

溶岩ドーム噴火における火道流モデルの安定解析

A stability analysis of a conduit flow model for lava dome eruptions

中西 無我 [1]; 小屋口 剛博 [2]

Muga Nakanishi[1]; Takehiro Koyaguchi[2]

[1] 東大 地震研; [2] 東大・地震研

[1] ERI, University of Tokyo; [2] ERI, Univ Tokyo

溶岩ドーム噴火において、マグマの噴出率と地殻変動の周期的変化が一般に観測されている（例えば、雲仙 1991 - 1995 年噴火、Soufriere Hills 1995 - 1997 年噴火や Santiaguito 1992 - 2002 年噴火）。このような周期的な振る舞いは、マグマ粘性が変化する火道の流れと弾性変形するマグマ溜りの圧力の相互作用によって説明される。マグマの流れが増加するにつれてマグマの実効的な粘性が減少するとき、マグマの流れとマグマ溜り圧力が振動しやすくなることが示されてきた。

本研究では、Barmin et al.,[2002] によって提案された火道流モデルの線形安定解析を行った。このモデルは結晶化のカイネティクスに支配された実効粘性の時間的・空間的变化だけでなく火道流とマグマ溜り圧力の相互作用を組み込んだモデルであり、マグマの流れとマグマ溜り圧力の周期的変動をうまく再現したモデルである。本研究の解析により、このモデルはマグマの噴出率の時間変化 (dQ/dt) とマグマ溜り圧力の時間変化 (dP/dt) が、現在の時間 t だけでなく過去の時間 $t-t_*$ における Q と P の関数で表される力学系モデルであることが分かった。この時間遅れ t_* は火道中の流体粒子の粘性が増加するのに要する時間を表す。さらに、この時間遅れをもつ力学系モデルは t_* をパラメータとして与えられる簡単な Q と P の 2 変数の力学系モデルに近似されることが分かった。

これらのモデルの線形安定解析の結果は、定常状態から周期的な流れへの遷移が Q と P の定常状態における関係の非線形性に依存することを示す。Barmin et al.,[2002] では、この定常状態における関係が Q - P 平面で S 上状のカーブになり、その傾きは火道の流れが中間流量のときに負になる。定常解が不安定になり、 Q と P が振動するのは、定常状態における関係の傾き ($[dP/dQ]_S$) がある臨界値を越えたとき、つまり $[dP/dQ]_S < -t_* G/2V_{ch}$ のときである。ここで、 G はマグマ溜りの剛性率、 V_{ch} はマグマ溜りの体積である。

溶岩ドーム噴火での周期的振る舞いの性質は大まかに LV_{ch}/r^4 （以後これを「system capacity」と呼ぶ）に支配されている。System capacity が小さいとき、周期的振る舞いはサインカーブ的振動（以後 Type B リミットサイクル）をし、定常な流れから周期的な流れへの遷移は連続的である（スーパークリティカル・ホップ分岐）。一方、system capacity が大きいとき、周期的振る舞いは穏やかな増加と急激な減少を伴うピーク的変動（Type A リミットサイクル）となり、定常な流れから周期的な流れへの遷移は不連続である（サブクリティカル・ホップ分岐）。

本研究の結果は、実際の火山噴火の周期的な振る舞いに関する解釈を与える。地殻変動やマグマ噴出率の測定などの地球物理的観測において、2 つの異なる周期的変化が観測されている。Soufriere Hills 1995 - 1997 年噴火では、傾斜変動の周期的変化は数 10 時間の短い周期をもち、サインカーブ的変動を示した。それに対して、Santiaguito 1992 - 2002 年噴火では、マグマ噴出率の周期的変化は数 10 年の長い周期をもち、穏やかな増加と急激な減少を伴うピーク的変動を示した。2 つの周期的変化の違いは、これらの周期性を引き起こす system の capacity の違いによって説明することができる。つまり、Soufriere Hills の system capacity は小さく、Santiaguito の system capacity は大きい。