

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01149

研究課題名（和文）火星表層環境に影響を及ぼした「窒素の循環と進化」の実証的研究

研究課題名（英文）Elucidation of "nitrogen-cycle" and its long-term evolution on Martian surface

研究代表者

小池 みずほ (Koike, Mizuho)

広島大学・先進理工系科学研究科（理）・助教

研究者番号：60836154

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、火星における窒素の循環と進化を理解することを目的に、様々な火星隕石と地球の天然玄武岩（火星アナログ）の窒素化学種をX線吸収微細構造法(XAFS)により調べた。測定は大型放射光施設SPring-8の軟X線ビームラインBL27SUにて実施した。隕石中の窒素はごく微量であると予想された為、まずはクリーン環境での試料準備法を確立し、その後、未知試料と参照窒素化合物類のXAFSスペクトルを測定した。その結果、若い火星隕石は局所的に硝酸塩等の窒素化合物を含むことが判明した。ただし、その濃度は非常に低く、さらなる高解像度分析や同位体分析の実現には手法の改良が必要であると結論付けられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球の兄弟星とも言われる火星は、現在は寒冷で乾燥した惑星だが、約40億年前には豊富な表層水と分厚い大気を有し、初期地球に似た環境だったと考えられている。このような火星の環境大変遷史の解明は、広く地球型惑星の現在と将来を理解する上で重要である。また、火星は月に次いで人類にとって身近な天体であり、2030年代の火星圏サンプルリターン計画、および、その後の火星有人探査が期待される。今後10年以内に火星回収試料に直接アクセスできると見込まれる現在、本研究により隕石の局所非破壊分析法が確立され、火星の窒素についての知見が得られた学術的意義は非常に大きい。

研究成果の概要（英文）：This study focuses on nitrogen speciation in various Martian meteorites and Terrestrial basaltic lava breccia (regarded as Mars analog) to understand the possible nitrogen cycling on past Mars. The nitrogen k-edge micro-X-ray absorption fine structure (XAFS) was measured at the soft X-ray beam line (BL27SU) of SPring-8 synchrotron. Because the N concentration in the meteorites was expected to be low, we first established the clean sample preparation protocol, before measuring the unknowns and N-bearing reference reagents. The XAFS spectra of the young Martian meteorites indicate the trace and heterogenous distribution of nitrate and/or other N-bearing compounds. However, their concentrations were too low to achieve the higher spatial resolution analysis or isotope analysis. For further study, one needs to improve the analytical methods.

研究分野：地球惑星化学

キーワード：火星隕石 窒素化学種 XAFS法 窒素の循環と進化 火星アナログ岩石

## 1. 研究開始当初の背景

火星は、現在は寒冷・乾燥・酸化的な表層環境を持つ惑星だが、かつては豊富な表層水と分厚い大気を有し、初期地球に似た環境だったと考えられる。このような火星の環境変遷史の理解と火星生命の存在可能性（ハビタビリティ）の探求は、惑星科学の最重要課題の1つと言える。研究代表者らの長期的な研究目標は、火星の環境生命進化を揮発性元素（水素、炭素、窒素、硫黄など）の挙動から明らかにすることである。

特に本研究で着目する窒素(N)は、惑星大気の主構成元素の1つである（現在の火星大気組成は  $\text{CO}_2$ : 95%、 $\text{N}_2$ : 2.7%、Ar: 1.6%）。一般に  $\text{N}_2$  は化学的に不活性な分子だが、火山噴火・雷・隕石衝突などに伴う無生窒素物固定によって反応性の高い化合物（硝酸やアンモニアなど）が生成されると、惑星の大気圏-岩石圏-水圏（および生命圏）を窒素化合物が様々に循環し、その天体の表層環境やハビタビリティに多大な影響を及ぼしうる。かつての火星は活発な火山活動や激しい隕石衝突を経験しており、無生物窒素固定に駆動された窒素の循環が卓越していた可能性がある（図1）。火星の大気  $\text{N}_2$  以外の窒素リザーバーは長年分かっていなかったが、火星探査機キュリオシティの調査により、約35億年前のゲールクレーター堆積物が硝酸塩等の窒素酸化物を含むことが報告された（e.g., Stern et al., 2015）。さらに、研究代表者らの研究グループでは火星隕石 ALH 84001 の化学種解析をおこない、40億年前の火星の炭酸塩鉱物が有機窒素化合物や炭酸塩構造置換態硫酸（CAS）を保存していることを発見した（Koike et al., 2020 Nature Communications, Kajitani & Koike et al., 2023 Earth & Planet. Sci. Lett.）。

一連の発見から、かつての火星における窒素の挙動の重要性に注目し、窒素循環メカニズムと時代変遷を明らかにすべく、本研究を開始するに至った。

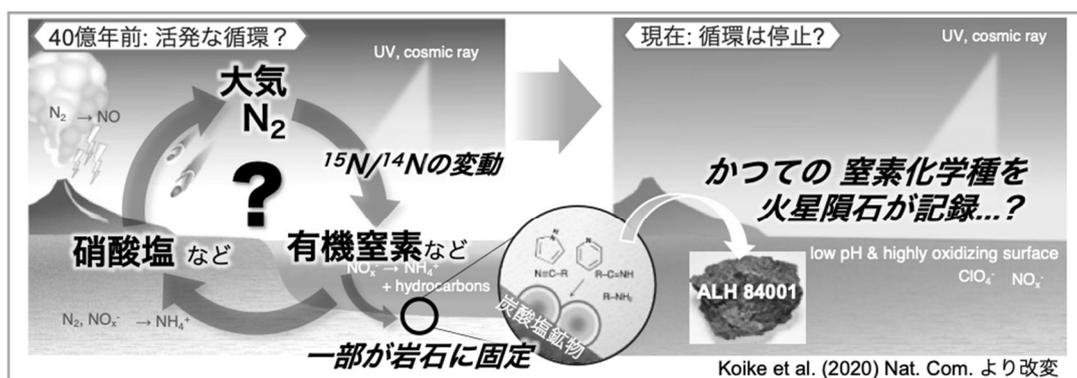


図1: 火星における窒素の循環と進化のイメージ

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、かつての火星における窒素の挙動を、火星隕石に記録された窒素化学種情報から明らかにすることである。火星隕石とは、火星の表層岩石が隕石衝突などにより火星を飛び出して地球へ飛来したものであり、現在300個以上見つかっている。これらは、火星の様々な時代（44億年前～数100万年）と場所の情報を記録しうる唯一の火星実試料である。特に隕石中の衝撃溶融ガラスは、火星の大気由来の窒素を捕獲している。また、隕石中の水質変成鉱物（炭酸塩や粘土鉱物等）は、火星の地下水や表土の窒素を捕獲している可能性がある。様々な火星隕石に含まれる「かつての火星の窒素化学種」を局所非破壊分析にて特定することで、火星のどこに・どのような窒素が存在したかを明らかにすることが本研究の目的である。

また、火星隕石中に窒素が濃集した領域が見つかった場合、その窒素安定同位体比 ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) もあわせて調べることで、窒素同位体の時代進化を追跡することも当初の研究目的としていた。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究試料:

窒素化学種を調べる試料として、約7億年前に火星の地下で水質変成を経験したナクライト隕石1種類（Yamato 000749）、数100万年前の衝撃溶融で大気や表土成分を取り込んだシャ

ーゴットイト隕石3種類 (Tissint, NWA 13367, NWA 2975)、および、ノルウェー・スヴァールバル諸島のボックフィヨルド火山帯 (BVC) の火星アナログ岩石を選定した。この BVC は 100 万年前の噴火で形成した玄武岩質変成岩であり、二次的な炭酸塩鉱物や粘土鉱物の形態や化学組成が火星と類似しているため火星アナログとされる (Treiman et al., 2002; Amundsen et al., 2011)。

## (2) クリーン試料準備法 (Koike et al. 論文準備中) :

上記(1)に示した試料の窒素化学種解析を、大型放射光施設 SPring-8 (BL27SU) のビームラインを複数回頂き実施した。ただし、火星隕石の窒素濃度はごく微量 (典型的に数 10 ppm 程度) であることが予察分析により予想された為、未知試料測定をおこなう前に事前に以下のクリーン試料準備法 (図2) を開発した。

未知試料をアルミ鋳型に成形したインジウムに包埋した後、加熱済みアルミナ研磨粉で片面研磨した。その後、研磨岩片を光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡 (SEM-EDS) にて観察し窒素化学種解析の対象 (衝撃溶融ガラスや炭酸塩鉱物・粘土鉱物などの変成物) を決定した。さらに、集束イオンビーム装置 (SEM-FIB) を用いて、測定対象を含む微小切片 (H 40 $\mu$ m  $\times$  V40 $\mu$ m  $\times$  D10 $\mu$ m) を研磨岩片から切り出し、洗浄済み専用グリッドに取り付けた後、クリーン環境下で輸送用ガラス容器に封入し SPring-8 へ持参した。試料はビームラインに設置したクリーンブース内で試料導入ロッドに取り付け、測定チャンバへ素早く導入して真空 (10<sup>-5</sup> Pa) 引きをおこなった。

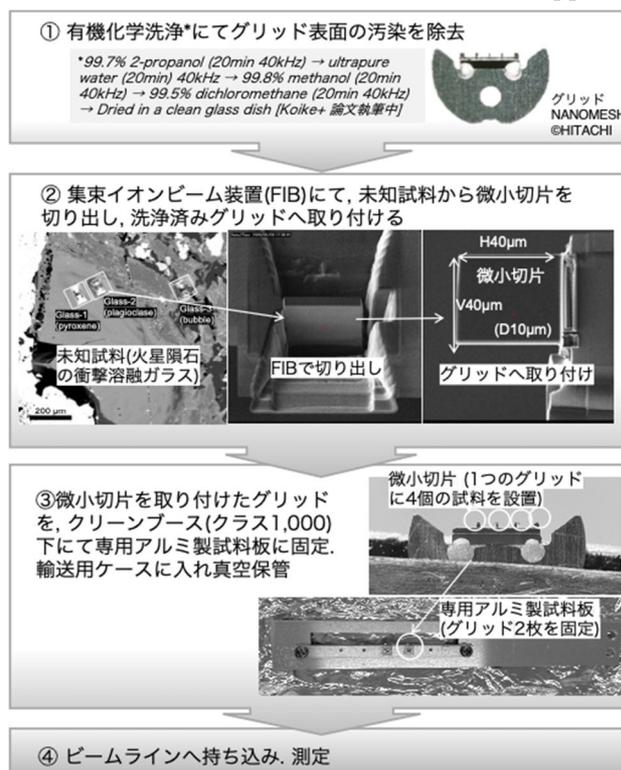


図2: クリーン試料準備法

## (3) 窒素 K 吸収端 X 線吸収微細構造 (XAFS) 測定 :

上記(2)のプロトコルに従い準備した試料について、SPring-8 の軟 X 線ビームライン BL27SU の C ブランチにて、窒素 K 吸収端 X 線吸収微細構造 (micro-XAFS) 測定を実施した。すべての XAFS 測定と蛍光 X 線 (XRF) マップの取得は常温真空下 (25 $^{\circ}$ C, 10<sup>-5</sup> Pa) でおこない、測定前の光学調整により入射 X 線のビームサイズを H40 $\mu$ m  $\times$  V15 $\mu$ m 程度に成形して測定した。

未知試料は、最初に高エネルギー (1900 eV) で主要元素の XRF マップ (Fe-L, Mg, Al, Si) を取得した。この XRF マップから測定対象物 (衝撃溶融ガラス・炭酸塩鉱物・粘土鉱物など) の XY 座標を決定した後、入射 X 線エネルギーを窒素 K 吸収端付近に変え、420 eV から 390 eV までのエネルギー範囲を 0.1 eV/ステップで走査することで、XAFS スペクトルを取得した。ただし、未知試料の窒素濃度は非常に低いため、1 測定あたり 6–12 時間の積算をおこない、試料から放出される蛍光 X 線を計測した。

また、XAFS 法では一般に、試料中の特定元素が吸収する X 線エネルギー位置や吸収スペクトルの形状から、元素の化学種や価数などの情報を得ることができる。化学種の決定には、既知の参照スペクトルとの比較が必須となる。そこで本研究では、窒素の参照スペクトルデータベースを充実させるため、新たに 10 種類程度の無機・有機窒素化合物試薬の XAFS 測定も同ビームラインにておこなった。

## 4. 研究成果

様々な無機・有機窒素化合物試薬から、図3に示すような参照 XAFS スペクトルが得られた。これらを隕石試料等の XAFS スペクトルと比較することで、試料に含まれる窒素化学種を推定

することができる。

未知試料の XAFS 測定から、「3. 研究の方法」の(1) に示したナクライト隕石について、水質変成鉱物(イディングサイト)が火星流体由来の窒素を取り込んでいる可能性が示唆された。しかし、イディングサイトは SEM による電子線照射や FIB によるイオンビーム照射に対して脆弱であり、試料準備の過程で著しいダメージを受けてしまうため、現分析法では正しく測れないことが判明した。一方、 に示したシャーゴット隕石では、衝撃溶融ガラスが微量な硝酸塩 ( $\text{NO}_3$  化合物) や窒素分子 ( $\text{N}_2$ ) を局所的に含むことが示された。硝酸塩は火星表土由来、窒素分子は火星大気由来の物質が、約 100 万年前の衝撃溶融により隕石中のガラスに取り込まれたものと考えられる。ただし、これらの窒素濃度は非常に低く(最大でも数 100 ppm 程度)同位体分析には適さなかった。また、落下隕石である Tissint にもサハラ砂漠の隕石である NWA 13367 や NWA 2975 にも、有機窒素化合物が微量に含まれていることが示された。これらが火星由来の有機物である可能性は高いと思われるが、その濃度が検出下限程度(数 100 ppm ~ 10ppm)と低かったため、有機分子の特定には至らなかった。一方、火星アナログ試料では、アンモニウムなどの還元的窒素が粘土鉱物等に局所的に濃集していることが分かった。

以上から、火星隕石にはかつての火星の窒素化合物が様々な形態で保存されている可能性が示唆されたが、全体的に窒素濃度は非常に低く、さらなる高解像度分析や分子種の推定、および同位体分析を達成するためには分析手法の改良が必要であると結論付けられた。今後の研究では、微量な窒素を調べるための高感度分析法の実現が期待される。

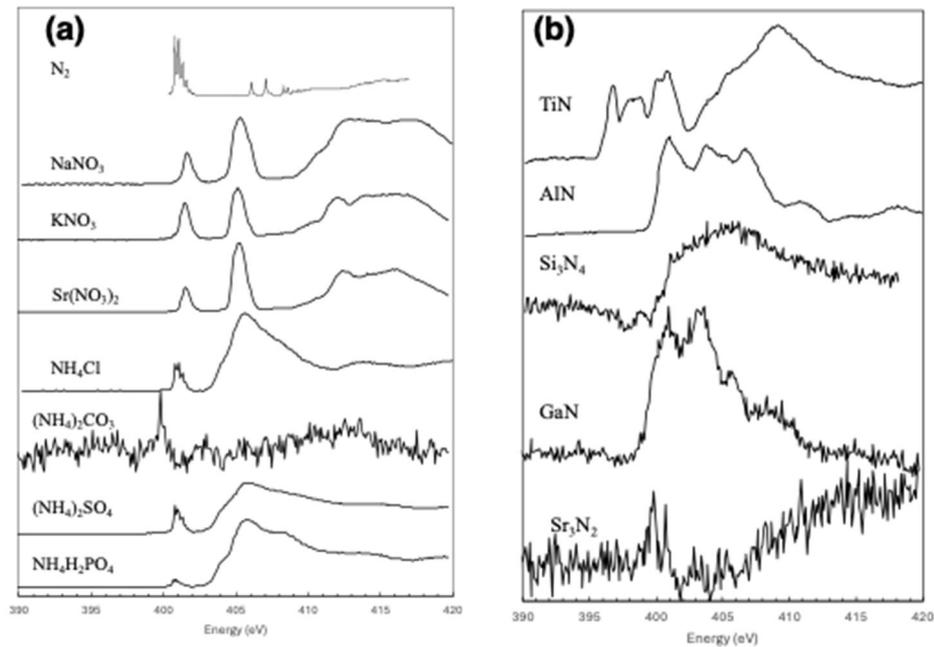


図 3: 本研究にて取得した窒素化合物試薬類の XAFS スペクトルの例  
(一部に未公開データを含む)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Nakada Ryoichi, Tanabe Gaku, Kajitani Iori, Usui Tomohiro, Shidare Masashi, Yokoyama Tetsuya	4. 巻 11
2. 論文標題 EXAFS Determination of Clay Minerals in Martian Meteorite Allan Hills 84001 and Its Implication for the Noachian Aqueous Environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 176 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min11020176	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 Suga Hiroki, Suzuki Keika, Usui Tomohiro, Yamaguchi Akira, Sekizawa Oki, Nitta Kiyofumi, Takeichi Yasuo, Ohigashi Takuji, Takahashi Yoshio	4. 巻 11
2. 論文標題 A New Constraint on the Physicochemical Condition of Mars Surface during the Amazonian Epoch Based on Chemical Speciation for Secondary Minerals in Martian Nakhilites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 514 ~ 514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min11050514	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 Fumihiro, 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 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 -

1. 著者名 Hyodo Ryuki, Usui Tomohiro	4. 巻 373
2. 論文標題 Searching for life on Mars and its moons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 742 ~ 742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abj1512	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 Fujiya Wataru, Furukawa Yoshihiro, Sugahara Haruna, Koike Mizuho, Bajo Ken-ichi, Chabot Nancy L., Miura Yayoi N., Moynier Frederic, Russell Sara S., Tachibana Shogo, Takano Yoshinori, Usui Tomohiro, Zolensky Michael E.	4. 巻 73
2. 論文標題 Analytical protocols for Phobos regolith samples returned by the Martian Moons eXploration (MMX) mission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01438-9	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 Kuramoto Kiyoshi, Kawakatsu Yasuhiro et al. (incl, Usui Tomohiro)	4. 巻 74
2. 論文標題 Martian moons exploration MMX: sample return mission to Phobos elucidating formation processes of habitable planets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01545-7	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 Ogohara Kazunori, Nakagawa Hiromu et al. (incl. Usui Tomohiro and Koike Mizuho)	4. 巻 74
2. 論文標題 The Mars system revealed by the Martian Moons eXploration mission	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01417-0	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 該当する

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 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 Fukai R., Usui T., Fujiya W., Takano Y., Bajo K., Beck A., Bonato E., Chabot N. L., Furukawa Y., Genda H., Hibiya Y., Jourdan F., Kleine T., Koike M., Matsuoka M., Miura Y.N., Moynier F., Okazaki R., Russell S.S., Sumino H., Zolensky M.E., Sugahara H., Tachibana S., Sakamoto K., Abe M., Cho Y., Kuramoto K.	4. 巻 59
2. 論文標題 Curation protocol of Phobos sample returned by Martian Moons eXploration	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Meteoritics and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 321 ~ 337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.14121	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 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 Sugahara Haruna, Yoshimura Toshihiro, Tamenori Yusuke, Takano Yoshinori, Ogawa Nanako O., Chikaraishi Yoshito, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 40
2. 論文標題 Nitrogen K-edge X-ray adsorption near-edge structure spectroscopy of chemically adsorbed ammonia gas on clay minerals and the 15N/14N-nitrogen isotopic fractionation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 781 ~ 789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s44211-023-00503-5	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15件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 小池みずほ, 佐野有司, 高畑直人
2. 発表標題 隕石の放射年代分析から探る小惑星の衝突進化史
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sumiya, Y., Koike, M., Onishi, K., Kurokawa, A., Takahata, N., Asanuma, H., and Sano, Y.
2. 発表標題 Uranium-lead dating of zircon and phosphate minerals in a highly-shocked eucrite Northwest Africa 13166
3. 学会等名 53rd Lunar and Planetary Science Conference (国際学会)
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, 菅原春菜, 臼井寛裕
2. 発表標題 火星の表層環境史解明に向けた局所窒素化学種解析
3. 学会等名 第46回生命の起原および進化学会学術講演会
4. 発表年 2022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 JpGU2021
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Fumihito 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 JpGU2021
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 JpGU2021
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 53rd Lunar and 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 53rd Lunar and Planetary Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西健斗、中田亮一、黒川愛、住谷優太、臼井寛裕、菅原春菜、小池みずほ
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 Kurokawa A., Koike M., Onishi K., Sumiya Y., Nakada R., Sugahara H., Usuit T., and Amunsen E. F.
2. 発表標題 In-situ nitrogen chemical speciation of alteration minerals in terrestrial Mars analog
3. 学会等名 Goldschmidt Conference, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kurokawa A., Koike M., Nakada R., Tomioka N., Okuchi T., Onishi K., Sumiya Y., Sugahara H., Usuit T., and Amunsen E. F.
2. 発表標題 Nitrogen Chemical Speciation of Carbonates and Clay Minerals in a Terrestrial Mars Analog
3. 学会等名 85th Annual Meetings of the Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koike M., Sakai R., Sumiya Y., Kurokawa A., Onishi K.
2. 発表標題 A Petrologic Study of a Recently Found Winonaite, Northwest Africa 13679
3. 学会等名 85th Annual Meetings of the Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sumiya Y., Koike M., Kurokawa A., Onishi K., Kanemaru R., Takahata N., Sano Y.
2. 発表標題 U-Pb dating of Phosphate Minerals in a Mesosiderite Tanezrouft 091 and a Brecciated Eucrite Juvinas
3. 学会等名 85th Annual Meetings of the Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 酒井 亮輔, 小池 みずほ, 住谷 優太, 黒川 愛, 大西 健斗
2. 発表標題 Winonaite隕石の岩石鉱物記載による始原的分化天体の進化史推定
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 小池みずほ
2. 発表標題 分化隕石の局所年代測定に基づく惑星物質進化の研究
3. 学会等名 日本地球化学会 第70回年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究代表者（小池みずほ）個人ページ  
<https://sites.google.com/view/mizuhokoike/home?authuser=0>

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	臼井 寛裕  (Usui Tomohiro)  (60636471)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授   (82645)	
研究分担者	菅原 春菜  (Sugahara Haruna)  (50735909)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・特任助教   (82645)	

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
---------	---------