

西南日本花崗岩類の系統的な SHRIMP ジルコン年代測定が明らかにしたパルス状大陸成長
Pulsed granitic crust formation revealed by comprehensive SHRIMP zircon dating of the SW Japan granitoids

谷 健一郎^{1*}; 堀江 憲路²; Dunkley Daniel³; 石原 舜三⁴
TANI, Kenichiro^{1*}; HORIE, Kenji²; DUNKLEY, Daniel³; ISHIHARA, Shunso⁴

¹ 海洋研究開発機構, ² 国立極地研究所, ³ Curtin University, ⁴ 産業技術総合研究所

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ² National Institute of Polar Research, ³ Curtin University, ⁴ Geological Survey of Japan/AIST

The origin of continental crust is a fundamental question in Earth's evolution. Granitoids, its volcanic equivalents, and metamorphic and sedimentary rocks with granitic compositions, are the main components of the upper continental crust. It is therefore important to understand the geodynamic settings in which juvenile granitic magma is generated from mantle-derived sources. Convergent plate margins, such as the Mesozoic circum-Pacific orogenic belts, are regarded as one of the plausible candidates for the post-Archean continental crust formation, as they are associated with abundant calc-alkaline I-type batholiths. However, the fundamental tectonic processes that triggered these voluminous granitic crust formations in the Mesozoic have remained largely unresolved due to the lack of precise temporal constraints on the granitic magmatism. We are currently undertaking a comprehensive geochronological study of the granitic batholith exposed in the Southwest Japan Arc, which is typical of the Mesozoic circum-Pacific orogenic belts utilizing high-precision zircon U/Pb geochronology.

In order to precisely determine the space-time distribution of the granitic magmatism that occurred in the SW Japan Arc during the Mesozoic, we have used the zircon U/Pb method to date a comprehensive suite of granitic rocks from the Chugoku Region in the SW Japan. Contrary to the results previously obtained using conventional geochronological methods, which suggested that the magmatism occurred gradually from ~100 to ~50 Ma, with the plutons forming over long time intervals, the newly obtained zircon ages reveal three clear pulses of granitic crust formation at 85, 60 and 35 Ma separated by 25 million year intervals. The 85 Ma magmatism was the most voluminous and was distributed in a broad zone that extends ~120 km across-strike, whereas the magmatism at 60 and 35 Ma were focused on the northern margin of the SW Japan Arc. Furthermore, the granitic magmatism at 85 Ma involved sediment-incorporated, ilmenite series granitic rocks, while the magmatism at 60 and 35 Ma involved more juvenile, mantle-derived, magnetite series rocks. Thus, not only did the granitic magmatism in SW Japan occur in pulses, there was also a spatial and compositional transition in the magmatism through time. This can be best explained by enhanced subduction zone magmatism during the Mesozoic, rather than the previously proposed model in which it was suggested that the granitic crust was formed by the subduction of a mid-ocean ridge on the Pacific Plate during the Middle Cretaceous.

南部北上山地, 氷上花崗岩類の岩石学とジルコン年代学 Petrology and zircon geochronology of the Hikami Granitic Rocks in south Kitakami Mountains, Japan

佐々木 惇^{1*}; 土谷 信高¹; 足立 達朗²; 中野 伸彦²; 小山内 康人²; 足立 佳子³

SASAKI, Jun^{1*}; TSUCHIYA, Nobutaka¹; ADACHI, Tatsuro²; NAKANO, Nobuhiko²; OSANAI, Yasuhito²; ADACHI, Yoshiko³

¹岩手大教育, ²九州大比文, ³新潟大超域

¹IwateUniversity, ²KyushuUniversity, ³NiigataUniversity

氷上花崗岩類は、南部北上山地の氷上山を中心として分布する氷上花崗岩体(村田ほか,1974)と、それに類似したいくつかの小岩体からなる(北上古生層研究グループ,1982)。氷上花崗岩体は、氷上山を中心に東西約8km、南北約14kmのほぼ楕円状に分布する岩体で、その南西部には壺の沢変成岩類を取り込むとされる(浅川ほか,1999; 小林・高木,2000など)。層序的位置づけに関しては、クサヤミ沢にシルル系川内層アルコース砂岩と氷上花崗岩類との不整合などがある(村田ほか, 1974)。これまでに得られた年代にはシルル紀に相当する SHRIMP 年代(442.0 ± 3.5Ma; Watanabe et al., 1995)のほか、約250Ma, 350Ma, 440Maのモナザイト、ゼノタイム、ジルコンによる CHIME 年代がある(鈴木・足立, 1998; 鈴木ほか, 1992; 鈴木・足立, 1994)。また LA-ICP-MS によるジルコン U-Pb 年代では、下條ほか(2010)により、429 ± 19Ma, 411~416Maのコンコーディア年代が得られている。これらの氷上花崗岩類の放射年代には地質学的証拠との間に矛盾があるため小林・高木(2000)の岩相区分を参考に氷上花崗岩体の9試料と小岩体の4試料からジルコンを分離し、年代測定を行った。その結果氷上花崗岩類の固結年代は450Maと結論される(佐々木ほか, 2013)。しかしながら、壺の沢変成岩と前期白亜紀の気仙川花崗岩との境界付近の片状中粒白雲母黒雲母花崗閃緑岩の2試料からは、著しくばらついた年代が得られたためさらにデータを増やして検討する。

本研究では、小林・高木(2000)をもとにして、全岩化学組成によって岩相区分の再検討を行った。全岩化学組成の主成分元素の分析結果より、普通角閃石を含む岩相は FeO*, MgO, CaO, Sc の値が高いことが分かった。岩体の南部にのみ分布する片状普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩は普通角閃石を含むが異なる傾向を示す。また、壺の沢変成岩と密接に伴って分布する片状中粒白雲母黒雲母花崗閃緑岩は西縁部の気仙川花崗岩に近いものは他の岩相に比べて重希土類元素の値が低いことが確認された。以上の検討から、氷上花崗岩体は以下の3つの系列に分けることができる。

1) 角閃石を含む系列(小林・高木(2000)の斑状普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩, 片状含普通角閃石黒雲母トータル岩, 片状黒雲母普通角閃石トータル岩)。

2) 角閃石を含まない系列(小林・高木(2000)の黒雲母花崗閃緑岩(大野型花崗閃緑岩), 片状黒雲母花崗閃緑岩, 片状普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩, 片状中粒黒雲母トータル岩, 片状中粒白雲母黒雲母花崗閃緑岩)。

3) 気仙川花崗岩のすぐ東に分布する小林・高木(2000)の片状中粒白雲母黒雲母花崗閃緑岩。

次に氷上花崗岩類の全岩化学組成を、日本列島の古生代前期の花崗岩類と比較する。約500Maのジルコン U-Pb 年代の値が得られている花崗岩として阿武隈山地南部の日立変成岩類に伴う花崗岩類があげられる(Sakashima et al, 2003; Tagiri et al, 2011)。南部北上山地からは大船渡市甫嶺付近のトータル岩からジルコン U-Pb 法で498 ± 7Maの年代が得られている。(土谷ほか, 本要旨集)。450Maのジルコン U-Pb 年代を示す花崗岩としては黒瀬川構造帯の花崗岩(小山内ほか, 印刷中)などがある。これらの花崗岩を氷上花崗岩類の全岩化学組成の分析データと比較する。八代花崗岩は小山内ほか(印刷中)、台花崗岩類は小林ほか(2000)のデータを使用した。全岩化学組成による主成分の比較からは450Maの年代を示す八代花崗岩と氷上花崗岩類が同様の傾向を示すことが確認された。微量成分の比較からは500Maの年代を示すものと台花崗岩は Rb が氷上花崗岩類に比べて低いことが確認できる。また、Sr が胆沢川石英閃緑岩と台花崗岩は氷上花崗岩類よりも高い値を示す。希土類元素による氷上花崗岩類と八代花崗岩の比較では八代花崗岩の一部が氷上花崗岩体西側に分布する片状中粒白雲母黒雲母花崗閃緑岩と同じ傾向を示すことが確認できる。

キーワード: 氷上花崗岩, ジルコン, U-Pb 年代, 岩石学

Keywords: HikamiGranites, zircon, U-Pb age, Petrochemistry

東北日本の白亜紀～古第三紀花崗岩類の Sr-Nd-Pb-Hf 同位体岩石学 Sr-Nd-Pb-Hf isotopic variations of Cretaceous to Paleogene granitic rocks from northeast Japan

土谷 信高^{1*}; 加々島 慎一²; 平原 由香³; 高橋 俊郎³; 仙田 量子³; 常 青³; 木村 純一³
TSUCHIYA, Nobutaka^{1*}; KAGASHIMA, Shin-ichi²; HIRAHARA, Yuka³; TAKAHASHI, Toshiro³; SENDA, Ryoko³;
CHANG, Qing³; KIMURA, Jun-ichi³

¹ 岩手大・教育, ² 山形大・理, ³ 海洋研究開発機構
¹Iwate University, ²Yamagata University, ³JAMSTEC

日本列島は、太平洋西部の5億年に及ぶ沈み込みによって形成されたと考えられ、古生代後期から新生代の付加体および付加体起源の高圧型変成帯が主要な構成物である (e.g., Maruyama, 1997; Isozaki et al., 2011). Maruyama (1997) は、日本列島は太平洋型造山帯の典型例であり、中央海嶺の周期的な沈み込みに伴う大陸地殻の急成長と広域変成帯の上昇位置を通して形成されたと論じた。一方 Jahn (2010) は、西南日本の花崗岩類がリサイクルした古い大陸地殻から形成されたと述べた。日本列島の形成史を明らかにするためには、大陸地殻物質の主体をなす花崗岩類の同位体岩石学的検討は非常に有効である。加々美ほか (2000) は、東北日本の花崗岩類の Sr-Nd 同位体岩石学的特徴から、北上帯、北帯 (阿武隈帯)、および南帯 (足尾帯・美濃帯) に区分し、この順番大陸地殻成分に富んでいくことを見出した。本報告では、加々美ほか (2000) の結果をさらに発展させるため、東北地方の花崗岩類の Sr-Nd-Pb-Hf 同位体岩石学的特徴について検討する。

Sr-Nd-Pb-Hf 同位体分析は、北上帯 (階上・田野畑・宮古・金華山・遠野・人首・千厩などのアダカイト質累帯深成岩体とそれ以外の深成岩体および岩脈類の一部)、阿武隈帯 (白神山地、生保内付近、太平山地、脊梁山地、阿武隈山地)、朝日帯 (西朝日岩体、中岳岩体、大朝日岩体)、足尾帯 (奥利根地域、只見地域、奥只見地域、帝釈山地、足尾山地) の花崗岩類について行なった。これらのデータから、北上帯、阿武隈帯、朝日・足尾帯の順番で大陸地殻物質の影響が大きくなっていることが示され、このトレンドは大陸地殻物質に枯渇した端成分とそれに肥沃な端成分の混合によるものと考えられる。大陸地殻物質に枯渇した端成分としては、沈み込んだ海洋地殻および枯渇したウェッジマントルと考えて矛盾はない。一方大陸地殻物質に富む端成分については、沈み込んだ堆積物 (Plank and Langmuir, 1998; Chauvel et al., 2008) では Hf-Nd 同位体比のトレンドを説明できない。Hf-Nd 同位体比のトレンドを説明するためには、古い大陸地殻起源の碎屑性ジルコンに富む Hf 同位体比初生値の低い堆積物 (Chauvel et al., 2008) を考える必要がある。また Hf-Nd 同位体比のトレンドを詳しく見ると、北上帯のトレンドは全体のトレンドと斜交しており、より Hf 同位体比初生値の低い端成分との混合を考えざるを得ない。北上帯は前期白亜紀の海嶺沈み込みに関連したアダカイト質岩の産出で特徴づけられることから、北上帯に沈み込んでいた海洋地殻の年齢は若いはずであり、深海底堆積物の関与が少なかったために大陸地殻起源の堆積物の影響が相対的に高くなったことで説明できる。

キーワード: 東北日本, 花崗岩, Sr-Nd-Pb-Hf 同位体, 岩石化学

Keywords: Northeast Japan, granite, Sr-Nd-Pb-Hf isotope, petrochemistry

山梨県富士河口湖町毛無山周辺に見られるザクロ石酸性岩体について Garnet-bearing acidic igneous bodies in Mt. Kenashi-yama area, Fujikawaguchiko-machi, Yamanashi, Japan

永幡 寛三^{1*}; 石井 輝秋²

NAGAHATA, Hiromi^{1*}; ISHII, Teruaki²

¹ 放送大学大学院修士全生, ² 公益財団法人深田地質研究所

¹ Graduate school, Open University of Japan, ² Fukuda Geological Institute

【はじめに】 山梨県南都留郡富士河口湖町毛無山周辺にザクロ石 (almandine) を含む酸性岩が存在することは既に知られている (片田 1956, 戸川ほか 1996, 戸川ほか 1997, 松原ほか 2008, 田村ほか 2010)。しかし、これらが岩体として存在することについての記載は少なく、河口湖から西湖に至る地域の石英ひん岩にザクロ石を含むものがあるという報告に限られる (片田 1956)。この度、本地域においてザクロ石酸性岩体を確認したので、その産状を報告する。

【地質】 御坂山地は、伊豆 - 小笠原孤、南部フォッサマグナ、中央構造線が密接に関係する地質形成史を考える上で重要な位置にある。毛無山周辺域は御坂山地東部に位置し、中新統後期の西八代層群、河口累層に属し (片田 1956)、火山岩類を主とする第三紀御坂層群とこれを貫く石英閃緑岩、及び石英ひん岩等からなる (山梨県 1984)。

【産状】 淵坂峠から毛無山山頂に至る尾根、室沢川東側尾根、文化洞トンネルから毛無山山頂に至る尾根、及び西湖から十二ヶ岳山頂に至る尾根、これらの一部に、ザクロ石酸性岩体の露頭と見られる岩石が不連続ながら確認出来る。これらは、やや性質の異なる三つのグループに分類できる。即ち、標高 1,100 m から 1,200 m 付近で西南西 - 東北東方向に分布するもの (以下、「A グループ」と呼ぶ)、A グループの直上標高 1,200 m 付近で西南西 - 東北東方向に狭在するザクロ石を含む酸性火山灰の風化物 (又は A グループザクロ石酸性岩の風化物) (以下、B グループと呼ぶ)、及び標高 1,300 m から 1,400 m 付近で西南西 - 東北東方向に分布するもの (以下、「C グループ」と呼ぶ) である。

【A グループ】 青灰白色 - 灰褐色の比較的緻密な岩石。斑晶に石英 (10% ~ 20%, 最大径約 5 mm)、長石 (10% ~ 25%, 最長約 4 mm)、ザクロ石 (約 1%, 最大径約 3 mm) を含み、石基は 60% ~ 65% 程度である。ザクロ石は長石に包有されているものが多い。岩石は比較的西方では空隙が少なく密であるが、東方では空隙が多い。空隙部分には褐色の微細粉状又は膜状物質を伴っている。

【B グループ】 灰白色 ~ 茶褐色の土質層。層厚約 2 m。A グループと同程度の石英 (最大径約 4 mm) 及びザクロ石 (最大径約 3 mm) を含む。ザクロ石は、やや微細な網目状割れ目を有し茶褐色の特徴ある膜状物質を伴っている。火山ガラス状物質及び異質岩片状物質を含む。ザクロ石を含む酸性火山灰の風化物 (又はザクロ石酸性岩の風化物) と見られる。

【C グループ】 青灰色 - 灰褐色の比較的脆い岩石。斑晶に石英 (3% ~ 20%, 最大径約 4 mm)、長石 (3% ~ 20%, 最長約 3 mm)、ザクロ石 (0.1%, 最大径約 3 mm)、及び角閃石 (約 1%, 最長 9 mm) を含み、石基は 65% ~ 85% 程度である。A グループに比べてザクロ石含有量は少ない。角閃石は著しく風化又は溶融し原型の確認が困難なものも多い。空隙部分には褐色の微細粉状又は膜状物質を伴っている。石英は割れ目が少なく比較的新鮮な印象を与えるもの、また融食縁を有するものもある。貫入岩と見られる。

【化学組成】 現在、蛍光 X 線全岩分析の解釈を行っているところである。A, B, C, 各グループの SiO₂ 値は 72wt% ~ 76wt% の範囲にあり、アルカリ - SiO₂ ダイアグラム (Le Bas, et al., 1986) に対比するとこれらは流紋岩相当の岩石であると見られる。また、丹沢細川谷ザクロ石流紋岩 (山下, 1997) に比べて Na₂O 値がやや高く、P₂O₅ 値はやや低い。

【考察】 ザクロ石酸性岩から成る三つの岩石グループが想定出来る。即ち、A グループ; 西南西 - 東北東方向に約 2 km 連続した最大幅約 100 m の下部帯状岩体 (溶岩流の可能性もある)、B グループ; A グループの直上に狭在するザクロ石を含む酸性火山灰の風化物 (又は A グループザクロ石酸性岩の風化物)、C グループ; 西南西 - 東北東方向に約 3 km 連続した最大幅約 80 m の上部帯状岩体 (貫入岩) である。これらは流紋岩と見られる。

キーワード: ザクロ石, 石英, 長石, 流紋岩, 毛無山, 富士河口湖町

Keywords: garnet, quartz, feldspar, rhyolite, Mt. Kenashi-yama, Fujikawaguchiko-machi

ロシア極東, ウスチベラヤ. オフィオライトの2つのタイプのウェブステライト;
その起源と意義
Two types of websterite from the Ust'-Belaya ophiolite, Far East Russia: Origins and
implications

町澄秋^{1*}; 石渡明²; 森下知晃¹; 早坂康隆³; 荒井章司¹; 田村明弘¹
MACHI, Sumiaki^{1*}; ISHIWATARI, Akira²; MORISHITA, Tomoaki¹; HAYASAKA, Yasutaka³; ARAI, Shoji¹; TAMURA,
Akihiro¹

¹ 金沢大学理工研究域自然システム学系, ² 東北大学, 東北アジア研究センター, ³ 広島大学大学院理学研究科
¹Natural Sci & Tec., Kanazawa Univ., ²NE Asia Center, Tohoku Univ., ³Earth & Planet. Sys. Sci., Hiroshima Univ.

The Ust'-Belaya ophiolite is located in the Koryak Mountains, Far East Russia. We report two types of websterite in the mantle section of the ophiolite.

The lithology of the mantle peridotites from the ophiolite is variable from very fertile lherzolite to moderately depleted harzburgite. The mineral chemistry of the very fertile lherzolite shows similar signature to those of the subcontinental peridotite. The two types of websterite (type1 and type2) occur in them as dikes/veins. Type1 is composed of brownish colored cpx, opx and Al-spinel. On the other hand, type2 is composed of green colored cpx, opx and Cr-spinel.

Type2 websterite is similar to those reported from many other ophiolites. Websterites, which are characterized by extremely aluminous spinel similar to the type1 websterite, are never found in ophiolitic peridotites but are described in passive margin peridotites (e.g. Zabargad Island in Red Sea and Iberia Abyssal plain peridotites). These websterites are generally interpreted as high-pressure cumulates and the host peridotites are considered as fragments of subcontinental mantle.

The mantle section of the Ust'-Belaya ophiolite represents, at least partly, fragments of subcontinental mantle. The two types of websterite might be related to two different magmatisms in two different tectonic settings; type1 is formed former subcontinental to oceanic environment and then type2 is formed later oceanic to arc environment.

キーワード: ウスチベラヤ・オフィオライト, ウェブステライト, 大陸下マントル
Keywords: Ust'-Belaya ophiolite, websterite, subcontinental mantle

溶岩中の板状節理の形成メカニズムに関する野外地質学的考察 Field geological considerations on the formation mechanism of platy joints in lava flows

佐藤 景^{1*}; 石渡 明²

SATO, Kei^{1*}; ISHIWATARI, Akira²

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 東北大学東北アジア研究センター

¹Grad. School Sci., Tohoku Univ., ²CNEAS, Tohoku Univ.

Columnar jointing and platy jointing are characteristic types of jointing in volcanic rocks. The origin of columnar joints has been discussed for centuries, and at the present day it is considered that they are the result of cooling and contraction of lava (Aydin and DeGraff, 1988). However, platy joints have far less attracted researchers than columnar joints and their formation mechanism is still controversial. Platy joints can develop in thick (>100 m) and voluminous lava flows which have glassy margins such as "flood andesite" in Kyushu, Japan (Nagao et al., 1995) and ridge-forming lava flows at Mount Rainier (Lescinsky and Sisson, 1998), probably reflecting stress distribution or physical property within solidifying lava. Previous studies attributed formation of platy joints (sheeting joints) to late stage shear of lava flow and/or microlite orientation (Lescinsky and Fink, 2000), deflation of flow (Spörl and Rowland, 2006) or both flowage and shrinkage of lava (Bonnichsen and Kauffman, 1987). Although absolute evidence for the origin of platy jointing has not been found, restraining of internal lava by solidified flow margin would be an important factor in any case and density (volume ratio of crystals to glass) difference between flow margin and interior would be also important when we consider thermal contraction. It is also a problem when platy joints form, especially in the case that columnar and platy joints intersect without terminating each other. Occasionally platy joints are filled with tridymite and/or mica mineral with or without andesitic to dacitic melt, which might be segregated from the crystallizing lava body, suggesting that platy joints start to form at early stage of cooling of lava.

References:

Aydin and DeGraff, 1988, *Science*, 239, 471-476.

Bonnichsen and Kauffman, 1987, *GSA Special Papers*, 212, 119-145.

Lescinsky and Fink, 2000, *J. Geophys. Res.*, 105, 23711-23726.

Lescinsky and Sisson, 1998, *Geology*, 26, 351-354.

Nagao et al., 1995, *Mem. Geol. Soc. Japan*, 44, 155-164 (in Japanese with English abstract).

Spörl and Rowland, 2006, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 157, 294-310.

Keywords: platy joints, flood andesite, internal flowage, thermal contraction, segregation vein

モンゴル Tariat Depression 産スピネルレーゾライトゼノリスにおける構成鉱物中の Fe の酸化数:特にかんらん石中の Fe³⁺ の意義 Oxidation stats of Fe within constituent minerals in spinel-lherzolite xenolith from Tariat Depression, Mongolia: Signif

江島 輝美^{1*}; 小山内 康人²; 大藤 弘明³
EJIMA, Terumi^{1*}; OSANAI, Yasuhito²; OHFUJI, Hiroaki³

¹ 独立行政法人産業技術総合研究所, ² 九州大学比較社会文化, ³ 愛媛大学地球深部ダイナミクスセンター
¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ²Kyushu Univ., ³Ehime Univ.

モンゴル Tariat 地域は、Baikal-Mongolia rift における深層巨晶ゼノリス (deep-seated megacrystic xenolith) およびマン
トルゼノリス (mantle-derived xenolith) のもっとも有名な産地の一つである。Tariat 地域では、大規模に噴出した洪水玄武
岩中にガーネット-ウェブスタライト・ガーネットレーゾライト・スピネルレーゾライトが観察される (Osanai et al.,
2011)。本研究では、Tariat 地域におけるスピネルレーゾライトの構成鉱物および玄武岩溶岩中のかんらん石における
Fe の酸化数をメスバウアー分光分析および電子線微小部分分析 (EPMA) 法を用いて定量し、これらの構成鉱物に含まれ
る Fe³⁺ の形成時期について検討した。研究に使用したスピネルレーゾライトゼノリスは、地表における変質や酸化の
影響を受けていないものを用いた。メスバウアー分光分析に用いた試料の純度は、EPMA、X 線粉末構造解析 (XRD)、ラ
マン分光分析、透過型電子顕微鏡観察により評価した。

Tariat 地域のレーゾライトゼノリスは、かんらん石 (Fo₉₀Fe₁₀)、

単斜輝石 [(Na_{0.17}Ca_{0.71}Mg_{0.81}Fe_{0.09}Al_{0.20})_{2.00}(Si_{1.89}Al_{0.11})_{2.00}O₆]、斜方輝石 [(Mg_{0.85}Fe_{0.09}Al_{0.04}Ca_{0.02})(Si_{1.89}Al_{0.11})O₃]
およびスピネル [(Mg_{0.81}Fe²⁺_{0.22})_{1.03}(Al_{1.80}Cr_{0.17})_{1.97}O₄] よりなる。かんらん石、斜方輝石、スピネルは均質である。
単斜輝石の粒子はリム (1 μm ~ 50 μm 程度) にシンプレクタイトが観察される。この部分は、本体の単斜輝石よりも Na
および Al 含有量の少ない輝石と長石に近い組成を持つガラスからなる。

メスバウアー分光分析に用いた粉末試料は、玄武岩とゼノリスの接触部分を避けゼノリスの中心部から分離し
た斑晶を用いた。メスバウアー分光分析の結果、かんらん石、斜方輝石、単斜輝石およびスピネルの Fe²⁺:Fe³⁺ の比は、
97(1):3(1) 85(8):15(1) 74(4):26(3) 66(8):34(5) であった。透過型顕微鏡による観察結果から、かんらん石中の Fe³⁺
は析出物や不純物によるものではなく、かんらん石の構造中に存在すると結論される。一方、このゼノリスを捕獲して
いる玄武岩中のかんらん石の Fe は、EPMA 法による Fe の酸化数の定量の結果、すべての Fe が 2 価の鉄であった。マグ
マ中のかんらん石斑晶が Fe³⁺ を含まず、マントルゼノリスの構成鉱物すべてが少量の Fe³⁺ を含むという事実は、マグ
マに取り込まれる以前にスピネルレーゾライトゼノリス中の構成鉱物が Fe³⁺ の存在できる環境下に置かれたことを示
唆する。

今後、他地域のゼノリス及び深さが異なる場所からもたらされたマントルゼノリスの詳細な研究を行うことによ
って、マントルの酸化還元状態の詳細が明らかになることが期待される。

キーワード: かんらん石, Fe の酸化数, スピネルレーゾライトゼノリス, メスバウアー分光分析, モンゴル
Keywords: olivine, oxidation state of Fe, spinel-lherzolite xenolith, Mossbauer methods, Mongolia

三宅島産灰長石巨晶中に見出された Al/Si 無秩序配列を持つ灰長石結晶：Al/Si 配列に与える不定比性の効果 Al/Si disordered anorthite in anorthite megacryst from Miyake-jima: effect of non-stoichiometry on Al/Si distribution

越後 拓也^{1*}; 星野 美保子²; 木股 三善³; 清水 雅浩³; 松井 智彰⁴; 西田 憲正⁵
ECHIGO, Takuya^{1*}; HOSHINO, Mihoko²; KIMATA, Mitsuyoshi³; SHIMIZU, Masahiro³; MATSUI, Tomoaki⁴; NISHIDA, Norimasa⁵

¹ 滋賀大・教育学部, ² 産総研・鉱物資源研究グループ, ³ 筑波大院・地球進化科学専攻, ⁴ 鹿児島大・教育学部, ⁵ 筑波大・研究基盤センター

¹ Faculty of Education, Shiga University, ² Mineral Resources Research Group, AIST, ³ Earth Evolution Sciences, University of Tsukuba, ⁴ Faculty of Education, Kagoshima University, ⁵ Research Facility Center for Science and Technology, University of Tsukuba

灰長石 (anorthite: $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) の結晶構造は、Megaw et al. (1962) により初めて決定され、堅固なアルミノケイ酸塩フレームワーク構造と、ケージ内に包摂されるカルシウムイオンとで特徴付けられる。純粋な灰長石 (An100) においては、結晶構造中の Al・Si の数が等しいため、四面体席における Al/Si の秩序配列の結果、c 軸長がカリ長石やアルバイトの約 2 倍の 14\AA 前後になる。Al/Si が部分的に無秩序化した灰長石は高温から急冷を受けた結晶において観察されるが (e.g., Megaw 1974, Bruno et al. 1976)、これまでに、Al/Si が完全に無秩序化した灰長石の結晶構造は報告されておらず、アルミニウム排除則 (Al-avoidance rule: Loewenstein 1954) が成立する代表例とされてきた。しかし、高分解能 NMR を用いた先行研究 (Philips et al. 1992) によると、三宅島産ソレアイト質玄武岩中に産する灰長石 (An97) には、Al/Si 配列が無秩序化していることを示すブロードなピークが検出されており、少なくとも局所的には、結晶成長後に急冷を受けた火山岩中に Al/Si 無秩序型灰長石が含まれていることが判明している。今回、三宅島産灰長石巨晶を詳細に分析した結果、Al/Si 配列が無秩序化した結晶と、一部秩序化した結晶が共存している組織を発見したので、それらの波長分散型電子線マイクロプローブアナライザ (EPMA-WDS) による定量分析結果、単結晶 X 線回折法による結晶構造解析結果、カソードルミネッセンス分光分析結果などを報告する。

三宅島産灰長石巨晶の実体顕微鏡による観察から、ヘキ開面の発達した部分とガラス光沢を示す透明な部分を摘出し、回転対陰極 X 線源を備えた 4 軸型 X 線回折計 (Rigaku AFC-7R) で回折強度を測定した。結晶構造解析の結果、本研究で得られた灰長石の空間群は P-1 で、c 軸長は約 7\AA となり、四面体席における Al/Si の配列が完全に無秩序化していることを示す。これは、アルミニウム排除則が成立しない灰長石が天然環境で生成したことを示す初めての例である。また、結晶構造解析に使用した結晶の化学組成を EPMA-WDS を用いて決定したところ、 $(\text{Ca}_{0.93}\text{Na}_{0.03}\text{Mg}_{0.01}\text{Fe}_{0.02}\square_{0.01})(\text{Al}_{1.94}\text{Si}_{2.06})\text{O}_8$ という化学組成式が得られた。化学分析および端成分分解の結果、Al/Si 配列が無秩序化した灰長石結晶は、エキストラフレームワークサイトに空孔を持ち、フレームワークサイトに過剰シリカ成分 ($\square\text{SiO}_2$ 端成分にして 0.8%) を固溶していることが判明した。これまでに報告された Al/Si 無秩序配列をもった $\text{M}^{2+}\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8$ 結晶としては、Lunar anorthite ($(\text{Ca}_{0.94}\text{Na}_{0.03}\square_{0.03})(\text{Al}_{1.94}\text{Si}_{2.06})\text{O}_8$; S.G., P-1, $c\approx 14\text{\AA}$) (Smyth, 1986)、Sr-anorthite ($(\text{Sr}_{0.84}\text{Na}_{0.03}\square_{0.13}\text{Al}_{1.69}\text{Si}_{2.29})\text{O}_8$; S.G., C2/m, $c\approx 7\text{\AA}$) (Grundy and Ito, 1974)、Eu-anorthite ($(\text{Eu}_{0.96}\square_{0.04}\text{Al}_{1.92}\text{Si}_{2.08})\text{O}_8$; S.G., C2/m, $c\approx 7\text{\AA}$) (Kimata, 1988) などがある。これら Al/Si 無秩序型結晶の共通点は、化学組成が Si-rich ($\text{Si}>2.0$) で、エキストラフレームワークサイトに空孔をもつ不定比性 (nonstoichiometric) にある。今回発見された Al/Si 配列が無秩序化した天然灰長石においては、こうした不定比性によってアルミノケイ酸塩フレームワークおよび反位相境界 (anti-phase-boundary) に Si-O-Si 結合が導入された結果、結晶構造が安定化し、Al/Si の無秩序な配列が保存されていると考えられる。

キーワード: 灰長石, Al/Si 秩序-無秩序配列, 灰長石巨晶, 構造不均質性

Keywords: Anorthite, Al/Si order-disorder, Anorthite megacryst, Structural heterogeneity

北海道産黒曜石の加熱実験によるパーライトの形成温度と岩石組織 Formation temperature of perlite and its texture by heating experiments of obsidians from Hokkaido

池谷内 諒¹; 和田 恵治^{1*}; 斉藤 丈朗¹
IKEYAUCHI, Ryo¹; WADA, Keiji^{1*}; SAITO, Takeaki¹

¹ 北海道教育大学旭川校

¹ Hokkaido University of Education at Asahikawa

黒曜石の多くは流紋岩質でほとんどガラスからなる。黒曜石には急冷によって生成したガラスの中に H₂O が比較的多く残っているため、黒曜石を高温で熱すると H₂O が気体となって気泡をつくり、黒曜石全体がパンのように膨らむ現象がおこる。ガラス質で緻密であった黒曜石が軽石に似た形態に「変身」する。このような発泡した黒曜石は「パーライト」と呼ばれる。

今回、北海道産黒曜石（7 地域 13 ヲ所）を電気炉中で加熱して発泡させる実験を行い、黒曜石の発泡開始温度を新たに計測した。また黒曜石の水分量をカールフィッシャー電量滴定法により測定した。得られた発泡開始温度と黒曜石の水分量を比較したところ、水分量が多い黒曜石は発泡開始温度が低く、水分量が少ない黒曜石は発泡開始温度が高くなる結果が得られ、発泡開始温度は黒曜石の水分量によってほぼ決定されることが明らかとなった。

白滝産・十勝石沢黒曜石についてパーライトの岩石組織を調べた。このパーライトの発泡形態は発泡時の加熱温度によって異なることが観察された。発泡開始温度とほぼ同等の 1030 °C で発泡させたパーライトは、個々の気泡サイズが大きいのに対し、それよりも高温である 1100 °C で発泡させたパーライトは気泡サイズが小さく数密度が大きい。さらに温度を上げて 1200 °C で発泡させたものは気泡サイズが小さいことに加え、逆に発泡倍率（パーライトの体積/黒曜石の体積）が小さくなった。1030 °C 発泡と 1100 °C 発泡ではどちらもほとんど隙間なく気泡が密に存在するが、1200 °C 発泡では気泡と気泡の間にパーライトの固体部分が多く存在して隙間をつくっており、気泡部分が占める体積の割合が小さいために発泡倍率が小さくなる。

低温発泡の場合はガラスの粘度がまだ大きいために、発生した気泡はすぐには脱ガスせず、ゆっくりと時間をかけて気泡が成長・移動して気泡同士が接触するため連結が起こって次第に気泡が大きくなり成長していくと考えられる。高温発泡の場合は、ガラスの粘度が小さいので、発生した気泡は比較的すばやく移動することができる。そのため、先に発生した気泡はすでに脱ガスしたため、気泡が密集することはない、連結も起こらない。したがって、気泡のサイズは小さいままとなる。以上のように、ガラスの粘度の大きさが気泡の移動速度に影響し、気泡の連結の頻度が異なることによって、発泡形態に違いが生じると考えられる。

キーワード: 黒曜石, 加熱実験, パーライト, 発泡, ガラス

Keywords: obsidian, heating experiment, perlite, vesiculation, glass

Cs補正走査透過電子顕微鏡によるオリビンにおけるMg-Fe結晶内分配係数の推定の試み Estimation of intracrystalline distribution coefficient of Mg-Fe ions in olivine using Cs-corrected STEM

三宅 亮^{1*}; 藤 昇一²; 福永 啓一³; 栗林 貴弘⁴
MIYAKE, Akira^{1*}; TOH, Shoichi²; FUKUNAGA, Keiichi³; KURIBAYASHI, Takahiro⁴

¹京大・理, ²福岡大・理, ³ファインセラミックスセンター, ⁴東北大・理
¹Kyoto Univ., Sci., ²Fukuoka Univ., Sci., ³JFCC, ⁴Tohoku Univ., Sci.

主要な造岩鉱物であるオリビン ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$) は、結晶学的に非等価な M1, M2 席を有する。M1, M2 席への Mg と Fe との分配 (結晶内分配係数) について、古くから X 線や中性子を用いた構造解析やメスバウアー法を用いて推定されている。しかし、Fe が M2 席に多く入る結果と M1 席に多く入るといった結果が混在し、またこうした結晶内分配係数は加熱温度や冷却実験により異なることが知られている。一方近年では、球面収差補正走査型透過電子顕微鏡 (Cs-STEM) と円環状の検出器により原子カラム像の観察が可能となり、高角度散乱暗視野法 (HAADF) では、像強度は原子番号のほぼ二乗に比例することが知られている。そこで本研究では、化学組成の異なる合成のフォルステライト (Mg 端成分)、San Carlos 産、Sri Lanka 産、三宅島産のオリビンを、それぞれ a 軸方向からの HAADF-STEM 観察を行い、M1, M2 サイトごとの輝度の比較を行い、Mg/Fe 結晶内分配係数の推定を試みた。また、同時に四軸 X 線構造解析を行い、結晶内分配係数の比較を行った。その結果 HAADF-STEM によりオリビンの原子カラム像を取得することができた。さらに、それぞれの席での輝度を得ることにより、結晶内分配係数の推定することができた。合成フォルステライトのサイト間の輝度には差が見られず、端成分である結果と一致した。また、それぞれの結晶内分配係数については、San Carlos 産、Sri Lanka 産試料は、X 線構造解析の結果と良い一致を示した。一方、三宅島産の試料については差異が見られた。この理由については今後の検討課題である。

キーワード: 走査型透過電子顕微鏡, カンラン石, 結晶内分配係数
Keywords: STEM, olivine, intracrystalline distribution coefficient

統計的ラマン分光法による採掘鉱物資源粒子の新規分類法 A Novel Approach for the Classification of Mineral Ore Particles by A Statistical Raman Spectroscopic Method

笹倉 大督^{1*}; 早内 愛子¹
SASAKURA, Daisuke^{1*}; HAYAUCHI, Aiko¹

¹ マルバーン事業部 (スペクトリス株式会社)

¹ Malvern Instruments Division of Spectris Japan

[Introduction]

Mineral ores extracted by mining go through a milling process before ore dressing. An important factor in both milling and ore dressing operations is the determination of the particle size distribution of the materials being processed, commonly referred to as particle size analysis. An elemental analysis technique such as X-Ray fluorescence and destructive wet chemical analysis can determine the quantity of mineral species present in the ore, however, these chemical analysis methods do not allow the study of the composition of individual particles of different size and shape. The statistical Raman spectroscopic method is a novel approach which can resolve this problem. Using this method the Raman spectra of several hundred particles is determined after size and shape classification of each individual particle by automated particle image analysis. Raman spectroscopy can be used to acquire the spectra of any inorganic compounds such as metal oxides and nitrides which are Raman active. Many mineral resources are mined as inorganic compounds. Therefore, Raman spectroscopy can be used for the identification of the chemical composition of mineral ores. Using the statistical Raman spectroscopic method described herein, it is possible to calculate the particle size distribution and proportion by mass or volume of each chemical component or mineral species based on Raman spectroscopic information. This study will report and discuss the capability of the statistical Raman spectroscopic method using iron ore as a model material.

[Material and Method]

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

[Results and Discussion]

A Total of 66,436 particles of iron ore were measured by image analysis. The circle equivalent diameter particle size distribution by volume (VCED) exhibited a monomodal distribution with size distribution percentiles as follows: 8.62 μm (d10), 21.83 μm (d50), 51.29 μm (d90). A subset of 700 particles were selected and the Raman spectra were measured. Particles over 20 micron in size were selected randomly from the image analysis data and Raman spectra were acquired. The spectra enabled identification of 4 components (Fig.1). The relative proportion of each component by volume or number of particles is shown in Table 1. Component (A) comprised approximately 90% of the sample. This component exhibited a Raman spectrum typical of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ [1]. It is assumed that components (B) and (C) are polymorphs based on the ratio of the intensities at 221 cm^{-1} and 245 cm^{-1} . Component (D) exhibited a spectrum typical of $\alpha\text{-FeOOH}$ and composed less than 3% of the sample. This result does show that the statistical Raman analysis approach can detect components present at quite low concentrations.

[Summary]

This report illustrated the application and capability of statistical Raman analysis for the characterization of mineral ores using a new approach based on combining chemical and particle size / shape information.

SCG61-11

会場:311

時間:5月2日 11:45-12:00

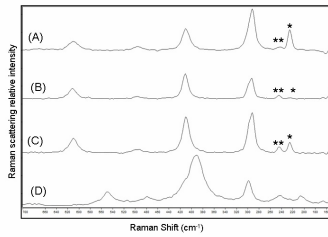


Fig 1. Raman Spectrums of iron ore.
 (* : 221cm⁻¹, ** : 245cm⁻¹)

Table 1
 Ratio of each component based on Raman spectrum

Component	Number (%)	Volume(%)
A	87.6	90.2
B	2.5	2.1
C	7.2	6.3
D	2.7	1.4

Assessment of Nakhile porphyry Cu mineralization potential using geological, geochemical and statistical studies: a case Assessment of Nakhile porphyry Cu mineralization potential using geological, geochemical and statistical studies: a case

Boomeri Mohammad^{1*}; 中島 和夫²; F Yavari¹
BOOMERI, Mohammad^{1*}; NAKASHIMA, Kazuo²; F, Yavari¹

¹Univ. of Sistan and Baluchestan, ²Yamagata Univ.

¹Univ. of Sistan and Baluchestan, ²Yamagata Univ.

The Nakhile Cu mineralization is located in 145 km northwest of Zahedan in Sistan and Baluchestan province of Iran. This area is geologically located in boundary part of Lut block and flysch zone of east Iran. Geology of the study area consists of Cretaceous to Eocene andesitic lavas and tuffs that were intruded by a dioritic to quartz-dioritic stock. The intrusive rocks are mainly altered and mineralized. Based on the petrography and XRD studies, main mineral in all types of the igneous rocks is plagioclase and the main texture is porphyry. Other minerals are clinopyroxene, amphibole, biotite, quartz, and secondary minerals that vary in the igneous rocks. A large part of the intrusive rocks is rich in pyrite. The pyrite occurs as veins, veinlets and disseminated in the stock. Cu mineralization occurs as vein and can be divided into hypogene and supergene mineralization. Hypogene mineralization is characterized by chalcopyrite and pyrite while supergene mineralization is characterized by malachite, azurite, jarosite, gothite, hematite and limonite. The propylitic alteration is dominant feature of the intrusive rocks as a wide outer zone. Potassic, phyllic and argillic alterations are also important in the area. The potassic alteration is probably important in the center part of the stock in depth. phyllic and argillic alterations are mainly formed by supergene processes.

The samples that were collected from the least altered and altered rocks in the study area were analyzed by ICP were processed by convenient software such as EXCEL and SPSS to obtain statistic parameters of: skewness, maximum, minimum and standard deviation. Then, the histograms for the amount of Cu, Au and related elements were drawn and their correlation coefficients were calculated. There are remarkable positive correlations between Cu, Au and Ag indicating their similar origin. The highest content of Cu is 7000 ppm in the study samples. The Cu anomalies are mainly observed in central and eastern parts of the area. The highest content of Au is 6000 ppb. The Au anomalies are mainly observed in western parts of the area. The higher contents of Pb, Zn and Ag are observed more away from the intrusive rocks.

The outcrops in the area are mainly similar as propylitic alteration zone of porphyry Cu deposits that is characterized by secondary hydrothermal epidote and chlorite and pyrite. The Cu porphyry mineralization and other alteration zones specially potassic probably occur in depth in the area.