

論文審査および最終試験結果報告書

論文提出者氏名： Leah Ann Bergman

論文題目： The ecology of fishes in areas of mining interest: results from ROV surveys and machine learning

審査の概要：

本論文は、海底資源として鉱物の採掘が計画されている海域における、無人探査機の映像を用いた魚類相の調査研究と機械学習の応用についてまとめたものである。

近年、海底資源開発における環境影響評価のためのベースラインデータの需要が増しており、国際海底機構 ISA のガイドラインでは中・深層生態系もその対象となっている。このガイドラインでは、ゼラチン質動物プランクトンの調査は無人探査機によって実施されることとしているが、魚類とその他のプランクトンの調査はネット採集によるものがメインになると想定されている。また、鉱物採掘時には、排出される堆積物の拡散によって中層に堆積物プルームが形成され、濁りや有害な化学物質、貧酸素などの影響が生じる。魚類においては、視覚を阻害されるなどにより、行動にも影響が及ぶことが予想されるため、ISA のガイドラインには、無人探査機による調査でのベースラインデータの取得が課題として盛り込まれた。

論文は序論、4つの章及び総合考察でまとめられている。

第1章では、「Fishes of the Kurose Hole」と題して、海底広域研究船「かいめい」に搭載された無人探査機「KM-ROV」で2020年12月23日に伊豆・小笠原海域の海底火山カルデラである黒瀬海穴の内側調査の際に撮影された映像データと環境因子（水温・塩分・溶存酸素濃度）を解析し、魚類相を明らかにした。また、20年前に同海域で撮影された映像の再解析によって、大幅な魚類群集構造の変化が起こっていることを解明した。2000年には生物相全体として、ヤワラクラゲの一種のクロセクラゲが卓越し、魚類相に関しては、タチモドキの仲間が優占していた。しかし、2020年には生物相が大きく変化し、魚食性のホウライエソが最も多くなっていた。結論として、海底資源開発における環境影響評価のためのベースラインデータ取得は集中的に長期間の調査を行なっても、その期間の調査だけではその生態系における群集変動は把握できず、人的影響があったかどうかの判断ができない可能性が高いことを示唆した。

第2章では、「Fishes of NORI-D: distribution and seasonal variation」と題して、世界最大の未開発ニッケル鉱床があると考えられているクラリオン-クリップarton地帯 (CCZ) 東部の NORI-D 鉱区において、2021年2月28日から4月22日 (DG5b) および2021年11月11日から12月19日 (DG5e) に実施された調査航海データの分析結果をまとめている。2つの航海では、無人探査機を用いて120時間以上のビデオデータが収集され、海底及び水柱に生息する魚類相のベースライン評価が行われた。この海域では、2024年末までに多金属ノジュールの採掘事業が開始される予定であるが、深海での採掘では、排出される堆積物によるプルームが形成されるため、底生魚類とその餌生物に影響を与えることが予想されている。ベースライン調査は、NORI-D 内の CTA (Collector Test Area: 採掘現場) と比較のための PRZ (Preservation Reserve Zone: 保護区) の2箇所で行われた。その結果、PRZ は CTA よりも魚類の多様性が高く、魚類にとって良好な保護区であることが示された。また、この2航海 (春季及び冬季) の結果を比較すると、季節による魚類相の相違があることが確認された。魚類のなかで、頻繁に観察された種はホカケダラ属の *Coryphaenoides armatus* もしくは *C. yaquinae* であり、最も特異的なグループはアシロ科 (Ophidiidae) であった。4種のアシロ科と1種のゲンゲ科 (Zoarcidae) は種を同定することができなかったため、今後それらを採集し、分類についての検討を行う必要がある。また、中層性魚類に関しては、溶存酸素濃度が魚類の分布に最も影響することが明らかになった。

第3章では、「Fishes of NORI-D: *in-situ* behavior of deep-sea fishes」と題して、多金属ノジュールの採掘事業の際に放出される堆積物ブルーム（中層及び近底層）等による魚類の行動への影響を、無人探査機で撮影されたビデオ映像により解析し、ブルーム形成前の現況を調査・記録した。その結果、分類群別の特異的な行動パターンがあることが明らかとなった。この行動の特徴は、ビデオによる分類群の同定や群集の構造解析に役立つ特徴であり、今後の解析において有用な情報となった。

第4章では、「Using deep learning to identify and differentiate fishes」と題して、上記のビデオデータから、YOLOv5 で画像セグメンテーションモデルを作成し、底生生物、底生魚、ゼラチン質動物、その他の無脊椎動物を識別した。YOLOv5 モデルは魚類と無脊椎動物の区別に 90%の精度で成功し、魚類と無脊椎動物の誤認はなかった。また、ズームフォーカス式ビデオカメラの方が固定フォーカスのワイドレンズカメラよりも映像解析の自動化に適していることが明らかになった。

総合考察では、1) 魚類群集に関しては、各調査海域において、時間軸にしたがって変動することを確認し、一時期のみのベースライン調査では不十分であること、2) 魚類の特徴的な行動が、ビデオ解析における分類群同定では有用であること、3) 機械学習的な解析アプローチは将来的には有意義であるが、カメラ構成などを工夫して調査を行う必要があると結論づけた。

以上、Leah Ann Bergman による本論文は、これまで情報が不足していた鉱物の海底資源開発が計画されている海域において、魚類相とその分布を明らかにし、また機械学習の応用に一石を投じた点で、生態学的見地から大いに評価できる。特に、魚類の行動によって分類群の同定がある程度可能であることを示す結果は、これから開発すべき AI を動画ベースでトレーニングできるようにする重要性を示しており、海底資源開発における環境影響評価のためのベースラインデータ調査手法としても貴重である。受審者は自身の研究についての社会的な貢献及び位置づけを認識できており、将来的なニーズに対応した方法論を追求しているところも高く評価できる。

2023 年 7 月 28 日に実施した最終試験において、論文の内容ならびに関連分野について、受審者が学位を受けるに必要な学識を持つことを認め、合格と判定した。

以上の結果から、審査員一同は本受審者を北里大学・博士（水産学）の学位を授与するに値するものと判定した。

論文審査担当者：

主 査 北里大学教授

朝日田 卓



副 査 北里大学教授

吉永 龍起



北里大学教授

三宅 裕志



北里大学講師

武藤 望生



海洋研究開発機構上席研究員

藤原 義弘

