

修士論文

# 開口型火道の1次元マグマ二相流モデルに基づく 火山体膨張に関する研究

東北大学大学院理学研究科  
地球物理学専攻

川口 亮平

(指導教員 西村 太志 准教授)

平成 21 年

## 要旨

火山噴火現象は、爆発性といった噴火様式や噴出量の規模、噴火継続時間に大きな違いがあり、多様性に富む。これには、マグマ中の揮発性成分の挙動が重要な役割を果たしていると考えられている。近年、噴火に先行する火山体の変動が精度よく観測されるようになった。また、マグマ上昇に関わる物理素過程を扱った理論的研究により、マグマ内気泡成長の有無によって火山体膨張の時間変化に顕著な違いが表れることが示された。そこで、本研究は、火山体膨張とマグマ内揮発性成分の挙動の関係を明らかにすることを目的に、繰り返し噴火を起こし、短時間に大量のデータを得られるストロンボリ式やブルカノ式といった噴火を対象とし、開口型火道の1次元マグマ二相流モデルを構築した。有限差分法による数値計算によって、マグマ上昇過程と噴火に先行する火山体膨張の時間変化の特徴を調べた。

マグマ上昇は次のように考え、モデル化する。短時間に繰り返し噴火を起こす火山では、噴火後に火道は閉塞せず開口型になっている。噴火直後、上部のマグマが噴出したことで火道内のマグマは急減圧を受け、メルト中の揮発性成分は溶解度が低下し過飽和状態になる。また、気泡はメルトの粘性抵抗により急減圧できないため、気泡メルト間には圧力差が生じる。この圧力差とメルト中で過飽和となった揮発性成分の流入により、気泡成長が起きる。気泡成長によるマグマの体積増加と火道内の圧力勾配により、マグマは火道を上昇する。これらのプロセスを表すために、気液二相

からなる火道内のマグマ流れはマグマと揮発性成分の質量保存式、マグマの運動方程式と状態方程式により記述した。さらに、マグマ内の気泡成長過程は気泡メルト間の圧力差によるメルトの粘性変形の式とメルト中の揮発性成分の拡散方程式から求める質量流束の式により表した。これらの支配方程式は、メルトの粘性と火道の形状により決まるポアズイコ流の時間スケール、メルト気泡間の初期圧力差とメルトの粘性により決まる粘性変形の時間スケール、メルト中の揮発性成分の拡散係数と気泡の数密度から決まる拡散の時間スケールという3つの時間スケールの比により特徴付けることができる。境界条件として、火道内部の最上部及び最下部のマグマに一定の圧力を与え、初期条件として、気泡メルト間の圧力差、火道内マグマ最上部の位置、メルト中の揮発性成分の濃度を与える。以上の7つのモデルパラメータを与え、有限差分法による数値計算で、火道内マグマの圧力、ポイド率の時空間変化を求めた。さらに、火道内のマグマ圧力に比例した火道の開口による地表変位を考え、半無限均質弾性体の解析解を用い、火山体変形の時間変化を計算した。

安山岩質やデイサイト質のマグマ、長さ 1000 m、半径 10 m 程度の火道を想定してモデルパラメータの計算範囲を設定し、数値計算を行った結果、以下のことが明らかとなった。火山体膨張の変動量は、火口と観測点間の距離に依存し、火道内のマグマ最上部の深さと同程度の距離で変位は最大となる。変位は、火口に近い観測点で加速的に増加する一方、遠方の観測点では時間とともにほぼ一定の割合で増加する。マグマが地表に達するまでの時間および変位と傾斜の変動量は、特に火道最下部の圧力とメルト中の揮発性成分の濃度により大きく変化する。一方、支配方程式を特徴付ける3つの時間スケールの比は、火山体膨張の時間変化の特徴に大きな影響を与えない。

これまでに報告されている噴火に先行する火山体膨張のデータと、本研究のモデルの数値計算結果の比較を行った。その結果、例えば、インドネシアのスメル火山では、火道半径を 5 m、マグマの粘性を  $10^5$  Pa s と仮定した場合、メルトに含まれる揮発性成分の濃度を 0.5%、火道最下部での圧力を 20 MPa とすることで観測された傾斜変動量や継続時間、変動の時間変化率をうまく説明できることがわかった。

本研究で構築した、開口型火道のマグマ上昇モデルにより、火道内マグマの物性と火山体膨張の基本的な関係を明らかにすることができた。噴火に先行する火山体膨張を多点で観測するとともに、本研究で構築したモデルと比較を行うことで、噴火の様式や規模を支配する、火道内マグマの揮発性成分の挙動を定量的に推定できるようになると考えられる。