

火道からの脱ガス過程に対する階層的浸透流モデル

A hierarchical permeable flow model for degassing process from volcanic conduits

岩室 嘉晃[1], 新村 裕昭[2], 小屋口 剛博[2]

Yoshiaki Iwamuro[1], Hiroaki Niimura[2], Takehiro Koyaguchi[3]

[1] 東大・新領域・複雑理工学, [2] 東大・新領域

[1] Complexity Science and Engineering, Univ. of Tokyo, [2] Univ. Tokyo, [3] Frontier Sciences, Univ Tokyo

水分に富んだシリシクなマグマ組成を持つ火山では、噴煙柱を形成するような爆発的な噴火を起こす場合や、溶岩ドームを形成するような穏やかな噴火を起こす場合がある。このような噴火タイプの相違を生む要因として、噴火の最中にマグマからガスが抜ける、脱ガス過程が重要であると考えられている。脱ガス過程で重要なのは、ガスがマグマと相対速度をもってマグマ中を流れる現象である。相互に結合した多数のバブルを含有したマグマは、多孔質媒体とみなすことができる。そのような多孔質媒体中においては、高粘性のマグマは障害物、連結したバブルはガスの流路として振舞う。バブルはマグマからのずり応力を受けて変形しているため、浸透率に異方向性が現れると考えられる。我々はバブルの変形が脱ガスにどのような影響を与えるのかを知るために、数値計算を行った。

一般に、数ミリのバブルを数十メートルの火道全体に分布させた系のガス流れを直接計算することは、非常に大きな計算コストを必要とする。そこで我々は、2次元の火道において微視的スケールと巨視的スケールの流れを階層的に解く、階層的浸透流モデルを構築した。微視的スケールでは、火道全体よりサイズの十分小さい空間に、多数の変形して伸びたバブルをランダムに分布させて、まずバブル同士のつながり程度（パーコレーション）を求める。次にバブル同士が繋がった系に対してガスを流し、浸透率テンソルを計算する。巨視的スケールでは、このようにして得られた浸透率テンソルを火道全体に配置し、ダルシーの法則と流体の質量保存則とを差分化することにより、ガス流れを解く。圧力条件は火道下部で高圧、火道壁と火口で低圧とした。マグマの流れは層流（ポアズイユ流）を仮定し、バブルの形状には、ずり応力による火口方向への伸びと火道中心に向かう回転の2つの効果を考慮した。バブルの体積割合は0.6から0.85の範囲で、高さとともに線形に増加するように与えた。

微視的スケールの計算では、バブルの伸びはパーコレーションと浸透率の両方に影響することが示された。丸いバブルに対して伸びたバブルは、アスペクト比が大きくなるほど長軸方向につながりやすく、短軸方向につながりにくくなることが示された。浸透率は、アスペクト比が大きくなるほど短軸方向で減少していくが、長軸方向では一旦増加したあと減少していくという振る舞いが示された。浸透率の長軸方向の振る舞いはアスペクト比とともに流路形状が直線的になることと流路幅が減少していくことの競合のために起こると理解される。巨視的スケールの計算からは、バブルの伸びと回転がガス流れの向きに影響を与えることがわかった。全てのバブルが丸い場合、浸透率テンソルは等方的になる。よって火道の圧力境界条件に従い、ガスは火道壁に向かって多く流れる。火道に沿って伸びたバブルでは、長軸方向の浸透率が短軸方向の浸透率より大きくなるため、水平方向の圧力勾配によらず火口方向へと直線的にガスは流れる。伸びたバブルが回転して傾いている場合には、ガス流れに対して相反する2つの効果を生じる。一つはガスを火道中心へと曲げる効果で、もう一つは水平方向のバブルのつながりやすさを増加させて火道壁方向へのガス抜けを増加させる効果である。これらの効果によって、ガス流れは火道中心へ集められる流れと火道壁へ向かう流れに別れる。

以上の結果から、火道中の脱ガス過程に対するバブルの形状の効果は次のようにまとめることができる。火道中ではずり応力が火道中心から半径方向に増加するため、火道壁に近いほどバブルは伸びていると考えられる。従って火道壁に近い場所ほど深いところからバブルは連結し、脱ガスが開始すると期待される。また、バブルの伸びと回転はマグマの流速、粘性、火道半径、バブルのサイズ、表面張力に依存している。このためマグマの流速以外を一定にした場合には、流速が大きいほどバブルは火口方向に伸び、火口中心から離れた部分ではバブルの回転は抑えられる。つまりマグマの流速が増加するとともに、脱ガスの向きが火道壁方向から火口方向へと変化することが予想される。