

## 火道内の圧力変化がもたらす地殻変動～有限要素法解析と火道流れのモデルとの融合の試み

### Ground deformation due to pressure change in a conduit

# 常松 佳恵[1], 東宮 昭彦[2], 小屋口 剛博[3]

# Kae Tsunematsu[1], Akihiko Tomiya[2], Takehiro Koyaguchi[3]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 産総研・地調, [3] 東大・新領域

[1] Earth and Planetary Sci., Univ. of Tokyo, [2] GSJ, AIST, [3] Frontier Sciences, Univ Tokyo

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/tak/>

火道内におけるマグマの圧力変化は実際の火山において直接観測することは不可能であるが、地殻変動観測によって間接的に推定できる可能性がある。一方、火道内流れのモデルによってマグマの圧力変化は理論的に計算されている(Jaupart and Allegre, 1991 他)。本研究は地殻変動と火道内の圧力変化との関係をモデル化しようとする試みである。Woods and Koyaguchi (1994) の火道内流れのモデルによって計算されたマグマの圧力を境界条件として与え、火道周辺の応力・変位分布を有限要素法 (CRC 総研製 “Mr. SOIL3D” を使用) を用いて計算した結果、観測可能なオーダーの地殻変動が現れた。本手法は雲仙噴火で得られた観測結果へ適用できると期待される。

#### 1. はじめに

火道内におけるマグマの圧力変化は実際の火山において直接観測することは不可能であるが、地殻変動観測によって間接的に推定できる可能性がある (Bonaccorso and Davis, 1999)。一方、火道内流れのモデルによってマグマの圧力は理論的に計算されている (Jaupart and Allegre, 1991 他)。本研究は地殻変動と火道内の圧力変化との関係をモデル化しようとする試みである。これまでは火道内流れのモデルと地殻変動の問題は別々に解かれてきたが、火道内流れのモデルによる計算結果を地殻変動の有限要素解析の境界条件として用い、両者を融合させた点が本研究の特徴である。1990年から1995年に起きた雲仙火山の噴火では多くの地殻変動データが蓄積された。本研究では雲仙科学掘削計画の一環として将来的には雲仙火山の例に応用することを目指す、まずは単純な系で計算を行い概要をつかむことを目的とした。

#### 2. 火道内流れのモデルと有限要素法解析

火道内におけるマグマの圧力変化はWoods and Koyaguchi (1994) のモデルを用いて計算し、地殻変動の有限要素解析については (株)CRC 総合研究所の Mr. SOIL3D という解析ソフトを用いた。Woods and Koyaguchi のモデルでは圧縮性流体の一次元定常流を想定し、速度、圧力、密度、気相の重量分率を独立変数として解いた。火道の最下部ではマグマの圧力が母岩の圧力に対し過剰圧  $P$  を持つとした。本モデルでは、マグマの初期上昇速度あるいは噴出率  $Q$  を変化させることによって、穏やかな噴火から爆発的な噴火まで様々な噴火様式の解を得られる。例えば、母岩のガス浸透率  $K = 10^{-9} \text{ m}^2$ 、上昇初期のマグマの粘性が  $10^6 \text{ Pa s}$ 、 $p = 0.1 \text{ MPa}$  のとき、次の三つの解が得られた (Woods and Koyaguchi の解 a, b, c にほぼ対応): (a) 非常に強い脱ガスにより fragmentation が地表ギリギリまで起こらず、静水圧への“張りつき”区間がほとんどない解 ( $Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{s DRE}$ ); (b) 強い脱ガスにより fragmentation 後はマグマ圧が静水圧に“張りつき”解 ( $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s DRE}$ ); (c) マグマの流速が音速に達し、チョーキングを起こす解 ( $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s DRE}$ ) (“張りつき”については東宮・小屋口 (1999): 火山学会を参照のこと。) これらの三つの解について得られた火道内のマグマの圧力分布を、有限要素解析において火道壁に火道の内側からかかる圧力の境界条件として用いた。有限要素解析では解析領域の岩石 (母岩) を弾性体とし、円柱座標系 (水平方向  $R$ 、鉛直方向  $Z$ ) を用いて軸対称を仮定した。解析領域の半径と深さは共に  $4000 \text{ m}$  とし、回転軸に沿って長さ  $2000 \text{ m}$ 、半径  $10 \text{ m}$  の火道を置いた。母岩のポアソン比は  $0.3$ 、密度は  $2500 \text{ kg/m}^3$  とし、ヤング率は  $10000 \text{ MPa}$  と  $1000 \text{ MPa}$  の二通りで計算を行った。 $R=0$ 、 $4000 \text{ m}$  では水平方向の変位を  $0$  とし、 $Z=4000 \text{ m}$  では鉛直方向の変位を  $0$  とした (拘束条件)。また、火道壁には Woods and Koyaguchi のモデルで計算された三種類のマグマの圧力を与えた (荷重条件)。計算の結果、ヤング率が  $10000 \text{ MPa}$  のときは地表面に大きな変動は現れなかったが、ヤング率が  $1000 \text{ MPa}$  のときは火口付近で  $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ m}$  のオーダーの変動が現れた。変動の大きさはマグマの上昇速度が大きいものほど顕著であり、「(c) チョーキングが起こる例」と「(b) 張りつきが起こる例」では「(a) 張りつきがほとんどない例」より一桁大きい変動が計算された。変動は火口周辺に集中しており、火口から水平方向に  $200 \text{ m}$  ほど離れた地表面ではほとんど変動は現れなかった。また、「(c) チョーキングが起こる例」と「(a) 張りつきがほとんどない例」では応力の分布が火道の比較的下部に集中しているのに対し、「(b) 張りつきが起こる例」では火道の上部に集中している。

#### 3. 観測可能性と雲仙火山への適用

地殻変動を観測する手段としては GPS や傾斜計による測量、光波測量などが考えられる。GPS の観測精度は単独

測位で 100m 程度、干渉測位で数 cm 程度であるが、Rapid Static 法を用いれば数 mm の精度で観測できる (松島・大見, 1996)。傾斜計での観測精度は 1 マイクロラジアン= $10^{-5} \sim 10^{-4}$  度程度である (山科, 1996)。また光波測量では数 mm ~ 1cm の精度でデータが得られる (斎藤・他, 1993)。今回の計算で得られた地殻変動の大きさは長さにして  $10^{-4} \sim 10^{-3}$ m、角度にして  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  度である。よって、傾斜計では観測可能なオーダーと言えるが、気象条件に大きく左右される GPS 観測や光波測量では議論に結び付けられるようなデータの蓄積は困難であると考えられる。本モデルは母岩の弾性変形を仮定しているため、新たなダイクの貫入などに伴う著しい塑性変形イベントは再現しない。しかし、安定火道における噴火様式の遷移に伴うマグマの圧力変化には適用できる可能性がある。今後は物性値や表面地形などを実際のものに近づけて、モデルと実際の観測の対応を可能にするよう研究を進めていきたい。