

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 7日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540427

研究課題名（和文） 開口型火道内マグマ上昇に伴う山体膨張現象のモデリング

研究課題名（英文） Modeling of volcano inflation associated with magma ascent in an open conduit

研究代表者

西村 太志（NISHIMURA TAKESHI）

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：40222187

研究成果の概要（和文）：

気液相からなるマグマを想定し、気泡成長が拡散過程により主に起きるマグマ上昇と大気泡がメルト中を上昇する場合の山体変形を調べた。前者は山体膨張が一定あるいは加速的に進行し、後者は大気泡が地表地殻に達すると沈降現象が現れる可能性があることが明らかとなった。また、有限要素法解析から、山体地形が急峻になり、マグマ最上部が観測点より上方に達すると山体膨張が弱められることがわかった。

研究成果の概要（英文）：

Volcano inflations generated by ascent of magma with gas bubbles are investigated. Ascent of magma with gas bubble growth due to diffusive flow causes volcano inflation with a constant rate or temporally accelerated change. For the case of a large slug rising up in viscous melt, volcano inflation turns to deflate when the slug approaches to the ground surface. Finite element calculations indicate that the volcano inflation rate becomes small after the magma head goes above a geodetic station.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：マグマ上昇、山体膨張、地殻変動、気泡成長

1. 研究開始当初の背景

火山爆発現象では、水やCO₂などのマグマ内揮発性物質の挙動が重要な役割をすることが知られているが、これを加味した火道内マグマ流体運動の理論的、数値的モデルは、マグマの発泡、脱ガス、結晶化などのマイクロ過程の詳細を取り込んだ高度かつ複雑なモデルによって表現されるようになっていた。これ

らのモデルは、物質科学的研究、室内モデル実験、流体力学的理論研究などを基盤としているものの、火道内マグマのダイナミクスを半直接的に測定できる地球物理学的観測量との結びつきが非常に弱かった。申請者らは、マイクロ過程の本質は失わずにモデルを単純化し、地球物理学的データとの対比が可能なモ

デルを提唱し (Nishimura 2004; Shimomura et al., 2006), 火道形成を伴うマグマ上昇モデルから、爆発的噴火と非爆発的噴火の発生前の山体膨張現象は、マグマ内揮発性成分の違いにより時間的変化が異なること、また、この予見は、数は少ないものの、いくつかの観測データと一致することが指摘されていた (Nishimura, 2006). さらに、申請者は、短時間で多量のデータが取得できる小爆発を繰り返す噴火に着目し、開口型火道におけるマグマ上昇の基礎過程について予察的な考察を進め、マグマ上昇時の気泡成長過程の違いにより山体膨張の時間変化の違いが現れることを明らかとしていた。

一方、当時の最新の観測研究は、間欠的に小爆発を繰り返す火山において、爆発 (噴火) に先行する山体膨張現象や、爆発後の山体収縮が起きていることが報告されており (Ripepe, 2007; Iguchi et al., 2008), 火道内マグマの挙動と小爆発の関係を明らかにするための基礎データが得られつつあった。

2. 研究の目的

本研究では、火道内のマグマ上昇のより現実的なモデルを構築することにより、多様な噴火現象の要因となるマグマ内揮発性物質を半直接的に測定することを試みる。具体的には、多量のデータが利用できる開口型火道から繰り返し発生する噴火を対象とし、気泡成長や脱ガス過程を取り入れたマグマ上昇モデルを構築する。また、マグマ上昇に伴う山体膨張現象について、火山体の地形を取り入れ有限要素法を用いて計算する。さらに、イタリア国ストロンボリ火山の山体膨張を記録した傾斜計データとの比較を行うことで、小爆発現象を引き起こす火道内マグマの揮発性成分の挙動の推定を試みる。また、これまでに報告されているマグマ上昇と山体地形変形データについて、マグマ上昇モデルを当てはめて考察する。

3. 研究の方法

開口型火道内を上昇するマグマを気液二相流と仮定し、その運動を表す基礎方程式、つまり、質量保存式、運動方程式、気泡成長に関する方程式 (拡散方程式、理想気体の方程式、ヘンリーの法則など) に基づき、数値計算を行う。求められる火道内マグマの圧力の時空間分布をもとに、火道壁に作用する応力を計算し、その圧力源をもとにマグマ上昇に伴う山体変形 (変位および傾斜量) の時空間変化を計算する。メルトや揮発性物質、火道系などに関する物理パラメータを変化させることにより、山体変形やその時間変化にどのような変化が生じるかを調べる。また、一般的な山体地形が及ぼす影響について、有限

要素法をもとに調べる。また、ストロンボリ火山の傾斜変動データの特徴と求められた数値計算の結果を比較し、火道内マグマプロセスを考察する。

4. 研究成果

気泡とメルトの相対的速度がない場合を想定し、気泡成長がおもにメルト中からの水分子の流入によって生じる場合のマグマ上昇モデルの構築を行った。マグマ上昇の運動を、マグマ (メルト+ガス (揮発性成分)) の質量保存式、全揮発性成分の質量保存式、1次元ポアズイユ流をもとにしたマグマの運動方程式などで表現し、気泡成長は、ガスの状態方程式、メルトから気泡への水分子の移流に関する拡散方程式をもとに表現した。これらの方程式を差分法により数値的に計算し、マグマ上昇過程を明らかにした。さらに上昇するマグマによる火道壁の開口によって生じる半無限均質媒質の場合について山体膨張を計算した結果、メルト中の揮発性成分の濃度が大きくなるほど、気泡成長によるマグマ上昇の駆動力が大きくなり山体の膨張率が増加するなどの重要な関係が定量的に明らかとなった。

玄武岩質マグマのように低粘性のマグマを有する火山において発生するストロンボリ式噴火のような爆発的噴火は、室内実験とのアナロジーから、火道内を上昇する大気泡により発生するとする考えがある。そこで、低粘性マグマを想定し、大気泡の運動と火道壁に及ぼされる圧力変化を、気泡内のガスの状態方程式、メルトおよびガスの質量保存式などをもとにモデル化した。数値計算を行った結果、大気泡は、上昇とともに気相体積を増加させるため、上昇開始時にはほぼ一定の速度で上昇するが、大気泡の上部がマグマ最上面に近づくにつれて体積が増大し、上昇速度が加速する。このような大気泡の上昇により、メルトは火道内を押し上げられ、火道上部は増圧する。一方で、大気泡の位置する部分は減圧が起きる。求められた圧力の時空間変化から山体変形を計算した結果、大気泡が比較的深部にある場合、山頂方向の隆起を示す山体膨張が起きるものの、比較的浅部に近づくと、大気泡の位置する火道壁が減圧の影響から収縮し、山頂方向が沈降に転じることが明らかとなった。

繰り返し噴火に伴う山体膨張現象は火口近傍で観測されることが多いことから、山体地形がマグマ上昇による山体膨張への影響を、有限要素法を用いて調べた。円錐型火山の山頂部にある開口型火道に増圧が生じた場合について調べた結果、山体地形の傾斜角が約30度のとき、山体膨張量の最大値は2-5倍大きくなること、最大値は2-3割ほど火口に近い位置に現れることが明らかとなった。また

，マグマが下方から上昇してきた場合，水平構造に比べて，膨脹率が上昇に伴って小さくなる傾向があることがわかった．さらに，カルデラ地形の場合について調べた結果，カルデラのリム付近は標高のため火口からの距離が大きくなり，遠方より膨脹量が小さくなる可能性があること，マグマ上昇に伴う膨脹率の変化は，円錐型とは異なり，水平構造と同じ傾向をもつことがわかった．以上のことは，水平地形を仮定して山体変形のデータを解析すると，推定値に3－5割程度の系統的誤差が生じる可能性があること，言い換えれば，山体地形と開口型火道を考慮することにより，精度の高い圧力源の時空間変化を得ることができていることを示している．

構築したモデルとの比較を行うため，実際の火山で観測される山体変形データの特徴を調べた．フィレンツェ大学（イタリア国）のリペペ教授のグループによる，ストロンボリ火山の傾斜データは，火口から距離数百メートルから1キロメートルかけて，いずれの観測点も加速的に山上がり起きており，時間の1.5乗で傾斜量が大きくなる．インドネシア国スメル山の2007年ブルカノ式噴火や諏訪之瀬島火山2009年の小爆発に伴う傾斜データも，時間とともに加速する山上がりの特徴を示した．以上の観測データから，これらのストロンボリ式やブルカノ式爆発的噴火では，開口型火道内で噴火直前に気泡の成長や気相の体積増加が急激に進行していることが明らかとなった．

そのほか，1998年岩手山で発生した噴火未遂についてマグマ上昇を考察した．気泡成長を伴うマグマと，気泡成長がないマグマが上昇する場合の2つのケースを想定し，マグマ上昇過程について基礎モデルを構築した．さらに，上昇に伴う歪み量を計算し，観測データと比較した．その結果，1998年の岩手山の地下では，気泡成長がないマグマが上昇したと考へた方が観測データをよりよく説明できることがわかった．この結果から，噴火未遂となったのは，脱ガスが十分進行しマグマ内のガスが系外へ排出され，気泡成長が十分起こらなかったため，マグマは浮力を失い，噴火が発生しなかったと推察した．この結果により，地殻変動データから噴火発生の有無を予測できる可能性があることを指摘した．

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計3件）

1. Nishimura, T., Iguchi, M., Kawaguchi, R., Surono, Hendrasto, M., Rosadi, U., Inflatons prior to vulcanian

eruptions and gas bursts detected by tilt observations at Semeru Volcano, Indonesia, Bull. Volcanol, 査読有, 74, 903-911, doi 10.1007/s00445-012-0579-z, 2012.

2. Nishimura, T. and Ueki, S., Seismicity and magma supply rate of the 1998 failed eruption at Iwate volcano, Japan, Bull. Volcanol., 査読有, 73, 133-142, 2011.
3. Nishimura, T., Volcano deformation caused by magma ascent in an open conduit, J. Volcanol. Geotherm. Res., 査読有, 187, 178-192, 2009.

〔学会発表〕（計14件）

1. Takeshi Nishimura, Masato Iguchi, Jun Oikawa, Hiroshi Yakiwara Hiroshi Aoyama, Yusaku Ohta, Haruhisa Nakamichi and Takeshi Tameguri, Volcano inflations prior to small vulcanian eruptions at Suwanose-jima volcano, Japan, AGU 2011 fall meeting, Dec. 9, 2011, San Francisco
2. 川口亮平, 西村太志, 佐藤 春夫, 開口型火道内のスラグ上昇による山体変形, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 24 日, 千葉
3. 西村太志, 井口正人, Surono, Muhamad Hendrasto, Umar Rosadi, 地震・傾斜解析に基づく 2007 年スメル山ブルカノ式火山噴火の発生機構, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 24 日, 千葉
4. Takeshi Nishimura, Masato Iguchi, Ryohei Kawaguchi, Surono, Muhamad Hendrasto, and Umar Rosadi, Volcano inflation prior to gas explosions at Semeru Volcano, Indonesia, AGU 2010 fall meeting, Dec. 17, 2010, San Francisco
5. 西村太志, 井口正人, 川口亮平・Surono, Muhamad Hendrasto, Umar Rosadi, インドネシア・スメル山のガス噴出イベントに先行する山体膨脹, 日本火山学会 2010 年秋季大会, 2010 年 10 月 10 日, 京都
6. 喜多村陽, 西村太志, 佐藤春夫, 開口型火道内のマグマ上昇による山体変形 — 有限要素法による山体地形の影響の評価 —, 日本火山学会 2010 年秋季大会, 2010 年 10 月 9 日, 京都
7. 西村太志, 井口正人, 山崎友也, 川口 亮平, スロノ, Hendrasto Muhamad, Hidayati Sri, Triastuty Hetty, Rosadi Umar, インドネシア国スメル火山における傾斜観測, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 27 日, 千葉
8. 西村太志・植木貞人, 1998 年岩手山噴火

- 未遂-地震活動とマグマ上昇の時間変化-, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 25 日, 千葉
9. 西村太志, 井口正人, 太田雄策, 喜多村陽, 青山裕, 鈴木敦生, 及川純, 中道治久, 八木原寛, 為栗健, 諏訪之瀬島火山火口近傍における傾斜観測, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 24 日, 千葉
 10. Ryohei Kawaguchi, Takeshi Nishimura, and Haruo Sato, Volcano inflation prior to eruption: Calculation based on a 1-D conduit magma flow model, AGU 2009 fall meeting, Dec. 18, 2009, San Francisco.
 11. 西村太志, 噴火に先行する山体膨張データによるマグマ内気泡成長の推定の可能性, 日本火山学会 2009 年秋季大会, 2009 年 10 月 10 日, 小田原
 12. 川口亮平, 西村太志, 佐藤 春夫, 開口型火道のマグマ上昇過程に伴う山体変形の特徴 - 一次元火道流モデルによる計算 -, 日本火山学会 2009 年秋季大会, 2009 年 10 月 10 日, 小田原
 13. 西村太志, ブルカノ式噴火中の地殻変動に関する一考察, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 17 日, 千葉
 14. 川口亮平, 西村太志, 佐藤春夫, 1 次元火道流モデルに基づく開口型火道におけるマグマ上昇過程のシミュレーション, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 16 日, 千葉

[図書] (計 1 件)

1. Nishimura, T. and Iguchi, M. Volcanic earthquakes and tremor in Japan. Kyoto-Univ. Press, 253p, 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 太志 (NISHIMURA TAKESHI)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：40222187

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：