

修士論文

火道内マグマ後退モデルに基づくブルカノ式噴火中の山体変形

東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

藁和 貴史

(指導教員 西村 太志 教授)

平成 25 年

要旨

近年、観測機器や解析手法の発展に伴い、ブルカノ式噴火中の地殻変動現象が時系列として捉えられるようになってきた。また、ブルカノ式噴火中の火道内のマグマ挙動について、物理モデルに基づいて調べた理論的研究も行われている。しかしながら、両者を結びつけて議論する研究は少ない。そこで本研究では、ブルカノ式噴火時の火道内のマグマ流による動的な応力変化をモデル化し、山体変形の数値計算を行う。そして、山体変形とマグマ物性の関係を明らかにする。

ブルカノ式噴火は、火道に蓄積した圧力が瞬時に解放される爆発現象である。噴火が始まると、火道の最上部からマグマ破砕が始まり、火山灰の噴出に伴ってマグマの破砕面が火道深部へと伝播する。このように想定されるブルカノ式噴火の過程を、山体変形を引き起こす力源として考える。破砕面の後退に伴い浅部火道壁に及ぼされる応力が低下し、火道は収縮する。また、破砕面より下では上向きのマグマ流が存在するため、火道壁に上向きの動摩擦力が働く。また、その反作用が火道の深部で下向きに及ぼされる。つまり、ブルカノ式噴火中には、破砕面の火道深部への後退現象に伴って移動する収縮源と動摩擦力、そしてその反作用からなる山体変形の圧力源が現れる。この力源のモデル化に際し、Koyaguchi and Mitani (2005) の衝撃波管問題によるブルカノ式噴火モデルの一つである、1-P モデルを参考にする。1-P モデルは、マグマの気相と液相の圧力が等しいと仮定し、1次

元流の運動方程式と質量保存式に基づき、破砕面の定常的な伝播に伴う火道内マグマ流の挙動を表している。破砕面より上方は非粘性の噴霧流、下方は粘性マグマの気泡流によって圧力分布が表され、火道内圧力分布が決められる。このモデルは、マグマの粘性や空隙率、気相の重量分率、破砕時のマグマの空隙率、初期マグマ増圧量、火口半径等のパラメータで表される。また、これらにより破砕面降下速度や気泡流領域の長さが決まり、収縮源と動摩擦力の時空間分布が得られる。

このモデルに基づいてマグマ後退に伴う収縮源と動摩擦力を火道壁に加え、三次元の静的境界要素法を用いて、山体変形の計算を行った。その結果、火口方向の傾斜は噴火開始直後に山頂方向隆起を示し、途中で沈降に転じる。また、火口方向の歪は初め伸長を示した後、収縮に転じるのに対し、直交方向の歪は沈降を続ける。この特徴は、桜島昭和火口噴火時の有村観測坑道の傾斜計、伸縮計の記録の特徴とよく一致する。

次に、火道内マグマ後退モデルのモデルパラメータと、山体地形の影響を調べた。モデルパラメータを変化させて数値計算を行った結果、山体変形はモデルパラメータから決まる動摩擦力、破砕面伝播速度に強く依存することがわかった。例えば、マグマ粘性を大きくすることによって動摩擦力が大きくなり、火口方向の隆起が大きくなる。また、破砕時の空隙率を大きくすることにより、破砕面伝播速度が低下し、歪が伸長から収縮に転じる時間など、特徴的な変化が現れる時間が遅くなる。また、動摩擦力の反作用の力の与える位置を変えることにより、傾斜は大きく変化する。一方、モデルパラメータを変化させても、火口方向の歪が伸長から収縮に転じる時の破砕面の深さは安定していることがわかった。

続いて、2008年2月6日の桜島昭和火口噴火時の歪記録 (Iguchi et al., 2013) と比較した。その結果、歪の伸長から収縮に転じるまでの時間 (10 分) とその時の破砕面の深さ (1.8 km) から、破砕面後退速度は平均で 3.0 m/s と推定された。また、歪振幅等から、火道最上部の初期増圧量は 13 MPa、火道半径は 11 m、上流側の空隙率は 0.2 と推定された。破砕条件の空隙率は 0.985 と推定されたが、この値はしばしばマグマの破砕条件として考えられている 0.7~0.8 という値と比べて非常に大きい。

本研究は、火道内マグマ後退モデルをもとに、山体変形の数値計算を行うことによって、火道内マグマ挙動と山体変形の時空間分布の関係を示した。実際に桜島昭和火口のブルカノ式噴火に伴う地殻変動観測記録と計算結果を比較することで、噴火中の破砕面伝播速度を求めるとともに、空隙率などのマグマ物性の推定を行った。これまで噴出物の分析や理論的考察、室内実験によってのみ推定されてきたマグマ物性を、噴火現象を巨視的に捉えられる地球物理学的観測データから初めて推定することができた。