

2023年9月16日(土)

83G,H,J

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)

[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 Estelle²、Koga Kenneth²、清水 健二¹、牛久保 孝行¹、原田 英男³、Auer Andreas⁴、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)

12:00 ~ 14:00

ポスター

R3: 高压科学・地球深部
12:00 ~ 14:00 83G,H,J (杉本キャンパス)

[R3P-01] NanoSIMSおよび IRMSを用いた高压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 Kiran²、石田 章純¹、笹木 晃平³、高畑 直人³、白井 厚太郎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

*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 Wü stite多結晶体の変形特性

*夏井 文凛¹、東 真太郎¹、岡崎 啓史²、上杉 健太郎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 健太郎³、安武 正展³、夏井 文凛¹、Jayawickrama Eranga²、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压相転移の可能性

*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压下でのニッケル密度測定

*寺崎 英紀¹、紙名 宏幸¹、鶴岡 棕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

*森岡 康¹、寺崎 英紀¹、紙名 宏幸¹、鶴岡 棕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

*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、寺崎 英紀¹ (1. 岡山大学)

12:00 ~ 14:00

[R3P-13] 高温高压下でのビスマス研究

*小野 重明¹ (1. 海洋研究開発機構)

12:00 ~ 14:00

ポスター

R5：地球外物質

12:00 ~ 14:00 83G,H,J (杉本キャンパス)

[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)

12:00 ~ 14:00

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)

[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

*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

*西條 成¹、高橋俊郎 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)

12:00 ~ 14:00

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)

[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

*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

*John Kenneth Badillo¹、Gabriel Theophilus Valera¹、Betchaida Payot¹ (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

*LU Zejin¹、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

*吉朝 開¹、安東 淳一²、SARKAR Prakash²、DAS Kaushik²、GHOSH Gautam³ (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

*福島 諒¹、辻森 樹^{1,2}、宮島 延吉³、Boffa-Ballaran Tiziana³、Criniti Giacomo³、McCammon Catherine³ (1. 東北大・院理、2. 東北大・CNEAS、3. パイロイト大・BGI)

12:00 ~ 14:00

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

*Swarnaa ANNADURAI MUNUSAMY¹, Jun-ichi ANDO^{1,2}, Yuki IWASAKI³, Dyuti Prakash SARKAR^{1,2}, Kaushik DAS^{1,2}, Seiichiro UEHARA⁴ (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

*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

*岡崎 淳哉¹、安東 淳一¹、Das Kaushik¹ (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 Akizawa³, 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 Kaushik³ (1. 大工大・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 Ganguly², 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・ロンダース山地、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 LAKSHMANAN¹, Kiran Sasidharan², Satish-Kumar Madusoodhan², Tsuyoshi Toyoshima² (1. Shimane Uni., 2. Niigata Uni.)

12:00 ~ 14:00

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)

[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 Estelle²、Koga Kenneth²、清水 健二¹、牛久保 孝行¹、原田 英男³、Auer Andreas⁴、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)

12:00 ~ 14:00

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 Estelle²、Koga Kenneth²、清水 健二¹、牛久保 孝行¹、原田 英男³、Auer Andreas⁴、山口 佳昭³

*Morihiisa HAMADA¹, Estelle F. ROSE-KOGA², Kenneth T. KOGA², Kenji SHIMIZU¹, Takayuki USHIKUBO¹, Hideo HARADA³, Andereaa AUER⁴, Yoshiaki YAMAGUCHI³

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%）はソレラ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 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ が増加し、ソレナ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ツ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 YOSHIMURA¹

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用し、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る。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)

[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 Kiran²、石田 章純¹、笹木 晃平³、高畑 直人³、白井 厚太郎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

*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

*夏井 文凜¹、東 真太郎¹、岡崎 啓史²、上杉 健太郎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 健太郎³、安武 正展³、夏井 文凜¹、Jayawickrama Eranga²、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 棕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

*森岡 康¹、寺崎 英紀¹、紙名 宏幸¹、鶴岡 棕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

*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、寺崎 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)

12:00 ~ 14:00

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 Kiran²、石田 章純¹、笹木 晃平³、高畑 直人³、白井 厚太郎³、鈴木 昭夫¹

Hideaki Kawamura¹、*Hiroaki OHFUJI¹、Satish-Kumar Satish-Kumar²、Kiran Sasidharan²、Akizumi Ishida¹、Kouhei Sasaki³、Naoto Takahata³、Kotaro Shirai³、Akio Suzuki¹

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-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 $\delta^{13}\text{C}$ 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-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°C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-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 $\delta^{13}\text{C}$ 値が出発物質のステアリン酸の値($\delta^{13}\text{C}=-28.3\%$)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 $\delta^{13}\text{C}$ 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、 $\delta^{13}\text{C}=-2\%$ 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3 μm 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、 $\delta^{13}\text{C}$ 値で5~10%程度の比較的大きな誤差が伴われる場合があるが、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 Kenmochi¹, *Takeshi SAKAI¹, Hirokazu Kadobayashi²

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(H₂O):メタン(CH₄):アンモニア(NH₃)=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压下で分解し、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压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. より低温低压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, (C₂H₄)_n)と水(H₂O) (体積比1:1)を用いて高温高压実験を行った. 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. 高压の発生にはDACを用い、加熱にはCO₂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、それよりも低温低压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压実験を行ったが、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 KUBO¹, Shingo Yoshida¹, Rikuto Honda¹, Yuta Hiramoto¹, Noriyoshi Tsujino², Sho Kakizawa², Yuji Higo²

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。その高压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ンेट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ンेट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型の高压装置に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压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压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り、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。今後カインेट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、高压実験、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 Honda¹, Tomoaki Kubo¹, Noriyoshi Tsujino², Yuji Higo², Sho Kakizawa², Yuki Shibazaki³, Yu Nishihara⁴

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（ $V^*=0-30 \text{ cm}^3/\text{mol}$ ）、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型高压変形装置を用いて、11-20GPa、570-1120℃、歪速度 $2.8-8.5 \times 10^{-5} \text{ /s}$ 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 $V^*=35.3(9) \text{ cm}^3/\text{mol}$ 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 健太郎³、安武 正展³、河口 沙織³、野村 龍一⁴、太田 健二¹

*Bunrin Natsui¹, Shintaro Azuma¹, Keishi Okazaki², Kentaro Uesugi³, Masahiro Yasutake³, Saori Kawaguchi³, Ryuichi Nomura⁴, Kenji Ohta¹

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時点で未だ不明であるが、マントル対流による攪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

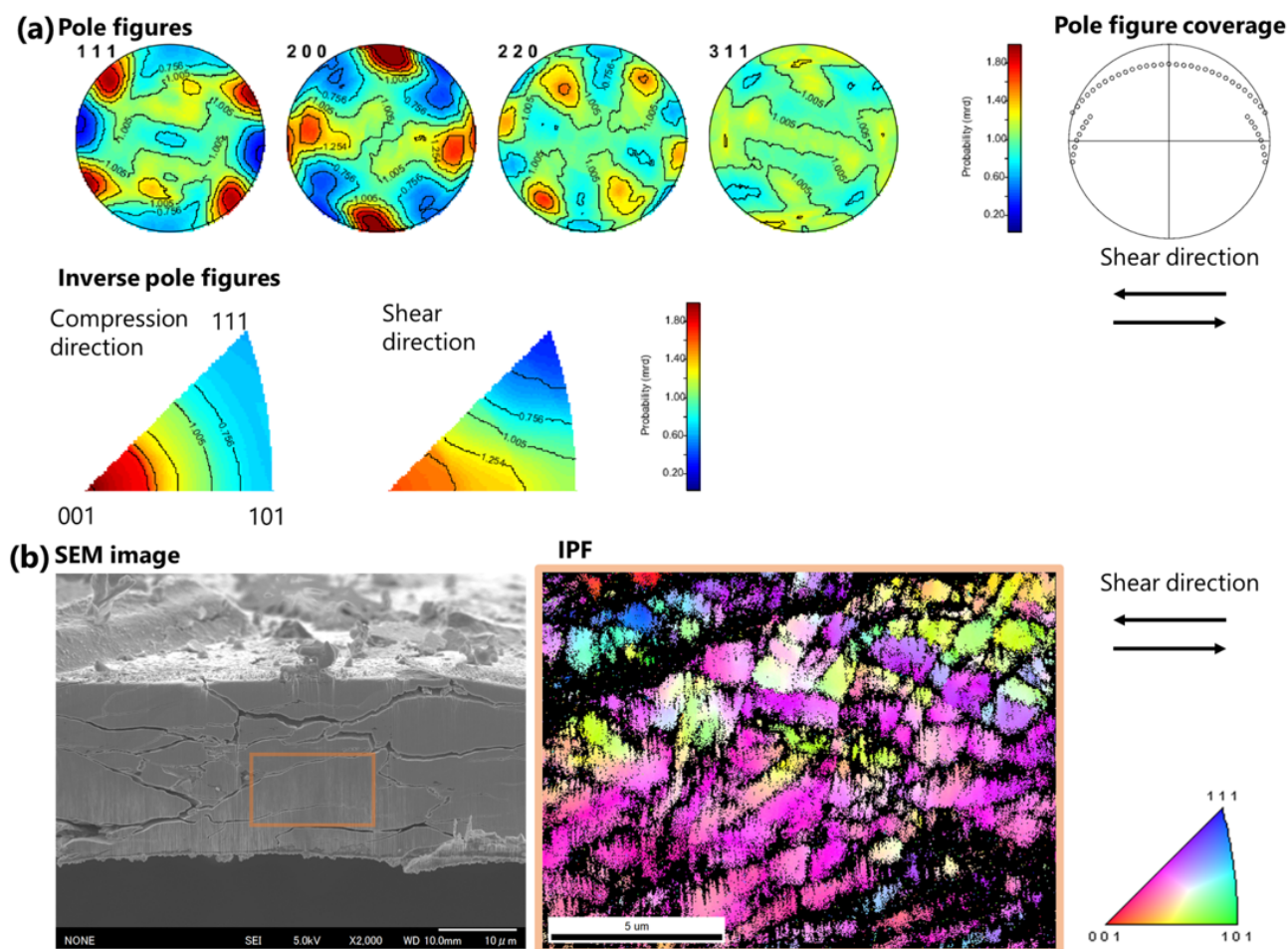


図 結晶方位データ

rDACによるねじり変形実験後のWüstite(結晶構造:B1 $\epsilon=0.3$ 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 健太郎³、安武 正展³、夏井 文凜¹、Jayawickrama Eranga²、野村 龍一⁴

*Shintaro AZUMA¹, Keishi Okazaki², Kentaro Uesugi³, Masahiro Yasutake³, Bunrin Natsui¹, Eranga Jayawickrama², Ryuichi Nomura⁴

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 °C@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 °C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、融点を越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 MIYAKE¹, Yohei Igami¹, Ryuichi nomura¹

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 Yoneda¹, Takuto Kato¹

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た。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。

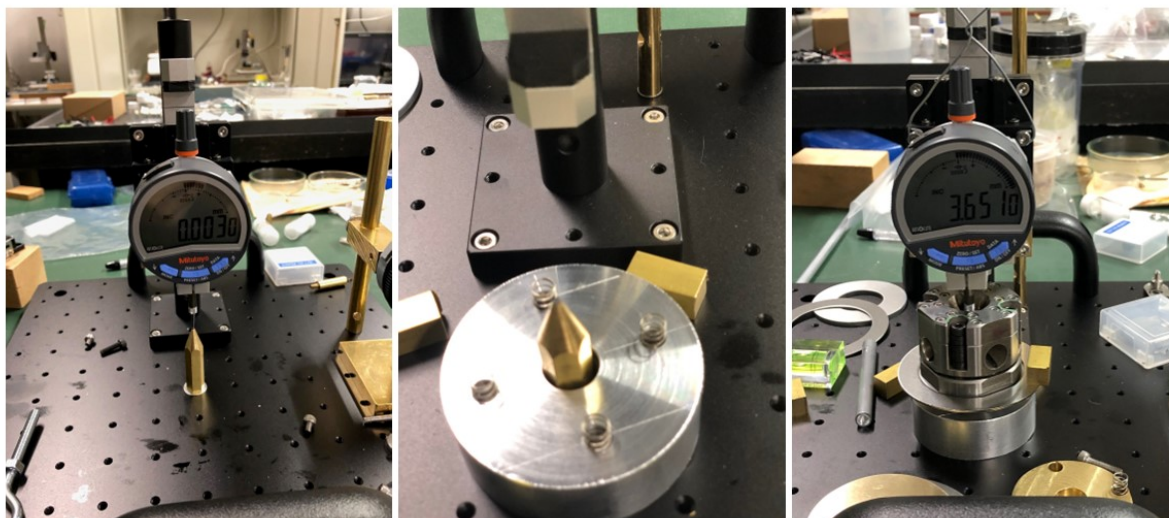
これらの問題を可動長39mmのXステージの導入で解決した。写真で示すようにDAC支持台とダイヤルゲージ触針が触れている状態からダイヤルゲージを持ち上げ、DACを支持台に置いた後、ダイヤルゲージを下げればダイヤモンドアンビル背面間距離が測定できる。試行的測定では誤差2 μm 程度の結果が得られた。精度・再現性・操作性を上げるためにいくつかの改良を行った。詳細は学会で発表する。

(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 棕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 TERASAKI¹, Hiroyuki KAMINA¹, Ryo TSURUOKA², Tadashi KONDO², Akira YONEDA², Ko MORIOKA¹, Moe SAKURAI¹, Seiji KAMADA³, Saori I KAWAGUCHI⁴

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、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 μ m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 棕²、近藤 忠²、米田 明²、櫻井 萌¹、河口 沙織³

*Ko Morioka¹, Hidenori Terasaki¹, Hiroyuki Kamina¹, Ryo Tsuruoka², Tadashi Kondo², Akira Yoneda², Moe Sakurai¹, Saori Kawaguchi³

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ガスキットの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

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 Takano¹, Hiroyuki Kagi¹, Yuichiro Mori¹, Katsutoshi Aoki¹, Sho Kakizawa², Asami Sano³, Riko Iizuka⁴, Taku Tsuchiya⁵

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 University of Tokyo, 2. JASRI, 3. J-PARC, 4. Waseda University, 5. Ehime University

水素は高温高压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の高温高压相であるFeS Vも鉄と同様に高温高压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、高温高压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 $0.1 \text{ \AA}^3$ 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 $\text{BFe}=2.2(700 \text{ K})$ 、 $4.0(1000 \text{ K})$ 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、寺崎 英紀¹

Kosuke Tsuji¹, *Satoru URAKAWA¹, Hidenori Terasaki¹

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 ONO¹

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においては、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ではなく、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)

[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)

12:00 ～ 14:00

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 齊³、瀬戸 雄介⁴、奥地 拓生^{1,2}

*Hiroto Araga^{1,2}, Yuhei Umeda^{1,2}, Takamichi Kobayashi³, Hitoshi Yusa³, Yusuke Seto⁴, 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 °Cで14時間、1450 °Cで6時間シリコン坩堝で溶融し、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。衝撃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で、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

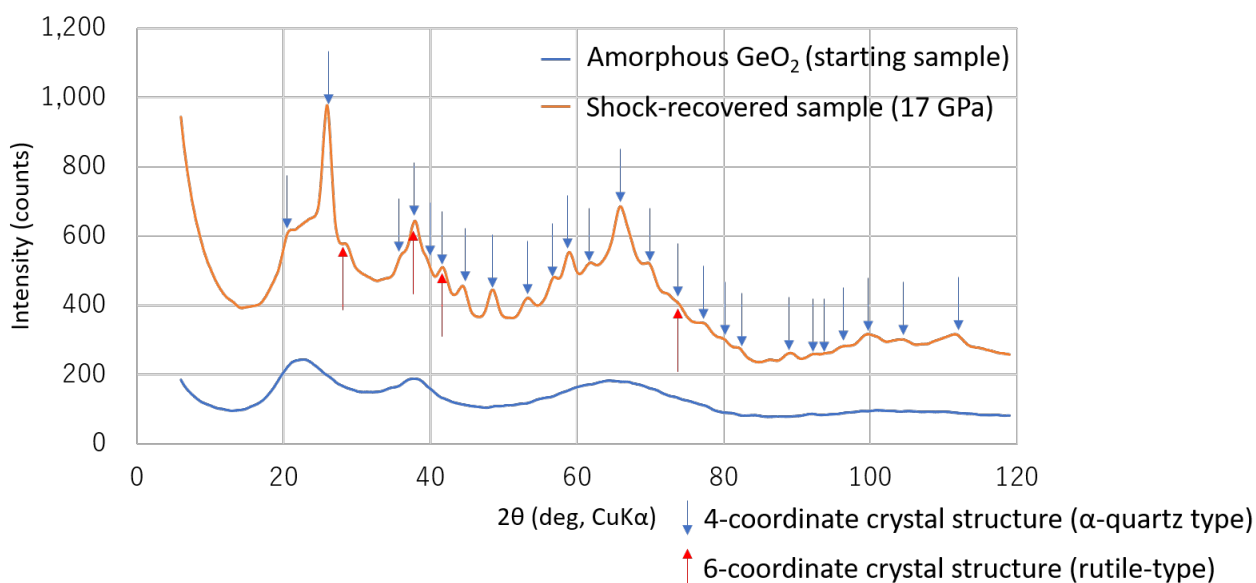


Fig.1 Powder XRD diffraction patterns of the shock-recovered sample and an amorphous GeO₂ before compression.

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)

[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

*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

*西條 成¹、高橋俊郎 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)

12:00 ～ 14:00

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 ESHIMA¹

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，脇野垂層群を母岩とし，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，脇野垂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，脇野垂層群との貫入境界部では，脇野垂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（脇野垂層群，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SiO₂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SiO₂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-SiO₂ groupとHigh-SiO₂ 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-SiO₂ 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SiO₂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－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 OWADA¹, Shunsuke Fukuda¹, Atsushi Kamei²

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－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關係性を検討する。

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， 1.5×1.5 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―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―深成複合岩体、火山フロント、ソレイト岩系

Keywords: Late Cretaceous, Volcano-plutonic complex, volcanic front, Tholeiitic series

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 SUZUKI¹, Nobuo ASAI¹, Kazuo NAKASHIMA¹, Yasuhiro OGITA², Tatsunori YOKOYAMA², Shuhei SAKATA³, Takeshi OHNO⁴, Takashi YUGUCHI⁵

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～シヨシヨ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）。さらに白亜紀碎屑性ジルコンの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～シヨシヨ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。

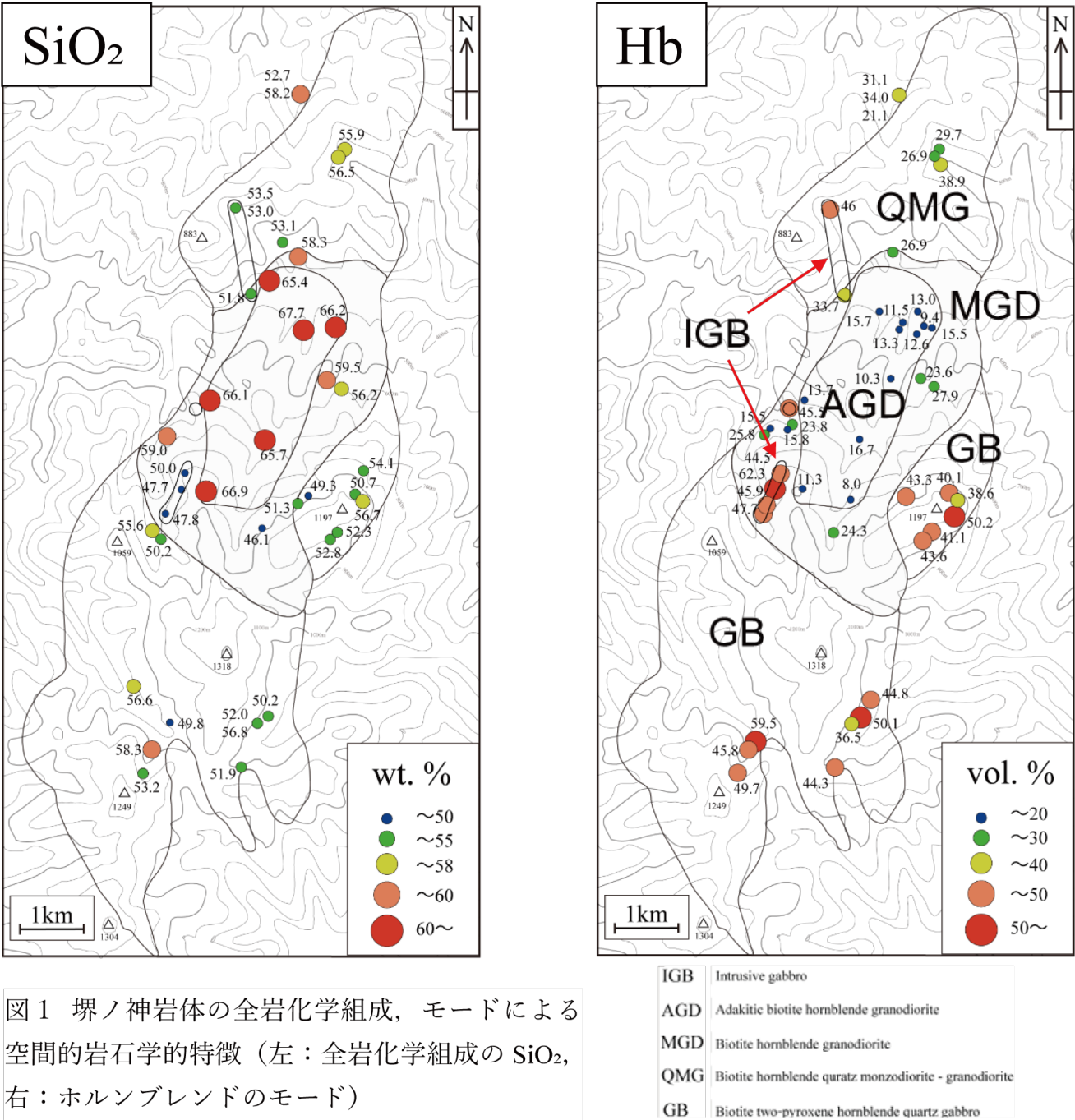
北上山地に産する深成岩類の多くは白亜紀フレアアップに形成された岩体である。しかし、岩石学的特徴の違い（特にアダカイト質岩の有無）から土屋ほか (2015)では岩体を2つのタイプに分類、異なる貫入・定置機構を有すると論じている。1つが非アダカイト質マグマ単独で形成される岩体（例えば久喜岩体など）で、もう1つがアダカイト質マグマを中心として形成された岩体であり、中心部にアダカイト質岩、周囲に非アダカイト質岩の累帯構造を示す岩体（例えば遠野岩体など）である。一方、我々の露頭調査や岩石学的研究により、堺ノ神深成岩体はアダカイト質マグマと非アダカイト質マグマによって形成された岩体であり、中心部がアダカイ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、明瞭な累帯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°C, 133~151 MPa) と非アダカイト質マグマ (温度・圧力範囲: 708~934°C, 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°C) と非アダカイト質マグマ (年代・温度範囲: 144~114 Ma, 827~1066°C) 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



背弧域マンツ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 Yokokura¹, Hirochika Sumino¹, Takeshi Kuritani², Yuuki Hagiwara³, Junji Yamamoto⁴

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ガス同位体比の測定は、試料の起源を調べるために有効である。中国東北部のロンカレン火山群は、沈み込んだスラフに関連する成分の影響が予想される。同火山で噴出した5つのマンツル捕獲岩（スピネルレゾライト）から1-2 gのカンラン石粒を粉碎した結果、6.45 Raから0.14 Raの $^3\text{He}/^4\text{He}$ を示した。破碎法によって比較的高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ を示す試料は、顕微鏡観察で CO_2 流体包有物（ネガティブクリスタルタイプ）が多く、5つの捕獲岩サンプルの値の大きなばらつきは、原因は鉱物粒内の包有物タイプの量比にあることから予想された。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）タイプ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 $^3\text{He}/^4\text{He}$ と、包有物タイプ（1）から（3）の存在比の相関を検証した。実験では、局所レーザーアブレーションによってタイプ（2）、（3）の包有物の希ガス同位体比を紫外線レーザーで直径約100-200 μm の穴を開けて包有物のガス抽出を行い、希ガス同位体比を分析した。その結果、タイプ（3）の $^3\text{He}/^4\text{He}$ と $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ は、同じ捕獲岩のカンラン石1-2 gを破碎法で抽出したものよりいず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ツル（SCLM）的であった。反対にタイプ（2）の包有物は $^3\text{He}/^4\text{He}$ は比較的低く、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ は大気的であった。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が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だスラフの影響の存在が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的な希ガス同位体組成を持つ上部マンツルから、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が捕獲岩中の包有物の形状とその希ガ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：マンツル捕獲岩、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 Yuguchi³

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 μm）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の三次元的な分布について、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

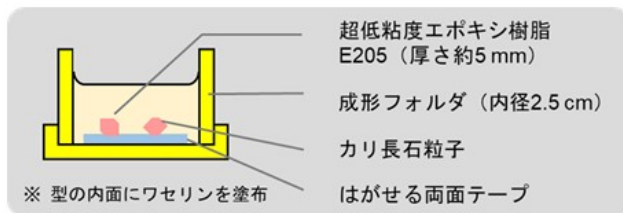


図1 作成試料の概念図

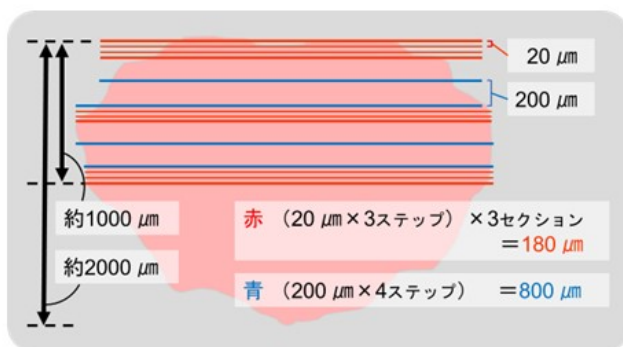


図2 試料研磨の概念図

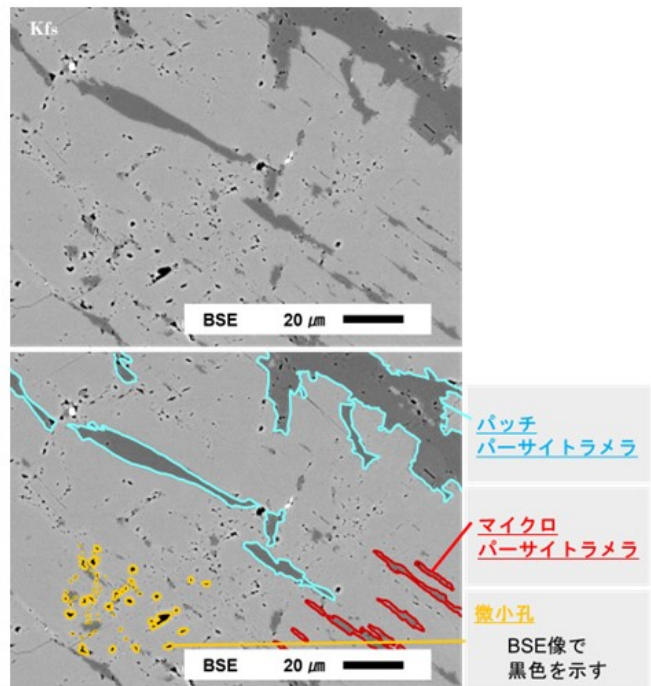


図3 SEM-CLで画像取得したカリ長石の内部構造 (BSE像)

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 Yamanaka¹, Tomoyuki Shibata³, Ryotaro Fujihara¹, Tatsuki Orito¹, Taichi Heijima¹, Masako Yoshikawa³, Tomo Shibata²

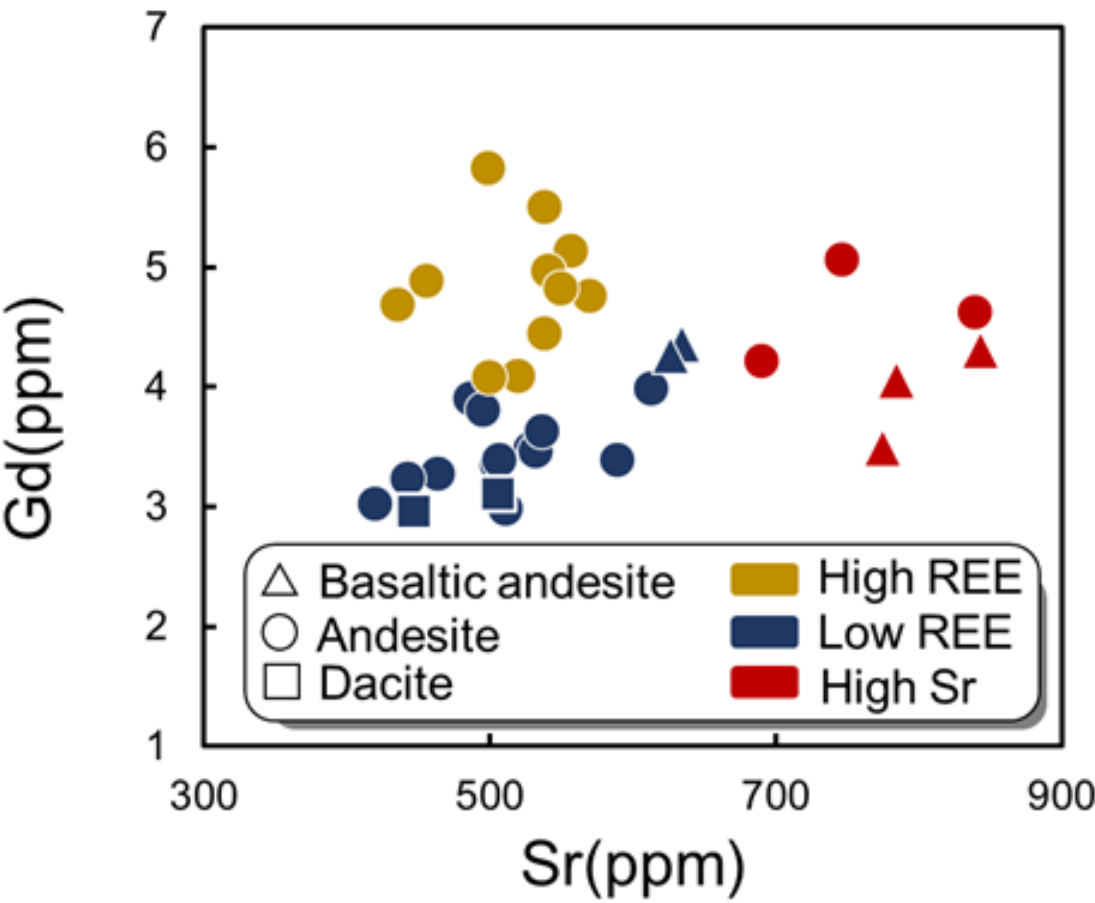
1. 広島大・理、2. 福岡大・理、3. 広島大学・先進理工

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SiO₂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、TiO₂濃度はSiO₂含有量の増加に伴いSiO₂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Al₂O₃濃度はSiO₂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、K₂O-SiO₂含有量の変化図上ではSiO₂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SiO₂濃度の変化図を見ると、同じSiO₂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SiO₂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ともこれら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



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、高橋俊郎 俊郎²*Seiya Saijou¹, Toshiro Takahashi²

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。西南日本弧では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弧前弧域～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柘洞溶結凝灰岩層、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柘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。SiO₂=63-68%である。FeO*/MgO vs SiO₂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。SiO₂=51-63%である。また、FeO*/MgO vs SiO₂図ではソレラ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、NdI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体比組成を示す。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 KATO³, Takashi YUGUCHI⁴

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～トータル岩で，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 JXA-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。SiO₂活動度, TiO₂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TiO₂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 Kato¹, Takenori Kato², Yasuhiro Ogita^{1,3}, Takashi Yuguchi⁴, Eiji Sasao³

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 JXA-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 $122 \pm 11 \sim 357 \pm 11$ ppm の定量値を得た。TiO₂ 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 $772 \pm 24 \sim 927 \pm 20^\circ\text{C}$ 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

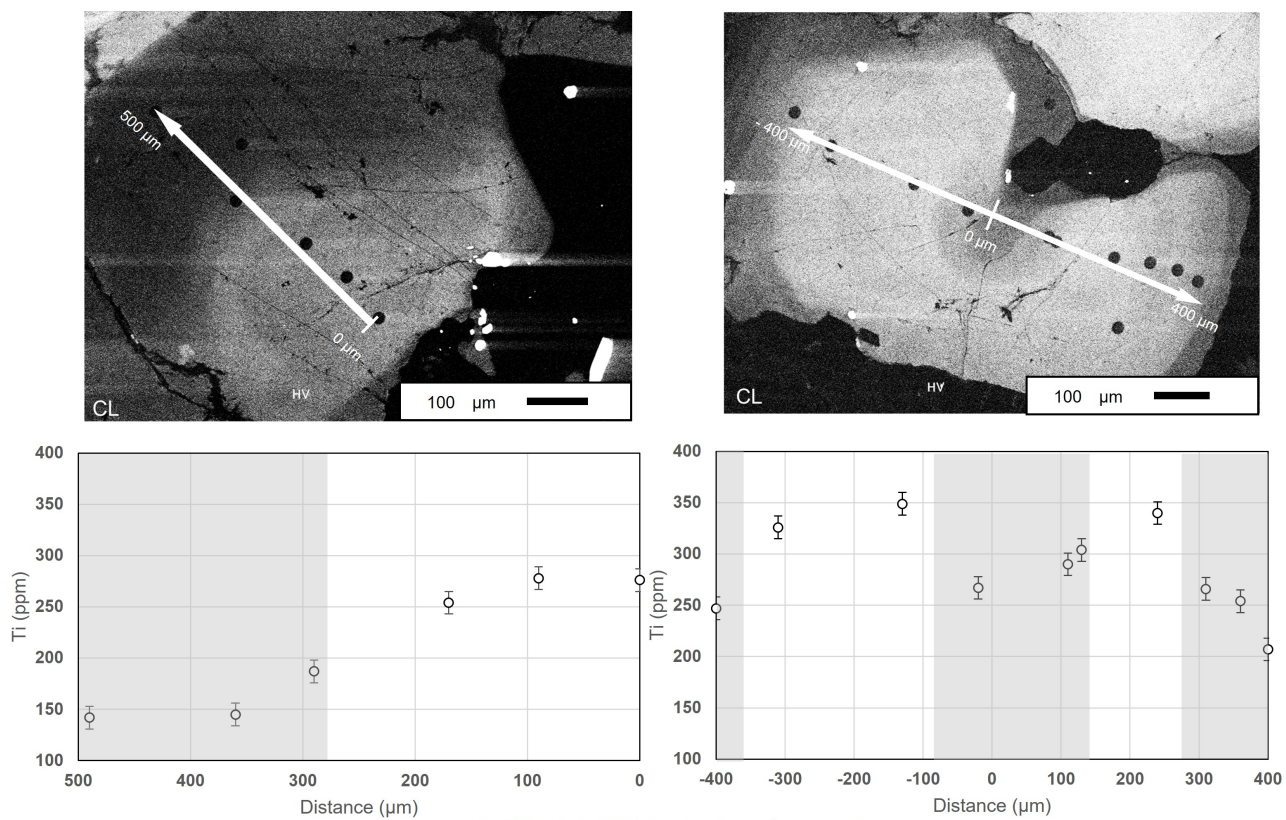


図1 得られたTi濃度のラインプロファイル

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 MIYAMOTO¹, Yamashita Katsuyuki², Daniel J. Dunkley³, Toshiaki Tsunogae⁴, Mutsumi Kato⁵

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)

[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

*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

*John Kenneth Badillo¹, Gabriel Theophilus Valera¹, Betchaida Payot¹ (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

*LU Zejin¹、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

*吉朝 開¹、安東 淳一²、SARKAR Prakash²、DAS Kaushik²、GHOSH Gautam³ (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

*福島 諒¹、辻森 樹^{1,2}、宮島 延吉³、Boffa-Ballaran Tiziana³、Criniti Giacomo³、McCammon Catherine³ (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

*Swarnaa ANNADURAI MUNUSAMY¹, Jun-ichi ANDO^{1,2}, Yuki IWASAKI³, Dyuti Prakash SARKAR^{1,2}, Kaushik DAS^{1,2}, Seiichiro UEHARA⁴ (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

*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

*岡崎 淳哉¹、安東 淳一¹、Das Kaushik¹ (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 Akizawa³, 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 Kaushik³ (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 Ganguly², 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 LAKSHMANAN¹, Kiran Sasidharan², Satish-Kumar Madusoodhan², Tsuyoshi Toyoshima² (1. Shimane Uni., 2. Niigata Uni.)

12:00 ~ 14:00

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 Hihara¹, Miki Tasaka¹, Keisuke Kurihara¹, Tatsuhiko Kawamoto¹, Hajime Taniuchi²

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熔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°C、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 Badillo¹, Gabriel Theophilus Valera¹, Betchaida Payot¹

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 Zejin¹、大和田 正明¹

*Zejin LU¹, Masaaki Owada¹

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、三疊紀高圧型変成岩類（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杵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杵島が隣接する。大島半島と杵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、杵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)、半島南部と杵島ではざくろ石(Grt)、堇青石(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、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。

$\text{Chl} + \text{Ms} + \text{Qtz} = \text{Crd} + \text{Bt} + \text{H}_2\text{O}$

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杵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°C、150MPa、西隣の嵯峨島は、And-Crd zoneに属し、変成条件は大島半島と同じ約530°C、150MPaであった。一方、上述した石灰珪質岩の組織から、 $\text{Cal} + \text{Qtz} = \text{Wo} + \text{CO}_2$ 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°C、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 Prakash²、DAS Kaushik²、GHOSH Gautam³

*Haruki Yoshiasa¹, Jun-ichi ANDO², SARKAR Dyuti Prakash², DAS Kaushik², GHOSH Gautam³

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、フレクチ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）。フレクチャー褶曲は、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 プラデシュ州サバー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 μ m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 μ m- 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高い。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高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

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 Tiziana³、Criniti Giacomo³、McCammon Catherine³

*Ryo Fukushima¹, Tatsuki Tsujimori^{1,2}, Nobuyoshi Miyajima³, Tiziana Boffa-Ballaran³, Giacomo Criniti³, Catherine McCammon³

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 Fe³⁺ (~aug₃₅₋₄₅ jd₄₀₋₅₀ aeg₁₅₋₂₀) and characterized by local compositional heterogeneities. Despite the peak metamorphic temperature of ~620°C, below the critical temperature of its order-disorder transition (~865°C), 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°C) 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°C, 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

Exhumation process of serpentinite in the Sangun-Renge belt exposed at Sasaguri, Fukuoka prefecture

*Swarnaa ANNADURAI MUNUSAMY¹, Jun-ichi ANDO^{1,2}, Yuki IWASAKI³, Dyuti Prakash SARKAR^{1,2}, Kaushik DAS^{1,2}, Seiichiro UEHARA⁴

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

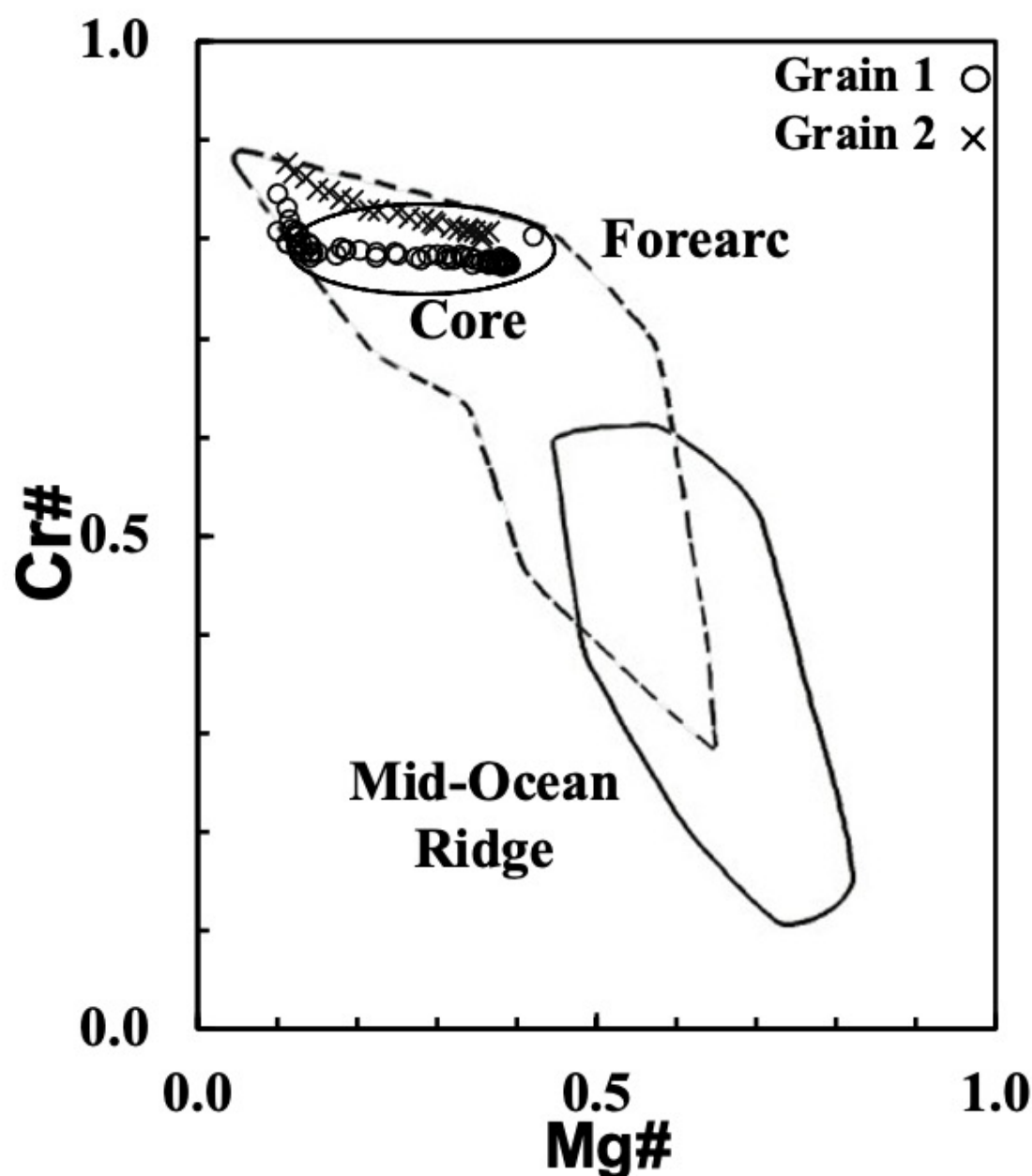


Fig. 1: Chemical composition of Cr-spinel along a line from the center to the rim for two grains. Mg# in the center is 0.3-0.4 and ferritchromatization is visible at the rim. $\text{Cr\#} = \text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$, $\text{Mg\#} = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$. Modified from Morishita 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 Kurihara¹, Tatsuhiko Kawamoto¹, Aya Hihara¹, Miki Tasaka¹, Hajime Taniuchi², Takeshi Kuritani³, Akiko Matsumoto³

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 μ m)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 μ m)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。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。

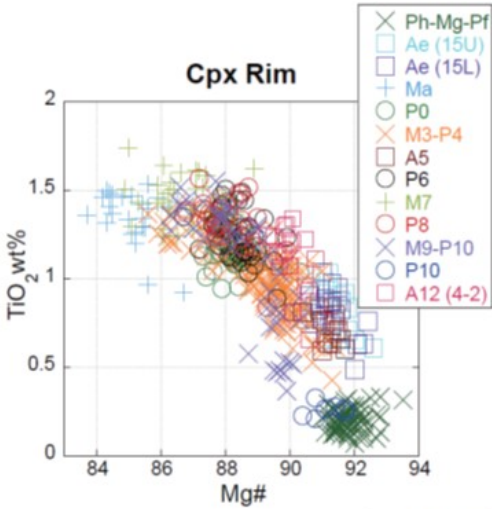
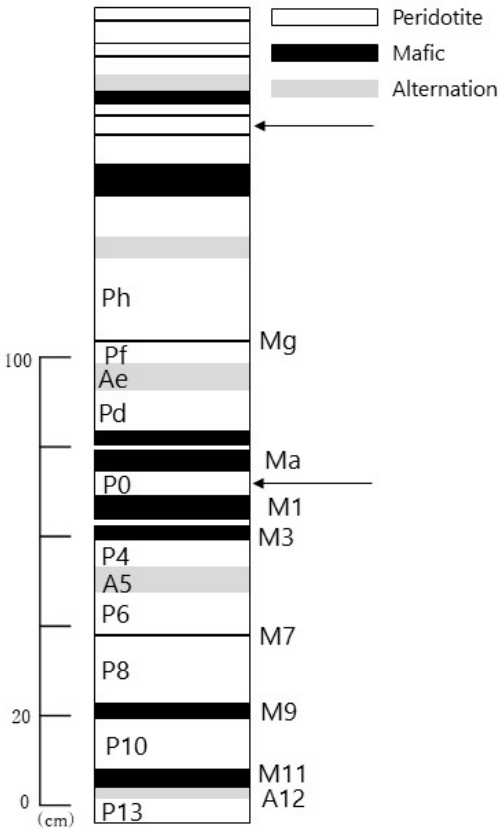
また、層厚5 mm程度の薄いマフィック岩層は斜長石を含むが、角閃石は含まない。単斜輝石は TiO_2 や Al_2O_3 の含有量はともに低く Cr_2O_3 の含有量は高く、上下に接するかんらん岩層とほとんど同じ化学組成を示す。全岩主要元素は幌満川の斜長石かんらん岩と同一の組成で、全岩微量元素もかんらん岩と同様のパターンを示すことから、他のマフィック岩とは特徴が異なり、かんらん岩との反応がより進んだと解釈する。

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。

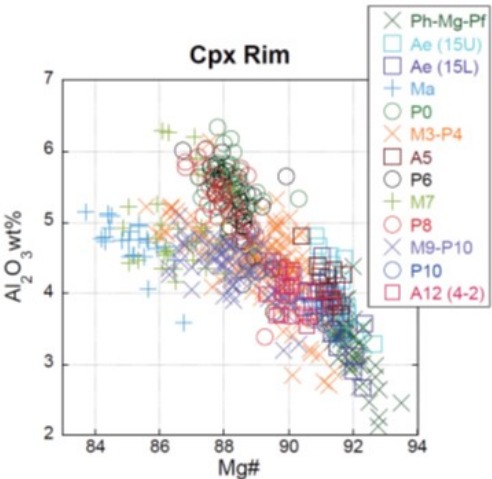
キーワード：かんらん岩、マフィック岩、マントル、再肥沃化、化学組成
Keywords: Peridotite, Mafic-rock, Mantle, refertilization, Chemical composition

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
TiO₂ wt% vs Mg#



図C
Cpx リムの
Al₂O₃ 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

*岡崎 淳哉¹、安東 淳一¹、Das Kaushik¹

*Junya OKAZAKI¹, Jun-ichi Ando¹, Kaushik Das¹

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、C-Pstで1200-1300 °C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°C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碎され、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 Norimura¹, Junichi Fukuda¹

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、H₂O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H₂O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H₂O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。

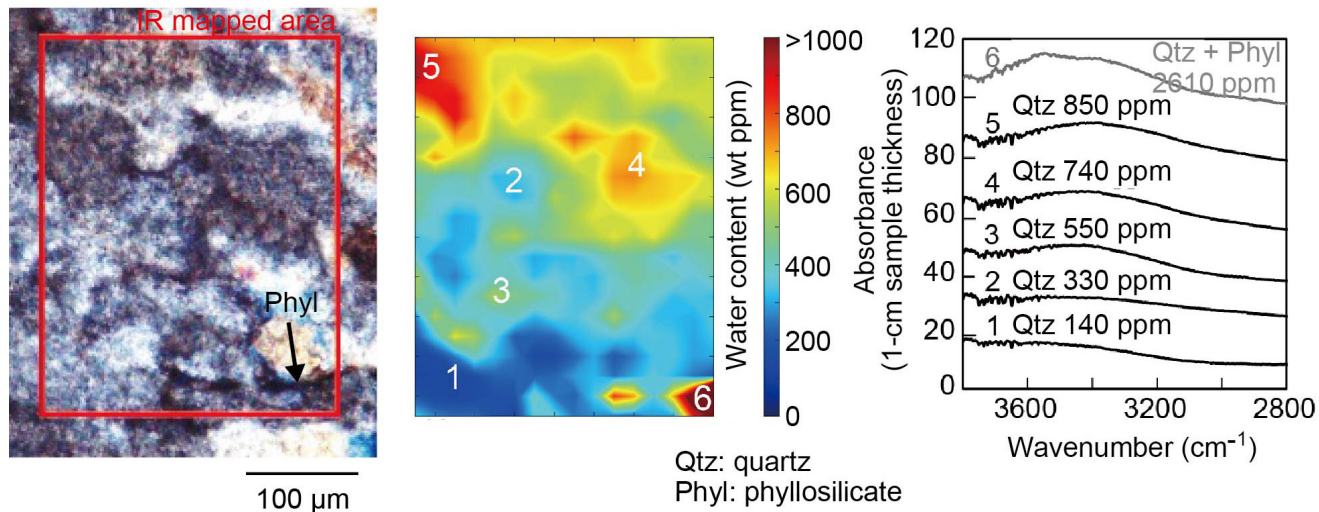
引用文献

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 Akizawa³, Jun-ichi Ando^{1,2}, Masako Yoshikawa^{1,2}

1. Hiroshima University, 2. HiPeR, 3. The University of Tokyo

Petit-spot is small knoll ($\sim 1 \text{ km}^3$ 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 ($\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ atomic ratio $\times 100$) 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 NAKAMURA¹, Tarojiro MATSUMURA¹, Kazuhiro MIYAZAKI¹

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

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 Kaushik³*Kosuke KIMURA¹, Kenta Kawaguchi², Nobuhiko Nakano², Tatsuro Adachi², Kaushik Das³

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SiO₂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。コンコードントな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。コンコードントなポイントの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タル岩である。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SiO₂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。コンコードントな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。コンコードントなポイントの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 Ganguly², 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 ADACHI¹, Tetsuo Kawakami², Fumiko Higashino², Masaoki Uno³

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、 Gondwana 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、変成履歴や碎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30cm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10cm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、モナサイトを含み。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%; $Cr_2O_3=0.19-0.84$ wt%)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、Gondwana 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Gondwana 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 LAKSHMANAN¹, Kiran Sasidharan², Satish-Kumar Madusoodhan², Tsuyoshi Toyoshima²

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 Hiriya 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 D₃ 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 D₃ shear zones, indicating fluid flow processes during the D₃ 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