

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2023

課題番号：21K20386

研究課題名（和文）高結晶量マグマだまりでのマグマ混合過程の解明：島弧火山の噴火モデル再構築に向けて

研究課題名（英文）Elucidation of the mixing process at mushy magma reservoir: Toward the reconstruction of eruption model of island arc volcanoes.

研究代表者

岩橋 くるみ (Iwahashi, Kurumi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究員

研究者番号：60909810

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、雲仙火山の有史時代噴火の噴出物中の集斑晶の分析により、高結晶量マグマだまりの数百年スケールでの温度・化学組成変化を明らかにした。また、マグマだまり内には高温マグマの貫入などにより、一時的に温度化学組成不均質が生じることを解明し、この高温領域が噴火の開始条件や噴火様式に影響を及ぼしうることを示した。また、研究を進めるなかで、電子顕微鏡による鉱物中の微量元素組成の分析手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、火山噴火の発生および推移予測に対して大きく貢献する。本研究で明らかになったマグマだまり内部の不均質および噴火へもたらす影響は、火山噴火の発生と推移をモデル化する上で、重要な手がかりとなる。さらに、本研究で得られたマグマだまり内部の温度・化学組成の時間変化は、今後、過去の噴火の噴出物を使って将来のマグマだまり条件を推定し、発生しうる噴火を予測するための指標となりうる。

研究成果の概要（英文）：In this study, analysis of the crystal clots in the ejecta of the historical eruptions of the Unzen volcano revealed that magma chambers with high crystal content can maintain temperature and chemical composition on a scale of several hundred years. In addition, it was found that during this time, the intrusion of high-temperature magma into the magma chamber temporarily created a partial high-temperature region, which led to heterogeneity in the temperature and chemical composition within the magma chamber. Furthermore, it was suggested that this high-temperature region could have an effect on the conditions for the eruption style. In addition, in the course of this research, we proposed a method for analyzing trace element composition using an electron microprobe analyzer.

研究分野：火山岩石学

キーワード：マグマだまり 集斑晶 マグマ混合 噴火前駆過程

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

島弧火山の噴火発生要因の一つに、浅部マグマだまりへの高温マグマの貫入がある。この高温マグマの貫入によって発生するマグマ混合は、高結晶量マグマだまりの粘性を下げ、火山噴火のトリガーとなると考えられている。したがって、マグマだまりの粘性を支配する温度・化学組成を知ることは、火山噴火の発生条件を明らかにする上で重要である。ここで、近年、この浅部マグマだまりは、結晶量が 50 vol.%以上と高い結晶量を持つことが明らかになりつつある。

火山噴出物中の複数の結晶の集合である集斑晶は、その組織の特徴から、この高結晶量マグマだまりの温度・化学組成・結晶量を残している可能性が高いと考えられる。そのため、この集斑晶の解析により、マグマだまりの温度・化学組成条件を明らかにできると期待される。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、マグマだまりの温度・化学組成情報を保持する集斑晶を使って島弧火山下のマグマだまりの温度化学組成条件およびその変化を明らかにし、それが噴火の前駆過程および噴火様式にどのような影響をもたらすのかを明らかにすることである。

### 3. 研究の方法

本研究では、雲仙火山の有史時代3噴火の噴出物を試料として用いた。雲仙火山は、九州北西部に位置し、有史時代に3回噴火している。このうち、1663年噴火(古焼)と1792年噴火(新焼)は溶岩流を流出させ、最新の噴火である1991-95年噴火(平成)は、溶岩ドームの形成とその崩壊による火砕流の発生を繰り返した。これらの噴出物に対して研磨薄片を作成し、EPMA(東京大学地震研究所: JEOL-JXA8800R、地質調査総合センター: JEOL-JXA-iHP200F)による鉱物・ガラスの定量分析、およびその結果の解析を実施した。また、EPMA(東京大学地震研究所: JEOL-JXA-8530FPPlus)により元素マップを取得し、集斑晶全体に占める各鉱物とガラスの割合を算出した。また、鉱物中の微量元素組成分析手法の開発に際して、分析結果の検証のため、地質調査総合センターのLA-ICP-MSによる微量元素組成分析を実施した。LA-ICP-MSは、レーザーアブレーション装置(New Wave Research NWR213)と四重極型質量分析計(Agilent 7700x)から成る。

### 4. 研究成果

#### (1) 高結晶量マグマだまりの数百年スケールの温度・化学組成変化の解明

1663年噴火、1792年噴火、1991-95年噴火のそれぞれ集斑晶について、集斑晶を構成する角閃石から、高結晶量マグマだまりのメルト温度・化学組成を見積もった。加えて、粒間メルトの化学組成から、同マグマだまりのメルト化学組成を直接決定した。その結果、得られたメルト温度・化学組成のうち、高結晶量マグマだまりを代表すると考えられる、最も低温側のメルトの温度・化学組成は、いずれの噴火でもほとんど同様であった。このことから、過去約300年間の時間スケールにおいて、高結晶量マグマだまりの中では、そのマグマだまりを代表する温度・化学組成はほとんど変化しないということを明らかにした。

#### (2) マグマだまり内の温度・化学組成不均質と噴火様式の関係の解明

本研究で実施された集斑晶の解析の結果、1991-95年噴火および1792年噴火の集斑晶については、集斑晶を構成する角閃石および粒間メルトに化学組成バリエーションがみられた。これは、マグマだまり中に部分的に温度・化学組成不均質が存在していたことを示す。さらに、本研究では、この部分的な温度化学組成不均質が、それぞれの噴火の直前の噴火における高温マグマの貫入によってもたらされた可能性を示唆する結果を得た。すなわち、ある噴火時に浅部マグマだまり中へ貫入した高温マグマが、浅部マグマだまり中のマグマと部分的に混合し、浅部マグマだまり内部に、周囲のマグマと比較して温度の高い領域を形成する。この領域は、その後の噴火時まで保持されうる。具体的には、1991-95年噴火時のマグマだまりには、その直前の噴火の1792年噴火時の高温マグマの貫入によって形成された、周囲のマグマよりも温度が高く、かつSiO<sub>2</sub>含有量が低い領域が存在していた。

さらに本研究では、各噴火時のマグマだまりの温度・化学組成条件、噴火前のマグマ混合時の混合端成分マグマの推定と、それらを用いた噴火前駆過程モデルを構築し、それぞれ比較した。その結果、これらの、マグマだまり中に存在していた不均質が、火山噴火の噴出物の温度・化学組成、ひいては噴火様式に影響をもたらした可能性を示す結果を得た。一例として、噴火時のマグマの化学組成は類似している一方で、噴出時の温度は異なっていた1991-95年噴火と1792年噴火を比較した場合、マグマだまり内部に存在していた高温の不均質部分が噴火前のマグマ混合に端成分として関与したかどうか、噴出物の温度の違いを生み、結果として、噴出したマグマが溶岩ドームとして流出したか、それとも溶岩流として流出したかの違いを生んだと考えられる。

一方で、噴火時のマグマ温度は近いものの、噴火時の化学組成が互いに異なっている、1663年噴火と1792年噴火を比較したところ、いずれの噴火も、噴火前に高温マグマと、マグマだまり

中の低温マグマの二種類のマグマが混合しており、かつ高温マグマと低温マグマの温度は、両噴火間で同様であった。したがって、この場合は、マグマだまり内部の温度化学組成不均質以外の要因が噴火時の噴出物の化学組成の違いをもたらしたと考えられる。この要因については、今後引き続き検討が必要である。

(3) 斜長石中のストロンチウム濃度定量分析手法の提案と、集斑晶中の斜長石への適用によるマグマだまりの温度制約

電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いた斜長石中のストロンチウム (Sr) の非破壊定量分析手法を提案した。本研究では、先行研究 (e. g., Ujike, 2001) の手法を改良・発展させ、より狭いビーム径における非破壊かつ簡便な斜長石中の Sr 濃度の定量分析を可能にする方法を提案した。分析は検量線法により実施し、検量線作成に際しては、Sr 濃度が知られている 2 つの標準試料と、濃度が均質であることが先行研究により報告されている天然の斜長石を標準試料として使用した。分析時の電流、電圧、ビーム径などを変化させ、最も良い分析値を得られる条件を検討し、決定した。次に、斜長石の二次標準試料を使い、LA-ICP-MS による分析結果と比較することで、得られた検量線を使った分析における分析精度を確認した。

さらに、この分析手法を雲仙 1792 年噴火のクリスタルクロット中の斜長石に適用し、得られた Sr 濃度を使用した拡散計算を実施することにより、マグマだまりの温度のさらなる制約を実施した。

本手法は、将来的に斜長石中の Sr を利用した様々な取り組み、例えば、マグマ供給系の組成の変遷やマグマ溜りでのマグマ蓄積のタイムスケールなどの解明に広く貢献できる。今後、さらに本手法を改良・改善していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 岩橋くるみ	4. 巻 -
2. 論文標題 Decoding pre-eruptive process at mushy magma reservoir by crystal clots : A case study of Unzen historical eruptions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 東京大学博士学位論文	6. 最初と最後の頁 1-215
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Kurumi Iwahashi, Atsushi Yasuda
2. 発表標題 Decoding pre-eruptive process at mushy magma reservoir: case studies of Unzen 1991-95,1792 and 1663 eruptions
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kurumi Iwahashi, Atsushi Yasuda
2. 発表標題 Condition of mushy magma reservoir that affects on the eruption styles: Case studies of Unzen historical eruptions
3. 学会等名 International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior Scientific Assembly 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kurumi Iwahashi, Atsushi Yasuda
2. 発表標題 Decoding pre-eruptive process at mushy magma reservoir: case studies of Unzen 1991-95,1792 and 1663 eruptions
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩橋くるみ, 安田敦
2. 発表標題 雲仙火山有史時代噴火の噴火準備過程：クリスタルクロットからの制約
3. 学会等名 日本火山学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩橋くるみ, 安田敦
2. 発表標題 Heterogeneity of mushy magma reservoir and its role in the pre-eruptive process: A case study of Unzen historical eruptions.
3. 学会等名 Goldschmidt2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩橋くるみ, 西原歩, 安田敦
2. 発表標題 EPMAによる斜長石中のSr濃度定量分析手法の提案
3. 学会等名 日本鉱物科学会2023年年会・総会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩橋くるみ, 安田敦
2. 発表標題 不均質なマグマだまりがもたらす火山噴火様式への影響の検討：雲仙火山有史時代噴火の例
3. 学会等名 日本火山学会2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
スイス	スイス連邦工科大学チューリッヒ校		