

令和 6 年 5 月 8 日現在

機関番号：16301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18655

研究課題名（和文）鉱物-マグマ間の2価鉄および3価鉄分配の決定とマントル酸化還元度進化モデルの構築

研究課題名（英文）Determination of mineral-melt partitioning of Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup>: Constraints on redox evolution of the Earth's mantle

研究代表者

桑原 秀治 (Kawahara, Hideharu)

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・助教

研究者番号：50505394

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：地球マントルにおけるFe<sup>2+</sup>とFe<sup>3+</sup>の鉛直分布を制約するために、マグマオーシャン中のFe<sup>2+</sup>の電荷不均化反応と、下部マントル最上部条件におけるブリジマナイトとメルト間のFe<sup>2+</sup>とFe<sup>3+</sup>の分配に関する高圧実験を行った。われわれの結果は、地球のマグマオーシャンや固化したマントルの表層は、おそらく現在よりも酸化されていたことを示している。こうしたわれわれの推定と始生代以降のマントルの酸化還元度に関する地質学的な制約との間の不一致を説明するために、我々は冥王代に降着したであろう還元的物質によってマントルの浅い部分が還元され、マントル内に不均質な酸化還元度をもつ領域が形成したことを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

われわれ地球生命が地球上でどのように誕生したのか、またその当時の環境はどのようなものであったのか、という問いは科学史上最大の謎のひとつである。本研究課題で取り組んだマントルの酸化状態は表層に供給される火山ガス組成に大きな影響を与えるため、初期地球の大気組成や表層環境を推定する上で重要な手がかりを与えることが期待される。われわれの結果によって地球は誕生間もない頃、二酸化炭素や二酸化硫黄といった現在の生命には有毒な火山ガスが表層に供給され、生命が生きていくうえで過酷な惑星表層環境が形成していたことが示唆された。

研究成果の概要（英文）：To constrain the vertical distributions of Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> in the Earth's mantle, we conducted high-pressure experiments on redox disproportionation of Fe<sup>2+</sup> in the deep magma ocean and partitioning of Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> between bridgmanite and melt at the uppermost lower mantle conditions. Our results indicate that the surface of the Earth's magma ocean and solidified mantle would have been oxidized, probably more than today. To explain the discrepancy of the redox state of the mantle between our estimations and geological constraints since the Archean, we proposed the reduction of a shallow part of the mantle by late accreting impactors.

研究分野：比較惑星学、高圧地球科学

キーワード：マグマオーシャン 下部マントル 鉄価数 XANES 酸化還元度

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地球の上部マントルは形成以来、時間と共に徐々に酸化したことが観測的に明らかとなりつつある[Aulbach and Stagno, 2016, *Geology*]。地球初期の還元的な上部マントルは生命が利用可能なアミノ酸などの有機分子を生成しやすい $H_2$ や $CH_4$ に富んだ大気を作り出し[e.g., Yang et al., 2014, *EPSL*]、また光合成発生(約30億年前)から大気中の $O_2$ 蓄積(約24億年前)までに時間差が生じた原因が還元的な上部マントルにあった可能性が指摘されている[e.g., Kadoya et al., 2020, *Nat. Commun.*]。このように地球大気とマントルの相互作用についての重要な知見が得られつつある一方で、上部マントルがなぜ時間の経過とともに酸化になったのか、という重要な問題についてはいまだに明確な答えが得られていない。

本研究課題では、下部マントル圧力条件で安定な鉱物であるブリッジマナイトが $Fe^{3+}$ と親和性が高いことから、 $Fe^{3+}$ に富む酸化的な下部マントルと相対的に $Fe^{2+}$ に富む還元的な上部マントルが地球初期に形成し、その後のマントル対流によって上部マントルが酸化したとする仮説に注目する[Andraut et al., 2018, *GPL*] (図1)。地球形成期の溶融マントルは深部から固化し、残りのマグマ残渣から上部マントルが形成したと考えられている[e.g., Solomatov, 2015, *Treatise on Geophysics*]。したがって、還元的な上部マントルと酸化的な下部マントルの形成、という仮説は地球形成期の溶融マントル固化過程において下部マントル主要鉱物であるブリッジマナイトとマグマの $Fe^{3+}$ 濃度( $Fe^{3+}/(Fe^{2+} + Fe^{3+})$ )を調べることにより制約することができる。しかし、これまで下部マントル条件におけるマグマの $Fe^{3+}$ 濃度や、そこから晶出する鉱物と間の $Fe^{2+}$ と $Fe^{3+}$ の分配は全く研究例がない状況である。

### 2. 研究の目的

本研究では、地球形成期の溶融マントル中で晶出する下部マントル主要鉱物であるブリッジマナイトとマグマ間の $Fe^{2+}$ と $Fe^{3+}$ の分配係数を決定し、地球形成直後のマントル鉛直方向の $Fe^{3+}$ 濃度分布を初めて制約する。また、推定される初期マントル酸化還元状態の鉛直分布を初期条件とし、上部マントルの酸化還元度に関する地質記録と合わせて新たなマントルの酸化還元度進化モデルを提案することを目的とした。

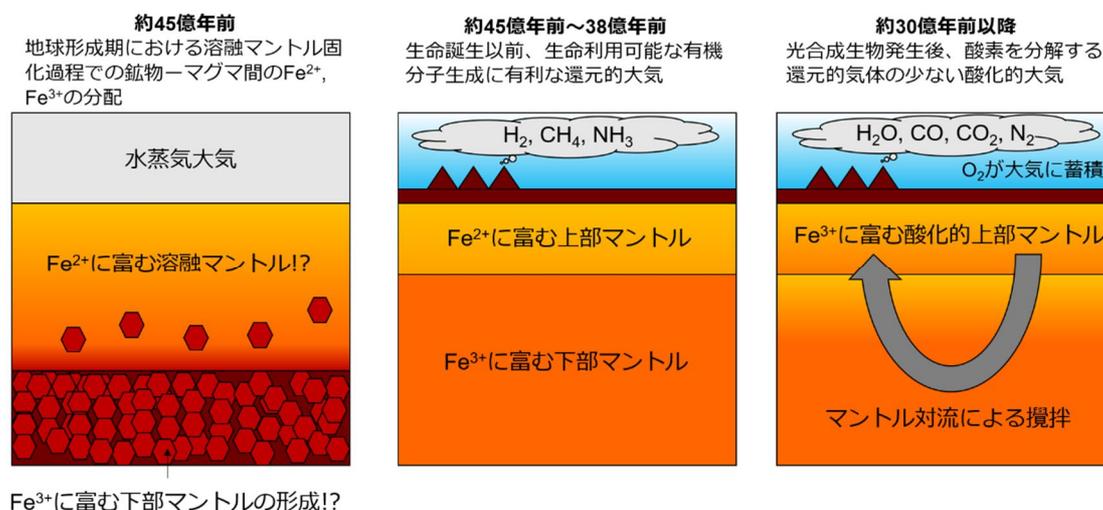


図1. 地球の上部マントル酸化機構と表層環境との関連性に関する概念図

### 3. 研究の方法

部分溶融マントルを再現した高圧実験には愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センターに設置されているマルチアンビル高圧発生装置を用いた。出発試料にはエンスタタイトコンドライトを基に提案されているマントル組成を用い[Javoy et al., 2010, *EPSL*]、圧力条件 23-27 GPa における部分融解実験を行った。実験回収試料は樹脂に埋めた後、試料断面の鏡面研磨を行った。

鉱物相の同定は微小X線回折装置(XRD)を用いて行い、急冷マグマの有無は走査型電子顕微鏡(SEM)による組織観察によって針状の急冷結晶の有無から判断した。また、鉱物、急冷マグマの主要元素組成は電子線プローブマイクロアナライザ(EPMA)を用いて決定した。XRD、SEM、EPMAは愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センターに設置されたものを使用した。

急冷実験回収試料中の鉱物、マグマ中の鉄の価数は放射光施設 SPring-8 の BL27SU にて X 線吸収微細構造(XAFS)測定により決定した。これまで鉄価数の決定には主に K 吸収端が用いられてきたが、分担研究者の中田らの研究によって鉄価数を精密決定するには  $L_3$  吸収端が適していることが示唆された[Nakada et al., 2019, *G-cubed*]。このことから本研究では  $L_3$  吸収端をもとに下部マントル鉱物および急冷マグマの鉄価数を決定した。

### 4. 研究成果

これまでの実験結果に基づき、次のことが明らかとなった。1) 岩石惑星形成時における金属核と岩石マンツルの実効的な分離圧力が20万気圧を超えるとマグマオーシャン中の2価鉄の電荷不均化反応が効率よくすすみ、現在の地球上部マンツルに比べて約一桁程度高い3価鉄が生成する(Kuwahara et al., 2023, Nature Geoscience)。2) 下部マンツル最上部圧力条件(23万気圧~27万気圧)ではブリッジマナイトと共存するマグマ間の2価鉄と3価鉄の分別はほとんど起こらず、その比は一定を保つ(Kuwahara and Nakada, 2023, Earth and Planetary Science Letters)。こうした結果とこれまでの地質記録をもとに、次のような地球マンツルの酸化還元進化モデルを提案した(図2)。1) 核-マンツル分離時およびその後の固化過程において、現在の上部マンツルよりも酸化的なマンツルが形成する。2) 地球形成後に降着した小天体に含まれる金属鉄によって還元的な上部マンツルと酸化的な下部マンツルの2層構造が形成する。

また、本年度はこれまでに行った金属核形成期におけるマグマオーシャン中の2価鉄の電荷不均化反応に関する実験を当初の予定を超えたさらなる圧力まで(38万気圧)拡張することができた。また、ブリッジマナイト-マグマ間の2価鉄と3価鉄分配に関する高圧実験および放射光施設での分析についても引き続き酸素フガシティー依存性など調べる研究にも着手することができた。

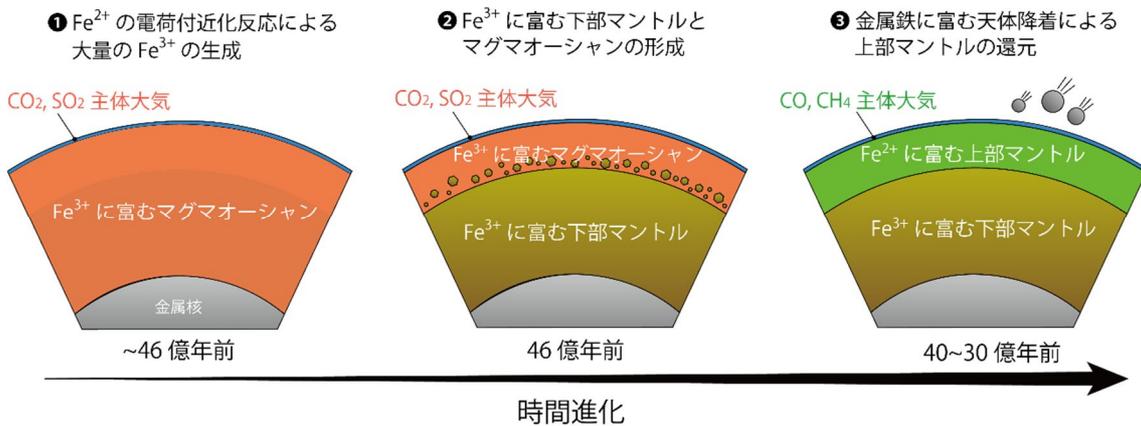


図2. 本研究課題で新たに提案した地球マンツルの酸化還元度の時間進化モデル

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Jing Jie-Jun, Su Ben-Xun, Berndt Jasper, Kuwahara Hideharu, van Westrenen Wim	4. 巻 373
2. 論文標題 Experimental investigation of first-row transition elements partitioning between olivine and silicate melt: Implications for lunar basalt formation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 211 ~ 231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2024.03.028	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 Kuwahara Hideharu	4. 巻 346
2. 論文標題 Partial melt composition of enstatite chondritic mantle around the rheological transition at 23?GPa: Implications for the chemical differentiation of the Earth's mantle	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 107123 ~ 107123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2023.107123	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 Nishi Masayuki, Jin Si, Kawano Katsutoshi, Kuwahara Hideharu, Yamada Akihiro, Kawaguchi Shogo, Mori Yuki, Sakaiya Tatsuhiro, Kondo Tadashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Effect of grain size on amorphization mechanism and kinetics of bridgmanite in shocked meteorites	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-023-00572-0	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 Kono Yoshio, Kuwahara Hideharu, Greaux Steeve, Rivers Mark L., Wang Yanbin, Higo Yuji, Mitsu Keisuke, Kondo Nozomi	4. 巻 618
2. 論文標題 Strong effect of liquid Fe?S on elastic wave velocity of olivine aggregate: Implication for the low velocity anomaly at the base of the lunar mantle	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 118287 ~ 118287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2023.118287	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 Kuwahara Hideharu, Nakada Ryoichi	4. 巻 615
2. 論文標題 Partitioning of Fe <sup>2+</sup> and Fe <sup>3+</sup> between bridgmanite and silicate melt: Implications for redox evolution of the Earth's mantle	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 118197 ~ 118197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2023.118197	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 Kuwahara Hideharu, Nakada Ryoichi, Kadoya Shintaro, Yoshino Takashi, Irifune Tetsuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Hadean mantle oxidation inferred from melting of peridotite under lower-mantle conditions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Geoscience	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/s41561-023-01169-4	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 中田 亮一	4. 巻 39
2. 論文標題 有機物 - 金属元素相互作用の開拓とXAFSを用いた有機宇宙化学分析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Researches in Organic Geochemistry	6. 最初と最後の頁 47 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20612/rog.39.2_47	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 Li Wenshuai, Nakada Ryoichi, Takahashi Yoshio, Gaschnig Richard M., Hu Yongfeng, Shakouri Mohsen, Rudnick Roberta L., Liu Xiao-Ming	4. 巻 359
2. 論文標題 Cerium geochemical composition of the upper continental crust through time: Implications for tracing past surface redox conditions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 20 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2023.08.024	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 Kajitani Iori, Koike Mizuho, Nakada Ryoichi, Tanabe Gaku, Usui Tomohiro, Matsu'ura Fumihiro, Fukushima Keisuke, Yokoyama Tetsuya	4. 巻 620
2. 論文標題 Identification of carbonate-associated sulfate (CAS) in a Noachian Martian meteorite Allan Hills 84001	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 118345 ~ 118345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2023.118345	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 Xu F., Siersch N. C., Greaux S., Rivoldini A., Kuwahara H., Kondo N., Wehr N., Menguy N., Kono Y., Higo Y., Plesa A. C., Badro J., Antonangeli D.	4. 巻 48
2. 論文標題 Low Velocity Zones in the Martian Upper Mantle Highlighted by Sound Velocity Measurements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2021GL093977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL093977	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 Kono Yoshio, Higo Yuji, Greaux Steeve, Shibazaki Yuki, Yamada Rui, Kuwahara Hideharu, Kondo Nozomi	4. 巻 41
2. 論文標題 Continuous measurement of ultrasonic elastic wave velocities, X-ray radiography and X-ray diffraction of $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ metallic glass at high pressure and high temperature conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 219 ~ 232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2021.1941000	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 Kuwahara Hideharu, Itoh Shoichi, Suzumura Akimasa, Nakada Ryoichi, Irifune Tetsuo	4. 巻 48
2. 論文標題 Nearly Carbon Saturated Magma Oceans in Planetary Embryos During Core Formation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2021GL092389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL092389	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 Nagaishi Kazuya, Nakada Ryoichi, Ishikawa Tsuyoshi	4. 巻 55
2. 論文標題 High-throughput isotope analysis of sub-nanogram sized lead using MC-ICP-MS with on-line thallium doping technique and desolvating nebulizer system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 GEOCHEMICAL JOURNAL	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0612	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 Matsu'ura Fumihito, Nakada Ryoichi, Usui Tomohiro, Sawaki Yusuke, Ueno Yuichiro, Kajitani Iori, Saitoh Masafumi	4. 巻 306
2. 論文標題 Spatial distribution and speciation of sulfur in Ediacaran limestones with $\mu$ -XRF imaging and XANES spectroscopy: Implications for diagenetic mobilization of sulfur species	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 20~43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2021.05.010	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 Kakizaki Yoshihiro, Kano Akihiro, Ota Yasuhiro, Nakada Ryoichi, Nagaishi Kazuya, Kashiwagi Kenji	4. 巻 424
2. 論文標題 Pennsylvanian paleoclimatic record in rhythmites developed on an oceanic island of low-latitude Panthalassa	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sedimentary Geology	6. 最初と最後の頁 105992~105992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sedgeo.2021.105992	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 Shidare Masashi, Nakada Ryoichi, Usui Tomohiro, Tobita Minato, Shimizu Kenji, Takahashi Yoshio, Yokoyama Tetsuya	4. 巻 313
2. 論文標題 Survey of impact glasses in shergottites searching for Martian sulfate using X-ray absorption near-edge structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 85~98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2021.08.026	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 -

〔学会発表〕 計37件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 佐藤雅彦、潮田雅司、中田亮一、田村裕二郎、山本伸次、小澤一仁、高橋 太
2. 発表標題 Intensity of the ancient Martian magnetic field estimated from the strong magnetic anomaly data: strong or weak dynamo field?
3. 学会等名 JpGU 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Chizu Kato, Rikuya Aso, Satoshi Fukutani, Ryoichi Nakada, Kazuya Nagaishi, Shigeyuki Wakaki and Toshiyuki Fujii
2. 発表標題 Gallium isotopic composition of GSJ rock reference samples
3. 学会等名 Goldschmidt 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ai Kurokawa, Mizuho Koike, Kento Onishi, Yuta Sumiya, Ryoichi Nakada, Haruna Sugahara, Tomohiro Usui and Hans E.F. Amundsen
2. 発表標題 In-situ nitrogen chemical speciation of alteration minerals in terrestrial Mars analog
3. 学会等名 Goldschmidt 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 所竣一、山本祐平、中田亮一、村瀬遼亮、今井昭二
2. 発表標題 ノビアスキレートPA-1固相抽出法を用いた降雨及び降雪中鉛同位体分析の前処理 方法の検討及び MC-ICP-MS法を用いた夏季降雨中鉛の発生源識別
3. 学会等名 日本分析化学会第72年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤千図、麻生陸也、福谷哲、中田亮一、永石一弥、若木重行、藤井俊行
2. 発表標題 地球岩石試料の高精度ガリウム同位体分析
3. 学会等名 日本原子力学会2023年秋の大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河合敬宏、福士圭介、菅大輝、上相真之、山下翔平、中田亮一、小池みずほ、吉田英人、松本恵、中村智樹、大浦正樹、高橋嘉夫
2. 発表標題 XANESによる化学種解析と層状ケイ酸塩中の元素組成に基づくリュウグウ母天体の水環境の推定
3. 学会等名 日本地球化学会第70回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大西健斗、小池みずほ、黒川愛、住谷優太、中田亮一、臼井寛裕、菅原春菜
2. 発表標題 火星の表層環境史解明に向けた火星隕石の局所窒素化学種解析
3. 学会等名 日本惑星科学会2023年秋季講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiko Sato, Masashi Ushioda, Ryoichi Nakada, Yujiro Tamura, Shinji Yamamoto, Kazuhito Ozawa, Futoshi Takahashi, Ryoya Sakata, Kanako Seki
2. 発表標題 Estimation of the magnetic field intensity of ancient Mars using the magnetic anomaly data
3. 学会等名 AGU 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 A. Kurokawa, M. Koike, K. Onishi, Y. Sumiya, R. Nakada, N. Tomioka, T. Okuchi, H. Sugahara, Chang-Ching Wang, T. Usui, and Hans E. F. Amundsen
2. 発表標題 Nitrogen Chemical Speciation of Carbonates and Clay minerals in a Terrestrial Mars analog
3. 学会等名 the 86th annual meeting of The Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 近藤望、河野義生、中田亮一、尾原幸治
2. 発表標題 ケイ酸塩ガラス中における Zr の存在状態
3. 学会等名 日本地球化学会第70回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清水真音、中田亮一、白石史人
2. 発表標題 石灰質構成要素から明らかにする備北層群“藻類石灰岩”の堆積環境
3. 学会等名 日本地質学会西日本支部会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鬼頭岳大、中田亮一、白石史人
2. 発表標題 愛媛県西予市に分布する鳥巢式石灰岩の堆積環境と堆積年代
3. 学会等名 日本地質学会西日本支部会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Abhishek Pandey, Partha P. Chakraborty, Ryoichi Nakada, Fumito Shiraishi
2. 発表標題 Depositional features and eukaryotic microfossils of Mesoproterozoic Chitrakoot Formation, Vindhyan Supergroup, the central India
3. 学会等名 日本地質学会西日本支部会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shintaro Kaodya
2. 発表標題 Boron isotope fluctuation during a snowball event: what caused the different duration of Neoproterozoic glaciations?
3. 学会等名 JpGU 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shintaro Kaodya
2. 発表標題 Boron Isotopes Implies Difference in Syn-glacial Weathering between Neoproterozoic Snowball Events
3. 学会等名 AGU 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hideharu Kuwahara, Ryoichi Nakada, Shintaro Kadoya, Takashi Yoshino, Tetsuo Irifune
2. 発表標題 Oxidizing magma ocean due to redox disproportionation of Fe <sup>2+</sup> at high pressures and implications for the atmosphere
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Bill Sweidan, Kenji Ohta, Yoshiyuki Okuda, Steeve Greaux, Manabu Kodama, Takashi Yagi, Hideharu Kuwahara
2. 発表標題 Thermal conductivity of hydrous stishovite and DHMS minerals; Implications for seismicity along Japanese trench subduction zone
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川 裕太, 入船 徹男, 桑原 秀治, 國本 健広
2. 発表標題 下部マントル条件下での天然含水玄武岩の相関係
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川 裕太, 入船 徹男, 桑原 秀治, 國本 健広
2. 発表標題 下部マントル領域における天然含水玄武岩の相関係
3. 学会等名 第63回高圧討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲田 真子, 奥田 善之, 岡 健太, 桑原 秀治, Steeve Greaux, 廣瀬 敬
2. 発表標題 高温高圧下における含水シリカの電気伝導度 ~超イオン状態の実験的証拠~
3. 学会等名 第63回高圧討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小池みずほ, 大西健斗, 黒川愛, 中田亮一, 住谷優太, 菅原春菜, 臼井寛裕, Hans E. F.
2. 発表標題 火星の「窒素循環史」解明に向けた局所窒素化学種解析
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chang-Chin Wang, Haruna Sugahara, Tomohiro Usui, Ryoichi Nakada, Mizuho Koike, Hans Amundsen
2. 発表標題 Characterization of Bockfjord Volcanic Complex Carbonates: Implication for Formation Process and Potential as Martian Analog
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西健斗, 小池みずほ, 黒川愛, 住谷優太, 中田亮一, 臼井寛裕, 菅原春菜
2. 発表標題 火星の表層環境史解明に向けたシャーゴットタイト隕石の局所窒素化学種解析
3. 学会等名 日本地球化学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒川愛, 小池みずほ, 大西健斗, 住谷優太, 中田亮一, 菅原春菜, 臼井寛裕, Hans E. F. Amundsen
2. 発表標題 火星の表層環境解明に向けたアナログ試料の局所窒素化学種分析
3. 学会等名 日本地球化学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中田亮一、横山文香、朝倉奈子、永石一弥
2. 発表標題 希土類元素安定同位体比を用いたpH指標の開発
3. 学会等名 日本地球化学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chang-Chin Wang, Tomohiro Usui, Mohit Melwani-Daswani, Haruna Sugahara, Ryoichi Nakada, Mizuho Koike, Hans Amundsen
2. 発表標題 THERMOCHEMICAL SIMULATION OF BOCKFJORD VOLCANIC COMPLEX CARBONATES, A TERRESTRIAL MARTIAN ANALOG
3. 学会等名 54th Lunar and Planetary Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mizuho Koike, Ai Kurokawa, Kento Onishi, Ryoichi Nakada, Yuta Sumiya, Tomohiro Usui, Haruna Sugahara, and Hans Amundsen
2. 発表標題 IN-SITU NITROGEN SPECIATION OF SHERGOTTITE MARTIAN METEORITES AND TERRESTRIAL MARS ANALOG
3. 学会等名 54th Lunar and Planetary Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shintaro Kadoya
2. 発表標題 Oceanic boron cycle implies the difference in the two Neoproterozoic snowball states
3. 学会等名 Geological Society of America Connects 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Siersch, Nicki und Xu, Fang und Marceline, Anne-Elisabeth und Greaux, Steeve und Rivoldini, A. und Kuwahara, Hideharu und Kondo, Nozomi und Wehr, Nicolas und Menguy, N. und Kono, Yoshino und Higo, Yuji und Plesa, Ana-Catalina und Badro, James und Antonangeli, D.
2. 発表標題	Experimental Studies on Phase Equilibria, Density and Sound Velocities of Martian Mantle Assemblages
3. 学会等名	2021 AGU fall meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Masahiko Sato, Masashi Ushioda, Ryoichi Nakada, Yujiro Tamura, Shinji Yamamoto
2. 発表標題	Rock-magnetic and mineralogical properties of the exsolved magnetite in plagioclase crystal
3. 学会等名	2021 JpGU meeting
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Takehiro Hirose, Ryoichi Nakada, Keishi Okazaki, Takazo Shibuya
2. 発表標題	Redox change by coseismic water-rock reactions in the interior of planets
3. 学会等名	2021 JpGU meeting
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Fumihiro Matsuura, Ryoichi Nakada, Yusuke Sawaki, Yuichiro Ueno, Masafumi Saitoh, Iori Kajitani, Tomohiro Usui
2. 発表標題	The micro-scale speciation analyses of sulfur in the Ediacaran limestones: Implications for diagenetic mobilization of sulfur species.
3. 学会等名	2021 JpGU meeting
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 Yujiro Tamura, Masahiko Sato, Ryoichi Nakada, Chie Kato, Shinji Yamamoto
2. 発表標題 Relationship between the abundance of the exsolved magnetite and the valence state of iron in single plagioclase crystal separated from Doshi gabbro
3. 学会等名 2021 JpGU meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mizuho Koike, Ryoichi Nakada, Kajitani Iori, Haruna Sugahara, Tomohiro Usui
2. 発表標題 Investigation of "Martian nitrogen cycle" and its evolution based on in-situ analyses of meteorites
3. 学会等名 2021 JpGU meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤 望、河野 義生、尾原 幸治、中田 亮一、伊奈 稔哲、Skrzypek Etienne、山田 明寛、齊藤 哲
2. 発表標題 Interaction between Cerium and H <sub>2</sub> O in Hydrous Rhyolitic Melts
3. 学会等名 2021 JpGU meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chang-Chin Wang, Haruna Sugahara, Tomohiro Usui, Ryoichi Nakada, Mizuho Koike, Hans Amundsen
2. 発表標題 MINERALOGY AND SULFUR X-RAY ABSORPTION NEAR-EDGE STRUCTURE (S-XANES) ANALYSIS OF BOCKFJORD VOLCANIC COMPLEX CARBONATES, A POTENTIAL MARTIAN ANALOG
3. 学会等名 Lunar an Planetary Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Iori Kajitani, Ryoichi Nakada, Mizuho Koike, Gaku Tanabe, Tomohiro Usui, Fumihiro Matsu'ura, Keisuke Fukushi, Hiroyuki Kurokawa, Tetsuya Yokoyama
2. 発表標題 SPECIATION OF SULFUR IN CARBONATES IN A 4.1-BILLION-YEAR-OLD MARTIAN METEORITE
3. 学会等名 Lunar an Planetary Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2022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
研究分担者	中田 亮一 (Nakada Ryoichi) (50726958)	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)・主任研究員  (82706)	
研究分担者	門屋 辰太郎 (Kadoya Shintaro) (60801347)	東京工業大学・地球生命研究所・特任助教  (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
---------	---------