

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740299

研究課題名(和文)火山噴火の爆発性とマグマの変形集中の定量的関係の解明

研究課題名(英文)Strain localization in magma and its roles in volcanic eruptions

研究代表者

奥村 聡 (Okumura, Satoshi)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40532213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：火山噴火の爆発性はマグマの発泡と脱ガスによって支配される。爆発の駆動力を抑制する脱ガス(外部へ揮発性成分を放出する過程)の効率は、マグマの変形によって左右される。本研究は、放射光X線を利用することで高温封圧下で流動するマグマを直接観察し、変形集中の発生条件を解明した。その結果から、マグマ上昇中の脱ガス効率の変化を予測することが可能となった。またマグマの温度、圧力、変形速度が変形集中の発生と集中帯の回復の要因となりえることが示された。

研究成果の概要(英文)：The explosivity of volcanic eruptions is controlled by magma vesiculation and outgassing. The rate of outgassing that releases gas phase to the outside is enhanced by magma deformation via the formation of bubble networks. In this study, we observed in-situ magma deformation under high temperature and pressure condition using a synchrotron radiation X-ray imaging, and determined the criterion for the onset of strain localization for vesicular rhyolite. Based on this result, we can predict the change of outgassing rate during magma ascent. We also found that the formation and healing of shear-localized zone in magma depend on magma temperature, pressure, and deformation rate.

研究分野：火山学

キーワード：マグマ 脱ガス 変形集中 その場X線CT 揮発性成分

1. 研究開始当初の背景

マグマに数 wt%程度の揮発性成分が含まれていれば、地表まで上昇したマグマの発泡度(空隙率)は100vol%近くとなる。そのため、発泡度の低い溶岩流や溶岩ドームを噴出するような非爆発的噴火は、マグマからガスだけが効率的に分離する、つまり脱ガスが効率的に起こることによって引き起こされると考えられてきた。マグマ中では、浮力を駆動力とする個々の気泡の移動は遅いため、効率的な脱ガスは、気泡同士が連結して形成した気泡ネットワークを利用した浸透流的脱ガスで起こる。しかし実際に天然試料や実験的に再現したマグマは、流動下において大きなガス浸透率を持ち、普遍的に効率的な脱ガスが起こる可能性もある。つまり、火山噴火の様式や爆発性の多様性の原因を理解するためには、「どのように効率的な脱ガスを引き起こすのか」という問題だけでなく、「マグマの脱ガス・コンパクションを起こさないメカニズム」を解明しなければならない。

2. 研究の目的

マグマの脱ガス・コンパクションを起こさないメカニズムの一つとして、上昇するマグマ中での変形集中が挙げられる。流動・変形するマグマ中では、気泡合体とチューブ状の気泡構造が形成されることでガス浸透率が上昇する。しかし、変形が集中すると、集中帯以外の領域においては気泡合体が抑制され、チューブ状の気泡構造が形成されないためガス浸透率の上昇は起こらない。本研究の目的は、変形集中が発生する条件と変形集中に伴う脱ガス効率の変化を定量化し、変形集中が火山の爆発・非爆発的噴火の遷移要因となりえるか検証することである。

3. 研究の方法

本研究は、“実験的手法”によりマグマの変形集中発生条件と変形集中に伴う脱ガス効率の変化を調べ、“天然試料の解析”により変形量の違いによる脱ガス効率の変化の有無を検証することを目的としている。まず、変形集中の発生条件(マグマ中の気泡組織や変形条件など)と変形集中に伴う脱ガス効率の変化を実験的手法を用いて定量化した。実験には研究代表者が独自に開発を進めている高温高圧下で発泡したマグマの流動・変形をその場観察することができる、“高温高圧ねじり変形装置と大型放射光施設 SPring-8 のX線観察法を組み合わせた実験システム”を利用した。この方法により、変形が集中する瞬間の気泡組織変化をその場で直接観察することが出来る。さらに変形が継続的に集中するのか、その領域が回復することで他の領域に集中帯が形成されるか検討した。

また火山岩の組織解析や揮発性成分濃度の分析から、火山噴火において脱ガス効率の高い変形集中帯と脱ガス効率の低い低変形量領域が形成されるどうか検証を試みた。

4. 研究成果

- (1) まずは本研究の実験で使用する高温高圧下でマグマをねじり変形させ、かつX線透過法やX線CTを用いることで変形をその場観察することができる、高温高圧ねじり変形装置の改造を進めた。具体的には、AE装置と複数のロードセルの設置である。前者は流動するマグマ中での破壊現象の観測、後者は実験圧力範囲の拡張のために行った。この装置を大型放射光施設 SPring-8 に設置して、流動するマグマのその場観察実験を行った結果、変形集中(X線透過法・CTによる観察)によってマグマが脆性破壊(AEによる観測)を起こし、さらに増圧(ロードセル・変位計による観測)することを観測することに成功した。
- (2) 上述の装置を利用した変形実験により、変形集中とマグマの破壊によりマグマ中に断層帯が形成されることが分かった。発泡した流紋岩メルト中では、デボラ数が $3-4 \times 10^{-5}$ となる条件下で変形集中が開始することが分かった(Okumura et al., 2013 EPSL)。
- (3) せん断破壊したマグマは高いガス浸透率を持ち、その値は発泡したマグマの浸透率よりも2桁以上高いことが実験的に示された。そのため、変形集中帯は脱ガスの効率的な通路となる(Okumura and Sasaki, 2014 Geology)。
- (4) 変形集中によって形成されたすべり面は、温度、圧力、変形速度次第で回復し、再度粘性流動することが実験的に分かった。粘性流動するとマグマ全体が変形し、気泡ネットワークが形成され脱ガスが進行する。マグマ中の断層面が摩擦すべりするが粘性流動するかは、摩擦と粘性強度の比で与えられることが分かった(Okumura et al., 2015 JGR)。
- (5) 十和田火山毛馬内火砕流中の黒曜石と軽石はほぼ同じ含水量であるが、気泡組織に大きな違いがあった。黒曜石は発泡度が低く気泡は変形し歪な形状をしているが、軽石は良く発

泡しており気泡は丸い。この観察結果から黒曜石は変形集中が起こり脱ガスの進行した領域、軽石はそれ以外の領域のマグマから形成されたと推測される。一方で、雲仙普賢岳平成溶岩では、火道壁付近および火道中心付近から得られた溶岩で変形組織に大きな違いが見られなかった。どちらも発泡度は非常に低く、このような溶岩から変形以外のメカニズムで効率的な脱ガスを引き起こすメカニズムが存在することが示唆され、その解明は今後の課題である。

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 7件)

Satoshi Okumura, Kentaro Uesugi, Michihiko Nakamura, Osamu Sasaki, Rheological transitions in high-temperature volcanic fault zones, Journal of Geophysical Research, 2015, 査読有, in press

Satoshi Okumura, Osamu Sasaki, Permeability reduction of fractured rhyolite in volcanic conduits and its control on eruption cyclicality, Geology, 査読有, 42, 2014, 843 - 846

DOI: 10.1130/G35855.1

Satoshi Okumura, Naoto Hirano, Carbon dioxide emission to Earth's surface by deep-sea volcanism, Geology, 査読有, 41, 2013, 1167 - 1170

DOI:10.1130/G34620.1

Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Kentaro Uesugi, Tsukasa Nakano, Takuma Fujioka, Coupled effect of magma degassing and Rheology on silicic volcanism, Earth Planetary Science Letters, 査読有, 362, 2013, 163 - 170

奥村聡、中村美千彦、上杉健太郎、放射光 X 線を用いた流動するマグマのその場観察：火山噴火の多様性の原因解明へ向けて、放射光、査読有、25 巻、2012、222 - 228

[学会発表](計 19件)

奥村聡・上杉健太郎、火道内を上昇する珪長質マグマの流動様式：粘性流動 vs 摩擦すべり、横浜、日本、日本地球惑星科学連合 連合大会 2014 年大会、2014 年 4 月 28 日 ~ 5 月 2 日

Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Kentaro Uesugi, Outgassing of silicic magma through bubble and fracture networks, San Francisco, USA, 2013 American Geophysical Union Fall

Meeting, December 9-13, 2013 (Invited).

Takahiro Miwa, Satoshi Okumura, Takeshi Matsushima, Hiroshi Shimizu, Asymmetric deformation structure of lava spine in Unzen Volcano, Japan, San Francisco, USA, 2013 American Geophysical Union Fall Meeting, December 9-13, 2013.

Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Shanaka de Silva, Osamu Sasaki, Phenocryst fragmentation in crystalline silicic magma during explosive and effusive eruptions, Kagoshima, Japan, IAVCEI 2013, 19-25 July 2013 (poster).

Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Kentaro Uesugi, In situ observation of brittle fracturing of rhyolite magma by X-ray radiography, Kagoshima, Japan, IAVCEI 2013, 19-25 July 2013 (poster).

奥村聡、火砕性黒曜石に残されたマグマ中でのガス移動の証拠、千葉、日本、日本地球惑星科学連合 連合大会 2013 年大会、2013 年 5 月 19 日 ~ 5 月 24 日

Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Kentaro Uesugi, Tsukasa Nakano, Coupled effect of magma degassing and rheology on silicic volcanism, Vienna, Austria, European Geosciences Union General Assembly 2012, 22 - 27 April 2012 (invited).

[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：
出願年月日：
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・大学院理学研究科・助教

研究者番号：4 0 5 3 2 2 1 3