

海底熱水鉱床で得られた岩石サンプルの諸物性に関する研究

Physical properties of rock samples of seafloor massive sulfide

*大田 優介¹、後藤 忠徳²、林 為人²、多田井 修²、笠谷 貴史²、金松 敏也²、町山 栄章²

*Yusuke Ota¹, Tada-nori Goto², Weiren Lin², Osamu Tadai², Takafumi Kasaya², Toshiya Kanamatsu², Hideaki Machiyama²

1.京都大学、2.海洋研究開発機構

1.Kyoto University, 2.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Geophysical surveys around submarine hydrothermal areas are conducted to investigate new seafloor mineral resources. However, the information related to the volume of metallic material cannot be directly obtained from the geophysical surveys. As one of ways to solve this problem, construction of an appropriate rock-physical model of target area is helpful to interpret the geophysical results. For development of a rock model in a submarine hydrothermal area, we carried out the fundamental research about various physical properties and mineral component of rock samples collected from two hydrothermal areas; the Izena hole and the Noho site at the Okinawa Trough, Japan. We discussed the correlation between physical and chemical parameters.

In this research, we measured electrical conductivity, porosity, density, natural remanent magnetization (NRM), and metal element content of rock samples. The electrical conductivity, with measurement under the various conductivity of pore water, was interpreted using the modified Archie's law (the parallel circuit model), and the surface conductivity and formation factor were determined. For porosity and density measurement, we used the buoyancy method. For NRM, we used the superconducting quantum interference device (SQUID) magnetometer. The metal composition ratio was measured with the X-ray fluorescence (XRF) analysis.

The rock samples including relatively large amount of conductive (> 25 wt. %) could not be explained by the simple parallel circuit model since the formation factor was unrealistic. We corrected the parallel circuit model in which the surface conductivity is a function of the pore-water conductivity. As a result, a positive correlation was found between the surface conductivity and Iron abundance ratio. Positive correlation was also observed between NRM and Iron. In conclusion, the rock model can include the metal abundance as a function of excess conductivity and NRM.

Keywords: seafloor massive sulfide ; Archie's law; electrical conductivity; models

キーワード：海底熱水鉱床、アーチーの式、導電率、物理学モデル

Keywords: seafloor massive sulfide, Archie's law, electrical conductivity, models

中部沖繩トラフ野甫サイトにおける熱水性鉱物の鉱物学的特徴

Mineralogical and Geochemical Study of Hydrothermal Deposits from the Noho Site in the mid-Okinawa Trough

*戸塚 修平¹、石橋 純一郎²、野崎 達生³、島田 和彦²*Shuhei Totsuka¹, Jun-ichiro Ishibashi², Tatsuo Nozaki³, Kazuhiko Simada²

1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、3.海洋研究開発機構海底資源研究開発センター

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University,

2.Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyushu University, 3.Research and Development Center for Submarine Resources, JAMSTEC

沖繩トラフ伊平屋北海丘と伊是名海穴のほぼ中間に位置するサカイ熱水域内には、CLAMサイト、ヒトシサイト、野甫サイトの3つの熱水サイトが確認されている。これらのうち野甫サイトは、2014年にその存在が報告された比較的新しい熱水サイトである。野甫サイトの水深は約1,600 mと沖繩トラフの熱水サイトの中では最深クラスである。また、熱水の温度も沖繩トラフにおける最高温度の338°C (Yubikuwaeチムニー) が記録されている。野甫サイトの発見からこれまでに数回の潜航調査が行われてきたが、チムニーやマウンドの鉱物の詳細な鉱物記載は行われていない。本講演では野甫サイトのチムニーおよびマウンドの鉱石試料の記載学的・鉱物学的特徴について報告する。

野甫サイトの北部に位置するヒトシサイトにおいては溶岩流に類似した構造を持つ母岩が露出している部分が多いのに対し、野甫サイトは大部分の海底が堆積物に覆われている。野甫サイトではマウンドが東北東～西南西方向に三列に分布しており、比高10 mを超える多くのマウンドが確認されている。野甫サイトのチムニーで特徴的なものとして、フランジ構造と呼ばれる庇(ひさし)状の構造物を伴ったものがある。マウンドの裾野からの高さが推定45 mにも達するYakushijiチムニーもフランジ構造を持ち、庇の下から熱水噴出が確認されている。

本研究ではNT15-02およびNT15-13航海において得られた試料を使用した。脆弱な試料が多かったため、エポキシ系の樹脂を用いて試料の補強を行ったのちに、研磨片を作製した。これらの研磨片について反射顕微鏡による構成鉱物の同定や組織観察、EDS (Energy Dispersive x-ray Spectroscopy) およびEPMA (Electron Probe Micro Analyzer) による鉱物同定、鉱物化学組成分析を行った。

顕微鏡観察の結果、多くの典型的なチムニー試料は主に磁硫鉄鉱 ($Fe_{1-x}S$) と閃亜鉛鉱 (ZnS) から構成されており、方鉛鉱 (PbS)、キューバ鉱 ($CuFe_2S_3$)、重晶石 ($BaSO_4$)、硬石膏 ($CaSO_4$) を伴うことがわかった。これらのうち閃亜鉛鉱と方鉛鉱は樹枝状組織を示しており、急冷による沈殿が示唆された。またチムニーのフランジ部分を顕微鏡下で観察すると、熱水が滞留する庇の下面からは針状の磁硫鉄鉱が下部に向かって成長している組織が確認できた。もう1つのタイプのチムニーはほとんど重晶石からなる硫酸塩チムニーであった。このようなチムニーでは、重晶石のほかにはAsやSbに富む鉱物がしばしば認められた。金属硫化鉱物はあまり認められず、少量の黄鉄鉱 (FeS_2) が観察される程度であった。マウンドの鉱石試料は閃亜鉛鉱が卓越し、次いで方鉛鉱、黄銅鉱 ($CuFeS_2$)、キューバ鉱が多く観察された。硫酸塩鉱物としては、2次的に生じたと思われる硫酸鉛鉱 ($PbSO_4$) が多くを占めており、重晶石はわずかに認められる程度であった。

EPMAによる鉱物化学組成分析で閃亜鉛鉱のFe濃度を測定し、その値から晶出環境を推定した。野甫サイトのチムニー中に存在する閃亜鉛鉱はFe濃度が平均18.30 mol%に達しFeを大量に含んでいることが明らかになった。閃亜鉛鉱のFe濃度は、晶出環境の硫黄フガシティを推定するための有効な指標であることが知られており、高いFe濃度は還元的な環境で閃亜鉛鉱が晶出したことを示唆している。これは、沖繩トラフの他の熱水サイトの値 (0~5 mol%) と比べても有意に高い値である。マウンドの鉱石に含まれる閃亜鉛鉱のFe濃度は平均で8.95 mol%を示し、チムニー試料ほどではないにしろ、沖繩トラフの他の熱水サイトに比べ高い値であった。本研究において頻繁に観察された磁硫鉄鉱+キューバ鉱という鉱物組み合わせは野甫サイトに特徴的である。これは沖繩トラフの他の熱水サイトにおいて一般的に黄銅鉱+黄鉄鉱がCu-Fe-S系の鉱物組み合わせであるのと対照的である。また、閃亜鉛鉱の高いFe濃度も合わせると、野甫サイトは硫黄フガシティが非常に低

く、硫化鉱物の晶出環境が還元的事であることを示唆する。野甫サイトにおいて観測されている熱水の温度が338°Cに達する高温であることから、沖縄トラフの他の熱水サイトと比べても、銅、鉛、亜鉛などに富んだ硫化物鉱床の存在が期待される。

キーワード：伊平屋小海嶺、海底熱水鉱床、フランジ構造、NT15-02航海、NT15-13航海

Keywords: Iheya Small Ridge, Seafloor hydrothermal deposit, Flange structure, NT15-02 Cruise, NT15-13 Cruise

Arsenic Occurrence and Its Origin in Sulfides Deposits of the Hokusetsu Area, Osaka, Japan

*Emilie Even¹, Harue Masuda¹, Takafumi Hirata²

1.Osaka City University, 2.Kyoto University

Arsenic contamination in the river and ground waters of the Hokusetsu area, Osaka Prefecture, Japan, have been chronically reported since 1994. The dissolution of pyrite contained in the host rocks is thought to be responsible for the As contamination. Our geochemical investigation of the As origin and the sulfur isotopic data suggested that two kinds of sulfide ore deposits would be responsible for the As contamination: one from the Late Paleozoic intensive submarine volcanisms that lead to the formation of stratiform Cu and bedded Mn deposits, and the other from the Late Cretaceous igneous activities that lead to the formation of the myriad ore deposits that constitute the W-Cu-Sn Province of Southwest Japan.

In order to confirm the origin of As, sedimentary rocks collected in highly contaminated areas and sulfides ores from in several mines were chemically analyzed. The sulfides minerals assemblages were optically observed under reflected light. As and associated trace elements were analyzed with Laser Ablation-Inducted Coupled Plasma-Mass Spectrometry (LA-ICP-MS) to document the genetic relationships among host rocks and ore deposits to the As origins.

Weathered sulfides along calcite veins, related to the Paleozoic volcanogenic ore deposits contained important levels of As, together with Pb, Cu and Zn, implying that the sulfides were the cause of the As contamination of hydrosphere of the study area. Others sulfides found in the contact-metamorphosed sedimentary rocks by the granitic intrusion, were mostly pyrite with some minor chalcopyrite and sphalerite. These sulfides contained As plausibly substituting sulfur as arsenopyrite. Heavy metals such as Ni, Co were found in the sulfides from hydrothermal ore deposits and in contact-metamorphosed rocks related to granitic activities, suggesting the As-enrichment in these rocks was induced by the igneous intrusion during Late Cretaceous.

Level of As in rivers and ground waters were generally higher in areas hosting sedimentary rocks rather than in area hosting metamorphosed rocks or closed to deposits related to granitic magma. This implies that the diffuse distribution of As-bearing sulfides and its dissolving rate, likely controlled by the crystallinity and/or the size of crystals, are important to factors contributing to the As contamination of the studied hydrosphere.

Keywords: Arsenic, Igneous Intrusion, Ore Deposit, Sulfide

早池峰-宮守オフィオライト中の超苦鉄質貫入岩を用いたオルドビス紀のマントルポテンシャル温度推定

Mantle potential temperature in Ordovician estimated from ultramafic dikes in the Hayachine-Miyamori Ophiolite

*木村 隼史¹、小澤 一仁¹

*Takafumi Kimura¹, Kazuhito Ozawa¹

1.東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻

1.Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

固体地球の進化を理解するためには、マントルの熱的状態の経年変化を見積もる必要がある。その指標のひとつにマントルポテンシャル温度がある(McKenzie and Bickle, 1988)。マントルポテンシャル温度は様々な年代に噴出したマグマの化学組成を用いて推定することができるが、拡大海嶺場あるいは非島弧場に限定して推定されてきた(Herzberg et al., 2010等)。これは、最上部マントルでの減圧融解に関係するものであるならば、その時代のマントル全域の熱状態の指標となり得るポテンシャル温度を比較的容易に推定可能だからである。島弧は二つの異なるプレートが関与する場であり、そのマグマ生成には沈み込みスラブから供給される水が大きく影響する。複雑なテクトニクスが関与する上に水の効果を無視できない島弧場でのポテンシャル温度の推定は避けられてきた。しかしながら、全球の熱史の解明には、時代的に連続的なデータの蓄積が必要であり、たとえ島弧場でもマントルポテンシャル温度を見積もる必要がある。

オフィオライトは海洋地殻とそのマントルセクションが地球表層へ衝上した岩体であり、その形成年代は少なくとも古原生代から近過去まで広範にわたる(Stern, 2005)。形成頻度には明瞭なピーク、オフィオライトパルスが存在し、これはマントルの熱状態の変化が反映されたものと考えられている(Abbate et al., 1985等)。オフィオライトはマグマ生成に関する情報を持つため、その形成機構とマントルポテンシャル温度を推定することで、全球的なマントルの熱状態の経年変化を明らかにできるはずである。一方でオフィオライトの形成場についてはデータの蓄積がすすみ、前弧-背弧域におよぶ様々な沈み込み帯環境が数多く報告されている(Dilek and Furnes, 2011)。

本研究では、オルドビス紀の島弧オフィオライト：早池峰宮守オフィオライトに見出される超苦鉄質岩脈からマントルポテンシャル温度を見積もった。岩手県北上山地に位置する南部北上帯の早池峰宮守オフィオライトは、~500Maに島弧で形成されたことが地質学的、岩石学的、地球化学的に示され、その発達過程が明らかになっている(Ozawa et al., 2015)。本オフィオライトの超苦鉄質沈積層下部には、斑状超苦鉄質岩脈が分布している(Ozawa, 1984)。本研究で解析した岩脈は、自形から半自形のかんらん石(~5 mm径, ~30 体積%)と少量の輝石(~3 mm径, ~2 体積%)を斑晶とした斑状組織をもち、~0.2mmの細粒な基質はパーガス閃石、斜方輝石、単射輝石、斜長石よりなる。母岩は斜方輝石を少量含むダナイトである。岩脈には多数の枝分かれが認められ、一部には斑晶の形態配向と岩脈中心付近への斑晶の濃集が観察され、マグマの貫入流動過程が凍結されている。これらから岩脈は液体状態で貫入し、その場で流動分別状態を維持する程度に急速に閉鎖系を維持して固化したことが示唆される。同一岩脈中の斑晶量が異なる部位で全岩化学組成を分析し、変成・変質作用と母岩との間に生じた元素拡散による組成改変効果を補正した。その結果、全岩化学組成はハーカー図上で直線上のトレンドを示し、2成分の混合によって形成されたものであることがわかる。トレンドの一端成分は、かんらん石組成に向かっている。推定したかんらん石の平均組成を、各岩石について全岩組成からモード量だけ減じると、ほぼ一定の化学組成に集中するようになり、これが母岩貫入時のメルト組成であることを示している。岩体に存在する角閃石量から予想されるメルトの含水量は約1.5wt%と推定される。さらにかんらん石の分別効果を補正することで、初生メルト組成を決定し、熔融温度圧力条件、部分融解度、マントルポテンシャル温度を推定した。

キーワード：島弧オフィオライト、マントルポテンシャル温度、部分融解度、初生メルト

Keywords: arc ophiolite, mantle potential temperature, partial melting degree, primary melt

溶結凝灰岩における球晶の形成機構：揮発性成分が誘発する脱ガラス化作用

Formation mechanism of spherulite in welded tuff: devitrification induced by volatile components

*越後 拓也¹、齋藤 庸一郎²、木股 三善³、清水 雅浩³、西田 憲正⁴、滝沢 茂⁵

*Takuya Echigo¹, Yoichiro Saito², Mitsuyoshi Kimata³, Masahiro Shimizu³, Norimasa Nishida⁴, Shigeru Takizawa⁵

1.秋田大学国際資源学部、2.筑波大学大学院理工学研究科、3.筑波大学大学院生命環境科学研究科地球進化科学専攻、4.筑波大学研究基盤総合センター分析部門、5.防災科学技術研究所地震・火山防災研究ユニット

1.Faculty of International Resource Sciences, Akita University, 2.Master's Program in Science and Engineering, University of Tsukuba, 3.Doctoral Program in Earth Evolution Sciences, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 4.Chemical Analysis Division, Research Facility Center for Science and Technology, University of Tsukuba, 5.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

放射状もしくは同心薄層状の組織を持ち、球状の外形を示す多結晶集合体を「球晶 (spherulite)」と呼び、樹枝状結晶集合体 (dendrite) と同様に非平衡環境で結晶化したことを示す特徴的な形態として、その形成機構に関する研究は理論・実験の両面から数多く行われている (e.g., Lofgren, 1970; Shtukenberg *et al.*, 2012)。日本国内に産する球晶鉱物としては、火山ガラス、黒曜岩、溶結凝灰岩中に産出する高温型アルカリ長石およびシリカ鉱物が知られているが、その形成機構を詳細に検討した研究例は少ない。そこで本研究では、新潟県阿賀町の流紋岩質溶結凝灰岩に産する球晶に着目し、その形成機構を解明することを目的として、鉱物種の同定と化学分析および組織解析を行った。

本研究では、緑色凝灰岩層が優位な津川層に挟在された溶結凝灰岩中の球晶および石基を分析試料とした。球晶の研磨薄片を作成し、偏光顕微鏡観察を行ったところ、中心部から放射状に成長した繊維状結晶の集合体であることが明らかになった。成長核となるような異物粒子は球晶の中心部には観察されなかったが、球晶内部にも石基部にも斜長石の自形結晶が斑晶として包有されていた。粉末X線回折と電子線マイクロプローブ分析の結果、球晶を構成する鉱物はクリストバライト・Na-richサニディン・Na-rich斜長石であることが判明した。球晶および石基に斑晶として包有される斜長石の化学組成が類似していることから、球晶と石基は共通するマグマから晶出した可能性が高い。SEM-EDS観察と顕微ラマン分光分析により、球晶の内部組織は外殻部・マントル部・中心部に大きく分けられ、外殻部と中心部は高温型長石類が卓越する緻密な組織を持ち、マントル部はクリストバライトが卓越する空隙率の高い組織を持つことが判明した。

球晶を構成する鉱物の組み合わせ・共生組織・主要元素組成・微量元素組成からその形成過程を以下のように推察した：(1) 高温かつ流動性の高い火砕流堆積物が冷却する過程において、揮発性成分が濃集した領域が発生し、非晶質の球晶前駆体が形成される。(2) 球晶前駆体とその他の領域の境界部で不均一核形成が促進され、Na-rich斜長石の微結晶が晶出した結果、最初に球晶の外殻部が形成する。(3) 球晶前駆体の中心部にNa-rich斜長石とクリストバライトの繊維状微結晶が析出し、Caに富む成長核を形成する。その後、中心部から外殻部に向かって、高温型長石類とクリストバライトからなる放射状連晶が形成される。(4) 残余ガラスからNa-richサニディン成分が結晶化すると同時に、体積収縮によってマントル部に空隙および亀裂が発生する。このとき発生した空隙や亀裂を通じて球晶内部の揮発性成分が離脱すると同時に、平板状の自形クリストバライトが空隙の内壁に析出する。このように、火砕流堆積物の冷却過程における揮発性成分の移動や化学組成の変化に伴い、様々な様式での結晶成長が複合的に働いた結果、新潟県阿賀町の流紋岩質溶結凝灰岩に産する球晶が形成されたと結論付けた。

キーワード：球晶、溶結凝灰岩、揮発性成分

Keywords: spherulite, welded tuff, volatile component

石基ナノライトの結晶化メカニズム：新燃岳2011年噴火の結晶サイズ分布の解釈から
Crystallization mechanism of groundmass nanolites inferred from the crystal size
distribution of the Shinmoedake 2011 eruption

*無盡 真弓¹、中村 美千彦¹、三宅 亮²

*Mayumi Mujin¹, Michihiko Nakamura¹, Akira Miyake²

1.東北大学大学院理学研究科地学専攻地球惑星物質科学講座、2.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地質学鉱物学教室

1.Division of Earth and Planetary Materials Science,Department of Earth Science,Tohoku University,
2.Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

Groundmass nanolites in pyroclastic rocks have a potential to indicate the physicochemical conditions of conduit magmas at transition points of eruption styles. Generally, the decompression and resulting degassing of ascending magmas produce the effective undercooling of hydrous melts, which drives crystallization of groundmass microlites (decompression-induced crystallization; e.g. Cashman and Blundy, 2000). Mujin and Nakamura (2014) reported presence of nanolites in the quenched products of the 2011 eruption of Shinmoedake, Kirishima volcanic group, Kyusyu Japan. They defined the nanolites of plagioclase and pyroxene in the dense juvenile fragments of the Vulcanian explosion on the basis of change of their crystal size distribution (CSD) slopes. They also found a gap in the CSD of Fe-Ti oxide and defined the finer nanometer-scale crystals as nanolite. In this study, we further define "ultrananolites" of pyroxenes and Fe-Ti oxide in the same sample as that investigated by Mujin and Nakamura (2014) based on a gap in CSD from the nanolites: between 300 and 30 nm for pyroxenes and between 10 and 2 nm for Fe-Ti oxide. The crystals in these size ranges were rare. In the present study, we present a theoretical interpretation for these observations by considering decompression-induced crystallization of solid solution minerals in order to investigate the development of undercooling in the course of magma ascent leading to various eruption styles.

In the framework of classical CSD theory, in which straight CSD represents constant nucleation density (N_0) and crystal growth rate (in length, G), two explanations can be applied for steepening of CSD slope: a sudden increase of undercooling and crystallization delay leading to rapid recovering. The constant G can be assumed when the undercooling is constant. If crystallization differentiation of the melt catches up with the increase of the liquidus temperature by decompression, the degree of undercooling is kept constant and thus the kink of CSD slope is not formed. Assuming that N_0 and G are proportional to the degree of undercooling, the kink of CSD requires a sudden change of undercooling. The change from phenocrysts to microlites is usually caused by onset of magma ascent from a magma chamber. The increase of undercooling from the crystallization stage of microlite to that of nanolite may be caused by the rapid decrease of water solubility in melts and resulting sharp increase of the liquidus temperature. When crystallization differentiation of melt does not catch up with the increase of the liquidus temperature, the crystallization delays and the degree of undercooling increases gradually. If such magmas with large undercooling are emplaced in the shallow level, crystal nucleation is facilitated and thus the kink of CSD slope may form.

The gap of CSD requires nucleation pause for a certain period of time in the course of crystallization. This may occur when activation energy for nucleation exceeds undercooling with decreasing water content (Dowty, 1980). The observed gap in the CSD of the Shinmoedake eruption may be caused by accelerating decrease of water solubility in the magmas as they approaches to the surface.

キーワード：ナノライト、マイクロライト、減圧、結晶化、過冷却

Keywords: nanolite, microlite, decompression, crystallization, undercooling

珪長質メルト-かんらん岩反応による高 Na, 高 Mg# メルトの形成:

北海道曲り沢かんらん岩体に見られる珪長質脈の例

Formation of Sodium-rich, High-Mg# Melt by Reaction of Felsic Melt with Peridotite:
Implications from Felsic Veins Observed in the Magarisawa Peridotite, Hidaka Mountains,
Northern Japan

*山下 康平^{1,2}、前田 仁一郎³、芳川 雅子⁴、柴田 知之⁴、山崎 徹²

*Kohei Yamashita^{1,2}, Jinichiro Maeda³, Masako Yoshikawa⁴, Tomoyuki Shibata⁴, Toru Yamasaki²

1.北海道大学大学院理学院自然史科学専攻、2.産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部
門、3.北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門、4.京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

1.Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University,
2.Research Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, AIST, 3.Department
of Natural History Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University, 4.Beppu Geothermal Research
Laboratory, Kyoto University

沈み込み帯の火山岩に伴われるマントルかんらん岩捕獲岩中には、Na に富む珪長質な脈やガラスが含まれる場合がある(例えば, Shimizu et al., 2004)。これらの珪長質脈やガラスは、かんらん岩にトラップされたスラブメルトであると解釈される場合が多い(例えば, Kepezhinskis et al., 1995)。しかし一方で、かんらん岩と珪長質メルトの反応により高い Na₂O 含有量のメルトが形成されるという報告もあり(例えば, Prouteau et al., 2001)、それらの成因は明らかでない。

北海道の日高山脈北部に露出し、主に Pl lherzovite から構成される曲り沢かんらん岩体には、かんらん岩に貫入した珪長質脈が観察される。珪長質脈の厚さは顕微鏡オーダーの微小なものから最大50-60 cm で、以下に述べるように多様な岩相、化学組成を示す(Yamashita et al., 2015, JpGU abstract)。これらの珪長質脈、およびかんらん岩と珪長質脈の境界部に見られる反応帯の観察・分析により、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、特に高 Na 組成を獲得するプロセスについて検討した。

同岩体に見られる珪長質脈は、大きく以下の4タイプに区分される:(1) 2Px Granite (Qz, Kfs, Pl, Opx, Cpx); (2) Opx Monzodiorite (Qz, Kfs, Pl, Opx); (3) Norite (Pl, Opx); (4) Pl-veinlet (2Px Graniteおよび Opx Monzodiorite から連続的に延長する、厚さ数 mm から顕微鏡オーダーの薄い脈、Pl, Opx)。鏡下の特徴と全岩化学組成から、2Px Granite と Opx Monzodiorite はメルト組成を保持しているのに対し、Norite と Pl-veinlet は Pl-Opx cumulate であると考えられる。

珪長質脈の Sr, Nd 同位体初生比は全て、周辺地域に露出する pelitic granulite やその anatexite の同位体組成(Maeda and Kagami, 1996)と区別できない。このことは、様々な岩相を示す珪長質脈が全て、pelitic granulite の部分熔融メルトから形成されたことを強く示唆する。

これらの珪長質脈のうち Opx Monzodiorite は、比較的高い SiO₂ 含有量(62-64 wt%)に加え、著しく高い Mg#, Na₂O 含有量を示すことにより特徴づけられる(それぞれ、6-7 wt%, 74-82)。それに対し、珪長質脈の起源メルトと類似した組成を示すと予想される、日高山脈南部に露出する pelitic granulite の部分熔融実験により得られたメルト組成(小山内ほか, 1997)は低い Mg# と Na₂O 含有量を示す。このことは、曲り沢岩体において pelitic granulite の部分熔融メルトが大規模な組成改変を被ったことを強く示唆する。曲り沢岩体における珪長質メルトの組成改変プロセスとしては、Pl + Opx (つまり、Norite や Pl-veinlet) の結晶分別作用や初生メルト-かんらん岩反応が想定される。しかし、Eu の負の異常が見られないことから Pl の分別を経験したとは考えにくく、高い Na₂O 含有量は主にかんらん岩との反応によって獲得されたものと考えられる。

珪長質脈とかんらん岩の境界部には必ず、主に Opx からなる厚さ 1 mm 程度の反応帯(Opx-wall)が形成されている。また、Opx Monzodiorite と Opx-wall の境界部には Phl が特徴的に形成される。それに対し、Opx Monzodiorite から連続的に延長する Pl-veinlet では、脈と Opx-wall の境界部に high-Ca# Pl + vermicular Opx ±Phl からなる厚さ 1 mm 程度の領域(vermicular zone)が形成される。Vermicular zone は、近接するかんらん岩中の鉱物種にかかわらず必ず形成されている。このことは、vermicular zone 中の high-Ca# Pl (Ca#~90) がかんらん岩中の CaO に富む鉱物(Cpx と Pl)からのCaOの供給により形成された可

能性を否定する。

以上の観察結果に基づき、曲り沢岩体におけるかんらん岩と珪長質メルトの反応による high-Mg#, Na-rich (Opx Monzodiorite 質) メルトの形成プロセスを提案する:

- (1) かんらん岩中へ初生メルト (melt1) が侵入し、両者の境界に Opx-wall が形成される。
- (2) (1) と同時に、melt1へかんらん岩成分 (Mg, Fe) が拡散することにより、かんらん岩と melt1 の境界部には局所的に、相対的に SiO₂ に乏しいメルト (melt2) が形成される。
- (3) SiO₂ に富むメルトと乏しいメルトの間の拡散が起こる時、アルカリ元素は SiO₂ に富むメルトに濃集する (uphill diffusion: 例えば, Sato, 1975)。このプロセスにより Na と K は、melt1 と melt2 の間に組成勾配 (melt1 > melt2) があるにもかかわらず、それに逆らい SiO₂ に乏しい melt2 から SiO₂ に富む melt1 へ拡散する。Na, K 以外の元素 (Si, Mg, Fe, Ca など) は濃度勾配に従った拡散をするため、melt1 はより低 SiO₂, 高 Mg# になっていく。
- (4) 以上のプロセスにより、melt1 は元の組成よりも 高 Mg#, 高 Na₂O (及び K₂O) 含有量になる。High-Ca# Pl を含む vermicular zoneは、元の組成よりも Na に乏しくなった melt2 の組成を反映している可能性がある。

キーワード：珪長質メルト-かんらん岩反応、アップヒル拡散、日高火成活動帯

Keywords: felsic melt-peridotite reaction, uphill diffusion, Hidaka Magmatic Belt

南部北上山地, 氷上花崗岩類の結晶作用と成因

Crystallization history and petrogenesis of the Hikami granitic rocks, south Kitakami Mountains, Japan

佐々木 惇¹, *土谷 信高¹, 足立 達朗², 中野 伸彦², 北野 一平², 小山内 康人², 足立 佳子³Jun Sasaki¹, *Nobutaka Tsuchiya¹, Tatsuro Adachi², Nobuhiko Nakano², Ippei Kitano², Yasuhito Osanai², Yoshiko Adachi³

1.岩手大学教育学部地学教室、2.九州大学大学院比較社会文化研究院、3.新潟大学超域研究機構

1.Department of Geology, Faculty of Education, Iwate University, 2.Department of Earth Sciences, Faculty of Social and Cultural Studies, Kyushu University, 3.Center for Transdisciplinary Research, Niigata University

氷上花崗岩類は、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花崗岩体と、それに対比され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(村田ほか,1974; 北上古生層研究グループ,1982)。氷上花崗岩類の層序的位置づけについては古くから議論の対象となっていたが、地質学的には先シルル紀基盤であることがほぼ明らかである。しかしながら、これまでの放射年代測定結果には地質学的証拠との間に矛盾があり、北上山地の古生代地史に関する大きな謎の1つであった。そのため、後述の岩相区分を基礎としてジルコンを用いたU-Pb年代の測定を行った結果、氷上花崗岩類の固結年代はすべての岩相においてオルドビス紀末期に相当する約450Maであることが明らかになった(佐々木ほか, 2013, 日本地質学会要旨; 2014, 地球惑星科学連合要旨)。本発表では、これまでに述べた岩石化学的性質(佐々木ほか, 2015, 地質学会要旨; 2015, 地球惑星科学連合要旨)やSr-Nd同位体組成(佐々木ほか, 2015, 日本地質学会要旨)を基礎として、氷上花崗岩類を構成する各岩相の成因関係を明らかにしそれらの成因を議論する。氷上花崗岩体の岩相区分は、主として浅川ほか(1999)および小林・高木(2000)を参考に、以下の3グループ10岩相に区分した。1)普通角閃石を含む花崗閃緑岩～トータル岩であり、SiO₂に乏しく岩体南端の狭い範囲に分布する岩相A-1, Zrに富むことで特徴づけられ中央部に分布する岩相A-2, 斑状組織を示し北東部の狭い範囲に分布するA-3, SiO₂に富み南部の狭い範囲に分布するA-4。2)普通角閃石を含まない花崗閃緑岩～トータル岩であり、Ishii et al. (1960)の大野型に相当し岩体北部～東部に分布する岩相B(黒雲母花崗閃緑岩), 北部から中央部にかけて広く分布しBaに富むことで特徴づけられる岩相C, K₂Oにやや乏しく氷上山南東～大野西方に分布する岩相D。3)壺の沢変成岩類に伴われる花崗閃緑岩であるE, F, Gである。

以上の岩相のうち、主要な岩相でありSiO₂に乏しいA-2を親マグマであると仮定し、より分化した岩相である大野型に相当するB, および岩体主要部を占めるCを分化したマグマと仮定し、それらの組成変化が分別結晶作用で説明可能かどうか検討した。まず主成分元素を用いたマスバランス計算により結晶分化過程における分別鉱物の割合を求め、それらを用いて希土類元素濃度の変化が説明可能かどうかを検討した。その結果、いずれにおいても普通角閃石, 黒雲母, 斜長石, 石英, 磁鉄鉱, および少量のジルコンの分別で希土類元素含有量の変化が説明できる。以上のことから、氷上花崗岩体の主要な岩相の組成変化は、いずれもSiO₂に乏しい岩相A-2からの分別結晶作用で説明可能である。岩相BおよびCへの組成変化トレンドの違いは、分別鉱物の割合の違いで説明可能であり、分別結晶作用のわずかな条件の違いに起因すると考えられる。

氷上花崗岩類を含む日本列島の古生代花崗岩類のSr-Ndの同位体組成の検討から(佐々木ほか, 2015, 日本地質学会要旨), オルドビス紀花崗岩類はカンブリア紀および後期石炭紀～ペルム紀花崗岩類よりも大陸地殻物質に富む起源物質に由来すると考えられる。氷上花崗岩体に捕獲されている壺の沢変成岩のSr-Ndの同位体組成は、オルドビス紀花崗岩類よりも著しく大陸地殻成分に富むことから起源物質であるとは考えにくい。また小山内ほか(2000)による黒瀬川構造帯の角閃岩は、オルドビス紀花崗岩類よりもNd同位体組比が高く、やはり起源物質にはなりえない。オルドビス紀花崗岩類の起源物質としては、黒瀬川構造帯の角閃岩と壺の沢変成岩の中間的な同位体組成を示す安山岩質～玄武岩質の下部地殻物質である可能性が高い。

キーワード: 氷上花崗岩類、岩石化学、オルドビス紀、北上山地

Keywords: Hikami granitic rocks, petrochemistry, Ordovician, Kitakami Mountains

GANSEKI: JAMSTEC岩石サンプルと関連情報のアクセシビリティ

GANSEKI: Maintaining Accessibility of JAMSTEC Rock Samples and Associated Information

*富山 隆将¹、豊田 安美²、堀川 博紀¹、JAMSTEC データ・サンプル・チーム

*Takayuki Tomiyama¹, Yasumi Toyoda², Hiroki Horikawa¹, JAMSTEC Data Sample Team

1.独立行政法人海洋研究開発機構、2.(株) マリン・ワーク・ジャパン

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Marine Works Japan, Ltd.

海洋研究開発機構(JAMSTEC)はJAMSTEC船舶の観測航海で取得されたデータやサンプルを、研究・教育等を目的とした二次利用に公開している[1]。GANSEKIデータベースは、JAMSTEC岩石サンプルのメタデータやコレクション情報、岩石サンプルの分析データを公開するためのオンラインシステムであり、2006年の公開後、数度の改修を経て現在まで運用されている[2]。JAMSTEC岩石サンプルのキュレーションでは、古い航海のサンプルやその関連情報の収集にも努めており、GANSEKIには、古いものでは1980年代のサンプルも掲載されている。また、GANSEKIには文献等から集めたJAMSTEC以外の岩石サンプルの分析データの情報も含まれており、研究の参考に利用することができる。

岩石サンプルは、長期間の保存に耐える研究資源であり、数十年前に採取されたサンプルであっても、最新の分析機器を用いた研究に利用することができる。古いサンプルを有効利用するためには、サンプルを採取した場所や日時、周囲の地形、地質的産状のほか、そのサンプルが誰によって、どのような目的、手段で採取されたか、といった関連情報が充実していることが重要である。それら関連情報がアクセスしやすい形で残されていれば、サンプル採取に関わらなかった二次利用者でも、サンプルを採取した研究者に近い視点でサンプルの特性を見極め、自分の研究に利用することができる。

JAMSTEC岩石サンプルの特徴として、古い航海のものでも、メタデータ、映像・画像データ、地球物理観測データ、クルーズレポートなど、個々のサンプルの関連情報が取得・保存されていることが多い、ということが挙げられる。これら関連情報へのリンクはJAMSTECのNUUNKUIデータサイトにまとめられており、GANSEKI自体もそのひとつに数えられる[3]。

岩石サンプルの利用に際して重要と思われるオンラインの情報には、GANSEKIのサンプル情報から直接リンクし、すぐに閲覧できるようになっている。中でも重要なのは、同じくNUUNKUIデータサイトに含まれるDARWINの航海・潜航情報や、J-EDIの画像・映像情報である[4,5]。旧JDIVESデータビューアで行われていた潜水船の航跡情報の可視化サービスの機能は、J-EDIシステムに統合する方向で改修が進められている。

参照: [1]「データ・サンプルの取り扱いに関する基本方

針」http://www.jamstec.go.jp/j/database/data_policy.html。 [2]「深海底岩石サンプルデータベース

(GANSEKI)」<http://www.godac.jamstec.go.jp/ganseki/j>。 [3]「GODACデータサイトNUUNKUI

」<http://www.godac.jamstec.go.jp/jmedia/portal/j/>。 [4]「航海・潜航データ探索システム(DARWIN)」

<http://www.godac.jamstec.go.jp/darwin/j>。 [5]「深海映像・画像アーカイブス

(J-EDI)」<http://www.godac.jamstec.go.jp/jedi/j>。

キーワード: 岩石サンプル、オンライン・データベース、キュレーション

Keywords: Rock sample, On-line database, curation

極微量元素の高精度電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) 定量分析のための高精度X線計数システムの開発

Development of low-cost simple dead time correction system for accurate quantitative electron probe microanalysis (EPMA) of trace element

*加藤 丈典¹

*Takenori Kato¹

1.名古屋大学宇宙地球環境研究所

1.Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) で極微量元素の定量分析を行うためには、未知試料の大電流・長時間測定が必要になる。EPMAの電流計は直線性が保証される範囲が限定されるため、正確な化学組成を求めるためには標準物質も未知試料と同じ大電流で測定することが望ましい。

EPMAの波長分散型分光器は一般的に比例計数管でX線を検出する。比例計数管には不感時間があり、数え落としが生じる。そのため、X線の計数値から真のX線強度を推定するため、不感時間補正を行う必要がある。不感時間による数え落としはX線強度が強いほど多くなるため、大電流で濃度の高い標準物質を測定する場合には不感時間補正の正確さが定量分析の正確さに直接影響する。不感時間は検出器ごとに異なり、波高分析器の設定にも依存する。また、経年変化によっても変化する (EPMAで使用される比例計数管の寿命を5年程度とすると、不感時間は1 μ 秒以下から2 μ 秒程度まで変化する)。そのため、定期的に測定条件にあわせて正確に不感時間を測定し、適切なモデルによって不感時間補正を行わなければ、微量元素測定を正確に行うことはできない。そのため、不感時間補正が不適切であれば、数%程度の誤差が発生する。

EPMAでは不感時間が非拡張不感時間モデルとみなし、照射電流とX線強度の関係から測定する手法がある [1]。しかし、電流計の非直線性のため正確に測定できる電流に制限があるため、精度に限界がある。また、経年変化を正確に予測することが困難であるため、常に正確であることを保証することは難しい。そこで、長期間安定して不感時間を一定と見なすことができるようにするシステムを開発した。

厳密な固定不感時間システムは大規模なものになるため、EPMA分析による定量分析に目的を限定して、疑似的に無調整で長期にわたり不感時間が変化しないとみなせるシステムを設計した。本研究では、波高分析器の出力に単安定マルチバイブレーターを挿入する手法を試みた。X線発生過程がポアソン分布に従うことから、このシステムはモンテカルロシミュレーションにより正確に挙動を予測できる。もっとも単純な、単安定マルチバイブレーターを1つだけ挿入する回路でも、100kcpsまでの計数率であれば、波高分析器出力段の不感時間が0.8 μ 秒から1.4 μ 秒まで変化しても0.5パーセント未満の誤差で不感時間補正が可能であることが明らかになった。この手法であれば、単安定マルチバイブレーターのパルス幅さえわかれば、不感時間補正に必要なパラメーターを正確に求めることが可能である。

[1] Heinrich, K.F.J., Vieth, D. & Yakowitz, H. (1966) Adv. X-ray, Anal., 9, 208.

キーワード：電子プローブマイクロアナライザー (EPMA)、不感時間補正、X線分光分析、波長分散型分光器 (WDS)、比例計数管

Keywords: Electron probe microanalysis (EPMA), Dead time correction, X-ray spectrometry, Wavelength dispersive spectrometer (WDS), Proportional counter

サハリンにおけるシリカクラスレート鉱物の新産地

New occurrences of silica clathrate minerals in Sakhalin

*門馬 綱一¹、谷 健一郎¹、宮脇 律郎¹*Koichi Momma¹, Kenichiro Tani¹, Ritsuro Miyawaki¹

1. 国立科学博物館

1. National Museum of Nature and Science

Silica clathrate minerals are rare minerals containing various gas molecules (CH₄, C₂H₆, CO₂, H₂S, N₂ etc.) in their cage-like framework structures constructed of pure silica. Three types of silica clathrate minerals have been hitherto known in nature. They are structurally analogous to gas hydrates. In fact, the three minerals, melanophlogite, chibaite, and bosoite are isostructural with three types of natural gas hydrates, i.e., sI, sII, and sH hydrates, respectively. The source of gas molecules in silica clathrate minerals is also considered to be common with one type of natural gas hydrates having thermogenic origin.

We recently noticed two specimens of quartz pseudomorphs from Sakhalin in old mineral collection of the National Museum of Nature and Science. They are labeled as quartz pseudomorphs after fluorite or apophyllite because they have truncated octahedral shape. However, they look identical to quartz pseudomorphs after chibaite occurred in Chiba and Nagano prefectures. These specimens motivated us to field investigation of Sakhalin. The two specimens are from "Souni misaki" (Kuznetsova) and "Bisyasan", the most southwest part of Sakhalin where Miocene sedimentary rocks and volcanic rocks are exposed. Unfortunately, we could not approach these places during the field survey in 2015 but we discovered new locality of melanophlogite at Nevelsk. Melanophlogite is associated with fossils of various chemosynthetic shells in calcareous concretion of mudstone of Miocene age. The concretions are abundantly distributed as veins or pipes mostly parallel to the bedding plane, or some of them look like isolated nodules of diameters up to several meters. Among these concretions, melanophlogite only occurs in the one containing massive amount of shells and voids. Melanophlogite occurs in these voids as aggregates of cubic crystals of sizes up to 0.1 mm, associated with chalcedony and small quartz crystals.

キーワード：シリカクラスレート鉱物、メタン湧水、化学合成生物群集

Keywords: silica clathrate minerals, methane seep, chemosynthetic community

Thermoluminescence and impurities of quartz from Sambagawa metamorphic belt, central Shikoku

*Theeraporn Chuenpee¹, Osamu Nishikawa⁵, Yoshiaki Kon⁴, Kiyotaka Ninagawa³, Shin Toyoda³, Takeyuki Ogata⁵, Takashi Uchida⁵, Isao Takashima²

1. Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University, 2. Mining Museum, Akita University, 3. Department of Applied Physics, Okayama University of Science, 4. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 5. Faculty of International Resource Sciences, Akita University

Quartz is an essential constituent in igneous, sedimentary and metamorphic rocks and is a major phase in veins. The crystallization of quartz under various geological environments allows it to enclose a variety of trace element impurities, which play an important role in its Thermoluminescence (TL) emission. The TL emission of quartz shows great variety in intensity and wavelength. Blue to green TL emission at high temperature range has been commonly detected in quartz originated from plutonic rocks and hydrothermal veins. The orange to red TL emission with high temperature peaks ranging between 300 to 350 °C has been generally observed in quartz extracted from volcanic ash layers and archaeological burnt materials. Nevertheless, characteristics of TL emission in metamorphic quartz, as well as its relation to trace element and metamorphism have been poorly understood. In order to clarify these issues, the TL emissions and trace element compositions in quartz grains extracted from samples of pelitic and siliceous schist and their associated quartz vein were studied. Samples from different metamorphic grades (e.g. chlorite zone, garnet zone, albite-biotite zone and oligoclase-biotite zone) were collected from the Sambagawa Metamorphic Belts in central Shikoku, Japan.

The purified quartz grains were irradiated with a ⁶⁰Co gamma irradiator, using a dose of 5 kGy. TL emissions were measured at Okayama University of Science and Akita University. Trace element concentrations in the grains were measured by Agilent 7500 Series LA-ICP-MS. Paramagnetic defects were determined using JEOL PX-2300 SER spectrometer at Okayama University of Science.

A high intensity of the peaks below 200 °C favors the lower metamorphic grade. On the other hand, TL emissions at above 200 °C tend to increase with the higher metamorphic grade. There is an obvious decreasing tendency in Al content with increasing metamorphic grade, while no significant difference in concentration of Ti. It was measured that Al center is presented in all samples, whereas E' center and Peroxy center are commonly existed in the higher metamorphic grade samples. It is reasonable to consider that the declination of Al content, and the existence of E' center and Peroxy center with increasing metamorphic grade presumably influences the characteristics of the TL temperature peaks in the samples.

Keywords: Gamma radiation-induced thermoluminescence, Sambagawa Metamorphic Belt

TEM-ALCHEMI法による珪線石のAl/Si秩序度測定

ALCHEMI experiment for Al/Si-disordering of annealed sillimanite

*伊神 洋平¹、武藤 俊介²、大塚 真弘³、三宅 亮¹*Yohei Igami¹, Shunsuke Muto², Masahiro Ohtsuka³, Akira Miyake¹

1.京都大学大学院理学研究科、2.名古屋大学未来材料・システム研究所、3.名古屋大学大学院工学研究科

1.Graduate School of Science, Kyoto University, 2.Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University, 3.Graduate School of Engineering, Nagoya University

はじめに

珪線石(空間群: $Pbnm$)は、 Al_2SiO_5 多形の一つであり、温度・圧力の指標となるため地球科学的に非常に重要な鉱物である。珪線石は結晶構造中にc軸方向に伸長した $(Al, Si)_4$ 四面体ダブルチェーンを持ち、四面体サイト中のAl/Siは交互に秩序的に配列しているが、このAl/Siは高温で無秩序化すると考えられている (e.g. Greenwood, 1997)。実際に天然からも、Miyake et al. (2008) によりNapier岩体中の珪線石にAl/Siの無秩序化に由来すると考えられる反位相境界様組織が報告され、1000°C以上の超高温の指標となりうることが提案されている。

しかし、珪線石のAl/Si無秩序度の定量には困難が多く、古くから研究されているもののあまり進んでいるとは言えない。最も大きな問題点として、珪線石とムライトとの分離の必要性が挙げられる。高温で加熱された珪線石中には、珪線石によく似たムライト($Al_2[Al_{2+2x}Si_{2-2x}]O_{10-x}$)相が析出することがTomba et al. (1999) の実験などで明らかになっている。珪線石とムライトはAl/Siの組成比が若干異なるものの結晶構造が非常に似ており、格子定数は1%程度の差しかない。そのため、バルクからの実験データを二相に分離するのは困難であり、事前に分離した上での実験が求められる。また、AlとSiはX線散乱能が近いために、そもそもX線回折実験でのAl/Si秩序度定量が難しいといった要因もある。いずれにせよ、実験には何らかの工夫が求められる。

一方、Taftø & Buseck (1983)は、TEM-ALCHEMI (Atom-location by channeling-enhanced microanalysis)法を用いて、長石中のAl/Si秩序度の定量を試みている。ALCHEMI法とは、透過型電子顕微鏡(TEM)とEDSなどの分光法を用いた元素位置決定手法であり、結晶中での電子線の回折効果による異常透過・異常吸収(電子チャネリング効果)を利用したものである。この手法ではTEM下で数 μm 程度の領域から測定が可能のため、析出物などを避けて任意の領域にて測定することが可能である。また、EDSなどの分光法を用いるため、AlとSiのような原子番号の近い元素も十分分離して検出可能である。さらに近年、Yasuda et al. (2006, 2007)では、イオン照射を受け構造の破壊されたスピネルに対し、TEM-ALCHEMIを発展させたHARECX (High Angular Resolution Electron Channeling X-ray Spectroscopy)と呼ばれる電子線入射を連続的に変化させて特性X線強度を取得する手法を用い、定量性を高めることに成功している。

そこで本研究では、様々な温度で加熱した珪線石に対してHARECXによるALCHEMI実験を行い、各加熱温度に対する珪線石中のAl/Si秩序度の解析を試みた。

手法

試料は、南極Rundvågshetta産珪線石結晶を出発物質とし、箱型電気炉にて790-1530°Cで1-1751h保持・放冷したものをを用いた。HARECX分析は、TEM-EDX (JEOL JEM-2100F, JED-2300T)を用い、Al/Si無秩序化の影響が表れやすい{101}面に着目して行った。すなわち、電子線入射角を{101}面に対し垂直方向に連続的に変化させつつ約200点の特性X線を検出し、各元素のHARECXプロファイル(横軸:入射角、縦軸:各元素の特性X線強度)を作成した。1530°Cなど高温で加熱した試料からは、Tomba et al. (1999)やHolland & Carpenter (1986)の実験結果と同様にムライトやガラス含有物などの組織が観察されたが、HARECX測定ではそれらの領域を避け、均質な珪線石領域にて実施した。なお、秩序モデルと無秩序モデルでのHARECXプロファイルのシミュレーションはあらかじめプログラムICSC (Oxley & Allen, 2003)により行っており、Al/Si秩序度の違いが確かにプロファイルに影響を及ぼすことを確認している。

結果・考察

実験の結果、全サンプルから、シミュレーション結果と類似したHARECXプロファイルを取得することができた。また、加熱サンプルのプロファイルは、出発物質のプロファイルに比べて、無秩序モデルでのシ

ミュレーション結果と類似した特徴が認められた。そこで、秩序モデルのシミュレーション結果と無秩序モデルのシミュレーション結果の線形結合によって各測定プロファイルの再現を試みたところ、すべてのプロファイルでよいfitting結果が得られた。ここで、各fitting結果において、秩序モデルの寄与する割合 x はAl/Si秩序度の一次近似値と考えることができる。そこで実際に、 x =秩序度としたモデルでシミュレーションを行ったところ、測定プロファイルに非常に近い結果が得られ、本研究の実験・解析手法により得られる x 値が秩序度として十分な信頼性を有していることが分かった。また、こうして得られた各試料の秩序度は、加熱温度が高くなるほど連続的に低下する結果も得られた。以上のことから、本研究の実験・解析手法を用いることによって、1 μ m程度の珪線石から最高変成温度が特定できる可能性が示された。さらに、本研究で用いた実験・解析手法は、固溶体鉱物の元素分配決定等にも有効である可能性が高く、珪線石に限らず様々な鉱物の分析や形成環境推定に大きな威力を持つ手法であることも示唆される。

キーワード：アルケミ法、珪線石、Al/Si無秩序化

Keywords: ALCHEMI, sillimante, Al/Si-disorder

プロト-クライノエンスタタイト相転移における粒径および冷却速度の影響

Grain size and cooling rate effect on phase transition between proto- and clino-enstatite

尾塔 辰弥¹、*三宅 亮¹、大井 修吾²Tatsuya Osako¹, *Akira Miyake¹, Shugo Ohi²

1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地質学鉱物学教室、2.滋賀大学

1.Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University, 2.Shiga University

【はじめに】エンスタタイト($MgSiO_3$)多形の常圧高温での安定相であるプロトエンスタタイト(PEN, 空間群: $Pbcn$) は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, $P21/c$) 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的であるとした。マルテンサイト変態においては一般的に粒径や応力、冷却速度といった変数が母相(高温相)の安定性に影響を与えることが知られている。PENの安定性について同様の報告があるが(e.g. Huang et al., 1994)、このことに関して定量的な議論は十分になされていない。そこで本研究では、PENが常温で残留可能となるより具体的な条件を明らかにするため、特に粒径や冷却速度に着目し、PENの冷却実験を行なった。

【実験】出発物質として小嶋(1982)に従いフラックス法により合成したOENを用い以下の実験を行った。各実験では、粉末X線回折法(XRD)により相の同定を行っている。(1)粒径依存性: 粉碎した出発物質を各粒径(1.2, 5.2, 46, 87, 140, 180 μm)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 $^{\circ}C$ で20 hr保持した後、5 $^{\circ}C/min$ で冷却した。(2)冷却速度依存性: 粒径1.2 μm の粉末を出発物質とし、1200 $^{\circ}C$, 20 hrで保持した後、6通りの速度(0.1, 1, 3, 5, 10 $^{\circ}C/min$, 水冷)で冷却した。

【結果・考察】(1)粒径依存性の実験では、粒径140 μm 以下の試料でPENのピークが現れ、粒径が小さくなるほど室温でのPENの残留率が増加する傾向があった。これにより粒径がPENの安定性に著しい影響を与えていることが示された。また、PENが残留可能となる粒径の閾値がはっきりと決まっているわけではなく、粒径が小さくなるほどPENからCENへの相転移が起きない確率が増加していくものと考えられる。そこでChen et al. (1985)のマルテンサイト変態が起こる確率と粒子サイズの関係を表したモデル式に従って、本実験結果のPEN残留率と粒径の関係について指数関数による近似を行い、式 $1-F = \exp(-0.026d)$ ($1-F$: PEN残留率, d : 粒径)を得た。(2)冷却速度依存性の実験では、PEN残留率は3 $^{\circ}C/min$ の試料が最も多く、それより冷却が速くても遅くてもPEN量は減少した。冷却速度が速いほど、より多くのPENが凍結されたまま常温で残留しやすくなる傾向にある一方で、試料内温度勾配等に起因した残留応力による相転移は促進されると考えられ、この両者の要因の兼ね合いによりPEN残留量は決定されると考えられる。

引用文献リスト

- [1]Foster (1951), J. Am. Ceram. Soc. 34[9], 255-259.
- [2]Lee and Heuler (1987), J. Am. Ceram. Soc. 70[5], 349-360.
- [3]Huang et al. (1994), J. Am. Ceram. Soc. 77[10], 2625-2631.
- [4]小嶋 (1984), 岩石鉱物鉱床学会誌特別号3, 97-103
- [5]Chen et al. (1985), Acta Metall. 33[10], 1847-1859

キーワード: プロトエンスタタイト、相転移、サイズ効果、冷却速度

Keywords: protoenstatite, phase transition, size effect, cooling rate

北部九州東部に分布する油須原花崗岩の化学組成と活動時期

Chemical compositions and age of the Yusubaru Granite, eastern part of northern Kyushu

*柚原 雅樹¹、西 瑛莉子²、早坂 康隆³*Masaki Yuhara¹, Eriko Nishi², Yasutaka Hayasaka³

1.福岡大学理学部地球圏科学科、2.川崎地質、3.広島大学理学部

1.Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 2.Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd., 3.Faculty of Science, Hiroshima University

北部九州白亜紀花崗岩類分布域の東部に分布する油須原花崗岩は、東部地域における火成活動末期に形成されたと考えられているが、岩相や分布についての見解は統一されていない（唐木田，1985；久保ほか，1993；村上，1994）。そこで、本花崗岩の岩相と化学組成から岩相区分を検討し、マグマの分化過程を考察した。さらにジルコンのU-Pb年代を、LA-ICP-MSを用いて測定し、活動時期を検討した。

油須原花崗岩は、朝倉花崗閃緑岩、添田花崗閃緑岩、真崎花崗岩に貫入する。油須原花崗岩は、主岩相、優黒質斑状岩相、優白質岩相に区分される。主岩相は、主に北部の岩体を構成し、細粒塊状黒雲母～両雲母花崗岩からなる。優黒質斑状岩相は、主岩相内の小岩体として産し、中～細粒斑状普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩からなる。主岩相に比べ優黒質で、長径5mmに達する黒雲母、普通角閃石、不透明鉱物の集合体を含む。本岩相には、同時性苦鉄質岩脈も認められる。優白質岩相は、主岩相とは別の小岩体を形成し、細～粗粒塊状両雲母～白雲母～黒雲母花崗岩からなり、一部ザクロ石を含む。

主岩相、優白質岩相および優黒質斑状岩相のSiO₂含有量は、それぞれ69.9wt.%～76.0wt.%、75.6～77.0wt.%、64.7～68.7wt.%である。ハーカー図において、主岩相と優白質岩相の組成変化傾向は連続的である。優黒質斑状岩相は、多くの元素で主岩相の変化傾向の延長上にプロットされず、主岩相と真崎花崗岩中に分布する普通角閃石-黒雲母花崗閃緑岩の間にプロットされる。

主岩相と優白質岩相は、連続的な変化傾向を示すため、同じマグマの分化によって形成されたと考えられる。優白質岩相は、主岩相とは異なる岩体を形成するため、これらの下にマグマ溜まりが存在し、そこから初期に貫入したマグマが主岩相からなる岩体を形成し、その後のより分化したマグマの貫入により優白質岩相からなる岩体が形成されたと考えられる。優黒質斑状岩相は、岩体内での組織、モード組成、化学組成の変化が大きい。さらにハーカー図において、主岩相と花崗閃緑岩の間にプロットされることから、両マグマの混合によって形成されたと考えられる。

油須原花崗岩主岩相と真崎花崗岩中に分布する花崗閃緑岩のジルコンU-Pb年代は98.6 +/- 0.9 Maと98.7 +/- 0.6 Maであり、それぞれの活動時期を示すと考えられ、柚原ほか（2015）によって報告された添田花崗閃緑岩（107.4, 103.1 Ma）および真崎花崗岩（103.7 Ma）のジルコンU-Pb年代よりも明らかに若い。したがって、両岩体は東部地域の火成活動末期にほぼ同時に活動したと考えられる。

キーワード：油須原花崗岩、ジルコンU-Pb年代、北部九州白亜紀花崗岩類

Keywords: Yusubaru Granite, Zircon U-Pb age, Cretaceous granitic rocks in northern Kyusyu

海洋島玄武岩マグマ起源物質の不均質性—ラロトンガ島での事例（予察）

Heterogeneity of source material beneath an ocean island: A preliminary case study of Rarotonga Island

*浜田 盛久¹、羽生 毅¹、小澤 恭弘²、牛久保 孝行³、清水 健二³、伊藤 元雄³、常 青¹、木村 純一¹、岩森 光^{1,2}

*Morihiisa Hamada¹, Takeshi Hanyu¹, Takahiro Ozawa², Takayuki Ushikubo³, Kenji Shimizu³, Motoo Ito³, Qing CHANG¹, Jun-Ichi Kimura¹, Hikaru Iwamori^{1,2}

1. 海洋研究開発機構地球内部物質循環研究分野、2. 東京工業大学地球惑星科学専攻、3. 海洋研究開発機構高知コア研究所

1. Department of Solid Earth Geochemistry, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 3. Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

[はじめに]

これまで、海洋島玄武岩の放射性起源のストロンチウム (Sr)、ネオディミウム (Nd)、鉛 (Pb) などの同位体比を用いて、ハイムー (HIMU) やエンリッチ・マントル (EM1, EM2) といったマントル端成分の存在が議論されてきた。従来の火山岩全岩の同位体比の分析に代わって、最近ではメルト包有物を分析することによって、それぞれのマントル端成分に由来するマグマの揮発性成分の量や挙動を明らかにしようとする研究が活発になりつつある。我々は、南太平洋の海洋島であるラロトンガ島のカンラン石のメルト包有物に対して、地球化学的マルチ分析（主要元素、微量元素、揮発性元素、同位体比など、可能な限りの多元素・多同位体の分析）を行い、元素・同位体の相関性を検討したので、ここに予察的な結果を発表する。

[分析に用いた試料と分析手法・手順]

分析に用いたのは、南太平洋のクック・オーストラル諸島のラロトンガ島（東西に約12 km、南北に約7 km）の前期火山活動（2.3~1.6 Ma）で噴出した玄武岩のカンラン石メルト包有物である。マグマが噴出した際に試料が急冷されなかったために、メルト包有物から5~15重量%程度のカンラン石がオーバーグロースし、娘鉱物（主に単斜輝石）が晶出している。分析結果を検討する際には、こういった効果により、メルト包有物の化学組成が著しく変化していることに留意した。

分析においては、まず二次イオン質量分析計 (SIMS) を用いて5つのメルト包有物のガラス質の部分の揮発性元素、および鉛同位体比を分析した。次に電子線プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いてガラス質の部分の主要元素を分析した。最後にレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計 (LA-ICP-MS) を用いてメルト包有物の微量元素及び鉛同位体比を分析した。

[分析結果]

今回、SIMS、EPMA、LA-ICP-MSを用いて、揮発性元素、主要元素、微量元素、鉛同位体比などの全てのデータセットを揃えることができたのは、2つのメルト包有物 (rtg13-mi2とrtg41-mi1) である。CO₂濃度とH₂O濃度の関係を用いて、メルト包有物rtg13-mi2の飽和圧力は約10 MPa以上、メルト包有物rtg41-mi1の飽和圧力は約12 MPa以上であり、地殻浅所まで上昇して脱ガスしたメルトからカンラン石が晶出し、メルトがカンラン石中に包有物として捕獲されたことが分かった。これら2つのメルト包有物に関しては、塩素や水の濃度が海水の混入や脱ガスの影響を大きく受けて変化している可能性を否定できなかった。このため、本研究では、海水の混入や脱ガスの影響を受けにくい揮発性成分であるフッ素と、フッ素と分配係数が近い液相濃集元素ネオディミウムの比 (F/Nd) に着目する。F/Nd値に着目することにより、メルト包有物が著しく分化している効果を見逃すことができる。メルト包有物rtg13-mi2のF/Nd=17、メルト包有物rtg41-mi1のF/Nd=28であり、両者は有意に異なる値を示す (図)。

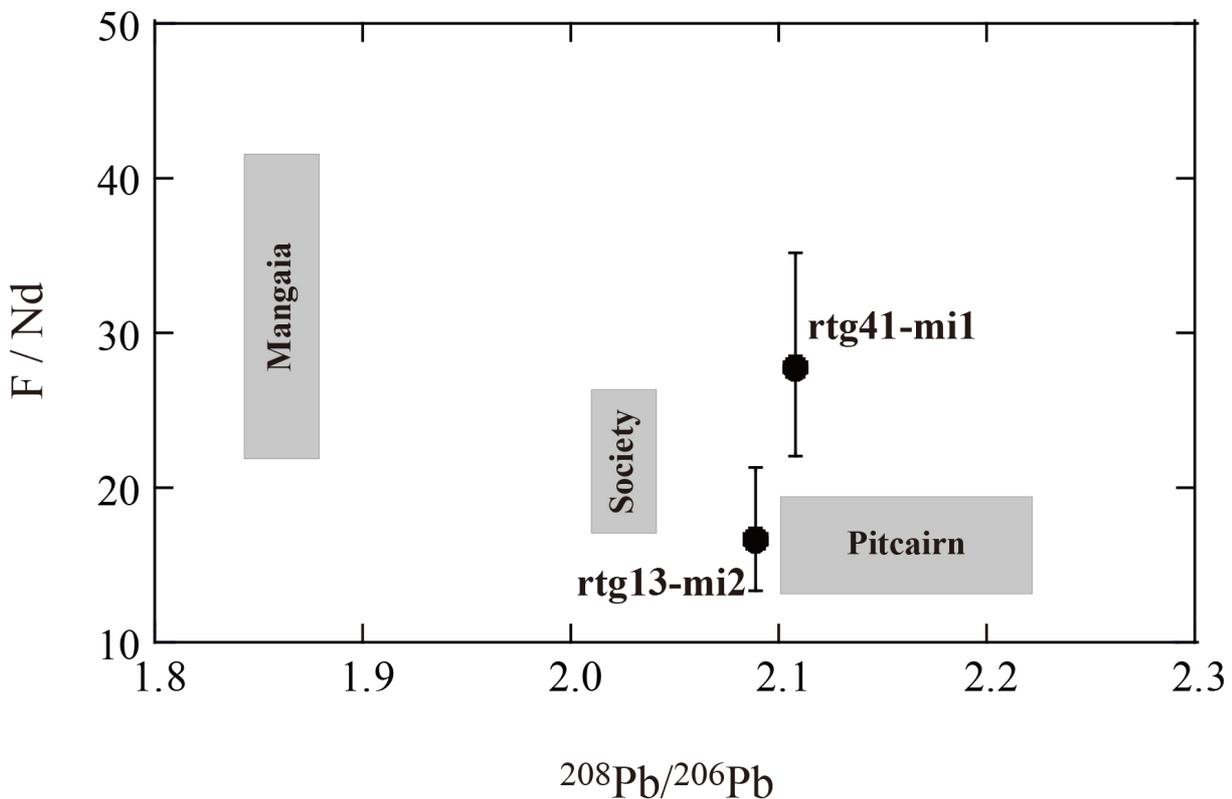
一方、メルト包有物rtg13-mi2のPb同位体比は²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb=2.0888±0.0026、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb=0.8355±0.0015であったのに対して、メルト包有物のPb同位体比はrtg41-mi1の²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb=2.1078±0.0035、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb=0.8504±0.0029である。両者は、既報のラロトンガ島の火山岩全岩のPb同位体比のバリエーションの範囲内ではあるが、有意に異なるPb同位体比を示す (図)。

[議論]

2つのメルト包有物のF/Nd値が大きく異なっていることは、マンツルの溶融の程度の違いや結晶分化作用による効果ではなく、マグマ起源物質のフッ素濃度の違いを反映していると考えられる。放射性起源のPbに富むメルト包有物rtg13-mi2のF/Nd値が低く(17)、放射性起源のPbに乏しいメルト包有物rtg41-mi1のF/Nd値が高い(28)ことの一つの説明として、ラロトンガ島のマグマの起源物質には、脱水の程度が異なるスラブがリサイクルしており、それがマグマの揮発性元素濃度や同位体比の不均質性を作っている可能性を挙げることができる。ラロトンガ島の2つのメルト包有物の地球化学的特徴は、Pitcairn島(EM1)に近いものの、Societyに代表されるEM2成分またはMangaia島に代表されるHIMU成分の影響を受けていると解釈できる(図)。

キーワード：海洋島玄武岩、ラロトンガ島、二次イオン質量分析法

Keywords: Ocean Island Basalt, Rarotonga Island, Secondary Ion Mass Spectrometry



沖縄トラフ南部鳩間海丘熱水域から採取された安山岩を用いた熱水反応実験：天然との熱水組成の比較

Hydrothermal alteration of andesite from the Hatoma Knoll in the southern Okinawa Trough at 325 C, 300 bars: Comparison of chemical composition of hydrothermal fluid in the laboratory experiment and in the natural system

*斎藤 誠史¹、渋谷 岳造¹、野崎 達生¹、上田 修裕²、鳥本 淳司¹、鈴木 勝彦¹

*Masafumi Saitoh¹, Takazo Shibuya¹, Tatsuo Nozaki¹, Hisahiro Ueda², Junji Torimoto¹, Katsuhiko Suzuki¹

1.独立行政法人海洋研究開発機構、2.東京工業大学

1.JAMSTEC, 2.Tokyo Tech

The formation of seafloor massive sulfide deposits is closely related to the chemical compositions of (sub)seafloor hydrothermal fluid. Water-rock interaction between hydrothermal fluid and intermediate to felsic rocks is a dominant process that controls the fluid compositions in the arc and back-arc hydrothermal systems, although the process has not been experimentally examined yet in detail. Therefore, we reacted the NaCl solution with an andesite collected from the Hatoma Knoll field in the southern Okinawa Trough during the KY14-02 Cruise by R/V Kaiyo under high-pressure and -temperature conditions. The results show that the concentrations of selected elements (e.g., K, Si, and Ca) in the reacted fluid obtained by the experiment are inconsistent with those of the previously reported hydrothermal fluids from the Hatoma Knoll whereas the pH value in the reacted fluid is similar to the observed value in the hydrothermal field. The discrepancies in the fluid composition between the laboratory experiment and the Hatoma Knoll field suggest that the reaction zone of the field is not only composed of andesite.

キーワード：鳩間海丘熱水域、安山岩、熱水反応実験

Keywords: the Hatoma Knoll hydrothermal field, andesite, Hydrothermal alteration

奈良県吉野郡天川村産レインボーガーネットの透過型電子顕微鏡観察・分析
TEM observation of rainbow garnets from Tenkawa, Nara Prefecture, Japan

*張 育銓¹、下林 典正¹、三宅 亮¹

*yuhchuan Chang¹, Norimasa Shimobayashi¹, Akira Miyake¹

1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地質学鉱物学教室

1.Department of Geology and Mineralogy, Graduate school of Science, Kyoto University

スカルン鉱床中に見られるグラナイト系列ガーネットは、アンドラダイト($\text{Ca}_3\text{Fe}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$)とグロシュラー($\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$)を端成分とする連続固溶体であり、3価の鉄とアルミニウムが連続的に置換している。そのなかでアンドラダイト端成分に近く、イリデッセンスを表わすものはレインボーガーネットと呼ばれている。通常のガーネットは光学的に等方体であるが、レインボーガーネットは光学異常を持ち、対称性が低下していることが示唆されている(下林ほか、2005)。先行研究(下林ほか、2005)では、結晶面{110}に平行な数100nm周期の微細なラメラ構造(fine lamellae)が存在し、そのfine lamellaeはアルミニウムと鉄の組成比の異なる二相から成り、その二相の屈折率の違いによって起こる多層膜干渉がイリデッセンスの原因であるとしている。このfine lamellae 以外にも、成長面に平行な成長バンド(zoning lamellae)、斜交した周期10 μm -20 μm の波状ラメラ(wavy lamellae)の存在を報告している。しかし、レインボーガーネットの光学異常を引き起こす対称性の低下などについてはいまだに不明な点が多く残っている。そこで本研究では、先行研究と同じ奈良県吉野郡天川村で産出したレインボーガーネットについて、走査型電子顕微鏡(SEM)、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて、詳細な結晶内部の微細組織の観察および分析を行った。

本研究では、奈良県吉野郡天川村産の{110}に囲まれた菱形十二面体レインボーガーネット単結晶を用いた。中心を通り(001)に平行な厚さ100 μm 程度の薄片を作製し、光学顕微鏡およびSEM (JEOL 7001F, JXA-8105)を用いて、観察・分析を行った。その結果、先行研究同様に、結晶外形に平行な成長バンド(zoning lamellae)、成長面に平行な周期数100nmのfine lamellae、斜交する波状ラメラ(wavy lamellae(周期10 μm -20 μm))が存在することが分かった。このwavy lamellaeを分析したところ、アルミニウムに富む細かいラメラとアルミニウムに乏しい太いらメラがあることがわかった。wavy lamellae中に、成長面{110}に対し平行なfine lamellaeが観察された。このfine lamellaeもアルミニウムに富む細かいラメラとアルミニウムに乏しい太いらメラがある。fine lamellaeがwavy lamellaeを横切っていること、さらに、両者が交差する領域ではwavy lamellaeのアルミニウムに富む部分でアルミニウムに富むfine lamellaeの幅が太くなっていることが観察されたことから、fine lamellaeはwavy lamellaeより後で生成した可能性が高いことが示唆される。

さらに、集束イオンビーム(FEI Quanta 200 3DS)を用いてセクター(110)に成長面に対して垂直なTEM試料を作製し、EDS検出器付きTEM (JEOL JEM-2100F)を用いて、観察・分析を行った。今回用いたTEM試料の中央部には成長面{110}に対し平行なアルミニウムに富む明瞭な成長バンド(約3 μm)が存在する。その領域ではfine lamellaeは明瞭でなく、電子線回折像では通常のガーネット空間群Ia-3dを破るextra反射は出現しなかった。一方、そのアルミニウムに富む成長バンドの両側の領域ではfine lamellaeが明瞭に観察され、電子線回折像では、通常のガーネット空間群Ia-3dを破るextra反射110, 200, 411 が確認された。このことは、aおよびd映進面が失われたことを意味している。また、110反射を用いた暗視野像観察により、アルミニウムに富む細かいラメラのみ明るく観察された。よって、対称性低下を起こしているのがアルミニウムに富む細かいラメラであり、その空間群は、立方晶系を仮定した場合、格子タイプをI格子として、I23, Im3, I2₁3, I43m, I432, Im3mの可能性がある。また、光学異常をもつことから、さらに低い対称性をもつと考えられる。

参考文献

下林 典正、三宅 亮、大滝 祥生、瀬戸 雄介、北村 雅夫、鶴田 憲次
(2005): 「奈良県天川村産レインボーガーネットの微細組織」、
日本鉱物学会、日本岩石鉱物鉱床学会学術講演会(松山)講演要旨集, P80.

ラマンスペクトル及び蛍光スペクトルによる根源岩の熟成度の評価

Maturity evaluation of source rocks using Raman and fluorescence spectroscopy

*渡邊 真央¹、鍵 裕之¹、荻原 成騎²、瀬瀬 佑衣³、奥村 文章⁴、岩野 裕継⁴、早稻田 周⁴*Mao Watanabe¹, Hiroyuki Kagi¹, Shigenori Ogihara², Yui Kouketsu³, Fumiaki Okumura⁴, Hirotsugu Iwano⁴, Amane Waseda⁴

1.東京大学大学院理学系研究科附属地殻化学実験施設、2.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、3.名古屋大学大学院環境学研究科、4.石油資源開発

1.Geochemical Laboratory, Graduate School of Science, University of Tokyo, 2.Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, 3.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 4.Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.

Petroleum source rocks containing carbonaceous materials are called kerogens. There are some conventional methods to evaluate maturity of kerogens. For example, vitrinite reflectance ($R_0\%$) has been widely used to evaluate maturity of carbonaceous materials. However, vitrinite reflectance has a limitation in a spatial resolution (10 micrometers) and requires time-consuming sample preparations.

As a complementary method, Raman spectroscopy has been applied to evaluate maturity of carbonaceous materials. Kouketsu et al. (2014)^[1] proposed an analysis to separate Raman spectra of low-maturity carbonaceous materials into four bands (D1-, D2-, D3-, and D4-bands). However, it is extremely difficult to observe Raman spectra of much lower maturity carbonaceous materials because of fluorescence interference caused by functional groups and conjugated systems. This study aims to develop the versatile measure applicable to low-mature carbonaceous materials using complementary spectroscopic methods.

Kerogens extracted from cuttings and core samples from two wells (Shin-Ayukawa AK-1^[3] and MITI Yurioki-Chubu, Akita prefecture) were analyzed. It was reported that the maturity data^[3] of samples from Shin-Ayukawa increase drastically in the depth region (1550 m ~ 1950 m) because of dolerite intrusions (Waseda et al., 1995). The values of vitrinite reflectance data were measured over 100 points per sample. Raman spectra were measured on the same points where vitrinite reflectance values were measured using a 514.5 nm Ar⁺ laser for excitation with a power of 0.2 mW at the sample surface. Fluorescence spectra were obtained on a compact spectrometer (USB 2000, Ocean Optics) in a range of 515 nm ~ 850 nm. Infrared spectra of carbonaceous materials were obtained with a transmittance mode using an IR microscope. Mass spectra of hydrocarbons were extracted from cuttings samples.

Vitrinite reflectance data from Shin-Ayukawa ranged from 0.1% to 3.7% with increasing depth except for samples affected by dolerite intrusions. The slope values of Raman baseline decreased from 100 to 0.1 (counts / cm⁻¹) with increasing vitrinite reflectance values in the whole range (Fig. 1). The values of full width at half maximum (FWHM) of Raman D2-band decreased from 110 to 50 (cm⁻¹) with increasing vitrinite reflectance from 0.3% to 3.7%. The Raman bands of kerogens less than 0.3% of vitrinite reflectance cannot be detected. Fluorescence intensities of kerogens from Yurioki-chubu decreased with increasing vitrinite values reflectance from 0.1% to 0.6% (Fig.2). It should be noted that fluorescence spectra can apply for samples with low vitrinite reflectance where Raman bands cannot be detected. With increasing depth, intensities of infrared absorption bands assignable to amides and ethers became weak, while those of alkenes and aromatic rings became strong.

In summary, the fluorescence spectra inferred from the slopes of Raman spectra and its intensities show correlation with the vitrinite reflectance in the ranges of $R_0 = 0.1\% \sim 3.7\%$ and depth of

1050 m ~ 4900 m. This study proposes a spectroscopic method applicable to lower maturity carbonaceous materials.

[1] Kouketsu *et al* (2014), *Island Arc*. 23, 33-50.

[2] Kouketsu *et al* (2015), *JpGU*.

[3] Waseda *et al.* (1995), *Res. Org. Geochem.* 10, 1-5.

キーワード：ラマン分光法、蛍光スペクトル、ケロジエン、炭質物

Keywords: Raman spectroscopy, fluorescence spectroscopy, kerogens, carbonaceous materials

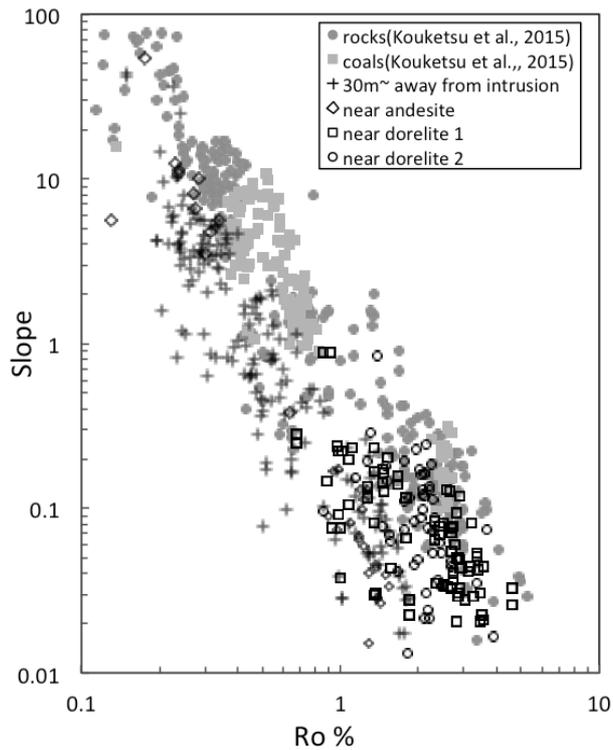


Fig.1 Correlation of vitrinite reflectance and slope of Raman baseline of kerogens from Shin-Ayukawa and previous study

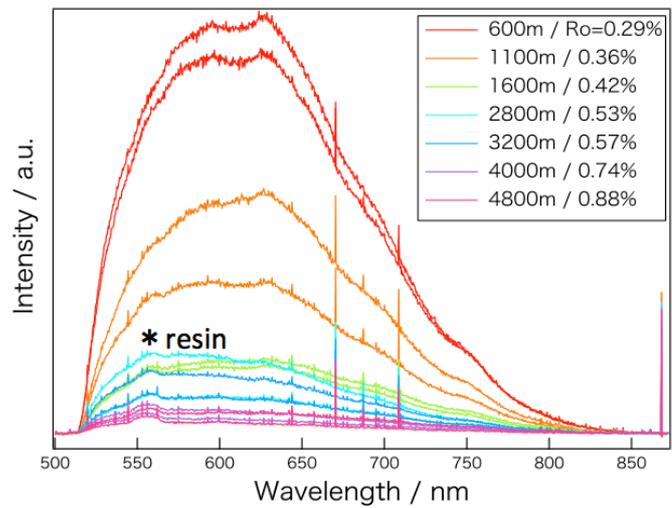


Fig.2 Fluorescence spectra of kerogens from Yurioki-Chubu

小笠原諸島の父島・兄島における沸石の産状と分布

Occurrence and distribution of zeolites from Chichijima and Anijima, Ogasawara Islands, Japan.

*藤田 彩花¹、安井 万奈²、萩谷 宏¹、山崎 淳司²

*Ayaka Fujita¹, Mana Yasui², Hiroshi Hagiya¹, Atsushi Yamazaki²

1.東京都市大学、2.早稲田大学

1.Tokyo City University, 2.Waseda University

伊豆小笠原弧南部に位置する小笠原諸島では、特異な化学組成を持つ火山岩類の分布が知られており、海底火山活動に伴う熱水変質により多くの沸石類の産出が、Nishido(1982)他により報告されている。

今回の調査では小笠原諸島父島及び兄島の無人岩枕状溶岩地域を中心に、父島4地点(宮之浜・釣浜・初寝浦・北ブタ海岸)、兄島2地点(瀧之浦 他)において、沸石と沸石を伴う母岩を採取し、各種分析を行い沸石種の同定と物性を調べた。

元素分析の結果、父島及び兄島における沸石の組成は母岩である火山岩類の化学組成($Al/Si=0.18\sim0.26$)の影響を強く受けており、採取した沸石における Al/Si 比はおよそ $0.20\sim0.25$ の範囲に集中していることが明らかとなった。また、沸石に含まれる交換性陽イオンについて検討した結果、ほぼCa型を示しており、これも母岩のCa存在比と相関がみられた。さらに、海岸部で採取した一部の沸石においては、海水に含まれるイオンとの置換が考えられる組成を示すものが見られた。

今回小笠原諸島の父島及び兄島で採取された沸石のうち、過去の研究結果で輝沸石とされていたものは、微小領域X線解析及び化学組成などの詳細な検討を行った結果、特に Al/Si 比に注目して分類した場合、斜プチロル沸石と同定すべきと判断するに至った。

キーワード：沸石、無人岩、熱水変質、輝沸石、斜プチロル沸石

Keywords: zeolite, boninite, hydrothermal alteration, heulandite, clinoptilolite

沖縄トラフ伊是名海穴海底熱水系における硫黄システムティクス：安定同位体，鉱物学，酸化還元平衡論的アプローチ

Sulfur Systematics in the Izena Hole Seafloor Hydrothermal Systems, Okinawa Trough: Stable Isotope, Mineralogy and Redox Equilibria

*川角 彰吾¹、千葉 仁¹、石橋 純一郎²

*Shogo Kawasumi¹, Hitoshi Chiba¹, Jun-ichiro Ishibashi²

1.岡山大学大学院自然科学研究科、2.九州大学理学研究院地球惑星科学部門

1.Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, 2.Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyusyu University

海底熱水系の硫黄ソースを明らかにすることは、海底熱水鉱床の成因を議論するうえで重要である。しかしながら、半遠洋性堆積物に覆われた沖縄トラフ海底熱水系の硫黄ソースについては議論が乏しい。これは熱水—堆積物相互作用により系が複雑化されているため、堆積物のない熱水系と比べて議論が困難であるからである。中部沖縄トラフ（27°15'N, 127°04'E, 水深-1500m）に位置する伊是名海穴には、薄く堆積物に覆われたJADEサイトと、厚い堆積層を有するHAKUREIサイトとよばれる二つの活発な熱水活動域が存在し、両サイトを比較することで熱水—堆積物相互作用の影響を評価できるといわれている（Kawagucci et al., 2010; Ishibashi et al., 2014）。本研究では、JADEとHAKUREIサイトで採取された熱水性沈殿物の鉱物組合せと鉱物化学組成および硫黄・酸素同位体組成を比較することで、伊是名海穴における硫黄ソースと硫黄同位体体系の解明を試みた。

JADEサイトの高温熱水チムニーは、Fe-poor閃亜鉛鉱（<2.2 FeS mol%）、砒四面銅鉱、方鉛鉱、黄鉄鉱、黄銅鉱からなる黒鉱型硫化物組合せをもつ。対して、HAKUREIサイトの熱水チムニーは、自形の磁硫鉄鉱、Fe-rich閃亜鉛鉱（23.5-50.8 FeS mol%）、方鉛鉱、黄銅鉱ラメラを伴うアイソキューバナイト、少量の黄鉄鉱、Sb-Pb-rich磁硫鉄鉱と重晶石、硬石膏で構成され、その鉱物学的特徴は近接するJADEサイトよりも、堆積物に覆われたGuaymas BasinやMiddle Valleyで報告されているものに近い。

300°C程度の海底熱水ならば、適切な熱力学データを用いることで、溶存H₂、H₂S濃度から熱水自体のfO₂-fS₂条件を計算でき、それをFe-Cu-S系のfO₂-fS₂ダイアグラムにプロットすれば、鉱物学的に推定された酸還元条件と比較できる。熱水化学組成から計算した酸化還元条件は、熱水チムニーの鉱物組合せと閃亜鉛鉱のFe含有量から推定した酸化還元条件とよく一致する。どちらの推定も、JADEサイトが堆積物に乏しくマグマ性揮発成分の寄与が指摘されているPACMANUSと同程度の高いfO₂-fS₂条件を示すのに対して、HAKUREIサイトはGuaymas BasinやMiddle Valleyと同程度の低いfO₂-fS₂条件を示す。このことから、HAKUREIサイトの熱水環境は堆積物中の有機物分解により比較的還元的であり、一方、JADEサイトの薄い堆積層は熱水環境の酸化還元条件に影響を及ぼしていないことが示された。

HAKUREIサイトの熱水チムニー硫化物のδ³⁴Sは1.8~4.2‰（2.7±0.6‰, n=19）であり、JADEサイト（5.1~6.7‰）より有意に低い。これは、重晶石と硬石膏のδ¹⁸Oが熱水噴出温度（326°C）における海水SO₄²⁻-熱水H₂O間の酸素同位体平衡が成立していないことから、より同位体交換反応速度の遅い海水SO₄²⁻-熱水H₂S硫黄同位体平衡によるものではない。また、JADEサイトの硫化物の比較的高いδ³⁴Sと高いfS₂条件（高いH₂S濃度：~13.6mM）を生み出す硫黄ソースとしては、硫黄濃度の低い島弧火山岩は不十分であり、別のソースの存在が示唆される。

複数の島弧・背弧海盆海底熱水系では、マグマから脱ガスしたSO₂の寄与によるδ³⁴Sと熱水pHの異常が指摘されているが、伊是名海穴では多量のマグマ起源CO₂の寄与があるにも関わらず、SO₂の異常がみられない。島弧マグマから脱ガスする硫黄化学種存在度とその硫黄同位体比を、SO₂-H₂S間の化学平衡（SO₂ + 3H₂ = H₂S + 2H₂O）とHematite-Magnetite酸化還元バッファーを仮定して計算すると、硫黄化学種の平衡温度が約400°C以下ならば、脱ガスしたSO₂の大部分がH₂Sへ変換され、島弧マグマの高いδ³⁴S（~5‰）を反映したH₂Sが生成されることが示唆された。またHAKUREIサイト硫化物の低いδ³⁴Sは、堆積層中の硫酸還元細菌由来H₂Sの寄与によるものか、あるいは、脱ガスした硫黄化学種の平衡温度がJADEサイトより高いことによるSO₂の割合の増加に伴うδ³⁴Sの低いH₂Sの寄与による可能性がある。

キーワード：伊是名海穴海底熱水系、沖縄トラフ、硫黄同位体、酸化還元条件、鉱物組合せ

Keywords: Izena Hole seafloor hydrothermal systems, Okinawa Trough, sulfur isotope, redox conditions, mineral assemblage

新潟県米山地域の中ノ岳貫入岩体の岩石学的特徴

Petrological feature of Nakanodake intrusion from Yoneyama area, northern Fossa Magna, Central Japan

*相澤 正隆¹、佐藤 隆春²、岡村 聡¹、(グループ) 米山団体研究グループ

*Masataka Aizawa¹, Takaharu Sato², Satoshi Okamura¹, Yoneyama Research Group (Group)

1.北海道教育大学札幌校、2.大阪市立自然史博物館

1.Hokkaido Education University, Sapporo Campus, 2.Osaka Museum of Natural History

北部フォッサマグナの日本海沿岸に位置する米山地域には、後期鮮新世～前期更新世の米山層火山岩類が分布し、小規模な貫入岩体をとまなっている。米山層火山岩類の岩石学的研究は、佐藤・米山団体研究グループ(1975)によって、全岩化学組成の特徴が明らかにされているが、微量成分元素、同位体組成、構成鉱物の化学組成に関する検討は不十分である。本発表では、米山層に貫入する中ノ岳貫入岩体について報告し、米山層火山岩類と比較することによって本地域の火成活動の特徴を明らかにする。

中ノ岳貫入岩体は、米山地域の北西部に位置する南北約1.6 km、東西約1.2 kmの楕円形の岩体で、比高約330 mの独立峰を構成する。本岩体は、これまで角閃石安山岩の貫入岩とされていたが(竹内ほか, 1996)、中央部に斑レイ岩、周縁部に角閃石安山岩が取り囲む複合岩体であることが明らかとなった。岩体西側の角閃石安山岩と米山層泥岩との接触部から、本岩体の貫入面の構造は北東に約50°傾斜している。稲葉ほか(2014)によれば、全岩K-Ar年代は、角閃石安山岩で2.2 Ma、斑レイ岩で1.6 Maを示し、米山層火山岩の年代値が4.7～0.85 Maの範囲であることから、米山層の末期の火成活動に相当する。

斑レイ岩は自形～半自形の斜長石、直方(斜方)輝石、単斜輝石からなる直方輝石-単斜輝石斑レイ岩で、結晶粒間に他形の不透明鉱物とアルカリ長石が見られる。稀に他形の黒雲母、角閃石を含む。角閃石安山岩は普通角閃石-直方輝石-単斜輝石安山岩と普通角閃石-単斜輝石安山岩からなり、斑晶は、普通角閃石、斜長石、単斜輝石、直方輝石、不透明鉱物からなる。しばしば普通角閃石のオパサイト縁中に微細な黒雲母が見られる。石基は斜長石、アルカリ長石、直方輝石、単斜輝石、不透明鉱物、ガラスからなり、石基の単斜輝石は透輝石、普通輝石、ピジョン輝石からなる。中ノ岳貫入岩体の全岩化学組成の特徴は、SiO₂量は斑レイ岩が50～53 wt%、角閃石安山岩が55～57 wt%であり、Gill (1981)の中間K-高Kの領域にプロットされ、Miyashiro (1974)のソレライト系列に属する。これらの特徴はすべて米山層火山岩類と類似し、両者が共通のマグマに由来したことを示す。

中ノ岳貫入岩体の構成鉱物の化学組成は、単斜輝石・直方輝石とともにcoreのMg値(100*Mg/(Mg+Fe))の最高値が、斑レイ岩で低く(Cpx: 63～80, Opx: 57～73)、角閃石安山岩で高い(Cpx: 74～85, Opx: 69～79)。斜長石coreのAn値は、斑レイ岩が43～94、角閃石安山岩は45～94であるが、最頻値は角閃石安山岩の方が高An値の傾向がある。Wells (1977)の輝石温度計は、斑レイ岩では低SiO₂(50～51 wt%)岩石が800-900°C、高SiO₂(52～53 wt%)岩石が970-1060°Cを示し、角閃石安山岩は920-1050°Cである。以上から、中ノ岳貫入岩体は、低SiO₂斑レイ岩から高SiO₂角閃石安山岩へと組成変化するが、構成鉱物の化学組成は、低SiO₂斑レイ岩では低Mg値の単斜輝石・直方輝石、低An値の斜長石を示し、これらの火成岩を単純な結晶分化作用で導くことはできない。米山層火山岩においても、SiO₂=46～51 wt%の玄武岩組成において、SiO₂の増加にともなって単斜輝石のMg値、斜長石のAn値が増加する傾向があり、中ノ岳貫入岩体と共通する。

引用文献

Gill, J.B. (1981) *Orogenic andesites and plate tectonics*. Berlin, Springer, 390p.

稲葉ほか(2014) 2014年石油技術協会個人講演会講演要旨集

Miyashiro, A. (1974) *Amer. Jour. Sci.*, 274, 321-355.

佐藤・米山団体研究グループ(1975) *地球科学*, 29, 211-226.

竹内ほか(1996) 柿崎地域の地質。地域地質研究報告, 地質調査所。

Wells, P.R.A. (1977) *Contr. Miner. Petrol.*, 62, 129-139.

キーワード：北部フォッサマグナ、米山、中ノ岳貫入岩体、結晶分化作用、ソレアイト系列

Keywords: Northern Fossa Magna, Yoneyama, Nakanodake intrusion, Crystallization differentiation,
Tholeiitic rock series

花崗岩ゼノリスの部分溶融と同化過程

Partial melting and assimilation processes of granitic xenoliths

*小倉 和樹¹、川畑 博²*kazuki ogura¹, Hiroshi Kawabata²

1.高知大学大学院 総合人間自然科学研究科、2.高知大学 理学部

1.Kochi University, 2.Faculty of Science, Kochi Univeristy

Crustal assimilation is one of the important magmatic processes especially for arc magmas. In this study, partially melted granitic xenoliths in Miocene Setouchi volcanic rocks, SW Japan were examined in order to reveal the petrological and geochemical evolution during xenolith assimilation on sub-meter scale. The xenoliths (10-60 cm) contain 20-40 modal% of compositionally heterogeneous fresh glass. In addition, the xenoliths are surrounded by a glassy porphyritic zone where xenolith-derived melts and host andesitic magmas are mingled. Thus, these samples well preserve the melting-assimilation processes of crustal rocks incorporated in intermediate magma. In less-melted xenoliths, glass is distributed along the grain boundary between quartz and other phases such as plagioclase, alkali feldspar, and pseudomorph of hydrous mafic minerals. The glass changes its color and chemical composition depending on neighboring mineral phases. Transparent and brown glasses appear around felsic and mafic minerals, respectively. Overall glass composition varies, 73-79 wt% SiO₂ on anhydrous basis, and both Si/Al and K/Na ratios increase toward quartz within glass sandwiched by quartz and feldspar. On a normative Q-Ab-Or ternary diagram, the glass composition follows a nearly linear trend across the hydrous haplogranite cotectic line. These observations suggest that disequilibrium melting and chemical diffusion in melt played important role for producing the heterogeneity of glass. Minerals also change their texture and composition with melting. Mafic minerals, probably biotite or hornblende, are completely broken down to fine-grained aggregates of Fe-Ti oxide, orthopyroxene and plagioclase. Alkali feldspar (Or60) forms finger-print/sieve textured reaction zone with surrounding melt. The reaction zone is mainly composed of newly formed feldspar and interstitial glass. The new feldspars change their composition from anorthoclase to andesine as the reaction proceeds. In contrast, most plagioclase is simply melted without significant interaction with neighboring melt. These minerals in partially melted xenoliths are dispersed into the outer mingling zone surrounding each xenolith when melting degree exceeds about 50 modal%. This indicates that disaggregation of xenoliths begins at around the rigid percolation threshold (Vigneresse et al., Jour. Pet. 1996) during assimilation. Setouchi volcanic rocks, including high-Mg andesites, often contain quartz and feldspar xenocrysts, which are probably from Cretaceous granitic basement. Our observation suggests that the volume of granite-derived melts cryptically assimilated in host andesitic magma is more than double of the observed xenocryst abundance.

キーワード：花崗岩、部分溶融、同化作用

Keywords: granite, partial melting, assimilation

大分県入蔵の蛇紋石の鉱物学的研究

Serpentine minerals from Irikura, Oita Prefecture, Japan

*延寿 里美¹、上原 誠一郎¹*Satomi Enju¹, Seiichiro Uehara¹

1.九州大学理学府地球惑星科学専攻

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyushu University

Introduction

Serpentinities 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 zones and mid-atlantic ridges. Forming species differ, reflecting the environment at serpentinization, and show characteristic pseudomorph structures (e.g. Wicks and Whittaker, 1977).

Serpentinite is mostly composed of serpentine group minerals, which are formed by Si-rich tetrahedral sheet and Mg-rich octahedral sheet in one to one layer sequence. Between these sheets, interlayer stress are caused by the difference of their lattice dimensions. Serpentine group minerals can be classified into three species, lizardite, chrysotile, and antigorite, according to their crystal structures taken to compensate the dimensional misfits. Each species have several polytypes, and also there is a fibrous serpentine called polygonal serpentine whose classification is still under debate (e.g. Baronnet and Devouard, 2005). Despite their characteristic role in geology, the mineralogical analysis of serpentine group minerals is often imperfect, due to their difficulty in observation.

The ultramafic rock body in the Asaji metamorphic rocks is mainly composed of pyroxenites and serpentinites. The chemical trends of spinel in serpentinite show similarity to the Kurasegawa belt, suggesting similar tectonic setting for the formation of those ultramafic rocks (Sonoda and Takagi, 2004). In this study we report the property of serpentine group minerals and associating minerals, contained in serpentinite from Irakura, Oita prefecture, Japan.

Methods

In this study, the samples from ultramafic body in the Asaji metamorphic rocks, in Irikura, Oita prefecture, Japan were observed. The samples were collected from several points in a huge outcrop, with different appearance within one sampling point. 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

In the studied locality, the out crop was mainly composed of serpentinite, including rodingite and albitite bodies of a few meters in size. The investigated samples were all completely serpentinized. The serpentinites can be roughly divided into three types from macroscopic feature and constituent minerals.

The first type is the blocky black serpentinite surrounding the rodingite and albitite bodies. They are either pure antigorite or lizardite with magnetite. They are mainly composed of reed type texture and fine grained fibers and grains filling the interspace. This type can be estimated to be formed by recrystallization.

The second type is spathic dark greenish serpentinite. It makes up the major part of the outcrop. They are antigorite or lizardite, with clinochrysotile and various carbonates. Magnesite, dolomite, and brucite were dominant and a small amount of hydrotalcite was observed. Carbonates exceed serpentine group minerals in some samples. Fractured aggregate of reed type texture make up most of

the area, and fine grained fibers and grains fill the interspace.

The third type is splintery yellowish green serpentine which form aggregates in some points, and often occurs as veins in the type two serpentinite. They can be indexed clinochrysotile and / or orthochrysotile by XRD, and further TEM observation is essential to determine whether it is polygonal serpentine or not. In the aggregate form, it accompanies greenish fibours of low crystalline antigorite.

The chemical compositions of serpentine were near the endmember, slightly differing in Si component. The textures of serpentinites of Irikura suggest strong deformation and recrystallization after the first serpentinization.

キーワード：蛇紋石、蛇紋岩、入蔵、朝地変成岩類

Keywords: serpentine, serpentinite, Irikura, Asaji metamorphic rocks

愛媛県に分布する中期中新世花崗岩質岩体の成因に関する実験岩石学的検討

Experimental study on the petrogenesis of Middle Miocene granitoid plutons in the Ehime Prefecture

宮本 華蓮¹、*齊藤 哲¹

Karen Miyamoto¹, *Satoshi SAITO¹

1.愛媛大学大学院理工学研究科

1.Graduate School of Science & Engineering, Ehime University

The origin of continents with granitic upper crust enriched in incompatible elements is one of the fundamental questions in Earth's evolution. The Middle Miocene granitoid plutons (the Uwajima, Miuchi and Omogo plutons) are distributed in th Ehime prefecture, Southwest Japan. These plutons are composed of incompatible element-enriched granitoids including granodiorites, monzogranites and granites (*sensu stricto*). In order to constrain petrogenesis of the Middle Miocene granitoid plutons, we tried high-temperature melting experiments under deep crustal pressures.

The melting experiments are performed in a piston-cylinder type high-pressure apparatus with 12.7 mm borehole, under conditions at 900-1000 °C and 0.9 GPa. Starting materials prepared for the experiments were (1) powders of the Setouchi andesite (the JA-2 AIST geological standard sample), (2) fragments (~1mm) of Shimanto metasedimentary rocks (psammitic hornfels collected form the contact aureole of the Miuchi pluton), and (3) mixtures of them. The run-products were examined with SEM-EDS.

Experimental glass compositions were ranging from monzogranitic to granitic (*sensu stricto*) and are broadly comparable to the Middle Miocene granitoid plutons in Ehime Prefecture. Although most of the major element concentrations of the experimental glasses were similar to the granitoid plutons, the K₂O contents of glasses were considerably higher than those of the plutons. Additional melting experiments on the starting material with the relatively low-K rocks would be required for a better understanding of the genesis of the Middle Miocene granitoid plutons.

キーワード：花崗岩質岩体、中期中新世、溶融実験

Keywords: Granitoid plutons, Middle Miocene, Melting experiment