

研究手法として, 偏光顕微鏡による鏡下観察に基づき石英の粒径，形状，周辺鉱物の記載を行い，分析を行う石英の選定を行った．次に，選定した石英に対して山形大学の走査型電子顕微鏡 (JEOL JSM-IT100A + Gatan mini CL) を用いて，CL像を取得した．その後，名古屋大学の電子線マイクロアナライザ (EPMA: JEOL JCXA-733) を用いて石英中のチタン濃度を定量した．Ti濃度定量の分析条件は，加速電圧 15 kV，照射電流 60 nA，ビーム径 20 μm，計測時間 ピーク100秒，バックグラウンド (50+50)秒を8回の積算 (計1600秒)という条件で行った．得られたTi濃度からTitaniQ地質温度計 (Wark and Watson, 2006) を適用し，石英の結晶化温度を導出した．

CL像解析の結果，CLパターンとして明暗の領域からなる層状構造を持つものをZoning-patternと分類した．また，輝度の明暗が不規則に分布するものはPatch-patternとし，輝度の明暗が均質に分布するものをHomogeneous-patternと分類した．Ti濃度定量の結果として，Ti濃度は122 ±11～357 ±11 ppmの定量値を得た． TiO_2 の活動度を1とし，Wark and Watson (2006)の地質温度計を用いて結晶化温度の計算を行うと772 ±24～927 ±20℃を示し，広い結晶化温度幅を有する. また，明暗の領域が層状構造をもつZoningの粒子においてCL像の明るい領域ではチタン濃度が高く，暗い領域ではチタン濃度が低い傾向を有する (図1)．この傾向はCLパターンが異なっていても同じ傾向を示した．これは，CL像の輝度の変化が石英の結晶化成長に伴ってメルト中から結晶に取り込まれるTi濃度の変化を反映することを示す．また，広い結晶化温度幅を有することから，石英はマグマが固化する温度 (ソリダス) 付近から高温までの広い温度条件で結晶化することを示唆する.

キーワード：石英、カソードルミネッセンス、EPMA、チタン濃度、TitaniQ地質温度計
Keywords: Quartz, Cathodoluminescence, EPMA, Titanium cocentration, TitaniQ thermometry

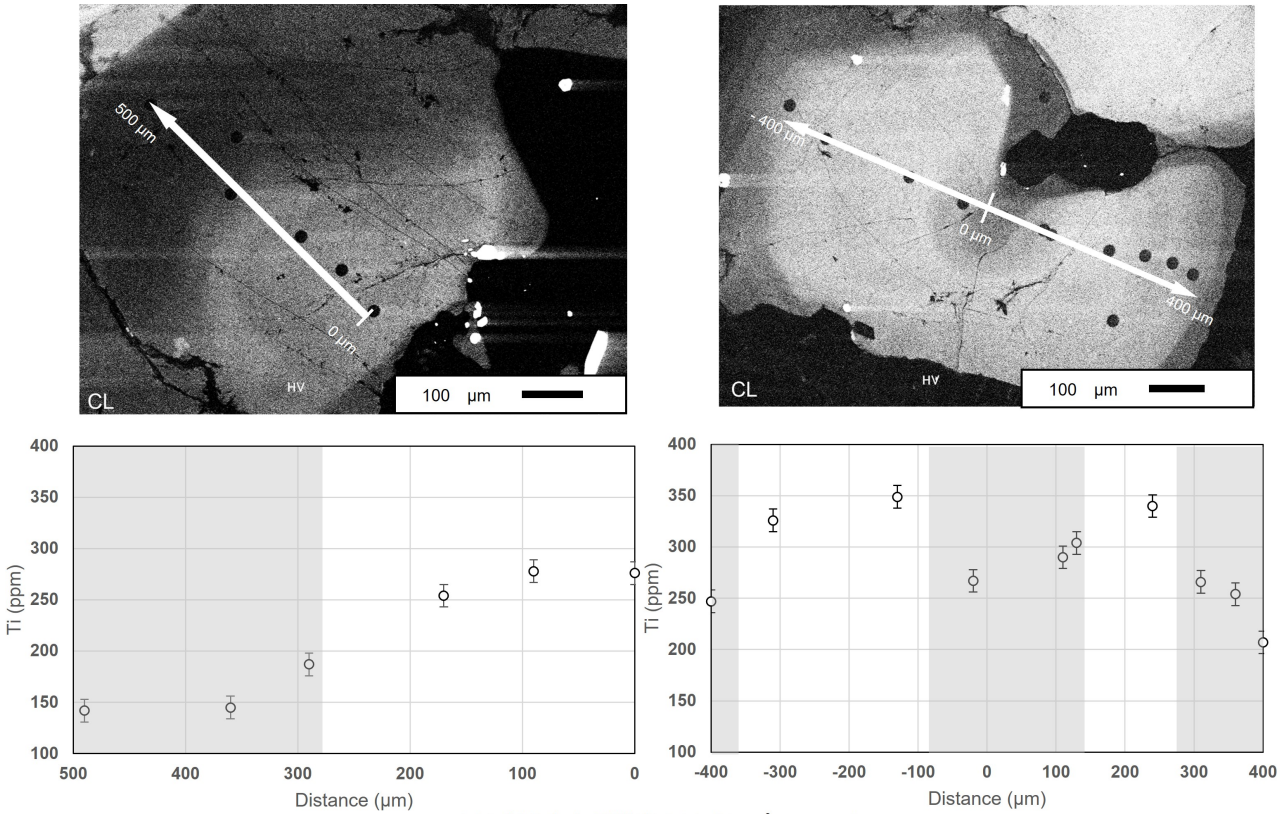


図1 得られたTi濃度のラインプロファイル

東南極リュッツォホルム岩体二番岩に産する苦鉄質岩脈の記載岩石学とRb-Sr鉱物年代

Petrography and Rb-Sr mineral age of mafic dyke rocks on Niban-Rock, Lützow-Holm Complex (LHC), East Antarctica.

*宮本 知治[1]、山下 勝行[2]、Dunkley Daniel J.[3]、角替 敏昭[4]、加藤 睦実[5]
*Tomoharu MIYAMOTO[1], Yamashita Katsuyuki[2], Daniel J. Dunkley[3], Toshiaki Tsunogae[4], Mutsumi Kato[5]

1. 九州大学、2. 岡山大学、3. Polish Academy of Sciences、4. 筑波大学、5. 千葉大学
1. Kyushu University, 2. Okayama University, 3. Polish Academy of Sciences, 4. Univ. of Tsukuba, 5. Chiba University

Lützow-Holm Complex (LHC)の北東部に位置する露岩である二番岩で苦鉄質岩岩脈を発見した。二番岩はHiroi et al.(1991)における角閃岩相帯に位置し、複数種の変成岩が認められるが、この苦鉄質岩脈は主要な変成構造と斜行する様に貫入し、周囲の岩石と反応する様な組織は見られなかった。苦鉄質岩は完晶質で主に斜長石・カリ長石・石英・黒雲母・角閃石・燐灰石から構成された。岩石の組成は微量元素に富むアルカリ岩的だった。Spidergramでは右下がりでNb・Ti・Srに負の谷を、Pbに正のピークを認めた。Rb-Sr鉱物年代は501Maを示し、NE LHCにおける主要な変成作用後にマントルが関与した火成活動の存在とその時期を示唆する。

キーワード：リュッツォホルム岩体、苦鉄質岩脈、変成作用後の貫入
Keywords: Lützow-Holm Complex, Mafic dyke, Intrusion of after peak metamorphism

ポスター | R8：変成岩とテクトニクス

2023年9月16日(土) 12:00 ~ 14:00 | 83G,H,J 杉本キャンパス

R8：変成岩とテクトニクス

12:00 ~ 14:00

[R8P-01] 北海道, 幌満かんらん岩体の層状構造を明らかにするための構造岩石学的研究

「発表賞エントリー」

*日原 彩[1]、田阪 美樹[1]、栗原 圭佑[1]、川本 竜彦[1]、谷内 元[2] (1. 静岡大学、2. 産業技術総合研究所)

12:00 ~ 14:00

[R8P-02] Geology and petrography of metamorphic rocks in Sibuyan Island, Romblon, Philippines

[Presentation award entry]

*John Kenneth Badillo[1], Gabriel Theophilus Valera[1], Betchaida Payot[1] (1. University of the Philippines Diliman)

12:00 ~ 14:00

[R8P-03] **山口県南部、大島半島に産する変成岩類の変成作用：西瀬戸内領家変成帯の変成条件と地質構造**

「発表賞エントリー」

*LU Zejin[1]、大和田 正明[1] (1. 山口大学)

12:00 ~ 14:00

[R8P-04] プレートの沈み込みに伴って形成される層面滑りの研究

「発表賞エントリー」

*吉朝 開[1]、安東 淳一[2]、SARKAR Prakash[2]、DAS Kaushik[2]、GHOSH Gautam[3] (1. 広島大・理、2. 広島大・院先進理工、3. Presidency University)

12:00 ~ 14:00

[R8P-05] コロラド台地産ローソン石エクロジャイト捕獲岩を構成するオンファス輝石の電子線散漫散乱：予察的報告

「発表賞エントリー」

*福島 諒[1]、辻森 樹[1,2]、宮島 延吉[3]、Boffa-Ballaran Tiziana[3]、Criniti Giacomo[3]、McCammon Catherine[3] (1. 東北大・院理、2. 東北大・CNEAS、3. バイロイト大・BGI)

12:00 ~ 14:00

[R8P-06] **Exhumation process of serpentinite in the Sangun-Renge belt exposed at Sasaguri, Fukuoka prefecture**

[Presentation award entry]

*Swarnaa ANNADURAI MUNUSAMY[1], Jun-ichi ANDO[1,2], Yuki IWASAKI[3], Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Kaushik DAS[1,2], Seiichiro UEHARA[4] (1. Hiroshima Univ., 2. HiPeR, Hiroshima, 3. NIPPON STEEL CORP., 4. The Kyushu Univ. Museum)

12:00 ~ 14:00

[R8P-07] 幌満かんらん岩体上部のかんらん岩とマフィック岩からなる対称性がよい露頭の鉱物化学組成と全岩化学組成

「発表賞エントリー」

*栗原 圭佑[1]、川本 竜彦[1]、日原 彩[1]、田阪 美樹[1]、谷内 元[2]、栗谷 豪[3]、松本 亜希子[3] (1. 静岡大、2. 産総研、3. 北海道大)

12:00 ~ 14:00

[R8P-08] 塑性変形領域でのシュードタキライト形成に関連した地震性断層発生のメカニズム: インドSarwar-Junia断層帯の例

「発表賞エントリー」

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

12:00 ~ 14:00

[R8P-09] 花崗岩質マイロナイト中の動的再結晶石英粒子の含水量分布：大阪府岸和田地域の領家帯内部剪断帯の場合

*法村 武昌[1]、福田 惇一[1] (1. 阪公大・理・地球)

12:00 ~ 14:00

[R8P-10] **Deformation microstructures and slip systems developed in olivine from the Petit-spot peridotite xenoliths: Insights on deformation mechanisms and anisotropy of upper mantle**

*Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Norikatsu Akizawa[3], Jun-ichi Ando[1,2], Masako Yoshikawa[1,2] (1. Hiroshima University, 2. HiPeR, 3. The University of Tokyo)

12:00 ~ 14:00

[R8P-11] EMアルゴリズムを利用した岩石中炭質物の新しい被熱温度推定法自動化の試み

*中村 佳博[1]、松村 太郎次郎[1]、宮崎 一博[1] (1. 産総研)

12:00 ~ 14:00

[R8P-12] 京都府大浦半島に産する大浦複合岩体のジルコンU-Pb年代とその帰属

*木村 光佑[1]、川口 健太[2]、中野 伸彦[2]、足立 達朗[2]、Das Kaushik[3] (1. 大公大・院理、2. 九州大・院比文、3. 広島大・院理)

12:00 ~ 14:00

[R8P-13] Metasomatic syenite at the interface between charnockite and calc-silicate granulite, Eastern Ghats Belt, India: Mineral-chemical characterization and its implications during orogenesis

*Kaushik DAS[1,4], Proloy Ganguly[2], Sankar Bose[3,4] (1. Hiroshima University, 2. Durgapur Government College, Department of Geology, Durgapur, India, 3. Presidency University, Kolkata, India, 4. HiPeR, Hiroshima)

12:00 ~ 14:00

[R8P-14] 東南極セール・ロンダーネ山地，メーニパ地域に産するバナジウムと亜鉛に富む亜鉛スピネル-珪線石-白雲母片麻岩の記載岩石学的特徴

*足立 達朗[1]、河上 哲生[2]、東野 文子[2]、宇野 正起[3] (1. 九州大学、2. 京都大学、3. 東北大学)

12:00 ~ 14:00

[R8P-15] Unraveling the Link Between Deformation, Metamorphism, and Fluid Flow in the Archean Dharwar Craton, Southern India

*Sreehari LAKSHMANAN[1], Kiran Sasidharan[2], Satish-Kumar Madusoodhan[2], Tsuyoshi Toyoshima[2] (1. Shimane Uni., 2. Niigata Uni.)

北海道, 幌満かんらん岩体の層状構造を明らかにするための構造岩石学的研究

Structural and petrological study of layering in the Horoman Peridotite Complex, Hokkaido, Japan

*日原 彩[1]、田阪 美樹[1]、栗原 圭佑[1]、川本 竜彦[1]、谷内 元[2]
*Aya Hihara[1], Miki Tasaka[1], Keisuke Kurihara[1], Tatsuhiko Kawamoto[1], Hajime Taniuchi[2]

1. 静岡大学、2. 産業技術総合研究所
1. Shizuoka University, 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

北海道, 幌満かんらん岩体は日高変成帯南縁部に位置するアルプス型のかんらん岩体である. 幌満かんらん岩体は上部マントル起源の新鮮なかんらん岩体で，数種類のかんらん岩とマフィック岩による顕著な層構造が発達している．この層構造の成因として代表的なモデルが二つ提案されている．一つは，メルトが貫入し周囲の岩石と反応することで層構造が形成されたというモデル(Takahashi, 1991)で, もう一つは2種類の岩相が引っ張りと折り畳みを繰り返すことで層構造が形成されたというモデル (寅丸, 1997)である．本研究は, これらのモデルを検証し，幌満かんらん岩体の層状構造の成因を明らかにすることを目的とした．幌満かんらん岩体は地質学的, 岩石学的特徴からUpper Zoneと Lower Zoneに分けられる. Upper Zoneはmafic岩に富み, 数mmから数mスケールの層構造が発達する(Niida, 1974)．本研究対象のアポイ岳北尾根の露頭は, Upper Zoneに分類され, spinel-bearing harzburgite-lherzolite（スピネルかんらん岩）, plagioclase lherzolite（斜長石かんらん岩）, mafic rocks（マフィック岩）の三つの岩相による層構造が発達する. この露頭から岩石試料を採取し構造岩石学的データを解析した.微細構造観察からこれらの岩石は転位クリープで変形したと解釈できる. Electron Back Scattered Diffraction（EBSD）による結晶方位解析では, オリビンの [100]がX軸方向に[010]がZ軸方向に強く集中するCPOファブリックと, [010]がZ軸方向に強い集中を示し, [100], [001]はガードル分布を示すCPOファブリックの2種類が観察された． 採取した岩石のうち約70%が後者のCPOファブリックを示し, このようなオリビンのファブリックは部分溶融したかんらん岩が変形したことを示唆する（Holzman et al., 2003）. マイクロXRF分析ではメルトと岩石が化学反応したことを示唆する化学組成が異なる2種類のcpxが観察された．このことから, アポイ岳北尾根露頭の層構造は海嶺下でメルトとかんらん岩が反応して形成されたと提案する．また，岩相に関わらず, 岩石を構成する鉱物の結晶方位の配向性が一定方向に揃っていることから，スピネルかんらん岩と斜長石かんらん岩を含むこれらの層状岩は同一のイベントで変形したことを示す. スピネルかんらん岩, 斜長石かんらん岩, 両者の岩石に線構造に並行配列するパーガス閃石の安定領域を考慮し, これらの岩石は温度約1000℃, 圧力約 1 GPa, 深さ約30kmのリソスフェア-アセノスフェア境界での変形を最終的に記録していると提案する．

キーワード：マントル、かんらん岩、幌満かんらん岩、変形、結晶方位
Keywords: mantle, peridotite, Horoman Peridotite, deformation, crystallographic preferred orientation

Geology and petrography of metamorphic rocks in Sibuyan Island, Romblon, Philippines

*John Kenneth Badillo[1], Gabriel Theophilus Valera[1], Betchaida Payot[1]

1. University of the Philippines Diliman

Metamorphic rocks have been identified on Tablas, Romblon, and Sibuyan in the Romblon Island Group (RIG), Philippines. Collectively termed Romblon Metamorphics, these consist primarily of schists and phyllites, which are attributed by earlier works to the collision of the Palawan Microcontinental Block (PCB) and the Philippine Mobile Belt (PMB). In this work, we present new field and petrological data from metamorphic rocks exposed in Sibuyan Island to provide new insights into their petrogenesis and the *P-T-D* conditions that they preserve.
Phyllite outcrops of alternating quartz-rich (psammitic) and biotite-rich (pelitic) rocks are observed in northern Sibuyan island. The foliation direction of these interlayers generally dip in the southeast direction. Schist exposures on the other hand are more predominant in eastern and southwestern Sibuyan. They are also comprised of alternating dark- and light-colored layers suggesting similar protolith to the phyllites but with distinct peak metamorphic conditions. One outcrop documented near the coast in Barangay Mabini shows dark-colored schists with white prismatic feldspar porphyroblasts. This rock type dominates the exposure and is cut by dioritic leucocratic dikes that are often subparallel to the foliation of the schists.
Initial petrographic analysis of the metapelite schist and dike samples from Mabini revealed similar mineral assemblage of quartz(Qz)-feldspar(Afs)-biotite(Bt)-muscovite(Ms)-chlorite in varying abundances. Bt and Ms are the dominant minerals in schists, while Qz and Afs are more abundant in the dike samples. Foliations are observed as the preferred orientation of Qz and Afs in dikes and Bt and Ms in schist.
The dominance of Ms and Qz suggests a continent-derived protolith possibly linked to the PCB. Further petrological and geochemical analyses will be done to interpret the pressure-temperature-deformation-time (*P-T-D-t*) history and petrogenesis of rocks in the Sibuyan Island.

Keywords: schists, phyllites, Sibuyan, Romblon Island Group

山口県南部、大島半島に産する変成岩類の変成作用：西瀬戸内領家変成帯の変成条件と地質構造

The metamorphic condition of the Oshima peninsula, in the southern part of Yamaguchi prefecture: Implications for metamorphic process and regional structure of the Ryoke metamorphic belt, west Seto Inland sea area

*LU Zejin[1]、大和田 正明[1]
*Zejin LU[1], Masaaki Owada[1]

1. 山口大学
1. Yamaguchi University

山口県中南部、瀬戸内海に面する大島半島には、三畳紀高圧型変成岩類（周防帯）、白亜紀領家変成深成複合岩体、白亜紀火山岩類が分布すると考えられてきた（シームレス地質図、地質調査総合センター，2022）。地質図によると、大島半島の西に隣接する粭島と大島半島北部には周防帯が、半島南部には領家帯の変成岩類が分布する。調査地域の西部に位置する大津島は、上述した地質図によれば周防帯に属していたが、Lu・大和田（2022）は領家帯に相当する低圧型変成作用を受けたことを明らかにした。また大島半島東部の笠戸島も領家帯低圧型変成岩とされている（Beppu and Okudaira,2006）。しかしながら大島半島の変成岩類は、地質の概要が報告されているのみであった。

本発表では、山口県南部、瀬戸内海に分布している変成岩類の帰属と地質形成史を明らかにするために大島半島産変成岩類の変成・変形作用の特徴や温度圧力条件について検討し、周囲の変成岩類と比較してこの地域の変成条件と地質構造を議論する。

大島半島は南北約9 km、東西約6 kmで、半島西部に50 mの狭い海峡を挟んで粭島が隣接する。大島半島と粭島に産する変成岩類は主に泥質片岩で、珪質片岩や少量の緑色片岩を伴う。また、局地的に花崗岩類の岩脈が貫入している。変成岩類の片理面の構造は、基本的に東西走向で南北に傾斜し、東西に軸を持つ褶曲構造が発達するが、半島の南西部で南北系の断層が発達し、片理面は北東–南西方向へ変化している。一方、粭島は南北走向の片理面が発達している。

泥質岩の鉱物組み合わせは以下の通り。黒雲母(Bt)、白雲母(Ms)、斜長石(Pl)、石英(Qtz)を含み、大島半島北部では緑泥石(Chl)、半島南部と粭島ではざくろ石(Grt)，菫青石(Crd)とカリ長石(Kfs)を含む。Crdの中にも、ChlやMsを包有される組織が見られて、And、CrdからMsに置換される組織も見られる。また、大島半島南部に産する緑色片岩の鉱物組み合わせはアクチノライト（Act）とアノーサイト（An）である。緑色片岩の中にレンズとして産する石灰珪質岩の鉱物組み合わせは、単斜輝石（Cpx）、方解石（Cal）、石英、アノーサイトで、珪灰石（Wo）を含む。WoはQtz、Anと共存し、しばしばCalに切られる。

泥質変成岩中の組織と鉱物組み合わせから北部のBt zoneと南部のAnd-Crd zoneに変成分帯が可能である（下記）。

Bt zone: Bt+Ms±Chl

And-Crd zone: Bt+Ms+Kfs; Bt+Ms+Grt;Bt+Crd+Ms+Kfs+Grt; Bt+And+Ms+Crd

Bt zoneからAnd-Crd zoneへの変化は以下の変成反応によって説明できる。

$Chi+Ms+Qtz=Crd+Bt+H_2O$

また、この反応アイソグラッドは、片理面と平行で東西方向を示す。このような鉱物組み合わせから大島半島と粭島は低圧型の変成作用を受け、北から南へ累進的に変成度が上昇すると考えられる。

泥質変成岩に含まれる鉱物化学組成を使ってFerry and Spear (1978)によるGrt-Bt地質温度計とHoich

(1990)によるGrt-Bt-Pl-Qtz地質圧力計を適応し、And-Crd zoneの変成温度圧力条件を見積もった。大島半島南部のAnd-Crd zoneは約550℃、150MPa、西隣の粭島は、And-Crd zoneに属し、変成条件は大島半島と同じ約530℃、150MPaであった。一方、上述した石灰珪質岩の組織から、Cal+Qtz＝Wo+CO_2によってWoが生じたと考えられる。この反応(Winkler,1979)はおよそ550℃、150MPaの変成条件で起こったと考えられ、泥質変成岩から求めた変成条件と一致する。

大島半島西部の大津島は、空間的な鉱物組み合わせの変化が認められ、北から南へSil zone、And-Crd zoneそしてもっとも低変成度のBt zoneが分布し、向斜軸を挟んで再びAnd-Crd zone、Sil zoneが分布する。そして、衝上断層を挟んでSil zoneの下位にAnd-Crd zoneが分布する（Lu・大和田、2022）。また、大島半島東部の笠戸島では、東西方向のアイソグラッドによって、北側にBt zoneが、南側にCrd zoneが分布する。この関係は、大島半島のBt zoneとAnd-Crd zoneの関係に対比可能である。しかしながら、このアイソグラッドは大島半島に比べて1 km以上南に位置する。すなわち、大島半島を含む山口県南部の変成岩類は、低圧高温型の変成作用を被った後、褶曲や断層による変形作用を受けたと考えられる。

キーワード：高温低圧型変成岩、領家帯変成岩
Keywords: High-temperature/Low-pressure type, Ryoke belt

プレートの沈み込みに伴って形成される層面滑りの研究

Study of flexural slip formed by plate subduction

*吉朝 開[1]、安東 淳一[2]、SARKAR Prakash[2]、DAS Kaushik[2]、GHOSH Gautam[3]
*Haruki Yoshiasa[1], Jun-ichi ANDO[2], SARKAR Dyuti Prakash[2], DAS Kaushik[2], GHOSH Gautam[3]

1. 広島大・理、2. 広島大・院先進理工、3. Presidency University
1. Hiroshima Univ. , 2. Hiroshima Univ., 3. Presidency Univ.

はじめに：プレートの沈み込みに際して、フレクシャー褶曲の重要性を指摘する論文が出始めている（例えばRomeo & Álvarez-Gómez ,2018）。フレクシャー褶曲は、層面滑りを伴う脆性変形領域で発生する褶曲である。プレートが沈み込む際に層面すべりが生じると、沈み込みを起因として生じる歪が開放される可能性がある。このことは層面滑りの研究が、プレートの沈み込み帯で発生する地震を考えるうえで非常に重要であることを意味する。本研究はプレートの沈み込みに際して形成された層面滑り現象の詳細を、微細組織観察を通して明らかにすることを目的とした。

研究対象と研究手法：インド ヒマチャル プラデシュ州サバスー市に露出する主境界衝上断層（MBT）を研究対象とした。MBTはインド大陸がユーラシア大陸下部に沈み込む際に形成されたプレート境界の断層である。層面滑りが発達する岩石は、MBTの上盤側に広く分布する先カンブリア時代の砂岩層である。MBTに近接する上盤側には閉じた褶曲が存在し、この褶曲の形成に伴って層面滑りが生じたと考えている。砂岩層の層厚は約10 cm-50 cmで赤褐色や白色を呈し、灰色を呈する泥岩層との互層も確認できた。泥岩層の層厚は約10 cmである。露頭では、層理面に平行に発達する層厚数mmの黒色層や黒色レンズ部、それと黒色な約5cmの楕円体部が確認できた。これら黒色部はリン酸塩鉱物（アパタイト）が主要構成鉱物となっている。

結果：微細組織の観察から以下のことが明らかとなった。1）層面すべりの実態は、砂岩単層内部に層理面に平行に発達した層厚100 mm-1 mmの複数の剪断面に沿うすべりである。2）この各剪断面は小歪から大歪の状態を記録している。小歪から大歪に至る微細組織の特徴は、砂岩層を構成する基質支持の粒径50 mm –100 mmの石英が、剪断に伴ってその間隔を広げて行くことにある。間隔を広げながら石英は流体と反応し細粒化が進み、反応によって白雲母が晶出する。晶出した白雲母は（100）が剪断面に平行に配列する。大歪になると、粒径が数mmの白雲母のみから構成されるようになり、顕著なリーデル剪断面が発達する。3）大歪を受けた剪断帯には、石英、長石、白雲母、黒雲母で構成される半径約50 mmのCCAが認められる。4）剪断帯の内部には、剪断方向に伸びる幅数100 ㎛の石英脈が存在し、石英は強い波動消光を示す。EBSDを用いた石英の結晶方位測定から、c軸が剪断方向に平行に配列する強いCPOを示すことが明らかとなった。5）アパタイトを主要構成鉱物とする黒色の楕円体の周辺には、外周に沿うように200 ㎛– 300 mm幅の石英脈が存在し、その一部は強く塑性変形している。塑性変形した石英のc軸は楕円体に沿った一方向に強く集中する。

考察：観察結果から層面すべりの特徴を考察した。大歪に伴うリーデル剪断面やCCAの形成は、砂岩試料を用いた高速剪断歪実験の回収試料の特徴（Mizoguchi et al., 2009など）と酷似するが、低速剪断歪実験が行われていないために、研究した層面すべりが地震性すべりによるものかクリープ性すべりによるものなのかの判断がつかない。しかし剪断面に平行に存在する石英脈が転位クリープによって塑性変形し強いCPOを示すことは、層面すべりがクリープ性すべりによって進行していることを強く示唆する。そして剪断方向にc軸が配列することは、550℃以上の高温下で転位クリープが進行したことを示す。また黒色の楕円体は、砂岩層に整合的に堆積したアパタイト層が層面すべりによってCCA状に回転して形成された可能性が強い。楕円体の周りに存在する石英脈の石英のc軸CPOは、アパタイト層がCCA状に回転する際に550℃以上の摩擦熱を発生させたことを示唆する。以上のことから、層面すべりはクリープ性すべりによって形成され、そしてクリープ性すべりにおいても550℃以上の摩擦熱が発生した可能性が強いことが明らかとなった。その原因に関しては、講演で議論する。

本研究の結果から、プレートの沈み込みを起因として生じる歪の一部は、層面すべり形成と摩擦発熱のエ

ネルギーによって解放されている可能性が高いことが考えられる。

キーワード：層面滑り、主衝上断層、微細組織観察、転位クリープ、摩擦発熱
Keywords: Flexure slip, MBT, Microstructure observation, Dislocation creep, Frictional heating

コロラド台地産ローソン石エクロジャイト捕獲岩を構成するオンファス輝石の電子線散漫散乱：予察的報告

Electron diffuse scattering in omphacite from lawsonite eclogite xenolith in Colorado Plateau: A preliminary report

*福島 諒[1]、辻森 樹[1,2]、宮島 延吉[3]、Boffa-Ballaran Tiziana[3]、Criniti Giacomo[3]、McCammon Catherine[3]
*Ryo Fukushima[1], Tatsuki Tsujimori[1,2], Nobuyoshi Miyajima[3], Tiziana Boffa-Ballaran[3], Giacomo Criniti[3], Catherine McCammon[3]

1. 東北大・院理、2. 東北大・CNEAS、3. バイロイト大・BGI
1. Tohoku Univ. Sci., 2. CNEAS, Tohoku Univ., 3. BGI, Univ. Bayreuth

Ultrahigh-pressure lawsonite eclogite xenolith from the Navajo volcanic field, central Colorado Plateau, has attracted much attention because this xenolith should be a fragment of the Farallon plate that was rapidly brought to the surface by the diatreme formation. One can therefore expect that reconnaissance of its constituting minerals is useful to examine eclogitization processes without affected by retrogression. Notably, cation ordering processes in omphacite lead to various types of micrometer-scale textures such as antiphase domains, reflecting the thermal history of slab eclogitization.

Here, we report the crystallographic features of omphacite in the lawsonite eclogite xenolith. The omphacite grains are a little enriched in Fe^{3+}(~aug_{35-45} jd_{40-50} aeg_{15-20}) and characterized by local compositional heterogeneities. Despite the peak metamorphic temperature of ~620℃, below the critical temperature of its order-disorder transition (~865℃), our X-ray diffraction analysis of representative crystals demonstrated the absence of any super-lattice diffraction peaks belonging to the ordered phase. However, our observation of the omphacite from the same eclogite with transmission electron microscopy revealed the presence of diffuse scattering related to the ordered structure, although antiphase domains were not observed.

These omphacites should have undergone incomplete disordering after the prograde metamorphism. The most probable event that induced cation disordering was the Cenozoic thermal pulse before the diatreme emplacement. A previous study on a dunite xenolith suggested the presence of pre-emplacement heating (>~800℃) that lasted for <~1700 years (Smith, 2010). Therefore, we conducted several high-pressure annealing experiments of natural ordered omphacites by using a piston-cylinder apparatus; we obtained completely disordered omphacites after 24 h annealing at 1000℃, 3 GPa. This corroborates the hypothesis that cation disordering in omphacite can occur within such a short timescale. Although the heating might have overprinted the prograde omphacite microtexture, these peculiar omphacites could allow to discuss short timescale of the episodic heating, which cannot be evaluated only with conventional analyses of macroscopic diffusion profiles.

キーワード：オンファス輝石、秩序無秩序転移、コロラド台地、ローソン石エクロジャイト、電子線散漫散乱
Keywords: omphacite, order-disorder transition, Colorado Plateau, lawsonite eclogite, electron diffuse scattering

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Exhumation process of serpentinite in the Sangun-Renge belt exposed at Sasaguri, Fukuoka prefecture

*Swarnaa ANNADURAI MUNUSAMY[1], Jun-ichi ANDO[1,2], Yuki IWASAKI[3], Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Kaushik DAS[1,2], Seiichiro UEHARA[4]

1. Hiroshima Univ., 2. HiPeR, Hiroshima, 3. NIPPON STEEL CORP., 4. The Kyushu Univ. Museum

Antigorite serpentinite (serp) of the Sangun-Renge Belt is exposed at the northern part of Narubuchi Dam, Sasaguri, Fukuoka Pref. Clarifying the exhumation process of serp is important for elucidating tectonics in mantle wedges. For this purpose, we conducted a petrological study of the Sasaguri serp and the amphibolite exposed in contact with this serp. Field survey reveals a mylonitized zone and siliceous schist (ss) distributed in the serp mass. The strike and dip of both rocks are similar to the serp mass. The microstructures of the serp, ss, and amphibolite are observed by optical microscope and SEM, the composition of Cr-spinel in serp is measured by EPMA, and the CPO of antigorite (atg) and quartz in ss is determined by SEM-EBSD. The following are revealed. 1) Atg, a few mm in size, shows undulose extinction and dynamic recrystallization, but no CPO. 2) Atg in the mylonitized zone is less than 100 μm in size, with (001) and [010] oriented parallel to foliation and lineation, respectively. 3) The composition of Cr-spinel (Fig. 1) indicates that the source rock (peridotite) is of forearc origin. The ferritchromite rim suggests that the peridotite is re-equilibrated at greenschist to amphibolite temperatures. 4) Magnetite formed around the ferritchromite rim indicates that the serpentinization occurred after ferritchromization. 5) The source of ss is chert. 6) SS shows a porphyroclastic texture, with X max CPO of c-axis of porphyroclast and crossed girdle of neoclasts. Crossed girdle is known to form at 400-550˚C. 7) The CPO of neoclasts indicates the top-to-north shear sense, which implies that recrystallization occurred during exhumation. 8) The hornblende thermometry shows that the amphibolite is formed at 550-700˚C. 9) The kink band in the hornblende is metasomatized to actinolite, suggesting retrograde metamorphism at greenschist facies condition. Based on the above results, the exhumation process of Sasaguri serp will be discussed in our presentation.

Keywords: Exhumation, Serpentinization, Antigorite, Quartz, CPO

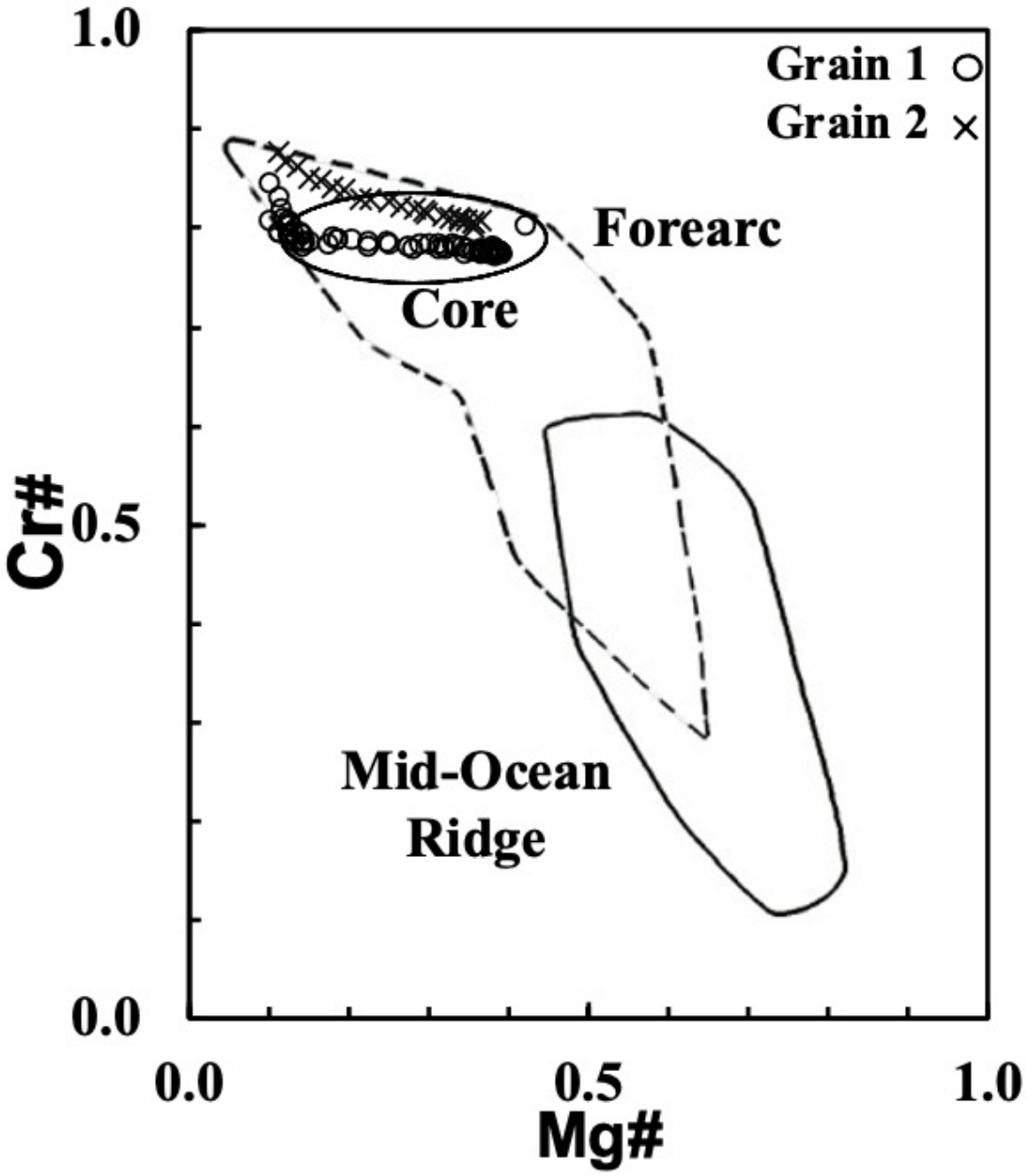


Fig. 1: Chemical composition of Cr-spinel along a line from the center to the rim for two grains. Mg# in the center is 0.3-0.4 and ferritchromatization is visible at the rim. Cr# = Cr/(Cr+Al), Mg# = Mg/(Mg+ Fe^{2+}). Modified from Morishita et al. (2013).

幌満かんらん岩体上部のかんらん岩とマフィック岩からなる対称性がよい露頭の鉱物化学組成と全岩化学組成

Mineral and bulk compositions of an outcrop showing a symmetric sequence composed of peridotite and mafic-rock layers of Horoman peridotite, Japan

*栗原 圭佑[1]、川本 竜彦[1]、日原 彩[1]、田阪 美樹[1]、谷内 元[2]、栗谷 豪[3]、松本 亜希子[3]
*Keisuke Kurihara[1], Tatsuhiko Kawamoto[1], Aya Hihara[1], Miki Tasaka[1], Hajime Taniuchi[2], Takeshi Kuritani[3], Akiko Matsumoto[3]

1. 静岡大、2. 産総研、3. 北海道大
1. Shizuoka Univ., 2. AIST, 3. Hokkaido Univ.

幌満かんらん岩体は北海道の日高変成帯の南端に露出し、上部マントルを起源とする多様な超苦鉄質岩からなる。岩体の特徴のひとつとして、大小2種類の対称構造が観察されることが挙げられる。本研究では、1枚のかんらん岩層を中心とした合計層厚3 m以下の小規模な対称構造が観察される、アポイ岳の北尾根に露出するかんらん岩とマフィック岩の互層からなる露頭 (図A、寅丸, 1997, 地質学論集) より岩石試料を採取し、鉱物化学組成と全岩化学組成を測定した。鉱物化学組成分析はEPMAとマイクロXRFを用いて静岡大学で、全岩化学組成分析はXRFとICP-MSを用いて北海道大学で行った。

かんらん岩とマフィック岩は、粒径や鉱物組み合わせが異なる。かんらん岩は比較的粗粒 (~250 μm)で、主にオリビンや輝石から構成される。かんらん岩層中のオリビンのFo値と輝石のMg#は、層ごとに異なり88 - 92と多様であるが、薄片スケールでは±1の範囲内で均質である。マフィック岩は比較的細粒 (~150 μm)で、主に斜長石や輝石から構成され、角閃石も含む。マフィック岩層中のオリビンのFo値や輝石のMg#は、各層ごとに 84 - 88の多様性を持ち、かんらん岩よりも低い値を示す。角閃石はTiに富むパーガス閃石～ケルスート閃石である。マフィック岩は鉱物組み合わせ、鉱物化学組成、N-MORBに類似した全岩微量元素組成などの特徴から、塩谷・新井田 (1997, 地質学論集) や Takazawa et al. (1999, J. Petrol.) のタイプⅠマフィック岩に相当する。また本露頭には、斜長石を含む層と含まない層が細かく互層する部分がある。全岩化学組成は、この互層が薄いかんらん岩とマフィック岩からなることを示す。互層のオリビンのFo値や輝石のMg# は91 - 92の値を示し、薄片スケールでは均質である。寅丸 (1997) や日原ほかなどでは、斜長石かんらん岩と呼んでいる。

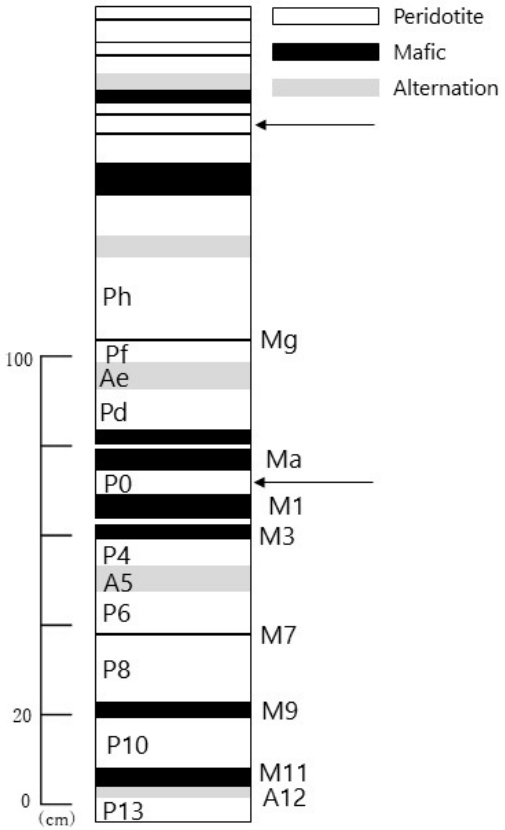
かんらん岩とマフィック岩中の単斜輝石は、TiO_2とCr_2O_3の含有量から3タイプに分類できる。(1) 高TiO_2・低Cr_2O_3で特徴づけられるマフィック岩中に含まれるもの、(2) 低TiO_2・高Cr_2O_3で特徴づけられるかんらん岩中に含まれるもの、(3) 高TiO_2・高Cr_2O_3で特徴づけられるかんらん岩中に含まれるもの。(1) と (2) はそれぞれマフィック岩とかんらん岩の本来の化学組成を保持していると考える。一方 (3) タイプの単斜輝石は、かんらん岩とタイプⅠマフィック岩をつくったMORB組成の物質との反応によって形成したと考える。マイクロXRF分析の結果は、かんらん岩とマフィック岩の境界に粒径の大きな輝石を形成し、岩相により (1) と (3) の単斜輝石をもつことを示す。これらの両岩相の反応で形成したと解釈できる単斜輝石では、コアで低くリムで高いTiのゾーニングと、コアで高くリムで低いAlのゾーニングを示す。岩相により含まれる単斜輝石の化学組成には幅があり (図B, C)、以上の特徴は層構造形成時の反応に起因すると考える。

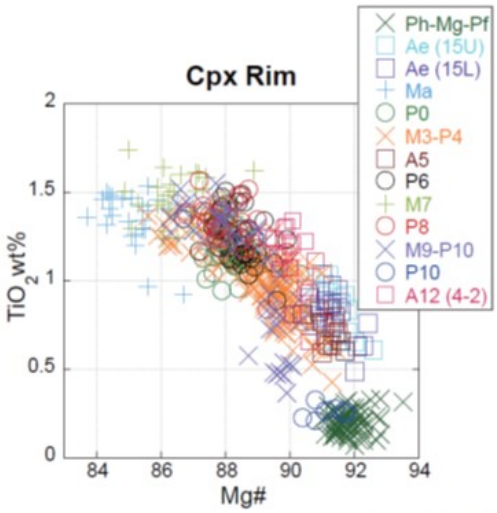
また、層厚5 mm程度の薄いマフィック岩層は斜長石を含むが、角閃石は含まない。単斜輝石はTiO_2やAl_2O_3の含有量はともに低くCr_2O_3の含有量は高く、上下に接するかんらん岩層とほとんど同じ化学組成を示す。全岩主要元素は幌満川の斜長石かんらん岩と同一の組成で、全岩微量元素もかんらん岩と同様のパターンを示すことから、他のマフィック岩とは特徴が異なり、かんらん岩との反応がより進んだと解釈する。

以上のことから、アポイ岳北尾根露頭の対称構造は、かんらん岩とマフィック岩が接して反応することでかんらん岩が再肥沃化する過程を示すと考えられ、不均質なマントルを露頭単位で観察できるものの一例と考える。日原ほかは中央海嶺下でメルトと溶け残りマントルが一緒に変形したものと提案する。

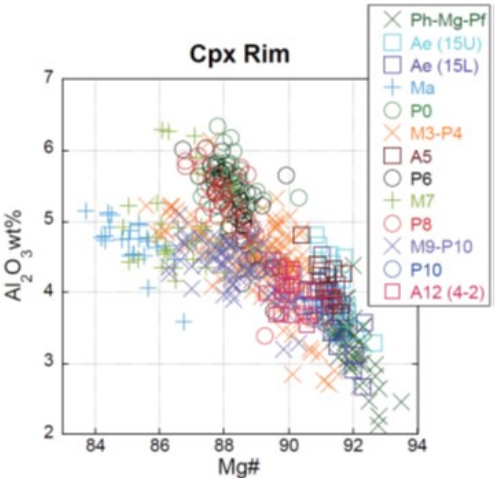
キーワード：かんらん岩、マフィック岩、マントル、再肥沃化、化学組成
Keywords: Peridotite, Mafic-rock, Mantle, refertilization, Chemical composition

図A アポイ岳北尾根露頭の柱状図
矢印は対称構造の中心を指す。





図B
Cpx リムの
TiO_2 wt% vs Mg#



図C
Cpx リムの
Al_2O_3 wt% vs Mg#

塑性変形領域でのシュードタキライト形成に関連した地震性断層発生のメカニズム: インドSarwar-Junia断層帯の例

Mechanism of seismic fault generation involving in pseudotachylyte formation in ductile regime: examples from Sarwar-Junia Fault Zone, India

*岡﨑 淳哉[1]、安東 淳一[1]、Das Kaushik[1]
*Junya OKAZAKI[1], Jun-ichi Ando[1], Kaushik Das[1]

1. 広島大学
1. Hiroshima University

シュードタキライト（Pst）は、断層の高速すべりに起因する母岩の摩擦溶融によって形成される黒色、非顕晶質な岩石であり、断層面に沿って脈状、ネットワーク状に発達する。そのため、Pstは過去の断層運動の情報を保持する重要な岩石である。通常、Pstは脆性変形領域で形成されるが、塑性変形しているものやマイロナイトに関連しているPstが報告されており（例えば、Chattopadhyay et al., 2008）、塑性変形領域で断層運動が発生していることを示唆している。塑性変形領域での断層発生メカニズムには、脆性変形領域からのすべりの伝播や塑性不安定性が提案されているが、現在も議論が続いている。本研究では、インドSarwar-Junia断層帯から採取された泥質片麻岩中に発達する2種類のPst試料を用いて、微細組織観察と鉱物相同定の結果から、それぞれの摩擦溶融プロセスと塑性変形領域での断層発生メカニズムを明らかにすることを目的とした。野外観察において、母岩の面構造に対して、平行なPst脈（P-Pst）と大きく斜交するPst脈（C-Pst）の2種類の系統的なPst脈を確認した。P-Pstは母岩の塑性変形と同様の応力場で形成されたと考えられる。微細組織観察では、どちらのPst脈の両端にもメルトの急冷によって形成された黒色部（急冷縁）が存在している。P-Pstの急冷縁の幅はC-Pstのものより大きい。これは冷却速度の違いを示唆しており、冷却速度がP-Pstでは比較的遅く、対してC-Pstでは比較的速いと考えられる。Pst脈中にクラストとして残っている鉱物を比較すると、P-Pstは主に石英、珪線石であるのに対し、C-Pstではそれらに加えて、斜長石、カリ長石が多く存在している。加えて、母岩に多く含まれていた黒雲母は、どちらのPst脈でもクラストとして残っていないため、Pst形成時に完全に溶融したことが考えられる。一方、特にP-Pstで、多数の針状の黒雲母が基質中に存在しており、これらはメルトからの晶出によって形成されたと考えられる。これらの鉱物の融点から、メルトの最高温度はP-Pstで1400-1726 ℃、C-Pstで1200-1300 ℃であったと考えられる。ただし、非平衡溶融や黒雲母の脱水による融点の降下を考慮すると、実際の温度は推定より低いと考えられる。またP-Pst脈にはPst形成に伴う新たな斜長石の粒子の形成が起こっており、これらのリキダス温度からメルトは最低でも~1050℃以上であったことが考えられる。さらに、それぞれのPst脈部からTEM試料を作製し観察したところ、C-Pstでは顕著なガラスの存在が確認されたが、P-Pstではガラスはあまり確認されなかった。これはP-PstとC-Pstでメルトの冷却速度に差があり、C-PstはP-Pstより速い速度でメルトの急冷が起こったことが考えられる。上記から、P-PstとC-Pstは塑性変形領域と脆性変形領域でそれぞれ形成されたと考えられ、それらの摩擦溶融プロセスは以下である。初めに、断層運動によって母岩が破砕され、高速すべりに起因して摩擦溶融が起こる。この時、形成されたメルトの最高温度は、C-PstよりP-Pstの方が高く、斜長石、カリ長石はほとんど溶融した。その後、P-Pstでは比較的遅い冷却速度により、C-Pstよりも幅の大きな急冷縁が形成され、またメルトから針状の黒雲母が晶出した。また、P-Pst脈近傍の母岩には、脈から離れた部分に比べて黒雲母が多く、長石が少ないことが確認された。また黒雲母粒子は複雑な波動消光を示す。石英の再結晶粒子の粒径より得られる差応力と、石英の流動則からのひずみ速度の推定から、この黒雲母に富んだ領域は、黒雲母に富んでいない領域に比べ、より高い差応力とひずみ速度を経験していることが明らかになった。このことから断層運動は、水との反応で母岩中に黒雲母に富んだ領域が形成され、そこに応力集中することによって起こったことが考えられ

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

キーワード：シュードタキライト、断層運動、摩擦溶融、塑性変形領域
Keywords: Pseudotachylyte, Fault activity, Frictional melting, Ductile deformation zone

花崗岩質マイロナイト中の動的再結晶石英粒子の含水量分布：大阪府岸和田地域の領家帯内部剪断帯の場合

Water content distributions in dynamically recrystallized quartz grains in granitoid mylonites: A case of an inner shear zone in the Ryoke Belt in the Kishiwada area, Osaka

*法村 武昌[1]、福田 惇一[1]
*Takemasa Norimura[1], Junichi Fukuda[1]

1. 阪公大・理・地球
1. Osaka Metrop. Univ. Geosci.

地殻の主要構成鉱物である石英中に、水は結晶構造水のOHとして含まれるほかに、H_2O流体が粒界に、粒内では流体包有物として含まれる。このような水は石英の共有結合を切断して存在し、塑性変形を促進する。また、塑性変形と共にしばしば動的再結晶により細粒化が起こる。このような石英の塑性変形や動的再結晶は水の拡散を伴い、これらの機構の発展と共に、水の形態および分布に変化が起こることが考えられる。しかし、塑性変形と動的再結晶した天然の石英において、このような水に関する情報がほとんどない。

本研究では、大阪府岸和田地域の領家帯内部剪断帯に産出する花崗岩質マイロナイトについて、動的再結晶した石英粒子内部の含水量分布を赤外分光法面分析により測定した。石英粒子は亜粒界回転による動的再結晶組織を示し、粒径は円相当径として、10-160 μm、平均50 μm、アスペクト比は1.5-5.0、平均2.5であった。

赤外分光法面分析はアパーチャーサイズを20 x 20 μmで行なった。アパーチャーサイズは石英平均粒径よりも小さいため、個々の粒子内部の水を測定することができる。同時に緑泥石や黒雲母からなるフィロシリケイト領域も一部測定した。フィロシリケイト領域は赤外分光法面分析結果で水のスペクトル形状が石英のそれと異なり、高含水量を示すことから、偏光顕微鏡像との位置の比較のためのマーカーとなる。

赤外分光法面分析の結果を下図に示す。個々の石英粒子内部の赤外スペクトルは2800-3800 cm^{-1}に幅広い吸収帯を示すことから、水は流体包有物のH_2O流体として含まれている。偏光顕微鏡像と赤外分光法面分析領域の比較から、含水量は一粒子内部では±50 wt ppm程度バリエーションがあるが、個々の粒子間では、最小140 wt ppm、最大850 wt ppmのバリエーションがある。

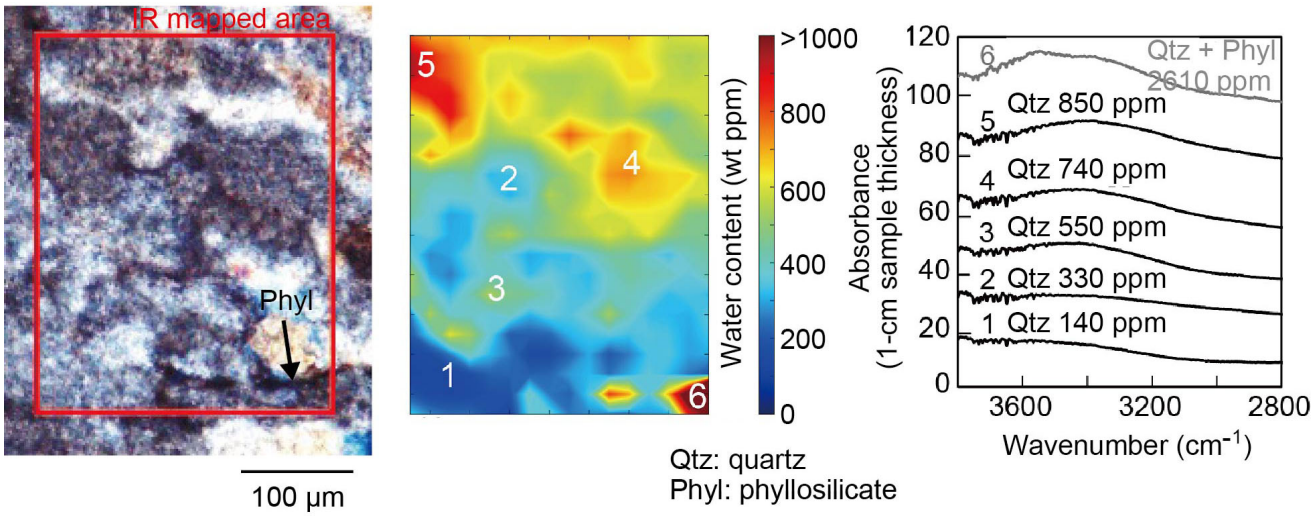
本研究で得られた含水量分布を過去の研究と比較した。Fukuda and Shimizu (2019)では、三波川結晶片岩中の動的再結晶石英粒子の平均粒径は120 μmで、粒内に水は本研究の試料と同様に流体包有物のH_2O流体として含まれている。一方、同試料の石英の含水量は50 wt ppm程度であり、本研究で得られた含水量よりも１桁低い。また、Fukuda et al. (2023)では、割山花崗岩マイロナイト中の動的再結晶石英は、粒径が約10 μmでアパーチャーサイズよりも小さいため、粒内と粒界の水が含まれ、平均220 wt ppmであった。一方、先述の通り、本研究の領家帯の花崗岩質マイロナイトでは、石英粒子内部の含水量は個々の粒子間で140-850 wt ppmと異なる。このことから、石英が亜粒界回転によって細粒化する際に、個々の粒子内部に含水量のバリエーションを持って取り込まれることを示唆する。このような異なる試料で見られる動的再結晶石英の含水量の違いは、動的再結晶時に系が持つ水との平衡状態を反映しているのかもしれない。

引用文献

Fukuda J. and Shimizu I. (2019) Water distribution in quartz schists of the Sanbagawa Metamorphic Belt, Japan: Infrared spectroscopic mapping and comparison of the calibrations proposed for determining water contents. Earth, Planets and Space, vol. 71:136

Fukuda J. Okudaira T. and Ohtomo Y. (2023) Water release and homogenization by dynamic recrystallization of quartz. Solid Earth. vol. 14, pp. 409-424

キーワード：石英、塑性変形、動的再結晶、含水量、赤外分光法
Keywords: Quartz, Plastic deformation, Dynamic recrystallization, Water content, Infrared spectroscopy



Deformation microstructures and slip systems developed in olivine from the Petit-spot peridotite xenoliths: Insights on deformation mechanisms and anisotropy of upper mantle

*Dyuti Prakash SARKAR[1,2], Norikatsu Akizawa[3], Jun-ichi Ando[1,2], Masako Yoshikawa[1,2]

1. Hiroshima University, 2. HiPeR, 3. The University of Tokyo

Petit-spot is small knoll (~1 km^3 volume) occurring on the ocean floor and is considered to be formed as a result of plate flexure along outer rise. The presently studied peridotite xenoliths were obtained from petit-spot volcanic fields (Sites A and B) placed in the offshore of northern Japan during scientific cruises of YK20-14S and YK21-07S, using deep-submergence research vehicle Shinkai6500. The peridotite xenoliths are included in vesicular alkaline basalts. The peridotites are harzburgitic to lherzolitic in modal composition. The forsterite number (Mg/(Mg + Fe) atomic ratio ×100) of the olivine ranges from 91 to 92, and the pyroxenes are enstatite or diopside in composition. The olivines show minor reaction only in the boundaries with the host basalt, suggesting the preservation of pristine mantle microstructures. Additionally, the olivine grains show development of sub-grain boundaries, however distinct foliation and lineation are not prominently observed. Elucidating the deformation fabric of the olivine is a challenge as the individual xenoliths are unoriented and do not have distinct foliation or lineation. Hence to determine the active slip systems we have used Electron Backscatter Diffraction (EBSD) analysis to determine the slip system of individual sub-grain boundaries developed in each olivine grains for the samples and attempted to infer the overall slip system developed in the analyzed samples. We present these results and infer the possible deformation conditions for the peridotite xenoliths from the petit-spot volcanoes. Additionally, the results also provide us insights on the seismic anisotropy of the lithospheric mantle in the northwestern Pacific region.

Keywords: petit-spot, olivine deformation, mantle deformation, seismic anisotropy

EMアルゴリズムを利用した岩石中炭質物の新しい被熱温度推定法自動化の試み

Novel automated method for estimating the peak temperature from the crystallinity of carbonaceous material using EM algorithm

*中村 佳博[1]、松村 太郎次郎[1]、宮崎 一博[1]
*Yoshihiro NAKAMURA[1], Tarojiro MATSUMURA[1], Kazuhiro MIYAZAKI[1]

1. 産総研
1. AIST

岩石中炭質物の結晶度を利用した被熱温度推定法は，顕微ラマン分光装置を利用することで簡便かつ迅速に解析可能であるため様々な変成帯で広く利用されている．しかしこの手法には，1) 薄片作成時の非晶質化, 2) 適切な炭質物粒子の選定に人的バイアスの発生, 3)大量取得した炭質物ラマンデータ解析に多大な労力が必要である点に大きな問題を抱えている．そこで我々は，研磨薄片を利用せず岩石片をオートフォーカスで表面分析し，得られた大量のマップデータから温度推定に適用可能な指標を抽出する新しい手法の開発を目指し，装置開発及びラマンデータ解析法の検討を行った．本研究では，地球科学分野の研究室で最も利用の多い532nm(緑色)レーザーを利用して顕微ラマン分光分析及びスペクトル解析を実施した．可視光レーザーの場合，周囲の鉱物を同時に分析することで強い蛍光が発生する場合がある．この問題は，高倍率の長作動対物レンズを利用し共焦点性を高めることで影響を低減させることに成功した．しかし完全に蛍光バックグラウンドを削除することは不可能であり，カーブフィットの手法に工夫を加えた．本研究では，分光スペクトルのカーブフィットに信頼性のあるEMアルゴリズムを利用したカーブフィット法(Muramatsu et al. 2019)を炭質物のラマンスペクトルに適用した. Nakamura et al. (2019)のサンプルデータと岩石片のマッピングデータを利用し，ピーク分解・パラメータ抽出・ソートを自動化することで30570通り(1019データ×3パターン×10回)の自動解析を実施した．その結果，従来の温度指標であるD1 bandの半値幅や面積比は，蛍光バックグラウンドの影響を強く受けるため自動分析で得られたラマンスペクトルにそのまま適用することは困難であった．一方で炭質物のラマンシフトはEMアルゴリズムによるカーブフィットで高い精度で決定することができた．そのためG bandとD1 bandの距離を取ったRBS(Raman band separation)を温度指標として採用することで，蛍光バックグラウンドが重複するラマンスペクトルからでも被熱温度推定が可能となった．現在200℃から320℃付近の四万十付加体中泥質岩試料で検討を行っており，より高温側(350~650℃)の変成岩試料の解析結果も合わせて分析自動化の成果を発表する． <引用> Matsumura et al. (2019), STAM, 20:1, 733-745 Nakamura et al. (2019) Island Arc, 2019;e12318

キーワード：炭質物、顕微ラマン分光法、EM アルゴリズム
Keywords: Carbonaceous material, Micro-Raman spectroscopy, EM algorithm

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

京都府大浦半島に産する大浦複合岩体のジルコンU-Pb年代とその帰属

Zircon U-Pb ages of the Oura igneous complex, northern Kyoto area, SW Japan and its tectonic correlation

*木村 光佑[1]、川口 健太[2]、中野 伸彦[2]、足立 達朗[2]、Das Kaushik[3]
*Kosuke KIMURA[1], Kenta Kawaguchi[2], Nobuhiko Nakano[2], Tatsuro Adachi[2], Kaushik Das[3]

1. 大公大・院理、2. 九州大・院比文、3. 広島大・院理
1. Osaka Metropolitan Univ. Sci., 2. Kyushu Univ. , 3. Hiroshima Univ. Sci.

西南日本内帯のオフィオライトには，三郡-蓮華帯に属する古生代前期の大江山オフィオライトと舞鶴帯に属する古生代後期の夜久野オフィオライトが知られている．両者は主に近畿から中国地方にかけてE–Wから ENE–WSW方向に帯状分布し，大江山オフィオライトは夜久野オフィオライトの北側に位置している．京都府大浦半島の北西部には大浦複合岩体(以下大浦岩体)が露出する(縣，1974)．大浦岩体は主に苦鉄質岩からなり超苦鉄質岩や中間質～珪長質岩を伴い(Agata, 1980)，岩相から従来夜久野オフィオライトに対比されると考えられてきた(石渡，2007)．しかしながら，1) 大浦岩体が舞鶴帯から離れて北に分布し，大江山オフィオライトの分布の東方延長部に一致していること，2) 大浦岩体と舞鶴帯との間に広がる大浦層が秋吉帯に対比される下見谷層の東方延長に相当すること，3) 大浦岩体は大浦層に，大江山オフィオライト大江山岩体はその南に分布する下見谷層にそれぞれ衝上しており，同様の構造的位置を占めると考えられること，などから大江山オフィオライトに対比する考えも提唱されている(石渡，2007; 中江ほか，2022)．珪長質岩は夜久野オフィオライトには10–30 %程度含まれ，極めて小規模であるものの大江山オフィオライトの一部にも伴われる(西村・柴田，1989)ため，岩相のみでの帰属決定は困難である．大江山オフィオライトの火成年代は3.4億年前よりも古く，一方夜久野オフィオライトのそれは3.4億年前よりも若いため，年代により両者は識別可能である．そこで本研究では大浦岩体の予察的な調査で採取した超苦鉄質～珪長質岩について岩石記載を行ない，更にこのうち中間質岩1試料と転石を含む珪長質岩3試料について全岩化学組成分析とジルコンU-Pb年代測定を行なった．

超苦鉄質岩は主にカンラン石，蛇紋石，滑石，トレモラ閃石，クロムスピネルからなり蛇紋岩化している．クロムスピネルは自形を呈する．

苦鉄質岩は斜長石，緑泥石，角閃石，不透明鉱物からなり，副成分鉱物として多量のアパタイトを含む変斑れい岩である．アパタイトは全体に認められるが特に緑泥石中に多く含まれる．

中間質岩は主に斜長石，角閃石，石英，緑泥石，不透明鉱物からなり，副成分鉱物としてジルコンを含む閃緑岩で，全岩のSiO_2濃度は約58 wt.%である．ジルコンは幅の広い波動累帯構造を示す．コンコーダントなU-Pb年代は270–240 Maに広がり複数のピークが認められるものの，ペルム紀の年代を示すと考えられる．コンコーダントなポイントのTh/U比は0.1–0.4である．

珪長質岩はいずれも主に石英，斜長石，黒雲母からなり，カリ長石を含まないトーナル岩である．二次鉱物としてスティルプノメレンや緑簾石，沸石を含む．黒雲母はほぼ緑泥石に置換されている．全岩のSiO_2濃度は77–80 wt.%で，テクトニクス場の判別図では火成弧領域にプロットされる．ジルコンは厚みが薄い長柱状の自形を呈し，僅かに不明瞭な波動累帯構造を示す． コンコーダントなU-Pb年代は300–240 Maと幅を持ち複数のピークが認められるものの，ペルム紀の年代を示すと考えられる．コンコーダントなポイントのTh/U比は0.1–0.3である．

今回得られたジルコン年代は全て単一の年代を示さないことから，何らかの二次的影響を受けてジルコンの閉鎖系が一部乱されたものと考えられる．縣(1974)は，大浦岩体の北に貫入する宮津花崗岩の接触境界から2 kmにかけての範囲では，大浦岩体構成岩類が接触熱変成を被り二次鉱物が生成していると報告している．今回の年代測定試料に関しては，鏡下観察では接触変成作用の影響はほぼ認められないものの，緑簾石，スティルプノメレン，沸石などの二次鉱物が成長しているため，何らかの熱水変質を被った可能性が示唆され

る．今回得られたジルコン年代は全て3億年前よりも若いものであることから，大浦岩体は大江山オフィオライトには対比が難しく，むしろ夜久野オフィオライトに帰属する可能性が高い．超苦鉄質岩中のクロムスピネルが自形を呈し，大江山オフィオライトに特徴的なぜん虫状スピネルが認められなかったこともこれを支持する．

引用文献 縣 (1974) 岩石鉱物鉱床学会誌, **69**, 403–416．Agata (1980) 岩石鉱物鉱床学会誌, **75**, 396–410．石渡 (2007) 大浦複合岩体, 日本地方地質誌, 近畿地方, 朝倉書店, 80–80．中江ほか (2022) 20万分の1地質図幅「宮津」(第2版)，産総研．西村・柴田 (1989) 地質学論集, **33**, 343–357．

キーワード：大浦複合岩体、ジルコン、夜久野オフィオライト、西南日本内帯
Keywords: Oura igneous complex, Zircon, Yakuno ophiolite, Inner zone of Southwest Japan

Metasomatic syenite at the interface between charnockite and calc-silicate granulite, Eastern Ghats Belt, India: Mineral-chemical characterization and its implications during orogenesis

*Kaushik DAS[1,4], Proloy Ganguly[2], Sankar Bose[3,4]

1. Hiroshima University, 2. Durgapur Government College, Department of Geology, Durgapur, India, 3. Presidency University, Kolkata, India, 4. HiPeR, Hiroshima

We have recently found occurrences of meter-to-micrometer scale bands and veins of syenite at the contact between the calc-silicate granulite (clinopyroxene-plagioclase-scapolite-wollastonite-calcite-grandite garnet-titanite-apatite-quartz) and the coarse-grained charnockite (plagioclase-K-feldspar-orthopyroxene-quartz) exposed at the Phulbani area of the Proterozoic Eastern Ghats Province (EGP). The calc-silicate granulite witnessed ultrahigh temperature (UHT) metamorphism followed by charnockite intrusion. Syenite (clinopyroxene-K-feldspar-apatite±titanite±quartz) bands and mylonitized veins are roughly parallel to the axial plane of the mesoscopic-scale fold present in the calc-silicate granulite. Anorthitic patches, and myrmekite intergrowth replacing the albite component of plagioclase of the contact zone of charnockite are common. In charnockite, clinopyroxene and K-feldspar-bearing syenitic vein occurs which in turn replaces anorthitic plagioclase (An > 96 mol%) of calc-silicate granulite to scapolite+calcite bearing mineral assemblage. All these indicate a fluid-rock interaction while forming syenite.
During this deep crustal metasomatism, fluor-apatite overgrowths and neoblastic growths occurred in the syenite as well as the leached part of the wall rock. While the early-formed apatite grains are Ce, La, Y, and Si-enriched, the overgrowths are relatively depleted. The present study highlights the interactions of lower crustal rocks with saline, carbonic, and REE-depleted fluid. Similar metasomatic syenite occurrences are reported from other portions of the northern EGP implying its formation on a large scale during orogenic evolution.

Keywords: Syenite, Apatite, Trace elements, Metasomatism

東南極セール・ロンダーネ山地，メーニパ地域に産するバナジウムと亜鉛に富む亜鉛スピネル-珪線石-白雲母片麻岩の記載岩石学的特徴

Petrography of V and Zn-rich gahnite-sillimanite-muscovite gneiss from Menipa, Sør Rondane Mountains, East Antarctica

*足立 達朗[1]、河上 哲生[2]、東野 文子[2]、宇野 正起[3]
*Tatsuro ADACHI[1], Tetsuo Kawakami[2], Fumiko Higashino[2], Masaoki Uno[3]

1. 九州大学、2. 京都大学、3. 東北大学
1. Kyushu University, 2. Kyoto University, 3. Tohoku University

東南極セール・ロンダーネ山地は，ゴンドワナ超大陸形成に伴う造山運動によって形成された高度変成岩類や貫入岩から構成される（Shiraishi, 1997 Antarctic Geol. Map Ser.）．当山地を構成する変成岩類は，変成履歴や砕屑性ジルコンの年代分布によって複数のユニットに区分され，約650-600 Maおよび約570-550 Maに起きた2段階の地殻衝突イベントがあったと考えられるようになってきた（Osanai, et al., 2013, Precam. Res.; Adachi et al., in review, JMPS）．メーニパ地域は山地中央部に位置する露岩域であり，構造的上位には約620-560 Maの変成年代を示す泥質変成岩類が分布する一方，下位には約570-550 Maの変成作用のみを記録する珪長質変成岩が分布することから（Adachi et al., 2022, JpGU abstract; Kawakami et al., 2022, IAGR annual meeting abstract），この地域にも約570-550 Maの衝突境界が存在することが示唆されている（Adachi et al., 2022, 同上）．

バナジウムと亜鉛に富む亜鉛スピネル-珪線石-白雲母片麻岩は，メーニパ地域の構造的上位の泥質変成岩類中に厚さ約30㎝程度のレンズ状に産する．全岩のバナジウムおよび亜鉛の含有量はそれぞれ約2000 ppmと約4000 ppmである．周囲の泥質変成岩（珪線石-黒雲母-ザクロ石片麻岩および含石墨珪線石-黒雲母片麻岩）からは，約600-560 Maの昇温期変成作用を経て、約560 Maに1.0 GPa, 800 °C程度の最高変成条件に達したのち減圧する時計回りの変成履歴が報告されている（Kawakami et al., 2022，同上）．この含石墨珪線石-黒雲母片麻岩中には直径10㎝を超える含バナジウムグロシュラーが産し，その粗粒化にはCOH流体が関与している可能性が示唆されている（河上ほか, 2023，鉱物科学会年会講演要旨）．亜鉛スピネル-珪線石-白雲母片麻岩の構成鉱物は，石英，石墨，珪線石（V_2O_3＝0.33-1.46 wt%），亜鉛スピネル（V_2O_3＝1.70-2.10 wt%；Cr_2O_3＝1.89-3.00 wt%），斜長石（An＝24-30），カリ長石（BaO＝1.54-1.82 wt%）であり，二次鉱物として白雲母，緑泥石，副成分鉱物として燐灰石，ルチル，ジルコン，モナザイトを含む．珪線石と白雲母が淡緑色を呈するため岩石全体も緑がかった外観を示す．亜鉛スピネルはごく細粒の閃亜鉛鉱を包有し，細粒の白雲母（V_2O_3＝1.16-2.02 wt%；Cr_2O_3＝0.84-3.59 wt%）と緑泥石（V_2O_3＝0.29-0.42 wt%；Cr_2O_3＝3.03-3.34 wt%）に周囲を置換されている．珪線石も細粒の白雲母（V_2O_3＝0.63-1.62 wt%；Cr_2O_3＝0.19-0.84wt%）の集合体に周囲を置換されている．石墨は片理に沿って白雲母細粒集合体に伴って産することが多く，COH流体の関与がこの岩石でも示唆される．ルチルは，珪線石に囲まれて産する粒子（V_2O_3＝約3.7 wt%，Zr＝932-1088 ppm）とマトリックスで白雲母と接して産する粒子（V_2O_3＝1.33-1.74 wt%，Zr＝362-703 ppm）がある．これらの岩石組織や鉱物化学組成に基づくと，珪線石と亜鉛スピネルが安定に存在した条件の後に，COH流体が関与した加水後退変成作用が起こって白雲母と緑泥石が形成されたと考えられる．

バナジウムに富む岩石は，ゴンドワナ超大陸形成に伴う衝突境界が想定される場所に沿ってその産出例が報告されている（例えばケニア，Suwa et al. 1996, J. SE Asian Earth Sci.；タンザニア，Feneyrol et al. 2010, C. R. Geosci.；マダガスカル，Cecco & Tait, 2018, Canad. Mineral.）．バナジウムの濃集には還元的な環境が必要であり，これらの地域では黒色頁岩が起源であると考えられている．本研究の岩石の起源についてはさらなる解析が不可欠であるが，バナジウムを含む岩石がゴンドワナ超大陸衝突以前に存在した海洋環境の指標

となる可能性があるのかもしれない.

キーワード：バナジウム、亜鉛、変成堆積岩、セール・ロンダーネ山地、東南極
Keywords: Vanadium, Zinc, metasedimentary rock, Sør Rondane Mountains, East Antarctica

Unraveling the Link Between Deformation, Metamorphism, and Fluid Flow in the Archean Dharwar Craton, Southern India

*Sreehari LAKSHMANAN[1], Kiran Sasidharan[2], Satish-Kumar Madusoodhan[2], Tsuyoshi Toyoshima[2]

1. Shimane Uni., 2. Niigata Uni.

The Dharwar Craton (DC) is the largest Archean(3500 to 2500 Ma) craton in the Indian Shield. The DC is divided into three main regions: the Western Dharwar Craton (WDC), the Central Dharwar Craton (CDC), and the Eastern Dharwar Craton (EDC). In this presentation, we aim to discuss the metamorphic history of the WDC and its interplay with deformation and fluid flow. We will present detailed petrological data from the eastern part of the WDC, specifically focusing on the southern section of the Chitradurga Schist Belt (CSB). The CSB consists of various rock formations, including the Sargur Group and Dharwar Supergroup. Through our detailed structural analysis, we have identified five major deformation events in the WDC. Among these, D2 (NNW-SSE trending reverse faults and upright folds) and D3 (strike-slip sinistral shear) are the regional-scale deformation events. Due to the limited availability of mineral assemblages suitable for geothermometry, we have employed carbonaceous material thermometry (CM) in metapelitic rocks from each formation. We have selected 15-samples containing CM from different Groups. Using Raman spectroscopy, we have identified differences in metamorphic temperatures among the Groups. The Bababudan and Chitradurga Groups exhibit metamorphic temperatures ranging from 500˚–550˚C, whereas the Hiriyur and Sargur Groups exhibit temperatures between 450˚– 400˚C. We interpret these differences in metamorphic temperatures as being associated with the spatial relation to the D_3 strike-slip shear zones within the study area. The fluid flow along these shear zones may have influenced the properties of the carbonaceous material, thereby affecting the observed temperatures. Additionally, based on the metamorphic mineral assemblage, the presence of Chlorite+Muscovite association is prominent in the D_3 shear zones, indicating fluid flow processes during the D_3 deformation. Moreover, microscopic observations reveal that Garnet-Biotite assemblages in the D2 shear zone are cross-cut by Fe-rich fluid veins, suggesting fluid flow processes following the D2 deformation. We interpret these fluid flow associated with the D3 deformation, which is directly connected to the regional-scale collision and associated strike-slip deformation processes that occurred throughout the entire DC.

Keywords: Dharwar Craton, Tectonics, Metamorphism, Deformation

🏛2023年9月16日(土) 15:30 ~ 17:00 | 🏛820 杉本キャンパス
一般普及講演

15:30 ~ 17:00
[E-06] 一般普及講演

[zoom] Zoom

一般普及講演

一般普及講演

2023年9月16日(土) 15:30 〜 17:00 820 (杉本キャンパス)

15:30 〜 17:00

[E-06]一般普及講演

©日本鉱物科学会

一般普及講演

一般普及講演

2023年9月16日(土) 15:30 〜 17:00 820 (杉本キャンパス)

[zoom]Zoom

Zoomはこちら

©日本鉱物科学会

🏛2023年9月16日(土) 15:30 ~ 17:00 | 🏛822 杉本キャンパス

理事会

15:30 ~ 17:00

[E-07] 理事会

理事会

理事会

2023年9月16日(土) 15:30 〜 17:00 822 (杉本キャンパス)

15:30 〜 17:00

[E-07]理事会

©日本鉱物科学会