

機関番号：12601

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21740326

研究課題名 (和文) アナログ実験による新たな火山脱ガスモデルの提出

研究課題名 (英文) Model experiments for outgassing from bubbly magmas

研究代表者

並木 敦子 (NAMIKI ATSUKO)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号：20450653

研究成果の概要 (和文)：気泡を含むマグマから気泡が分離 (脱ガス) できるか否かは火山の噴火様式を決める。これまでは固体の軽石を用いた研究により定常的な浸透流が脱ガスを起こすと考えられてきた。本研究では、液体のマグマの模擬物質を用いた実験により定常的な脱ガスは起こらない事を示した。また、液体のマグマからどの様に、どれだけ脱ガスが起きるのかを定量的に明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：Whether bubbles in magmas can segregate (outgas) from the liquid magma determines eruption styles. Previous studies using solid pumice/scoria have suggested that steady permeable flow causes outgassing. In this study, I perform a model experiment of outgassing from a liquid foam and show that such a steady permeable flow does not occur. I also formulate an equation to explain the outgassing volume from liquid foam quantitatively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：火山、噴火、脱ガス

1. 研究開始当初の背景

噴火様式を大きく爆発的・非爆発的に分ければ、噴火様式を理解する上で最も重要な鍵となるのが気泡と脱ガスである。多くのマグマは地表付近では周囲の岩石よりも重い。マグマは気泡を含む事で全体として密度が軽くなり、浮力を得る。また、気泡中のガスの圧力は噴火を爆発的にする (Namiki & Manga, Earth Planet. Sci.

Lett., 2005)。つまり、気泡はマグマに噴火の原動力を与える。一方、気泡の中の火山ガスは何らかの要因でマグマと分離する事がある。これが脱ガスである。脱ガスにより気泡を失ったマグマは噴火しにくくなる。マグマから分離した気泡の中の気体は火山ガスとして噴出する (図1)。脱ガスが顕著だった近年の噴火は2000年に始まった三宅島の噴火である。マグマの噴火が治まった後も火山ガスの放出は続いた。このとき

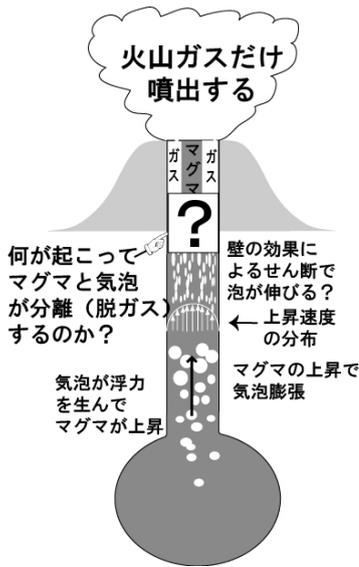


図 1: 火道内で気泡が生成される。気泡中の気体がマグマと分離すれば火山ガスとなる。

放出された火山ガスの量は噴出したマグマ中に溶け込んでいたと考えられる量をはるかに超えている (Kazahaya, et al., *Geology*, 2004)。

マグマ中に気泡が出来るのは、マグマが深い所にあった時にはマグマに溶けていた火山ガス(水、二酸化炭素、二酸化硫黄など)が、マグマの上昇に伴う圧力降下で溶けられなくなる為である(図1)。気泡が出来るプロセスに関しては実験的・理論的研究が精力的に進められてきた(e.g., Navon, et al., *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1998; Toramaru, *J. Geophys. Res.*, 1995)。

その後の気泡の行方については、気泡同士が連結し、この連結構造の中を火山ガスが浸透流として移動する事でマグマと気泡中の火山ガスが分離(脱ガス)するというモデルが提出されていた(Eichelberger, et al., *Nature*, 1986)。このモデルに基づき、脱ガス効率を決める為のマグマの浸透率の測定(e.g., Klug & Cashman, *B. Volcanol.*, 1996)や、浸透流による脱ガスの効果を入れた1次元火道モデルの数値計算(e.g., Melnik & Sparks, *Nature*, 1999)が数多く行われていた。

しかし、浸透流を起こす気泡の連結構造がどのようにできるのか、浸透流として近似できる程、長い時間その構造が維持されるのか、自明ではない。そこでマグマの上昇に伴う気泡の膨張と火道壁でのせん断

変形が気泡の連結構造を作ると指摘され始めていた。Okumura, et al., (*J. Geophys. Res.* 2008) はせん断変形に伴うマグマ中の気泡の変形を実験により調べ、せん断変形が気泡の連結度を上げる事を示した。しかし、実際に気泡の連結構造が維持され、この構造を使って気泡中の火山ガスが大気中に開放されるか否かは不明であった。

2. 研究の目的

よって本研究ではマグマの上昇に伴う減圧と火道壁で起きるせん断変形が如何にして非定常な気泡の連結構造を作り、脱ガスに貢献するのかを実験により定量的に見積もる事を目的とした(研究②)。

研究②を進める過程において、気泡同士が連結する物理を理解する為には1つの気泡の割れ方をまずは理解する必要がある事に気がついた。更に、高粘性流体に囲まれた気泡の割れ方はその数がたった1つであってもあまり研究されていない事も分かった。まずは、いかにして1つの気泡が割れるかを理解する事が先決である。そこで、研究②を行う前に1つの気泡が割れる物理を理解し、これを用いて噴火に伴い観測される空振を説明する事を目指した(研究①)。

3. 研究の方法

研究①

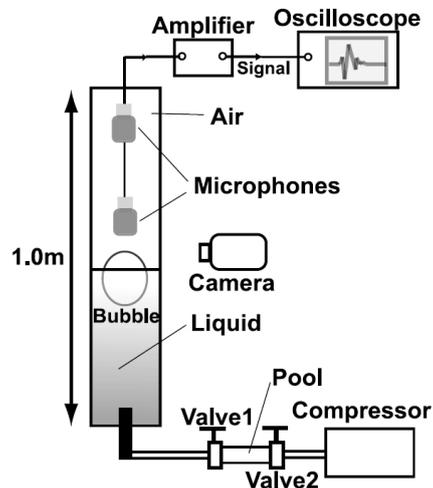


図 2: 1つの気泡が割れる様子を観察する実験装置。

図2に示す実験装置を用いて実験を行った。火道を模したアクリルパイプ中にマグマの模擬物質である水あめを充填する。ここにコンプレッサーから気体を導入し、気泡を作成する。水あめの水面に到達した気泡が破裂

する瞬間を高速度カメラで撮影し、この時発生する音波を測定した。

研究②

気泡を含むマグマの模擬物質として気泡を含む水あめを用い、これを減圧膨張・せん断変形させ、この時起きる体積変化から脱ガスの仕方と脱ガス量を測定した。

4. 研究成果

研究①

観察の結果、気泡の破裂は以下のプロセスに従って起きる事が分かった。重力の効果により十分に薄くなった気泡の表面に穴が開く。この穴が拡大する。気泡を覆う膜の粘性率が低い場合には気泡膜上の穴は一定速度で拡大を続ける。気泡膜上の穴の縁が水面に達すると気泡は消失する。一方、気泡を覆う膜の粘性率が高い場合には気泡膜上の穴の拡大は加速、減速し、最終的に一定のサイズになる。気泡膜上の穴が拡大しなくなると気泡膜は重力により水面まで落下し気泡は消える (図3)。

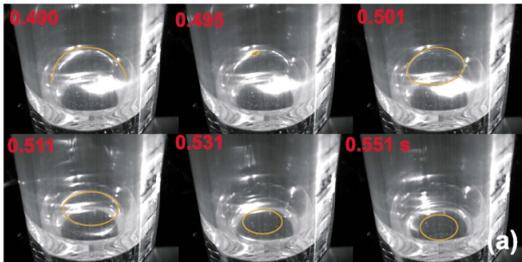


図 3: 高粘性流体中の気泡がわる様子。

低粘性の液体膜が割れる速度は古くから研究され Taylor(1959)と Culick(1960)によって定式化されている。表面張力と慣性がバランスして穴の拡大速度が決まり、一定速度で気泡膜上の穴は拡大する。一方、気泡を取り巻く流体の粘性率が極めて高い場合には気泡上の穴は指数関数的に拡大する事が近年わかってきた(Debregeas et al., 1995, 1998)。本研究により、実際のマグマでも両方の拡大様式が起り得る事を指摘した。

これまで気泡が割れる時に発生する音波は気泡膜が一度に取り去られると仮定する風船的なモデルを用いて理解されてきた。しかし、本研究によって気泡膜が取り去られるには一定の時間が必要である事がわかった。そこで気泡膜上にできる穴の拡大速度を考慮した、気泡が割れる時に発生する音波の波

形モデルを作成した。また、このモデルを用いて大きな気泡が割れて起きるとされるストロンボリ式噴火において発生する空気の振動(空振)の波形を計算した(図4)。この結果、気泡膜上の穴の拡大速度が数 m/s ならばストロンボリ式噴火で観測されている空振の波形を説明できる事が分かった(Kobayashi, et al., 2010)。

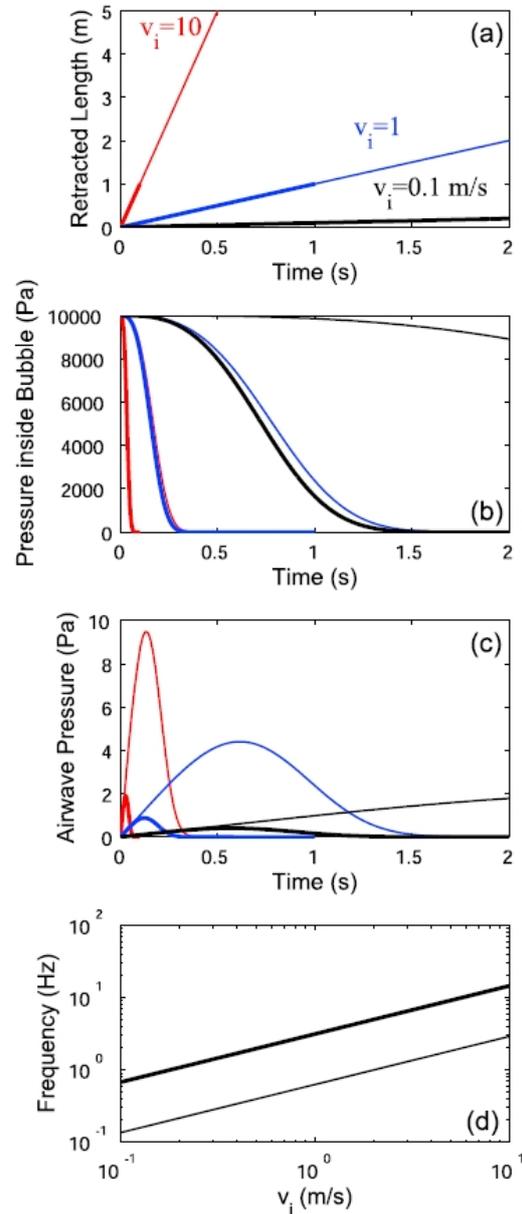


図 4: 本実験に基づいて作成したモデルを用いて計算したストロンボリ式噴火で起きる空振波形の例。

研究②

減圧実験では気泡同士の連結が一ヶ所で発生すると、連結が周囲に伝播し、最終的に地表に到達する現象が観察された。この時脱ガスは断続的になる。また、頻繁に気泡同士の合体が起こる事から気泡は効率的に粗大化する。その結果、断続的な脱ガスの時間空間平均から計算される浸透率は $10^{-10} \sim 10^{-7} \text{m}^2$ となり、これまで固化したマグマで計測されていた値より大きくなった。

火道壁でおこるせん断変形を模擬した実験では、せん断変形が脱ガスを起こす条件を歪(γ)と粘性応力と表面張力の比を示すキャピラリー数(Ca)の関数として記述した。また、脱ガスが起きる領域の成長率も両者の関数で記述される事を示した。どちらの実験でも連結した気泡は短時間で粗大化し、大規模な空隙を作る事が分かった。これは従来の浸透流モデルとは大きく異なる脱ガスの様式である。

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 1 件)

① Kobayashi, T., A. Namiki, and I. Sumita, Excitation of airwaves caused by bubble bursting in a cylindrical conduit: Experiments and a model, *J. Geophys. Res.*, 2010, 115, B10201, doi:10.1029/2009JB006828.

[学会発表] (計 2 件)

① A. Namiki, An empirical scaling of shear-induced outgassing during magma ascent, EGU General Assembly, 26 April 2012, Vienna, Austria

② A. Namiki, T. Kobayashi, and I. Sumita, Excitation of Airwaves Caused by Bubble Bursting in a Cylindrical Conduit: Experiment and a Model, IUGG, 2 July 2011, Melbourne Australia

[その他]

ホームページ等

<http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~namiki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

並木 敦子 (NAMIKI ATSUKO)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号：20450653

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし