

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02007

研究課題名(和文) 配位環境分析に基づく続成作用が重元素安定同位体比に与える影響の解明

研究課題名(英文) Investigation of the effects of diagenesis on the stable isotope fractionation based on the speciation analysis

研究代表者

中田 亮一 (Nakada, Ryoichi)

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

研究者番号：50726958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では続成作用が堆積物中の重元素安定同位体比に与える影響について熱水反応実験と堆積物コア試料の分析を組み合わせることを目的とし、元素分離法および安定同位体比分析条件の確立、天然試料採取と同一層準決定、熱水反応実験、天然試料および実験試料の安定同位体比および配位環境分析という4つの研究ステップを4年間で計画であった。コロナ禍や装置故障の影響で計画通りに進展しなかった部分もあるが、では当初の想定より簡潔な手順での元素分離の実現や、同位体比分析精度の大幅な向上を実現し、後続研究に繋がる成果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

堆積岩中の重元素安定同位体比は古環境指標として近年爆発的に研究が増加している。重元素安定同位体比は配位環境が支配していることが明らかにされてきたが、続成作用に伴う同位体比の変化もしくは保存過程は全く検証されていない。そこで本研究では続成作用を模擬した熱水反応実験に加えて、日本海の未固結堆積物コア及びコアと同時代・同堆積盆の陸上堆積岩を用いて、安定同位体比測定とX線吸収微細構造(XAFS)法による配位環境分析から続成作用が安定同位体比に与える影響の解明を目指した。本研究は地球化学、鉱物学、地質学、古環境学など広範な波及性を有しており、古海洋環境の変遷とそれに伴う生命進化の理解向上に繋がった。

研究成果の概要(英文)：The objectives of this study were to elucidate the effects of diagenesis on the stable isotope ratios of heavy elements in sediments by combining hydrothermal reaction experiments and analysis of sediment core samples. The plan was to conduct four research steps in four years: (1) establishment of elemental separation methods and analytical conditions, (2) collection of natural samples and determination of isotope levels, (3) hydrothermal reaction experiments, and (4) analysis of stable isotope ratios and coordination environments of natural and experimental samples. Although some parts of the project did not progress as planned due to coronal disasters and equipment breakdowns, in step (1), we achieved elemental separation in a simpler procedure than originally planned and a significant improvement in the accuracy of isotope ratio analysis, which led to results that will lead to subsequent research.

研究分野：地球化学

キーワード：重元素安定同位体 続成作用 元素分離 堆積物コア

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球史の大部分の時代において生命は海洋や湖のような水圏環境で進化したことから、古海洋環境の解明は生命の進化を考察する上で必須である。古海洋環境を記述する様々な要素の中でも酸化還元状態は微量元素の挙動を支配する極めて重要なパラメータであり、大気 - 海洋の酸化還元状態の変化は生命の進化や絶滅と密接に関連している(Kirschvink et al., PNAS, 2000 他)。そのため、古海洋酸化還元状態の変遷は常に注目を集める研究対象である(Anbar & Knoll, Science, 2002 他)。

これまでは堆積物中の炭素や硫黄の安定同位体比、モリブデン(Mo)や希土類元素(REE)などの微量元素濃度を基に古海洋酸化還元状態が推定されてきたが、近年ではクロム(Cr)、鉄(Fe)、Mo など重元素の安定同位体比分析に基づく高精度の古環境復元が盛んに試みられている(Frei et al., Nature, 2009; Planavsky et al., Nat. Geosci., 2014 他多数)。例えば、Cr 同位体比から約 28 億年前には Cr(VI)が存在するほど酸化的な海洋であった可能性が指摘され(Frei et al., 2009)。Mo 同位体比は 29.5 億年前に酸素発生型光合成が開始していた可能性を示唆している(Planavsky et al., 2014)。また、Fe 同位体比などから古海洋環境変遷についての描像が得られている(Rouxel et al., Science, 2005)。

重元素安定同位体比を用いる研究数は爆発的に増加しているが、常に「試料中の同位体比は堆積時の値を保存している」という仮定に基づいている。しかし、続成作用では圧密作用や間隙水の移流、鉱物の溶解と再沈殿など、元素移動とそれに伴う二次的な同位体分別が生じる可能性がある。実際に、続成作用の影響で硫黄安定同位体比が変化するという研究が地球化学分野最大の国際会議である Goldschmidt 会議で報告された(Virgil et al., 2018)。彼らの発表では硫黄同位体比の変化が氷期 - 間氷期の堆積続成作用で変化しているという推定でしかなかったが、続成作用が同位体比に与える影響が注目され始めている。従って、今こそより具体的かつ詳細に続成作用が重元素安定同位体比に与える影響を解明し、古海洋環境研究を進展させるべきである。

2. 研究の目的

本研究の目的は「続成作用が重元素安定同位体比に与える影響を解明」し、重元素安定同位体比に基づく古海洋環境復元の指針を示すことである。続成作用における硫黄同位体比の変動研究では堆積物試料を用いた分析のみであったが、本研究では未固結の堆積物コア試料およびコアと同時代・同堆積盆の陸上堆積岩試料を用いて、続成作用前後での同位体層序の比較を行う。加えて、続成作用を模擬した熱水反応実験を行い、続成温度・圧力と同位体比変化の関係を定量的に解明する。分析対象とする元素は、古海洋酸化還元指標である Cr, Fe, Mo, セリウム(Ce)安定同位体比である。天然系と実験系という 2 つの系を組み合わせることで、続成作用が重元素安定同位体比に与える影響の定量的な理解が可能となる。

3. 研究の方法

本研究では、元素分離法および安定同位体比分析条件の確立、天然試料採取と同一層準決定、熱水反応実験、天然試料および実験試料の安定同位体比および配位環境分析という 4 つの研究ステップを 4 年間で行う。

国際深海科学掘削計画(IODP)第 346 航海で採取された新第三紀の日本海堆積物コアと、同時期に日本海で堆積した現在は陸上に露出する堆積岩(秋田県女川層・船川層)を用いる。日本海で掘削された U1425 コアは新第三紀中新世後期の堆積物まで掘削が到達しており、その年代は珪質微化石(放射虫)で確かめられている(Matsuzaki et al., PEPS, 2018)。一方、女川層・船川層も新第三紀中新世中-後期に堆積した珪質泥岩であり、堆積物コアと微化石による年代対比が可能である(佐藤ら, 石油技術, 1991)。コアと露頭のどちらの堆積試料も溶存酸素濃度に応じて明色-暗色の繰り返しを示すことから(Tada et al., Proc. IODP, 2015)、古海洋酸化還元指標である Cr, Fe, Mo, Ce 安定同位体比層序の分析に最適である。

続成作用を模擬した熱水反応実験は高知コア研究所既設の熱水剪断試験装置(株・マルイ製)を用いて行う。出発物質は、Cr, Fe, Mo, Ce を吸着させた同位体比既知の合成マンガン酸化物、合成鉄水酸化物、合成粘土鉱物(クニミネ工業)、石英砂、還元剤として標準腐植物質(フミン酸)を十分均質に攪拌して樹脂に固定する。温度は 50 - 250°C、圧力は 50 - 200 MPa まで様々な温度 - 圧力条件で 1 ヶ月反応させ、回収物質を分析する。

4. 研究成果

元素分離法確立の一例を挙げると、希土類元素を分離する際には、酸化物が干渉する Ba の分離が極めて重要となる。本研究において陽イオン交換樹脂を用いて様々な酸濃度で試行錯誤を繰り返し、Ba を 99% 以上除去した分離条件を確立した (図 1; Nakada et al., 2019)。

古海洋酸化還元指標として用いられている Fe, Mo, Ce 安定同位体比分析条件の確立および高精度化を行った。Ce 同位体比測定におけるボトルネックは酸化物の生成であり、測定時の酸化物抑制のため感度を下げた分析条件が必要であった。本研究では新たに脱溶媒試料導入装置の使用と条件最適化を行い、Ce 安定同位体比測定の高感度・高精度化を実現した。具体的には、720 通りのパラメータから酸化物生成率が低く、かつ感度の高い条件を見出し、さらにそれら条件において繰り返し測定することで最高分析精度 $\pm 0.020\%$ を達成した (図 2; Nakada et al., 2019)。これは、トリプルスパイク TIMS 法で Ce 同位体比分析を行った分析精度 ($\pm 0.028\%$; Bonnand et al., 2019) を上回る世界最高精度となる。

Fe 安定同位体比分析について、従来は Cu を添加してピークジャンプ測定を行い、Cu 同位体比から Fe 同位体比を補正する手法が主であったが、本研究では Ni を補正用元素として用いることでピークジャンプが不要となり、より安定した測定が可能となった。その結果、 $\delta^{56}\text{Fe}$ の繰り返し再現性で $\pm 0.06\%$ 、 $\delta^{57}\text{Fe}$ の繰り返し再現性 (2SD) で $\pm 0.12\%$ を達成した。これらは従来報告されている分析精度と同等である。また、Mo 同位体比に関して、新たに Pd を添加して補正する手法を確立し、 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ で繰り返し再現性 $\pm 0.04\%$ を実現した (表 1)。

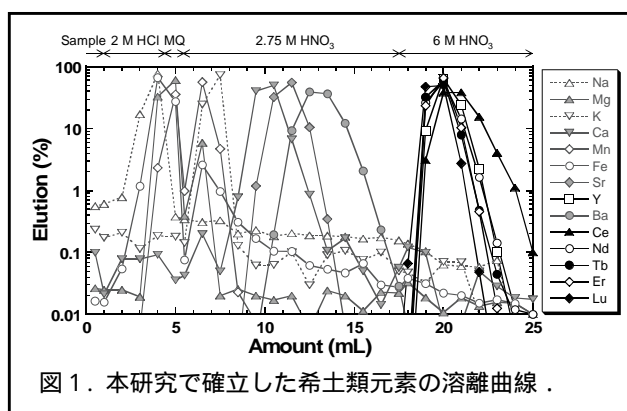


図 1. 本研究で確立した希土類元素の溶離曲線 .

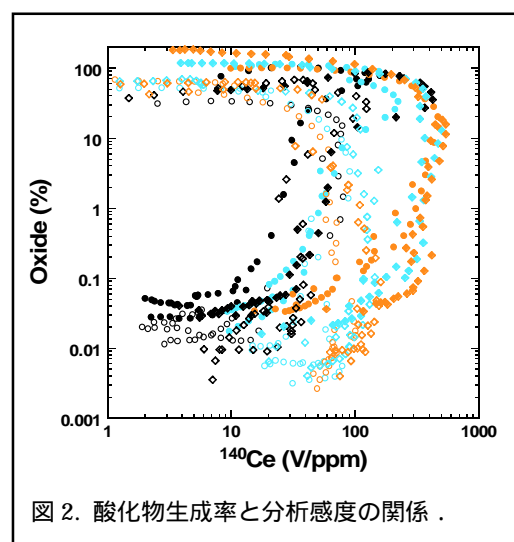


図 2. 酸化物生成率と分析感度の関係 .

表 1. Mo 同位体比測定精度 (2SD) のまとめ .

	<i>n</i>	$\delta(92/95)$	$\delta(96/95)$	$\delta(97/95)$	$\delta(98/95)$	$\delta(100/95)$
Mo300ppb-Pd300ppb	10	0.05	0.02	0.03	0.04	0.08
Mo50ppb-Pd300ppb	10	0.07	0.04	0.05	0.06	0.09
Mo50ppb-Pd100ppb	10	0.07	0.06	0.09	0.09	0.19
Mo50ppb-Pd50ppb	10	0.12	0.04	0.05	0.07	0.12
Mo 10ppb-Pd300ppb	10	0.12	0.11	0.10	0.13	0.10
Mo 10ppb-Pd100ppb	10	0.12	0.17	0.22	0.16	0.24

IODP 第 346 航海で採取された新第三紀の日本海堆積物コアのサンプリングおよび分析も行った。当初は 100 試料程度の予定であったが、同位体比分析の高感度化実現により、高時間分解能での古海洋環境復元が可能となることから合計で 221 試料をサンプリングした。全ての試料で蛍光 X 線分析による主成分濃度、ICP-MS による微量元素濃度分析を実施し、さらに元素分析計で硫黄と炭素の濃度分析も行った。これらの結果については現在まとめているところである (図 3)。

熱水反応実験について、当初用いる計画であった熱水剪断試験装置 (株・マルイ製) のブランクテストを行ったところ、特定の元素で非常に高濃度のブランクが検出されたことから計画を変更し、新たな反応容器を用いることとした。ブランクテストを実施し、影響のないレベルであることが確認された。本実験については今後も継続して行う予定である。

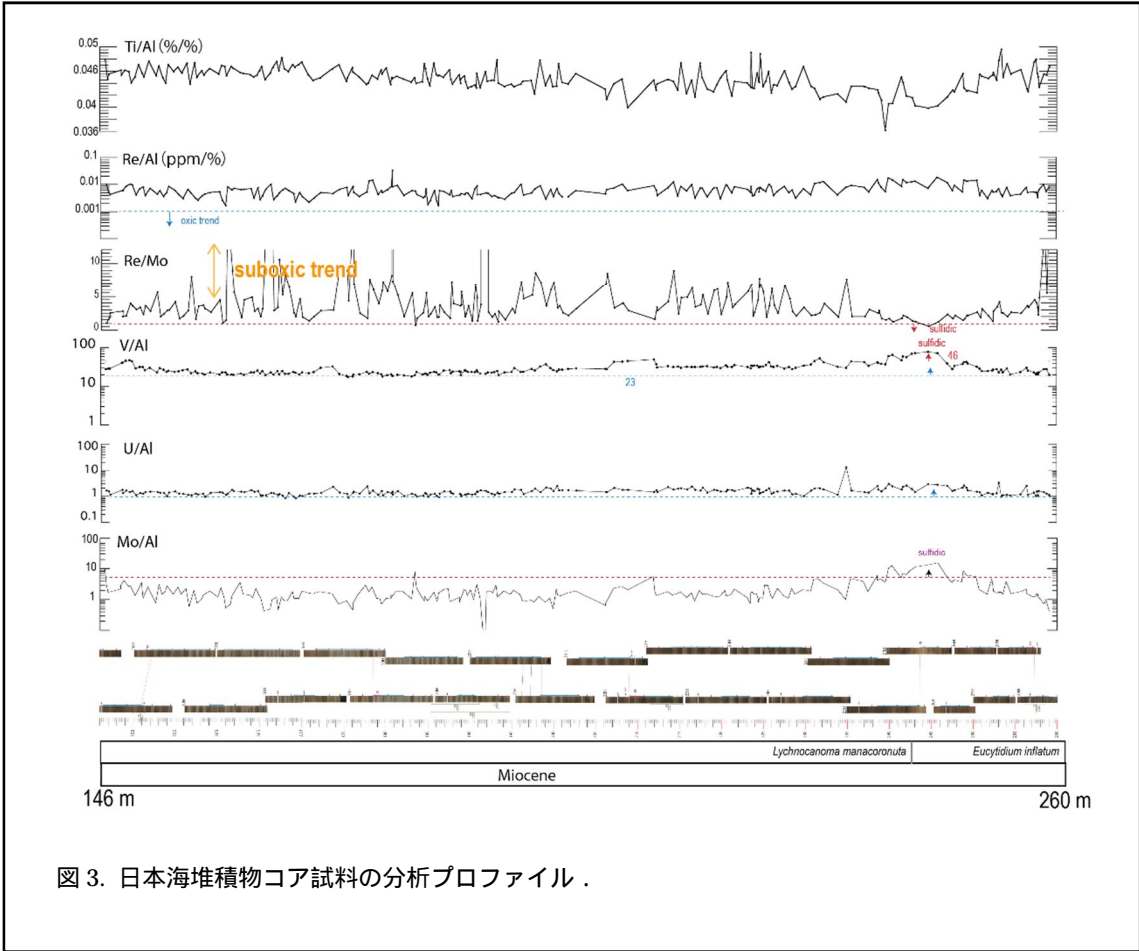


図 3. 日本海堆積物コア試料の分析プロフィール.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計34件（うち査読付論文 34件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 7件）

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 -
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 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 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 μ -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 -
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 -

1. 著者名 Kaiho Kunio, Tanaka Daisuke, Richoz Sylvain, Jones David S., Saito Ryosuke, Kameyama Daichi, Ikeda Masayuki, Takahashi Satoshi, Aftabuzzaman Md., Fujibayashi Megumu	4. 巻 579
2. 論文標題 Volcanic temperature changes modulated volatile release and climate fluctuations at the end-Triassic mass extinction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	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) 10.1016/j.epsl.2021.117364	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 He Tianchen, Newton Robert J., Wignall Paul B., Reid Stephen, Dal Corso Jacopo, Takahashi Satoshi, Wu Hepin, Todaro Simona, Di Stefano Pietro, Randazzo Vincenzo, Rigo Manuel, Dunhill Alexander M.	4. 巻 210
2. 論文標題 Shallow ocean oxygen decline during the end-Triassic mass extinction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Global and Planetary Change	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) 10.1016/j.gloplacha.2022.103770	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 Takahashi Satoshi, Hori Rie S., Yamakita Satoshi, Aita Yoshiaki, Takenura Atsushi, Ikehara Minoru, Xiong Yijun, Poulton Simon W., Wignall Paul B., Itai Takaaki, Campbell Hamish J., Sp?rli Bernard K.	4. 巻 207
2. 論文標題 Progressive development of ocean anoxia in the end-Permian pelagic Panthalassa	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Global and Planetary Change	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) 10.1016/j.gloplacha.2021.103650	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 Yoshizawa Kazuko, Takahashi Satoshi, Muto Shun, Ehiro Masayuki, Tsuihiji Takanobu	4. 巻 567
2. 論文標題 Oceanic water redox conditions of the region between Tethys and Panthalassa during the late early Triassic	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	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) 10.1016/j.palaeo.2020.110143	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 Kelemen Peter B., Carlos de Obeso Juan, Leong James A., Godard Marguerite, Okazaki Keishi, Kotowski Alissa J., The Oman Drilling Project Science Team	4. 巻 127
2. 論文標題 Listvenite Formation During Mass Transfer into the Leading Edge of the Mantle Wedge: Initial Results from Oman Drilling Project Hole BT1B	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	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) 10.1029/2021JB022352	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 Okazaki Keishi, Michibayashi Katsuyoshi, Hatakeyama Kohei, Abe Natsue, Johnson Kevin T. M., Kelemen Peter B., the Oman Drilling Project Science Team	4. 巻 126
2. 論文標題 Major Mineral Fraction and Physical Properties of Carbonated Peridotite (Listvenite) From ICDP Oman Drilling Project Hole BT1B Inferred From X Ray CT Core Images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	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) 10.1029/2021JB022719	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 Hatakeyama Kohei, Katayama Ikuo, Abe Natsue, Okazaki Keishi, Michibayashi Katsuyoshi, the Oman Drilling Project Science Party	4. 巻 126
2. 論文標題 Effects of Alteration and Cracks on the Seismic Velocity Structure of Oceanic Lithosphere Inferred From Ultrasonic Measurements of Mafic and Ultramafic Samples Collected by the Oman Drilling Project	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	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) 10.1029/2021JB021923	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 Katayama Ikuo, Abe Natsue, Okazaki Keishi, Hatakeyama Kohei, Akamatsu Yuya, Michibayashi Katsuyoshi, Godard Marguerite, Kelemen Peter	4. 巻 814
2. 論文標題 Crack geometry of serpentinized peridotites inferred from onboard ultrasonic data from the Oman Drilling Project	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tectonophysics	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) 10.1016/j.tecto.2021.228978	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 Nakada Ryoichi, Usui Tomohiro, Ushioda Masashi, Takahashi Yoshio	4. 巻 105
2. 論文標題 Vanadium micro-XANES determination of oxygen fugacity in olivine-hosted glass inclusion and groundmass glasses of martian primitive shergottite Yamato 980459	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1695 ~ 1703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2020-7321	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 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 Koike Mizuho, Nakada Ryoichi, Kajitani Iori, Usui Tomohiro, Tamenori Yusuke, Sugahara Haruna, Kobayashi Atsuko	4. 巻 11
2. 論文標題 In-situ preservation of nitrogen-bearing organics in Noachian Martian carbonates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1988
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-15931-4	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 Kondo Nozomi M., Kono Yoshio, Ohara Koji, Nakada Ryoichi, Ina Toshiaki, Skrzypek Etienne, Yamada Akihiro, Saito Satoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Interaction between Cerium and H ₂ O in Hydrous Rhyolitic Melts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 2281 ~ 2288
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.0c00206	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 Okazaki Keishi, Burdette Eric, Hirth Greg	4. 巻 126
2. 論文標題 Rheology of the Fluid Oversaturated Fault Zones at the Brittle Plastic Transition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e2020JB020804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JB020804	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 Okazaki Keishi, Hirth Greg	4. 巻 774
2. 論文標題 Deformation of mafic schists from subducted oceanic crust at high pressure and temperature conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 228217 ~ 228217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2019.228217	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 Kurosawa Kosuke, Genda Hidenori, Azuma Shintaro, Okazaki Keishi	4. 巻 48
2. 論文標題 The Role of Post Shock Heating by Plastic Deformation During Impact Devolatilization of Calcite (CaCO ₃)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2020GL091130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GL091130	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 Nagase Kumpei, Katayama Ikuo, Hatakeyama Kohei, Akamatsu Yuya, Okazaki Keishi, Abe Natsue, Michibayashi Katsuyoshi, Yokoyama Tadashi, Oman Drilling Project Science Party	4. 巻 126
2. 論文標題 On porosity determination for hard rock drilling using core samples collected by the Oman Drilling Project	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of the Geological Society of Japan	6. 最初と最後の頁 713 ~ 717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2020.0043	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 Del Piero Nicol, Rigaud Sylvain, Takahashi Satoshi, Poulton Simon W., Martini Rossana	4. 巻 190
2. 論文標題 Unravelling the paleoecology of flat clams: New insights from an Upper Triassic halobiid bivalve	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Global and Planetary Change	6. 最初と最後の頁 103195 ~ 103195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gloplacha.2020.103195	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 Muto Shun, Takahashi Satoshi, Yamakita Satoshi, Onoue Tetsuji	4. 巻 195
2. 論文標題 Scarcity of chert in upper Lower Triassic Panthalassic deep-sea successions of Japan records elevated clastic inputs rather than depressed biogenic silica burial flux following the end-Permian extinction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Global and Planetary Change	6. 最初と最後の頁 103330 ~ 103330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gloplacha.2020.103330	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 Yoshizawa Kazuko, Takahashi Satoshi, Muto Shun, Ehiro Masayuki, Tsuihiji Takanobu	4. 巻 567
2. 論文標題 Oceanic water redox conditions of the region between Tethys and Panthalassa during the late early Triassic	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	6. 最初と最後の頁 110143 ~ 110143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.palaeo.2020.110143	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 Nakada Ryoichi, Asakura Naoko, Nagaishi Kazuya	4. 巻 53
2. 論文標題 Examination of analytical conditions of cerium (Ce) isotope and stable isotope ratio of Ce in geochemical standards	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 GEOCHEMICAL JOURNAL	6. 最初と最後の頁 293 ~ 304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0567	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 Nakada Ryoichi, Sato Masahiko, Ushioda Masashi, Tamura Yujiro, Yamamoto Shinji	4. 巻 20
2. 論文標題 Variation of Iron Species in Plagioclase Crystals by X ray Absorption Fine Structure Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 5319 ~ 5333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GC008131	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 53
2. 論文標題 希土類元素 (REE) 地球化学の新展開: REE有機地球化学とREE安定同位体地球化学	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地球化学	6. 最初と最後の頁 107 ~ 124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14934/chikyukagaku.53.107	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 Kuwahara Hideharu, Kagoshima Takanori, Nakada Ryoichi, Ogawa Nobuhiro, Yamaguchi Asuka, Sano Yuji, Irifune Tetsuo	4. 巻 520
2. 論文標題 Fluorine and chlorine fractionation during magma ocean crystallization: Constraints on the origin of the non-chondritic F/Cl ratio of the Earth	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 241 ~ 249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2019.05.041	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 H., Itoh S., Nakada R., Irifune T.	4. 巻 46
2. 論文標題 The Effects of Carbon Concentration and Silicate Composition on the Metal Silicate Partitioning of Carbon in a Shallow Magma Ocean	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 9422 ~ 9429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL084254	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 Okazaki Keishi, Hirth Greg	4. 巻 774
2. 論文標題 Deformation of mafic schists from subducted oceanic crust at high pressure and temperature conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 228217 ~ 228217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2019.228217	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 E French Melodie, Hirth Greg, Okazaki Keishi	4. 巻 767
2. 論文標題 Fracture-induced pore fluid pressure weakening and dehydration of serpentinite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 228168 ~ 228168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2019.228168	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 Muto Shun, Takahashi Satoshi, Yamakita Satoshi, Soda Katsuhito, Onoue Tetsuji	4. 巻 70
2. 論文標題 Conodont-based age calibration of the Middle Triassic Anisian radiolarian biozones in pelagic deep-sea bedded chert	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 43 ~ 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9795/bullgsj.70.43	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 Takahashi Satoshi, Nakada Ryoichi, Watanabe Yusuke, Takahashi Yoshio	4. 巻 516
2. 論文標題 Iron-depleted pelagic water at the end-Permian mass extinction inferred from chemical species of iron and molybdenum in deep-sea sedimentary rocks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	6. 最初と最後の頁 384 ~ 399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.palaeo.2018.12.014	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 Takahashi Satoshi, Yamakita Satoshi, Suzuki Noritoshi	4. 巻 524
2. 論文標題 Natural assemblages of the conodont Clarkina in lowermost Triassic deep-sea black claystone from northeastern Japan, with probable soft-tissue impressions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	6. 最初と最後の頁 212 ~ 229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.palaeo.2019.03.034	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53件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Satoshi Takahashi, Rie Hori, Satoshi Yamakita, Yoshiaki Aita, Atsushi Takemura, Minoru Ikehara, Yujin Xiong, Simon W. Poulton, Paul B. Wignall, TAKAAKI ITAI, Hamish J. Campbell, Bernard K. Sporli
2. 発表標題 Progress of the end-Permian oceanic anoxia in the pelagic Panthalassa
3. 学会等名 JpGU2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎 啓史、武藤 潤
2. 発表標題 排水条件下における高温高封圧高間隙水圧岩石変形実験の予察的结果
3. 学会等名 JpGU2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎 啓史、道林 克禎、畠山 航平、阿部 なつ江、Johnson Kevin、Kelemen Peter
2. 発表標題 Mineral mode of listvenite from ICDP Oman Drilling Project Hole BT1B inferred from X-ray CT core images
3. 学会等名 JpGU2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎 啓史、武藤 潤
2. 発表標題 巨大地震発生域下限付近の温度・圧力・間隙水圧条件を再現できる新しい固体圧岩石変形試験機の開発
3. 学会等名 地質学会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中田亮一、白井寛裕、潮田雅司、高橋嘉夫
2. 発表標題 火星隕石Yamato 980459の局所XANES分析に基づく火成玄武岩マグマの酸素分圧進化
3. 学会等名 日本地球化学会第67回オンライン年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Nakada, M. Sato, M. Ushioda, Y. Tamura, and S. Yamamoto
2. 発表標題 Determination on iron species in plagioclase crystals toward the understanding on the magnetite exsolution
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 聡、山北 聡、鈴木 紀毅
2. 発表標題 最前期三畳紀の深海黒色粘土岩から産したコノドント自然集合体化石
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Okazaki Keishi, Burdette Eric, Hirth Greg
2. 発表標題 Effects of water fraction on strengths and microstructures of quartz aggregates at the brittle plastic transition
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Okazaki Keishi, Burdette Eric, Hirth Greg
2. 発表標題 Rheology of the fluid oversaturated simulated quartz shear zone at the brittle-ductile transition
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡崎 啓史, 武藤 潤, 濱田 洋平, 谷川 亘, 廣瀬 丈洋
2. 発表標題 巨大地震発生域下限の温度・圧力・間隙水圧条件を再現できる新しい固体圧岩石変形試験機の開発
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 S. Takahashi, K. Kaiho, S-I. Yamasaki, N. Tsuchiya, T. Yoshida, R. Nakada, Y. Watanabe, Y. Takahashi, Y. Ogawa, and K. Kimura
2 . 発表標題 Potential impact of the end-Permian pelagic deep-sea anoxia
3 . 学会等名 European Geosciences Union Galileo Conferences (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Nakada, M. Sato, M. Ushioda, Y. Tamura, and S. Yamamoto
2 . 発表標題 Iron Species in Plagioclase: Towards the Understanding on Magnetite Exsolution in Plagioclase
3 . 学会等名 Goldschmidt (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Takahashi, R. Nakada, Y. Watanabe, and Y. Takahashi
2 . 発表標題 Chemical Species of Iron and Molybdenum in Deep-Sea Sedimentary Rocks Across the Permian-Triassic Boundary
3 . 学会等名 Goldschmidt Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Nakada, T. Usui, M. Ushioda, and Y. Takahashi
2 . 発表標題 Micro-XANES determination of oxidation states of V and Fe in olivine-hosted glass inclusion and groundmass glasses of Yamato 980459
3 . 学会等名 9th International Conference on Mars (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名	Keishi Okazaki, Katsuyoshi Michibayashi, Kohei Hatakeyama, Natsue Abe, Kevin T.M. Johnson, Peter B. Kelemen, the Oman Drilling Project Phase I Science Part
2. 発表標題	Keishi Okazaki, Katsuyoshi Michibayashi, Kohei Hatakeyama, Natsue Abe, Kevin T.M. Johnson, Peter B. Kelemen, the Oman Drilling Project Phase I Science Part
3. 学会等名	International Conference on Ophiolites and the Oceanic Lithosphere: Results of the Oman Drilling Project and Related Research, 2020 (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Keishi Okazaki, Eric Burdette, Greg Hirth
2. 発表標題	Rheology of the fluid oversaturated quartz shear zone at the brittle-ductile transition
3. 学会等名	AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Satoshi Takahashi, Satoshi Yamakita, Noritoshi Suzuki
2. 発表標題	Natural assemblages of the platform-type conodont in lowermost Triassic deep-sea claystone from northeastern Japan, with probable soft-tissue impressions
3. 学会等名	IGC 19th International Congress on the Carboniferous and Permian (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	中田亮一, 佐藤雅彦, 潮田雅司, 田村裕二郎, 山本伸次
2. 発表標題	XAFS法による斜長石単結晶での鉄化学種分析
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 中田亮一, 永石一弥
2. 発表標題 脱溶媒試料導入装置の条件最適化がもたらすセリウム安定同位体比分析の高精度・高感度化
3. 学会等名 2019年度地球化学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 聡, 山北 聡, 鈴木 紀毅
2. 発表標題 前期三疊紀遠洋域黒色粘土岩から産した軟体部の痕跡とその化石化過程
3. 学会等名 日本古生物学会169回例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡崎 啓史, 片山 郁夫, 山口 飛鳥
2. 発表標題 半遠洋性堆積物の続成作用に伴う摩擦・透水特性の変化
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 岡崎 啓史, 阿部 なつ江, 畠山 航平, 赤松 祐哉, 片山 郁夫, 高澤 栄一, Damon Teagle, Peter Kelemen, Jude Coggon, Oman Drilling Prj Ph2 Sci. Party
2. 発表標題 Physical property of the fossilized crust-mantle transition zone from ICDP Oman Drilling Project Hole CM1A and CM2B measured onboard D/V Chikyu
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究代表者の個人HP
<https://sites.google.com/view/ryo-nakada/>

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	高橋 聡 (Takahashi Satoshi) (60615251)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・助教 (12601)	
研究分担者	岡崎 啓史 (Okazaki Keishi) (90784257)	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)・研究員 (82706)	

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