

新潟-山形県境, 金丸小国地域の HFS 元素に富む優白質花崗岩 A leucogranite stock rich in high field strength elements, Kanamaru-Oguni area on the Niigata-Yamagata border, NE Japan

亀井 淳志^{1*}; 内藤 一樹²; 高村 早弥香³; 加々島 慎一⁴; 奥澤 康一⁵; 関 陽児⁶; 渡部 芳夫²

KAMEI, Atsushi^{1*}; NAITO, Kazuki²; TAKAMURA, Sayaka³; KAGASHIMA, Shin-ichi⁴; OKUZAWA, Koichi⁵; SEKI, Yoji⁶; WATANABE, Yoshio²

¹ 島根大学大学院総合理工学研究科地球資源環境学領域, ² 産業技術総合研究所地質調査総合センター, ³ リコー・ジャパン, ⁴ 山形大学理学部地球環境学科, ⁵ 大林組技術研究所, ⁶ 東京理科大学理工学部

¹Department of Geoscience, Shimane University, ²Geological Survey of Japan/ AIST, ³Ricoh Japan Corporation, ⁴Department of Earth and Environmental Sciences, Yamagata University, ⁵Technical Research Institute, Obayashi Corporation, ⁶Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

A small stock of leucocratic Grt-two mica granite enriched in high field strength elements (HFSEs) has recently been found in the Kanamaru-Oguni district of the Asahi-Iide mountains in the Ashio Belt of the NE Japan arc. The granite has a high-K peraluminous composition, and is categorized as an A-type within-plate granitoid, according to several geochemical discriminants based on HFSEs. However, total Zr+Nb+Ce+Y contents are lower (166-192 ppm) and Rb/Ba ratios are higher (19-48) than those typical of A-type granitoids (Zr+Nb+Ce+Y >350, Rb/Ba <10). This suggests that this stock is in fact a highly fractionated granite, rather than an A-type intrusive. The stock solidified at shallow depth (about 3 - 6 km) from a silicic granitic magma, under moderately water-rich conditions. Geochemical modeling shows that the petrogenesis of the granite can be explained by partial melting of crustal rocks, leaving abundant plagioclase as a residual phase, with subsequent active fractional crystallization of plagioclase + alkali-feldspar. Many other small stocks composed of Grt-two mica granite occur in the Asahi and Iide mountains. The granitic activity ranges from Late Cretaceous (ca 90 Ma) to Paleogene in age. Although most of these stocks were derived from melting of various crustal rocks, some are highly differentiated, and have HFSE concentrations similar to the Kanamaru-Oguni stock studied here.

HFSE-rich granitoids also occur sporadically within the other Japanese geological units, but they are restricted in the southwestern Japan. The granitoids in the Inner and Outer Zones of SW Japan differ in composition. The HFSE-rich granitoids in the Inner Zone originated from middle to lower crustal materials, and were then strongly differentiated before emplacement. This is similar genesis to the granite in the Kanamaru-Oguni district. In contrast, the solitary HFSE-rich granitoid in the Outer Zone crops out at Cape Ashizuri. This occurrence is the only classic A-type intrusion in Japan, and is considered to have formed by a low degree of partial melting of the upper mantle or mafic lower crust. Although the HFSE-rich granitoids within the SW Japan arc may be similar geochemically to within-plate or ocean-ridge granites, they are in fact volcanic arc granites produced within the subduction zone by specific activities.

キーワード: 花崗岩, HFS 元素, 新潟-山形, 東北日本弧

Keywords: Granite, HFS elements, Niigata-Yamagata, NE Japan

北部九州，深江花崗岩北波多岩体の希土類元素組成 Rare earth element compositions of the Kitahata body in the Fukae granite, northern part of Kyushu

川野 良信^{1*}
KAWANO, Yoshinobu^{1*}

¹ 立正大学地球環境科学部環境システム学科

¹ Department of Environment Systems, Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

九州北部には白亜紀に活動した花崗岩類が広く分布しており(唐木田, 1985), 佐賀県唐津市北波多にもその一部である深江花崗岩が分布している. 北波多に分布する深江花崗岩(以下, 北波多岩体と呼ぶ)には部分的にアプライト様の岩相や珪長質包有物が認められる. 珪長質包有物は直径 50 cm ほどのプール状の楕円形を示し, 周囲の花崗岩と漸移関係を示している. 北波多岩体の主要構成鉱物は石英, カリ長石, 斜長石, 黒雲母で, 副成分鉱物として燐灰石, ジルコン, 不透明鉱物を伴う(川野, 2013). 北波多岩体の黒雲母 K-Ar 年代は 95.8 ± 2.4 Ma を示す(北波多村村史編纂委員会, 2008). 北部九州に分布する花崗岩類の年代は 90 Ma から 100 Ma に集中することが知られており(唐木田ほか, 1992), 本岩体の黒雲母 K-Ar 年代はその範囲内に入る.

川野(2013)は, 全岩化学分析の検討から, 北波多岩体中に見られる珪長質包有物が岩体を形成したマグマの残液が濃集したものと推定した. 今回, 北波多岩体 7 試料, 珪長質包有物 1 試料, アプライト 2 試料の計 10 試料について希土類元素組成を求め, 川野(2013)の推定結果との比較を行った.

コンドライトで規格化した希土類元素のパターンでは, 軽希土の値は北波多岩体が最も高く, 次いでアプライト, 珪長質包有物の順に低くなる. また, 規格化した La/Lu 比は北波多岩体で最も高く, 珪長質包有物, アプライトの順に低くなる. さらに, 北波多岩体と珪長質包有物には Eu の負異常は認められないものの, アプライトには明瞭にそれが認められる. すなわち, Eu/Eu* 比はアプライトが最も低く, 北波多岩体と珪長質包有物は同程度の値を示す.

北波多岩体, 珪長質包有物, アプライトの順に SiO₂ 量は増加し, アプライトは花崗岩に比べ分化が進んでいると考えられる. 通常, 同一マグマからの分化した場合, 分化が進むにつれ軽希土の値は大きくなる. しかしながら, SiO₂ に富むアプライトや珪長質包有物の軽希土の値は SiO₂ の乏しい北波多岩体よりも低く, 同一マグマからの分化では説明が困難である. また, 分化が進行すれば La/Lu 比も大きくなると考えられるが, 同比が最も大きいのは北波多岩体であり, アプライトが最も小さい. このこともこれらの岩石が同一マグマ起源ではないことを示している. Eu の負異常や低 Eu/Eu* 比から, アプライトは斜長石の分別を行ったと推定されるが, 軽希土の濃度や La/Lu 比の特徴から, 北波多岩体を形成したマグマからアプライトが導き出されたとは考えられず, 異なるマグマからの分化物と考えられる. 北波多岩体のアルミナ飽和度は 1.0 よりも大きい, 珪長質包有物のそれは 0.9 以下でメタアルミナスの性質を示す. このことから, マグマに取り込まれた堆積岩が融解したとは考えられず, 異なる起源を持つ珪長質マグマを取り込んだのかもしれない.

キーワード: 九州, 深江花崗岩, 北波多, 希土類元素組成

Keywords: Kyushu, Fukae granite, Kitahata, rare earth element

西南日本内帯・因美侵入岩類の花崗岩類の記載岩石学的・地球化学的研究 Petrographic and geochemical studies of granitoids from the Inbi intrusives, Inner Zone of Southwest Japan

佐藤 桂^{1*}; 亀井 淳志²; 南 雅代¹; 浅原 良浩³; 加藤 丈典¹
SATO, Kei^{1*}; KAMEI, Atsushi²; MINAMI, Masayo¹; ASAHARA, Yoshihiro³; KATO, Takenori¹

¹名古屋大学年代測定総合研究センター, ²島根大学大学院総合理工学研究科地球資源環境学領域, ³名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻

¹Center for Chronological Research, Nagoya University, ²Department of Geoscience, Shimane University, ³Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University

We report a data set of whole rock compositions of seven granitoids from the early Paleogene Inbi intrusives and a granitoid from the mid Paleogene Namariyama intrusives, Inner Zone of Southwest Japan. The Inner Zone where voluminous granitic plutons occur is subdivided from the north to the south into three areas in terms of mineralogical and petrological characteristics of granitoids: the San-in Belt, the San-yo Belt, and the Ryoke Belt. The examined Paleogene intrusives, which belong to the San-in Belt, show volcano-plutonic association on the eastern side of younger Daisen volcano at the southern part of Tottori Prefecture and the northern part of Okayama Prefecture [e.g. 1-5].

Seven early Paleogene granitoids were collected from three plutons of the Inbi intrusives: Tottori granite, Ningyo Toge granite, and Sangenya granite [4]. Minerals in polished thin sections were first described under microscope. All of the granitoids from the Inbi intrusives contain quartz, feldspars, biotite and iron oxide. Most of them except for Tottori granite contain amphibole. Sphene is found as accessory mineral in some thin sections.

Each mixture of lithium tetraborate and powdered rock was put into a platinum crucible, and then ignited in a furnace at 1000 degree-C and cooled for preparing a glass bead. And then, major and trace elements were measured using XRF analyzer. To prepare sample solutions for measuring trace elements including REEs, the powdered rocks were first digested in a PTFE beaker with HF/HClO₄ mixture on a hotplate at 120-140 degree-C, and then residue probably including heavy minerals such as zircon was dissolved in sealed high-pressure container with HF/HCl mixture at 180 degree-C. The first step decomposed fraction and residual one were well-mixed, and then this mixture was split into two aliquots: one was separated from other elements using a quartz column filled with cation exchange resin for measuring REEs, and the other aliquot was for analysis of trace elements except for REEs. These solutions were analyzed using ICP-MS.

Chemical analyses for whole rock compositions of seven Inbi granitoids yielded the following results. Molecular Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) values are given as I-type with a range from 0.96 to 1.10. Relationship of Na₂O+K₂O vs. total FeO vs. MgO shows calc-alkaline series on AFM diagram. SiO₂ content ranges from 65.7 wt% to 73.4 wt%, and relationship between Si and other major elements gives clear differentiation trend on Harker variation diagrams. Five samples of the granitoids are categorized as high-K series. Many granitoids in this area suffer weathering. The resulting in weathering yields a decrease of CaO (from 2.5 wt% to 1.7 wt%) and Na₂O (from 4.1 wt% to 3.6 wt%) for Ningyo Toge granites. Whereas Sangenya and Ningyo Toge granites contain about 200 to 360 ppm Sr, Tottori granite contains only 90 ppm Sr. The values of Ti normalized by the mean MORB composition [6] against seven granitoids yield a trend of depletion in Ti. Those of REEs normalized by the MORB composition are given as enriched LREE pattern, negative Eu anomaly, and relatively flat MREE and HREE patterns. All of these normalized patterns have characteristics as volcanic arc granites [e.g. 7].

References:

[1] Shibata, H. and Saruyama (1959) Paper. ITSUR, Okayama Univ., 25, 1-12 (in Japanese with English abstract); [2] Shibata, K. and Yamada (1965) Bull. Geol. Surv. Japan, 16, 437-442; [3] Kawano and Ueda (1966) Jour. Mineral. Petrol. Econom. Geol., 56, 191-211 (in Japanese with English abstract); [4] Sasada et al. (1979) Memoir. Geol. Soc. Japan, 17, 19-34 (in Japanese with English abstract); [5] Shibata, K. (1979) Memoir. Geol. Soc. Japan, 17, 69-72 (in Japanese with English abstract); [6] Albarede (2005) Geophys. Monogr. R.D. van der Hilst, J. Bass, J. Matas and J. Trampert. Washington D.C., Amer. Geophys. Union, 160, 27-46; [7] Imaoka et al. (2011) Jour. Asian Earth Sci., 40, 509-533.

キーワード: 花崗岩類, 山陰帯, 蛍光X線分析, ICP質量分析, 微量元素, 希土類元素
Keywords: granitoid, San-in Belt, XRF, ICP-MS, trace element, REE

御斎所変成岩中に露出する超苦鉄質岩の岩石学：御斎所変成岩は沈み込み帯域オフィオライトか？
Petrology of ultramafic rocks in the Gosaisho series, northeastern Japan: Is the Gosaisho series the SSZ ophiolite?

佐藤 勇輝^{1*}; 石渡 明²
SATO, Yuki^{1*}; ISHIWATARI, Akira²

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 東北大学東北アジア研究センター
¹Dept. Earth Sci., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ., ²Center for NE Asian Studies, Tohoku Univ.

阿武隈高原は東北日本の太平洋岸に沿って伸びる南北約 180km, 東西約 50km の隆起準平原であり, 主に白亜紀花崗岩類と広域変成岩によって特徴づけられる。阿武隈高原の中部に位置する御斎所一竹貫地域では, 西部の竹貫変成岩の構造的上位に東部の御斎所変成岩が載るとされている(梅村, 1979 など)。御斎所変成岩は主に苦鉄質岩と珪質岩に由来し, 竹貫変成岩は主に泥質岩を起源とする。御斎所変成岩中には, 竹貫変成岩との境界に沿って多数の小規模超苦鉄質岩体が散在している。阿武隈高原の変成岩については 19 世紀から現在まで詳細な研究が行われているが, 超苦鉄質岩についてはその限りではなかった。

御斎所一竹貫地域の超苦鉄質岩は白亜紀花崗岩類による接触変成作用を少なからず受けているものの, 全岩化学組成から原岩はマントルかんらん岩と超苦鉄質集積岩であると考えられる。超苦鉄質集積岩は変斑れい岩を伴うことがある。超苦鉄質岩体のひとつである大辻山では, 山麓部がマントルかんらん岩からなり, 集積岩が中腹から山頂を占める。これは, 本地域の超苦鉄質岩体がオフィオライトの下部の断片であることを示唆する。また, 本地域ではコートランド岩が斑れい岩を伴って産することがある。コートランド岩は主に花崗岩体中に産し, その多くは白亜紀花崗岩類の活動に伴って露出したものと考えられる。

かんらん岩の全岩組成は Ca や Al に乏しく ($\text{CaO} < 0.6 \text{ wt. } \%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 < 1.6 \text{ wt. } \%$), 枯渇度の高いマントルかんらん岩であると考えられる。一方で, マントルの枯渇度を反映するとされるかんらん岩中のスピネルの Cr# は場所によって 14 - 87 という幅広い値を示し, 枯渇度に差があることを示唆する。またスピネルは Ti に乏しく ($\text{TiO}_2 < 0.2 \text{ wt. } \%$), マントルかんらん岩が島弧起源であることが示唆される (Arai et al., 2011)。これは, 超苦鉄質集積岩に伴う変斑れい岩の全岩組成が Ca や Al に富み, Ti に乏しい ($\text{CaO} = 11.6 - 17.0 \text{ wt. } \%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13.8 - 18.5 \text{ wt. } \%$, $\text{TiO}_2 = 0.06 - 1.06 \text{ wt. } \%$) ことも調和的である。また, 本地域の超苦鉄質集積岩は鉄によく富んでいることも大きな特徴である (up to Fo = 73)。

御斎所変成岩では, 変成チャートからジュラ紀の放散虫化石が発見されている (Hiroi et al., 1987)。また, 変成度の低い苦鉄質変成岩の中には枕状溶岩の構造を保存したものとされる (野原・廣井, 1989)。Hiroi et al. (1998) では, 御斎所変成岩は中央海嶺で形成された海洋地殻を起源とし, それが陸源堆積物起源の竹貫変成岩に衝上したものとされている。しかし, 御斎所変成岩中には母岩とともに変成作用を受けたカルクアルカリ系列の岩脈がしばしば見られることが知られている (Umemura, 1970)。これは超苦鉄質岩が島弧起源とみられることと調和的である。よって, 御斎所変成岩はジュラ紀に竹貫変成岩に衝上した島弧起源の沈み込み帯域オフィオライトである可能性が示唆される。一方で, この超苦鉄質岩が古生代初期の早池峰・宮守オフィオライトと対比される可能性もあり (町田・石渡, 2013 など), 御斎所変成岩中の苦鉄質一超苦鉄質岩のより包括的な研究が求められる。

キーワード: 沈み込み帯域オフィオライト, 超苦鉄質岩, 阿武隈変成岩

Keywords: supra-subduction zone ophiolite, ultramafic rock, Abukuma metamorphic rocks

韓国, Goseong 地域の火山岩の実験岩石学 Experimental petrology of Goseong volcanoes, Korea

藤永 希^{1*}; 佐野 貴司²
FUJINAGA, Nozomi^{1*}; SANO, Takashi²

¹ 立正大学大学院地球環境科学研究科, ² 国立科学博物館地学研究部

¹Graduate School of Geo-environmental Science, Rissho University, ²Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science

Genozoic volcanoes with composition of alkali basalts are widely distributed in Southwest Japan, Korea, and East China. On the basis of geochemical studies, several models to explain magma origin of the alkali basalts were proposed (e.g., upwelling of hot asthenosphere, melting of stagnant slab, and so on). However, little is known about differentiation processes for the alkali basalts based on petrological studies. We therefore performed a series of experimental determinations of melting relation in alkali basalts on Goseong volcanic field, Goseong-do, Korea. Goseong volcanic field consists of seven volcanic plugs, and some of them are accompanied by lava flows. We have carried out petrological studies on alkali basalts from all the seven plugs. The alkali basalts have phenocrysts of olivine and augite and microphenocryst of spinel. Whole rock compositions show that the alkali basalts are relatively primitive ($\text{FeO/MgO} < 0$ and $\text{MgO} > 11$ wt %), and mineral chemistry supports this (Forsterite content in olivine > 87). The most primitive rock was selected for melting experiments at 1110-1220 °C and 1 bar under the oxygen fugacity along the fayalite-magnetite-quartz buffer. The experimental results show that mineral assemblage (olivine, spinel, and plagioclase) is different from natural one (olivine, spinel, and augite), indicating that crystallization pressures were probably higher than the melting pressure (1 bar). Thus, we will conduct melting experiments at high pressures in future work.

マダガスカル共和国中央東部アンタナナリボ岩体アンバートフツ地域に産するザクロ石-珪線石片麻岩の温度圧力経路 Metamorphic evolution of garnet-sillimanite gneiss from Ambatofotsy region, Antananarivo domain, east-central Madagascar

市來 孝志^{1*}; 石川 正弘¹
ICHIKI, Takashi^{1*}; ISHIKAWA, Masahiro¹

¹ 横浜国立大学 環境情報
¹Yokohama National University

マダガスカル共和国は東-西 Gondwana 大陸の衝突縫合帯である東アフリカ-南極造山帯の中央部に位置していると考えられている (e.g. Jacobs and Thomas, 2004). そのため造山帯の形成プロセスを理解する上で重要な地域の一つである. 本研究ではマダガスカル共和国中央東部アンタナナリボ岩体東部アンバートフツ地域に産するザクロ石-珪線石片麻岩中のザクロ石から藍晶石+十字石+白雲母+ルチルの鉱物組み合わせを初めて見いだしたのでその産状を報告するとともに、各種地質温度圧力計とシュードセクション法による結果から変成温度圧力経路を議論する.

アンタナナリボ岩体は主に珪長質変成岩から構成され、少量の変成堆積岩を含む (Tucker et al., 2012). ザクロ石-珪線石片麻岩は岩体東部に産しており、周囲には磁鉄鉱-斜方輝石-石英片麻岩 (変成縞状鉄鉱), ザクロ石-斜方輝石岩, ザクロ石-角閃石-黒雲母片麻岩などが産する. ザクロ石-珪線石片麻岩は主にザクロ石, 珪線石, カリ長石, 斜長石, 石英から構成され、少量の黒雲母, 白雲母, モナズ石, ジルコン, ルチル, 石墨を含む. 珪線石はマトリクスおよびザクロ石の包有物として見られ、藍晶石はザクロ石の包有物としてのみ見られる. またザクロ石 ($X_{Mg} = 0.17-0.18$) 中にはスピネルが包有されており、また石英の包有物を大量に含み、モナズ石が濃集しているのが特徴である. このスピネルは Mg に乏しく ($X_{Mg} = 0.21-0.22$), Zn に富む (ZnO = 18.4-19.0 wt.%). さらにザクロ石中から藍晶石+十字石+白雲母+ルチルの包有物が今回初めて見つかった. この十字石は Mg に乏しく ($X_{Mg} = 0.12$), Zn に富む (ZnO = 3.1 wt.%). ザクロ石の一部は黒雲母 ($X_{Mg} = 0.58$) と珪線石に置き換わっており、放射状の集合体として見られる.

これらの岩石記載の結果、ザクロ石-珪線石片麻岩の変成条件は十字石+石英の安定領域から、温度上昇によりザクロ石+藍晶石の安定領域へ進んだものと考えられる (Spear and Cheney, 1989). さらにピーク時にはザクロ石+珪線石+スピネル+石英が安定な鉱物組み合わせであったと考えられる. そこでザクロ石-珪線石-斜長石-石英地質圧力計 (Spear, 1993), ザクロ石-珪線石-スピネル-石英地質温度圧力計 (Nichols et al., 1992) とザクロ石の活動度 (Berman, 1990) を用いて変成温度圧力条件を見積もると、温度約 800 °C, 圧力 0.9 GPa が見積もられる. ザクロ石の周囲にしばしば放射状の黒雲母と珪線石が見られる. これはザクロ石を置き換えてこれらの鉱物が生成する加水反応 (Le Breton and Thompson, 1988) であり、ザクロ石+カリ長石+水から低温で安定な黒雲母+珪線石+石英の鉱物組み合わせに変化したものと考えられる. この後退変成作用の温度圧力条件はザクロ石-角閃石-黒雲母片麻岩の見積もりとほぼ一致する. この岩石についてザクロ石-角閃石地質温度計 (Graham and Powell, 1984), 角閃石-斜長石地質温度計 (Holland and Blundy, 1994), ザクロ石-角閃石-斜長石-石英地質圧力計 (Kohn and Spear, 1990) を用いた結果、温度約 700 °C, 圧力 0.6 GPa の変成条件が見積もられる.

以上のことから、アンタナナリボ岩体東部アンバートフツ地域に産するザクロ石-珪線石片麻岩は十字石+石英の安定な高圧条件から、昇温期変成作用を経て温度約 800 °C, 圧力 0.9 GPa のピーク変成条件を経て、後退変成作用を経て温度約 700 °C, 圧力 0.6 GPa まで温度低下と圧力減少を経る時計回りの変成経路を経たと考えられる.

キーワード: Gondwana 超大陸, マダガスカル中央東部, アンタナナリボ岩体, ザクロ石-珪線石片麻岩, 時計回りの変成経路
Keywords: Gondwana supercontinent, east-central Madagascar, Antananarivo domain, Garnet-sillimanite gneiss, Clockwise P-T path

ゴンドワナ大陸衝突帯にみられるざくろ石単斜輝石岩の比較 Petrogenesis of garnet-clinopyroxene rocks from the Gondwana collisional orogeny

高村 悠介^{1*}; 角替 敏昭¹; 飯沼 美奈子¹; 小泉 達也¹; SANTOSH M.²; MALAVIARACHCHI Sanjeeva³
TAKAMURA, Yusuke^{1*}; TSUNOGAE, Toshiaki¹; IINUMA, Minako¹; KOIZUMI, Tatsuya¹; SANTOSH, M.²; MALAVIARACHCHI, Sanjeeva³

¹ 筑波大・地球, ² 中国地質大学, ³ ペラデニヤ大学

¹Univ. Tsukuba, ²China University of Geosciences Beijing, ³Univ. Peradeniya

東アフリカ-南極造山帯は、原生代最末期のゴンドワナ大陸集合時の海洋の閉塞に伴って形成された造山帯である。特にマダガスカル、インド、スリランカ地域には、モザンビーク海の海洋プレートの沈み込み→付加→最後の大陸衝突によって形成された縫合帯 (Palghat-Cauvery Suture Zone など) がみられる。この縫合帯の主な岩相は、酸性-中性の正片麻岩、苦鉄質グラニュライト/角閃岩、泥質グラニュライト、珪岩/縞状鉄鉱層、苦鉄質-超苦鉄質複合岩体 (オフィオライト) などであるが、縫合帯の外側の岩体 (主に高度変成作用を受けた正片麻岩および準片麻岩からなる) との大きな違いは、断片状に産出するオフィオライト岩体および変ハンレイ岩体などの苦鉄質-超苦鉄質岩体の存在である。この中で後者の変ハンレイ岩体は主に粗粒のざくろ石、単斜輝石からなり、微量の斜長石、石英、斜方輝石、チタン鉄鉱などから構成されているエクロジャイト的な岩石である (ただし、全岩の Na 含有量が少ないため、単斜輝石はオンファス輝石ではなく普通輝石あるいはディオプサイド-ヘデンバージャイトである)。この変ハンレイ岩 (ざくろ石単斜輝石岩) は、南インド・Palghat-Cauvery 縫合帯 (Nishimiya et al., 2008; Sajeev et al., 2009; Saitoh et al., 2011)、スリランカ・ハイランド岩体 (Osanai et al., 2006)、東南極リュツォ・ホルム岩体 (Saitoh et al., 2012) の限られた地域からのみ報告されている。これらざくろ石単斜輝石岩は様々な年代の海洋プレートの断片と考えられるため、その原岩および変成作用の広域的な比較は、ゴンドワナ大陸集合時の海洋の閉塞や最終的な大陸衝突のテクトニクスを考察する上で重要である。本研究では、特にスリランカ・ハイランド岩体から新たに得られたざくろ石単斜輝石岩の岩石学的な特徴および変成温度圧力条件について報告する。

キャンディー周辺のハイランド岩体から採集したざくろ石単斜輝石岩は、変堆積岩中に 1 m 程度のブロックとして産出する。地球化学的判別図から、原岩は MORB 的な岩石である。鉱物組み合わせは、ざくろ石+単斜輝石+斜方輝石+チタン鉄鉱+普通角閃石+斜長石 (岩相 1)、ざくろ石+斜長石+単斜輝石+斜方輝石+石英+チタン鉄鉱である (岩相 2)。岩相 2 には、ざくろ石+石英→斜方輝石+斜長石からなるシンプレクタイト組織がみられ、ピーク変成作用後の減圧が推測される。岩相 1 にざくろ石-単斜輝石地質温度計を適用して得られた温度条件は、800-840 °C 程度であったが、NCFMASHTO 系のシューセクションから推測される温度圧力条件は、960-1040 °C、8-10.5 kbar であった。この条件は、Osanai et al. (2006) が苦鉄質グラニュライトから得たピーク変成条件 (>17 kbar, >1000 °C) に比べて、温度は調和的であるが圧力が 7 kbar 程度低い。

近年の岩石学的研究により、Palghat-Cauvery 縫合帯のようなモザンビーク海の閉塞とその後の大陸衝突によって形成された縫合帯には、様々な年代をもつ岩石がブロック状に取り込まれ、メランジを形成している。例えば Palghat-Cauvery 縫合帯にみられる苦鉄質-超苦鉄質岩体 (オフィオライトや層状貫入岩体) は、(1) 25 億年前の火成および変成年代をもつ岩体、(2) 25 億年の火成年代と 7-8 億年の変成年代をもつ岩体、(3) 7-8 億年の火成年代と 7-8 億年の変成年代をもつ岩体の 3 つが混在しており、これらのピーク変成条件や温度圧力履歴は異なる。今回キャンディー周辺から得られたざくろ石単斜輝石岩の温度圧力履歴は (1) のタイプと類似している。以上のように、縫合帯のメランジを構成する苦鉄質-超苦鉄質岩体は、南インド Palghat-Cauvery 縫合帯からスリランカ・ハイランド岩体を通り、東南極リュツォ・ホルム岩体南西部まで連続する可能性がある。

キーワード: グラニュライト, ゴンドワナ, 縫合帯, シュードセクション

Keywords: granulite, Gondwana, suture zone, pseudosection

南インドの Gondwana 大陸衝突帯に見られる新太古代と新原生代中期のバイモーダル火成作用 Neoproterozoic and Middle Neoproterozoic bimodal magmatism in the Gondwana orogeny, South India

小林 愛理^{1*}; 角替 敏昭¹; 小泉 達也¹
KOBAYASHI, Airi^{1*}; TSUNOGAE, Toshiaki¹; KOIZUMI, Tatsuya¹

¹ 筑波大・地球

¹Univ. Tsukuba

玄武岩質岩とデイサイト質岩からなる大規模なバイモーダル火成作用は、島弧またはリフト帯に特徴的なイベントと考えられている。したがってこれら火成岩の岩石学的・地球化学的研究は、その地域のテクトニクスを議論する上で重要であるといえる。本研究では、南インドの大陸衝突型造山帯にみられる 2 つの異なる時代のバイモーダル火成作用を報告し、その成因について考察する。

南インドは北部の太古代 (33-25 億年) の花崗岩-グリーンストーン帯 (ダルワークラトン) およびグラニュライト岩体 (セーラム岩体、マドラス岩体、クーグ岩体など) と、南部の原生代 (5.3-5.7 億年) のグラニュライト岩体 (マドゥライ岩体、トリバンドラム岩体など) の 2 つの地塊で主に構成される。これら地塊の境界部はパルガット-カウベリー剪断帯と呼ばれるが、これは原生代末期 ~ カンブリア紀初期 (約 5.5 億年前) の Gondwana 大陸集合最末期に起こったモザンビーク海の閉塞および両地塊の衝突によって形成された剪断帯である。本研究ではパルガット-カウベリー剪断帯の北部に位置する太古代地塊のうち、新太古代 (25 億年) の火成・変成年代を示すマドラス岩体と、33-32 億年の火成・変成年代を示すクーグ岩体に貫入した新原生代中期 (クライオジェニアン) の火成岩体みられるバイモーダルな火成作用のメカニズムを明らかにすることを目的とした。

タミルナドゥ州のナマッカル-セーラム間に露出するマドラス岩体の塊状チャノッカイト (斜方輝石を含む花崗岩質岩) には、不規則な形状をした数十 cm 程度の黒色の玄武岩質岩のブロックが局所的に分布している。これら 2 つの異なる岩相の境界は明瞭で、これは典型的なマグマ混和組織と考えられる。主要な岩相である花崗岩質岩は、石英、斜長石、普通角閃石、斜方輝石からなる粗粒で完晶質の岩石である。一方で苦鉄質岩は変成作用を受けて苦鉄質グラニュライトとなっており、鉱物組み合わせは斜長石、単斜輝石、斜方輝石、黒雲母、石英からなるグラノブラスティックな岩石である。両者ともにサブアルカリックで、花崗岩質岩はデイサイト質、苦鉄質岩は玄武岩質安山岩質な組成をもつ。花崗岩質岩の Nb-Y、Ta-Yb、Rb-(Y+Nb)、Rb-(Yb+Ta) および苦鉄質岩の La-Y-Nb(La/10-Y/15-Nb/8) 比から、両者はともに火山弧起源の火成岩である。しかし、鉱物化学組成や顕微鏡下の組織からは、マグマ混合の証拠は得られなかった。これは、原岩形成後の 800 °C を超えるグラニュライト相の変成作用により、もとの組織や鉱物組成が完全に再結晶化したためと考えられる。

一方、ケララ州カサラゴド北部には、33-32 億年のクーグ岩体に貫入した新原生代中期 (クライオジェニアン) の花崗岩質岩中に、濃緑色で最大約 20 × 40cm の大きさの多数の苦鉄質岩ブロックが産出する。マドラス岩体のものと類似した産状から、この岩石もマグマ混和組織と考えられる。花崗岩質岩は白色 ~ 淡桃色で、主要な構成鉱物は石英、斜長石、カリ長石、黒雲母である。特に斜長石は自形を呈する。一方の苦鉄質岩は細粒であり、斜長石、普通角閃石、黒雲母、スフェーンからなる。緑簾石、緑泥石などの変質鉱物もみられる。マグマ起源の単斜輝石の残存結晶が角閃石や黒雲母に包有される組織から、この苦鉄質岩はマグマ混和後に角閃岩相の変成作用を被ったことがわかる。この花崗岩質岩は火山弧起源のカルクアルカリ岩型であり、苦鉄質岩は火山弧起源のアルカリ岩 (basaltic trachy-andesite) である。両者の境界部にみられる斜長石斑晶からは、反復累帯構造や汚濁帯の存在が確認された。汚濁帯累帯構造は、微晶なメルト包有物が斜長石に含まれたもので、一般的にマグマ混合が生じた時に低温マグマから晶出した結晶が、液と反応して部分溶解して生じると考えられている (Tsuchiyama, 1985)。また斜長石斑晶の累帯構造に Ba 含有量に急激な変化が見られたため、これがマグマ混合プロセスを知る手がかりとなる可能性がある。

南インド Trivandrum 岩体の CO₂-H₂O 流体の浸透とパッチ状のチャノッカイトの形成
Infiltration of CO₂-H₂O binary fluid and formation of patchy charnockite from Southern India

遠藤 雄大^{1*}; 角替 敏昭¹; M. Santosh²
ENDO, Takahiro^{1*}; TSUNOGAE, Toshiaki¹; M., Santosh²

¹ 筑波大・地球, ² 中国地質大学
¹Univ. Tsukuba, ²China University of Geosciences Beijing

Since the first discovery of patches, veins and ladders of coarse-grained orthopyroxene-bearing felsic granulite (incipient charnockite) within foliated amphibolite-facies gneiss from Kabbal in Karnataka, southern India, by Pichamuthu (1960), the origin and petrogenesis of charnockite and its implications for granulite processes in lower crust have been the focus of many petrologists. According to previous studies, charnockite formation in the SGT is considered to have resulted by the infiltration of CO₂-rich anhydrous fluids along structural pathways within upper amphibolite-facies gneisses, resulting in the lowering of water activity and stabilization of orthopyroxene through breakdown of biotite (e.g. Janardhan et al., 1979; Newton et al., 1980; Hansen et al., 1987; Santosh et al., 1990; Newton, 1992; among others).

This study presents new petrological data of 'incipient' charnockite developed within garnet-biotite (Grt-Bt) gneiss from Kakkod with the western Trivandrum Granulite Block (TGB), India. In this locality, bulk rock compositions of charnockite and the host Grt-Bt gneiss are almost equivalent. The result of conventional geothermobarometry using Grt-Opx-Pl-Qtz assemblage shows the peak metamorphic condition of 860-960 °C and 6.9-8.4 kbar, which is consistent with the results of mineral equilibrium modeling. The metamorphic condition certainly corresponds to granulite-facies event, and it is higher than those reported from other incipient charnockite localities in the TGB and adjacent Nagercoil Block. Furthermore, the estimated metamorphic condition is too high for the stability of the host Grt-Bt gneiss that contains a mineral assemblage formed at amphibolite-facies condition. In addition, although pseudosecondary fluid inclusions are composed of pure CO₂, secondary fluid inclusions contain CO₂-H₂O binary fluid. Therefore, patchy charnockite in Kakkod from the TGB is considered to have formed by infiltration of CO₂-H₂O binary fluid during a retrograde stage. The petrogenetic model of incipient charnockite formation proposed in this study is therefore different from reported petrogenesis from other localities.

キーワード: チャノッカイト, 変成流体, シュードセクション, 地質温度圧力計, Trivandrum Granulite Block, 南インド
Keywords: incipient charnockite, metamorphic fluid, pseudosection, geothermobarometry, Trivandrum Granulite Block, southern India

沸石と母岩の関係性 小笠原諸島父島・伊豆半島を例として Relationship of zeolites and host rocks

清水 康平^{1*}; 安井 万奈²
SHIMIZU, Kouhei^{1*}; YASUI, Mana²

¹ 東京都市大学知識工学部自然科学科, ² 早稲田大学理工学術院環境資源工学科

¹Department of Natural Sciences, Faculty of Knowledge Engineering, Tokyo City University, ²Department of Resources and Environmental Engineering, Waseda University

天然の沸石は主に地殻浅所で火成岩、堆積岩、変成岩といった多様な岩石中に存在する。本研究においては、伊豆・小笠原地域から採取した母岩及び沸石類の化学組成分析を行いそれらの関係性を示す。

先行研究においては、晶洞中や気孔中、脈中で産出される肉眼やルーペで識別できる大きさの沸石と母岩との間に、成因的關係はほとんど認められないと報告されている。(歌田 1995) 本研究では、沸石の母岩異なる小笠原諸島父島及び、伊豆半島からの岩石について沸石類と母岩の化学組成との関係性を検証する。

2. 調査地域

東京都小笠原諸島父島では宮之浜、釣浜駐車場、釣浜、長崎、初寝浦北側、初寝浦南側、洲崎北側、洲崎南側、ブタ海岸、金石浜の10ヶ所、静岡県伊豆半島ではやんだ、大洞林道の2ヶ所の調査を行った。

3. 方法

母岩は粉末にして加圧整形ディスクとした。分析には蛍光X線装置 RIX-3000(Rh 管球,50kV50mA)を使用し、産総研(地質調査所)の岩石標準試料15種類から作成した検量線をもとに、計算を行った。

沸石を含む母岩中の鉱物の同定に関しては、肉眼及び顕微鏡観察を行った。また、肉眼では同定困難なものについては、X線回折により同定した。分析には2種の装置を使用し、Bruker AXS, D2 phaser(管球,30kV,10mA)、Bruker AXS, Smart Breeze(管球,50kV,30mA)(単結晶構造解析)を使用した。Smart Breezeに関しては分析試料をおよそ1mm大に調整し測定した。

4. 結果・考察

各地点で産出した沸石類の同定結果と、母岩の全岩化学組成分析結果を比較、検討した。

今回、同定された沸石の種類は、輝沸石、方沸石、モルデン沸石、菱沸石、エリオン沸石、湯河原沸石、束沸石、灰十字沸石の8種類であった。

父島において束沸石は宮之浜、初寝浦北側、初寝浦南側、洲崎、ブタ海岸、金石浜で確認することができた。これらの地点と束沸石が産出しなかった地点での母岩の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比を比較すると、産出しなかった地点では4.230-4.768と5以下であるのに対し、産出した地点では5.248-7.672と5以上であり違いが見られた。沸石の構造を決定するためにはS/Alの比が重要な要素となる。沸石を主に構成する元素であるSiおよびAlの母岩中の比率を用い、熱水により岩石から溶脱した成分が岩石中の脈や気孔で結晶化することにより生成される沸石類の沸石と母岩の関係性を示すことができた。

キーワード: 沸石, 母岩, 小笠原諸島父島, デイサイト

Keywords: zeolites, host rocks, Chichijima, Ogasawara islands

箱根火山産三輝石安山岩（ピジョン輝石-普通輝石-紫蘇輝石安山岩）の成因 Three pyroxene andesite (pigeonite-augite-hypersthen andesite) from Hakone volcano

石井 輝秋^{1*}
ISHII, Teruaki^{1*}

¹ 公益財団法人深田地質研究所
¹Fukada Geological Institute

ピジョン輝石斑晶を含む火山岩は非常に稀であり、世界で数例しか知られていない。箱根火山箱根峠産ピジョン輝石-普通輝石-紫蘇輝石安山岩（単に三輝石安山岩またはピジョン輝石安山岩と呼ばれる）は久野久先生による、偏光顕微鏡を駆使した詳細な研究論文（Kuno 1935, Kuno 1936a）により世界的に有名である。本研究では EPMA によりこのピジョン輝石安山岩の輝石晶出経路および輝石温度計で求めたマグマの温度変化を解析し、その成因を検討した。初生的な水に富むソレライト質高温マグマが、水に関し開いた二次的マグマ溜り中で三相の輝石を平衡晶出して形成された三輝石斑晶含有マグマ（温度は約 1070 °C）が、元の高温度マグマ（温度は約 1110 °C）と二次的マグマ溜り中で混合して、ピジョン輝石安山岩を形成したという作業仮説を提出する。水に関し開いた二次的マグマ溜り中での、三種の輝石斑晶の平衡晶出の存在が鍵と成る。

キーワード: 箱根火山, 輝石地質温度計, ピジョン輝石, マグマ混合, 三輝石安山岩, マグマの温度

Keywords: Hakone volcano, pyroxene geothermometer, pigeonite, magma mixing, three pyroxene andesite, magmatic temperature

単結晶モナザイトの水熱合成及びモナザイトに対する水の溶解度測定 The structural water in hydrothermally synthesized monazite

阿部 健康^{1*}; 中村 美千彦¹
ABE, Takeyasu^{1*}; NAKAMURA, Michihiko¹

¹ 東北大学理学研究科地学専攻

¹Department of Earth Sciences, Tohoku University

Introduction: The U-Th-Pb dating of accessory minerals such as zircon and monazite is widely applied for various types of rocks [1,2,3]. There has been proposed another method to obtain geochronological information from these minerals: quantifying the degree of metamictization (destruction of crystal structure by radioactive components). It is reported for zircon that the water content (up to 10 wt%) is in proportion to the degree of metamictization, thus to the concentration of radioactive nuclei and geological age[4]. Monazite on the other hand usually undergoes much less metamictization than zircon due to the higher bond strength of P and O compared to that of Si and O; this results in the lower water content in the metamictized monazite. Determination of the structural water content in monazite without radioactive damage is thus necessary to constrain the "initial" water content prior to hydration. The water content bears significance also for better understanding the crystal chemistry of monazite. In this study, we synthesized monazite single crystals at hydrothermal condition and determined the content of structural water as a function of pressure.

Experimental method: The hydrothermal synthesis of monazite was conducted at a temperature of 800 degC and pressures of 1.5, 10 and 15 kbar using a cold-seal pressure vessel and a piston cylinder apparatus. The CePO₄ reagent was encapsulated with H₂O or H₂O-NaCl solution and run for ca. 100 hours. The FT-IR analyses of the obtained monazite single crystals were conducted to determine the concentration of structural OH on the basis of Lambert-Beer's Law. The molar absorption coefficient was estimated by linear calibration curve against the OH stretching vibration wavenumber [5].

Results and Discussion: The broad absorption band was observed at 3100-3600 cm⁻¹ in the crystals synthesized in all the experimental conditions. The water content of synthesized monazite was estimated approximately to be 20-70 ppm, showing no large pressure dependence. FT-IR analyses of pleochroic absorption are on-going to determine the OH dipole orientation within the crystal structure.

References: [1]J. M. Langille, M. J. Jessup, J. M. Cottle, G. Lederer, T. Ahmad, *Journal of Metamorphic Geology*, 30, 769-791 (2012)

[2]E. Janots, A. Berger, E. Gnos, M. Whitehouse, E. Lewin, T. Pettke, *Chemical Geology*, 326-327, 61-71 (2012)

[3]T. Imayama, K. Suzuki, *American Mineralogist*, 98, 1393-1406 (2013)

[4]M. Zhang, E. K. H. Salje, R. C. Ewing, *Journal of Physics: Condensed Matter*, 14, 3333-3352 (2002)

[5]M. S. Paterson, *Bulletin de Mineralogie*, 105, 20-29 (1982)

キーワード: 水熱合成, アクセサリー鉱物, モナザイト年代, メタミクト化, NAMs, フーリエ変換型赤外分光装置

Keywords: hydrothermal synthesis, accessory mineral, monazite dating, metamictization, nominally anhydrous minerals, FT-IR

高温下における ternary feldspar の相関係 Phase relation in ternary feldspar system at high temperature

兒玉 優^{1*}; 三宅 亮¹; 外田 智千²; 川崎 智佑³
KODAMA, Yu^{1*}; MIYAKE, Akira¹; HOKADA, Tomokazu²; KAWASAKI, Toshisuke³

¹京大・理, ²国立極地研究所, ³愛媛大・理
¹Kyoto Univ., Sci., ²National Institute of Polar Research, ³Ehime Univ., Sci.

【はじめに】

長石は相転移に伴い双晶や離溶ラメラなどの微細組織を形成する。微細組織を観察することで、長石の冷却過程に関する情報を得ることができる。岩石の冷却過程を知る上で有用な鉱物である。特に高温 ($T > 800\text{C}$) で晶出する ternary feldspar (Tfs) は、斜長石やアルカリ長石よりも多くの温度情報を保存している。超高温変成岩の変成履歴の解析に適用することができる。斜長石系: An (anorthite, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) - Ab (albite, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)、アルカリ長石系: Ab - Or (orthoclase, KAlSi_3O_8) については多くの研究が行われ、相関係がよく知られている (Carpenter, 1994 など)。しかし、An-Ab-Or 3 成分系での相関係については、あまり多くの研究は行われていない。特に高温下での C2/m - C-1 転移は Tfs が経る可能性のある相転移であるが、その際の挙動はアルバイト端成分における高温その場粉末 X 線回折法 (XRD) による実験結果とその結果に基づく理論計算によって予想されたものである (Kroll et al., 1980; Salje et al. 1985, Carpenter, 1988)。粉末 XRD による分析は実験試料全体に対して行われているため、回折計の角度分解能が不足している場合に 2 相分離による組織の形成に関わる分解反応を捉えられない可能性がある。また、高温その場分析では反応時間の不足により反応がほとんど進まない可能性がある。したがって、高分解能の電子顕微鏡を用いて高温高压実験による実験試料を直接観察し、C2/m - C-1 相転移の際の挙動について再検討する余地がある。一方、ナピア岩体などの超高温変成岩体では Tfs の産出が報告されている (Harley 1985; Sheraton et al. 1987; Hokada, 2001 など)。バルク組成におけるソルバス温度から変成時の到達温度の見積りが行われているが、その離溶組織の成因は十分に研究されていない。Tfs の相関係を明らかにすることにより、超高温変成岩の形成史を詳細に検討することが期待でき、超高温変成作用が解明できる。

本研究では、長石の C2/m - C-1 相転移の挙動を明らかにした。本研究ではピストンシリンダー装置を用いて 1100 - 1300C、10 kbar の条件で長石の相関係を調べた。出発物質には離溶ラメラを含まない、oligoclase (Olg, $\text{An}_{21}\text{Ab}_{75}\text{Or}_4$)、sanidine ($\text{An}_{1}\text{Ab}_{15}\text{Or}_{84}$) の単結晶を粉碎した粉末を用い、任意の割合で混合しバルク組成を変化させたものを用いた。実験試料の観察では、oligoclase-sanidine 間の元素交換に伴った微細組織が形成されているか否かに着目した。Tfs の複雑な離溶組織の形成に関わると考えられる前駆的な組織を直接観察するために、電界放出型走査型電子顕微鏡 (FE-SEM) や走査透過型電子顕微鏡を用いた環状検出器による暗視野法 (ADF-STEM) などの微細組織の組成コントラストを高分解能で観察可能な装置を用いて実験試料の観察を行った。

【結果と考察】

1100C、1200C の実験のうち、 $\text{An}_{15}\text{Ab}_{65}\text{Or}_{20}$ の実験試料において化学組成の不連続による異なる化学組成のラメラからなる組織を確認した。この結果から長石の C2/m - C-1 転移は、2 次の相転移ではなく、1 次の相転移であることが明らかとなった。また、観察された微細組織の界面方位はほぼ (010) であった。一方、1250C、1300C で行われた実験試料にはガラスが観察された。これらの結果を総合し、Olg-Or 擬似 2 成分系の $T > 1100\text{C}$, $P = 10\text{kbar}$ における相図を得た。

Mt. Riiser-Larsen 産片麻岩サンプルについて、兒玉ら (2013 など) は、薄片スケールの元素分布、ミルメカイト状の組織の産状と Ce などの微量元素の分布、ジルコン中のガラス包有物の存在から、Mt. Riiser-Larsen におけるピークの変成時における Olg 成分に富む Tfs 組成のメルトの存在の可能性を示唆した。さらに、Tfs に見られる複雑で多様な離溶組織の存在を示した。今回実験により得られた相図より、こうした Olg 成分に富む Tfs 組成のメルトの存在から、変成時の温度は少なくとも 1200-1250C に達していたと考えられ、また、Tfs 中の複雑で多様な離溶組織は、(010) で接する C2/m - C-1 の 1 次の相転移に伴う離溶組織と、その後の冷却による (-901) で接するスピノーダル分解によって形成される離溶組織の 2 種類の組織が複合したものであることがわかった。

キーワード: ternary feldspar, 相関係, 高温実験

Keywords: ternary feldspar, phase relation, high temperature experiment

He コリジョン型 ICP-四重極質量分析計による岩石組成の定量分析法 Quantitative Analysis of Rock Samples by ICP-Quadrupole Mass Spectrometer (QMS)

網代 卓也^{1*}; 大木 誠吾²; Chako Tchamabe Boris³; 大場 武²
AJIRO, Takuya^{1*}; OOKI, Seigo²; CHAKO TCHAMABE, Boris³; OHBA, Takeshi²

¹ 東海大学大学院理学研究科化学専攻, ² 東海大学理学部化学科, ³ 東海大学総合理工学研究科

¹Course of Chemistry, Graduate School of Science, Tokai University, ²Department of chemistry, School of Science, Tokai University, ³School of Science and Technology, Tokai University

1. はじめに

ICP-四重極質量分析計 (QMS) は、高感度かつ短時間で多元素分析を可能とするが、目的とする元素と同じ質量を有する多原子分子による干渉を受ける。例えば Ar を含む多原子イオン (ArO、ArCl など) は、Fe や As の分析を妨害する。多原子イオンを除去するために、コリジョンガスを使用する ICP-QMS が開発された。コリジョンガスは、一般的に He ガスのような不活性ガスが用いられる。コリジョンガスを用いることにより、アルゴンガスによる生成物や再結合による生成物を壊し、これまで測定が困難であった元素の分析が可能となる。本研究では、標準岩石を用いて He コリジョン型 ICP-QMS で主成分及び微量成分組成の分析が可能か検討し、実際の試料としてカメルーン火山列の火山岩の分析をした。

2. ICP-QMS

分析には、ThermoScientific 社の iCAP-Q を用いた。iCAP-Q は、1.6kW 27MHz の ICP 部で試料溶液をプラズマ化する。Ar ガスの消費量は 16L/分と比較的少ない。サンプリングコーン部は片手で工具なしで装置外に引き出すことが可能で、洗浄にかかる手間は少ない。真空系に導入されたプラズマは 90 度の曲げ角を持つイオンレンズで He コリジョンセルに導入される。イオンレンズで中性分子は効率よく排除される。He コリジョンセルは小さな QMS を構成しており、目的元素よりも低質量のイオンの大部分が排除され、多原子イオンは He 原子との衝突でエネルギーを失い排除される。コリジョンセルを通過したイオンは主たる QMS で質量分別され、アナログ及びパルス器で感知される。

3. 分析

サンプルは、産業技術総合研究所の標準岩石 (JA-2、JB-2、JB-3) 及びカメルーン・バロンペンボ火山における火山岩を使用した。まず、粉末状の試料 50mg をテフロン製分解容器に入れ、35wt% 塩酸 2mL、60wt% 過塩素酸 1mL、50wt% フッ化水素酸 0.5mL を加えた。これを Parkin Elmer 社の Multiwave3000 でマイクロ波加熱酸分解した。分解はまず、出力を 50W/min で 500W まで上昇させ、60 分間加熱した。その後、50 °C 以下になるまで冷却した。その後、飽和ホウ酸水 2.5mL 及び超純水 2.5mL を加えて、280W/min で 1400W まで上昇させ、20 分間加熱した。加熱終了後、50 °C 以下に冷却した。分解後の溶液は超純水で 50mL に定容した。

4. 結果と考察

標準岩石における主成分は、Si を除いてほぼ 70% 以上の収率が得られた。微量元素については、一部を除いて 70% 以上の収率が得られた。また、複数回同様の岩石を用いて測定を行なったところ、それぞれの元素の収率に顕著な違いは見られなかった。したがって、いくつかの改善の必要はあるものの iCAP Qc により Si を除いて岩石の主成分及び微量成分化学組成を分析することが可能であると判断される。カメルーンで産する火山岩を分析した結果、Nb/Y に対する Zr/TiO₂ の関係を用い、火山岩はアルカリ玄武岩に分類された。これは、カメルーン火山岩を研究した A. Marzoli ら (2000) による結果と良く一致する。

キーワード: ICP-QMS, マイクロ波分解法, 火山岩, 定量分析, カメルーン

Keywords: ICP-QMS, microwave digestion, volcanic rock, quantitative analysis, Cameroon

EPMA 定量分析における質量吸収係数の検討 Validation of mass attenuation coefficients in quantitative electron probe microanalysis (EPMA)

加藤 文典^{1*}; Jeon Mi-Jung²; Cho Deung-Lyong³; 佐藤 桂¹
KATO, Takenori^{1*}; JEEN, Mi-jung²; CHO, Deung-lyong³; SATO, Kei¹

¹ 名古屋大学年代測定総合研究センター, ² 釜山国立大学共同実験実習館, ³ 韓国地質資源研究院国土地質研究本部地質調査研究部

¹Center for Chronological Research, Nagoya University, ²Center for Research Facilities, Pusan National University, ³Geological Mapping Department, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

質量吸収係数は、電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いた定量分析の確からしさに大きく影響する。これまで実験的に得られた質量吸収係数や理論計算から得られた質量吸収係数が提案されてきた。また、質量吸収係数の近似式 (Heinrich, 1966 など) も広く用いられている。本研究では Henke et al. (1993) 及び Hubble & Seltzer (1995) の値をもとに、原子番号 1 から 92 の範囲で新しい質量吸収係数を作成した。これは、Henke et al. (1993) 及び Hubble & Seltzer (1995) のいずれにも不確かな要素があるからである (吸収端以外のエネルギーで不連続になる場合や吸収端近傍の形状が著しく不自然になる場合があることなど)。2つのデータセットから正確な質量吸収が得られないデータを取り除き、特性 X 線のエネルギーが 1keV 以下の領域では Henke et al. (1993) のデータセットを用い、それ以上のエネルギーの特性 X 線に対しては Hubble & Seltzer (1995) のデータセットをもとに新しい質量吸収係数を求めた。この質量吸収係数を用いれば、地質学的試料を含む EPMA 定量分析の確からしさが向上する。

Heinrich K.F.J. (1966) In: The Electron Microprobe, McKinley T.D., Heinrich K.F.J and Wittry D.B. (eds.), John Wiley and Sons, New York, 296 - 377.

Henke B.L., Gullikson, E.M. and Davis, J.C. (1993) At. Data Nucl. Data Tables, 54, 181 - 342.

Hubbel J.H. and Seltzer S.M. (1995) NISTIR, 5632, pp. 116.

キーワード: 電子プローブマイクロアナライザー (EPMA), 定量分析, 質量吸収係数, 補正計算

Keywords: electron probe microanalysis (EPMA), quantitative analysis, mass attenuation coefficients, matrix correction

SEM-EDS 自動粒子解析による岩石の鉱物組成分析 SEM-EDS Automated Particle Analysis of Mineral Compositions of Rocks

武藤 仁美^{1*}; 島田 愛子²; 小野寺 浩³
MUTOU, Hitomi^{1*}; SHIMADA, Aiko²; ONODERA, Hiroshi³

¹ 日本電子 (株) SM 事業ユニット SM アプリケーション部, ² (株) JEOL RESONANCE S M部, ³ 日本電子 (株) SA 事業ユニット SA アプリケーション部

¹JEOL Ltd.SM APPLICATION DEPARTMENT SM BUSINESS UNIT, ²JEOL RESONANCE Inc. SM APPLICATION DEPARTMENT, ³JEOL Ltd.SA APPLICATION DEPARTMENT SA BUSINESS UNIT

岩石は、その形成過程や産地によって様々な鉱物組成を示す。岩石を構成する鉱物組成の知見は、岩石の生成過程を知るうえで非常に重要である。岩石の元素分析には、一般的に蛍光 X 線分析が用いられている。この場合、岩石を粉碎した多数の粒子から得られる平均的な元素濃度比から、構成する鉱物種やその割合を推定する。一方、走査電子顕微鏡 (SEM) とエネルギー分散形 X 線分光器 (EDS) を組み合わせた画像解析機能の一つである SEM-EDS 自動粒子解析を用いることで、試料を構成する多数の粒子を各々直接自動分析することができる。SEM-EDS 自動粒子解析では、岩石を構成する各粒子を直接分析し鉱物種を特定することが可能で、その大きさや形状、各粒子を構成する複数の鉱物種の成分組成などと合わせて考察することができる。

本報告では、SEM (JSM-IT300LA, JEOL)-EDS (JED2300, JEOL) 自動粒子解析を用いて、岩石の成分やその鉱物組成比などを分析した結果を紹介する。試料は、江若花崗岩や八甲田カルデラ火砕流堆積物などの生成過程の異なる岩石である。各々の岩石を粉碎し、樹脂に包埋後、粒子断面を作成し分析試料とした。

江若花崗岩の主な鉱物種は、石英、長石グループ、雲母グループ、その他有色鉱物に分類された。また、蛍光 X 線分析装置 (JSX-3100R II, JEOL) を用いた比較分析も行った。同じ試料の組成比の値は良く一致した。八甲田カルデラ火砕流堆積物の主な鉱物種は、石英、斜長石、その他有色鉱物などに分類された。その大部分は軽石で占められ、江若花崗岩とは異なり、多くの粒子から複数の鉱物種などが検出された。得られた鉱物組成比や微量有色鉱物の共存元素傾向の詳細な結果は、他の分析手法による結果と合わせて当日報告する。

キーワード: 鉱物, 粒子解析, SEM-EDS

Keywords: Mineral, Particles Analysis, SEM-EDS

アナログ実験における柱状節理の形態形成の濃度分布依存性について Dependence of water concentration distribution of columnar joints formation in analogue experiments

濱田 藍^{1*}; 寅丸 敦志²

HAMADA, Ai^{1*}; TORAMARU, Atsushi²

¹ 九大・理・地惑, ² 九大・理院・地惑

¹Earth and Planet. Sci., Kyushu Univ., ²Earth and Planet. Sci., Kyushu Univ.

火成岩や溶結凝灰岩などに見られる柱状節理の形態には多様性がある。柱状の構造の形態を特徴づける要素の一つとして、「柱が直線的か曲線的か」という点が挙げられる。柱状節理は岩体の冷却固結に伴い体積収縮により岩体内部に蓄積された応力が解放される時、岩体の温度勾配に従って割れ目が段階的に形成されると考えられているが、「曲がった構造」の形成過程を説明する基礎的な研究は行われていない。そこで本研究ではデンプンと水の混合物を乾燥させて天然の柱状節理の構造を再現するアナログ実験を行い、「曲がった構造」の形成過程を観察し、考察することを目的とする。実験では、円筒の容器に混合物を投入し、混合物表面上に白熱ランプを点灯する。混合物表面とランプの間の距離を1.5 cmに設定し混合物を乾燥させ、混合物が完全に乾燥する前の状態をX線CT解析装置で撮影することで乾燥途中、すなわち節理形成の最中の水の空間分布を観察した。その結果、混合物表面から同じ深さにおいて、ランプ直下からの水平距離が長くなるに伴い、混合物中の水の濃度が大きくなることが分かった。また混合物表面から内部に向かって発達した割れ目の進行方向は、水の等濃度面に対してほぼ垂直になっていることが分かった。混合物表面が受けるランプの熱の影響がランプからの距離に応じて異なることが確かめられ、混合物の乾燥速度に場所による違いが生じ、混合物内にできた水の濃度分布に不均一ができたと考えられる。形成された割れ目は混合物中の水の濃度分布の時間変化に伴い、その伸展方向が変化することが予想されるが、発表では混合物中の水の濃度分布の時間変化と割れ目形成の関係性についても報告を行う。

キーワード: 柱状節理, アナログ実験, 割れ目形成, マイクロフォーカスX線CT, 濃度分布

Keywords: columnar joint, analogue experiment, crack formation, Micro-focus X-ray CT, concentration distribution