

令和 6 年 5 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01997

研究課題名(和文)還元環境堆積物からの古地磁気強度変動の高解像度復元

研究課題名(英文) Recovery of high-resolution paleomagnetic intensity records from marine sediments in a reduced condition

研究代表者

山崎 俊嗣 (Yamazaki, Toshitsugu)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：80344125

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)：海底堆積物において鉄還元境界以深では、続成過程の進行に伴い単体として存在する陸源磁鉄鉱と生物源磁鉄鉱が溶解して失われ、磁化強度は10%程度以下に減少する。それにもかかわらず、古地磁気方位及び相対古地磁気強度の記録は保持されている。ここでは、溶解を免れた珪酸塩包有磁鉄鉱と赤鉄鉱が存在し、それぞれが飽和等温残留磁化の約半分と3割を担っている。珪酸塩包有磁性鉱物は、ホスト珪酸塩鉱物の粒径分布と磁鉄鉱含有量から、堆積残留磁化にはあまり寄与していないと推定される。従って、主として赤鉄鉱が自然残留磁化を担っていると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

赤鉄鉱はその飽和磁化が磁鉄鉱の100分の1程度と極めて小さいことから、海底堆積物の自然残留磁化を担う磁性鉱物としては従来見過ごされることが多かったが、還元続成作用を受けた海底堆積物では重要な担い手となることが本研究で初めて指摘された。磁性鉱物が還元溶解を受けた堆積物でも赤鉄鉱が古地磁気記録を保持できることは、従来磁性鉱物の還元溶解を理由に研究対象とされなかった堆積物を活用することへ道を開く。

研究成果の概要(英文)：In deep-sea sediments below the Fe-redox boundary, unprotected detrital magnetite and magnetofossil are lost in the process of reduction diagenesis, and their remanent magnetization intensity decreases to 10% or less. Nonetheless, paleomagnetic direction and relative paleointensity are preserved. In such sediments, silicate-hosted magnetic inclusions and hematite survive the dissolution, and the former carries about a half of saturation isothermal remanent magnetization and the latter carries about 30%. From the grain size distribution of the host silicates and the amount of magnetite embedded, it is estimated that the silicate-hosted magnetic inclusions may not be an efficient recorder of detrital remanent magnetization. Hence, hematite may be an important carrier of the natural remanent magnetization.

研究分野：古地磁気学、海洋地質学

キーワード：古地磁気 岩石磁気 初期続成 赤鉄鉱

1. 研究開始当初の背景

海底堆積物では、有機物の分解に伴い海底下の深さとともに還元的環境となり、鉄還元境界以深では磁性鉱物の溶解が起きて古地磁気記録が失われる。そのため、還元環境の堆積物は、過去の地磁気変動復元の研究の対象外とされてきた。しかし、海底堆積物において珪酸塩鉱物中に包有された磁性鉱物の存在が最近注目されるようになり、このような磁性鉱物はホスト鉱物の保護により溶解を免れるため、古地磁気記録を担う可能性があると考えられるようになってきた(e.g., Chang et al., 2016)。もしそうであれば、堆積速度が大きい故に海底下浅部で鉄還元境界に達し磁性鉱物の溶解が起きていて従来研究に利用されていなかった堆積物から、時間的に高分解能の、また古い年代の古地磁気強度変動データを得ることが可能となる。

2. 研究の目的

本研究は、鉄還元境界を含み、それ以深では磁性鉱物の溶解が起きているが、グレグイトは生成していないと考えられる海底堆積物を用いて、還元環境堆積物においても珪酸塩に包有されて存在する磁性鉱物が古地磁気強度変動を記録している可能性を検証することを目的とした。また、磁性鉱物が還元溶解を受けていない堆積物を探して、従来データの少ない時代や場所から高品質の古地磁気強度変動(RPI)記録を得ることも目的とした。

3. 研究の方法

研究には、オントン・ジャワ海台から採取された第四紀石灰質堆積物コア(MR1402-PC3)、南海トラフから採取された過去数万年をカバーする堆積物コア(KH-17-4-PC4)、西部赤道太平洋IODP Site U1490にて採取された中新世の堆積物コアを主に用いた。保持している古地磁気情報を抽出するため、自然残留磁化(NRM)の段階交流消磁、人工磁化(非履歴性残留磁化ARM、等温残留磁化IRM)の着磁・段階交流消磁等を行った。RPIは、NRM-ARM消磁ダイアグラムにおける各消磁ステップのデータの傾きから求めた。磁性鉱物の還元溶解の検出には、バルクの磁気特性(ARM強度、ARM/IRM比、S比等)を用いた。

磁性鉱物の還元溶解が確認されたMR1402-PC3コアについて、溶解した磁性鉱物と残存する磁性鉱物及びそれらのNRMへの寄与を明らかにするため、含まれる磁性鉱物の同定を、低温磁気特性、3軸等温残留磁化の段階熱消磁、等温残留磁化成分解析等により行った。さらに、酸処理と磁気分離により、珪酸塩に包有される磁性鉱物を抽出した。これの堆積残留磁化の獲得効率を推定するため、珪酸塩ホスト鉱物(長石・石英)の粒度分析を行うとともに、飽和等温残留磁化から包有される磁性鉱物の量を推定した。また、磁性鉱物の透過電子顕微鏡及び走査電子顕微鏡による観察を行った。

4. 研究成果

(1) オントン・ジャワ海台 MR1402-PC3 コア

このコアでは還元続成作用により、深さ約5.7m以深では、珪酸塩に保護されず単体として存在した陸源磁鉄鉱と走磁性バクテリア起源の磁鉄鉱が溶解して失われていることが判明した。そのため磁化強度は10%程度に減少しているが、それにもかかわらず、古地磁気方位及びRPI記録が保持されている(図1、2)。ここでは、溶解を免れた珪酸塩包有磁鉄鉱と赤鉄鉱が含まれていて、それぞれが飽和等温残留磁化の約55%と約28%を担っていることが判明した(図2)。珪酸塩包有磁性鉱物は、珪酸塩の平均粒径(約11 μ m)と磁鉄鉱含有量(~0.1%)から、外部磁場のトルクが流体力学的トルクより小さい傾向にあり、堆積残留磁化にはあまり寄与していないことが推定された。従って、NRMを担う磁性鉱物としては赤鉄鉱の寄与が大きいと考えられる。赤鉄鉱はその飽和磁化が磁鉄鉱の100分の1程度と極めて小さいことから、NRMを担う磁性鉱物としては従来見過ごされることが多かったが、還元続成作用を受けた海底堆積物では重要な担い手となることが本研究で初めて指摘された(図3)。オントン・ジャワ海台では、採取位置が近接し堆積速度がほぼ同じコア間で、還元溶解が始まる海底下の深さが異なっており、これは水深の違いにより底層水の溶存酸素濃度が異なるためと推定される。

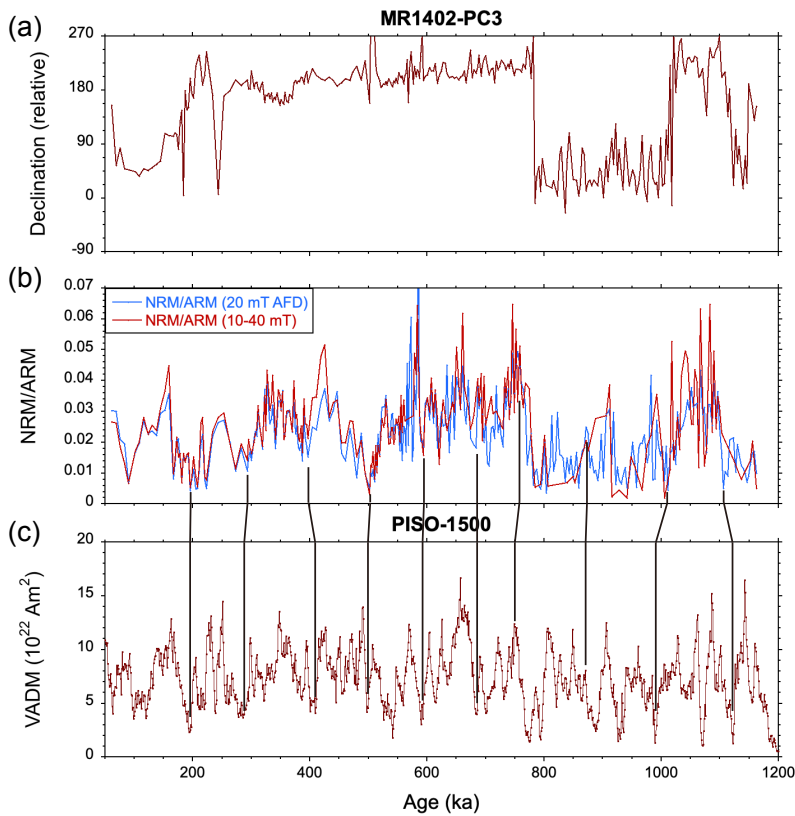


図1. オントン・ジャワ海台から採取された堆積物コアMR1402-PC3から求められた(a)古地磁気相対偏角、(b)相対古地磁気強度(RPI)、(c)過去150万年間のグローバルRPIスタックPISO-1500(Channell et al., 2009)。(a)より古地磁気極性が保存されていること(例えば約780kaの松山-ブルン地磁気逆転)、(b)(c)よりコアMR1402-PC3から得られたRPIはPISO-1500スタックと対比可能であり、地磁気変動を反映していることがわかる。

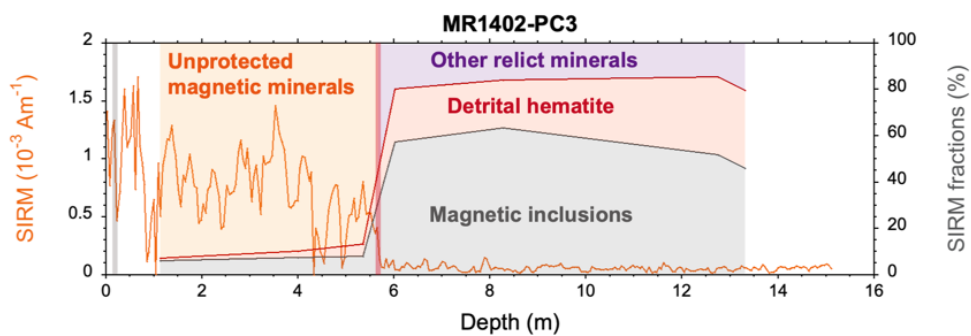


図2. MR1402-PC3コアの飽和等温残留磁化(SIRM)の変化(橙色曲線)と、それへの各種磁性鉱物の寄与の割合(珪酸塩包有磁性鉱物: 灰色、赤鉄鉱: ピンク色、その他: 紫色)

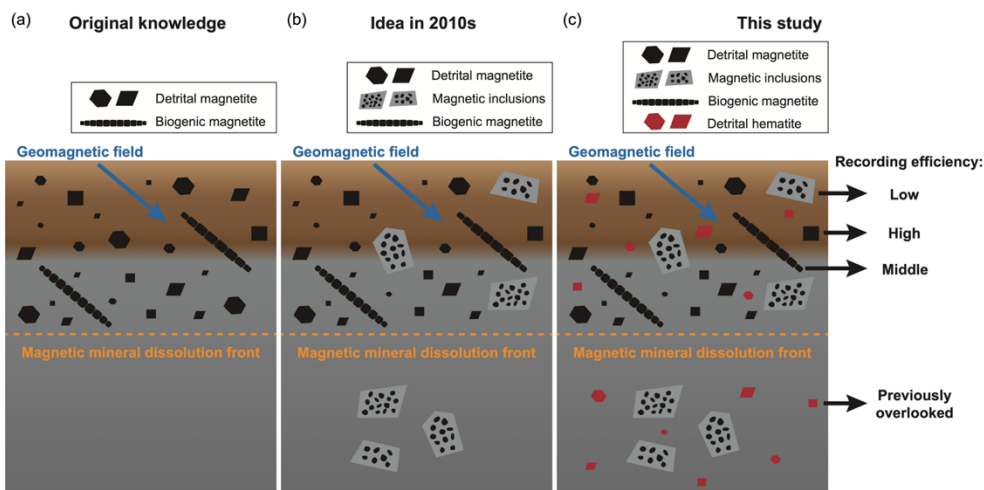


図3. 磁性鉱物の還元溶解による磁性鉱物組成の変化に関するモデルの発展。(a)珪酸塩包有磁性鉱物の報告以前のモデル、(b)珪酸塩包有磁性鉱物を重視する最近のモデル、(c)本研究に基づくモデル

(2) 南海トラフ KH-17-2-PC4 コア

南海トラフ堆積物は、比較的大きな堆積速度にもかかわらず初期続成過程による磁鉄鉱の溶解が起きていないことが明らかとなった。また、タービダイト層を除外すれば岩石磁氣的に均質であることがわかり、高分解能 RPI 推定に適していることが明らかとなった。過去約 4 万年間の古地磁気永年変動（方位、相対強度）記録が得られた。

(3) 西部赤道太平洋 IODP Site U1490 コア

IODP Site U1490 では、海底下約 300m までの堆積物コアが掘削された。海底下約 20~200m の堆積物では初期続成過程による磁鉄鉱の溶解が起きているのに対し、約 200m 以深では還元溶解は起きていないことが判明した。続成作用は有機物の分解に伴い堆積物の深い方でより進行するため、約 200m 以深で磁鉄鉱の還元溶解が起きていないということは、当時の堆積環境がそれ以降とは異なっていたことを意味する。地震探査記録からは、約 200m 以深はドリフト堆積物であることが認められる (Baldwin et al., 2017)。これより、当時は溶存酸素を豊富に含む底層水の流れが速いことにより海底がより酸化的な環境にあったため、還元続成作用の進行が抑制され、磁鉄鉱の溶解に至らなかったと考えられる。これは、磁性鉱物が還元溶解を受けていない堆積物を探索する上での指針となる。深度約 200~300m のコアからは、約 9.5~18.5 Ma の RPI 記録が得られた。この年代の RPI 記録はこれまで Ohneiser et al. (2013) で報告されたのみであり、本研究で得られた記録は今後グローバル RPI スタック曲線を構築する上で役立つ。

<引用文献>

- Baldwin, K. E., Mountain, G. S., & Rosenthal, Y. (2017). Sediment waves in the Caroline Basin suggest evidence for Miocene shifts in bottom water flow in the western equatorial Pacific. *Marine Geology*, 393, 194–202.
- Chang, L., Roberts, A. P., Heslop, D., Hayashida, A., Li, J., Zhao, X., Tian, W., & Huang, Q. (2016). Widespread occurrence of silicate-hosted magnetic mineral inclusions in marine sediments and their contribution to paleomagnetic recording. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(12), 8415–8431. <https://doi.org/10.1002/2016JB013109>
- Channell, J. E. T., Xuan, C., & Hodell, D. A. (2009). Stacking paleointensity and oxygen isotope data for the last 1.5 Myr (PISO-1500). *Earth and Planetary Science Letters*, 283(1–4), 14–23. <https://doi.org/10.1016/J.EPSL.2009.03.012>
- Ohneiser, C., Acton, G., Channell, J. E. T., Wilson, G. S., Yamamoto, Y., & Yamazaki, T. (2013). A middle Miocene relative paleointensity record from the Equatorial Pacific. *Earth and Planetary Science Letters*, 374, 227–238.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Goto Ryoya, Yamazaki Toshitsugu, Okutsu Natsumi, Ashi Juichiro	4. 巻 76
2. 論文標題 Geomagnetic relative paleointensity and direction during the last 40,000 years obtained from a sediment core in the Nankai Trough	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	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） 10.1186/s40623-023-01945-x	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 Li Jiaxi, Yamazaki Toshitsugu, Usui Yoichi, Sagawa Takuya, Kubota Yoshimi, Kuroda Junichiro	4. 巻 127
2. 論文標題 Understanding the Role of Biogenic Magnetite in Geomagnetic Paleointensity Recording: Insights From Ontong Java Plateau Sediments	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） 10.1029/2022JB024387	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 Inoue Kosuke, Yamazaki Toshitsugu, Usui Yoichi	4. 巻 22
2. 論文標題 Influence of Magnetofossils on Paleointensity Estimations Inferred From Principal Component Analyses of First Order Reversal Curve Diagrams for Sediments From the Western Equatorial Pacific	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） 10.1029/2021GC010081	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 Yamazaki Toshitsugu	4. 巻 72
2. 論文標題 Reductive dissolution of biogenic magnetite	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	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） 10.1186/s40623-020-01290-3	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23件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 李嘉熙、山崎俊嗣
2. 発表標題 Understanding of the role of silicate-hosted magnetic-mineral inclusions in paleomagnetic recording in sediments subjected to reductive diagenesis.
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 李嘉熙, 山崎俊嗣, 佐藤雅彦, 黒田潤一郎
2. 発表標題 Unmixing magnetic mineral assemblages of a western equatorial Pacific sediment core subjected to reductive diagenesis.
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第152回総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Li, J., Yamazaki, T., Sato, M., Kuroda, J.
2. 発表標題 Contribution of Silicate-hosted Magnetic Inclusions to Paleomagnetic Signals in Sediments Subjected to Reductive Diagenesis.
3. 学会等名 2022 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 李嘉熙・山崎俊嗣・佐藤雅彦・黒田潤一郎
2. 発表標題 還元続成作用を受けた堆積物における珪酸塩包有磁性鉱物の古地磁気記録への寄与
3. 学会等名 令和4年度高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究成果発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 李嘉熙・山崎俊嗣・佐藤雅彦・黒田潤一郎
2. 発表標題 Magnetic mineral assemblages of a marine sediment core subjected to reductive diagenesis and their contributions to paleomagnetic signals
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 李嘉熙, 山崎俊嗣, 佐藤雅彦, 黒田潤一郎
2. 発表標題 Different contributions to paleomagnetic signals subjected to diagenesis: Overlooked hematite vs. overstated magnetic inclusions
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第154回総会・講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 李嘉熙、山崎俊嗣、臼井洋一、佐川拓也、黒田潤一郎
2. 発表標題 Analysis of magnetic mineral composition of a sediment core taken from the Ontong-Java Plateau and its implications to relative paleointensity estimations
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 井上耕輔、山崎俊嗣、臼井洋一
2. 発表標題 Influence of biogenic magnetite on paleointensity estimations inferred from FORC-PCA of sediments from the western equatorial Pacific
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 山崎俊嗣、後藤滝弥、井上耕輔、李嘉熙
2. 発表標題 南海トラフ堆積物を用いた相対古地磁気強度(RPI)推定：生物源マグネタイトが少ない堆積物の方がRPI研究に適している？
3. 学会等名 2021年地磁気・古地磁気・岩石磁気「夏の学校」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 李嘉熙、山崎俊嗣、白井洋一
2. 発表標題 Analysis of magnetic mineral composition of a central North Pacific sediment core and its implications to RPI estimations
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第150回総会・講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Li, J., Yamazaki, T., Usui, Y., Sagawa, T., Kuboda, Y., Kuroda, J.
2. 発表標題 Paleomagnetism of a Sediment Core Taken from the Ontong-Java Plateau: for Better Understanding of the Role of Biogenic Magnetite in Geomagnetic Paleointensity Recording
3. 学会等名 2021 AGU Fall meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎俊嗣、李嘉熙、下野貴也
2. 発表標題 相対古地磁気強度推定の高度化への取り組み：南東太平洋チリ沖コアの例
3. 学会等名 令和3年度高知大学海洋コア総合研究センター 共同利用・共同研究成果発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yamazaki, T.
2. 発表標題 Reductive dissolution of magnetofossils
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Li, J., Yamazaki, T.
2. 発表標題 Paleomagnetism of sediment cores taken from the Ontong-Java plateau: for better understanding of the role of biogenic magnetite in geomagnetic paleointensity recording
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤滝弥・山崎俊嗣・奥津なつみ・芦寿一郎
2. 発表標題 南海トラフ堆積物コアを用いた過去3万年間の古地磁気永年変動と岩石磁気に関する研究
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤滝弥・山崎俊嗣・奥津なつみ・芦寿一郎
2. 発表標題 タービダイトが挟在する海底堆積物コアを用いた過去3万5000年間の古地磁気永年変動と相対古地磁気強度の復元：南海トラフ熊野沖の例
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第148回総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上耕輔・山崎俊嗣
2. 発表標題 Contribution of biogenic magnetite on natural remanence magnetization in deep-sea sediments
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第148回総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李嘉熙・山崎俊嗣・佐川拓也・黒田潤一郎
2. 発表標題 Paleomagnetism of sediment cores taken from the Ontong-Java plateau
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第148回総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤滝弥 , 山崎俊嗣 , 奥津 なつみ、 芦 寿一郎
2. 発表標題 南海トラフ堆積物コアに記録された過去 4万年間の古地磁気永年変動
3. 学会等名 令和2年度高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究成果発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Li, J., Yamazaki, T., Sagawa, T., Kuroda, J., Usui, Y.
2. 発表標題 Paleomagnetism of a sediment core taken from the Ontong-Java Plateau: for better understanding of the role of biogenic magnetite in geomagnetic paleointensity recording
3. 学会等名 令和2年度高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究成果発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎俊嗣
2. 発表標題 南東太平洋及び南大洋堆積物についての古地磁気・岩石磁気研究ターゲット
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「白鳳丸30周年記念世界一周航海（HEAW30）へ向けた研究戦略会議」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎俊嗣
2. 発表標題 Magnetofossil dissolution in the process of reduction diagenesis
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 地磁気・古地磁気・岩石磁気分科会「夏の学校」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 熊谷祐穂・中村教博・山崎俊嗣
2. 発表標題 西太平洋赤道域IODP Expedition 363 の深海底堆積物の約900～1800 万年前の古地 磁気層序と相対古地磁気強度
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第154回総会・講演会
4. 発表年 2023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	山本 裕二 (Yamamoto Yuhji) (00452699)	高知大学・教育研究部総合科学系複合領域科学部門・教授 (16401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	臼井 洋一 (Usui Yoichi) (20609862)	金沢大学・地球社会基盤学系・准教授 (13301)	
研究分担者	中村 教博 (Nakamura Norihiro) (80302248)	東北学院大学・高等教育開発室・教授 (31302)	

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