

## 脱ガスによるマグマ密度変化を考慮した火道流の力学系

A dynamical system of conduit flow with magma density change due to gas escape

\*小園 誠史<sup>1</sup>、小屋口 剛博<sup>2</sup>\*Tomofumi Kozono<sup>1</sup>, Takehiro Koyaguchi<sup>2</sup>

1.東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻、2.東京大学地震研究所

1.Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

溶岩ドーム噴火において、結晶化によるマグマ粘性変化と脱ガスによるマグマ密度変化は火道流に正のフィードバックメカニズムをもたらす。具体的には、マグマ噴出率が増加すると、結晶化の遅れによってマグマの実効粘性が減少し（火道壁による摩擦抵抗の減少）、あるいは脱ガスの非効率化によってマグマ密度が減少する（マグマ荷重の減少）ことで、さらに噴出率が増加するというメカニズムである。これらのフィードバックメカニズムは、火道流において周期的変動や流動パターンの急激な変化などの複雑な現象をもたらす。マグマ粘性変化が火道流に与える効果については、既に先行研究で火道流の力学系のモデリングに基づき詳細に調べられている一方で、マグマ密度変化の効果については、一次元火道流モデルの数値解析によってその効果の重要性が指摘されているが、まだ十分に理解されていない。そこで本研究では、脱ガスによるマグマ密度変化が考慮された火道流の力学系に関するモデルを新たに開発することで、マグマ密度変化が火道流のダイナミクスに与える効果を調べた。

本研究のモデルでは、円筒火道内の流れの変動量を鉛直空間方向に平均化し、その火道が弾性変形する母岩に囲まれたマグマ溜まりと結合しているシステムを考える。このモデルによってマグマ噴出率 ( $Q$ ) とマグマ溜まり圧力 ( $P$ ) の時間発展を記述することができる。マグマ溜まりにおいては、 $P$ の時間微分 ( $dP/dt$ ) がマグマ溜まりへのマグマ供給量と火道へのマグマ流出量 (i.e.,  $Q$ ) の差に比例し、その比例係数はパラメータ  $C = G/V_{ch}$  として表される。ここで  $G$  は母岩の剛性率、 $V_{ch}$  はマグマ溜まりの体積である。火道流においては、運動量保存式によって  $P$  と  $Q$ 、マグマ粘性、マグマ密度の関係が記述される。本研究では、マグマ粘性と密度の変化の効果を考慮するために、火道内のマグマ上昇中に粘性、密度が階段状にそれぞれ増加、減少する仮定のもとで、火道内の平均粘性と平均密度を計算した。ここで、粘性と密度が階段状に変化する位置はそれぞれ結晶化の時間スケール ( $t_c$ ) と脱ガスの時間スケール ( $t_g$ ) によって決定され、これらのタイムスケールは結晶成長率やマグマのガス浸透率などのマグマの性質によって支配されている。以上のようにして開発されたモデルを用いることで、 $P$  や  $Q$  の時間発展がパラメータ  $C$ 、 $t_c$ 、 $t_g$  にどのように依存するのかを系統的に調べることができる。

本研究のモデルに基づき、まず  $P$  と  $Q$  の時間微分が  $0$  となる固定点における  $P$  と  $Q$  ( $P_f$  と  $Q_f$ ) の関係を求めることができる。粘性と密度の変化によるフィードバックメカニズムは、 $P_f$  と  $Q_f$  の関係において、低  $Q_f$  と高  $Q_f$  の領域で傾きが正となり、中間領域で傾きが負となる  $S$  字型のカーブをもたらす。この場合、傾きが負の領域における固定点が不安定ならば、 $P$  や  $Q$  の時間発展が周期的変動を示す。密度変化が  $P_f$  と  $Q_f$  の関係にもたらす重要な効果として、傾きが負の領域における  $P_f$  の値がリソスタティック圧よりも非常に低くなるという特徴が挙げられる。本研究では、 $P_f$  と  $Q_f$  の関係におけるこの特徴によって、マグマ噴出率  $Q$  が周期変動中において  $0$  に達する場面があることを明らかにした。この状況は噴火の停止に相当すると考えることができる。この  $Q$  が  $0$  になるか否かはパラメータ  $C$ 、 $t_c$ 、 $t_g$  に依存することから、本研究のモデルに基づき、マグマ物性や地質条件のパラメータに関する、噴火停止の臨界条件を求めることができる。

キーワード：火道流、力学系、脱ガス

Keywords: Conduit flow, Dynamical system, Gas escape