

令和元年6月20日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02142

研究課題名(和文) 顕生代の海水オスミウム同位体変動から読み解く地球表層環境変遷

研究課題名(英文) Environmental change elucidated from seawater Os isotope in Phanerozoic

研究代表者

鈴木 勝彦 (SUZUKI, Katsuhiko)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター・研究開発センター長代理

研究者番号：70251329

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 29,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究成果により、(1)顕生代の保存状態のよい堆積岩試料の化石による詳細な解析が進み、年代制約が大きく進展した。例えば、国内で新たなジュラ紀-白亜紀境界層の発見に至るなどの成果が得られた。(2)チャート層を一枚ずつ同位体分析することが可能になり、高年代解像度で変動を追うことが可能となった。その成果の一つとして、後期三畳紀の堆積岩のストロンチウム、オスミウム同位体の上昇から、パレオテチス海の収縮に伴う造山運動が環境変動を引き起こすことが明らかになるなど多くの成果が得られた。(3)上記の成果の融合により、大量絶滅や環境変動などを引き起こす原因となったイベントをより確実に示すことが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

オスミウム、ストロンチウムを初めとする多くの同位体測定が微量の試料の分析で可能となり、薄い層の分析によって年代解像度が大きく上がった。それによって、これまで見えなかったものが見えるようになった学術的・社会的意義は大きい。例えば、コロンビアリバー洪水玄武岩が原因と考えられる千数百万年前のオスミウム同位体比の変動を海底掘削コア試料の詳細分析によって明らかにした。同様に、三畳紀末期に起きたと考えられるが、詳細が不明だった炭素循環変動に関して、炭素循環変動が最初の大規模火成活動よりも後に起き、炭素循環変動の根本原因はCAMPと関連していたことが、犬山地域の深海堆積物を用い、初めてデータとして示された。

研究成果の概要(英文)：Based on the project, the following results have been obtained. 1. Analyses of microfossils in the well-preserved sedimentary rocks in the Phanerozoic have been conducted, leading to reliable stratigraphy and age constraints. 2. Isotope analyses of each layer of chert leads to high age-resolution. One of the results based on this technique is that the Sr and Os isotope ratios increase in the sediments in late-Triassic suggested that orogeny after closing of Palaeo-Tethys Ocean. 3. Combinig the above techniques, we can strongly imply the processes of mass extinction and environmental change.

研究分野：同位体地球化学

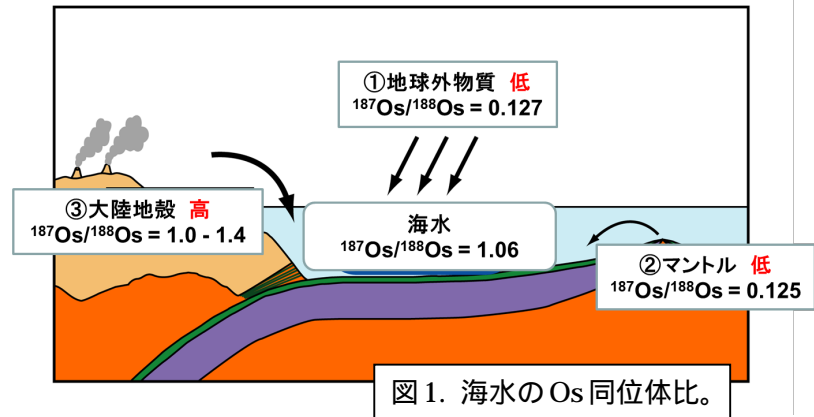
キーワード：堆積物 オスミウム同位体 地球表層環境 大規模火成活動 隕石衝突 大量絶滅 化石年代 古環境

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球の長い歴史の中で、地球表層環境の変動、それに伴う生物大量絶滅が幾度となく起きた。恐竜が絶滅した白亜紀-古第三紀(K-Pg)境界や、ペルム紀-三畳紀(P-T)境界では大規模な絶滅が起き、五大絶滅イベントと称される。これら大量絶滅や海洋無酸素事変などの地球表層や海洋環境の大きな変動は、大規模な火成活動、あるいは巨大隕石の衝突によって引き起こされたと考えられている。

環境変動と火山活動、あるいは隕石衝突とのリンクを探るには、海水のオスミウム(Os)同位体比変動が非常に有効である。海水のOs同位体比は、大陸からのOs(高い同位体比)、火山活動によって供給されるOs(低い同位体比)、隕石など、地球外物質によってもたらされるOs(低い同位体比)の3つの起源のOsの混合である(図1)。そのため、堆積物の分析によって復元された海水のOs同位体プロファイルは、海水のOs同位体比を低くする規模火成活動や隕石衝突、あるいは、海水のOs同位体比を高くする温暖化による大陸風化の増加のタイミングと規模を明確に示す。



2. 研究の目的

顕生代(約5億4,200万年前から現在までの期間)には、生物大量絶滅を引き起こした環境変動が幾度も起きたことが報告されている。それらは、大規模な火成活動や巨大隕石衝突が原因と考えられているが、実際には環境変動を起こした直接の原因が不明な例が多く、また、環境変動に至るプロセスにも議論が多い。そこで本研究では、顕生代の環境変動時の堆積物の分析を行い、当時の海水のOs同位体比変動プロファイルを高時間解像度で取得する。それによってOs同位体比変動を復元し、各時代に起きた表層環境変動と、火成活動や隕石衝突との因果関係を明らかにする。さらに、高い時代解像度でのOs同位体比プロファイルを得て、その変動の幅、期間や他の元素との相関、および生物相の変化などの情報を総合して、火成活動、および隕石衝突の規模と、それが引き起こす環境変動との関係を定量的に明らかにする。

3. 研究の方法

研究目的を期間内で達成するために、高時間解像度分析法の確立、炭酸塩の利用法の確立、各時代の試料の採取、分析、データ解析、大規模火成活動のインパクトのモデリング、隕石落下のインパクトのモデリング、という手順で研究を進める。チャート、黒色頁岩、ケイ酸塩に富んだ堆積物については、すでに分析法を確立している。古い炭酸塩岩が海水のOs同位体比を保存しているかの検証を平成27年度中に行う。分析試料については、すでに入手した試料もあるが、顕生代を広くカバーするために、国内外の露頭で試料採取を進める。結果の解釈は会合を開いて、本研究メンバー全員で行う。得られた結果を検討し、対象とする年代を拡げていく。得られた結果と、火成活動からのインパクトのモデリング、および、隕石落下のシミュレーション、実験によるインパクト予測とを照らし合わせて、環境への影響の程度を定量的に検討する。さらに、顕生代の海水Os同位体比変動曲線を作成する。

4. 研究成果

(1) 化石年代

化石の詳細な解析を基に堆積物に正確な年代軸を入れる試みに関しては、以下のような成果が得られた。白亜紀以前の中生代遠洋堆積物の主要成分である放散虫珪質殻の特性を検討するため、生きている放散虫の殻形成にかかわる飼育実験を行い、珪質殻成長に関する新知見を得た。チベット南部のセクションにおいて、放散虫の系統関係を検討する優先順位として、多節ナセラリアの中からはEucyrtidium属を、閉室ナセラリアからはTurbocapsula属を選び、集中的に研究し、Turbocapsula属の系統進化については、形態形質が系統的に変化すること明らかにした。沖縄県伊江島から産するペルム紀から白亜紀の放散虫の産出について論文として公表した。さらに時代を経て古第三紀に関しては、チベットの珪質岩セクションにおいて古第三紀放散虫の検討を行い、Lychnocanium属などの3新種を含む放散虫群集について記載論文として公表した。沖縄近海に生息する現生放散虫29種について、生体画像、殻の透過顕微鏡・電子顕微鏡画像を添えたカタログを公表した。新潟県糸魚川地域の礫岩中の珪質岩礫からシルル紀の放散虫化石を検出し、報告した。一方、海洋中のOs同位体比を検討するための試料として最適な層状チャート層の層序学的検討を引き続き行った。期間中に新たに発見した秩父帯中の三畳系-ジュラ系境界層の詳細な層序学的検討を実施すると共に、層状チャート中におけるジュラ系-白亜系(J-K)境界層の探索を行い、本邦においてJ-K境界を含有する可能性のある層序断面を

発見した。

(2) 三疊紀の同位体変動と海洋環境変動

これまで陸域のデータに基づくと、三疊紀末期に炭素循環変動が起きた事が明らかになってきたが、地域によってその回数が異なり、また大規模火成活動 Central Atlantic Magmatic Province (CAMP)との前後関係も自明ではなかった。そこで、より全球的な情報を残しているであろう犬山地域の深海堆積物を用い、有機炭素同位体比を測定した結果、3度の炭素循環変動が最初のCAMP火成活動よりも後に起こっていたことが明らかになった。また、炭素循環変動の期間から判断するに、これら炭素同位体比変動を隕石衝突等宇宙からの影響によって説明するのは難しい。これら炭素循環変動の根本原因はCAMPと関連しており、またその影響は3度に渡っていたことが初めてデータとして示された(Fujisaki et al., 2018)。

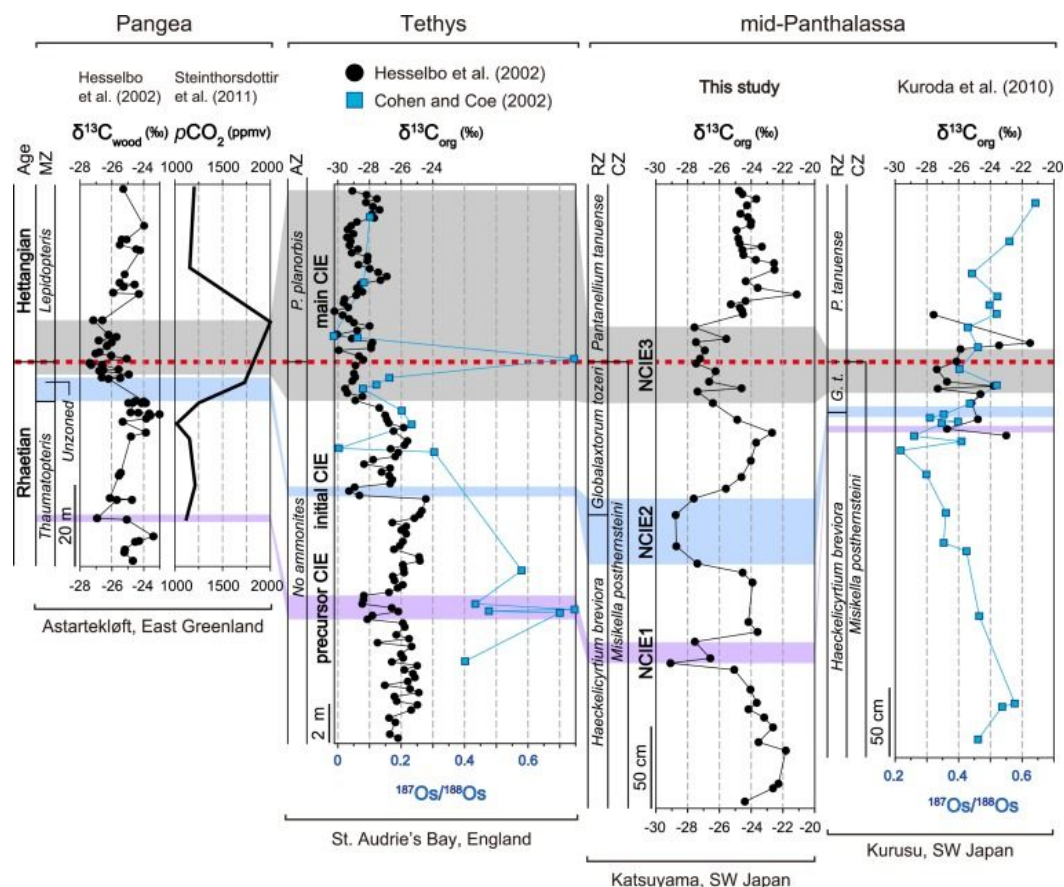


図 2. Fujisaki et al. (2018)で示した三疊紀末の堆積岩の炭素同位体比変動。3度の炭素同位体比の定価が認められる。

さらに、イタリア Pizzo Mondello セクションの石灰岩を対象とした Sr 同位体に関する研究からは、三疊紀ノーリアン前期/中期境界を境にして、急激に同位体比が上昇することがわかった。このことは、シメリアン大陸地塊の衝突と Paleo-Tethys の収束イベントを表している可能性がある。イタリアシチリア島の遠洋性石灰岩を対象に、採取した試料についてはストロンチウム同位体分析を行い、三疊紀後期のノーリアン中期-後期に、ストロンチウム同位体比が急激に上昇したことを明らかにした。一方、美濃帯層状チャートの中中部-上部ノーリアンにも、オスミウム同位体比の急激な上昇が記録されていることが明らかになった。そして同時代に起こったこれら同位体比の上昇は、パレオテチス海の収束に伴う造山運動によって引き起こされたとする新しい説を提唱した。

一方 岐阜県坂祝町に分布する美濃帯の三疊紀後期ノーリアン-ジュラ紀前期ヘッタンギアン (約 227-200 Ma) の層状チャートを対象に研究試料の採取を行った。層状チャートは、一般に厚さ数 cm の非常に硬いチャートと、厚さ数 mm 以下の粘土岩から構成される。検討セクションの全てのチャートおよび粘土岩の単層に試料番号を割り当て、岩相層序の記載を mm スケールで行い、同時にチャート 500 試料を採取した。さらに、美濃帯犬山地域に分布する後期三疊紀カーニアン層状チャートを対象に、コノドント化石を用いた詳しい化石年代の決定および、Os 同位体測定を行なった。研究の結果、カーニアン前期の約 500 万年間にわたり著しい Os 同位体比の低下が認められた。これはカーニアン多雨イベントを導いた、Wrangellia 洪水玄武岩の噴出を記録している可能性がある。

(3) 地中海のメッシニアン危機の岩塩堆積物の $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 同位体比

中新世～更新世の地中海堆積物の $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 同位体比を測定し、地中海と大西洋の間の海水交換の歴史を明らかにした。図3に示すように、外海の中地中海の岩塩を中心とした堆積物の $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 同位体比がメッシニアン危機において、急激に下がることがわかる。これは、地中海が閉鎖し、外海との海水交換が途絶え、地中海周辺のオフィオライトを起源とする低い同位体比のオスミウムが河川を通じて地中海に流れ込んだためと考えられる。

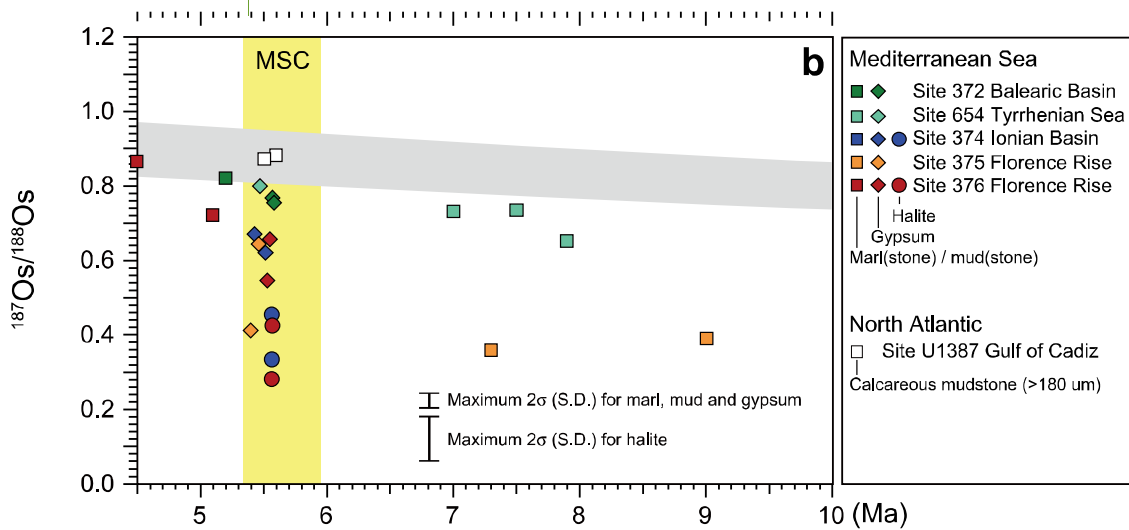


図3. 中新世～更新世の地中海の堆積物の $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 同位体比の時代変動

(4) 炭酸塩試料の $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 同位体分析法

炭酸塩試料が海水の $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 同位体比を復元する目的に適するかどうかを確認するため、標準試料 JLS-1 や現世のサンゴについて、リーチング実験を進め、碎屑物と炭酸塩では異なる $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 同位体比を示すことを確認し、酢酸などを用いて海水由来成分の $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ のみを溶出するなどの分析手順を組み立てる必要性を明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 166 件)

Sakai, Y., Wang, Y., Matsuoka, A. (2019) Early Cretaceous plants from the Itsuki and Nochino formations of the Tetori Group in the Kuzuryu area, central Japan and their paleoclimatic implications, *Cretaceous Research*, doi:10.1016/j.cretres.2019.01.01. (査読有)

Katsuhito Soda, Tetsuji Onoue (2019) Multivariate analysis of geochemical compositions of bedded chert during the Middle Triassic (Anisian) oceanic anoxic events in the Panthalassic Ocean, *GEOCHEMICAL JOURNAL*, 53, 91 ~ 102, doi:10.2343/geochemj.2.0540. (査読有)

Yuki Ota, Hodaka Kawahata, Junichiro Kuroda et al. (2019) Indian Monsoonal Variations During the Past 80 Kyr Recorded in NGHP-02 Hole 19B, Western Bay of Bengal: Implications From Chemical and Mineral Properties, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 20(1), 148 ~ 165, doi:10.1029/2018GC007772. (査読有)

N. Nakanishi, T. Yokoyama, A. Ishikawa (2019) Refinement of the micro-distillation technique for isotopic analysis of geological samples with pg-level osmium contents, *Geostandards and Geoanalytical Research*, doi:10.1111/ggr.12262. (査読有)

Fujisaki, W., Sawaki, Y., Matsui, Y., Yamamoto, S., Isozaki, Y., Maruyama, S. (2019) Redox condition and nitrogen cycle in the Permian deep mid-ocean: A possible contrast between Panthalassa and Tethys, *Global and Planetary Change*, 172, 179 ~ 199, doi:10.1016/j.gloplacha.2018.09.015. (査読有)

Tatsuo Nozaki, Takashi Nikaido, Tetsuji Onoue, Yutaro Takaya, Keiko Sato, Jun-Ichi Kimura, Qing Chang, Daisuke Yamashita, Honami Sato, Katsuhiko Suzuki, Yasuhiro Kato, Atsushi Matsuoka (2019) Triassic marine Os isotope record from a pelagic chert succession, Sakahogi section, Mino Belt, southwest Japan, *Journal of Asian Earth Sciences*: X, 100004, doi:10.1016/j.jaesx.2018.100004. (査読有)

Tetsuji Onoue, Naoto Takahata, Mitsutaka Miura, Honami Sato, Akira Ishikawa,

Katsuhito Soda, Yuji Sano and Yukio Isozaki (2019) Enhanced flux of extraterrestrial ³He across the Permian-Triassic boundary, *Progress in Earth and Planetary Science*, 0.2625, doi:10.1186/s40645-019-0267-0. (査読有)

Fujisaki, W., Matsui, Y., Asanuma, H., Sawaki, Y., Suzuki, K., Maruyama, S. (2018) Global perturbations of carbon cycle during the Triassic-Jurassic transition recorded in the mid-Panthalassa, *Earth and Planetary Science Letters*, 500, 105 ~ 116, doi:10.1016/j.epsl.2018.07.026. (査読有)

Onoue Tetsuji, Rigo Manuel (2018) Two humid events recorded in the Upper Triassic of the Dolomites, northern Italy, *Journal of the Sedimentological Society of Japan*, 77, 2~2, doi:10.4096/jssj.77.2. (査読無)

Chang Yu, Goto Kazuhisa, Sekine Yasuhito, Tajika Eiichi (2018) Depositional processes of impactites from the YAX-1 drill core in the Chicxulub impact structure inferred from vertical profiles of PDF orientations and grain size distributions of shocked quartz, *Meteoritics & Planetary Science*, 53, 1323 ~ 1340, doi:10.1111/maps.13082. (査読有)

R. T. Marquez, M. L. G Tejada, K. Suzuki, A. M. Peleo-Alampay, K. T Goto, S. Hyun and R. Senda (2017) The seawater osmium isotope record of South China Sea: Implications on its history and evolution, *Marine Geology*, 394, 98 ~ 115, doi:10.1016/j.margeo.2017.07.018. (査読有)

Sekine, Y., H. Genda, S. Kamata, T. Funatsu (2017) The Charon-forming giant impact as a source of Pluto's equatorial dark regions, *Nature Astronomy*, 1, 1 ~ 6, doi:10.1038/s41550-016-0031. (査読有)

Sawaki, Y., Li, Y., Asanuma, H., Sakata, S., Suzuki, K., Hirata, T., Windley, B. F. (2016) New chronological constraints on Neoproterozoic gneisses, Proterozoic cover sediments, and Triassic granite, Jixian, China, *New chronological constraints on Neoproterozoic gneisses, Proterozoic cover sediments, and Triassic granite, Jixian, China*, 459, 182 ~ 197, doi:10.1016/j.palaeo.2016.07.008. (査読有)

Onoue, T., Sato, H., Yamashita, D., Ikehara, M., Yasukawa, K., Fujinaga, K., Kato, Y., and Matsuoka, A. (2016) Bolide impact triggered the Late Triassic extinction event in equatorial Panthalassa, *Scientific Reports*, 6, 29609, doi:10.1038/srep29609. (査読有)

Junichiro Kuroda, Francisco J. Jimenez-Espejo, Tatsuo Nozaki, Rocco Gennari, Stefano Lugli, Vinicio Manzi, Marco Roveri, Rachel Flecker, Francisco J. Sierro, Toshihiro Yoshimura, Katsuhiko Suzuki and Naohiko Ohkouchi (2016) Miocene to Pleistocene osmium isotopic records of the Mediterranean sediments, *Paleoceanography*, 31, 148 ~ 166, doi:10.1002/2015PA002853. (査読有)

Kosuke T. Goto, Gen Shimoda, Ariel D. Anbar, Gwyneth W. Gordon, Yumiko Harigane, Ryoko Senda, and Katsuhiko Suzuki (2015) Molybdenum isotopes in hydrothermal manganese crust from the Ryukyu arc system: Implications for the source of molybdenum, *Marine Geology*, 369, 91 ~ 99, doi:10.1016/j.margeo.2015.08.007. (査読有)

Sekine, Y., T. Shibuya, F. Postberg, H.-W. Hsu, K. Suzuki, Y. Masaki, T. Kuwatani, M. Mori, P.K. Hong, M. Yoshizaki, S. Tachibana, S. Sirono (2015) High-temperature water-rock interactions and hydrothermal environments in the chondrite-like core of Enceladus, *Nature Communications*, 6, 1 ~ 8, doi:10.1038/ncomms9604. (査読有)

[学会発表](計 414 件)

Kosuke T Goto, Maria Luisa G Tejada, Eiichi Tajika, Katsuhiko Suzuki, Enhanced magmatism triggered the middle Miocene Climatic Optimum: Insights from osmium isotopes and a carbon cycle model, 2018 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会), 2018.

Takei, Y., Ueda, H., Sawaki, Y., Sakata, S., Ohno, T., Magnesium and strontium isotopic fractionations during water-rock interactions in seafloor hydrothermal systems, 2018 年度 日本地球化学会年会, 2018.

Matsuoka, A., The Jurassic/Cretaceous boundary and phyletic analysis of radiolarian *Loopus-Pseudodictyomitra* and *Vallupus* lineages, 5th International Palaeontological Congress (IPC5)(国際学会), 2018.

Rie S. HORI, Natsuko YOSHIDA, Minoru IKEHARA, Junichiro KURODA, Kunio KIH0, Triassic-Jurassic boundary event recorded in Pacific pelagic sites, 5th International Palaeontological Congress (IPC5)(国際学会), 2018.

Junichiro Kuroda, Saneatsu Saito, Yoichi Usui, Kyoko Hagino, Paul R Bown, Kan-Hsi Hsiung, Saburo Sakai, Ron I. Hackney and Naohiko Ohkouchi, Stratigraphy of the Cretaceous-Paleogene transition interval at the Lord Howe Rise, southern Pacific, American Geophysical Union 2018 Fall Meeting (国際学会), 2018.

Tetsuji Onoue, Naoto Takahata, Mitsutaka Miura, Honami Sato, Akira Ishikawa, Katsuhito Soda, Yuji Sano, Yukio Isozaki, Extraterrestrial helium-3 flux across the Permian/Triassic boundary, Geological Society of America Annual Meeting (国際学会), 2018.

Junichiro Kuroda, Katsuhiko Suzuki and Naohiko Ohkouchi, Decoding Earth's surface environment by osmium isotope records of marine sediments, 12th International Conference on Paleoceanography (ICP12) (招待講演)(国際学会), 2016.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：松岡 篤

ローマ字氏名：(MATSUOKA, Atsushi)

所属研究機関名：新潟大学

部局名：自然科学系

職名：教授

研究者番号(8桁)：00183947

研究分担者氏名：堀 利栄

ローマ字氏名：(HORI, Rie)

所属研究機関名：愛媛大学

部局名：理工学研究科(理学系)

職名：教授

研究者番号(8桁)：30263924

研究分担者氏名：石川 晃

ローマ字氏名：(ISHIKAWA, Akira)

所属研究機関名：東京工業大学

部局名：理学院

職名：准教授

研究者番号(8桁)：20524507

研究分担者氏名：尾上 哲治

ローマ字氏名：(ONOUE, Tetsuji)

所属研究機関名：熊本大学

部局名：大学院先端科学研究部(理)

職名：准教授

研究者番号(8桁)：60404472

研究分担者氏名：黒田 潤一郎

ローマ字氏名：(KURODA, Jun-ichiro)

所属研究機関名：東京大学

部局名：大気海洋研究所

職名：准教授

研究者番号(8桁)：10435836

研究分担者氏名：関根 康人

ローマ字氏名：(SEKINE, Yasuhiro)

所属研究機関名：東京工業大学

部局名：地球生命研究所

職名：教授

研究者番号(8桁)：60431897

研究分担者氏名：澤木 佑介

ローマ字氏名：(SAWAKI, Yusuke)

所属研究機関名：東京大学

部局名：大学院総合文化研究科

職名：助教

研究者番号(8桁)：00635063

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、研究者個人に帰属されます。