

科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年 5月14日現在

機関番号：17102

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21200052

研究課題名（和文） 気泡ダイナミクス研究による火山噴火様式の支配要因の解明

研究課題名（英文） Elucidation of factors controlling eruption styles by bubble dynamics study

研究代表者

寅丸 敦志 (TORAMARU ATSUSHI)

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：50202205

研究成果の概要（和文）：

噴火様式の支配要因について、室内実験、モデル、天然現象の観測によって調べた。室内実験では、噴出様式や噴出量が、噴出直前の過飽和度の不均一に支配されていることが示され、そのことをモデルによって検証した。また、2011年新燃岳噴火について、噴出物の分析を行い化学組成の不均一と噴火様式の推移に関連があることを見出した。

研究成果の概要（英文）：

We examined the controlling factors of eruption style by laboratory experiments, models and natural observations. In laboratory experiments, it was found that the heterogeneity of supersturation just before an eruption controls the eruption style, or explosivity and mass. Model confirmed the role played by the heterogeneity of supersaturation. We carried out analysis of erupted materials, pumice and bomb, from 2011 Shinmoedake eruptions, and found that the shift of eruption style from Plinian to Vulcanian is related to the heterogeneity in chemical compositions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2010年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2011年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
年度			
年度			
総計	21,700,000	6,510,000	28,210,000

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：気泡ダイナミクス、噴火様式、間欠泉、核沸騰、噴出量、気泡核形成、減圧発泡

1. 研究開始当初の背景

爆発的噴火と非爆発的噴火の違いは、噴火の爆発性に寄与できる気体の量で決定されている。この気体の量は、マグマからの脱ガス効率に左右される。従来の方では、脱ガス効率は、マグマの上昇速度や浸透率によって支配されているとされて来た。すなわち、

上昇速度が小さい場合には、ガス浸透率を獲得し脱ガス効率が増加し、マグマの膨張は抑えられ上昇速度も増加しないという、上昇速度と脱ガス間にフィードバックが起こる（逆も成立）と考える。しかし、この考え方に関して次のような問題点も浮上している。

1) マグマの上昇速度を境界条件として与え

る定常問題に基づいた考えであり、実際のマグマは地下深部から定常的に供給されているわけではない。2) 均質に分布した気泡の合体によるガス浸透率の獲得は大変難しいという実験結果や理論的検討結果が提出されてきた。これに対して、申請者らは、これまでの噴出物質についての研究から、マグマの不均一性が噴火様式を左右しているとする考えを持つようになった。不均一なマグマでは、気泡の不均一核形成が局在化して起こり、気泡の連結と浸透率の獲得が局所的に進行する。そのため、過飽和度の小さい発泡の初期段階から脱ガスが進行することが期待される。

2. 研究の目的

本研究では、以上のような背景に照らして、噴火様式の分岐を決める真の第一義的要因は気泡の核形成モードであるという新しい考え方を提案し、これについてアナログ系を用いた室内実験、理論的考察、天然の観測など様々な角度から検討する。

3. 研究の方法

(1) アナログ室内実験

図1の様な間欠泉アナログ実験を用いて、噴出量、噴出様式、温度、圧力、フラスコ内の発泡現象の映像などのデータを取得し、噴出量や噴出様式の違いが、フラスコ内の発泡現象のどのような違いに起因しているか理解する。また、気泡のダイナミクスに関連して、マグマ中のガスの移動と噴火様式、及び微動発生の関係についても、アナログ実験で検討する。

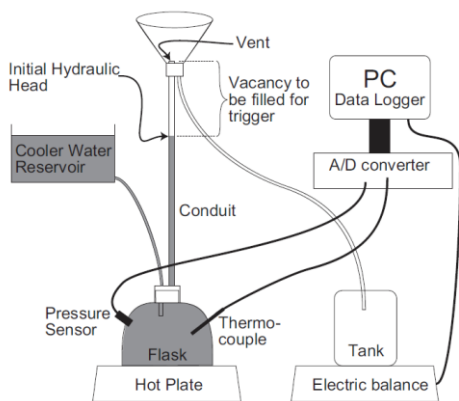


図1：間欠泉実験の模式図。

(2) モデル

実験を踏まえて、噴出量と噴出速度の多様性発現のモデル化を行う。

(3) 天然現象の観測

2011年新燃岳噴火やその他の火山の噴出

物を解析し、噴火直前のマグマだまりの不均一構造や、気泡の核形成モードについて検討する。

4. 研究成果

(1) 実験的研究による結果

間欠泉実験において、実験条件によって爆発的噴出（ジェット）と非爆発的噴出（フロー）が起こることが分かった。また、噴出様式と噴出量の間には相関があり、ジェットでは、噴出量の頻度分布の分散が小さく平均値が大きいことがわかった（図2）。また、核形成のモードの違いの影響を見るために、核沸騰しやすい水道水と、核沸騰し難い蒸留水を用いて実験を行った。その結果、核沸騰の効率がまったく反対の場合でも、フラスコの形状や加熱速度によっては噴出様式が同じになり、かつ噴出量の頻度分布と噴火様式の関係が成り立っていることが明らかになった。すなわち、噴火様式の支配要因は、噴出量の分布も同時に支配しており、核沸騰の効率といった気泡の核形成モードだけではなく、過飽和速度（加熱速度）やマグマだまり（フラスコ）の幾何学にも関係している。その結果、噴火様式の支配要因として、噴出直前のマグマだまりの過飽和構造（フラスコ内の温度構造）の不均一性がもっとも重要であるという推論に達した。

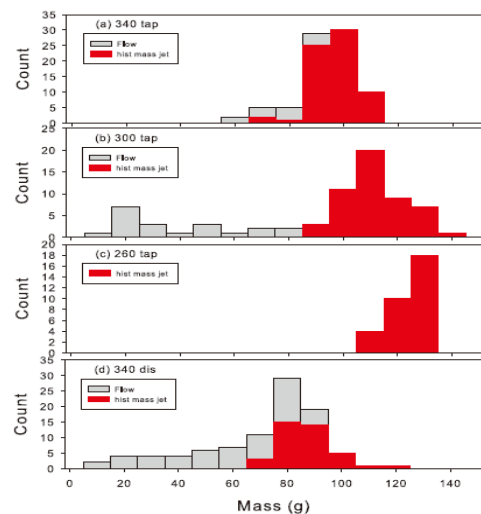


図2：各実験で得られた噴出量の頻度分布。ジェットの場合を赤で示している。(a)340℃ホットプレート温度、水道水使用。(b)300℃ホットプレート温度、水道水使用。(c)260℃ホットプレート温度、水道水使用。(d)340℃ホットプレート温度、蒸留水使用。

この推論を踏まえて、フラスコの上部と中部の2点の局所計測で得られた温度時系列から、その差を計算し、それを温度の空間不均一の目安とし、その確率密度関数（温度差PDF）を算出した。その結果、噴出量と噴出様

式のバリエーションが大きいほど、温度差 PDF の分散が大きいことがわかった (図 3)。

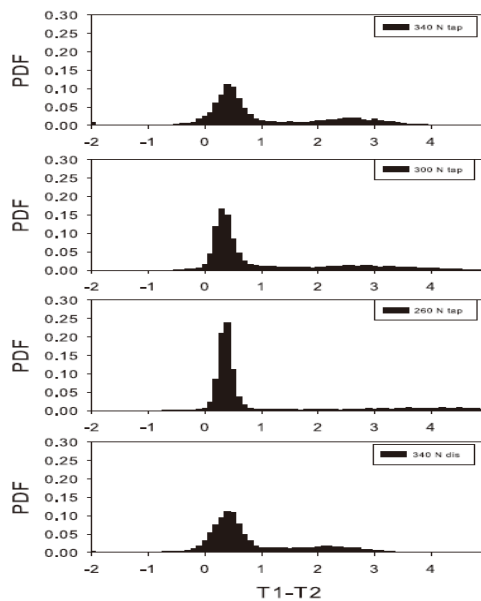


図 3 : フラスコ上部と中部の温度差の確率密度関数。実験条件は図 2 に同じ。

2011 年新燃岳噴火では、初期の準プリニー式噴火からブルカノ式噴火に移行する際に、地震と空振の両方のデータに特徴的な調和型振動の微動が観測された。この特徴を再現するために室内実験をデザインしモデル実験を行った。その結果、注目している振動現象は、やや粘性の低いマグマ中でガスが単独の気泡ではなくパイプ状につながった状態になりその中をガスが抜けるときに発生することがわかった。このことは、この微動の発生前では、大局的にガスが抜ける状態になっておらず軽石を大量に噴出するプリニー式の噴火を行い、その後はガスが大局的に抜けたためにブルカノ式の少量の溶岩を飛ばす噴火に移行したと考えられる。

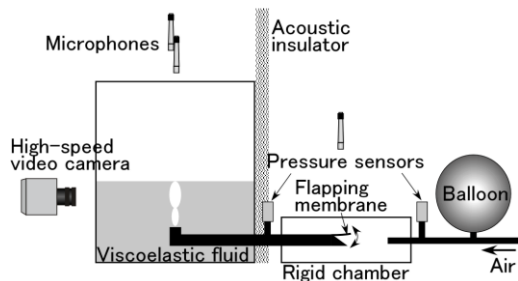


図 4 : 気泡の移動様式と微動発生の室内実験模式図。

(2) モデル

実験結果を踏まえて、噴出量及び噴出様式と温度の空間不均一を関係付けるモデルを開発した。このモデルでは、噴出のトリガーに必要な過飽和度 (トリガー条件) と噴出量や爆発性を決めている過飽和度 (減圧発泡条件) の 2 つの条件を設定したことがポイントである。それによって、トリガー条件を満たす状態にフラスコ内の水があったとしても、減圧発泡に供される領域にはバリエーションがあり、その結果、減圧沸騰量、すなわち噴出量にバリエーションが生じることになる。このことを定量的に吟味するために、モンテカルロ法によるシミュレーションを行った。その結果、フラスコ内の過熱度 (過飽和度) の空間分布が、噴出様式や噴出量を決める重要なファクターであることが確認された。

(3) 天然現象の観測

3. 2011 年新燃岳噴火による噴出物を解析し、噴火様式遷移の要因とマグマの不均一性の関係について、物質科学的に検討した。その結果、準プリニー式からブルカノ式への噴火様式の遷移は、マグマの混合の割合と関係があることがわかった。これは、主として雇用した PD によってなされた。また、気泡と結晶の関係を 3 次的に観察するために、X 線 CT スキャンで軽石と火山弾を観察した。その結果、火山弾の方が大きな気泡によって囲まれた斑晶が多くなることがわかった。このことは、斑晶の存在がガスの存在と浸透率の発達に影響を与え、脱ガスを促進したことを示唆している。

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 2 件)

(1) A. Toramaru, M. Matsumoto, Numerical experiment of cyclic layering in a solidified binary eutectic melt, J. Geophys. Res. 117, 2012, DOI 10.1029/2011JB008204 (査読有)

(2) Ichihara, M., Takeo, M., Yokoo, A., Oikawa, J., and Ohminato, T. (2012), Monitoring volcanic activity using correlation patterns between infrasound and ground motion, Geophys. Res. Lett., 2011GL050542, in press. (査読有)

[学会発表] (計 8 件)

(1) 寅丸敦志, 市原美恵, Rayleigh-Plesset 方程式と流体系振動方程式のカップリング, 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, 千葉市.
(2) 北島光朗, 星出隆志, 寅丸敦志, 桜島火山大正噴火における、噴火様式の変遷とマグマ結晶化過程, 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, 千葉市.

(3) 星出隆志, 寅丸敦志, 池端 慶, 入山 宙, 新燃岳 2011 年噴火噴出物の斑晶・マイクロナイト・発泡組織から見た、マグマ混合および上昇プロセス, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 23 日, 千葉市.

(4) 寅丸敦志, 前田一樹, 実験間欠泉における噴出様式と噴出量の数理モデル, 日本火山学会 2011 年秋季大会, 2011 年 10 月 4 日, 旭川クリスタルホール, 旭川市.

(5) A. Toramaru, K. Maeda, STATISTICAL CHARACTERISTICS OF EXPERIMENTAL GEYSERS: FACTORS CONTROLLING MASS AND STYLE OF ERUPTION, AGU fall meeting, December 9, 2011, SanFrancisco, アメリカ合衆国.

(6) Ichihara, M., and Lyons, J. (2011) Laboratory modeling for generation of harmonic tremor in the ground and in the air, IPGP/ERI Workshop, 18-19 October 2011: Auditorium, I.P.G. Paris, フランス.

(7) 市原美恵, ライオンス・ジョン(2011) 地震と空振に見られる調和型微動の発生に関するモデル実験, 日本火山学会秋季大会, 2011 年 10 月 4 日, 旭川クリスタルホール, 旭川市.

(8) 市原美恵, 及川純, 大湊隆雄, 武尾実 (2011) 空振と地震の相関解析から見た霧島新燃岳 2011 年噴火の推移, 日本地球惑星科学連学会合同大会, 2011 年 5 月 23 日, 幕張メッセ, 千葉市.

[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

寅丸 敦志 (TORAMARU ATSUSHI)
九州大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号 : 50202205

(2) 研究分担者

市原 美恵 (ICHIHARA MIE)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号 : 00376625

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :