

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^{1*}; 浜田 寛之¹; 早内 愛子¹
SASAKURA, Daisuke^{1*}; HAMADA, Hiroyuki¹; HAYAUCHI, Aiko¹

¹ スペクトリス株式会社 マルバーン事業部
¹Malvern 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^{1*}; 奥村 文章²; 岩野 裕継²; 早稲田 周²; 鍵 裕之¹
KOUKETSU, Yui^{1*}; OKUMURA, Fumiaki²; IWANO, Hirotsugu²; WASEDA, Amane²; KAGI, Hiroyuki¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 石油資源開発株式会社 (JAPEX)

¹Geochemical research center, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ²Japan 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 nm Ar⁺ 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 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^{1*}; 足立 佳子¹; 宮下 純夫¹
KANEKO, Ryu^{1*}; ADACHI, Yoshiko¹; MIYASHITA, Sumio¹

¹ 新潟大学
¹Niigata 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^{1*}; 中村 美千彦¹; 三宅 亮²
MUJIN, Mayumi^{1*}; NAKAMURA, Michihiko¹; MIYAKE, Akira²

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

¹Department of Earth and Planetary Material Science, Graduate School of Science, Tohoku University, ²Division 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 μm 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.

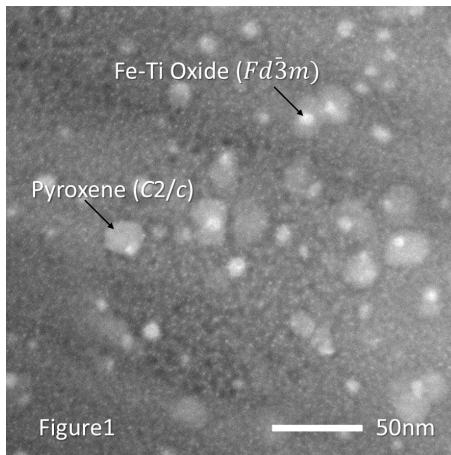
The compositions of pyroxene nanolites and small microlites (1 – 6 μm in width), on the other hand, do not show any systematic difference among the eruption styles, being consistent with the CSD results. They were within the metastable compositional range of pigeonite, sub-calcic augite and augite. In 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 (*P2₁/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^{1*}; 佐々木 惇¹; 足立 達朗²; 中野 伸彦²; 小山内 康人²

TSUCHIYA, Nobutaka^{1*}; SASAKI, Jun¹; ADACHI, Tatsuro²; NAKANO, Nobuhiko²; OSANAI, Yasuhito²

¹ 岩手大学教育学部, ² 九州大学比較社会文化研究院

¹Iwate University, ²Kyushu 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^{1*}; 土谷 信高¹SASAKI, Jun^{1*}; TSUCHIYA, Nobutaka¹¹ 岩手大教育¹ 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 SiO₂ 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 Na₂O, K₂O ではばらつく傾向がみられるが他の元素では SiO₂ の増加に伴い減少する一連の過程がみられる。Al₂O₃ 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 SiO₂ 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 SiO₂ 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。SiO₂ の低い角閃石を含む A-4 から SiO₂ 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。

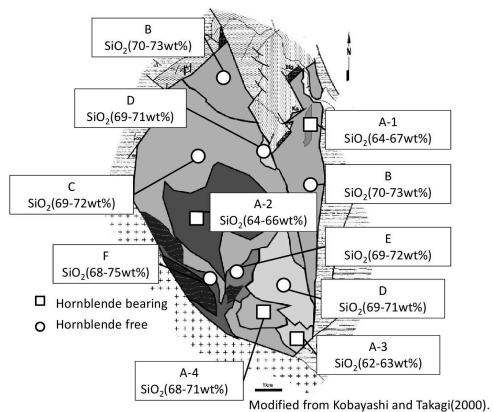
キーワード: 氷上山花崗岩帯, 岩石化学, 南部北上山地, 先シルル紀

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^{1*}; 角替 敏昭¹
SAITOH, Yohsuke^{1*}; TSUNOGAE, Toshiaki¹

¹ 齋藤陽介
¹ 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 μ m. The size of CMI grains is up to 100 μ 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^{1*}; 前田 仁一郎²; 芳川 雅子³; 柴田 知之³; Yi Keewook⁴
YAMASHITA, Kohei^{1*}; MAEDA, Jinichiro²; YOSHIKAWA, Masako³; SHIBATA, Tomoyuki³; YI, Keewook⁴

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

¹ Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, ² Department of Natural History
Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University, ³ Beppu Geothermal Research Laboratory, Kyoto University, ⁴ 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 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr and ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 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-SiO₂ (64.0 – 74.5 wt%) and -K₂O (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-SiO₂ (55.0 – 60.0 wt%) and -K₂O (<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 SiO₂-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).

⁸⁷Sr/⁸⁶Sr initial ratios of GV, PV and NV are 0.70531 – 0.70550, 0.70541 – 0.70551 and 0.70560 – 0.70566, respectively, and ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 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 SiO₂ 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 SiO₂-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^{1*}; 荒井 章司¹; 水上 知行¹; 山本 伸次²; ブラディミール シュメレフ³
MIURA, Makoto^{1*}; ARAI, Shoji¹; MIZUKAMI, Tomoyuki¹; YAMAMOTO, Shinji²; VLADIMIR, Shmelev³

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

¹Department of Earth Sciences, Kanazawa University, ²Department of Earth Science and Astronomy, University of Tokyo,

³Institute 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^{1*}; 小木曾 哲²; 大井 修吾¹; 三宅 亮¹
IGAMI, Yohei^{1*}; KOGISO, Tetsu²; OHI, Shugo¹; MIYAKE, Akira¹

¹京大・理, ²京大・人環

¹Kyoto Univ., Sci., ²Kyoto Univ., HES.

Al₂SiO₅ 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/SiO₄ 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、SiO₂ 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 (Al₂[Al_{2+2x}Si_{2-2x}]O_{10-2x}) 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、Al₂O₃-SiO₂ 系における珪線石の高温高圧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_{2.00}Si_{0.99}Fe_{0.01}O₅) 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-4B₂ 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 SiO₂ 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^{1*}; 大井 修吾¹; 伊神 洋平¹; 三宅 亮¹
OSAKO, Tatsuya^{1*}; OHI, Shugo¹; IGAMI, Yohei¹; MIYAKE, Akira¹

¹ 京都大学 理
¹ Kyoto Univ. Sci.

【はじめに】

エンスタタイト (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^{1*}; 西間木 志野²; 谷口 直暉¹; 木股 三善³; 清水 雅浩³; 齋藤 静夫⁴; 西田 憲正⁵
ECHIGO, Takuya^{1*}; NISHIMAKI, Shino²; TANIGUCHI, Naoki¹; KIMATA, Mitsuyoshi³; SHIMIZU, Masahiro³;
SAITO, Shizuo⁴; NISHIDA, Norimasa⁵

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

¹ Faculty of Education, Shiga University, ² Master's Program in Science and Engineering, University of Tsukuba, ³ Doctoral Program in Earth Evolution Sciences, University of Tsukuba, ⁴ Institute of Materials Science, University of Tsukuba, ⁵ 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 μm 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 μm 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 μm 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、 H_2O 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^{1*}; 長瀬 敏郎²; 栗林 貴弘¹
ISHIKAWA, Shiori^{1*}; NAGASE, Toshiro²; KURIBAYASHI, Takahiro¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 東北大学総合学術博物館

¹Institute of Mineralogy, Petrology and Economic Geology, Graduate School of Science, Tohoku University, ²The 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^{1*}; 菖蒲 彩香¹; 高井 康宏²; 白勢 洋平¹
UEHARA, Seiichiro^{1*}; SHOBU, Ayaka¹; TAKAI, Yasuhiro²; SHIROSE, Yohei¹

¹九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ²エネコム(株)

¹Dep. Earth & Planet. Sci. Kyushu Univ., ²Enecom 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) PO₄ · H₂O (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, Hinodematu

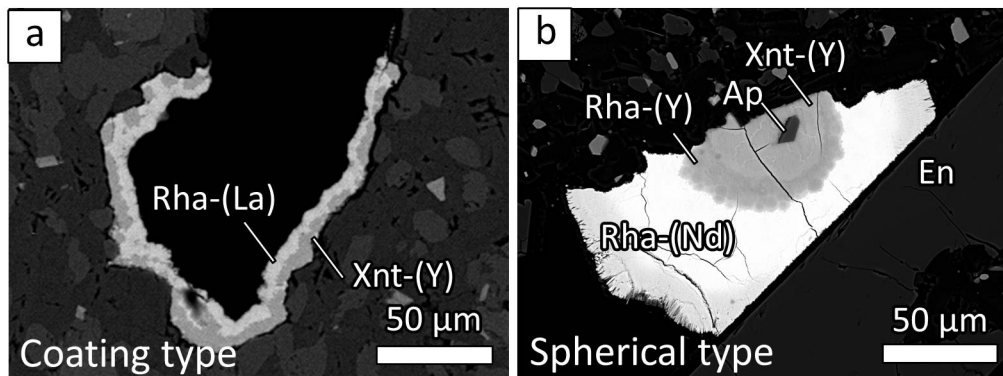


Fig. BSE images of REE phosphates with chemical zoning structure. (a) Cavity coated with rhabdophane-(La) and xenotime-(Y) like minerals (sample H06). (b) Sphere of REE phosphates with zoning structure consisted of rhabdophane-(Nd), rhabdophane-(Y) and xenotime-(Y) like mineral (sample H07).

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¹; 三宅 亮^{1*}; 土山 明¹; 中野 司²; 上杉 健太郎³; 吉田 健太¹; 松野 淳也¹; 黒澤 正紀⁴
FUJIMOTO, Kyousuke¹; MIYAKE, Akira^{1*}; TSUCHIYAMA, Akira¹; NAKANO, Tsukasa²; UESUGI, Kentaro³;
YOSHIDA, Kenta¹; MATSUNO, Junya¹; KUROSAWA, Masanori⁴

¹ 京大・理, ² 産総研, ³ JASRI, ⁴ 筑波大・生命環境
¹ Kyoto Univ., ² AIST, ³ JASRI, ⁴ 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 μm の空間分解能での観察が可能となり、数 μm 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 (K₃NaMnCl₆), Siderite (FeCO₃), 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 (CaCO₃) 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 (Fe₂O₃) 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