

## Morphologically Directed Raman Spectroscopy 法による鉱石粒子の新規な粒子形態調査 A Novel Particle Morphological Investigation of Mineral Ore Particles by A Morphologically Directed Raman Spectroscopy

笹倉 大督<sup>1\*</sup>; 浜田 寛之<sup>1</sup>; 早内 愛子<sup>1</sup>  
SASAKURA, Daisuke<sup>1\*</sup>; HAMADA, Hiroyuki<sup>1</sup>; HAYAUCHI, Aiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> スペクトリス株式会社 マルバーン事業部  
<sup>1</sup>Malvern Instruments, A division of Spectris Co., Ltd.

### [Introduction]

To investigate of the mineral resources as particles such as soil in sea, in ground and in fields is interesting in geochemistry. The existing approach to investigate of mineral resources, the manual microscopic observation method and an elemental analysis technics had been used. The major drawback of a manual microscope approach has been used for few number of particles morphology observation. It is not able to described particle shape as significant number. Furthermore an elemental analysis technique such as X-Ray fluorescence and destructive wet chemical analysis can determine the quantity of mineral species present in the ore, however, these chemical analysis methods do not allow the study of the composition of individual particles of different size and shape. The morphologically directed Raman spectroscopic (MDRS) is a novel approach which can resolve this problem. Using this method the Raman spectra of several hundred particles is determined after size and shape classification of each individual particle by automated particle image analysis. Raman spectroscopy can be used to acquire the spectra of any inorganic compounds such as metal oxides and nitrides which are Raman active. Many mineral resources are mined as inorganic compounds. Therefore, Raman spectroscopy can be used for the identification of the chemical composition of mineral ores. Using the a morphologically directed Raman spectroscopic method described herein, it is possible to calculate the particle size distribution and proportion by mass or volume of each chemical component or mineral species based on Raman spectroscopic information. This study will report and discuss the capability MDRS method using a model material.

### [Material and Method]

These samples had been through the ore dressing process. MDRS measurement was carried out using a Morphologi G3SE-ID instrument (Malvern Instruments, UK) equipped with a dry powder sample dispersion unit (SDU) and Raman module. The laser wavelength of Raman excitation was 785nm the laser power was less than 5mW and the irradiation time was 5 sec. The particle image measurements were made in diascopic mode with a total magnification 250x. Iron ore dry powder samples were dispersed using the SDU using a short duration pulse of compressed air. Measurements were made automatically using Standard Operating Procedures (SOPs) which define the software and hardware settings used. Measurement sample was dispersed on to glass plate as sample carrier which was minimized environmental exposure by the enclosed sample chamber unit. Particle identification by Raman analysis used the spectrum correlation coefficient approach.

キーワード: 粒子径, 粒子形状, モルフォロジ, ラマン分光, 資源分析  
Keywords: Particle Size, Particle Shape, Morphology, Raman, Resource analysis

## 石油根源岩に含まれる炭質物のラマン分光分析 Raman spectroscopic analysis of carbonaceous material included in oil source rocks

瀨瀬 佑衣<sup>1\*</sup>; 奥村 文章<sup>2</sup>; 岩野 裕継<sup>2</sup>; 早稲田 周<sup>2</sup>; 鍵 裕之<sup>1</sup>  
KOUKETSU, Yui<sup>1\*</sup>; OKUMURA, Fumiaki<sup>2</sup>; IWANO, Hirotsugu<sup>2</sup>; WASEDA, Amane<sup>2</sup>; KAGI, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> 石油資源開発株式会社 (JAPEX)

<sup>1</sup>Geochemical research center, Graduate School of Science, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Japan Petroleum Exploration Co.,Ltd. (JAPEX)

岩石中に含まれる炭質物は、石油やガスなどを生成する元となる物質であり、化学組成や構造、反射率などを分析することで、資源の量や質が評価されている。石油探査では、炭質物の熟成度を評価する手法の一つとして、ビトリナイト反射率が広く用いられてきた。しかし、ビトリナイト反射率の空間分解能は  $10\mu\text{m}$  程度であり、100点程度測定しないと定量的な評価ができない。そのため、ビトリナイト含有量が低い岩石においては、炭質物の熟成度が評価できないという問題点があった。

本研究では、空間分解能が  $1\mu\text{m}$  程度であるラマン分光法を用いて、石油根源岩に含まれる炭質物の熟成度が評価できるか検討した。先行研究において、炭質物ラマンスペクトルのピーク半値幅から温度を見積もる手法が提案されているが、適用できる温度領域は  $150\text{ }^\circ\text{C}$  から  $400\text{ }^\circ\text{C}$  であり、キャリブレーションに用いた試料に含まれるビトリナイト反射率は1%以上であった (Kouketsu et al., 2014, Island Arc)。本研究では、石油根源岩の評価において原油生成が開始される熟成度域であることから重要とされている反射率1%未満の試料の評価を目的とし、平均反射率が0.25-2.44%の試料に含まれる炭質物のラマン分光分析と反射率測定を行った。

ラマン分光分析では、 $514.5\text{ nm}$  Ar<sup>+</sup> レーザーを用い、試料表面に当たるレーザーパワーは、炭質物の構造にダメージを与えないよう  $0.2\text{ mW}$  に設定した。分析したラマンスペクトルは、波数  $1000\text{-}2000\text{ cm}^{-1}$  の領域で、4つのピーク (D1-, D2-, D3-, D4-bands) に分離した。測定の結果、反射率が1%未満の炭質物のラマンスペクトルは、蛍光が強くなりバックグラウンドが高くなった。0.4%未満の炭質物のラマンスペクトルは、ピークがはっきりと検出されなくなった。ビトリナイト反射率1%以上の領域において、温度と相関があるとされている D1-band と D2-band の半値幅は、反射率1%未満の領域において、ばらつきが大きくなり相関が不明瞭になった。これは、バックグラウンドの影響で、ピークの分離が上手くできていない可能性が考えられる。変成岩や付加体堆積物に適用可能な半値幅を用いた炭質物ラマン地質温度計を、そのまま石油根源岩に適用する事は難しいと言える。一方、ラマンスペクトルのベースラインの傾きは、反射率の増加と共に小さくなり、その相関は指数関数で近似できることが見出された。ラマンスペクトルのベースラインの傾きの原因となる蛍光は、石油・石炭・ガスの主成分である炭化水素 (主に多環芳香族炭化水素) に起因すると考えられるため、低反射率領域において炭質物の熟成度を評価する有用な指標になることが期待される。

キーワード: 石油根源岩, 炭質物, ラマン分光法, ビトリナイト反射率

Keywords: oil source rock, carbonaceous material, Raman spectroscopy, vitrinite reflectance

## 海嶺セグメント構造によって規制される海嶺軸近傍火成活動の多様性と空間変化 Petrological and spacial variations of the near off-axis magmatism controlled by a ridge segment structure

金子 龍<sup>1\*</sup>; 足立 佳子<sup>1</sup>; 宮下 純夫<sup>1</sup>  
KANEKO, Ryu<sup>1\*</sup>; ADACHI, Yoshiko<sup>1</sup>; MIYASHITA, Sumio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 新潟大学  
<sup>1</sup>Niigata University

海嶺セグメント構造はマントルにおける部分熔融プロセスやマグマの供給システムの程度を支配しており (Macdonald et al., 1988)、世界最大級のオマーンオフィオライトはその痕跡を残していると考えられる。オマーンオフィオライト北部地域の Fizeh および Salahi ブロックは二次の海嶺セグメント構造で区切られた一つのセグメントに相当し (Adachi and Miyashita, 2003; Miyashita et al., 2003)、セグメント中心部と末端部に分布する海嶺軸近傍火成活動起源のウェールライト質貫入岩体の岩石学的特徴に違いがあることが明らかになってきた。セグメント中心部に分布するウェールライト質貫入岩体は含水鉱物である褐色角閃石の出現はまれであるのに対し、セグメント末端部に分布するウェールライト質貫入岩体は多量の褐色角閃石や斜方輝石が出現することが報告されている (Adachi and Miyashita, 2003; Kaneko et al., 2014)。さらに、ウェールライト質貫入岩体中のかんらん石 Fo 値 ( $MgO/(MgO + FeO)$ ) および単斜輝石 Mg# ( $MgO/(MgO + FeO)$ ) は海嶺セグメント末端部にいくほど低く、分化した組成を示す傾向にあるが、貫入岩体の規模や貫入深度を三次元的に解析する必要がある。初生的な普通角閃石中の塩素含有量は、海嶺セグメント中心部および末端部に関係なく高い含有量を示している。

海洋地殻における海水起源の流体が浸透していることは Phyton et al. (2007) で報告されているが、本研究では海嶺軸近傍でマグマの組成に大きな影響を与えている可能性を示唆している。ウェールライト質貫入岩体の垂直的な組成変化にも注目し、海嶺軸方向における記載岩石学的特徴および鉱物化学組成の空間変化を示し海嶺セグメント構造に沿った熱水循環の3次元的検討を行う。海洋地殻形成時における海水の侵入深度の解明は、海洋地殻形成メカニズムおよび冷却プロセスの解明にとって重要であり、海嶺セグメント方向に沿った海水の浸入深度の変化を検討することで、海洋地殻形成プロセスの実体解明に迫ることが可能である。

キーワード: 海嶺軸近傍火成活動, 海嶺セグメント構造, ウェールライト質貫入岩体, オマーン・オフィオライト  
Keywords: near off-axis magmatism, ridge segment structure, wehrlitic intrusion, Oman ophiolite

## 新燃岳 2011 年噴火噴出物中の石基ナノライトの鉱物学的性質 Mineralogical characterization of groundmass nanolites in the Shinmoedake 2011 eruption products

無盡 真弓<sup>1\*</sup>; 中村 美千彦<sup>1</sup>; 三宅 亮<sup>2</sup>  
MUJIN, Mayumi<sup>1\*</sup>; NAKAMURA, Michihiko<sup>1</sup>; MIYAKE, Akira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Material Science, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

The groundmass nanolites are submicron scale minerals having a steeper slope of CSD (crystal size distribution) than microlites, originally described for a rhyolitic dome lava (Ben Lomond rhyolite lava dome; Sharp et al., 1996). The nanolites in explosive eruption products were first reported by Mujin and Nakamura (2014) for the pumices and dense juvenile fragments of the Shinmoedake (Kirishima Volcano) eruption in 2011. They found that the mineral assemblage of the nanolites recorded eruption style transition from sub-Plinian pumice, via Vulcanian pumice to lava cap as follows: pyroxene (pyx), pyx + plagioclase (pl), and pyx + pl + Fe-Ti oxides in a descending order of explosivity. In this study, we report their chemical compositions and crystal space groups.

The fine plagioclase microlites in the sub-Plinian pumices have clearly higher An contents (by ca. 5 mol%) than the similarly sized plagioclase (mostly nanolites) in the Vulcanian pumices and lithic fragments. This indicates that the pumices of Sub-Plinian eruption quenched before nanolite nucleation and growth of fine microlite (<3  $\mu\text{m}$  in width). The decrease in An content from the microlites to the nanolites may be explained by considering two factors: 1) crystallization differentiation of the melt, and 2) decompression and possibly cooling during crystallization.

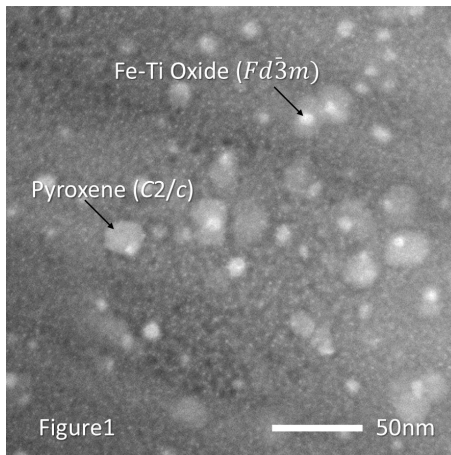
The compositions of pyroxene nanolites and small microlites (1 – 6  $\mu\text{m}$  in width), on the other hand, do not show any systematic difference among the eruption styles, being consistent with the CSD results. They were within the metastable compositional range of pigeonite, sub-calcic augite and augite. In the electron diffraction pattern of TEM, we identified the pyroxenes and Fe-Ti oxide crystals as small of 20 and 10 nm in the dense juvenile fragments, respectively. In the HAADF-STEM images (Fig. 1), the pyroxene and Fe-Ti oxide crystals as small as 3 and 1 nm were discernable. Some Fe-Ti oxide crystals were formed on the pyroxene crystal surfaces, suggesting that some of the crystals nucleated heterogeneously. The crystal systems of pyroxene and Fe-Ti oxide nanolites were determined as  $C2/c$  and  $Fd-3m$ , respectively. This is in contrast to the previously reported pyroxene nanolites in the lava dome sample (Sharp et al., 1996). They were composed of the mixture of orthopyroxene and clinopyroxene, and a complex micro-structure resulting from sub-solidus exsolution from pigeonite ( $P2_1/c$ ) to augite ( $C2/c$ ) and hypersthene. Sharp et al. (1996) interpreted this complexity of pyroxene phases resulted from moderate cooling rate within the obsidian layer. By contrast, we did not confirm the subsistence of the mixed pyroxenes in dense fragments of the Shinmoedake eruption products, because the scale of the observed pyroxene was 1 – 2 orders of magnitude smaller than that of Sharp et al. (1996). The appearance of a metastable phase of pyroxene nanolites and fine nanolites (1 – 20 nm) in the dense fragments seems to be resulted from the nucleation and growth under large super cooling followed by rapid quenching. The large undercooling may have been produced though rapid magma ascent and succeeding dehydration and liquidus increase, in addition to the cooling and oxidation of the magma near the surface.

キーワード: ナノライト, 過冷却, 透過型電子顕微鏡, 輝石, 鉄チタン酸化物, 斜長石  
Keywords: Nanolite, undercooling, TEM, pyroxene, Fe-Tioxide, plagioclase

SCG58-04

会場:203

時間:5月25日 14:15-14:30



## 北上山地の前期白亜紀火成岩類のジルコン U-Pb 年代の特徴 Zircon U-Pb ages of Early Cretaceous igneous rocks in the Kitakami Mountains, Japan

土谷 信高<sup>1\*</sup>; 佐々木 惇<sup>1</sup>; 足立 達朗<sup>2</sup>; 中野 伸彦<sup>2</sup>; 小山内 康人<sup>2</sup>

TSUCHIYA, Nobutaka<sup>1\*</sup>; SASAKI, Jun<sup>1</sup>; ADACHI, Tatsuro<sup>2</sup>; NAKANO, Nobuhiko<sup>2</sup>; OSANAI, Yasuhito<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 岩手大学教育学部, <sup>2</sup> 九州大学比較社会文化研究院

<sup>1</sup>Iwate University, <sup>2</sup>Kyushu University

地球型惑星の中で地球だけに多量の花崗岩質大陸地殻が存在することは、惑星としての地球の大きな特徴であり、花崗岩質大陸地殻の形成機構を明らかにすることは、地球の進化過程の解明に通じる重要な研究課題である。初生的な大陸地殻物質の代表としてアダカイトがあるが、アダカイトの成因やその上昇機構については未解決の問題も多く、それらの成因を明らかにすることは岩石学的に重要な意義を持つ (Moyen and Martin, 2012)。北上山地の前期白亜紀火成岩類は、様々なアダカイト質岩の産出で特徴づけられ、アダカイト研究に重要な位置を占める。多様なアダカイト質岩の成因を明らかにするためには、それらの年代学的検討からその時空変遷を明らかにすることは極めて重要である。本報告では、北上山地の前期白亜紀火成岩類のジルコン U-Pb 年代と岩石化学における情報を総括し、それらの特徴を説明可能なテクトニクスについて議論する。

土谷ほか (2015) は、アダカイト質花崗岩類とそれ以外の火成岩類の 13 岩体 22 試料について、ジルコン U-Pb 年代を新たに報告した。その結果、アダカイト質花崗岩体東列のもの (127~118 Ma) よりも西列のもの (119~113 Ma) の方が若いことが明らかとなった。また東列のアダカイト質花崗岩についてみると、階上岩体 (126~125 Ma) から高瀬岩体 (118~117 Ma) まで、北から南に年代が若くなる傾向が認められた。アダカイト質花崗岩類以外の深成岩類と岩脈類では、大浦、一戸、姫神、気仙川のカルクアルカリ~シヨシヨナイト質の花崗岩類および斑れい岩類、さらには岩脈類の高 Sr 安山岩のいずれもが、128~124 Ma の狭い範囲に収まることが明らかとなった。岩脈類のうちの高 Mg 安山岩の年代は明らかではないが、深成岩類による接触変成作用の影響が普遍的に認められることから、高 Mg 安山岩の活動もこの頃には始まっていた可能性が高い。以上のことから、北上山地の 128~124 Ma の火成活動では、広い範囲に様々な化学組成のマグマが同時に活動したことになる。

アダカイト質花崗岩体東列の花崗岩類は、沈み込んだスラブの脱水分解溶解で形成されたメルトが固結した典型的なアダカイトであると考えられ、多量のアダカイト質マグマが上昇して固結するアダカイトフロントを構成すると考えられる (土谷ほか, 2015)。石狩-北上磁気異常帯 (Finn, 1994) の分布がアダカイト質花崗岩体東列の分布と非常に良く一致することから、アダカイトフロントは磁鉄鉱を含むアダカイト質花崗岩による地磁気正異常帯をなしていることが分かる。アダカイトフロントのさらに海溝寄りには、前期白亜紀の火山碎屑岩を主体とする原地山層が分布する。原田ほか (2013) による小本層の砂岩の碎屑性ジルコン年代分布から推定された原地山層の年代は 132 Ma であり、これは北上山地の前期白亜紀火成活動のうちで最も古いものである。原地山層の火山岩類は、同じ地域に分布するカルクアルカリ質花崗岩類と共にアダカイト質花崗岩体東列のものとして一体となり、石狩-北上磁気異常帯 (Finn, 1994) の起源となっていると考えられる。以上のことから、原地山層の火山岩類は、石狩-北上磁気異常帯の規模 (南北 500~600 km) に相当する前弧域の大規模な火成活動帯と考えられる。

前弧域での大規模な火成活動の存在や高 Mg 安山岩類の存在は重要な特徴であり、沈み込み帯が異常に高温であったことの証拠になると考えられる。またアダカイト質花崗岩類の成因に関しては、より古い東列のマグマは脱水分解溶解で形成され、またより若い西列のマグマは含水溶解で形成されたものと考えられる (土谷ほか, 2015)。すなわちアダカイト質花崗岩の活動は、高温の東列から低温の西列に移っていったことになる。以上のことから、北上山地の前期白亜紀火成岩類のマグマ発生場は、異常に高温な状態で始まり、その後次第に冷却して 113 Ma 頃に終了したと考えることができる。西列の花崗岩類の年代 (119~113 Ma) は、より背弧側の阿武隈帯の花崗岩類の年代 (118~100 Ma; Kon and Takagi, 2012; 高橋ほか, 2014) の古いものとほぼ一致している。したがって、この時期の火成活動の主体は、より背弧側の阿武隈帯に移っていたと考えられる。阿武隈帯の花崗岩類にはアダカイト質岩は非常に少ないことから、アダカイト質岩およびその関連岩の活動は北上山地にほぼ限定され、またその活動は時代と共に弱まったことになる。

以上の年代学および岩石学的特徴を説明可能なテクトニクスとしては、海嶺沈み込みモデルおよびスラブのロールバックあるいは断裂モデルの 2 通りの解釈が可能である。どちらのモデルが正しいかを決めるためには、火成活動の時空変遷をさらに高い精度で明らかにする必要がある。

キーワード: アダカイト, ジルコン年代学, 北上山地, 岩石化学, 白亜紀

Keywords: adakite, zircon geochronology, Kitakami, petrochemistry, Cretaceous

## 南部北上山地, 氷上山花崗岩体の岩相 Rock facies of The Hikami granitic body in south Kitakami Mountains, Japan

佐々木 惇<sup>1\*</sup>; 土谷 信高<sup>1</sup>SASAKI, Jun<sup>1\*</sup>; TSUCHIYA, Nobutaka<sup>1</sup><sup>1</sup> 岩手大教育<sup>1</sup>Iwate University

南部北上山地の氷上山花崗岩類は、岩手県大船渡市南西部から陸前高田市東部にまたがり氷上山を中心として分布する氷上山花崗岩体(村田ほか, 1974)と、それに対比されているいくつかの小岩体を構成する花崗岩類に与えられた総称である(北上古成層研究グループ, 1982)。小岩体の多くは先シルル系を伴う。層序的位置づけに関しては様々な議論があったが地質学的証拠は先シルル紀基盤であるとする考えのみが確かである。年代学的には佐々木ほか(2013, 2014)によって小林・高木(2000)を参考に岩相わけを行い LA-ICP-MS によるジルコン U-Pb 年代測定を行った結果、450Ma に測定結果が集中しているため氷上山花崗岩類の固結年代は 450Ma 前後であると結論された。

氷上山花崗岩体の岩相区分に関しては Ishii et al. (1960), 許(1976), 浅川ほか(1999), 小林・高木(2000)がある。Ishii et al. (1960) は氷上山花崗岩体を東部, 北部に分布する大野型と氷上山型に区分した。後者は片麻状構造を有することから深所に貫入したと考え、前者は後者を貫き浅所に貫入したと考えた。浅川ほか(1999), 小林・高木(2000)も氷上山型に大野型が貫入し浅所に貫入したという点で同じである。一方、許(1976)は流理構造が微弱なものを A 岩体、顕著なものを B 岩体とした。A 岩体と B 岩体はそれぞれ Ishii et al. (1960) の大野型と氷上山型に対応するが B 岩体が A 岩体を貫くと結論付けている。

本研究では自分の採取試料と小林・高木(2000), 浅川ほか(1999)を参考に氷上山花崗岩体を 9 岩相に細分化した。普通角閃石を含む岩相のうち岩体北東部の系列を A-1), 中央部の系列を A-2), 南西部の系列を A-3), 南部の系列を A-4) とし, Ishii et al. (1960) の大野型にあたる岩体北部, 東部の系列を B), 北部から中央部にかけて広く分布する系列を C), 氷上山南東, 大野西方に分布する系列を D), 東側の壺の沢変成岩に隣接する系列 E), 西側の壺の沢変成岩に隣接する系列を F) とした。これらの岩相の関係性を露頭観察, 薄片観察, 全岩化学組成や鉱物の組成データをもとに検討した。

これらの岩相の露頭観察からは角閃石を含む岩相では A-3 以外から暗色包有岩を含んでいることが観察された。A-1, A-2 の暗色包有岩は薄く楕円形を示し A-4 に関しては暗色包有岩の周りが優白質であることが確認できる。A-2 のものは火炎状組成を示す。このことから A-2 は暗色包有岩が固化時に液体であったことを示し両マグマはほぼ同時期に固化したのと考えられる。また普通角閃石を含まない岩層でも暗色包有岩と接している氷上山花崗岩が観察できた。この暗色包有岩を地球化学的判別図によって検討したところ Mullen(1983) の図では島弧型のソレライト, カルク-アリカリ岩の組成であることが判断された。Pearce and Cann (1973) の図ではカルクアルカリ玄武岩にプロットされる。Meschede (1986) の図では島弧型, N-MORB 型, プレート内ソレライトの範囲にプロットされた。

化学組成に関しては 9 岩相のうち SiO<sub>2</sub> の最も低いものは A-3 (62-63wt%), 次いで A-2 (64-66wt%), A-1 (64-67wt%), A-4 (68-71wt%), D (69-71wt%), C (69-72wt%), B (70-73wt%) となる。変成岩に接する E (69-72wt%), F (68-75wt%) はその他の岩相に比べて広範囲にプロットされる。主成分元素では Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O ではばらつく傾向がみられるが他の元素では SiO<sub>2</sub> の増加に伴い減少する一連の過程がみられる。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は一度 A-2 まで増加した後に減少する傾向がみられる。微量元素では Zr, Sr, Ga では SiO<sub>2</sub> の増加に伴い一度増加した後に減少する様子がみられる。Nb は SiO<sub>2</sub> 量の高い岩層ほど含有量に差がある傾向がみられる。REE パターンは全体的に HREE が枯渇して右下がりの傾向を示す。しかし岩相 F のみ HREE が他の岩相よりも低い傾向を示す。このことは微量元素の Y においても同様であり他の岩相と比べて低い値を示す。同じ年代, 一連の化学組成を示すことから氷上山花崗岩は一連のマグマと考えられる。よって氷上山花崗岩体の結晶作用の検討を行った。主成分元素を用いて「親マグマ=娘マグマ+分別結晶」のマスマバランスを最小二乗法で求めて結晶分化過程における分別鉱物の割合を求めた。そしてマスマバランス計算で求めた分別鉱物の割合を用いて分化過程における微量元素の変化をレイリー分別モデルで検討した。SiO<sub>2</sub> の低い角閃石を含む A-4 から SiO<sub>2</sub> の高い B のモデルを作ることはできたが A-4 よりも低い A-1,2,3 についてはモデルができていないため今後検討する必要がある。

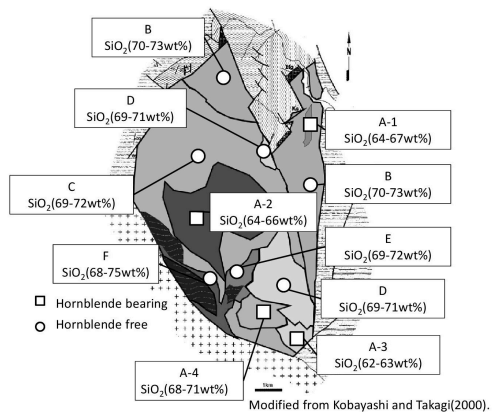
キーワード: 氷上山花崗岩帯, 岩石化学, 南部北上山地, 先シルル紀

Keywords: Hikami Granitic Rocks, Petrochemistry, south Kitakami Mountains, Pre-Silurian

SCG58-06

会場:203

時間:5月25日 14:45-15:00





苦鉄質グラニュライト中の結晶化したメルト包有物とシュードセクション法による  
部分溶融過程の推定  
Crystalized melt inclusions in mafic granulite: investigation of partial melting process  
based on pseudosection

齋藤 ヨウスケ<sup>1\*</sup>; 角替 敏昭<sup>1</sup>  
SAITOH, Yohsuke<sup>1\*</sup>; TSUNOGAE, Toshiaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 齋藤陽介  
<sup>1</sup> Yohsuke Saitoh

We report here new petrological date of crystalized melt inclusions (CMIs) and phase equilibrium modeling of partially melted mafic granulite to evaluate the influence of partial melting to the phase relation from the Neoproterozoic - Cambrian Lutzow-Holm Complex (LHC), East Antarctica (Shiraishi et al., 1992). Previous petrological studies of the LHC suggest an increase in the metamorphic grade from northeast (amphibolite facies) to southwest (granulite facies) (Hiroi et al., 1991). CMIs are often reported from the pelitic and felsic granulites (e.g. Cesare et al., 2009). However they are relatively rare in mafic to ultramafic granulites. We thus attempt to investigate textures of the CMIs in the mafic to ultramafic granulites to discuss the partial melting process.

The examined mafic and ultramafic granulites occur as boudin or small blocks of several meters within psammitic and hornblende-biotite gneisses of the granulite-facies zone. Based on detailed microscopic observations, we found CMIs bearing mafic and ultramafic granulites from four different exposures within the LHC. The representative samples of mafic to ultramafic granulite are composed mainly of coarse-grained garnet, hornblende, orthopyroxene, clinopyroxene, plagioclase, and ilmenite. The garnet often contains CMIs. The CMIs consist of fine-grained quartz, orthopyroxene, biotite, K-feldspar, plagioclase, and ilmenite which size varies from 1 to 50 $\mu$ m. The size of CMI grains is up to 100 $\mu$ m, and they show negative crystal shapes of the host garnet. We subsequently calculated chemistry of the CMIs based on modal abundance and chemistry of the minerals for each CMI. The results are nearly equivalent to the compositions of andesitic to dacitic melt.

Occurrence of hornblende and biotite within garnet in the rock suggests dehydration melting of the hydrous minerals and formation of andesitic to dacitic melt during prograde stage. Phase equilibrium modeling in NCKFMASHTO system demonstrated that some mafic to ultramafic granulites experienced considerable amounts of melt loss (up to 6.5-7 wt. %) defined by the stability field of clinopyroxene and modal isopleth of clinopyroxene. Stability field of quartz expands toward lower pressure side with increase of melt amount in the phase diagram. Based on phase equilibrium modeling of melt-bulk interaction, the stability field of quartz and clinopyroxene is critical to estimate the P-T condition and amounts of melt extraction during partial melting. We estimated peak P-T condition of 900 °C and 10-11 kbar and clockwise P-T path for the rock based on the integrated bulk composition. Modal isopleth of the mineral also demonstrated that partial melting progressed through the following reactions.  $Hbl + Bt \rightarrow Liq + Cpx + Grt$ .  $Hbl + Pl \rightarrow Liq + Cpx + Grt$ . This study demonstrated that partial melting took place under plagioclase free field and plagioclase stable field.

The peak condition is comparable with previous estimations of 800-950 °C and 7-12 kbar (Yoshimura et al., 2004). Our results suggest that partial melting and melt loss are common processes even in mafic to ultramafic granulites from the LHC, and CMIs could preserve the composition of melt which has already been extracted from the system. Phase equilibrium modeling suggests that melt loss during prograde stage have critical influence on the mineral assemblage and stability field of the mineral of the examined samples.

#### References

- Cesare, B., Ferreol, S., Salvioli, M.E., Pedron, D., Cacallo, A., 2009. *Geology* 37, 627-630.  
Hiroi, Y., Shiraishi, K., Motoyoshi, Y., 1991. *Geological Evolution of Antarctica*, Cambridge University Press, Cambridge, 83-87.  
Shiraishi, K., Hiroi, Y., Ellis, D.J., Fanning, C.M., Motoyoshi, Y., Nakai, Y., 1992. *Recent Progress in Antarctic Earth Science*. Terra, Tokyo, 67-73.  
Yoshimura, Y., Motoyoshi, Y., Miyamoto, T., Grew, S. Edward., Carson, J. Christopher., Dunkley, J. Daniel., 2004. *Polar Geoscience* 17, 57-87.

SCG58-07

会場:203

時間:5月25日 15:00-15:15

キーワード: 結晶化したメルト包有物, 苦鉄質グラニュライト, Lutzow-Holm 岩体, 相平衡モデリング  
Keywords: crystalized melt inclusions, mafic granulite, Lutzow-Holm Complex, phase equilibrium modeling

マントルかんらん岩との反応による珪長質メルトの組成改変プロセス：北海道曲り  
沢かんらん岩体に見られる珪長質脈からの示唆  
Chemical Modification of Felsic Melt by Reaction with Peridotite: Implications from the  
Magarisawa Peridotite, Hokkaido

山下 康平<sup>1\*</sup>; 前田 仁一郎<sup>2</sup>; 芳川 雅子<sup>3</sup>; 柴田 知之<sup>3</sup>; Yi Keewook<sup>4</sup>  
YAMASHITA, Kohei<sup>1\*</sup>; MAEDA, Jinichiro<sup>2</sup>; YOSHIKAWA, Masako<sup>3</sup>; SHIBATA, Tomoyuki<sup>3</sup>; YI, Keewook<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻, <sup>2</sup> 北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門, <sup>3</sup> 京都大学大学院理学研究科  
附属地球熱学研究施設, <sup>4</sup> Geochronology Team, Korea Basic Science Institute

<sup>1</sup> Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, <sup>2</sup> Department of Natural History  
Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University, <sup>3</sup> Beppu Geothermal Research Laboratory, Kyoto University, <sup>4</sup> Geochronology  
Team, Korea Basic Science Institute

It has been well-documented that subduction zone magmatism is induced by partial melting of the hydrated wedge mantle (e.g., Sakuyama, 1982) and/or of subducting slab (e.g., Wyllie and Sekine, 1982). In the latter case, felsic partial melts would have to undergo interaction with peridotites during upward migration through the overriding wedge mantle (e.g., Kay, 1978). However, the detail of felsic melt/peridotite interaction processes has not been fully described due to very rare natural occurrence suitable for petrological examinations (e.g., Shimizu et al., 2004).

We found felsic veins of various size (microscopic order to ca. 50 – 60 cm in width) and with a wide compositional range in the Magarisawa Peridotite (MP), northern Hidaka Mountains, Hokkaido. The MP, one of the mantle peridotite masses situated along the base of the Hidaka Magmatic Belt (Maeda et al., 1986), is mainly composed of Pl lherzolite, and surrounded by pelitic granulites and their anatectic equivalents. Here we present zircon SHRIMP U-Pb age, major element compositions, and <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr and <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd isotopic ratios of felsic veins, in order to discuss the chemical modification process of the felsic melts by interaction with mantle peridotite observed in the MP.

On the basis of lithology and whole-rock compositions of the felsic veins, we subdivided them into three facies: (1) Granitic Vein (GV; Qz + Kfs + Pl + Phl + Opx ± Cpx ± Zr ± Ap ± Rtl ± Sph), characterized by higher-SiO<sub>2</sub> (64.0 – 74.5 wt%) and -K<sub>2</sub>O (2.1 – 5.8 wt%), and lower-MgO (0.4 – 2.1 wt%) contents, (2) Pl-veinlet (PV; Plagioclase ± Opx ± Kfs ± Phl ± Zr ± Ap), which is a thin veinlet branched from the GV, (3) Noritic Vein (NV; Pl + Opx ± Phl ± Zr ± Ap ± Fe-Ni sulfide ± Ox), characterized by lower-SiO<sub>2</sub> (55.0 – 60.0 wt%) and -K<sub>2</sub>O (<0.8 wt%), and higher-MgO (2.3 – 6.5 wt%) contents. Although continuous transition between the GV and the NV has not been observed in the field until now, whole-rock composition of the both veins represent a single trend on the Harker diagram. The PV is intermediate on the trend between the GV and the NV.

Orthopyroxenite (0.5 – 1.5 mm in thickness) composed of mosaic-shaped secondary Opx with subordinate amounts of Phl is always observed along the vein/peridotite boundary, clearly suggesting that the veins were formed from SiO<sub>2</sub>-oversaturated melts and reacted with Ol in peridotites (e.g., Sen and Dunn, 1994). Furthermore, the microscopic/microprobe analyses indicate that secondary Opx is also formed by reaction between the felsic melts and primary Opx, Cpx, and Spl in the host lherzolite.

Zircon U-Pb age of the Noritic Vein is 19.5 ± 0.25 Ma, which corresponds to one of the main phases of the Hidaka magmatism and metamorphism (e.g., Maeda et al., 2010).

<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr initial ratios of GV, PV and NV are 0.70531 – 0.70550, 0.70541 – 0.70551 and 0.70560 – 0.70566, respectively, and <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd initial ratios of them are 0.51258 – 0.51260, 0.51260 – 0.51261, 0.51245 – 0.51260, respectively. Isotopic compositions of all felsic veins are apparently similar to those of the pelitic granulite/anatexite surrounding the MP (Maeda and Kagami, 1996).

Because formation of Opx from Ol consumes SiO<sub>2</sub> in the melts, the successive melt should become less-silicic, indicating the continuous modification of the melt composition from the GV through the PV to the NV. We have performed simple mass balance calculations to derive the NV from GV for major element composition. The results show that the composition of the NV can be modeled by addition of Ol, Cpx and Spl (in the host peridotite) to and subtraction of Opx and Phl (in the orthopyroxenite) from the GV.

In summary, we propose that the felsic veins within the MP record a significant chemical modification of SiO<sub>2</sub>-oversaturated felsic melt during the interaction with mantle peridotite.

## 東赤石超マフィック岩体のクロミタイトの特徴：超高压クロミタイトの起源についての暗示

### Characteristics of chromitites from the Higashi-akaishi ultramafic complex: Implications for origin of UHP chromitite

三浦 真<sup>1\*</sup>; 荒井 章司<sup>1</sup>; 水上 知行<sup>1</sup>; 山本 伸次<sup>2</sup>; ブラディミール シュメレフ<sup>3</sup>  
MIURA, Makoto<sup>1\*</sup>; ARAI, Shoji<sup>1</sup>; MIZUKAMI, Tomoyuki<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Shinji<sup>2</sup>; VLADIMIR, Shmelev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学大学院 自然科学研究科, <sup>2</sup> 東京大学大学院 総合文化研究科, <sup>3</sup> ウラル ロシア科学アカデミー 地質・地球化学研究科

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Kanazawa University, <sup>2</sup>Department of Earth Science and Astronomy, University of Tokyo,

<sup>3</sup>Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch Russian Academy of Sciences

Ultrahigh-pressure (=UHP) chromitites, which contain UHP minerals such as diamond and coesite, have been observed from ophiolites in Tibet and the Polar Urals. However, their nature, i.e. origin, frequency of appearance and P-T path, are still controversial because of insufficiency of detailed petrographic studies. Systematic observation and classification of various chromitites and enclosing peridotites from some localities are required.

Chromitites in the Higashi-akaishi ultramafic complex in the Cretaceous Sanbagawa metamorphic belt, Japan, is one of keys to interpret the origin of UHP chromitite. The Higashi-akaishi ultramafic complex is characterized by the presence of garnet in some peridotites and pyroxenites, and interpreted as a high-P metamorphic (up to 3.8 GPa) complex originally formed at a lower-P subduction zone mantle. The chromitites in the Higashi-akaishi ultramafic complex had also experienced the high-P metamorphism. They will provide us with information on the behavior of low-P chromitite upon compression via subduction.

Spinels in the Higashi-akaishi chromitite contain various inclusions, i.e. numerous needle- and blade-like diopside lamellae, and are free of primary inclusions of hydrous minerals, such as pargasite and Na phlogopite. Solid-phase secondary inclusions are mostly composed of chlorite and serpentine. Chromian spinels in the Higashi-akaishi chromitite show high Cr#s (0.8 to 0.85) and low Ti contents (<0.1 wt%), suggesting an arc-related feature. Spinels in the Higashi-akaishi chromitite and surrounding peridotite were sometimes fractured by deformation.

The Higashi-akaishi chromitite is similar in features of inclusions in spinel and spinel chemistry to the UHP chromitites from Tibet and the Polar Urals. This similarity suggests that some of the characteristics of the UHP chromitite can be formed by compression of low-P chromitite, e.g., recycling via a subduction zone. In addition, such diopside lamellae in spinel of the Higashi-akaishi chromitite are typically found from some low-P chromitites from the Oman ophiolite and the Iwanai-dake ultramafic complex, Japan. Their occurrence suggests that the UHP Ca-ferrite (or Ca-titanite) type spinel precursor is not a prerequisite for exsolution of silicate lamellae.

キーワード: ポディフォーム・クロミタイト, 東赤石超マフィック岩体, スピネル, 離溶ラメラ, 超高压クロミタイト

Keywords: Podiform chromitite, The Higashi-akaishi ultramafic complex, Spinel, Exsolution lamella, Ultrahigh-pressure chromitite

## 珪線石の Al/Si 無秩序化と高温相変化 Phase transition of sillimanite with Al/Si-disordering at high temperature

伊神 洋平<sup>1\*</sup>; 小木曾 哲<sup>2</sup>; 大井 修吾<sup>1</sup>; 三宅 亮<sup>1</sup>  
IGAMI, Yohei<sup>1\*</sup>; KOGISO, Tetsu<sup>2</sup>; OHI, Shugo<sup>1</sup>; MIYAKE, Akira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京大・理, <sup>2</sup> 京大・人環

<sup>1</sup>Kyoto Univ., Sci., <sup>2</sup>Kyoto Univ., HES.

Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 多形 (藍晶石・紅柱石・珪線石) は、温度・圧力の指標となるため地球科学的に重要な鉱物である。特に珪線石は、様々な熱履歴情報を残し得る鉱物であることが示唆されてきている。例えば、珪線石は高温で Al/SiO<sub>4</sub> 四面体サイトの Al/Si が無秩序化することに伴い、反位相境界 (APB) に似た組織の形成や、SiO<sub>2</sub> に富むメルトを吐き出して Al に富むことなどが実験によって示されている (Holland & Carpenter, 1986)。Miyake et al. (2008) では Napier の天然珪線石中に APB とムライト (Al<sub>2</sub>[Al<sub>2+2x</sub>Si<sub>2-2x</sub>]O<sub>10-2x</sub>) の微細な析出物が見られることを報告し、これらは高温を経験した証拠であるとしている。また、Greenwood(1972) などが、Al/Si が完全に無秩序化することで珪線石から対称性が変化した「高温型珪線石」の存在を示唆したり、最近では Fischer et al. (2014) が珪線石ともムライトとも珪線石高温相とも異なる対称性を持つ新たな天然鉱物の発見を報告している。これらの相の存在は、温度圧力条件のさらなる制限に効果を発揮しうるが、安定領域など不明点が多い。また、珪線石との見分けが非常に困難で、他の研究では見過ごされたり、珪線石もしくはムライトとして扱われている可能性が高い。このように、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> 系における珪線石の高温高压の相関係は整理されておらず、曖昧な点が多い。そこで本研究では、様々な条件での珪線石加熱実験および高分解能での放射光粉末 X 線回折実験と TEM による直接観察を行い、特に珪線石の高温相に着目して詳細な相関係の検討を行った。

出発物質には南極 Rundvagshetta 産珪線石結晶 (Al<sub>2.00</sub>Si<sub>0.99</sub>Fe<sub>0.01</sub>O<sub>5</sub>) を粉末にして用い、箱型電気炉およびピストンシリンドラーにて、1atm-2GPa, 1000-1500 °C で 1-1751h 保持・急冷した 46 試料を作成した。X 線回折実験は、放射光施設 PF・BL-4B<sub>2</sub> の高分解能多連装粉末回折計を用いて室温にて行った。TEM は JEOL JEM-2100F を用い、各粉末粒子の観察を行った。特に、Al/Si が無秩序化することで消滅する *l*=奇数反射に着目して観察を行い、また同時に EDS 分析も行った。

XRD の結果、多くの試料からムライトの出現が検出された。それに加えて、1GPa, 1300-1400 °C で加熱した 4 試料では、珪線石ともムライトとも異なる第 3 のピークが検出された。この相は珪線石やムライトと非常に似た結晶構造であり、格子定数は両者の間の値をもつことが分かった。さらに、粉末試料中の各粒子を TEM 観察した結果、珪線石ともムライトとも異なる第 3 の相 (以後、「中間相」) の粒子の電子回折像からは *l*=奇数反射が消滅していることが明らかになった。*l*=奇数反射は、Al/Si 無秩序化に伴い消滅する反射である。また組成分析の結果、「中間相」の組成はムライトほどではないが、珪線石より若干 Al に富んでいた。以上より、「中間相」は Al/Si が無秩序化しているが、ムライトのような SiO<sub>2</sub> の吐き出しはほとんど不要な構造をとり、約 1GPa 下の高温で安定領域を持つ可能性が高いことが分かった。ただし、1400 °C 程度の温度で、アルミニウム排除則を無視した Al:Si=1:1 の完全無秩序化が起こっているとは考えにくい。Greenwood(1972) などが古くから示唆してきた珪線石高温相のような構造ではなく、またムライトとも異なる方法で Al-O-Al 結合の不安定を解消していることが予想される。Fischer et al. (2014) で報告された鉱物と同一相である可能性も考えられる。また、Miyake et al. (2008) で見られた Napier の珪線石中の APB とムライト析出物を持つ珪線石は、高温でわずかにムライトを析出した「中間相」(Al/Si は無秩序配列) が冷却されて珪線石 (Al/Si は秩序配列) となったものではないかと考えられる。

引用:

- [1]Holland & Carpenter (1986) Nature, 320, 151-153
- [2]Miyake et al. (2008) JAMS Annual Meeting Abstract
- [3]Greenwood (1972) THE Geological Society of America, 132, 553-571
- [4]Fischer et al. (2014) IMA General Meeting Abstract, 21, 335

キーワード: 珪線石, ムライト, Al/Si 無秩序化, 放射光 X 線実験

Keywords: sillimanite, mullite, Al/Si-disordering, synchrotron X-ray experiment

## プロトエンスタタイトークライノエンスタタイト相転移間の粒径の影響 Size effect on the phase transition between protoenstatite and clinoenstatite

尾谷 辰弥<sup>1\*</sup>; 大井 修吾<sup>1</sup>; 伊神 洋平<sup>1</sup>; 三宅 亮<sup>1</sup>  
OSAKO, Tatsuya<sup>1\*</sup>; OHI, Shugo<sup>1</sup>; IGAMI, Yohei<sup>1</sup>; MIYAKE, Akira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学 理  
<sup>1</sup> Kyoto Univ. Sci.

### 【はじめに】

エンスタタイト ( $\text{MgSiO}_3$ ) 多形の一つであるプロトエンスタタイト (PEN, 空間群: $Pbcn$ ) は常圧下において約 1000~1557 °C で安定領域を持ち、一般的には急冷不可な相であると考えられている。実際、現在までのところ天然試料中に PEN が存在することを報告した例は無い。しかし、Foster(1951)、Lee and Heuer(1987) などは、実験により得られた試料から室温での PEN の存在を報告しており、天然試料の観察結果とは齟齬がある。

Smyth(1974) はエンスタタイト多形間の相転移に関する詳細な高温単結晶 X 線回折実験を行ない、PEN の冷却が速い場合はクライノエンスタタイト (CEN,  $P2_1/c$ ) に、冷却がゆっくりな場合はオルソエンスタタイト (OEN,  $Pbca$ ) に相転移することを示し、急速に進行する PEN と CEN 間の相転移はマルテンサイトの的であると結論づけた。一般的にマルテンサイト変態は原子の拡散を伴わず格子のせん断変形によって起こり、マルテンサイト相への相転移が始まる温度 ( $M_s$  温度) が粒径依存性を示す、すなわち粒径が小さいほど  $M_s$  温度が下がることなどが知られている。

PEN と CEN 間の相転移がマルテンサイトの的であれば、その転移が粒径による影響を受けると推論される。そこで本研究では、PEN が室温で残留可能となる具体的な条件を明らかにすることを目的とし、粒径に着目して PEN の冷却実験を行った。

### 【実験】

各実験の出発物質は小嶋 (1982) に従いフラックス法により合成した OEN を用いた。この OEN を粉砕し、ナイロンメッシュ等で各粒径 ( $3\mu\text{m}$ ,  $\sim 10\mu\text{m}$ ,  $35\sim 51\mu\text{m}$ ,  $32\sim 63\mu\text{m}$ ,  $51\sim 73\mu\text{m}$ ,  $73\sim 96\mu\text{m}$ ,  $63\sim 125\mu\text{m}$ ,  $96\sim 105\mu\text{m}$ ) に分別したものをそれぞれ白金管に詰め、箱型電気炉で 1200 °C で 20 時間保持して OEN を PEN に相転移させた後、5 °C/min. の速さで冷却した。回収した各試料はキャピラリーを用いた X 線回折実験 (XRD: RIGAKU, SmartLab) により相を同定した。また、放射光施設 PF のビームライン BL-4B2 に設置されている高温 X 線回折実験装置を用い、粒径  $73\sim 96\mu\text{m}$ 、 $\sim 3\mu\text{m}$  の 2 試料について PEN を 1200 °C から徐々に降温させてゆき、PEN から CEN への相転移が開始する温度を観測した。

### 【結果・考察】

粒径  $73\sim 96\mu\text{m}$  以上の試料では CEN のピークのみしか現れなかったが、粒径  $51\sim 73\mu\text{m}$  以下のものでは、PEN と CEN のピークが両方現れ、粒径が小さくなるほど室温での残留 PEN 量が増加する傾向があった。さらに、粒径  $73\sim 96\mu\text{m}$  では 700 °C 程度まで降温すると PEN から CEN への相転移が開始されたが、粒径  $3\mu\text{m}$  の場合は 600 °C 程度に降温するまで相転移が開始されなかった。以上の結果から、PEN と CEN 間の相転移は明らかに粒径に影響を受けていると考えられ、粒径が数  $10\mu\text{m}$  程度の大きさ以下であれば、室温下でも PEN が残留可能となることが分かった。また、この結果は PEN と CEN 間の相転移がマルテンサイト型であることを支持するものでもある。

[1]Foster(1951), *J. Am. Ceram. Soc.* 34 [9], 255-259.

[2]Lee and Heuer(1987), *J. Am. Ceram. Soc.* 70 [5], 349-360.

[3] 小嶋 (1982), 岩石鉱物鉱床学会誌 特別号 3, 97-103.

キーワード: エンスタタイト, 相転移, 粒径効果  
Keywords: enstatite, phase transition, size effect

## 南蔵王不忘山産玄武岩質安山岩に含まれる灰長石巨晶とその包有物の鉱物化学的研究 Mineral chemistry of anorthite megacryst and its inclusions from Mt. Fubo, Minami Zao

越後 拓也<sup>1\*</sup>; 西間木 志野<sup>2</sup>; 谷口 直暉<sup>1</sup>; 木股 三善<sup>3</sup>; 清水 雅浩<sup>3</sup>; 齋藤 静夫<sup>4</sup>; 西田 憲正<sup>5</sup>  
ECHIGO, Takuya<sup>1\*</sup>; NISHIMAKI, Shino<sup>2</sup>; TANIGUCHI, Naoki<sup>1</sup>; KIMATA, Mitsuyoshi<sup>3</sup>; SHIMIZU, Masahiro<sup>3</sup>;  
SAITO, Shizuo<sup>4</sup>; NISHIDA, Norimasa<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 滋賀大学教育学部, <sup>2</sup> 筑波大院・理工学研究科, <sup>3</sup> 筑波大院・地球進化科学専攻, <sup>4</sup> 筑波大院・物質工学系, <sup>5</sup> 筑波大・研究基盤センター

<sup>1</sup> Faculty of Education, Shiga University, <sup>2</sup> Master's Program in Science and Engineering, University of Tsukuba, <sup>3</sup> Doctoral Program in Earth Evolution Sciences, University of Tsukuba, <sup>4</sup> Institute of Materials Science, University of Tsukuba, <sup>5</sup> Research Facility Center for Science and Technology, University of Tsukuba

An 成分 ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  端成分) に富む Ca-rich 斜長石 (An >90 %) で、粒径が 1cm 以上の粗粒な斜長石斑晶は「灰長石巨晶」と呼ばれ、日本列島の玄武岩～安山岩に多数産出する特徴的な鉱物である (e.g., Ishikawa 1951, Kimata et al. 1995, Matsui 2007)。日本列島に産する灰長石巨晶には、融食形のカンラン石が包有物として含まれることが多いが、それ以外の特徴的な包有物として、三宅島産灰長石巨晶には自然銅 (Cu) (Murakami et al. 1991)、八丈島産灰長石巨晶には自然亜鉛 (Zn) および自然真鍮 (Zn-Cu 合金) などが包有されている (Nishida et al. 1993)。さらに、炭化水素が灰長石巨晶内部から検出されたことから、灰長石巨晶の生成に対するスラブ物質の寄与が示唆されている (Kimata et al. 1993, 西田・木股 1997)。このように、日本列島産灰長石巨晶には多様な包有物が発見されているため、これらを詳細に検討することで、灰長石巨晶の成因や生成機構に関する新たな知見が期待される。

宮城県西部に位置し、那須火山帯北帯に属する南蔵王火山は第四紀に活動した安山岩～玄武岩が広く分布する (高岡ら 1989)。これらの苦鉄質火山岩の中でも、不忘山に産する溶岩類には灰長石巨晶が産出しているが (酒寄 1985)、その化学組成や包有物は不明である。今回、不忘山産玄武岩質安山岩に含まれる灰長石巨晶から波動累帯構造および硫化物包有物を発見したので、波長分散型電子線プローブマイクロアナライザー (EMPA-WDS: JEOL JXA-8230) もしくは、エネルギー分散型走査電子顕微鏡 (SEM-EDS: 同上) を用いた化学分析結果を報告する。

不忘山産玄武岩質安山岩に含まれる粒径 1cm 以上の斜長石斑晶の化学組成は An 成分が 92~94% の灰長石に相当するのに対し、粒径が 100~200  $\mu\text{m}$  の長柱状斜長石斑晶は An 成分が 56~60% のラブラドライトに相当し、明確に区別できる。灰長石巨晶の化学組成は中心部から縁辺部に至るまで均質性が高いが、最周辺部 (幅約 100~200  $\mu\text{m}$  の領域) では、細かい波動累帯構造がみられ、灰長石巨晶の成長末期では、周囲のマグマ組成が周期的に変化したことを示唆している。この累帯構造について、BSE 像における明部と暗部の化学組成を定量分析したところ、前者の An 成分は 83~86%、後者の An 成分は 75~80% であった。不忘山を含む東北日本中南部地域の安山岩質火山噴出物は、高温かつ未分化な苦鉄質マグマと分化の進んだ珪長質マグマの混合によるものが多く (Ban & Yamamoto 2002)、今回観察された波動累帯構造もこれらのマグマ混合により形成された可能性が高い。

東北日本に代表される沈み込み帯の火成活動で、An 成分が 90% を越すような Ca-rich 灰長石が結晶化するには、5wt% 前後の高い含水量を持った玄武岩質マグマが必要と考えられている (Takagi et al. 2005)。さらに、本研究で調べた An 成分 92~94% の灰長石巨晶中心部には、磁硫鉄鉱と思われる Fe-Ni-Cu 硫化物 (直径 50~100  $\mu\text{m}$  の液滴状包有物) が多数発見されたことから、灰長石巨晶が結晶化したのは、 $\text{H}_2\text{O}$  や S 等の揮発性成分に富む苦鉄質マグマに由来すると考えられる。以上の結果と考察から、不忘山の地下深部で大きく結晶成長した灰長石を含む苦鉄質マグマは、揮発性成分とともに地殻内を上昇し、地下浅部に定置していた珪長質マグマに混入して安山岩質マグマを生成したことが示唆された。また、これらのマグマが混合する際に、灰長石巨晶表面には An 成分 80% 以下の層が成長し、その後引き続き深部から貫入する苦鉄質マグマとの混合によって、An 成分 85% 前後の Ca-rich 層が成長したのであろう。この過程を複数回繰り返すことによって、今回観察された波動累帯構造が形成されたと推察した。

キーワード: 灰長石, 島弧マグマ, 硫化物, 包有物

Keywords: Anorthite, Arc magma, Sulfide, Inclusion

## 津軽錦石の組織観察と成因について Texture and formation process of jasper, "Nishiki-ishi" from Tsugaru region, Japan

石川 志緒利<sup>1\*</sup>; 長瀬 敏郎<sup>2</sup>; 栗林 貴弘<sup>1</sup>  
ISHIKAWA, Shiori<sup>1\*</sup>; NAGASE, Toshiro<sup>2</sup>; KURIBAYASHI, Takahiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻, <sup>2</sup> 東北大学総合学術博物館

<sup>1</sup>Institute of Mineralogy, Petrology and Economic Geology, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>The Tohoku University Museum

### はじめに

にしき石は碧玉の一種で、様々な色糸で織り出された絹織物のように色鮮やかな色彩を呈し、磨くと美しい光沢を示す。にしき石は研磨加工され、装身具として広く愛用されている。青森県津軽地方は、にしき石の産地として有名である。にしき石の鮮やかな色彩は、含まれる鉄鉱物の種類によると報告されている。

### 目的

にしき石の多くは海岸の礫から採取され、産状についての研究は少ない。多くの産地では露頭が発見されていないため賦存状態が明らかになっていない。そこで本研究ではにしき石の組織観察および組成分析によって形成過程を推定することを目的として研究を行った。

### 試料

本研究では、青森県北津軽郡中泊町青岩および、同県東津軽郡外ヶ浜町竜飛崎で採取されたにしき石を観察試料として用いた。両地域ともに、東北日本内帯に広く分布する緑色凝灰岩地域に属し、新第三系の岩石からなる。にしき石を含む母岩は輝石安山岩ならびに同質の火山角礫岩で、両産地とも多くの石英脈、玉髄質石英ならびに蛋白石脈等が見られる。採取したにしき石の主要な構成鉱物は、石英ならびに後述する鉄鉱物、そして、少量の重晶石、燐灰石、アンケル石などを伴う。

### 手法

岩石ならびに鉱物組織の観察には偏光顕微鏡ならびに走査型電子顕微鏡(日本電子社製,JSM-7001F)を用い、さらに、エネルギー分散型 X 線分析装置 (OXFORD 社製,INCA system) により鉱物の化学組成分析を行った。

### 結果

にしき石は主に様々な形態ならび大きさの石英粒子から構成されている。これら石英粒子の多くは、繊維状組織を呈する約 0.1mm の大きさの球晶や、一般に"マイクロ石英"と呼ばれる約 0.05mm の微粒子である。一般的なカルセドニー(玉髄)の組織に比べて、にしき石を構成する球晶はひとつひとつの繊維が粗い。また、めのうのような縞状組織を示す部分は少ない。にしき石の鮮やかな色の原因となる鉄鉱物としては、赤鉄鉱(赤色)、セラドン石(緑色)、針鉄鉱(黄色)、菱鉄鉱(黄色)、黄鉄鉱(褐色)などが認められた。多くの鉄鉱物は、繊維状組織の隙間に微細な粒子として、あるいは、球晶間隙の充填物として産出する。これらの鉄鉱物の形態は、針状もしくは粒状などさまざまな形で含有する。鉄鉱物の違いによって分布する領域が異なっている。にしき石は角礫状の構造を示し、角礫内部を交代する石英はマイクロ石英や、正延性 (length-slow) の球晶によって構成されている。これに対し、角礫の粒間部分は自形のはっきりした石英とこれを包晶する負延性 (length-fast) のカルセドニーにより充填されている。このように角礫状部分と粒間部分では石英の組織に差が認められる。多くのにしき石が角礫状構造を持つことから、原岩は火山角礫岩あるいは凝灰角礫岩と推定される。岩石組織の不均一性の一因は、原岩の種類の違いによる。以上の組織観察の結果より、角礫岩が著しい珪化作用を受けることにより、マイクロ石英と鉄鉱物の集合体へと変化し、その後、粒界を埋めるように自形石英結晶ならびにカルセドニーが沈殿し、にしき石が形成されたと考えられる。

キーワード: 碧玉, 錦石, カルセドニー, 組織  
Keywords: jasper, Nishiki-ishi, chalcedony, texture



## 東松浦玄武岩中のラブドフェン族鉱物(含水希土類リン酸塩鉱物)の新しい産状とその鉱物学的性質 New occurrence and mineralogical properties of rhabdophane group minerals from Higashimatsuura basalt, Kyushu, Japan

上原 誠一郎<sup>1\*</sup>; 菖蒲 彩香<sup>1</sup>; 高井 康宏<sup>2</sup>; 白勢 洋平<sup>1</sup>  
UEHARA, Seiichiro<sup>1\*</sup>; SHOBU, Ayaka<sup>1</sup>; TAKAI, Yasuhiro<sup>2</sup>; SHIROSE, Yohei<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, <sup>2</sup>エネコム(株)

<sup>1</sup>Dep. Earth & Planet. Sci. Kyushu Univ., <sup>2</sup>Enecom Co., Ltd.

### 1. 序

東松浦玄武岩は佐賀県北西部に分布するアルカリ玄武岩である。5種の新鉱物 kimuraite-(Y) (Nagashima et al., 1986), kozoite-(Nd) (Miyawaki et al., 2000), kozoite-(La) (Miyawaki et al., 2003), hizenite-(Y) (Takai and Uehara, 2013) rhabdophane-(Y) (Takai and Uehara, 2012), を含む多くの希土類元素鉱物がこの玄武岩より報告されている特異な産地である。

Rhabdophane, (REE) PO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O (REE = La, Ce, Nd, Y) は含水希土類リン酸塩鉱物である。これまでの報告では、閃長岩、アルカリ閃長岩ペグマタイトなどから monaziteなどを置換する2次鉱物としての産状である。最近では工業的利用のために多くの合成研究(例えば Mesbah et al., 2014)が成されている。天然で産出しない rhabdophane も合成されている(REE = La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Y, Er, Yb, Lu)(Hikichi et al., 1989; Min et al., 2000)。しかしながら、天然の rhabdophane の産状記載は不十分である。Takai and Uehara (2012) は佐賀県玄海町日ノ出松を模式地とする新鉱物 rhabdophane-(Y) を報告したが、模式地における詳細な産状、化学組成の変化等は報告されなかった。本研究では日ノ出松および東松浦玄武岩中の rhabdophane の産状、化学組成、分布について研究を行った。

### 2. 試料および分析方法

模式地の日ノ出松からは19試料(H01-H19)を採取し主に研磨薄片を製作しEDS付き走査電子顕微鏡を用いて希土類鉱物の有無を調べた。一部の試料については走査・透過電子顕微鏡を用いて微細組織の観察を行った。

### 3. 結果および考察

#### (1) 日ノ出松の希土類リン酸塩鉱物

Rhabdophane 族鉱物は玄武岩の晶洞中に二つのタイプで産出する(Fig.)。一つは比較的大きな独立した球晶で直径50 μmで、非常に微細なナノサイズ六角柱の結晶からなる。2つ目は皮膜状のタイプで、直径1から10 μmの球晶が集合し晶洞壁を皮膜状に覆うものである。これらの球晶は rhabdophane-(La), rhabdophane-(Nd), rhabdophane-(Ce), rhabdophane-(Y), xenotime-(Y) 様鉱物からなる。一試料中での rhabdophane の化学組成変化は、Nd/La比はほぼ一定で、Yの量が多くなる。すべての試料のNd/La比を比べるとNd-richタイプとLa-richタイプに区別され、それぞれ皮膜状と球晶タイプで産出する。比較的大きな球晶と皮膜状のタイプは化学的累帯構造をしめす。

#### (2) 東松浦半島の Rhabdophane 族鉱物

東松浦半島に分布する玄武岩の多くの地点で rhabdophane 族鉱物が確認された。それらの化学組成の変化は日ノ出松産で見られた変化と同様であった。また、rhabdophane-(Ce)も同様に見いだされた。それで、本地域に産する rhabdophane 族鉱物は希土類元素を多く含むアルカリ玄武岩の一次鉱物で、玄武岩晶出の最後の低温熱水から生じた物であろう。

キーワード: ラブドフェン族鉱物, イットリウムラブドフェン, 含水リン酸塩鉱物, 東松浦玄武岩, 日ノ出松

Keywords: rhabdophane group minerals, rhabdophane-(Y), hydrous rare earth phosphate mineral, Higashimatsuura basalt, Hindematu

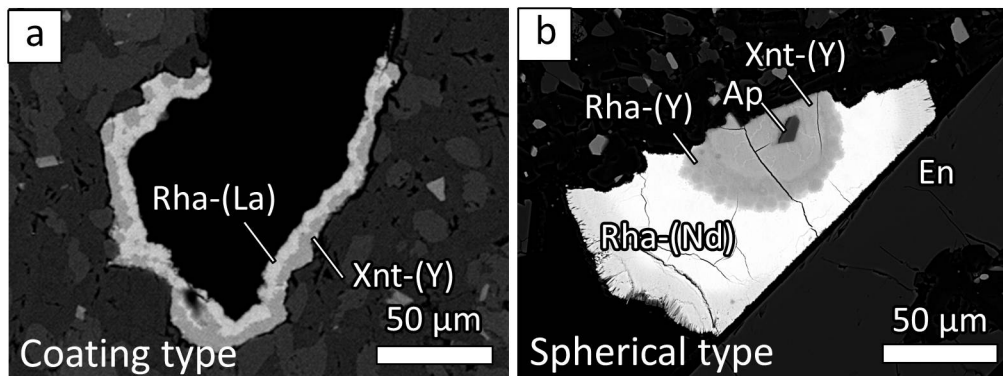


Fig. BSE images of REE phosphates with chemical zoning structure. (a) Cavity coated with rhabdophane-(La) and xenotime-(Y) like minerals (sample H06). (b) Sphere of REE phosphates with zoning structure consisted of rhabdophane-(Nd), rhabdophane-(Y) and xenotime-(Y) like mineral (sample H07).

## 対馬花崗岩体における晶洞石英中の多相流体包有物分析 X-ray CT and Raman spectroscopy analyses of polyphase fluid inclusions of quartz crystals from Tsushima granite

藤本 恭輔<sup>1</sup>; 三宅 亮<sup>1\*</sup>; 土山 明<sup>1</sup>; 中野 司<sup>2</sup>; 上杉 健太郎<sup>3</sup>; 吉田 健太<sup>1</sup>; 松野 淳也<sup>1</sup>; 黒澤 正紀<sup>4</sup>  
FUJIMOTO, Kyouosuke<sup>1</sup>; MIYAKE, Akira<sup>1\*</sup>; TSUCHIYAMA, Akira<sup>1</sup>; NAKANO, Tsukasa<sup>2</sup>; UESUGI, Kentaro<sup>3</sup>;  
YOSHIDA, Kenta<sup>1</sup>; MATSUNO, Junya<sup>1</sup>; KUROSAWA, Masanori<sup>4</sup>

<sup>1</sup>京大・理, <sup>2</sup>産総研, <sup>3</sup>JASRI, <sup>4</sup>筑波大・生命環境  
<sup>1</sup>Kyoto Univ., <sup>2</sup>AIST, <sup>3</sup>JASRI, <sup>4</sup>Tsukuba Univ.

流体包有物 (fluid inclusion) は、鉱物中に捕獲された流体であり、様々な鉱物中に見ることができる。流体包有物は鉱物中に取り込まれたときの状態を保っており、地下深部流体の温度や化学組成、その起源や履歴を保持していると考えられる。特に、岩塩等の結晶 (固相) を含み高い塩濃度をもつ多相流体包有物は、マグマから分離した初生的に塩濃度が高い流体が沸騰を起こした際に形成されたものと考えられている。

黒澤ら (2012)、黒澤 (2014) は、対馬の内山地域に分布する花崗岩体岩体内および近接の鉱脈の石英に含まれる多相包有物について、粒子線励起 X 線分析法 (PIXE) を用いた組成分析や SEM-EDX を用いた直接結晶観察を行い、晶洞石英の多相包有物には Na, Cl, K, Ca, Mn, Fe といった元素が主体であり、岩塩やカリ岩塩、塩化鉄を含んでいると報告している。また、この結晶の種類は包有物の取り込まれる過程によって異なっており、熱水流体の化学組成変化の指標となりうるとしている。

しかし、従来行われてきたこのような流体包有物分析手法は、破壊により包有物本来の姿を壊してしまう、包有物内部の個々の固相が三次元的に複雑に配置しており個々に対する厳密な分析は困難である、といった問題を抱えている。一方、X 線 CT 法はサンプルの内部構造を非破壊で観察できるため、鉱物の内部構造を分析するのに有用な手法であるが、従来の X 線 CT 装置では分解能等の問題から、非常に小さなサンプルである流体包有物の分析は行われてこなかった。近年、放射光を用いた X 線 CT の手法が開発されており、数 100 nm から数  $\mu\text{m}$  の空間分解能での観察が可能となり、数  $\mu\text{m}$  サイズの極微小なサンプルの定量的な分析が可能となりつつある。

そこで本研究はこの対馬花崗岩体における晶洞石英に含まれる多相包有物について、その流体組成と形成過程を検討するために、放射光を用いた高分解能な X 線 CT 法やラマン分光、SEM-EDX 分析を複合的に用いて、非破壊で定量的な組成分析を行い、固相の正確な相同定や液相の推定をおこなった。分析の試料として、対馬花崗岩体における晶洞石英中の多相包有物 (Sample1A, 1B, 2) を用いた。

X 線 CT およびラマン分析の結果、Sample1A, 1B の包有物からは Halite (NaCl), Sylvite (KCl), Saltonseaitite (K<sub>3</sub>NaMnCl<sub>6</sub>), Siderite (FeCO<sub>3</sub>), Fe-OH 鉱物 (Goethite?) を見出した。Saltonseaitite, Siderite は黒澤 (2014) では報告されていない鉱物であり、saltonseaitite は 2013 年に初めて報告された新鉱物 (Kampf et al., 2013) で、本邦では初めて見出されたものである。一方で、従来報告されていた Calcite (CaCO<sub>3</sub>) や塩化鉄等は確認されなかった。また、X 線 CT の結果から液相についても考察を行ったところ、NaCl または KCl の飽和溶液に、さらに Fe を約 8mol% 加える必要があることが分かった。さらに、Sample1A, 1B, 2 つの包有物の組成は一致していたが固相:液相:気相の体積比は異なっていた。このことは、これらの包有物は形成時期が異なっている可能性を示唆している。

Sample2 について、FIB により包有物を切断し、内部の固相の直接観察を行ったところ、Sample1 には見られなかった Hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) や同定できない未知の相が観察された。このことは流体包有物を破壊し直接観察を行う際には、包有物内の環境の変化によって含まれる相が変化するという可能性を示している。

黒澤正紀他 (2012) 日本鉱物科学会 2012 年年会講演要旨集、

黒澤正紀他 (2014) 日本鉱物科学会 2014 年年会講演要旨集、Kampf et al. (2013) American Mineralogist, 98, 231.

キーワード: 多相流体包有物, X 線 CT, ラマン分光, 相同定

Keywords: polyphase fluid inclusion, X-ray CT, Raman spectroscopy, phase identification

## Enstatite-Ferrosilite 系 1 気圧の相平衡図の見直し Re-examination of phase diagram in Enstatite-Ferrosilite system at 1 atm

大井 修吾<sup>1\*</sup>  
OHI, Shugo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup> Kyoto University, Science

Pyroxene is one of the most important rock-forming minerals not only for its abundant occurrence but also for various paragenesis which provide information on the thermal history of pyroxene-bearing rocks. In the system  $Mg_2Si_2O_6$ - $CaMgSi_2O_6$ , there had been the controversy about the appearance and stability of the orthopyroxene (Opx) phase near 1400 C other than protopyroxene (Ppx) since the discovery by Foster and Lin (1975). In recent years, Ohi et al. (2008) observed the isosymmetric phase transition between low-temperature Opx (LT-Opx) and high-temperature Opx (HT-Opx) at 1170 C by high-temperature X-ray powder diffraction (HT-XRD) experiments. They concluded that Opx the phase near 1400 C was HT-Opx. In  $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$  system, there was no report about the stability field of HT-Opx. The purpose in present study is to clear the stability field of HT-Opx.

In present study (i) synthetic experiments with gels in  $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$  system and (ii) those with Opx crystals were carried out. (i) 28 samples were synthesized from gels with 10 kinds of compositions in  $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$  system at temperatures between 1210-1450 C. (ii) Natural Opx (En86Fs14; Bamble, Norway), natural Opx (En83Fs17; Morogoro, Tanzania), natural Opx (En63Fs37; Tamagawa, Ibaragi) and synthetic Opx (En80Fs20 and En70Fs30) was kept at temperatures between 1210-1230 C to observe the transition from Opx to Cpx. Samples of experiments (i) and (ii) were synthesized in one-atmosphere gas mixing ( $H_2$ - $CO_2$ ) furnace. The furnace oxygen fugacity maintained near iron-wustite buffer. Recovered samples were analyzed with X-ray powder diffractometer (XRD; Rigaku Smart Lab), a scanning electron microscope (SEM; HITACHI S-3000) and energy dispersive X-ray spectrometer (EDX; HORIBA EMAX7000).

In synthetic experiments of (i), Ppx crystals were observed when En95-85Fs5-15 starting materials were kept at the temperatures 1375-1445 C. Opx phase appeared near 1400 C and En75Fs25 chemical compositions. Cpx phase appeared at temperature between 1200-1300 C. The appearances of Ppx and Opx were coincident with the phase diagram of  $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$  system indicated by Huebner (1980), whereas those of Cpx were not. In synthetic experiments of (ii), the phase transition from Opx to Ppx was observed in the run with Natural Opx (En86Fs14) and those from Opx to Cpx were with natural Opx (En63Fs37) and synthetic Opx (En80Fs20 and En70Fs30) at about 1200 C. The transitions showed the stability field of Opx indicated by Huebner (1980) at about 1200 C was incorrect.

The synthetic experiments showed Ppx or Cpx were stable at about 1200 C. Huebner (1980) indicated that there was series of Opx stability field at 900-1400 C because Opx was known as stable phase below 1000 C and Huebner and Turnock (1980) showed Opx was stable around 1400 C. However, Opx below 1000 C was LT-Opx and that around 1400 C was HT-Opx. Therefore, there was no reason to consider the series of Opx stability field at 900-1400 C.

In present study, new phase diagram of  $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$  system was proposed in consideration of stability field of below 1000 C and around 1400 C and those of Ppx and Cpx at about 1200 C.

キーワード: 斜方輝石, 相平衡図,  $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$  系, 相関係

Keywords: orthopyroxene, phase diagram,  $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$  system, phase relationship

## 北海道石狩炭田地域に分布する菱鉄鉱質岩の成因 (その3) Origin of siderite-rich rocks from the Ishikari coalfields of Central Hokkaido, Japan(III)

浅野 有希<sup>1\*</sup>; 森清 寿郎<sup>2</sup>  
ASANO, Yuki<sup>1\*</sup>; MORIKIYO, Toshiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 信州大学大学院, <sup>2</sup> 信州大学理学部

<sup>1</sup>Department of Geology, Graduate School of Science Shinsyu University, <sup>2</sup>Department of Geology, Faculty of Science Shinsyu University

石狩炭田地域に産する菱鉄鉱質岩については、池上 (1958) によりはじめて鉱物学的記載がなされたあと、Matsumoto and Iijima (1981) によってその成因が論じられた。筆者らは、従来未報告であった菱鉄鉱質岩の全岩化学組成および炭素酸素同位体比を求め、その結果から、菱鉄鉱質岩の成因について Matsumoto and Iijima (1981) とは異なる見解に至った (浅野ほか, 2014)。その後、菱鉄鉱質岩に含まれる菱鉄鉱と方解石の Mn/Fe 比および炭素酸素同位体比の違い、および組織観察から、方解石の晶出時期を、湖底に沈殿したあと堆積物中に包有された  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  が、炭質物により還元されて  $\text{Fe}^{2+}$  になる過程での生成、と特定した (浅野ほか, 2015)。本発表ではこれらを総括して、石狩炭田地域の菱鉄鉱質岩の形成過程を提示する。

1. 菱鉄鉱質岩の鉄の起源は河川水中の溶存  $\text{Fe}^{2+}$  であったと考えられる。河川水が平野部の蛇行河川地帯の湖沼へと流入すると、水は大気に広くさらされるため溶存  $\text{Fe}^{2+}$  や  $\text{Mn}^{2+}$  は酸化され  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  や  $\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  として湖底に沈殿する。このとき  $\text{FePO}_4$  も共沈した。

2.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  は、分散して碎屑物質中に含まれたが、場合によっては湖底に層状に沈殿して単層を形成した。碎屑物の組成は平均的な泥岩組成であって、Al や Fe に富むラテライト質ではない。

3. 堆積物埋没とともに、無酸素環境となった。そのため  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  は炭質物により還元されて  $\text{Fe}^{2+}$  になり、間隙水中に溶出した。この反応により  $\text{CO}_2$  が生じる。 $\text{Fe}^{2+}$  生成によるアルカリ度上昇をバランスするため、 $\text{CO}_2$  は河川水に含まれる  $\text{Ca}^{2+}$  と結びつき、低  $\delta^{13}\text{C}$  の  $\text{CaCO}_3$  が生成した。Eh 低下の際、 $\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  の方が  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  より先に還元されるので、方解石の Mn/Fe 比は菱鉄鉱のそれよりも一桁高い。

4. 河川水中の  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度は低いので、硫酸塩還元が速やかに終わり、続成反応はメタン発酵となった。この時点で、正で高  $\delta^{13}\text{C}$  の菱鉄鉱が晶出し、菱鉄鉱ノジュールや菱鉄鉱質岩薄層を形成した。

### 引用文献

- ・浅野有希・日下部智也・森清寿郎 (2014) 石狩炭田地域に産する菱鉄鉱質岩石の形成-とくに鉄の起源と沈殿過程について。日本地質学会第 121 年大会講演要旨 R9-O-4, p.96
- ・浅野有希・森清寿郎 (2015) 北海道石狩炭田地域に分布する菱鉄鉱質岩の成因 (その 2)-とくに方解石の生成時期について。日本堆積学会 2015 年筑波大会 講演要旨 (投稿中)
- ・池上茂雄 (1958) 石狩炭田 幌加別層中に産するリョウテツ質岩に就いて (予報) 鉱物学雑誌, 第 3 巻, 592-596.
- ・Matsumoto, R. and Iijima, A. (1981) Origin and diagenetic evolution of Ca-Mg-Fe carbonates in some coalfield of Japan. Sedimentology, 28, 239-259.

キーワード: 炭酸塩コンクリーション, 元素の挙動, 石狩炭田

Keywords: carbonate concretions, behavior of the elements, Ishikari coalfield

## タイ, Hua Hin 地域に分布する花崗岩質岩の REE, Sr および Nd 同位体比組成 REE and Sr and Nd isotopic compositions of granitic rocks from the Hua Hin area, Thailand

柚原 雅樹<sup>1\*</sup>; 亀井 淳志<sup>2</sup>; 中野 伸彦<sup>3</sup>; 吉本 紋<sup>3</sup>; 河上 哲生<sup>4</sup>; 上久保 寛<sup>5</sup>; 小山内 康人<sup>3</sup>;  
Charusiri Punya<sup>6</sup>  
YUHARA, Masaki<sup>1\*</sup>; KAMEI, Atsushi<sup>2</sup>; NAKANO, Nobuhiko<sup>3</sup>; YOSHIMOTO, Aya<sup>3</sup>; KAWAKAMI, Tetsuo<sup>4</sup>;  
KAMIKUBO, Hiroshi<sup>5</sup>; OSANAI, Yashuhito<sup>3</sup>; CHARUSIRI, Punya<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 福岡大学, <sup>2</sup> 島根大学, <sup>3</sup> 九州大学, <sup>4</sup> 京都大学, <sup>5</sup> 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, <sup>6</sup> Chulalongkorn 大学  
<sup>1</sup>Fukuoka Univ., <sup>2</sup>Simane Univ., <sup>3</sup>Kyushu Univ., <sup>4</sup>Kyoto Univ., <sup>5</sup>JOGMEC, <sup>6</sup>Chulalongkorn Univ.

The granitic rocks are widely distributed in the Hua Hin area, Thailand. This area is located in the Central Province (Cobbing, 2011) consists mainly of S-type granitic rocks, whose ages range from early Late Triassic to late Early Jurassic (ca. 230-180 Ma) (Sone and Metcalfe, 2008). The petrogenesis of these granitic rocks is explained by partial melting of the Sibumasu crust subducted beneath the Palaeo-Tethys accretionary complex (Sone and Metcalfe, 2008). However, characteristic of source material of granitic rocks in the Hua Hin area are poorly understood. In this paper, we report REE and Sr and Nd isotopic compositions of granitic rocks from this area.

The granitic rocks in the Hua Hin area are composed of foliated granitic rocks and non-foliated granitic rocks. The formers are the Hub Kapong Gneissic Granite, Hua Hin Gneissic Granite and Pran Buri Gneissic Granite. The Hub Kapong and Hua Hin Gneissic Granites are partly weakly mylonitized K-feldspar porphyritic biotite granite. The Hub Kapong and Hua Hin Gneissic Granites give Rb-Sr whole-rock isochron ages of 202 $\pm$ 22Ma and 209 $\pm$ 14Ma, respectively (Yuhara et al., 2011). Kawakami et al. (2014) reported 219 $\pm$ 2Ma and 185 $\pm$ 2Ma U-Pb zircon ages from the Hua Hin Gneissic Granite, and interpreted that these ages represented the timing zircon crystallization and regional metamorphism of upper amphibolite facies grade, respectively. The Pran Buri Gneissic Granite is mylonitic biotite granite. Non-foliated granitic rocks are stock bodies intruded into the Hub Kapong Gneissic Granite, and composed of biotite to two-mica granite. A body of non-foliated granitic rocks gives an Rb-Sr whole-rock isochron ages of 84 $\pm$ 13Ma (Yuhara et al., 2011). These granitic rocks have peraluminous chemical composition (Yoshimoto et al., 2010).

Chondrite-normalized REE patterns of these granites are enriched in light REE (LREE) and depleted in heavy REE (HREE). These granites show Eu anomalies. Non-foliated granitic rocks show flat patterns in HREE. Initial epsilon Sr and Nd values of the Hub Kapong and Hua Hin Gneissic Granites are 270 to 340 and ?15.6 to -8.8, and 240 to 360 and ?13.5 to -9.3, respectively. Model epsilon Sr and Nd values of the Pran Buri Gneissic Granite calculated by 209Ma are 510 to 1040 and ?8.7 to -6.9. Initial epsilon Sr and Nd values of non-foliated granitic rocks are different every bodies, and are 970 and -11.2, 440 and -10.6, 60 and -9.8, respectively.

キーワード: REE 組成, Sr・Nd 同位体比組成, 花崗岩質岩, Hua Hin, タイ

Keywords: REE composition, Sr and Nd isotopic compositions, granitic rocks, Hua Hin, Thailand

## 福岡県長垂ペグマタイト岩体における希元素の濃集と H<sub>2</sub>O, F, B, P の振る舞い Rare elements concentration related to behavior of the H<sub>2</sub>O, F, B and P, in Nagatare pegmatite, Fukuoka Prefecture

白勢 洋平<sup>1\*</sup>; 伊東 信<sup>1</sup>; 上原 誠一郎<sup>1</sup>  
SHIROSE, Yohei<sup>1\*</sup>; ITO, Shin<sup>1</sup>; UEHARA, Seiichiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学理学研究院地球惑星科学部門

<sup>1</sup>Dept. Earth & Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu University

福岡市西区に位置する長垂ペグマタイト岩体は、白亜紀後期に糸島花崗閃緑岩に貫入する早良花崗岩に伴って形成されたと考えられている(唐木田ら, 1994)。長垂山周辺のペグマタイト岩脈は上記の花崗岩類に加え、三郡変成岩中にも確認できる。長垂ペグマタイト岩体の最大の特徴は、Li, Cs, Ta などの希元素が濃集し、多くの希元素鉱物を含む点にあり、現在、各鉱物に関する詳細な鉱物学的研究を行っている(e.g., Shirose and Uehara, 2014)。岩脈ごとに構成鉱物や組織などには差があり、Li が濃集しているのは山中の一脈のみで、多くは花崗岩組成に近い単純ペグマタイトである。本研究では、これらの単純ペグマタイトを含めた岩脈ごとの構成鉱物や副成分鉱物の組成変化を調べた。特に、花崗岩メルト中のフラックス成分である H<sub>2</sub>O, F, B, P に着目して比較を行い、Li ペグマタイトの形成過程について議論を行った。

Li 鉱物を含まないペグマタイトは、アプライトをよく伴い、いずれも脈状で、幅 5-30m 程度、おおよそ N20°W 方向に伸長しており、これは早良花崗岩の葉理構造に調和的である。主に石英、カリ長石、曹長石、白雲母などからなる花崗岩組成に近い単純ペグマタイトであった。しかし、緑柱石やコルンブ石等の希元素鉱物を含むものもあり、Li 鉱物は確認されないが、Be, Nb, Ta などの希元素の濃集が確認された。また、柘榴石や亜鉛スピネルを含み、パーアルミナスな組成である。変成岩中に貫入しているペグマタイト岩脈からは、柘榴石や緑柱石に加え、ホウ珪酸塩鉱物である電気石を多く確認できた。Li ペグマタイトは上記の鉱物に加え、含フッ素リン酸塩鉱物であるトリプル石、モンブラ石-アンブリゴ石や、F に富む雲母であるリチア雲母を多く含む。

電気石の化学組成においては、変成岩中のペグマタイトのものは F を含まず、Fe, Mg に富む傾向が確認できた。一方、Li ペグマタイトのものは、F に富んでおり、Fe-Li 組成から Li-Al 組成への分化傾向も確認できた。Li ペグマタイト中のモンブラ石-アンブリゴ石中の F 濃度から、London et al. (2001) のメルトとの分配係数を用いて晶出時のメルト中の F 濃度を見積もると、Li ペグマタイト中心部では 1.4-2.0 wt% 程度と高濃度であったことが示唆される。長垂ペグマタイト岩体では、多くの岩脈でコルンブ石族鉱物 [(Fe, Mn)(Nb, Ta)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] が副成分的に含まれる。その化学組成は、単純ペグマタイトでは Mn/(Mn+Fe) = 0.3-0.6、且つ Nb に富む組成であるのに対し、Li ペグマタイトにおいては Mn/(Mn+Fe) = 0.4-1.0、且つ Mn 端成分にて Ta に富んでいくといった組成変化の傾向が確認でき、これらは Wise et al. (2012) などの述べるメルト中のフッ素の量に応じた変化の傾向と対応している。

長垂の Li ペグマタイトでは初生的に形成されたカリ長石、Li 電気石が白雲母、クーク石などの粘土鉱物によって置換されており、モンブラ石-アンブリゴ石も多様な二次リン酸塩鉱物や白雲母により置換されている。これらは形成末期の、メルト中の水流体にも富む残液による交代変質作用であり、H<sub>2</sub>O に富んだ Li ペグマタイトに特徴的な反応であると考えられる。最終的な元素の挙動を考える上では、これらの変質作用を明らかにし、電気石の分解により放出される B や Li の挙動を捉える必要がある。

ペグマタイトの組織、組成的な発展は、H<sub>2</sub>O, F, B, P などの花崗岩メルト中のフラックス成分により強く支配されていると推測される。特に長垂ペグマタイトにおいては F に富むことで特徴づけられる。また、これらの元素は、ペグマタイトにおいては変堆積岩などを溶かし込んだと考えられるパーアルミナスな性質を持つ花崗岩が起源となることが多く、形成時の温度圧力条件に加え、周辺の花崗岩相の性質にも着目していく必要がある。

キーワード: Li ペグマタイト, 長垂, 希元素, 電気石, フッ素, フラックス

Keywords: Li pegmatite, Nagatare, rare elements, tourmaline, fluorine, flux

## 北部フォッサマグナ新第三紀深成岩類の希土類元素組成 Rare earth element compositions of Neogene plutonic rocks, North Fossa Magna, Japan

川野 良信<sup>1\*</sup>  
KAWANO, Yoshinobu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 立正大学地球環境科学部環境システム学科

<sup>1</sup>Department of Environment Systems, Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

北部フォッサマグナには新第三紀に活動した、主として石英閃緑岩から構成される、若い深成岩体が多数点在する(相馬, 1968; 久保田, 1991)。これらの岩体は南西部の美ヶ原-霧ヶ峰地域(茅野, 下諏訪, 和田, 松本, 美ヶ原, 余里岩体)から、須坂-上田地域(上田, 堀切, 妙徳・米子岩体)を経て、巻機-谷川地域(巻機山, 谷川岳, 赤湯岩体)にかけて帯状に配列し、南西部から北東部へ向かうにつれ活動時期が若くなる傾向が認められる(大平ほか, 1999; 川野, 2000)。また、これら石英閃緑岩の一部は低  $K_2O/Na_2O$  比, 低 Sn 含有量によって特徴付けられ、上部マントル起源と考えられている(石原ほか, 1976)。川野(2014)はこれらの岩石の Sr, Nd 同位体比組成値を報告し、マントル起源のマグマが地殻物質と様々な割合で反応して形成したと推定した。今回、川野(2014)で同位体組成を報告した 17 試料について LA-ICP-MS による希土類元素分析結果を報告する。

コンドライトで規格化した希土類元素のパターンをみると、美ヶ原-霧ヶ峰地域に分布する岩体では茅野, 下諏訪岩体で弱い Eu の負異常が認められるが、他の 4 岩体では認められない。松本, 和田, 茅野岩体は軽希土の右下がりのパターンを ( $La/Sm_N = 2.3-4.2$ )、6 岩体全てで重希土はほぼ平坦なパターンをそれぞれ示す ( $Gd/Yb_N = 1.1-1.4$ )。ただし、和田岩体は他の 5 岩体よりも重希土に乏しい特徴がある。須坂-上田地域の岩体では妙徳・米子岩体で弱い Eu の負異常が認められるが、他の 2 岩体には見られない。また、妙徳・米子岩体は他の 2 岩体に比して高い  $La/Sm_N$  比 (2.3-5.1) を示し、3 岩体全てにおいて重希土のパターンはほぼ平坦である ( $Gd/Yb_N = 1.0-1.5$ )。巻機-谷川地域では、巻機山, 谷川岳岩体共に Eu の負異常が認められる。また、両岩体共に重希土のパターンは平坦であるが ( $Gd/Yb_N = 1.2-1.3$ )、軽希土のパターンは右下がりの傾向がある ( $La/Sm_N = 2.5-2.8$ )。全ての領域の岩石において、 $SiO_2$  の増加に伴い  $La/Sm_N$  と  $La/Yb_N$  も大きくなる傾向が見られるが、 $Gd/Yb_N$  はほとんど変化しない。このことは、分化に伴い軽希土が残液に濃集するものの、重希土濃度の変化は小さかったことを示している。また、茅野, 下諏訪, 妙徳・米子, 巻機山, 谷川岳の各岩体には Eu の負異常が認められ、これらの岩体の  $Eu/Eu^*$  (0.61-0.80) は他の岩体のそれ (0.87-1.25) よりも小さい。Eu/Eu\* は  $SiO_2$  の増加に伴い減少する弱い傾向が認められるが、美ヶ原-霧ヶ峰地域に分布する岩石は、須坂-上田地域や巻機-谷川地域の岩石よりも僅かに高い Eu/Eu\* 変化傾向を示している。

このように、それぞれの地域に分布する深成岩類は独特の希土類元素組成の特徴をもち、同じ地域内であっても起源物質やマグマプロセスに違いがあったことを示している。

キーワード: 北部フォッサマグナ, 新第三紀, 深成岩, 希土類元素

Keywords: North Fossa Magna, Neogene, plutonic rock, rare earth element



## 栃木県宇都宮地域および鹿沼地域に見られる中新世苦鉄質火山岩の成因 Origin of the Miocene mafic volcanic rocks distributed in Utsunomiya and Kanuma, central Japan

清水 隆一<sup>1\*</sup>; 川野 良信<sup>2</sup>

SHIMIZU, Ryuichi<sup>1\*</sup>; KAWANO, Yoshinobu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 立正大学大学院地球環境科学研究科, <sup>2</sup> 立正大学地球環境科学部

<sup>1</sup>Graduate School of Geo-environmental Science, Rissho University, <sup>2</sup>Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

栃木県宇都宮市北部から日光市南東部にかけては中新世火山岩類が広く分布している。このうち、下位の風見山田層は陸上溶岩の噴出を主体とする安山岩からデイサイト組成のマグマ活動に由来し、それと対照的に上位の大谷層は、流紋岩質マグマの水中火山活動により形成された火砕岩が卓越し、溶岩は比較的少量である。また、風見山田層の安山岩からは 14.8~16.6 Ma、大谷層の流紋岩は 14.2 Ma の全岩 K-Ar 年代が報告され(吉川, 1998; 吉川ほか, 2001)、宇都宮地域では 15 Ma を境とした火山活動の変遷が認められる。このことから、本地域における火山活動の変遷は日本海の拡大との関連が示唆され、その成因を明らかにすることは重要な問題の一つと考えられる。しかしながら、これらの火山岩類のマグマ成因に関する議論はこれまでほとんど行われて来なかった。このような背景から、筆者らは宇都宮地域火山岩類の成因解明に向け調査研究を進めており、XRF を用いて定量した全岩化学組成などのデータは既に本大会で報告している(清水・川野, 2013)。

一方、宇都宮地域より西方の足尾山地東縁では、鹿沼地域日向層の中新世玄武岩~デイサイトが分布し、その地球化学的特徴や地質年代が報告されている(中村ほか, 1989; 吉川ほか, 2001)。今回は、宇都宮地域風見山田層と岩相および地質年代から対比される鹿沼地域日向層について、両者の火山岩類を記載岩石学的特徴や全岩化学組成に基づき比較・検討する。また、風見山田層の安山岩については TIMS による Sr・Nd 同位体比分析を行ったので、その結果を踏まえて苦鉄質火山岩類の成因を考察する。

宇都宮地域の安山岩~デイサイトは斑晶として斜長石と両輝石が含まれるが、鹿沼地域ではそれに加え、一部の玄武岩にカンラン石斑晶が認められる。また、SiO<sub>2</sub> 一主成分および微量元素のハーカー図では、ほとんどの元素で両地域の火山岩類が非常に類似した組成を持ち、1つのトレンドを形成している。このことは、両地域の玄武岩からデイサイトまでの火山岩が、単一の本源マグマから一連の結晶分化作用で形成され得ることを意味している。

次に、日向層及び風見山田層の玄武岩~デイサイトの成因について考察する。中村ほか(1989)によれば、日向層で最も未分化な玄武岩はカンラン石斑晶(Fo<sub>87</sub>)に富み、斜長石斑晶(An<sub>89</sub>)に乏しい。また、全岩の MgO が約 9 wt%, Cr が約 480 ppm と非常に高い値を示し、この玄武岩が上部マントルの部分溶融で生成され得る初生マグマにかなり近いことを論じている。さらに、風見山田層で最も未分化な安山岩の Sr・Nd 同位体比初生値(15 Ma で計算)は、Sr 初生値が 0.7047、Nd 初生値が 0.5129 となり、東北日本弧の海溝側に産するリソスフェア性マントルカンラン岩の組成範囲内(周藤, 2009)に含まれる。以上をまとめると、宇都宮地域の風見山田層および鹿沼地域の日向層に見られる玄武岩~デイサイトは、リソスフェア性上部マントルの部分溶融による、未分化な本源マグマの結晶分化作用によって形成されたと考えられる。

キーワード: 中新世火山活動, 宇都宮地域, 鹿沼地域, Sr・Nd 同位体比

Keywords: Miocene volcanism, Utsunomiya area, Kanuma area, Sr and Nd isotope ratios

## ジルコン中の微量元素濃度を用いた花崗岩質マグマへの堆積物混入量の推定指標の確立 Establishment of new index of sediment input into granitic magma using trace element composition in zircon

鈴木 和恵<sup>1\*</sup>; 澤木 佑介<sup>1</sup>; 服部 健太郎<sup>2</sup>; 平田 岳史<sup>2</sup>; 新井 宏嘉<sup>3</sup>; 大森 聡一<sup>4</sup>; 丸山 茂徳<sup>5</sup>  
SUZUKI, Kazue<sup>1\*</sup>; SAWAKI, Yusuke<sup>1</sup>; HATTORI, Kentaro<sup>2</sup>; HIRATA, Takafumi<sup>2</sup>; ARAI, Hiroyoshi<sup>3</sup>; OMORI, Soichi<sup>4</sup>; MARUYAMA, Shigenori<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 京都大学地球惑星科学専攻, <sup>3</sup> 早稲田大学本庄高等学院, <sup>4</sup> 放送大学, <sup>5</sup> 地球生命研究所  
<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, <sup>3</sup>Waseda University Honjo Senior High School, <sup>4</sup>The Open University of Japan, <sup>5</sup>Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology

Understanding of formation process of granitic magma is one of the important issues to unveil evolution of Earth history. Evaluating amounts of sediment incorporation into granitic rocks is necessary to comprehend formation process of granite. Sedimentary components in granite have been estimated from whole rock geochemistry such as alumina saturation index and radiogenic Sr isotopic ratio. However, these whole-rock values do not necessarily reflect original magma composition, because chemical composition of the magma changes with magma evolution process (e.g. Griffin et al., 2002; Belousova et al., 2006).

Trace element compositions in zircon could be a useful tracer for evaluating amounts of sediment contamination into granitic magma (e.g. Belousova et al., 2006). In order to establish a new indicator for estimating quantity of sedimentary components in granite, we focus on modern granitic belts where tectonic settings are well constrained. We conducted in-situ analyses of trace element compositions in 188 zircon grains from the Tanzawa Tonalite (4-9 Ma; Tani et al., 2010) and 210 zircon grains from the Taitao Granitoid (4-5 Ma; Anma et al., 2009) with LA-ICP-MS. The Tanzawa Tonalite is the best target for this study, because it emplaced at middle crust of immature oceanic island arc where influence of sedimentary contamination is extremely low. On the other hand, the Taitao Granitoids contain small amount of sedimentary components because the granitoid were intruded into Jurassic accretionary complex.

Zircons from the Tanzawa Tonalite and the Taitao Granitoid show enrichment of HREE, negative Eu anomaly and positive Ce anomaly, which are typical characteristics of those in most granites. Trace element compositions in zircons from the Taitao Granitoids show lower Yb/Sm ratios than those from the Tanzawa Tonalite. As combined with previous trace element data in zircons from oceanic plagiogranite, S-type granite and I-type granite, a clear correlation can be observed between  $\ln(\text{Ce}/\text{Ce}^*)$  and  $\ln(\text{Yb}/\text{Sm})$ . Higher Ce/Ce\* and Yb/Sm ratios in the Tanzawa Tonalite are consistent with little sedimentary component deduced from its tectonic setting. In addition, results from principal component analysis using these trace element data show strong correlations among  $\ln(\text{La}/\text{Sm})$ ,  $\ln(\text{Pr}/\text{Sm})$  and  $\ln(\text{Nd}/\text{Sm})$  values in zircons. Cross-plots of these values exhibit that trace element compositions in zircons from the Tanzawa Tonalite and oceanic plagiogranite are plotted on different fields from those from S-type granites. High La/Sm, Pr/Sm and Nd/Sm ratios in zircons from the S-type granite probably reflect high LREE concentration in sediments. Therefore, these trace element compositions can be useful to evaluate influence of sedimentary components into granite. The results in this study demonstrate that trace element composition in zircons has a possibility to provide more detail information for protolith of granite.

キーワード: ジルコン, 微量元素濃度, LA-ICP-MS, 丹沢トータル岩, タイタオ花崗岩

Keywords: Zircon, Trace element composition, LA-ICP-MS, Tanzawa Tonalite, Taitao Granite, Sediment contamination

## 中部地方の御荷鉾帯の蛇紋岩及びロジン岩 Serpentinite and Rodingite from Mikabu belt, Central Japan

延寿 里美<sup>1\*</sup>; 上原 誠一郎<sup>1</sup>  
ENJU, Satomi<sup>1\*</sup>; UEHARA, Seiichiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学理学府地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University

### **Introduction**

Serpentinites are valuable evidence of hydrothermal activity in deep earth. They are often made by hydrothermal alteration of peridotite, the main component of the mantle, at relatively low temperatures. They form in specific conditions, such as subduction zone and mid-atlantic ridges. They capture and release various elements during formation, playing an important role in the geochemical cycles and biological activity (Fruh-Green, 2004).

Rodingites are greatly affected by fluid of serpentinization. Rodingites are Ca-rich, Si-poor rocks often seen at serpentinite outcrops, composed by diopside clinocllore and various Ca-Al silicates. It is thought to form by hydrothermal alteration by the fluid, who experienced serpentinization (e.g. Coleman, 1967; O' Hanley et al., 1992). The mineral assemblage seems to be affected by the composition of the fluid, showing various combinations within the same locality, though the system is not totally understood (Kobayashi and Shoji, 1988; Li et al., 2007).

### **Methods**

In this study the formation process of serpentinite and rodingite was investigated by the observation of the samples from ultramafic body in the Mikabu green rocks, central Japan. The samples were collected from Nakauri and Yoshikawa in Aichi prefecture, and Shiokawa peridotite body in Nagano prefecture (Makimoto, 1978; Uesugi and Arai, 1999). In this presentation, the samples from Shiokawa peridotite were mainly handled. The constituent minerals were determined by X-ray diffraction pattern, and texture observation and quantitative chemical analysis was carried out by scanning electron microscope.

### **Results and Discussion**

The main contents were dunite and serpentine with various degree of serpentinization. The serpentinized part often included clinopyroxene, showing that wehrlite altered to serpentinite while dunite remained fresh. Rodingite was seen as dikes of few meters or of few centimeters in size, accompanied by dunite or serpentinite. The consistent minerals were diopside, clinocllore, vesuvianite, and andradite.

In serpentinite, an Al-rich area of serpentine, which seem to take shape of the primary mineral, was often seen. In one sample, pumpellyite-(Al) and grossular was seen in the center of this texture, formed by the saussurization of plagioclase. A needle like clinopyroxene, Ca-poor than the primary clinopyroxene, was seen around this structure, and the following formation sequence is proposed. First, the plagioclase undergoes saussurization and turns into fine grained minerals such as pumpellyite-(Al), grossular. Then those minerals become Al-rich serpentine and releases Ca, forming clinopyroxene of needle like shape, replacing the surrounding olivine and evolving around the primary clinopyroxene with sharp contacts. Needle like clinopyroxenes were seen where the degree of serpentinization is high, indicating that this reaction caused by plagioclase accelerates serpentinization.

In rodingite, a primary clinopyroxene, showing the same features as those in serpentinite, was replaced by vesuvianite, andradite, clinopyroxene. The estimated order of formation is diopside, vesuvianite, andradite, Fe-rich andradite, and clinocllore were present in all stages. The mineral of the host rock is thought to be clinopyroxene and saussurized plagioclase. Therefore, the rodingite veins should have formed in the gabbrotic part of the peridotite, which means the source and receiver of rodingitization coexists inside a single rock type.

As mentioned above, rodingite coexists with dunite in this locality, which is quite unique, since most reported rodingites accompanies completely serpentinized serpentinite. Rodingite of this occurrence lack the source of the serpentinized fluid, so the transportation is essential for formation. Since the rodingites show the same features irrelevant to the degree of serpentinization of the surrounding rock, the same fluid was thought to be supplied from the surrounding serpentinites.

Keywords: serpentinite, rodingite, dunite, needle like clinopyroxene, serpentine, clinocllore

兵庫県生野多金属鉱床地域及び岡山県三石ろう石鉱床地域の後期白亜紀火山岩類の  
ジルコン U-Pb 年代  
U-Pb zircon dating of the Late Cretaceous volcanic rocks from the Ikuno and Mitsuishi  
mines area, southwest Japan

佐藤 大介<sup>1\*</sup>  
SATO, Daisuke<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門  
<sup>1</sup>GSJ, AIST

西南日本内帯には白亜紀～古第三紀火成岩類とこれらの活動に伴う熱水鉱床が広く分布している。そのうち、生野—明延地域は多金属鉱床として、三石地域はろう石鉱床としてそれぞれ日本有数の鉱床地域である。生野地域の鉱床は、兵庫県中北部の朝来市周辺に分布する。後期白亜紀生野層下部～中部（主にデイサイト～流紋岩凝灰岩及び火山礫凝灰岩）及びこれを貫く岩脈の一部を母岩とする多金属熱水鉱脈で、鉱化熱水系の熱源は地下に伏在する深成岩体が想定されている（吉川ほか，2005，産総研）。一方、三石地域の鉱床は、岡山県南東部の備前市三石周辺に分布する。後期白亜紀和気層の最下部（主に流紋岩溶結凝灰岩及び火山礫凝灰岩）を母岩とする白亜紀火成活動に伴う酸性熱水活動により形成されたものと推定されている（佐藤ほか，執筆中）。これら鉱床地域の地質や変質作用、鉱化年代についての研究はいくつか報告されているが（例えば、柴田・藤井，1971，地調月報；Ishihara and Shibata, 1972, Mining Geol.；藤井ほか，1979，鉱山地質；吉川ほか，2005 など），母岩の噴出年代については変質のためその詳細は不明であった。そこで今回、LA-ICP-MSによるジルコン U-Pb 年代測定を行い、母岩の噴出年代を検討したので報告する。

ジルコン U-Pb 年代測定は株式会社京都フィッシュン・トラックに依頼した。その結果、生野鉱山付近で採取した生野層下部のデイサイト火山礫凝灰岩から  $78.9 \pm 0.9$  Ma、三石地域の土橋鉱山坑内で採取したダイアスポア（流紋岩溶結凝灰岩）から  $82.4 \pm 0.6$  Ma の U-Pb 年代がそれぞれ得られた。生野鉱床では、本測年試料と同一層準の年代は得られていないが、鉱化前の流紋岩岩脈から 75 Ma（補正值，原著は  $72.8 \pm 2.9$  Ma；Ishihara and Shibata, 1972）の全岩 K-Ar 年代が報告されており、本報告の年代値より明らかに若い。三石地域では、母岩のセリサイト化流紋岩溶結凝灰岩などから  $80.5$  Ma（補正值，原著は  $78.7 \pm 3.2$  Ma；柴田・藤井，1971）及び  $80.0 \pm 1.7$  Ma～ $73.0 \pm 1.6$  Ma（本宮ほか，2000，粘土科学）の全岩 K-Ar 年代が報告されており、下限の年代値は本報告の年代値よりわずかに若い程度に近似する。これは従来の指摘通り、生野鉱床は母岩の火山活動とは別の火成（深成）活動が、三石地域は母岩の火山活動に伴う熱水活動がそれぞれ鉱床生成に関与していることを示唆する。

キーワード: U-Pb 年代, 生野, 多金属鉱脈, 三石, ろう石鉱床, 後期白亜紀

Keywords: U-Pb age, Ikuno mine, polymetallic vein, Mitsuishi mine, pyrophyllite and sericite clay deposit, Late Cretaceous

## スリランカ Highland 岩体の変堆積岩に含まれる碎屑性ジルコンの U-Pb 年代の比較： ゴンドワナ超大陸の復元に対する示唆 Geochronology of detrital zircon from the Highland Complex, Sri Lanka: Implications for Gondwana reconstruction

高村 悠介<sup>1\*</sup>; 角替 敏昭<sup>1</sup>; サントッシュ エム<sup>2</sup>; マラビアラクチ サンジーワ ピー ケー<sup>3</sup>; 堤 之恭<sup>4</sup>  
TAKAMURA, Yusuke<sup>1\*</sup>; TSUNOGAE, Toshiaki<sup>1</sup>; SANTOSH, M<sup>2</sup>; MALAVIARACHCHI, Sanjeewa p.k.<sup>3</sup>;  
TSUTSUMI, Yukiyasu<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科地球科学専攻地球進化科学領域, <sup>2</sup> 中国地質大学地球科学・資源学科, <sup>3</sup> ペラデニヤ大学理学部地質学科, <sup>4</sup> 国立科学博物館地学研究部

<sup>1</sup>Faculty of Life and Environmental Sciences (Earth Evolution Sciences), University of Tsukuba, <sup>2</sup>School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences Beijing, <sup>3</sup>Department of Geology, Faculty of Science, University of Peradeniya, <sup>4</sup>Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science

Sri Lanka is regarded as one of the important regions to unravel the process of Gondwana amalgamation because it was located in the center of the collisional orogeny formed during Late Neoproterozoic. The Highland Complex, exposed at the central part of Sri Lanka, is metamorphosed to granulite-facies conditions (e.g., Faulhaber and Raith, 1991; Hiroi et al., 1994; Raase and Schenk, 1994). Ultrahigh-temperature metamorphic conditions are also reported from some localities in the Highland Complex (e.g., Osanai et al., 2006; Sajeev and Osanai, 2004; Sajeev et al., 2007). The Highland Complex is dominantly composed of metasediments that include detrital zircons, and their age distributions can be used to infer the correlation between some depositional basins and their provenance (e.g., Collins et al., 2007; Kuznetsov et al., 2014). Although some authors (Holzl et al., 1994; Kroner et al., 1987) obtained Archean to Paleoproterozoic detrital zircon ages from metasediments in the Highland Complex, they did not discuss about the detail correlation of the Highland Complex with other Gondwana fragments. This study focuses on geochronology of detrital zircons in metasediments from the Highland Complex in order to unravel the regional geographical correlation of Sri Lanka within Gondwana supercontinent.

We collected four samples of quartzite and pelitic gneiss from the Highland Complex, separated detrital zircons from them, and analyzed U-Pb ratios using LA-ICP-MS. The detrital zircon ages are distributed from ca. 3500 Ma to ca. 1700 Ma with strong peaks at around 2700 Ma, 2500 Ma, and 2000 Ma. These age distributions of detrital zircons are consistent with those from the Palghat-Cauvery Suture Zone (e.g., Raith et al., 2010; Sato et al., 2011), but different from those of the Trivandrum Block and the Achancovil Shear Zone (Collins et al., 2007), South India, because they have Mesoproterozoic detrital age not found in the Highland Complex zircons. Thus, the Highland Complex could be correlated with the Palghat-Cauvery Suture Zone as a sedimentary basin rather than the Trivandrum Block or the Achancovil Shear Zone in southern India.

The precursor of the Wannai Complex could be a possible source of the Highland Complex before it was reworked based on available Hf crustal model ages of zircon (Santosh et al., 2014). The Dharwar Craton (ca. 3400-2500 Ma; Chadwick et al., 2000; Collins et al., 2003), the Salem Block (ca. 2750, 2600, 2500 Ma; e.g., Collins et al., 2014; Ghosh et al., 2004; Saitoh et al., 2011), and northern Madurai Block (ca. 2500 Ma; Collins et al., 2014; Plavsa et al., 2012; Teale et al., 2011) are also possible provenances of sediments of the Highland Complex. In contrast, crustal blocks in East Africa are difficult to be source regions of the Highland Complex because they are composed of rock units younger than Mesoproterozoic (Kibaran belt; ~1400 Ma; Kokonyangi et al., 2004).

キーワード: ゴンドワナ超大陸, スリランカ, Highland 岩体, 碎屑性ジルコン, LA-ICP-MS, 縫合帯  
Keywords: Gondwana, Sri Lanka, The Highland Complex, Detrital Zircon, LA-ICP-MS, Suture Zone

## 南インドの Gondwana 大陸衝突帯にみられるざくろ石単斜輝石岩の温度圧力経路 Metamorphic P-T evolution of garnet-clinopyroxene rocks from the Gondwana collisional orogen in southern India

矢野 美波<sup>1\*</sup>; 角替 敏昭<sup>2</sup>; 飯沼 美奈子<sup>2</sup>; M Santosh<sup>3</sup>  
YANO, Minami<sup>1\*</sup>; TSUNOGAE, Toshiaki<sup>2</sup>; IINUMA, Minako<sup>2</sup>; SANTOSH, M<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学地球学類, <sup>2</sup> 筑波大学生命環境系, <sup>3</sup> 中国地質大学  
<sup>1</sup>Univ. Tsukuba, <sup>2</sup>Univ. Tsukuba, <sup>3</sup>China Univ. Geosci.

原生代最末期の Gondwana 大陸集合時の大陸衝突によって形成された造山帯である東アフリカ-南極造山帯は、現在のマダガスカル、インド、スリランカ、東南極地域に広く分布している。特にモザンビーク海の閉塞にともなう海洋プレートの沈み込み→付加→最後の大陸衝突によって形成された縫合帯は、インドの Palghat-Cauvery 縫合帯から東方のスリランカ・ハイランド岩体に延長すると考えられている (Santosh et al., 2014)。一方でその縫合帯の西方への延長はマダガスカルにつながると考えられているが、その詳細は不明である。この縫合帯の主な岩相は、酸性-中性の正片麻岩、苦鉄質グラニュライト/角閃岩、泥質グラニュライト、珪岩/縞状鉄鉱層、苦鉄質-超苦鉄質複合岩体 (オフィオライト) などであるが、縫合帯の外側の岩体 (主に高度変成作用を受けた正片麻岩および準片麻岩からなる) との大きな違いは、断片状に産出するオフィオライト岩体および変ハンレイ岩体などの苦鉄質-超苦鉄質岩体の存在である。この中で後者の変ハンレイ岩体は主に粗粒のざくろ石、単斜輝石からなり、微量の斜長石、石英、斜方輝石、チタン鉄鉱などから構成されているエクロジャイト的な岩石である。この変ハンレイ岩 (ざくろ石単斜輝石岩) は、南インド中央部の Palghat-Cauvery 縫合帯 (Nishimiya et al., 2008; Saitoh et al., 2011; Koizumi et al., 2014)、スリランカ・ハイランド岩体 (Osanai et al., 2006; Takamura et al., 2014)、東南極リュツォ・ホルム岩体 (Saitoh et al., 2012) の限られた地域からのみ報告されている。しかし、南インドの西部では発見されておらず、これが Palghat-Cauvery 縫合帯の西方延長を議論する上での妨げとなっている。ざくろ石単斜輝石岩は様々な年代の海洋プレートの断片と考えられるため、その原岩および変成作用の広域的な比較は、Gondwana 大陸集合時の海洋の閉塞や最終的な大陸衝突のテクトニクスを考察する上で重要である。本研究では、特に南インド西部のワイナード地域から新たに得られたざくろ石単斜輝石岩に注目し、その岩石学的な特徴および変成温度圧力条件について報告する。

ワイナード地域から採集したざくろ石単斜輝石岩は、変センリョク岩中に 1 m 程度のブロックとして産出する。鉱物組み合わせは、ざくろ石+単斜輝石+チタン鉄鉱+斜長石+石英である。後退変成作用の生成物として、普通角閃石がみられる。粗粒なグラノプラスチック組織を呈し、顕著な変形構造はみられない。ざくろ石-単斜輝石-斜長石-石英地質温度圧力計を適用して得られた温度条件は、680-710 °C 程度、圧力は約 9 kbar であった。この条件は、南インド中央部の Palghat-Cauvery 縫合帯から得たピーク変成条件 (>14 kbar, >850 °C) に比べて、温度・圧力ともに極めて低い。

近年の岩石学的研究により、Palghat-Cauvery 縫合帯のようなモザンビーク海の閉塞とその後の大陸衝突によって形成された縫合帯には、様々な年代をもつ岩石がブロック状に取り込まれ、メランジを形成している。例えば Palghat-Cauvery 縫合帯にみられる苦鉄質-超苦鉄質岩体 (オフィオライトや層状貫入岩体) は、(1) 25 億年前の火成および変成年代をもつ岩体、(2) 25 億年の火成年代と 7-8 億年の変成年代をもつ岩体、(3) 7-8 億年の火成年代と 5 億年の変成年代をもつ岩体の 3 つが混在しており、これらのピーク変成条件や温度圧力履歴は異なる。今回、南インド西部のワイナード地域から得られたざくろ石単斜輝石岩の温度圧力履歴は過去の 3 つのタイプには当てはまらず、全く異なる温度圧力経路および時代の岩体である可能性がある。

キーワード: グラニュライト, 温度圧力経路, Gondwana  
Keywords: granulite, P-T path, Gondwana

## 地質学のフィールドワークに用いることが可能な空間フィルター速度計測技術による可搬型粒度分布測定装置の提案 Proposal of a portable particle size analyzer by a spatial filter velocimetry for a field work of geoscience.

佐藤 文章<sup>1\*</sup>; 笹倉 大督<sup>1</sup>  
SATO, Fumiaki<sup>1\*</sup>; SASAKURA, Daisuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> スペクトリス株式会社 マルバーン事業部  
<sup>1</sup>Malvern instruments A division of Spectris Co., Ltd.

### 1.Introduction

従来、地質学分野にて粒子径評価に多用されている手法は篩分けである。篩は、可搬が可能であり、壊れにくく、理解しやすいという利点がある。しかし、分解能が低いことや、測定に手間がかかることなどの問題点があった。このことから、野外にて、採取したサンプルをその場で、瞬時に連続して広いレンジで粒度分布をモニタリングすること可能なら、有用であると考えられる。このような要求に応える一つの手法が、空間フィルター速度計測法によるインライン粒子分析技術である。空間フィルター速度法は、光学式粒子カウント法の一つであり、リアルタイムにマイクロメートルからセンチメートルまでの広い範囲のサンプルを瞬時に測定可能である。このため、野外の自然状態における岩石・水域などの粒度分布を研究や探査に使用可能であると考えている。本報告では、本手法を用いた装置による応用の可能性を提案する。

### 2.System

装置は Parsum(Malvern Instruments 社製)を用いた系を提案する。本装置の特徴は、小型、軽量であり、携帯用電源を使用可能、振動に強く、移動(輸送等)してもキャリブレーション調整が不要である点にある。測定のレンジは 50-6000  $\mu$  m であり、地質学で粒子解析に一般的に必要とされるレンジは満たしている。

### 3.Feasibility study

粉体のリアルタイム測定の実施例としての配置概要を Fig.1 に示した。具体的には、粉体の輸送中のラインに測定プローブを簡易的に設置し、粒度分布をリアルタイムに測定すると同時に、定期的にサンプルを抜き取り、篩との比較を行った。粉体の輸送中のラインに手差しで設置した瞬間から、PC に表示された粒度分布をリアルタイムでモニタリングを行うと同時に、サンプルを粉体ラインから一定量抜き取り、篩(ロータップ型振とう機)にかけた。おおよそ1分間の測定時間で、約 10000 粒以上の粒子が測定され、粒度分布 Dn50 では 146 $\mu$ m を示し、篩メッシュとの比較では 150 $\mu$ m では Parsum は 64.2% に対して篩は 57.4%、その他の値 75 $\mu$ m, 106 $\mu$ m, 212 $\mu$ m のメッシュに対してもほぼ同等の重量分布の結果を得た。

### 4.Conclusions

本報告では、本システムにより、フィールドワークで粒度分布を測定する新しいアプリケーションについて紹介する。

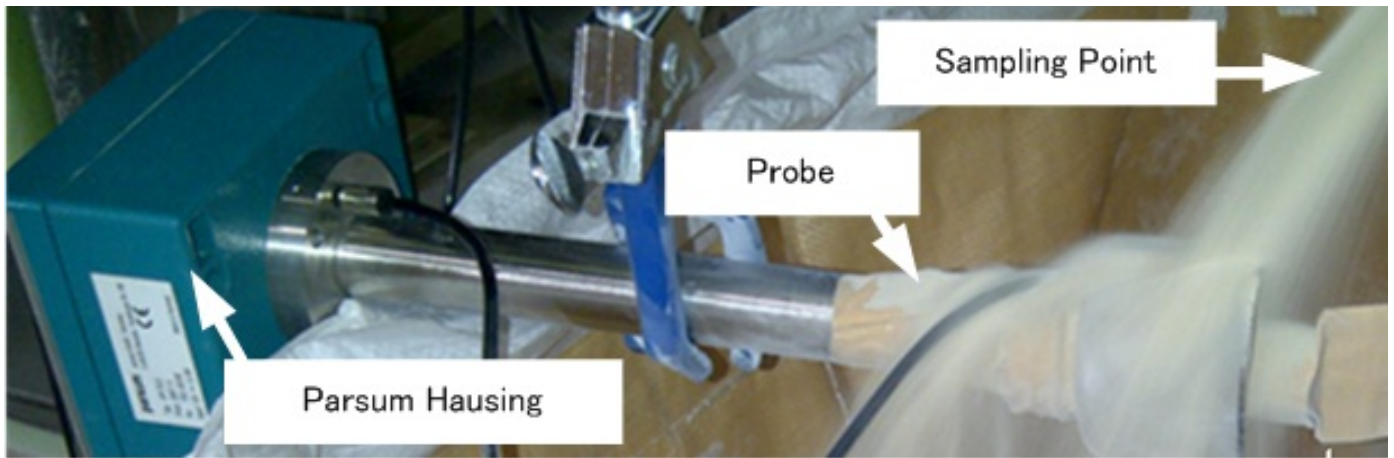
キーワード: リアルタイム・インライン粒子分析, 可搬型による粒度分布測定, 篩分, 地質学のフィールドワーク, 空間フィルター速度計測技術

Keywords: Real time inline particle analysis, Portable particle size analyzer, Sieving technique, A field work of geoscience., A spatial filter velocimetry

SCG58-P12

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 18:15-19:30





## 日本山口県数か所の炭素含有鉱物形成とその場観察 In-situ observation of formation process of carbon-rich minerals in several sites of Yamaguchi, Japan.

三浦 保範<sup>1\*</sup>  
MIURA, Yasunori<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 山口市、客員 (国内外大学)  
<sup>1</sup> Yamaguchi, Visiting Univ.(In & Out)

1. 地球の炭素鉱物の問題点：炭素鉱物は、揮発性元素の炭素を含み容易に蒸発消滅しそうだが、高温高压と急冷条件などの詳細な形成条件を記憶する重要な鉱物で地球物質の形成に重要である。これまでは成長後のマクロ結晶の議論のためその起源や状態変化の解明ができなかったが、適切な試料とミクロ観察方法により新しい情報が得られている [1-4]。

2. 山口県内の炭素に富む鉱物の研究：山口県内の炭素鉱物の報告は以前から行っていたが適切な露頭は多くない。本件では、山口県内3ヶ所5地点と対比的に1ヶ所（島根県）で炭素に富む鉱物の動的形成過程を示してその場観察を報告する（詳細名は本件省略） [1-4]。

3. 炭素含有鉱物の産出とその場ミクロ観察：マクロな炭素高压鉱物の形成には、成長末期にかけてやや安定した地球環境が必要なため、若い日本の火山列島全体には産出しないが、西日本の列島に大陸性基盤が一部残る地域で上昇した火山的な岩石・鉱物に炭素鉱物（高压を含む）が予備的に報告されている。本件では、次記のようにまとめることができる [2-4]。

1) 地点 A:玄武岩にマクロ的な金雲母と長石が析出しており、ナノ観察（分析電顕）では三種類の炭素含有物があることがわかった。古くから科学論文で公表されている地点でマクロ薄片観察報告されているが、ミクロな炭素含有物の報告はない。ナノ炭素鉱物が噴出過程により溶出している。2) 地点 B:玄武岩に炭素が富むマクロ的な金雲母と長石が析出しており、ナノ観察で三種類の炭素含有物がある。炭素鉱物が流体固化しながら炭素化が進む過程がその場観察ができる。管状の炭素濃縮粒子が多数切断されて粒子状に急冷花弁状組織上に点在している。切断粒子だけをみると、別過程（地下）形成された粒子に誤解されやすいので大切な組織である。3) 地点 C:玄武岩に炭素が富むマクロ的な金雲母と長石が析出しており、ナノ観察で三種類の炭素含有物があることがわかった。この試料でも炭素鉱物が流体固化して変化する過程を観察できる。4) 地点 D:玄武岩に炭素が富むマクロ的な金雲母のナノ観察から三種類の炭素含有物があることがわかった。炭素鉱物の流体急冷固化する過程が花弁状組織で観察ができる。5) 地点 E:玄武岩に長石と三種類の炭素含有物がある。金雲母も炭素鉱物も産出しないが、長石に炭素が急冷付着した組織を示す。6) 地点 F(対比):金雲母は共存しないが、炭素を含む長石組成と炭酸塩粒子に炭素含有急冷花弁状組織と濃縮した炭素鉱物の孤立組織を示す。

4. 炭素鉱物の同定：炭素鉱物（地点 B）の X 線・ラマン測定結果を本件で報告する。粉末 X 線回折では、主要鉱物と高压炭素鉱物のピークが見られる。ラマン分光ピークでは特徴的な高压炭素鉱物（ダイヤモンド型）がこの測定でも確認できる。

5. 新しい高压炭素鉱物の出来方：これまでは炭素単体から高压系炭素を合成し地球深部源考察をしていた。本件では地球表層にある炭素含有物からの炭素高压化を、連続変化ミクロ組織で観察することができることがわかった。

6. まとめ：山口県内3ヶ所5地点のミクロ炭素化鉱物のその場観察を行い、表層の炭素含有物から連続的に変化してきた高压炭素高压の報告を含む。本件で、山口県の数か所において岩石の構成鉱物によらず炭素化が観察され、その中に高压炭素（ダイヤモンド化）ミクロ粒子の形成が含まれていることがわかった。

引用文献： [1] Miura Y. (2007): Front. Mineral Sci. (Univ. Cambridge), 223. [2] Miura Y. (2008): Am. Geo. Union, pp.1. EOS Trans, AGU, 89 (53), MR33-B1861. [3] Miura Y. (2012-2014): 日本地質学会講演要旨集, 各 pp.1. [4] Miura Y. (2014): Inter. Mineral. Assoc. 2014 (Johannesburg, SA), 689.

キーワード: 高压炭素, 玄武岩, その場観察, 金雲母, 流体固化, 管状組織

Keywords: High-pressure carbon, Basalt, In-situ observation, Phlogopite, Fluid solidified, Tube-like texture