

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02678

研究課題名（和文）高精度地球化学分析と数理手法で読み解く温室地球とレアアース資源生成の因果律

研究課題名（英文）Causality between greenhouse world and genesis of a resource for rare-earth elements deciphered by high-precision geochemical analyses and mathematical methods

研究代表者

安川 和孝（Yasukawa, Kazutaka）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：00757742

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、新生代初期の温室地球において高品位なレアアース泥が生成した原因の解明を目的とした。本研究では、南北太平洋およびインド洋で採取された複数の深海堆積物コア試料を用いて、化学組成分析、炭素・酸素同位体分析、オスミウム同位体分析、バリウム同位体分析を行った。その結果、特に温暖化した時期には大陸岩石の化学風化と海洋の生物生産が促進されたことを示した。さらに、数値シミュレーションを用いた検討の結果、特に高品位なレアアース泥の生成には、大陸風化強度や海水準の変動に加えて、海洋の生物生産性の変動が重要な役割を果たした可能性が考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、将来の気候変動の予測精度向上という観点から近年盛んに研究が進んでいる過去の温室地球が、地球システム内の元素循環の変動を通じて、深海底におけるレアアースの有望な資源の生成と密接に関係していたことを新規データや数値計算によって初めて示した点にある。本研究により、特に海洋の生物生産性の変遷が、有望なレアアース泥の分布を推定する上で考慮すべき重要事項となった。現代社会の様々なハイテク機器に欠かせないレアアースの新規資源探査における新たな指針を提示したという点で、本研究の社会的意義は非常に大きい。

研究成果の概要（英文）：The goal of this study was to elucidate the cause of the formation of high-grade rare-earth element (REE)-rich mud in the early Cenozoic greenhouse world. We used deep-sea sediment core samples taken from the North and South Pacific and Indian Oceans for chemical composition, carbon and oxygen isotopic analyses, and osmium and barium isotopic analyses. The results showed that chemical weathering of continental rocks and marine bioproductivity were enhanced during the significantly warming period (called “hyperthermal” events). Furthermore, numerical simulations suggest that changes in marine bioproductivity, as well as those in continental weathering intensity and sea level, may have played an important role in the production of very high-grade REE-rich mud.

研究分野：資源工学，地球化学，古環境学

キーワード：レアアース泥 海底鉱物資源 量解析 マスバランスモデル オスミウム同位体 バリウム同位体 深海堆積物 地球化学分析 多変

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。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

レアアースは、世界経済を牽引する最先端のハイテク製品や低環境負荷技術にとって必要不可欠な元素群である。近年、このレアアース (特に産業上重要な重レアアース) を高濃度で含有する深海堆積物「レアアース泥」が太平洋やインド洋に広く分布していることが明らかとなり (Kato et al., 2011; Yasukawa et al., 2014), 画期的な新資源として期待が高まっている。

研究代表者らの近年の研究により、現在よりも 10°C 近く温暖であった白亜紀末期から新生代初期 (約 7,000 万年前から 5,000 万年前) には、他の時代よりも高品位なレアアース泥が南北太平洋の広範囲で生成していたことが明らかとなってきた (Yasukawa et al., 2016; Mimura et al., 2019)。この現象の特筆すべき点は、1,000 万年以上という非常に長期間に渡って深海底の広範囲で継続的にレアアースの高濃集が生じたことである。このように長大な時空間スケールで深海堆積物に顕著なレアアースの濃集を引き起こすには、海洋における元素マスバランス (質量収支) がドラスティックに変化する必要があったと代表者らは考えた。すなわち、海洋に対して流入/流出する元素のフラックスが他の時代とは異なる状況にあり、堆積層に埋没するレアアースの量そのものが増大していた可能性がある。そしてその背景として、地球システム内における元素循環のバランスを変化させる、「温室地球」という現在と全く異なる気候モードが重要な役割を果たした可能性が考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、温室地球における高品位レアアース泥の成因を解明することを目的とした。そしてその達成に向けて、(1) 温室地球で生じた海底堆積物の広域地球化学データセットの構築、(2) 多変量統計解析と同位体分析による環境・物質循環変動の痕跡の抽出、および (3) 上記項目の成果を制約条件とした海洋元素マスバランス計算によるレアアース泥生成過程の定量的検討を行うこととした。

### 3. 研究の方法

本研究では、国際深海科学掘削計画第 378 次研究航海 (IODP Exp. 378) においてニュージーランド南方沖の南太平洋で掘削された Site U1553 Hole C・D, ならびに国際深海掘削計画 (ODP) によって掘削された北太平洋の Site 1215 Hole A, 南東インド洋の Site 752 Hole A・B, および南大洋インド洋区の Site 738 Hole C の深海堆積物試料を用いた。また、白亜紀後期から古第三紀にかけて高品位なレアアース泥が堆積している北西太平洋の南鳥島海域で採取された深海堆積物試料も研究対象に含め、より包括的な検討を行うこととした。

IODP Exp. 378 は 2020 年 1 月～2 月にかけて行われ、代表者も乗船研究者の一員として掘削船に乗船し、船上で堆積物の基礎記載等に従事した。下船後間もなく新型コロナウイルスの世界的な感染拡大が生じ、当初 2020 年 8 月に予定されていたサンプリングが延期され、Site U1553 の試料が手元に届いたのは 2021 年 3 月末となった。そのため、既に手元に保有していた Site 1215, Site 752 および Site 738 および南鳥島周辺の堆積物の分析から着手した。

各 ODP サイトの堆積物試料は既に全岩化学分析を完了済みであるため (Kato et al., 2011; Yasukawa et al., 2016), これらの試料については大陸岩石の化学風化強度の指標となる Os 同位体分析および海洋の生物生産性の指標となる Ba 同位体分析を実施した。Os 同位体分析は、千葉工業大学次世代海洋資源研究センターにおいて試料処理を行い、同センターが所有するマルチコレクター型誘導結合プラズマ質量分析装置を用いて実施した。Ba 同位体分析は、海洋研究開発機構海域地震火山部門火山・地球内部研究センターのクリーンルームにおいて試料処理を行い、同センターが所有する表面電離型質量分析装置を用いて実施した。

南鳥島周辺の堆積物試料については、レアアースの主要ホスト相である魚類の歯や骨片 (アパタイト) および Co, Ni, Cu 等に富むマイクロマンガンノジュールを分離し、化学分析を行うと共に、得られたデータを統計的に解析した。

Site U1553 の試料については、凍結乾燥した後、メノウ乳鉢・乳棒を用いて均質になるまで粉末化し、全岩化学組成分析と炭素・酸素同位体分析および炭酸塩含有量分析に供した。主成分元素濃度および微量元素濃度については、代表者が所属する東京大学大学院工学系研究科において、それぞれ蛍光 X 線分析および誘導結合プラズマ質量分析により測定した。炭素・酸素同位体分析および炭酸塩含有量分析は、高知大学海洋コア総合研究センターにおいて実施した。得られた Site U1553 の化学組成データ (364 試料×45 元素) に対して、独立成分分析および k-means クラスタ分析を用いた多変量解析を行い、温室地球の南太平洋堆積物の化学的特徴を抽出した。

さらに本研究では、海洋-堆積物間におけるレアアース質量収支を定量的に検討するためのボックスモデルを新規に構築した。このモデルでは、レアアース泥を含む 5 種類の堆積物を想定して、近年の研究で重要視されている堆積物から海洋に溶出するレアアース流量も考慮し、堆積物と海水の相互作用を数理的に表現している。モデル内の可変パラメータとして、各堆積物の面積割合や堆積速度、海洋へ流入するレアアース流量などを設定し、生成するレアアース泥の品位の時間変化について定量的検討を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 南鳥島レアアース泥の構成成分の特徴とレアアース濃集要因の解明

本研究では、南鳥島周辺海域で採取されたレアアース泥試料の構成成分のうち、マイクロマンガンノジュールと生物源アパタイトについて詳細な分析・検討を実施した。マイクロマンガンノジュールについては、複数のコア・層準から系統的に分離・採取して全岩化学組成分析を行うと共に、資源開発を見越した全岩堆積物からのリーチング実験を行い、南鳥島レアアース泥に含まれるコバルトやニッケルといった副産物レアメタルの資源ポテンシャルを初めて定量的に明らかにした (Yasukawa et al., 2020)。また、この過程で得たマイクロマンガンノジュールの多元素組成データを k-means クラスタ分析 (KCA) で解析した結果、マイクロマンガンノジュールの化学組成の特徴は海底面付近の酸化還元状態の変化を反映していることが示された (Yasukawa et al., 2021)。

また、南鳥島レアアース泥から分離した生物源アパタイトの局所分析で得られた 35 元素の化学組成データセットに独立成分分析 (Independent Component Analysis, ICA) を適用した。その結果、4 つの統計的に独立な成分が抽出され、それぞれ (1) アパタイトを構成するリン酸カルシウム結晶格子へのレアアースの置換反応、(2) アパタイト結晶表面へのレアアース吸着反応、(3) 堆積層内で火山起源成分から溶出し移動した元素のアパタイトによる取り込み、(4) アパタイト粒子表面に物理的に付着した Fe-Mn 酸化物や粘土鉱物の化学的特徴を表しているとして解釈された。特に、超高濃度レアアース泥の層準において、アパタイトへのレアアース吸着を示す信号強度が増大していることから、超高濃度レアアース泥の生成と同時期に海底へレアアースを輸送する有機物等の沈降が増加し、海底面付近でのアパタイトへのレアアースの取り込みを促進する環境が生じていたことが示唆された (Yasukawa et al., 2022)。

以上の成果はいずれも、古第三紀始新世末に生じた海洋循環の変化が当時の南鳥島周辺海域に強い底層流と海山に沿った湧昇流を引き起こし、海洋表層への栄養塩供給による魚類繁茂および魚骨片沈積量の増加を介して超高濃度レアアース泥を生成したとする仮説 (Ohta et al., 2020) を裏付ける新たな証拠と考えられる。

##### (2) Os 同位体比に基づく古第三紀温暖化イベント時の化学風化促進の証拠

本研究では、中央北太平洋 ODP Site 1215、南東インド洋 ODP Site 752、および南大洋インド洋区 ODP Site 738 からそれぞれ採取された、古第三紀温暖期における海底堆積物の Os 同位体分析を実施した。その結果、短期的な温暖化イベント (hyperthermal events) において、いずれの地点でも Os 同位体比の明瞭な上昇が見られた。ODP Site 1215 および ODP Site 738 では、新生代で最大級の温暖化イベントとして知られる暁新世/始新世温暖化極大 (Paleocene-Eocene Thermal Maximum, PETM) で Os 同位体比が上昇しており (池上・安川ほか, 2021 JpGU, 2022 JpGU; 桑原・安川ほか, 2022 JpGU; Kuwahara, Yasukawa et al., 2022 CBEP12)、これは大陸岩石の化学風化が促進されたことに起因するとみられる。また、同様の変化は、始新世前期に繰り返し生じたより小規模な温暖化イベントにおいても普遍的に観測された。ODP Site 752 では、Eocene Thermal Maximum (ETM) 2, I1 イベント、ETM3 において大陸岩石の化学風化フラックスがそれぞれ 18-22%, 17-21%, および 13-16% 増大したと見積もられた (Tanaka et al., 2022)。

##### (3) Ba 同位体比に基づく古第三紀温暖化イベント時の生物生産性変動の証拠

本研究では、中央北太平洋 ODP Site 1215 および南大洋インド洋区 ODP Site 738 の古第三紀温暖期における堆積物試料を対象として、Ba 同位体分析を実施した。その結果、いずれのサイトにおいても、温暖化からの回復に合わせて Ba 同位体比が増加する傾向が共通して見られた (Miyazaki et al., under review; Kuwahara, Ikegami, Yasukawa et al., in prep.)。このことは、温暖化からの回復に海洋の生物生産に伴う炭素固定が寄与したことを示唆する。本研究では、この特徴が PETM およびそれに続く複数のより小規模な hyperthermal イベントにおいて共通して見られる現象であることを初めて明らかにした。

##### (4) 南太平洋 IODP Site U1553 における古第三紀温室地球の地球化学的記録の復元

本研究では、IODP Expedition 378 によって得られた南太平洋高緯度 (ニュージーランド南方沖 Campbell Plateau・Site U1553) の古第三紀温暖期に相当する約 65 m の堆積層を対象として全岩化学分析および炭酸塩含有量分析ならびに炭素・酸素同位体分析を実施した。得られた全岩炭酸塩の炭素同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) の変動プロファイルを先行研究のコンパイルデータと比較・検討した結果、PETM に加え、ETM2, ETM3 など計 9 つの hyperthermal イベントをほぼ連続的に捉えることができた (安川ほか, 2023 JpGU)。各イベントについて主成分・微量元素の挙動を検討した結果、PETM, ETM2/H2, I1/I2 イベントなどにおいて温暖化と共にリンやレアアースの相対的な堆積増加が見られた。このことは、全球的な温暖化現象が海洋の魚類生産性の変化を通じて、海底堆積物へのレアアース濃集を引き起こした可能性を示唆する。ただし、長期的な温暖化傾向のピークである前期始新世気候最適期 (Early Eocene Climatic Optimum) に向かって、上述の傾向は不明瞭になることも分かった (安川ほか, 2023 JpGU)。すなわち、気候の温暖化に対する海洋生態系および海底へのレアアース濃集プロセスの応答は、一様ではないことが示唆される。

さらに、本研究で得られた 45 元素の化学組成データセットに対し、ICA および KCA を用い

て多変量統計解析を実施した。その結果、短期的温暖化イベント時の元素濃集に加えて、碎屑性成分の増減や火山起源成分の寄与などのシグナルが抽出されるなど、堆積物の全岩化学組成の特徴が長期的にも変化していることが見いだされた (Yasukawa et al., in prep.).

#### (5) 海洋レアアース質量収支モデルによるレアアース泥品位の長期変動の検討

本研究では、太平洋全体を対象とした海洋-堆積物間のレアアース (Nd) の質量収支計算を行うマルチボックスモデルを独自に構築し、先行研究に基づく現在の堆積物中のレアアース濃度を概ね整合的に再現できることを確認した。そして、古第三紀における海底堆積物へのレアアース濃集要因を検討するために、白亜紀後期から現在までの過去 1 億年間の地球表層における主要な環境変動を外力として考慮したシミュレーションを実施した。その結果、大陸岩石の風化強度や炭酸塩補償深度、海水準の長期的な変動パターンを外力として与えた場合、レアアース泥の品位の長期的な変動傾向は概ね再現された一方で、古第三紀の非常に高品位なレアアース泥の生成を十分に説明することはできず (松波・安川ほか, 2023 JpGU), 本モデルで明示的に組み込まれていない生物生産性の変動が海底へのレアアース濃集に重要な役割を果たした可能性が示唆された。今後さらにモデルをアップデートし、より包括的な検討を進めることが重要といえる。

#### <引用文献>

- 池上 翔・安川和孝・田中 えりか・大田 隼一郎・桑原 佑典・矢野 萌生・藤永 公一郎・加藤 泰浩. Os 同位体分析に基づく古第三紀超温暖化イベントにおける化学風化フィードバックの考察. *JpGU Meeting 2021, MIS16-P23*.
- 池上 翔・安川和孝・田中 えりか・大田 隼一郎・桑原 佑典・矢野 萌生・藤永 公一郎・中村 謙太郎・加藤 泰浩. 中央北太平洋の古海水 Os 同位体記録に基づく古第三紀温室地球の化学風化と火成活動に関する考察. *JpGU Meeting 2022, MIS18-21*.
- Kato, Y., Fujinaga, K., Nakamura, K., Takaya, Y., Kitamura, K., Ohta, J., Toda, R., Nakashima, T., Iwamori, H. Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nature Geoscience* **4**, 535-539.
- 桑原 佑典・安川和孝・大田 隼一郎・矢野 萌生・見邨 和英・田中 えりか・藤永 公一郎・中村 謙太郎・加藤 泰浩. インド洋の炭酸塩堆積物より復元した古第三紀の海水 Os 同位体比記録. 始新世「超温暖化」イベントにおける化学風化フィードバックへの示唆. *JpGU Meeting 2022, MIS18-22*.
- Kuwahara, Y., Yasukawa, K., Ohta, J., Yano, M., Mimura, K., Tanaka, E., Fujinaga, K., Nakamura, K., Ikehara, M., Kato, Y. The Paleogene. Seawater Os isotope record of the Indian Ocean: Implications for the chemical weathering feedback against Eocene Hyperthermal Events. *CBEP12, A-108, 2022*.
- 松波亮佑・安川和孝・中村謙太郎・加藤泰浩. 海洋-堆積物間の Nd 質量収支計算に基づくレアアース泥生成の支配因子の長期変動の検討. *JpGU Meeting 2023, SCG52-P20*.
- Mimura K., Yamamoto K., Nakamura K., Yasukawa K., Ohta J., Fujinaga K., Machida S., Usui Y. and Kato Y. Origin of REY-Rich Mud in the North Pacific Ocean Constrained from Bulk Geochemistry and Depositional Age. *Goldschmidt2019*.
- Ohta, J., Yasukawa, K., Nozaki, T., Takaya, Y., Mimura, K., Fujinaga, K., Nakamura, K., Usui, Y., Kimura, J.-I., Chang, Q., Kato, Y. Fish proliferation and rare-earth deposition by topographically induced upwelling at the late Eocene cooling event. *Scientific Reports* **10**, 9896, 2020.
- Tanaka, E., Yasukawa, K., Ohta, J., Kato, Y. Enhanced continental chemical weathering during the multiple early Eocene hyperthermals: New constraints from the southern Indian Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **331**, 192-211, 2022.
- Yasukawa, K., Liu, H., Fujinaga, K., Machida, S., Haraguchi, S., Ishii, T., Nakamura, K. and Kato, Y. Geochemistry and mineralogy of REY-rich mud in the eastern Indian Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences* **93**, 25-36, 2014.
- Yasukawa, K., Nakamura, K., Fujinaga, K., Iwamori, H. and Kato, Y. Tracking the spatiotemporal variations of statistically independent components involving enrichment of rare-earth elements in deep-sea sediments. *Scientific Reports* **6**, 29603, 2016.
- Yasukawa, K., Kino, S., Azami, K., Tanaka, E., Mimura, K., Ohta, J., Fujinaga, K., Nakamura, K., Kato, Y. Geochemical features of Fe-Mn micronodules in deep-sea sediments of the western North Pacific Ocean: Potential for co-product metal extraction from REY-rich mud. *Ore Geology Reviews* **127**, 103805, 2020.
- Yasukawa, K., Kino, S., Ohta, J., Azami, K., Tanaka, E., Mimura, K., Fujinaga, K., Nakamura, K., Kato, Y. Stratigraphic variations of Fe-Mn micronodules and implications for the formation of extremely REY-rich mud in the western North Pacific Ocean. *Minerals* **11**, 270, 2021.
- Yasukawa, K., Ohta, J., Hamada, M., Chang, Q., Nakamura, H., Ashida, K., Takaya, Y., Nakamura, K., Iwamori, H., Kato, Y. Essential processes involving REE-enrichment in biogenic apatite in deep-sea sediment decoded via multivariate statistical analyses. *Chemical Geology* **614**, 121184, 2022.
- 安川和孝, 田中えりか, Ann Dunlea, Ingrid Hendy, Bryan Niederbockstruck, Ursula Röhl, 池原実, 中村謙太郎, 加藤泰浩. 南太平洋 Campbell Plateau の海底堆積物から復元した古第三紀前期温室地球における超温暖化イベントの化学的特徴. *JpGU Meeting 2023, MIS15-03*.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Yasukawa Kazutaka, Kino Satoshi, Azami Keishiro, Tanaka Erika, Mimura Kazuhide, Ohta Junichiro, Fujinaga Koichiro, Nakamura Kentaro, Kato Yasuhiro	4. 巻 127
2. 論文標題 Geochemical features of Fe-Mn micronodules in deep-sea sediments of the western North Pacific Ocean: Potential for co-product metal extraction from REY-rich mud	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ore Geology Reviews	6. 最初と最後の頁 103805 ~ 103805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oregeorev.2020.103805	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 Yasukawa Kazutaka, Kino Satoshi, Ohta Junichiro, Azami Keishiro, Tanaka Erika, Mimura Kazuhide, Fujinaga Koichiro, Nakamura Kentaro, Kato Yasuhiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Stratigraphic Variations of Fe?Mn Micronodules and Implications for the Formation of Extremely REY-Rich Mud in the Western North Pacific Ocean	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 270 ~ 270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min11030270	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 Yano Moei, Yasukawa Kazutaka, Nakamura Kentaro, Ikehara Minoru, Kato Yasuhiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Geochemical Features of Redox-Sensitive Trace Metals in Sediments under Oxygen-Depleted Marine Environments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 1021 ~ 1021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min10111021	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 Yasukawa Kazutaka, Ohta Junichiro, Hamada Morihisa, Chang Qing, Nakamura Hitomi, Ashida Kana, Takaya Yutaro, Nakamura Kentaro, Iwamori Hikaru, Kato Yasuhiro	4. 巻 614
2. 論文標題 Essential processes involving REE-enrichment in biogenic apatite in deep-sea sediment decoded via multivariate statistical analyses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 121184 ~ 121184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2022.121184	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 Tanaka Erika, Yasukawa Kazutaka, Ohta Junichiro, Kato Yasuhiro	4. 巻 331
2. 論文標題 Enhanced continental chemical weathering during the multiple early Eocene hyperthermals: New constraints from the southern Indian Ocean	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 192 ~ 211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2022.05.022	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 Tanaka Erika, Mimura Kazuhide, Nakamura Kentaro, Ohta Junichiro, Yasukawa Kazutaka, Kato Yasuhiro	4. 巻 24
2. 論文標題 Rare Earth Elements in Deep Sea Sediments in the South Pacific Gyre: Source Materials and Resource Potentials	5. 発行年 2023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) 10.1029/2022GC010681	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 Tanaka Erika, Yasukawa Kazutaka, Nakamura Kentaro, Ohta Junichiro, Miyazaki Takashi, Vaglarov Bogdan Stefanov, Machida Shiki, Fujinaga Koichiro, Iwamori Hikaru, Kato Yasuhiro	4. 巻 23
2. 論文標題 Secular Variations in Provenance of Sedimentary Components in the Western North Pacific Ocean Constrained by Sr Isotopic Features of Deep Sea Sediments	5. 発行年 2022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) 10.1029/2021GC009729	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 Ohta Junichiro, Yasukawa Kazutaka, Nakamura Kentaro, Fujinaga Koichiro, Iijima Koichi, Kato Yasuhiro	4. 巻 139
2. 論文標題 Geological features and resource potential of deep-sea mud highly enriched in rare-earth elements in the Central Pacific Basin and the Penrhyn Basin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ore Geology Reviews	6. 最初と最後の頁 104440 ~ 104440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oregeorev.2021.104440	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 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kuwahara, Y., Yasukawa, K., Ohta, J., Yano, M., Mimura, K., Tanaka, E., Fujinaga, K., Nakamura, K., Ikehara, M., Kato, Y.
2. 発表標題 The Paleogene seawater Os isotope record of the Indian Ocean: Implications for the chemical weathering feedback against Eocene Hyperthermal Events.
3. 学会等名 12th International Conference on Climatic and Biotic Events of the Paleogene (CBEP12) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasukawa, K., Kino, S., Ohta, J., Azami, K., Tanaka, E., Mimura, K., Fujinaga, K., Nakamura, K., Kato, Y.
2. 発表標題 Geochemistry and morphology of Fe-Mn micronodules in REY-rich mud: Implications for the formation process of highly promising deep-sea REY resource.
3. 学会等名 3rd Edition of World Congress on Geology & Earth Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安川和孝・大田隼一郎・浜田盛久・常青・中村仁美・芦田果奈・高谷雄太郎・中村謙太郎・岩森光・加藤泰浩
2. 発表標題 多変量統計解析を用いた深海堆積物中の生物源アパタイトにおけるレアアース濃集過程の検討
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 池上 翔・安川 和孝・田中 えりか・大田 隼一郎・桑原 佑典・矢野 萌生・藤永 公一郎・中村 謙太郎・加藤 泰浩
2. 発表標題 中央北太平洋の古海水Os同位体記録に基づく古第三紀温暖化イベントの化学風化と火成活動に関する考察
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 桑原佑典・安川和孝・大田隼一郎・矢野萌生・見邨和英・田中えりか・藤永公一郎・中村謙太郎・加藤泰浩
2. 発表標題 インド洋の炭酸塩堆積物より復元した古第三紀の海水 $\delta^{18}O$ 同位体比記録：始新世「超温暖化」イベントにおける化学風化フィードバックへの示唆
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazutaka Yasukawa, Erika Tanaka, Ann G. Dunlea, Ingrid Hendy, Bryan Niederbockstruck, Ursula Rohl, Minoru Ikehara, Kentaro Nakamura, Yasuhiro Kato
2. 発表標題 南太平洋Campbell Plateauの海底堆積物から復元した古第三紀前期温室地球における超温暖化イベントの化学的特徴
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松波亮佑・安川和孝・中村謙太郎・加藤泰浩
2. 発表標題 海洋-堆積物間のNd質量収支計算に基づくレアアース泥生成の支配因子の長期変動の検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yusuke Kuwahara, Kakeru Ikegami, Kazutaka Yasukawa, Takashi Miyazaki, Erika Tanaka, Kentaro Nakamura, Yasuhiro Kato
2. 発表標題 Long-term variation of barium stable isotope ratio as a proxy for paleo-productivity during the Paleogene “Hothouse” world
3. 学会等名 Goldschmidt 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 安川和孝・木野聡志・大田隼一郎・浅見慶志朗・田中えりか・見邨和英・藤永公一郎・中村謙太郎・加藤泰浩
2. 発表標題 南鳥島レアアース泥に含まれるマイクロマンガンノジュールの地球化学的特徴：超高濃度レアアース泥の生成機構に対する示唆
3. 学会等名 2021年度日本地球化学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安川和孝・木野聡志・浅見慶志朗・田中えりか・見邨和英・大田隼一郎・藤永公一郎・中村謙太郎・加藤泰浩
2. 発表標題 南鳥島レアアース泥に含まれるマイクロマンガンノジュールの地球化学的特徴とレアメタル資源ポテンシャル
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazutaka Yasukawa, Satoshi Kino, Junichiro Ohta, Keishiro Azami, Erika Tanaka, Kazuhide Mimura, Koichiro Fujinaga, Kentaro Nakamura, Yasuhiro Kato
2. 発表標題 Stratigraphic variations in geochemistry and morphology of Fe-Mn micronodules: Implications for the formation process of extremely REY-rich mud in the western North Pacific Ocean
3. 学会等名 Goldschmidt 2021 conference (virtual) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安川和孝, 田中えりか, Deborah Thomas, Ursula Rohl, Laurel Childress, IODP Expedition 378 Science Party
2. 発表標題 Preliminary report of IODP Expedition 378: South Pacific Paleogene Climate
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池上翔, 安川和孝, 田中えりか, 大田隼一郎, 桑原佑典, 矢野萌生, 藤永公一郎, 加藤泰浩
2. 発表標題 Os同位体分析に基づく古第三紀超温暖化イベントにおける化学風化フィードバックの考察
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田裕太, 大田隼一郎, 田中えりか, 安川和孝, 桑原佑典, 矢野萌生, 藤永公一郎, 中村謙太郎, 加藤泰浩
2. 発表標題 Os同位体比層序に基づく南鳥島周辺深海堆積物の複数のレアアース濃度ピークの生成年代
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平子雅啓, 安川和孝, 田中えりか, 藤永公一郎, 中村謙太郎, 加藤泰浩
2. 発表標題 主要・微量元素組成データの独立成分分析に基づくレアアース泥の起源成分の空間分布
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安川和孝, 平松彩人, 河原畑智朱, 見邨和英, 田中えりか, 大田隼一郎, 藤永公一郎, 中村謙太郎, 加藤泰浩
2. 発表標題 海洋のNd質量収支計算を用いた超高濃度レアアース泥の生成条件の制約
3. 学会等名 第37回希土類討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平子雅啓, 安川和孝, 田中えりか, 藤永公一郎, 中村謙太郎, 加藤泰浩
2. 発表標題 独立成分分析に基づくレアース泥の主要・微量元素組成の統計的特徴
3. 学会等名 第37回希土類討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田裕太, 大田隼一郎, 田中えりか, 安川和孝, 桑原佑典, 矢野萌生, 藤永公一郎, 中村謙太郎, 加藤泰浩
2. 発表標題 オスミウム同位体比層序に基づく南鳥島周辺深海堆積物の第2レアース濃度ピークの堆積年代
3. 学会等名 第37回希土類討論会
4. 発表年 2021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	大田 隼一郎  (Ohta Junichiro)  (70793579)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・講師   (12601)	
研究 分担者	宮崎 隆  (Miyazaki Takashi)  (80371722)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(火山・地球内部研究センター)・主任研究員   (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
---------	---------