

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成31年度（2019年度）研究進捗評価用〕

平成28年度採択分  
平成31年3月18日現在

浅部マグマ過程のその場観察実験に基づく準リアルタイム火山学の構築

Development of near-real time volcanology based on in-situ  
observation experiments of shallow magmatic processes

課題番号：16H06348

中村 美千彦（NAKAMURA, MICHIIHIKO）

東北大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

火山直下まで上昇したマグマは、減圧・脱水により大きな過冷却状態となり、結晶が晶出し、粘性が急激に上昇する。この「減圧凍結」区間をマグマがいかに通過するかで、噴火の成否や噴火様式が決定される。本研究では、様々な手法でこの過程を再現・その場観察し、その結果と物理モデルを組み合わせて準リアルタイム噴火推移予測モデルの構築を行う。

研究分野：地球惑星科学・火山学

キーワード：火山・マグマ・噴火・脱ガス・石基

1. 研究開始当初の背景

火山噴火は極めて多彩な様式を示し、そのメカニズムの解明は火山学の中心的課題であるとともに災害軽減にも資する。マグマは地下深部の高圧状態で発生するので、地表に向けて火道を上昇する間に大きな減圧を受け、溶け込んでいた揮発性成分（主に水）の溶解度低下による発泡とリキダスの上昇により、密度は最大約4倍変動し、粘性は最大で $10^5$ 倍程度増加する。この急激で大きな物性変化（マグマ凍結過程）は、特に火道浅部でごく短時間に集中的に起こり、火山噴火の多様性を生じていると同時に、噴火活動の推移予測を困難にしている根源的な要因となっている。しかし、マグマ粘性を決定する脱水結晶作用の速度過程や上昇や爆発の駆動力を支配する脱ガス過程の理解は、未だ不十分のままである。

2. 研究の目的

火山噴火の成否や様式を支配するマグマ凍結過程を実験的に再現し、結晶化と脱ガスの速度を定量化する。その結果を実際の火山噴出物のとの比較を通して検証し、最終的にはマグマの上昇を表現した物理モデルと組み合わせることで、噴火モデルの高度化を行う。このモデルを実際の火山噴火現象に応用し、噴火の成否や様式の予測力を検証することで、準リアルタイム噴火推移モデルを構築する。

3. 研究の方法

実際の火山噴出物の解析と実験による定

量化では、次の3つを柱として研究を遂行している。①噴火様式の推移が地球物理学的によく観測された活火山噴出物の、透過型電子顕微鏡（TEM）・電界放出型走査電子顕微鏡（FE-SEM）を用いた高分解能解析、②世界初となるFE-SEM・TEM下でのその場観察による、マグマからの結晶核形成・成長メカニズム・速度の解明、③高温マグマ変形装置用高温電気炉を設計・製作し、粘弾性測定レオメーターヘッドと組み合わせたマグマの捩り剪断変形実験装置を開発することで、流動する苦鉄質マグマからの脱ガスメカニズムの実験的解明。これらの解析・実験で得られたデータ・素過程から火道流物理モデルの高度化を図り、そこから予想される噴火推移を、岩石の特性（岩石磁気的性質）に基づいた迅速なマグマ活動度の観測手法を比較し検証を進める。最終的には、物理モデルと噴出物解析から準リアルタイムで噴火推移を予測する手法を確立する。

4. これまでの成果

まず、天然噴出物の解析により、次の2つの重要な知見が得られ、世界に先駆け定義づけおよび概念を提唱した。（1）噴火推移が詳細に観測され、基本的なマグマシステムの構造が良く研究されている霧島火山新燃岳2011年噴火を主な対象とし、10 nm以下までの幅広いスケールでの鉱物相同定・結晶サイズ分布を行い、結晶サイズ分布が離散的になることや、1 nm～数十 nmサイズの結晶核前駆体を発見した。これらの観察に基づき、“ウルトラナノライト”および“ナノライト”

を世界に先駆けて定義した (Mujin et al, 2017)。この知見を基に阿蘇山の 2014-2015 年の灰噴火およびストロンボリ式噴火で噴出した火山灰とスコリアを観察したところ、スコリアや一部の火山灰のガラス部分にはナノ結晶が埋めつくされるように晶出していることが明らかとなり、ナノ結晶が破碎に影響を与えていることを示唆する結果が得られた (Nakamura et al., 2018, AGU)。

(2) 桜島で歴史時代に 3 回繰り返された大噴火 (プリニー式噴火) の噴出物を岩石学的に調べたところ、いずれも、浅部火道に対応する深度で滞留したことを示す減圧結晶作用が発見された。大噴火の直前にマグマが火道までせり上がり、そこにしばらく充填されるプレチャージという概念を初めて提唱した。これは今後の防災対応にも役立つ成果である (Araya et al., 2019)

実験的研究では FE-SEM 下でのその場観察実験により、マグマの核形成・成長その場観察に世界で初めて成功している (無盡&中村 2018 鉱物科学会、Nakamura 2018, ISSCGF)。これに加えて、圧力も制御できるガラスチューブ法による heat & quench 実験により、ナノライト、ウルトラナノライトの結晶化に成功し、条件 (温度・圧力・時間) を定量的に決定している。また TEM 下での加熱実験でも、磁鉄鉱の核形成のその場観察に成功している。

マグマの振じり剪断変形実験装置の開発では、装置の開発・組み立ておよび粘度液による粘性測定キャリブレーションにも成功し、苦鉄質マグマのレオロジー性に対する脱ガス・ナノライト結晶作用の効果を調べる体制が整った。また出発物質の前処理方法と実験条件も確立した。

本研究で得られた成果を組み込むことで火道流物理モデルの高度化が進められている。まず粘性増加に伴う上昇するマグマの流動様式の変化 (粘性流動から摩擦滑り) を組み込んだモデルを開発した (Okumura and Kozono, 2017)。今後、さらに本研究で得られた成果を組み込むことで高度化を進める。

岩石の特性 (岩石磁氣的性質) に基づいた迅速なマグマ活動度の観測手法の開発では、火山噴出物の帯磁率の測定方法を確立し基本的な性質を把握した。それを新燃岳の 2017-2018 年に起こった一連の噴火の噴出物に適用したところ、詳細な記載岩石学的な研究結果とよく一致する変化が即時観測できている (Priyambodo et al., 2018, JpGU)。

##### 5. 今後の計画

マグマ結晶化の素過程と、その火山噴火様式との対応について、実験・天然の記載的研究とも順調に進んでおり、それぞれ論文化を進める段階に入っている。流動するマグマからの脱ガス効率の定量化のための実験についても、その手法はほぼ確立されつつある。今

後、実際のマグマ物質の実験を進め、火道流モデルに組み込むことが可能な実験データをまとめていく。

##### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む) 主要発表論文

1. N. Araya, M. Nakamura, A. Yasuda, S. Okumura, T. Sato, M. Iguchi, D. Miki, N. Geshi, Shallow magma pre-charge during repeated Plinian eruptions at Sakurajima volcano, Scientific Reports, 2019
2. N. Geshi, K Nemeth, R Noguchi, and T Oikawa, Shift from magmatic to phreatomagmatic explosions controlled by the lateral evolution of a feeder dike in the Suoana-Kazahaya eruption, miyakejima Volcano, Japan. Earth and Planetary Science Letters, 511, 177-189, 2019
3. K Uesugi, T Nakano, M Uesugi, and A Tsuchiyama, Development of X-ray Micro-CT System using Open Type Microfocus X-ray Source for Rock and Mineral Samples. Microscopy and Microanalysis 24 (S2), 210-211, 2018
4. K. Matsumoto, M. Nakamura, Syn-eruptive breakdown of pyrrhotite: a record of magma fragmentation, air entrainment, and oxidation, Contributions to Mineralogy and Petrology, 2017
5. M. Mujin, M. Nakamura, and A. Miyake, Eruption style and crystal size distributions: Crystallization of groundmass nanolites in the 2011 Shinmoedake eruption, American Mineralogist, 2017 (**The topic of a Highlights and Breakthroughs article**)
6. S. Okumura, T. Kozono, Silicic lava effusion controlled by the transition from viscous magma flow to friction controlled flow, Geophysical Research Letters, 2017

##### 受賞

1. 奥村聡：日本火山学優秀学術賞第 2 号
2. Mayumi Mujin, Michihiko Nakamura Sunagawa Poster Award (International Symposium and School on Crystal Growth Fundamentals, 2018)
3. Michihiko Nakamura: Earth, Planets and Space Excellent Reviewer for 2018
7. ホームページ等：該当なし