

平成 21 年 5 月 8 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19740281

研究課題名（和文） アナログ実験による脱ガス機構の解明

研究課題名（英文） An experimental approach to understand the degassing mechanism in volcanoes

研究代表者

並木 敦子 (Atsuko Namiki)

金沢大学・フロンティアサイエンス機構・研究員

研究者番号：20450653

研究成果の概要：

マグマ中の気泡に含まれる火山ガスは何らかのメカニズムにより噴火を伴わなくても大気中に開放（＝脱ガス）されていると考えられる。このメカニズムを理解する為に気泡を含む高粘性流体にせん断変形を加える実験を行った。その結果、ある条件に於いてせん断が気泡を変形させ、脱ガスが起きる様子を観察する事に成功した。この条件を更に定量化する事で実際の火山における脱ガスが起こる条件を特定できると考えている。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	0	2,500,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	240,000	3,540,000

研究分野：火山学

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、脱ガス、噴火様式、せん断、気泡

1. 研究開始当初の背景

シリカ成分に富む粘性の高いマグマ（珪長質マグマ）は時として1980年のセントヘレンズの噴火のように噴煙柱が成層圏に届くほど激しい爆発的噴火をする。一方で1990年に始まった雲仙普賢岳の噴火のように殆ど同じ組成を持つマグマが爆発はおこさず、溶岩ドームを形成する事もある。このような噴火様式の多様性は「脱ガス」が決められていると考えられているがその詳細は良くわかっていない (e.g., *Eichelberger et al.*

1986)。爆発的噴火は被害の範囲が大きい為、噴火予知において爆発の有無を指摘する事は重要である。しかし、現在の噴火予知の方法では爆発の有無を指摘する事は難しい。それは脱ガスのメカニズム、および脱ガス出来なかった気体が起こす爆発のメカニズムが良くわかっていなかったからに他ならない。ここで、後者の脱ガスできなかったマグマが爆発を起こすメカニズムについてはドイツのグループによるマグマを用いた急減圧の実験 (e.g., *Alidibirov and Dingwell 1996*) やアナログ物質を用いた実験に基づく理論

的研究 (e.g., *Namiki and Manga 2005*) 等により理解が進んできた。そこで本研究ではまだ解明されていない前者の脱ガスのプロセスに着目した。

ここで一般に脱ガスと呼ばれているプロセスは2つに分類される。1つは溶解した揮発性成分がマグマから析出し気泡を作るプロセス、もう1つは形成された気泡の中に閉じ込められた揮発性成分が周囲の岩体や大気中に放出されるプロセスである。前者のプロセスは実効的なマグマの体積を増加させマグマの噴出を促進する。後者はマグマの実効的な体積を減少させ、一般には噴火を抑制すると考えられている。以下後者のプロセスを脱ガスと呼ぶ。析出のプロセスに関して、我々の理解はこの20年の間に飛躍的に進んだ。その例として、*Toramaru 1989*により提唱された気泡数密度の減圧速度依存性が *Mourtada-Bonnefoi and Laporte 2004*により確認されている。一方、脱ガスのプロセスは本研究開始時点において不明な点が多かった。火山噴火における爆発の有無を左右する脱ガスのメカニズムを理解する事は最終的には防災に役立つ為にも急務である。

2. 研究の目的

脱ガス、つまり気泡の中に閉じ込められた揮発性成分を大気中に放出する方法は大きく分けて、拡散、浸透流、破碎の3つが考えられる。気泡中の揮発性成分はマグマが作る気泡壁中を拡散する事により気泡の外へ移動できる。マグマ中の拡散の時間スケールは極めて遅く、火山の噴火様式を左右する事は難しい。急減圧などの特定の条件下では気泡壁を作るマグマが破碎し、気泡中の揮発性成分が放出される事もある。このメカニズムは爆発的噴火を起こすと考えられており、その詳細はこれまでの研究で報告されている。よって爆発的噴火を防ぐ「脱ガス」のメカニズムとしては気泡同士が連結する事により起こる浸透流が有力視されている。しかし、粘性流体であるマグマ中では気泡は表面張力の影響で球形になり、浸透率はゼロになるはずである。マグマを用いた発泡実験の結果として回収される急冷されたサンプルでは気泡同士の合体途中の様子が観察され、浸透率との関連が議論されている (*Burgisser and Gardner 2005*)。しかし、合体の途中という表面張力を無視した形状が何故、どの位の時間スケールで維持されるのか、明らかではない。

また、減圧による気泡の成長・合体が起こす浸透流は脱ガスのメカニズムとして有力であるものの、それだけでは火山の噴火様式の多様性を説明するには不十分である。浸

透率は天然の噴出した軽石と実験室で減圧させ発泡させたマグマの双方で測定されているが、天然の軽石の持つ浸透率は実験室の物に比べ有意に大きい値を示している。これは、単純な減圧による発泡だけでは天然のサンプルに見られる浸透率を説明できない事を示唆している (*Takeuchi et al. 2005*)。また、観測される火山ガスの量と性質は浸透流だけでは説明出来ず、何かしら効果的な揮発性成分の輸送の必要性が指摘されている (e.g., *Kazahaya et al. 1994*)。

そこで本研究では、以下の2点を実験により検証する事を目的とした。まず (a) 減圧による気泡の成長・合体により気泡同士の連結構造が実際に形成され、脱ガスを促すか否かを検証する。次に効果的に気泡の連結を促進し、浸透率を向上させる要因として火道内のせん断流の役割に注目した。火道内をマグマが上昇する際、火道壁ではマグマは粘性により固着している為、その上昇速度はゼロになる。火道壁と中心部との速度の差はせん断流を生じる。(b) せん断流がどのような条件下で気泡を変形し、気泡の連結度にどの様に影響し、最終的にどのような浸透率が実現されるのかを実験的に検証する。

3. 研究の方法

以下の2つの実験ではいずれもマグマのアナログ物質としてマグマと同程度の粘性率の水あめを用いている。水あめ中に気泡を導入する方法としてクエン酸と炭酸水素ナトリウムの化学反応を用いている。化学反応により二酸化炭素が発生し、水あめ中に二酸化炭素の気泡が形成される。この方法により、従来難しかった高い気泡の体積分率 $>20\text{vol}\%$ の泡沫を作成できる。

(a) 減圧による脱ガスの実験

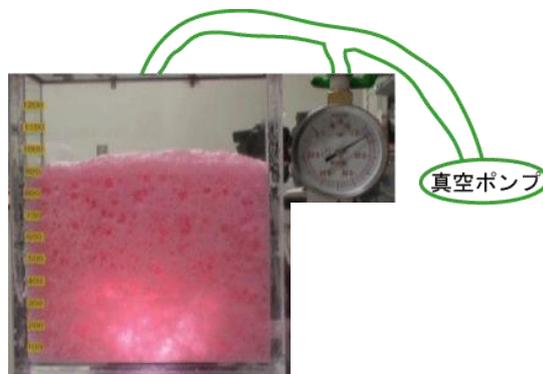


図1：減圧実験に用いた装置。赤く着色されている部分が気泡を含む水あめ。右上に圧力計が設置されている。

減圧実験は図1に示す水槽を用いて行った。この水槽内に気泡を含む水あめを導入し真空ポンプで減圧する。減圧により水あめ中の気泡が膨張し、気泡を含む水あめ全体の体積が増大する。実際の体積の増分と減圧量から計算される体積の増分を比較し、脱ガスの有無を議論する。

(b) せん断流による脱ガスの実験

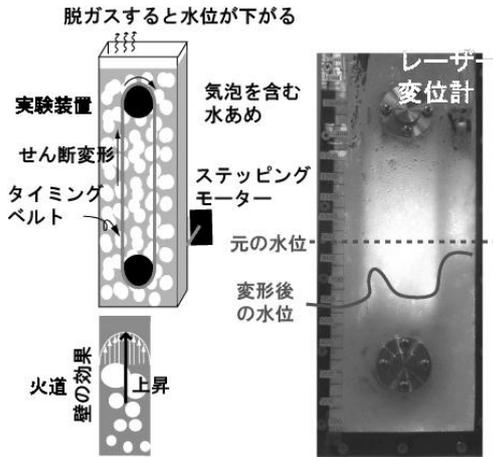


図2: 左) タイミングベルトで水あめ泡沫にせん断変形を与える。右) せん断が脱ガスを起こすと泡沫の体積が減少し水位が下がる。水位の降下から脱ガス量が測定できる。

上昇するマグマと火道壁との間に働く応力が、気泡を含むマグマをせん断変形させる様子のシミュレーションを行う為に図2に示す実験装置を開発した。水槽中のタイミングベルトに連結したステッピングモーターを回転させる事で、水槽内の気泡を含む水あめにせん断変形を与える事ができる。せん断変形の結果、気泡中の気体が大気中に開放され、脱ガスが起きると、泡沫の体積が減少し水位が下がる。水位の降下量から脱ガス量が計測できる。水位の降下量はレーザー変位計による水位の測定とビデオカメラによる観察から計算する。水槽の表面に水あめが付着した状態でも気泡が引き伸ばされて消滅する構造を観察する為に、水槽の背面から光を照らしている。

4. 研究成果

(a) 減圧による脱ガスの実験

図1の装置を用いた実験の結果、少なくとも気泡の体積分率が80%程度までは脱ガスが起こらない事が確認された。80%は一般的な軽石の気泡の体積分率の上限である。この結果は少なくとも気泡の体積分率が80%以

下の領域においては単純な膨張は脱ガスの有効なメカニズムでは無い事を示唆している。

(b) せん断流による脱ガスの実験

図2の装置を用いた実験の結果、ある一定のせん断速度以上のせん断変形が与えられた場合、気泡を含む水あめの水位が降下する事が観察された。実験は常温で行われ、水あめが蒸発しない事を考慮すれば、これは気泡中の気体が脱ガスしたと解釈できる。

気泡を含む流体の変形を上から観察したところ、変形はある領域で集中的に起きていた。また、変形が集中した領域には凹が形成され、その後重力流がこの凹を埋める様子も観察された。

上記2つの実験の結果は脱ガスの仕方が従来考えられてきた描像とは異なる事を示唆している。従来は気泡同士が連結した構造が維持され、脱ガスが起こると考えられてきた(図3a)。しかし、実験結果が示しているのは、連結構造が維持される事は殆どないという事実である。気泡の間には常に気泡膜が存在する(図3b)。気泡の膨張に伴い一部の気泡膜が破れるが、合体した気泡は表面張力の効果ですぐに丸くなる(図3c)。よって膨張に伴う気泡膜の破れによる脱ガスは起こりにくい。一方、せん断変形した場合には気泡の変形は狭い領域に集中する(図3d)。変形した部分では気泡膜が破れ、図3aの連結構造に似た泡沫の骨組みだけが残る。しかし、粘性流体が細長く伸びた形状は不安定であり、骨組みを作っていた流体は表面張力の効果により左右の泡沫に吸収される。連結部分は消え去り、空洞が残る(図3e)。その後、重力緩和により空洞が埋められ、泡沫全体の体積が脱ガスした分だけ減少する。

実験で用いた流体よりマグマの粘性率は高い事もあるが、表面張力と粘性応力のバランスが構造を維持する時間を決めているとすれば、気泡の連結構造が維持される時間は火山ガスの噴出が継続的に観測される時間に比べて十分短いと予測される。つまり、火山の脱ガスは気泡の連結構造を用いた浸透流ではなく、火道壁による気泡のせん断変形・気泡の消滅・凹部の重力緩和という過程を繰り返して起こっていると推測される。

本研究の実験結果は火山の脱ガスを理解する上で重要な示唆に富んでいる。しかし、装置の制約等によりこれまでに行った実験のパラメーター領域は十分ではない。具体的には実験(a)において更に気泡の体積分率が大きい領域では脱ガスが確認されているが、圧力計の精度の問題で十分に議論できていない。実験(b)ではレーザー変位計で計測可能な領域が狭く、脱ガス量の多い領域の実験が

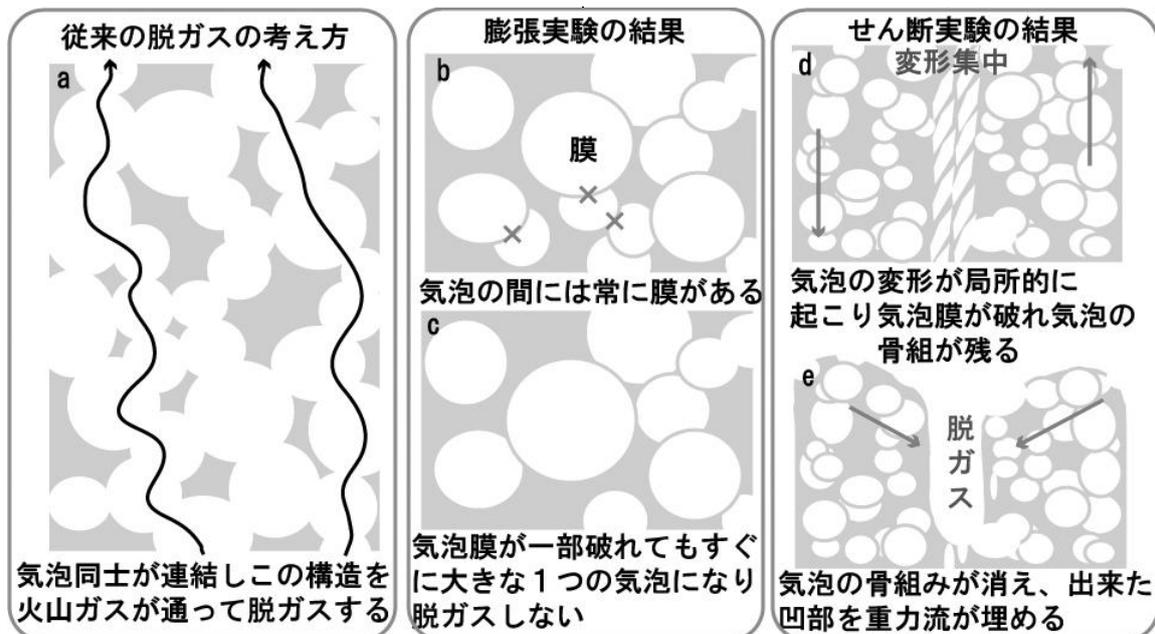


図 3: 気泡の中の火山ガスが如何にして気泡の外へ輸送されるかを表す図。a)従来の考え方。b-e)これまでの申請者の実験により明らかになった現象。膨張による脱ガスは殆ど起きない。せん断で作られる連結構造が火山の噴火のような長い時間に渡って維持される事はない。

出来ていない。よって 2009-2010 年度の若手研究 B 「アナログ実験による新たな火山脱ガスモデルの提出」により継続して研究を進めている。今後はこれらの実験を行った上で、実際の火山に適用可能なスケーリング則の提出を目指す。

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 A. Namiki, M., Manga, Transition between fragmentation and permeable outgassing of low viscosity magmas, J. Volcanol. Geotherm. Res. Vol. 169, 48-60, 2008 査読あり

[学会発表] (計 4 件)

① A. Namiki, & M., Manga, Influence of decompression rate on the expansion velocity and expansion style of bubbly fluids, IUGG 2007, 12 July 2007, Perugia, Italy

② 並木敦子、マイケルマンガ、低粘性マグマにおける破碎と浸透脱ガスの条件、地球惑星科学連合大会 2007 年大会、2007 年 5 月 24 日、千葉県幕張メッセ

③ A. Namiki, & M., Manga, Transition between fragmentation and permeable outgassing of low viscosity magmas, AGU Fall meeting 2007, 11, December, 2007,

San Francisco, CA, USA

④ A. Namiki & M., Manga, Transition between fragmentation and permeable outgassing of low viscosity magmas, IAVCEI 2008 General assembly, 22 August 2008, Reykjavik, Iceland

6. 研究組織

(1) 研究代表者

並木 敦子 (Atsuko Namiki)

金沢大学・フロンティアサイエンス機構・研究員

研究者番号：20450653