

平成 30 年 5 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03714

研究課題名(和文) 珪長質火山活動の開始とその噴火様式の支配条件の解明：高結晶度マグマの流動・固化

研究課題名(英文) Initiation and eruption style of silicic volcanism: Roles of outgassing and rheology of crystal- and bubble-bearing magmas

研究代表者

奥村 聡 (Okumura, Satoshi)

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：40532213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：珪長質火山活動の謎の一つは、流動を阻害する結晶を多量に含む高結晶度マグマによる爆発的噴火である。50vol%程度以上の結晶を含むマグマは固体的挙動を示すために爆発的噴火にはマグマ流動化が必要だが、そのメカニズムは不明であった。この問題を解決するために、本研究では高結晶度マグマの減圧発泡実験および粘性測定を行った。その結果、大きな減圧速度では気泡形成により固相同土が分離することでマグマが流動化し、逆に小さな減圧速度では脱ガスが進行し固化してしまうことが分かった。つまり、高結晶度マグマが爆発的噴火を起こすには、噴火前に大きな過剰圧を蓄積するなどして、大きな減圧率を達成する必要があることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Crystal-rich magmas with high viscosity often cause explosive volcanism. To ascend rapidly to the surface, the magma must be lubricated during the eruption. We performed decompression experiments for bubble- and crystal-bearing magmas to simulate magma ascent process. We also measured the viscosity of magmas with gas bubbles and crystals. Based on these experiments, we found that crystal-rich magma can lubricate due to the breakage of crystal network with gas bubble formation under high decompression rates. In contrast, gas bubbles escaped under low decompression rates. Thus, we infer that explosive volcanism by crystal-rich magmas can cause when high decompression rate is achieved by some mechanisms such as large overpressure in a magma reservoir.

研究分野：火山学

キーワード：高結晶度マグマ 爆発的噴火 マグマレオロジー 脱ガス 発泡

1. 研究開始当初の背景

1991年ピナツボ火山(フィリピン), 2011年霧島新燃岳(日本), 2014年ケルト火山(インドネシア)など, 結晶量が50%に達するような高結晶マグマによる爆発的火山噴火は地球上で頻繁に発生する. 高結晶度マグマはマグマだまり内での結晶作用で形成され, 冷却とともに固相である結晶の体積分率が増加していく. 結晶を含むマグマの粘性はメルト単体の状態よりも高く, 結晶量が30~60体積%を超えると結晶同士がフレームワークを形成し, あたかも固体のように振舞う(例えば Caricchi et al., 2007). そのためマグマ物性の観点からは, 地殻内のマグマだまりから地表へと噴出できるマグマの結晶量には限界があると考えられてきた(Marsh, 1981). しかし, 実際には高結晶度マグマによる爆発的噴火は多数発生しており, マグマの流動化メカニズムの存在が示唆されている(Cooper&Kent, 2014).

また, 流動化し勢い良く上昇を開始した高結晶度マグマが, 穏やかに地表へ噴出(非爆発的噴火)するケースもある(アメリカ・セントヘレンズ火山の2004-2008年溶岩ドーム噴火など). このようなケースでは, 一旦流動化したマグマが上昇する駆動力や爆発性を失い穏やかな噴火となったと考えられる. しかし, 勢い良く上昇を開始した高結晶度マグマが何故, 時に爆発的噴火を, また別のケースでは非爆発的噴火を起こすのか, その原因は明らかでない. このように高結晶度マグマが何故, 噴火を開始できるのか, また爆発-非爆発的噴火の分岐を支配する要因は何か, という火山学の基本的な問題に我々は未だ答えることができていない.

2. 研究の目的

本研究の目的は, 高結晶度マグマが地殻内を上昇開始するメカニズムと, 上昇したマグマが多様な噴火様式となる原因を明らかにすることである. これまでの研究によって, 高結晶度マグマ中では気泡が結晶フレームワークを分離し流動化を誘発することで爆発的噴火を引き起こすこと, また脱ガス効率が高い場合には上昇を開始したマグマが再度, 高粘性化(固化)し非爆発的噴火となる可能性が指摘されてきた. 本研究では, このメカニズムによって噴火開始および噴火様式の多様性を説明可能か検証することを目的とした.

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために, 高結晶度マグマの減圧発泡実験と粘性測定実験を行った. 減圧発泡実験はマグマの上昇を模擬する減圧率, 減圧量を達成する必要がある. そこでシリンジポンプにて減圧速度をコントロールできる水熱合成装置を新たに設置した. また, 減圧実験した後に試料を急冷回収するために, 急冷システムを構築した. 具

体的には, 試料を固定しているフィラーロッドを磁石で移動できるようにし, 試料を冷却部へ急速に移動することで急冷回収を可能とした.

実験の出発物質には, 流紋岩ガラスに対して50, 60, 70vol%のコランダム結晶を混ぜた試料を用いた. そして, 混合した試料を800, 100 MPaで飽和状態となる量の水と一緒に, 外径3mmの金チューブ内に封入した. このカプセルを800, 100MPaの温度, 圧力条件で20時間保持し, その後8~320 MPa/hの減圧速度で20MPaまで減圧した. また, 金チューブ内に, 流紋岩ガラス, 流紋岩ガラス+コランダム結晶(50~70vol%), 流紋岩ガラスを順番に入れることで, 金チューブ内に三層からなる試料を作成した上で上記と同じ実験条件で実験を行った(図1). 実験後, 回収した実験試料内の気泡組織をマイクロX線CTで観察した.

結晶を含むマグマの変形実験は, SPring-8とフランス・オルレアン大学で行った. SPring-8では独自に作成した変形試験機とX線イメージング法を用いることで, 変形するマグマの3次元観察を行った. この実験の出発物質には, 減圧実験同様に流紋岩ガラスとコランダム結晶の混合物から合成した試料の他, 天然試料を用いた. またオルレアン大学では, ガス圧試験機を用いて結晶と気泡を含むマグマの粘性測定実験を行った. この実験では, 天然試料(新島向山溶岩, 妙高火山大田切川火砕流中の軽石試料)を出発物質として用いて, 800, 100 MPaの温度, 圧力条件にて粘性測定実験を行った.

4. 研究成果

(1) 高結晶度マグマ中の気泡形成
高結晶度マグマの減圧発泡実験の結果, 減

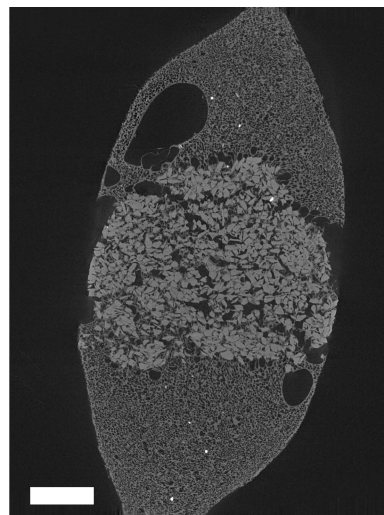


図1. X線CTで得られた減圧発泡実験試料中の気泡組織. 上部と下部が結晶を含まない領域. 中心がコランダム結晶を含むマグマ. 試料中の黒い部分が気泡. 白いスケールが1mmを示す.

圧速度が気泡組織へ大きな影響を与えることが分かった。つまり、減圧率が大きな場合には、結晶の連結度が大きく低下する一方、減圧率が小さい場合には連結度は高いままであった。低減圧率では、気泡の成長が強固な結晶フレームワークに抑え込まれ、気泡は比較的フレームワークの弱い領域へ吐き出された。さらに、高結晶度マグマを、結晶を含まない流紋岩メルトで挟み込んだ実験では、気泡の掃き出しがより明瞭に見られた(図1)。この場合でも、減圧率が高いと気泡の掃き出しよりも、結晶フレームワークの分裂が卓越した。

(2) 高結晶度マグマの粘性

ガス圧試験機を用いた粘性測定実験から、数 vol%程度の気泡が存在しても高結晶度マグマの粘性は大きく変化しないことが分かった。一方で、マグマの粘性は結晶量の増加に伴い、歪速度依存性が大きくなっていくことが分かった。この結果は、高結晶度マグマが火道内を上昇するとき歪速度の大きな領域で大きく変形することを意味している。

(3) 高結晶度マグマの流動・固化

本研究の実験から、高結晶度マグマが気泡形成によって流動化できる条件が明らかになった。すなわち、高結晶度マグマは高減圧率で発泡し、しかも十分に大きな発泡度に達することで流動化することが分かった。逆に低減圧率では、流動化するのに十分な発泡度に達する前に、脱ガスしてしまう。これらの結果から、気泡形成によって高結晶度マグマが爆発的噴火を開始するためには、高減圧率で上昇開始する必要があることが分かった。

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 6 件)

Satoshi Okumura, Tomofumi Kozono (2017) Silicic lava effusion controlled by the transition from viscous magma flow to friction controlled flow, *Geophysical Research Letters*, 44, 3608-3615 (査読有)。

Aika K. Kurokawa, Takahiro Miwa, Satoshi Okumura, Kentaro Uesugi (2017) Rheology of basaltic ash from Stromboli volcano inferred from intermittent compression experiments, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 343, 211-219 (査読有)。

奥村聡 (2016) マグマの脱ガスとレオロジー: 火山噴火の爆発性を支配する要因の解明へ向けて、*岩石鉱物科学*, 45, 13-20 (査読有)。

Satoshi Okumura, Alexandra Kushnir, Caroline Martel, Remi Champallier,

Quentin Thibault, Shingo Takeuchi (2016) Rheology of crystal-bearing natural magmas: Torsional deformation experiments at 800°C and 100 MPa, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 328, 237-246 (査読有)。

Antonio M. Alvarez-Valero, Satoshi Okumura, et al. (2016) Tracking bubble evolution inside a silicic dike, *Lithos*, 262, 668-676 (査読有)。

Satoshi Okumura, Kentaro Uesugi, Michihiko Nakamura, Osamu Sasaki (2015) Rheological transitions in high-temperature magmatic fault, *Journal of Geophysical Research*, 120, 1-14 (査読有)。

[学会発表](計 9 件)

Satoshi Okumura, Tomofumi Kozono, Lava effusion modeling by a conduit flow model coupled with the brittle-ductile transition of magma, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017

Shizuka Otsuki, Nobuo Geshi, Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Osamu Sasaki, Microstructural relaxation of andesitic magma foam, IAVCEI 2017 Scientific Assembly, 2017

Aika K. Kurokawa, Takahiro Miwa, Satoshi Okumura, Kentaro Uesugi, Viscoelastic behavior of basaltic ash from Stromboli volcano inferred from intermittent compression experiments, AGU Fall Meeting, 2017

奥村聡, 小園誠史, 小屋口剛博, 長井雅史, 火山噴出物解析と地球物理観測のカップリング: 新燃岳 2011 年噴火の例, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 2016 年 5 月 22 日~5 月 26 日, 千葉

Okumura, S., Nakamura, M., and Uesugi, K., Laboratory simulation of shear deformation and outgassing of silicic magma, Goldschmidt Conference 2016, 2016 年 6 月 26 日~7 月 1 日, 横浜, 日本 (招待講演)

黒川愛香, 三輪学央, 奥村聡, 上杉健太郎, 繰り返し圧縮実験によるストロンボリ玄武岩質火山灰のレオロジー探求, 日本火山学会 2016 年度秋季大会, 2016 年 10 月 12 日~10 月 16 日, 富士吉田

奥村聡, 上杉健太郎, 中村美千彦, 佐々木理, 珪長質マグマの粘性流動と摩擦すべり: 火山の噴火様式の多様性に対する意義, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 24 日~5 月 28 日, 千葉 (招待講演)

Kozono, T., Ueda, H., Shimbori, T., and Fukui, K., Correlation between magma chamber deflation and eruption cloud height during the 2011

Kirishima-Shinmoe-dake eruptions,
IUGG 2015, 2015年6月22日~7月2日、
プラハ、チェコ(招待講演)
奥村聡、岩本将明、佐々木理、高結晶度
マグマの発泡とそれに伴う流動化、日本
火山学会 2015 年度秋季大会、2015 年 9
月 28 日~30 日、富山

〔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

奥村 聡 (OKUMURA Satoshi)
東北大学・理学研究科・准教授
研究者番号：40532213

(2) 研究分担者

小園 誠史 (KOZONO Tomofumi)
東北大学・理学研究科・准教授
研究者番号：40506747

栗谷 豪 (KURITANI Takeshi)
北海道大学・理学研究院・准教授
研究者番号：80397900

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()