

南部アフリカ・リンポポ岩体の泥質グラニュライトに加水反応をもたらした変成流体の定量的見積もり

P-T-fluid evolution of retrogressed pelitic granulite from the Limpopo Complex, South Africa

小泉 達也^{1*}, 角替 敏昭¹

Tatsuya Koizumi^{1*}, Toshiaki Tsunogae¹

¹ 筑波大・生命環境

¹ Univ. Tsukuba

南部アフリカ・リンポポ岩体は、太古代末期（約 27-26 億年前）におけるジンバブエクラトンとカープバルクラトンの衝突によって形成された、世界最古の大陸衝突型造山帯である。リンポポ岩体南縁部は 950 を超える超高温変成作用を受けた泥質および苦鉄質-超苦鉄質グラニュライトやチャノッカイトが卓越し、低変成度（緑色片岩相-角閃岩相）のカープバルクラトンとの境界は Hout-River 剪断帯 (HRSZ) によって明瞭に定義されている。HRSZ はスラストセンスの運動を記録し、この剪断帯に沿ってリンポポ岩体南縁部がカープバルクラトン上に衝上しており、同時に大量の H₂O 流体が HRSZ に沿って浸透したと考えられている。それにより、HRSZ の上盤のリンポポ岩体南縁部は局部的に加水反応が卓越している。このような加水反応を伴う後退変成作用はグラニュライト岩体では一般的であるが、加水反応をもたらした水の量や、その温度圧力条件についての研究は乏しい。そこで本研究では、リンポポ岩体南縁部の著しい後退変成作用を受けた泥質片麻岩に対して鉱物平衡モデリング法を適用し、H₂O 流体の浸透時期や H₂O 量の定量的見積もりを試みた。

研究に使用した岩石は、ざくろ石+斜方輝石+石英+斜長石+カリ長石+黒雲母+堇青石のピーク鉱物組み合わせを保持している。斜方輝石 (En₆₃-En₇₀) は周囲を直閃石 (XMg=0.67) に取り囲まれ (斜方輝石 + 石英 + H₂O → 直閃石)、堇青石は藍晶石+直閃石+石英に置換されるという (堇青石 + H₂O → 藍晶石 + 直閃石 + 石英)、2 種類の加水反応組織を示す。これら組織について鉱物平衡モデリング法を用いたところ、950 に達するピーク変成作用を受けたリンポポ岩体南縁部の泥質グラニュライトは約 7-8 mol.% の H₂O に富む流体が浸透したことにより、750-790 °C/6-8.5 kbar において斜方輝石 + 石英 + H₂O → 直閃石の加水反応がおこり、次に 650-700 °C/6.5-7.5 kbar において堇青石 + H₂O → 藍晶石 + 直閃石 + 石英という複数の加水反応をおこした。また、H₂O 流体の浸透後徐々に減少する H₂O 量にともなう鉱物反応 (堇青石 + ざくろ石 + 直閃石 + 石英) も確認された。以上のように、後退変成作用を受けた岩石に鉱物平衡モデリング法を適用することにより、H₂O 流体の浸透時期や H₂O 量の定量的な見積もり、また、複数のステージで起こった加水反応を確認することが可能となった。

キーワード: グラニュライト相, 加水反応, シュードセクション, 変成流体

Keywords: granulite facies, hydration reaction, pseudosection, metamorphic fluid

ジュラ紀付加体に産する炭酸マンガンノジュール形成過程の地球化学的制約
A geochemical constraint on the formation process of a manganese carbonate nodule in the siliceous mudstone of the Juras

中田 亮一^{1*}, 白井孝明², 高橋 聡³, 鈴木 紀毅², 小川和広², 高橋 嘉夫¹

Ryoichi Nakada^{1*}, Takaaki Shirai², Satoshi Takahashi³, Noritoshi Suzuki², Kazuhiro Ogawa², Yoshio Takahashi¹

¹ 広島大・院理, ² 東北大・院理, ³ 東京大・理

¹Hiroshima Univ., ²Tohoku Univ., ³Univ. of Tokyo

Manganese (Mn) carbonate nodules, which are different from seafloor Mn nodules mainly composed of MnO₂, are occasionally embedded as a lens shape in the Jurassic accretionary complexes such as the Tamba-Mino-Ashio Belt in Japan. The interpretation of the formation process of Mn carbonate is still controversial, namely whether the Mn carbonate was formed primarily or secondarily. The optical observation of thin sections shows that Mn carbonate nodules are comprised with abraded grains of rhodochrosite spherule with radiolarians and are sedimentarily embedded in siliceous mudstone. Microfossil radiolarians from the Mn carbonate nodules and the host red siliceous mudstone are dated as the Bajocian (170.3 ? 168.3 million years ago), but radiolarians in the nodules are somewhat older than those in the host red siliceous mudstone. In this study, geochemical analyses focusing on the rare earth element (REE) were performed to unlock the formation process of Mn carbonate nodules in the Tamba-Mino-Ashio Belt.

Our analysis using the X-ray absorption near-edge structure on Ce shows dominance of trivalent Ce at present, despite of a positive Ce anomaly in the PAAS-normalized REE pattern of Mn carbonate. The REE adsorption experiment on synthesized MnCO₃ does not show any distinctive positive Ce anomaly and a thermodynamic calculation suggests the possible coexistence of authigenic rhodochrosite and spontaneous oxidation of Ce. The leaching experiment that can selectively decompose carbonate phase demonstrated no Ce anomaly in the carbonate phase of Mn carbonate and poor contribution to the bulk REE concentration. The most plausible account of all the observational and experimental results is that rhodochrosite grains were primarily formed on the depositional site and subsequently transferred to the different site where siliceous mudstone was deposited.

キーワード: 炭酸マンガン, 希土類元素, 放散虫, XAFS

Keywords: manganese carbonate, rare earth element, radiolarian, XAFS

西南日本白亜紀古第三紀花崗岩の年代学的研究および同位体比測定 Chronology and isotope study for Cretaceous and Paleogene Granitic Rocks SW Japan

飯田 和也^{1*}, 岩森光¹, Park Taeho², 折橋裕二³, 谷水雅治⁴, Yong-Joo Jwa⁵, Sung-Tack Kwon⁶, 檀原 徹⁷, 岩野英樹⁷
Kazuya Iida^{1*}, Iwamori Hikaru¹, Park Taeho², Orihashi Yuji³, Tanimizu Masaharu⁴, Yong-Joo Jwa⁵, Sung-Tack Kwon⁶, Tohru
Danbara⁷, Hideki Iwano⁷

¹ 東京工業大学, ² 株式会社 遠一, ³ 東京大学地震研究所, ⁴ 独立行政法人海洋研究開発機構, ⁵ Gyeongsang Nat'l University,
⁶ University of Yonsei, ⁷ 株式会社京都フィッション・トラック

¹ Tokyo Institute of Technology, ² Eichi, ³ Earthquake Research Institute, ⁴ JAMSTEC, ⁵ Gyeongsang Nat'l University, ⁶ University
of Yonsei, ⁷ Kyoto Fission-Track

We especially focus on (1) spatial-temporal variation of granitic rock, (2) temporal variation of isotopic signature and whole rock chemistry and (3) tectonic and dynamic setting that caused the observed spatial-temporal variation and provided heat for the melt generation, based on the U-Pb zircon age, whole rock chemistry and Sr isotope ratio.

U-Pb zircon age determinations using LA-ICPMS was performed on total 81 rock samples. The obtained age ranges from 95 Ma to 30 Ma, with a possible temporal gap between 60 Ma and 50 Ma. During 95-60 Ma, the systematic migration of granitoid magmatism from the south to the north occurred. We also compile temporal variation of petrological signatures from literature. As a result, we observed (1) initial ratio of Sr isotopes ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) decreased from enriched characters (0.7090-0.7065) to depleted ones (0.7065-0.7050), and (2) rock types of granitoid changed from ilmenite-series to magnetite-series.

In this study, we also conduct Sr and Pb isotope initial ratio and whole rock chemistry of dated granitic samples. Based on these results, we discuss the origin of these variations and origin of granitic rocks in the SW Japan.

西南日本内帯・瀬戸内の後期白亜紀花崗岩体のペグマタイトに含まれる放射性鉱物の記載岩石学的研究 Petrologic study of radioactive minerals in pegmatites in Cretaceous granitoids from Setouchi, Inner Zone of SW Japan

佐藤 桂^{1*}, 皆川 鉄雄², 加藤 丈典¹, 牧 賢志³, 岩野 英樹⁴, 平田 岳史³, 鈴木 和博¹

Kei Sato^{1*}, MINAKAWA, Tetsuo², KATO, Takenori¹, MAKI, Kenshi³, IWANO, Hideki⁴, HIRATA, Takafumi³, SUZUKI, Kazuhiro¹

¹名古屋大学年代測定総合研究センター, ²愛媛大学大学院理工学研究科, ³京都大学大学院理学研究科, ⁴(株)京都フission・トラック

¹Center for Chronological Research, Nagoya Univ., ²Graduate School of Science and Engineering, Ehime Univ., ³Graduate School of Science, Kyoto Univ., ⁴Kyoto Fission-Track Co., Ltd.

In this study, radioactive minerals from three localities of pegmatite deposits in the Setouchi province, which belongs to the Inner Zone of SW Japan, were described by combining EPMA and LA-ICP-MS analytical data. This was done in order to discuss the distribution of trace elements and REEs between minerals. Late Cretaceous granitoids of the Inner Zone occur in east-west zone with lateral extension of ca. 800 km on the west side of the Itoigawa-Shizuoka Fault [1]. Previous K-Ar dating and Rb-Sr dating for granitoids of the Sanyo Belt from the southern part of Hiroshima Prefecture yielded the ages of ca. 78-89 Ma [2, 3].

Two groups of granitoids of the Sanyo Belt were collected from pegmatite deposits in the Mihara Mine area (Hiroshima Prefecture) and in the Omishima Mine area of the eastern Geiyo islands (Ehime Prefecture), respectively. The other one from the eastern part of Takanawa Peninsula (Ehime Prefecture) was also examined in this study. Micro-textures on thin sections were observed by using EPMA (JXA-8800), and CHIME dating for monazites on the textures was performed by using the other EPMA (JCSA-733). Zircon grains, which were extracted from the rocks, were analyzed for the preliminary examinations for investigating U-Pb ages and chemical characteristics by using ICP-MS with femt-second laser. The 91500 Zircon Standard was used for this LA-ICP-MS study.

Several radioactive minerals such as monazite (the ideal formula $CePO_4$, with LREEs, Y and Th etc.), zircon ($ZrSiO_4$), allanite $[(Ca,R)_2(Al,Fe,Ti)_3Si_3O_{12}(OH)]$; $R = Ce, Mn, La, Y$ and Th], apatite $[Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)]$, xenotime (YPO_4) and thorite ($ThSiO_4$) were found commonly in some of the examined rocks from Mihara, Omishima and Takanawa. Titanite ($CaTiSiO_5$) was observed in others. On the basis of description in the present study, we confirmed that the amount of monazite is decreased remarkably with increase of allanite or titanite probably due to supply of Th and LREEs to these minerals.

The following micro-textures were described in the present EPMA study: the reaction of "monazite => zircon + thorite + allanite + apatite" (Mihara); (2) the assemblage of thorite + xenotime and the outer rim of anhedral to subhedral zircon (Takanawa); (3) euhedral zircon with negative crystal growth due to coexistence with thorite (Mihara). All of these textures imply the influence by hydrothermal metasomatism in the latest stage of plutonic magma process. The LA-ICP-MS study demonstrated the chemical characteristic that Th/U ratio of zircons from Mihara was decreased toward rim (i.e. core: 0.8-0.4; rim: 0.5-0.2 or less) due to breakdown of monazite in later stage. Together with this, Th, P and LREEs were supplied to thorite, allanite and apatite. This result suggests that the Th-U distribution in zircon is caused by element partitioning between phases but not the difference between metamorphic or igneous processes. On the basis of CHIME dating, we confirmed that the primary monazite in a pegmatite from Mihara formed at the late Cretaceous age of 81.7 ± 6.4 Ma (error: 2 sigma). To discuss precisely the process of crystallization differentiation of this plutonic magma, additional zircon dating might be required.

References: [1] Ishihara and Murakami (2006) Bull. Geol. Surv. Japan, 57, 89-103 (with English abstract); [2] Higashimoto et al. (1985) Geology of the Kure District, Geol. Surv. Japan (with English abstract); [3] Nakajima et al. (1990) Contrib. Mineral. Petrol., 104, 381-389.

キーワード: 放射性鉱物, 微量元素, 希土類元素, 西南日本内帯, 後期白亜紀花崗岩類, ペグマタイト

Keywords: radioactive mineral, trace element, rare earth element (REE), Inner Zone of SW Japan, late Cretaceous granitoids, pegmatite

南アフリカ共和国ブッシュフェルド複合岩体と関連するかんらん岩中の2種のスピネル：テクトニクスの推察
Two types of spinel from a peridotite associated with Bushveld Complex, South Africa:
Tectonic implications

新藤 和安^{1*}, ラジェッシュ ハリハラン M¹
Kazuyasu Shindo^{1*}, RAJESH, Hariharan M.¹

¹ ヨハネスブルグ大学

¹ University of Johannesburg

Spinel is a common accessory mineral in ultramafic and mafic rocks, and because of its refractory nature, chemical composition of Cr-spinel is frequently used to infer the geotectonic environment of the rock which contains them. The tectonic setting of the largest layered ultramafic to mafic intrusion in the world, the Bushveld Complex, is still debated, with some studies suggesting a plume origin, while others arguing for a subduction setting. Few mineralogical studies have been carried out to address the possible tectonic setting. This study presents detailed petrographic and mineral chemical characterization of two types of spinels occurring within the Apiesdooringdraai peridotite, an extensive peridotite body that is spatially associated with the marginal sills and lower chill sequence, considered as parental to earliest magmas to the Bushveld Complex.

The peridotite body is composed mainly of olivine and orthopyroxene with minor amphibole, mica, spinel, apatite and sulphides. The first type of spinel is euhedral to subhedral and Cr-rich with Cr# (=Cr/(Cr+Al)) of 0.58 to 0.78 and Fe# (=Fe/(Fe+Mg)) of 0.60 to 0.75. With respect to the trivalent cations, the Cr-spinel grains do not show any within-sample variations. Mn and Ti are present in trace amounts. The second type of spinel is subhedral to anhedral and Al-rich with Cr# of 0.01 to 0.13 and Fe# of 0.25 to 0.34. Based on their petrographic and mineral chemical characteristics, the Cr-rich spinel is considered to represent the primary or near-primary spinel composition, while the Al-rich spinel is related to later fluid overprint contemporaneous with the formation of amphibole and mica in the rock. The later is further supported by the Ni and Zn contents in the Al-rich spinel, more than those in the Cr-spinel.

In comparison with a compilation of Cr-spinel composition from various tectonic settings, this study places constraints on the possible tectonic setting of the Bushveld Complex layered intrusion, forming part of the Bushveld large igneous province (Rajesh et al., 2013).

Reference

Rajesh, H.M., Chisonga, B.C., Shindo, K., Beukes, N.J., Armstrong, R.A. (2013) Petrographic, geochemical and SHRIMP U-Pb titanite age characterization of the Thabazimbi mafic sills: Extended time frame and a unifying petrogenetic model for the Bushveld Large Igneous Province. *Precambrian Research* (in press).

Keywords: Cr-spinel, peridotite, Bushveld complex, tectonic setting

高島クロミタイト捕獲岩の組織と白金族鉱物：オフィオライト非調和性クロミタイトとの類似点 Textural and PGM characteristics of subarc podiform chromitite xenoliths from Takashima, southwest Japan

三浦 真^{1*}, 荒井 章司¹
Makoto Miura^{1*}, Shoji Arai¹

¹ 金沢大学大学院 自然科学研究科

¹School of Natural system, Kanazawa University

西南日本、高島アルカリ玄武岩中に見出されるクロミタイト捕獲岩はその産状、鉱物化学的特徴、組織から島弧下マントルで形成されたポディフォーム・クロミタイトであろうとされている (Arai and Abe, 1994)。高島クロミタイトから捕獲岩としては初めて白金族鉱物 (PGM: platinum-group mineral) の一つであるローライトとペントランダイトを見出したので報告する。

ローライトはクロムスピネル ($Cr\# = 0.6-0.8$) 中に微小 ($< 5 \mu m$) な自形の包有物として産する。時折、スピネル中の初生的シリケート鉱物 (主に輝石) 包有物と共存する鉱物相として極微小な Cu を含むペントランダイトがみられる。ペントランダイトは白金族元素 (PGE: platinum-group elements) を僅かに含む。コンドライトで規格化した高島クロミタイトの PGE パターンは Ru から Pt に向かい若干の負の傾斜を示し、いくつかのオフィオライトのクロミタイトと類似している。ローライトはオフィオライトのクロミタイト中に広く一般的に見られる PGM である (Ahmed and Arai, 2003)。

また高島クロミタイトは多様な組織 (シュリーレン状、層状、塊状、稀にノジュラー組織) を示し (Arai and Abe, 1994)、これら組織はオフィオライトのクロミタイト (特にオマーンオフィオライト) に見られる組織と極めて類似している。北部オマーンオフィオライト、Wadi Rajmi 地域のマントル部で見られる小規模な非調和性クロミタイトでは、高島クロミタイトに多く見られるシュリーレン状・アンチノジュラー組織をよく観察することができる。非調和性クロミタイトは枯渇したハルツバーグイトの変形構造を明瞭に切っている非調和性ダナイトレンズ中に存在する。両者のスピネルは共に同様の化学的特徴を有し (高島クロミタイト: $Cr\# = 0.6-0.8$, $TiO_2 wt\% = 0.16-0.63$; オマーン非調和性ダナイト: $Cr\# = 0.75-0.78$, $TiO_2 wt\% = 0.15-0.2 wt\%$)、いくつかの島弧関連の深成岩中のものとよく一致する (Arai et al., 2011)。

西南日本弧下の島弧起源クロミタイトの組織、スピネルの化学的特徴、PGE・PGM の特徴は、オフィオライトのクロミタイトの特徴と類似する。また同様にオマーンオフィオライトを含むオフィオライトで見られるクロミタイトのいくつかは島弧下マントル起源であろう。

キーワード: ローライト, 白金族鉱物, クロミタイト捕獲岩, 高島, 島弧下起源クロミタイト

Keywords: laurite, PGM, chromitite xenoliths, Takashima, subarc chromitite

日本島弧産斜長石巨晶に包有される Fe-Cu-Ni-S 鉱物の意義 Significance of Fe-Cu-Ni-sulfide inclusions in plagioclase megacrysts from Japan

越後 拓也^{1*}, 西間木 志野², 木股 三善², 清水 雅浩², 斎藤 静夫², 西田 憲正², 星野 美保子³

Takuya Echigo^{1*}, Shino Nishimagi², Mitsuyoshi Kimata², Masahiro Shimizu², Shizuo Saito², Norimasa Nishida², Mihoko Hoshino³

¹ 滋賀大学, ² 筑波大学, ³ 産業技術総合研究所

¹ Shiga Univ., ² Univ. of Tsukuba, ³ AIST

灰長石巨晶は、An 成分 ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 端成分) が 90% 以上で 1cm 以上の粗粒な斜長石斑晶を指し、日本列島の玄武岩 ~ 安山岩に多数産出する特徴的な鉱物である (Kimata et al. 1995)。東日本では、東北日本弧火山フロントや、糸魚川 ~ 静岡構造線の東縁から伊豆七島の新第三紀 ~ 第四紀火山岩に産出し (Ishikawa 1951)、西日本では、五島列島福江島や阿蘇山から南西諸島に産する火山岩に含まれる (Matsui 2007)。日本列島に産する灰長石巨晶には、カンラン石が包有物として含まれていることが多いが、その Mg/(Mg+Fe) 比や Sr 同位体比から、斑晶のカンラン石と同起源であると考えられている (Arakawa et al. 1992)。カンラン石以外の特徴的な包有物として、伊豆諸島三宅島産灰長石巨晶には、自然銅 (Cu) (Murakami et al. 1991)、それに加え八丈島産にはさらに自然亜鉛 (Zn) および自然真鍮 (Zn-Cu 合金) までが包有されており (Nishida et al. 1993)、しかも炭化水素が灰長石巨晶内部から検出されたことから、灰長石巨晶の生成に対するスラブ物質の寄与が示唆された (Kimata et al. 1993)。このように、日本列島産灰長石巨晶には多様な包有物が発見されているため、これらを詳細に検討することで、灰長石巨晶の成因に関する新たな知見が期待される。

今回、南蔵王不忘山および佐渡島小木半島に産する玄武岩質溶岩に含まれる灰長石巨晶から硫化物包有物を発見したので、その分析結果を報告する。いずれも新第三紀に噴出した溶岩であり、前者は火山フロント、後者は背弧に位置する。灰長石およびその包有物の化学分析は、波長分散型電子線プローブマイクロアナライザー (EMPA-WDS: JEOL JXA-8621) もしくは、エネルギー分散型走査電子顕微鏡 (SEM-EDS: JEOL JSM-6610LV) を用いて行った。

小木産・不忘山産灰長石巨晶のうち、硫化物を包有する結晶の化学組成は、An 成分が 87 - 93 % で、Or 成分 (KAlSi_3O_8 端成分) は検出されなかった。両者の灰長石巨晶には Fe が普遍的に含有されており、その固溶量は $\text{CaFeSi}_3\text{O}_8$ 端成分にして 1.4 - 2.2 mol% であった。硫化物包有物の大きさは、30 - 50 μm 程度で、その形状は、丸みを帯びた四角形を示すものもあるが、ほとんどは円 ~ 楕円形の droplet 形状を示し、結晶面は発達していない。小木産灰長石巨晶中には結晶内部から外側まで多量の硫化物包有物が散在しているのに対し、不忘山産のものは、少数の硫化物包有物がホストの灰長石巨晶の周縁部に線状に分布している。小木産、不忘山産ともに、硫化物包有物の化学組成は変化に富み、包有物内部においても Fe に富む相と Cu に富む相の 2 相に分けられる例が多い。化学分析の結果、Fe に富む相は磁硫鉄鉱 [pyrrhotite: $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$ ($x=0-0.17$)], Cu に富む相はキューバ鉱 (cubanite: CuFe_2S_3) と同定され、いずれの相も Cu および Ni を含有することが確認された。なお、両相に含まれる Ni 量を比較すると、小木産のものが 2.4 - 3.8 wt%、不忘山産のものが 0.4 - 1.0 wt% であり、前者の方が Ni に富むことが判明した。このような 2 相を示す droplet 形状の硫化物包有物は、高温環境で安定な硫化物相である monosulfide solid solution ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$ - $\text{Ni}_{(1-x)}\text{S}$: Naldrett et al. 1967) もしくは intermediate solid solution (CuFeS_2 : Fleet 2006) が珪酸塩メルトから離溶し (Mungall 2007, Nadeay et al. 2010)、灰長石の成長時に流体包有物として取り込まれた後、冷却に伴って磁硫鉄鉱とキューバ鉱に分離したものであると考えられる。本研究で示された灰長石巨晶中の droplet 形状硫化物包有物の存在は、日本列島の火山フロントおよび背弧で発生した島弧マグマ中に、Fe-Cu-Ni に富む硫化物メルトが存在したことを示唆している。

キーワード: 斜長石巨晶, 島弧マグマ, 硫化物, 包有物

Keywords: Plagioclase megacryst, Arc magma, Sulfide, Inclusion

FIB と高感度 XRD による岩石薄片中の微小領域からの XRD 測定とその応用 A novel micro-XRD technique for the selected area in petrographic thin section using FIB and high-sensitive XRD

井上 紗綾子^{1*}, 小暮敏博¹
Sayako Inoue^{1*}, KOGURE, Toshihiro¹

¹ 東大院理

¹Earth & Planetary Sci., Univ. Tokyo

粉末 X 線回折 (XRD) は岩石中の鉱物の化学組成や結晶構造を決定する最も一般的な手法である。しかし、岩石中または岩石薄片中の鉱物の化学組成や結晶構造は不均質であり、岩石薄片中の鉱物の化学組成や結晶構造を詳細に決定する場合には、通常の粉末 XRD は一定量以上の試料が必要であるため目的を果たすことができないことがしばしばあった。この問題を解決するために、 μ -XRD と呼ばれる装置が開発され、適用されてきた。特に近年の共焦点 X 線ミラーにより集束 X 線源の輝度はシンクロトロンに近づき、CCD カメラやイメージングプレートのような 2 次元検出器によって高効率で検出することが可能となった。また、主に透過電子顕微鏡の試料準備に用いられる集束イオンビーム装置 (FIB) を用いたマイクロサンプリング技術は、岩石薄片中の選択的な領域から微小な鉱物片を取り出し、結晶学的な情報を得ることができ有効である。FIB によるマイクロサンプリングで作製することのできる試料の大きさには限りがあるが、高輝度 X 線源と効率の良い X 線検出器によってこの問題を解決することは可能である。本発表ではこれらの手法を組み合わせ、緑泥石と関係する鉱物の結晶構造を同定した結果を報告する。

緑泥石は多様な地質環境で産出する一般的な層状珪酸塩鉱物のひとつである。そのポリタイプは 6 つに分類できる。他の層状珪酸塩鉱物と同様に結晶構造または積層構造の同定は重要である。北海道豊羽熱水系に産出する「緑泥石類鉱物」(緑泥石、蛇紋石、蛇紋石/緑泥石混合層鉱物)の結晶構造をこの新しい μ -XRD に加えて電子線回折と高分解能透過電子顕微鏡像により同定した。分析の結果、脈充填緑泥石は実際には蛇紋石からなること、基質中の緑泥石は緑泥石であることが明らかになった。基質中の緑泥石の積層構造はそれらの化学組成と相関があることが示唆された。

キーワード: XRD, FIB, 岩石薄片, HRTEM, 層状珪酸塩鉱物, 緑泥石

Keywords: XRD, FIB, petrographic thin section, HRTEM, phyllosilicate, chlorite

高速遊星ボールミルによる高温高压相鉄系複合酸化物の衝突合成 Collision Synthesis of Fe-based Complex Oxides with High Temperature and High Pressure Phase by High-Speed Ball-Milling

橋新 剛^{1*}, 譚 振権¹, 山本 和広¹, 裘 南¹, 大原 智¹Takeshi Hashishin^{1*}, Zhenguan TAN¹, Kazuhiro YAMAMOTO¹, Nan QIU¹, Satoshi OHARA¹¹ 大阪大学¹Osaka University

1. 研究背景

遊星ボールミルを用いたメカノケミカルな手法は粒子を微細化するのに適している (Ohara et al., 2008). 一般に、この手法は合成に用いる出発物質の微細化、工業用産業廃棄物のダウンサイジングに用いられる。対して、高速遊星ボールミルによる 150 G の高い遠心力はスチールボール同士の高い衝突エネルギー (主に、ボール同士のせん断応力によるエネルギー) を実現可能である。我々は以前に、エアンデ隕石内のオニオンカーボン (Smith et al., 1981) にヒントを得て、スチールボール同士の高い衝突エネルギー (150 G) によりナノカーボンの合成に成功している (Ohara et al., 2010; Tan et al., 2010)。得られたナノカーボンは、カーボンナノリング、カーボンナノチューブ、カーボンオニオンの 3 形態であった。AFM により観察された新規なカーボンナノリングは数十 nm の直径であった。ボール同士の衝突による局所的な高温状態での気相反応がカーボンナノリングの生成に寄与したと考えられる。このメカノケミカル効果は鉄系複合酸化物の合成 (Ohara et al., 2010) にも応用可能である。

2. 実験方法

アタナーゼ粉末 (ST-01: 平均粒径 7 nm、石原産業製) を 10 cm³、ボール (SUS440C: 直径 3 mm、鉄系固溶体: 83 wt% Fe, 16 wt% Cr, 1 wt% C) を 50 cm³ を量り取り、ミルポット (SUS440C、容積: 180 cm³) 内に充填した。ミルポットを High-G (BX254E、栗本鐵工所製) に設置し、150 G で 3 時間のボールミリングを行った。得られた粉体の生成相は粉末 X 線回折 (UltimaIV: CuK α 、理学電機製) を用いて同定し、その微細構造を電界放出透過電子顕微鏡 (JEM-2100F: 200 kV、日本電子製) で観察した。

3. 結果と考察

図 1(a) に原料粉末、図 1(b) にスチールボール (SUS440C) を用いて 150G で 3 時間処理した生成相の X 線回折 (XRD) パターンを示す。図 1(a) を無機材料データベース (物質・材料研究機構 (NIMS)) と照合した結果、原料粉末はアタナーゼ相のみであることがわかった。図 1(b) は鉄のピークを除いて、ほとんどがイルメナイト相に帰属された。一般に、イルメナイトは固相反応により 1200°C 以上で生成する (Grant et al., 1972)。スチールボール同士の衝突によるより高い衝撃を介して、ステンレススチールポット内の温度が局所的に 1200 °C 以上に上昇していたと考えられる。面白いことに、ブラッグ回折角 (2 θ) が 32~34° の範囲において、高温高压相の Fe₂TiO₄ が鉄リッチイルメナイト (Fe_{1.5}Ti_{0.5}O₃) および化学量論組成イルメナイト (FeTiO₃) と共存していた。尚、Fe₂TiO₄ の 2 θ 値は文献 (Nishio-Hamane et al., 2012) から抽出した。

キーワード: 高速遊星ボールミル, 衝突合成, 鉄系複合酸化物, 高温高压相

Keywords: High-speed ball-milling, Collision synthesis, Fe-based complex oxides, High temperature and high pressure phase

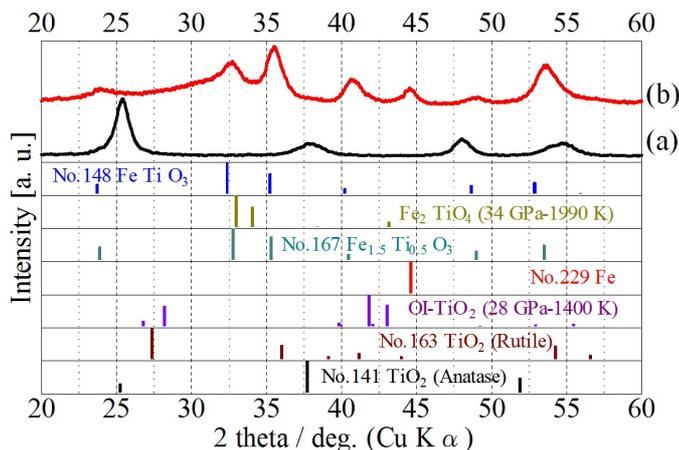


図 1 X 線回折パターン

(a) 原料粉体

(b) 生成物 (150 G x 3 時間)

古地磁気学の手法を用いたアメリカ，ミシガン州，White Pine 銅鉱床の年代測定
Paleomagnetic age dating of the White Pine Cu mineralization, northern Michigan, U.S.A.

川崎 一雄^{1*}, サイモンズ デビット², ディール ジミー³
Kazuo Kawasaki^{1*}, SYMONS, David², DIEHL, Jimmy F.³

¹ 富山大学, ² ウィンザー大学, ³ ミシガン工科大学

¹University of Toyama, ²University of Windsor, ³Michigan Technological University

Paleomagnetic results are reported for the White Pine stratiform sedimentary copper (SSC) mineralization, northern Michigan, U.S.A. Paleomagnetic analysis of 176 specimens (19 sites) using mostly thermal step demagnetization isolated collinear characteristic remanent magnetization (ChRM) directions in both magnetite and hematite in both the SSC zones and overlying pyritic and upper zones of the Nonesuch Formation. A paleomagnetic fold test is positive, showing that the normal-polarity ChRM is pre-folding in origin. There is no statistically significant difference at 95% confidence between the tilt-corrected paleopoles for the SSC zone and the overlying unmineralized host rocks of the pyritic and upper oxidized zone of the Nonesuch Formation, indicating that the SSC mineralization is co-eval with host rock oxidation. Combining the ChRM directions from this study and from Henry et al. (1977) gives a paleopole at 7.3°N, 174.7°E (N = 29, A₉₅ = 3.0°) for the SSC mineralization and nonmineralized host rocks sites, yielding an age of 1063±8 Ma on the Keweenaw Apparent Polar Wander Path. Thus the observed paleomagnetic age is likely to date both the average age of oxidation and mineralization of the SSC zone, supporting the need for gravity-driven recharge of subsurface brines by meteoric water from adjacent highlands to supply the epigenetic oxygen and copper to form the White Pine deposit.

Keywords: Paleomagnetism, Ore Genesis, Stratiform Sedimentary Copper, Mesoproterozoic, U.S.A.

マダガスカル南部イフシ地域のパッチ状チャノッカイトの形成過程 Petrogenesis of incipient charnockite from Ihosy area in southern Madagascar

角替 敏昭^{1*}

Toshiaki Tsunogae^{1*}

¹ 筑波大・生命環境

¹Univ. Tsukuba

斜方輝石を含む石英長石質岩であるチャノッカイトは、塊状で大規模な岩体（バソリスなど）として出現する火成作用起源のものと、パッチあるいはチューブとして黒雲母片麻岩中に不規則および不連続な斑点状にみられる変成作用起源のものが知られている。後者のチャノッカイトは、その特徴から incipient charnockite と呼ばれている。このような変成作用起源のチャノッカイトは、南インド、スリランカ、南極などの東アフリカ-南極造山運動によって形成された高度変成岩中に多数みられ、その成因について様々な議論がなされてきた。一方、この東アフリカ-南極造山帯の一部をなすマダガスカルについては、変成作用起源のチャノッカイトの報告はほとんどない。変成作用起源のパッチ状チャノッカイトは、角閃岩相からグラニュライト相への温度上昇過程における変成反応の進行が凍結されたものであり、グラニュライトに至る累進変成作用の進行を研究する上で最適の研究材料といえよう。しかもその岩石が地球史の限られた時代（新期原生代?カンブリア紀）の限られた場所に集中するという事は、 Gondwana大陸形成最末期の大陸衝突イベントの特異性を示唆している。以上のようなモチベーションのもと、本研究では未だデータの少ないマダガスカルのパッチ状チャノッカイトの報告と、その成因について検討する。

マダガスカル南部の Ihosy 近郊のチャノッカイト (Pl + Qtz + Kfs + Bt + Grt + Opx + Ilm + Mag) は、斜方輝石を含まないざくろ石-黒雲母片麻岩 (Pl + Qtz + Kfs + Bt + Grt + Ilm + Mag) 中にパッチ状にみられる。NCKFMASHTO 系の鉱物平衡モデリングの結果、チャノッカイト中の鉱物組み合わせは 8-10.5 kbar, 820-880 °C で安定であり、これは地質温度計の計算結果 (820-880 °C) と一致する。T-M(H₂O) シュードセクションでは、ざくろ石-黒雲母片麻岩の安定領域は M(H₂O) > 0.1 mol.% であるのに対し、チャノッカイトは 0.1 mol.% 以下でも安定に存在する。これは、低い水の活動度により斜方輝石が安定に存在するモデルと調和的である。チャノッカイトに含まれる多量の CO₂ 流体包有物の存在は、CO₂ 流入モデルを支持する。

キーワード: チャノッカイト, シュードセクション, グラニュライト, 流体

Keywords: charnockite, pseudosection, granulite, fluid

南インドの Gondwana 縫合帯 Vadugappatti 周辺に産出する エクロジヤイト様ざくろ石-単斜輝石岩の温度圧力経路 P-T evolution of eclogitic Grt-Cpx rocks from Vadugappatti within the Gondwana Suture Zone, southern India

飯沼 美奈子^{1*}, 角替 敏昭¹

Minako Inuma^{1*}, Toshiaki Tsunogae¹

¹ 筑波大・生命環境

¹ Univ. Tsukuba

南インドの地質は、北部に位置する太古代 Dharwar クラトンと南部に分布する 550-530 Ma のピーク変成年代をもつ高温?超高温変成岩の存在により特徴づけられる。南部のグラニュライト岩体は原生代末の Gondwana 超大陸集積時の造山運動によって形成されたものと考えられ、北部の Dharwar クラトンと南部のグラニュライト岩体との境界は、Palghat-Cauvery 縫合帯によって定義されている。Palghat-Cauvery 縫合帯は Gondwana 超大陸形成時の大陸衝突に伴う海洋の閉塞によって形成された縫合帯であり、先行研究からは時計回りの変成温度圧力経路を示す高温?超高温変成岩や高压グラニュライトの存在が特徴的であるとされてきた。しかしながら、これら高压?超高温変成岩の報告は主に縫合帯中部の Karur-Namakal 地域からのものであり、変成温度圧力条件や変成温度圧力経路の広域的な変化については未だ明らかになっていない。そこで本研究では、Nampakal の東方の 2 地域、Vadugappatti, Pavithram に産出するエクロジヤイト様ざくろ石 - 単斜輝石岩の岩石学的記載を行い、その変成温度圧力経路の比較を行うこととした。

Pavithram 地域のエクロジヤイト様岩は主にざくろ石、単斜輝石からなり、少量の斜方輝石、普通角閃石、斜長石、石英を含む。ピーク変成作用の鉱物組み合わせはざくろ石、単斜輝石、斜方輝石、石英である。ざくろ石の周囲には斜方輝石、斜長石、普通角閃石からなるコロナ組織がしばしばみられ、ざくろ石 + 単斜輝石 + 水 => 斜方輝石 + 斜長石 + 普通角閃石という反応を示唆すると考えられる。この反応は時計回りの変成温度圧力経路に沿って生じる高压状態からの減圧によるものと推定され、このような反応組織は Nampakal 周辺地域の苦鉄質グラニュライトにおいて普遍的にみられる。

一方、Pavithram 地域の西方約 15 km に位置する Vadugappatti 地域に産出するエクロジヤイト様岩のピーク鉱物組み合わせは単斜輝石、斜方輝石、斜長石である。その中の単斜輝石はざくろ石と石英によるコロナ組織に囲まれており、単斜輝石 + 斜長石 => ざくろ石 + 石英という反応の進行を示すと考えられる。この反応は反時計回りの変成温度圧力経路に沿った等圧減温もしくは圧力上昇によるものと推測される。

Pavithram 地域にざくろ石 - 単斜輝石地質温度計、Vadugappatti 地域にざくろ石 - 斜方輝石地質温度計を適用した結果、Pavithram 地域では 790-810 °C、Vadugappatti 地域では 860-880 °C という温度条件が得られた。シュードセクション法を用いた相解析によると、Pavithram 地域ではエクロジヤイト相に相当する高压変成作用と時計回りの温度圧力経路が確認された。一方、Vadugappatti 地域の岩石は、単斜輝石 + 斜方輝石 + 斜長石 + チタン鉄鉱の 11 kbar 程度で形成されたピーク鉱物組み合わせをもつが、それは (1) 単斜輝石 + 斜方輝石 + 斜長石 + チタン鉄鉱、(2) 単斜輝石 + ざくろ石 + 斜方輝石 + 斜長石 + チタン鉄鉱、(3) 単斜輝石 + ざくろ石 + 斜方輝石 + 斜長石 + 普通角閃石 + チタン鉄鉱、(4) 単斜輝石 + 斜方輝石 + 斜長石 + 普通角閃石 + チタン鉄鉱へと変化したことがわかる。(1) から (2) に向かってざくろ石を形成するような等圧減温が起こったことが予想される。以上の結果から、反時計回りの変成温度圧力経路が推定される。

Namakal の東方地域のざくろ石 - 単斜輝石岩において、上記のような二つの対照的な組織が観察されること、ならびに異なる変成温度圧力条件、変成温度圧力経路が地質温度計、シュードセクション法によって得られることにより、縫合帯中には様々な変成温度圧力経路をもつ変成岩体がブロック状に存在する可能性が示唆される。

キーワード: グラニュライト, シュードセクション, 高压変成作用, 新期原生代

Keywords: granulite, pseudosection, high-pressure metamorphism, Neoproterozoic

スリランカ南西グループの高温変成岩におけるジルコンの内部構造と化学組成 Internal textures and chemical composition of zircon from high grade metamorphic rocks of Southwest Group, Sri Lanka

ダダヤカラゲヌワン サンジャヤ^{1*}, 赤坂 正秀¹

Nuwan Sanjaya Wanniarachchi Dadayakkarage^{1*}, Masahide Akasaka¹

¹ 島根大学大学院総合理工学研究科

¹Department of Geoscience, Shimane University, Japan

High-grade metamorphic terrane of Sri Lanka, consists of four major crustal units as, Highland Complex (HC), Wann Complex (WC), Vijayan Complex (VC) and Kadugannawa Complex (KC). Western part of the HC is also regarded as Southwest Group (SWG). The SWG is dominated by garnet biotite gneiss, garnet biotite cordierite gneiss and charnockitic gneiss. In these rock types, zircon is identified as a major accessory mineral. During metamorphism, detrital zircon can be recrystallized. Thus, the preserved internal textures particularly, igneous oscillatory zoning can be progressively changed into: convoluted, blurred, and thickened. Then, the dominant texture is transgressive zircon patches and lobes. By introducing a chemical and internal textural classification of zircons, to SWG of Sri Lanka, it may help to identify the relationships between chemical and internal textural domains, and petrological evolution of the rock. Basically, zircon occurred in matrix and as inclusions in garnet, biotite, and cordierite. Average chemical formulas of the studied zircons in these three different rock samples are $Zr_{0.939}Hf_{0.012}Si_{1.043}O_4$, $Zr_{0.945}Hf_{0.013}Si_{1.039}O_4$, $Zr_{0.936}Hf_{0.010}Si_{1.047}O_4$, respectively. Using backscattered electron (BSE) images from electron probe micro analyzer (EPMA), several types of internal textural domains were observed as detrital core, and overgrowth patterns. Overgrowth patterns are fir-tree texture, radial zoning, resorption, euhedral faces, and planar banded zoning. These textures may indicate the different geological and petrological events. According to the chemical analysis, Hf content may not contribute to the zoning of zircon. Then, further consideration should be based on the other trace elements and rare earth elements (REE). Zircon structure is available for the large radius atoms like REE, and especially, radiogenic elements may cause the damage of zircon structure. It is usual to observe that pleochroic halo around the zircon and fracture patterns during the long period of time. The damaged and fractured area allows the impurity elements (Ca, Al) to enter the zircon structure. Then, these impurities could be detected in considerable amount, in highly darker area of the zircon. The changes of internal textures of zircon, that is, oscillatory zoned zircons, gradually get faded and the chemical bands during the recrystallization may appear as new bands around rim area and sometimes in core area. Later, transgressive recrystallization patches developed with loss of trace elements (Pidgeon et al., 1998). In the case of high grade metamorphism finally, the all the banded pattern get disappeared. These transformations highly related to the metamorphic stages and the observed textures, in different grade of rocks and shows respective textural behavior.

キーワード: スリランカ, ジルコン, 変成岩, ジルコンの内部構造, 複変成作用

Keywords: Sri Lanka, Zircon, Metamorphic rocks, Internal textures of zircon, Polymetamorphism

東南極リュツォ・ホルム岩体明るい岬にみられる含サフィリン苦鉄質片麻岩の相解析

Phase equilibrium modelling of sapphirine-bearing metabasites from Akarui Point in the Lutzow-Holm Complex, Antarctica

岩村 駿輝^{1*}, 角替 敏昭¹

Shunki Iwamura^{1*}, Toshiaki Tsunogae¹

¹ 筑波大・生命環境

¹ Univ. Tsukuba

東南極リュツォ・ホルム岩体は、 Gondwana大陸集合最末期の大陸衝突によって形成された高度変成岩類が広く分布している。岩体内部の変成度は角閃岩相からグラニュライト相へと連続的に変化すると考えられることから、リュツォ・ホルム岩体は当時の地殻断面が露出していると考えられる。したがって、当該地域は大陸衝突帯における下部-中部地殻の内部構造、部分熔融過程、流体組成の変化などを研究する上で、絶好の研究地域であるといえる。

「明るい岬」はリュツォ・ホルム岩体の中央部に位置し、グラニュライト相-角閃岩相の漸移帯に相当する。主な岩相は、黒雲母-ホルンブレンド片麻岩、ざくろ石-黒雲母片麻岩、苦鉄質グラニュライト、角閃岩、超苦鉄質岩などである (Yanai et al., 1984)。ピーク変成条件は 770-790 °C、7.7-9.8 kbar と推定されている (Kawakami et al., 2008)。

本研究では、明るい岬に特徴的なサフィリンを含む苦鉄質片麻岩の解析を行い、NCKFMASHO系の鉱物平衡モデリングによりこの岩石のピーク変成条件を推定した。研究に使用した岩石は暗緑色を呈し、弱い片理をもつ岩石である。鉱物組み合わせは、Ca角閃石+斜長石+斜方輝石+黒雲母+サフィリンであり、部分的に粗粒のざくろ石を含む。微量鉱物として、磁鉄鉱、スピネル、コランダムを含むことがある。シュードセクション法による相解析の結果、Ca角閃石+斜長石+斜方輝石+ざくろ石+黒雲母+サフィリン鉱物組み合わせは 850-890 °C、6.5-8.5 kbar で安定なことが明らかになった。これは、リュツォ・ホルム岩体の「漸移帯」ではなく、「グラニュライト帯」の変成条件に相当する。この高温条件の意義については現在検討中であるが、(1) 明るい岬の苦鉄質片麻岩が局部的に高温の変成作用を受けた可能性、あるいは、(2) NCKFMASHO系のモデリングに考慮しなかった微量元素の影響が考えられる。例えば Kawakami et al. (2008) は明るい岬の苦鉄質岩から 889 ppm に達するホウ素を含むサフィリンを報告しており、サフィリン中のホウ素などが Ca角閃石+斜長石+斜方輝石+ざくろ石+黒雲母+サフィリン鉱物組み合わせの安定条件を著しく低下させた可能性がある。

キーワード: サフィリングラニュライト, シュードセクション, Gondwana, 超高温変成作用

Keywords: sapphirine granulite, pseudosection, Gondwana, ultrahigh-temperature metamorphism

東南極大陸 Riiser-Larsen 山に産する珪長質片麻岩中の ternary feldspar 中の離溶組織の不均質性 Heterogeneity of exsolution textures of ternary feldspars in felsic gneiss from Mt. Riiser-Larsen, East Antarctica

兒玉 優^{1*}, 三宅 亮¹
Yu Kodama^{1*}, Akira Miyake¹

¹ 京都大学理学研究科

¹ Kyoto Univ.

【はじめに】東南極大陸 Riiser Larsen 山は超高温変成岩体であるナピア岩体に属する。そこに産する珪長質片麻岩に含まれる oligoclase (Olg) と orthoclase (Or) のラメラから構成されるメソパーサイト (ternary feldspar; 以下 TF) のバルク組成での固溶可能温度からは、1070-1110 °C 以上の変成温度が見積もられている (Hokada, 2001)。Riiser Larsen 山に産する珪長質片麻岩のうち、ほとんどが長石類で構成される岩石 (TH97012006; 以下 12006) 中には、離溶組織を持たない Olg 粒子および、異なる化学組成と Olg ラメラ ($An_{29}Ab_{70}Or_1$) と Or ラメラ ($An_2Ab_8Or_{90}$) からなる多様な離溶組織を持つ TF 粒子が見られる。兒玉他 [2][3] は、TF の多様な離溶組織について分類と成因を明らかにし、それらの離溶組織が比較的粗大な (010) で接する Olg ラメラと TF ラメラからなる離溶組織 A とスピノーダル分解で形成された比較的微細な離溶組織 B の 2 種類の組織の組合せによるものであることを明らかにした。しかし、離溶組織を持たない Olg 粒子と Olg ラメラと Or ラメラからなる TF 粒子が共生している点や岩石中にそれらのバルク組成の異なる長石が不均質に分布している点が問題となっていた。

本研究では、12006 中に異なった離溶組織を持つ Olg 組成から TF 組成の長石が共生している問題の解明を目的とし、X 線分析顕微鏡 (XGT) および波長分散型 X 線分光器 (WDX) を用いてスラブチップに対する広範囲 (< 10 cm) の元素マッピングをおこない、分布する長石の化学組成および離溶組織の産状との対比をおこなった。それにより、これまで解釈が困難であった 12006 中に Olg と複数の離溶組織を持った TF が不均質に分布している点についての説明が可能となった。

【結果】XGT、EPMA により得られた複数のスラブチップ (< 10 cm) の元素マッピングからは、12006 には大別して、(1) 大部分が Olg で構成される領域、(2) Olg に富む化学組成を持つ TF で構成される領域、(3) Or に富む化学組成を持つ TF で構成される領域、(4) Olg と Qtz によるミルメカイト状組織で構成される領域、の 4 領域が存在していることがわかった。(2) は (3) を取り囲み、(3) は (4) を取り囲んでいる。(2)-(3) の化学組成は連続的に変化するが、(1)-(2) および (3)-(4) の領域では化学組成は不連続である。兒玉他 [2] における離溶組織 A、B を持つ TF の分布は、(2)-(3) におけるバルク組成の変化に対応しており、薄片スケールの観察では局所的に不均質な分布を示すことがあるものの、広範囲で考えれば化学組成に対応した分布をしていることがわかった。

【結論】以上の結果から 12006 に産する Olg および TF の産状について次のような形成史が示唆される。(1) 何らかの作用により Olg-rich な固相と TF 組成の液相が生じる (2) TF 組成の液相から分別結晶作用により、Olg に富む組成? Or に富む組成の TF 粒子が晶出する (3) Or に富む TF との接触部で Olg と Qtz からなるミルメカイトが形成する (4) Olg に富む TF において、離溶組織 A が形成する (5) (4) の TF より Olg に乏しい組成? Or に富む組成の TF においてスピノーダル分解により離溶組織 B が形成する。(1) 固相+液相の共存を生じた原因については、高温変成の際の部分溶融などの可能性が挙げられるが、部分溶融の直接的な証拠がないことと、12006 の不均質性が高くスラブチップのスケールでの観察からも岩石のバルク組成の見積もりは困難なことから、12006 の成因を探るためには引き続き観察や岩石学的な検討をおこなう必要がある。

[1] Hokada, T. (2001) Feldspar thermometry in ultrahigh-temperature metamorphic rocks: Evidence of crustal metamorphism attaining ~1100 °C in the Archean Napier Complex, East Antarctica, *American Mineralogist*, 86, 932-938.

[2] 兒玉優, 三宅亮, 2010 年度日本鉱物科学会年会

[3] 兒玉優, 三宅亮, 2012 年度日本鉱物科学会年会

キーワード: ternary feldspar, 離溶組織, ナピア岩体, 超高温変成岩

Keywords: ternary feldspar, exsolution texture, Napier Complex, ultra high temperature metamorphism

オマーンオフィオライト、北部フィズ岩体の基底部レルゾライトとその上位のはんれい岩との関係

Genetic link between basal lherzolites and gabbro of the northern Fitz massif, the Oman ophiolite

芳川 雅子^{1*}, Python Marie², 柴田 知之¹, 荒井 章司³, 田村 明弘³, 高澤 栄一⁴, 上田 晃⁵, 佐藤 努⁶
Masako Yoshikawa^{1*}, Marie Python², Tomoyuki Shibata¹, Shoji Arai³, Akihiro Tamura³, Eiichi TAKAZAWA⁴, Akira Ueda⁵, Tsutomu Sato⁶

¹ 京都大学・理・地球熱学, ² 北海道大学・理・地球惑星科学, ³ 金沢大学・理工・自然システム, ⁴ 新潟大学, ⁵ 富山大学, ⁶ 北海道大学・工・環境地質

¹IGS, Kyoto University, ²Dep.Earth Sci., Hokkaido University, ³Dep.Earth Sci., Kanazawa University, ⁴Dep.Geol.Fac.Sci., Niigata University, ⁵Toyama University, ⁶Environmental Geol., Hokkaido University

オフィオライトは海洋リソスフェアが地表に衝上したものと考えられている(例えば Dietz, 1963)。そのため、直接詳細に観察することが困難な海洋リソスフェアの構成や形成プロセスを理解するため、オフィオライトを対象とした研究が盛んに行われている。

海洋リソスフェアの構成とリソスフェアを形成するマグマプロセスは、海嶺の拡大速度によって異なっていることが知られているが、高速拡大海嶺の海洋リソスフェアについては主にヘスディーブのデータのみに基づいて議論されているという問題点が指摘されている(宮下・前田, 2003)。このため高速拡大域で形成された海洋リソスフェアの断片であると考えられているオフィオライト(例えばオマーンオフィオライト)は貴重な情報源となる。

オフィオライトにおいてマグマプロセスを理解する際、メルトが固結して生じた地殻構成岩とその下部に産するかんらん岩にどのような成因関係があるのかを知ることは重要である。このため、様々なオフィオライトにおいて両岩石間の成因関係の有無が調べられてきた(例えば、McCulloch and Wasserburg, 1980)。低速拡大海嶺で形成されたと考えられているトリニティオフィオライトでは、地殻構成岩とマンテルかんらん岩に成因関係があるとされた(Jacobsen et al., 1984)。しかしその後のデータ増加に伴い、かんらん岩の年代がはんれい岩類より若干古く、それぞれの岩体によって異なるメルトがマンテルと反応したという、より複雑なマグマプロセスが必要となった(例えば、Guruau et al., 1995)。オマーンにおいては、McCulloch et al. (1981) が南部 Ibra 岩体のはんれい岩の Sm - Nd 全岩・鉱物アイソクロン上に同岩体のハルツバーガイトのデータがプロットされることから地殻を構成する岩石と上部マンテルの間で成因関係が認められると主張した。しかし、この種の情報は決定的に不足しており、オマーンオフィオライトかんらん岩の Nd 同位体組成を蓄積し、高速拡大海嶺でのマグマプロセスに関したより詳細な議論が必要である。

本研究では、オマーンオフィオライト北部フィズ岩体の基底部レルゾライト(Takazawa et al., 2003)の鉱物組成、および単斜輝石の微量元素・Sr - Nd 同位体組成を求めた。その結果、Wadi Fitz 岩体のはんれい岩の全岩・鉱物アイソクロンに基底部レルゾライトの単斜輝石のデータがプロットされ、同岩体に産するはんれい岩(McCulloch et al., 1980)と成因関係がある事がわかった。

キーワード: オマーンオフィオライト, Sm-Nd 同位体システムティクス

Keywords: Oman ophiolite, Sm-Nd isotope systematics

化学的特徴による花崗岩体の識別手法の検討 - 中部地方の領家花崗岩と山陽帯花崗岩を例として -

Discernment technique of the granitoids by a chemical feature, Ryoke and Sanyo granites at Chubu district, central Japan

花室 孝広^{1*}, 高取 亮一¹, 安江 健一¹, 柴田 健二¹, 梅田 浩司¹

Takahiro Hanamuro^{1*}, Ryoichi Takatori¹, Ken-ichi Yasue¹, Kenji Shibata¹, Koji Umeda¹

¹(独) 日本原子力研究開発機構

¹Japan Atomic Energy Agency

1. はじめに

断層運動等の開始に伴い、後背地(地層の堆積物を供給した地域、この場合、断層運動等によって隆起した山地などが後背地になる)の表層環境も変化していくが、その変化の記録が下流域に残される場合もある。下流域の堆積場においてその堆積年代が推定できれば、後背地における山地の隆起した時期や断層運動の開始の時期を推定することが可能となる。過去から現在までの地下水流動の変化を把握するためには、解析領域やその周辺の山地隆起の時間的・空間的分布を考慮した古地形を復元する必要があるが、その際にも後背地解析が有効な手法となる。

木曾山地や美濃・三河高原を含む木曾川・土岐川流域の古地形復元における後背地解析においては、これらの山地を構成する基盤地質が類似した岩相を示すことから、後背地の山地を構成する基盤岩の記載岩石学的特徴や地球化学的特徴も考慮しつつ後背地解析を行う必要がある。本研究では、基盤地質が類似した岩相における後背地解析手法を開発するため、数種類の花崗岩が分布する土岐川流域に着目し、後背地解析に必要な情報である地質・岩石に関するデータの収集・解析を行った。

2. 文献による検討

堆積場の礫の供給地を特定するためには、花崗岩体ごとの記載岩石学的特徴、鉱物の量比や化学組成の違いによる礫種の識別を行う必要があるが、後背地の岩体の識別においては制約はないものの、堆積場の礫などを対象とする場合、試料の量が限られることによる制約や風化・変質による化学組成の変化といった制約があり、少量の試料で実施可能で風化・変質の影響についても検討可能である手法が必要となる。

記載岩石学的特徴については、領家花崗岩である伊奈川花崗岩には暗色包有物が含まれることが多く、山陽帯花崗岩の苗木・上松花崗岩にはあまり認められないなど(鈴木・石原, 1969)、それぞれに特徴的な産状が見られるものの、両者において黒雲母花崗岩の岩相があり、礫から判別することは困難であると考えられる。

鉱物の量比や化学組成の違いといった地球化学的特徴については、領家花崗岩と山陽帯花崗岩の全岩のREEパターンには、山陽帯花崗岩ではEuの負の異常が顕著で、領家花崗岩では重希土が減衰するといった傾向の違いが認められる(Ishihara, 2003)。文献値(Ishihara and Murakami, 2006)により当該地域の花崗岩体について検討した結果、伊奈川花崗岩では山陽帯花崗岩に特徴的なEuの負の異常が見られるものもあり、重希土の減衰傾向もIshihara(2003)の事例ほど顕著ではない。また、後背地の推定に黒雲母などの主要造岩鉱物の化学組成を利用している事例(Hiraoka, 1997)では、風化による元素の溶脱を考慮して後背地の花崗岩体の推定が行われている。

3. 花崗岩試料の分析値による検討

土岐川上流域に分布する伊奈川花崗岩、苗木・上松花崗岩を対象として上述の記載岩石学的、地球化学的特徴をもとにした岩体の識別を試みるとともに、下流域の堆積物中の花崗岩礫について岩体の同定を試みた。

花崗岩中の黒雲母についてEPMAによる主要元素分析を行った結果、苗木・上松花崗岩の試料は伊奈川花崗岩の試料に比べてFe, Fに富む傾向が認められた。この結果などをもとに下流域の堆積物中の花崗岩礫の岩体の同定を行った結果について報告する。

参考文献

鈴木・石原(1969): 地質調査所報告, 232, 155-168.

Ishihara(2003): Bull. Geol. Surv. Japan, 54, 95-116.

Ishihara and Murakami(2006): Resource Geol., 56, 245-256.

Hiraoka(1997): J. Geol. Soc. Japan, 103, 770-780.

キーワード: 花崗岩, 後背地解析, 希土類元素, 黒雲母組成

添田花崗閃緑岩における全岩化学組成と Sr 同位体比組成の岩体内変化 Change of whole-rock chemical and Sr isotopic compositions in the Soeda Granodiorite, northern Kyushu, Southwest Japan

柚原 雅樹^{1*}, 亀井淳志², 川野良信³, 岡野 修⁴, 加々美寛雄⁵Masaki Yuhara^{1*}, KAMEI, Atsushi², KAWANO, Yoshinobu³, OKANO, Osamu⁴, KAGAMI, Hiroo⁵¹福岡大学理学部, ²島根大学総合理工学部, ³立正大学地球環境科学部, ⁴岡山大学理学部, ⁵大町市¹Fukuoka Univ., ²Shimane Univ., ³Rissho Univ., ⁴Okayama Univ., ⁵Omachi

北部九州には白亜紀に活動した花崗岩類が広く分布し、小倉-田川構造線付近を境に西側の磁鉄鉱系高 Sr 花崗岩である北部九州主部花崗岩類と東側のチタン鉄鉱系低 Sr 花崗岩である北部九州東部花崗岩類に区別されている(唐木田, 1985; 井沢ほか, 1994 など)。東部花崗岩類に属する添田花崗閃緑岩は、主部と東部花崗岩類の境界付近に分布し、岩体内に貫入した多数の同時性苦鉄質岩体が認められている(柚原・眞崎, 2013)。そのため、花崗岩質マグマと苦鉄質マグマの相互作用によって、マグマ定置時の化学組成が不規則に改変されている可能性がある。そのような花崗岩体から Rb-Sr 全岩アイソクロン年代を求める場合、多くの試料を用いて岩体内の仮想的な Sr 同位体比初生値 (SrI) の分布を詳細に検討する必要がある。そのような検討の前段階として、地球化学的手法によって同位体比測定試料の選別が行えれば、より効率的にアイソクロン年代を求めることが可能になる。そこで添田花崗閃緑岩について、岩体内の元素濃度分布と SrI 値分布について検討を行った。

添田花崗閃緑岩は田川変成岩類に貫入し、真崎花崗岩および油須原花崗岩に貫かれる(唐木田, 1985 など)。岩体南西部や北部では田川変成岩類や真崎花崗岩および油須原花崗岩と接している。本地域の西部には、小倉-田川構造線の南部にあたる田川断層とそのさらに西側には田川断層の派生断層である駒啼川断層(柚原・宮崎, 2008)が分布する。この駒啼川断層を境に田川変成岩類と接している。岩体分布域の尾根部では北坂本累層によって不整合で覆われる(英彦山団研グループ, 1984 など)。添田花崗閃緑岩は、長径 1 cm から 100cm の苦鉄質包有岩や変成岩捕獲岩をしばしば包有する。また、厚さ数 10 cm から 100 m の規模の苦鉄質岩脈に貫入されるが、その一部は同時性貫入岩である(柚原・眞崎, 2013)。添田花崗閃緑岩からは、 97.0 ± 0.9 Ma と 98.1 ± 0.8 Ma の Rb-Sr 全岩-黒雲母アイソクロン年代が報告されている(柚原ほか, 2012)。さらに、杷木花崗閃緑岩からは、 118.0 ± 11.3 Ma の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代が報告されている(小山内ほか, 1993)。添田花崗閃緑岩は、岩体内に広く分布する主岩相と同時性苦鉄質岩脈周辺に分布する普通角閃石斑状岩相に区分される(柚原・眞崎, 2013)。普通角閃石斑状岩相は、主岩相マグマとそれに貫入した苦鉄質マグマの混合・混交によって形成されたと考えられる。主岩相は、主に中粒塊状の普通角閃石-黒雲母花崗閃緑岩からなる。普通角閃石斑状岩相は、中粒塊状の普通角閃石-黒雲母トータル岩から花崗閃緑岩質基質中に長径 1cm に達する自形性の強い普通角閃石巨晶を含む。

主岩相と普通角閃石斑状岩相の主成分ならびに微量成分元素組成に大きな違いはない。主岩相には、2つの Sr 含有量の変化傾向、すなわち SiO₂ 含有量の増加に伴う高含有量から低含有量への減少と低含有量のままほぼ一定、が認められる。前者を高 Sr グループ、後者を低 Sr グループと呼ぶ。普通角閃石斑状岩相は低 Sr グループの組成範囲に入る。さらにこれらの変化傾向の低 SiO₂ 含有量側の延長には苦鉄質岩の組成が存在する。高 Sr グループは、Izawa et al. (1989)、井沢ほか(1990, 1994)によって定義された高 Sr 花崗岩類と低 Sr 花崗岩類の境界線をまたぐように配列する。両グループは、他の元素の変化傾向に大きな違いはなく、モード組成にも違いは認められない。低 Sr グループは、同時性苦鉄質岩体が多数分布する添田花崗閃緑岩体北部と、岩体南西部に分布する。分布と化学組成の特徴から、低 Sr グループは、普通角閃石斑状岩相と同様、苦鉄質マグマの影響を受けていると考えられる。岩体内における各元素の濃度分布パターンは、主に岩体北部と南西部に高濃度部が認められる SiO₂ の濃度分布を基本として、これに SiO₂ 含有量に対する挙動を反映した濃度分布を示す。Sr の濃度分布は、高 Sr、低 Sr グループの分布を一部反映している。

105Ma, 110Ma, 115Ma で年代補正したモデル SrI 値の分布パターンはほぼ類似しており、岩体中央部と北端部で高く、南西部で低い。モデル SrI 値の低い領域は、低 Sr グループや普通角閃石斑状岩相の分布域とほぼ一致しており、高 SrI 領域の高 Sr グループの岩石が苦鉄質マグマの影響をほとんど受けていないと考えられる。これに対し、低 Sr グループや普通角閃石斑状岩相は、低い SrI を持つ苦鉄質マグマの影響を受けている。したがって、高 Sr グループの岩石を用いることにより Rb-Sr 全岩アイソクロン年代が求められる可能性がある。

キーワード: 添田花崗閃緑岩, 全岩化学組成, Sr 同位体比組成

Keywords: Soeda Granodiorite, whole-rock chemical composition, Sr isotopic composition

西南日本領家帯阿保花崗岩の成因 Petrogenesis of the Ao granite in the Ryoke belt, southwestern Japan.

小川 ひとみ^{1*}, 壺井 基裕²
Hitomi Ogawa^{1*}, Motohiro Tsuboi²

¹ 関西学院大学大学院理工学研究科, ² 関西学院大学工学部化学科
¹Sci. Tech., Kwasei Gakuin Univ, ²Sci. Tech., Kwasei Gakuin Univ.

Granitic plutons of the Ryoke belt in the eastern part of Kinki area have been studied mainly by field research and petrography, however, geochemical research of these plutons has not been done enough. Among these plutons, the Ao granite is one of the large plutons and it extends 34 km from east to west and 10 km from north to south at the border between Nara and Mie prefectures. In this study, we have analyzed whole-rock chemical compositions of the Ao granite and discuss the petrogenesis of the pluton. The Ao granite is fine-grained biotite granite containing muscovite, and medium-grained biotite granodiorite containing muscovite distributes some part of the pluton. 15 samples were analyzed for major and minor chemical compositions by X-ray fluorescence spectrometer. SiO₂ content of the Ao granite range from 65.6 wt.% to 74.9 wt.%. It shows intermediate composition between I-type and S-type in the ASI (alumina saturation index). SiO₂ distribution within the pluton shows reverse zoning. Whole-rock geochemical characteristics of the Ao granite shows that the parental magma of the granite might have chemical relationships with surrounding migmatites of the Ryoke metamorphic belt.

キーワード: 阿保, 花崗岩, 領家帯
Keywords: Ao, granite, Ryoke Belt

霧島火山新燃岳 2011 年噴出物中の高 MgO と低 MgO 斜長石

High-MgO and Low-MgO plagioclase phenocrysts in the 2011 eruption products of Shinmoedake, Kirishima volcano, Japan

佐藤 博明^{1*}, 佐藤 鋭一²
Hiroaki Sato^{1*}, Eiichi Sato²

¹ 静岡大防災総合センター, ² 神戸大学大学教育推進機構

¹CIREN, Shizuoka Univ, ²Inst for Promotion of Higher Education, Kobe Univ

Plagioclase phenocrysts in the 2011 eruption products of Shinmoedake, Kirishima volcano is divided into high-MgO and low-MgO types, which may represent the two end components of mixing of magmas and may reflect the different temperatures of crystallization/annealing in the magma chamber. The MgO contents in plagioclase generally delineate increasing trends with decreasing Ca/(Ca+Na) ratio, and the MgO contents of the high-MgO plagioclase in the eruption products are 3 to 4 times higher than that of low-MgO type plagioclase. The high-MgO type generally have fairly homogeneous core with Ca/(Ca+Na) ratio of 0.82-0.92, whereas the Ca/(Ca+Na) ratio of the low-MgO type plagioclase ranges from 0.50-0.87. The high-MgO type plagioclase has voids in the core, whereas the low-MgO type plagioclase shows patchy or oscillatory zoned cores. The high-MgO type plagioclases generally have thin rim of lower Ca/(Ca+Na) ratio and high-MgO contents, whereas the low-MgO type may or may not have thin rim of high-MgO composition. The available experimental data suggest that three to four fold variation of the distribution coefficient of MgO between plagioclase and melt may be accounted for by differing temperature of crystallization and/or annealing. The distribution coefficient as defined by $D(\text{MgO}) = (\text{MgO})_{\text{plagioclase}} / (\text{MgO})_{\text{melt}}$ varies from 0.05 at 1100-1200 degree C (Sato, 1989) to 0.021 at 950-1050 degree C (Sisson and Grove, 1993). The annealing temperature of the lower temperature dacitic magma is estimated from rare white pumices to be 850-900 degree C, whereas the high temperature end magma have 1000-1050 degree C from the pyroxene thermometry. We suggest that variable Ca/(Ca+Na) ratio of the core of low-MgO type plagioclase recorded previous intrusion events in the magma chamber, and Mg subsequently equilibrated in the low temperature dacitic magma in the magma chamber. The time scale of the diffusion annealing of Mg in the low-MgO plagioclase is more than 1000 years if we use the diffusion coefficient of Mg in plagioclase by LaTourrette and Wasserburg(1998). The thickness of the high-MgO rim in the low-MgO plagioclase is from 0 to 20 microns with sharp boundary against the core, suggesting short time duration between the mixing of magmas and the eruption.

キーワード: 斜長石, マグマ混合, 緩和時間, 元素分配, 新燃岳, 霧島火山

Keywords: plagioclase, magma mixing, annealing time, Shinmoedake, Kirishima volcano

宮城県岩沼地域に見られる安山岩溶岩の柱状節理と石基結晶の付随事実 Possible collateral growth of columnar joints and groundmass crystals in an andesite lava, Iwanuma City, Miyagi PREF.

木本 和希^{1*}, 石渡 明²

Kazuki Kimoto^{1*}, Akira Ishiwatari²

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

¹Department of Earth Science, Tohoku University, ²Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University

柱状節理は溶岩流や貫入岩の冷却面からマグマ固結時の収縮による引張割れ目が発達し、内部に向かって冷却の等温面に垂直な方向に割れ目が進行し、多角形の柱が並ぶ構造が形成される。柱の多角形は六角形が最もよく見られるが、三角形から八角形までである。一般的に断面径は冷却過程に依存し、小さい断面径は速い冷却速度、大きい断面径は遅い冷却速度であったことを示すと言われる。

Peck and Minakami (1968) は、1965年3月のキラウエア噴火の際のマカオプヒ溶岩湖表面に形成された割れ目を観察し、溶けた溶岩湖の表面が固まってから1分以内、表面の殻がまだ赤熱している約900という温度から、互いに直角に交わる不規則な割れ目(間隔平均4.5m)が形成されたことを報告した。この段階では溶岩はまだ完全に固まっていないため、節理の形成期間中に、石基の結晶が成長する余地があると考えられる。

宮城県仙台市の南方約20kmに位置する岩沼地域において、中期中新世(15-13Ma)に安山岩溶岩が噴出した。岩沼市上河原の採石場では、平均間隔1mの柱状節理が発達した露頭が見られる。本研究では、この露頭の柱状節理の形成が溶岩の石基の結晶成長に与える影響について議論する。このために、柱状節理に囲まれた一つの柱の断面の中心部と周縁部について、石基の斜長石の長軸の配向、サイズ、化学組成について調査した。加えて、柱内の磁鉄鉱の結晶度を示すため、帯磁率の分布をマッピングした。

石基の斜長石の長軸の長さは、柱の中心部で平均0.168mm、周縁部で0.130mmと、中心部は周縁部に比べ一般に石基の斜長石が大きく成長していた(一部例外も見られた)。石基の斜長石の化学組成は、周縁部がAn_{85.0-33.7}、中心部がAn_{71.0-40.8}と、周縁部は中心部よりも広い組成幅を示す。また中心部の石基の斜長石はほぼ正累帯構造を示すのに対し、周縁部では一部にほとんど累帯構造が見られないものも見られた。柱断面の帯磁率の分布は、周縁部(平均33 × 10⁻³SI unit)に比べ中心部(平均38 × 10⁻³SI unit)で高い値を示す傾向が見られた。これより柱の中心部でより磁鉄鉱の結晶が大きく成長していることが示唆される。

これら柱の中心部と周縁部の石基斜長石結晶の大きさや化学組成及び岩石の帯磁率の差異は、主に冷却速度の違いによるものと考えられる。割れ目の形成により、それらを通じて火山ガスの揮発や表層水の循環が促進され、柱の周縁部が、中心部に比べより速く冷却される。この違いが、石基の結晶成長に影響を与えたと考えられる。

キーワード: 柱状節理, 斜長石, 帯磁率

Keywords: columnar joint, plagioclase, magnetic susceptibility

栃木県宇都宮地域に分布する中新世火山岩類の地球化学

Geochemistry of the Miocene volcanic rocks distributed around Utsunomiya, central Japan

清水 隆一^{1*}, 川野 良信²

Ryuichi Shimizu^{1*}, Yoshinobu Kawano²

¹ 立正大学大学院地球環境科学研究科, ² 立正大学地球環境科学部

¹Graduate School of Geo-environmental Science, Rissho University, ²Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

栃木県宇都宮市北部から日光市南東部にかけては中新世火山岩類が広く分布し、下位の風見山田層には安山岩が、その上位の大谷層には流紋岩が存在する。これら火山岩類の地質・層序学および年代学的研究は吉川(1998)や吉川ほか(2001)、吉川(2010)によって行われており、全岩 K-Ar 法によって風見山田層安山岩からは 14.8~16.6 Ma、大谷層流紋岩からは 14.2 Ma の年代値が得られている。しかしながら、本火山岩類は全岩化学組成・鉱物化学組成などの基礎データに乏しく、これらの成因は明らかにされていない。本火山岩類が活動した時代は、Otofujii et al.(1985)や周藤(2009)などで言われている日本海の拡大時期と一致している。そのためこの火山岩類の成因を解明することは、日本海の拡大および日本列島の形成という地質学的に重要な問題に新たな知見を与える可能性がある。

筆者らは大谷層流紋岩のうち、特徴的に黒雲母を多く含む宇都宮市北端の羽黒山の流紋岩(以下、羽黒山流紋岩と呼称)について、その化学的特徴を報告した(清水・川野, 2012)。今回は風見山田層安山岩と、羽黒山流紋岩を含む大谷層流紋岩を対象とし、岩石の化学的特徴を報告する。なお、本報告では黒雲母に富む羽黒山流紋岩と、羽黒山流紋岩を除いた大谷層流紋岩を区別して取り扱う。

試料の全岩化学組成は蛍光 X 線分析装置を用いて測定した。風見山田層安山岩の SiO₂ は 53~63wt%、大谷層流紋岩は 74~82wt%、羽黒山流紋岩は 77~82wt% という結果であった。また、N-MORB で規格化した元素パターンは、全ての試料で LIL 元素に富み HFS 元素に乏しい島弧マグマの特徴を示した。さらに、風見山田層安山岩に比べて大谷層流紋岩および羽黒山流紋岩は、LIL 元素の濃集が顕著であることから比較的分化の進んだマグマから形成された可能性が示される。なお、各試料は SiO₂ の増加に伴い Fe₂O₃ や CaO などの適合元素が直線的な減少傾向を示した。そして K₂O や Ba, Rb などの不適合元素は、大谷層流紋岩を除いて SiO₂ とともに増加する直線的な変化傾向が認められた。これらは同一マグマからの結晶分化作用に伴う元素組成の変化傾向と一致している。しかしながら、Y と Zr は風見山田層安山岩よりも羽黒山流紋岩の方が低濃度であった。Y と Zr は不適合元素であるため、同一起源とした場合羽黒山流紋岩よりも風見山田層安山岩が高濃度であることを説明できない。このことは、両者の起源マグマが異なっていた可能性を示唆している。

キーワード: 安山岩, 流紋岩, 新第三系中新統, 栃木県宇都宮地域

Keywords: andesite, rhyolite, Miocene, Utsunomiya area

レーザー誘起絶縁破壊分光計 (LIBS) による岩石のその場元素分析 In-situ elemental analysis with laser-induced breakdown spectrometer (LIBS)

石橋 高^{1*}, 和田 浩二¹, 並木 則行¹, 荒井 朋子¹, 小林 正規¹, 千秋 博紀¹, 大野 宗祐¹

Ko Ishibashi^{1*}, Koji Wada¹, Noriyuki Namiki¹, Tomoko Arai¹, Masanori Kobayashi¹, Hiroki Senshu¹, Sohsuke Ohno¹

¹ 千葉工業大学/惑星探査研究センター

¹ Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology

岩石の鉱物組成・化学組成は、岩石の分類のみならず、それらの成因を知る上でも重要な手掛かりとなる。通常、岩石の鉱物組成や元素組成は、試料を実験室に持ち帰ってから測定される。しかし、フィールド調査においてその場でそれらの測定を行うことができれば、リアルタイムで理解を深めながら調査を遂行できる。また、より詳細な分析を行うために実験室に持ち帰る試料を採集する際にも、適切な試料を選定するための強力なツールとなる。現在我々が開発を進めているレーザー誘起絶縁破壊分光計 (Laser-Induced Breakdown Spectrometer; LIBS) は、野外で使用可能なその場元素分析装置である。

LIBS の測定原理は以下の通りである。レーザーパルス測定対象試料上に集光し試料の一部をプラズマ化する。プラズマが再結合する際の発光を分光器で測定し、得られるスペクトルを解析することで、試料の種類や元素組成を推定できる。LIBS は、(1) 遠隔分析可能、(2) 測定時間が短い、(3) 高空間分解能、(4) すべての元素を測定可能、(5) 試料の前処理が不要といった特徴を持つ。遠隔測定が可能であるため、原理的には例えば露頭の上から下部までの走査測定といったことも可能である。測定は、1 測定点あたり数秒から長くても数十秒で完了する。空間分解能はレーザーの集光性能に依存するが、通常数十マイクロメートル程度である。LIBS では原理的には軽元素を含むすべての元素の測定が可能である。また、表面研磨などの前処理を行わなくても測定が可能である。

LIBS にはマトリックス効果による定量精度の低下という問題があった。試料の物理状態がレーザーと試料との相互作用に影響し、同じ元素組成の試料でも得られるスペクトル形状が異なることがある。そのような場合、きれいな校正曲線を作成することができず、元素濃度定量精度は低下してしまう。しかし、スペクトルの解析に多変量解析手法の一つである PLS 回帰法を用いることにより、この問題は解決されつつある。

今回、我々は野外に持ち出し可能な小型のポータブル LIBS を試作し、伊豆大島の裏砂漠 (三原山の麓) でフィールドにおける測定試験を行った。今回作製したものは、焦点距離を 5cm で固定した、近距離測定用の LIBS である。あらかじめ実験室で火成岩スタンダード試料の測定を行い、PLS 回帰モデルを作成しておいた。太陽光のもと、転石や溶岩流などの測定を行ったが、十分に S/N の良いスペクトルを得ることができた。それらのスペクトルから得られた元素組成は玄武岩組成として概ね妥当なものであった。

今後は、使用目的に合わせた装置の改良を目指す。例えば、人間の接近が難しい地点の測定を行うために測定距離を延長したり、顕微カメラを搭載することで測定部のテクスチャーを観察しながら測定を行うといったことが考えられる。また、より精度の高い元素組成測定を行うために、岩石のスタンダード試料を充実させてゆく予定である。

キーワード: 元素組成, 元素分析装置, フィールド調査

Keywords: elemental composition, elemental analyzer, field research

スメクタイトの形態と成長速度との関係 The relationship of smectite crystal shape and growth rate

中田 英二^{1*}, 竹内 晋吾²
Eiji Nakata^{1*}, Shingo Takeuchi²

¹ 電力中央研究所, ² 電力中央研究所

¹Central Research Institute of Electric Power Industry, ²Central Research Institute of Electric Power Industry

スメクタイトは風化、熱水変質作用など低から中温(200℃以下)の水岩石反応で形成される。SEMをもちいて、火山ガラス表面のスメクタイトが年代経過とともに結晶集合体に成長する状況を観察した。放射性廃棄物処分のナチュラルアナログ研究では黒曜石の水和速度は数ミクロン/1000年と見積もられている。玄武岩質ガラスでは温度に依存して、4℃で15ミクロン/1000年、12℃の上昇で30ミクロン/1000年でパラゴナイト化するなどが報告されている。他方、深部でも13Maや3億年前の堆積物中に未変質ガラスが発見されている。水和層の生成は、ガラス中のSi含有量に依存しSi含有量が低い場合、水和層は形成されず、逆に高い場合、水和層が形成される。表面に形成された水和層の厚さ、すなわち水和層内での水の拡散がその後の水和反応を律速することも報告されている。スメクタイトの成長、その後の結晶形態の変化は水和層の生成が早くても、遅くても、水和に続いて起こると考えられる。鮮新世から現在までの軽石質の火砕流中の本質岩塊、および降下軽石中の火山ガラス表面のスメクタイトの観察をおこなった結果、以下に示すスメクタイトの形態変化の様子が得られた。

- 1、100年 - 1000年前の火砕流中のスメクタイト
風化部、新鮮部ともに火山ガラス表面にとともにスメクタイトは認められない。
- 2、3 - 4万年前のもの
1 μm以下の独立した団子状のスメクタイト集合体が生成。
- 3、9万年前のもの
1 - 2 μm前後団子状のスメクタイトが連結、ブレードは未発達。
- 4、12万年前のもの
1 - 2 μm前後のブレードの発達したスメクタイト集合体が生成。
- 5、より古いもの
ブレードが発達し、スメクタイト集合体が連結、ガラスを広範囲に埋めているもの。

これらの形態変化は、現在寒冷地の北海道と温暖多雨地域の九州の火山本質岩塊から確認できる。スメクタイトの形態が水岩石反応の時間スケールを与える一つになると推察する。

キーワード: スメクタイト, 軽石, 形態, 変質

Keywords: smectite, pumice, morphology, alteration

Cs 補正走査透過電子顕微鏡による造岩鉱物の原子像観察 Atomic columns in rock-forming mineral using Cs-corrected STEM

三宅 亮^{1*}, 藤昇², 福永啓一³

Akira Miyake^{1*}, Shoichi Toh², Keiichi Fukunaga³

¹京大・理, ²九大・電顕室, ³ファインセラミックスセンター

¹Kyoto Univ., ²Kyushu Univ., ³JFCC

Haidar らが球面 (Cs) 収差補正装置の開発に成功して以来 (Haider et al. 1998, Krivanek et al. 1999)、収差補正電子顕微鏡の開発がヨーロッパ、アメリカ、日本で精力的に進められている。その結果、非常に高い空間分解能をもつ電子顕微鏡が開発され、数十 pm 離れた 2 つの原子カラムを分離した像の撮影が可能となっている。また、試料上に照射する電子ビームの直径を 0.1nm 以下にすることが可能となっている。この電子ビームを用いて薄い透過電子顕微鏡 (TEM) 試料に照射し、試料を透過した電子を検出し、像を形成する走査透過電子顕微鏡法 (Scanning transmission electron microscopy, STEM) が広く用いられるようになった。この手法の中で、比較的高角度に散乱した電子を環状検出器を用いて検出する High angle annular dark field STEM (HAADF-STEM) は、検出した強度は試料中の原子の原子番号 (Z) のおよそ二乗に比例することが知られており (Pennycook & Jesson, 1991) 重い元素の直接観察に有効であることが知られている。一方、最近、Okunishi et al. (2009), Findlay et al. (2009, 2010) は、Annular bright field STEM (ABF-STEM) を提案し、この手法が結晶中の軽元素、酸素やリチウム、水素原子の直接観察に極めて有効であることを示した。多くの造岩鉱物は酸素原子の作るパッキングの中に陽イオンが存在する。そこで、本研究では、HAADF-, ABF-STEM 法を用いて、造岩鉱物の酸素原子を含めた原子像の直接観察を行ったのでその結果について報告を行う。

本研究で用いた鉱物試料は合成の forsterite, アメリカ合衆国 San Carlos 産 olivine, スペイン・アラゴン産 aragonite などである。これらの試料を、京都大学にある FEI 社製集束イオンビーム装置 Quanta 200 3DS を用いて TEM 試料作製を行い、(財)ファインセラミックスセンターにある、JEOL 社製 Cs 収差補正電子顕微鏡 JEM-2400FCS を用いて、HAADF-, ABF-STEM 実験を行った。

観察の結果、forsterite の a 軸方向からの観察では、HAADF-STEM においては、マグネシウム原子カラム、およびシリコンと酸素原子が並んだカラムを、ABF-STEM においては、酸素原子カラム、マグネシウム原子カラム、およびシリコンと酸素原子が並んだカラムを得た。本研究においても HAADF-STEM において酸素原子カラムを観察することはできなかった。次に、得られた STEM 像からコントラスト強度と原子番号の関係を調べた。本研究においては、ある原子カラムサイトにマスクをかけ、その中で最も強い (HAADF) / 弱い (ABF) 強度を用いて調べた。HAADF-STEM については、従来知られているのと同様、Z のおよそ二乗に比例した。当日は、さらに詳細な結果について発表を行う。

熱水性鉱石の流体包有物中に含まれる揮発性元素の同位体組成 Isotopic compositions of volatile elements trapped in fluid inclusions in hydrothermal ores

大城 光洋^{1*}, 佐野 有司¹, 高畑 直人¹, 鹿児島 涉悟¹, 石橋 純一郎²
Mitsuhiro Ooki^{1*}, Yuji Sano¹, Naoto Takahata¹, Takanori Kagoshima¹, Jun-ichiro Ishibashi²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻

¹AORI, the University of Tokyo, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University

流体包有物は鉱物結晶中に捕獲された液相と気相から成る数百 μm 程度の大きさの流体であり、鉱物形成時の熱水の情報を保存している。そのため、流体包有物中の化学組成を測定することで熱水性鉱石を形成した熱水の化学組成を知ることができる。熱水性鉱石の流体包有物中に取り込まれた希ガスは熱水の組成をよく反映しており、熱水の起源を知るためのトレーサーとして適している [1-3]。そこで本研究では熱水の起源を議論するために熱水性鉱石の流体包有物中に含まれる希ガスの同位体組成を測定した。また、さらに熱水性鉱石の形成過程に制約条件を与えるために、これまでほとんど報告のされていない鉱床鉱物の流体包有物中に含まれる窒素の同位体比も測定した。そしてこれらの元素の同位体比測定結果から熱水性鉱石の流体包有物中に含まれる揮発性元素の同位体組成に関する地球化学的研究を行った。

熱水性鉱石試料は 2011 年の 9-10 月に実施された NT11-20 航海の際に無人潜水調査艇ハイパードルフィン (JAMSTEC) によって沖縄トラフから採取された試料を用いた。流体包有物中の揮発性元素の測定は破砕法で行った。約 1g の試料をステンレス製クラッシャーにステンレス球と共に入れ、真空下で約 200 度に加熱することで鉱石試料表面の大気成分を取り除いた。そして室温で冷却後、クラッシャーを上下に振ることで試料にステンレス球を衝突させて破砕し、流体包有物に含まれていた揮発性成分をクラッシャー内部の気相へ抽出した。これらを真空ラインに導入し精製した後、²⁰Ne/⁴He を四重極型質量分析計 (Q-mass) で測定し、³He/⁴He を希ガス用質量分析計 (Helix) で測定した。また、同様の手法で流体包有物中の d15N と N₂/⁴⁰Ar を窒素同位体質量分析計 (MicroMass 3600) で測定した。その際、Q-mass を用いて ⁴⁰Ar/³⁶Ar と ⁴He/⁴⁰Ar の測定も行った。

³He/⁴He の測定結果は 1.17~7.38Ra (Ra は大気の ³He/⁴He = 1.4×10^{-6} [4]) となった。これらの値は大気と MORB (=8+1Ra [4]) の混合を示しており、熱水に対して上部マントル成分の寄与があることが確認された。また、³He/⁴He と ²⁰Ne/⁴He の結果から熱水中のヘリウムとネオンは上部マントルと間隙水の混合によって説明でき、間隙水の影響を大きく受けていることが示唆された。窒素は MORB ガラスやダイヤモンドの研究から上部マントルでは d15N = -3 ~ -7‰ の値をとると推定されている [5]。それに対して本研究で測定した熱水性鉱石は d15N = +2.47 ~ +4.16‰ とすべてのサンプルでプラスの値を示し、沖縄トラフの堆積物 (d15N = 3.5 ~ 6.1‰ [6]) と似た同位体比を示した。N₂/⁴⁰Ar は 54~112 と大気 (=85) と海水 (=55) の報告値に近い値をとり、⁴⁰Ar/³⁶Ar は $3.29 \times 10^2 \sim 9.92 \times 10^2$ と大気 (= 2.96×10^2) より高く MORB (>40000) よりも大幅に低い結果となった [7]。そして、熱水性鉱石の流体包有物中の窒素が上部マントル、堆積物、大気それぞれにどの程度起源を持つか、d15N 及び N₂/³⁶Ar、N₂/³He の値を用いることで混合の割合を推定した。その結果、窒素は 35-65% が堆積物起源であり、上部マントルからの寄与はほとんど見られなかった。この結果は沖縄トラフが厚い堆積物に覆われていることと、熱水中のヘリウムとネオンが間隙水の影響を大きく受けていることと調和的である。熱水性鉱石の起源を推定する際、流体包有物中の d15N、N₂/³⁶Ar、N₂/³He は堆積物の関与を知るうえで有用なトレーサーと成り得ると考えられる。

キーワード: 流体包有物, 希ガス同位体, 窒素同位体, 熱水性鉱石, 沖縄トラフ

Keywords: fluid inclusion, noble gas isotope, nitrogen isotope, hydrothermal ore, Okinawa Trough

埼玉県小川町, 金勝山石英閃緑岩と随伴ペグマタイト岩脈の地球化学 Geochemistry of the Kinshozan quartz diorite and associated pegmatite dykes, Ogawa-machi, Saitama Prefecture

川野 良信^{1*}Yoshinobu Kawano^{1*}¹ 立正大学地球環境科学部¹ Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

埼玉県小川町には金勝山を中心に石英閃緑岩とそれに貫入するペグマタイト岩脈が分布する(小勝ほか,1970; 牧本・竹内, 1992)。これらの岩石は金勝山石英閃緑岩体(以下, 金勝山岩体と略)と呼ばれ(小勝ほか,1970), 三波川帯の上のクリッペと考えられている(高木ほか,1989; 高木・藤森,1989)。金勝山岩体の石英閃緑岩からは 251±8 Ma の K-Ar 角閃石年代(小野,1983) 122 から 223 Ma の FT ジルコン年代(Watanabe & Suzuki,1978; 鈴木・渡部,1984), ペグマタイトからは 252±8 Ma の K-Ar 白雲母年代(端山ほか,1990) がそれぞれ得られており, ペルム紀の異地性花崗岩と位置づけられている。また, 金勝山岩体の Sr 同位体比初生値として 0.70415 と 0.70406 が報告されている(柴田・高木,1989)。高木・藤森(1989)は本岩体のモード組成, 全岩主成分組成, 鉱物化学組成を報告し, その帰属について論じた。さらに, 小林ほか(2000)は金勝山岩体と周辺に分布するペルム紀花崗岩の全岩化学分析値を報告し, 日本の古生代花崗岩類との比較検討を行った。このように金勝山岩体の岩石学的特徴は明らかにされているものの, 石英閃緑岩と随伴ペグマタイト岩脈を総合的に検討した研究は極めて少ない。本研究では石英閃緑岩およびペグマタイトの主成分・微量元素組成を報告し, それらの起源について考察する。

金勝山岩体は東から西にかけて, 富士山岩体, 金勝山岩体, 車山岩体の3つから構成される(高木・藤森,1979)。このうち, 富士山岩体からはペグマタイト岩脈を見出せなかったが, 金勝山岩体と車山岩体では複数のペグマタイト岩脈が明瞭な境界をもって貫入する様子が確認される。岩体を構成する石英閃緑岩は斜長石と角閃石を多く含み, 石英, カリ長石, 黒雲母, 不透明鉱物を伴う。ペグマタイトは石英, 斜長石, カリ長石, 白雲母, ザクロ石から構成される。石英閃緑岩の SiO₂ は 50 から 63wt% であり, ペグマタイトのそれは 75 から 78wt% であった。このように SiO₂ 量に組成ギャップが見られるものの, 多くの主成分組成では石英閃緑岩の変化傾向の延長上にペグマタイトが点示される。ただし, SiO₂ vs. A.S.I. 図や SiO₂ vs. FeO*/MgO 図では両者の変化傾向は必ずしも整合的ではない。微量元素組成では分散する元素が多いものの, SiO₂ の増加と共に Zr や Zr/Nb は石英閃緑岩で増加の傾向を示すが, ペグマタイトでの同含有量や同比は極めて低い。石英閃緑岩は低 K₂O/Na₂O, 低 Rb/Ba によって特徴づけられ, ペグマタイトはそれに比して同比が大きい。Nb vs. Y 図や Rb vs. (Y+Nb) 図では石英閃緑岩やペグマタイトはいずれも火山弧花崗岩の性質を示し, MORB で規格化したスパイダーグラムでも LIL に富み, HFS 元素に乏しい島弧に産する火成岩の特徴と一致する。

金勝山岩体の石英閃緑岩とペグマタイトの年代は誤差の範囲で重複し, ほぼ同時代に活動したと考えられる。今回得られた全岩化学組成からは両者が同一起源か否かを判断するには至っていないが, 変化傾向が異なる元素も認められることから別々の起源をもつ可能性がある。石英閃緑岩は K₂O/Na₂O が低く, Sr 同位体比初生値も低いことから, 未成熟な島弧で形成されたものと推定されている(小林ほか,2000)。今回検討したペグマタイトが異なる起源物質からもたらされたとした場合, 閃緑岩質マグマの貫入に伴い一部溶融した地殻物質を起源とすることも考えられる。仮定の段階ではあるが, このように考えれば金勝山石英閃緑岩体の形成場所は活動的大陸縁辺部も視野に入れなければならないだろう。

キーワード: 金勝山, 石英閃緑岩, ペグマタイト, 地球化学, 埼玉県

Keywords: Kinshozan, Saitama Prefecture, geochemistry, quartz diorite, pegmatite