

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

■ 2024年9月12日(木) 14:00 ~ 17:30 | 会場 ESホール 東山キャンパス

## R7: 岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会との共催セッション)

座長: 秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)、越後 拓也(秋田大学)

岩石学、鉱物学、鉱床学、地球化学などの分野をはじめとして、地球・惑星物質科学全般にわたる岩石及び鉱物に関する研究発表を広く募集する。地球構成物質についての多様な研究成果の発表の場となることを期待する。

14:00 ~ 14:25

[R7-01] イルメナイトのウラン-鉛系に基づく年代学研究の最前線

「招待講演」

\*伊藤 健吾<sup>1</sup>、仁木 創太<sup>2</sup>、飯塚 毅<sup>3</sup>、平田 岳史<sup>1</sup> (1. 東大・地殻化学、2. 名大・ISEE、3. 東大・院理地感)

14:25 ~ 14:40

[R7-02] LA-ICP-MS分析に基づく日本国内の熱水性鉱床中に含まれるReの分布領域

「発表賞エントリー」

\*小笠原 光基<sup>1</sup>、大田 隼一郎<sup>1,2</sup>、安川 和孝<sup>1</sup>、中村 謙太郎<sup>2,1</sup>、加藤 泰浩<sup>1,2</sup> (1. 東京大・院工学、2. 千葉工大・次世代海洋資源研究センター)

14:40 ~ 14:55

[R7-03] 南アフリカ共和国ブッシュフェルト複合岩体におけるPGE含有(Fe,Ni,Co)AsS固溶体の産状

「発表賞エントリー」

\*窪田 朔也<sup>1</sup>、越後 拓也<sup>1</sup>、渡辺 寧<sup>1</sup> (1. 秋田大・院国際資源)

14:55 ~ 15:10

[R7-04] 熊本県美里町弘川における砂白金鉱床と新鉱物・不知火鉱について

\*浜根 大輔<sup>1</sup>、田中 崇裕、新町 正 (1. 東京大学)

15:10 ~ 15:25

[R7-05] 南太平洋クック諸島アイツタキ島に産するマントルかんらん岩捕獲岩の地球化学的特徴

\*芳川 雅子<sup>1</sup>、秋澤 紀克<sup>2</sup> (1. 広島大・院先進理工、2. 東京大・AORI)

15:25 ~ 15:40

[R7-06] 伊豆・小笠原・マリアナ前弧域のマントル加水作用とマグマ形成史

\*山岡 璃音<sup>1</sup>、秋澤 紀克<sup>1</sup>、市山 祐司<sup>2</sup>、森下 知晃<sup>3</sup>、田村 明弘<sup>3</sup>、山下 浩之<sup>4</sup>、針金 由美子<sup>5</sup>、小原 泰彦<sup>6,7,8</sup> (1. 東大院、2. 千葉大、3. 金沢大、4. 神奈川県立生命の星・地球博物館、5. 産総研、6. 海上保安庁海洋情報部、7. 海洋研究開発機構、8. 名古屋大)

15:40 ~ 15:50

[1Lecture-108-19-7add] 休憩

15:50 ~ 16:15

[R7-07] Fault-rock mineralogy and weakening mechanisms at deep- to shallow-crustal depths of Main Himalayan Thrust, NW India

「招待講演」

\*Dyuti Prakash SARKAR<sup>1</sup>, Takehiro Hirose<sup>1</sup>, Jun-ichi Ando<sup>2</sup>, Kaushik Das<sup>2</sup>, Gautam Ghosh<sup>3</sup> (1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2. Hiroshima University, 3. Presidency University)

16:15 ~ 16:30

[R7-08] オーストラリア産鉄鉱石中のゲーサイトに見られるリンの濃集と微細組織の関係

\*三河内 岳<sup>1</sup>、村尾 玲子<sup>2</sup>、高山 透<sup>2</sup> (1. 東大・総研博、2. 日本製鉄)

---

16:30 ~ 16:45

[R7-09] 妙見山リチウムペグマタイト周辺の鉱物分帯と生成温度

「発表賞エントリー」

\*石寄 拓海<sup>1</sup>、越後 拓也<sup>1</sup>、渡辺 寧<sup>1</sup> (1. 秋田大・院資源)

---

16:45 ~ 17:00

[R7-10] 加部島の東松浦玄武岩晶洞に産する淡青色セピオライトの呈色要因となり得るCuの存在状態について

「発表賞エントリー」

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

---

17:00 ~ 17:15

[R7-11] 粉末X線回折による全岩鉱物量比・累帯構造量比の数値化：ビッグデータ時代に向けて

「発表賞エントリー」

\*松野 哲士<sup>1</sup>、米谷 珠萌<sup>2</sup>、吉田 健太<sup>3</sup>、平野 伸夫<sup>1</sup>、新名 良介<sup>2</sup>、大坂 恵一<sup>4</sup>、山崎 慎一<sup>1</sup>、宇野 正起<sup>1</sup>、岡本 敦<sup>1</sup> (1. 東北大学、2. 明治大学、3. 海洋研究開発機構、4. 高輝度光科学研究センター)

---

17:15 ~ 17:30

[R7-12] 地質試料を用いた暗黒物質探索の試みについて

\*阿部 なつ江<sup>1,2</sup>、廣瀬 重信<sup>1</sup>、常 青<sup>1</sup>、羽生 毅<sup>1</sup>、長谷部 徳子<sup>2</sup>、星野 靖<sup>3</sup>、加美山 隆<sup>4</sup>、川村 洋史<sup>1</sup>、村瀬 孔大<sup>5</sup>、中 竜大<sup>6</sup>、小國 健二<sup>1</sup>、鈴木 勝彦<sup>1</sup>、山崎 誠子<sup>7</sup> (1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 金沢大学、3. 神奈川大学、4. 北海道大学、5. ペンシルベニア州立大学、6. 東邦大学、7. 国立研究開発法人産業技術総合研究所)

## イルメナイトのウラン-鉛系に基づく年代学研究の最前線

### The Frontier of Ilmenite Geochronology Using the Uranium-Lead Decay System

\*伊藤 健吾<sup>1</sup>、仁木 創太<sup>2</sup>、飯塚 毅<sup>3</sup>、平田 岳史<sup>1</sup>

\*Kengo Ito<sup>1</sup>, Sota Niki<sup>2</sup>, Tsuyoshi Iizuka<sup>3</sup>, Takafumi Hirata<sup>1</sup>

1. 東大・地殻化学、2. 名大・ISEE、3. 東大・院理地惑

1. The Univ. of Tokyo. GcRC, 2. Nagoya Univ. ISEE, 3. The Univ. of Tokyo. Sci. EPS

地質現象のタイミングを記録する放射性同位体年代系の中でも二種類のウラン-鉛系を活用した年代測定法を実施することで、太陽系形成から第四紀までに至る幅広い年代範囲の宇宙地球試料から時間情報を取得できる。現在、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) を用いたウラン-鉛年代測定が広く実施されている。この手法は次の二点、(i) 高い空間分解能 (~10  $\mu\text{m}$ ) での局所同位体分析、(ii) 100 spots/hourを超える迅速な分析、を同時に達成できることが強みである。これまで本手法は、ウランを 1  $\mu\text{g g}^{-1}$ 以上と高濃度に含有するジルコンやリン酸塩鉱物といった副成分鉱物の年代測定に広く適用されてきた。さらに、近年の分析感度向上と標準物質の探索を基軸として、これまでウラン-鉛年代測定の対象ではなかったイルメナイトやザクロ石といった新たな低ウラン濃度主成分鉱物系への応用が日々進展している (Seman et al., 2017; Thompson et al., 2021)。

私たちが現在着目しているイルメナイト ( $\text{FeTiO}_3$ ) は  $\text{Fe}^{2+}$  と  $\text{Ti}^{4+}$  の酸化物であり、ジルコンなどの高ウラン濃度鉱物の産出が稀な苦鉄質岩に幅広く産する。さらに、火山岩中のイルメナイトはしばしばヘマタイトとの離溶組織を形成し、古地磁気記録を残すことが知られている (Robinson et al., 2002)。このような背景から、イルメナイトのウラン-鉛年代系はこれまで年代制約を行うことが困難であった「苦鉄質岩という未分化な岩相の年代決定」と「古地磁気記録と放射性同位体年代の直接的な対応付け」という2つの応用的側面を有する。イルメナイトのウラン濃度は極めて低く (0.01–0.1  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (Noyes et al., 2011)、これまで実際の年代測定の対象として扱われなかった。しかしながら、イルメナイトは鉛を結晶中にほとんど取り込まない (Klemme et al., 2006) ことから原理的には年代測定の対象となり得る。そして近年の質量分析法の高感度化に伴い、その高精度年代決定が可能となりつつある。

先行研究におけるイルメナイトのウラン-鉛年代測定には次の三つの課題が存在する。一点目は、鉱物結晶化後の二次的な変成・変質作用を示唆するような (i) 散乱したウラン-鉛同位体比がしばしば取得され、年代値の解釈に不確かな余地が残る点である (Thompson et al., 2021)。次に、元素比の測定に系統誤差が生じ得る (ii) 非マトリックス合致標準物質を用いたウラン/鉛比の較正が実施されていることや、ごく僅かな鉛の検出に必要な分析感度の不足のため (iii) 大スポット径を用いた分析が要求され、その応用が特殊な産状の巨晶イルメナイトのみに限定されることも問題となっている。

以上の問題に対処するため、本研究ではI. 分析点の選定方法、II. 年代標準イルメナイトの整備、III. 分析装置の高感度化に取り組んでいる。分析スポットの選定にあたっては同位体分析前の微量元素イメージングが強力なツールとなり得る (Chew et al., 2021) ことから、私たちは現在、同位体分析前の鉱物組織観察と微量元素イメージングに基づく分析箇所の事前選定に取り組んでいる。さらに、あらゆるイルメナイトの産状に対応した信頼度の高いイルメナイト年代測定の開発を目的として、新たなFe-Ti酸化物標準物質を用いた、高感度のフェムト秒レーザーアブレーション多重検出型誘導結合プラズマ質量分析法 (fsLA-MC-ICP-MS) による分析システムを構築している。本研究では、2~20億年の範囲に及ぶ幅広い年代域の地質体からイルメナイトを準備し、ウランや鉛といった極微量の元素のイルメナイト中での分布を調査し、本分析システムを用いた年代測定の正確性評価を行った結果について報告する。微量元素イメージングの結果からは、イルメナイト中ではウランがヘマタイト離溶部やバデライトといった微小な包有物を担体としていること、鉛の濃集する2次的な脈やクラックによって結晶化後以降の情報をもたらされることが示された。また、年代測定に関して本分析で

は、先行研究よりも小さい領域の50  $\mu\text{m}$ 四方からウランと鉛の信号取得が可能であり、さまざまな産状のイルメナイト分析に対応できる。さらに、得られたウラン-鉛年代は、先行研究で報告されている当該地域のジルコン年代と調和的で、約10億年前の試料から分析精度約2%の精確な年代を得ることに成功した。これらの結果は、幅広い時代区分のイルメナイトに対して、精確な年代測定が可能であることを示している。本発表では最後に、ウラン-鉛放射壊変系を用いたイルメナイトの年代研究の今後の展望について議論する。

キーワード：イルメナイト、地球年代学、ウラン-鉛年代、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析法

Keywords: Ilmenite, Geochronology, U-Pb dating, LA-ICP-MS

## LA-ICP-MS分析に基づく日本国内の熱水性鉱床中に含まれるReの分布領域

### Distribution of rhenium in hydrothermal deposits in Japan, based on LA-ICP-MS analysis

\*小笠原 光基<sup>1</sup>、大田 隼一郎<sup>1,2</sup>、安川 和孝<sup>1</sup>、中村 謙太郎<sup>2,1</sup>、加藤 泰浩<sup>1,2</sup>

\*Mitsuki Ogasawara<sup>1</sup>, Junichiro Ohta<sup>1,2</sup>, Kazutaka Yasukawa<sup>1</sup>, Kentaro Nakamura<sup>2,1</sup>, Yasuhiro Kato<sup>1,2</sup>

1. 東京大・院工学, 2. 千葉工大・次世代海洋資源研究センター

1. Univ. Tokyo. Eng, 2. CIT. ORCeNG

熱水性鉱床は日本各地に普遍的に分布し、かつての日本の金属生産を支えてきた鉱床である。こうした金属鉱床の形成プロセスを理解するうえで、鉱床の形成年代は非常に重要な制約条件となる。そのため、鉱化年代の決定は火成活動をはじめとした鉱床形成時における地質セッティングの理解に貢献してきた。熱水性鉱床の形成年代は従来、脈石鉱物として含まれている氷長石などに対してK-Ar放射年代法を用いることで決定されてきた。近年、新たに金属鉱床の形成年代を決定する手法としてRe-Os放射年代法が注目されている。Reは鉱石鉱物に含まれる有用金属と似た挙動をとるため、鉱床中の有用金属が析出した年代を測定できる手法とされている(Selby et al., 2009)。一方で、ReおよびOsは地球表層において極めて稀な元素であるため、よく知られた濃集相である輝水鉛鉱を除いて、熱水性鉱床中のどの部分にそれらが濃集しているのかは十分に理解されていない。そのため、輝水鉛鉱を産出しない熱水性鉱床に対するRe-Os放射年代法による年代決定が困難であるという問題がある。そこで本研究では、Reの濃集相を把握することを目的として、日本国内の様々な熱水性鉱床の鉱石に対してレーザーアブレーション(LA)-ICP-MSを用いて局所微量元素組成分析を実施した。LA-ICP-MSによる局所微量元素組成分析の結果、例えば兵庫県明延鉱床の鉱石においては、黄銅鉱や閃亜鉛鉱などの硫化鉱物と脈石鉱物の石英との境界部分にReが濃集していることが示された。Reを検出した部分を偏光顕微鏡、実体顕微鏡、SEM-EDSを用いて観察したところ、粒径30~40  $\mu\text{m}$ 程度の細粒な輝水鉛鉱を確認した。Reは輝水鉛鉱中のMoを置換する形で結晶中に濃集することが知られているため(Takahashi et al., 2007)、検出された強いReシグナルはおそらく細粒な輝水鉛鉱に起因するものと考えられる。これらの輝水鉛鉱は微小であるが、Re-Os年代測定法による鉱床の形成年代を決定には十分な量のReを濃集している可能性が高い。このような細粒な輝水鉛鉱の存在がその他の熱水性鉱床において観察されれば、様々な熱水性鉱床の形成年代を直接的に決定できる可能性がある。

Selby, D., Kelley, K.D., Hitzman, M.W., and Zieg, J., 2009, Re-Os sulfide (bornite, chalcopyrite, and pyrite) systematics of the carbonate-hosted copper deposits at Ruby Creek, southern Brooks Range, Alaska: *Economic Geology*, v. 104, no. 3, p. 437-444.

Takahashi, Y., Uruga, T., Suzuki, K., Tanida, H., Terada, Y., and Hattori, K.H., 2007, An atomic level study of rhenium and radiogenic osmium in molybdenite: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 71, no. 21, p. 5180-5190.

キーワード：熱水性鉱床、LA-ICP-MS、Re局所分析、Re-Os放射年代法

Keywords: Hydrothermal deposit, LA-ICP-MS, Re mapping, Re-Os radiometric dating

## 南アフリカ共和国ブッシュフェルト複合岩体におけるPGE含有 (Fe,Ni,Co)AsS固溶体の産状

### Occurrences of the PGE bearing (Fe,Ni,Co)AsS solid solution in the Bushveld Complex, South Africa

\*窪田 朔也<sup>1</sup>、越後 拓也<sup>1</sup>、渡辺 寧<sup>1</sup>

\*Sakuya Kubota<sup>1</sup>, Takuya Echigo<sup>1</sup>, Yasushi Watanabe<sup>1</sup>

1. 秋田大・院国際資源

1. Akita Univ. Irs.

世界最大のPlatinum Group Elements (PGE) 鉱床である南アフリカ共和国のBushveld Igneous Complex中の鉱化帯の一つであるPlatreefは、マグマと堆積岩が混成あるいは反応したことが多くの先行研究によって確認されている。主に輝岩で構成されるPlatreef中のNi-Co-PGE鉱化作用については多くの研究がされているが、下位の堆積岩中の同鉱化作用は明らかではなかった。Platreef南部のIvanplats鉱山周辺では苦灰岩、珪岩、頁岩など多様な堆積岩が分布しており、本研究では、Ivanplats鉱山で得られた試錐試料の鉱物記載を主とした各種分析を行った。本試料には堆積岩と火成岩が混ざった組織を持つ岩石が見られ、混成岩とした。主な岩相は苦灰岩との混成岩、珪岩、頁岩との混成岩、Platreefの粗粒輝岩と輝岩である。顕微鏡観察、SEM-EDS分析の結果、珪岩以外の岩相でPGE鉱化作用がみられた。その中でも頁岩との混成岩でみられたPlatinum Group Minerals (PGM) はおおむね自形の(Fe,Ni,Co)AsS固溶体に内包されるという特徴的な産状を示す。このとき周囲のBase Metal Sulfides (BMS) には共生しない。EPMAの結果、(Fe,Ni,Co)AsS固溶体はPtが最大で0.038wt%、Pdが0.993wt%含まれていた。ポータブルXRFで測定したPlatreef輝岩中のヒ素濃度は最大5ppmだが、頁岩との混成岩では最大45ppmであった。頁岩との混成岩でみられた(Fe,Ni,Co)AsS固溶体は自形であり、他形を示す他のBMSと比較して晶出が早かったと考えられる。頁岩との混成岩でみられた(Fe,Ni,Co)AsS固溶体と共生するPGMは、概ね(Fe,Ni,Co)AsS固溶体に内包され、(Fe,Ni,Co)AsS固溶体中にPGEが微量に含まれることからPGMがヒ素に富む硫化物メルトから晶出したと考えられる。先行研究によると、Transvaal累層群中の頁岩のヒ素濃度は最大300ppmと高い値を示し、ポータブルXRFで測定したPlatreef輝岩のヒ素含有量は低かった。これらの結果より、頁岩が硫化物メルトにヒ素を供給し、ヒ素に富んだ硫化物メルト内でPGMに富む(Fe,Ni,Co)AsS固溶体が晶出し、PGMが(Fe,Ni,Co)AsS固溶体から離溶し、後にBMSが晶出したと考えられる。これらの考察から頁岩との混成岩では、頁岩から供給されたヒ素によって生成されたヒ素に富む硫化物メルトがPGEを含む(Fe,Ni,Co)AsS固溶体を形成し、その後(Fe,Ni,Co)AsS固溶体からPGMが離溶して晶出したと結論付けた。

キーワード：PGE鉱化作用、ブッシュフェルト複合岩体、同化作用

Keywords: PGE mineralization, Bushveld Complex, Assimilation

## 熊本県美里町払川における砂白金鉱床と新鉱物・不知火鉱について

### Shiranuiite and placer deposit of platinum group minerals, Haraigawa, Misato machi, Kumamoto Prefecture, Japan

\*浜根 大輔<sup>1</sup>、田中 崇裕、新町 正

\*Daisuke HAMANE<sup>1</sup>, Takahiro Tanaka, Tadashi Shinmachi

1. 東京大学

1. The University of Tokyo

これまで日本では北海道を除き砂白金鉱床は知られていなかったが、熊本県美里町払川において砂白金鉱床を見出した (Nishio-Hamane et al., 2019)。その鉱床は小規模ではあるものの、パラジウム系白金族元素 (Pd, Rh, Pt) が主体であり、日本では初めて確認された鉱床であった。また、この鉱床から二つの新鉱物、皆川鉱 (Minakawaite) : RhSbと三千年鉱 (Michitoshiite-(Cu)) : Rh(Cu<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>)を発見し、さらにチオスピネル族の未詳鉱物を見いだした。この未詳鉱物を、熊本県の古称「火の国」の伝承にちなんで不知火鉱 (Shiranuiite) と命名し、新鉱物・鉱物・命名委員会から新鉱物として承認を受けた (IMA2023-072a)。ここでは払川の砂白金鉱床と、新鉱物・不知火鉱の特徴について報告したい。

払川には透輝石が主体の単斜輝石岩が分布しており、2005年には5万分の1地質図 (紙用) にも記された。超苦鉄質の集積岩である単斜輝石岩は白金族元素鉱物 (PGM) 探査において重要な指標であり、払川においても岩体を横切る小河川でやはり砂白金の堆積が確認された。砂白金はイソフェロプラチナ鉱 : Pt<sub>3</sub>Feを主体とする銀白色の粒子がほとんどで、それ以外 (例えば自然オスミウム) の粒子は極めて少ない。また、一般にイソフェロプラチナ鉱は一つの地域で得られる粒子であっても、それぞれの組成はばらつくことが多いが、払川ではいずれも端成分に非常に近い。ただし、茶褐色の砂白金粒子については外縁部 (数~数百 μm) がトラミン鉱 : Pt<sub>2</sub>CuFeやテトラフェロプラチナ鉱 : PtFeへ変化しているように、一部の砂白金には後マグマ過程における変質作用の影響が認められる。

砂白金粒子は微細ながらも多様な白金族元素鉱物 (PGM) を包有し、現時点で確認できたPGMは全体で約40種となる (図1)。これらのPGM包有物はコブのように粒子表面に露出することもあるが、ラウラ鉱 : RuS<sub>2</sub>やエルリッチマン鉱 : OsS<sub>2</sub>を除き、PGM包有物の大半は変質作用にさらされる環境では安定ではないため、包有物として二番目に多いバウイー鉱 : Rh<sub>2</sub>S<sub>3</sub>でさえ、粒子表面で観察されることは稀である。また、バウイー鉱が観察される場合でも硫銅ロジウム鉱 : (Cu<sup>+</sup><sub>0.5</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.5</sub>)Rh<sup>3+</sup><sub>2</sub>S<sub>4</sub>や不知火鉱 : Cu<sup>+</sup>(Rh<sup>3+</sup>Rh<sup>4+</sup>)<sub>2</sub>S<sub>4</sub>を伴うことが多い (図1)。不知火鉱は硫銅ロジウム鉱集合に生じた亀裂に沿って生じることがある。

得られた分析値からRhの価数分布を見積もると、不知火鉱の平均化学組成は(Cu<sup>+</sup><sub>0.95</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.04</sub>Ni<sub>0.01</sub>)(Rh<sup>3+</sup><sub>1.19</sub>Rh<sup>4+</sup><sub>0.77</sub>Ir<sup>4+</sup><sub>0.06</sub>)S<sub>3.99</sub>となり、Cu<sup>+</sup>(Rh<sup>3+</sup>Rh<sup>4+</sup>)<sub>2</sub>S<sub>4</sub>の理想化学式が導かれた。微小部XRDにより得られた格子定数は空間群Fd-3mにおいてa = 9.757 Åであり、Cuおよび白金族元素を含むチオスピネルの中で不知火鉱は最も小さな体積を示した。これはイオン半径の小さいRh<sup>4+</sup>が主成分ということと調和的である。

スピネル超族の命名規約の成立に伴い、銅と白金族元素を含むチオスピネルは、実質的にはCu内容によってリンネ鉱亜族とカーロール鉱亜族を分け、それぞれについてRh-Ir-Pt内容を検討することで種が決定されるようになっている。そこで、払川から産出するチオスピネル鉱物の分類を行った (図1)。組成はリンネ鉱亜族とカーロール鉱亜族に不連続に分布することが判明した。それぞれのRh-Ir-Ptを検討すると、リンネ鉱亜族についてはすべて硫銅ロジウム鉱に、カーロール鉱亜族についてはすべて不知火鉱に分類された。一方で、硫銅ロジウム鉱と不知火鉱のRh-Ir-Pt分布は完全に一致しており、起源が共通であることが示唆される。そし

て、払川で産出するロジウム硫化鉱物、パウイー鉱： $Rh_2S_3$ 、キングストン鉱： $Rh_3S_4$ 、ミアス鉱： $Rh_{17}S_{15}$ の組成を比較すると、パウイー鉱の組成分布だけが硫銅ロジウム鉱や不知火鉱と一致した（図1）。パウイー鉱の、包有物および外部での出現頻度の違い、外部に出現した際の共生関係、組成分布を考慮すると、硫銅ロジウム鉱や不知火鉱がパウイー鉱の変質によって生じたことは明白である。一方で、硫銅ロジウム鉱と不知火鉱のCu内容の不連続性や、不知火鉱が硫銅ロジウム鉱を横切る産状があることから、硫銅ロジウム鉱と不知火鉱の生成ステージは異なると考えられる (Nishio-Hamane et al., in press)。

Nishio-Hamane et al. (2019) JMPS, 114, 252-262.

Nishio-Hamane et al. (in press) JMPS, 119.

キーワード：白金族元素鉱物、砂白金、不知火鉱

Keywords: Platinum-group minerals (PGM), Placer PGM, Shiranuiite

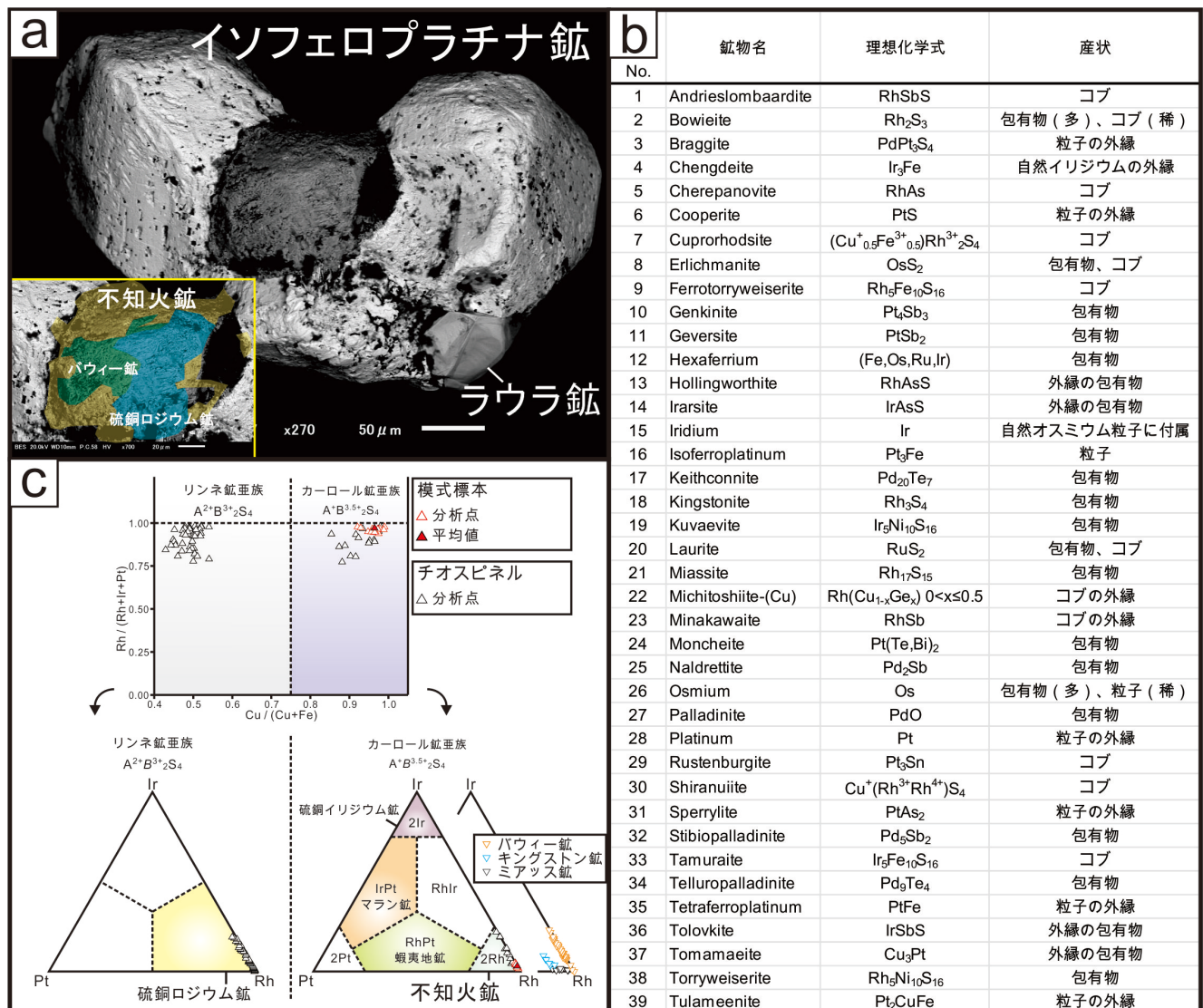


図1. 砂白金粒子の表面に露出したパウイー鉱と不知火鉱 (硫銅ロジウム鉱) の分布 (a)、産出鉱物の一覧 (b)、不知火鉱 (硫銅ロジウム鉱) とRh-S鉱物 (パウイー鉱、キングストン鉱、ミアス鉱) の組成分布 (c)。

## 南太平洋クック諸島アイツタキ島に産するマントルかんらん岩捕獲岩の地球化学的特徴

### Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of the Aitutaki peridotite xenoliths from the Cook islands

\*芳川 雅子<sup>1</sup>、秋澤 紀克<sup>2</sup>

\*Masako YOSHIKAWA<sup>1</sup>, Norikatsu Akizawa<sup>2</sup>

1. 広島大・院先進理工、2. 東京大・AORI

1. Hiroshima Univ., 2. Tokyo Univ. AORI

南西太平洋クック諸島は15の島からなり、その北部のアイツタキ島では主にカンラン石ネフェリナイト溶岩が露出する (Turner & Jarrad, 1982, JVGR)。このカンラン石ネフェリナイト (1.382–1.941 Ma ; Rose & Koppers, 2019, G3) 中には、スピネルレルゾライトを主とするマントルかんらん岩捕獲岩 (<5cm) が報告されている (例えばWood, 1978, N.Z.J. Geol. Geophys ; Folder et al., 1982, N.Z.J. Geol. Geophys)。最近これらの捕獲岩のなかに、スピネルを取り囲んだザクロ石分解生成物 (FMA) を含むレルゾライトの存在を Akizawa et al. (印刷中, PEPS) が報告した。Akizawa et al. (印刷中, PEPS) は、レルゾライト中の輝石の組成累帯やFMAの組織および化学組成の解析から、FMAを含むレルゾライトがスピネルからザクロ石レルゾライト領域への圧力上昇 (下降流) とその後の温度低下 (上昇流) を経験したと主張し、この流れが小規模マントル対流による圧力・温度変化である可能性を示した。一方、スピネルレルゾライトやハルツバージャイトは単純な温度低下を示すとされている (大嶋ほか, 2020, 鉱物科学会講演要旨)。本研究では、FMAを含むレルゾライト3試料、スピネルレルゾライト2試料、ハルツバージャイト1試料を対象とし、それらを構成する単斜輝石の微量元素組成とNd同位体を測定した。これらのレルゾライトとハルツバージャイトはそれぞれ粗粒な等粒状組織と細粒な等粒状組織を示す。FMAの有無にかかわらず、レルゾライトとハルツバージャイト中の単斜輝石の希土類元素コンドライト規格化パターンは、基本的には重希土類に対して軽希土類に富む左上がりのパターンを示すことがわかった。これらのパターンは濃度が異なるものの、アイツタキ島マントルかんらん岩全岩の希土類元素パターン (Snortum et al., 2019, J.Petrol.) や捕獲岩を含むカンラン石ネフェリナイトのパターンと類似する。また、ハンドピック後に酸で洗浄した単斜輝石のNd同位体比は、中央海嶺玄武岩と母岩のカンラン石ネフェリナイトのNd同位体比の間に分散した。FMAを含まないレルゾライト、FMAを含むレルゾライト、ハルツバージャイトの順にNd同位体比が低下した。本講演では、今後行うSr同位体比の結果や鉱物の主要元素組成やその累帯構造から求めた温度・圧力も含め、アイツタキ島下の上部マントルの地球化学的特徴について考察したい。

キーワード：クック諸島アイツタキ島、マントルかんらん岩捕獲岩、Sr-Nd同位体比

Keywords: Aitutaki island, mantle peridotite xenolith, Sr-Nd isotopic ratios

## 伊豆・小笠原・マリアナ前弧域のマントル加水作用とマグマ形成史

### Hydration of the mantle and magma genesis in the Izu-Bonin-Mariana fore-arc

\*山岡 璃音<sup>1</sup>、秋澤 紀克<sup>1</sup>、市山 祐司<sup>2</sup>、森下 知晃<sup>3</sup>、田村 明弘<sup>3</sup>、山下 浩之<sup>4</sup>、針金 由美子<sup>5</sup>、小原 泰彦<sup>6,7,8</sup>

\*Rion Yamaoka<sup>1</sup>, Norikatsu Akizawa<sup>1</sup>, Yuji Ichiyama<sup>2</sup>, ToTomoaki Morishita<sup>3</sup>, Akihiro Tamura<sup>3</sup>, Hiroyuki Yamashita<sup>4</sup>, Yumiko Harigane<sup>5</sup>, Yasuhiko Ohara<sup>6,7,8</sup>

1. 東大院、2. 千葉大、3. 金沢大、4. 神奈川県立生命の星・地球博物館、5. 産総研、6. 海上保安庁海洋情報部、7. 海洋研究開発機構、8. 名古屋大

1. University of Tokyo, 2. Chiba Univ., 3. Kanazawa Univ., 4. Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 5. AIST, 6. Japan Coast Guard, Hydrographic and Oceanographic Department, 7. JAMSTEC, 8. Nagoya Univ.

沈み込み帯は、海洋プレートが地球内部に沈み込むことで巨大地震や島弧火成活動が生じる、地球上で最も活動的なテクトニックセッティングである。また、沈み込み帯は汎地球規模の物質循環が進行する場でもあり、固体地球化学の進化に重要な役割を果たすため、沈み込み帯の物質的実態解明が望まれている。伊豆・小笠原・マリアナ前弧域に分布する蛇紋岩海山や海溝陸側斜面では、沈み込み帯のマントル由来物質を採取されており、沈み込み帯におけるマントルへの深部物質輸送を理解する上で格好の研究対象である。そこで本研究では、前弧域マントルの加水作用と沈み込み開始に伴うマグマ形成史を総合的に理解するために、伊豆・小笠原・マリアナ海溝陸側斜面に露出するマントルカンラン岩を用いて、岩石記載と地球化学的分析を実施した。本研究では、海洋研究開発機構が保有している伊豆・小笠原海溝、マリアナ海溝南部、ヤップ海溝の海溝陸側斜面から採取されたカンラン岩(53試料)と、2023年11月から12月に実施された白鳳丸航海

(KH-23-9)において、マリアナ海溝南部の最深部であるChallenger Deepの東側(D01-D05)と西側(D09-D14)の海溝陸側斜面からドレッジによって採取されたカンラン岩(42試料)を用いた。3つの海溝(伊豆・小笠原海溝、マリアナ海溝南部、ヤップ海溝)から採取されたカンラン岩は、メルト成分に枯渇しており、様々な程度に蛇紋岩化したハルツバージャイトとダナイトであった。マリアナ海溝南部のカンラン岩は針状～繊維状の角閃石(パーガス閃石、エデン閃石、マグネシオホルンブレンド、トレモラ閃石、カミングトン閃石)に富む特徴が認められた。一方で、ヤップ海溝のカンラン岩は他の地域では見られない単斜輝石を含み、1試料を除いて角閃石を含まないことで特徴づけられた。全岩主要元素組成では、本研究のカンラン岩は一般的な海洋性カンラン岩よりもAlOに乏しく、より枯渇した性質を示す。加えて、KH-23-9で採取したChallenger deep西側で採取された試料は他の試料よりもCrO含有量が高く(1.03-2.47 wt.%)、TiO含有量(< 0.01 wt.%)が低い特徴が認められた。カンラン岩に含まれるクロムスピネルのCr#(= $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ 原子比)及びMg#(= $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ 原子比)からOhara and Ishii (1998)の分類に従い、低いCr#と高いMg#を示すスピネル(Cr#=0.69, Mg#=0.52)を持つA-typeカンラン岩、高いCr#と低いMg#を示すスピネル(Cr#=0.57-0.86, Mg#=0.25-0.38)を持つH-typeカンラン岩、中間的な組成を示すスピネルを持つI-typeカンラン岩の3つのタイプに分類される。また、マリアナ海溝南部でCr#は最も高く(0.57-0.86)、ヤップ海溝で最も低かった(0.42-0.67)ことから、マリアナ海溝南部のカンラン岩が最もメルト成分に枯渇していることが示された。角閃石には累帯構造を示すものがあり、トレモラ閃石はカミングトン閃石に囲まれるように産していることから、温度冷却過程に伴って形成されたと考えられる。AlOに富むCa角閃石(パーガス閃石、エデン閃石、マグネシオホルンブレンド)はアルカリ元素に富むことから、アルカリ元素に富む角閃石はより深部での形成が、その他の角閃石はより浅部での形成が示唆される。角閃石の微量元素組成は、全体的にBaやSrなどの流体移動元素に富むことから、全ての角閃石の形成には流体が関与していることが示唆される。さらに、角閃石の微量元素パターンが前弧噴出岩であるボニナイトの微量元素パターンと似ていることから、角閃石の形成に関与した流体はボニナイトを形成した流体と似た組成を持った流体であることが推察される。また、Fabries

(1979)のカンラン石-スピネル温度計を用いたことで、カンラン石とスピネル間の平衡温度を求めた。その結果、マリアナ海溝南部の試料では、角閃石を含まず直方輝石を含むA-typeカンラン岩が最も温度が高く(757°C)、角閃石を豊富に含むH-typeカンラン岩が最も温度が低く(644-737°C)、A-typeからH-typeにかけての平衡温度の低下を示す。これは、マリアナ海溝南部のH-typeカンラン岩では流体との反応により、低い平衡温度で角閃石を形成したことを示唆している。ヤップ海溝のカンラン岩はマリアナ海溝南部のA-typeカンラン岩と似た高い平衡温度(736-798°C)を示した。この特徴は、ヤップ海溝のカンラン岩が単斜輝石や直方輝石に富み、肥沃な組成を示すことと整合的である。

キーワード：沈み込み帯、加水作用、前弧域マグマ生成過程、かんらん岩、角閃石

Keywords: Subduction zone, Hydration, Fore-arc magma genesis, Peridotite, Amphibole

口頭講演

## R7：岩石・鉱物・鉱床 (資源地質学会 との共催 セッション)

座長:秋澤 紀克(東京大学大気海洋研究所)、越後 拓也(秋田大学)

2024年9月12日(木) 14:00 ~ 17:30 ESホール (東山キャンパス)

岩石学, 鉱物学, 鉱床学, 地球化学などの分野をはじめとして, 地球・惑星物質科学全般にわたる岩石及び鉱物に関する研究発表を広く募集する。地球構成物質についての多様な研究成果の発表の場となることを期待する。

---

15:40 ~ 15:50

[1Lecture-108-19-7add]休憩

## Fault-rock mineralogy and weakening mechanisms at deep- to shallow-crustal depths of Main Himalayan Thrust, NW India

\*Dyuti Prakash SARKAR<sup>1</sup>, Takehiro Hirose<sup>1</sup>, Jun-ichi Ando<sup>2</sup>, Kaushik Das<sup>2</sup>, Gautam Ghosh<sup>3</sup>

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2. Hiroshima University, 3. Presidency University

Fault rock mineralogy and deformation microstructures of crustal-scale faults provide insights into the stress accommodation mechanisms in terms of fault weakening and possibilities of earthquake nucleation. The Main Himalayan Thrust is considered to be the crustal-scale collisional boundary along which the Indian plate subducts beneath the Asian plate. The near-surface exposure of the present active boundary of the subduction is considered the Main Frontal Thrust, while the Main Central Thrust at the northernmost boundary represents the older post-collisional paleo-thrust boundaries between Indian and Asian plates. Here we present a comparative study of our findings on the fault rocks from the Nahan Thrust and North Almora Thrust belonging to the Main Frontal Thrust and the Main Central Thrust respectively. The deformation zone from North Almora Thrust represents the deep crustal part of the Main Himalayan Thrust exhibiting granite mylonite-ultramylonite zone. Quartz microstructures indicate deformation temperatures of 450–550 °C with evidence of grain-size sensitive creep as the dominant weakening mechanism. Additionally, two-feldspar thermometry has been used to estimate temperatures from sheared myrmekitic feldspar in the mylonites and ultramylonites. Crystallographic preferred orientations of quartz and mica indicate a shift in partitioning of strain from quartz to mica with an increase in mica content. In comparison, the fault zone from the Nahan Thrust shows the dominance of brittle deformation structures consisting of highly brecciated sandstone and a wide gouge zone. Microstructures of the gouge zone indicate distributed deformation and progressive stress localization leading to fracture development, cataclasis, and frictional sliding. Especially the ultra-fine bands of the principle slip zone exhibit a possible fingerprint of frictional heating during the seismic slips. The frictional properties of the fault rocks estimated from the rotary-shear velocity step experiments also indicate a velocity weakening to strengthening behavior based on phyllosilicate content. Our results on fault rocks from deep- to shallow-crustal depth indicate that phyllosilicate content play a pivotal role in frictional behavior and weakening mechanisms along the subduction boundary.

Keywords: Main Himalayan Thrust, Main Central Thrust, Main Frontal Thrust, rock friction, phyllosilicates

## オーストラリア産鉄鉱石中のゲーサイトに見られるリンの濃集と微細組織の関係

### On the Relationship between Phosphorus Concentration and Microstructure in Goethite in Australian Iron Ore

\*三河内 岳<sup>1</sup>、村尾 玲子<sup>2</sup>、高山 透<sup>2</sup>

\*Takashi MIKOUCHI<sup>1</sup>, Reiko Murao<sup>2</sup>, Toru Takayama<sup>2</sup>

1. 東大・総研博、2. 日本製鉄

1. Univ. Museum, Univ. of Tokyo, 2. Nippon Steel

はじめに：オーストラリアは、日本が鉄鉱石を輸入する最主要国であるが、近年、その鉱石中に含まれるリン濃度の上昇が問題となっている。そこで、本研究では、オーストラリア産鉄鉱石試料において主要な鉄資源鉱物になっているゲーサイトに注目して、含まれるリン濃度とその微細組織との関係について、主にFE-EPMAによる観察・分析を通じて検証を行った。

結果と考察：分析に使用したのは、2種類のオーストラリア産鉄鉱石試料（“Ore A”と“Ore B”）の研磨片で、合計144粒子（粒度1～3ミリメートル）のゲーサイト粒子をFE-EPMA（JEOL JXA-8530F：東大・理・地球惑星科学専攻に設置）を用いて、元素マッピング分析と定量分析を行った。

Ore A、Bともにゲーサイトが主要な構成鉱物で、その次にヘマタイト（“マータイト”）が多く、脈石成分であるカオリナイトや石英などを少量含んでいる粒子がほとんどであった。Ore AはOre Bに比べ、ややゲーサイト量が少なく、その分、ヘマタイト量が相対的に多く含まれていた。リンはゲーサイトに最も多く入り、含有量は、最大4.6 wt%  $P_2O_5$ であった。ただし、Ore Aに含まれるリン量の方が、Ore Bに含まれるリン量よりも多い傾向があった。ヘマタイトにはリンがほとんど含まれておらず（<0.5 wt%  $P_2O_5$ ）、その結果、バルク組成的にはOre AとBのリン量はほぼ同等であった。

ゲーサイトにリンが少量含まれていることは、吸着によるメカニズムが考えられていることから、本研究では、特にゲーサイトの微細組織とリン量の関係に注目することとした。FE-EPMAによる観察の結果、Ore A、Bの両試料ともゲーサイトは微細組織の違いにより、①繊維状・羽毛状、②板状・柱状、③塊状・層状、④その他の大きく4つに分けることができた。ただし、①と②は漸移的な組織関係となっている。これらの微細組織での分類によると、ゲーサイトのうちで、有意にリン含有量が高いものは、①と②、特に①の微細組織を持つものであり、Ore Aにおいては、①を主体とするゲーサイト粒子の最大 $P_2O_5$ 量の平均値は2.87 wt%であった。この数値は、②の平均値1.43 wt%、③の平均値1.40 wt%、④の平均値0.52 wt%より明らかに高かった。一方で、Ore Bでは、Ore Aに比べて、①の繊維状・羽毛状と②の板状・柱状のような微細組織を持つゲーサイトの数は少なかったが、①のゲーサイトがやはり高いリン濃度を持っており、①のゲーサイトの最大 $P_2O_5$ 量の平均値が1.55 wt%であるのに対して、②のものは1.38 wt%、③のものは0.60 wt%、④のものは0.81 wt%であった。また、①と②の微細組織を持つゲーサイトにおいては、結晶サイズが主に20マイクロメートル以下のことが普通であるが、ゲーサイトの平均結晶サイズに注目した結果、Ore A、Bともに粒子サイズが小さいゲーサイトの方が高いリン量を持っていることが示された。①と②のような微細組織を持つゲーサイトでは、サブミクロンスケールでの微小空隙がゲーサイトの結晶粒間に富むような多孔質組織を持っていることが多い。このことは、このような特に微細なゲーサイトが効率的にリンを吸着している可能性を示唆している。そこで、このような微結晶粒間を持つゲーサイトと持たないゲーサイトに分けて、リン含有量を比較してみたところ、やはり明らかに微結晶粒間のあるゲーサイトの方が無いものよりもリン含有量が高かった（Ore A：粒間ありは平均2.33 wt%  $P_2O_5$ で、無しは平均1.29 wt%  $P_2O_5$ 、Ore B：粒間ありは平均1.53 wt%  $P_2O_5$ で、無しは平均0.56 wt%  $P_2O_5$ ）。

結論：FE-EPMAを用いて、オーストラリア産ゲーサイトの観察・分析を行った結果、繊維状・羽毛状の微細組織を持つゲーサイトは、微小結晶粒間の空隙を介することで効率的にリンが吸着しており、このことが、鉱石のP濃度の上昇を引き起こしている最大の要因と考察された。

謝辞：この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)の助成事業(JPNP12004)の結果得られたもので、ここに感謝を示す。

キーワード：鉄鉱石、ゲーサイト、リン、微細組織

Keywords: Iron Ore, Goethite, Phosphorous, Microstructure

## 妙見山リチウムペグマタイト周辺の鉱物分帯と生成温度

## Mineral zoning and formation temperatures around the Myokenzan lithium pegmatites

\*石寄 拓海<sup>1</sup>、越後 拓也<sup>1</sup>、渡辺 寧<sup>1</sup>\*Takumi Ishizaki<sup>1</sup>, Takuya Echigo<sup>1</sup>, Yasushi Watanabe<sup>1</sup>

1. 秋田大・院資源

1. Akita Univ.

茨城県常陸太田市に位置する妙見山リチウムペグマタイトは、日本有数のリチウムペグマタイトであり、その鉱物組み合わせからLCTペグマタイトに分類される（櫻井ほか, 1977）。LCTペグマタイトの成因は従来、過アルミナ花崗岩質マグマの結晶分化作用が主とされており、本ペグマタイトは妙見山周辺に分布する前期白亜紀に貫入した含ザクロ石両雲母花崗岩を形成した花崗岩質マグマの結晶分化によって生成したと推定されているが(石原, 2010)、確証は得られていない。本研究では、妙見山ペグマタイトの起源となった花崗岩質マグマの検討を行い、その成因を明らかにすることを目的とし、地表踏査による岩相及び産状の記載、薄片観察とXRF、ICP-MSによる全岩化学組成結果に基づく岩石種の決定、EPMA-WDSによる鉱物化学組成の決定、ザクロ石-黒雲母温度計（Hodges and Spear, 1982）による花崗岩類の形成温度の推定を行った。地表踏査及び薄片観察、XRF分析の結果、妙見山周辺には砂質片麻岩、輝石角閃石石英斑れい岩~斑れい岩、黒雲母角閃石トータル岩~石英閃緑岩及び角閃石トータル岩、角閃石黒雲母花崗岩及び黒雲母花崗岩、含ザクロ石白雲母黒雲母花崗岩といった多様な岩相が分布しており、本ペグマタイトは構成鉱物によって、リチウムペグマタイト: 石英, 長石, 白雲母, リチウム鉱物, 白雲母ペグマタイト: 石英, 長石, 白雲母, 白雲母黒雲母ペグマタイト: 石英, 長石, 白雲母, 黒雲母, 黒雲母ペグマタイト: 石英, 長石, 黒雲母 の4種類に分けられた。全岩化学組成分析の結果、花崗岩類のアルミナ飽和度を求めたところ、黒雲母花崗岩、角閃石黒雲母花崗岩は $ASI \leq 1.1$ を示し、含ザクロ石白雲母黒雲母花崗岩は $ASI \geq 1.1$ を示した。Li濃度は角閃石黒雲母花崗岩で96ppmと最も高く、含ザクロ石白雲母黒雲母花崗岩では49ppmであった。EPMAによる鉱物化学組成分析の結果、黒雲母ペグマタイト中のザクロ石は MgO: 0.88-1.36wt%, CaO: 0.98-4.89wt% に対し、白雲母黒雲母ペグマタイト中のザクロ石では MgO: 0.50-0.70wt%, CaO: 0.41-1.25wt%, 白雲母ペグマタイト中のザクロ石では MgO: 0.62-1.02wt%, CaO: 0.20-0.25wt% の組成範囲を示す。また、黒雲母ペグマタイトにおいてはザクロ石の組成が FeO: 17.68-36.98wt%, MnO: 2.56-20.63wt% と組成変化が大きい。黒雲母ペグマタイト中の斜長石は  $Ab_{81}-Ab_{72}$  程度を示し、白雲母黒雲母ペグマタイト中の斜長石では  $Ab_{85}-Ab_{88}$ ,  $Ab_{93}-Ab_{98}$ , 白雲母ペグマタイト中の斜長石では  $Ab_{94}-Ab_{97}$ , リチウムペグマタイト中の斜長石では  $Ab_{99}$  を示す。ザクロ石-黒雲母温度計の結果から、黒雲母ペグマタイトは427°C-790°Cを示し、白雲母黒雲母ペグマタイトは313°C-643°Cを示す。本ペグマタイトの構成鉱物が黒雲母を主体とするペグマタイトから白雲母を主体とするペグマタイトに変化し、斜長石の組成が黒雲母ペグマタイトからリチウムペグマタイトにかけてAb成分に富むことは、本ペグマタイトが黒雲母ペグマタイトからリチウムペグマタイトにかけて結晶分化作用が進んだことを示している。また、ザクロ石-黒雲母温度計から見積もられた固結温度には大きな温度差がみられるが、これはペグマタイト中のザクロ石の組成変化が大きいためである。この結果は、ペグマタイトの生成温度の推定にはザクロ石-黒雲母温度計が適応できない可能性を示す。本研究で調べた含ザクロ石白雲母黒雲母花崗岩はリチウム濃度が低いですが、これはリチウムの分配係数が白雲母より黒雲母の方が高く、白雲母に対しては不適合元素だが、黒雲母に対しては適合元素となることから、白雲母の結晶分化作用によって残余メルトにリチウムが濃集したためと考えられる。以上の結果は、含ザクロ石白雲母黒雲母花崗岩が妙見山リチウムペグマタイトの関係火成岩であることを示している。

キーワード：ペグマタイト、結晶分化作用、ザクロ石－黒雲母温度計、鉱物分帯

Keywords: Pegmatite, Crystallization fractionation, Garnet-biotite geothermometer, Mineral zoning

## 加部島の東松浦玄武岩晶洞に産する淡青色セピオライトの呈色要因となり得るCuの存在状態について

### Copper as a Coloring Factor of Pale Blue Sepiolite in amygdales in Higashimatsuura basalt from Kabeshima, Saga Prefecture, SW Japan

\*木尾 颯月<sup>1</sup>、江島 輝美<sup>2</sup>、昆 慶明<sup>3</sup>、南澤 比佳理<sup>4</sup>、堀田 将臣<sup>4</sup>

\*Satsuki KIO<sup>1</sup>, Terumi Ezima<sup>2</sup>, Yoshiaki Kon<sup>3</sup>, Hikari Minamisawa<sup>4</sup>, Masaomi Horita<sup>4</sup>

1. 信州大・院理、2. 信州大・理、3. 産総研、4. 信州大・工

1. Shinshu Univ. Sci., 2. Shinshu Univ. Sci., 3. GSJ, AIST, 4. Shinshu Univ. Eng.

佐賀県呼子町周辺に分布するアルカリ玄武岩は東松浦玄武岩と呼ばれており、呼子町の加部島には、白色～淡青色を呈するセピオライトが玄武岩晶洞中に産出する。先行研究では、加部島に産する白色から淡青色セピオライトについては微量元素測定によりFe, MnおよびCuが検出され、Cuが呈色原因として最も可能性が高いことが示された。しかし、白色と淡青色セピオライトの両方からCuが検出されている。このため、Cuが淡青色セピオライトの呈色要因であるとするには、さらに微細領域での観察および微量元素測定を行う必要がある。本研究ではエネルギー分散型X線分析装置搭載の走査型電子顕微鏡（SEM-EDS）を用いた組成像観察とLA-ICP-MSを用いた局所での微量元素測定からセピオライトのCuおよびその他の遷移金属元素の含有量を決定した。さらに高分解能透過型電子顕微鏡（TEM）による観察からセピオライトの微小領域におけるCuの含有と分布を明らかにすることで、加部島に産する淡青色セピオライトの呈色要因の解明を目的とした。TEMによる微細領域観察用の試料成型にはモリブデンのグリットを使用し、試料表面の成膜にはタングステンを用いた。

加部島は九州北西部の東松浦半島の北方先端部に位置し、研究対象の淡青色セピオライトを産する無斑晶質玄武岩が古第三紀の堆積層を覆っている（小林ほか,1955）。無斑晶質玄武岩は青灰色で緻密な岩石であり、100 μm以下のかんらん石および斜長石の斑晶と斜長石、アルカリ長石、イルメナイトおよびチタノマグネタイトからなる基質から構成されるが、斑晶および硫化物は少ない。加えて、無斑晶質玄武岩中にはマントル物質および地殻物質の捕獲岩が存在する。岩石中には直径最大5 cm程度の楕円形の晶洞が存在し、晶洞鉱物としてセピオライト、炭酸塩鉱物、イルメナイト、Mn酸化物が存在する。

晶洞中に産するセピオライトは海綿状組織を有する。また、晶洞断面を観察するとセピオライトは母岩である無斑晶質玄武岩を覆う黄褐色の緑泥石様鉱物をさらに覆うように産し、その厚さは5-10 μmである。LA-ICP-MSによる微量元素測定では遷移金属元素として、Mnが0.40 wt.%, Feが0.39 wt.%, Cuが0.15 wt.%, Tiが0.04 wt.%, Crが0.01 wt.%, Niが0.01 wt.%検出された。また、加部島のセピオライトには白色のものと淡青色のものがあるが、両者のCu含有量には差がなかった。白色と淡青色のうち、後者のセピオライトについてSEM-EDSによる組成像の観察および組成分析を行うと、Cuの濃集部が散在した。この淡青色セピオライトについてFIB-SEMによる薄膜の切り出しを行い、TEMを用いて微小領域についての定性分析を行うと、Si, Mg, Alに加えCuが検出された。微量元素測定にて検出されたFe, Ti, CrおよびNiについてはTEMによるナノメートルオーダーでの定性分析では検出されず、Mnについては含まれるCuに対し有意に少ない量しか検出されなかった。また、薄膜試料中の淡青色セピオライトのどの範囲からも一定量のCuが検出され、その含有量に差は無い。

微量元素測定および微少領域の結果より、加部島のセピオライトのCu含有量はMn, Fe等の他の遷移金属元素よりも有意に多い。以上のことから、加部島の淡青色セピオライト自体に呈色要因がある場合は、遷移金属元素であるCuが呈色要因である可能性が高い。しかし、白色と淡青色のセピオライトでCuの含有量に差が無いことから、セピオライト中のCuが呈色要因であるとするにはより詳細な検討が必要である。Cuの濃集部に他のナノメートルオーダーの鉱物が存在し、この鉱物が青色呈色の要因である可能性もある。

キーワード：加部島、セピオライト、銅、東松浦玄武岩

Keywords: Kabeshima Island, sepiolite, copper, Higashimatsuura Basalt

## 粉末X線回折による全岩鉱物量比・累帯構造量比の数値化：ビッグデータ時代に向けて

### Quantification of Mineral Modal and Zoning Ratios by Powder X-ray Diffraction: Advancing Towards Big Data Era

\*松野 哲士<sup>1</sup>、米谷 珠萌<sup>2</sup>、吉田 健太<sup>3</sup>、平野 伸夫<sup>1</sup>、新名 良介<sup>2</sup>、大坂 恵一<sup>4</sup>、山崎 慎一<sup>1</sup>、宇野 正起<sup>1</sup>、岡本 敦<sup>1</sup>

\*Satoshi MATSUNO<sup>1</sup>, Shuhou Maitani<sup>2</sup>, Kenta Yoshida<sup>3</sup>, Nobuo Hirano<sup>1</sup>, Ryosuke Sinmyo<sup>2</sup>, Keiichi Osaka<sup>4</sup>, Shin-ichi Yamasaki<sup>1</sup>, Masaoki Uno<sup>1</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>

1. 東北大学、2. 明治大学、3. 海洋研究開発機構、4. 高輝度光科学研究センター

1. Tohoku University, 2. Meiji University, 3. JAMSTEC, 4. Japan Synchrotron Radiation Research Institute

岩石学分野では、鉱物組成の定量分析と組織観察による示強変数的取り扱いが主流である一方、反応過程とその進行度を記録する岩石中の構成鉱物・反応組織の数値化は殆どされていない。粉末X線回折データ

(PXRD)は、鉱物の結晶構造・鉱物組成の変化に加え、全岩鉱物量比・累帯構造量比の情報を内包している(e.g., Antao et al. 2015)。しかし、天然岩石のPXRDによる定量的な分析例は非常に少なく(e.g., Hill et al. 1993)、また多相岩石PXRDで固溶体鉱物の累帯構造を分離して解析した例はない。本研究の目的は、PXRDを用いて多相岩石試料の全岩鉱物量比・反応組織量比の数値化手法を確立することである。

検証試料として、三波川変成帯の四国中央部・汗見川地域に露出する泥質-苦鉄質片岩の岩相境界から採取した、計48試料を用いた。この露頭では、岩相境界に向かって鉱物組み合わせが顕著に変化しており、Na-角閃石とアクチノ閃石で構成される角閃石の不連続な累帯構造が観察されることから、全岩鉱物量比・反応組織量比の数値化を検証する試料群として最適である。

PXRDの測定は、実験室PXRD (Rigaku MiniFlex600) および放射光PXRD (SPring-8, BL19B2) で実施し、得られたデータをリートベルト解析ソフトProfex (Doebelin & Kleeberg, 2015) で解析した。解析結果は、累帯構造ごとのピーク同定、全岩組成の比較、薄片から得られる鉱物量比との比較を行った。

結果として、放射光PXRDで角閃石の累帯構造ごとの明瞭なピーク分離が観察され、実験室PXRDでは、角度分解能不足のため、肩を持つピークが見られるに留まった。全岩組成の比較では、低含有量成分(濃度<1%)を除き、実験室・放射光PXRDの両方でXRFから得られた全岩組成と一致した(差異<±30%)。一方で、低含有量では、実験室PXRDで過大評価が見られた。

実験室PXRDと放射光PXRDから得られた鉱物量比の比較では、高含有量の鉱物(e.g., Albite, Quartz, Chlorite, Epidote)で一致し、低含有量のApatite, Titaniteでは実験室PXRDに不一致が見られた。また、角閃石のうち、量の少ないNa-角閃石では、実験室PXRDで過大評価が見られた。しかし、Na-角閃石とアクチノ閃石の量比は、放射光PXRDから得られる値と定性的に一致していた。これらの低含有量鉱物における実験室PXRDの差異は、S/N比と角度分解能の問題による解析誤差に起因すると考えられる。

本研究は、PXRDを用いた鉱物量比・累帯構造量比の数値化を検証し、特に放射光PXRDが低含有量鉱物や固溶体鉱物の累帯構造の分析にまで有用であることを示した。本研究成果は、これまで岩石学分野で行われてこなかった岩石記載の示量変数化を推し進め、これから迎えるビッグデータ時代に岩石学分野が適応するための一歩となる。

Antao, Sytle M., Mashrur Zaman, Vitor L. Gontijo, Eric S. Camargo, and Robert A. Marr. 2015. "Optical Anisotropy, Zoning, and Coexistence of Two Cubic Phases in Andradites from Quebec and New York." Contributions to Mineralogy and Petrology. Beitrage Zur Mineralogie Und Petrologie 169 (2): 10.

Hill, R. J., G. Tsambourakis, and I. C. Madsen. 1993. "Improved Petrological Modal Analyses from X-Ray

Powder Diffraction Data by Use of the Rietveld Method I. Selected Igneous, Volcanic, and Metamorphic Rocks.” *Journal of Petrology* 34 (5): 867–900.

Doebelin, Nicola, and Reinhard Kleeberg. 2015. “Profex: A Graphical User Interface for the Rietveld Refinement Program BGMN.” *Journal of Applied Crystallography* 48 (Pt 5): 1573–80.

キーワード：粉末X線回折、リートベルト解析、鉱物量比、累帯構造、数値化

Keywords: Powder X-ray Diffraction, Rietveld Refinement, Mineral Modal, Mineral Zoning, Quantification

## 地質試料を用いた暗黒物質探索の試みについて

### Searching for Dark Matter Using Geological Samples: Techniques and Preliminary Results

\*阿部 なつ江<sup>1,2</sup>、廣瀬 重信<sup>1</sup>、常 青<sup>1</sup>、羽生 毅<sup>1</sup>、長谷部 徳子<sup>2</sup>、星野 靖<sup>3</sup>、加美山 隆<sup>4</sup>、川村 洋史<sup>1</sup>、村瀬 孔大<sup>5</sup>、中 竜大<sup>6</sup>、小國 健二<sup>1</sup>、鈴木 勝彦<sup>1</sup>、山崎 誠子<sup>7</sup>

\*Natsue ABE<sup>1,2</sup>, Shigenobu Hirose<sup>1</sup>, Qing CHANG<sup>1</sup>, Takeshi Hanyu<sup>1</sup>, Noriko Hasebe<sup>2</sup>, Yasushi Hoshino<sup>3</sup>, Takashi Kamiyama<sup>4</sup>, Yoji Kawamura<sup>1</sup>, Kohta Murase<sup>5</sup>, Tatsuhiro Naka<sup>6</sup>, Kenji Oguni<sup>1</sup>, Katsuhiko Suzuki<sup>1</sup>, Seiko Yamazaki<sup>7</sup>

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 金沢大学、3. 神奈川大学、4. 北海道大学、5. ペンシルベニア州立大学、6. 東邦大学、7. 国立研究開発法人産業技術総合研究所

1. JAMSTEC, 2. Kanazawa University, 3. Kanagawa University, 4. Hokkaido University, 5. Penn State University, 6. Toho University, 7. AIST

地質試料に記録された宇宙線や地球内外の物質の痕跡は、地質学や天体物理学の研究に有効に利用できる。例えば、南極の氷床コアを用いた研究では、地球外部から到達するニュートリノなどの宇宙線の痕跡を観察して超新星爆発の回数や年代を推定したり、地球内部から放出されるジオニュートリノを観測する試みがある。また、海底のサンプルを使って宇宙線の強度を測定する研究は、長い地質学的期間にわたるさまざまな出来事についての洞察をもたらすと期待されている。一方で、宇宙に存在する物質のうち、このような宇宙線を含む直接観測できる物質は約5%に過ぎない。一方、約70%弱はダークエネルギーであり、残りの25%強はダークマター（暗黒物質）である。このような未知の物質やエネルギーを探索するため、暗黒物質の検出にはキセノンを用いた大型検出器が一般的である。しかし、検出器の拡張性には限界があり、検出限界の向上は困難である。この状況を鑑み、大型検出器以外の手法を検討している。例えば、雲母のような天然鉱物は、地質学的な時間スケールで存在しており、小さなサンプルでも十分な被ばく量がある。これらの鉱物は、暗黒物質の相互作用の証拠である核反跳の痕跡を、地球の年齢よりも長い期間保持することができる。これらの痕跡は、エッチングされると観察可能なピットとして現れる。1995年、スノーデン-イフトたちは、5億年前の天然白雲母をわずか0.08平方ミリメートルの面積で研究した。我々は、形成期間が長く、海底や大陸の深部から採取され、周囲の放射性物質が少ない天然の鉱物（カンラン石や雲母など）を利用することを提案している。我々は、これらの試料から「古物質検出器」として暗黒物質の痕跡を同定するために必要な観測技術を開発中である。未だ実観測までは遠い道のりではあるが、本発表では、我々の現在の取り組みを紹介し、より効率的な観測方法について議論したい。

キーワード：パレオ・ディテクター、暗黒物質、地球ニュートリノ、宇宙線

Keywords: Paleo-detectors, Dark Matter, Geoneutrino, Cosmic rays