

## 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<sup>1</sup>、西 瑛莉子<sup>2</sup>、早坂 康隆<sup>3</sup>\*Masaki Yuhara<sup>1</sup>, Eriko Nishi<sup>2</sup>, Yasutaka Hayasaka<sup>3</sup>

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SiO<sub>2</sub>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<sup>1</sup>、羽生 毅<sup>1</sup>、小澤 恭弘<sup>2</sup>、牛久保 孝行<sup>3</sup>、清水 健二<sup>3</sup>、伊藤 元雄<sup>3</sup>、常 青<sup>1</sup>、木村 純一<sup>1</sup>、岩森 光<sup>1,2</sup>

\*Morihiisa Hamada<sup>1</sup>, Takeshi Hanyu<sup>1</sup>, Takahiro Ozawa<sup>2</sup>, Takayuki Ushikubo<sup>3</sup>, Kenji Shimizu<sup>3</sup>, Motoo Ito<sup>3</sup>, Qing CHANG<sup>1</sup>, Jun-Ichi Kimura<sup>1</sup>, Hikaru Iwamori<sup>1,2</sup>

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。CO<sub>2</sub>濃度とH<sub>2</sub>O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)。

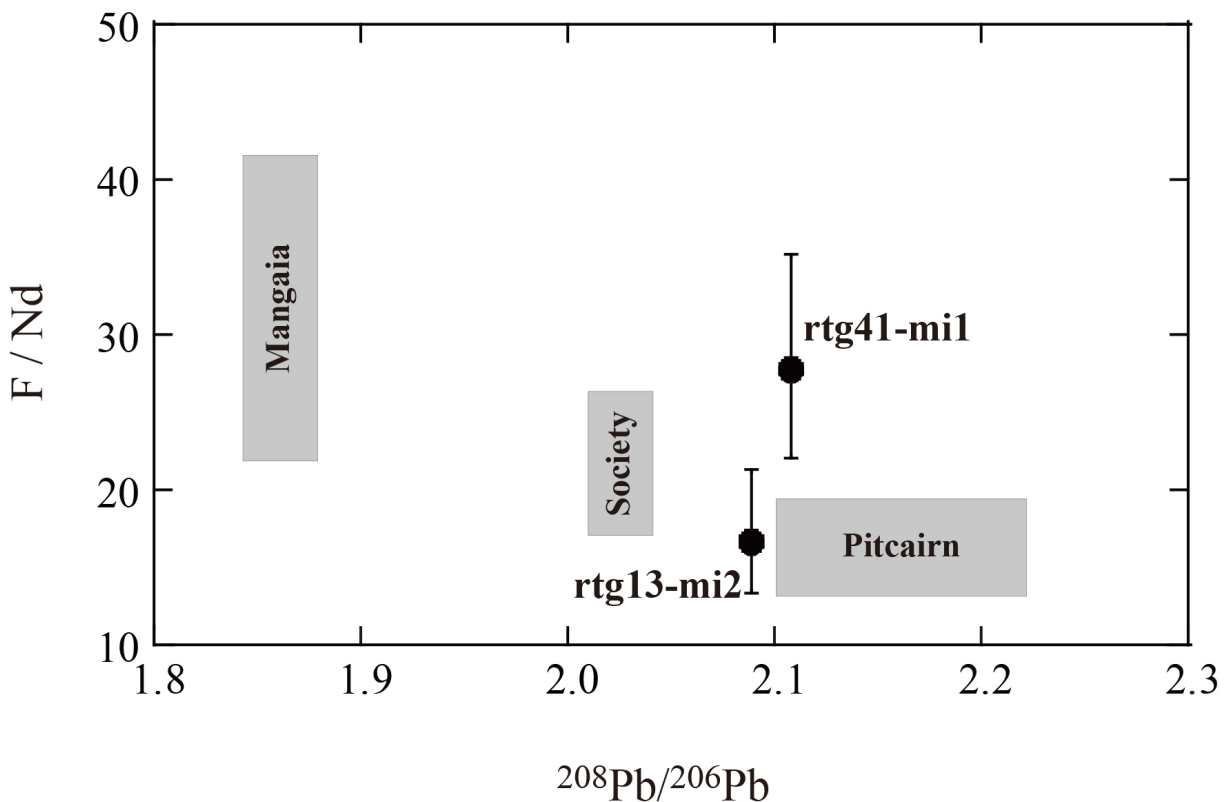
一方、メルト包有物rtg13-mi2のPb同位体比は<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb=2.0888±0.0026、<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb=0.8355±0.0015であったのに対して、メルト包有物のPb同位体比はrtg41-mi1の<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb=2.1078±0.0035、<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb=0.8504±0.0029である。両者は、既報のラロトンガ島の火山岩全岩のPb同位体比のバリエーションの範囲内ではあるが、有意に異なる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<sup>1</sup>、渋谷 岳造<sup>1</sup>、野崎 達生<sup>1</sup>、上田 修裕<sup>2</sup>、鳥本 淳司<sup>1</sup>、鈴木 勝彦<sup>1</sup>

\*Masafumi Saitoh<sup>1</sup>, Takazo Shibuya<sup>1</sup>, Tatsuo Nozaki<sup>1</sup>, Hisahiro Ueda<sup>2</sup>, Junji Torimoto<sup>1</sup>, Katsuhiko Suzuki<sup>1</sup>

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<sup>1</sup>、下林 典正<sup>1</sup>、三宅 亮<sup>1</sup>

\*yuhchuan Chang<sup>1</sup>, Norimasa Shimobayashi<sup>1</sup>, Akira Miyake<sup>1</sup>

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ンダ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 $\mu\text{m}$ -20 $\mu\text{m}$ 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  $\mu\text{m}$ 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 $\mu\text{m}$ -20 $\mu\text{m}$ ))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 $\mu\text{m}$ )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, I2<sub>1</sub>3, 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<sup>1</sup>、鍵 裕之<sup>1</sup>、荻原 成騎<sup>2</sup>、瀬瀬 佑衣<sup>3</sup>、奥村 文章<sup>4</sup>、岩野 裕継<sup>4</sup>、早稻田 周<sup>4</sup>\*Mao Watanabe<sup>1</sup>, Hiroyuki Kagi<sup>1</sup>, Shigenori Ogihara<sup>2</sup>, Yui Kouketsu<sup>3</sup>, Fumiaki Okumura<sup>4</sup>, Hirotsugu Iwano<sup>4</sup>, Amane Waseda<sup>4</sup>

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)<sup>[1]</sup> 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<sup>[3]</sup> and MITI Yurioki-Chubu, Akita prefecture) were analyzed. It was reported that the maturity data<sup>[3]</sup> 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<sup>+</sup> 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>) 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

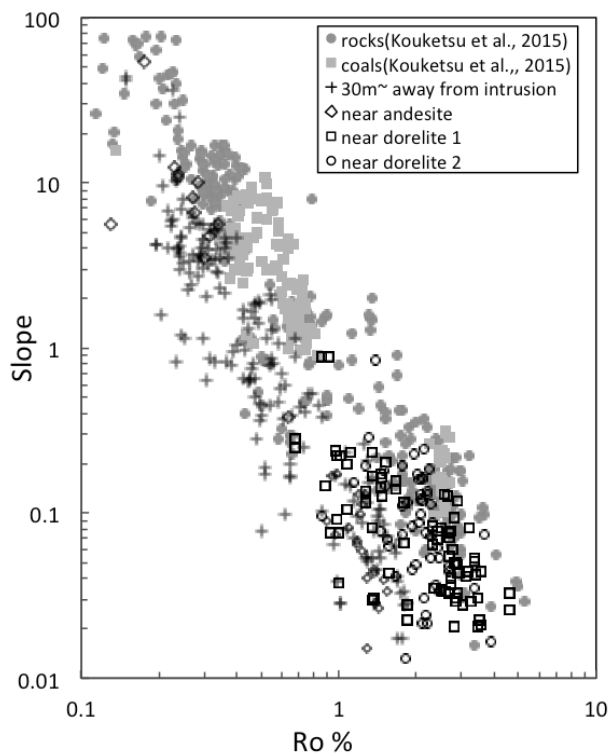


Fig.1 Correlation of vitrinite reflectance and slope of Raman baseline of kerogens from Shin-Ayukawa and previous study

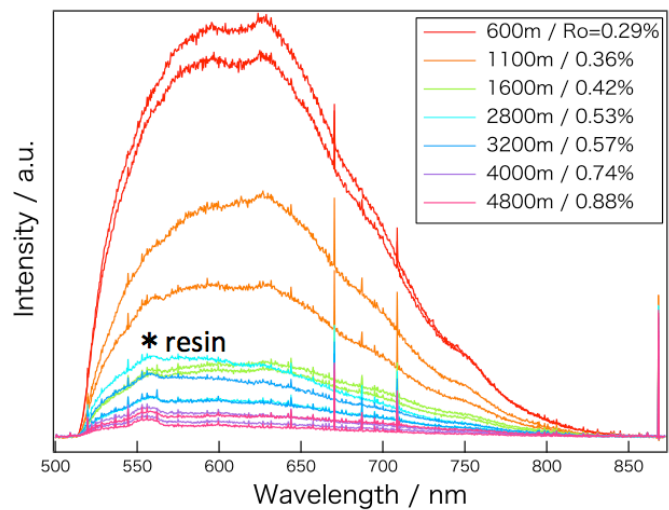


Fig.2 Fluorescence spectra of kerogens from Yurioki-Chubu

## 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<sup>1</sup>、安井 万奈<sup>2</sup>、萩谷 宏<sup>1</sup>、山崎 淳司<sup>2</sup>

\*Ayaka Fujita<sup>1</sup>, Mana Yasui<sup>2</sup>, Hiroshi Hagiya<sup>1</sup>, Atsushi Yamazaki<sup>2</sup>

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<sup>1</sup>、千葉 仁<sup>1</sup>、石橋 純一郎<sup>2</sup>

\*Shogo Kawasumi<sup>1</sup>, Hitoshi Chiba<sup>1</sup>, Jun-ichiro Ishibashi<sup>2</sup>

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H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S濃度から熱水自体のfO<sub>2</sub>-fS<sub>2</sub>条件を計算でき、それをFe-Cu-S系のfO<sub>2</sub>-fS<sub>2</sub>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fO<sub>2</sub>-fS<sub>2</sub>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fO<sub>2</sub>-fS<sub>2</sub>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 $\delta^{34}\text{S}$ 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 $\delta^{18}\text{O}$ が熱水噴出温度 (326°C) における海水SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-熱水H<sub>2</sub>O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SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-熱水H<sub>2</sub>S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 $\delta^{34}\text{S}$ と高いfS<sub>2</sub>条件 (高いH<sub>2</sub>S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SO<sub>2</sub>の寄与による $\delta^{34}\text{S}$ 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CO<sub>2</sub>の寄与があるにも関わらず、SO<sub>2</sub>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、SO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S間の化学平衡 (SO<sub>2</sub> + 3H<sub>2</sub> = H<sub>2</sub>S + 2H<sub>2</sub>O) 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SO<sub>2</sub>の大部分がH<sub>2</sub>Sへ変換され、島弧マグマの高い $\delta^{34}\text{S}$  (~5‰) を反映したH<sub>2</sub>S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 $\delta^{34}\text{S}$ は、堆積層中の硫酸還元細菌由来H<sub>2</sub>S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SO<sub>2</sub>の割合の増加に伴う $\delta^{34}\text{S}$ の低いH<sub>2</sub>S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<sup>1</sup>、佐藤 隆春<sup>2</sup>、岡村 聡<sup>1</sup>、(グループ) 米山団体研究グループ

\*Masataka Aizawa<sup>1</sup>, Takaharu Sato<sup>2</sup>, Satoshi Okamura<sup>1</sup>, 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もなっている。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の独立峯を構成する。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、SiO<sub>2</sub>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SiO<sub>2</sub>(50～51 wt%)岩石が800-900°C、高SiO<sub>2</sub>(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SiO<sub>2</sub>斑レイ岩から高SiO<sub>2</sub>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SiO<sub>2</sub>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、SiO<sub>2</sub>=46～51 wt%の玄武岩組成において、SiO<sub>2</sub>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<sup>1</sup>、川畑 博<sup>2</sup>\*kazuki ogura<sup>1</sup>, Hiroshi Kawabata<sup>2</sup>

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% SiO<sub>2</sub> 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<sup>1</sup>、上原 誠一郎<sup>1</sup>\*Satomi Enju<sup>1</sup>, Seiichiro Uehara<sup>1</sup>

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<sup>1</sup>、\*齊藤 哲<sup>1</sup>

Karen Miyamoto<sup>1</sup>, \*Satoshi SAITO<sup>1</sup>

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 K<sub>2</sub>O 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