

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01320

研究課題名(和文) マントル鉱物の極微量揮発性成分から読み解く地球内部水循環

研究課題名(英文) Deep water cycle inferred from volatiles in nominally anhydrous minerals from mantle

研究代表者

清水 健二 (SHIMIZU, Kenji)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(高知コア研究所)・副主任研究員

研究者番号：30420491

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：マントルが化学的に不均質である最大の要因は、地球内部を巡る水である。これまでマントルを反映する火山岩(火山ガラスやメルト包有物)の揮発性物質に着目して、マントル内の水分布や振る舞いについて研究されてきた。本研究ではマントル鉱物(カンラン石など)に含まれる極微量な水、フッ素、硫黄、塩素の揮発性物質濃度の分析法を開発し、マントル物質からも揮発性物質量のデータを揃え、研究する体制を整えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉱物中の極微量な揮発性物質濃度を高精度、高分解能で量産ができるようになった。今後は海洋島火山のマントル捕獲岩に限らず、中央海嶺、島弧、大陸など様々なテクトニックセッティングに産するかんらん岩に含まれるマントル鉱物に応用することが可能になり、玄武岩ガラス中の揮発性物質とマントル鉱物中の揮発性物質の両方の研究からアプローチして地球内部の水循環に制約を与えていくという新しい研究を展開することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Major factor for the chemical heterogeneity of the Earth's mantle is the global water cycle of the Earth's interior. In the previous works, this issue was discussed using volcanic rocks (volcanic glasses and melt inclusions), which is the melting product of mantle. In this study, we developed the analytical methods for measuring the trace amounts of water, fluorine, sulfur and chlorine in the mantle minerals (olivine), and established a system to collect volatile data from mantle minerals.

研究分野：地球化学

キーワード：マントル捕獲岩 揮発性物質 二次イオン質量分析計 地球内部物質循環

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

海洋性玄武岩の同位体化学組成からマントルは不均質とされ、その不均質性を説明するために幾つかのマントル端成分が提唱されている。マントル不均質性が生じる最大の要因の一つとして地球内部の揮発性成分の循環が挙げられる。マントルの含水量が数十～数百 ppm と微量でも岩石の粘性、密度、融点、酸素分圧に大きな影響を与え、地球内部の物質・熱循環に重要な役割を担っている。近年、マントルの東半球は西半球に比べ古い沈み込み流体に富み、地球内部に親水成分が蓄積し大構造を生み出していること(Iwamori & Nakamura, 2015)、太古代の高温な地温勾配でもマントル深部に相当量の水が運び込まれ、現在まで貯蔵されていたこと(Kendrick et al., 2017)などが明らかになりつつある。

2. 研究の目的

マントルの化学組成は、通常マントルを反映する玄武岩組成に基づき見積もられている。しかし、玄武岩ガラスの組成のみでは、起源マントルが持っていた本来の不均質性の情報はマントル融解過程で平均化され、十分とは言えない。近年、マントル物質に含まれる鉱物そのものの揮発性成分に注目されているが、そのほとんどは含水量のみに焦点が当てられ、フッ素、塩素、硫黄など他の重要な揮発性成分のデータが揃っていないものはない。また、鉱物中を高速で拡散する水素に関しては捕獲したマグマと直ちに反応し、初生的な情報を保持しているものは非常に希であるとされている。

本研究では、「火山ガラスの揮発性成分同士の相関から確認されたマントルトレンドは、マントル鉱物そのものでも成り立つ」という作業仮説のもと、海台・海洋島に産するマントル捕獲岩を対象に鉱物中の極微量な水、フッ素、塩素、硫黄の濃度を高感度、高分解能のSIMSにて分析し、挙動・特徴の異なる、あるいは類似する揮発性成分を組み合わせデータを解析し、火山ガラスやメルト包有物から得られた結果と併せて、地球内部における水を初めとする揮発性成分の振る舞い、分布に関してより高解像度で読み解くことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、カンラン石、輝石、斜長石などマントル鉱物の極微量な揮発性成分(水、フッ素、塩素、硫黄)の局所分析手法の開発を高知コア研究所既設のSIMS(IMS-1280HR)で行う。そのためには、揮発性物質質量が均質に分布する標準試料が必要であり、多くの鉱物の候補の中からSIMS分析により均質なものを選定する。その後、FTIRを用いて標準鉱物中の含水量を、加水熱分解-イオンクロマトグラフィーを用いてフッ素、塩素、硫黄濃度を決める。

分析手法開発後、オントンジャワ海台とハワイ諸島に産する様々な深度由来の、岩石学的・化学的特徴も多様なマントル捕獲岩の鉱物の揮発性成分を分析し、すでに分析データのある重元素、同位体組成も加え多変量解析する。各々のマントル捕獲岩の初生的な揮発性成分の情報を引き出し比較し、玄武岩質ガラスの結果も併せ、統合的に揮発性成分に関してマントル端成分を特徴づけ、地球内部水循環に制約を与える。

4. 研究成果

(1) マントル鉱物の水の検量線と火山ガラスの化学組成に関するマトリックス効果を検証

カンラン石、輝石、斜長石に関して、SIMSで標準試料候補を選定したのち、含水量測定をFTIRで行い、その含水量を元にSIMSで分析を行った(図1)。玄武岩ガラスの検量線と比較すると、同じOH/Siの強度比でも含水量は鉱物によって異なり、最大8倍程度含水量見積もりに差が生じることが明らかになった。

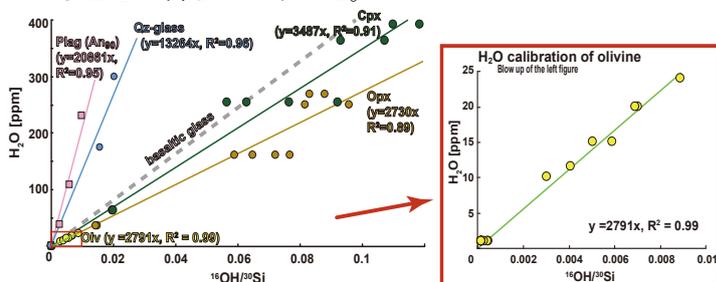


図1. 各鉱物(Olv:カンラン石、Opx:斜方輝石、Cpx:単斜輝石、Qz-glass:石英ガラス、Plag:斜長石)における水の検量線。

Shimizu et al. (2017)では、火山ガラスの含水量は玄武岩組成のガラスの検量線で求まる(マトリックス効果はない)で応用できるのではないかと結論したが、鉱物に関してマトリックス効果の影響が見られたため、火山ガラスの化学組成に関するマトリックス効果に関して再検証した。その結果、火山ガラスの化学組成に関するマトリックス効果が見られた。しかしながら、火山ガラスのモル質量とSIMSに

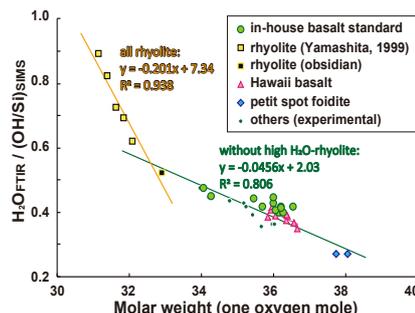


図2. 火山ガラスのモル質量と(H₂O)/(OH/Si)比の関係

おける OH/Si 比のイオン化効率 $[(\text{H}_2\text{O})/(\text{OH}/\text{Si})]$ との相関がみられ (図 2)、補正でき、あらゆる組成の火山ガラスにおいて応用可能であることが明らかになった(Shimizu et al, 2020 など)。

(2) マントル起源の火山ガラスの含水量とフッ素濃度に強い相関を発見

厳選した世界中の中央海嶺とハワイ島沖の深海底に噴出した脱ガスの影響が少ない玄武岩ガラスの揮発性物質濃度 (水、二酸化炭素、フッ素、塩素、硫黄) を高精度に測定した結果、水とフッ素濃度に強い直線相関を発見した(Shimizu et al., 2019a)。このトレンドは、水に乏しい上部マントルと水の豊かな深部マントルの混合で説明でき、このトレンドから外れるものは、リサイクル物質の関与があることを示した (図 3)。

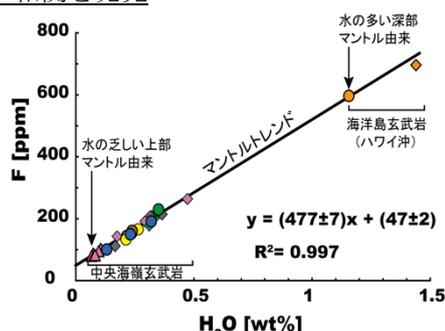


図3. 深海底火山ガラスの水とフッ素の関係

(3) 玄武岩質ガラスの水素・硫黄同位体比測定法の開発

微量含水量測定法を応用して、火山ガラスの水素・硫黄同位体比の測定法を開発した(Shimizu et al., 2019b)。特に従来の水素同位体比分析では、磁場強度を大きく変えて一つの検出器に H と D イオンを交互に導入して同位体比を測定していたが、マルチコレクタ型 SIMS では磁場を固定し、2つの検出器に $^{16}\text{OH}^-$ と $^{16}\text{OD}^-$ イオンを同時に導入して計測することで測定時間を大幅に短縮し、分析精度も向上した。同様に $^{32}\text{S}^-$ と $^{34}\text{S}^-$ イオンも同時導入し計測時間の短縮を実現し、30 ミクロンサイズのメルト包有物から揮発性物質元素、同位体比のデータセットが得られるようになった (図 4)。

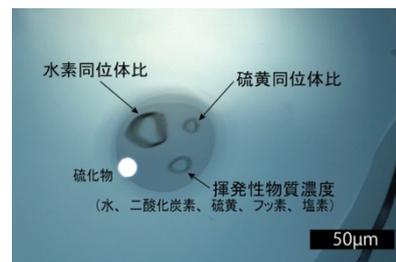


図4 メルト包有物を SIMS で分析したビーム痕

(4) 研磨法の特許を取得

鉍物中の微量な水を SIMS にて測定するためには、傷のない平滑研磨した試料表面が必要である。そのためにはガラス板などの硬い平らな板の上にラッピングフィルムを敷いて仕上げ磨きをするのが大変有効だが、ラッピングフィルムの目が細くなるほど、試料がフィルムに張り付きやすくなり、強い摩擦ストレスと削りカスにより試料表面が傷だらけになってしまう。研磨機を用いたラッピングフィルムによる仕上げ研磨はさらに困難である。特許を取得した溝入り研磨板 (図 5) を用いたラッピングフィルムによる研磨法は誰でも迅速かつ平滑に鏡面研磨することを可能にした。



図5. 発明した研磨法に用いる研磨板

<引用文献>

- ① Iwamori, H. and Nakamura, H. (2015) Isotopic heterogeneity of oceanic, arc and continental basalts and its implications for mantle dynamics. *Gondwana Res* 27, 1131-1152.
- ② Kendrick, M.A., Hemond, C., et al. (2017) Seawater cycled throughout Earth's mantle in partially serpentinized lithosphere. *Nat Geosci* 10, 222-228.
- ③ Shimizu, K., T. Ushikubo, M. Hamada, S. Itoh, Y. Higashi, E. Takahashi, M. Ito (2017) H_2O , CO_2 , F, S, Cl, and P_2O_5 analyses of silicate glasses using SIMS: Report of volatile standard glasses *Geochemical Journal*, 51, 299-313. doi:10.2343/geochemj.2.0470
- ④ Shimizu, K., Ito, M., Chang, Q., Miyazaki, T., Ueki, K., Toyama, C., Senda, R., Vaglarov, B.S., Ishikawa, T., Kimura, J-I. (2019a) Identifying volatile mantle trend with the water-fluorine-cerium systematics of basaltic glass. *Chemical Geology*, 522, 283-294. doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.06.014
- ⑤ Shimizu, K., Ushikubo, T., Murai, T., Matsu'ura, F., Ueno, Y. (2019b) In situ analyses of hydrogen and sulfur isotope ratios in basaltic glass using SIMS. *Geochemical Journal*, 53, 195-207. doi:10.2343/geochemj.2.0559
- ⑥ Shimizu, K., Ushikubo, T., Kuritani, T., Hirano, N. (2020) Yamashita, S., Verification and correction of matrix effect on water concentration of volcanic glasses by SIMS, *Goldschmidt Conference*
- ⑦ 清水健二 (2020 年登録) 研磨方法、特許第 6754519 号

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 清水 健二、柏原 輝彦、為則 雄祐	4. 巻 9
2. 論文標題 マンツルの酸化還元状態の制約に向けた軟X線マイクロビームによる火山ガラス及びメルト包有物中の硫黄の化学形態分析の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SPring-8/SACLA利用研究成果集	6. 最初と最後の頁 11~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18957/rr.9.1.11	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 Kawaguchi Masataka, Hasenaka Toshiaki, Koga Kenneth T., Rose-Koga Estelle F., Yasuda Atsushi, Hokanishi Natsumi, Mori Yasushi, Shimizu Kenji, Ushikubo Takayuki	4. 巻 176
2. 論文標題 Persistent gas emission originating from a deep basaltic magma reservoir of an active volcano: the case of Aso volcano, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Contributions to Mineralogy and Petrology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00410-020-01761-6	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 該当する
1. 著者名 Nozaki Tatsuo, Nagase Toshiro, Ushikubo Takayuki, Shimizu Kenji, Ishibashi Jun-ichiro, and the D/V Chikyu Expedition 909 Scientists	4. 巻 49
2. 論文標題 Microbial sulfate reduction plays an important role at the initial stage of subseafloor sulfide mineralization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geology	6. 最初と最後の頁 222~227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1130/G47943.1	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 Coulthard Daniel A., Reagan Mark K., Shimizu Kenji, Bindeman Ilya N., Brounce Maryjo, Almeev Renat R., Ryan Jeffrey, Chapman Timothy, Shervais John, Pearce Julian A.	4. 巻 22
2. 論文標題 Magma Source Evolution Following Subduction Initiation: Evidence From the Element Concentrations, Stable Isotope Ratios, and Water Contents of Volcanic Glasses From the Bonin Forearc (IODP Expedition 352)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GC009054	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 該当する

1. 著者名 Shervais John W., Reagan Mark K., Godard Marguerite, Prytulak Julie, Ryan Jeffrey G., Pearce Julian A., Almeev Renat R., Li Hongyan, Haugen Emily, Chapman Timothy, Kurz Walter, Nelson Wendy R., Heaton Daniel E., Kirchenbaur Maria, Shimizu Kenji, Sakuyama Tetsuya, Vetter Scott K., Li Yibing, Whattam Scott	4. 巻 22
2. 論文標題 Magmatic Response to Subduction Initiation, Part II: Boninites and Related Rocks of the Izu Bonin Arc From IODP Expedition 352	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GC009093	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 該当する

1. 著者名 Hanyu Takeshi, Yamamoto Junji, Kimoto Katsunori, Shimizu Kenji, Ushikubo Takayuki	4. 巻 557
2. 論文標題 Determination of total CO ₂ in melt inclusions with shrinkage bubbles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 119855 ~ 119855
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2020.119855	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 Whattam Scott A., Shervais John W., Reagan Mark K., Coulthard Daniel A., Pearce Julian A., Jones Peter, Seo Jieun, Putirka Keith, Chapman Timothy, Heaton Daniel, Li Hongyan, Nelson Wendy R., Shimizu Kenji, Stern Robert J.	4. 巻 105
2. 論文標題 Mineral compositions and thermobarometry of basalts and boninites recovered during IODP Expedition 352 to the Bonin forearc	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1490 ~ 1507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2020-6640	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Hamada Morihisa, Iwamori Hikaru, Brandl Philipp A, Ushikubo Takayuki, Shimizu Kenji, Ito Motoo, Li He, Savov Ivan P	4. 巻 61
2. 論文標題 Temporal Evolution of Proto-Izu-Bonin-Mariana Arc Volcanism over 10 Myr: Constraints from Statistical Analysis of Melt Inclusion Compositions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Petrology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/petrology/egaa022	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 該当する

1. 著者名 Rose-Koga E.F., Bouvier A.-S., Gaetani G.A., Wallace P.J., Allison C.M., Andrys J.A., Angeles de la Torre C.A., Barth A., Bodnar R.J., Bracco Gartner A.J.J., Butters D., Castillejo A., Chilson-Parks B., Choudhary B.R., Cluzel N., Cole M., Cottrell E., Shimizu K.など	4. 巻 570
2. 論文標題 Silicate melt inclusions in the new millennium: A review of recommended practices for preparation, analysis, and data presentation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 120145 ~ 120145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2021.120145	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 該当する

1. 著者名 Hirano Naoto, Machida Shiki, Sumino Hirochika, Shimizu Kenji, Tamura Akihiro, Morishita Taisei, Iwano Hideki, Sakata Shuhei, Ishii Teruaki, Arai Shoji, Yoneda Shigekazu, Danhara Tooru, Hirata Takafumi	4. 巻 154
2. 論文標題 Petit-spot volcanoes on the oldest portion of the Pacific plate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers	6. 最初と最後の頁 103142 ~ 103142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr.2019.103142	査読の有無 有
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 Hamada Morihisa, Iwamori Hikaru, Brandl Philipp A, Ushikubo Takayuki, Shimizu Kenji, Ito Motoo, Li He, Savov Ivan P	4. 巻 -
2. 論文標題 Temporal evolution of proto-Izu-Bonin-Mariana arc volcanism over 10Ma: Constraints from statistical analysis of melt inclusion compositions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Petrology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/petrology/egaa022	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Shimizu Kenji, Ito Motoo, Chang Qing, Miyazaki Takashi, Ueki Kenta, Toyama Chiaki, Senda Ryoko, Vaglarov Bogdan S., Ishikawa Tsuyoshi, Kimura Jun-Ichi	4. 巻 522
2. 論文標題 Identifying volatile mantle trend with the water-fluorine-cerium systematics of basaltic glass	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 283 ~ 294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2019.06.014	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 Shimizu Kenji, Ushikubo Takayuki, Murai Tomokazu, Matsu'ura Fumihiko, Ueno Yuichiro	4. 巻 53
2. 論文標題 In situ analyses of hydrogen and sulfur isotope ratios in basaltic glass using SIMS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 GEOCHEMICAL JOURNAL	6. 最初と最後の頁 195 ~ 207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0559	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 Kuritani Takeshi, Xia Qun-Ke, Kimura Jun-Ichi, Liu Jia, Shimizu Kenji, Ushikubo Takayuki, Zhao Dapeng, Nakagawa Mitsuhiro, Yoshimura Shumpei	4. 巻 9
2. 論文標題 Buoyant hydrous mantle plume from the mantle transition zone	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-43103-y	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 該当する

1. 著者名 Shervais John W., Reagan Mark, Haugen Emily, Almeev Renat R., Pearce Julian A., Prytulak Julie, Ryan Jeffrey G., Whattam Scott A., Godard Marguerite, Chapman Timothy, Li Hongyan, Kurz Walter, Nelson Wendy R., Heaton Daniel, Kirchenbaur Maria, Shimizu Kenji, Sakuyama Tetsuya, Li Yibing, Vetter Scott K.	4. 巻 20
2. 論文標題 Magmatic Response to Subduction Initiation: Part 1. Fore-arc Basalts of the Izu-Bonin Arc From IODP Expedition 352	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 314 ~ 338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GC007731	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Hanyu Takeshi, Shimizu Kenji, Ushikubo Takayuki, Kimura Jun-Ichi, Chang Qing, Hamada Morihisa, Ito Motoo, Iwamori Hikaru, Ishikawa Tsuyoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Tiny droplets of ocean island basalts unveil Earth's deep chlorine cycle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-07955-8	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 Pant Naresh C., Jimenez-Espejo Francisco J., Cook Cary P., Biswas Paromita, Mckay Robert, Marchesi Claudio, Ito Motoo, Upadhyay Dewashish, Kuroda Junichiro, Shimizu Kenji, Senda Ryoko, Van De Flierd Tina, Takano Yoshinori, Suzuki Katsuhiko, Escutia Carlota, Shrivastava Prakash K.	4. 巻 30
2. 論文標題 Suspected meteorite fragments in marine sediments from East Antarctica	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Antarctic Science	6. 最初と最後の頁 307 ~ 321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0954102018000299	査読の有無 有
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 該当する

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Shimizu K., T. Ushikubo, T. Kuritani, N. Hirano, S. Yamashita
2. 発表標題 Verification and correction of matrix effect on water concentration of volcanic glasses by SIMS
3. 学会等名 Goldshmidt Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 清水 健二, 牛久保 孝行, 村居 呂一, 松浦 史宏, 上野 雄一郎
2. 発表標題 SIMSによる玄武岩質ガラスの水素、硫黄同位体比分析法とその応用
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ozawa, T., Iwamori, H., Takeshi Hanyu, T., Hamada, M., Shimizu, K., Ushikubo, T., Kimura, J-I, Chang, Q., Nakamura, H., Ito, M.
2. 発表標題 Estimation of the origin of Pitcairn Island OIB by Independent Component Analysis
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iizuka, T., Harada, C., Shimizu, K., Ushikubo, T., Hamada, M., Yoshimoto, M.
2. 発表標題 Decoding pre-eruptive magma evolution and water behavior from plagioclase phenocrysts: Application to the Hoei eruption of Mt. Fuji
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Matsukida, Y., Iizuka, T., Ushikubo, T., Shimizu, K., Geshi, N., Miyagi, I., Hamada, M.
2. 発表標題 Magma evolution during the Aso-3 caldera-forming eruption cycle deduced from the chemistry of plagioclase phenocrysts
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hamada, M., Iwamori, H., Brandl, P.A., Ushikubo, T., Shimizu, K., Ito, M., Li, H., Savov, I.P.
2. 発表標題 Secular evolution of proto-Izu-Bonin-Mariana arc volcanism: Constraints from statistical analysis of melt inclusion compositions
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ushikubo, T., Shimizu, K.
2. 発表標題 Development for In-Situ Volatile Element Abundances, and Hydrogen and Sulfur 2-Isotope Analyses of Silicate Glasses by SIMS
3. 学会等名 82nd Annual Meeting of The Meteoritical Society 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽生毅、木村純一、常青、浜田盛久、清水健二、牛久保孝行、伊藤元雄、石川剛志、岩森光
2. 発表標題 炭酸塩化された海洋地殻リサイクルの証拠；HIMU玄武岩のメルト包有物より
3. 学会等名 日本地球化学会第66回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水健二、牛久保孝行、桂木悠希、平野直人、山下茂
2. 発表標題 SIMSによる火山ガラス含水量分析に関するマトリックス効果の検証と補正の試み
3. 学会等名 日本地球化学会第66回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜田盛久、Rose-Koga, E.F., Koga, K.T., 牛久保孝行、清水健二、原田英男、山口佳昭
2. 発表標題 妙高火山の関山噴火(43 ka)と貫ノ木噴火(41 ka)のメルト包有物の揮発性成分分析
3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽生毅、山本順司、木元克典、中村由里子、清水健二、牛久保孝行
2. 発表標題 気泡のあるメルト包有物の二酸化炭素精密測定
3. 学会等名 日本火山学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 裕馬, 柵山 徹也, 清水 健二, 牛久保 孝行
2. 発表標題 中国東北部五大連池市周辺域の新生代アルカリ玄武岩に含まれるメルト包有物の地球科学的特徴
3. 学会等名 日本火山学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hayashi, Y., Sakuyama, T., Shimizu, K., Ushikubo, T., Kimura, J-I, Hanyu, T., Wei, T.
2. 発表標題 The geochemical characteristics of olivine-hosted melt inclusions in Quaternary potassic basalts around Wudalianchi area, NE China
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Asyraf, M., Morishita, T., Shimizu, K., Ushikubo, T., Itano, K., Guotana, M., Science Party Oman Drilling Project Phase II
2. 発表標題 Water Content in Nominally Anhydrous Mineral of Crust/Mantle Boundary Recovered by International Oman Drilling Project: Analytical Strategy and Methods
3. 学会等名 International Conference on Ophiolites and the Oceanic Lithosphere: Results of the Oman Drilling Project and Related Research (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Morishita, T., Asyraf, M., Shimizu, K., Ushikubo, T., Itano, K., Guotana, Senda, R., Yoshikawa, M., Science Party Oman Drilling Project Phase II
2. 発表標題 Water Content in Nominally Anhydrous Minerals of the Crust/Mantle Boundary Recovered by International Oman Drilling Project: Scientific Strategy and Preliminary Results
3. 学会等名 International Conference on Ophiolites and the Oceanic Lithosphere: Results of the Oman Drilling Project and Related Research (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水健二, 牛久保孝行, 兼岡一郎
2. 発表標題 ハワイ沖ロイヒ、キラウエア深海底ガラス中の揮発性物質濃度と水素同位体比-地球の水の起源物質を求めて-
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shimizu K., Ushikubo T., Kaneoka I.
2. 発表標題 Volatile concentrations and hydrogen isotope ratios of submarine glasses from Loihi and Kilauea
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 研磨方法	発明者 清水健二	権利者 海洋研究開発機構
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6754519号	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔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
研究分担者	石川 晃 (Ishikawa Akira) (20524507)	東京工業大学・理学院・准教授 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------