

気泡を含む高粘性流体（マグマ）の変形実験：気泡組織・ガス浸透率の変化と火山噴火におけるその重要性

Experimental deformation of viscous fluid with gas bubbles: Microstructure and permeability, and implication for volcanic eruption

奥村 聡 [1]; 中村 美千彦 [2]; 竹内 晋吾 [3]; 土山 明 [4]; 中野 司 [5]; 上杉 健太郎 [6]

Satoshi Okumura[1]; Michihiko Nakamura[2]; Shingo Takeuchi[3]; Akira Tsuchiyama[4]; Tsukasa Nakano[5]; Kentaro Ue-sugi[6]

[1] 東北大・理・地球物質科学; [2] 東北大・理・地球惑星物質科学; [3] 産総研; [4] 阪大・院理・宇宙地球; [5] 産総研 地質情報研究部門; [6] JASRI

[1] Inst. Min. Petro. Eco. Geol., Tohoku Univ.; [2] Earth Planet. Materials Sci.; [3] Geological Survey of Japan, AIST.; [4] Earth and Space Sci., Osaka Univ.; [5] GSJ/AIST; [6] JASRI

火山噴火の駆動力の一つは、マグマの減圧に伴ってマグマ中に含まれる揮発性成分、特に水が析出することで起こる発泡現象である。一方で、発泡したマグマからの浸透的な脱ガス（ガスの分離）は、火山噴火の爆発性を弱める重要なプロセスの一つだと考えられている。特に、珪長質な高粘性マグマ中では個々の気泡の浮力などによる移動は遅いため、脱ガスの素過程として浸透的な脱ガスが支持されている。Jaupart&Allegre (1991) は物理モデルをもとにマグマから母岩への浸透的な脱ガスが起こると、マグマの上昇速度が低下することを示した。そこで静水圧下で実験的に発泡させたマグマのガス浸透率を測定してみると、浸透率は発泡度が70vol%以下では非常に小さく（ 10^{-15}m^2 以下）、70vol%以上で急激に増加するが示された（Takeuchi et al., 2005）。この結果はマグマが地表浅部まで上昇し発泡度が増加しないと（例えば800 で5wt%の水を含む流紋岩マグマの場合500m程度の深度で発泡度が70vol%）、効率的な脱ガスが起こらないことを示唆する。そして、実験的に発泡させたマグマの浸透率は大きくても 10^{-13}m^2 程度であり、この浸透率と地殻静水圧勾配（0.03MPa/m）を仮定しダルシー則に基づきガス速度を計算すると、マグマに対するガス速度は 10^{-4}m/sec 程度となる。この速度は火道浅部におけるマグマの上昇速度に比べ小さく、一旦マグマが大きな上昇速度を持ってしまうとガスを効率良く分離できない、つまり火道浅部の脱ガスだけでは火山噴火の爆発性をコントロールできないと考えられる。また、溶岩ドームを噴出するような比較的穏やかな噴火では、地表で観測される火山ガスの組成から、脱ガスが深部で起こっている可能性が示唆されている（Ohba et al., 2008）。そのため、溶岩ドームを噴出するような比較的穏やかな噴火では、より深部で効率的に脱ガスを起こす必要がある。そこで、我々は剪断変形に伴う気泡組織とマグマのガス浸透率の変化に注目し、実験的研究を行っている。過去の火山噴出物などの観察から火道内を上昇するマグマでは、剪断変形による気泡組織や浸透率の変化が起こる可能性が指摘されているが、実験的な検証および定量的な評価はほとんど行われていない。

実験は下部のピストンを回転可能にした外熱式ピストンシリンダー型の高圧高温実験装置を用いて行った。変形実験は水を0.5wt%含んだ流紋岩組成のガラス（ $\text{SiO}_2=77 \text{wt}\%$ ）を975 で加熱し発泡させた後に、下部のピストンを0.2-0.5rpmで最大で10回転させることで行った。この条件におけるメルト粘性は過去の研究から $4 \times 10^6 \text{Pa}\cdot\text{s}$ 程度と見積もられる。また、実験で生じる歪速度（最大 0.03s^{-1} ）や歪（最大35）は上昇するマグマ中で生じる値の一部を再現している。実験後、回収した試料は大型放射光施設 SPring-8 の X 線 CT を用いて観察し、その後試料のガス浸透率を測定した。

回収試料中の気泡組織の観察から以下のことが示された（1）歪の増加に伴い、気泡同士の衝突合体が進む（2）歪速度の増加に伴い気泡が引き伸ばされる（3）十分に大きな歪（ ~ 35 ）を加えると発泡度が40vol%程度で80%以上の気泡が連結する。実験試料のガス浸透率測定は、剪断変形と平行な方向および垂直な方向に対して行った。変形と垂直な方向のガス浸透率は、ほとんどの実験条件で測定の実検出限界（ 10^{-16}m^2 程度）以下であった。剪断変形方向のガス浸透率は（1）0.5回転の実験では発泡度が70vol%程度まで検出限界以下であった（2）2.5回転以上の実験では発泡度が30vol%程度から急激に増加した（3）2.5回転以上の実験では発泡度が60-80vol%で 10^{-11}m^2 程度となった。また、2.5回転以上では歪を増加しても浸透率が桁で変化することはなかった。

本研究の実験結果は、火道内を上昇するマグマの脱ガスが火道深部から起こる可能性を示唆する。火道内を上昇するマグマに対して円筒管を流れる粘性流体を仮定した場合、歪速度の大きな火道壁付近では火道中心よりも大きな歪が生じるため深部から浸透率が増加し始め（例えば800 で5wt%の水を含む流紋岩マグマの場合2km程度の深度）、マグマ上昇に伴う歪と発泡度の増加により浸透的な領域が火道内部へ進行する。マグマに生じる歪はマグマ物性だけでなく火道直径と深度に依存するため、火道内の浸透的領域のサイズ、そして脱ガス率はそれらに支配される可能性がある。本研究の結果から、剪断変形はマグマの脱ガスを促進させ、脱ガス率を支配する火道サイズとマグマ物性の違いにより噴火の爆発性や噴火様式の多様性が生じる可能性が新たに示された。