

令和元年5月20日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01314

研究課題名(和文) 噴火規模と噴火様式の時間変化の原因を探る：マグマ溜りの状態変化の物質科学的研究

研究課題名(英文) What controls the style and intensity of a volcanic eruption?: An analytical study on the change of physico-chemical condition of magma chamber

研究代表者

安田 敦 (YASUDA, Atsushi)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：70222354

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：富士火山のおよそ1万年前以降の24回の噴火(爆発的噴火18回、溶岩流噴火6回)の火砕物試料を分析して、活動したマグマの温度・組成と噴火規模・噴火様式との関係を調べた。噴火規模とマグマの状態・組成とは明瞭な関係が見られないものの、噴火様式とマグマの状態・組成とは関係性が認められた。これらの結果について、マグマ溜まりからのマグマの上昇開始の要因と上昇時のマグマ溜まりの相互作用という2つの観点から検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物理観測から得られる情報をマグマの性質に翻訳し、噴火前に噴火の様式や規模の推定を行うためには、まず、マグマの性質と火山噴火の様式や規模との関係性を明らかにする必要がある。本研究は、多数の火山噴出物の解析を通じて、火山噴火をもたらすマグマの挙動の理解し、噴火の推移予測を目指して行われた。

研究成果の概要(英文)：Pyroclastic samples of 24 eruptions (18 explosive and 6 lava flows) over last 10000 years from Fuji volcano were studied to investigate the relationship between the physico-chemical properties of magmas and intensity and style at their eruptions. Although no clear relationship between the intensity of the eruption and the physico-chemical properties of the magma was found, the eruption style seemed to be affected by physico-chemical properties of the magma. These results were examined from two points of view; what caused the upward migration of the magma from the main magma chamber, and whether or not the ascending magma interacted with another magma body along the way to the surface.

研究分野：マグマ学，火山学

キーワード：富士火山 マグマ溜まり 温度 含水量 噴火様式

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

火山研究において、噴火の推移予測が現在最も重要な課題の一つとなっている。近年の多くの火山噴火の場合、様々な物理観測手法によって噴火の開始自体は事前に捉えられている。しかし、いったん開始した噴火がどのように推移するのか、どのような規模に発展するのかの予想はほとんどできていない。この問題は将来的には気象予報のように物理モデルの数値計算と地殻変動や地震等の物理観測の組み合わせによって解決がはかれるであろうが、そのためには、数値計算の初期条件や境界条件となる「マグマ溜りの状態」が既知となっている必要がある。また、「マグマ溜りの状態」を表すのに、どのような物理量が有効であるかを把握しておく必要もある。この目的のためには、火山噴出物から読み出した過去のマグマ溜りの状態とその時の噴火の様式や規模との比較が不可欠である。

本研究は、「火山の噴火様式や規模はマグマ溜まりにおけるマグマの状態を反映している」という考えを検証するために行われた。本研究に先だって実施された、珪長質マグマの大規模噴火時のマグマ溜まりの状態を調べた始良カルデラ噴火についての研究では、爆発性が高い状態のマグマがカルデラ噴火開始前に準備されていたことが確認された。もし、火山噴火に普遍的にこうした噴火の準備過程が確認できれば、マグマ溜まりの継続性を仮定することによって、将来の火山噴火の規模や様式をある程度予測することが可能となるであろう。これが本研究を開始した動機である。

マグマ溜まりにおける揮発性成分量、特に含水量はマグマの爆発性に大きな影響を与えることが知られている。したがって、研究においては噴火前のマグマ中の水の量を精度良く見積ることが極めて重要である。斑晶メルトインクルージョンの含水量測定が容易に行える顕微反射分光法が開発されたことと、鉍物-メルト組成平衡を使った実用的な熱力学的含水量計が普及したことによって、独立な2つの方法でマグマの含水量を評価することが可能になり、精度の良いデータを使って議論をおこなう環境が近年になってようやく整ったことも、研究の開始を後押しした。

2. 研究の目的

富士火山のような玄武岩質マグマの活動においても、噴火の規模や様式と噴火前のマグマの物理化学状態との関係がみられるかを調べることが、本研究の第一の目的である。また、時系列の火山噴出物の分析に基づいてマグマ溜りの状態変化を捉えることが可能かについても注目した。富士火山では多様な噴火様式が見られるとともに、噴火頻度も高く、新鮮で多様な試料が採取できるという利点がある。また、首都圏の西側の近郊に位置し、噴火予測についての重要性と緊急性が高い。

3. 研究の方法

活動時期と噴火の規模が異なる18の爆発的噴火と6つの溶岩流噴火から試料を採取して、それぞれから斑晶鉍物を分離し、EPMAを用いて斑晶とメルトインクルージョンおよび石基ガラスの組成分析を行った。加えて、XRFによる全岩化学組成分析を行った。これら分析結果に鉍物学的温度計を適用して、それぞれの噴火で活動したマグマ溜まりの温度環境を推定した。また、FT-IRで分析可能な大きさの斑晶メルトインクルージョンが存在する場合には、それらをFT-IR反射分光分析し、斑晶中にメルトインクルージョンが捕獲された時点のマグマの含水量を求め、鉍物組成とメルト組成の平衡から計算されるマグマ含水量との比較を行った。

斑れい岩質岩片を捕獲していたり、バイモーダルな斑晶組成頻度分布によって、複数のマグマ溜まりの関与が確認できる噴火の場合には、可能な限りそれぞれのマグマ溜まりの環境や噴火過程について検討した。

4. 研究成果

(1) 噴出物の特徴と噴火規模との関係

S-10以降（最近3500年間）の山頂噴火と山腹噴火（側火山噴火を含む）の降下火砕物（テフラ）試料18個を分析した。噴火の規模については噴出量総量から推定しており、最大と最小では噴出量総量は2桁程度異なっていると思われるが、正確な数値は得られていないため、規模の大・小という簡単な分類になっている。試料の分析から得られた特徴量と噴火の規模を比較した結果を図1に示す。下位から上位へは時代順に並べてあり、薄黄色のハッチをかけた噴火が規模の大きな噴火である。

特徴としては、全岩組成、鉍物組成ともに噴火規模とは明瞭な関係が見いだせないことである。砂沢噴火(2900 cal BP)以降、宝永噴火(AD 1707年)の前まで、全岩化学組成はややSiO₂に乏しくなる方向に変化している。富士火山の爆発的噴火としては最大規模の宝永噴火で噴出した玄武岩質マグマは、それ以前数回の規模の小さな噴火よりも分化した組成であった。18回の噴火には規模の大きな噴火が数回含まれているが、噴火の規模と全岩化学組成には明確な対応関係は見られない。斜長石斑晶とかんらん石斑晶の組成についても同様である。分化の程度の低い斑晶が規模の大きな噴火で噴出しているわけではない。推定誤差がまだ大きく精度について今後改善する必要があるものの、熱力学的に算出したマグマの温度と含水量についても、噴火規模との相関は見られなかった。

この原因として、噴火規模は噴火に関与する複数のマグマによってコントロールされている

可能性を指摘したい。図1で明らかなようにほとんどの噴火において、斜長石斑晶組成のバイモーダルな頻度分布という形でマグマ混合の痕跡が観察できる。また、そうした噴火試料ではかんらん石斑晶に逆累帯が観察される。こうした観察から、先行研究で全岩化学組成の検討から提唱されているように、富士山ではほぼ普遍的に2種類のマグマが混合して噴火していると考えられる。深部からマグマが上昇して浅部のマグマと干渉した場合、浅部のマグマの量や温度の影響を受けて噴火が促進されたり抑制されたりすることが予想される。その結果、噴火の規模や様式は複雑になると考えられる。このため、単純にマグマの含水量や温度が高いことが、噴火規模の大きさにはつながらないだろう。

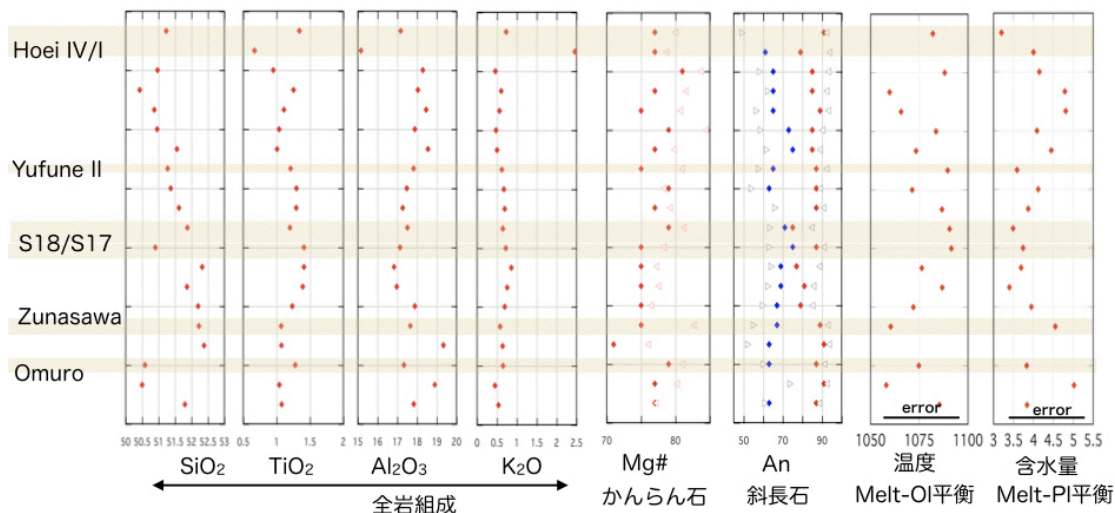


図1. 降下火砕物の全岩組成，斑晶組成とそれらから計算された温度および含水量。斜長石のAn値ではバイモーダルな組成頻度分布が観察された。このため、低An側のピークを青で、高An側のピークを赤で示した。

(2) 噴出物の特徴と噴火様式との関係

溶岩流噴火の噴出物として焼野溶岩（AD 700年頃）とボーリングコア試料5枚（新富士期の活動ではあるが年代未詳）の計6試料を分析し、前述の爆発的噴火によるテフラ試料との比較を行った。

溶岩流試料とテフラ試料では、組成範囲が明確に分離しているわけではなく、両者が重なっている部分も多い。SiO₂量という観点からは両者の組成範囲はほぼ等しいが、同じSiO₂量で見るとTiO₂やK₂Oが溶岩流試料の方がやや高めの傾向にある(図2)。この結果は溶岩流のほうが、テフラ試料よりも高圧下で分化したマグマの寄与が大きいことを示唆している。言い換えると、浅部マグマの影響が小さい。

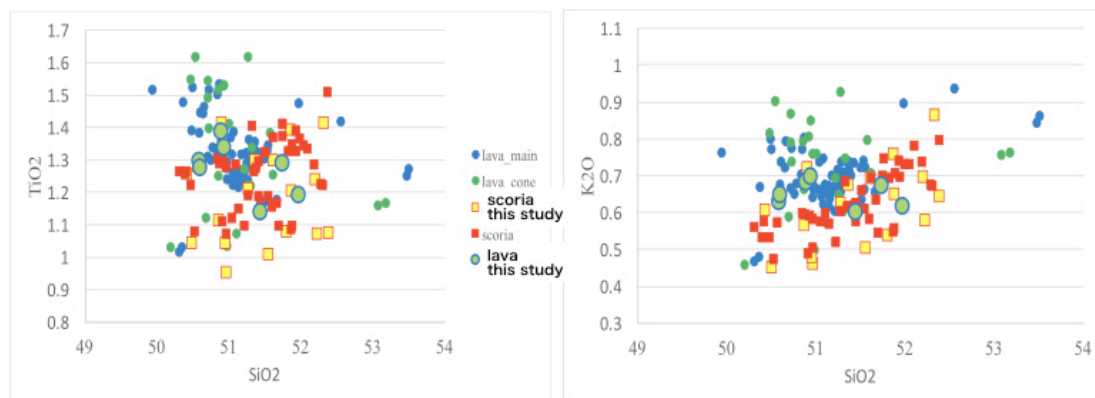


図2 分析した試料の全岩組成。比較のため、新富士期の様々な噴火の噴出物を示す。

次に、かんらん石斑晶と斜長石斑晶について、それらの分化程度が低い側の組成に着目し、化学組成分析結果に鉱物学的温度計と含水量計を適用して、それぞれの噴火で活動した深部マグマ溜まりの温度と含水量を推定したところ、溶岩流試料のほうがマグマの温度が高く含水量は低いという結果が得られた(図3左)。続いて、マグマ溜まりの圧力を仮定した上で、そこのマグマの密度を計算したところ、溶岩流を生じたマグマのほうが系統的に高密度であること

が示された (図 3 右). このことから, 深部マグマ溜まりからのマグマ上昇のトリガーが両者で異なっていることが示唆される. すなわち, 低密度であるテフラを生じたマグマは自力での上昇開始が可能だが, 高密度である溶岩流を生じたマグマは別のマグマの注入などのマグマ上昇のトリガーが必要である可能性がある. より深部からのマグマの注入を考えれば, 溶岩流試料をもたらしたマグマがより高温を示していることの説明にもなる.

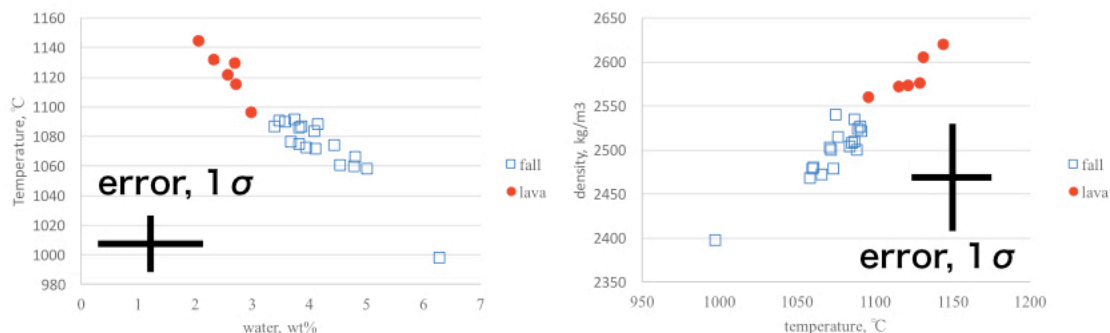


図 3 溶岩流試料とテフラ試料について計算した温度, 含水量, 密度.

今回の分析では, 温度と含水量の推定誤差が大きいため, マグマの組成や状態と噴火様式の関係性はまだ確定的ではない. 誤差が大きき理由としては, サイズの大きなメルトインクルージョンの数が少なく, FT-IR 反射分光分析によってマグマの含水量が直接的に決定できた試料数が少ないこと, 熱力学計算による含水量推定において推定値の誤差を拡大する要因が幾つかある点が挙げられる. 例えば, 熱力学計算で含水量を推定する手法は, 計算時に仮定する温度の値に結果が強く影響される. このため, 温度の高低がそのまま含水量の評価値に反映してしまう. このため, 図 1 において評価温度と評価含水量に見られる逆相関は, 熱力学計算方法による作成的なものである可能性もある. これを防ぐためには, 含水量については, FT-IR 分析による測定値をできるだけ用いるとともに, 温度決定にも複数の手法を併用して, 温度や含水量の推定値の精度を高める必要がある. また, 分析する噴火試料を増やすことも, マグマの組成や状態と噴火様式の関係性を確認するためには必要であろう. 今後の課題としたい.

(3) マグマの上昇経路について

富士山の北西山腹から流出した焼野西丸尾溶岩 (噴出年代 AD700 年頃) 中に包有される多数の斑れい岩質捕獲岩を分析して, 火山体の地下でマグマの滞留しやすい深度について検討した. 焼野溶岩マグマの上昇経路である富士火山の北西側の深さ数 km 以浅に玄武岩質マグマが結晶化している場がある一方, 深部マグマ溜まり近くの深さ 10km から 16 km あたりの複数箇所にもマグマが滞留して安山岩質からデイサイト質にまで結晶分化する場があることがわかった. 前者は噴火時に形成された岩脈, 後者は深部マグマ溜まりから一旦上昇を開始したものの噴火には至らなかった噴火未遂マグマの存在する場であると考えられる. こうした地下構造は, 宝永噴火の噴出物分析から示唆される山体南東側とは明瞭に異なっている. 山体南東側には深さ数 km にデイサイト質にまで結晶分化したある程度大きなマグマだまりが存在し, Ho-I デイサイト質マグマの供給源となったと考えられている.

斑れい岩が上昇するマグマに取り込まれて地表に現れる条件の計算から, 焼野溶岩マグマの上昇速度は毎時十数 m を下回らないことが明らかになった.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

安田敦・馬場章・藤井敏嗣・外西奈津美、富士火山焼野溶岩に捕獲された斑れい岩について: その起源とマグマ供給系についての考察、火山、査読有、64-2、2019 印刷中

[学会発表] (計 4 件)

① 安田 敦 他、新富士火山のテフラ対比用データベースの構築について、火山学会 2018 年秋季大会、2018

② 安田 敦、古富士期-新富士期の鉱物組成の変化から読み解くマグマ供給系の変化、「富士山噴火事象系統樹試作のための研究集会: 富士山研究の到達点と課題」、2018

③ 安田 敦 他、揮発性成分定量による活火山爆発力ポテンシャル評価とマグマ溜まり深度の再決定、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」火山部会、2018

④ 馬場 章 他、焼野西丸尾溶岩流に捕獲された斑れい岩岩片、火山学会 2017 年秋季大会、2017

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：馬場 章

ローマ字氏名：(BABA, akira)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。