

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24740355

研究課題名(和文) 無水鉱物の水素含有量に着目した島弧玄武岩マグマの含水量の定量化

研究課題名(英文) Quantification of H<sub>2</sub>O concentration in arc basaltic melts using H concentration in nominally anhydrous minerals

研究代表者

濱田 盛久 (Hamada, Morihisa)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域・研究員

研究者番号：60456853

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：火山岩中の無水鉱物(化学式にHを含まない鉱物)には、実はppmオーダーの微量の水素が不純物として含まれている。この水素は、鉱物と共存するメルトに溶存している水の含有量や、脱ガス時の水の挙動の指標として利用可能である。本研究では、無水鉱物の一つである斜長石に着目した。実験的手法により、斜長石-メルト間の水素の分配を明らかにし、島弧の火山フロントの火山のマグマが水に富むことを議論した。斜長石の水素含有量から得られる知見を確かめるため、伊豆大島火山から過去四万年間に噴出した無斑晶質の玄武岩の組成のバリエーションを見直した。その結果、斜長石の水素含有量から得られる知見とは矛盾しないことが分かった。

研究成果の概要(英文)：Nominally anhydrous minerals in igneous rocks contain trace amounts of hydrogen as impurities, which can be used as an indicator of dissolved H<sub>2</sub>O concentration in coexisting melt and behavior of H<sub>2</sub>O during degassing of magmas. In this project, correlations between hydrogen concentration in plagioclase and H<sub>2</sub>O concentration in coexisting basaltic melt was investigated based on melting experiments on hydrous basalts, which suggests that island arc basaltic magmas beneath frontal-arc volcanoes is H<sub>2</sub>O-rich. In order to confirm this view, geochemical variation of aphyric volcanic rocks collected from the Izu-Oshima volcano in the Izu arc for the past 40,000 years was reviewed to examine conditions at which major crystallization differentiation have taken place. The consistency between these two independent studies was confirmed.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：斜長石 無水鉱物の水 島弧玄武岩マグマ 伊豆大島火山

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 化学量論的に無水の鉱物の中には、実は微量の水素が存在する。無水鉱物の水素含有量は、共存するケイ酸塩メルトに溶存している水の量や挙動の指標となり得ることが知られていた。

(2) カンラン石中の水素の存在量や存在形態については、1990年代以降に鉱物物理学の分野で、マンツルのレオロジー、電気伝導度、地震波の伝播速度などに及ぼす水素の影響を明らかにする目的で研究が進んでいた。一方、地殻を構成する主要鉱物の一つである斜長石の水素に関する研究の歴史や事例は極めて少なかった。

## 2. 研究の目的

斜長石をはじめとする無水鉱物の斑晶は、微量ではあるが水素を含み、ケイ酸塩メルトに溶存している水の量や挙動の指標として応用可能である。本研究は、無水鉱物の中で、特に研究例が少ない斜長石斑晶の水素含有量を、マグマの水に関する指標として利用することを目的とした。この目的のため、含水マグマ融解実験を行い、斜長石-メルト間の水素の分配係数や、斜長石斑晶中の水素の拡散係数を決定した。

## 3. 研究の方法

高温高压装置（内熱式ガス圧装置）を用いて、斜長石斑晶と含水玄武岩メルトを平衡共存させる融解実験を行い、斜長石-メルト間の水素の分配係数を決定する。さらに、斜長石中の水素の拡散係数も決定する。

## 4. 研究成果

(1) 斜長石-メルト間の水素の分配係数を決定するため、東京工業大学・地球惑星科学専攻・高橋栄一研究室に設置されている内熱式ガス圧装置を用いて、玄武岩マグマの含水融解実験を行った。斜長石斑晶と含水玄武岩ガラスの粉末（約 10 mg）とを Au<sub>80</sub>Pd<sub>20</sub> カプセルに封入して、350 MPa の圧力下における斜長石のリキダス近傍の温度で 24~48 時間融解・保持することにより、斜長石斑晶とメルトとの間で H を分配させた。実験中の酸素雰囲気は制御されていないが、Ni-NiO バッファーよりも約 3 log unit 高い酸化的な雰囲気下で行われた。実験

後に回収された斜長石斑晶と玄武岩質メルト（ガラス）を、フーリエ変換赤外分光光度計（FTIR）を用いて分析した。

斜長石斑晶中に分配される OH 量  $C$  は、メルトの含水量が  $\leq 1$  wt.% である時、

$C(\text{wt.ppm H}_2\text{O}) = 80 \times (\text{メルトの含水量, wt.\%})$  式 1

と近似され、メルトの含水量が  $\geq 4$  wt.% である時、

$C(\text{wt.ppm H}_2\text{O}) = 40 \times (\text{メルトの含水量, wt.\%})$  式 2

と近似される。メルトの含水量が 1~4 wt.% の時は、斜長石の水素含有量は式 1 から式 2 へと遷移していく（図 1a）。これに対応して、メルトの含水量が  $\leq 1$  wt.% である時、水素の分配係数（モル換算）は 0.01 であるのに対して、メルトの含水量が  $\geq 4$  wt.% である時、水素の分配係数（モル換算）は 0.005 へと半減する（図 1b）。すなわち、低含水量の条件下では、斜長石へは相対的に水素が分配されやすいのに対して、高含水量の条件下では相対的に水素が分配されにくくなる。上述したような、玄武岩メルトの含水量と斜長石斑晶の水素含有量の対応関係を用いて、斜長石の水素含有量を、共存するメルトの含水量として用いることが可能であることが示された。例えば、80 wt.ppm H<sub>2</sub>O の水素含有量の斜長石は、共存するメルトの含水量約 1 wt.% に対応する。また、250 wt.ppm H<sub>2</sub>O の水素含有量の斜長石は、共存するメルトの含水量約 6 wt.% に対応することが分かった。

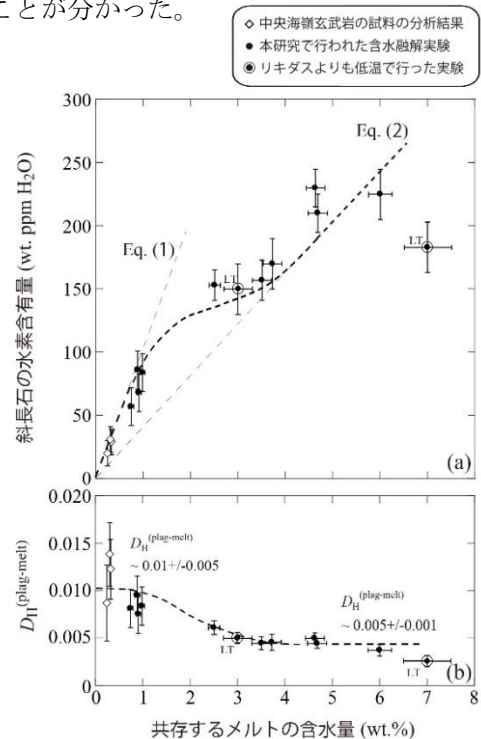


図 1 斜長石-玄武岩質メルトの間の H の分配

なお、本研究の成果は、Hamada et al. (2013, *Earth and Planetary Science Letters*)に掲載された。

(2)火山岩中の斜長石中の水素の拡散プロファイルを明らかにすることにより、噴火時の脱ガス現象を明らかにできる可能性がある。そこで、本研究では、斜長石の斑晶中の水素の拡散係数を決定する高温高压実験を行った。1000°C~1200°Cの温度条件で内熱式ガス圧装置を用いた水熱実験を行い、斜長石中に水素が浸透していく場合の拡散係数を決定した。斜長石の外縁部から内部に向けて、水素が距離に応じてどのように拡散していくかを、赤外分光高度計 (FTIR) を用いて定量化した。その結果、斜長石中の水素の拡散係数は 1200°Cで約  $10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s であり、1000°Cでは約  $10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s であると求めた (図2)。これらの結果は、従来、斜長石から水素を放出させる比較的低温 (1000°C以下) での実験によって制約された拡散係数の温度依存性 (例えば図2の Johnson, 2003) が、島弧玄武岩マグマに相当する高温側に外挿しても成り立つことが示された。

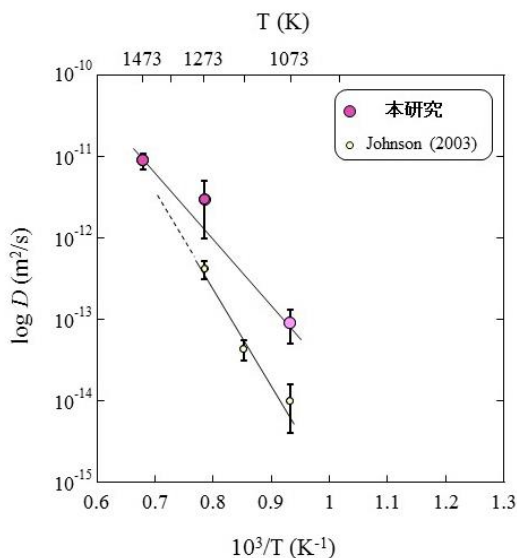


図2 斜長石中の水素の拡散係数の温度依存性

なお、本研究の成果は、日本地球惑星科学連合 2013 年大会にて発表された (濱田 2013, JpGU 予稿)。今後、二次イオン質量分析計を用いて、試料中の水素の拡散プロファイルをより高精度で分析した後、研究成果を論文にまとめる予定である。

(3)島弧玄武岩マグマの結晶分化作用がどのような

圧力・含水量の条件下で起こるのかについて、伊豆大島火山の火山岩の全岩化学組成を用いて岩石学的検討を行った。伊豆大島火山の無斑晶質の火山岩の化学組成 (メルトの組成と見做される) には、高 Al/Si トレンドと低 Al/Si トレンドを見出すことができ、火山岩の組成バリエーションはこれら2つのトレンドの間にある。このことから、伊豆大島火山のメルトは、高 Al/Si トレンド上のメルトと低 Al/Si トレンド上のメルトの混合物であるか、高 Al/Si トレンドを導く結晶分化作用の条件と低 Al/Si トレンドを導く結晶分化作用の条件の中間的な条件下で導かれたか、のいずれかであると考えられる。高 Al/Si トレンドは 3 wt% H<sub>2</sub>O を含む未分化メルトが、低 Al/Si トレンドはほとんど無水の未分化メルトが結晶分化作用を行うことにより導かれる (Hamada and Fujii, 2008 *Contributions to Mineralogy and Petrology*)。伊豆大島火山の直下では、少なくとも地下 4 km の深度にあるマグマ溜まり (飽和含水量~3 wt%) から地表付近 (ほぼ無水メルト) に至るまではメルトは H<sub>2</sub>O に飽和しており、深さに応じてメルトの飽和含水量にバリエーションが生じており、含水量の異なる条件下でそれぞれ結晶分化作用が進行していると考えられる。このような H<sub>2</sub>O に飽和したマグマが噴火史を通じて混合して噴火に至ったことが分かった。これは、伊豆大島火山の斜長石の水素含有量の分析結果から得られるマグマ供給系のイメージ (Hamada et al., 2011&2013, *Earth and Planetary Science Letters*) と整合的であることが確かめられた。

なお、本研究の成果は、Hamada et al. (2014, *Earth, Planets and Space*) に掲載された。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- (1) Morihisa Hamada, Yuko Okayama, Takayuki Kaneko, Atsushi Yasuda, Toshitsugu Fujii (2014) Polybaric crystallization differentiation of H<sub>2</sub>O-saturated island arc low-K tholeiite magmas: a case study of the Izu-Oshima volcano in the Izu arc. *Earth, Planets and Space* 66:15. DOI: 10.1186/1880-5981-66-15, 査読有機関リポジトリでの論文アクセスアドレス [http://www.jamstec.go.jp/jir/infolib/meta\\_pub/detail-jp](http://www.jamstec.go.jp/jir/infolib/meta_pub/detail-jp)

(2) Morihisa Hamada, Masashi Ushioda, Toshitsugu Fujii, Eiichi Takahashi (2013) Hydrogen concentration in plagioclase as a hygrometer of arc basaltic melts: Approaches from melt inclusion analyses and hydrous melting experiments. *Earth and Planetary Science Letters* 365, 253-262. DOI: 10.1016/j.epsl.2013.01.026, 査読有

[学会発表] (計 12 件)

(1) 濱田 盛久, 岡山 悠子, 金子 隆之, 安田 敦, 藤井 敏嗣 (2014) H<sub>2</sub>O に飽和した島弧ソレライトマグマの結晶分化作用: 伊豆大島火山における事例研究. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 口頭発表, 発表年月日: 2014 年 5 月 1 日, 発表場所: パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市西区).

(2) Morihisa Hamada (2014) Polybaric crystallization of H<sub>2</sub>O-saturated island arc low-K tholeiite magmas: A case study of the Izu-Oshima volcano in the Izu arc. 地殻流体国際会議 Geofluid-3, ポスター発表, 発表年月日: 2014 年 2 月 28 日~3 月 3 日, 発表場所: 東京工業大学 (東京都目黒区).

(3) 濱田 盛久 (2013) 島弧ソレライトマグマの結晶分化作用に及ぼす水の効果. 第 2 回「伊豆衝突帯地質研究サミット」, 口頭発表, 発表年月日: 2013 年 11 月 23 日, 発表場所: 横浜国立大学 (神奈川県横浜市保土ヶ谷区).

(4) 濱田 盛久 (2013) 島弧ソレライトマグマの結晶分化作用—実験岩石学的研究に基づく再検討—. 日本火山学会 2013 年度秋季大会, ポスター発表, 発表年月日: 2013 年 9 月 29 日, 発表場所: 学びいな (福島県耶麻郡猪苗代町).

(5) 濱田 盛久 (2013) 島弧ソレライトマグマの分化: 実験岩石学的研究に基づく再検討. 日本鉱物科学会 2013 年年会, 口頭発表, 発表年月日: 2013 年 9 月 13 日, 発表場所: 筑波大学 (茨城県つくば市).

(6) Morihisa Hamada, Masashi Ushioda, Toshitsugu Fujii, Eiichi Takahashi (2013) Hydrogen concentration in plagioclase as a hygrometer of arc basaltic magmas: approaches from melt inclusion analyses and hydrous melting experiments. IAVCEI 2013 Scientific Assembly, ポスター発表, 発表年月日: 2013 年 7 月 21 日, 発表場所: かがしま県民交流センター (鹿児島県鹿児島市).

(7) 濱田 盛久 (2013) Ca に富む斜長石中の水素の拡散速度の決定. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 口頭発表, 発表年月日: 2013 年 5 月 21 日, 発表場所: 幕張メッセ (千葉県千葉市).

(8) 濱田 盛久 (2013) 斜長石から見た島弧マグマの含水量. 地殻流体研究会 2013, 口頭発表, 発表年月日: 2013 年 3 月 4 日, 発表場所: ラフォーレ修善寺 (静岡県伊豆市).

(9) Morihisa Hamada, Masashi Ushioda, Toshitsugu Fujii, Eiichi Takahashi (2012) Hydrogen concentration in plagioclase as a hygrometer of magmas: approaches from melt inclusion analyses and hydrous melting experiments. 2012 Fall Meeting of the American Geophysical Union, ポスター発表, 発表年月日: 2012 年 12 月 3 日, 発表場所: Moscone Convention Center (アメリカ合衆国カリフォルニア州サンフランシスコ市).

(10) 濱田 盛久, 潮田 雅司, 藤井 敏嗣, 高橋 栄一 (2012) 斜長石の水素含有量を用いるマグマ水量計の確立—メルト包有物分析と含水融解実験からのアプローチ—. 日本火山学会 2012 年度秋季大会, 口頭発表, 発表年月日: 2012 年 10 月 16 日, 発表場所: エコールみよた (長野県北佐久郡御代田町).

(11) 濱田 盛久, 藤井 敏嗣 (2012) インド洋中央海嶺三重点玄武岩の斜長石の OH 含有量. 日本鉱物科学会 2012 年年会, 口頭発表, 発表年月日: 2012 年 9 月 19 日, 発表場所: 京都大学 (京都府京都市).

- (12) 濱田 盛久, 潮田 雅司, 高橋 栄一 (2012)  
斜長石-玄武岩質メルト間の水素の分配実験. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, ポスター発表, 発表年月日: 2012 年 5 月 20 日, 発表場所: 幕張メッセ (千葉県千葉市).

[その他]

ホームページ等

<http://www.jamstec.go.jp/personal/003454.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

濱田 盛久 (Hamada, Morihisa)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域・研究員

研究者番号: 6 0 4 5 6 8 5 3