

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成30年度研究進捗評価用〕

平成27年度採択分  
平成30年3月12日現在

海の鉱物資源の科学と工学の新展開

New developments in science and engineering of mineral resources from present and past oceans

課題番号：15H05771

加藤 泰浩 (KATO YASUHIRO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授



研究の概要

本研究では、現世海底および付加体中に存在する『海の鉱物資源』の生成年代決定と起源成分の解明を行うことで、様々な『海の鉱物資源』の成因を過去4億年にわたる地球システム進化の中に位置づけ、従来にない包括的かつ統一的な資源成因論を構築する。これにより、海底鉱物資源と陸上鉱床の双方を俯瞰する、我が国の資源戦略の新たなグランドデザインを提示する。

研究分野：地球・資源システム工学

キーワード：資源探査，海底鉱物資源

1. 研究開始当初の背景

現世の海底には、コバルトリッチクラスト、マンガン団塊、レアアース泥（研究代表者らが発見した新資源）、熱水性硫化物など多様な鉱物資源が分布している。これらは、過去約1億年にわたる海洋の様々なプロセスにより生成されてきたものである。また、それ以前の海底で生成された、より古い時代の鉱物資源は、海洋プレートの移動に伴い島弧や大陸縁辺に付加され、その一部は日本列島などの陸上付加体中に露出し、鉱床として開発されてきた。現在および過去の海底で生成した鉱物資源（両者を合わせて『海の鉱物資源』と呼ぶ）は、生成時の海洋環境やグローバル物質循環の変動の産物として、相互に密接な関連を持つと考えられる。しかしながら、従来の研究では、鉱床のタイプによって個別の成因論が構築されてきたに過ぎず、上述の多様な鉱物資源の成因を包括的に取り扱う枠組みは存在しなかった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、地球表面積の3分の1を占める最大の海洋である太平洋で、過去4億年にわたり生成された『海の鉱物資源』をグローバルな環境・物質循環変動をはじめとする地球システム進化の中に位置づけることで、従来にない包括的かつ統一的な資源成因論を構築することを目的とする。本研究により『海の鉱物資源』の分布を支配する因子の全容が解明されれば、海底鉱物資源と陸上鉱床の双方を俯瞰する、日本の資源戦略の新たなグランドデザインを提示することが可能となる。

3. 研究の方法

『海の鉱物資源』の成因とその相互関連性を明らかにするためには、各資源を結びつける高解像度の時間軸を入れるとともに、元素濃集を引き起こしたメカニズムを解明する必要がある。そのために、(1) 現世海底および日本列島付加体からの系統的な試料の採取・記載・全岩化学分析、(2) Os（オスミウム）同位体比、Re（レニウム）-Os 放射年代および微化石・古地磁気層序による高解像度年代決定、(3) 化学組成データセットの独立成分分析に基づく鉱物資源の起源物質・元素濃集プロセスの抽出、の3項目を実施する。

4. これまでの成果

研究代表者らは、太平洋およびインド洋の深海堆積物の多元素化学組成データを独立成分分析により詳細に解析し、堆積物を構成する7つの独立な成分を統計的に分離抽出した。特に、その中の3成分：生物源リン酸カルシウム、海水起源マンガン酸化物、熱水起源鉄水酸化物がレアアース泥の生成に関与していることを明らかにすると共に、過去6,500万年間におけるそれらの時空間変動を可視化することにも成功した。さらに、海水から堆積物への元素フラックス計算を行い、資源として有望なレアアース泥が生成するための定量的な必要条件は、堆積速度が0.5 m/Myr 以下であることを初めて示した。当該成果は、平成28年7月22日付けでScientific Reports 誌に発表 (Yasukawa et al., 2016) し、新聞やネットニュースでも報道された。また、南鳥島周辺の排他的経済水

域 (EEZ) におけるレアアース泥調査航海によって得られた堆積物試料の分析結果から、レアアース泥が海底下の浅い場所に存在する海域を明らかにするとともに、超高濃度レアアース泥の分布状況の把握によって将来の開発に際しての有望海域を絞り込むことに成功した (Nakamura et al., 2016; Iijima et al., 2016; Fujinaga et al., 2016). この成果を受けて、研究代表者らは有望海域における資源量評価を行い、南鳥島南方の約 315 km<sup>2</sup>の海域に日本の年間需要の 300~2,800 年分 (元素毎に異なる) のレアアースが存在していることを明らかにした (藤永ほか, 2016 日本地質学会). 本研究ではさらに、この海域に次世代型の新合金や燃料電池の素材となるスカンジウムが、現在の世界需要の 9,900 年分という膨大な量存在していることも明らかにした. これにより、南鳥島レアアース泥の資源ポテンシャルは、大幅に向上することとなった. この成果は、読売新聞等のメディアで大きく報道されている. これに加えて、研究代表者らは南鳥島 EEZ 南部~東部の海域で、これまで予想されていなかったマンガン・ジュールの大規模な濃集域 (約 44,000 km<sup>2</sup>) を初めて確認した (JAMSTEC・東京大学・千葉工業大学共同プレスリリース, 平成 28 年 8 月 26 日). この成果は、我が国が持つ海底鉱物資源のポテンシャルを大幅に引き上げる重要な発見として、NHKをはじめとした TV ニュースや新聞主要紙に大きく取り上げられた.

本研究ではさらに、日本列島付加体中の放射虫微化石を詳細に解析することで、現在の海にはその痕跡が残っていない三畳紀 (約 2 億 1500 万年前) に起こった巨大隕石衝突による生物絶滅の記録を、従来にない高時間解像度で読み解くことに成功した. 当該成果は平成 28 年 7 月 8 日付で *Scientific Reports* 誌に公表され (Onoue et al., 2016), 新聞やネットニュースで大きく報道された. さらに、放射虫化石を伴う日本列島付加体中の層状マンガン鉱床の高精度年代決定も行い、その成因についての重要な知見を得ることに成功した.

またこれら一連の学術的成果に加え、南鳥島周辺 EEZ 内に存在するレアアース泥についての本研究の一連の成果は、研究代表者が座長を務める「東京大学レアアース泥開発推進コンソーシアム」における、実開発に向けた技術的検討にも多くの重要な知見を提供し、その進展に大いに貢献している. 同コンソーシアムではさらに、実際に南鳥島のレアアース泥試料を用いて「国産レアアース」の精製とそれを用いた白色 LED の製造に成功した. この成果についても、テレビや新聞で大きく報道された. また、研究代表者は、平成 29 年 4 月 19 日に開催された「参議院資源エネルギーに関する調査会」において、海洋資源開発を含めた我が国の資源確保策について意見を

述べるなど、本研究による成果を踏まえて国の資源政策に対する提言も活発に行っている. 実際に、自由民主党の政権公約や日本政府が公表している「日本再興戦略 2016」にもレアアース泥開発に向けた取り組みが明記されるなど、本研究成果を元にした世界初となる海底鉱物資源の開発実現に向けて、国を挙げての取り組みが着実に進行しつつある.

## 5. 今後の計画

平成 30 年度以降も、当初の研究計画に従い、現世海底および日本列島付加体から採取した試料について、基礎記載、全岩化学分析、Os 同位体による年代決定、Re-Os 放射年代決定、微化石・古地磁気層序による年代決定、独立成分分析などを用いた鉱物資源の起源物質・元素濃集プロセスの解明を進める. 最終年度である平成 31 年度には、それまでに得られたすべての分析・解析結果をもとに、過去 4 億年間のすべてのタイプの『海の鉱物資源』の時空間分布を明らかにするとともに、それらの生成機構と海洋環境・物質循環の変遷との関連を定量的に考察する. これらの成果を統合することで、複数の海底鉱物資源を俯瞰する従来にない包括的な資源成因論を構築し、日本発の革新的な地球資源学を世界に先駆けて創成する.

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

\*Yasukawa, K., Nakamura, K., Fujinaga, K., Ikehara, M. and \*Kato, Y.: Earth system feedback statistically extracted from the Indian Ocean deep-sea sediments recording Eocene hyperthermals. *Scientific Reports*, vol. 7, 11304; doi:10.1038/s41598-017-11470-z, 2017.

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*, vol. 6, 29603, 2016.

\*Onoue, T., Sato, H., Yamashita, D., Ikehara, M., Yasukawa, K., Fujinaga, K., Kato, Y. and Matsuoka, A.: Bolide impact triggered the Late Triassic extinction in equatorial Panthalassa. *Scientific Reports*, vol. 6, 29609, 2016.

(他 76 件)

(\*: Corresponding author)

ホームページ等

<http://egeol.geosys.t.u-tokyo.ac.jp/kato/ykato@sys.t.u-tokyo.ac.jp>