

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6月11日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21340123

研究課題名（和文） 噴火タイプの推移予測に向けた火道流・噴煙連結モデルの開発研究

研究課題名（英文） Combined model of conduit flow and eruption cloud for prediction of transition of eruption style

研究代表者

小屋口 剛博 (KOYAGUCHI TAKEHIRO)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：80178384

研究成果の概要（和文）：

1次元気液2相火道流モデルを開発し、定常的な溶岩ドーム噴火のマグマ溜まりの圧力変動に対する安定性と爆発的噴火への遷移条件を明らかにした。また、爆発的噴火に対して準1次元火道流モデルを適用し、爆発的噴火の噴出条件と火口の形状の関係を明らかにした。さらにその準1次元火道流モデルの火口における出力値を3次元非定常噴煙モデルの入力値として用いることによって、爆発的噴火における噴煙柱崩壊条件を予測する理論モデルを確立した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a 1-dimensional (1D) 2-phase conduit flow model and analyzed the stability of steady lava dome eruptions. Through this analysis, we have revealed the transition conditions from lava dome eruptions to explosive eruptions in response to pressure change at magma chamber. We have also investigated how the eruption conditions (pressure and velocity) at the vent depend on the crater shape during explosive eruptions on the basis of the quasi-1D conduit flow model. These results of eruption conditions at the vent based on the quasi-1D conduit flow model have been used as the vent conditions for the 3-dimensional eruption cloud model. As a result we have succeeded in predicting the condition for pyroclastic flow to generate (i. e., column collapse condition) during explosive eruptions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2011年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
年度			
総計	10,800,000	3,240,000	14,040,000

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：火山現象

1. 研究開始当初の背景

近年、火山噴火については、地殻変動や地震の観測の精度向上によって地下のマグマの動きを検知することができるようになった。

また、爆発的噴火における噴煙高度については、レーダーや人工衛星データによる定量的な観測が可能になりつつある。さらに、噴出物の岩石学的性質からマグマの物性を推定

することができる。一方で、理論的研究によって、マグマ溜まりにおける境界条件を与えたときの火道流の性質や火口における噴出率を与えたときの噴煙高度など、観測量間の関係についても一定の理解が得られている。しかしながら、上述の地下現象と地表面象に関する観測結果を統一的に解釈して噴火タイプの推移予測を行うことは、未だ極めて難しい。

具体的には、地殻変動・地震観測によってマグマ溜まりの圧力変動を検知した時に、それが火道流や噴煙のダイナミクス及ぼす影響を評価して、「非爆発的噴火から爆発的噴火への遷移」や「噴煙柱の崩壊による火砕流の発生」など、地表における異なる噴火タイプ間の推移予測に結び付けることができない。

上に挙げた問題を解決するためには、マグマ溜まりから地表での噴火現象までを統一的に取り扱う「火道流・噴煙連結モデル」を喫緊に開発する必要があった、というのが本研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者のグループが開発した火道中のマグマ上昇（「火道流」）モデルと火山噴煙モデルを連結・統合することによって、観測されるマグマ溜まりの圧力変動と地表における噴火タイプの推移の関係を明らかにすることを目的とした。

具体的には、以下の3課題を解決することを期間内の到達目標とした。

(1) 課題 1: 定常的な爆発的噴火における噴煙のダイナミクスとマグマ溜まりの圧力の関係を解析するための1次元モデルを確立する。特に、火道流モデルと噴煙モデルの境界条件の接続（具体的には、「火口の形状」）が火砕流の発生条件に与える影響を系統的に調べる。

(2) 課題 2: 気液2相の速度差と圧力差を考慮した1次元火道流モデルの安定性解析に基づいて、定常的な溶岩ドーム噴火のマグマ溜まりの圧力変動に対する安定性と爆発的噴火への遷移条件を明らかにする。

(3) 課題 3: 3次元非定常噴煙モデルと火道流モデルを連結したモデルを用いることによって、定常的な爆発的噴火におけるマグマ溜まりの条件と噴煙のダイナミクスの関係を明らかにする。

3. 研究の方法

上記の3課題に対して、それぞれ以下のようなモデルを開発し、系統的な解析を進めた。

(1) 課題 1: 火口径の変動を考慮した準1次元定常火道流モデルを用いて「火口の形状」が火口における噴出条件にどのような影響を与えるかを系統的に調べる。また、その出力値を1次元定常噴煙モデルの入力値として用いることによって、火道流モデルと噴煙モデルの境界条件の接続が火砕流の発生条件に与える影響を予察的に調べる。

(2) 課題 2: 気液2相の速度差と圧力差、さらに結晶化のカイネティクス、結晶化による粘性変化を考慮した非定常火道流モデルを開発し、溶岩ドーム噴火における火道流のマグマ溜まりにおける圧力変動に対する応答を系統的に調べ、数値的に安定性を解析する。

(3) 課題 3: 課題 1 で得られた準1次元定常火道流モデルの火口における出力値を3次元非定常噴煙モデルの入力値として用いることによって、定常的な爆発的噴火における噴煙のダイナミクス（特に火砕流の発生条件）とマグマ溜まりの条件の関係を示すレジュームマップを作製する。

4. 研究成果

上記の3課題に対して、それぞれ以下のような研究成果が得られた。

(1) 課題 1: 準1次元定常火道流モデルを用いて、火口における気液2相マグマの流れが「火口の形状」によって、①火口上端において大気圧以上の噴出圧力を持つ音速流（図1の自由膨張流）、②火口底部で音速に達した後、火口上端で大気圧以上の噴出圧力をもつ超音速流（図1の不足膨張流）、③火口底部で音速に達した後、火口上端で大気圧以下の噴出圧力をもつ超音速流（図1の過膨張流）、④火口上端において大気圧で噴出する音速以下の流れ（図1の亜音速流）、の4タイプに分かれることが分かった。

さらに、これらの流れに対して1次元定常噴煙モデルに基づいて火砕流発生条件の予察的な推定を行った（Koyaguchi et al., 2010）。その結果、火口直上での膨張過程に対して Woods and Bower (1995) のモデルを用いた場合と Ogden et al. (2008) のモデルを用いた場合で、火砕流発生条件が大きく異なることが分かった（図1中の赤線と青点線）。

(2) 課題 2: 気液2相の速度差、結晶化のカイネティクス、結晶化による粘性変化を考慮した非定常火道流モデル、及び、気液2相の速度差と圧力差を考慮した定常火道流モデルを開発した。これらのモデルを用いて、溶岩ドーム噴火における火道流のマグマ溜まりにおける圧力変動に対する応答（安定性）が、定常流における「マグマ溜まりの圧力と

火道流の流量の関係」が正の傾きを持つか負の傾きを持つかによって決まることが明らかになった。さらに、このモデルに基づいて、マグマ中の斑晶量によって噴火推移メカニズムが変化することが明らかになった (Kozono and Koyaguchi, 投稿中)。

(3) 課題3：課題1で得られた準1次元定常火道流モデルの火口における出力値を3次元非定常噴煙モデルの入力値として用いて計算を実行することに成功した。3次元非定常噴煙モデルを用いた研究としては、火口において大気圧で噴出する超音速流（上記のタイプ②とタイプ③の流れの境界、図1の適合膨張流）について噴煙のダイナミクスを系統的に調べ、火砕流の発生条件のレジームマップを作製した (Suzuki and Koyaguchi et al., 2010, 2012)。

さらに、火口直上における圧力が大気圧に一致していない一般的な場合についても計算を実行し、火砕流の発生条件のレジームマップを作製した (図1)。その結果、噴出圧力が大気圧に一致しない場合、膨張波や衝撃波の発生によって噴煙のダイナミクスや火砕流の発生条件が大きく影響をうけることが明らかになった。また、課題1で認識された「火口直上での膨張過程モデルによって火砕流発生条件が変わる」という問題点について、3次元非定常噴煙モデルに基づく計算結果から決着をつけることができた。

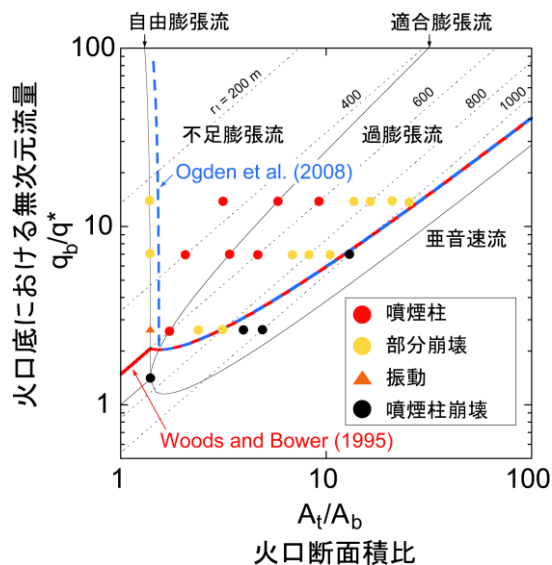


図1 火口直上における圧力が大気圧に一致しない場合の火砕流の発生条件のレジームマップ

(4) 以上の理論的研究に加え、浅間火山 2004 年噴火および霧島新燃岳 2011 年噴火の地質・岩石学および地球物理的観測研究を実施し、これらの火山噴火における噴火タイプの推移予測性について考察を行った。

課題1および3の研究成果は、マグマ溜まりの条件から火山噴煙のダイナミクスまで統一的に扱うモデルとして、世界的にみても新規性のあるモデルである。また、過去に提案された「火砕流発生条件」に関する問題点を解決することに成功した点で、火山学にインパクトを与える成果となった。また、課題2の研究成果は、溶岩ドームの安定性を決定する要因を漏れなく列挙して、その相対的な重要度を評価できた点で火山学的に意義がある。特に、マグマの結晶化のカイネティクスや斑晶量などの岩石学的性質が、噴火タイプの推移に影響を与えることを示した点で、防災上もインパクトがある成果となった。

今後の展望としては、課題2で開発した非定常火道流モデルと課題3で開発した非定常火山噴煙モデルを連結し、より多様な噴火タイプの遷移に対応できるモデルに発展させることが課題となる。

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6件)

- ① Y. J. Suzuki and T. Koyaguchi (2012) 3-D numerical simulations of eruption column collapse: Effects of vent size on pressure-balanced jet/plumes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 221-222, 1-13, doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.01.013 (査読有)。
- ② 小屋口剛博・鈴木雄治郎・小園誠史 (2011) 火山噴火のダイナミクス. *ながれ*, vol. 30, 317-324, <http://www.nagare.or.jp/download/noauth.html?d=30-4tokushu6.pdf&dir=24> (査読無)。
- ③ T. Koyaguchi, Y. J. Suzuki and T. Kozono, (2010) Effects of the crater on eruption column dynamics. *Journal of Geophysical Research*, vol. 115, B07205, doi:10.1029/2009JB007146 (査読有)。
- ④ Y. J. Suzuki and T. Koyaguchi, (2010) Numerical determination of the efficiency of entrainment in volcanic eruption columns. *Geophysical Research Letters*, vol.37, L05302,

doi:10.1029/2009GL042159 (査読有).

- ⑤ T. Kozono and T. Koyaguchi, (2010) A simple formula for calculating porosity of magma for volcanic conduits during dome-forming eruptions. *Earth Planets Space*, 62, 483-488, <http://www.terrapub.co.jp/journals/EPS/pdf/free/2010/62050483.pdf> (査読有).
- ⑥ 小園誠史・田中宏幸・小屋口剛博 (2010) ミューオグラフィーにおける巨大物体の密度分布可視化およびその火山噴火における火道内気液二相流解析への応用. *混相流体力学会誌*, vol. 24, No. 1, 45-56, <http://ci.nii.ac.jp/naid/10026131063> (査読無).

[学会発表] (計 27 件)

- ① 小園誠史・小屋口剛博, 脱ガスと結晶化が溶岩ドームから爆発的噴火への遷移過程に与える影響. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012 年 5 月 20 日, 幕張メッセ.
- ② 小屋口剛博・鈴木雄治郎, 火道・噴煙統合モデルの構築に向けて (その 4) 3 次元数値計算による噴煙の内部構造の解析. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012 年 5 月 20 日, 幕張メッセ.
- ③ 鈴木雄治郎・小屋口剛博, 火山噴煙の 3 次元数値シミュレーション: 周囲の風が噴煙高度に与える影響. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012 年 5 月 20 日, 幕張メッセ.
- ④ Y. J. Suzuki, and T. Koyaguchi, 3-D numerical simulations of eruption clouds: Effects of the environmental wind on the turbulent mixing. *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2011 年 12 月 8 日, San Francisco, USA.
- ⑤ T. Kozono and T. Koyaguchi, Effects of lateral gas escape on transitions from lava dome eruptions to explosive eruptions. *International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly* 2011 年 7 月 6 日, Melbourne, Australia.
- ⑥ Y. J. Suzuki and T. Koyaguchi, 3-D numerical simulations of eruption clouds: The critical condition for column collapse. *International Union of Geodesy and Geophysics sGeneral Assembly*, 2011 年 7 月 5 日, Melbourne, Australia.
- ⑦ 小屋口剛博・鈴木雄治郎, 火道・噴煙統合モデルの構築に向けて (その 3) 3 次元噴煙モデルによる数値シミュレーション. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 24 日, 幕張メッセ.
- ⑧ 鈴木雄治郎・小屋口剛博, 3 次元数値シミュレーションによる噴煙柱崩壊条件の解析. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 24 日, 幕張メッセ.
- ⑨ 小園誠史・小屋口剛博, 横方向脱ガスが溶岩ドーム噴火から爆発的噴火への遷移過程に与える効果. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 24 日, 幕張メッセ.
- ⑩ T. Koyaguchi, and T. Kozono, Effects of gas exsolution and microlite crystallization on the complexity of conduit flow dynamics during lava dome eruptions. *American Geophysical Union Fall meeting*, 2010 年 12 月 16 日, San Francisco, USA.
- ⑪ T. Kozono, and T. Koyaguchi, Coupled effects of vertical and lateral gas escapes on conduit flow dynamics and chemistry of volcanic gas during lava dome eruptions. *American Geophysical Union Fall meeting*, 2010 年 12 月 15 日, San Francisco, USA.
- ⑫ T. Kozono and T. Koyaguchi, Effects of vertical and lateral gas escapes on volatile compositions, magma porosity and pressure in volcanic conduits during dome-forming eruptions. *City on Volcanoes 6th meeting*, 2010 年 5 月 31 日, Tenerife, Spain.
- ⑬ Y. J. Suzuki and T. Koyaguchi, 3-D numerical simulations of eruption clouds: flow regimes at the column collapse condition. *City on Volcanoes 6th meeting*, 2010 年 5 月 31 日, Tenerife, Spain.
- ⑭ 小園誠史・小屋口剛博, 縦方向・横方向の脱ガス過程が溶岩ドーム噴火における火道内の揮発成分組成・マグマ空隙率・圧力の分布に与える効果. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 24 日, 幕張メッセ.
- ⑮ T. Koyaguchi and T. Kozono, Compaction of silicic gas-rich magma during lava dome eruptions. *European Geosciences Union General Assembly*, 2010 年 5 月 4 日, Viena, Austria.
- ⑯ Y. J. Suzuki and T. Koyaguchi, Numerical determination of the efficiency of entrainment in volcanic eruption columns. *American Geophysical Union Fall meeting*, 2009 年 12 月 16 日, San Francisco, USA.
- ⑰ T. Koyaguchi, Y. J. Suzuki and T. Kozono, The diversity of flow pattern during eruption column collapse,

IAVCEI Commission on Explosive
Volcanism Workshop, 2009年10月27日,
Clermont-Ferrand, France.

- ⑱ 小園誠史・小屋口剛博, 縦方向脱ガスが
溶岩ドーム噴火における火道中のマグマ
空隙率分布に与える効果, 日本火山学会
秋季大会, 2009年10月11日, 神奈川
県生命の星・地球博物館.
- ⑲ T. Koyaguchi and Y. J. Suzuki,
High-Resolution 3-D Numerical
Simulations of Volcanic Eruption
Clouds. ASME Fluids Engineering
Division Summer Meeting, 2009年8月5
日, Vail, USA.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小屋口 剛博 (KOYAGUCHI TAKEHIRO)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号: 80178384

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

鈴木 雄治郎 (SUZUKI YUJIRO)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号: 30392939