

論文内容の要旨

論文題目

Magma plumbing system of Fuji volcano inferred from melt inclusion study

(斑晶ガラス包有物研究による富士火山のマグマ供給系)

氏名 飯田 晃子

1. はじめに

マグマ中の揮発性成分の溶解度は圧力依存性が強い。したがって、マグマの上昇や下降といった圧力変化を伴うプロセスを捉えるには、マグマ中の揮発性成分量を調べるのが最適である。これと主成分元素組成や斑晶組成を組み合わせることで議論することによって、分化や混合といった単純なマグマプロセスだけではなく、圧力スケールの入った詳細なマグマプロセスが明らかにできる可能性がある。この際に重要となるのが、揮発性成分として H₂O に加えて CO₂ の量を精度よく決定することである。CO₂ はマグマへの溶解特性が H₂O とは大きく異なる上、マグマ中に無視できない量が含まれているため、マグマのおかれた圧力を決定する際の重要な手がかりとなりうる。そこで本研究では、噴火前のマグマの揮発性成分量を保持している可能性が高い斑晶ガラス包有物に着目して、従来よりも高い精度と確度で H₂O、CO₂ 量を測定した。さらに、これらとガラス包有物の主成分元素変化や斑晶組成変化を組み合わせることによって、噴火前のマグマプロセスについて詳細な検討を行った。

研究対象としては、富士火山の 864 年噴火の噴出物である長尾山スコリアを選んだ。この噴火は、富士火山の典型的な玄武岩質マグマを噴出した大規模噴火の 1 つである。噴火は、富士山の北西山腹の割れ目から少量の溶岩（氷穴溶岩）が流出し、続いて長尾山スコリアを噴出してスコリア丘（長尾山）を形成した。その後、大量の溶岩流（青木ヶ原溶岩）が流出した。富士火山では、1 つの未分化マグマに由来する程度の異なる結晶分化や、

分化マグマと未分化マグマ同士の内部マグマ混合などが生じていると考えられているが、噴出物の全岩化学組成の変化は非常に小さいため、噴火前のマグマの挙動や供給系について噴出物の組成や鉱物学的研究から詳細な議論を行うには限界がある。そこで、本研究では、噴出物中の斑晶ガラス包有物の主成分元素のみならず揮発性成分分析も行い、より詳細な議論を試みる。

2. 試料&分析方法

分析試料には、富士火山 864 年噴火の長尾山スコリア噴出物を用いた。スコリアを砕き、ガラス包有物を含むかんらん石、斜長石、斜方輝石、単斜輝石の中からクラックが無くガラス包有物が完全に斑晶中に包有されているもののみを選別した。ガラス包有物の主元素組成及び S, Cl 濃度は EPMA を用いて、H₂O と CO₂ 濃度は真空顕微 FTIR で測定を行った。また、石基ガラスとガラス包有物のホスト斑晶の主元素組成についても、EPMA を用いて測定した。

3. 結果

かんらん石のガラス包有物の組成は、噴出物の全岩化学組成(FeO*/MgO=2.1, K₂O=0.7wt.%)よりも未分化な組成(FeO*/MgO=1.6, K₂O=0.6wt.%)のものから、石基組成(FeO*/MgO=2.3, K₂O=0.9wt.%)よりも分化した組成(FeO*/MgO=3.4, K₂O=1.3wt.%)のものまで認められた。一方、斜長石や輝石のガラス包有物は分化した組成(FeO*/MgO=2.4~3.7)のものしか認められず、これらはかんらん石のガラス包有物の分化した組成とほぼ同じである。そこで、組成範囲が広く、オーバーグロースの補正計算を行ったかんらん石のガラス包有物に着目した。最も未分化な組成のガラス包有物は最も揮発性成分に富む(e.g., H₂O=3.6wt.%, CO₂=460ppm)。K₂O の増加に対して、H₂O は急激に減少し、その後、ほぼ一定の値(1wt.%)をとる。このうち、H₂O に富む組成のもの(>1.6wt.%)は、H₂O-CO₂ 図上では H₂O:CO₂ 比が 1:1 のガスと平衡な曲線付近にプロットされる。一方、分化した組成のガラス包有物は、H₂O に乏しいけれども(約 1wt.%)有意に CO₂ に富み(100-300ppm)、それらは H₂O-CO₂ 図上で CO₂ 軸にほぼ平行にプロットされる。

4. 考察

最も未分化なガラス包有物の組成を初期マグマ組成と仮定して、より分化したガラス包有物の主成分元素組成変化を結晶分化で導けるか検討した。その結果、分化条件(圧力、メルト中の含水量)や分化程度の異なる 3 つのマグマバッチを仮定することで、初期マグマ組成からの主に斜長石やかんらん石、単斜輝石、斜方輝石を分別する結晶分化作用によって、観察されるすべてのガラス包有物組成を説明できた。興味深いことに、分化した組成のガラス包有物は、低圧かつ低含水量での分化が示唆される一方で、これらには有意に CO₂ の溶存が認められた。このように、主成分元素組成変化からは浅所で脱ガスしたマグマからの分化が示唆されるにも関わらず、低圧で溶解度が非常に小さい CO₂ の溶存が有意に認められるということは、単純な上昇に伴う脱ガスや結晶分化では説明できない。そこで、ある初期組成のマグマの様々なプロセス(減圧脱ガス、結晶化、CO₂ ガスの付加な

ど)における揮発性成分(H₂O,CO₂)の挙動について考察し、特にCO₂に富むマグマを作りうる幾つかのプロセスについてガラス包有物の分析値を満足するためのマグマ組成や供給ガス組成、そしてそのガスの供給源について検討を行った。この際、初期組成のマグマの揮発性成分量(H₂O=3.5wt.%, CO₂=600ppm以上)は、最も未分化なガラス包有物の組成に基づき、与えている。検討の結果、浅所で脱ガス・分化した後にドレインバックしてできたそれぞれの不飽和マグマバッチに、マグマを伴わないCO₂に富むガスのみ供給を考えた場合にのみ、観察された事象を説明できることが明らかになった。

ところで、鉱物学的研究に基づく過去の研究では、864年噴火のマグマはマグマ混合による産物であると解釈されてきた(高橋・他, 1999; 佐藤・他, 1999)。ガラス包有物の主成分元素組成変化は分析値の変動が大きく、これらの組成変化がマグマ混合により形成されたものである可能性も完全に否定はできない。そこで、揮発性成分も考慮して、ガラス包有物がマグマ混合の過程で形成されたものかどうか検討を行った。ある初期組成のマグマから生じた異なる単成分のマグマ混合時に生じるH₂O-CO₂のバリエーションについて、未分化・揮発性成分に富む気相飽和マグマと分化・揮発性成分に乏しい気相不飽和マグマとのマグマ混合を仮定したいくつかの場合について、観察されたガラス包有物を満たすものがえられるか計算を行った。しかしながら、このときの揮発性成分から見積った混合比と主成分元素組成から見積った混合比とは大きく異なる結果となり、観察とは矛盾することから、ガラス包有物の組成変化がマグマ混合によって形成されたものではないと結論付けた。

<モデル>

以上を総合して、864年噴火について次のモデルを提案した。少なくとも3つのマグマバッチが浅所(深度はそれぞれわずかに異なる, 20MPa, ~15MPa)へ脱ガスしながら上昇し、そこで分化する(分化程度はそれぞれ異なる)。その後、脱ガス・分化したマグマはそれぞれ異なる深度へドレインバックし、停滞する(>160MPa, >120MPa, 60MPa)。ドレインバックによって気相不飽和になったマグマには、深部に停滞する親マグマ溜りから放出されたCO₂に富む組成(mol比 H₂O/(H₂O+CO₂)=~55)のガスのみが供給される。その結果、マグマは揮発性成分に富む組成に変化する。多くのガラス包有物においてH₂Oに乏しいにも関わらず、比較的高いCO₂量が認められたことは、ガス供給の影響を受けてCO₂に富む組成に変化したマグマ中でガラス包有物の捕獲が行なわれたことを示している。その後、噴火直前の段階において、3つのマグマバッチは、同じ親マグマから新たに注入された未分化マグマによって混合し、噴火に至ったものと考えられる。

5. まとめ

マグマプロセスを議論する上では、マグマ中に溶存しているCO₂量の決定が必要不可欠である。今回、高い精度でCO₂量を測定し、マグマ中の揮発性成分量の変化や主成分元素組成変化、斑晶組成を組み合わせて議論することにより、単にマグマの脱ガスや結晶分化、マグマ混合だけでなく、ドレインバックしたマグマにCO₂に富むガスのみ供給が

あったという、これまで知られていなかった複雑なマグマプロセスを圧力スケールの入った形で詳細に明らかにすることができた。その結果、富士火山 864 年噴火では、マグマのドレインバックおよびマグマを伴わない深部からの CO₂ に富むガスからのみの供給が重要な役割を担ったことを初めて明らかにすることができた。また、これまでに指摘されていたマグマの上昇に伴う脱ガスや結晶分化、未分化マグマの混合といったマグマプロセスに対して、圧力スケールを入れることができた。さらに、CO₂ に富むガスの供給源をいう形で、深部のマグマ溜りの存在とその深度について、初めて物質科学的に明らかにすることに成功した。