

環境調和型産業技術研究ラボ 海洋環境研究チームの紹介

長尾 正之¹⁾・山岡 香子¹⁾

1. 海洋環境研究チームの概要

近年、海底資源開発に向けた技術開発が加速する一方で、環境影響を懸念する国際世論が急速に高まっている。たとえ自国の排他的経済水域 (EEZ) 内であっても、事前に生物群集の多様性や連結性を含めた環境ベースラインの把握を行うとともに、環境への負荷を最小化する開発計画を立てることが国際的な共通認識になりつつある。しかし、深海では沿岸海域に比べて基本的な環境情報が極めて不足していることから、環境影響評価についての標準手法が確立されておらず、国連機関を中心に議論が行われている段階である。このため、環境調和型の海底資源開発に向けて、国際標準となり得る環境影響評価技術の早期確立が求められている。

そこで、環境調和型産業技術研究ラボ (E-code) 海洋環境研究チームでは、海洋メタロミクス (生体微量金属機能科学) 研究を展開し、環境影響評価に資する技術開発を行う。具体的には、海水や底質における重金属の化学形態分析、食物網解析による生物濃縮モデル、海洋生物を用いた重金属暴露実験等により、海洋環境中での重金属の動態及び生体における重金属の機能と役割を解明する。

また、海水認証標準物質の開発、音響や画像による底質判別技術、流況観測に基づく粒子追跡モデルといった測定・観測技術で得られる環境情報をベースに、生物群集特性を統合した複層ビッグデータ解析を導入し、開発対象域の選定に資する評価技術の確立を目指す。

これらの研究は、地質調査総合センター地質情報研究部門海洋環境地質研究グループ、エネルギー・環境領域環境創生研究部門環境生理生態研究グループ、計量標準総合センター物質計測標準研究部門無機標準研究グループに所属する計 8 名で主に実施する。また、地質調査総合センター地質情報研究部門海洋環境地質研究グループ、計量標準総合センター物質計測標準研究部門ガス・湿度標準研究グループに所属する沿岸環境研究チームのチーム員、ならびに計量標準総合センター物質計測標準研究部門環境標準研

究グループ、同有機基準物質研究グループに所属する社会実装研究チームのチーム員とのチーム間融合研究でも取り組む。ここでは、海洋環境研究チームの研究テーマ「環境調和型の海底資源開発に向けた環境影響評価技術の研究開発」の背景・社会課題、E-code で取り組む研究開発について紹介する。

2. 背景・社会課題

海洋エネルギー・鉱物資源開発計画 (2019 年 2 月 15 日改訂; 経済産業省, 2019) は、海洋エネルギー・鉱物資源の具体的な今後の開発の計画などを示すため、海洋基本計画に基づき経済産業省が策定するものである。海洋エネルギー・鉱物資源の鉱種ごとに、目標達成に至るまでの探査・開発の道筋と、そのために必要な技術開発等について具体的に定めており、今後 5 年間程度の開発の計画の方向性が定められている。そして、環境に関しては、海域環境調査、影響評価手法の適用性向上・高度化、環境基礎調査の必要性が記載されている。またエネルギーや鉱物資源の開発に留まらず、海洋の大規模な産業的利用に関して最新の科学的知見や技術をもって海洋環境へ影響評価を適切に行うことが、持続可能な社会の実現に向けての重要課題として強く求められている (古谷・鈴木, 2021)。このような社会背景の下で、海洋環境研究チームは、海洋鉱物資源のコバルトリッチクラスト・海底熱水鉱床・レアアース泥と、表層型メタンハイドレートの環境調査研究業務の一部を受託している。以下では、日本のコバルトリッチクラスト探査契約鉱区での環境ベースライン調査を例に、社会課題解決のための研究事例を紹介する。

3. コバルトリッチクラスト探査契約鉱区の環境ベースライン調査

コバルトリッチクラストは、海水由来の鉄マンガン酸化物が、海山の岩盤に沈着して生成する。鉄マンガン酸化

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

キーワード: 環境影響評価, コバルトリッチクラスト, 海洋メタロミクス, 暴露実験, 複数ビッグデータ解析, 多様性・連結性評価, 海水認証標準物質, 国際海底機構, 地域環境管理計画, 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

にはコバルト・ニッケルなど電動車普及に欠かせない有用金属が濃集している。その生成速度は極めて遅く、百万年で数 mm である。Usui *et al.* (2020) は、最長 15 年間の現場沈着実験によって、海底マンガニウム床の生成現場をとらえることに成功している。

公海のコバルトリッチクラストに関しては、国際海底機構 (International Seabed Authority, ISA) が各国の鉱区を設定し開発に向けた準備を進めている。ISA は国連海洋法条約に基づき深海底における鉱物資源を人類共通の財産として管理するための国連機関で、1994 年にジャマイカのキングストンに設置された。加盟国は国連海洋法条約締結国全てで、167 カ国 + EU となっている。

日本は ISA との間でコバルトリッチクラスト探査契約を 2014 年 1 月に締結し、15 年間の探査権を取得した (ISA, 2021a)。この探査契約では、北西太平洋の南鳥島南東に位置する 6 つの平頂海山に探査鉱区 (3,000 km²) が設定されている。最終的にはその 2/3 を放棄し、1,000 km² までに探査鉱区が絞込まれる (ISA, 2019a)。その過程で、ISA が定めた環境ガイドラインに準拠した環境ベースライン調査の実施が義務づけられている。環境ベースライン調査とは、海洋環境・生態系の現況 (ベースライン) を把握するための環境調査である。ISA 環境ガイドライン (ISA, 2019b) では、海洋物理特性などの 8 つのデータベースグループについて調査を行い、報告することを求めている。

海洋環境研究チームに所属する地質情報研究部門および環境創生研究部門は、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構よりコバルトリッチクラスト海域における環境調査を受託し、毎年海域調査を実施すると共にデータの分析・解析を行い、以下に示す発表をすでに行っている。海洋物理特性としては、Lamont 海山 (JA02 海山) 平頂部で取得された超音波多層流速計 (ADCP) データの妥当性を、日本近海の海洋変動予測システム (JCOPE2) (Miyazawa and Yamagata, 2003; Miyazawa *et al.*, 2008) との比較等により検証した (Nagao *et al.*, 2018)。生物群集特性としては、バイトラップで取得された試料を用いた分子生態学的研究により、浮遊幼生の行き来による生息地間の結びつきを示す連結性の評価に適した深海性端脚類 (ヨコエビ) の候補種を発見した (Iguchi *et al.*, 2020)。また、堆積物中細菌類の共存関係に関するネットワーク分析により、海山平頂部と基部とで群集が分かれる傾向を見出した (Iguchi *et al.*, 2018)。堆積作用特性では、貧栄養外洋域に特有な物質フラックスの特徴を把握した。また、堆積作用特性と海洋化学特性の融合課題として、沈降粒子フラックスの季節変動とそのメカニズム解明を行い、晩夏の沈降粒子フラッ

クス増加が台風による鉛直混合の強化とブルームによる可能性を示唆した (Yamaoka *et al.*, 2020)。

日本の探査契約鉱区が位置する北西太平洋では、中国、韓国、ロシアもコバルトリッチクラストの探査契約鉱区を取得している (ISA, 2021a)。現在、これら 4 カ国の探査鉱区を含む北西太平洋海域に対する、地域環境管理計画 (Regional Environmental Management Plan, REMP) の策定に向けた議論が、ISA により進行中である (ISA, 2021b)。このため、同海域において、環境調査研究を通じた、日本のプレゼンスを高めるための取り組みが求められている。海洋環境研究チームからは、これまでに北西太平洋 REMP に関する ISA ワークショップ (青島、中国共催 (2018 年); オンライン、韓国共催 (2020 年)) に参加した。特に 2020 年のオンラインワークショップには専門家として参加し報告書を分担執筆したほか、海洋物理特性および堆積特性に関して口頭発表も行った。

また、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構は日本の EEZ 内である南鳥島南方に位置する拓洋第 5 海山平頂部において、世界ではじめてコバルトリッチクラストの掘削試験を実施し成功した ((独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2020)。この試験の前には ISA 環境ガイドラインに準拠した手法で周辺環境への影響が検討された。現在、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構からの受託研究の一環として、掘削試験中に回収された環境モニタリングデータの解析を進めている。

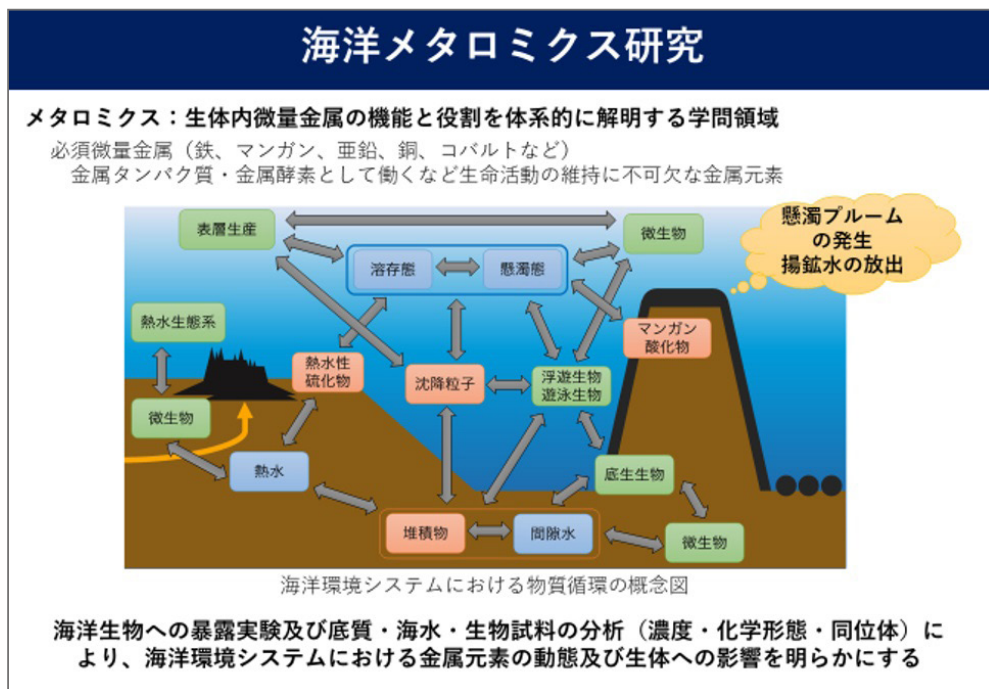
4. E-code で取り組む研究開発について

前述の背景・社会課題から要請される目標として、研究イノベーションにより、国の海洋エネルギー・鉱物資源開発に関する環境調査研究にさらに貢献するため、海洋環境研究チームは「海底資源開発の商業化を見据えた環境影響評価プロトコルへの技術提供」、「国際的な海洋環境管理計画の策定への貢献」、「海洋環境影響評価における先端的な技術研究拠点の形成」を研究開発課題に設定した。そして、これら目標達成のため、研究テーマとして、「海洋メタロミクス研究に基づく金属動態解析・生体影響評価技術の開発」、「複層ビッグデータ解析に基づく生物群集の多様性・連結性評価技術の開発」に取り組む。また、研究テーマの実施にあたり、「地質調査総合センター (GSJ) と計量標準総合センター (NMIJ) との連携による海洋環境の分析・観測手法の高度化」を図る (第 1 図)。

「海洋メタロミクス研究に基づく金属動態解析・生体影響評価技術の開発」については、無機・有機化学の分野



第1図 融合ラボで取り組む研究開発



第2図 海洋メタロミクス研究

融合的な取り組みによる、海洋メタロミクス(生体微量元素機能科学)研究を展開する。メタロミクスとは、生体内微量元素の機能と役割を体系的に解明する学問領域である(第2図)。海底鉍物資源開発で発生する懸濁ブルームや揚鉍水に含まれる重金属の中には、生体に過剰に取り込まれると毒性を示すものがある。一方、微量の金属元素は、生体内で金属タンパク質・金属酵素として働くなど、生命

活動維持に不可欠な元素でもある。このため、海洋生物への暴露実験および底質・海水・生物試料の分析(濃度・化学形態・同位体)を行い、海洋環境システムにおける金属元素の動態および生体影響を明らかにする。暴露実験にあたっては、Iguchi *et al.* (2020)の研究成果に基づき、連結性評価に適した海産性端脚類(ヨコエビ)を使用する予定である。

また、「複層ビッグデータ解析に基づく生物群集の多様性・連結性評価技術の開発」では、海水認証標準物質の開発、各種分析や測定手法の高度化、音響や画像による底質判別技術、流況観測に基づく粒子追跡モデルといった測定・観測技術で得られる環境情報をベースに、生物群集特性を統合した複層ビッグデータ解析を導入し、開発対象域の選定に資する評価技術の確立を目指す。一方で、深海底でのデータ取得は極めて困難であるため、今年度はモデル海域でのデータ取得に着手するとともに、観測手法や分析方法の検討を行う。モデル海域は、海底からの天然ガス湧出が期待される九十九里沿岸域とし、湧出箇所や周辺環境の状況把握手法について検討する。

文 献

- 古谷 研・鈴木昌弘 (2021) 「国連海洋科学の 10 年」—One Ocean に向けて：海洋資源の持続的利用。学術の動向, 26 (1), 42-47.
- Iguchi, A., Nishijima, M., Yoshioka, Y., Suzuki, A., Tanaka, Y., Sugishima, H., Matsui, T. and Okamoto, N. (2018) Geographic variation of bacterial communities in a seamount with cobalt-rich ferromanganese crusts. 15th Deep-Sea Biology Symposium, 2020/09/11, Monterey, California.
- Iguchi, A., Nishijima, M., Yoshioka, Y., Miyagi, A., Miwa, R., Tanaka, Y., Kato, S., Matsui, T., Igarashi, Y., Okamoto, N. and Suzuki, A. (2020) Deep-sea amphipods around cobalt-rich ferromanganese crusts: Taxonomic diversity and selection of candidate species for connectivity analysis. *Plos one*, 15, e0228483. doi:10.1371/journal.pone.0228483.
- ISA (2019a) ISA Contract for Exploration Public Information Template. <https://isa.org.jm/files/files/documents/Public%20information%20on%20contracts%20JOGMEC.pdf> (閲覧日：2021 年 1 月 14 日)
- ISA (2019b) Recommendations for the guidance of contractors for the assessment of the possible environmental impacts arising from exploration for marine minerals in the Area. ISBA/25/LTC/6.
- ISA (2021a) Minerals: Cobalt-rich Ferromanganese Crusts. <https://www.isa.org.jm/exploration-contracts/cobalt-rich-ferromanganese> (閲覧日：2021 年 1 月 13 日)
- ISA (2021b) Workshop on the Regional Environmental Management Plan for the Area of the Northwest Pacific. <https://www.isa.org.jm/event/workshop-regional-environmental-management-plan-area-northwest-pacific> (閲覧日：2021 年 1 月 13 日)
- 経済産業省 (2019) 海洋エネルギー・鉱物資源開発計画を改定しました。ニュースリリース, 2019 年 2 月 15 日. <https://www.meti.go.jp/press/2018/02/20190215004/20190215004.html> (閲覧日：2021 年 2 月 15 日)
- Miyazawa, Y. and Yamagata, T. (2003) The JCOPE ocean forecast system. First ARGO Science Workshop, Tokyo, Japan, November 12-14.
- Miyazawa, Y., Zhang, R., Guo, X., Tamura, H., Ambe, D., Lee, J.-S., Okuno, A., Yoshinari, H., Setou T. and Komatsu, K. (2008) Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis. *Journal of Oceanography*, 65, 737-756. doi.org/10.1007/s10872-009-0063-3.
- Nagao, M., Takasugi, Y., Suzuki, A., Tanaka, Y., Sugishima, H., Matsui, T. and Okamoto, N. (2018) Confirming the validity of ADCP velocity measurement for physical environmental assessment in Japan's Exploration areas for cobalt-rich ferromanganese crusts. Proceedings of the Twenty-eighth (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference, 136-142.
- (独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (2020) 世界初、コバルトリッチクラストの掘削試験に成功 ～海底に存在するコバルト・ニッケルの資源化を促進～。ニュースリリース, 令和 2 年 8 月 21 日. http://www.jogmec.go.jp/news/release/news_01_000162.html (閲覧日：2020 年 12 月 25 日)
- Usui, A., Hino, H., Suzushima, D., Tomioka, N., Suzuki, Y., Sunamura, M., Kato, S., Kashiwabara, T., Kikuchi, S., Uramoto, G.-I., Suzuki, K. and Yamaoka, K. (2020) Modern precipitation of hydrogenetic ferromanganese minerals during on-site 15-year exposure tests. *Scientific Reports*, 10, 3558. doi:10.1038/s41598-020-60200-5.
- Yamaoka, K., Suzuki, A., Tanaka, Y., Suzumura, M., Tsukasaki, A., Shimamoto, A., Fukuhara, Matsui, T., Kato, S., Okamoto, N. and Igarashi, Y. (2020) Late summer peak and scavenging-dominant metal fluxes in particulate export near a seamount in the western North Pacific subtropical gyre. *Frontiers in Earth Sciences*, 8, 558823. doi:10.3389/feart.2020.558823.
- NAGAO Masayuki and YAMAOKA Kyoko (2021) Overview and activities of Marine Environment Research Team, Research Laboratory on E-code.

(受付：2021 年 1 月 4 日)