

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400512

研究課題名(和文)沈み込むフィリピン海プレートの部分溶融と脱水反応の物理化学条件の解明

研究課題名(英文) Investigation of physicochemical condition of dehydration and partial melting of the Philippine sea plate

研究代表者

柴田 知之 (Shibata, Tomoyuki)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40332720

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：九州の火山フロントの第四紀マグマから、北から南に向かってSr/Y比が減少する傾向が認められた。Sr-Nd-Pb同位体組成の混合関係からは、フィリピン海プレート由来物質のマグマへの寄与が認められる。87Sr/86Sr比はSr/Y比とSiO₂含有量の増加に伴い減少する。また、Sr/Y比とSiO₂含有量の関係では、アダカイト質マグマと非アダカイト質マグマが異なる傾向を示す。これらの事から、この地域ではスラブメルト起源と、スラブ脱水流体起源の二つのおとなるマグマがそれぞれ独立に発生したこと、両マグマの混合が一部で起こった事が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Quaternary magmas at the volcanic front of Kyushu island show along arc variation of Sr/Y ratios, decreasing from the north to the south. Mixing relation of Sr and Nd isotopic composition of those magmas indicates that slab derived materials incorporated to the magmas. Sr isotope ratios decrease with increasing Sr/Y ratios and SiO₂. Additionally adakite and non-adakite show different trends in the relation of Sr/Y ratios and SiO₂. From these observation, it is emphasized that both of magmas generated by slab melting and slab dehydration were erupted, and a part of the magmas were mixed.

研究分野：地球化学、岩石学

キーワード：第四紀マグマ 微量元素 Sr-Nd-Pb同位体 スラブメルティング スラブ脱水流体 アダカイト

1. 研究開始当初の背景

島弧は海洋プレートのスラブがマントル内へ沈み込み、それに起因するマグマ生成場である。さらに、地殻物質(すなわちスラブ)の再注入によるマントルの化学組成変化の唯一の場である(e.g. Armstrong, 1968)。スラブは沈み込みに伴い脱水反応(e.g. Tatsumi, 1989; Shibata & Nakamura, 1997)又は、部分熔融(スラブルメルティング; e.g. Defant & Drummond, 1990)し、それぞれ、脱水流体、又は、メルトとなったスラブ物質をマントルウェッジに放出する。このことで、島弧マグマは発生し、さらにマントル深部へ沈み込むスラブの化学組成は変化する。従って、スラブ物質のマントルウェッジへの放出機構を詳細に研究することは、島弧マグマ成因のみならず、沈み込んだスラブによるマントルの化学組成変化傾向を理解する上で極めて重要である。加えて、太古代では現在と異なり多くの島弧でスラブルメルティングが起こっていたと考えられ(Martin, 1986)。スラブルメルティングの研究は太古代の地殻-マントル間の物質循環の理解にとっても重要である。

Defant & Drummond (1990)が、ザクロ石存在下での分化を示す著しく高い Sr/Y 比を根拠に、沈み込むスラブが“若くて(2500万年以下)熱い”島弧ではスラブルメルティングが起こると主張して以来、スラブルメルティングによって発生するマグマの研究が盛んになり、様々なテクトニックセッティングでスラブルメルティングに関連するアダカイトが観察されてきた(e.g., Petford and Atherton, 1995; Defant and Kapezinskas, 2001; Yogodzinski et al., 2001; Seghedi et al., 2004)。一方、下部地殻物質の部分熔融等、スラブルメルティング以外のメカニズムでも高い Sr/Y 比を持つマグマ、すなわち、アダカイトマグマが形成されることも知られており、様々な場におけるアダカイトマグマに関する研究の蓄積が強く求められている(Castillo, 2006)。さらに、アダカイト質マグマの活動には通常非アダカイト質マグマの活動が伴い、この原因としてアダカイトメルトで汚染されたマントルの部分熔融(e.g. Prouteau et al., 2000)やスラブの脱水流体の付加によるマントルの部分熔融メルトの影響(e.g. Prouteau et al., 2000; Sugimoto et al., 2006)地殻物質の混入(Kimura et al., 2005)等が可能性として指摘されているが、両マグマのが同じ場所で発生する機構やそれらの反応関係は未だに重要な研究課題の一つである。

2. 研究の目的

九州では、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う第四紀島弧マグマの活動が活発である。フィリピン海プレートは、九州-パラウ海嶺によって北東の若いプレート(26-15 Ma; Mahony et al., 2011)と南西の古いプレ

ート(60-40 Ma; Mahony et al., 2011)に分けられ、前者は西南日本弧、後者は琉球弧をそれぞれ形成する。西南日本弧では、多くのアダカイトマグマが報告されており(e.g., Morris, 1995; Kimura et al., 2005; Sugimoto et al., 2007; Ujike and Mashimo, 2009; Shibata et al., 2008)、九州では中部九州に位置する姫島、両子山、由布・鶴見岳・九重で高い Sr/Y 比を示すアダカイトが報告されていて、北から南に Sr/Y 比が減少し、阿蘇・霧島・桜島ではアダカイトは観察されない(Sugimoto et al., 2007; Shibata et al., 2008, 研究業績 9; Mahony et al., 2011; Zellmer et al., 2012)。Sugimoto et al. (2007)は、高い Sr/Y 比を持つアダカイトマグマが低い Sr/Y 比を持つマグマより枯渇した、Sr-Nd-Pb 同位体組成(低い Sr-Pb 同位体比、高い Nd 同位体比)を示すことから中部九州のアダカイトはスラブルメルトの寄与を受けたものであると主張している。また、Sugimoto et al. (2007)は、Sr/Y 比を低下させるのは、沈み込むスラブからの脱水流体の付加を受けたマントルの部分熔融液の寄与によるものだと主張している。この解釈が正しければ、霧島の地球化学的データを新たに分析したうえで、島弧縦断方向のマグマの微量元素及び Sr-Nd-Pb 同位体組成の変化傾向を用いることで、沈み込むスラブが部分熔融する場合と脱水反応を起こす場合、さらにはその両方の現象が起こる場合の、沈み込むスラブとマントルウェッジの物理化学的条件を議論することが可能になる。ただし、ここで問題となるのは、中部九州のアダカイトがスラブルメルト起源であるのか否かと言う事である。最近、Zellmer et al. (2012)は、中部九州の玄武岩質マグマの親マグマの含水量の島弧縦断方向での変化傾向から、下部地殻条件でのザクロ石が安定な苦鉄質マグマの分化物が中部九州のアダカイトマグマの起源だと主張しており、中部九州のアダカイトがスラブルメルトに関連するのか地殻物質に関連するのかをより厳密に検証する必要が、新たに発生してきている。本申請課題では、この問題点の解決のため、アダカイト中に含まれる苦鉄質包有物・捕獲岩を用いることを目論んでいる。特に、姫島では Zellmer たちが想定するアダカイトの起源物質と見なすことができる、ザクロ石含有苦鉄質捕獲岩があり、これらの地球化学的特徴を中部九州のアダカイトと比較検討することで、スラブルメルトの寄与の有無を検証できることが期待される。

これまで応募者は霧島を除く九州の火山フロントに分布する第四紀マグマの微量元素及び Sr-Nd-Pb 同位体組成のデータを蓄積しまた、Sr/Y 比が北から南に向け減少する(アダカイトマグマの特徴が減ずる)のは、中部九州ではスラブルメルトに加え、沈み込むスラブからの脱水流体の付加を受けたマントルの部分熔融液もマグマの起源に寄与しており、

その寄与の程度が北から南に向け増加するためだというモデルを提唱している。このようなハイブリッドマグマによるアダカイト成因論は、これまでほかの地域からも提唱されており (e.g. Prouteau et al., 2000; Robin et al., 2009), 中部九州に限定されるのではなく普遍的な現象であると考えられるが, これを実現するための物理化学的な過程や条件についての定量的理解はいまだ不十分である。従って, これまでの主に定性的だった九州の島弧縦断方向での地球化学的特徴の変化傾向の解釈を, 定量的な議論に発展させる必要がある。さらに, これまでの応募者の研究では, 九州の火山フロントの火山の内, 霧島に関しては手付かずであった。しかも, この火山に関する公表されている地球化学的データは乏しい状態にある。このため, 霧島で活動したマグマについても微量元素及び Sr-Nd-Pb 同位体組成のデータをそろえ, 九州における第四紀マグマの島弧縦断方向の地球化学的变化傾向をより詳細に理解する必要があると判断した。また, Zellmer et al. (2012) が中部九州のアダカイトはスラブメルト由来ではないという主張を始めたので, これに関して十分に検討するため, 特にザクロ石含有苦鉄質捕獲岩も研究対象にする必要がある。そこで, 霧島火山の第四紀マグマとアダカイト中の苦鉄質包有物・捕獲岩の主成分・微量元素及び Sr-Nd-Pb 同位体組成の分析を完了させ, 島弧縦断方向での地球化学的データの空白を埋めること, 中部九州のアダカイトにスラブメルトが寄与しているのか否かを明確にすることの2点を最低限の目標とする。これらを達成したうえで, 同位体組成から起源物質の特定と寄与の程度を決定し, 微量元素組成でのマグマ形成プロセスのモデリングなどを行うことで, 沈み込むスラブが部分溶融する場合と脱水反応を起こす場合, さらにその両方の現象が起こる場合の, 沈み込むスラブとマントルウェッジの物理化学的条件の定量的な議論をおこなうことを目的とする

3. 研究の方法

霧島火山の火山岩の採取, 中部九州のアダカイト中 (主に姫島, 由布・鶴見, 九重) に包有される苦鉄質の採取を行い, それらの全岩の主要・微量元素及び Sr-Nd-Pb 同位体組成の分析を行う。また, 姫島のザクロ石含有苦鉄質捕獲岩については, 鉍物分離を行い, Rb-Sr 及び Sm-Nd 系列での鉍物アイソクロン法での年代測定を試みる。これら, 新たな地球化学的データの分析と並行し, これまで応募者が蓄積してきたデータを用いて, 九州の火山フロントに分布するマグマの微量元素・同位体組成を用い, マグマの発生プロセスとその進化過程を定量的にモデル化する。

4. 研究成果

九州の火山フロントに沿って活動した第

四紀マグマから, 北から南に向かって Sr/Y 比が減少する傾向が認められた。Sr-Nd-Pb 同位体組成の混合関係からは, フィリピン海プレート由来物質のマグマへの寄与が認められる。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は Sr/Y 比と SiO_2 含有量の増加に伴い減少し, これは, アダカイト質マグマと玄武岩質マグマの結晶分化作用による成因関係に反する傾向である。また, Sr/Y 比と SiO_2 含有量の関係では, アダカイト質マグマと非アダカイト質マグマが明らかに異なる傾向を示す。このことは, これらのマグマは異なる過程で発生したものであり, 前者はスラブメルトを起源とし, 後者はスラブ脱水流体のマントルウェッジへの付加によって生じたマグマを起源とするものであることが明らかになった。がると考えられる。また, アダカイト質マグマの示す組成変化は, スラブメルトと非アダカイト質マグマの混合で説明できる。

ザクロ石の結晶分化作用による, アダカイト質マグマの形成について, 先小御岳火山の火成岩を用いた研究も行った。その結果, この火山のマグマは玄武岩組成から安山岩組成にかけて Sr/Y 比が上昇しアダカイトの特徴を示すようになり, 安山岩組成からデイサイト組成にかけては減少する傾向を示し非アダカイト質になることが明らかになった。また, Sr-Nd 同位体組成は分化の程度に関わらずほぼ一定であることも明らかになった。このことから, 先小御岳火山のマグマは, 深いマグマ溜まりに於いてザクロ石が結晶分化していたことが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計14件)

Shibata, T., Yoshimoto, M., Fjii, T. and Nakada, S., Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of the Quaternary Magmas from Pre-Komitake volcano, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 2015.

Yoshikawa, M., Pyhton, M., Tamura, K., Arai, S., Takazawa, E., Shibata, T., Ueda, A. and Sato, T., Melt extraction and metasomatism recorded in basal peridotites above the metamorphic sole of the northern Fizeh massif, Oman ophiolite, Tectonophysics, 650, 53-64, 2015.

Kaneko, K., Inoue, K., Koyaguchi T., Yoshikawa, M., Shibata, T., Takahashi T. and Furukawa, K., Magma plumbing system of the Aso-3 large pyroclastic eruption cycle at Aso volcano, Southwest Japan: Petrological constraint on the formation of a compositionally

stratified magma chamber, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 303, 41-58, 2015.

Helmy, H. M., Yoshikawa, M., Shibata, T., Arai, S. and Kagami, H., Sm-Nd and Rb-Sr isotope geochemistry and petrology of Abu Hamamid intrusion, Eastern Desert, Egypt: an Alaskan-type complex in a backarc setting, *Precambrian Research*, 258, 234-246, 2015.

Shibahara, Y., Kubota, T., Fukutani, F., Fujii, T., Takamiya, K., Ohta, T., Shibata, T., Yoshikawa, M., Konno, M., Mizuno, S., and Yamana, H., Application of mass spectrometry for analysis of cesium and strontium in environmental samples obtained in Fukushima prefecture, in *Radiological Issues for Fukushima's Revitalized Future*, Chapter 4, Springer in press. Sakuyama, T., Nakai, S., Yoshikawa, M., Shibata, T. and Ozawa, K., Progressive interaction between dry and wet mantle during high-temperature diapiric upwelling: constraints from Cenozoic Kita-Matsuura intraplate basalt province, Northwestern Kyushu, Japan, *Journal of Petrology*, 55, 1083-1128, 2014.

Helmy, H. M., Kaindi, R., , Shibata, T. Genetically related Mo-Bi-Ag and U-F mineralization in A-type granite, Gabal Gattar, Eastern Desert, Egypt, *Ore Geology Reviews*, 62, 181-190, 2014.

Eliwa, H.A., Breittkreuz, C, Murata, M., Khalaf, I. M., Bühler, B., Itaya, T., Takahashi, T., Hirahara, Y., Miyazaki, T., Kimura, J-I., Shibata, T., Koshi, Y., Kato, Y., Ozawa, H., Daas, M. A. and El Gameel, Kh., SIMS zircon U-Pb and mica K-Ar geochronology, and Sr-Nd isotope geochemistry of Neoproterozoic granitoids and their bearing on the evolution of the north Eastern Desert, Egypt, *Gondwana Research*, 25, 1570-1598, 2014.

Shitaoka, Y., Miyoshi, M., Yamamoto, J., Shibata, T., Nagatomo, T. and Takemura, K., Thermoluminescence age of quartz xenocrysts in basaltic lava from Oninomi monogenetic volcano, northern Kyushu, Japan, *Geochronometria*, 41, 30-35, 2014.

Shibata, T., Yoshikawa, M., Itoh, J., Ujike, O., Miyoshi, M. and Keiji, Takemura., Along-Arc Geochemical Variations in Quaternary Magmas of

Northern Kyushu Island, Japan, in *Orogenic Andesite and Crustal Growth* (Gómez-Tuena, A., Straub, S. M., and Zellmer, G. F., ed.), Geological Society of London Special Publications, 385, 15-29, 2014.

岩田知加・亀井敦志・岩田克彦・柴田知之・三谷明日華, 山陰帯島根県奥出雲に分布する阿毘緑花崗閃緑岩の火成活動および結晶作用, *地質学雑誌*, 119, 190-204, 2013.

Shibata, T., Suzuki, J., Yoshikawa, M., Kobayashi, T., Miki, D. and Takemura, K., Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic constraints on the origin and magmatic evolution of Quaternary lavas of Sakurajima volcano, southern Kyushu Island, Japan, *Bulltin of the Volcanological Society of Japan*, 58, 43-58, 2013.

Tsuchiya, N., Shibata, T., Yoshikawa, M., Adachi, Y., Miyashita, S., Adachi, T., Nakano, N. and Osanai, Y., Petrology of Lasail plutonic complex, northern Oman ophiolite, Oman: an example of arc-like magmatism associated with ophiolite detachment, *Lithos*, 156-159, 120-138, 2013.

Yoshikawa, M., Suzuki, K., Shibata, T., Ozawa, K., Geochemical and Os isotopic characteristics of a fresh harzburgite in the Hayachine-Miyamori ophiolite: Evidence for melting under influx of carbonate-rich silicate melt in an infant arc environment. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 107, 250-255, 2013.

[学会発表](計 17 件)

Shibata, T., Yoshimoto, M., Fujii, T., Nakada, S., Fractionation of garnet and amphibole of Pre-Komitake prior to Fuji and Komitake volcanoes, Japan, *Goldschmidt 2015*, (プラハ、チェコ共和国)

柴田知之・吉本充宏・藤井敏嗣・中田節也、先小御岳火山のマグマの分化にかかわるザクロ石・角閃石の分別作用、日本地球惑星連合大会、(千葉県・千葉市)
Yoshikawa, M., Python, M., Tamura, A., Arai, S., Takazawa, E., Shibata, T., Ueda, A. and Sato, T., Melt Extraction and Metasomatism Recorded in Basal Peridotites, Oman Ophiolite (プラハ、チェコ共和国)

土谷信高・柴田知之・芳川雅子・足立達朗・中野伸彦・小山内・康人, オマーンオフィオライト中の大陸衝上期花崗岩類の岩石化学的特徴, *日本鉱物科学*

会 2014 年年会 (熊本市, 2014 年 9 月)
柴田知之・吉本充宏・藤井敏嗣・中田節也, 先小御岳火山マグマの地球化学的特徴日本鉱物科学会 2014 年年会(熊本市, 2014 年 9 月)

柴田知之・吉本充宏・藤井敏嗣・中田節也, Trace elements and Sr-Nd isotopic compositions of the pre-Komitake volcano, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 (横浜市, 2014 年 5 月)

Handini, E., Hasenaka, T., Wibowo, H. D., Shibata, T., Mori, Y. and Harijoko, A., Evaluating slab-fluid contribution into inhomogeneous mantle source: geochemical variation of Central and East Java arc, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 (横浜市, 2014 年 5 月)

東山陽次・長谷中利明・柴田知之・芳川雅子・永尾隆, 西南日本弧、山口県大津地域に分布する中新世玄武岩類の成因、日本地球惑星科学連合 2014 年大会 (横浜市, 2014 年 5 月)

柴田知之, ケイ酸塩バルク試料中の微量元素組成の ICP-MS による分析とマグマの発生分化プロセスの解明への応用, プラズマ分光研究会第 92 回講演会 (福岡市, 2014 年 10 月)

Shibata T, Yoshikawa M, Itoh J, Ujike O, Miyoshi M & Takemura K, Quaternary Magma Genesis of Kyushu Arc, SW Japan: Inferred from along Arc Geochemical Variations. Goldschmidt Conference(サクラメント, USA, 2014 年 6 月)

Helmy, H.M., Yoshikawa, M., Shibata, T., Arai, S. and Kagami, H., Sm-Nd and Rb-Sr isotope geochemistry and petrology of Abu Hamamid intrusion, Eastern Egypt: An Alaskan-type complex in a backarc setting, 11th international conference of the geology of the arab world (カイロ, Egypt, 2014 年 4 月)

Handini, E., Hasenaka, T., Wibowo, E. D., Shibata, T., Mori, Y., Harijoko, A., Lateral variation of trace element of volcanic rocks from East Java, Sunda arc: estimation of slab fluid contribution, 日本地球惑星科学連合会 2013 年大会、(幕張、2013 年 5 月)

Handini, E., Hasenaka, T., Wibowo, E. D., Shibata, T., Mori, Y., Harijoko, A., Estimation of slab-derived fluid contributions to arc magmas: a study of across-arc and along-arc variations of trace elements and isotopes of volcanic rocks from Java island, Sunda arc, IAVCEI, (鹿児島市、2013 年 7 月)

柴田知之、芳川雅子、伊藤順一、氏家治、

竹村恵二、九州の火山フロントの第四紀マグマの地球化学的特徴の変化、日本地球惑星科学連合会 2013 年大会、(幕張、2013 年 5 月)

Shibata, T., Suzuki, J., Yoshikawa, M., Kobayashi, T., Miki, D., Takemura, K., The origin and magmatic evolution of Quaternary lavas of Sakurajima volcano, southern Kyushu Island, Japan: inferred from geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic constraints, IAVCEI, (鹿児島市、2013 年 7 月)

Shibata, T. Yoshikawa, M. Itoh, J. Ujike, O. Miyoshi, M. Takemura, K., The role of Philippine sea plate to the genesis of Quaternary magmas of northern Kyushu island, Japan, inferred from along-arc geochemical variations, AGU 2013 Fall Meeting, (米国・サンフランシスコ、2013 年 12 月)

柴田知之、芳川雅子、竹村恵二、伊藤順一、氏家治、三好雅也、九州火山フロント第四紀マグマの同位体・元素濃度組成からの成因解明、日本質量分析化学会同位体比部会、(竹原市、2013 年 12 月)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.vgs.kyoto-u.ac.jp/InetHome/shibata/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴田 知之 (SHIBATA, Tomoyuki)
京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：40332720

(2)研究分担者
該当なし

(3)連携研究者

小林 哲夫 (KOBAYASGU, Tetsuo)

鹿児島大学・理工学研究科・教授

研究者番号：70112430

芳川 雅子 (YOSHIKAWA, Masako)

京都大学・理学研究科・教務補佐員

研究者番号：00378605