

## マグマ内のガスの“抜け道”が噴火の爆発性を低減させる

～塩素濃度解析による噴火メカニズム解明の進展に期待～

### ポイント

- ・大爆発の危険があるマグマが、ガスを含まない穏やかなマグマに変化する仕組みを解明。
- ・火山噴出物の塩素濃度測定により、マグマからガスが逃げ、爆発性が低下するメカニズムを解読。
- ・本手法によりガスの詳しい挙動を調べることで、噴火メカニズムのさらなる理解に期待。

### 概要

北海道大学大学院理学研究院の吉村俊平助教らの研究グループは、爆発の恐れがあるガス含有マグマの中で気泡同士が連結して通路を作ることで、気泡内のガスが流れ去り、ガスを含まない穏やかなマグマに変化するという仕組みを、火山噴出物内の塩素濃度を測定することで解明しました。

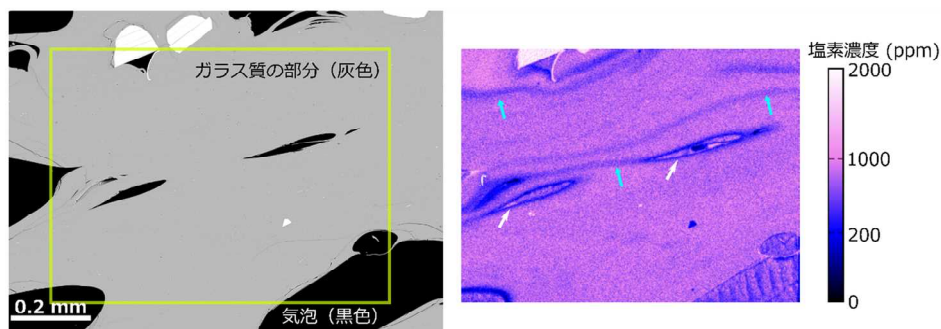
地球内部で作られたマグマには、たくさんのガス成分が溶け込んでいます。そのようなマグマが地表へ向かって上昇し、圧力が低下すると、炭酸飲料の栓を開けたときと同じように発泡し、マグマはムース状になります。マグマがさらさらした液体（例えば玄武岩質マグマ）であれば、気泡は速やかにマグマから分離し、「気の抜けたサイダー」のような、吹きこぼれない（爆発しない）液体に戻ることが可能です。一方、二酸化ケイ素（ $\text{SiO}_2$ ）成分に富むマグマは粘性が非常に高いため、一度発泡してしまうと気泡が分離できず、マグマ内のガス量が著しく増加し、大爆発を起こすのが自然です。

しかし実際には、高粘性のマグマでも爆発せず、穏やかに溶岩を流出することが少なくありません。このように、もともとはガスをたくさん含んでいるマグマが爆発せず、噴火が穏やかなものとなる理由は長い間不明でした。本研究では、 $\text{SiO}_2$ 成分に富む溶岩の塩素濃度分布を詳しく解析することによって、高粘性のマグマから効率よくガスが逃げ、爆発しなくなるメカニズムを解明しました。

噴出物の塩素濃度分布解析は、マグマ中のガスの動きを読み解く新しい手法になると考えられます。この手法を様々な噴火に適用することで、噴火の仕組みの理解が進むことが期待されます。

なお、本研究成果は、英国時間 2019 年 1 月 28 日（月）公開の Scientific Reports 誌に掲載されました。

溶岩の電子顕微鏡画像（左）と塩素濃度分布（右）



電子顕微鏡画像ではガラスは均質に見えるが、同部分の塩素濃度分布では不均質なパターンが確認される

## 【背景】

SiO<sub>2</sub>成分に富むマグマは非常に粘性が高いため（10<sup>7</sup>パスカル秒以上。冷えた水飴よりも硬い）、液体というよりは固体に近い性質があります。そのようなマグマが地表へ向かって上昇し、ガス成分（H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, 硫黄, 塩素など）が気泡を形成すると、気泡はその場から動くことができないため、マグマのガス量は増加し続け、大爆発に至ります（図1）。軽石や火山灰は、こうして砕け散ったマグマの破片です。

しかし不思議なことに、同じマグマでも爆発せず、穏やかに溶岩を流出させることが少なくありません。上述のメカニズムによる噴火の場合、溶岩には気泡が多く含まれるはずですが、実際に計測すると、一般に溶岩には気泡は少量しか含まれません。極端な例として、石器時代に矢じりなどの刃物に使用された黒曜石は、実はSiO<sub>2</sub>成分に富む溶岩ですが、気泡を全く含みません。

これらの溶岩も、噴火前にはたくさんのガス成分を含んでいたもので、マグマ上昇の際には必然的に発泡し、大爆発に向かうはずですが、しかし、実際には途中でガスが効率よく抜けることにより、マグマは気泡を含まない状態に変化したと考えられています。本研究では、溶岩に残されている塩素を分析することで、高粘性マグマからどのような仕組みでガスが抜けたのかを解明しました。

## 【研究手法】

伊豆諸島の一つである新島<sup>にいじま</sup>には、向山火山<sup>むかいやま</sup>という活火山があります。この火山では、SiO<sub>2</sub>成分に富み、新鮮なガラスでできた溶岩が産出します（図2）。この溶岩は、部位ごとに発泡程度が様々に異なっており、ムース状に発泡した部分もあれば、気泡を含まない黒曜石のような部分もあります。本研究ではこの向山火山周辺から溶岩試料を複数採取し、マグマに含まれるガス成分の一つである塩素の濃度分布を解析しました。塩素には、他のガス成分（H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>など）に比べ、マグマ中での移動速度（拡散速度）が1000倍～10000倍も遅い性質があります。そのため、他の成分ではガス移動の痕跡がなくなっているにもかかわらず、塩素だけはガス移動の情報を保持していると期待されます。

## 【研究成果】

溶岩試料を観察すると、繊細なガラス細工のような見かけをしていることが確認されました（図2）。これは、マグマが発泡しながら激しい流動変形を受けたことを示す証拠です。ガラス質の部分（石基）は一見均質で、色や主要化学成分のムラはありませんでしたが、塩素濃度分布には複雑なパターンがあるのが確認されました。

例えば、図3の白色矢印の先端部分では、気泡の周りで塩素濃度が低くなっています。このことは、塩素成分が気泡に吸い込まれていること（ガスが発生していること）を表しています。また、水色矢印の先では、一つ一つの気泡から塩素濃度の低い「尻尾」が伸びている様子が確認できます。尻尾は、隣の気泡につながっていたり、はるか遠くまで続いているものもあります。このことは、尻尾でつながれた複数の気泡は、もともとは長くて大きな一つの気泡であり、それが流動時に押しつぶされたことを示しています。このような解析を詳しく行った結果、マグマが流動する際に気泡同士が連結して長い通路を作り、気泡内のガスが流れ去り、その後、通路が潰れて気泡を含まないマグマに変化するという一連の過程が起きていたことが判明しました。図4は、この過程が効率よく起こったと考えられている、黒曜石質（気泡を含まない）の部分です。塩素濃度分布にはマール状の不均質が残っていることから、黒曜石質の部分もかつては激しく発泡した状態であり、その後、先の過程によってガスを失ったことが示唆されます。

## 【今後への期待】

火山がどの程度の爆発性で噴火し、どのような種類の噴出物を噴出するかは、マグマ中のガスの発生具合や移動具合に大きく支配されます。塩素濃度分析は、そのようなガスの動きの解読に極めて有効であることが判明しました。この手法を色々な噴出物に応用すれば、様々な噴火でのガス挙動を解読することができ、火山噴火の仕組みの理解につながると期待されます。

## 論文情報

論文名 Fingerprint of silicic magma degassing visualised through chlorine microscopy (塩素の微小領域分析によって可視化に成功した、珪長質マグマの脱ガスの痕跡)  
著者名 吉村俊平<sup>1</sup>, 栗谷 豪<sup>1</sup>, 松本亜希子<sup>1</sup>, 中川光弘<sup>1</sup> (<sup>1</sup>北海道大学大学院理学研究院)  
雑誌名 Scientific Reports  
DOI 10.1038/s41598-018-37374-0  
公表日 英国時間 2019 年 1 月 28 日 (月) (オンライン公開)

## お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 助教 吉村俊平 (よしむらしゅんぺい)  
TEL 011-706-2723 FAX 011-706-4658 メール shumpyos@sci.hokudai.ac.jp  
URL <https://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/pv/pv/>

## 配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)  
TEL 011-706-2610 FAX 011-706-2092 メール kouhou@jimuhokudai.ac.jp

## 【参考図】

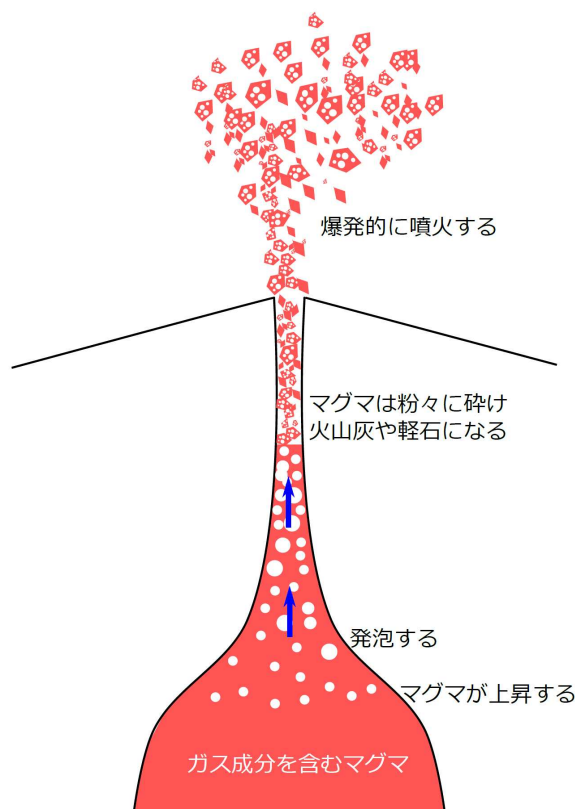


図 1. ガス成分を含む高粘性マグマ ( $\text{SiO}_2$  成分に富む) が爆発を起こす模式図。



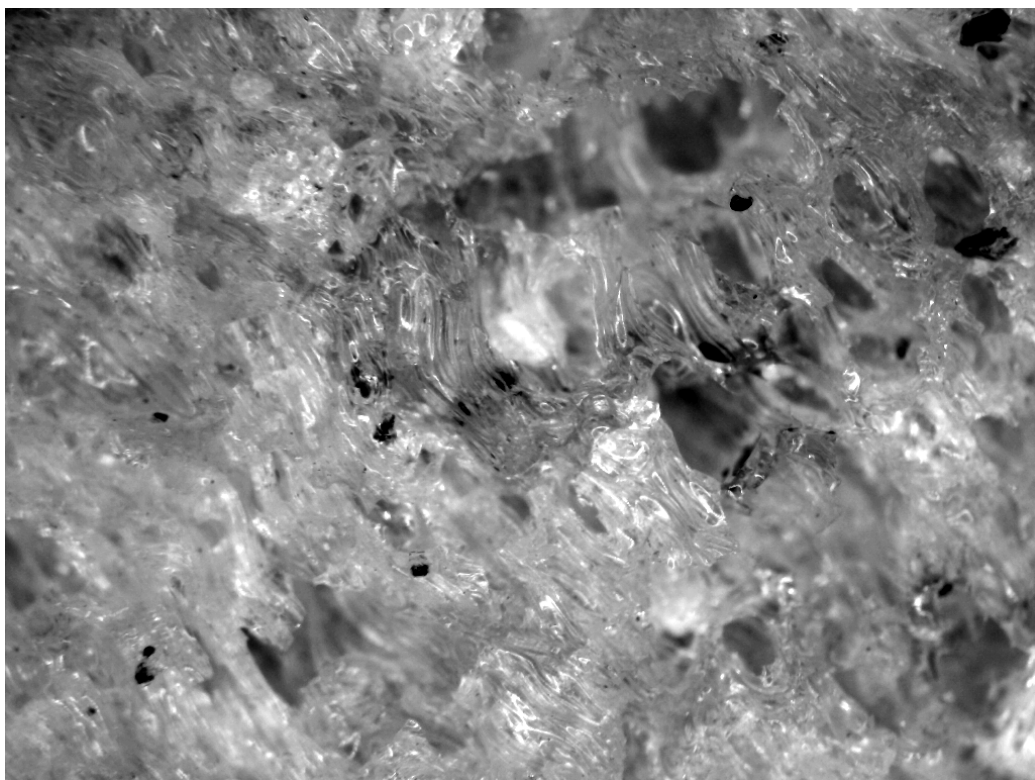


図2. 新島・向山火山の溶岩採取地（上）と溶岩試料の顕微鏡画像（下，横幅約 1cm）。この溶岩は，遠目では灰色のカサカサした岩石に見える。顕微鏡で拡大すると，無色透明のガラスが繊維状に伸びた組織を持つことがわかる。この組織は，発泡したマグマが激しい流動変形を受けたことを示している。

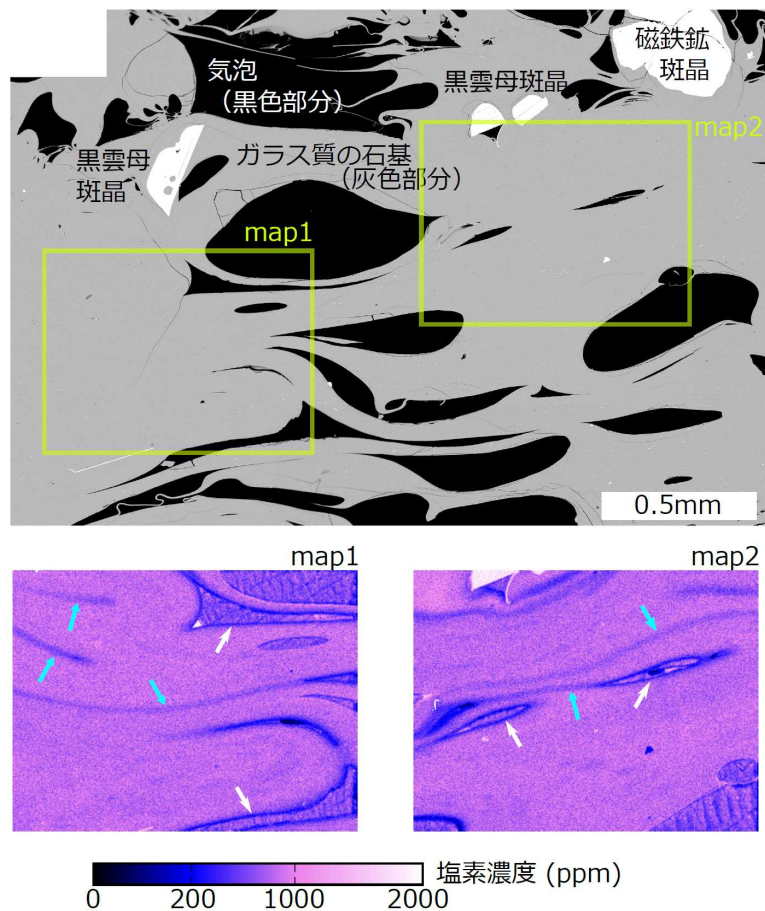


図3. 溶岩試料（図2下）の電子顕微鏡画像（上）と塩素濃度分布のカラーマップ（下の2枚）。電子顕微鏡画像では、石基ガラスは一様な灰色に映っており、均質であることがわかる。しかし塩素濃度マップでは不均質が確認される。白色矢印の先端では、気泡周縁部で塩素濃度が低下している。このことは、塩素が気泡に吸収されていることを示す。水色矢印の先端では、低塩素濃度の「尻尾」が伸びているのが観察できる。この尻尾は、かつて存在した長い気泡の痕跡である。

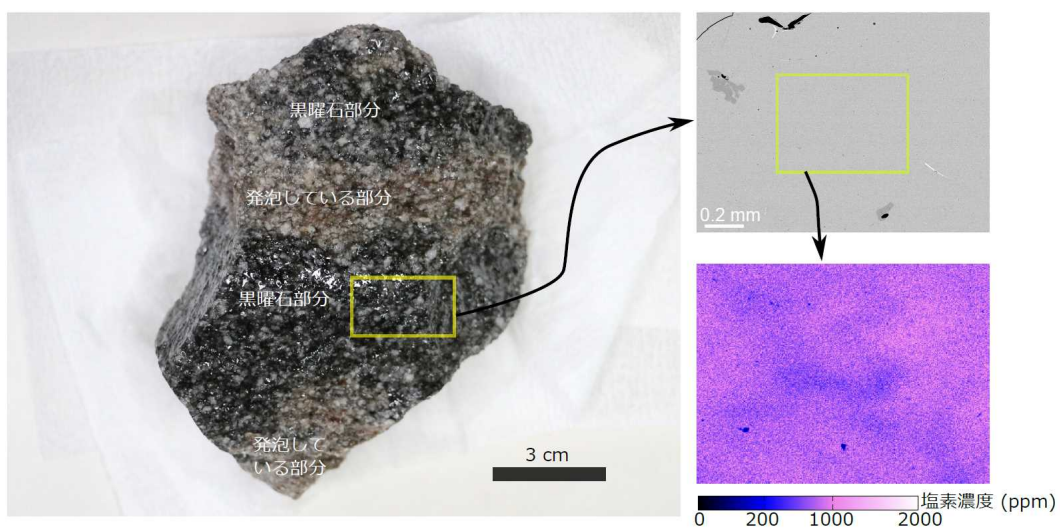


図4. 黒曜石部分の試料の様子（左）、電子顕微鏡画像（右上）、塩素濃度マップ（右下）。黒曜石部分には気泡は殆ど含まれていない。ガラスは一見均質であるが、塩素濃度の不均質がマール状にモヤモヤと残っている。このことは、黒曜石部分もかつては発泡したマグマであったことを示す。