

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 4 月 25 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13895

研究課題名(和文) 堆積速度の遅いレアアース泥を用いた未知の海洋隕石衝突イベント検出への挑戦

研究課題名(英文) Detection of the unknown ocean impact event using REY-rich deep-sea mud with low sedimentation rate

研究代表者

野崎 達生 (NOZAKI, Tatsuo)

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・グループリーダー代理

研究者番号：10553068

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：南鳥島周辺に分布するレアアース泥のピストンコア試料を用いて、MC-ICP-MSによるRe-Os同位体測定、ICP-QMSによるPGE組成分析、主要・微量元素組成測定を行い、Os同位体比の負異常およびPGEの異常濃集を伴う層を発見した。さらに、本層の堆積物試料について実体顕微鏡およびSEM観察を行い、特異な球状粒子を見出した。これらの球状粒子について研磨片作成および反射顕微鏡観察を行った結果、樹枝状組織を示すスピネル粒子を見出した。EPMA分析などの記載が完了していないが、本層の堆積年代は陸上に大規模なクレーターが報告されていない時代に相当することから、未知の海洋隕石衝突イベントを発見した。

研究成果の概要(英文)：We conducted the Re-Os isotope analysis by MC-ICP-MS, whole-rock major, trace and PGE analyses by ICP-QMS on piston core samples collected from the Minami-Torishima Island. Based on these geochemical data, an anomalous layer showing the negative Os-isotope excursion as well as enrichment in PGEs was found. Then, we conducted the petrographic observation using a stereoscopic microscope and SEM, leading the discovery of many spherule grains. These spherules include dendritic spinel grains by microscopic observation of the polished section under the reflected light. Although some parts of petrographical study by using an EPMA was not completed, a sedimentary age of this anomalous layer has the age that no large craters have been reported on land. Consequently, we successfully found the unknown ocean impact event from the Northwestern Pacific Ocean.

研究分野：鉱床学・地球化学

キーワード：レニウム-オスミウム同位体 白金族元素組成 レアアース泥 隕石衝突 北西太平洋 南鳥島 地球化学 全岩化学組成

### 1. 研究開始当初の背景

陸上鉱物資源の採掘環境が厳しさを増す中で、新たな金属資源の供給源として近年海底鉱物資源が注目を浴び始めている。そのような中、平成 23 年、太平洋深海底の広範囲にわたってΣREY 濃度が 400 ppm を超える「レアアース泥」が分布していることが報告された (Kato et al., 2011\_Nat. Geosci.)。太平洋広域におけるレアアース泥の発見によって、日本の排他的経済水域 (EEZ) 内を対象とした調査航海が平成 25 年から南鳥島周辺において毎年行われている (Fujinaga et al., 2016\_Geochem. J. ; Nakamura et al., 2016\_Geochem. J.)。その結果、南鳥島南方海域からはΣREY 濃度が 5,000 ppm を超える超高濃度レアアース泥が発見された (Iijima et al., 2016\_Geochem. J.)。さらに、レアアース泥の詳細な記載・分析が行われ、レアアースの異常濃集層には、粗粒の生物源リン酸カルシウムが多く含まれ、レアアースの主要はホスト相であることが明らかとなっている (Kashiwabara et al., 2014\_Chem. Lett. ; Kon et al., 2014\_Resour. Geol. ; Ohta et al., 2016\_Geochem. J. ; Takaya et al., in press\_Sci. Rep.)。

レアアース泥は赤色遠洋性粘土の一種であり、レアアースが十分に濃集するには遅い堆積速度が必須である (Kato et al., 2011\_Nat. Geosci. ; Yasukawa et al., 2016\_Sci. Rep.)。レアアース泥は炭酸塩補償深度よりも深い水深に分布するために、堆積年代決定に有効な示準化石の産出が少なく、堆積速度が遅いため古環境変動の解釈には用いづらいという問題があった。しかし、堆積速度が遅いという性質を逆手に取ることで、これまで報告されていない未知の隕石衝突イベントを効率的に発見できるのではないかと着想するに至った。

### 2. 研究の目的

本研究では、南鳥島周辺に分布するレアアース泥のピストンコア試料を用いて、これまでに報告されていない未知の隕石衝突イベントの証拠を検出することを目的とした。その証拠集めとして、Re-Os (レニウム オスミウム) 同位体測定、PGE (白金族元素) 組成分析、隕石衝突イベントに由来する粒子の探索を重点的に行うことを目的とした。

### 3. 研究の方法

詳細な記載・分析を行う対象試料として、平成 26 年海洋地球研究船「みらい」によって行われた MR14-E02 航海のピストンコア試料を選択した。まずは 50 cm 間隔で粗く Re-Os 同位体分析を行い、Os 同位体の負異常を示す層の発見を行った。次に、Os 同位体の負異常を示す層を挟むように、2 cm 間隔で 1.5 m の追加サンプリングを実施し (合計 75 試料)、約 30 試料について Re-Os 同位体および全岩 PGE 分析を実施した。また、追加サンプリングしたピストンコア試料については、全岩主

成分・微量元素組成分析も行った。さらに、Os 同位体負異常および PGE 異常濃集の著しい層 10 cm を中心に、堆積物試料の篩分けを行って実体顕微鏡・SEM 観察を行った。また、篩分けした粉末試料の研磨片を作成し、反射顕微鏡観察を行った。

Re-Os 同位体分析は、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) に設置されているマルチコレクター誘導結合プラズマ質量分析装置 (MC-ICP-MS : NEPTUNE) を用いて行った。PGE 組成分析は、東京大学に設置されている四重極型 ICP-MS (ICP-QMS : Agilent 7700) により行った。また、全岩主成分・微量元素組成分析は、東京大学に設置されている ICP-QMS (iCAP) を用いて行った。

### 4. 研究成果

これまでの研究により、レアアース泥の或るピストンコア試料から、厚さ約 50 cm の特異層を見出している。特異層では、Os 同位体比組成 ( $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ ) が 0.23 まで低下する層を見出している。また、PGE 元素の各最大値は Os 1.5 ppb、Ir 3.2 ppb、Ru 3.1 ppb、Pt 13.4 ppb、Pd 4.2 ppb に達している。本特異層のスミアスライドによる船上記載では、何の異常も観察されない。また、ΣREY 濃度も高くなく、普通の遠洋性堆積物である。さらに、主成分元素組成 (例えば MgO、FeO 濃度など) に異常が見られないことから、Os 同位体比負異常や PGE 異常濃集の原因として、カンラン岩片混入の可能性は排除できる。実体顕微鏡下では、真球に近い球状粒子粒子がしばしば観察され、SEM 観察・研磨片の反射顕微鏡観察では樹枝状組織を示すスピネル粒子がしばしば認められる。本特異層の堆積年代はこれまでに陸上クレータの発見されていない時代に相当することから、これまでに報告されていない未知の隕石衝突イベント (海洋への隕石衝突イベント) を発見した可能性が高いと考えられる。今後、研磨片の構成鉱物について電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) 分析を追加し、記載作業を充実させて国際学術雑誌に本成果を投稿予定である。したがって、本申請課題研究は成功裏に進んだといえる。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 27 件)

[査読付き論文] (計 22 件)

1. Takaya, Y., Yasukawa, K., Kawasaki, T., Fujinaga, K., Ohta, J., Usui, Y., Nakamura, K., Kimura, J.-I., Chang, Q., Hamada, M., Dodbiba, G., **Nozaki, T.**, Iijima, K., Morisawa, T., Kuwahara, T., Ishida, Y., Ichimura, T., Kitazume, M., Fujita, T. and Kato, Y. (in press) The tremendous potential of deep-sea mud as a source of rare-earth elements. *Sci. Rep.*
2. Agangi, A., Reddy, S. M., Plavsa, D., Vieru, C.,

- Selvaraja, V., LaFlamme, C., Jeon, H., Martin, L., **Nozaki, T.**, Takaya, Y. and Suzuki, K. (*in press*) Subsurface deposition of magmatic-hydrothermal massive sulfide underneath a Palaeoproterozoic seafloor hydrothermal system - The Red Bore prospect, Western Australia. *Minera. Deposita*.
3. Lowery, C. M., Bralower, T. J., Owens, J. D., Rodríguez-Tovar, F. J., Jones, H., Smit, J., Whalen, M. T., Claeys, P., Farley, K., Gulick, S. P. S., Morgan, J. V., Green, S., Chenot, E., Christeson, G. L., Cockell, C. S., Coolen, M. J. L., Ferrière, L., Gebhardt, C., Goto, K., Kring, D. A., Lofi, J., Ocampo-Torres, R., Perez-Cruz, L., Pickersgil, A. E., Poelchau, M., Rae, A. S. P., Rasmussen, C., Rebolledo-Vieyra, M., Riller, U., **Sato, H.**, Tikoo, S. M., Tomioka, N., Urrutia-Fucugauchi, J., Vellekoop, J., Wittmann, A., Xiao, L., Yamaguchi, K. E. and Zylberman, W. (*in press*) Rapid recovery of life at ground zero of the end Cretaceous mass extinction, *Nature*.
  4. Goto, K. T., **Nozaki, T.**, Toyofuku, T., Augustin, A. H., Shimoda, G., Chang, Q., Kimura, J.-I., Kameo, K., Kitazato, H. and Suzuki, K. (2017) Paleooceanographic conditions on the São Paulo Ridge, SW Atlantic Ocean, for the past 30 million years inferred from Os and Pb isotopes of a hydrogenous ferromanganese crust. *Deep-sea Res. Part II*, **146**, 82-92.
  5. **Nozaki, T.**, Takaya, Y., Toyofuku, T., Tokumaru, A., Goto, K. T., Chang, Q., Kimura, J.-I., Kato, Y., Suzuki, K., Augustin, A. H. and Kitazato, H. (2017) Depositional age of a fossil whale bone from São Paulo Ridge, South Atlantic Ocean, based on Os isotope stratigraphy of a ferromanganese crust. *Resour. Geol.*, **67**, 442-450.
  6. Komori, S., Masaki, Y., Tanikawa, W., Torimoto, J., Ohta, Y., Makio, M., Maeda, L., Ishibashi, J.-I., **Nozaki, T.**, Tadai, O. and Kumagai, H. (2017) Depth profiles of resistivity and spectral IP at active modern submarine hydrothermal deposits: A case study from the Iheya North Knoll and the Iheya Minor Ridge in Okinawa Trough, Japan. *Earth Planets Space*, **69**, 114.
  7. **Ishikawa, A.**, Suzuki, K., Collerson, K. D., Liu, J., Pearson, D. G. and Komiya, T. (2017) Rhenium-osmium isotopes and highly siderophile elements in ultramafic rocks from the Eoarchean Saglek Block, northern Labrador, Canada: implications for Archean mantle evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **216**, 286-311.
  8. Komiya, T., Yamamoto, S., Aoki, S., Koshida, K., Shimojo, M., Sawaki, Y., Aoki, K., Sakata, S., Yokoyama, T. D., Maki, K., **Ishikawa, A.**, Hirata, T. and Collerson, K. D. (2017) A prolonged granitoid formation in Saglek Block, Labrador: zonal growth and crustal reworking of continental crust in the Eoarchean. *Geosci. Frontiers*, **8**, 355-385.
  9. Hanyu, T., Tejada, M. L. G., Shimizu, K., Ishizuka, O., Fujii, T., Kimura, J.-I., Chang, Q., Senda, R., Miyazaki, T., Hirahara, Y., Vagalov, B. S., Goto, K. T. and **Ishikawa, A.** (2017) Collision-induced post-plateau volcanism: evidence from a seamount on Ontong Java Plateau. *Lithos*, **294-295**, 87-96.
  10. Akizawa, N., Miyake, A., **Ishikawa, A.**, Tamura, A., Terada, Y., Uesugi, K., Takeuchi, A., Arai, S., Tanaka, C., Igami, Y., Suzuki, K. and Kogiso, T. (2017) Metasomatic PGE mobilization by carbonatitic melt in the mantle: Evidence from sub- $\mu\text{m}$ -scale sulfide-carbonaceous glass inclusion in Tahitian harzburgite xenolith. *Chem. Geol.*, **475**, 87-104.
  11. Artemieva, N., Morgan, J. and **Expedition 364 Science Party** (2017) Quantifying the release of climate-active gases by large meteorite impacts with a case study of Chicxulub. *Geophys. Res. Lett.*, **44**, 10180-10188.
  12. 富松由希・尾上哲治・野崎達生 (2016) 大分県東部佐伯地域の秩父帯に産する層状マンガン鉱床の層序と放散虫化石年代. *地質学雑誌*, **122**, 267-273.
  13. **Nozaki, T.**, Tokumaru, A., Takaya, Y., Kato, Y., Suzuki, K. and Urabe, T. (2016) Major and trace element compositions and resource potential of ferromanganese crust at Takuyo Daigo Seamount, northwestern Pacific Ocean. *Geochem. J.*, **50**, 527-537.
  14. Fujinaga, K., Yasukawa, K., Nakamura, K., Machida, S., Takaya, Y., Ohta, J., Araki, S., Liu, H., Usami, R., Maki, R., Haraguchi, S., Nishio, Y., Usui, Y., **Nozaki, T.**, Yamazaki, T., Ichiyama, Y., Ijiri, A., Inagaki, F., Machiyama, H., Iijima, K., Suzuki, K., Kato, Y. and KR13-02, MR13-E02 Leg 2 and KR14-02 Cruise members (2016) Geochemistry of rare-earth elements and yttrium-rich muds in the Japanese Exclusive Economic Zone around Minamitorishima Island. *Geochem. J.*, **50**, 575-590.
  15. Iijima, K., Yasukawa, K., Fujinaga, K., Nakamura, K., Machida, S., Takaya, Y., Ohta, J., Haraguchi, S., Nishio, Y., Usui, Y., **Nozaki, T.**, Yamazaki, T., Ichiyama, Y., Ijiri, A., Inagaki, F., Machiyama, H., Suzuki, K., Kato, Y. and KR13-02 Cruise members (2016) The discovery of extremely REY-rich mud in the western North Pacific

- Ocean. *Geochem. J.*, **50**, 557-573.
16. Suzuki, K., Ishibashi, J.-I., Kato, Y. and **Nozaki, T.** (2016) Preface: Front Edge of Submarine Mineral Resources Research in Japan (part 2). *Geochem. J.*, **50**, 449-452.
  17. Koshida, K., **Ishikawa, A.**, Iwamori, H. and Komiya, T. (2016) Petrology and geochemistry of mafic rocks in the Acasta Gneiss Complex: implications for the oldest mafic rocks and their origin. *Precambrian Res.*, **283**, 190-207.
  18. Liu, J. G., Touboul, M., **Ishikawa, A.**, Walker, R. J. and Pearson, D. G. (2016) Widespread tungsten isotope anomalies and W mobility in crustal and mantle rocks of the Eoarchean Saglek Block, northern Labrador, Canada: implications for early Earth processes and W recycling. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **448**, 13-23.
  19. Riches, A. J. V., Ickert, R. B., Pearson, D. G., Stern, R. A., Jackson, S. E., **Ishikawa, A.**, Kjarsgaard, B. A. and Gurney, J. J. (2016) In situ oxygen-isotope, major-, and trace-element constraints on the metasomatic modification and crustal origin of a diamondiferous eclogite from Roberts Victor, Kaapvaal Craton. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **174**, 345-359.
  20. Shimojo, M., Yamamoto, S., Sakata, S., Yokoyama, T. D., Maki, K., Sawaki, Y., **Ishikawa, A.**, Aoki, K., Aoki, S., Koshida, K., Tashiro, T., Hirata, T., Collerson, K. D. and Komiya, T. (2016) Occurrence and geochronology of the Eoarchean, similar to 3.9 Ga, Iqaluk Gneiss in the Saglek Block, northern Labrador, Canada: evidence for the oldest supracrustal rocks in the world. *Precambrian Res.*, **278**, 218-243.
  21. Morgan, J., Gulick, S., Bralower, T., Chenot, E., Christeson, G., Claeys, C., Cockell, C., Collins, G., Coolen, M., Ferrière, L., Gebhardt, C., Goto, K., Jones, H., Kring, D., Ber, E. L., Lofi, J., Long, X., Lowery, C., Mellet, C., Ocampo-Torres, R., Osinski, G., Perez-Cruz, L., Pickersgill, A., Pölichau, M., Rae, A., Rasmussen, C., Rebolledo-Vieyra, M., Riller, U., **Sato, H.**, Schmitt, D., Smit, J., Tikoo-Schantz, S., Tomioka, N., Fucugauchi, J. U., Whalen, M., Wittmann, A., Yamaguchi, K. and Zylberman, W. (2016) The formation of peak rings in large impact craters. *Science*, **354**, 878-882.
  22. 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. *Sci. Rep.*, **6**, 29609.

[査読無し論文] (計 5 件)

1. 後藤孝介・**野崎達生**・鈴木勝彦 (2017) コバルトリッチクラストの年代決定 (2) オスミウム同位体層序に基づく形成年代の決定・コバルトリッチクラストの成り立ち - 調査手法の確立に向けて - 次世代海洋資源調査技術研究開発成果資料集, **2**, 46-47.
2. **野崎達生** (2016) 海底下地層構造を把握し 鉱床形成メカニズムを解明する: 掘削コア試料の記載・地球化学的分析/解析・海底熱水鉱床の成り立ち - 調査手法の確立に向けて - 次世代海洋資源調査技術研究開発成果資料集, **1**, 51-52.
3. 石井輝秋・町田嗣樹・飯島耕一・山本浩文・**野崎達生**・金子純二・大田隼一郎・藤永公一郎・安川和孝・下村遼・高谷雄太郎・南澤智美・藤島恵介・黒崎智雄・梅原淑行 (2016) 「よこすか」「しんかい6500」YK16-01 研究航海の概要 南島島海域 EEZ 内マンガンノジュール広域調査の潜航研究速報 . 深田地質研究所年報, **17**, 1-28.
4. **野崎達生** (2016) 沖縄トラフ海底熱水鉱床の地球化学的研究 - 黒鉱養殖プロジェクトの本格的開始と進展 - . 平成 28 年度日本鉱業振興会助成研究成果報告書 . 25-30.
5. **野崎達生**・飯島耕一・藤永公一郎・中村謙太郎・高谷雄太郎・安川和孝・大田隼一郎・加藤泰浩 (2016) 第 4 の海底鉱物資源 『レアアース泥』 . 日本海水学会誌, **70**, 90-96.

[学会発表] (計 129 件)

[国際学会発表] (計 49 件)

紙面の都合上, 詳細は省略.

[国内学会発表] (計 80 件)

紙面の都合上, 詳細は省略.

〔その他〕

東京大学大学院工学系研究科 エネルギー・資源フロンティアセンター/システム創成学専攻 加藤・中村研究室ウェブサイト

<http://egeo1.geosys.t.u-tokyo.ac.jp/kato/nozaki.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

野崎 達生 (NOZAKI, Tatsuo)

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・グループリーダー代理

研究者番号: 10553068

### (2) 研究分担者

石川 晃 (ISHIKAWA, Akira)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号: 20524507

佐藤 峰南 (SATO, Honami)  
千葉工業大学・次世代海洋資源研究センター・上席研究員  
研究者番号：20773394