

## 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：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400509

研究課題名(和文)複数種斑晶の拡散現象を用いたマッシュ状珪長質マグマ噴火準備・誘発モデルの高精度化

研究課題名(英文) Improved understanding for preparation and triggering processes of eruptions involving mush-like felsic magmas-Use of diffusion profiles of multiple phenocrysts phases-

研究代表者

鈴木 由希 (Suzuki, Yuki)

早稲田大学・教育・総合科学学術院・講師

研究者番号：00374918

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：新燃岳2011年噴火の誘発過程を研究した。結晶に富み移動しにくいマッシュ状珪長質マグマが高温マグマ注入を受け噴火したと、2種のマグマの貯蔵系を明らかにした。その上で噴火最盛期に3度起きた準プリニー式噴火を対象に、混合から噴出のタイムスケールが、噴出時期といかなる相関を持つか検討した。鉱物内の元素拡散速度の大きい磁鉄鉱を用い、噴火直前に起きた高温マグマの注入・混合のみを対象とした。準プリニー式噴火は間歇的であったので、間歇的な高温マグマの注入が噴火を誘発した可能性も検討した。堆積物の噴出のタイミングも重要であったので、本質物の石基組織の解析により1度目と2度目の堆積物の境界も明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Eruption triggering process was studied for the Shinmoe-dake 2011 eruption. First, I clarified two points; 1) the eruption was triggered by the remobilization of mush-like felsic magma through injection of high temperature magma, and 2) the plumbing system of the two magmas that formed the final product (mixed magmas). Second, I discussed timescale from magma mixing to eruption and their correlation with eruption timing, focusing on sub-Plinian events in the climactic stage in the 2011 eruption. For this purpose, I examined diffusion profiles of magnetites originated from the felsic magma. Because the sub-Plinian events occurred intermittently, I took intermittent injection of high temperature magma into account. Due to the importance of eruption timing in this study, I newly clarified the boundary between the first and second sub-Plinian deposit by using groundmass textures of the juvenile material.

研究分野：火山岩石学

キーワード：新燃岳 マグマ供給系 マッシュ状珪長質マグマ マグマ混合 噴火誘発過程 拡散プロファイル

## 1. 研究開始当初の背景

噴火誘発の機構と時間スケールの解明は、火山学における重要課題の一つである。斑晶に富む (>40vol.%) “マッシュ状マグマ” は、多様なテクトニクス場や組成で確認されている。日本の火山噴出物の大部分を占める安山岩～デイサイトの多くが “マッシュ状珪長質マグマ” を源としており、この種のマグマの噴火準備過程や噴火誘発過程の理解は極めて重要である。およそ  $10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  以上の “マッシュ状珪長質マグマ” はマグマ溜まりから自力で移動・噴出できないこと、また、再移動・噴出のために斑晶に乏しい高温マグマとの混合と粘性低下が必要であると提案されてきた。

これまでマグマ混合による噴火誘発は、噴火直前に起きるものと想定されてきた。しかし、固体に近い特性を持つマッシュ状マグマについては、噴火直前の他に、それ以前から、噴火に向けた準備が進んでいた可能性がある。本研究では、このような背景を踏まえ、噴火直前のマグマ混合の他に、それ以前の数年～数百年の高温マグマ注入履歴を、鉱物内の元素拡散速度の異なる複数種の斑晶の累帯構造から解釈し、それを噴火準備過程や噴火誘発過程のモデルに組み込んで行くことを目指した。

対象とした新燃岳 2011 年噴火については、詳しい噴火観測が行われると共に、噴出物の系統的採取も行われている。1月の末には、3度の間歇的な準プリニー式噴火の活動 (1/26 午後、1/27 午前、1/27 午後；噴出率は互いに類似) や火口での溶岩蓄積など、最盛期の活動が起きた。噴出物の基礎的な岩石学的解析により、当初から、マッシュ状珪長質マグマの関与が判明していた。本研究では、数年～数百年前からの高温マグマの注入履歴が、最終的な噴火における噴出の順序に、どう影響したかを探ることも当初の目的としていた。その点においても、噴火の時系列の明瞭な新燃岳噴火は望ましい研究対象であった。

## 2. 研究の目的

実施順で記述する。(1)の課題は、(3)の実施に不可欠なものであった。(2)の課題は当初計画していた、マグマ溜まりでの現象解明とは外れるものである。しかしながら(3)においては、鉱物内元素拡散速度の大きい磁鉄鉱を用いると共に、それにより高温マグマの注入・マグマ混合と、間歇的な準プリニー式噴火誘発との関連を探ろうとしたため、解決しておく必要があり、本研究の課題として新たに取り組むこととなった。

### (1) 2011 年噴出物の岩石学的特徴とマグマ供給系

マッシュ状珪長質マグマの再移動過程について議論するため、噴火に関わったマグマの特徴や噴火誘発過程、関わったマグマ (端成分マグマ) 毎のマグマ溜まりの状態につい

て理解する必要があり、これを第一の目的とした。

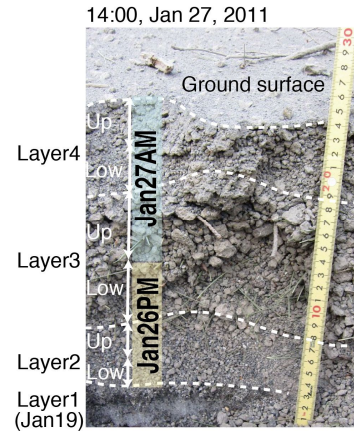


図1 1回目と2回目の準プリニー式噴火の堆積物(2度目の準プリニー式噴火直後に撮影)。

### (2) 準プリニー式噴火期の堆積物と3度のイベントの対応関係

2011年噴火は推移が良く観測された望ましい研究対象であった。しかし最盛期に3度起きた準プリニー式噴火に関しては、火砕物の堆積構造の特徴(図1)や、2度目のイベント後に現地調査が始まったなどの理由で、1度目と2度目の境界の特定がなされていなかった。この解決のため、火道でのマグマ上昇速度を反映する石基組織と、噴出率の変化を反映する噴煙高度データを比較するアプローチ法をとった。

### (3) マグマ混合から噴出のタイムスケールの噴出時期による変化-準プリニー式噴火期の例-

本研究の成果でもある Suzuki et al. (2013b)により、新燃岳 2011 年噴火について様々なことが解明された(成果の(1)参照)。その中で、特に課題(3)と直結することとして次が分かった。一つは、噴火が、マッシュ状で移動しにくい珪長質マグマに高温マグマが注入し引き起されたものであることである。もう一つは、最後のマグマ混合～噴出のタイムスケールが、0.7～15.2 時間程度であることである。これはマグマ混合で生成した噴出物中の、低温マグマ由来の磁鉄鉱斑晶の MgO 拡散プロファイル調べることによって解明された(図2)。しかしながら、この検討は、2度目の準プリニー式噴火の終了時に地表(図1の写真的地表)に存在した単一の軽石に限った検討であった。それは Suzuki et al. (2013b)は、2011 年噴火を通じた噴出物の岩石学的特徴と、マグマ供給系の特徴の解明が主目的であったためである。溶岩サンプル中の磁鉄鉱については、準プリニー式噴火と直結しないが、関連事柄が Suzuki et al. (2013b)で議論された。溶岩もマグマ混合により生成したものである。溶岩の磁鉄鉱の MgO プロファイルは(準プリニー式噴火開始～溶岩噴出までの時間で)均質化しうるこ

が計算により示され、リム部に見られる MgO の正累帯構造は定置時の冷却によるものであることが議論された。

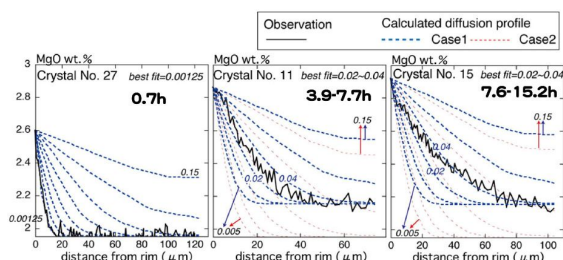


図2 2度目の準プリニー式噴火(1月27日午前)の終期に堆積した茶色軽石中の3つの磁鉄鉱のMgO拡散プロファイルと、混合～噴出時間の計算(Suzuki et al., 2013b)。

本課題では、混合～噴出までのタイムスケールが、噴火時期によって変化するか否かを、磁鉄鉱中のMgOプロファイルを用い、(さらに溶岩のようにMgOの均質化の起きていない)準プリニー式噴火期を対象に検討した。この種の検討は、噴火誘発過程のモデル化において極めて重要である。混合～噴出の時間が活動を通し一定であれば、マグマ混合は繰り返し起こっていることになる。また準プリニー式噴火は間歇的に起きていることから、間歇的に高温マグマが注入・混合している可能性も想定した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 2011年噴出物の岩石学的特徴とマグマ供給系

噴火最盛期の岩石サンプルの他に、火山灰中の本質物質も検討の対象とした。主に全岩化学組成・斑晶鉱物組成の分析を実施した。加えてマグマ貯蔵深度解明のために、高温高压実験や、斑晶メルト含有物の含水量測定も実施した。

#### (2) 準プリニー式噴火期の堆積物と3度のイベントの対応関係

準プリニー式噴火堆積物の下位から上位に向けて網羅的にサンプル採取を行った。1度目と2度目の準プリニー式噴火の堆積物は、堆積構造により下位からLayer2・3・4と分類されるが、各々をlowerとupperのサブユニットに分類し検討した(図1)。本質火砕物(軽石+より緻密な粒子)の見かけ密度測定を行った。見かけ密度の算出に必要な、火砕物の体積測定には、3次元スキャナーを使用した。

#### (3) マグマ混合から噴出のタイムスケールの噴出時期による変化-準プリニー式噴火期の例-

混合～噴出までの時間が噴火のタイミングと相関を持つかを調べるため、連続堆積物(Layer2-5; 図1)を対象にした。全体を網羅

するため、まずはLayer2-low・3-low・4-low(lowは各ユニットの下半分)を代表として分析した。本研究の成果(2)(準プリニー式噴火期の堆積物と3度のイベントの対応関係; Suzuki et al., in prep.)に基づき、2-low, 3-lowは1回目の、4-lowは2回目の準プリニー式噴火に対応する噴出物と考えた。

成果(1)(2011年噴出物の岩石学的特徴とマグマ供給系; Suzuki et al. (2013b))においては、混合～噴出のタイムスケールを算出するのに、10cm大の軽石ブロックを使用していた。一方、この課題では堆積物より火山灰サイズ(500-1400 $\mu$ m)の部分抽出し、そこに含まれる本質粒子や本質物由来の遊離結晶を使用した。この手法は、様々な履歴の磁鉄鉱粒子を、その実際の比率に応じてランダムサンプリング出来る点と、1枚のスライドガラスにマウント出来る点で、岩石サンプルよりも有利であった。粒子の最小サイズを500 $\mu$ mとしたのは、大きな磁鉄鉱の方が共存したメルトの熱・化学的変化履歴を読み取るのに望ましく、さらに磁鉄鉱の最大サイズは300 $\mu$ m程度であることが分かっており(成果(1)(2011年噴出物の岩石学的特徴とマグマ供給系; Suzuki et al. (2013b)))これらに基づき決定した。一方最大サイズは、EPMAで分析可能な厚みの最大値から算出したものである。

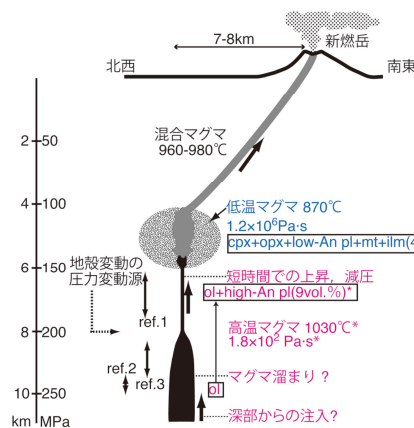


図3 噴出物の岩石学的解析と、地殻変動の圧力源の位置から推定された、新燃岳2011年噴火のマグマ供給系。

### 4. 研究成果

#### (1) 2011年噴出物の岩石学的特徴とマグマ供給系(Suzuki et al., 2013b; 図3)

噴火の時期によらず、全く同じ2種のマグマが関与し、それらが噴火の直前に混合し噴出した。2種のマグマは、噴火直前まで異なる深度に存在した。深部にあった相対的に高温の玄武岩質安山岩マグマ(1030 $^{\circ}$ C、SiO<sub>2</sub>=55 wt.%)は、10kmあるいは、さらに深いところに存在した。それが5km深の珪長質安山岩マグマのマグマ溜まり(870 $^{\circ}$ C、SiO<sub>2</sub>=62-63 wt.%)に向けて上昇してきて、約1対1の比率で混合した(混合物は960-980 $^{\circ}$ C、SiO<sub>2</sub>=57-58 wt.%)。低温マグマの、ごく一部は、高温マ

グマと混合せずに、白色軽石を生み出した。混合直前のマグマの結晶量は、高温マグマの9vol.%に対し、低温マグマでは43vol.%である。低温マグマは、いわゆるマッシュ状(お粥状)であり、マグマ溜まりでも $10^{16}$ Pa·sという高い粘性を有していた。したがってマッシュ状マグマが地表に噴出するには、高温マグマとの混合により粘性が低下し、再流動化することが不可欠であった。再流動化に至るまでの間には、段階的に高温マグマの注入が繰り返された可能性がある。課題(3)で使用した磁鉄鉱よりも、鉱物内元素拡散速度の小さい鉱物種を用いて、この問題を解決していく必要がある。

## (2) 準プリニー式噴火期の堆積物と3度のイベントの対応関係

見かけ密度は、Layer2-lowからLayer3-lowまではほぼ一定である(図4)。Layer3-upでは下位層と同等の見かけ密度の火砕物に加え、見かけ密度の高いものも存在する。Layer4においては、Layer2-lowからLayer3-lowと同等程の見かけ密度である。

1度目と2度目の準プリニー式噴火の間には、(2度目と3度目の間ほどではないものの)噴煙高度が低くなる時期があった。この時期にはマグマの噴出率が低下していたことになる。これは(火道径の大きな変化がないとすれば)マグマ上昇速度が低下し、その結果として、脱ガスしたマグマが火道に存在したことを示唆する。解析した噴出物の採取地点には、噴出率の低下した時期に噴出した火山灰が見られない(図1)ので直接確認できないが、噴出率低下時期には、見かけ密度の高い本質物が放出されていたはずである。その後、2度目の準プリニー式噴火開始の瞬間に火道に存在した脱ガスマグマは、2度目のイベント初期に放出されたはずである。それゆえLayer3-upが2度目の準プリニー式噴火の開始時期と結論づけた。

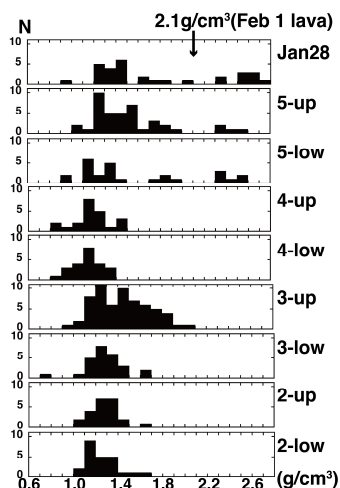


図4 新燃岳2011年噴火最盛期の本質物の見かけ密度。

見かけ密度の分析は、噴火最盛期の他の時期の噴出物(3度目の準プリニー式噴火、1/28のブルカノ式噴火、火口蓄積溶岩)に対して

も合わせて行った。これを石基結晶組織データと融合することで、マグマ上昇過程の進化に関する成果として、別途出版予定である(学会発表の)。

## (3) マグマ混合から噴出のタイムスケールの噴出時期による変化-準プリニー式噴火期の例-

図5は、噴火ユニット毎の磁鉄鉱斑晶のMgOプロファイルである。1ユニットにつき20個の斑晶を分析した。リムから20 $\mu$ mまでは組成変化が顕著であるので5 $\mu$ mステップ、それよりも内側では10 $\mu$ mステップで分析した。全ての結晶は、比較的均質なコア部と、その外側の逆累帯構造をなす外縁部に分類される。外縁部の逆累帯構造は全ての結晶に共通するが、これは噴火直前の最も顕著な混合イベントにより形成されたものである(Suzuki et al., 2013b; 本研究の成果(1))。コア部のMgO量の多様性は、最も顕著な混合イベントに先立つ、マッシュ状珪長質マグマの温度・メルト組成を反映している(Suzuki et al., 2013b; 本研究の成果(1))。外縁部のMgO量の最大値が、どの噴火ユニットでも似ているのは、2011年のマグマ混合が、共通の端成分マグマの同じ混合比で起きたとする、成果(1)の内容と調和的である。

MgOプロファイルは斑晶毎に変化するが、ユニット毎に特徴がある。逆累帯構造をなす外縁部の厚みは、Layer2-lowで最も薄い。これは最初に噴出した2-lowで、最も混合~噴出のタイムスケールが短いことを示唆するのかもしれない。言い換えれば、マグマ混合は主に準プリニー式噴火の最初に起き、その後は混合マグマの均質化が進んでいった可能性がある。このモデルの検証のため、3度目の準プリニー式噴火や1月28日のブルカノ式噴火の産物についても、検討してみる必要がある。

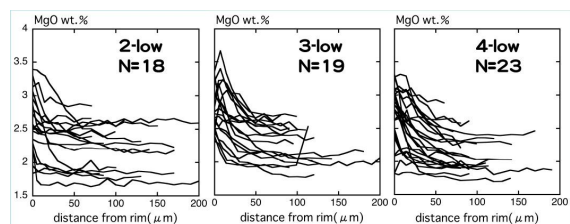


図5 代表ユニットからランダムに選び出した磁鉄鉱斑晶のMgO累帯構造。

比較的均質なコア部を比較すると2-low・3-low・4-lowの中では、2-lowが最も組成が多様であり、MgOの最低値は他のユニットよりも低い。加えて2-lowのコア部の組成分布はバイモーダルである。これは、噴出直前の最も顕著な混合イベントに先立ち、マッシュ状珪長質マグマ内に、温度・メルト組成多様性があったことを示唆する。2-lowのMgOの最低値が他よりも低いことは、高温マグマの先駆的注入による影響を最も受けていない部分(例えば珪長質マグマ溜まりの最上部)が、最初の

噴火で全て出尽くしたことを示唆するかもしれない。

#### <引用文献>

Shimbori, T. and Fukui, K., Rep. Coord. Comm. Predict. Volcan. Erup., 108, 189-196 (2012).

Nakamura, M., Geology, 23, 807-810 (1995).

Nakada, S., Nagai, M., et al., Earth Planets and Space, 65, 475-488 (2013).

Suzuki, Y. and Fujii, T., Journal of Volcanology and Geothermal Research, 198, 158-176 (2010).

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文](計3件)

Suzuki, Y., Nagai, M., Maeno, F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Shimano, T., Ichihara, M., Kaneko, T., Nakada, S., Precursory activity and evolution of the 2011 eruption of Shinmoe-dake in Kirishima volcano-insights from ash samples-, Earth Planets and Space, 査読有, Vol. 65, 2013a, pp.591-607, doi:10.5047/eps.2013.02.004.

Suzuki, Y., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Nakada, S., Fujii, T., Syneruptive deep magma transfer and shallow magma remobilization during the 2011 eruption of Shinmoe-dake, Japan-Constraints from melt inclusions and phase equilibria experiments-, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 査読有, Vol. 257, 2013b, pp.184-204, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2013.03.017.

鈴木由希, 噴火時のマグマプロセスを噴出物組織から探る手法 過去10年間の研究進展のレビュー, 火山, 査読有, 印刷中.

##### [学会発表](計5件)

鈴木由希・市原美恵・前野 深・長井雅史・中田節也, 新燃岳2011年噴火最盛期における本質物の見かけ密度変化, 日本地球惑星科学連合2014年大会(2014-4-28, 横浜市・パシフィコ横浜).

Suzuki, Y., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Nakada, S., Fujii, T., Syneruptive deep magma transfer and shallow magma remobilization during the 2011 eruption of Shinmoe-dake, Japan-Constraints from melt inclusions and phase equilibria experiments-, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS)2014(2014-7-31, 札幌市・ロイトン札幌ホテル), 招待講演.

Suzuki, Y., Nagai, M., Maeno, F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Shimano, T., Ichihara, M., Kaneko, T., Nakada, S., Precursory activity and evolution of the 2011 eruption of Shinmoe-dake in Kirishima volcano-insights from ash samples-, COV8(2014-9-10, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia).

鈴木由希・坂井剛善・市原美恵, マグマ混合から噴出のタイムスケールの噴出時期による変化-新燃岳2011年噴火の準プリニー式噴火期の例-, 日本地球惑星科学連合2016年大会(2016-5-24, 千葉市・幕張メッセ).

鈴木由希・市原美恵・前野 深・長井雅史・渋谷 瞳・清水翔平・中田節也, 石基マイクロライト組織から見た2011年新燃岳噴火最盛期におけるマグマ上昇過程の進化, 日本地球惑星科学連合2016年大会(2016-5-26, 千葉市・幕張メッセ).

##### [図書](計0件)

##### [産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

鈴木 由希 (SUZUKI, Yuki)

早稲田大学・教育・総合科学学術院・講師  
研究者番号: 00374918