

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 4月10日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21684025

研究課題名（和文） 火山の爆発的・非爆発的噴火の分岐を支配するマグマの脱ガスの定量的理解

研究課題名（英文） Mechanism and rate of magma degassing: Toward an understanding of bifurcation of explosive - effusive silicic volcanism

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：40532213

研究成果の概要（和文）：

火山噴火の様式や爆発性を支配する要因の一つは、地表へ上昇するマグマ中に形成された気泡内のガス成分が外部へ流出する、つまりマグマの脱ガスである。本研究では、独自に変形実験装置を作成し、放射光施設 SPring-8 の X線イメージングを利用することで、マグマの流動と脱ガスを世界で初めて観察することに成功した。この実験の結果、流動するマグマからの脱ガスは非常に効率的であることが示された。これは発泡度の高いマグマを爆発的に噴出する火山噴火においては、脱ガスを抑制するまだ知られていないメカニズムが存在していることを示唆する。

研究成果の概要（英文）：

A factor controlling the style and explosivity of volcanic eruptions is magma degassing during its ascent in a volcanic conduit. To understand the mechanism of the degassing and determine the degassing rate, we experimentally simulated magma ascent and observed in situ the deformation of magma by using originally developed deformation apparatus which was built up on synchrotron radiation X-ray imaging system in SPring-8. The experimental results demonstrated that the degassing rate from flowing magma was high. This result implies that some unknown mechanisms inhibit the degassing for explosive volcanism.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2010年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2011年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
年度			
年度			
総計	17,300,000	5,190,000	22,490,000

研究分野：数物系化学

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

地殻内に存在するマグマには揮発性成分が含まれるため、減圧されると気泡

が形成される。地殻内を上昇するマグマ中に大量の気泡が形成されると火山灰・火山ガスを大量に噴出するような爆発的噴火となり、一方で気泡中のガス成

分だけが外部へ放出(脱ガス)されれば噴火の爆発性が抑制されて、溶岩を流出するような比較的穏やかな噴火となる。つまり、マグマからどれだけ脱ガスが起るのか(脱ガス効率)が、火山の噴火様式を主に支配すると考えられる。脱ガスのメカニズムとしては、「流動するマグマ中で幾つもの気泡が衝突合体して、その結果形成された気泡ネットワークを利用した浸透流的な脱ガス」と「マグマの流動・変形に伴って形成された亀裂を利用した浸透流的な脱ガス」が提案されていた。しかし、このような脱ガスがマグマ上昇中に、どの深度で、どの程度の効率で起るのかについては不明であった。つまり、脱ガスと噴火様式の関係は定量的には理解されておらず、噴火の爆発性を予測するために脱ガス効率を定量的に決定することが期待されていた。

2. 研究の目的

以上のような背景のもと、本研究では流動するマグマからの脱ガスのメカニズムを解明し、脱ガス効率を決定することを目的とした。実際の火山噴火によって噴出した火山岩は、マグマ上昇中の様々なプロセス(マグマの発泡・変形・破碎など)を経験しているため、その解析だけからマグマ上昇中の脱ガス効率を決定することは原理的に難しい。そこで、本研究では実験的にマグマの上昇・流動、そして脱ガスを再現し、直接観察することでマグマの脱ガス効率と噴火様式の間関係を調べることにした。そのために、高温高圧下で流動するマグマをその場観察するためのシステムを構築した。最終的には、脱ガスと噴火様式の間関係を定量的に理解することを目標とした。

3. 研究の方法

本研究では、まず初めに発泡したマグマを高温高圧下で流動させるための実験装置を独自に作成した。実験に際して、試料(マグマ)はシリンダー内に設置されピストンで上下から挟まれ、シリンダー内に設置されたカートリッジヒーターを用いてシリンダーごと加熱される。そして、上部のピストンを回転させることで、マグマをねじり変形させることができる。さらに、この変形装置は流動するマグマをその場観察することを前提に作成されている。すなわち、X線光路となるシリンダーの側面には円形の穴

をあけておき、光路上にはマグマとカプセルに用いているグラファイト以外は存在しないように設計した。グラファイトはX線吸収がマグマよりも非常に小さいため、グラファイトをカプセルとして用いることでマグマとマグマ中の気泡を観察することができる。

まずは作成した実験装置などを用いて予備実験を行った。実験の出発物質としては、水熱合成装置などを用いて合成した流紋岩組成の含水ガラスを用いた。また、マグマ粘性を決定するために、粘性既知のソーダライムガラスも合成した。このガラスの粘性はガラス繊維引き伸ばし法によって測定した。このガラスを用いて変形に必要なトルクと粘性の間関係を校正した。変形実験は、おおよそ800~1000°C程度の温度で、0.5rpmの回転速度で行った。回収した試料内の気泡組織は、SPring-8(BL20B2)のX線CTを用いて観察した。回収試料の観察から、マグマの変形によって気泡合体・変形が促進されていることが確認された。

次に作成した変形実験装置をSPring-8(BL20B2)のX線イメージングラインに設置して、高温高圧下でマグマが流動する様子をその場観察した。用いた出発物質や実験条件は上述したものと同様である。X線透過法を用いることで、マグマの流動を高い時間分解能で観察することができる。一方で、マグマ中の気泡組織を3次元的に詳細に観察するためには、X線CTを用いる。ただし、現状のシステムでは、X線CTの観察に180秒程度の時間を要するため、変形速度が速い場合には、一旦変形を止めてからCTを行う必要がある。本研究では、1回転ごとに変形を止め、X線CTを行うなどした。

4. 研究成果

火道内を上昇するマグマを実験的に再現し、その場観察した結果を以下にまとめる。

(1) 1000°C程度の温度での変形実験の結果、流動するマグマ中の気泡の合体と変形は、マグマ変形量(歪量)の増加に伴い大きくなることが示された。それに伴い、気泡ネットワークが形成されガス浸透率が増加する。その場観察実験の結果、歪量が10~20程度まで上昇したマグマは効率的に脱ガスする可能性が示された。また、一旦形成された気泡ネットワークは脱ガスが進行するにつれて潰れていくが(コンパクション)、高い

連結度が維持されるためコンパクションに伴ってマグマの発泡度は非常に小さくなりえる。この結果は、気泡ネットワークを利用した浸透流脱ガスによって、非常に発泡度の低い溶岩を数wt%の水を含むマグマから生成可能であると示唆する。

(2) 850°C程度以下の温度での変形実験の結果、本実験の変形条件(数mmサイズの試料に対して0.5rpmの回転速度)下では、マグマ中で脆性破壊が起こることが示された。すなわち、円柱状のマグマに対してねじり変形を加えると、上部に変形が集中し、最終的には破壊し断層面が形成された。一旦、断層面が形成されるとその面でスリップが起こり、マグマの変形はそこへ集中し続けた。断層面ではマグマ片の破碎が進行し、非常にガス浸透率の高い領域が形成される。一方で、変形の集中した断層面以外の領域ではマグマは変形しない。その結果、この領域では気泡の合体・変形は促進されない。

(3) 変形集中が起こる場合には、マグマの粘性が急激に減少することがわかった。粘性は過去の実験データから予想される値よりも二桁程度低く、変形集中と断層面の形成によって、マグマの見かけ粘性が大きく減少する可能性がある。

以上の実験結果から、脱ガスと噴火様式の関係について以下のような新たな知見が得られた。まず、火道内を流動するマグマ中では気泡の合体・変形が進行し、気泡ネットワークが形成される。均一に変形するとマグマは十分大きなガス浸透率を得て、脱ガス・コンパクションする。このような噴火タイプに対応するのは、低発泡度の溶岩を噴出するような比較的穏やかな噴火と予想される。一方で、一旦変形集中が起こり、マグマ中に断層面が形成されると、マグマの見かけ粘性は急激に減少する。そして、断層面周辺以外のマグマは脱ガスを起こさないため、急速に爆発性を持つマグマが上昇すると考えらえる。このように変形集中・断層面が形成されると、非常に爆発的な噴火となる可能性がある。今後、マグマ物性(粘性)と変形条件(歪速度)、さらに火道形状などを合わせて、変形集中の発生条件の定式化が進めば、マグマの脱ガス・レオロジーの観点から、火山噴火の様式や爆発性を支配する要因を決定できる可能性がある。

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5件)

1. Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Tsukasa Nakano, Kentaro Uesugi, Akira Tsuchiyama, Experimental constraints on permeable gas transport in crystalline silicic magmas, Contribution to Mineralogy and Petrology, 査読有, (in press)
2. Satoshi Okumura, The H₂O content of andesitic magmas from three volcanoes in Japan, inferred from the infrared analysis of clinopyroxene, The European Journal of Mineralogy, 査読有, 23, 771-778, 2011年
3. Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Tsukasa Nakano, Kentaro Uesugi, Akira Tsuchiyama, Shear deformation experiments on vesicular rhyolite: Implications for brittle fracturing, degassing, and compaction of magmas in volcanic conduits, Journal of Geophysical Research, 査読有, 115, B06201, doi:10.1029/2009JB 006904, 2010年
4. Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Shingo Takeuchi, Akira Tsuchiyama, Tsukasa Nakano, Kentaro Uesugi, Magma deformation may induce non-explosive volcanism via degassing through bubble networks, Earth Planetary Science Letters, 査読有, 281, 267-274, 2009年
5. Vincent Famin, Benoit Welsch, Satoshi Okumura, Patrick Bachelery, Satoru Nakashima, Three differentiation stages of a single magma at Piton de la Fournaise volcano (Reunion hot spot), Geochemistry Geophysics Geosystems, 査読有, 10, doi:10.1029/2008GC002015, 2009年

[学会発表] (計20件)

1. 奥村聡・中村美千彦・上杉健太朗・中野司, 珪長質マグマ内でのガス移動メカニズム: 脆性破壊に伴う亀裂形成のその場観察, 日本鉱物科学会 2011年年会・総会, 2011年9月11日, 水戸
2. 奥村聡・中村美千彦・上杉健太朗・中野司・土山明, 発泡したマグマの流動・変形その場観察, 日本地球惑星科学連合 2011年度大会, 2011年5月24日, 幕張
3. Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Takuma Fujioka, Akira Tsuchiyama,

Shingo Takeuchi, Tsukasa Nakano, Kentaro Uesugi, Evolution of microstructure of bubbles and gas permeability in sheared rhyolite, 2010 American Geophysical Union Fall Meeting, 17 December, 2010, San Francisco, USA

4. 奥村聡・中村美千彦・土山明・中野司・竹内晋吾・上杉健太郎, 珪長質マグマからの開放系脱ガス, 日本鉱物科学会 2010 年年会・総会, 2010 年 9 月 25 日, 松江
5. 奥村聡・中村美千彦・上杉健太郎, 結晶を含むマグマ中の気泡組織とガス浸透率: 減圧発泡実験からの制約, 日本地球惑星科学連合 2010 年度大会, 2010 年 5 月 23 日, 幕張
6. Satoshi Okumura, Michihiko Nakamura, Tsukasa Nakano, Kentaro Uesugi, Akira Tsuchiyama, Shear deformation experiments on vesicular rhyolite: Implication for brittle fracturing, degassing, and compaction of magmas, 2009 American Geophysical Union fall meeting, 14 December, 2009, San Francisco, 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

奥村 聡 (OKUMURA SATOSHI)
東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号 : 40532213

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :