

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2016

課題番号：24681035

研究課題名(和文) 気泡と斑晶を含むマグマの噴火様式決定メカニズムをモデル実験で理解する

研究課題名(英文) Understanding of mechanisms determining eruption styles of bubble- and crystal-bearing magmas

研究代表者

並木 敦子(Namiki, Atsuko)

広島大学・総合科学研究科・准教授

研究者番号：20450653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,000,000円

研究成果の概要(和文)：マグマは融けた岩石であるが、これに気泡と結晶を含んでいる。マグマの噴火様式は噴火前の気泡の量に依存する事が良く知られているがこの気泡の量はマグマが上昇する過程で変わり得る。本研究ではその気泡の量が変化するメカニズムの理解と測定する方法の開発を目指した。実験に基づき、せん断変形及び減圧膨張により気泡中の火山ガスが大気中に抜ける量を見積もる式を提出した。また、大地震に伴う振動も気泡中の火山ガスを周囲のマグマから分離する効果がある事を示した、更に粘弾性測定に基づき、マグマ中に気泡と結晶が含まれる場合、マグマが固体的に振る舞いS波を通すかもしれない条件を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Magmas are the molten rocks and include bubbles and crystals. Volcanoes erupt various ways and eruption styles depend on the amount of bubbles in magmas. The bubble amount is subject to change during the magma ascent. This project aims to understand the mechanism determining the bubble amount during the magma ascent and explore a method to measure the bubble amount. Based on our model experiments, we submit equations estimating the amount of outgassing by the shear deformation and the decompression induced expansion. We also propose a model of triggered eruptions in which oscillation induces foam collapse. Finally, we find a regime of solid-like behavior of bubbly crystal-bearing fluid, in which S wave could propagate.

研究分野：火山学

キーワード：マグマ 気泡 斑晶 粘弾性 脱ガス せん断変形 減圧膨張 震動

1. 研究開始当初の背景

火山は色々な噴火の仕方をする。同じ組成のマグマに限っても、静かに流れる噴火をする時もある。爆発的に噴火する時もある。今後どのような噴火が起きるのか、防災上我々は知りたい。研究開始当初及び現在行われている噴火予測は地震波等を用いた地球物理観測による方法と過去の噴火から類推する経験的手法に大別できる。噴火の開始時期は地球物理観測を用いる事で、比較的正確に予測できるようになっている。一方、噴火様式の予測には過去の噴火に基づく経験的手法が用いられている。有珠山の様に噴火を数十年単位の短い間に繰り返す場合には予測が立てやすいものの、あまり頻繁に噴火しない新燃岳のような場合には今後の噴火様式を予測する事は難しい。火山の噴火様式をより精度良く予測する為には地球物理観測に基づく予測の方法を確立しなければならない。その為には噴火様式を決める法則を理解し、噴火を決める要因がどのように観測されるのかを知る必要がある。

噴火様式を大きく爆発的・非爆発的に分ければ、爆発的噴火が起こるか否かを決めるのは気泡の有無である。マグマにはあまり圧縮性がなく、周囲の圧力が変わっても爆発的に膨張する事はない。しかし、マグマ中の気泡に含まれる火山ガスには圧縮性があり、周囲の圧力が変化すれば爆発的に膨張できる。つまり、火山ガスが作る気泡の有無が、爆発的噴火が起こるか否かを決めている。

火山の爆発的噴火を起こす火山ガスの量は、第一義的にはマグマが地下深くにおいて生成される時に溶け込んでいる量に依存する。しかし、マグマの上昇に伴い周囲の圧力が下がるとマグマ中に溶解できる火山ガスの量が減少し、気泡が生成するが、火道内で変形した気泡中のガスがマグマから分離(脱ガス)する事があり、その分離の仕方が火山ガスを含む気泡の量を変えようと考えられている。

よって、現在マグマがどれだけの気泡を保持しているのかを明らかにする事が必要である。その為には直接的に気泡の量を測定する方法を開発する事と、気泡の量が変化するメカニズムを理解する事が必要である。研究を始めた当初、せん断変形によって気泡同士の間隔が良くなる事はわかった。しかし、脱ガス量の時間変化は具体的に式で書く事は難しかった。また、減圧による気泡の成長と気泡同士の連結の関係はあまり良くわかっていなかった。更に大地震が火山の噴火を起こす事は知られていたが、気泡を含むマグマがどのように大地震に反応して噴火を起こすのか、よくわかっていなかった。

2. 研究の目的

上記の背景に基づき、本研究では以下を

指した。

気泡と斑晶を含む流体の地震波程度の低周波粘弾性測定を行い、その気泡・斑晶含有量依存性を明らかにする。

気泡を含むマグマの模擬物質のせん断変形実験から、マグマが実際に火道内で脱ガスする量を式で書けるようにする。

気泡を含む流体を減圧し、減圧膨張による火山ガスの分離メカニズムを明らかにする。

これらの知見に基づき大地震が噴火を誘発するメカニズム提案する。

3. 研究の方法

4つの実験に共通して、マグマと同程度の粘性率と表面張力を持つ水あめをマグマの模擬物質として用いた。斑晶の模擬物質としてはプラスチック粒子を用いた。気泡は炭酸水素ナトリウムとクエン酸の化学反応により二酸化炭素を発生させる事で水あめ中に導入した。

粘弾性測定は地震と同程度の周波数1Hz付近の振動で粘弾性を測定できるレメータを購入し、これを用いて行った。

せん断変形実験は、気泡を含む水あめをせん断変形できる試験機を開発し、これを用いて行った。

減圧実験は、高さ0.9m幅0.6mの板状減圧容器を開発し、これを用いて行った。

大地震により誘発される噴火の実験は、ドイツの研究機関GFZ Potsdamを訪問し、ここある振動台を用いて行った。

4. 研究成果

気泡とプラスチック粒子の量を調整する事で広いパラメータ範囲の測定を行い、気泡と結晶を含む系が固体的に振る舞う条件を明らかにした。この成果に立脚し、現在は基盤研究Bのサポートのもと、アナログ物質ではないマグマの粘弾性測定に着手している。

開発したせん断変形試験機を用いて、気泡の入った水あめに対するせん断変形実験を行った。従来の実験と異なり、大容量の装置であり、しかも、重力方向のせん断変形が可能であった事から、定量的な脱ガス量を見積もる式を提出する事ができた(Namiki 2012)。プラスチック粒子を含む系の場合、粒子が入る事で効果

的に気泡が繋がる様子を確認できた。しかし、この系については粒子がせん断変形試験機のプリーとタイミングベルトの間に入り込んでプリーの回転を止めてしまう為、変形量の大きい実験は断念した。

気泡の入った流体を減圧すると気泡を隔てるフィルムの破裂が連続的に発生し、火山ガスを通すパスを一時的に作る事がわかった。また、この方法は従来考えられていた浸透流と比べて脱ガス量が有意に増加する事もわかった(Namiki & Kagoshima 2014)。この系にプラスチック粒子を加えると脱ガスの方向が変わり、水平方向に広がるガスの層を作る事もわかった。

気泡とプラスチック粒子を含む流体層を液体層の上にのせ水平方向の振動を加えた結果、スロッシングと呼ばれる振動が起こり、気泡の層がつぶれていく様子が観察された。

この結果を用いて 1707 年に起こった富士山の宝永噴火について考察した。宝永噴火は宝永地震の 4 9 日後に起きた事が知られている。また、宝永噴火により噴出したマグマはデイサイト質の物から玄武岩質の物に噴火中に变化した事も知られている。そこで、泡を含まない玄武岩質マグマの上に泡を含むデイサイト質マグマがある状態があったと仮定した(図 1)。このマグマ溜まりが宝永地震により揺すられて、スロッシングが起こるかどうかが検討し、宝永噴火が引き起こされた可能性を提唱した。本研究は Journal of Volcanology and Geothermal Research に Invited Research Article として掲載され、Science 誌の HP に紹介された。

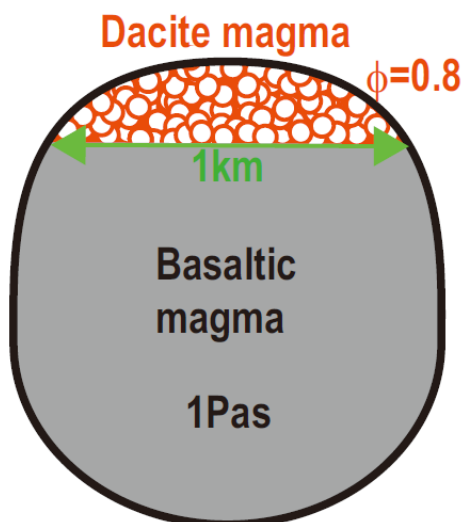


図 1 : 富士山宝永噴火前に想定されるマグマ溜まり。

以上の成果に加えて、この科学研究費補助金のおかげで 5 人の学部学生の研究を遂行する事ができた。ここに記して感謝したい。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

1. Namiki, A., Y. Ueno, S. Hurwitz, M. Manga, C. Munoz-Saez, and F. Murphy (2016), An experimental study of the role of subsurface plumbing on geothermal discharge, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **17**, doi:10.1002/2016GC006472. **Selected as an Editor's highlight**, 査読有.
2. Namiki, A., E. Rivalta, H. Woith, T. R. Walter, (2016), Sloshing of a bubbly magma reservoir as a mechanism of triggered eruptions, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **320**, 156-171. doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.03.010 **Invited Research Article**, 査読有.
3. 並木敦子 (2016) 室内実験による火山現象の解明, 火山第 61 巻 第 1 号 171-182 頁, 査読有.
4. Namiki, A., C. Muñoz-Saez, and M. Manga (2014), El Cobreloa: A geyser with two distinct eruption styles, *J. Geophys. Res.*, **119**, 6229–6248, doi: 10.1002/2014JB011009, 査読有.
5. Namiki, A. and T. Kagoshima (2014), Intermittent and efficient outgassing by the upward propagation of film ruptures in a bubbly magma, *J. Geophys. Res.*, **119**, doi:10.1002/2013JB010576, 査読有.
6. Namiki, A., K. Sueyoshi, and N. Takeuchi (2013), Can a sheet-like low-velocity region form an elongated LIP?, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **14**, doi: 10.1002/ggge.20182, 査読有.
7. Namiki, A. (2012), An empirical scaling of shear-induced outgassing during magma ascent: Intermittent magma ascent causes effective outgassing, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **353-354**, 72-81. doi.org/10.1016/j.epsl.2012.08.007, 査読有.

〔学会発表〕(計 14 件)

1. Namiki, A., Y. Ueno (2016) Variety of Discharge Styles of Geothermal Water Generated by Plumbing Systems: An Experiment, Goldschmidt, Yokoyama, JAPAN.
2. Namiki, A., Y. Tanaka (2015) Long Pathways for Outgassing Generated by a Rapid and Large Shear Strain of Bubbly Fluids Reducing Effective Viscosity and

- Affecting Eruption, Styles *AGU Fall Meeting*, SF, USA. **Invited.**
3. Namiki, A. (2015) Bubble Coalescences Found in a Scoria from 2014-2015 Aso Eruption, *AGU Fall Meeting*, SF, USA.
 4. Namiki, A., E. Rivalta, H. Woith, T. Walter, (2015) Sloshing of a bubbly magma reservoir, 26th IUGG general assembly, Prague, Czech.
 5. Namiki, A., S Hurwitz, F Murphy, M Manga (2014) Bimodal Distribution of Geyser Preplay Eruptions: Lone Star Geyser, Yellowstone National Park, *AGU Fall Meeting*, SF, USA.
 6. Namiki, A. (2014) Intermittent and efficient outgassing by the upward propagation of film ruptures in a bubbly magma, *Cities on Volcanoes 8*, Yogyakarta, Indonesia.
 7. 並木敦子, Munoz-Saez Carolina, Manga Michael (2014) 2つの周期がある間欠泉:El Cobreloa, 日本地球惑星科学連合連合大会 2014年大会, 幕張, 日本
 8. 並木敦子 (2014)噴気孔の穴のサイズの決めり方を知りたい、日本火山学会秋季大会、福岡大学、日本
 9. Namiki, A. (2013) Intermittent and efficient outgassing by upward propagation of film ruptures, IAVCEI 2013, 鹿児島県民交流センター -、鹿児島、日本
 10. Namiki, A., C. Munoz-Saez, S. Hurwitz, M. Rudolph, E. King, M. Manga (2013) Filling geyser conduits between eruptions, as revealed by acoustic measurements in the El Tatio Geyser Field, Chile IAVCEI 2013, 鹿児島県民交流センター -、鹿児島県、日本
 11. Namiki, A., T Kagoshima, Y Kanno (2013) Experimentally revealed diversity of outgassing styles controlling subsequent eruptions *AGU Fall Meeting*, SF,USA. **Invited.**
 12. 並木敦子, Munoz-Saez, C., Hurwitz, S., Manga, M. (2013) 2種類の噴火を周期的に起こす間欠泉: El Cobreloa, 日本火山学会秋季大会、猪苗代町体験交流館、福島県、日本
 13. Namiki, A., (2012) An empirical scaling of shear-induced outgassing during magma ascent, EGU General Assembly, Vienna Austria.
 14. Namiki, A., (2012) Experiments on shear induced generation of large gas slugs, AGU, Chapman conference, Hawaii, USA

〔その他〕

研究代表者のHP

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/namiki/>

JSTサイエンスチャンネル

<https://www.youtube.com/watch?v=BeN5YIrnP0I>

I

JSTサイエンスクリップ

https://scienceportal.jst.go.jp/clip/20160708_01.html

Science誌

<http://www.sciencemag.org/news/2016/04/how-earthquakes-might-trigger-faraway-volcanoes>

6. 研究組織

(1)研究代表者

並木 敦子 (ATSUKO NAMIKI)

広島大学・大学院総合科学研究科・准教授

研究者番号：20450653