# 2019年9月20日(金)

ポスター | S1: 火成作用の物質科学 (スペシャルセッション)

9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## S1: 火成作用の物質科学 (スペシャルセッション)

[S1P-01] **なぜマントル捕獲岩中の流体包有物は鉱物種やサイズに依存して異なる残留圧力を持つのか？**

*萩原 雄貴[1]、山本 順司[2] (1. 北海道大・院理、2. 北海道大・総博)

[S1P-02] 珪酸塩メルト中での金属粒子の結晶成長その場観察

*無盡 真弓[1]、中村 美千彦[1]、松本 恵[1] (1. 東北大学・院理・地学)

[S1P-03] テフラ成分の屈折率と化学組成に基づく三瓶浮布テフラと阪手テフラの関係の再検証

*丸山 誠史[1] (1. KFT)

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

[S2P-01] かんらん石の溶解速度から制約される蛇紋岩反応速度

*大柳 良介[1]、桑谷 立[1]、鈴木 勝彦[1] (1. JAMSTEC)

[S2P-02] オマーンオフィオライト下部地殻かんらん石斑れい岩における緑簾石の生成条件

*立石 大和[1]、野坂 俊夫[1] (1. 岡山大・院自然)

[S2P-03] 下部地殻の加水反応に関する実験的研究：斜長石＋単斜輝石系における優先的な斜長石の反応

*中谷 貴之[1]、中村 美千彦[2] (1. 産総研、2. 東北大・院理)

[S2P-04] 中性子散乱と透過電顕による含水鉱物の微視的な脱水過程の解析

*奥地 拓生[1]、プレジャブ ナランゴー[1]、瀬戸 雄介[2]、富岡 尚敬[3]、柴田 薫[4]、山田 武[5] (1. 岡山大・惑星研、2. 神戸大・院理、3. 海洋研究海洋機構、4. 原子力機構、5. CROSS)

ポスター | R2: 結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## R2: 結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

[R2P-01] 単結晶X線回折実験によるアウインの結晶構造解析

*荏戸 俊一郎[1]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[2] (1. 東北大・院理、2. 東北大・総学博)

[R2P-02] GTS型Naチタノシリケート$Cs^{+}$および$Er^{3+}$交換体の作製と陽イオン分布の検討

*藤原 惠子[1]、川田 尚美[1]、中塚 晃彦[1] (1. 山口大・院創成)

[R2P-03] Mirabilite($Na_2SO_4・10H_2O$)の結晶構造の温度依存性

*池田 龍太郎[1]、興野 純[1] (1. 筑波大学生命環境)

[R2P-04] クトナホラ石の形態変化の結晶学的解析

*栗田 充喜[1]、長瀬 敏郎[1]、栗林 貴弘[1]、今井 裕之[2] (1. 東北大・院理、2. 金研造形スタジオ)

[R2P-05] Ce 添加 merrillite 型結晶の合成と発光特性

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*新山 慎太郎[1]、志村 玲子[2]、杉山 和正[3] (1. 東北大・院工、2. 東北大・多元研、3. 東北大・金研)

[R2P-06] Magnetite-maghemite-hematite相転移メカニズム

*杵渕 伊吹[1]、佐野 喜成[1]、興野 純[1] (1. 筑波大・生命)

[R2P-07] 斜長石中の針状磁鉄鉱離溶相の鉱物学的研究

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*菅谷 崚[1]、佐藤 雅彦[1]、小暮 敏博[1] (1. 東大・院理)

[R2P-08] 土橋セリサイトに含まれるＸ線回折で見えない鉱物

*武内 浩一[1]、木須 一正[2]、上原 誠一郎[3]、桑原 義博[4]、大和田 朗[5]、武部 将治[6] (1. 無所属、2. 長崎県窯業技術センター、3. 九大・院理、4. 九大・比文、5. 産総研、6. 土橋鉱山)

[R2P-09] ビビアナイトにおける生成条件と鉄の酸化数

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*千葉 康平[1]、大嶋 江利子[2]、高橋 美咲[3]、杉山 和正[4] (1. 一関高専・物質化学工学専攻、2. 一関高専・未来創造工学科化学・バイオ系、3. 一関高専・物質化学工学科、4. 東北大・金研)

[R2P-10] 固溶体の成長：選択的吸着とキンクカイネティックス

*北村 雅夫[1]、勝野 喜以子[2]、入澤 寿美[3] (1. 無所属、2. 成蹊大学、3. 学習院大学)

[R2P-11] トラピッチェ・エメラルドの成長プロセス

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*海野 智洋[1]、栗林貴弘[1]、 長瀬敏郎[2] (1. 東北大・院理、2. 東北大総学博)

[R2P-12] パイライト型構造の電子状態

*米山 瑠華[1]、則竹 史哉[2,3] (1. 山梨大・工、2. 山梨大・院総合研究部、3. 理研)

ポスター | R5: 地球外物質

9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## R5: 地球外物質

[R5P-01] Acfer094隕石中の宇宙シンプレクタイトのTEM観察

*松本 恵[1]、土`山 明[2,3]、三宅 亮[4]、富岡 尚敬[5]、伊藤 元雄[5]、兒玉 優[6]、松野 淳也[4]、安武 正展[2]、中藤 亜衣子[7]、上杉 健太朗[8]、竹内 晃久[8]、中野 司[9]、バッカロ エピファニオ[10] (1. 東北大、2. 立命館大、3. GIG/CAS、4. 京都大、5. JAMSTEC、6. マリンワークジャパン、7. JAXA/ISAS、8. JASRI/SPring-8、9. 産総研、10. ロンドン自然史博物館)

[R5P-02] Hコンドライト隕石の変成温度解析：改良型Lindsley輝石温度計による試み

*上原 亮[1]、桑原 義博[2]、島田 和彦[4]、中牟田 義博[3]、上原 誠一郎[4]、足立 達朗[5] (1. 九大・院地球社会、2. 九大・比文、3. 九大・博物館、4. 九大・理、5. 九大・埋文)

ポスター | R8: 変成岩とテクトニクス

9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## R8: 変成岩とテクトニクス

[R8P-01] Mineralogical Heterogeneity of *UHP* garnet peridotite in the Bohemian Massif, Czech Republic

*Juliah Wangari Muriuki[1], Daisuke Nakamura[1], Takao Hirajima[2], Martin Svojtka [3] (1. Okayama Uni., 2. Kyoto Uni. , 3. Institute of Geology CAS)

---

[R8P-02] 中国蘇魯地域北東部に産するザクロ石カンラン岩の温度圧力履歴の推定

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*老川 柚[1,2]、中村 大輔[1]、平島 崇男[2]、森下 知晃[3]、田村 明弘[3]、山根 創[1] (1. 岡山大・院理、2. 京都大・院理、3. 金沢大・院理)

---

[R8P-03] Impure metachertに見られる流体・変形活動史と浅部沈み込み帯の肖像

*薮田 渉[1]、平島 崇男[1] (1. 京大・院理学)

---

[R8P-04] 福岡県宗像市南西部市境域に産する緑色結晶片岩

*棟上 俊二[1] (1. 福岡教育大学)

---

[R8P-05] 佐賀県神埼市に産する変成岩の化学組成

*宮本 知治[1] (1. 九州大学)

---

[R8P-06] 南極大陸産超高温変成岩中の輝石の微細組織の特徴

*藤 昇一[1]、宮本 知治[2] (1. 福岡大・理、2. 九州大・理)

---

[R8P-07] 東南極セール・ロンダーネ山地北部に産するFe-Alに富むグラニュライトの変成組織とザクロ石REEの相違

*馬場 壮太郎[1]、小山内 康人[2]、中野 伸彦[2]、外田 智千[3]、足立 達朗[2]、豊島 剛志[4] (1. 琉球大学・教育、2. 九州大学・比文、3. 国立極地研究所、4. 新潟大学・理)

---

[R8P-08] **東南極セール・ロンダーネ山地の泥質片麻岩から見出されたコランダムと石英包有物の産状とその解釈**

*外田 智千[1,2]、小山内 康人[3]、中野 伸彦[3]、足立 達朗[3]、豊島 剛志[4]、馬場 壮太郎[5] (1. 国立極地研究所、2. 総合研究大学院大学、3. 九州大学、4. 新潟大学、5. 琉球大学)

---

[R8P-09] **東南極ドロンイングモードランド東部の地質：スリランカとのリンク**

白石 和行[1]、*外田 智千[1,2]、廣井 美邦[1,3]、野木 義史[1,2]、本吉 洋一[1,2] (1. 国立極地研究所、2. 総合研究大学院大学、3. 千葉大学)

---

[R8P-10] 西南日本九州北部に分布する三郡変成帯結晶片岩の砕屑性ジルコン後背地の多様性

*北野 一平[1]、小山内 康人[1]、中野 伸彦[1]、足立 達朗[1] (1. 九大・比文)

---

[R8P-11] Pressure–temperature condition of pelitic gneisses from the Mutis Metamorphic Complex, Timor Island, Indonesia

*Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1], Nugroho Imam Setiawan[2] (1. Kyushu University, 2. Universitas Gadjah Mada)

---

[R8P-12] インド東ガーツ造山帯西縁境界に露出するコランダムを含むグラニュライトの反応微細組織観察

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*佐藤 史彦[1]、ダス カウシク[1] (1. 広島大・院理)

---

[R8P-13] 鏡肌を構成する物質の変形特性

*安東 淳一[1]、富岡 尚敬[2]、鍵 裕之[3]、廣瀬 丈洋[2] (1. 広島大・院理、2. JAMSTEC・高知コア研、3. 東大・院理)

---

[R8P-14] 福岡県篠栗地域に露出するアンチゴライト蛇紋岩の変形特性

*岩﨑 夕季[1]、安東 淳一[1]、Kaushik Das[1]、Sarkar Dyuti[1]、上原 誠一郎[2]、大藤 弘明[3] (1. 広島大・院理、2. 九州大、3. 愛媛大)

---

[R8P-15] 長野県大鹿村地域の中央構造線に分布する低温型マイロナイトとphylloniteの形成ステージの制約

*中村 佳博[1] (1. 産総研)

[R8P-16] モナザイト・ゼノタイムCHIME岩石年代学による隠岐片麻岩の複変成履歴

*遠藤 俊祐[1]、吉田 宏[1] (1. 島根大)

# 2019年9月21日(土)

ポスター | R4: 地球表層・環境・生命

9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## R4: 地球表層・環境・生命

[R4P-01] 地下深部花崗岩内生物圏の鉱物学的特徴

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*高橋 玄[1]、鈴木 庸平[1]、砂村 倫成[1]、小暮 敏博[1] (1. 東京大学・院理)

---

[R4P-02] 造礁サンゴ骨格の構成要素ごとの微細組織観察

*甕 聡子[1]、波利井 佐紀[2]、兒玉 優[3]、富岡 尚敬[1]、伊藤 元雄[1] (1. JAMSTEC、2. 琉大・熱生研、3. マリン・ワーク・ジャパン)

---

[R4P-03] Greenalite synthesis at low temperatures

*Hiromi Konishi[1], Waleed Anwar[1] (1. Department of Geology, Niigata University)

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

9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## R6: 深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー

[R6P-01] $CO_2$流体の非破壊$\delta^{13}C$測定の向上

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*横倉 伶奈[1]、萩原 雄貴[1]、山本 順司[2] (1. 北海道大・院理、2. 北海道大・総合博物館)

---

[R6P-02] 九州に分布する姫島火山群と両子山火山群の第四紀マグマの成因関係の検討

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*平山 剛大[1]、柴田 知之[1]、芳川 雅子[1] (1. 広島大学・理学・地惑)

---

[R6P-03] ノースパタゴニアに産する花崗岩類の多様性

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*三浦 大和[1]、加々島 慎一[1]、高橋 俊郎[2]、野原 里華子[2] (1. 山形大学、2. 新潟大学)

---

[R6P-04] 北上山地, 堺ノ神深成岩体の岩石化学的研究：結晶分化作用と地質温度計・圧力の適用

*鈴木 哲士[1]、中島 和夫[2]、湯口 貴史[2] (1. 山形大学・院・理工学、2. 山形大学・理工学)

---

[R6P-05] 新潟県糸魚川市青海地域の蛇紋岩メランジュ中の優白質岩の多様性

*奥山 史織[1]、加々島 慎一[1]、竹之内 耕[2]、小河原 孝彦[2] (1. 山形大学、2. フォッサマグナミュージアム)

---

[R6P-06] In-situジルコンのU-Pb年代とTi濃度の同時取得：世界で最も若い黒部川花崗岩体を用いたアプローチ

*石橋 梢[1]、坂田 周平[2]、山嵜 勇人[1]、湯口 貴史[1] (1. 山形大、2. 東京大)

---

[R6P-07] 山口県，屋代島に産する領家帯深成岩類のマグマ過程

*児玉 省吾[1]、大和田 正明[1]、今岡 照喜[1]、亀井 淳志[2]、池田 雄輝[3] (1. 山口大学大学院創成化学研究科、2. 島根大学大学院総合理工学部、3. 復建調査設計株式会社)

---

[R6P-08] 四国北西部高縄半島に分布する領家帯花崗岩類の全岩化学組成とジルコンU-Pb年代

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*下岡 和也[1]、齊藤 哲[1]、谷 健一郎[2] (1. 愛媛大学大学院理工学研究科、2. 国立科学博物館地学研究部)

---

[R6P-09] 北部九州，尺岳閃緑岩体の内部構造

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*江島 圭祐[1]、大和田 正明[1]、亀井 淳志[2] (1. 山口大学大学院創成科学研究科、2. 島根大学大学院総合理工学研究科)

---

[R6P-10] 周防変成岩に貫入する紅柱石含有両雲母花崗岩の化学組成

*柚原 雅樹[1]、川野 良信[2]、岡野 修[3] (1. 福岡大・理、2. 立正大・地球環境、3. 岡山大・理)

ポスター | R7: 岩石・鉱物・鉱床一般 (資源地質学会共催セッション)

9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## R7: 岩石・鉱物・鉱床一般 (資源地質学会共催セッション)

[R7P-01] オマーンオフィオライトWadi Tayin岩体における地殻−マントル境界にみられるマントル−メルト相互作用

*高澤 栄一[1,2]、木暮 優芽斗[3]、石井 慶佑[3]、Chatterjee Sayantani[1]、小柳 夏希[1]、道林 克禎[4]、田村 芳彦[2]、The Oman Drilling Project Science Party (1. 新潟大・理、2. 海洋研究開発機構、3. 新潟大・院自然、4. 名古屋大学)

[R7P-02] 長野県大鹿村のカンラン岩の蛇紋岩化作用

*武田 侑也[1]、上原 誠一郎[1] (1. 九大・理地惑)

[R7P-03] Hess Deep マントルかんらん岩に産する二次的かんらん石の化学組成

*後神 大輔[1]、野坂 俊夫[1] (1. 岡山大・院自然)

[R7P-04] 輝石温度の冷却速度応答性による海洋リソスフェアの見かけ温度分布

*西村 光史[1]、山本 順司[2]、石橋 秀巳[3] (1. 東洋大学、2. 北海道大学、3. 静岡大学)

[R7P-05] クラックの発生頻度の違いによる海洋モホ面での地震波不連続性

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*赤松 祐哉[1]、片山 郁夫[1]、利根川 貴志[2] (1. 広島大・院理、2. JAMSTEC)

[R7P-06] 岩石微細組織観察に於けるEPMA定量イメージング技術の活用

*吉田 健太[1] (1. JAMSTEC)

[R7P-07] 沖縄トラフ海底熱水サイトのチムニー初期生成過程に関する鉱物学的解析

*大森 敬太[1]、長瀬 敏郎[2]、野崎 達生[3]、栗林 貴弘[1] (1. 東北大・院理、2. 東北大・総学博、3. 海洋機構)

[R7P-08] 沖縄トラフ熱水鉱床に産するisocubaniteの磁気特性

*加藤 千恵[1]、大野 正夫[1]、桑原 義博[1]、畠山 唯達[2]、山田 康洋[3]、戸塚 修平[4]、島田 和彦[4]、石橋 純一郎[4]、長瀬 敏郎[5] (1. 九大比文、2. 岡山理大、3. 東京理大、4. 九大理、5. 東北大博物館)

[R7P-09] 高温高圧下で高酸化状態を保持するための試料容器

*川嵜 智佑[1] (1. 愛媛大学)

[R7P-10] 北海道羽幌地域の上部白亜系上部蝦夷層群中に見られる海緑石

*門谷 明弘[1] (1. 愛媛大)

[R7P-11] インドAravalli-Delhi造山帯に露出するシュードタキライトの微細組織とその形成過程

*岡崎 淳哉[1]、安東 淳一[1]、Das Kaushik[1]、富岡 尚敬[2]、兒玉 優[3] (1. 広島大・院理、2. JAMSTEC、3. マリン・ワーク・ジャパン（株）)

## 2019年9月22日(日)

ポスター | S3：北東アジアの鉱物・岩石・資源 （スペシャルセッション）

9:30 ~ 15:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

### S3：北東アジアの鉱物・岩石・資源 （スペシャルセッション）

[S3P-01] 四国西部真穴帯近傍のジルコンU-Pb年代

*川口 健太[1]、早坂 康隆[1]、柴田 知之[1] (1. 広島大・院理)

---

[S3P-02] 青海地域蓮華変成岩類の記載岩石学的特徴とジルコンU-Pb年代

*北野 一平[1]、小山内 康人[1]、中野 伸彦[1]、足立 達朗[1] (1. 九大・比文)

---

[S3P-03] モンゴル北西部・ハンホヒン山地に産する泥質片麻岩に含まれるザクロ石中のクリストバライト包有物

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

---

[S3P-04] Pressure–temperature-time conditions of metamorphism of pelitic gneisses in the Gobi-Altai Mountains from southwestern Mongolia.

*Kundyz Syeryekkhaan[1], Y. Osanai[1], N. Nakano[1], T. Adachi[1], S. Jargalan[2], M. Owada[3], M. Satish-Kumar[4], Ch. Boldbaatar[5] (1. Kyushu Univ., 2. Mongolian Univ. Sci. Tech., 3. Yamaguchi Univ., 4. Niigata Univ., 5. Ochir Undraa LLC)

ポスター | R1: 鉱物記載・分析評価

9:30 ~ 15:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## R1: 鉱物記載・分析評価

[R1P-01] 大分県尾平鉱山産水晶にみられるX型エステレル式双晶について

*岡田 敏朗[1] (1. 福岡市立和白丘中学校)

---

[R1P-02] 岡山県柵原鉱山に産する磁鉄鉱の磁気特性および微細組織と組成

*大川 真紀雄[1]、ダ・コスタ ジェラルド・マジェラ[2] (1. 広島大・院理、2. オウロ・プレット連邦大)

---

[R1P-03] 深層学習による薄片画像の認識と岩石分類
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*松田 真奈[1]、瀬戸 雄介[1] (1. 神戸大・院理)

---

[R1P-04] MEM解析ソフトウェアDysnomiaへの最大エントロピーパターソン法の統合

*門馬 綱一[1] (1. 国立科博)

---

[R1P-05] マグマ性鉱床プローブとしての透輝石斑晶メルト包有物

*黒澤 正紀[1] (1. 筑波大・生命環境)

---

[R1P-06] 熊本県に分布する黒瀬川帯の超苦鉄質岩体における白金族元素含有鉱物および元素鉱物について

*田中 崇裕[1]、浜根 大輔[2]、新町 正 (1. 無所属、2. 東京大・物性研)

---

[R1P-07] 新鉱物　皆川鉱（Minakawaite）

浜根 大輔[2]、*田中 崇裕[1]、新町 正 (1. 無所属、2. 東大・物性研)

---

[R1P-08] 北海道留萌管内の砂金・砂白金鉱床を構成する鉱物種

*浜根 大輔[1]、齋藤 勝幸 (1. 東大物性研)

---

[R1P-09] 北海道日高町千栄産の森本ざくろ石

*浜根 大輔[1]、萩原 昭人 (1. 東大物性研)

---

[R1P-10] 秩父鉱山石灰沢から見出されたholtstamite加水ざくろ石とその高圧挙動

*浜根 大輔[1]、門馬 綱一[2]、原田 明 (1. 東大物性研、2. 科博)

---

[R1P-11] 小笠原諸島父島に産する phillipsite の 特徴的成長組織につい
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*井上 裕貴[1]、安井 万奈[2]、萩谷 宏[1]、山﨑 淳司[2] (1. 東京都市大学、2. 早大・理工)

---

[R1P-12] 福岡県飯塚市八木山産のアメサイトについて

*一色 優希[1]、上原 誠一郎[1] (1. 九大・理・地惑)

---

[R1P-13] 福岡県長垂山のコルンブ石族鉱物

*伊東 信[1]、上原 誠一郎[2]、白勢 洋平[3] (1. 福岡県立糸島高、2. 九大・理・地惑、3. 京大)

---

[R1P-14] 山口県美祢市長登銅山烏帽子坑に産するコバルト鉱石

*永嶌 真理子[1]、井本 裕二[2]、森下 幸菜[2] (1. 山口大・院創成科学、2. 山口大・理)

---

[R1P-15] 鹿児島県赤石鉱山における鉱床及び鉱床母岩の粘土鉱物

*吉村 拓哉、上原 誠一郎[1] (1. 九大・院理)

---

[R1P-16] 鳥取県日南町日野上鉱山産のクインティン石 (Quintinite)

*石橋 隆[1]、山本 佳弘[1]、光田 英彦[1]、下林 典正[2]、渡部 茜[1]、藤原 卓[1] (1. 公益財団法人益富地学会館、2. 京都大学大学院理学研究科)

---

[R1P-17] 大阪大学総合学術博物館の鉱物標本

*石橋 隆[1,2]、伊藤 謙[1]、橋爪 節也[1]、永田 靖[1]、澤田 操[2] (1. 大阪大学総合学術博物館、2. 公益財団法人益富地学会館)

---

[R1P-18] 京都大学の鉱物標本 -比企鉱物標本-

*白勢 洋平[1]、下林 典正[2]、高谷 真樹[2]、石橋 隆[3]、豊 遙秋[4] (1. 京大・博物館、2. 京大・院理、3. 益富地学会館、4. 東大・博物館)

---

[R1P-19] 九州大学の鉱物標本

*上原 誠一郎[1]、白勢 洋平[2]、伊藤 泰弘[3] (1. 九大・理・地惑、2. 京大・博物館、3. 九大・博物館)

ポスター | R3: 高圧科学・地球深部

9:30 ~ 15:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## R3: 高圧科学・地球深部

[R3P-01] 高温高圧条件下での金属-ケイ酸塩メルト間の希ガス分配係数の実験的決定高温高圧条件下での金属-ケイ酸塩メルト間の希ガス分配係数の実験的決定

*田中 友崇[1]、貴志 智[1]、角野 浩史[1]、桑原 秀治[2]、野村 龍一[3]、鍵 裕之[4]、三部 賢治[5] (1. 東大・総合文化、2. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター、3. 京大・院人間・環境学研究科、4. 東大・院理、5. 東大・地震研)

[R3P-02] 高圧下における含水鉱物と鉄の反応速度
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*畑山 達郎[1]、西 真之[1]、入舩 徹男[1] (1. 愛媛大学・GRC)

[R3P-03] 核-マントル間における水素分配の第一原理的予測
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*大場 篤朗[1], 土屋卓久[1] (1. 愛媛大・GRC)

[R3P-04] Al-Si 置換型 Phase Egg および Al に富む未知含水高圧相
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*高市 合流[1]、西 真之[1]、周 佑黙[1]、町田 真一[2]、入舩 徹男[1] (1. 愛媛大・GRC、2. 総合科学研究機構)

[R3P-05] マルチメガバールの新含水高圧相ε-AlOOH

*西 真之[1]、桑山 靖弘[2]、土屋 旬[1] (1. 愛媛大・GRC、2. 東京大・理)

[R3P-06] 高圧力下におけるScOOH の相転移

伊東 義章[1]、池田 理[1]、窪田 平海[1]、坂巻 竜也[1]、栗林 貴弘[1]、*鈴木 昭夫[1] (1. 東北大・院理)

[R3P-07] δ-AlOOHのP-V-T状態方程式

窪田 平海[1]、伊東 義章[1]、渡邉 隆二[1]、鎌田 誠司[2]、栗林 貴弘[1]、*鈴木 昭夫[1] (1. 東北大・院理、2. 東北大・学際フロンティア)

[R3P-08] 高温高圧下におけるSoda melilitemeltの粘度に及ぼす$CO_2$の効果

*鈴木 昭夫[1] (1. 東北大・院理)

[R3P-09] GHz-DAC音速法の開発：ここまでの総括と今後の展望

*米田 明[1] (1. 岡山大惑星研)

[R3P-10] 鉄水素化物高圧相$FeH_2$の音速及び磁性測定

*生田 大穣[1]、大谷 栄治[1]、平尾 直久[2]、三井 隆也[3]、中野 智志[4]、内山 裕士[2]、筒井 智嗣[2]、バロン アルフレッド[5] (1. 東北大・理・地学、2. JASRI、3. 量研、4. NIMS、5. 理研)

[R3P-11] 下部マントルに沈み込んだスラブ内レオロジー

*東 真太郎[1,2]、野村 龍一[3,4]、上杉 健太朗[5]、西原 遊[4]、土居 峻太[4]、有本 岳史[4]、入舩 徹男[4] (1. 東工大・院理、2. 九州大、3. 京都大、4. 愛媛大、5. JASRI/SPring-8)

[R3P-12] 一軸圧縮変形場におけるオリビン―スピネル相転移実験剪断不安定化条件の解明へ向けて

*森 悠一郎[1] (1. 九大・理)

[R3P-13] Fe-Ni-S-C系の溶融関係と超深部起源ダイヤモンドの生成条件

*伊丹 佑[1]、浦川 啓[1] (1. 岡山大・院自然)

[R3P-14] ステアリン酸からのナノ多結晶ダイヤモンド合成とその微細組織観察

*川村 英彰[1]、大藤 弘明[2] (1. 愛媛大院理、2. 愛媛大GRC)

[R3P-15] $CaTiO_3$ペロブスカイトへの$Ga^{3+}$の固溶について

*永井 隆哉[1]、大黒 正貴[1]、髙倉 直樹[1]、井上 徹[2]、新名 亨[3] (1. 北大・院理、2. 広大・院理、3. 愛媛大・GRC)

ポスター | S1: 火成作用の物質科学 (スペシャルセッション)

2019年9月20日(金) 9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

**S1: 火成作用の物質科学 (スペシャルセッション)**

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[S1P-01] **なぜマントル捕獲岩中の流体包有物は鉱物種やサイズに依存して異なる残留圧力を持つのか？**

*萩原 雄貴[1]、山本 順司[2] (1. 北海道大・院理、2. 北海道大・総博)

---

[S1P-02] 珪酸塩メルト中での金属粒子の結晶成長その場観察

*無盡 真弓[1]、中村 美千彦[1]、松本 恵[1] (1. 東北大学・院理・地学)

---

[S1P-03] テフラ成分の屈折率と化学組成に基づく三瓶浮布テフラと阪手テフラの関係の再検証

*丸山 誠史[1] (1. KFT)

S1P-01

# なぜマントル捕獲岩中の流体包有物は鉱物種やサイズに依存して異なる残留圧力を持つのか？

萩原雄貴（北海道大・院理），山本順司（北海道大・総博）

## Size-dependent residual pressure of fluid inclusion in mantle xenolith

Yuuki Hagiwara* (Hokkaido Univ. Sci), Junji Yamamoto (Hokkaido Univ. Museum)

In many geological settings, density of fluid inclusions has been studied for ascertaining the depth provenance of mantle xenolith. However, during laboratory experiments and exhumation processes, the initial density of a fluid inclusion is overwhelmed by various confounding factors. To elucidate re-equilibration processes of fluid inclusion, we investigated the relation among fluid density, inclusion size, and mineral species.

流体・メルト包有物の $CO_2$ 濃度や密度はマグマ供給系の構造や，岩石の由来深度，噴火前のマグマの揮発性成分濃度の推定に利用されてきた．包有物がホスト鉱物に捕捉された時の初期情報は弾塑性変形や脆性破壊，流体の拡散，流体とホスト鉱物間の反応などにより，地表への露出過程や実験中に上書きされる可能性がある．実際，鉱物種や包有物の径に依存した流体の組成や圧力の系統的変化が報告されている．しかし，マントル捕獲岩中の流体包有物の研究は限られている．

そこで本研究では，包有物からマントル流体の情報をより正確に復元するために，マントル捕獲岩中の流体包有物の残留圧力を測定し，ホスト鉱物種や包有物の径との関係を調査した．流体の圧力は $CO_2$ のラマンスペクトルの 2 つの主なピークの波数差が圧力に依存することを利用した．また，流体包有物のサイズはデジタル顕微鏡で輝度の差から抽出した．その結果以下の 3 つの知見を得た．

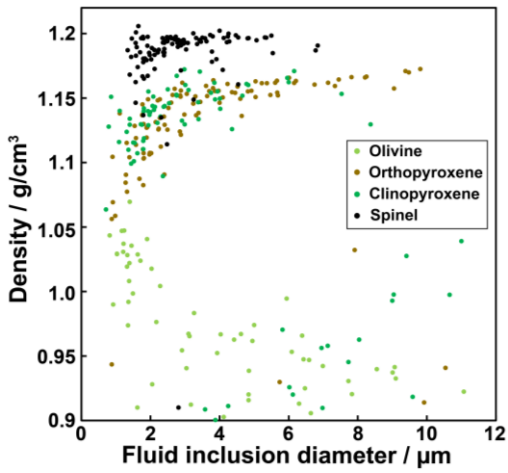



**図 1** 流体包有物の密度のサイズ依存性.

1) 流体圧はスピネル>直方輝石=単斜輝石>かんらん石の順で高圧を保持している．

2)スピネル・単斜輝石・直方輝石の残留圧力は包有物の径が小さい程低圧になる．

3) 逆に，かんらん石の残留圧力は包有物の径が小さい程高圧になる．

この傾向は，包有物―ホスト鉱物系の熱弾性平衡や脆性破壊モデルでは説明できない (Zhang 1998; Campione 2018)．従って，岩石の露出過程で塑性変形や流体の拡散により流体圧に関する初期情報は上書きされる．

Key words: Fluid inclusion, Raman spectroscopy, Geobarometer, Mantle xenolith, Carbon dioxide

*Corresponding author: hagi@eis.hokudai.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1P-02

# 珪酸塩メルト中での金属粒子の結晶成長その場観察

無盡真弓*，中村美千彦，松本恵（東北大・地学）

# In-situ observation of growth behaviors of Fe and Pt particles in a silicate melt

Mayumi Mujin*, Michihiko Nakamura, Megumi Matsumoto (Tohoku Univ.)

【はじめに】近年, 透過型電子顕微鏡（TEM）下のその場観察により，水溶液中でナノ粒子の結晶成長過程が観察され，oriented attachment やアモルファス核の生成といった非古典的な核形成経路が見つかった（例えば De Yeoreo et al., 2015）．本研究では，珪酸塩メルト中での微小結晶の成長過程を調べるために，電解放出型走査型電子顕微鏡（FE-SEM）下で加熱その場観察実験を行った．その結果，数ナノメートルから数百ナノメートルサイズの金属粒子の合体成長が観察された．

【方法】加熱実験のその場観察は FE-SEM 下で Protochips 社の Aduro 加熱ステージを用いて行い，二次電子および反射電子像の観察を行った．出発物質には，ほとんど結晶を含まない桜島火山の大正噴火軽石を用いた（石基ガラス $SiO_2$=70 wt%, Otsuki et al., 2015）．加熱用の MEMS チップに載せられる試料の大きさは約 20μm 四方である．そこで軽石を瑪瑙乳鉢で粉砕し，エタノールを用いて石基ガラスをチップに固定する方法と，集束イオンビーム（FIB）を用いてガラス片を作製し，Pt デポジションによってチップに固定する方法を行った．室温から 10˚C/s で加熱し，1–4.5 時間 850–1050 °C で温度を保持した．FE-SEM の加速電圧は 10–15kV，高真空度 ($9.6\times10^{-5}$ Pa)と低真空度（60Pa）の条件で実験を行った．実験後は FE-SEM-EDS と TEM-EDS を用いて相同定を行った．

【結果と考察】高真空度かつ 950°C のときに金属鉄粒子の合体成長がよく観察された．よく動く粒子から動かない粒子までが存在し，動く粒子の運動方向はランダムだった．合体が観察できた粒子サイズは直径約 30nm から幅 370nm だった．幅が約 200 nm 以上から鉄粒子はファセットを持った．ファセットを持つ粒子同士が合体する場合，まず合体が始まった部分のファセットが消え，その後全体的に丸くなった．幅 370nm の粒子が合体し始めてから丸くなるまでの時間は 183 秒で，粒子径が 80nm だと 4 秒だった．FIB を用いて準備した試料では，Pt 粒子の合体成長が観察された．高真空の電子顕微鏡下かつ高温では，金属粒子の移動度や合体再結晶速度が上がり，従来の低温の水溶液中で観察された無機結晶より 1 桁程度大きい数百ナノサイズの合体成長がおこったと考えられる．

Keywords: nanoparticle, coalescence, undercooling, volcanic glass

*Corresponding author: mayumi.mujin.a5@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1P-03

# テフラ成分の屈折率と化学組成に基づく三瓶浮布テフラと阪手テフラの関係の再検証

丸山誠史（KFT）・山下透（KFT）・林田明（同志社大）・
平田岳史（東大）・檀原徹（KFT）

# Reexamination of the relationship between Sambe–Ukinuno and Sakate tephras based on refractive indices and chemistry of tephra components

S. Maruyama* (KFT), T. Yamashita (KFT), A. Hayashida (Doshisha University),
T. Hirata (The University of Tokyo), T. Danhara (KFT)

中国地方や近畿地方で見出されている阪手テフラは、三瓶火山より噴出した三瓶浮布テフラ(SUk)に対比されている。福岡・松井(2002)は、三瓶山近傍の露頭調査に基づき、SUk テフラを下位から順に、浮布降下軽石堆積物(Uk-pfa)、緑ヶ丘火砕流堆積物(Md-fl)、そして浮布降下火山灰堆積物(Uk-fa)の 3 テフラに細分した。これまでの研究では、阪手テフラは Md-fl に対比されていたが、それらの関係性の解釈には、曖昧さが残されていた。

また、これまでの研究で指摘されていた通り、本研究でも、三瓶山近傍の露頭より採取された Md-fl（阪手）試料に含まれる角閃石の屈折率は Uk-pfa 試料に含まれるものと似通っていた。このことは、Uk-pfa と Md-fl が一連の火山活動で噴出したことを示唆するものである。しかしながら、Md-fl（阪手）および Uk-fa 試料に含まれる火山ガラスの屈折率は、Uk-pfa 試料に含まれるものより低かった。この屈折率の違いもまた、SUk と阪手テフラの関係性における問題となっていた。

さらに、水月湖コア試料からは阪手テフラ（Md-fl）の可視層が見出されていたが、Uk-pfa は見出されなかった（e.g., Smith et al., 2013）。福岡・松井(2002)などによる露頭調査から、Uk-pfa と Md-fl/Uk-fa は一連の噴火活動で噴出したものと推定されていたが、SUk テフラ下位層（Uk-pfa）と上位層（Md-fl/Uk-fa）で分布域が異なる可能性は、Katoh et al. (2007)によって指摘されていた。

Uk-fa の岩石学的特性から判断すると、Uk-fa と Md-fl は一つの同じテフラと見なすことが可能だった。Uk-pfa に含まれる火山ガラスの $SiO_2$ 濃度は、ガラス屈折率からの予測に反して、Md-fl のものよりも高かった。しかし Uk-pfa に含まれる火山ガラスの FeO 濃度は Md-fl のものに比べて高く、ガラス屈折率の差異は、$SiO_2$ 濃度ではなく FeO 濃度によるものと推定された。

火山ガラスに含まれる合計 58 元素の濃度パターンは、全体としては Md-fl と Uk-pfa の間で似通っているものの、軽希土類元素などの部分で明確に区別が可能だった。このような元素濃度の違いは、結晶分化の過程で起こったか、あるいは他のマグマ源からの混入による、マグマの化学組成の変化によるものと推定された。

これまでの研究では、Md-fl/Uk-fa（=阪手）に対比されるテフラは、中国地方および近畿地方に広く分布していた。一方、Uk-pfa に対比されるテフラは、中国地方南部から近畿地方南部およびその近海、そして四国東端に限定されていた。Katoh et al. (2007)の予測通り、テフラ分布域も異なることが判明した。

本研究の結果から，Uk-pfa と Md-fl/Uk-fa テフラはそれぞれ、SUk (lower)（下部）および SUk (upper)（上部）テフラと、より単純なものに再定義可能である。

Katoh et al. (2007) *Nat. Hum. Activ.* **11**, 29-50.
福岡・松井(2002) *地球科学* **56**, 105-122.
Smith et al. (2013) *Quat. Sci. Rev.* **67**, 121-137

Keywords: Sambe–Ukinuno tephra, Sakate tephra, refractive index, chemical composition, tephra fall area
*Corresponding author: ojigibito@icloud.com

ポスター | S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

2019年9月20日(金) 9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

## S2: 岩石-水相互作用 （スペシャルセッション）

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[S2P-01] かんらん石の溶解速度から制約される蛇紋岩反応速度

*大柳 良介[1]、桑谷 立[1]、鈴木 勝彦[1] (1. JAMSTEC)

---

[S2P-02] オマーンオフィオライト下部地殻かんらん石斑れい岩における緑簾石の生成条件

*立石 大和[1]、野坂 俊夫[1] (1. 岡山大・院自然)

---

[S2P-03] 下部地殻の加水反応に関する実験的研究：斜長石＋単斜輝石系における優先的な斜長石の反応

*中谷 貴之[1]、中村 美千彦[2] (1. 産総研、2. 東北大・院理)

---

[S2P-04] 中性子散乱と透過電顕による含水鉱物の微視的な脱水過程の解析

*奥地 拓生[1]、プレジャブ ナランゴー[1]、瀬戸 雄介[2]、富岡 尚敬[3]、柴田 薫[4]、山田 武[5] (1. 岡山大・惑星研、2. 神戸大・院理、3. 海洋研究海洋機構、4. 原子力機構、5. CROSS)

S2P-01

# かんらん石の溶解速度から制約される蛇紋岩反応速度

大柳良介* (JAMSTEC)，桑谷立(JAMSTEC)，鈴木勝彦(JAMSTEC)

# Kinetics of serpentinization constrained from olivine dissolution rate at hydrothermal conditions

Ryosuke Oyanagi* (JAMSTEC), Tatsu Kuwatani (JAMSTEC), Katsuhiko Suzuki (JAMSTEC).

Serpentinization (hydration of mantle peridotite) gives significant changes to both chemical and physical properties of the oceanic lithosphere. Several studies suggested that the rate of serpentinization is maximized at 250-300°C, and the rate-limiting process of serpentinization is the dissolution of primary mineral (e.g., Malvoisin et al., 2012). However, the olivine dissolution rates at > 150°C have never been measured (Rimstidt et al. 2012). Towards the improved understanding of serpentinization kinetics, measuring dissolution rates of olivine as a function of solution composition and temperature is required. In this study, dissolution rate of natural olivine ($(Mg_{0.91}, Fe_{0.09})_2SiO_4$) was measured at 200-300 °C and 50 MPa using a flow-through reactor (Suzuki et al., 2015). Based on dependences of temperature, on dissolution rate, the time scales on hydrothermal alteration of peridotite will be discussed.

海洋底における蛇紋岩化反応は海洋リソスフェアの物理的・化学的性質を大きく変化させ，沈み込み帯へ持ち込む水のフラックスを決定するプロセスである．これまで，海洋底における蛇紋岩化反応の進行プロセスを理解するために，反応速度が実験的に見積もられてきた．これらの研究によると，蛇紋岩化の速度は250~300°Cで最大になり(Martin & Fyfe 1970)、蛇紋岩化反応における律速過程は、かんらん石の溶解であることが示唆されている(Malvoisin et al.,2012).しかし，これまで150°C 以上でのかんらん石の溶解速度は測定されたことがないため(Rimstidt et al. 2012), 蛇紋岩化反応速度とかんらん石の溶解速度の直接的な比較はなされてこなかった．また，200°C におけるかんらん石の炭酸塩化の過程において，かんらん石の溶解は非化学量論的であると示唆されている(Fritz et al. 2018)．蛇紋岩化反応の速度論的理解，および二次鉱物の量論的理解のためには，かんらん石の溶解速度，および溶解反応メカニズムの理解が必要である．

本研究では，流通式水熱実験装置を用いてかんらん石溶解速度の温度，pH 依存性を明らかにする．シリンジポンプで反応溶液(0.5mol NaCl/kg)を定流量(2.0 ml/min)で流し，反応後の溶液を適宜回収する.その後, ICP 発光分析による溶液化学組成を測定し，溶液化学組成の時間変化データから反応速度を求める.反応溶液の温度(200~300 度)を変化させた実験を複数行い，それぞれの化学制約条件における溶解速度を求める．実験時間は 8 時間である．

実験の結果， 200°C の実験において，溶液組成の(Mg+Fe)/Si モル比は約 1.8 で定常状態に達した．一方で，260°C, 300°C の実験において，溶液組成の(Mg+Fe)/Si モル比はそれぞれ 1.2, 0.7 であり，定常状態に達しなかった．これらの結果は，かんらん石の溶解が非化学量論的であることを示唆する．Si の溶液組成を基準とした 200°C, 260°C, 300°C におけるかんらん石の溶解速度($r_{SiO2(aq)}$ (mol $m^{-2}$ $s^{-1}$)の対数はそれぞれ-6.2, -7.5, -7.9 と，温度が高くなるほどに遅くなる傾向を得た．実験結果を溶解速度式によってモデル化し，それを用いて既往の蛇紋岩化反応速度式と比較した．結果，250~300°C の範囲では，蛇紋岩化反応の速度はかんらん石の溶解速度と一致した．一方で，250℃以下では，蛇紋岩化反応の速度はかんらん石の溶解速度より遅かった．これらの結果は 250℃以上ではかんらん石の溶解が蛇紋岩化反応を律速し，250℃以下では別のプロセスが蛇紋岩化反応を律速していることを示唆する．

keywords: 反応速度，蛇紋岩化作用，水熱実験，かんらん石
*Corresponding author: royanagi@jamstec.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S2P-02

# オマーンオフィオライト下部地殻かんらん石斑れい岩における緑簾石の生成条件

立石大和・野坂俊夫*（岡山大）

# Formation conditions of epidote in lower crustal olivine gabbros of the Oman ophiolite

Y. Tateishi and T. Nozaka* (Okayama Univ.)

We report the distribution and modes of occurrence of alteration minerals in gabbroic rocks from the Oman Drilling Project Holes GT1-3. In contrast to other minerals, epidote is much unevenly distributed, i.e., widespread in upper levels of the lower crustal section, and exclusively within or in proximity to veins and cataclastic zones in lower levels. In lower-level olivine gabbros, prehnite and chlorite replacing plagioclase show a close association with serpentine replacing olivine, whereas epidote, if any, never coexists with serpentine. Thermodynamic modeling indicates that epidote could form at conditions with higher oxygen fugacity than serpentinization and prehnite formation conditions.

オマーンオフィオライトの斑れい岩類は，白亜紀の高速拡大海嶺で形成された海洋下部地殻であると考えられており，海嶺周辺での熱水の浸透によって，ソリダス程度の温度から角閃岩相を経て緑色片岩相に至る変質作用を受けていることが報告されている（例えば，Manning et al., 2000: Geol. Soc. Am. Spec. Paper 349; Nicolas et al., 2003: JGR 108; Bosch et al., 2004: J. Petrol. 45）。様々な条件で形成された変質鉱物の深度分布と産状を把握するために，我々は Oman Drilling Project Phase 1 で 掘削された Hole GT1, GT2, GT3 から採取された斑れい岩類の観察を行った。その結果，変質鉱物として角閃石，緑泥石，蛇紋石，緑簾石，クリノゾイサイト，ぶどう石，曹長石，沸石，方解石などが認められた。それらのうち今回は緑簾石に焦点を当て，その分布，産状，および共存鉱物の組み合わせと化学組成に基づいて成因を考察する。

緑簾石は輝緑岩岩脈と斑れい岩セクション上部では，斜長石を置換して，あるいは熱水脈として広く出現するが，下位のかんらん石斑れい岩においては出現頻度が低下し，破砕帯あるいは熱水脈とその近傍にほぼ限定的に産出する。この緑簾石の分布は，他の変質鉱物がバックグラウンド変質作用によって広く形成されていることと対照的である。角閃石，緑泥石，ぶどう石，蛇紋石の産状と組成は，角閃岩相から緑色片岩相以下に至る様々な温度条件で変質作用が繰り返し起きたことを示唆しており，特定の温度条件（例えば緑色片岩相）での熱水活動の低下を示すような証拠はない。

かんらん石斑れい岩中では，かんらん石は蛇紋石脈に貫かれており，その脈の延長線上では隣接する斜長石にぶどう石＋緑泥石が生じていることが多い。一方，まれに斜長石中に出現する緑簾石は緑泥石とは共存するが蛇紋石との成因的関連を示さない。熱力学的モデル計算は，ぶどう石が蛇紋石化作用と同程度のシリカと酸素の活動度のもとで生じ得るのに対して，緑簾石はより酸化的な環境で生じることを示している。

Keywords: Oman Drilling Project, lower crust, olivine gabbro, alteration, epidote

*Corresponding author. nozaka@cc.okayama-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S2P-03

# 下部地殻の加水反応に関する実験的研究：斜長石＋単斜輝石系における優先的な斜長石の反応

中谷貴之（産総研）*，中村美千彦（東北大・院理）

# Experimental simulation of lower crust hydration: preferential plagioclase reaction in the plagioclase + clinopyroxene system

Takayuki Nakatani (AIST)*, Michihiko Nakamura (Tohoku Univ., Sci.)

Recent experimental studies have revealed the preferential reaction of a mineral during the hydration of polymineralic rocks, which results in the formation of metastable product mineral assemblage in the effective bulk rock composition enriched in the preferentially-reacted mineral component. The preferential mineral hydration could affect the fluid circulation in subduction zones at least transiently via modulating the volume change during the reaction. To simulate the hydration reaction of the lower crustal rocks and evaluate its influence on crustal fluid infiltration, we conducted hydration experiments in the plagioclase + clinopyroxene systems with 15 wt% $H_2O$ at 500 °C and 1.0 GPa for 672 hours. The augite (Mg# = 69) and labradorite (An# = 60) powders with grain sizes of 38–53 μm were utilized to prepare the three experimental systems: (1) PL: labradorite 100%, (2) CPX: augite 100%, (3) PL+CPX: labradorite 50% and augite 50% by weight. The reaction products were composed of clinozoisite (Fe-poor epidote) + paragonite + Na-rich plagioclase + quartz in the PL system. In the CPX system, chlorite-like phase + actinolite + quartz + Fe-oxide was formed. In the PL+CPX, epidote + chlorite-like phase + muscovite + Na-rich plagioclase + quartz was observed. Mass balance calculation revealed that plagioclase reacted preferentially in the PL+CPX system in which the effective clinopyroxene/plagioclase ratio was 0.28. High aluminum activity imposed via the preferential dissolution of plagioclase could suppress the crystallization of aluminum-poor amphibole (actinolite) at 500°C. Preferential plagioclase reaction leads to the dominant formation of epidote whose density (~3.4 g/cm$^3$) is much higher than that of the primary plagioclase (~2.7 g/cm$^3$). This can lead to ~1% decrease in the overall volume in the PL+CPX system, which is in strong contrast to the volume-increasing serpentinization reaction in the ultramafic system. Hydration of mafic rocks may thus enhance the fluid infiltration in the lower crust via the volume-decreasing reaction.

Keywords: lower crust, hydration reaction, plagioclase, clinopyroxene

*Corresponding author: t-nakatani@aist.go.jp

S2P-04

# 中性子散乱と透過電顕による含水鉱物の微視的な脱水過程の解析

奥地拓生[1], プレジャブナランゴー[1], 瀬戸雄介[2], 富岡尚敬[3], 柴田薫[4], 山田武[5]
([1]岡山大惑星研, [2]神戸大院理, [3]JAMSTEC, [4]原子力機構, [5]CROSS)

## Analysis of dehydration processes in atomic scale of hydrous minerals by neutron scattering and transmission electron microscopy

Takuo Okuchi*[1], Purevjav Narangoo[1], Yusuke Seto[2], Naotaka Tomioka[3], Kaoru Shibata[4], and Takeshi Yamada[5] ([1]Okayama Univ., [2]Kobe Univ., [3]JAMSTEC, [4]JAEA, [5]CROSS)

Hydrous minerals have been playing fundamental roles in the evolution of the Earth. In particular, various types of minerals occurring within the Earth's crust and mantle are absorbing, storing and releasing significant amount of water, which in total can easily exceed the entire mass of the oceans. Transport and storage processes of such water within the Earth are fundamental topics for considering the planet's physical, chemical, and biological evolutions. These processes affect our understanding on the roles of plate tectonic motions, origins of volcanic activities, and interpretation of seismic velocity variations. However, the most fundamental hydration, storage, and dehydration mechanisms occurring within these minerals are not fully understood. In particular, atomic-scale transport process of hydrogen within the relevant crystal structures when dehydration or rehydration occurs within these minerals (e.g. by volume diffusion or grain-boundary diffusion ?, and by transport of $H^+$, hydrogen vacancy, or $H_2O$ ? etc.) were left almost-totally unknown, while defining the rate-determining step of dehydration and rehydration it is very essential to understand these atomic-scale processes.

We systematically analyze these processes by means of neutron scattering and transmission electron microscopy. Previous works related to that topic were definitively insufficient, where results of macroscopic phenomena, such as tracer diffusion of hydrogen isotopes, were mainly disscussed. Meanwhile we established quasi-elastic neutron scattering (QENS) as a novel effective scheme to analyze the processes in the atomic scale, which provides information on the mole fraction, relaxation time, and jump distance of mobile hydrogen species in the crystal structures. Application of QENS for dynamics of chemically-bonded hydrogen in the crustal structures of minerals is productive only for a large-enough amount of high-quality (pure) sample, so that we developed a mass-production scheme of such hydrous minerals at high pressure-temperature condition in the deep mantle (e.g., Okuchi et al., 2015). Thus a series of hydrous mineral sample species, including those prepared as reagents and as recovered from high-pressure temperature environments, have been systematically analyzed by QENS and in part by transmission electron microscopy. Hydrogen dynamics in these minerals was proved to accelerate with increasing temperature, indicating that extension of the accessible temperature regime by QENS is very urgent task. In the current presentation, we summarize the results on brucite (Okuchi et al., 2018), DHMS phase E, and few other hydrous minerals those were successfully measured at temperatures to around 600 K. These QENS results were discussed together with their relevant crystal structures including site and occupancy of hydrogen, which were separately determined by high-resolution time-of-flight Laue single crystal neutron diffraction scheme (Purevjav et al,. 2019; 2018).

References

Purevjav, N., T. Okuchi, C. Hoffmann, Strong hydrogen-bond generation in dense hydrous magnesium silicate phase E observed by single-crystal neutron diffraction, JpGU 2019 abstract SMP33-04.

Purevjav, N., T. Okuchi, X.Wang, C. Hoffmann, N. Tomioka, Determination of hydrogen site and occupancy in hydrous $Mg_2SiO_4$ spinel by single-crystal neutron diffraction, Acta Cryst., 74, B115 (2018)

Okuchi, T., N. Tomioka, N. Purevjav, K. Shibata, Quasielastic neutron scattering of brucite for analyzing hydrogen transport at the atomic scale, J. Appl. Cryst., 51, 1564-1570 (2018)

Okuchi, T., N. Purevjav, N. Tomioka, J. F. Lin, T. Kuribayashi, L. Schoneveld, H. Hwang, N. Sakamoto, N. Kawasaki, H. Yurimoto, Synthesis of large and homogeneous single crystals of water-bearing minerals by slow cooling at deep-mantle pressures, Am. Mineral., 100, 1483-1492 (2015)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ポスター | R2: 結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物

2019年9月20日(金) 9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

**R2: 結晶構造・結晶化学・物性・結晶成長・応用鉱物**

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[R2P-01] 単結晶X線回折実験によるアウインの結晶構造解析

*荏戸 俊一郎[1]、栗林 貴弘[1]、長瀬 敏郎[2] (1. 東北大・院理、2. 東北大・総学博)

---

[R2P-02] GTS型Naチタノシリケート$Cs^{+}$および$Er^{3+}$交換体の作製と陽イオン分布の検討

*藤原 惠子[1]、川田 尚美[1]、中塚 晃彦[1] (1. 山口大・院創成)

---

[R2P-03] Mirabilite($Na_2SO_4$・$10H_2O$)の結晶構造の温度依存性

*池田 龍太郎[1]、興野 純[1] (1. 筑波大学生命環境)

---

[R2P-04] クトナホラ石の形態変化の結晶学的解析

*栗田 充喜[1]、長瀬 敏郎[1]、栗林 貴弘[1]、今井 裕之[2] (1. 東北大・院理、2. 金研造形スタジオ)

---

[R2P-05] Ce 添加 merrillite 型結晶の合成と発光特性
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*新山 慎太郎[1]、志村 玲子[2]、杉山 和正[3] (1. 東北大・院工、2. 東北大・多元研、3. 東北大・金研)

---

[R2P-06] Magnetite-maghemite-hematite相転移メカニズム

*杵渕 伊吹[1]、佐野 喜成[1]、興野 純[1] (1. 筑波大・生命)

---

[R2P-07] 斜長石中の針状磁鉄鉱離溶相の鉱物学的研究
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*菅谷 崚[1]、佐藤 雅彦[1]、小暮 敏博[1] (1. 東大・院理)

---

[R2P-08] 土橋セリサイトに含まれるX線回折で見えない鉱物

*武内 浩一[1]、木須 一正[2]、上原 誠一郎[3]、桑原 義博[4]、大和田 朗[5]、武部 将治[6] (1. 無所属、2. 長崎県窯業技術センター、3. 九大・院理、4. 九大・比文、5. 産総研、6. 土橋鉱山)

---

[R2P-09] ビビアナイトにおける生成条件と鉄の酸化数
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*千葉 康平[1]、大嶋 江利子[2]、高橋 美咲[3]、杉山 和正[4] (1. 一関高専・物質化学工学専攻、2. 一関高専・未来創造工学科 化学・バイオ系、3. 一関高専・物質化学工学科、4. 東北大・金研)

---

[R2P-10] 固溶体の成長：選択的吸着とキンクカイネティックス

*北村 雅夫[1]、勝野 喜以子[2]、入澤 寿美[3] (1. 無所属、2. 成蹊大学、3. 学習院大学)

---

[R2P-11] トラピッチェ・エメラルドの成長プロセス
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*海野 智洋[1]、栗林貴弘[1]、 長瀬敏郎[2] (1. 東北大・院理、2. 東北大総学博)

---

[R2P-12] パイライト型構造の電子状態

*米山 瑠華[1]、則竹 史哉[2,3] (1. 山梨大・工、2. 山梨大・院総合研究部、3. 理研)

# 単結晶X線回折実験によるアウインの結晶構造解析

苅戸俊一郎(東北大院理), 栗林貴弘(東北大院理), 長瀬敏郎(東北大・総学博)

# Structural study of haüyne by single crystal X-ray diffraction experiment

S. Nozokido* (Tohoku Univ.), T. Kuribayashi (Tohoku Univ.), T. Nagase (Tohoku Univ.)

R2P-01

## はじめに

アウインはソーダライトグループに属し, $SiO_4$四面体と$AlO_4$四面体がAl排他則に基づいて交互に配列したフレームワーク構造を持つ。内部のケージには$Na^+$や$K^+$等の陽イオンや$Cl^-$や$SO_4^{2-}$等の陰イオンを含んでいる。ソーダライトグループ鉱物のうち, ソーダライト以外は変調構造を持つことが知られている。変調構造の要因に関する多くの研究がこれまでに行われ, (Saalfeld,1961; Hassan and Grundy, 1989 など) 様々な説が挙げられている。

本研究では, 変調構造を持つドイツ,Eifel産のアウイン(EG)の結晶構造を解析し, 常温常圧下で他のソーダライトグループ鉱物の結晶構造と比較検討し, アウインの変調構造の発生要因を再検討した。

## 実験

試料には変調構造を持つドイツ, Eifel産アウイン( $Na_{5.65}Ca_{1.90}K_{0.40}[Al_{6.12}Si_{5.84}O_{24}](SO_4)_{1.90}Cl_{0.08}$)を用いた。単結晶X線回折実験は, 常温(20℃)常圧下で, 四軸型自動X線回折計(Rigaku, AFC-7S)を用いて, $2\theta_{max} = 59.72°$, 50 kV-30 mA, MoK$\alpha$線($\lambda = 0.71073$ Å)の条件で強度測定を行った。独立な78個の反射($I > 2\sigma I$)を用い, WinGXとSHELXL97を用いて結晶構造パラメータを精密化した。その結果, R1 = 7.72%, wR2 = 24.00%, GooF = 0.940で収束した。

## 結果と考察

Hassan and Grundy (1991)が報告した変調構造を持たないイタリア, Sacrofano産のアウイン(SI)の結晶構造モデルと今回の変調構造を持つEG産の結晶構造モデルを比較すると, EG産の試料では, 結晶モデルでフレームワークの酸素席が2つに分裂している点で顕著な差異が見られた。また, $SO_4^{2-}$イオンは, 両者の試料で共通して方位は1方向だった。同じソーダライトグループ鉱物に属するノゼアン ($Na_8[Al_6Si_6O_{24}]SO_4 \cdot H_2O$) にも変調構造が観測され, その原因として, 大きさと電荷の異なる$\{Na_4 \cdot SO_4\}^{2+}$と$\{Na_4 \cdot H_2O\}^{4+}$クラスターの秩序配列により, 変調構造に起因するフレームワーク構造中の酸素席が2つに分裂すると議論されている(Hassan and Buseck, 1989a)。 一方, Kuribayashi (2017)は1000℃以上に加熱したアウインの試料の変調周期が常温に戻したときに不可逆的であることから変調構造の要因は, フレームワーク構造中の四面体中のAl / Siの配列様式に起因すると報告している。

Hassan and Buseck(1989)の考えでは, Hassan et al.(2004)で報告されている変調構造をもつアウインの構造を一部説明できない。 変調を示さないアウインで見られた2つのクラスターは, フレームワーク中の酸素席に影響を与えておらず, 本試料では, 化学組成分析結果から, クラスター成分としては, $\{Na_3CaSO_4\}^{3+}$の成分が大半を占めており, 変調構造の要因としての影響は小さいと考えられる。このため, 四面体席中のAl/Siの分布様式をより正確に知る必要がある。

Keywords: Haüyne, modulated structure, framework, SC-XRD
S. Nozokido: shunichiro.nozokido.s3@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R2P-02

# GTS 型 Na チタノシリケートの $Cs^+$および $Er^{3+}$交換体の作製と陽イオン分布の検討

藤原 惠子、河田 尚美、中塚 晃彦（山口大・院創成）

# Preparation of $Cs^+$ and $Er^{3+}$ exchange forms of GTS-type Na titanosilicate and their cation distributions

Keiko Fujiwara*, Naomi Kawata, Akihiko Nakatsuka (Sci. Tech. Innov., Yamaguchi Univ.)

## 1. はじめに

マイクロポーラス結晶である GTS 型 Na チタノシリケート（Na-GTS : $Na_4[(TiO)_4(SiO_4)_3]\cdot 6H_2O$）は、4 つの $TiO_6$ 八面体が稜共有することによって 1 つのクラスターを形成し、そのクラスター同士が $SiO_4$ 四面体と頂点共有によって結合することで骨格構造を形成する。1 つの細孔内に 4 つの $Na^+$イオンと 6 つの $H_2O$ 分子が占有している。結晶構造は立方晶系から僅かに歪んだ三方晶系（$R3m$, $a$ = 7.812 Å, $\alpha$ = 88.79°）に属する。

東日本大震災による福島第一原発事故で生じた汚染水中の放射性元素のうち、放出量が多く半減期が長い Cs を効率よく回収・除去するための吸着剤の探索・開発が切望されている。また、ゼオライトなどの希土類イオン交換体は、触媒や蛍光材料として重要である。本研究では、Na-GTS の $Cs^+$および $Er^{3+}$イオン交換体を合成し、それらの陽イオン分布について検討した。

## 2. 実験

出発物質として NaOH 水溶液、高分散 $SiO_2$、$TiCl_4$ 水溶液を用い、これらを混合した後、水熱処理した。粉末 XRD の結果、得られた生成物は Na-GTS の単一相であることを確認した。この Na-GTS に CsCl 水溶液（0.01～1.0 M）または $ErC1_3$ 水溶液（0.01～0.5 M）を加え、振とう処理を行うことによってイオン交換した。振とう処理条件は、前者において 25, 40, 60 °C の各温度で 24 時間、後者において 25, 60 °C の各温度で 6 時間であった。得られた試料の構造評価には粉末 XRD、含水量の決定には TG-DTA を用いた。振とう処理後の CsCl および $ErCl_3$ 水溶液における上澄みの $Na^+$濃度を原子吸光分析で求め、$Cs^+$ 交換体 $[Na_{4(1-x)}Cs_{4x}Ti_4Si_3O_{16}\cdot nH_2O]$ および $Er^{3+}$ 交換体 $[Na_{4(1-x)}Er_{4x/3}Ti_4Si_3O_{16}\cdot nH_2O]$ のイオン交換率 $x$ を決定した。

## 3. 結果と考察

$Cs^+$交換実験では、いずれの振とう温度においても、CsCl 水溶液濃度（$C_{Cs}$）が 0.1 M までは交換率 $x$ が急激に増加するが、それ以上では $x$ の値は約 0.7 でほぼ一定となった。一方、$Er^{3+}$交換実験では、$ErCl_3$ 水溶液濃度（$C_{Er}$）が 0.1 M までは $Cs^+$交換実験と同様な交換率 $x$ の急激な増加を示すが、その後も緩やかに増加した。その結果、60 ℃での振とう処理によって、$C_{Er}$ = 0.5 M のとき $Er^{3+}$交換の最大許容量である $x$ = 1 にほぼ近い値をもつ $Er^{3+}$交換体（$x$ = 0.96）を得た。

粉末 XRD の結果、両イオン交換体とも、交換率 $x$ が高くなるにつれて、格子定数と回折ピーク強度が系統的に変化した。そこで、両イオン交換体の陽イオンが、細孔内において、どのように分布しているかを検討した。

Sr-GTS（立方晶系；空間群 $P\bar{4}3m$）の単結晶X線構造解析（Spiridonova et al., 2011）によって報告された $Sr^{2+}$席（4$e$ と 6$g$）が、擬立方構造をもつ $Cs^+$交換体と $Er^{3+}$交換体中の交換性陽イオン（$Cs^+$, $Er^{3+}$）の可能な占有席とし、いくつかの占有モデルを仮定して XRD パターンをシミュレーションした。実測の XRD パターンと比較した結果、$Cs^+$交換体中の $Cs^+$は擬立方構造における 6$g$ 席を優先的に占有するが、$Er^{3+}$交換体中の $Er^{3+}$は擬立方構造における 4$e$ と 6$g$ の両席にほぼ均等分布していることが示唆された。

Keywords: microporous crystal, hydrothermal synthesis, Er-exchange, Cs-exchange, cation distribution

*Corresponding author: keiko@yamaguchi-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# Mirabilite ($Na_2SO_4$･$10H_2O$)の結晶構造の温度依存性

池田　龍太郎*, 興野　純（筑波大学生命環境）

## Temperature dependence of crystal structure of Mirabilite

Ryutaro Ikeda and Atsushi Kyono

The temperature-dependent single-crystal X-ray diffraction measurement of mirabilite ($Na_2SO_4$･$10H_2O$) was performed in the temperature range between 213 and 303 K. Here, we report the crystal structure change of mirabilite associated with the positional disorder of the O atoms at the tetrahedral apices .

Mirabilite ($Na_2SO_4$･$10H_2O$)は物質の相変化を利用して内部に熱量を保存することができる相変化材料(Phase Change Materials, PCM)として知られている. 306K にて脱水反応によって mirabilite から無水の thenardite ($Na_2SO_4$)に変わり，283K にて水和反応によって thenardite から mirabilite に戻る. この可逆反応の際に，522 kJ/mol の熱量が吸収放出される. これは氷から水への相転移に必要な熱量の約 12 倍に相当する(Rossini et al., 1952). Mirabilite の結晶構造は，$Na(H_2O)_6$ 八面体の水分子と $SO_4$ 四面体の酸素が無秩序配置している特徴がある(Levy & Lisensky, 1978). 粉末中性子回折測定によって，mirabilite の $Na(H_2O)_6$ 八面体の水分子の無秩序対置に温度依存性があることが示された(Brand et al., 2008). しかし，$SO_4$ 四面体の無秩序配置の温度依存性については明らかになっていない. そこで本研究では，単結晶 XRD 測定を実施し，mirabilite の $SO_4$ 四面体と無秩序配置の温度依存性について詳細に調べた.

213K から 303K の範囲での単結晶 XRD 測定の結果，温度に伴って mirabilite の単位格子は *c* 軸方向に顕著な熱膨張を示したのに対し, *b* 軸方向の熱膨張は僅かであった. $SO_4$ 四面体の酸素の席占有率は，温度とともに major 成分が減少し minor 成分が増加した. また，minor 成分の $SO_4$ 四面体は膨張するのに対し，major 成分の $SO_4$ 四面体は温度上昇に伴い収縮する特徴的な挙動を示した.

Mirabilite は，温度に伴って minor 成分の $SO_4$ 四面体内の S-O 結合距離が減少するため，酸素原子は $SO_4$ 四面体体積が大きい minor 成分に移動していると考えられる. 温度変化に伴う水素原子や酸素原子の無秩序配置内での移動が, mirabilite の内部に高い熱量を保持できる要因であると考えられる.

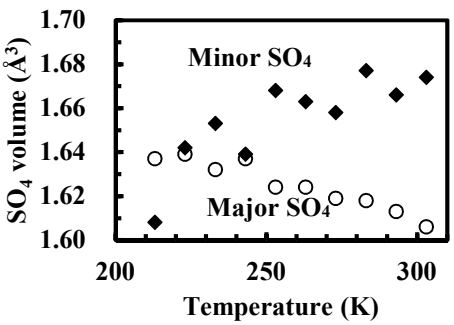



図 1　$SO_4$ 四面体体積の温度依存性

**Keyword: Mirabilite, phase change materials, single crystal X-ray diffraction**

**Correspondong author: E-mail address: ikeda1555@geol.tsukuba.ac.jp**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R2P-04

# クトナホラ石の形態変化の結晶学的解析

栗田充喜 (東北大・院理), 長瀬敏郎 (東北大・総学博), 栗林貴弘 (東北大・院理), 今井裕之 (金石造形スタジオ)

# Crystallographical analysis for morphology of kutnohorite

M. Kurita*, T. Nagase, T. Kuribayashi (Tohoku Univ.) H.Imai (Kinseki zoukei studio)

## はじめに

クトナホラ石 (kutnohorite) $CaMn(CO_3)_2$ は、空間群$R\bar{3}$の苦灰石 (dolomite) 型の結晶構造をもち、異なる陽イオン八面体席が存在する。この席をA席、B席としたとき２つの陽イオンの席占有率から陽イオン配列の秩序度が求められ、同じ組成でも秩序度によって格子定数や陽イオン八面体席内での原子間距離などが変化する (Reeder,1983)。一方で形態に着目すると同形の方解石には多くの結晶形態が報告されている。結晶形態の変化には温度、圧力、不純物など様々な要因が関係している (Sunagawa,1967)。本研究では、クトナホラ石での結晶構造の変化が結晶形態に与える影響を調べた。

## 試料と観察方法

アメリカ・ニュージャージー州フランクリン鉱山、静岡県清越鉱山そして栃木県鹿沼鉱山から産した試料を実験に使用した。全て薄片を作成し偏光顕微鏡で観察を行ない、電子マイクロプローブアナライザー(EPMA)を用いて組成分析を行なった。単結晶X線回折実験は、フランクリン鉱山産試料について四軸型X線自動回折計 (Rigaku, AFC-7S) で行った。結晶方位解析は静岡県清越鉱山と栃木県鹿沼鉱山から産した試料について、電界放射型電子顕微鏡 (JEOL JEM-7001) に付随した電子線後方散乱回折装置 (OXFORD, AZtec EBSD system) を用いて行った。

## 結果と考察

単結晶X線回折実験により得られた格子定数は$a$ = 4.8453(4) Å, $c$ = 16.761(8) Åであり、空間群$R\bar{3}$で構造精密化を行なった。($R$値は3.72 %である。A席、B席の占有率はそれぞれA席: $Ca^{2+}$ 39 %, $Mn^{2+}$ 61 %, B席: $Ca^{2+}$ 52 %, $Mn^{2+}$ 48 %である。この値は組成分析で求められた値と概ね一致する。Reeder (1983) で用いられている式を使用して求めた秩序度 $S$ = 0.143であり、これは無秩序構造寄りの値である。Peacor (1987) の結果と比較したところ秩序度が上がるにつれて (0001) 面に平行な$CO_3$平面三角形は$c$軸を軸とした回転が大きくなる。この回転は２つの陽イオンのイオン半径の差によって八面体席が歪むことで起きる。

次に結晶構造内での$CO_3$平面三角形の回転と結晶の方位関係について、EBSD法で検証した。EBSD解析に用いた試料は、外観や偏光顕微鏡下では放射状組織をもつ。EBSD解析の結果、結晶間の方位回転の軸は結晶構造解析から予想された$c$軸とは整合的ではない。多くの粒界の方位回転の軸は$c$軸に直交または斜めに交わる方向である。

今回EBSD解析を行なった試料では$CO_3$平面三角形の (0001) 面内での$c$軸を軸とした回転の影響は見られない。つまり結晶構造と結晶形態の2つの関係を繋ぐには他の要因を考慮する必要がある。

Keywords: Kutnohorite, Degree of ordering, Single-crystal X-ray diffracton, EBSD
*Corresponding author:mitsuyoshi.kurita.r2@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# Ce 添加 merrillite 型結晶の合成と発光特性

新山慎太郎*(東北大院工)，志村玲子(東北大多元研)，杉山和正(東北大金研)

# Synthesis and luminescence of Ce-doped merrillite

N. Shintaro* (Tohoku Univ), R. Simura (IMRAM, Tohoku Univ), K. Sugiyama (IMR, Tohoku Univ)

【はじめに】apatite [$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$]および merrillite [$Ca_9MgNa(PO_4)_7$]などのリン酸塩鉱物には，希土類元素が含有されていることがある．我々は，天然リン酸塩鉱物の XANES および発光分析データから希土類元素の存在形態を解明し，その置換メカニズムを応用した新規蛍光体材料の開発を行っている．

【実験および考察】リン酸塩鉱物への希土類元素の置換導入メカニズムに関してはいくつかの議論があるが，lunar merrillite に関しては，アルカリ土類金属席の一部が希土類元素に置換されている( Hughes et al. 2006)．本稿では， merrillite の希土類元素置換メカニズムを応用して作製した $Ca_9Ce□(PO_4)_7$ の解析結果を紹介する．試料は，目的組成に計量した原料粉末を圧粉成型して電気炉で仮焼結した．得られた試料を粉砕した後再度成型して 1300℃で焼結することで作製した．焼結後の試料は白色～緑白色を呈する 120 $\mu$ m 程度の結晶粒から構成されていた．３次元蛍光発光測定を行った結果，励起光 220-340nm で 320-400nm の $Ce^{3+}$ の 5*d*-4*f* 遷移の紫色の蛍光発光が確認された（図１）．さらに図２に示すように，本試料の Ce $L_{III}$ 吸収端 XANES プロファイルは，$Ce^{3+}PO_4$ と類似し，試料中の Ce は 3 価が支配的であることも判明した．単結晶構造解析を行った結果，本試料は merrillite 型 $Ca_9Ce□(PO_4)_7$( *R*3*c* *a*=10.500(2), *c*=37.564(4) )が主成分であることも判明している．当日は結晶構造の詳細と固溶 Ce の存在形態との関連について議論する予定である．

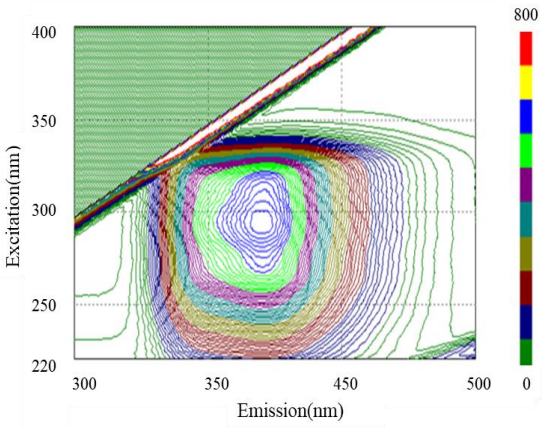



図１． ３次元蛍光発光マップ

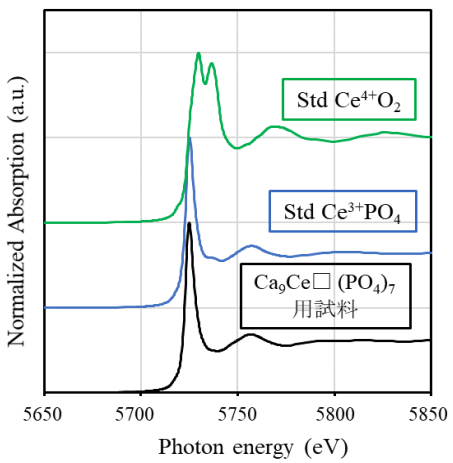



図２． XANES 測定結果

Keywords: apatite, phosphate, cerium, photoluminescence X-ray diffraction, XAFS
* Shintaro Niiyama: shintaro.niiyama@imr.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R2P-06

# Magnetite-maghemite-hematite 相転移メカニズム

杵渕伊吹*・佐野喜成・興野純（筑波大・院・生命）

# Study on magnetite-maghemite-hematite transformation

Ibuki Kinebuchi*, Yosinari Sano, Atsushi kyono (Univ Tsukuba, Life)

地殻中に普遍的に存在する magnetite ($Fe_3O_4$)は $Fe^{2+}$が $Fe^{3+}$に酸化することによって hematite ($\alpha$-$Fe_2O_3$)に相転移する. この酸化過程において, magnetite と同形構造である maghemite ($\gamma$-$Fe_2O_3$)が中間相として形成される. Maghemite は magnetite 中の八面体席の一部が空孔になったものであり, magnetite から maghematite への局所構造の連続的な変化については未解明な部分が多い. そこで本研究では, magnetite から maghemite を経て hematite まで相転移するメカニズムを解明するために, 熱重量･示差熱分析, 高温 in-situ 粉末 XRD 測定, X 線吸収微細構造(XAFS)の高温 ex-situ および in-situ 測定を行って, magnetite の酸化過程での局所構造変化を調べた.

熱重量･示差熱分析の結果, magnetite には加熱開始と同時に 400 ºC まで連続的な発熱と重量増加が観察され, その後 500 ºC までは発熱量は減少し重量は一定となった. 高温 in-situ 粉末 XRD のリートベルト解析から, 加熱に伴う $Fe_{oct}$ の席占有率の減少と(110)(210)(211)面のピークの出現, 増加が分かる. より高温になることで hematite のピークが出現, 増加し, maghemite のピークが減少していた. Ex-situ EXAFS の動径構造関数から, 250 ºC まで加熱した magnetite では, 出発物質の magnetite と比較して $Fe_{oct}$-O, $Fe_{oct}$-$Fe_{oct}$, $Fe_{tet}$-$Fe_{oct}$t のピークが弱く, Fe-O の平均結合距離が短いことが分かった. また, 500 ºC まで加熱した magnetite では, hematite に特徴的なピークが強くなっていた. 500 ºC での高温 in-situ XANES の結果から, Fe の平均酸化数は加熱開始から 135 分まで連続的に増加し, 135 分以降はほぼ一定となることが明らかになった. また, 高温 in-situ EXAFS の動径構造関数から, 加熱開始から 70 分までは magnetite の Fe-O, $Fe_{oct}$-$Fe_{oct}$, $Fe_{tet}$-$Fe_{oct}$ のピークが連続的に減少した. その後, 80 分以降から hematite に対応するピークが出現し始めた.

以上の結果から, magnetite は, 加熱によってはじめに八面体席の $Fe^{2+}$が拡散し八面体席の一部が空孔となり maghemite に相転移する. その後, maghemite の空孔となった八面体席が再び Fe の八面体配位を形成し, hematite に相転移していると考えられる.

Keywords: magnetite, maghemite, hematite, phase transformation

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 斜長石中の針状磁鉄鉱離溶相の鉱物学的研究

菅谷 崚*[1]，佐藤 雅彦[1]，小暮 敏博[1]（1.東大・院理）

# Mineralogical study on acicular magnetite exsolution in plagioclase

Ryo Sugaya*1, Masahiko Sato1, Toshihiro Kogure 1(1. Univ. Tokyo, Sci.)

Recently, acicular magnetite exsolution in plagioclase has attracted paleomagnetism researchers because of its possibility of a good remanent carrier (Kato et al. 2018). Information of magnetic minerals such as formation temperature is essential in order to utilize them to paleomagnetism, but the formation condition of the acicular magnetite is not well understood. In this study, we observed the fine structure of the acicular magnetite in plagioclase from Duluth Complex, Minnesota, by using electron microscopy (SEM, TEM) including EBSD analysis. We found that the acicular magnetite is divided into more fine segments by ilmenite lamella, and that K-feldspar and biotite accompany the acicular magnetite. The biotite is considered to be a reaction product of magnetite and K-feldspar.

近年古地磁気学分野では，斜長石中に離溶した針状の磁鉄鉱が有用な残留磁化担体になるのではないかと注目されており，それを用いた古地磁気測定が行われている(Kato et al. 2018)．信頼度の高い古地磁気記録を得るためには磁性鉱物の生成温度などその形成条件に関する情報が必要であるが，この針状磁鉄鉱に関しては未解明な部分が多い．そこで本研究では主に電子顕微鏡により，その詳細な鉱物学的解析を行った．

試料は磁気測定によりほぼ化学量論的な磁鉄鉱を含んでいるとされたミネソタ州のダルースコンプレックスの斜長岩を用いた．光学顕微鏡から SEM，TEM と空間分解能を上げながら離溶組織の微細構造観察を行った．SEM では形状の観察とともに X 線組成分析及び電子後方散乱回折(EBSD)を行い，さらに FIB により薄片試料を作製し，TEM 内で電子回折等を用いた結晶学的解析を行った．

微細構造観察から針状離溶組織は内部でイルメナイトのラメラによりさらに小さい磁鉄鉱に細分化されており，またこの針状結晶に沿って常にカリ長石と黒雲母が共存することが明らかになった．特に黒雲母は，磁鉄鉱の{111}面に対して(001)面が平行となるように結晶学的関係を持って存在しており，磁鉄鉱とカリ長石の反応生成物であると考えられ，この反応の温度を求めることで磁鉄鉱の生成温度の下限を決めることができる可能性がある．そこで我々はイルメナイトの存在によりこの系が Ti に飽和していると仮定し，Ti-in-biotite 温度計を用いて温度の推定を試みた．

Keywords: Magnetite exsolution, plagioclase, paleomagnetism, biotite

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R2P-08

# 土橋セリサイトに含まれるＸ線回折で見えない鉱物

武内浩一，木須一正（長崎窯技センター），上原誠一郎(九大・理)，
桑原義博(九大・比文)，大和田朗（産総研），武部将治（土橋鉱山(株)）

# Possible amorphous mineral included in the Tsuchihashi sericite rock

K. Takeuchi*, K. Kisu (Ceramic Research Center of Nagasaki), S. Uehara ,
Y. Kuwahara (Kyushu Univ.), A. Ohwada(AIST), M. Takebe(Tsuchihashi mining Co., Ltd)

【はじめに】　土橋セリサイトは岡山県備前市の土橋鉱山から産出し、陶磁器原料に利用されている。土橋鉱山は白亜紀の流紋岩質溶結凝灰岩が熱水変質を受けて生成した鉱床で、セリサイトの他にパイロフィライトと珪石を産出する[1)]。土橋セリサイトの特長は鉄分が少なく、微粒子で構成されており、可塑性に富むことである[2)]。可塑性の発現と鉱物学的特性の関係を研究するなかで、土橋セリサイトの化学組成が他地域のセリサイトに比べてカリ成分が少ない現象が認められた。その原因を明らかにするため、セリサイト粒子の詳細な観察を行った。

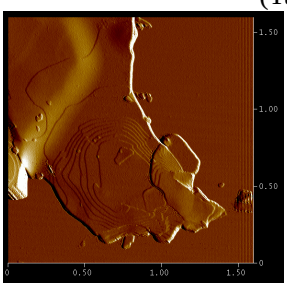
【実験】　①試料　実験に用いた試料は、L5 レベル南 1 区入り口付近で採取された「高品位鉱」で、セリサイトの純度が高い特級品の原料であり、産出は限られている。②実験方法　乾式研磨法で薄片を作製し偏光顕微鏡観察を行った。原鉱を粉砕して蛍光Ｘ線分析装置(XRF)で化学分析を、粉末Ｘ線回折(XRD)で構成鉱物の定性を行った。粗い粉砕物を超音波分散処理を行い、水ひで 2 $\mu$ m 以下の粒子を集めて定方位試料を作製した．同様に超音波分散でセリサイト粒子の懸濁液を作製して原子間力顕微鏡(AFM)観察用の試料とした。また、原鉱の一部をめのう乳鉢で粉砕してメッシュ上に掬い透過型電子顕微鏡(TEM)観察用の試料とした。以上のほかに、熱分析と赤外線吸収の実験を行った。

【結果と考察】　化学分析の結果を表 1 に示す。表には比較のため同時に分析した日本粘土学会参考試料の結果も示している。土橋セリサイトは参考試料に比べて $K_2O$ が約 2%少ない。化学分析を行った試料の XRD 測定では、セリサイト以外の回折ピークは認められなかった。偏光顕微鏡観察では 1mm 以下の石英粒子が小数認められた。AFM 像を図 1 に示す。不定形で歪な板状粒子が多く、成長ステップ模様の形状も circular 状が多い。平均粒子厚さは 20-60nm、平均ステップ間隔は 40-100nm であった。成長ステップ模様からは 1M ポリタイプが多いと考えられる。TEM 像を図 2 に示す。TEM 観察から推定される粒子の厚さは数十 nm で、AFM 観察の結果と一致している。図 2 には薄板状のセリサイトだけでなく、100nm 以下の粒状物質が多く存在している。これらの粒子からは明瞭な電子線回折が得られておらず、Si と Al を含んでいるが詳細な化学組成は不明である。この粒状物質が XRD で検出できない鉱物の可能性がある。

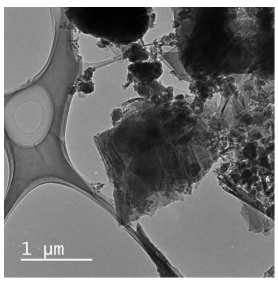
1)橋本ら(2019)資源地質学会第 69 回年会 50.
2) 武内ら(2018) 第 62 回粘土科学討論会 146-147.

(Table 1) XRF analysis
(wt. %)

| | (1) | (2) |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 49.78 | 47.32 |
| $TiO_2$ | 0.10 | 0.23 |
| $Al_2O_3$ | 36.59 | 29.36 |
| $Fe_2O_3$ | 0.05 | 4.19 |
| MgO | 0.07 | 1.06 |
| CaO | 0.20 | 1.99 |
| $Na_2O$ | 0.14 | 0.11 |
| $K_2O$ | 7.19 | 9.16 |
| Ig. loss | 5.83 | 6.29 |
| Total | 99.95 | 99.71 |
| (1)土橋セリサイト | | |
| (2)日本粘土学会参考試料(JCSS-5102) | | |




(Fig. 1)　AFM image




(Fig. 2) TEM image

Keywords: sericite, AFM, TEM, amorphous
E-mail address: Koichi.Takeuchi@mc2.seikyou.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# ビビアナイトにおける生成条件と鉄の酸化数

千葉康平*[1], 大嶋江利子[1], 高橋美咲[1], 杉山和正[2]（1. 一関高専，2. 東北大金研）

# Synthesis Condition and Iron Valence in Vivianite

Kohei CHIBA*[1], Eriko OHSHIMA[1], Misaki TAKAHASHI[1], Kazumasa SUGIYAMA[2]
(1. NIT, Ichinoseki Col.), (2. Tohoku Univ., IMR)

Vivianite is known as an iron (II) phosphate octahydrate. Metavivianite is known as the oxidized vivianite. We synthesized iron phosphate in virous temperature conditions. As a result, we discovered metavivianite obtained in 60 degrees. Above 70 degrees, vivianite and metavivianite are not obtained. It's considered that metavivianite is the metastable phase.

## 1．緒言

2価の鉄のリン酸鉄鉱物のvivianiteは発見時は無色であるが，すぐに青色に変化することが知られている．これは$Fe^{2+}$の空気酸化によるものとされている．またvivianiteの鉄の一部が酸化されたmetavivianiteがあり，天然ではvivianiteとmetavivianiteは共存する．

本研究では，常圧で水が存在できる範囲で反応温度を変化させ生成するリン酸鉄の変化を調べた．その結果をもとに vivianite その類縁化合物の関係を考察した．

## 2．実験

$(NH_4)_2HPO_4$ 0.6 g を水 18 mL に溶解し，それに $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 1.8 g を加え 50～90 ℃で反応させた．生成物は XRD で同定を行い，XAFS で鉄の状態分析を行った．

## 3．結果及び考察

反応物を混合するとすぐに白色沈殿が生成したが，これは徐々に青または緑色に変化した．反応温度が 50 ℃以下では青色，60 ℃以上では緑色となった．反応温度を変えて生成した試料の粉末 XRD パターンを図 1 に示す．

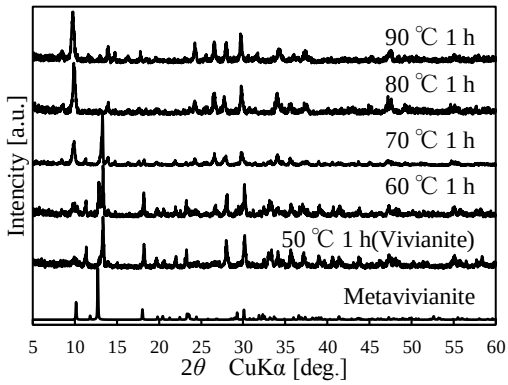



図 1. 実験で得られた試料の XRD パターン

図 1 より 50 ℃では vivianite，60 ℃で vivianite と metavivianite の混合物，70 ℃以上で両者と異なる化合物が得られた．60 ℃で長時間反応させた場合や 60 ℃前半で反応させた場合でも，metavivianite の単相は得られなかった．つまり metavivianite の生成温度範囲は以上に狭く，metavivianite は準安定相でありと考えられる．また，60 ℃以下での生成物中の鉄は 2 価，70 ℃以上では 3 価の成分があることも分かった．

Keywords: Vivianite, Metavivianite, Iron Phosphate

Corresponding author: Kohei CHIBA, E-mail address: a18808@g.ichinoseki.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 固溶体の成長：選択的吸着とキンクカイネティックス

北村雅夫*・勝野喜以子[1]・入澤寿美[2]
[1]成蹊大学、[2]学習院大学計算機センター

# Growth of a solid solution crystal: selective adsorption and kink kinetics

Masao Kitamura*, Kiiko Katsuno (Seikei Univ.)[1], Toshiharu Irisawa (Gakushuinn Univ.)[2]

A new mechanism consisting of 'selective adsorption' on kink sites and the element exchange between surface sites and surrounding media is proposed as the most important process for predicting the bulk composition of a growing solid solution crystal.

はじめに：多くの鉱物は固溶体を形成する。成長時にどのような組成を持つかについての詳細な研究は、実験・理論共にあまり進展していない。理論的予測が十分に行えない最大の理由は、界面からバルクへの組成変化の微視的な立場のデーターが得られていなかったためである。先年、モンテカルロ（MC）シミュレーションによる研究を行い詳細で微視的なデーターを得た。今回、固溶体界面上での吸着現象とキンクカイネティックスを考察し、MC データーの理論的解析を行った。

制約条件：MC 計算から得られた主な制約は（１）母相と界面との原子の交換反応は生じるがバルクとの直接の交換反応は生じていない（２）キンクの前進によって界面組成からバルク組成に変化する（３）界面組成からバルクへの組成変化の過飽和度依存性は低過飽和度と中過飽和度では異なる（高過飽和度では変化しない）である。

Keywords: crystal growth theory, solid solution

*Corresponding author: mkitamura@td6.so-net.ne.jp

理論解析：界面での交換反応とキンクの前進によってバルク組成への変化が生じるという新しい機構を考察した。まず、界面のサイトではアダトムの選択的吸着（界面が平衡組成の時には吸着されたサイトはバルク平衡組成を持つ）が生じることを明らかにした。キンクサイトでは選択的吸着がキンクの前進をもたらすのでキンク直下となるバルクサイトはバルク平衡組成を持つこととなる。一方、吸着されていないキンクサイトが母相との交換反応により界面平衡組成になる場合、同様なキンクの前進が生じバルク平衡組成への変化をもたらす。交換反応速度は過飽和度により異なり、低過飽和度では 2 種類の原子が、中過飽和度では結合の弱い原子のみが関与する。

結論：成長時の界面組成からバルク組成への変化は、前進するキンクでの組成選択と界面―母相間の交換反応の２つのプロセスの複合した機構によってもたらされる。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R2P-11

# トラピッチェ・エメラルドの成長プロセス

海野智洋，栗林貴弘（東北大院理），長瀬敏郎（東北大総学博）

# Growth process of low-symmetry trapiche emeralds

Chihiro Kaino*, Takahiro Kuribayashi, Toshiro Nagase (Tohoku Univ.)

**1. はじめに**　コロンビア産のベリル($Be_3Al_2Si_6O_{18}$)はトラピッチェ・エメラルドという特殊な成長組織を有しており、この組織は中心の六角形のコア部と、そこから伸びる六本のアーム部からなる。その成長様式に関しては様々な研究が行われている(Isabella *et al*., 2015)。これまでの我々の研究により、アーム部に低対称を示す部分が含まれていることがX線構造解析から示唆された。エメラルドにおいても、江森ほか(2002)によって同様の報告がなされている。トラピッチェ・エメラルドの成長プロセスにおいて、低対称化した結晶がアーム部に含まれていることを考慮した先行研究はない。そこで本研究では、トラピッチェ・エメラルドに含まれる対称性の異なる２つの領域と成長プロセスとの関係について考察をおこなう。

**2. 実　験**　本研究では、コロンビア、ペナスブランカス産のトラピッチェ・エメラルドを用意し、偏光顕微鏡観察、化学組成分析、走査型電子顕微鏡(SEM)観察および SEM 付属のカソードルミネッセンス(CL, Gatan 製 MiniCL)による観察をおこなった。

**3. 結果と考察**　試料の *c* 軸に垂直な薄片の偏光顕微鏡観察では、アーム部に消光するバンドと常に暗黒なバンドがみられ、対称性が異なる部分が含まれていた。CL での観察で明暗のバンドが交互に並んだ組織が確認でき(Fig.1)、BSE 像の明暗と対応していた。組成分析の結果、アーム部の暗部には Na と Mg が明部より多く含まれる。またアーム部の明暗の互層がそれぞれの組成を保ったまま、ある方向から〈210〉へと曲がっている組織が部分的にみられる。このことからアーム部は成長面に依存する成長ではないことが示唆される。SEM 観察ではアーム部の{10$\bar{1}$0}表面に数 μmの凹凸が無数にみられる。同一の視野を CL で観察したところ、暗部が凹部に対応する。

以上の観察結果から、アーム部は対称性の異なる２つの結晶がコアの{10$\bar{1}$0}面上でセル成長をすることで形成していると考えられる。

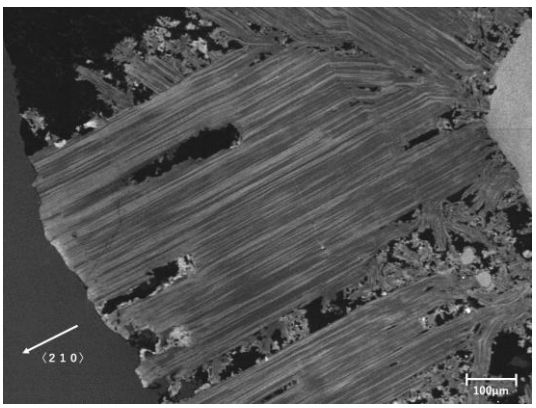



Figure 1. 試料のアーム部の CL イメージ

**Keywords**: trapiche emerald, cathodoluminescence, cell growth

***Corresponding author**: chihiro.kaino.s3@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# パイライト型構造の電子状態

米山　瑠華*　（山梨大・工）、則竹　史哉（山梨大・院総合研究部、理研）

# Electronic state of pyrite structure

Ruka YONEYAMA* (University of Yamanashi)

Fumiya NORITAKE-(University of Yamanashi, RIKEN)

Pyrite structure (MX2) has simple cubic lattice and is characterized by X-X bonding, MX6 octahedron, and a X element making bond with 3 M elements and a X element. Hauerite is a pyrite structure mineral with composition of MnS2.It is known that the hauerite has a long bond distance compared with pyrite-type structure minerals composed of other transition metal elements. In this study, molecular orbital calculation was performed using MP2 method and aug-cc-pVTZ basis functions on the cluster (H6S12M, M = Mn, Fe, Co, Ni) as part of the pyrite-type structured crystal. As a result of structural optimization, the elongation of bonding distance between Mn and S comparing with other transition metal elements and high-spin state of manganese consistent with experiments were reproduced.

$MX_2$ (M は主として遷移金属元素、X は主としてカルコゲン元素)の化学組成を持つパイライト型構造は単純立方格子を持ち、X 元素同士の結合、1 つの M 元素に X 元素が 6 個配位した八面体、1 つの X 元素に対して 3 つの M 元素と 1 つの X 元素が結合していることで特徴づけられる(Eliot, 1960)。パイライト型構造のうち遷移金属元素の席がマンガンで構成されるハウエライトは他の遷移金属元素によるパイライト型構造と比較して M-X 結合距離が長いことが知られている(Tokuda et al.,2019)。

本研究では結晶構造の一部を取り出したクラスター($H_6S_{12}M$, M = Mn, Fe, Co, Ni)に対して分子軌道計算を実施した。分子軌道計算は Schrödinger 方程式を数値的に解く手法で分子系の電子状態を非経験的に求めることができる。

構造最適化を行った結果、密度汎関数法である PBE 法ではすべての M-X 距離がほぼ等しくなるが MP2 法および aug-cc-pVTZ 基底関数を用いることでマンガンと硫黄の結合距離が他の遷移金属元素に比べ長いことを再現した。また軌道解析の結果から他の実験と調和的であるマンガンのハイスピン状態を確認した。本講演ではさらに詳細な議論を軌道解析に基づいて行う。

Keywords: Pyrite, Molecular Orbital Calculations

*Corresponding author: t16am035@yamanashi.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ポスター | R5: 地球外物質

2019年9月20日(金) 9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

**R5: 地球外物質**

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[R5P-01] Acfer094隕石中の宇宙シンプレクタイトのTEM観察

*松本 恵[1]、土`山 明[2,3]、三宅 亮[4]、富岡 尚敬[5]、伊藤 元雄[5]、兒玉 優[6]、松野 淳也[4]、安武 正展[2]、中藤 亜衣子[7]、上杉 健太朗[8]、竹内 晃久[8]、中野 司[9]、バッカロ エピファニオ[10] (1. 東北大、2. 立命館大、3. GIG/CAS、4. 京都大、5. JAMSTEC、6. マリンワークジャパン、7. JAXA/ISAS、8. JASRI/SPring-8、9. 産総研、10. ロンドン自然史博物館)

---

[R5P-02] Hコンドライト隕石の変成温度解析：改良型Lindsley輝石温度計による試み

*上原 亮[1]、桑原 義博[2]、島田 和彦[4]、中牟田 義博[3]、上原 誠一郎[4]、足立 達朗[5] (1. 九大・院地球社会、2. 九大・比文、3. 九大・博物館、4. 九大・理、5. 九大・埋文)

# Acfer094 隕石中の宇宙シンプレクタイトの TEM 観察

松本恵* (東北大), 土`山明 (立命館大, GIG/CAS), 三宅亮 (京都大),
富岡尚敬, 伊藤元雄 (JAMSTEC), 兒玉優 (マリンワークジャパン),
松野淳也 (京都大), 安武正展 (立命館大), 中藤亜衣子 (JAXA/ISAS),
上杉健太朗, 竹内晃久 (JASRI/SPring-8), 中野司 (産総研),
バッカロ エピファニオ (ロンドン自然史博物館)

# TEM observations of a cosmic symplectite in the Acfer 094 meteorite

M. Matsumoto* (Tohoku Univ.), A. Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ., GIG/CAS),
A. Miyake (Kyoto Univ.), N. Tomioka, M. Ito, (JAMSTEC), Y. Kodama (Marine Works Japan),
J. Matsuno (Kyoto Univ.), M. Yasutake (Ritsumeikan Univ.), A. Nakato (JAXA/ISAS),
K. Uesugi, A. Takeuchi (JASRI/SPring-8), T. Nakano (GSJ/AIST), E. Vaccaro (NHM in London)

## はじめに

Acfer 094 隕石には、宇宙シンプレクタイト（COS: cosmic symplectite）と呼ばれる Fe-O-S-Ni に富む粒子（数–数十 μm）が含まれている。この粒子は、マグネタイトとペントランダイトからなる数十 nm スケールのシンプレクタイト組織を示し、太陽系物質の中で最も重い酸素同位体組成をもつ[1,2]。

COS は、前駆の Fe-Ni 金属, 硫化物粒子が初期太陽系の $^{17}O$, $^{18}O$ に富む水や水蒸気により酸化され形成されたと考えられているが[2]、岩石鉱物学的な研究は少なく、その形成過程には未だ議論の余地がある。本研究では、Acfer 094 隕石研磨片中に見出した一つの COS 粒子[3]について詳細な TEM 観察を行い、新たな COS の産状を発見したので報告する。

## 試料と手法

本研究の COS 粒子は、事前の NanoSIMS 分析から、先行研究と同様に重い酸素同位体組成（$\delta^{17}O = 159.06 \pm 5.79$ (1σ) ‰, $\delta^{18}O = 166.31 \pm 3.18$ (1σ) ‰）をもつ[3]。また、SPring-8 BL 47XU で行った X 線 CT 撮影から、粒子内部に微小なインクルージョンを含む[3]。インクルージョンが含まれる空間は COS 粒子内で閉じており、クラックは見られないことから、COS 粒子形成時に取り込まれたものと考えられる。本研究では、集束イオンビーム（FIB）を用いてインクルージョンを含む超薄断面試料を作製し、TEM 観察を行った。

## 結果と考察

COS 粒子は、二次元断面では、インクルージョン（直径 ~2 μm）とそれを殻状に囲む Fe-O-S-Ni 層（厚さ 1–2 μm）からなる、コアーマントル構造を示す。これと似た構造（空隙とそれを殻状に囲む Fe-O-S-Ni 層）を示す COS 粒子は、Abe et al. (2017)[4]の SEM 観察により多数確認されている。これらの粒子は、元々在ったインクルージョンが、試料研磨時に脱離した可能性がある。

電子線回折および化学組成分析の結果、インクルージョンは、Na 硫酸塩の単結晶であることがわかった。

また Fe-O-S-Ni 層の STEM-EDS 元素マップ分析を行ったところ、インクルージョンをコアとする同心円状の 3 層構造をもつことがわかった。コア側から、①やや粗粒（100–200 nm）の FeS とマグネタイトからなる層、②マグネタイトとペントランダイトからなる数十 nm スケールのシンプレクタイト組織層、③Fe 酸化物のみからなる層である。②の層は、マグネタイトの結晶方位に着目すると、径 100–300 nm のドメイン構造をもつ。このドメイン構造は、元々在ったこのサイズの Fe-Ni 金属粒子等を置き換えて形成したと考えられる。

Na 硫酸塩による金属鉄の腐食を模擬した実験[e.g.,5]では、金属鉄板と Na 硫酸塩を接触させ $N_2$-$O_2$-$SO_2$ ガス中で加熱し（>600℃）、接触面に①に似た FeS と Fe 酸化物の混合層や、②に似た FeS－Fe 酸化物ラメラが形成したことを報告している。本研究の COS 粒子は、これと同様の反応過程を経て形成した可能性がある。このような高温条件下での metal-sulfate 反応は、COS が隕石母天体に集積する前に起こった可能性が高い。一方、最表面の③Fe 酸化物層は、母天体集積後の水質変成により COS 粒子表面が酸化され形成した可能性がある。

これらの形成過程は他の多くの COS 粒子にも当てはまる可能性があり、起源を推定する重要な手掛かりになると考えている。

## 参考文献

[1] Sakamoto et al. (2007), *Science* **317**, 231–233. [2] Seto et al. (2008), *GCA* **72**, 2723–2734. [3] Matsumoto et al. (2019), *JpGU*, PPS07-11. [4] Abe et al. (2017), *Geochem. J.* **51**, 3–15. [5] Buscaglia et al. (1990), *Corros. Sci.* **30**, 327–349.

**Keywords:** Acfer 094 隕石, 宇宙シンプレクタイト, metal-sulfate interaction, TEM
***Corresponding author:** m_matsumoto@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R5P-02

# Hコンドライト隕石の変成温度解析：改良型 Lindsley 輝石温度計による試み

上原亮*(九大・院地球社会)，桑原義博(九大・比文)，島田和彦(九大・理)
中牟田義博(九大・博物館)，上原誠一郎(九大・理)，足立達朗(九大・埋文)

# Metamorphic temperature analysis of H chondrites: An attempt using revised Lindsley's pyroxene thermometer

Ryo Uehara*(Kyushu Uni. ISGS), Yoshihiro Kuwahara (Kyushu Uni. SCS),
Kazuhiko Shimada (Kyushu Uni. Sci), Yoshihiro Nakamuta (Kyushu Uni. Mus),
Seiichiro Uehara (Kyushu Uni. Sci), Tatsuro Adachi (Kyushu Uni. Arc)

これまで小惑星の熱進化モデルについては多くの研究者が議論を展開してきた（Wood, 1979; Miyamoto et al., 1981; Yomogida and Matsui., 1984; McSween et al., 2002）。この熱進化モデルを考える上での重要なパラメーターとして，コンドライト隕石母天体の最高到達温度，年代，冷却速度などが挙げられている（McSween et al., 2002）。これらのパラメーターの中でも，母天体内部の最高到達温度については様々な地質温度計を用いて求められてきた（Olsen and Bunch, 1984; Nakamuta and Motomura., 1999; Kessel et al., 2002; Slater-Reynolds and McSween., 2005）。中でも， Lindsley (1983)による輝石温度計は他の温度計とは違い，同じ隕石内で斜方輝石(Opx)と単斜輝石(Cpx)の各々から温度を求めることができることから広く用いられてきた。しかし，これまで報告された単斜–斜方輝石間の温度差が 50～100°C程度と大きいことから，斜方輝石と単斜輝石で得られる温度のどちらが実際の変成温度を表しているのか，多くの議論がなされてきた。これを受けて，Nakamuta et al . (2017) は隕石中に存在する単斜輝石にコスモクロア輝石成分を考慮し，従来の Lindsley 輝石温度計にその成分を加えた改良型 Lindsley 輝石温度計を提案した。これにより，LL コンドライト隕石中の単斜輝石と斜方輝石から得られた変成温度の差が 20°C未満と,従来の輝石温度計を用いた先行研究の結果より精度の高い結果が得られることを報告した。本研究では Nakamuta et al. (2017) が考案した改良型 Lindsley 輝石温度計を用いて，H グループに属する変成度の異なる 4 タイプの隕石の変成温度の推定を行った。ここでは，その結果について報告する。

Keyword: H chondrite, Lindsley pyroxene thermometer, Kosmoclor, Peak temperature, Onion-shell model
*Corresponding author: Uehara.ryo.811@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ポスター | R8: 変成岩とテクトニクス

2019年9月20日(金) 9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

**R8: 変成岩とテクトニクス**

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[R8P-01] Mineralogical Heterogeneity of *UHP* garnet peridotite in the Bohemian Massif, Czech Republic

*Juliah Wangari Muriuki[1], Daisuke Nakamura[1], Takao Hirajima[2], Martin Svojtka [3] (1. Okayama Uni., 2. Kyoto Uni. , 3. Institute of Geology CAS)

---

[R8P-02] 中国蘇魯地域北東部に産するザクロ石カンラン岩の温度圧力履歴の推定
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*老川 柚[1,2]、中村 大輔[1]、平島 崇男[2]、森下 知晃[3]、田村 明弘[3]、山根 創[1] (1. 岡山大・院理、2. 京都大・院理、3. 金沢大・院理)

---

[R8P-03] Impure metachertに見られる流体・変形活動史と浅部沈み込み帯の肖像

*薮田 渉[1]、平島 崇男[1] (1. 京大・院理学)

---

[R8P-04] 福岡県宗像市南西部市境域に産する緑色結晶片岩

*棟上 俊二[1] (1. 福岡教育大学)

---

[R8P-05] 佐賀県神埼市に産する変成岩の化学組成

*宮本 知治[1] (1. 九州大学)

---

[R8P-06] 南極大陸産超高温変成岩中の輝石の微細組織の特徴

*藤 昇一[1]、宮本 知治[2] (1. 福岡大・理、2. 九州大・理)

---

[R8P-07] 東南極セール・ロンダーネ山地北部に産するFe-Alに富むグラニュライトの変成組織とザクロ石REEの相違

*馬場 壮太郎[1]、小山内 康人[2]、中野 伸彦[2]、外田 智千[3]、足立 達朗[2]、豊島 剛志[4] (1. 琉球大学・教育、2. 九州大学・比文、3. 国立極地研究所、4. 新潟大学・理)

---

[R8P-08] **東南極セール・ロンダーネ山地の泥質片麻岩から見出されたコランダムと石英包有物の産状とその解釈**

*外田 智千[1,2]、小山内 康人[3]、中野 伸彦[3]、足立 達朗[3]、豊島 剛志[4]、馬場 壮太郎[5] (1. 国立極地研究所、2. 総合研究大学院大学、3. 九州大学、4. 新潟大学、5. 琉球大学)

---

[R8P-09] **東南極ドロンイングモードランド東部の地質：スリランカとのリンク**

白石 和行[1]、*外田 智千[1,2]、廣井 美邦[1,3]、野木 義史[1,2]、本吉 洋一[1,2] (1. 国立極地研究所、2. 総合研究大学院大学、3. 千葉大学)

---

[R8P-10] 西南日本九州北部に分布する三郡変成帯結晶片岩の砕屑性ジルコン後背地の多様性

*北野 一平[1]、小山内 康人[1]、中野 伸彦[1]、足立 達朗[1] (1. 九大・比文)

---

[R8P-11] Pressure–temperature condition of pelitic gneisses from the Mutis Metamorphic Complex, Timor Island, Indonesia

*Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1], Nugroho Imam Setiawan[2] (1. Kyushu University, 2. Universitas Gadjah Mada)

---

[R8P-12] インド東ガーツ造山帯西縁境界に露出するコランダムを含むグラニュライトの反応微細組織観察

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*佐藤 史彦[1]、ダス カウシク[1] (1. 広島大・院理)

[R8P-13] 鏡肌を構成する物質の変形特性

*安東 淳一[1]、富岡 尚敬[2]、鍵 裕之[3]、廣瀬 丈洋[2] (1. 広島大・院理、2. JAMSTEC・高知コア研、3. 東大・院理)

[R8P-14] 福岡県篠栗地域に露出するアンチゴライト蛇紋岩の変形特性

*岩﨑 夕季[1]、安東 淳一[1]、Kaushik Das[1]、Sarkar Dyuti[1]、上原 誠一郎[2]、大藤 弘明[3] (1. 広島大・院理、2. 九州大、3. 愛媛大)

[R8P-15] 長野県大鹿村地域の中央構造線に分布する低温型マイロナイトとphylloniteの形成ステージの制約

*中村 佳博[1] (1. 産総研)

[R8P-16] モナザイト・ゼノタイムCHIME岩石年代学による隠岐片麻岩の複変成履歴

*遠藤 俊祐[1]、吉田 宏[1] (1. 島根大)

R8P-01

# チェコ共和国、ボヘミアの山塊における超高圧ざくろ石かんらん岩の鉱物学的不均一性

ムリウキ・ジュリア*、中村大輔（岡山大学）、平島崇男（京都大）、マルチンースフォイッカ（チェコ科学アカデミー）

# Mineralogical Heterogeneity of *UHP* garnet peridotite in the Bohemian Massif, Czech Republic

Juliah MURIUKI*, Daisuke NAKAMURA (Okayama Univ.), Takao HIRAJIMA (Kyoto Univ.), Martin SVOJTKA (Czech Academy of Sciences)

Previous studies on Nové Dvory garnet peridotites indicated that they lacked spinel and experienced decompression with significant cooling after the peak pressure-temperature (*P-T*) conditions of about 5.5 GPa and 1200 ºC (Medaris et al., 2005). Our petrographic study revealed the occurrence of Al- and Cr-rich spinel, Na- and Fe-poorer clinopyroxene than previously reported and chemical heterogeneity in garnet. We classified the garnet peridotites into three types, based on the chemical compositions of garnet and constituent minerals, as follows:

Type A - includes Cr-rich spinel and Cr-rich garnet,
Type B - includes Cr-poor garnet and no spinel, and
Type C - includes Cr-rich and Al-rich spinel and both Cr-rich and Cr-poor garnet.

The finding of spinel relics {Cr# = Cr/(Cr+Al) ~ 0.6–0.7} in garnet from the type A peridotite suggests that the Nové Dvory peridotite body might have been located at relatively shallow depths prior to ultrahigh-pressure metamorphic stage of > 4 GPa. A type C sample contains an Al-spinel inclusion in garnet, Cr-spinel in the matrix, relatively Cr-rich (~ 0.15 atoms per formula unit (apfu) based on O = 12) and Cr-poor (~ 0.06 apfu) garnet in the same thin section. Garnet in type A tends to be richer in Cr (0.10–0.27 apfu) than garnet in type B (0.06–0.12 apfu). The Al-rich spinel inclusion in garnet is surrounded by symplectite comprising of serpentine and is possibly an unreacted relic of an earlier low-*P* stage.

We used Cr-in-clinopyroxene barometer, $Fe^{2+}$-Mg exchange-type geothermometers and garnet-orthopyroxene barometer to establish the *P-T* history of the garnet peridotites. Core compositions of clinopyroxene inclusions in garnet and the host garnet yielded 978–1002 ºC, 4.87–5.12 GPa (type B) and 1034ºC, 4.93 GPa (type C), as Stage I. As garnet in type A peridotite lacks clinopyroxene inclusions, the pairs of core compositions of the matrix garnet and pyroxenes yielded 1005–1072 ºC, 4.42–4.46 GPa (type A), as Stage II. For Stage II of type B/C, innermost garnet rims and cores of matrix pyroxenes surrounding garnet yielded 1222–1325 ºC, 5.03–5.67 GPa (type B) and 1189–1267 ºC, 5.59–6.97 GPa (type C).

We evaluated the pressure conditions for the Spl formation stages, assuming Spl coexisted with En, Prp and Fo, as from 3.4 to 4 GPa around 1000 ºC for Cr-rich Spl in type A (inclusion) and type C (matrix) and 0.55 GPa around 1000 ºC for Al-rich spinel of type C.

The occurrence of spinel and amphibole inclusions in garnet as well as our thermobarometric estimations using inclusion clinopyroxene and host garnet data indicate that the Nové Dvory peridotite body has existed as a medium *P/T* spinel peridotite, and then experienced prograde metamorphism equilibrating at high *P-T* conditions, transforming into garnet-peridotite and later being exhumed with significant cooling to crustal levels. Field relationship between *HP/UHP* ultramafic rocks in the Nové Dvory peridotite body is mostly unclear, but type B is the most abundant rock type and prevails over types A and C. Such chemical heterogeneity (especially in Cr contents of garnet) may have been created by mechanical mixing of different rock types (i.e., Cr-rich and Cr-poor types) during the compression and/or decompression stage(s).

Keywords: garnet peridotite, spinel, ultra-high pressure
Medaris et al. (2005) *Lithos*, 82, 1-23.
* Corresponding author: pk386ifi@s.okayama-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-02

# 中国蘇魯地域北東部に産するザクロ石カンラン岩の温度圧力履歴の推定

老川 柚[1,2]、中村 大輔[1]、平島 崇男[2]、森下 知晃[3]、田村 明弘[3]、山根 創[1]
([1]岡山大学、[2]京都大学、[3]金沢大学)

# Estimation of P-T path of garnet peridotite from a northeastern part of the Su-Lu region, China

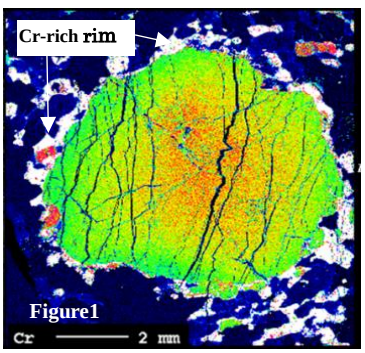
Yu Oikawa*[1,2], Daisuke Nakamura[1], Takao Hirajima[2], Tomoaki Morishita[3], Akihiro Tamura[3], Hajime Yamane[1] ([1]Okayama Univ. [2]Kyoto Univ. [3]Kanazawa Univ.)

中国蘇魯地域北東部の栄成地区 Chijiadian で採集されたザクロ石カンラン岩は、地質温度圧力計の適用から少なくとも 4GPa 以上の超高圧条件を経験したことが知られている[1]。一方で、この岩石がそのような超高圧ステージ以前に加圧を経験した証拠はほとんど報告されていない。そこで、本研究ではこの岩石の温度圧力履歴の推定を試みた。

本研究試料は、直径約 1cm のザクロ石巨晶を含み、matrix は細粒(粒径 1-2mm 程度)なザクロ石、単斜輝石、直方輝石、カンラン石、角閃石などからなる。分析の結果、ザクロ石巨晶は core から mantle にかけてほぼ均質 (Mg:Fe:Ca=68mol%:20mol%:12mol%)だが、rim で Fe が増加し、Mg と Ca が減少する (Mg:Fe:Ca=66mol%:24mol%:10mol%) 組成累帯構造が観察された。また、ザクロ石巨晶は一部の rim を除いて Cr に乏しいが (Cr<0.035apfu,O=12)、Cr 含有量が不連続に多くなる rim (以下 Cr-rich rim とする,Cr=0.05-0.11apfu, O=12, Figure1) が存在する。この Cr-rich rim は細粒なザクロ石と類似した主要元素、微量元素(Zr,Y,HREE)組成を示した。また、matrix の単斜輝石と直方輝石 (Al=0.005-0.015apfu, O=6) は化学組成においてほぼ均質である。このことから、ザクロ石巨晶の Cr-rich rim は細粒なザクロ石や単斜輝石、直方輝石と同時期に形成したと考えられる。更に、巨晶中の包有物として、core では Cr-rich rim には見られない Al に富む直方輝石(Al=0.09-0.17apfu)やスピネル、緑泥石などが確認された。よって、core は Cr-rich rim よりも低圧下で形成したと推察される。そこでザクロ石巨晶の core と包有物の直方輝石、Cr-rich rim と matrix の直方輝石をペアにとり、地質温度圧力計(Grt-OPX 地質温度計[2]、Grt-OPX 地質圧力計[3])を適用した。その結果、core で 660℃,1.0GPa、Cr-rich rim で 770℃,4.1GPa という温度圧力条件が得られ、Cr-rich rim の方がより高温高圧条件だった。

以上より、このザクロ石巨晶は比較的低温かつ浅部で(660℃,1.0Pa)成長し、その後急速な加圧により Cr-rich rim が形成し(770℃,4.1GPa)、最後に地表まで上昇したと考えられる。また、このザクロ石巨晶は rim で Fe が増加し、Mg が減少する「後退型」の組成累帯構造を持つが、実際には上記のような昇温加圧過程で形成したものである。

Y 含有量は core (29.69ppm)から Cr-rich rim (11.04ppm)にかけて不連続に減少した。このような変化は Cr-rich rim の成長過程で起きた系の乱れが原因だと考えられる[4]。これらの事実から、Cr 含有量を増加させる流体の流入などの交代作用により、Cr-rich rim が形成したのかもしれない。




引用文献 [1] Hiramatsu et al. (1995): The Island Arc, 4, 324-333 [2]Harley (1984): Contrib Mineral Petrol (1984), 86:359-373 [3]Nickel and Green (1985): Earth and Planetary Science Letters (1985), 73, 1: 158-170 [4]Zhang et al. (2009): Lithos, 109, 176-192

Keywords: garnet peridotite, Su-Lu region, Chijiadian
*Corresponding author:
oikawa.yuu.34m@st.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# Impure metacherts, archives of multi-stage mineral growth, portray the shallower part of the subduction zone

YABUTA Wataru* and HIRAJIMA Takao

Graduate School of Science, Kyoto University

Metamorphic reactions taken place in the root zone of the orogenic belts are well constrained in the igneous and pelitic rocks systems (e.g., Spear, 1993). On the other hand, those in "impure" cherts, siliceous ooze mixed with numerous varieties of oceanic sediments and deposits (cf. Kato et al., 2011) in other words, are still under the veil.

As a rare case, Reinecke (1986) clarified systematic de-oxidation and de-hydration reactions in Mn-bearing metacherts under higher-blueschist facies (400-500°C, 0.6-1.0 GPa), in Greece. Ibuki & Hirajima (2010) reported the occurrence of Mn-bearing hydrous minerals (howieite, Mn-bearing lawsonite &c.) is closely associated with the oxidation state in impure Mn/Fe-rich metacherts under lower-blueschist facies (200-300°C, 0.45-0.80 GPa; Sato et al., 2016) collected from the Kurosegwa belt in Yatsushiro, Kyushu, Japan. These predecessors show that oxygen clues us on the hydration and metamorphism of impure metacherts, and the oxidation state must be weaved into the subduction story.

This study aims to clarify the relationship among mineral growths and deformations in "impure" metacherts of the Kurosegwa belt in Yatsushiro, with locally comprehensive data. Further investigation from Ibuki (2010) on hydrous Mn-minerals under lawsonite-blueschist (LBS) facies is carried out. This study also deals with fascinating fabrics of metacherts to read the history of fluid activities and deformations. Impure cherts are to draw a lively image of the shallower part of a subduction zone.

The metachert samples are featured by multi-stage mineral growth. The first, near-peak stage comes with high-pressure minerals including lawsonite, pumpellyite/okhotskite, piedmontite, Na-pyroxene and Na-amphibole. In later stages, straight-shaped veins cut layers of peak metamorphic minerals (OT10J &c.), implying the brittle deformation during the later stage. Both the mineral growths are accompanied by fluid infiltration and deformation to form extraordinary fabrics.

At the near-peak stage, a suite of above-mentioned hydrous minerals is developed. The sample KY1822 contains over 30 vol% of Mn-bearing lawsonite, which enables 4 wt% water content. Some near-peak minerals (e.g., lawsonite, Na-pyroxene) form mono mineral veins with zig-zag shapes, suggesting plastic deformation (KY1830a). Rounded quartz aggregates, i.e. former radiolarians, nearby the zig-zag veins in the rock matrix imply the heterogeneous deformation even at the peak stage.

The post-peak veins are mostly mono mineralic, consisting of todorokite and Ba-bg. adularia. Todorokite is remarkable for containing fluid mobile elements (i.e., Ba and K), 10 wt% of $H_2O$ and $Mn^{4+}$, which represents extremely high oxygen fugacity. Other veins add Aeg-rich part to near-peak Na-pyroxene veins, suggesting alkali-rich fluids(cf. Malaspina et al., 2012). These facts strongly suggest that highly-oxidized and alkali-rich fluids infiltrated in later stages. And to our surprise, no such post-peak veins are found in LBS in the study area, except for albite, calcite and quartz.

This study shows metacherts eloquently talk about mineral developments and fluid activities in the shallower part of a subduction zone. The rocks would carry water and oxygen into the deep-earth, and undergo fluid activities between the near-peak and the exhumation stages. The origins of the fluids in each stage yet need identified. However, these findings, together with further progressive investigation on metacherts, are to reform our idea on the subduction zone.

Keywords: subduction zone, metacherts, deep-fluids

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-04

# 福岡県宗像市南西部市境域に産する緑色結晶片岩

棟上俊二*（福岡教育大学）

# Petrography of greenschist rock collected near the southwest border of Munakata City, Fukuoka Pref., Japan

TOJO, Shunji* (Fukuoka Kyoiku Daigaku)

Greenschist rocks were underlain across the southwestern border of Munakata City, Fukuoka Pref., Japan. There are several grains of garnet found in above greenschist, which might be related with overprinting actinolite and hornfelsic occurrence at hand specimen as a result through thermal metamorphism by the Cretaceous plutons.

福岡県の変成岩体の代表的なものとして三郡蓮華帯がある。山本（1997）には宗像市南西端の市境付近の分布が記載されている。新修宗像市史編集委員会（2019）にもあるように，市内に限定すれば，その分布域は東西約 0.3〜0.5km 程度，南北約 0.5km 程度の狭い範囲のものだが，市境を挟んで三郡山地の変成岩体までほぼ連続して分布している。市域内では岩質としては緑色片岩すなわち塩基性片岩が殆どを占めており，野外調査の場ではホルンフェルス化している事に気づく事であろう。

鉱物組み合わせは，細長いアクチノ閃石と粒状の斜長石がみられ，ほかに不透明鉱物や少量の石英が含まれると記されている（山本，1997）。その他にも緑色片岩として通常含まれる，普通角閃石・緑泥石・（±）緑れん石は普通に含まれている。鏡下での特徴としてはアクチノ閃石は場合によって著しく定向性に欠く場合があり，既存の片岩組織に明らかに「上書き」している様相である。このアクチノ閃石は明らかに新しいもので，ホルンフェルス化の段階で生じたものと考えられ，白亜紀花崗閃緑岩の貫入に伴う熱変成の影響と考えられている。

一般的な緑色片岩がそうであるように，本地域のものも無色鉱物と有色鉱物が交互に縞状をなす様子が観察される。ごく稀に，この無色鉱物のレイヤー中にざくろ石を産するものが存在する。この場合は無色鉱物のみならず緑れん石等も産しており，成因について議論を頂きたい。

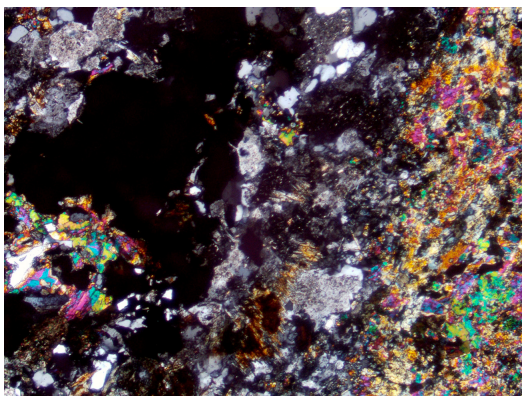


図１．直交ニコル，底辺約 1.2㎜

引用文献

新修宗像市史編集委員会（2019）：新修宗像市史　うみ・やま・かわ―地理・自然―，宗像市発行，PP. 522.

山本博達（1997）:宗像市史通史編第１巻，第３章第２節「古生界」，104-107.

Keywords : the Sangun-Renge belt, greenschist rock, garnet, thermal metamorphism, New edition of Munakata City History

*Corresponding author: stojo@fukuoka-edu.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-05

# 佐賀県神埼市に産する変成岩の化学組成

宮本知治(九州大学)

# Chemical compositions of metamorphic rocks in the Kanzaki City, Saga Prefecture.

Tomoharu Miyamoto (Kyushu University)

Low to medium grade metamorphic rocks were found at the center area of the Kanzaki City, Saga Prefecture. They are composed mainly from basic schist with fine hornblende and plagioclase with subsequent quartz, and are partly found of pelitic schist with fine biotite and muscovite. They show similar schistosity with almost E-W direction. These are regarded as western extension of the Sangun-Renge belt (*e.g.*, Shibata and Nishimura, 1989; Nishimura, 1990). The basic schists were analyzed for whole rock composition by XRF system for be considered the origin. The basic schists were composed from 44.9 - 51.1 wt.% of $SiO_2$, 5.0 - 8.6 wt.% of MgO, 2.39 - 3.79 wt.% of $Na_2O$ and 0.04 - 0.66 wt.% of $K_2O$. The composition has spread to both subalkali to alkali fields on $Na_2O + K_2O$ - $SiO_2$ diagram. On spidergram, moderate enrichment of LIL elements and negative spike on Nb were found for the basic schists. On the other hand, their HFS elements compositions were resembled to those of N-type MORB or E-type MORB (Sun and McDonough, 1989). Especially, their Ti-Y-Zr and Y-Zr-Nb relations were discriminated to within-plate basalts, MORB, island-arc-tholeiite, and calc-alkali basalts (Pearce and Cann, 1973), and within-plate tholeiite, N-type MORB and volcanic-arc basalts (Meschede, 1986), respectively. Considering these characteristics, it is considered that the basic schist originated from rocks equivalent to MORB added with alkali elements before metamorphism, or perhaps their original mafic rocks were produced by remelting of subducting MORB with a little crustal assimilation involved in its igneous activity.

Such a low to medium grade metamorphic rocks are also found at Asahiyama area, central Tosu City, Saga Prefecture, where is 15 km east from the schist location of the Kanzaki City. They are also basic schist with fine hornblende and plagioclase with subsequent quartz, and show schistosity with almost E-W direction. The schist which shows similar mineral assemblage and schistosity, also has similar chemical compositions of the schists collected from the Kanzaki City. Such low to medium schists are also found widely in north to south Chikugo region, east of the Tosu area. Compositional features of basic schists found around there are also resembled to the schists collected from the Kanzaki City. However, those schists are grouped into the Suo belt (*e.g.*, Nishimura, 1990). It seems difficult to distinguish these metamorphic rocks by their texture, mineral assemblage and chemical composition. Those rocks may have been formed by a series of metamorphism. Finally, detailed geochronological research is necessary about the elucidation of attribution and origin of the metamorphic rocks from the Kanzaki City.

References; Meschede, M. (1986): *Chemical Geology*, 56, 207-218. Nishimura, Y. (1990): Sangun metamorphic rocks. In Terrane problem in, eds. Ichikawa, K. et al., 63-78, IGCP Proj. 224: *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*, Osaka City Univ. Pearce, J. A. and Cann, J. R. (1973): *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290-300. Shibata, K. and Nishimura, Y. (1989): *Mem. Geol. Soc. Japan.*, 33, 317-341 (in Japanese with English abstract). Sun, S.-S. and McDonough, W. F. (1989): In *Magmatism in the Ocean Basins*, ed. by A. D. Saunders and M. J. Norry. Oxford, Blackwell, 313-345.

Keywords: Basic Schist, Kanzaki-Saga, western extension of Renge belt, Origin.
*Corresponding author: miyamoto@geo.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 南極大陸産超高温変成岩中の輝石の微細組織の特徴

藤　昇一（福岡大学理学部）、宮本　知治（九州大学理学部）

# Microstructure in Pyroxene of Ultra-High Temperature Metamorphic Rock from Antarctica

Shoichi TOH* (Fukuoka Univ. Faculty of Science),

Tomoharu MIYAMOTO (Kyushu Univ. Faculty of Science)

Microstructure in minerals may have traces of changes in temperature, pressure and strain. The purpose of the present study is to draw out these information from the microstructures. Careful observations and analysis using polarized microscope, SEM and EPMA of the characteristic exsolution texture reveal the history of its proprietary. We will mention the results and discuss the formation process microstructures and the host rock.

地球惑星物質を構成する岩石および鉱物には温度, 圧力, 応力の痕跡が残されている場合があり, それらの解析により形成史についての情報を得る事ができる. 南極大陸に産する超高温変成岩でも, 鉱物共生関係や組織に基づいて形成履歴が明らかにされてきた. 超高温変成岩は地殻下部において, 非常に高温の変成作用を被ることによって形成されたと考えられており, 一般にその最高温度は1000℃またはそれ以上と考えられている (Yoshimura et al., 2008 ほか).

本研究においては南極大陸において採取した超高温変成岩中の輝石内に, 特徴的な離溶組織を見出した. 輝石の離溶現象に関する研究から明らかとなっている基本原理に基づき, 組織形成プロセスについての作業仮説を立てた. 本研究ではその仮説を検証し, 必要に応じて再構築することで, 特徴的な組織形成に至った温度履歴を明らかにすることを目的とする. 具体的な方策としては, 偏光顕微鏡, SEM および EPMA を用い丹念な観察・分析を行った. さらに透過型電子顕微鏡をもちいて, 離溶相界面の方位を電子回折パターンおよび明視野像から明らかにする. 偏光顕微鏡による組織観察, および EPMA の分析結果からは, 母相とラメラ間で Ca と Fe のみが置換している可能性が示唆されている. 現在, 特にこの点について組織との相関を検討している。

化学組成および結晶学的データに基づき温度履歴を推定する. さらに変成岩岩石学的記載, 年代学およびフィールドでの産出状況を考慮し, 岩体が経た温度の変遷を解明するとともに大陸地殻下部構造について考察するための基礎データとする. 学会では以上の実験結果および考察について報告する.

Keywords: Metamorphic rock, Pyroxene, Microstructure, Exsolution

*Corresponding author: tohs@fukuoka-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-07

# 東南極セール・ロンダーネ山地北部に産する Fe-Al に富むグラニュライトの変成組織とザクロ石 REE の相違

馬場壮太郎（琉球大教育）・小山内康人（九州大比文）・中野伸彦（九州大比文）・外田智千（国立極地研究所）・足立達朗（九州大比文）・豊島剛志（新潟大）

# Metamorphic textures and garnet REE variation of Fe-Al-rich granulites in north Sør Rondane Mountains, East Antarctica

S. Baba* (Univ. Ryukyus), Y. Osanai (Kyushu Univ.), N. Nakano (Kyushu Univ.), T. Hokada (NIPR), T. Adachi (Kyushu Univ.), T. Toyoshima (Niigata Univ.)

東南極セール・ロンダーネ山地北西，あすか基地の南西約 25km に位置するベストハウゲンは孤立した露岩である．主に閃緑岩～石英閃緑岩，黒雲母-角閃石片麻岩，角閃石片麻岩，珪線石-ザクロ石-黒雲母片麻岩より構成される(Shiraishi et al., 1992)．Osanai et al. (2013)は変成作用の温度圧力経路，砕屑性ジルコンの年代分布に基づき，セール・ロンダーネ山地を北西テレーンと南西テレーンに再区分した．ベストハウゲンから菫青石を含む片麻岩類が報告されていることから(Shiraishi et al., 1992)，北西テレーンに区分されている．本報告ではベストハウゲンにおいて第 49 次日本南極地域観測隊で採取された菫青石，スピネル（ヘルシナイト），ザクロ石を含む Fe-Al に富むグラニュライトに観察される変成組織と産状の異なるザクロ石の希土類元素含有量の相違について報告する．

Fe-Al に富むグラニュライトは，主に菫青石，スピネル，ザクロ石，アルカリ長石，斜長石から構成される．珪線石や斜方輝石を伴うことがあるが，両者は異なる試料にそれぞれ含まれる．以下のような変成組織が認められる．① ザクロ石は班状変晶として産するものと，スピネルやイルメナイトの周縁にコロナとして産するものがある．ザクロ石コロナはザクロ石斑状変晶のリムと同様の化学組成であることから，後退変成作用時に形成した可能性が高い．② 試料には多量のスピネルが認められ，微細で集塊として産するもの，珪線石の周辺でシンプレクタイトとして産するもの，比較的粗粒で内部に微細包有物を含むもの，ザクロ石の包有物として産するものなどがある．スピネルに包有される微細包有物はダイアスポア[AlO(OH)]が最も多く，まれに石英，コランダム，黒雲母などが認められる．スピネル（包有物を除く）の周縁には菫青石のコロナが発達する．③ アルカリ長石は，透明で内部に包有物を含まないものと，赤みを帯び内部に極微細なラメラやルチルを包有するものがある．これらのアルカリ長石には丸みを帯びた菫青石や短柱状の菫青石が認められる．また一部の菫青石の内部に自形のザクロ石が認められることがある．④ 斜方輝石は微細な黒雲母と石英のシンプレクタイトによって置換されることが多い．

変成温度圧力条件を，三成分系長石ソルバス温度計，地質温度圧力計，シュードセクション法を用いて推定すると，約 900～950℃，5±1 kbar が得られた．ザクロ石班状変晶とザクロ石コロナについて，Laser-ICP-MS を用いて希土類元素組成を測定したところ，両者には明瞭な差が認められた(Baba et al., in press)．REE に枯渇したザクロ石コロナの形成は，１）反応物相(スピネル，メルト）の REE 組成，または（２）ザクロ石成長中に HREE に富む副成分相（例えば、ジルコンおよびモナザイト）の結晶化に起因すると考えられる．

引用文献：Baba et al., (2019) Min. Petrol. in press. Osanai et al., (2013) Precamb. Res., 234, 8-29. Shiraishi et al., (1992) Antarctic Geol. Map Series Sheet 32, NIPR.

Keywords: Metamorphic textures, Grt REE, Sør Rondane Mountains, granulite

*Corresponding author,
baba@edu.u-ryukyu.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 東南極セール・ロンダーネ山地の泥質片麻岩から見出されたコランダムと石英包有物の産状とその解釈

外田智千（極地研/総研大）・小山内康人・中野伸彦・足立達朗（九州大）・
豊島剛志（新潟大）・馬場壮太郎（琉球大）

# Corundum and quartz inclusions in pelitic gneiss from Sør Rondane Mountains, East Antarctica

Tomokazu Hokada* (NIPR/SOKENDAI), Yasuhito Osanai, Nobuhiko Nakano, Tatsuro Adachi (Kyushu Univ.), Tsuyoshi Toyoshima (Niigata Univ.), Sotaro Baba (Univ. Ryukyus),

東南極セール・ロンダーネ山地には、640-500 Ma のゴンドワナ超大陸形成に関連する角閃岩相からグラニュライト相の高温変成岩類と関連する火成岩類が分布し（Shiraishi et al., 2008）、時計回りの P-T 経路を持つ北東部テレーンと反時計回りの P-T 経路を持つ南西部テレーンに区分されている (Osanai et al., 2013)。

北東部テレーンのアウストカンパーネ地域には、ザクロ石-珪線石-菫青石-黒雲母、ザクロ石-low-Ca 角閃石-菫青石-黒雲母、などの鉱物組み合わせを持つ泥質片麻岩類ならびに関連する変成岩類が分布する。

ザクロ石中には、スピネル、十字石、珪線石、コランダムなどの包有物がみられる。藍晶石は確認されない。十字石とスピネルはともに Zn に富み、珪線石安定領域での十字石の分解反応が示唆される。また、ザクロ石は菫青石のコロナに取り囲まれていることが多く、low-Ca 角閃石はコアからリムに向かって Al 含有量の顕著な低下が認められる。これらは、典型的な時計回りの P-T 経路を示し、北東部テレーンに位置することと調和的である。

コランダムは、粒径 10～50 ミクロンの自形～半自形結晶で、石英および黒雲母とともにザクロ石中の包有物として産する。ザクロ石中の包有物として近傍には、Zn に富むスピネル、ルチル、イルメナイトなどが認められる。コランダムは、石英と黒雲母に取り囲まれるような形状を示す。ザクロ石にはコア（alm63prp33grs02sps02）からリム（alm77prp15grs03sps04）への組成累帯構造が認められ、コランダムを含む包有物集合体やスピネルなどの包有物は prp 成分に富むコアの部分に産する。コランダムと共存する黒雲母中の F、Cl、TiO2 含有量はそれぞれ 0.5～0.8wt%、0.3～0.4wt%、1.3～1.8wt%で、試料中の他の黒雲母中の F(0.2～0.8wt%)、Cl(0.3～0.4wt%)、TiO2(0.6～2.4wt%)含有量と比べて顕著な特徴は認められない。なお、TiO2 含有量については、ザクロ石中の包有物として産する黒雲母中の TiO2 はマトリクスのものと比べて概して高い。スピネル中の ZnO 含有量は場所ごと粒子ごとに異なり、8～24wt%の範囲で大きく変化する。

コランダムと石英の共生は、かつては、高温でかつ高圧の変成条件の指標（例えば、Mouri et al., 2003）と解釈されることもあったが、高温高圧実験（Harlov and Milke, 2002; Harlov et al., 2008）によって、珪線石あるいは藍晶石の安定領域で準安定的にコランダムが石英とともに生成することを示し、本試料中のコランダムと石英もおそらく藍晶石と珪線石の安定領域境界近くでの準安定生成と考えられ、共存する鉱物共生や反応組織から解釈される温度圧力条件とも調和的である。本試料中のコランダムと石英は黒雲母を必ず伴うことも特徴である。

Harlov and Milke, 2002, Am. Mineral., 87, 424-432. Harlov et al., 2008, Am. Mineral., 93, 608-617. Mouri et al., 2004, JMPS, 99, 159-163. Osanai et al., 2013, Precamb. Res., 234, 8-29. Shiraishi et al., 2008, A Key to the East-West Gondwana Connection, GSL-SP 308, 21-67.

Keywords: Antarctica, corundum, pelitic gneiss

*Corresponding author: hokada@nipr.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 東南極ドロンイングモードランド東部の地質：スリランカとのリンク

白石和行（極地研）・外田智千（極地研/総研大）・廣井美邦（千葉大学）・
野木義史（極地研/総研大）・本吉洋一（極地研/総研大）

# Geology of the eastern Dronning Maud Land, East Antarctica: Missing link to Sri Lanka

Kazuyuki Shiraishi (NIPR), Tomokazu Hokada* (NIPR/SOKENDAI), Yoshikuni Hiroi (Chiba Univ.), Yoshifumi Nogi (NIPR/SOKENDAI), Yoichi Motoyoshi (NIPR/SOKENDAI),

ゴンドワナ超大陸の形成と関連する南極の原生代末期から古生代初期のテクトニクスはこれまで様々な議論や論争がなされてきた。日本の南極観測の活動エリアである東南極のドロンイングモードランド東部は、東西ゴンドワナの境界部に位置するとされる。この地域には東から西に向かってリュツォ：ホルム岩体（LHC）、やまと-ベルジカ岩体（YBC）、セールロンダーネ山地（SRM）という3つの原生代末期-古生代初期の高温変成-深成岩体が分布する。

リュツォ：ホルム岩体（LHC）は、中圧型で角閃岩相からグラニュライト相、一部超高温条件に達する累進的な変成度の上昇と時計回りの温度圧力径路で特徴づけられる (Hiroi et al, 1983, 1991; Motoyoshi et al., 1989; Kawasaki et al., 2011)。やまと-ベルジカ岩体（YBC）は、角閃岩相からグラニュライト相の変成岩類と関連する花崗岩質深成岩類が卓越する (Shiraishi et al., 1987)。LHC と比較して、YBC はやや低圧の変成条件が特徴づけられている。両岩体の変成作用の時期は 630-500 Ma (Shiraishi et al., 1992, 2003) とされてきた。

最近の地磁気データにより、しらせ氷河に沿った NW-SE 方向のリニアメント (Nogi et al., 2013) が、LHC と YBC の境界と示唆される。LHC からの新たな U-Pb 年代データの蓄積 (Dunkley et al., 2014; Tsunogae et al., 2014; Takahashi et al., 2018) や、地質学的・岩石学的データの再検討により、LHC は４つのサブユニット（Rundvag, Skalevik, Main, West Ongul units）に区分される。本発表では、それらの詳細について紹介する。

その上で、スリランカの最近の年代データ (例えば、Kitano et al., 2018) ともあわせて、LHC のサブユニットは Kitano et al. (2018) で示唆されるようにスリランカの Highland Complex 及び Wanni Complex と対比され、YMC は Shraishi et al. (1994) で示唆されていたようにスリランカの Vijayan Complex と対比される。

Dunkley et al., 2014, Extended abstract 7th International SHRIMP Workshop, 116-121. Hiroi et al., 1983, In: Oliver, R.L. et al. (Eds.), Antarctic Earth Science, 32-35. Hiroi et al., 1991, In: Thomson, M.R.A. et al. (Eds.), Geological Evolution of Antarctica, 83–87. Kawasaki et al., 2011, Gondwana Res., 19, 430–445. Kitano et al., 2018, J. Asian Earth Sci., 156, 122-144. Motoyoshi et al., 1989, In: Daly, J.S. et al. (Eds.), Evolution of Metamorphic Belts, GSL-SP 43, 325–329. Nogi et al., 2013, Precamb. Res., 234, 279-287. Shiraishi et al., 1987, In: McKenzie, G.W. (Ed.), Gondwana Six: Structure, Tectonics and Geophysics. Geophysical Monograph, 40, 309–318. Shiraishi et al., 1992, In: Yoshida, Y. et al. (Eds.), Recent Progress in Antarctic Earth Science, 67–73. Shiraishi et al., 1994, J. Geology, 102, 47-65. Shiraishi et al., 2003, Polar Geosci., 16, 76–99. Shiraishi et al., 2008, In: Satish-Kumar, M. et al. (Eds.), Geodynamic Evolution of East Antarctica: A Key to the East-West Gondwana Connection, GSL-SP 308, 21-67. Takahashi et al., 2018, J. Asian Earth Sci. 157, 245-268. Tsunogae et al., 2016, Lithos, 263, 239-256.

Keywords: Antarctica, Gondwana, Sri Lanka

*Corresponding author: hokada@nipr.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-10

# 西南日本九州北部に分布する三郡変成帯結晶片岩の砕屑性ジルコン後背地の多様性

北野 一平*，小山内 康人，中野 伸彦，足立 達朗（九州大）

# The variation of detrital zircon provenance for crystalline schists of the Sangun metamorphic belt in the northern Kyushu, Southwest Japan

Ippei Kitano*, Yasuhito Osanai, Nobuhiko Nakano, Tatsuro Adachi (Kyushu Univ.)

三郡変成帯は西南日本内帯に広域的に分布している低温高圧型の変成帯であり、K–Ar・Rb–Sr 年代に基づいて 330–280 Ma の蓮華帯および 230–160 Ma の周防帯に区分されている（例えば Nishimura, 1998）。両者ともに、泥質片岩および苦鉄質片岩が卓越し、様々な規模の蛇紋岩岩体を伴う（例えば Nishimura, 1998）。詳細な地質調査と岩石学的解析から、最高変成条件としてエクロジャイト相～青色片岩相の温度圧力条件が推定されている（例えば Tsujimori, 2002; Li et al., 2017）。一方で、蓮華帯と周防帯の原岩特性に関する研究は乏しく、両者の原岩形成プロセスや地質学的な帰属は未だ不鮮明である。近年では、砕屑性ジルコンの U–Pb 年代に着目したアプローチが行われている（例えば Tsutsumi et al., 2003, 2011）。本研究では、蓮華帯および周防帯が分布する福岡県中央部・南部の砂泥質片岩から、LA-ICP-MS を用いて砕屑性ジルコンの年代測定を行い、原岩の後背地の年代学的特徴を明らかにした。

福岡県南部～熊本県北部の久留米－山鹿地域の三郡変成岩は周防帯に属し、福岡県中央部篠栗地域では蓮華帯と周防帯の両方が分布している。これらの三郡変成岩は白亜紀の花崗岩類に貫入され、局所的に接触変成作用を被っている。分析試料は、前者の地域から砂泥質片岩 3 試料（22301A1: 含アクチノ閃石－緑簾石－白雲母片岩、22409, 22405A: 緑泥石－白雲母片岩）、後者の地域で蓮華帯から 1 試料（12102A: 含緑簾石－黒雲母－緑泥石片岩）、周防帯から 1 試料（12106: 菫青石－黒雲母片岩）を分析した。これらの試料は片理が発達しているが、篠栗地域の試料は白亜紀花崗岩の貫入による接触変成作用の影響が認められる。

分析したジルコンの多くは、明瞭～弱い波動累帯構造の内部組織および高い Th/U 比（> 0.2）を示した。久留米－山鹿地域（周防帯）では、22301A1 は 2410–210 Ma の年代幅と 250–230 Ma の年代ピーク、22409 は 2590–240 Ma の年代幅と 270–250 Ma の年代ピーク、22405A は 930–240 Ma の年代幅と 270–250 Ma の年代ピークを示した。一方、篠栗地域では、12102A（蓮華帯）は 2900–280 Ma の年代幅と 300–280 Ma、440–420 Ma の年代ピーク、12106（周防帯）は 370–240 Ma の年代幅と 300–280 Ma の年代ピークを示した。

周防帯の試料では、最も若いジルコン年代は周防帯の変成年代（230–160 Ma）より古いが、その年代分布や年代ピークは一致しない。一方、蓮華帯の試料では、最も若いジルコン年代は蓮華帯の変成年代（330–280 Ma）とほぼ一致する。Tsutsumi et al. (2003, 2011)の報告データと概ね調和的だが、蓮華帯の試料に関しては 400–280 Ma の砕屑性ジルコンを含む点で大きく異なる。この結果は、蓮華帯と周防帯の両方で、砕屑性ジルコンの後背地に多様性があることを示唆し、両者の帰属を検討するにはより広範囲にジルコン年代による後背地の特徴づけが必要となる。

Keywords: crystalline schist, detrital zircon age, Sangun metamorphic belt, northern Kyushu, Southwest Japan
*Corresponding author: 3GS14010G@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# Pressure–temperature condition of pelitic gneisses from the Mutis Metamorphic Complex, Timor Island, Indonesia

Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari*, Yasuhito Osanai, Nobuhiko Nakano, Tatsuro Adachi (Kyushu University, Japan), Nugroho Imam Setiawan (Universitas Gadjah Mada, Indonesia)

Mutis metamorphic complex in the southwestern part of Timor Island, East Nusa Tenggara Province, Indonesia, consists of greenschist- up to upper- amphibolite-facies metamorphic rocks which distributed as several metamorphic massifs within this metamorphic complex. This study reports the petrological and geochemical characteristics of pelitic gneisses in Mutis metamorphic complex to estimate the pressure and temperature conditions of metamorphism. Greenschist-facies metamorphic rocks in Mutis metamorphic complex represented by the occurrences of garnet ± muscovite schist and garnet-biotite gneiss, meanwhile the amphibolite- to upper- amphibolite-facies metamorphic rocks represented by the occurrences of aluminosilicate minerals in garnet-bearing pelitic gneiss. X-ray compositional maps obtained from 5 garnet-bearing pelitic gneisses using Electron Probe Microanalyzer exhibit prograde zoning pattern in 4 rock samples which characterized by decreasing Mn and Ca content from the core to the rim with increase of Mg and Fe contents, meanwhile 1 rock sample of pelitic gneiss containing sillimanite exhibits homogenous wide core with retrograde thin rim. Pressure and temperature condition obtained from garnet–biotite geothermometer and garnet–aluminosilicates–quartz–plagioclase (GASP) geobarometer indicate temperature of 560–710°C with pressure of 7.2–10 kbar for garnet–biotite–muscovite gneiss, temperature of 525–610°C with pressure of 3.7–7 kbar for garnet–staurolite–biotite–muscovite gneiss with fine-grained kyanite in the matrix, temperature of 650–790°C with pressure of 7.5–14 kbar for garnet–kyanite–staurolite–biotite gneiss, and temperature of 650–810°C with pressure of 2.5-9 kbar for garnet–sillimanite–cordierite–biotite gneiss. Partial replacement of garnet grain by biotite, chlorite, and other secondary minerals suggest that metamorphic rocks in Mutis metamorphic complex are affected by retrograde metamorphism during cooling. Further discussion about the result of thermobarometry using Raman Spectroscopy of graphite and quartz, as well as monazite U–Th–Pb dating will be conducted during the presentation.

Keywords: Geothermobarometry, P-T condition, Mutis Metamorphic Complex, Timor

*Corresponding author: fransiskaayuni@gmail.com (Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-12

# インド東ガーツ造山帯西縁境界に露出する コランダムを含むグラニュライトの反応微細組織観察

佐藤史彦*, ダス カウシク
（広島大・院・理）

# Reaction microstructures in corundum-bearing granulite at western boundary of Eastern Ghats Belt, India

Fumihiko Sato*, Kaushik Das
(Hiroshima Uni. Grad. Sci)

造山運動は、大陸衝突帯や沈み込み帯で起こり地殻深部の岩石を地表付近まで上昇させ、地球規模の山脈を形成する。地殻変動による造山運動を理解するためには、造山帯に露出する地殻深部起源のグラニュライト相の岩石の微細組織観察が重要である。また造山帯の中でも中央部よりクラトンとの境界部の方が、多くの変成・変形のステージの情報を保存している可能性が高い。

本研究地域は、Proterozoic の造山帯であるインド東ガーツ帯(EGB)である。この地域は古くから、異常に高温な広域変成作用である超高温変成作用[1](＞900℃, ~1GPa, UHT)を受けた超高温変成岩が露出している[2]。

長年 EGB の中央部、東部の研究はよく行われてきたが、造山帯とインドクラトンの西境界のデータは、重要な地域であるにも関わらずデータが不足している[3]。

そのため本研究では西境界地域のミグマタイト地域に露出するグラニュライト相の片麻岩を用いて研究を行った。試料からはコランダムを含むグラニュライトが見つかり corundum+spinel+garnet+magnetite+ilmenite+sillimanite+quartz+plagioclase+K-feldspar+biotite の鉱物組み合わせが見られた。

偏光顕微鏡と走査型電子顕微鏡(SEM)による鉱物の組み合わせと反応微細組織の観察、電子線マイクロアナライザ(EPMA)による鉱物の化学組成分析を行った。また、地質温度圧力計を用いて温度圧力条件を推定した。

微細組織観察から4つの変成ステージ分けをし、それぞれのステージの温度圧力条件を推定した。ピーク条件は、(＞950℃, 8.2–9.3 kbar)と見積もった。本発表では、ステージごとの鉱物組み合わせと反応微細組織、推定した変成条件について詳細な報告をする。

**References**: [1] Osanai et al. (2017) Geol. Soc. Japan, 123, 10, 879-906. [2] Dasgupta et al. (2013) Precambrian Research, 227, 247–258. [3] Chatterjee et al. (2017) Lithos, 290–291, 269–293.

**Key words**: corundum-bearing UHT granulite; western boundary; EGB, India

***Corresponding author**: E-mail address (m195399@hiroshima-u.ac.jp)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 鏡肌を構成する物質の変形特性

安東淳一*（広島大），富岡尚敬（JAMSTEC・高知コア研），
鍵裕之（東京大学），廣瀬丈洋（JAMSTEC・高知コア研）

# Deformation characteristics of constituent material of slickenside

J. Ando* (Hiroshima Univ.), T. Tomioka (JAMSTEC), H. Kagi (Univ. Tokyo), T. Hirose (JAMSTEC)

断層岩は断層運動によって形成された岩石であるため，断層運動の素過程を反映した微細組織を保持している。本研究が対象とした鏡肌は，断層面上に普遍的に認められる平滑で鏡の様な光沢を持つ面として知られているが，「マイロナイト」や「シュードタキライト」などの断層岩と比較して，研究例は非常に限られている。発表者らはここ数年，様々な岩石種に発達した鏡肌の微細組織の観察と，断層運動の模擬実験を通じて，鏡肌を有する断層，および鏡肌を構成する物質の変形特性の研究を続けてきた。その結果，鏡肌を有する断層の運動特性は地殻の強度特性に大きな影響を与える可能性が強いことが明らかとなった。

**研究方法：** 天然に露出する鏡肌の観察には，チャート，石灰岩，角閃岩，蛇紋岩，クロム鉄鉱岩，炭質泥岩，砂岩，泥岩，凝灰角礫岩中に発達する計 15 種類の試料を用いた。微細組織の観察には，偏光顕微鏡と共に，高空間分解能機器として原子間力顕微鏡，分析透過型電子顕微鏡，電子線後方散乱回折装置付き走査型電子顕微鏡，放射光起源の軟 X 線照射による XANES 測定を用いた多角的な方法を用いた。また鏡肌を再現する断層運動の模擬実験では，高速回転摩擦試験機と二軸摩擦試験機を使用し，Carrara marble の「ブロック」と「粉末」の 2 種類を実験に用いた。実験条件は，高速回転摩擦試験機と二軸摩擦試験機に対して各々，垂直応力 1.0-10.0 MPa，すべり速度 0.1 m/s，すべり変位量は最大 5.0 m と，垂直応力 10-80 MP，すべり速度 30 μm/s，すべり変位は最大 111.5 mm とした。

**結果：** 本研究において最も重要な結果をまとめる。1) 鏡肌は断層運動の際に生じる「脆性変形」と「摩耗」が，断層面近傍（約 50 μm - 100 μm）に集中することで生じる。2) この約 500 μm - 100 μm の領域は，摩耗によって形成されたナノサイズスケールの粒子から構成されている。そして，このナノサイズスケールの粒子は結晶質（すなわちチャートでは石英，石灰岩と大理石では方解石）であることが分かった。3) 実験の結果からは，「垂直応力」と「すべり距離」が増大するとともに鏡肌の形成率が増大し，かつ「摩擦係数」も低下することが明らかとなった。そして特に重要なことは，断層面が鏡肌で覆われている実験では，実験直後に摩擦係数が約 0.2 程度となったことである。このことは，一旦鏡肌が生成された断層面は，クリープ性断層運動につながりえることを示唆する。

Keywords: Slickenside, Microstructure, Fault strength, Frictional coefficient
*Corresponding author: jando@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 福岡県篠栗地域に露出する アンチゴライト蛇紋岩の変形特性

岩﨑夕季（広島大）、安東淳一（広島大）、Das Kaushik（広島大）、Sarkar Dyuti Prakash（広島大）、上原誠一郎（九州大）、大藤弘明（愛媛大）

# Deformation characteristics of antigorite serpentinites exposed at Sasaguri area, Fukuoka Prefecture

Y. Iwasaki* (Hiroshima Univ.), J. Ando (Hiroshima Univ.), K. Das (Hiroshima Univ.), D. P. Sarkar (Hiroshima Univ.), S. Uehara (Kyushu Univ.), H. Ohfuji (Ehime Univ.)

**はじめに:** アンチゴライト(Atg)蛇紋岩の変形特性は、上部マントルや下部地殻を構成する岩石の上昇過程に大きな影響を与えている。本研究では、上原(1987)で報告されている福岡県篠栗地域に露出する粗粒 Atg 蛇紋岩に着目し、変形のメカニズムと形成条件を明らかにすることを目的として研究を進めている。

**研究手法:** 本研究では、1）粗粒 Atg 蛇紋岩体中に、幅数 10 m のマイロナイト帯（面構造の走向は約 N80° E、北に 80° で傾斜）と 2）Atg 蛇紋岩体分布域内に露出する、上記したマイロナイト帯と構造的整合性を持つ珪質片岩を発見し、微細組織の見地から研究を進めている。研究の手法は主に、偏光顕微鏡と SEM を用いた微細組織観察、SEM-EBSD を用いた結晶方位測定を行っている。

**結果と考察:** 研究対象とした粗粒 Atg 蛇紋岩体中を微細組織により区分すると、マイロナイトに向かい、1）粗粒 Atg 蛇紋岩、2）粗粒-細粒 Atg 蛇紋岩、3）マイロナイト Atg 蛇紋岩の 3 タイプに分類できる。1）は緑色塊状を呈し、数 mm-1 cm の鱗片状 Atg から構成される。Atg は定向配列を示さないが、顕著な波動消光を示す。2）中の Atg の粒径や無定向配列の様子は 1 ) のものと同一であるが、Atg 単結晶内部で動的再結晶に伴う亜結晶化が進行している。3)は緑色を呈し、約 10 um の針状 Atg の[010]が線構造に平行に、(001)面が面構造にほぼ平行に発達することでマイロナイトが形成されている。これらの観察結果は、タイプ 1）から 2)、3）の順に、Atg 結晶中の欠陥形成（亜結晶粒の形成）と、その後の細粒化、定向配列の形成によって Atg の塑性変形が進行することを示唆する。

珪質片岩中の石英の c 軸 CPO は、ポーフィロクラストでは Y-max、ネオクラストでは Type-I crossed girdle が発達する。このことは、珪質片岩は 500℃程度の温度で定常変形した後に、より低温下で塑性変形を被ったことを示唆している。また、粗粒 Atg 蛇紋岩体に近接する南部地域には角閃岩が露出している。この角閃岩について Otten(1984)のホルンブレンド温度計は 550-700 ℃を示す。これらの温度と Atg 蛇紋岩の上昇過程の関係について議論を進めたい。

Keywords: Antigorite, Plasticity, microstructure
*Corresponding author: m186027@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-15

# 長野県大鹿村地域の中央構造線に分布する低温型マイロナイトと phyllonite の形成ステージの制約

中村佳博* (産総研)

# Constraint on the low-temperature mylonite and phyllonite formations along the Median Tectonic Line in the Oshika district, Nagano

Yoshihiro NAKAMURA* (Geological Survey of Japan, AIST)

長野県大鹿村地域に分布するマイロナイト中には，石英長石質なウルトラマイロナイトと黒色で雲母からなる phyllonite が中央構造線近傍に分布している(Takagi, 1986)．これらのマイロナイトの形成環境と源岩を推定するために，詳細なマイロナイトの解析と三波川変成岩・領家変成岩の U-Pb 年代測定を実施した．

上盤側の領家花崗岩に関しては，石英長石質なウルトラマイロナイトを選定し，U-Pb 年代測定を実施した．このマイロナイトは，再結晶石英の EBSD 分析より中温型のマイロナイト化を受けた後に低温型のマイロナイト化を被った試料である．このウルトラマイロナイトからジルコンを抽出し U-Pb 年代測定を実施すると 69.0 ± 0.6 Ma ($n$=10)の源岩固結年代をえることができた．この固結年代をもとに花崗岩の冷却カーブを推定すると中温型マイロナイト化と低温型マイロナイト化年代をそれぞれ~67Ma と~65Ma に再定義することができた．低温型マイロナイトの形成年代は柴田・高木ほか(1988)で報告した phyllonite の白雲母 K-Ar 年代(64.7 ± 2.1Ma)ともよく一致しており，低温型マイロナイト化の過程で phyllonite が形成されたと推定される．

下盤側の三波川変成岩に関しては，ザクロ石帯に分布し鹿塩マイロナイトと同様の左横ずれセンスを示す泥質岩中ジルコンの U-Pb 年代を測定した．U-Pb 年代測定を実施すると最も若い粒子と最も若いクラスター年代は，それぞれ 70.7 ± 1.5 Ma と 71.2 ± 0.91 Ma($n$=4)となった．白雲母の K-Ar 年代に関してはすでに柴田・高木ほか(1988)によって 63-65 Ma の年代が報告されている．つまり 70Ma 前後に堆積した後に 63-65 Ma には低温高圧型の変成作用を受けたことが推定される．この変成年代は，低温型マイロナイトの形成年代ともよく一致しており，沈み込み帯において上盤側の領家変成岩と下盤側の三波川変成岩が中央構造線にそって接合したタイミングといえる．

[**参考文献**]: H. Takagi, J. Struct. Gel. 8 (1986) 3-14. Shibata, H. Takagi, J. Geol. Soc. Jpn., 94 (1988) 35-50.

Key wards: Kashio mylonite, Ryoke metamorphic rocks, Sambagawa metamorphic rocks, U-Pb ages

*Corresponding author: yoshi-nakamura@aist.go.jp (Yoshihiro Nakamura)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# モナザイト・ゼノタイム CHIME 岩石年代学による隠岐片麻岩の複変成履歴

遠藤俊祐*・吉田 宏（島根大）

# Polymetamorphic history of the Oki Gneiss inferred from monazite and xenotime CHIME petrochronology

S. Endo* and H. Yoshida (Shimane University)

隠岐島後に環状に露出する隠岐片麻岩の変成作用のピークは CHIME モナザイト年代より約 250Ma とされる（Suzuki and Adachi, 1994）．近年，隠岐片麻岩の原岩年代および初期の変成年代は古原生代にまで遡ることが明らかにされた（Tsutsumi et al., 2006; Cho et al., 2012）．本研究は，古原生代の変成作用の広がりや変成履歴を明らかにするため，隠岐片麻岩の分布全域の泥質片麻岩の岩石学的解析と CHIME 年代測定を進めている．

南部の銚子，東郷，大久地域の泥質片麻岩は，ざくろ石＋黒雲母＋斜長石＋石英＋珪線石＋スピネル＋菫青石（仮像）＋石墨＋モナザイト＋ジルコン＋ゼノタイムの鉱物組合せをもち，優白質部には珪線石を置換する紅柱石がみられる．ざくろ石は他形で組成は完全に均質化している． ざくろ石中の微小なモナザイト包有物はすべて約 1.85 Ga の年代を示す．ざくろ石の縁部に一部包有されるモナザイト粒子は，Y に乏しい 1.8 Ga の領域が基質に面して Y に富む 250 Ma の領域（ゼノタイムと共存）に置き換えられている．基質のモナザイトは約 250Ma の年代を示す. ゼノタイムは他形のざくろ石周囲の湾入部付近にのみ存在し, 年代は一様に約 250Ma を示す.

北部の飯美地域の泥質片麻岩は，ざくろ石＋黒雲母＋斜長石＋石英＋珪線石＋石墨＋モナザイト＋ジルコンの鉱物組合せからなり，優白質部に紅柱石を含む．ざくろ石は自形でバイモーダルな粒径を示し，粗粒結晶は Ca が成長累帯構造を残す一方, 細粒結晶の組成は均質化し，南部地域のざくろ石組成範囲内に収まる．ざくろ石に包有されるモナザイトも基質のモナザイトも約 250Ma の年代を示す.

以上より，南部地域では古原生代（1.85Ga）の変成作用によりざくろ石が形成し，250Ma の高温変成作用時に，ざくろ石の組成の均質化，ざくろ石分解とゼノタイム成長が起こったと考えられる．北部の飯美地域は Tsutsumi et al. (2006) のデータから原岩年代は古原生代の可能性が高いが, ざくろ石は 250Ma の変成時に結晶化したと考えられ，古原生代変成作用の痕跡は認識できない.

Keywords: CHIME, monazite, xenotime

*Corresponding author: s-endo@riko.shimane-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ポスター | R4: 地球表層・環境・生命

2019年9月21日(土) 9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

**R4: 地球表層・環境・生命**

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[R4P-01] 地下深部花崗岩内生物圏の鉱物学的特徴

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*高橋 玄[1]、鈴木 庸平[1]、砂村 倫成[1]、小暮 敏博[1] (1. 東京大学・院理)

---

[R4P-02] 造礁サンゴ骨格の構成要素ごとの微細組織観察

*甕 聡子[1]、波利井 佐紀[2]、兒玉 優[3]、富岡 尚敬[1]、伊藤 元雄[1] (1. JAMSTEC、2. 琉大・熱生研、3. マリン・ワーク・ジャパン)

---

[R4P-03] Greenalite synthesis at low temperatures

*Hiromi Konishi[1], Waleed Anwar[1] (1. Department of Geology, Niigata University)

# 地下深部花崗岩内生物圏の鉱物学的特徴

高橋玄，鈴木庸平，砂村倫成，小暮敏博（東京大・院理）

# Mineralogical characteristics of deep underground granite biosphere

Gen Takahashi*, Yohey Suzuki, Michinari Sunamura and Toshihiro Kogure (Tokyo Univ. Sci.)

Microbial ecosystem exists in the groundwater in the deep granite of the Mizunami Underground Research Laboratory, but how the groundwater and granite provide habitable environment is unclear. To investigate this problem, we characterized in detail altered granite in this area by multiple analyses using SEM, TEM, and STEM. Calcites of various occurrence and fine pyrite particles embedded in clay minerals were found. They may be generated from methane oxidation and sulfate reduction by microorganisms. Petrographic thin sections were stained with SYBR Green I and analyzed by fluorescence microscopy. As a result, concentration of DNA was observed in altered plagioclase and on fractured surfaces.

日本原子力研究開発機構瑞浪超深地層研究所の深部花崗岩内に形成された割れ目中の地下水には、ANME-2d という古細菌群を主要な構成種とする微生物生態系が存在し、マグマ由来のメタンを硫酸還元していると考えられている(Ino et al., 2018)。しかし、地下水中の硫酸濃度は微生物の硫酸還元が可能な条件(LaRowe et al., 2008)よりも低く、極貧栄養の深部花崗岩内が如何にして微生物の生息しうる環境条件となっているかは未だ不明である。地下水の情報だけでは推測できない深部花崗岩内の局所的な環境が、微生物の生存に如何に寄与するかを考察するため、瑞浪超深地層研究所の深度 300m の花崗岩コアサンプルから、地下水によって変質した部分を取り出し、その表面や微小空間の微細な鉱物を観察した。

複数種の電子顕微鏡(SEM, TEM, STEM)を併用した解析の結果、様々な産状の方解石や粘土鉱物に埋もれた微小な黄鉄鉱が見つかり、これらは微生物のメタン酸化と硫酸還元から生ずる重炭酸イオンや硫化水素から生成した可能性がある。

花崗岩変質部内で鉱物と生物が直接関わる領域を捜索するため ds-DNA の選択的蛍光剤である SYBR Green I により岩石薄片を染色し蛍光顕微鏡による解析を行った結果、変質した斜長石内や、変質した割目面を覆う暗緑色の粘土鉱物中に DNA の濃集が観察された。

Keywords: Granite; Microorganism; Clay mineral; Sulfate reduction; DNA

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R4P-02

# 造礁サンゴ骨格の構成要素ごとの微細組織観察


甕聡子（JAMSTEC），波利井佐紀（琉大・熱生研），
兒玉優（マリン・ワーク・ジャパン），富岡尚敬，伊藤元雄（JAMSTEC）


# Microtextural observation of reef-building coral skeleton : Septum and basal plate


Satoko Motai *(JAMSTEC), Saki Harii (Ryukyus Univ.), Yu Kodama (Marine Works Japan Ltd.), Naotaka Tomioka, Motoo Ito (JAMSTEC)


造礁サンゴは熱帯・亜熱帯の浅海に生息する。炭酸塩カルシウムで構成される外骨格は生体部のポリプを支える、複雑な構造を持つ。これらの構造は、アラゴナイト結晶の集合体である球状の基本構造（中心部：石灰化中心、周辺部：繊維状組織）の積み重なりであると考えられている（e.g., Ogilvie, 1896; Bryan and Hill, 1941; Gilis et al., 2015）。本研究では、骨格構成要素ごとのナノ-マイクロオーダーで微細組織観察を行い、それぞれの要素が基本構造で形成されうるかを検証した。

複数のポリプから形成される成体サンゴでは骨格要素の一部は骨格内部に存在し観察が容易ではないため、単体のポリプ（稚ポリプ）を試料として用いた。サンゴ（*Acropora* sp.）の幼生に試薬（Hym-248）を添加し稚ポリプへ変態させ、1~2週間飼育した。生体部は次亜塩素酸ナトリウムで除去した。得られた骨格は光学顕微鏡で6回対称の隔壁からなる典型的なコラライト（corallite）と底盤を持つ骨格構造を有していることを確認した。さらに、マイクロフォーカスX線CTで全体の骨格構造と表面形状の観察を行った。集束イオンビーム装置で隔壁と底盤から超薄切片を作製し、透過型電子顕微鏡（TEM）で骨格の微細組織を観察した。


Keywords: reef-building coral, biomineralization


*Corresponding author: smotai@jamstec.go.jp


X線CTによる三次元画像から、底盤と隔壁の表面には、およそ10 μm間隔の凹凸が存在することが確認された。

TEM観察では、隔壁に粒状のアラゴナイト結晶（数十〜数百 nm、結晶方位ランダム）が集合し、その領域を中心として針状結晶（幅数十 nm、長さ~1 μm、*c*軸伸長）が放射状に広がっている様子が観察された。この組織は成体のサンゴ骨格を形成する基本構造の石灰化中心と繊維状組織の特徴と一致する。底盤には層状構造が観察された。アラゴナイト結晶は粒径数十〜数百 nmであり、層ごとに粒径が異なる。これらのアラゴナイト結晶の*c*軸は、骨格の成長方向にほぼ垂直に配向しており、上述のサンゴ骨格の基本構造とは異なっている。骨格形成のごく初期には、球体の骨格基本構造の前駆体として紡錘状組織やダンベル状組織が観察されることがあり、これらの組織ではアラゴナイトの*c*軸が一方向に揃っていると推測される（Gilis et al., 2015）。底盤はこれら前駆体が積み重って形成されたと考えられる。


Ogilvie, 1896, Proc. R. Soc. Lond. Philos. Trans., 187B, 83–345
Bryan and Hill, 1941, Proc. R. Soc. Queensl., LII (1), 78–91
Gilis et al., 2015, J. Morphol., 276(6), 1156-1156



@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# Greenaliteの低温合成

小西博巳・Waleed Anwar （新潟大学・理・地質科学）

## Greenalite synthesis at low temperatures

R4P-03

Hiromi Konishi* and Waleed Andwar (Dept. of Geology, Niigata University)

greenaliteは、蛇紋石―カオリナイト族の３八面体型の層状ケイ酸塩鉱物であり、２価のFeに富む。多くの縞状鉄鋼層（BIF）から産出し、BIFの初生的な鉱物であると考えられている。一般には、BIFの沈殿時にgreenaliteが生成したと考えられているが、green rustが最初に沈殿したとの説もあり、BIF生成の初期の様相については議論がある。

Mizutani et al., 1991は100℃から200℃でgreenaliteを合成した。Hrader 1978は、常温でのgreenaliteの合成を報告した。いずれの実験も、pH条件は考慮されていない。

本研究では、pH条件を変えて、低温でのgreenaliteの合成を行った。greenaliteがBIFの沈殿時に生成したとする説の妥当性を検討した。

出発物質には、50mMのFeSO4・7H2Oと112.5mMのNa2SiO3・9H2O、さらに、還元剤として0.1MのNa2SO4を0.5Mの硫酸に溶かした溶液に、350mMのNaOHを加えた。NaOHを加えると、直ちに沈殿物が生成した。最後に、NaOHと硫酸でpHを調整した。合成実験には、水熱合成オートクレーブ（150℃）およびバイアルチューブ（50℃）を用いた。

150℃の実験（6日間反応）では、pH9～13で、greenaliteとSi-magnetiteが生成した。pH13ではほぼ単相のgreenaliteが生成した。pHが低くなるとSi-magnetiteがより多く生成し、pH9では、わずかにgreenaliteを含むがほぼ単相のSi-magnetiteであった。５０℃の実験（9日間反応）では、pH11以上で、greenaliteとSi-magnetiteが生成した。

greenaliteの合成には、pH9以上のアルカリ性条件が必要であり、単相のgreenaliteの合成には、さらに強いアルカリ性条件が必要であった。海水のpHは、Archeanから Phanerozoicまで、~6.5から~9まで増加したという推定がある（Halevy and Bachan 2017）。海水のpHの見積もりは議論があるが、Halevy and Bachan 2017が推定したpH条件は、greenaliteの生成に適した条件より低い。

Keywords: greenalite, Si-magnetite, BIF
Corresponding Author: hkonishi@geo.sc.niigata-u.ac.jp

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

2019年9月21日(土) 9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

**R6: 深成岩・火山岩及びサブダクションファクトリー**

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[R6P-01] $CO_2$流体の非破壊$\delta^{13}C$測定の向上

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*横倉 伶奈[1]、萩原 雄貴[1]、山本 順司[2] (1. 北海道大・院理、2. 北海道大・総合博物館)

---

[R6P-02] 九州に分布する姫島火山群と両子山火山群の第四紀マグマの成因関係の検討

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*平山 剛大[1]、柴田 知之[1]、芳川 雅子[1] (1. 広島大学・理学・地惑)

---

[R6P-03] ノースパタゴニアに産する花崗岩類の多様性

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*三浦 大和[1]、加々島 慎一[1]、高橋 俊郎[2]、野原 里華子[2] (1. 山形大学、2. 新潟大学)

---

[R6P-04] 北上山地, 堺ノ神深成岩体の岩石化学的研究：結晶分化作用と地質温度計・圧力の適用

*鈴木 哲士[1]、中島 和夫[2]、湯口 貴史[2] (1. 山形大学・院・理工学、2. 山形大学・理工学)

---

[R6P-05] 新潟県糸魚川市青海地域の蛇紋岩メランジュ中の優白質岩の多様性

*奥山 史織[1]、加々島 慎一[1]、竹之内 耕[2]、小河原 孝彦[2] (1. 山形大学、2. フォッサマグナミュージアム)

---

[R6P-06] In-situジルコンのU-Pb年代とTi濃度の同時取得：世界で最も若い黒部川花崗岩体を用いたアプローチ

*石橋 梢[1]、坂田 周平[2]、山嵜 勇人[1]、湯口 貴史[1] (1. 山形大、2. 東京大)

---

[R6P-07] 山口県，屋代島に産する領家帯深成岩類のマグマ過程

*児玉 省吾[1]、大和田 正明[1]、今岡 照喜[1]、亀井 淳志[2]、池田 雄輝[3] (1. 山口大学大学院創成化学研究科、2. 島根大学大学院総合理工学部、3. 復建調査設計株式会社)

---

[R6P-08] 四国北西部高縄半島に分布する領家帯花崗岩類の全岩化学組成とジルコンU-Pb年代

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*下岡 和也[1]、齊藤 哲[1]、谷 健一郎[2] (1. 愛媛大学大学院理工学研究科、2. 国立科学博物館地学研究部)

---

[R6P-09] 北部九州，尺岳閃緑岩体の内部構造

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*江島 圭祐[1]、大和田 正明[1]、亀井 淳志[2] (1. 山口大学大学院創成科学研究科、2. 島根大学大学院総合理工学研究科)

---

[R6P-10] 周防変成岩に貫入する紅柱石含有両雲母花崗岩の化学組成

*柚原 雅樹[1]、川野 良信[2]、岡野 修[3] (1. 福岡大・理、2. 立正大・地球環境、3. 岡山大・理)

# $CO_2$流体の非破壊$\delta^{13}C$測定の向上

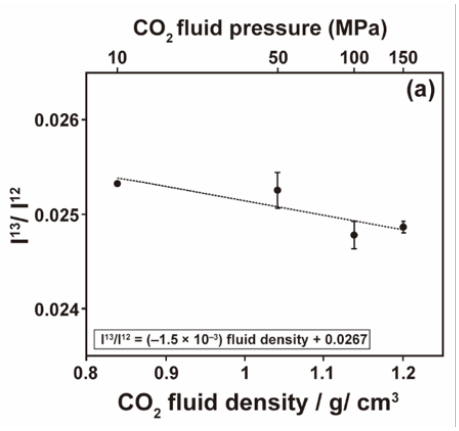
*横倉伶奈(北大・院理)，萩原雄貴(北大・院理)，山本順司(北大・博)

# Improved accuracy of micro-Raman mass spectrometry for carbon isotopic composition of carbon dioxide fluid

*Lena Yokokura (Hokkaido Uni.), Yuuki Hagiwara (Hokkaido Uni.), Junji Yamamoto (Hokkaido Uni.)

We investigated fluctuation of the Raman intensity ratios and area ratio of peaks of $^{13}CO_2$ to $^{12}CO_2$ by changing fluid pressure. When changing fluid pressure, from 10 MPa to 150 MPa. To evaluate the effect of the peak shift on Raman intensity ratio, which is induced by changing fluid pressure, we conducted repeated measurements of intensity ratio with moving the grating center, which is defined as the center value of analyzing wave number range, at constant fluid pressure, 10 MPa.

ラマン分光分析は，鉱物粒子中に閉じ込められた直径 1 μm の $CO_2$ 流体の炭素同位体比($\delta^{13}C$)を，$^{12}CO_2$ と $^{13}CO_2$ のスペクトルピークの強度比またはエリア比を利用して非破壊で測定できる可能性を持つ．しかし先行研究においてはスペクトルピークの位置がずれると同位体比が同じでも著しく測定確度が低下していた(20‰)．その原因は波数分解能と考察されたが，流体の圧力変化に沿って値が変動した可能性もある．これらの検証のために，従来の 5 倍の波数分解能の分光器を使用し流体の圧力を 10 MPa から 150 MPa まで変化させ，その傾向を観察した．結果圧力と強度比エリア比は負の圧力依存性を示す(図: 強度比)．ただしこの圧力の変化によって $^{12}CO_2$ スペクトルのピーク位置が約 1 $cm^{-1}$ 変化するので，純粋なピーク位置の変化による確度への影響を検証するため流体の圧力 10 MPa で測定中心を左右に 1.5 $cm^{-1}$ 変化させて測定を行なった．結果，測定中心をずらしても一定の測定中心の繰り返し測定と偏差がほぼ変わらない(強度比: ~7.5‰)ため純粋なピーク位置変化の影響は存在しない．圧力変化による強度比エリア比の変動は直線的であり，ラマン分光分析で同時に圧力が測定できるため校正が可能である．そのためこの圧力依存性はラマン分光分析による炭素同位体比測定の障害とはならないであろう．




Key words: Raman spectroscopy, $CO_2$ fluid, carbon isotopic ratio, fluid inclusion

*Corresponding author. E-mail address: l_yokokura@eis.hokudai.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R6P-02

# 九州に分布する姫島火山群と両子山火山群の第四紀マグマの成因関係の検討

平山剛大*，柴田知之，芳川雅子（広島大）

# Investigation of genetic relationship between Quaternary magmas from Hime-shima and Futagoyama volcanic group in Kyushu

T. Hirayama*, T. Shibata, M. Yoshikawa (Hiroshima Univ.)

流紋岩質マグマの成因として，近年地殻物質の再溶融が注目されている(e.g. Parker, 2005). しかしながらこのような研究の多くは，地殻物質の同化分別結晶作用や親マグマからの結晶分化作用で流紋岩の化学組成変化説明が困難であることを根拠としており，流紋岩と地殻物質そのものの地球化学的特徴を基に議論している研究は少ない．姫島火山群は九州国東半島沖合に位置し，デイサイトと流紋岩から構成されている(伊藤，1990). 一方，同じ九州内では熊本県の阿蘇山でも流紋岩が確認されているが，阿蘇山は玄武岩から流紋岩といった，姫島火山群と比較すると幅広い組成の溶岩が噴出しており，阿蘇山は複雑なマグマ進化過程を持つ可能性が指摘できると考えられる．よって，この姫島火山群の流紋岩の地球化学的特徴を基にすれば，単純なモデル計算によって流紋岩質マグマの成因を議論できる可能性が高い．一方，両子山火山群は中部九州の国東半島主要部を占めており，姫島火山群の南西部に位置している．両子山火山群は安山岩・デイサイトから構成されており(松本・成重, 1985), 姫島火山群，由布・鶴見岳，阿蘇山等とともに火山フロントを形成している．伊藤(1989)は，姫島と国東半島を隔てる姫島水道に認められる地形の高まりが姫島火山群に含められる可能性を指摘している．このことから，姫島火山群が両子山火山群の側火山に位置づけられる可能性が指摘でき，その成因関係も類似している可能性が高いと考えた．そこで，本研究では Shibata et al. (2014)で公表された両子山火山群・姫島火山群のマグマの地球化学的データに加え，新たに姫島火山群の流紋岩質マグマの全岩微量元素組成を分析し，両子山火山群・姫島火山群のマグマ進化過程について解析した．

両子山火山群のデイサイトマグマは，脱水流体の付加によるマントルの部分溶融を起源とする由布岳・鶴見岳(Sugimoto et al. 2007)に類似した安山岩・デイサイトと，沈み込むスラブの部分溶融を起源とするデイサイトマグマとの混合によって形成された可能性が高い．姫島火山群のマグマ進化過程は，岩石学的研究から，デイサイト質マグマと，流紋岩質マグマとの混合によって形成された(伊藤, 1990)と考えられており，本研究で行った微量元素組成を基にしたマグマ混合のモデル計算結果からも同様の結果が得られた．これらのことから両子山および姫島火山群のデイサイト質マグマは，高 Sr/Y 比(約 70), 低 Y 濃度(< 14.3 ppm)といった類似した化学的特徴を示し，共通の成因を持つ可能性が高い(Shibata et al., 2014)のに対し，両子山および姫島火山群のマグマ進化過程は異なる可能性を指摘できる．また姫島火山群の流紋岩質マグマ端成分における地殻物質の影響についても議論を行った．

Keywords: Hime-shima volcanic group, Futagoyama volcanic group, magma genesis

*Corresponding author: takehiro-hirayama@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R6P-03

# ノースパタゴニアバソリスに産する花崗岩類の多様性

三浦大和，加々島慎一（山形大），高橋俊郎，野原里華子（新潟大）

# Diversity of granitic rocks in the North Patagonian Batholith

Hirokazu Miura*, Shin-ichi Kagashima (Yamagata Univ.),
Toshiro Takahashi and Rikako Nohara (Niigata Univ.)

The North Patagonian Batholith was formed by plutonic events that took place between the Jurassic Period and the Miocene Epoch. The Miocene granitic rocks from Puerto Cisnes distributed in north Chilean Patagonia are divided into three parts : Puerto Cisnes Granites, Queulat Diorites and Tonalites, Queulat Diorites and Porphyries. Initial Sr and Nd ratios of these rocks are 0.70351 - 0.70549 and 0.51264 - 0.51287, respectively. Sr*I* of metasedimentary rock is 0.70525. Some of the granitic rocks in this area show similar values to the Sr*I* of the metasedimentary rock, which suggests the possibility of their assimilation with crustal materials.

チリ・パタゴニアには，ジュラ紀から中新世にかけて形成したと考えられているパタゴニアバソリスが分布する． パタゴニア地方北西部のタイタオ半島では現在，チリ海嶺の沈み込みが起きている．本研究地域はタイタオ半島の北方にあたるプエルトシスネス周辺である．本研究地域に分布するパタゴニアバソリスは，Puerto Cisnes Granites (PCG), Queulat Diorites and Tonalites (QDT), Queulat Diorites and Porphyries (QDP)に区分されている（Parada et al., 2000）．PCG の年代値や上昇速度に関する研究は行われているが岩石成因論はなされていない．若い海洋地殻の低角沈み込みに伴う珪長質火成活動は，初期大陸地殻の形成過程の理解につながると考えている．このためパタゴニアバソリス周辺部に分布する花崗岩類，変堆積岩について全岩化学組成，希土類元素分析， Sr・Nd 同位体比分析を行った．また，プエルトシスネス北部に広く分布する角閃石トーナル岩のジルコン U-Pb 年代測定を行なった．これらの結果から本研究地域の花崗岩類の多様性について考察を行う．

プエルトシスネス南部に位置する PCG の岩体で約 1km 渡る連続露頭が存在し，不均質な斑れい岩がみられる露頭，マフィック部とフェルシック部が不均質であり角閃石のメガクリストがみられる露頭が近接している．同様の岩体では，細粒～粗粒の閃緑岩がみられる不均質な露頭もあり，狭い範囲に 3 つの岩相が密集している．プエルトシスネス東部では閃緑岩質のマフィック部とざくろ石を含有する花崗岩のフェルシック部が不均質に混在している．このざくろ石を含有する花崗岩は Rb-Sr 全岩アイソクロン法で 9.6 ±0.4 Ma が報告されている（Hervé et al., 1993）．さらにこの大規模な露頭は約 1 km に渡って存在し，一部にシンプルトニックダイクがみられる． QDT の岩体では約 3 km ほど連続露頭を観察でき，トーナル岩の随所に 10 ~ 50 cm の球状のエンクレーブが多数存在する．また, Queulat Diorite は角閃石 Ar-Ar 年代で 17.9±0.2 Ma が報告されている (Parada et al., 2000)．本研究においてトーナル岩からジルコンを抽出し，15.3 ± 0.23 Ma の U-Pb 年代値を得た．

Sr・Nd 同位体比初生値は Sr*I* = 0.70351 ～ 0.70549，Nd*I* = 0.51264 ～ 0.51287 を示す．プエルトシスネス周辺の花崗岩類は一般的な花崗岩の Sr*I* より低く、岩相としては閃緑岩～ざくろ石を含有する花崗岩までバリエーションに富んでいる．研究地域の花崗岩類の Sr*I*, Nd*I* の変化幅は小さく、変堆積岩の Sr*I* は他の岩体よりやや高い 0.70525 を示す．Sr*I* vs Nd*I* の図においてほとんどの試料は Mantle arrey 上にのり，比較的まとまってプロットされるため，同一のマグマ起源物質が示唆される．さらに，プエルトシスネスの花崗岩類の一部は変堆積岩の Sr*I* に近い値を示すことから地殻物質との同化により多様性が生じたと考えられる．

Keywords:Patagonian Batholith, Miocene granite,
Corresponding author:s181510m@st.yamagata-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R6P-04

# 北上山地，堺ノ神深成岩体の岩石化学的研究 ： 結晶分化作用と地質温度計・圧力計の適用

鈴木哲士 (山形大学院)・中島和夫・湯口貴史 (山形大学)

# Petrochemistry of the Sakainokami plutonic body in Kitakami moutains, Northeasthern Japan: Crystallization differentiation deduced from application for the geothermometer-geobarometer

Satoshi Suzuki*, Kazuo Nakashima, Takashi Yuguchi (Yamagata University)

北上山地は中古生界の堆積岩類とそれを貫く火成岩類に大きく分類することができる(生出ほか, 1989)。北上山地の深成岩類はその岩相変化、鉱物のモード比、全岩化学組成などに基づいてI～VI帯に区分されている(片田ほか, 1971: 蟹沢・片田, 1988)。本研究対象である堺ノ神深成岩体はこのIII帯に属する。III帯の特徴としては、岩体が小さく、岩相が顕著に変化し、斑レイ岩～花崗岩まで幅広く岩相が変化するなどの特徴がある(Kato and Hama, 1976)。

堺ノ神深成岩体は全岩の化学組成に基づいて、一連の結晶分化作用によって生じた岩体とされており、野外と鏡下観察から 3 つの岩相に分類される(Kato and Hama, 1976)。しかしながら、浅井 (1992MS)ではモード分析と先行文献の地質分布、鉱物組み合わせから 4 つの岩相に区分している。そのため、本研究では浅井 (1992MS)の岩相区分を踏襲した。本岩体での造岩鉱物の化学分析を行うことは岩体の貫入定置プロセスを議論する上で有用となる。また、地質温度計・圧力計を用いた研究は鉱物の形成環境を知る上で重要である。そこで本研究では全岩化学組成、造岩鉱物の化学分析を行い、地質温度計・圧力計を用いて形成過程について言及する。

全岩化学分析の結果、4 つの岩相を通じて SiO2 は 49~66 wt%の広い範囲を示す。ハーカー図の主成分元素、微量元素の多くは 1 つのトレンドを示しながらも、一部主要元素である Al2O3 と P2O5 が、微量元素である Cr、Ni、Zr が大きくばらつき、同岩相内でも大きくばらついた試料があった。この傾向は 4 つの岩相の単純な結晶分化プロセスをたどったとは言えず、異なるマグマが貫入している可能性も示唆する。

造岩鉱物化学分析から、Schmidt (1992) の Al-in-角閃石圧力計、Blundy and Holland (1990)の斜長石・角閃石温度計を用いてそれぞれコアとリムに分け、温度･圧力を求めた。P-T 図に得られた温度・圧力をプロットした結果、花崗岩のソリダス線との位置関係から、結晶分化作用が進むにつれてマグマ中の水の飽和度に変化が推定される。

Keywords: Sakainokami plutonic body, Geothermometer, Geobarometer, Crystallization differentiation

*Corresponding auther: s191508m@st.yamagata-u.ac.jp

R6P-05

# 新潟県糸魚川市青海地域の蛇紋岩メランジュ中の優白質岩の多様性

奥山史織・加々島慎一（山形大学），
竹之内耕・小河原孝彦（フォッサマグナミュージアム）

# Diversity of leucocratic rocks in serpentinite melange in the Omi area, Itoigawa City, Niigata Prefecture

Shiori Okuyama, Shin-ichi Kagashima (Yamagata Univ.),
Ko Takenouchi, Takahiko Ogawara (Fossa Magna Museum)

The Omi area of Niigata Prefecture is located near the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL), where a variety of leucocratic rocks are distributed in the serpentinite melange. From the petrography results, leucocratic rocks are divided into three types as follows, two mica-bearing, zoisite-bearing, and amphibole-bearing. As a result of the Sr content indicates the presence or absence of metasomatism. Therefore, zoisite-bearing and amphibole-bearing rocks underwent metasomatism, whereas other granitic rocks indicate primitive values.

新潟県糸魚川市は，糸魚川－静岡構造線が南北を通っており，構造線の西側には太古代～中生代の地質体，東側には新生代の若い地質体からなる地質学的に多様性のある地域となっている．糸魚川市の青海川上流には，300 Ma の高圧型結晶片岩，300 Ma 以前の年代を示す角閃岩・ヒスイ輝石岩・アルビタイト・ロディン岩などの岩塊を含む蛇紋岩メランジュが分布する（竹内ほか，2010）．アブキ谷・アイサワ谷分岐点のやや下流の河床には現地性の優白質な巨石があり，花崗岩質岩石とされているが地球化学的特徴・成因・年代などは不明である．そのため，本研究では花崗岩質岩石について，岩石記載，全岩化学分析，ジルコンの U-Pb 年代測定等を行い．その結果をもとに成因を明らかにすることを目的とする．

現地調査では花崗岩質岩石のほか，比較のためのアルビタイト，ロディン岩も採取した．計 13 試料について薄片を作製し，岩石記載，モード測定，全岩・鉱物化学分析を行った．

花崗岩質岩石は肉眼観察，岩石記載の結果より，3 タイプに分けることができ，①白雲母・黒雲母（緑泥石）を含むもの，②ゾイサイトを含むもの，③巨晶の角閃石を含むものがある．

岩石記載の結果，①，②は石英，斜長石，白雲母，ザクロ石，緑泥石からなり，一部の岩石では黒雲母が認められる．また，斜長石のソーシュライト化が著しい．石英は普遍的に認められるが，カリ長石はほとんど認められない．②では二次的にゾイサイトが生成し，方解石も含まれており，①と比較すると変質が強い傾向にある．③は，石英，斜長石，角閃石からなり，一部白雲母も認められる．副成分鉱物はジルコン，ゾイサイト，アパタイトがみられ，斜長石脈や石英脈がみられる．この岩石は巨晶角閃石ゾイサイト岩と呼ばれるもので，交代作用によって形成したと考えられている（中水ほか，1989）．

全岩化学組成の結果では，Sr 含有量が①約 200～400 ppm，②約 650 ppm，③約 3000 ppm と岩相の違いによって値が大きく異なる．また，鉱物化学組成の結果より，③に含まれるゾイサイトには Sr に非常に富むリムが形成されていることが確認された．

これらの結果より，交代作用を受けた岩石は，Sr に富む流体が関与することによってその含有量に差が出たと考えられる．したがって，①の花崗岩質岩石は交代作用を受けず，初生的な値を示しており，②および③は交代作用を被ったことで Sr 含有量が①よりも高い値を示し，初生的な組成を保持していないといえる．

Keywords : serpentinite melange, metasomatism
Corresponding author : s191503m@st.yamagata-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R6P-06

# In-situ ジルコンの U-Pb 年代と Ti 濃度の同時取得：世界で最も若い黒部川花崗岩体を用いたアプローチ

石橋梢（山形大），坂田周平（東京大・地震研），山嵜勇人（山形大），
湯口貴史（山形大）

# Simultaneously quantitave determination of U-Pb age and titanium concentration: case study of Kurobegawa granite.

Kozue Ishibashi (Yamagata Univ.), Shuhei Sakata (Tokyo Univ.),
Hayato Yamazaki (Yamagata Univ.), Takashi Yuguchi (Yamagata Univ.)

本研究では，薄片中ジルコン（鉱物分離を行わない In-situ ジルコン）の U-Pb 年代とチタン（Ti）濃度を，レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析法（LA-ICP-MS）を用いて同時定量する手法の構築を目的とする．

研究対象である黒部川花崗岩体は，富山県の黒部川流域に位置する新第三紀花崗岩類であり，地球上で露出している深成岩類の中では最も若い結晶化年代を持つ（Ito et. al., 2013）．U-Pb 年代の誤差は相対誤差で算出されるため，このような若い年代の岩石を用いることでより効果的にジルコン内部の U-Pb 年代及び Ti 濃度のバリエーションを把握することができる

U-Pb 年代と Ti 濃度の同時定量を行うにあたり，カソードルミネッセンス（CL）像を元に，合計 16 個のジルコンから 21 点の分析点を選定した．そのうち 1 つの結晶から 2 つの分析点をとり，U-Pb 年代と Ti 濃度を取得することができたジルコンは 4 試料であった． LA-ICP-MS による分析は，学習院大学理学部のレーザーアブレーション装置（NWR213）及び ICP-QMS（Agilent8800）を使用し，レーザー径：30 μm あるいは 25 μm，発振周波数：5 Hz，Shot count：150 shot，レーザーのエネルギー密度：2.5 J/cm$^2$，レーザーの種類：Nd: YAG レーザー，較正用標準物質：NIST SMR610 および 91500 ジルコンという条件で行った．分析の結果，ジルコンの U-Pb 年代は 1.07 ± 0.09 Ma から 0.63 ± 0.12 Ma であった．これは先行研究である Ito et. al. (2013) で報告されていた黒部川花崗岩体の年代と整合的な値である．このことから，Ti 濃度と同時に定量を行っても U-Pb 年代の信頼性は失われないことが確認できた．

Ti 濃度は 0.92 ± 0.08 ppm から 16.99 ± 0.84 ppm であった．チタンの活動度を 1 として，Watson et al. (2006) の温度計に Ti 濃度を代入して結晶化温度を算出すると最低温度がソリダス温度を下回ってしまうが，活動度が 0.3 以下と仮定すれば最低温度がソリダス温度を上回ることが確認できた．黒雲母の結晶化温度から活動度を 0.3 と仮定して計算を行うと，ジルコンの結晶化温度は 646.8 ± 6.9 ℃から 918.1 ± 1.0 ℃であった．

1 つの結晶から 2 つの分析点をとり，U-Pb 年代と Ti 濃度を取得することができたジルコンは 4 試料の結晶内で温度と年代を比較すると，コアの方がリムよりも U-Pb 年代が古く Ti 濃度が高い傾向にあることが確認できた．これは CL 像から推定できる結晶の成長方向と整合的である．また，結晶化の速さの違いや急激な温度変化を引き起こす冷却イベントの存在も推定できた．よってこの手法はジルコンの結晶が成長した時の温度・時間履歴の推定において有効である．

Keywords: zircon, U-Pb age, Ti in zircon thermometer, CL image, LA-ICP-MS

Corresponding author: s191501m@st.yamagata-u.ac.jp

R6P-07

# 山口県，屋代島に産する領家帯深成岩類のマグマ過程

児玉省吾，大和田正明，今岡照喜（山口大学），亀井淳志（島根大学），池田雄輝（復建調査設計株式会社）

# Magma process of the Ryoke plutonic rocks, Yashiro-jima island, Yamaguchi Prefecture, SW Japan.

Shogo Kodama*, Masaaki Owada, Teruyoshi Imaoka (Yamaguchi Univ.), Atsushi Kamei (Shimane Univ.), Yuki Ikeda (FUKKEN CO., LTD.,)

The granitoids of the Ryoke Belt in Yashiro-jima island are made up of the Towa Granite (Ryoke younger granite) and Gamano Granodiorite (Ryoke older granite). Both the Towa Granite and Gamano Granodiorite have the geochemical character similar to Volcanic Arc Granite. In addition, their Sr-Nd isotopic compositions resemble each other; thereby suggesting that the granitoids from Yashiro-jima island are originally derived from the similar source materials.

西南日本には白亜紀–古第三紀に活動した火成岩類が広く分布し，花崗岩類は記載的・地球化学的特徴により，北〜南へ山陰帯，山陽帯，領家帯に区分される(Ishihara, 1977)．山口県東部に分布する領家帯花崗岩は産状や貫入関係から領家帯新期花崗岩と領家帯古期花崗岩に分けられ，屋代島では蒲野花崗閃緑岩と東和花崗岩がそれぞれ古期花崗岩類と新期花崗岩類に相当するとされた．屋代島中央部から東部にかけて分布する東和花崗岩は，塊状で斑晶状のカリ長石を含み，産状から新期花崗岩に分類された(岡村, 1957)．また，同様の岩相は屋代島西武に分布する蒲野花崗閃緑岩中にも産する(池田ほか, 2019)．しかし，屋代島に産する花崗岩類，特に東和花崗岩は成因関係の理解に乏しく，記載的特徴が述べられているにすぎない．本研究では東和花崗岩のマグマ過程について検討し，蒲野花崗閃緑岩との成因関係を議論する．

東和花崗岩($SiO_2$ wt.% = 67.3~76.9, $K_2O$ wt.%= 2.6~7.2) は，中粒〜粗粒の黒雲母花崗岩である．主な構成鉱物は石英，斜長石，カリ長石および黒雲母で，最大5cmに達するカリ長石斑晶を含む．蒲野花崗閃緑岩($SiO_2$ wt.% = 64.6~~69.8, $K_2O$ wt.%= 1.3~3.5) は中〜粗粒で黒雲母の配列による弱い面構造を示す．主な構成鉱物は石英，斜長石，黒雲母および少量のカリ長石である．両者は地球科学的判別図において火山弧花崗岩の領域にプロットされる．また，共通したコンドライトで規格化したREEパターンを示すが，東和花崗岩の方がより強いEuの負異常を示す．

東和花崗岩と蒲野花崗閃緑岩はεSrI–εNdI図においてほぼ同じ領域にプロットされる．これは，共通の同位体組成を持つ起源物質に由来した可能性が高いことを示唆する．記載や化学的特徴を考慮すると，東和花崗岩はより分化したマグマに由来し，蒲野花崗閃緑岩との岩相の違いは，冷却時のマグマ組成(特に$K_2O$量)に起因すると推察される．

Key words: Southwest Japan, Cretaceous, Ryoke Belt, Granite, magma process

corresponding E-mail address: i002wb@yamaguchi-u.ac.jp

# 四国北西部高縄半島に分布する領家帯花崗岩類の全岩化学組成とジルコン U–Pb 年代

下岡和也*、齊藤哲(愛媛大学)、谷健一郎(国立科学博物館)

# Whole-rock chemical compositions and zircon U-Pb ages on the granitoids in Ryoke belt, Takanawa Peninsula, northwest Shikoku, southwest Japan

Kazuya SHIMOOKA*, Satoshi SAITO (Ehime Univ..)
Kenichiro TANI (National Museum of Nature and Science)

**1.はじめに** 四国北西部に位置する高縄半島には、多様な岩相からなる領家帯花崗岩類が分布している。当地域の花崗岩類についてはこれまで宮久・平岡(1970)、越智(1982)などにより岩石記載や岩相区分が行われている。本地域の花崗岩類について、越智(1982)は貫入形態から、Kagami et al. (1988)は Rb-Sr 全岩アイソクロン年代から、吉倉ほか(2004)はジルコン(単粒子)U-Pb 年代測定から、それぞれ岩体形成の前後関係を考察したが、見解が異なっておりさらなる検討が必要である。一方、当地域の花崗岩類の全岩化学組成についての報告は限られている。そこで本研究では、野外調査、全岩化学組成分析、ジルコン U-Pb 年代測定を行い、高縄半島領家帯花崗岩類の地球化学的特徴およびマグマ形成年代の検討を行なった。

**2.全岩化学組成** 本研究では、越智(1982)の岩体区分に基づき、岩石試料採集と全岩化学組成分析を行った。ノルム An-Ab-Or 花崗岩分類図上での分類では、越智(1982)のトーナル岩質岩はトーナル岩～花崗閃緑岩、花崗閃緑岩質岩はトーナル岩～花崗閃緑岩、花崗岩質岩は多くが花崗岩の組成を持つことが確認された。$SiO_2$含有量については、トーナル岩質岩は 61～68 wt%、花崗閃緑岩質岩は 67～76 wt%、花崗岩質は 70～80 wt%の組成範囲を持つ。ハーカー図上では、岩体ごとに固有の組成トレンドを示し、一部の岩体では微量元素について岩体内に異なる組成トレンドが認められる。

**3. ジルコン U-Pb 年代** トーナル岩質岩（1 岩体)、花崗閃緑岩質岩（1 岩体)、花崗岩質岩（4 岩体）の試料からジルコンを分離し、U-Pb 年代測定を行った。その結果、トーナル岩質岩から約 94 Ma、花崗閃緑岩質岩から約 89 Ma、花崗岩質岩から約 97 Ma と約 94 Ma の年代が得られた。

**4. 議論** 本研究でおこなった全岩化学組成に基づく花崗岩の分類は、越智(1982)の結果と概ね一致する。全岩化学組成における異なるトレンドの存在は、組成の異なる複数のマグマの存在を示唆する。本研究でのトーナル岩質岩(約 94 Ma)、花崗閃緑岩質岩(約 89 Ma)、花崗岩質岩(約 97 Ma と約 94 Ma)の年代値は、越智(1982)、Kagami et al. (1988)、吉倉ほか(2004)がそれぞれ考察したどの前後関係とも不調和である。全岩化学組成における異なるトレンドの存在と約 97～89 Ma の範囲にわたるジルコン U-Pb 年代から、高縄半島に分布する領家花崗岩類の形成には、活動年代と化学組成の異なる複数のマグマが関与したものと考えられる。

**引用文献**: Kagami et al. (1988) Geochem J 22, 69-79. 宮久・平岡(1970) 愛媛大学紀要 自然科学 Ser. D(地学) 4, 59-70. 越智秀二(1982) 地質学雑誌 88, 511-522. 吉倉ほか(2004) 日本岩石鉱物鉱床学会学術講演会講演要旨集 215.

Key word: Takanawa Peninsula, Granitoids in Ryoke belt, Whole-rock chemical compositions, Zircon U-Pb ages
*Corresponding author: shimooka19961213@yahoo.co.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 北部九州，尺岳閃緑岩体の内部構造

江島圭祐・大和田正明（山口大学）・亀井淳志（島根大学）

# Internal structure of the Shaku-dake diorite body, northern Kyushu

Keisuke ESHIMA*, Masaaki OWADA (Yamaguchi Univ.) and Atsushi KAMEI (Shimane Univ.)

【はじめに】花崗岩や閃緑岩などの深成岩体はマグマ溜まりの化石と言われ（Wibe, 1994），マグマ溜まりの状態，マグマの挙動および固結時までの活動記録を保存している．北部九州には，白亜紀に活動した花崗岩バソリスが東西約 100 km 南北約 50 km の範囲に分布し，17 岩体に区分される．また，近年花崗岩バソリスを構成する少岩体の中から高 Mg 安山岩（HMA）組成の貫入岩が報告されている（Kamei et al., 2004; 江島・大和田, 2018; 江島ほか, 2019）．さらに，HMA 組成の岩石は珪長質マグマと密接に関連していることが知られており（巽， 2003），地殻の進化過程においても非常に重要な岩石である．したがって，HMA 組成に類似する尺岳閃緑岩体を詳細に検討することにより，その岩体の内部構造のほか，他の岩体との関係性まで検討することができる．そこで本研究では尺岳閃緑岩帯において高密度サンプリングを実施し，岩体の内部構造（岩相変化）や定置過程などを明らかにする．このような研究は北部九州における HMA 組成の岩石の精密解析としてケーススタディになることが期待される．

【地質概要】尺岳周辺の地質は，脇野亜層群を母岩とし，それを貫く尺岳岩体と岩脈類から構成される．尺岳岩体は尺岳西斜面に 1.9 × 1.5 km の楕円状に産し，脇野亜層群に接触変成作用を与えている．貫入境界部では，脇野亜層群と石灰岩を捕獲岩として包有することもある．また，黒雲母 K–Ar 年代として 106.3 ± 5.3 Ma が岩体西部の花崗閃緑岩から報告されている（村上，1989）．尺岳岩体の貫入時期は北部九州に産する白亜紀深成岩類とほぼ同時期である．尺岳岩体主岩相の閃緑岩は塊状で，細粒～中粒の岩相を示す．岩脈類はドレライト，斑状細粒トーナル岩，単斜輝石花崗閃緑岩, ホルンブレンド-黒雲母花崗閃緑岩および細粒黒雲母花崗岩の 5 岩相に区分される．

【両輝石閃緑岩の産状】岩相の特徴は全体的に暗灰色～黒色で，有色鉱物として 0.5–1.5 mm の直方輝石と単斜輝石が岩石の大部分を占めている．粒度は細粒～粗粒まで多様であり，粗粒な岩石は標高の高い場所に産する．有色鉱物や斜長石の定向配列による流理構造は発達しない．一方，漸移的に岩相の色合い（珪長質～苦鉄質）が変化している岩石（サージ）や優黒質なシュリーレンが観察される．貫入境界部では，脇野亜層群や石灰岩を捕獲岩として包有することもある．

【尺岳閃緑岩体のモード組成と全岩化学組成による高度・平面変化の検討】各組成による高度変化の検討では標高約 300 m以下，300−450 mおよび 450−550 mで組成差が顕著に現れた．標高約 300−450 m の範囲では珪長質鉱物と黒雲母量，$SiO_2$, $K_2O$（wt%）が多く，分化した組成である．一方，標高 300 m 以下と 450−550 m の範囲では苦鉄質鉱物量, $Fe_2O_3$, MgO, Cr および Ni（wt%, ppm）が多い．一方，平面変化の検討では岩体の周縁部では岩体中心部に比べ苦鉄質鉱物と $Fe_2O_3$, MgO（wt%）が多い．しかし，岩体南部の周辺部に関しては逆に少ない傾向にあるまた，液相濃集元素の含有量は母岩との接触域や岩脈貫入域に多い．以上から尺岳閃緑岩体は高度変化と平面変化の 2 つの変化が組み合わさっていることと母岩のゼノリスから推察されるように液相濃集元素の移動を含む同化分別結晶作用や混合作用を経ている可能性が高い．

【岩相変化モデルと定置モデル】これまでの検討結果から尺岳閃緑岩体の岩相変化は，主に岩体の三次元的中心部に向かい直方輝石と単斜輝石が取り去られる分別結晶作用が，岩体外縁部（母岩接触域）と岩脈貫入域では液相濃集元素を移動させる同化分別結晶作用や混合作用が起こったと考えられる．一方，尺岳閃緑岩体の定置モデルは野外産状から確認されるサージや優黒質シュリーレンなどの組織から sheet on sheet model （Menand. 2008, 2011）が考えられる．定置モデルの検討に関してはマグマの粘性や密度も考慮すべきであるのでこれからの課題として取り組んで行く．

Keyword: HMA, magma chamber, magma process
Corresponding author: kesuikemashie@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 周防変成岩に貫入する紅柱石含有両雲母花崗岩の化学組成

柚原雅樹*（福岡大・理）・川野良信（立正大・地球環境）・岡野　修（岡山大・理）

# Whole-rock chemical compositions of andalusite-bearing two-mica granite intruded into the Suo metamorphic rocks, eastern North Kyusyu

Masaki Yuhara* (Fukuoka Univ.), Yoshinobu Kawano (Rissho Univ.) and Osamu Okano (Okayama Univ.)

Andalusite-bearing two-mica granite intruded into the Suo metamorphic rocks in the Asakura area, eastern North Kyusyu. The two-mica granite consists of fine- to medium-grained two-mica granite, and contains andalusite and garnet. This granite is characterized by peraluminous compositions. Sr isotopic ratios of the granite calculated by 103.73 Ma range from 0.70668 to 0.70686, and are lower than those of the Suo metamorphic rocks (0.71025-0.71197), and slightly higher than initial Sr isotopic ratios of Cretaceous Granitic rocks in North Kyusyu. Thus, andalusite-bearing two-mica granite magma was produced by melting of Cretaceous tonalite - granodiorite.

九州北部，朝倉地域の周防変成岩中に貫入する紅柱石含有両雲母花崗岩の全岩化学組成分析とSr同位体比測定を行い，その成因について考察した．

本花崗岩は，英彦山団研グループ（1992）によって優白質花崗岩とされた岩体に相当する．しかし，久保ほか（1993）や北野・池田（2012）では真崎花崗岩とされている．岩体は東西約1 kmの幅を持ち，東側の貫入境界は周防変成岩の面構造にほぼ平行で，西北西−東南東走向で高角である．西側の境界は北北西−南南東走向で，変成岩の面構造を切る．さらに変成岩中に南北走向で傾斜が高角な厚さ2.7〜50 mの岩脈としても貫入する．

本花崗岩は，細〜中粒の両雲母花崗岩からなる．鏡下では半自形粒状組織あるいは斑状組織を呈し，主に石英，カリ長石，斜長石，白雲母，黒雲母からなり，副成分鉱物として不透明鉱物，紅柱石，ざくろ石，燐灰石，ジルコンを含む．紅柱石は無色〜淡いピンク色を呈し，他形で，単独には存在せず，多くの場合，白雲母に包有される．薄い白雲母で縁取られている場合もある．まれに斜長石に包有される．

本花崗岩の$SiO_2$含有量は，70.4〜74.5 wt.%で，A.S.I. = 1.10〜1.23と，パーアルミナスな化学組成を有する．化学組成の違いから，主に黒雲母花崗岩からなる真崎花崗岩や黒雲母花崗岩〜両雲母花崗岩からなる油須原花崗岩とは異なるマグマから形成されたと考えられる．真崎花崗岩のU-Pbジルコン年代（103.73 Ma）で年代補正した本花崗岩のSr同位体比は，0.70668〜0.70686であり，周辺の北部九州白亜紀花崗岩類に比べ若干高いが，周防変成岩の泥質片岩（0.71025〜0.71197）に比べるとかなり低い．したがって，Kamei（2002）によって指摘されているように，Sr同位体比が低く，パーアルミナスな本花崗岩も，トーナル岩〜花崗閃緑岩の部分溶融によって形成された可能性がある．

文献：英彦山団研グループ（1992）地質雑 98, 571-586. Kamei（2002）Gondwana Res. 5, 813-822. 北野・池田（2012）地質雑 118, 801-809. 久保ほか（1993）20万分の1地質図　福岡．

Keywords: Andalusite-bearing two-mica granite, Whole-rock chemical composition, Sr isotopic ratio, Cretaceous granitic rocks, North Kyusyu

*Corresponding author: yuhara@fukuoka-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ポスター | R7: 岩石・鉱物・鉱床一般 (資源地質学会共催セッション)

2019年9月21日(土) 9:30 ~ 17:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

**R7: 岩石・鉱物・鉱床一般 (資源地質学会共催セッション)**

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[R7P-01] オマーンオフィオライトWadi Tayin岩体における地殻−マントル境界にみられるマントル−メルト相互作用

*高澤 栄一[1,2]、木暮 優芽斗[3]、石井 慶佑[3]、Chatterjee Sayantani[1]、小柳 夏希[1]、道林 克禎[4]、田村 芳彦[2]、The Oman Drilling Project Science Party (1. 新潟大・理、2. 海洋研究開発機構、3. 新潟大・院自然、4. 名古屋大学)

[R7P-02] 長野県大鹿村のカンラン岩の蛇紋岩化作用

*武田 侑也[1]、上原 誠一郎[1] (1. 九大・理地惑)

[R7P-03] Hess Deep マントルかんらん岩に産する二次的かんらん石の化学組成

*後神 大輔[1]、野坂 俊夫[1] (1. 岡山大・院自然)

[R7P-04] 輝石温度の冷却速度応答性による海洋リソスフェアの見かけ温度分布

*西村 光史[1]、山本 順司[2]、石橋 秀巳[3] (1. 東洋大学、2. 北海道大学、3. 静岡大学)

[R7P-05] クラックの発生頻度の違いによる海洋モホ面での地震波不連続性
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*赤松 祐哉[1]、片山 郁夫[1]、利根川 貴志[2] (1. 広島大・院理、2. JAMSTEC)

[R7P-06] 岩石微細組織観察に於けるEPMA定量イメージング技術の活用

*吉田 健太[1] (1. JAMSTEC)

[R7P-07] 沖縄トラフ海底熱水サイトのチムニー初期生成過程に関する鉱物学的解析

*大森 敬太[1]、長瀬 敏郎[2]、野崎 達生[3]、栗林 貴弘[1] (1. 東北大・院理、2. 東北大・総学博、3. 海洋機構)

[R7P-08] 沖縄トラフ熱水鉱床に産するisocubaniteの磁気特性

*加藤 千恵[1]、大野 正夫[1]、桑原 義博[1]、畠山 唯達[2]、山田 康洋[3]、戸塚 修平[4]、島田 和彦[4]、石橋 純一郎[4]、長瀬 敏郎[5] (1. 九大比文、2. 岡山理大、3. 東京理大、4. 九大理、5. 東北大博物館)

[R7P-09] 高温高圧下で高酸化状態を保持するための試料容器

*川嵜 智佑[1] (1. 愛媛大学)

[R7P-10] 北海道羽幌地域の上部白亜系上部蝦夷層群中に見られる海緑石

*門谷 明弘[1] (1. 愛媛大)

[R7P-11] インドAravalli-Delhi造山帯に露出するシュードタキライトの微細組織とその形成過程

*岡崎 淳哉[1]、安東 淳一[1]、Das Kaushik[1]、富岡 尚敬[2]、兒玉 優[3] (1. 広島大・院理、2. JAMSTEC、3. マリン・ワーク・ジャパン（株）)

R7P-01

# オマーンオフィオライトWadi Tayin岩体における地殻−マントル境界にみられるマントル−メルト相互作用

高澤栄一* (新潟大・理/ JAMSTEC)・木暮優芽斗・石井慶佑 (新潟大院)・Chatterjee Sayantani・小柳夏希 (新潟大理)・道林克禎 (名古屋大)・田村芳彦 (JAMSTEC)・The Oman Drilling Project Science Party

# Mantle-melt interaction at the crust-mantle boundary in the Wadi Tayin massif, the Oman mantle peridotite

Eiichi Takazawa* (Niigata Univ/ JAMSTEC), Yumeto Kogue, Keisuke Ishii, Sayantani Chatterjee, Natsuki Oyanagi (Niigata Univ), Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya Univ), Yoshihiko Tamura (JAMSTEC)

オマーンオフィオライトの地殻およびマントル相当層の境界には地殻−マントル遷移帯（あるいはモホ遷移帯）と呼ばれるダナイトを主体とする厚さ数十〜数百メートルの特異な岩層が存在する[1]。このダナイトを主体とする遷移帯の形成はMORBメルトから晶出したかんらん石の集積や，輝石に不飽和なMORBメルトとハルツバージャイトとの反応[2-5]で説明されている他，熱水の関与も指摘されている[7-8]。ICDP Oman Drilling Projectは，地殻-マントル遷移帯の形成過程及び海洋モホロビチッチ不連続面との対応関係を明らかにすることを目的に，オマーンオフィオライトの地殻−マントル境界の陸上掘削を行なった。本講演では，オマーンオフィオライトWadi Tayin岩体Wadi Zeebの地殻-マントル境界部で掘削されたHole CM2B（UTM: 40Q 637000E, 2534270N）のCrust-Mantle TransitionとMantle Sequenceの境界部における岩相変化と主成分および微量元素の全岩化学組成の対応関係について報告する。Hole CM2Bでは全長300.00mのコアが採取され，最上部はCrust-Mantle Transitionの最上部付近に相当する。0-12mは沖積層，12-74mはDunite Sequence，74-121mはDunite with Gabbro Sequence，121-300mはMantle Sequenceと区分された。下位のMantle Sequenceのハルツバージャイトから上位のCrust-Mantle Transitionのダナイトへ向かって直方輝石の消滅が認められる。それに伴い，全岩組成のCaO wt%もハルツバージャイトの0.7-0.9wt%から0.3-0.6wt%のDunite with Gabbro Sequenceのダナイトを経て，Dunite Sequenceの0.2 wt %以下の均質なダナイトへと変化する。Crust-Mantle Transitionの下部，すなわちMantle Sequenceとの境界部に中間組成のダナイトが存在し，ガブロや含斜長石ウェルライトのレイヤーをしばしば伴うことはCrust-Mantle Transitionのダナイトの成因に対する制約を与える。一方，全岩の希土類元素のコンドライト規格化パターンでは，Mantle Sequenceの中希土類元素に枯渇したスプーン型のパターンと対象的に，最上部のハルツバージャイトは軽希土類元素から中希土類元素においてよりエンリッチしている。すなわち，Mantle Sequence最上部のハルツバージャイトでは，主成分元素よりも先に，不適合元素にメルト-マントル反応の影響が現れている。このことは，Crust-Mantle Transitionの下部にメルトの存在が示唆されることと調和的で，Mantle Sequence最上部でハルツバージャイトをダナイトに変換する反応が活発に進行したことを示唆する。

引用文献：[1] Boudier and Nicolas (1995) J. Petrol., 36, 777-796. [2] Kelemen et al. (1995) Nature, 375, 747-753. [3] Korenaga and Kelemen (1997) JGR, 102, 27729-27749. [4] Collier and Kelemen (2010) J. Petrol., 51, 1913-1940. [5] Abily and Ceuleneer (2013) Geology, 41, 67-70. [6] Kelemen et al. (2013) Sci. Drill., 15, 64-71. [7] Koga et al. (2001) G-cubed, 2, 2000GC000132. [8] Rospabé et al. (2017) Geology, 2017139.

Keywords: Oman ophiolite, ICDP, Oman Drilling Project, Crust-mantle boundary, Moho

*Corresponding author: takazawa@geo.sc.niigata-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R7P-02

# 長野県大鹿村のカンラン岩の蛇紋岩化作用

武田侑也・上原誠一郎（九大・理・地惑）

# Serpentinization of peridotite, Oshika Village, Nagano Prefecture, Japan

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

**1. はじめに**　蛇紋岩化作用はカンラン石と熱水から蛇紋石を生成する反応で，カンラン石中の 2 価鉄から磁鉄鉱が生成するため 2 価鉄の一部が 3 価鉄になる。そのときに水素が発生し，より還元的な環境が形成され，自然鉄，アワルワ鉱などが形成される場合がある(Frost, 1985)。

長野県大鹿村のカンラン岩は入沢井と大河原にあり，その中の蛇紋石脈に日本で初めて蛇紋岩化作用で生じる自然鉄が報告された(岡本ら, 1981; Sakai & Kuroda , 1983)。蛇紋石脈はその前後関係から 3 段階あり，自然鉄は 2 段階目のクリノクリソタイルとブルース石からなる脈に見られるとされた。本研究では蛇紋石脈の形成時の環境の解明を目的とし，この特異な蛇紋石脈の再検討を行った。

**2. 実験手法**　長野県大鹿村のカンラン岩体を野外調査し，ダナイト，ウェールライト，蛇紋岩について肉眼観察及び偏光顕微鏡観察，組織観察と化学分析(SEM-EDS, 日本電子製　JSM-7001F)，X 線回折実験（リガク Ultima IV)を行った。

**3. 結果**　研究で用いたカンラン岩はカンラン石，クロム鉄鉱で構成されていた。蛇紋石脈は主にリザーダイト，クリノクリソタイル，ブルース石，磁鉄鉱，自然鉄で構成されていた。今回の観察から，脈の前後関係は 4 方向のものが見られ，蛇紋石の種類はクリノクリソタイルのみ，リザーダイトのみ，2 種類が混在しているものがあった。また，多くの脈に自然鉄がみられるが，その量には脈の方向や組織による違いがあった。脈の組織は全体が蛇紋石とブルース石で部分的にブルース石が多く(Fig.1)，金属鉱物として自然鉄が多いものや，脈の中心から鉱物種が対称的に分布し，磁鉄鉱が多く，自然鉄の少ない脈があった。自然鉄は 150 ㎛以下の楕円形で，ブルース石と蛇紋石が共存している部分に多く，蛇紋石部分には少ない傾向があった。Fig.1 の脈は初生のもので，対称的な脈は何度かの蛇紋石化を経てできた脈と考えられる。

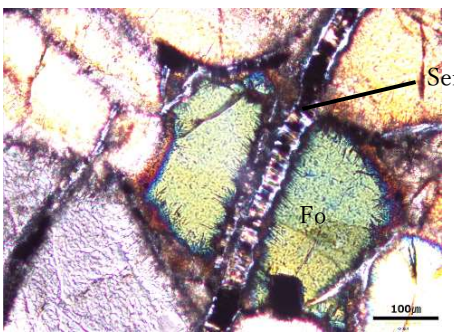



Fig.1 Polarizing microscope image of serpentine vein

Keywords: Serpentinization, native iron *Corresponding author: takeda.yuya.767@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# Hess Deep マントルかんらん岩に産する二次的かんらん石の化学組成

後神大輔・野坂俊夫*（岡山大）

# Chemical compositions of secondary olivine in mantle peridotites from the Hess Deep Rift

D. Gokan and T. Nozaka* (Okayama Univ.)

We found secondary olivine in mantle peridotites from ODP Site 895, the Hess Deep Rift. The secondary olivine occurs as veins a few μm to hundreds μm wide, cutting primary olivine, coexisting with tremolite, and cut by serpentine. Optimized microprobe analyses revealed that the primary olivine has compositions (e.g., Fo = 90-91) of typical mantle olivine from residual peridotites whereas the secondary olivine has lower Fo (79-83), Ni (<2100 ppm), Ca (<70 ppm) and Al (<2 ppm) contents and higher Mn (>3000 ppm) and Co (>200 ppm) contents than the primary olivine. These peculiar compositions may be the characteristics of olivine formed by amphibolite-facies alteration.

Hess Deep Rift には東太平洋海膨で形成された下部地殻や上部マントルの岩石が露出している。今回我々は，ODP Site 895 で掘削・採取されたマントルかんらん岩中に，二次的に生じたかんらん石を発見した。その成因は，高速拡大軸近傍における地質作用の実態を理解するための重要な鍵になるかもしれない。そこでかんらん石の化学分析を行った。

二次的かんらん石は，ハルツバージャイト中の初生かんらん石を貫く幅数μm から数100 μm の脈として産する。多くの場合，二次的かんらん石の周辺にはトレモラ閃石が生じている。また二次的かんらん石は隣接する初生かんらん石と同一の蛇紋石脈に貫かれていることから，蛇紋石化作用よりも前に生成したものと考えられる。

微細で不均質な脈状かんらん石の化学組成を分析するために，岡山大学の EPMA JEOL JXA-8230 を使用した。分析条件は主要成分（Si, Mg, Fe）については加速電圧 20 kV，照射電流 20 nA とし，測定時間はピーク 60 sec，バックグラウンド 20 sec とした。一方，微量元素（Ni, Mn, Ca, Co, Al, Cr, Ti, Zn, Na, P）の分析条件は，加速電圧 20 kV，照射電流 200 nA，プローブ径 5μm，ピーク 120-300 sec，バックグラウンド 60-150 sec 測定とし，バックグラウンド測定の分光結晶位置は元素ごとに最適値を決定した。これらの条件設定により，検出限界は 2-7 ppm となった。また実用標準試料 San Carlos かんらん石の LA-ICPMS 分析と比較して再現性を確認した。

初生かんらん石の Fo 値（90-91）は典型的な溶け残りマントルかんらん岩と同様である。初生かんらん石に比べて二次的かんらん石は Fo 値が低く（79-83），Ni（＜2100 ppm），Ca（＜70 ppm），Al（＜2 ppm）に乏しい一方，Mn（＞3000 ppm），Co（＞200 ppm）に富む。またばらつきが大きいが，Ti に富み Cr に乏しい傾向も認められる。このような特異な組成は，角閃岩相の変質作用によって生じたかんらん石の特徴かもしれない。

謝辞：金沢大学の森下知晃博士，田村明弘博士には LA-ICPMS 分析のご協力を賜った。

Keywords: Hess Deep Rift, mantle peridotite, alteration, secondary olivine, trace elements

*Corresponding author. nozaka@cc.okayama-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 輝石温度の冷却速度応答性による海洋リソスフェアの見かけ温度分布

西村光史*（東洋大）・山本順司（北大）・石橋秀巳（静岡大）

# A pseudo-temperature distribution in the oceanic lithosphere caused by cooling rate responsiveness of pyroxene geothermometry

Koshi Nishimura* (Toyo Univ.), Junji Yamamoto (Hokkaido Univ.),
Hidemi Ishibashi (Shizuoka Univ.)

海洋リソスフェア内で単斜輝石と斜方輝石が接している場合，温度が変化すると両輝石の界面元素分配関係が変化し，接触部の平衡化学組成（Ca 等）は熱力学的に一意に決まる．しかしそれぞれの輝石内部の組成変化は結晶のコアーリム間の化学組成差に起因する拡散過程に依存するため，冷却速度の大きい浅部の単斜輝石はリム付近を除き非平衡組成を維持すると考えられる（Yamamoto et al., 2017）．

本研究では海洋リソスフェアの温度の時空間変化を輝石の元素拡散モデルと組み合わせることにより，複数深度における単斜輝石の組成累帯構造の時系列発達過程を定量的に検討した．海洋リソスフェアの温度変化を半無限体冷却モデル（half-space cooling model）で近似し，熱伝導方程式の解析解（Crank, 1975; Turcotte and Schubert, 1982）を用いて計算した．温度変化に伴う単斜輝石の組成変化は Yamamoto et al. (2017)の方法に従って計算している．輝石の組成として単純な CaO-MgO-SiO2 系を考え，共存する単斜輝石と斜方輝石の界面局所平衡を仮定し，平衡組成ー温度関係を Lindsley and Davidson (1980)の熱力学モデルに基づいて計算した．結晶内部の Ca の元素拡散の拡散係数は温度依存性を考慮した．結晶は粒径 2 mm とし，粒成長しないと仮定している．

海嶺軸と垂直な断面において単斜輝石のコアが示す見かけ温度分布を図1に示す．リソスフェア深部では水平移動とともに輝石のコアの示す温度が高温から低温にゆっくりと変化していくのに対し，浅部では高温を示したまま変化しなくなっているのがわかる．この結果は，深部ほど高温で冷却が緩やかに進むため輝石の元素拡散が温度変化に追随するのに対し，浅部では急冷されるため，元素拡散が追いつかないうちに閉鎖温度に達してしまうことを意味している．

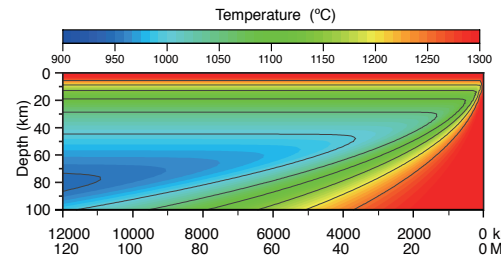



図1．単斜輝石コアが示す海洋リソスフェアの見かけ温度構造．ここでは中央海嶺で形成された海洋リソスフェアが 10 cm/yr で水平移動すると仮定しているため，横軸は海嶺からの距離とともに形成年代を表す．

Keywords: two-pyroxene thermometer, oceanic lithosphere, mantle, cooling-rate responsiveness, Project Mohole
*Corresponding author's E-mail address: k-nishimura@toyo.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R7P-05

# クラックの発生頻度の違いによる海洋モホ面での地震波不連続性

赤松祐哉*，片山郁夫（広島大・院理・地球惑星システム学専攻），
利根川貴志（JAMSTEC）

# Crack-dependent seismic discontinuity at the oceanic Moho

Yuya Akamatsu*, Ikuo Katayama (Hiroshima Univ. Sci. DEPSS),
Takashi Tonegawa (JAMSTEC)

近年の海底下の地震波探査では，同一の海洋プレート内においてもモホ面での地震波の反射強度に地域性があることが報告されており，観測結果を説明する海洋プレートの物質モデルの構築が求められている．地震波速度は岩石中のクラックの存在に敏感であるため，それらの地震波異常にクラックが寄与している可能性がある．かんらん岩は，はんれい岩に比べ脆性変形中に生成されるクラックの体積が小さいことがわかっており，モホ面を境としてクラックの発生頻度が異なることで地震波反射の異常をもたらしている可能性がある．そこで本研究は，かんらん岩とはんれい岩の脆性変形中の地震波速度を測定し，クラックがモホ面での地震波速度と反射強度に与える影響について考察した．

試料には幌満かんらん岩体に産するはんれい岩とかんらん岩を用い，三軸変形試験中に地震波速度の測定を行った．実験は広島大学の容器内透水変形試験機を用い，室温，歪み速度~$10^{-6}$ $s^{-1}$，封圧 20 MPa の無水条件で行った．

はんれい岩は破壊に近づくにつれて P 波，S 波速度ともに大きく低下した（30–40%）．一方，かんらん岩の Vp，Vs の低下ははんれい岩に比べて小さい傾向を示した（<20%）．これらの違いははんれい岩とかんらん岩で変形中に形成されるクラックの性質が異なることを示しており，先行研究の体積歪みの測定結果とも整合的である．また，測定した地震波速度から算出したはんれい岩とかんらん岩の反射係数は，脆性変形が進行するほど増加する傾向を示した．

脆性変形の進行度によってモホ面での地震波の反射波がどのように変化するのかを検証するため，実験結果に基づいて海洋プレートの地震波速度構造を設定し，理論波形計算からモホ面での反射波形を推定した．脆性変形の進行度が異なる３つの速度構造モデル（No damaged model，Relatively damaged model，Highly damaged model）を設定しそれぞれ波形の計算を行なった．その結果，脆性変形が進行しているモデルほど，モホ面での反射波の振幅が大きくなる傾向を示した．以上の結果から，海洋モホ面での地震波の反射強度の地域性は，脆性変形の進行度の違いを反映している可能性がある．

Key words: Moho, seismic wave velocity, brittle deformation, synthetic waveform
*Corresponding author: y-akamatsu@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 岩石微細組織観察に於ける EPMA 定量イメージング技術の活用

吉田健太（JAMSTEC）

# Application of quantitative EPMA imaging technique for microscale petrography

Kenta YOSHIDA (JAMSTEC)

記載岩石学で広く使われている電子線マイクロアナライザー（EPMA）には主に 2 種類の用途がある．一つは特定の点座標を数十秒～数百秒の分析時間で測定して精度良く化学組成を決定する定量分析で有り，他方分析領域を等間隔のマス目に区切りそれぞれのマス目をミリ秒程度の分析時間で測定することにより元素の面的な分布を定性的（半定量的）に可視化する面分析である．この基本的な運用スキームは四半世紀以上変わっていないものであると思われるが，近年コンピュータによるデータ解析技術の進歩に伴って，定量分析値と面分析のデータを統合し，高精度で定量的な分析値の面的分布を計算する研究手法が確立され，簡便に計算可能なソフトウェアの配布も行われ始めている（XMapTools: Lanari et al., 2014; Qntmap: Yasumoto et al., 2018）．これらの技術は計算過程に差異はあるものの，基本的には面分析で得られた X 線データが元素濃度と比例していることを生かし，面分析領域内で得た定量分析点のデータで較正曲線を引くことで定量イメージングを実現している．すなわち，定量イメージングの空間分解能は面分析の加速電圧と電流値によって決まっている．

EPMA を用いた岩石の組織観察では後方散乱電子像（BSE 像）が広く用いられるが，BSE の励起範囲は一般的に特性 X 線のそれより遥かに小さく，強度は正相関するとされている．BSE 放射係数（$\eta$）と原子番号の関係式は 1950～60 年代には定式化されている

Keywords: quantitative X-ray map, EPMA imaging

Corresponding author: yoshida_ken@jamstec.go.jp

が（例えば Heinrich, 1964），造岩鉱物のような複雑な組成幅を持つものに関して実際の化学組成推定に使えるレベルでの実用化はされていない．BSE 強度を用いて定量的なイメージングが出来るようになると

①従来のイメージング空間分解能（3～5μm）の限界を突破した微細構造の定量的解析
②FIB-SEM と組み合わせた三次元定量イメージング

が出来るようになることが期待される．本研究では，EPMA 定量イメージングで得られる膨大な量の定量分析値を用いて，BSE 像から高分解能定量イメージングを行う技術の開発を行う．

分析対象とする EPMA データは，Lanari et al. (2014) 及び Yasumoto et al. (2018) で提唱されている分析条件を参考として取得し，Qntmap（Yasumoto et al., 2018）により解析する．解析により得られるデータは以下の通りである．

・各ピクセルを構成する鉱物種
・各ピクセルの化学組成
・各ピクセルの BSE 強度

これらに基づき，鉱物種毎に BSE 強度と化学組成の関係を調べ，イメージングと同じ範囲で高解像度で取得した BSE 像の定量値変換を行う．

発表では，高分解能定量イメージングの活用出来る解析事例などとも紹介すると共に，今や汎用分析装置となった EPMA の更なる活用方法について議論する．

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 沖縄トラフ海底熱水サイトのチムニー初期生成過程に関する鉱物学的解析

大森敬太(東北大・院理)，長瀬敏郎(東北大・総科博)，野崎達生(海洋機構)，栗林貴弘(東北大・院理)

# Mineralogical analysis on the initial formation process of hydrothermal chimney sample from the Okinawa Trough

K . Ohmori (Tohoku Univ.), T . Nagase (Tohoku Univ.), T . Nozaki (JAMSTEC), T . Kuribayashi (Tohoku Univ.)

【はじめに】　現世の海底熱水鉱床は、陸上の大規模黒鉱鉱床のモダンアナログとして長く比較研究がされてきた。黒鉱中には、現在の海底熱水鉱床で認められるチムニー組織に類似したものがみつかっている(例えば、Shimazaki and Horikoshi, 1990)。しかし、これら陸上黒鉱試料と現在の深海底に存在するチムニーについて、電子線後方散乱(EBSD)を含めた鉱物学的比較は行われていない。

沖縄トラフにおける海底熱水鉱床の調査は、2010 年の IODP Exp. 331 による掘削調査をはじめ、2014～2018 年度の SIP による調査など、近年さらに精力的に実施されている (Takai *et al*., 2011; Kawagucci *et al.*, 2013; Nozaki *et al.,* 2016)。2018 年 10 月には、深海調査研究船「かいれい」によって、上記掘削孔の調査航海が行われ (KR18-14 Leg 1 航海)、形成期間の異なる複数のチムニー試料が採取された。本研究では、チムニーを構成する鉱物組織の時間変化と、これに付随する特徴的な鉱物組織を検証するため、詳細な鉱物学的解析を行った。

【観察方法】　中部沖縄トラフ伊平屋北海丘オリジナルサイトおよびアキサイトから得られたチムニー試料について、研磨薄片および研磨片を作成した。反射顕微鏡ならびに走査型電子顕微鏡 (SEM) によって構成鉱物の組織観察を行い、鉱物同定および組成分析には SEM に付随したエネルギー分散型 X 線分光装置を用いた。方位解析には、SEM に付随した電子線後方散乱回折装置 (OXFORD, Aztec EBSD system) を用いた。

【結果ならびに考察】　チムニーは以下のようないくつかの組織分帯に区分される ; ①微小な閃亜鉛鉱＋硬石膏＋方鉛鉱、②閃亜鉛鉱と方鉛鉱の樹枝状組織、③フランボイダル状またはコロフォーム状黄鉄鉱＋微小な閃亜鉛鉱＋方鉛鉱、④自形の白鉄鉱および黄鉄鉱＋閃亜鉛鉱＋方鉛鉱＋黄銅鉱、⑤粗粒な閃亜鉛鉱＋黄銅鉱、⑥黄銅鉱と閃亜鉛鉱からなる樹枝状組織 ⑦粗粒な黄銅鉱。この中でも⑥はチムニーに特徴的な組織である。この組織は、これまでにもチムニー試料から報告されている (例えば、Barton,Jr and Bethke, 1987)。この樹枝状組織はフラットな{111}面からなる正四面体の形態をもつ閃亜鉛鉱の結晶集合体からなる。EBSD による結晶方位解析の結果、樹枝状組織の伸長方向は、閃亜鉛鉱の <111>方向に一致し、閃亜鉛鉱と共生する黄銅鉱の伸長方向は閃亜鉛鉱の<100>方向に一致する。この樹枝状組織では、黄銅鉱は閃亜鉛鉱結晶の稜に優先的に付着している。閃亜鉛鉱が、等方的に成長せず、異方性の強い樹枝状組織を呈するのは、黄銅鉱によって稜部分を覆われ、等方的な成長を妨げられるためである。組織を形成する閃亜鉛鉱結晶は、高過飽和度で形成されるようなラフな面をもたず、スムースな面のみを有することから、この組織は高過飽和度で形成された樹枝状晶ではないことが明らかとなった。

Keywords: Chimney, EBSD, Dendritic texture, Sphalerite, Chalcopyrite
*Corresponding author: keita.omori.s6@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 沖縄トラフ熱水鉱床に産する isocubanite の磁気特性

加藤千恵*、大野正夫、桑原義博（九大比文）、畠山唯達（岡山理大）、山田康洋（東京理大）、戸塚修平、島田和彦、石橋純一郎（九大理）、長瀬敏郎（東北大博物館）

# Magnetic properties of isocubanite from seafloor hydrothermal deposits in the Okinawa Trough

Chie Kato*, Masao Ohno, Yoshihiro Kuwahara (Kyushu Univ.), Tadahiro Hatakeyama (Okayama Univ. Sci.), Yasuhiro Yamada (Tokyo Univ. Sci.), Shuhei Totsuka, Kazuhiko Shimada, Jun-ichiro Ishibashi (Kyushu Univ.), Toshiro Nagase (Tohoku Univ.)

Seafloor hydrothermal deposits often contain minerals exhibiting characteristic magnetism. Rock-magnetic measurements are promising technique to detect such minerals quickly. In this study we aim to describe the magnetic properties of isocubanite and elucidate the mechanism of its magnetic transition.

We conducted low-temperature magnetometry on samples collected from hydrothermal chimneys and drilled core sediments from Noho site and Hakurei site in the Okinawa Trough. Results show that either of the samples contain Cu-Fe-S mineral which undergoes a magnetic transition at near 100 K. This transition was most clearly observed in a fragment of the Noho site chimney which consists of isocubanite. Therefore, isocubanite should be responsible for the transition. In addition to these hydrothermal deposit samples, magnetic measurements were performed on isocubanite synthesized by heating a cubanite crystal (Henderson No.2 mine, Chibougaman, Quebec, Canada) at 310 ℃ in vacuum. Magnetic transition at near 100 K was also observed in this 'synthesized' isocubanite, but magnetization at low temperature was about fifty times as weak as the chimney sample.

To investigate the cause of such different magnetic behavior, we performed Mössbauer spectroscopy at 295, 225, 120 and 3 K. Results of the 'synthesized' isocubanite exhibit a broad spectrum at 225 and 120 K, suggesting that the iron atoms are disordered. The spectrum measured at 3 K showed three sets of sextet with broad peak widths, indicating that the 'synthesized' isocubanite suffered the effects of disorder even at 3 K. On the other hand, the Mössbauer spectra of the Noho site chimney sample can be separated into three signals which are consistent with those of chalcopyrite and two iron sites in the '$Cu_{1-\varepsilon}Fe_{3+\varepsilon}S_4$' phase reported by Wintenberger et al. (1994). According to this result, the iron atoms should be ordered at all measured temperatures, and isocubanite might be broken down to chalcopyrite and '$Cu_{1-\varepsilon}Fe_{3+\varepsilon}S_4$' phase in a submicroscopic scale. Following Wintenberger et al. (1994), the magnetic transition of the chimney sample might be a Verwey transition.

Keywords: isocubanite, low-temperature magnetometry, Mössbauer spectroscopy, seafloor hydrothermal deposits

*Corresponding author: c.kato@scs.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 高温高圧下で高酸化状態を保持するための試料容器

川嵜智佑*（愛媛大学）

# New capsule to maintain high-oxidation states at high-pressures and high-temperatures

**Toshisuke Kawasaki (Ehime University)**

高温高圧実験で酸素分圧を制御するために **Fig. 1** のような二重試料容器がよく使われている (e.g., Matjuschkin et al 2015)．ところが，外部容器内では比較的粗粒な結晶が晶出するが，内部容器では結晶成長が悪く，WDS 分析可能な粒径の結晶を得る事が困難である．**Fig. 2** は赤鉄鉱を緩衝材として外部容器に封じ，Fe に富むアーマルコライト $(Fe_{0.8}Mg_{0.2})Ti_2O_5$ を 10 kbar, 1000 °C で 221 時間 15 分間，白金容器内で再結晶させた結果である．外部容器内では，比較的粗粒な赤鉄鉱が再結晶したが，内部容器内では，微細なルチル Rt，ウルボスピネル Ulv，チタン鉄鉱 Ilm が晶出した．

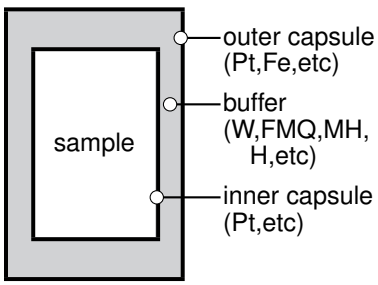



**Fig. 1.** Double capsule (schematic diagram).

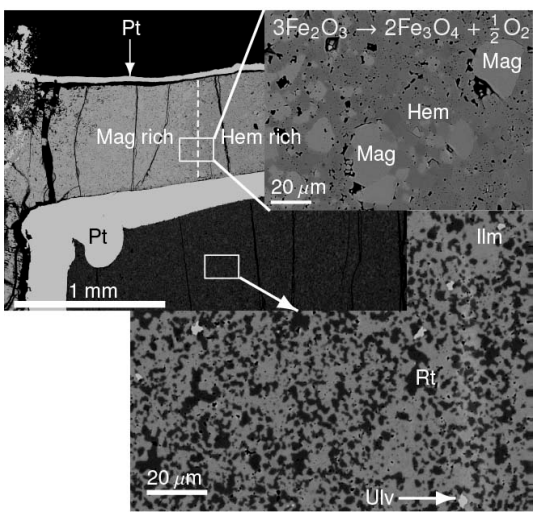



**Fig. 2.** Pt–Hematite–Pt double capsule.

このような二重容器を用いると，試料と内部容器の Pt とが反応し，鉄酸化物 → 金属鉄 + 酸素の反応により試料中の Fe 成分の一部は内部容器の Pt に固溶し試料部分の酸素分圧が上昇する．同時に試料の Fe 量は減少し，試料の総化学組成が変化する．この様な問題を解決するために鉄酸化物 ($Fe_2O_3$, $Fe_3O_4$, FeO) の試料容器を試作した．**Fig. 3** は赤鉄鉱の試料容器である．



**Fig. 3.** Hematite capsules.

**Fig. 4** に赤鉄鉱容器を用いた高温高圧実験での試料周りの組み立て部品を示した．

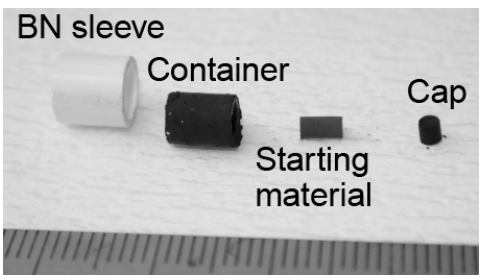



**Fig. 4.** Assembly around sample.

学会では鉄酸化物の試料容器を用いた高温高圧実験の結果について公表する予定である．

**References**
Matjuschkin et al 2015 Contrib Mineral Petrol 169 9

**Keywords**: iron oxide capsule, oxygen pressure, high-pressure and high-temperature experiment

*Corresponding author: toshkawa_kuma@yahoo.co.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R7P-10

# 北海道羽幌地域の上部白亜系上部蝦夷層群中に見られる海緑石

門谷明弘*・大藤弘明・楠橋　直・岡本　隆（愛媛大）

# Glauconite from the Upper Cretaceous Upper Yezo Group in Haboro area, Hokkaido, northern Japan

Akihiro MONTANI*, Hiroaki OHFUJI, Nao KUSUHASHI, and Takashi OKAMOTO (Ehime Univ.)

海緑石は緑色の雲母族の粘土鉱物で，堆積速度の遅い浅海で主に形成されると考えられている．自生の海緑石密集層はコンデンス・セクションを認める 1 つの指標となるなど，層序学的に有用である．

北海道中軸帯に分布する上部白亜系上部蝦夷層群中には，各地で “海緑石” が報告されている．しかしながら，これらの “海緑石” についてはいくつかの鏡下観察がおこなわれたのみで，ほとんどすべての記載が野外での観察だけにとどまっている．そのため，それらの “海緑石” が鉱物学的に海緑石であるかどうかは十分に検討されていないのが現状である．海緑石を層序学的に利用するためには，まずそれが本当に海緑石かどうかを確認する必要がある．そこで本研究では，羽幌地域の上部蝦夷層群において同一層準に広く分布する “含海緑石砂岩層” 中の緑色粒子について，その産状観察と鉱物学的分析をおこない，緑色粒子が鉱物学的に海緑石かどうかを検討した．

羽幌地域の上部蝦夷層群は下位から下部羽幌川層 (Ua, Ub-c, Ud-c, Uf)，上部羽幌川層 (Ug, Uh)，流矢層 (Ui-j, Uk) からなる (岡本ほか, 2003)．そのうち，上部羽幌川層を構成する岩相ユニットの 1 つである Uh の最上部には，“海緑石” と呼ばれる緑色鉱物を含む特徴的な砂岩層が発達し，本地域においての良好な鍵層とされている (岡本ほか, 2003).

本研究では，Uh 最上部の緑色砂岩層を中心に，Uh 上部の石灰質ノジュール，Uh の上位に重なる Ui-j 最下部の緑色砂岩, さらに Ub 中の緑色砂岩などを試料として採取した．試料に含まれる緑色粒子の同定には，肉眼観察，偏光顕微鏡観察，および電界放射型走査型電子顕微鏡観察と，顕微ラマン分光装置，および走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型 X 線分光器による分析をおこなった．その結果，いずれの試料中にも，海緑石が含まれていることがわかった．

Keywords: Upper Cretaceous, glauconite, Haboro area, Upper Yezo Group

*Corresponding author: montray9900@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R7P-11

# インド Aravalli-Delhi 造山帯に露出する シュードタキライトの微細組織とその形成過程

岡崎淳哉*（広島大），安東淳一（広島大），Das Kaushik（広島大），
富岡尚敬（JAMSTEC），兒玉優（マリン・ワーク・ジャパン）

# Microstructure and formation process of pseudotachylyte exposed in Aravalli-Delhi orogenic belt, India

Jun-ya Okazaki* (Hiroshima University), Jun-ichi Ando (Hiroshima University), Kaushik Das (Hiroshima University), Naotaka Tomioka (JAMSTEC), Yu Kodama (Marine Works Japan)

**＜はじめに＞**　シュードタキライトは非顕晶質で黒色の岩石であり、断層の高速すべり運動に起因する摩擦溶融によって形成される。従って、シュードタキライトは過去の地震活動の情報を保持する重要な岩石である。シュードタキライトは主に、地殻浅部における岩石の変形挙動が脆性的な領域で発生することが知られているが、地殻深部領域でのマイロナイト（塑性変形領域）に関連して形成されているものも世界各地で報告されている。本研究では、インドの Aravalli－Delhi 造山帯に露出する塑性変形を受けた片麻岩中に認められるシュードタキライトを対象に、微細組織から塑性変形領域でのシュードタキライトの形成過程を明らかにし、塑性変形領域での断層運動の発達を明らかにすることを目的とする。

**＜手法＞**　これまでの所、シュードタキライトと母岩の露頭観察、偏光顕微鏡、走査型電子顕微鏡（SEM）、透過型電子顕微鏡（TEM）による微細組織観察、EPMA、TEM-EDS による構成鉱物の化学組成分析を行った。

**＜結果と考察＞**　露頭観察では、母岩の面構造に対して、“平行な脈”と“大きく斜交する脈”の 2 種類の系統的なシュードタキライトを確認した。“平行な脈”は、母岩の面・線構造と同じ応力場、すなわち塑性変形領域で形成されたと考えられる。一方、“大きく斜交する脈”は母岩の上昇過程中に脆性領域において形成されたと考えられる。

微細組織観察から、シュードタキライトは破砕された岩片と細粒な基質から構成されており、摩擦溶融現象を強く示唆する円形の岩片や基質部の特徴的な構造が発達している。また基質部は多量の細粒（約 0.5μm）な結晶粒子で構成されており、非晶質物質はほとんど確認されなかった。

これらの観察結果から考えられるシュードタキライトの成因は以下である。1）地震性断層運動によって母岩が断層面に沿って破壊される。2）断層の高速すべりに起因する摩擦溶融により、細粒化した岩片や融点に低い鉱物が選択的に溶融しメルトを形成する。一方で、粗粒な岩片や高い融点を持つ鉱物は溶融せず残る。3）メルトが急冷され多量の細粒な粒子が晶出し、基質部を形成する。基質部の特徴的な構造はメルトの冷却過程で形成されたと考えられる。

Keywords: Pseudotachylyte, Fault activity, Frictional melting, Plastic deformation
*Corresponding author. E-mail: m181183@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ポスター | S3：北東アジアの鉱物・岩石・資源 （スペシャルセッション）

2019年9月22日(日) 9:30 ~ 15:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

**S3：北東アジアの鉱物・岩石・資源 （スペシャルセッション）**

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[S3P-01] 四国西部真穴帯近傍のジルコンU-Pb年代

*川口 健太[1]、早坂 康隆[1]、柴田 知之[1] (1. 広島大・院理)

---

[S3P-02] 青海地域蓮華変成岩類の記載岩石学的特徴とジルコンU-Pb年代

*北野 一平[1]、小山内 康人[1]、中野 伸彦[1]、足立 達朗[1] (1. 九大・比文)

---

[S3P-03] モンゴル北西部・ハンホヒン山地に産する泥質片麻岩に含まれるザクロ石中のクリストバライト包有物

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

---

[S3P-04] Pressure–temperature-time conditions of metamorphism of pelitic gneisses in the Gobi-Altai Mountains from southwestern Mongolia.

*Kundyz Syeryekkhaan[1], Y. Osanai[1], N. Nakano[1], T. Adachi[1], S. Jargalan[2], M. Owada[3], M. Satish-Kumar[4], Ch. Boldbaatar[5] (1. Kyushu Univ., 2. Mongolian Univ. Sci. Tech., 3. Yamaguchi Univ., 4. Niigata Univ., 5. Ochir Undraa LLC)

S3P-01

# 四国西部真穴帯近傍のジルコン U–Pb 年代

川口健太, 早坂康隆, 柴田知之(広島大学・理)

# Zircon U-Pb age around the Maana belt, Western Shikoku, SW Japan

Kenta KAWAGUCHI*, Yasutaka HAYASAKA and Tomoyuki SHIBATA (Hiroshima Univ.)

真穴帯は四国西端部にのみ分布する特異な地体で，真穴層とその周囲の蛇紋岩，四国西方沖の大島に分布する大島変成岩が主たる構成要素とされる．真穴帯は御荷鉾帯もしくは秩父累帯の上位にナップで重なると考えられている(1)．近年，真穴層の砕屑性ジルコン年代測定により，その堆積年代は前期白亜紀であることが判明した(2)．また大島変成岩に関しても変花崗閃緑岩から 113 Ma の火成年代が，Grt-Bt 片麻岩から 121 Ma の変成年代が報告されており，これは肥後帯の年代値と極めてよく一致する(3)．このように真穴帯各構成要素の年代と帰属が明らかとなりつつある一方，真穴帯の定置メカニズムに関しては内帯起源説(1, 2)などが提唱されているものの，いまだにその実態は明らかとなっていない．そこで，真穴帯の定置メカニズムを解き明かすことを目的とし，真穴帯周囲の諸地体の複数の地点における LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代測定を手がけた(図)．その結果，真穴帯南方の花崗岩類 2 試料(MKM-Qd1810，MKM-Gr1811)からはそれぞれ 470.6 ± 3.2 Ma，468.3 ± 2.7 Ma の重み付平均年代が得られた．これは黒瀬川帯の古生代前期深成岩類の年代に一致する．また真穴帯の蛇紋岩に包有される砕屑岩-チャート-緑色岩コンプレックス中の砕屑岩(MKM17042504)の砕屑性ジルコン年代を測定した結果，全てのコンコーダントなデータが石炭紀後期からペルム紀前期の狭い範囲の年代を示し，その堆積年代はペルム紀前期と推定される．この年代は北部秩父帯のペルム系沢谷ユニット，もしくは黒瀬川帯のペルム系に相当すると考えられる．真穴帯と御荷鉾帯との境界部に分布する花崗岩マイロナイトの小岩体(MKM-Gr1818)からは 151.8 ± 1.8 Ma の火成年代が得られた．この年代値は御荷鉾帯の火成年代(4)に近いものの，全岩の微量元素組成が火成弧の特徴を示す点で海洋性の御荷鉾帯の深成岩類とは異なる．110-158 Ma は朝鮮半島から日本列島にかけての火成活動静穏期(5)であることから，大規模な横ずれ運動もしくはナップ運動で遠方よりもたらされた異地性岩体である可能性がある．

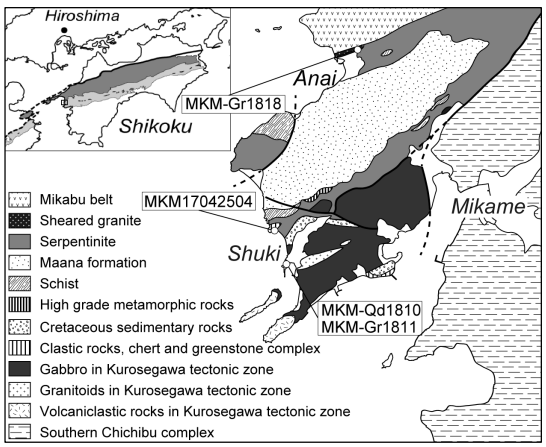



図 四国西端部真穴帯とその周囲の地質図，年代分析試料地点．武田ほか(1993)を改変．

(1)武田ほか(1993) 地質雑, 99, 255-279
(2)中畑ほか(2016) 地学雑誌, 125, 717-745
(3)小山内ほか(2012) 地質学会講演要旨 R4-P-19
(4)Sawada et al. (2019) Journal of Asian Earth Sciences, 169, 228-236
(5)Sagong and Kwon (2005) Tectonics, 24, TC5002

Keywords: Maana belt, zircon U-Pb age, Kurosegawa tectonic zone, Chichibu composite terrane
*Corresponding author: kenta-kawaguchi@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S3P-02

# 青海地域蓮華変成岩類の記載岩石学的特徴とジルコン U-Pb 年代

北野 一平*，小山内 康人，中野 伸彦，足立 達朗（九州大）

# The petrography and zircon U–Pb ages for the Renge metamorphic rocks in Omi area, central Japan

Ippei Kitano*, Yasuhito Osanai, Nobuhiko Nakano, Tatsuro Adachi (Kyushu Univ.)

新潟県西部青海地域は飛騨外縁帯に位置し、高圧型変成岩類をテクトニックブロックとして含む蛇紋岩メランジェが分布している（例えば辻森ほか、2000）。この蛇紋岩メランジェは石炭ーペルム系付加体（青海石灰岩体・姫川石灰岩体）および下部ジュラ系来馬層群と断層で接し、下部白亜系手取層群に不整合に被覆されている（例えば Tsujimori, 2002）。この地域では蓮華変成岩として結晶片岩が卓越して分布し、そのほかに変斑レイ岩、ザクロ石角閃岩、ヒスイ輝石岩、曹長岩などが産する（例えば松本、1980）。この結晶片岩は、Banno (1958)により初めて緑泥石帯および黒雲母帯に変成分帯され、緑泥石帯から藍閃石を含む結晶片岩が報告された。その後、詳細な地質調査、岩石学的解析、K–Ar 法・Ar–Ar 法年代測定が実施された（例えば松本、1980; 辻森、2000; Tsujimori, 2002; 椚座ほか、2002, 2004）。その結果、この地域はエクロジャイト相～青色片岩相片岩分布域のエクロジャイトユニット（EC ユニット）およびそれ以外の non-EC ユニットに区分され、両者の境界は不明瞭であるものの、前者は約 350–340 Ma、後者は約 340–280 Ma の K–Ar・Ar–Ar 年代で特徴づけられ異なる変成年代を示す（例えば Tsujimori, 2002）。しかしながら、両ユニットが一連の地質体として同じテクトニクス場で形成したのかどうかは議論の余地がある（松本ほか、2011）。そこで、本研究では、蓮華変成岩類のジルコン U–Pb 年代に着目し、EC ユニットおよび non-EC ユニット間での岩石記載ー初生・変成ジルコン年代の関連性を検討した。

地質調査は、non-EC ユニットの橋立地域・歌谷地域周辺と EC ユニットの上路地域周辺で行い、結晶片岩類と変斑レイ岩を採取した。そして、橋立地域の砂泥質片岩（80401C: ザクロ石ーゾイサイトー黒雲母ー緑泥石ー白雲母片岩、80402A: ザクロ石ー黒雲母ーアクチノ閃石ー緑泥石ー白雲母片岩）、歌谷地域の変斑レイ岩（804T02: ゾイサイトー変斑レイ岩）および上路地域の結晶片岩類（80501: 緑泥石ー白雲母片岩、80504: 珪質藍閃石ーザクロ石ー緑泥石片岩、805T01A, 805T01G: ザクロ石ー藍閃石ーフェンジャイト片麻岩）からジルコン U–Pb 年代測定を行った。分析試料に関して、non-EC ユニットの結晶片岩には藍閃石は認められないが、EC ユニットの結晶片岩には 1 試料を除いて藍閃石が含まれ、Tsujimori (2002) の区分と調和的な記載岩石学的特徴を持つ。

年代測定の結果は下記の通りである。橋立地域の砂泥質片岩（80401C, 80402A）のジルコンはコアーリム構造の内部組織を示し、コアから 2040–320 Ma の年代が、リムから約 300 Ma のディスコーディア切片年代が得られた。歌谷地域の変斑レイ岩（804T02）に関してはセクター構造をもつジルコンから約 520 Ma の年代値が得られた。一方で、上路地域では、藍閃石を含まない結晶片岩（80501）は橋立地域の砂泥質片岩（80401C、80402A）と類似した砕屑性ジルコン年代（2790–320 Ma）を示すが、藍閃石を含む結晶片岩類（80504, 805T01A, 805T01G）のジルコンはコアで 2360–380 Ma の年代を示し、リムでデータは少なく多少ばらつくものの約 350 Ma の年代を示した。

この結果は、青海地域蓮華変成岩の EC ユニットと non-EC ユニットで、変成条件のみでなく、砕屑ジルコンの後背地および変成時期も異なり、両者の変成作用後に蛇紋岩に取り込まれて隣接した可能性を示唆する。

Keywords: petrography, zircon U–Pb ages, Renge metamorphic rocks, Omi area, central Japan
*Corresponding author: 3GS14010G@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S3P-03

# モンゴル北西部・ハンホヒン山地に産する泥質片麻岩に含まれるザクロ石中のクリストバライト包有物

足立達朗，小山内康人，中野伸彦，S. Kundyz（九州大），S. Jargalan（モンゴル科技大），大和田正明（山口大），M. Satish-Kumar（新潟大）

# Cristobalite inclusion in garnet in pelitic gneiss from the Hanhohiyn Mountains, northwestern Mongolia.

T. Adachi*, Y. Osanai, N. Nakano, S. Kundyz (Kyushu Uni.), S. Jargalan (MUST), M. Owada (Yamaguchi Uni.), M. Satish-Kumar (Niigata Uni.)

Cristobalite inclusions were found in garnet in garnet-sillimanite-biotite gneiss from the Hanhohiyn Mountains, northwestern part of Mongolia. The Hanhohiyn Mountains comprise meta-quartzites, marble, pelitic gneisses (garnet-sillimanite-biotite gneiss, garnet-cordierite-biotite gneiss and garnet-biotite gneiss) intercalating with lenticular garnet-orthopyroxene gneiss and amphibolites, indicating metamorphosed oceanic materials. Garnet in garnet-sillimanite-biotite gneiss shows core-rim texture indicated by different abundance of fine-grained inclusions. Sillimanite is present in the matrix and inclusion-poor rim portion of garnet, it therefore suggests that the rim portion of the garnet coexists with sillimanite and other minerals in the matrix. Metamorphic conditions are estimated as 650-700 °C and 5.5-6 kbar based on the chemical composition of the mineral pairs in the matrix and the rim of garnet, suggesting that this gneiss was affected by peak metamorphism in the upper amphibolite facies. In this gneiss, relict kyanite occurs as inclusion in plagioclase, which indicates that kyanite is prograde product and have experienced decompression. Earlier prograde mineral assemblage is preserved as inclusions in the inclusion-rich core portion of garnet. Fine-grained cristobalite inclusions are found with chlorite, pyrophyllite and quartz in garnet. Cristobalite occurring with minerals stable under low-temperature condition suggests originally (1) detritus grain or (2) opal-CT. In both cases, garnet should grow at a faster rate than transition from cristobalite to quartz. Garnet grains showing sector zoning and/or sieve texture, indicating qualitatively rapid growth, are widely distributed in the mountains. These textures are consistent with preservation of paragenesis of cristobalite and low-temperature minerals in garnet.

Keywords: cristobalite, pelitic gneiss, Hanhohiyn Mountains, Mongolia

*Corresponding author: t-adachi@scs.kyushu-u.ac.jp (T. Adachi)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S3P-04

# Pressure–temperature–time conditions of metamorphism pelitic gneisses in the Gobi-Altai Mountains from southwestern Mongolia.

S. Kundyz*, Y. Osanai, N. Nakano, T. Adachi (Kyushu Univ.), S. Jargalan (Mongolian Univ. Sci. and Tech.), M. Owada (Yamaguchi Univ.), M. Satish-Kumar (Niigata Univ.), Ch.Boldbaatar (Ochir Undraa LLC)

The metamorphic rocks distributed over the Mongolian Altai and Gobi-Altai Mountains in Southwestern Mongolia, are geographically dispersed in the Bulgan, Uyench, Tseel, Tsogt, and Erdene areas from west to east. In this study, we investigate the metamorphic rocks in the Erdene area (Gobi-Altai Mountains) using petrographical, geochemical, and geochronological approaches. Five amphibolite-facies pelitic gneisses containing assemblages of garnet + aluminosilicates were analyzed in this study. Two samples contain sillimanite in the matrix and/or sillimanite inclusions in garnet. We found kyanite from other two samples; one sample contains kyanite in the matrix and another sample contains symplectitic kyanite with staurolite and quartz replacing cordierite. Remaining sample contains andalusite inclusions in garnet rim and in the matrix. Garnet grains from three pelitic gneisses which contain kyanite or andalusite exhibit prograde zoning pattern with decreasing Mn and Ca and increase of Mg and Fe contents from core to rim. Two sillimanite-bearing samples contain garnet grains showing flat pattern for major elements concentrations with Mn-enrichment in the thin rim. Based on the thermobarometric calculations, the *P–T* conditions of two kyanite-bearing samples yielded 6.2–8.2 kbar and 598–668°C, whereas those of two sillimanite-bearing samples are 3.8–8 kbar and 590–740°C. Although we could not obtain any pressure condition from the andalusite-bearing sample due to absence of plagioclase, the calculated temperature condition is 550–650 °C. The U–Th–Pb monazite dating from all five samples yielded similar ages of *c.* 270 Ma, which correspond to the timing of collision in Mongolian Altai Mountains. These dating results together with previously published ages may imply that the metamorphic rocks across the Mongolian Altai and Gobi-Altai Mountains can be regarded as a single metamorphic belt. Similar age compared to previously published ages and various *P–T* conditions are still obscure, but they strongly indicate large pressure differences during continent-continent collision, which will be discussed with additional dataset in this presentation.

Keywords: aluminosilicates, *P–T* conditions, monazite dating, Gobi-Altai Mountains, Mongolia
*Corresponding author: kundinajan@gmail.com (S. Kundyz)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ポスター | R1: 鉱物記載・分析評価

2019年9月22日(日) 9:30 ~ 15:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

**R1: 鉱物記載・分析評価**

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[R1P-01] 大分県尾平鉱山産水晶にみられるX型エステレル式双晶について

*岡田 敏朗[1] (1. 福岡市立和白丘中学校)

---

[R1P-02] 岡山県柵原鉱山に産する磁鉄鉱の磁気特性および微細組織と組成

*大川 真紀雄[1]、ダ・コスタ ジェラルド・マジェラ[2] (1. 広島大・院理、2. オウロ・プレット連邦大)

---

[R1P-03] 深層学習による薄片画像の認識と岩石分類

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*松田 真奈[1]、瀬戸 雄介[1] (1. 神戸大・院理)

---

[R1P-04] MEM解析ソフトウェアDysnomiaへの最大エントロピーパターソン法の統合

*門馬 綱一[1] (1. 国立科博)

---

[R1P-05] マグマ性鉱床プローブとしての透輝石斑晶メルト包有物

*黒澤 正紀[1] (1. 筑波大・生命環境)

---

[R1P-06] 熊本県に分布する黒瀬川帯の超苦鉄質岩体における白金族元素含有鉱物および元素鉱物について

*田中 崇裕[1]、浜根 大輔[2]、新町 正 (1. 無所属、2. 東京大・物性研)

---

[R1P-07] 新鉱物　皆川鉱（Minakawaite）

浜根 大輔[2]、*田中 崇裕[1]、新町 正 (1. 無所属、2. 東大・物性研)

---

[R1P-08] 北海道留萌管内の砂金・砂白金鉱床を構成する鉱物種

*浜根 大輔[1]、齋藤 勝幸 (1. 東大物性研)

---

[R1P-09] 北海道日高町千栄産の森本ざくろ石

*浜根 大輔[1]、萩原 昭人 (1. 東大物性研)

---

[R1P-10] 秩父鉱山石灰沢から見出されたholtstamite加水ざくろ石とその高圧挙動

*浜根 大輔[1]、門馬 綱一[2]、原田 明 (1. 東大物性研、2. 科博)

---

[R1P-11] 小笠原諸島父島に産する phillipsite の 特徴的成長組織につい

<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*井上 裕貴[1]、安井 万奈[2]、萩谷 宏[1]、山﨑 淳司[2] (1. 東京都市大学、2. 早大・理工)

---

[R1P-12] 福岡県飯塚市八木山産のアメサイトについて

*一色 優希[1]、上原 誠一郎[1] (1. 九大・理・地惑)

---

[R1P-13] 福岡県長垂山のコルンブ石族鉱物

*伊東 信[1]、上原 誠一郎[2]、白勢 洋平[3] (1. 福岡県立糸島高、2. 九大・理・地惑、3. 京大)

---

[R1P-14] 山口県美祢市長登銅山烏帽子坑に産するコバルト鉱石

*永嶌 真理子[1]、井本 裕二[2]、森下 幸菜[2] (1. 山口大・院創成科学、2. 山口大・理)

---

[R1P-15] 鹿児島県赤石鉱山における鉱床及び鉱床母岩の粘土鉱物

*吉村 拓哉、上原 誠一郎[1] (1. 九大・院理)

[R1P-16] 鳥取県日南町日野上鉱山産のクインティン石 (Quintinite)

*石橋 隆[1]、山本 佳弘[1]、光田 英彦[1]、下林 典正[2]、渡部 茜[1]、藤原 卓[1] (1. 公益財団法人益富地学会館、2. 京都大学大学院理学研究科)

[R1P-17] 大阪大学総合学術博物館の鉱物標本

*石橋 隆[1,2]、伊藤 謙[1]、橋爪 節也[1]、永田 靖[1]、澤田 操[2] (1. 大阪大学総合学術博物館、2. 公益財団法人益富地学会館)

[R1P-18] 京都大学の鉱物標本 -比企鉱物標本-

*白勢 洋平[1]、下林 典正[2]、高谷 真樹[2]、石橋 隆[3]、豊 遙秋[4] (1. 京大・博物館、2. 京大・院理、3. 益富地学会館、4. 東大・博物館)

[R1P-19] 九州大学の鉱物標本

*上原 誠一郎[1]、白勢 洋平[2]、伊藤 泰弘[3] (1. 九大・理・地惑、2. 京大・博物館、3. 九大・博物館)

R1P-01

# 大分県尾平鉱山産水晶にみられるＸ型エステレル式双晶について

岡田敏朗*（福岡市立和白丘中学校）

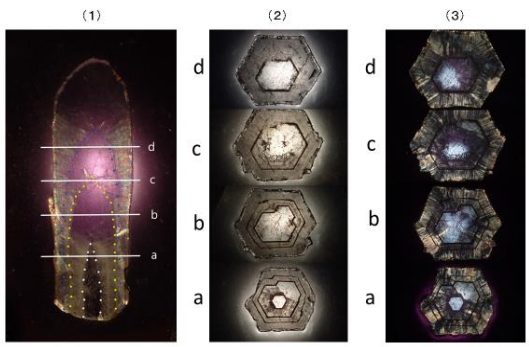
# X-shaped Esterel twin of quartz from Obira mine , Oita prefecture, Japan.

Toshiro Okada (Wajirogaoka J.H.S)

## １．はじめに

エステレル式双晶とは，双晶の接合角が 76° 26’，{10$\bar{1}$1} を双晶面とし，*m*面が向かい合い稜線が平行になるという特徴を持つ。稀に，日本式双晶と同様に X 型や Y 型になることがあり，今回，エステレル式双晶を見出した尾平鉱山中小屋地区には両方の型が見出された。周辺の地質は，古生代の花崗岩や超苦鉄質岩類および苦鉄質片麻岩が分布し，小規模なスカルンを形成している。このスカルンの灰鉄柘榴石や灰鉄輝石の晶洞が発達した部分よりエステル式双晶を含む水晶が産出した。観察は，X 型エステレル式双晶の形態的特徴と同じ晶洞より産出した結晶の偏光顕微鏡観察およびカソードルミネッセンス観察を行い，その成長過程を考察する。観察試料には，成長組織を調べるために単結晶を使用し，*c*軸方向に対して垂直方向，および，*c*軸に対して平行で*m*面に垂直方向に切断した薄片を作成し，成長に伴う変化を観察した。

OPM images




## ２．観察結果ならびに考察

偏光顕微鏡観察の結果，中小屋地区の水晶には，４回の成長ステージがあり，桜組織が観察出来た。白濁している部分および外縁部にブラジル式双晶ラメラが多く分布し，無色透明な部分にはブラジル式双晶ラメラは見られない。外縁部は結晶方位差の違いによるリネージ構造も観察された。

CL 解析による観察では，成長初期の段階では，明暗がパッチ状になっており成長縞のコントラストがはっきりしない。しかし，成長後期になると非常に細かな成長縞の明暗が見られるようになる。この成長縞は偏光顕微鏡で観察したブラジル式双晶ラメラの分布とも重なる。

エステレル式双晶の理想形は前述したように*m*面が向かい合い，稜線が平行になるという特徴をもつが，尾平鉱山産の X 型エステレル式双晶は，向かい合う*m*面の稜線が平行ではなく僅かにずれているものが多く見られる。しかし，接合形態や接合角がほぼ同じものが多産することから，これらには普遍性があるのではないかと考えた。本来，双晶は結晶外形の対称性によって双晶であるか否かを論じられるが，中小屋地区の水晶は，全ての水晶に桜組織を有し，桜組織が小傾角粒界を含むリネージ構造を持つために結晶方位の僅かなずれが結晶外形に表れるものではないかという仮定を立てて観察結果を見ていくと非常に調和的であった。

これらの観察結果より考えると，桜組織を有することで，双晶の対称性に僅かなずれが生じるのではないかと考えることが出来る。



**Keywords**:Quartz,X-shaped Esterel twin, sakura texture

***Corresponding author**:maika_yui@yahoo.co.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 岡山県柵原鉱山に産する磁鉄鉱の磁気特性および微細組織と組成

大川真紀雄*（広島大・院理），
Geraldo Magela da Costa（オウロ・プレット連邦大）

# Magnetic properties and microstructures of magnetite from Yanahara mine, Okayama, Japan

Makio Ohkawa* (Hiroshima Uni. Sci.), Geraldo Magela da Costa (UFOP)

## はじめに

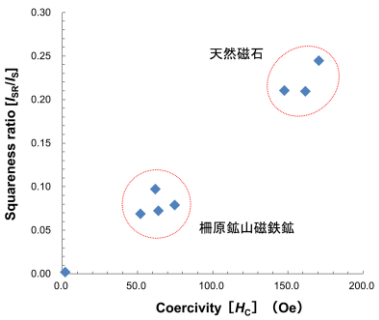
岡山県美咲町にかつてあった柵原鉱山（1991年閉山）は火山性の硫化物鉱床でその鉱石は主として黄鉄鉱鉱石であるが，鉱床深部では後に貫入してきた花崗岩による接触交代作用により鉱体の一部が変質し磁鉄鉱鉱石が生成している（東元，1962）。この磁鉄鉱を天然磁石であると紹介する文献もあるが，柵原鉱山では磁力選鉱が行われており，現在残っている磁力が磁力選鉱によって与えられた可能性を否定できない。しかし通常磁鉄鉱では強い残留磁化が残ることはまれで，本鉱石がもともと高い保磁力を持っていることに間違いはない。磁鉄鉱が高い保磁力を獲得する原因は，低温酸化による磁赤鉄鉱化（I型）と初生に Ti を含む場合の高温酸化によるイルメナイトラメラの析出による粒子サイズの細分化（II型）に大別されている（Wasilewski, 1977）。柵原鉱山の磁鉄鉱は Ti を含んでおらず，さらに鉱床の最深部より採掘されていることから酸化を受けている可能性も低い。そこで本研究では同産地の試料を用い磁化測定を行い，化学組成・微細組織を検討した。

## 実験

国立科学博物館所蔵の標本より分取した 2 試料に別途入手した試料を加えた 3 試料について，SQUID 磁束計（Quantum Design MPMS）を用いた磁化測定，EPMA（JEOL JXA-8200）による化学分析，メスバウアー分光法による分析を行った。

## 結果と考察

国立科学博物館所蔵の 2 標本は鉄のクリップを引きつけるなど，明らかに磁石としての性質を有しているが，その保持力は“天然磁石”として知られる試料に較べるとずっと低いことがわかる（図）。組成的には Si 含有量が多い（$SiO_2$ <4.34wt%）ことが特徴的で，EPMA による面分析ではミクロンオーダーでの Si 含有量の多寡による複雑な微細組織が認められる。メスバウアー分光法では一部に酸化が示唆されるデータが得られたものの，反射顕微鏡による観察でも EPMA による分析でも低温酸化によってできるとされる酸化鉄（赤鉄鉱，磁赤鉄鉱）は認められなかった。この結果は Si 含有相の組成として Xu ら（2014）によって提案された$[\square_{0.5}Fe^{3+}Fe^{2+}{}_{0.5}]^{VI}Si^{IV}O_4$ を仮定すれば整合的に理解可能である。よって柵原鉱山産磁鉄鉱の持つ高い保磁力は二次的な低温酸化によるものではなく，初生的な組成・組織が原因であると考えられる。




図．磁鉄鉱の磁気特性

Keywords: magnetite, coercivity, Si-substitution, intergrowth
*Corresponding author: ohkawa@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 深層学習による薄片画像の認識と岩石分類

松田 真奈, 瀬戸 雄介* (神戸大・院・理)

# Identification of rock type from thin sections using CNN deep learning

Mana MATSUDA, Yusuke SETO* (Kobe Univ. Sci.)

## １．はじめに

近年、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた深層学習が様々な分野に応用され、画像処理や音声処理における特徴検出や認識において高い性能を発揮することが示されている。条件によっては深層学習が人間の認識精度を超えることもあり、岩石・鉱物学分野への応用が期待される。本研究では、深層学習法が最も得意とする画像分類に注目し、岩石薄片画像から岩石種の判別する学習モデルの構築を試みた。

## ２．研究手法

深層学習を行うためには大量の訓練用データを用意する必要がある。そのためまず偏光顕微鏡のステージにステッピングモーターを組み込み、さらにカメラと同期させることで、高速な自動撮影システムを構築した。

上記のシステムを用いて、(株)ニチカから購入した 10 種類の岩石(かんらん岩, かんらん石普通輝石はんれい岩, はんれい岩(ノーライト), 石英モンゾニ岩, かんらん石玄武岩, ざくろ石黒雲母安山岩, 輝石安山岩, 緑簾石藍閃石片岩, 紅簾石石英片岩, 泥岩)から偏光顕微鏡薄片写真(オープンとクロス)を撮影した。それぞれの岩石種ごとに 720 枚の画像(3.0×2.3 $mm^2$)を取得し、450×320 $pixel^2$ にリサイズしたものを学習に使用した。

深層学習の実装には Google 社が開発した TensorFlow (www.tensorflow.org)を使用し、Python 環境下で実行した。様々なニューラルネットワークモデルを作成し、学習精度や正解率を評価した。

## ３．結果

CNN 深層学習は、画像中の特徴を抽出する畳み込み演算と、その特徴を保持しつつ画像サイズを圧縮するプーリング演算を交互に繰り返す手法である。畳み込みとプーリングの繰り返し回数は、学習結果に大きな影響を与えることが知られている。図 1 にこの繰り返し回数に対する正答率を示した。1~2 回程度の繰り返しで正解率が高くなる傾向がみられ、最高の正解率はオープンニコルのみで評価した場合は 98 %、クロスニコルのみでは 95 %、両者を直列にスタックした画像では 98 %となった。全体的に、スタックした画像を使用した場合の正解率が高く、クロスのみの場合が低い。次に、訓練用データ数と正解率の関係を図 2 に示す。訓練用データが 500 枚(10 種の岩石が各 50 枚)の場合でも正解率は 70%を上回り、枚数の増加と共に正解率は向上する。5000 枚でも上限に達しておらず、訓練データを増やせば更なる正解率の向上が期待できる。

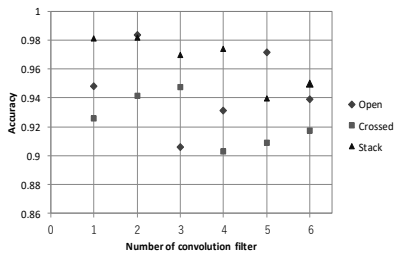



図 1. 畳み込み＋プーリングの層数に対する正解率の変化. 訓練用データ数は 5000 枚.

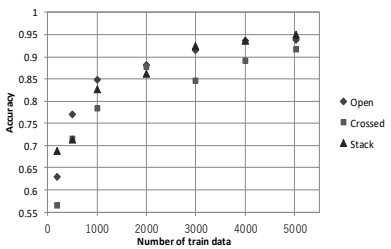



図 2. 訓練用データ数に対する正解率の関係. 畳み込み＋プーリングは 6 層.

## ４．考察

薄片画像データを用いた深層学習による岩石判別を行った結果、少なくとも筆者らが用意したデータセットに対しては高い正解率を示した。特に、オープンニコルとクロスニコルの画像をスタックし、畳み込み＋プーリングの層数は 1~2 回程度、訓練用データを 5000 枚以上使用した場合では 98%以上の正解率に達し、岩石判別のツールとして有効であることを確認した。

Keywords: deep learning, rock classification, computer vision

*Corresponding author: seto@crystal.kobe-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-04

# MEM 解析ソフトウェア Dysnomia への最大エントロピー パターソン法の統合

門馬綱一(国立科博)

# Integration of the Maximum Entropy Patterson method into the MEM analysis software Dysnomia

Koichi Momma (NMNS)

A feature of the Maximum Entropy Patterson (MEP) method has been implemented into a MEM analysis software Dysnomia. It is now capable of reading output files of RIETAN-FP, *.ffo, containing diffraction peak intensities extracted by Le Bail analysis, and generating a file *.input, containing improved intensities estimated by MEP, for structure solution by the charge flipping software Superflip.

最大エントロピー法(MEM)は結晶学において、実測のX線・中性子回折データから電子・核密度分布を計算する際などに広く用いられている。実測データには含まれない結晶構造因子の位相項の情報は、結晶構造解析の結果に基づいて構造モデルから計算した値がそのまま用いられる。一方、位相項を含まない回折強度（結晶構造因子の絶対値の二乗）からは、同様にMEMを用いてパターソン関数分布を求めることができる。MEMにおいては、通常のフーリエ合成において問題となる打ち切り効果の影響が出にくく、(X線回折の場合)現実にはありえない負の電子密度やパターソン関数密度が生じない。未観測の回折ピークに対しても、非負の強度が推定されることから、最大エントロピーパターソン法(MEP)によって確度の高いパターソン関数分布を求めることで、未観測ピークの強度や、粉末回折で問題となる重畳ピーク中の個別ピーク強度を推定することができる。

汎用のMEP解析ソフトウェアとしてはALBAがRIETAN–FPと共に配布されているが、設計が古く、大規模データに対応しない、重み付け機能を持たない、近似解しか得られず厳密解を求められない、などの課題があった。そこで、MEM解析ソフトウェアDysnomia (Momma et al., 2013) のアルゴリズムをそのまま生かし、MEP機能の統合を図った。基本的なMEMのアルゴリズム自体は電子・核密度解析の際と共通であるが、MEP解析においては以下の相違点があり、それらの機能を追加した。(1)入出力ファイル形式、(2) Wilson plotによる回折強度のスケール因子の推定、(3)グループ化した反射による制約条件式。MEP解析においては、パターソン関数そのものより、そこから導かれる回折強度データを用いて結晶構造を導出することが目的であるため、Superflipの入力ファイルを自動作成する機能も追加した。これにより、MEP解析終了後、Superflipを容易に実行でき、Charge flipping法による構造導出が可能である。

MEM解析においては、実測データに適切な重み付けを行わないと、合理的な電子・核密度データが得られないことが指摘されており、格子面間隔dの4乗による重み付けなどが提案されている (de Vries et al., 1994)。しかし、適切な重みは、格子定数や、対象データの種類（電子密度、核密度、パターソン関数の何れであるか）など、データごとに異なる。そこで、自動で最適な重み係数を決定する試みを行った。発表では最適な重み付け関数についての評価と、自動重み付け機能の詳細について述べる。

引用文献 : [1] Momma et al. (2013) Powder Diffraction, 28, 184. [2] de Vries et al. (1994) Acta Cryst., 50, 383.

Keywords: maximum entropy method, maximum entropy Patterson method
*Corresponding author: k-momma@kahaku.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-05

# マグマ性鉱床プローブとしての透輝石斑晶メルト包有物

黒澤 正紀*（筑波大・生命環境）

# Chemical characters of solid and melt inclusions in diopside megacrysts from Kamisano, Yamanshi prefecture.

M. Kurosawa*(Life Env. Sci., Univ. Tsukuba)

Solid inclusions and daughter minerals in melt inclusions of diopside megacrysts from basaltic andesite veins at the Kamisano area, Yamanashi prefecture, Japan, were analyzed with a SEM–EDS to examine chemistries of melts and fluids from magma associated with ore deposits in southern Fossa Magna area.

花崗岩起源の熱水性金属鉱床の形成には、塩素や硫黄に富む酸化的な花崗岩が地殻浅部に貫入することが重要とされている。特に、大規模金属鉱床の形成では、花崗岩マグマ中に初生的な硫酸イオンが存在し、母岩からメルトに有用金属を効率的に抽出することで、多量の金属を含む熱水流体が固結時に放出することが想定されている。つまり、大規模鉱床の形成過程の解明には、花崗岩マグマ形成での化学的環境の解析が重要となるが、地下深部情報の解析手法については、まだ模索段階となっている。そうした中、大規模地溝帯などの深部断裂に沿って上昇する深部由来岩脈の一部には、花崗岩形成場の近傍に源があり、斑晶の包有物に地下の化学的環境の情報を持つものが存在する可能性が考えられる。

南部フォッサマグナ地域の透輝石を含む岩脈は、組成と累帯構造の特徴からマグマ溜まり深部からの運搬結晶とされ、その種の結晶がオスロリフトなど大規模地溝帯によく伴われる点、包有物に含水鉱物を多量に含むことから、造構運動で上部マントル浅部に水が供給された条件での結晶化が推測されている。この条件は、この地域の花崗岩質マグマの形成環境と関連している可能性がある。そこで、今回は、南部フォッサ地域の上部マントル浅部でのマグマ発生と鉱床形成との関係を解明するため、透輝石斑晶の固相及びメルト包有物の特徴を予察的に検討した。

試料には、山梨県南部町天子湖付近林道に貫入する玄武岩質安山岩岩脈の透輝石斑晶を用いた。この岩脈は、周囲の小規模な閃緑岩・花崗閃緑岩の岩体とほぼ同じで、中新世～鮮新世の貫入とされている。斑晶として 1cm 大の多数の透輝石、少量の普通輝石を含み、石基には主に透輝石・普通輝石・斜長石・緑泥石・磁鉄鉱・微量の黄鉄鉱が含まれていた。岩片として透輝石・斜長石の集合体も少量認められた。

透輝石斑晶は常に普通輝石のリムを持ち、コア部分は丸みを帯び、リムは骸晶状であることから、透輝石斑晶が異なるメルトに捕獲され、急速に上方運搬されたことを示唆する。透輝石コアの $Cr_2O_3$ 濃度は 0.2～0.7wt.%で内部でも斑晶ごとにも変動がある。普通輝石リムの同濃度は 0～0.2wt.%である。透輝石コアは、固相包有物として斜長石を含み、微量の磁鉄鉱・黄鉄鉱・黄銅鉱を時々含む。

流体包有物として、析出結晶を含むメルト包有物が多数存在したが、液相を含むものは未確認である。メルト包有物の主な析出結晶は、普通輝石＋斜長石＋緑泥石±パーガス閃石±方解石±カリ長石±アルカリ長石±アパタイト±チタン石±ジルコン±硫化物±磁鉄鉱であった。硫化物は黄鉄鉱・黄銅鉱が主で、砒素を含む方鉛鉱、アンチモン・テルル・銀等を含む微小結晶も認められた。

析出結晶の鉱物組合せから推定される捕獲メルトの主成分組成は、ほぼ閃緑岩質～花崗岩質で、同地域の花崗岩類と一致する。多量の含水鉱物・方解石の存在から、この地域の上部マントルのマグマ形成場には水と炭酸ガスが豊富で、硫酸塩・赤鉄鉱の欠如から、それほど酸化的でない状態が示唆された。また、包有物内に亜鉛・鉛の硫化物が少ないことは、同地域内には小規模な金・銀・銅鉱床のみ分布する状況と調和的と考えられる。深部由来岩脈の透輝石斑晶の包有物は、地域の花崗岩マグマ形成場や熱水性金属鉱床の形成過程を検討する手がかりとなる可能性がある。

Keywords: melt inclusion, chromian diopside, sulfide
*Corresponding author: kurosawa@geol.tsukuba.ac.jp

# 熊本県に分布する黒瀬川帯の超苦鉄質岩体における白金族元素含有鉱物および元素鉱物について

田中崇裕*・浜根大輔（東京大・物性研）・新町正

# PGMs and Native Element Minerals from the Ultramafic Rock Body of the Kurosegawa Belt in Kumamoto prefecture, Japan

Takahiro Tanaka*, Daisuke Nishio-Hamane (ISSP, Univ. of Tokyo), Tadashi Shinmachi

日本における白金族元素含有鉱物（PGM）についての研究は，北海道にほぼ限られている．熊本県に分布する黒瀬川帯の超苦鉄質岩体を横切る河川において，重砂試料を採集し，検討を行ったところ，多数の PGM および元素鉱物が見出されたことから，それらを報告するとともに，それらの起源についても考察する．

熊本県に分布する黒瀬川帯の超苦鉄質岩は，概ねダン橄欖岩起源の蛇紋岩からなるが，部分的に単斜輝石岩のレンズ状岩体を含むことが知られている．今回，PGM および元素鉱物が認められた調査地は，八代市東陽町南（M），泉町下岳（S），坂本町深水（F），下益城郡美里町払川（H）である．下岳及び払川は単斜輝石岩体，その他は蛇紋岩体を横切る河川の下流である．なお，今回得られた PGM は，ほとんど川擦れしていないことからほぼ現地性のものと考えられる．確認された鉱物種を Table 1 にまとめた．単斜輝石岩体由来の PGM は Pt-Rh-Pd（Palladium-subgroup platinum-group elements: PPGE）を主体とし，元素鉱物，硫化物，テルル化物，砒化物，アンチモン化物となっている．それらは isoferroplatinum の粒をベースとし，それを覆うように産する他，粒の上にコブとして認められる．Ir-Os-Ru（Iridium-subgroup platinum-group elements: IPGE）は主に硫化物として少量のみ認められた．一方でダン橄欖岩起源の蛇紋岩由来のものは，IPGE の元素鉱物に限られていた．一般的に PPGE はマグマ中では不適合であるため，S, As, Sb, Te, Bi 等と共に分化したマグマ中に濃集していく．一方，IPGE は集積岩と共にマグマから取り除かれていく．従って，本調査の結果から，黒瀬川帯の単斜輝石岩は，上部マントルの部分溶融に始まり，マグマの分化の末に生じた残留メルトから生成したことが伺え，今回見出された多様な PGM もそのような特異なプロセスを経て生じたものと考えられる．

Table 1. List of PGMs and native element minerals from the ultramafic rock body of the Kurosegawa belt in Kumamoto prefecture, Japan

| Mineral | Composition | Locality |
|---|---|---|
| PGMs | | |
| Bowieite | $Rh_2S_3$ | H |
| Cherepanovite | RhAs | H |
| Cuprorhodsite | $(Cu_{0.5}Fe_{0.5})Rh_2S_4$ | H |
| Elichmanite | $OsS_2$ | H |
| Ferhodsite-like mineral | $(Fe,Rh,Ni,Ir,Cu,Co,Pt)_{9-x}S_8$ | H |
| Hollingworthite | RhAsS | H |
| Irarsite | IrAsS | H |
| Iridium | Ir | M |
| Isoferroplatinum | $Pt_3Fe$ | H, S |
| Kingstonite | $Rh_3S_4$ | H |
| Laurite | $RuS_2$ | H |
| Miassite | $Rh_{17}S_{15}$ | H |
| Minakawaite | RhSb | H |
| Moncheite | $PtTe_2$ | H |
| Osmium | Os | H, M |
| Paladinite | PdO | H |
| Platinum | Pt | H |
| Rutenium | Ru | M |
| Tetraherroplatinum | PtFe | H |
| Tulameenite | $Pt_2CuFe$ | H |
| Ungavaite | $Pd_4Sb_3$ | H |
| Unknown1 | $Pd_{20}Te_7$ or $Pd_2Te$ | H |
| Unknown2 | $Pd_3Te$ | H |
| Unknown3 | Rh[(Cu,Fe),Ge]? | H |
| Unknown4 | RhSbS | H |
| Unknown5 | $Rh_2Sb_2S$ | H |
| Unknown6 | $(Co_{0.5}Fe_{0.5})Rh_2S_4$ | H |
| Unknown7 | $Ca(Rh,Ir,Pt)_2(SO_4)_4$ | H |
| Element minerals | | |
| Sn-bearing brass | $Cu_3(Zn,Sn)_2$ | M |
| Gold | Au | H, M |
| Nickel | Ni | M |
| Silver | Ag | F |

Keyword: PGM, Native element mineral, PPGE, IPGE, Kurosegawa belt

*Corresponding author: penta@kuh.biglobe.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 新鉱物　皆川鉱（Minakawaite）

浜根大輔（東京大・物性研）・田中崇裕*・新町正

# Minakawaite, a new mineral

Daisuke Nisio-Hamane (ISSP, Univ. of Tokyo), Takahiro Tanaka*, Tadashi Shinmachi

日本における白金族元素含有鉱物（PGM）の産出については，北海道を除いてほとんど報告されていないことから，熊本県に分布する黒瀬川帯の超苦鉄質岩体を対象に PGM の調査を続けてきた．その結果，下益城郡美里町払川の単斜輝石岩体を横切る河川から数多くの PGM が見出された．その中には，数種類の未知の鉱物が含まれており，その一つが RhSb という組成に該当した．我々は，著者である浜根及び田中の恩師である愛媛大学元教授の皆川鉄雄に，師の名を当該鉱物に献名したい旨を伝え，了承が得られたことから，国際鉱物学連合の新鉱物・鉱物・命名委員会に皆川鉱（Minakawaite）を申請し，承認された．

払川で採集された PGM は，ほぼ全ての粒のコア部が isoferroplatinum からなっており，しばしばそれを tetraferroplatinum 及び tulameenite が覆っている．また，isoferroplatinum の粒は多様な鉱物を包有する他，稀に表面にコブ状の粒を伴う．このコブ状の粒は，主に Rh, Ir, Ru, Os を主成分とする鉱物からなっており，皆川鉱はそれらを覆うように最も外側に皮膜状で形成されている．この産状から，鉱化ステージの際末期に生成したものと考えられる．肉眼的には，バラ色がかった灰色であり，反射顕微鏡下では，淡灰色を呈し，弱い多色性(ピンク味がかった淡灰色－青味がかった淡灰色)及び中程度の異方性(赤灰色－青灰色)を示す．

皆川鉱の SEM-EDS による定量分析の結果は，Rh 46.83, Sb 48.97, As 4.08, total 99.88 wt%であり，総原子数を 2 としたとき $Rh_{0.998}(Sb_{0.882}As_{0.120})_{\Sigma 1.002}$ の実験式が得られた．また，皆川鉱は薄い皮膜状で産するため，微小部 X 線回折計を用いて試料表面から X 線回折パターンを得た．最も強い 7 つのピーク [*d*Å(I)(hkl)] は 2.860(63)(111)，2.774(35)(102),, 2.250(47) (112), 2.199(100)(211), 2.162(38)(202)，1.923(49)(020)，1.843(51)(013)である．空間群（*Pnma*）で指数付けされた格子定数は $a = 5.934(7)$，$b = 3.848(3)$，$c = 6.305(4)$ Å，$V = 144.0(2)$ Å$^3$ (Z = 4) である．実験式及び XRD データを基に計算された比重は，10.04 g/cm$^3$ である．皆川鉱は，合成物である MnP 型の RhSb 相と同一であり，鉱物としては，RhAs を端成分にする cherepanovite の Sb 置換体に相当する．

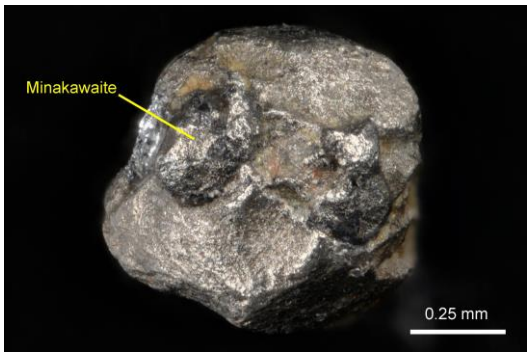



Fig. 1 Photograph of minakawaite

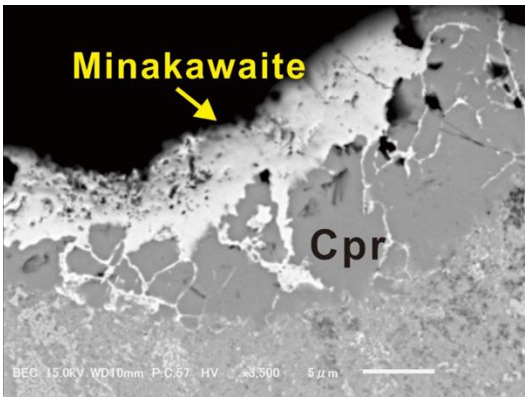



Fig. 2 SEM-image of minakawaite and Cuprorhodsite (Cpr)

Keyword: Minakawaite, PGM, Clinopyroxinite, Kurosegawa, Kumamoto

*Corresponding author: penta@kuh.biglobe.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 北海道留萌管内の砂金・砂白金鉱床を構成する鉱物種

浜根大輔*(東大・物性研), 齋藤勝幸

# Minerals from gold and PGM placer deposits from the Rumoi area in Hokkaido, Japan

Daisuke Nishio-Hamane* (ISSP, Univ. of Tokyo), Katsuyuki Saito

北海道留萌管内は新第三紀の堆積岩を主体とする地質であり、超苦鉄質岩の分布は認められない。一方で多くの場所で砂金・砂白金を採集することができる。これは堆積岩の原岩に超苦鉄質岩体が含まれていたためと推測される。我々は原岩の超苦鉄質岩体の特徴を把握するために、砂金・砂白金鉱床を構成する鉱物について調査を行っている。

今回報告する調査地は初山別村初山別川(S)、羽幌町愛奴沢川(A)、苫前町海岸(T)、小平町上記念別沢川(K)、小平町海岸(O)となる。Table1に確認された鉱物種および未命名鉱物を記した。また、砂鉱床に普遍的に認められる鉱物はリストからは除いた。留萌管内の砂金・砂白金鉱床を構成する鉱物は多様であり、先日に承認されたばかりの皆川鉱(minakawaite)も含まれるが、ここではqusongiteおよび$PtCu_3$鉱物について概要を記す。

QusongiteはWCを端成分とし、チベットのオフィオライトから最初に見出され、カムチャツカからも産出が報告されている。愛奴沢川のqusongiteは400μmの楕円形状の黒色粒として産出し、表面には10μm程度の四面体結晶が多数認められる。分析値は$W_{0.92}C_{1.08}$、格子定数は$a$ = 2.092(2) Å, $c$ = 2.832(3) Å, V = 20.65 (11) Å$^3$($P\bar{6}m2$)である。Qusongiteは粒子サイズがまばらで、粒子間には隙間も多く、製品の炭化タングステンにしばしば含まれるFeやCoも検出されないため、天然物と判断している。

$PtCu_3$鉱物は世界でもいくつかの地域から見いだされているが、鉱物種として確立されていない。苫前町海岸においては、rutheniumに付随するtulameeniteのインクルージョンとして、数μm程度のzaccariniiteの粒子とともに、数μmから20μmの不定型な粒子で$PtCu_3$鉱物が見いだされた。おおむね100×300μmの領域にそれらが多数分布することから、微小部XRDによる格子定数の測定が可能であった。$PtCu_3$鉱物の組成は$Cu_{3.09}Pt_{0.91}$、格子定数は$a$ = 3.683(2) Å, $V$ = 49.97(7) Å$^3$($Pm\bar{3}m$)である。

留萌管内の砂金・砂白金鉱床を構成する鉱物は、カムチャツカの超苦鉄質岩から産出する鉱物群との類似性が認められる。

Table 1. List of minerals from placer deposits

| Mineral | Composition | Locality |
|---|---|---|
| Braggite or Cooperite | PtS | T |
| Cherepanovite | RhAs | S, T |
| Gold | Au | A, K, O, S, T |
| Erlichmanite | $OsS_2$ | T |
| Ferronickelplatinum | $Pt_2FeNi$ | O, S, T |
| Hollingworthite | RhAsS | K, S, T |
| Hongshiite | PtCu | S, T |
| Irarsite | IrAsS | A, K, S, T |
| Iridarsenide | $IrAs_2$ | S |
| Iridium | Ir | A, K, O, S, T |
| Isoferroplatinum | $Pt_3Fe$ | A, K, O, S, T |
| Laurite | $RuS_2$ | A, K, S, T |
| Lead | Pb | S |
| Mertieite-I | $Pd_5(Sb,As)_2$ | T |
| Minakawaite | RhSb | T |
| Osmium | Os | A, K, O, S, T |
| Platinum | Pt | O |
| Qusongite | WC | A |
| Rhodarsenide | $Rh_2As$ | S, T |
| Rumoiite | $AuSn_2$ | S |
| Rutheniridosmine | (Ir,Os,Ru) | A, K, O, S, T |
| Ruthenium | Ru | A, K, O, S, T |
| Shosanbetsuite | $Ag_3Sn$ | S |
| Sperrylite | $PtAs_2$ | S, T |
| Tetraferroplatinum | PtFe | A, K, O, S, T |
| Tolovkite | IrSbS | A |
| Tulameenite | $Pt_2CuFe$ | A, K, O, S, T |
| Vincentite | $Pd_3As$ | T |
| Yuanjiangite | AuSn | S |
| Zaccariniite | RhNiAs | T |
| | | |
| *Unnamed minerals* | | |
| $CuSbRh_2$ | $CuSbRh_2$ | T |
| $Fe(Ir,Os,Ru)_2$ | $Fe(Ir,Os,Ru)_2$ | A |
| $Ni_2IrS_3$ | $Ni_2IrS_3$ | T |
| $PtCu_3$ | $PtCu_3$ | S, T |

A, Ainusawa Riv.; K, Kamikinenbetsu Riv.; O, Obira Coast; S, Shosanbetsu Riv.; T, Tomamae Coast.

Keywords: qusongite, $PtCu_3$, PGM, gold, Rumoi, Hokkaido
*Corresponding author: hamane@issp.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 北海道日高町千栄産の森本ざくろ石

浜根大輔*（東京大・物性研）・萩原昭人

# Morimotoite from Chisaka, Hidaka, Hokkaido, Japan

Daisuke Nishio-Hamane* (ISSP, Univ. of Tokyo), Akihito Hagiwara

ざくろ石超族は $X_3Y_2Z_3\varphi_{12}$ の一般式で示され、一般的に $Y = M^{3+}$であることが多いが、森本ざくろ石（Morimotoite）は $Y = (Ti^{4+} + Fe^{2+})$ で特徴付けられ、その端成分は $Ca_3(Ti^{4+}Fe^{2+})Si_3O_{12}$ と定義されている。森本ざくろ石は岡山県高梁市布賀を模式地とし、そこでは石英モンゾニ岩の貫入に派生する高温スカルンに産出する。森本ざくろ石の産出は日本国内に限っては本報告が 2 例目となるだろう。

北部の日高町は沙流川上流から中流にかけて位置し、町内の山地は日高山脈に該当する。地質は古生代から新生代にかけての付加体を中心とし、大規模な蛇紋岩体も分布する。特に糠平岩体には、ハルツバージャイトやダナイトをはじめ、いわゆる日高ヒスイとして知られる透輝石を主体とした岩石やロジン岩がしばしば伴われる。沙流川の支流となる千呂露川へ注ぐ小規模河川の上流部を調査したところ、蛇紋岩に胚胎されるロジン岩の露頭を見いだした。ロジン岩には緑泥石＋透輝石を主体とした岩石も伴われており、その岩石の構成鉱物および岩石を切る脈として森本ざくろ石が産出する。

岩石は主に緑泥石と透輝石の混合体で、緑泥石の比率がやや多い。そのほかの共生鉱物として微細なチタン石、森本ざくろ石（もしくは灰鉄ざくろ石）が見られ、黄鉄鉱も含まれるが少量である。岩石内の構成鉱物は多くが不定形だが、脈状に分布するざくろ石のみは自形を示す。ざくろ石は最大径が 1 ミリの 12 面体結晶で、光沢の強い結晶が群晶となり脈面に連続する。

脈状に分布するざくろ石は主に黒紫色を呈する。内部は組成累帯を示し、Ti に富む部分と乏しい部分が認められる。マッピングにより相関を観察したところ、Ti-Fe が強く相関する一方で Ti-Si および Fe-Si 間には相関が認められない。そのため分析値から実験式を組み立てる際に計算するべき $Fe^{3+}$はショーロマイトざくろ石成分ではなく、灰鉄ざくろ石成分を想定している。

Ti に富む部分の平均分析値（n. = 10）は、MgO 0.44, $Al_2O_3$ 1.42, $SiO_2$ 31.50, CaO 34.14, $TiO_2$ 13.30, FeO 15.57, Total 96.38 wt%であった。Ca+Mg = 3 で規格化し、合計アニオン 12 および Ti = $Fe^{2+}$として $Fe^{3+}$と$(H_4O_4)$を見積もった実験式は $(Ca_{2.95}Mg_{0.05})_{\Sigma3}(Ti_{0.81}Fe^{2+}_{0.81}Fe^{3+}_{0.24}Al_{0.13})_{\Sigma1.99}[Si_{2.54}(H_4O_4)_{0.47}]_{\Sigma3.01}O_{10.12}$ である。Si がわずかではあるが 2.5apfu を上回るため、鉱物種としては森本ざくろ石に該当する。このように本研究で見出された森本ざくろ石は Si < 3 となることが特徴的で、これは $Ca_3(Ti^{4+}Fe^{2+})(SiO_4)_{3-x}(H_4O_4)_x$ 固溶体の存在を示唆している。実際の含水量および三価鉄の測定などは今後の検討課題である。

Ti に乏しい部分の平均分析値（n. = 10）は、MgO 0.26, $Al_2O_3$ 0.88, $SiO_2$ 32.47, CaO 33.92, $TiO_2$ 8.76, FeO 20.18, Total 96.47 wt%で、同様に計算された実験式は $(Ca_{2.97}Mg_{0.03})_{\Sigma3}(Fe^{3+}_{0.84}Ti_{0.54}Fe^{2+}_{0.54}Al_{0.08})_{\Sigma2.00}[Si_{2.65}(H_4O_4)_{0.35}]_{\Sigma3.00}O_{10.61}$ となり、これは灰鉄ざくろ石に該当する。また、脈の一部には緑色部が認められ、そこは極端に低い Ti 内容であった。その平均分析値（n. = 10）は、MgO 0.18, $Al_2O_3$ 1.66, $SiO_2$ 35.04, CaO 33.57, $TiO_2$ 1.69, FeO 24.87, Total 97.01 wt%で、実験式は $(Ca_{2.98}Mg_{0.02})_{\Sigma3}(Fe^{3+}_{1.62}Al_{0.16}Ti_{0.11}Fe^{2+}_{0.11})_{\Sigma1.99}[Si_{2.90}(H_4O_4)_{0.11}]_{\Sigma3.01}O_{11.57}$ となり、より灰鉄ざくろ石の端成分に近い値が得られた。

Keywords: morimotoite, andradite, hydrous garnet, Nukabira complex, Hidaka
*Corresponding author: hamane@issp.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-10

# 秩父鉱山石灰沢から見出された holtstamite 加水ざくろ石とその高圧挙動

浜根大輔*(東大・物性研), 門馬綱一(科博), 原田明

# Occurrence of holtstamite hydrogarnet from the Sekkaizawa and its high-pressure behavior

Daisuke Nishio-Hamane* (ISSP, Univ. of Tokyo), Koichi Momma (Nat'l. Mus. Nat. Sci.), Akira Harada

ざくろ石超族は$X_3Y_2Z_3\varphi_{12}$の一般式で示され、多くは立方晶($Ia\bar{3}d$)であるが、2種類の加水ざくろ石(holtstamiteおよびhenritermierite)のみは正方晶($I4_1/acd$)を基本格子とする。加水ざくろ石固溶体を$Ca_3Al_2(SiO_4)_{3-x}(H_4O_4)_x$としたとき、x = 1がholtstamiteに該当し、端成分は$CaAl_2Si_2O_8(OH)_4$と定義される。

HoltstamiteはWessels鉱山(南アフリカ)でのみ産出が知られる稀産鉱物で、henritermieriteと固溶体を形成する。構造は固溶されている$Mn^{3+}$のヤーン・テーラー効果で正方歪みが強調されており、Hålenius et al., (2005)は加水ざくろ石が正方晶を維持するには$Mn^{3+}$の存在が不可欠であると考えた。

日本においては高温型スカルン(広島県久代)から産出する加水ざくろ石が興味深い性質を示す。久代産加水ざくろ石はholtstamiteに近い組成を示し、$Mn^{3+}$を含まない。また、光学的等方体ではなく、太いXRDピーク半値幅を示す。これらの性質から逸見ら (1971)はこの加水ざくろ石は立方晶ではない可能性を指摘していた。

そうした先行研究がある中で、我々は埼玉県秩父鉱山石灰沢の高温スカルンから産する加水ざくろ石について検討を行ったところ、調べた範囲内のすべてがholtstamiteであることが判明した。またその化学組成は端成分に近く、$Mn^{3+}$を全く固溶しない。このholtstamiteは岩石の単位で大量に存在し、石灰沢では最も普遍的な造岩鉱物の一つと言える。共通の特徴から逸見ら (1971)が報告した久代産加水ざくろ石もholtstamiteである可能性が示唆される。

石灰沢のholtstamiteはゲーレン石が熱水活動で分解した岩石の主要構成鉱物をなす。そのほかの構成鉱物としてベスブ石、アメス石、ベーム石、chantaliteおよび少量の硫化鉱物が認められる。Holtstamite岩は全体的に白色だが、アメス石に富む部分は青色を帯びる。同様の岩石から和田石が産出した報告もあるが(松原, 2017)、本研究では未見である。

Holtstamiteの分析値(n = 30)は$(Ca_{2.77}Mg_{0.22})_{\Sigma 2.99}(Al_{1.93}Fe^{3+}_{0.05})_{\Sigma 1.98}Si_{2.02}O_8(H_4O_4)$で、格子定数は$a$ = 12.161(1) Å, $c$ = 11.968(1) Å, $V$ = 1770.0(3) Å$^3$である。結晶構造についてはガンドルフィーカメラで得られた回折に対しリートベルト解析を行い、$R_{wp}$ = 2.17% $R_P$ = 1.89%, $R_{B(\text{holtstamite})}$ = 4.08%, $R_{F(\text{holtstamite})}$ = 2.58%に収束した。

Holtstamiteの結晶化学的な席は$X1_2X2Y1_2Z1_2Z2O1_4O2_4(O3H1)_4$となっており、$4H + {}^{Z2}\square \rightarrow \square + {}^{Z2}Si$置換によってZ2席がほとんど空となり、$Z2$-($O3H1$)四面体が拡張していることが確認された。Holtstamiteの正方歪みは、OH基の発生が$Z2$席まわりの$O3$席に偏ることに起因すると考えられ、$Mn^{3+}$の存在は本質的に不要であろう。

また加水ざくろ石の系統的理解の一助とするために、石灰沢産holtstamiteに対して静水圧下において10GPaまでの加圧実験を行った。得られた体積弾性率は$K_0$ = 104.5(8)GPa[$K$'=4.29(5)]、108.8GPa($K$'=4)であり、この値はgrossular－katoiteのおおむね中間となる。詳細は当日に報告する。

引用：Hålenius et al. (2005) EJM, 17, 375-382; 逸見ら (1971) 鉱物学雑誌, 10, 160-169; 松原(2017) 秩父鉱山140種の鉱物のきらめき, p.21.

Keywords: holtstamite, hydrogarnet, Sekkaizawa, Chichibu mine, high pressure
*Corresponding author: hamane@issp.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-11

# 小笠原諸島父島に産する phillipsite の特徴的成長組織について

井上裕貴(東京都市大)・安井万奈(早大理工)・萩谷宏(東京都市大)
・山崎淳司(早大理工)

# The characteristic growth habits of phillipsite formed in Chichijima, Ogasawara Islands

Yuki Inoue* (Tokyo City Univ.) Mana Yasui (Waseda Univ.)
Hiroshi Hagiya (Tokyo City Univ.) Atsushi Yamazaki (Waseda Univ.)

The Ogasawara Islands are located in the Pacific Ocean approximately 1000 km south of Tokyo. The Ogasawara Islands are formed by Paleogene submarine volcanism and produce characteristic boninite formation. In particular, descriptions of various zeolites in the boninite and related rocks in Ogasawara Islands Chichijima and Anijima are reported. In this study, we focused on the characteristic crystal growth structure of phillipsite zeolite in the cavity of the volcanic rock of Chichijima. As a result of SEM-EDS analysis, at least three or more growth modes were observed. The extraframework cations of phillipsite filling in the rock cavity changes from the onset of growth to Na-rich, K-richi and Ca-rich in relation to the change in crystal habit. Furthermore, it was also observed that several different kinds of zeolite species coexist in the same cavity.

伊豆-小笠原弧南部に位置する小笠原諸島父島、兄島では様々な沸石がボニナイト及び関連する火山岩中に産出することが報告されている。(Nishido:1982、藤田:2016 他)

本研究では、父島の宮之浜および初寝浦において、ボニナイト及び古銅輝石安山岩中の空隙を充填する phillipsite について主に SEM-EDS を用いて観察を行った。

その結果、空隙中の phillipsite について少なくとも 3 段階以上の成長機構が確認された(図 1)。Phillipsite 結晶成長の開始基部(図 1 の右下)から、骨格外陽イオンの組成比が Na-rich から K-rich となり、最外部では晶癖の変化を伴い、Na 比は一定のまま、K 比が減少し Ca 比の増加がみられた。また、その他の火山岩中には、同一の晶洞中に複数種の沸石が共生充填するものも観察された。これら沸石群の産状についてもあわせて報告する。

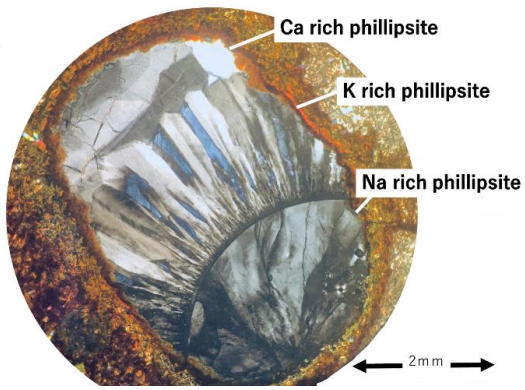



図 1. 宮之浜産ボニナイトの晶洞に見られる phillipsite の 3 段階成長

Keywords: Phillipsite, Step growth, Boninite, Chichijima,*Corresponding author: i.yuki1488@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 福岡県飯塚市八木山産のアメサイトについて

一色優希・上原誠一郎(九大・理・地惑)

# Amesite from Yakiyama, Izuka, Fukuoka Prefecture, Japan

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

## 1. はじめに

蛇紋石は 1:1 型の層状珪酸塩鉱物で，円筒状構造のクリソタイル，波状構造のアンチゴライト，板状構造のリザーダイトの蛇紋石鉱物の族名として使用されている。理想化学組成は $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ で，一般に少量の Fe や Al を含むが，上記の理想化学組成に近いものが普通である。蛇紋石と固溶体の関係にある鉱物としてアメサイト$(Mg, Al)_3(Si, Al)_2O_5(OH)_4$ があり，中間的組成のものは Al 蛇紋石と呼ばれている。Al 蛇紋石は緑泥石と多形の関係にあり，低温相(準安定相)と考えられ，鉱物学的に重要である。しかし，それらの産出は比較的稀であり，詳細な鉱物学的記載は少ない。今回，福岡県飯塚市八木山の龍王山周辺の蛇紋岩に伴うロジン岩の構成鉱物を調査中に Al 蛇紋石及びアメサイトを確認し，それらの産状及び鉱物学的性質を検討した。さらに Shirozu (1958)により記載された兎山産の Al 蛇紋石の再検討も行った

## 2. 試料および実験

飯塚市八木山および周辺の地域で，蛇紋岩中のロジン岩の産状観察と構成鉱物の検討を行った。試料の肉眼及び双眼実体顕微鏡観察の後に X 線回折分析(Rigaku Ultima Ⅳ, Rigaku RINT RAPID Ⅱ)，偏光顕微鏡および走査電子顕微鏡観察(SEM-EDS: JEOL JSM-7001F)を行った。また、九州大学超顕微解析研究センターの TEM (JEOL JEM-3200FSK)を使用し微細組織観察を行った。

## 3. 結果

この 5 年間の野外観察では 11 箇点のロジン岩露頭を確認した。ロジン岩は緑簾石-斜灰簾石，方解石，灰礬柘榴石，緑泥石，トムソン沸石などの Ca や Al に富んだ鉱物で構成される。アメサイトを確認した露頭は 2 箇所で、産状は 2 つのタイプがある。ロジン岩の蛇紋岩との境界に近い部分に散在するもの(試料 No. Rod3)と脈状をなすもの（試料 No. Rod7）がある。試料 Rod3 では白色不透明の Al-蛇紋石と付随する形で薄茶色透明のアメサイトを含む。白色不透明部は $Al_2O_3$ = 22-23 wt%,で，結晶が非常に小さく(約 50-300 nm)，板状、円筒状を示す。X 線回析パターンは $6T_1$ ポリタイプとクリソタイルの混合物を示す。薄茶色透明部は $Al_2O_3$ = 24-32 wt%で化学組成が不均一である。X 線回折パターンは積層不整の多い $6T_1$ を示す。

兎山産の Al 蛇紋石はロジン岩中に幅 2 mm 程の緑色透明脈中に緑泥石を伴い産出する。兎山の試料は $Al_2O_3$ 含有量が少なく，$c$ 軸長が長い。今回の八木山産アメサイトは沸石鉱物と共存しており，兎山に比べさらに低温の生成物であろう。

Key word: amesite, Al-serpentine, serpentine, rodingite, low-temperature phase

Corresponding author: Isshiki.yuki.525@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 福岡県長垂山のコルンブ石族鉱物

伊東信（福岡県立糸島高）・上原誠一郎（九大・理・地惑）・白勢洋平(京大)

# Columbite group minerals from Mt. Nagatare, Fukuoka Prefecture

Shin Ito (Itoshima HS), Seiichiro Uehara (Dept. Earth & Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ.) and Yohei Shirose (Mus. Kyoto Univ.)

**序**　福岡県長垂山の Li ペグマタイトは，古くから記載鉱物学的研究 (柴田，1934 など) がなされ，リチア電気石やリチア雲母，コルンブ石など，多くの希元素鉱物が記載されてきた。しかし，Li ペグマタイトの周囲の複合ペグマタイト中の希元素鉱物について十分な鉱物学的研究は行われていない。本研究では，長垂山のペグマタイト露頭中の希元素鉱物の産状調査を行った。さらに，Li 鉱石貯鉱場跡から採取したコルンブ石族鉱物とともに，化学組成を分析し，分化の傾向について検討を行った。

**産状**　コルンブ石族鉱物は褐～黒色で金属光沢をもち，コルンブ石とタンタル石は肉眼的には区別がつかない。化学分析と X 線回折実験を行い、コルンブ石族鉱物について検討した。化学分析には走査電子顕微鏡(JSM-5800LV)を用いた。X 線回折実験には，Rigaku 製湾曲イメージングプレート X 線回折装置 RINT RAPID Ⅱ を用いた。

**結果**　野外調査の結果，Li ペグマタイトの露頭は確認出来なかったが，ペグマタイトの露頭８地点から大きさ 1～5 mm ほどのコルンブ石族鉱物の産出が確認された。化学分析の結果，周囲の複合ペグマタイトから産した試料からは、鉄コルンブ石，マンガンコルンブ石，鉄タンタル石が確認された（図１）。結晶のコアの部分は鉄コルンブ石組成の物が多く，Mn の濃度は Li ペグマタイトから産したものと比較して高くならない。一方，Li ペグマタイトから産した試料からは，マンガンコルンブ石，鉄コルンブ石，マンガンタンタル石が確認された。結晶のコアはマンガンコルンブ石組成の物が多く，Mn/(Mn+Fe)の値が Ta/(Ta+Nb)と比較して周囲の複合ペグマタイトに比べて大きく増加する傾向が見られた。この傾向は F に富む岩体に産するコルンブ石族鉱物に見られる(Černý et al. 1986)ことから、長垂の Li ペグマタイトも形成時に F に富む環境であったと考えられる。

Keywords: columbite, tantalite, Nagatare

*Corresponding author : ito-s@kyudai.jp

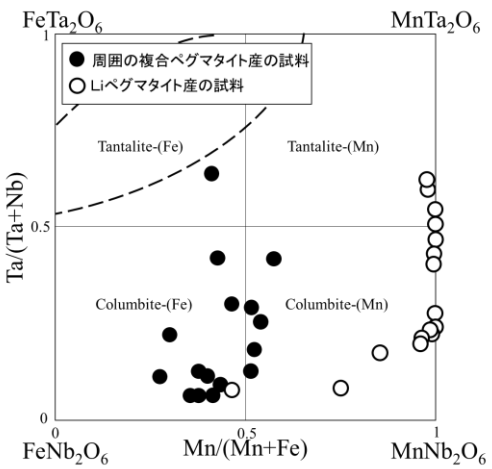



図 1　長垂山産コルンブ石族鉱物の四端成分図

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 山口県美祢市長登銅山烏帽子坑に産するコバルト鉱石

永嶌 真理子（山口大・創成科学), 井本 裕二, 森下 幸菜（山口大・理）

# Occurrence of Co ores from the Eboshi deposit, the Naganobori copper mine, Yamaguchi, Japan

Mariko Nagashima*, Yuji Imoto, and Yukina Morishita (Faculty of Science, Yamaguchi Univ.)

Mineral assemblages and chemical compositions of skarn and ore minerals from the Eboshi deposit, Naganobori copper mine, Yamaguchi, Japan were investigated. The Co-rich ores are given in a special focus. The major ore minerals are cobaltite, chalcopyrite, and early stage pyrite (Py-I) and later stage pyrite (Py-II). Py-II is enriched in arsenic (~3.42 As wt.%). Bi-bearing minerals, such as native bismuth, bismuthnite, emplectite, wittichenite, are associated with cobaltite. Kawazulite and skutterudite-like phase are newly described. Ag-bearing minerals, such as matildite and hessite, also occur. The mineral assemblages and textures indicate that chalcopyrite and Py-I were formed in the early to middle stages; cobaltite, Py-II and Bi-bearing minerals were of the middle stage; and Ag- and Te-minerals were crystallized in the late stage.

山口県美祢市には長登銅山，大和鉱山などの銅スカルン鉱床が複数存在する(Kato, 1916ほか). 秋吉石灰岩分布域南東部に位置する長登銅山は日本最古の銅山のひとつで，なかでも烏帽子坑はヘデンベルグ輝石スカルンを主とする本銅山最大の鉱床であり，輝コバルト鉱の産出でも知られる. 烏帽子坑に産する鉱石鉱物およびスカルン鉱物の鉱物組合せや化学的特徴は永嶌・森下(2018)によって報告されたが，コバルト鉱石の検討は十分ではなかった. したがって，本研究はコバルト鉱石の記載学的研究を行い，コバルトの鉱化作用プロセスの解明を研究目的とした.

烏帽子坑鉱石の主要鉱石鉱物は黄銅鉱，黄鉄鉱，輝コバルト鉱である. また孔雀石，藍銅鉱などに加え，輝コバルト鉱を多く含む鉱石では二次鉱物としてコバルト華[$Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$]が産出する. 最も卓越したスカルン鉱物はヘデンベルク輝石で，輝石スカルンを構成するものは$CaFeSi_2O_6$ (Hd), $CaMgSi_2O_6$ (Di), $CaMnSi_2O_6$ (Jo)成分がそれぞれ98-91, 0-3, 2-8 mol.%であるが，珪灰石スカルン中に産するものは$Hd_{94-73}Di_{0-17}Jo_{4-12}$で相対的にMgや$Mn^{2+}$に富む. また灰鉄ザクロ石は$Ca_3Fe^{3+}{}_2Si_3O_{12}$, $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$, $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$成分がそれぞれ99-87, 0-12, 0-7 mol.%であり，光学異常を示さない. 加えて，珪灰鉄鉱，バビントン石が産し，いずれのスカルン鉱物も非常にFeに富むことが特徴である.

鉱物組み合わせおよび鉱石鉱物の産状より，早期～中期にかけて黄銅鉱，黄鉄鉱が晶出し，黄鉄鉱は砒素を含まない早期のPy-Iと砒素を含む中期のPy-II(< 3.42 As wt.%)に分類される. 輝コバルト鉱はPy-IIと同時期に含ビスマス鉱物(自然蒼鉛，輝蒼鉛鉱，エンプレクト鉱，ウィチヘン鉱など)とともに産する. 本研究では新たに河津鉱[$Bi_{1.95}(Te_{1.74}Se_{0.08}S_{1.18})_{\Sigma 3.00}$]やスクッテルド鉱様鉱物($Co_{0.93}As_3$)が見出された. また黄銅鉱晶出後の中期～後期に黄銅鉱外縁部に斑銅鉱が成長した. 後期の晶出ステージは，マチルダ鉱やヘッサイトなど含銀・テルル鉱物の晶出で特徴づけられるが，河津鉱が自然蒼鉛と共生していることからテルルの供給は銀よりも相対的に早いと推定される. 一部の鉱石中に不定形の銀濃集部が認められ，含銀鉱物の分解によって形成したと考えられる.

Keywords: Naganobori, copper, skarn, cobaltite
*Corresponding author: nagashim@yamaguchi-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 鹿児島県赤石鉱山における鉱床及び鉱床母岩の粘土鉱物

吉村拓哉・上原誠一郎（九大 理 地惑）

# Clay mineralogy of the ore deposit and wall rocks from Akeshi mine, Kagoshima Prefecture, Japan

Takuya Yoshimura* and Seiichiro Uehara (Dep. Earth and Planet. Sci., Kyushu Univ.)

**1. 緒言**

鹿児島県南九州市にある赤石鉱山は，南薩摩型金鉱床に属する浅熱水性高硫化型鉱床(Hedenquist, 1987)で，徳永 (1954) や中村ら (1994) による鉱床学的研究がなされ，自然金と随伴鉱物が記載された．また，河野ら(1986)により赤石鉱山に近接する枕崎地区の粘土鉱物について，カオリナイト，緑泥石，混合層粘土鉱物などが報告された．しかし，赤石鉱山の鉱床と母岩変質帯の粘土鉱物についての詳細な鉱物学的研究は行われていない．本研究では，三井串木野鉱山㈱より提供された赤石鉱山の鉱石及び鉱床から母岩に達する 2 本の試錐(以下 H27-2-2 孔, H29-1-1 孔)中の粘土鉱物を調査した．

**2. 実験方法**

試錐から，黄鉄鉱を含む硬質な珪化帯と粘土化が進み，脆い特徴がある変質帯が確認され，この岩相が変化している部分(H27-2-2 孔; 深度 70 m – 90 m の 30 試料, H29-1-1 孔; 深度 90 m – 110 m の 19 試料)を選択し, X 線回折実験，電子顕微鏡観察，化学分析を行った．電子顕微鏡観察と化学分析には EDS を装着した SEM (JEOL 製 JSM-7001F), EPMA(JEOL 製 JXA-8530F)及び TEM(JEOL 製 JEM-3200FSK)を使用した．

**3. 結果及び考察**

両試錐を石英の量と構成鉱物で強珪化帯，弱珪化帯，粘土化帯，変質安山岩帯に分類した．H27-2-2 孔の変質安山岩帯では，Mg-Fe 緑泥石，カオリナイト，イライトが確認された．Mg-Fe 緑泥石は Mg : Fe 比がほぼ 1 : 1 で，I/S は白雲母寄りの組成を示した．Mg-Fe 緑泥石は I/S との共生関係を持ち，原岩の長石斑晶はカオリナイトとイライトに置換されていた．また，TEM 観察結果より，変質安山岩帯から緑泥石や I/S の積層構造も観察され，微細な方解石やジルコンが粘土鉱物とともに産することが確認された．

変質安山岩帯において，幅広い種類の粘土鉱物が確認されたことから，赤石鉱山およびその周辺について，成分の異なる熱水が複数回流入し，現在の環境が形成されたと推察される．

**4. 謝辞**

本研究で用いた試錐および鉱石試料は，三井串木野鉱山株式会社よりご提供いただき，野外調査にもご協力していただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

Keyword: Akeshi Mine, Gold deposit, Clay Minerals, Interstratified Clay Minerals

*Corresponding author: yoshimura.takuya@kyudai.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-16

# 鳥取県日南町日野上鉱山産のクインティン石（Quintinite）

石橋 隆*・山本佳弘・光田英彦（益富地学会館）・下林典正（京都大・院理）
渡部 茜・藤原 卓（益富地学会館）

# Quintinite from Hinogami Mine, Nichinan Town, Tottori Prefecture, Japan

Takashi Ishibashi*, Yoshihiro Yamamoto, Hidehiko Mitsuda ( Masutomi Mus. Geosci.), Norimasa Shimobayashi (Kyoto Univ.), Akane Watanabe, Takashi Fujiwara ( Masutomi Mus. Geosci.)

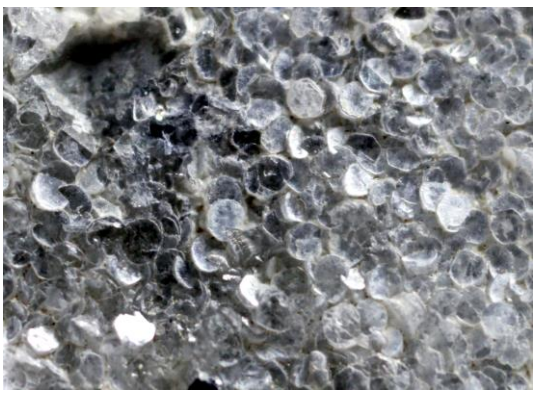
クインティン石（Quintinite）はマグネシウムとアルミニウムの含水炭酸塩鉱物で，理想化学組成は $Mg_4Al_2(OH)_{12}CO_3 \cdot 3H_2O$ で表される。本邦では，これまでに産出報告のない種であるが，日野上鉱山のクロム鉱床近傍の変斑レイ岩に伴ってクインティン石の産出が確認されたので報告する。

種名は，鉱物研究家の Quintin Wight に因む。模式的な産地および産状として，ブラジルの Jacupiranga 鉱山のカーボナタイト中に産するものや，カナダの Mont Saint-Hilaire, Poudrette 採石場のアルカリ複合岩体に産するものが知られ，他にも世界各地の 10 箇所ほどから報告されている。

本報告の産地，日野上鉱山は鳥取県日野郡日南町南西部に位置する。超苦鉄質岩体に胚胎するクロム鉱床のクロム苦土鉱などが採掘され，大正 12 年から昭和 38 年に休山に至るまで操業した。ズリ（排石捨場）が稲積山の北側の山腹に残されており，蛇紋岩や変斑レイ岩が多くみられる。

日野上鉱山産のクインティン石は，ズリの変斑レイ岩あるいは灰礬柘榴石を主体とするロディン岩様岩石の表面を覆って，0.1 mm 以下の六角薄板状結晶が皮膜状に集合体をなすもののほか（**図**），変斑レイ岩を切る脈で産し，空隙には最大 2 mm に達する六角短柱状結晶の群晶が認められる産状などがある。結晶は無色でガラス光沢がある。1 方向に顕著な劈開が発達し，破断面には真珠光沢が認められる。ハイドロタルク石と共存する。

X 線粉末回折値は ICDD 51-1525 のクインティン石との良い一致を示す．主要な回折値 [*d* in Å (*I*) *hkl*]は，7.63(100)003, 3.823(50)006, 2.572(20)222, 2.543(6)305, 2.290(20)225, 1.945(13)228, 1.524(8)600, 1.4952(6)603 などで，回折値から求められた格子定数（六方晶系）は，$a$ = 10.563(3), $c$ = 22.920(10) Å, $V$ = 2214.6(15) Å$^3$ である．定量分析によって得られた Mg と Al の原子比（分析点の平均）は，Mg : Al ＝ 65 : 35 で，理想組成の 67 : 33 に近似し，同定にあたって矛盾はない．



**図**．日野上鉱山産 クインティン石
写真幅：左右約 5 mm

Keywords：quintinite, carbonate mineral, Hinogami mine, Nichinan Town, Tottori
*Corresponding author：t1484@d9.dion.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-17

# 大阪大学総合学術博物館の鉱物標本

石橋 隆*（阪大総合学術博／益富地学）・伊藤 謙・橋爪節也
永田 靖（阪大総合学術博）・澤田 操（益富地学）

# Mineral collection of Museum of Osaka University

Takashi Ishibashi*(Mus., Osaka Univ. / Masutomi Mus., Geosci.), Ken Ito, Setsuya Hashizume,
Yasushi Nagata (Mus., Osaka Univ.) and Misao Sawada (Masutomi Mus. Geosci.)

大阪大学総合学術博物館には約 500 種、総数は約 2,000 点の鉱物コレクション（以降、阪大標本）が収蔵されている。昭和初期から平成に至るまでの期間に亘って継続的に蒐集された鉱物コレクションで、研究や教育のために活用されてきたものである。標本は日本国内産のみならず海外各地の標本も含まれている。阪大標本は長らく未整理の状態であったが、2005 年頃より豊 遙秋博士（当時産業技術総合研究所地質標本館館長）によって初めて全面的に標本の調査、整理、登録、データベース化がなされ、近年のさらなる調査によってその全貌が明らかになった。阪大標本は年代で大きく分けて戦前に教育用として標本業者から購入されたものと、戦後に大阪大学の関係者から個人コレクションを寄贈されたものに大別される。

標本に付せられたラベルの情報から、それぞれの標本の由来についても調査された。戦前のものには大阪大学の前身である旧制大阪高等学校と旧制浪速高等学校の標本が存在する。これらには質の高い標本が多くあり、教育用とは考えにくく蒐集家から寄贈されたものの可能性もある。戦後のものは寄贈された標本が中心で、その中核は旧教養部の竹林松二名誉教授（1908－1994）と大阪帝国大学の教授を務めた槌田龍太郎教授（1903－1962）からの寄贈標本が 450 点以上あり、阪大標本全体の 20%に及ぶ。

これらの標本は、現在は大阪大学総合学術博物館の収蔵室（大阪大学会館）に保管されているが、近年ではごく一部が常設展示室に陳列されているほか、博物館学芸員資格取得のための実習などに供されてきた程度で、十分な活用がなされていなかった。現在、標本資料を活用するために不可欠な標本目録（冊子）の制作が進められている。

2018 年には、標本活用の試みの一環として、鉱物をテーマとした特別展『The Mineral World－人と鉱物のつむぐ物語－』（10 月 22 日－12 月 21 日）が開催された。展示は単に所蔵標本を陳列するのみではなく、人類の文明文化の発展と鉱物の活用の関わりや鉱産資源の未来を考える啓発を主軸としたテーマを設け、大阪大学の研究者による研究成果展示が設けられた（例：博物館の研究者による近代日本の鉱業や鉱石研究、本草学的石薬研究、木村蒹葭堂に代表される上方の本草学者と石に関する研究、更には大学院理学研究科の研究者による「はやぶさ」シリーズの小惑星探査による“石”の惑星科学的研究等）。また、阪大標本には阪大の主要キャンパスが位置する北摂産の鉱物や鉱石が多く含まれるために、地域の鉱業について地質の成り立ちと関連づけた啓発展示も行われた。展示会関連書籍として書籍として『鉱物―石への探求がもたらす文明と文化の発展―』（石橋・澤田・伊藤監修，2018，大阪大学出版会，96 総頁）も発行され，主要な阪大標本の写真とその概要についても収録されている。

Keywords : Mineral collection, Osaka University, Museum of Osaka University

*Corresponding author : t1484@d9.dion.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 京都大学の鉱物標本 –比企鉱物標本–

白勢洋平（京大・博物館）・下林典正・高谷真樹（京大・院理）・
石橋隆（益富地学会館）・豊遙秋（東大・博物館）

# “Hiki Mineral Collection”, mineral collection of Kyoto University

Yohei Shirose* (Univ. Mus., Kyoto Univ.), Norimasa Shimobayashi, Masaki Takaya (Grad. Sch. Sci., Kyoto Univ.), Takashi Ishibashi (Masutomi Mus. Geosci.), Michiaki Bunno (Univ. Mus., Univ. Tokyo)

京都大学総合博物館には，2 万点以上の鉱物・鉱石標本が所蔵されている。工学部より移管された京都帝国大学理工科大学採鉱冶金学科由来の「比企標本」，旧制第三高等学校由来の「三高標本」，農学部から移管された「農学部標本」からなる。中でも工学部由来の「比企標本」は，「和田標本」，「若林標本」，「高標本」といった 20 世紀初頭の日本の「三大鉱物標本」に勝るとも劣らないコレクションであり，蒐集当時は日本を代表する鉱物標本であった。しかしながら，比企の没後は関連分野の研究者にもその存在はほとんど認知されていなかった。2000 年の総合博物館の竣工に伴う移管後も，その全貌を知ることができない状態であった。2012 年に収蔵鉱物標本のデータベース化が計画され，「三高標本」に続き「比企標本」の調査・整理が行われた。その後，第 1 分冊として『京都大学総合博物館収蔵資料目録 第 5 号 比企鉱物標本 第一部 元素鉱物・硫化鉱物・ハロゲン化鉱物・酸化鉱物』（白勢ら，2019）として目録を刊行するに至った。本発表では現在調査・整理を行っている「比企鉱物標本」の特徴を報告する。

「比企標本」は，採鉱冶金学科教授であった比企忠（ひき ただす，1866-1927）が中心となって蒐集した 1 万点を超える鉱物・鉱石標本からなる。上述の目録（第一部）には元素鉱物・硫化鉱物・ハロゲン化鉱物・酸化鉱物として 2622 点（163 種）を収録しており，多様な鉱物種が含まれていることがわかる。比企標本には，輝安鉱や水晶の日本式双晶といった日本を代表する鉱物標本や，岡野隕石等の貴重な隕石標本も含まれている（Fig. 1）。また，蒐集当時は日本の金属鉱山の隆盛期でもあり，2000 点にも及ぶ品位の高い鉱石標本が，鉱物標本とは別に鉱山ごとに納められている。この中には日本を代表する鉱山が多く含まれ，鉱山の総数は 150 以上に達する。比企は当時鉱物学・鉱床学の最先端であったドイツをはじめとする諸外国から数多くの標本を取り寄せ，黎明期であった日本の鉱物学・鉱床学の発展に寄与した。多くの標本に比企の直筆のラベルが付されており，産地情報，蒐集者，採集年月日等が正確にわかるため，学術標本として大変重要な価値を持つ。ほとんどの金属鉱山が閉山した現在の日本では，資源工学的研究や鉱物学的研究を行う上でこれらの資料は欠かせない存在である。



**Fig. 1** Photographs of stibnite from the Ichinokawa mine, Japanese twin quartz from the Otome mine, and Okano meteorite (hexahedrite).

Keywords: Hiki Mineral Collection, Tadasu Hiki, Kyoto University, Mining and metallurgical department

*Corresponding author: shirose.yohei.6n@kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 九州大学の鉱物標本

上原誠一郎*(九大・理・地惑)・白勢洋平(京大・博物館)・伊藤泰弘(九大・博物館)

# Mineral collection of Kyushu University

Seiichiro Uehara* (Kyushu Univ.), Yohei Shirose (Kyoto Univ.) and Yasuhiro Ito (Kyushu Univ.)

## 1. はじめに

九州大学の鉱物学は工学部採鉱学科で始まり、その後、農学部、理学部地質学科、旧教養部地学教室などで教育研究の一分野として行われた。自然科学において標本観察と野外観察は教育研究の原点で、これらの標本は鉱物学、地質学、博物館関連の授業や研究で現在も活用されている日本で一番と自負できる教材でもある。今回は九州大学収蔵の鉱物標本の中から日本の鉱物学黎明期に活躍した三人の学者が蒐集した標本を紹介する。

## 2. 九州大学の鉱物標本

『高標本』は日本産の鉱物結晶の標本を主体とし、その数は 160 種、約 1200 点になる。和田標本（三菱マテリアル所蔵)、若林標本（東京大学所蔵）と共に 20 世紀初頭の日本の三大鉱物標本の一つにあげられる学術的に極めて貴重な資料である。明治 44 年から昭和 4 年まで工学部採鉱学教室の教授であった高壮吉が蒐集した標本で、昭和 14 年理学部に地質学教室（現在、地球惑星科学教室）が創設された際に譲渡され、当時は本部事務局 2 階に展示されていた。その後 6 回の移転があり、平成 30 年 9 月に旧工学部本館 2 階に移転し、収蔵展示されている。

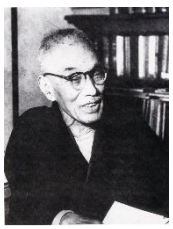
『岡本標本』は工学部講師の岡本要八郎によって福岡県と長崎県の鉱物調査のために蒐集されたもので、その成果は、『福岡縣鑛物誌』(1944)と『長崎県鉱物誌』(1958)として出版された。当時の日本新産種、現在では入手できない標本が数多く含まれる。点数は約 1200 点。

『吉村標本』は昭和 17 年から昭和 44 年まで理学部地質学教室鉱物学講座を担当した吉村豊文の標本である。学生や他の教員とともに終始一貫して、日本のマンガン鉱床の研究を行い、『日本のマンガン鉱床』3 部作（総頁数は 1571 頁）を著した。そこに記載された鉱石鉱物からなる国内外最高のマンガン鉱物標本である。先生によって発見された新種の鉱物、轟石や原田石の他、先生に因んで命名された新種『吉村石』など学術的に貴重な標本が含まれ、点数は約 3200 点。

これを含めた 1 万点を超える九州大学の鉱物標本の将来の保存先は未定である。



高 壮吉
(1869-1946)



岡本 要八郎
(1876－1960)



吉村 豊文
(1905-1990)

Key word: Kyushu University, Mineral collection, Ko collection, Okamoto collection, Yoshimura collection.

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ポスター | R3: 高圧科学・地球深部

2019年9月22日(日) 9:30 ~ 15:00 | A-プレゼンスペース イースト1号館

**R3: 高圧科学・地球深部**

**[コアタイム] 12:00〜14：00**

[R3P-01] 高温高圧条件下での金属-ケイ酸塩メルト間の希ガス分配係数の実験的決定高温高圧条件下での金属-ケイ酸塩メルト間の希ガス分配係数の実験的決定

*田中 友崇[1]、貴志 智[1]、角野 浩史[1]、桑原 秀治[2]、野村 龍一[3]、鍵 裕之[4]、三部 賢治[5] (1. 東大・総合文化、2. 愛媛大学　地球深部ダイナミクス研究センター、3. 京大・院人間・環境学研究科、4. 東大・院理、5. 東大・地震研)

[R3P-02] 高圧下における含水鉱物と鉄の反応速度
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*畑山 達郎[1]、西 真之[1]、入舩 徹男[1] (1. 愛媛大学・GRC)

[R3P-03] 核-マントル間における水素分配の第一原理的予測
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*大場 篤朗[1], 土屋卓久[1] (1. 愛媛大・GRC)

[R3P-04] Al-Si 置換型 Phase Egg および Al に富む未知含水高圧相
<font color="#FF7F27">「発表賞エントリー」</font>

*高市 合流[1]、西 真之[1]、周 佑黙[1]、町田 真一[2]、入舩 徹男[1] (1. 愛媛大・GRC、2. 総合科学研究機構)

[R3P-05] マルチメガバールの新含水高圧相ε-AlOOH

*西 真之[1]、桑山 靖弘[2]、土屋 旬[1] (1. 愛媛大・GRC、2. 東京大・理)

[R3P-06] 高圧力下におけるScOOH の相転移

伊東 義章[1]、池田 理[1]、窪田 平海[1]、坂巻 竜也[1]、栗林 貴弘[1]、*鈴木 昭夫[1] (1. 東北大・院理)

[R3P-07] δ-AlOOHのP-V-T状態方程式

窪田 平海[1]、伊東 義章[1]、渡邉 隆二[1]、鎌田 誠司[2]、栗林 貴弘[1]、*鈴木 昭夫[1] (1. 東北大・院理、2. 東北大・学際フロンティア)

[R3P-08] 高温高圧下におけるSoda melilitemeltの粘度に及ぼす$CO_2$の効果

*鈴木 昭夫[1] (1. 東北大・院理)

[R3P-09] GHz-DAC音速法の開発：ここまでの総括と今後の展望

*米田 明[1] (1. 岡山大惑星研)

[R3P-10] 鉄水素化物高圧相$FeH_2$の音速及び磁性測定

*生田 大穣[1]、大谷 栄治[1]、平尾 直久[2]、三井 隆也[3]、中野 智志[4]、内山 裕士[2]、筒井 智嗣[2]、バロン アルフレッド[5] (1. 東北大・理・地学、2. JASRI、3. 量研、4. NIMS、5. 理研)

[R3P-11] 下部マントルに沈み込んだスラブ内レオロジー

*東 真太郎[1,2]、野村 龍一[3,4]、上杉 健太朗[5]、西原 遊[4]、土居 峻太[4]、有本 岳史[4]、入舩 徹男[4] (1. 東工大・院理、2. 九州大、3. 京都大、4. 愛媛大、5. JASRI/SPring-8)

[R3P-12] 一軸圧縮変形場におけるオリビン―スピネル相転移実験剪断不安定化条件の解明へ向けて

*森 悠一郎[1] (1. 九大・理)

[R3P-13] Fe-Ni-S-C系の溶融関係と超深部起源ダイヤモンドの生成条件

*伊丹 佑[1]、浦川 啓[1] (1. 岡山大・院自然)

---

[R3P-14] ステアリン酸からのナノ多結晶ダイヤモンド合成とその微細組織観察

*川村 英彰[1]、大藤 弘明[2] (1. 愛媛大院理、2. 愛媛大GRC)

---

[R3P-15] $CaTiO_3$ペロブスカイトへの$Ga^{3+}$の固溶について

*永井 隆哉[1]、大黒 正貴[1]、髙倉 直樹[1]、井上 徹[2]、新名 亨[3] (1. 北大・院理、2. 広大・院理、3. 愛媛大・GRC)

# 高温高圧条件下での金属–ケイ酸塩メルト間の希ガス分配係数の実験的決定

田中友崇*, 貴志智, 角野浩史（東大・総合文化）, 桑原秀治（愛媛大 GRC）, 野村龍一（京大・院人間）, 鍵裕之（東大・院理）, 三部賢治（東大・地震研）

# Determination of the noble gas partition coefficients between metal and silicate melts under high-pressure and high-temperature conditions

T. TANAKA*, S. KISHI, H. SUMINO（Dept. Basic Sci., Univ. Tokyo）, H. KUWAHARA（GRC, Ehime Univ.）, R. NOMURA（Grad. Sch. Human., Kyoto Univ.）, H. KAGI（Grad. Sch. Sci., Univ. Tokyo）, K. MIBE（Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo）

## 1. 背景

地球内部の希ガスの同位体比は、地球形成時の始源的成分とウランやトリウムからの放射壊変起源成分の混合により支配されている。大気のヘリウム同位体比 $^3He/^4He$ の値を $1R_A$ として規格化するとマントルの $^3He/^4He$ は $8R_A$、マントル最深部の $^3He/^4He$ は $50R_A$ を示す。地球深部ほど始源的な希ガス同位体比（$120\ R_A$）に近い値を示す事から核が始源的な希ガスを保持している事が示唆されている[1]。そこでマントルの主成分であるケイ酸塩と核の主成分である鉄への希ガス分配実験が行われた[2,3]。しかしそれらの結果は整合的ではなく、核が始源的な希ガスのリザーバーになり得るのかは未だに分かっていない。そこで本研究ではより天然に近い濃度で正確な分配係数を出す事を試みた。

## 2. 実験手法

本研究ではマルチアンビル高圧発生装置を用いて、高温高圧条件下（3 万～6 万気圧、1700℃程度）でサンプルを合成した。SEM-EDS、顕微ラマン分光、EPMA を用いて試料を観察した後、金属相とケイ酸塩ガラスそれぞれに含まれる希ガスの濃度を、紫外レーザーアブレーション装置と超高感度希ガス質量分析計を用いて求めた。

## 3. 実験結果

今回の実験では 3GPa～6GPa まで 1GPa ごと 4 サンプルを合成した。得られた希ガス濃度から鉄とケイ酸塩間の分配係数を求め、先行研究[2]と比較した結果を図 1 に示す。今回得られた 5GPa における分配係数は先行研究[2]のトレンドと調和的であった。

[1] Porcelli and Halliday., EPSL.,2001. [2] Matuda.*et al.*,Science.1993. [3] Bouhifd *et al.*,Nature Geoscience.2013.

Keywords: noble gas, partitioning coefficients, high pressure, high temperature

*Corresponding author: sirokuma0310@igcl.c.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 高圧下における含水鉱物と鉄の反応速度

畑山達郎（愛媛大 GRC），西真之（愛媛大 GRC），入舩徹男（愛媛大 GRC）

# Reaction rates of hydrous mineral and iron under high pressure

Tatsuro Hatakeyama（GRC,Ehime Univ.）, Masayuki Nishi（GRC,Ehime Univ.）,
Tetsuo Irifune（GRC,Ehime Univ.）

水と岩石の反応生成物である含水鉱物の一部はプレートの沈み込みにより地球内部のマントルへ運ばれる。近年の研究により超高温高圧条件下で熱力学的に安定な含水鉱物が複数発見されており、深さ 2900 ㎞の核マントル境界までの水輸送の可能性が示唆された。また、含水鉱物によりマントル最下部に到達した水が地球深部の物質に及ぼす影響として、マントル物質の部分溶融や水の溶融鉄への溶け込み、新たな含水層の形成などが議論されている。

上記の現象は地震波により観測される核マントル境界の地震波超低速度領域の成因となり得るため、高温高圧下での含水鉱物と中心核の構成物質である鉄の相互作用は、水の循環だけでなく地球内部構造とその進化への知見となる可能性がある。しかしながら、上記の反応が地質学的時間スケールにおいてどの程度の空間的規模で進行するかについての情報は得られていない。

本研究の目的は、高温高圧下における含水鉱物－鉄の反応の機構と速度を実験により解明し、核マントル境界における水と鉄の挙動を議論することである。

実験にはマルチアンビル型高圧発生装置 MADONNAIIを使用した。出発物質の含水鉱物(AlOOH, FeOOH)と Fe を Au 製のカプセル内に重ねて配置し、25 GPa・1050-1380 K の条件で加熱保持した。回収試料は表面を研磨し、走査型電子顕微鏡を用いて、反応帯組織の観察と化学組成の分析を行った。

すべての回収試料において、含水鉱物と鉄の間に FeO を含む反応帯が形成された(2AlOOH＋3Fe → $Al_2O_3$＋FeO＋2FeH)。反応帯の幅 ΔX が時間の 0.5 乗に比例($\Delta X \propto t^{0.5}$)しており、酸素と水素の拡散律速による成長が示された。また、得られた活性化エンタルピーから、本反応における成長速度を定式化した。さらに、圧力依存性を推定する homologous temperature scaling による外挿計算の結果から、核マントル境界の熱境界層において数十キロメートル規模の FeO の生成反応が可能であることが示された。

この結果は、もし核－マントル境界付近に水が存在した場合、水成分が鉄に吸収され、FeO に富む鉱物が形成されることを示唆する。鉄に富む鉱物や融点降下にともなう部分溶融物質は、核マントル境界の地震波超低速度領域の物性を説明可能である。

Keyword：core-mantle boundary, Ultra low velocity zones, wustite,atomic diffusion;

*Corresponding author：fctatsuro1029@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R3P-03

# 核-マントル間における水素分配の第一原理的予測

大場篤朗*, 土屋卓久(愛媛大・GRC)

# First-principles prediction of hydrogen partitioning between the core and mantle

A. Ohba*, T. Tsuchiya (Ehime Univ.GRC)

## 1. はじめに

水素は太陽系内で最も豊富に存在する元素であり、外核の密度欠損(Birch, 1956)を補う軽元素の候補の一つである。そのため、外核内の軽元素の制約や地球内部における水循環の解明のために、高温高圧下における鉄-ケイ酸塩間の水の分配実験が行われた(Okuchi, 1997; Iizuka-Oku et al., 2016; Clesi et al., 2018)。結果として、これらの実験によって推定された鉄-ケイ酸塩間の水素の分配先は異っており、鉄-ケイ酸塩間における水素の分配特性は依然として明らかにされていない。そこで本研究では、第一原理計算を用いた Xiong et al. (2018)と同様の手法に基づき、核-マントル境界条件下での液体鉄-溶融ケイ酸塩間における水素の分配先の推定を行った。

## 2. 計算方法

本研究では、

$(16MgSiO_3 + H_2O) + 50Fe$
$\Leftrightarrow 16MgSiO_3 + (50Fe + H_2O)$ (1)
$(16MgSiO_3 + H_2O) + 50Fe$
$\Leftrightarrow (16MgSiO_3 + FeO) + (50Fe + 2H)$ (2)

で表される二つの反応を考えた。(1)式は鉄-ケイ酸塩間における水分子の交換反応であり、(2)式は Okuchi (1997)、Iizuka-Oku et al. (2016)、Clesi et al. (2018)で報告された水の酸化還元反応である。化学平衡時の反応系と生成系の量比は両系間のギブス自由エネルギー$G$ の差で決定される。そのため、各項が持つ $G$ を計算することによって、反応のギブス自由エネルギー$\Delta G = G$(右辺) - $G$(左辺)を求め、平衡定数 $K_D$=exp(-$\Delta G/k_BT$)、及び分配係数 $D_H$ =H wt%$_{鉄}$/H wt%$_{ケイ酸塩}$を決定した。自由エネルギーの計算には、熱力学積分法(Kirkwood, 1935; Meijer et al., 1990)を用いた。熱力学積分法は参照系から対象となる系への自由エネルギー差を求めることが可能な方法である。本研究では Taniuchi and Tsuchiya (2018)、Xiong et al. (2018)と同様にして、解析的に自由エネルギーの計算が可能な理想気体を参照系として採用し、参照系から第一原理系までの一段階の熱力学積分を行った。

## 3. 結果

計算によって得られた(1)式及び(2)式の $\Delta G$ 、$K_D$、$D_H$ はそれぞれ表のようになった。結果として、(1)式の水分子の交換反応、(2)式の水の酸化還元反応どちらの場合でも水素は鉄側に比べてケイ酸塩側により多く分配され、(1)式右辺の状態は(2)式右辺の状態よりも自由エネルギーは小さいことが分かった。現在は液体鉄の組成効果を調べるため、液体鉄の組成を純鉄から酸素濃度を増加させたものに置き換えて計算を行っている。

| | $\Delta G$ (Ry) | $K_D$ | $D_H$ |
|---|---|---|---|
| (1)式 | 6.30.E-02 | 1.37.E-01 | 2.14.E-01 |
| (2)式 | 2.18.E-01 | 1.01.E-03 | 1.86.E-02 |

Keyword：first-principles calculation, thermodynamics integration, hydrogen-partitioning, core-mantle boundary

*Corresponding author: ohbaatsuroh@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# Al-Si 置換型 Phase Egg および Al に富む未知含水高圧相

高市合流*（愛媛大 GRC）、西真之（愛媛大 GRC）、周佑黙（愛媛大 GRC）
町田真一（総合科学研究機構）、入舩徹男（愛媛大 GRC）

# Al-Si substitution in Phase Egg and Al-rich new high-pressure hydrous phases

Goru Takaichi* (GRC, Ehime univ), Masayuki Nishi (GRC, Ehime univ),
Youmo Zhou (GRC, Ehime univ), Shinichi Machida (CROSS), Tetsuo Irifune (GRC, Ehime univ)

結晶構造中に OH 基を含む含水鉱物は、プレートの沈み込みにより多量の水成分を地球内部に運ぶことが知られている。超高圧下で熱力学的に安定とされる Phase D や Phase H といった高密度型含水マグネシウムケイ酸塩鉱物群(DHMS)は、1200 度を超える高温下で脱水分解するため、その存在は非常に冷たい沈み込みプレートに限られる。しかしながら、Phase Egg ($AlSiO_4H$)や Aluminous phase D ($Al_2SiO_6H_2$)といったアルミニウムを多く含む含水鉱物は 1500℃以上の高温でも分解せずに安定であり、地球深部における水のホストとして注目されている。特に Phase Egg はダイヤモンド包有物として発見されており、その相関係を知ることはマントル深部の水輸送を理解する鍵となる可能性がある。本研究は、Phase Egg や Aluminous phase D の安定性および相関係を詳しく理解することを目的として、$Al_2O_3$-$SiO_2$-$H_2O$ 系の高圧相平衡実験を行った。

高圧実験は川井式マルチアンビル型高圧発生装置（Orange-2000）を用いた。出発試料として、α-AlOOH と $SiO_2$ の粉末混合体を用いた。回収試料は微小部 X 線回折装置(XRD)や走査型電子顕微鏡（FE-SEM）を用いて結晶構造の推定および化学組成の分析を行った。

マントル遷移層―下部マントル領域の温度圧力条件下で Al/Si 比が異なる様々な組成の含水鉱物が回収された。22 GPa, 2000 K の条件下で合成された $Al_{1.43}SiO_{4.86}H_{1.43}$ 組成の含水鉱物の X 線回折パターンは、Phase Egg ($AlSiO_4H$)のものと一致した。このことは Phase Egg 結晶中の $Si^{4+} = Al^{3+} + H^+$の置換を示唆する。また、$Al_2SiO_6H_2$ と $AlSiO_4H$ を張り合わせた高温高圧実験により得られた拡散プロファイルから、Phase Egg は上記置換により Al/Si=1.0~1.7 の広い組成幅を持つことが明らかとなった。

その他、Al/Si 比の異なる新規含水鉱物を回収した。これらの含水鉱物の X 線回折パターンは Phase Egg や Aluminous phase D と一致しない。また、これらの化学組成は温度に敏感であり、Phase Egg と同様、ある程度組成幅を持つと考えられる。発表では安定領域と構造を含めて報告する。

Keywords : High pressure, Hydrous minerals, Phase Egg ;

*corresponding author:d310126h@mails.cc.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# マルチメガバールの新含水高圧相ε-AlOOH

西真之（愛媛大 GRC），桑山靖弘（東京大），土屋旬（愛媛大 GRC）

## New high pressure hydrous phase ε-AlOOH

Masayuki Nishi* (GRC, Ehime Univ.), Yasuhiro Kuwayama (Tokyo Univ.),
Jun Tsuchiya (GRC, Ehime Univ.)

Based on in-situ X-ray diffraction experiments in a laser-heated diamond anvil cell as well as first principles calculations, we found that δ-AlOOH transforms into a new phase with orthorhombic symmetry, named ε-AlOOH, at ε-190 GPa. Some hydrous phases remain stable beyond pressures found in the Earth's core-mantle boundary and hydrogen may thus be stored in these hydroxides or their potential high-pressure forms in the deep interiors of terrestrial super-Earths, and the rocky cores of some ice giants.

水素は宇宙で最も豊富に存在する元素であり、惑星内部の進化や構造に多大に影響を及ぼしてきたと考えられる。含水鉱物は地球内部における重要な水の貯蔵形態の一であり、含水鉱物が安定に存在できる温度圧力条件(安定領域)を知ることは、地球内部の水の循環機構を知るための手掛かりとなる。

近年下部マントルの温度圧力条件下で熱力学的に安定な含水鉱物が複数見つかっており、最下部マントルへの水の輸送や中心核物質との化学反応が議論さている。本研究では、地球最下部マントルより高い圧力下における含水鉱物の安定性を高温高圧実験により調べた。

出発物質は愛媛大学のマルチアンビル型高圧発生装置により合成したδ-AlOOHおよび $CaCl_2$型 (Fe,Al)OOH多結晶体を用いた。高温発生と試料の構造の決定はSPring-8のBL10XUのファイバーレーザーと放射光X線回折測定により行った。得られた金の格子体積から圧力を算出した。

182 GPa, 2500 K以下の温度圧力条件において、δ-AlOOHの安定性が確認された。192 GPa, 2500 Kでは、新たなX線回折ピークの出現が確認された。このピークは最近理論予測されたAlOOHの新構造(*Pbca*, Verma et al., 2018)により説明可能である。(Fe,Al)OOH組成の出発物質を使用した場合、パイライト型構造が出現した。このような広い含水鉱物の安定領域は、地球だけでなく太陽系外のスーパーアースや巨大氷惑星の内部構造や水の存在形態に影響する可能性がある。

Key words: Extra-solar planets; hydroxide; water
*Corresponding author: nishi@sci.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 高圧力下における ScOOH の相転移

伊東義章，池田理，窪田平海，坂巻竜也，栗林貴弘，鈴木昭夫*（東北大・理）

# Phase transition of ScOOH under high pressure

Yoshiaki ITO, Osamu IKEDA, Taito KUBOTA, Tatsuya SAKAMAKI, Takahiro KURIBAYASHI, Akio SUZUKI (Tohoku Univ.)

InOOH 構造となる $M^{3+}OOH$ 酸化水酸化物の圧力誘起相転移を調べることは重要である。例えば、InOOH 構造を有するδ-AlOOH は下部マントル条件で安定な含水相で、地球深部まで水を運ぶ可能性がある（Sano et al., 2008）。AlOOH は diaspore から InOOH 構造の δ-AlOOH、パイライト型 AlOOH へと圧力に対して相転移すると考えられている（Tsuchiya and Tsuchiya, 2011）。FeOOH については、diaspore 構造の goethite から InOOH 構造の ε-FeOOH、パイライト型の構造への相転移が確かめられている（Nishi et al., 2017; Hu et al., 2017）。一方、ScOOH については、170 atm 以下・350℃以下の条件で diaspore 構造の α-ScOOH、8 GPa・500℃で InOOH 構造、10 GPa 超・400℃で YbOOH 構造が確認されている（Christensen and Jensen, 1967; Christensen, 1971; Bendeliani et al., 1973）。しかし、ScOOH の相境界は調べられていない。$M^{3+}OOH$ の相転移について新たな知見を得るため、InOOH 構造の高圧相が YbOOH 構造という特徴がある ScOOH の相転移境界を試料急冷法と放射光その場観察実験から明らかにした。

試料急冷法をバイエルン地球科学研究所に設置の Hymag プレス、Sumitomo プレス、Zwick プレスを用いて行った。2 GPa から 14 GPa、700 K または 800 K の条件で 1 時間保持後、急冷して回収した。回収試料に対して角度分散型粉末 X 線回折装置（Bruker D8 Advance）を用いた相の同定を行った。

放射光 X 線その場観察実験を、高エネルギー加速器研究機構のビームライン NE5C 設置の高圧発生装置 MAX-80 および NE7A の MAX-IIIを用いて、3 GPa から 10 GPa の圧力で行った。ScOOH 粉末と NaCl 粉末を体積比 1:1 で混合した試料を出発物質として用いた。NaCl の状態方程式から圧力を算出し、W3%Re-W25%Re 熱電対で測温した。X 線回折データは Ge 半導体検出器を用いてエネルギー分散法で取得した。目標圧力まで加圧後、時分割測定しながら昇温して回折パターンの変化から安定相を確かめた。

試料急冷法と放射光その場観察実験の結果から、α-ScOOH から InOOH 構造に相転移する境界がおよそ 5 GPa、InOOH 構造から YbOOH 構造に相転移する境界がおよそ 10 GPa であることを明らかにした。

Keywords: hydrous mineral, ScOOH, InOOH, YbOOH

*Corresponding author: akio.suzuki.c5@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# δ-AlOOH の P-V-T 状態方程式

窪田平海・伊東義章・渡邉隆二・鎌田誠司・
栗林貴弘・鈴木昭夫*（東北大学・理）

# P-V-T equation of state of δ-AlOOH to 6.5 GPa and 500K

Taito Kubota, Yoshiaki Ito, Ryuji Watanabe, Seiji Kamada,
Takahiro Kuribayashi and Akio Suzuki* (Tohoku univ.)

## １． はじめに

δ-AlOOH は Suzuki et al.(2000)によって見つかった高圧含水相である。diaspore(α-AlOOH)の高圧多形であり、130GPa までの広い安定領域を持つことから、地球のマントルへの水素キャリアとしての候補鉱物と考えられている含水鉱物の１つである。発見以来、多くの興味を引きつけられ、δ-AlOOH に関する実験が行なわれてきた。しかし、その多くは室温での実験であり、温度変化を考慮した実験は行なわれていなかった。

本研究では外熱式ダイヤモンドアンビルセルを用い、300～500K までの範囲の温度で粉末 X 線回折を行い、そのデータから P-V-T 状態方程式を決定した。

## ２． 実験

外熱式ダイヤモンドアンビルセルを用い、ガスケットにはレニウム、圧媒体にはダフニーオイル 7474 を用いた。圧力は、試料である δ-AlOOH と共に NaCl を混合し、NaCl の X 線回折のフィッティングから決定を行なった。粉末 X 線回折パターンは KEK, Photon Factory の BL-18C のビームラインで測定を行なった。測定に使用した X 線の波長は 0.62 Å で、回折した X 線はイメージングプレートによって検出した。

圧力は最大 6.5GPa までで、温度は 50K 間隔で測定した。2GPa 以下の圧力では 300K から昇温させながら、2GPa 以上の圧力では一度 500K まで昇温させた後、降温させながらデータの採取を行なった。

## ３． 結果

300～500K の温度範囲で 17 点の X 線回折パターンを得た。

得られたデータについて、状態方程式へのフィッティングは EoSFit7-GUI プログラム (Gonzalez-Platas et al., 2014)、EoSFit7c プログラム(Angel et al., 2014)を用いた。得られたデータに基づき、二次の Birch-Murnaghan 状態方程式でフィッティングを行ない、常温常圧での体積($V_0$)、300K での体積弾性率($K_{T_0}$)、常圧での体積熱膨張率($\alpha_0$)に関して以下の結果が得られた。

$V_0 = 56.557(17)$ Å

$K_{T_0} = 162(3)$ GPa

$\alpha_0 = 1.0(3) \times 10^{-5}\ K^{-1}$

Keywords: hydrous mineral, δ-AlOOH, P-V-T equation of state

*Corresponding author: akio.suzuki.c5@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 高温高圧下における Soda melilite メルトの粘度に及ぼす $CO_2$ の効果

鈴木昭夫*（東北大学）

# Effect of $CO_2$ on the viscosity of soda melilite melt under high pressures and high temperatures

Akio Suzuki* (Tohoku Univ.)

Soda melilite, $CaNaAlSi_2O_7$, is an end member of natural melilite, and melilite is a solid solution of åkermanite, gehlenite and soda melilite. The NBO/T ratio of the soda melilite composition is 0.67, which is close to that of basaltic magma. Therefore, liquid soda melilite has been used as a model basalt melt. The main goal of our study is to determine the effect of dissolving carbon dioxide on the viscosity of silicate melts at high pressure. It has been known that volatiles are dissolved in natural magmas and affects the physical properties. However, very few studies have been performed to investigate the effect of carbon dioxide on the viscosity of silicate melts at mantle pressures. In the present study, the viscosity of carbon-dioxide bearing $NaCaAlSi_2O_7$ composition melts have been determined up to 5 GPa. Viscosity was calculated using the Stokes equation with the correction of wall effect. The movement of a metallic sphere in a sample chamber was recorded in X-ray radiography image. We have used this technique to determine the pressure, temperature and compositional dependence of the viscosity of silicate melts. A charge coupled device (CCD) camera with a YAG:Ce fluorescence screen was used to obtain the X-ray absorption contrast image. Experiments under high pressures and high temperatures has been conducted using the MAX-III apparatus installed at the AR-NE7A station at the High Energy Accelerator Research Organization (KEK) in Tsukuba, Japan. Brealey and Montana (1989) measured the viscosity of melt with soda melilite composition at high pressure using the falling sphere method based on the quenching experiment. They reported that no detectable change in viscosity was observed in sodium melilite melt with the addition of 2 wt% CO2. In this study we adopted the in situ falling sphere method using the X-ray radiography technique. We show that dissolved carbon dioxide decreases the viscosity of soda melilite melt, however, the effect on the viscosity of soda melilite melt is much smaller than that of jadeite melt, which reported previously (Suzuki, 2018).

Keywords: soda melilite, viscosity, carbon dioxide, high pressure, synchrotron radiation

*Corresponding author: akio.suzuki.c5@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R3P-09

# GHz-DAC 音速法の開発：ここまでの総括と今後の展望

米田　明（岡山大惑星研）、小林真一郎、鎌田誠司（東北大理）

# GHz ultrasonic measurement in DAC: Summary and future perspective

DACで加圧された試料の弾性測定法としてレーザー光を用いるブリルアン散乱法が広く用いられてきたが、①不透明試料の測定ができない、②高圧下で試料のP波ピークがダイヤモンドのS波ピークに埋もれてしまう、等の問題がある。ブリルアン散乱法の欠点を解決するためにGHz-DAC法の開発を2011年頃から開始した。紆余曲折を経て、2017年にDAC中試料の音速測定に成功した[1]。今回、これまでの開発状況を紹介するとともに、今後の研究の展望に力点をおいて発表を行う。

図1はGHz-DAC音速法の概念図である。バッファロッドをアンビル背面に押し付けて、GHz超音波を試料部へと伝達する。

本構成の実験システムでKClとハワイ産のオリビンのP波速度測定を実施した。P波シグナルや試料長の評価法については発表にて詳細を説明する。

P波測定と並行して、S波バッファロッドの開発も行った。斜め入反射する弾性波のP-S変換現象を応用している。図2に立方晶のYAG結晶で作成したS波バッファロッドの製作過程を示した。既にDACセルからのS波シグナルも確認できており、GHz法による $V_P$, $V_S$同時測定の展望が開けた。

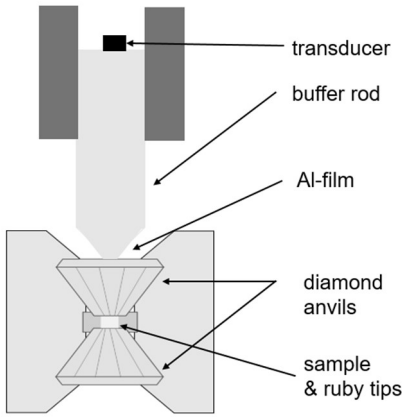



図 1　GHz-DAC 音速法の概念図

今後は、GHz音速法の強みを活かし、以下に示すようなブリルアン散乱法では不得手な鉄含有試料の測定を行なっていく。

(1)20 GPaまでの純鉄
(2)50 GPaまでの含鉄ブリッジマナイト。
(3)100 GPaまでの高Fe数フェロペリクレース

(2,3) では鉄の高スピン低スピン転移領域でのGHz超音波測定を実施する。

本研究では大学院生の小林による貢献が大きかった。若手の新鮮な感覚はGHz開発において重要な役割を果たしている。今後も大学院生と協力して、GHz法研究を迅速に進展させていきたい。

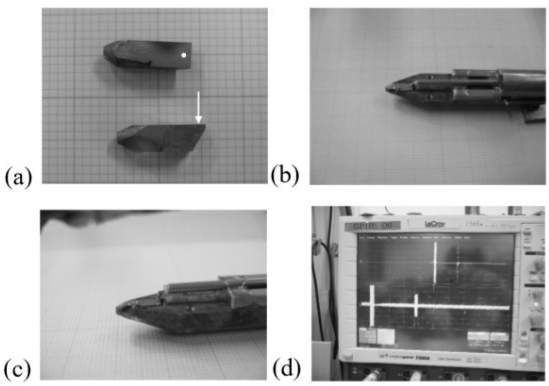



図 2　S 波バッファロッドの製作。(a)斜面をつけた YAG 結晶。白点・白線は電極点を示す。(b,c)同軸ケーブル装着の様子。(d)オシロスコープによる S 波発生の確認。

文献[1]高圧力の科学と技術（日本高圧力学会誌）29巻2号（2019）

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 鉄水素化物高圧相 $FeH_2$ の音速及び磁性測定

生田 大穣*（東北大・理・地学），大谷 栄治（東北大・理・地学），
平尾直久（JASRI），三井隆也（量研），中野智志（NIMS），
内山裕士（JASRI），筒井智嗣（JASRI），バロン アルフレッド（理研）

# Sound velocity and Mossbauer spectroscopy measurements of $FeH_2$

Daijo Ikuta* (Dept. Earth Sci., Tohoku Univ.), Eiji Ohtani (Dept. Earth Sci., Tohoku Univ.),
Naohisa Hirao (JASRI), Takaya Mitsui (QST), Satoshi Nakano (NIMS),
Hiroshi Uchiyama (JASRI), Satoshi Tsutsui (JASRI), Alfred Q. R. Baron (RIKEN)

The Earth's core has supposed to be constituted by iron-nickel alloys with some light elements such as sulfur, oxygen, carbon, silicon and hydrogen. Hydrogen is one of the most convincing candidates among those light elements. In Fe-H system, $FeH_x$ ($0 \leqq x \leqq 1$) composition that takes bcc, fcc, and dhcp phases have been studied. Recently, $FeH_2$, $FeH_3$, and $FeH_5$ phases that contains much hydrogen were reported at high pressure conditions of the Earth's core. The physical properties of these high-pressure phases of Fe-H are important as the constituent of the Earth's core and giant planets that are composed mainly of hydrogen. However, the physical properties of these high-pressure phases of Fe-H compounds have not been measured yet. In this study, we report the sound velocity and magnetic property of $FeH_2$ that measured by inelastic x-ray scattering and Mossbauer spectroscopy, respectively.

地球核はニッケルを 10%前後含む鉄-ニッケル合金を主成分として、幾つかの軽元素を含んでいる構造と推定され、中でも水素は、地球核を構成する軽元素の有力な候補の一つと考えられている。

Fe-H 系においては、$FeH_x$ 組成($0 \leqq x \leqq 1$)の bcc 相、fcc 相そして dhcp 相が知られていたが、近年 $FeH_2$ 相、$FeH_3$ 相、そして $FeH_5$ 相等の水素を多く含有する相が、地球核に相当する高圧において報告されている。これらの Fe-H 系に出現する高圧相の物性は、地球核を構成している可能性のある物質としても、また、水素が大半を占めると考えられる木星型惑星の内部構成物質としても、地球惑星科学的に重要な情報である。しかしながら、これらの Fe-H 系の高圧相の音速や磁性等の物性については実験的な測定が存在しておらず、現状では未解明である。

本研究では、Fe-H 系における高圧相の FeH2 相の音速を非弾性 X 線散乱法によって、磁性をメスバウア分光法によって測定した結果を報告する。

Keywords: $FeH_2$, Sound velocity, Mossbauer spectroscopy, High pressure
*Corresponding author: dikuta@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R3P-11

# 下部マントルに沈み込んだスラブ内レオロジー

東真太郎*（東工大, 九州大）， 野村龍一（京都大, 愛媛大）, 上杉健太朗（JASRI/SPring-8）, 西原遊, 土居峻太, 有本岳史, 入舩徹男（愛媛大）

# Rheology of the subducted slab in the lower mantle

Shintaro Azuma*(Tokyo Tech. Kyushu Univ), Ryuichi Nomura (Kyoto Univ. Ehime Univ), Kentaro Uesugi(JASRI/SPring-8), Shunta Doi, Takeshi Arimoto, Tetsuo Irifune(Ehime Univ.)

## 1. Introduction

The rheological properties of lower-mantle materials are key to understanding the dynamics and evolution in the Earth's interior. However, the pressure range of deformation apparatuses which can achieve large strain is limited to ~30–40 GPa due to a technical reason. We developed the rotational diamond anvil cell (rDAC) which can conduct deformation experiments with large strain under ultra-high pressure conditions (~300 GPa), corresponding to those of core [Nomura et al., 2017; Azuma et al., 2018]. In this study, we conducted the deformation experiments of lower-mantle materials using the rDAC.

## 2. Experiments

In this study, the mixture of bridgmanite $(Mg,Fe)SiO_3$ and ferropericlase (Mg,Fe)O, which was synthesized from San Carlos olivine, was deformed under torsion geometry using the rDAC. The experimental conditions are ranging 26–130 GPa, 300–1073 K. Starting material was grooved by FIB and the groove was deposited by Pt as a strain-marker. Recovered samples were cut by FIB to observe the deformation microstructures in each cross-section. Deformation experiments were conducted at BL47XU, SPring-8 (Japan) and 3D visualization of strain marker within samples was performed every rotation angle of upper anvil of 5–30 degree using X-ray laminography technique [Nomura and Uesugi, 2016]. Stress was measured by collecting X-ray diffraction pattern at twelve different azimuthal angles, $\Psi$= 0º, ±30º, ±60º, ±90º, ±120º, ±150º, and 180º.

## 3. Results

The geometry of strain-marker in cross-section of deformed samples show nearly simple shear (or general shear). Deformed microstructure of recovered samples was observed using FE-SEM and we determined the 2D surface area of ferropericlase and aspect ratio of bridgmanite. The deformation microstructures of the recovered samples showed that ferropericlase highly deformed and formed an interconnected weak layer. On the other hand, the aspect ratio of bridgmanite did not change with the strain, indicating that bridgmanite has high viscosity compared with ferropericlase. These results imply that ferropericlase dominates the deformation in the regions where large shear strain occurs under relatively low-temperature conditions in the lower mantle (e.g., mantle portion in subducted slabs).

Stress in bridgmanite was estimated by using diffraction peaks (110) and (112). Equivalent stress of bridgmanite was higher than that of ferropericlase. Equivalent stress of ferropericlase is relatively constant with strain, whereas that of bridgmanite shows the strain weakening during experiments. This experiment was performed under relatively low-temperature (<1073K) and high-pressure conditions, thus the equivalent stress in bridgmanite and ferreopericlase was about three times higher than that in previous studies [e.g., Girard et al., 2016].

Key words: rDAC, bridgmanite, ferropericlase, lower mantle, rheology

*Corresponding author: shintaro.azuma@eps.sci.titech.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# 一軸圧縮変形場におけるオリビン―スピネル相転移実験 剪断不安定化条件の解明へ向けて

森悠一郎*[1], 久保友明[1], 今村公裕[1], 山内幸子[1], 小泉早苗[2], 西原遊[3]
鈴木昭夫[4], 肥後祐司[5], 丹下慶範[5]
([1]九大理,[2]東大地震研, [3]愛媛大 GRC, [3]東北大理, [4]JASRI)

# Olivine-Spinel transition under uniaxial deformation – the condition of shear instability

Y. Mori*[1], T. Kubo[1], M. Imamura[1], S. Yamauchi[1], S. Koizumi[2], Y. Nishihara[3], A. Suzuki[4], Y. Higo[5]
Y. Tange[5] ([1]Kyushu Univ.,[4]ERI, Tokyo Univ.,[3]GRC, Ehime Univ.,[3]Tohoku Univ.,[4]JASRI.)

## 1. はじめに

脆性-塑性転移を超えた深さ 300-700 km の深発地震には準安定オリビンの非平衡相転移が関連していると長年指摘されてきたが、そのメカニズムは未だわかっていない。我々は高温高圧下でオリビンの変形と相転移を同時に行って、その挙動を放射光その場観察した。また、acoustic emission(AE)測定からせん断不安定化が生じる条件を探っている。ここでは一軸圧縮変形場におけるフォルステライト及びファイヤライトの変形―相転移実験の予備的結果を報告する。

## 2. 実験方法

出発物質には、ファイヤライト($Fe_2SiO_4$) 粉末およびフォルステライト($Mg_2SiO_4$)多結晶体を用いた。前者では SPring-8 BL04B1 に設置の D-DIA 型高圧変形装置に MA6-6 型セルを、後者では KEK PF-AR NE7 設置の D-111 型装置に KAWAI 型セルを組み込んで、一軸圧縮変形場におけるオリビン－スピネル相転移実験を行った。ともに入射 X 線には 50-60 keV の放射光単色 X 線を用い、約 4-5 分毎に 2 次元 X 線回折とラジオグラフィー測定を行っている。

また、D-DIA 型装置を用いたファイヤライトの相転移実験では 6 個の 2 段目アンビルそれぞれの底面に圧電素子を貼付け、AE 活動のモニタリングを行っている。

両方の実験ともに、常温加圧後、低圧相の安定領域において焼きなましを行った。その後、高圧相の安定領域まで加圧し、上下アンビルを変位速度 200-400 μm/h で変形させながら一定速度で昇温し(0.1-0.2 K/s)、一軸圧縮変形場における相転移実験を行った。

## 3. 実験結果と考察

ファイヤライトを用いた実験ではまだ定量的な解析ができていないが、昇温変形中にスピネル相(ahrensite)が増えるにしたがい、試料付近からの AE が多数観測された。しかしこれまでの実験では変形開始の前段階でスピネル相がすでに出現しており相転移初期のプロセスが捉えられていない。今後はオリビンからスピネルが出現する初期段階にも注目し、過剰圧・昇温速度・変形速度に依存した剪断不安定化条件を探る予定である。

一方、フォルステライトの実験では、変形昇温中に 17-21 GPa, 1000-1200 °C の条件でスピネル相(ringwoodite)が出現し、過剰圧が大きいほど低温で相転移が開始する傾向が見られた。歪の時間進化(Fig. 1)を見ると、昇温前の歪速度が $6\times10^{-6}s^{-1}$～$2\times10^{-5}s^{-1}$ で、昇温後には $3\times10^{-5}s^{-1}$～$8\times10^{-5}s^{-1}$ に上昇しており、昇温もしくは相転移が変形を促進した可能性がある。

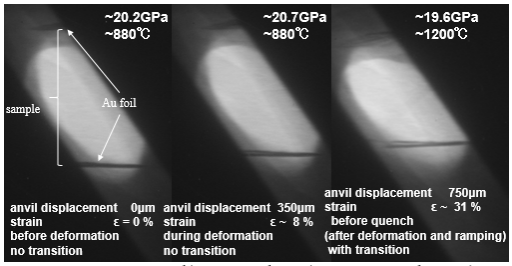



Fig.1 X-ray radiography images showing uniaxial deformation during the olivine-spinel transformation in $Mg_2SiO_4$.

両実験ともに、今後、オリビンおよびスピネル両相から応力を推定し、相転移や AE 発生にともなう応力変化を明らかにする。また、KAWAI 型セルに 8 個の圧電素子を取り付け D-111 型変形装置に組み込む準備を行っており、フォルステライトの変形相転移実験においても AE 測定を目指す。

Keywords: deep earthquake, olivine, transformation, deformation, acoustic emission
*Corresponding author: mori.yuichiro.727@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# Fe-Ni-S-C 系の溶融関係と超深部起源ダイヤモンドの生成条件

伊丹　佑（岡山大・院自然），浦川　啓（岡山大・院自然）

# Melting relations of the Fe-Ni-S-C system and the formation of superdeep diamonds

Yu Itami* (Okayama Uni. Sci.), Satoru Urakawa (Okayama Uni. Sci.)

天然に産するダイヤモンドの多くは深さ 150-200 km の上部マントル内で生成する。しかし，包有物の研究からより深いマントルに由来する超深部起源ダイヤモンドの存在も近年では多数報告されている。Smith et al.（2016）は，超深部起源ダイヤモンドの一つである CLIPPIR ダイヤモンドの包有物中に固化した Fe-Ni-S-C メルトを発見し，このダイヤモンドがマントル遷移層まで沈み込んだスラブの上面で鉄合金メルトから生成したと考えた。本研究ではマントル遷移層でのダイヤモンド生成条件を明らかにすることを目的として，Fe-Ni-S-C 系の高温高圧急冷実験を 15 GPa で行った。

高温高圧実験は川井型マルチアンビル装置を用い，15 GPa，900-1700 K の条件で行った。出発組成は深さ 450 km（15 GPa）のマントルに存在する合金の化学組成（Rohrbach and Schmidt, 2011）に基づき，Ni / (Ni+Fe) = 0.52（質量比）に固定している。急冷回収試料は研磨して組織観察と EPMA による定量化学分析を行った。また，ラマン分光法によりダイヤモンド同定を行った。

15 GPa では 1400 K 以上でダイヤモンドが Fe-Ni-S-C メルトと共存する。1400 K 未満では液相は炭化物[$(Fe,Ni)_3C$, $(Fe,Ni)_7C_3$]と共存する。ダイヤモンドと共存する液相の最大炭素溶解度は硫黄濃度の上昇に伴い減少するが，硫黄濃度が 12 wt.%を超えると増加に転じる。マントル中の炭素含有量を考慮すると，15 GPa ではダイヤモンドと共存する液相の硫黄濃度が約 5-15 wt.%の範囲にあるとき炭素が過飽和となり鉄合金メルトからダイヤモンドが析出する。

上部マントル（6, 8 GPa）では，ダイヤモンドと共存する液相の最大炭素溶解度は硫黄濃度の増加に伴い減少し続ける（Tsuno and Dasgpta, 2015）。つまり，液相の硫黄濃度が高いほどダイヤモンド生成は容易となる。一方，我々の結果はマントル遷移層ではダイヤモンド生成が容易となる硫黄濃度範囲が存在することを示す。深さ 450 km のマントルの温度は約 1700 K であり，一般的なマントル遷移層では Fe-Ni-S-C メルトからダイヤモンドが生成され得る。一方，沈み込んだスラブ上面の温度は 1700 K よりもかなり低いと考えられている。そのため，スラブ内では Fe-Ni-S-C メルトからのダイヤモンド生成は困難である。

Keywords: superdeep diamond, mantle transition zone, the Fe-Ni-S-C system

*Corresponding author: p7uf594q@s.okayama-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

# ステアリン酸からのナノ多結晶ダイヤモンド合成とその微細組織観察

川村英彰*，大藤弘明（愛媛大 GRC）

# Synthesis of nano-polycrystalline diamond (NPD) from stearic acid and characterization of its microtexture

Hideaki Kawamura*, Hiroaki Ohfuji (GRC, Ehime Univ.)

We performed a series of high-pressure and high-temperature experiments using multi-anvil apparatus and found that yellowish NPD-like diamond was obtained from a decomposition product of stearic acid under high pressure and high temperature conditions. Recovered samples was observed by TEM to characterize the microtexture of diamond synthesized from stearic acid. The formation temperature of this diamond is about 800℃ and significantly lower than that of previous NPD from graphite. Thus, its formation mechanism may be different from that by direct conversion of graphite.

## 1. はじめに

高温高圧下でのグラファイトからの直接変換によって合成されるナノ多結晶ダイヤモンド（NPD)（Irifune et al., 2003）は，優れた硬度と高い透光性を有することから様々な用途へ応用されている．最近，我々は出発物質にステアリン酸（$C_{18}H_{36}O_2$）を用いた場合，従来（12－25 GPa，2000－2500℃）よりも大幅に低温条件（800℃～）で黄褐色で透光性を有する NPD 様のダイヤモンドが生じることを偶然見出した．本研究では，このステアリン酸から合成される NPD 様ダイヤモンドの合成と，その微細組織・結晶学的特徴について報告する．

## 2. 実験手法

高圧実験には 2000 t マルチアンビル装置を使用し，出発物質としてステアリン酸あるいはステアリン酸とマグネサイトを層状に重ねて Pt カプセル中に封入した．圧力温度条件は 10 GPa および 17 GPa，800－1400℃で行い，回収試料の分析は顕微ラマン分光，微小部 XRD，SEM-EDS，TEM-EDS を用いて行った．TEM 観察のための薄膜断面試料の作成には FIB を使用した．

## 3. 結果と考察

ステアリン酸とマグネサイトを詰めた実験では，ステアリン酸封入側に透光性を有する黄褐色の物質が確認された．微小部 XRD 分析の結果，非常にブロードなダイヤモンドの回折線が観察され，極めて細粒で純粋なダイヤモンドより構成されることが分かった．この部分から FIB で作成した薄膜試料の TEM 観察を行ったところ，粒径<5～20 nm ほどのダイヤモンドで構成されることが明らかとなった．電子線回折ではスムーズなリングパターンを示すことから，ナノダイヤ粒子はランダムな方位で集合していると言える．

一方，ステアリン酸のみを出発物質とした場合，回収試料は白色でほとんど透光性を示さなかった．TEM 観察の結果，マグネサイトを共存させた実験の回収試料と同様に 20 nm 以下の極めて細粒なダイヤモンドよりなるが，0.2～10 μm ほどの空隙が多数含まれることが分かった．それらの空隙は，ステアリン酸が分解した際に生成すると考えられる $H_2O$ や $CH_4$ などの揮発性成分が流体あるいは固体の形でダイヤモンドと共存していたことを示唆する．現在，低温条件におけるステアリン酸からのナノ多結晶ダイヤモンドの形成メカニズムの理解へ向けて更なる検討を行っている．

Keywords: Nano-Polycrystalline Diamond (NPD), High pressure, C-H-O fluid, TEM
*Corresponding author: kawamura@sci.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R3P-15

# $CaTiO_3$ペロブスカイトへの$Ga^{3+}$の固溶について

永井隆哉*・大黒正貴・髙倉直樹（北大院理）
井上徹（広大院理），新名亨（愛媛大 GRC）

# Incorporation of $Ga^{3+}$ into $CaTiO_3$ perovskite

Takaya NAGAI*・Masaki OHGURO・Naoki TAKAKURA (Hokkaido Univ.)
Toru INOUE (Hiroshima Univ.), Toru SHINMEI (Ehime Univ.)

Incorporation of $Ga^{3+}$ into $CaTiO_3$ perovskite at high pressure was investigated. Synthesis experiments at high pressures were performed at the GRC, Ehime University (This work was supported by the Joint Usage/Research Center PRIUS.). Incorporation of $Ga^{3+}$ into $CaTiO_3$ perovskite occurs in the $CaTiO_3$-$CaGaO_{2.5}$ system. The system shows the eutectic relation and the eutectic temperature seems to be below 1200℃ even at 15 GPa. Solid solubility of the $CaGaO_{2.5}$ component in $CaTiO_3$ perovskite at 1200℃ is ca. 10 mol% at 1 atm, ca. 40 mol% at 5 GPa, ca. 20 mol% at 10 and 15 GPa. A large solubility of the $CaGaO_{2.5}$ component at 5 GPa may be related to the stability of $CaGaO_{2.5}$ phase with the brownmillerite-type structure.

我々は下部マントル鉱物学の重要な課題であるブリッジマナイトへの 3 価の陽イオンである Al の固溶の問題について，アナログ鉱物 $CaTiO_3$ ペロブスカイトを使ってアプローチを行っている。今回は，$Ga^{3+}$の固溶について報告する。

大気圧下での合成実験は，北海道大学で高温マッフル炉を用いて実施し，高圧下（5, 10, 15 GPa）では，PRIUS 共同利用研究のサポートの下，愛媛大学 GRC において川井型マルチアンビル式超高圧発生装置を用いて実施した。高圧実験におけるアンビルは TEL8 mm，圧媒体は一辺 14 mm のものを用いた。また，5, 10 GPa の実験ではグラファイト，15 GPa では $LaCrO_3$ をヒーター材として用いた。回収試料は，XRD と SEM-EDS 分析で評価を行った。

$CaTiO_3$ペロブスカイトへの$Ga^{3+}$の固溶は，圧力によらず$Ga^{3+}$が$Ti^{4+}$を置換する様式，すなわち酸欠損を生じる $CaTiO_3$-$CaGaO_{2.5}$ 系として起こり，固溶相は直方晶系のペロブスカイト構造として説明可能であった。また，この系は共融関係にあり，共融温度は 15 GPa においても 1200℃ 以下であった。$Ga^{3+}$の固溶量の圧力変化は，$CaGaO_{2.5}$ 成分として，大気圧下では約 10 mol%であったが，5 GPa では約 40 mol%と急増した。しかし，さらに高圧下 10, 15 GPa では約 20 mol%と減少した。

今回の結果は，$Ga^{3+}$が大気圧下では 4 配位を好むこと，また，$Ga^{3+}$の半分が 6 配位，半分が 4 配位のブラウンミラライト型構造を持つ $CaGaO_{2.5}$ 相が大気圧下では存在しないこと，さらに，少なくとも 2.5 GPa 付近の圧力下では $CaGaO_{2.5}$ 相が安定となること（Kahlenberg & Shaw, 2001）などと関係しているかもしれない。すなわち，10, 15 GPa で$Ga^{3+}$の固溶量が減少したことは，4 配位の$Ga^{3+}$を有する $CaGaO_{2.5}$ 相がその圧力下では安定でなくなることを意味している可能性がある。

Keywords: $CaTiO_3$, $CaGaO_{2.5}$, perovskite, brownmillerite, solid solution
*Corresponding author: nagai@sci.hokudai.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.