

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14376

研究課題名（和文）火山噴出物の塩素濃度マッピングに基づく噴火様式の支配要因の解明

研究課題名（英文）Controlling processes of volcanic eruptions estimated based on chlorine mapping of volcanic rocks

研究代表者

吉村 俊平 (Yoshimura, Shumpei)

北海道大学・理学研究院・助教

研究者番号：20706436

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：SiO<sub>2</sub>成分に富む珪長質マグマは、非常に激しく軽石や火山灰を噴出することもあれば、穏やかに溶岩を流すこともある。また、周期的に小爆発を繰り返すこともある。なぜ、噴火の仕方が様々に異なるのかは、長年の間不明であった。近年の研究により、マグマが上昇する際に起こるガスの振る舞い方の違いが原因である可能性が提案されてきたが、上昇するマグマ中で具体的に何が起きているのかは不明である。本課題では、噴出物中の塩素濃度の空間分布を詳しく調べることでガスの振る舞いを解読する技術を開発した。そして、新島・向山火山を例に噴出物の塩素解析を行い、向山噴火時のガスの振る舞いを解読した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

火山噴火は、非常に爆発的に起こることもあれば、きわめて穏やかに進行することもある。ある噴火がどのように進展して行くかを予測することは現状では難しい。それは、噴火の仕方を決定する最重要要因である「マグマ中でガスの振る舞い方」が全くわかっていないためである。本研究では、火山噴出物中の塩素濃度の空間分布を詳しく解析することで、地下のマグマ中でガスの振る舞いを詳しく解読する技術を開発した。これを駆使してさまざまな噴火でのガスの振る舞いを解読し、それを噴火様式と対応付けてゆけば、やがて噴火の仕組みが次第に明らかになると期待される。

研究成果の概要（英文）：Silicic magma erupts either explosively to discharge pyroclasts and high-temperature gas or non-explosively to effuse lava. However, mechanisms controlling these eruption styles have been unclear. In this research project we have developed a new method "chlorine microscopy" to reveal the detailed gas behaviour in ascending magma. We applied this method to Mukaiyama lava and elucidated the detailed degassing processes including vesiculation, open-system gas loss, and bubble resorption.

研究分野：火山物質科学

キーワード：マグマ 揮発性成分 脱ガス

### 1. 研究開始当初の背景

珪長質のマグマは、マグマ溜まりの条件(温度・圧力・化学組成・含水量など)が同一でも、噴火様式(爆発性・規模・期間・パターンなど)は様々に異なる。例えば1980年のSt Helens噴火では、勢いよく火砕物を噴出したのち、穏やかに溶岩ドームを形成する噴火に移行した。1996年のSoufriere噴火では、数時間の周期で爆発が繰り返された。いずれもマグマ溜まり条件には大差はないことから、噴火様式の違いは、マグマが火道を上昇する際に発生すると考えられている。とくに、マグマ中のガスの動きが重要であると考えられており、上昇するに起こる減圧発泡と、マグマからガスが漏れ出す開放系脱ガスが競合し、そのバランスにより最終的な噴火の様式が決まると考えられている。しかし、火道内で発泡や開放系脱ガスがどのように起きたかについては噴出物に証拠が残りにくい。そのため、火道内でのガス挙動の実態は不明であった。

この問題をクリアするには、火道内の様々な深さでのガスの発生・移動の記録を解読する必要がある。そこで本課題では、マグマの脱ガス時の揮発性成分の拡散を利用してかつての脱ガス記録を解読しようと考えた。すなわち、発泡や開放系脱ガスが起こる時、揮発性成分は拡散で移動するので、その拡散不均質が噴出物に残されている可能性がある。しかし、H<sub>2</sub>OやCO<sub>2</sub>などの主要な揮発性成分は拡散が早いので、マグマから失われやすく、また、残っていたとしても均質化しやすい。そこで本研究では、拡散が非常に遅い揮発性成分である「塩素」に着目し、噴出物の塩素分析を行うことで脱ガス過程を解読しようと考えた。

### 2. 研究の目的

本研究では、(1)流紋岩質メルト中の塩素拡散係数を測定すること、(2)石基ガラス中の塩素濃度分布を調べ、脱ガス過程を解読すること、を目的とした。

### 3. 研究の方法

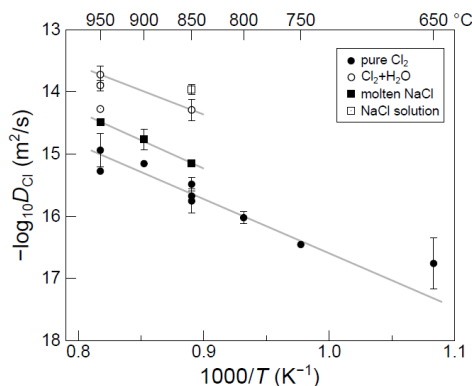
本課題では、まず(1)流紋岩質メルト中の塩素拡散実験をおこない、塩素の拡散係数を決定した。その後、(2)天然溶岩の塩素濃度マッピング分析を行い、実際の脱ガスの記録を解読した。そして、(1)の拡散係数を組み込んだ拡散脱ガスモデルを構築し、天然のマッピング結果と比較することで、脱ガスの起こり方を調べた。

### 4. 研究成果

#### (1) 流紋岩質メルト中の塩素拡散係数の測定

塩素の拡散実験では、流紋岩質ガラスを様々な種類の塩素性流体(Cl<sub>2</sub>ガス、Cl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O混合ガス、NaCl水溶液、NaCl融解塩)と接触させ、溶解させた。図1(a)はその結果をまとめたものである。Cl<sub>2</sub>ガスを用いた実験では、塩素拡散係数は、7.7×10<sup>-18</sup> m<sup>2</sup>/s (650 °C)から8.2×10<sup>-16</sup> m<sup>2</sup>/s (950 °C)であった。Cl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O混合ガスを用いた実験と比較した結果、塩素拡散係数には極めて強い含水量依存性があることが判明した(例えば、無水のメルトとH<sub>2</sub>Oを1wt%含むメルトでは拡散係数は一桁異なっていた)。NaCl水溶液や融解塩を用いた実験では、Naが大量にガラスに浸透し、拡散係数は数倍~10倍に増加した。また、予想外の発見としては、一部の実験でガラスからCaが流出する事象が観察されたことが挙げられる。そこで、副産物としてカルシウムの拡散係数も決定した(図1(b))。

(a): 塩素拡散



(b): カルシウム拡散

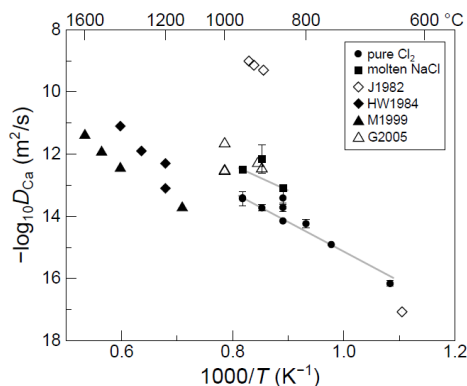


図1. (a)塩素の拡散係数、および、(b)本研究で偶然観察されたカルシウム拡散の拡散係数。(b)には先行研究のデータもプロットされている(Jambon, 1992; Harrison & Watson, 1984; Mungall et al. 1999; Gabitov et al. 2005)

(2) 天然溶岩の塩素濃度マッピング分析

伊豆諸島・新島の向山火山の溶岩を採取し、石基ガラスの塩素濃度分布を測定した。その結果、石基ガラスには極めて濃淡の強い塩素濃度不均質が存在することが発見された(図2)。そして、データを詳しく解析したところ、塩素濃度分布は、マグマ上昇時の発泡・開放系脱ガス・気泡の溶解の履歴をはっきりと記録していることが判明した。そして、不均質な塩素濃度分布と塩素の拡散脱ガスモデルを比較した結果、発泡、開放系脱ガス、気泡溶解はどれも数時間~数日の時間スケールで起きていたことが判明した。そして、すべての結果を総合した結果、火道内を上昇するマグマの中では、発泡と開放系脱ガスが繰り返されている、との描像が得られた。また、このような繰り返し脱ガスはマグマ全体で足並みをそろえて起こるのではなく、数10 cm 程度のマグマ小空間のそれぞれの内部で繰り返しており、ある小空間とその隣の小空間は全く別の位相で脱ガスサイクルが進んでいるというモデルが導かれた。今後、様々な火山や噴出物を対象に塩素分析を行い、脱ガス過程と噴火様式の対応関係を詳しく検討していきたい。

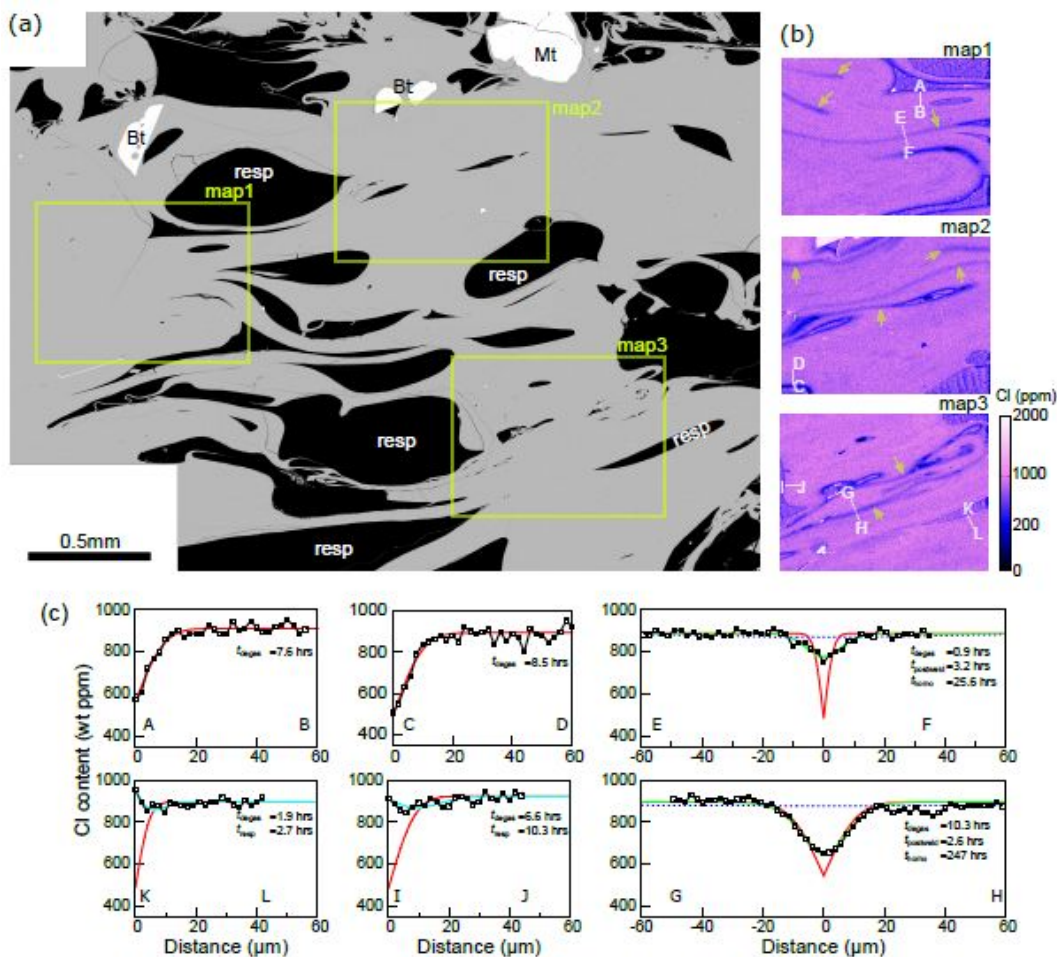


図2. (a) 新島・向山溶岩の反射電子像。黒色の部分は気泡、灰色部分はガラス、白色部分は鉱物である。(b) 塩素濃度マップ。塩素濃度の不均質が見える。(c) 塩素濃度プロファイルと拡散脱ガスのフィッティング計算の結果。計算では、「(1) 流紋岩質メルト中の塩素拡散係数の測定」で決定した塩素拡散係数の値が用いられている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yoshimura, S., Kuritani, T., Matsumoto, A., Nakagawa, M.	4. 巻 9
2. 論文標題 Fingerprint of silicic magma degassing visualised through chlorine microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi:10.1038/s41598-018-37374-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shumpei Yoshimura	4. 巻 483
2. 論文標題 Chlorine diffusion in rhyolite under low-H <sub>2</sub> O conditions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 619-630
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉村俊平	4. 巻 38
2. 論文標題 火山噴火を中枢制御するマグマの発泡とガス輸送の実態	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 可視化情報	6. 最初と最後の頁 16-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 S. Yoshimura
2. 発表標題 Eruption dynamics recorded in Cl distribution in glassy lava
3. 学会等名 Earthquake Research Institute, University of Tokyo Joint Usage Workshop International Workshop on Pre-eruptive Magmatic Processes
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.Yoshimura,M.Nakagawa,A.Matsumoto
2. 発表標題 Chlorine mapping as a new tool to investigate the degassing processes of silicic magma
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口瑞帆・吉村俊平
2. 発表標題 流紋岩質メルトの発泡実験と溶岩ドーム爆発条件の制約
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉村俊平
2. 発表標題 等化学ポテンシャルモデルから予想される地殻流体組成:堆積盆流体の例
3. 学会等名 日本鉱物科学会2017年年会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----