2023年9月15日(金)

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、領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)

2023年9月16日(土)

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－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.)

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

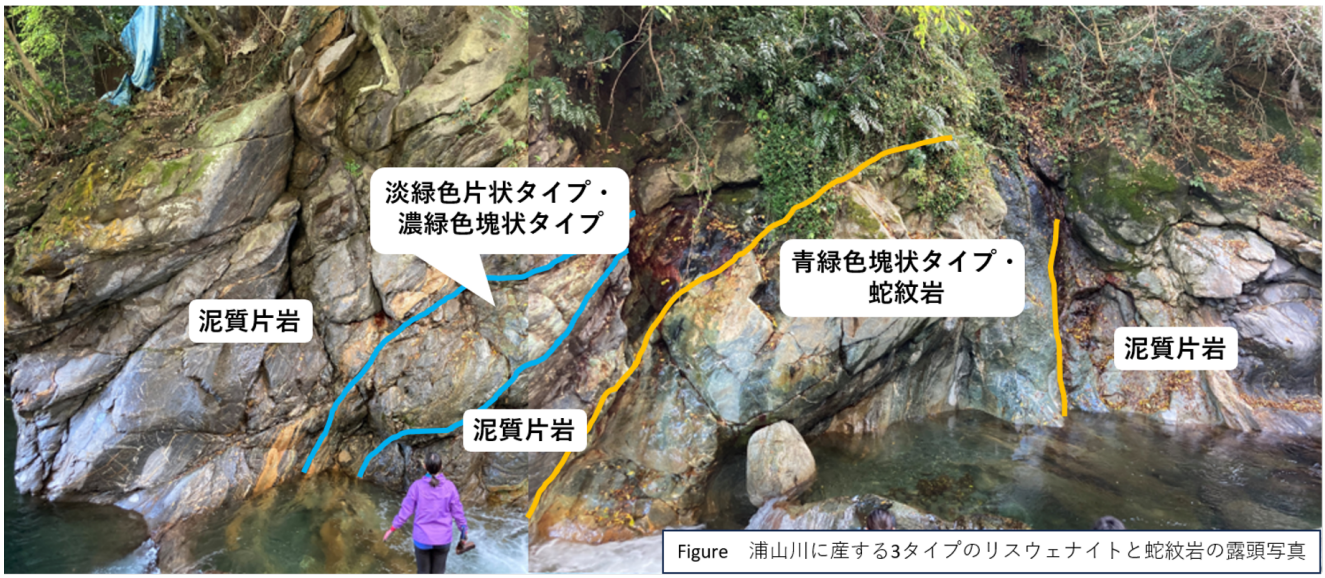


Figure　浦山川に産する3タイプのリスウェナイトと蛇紋岩の露頭写真

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．

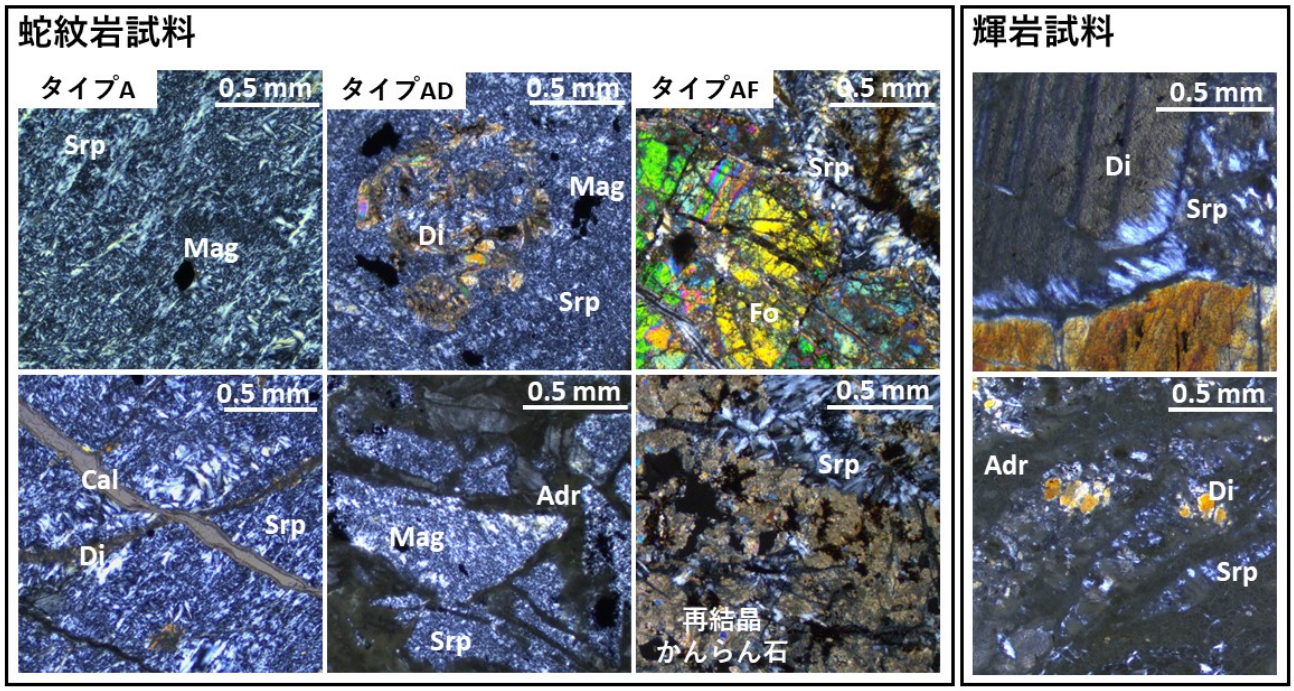
【結果・考察】

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。

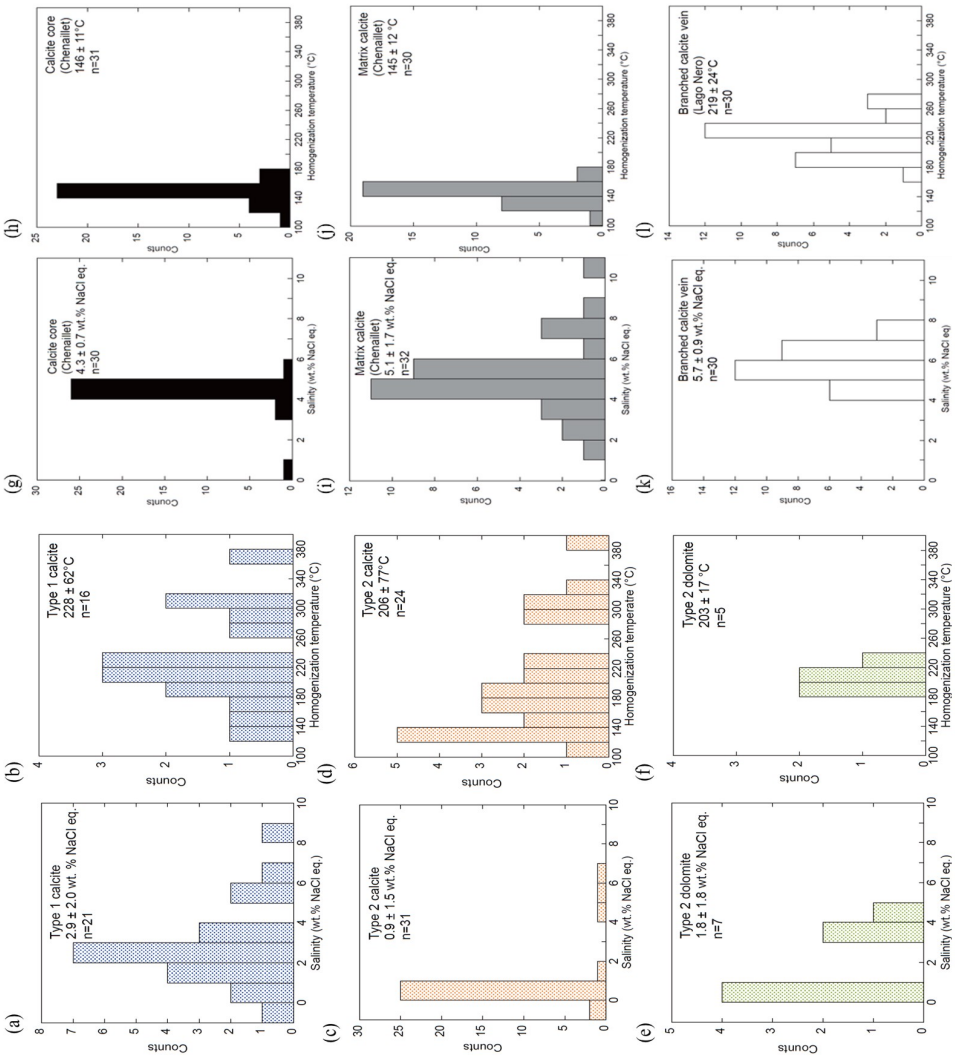
(iii)シュナイエオフィオライトの炭酸塩コア、ラゴネロオフィオライトの枝状炭酸塩脈には4-6 wt.% NaCl eq.の塩濃度の流体包有物が見られる(図 g, k)。これは塩素を含まない蛇紋岩が海水（3.5 wt.% NaCL eq.）を吸収することによって、相対的に塩濃度が高くなった流体が炭酸塩鉱物を形成したと考えられる（Debure et al., 2019）。このプロセスは、沈み込み帯流体の多くが5 wt.% NaCl eq.を持つことと関連しているかもしれない（Kawamoto et al. 2018; Joachim-Mrosko et al., 2022）。

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

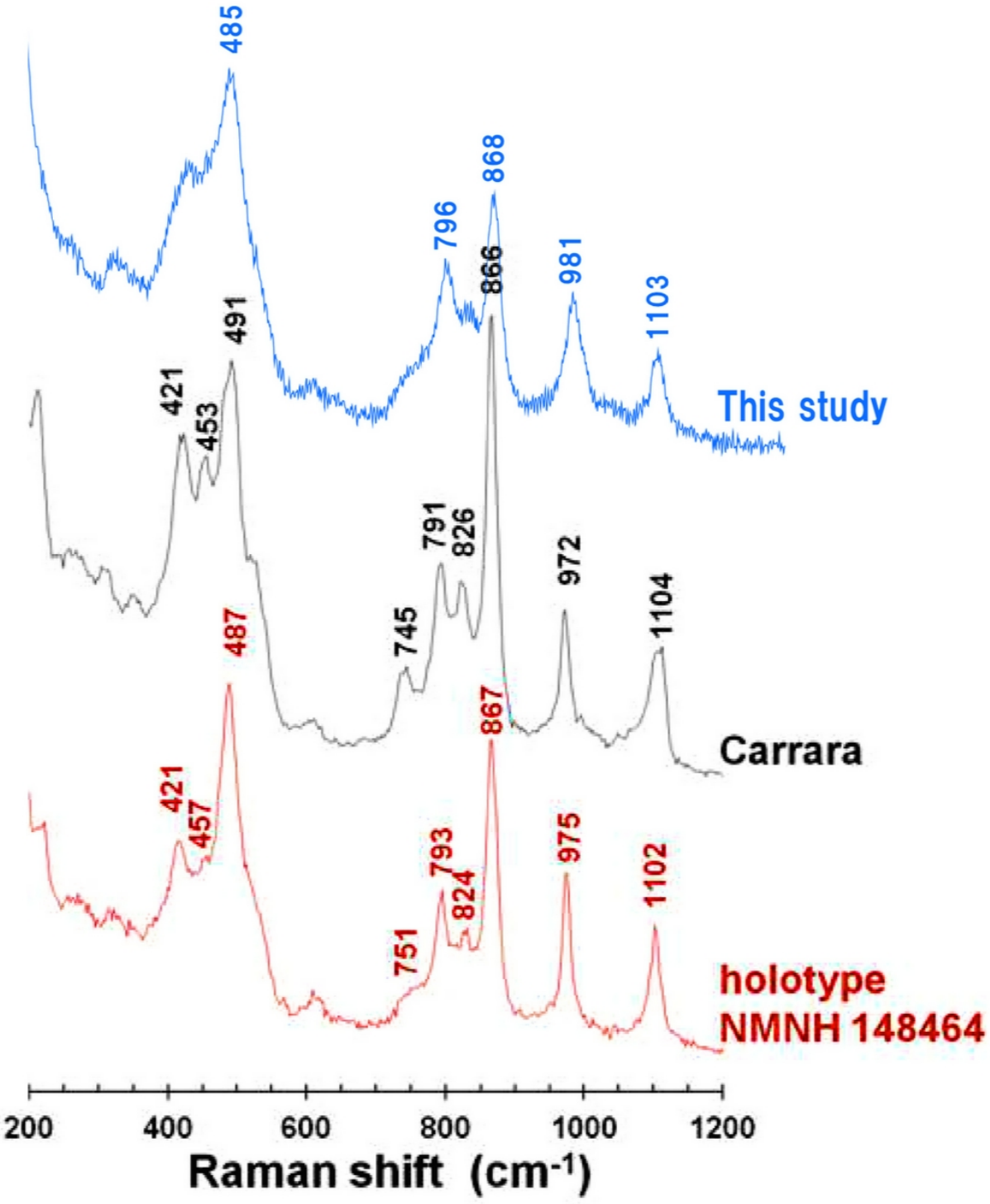
名古屋大学の Nicolet Almega XR（Thermo Scientific 社製）により、Nd-YAG レーザー（λ＝532 nm）を用いて測定。共焦点顕微鏡 (Olympus BX51) 、10倍対物レンズ（NA = 0.25）使用した。 Biagioni and Orlandi (2017)は、砒酸基、硫酸基、炭酸基に起因するスペクトルが記録されている200～1,200の範囲と、水酸基、結晶水に起因するスペクトルが記録されている3,000～4,000の範囲における、ホロタイプ標本と分析に用いられたcarrara産の標本のラマンスペクトルを報告しており、足尾産のClaraiteから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

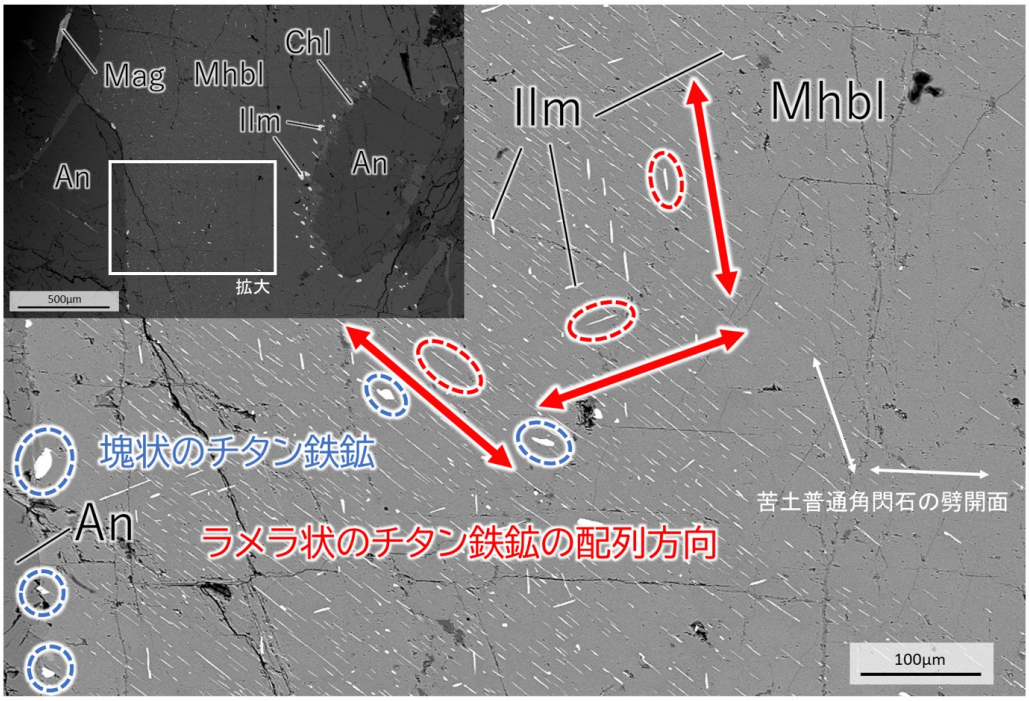


Figure 1　斑れい岩ペグマタイト中の苦土普通角閃石中のチタン鉄鉱(反射電子像)
An：灰長石、Chl：緑泥石、Ilm：チタン鉄鉱、Mag：磁鉄鉱、Mhbl：苦土普通角閃石

@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.

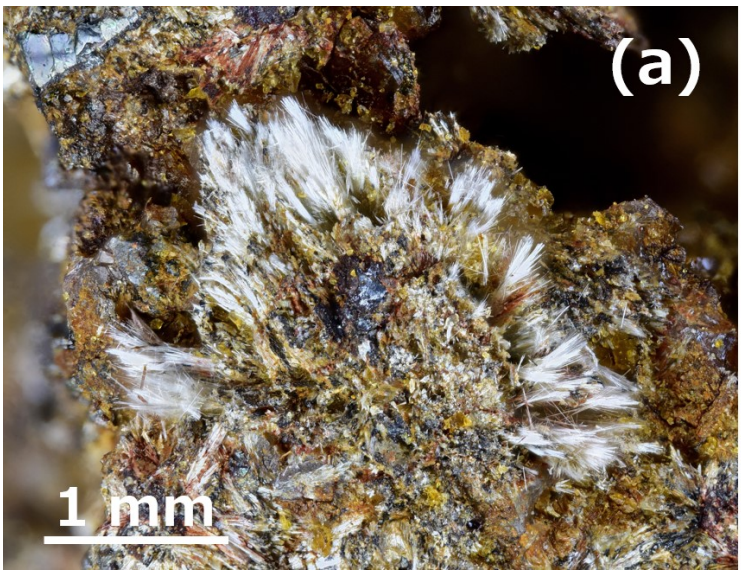
[2] Sueno, S. *et al.* (2002) *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **97**, 127-136.

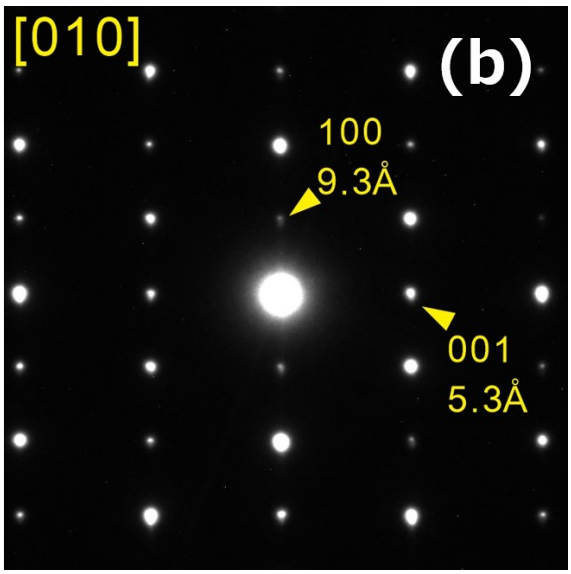
[3] Hawthorne, F.C. *et al.* (2012) *Am. Mineral.*, **97**, 2031–2048.

[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

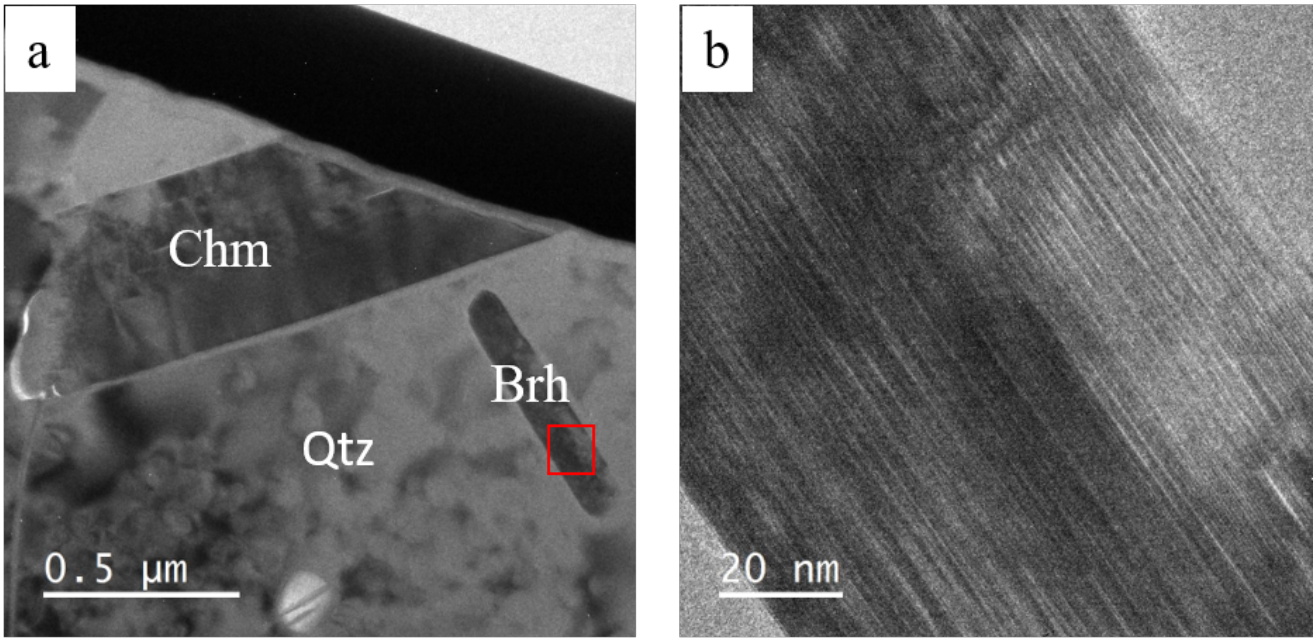


Fig. 1 (a)TEM images of chamosite and berthierine. (b) Enlarged TEM image of berthierine in the red box area of (a). Qtz: Quartz. Chm: chamosite. Brh: berthierine.

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．

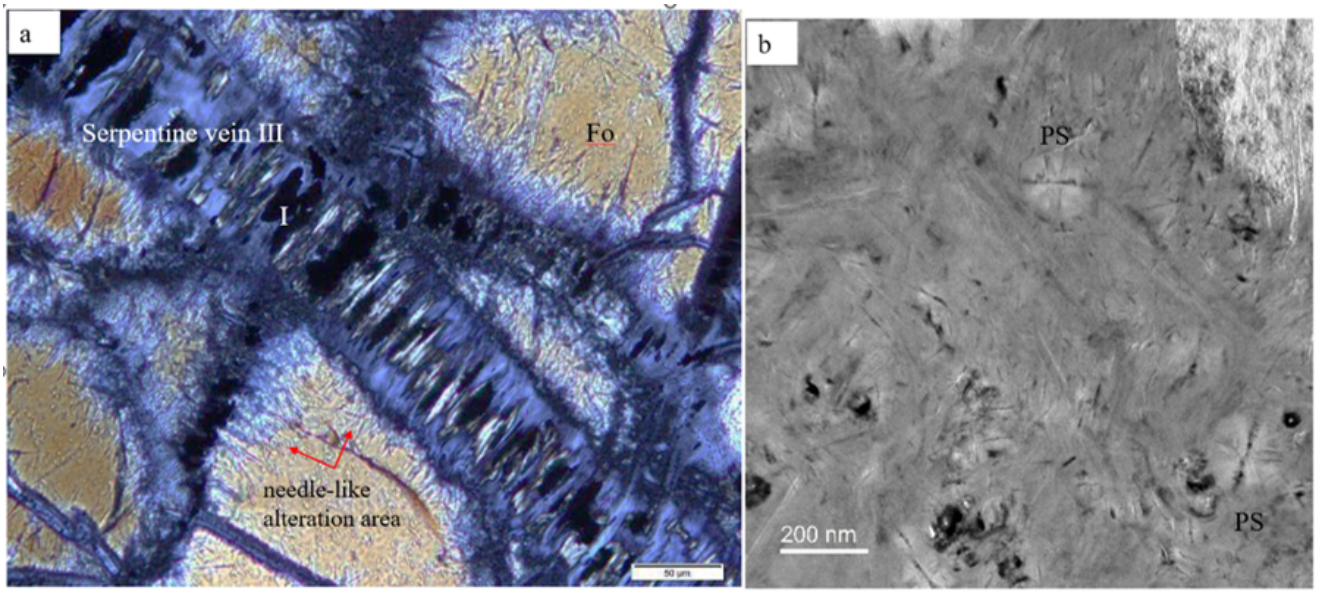
4. 参考文献

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

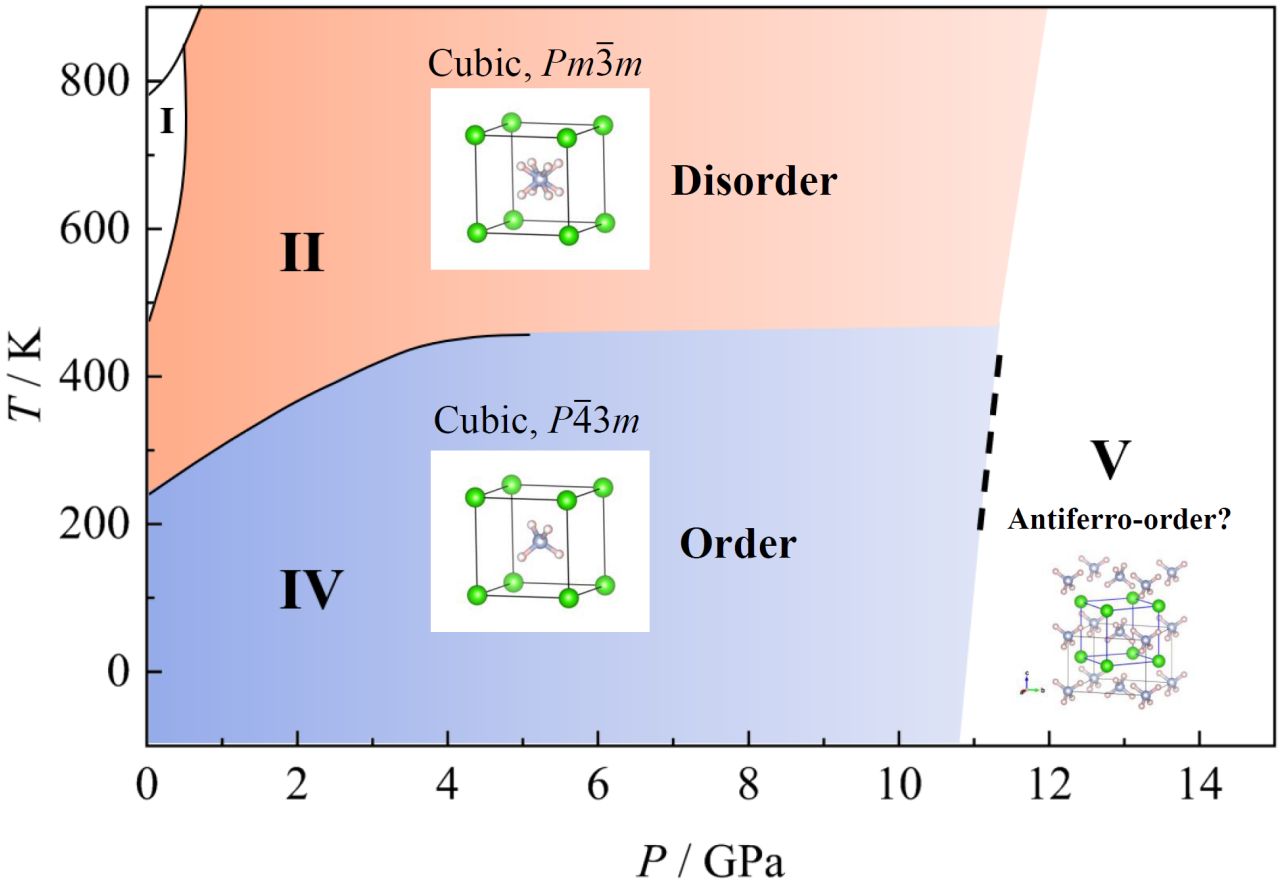
*小松 一生[1]、村上 喬紀[1]、中野 智志[2]、鍵 裕之[1]
*Kazuki Komatsu[1], Takanori Murakami[1], Satoshi Nakano[2], Hiroyuki Kagi[1]

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.

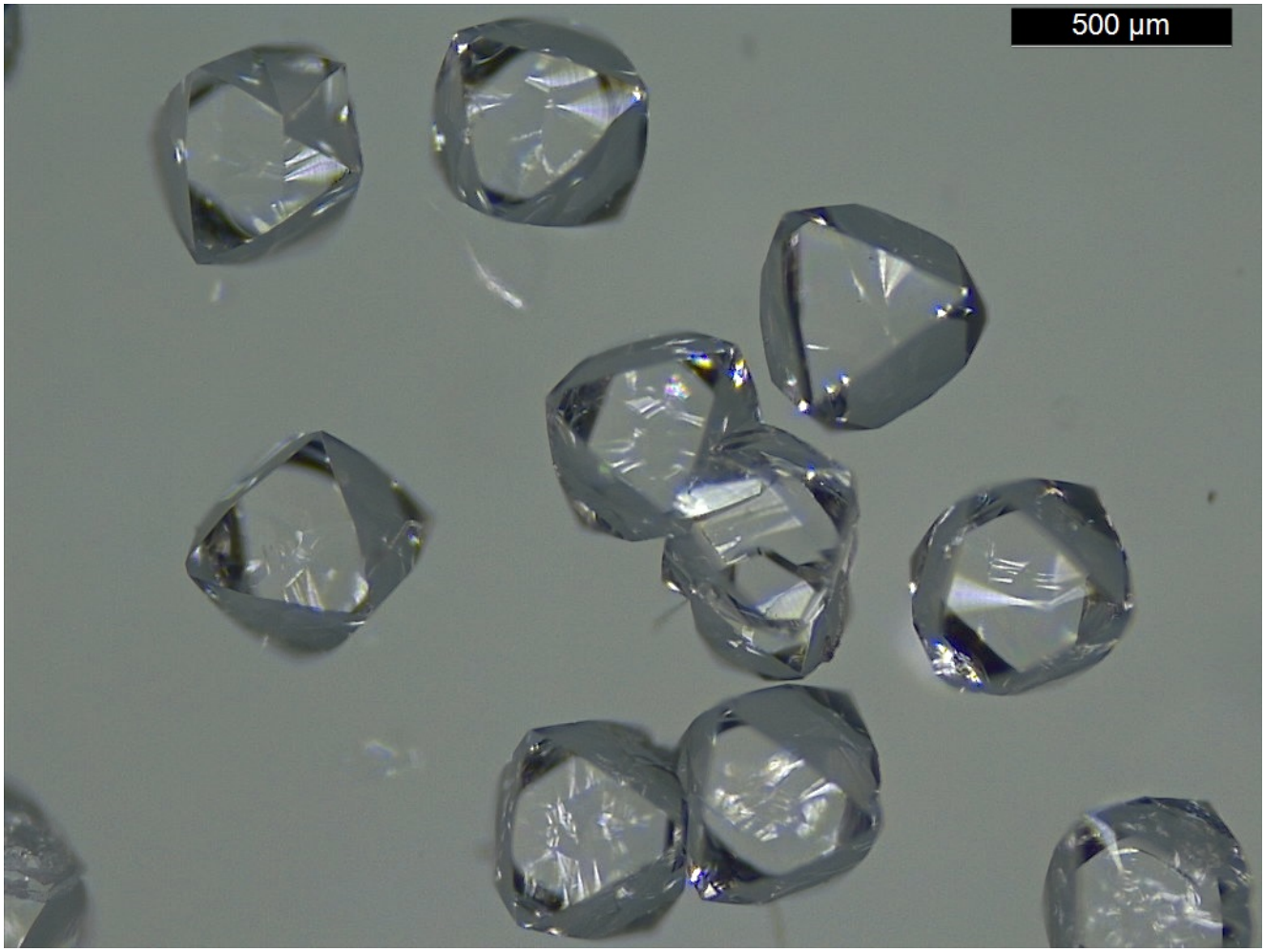
シリカクラスレートは，二酸化ケイ素（SiO_2）がホストとしてかご状構造を形成し，かごの中に入っているガス分子をゲスト分子として包接する化合物である．ゲスト分子のサイズにより，構造の異なるメラノフロジャイト，千葉石，房総石などの鉱物に分類される．

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

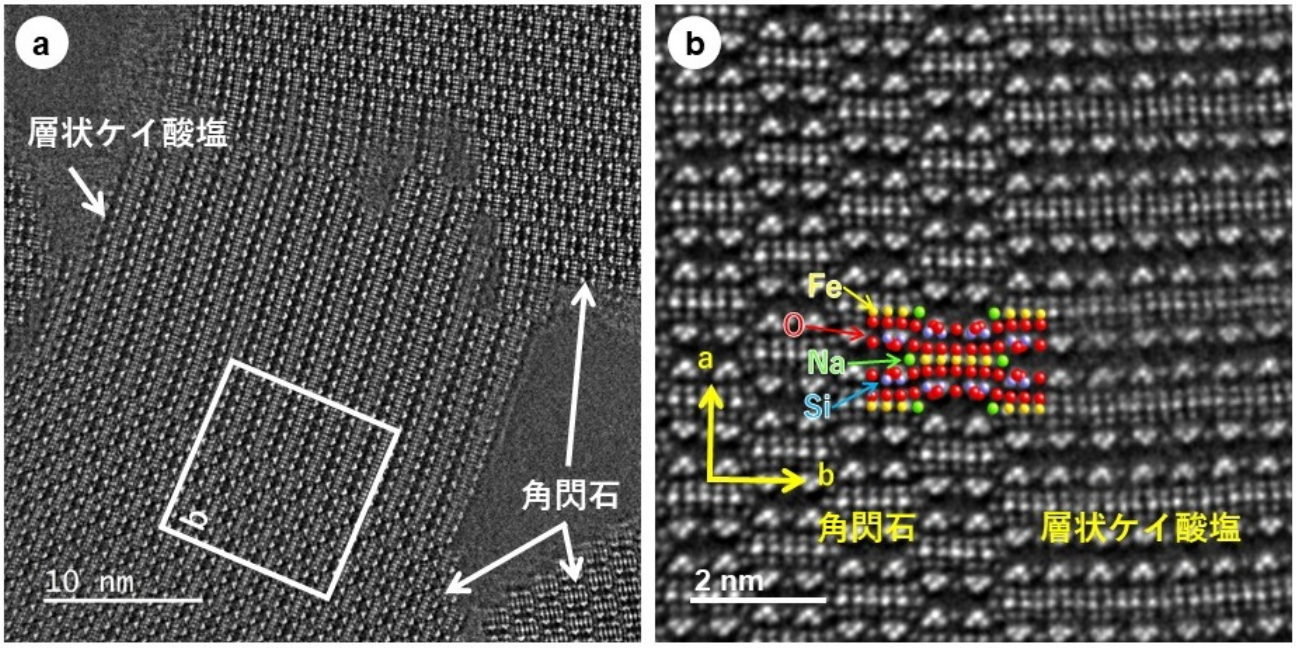


図1(a)クロシドライト石綿中の層状ケイ酸塩OBF-STEM像。
(b)角閃石と層状ケイ酸塩の界面の原子分解能OBF-STEM像

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

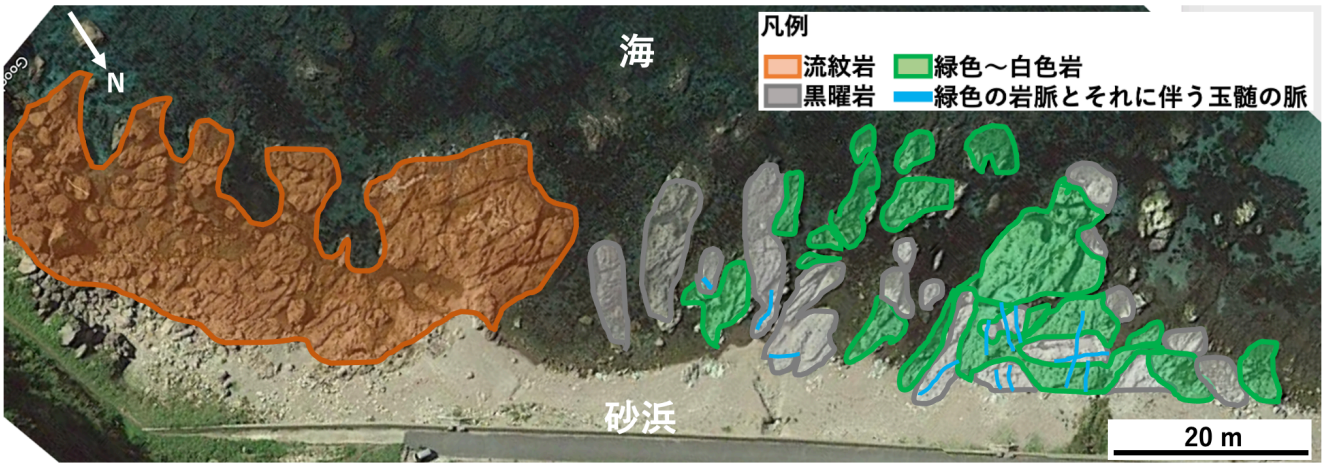


図. 男鹿地域の露頭の全体図

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．

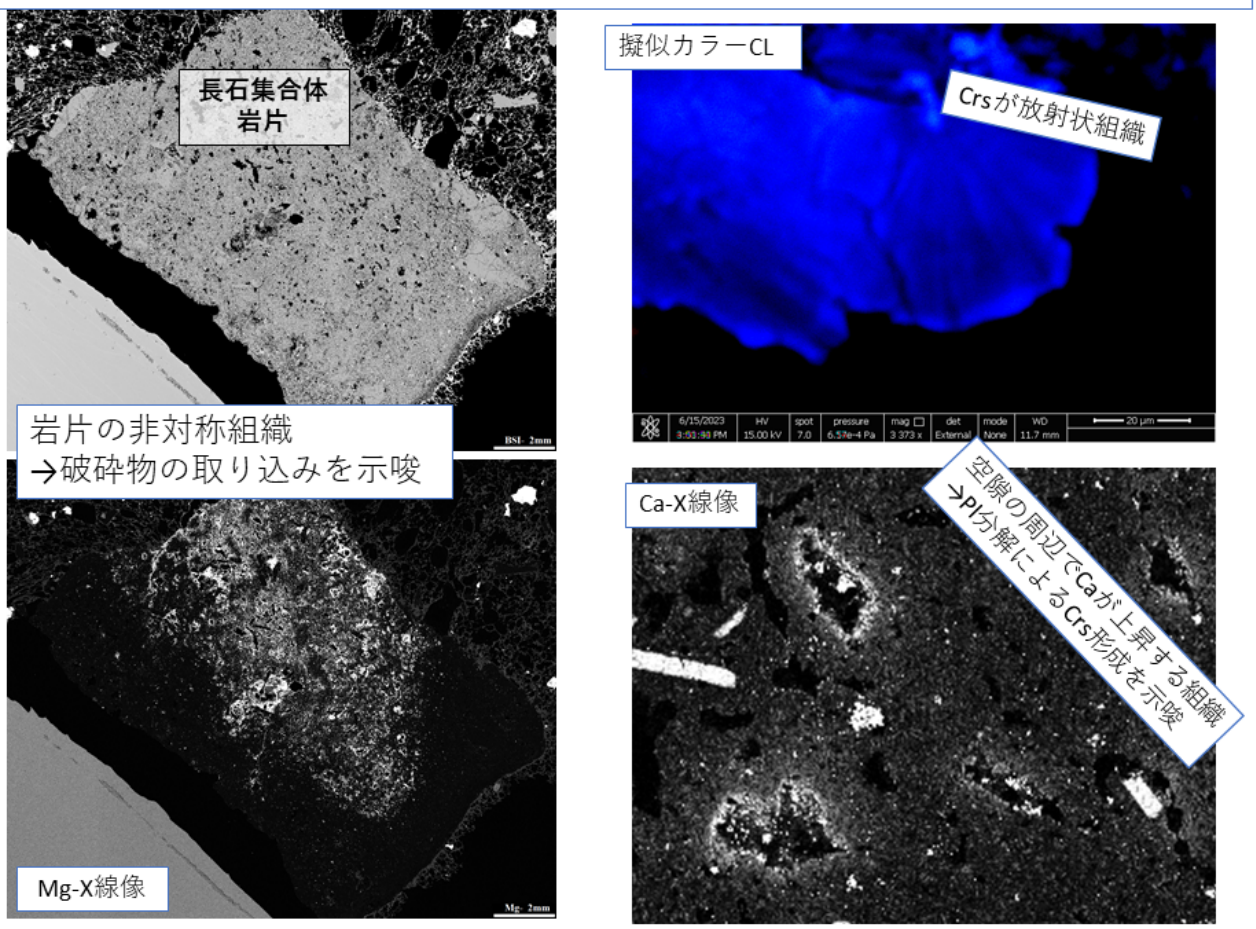
以上の観察から，この岩片は噴火に際して破砕した岩石の一部が，噴出するマグマに取り込まれたものであると考えられる．岩片は元々火道を閉塞する岩石の一部で，比較的深部の850℃程度の高温下で，火道閉塞物が火山ガスと反応することで，斜長石の分解とクリストバライトの晶出が起きた可能性が高い．

[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

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

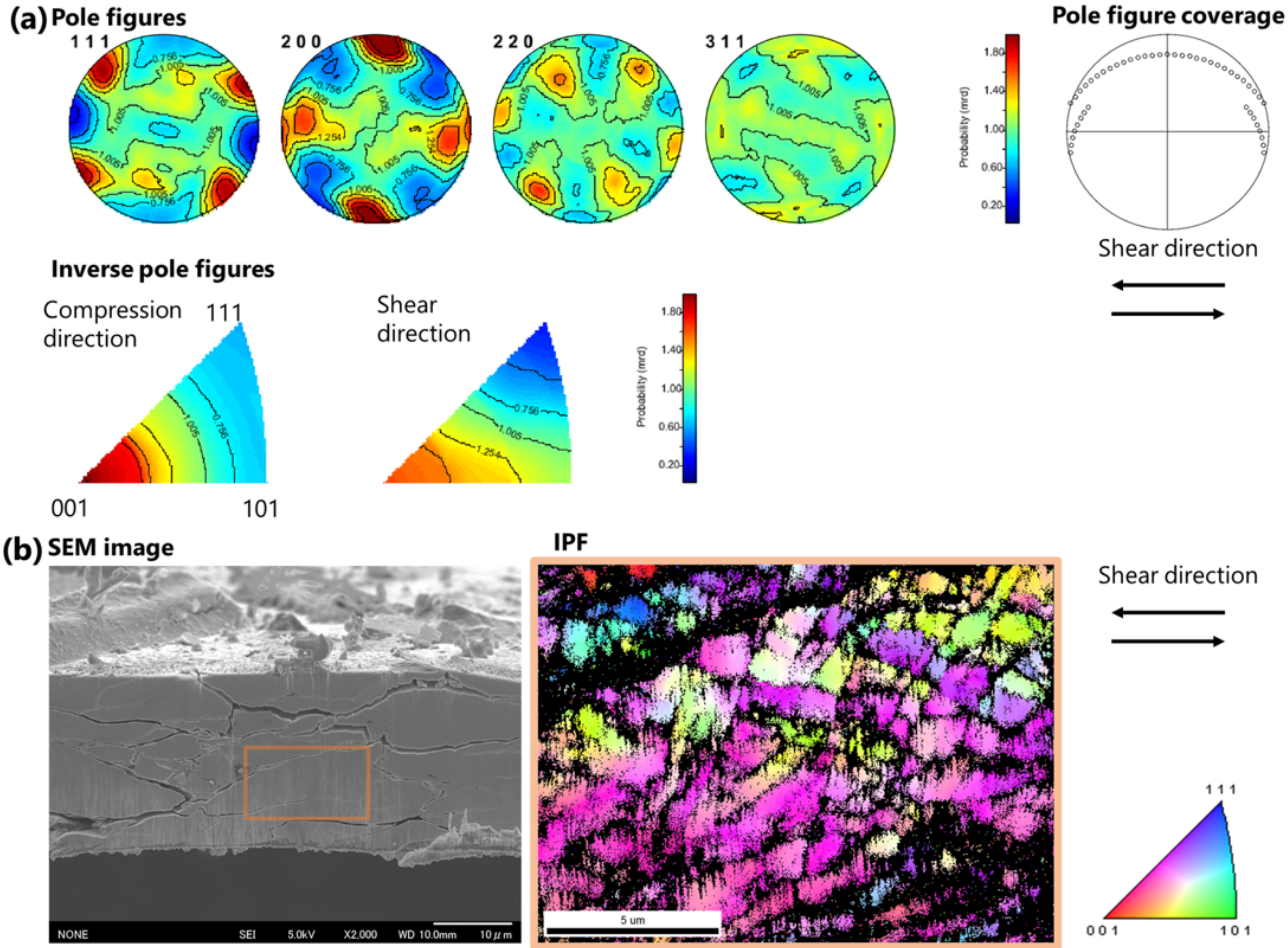


図 結晶方位データ
rDACによるねじり変形実験後のWüstite(結晶構造:B1 ε =0.3 T=600 K P=8 GPa)
(a) XRDデータの解析より得られたCPO
(b) EBSD分析より得られた結晶方位マッピング

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

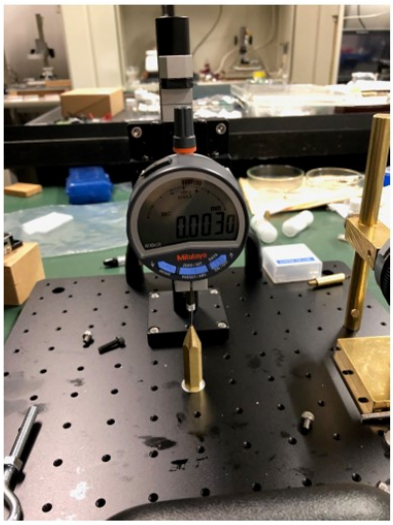
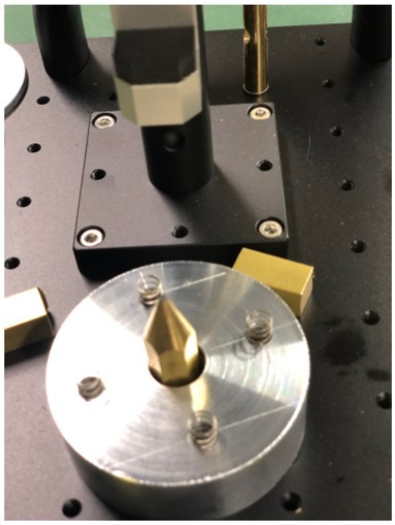
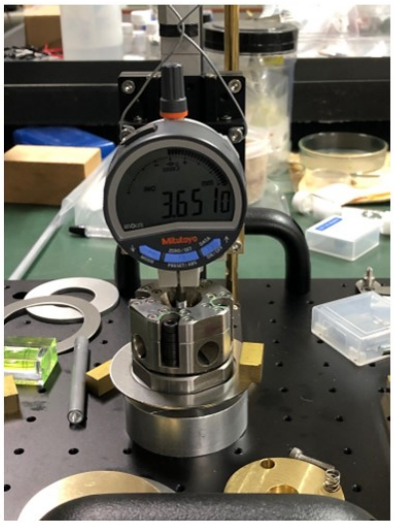
ダイヤモンドアンビル背面間距離は~4mm程度である。これがDACセル（直径~40mm厚さ~30mm）内部に所在するため、通常のマイクロメーターやダイヤルゲージでの測定が困難であった。通常のマイクロメーターではフレームの懐が小さく触針が測定部に届かなかった。ダイヤルゲージでは可動域が小さくDACセルを触針下部に配置することが困難であった。

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

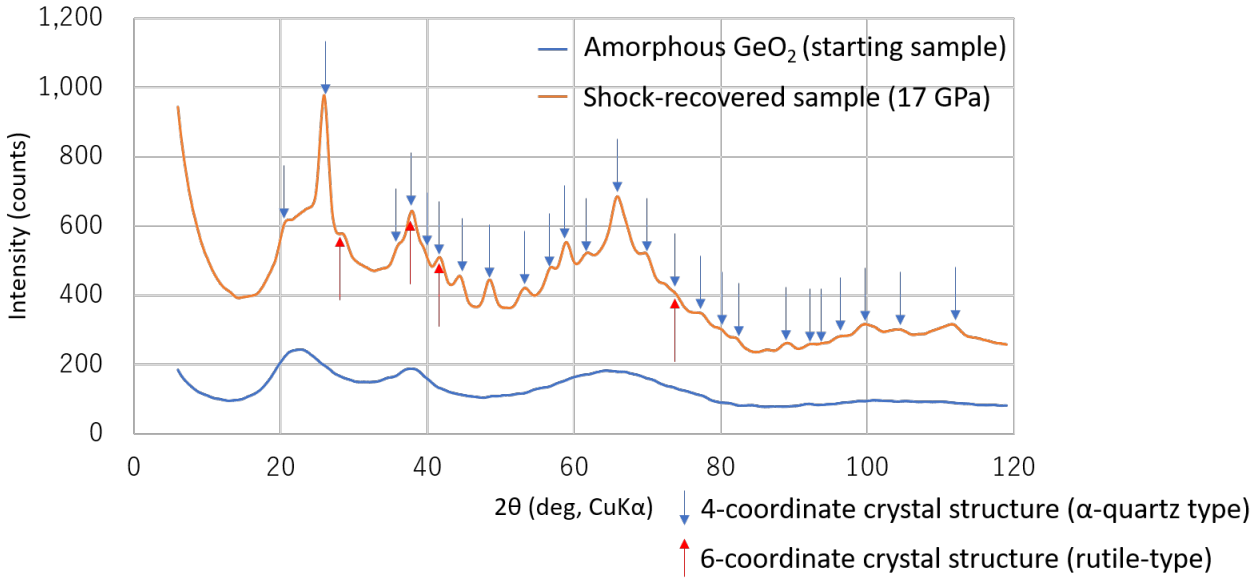


Fig.1 Powder XRD diffraction patterns of the shock-recovered sample and an amorphous GeO_2 before compression.

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．

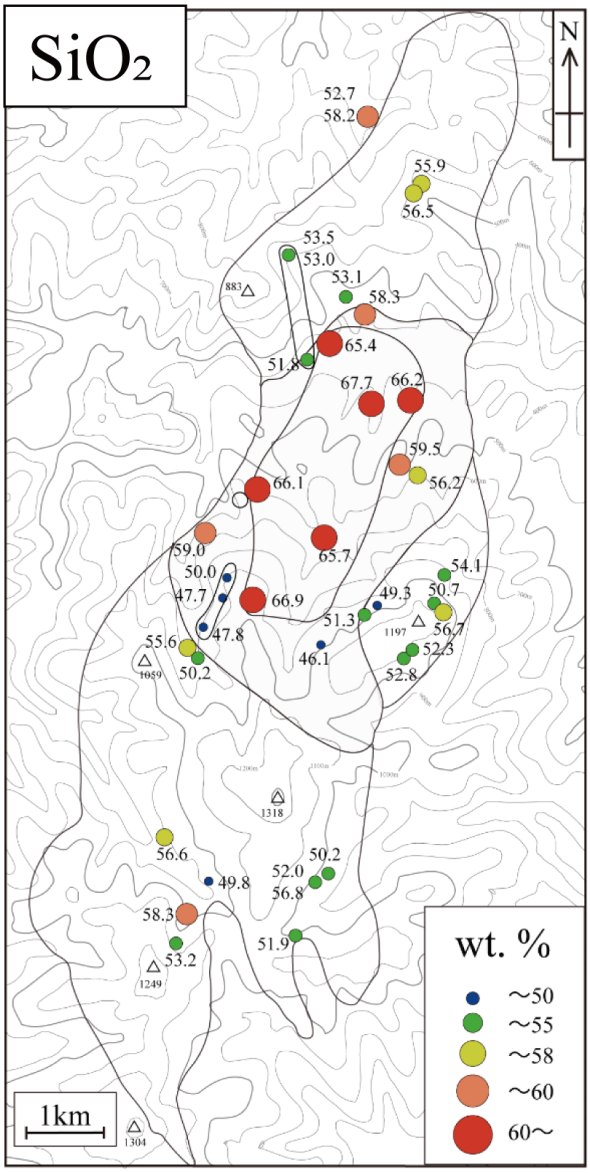
北上山地の深成岩類は島弧-海溝系のマグマ活動によって形成され，125～110 Maの年代を示すことが知られている（沢田，2018）．さらに白亜紀砕屑性ジルコンのU-Pb年代から，約112 Maにピークを持つフレアアップによって北上山地の深成岩類が形成されたことが報告されている（Pastor-Galán et al., 2021）．これに加えて，北上山地の深成岩ではアダカイト由来の岩石の産出が確認されている（土屋，2015）．つまり，北上山地の深成岩類はカルクアルカリ～ショショナイト質マグマである非アダカイト質マグマとアダカイト質マグマの両方から形成され，白亜紀フレアアップは非アダカイト質マグマだけではなく，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



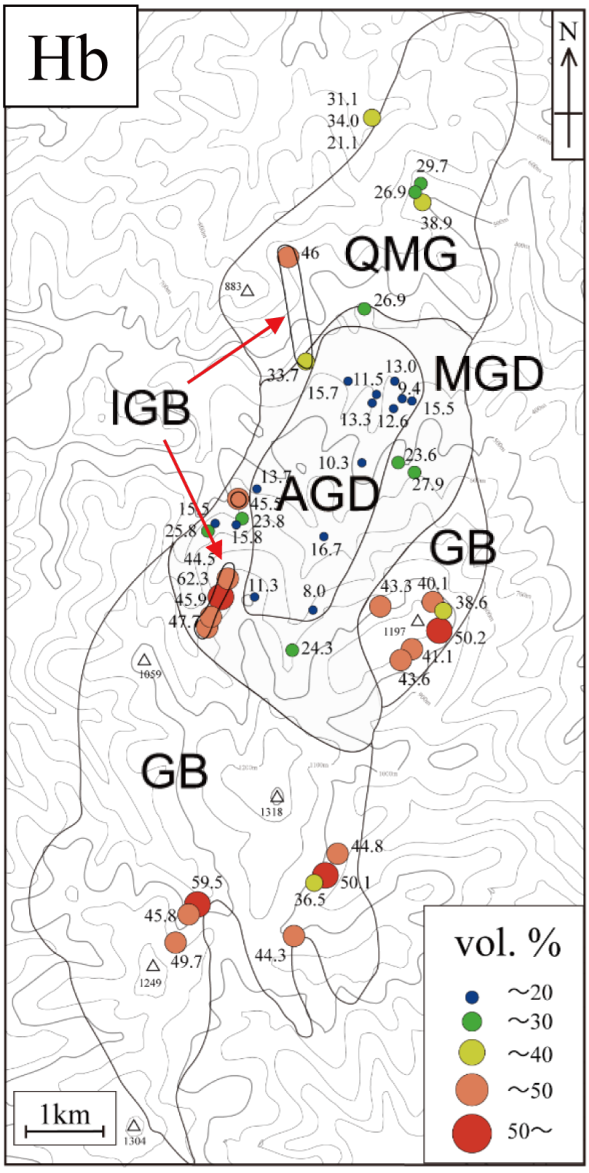


図１　堺ノ神岩体の全岩化学組成，モードによる空間的岩石学的特徴（左：全岩化学組成の SiO_2，右：ホルンブレンドのモード）

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

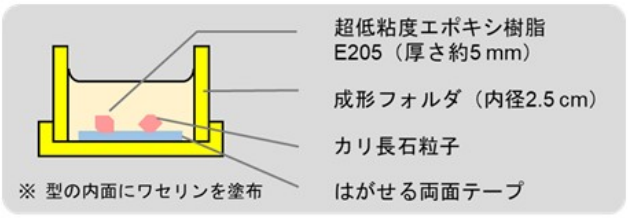


図1 作成試料の概念図

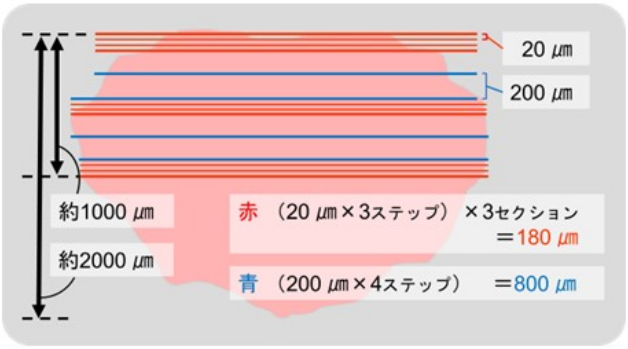


図2 試料研磨の概念図

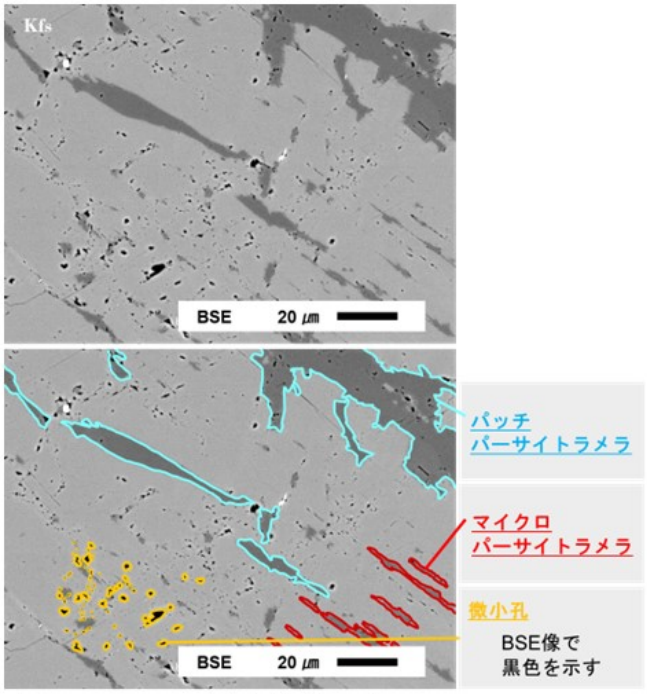


図3 SEM-CLで画像取得した
カリ長石の内部構造（BSE像）

九重火山群第四紀マグマの起源や進化過程について

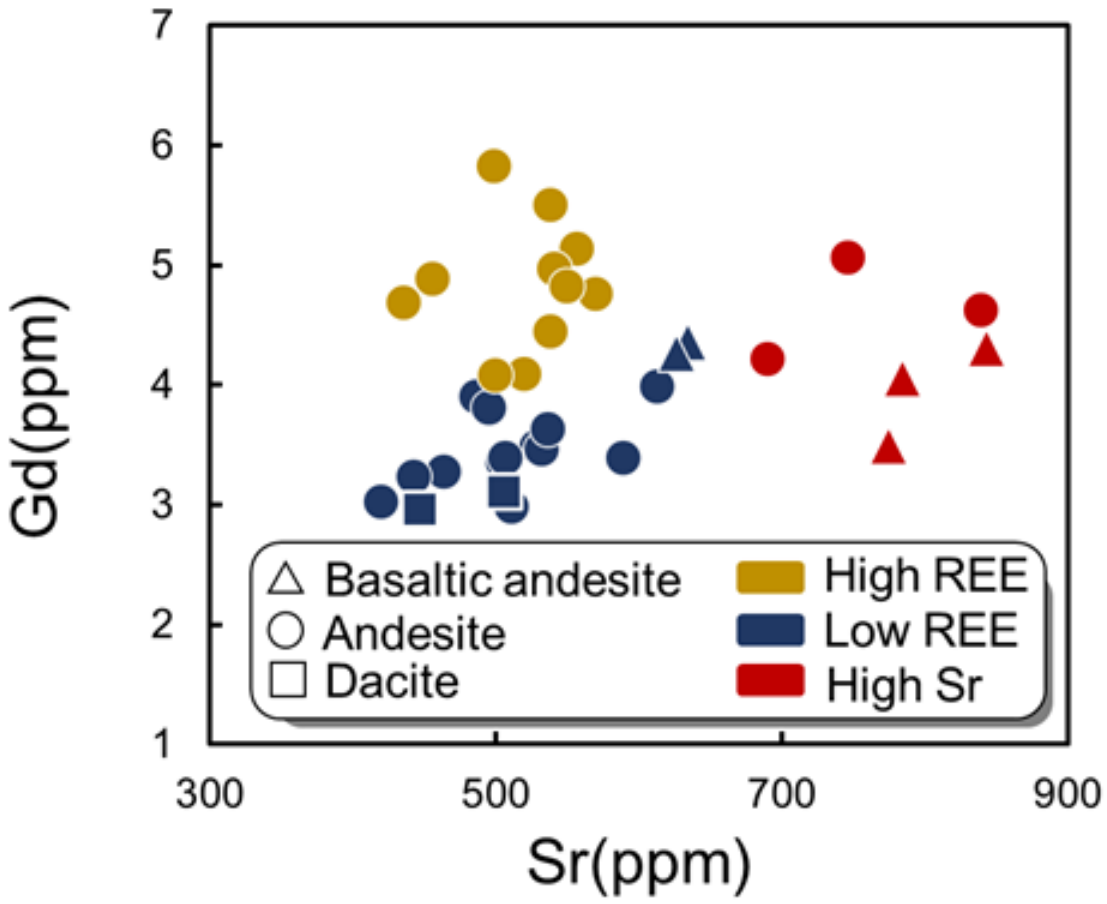
Magma source and evolution process for Quaternary Magmas from Kuju Volcanoes, Kyushu Island, Southwest Japan Arc.

*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

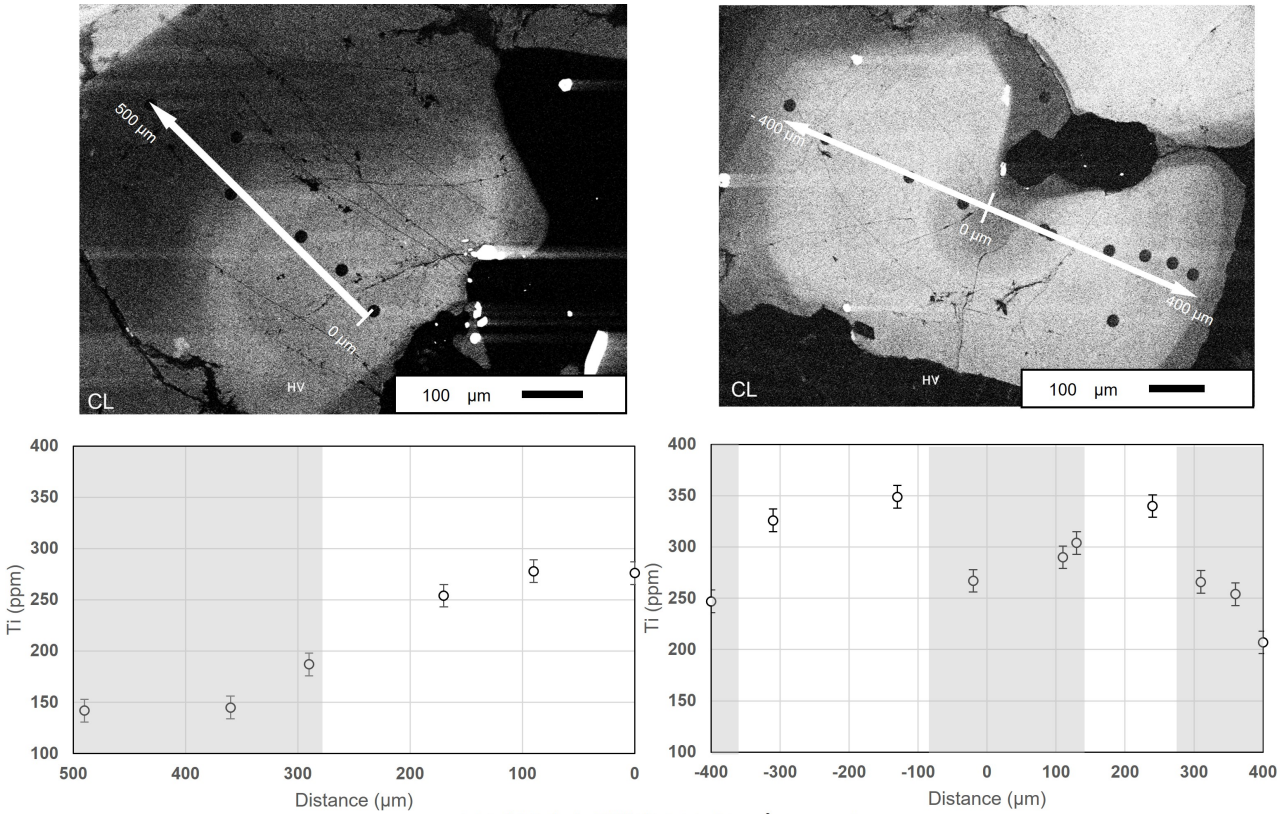


図1 得られたTi濃度のラインプロファイル

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

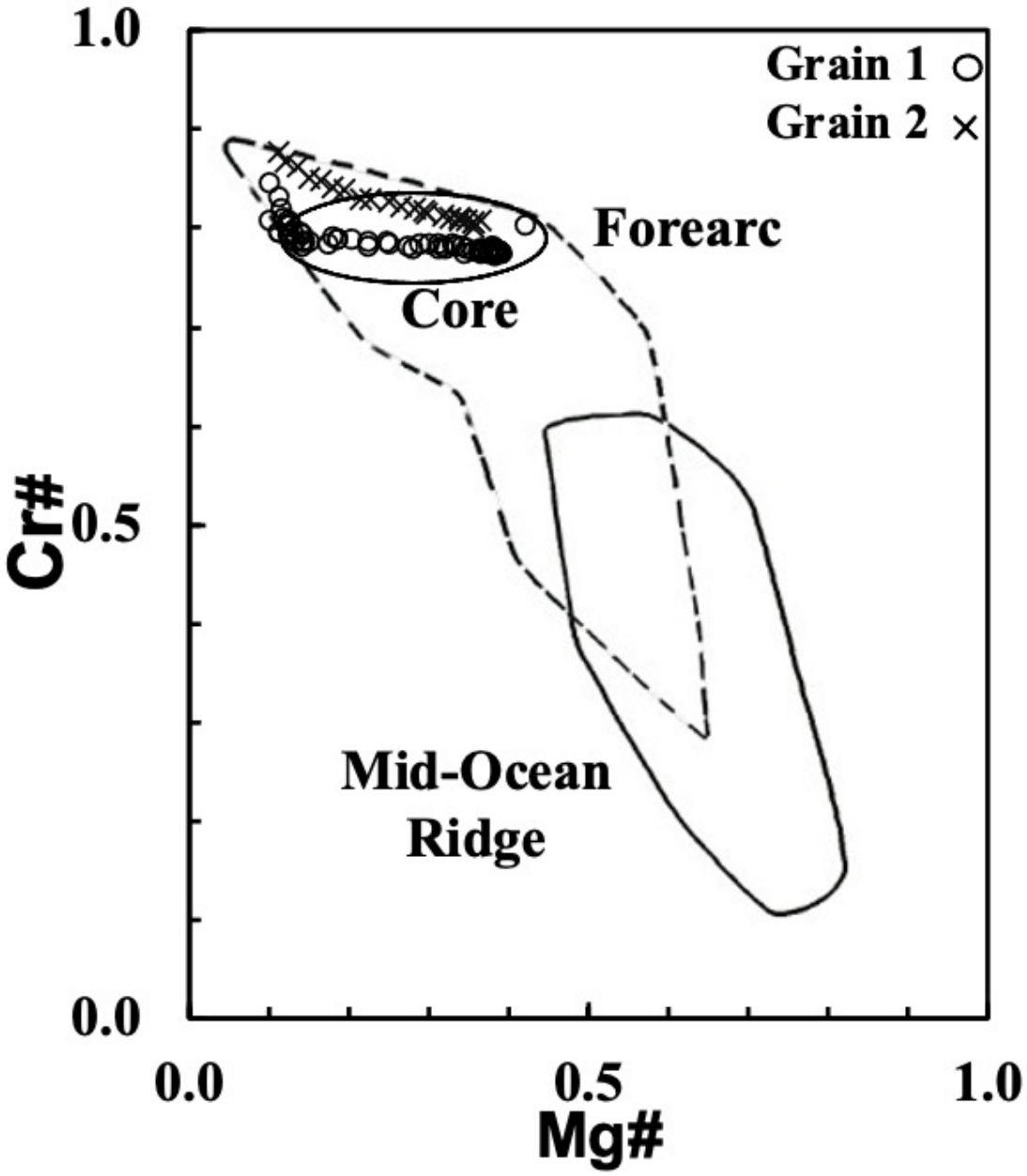


Fig. 1: Chemical composition of Cr-spinel along a line from the center to the rim for two grains. Mg# in the center is 0.3-0.4 and ferritchromatization is visible at the rim. Cr# = Cr/(Cr+Al), Mg# = Mg/(Mg+ Fe^{2+}). Modified from Morishita et al. (2013).

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。

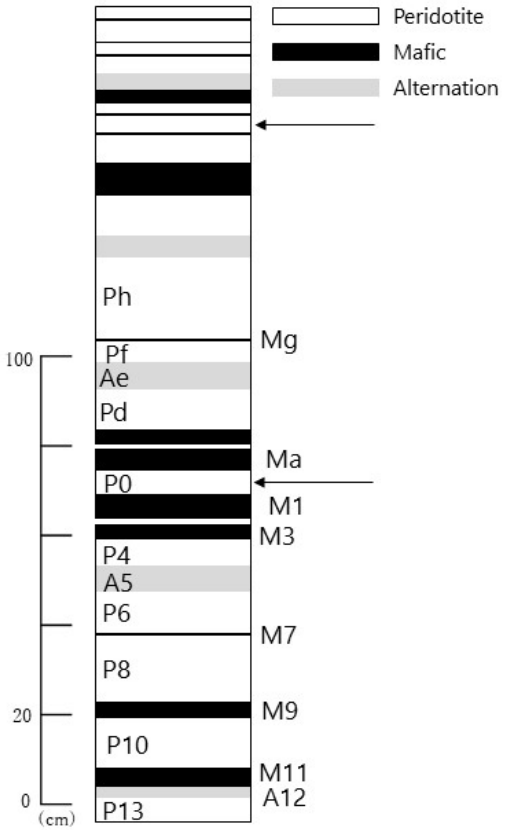
かんらん岩とマフィック岩中の単斜輝石は、TiO_2とCr_2O_3の含有量から3タイプに分類できる。(1) 高TiO_2・低Cr_2O_3で特徴づけられるマフィック岩中に含まれるもの、(2) 低TiO_2・高Cr_2O_3で特徴づけられるかんらん岩中に含まれるもの、(3) 高TiO_2・高Cr_2O_3で特徴づけられるかんらん岩中に含まれるもの。(1) と (2) はそれぞれマフィック岩とかんらん岩の本来の化学組成を保持していると考える。一方 (3) タイプの単斜輝石は、かんらん岩とタイプⅠマフィック岩をつくったMORB組成の物質との反応によって形成したと考える。マイクロXRF分析の結果は、か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。

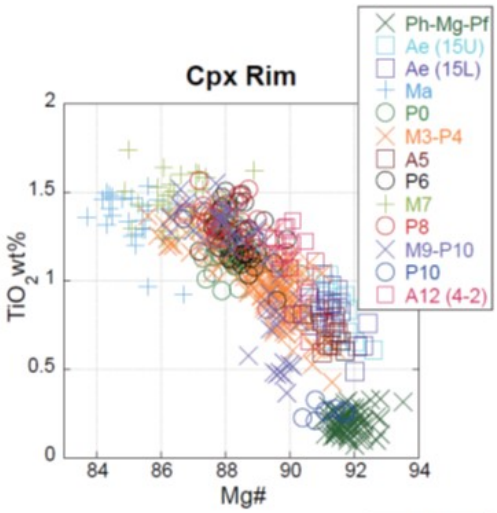
また、層厚5 mm程度の薄いマフィック岩層は斜長石を含むが、角閃石は含まない。単斜輝石はTiO_2やAl_2O_3の含有量はともに低くCr_2O_3の含有量は高く、上下に接するかんらん岩層とほとんど同じ化学組成を示す。全岩主要元素は幌満川の斜長石かんらん岩と同一の組成で、全岩微量元素もかんらん岩と同様のパターンを示すことから、他のマフィック岩とは特徴が異なり、かんらん岩との反応がより進んだと解釈する。

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。

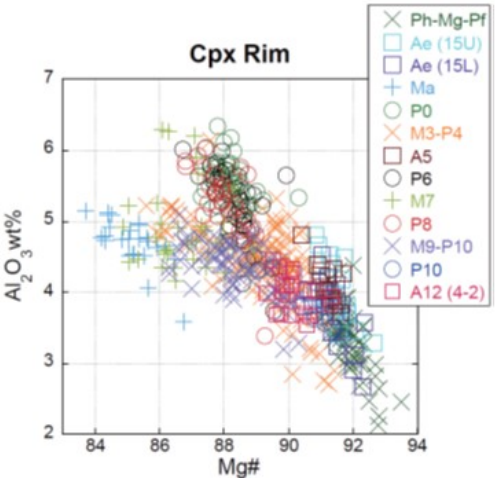
キーワード：かんらん岩、マフィック岩、マントル、再肥沃化、化学組成
Keywords: Peridotite, Mafic-rock, Mantle, refertilization, Chemical composition

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。

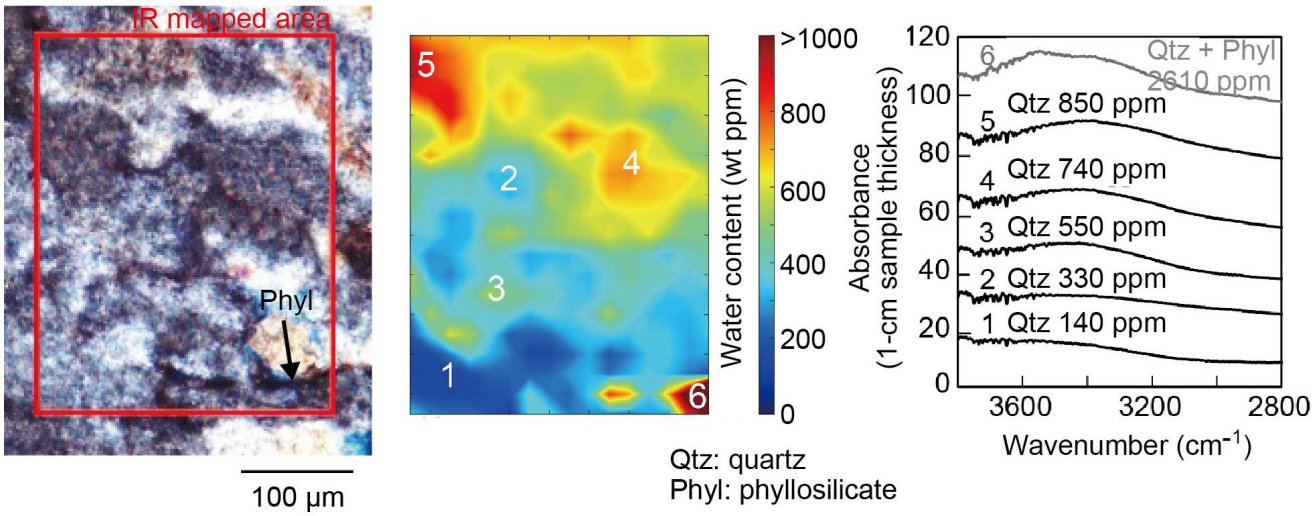
本研究で得られた含水量分布を過去の研究と比較した。Fukuda and Shimizu (2019)では、三波川結晶片岩中の動的再結晶石英粒子の平均粒径は120 μmで、粒内に水は本研究の試料と同様に流体包有物のH_2O流体として含まれている。一方、同試料の石英の含水量は50 wt ppm程度であり、本研究で得られた含水量よりも１桁低い。また、Fukuda et al. (2023)では、割山花崗岩マイロナイト中の動的再結晶石英は、粒径が約10 μmでアパーチャーサイズよりも小さいため、粒内と粒界の水が含まれ、平均220 wt ppmであった。一方、先述の通り、本研究の領家帯の花崗岩質マイロナイトでは、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