

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400508

研究課題名(和文) 島孤産灰長石巨晶中の微小包有物の精密分析と起源マグマの推定

研究課題名(英文) Precise analyses of micro inclusions within anorthite megacrysts in island arc volcanoes and estimation of parental magmas

研究代表者

荒川 洋二 (ARAKAWA, Yoji)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：00192469

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：この研究では、南九州の竹島、中部地方の保基谷岳火山、伊豆弧火山に産する灰長石巨晶にターゲットを絞り、それらの結晶学的、鉱物化学的、岩石学的研究を実施した。その結果、各火山産の灰長石からは、Ca成分が高く均一に近い組成で、Feを含む端成分が少量認められた。また結晶内に微細なFeの包有物(自然鉄等)が確認され、還元環境下での生成を示唆している。また一部の灰長石結晶から、結晶構造においてSi、Alが無秩序配列をする準安定な結晶の存在が明らかになり、灰長石巨晶の生成が融点付近での圧力や温度の急激な振動によるオストワルド成長が推定された。このことは、灰長石生成条件に関して強い制約条件を与える。

研究成果の概要(英文)：Ca-rich plagioclase (anorthite) megacrysts occurs as disequilibrium crystals in island arc volcanic rocks. The purpose of this study is to clarify chemical and mineralogical characteristics of the anorthite megacryst and micro inclusions. Our study was focused on the anorthite megacryst in volcanic rocks in Take-shima (S. Kyushu), Hoki-yadake volcano (central Japan), and Miyakejima volcano in Izu volcanic arc. In the Take-shima volcano, anorthite megacrysts often contain micro inclusions that were identified to be native iron (Fe). Yellow colored anorthite megacrysts in Hoki-yadake volcano are thought to be a result of substitution of Fe for Al in crystal structure. In Miyakejima volcano, disordered distribution of Si/Al in anorthite crystal structure was identified. This finding is interpreted as metastable phase of the anorthite megacryst. The growth of the anorthite megacrysts were interpreted to be due to rapid changing of physical condition nearly at melting temperature of anorthite.

研究分野：岩石学、岩石化学、年代学

キーワード：灰長石巨晶 島弧火山 微小包有物

1. 研究開始当初の背景

日本列島や世界の代表的島弧火山岩類中には、限られた噴出物中に特徴的に灰長石巨晶が存在している。これらの結晶は、それを包有する各種溶岩の中では、組成的に非平衡であり、異質結晶として扱われる場合が多いが、それらに焦点を当てた研究は少なかった。我々の今までの伊豆弧や箱根などを中心とした研究結果から、灰長石巨晶は、組成的には均一(An mol.%: 90-97)で高い灰長石成分を持つこと、およびかんらん石巨晶もおよび包有物も均一に近い組成を示すことが明らかになった。また、三宅島や八丈島における玄武岩中の赤色灰長石巨晶からは、かんらん石(巨晶と同じ組成)、Caに富む輝石の微結晶包有物の他に、自然銅、自然真鍮、硫化物などの微小結晶、および炭化水素などが同定(検出)され、その結晶化学的意義や起源について議論がされてきた(Arakawa et al., 1992; Murakami, 1992; Nishida et al., 1994; Kimata et al., 1995)。国内外における研究(e.g., Sisson and Grove, 1993; Takagi et al., 2005; Hamada and Fujii, 2007; Hamada et al., 2010)から、いずれも灰長石巨晶(斑晶)は、高いH₂O含有量(~6 wt.%)をもつ初生的マグマから比較的浅い深度で晶出したとの結論が出されている。

このような研究状況の中、灰長石の化学組成や結晶構造解析はもとより、結晶内の微量元素の精密測定や、微小包有物(メルト包有物、微小鉱物)の精密分析・解析は総合的には進められておらず、それらの巨晶形成との関連性、起源マグマの化学的特徴など、未だ解明されてない問題も多い。これらの巨晶および微小包有物は、島弧火山活動におけるH₂Oに富むマグマの初生的性質、起源マントル、さらには沈み込む海洋プレート由来の流体相の化学的特徴を保存している可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、現在研究を継続している、九州南部の各種火山噴出物、中部地方~東北地方第四紀の火山岩を始め、従来から研究を行ってきた伊豆弧の火山噴出物中の灰長石、かんらん石、単斜輝石巨晶の主要・微量元素組成

に基づく鉱物化学的特徴や結晶学的特徴の解明を行う。また、それらのデータを基礎とし、微小包有物(メルト包有物、各種鉱物)の種類やその組成、各種同位体組成などの分析・解析を総合的に行う。本研究では、それら各種包有物の分析を高精度で行うとともに、それらの包有物(あるいは微小鉱物)の特徴やその起源についての推定を試みる。本研究での研究対象は、1)灰長石(かんらん石、単斜輝石)巨晶の主要・微量元素分析、結晶構造の解析、2)各種巨晶に包有される微小結晶の同定と結晶学的・鉱物化学的・同位体的特徴の解明、3)かんらん石、灰長石巨晶中のメルト包有物の主化学組成(+微量元素組成)、およびH₂O、CO₂などの揮発性元素含有量の分析、これらの結果を基に灰長石成分に富んだ灰長石巨晶、およびかんらん石、単斜輝石巨晶の起源マグマの推定と、組成が均一な巨晶の成因および生成機構について考察を試みる。

3. 研究の方法

この研究では特定な火山における野外調査・試料採取を基に、灰長石試料や母岩の詳細な顕微鏡観察、電子線マイクロアナライザー(EPMA)、X線回折装置、X線分析顕微鏡、プラズマ発光分光分析装置及び同質量分析装置(ICP、ICP-MS)、表面電離型固体質量分析装置(TIMS)、フーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)、などを用いて、灰長石巨晶の主要・微量元素分析、結晶構造解析、同位体分析(主にSr)、及び巨晶に包有される微小結晶およびメルト包有物などの同定と元素分析(揮発性元素分析も含む)を行い、上記研究目的の達成を目指す。

4. 研究成果

(1) 鹿児島県竹島および鬼界カルデラの薩摩硫黄島産の灰長石の特徴

鹿児島県竹島に産する灰長石巨晶についてEPMA等により化学分析を行った。その結果、竹島産の灰長石は、同じく鬼界カルデラの薩摩硫黄島産の灰長石とほぼ同様な結晶化学的特徴を有することが明らかとなった。さらに灰長石巨晶の表面分析から、結晶の成長形に添って配列した微小包有物に対して比較的大きな組成の変動が見られたが、それ

以外のほとんどの部分では極狭い組成範囲 (An mol. %=90-94) で波動累帯構造が見られることが明らかとなった。竹島火山産の灰長石では、少量ではあるが、 $\text{FeAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, $\text{CaFeSi}_3\text{O}_8$,

Si_4O_8 の端成分が認められた。また、微小包有物については、Fe を含む微結晶 (板上、空隙を伴った状態、塊状) あるいは自然鉄の存在は確認できた。また一部は Cu, S を伴っていた。これらは硫化物であるか等は明瞭に確認できなかったが、これらは、還元環境下でできたものと推測された。一方、灰長石の微細な組成の oscillatory zoning は、融点付近での温度、圧力等の振動を示していると考えられる。また、灰長石の部分ごとを薄い板状にし、パーツに砕き、それぞれの Sr 同位体比分析を行ったところ、結晶内での同位体比の差はほとんどなく、また周辺母岩の値ともほぼ一致する結果となった。

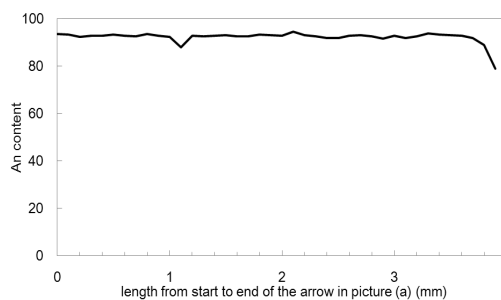
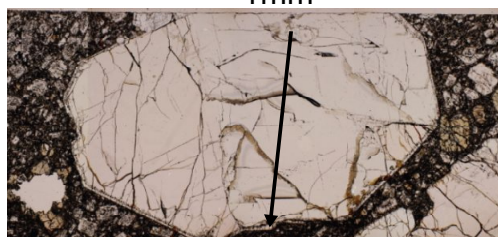
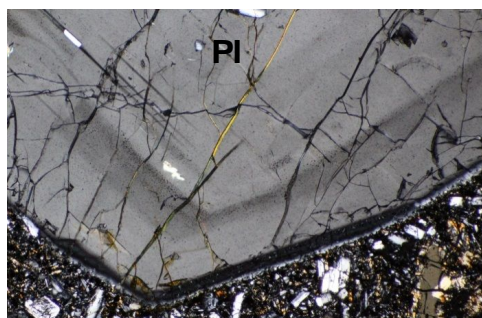
(2) 伊豆弧、三宅島火山産灰長石の結晶学的特徴

伊豆弧、三宅島には代表的な赤色を呈する灰長石巨晶が産することはよく知られている (Murakami et al., 1991; Kimata et al., 1993, Arakawa et al., 1992, Nishida et al., 1994)。三宅島赤場暁に産する灰長石巨晶中心部の壁開がなく、ガラス質な部分の結晶構造解析を行った。その結果長石の結晶構造の四面体席を占有する Al, Si が完全に無秩序配列した構造であることが判明した。一般に灰長石において、アルミニウム排除則により Al と Si は秩序配列しているが、今回初めて準安定な状態を示す長石の新しい構造が示された。これらの準安定な長石巨晶は、おそらく結晶の融点に近い物理化学条件下での温度、あるいは圧力の急激な振動により、オストワルドの熟成則により生成された可能性が示された。三宅島における灰長石中の微小包有物は自然銅のほかにも Ca に富む単斜輝石等が同定されている (Kimata et al., 1993)、中部地方や東北地方の火山に含まれるような硫化物の微結晶は確認できなかった。

(3) 中部地方、保基谷岳火山に産する灰長石巨晶

長野県、菅平西方の小規模の第三期末期の

保基谷岳火山は、玄武岩質安山岩であり、赤色を示す灰長石の他に、淡黄色を示す灰長石 (特徴的に楕円形) 巨晶が存在することが知られていた。灰長石巨晶は、伊豆地域の箱根火山産の灰長石と色や形等が類似していることが知られている (e.g., Matsui et al., 2015)。この火山の岩石は、巨晶を含むタイプと含まないタイプに分かれ。長石結晶は他の火山産の結晶に比べ、周辺部に組成のゾーニングが見られる場合があるが、化学組成等は顕著な違いが見られない。微小包有物は周縁部に列状に見られる場合が多い。



多くは An=90-92 mol. % である。上図に灰長石の組成の線分析結果を示す。壁開に沿って一部の組成の変化はあるが、それ以外はほぼ一定の An 値を示す。微小包有物等 (メルトインクルージョン、微小結晶) も顕微鏡下では認識できるが、分析できる大きさのものは少なかった。長石同様、単斜輝石、斜方輝石の化学分析も実施したが、斜方輝石に A, B 両タイプに違いが見られた。灰長石の化学

分析結果から、FeOwt.%が黄色を示すもので0.5~0.6、透明、白色を示すもので、0.4~0.5%と低い結果となった。この結果は伊豆弧の透明な灰長石結晶でも同様に低い値を示した。黄色を示す灰長石のFeの量については、Matsui et al. (2015)で箱根産の灰長石について、結晶化学的な検討が行われており、Fe³⁺がAl³⁺を一部置換している結果であると結論付けている。今回の保基谷岳産の淡黄色灰長石も同様な要因で、色調の変化を示していたものと推測される。また灰長石における端成分分析結果もCa, AlのサイトにFeが入る成分の存在が明らかになっている(Kimata et al., 1995)。また母岩の全岩化学組成やSr同位体組成なども比較した結果、おそらく2~3種類の異なったマグマ(1つは灰長石巨晶を含んだマグマ)の混合により形成されたものと判断された。Sr同位体比の灰長石と母岩との一致は、起源に関して同系列のマグマの存在を示唆しており、起源マグマに近い値を示していると言える。近隣地域の火山の同位体組成も類似している結果となった。また、灰長石を取り出し、洗浄(リーチング)等を施したものを集め、ICP-MSで組成分析を行った結果、Fe以外にも微量ではあるがCuなどの存在が確認された。これらは、微小結晶に含まれていた可能性もあるが、長石の結晶構造に占有されていた可能性もある。

(4) 結論

日本各地域の火山産の灰長石巨晶についての研究から、以下の事項が明らかとなった。

結晶内に結晶成長に伴った、微小包有物が形成されている場合が確認された。それらはFe(Cu)などを含む微結晶である。伊豆弧の三宅島火山産灰長石の一部より、Al, Siの無秩序配列が確認され、準安定な長石構造が発見された。この結果は、巨晶が融点近辺での温度、あるいは圧力等の急激な振動により、オストワルド熟成則により生成されたことを示している。竹島産の灰長石からもFeを含む包有物の形状が異なる4種類観察され、一部に硫化物の存在も確認されている。中部地方の保基谷岳や箱根火山産の淡

黄色で楕円形に近い形を示す灰長石の生成要因として、Fe³⁺がAl³⁺を一部置き換えていることが推定できた。また微小結晶についてはFeを含む結晶(硫化物?)である可能性がある。

灰長石のICP-MS分析等では、Fe以外にもCuなどの元素が検出される場合があり、Cu, Znなどの元素が起源マントルから親マグマを介して運ばれた可能性を示している。親マグマのそれらの組成は比較的高かったものと推測される。また灰長石巨晶生成は、還元環境下で生じた可能性が示された。

Sr同位体比の長石の部分分析と母岩の分析値は一致し、親マグマ、あるいはマントルの同位体比を直接反映しているものと推定された。

この研究で微小包有物の直接的な分析結果は必ずしも充分ではなかったが、以前の研究成果などを含めると、それらに含まれる元素が結晶生成、あるいはマグマの起源マントルに重要な関与があった可能性を示唆している。灰長石形成で、なぜ物理条件等が一時的に振動する条件が生じたかについて等は今後の課題でもある。

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)

Ikehata, K., Chida, K., Tsunogae, T. and Bornhorst, J., Hydrothermal native copper in ocean island basalt from the Mineoka Belt, Boso Peninsula, central Japan, *Economic Geology*, 2016, 111, 783-794

DOI:10.2113/econgeo.111.3.783

査読あり

Matsui, T., Buisman, I., Lampront, G.I. and Redfern, S.A.T., Yellow and colorless anorthite megacrysts from Hakone volcano: Structural controls on coloration, *Goldschmidt 2015 Abst.*, Vol., Cambridge Publications Ltd., 2015, 25, 2051

<http://goldschmidt.info/2015/upload/s/abstracts/finalPDFs/2051.pdf> 査読あり

Oshika, J., Arakawa, Y., Endo, D., Shinmura, T. and Mori, Y., A rare basanite distribution in the northern part of the Izu-Bonin volcanic arc, Japan: Petrological and geochemical constraints, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2014 270, 76-89

DOI:10.1016/j.jvolgeores.2013.10.008 査読あり

Echigo, T., Hoshino, M., Kimata, M., Shimizu, M., Matsui, T. and Nishida, N., Single crystal X-ray and electron microprobe study of Al/Si disordered anorthite with the low content of albite, Zeitschrift für Kristallographie, 2014, 229, 435-449. 査読あり

DOI:10.1515/zkri-2013-1713

Matsui, T., Arakawa, Y., Kimata, M., Nishida, N., Hoshino, M. and Echigo, T., Anorthite megacrysts from Take-shima, Kagoshima Prefecture, Japan: oscillatory zoning and micro inclusions, Proceed., of the 21st Meeting of the Mineralogical Association, 2014, 21, 380.

http://www.ima2014.co.za/documents/IMA2014%20ABSTRACT%20VOLUME_2.pdf

査読あり

[学会発表](計 20 件)

Ikehata, K., Chida, K., Tsunogae, T., Bornhorst, J., Hydrothermal native copper in oceanic island basalt from the Mineoka Belt, Boso peninsula, Japan. 2015, 2015 Geological Society of America, Annual meeting, Baltimore, USA, 11月2日~6日

Arakawa, Y., Suzuki, T. and Kouta, T., Petrochemical investigations of the Chichibu tonalite pluton, central Japan: implicatins for magmatic activities in a collision zone of Izu-Bonin arc against Honshu arc. 2015, IAGR Annual Conference on Godwana to Asia, 10月21日~23日

Mastui, T., Arakawa, Y., Kimata, M., Hoshino, M., Echigo, T., Anorthite megacrysts from Take-shima, Kagoshima Prefecture, Japan: oscillatory zoning and micro inclusions. 2014, 21th IMA (Intern. Mineralogical Association), Johannesburg, South Africa, 9月1日~5日

Arakawa, Y., Oshika, J., Endo, D., Shinmura, T. and Mori, Y., Generation

mechanism of the nanzaki basanite in northern part of Izu Volcanic arc, Japan: petrological and geochemical constraints, 2013, IAVCEI 国際火山学会議、鹿児島県民文化センター(鹿児島県鹿児島市) 7月20日~24日

Matsui, T., Arakawa, Y., Kimata, M., Nishida, N., Hoshino, M. and Echigo, T., Micro inclusions in anorthite megacrysts from Takeshima, Kagoshima Prefecture, Japan, 2013, 日本鉱物科学会 2013 年年会. 筑波大学(茨城県つくば市) 9月11日~13日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒川洋二 (ARAKAWA, Yoji)
筑波大学・生命環境系・教授
研究者番号: 00192469

(2) 研究分担者

松井智彰 (MATSUI, Tomoaki)
鹿児島大学・教育学部・准教授
研究者番号: 40295233

(3) 連携研究者

池端 慶 (IKEHATA, Kei)
筑波大学・生命環境系・助教
研究者番号: 70622017