

沖合漁場整備効果把握のための環境モニタリング手法の開発

研究予算：運営費交付金

研究期間：令和5～令和7

担当チーム：水産土木チーム

研究担当者：西崎孝之、大塚淳一、梶原瑠美子

稲葉信晴、安孝珍

【要旨】

沖合に整備された人工魚礁の漁場環境改善効果を評価するモニタリング手法を開発するため、ROV 採水とメタバーコーディング解析および高解像度計量魚群探知機（以下、計量魚探）による魚群の定量化を試みた。魚礁区と対照区で ROV 採水を行い、得られた試料をメタバーコーディング解析した結果、魚礁区で検出された魚種のほうが多いことが確認された。また、魚礁区と対照区で計量魚探による魚群計測を行った結果、検出されたホッケの総数は魚礁区で 2298 尾、対照区で 967 尾となり、魚礁区の個体数が優位に多いことが確認された。以上より、ROV 採水とメタバーコーディング解析および計量魚探は漁場環境改善効果を評価する手法として有効といえる。

キーワード：沖合、人工魚礁、ROV 採水、環境 DNA、高解像度計量魚群探知機

1. はじめに

我が国の漁業生産量の約 4 分の 1 を占める北海道¹⁾では、水産資源の回復および増大を目的として、水深 100 m を超える沖合域において、鋼製魚礁やコンクリート製魚礁ブロック等の人工魚礁を設置する漁場整備事業が実施されている。人工魚礁の整備効果を適切に評価するためには、魚礁周辺における餌料生物量、出現魚種、魚体長、魚体重等を継続的にモニタリングし、餌料培養効果や魚類増殖効果などの漁場改善効果を把握する必要がある。しかしながら、対象海域は水深が深く、かつ陸域から離れた沖合に位置することから、高精度かつ効率的なモニタリングの実施は容易ではない。また、沖合域における調査事例は限られており、漁場整備効果の評価手法については、依然として多くの技術的課題が残されている。例えば、従来用いられているバンドン式採水で試料を採取する場合、沖合のように水深が深く、潮流や海流が強い海域では、採水器を船上から所定の位置に精度良く垂下することが難しい。また、出現魚種、魚体長、魚体重等を把握するために従来行われている定置刺し網などの漁獲調査は魚体を直接得ることができるメリットがある一方で、費用的、労力的にかなりの負担を要し、さらに、時系列の連続観測データを得ることができないという課題がある。

そこで本研究では、これらの課題を解決する手法として、大水深に対応した遠隔操作型無人探査機 (ROV)



図 - 1 余別沖における ROV 採水の実施位置図

を用いて魚礁直上で採水を行い、得られた試料の環境 DNA 分析を実施した。さらに、高解像度計量魚群探知機を用いて魚群の定量化を行い、これらの手法の組み合わせによる沖合漁場における漁場整備効果の評価手法としての有効性を検討した。

2. 漁場整備効果のモニタリング手法

2. 1 ROV による採水

ROV による採水は 2024 年 9 月 18 日、北海道積丹半島の余別漁港から北へ約 5.3 km の沖合に位置する魚礁区および魚礁区から西へ約 640 m に位置する対照区（魚礁無し）で行われた（図 - 1 参照）。魚礁区と対照区の水深はともに約 100 m であった。魚礁区では、コンクリート製の魚礁ブロック（FP3.25 型、海洋土木株式会社製）が 1 段積み（一部、2 段積み）で配置され

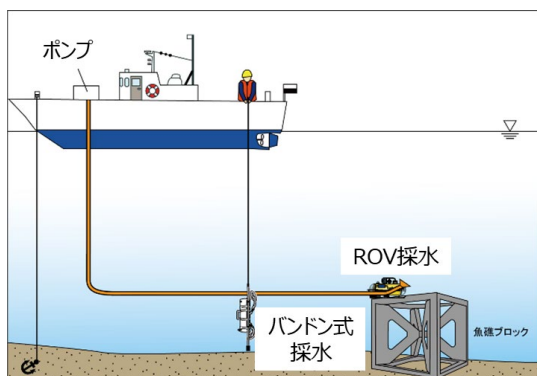


図-2 ROVによるポンプ採水の概念図

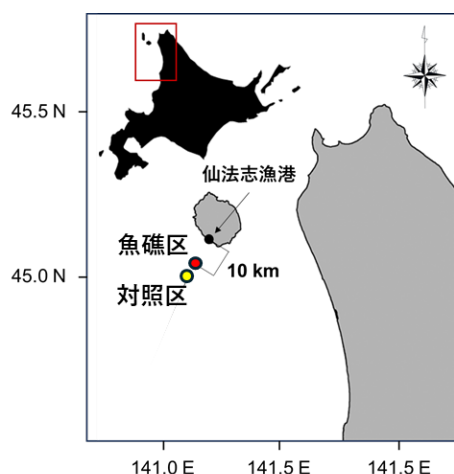


図-3 利尻島沖における魚群観測位置図

ている。

ROVによる採水を行う際には、直径約3 cmの採水ホースを接続した水中カメラ付きのROVを使用した。魚礁区で採水を行う際には、水中カメラの映像を船上で確認しながらROVを魚礁ブロックの直上まで誘導し、ROVが魚礁ブロック上で静止したことを確認した後、採水ホースに接続した電動ポンプを稼働して連続的に採水を行った。また、対照区で採水を行う際には、魚礁区と同様に、水中カメラの映像を確認しながらROVを海底付近まで誘導し、魚礁ブロック直上とほぼ同一の水深となる海底から約3 mの位置でポンプ採水を行った。図-2にポンプ採水の概念図を示す。

魚礁区および対照区で採取した試料は10%塩化ベンザルコニウム溶液を終濃度0.01%となるよう添加した3 Lポリエチレン製遮光容器に保存し、10℃以下で冷蔵状態を維持してDNA分析施設へ輸送した後、環境DNAのメタバーコーディング解析を行うことにより、両区における魚類の組成比と種数を明らかにした。

2.2 高解像度計量魚群探知機による魚群観測

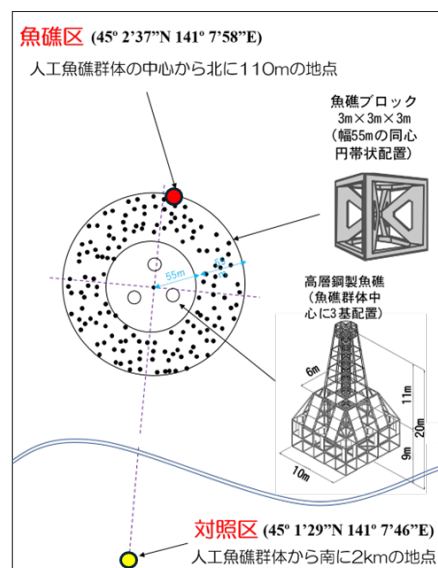


図-4 利尻島沖の魚礁配置図

高解像度計量魚群探知機による魚群観測は2022年7月13日から8月10日の間、北海道利尻島の仙法志漁港から南へ約10 kmの沖合に位置する魚礁区および魚礁区から南へ約2 kmに位置する対照区で行われた(図-3参照)。魚礁区と対照区の水深はともに約90 mであった。魚礁区の中心部には、高さ約20 mの高層鋼製魚礁3基(I-2シリーズ、株式会社中山製鋼所製)が設置されており、それらの周辺にはコンクリート製の魚礁ブロック(FP3.00型、海洋土木株式会社製)が同心円状に150個以上設置されている。図-4に魚礁の配置図を示す。

魚群観測を行う際には、魚礁区の中心から北に約110 m(図-4の赤丸)、水深88 mの位置に高解像度計量魚群探知機(MagicBuoy、AquaFusion社製)を超音波送受信部を海面に向けた状態で係留し、1時間ごとに10分間連続でデータを取得した。MagicBuoyは低コストで長期の観測が可能だけでなく、送受波器からの超音波の送受信回数を増やす特許技術(Gold Code法²⁾)により検出された個体毎の魚体計測および出現水深を特定することができる。また、MagicBuoyで計測したデータを解析ソフト(MagicView、AquaFusion社製)を使用して、鰯(うきぶくろ)の有無など、魚種ごとに異なる超音波の反射特性に応じて魚体長を精度良く計測することができるなど、従来の計量魚群探知機と比べて、多くのメリットを有している。表-1にMagicBuoyで計測可能な項目を示す。

3. 採水試料と魚探計測データの解析結果

表 - 1 高解像度計量魚群探知機で計測可能な項目

魚単体検出
深度毎の密度の把握
魚体長の把握
深度毎の平均 TS [*] 、平均魚体長の把握
条件別の空間的・時間的な特徴(密度、TS [*] 、魚体長)の把握
魚種：直接捕獲等による魚類情報との関連付けにより可能

※TS：1 個体の対象生物が音波を反射する割合

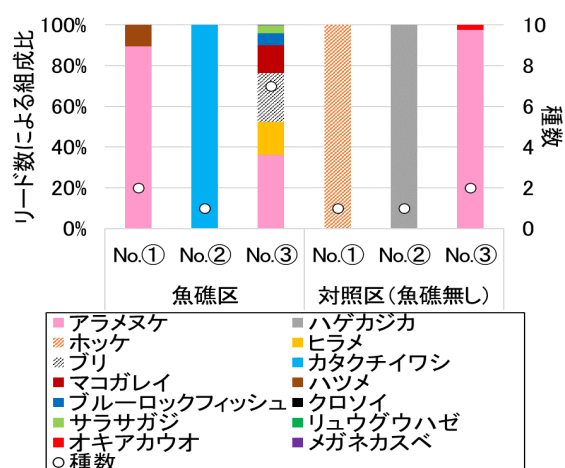


図 - 5 メタバーコーディング解析による魚礁区と対照区の魚類組成比と種数

3. 1 採水試料のメタバーコーディング解析結果

図 - 5 にメタバーコーディング解析から得られた余別沖の魚礁区と対照区におけるリード数による魚類組成比（左軸）と種数（右軸、白丸）を示す。ここで、リード数とは、DNA シーケンサーで検出された DNA の塩基配列の件数である。また、図中の No.①～No.③は各区で採取した試料の番号を表している。

魚礁区において検出された魚種数（3 試料合計）は 8 種であり、対照区の 4 種を上回った。この要因としては、魚礁による集魚効果に加え、魚礁ブロック周辺に形成される流速低減域において粒状物質が集積することにより³⁾、周辺から移流した環境 DNA が魚礁周辺に滞留・集積した可能性が考えられる。以上のことから、ROV を用いた採水および得られた試料に対するメタバーコーディング解析を組み合わせることで、魚礁の効果を従来手法と比較して、より容易かつ明瞭に把握できることが示唆された。また、本研究で実施したメタバーコーディング解析では、当該海域で漁獲対象となる魚種を含む多様な魚種が検出された。従来の漁獲調査において、これほど多くの魚種を効率的に確認することは容易ではなく、希少種を混獲する可能性も否定できない。したがって、ROV 採水とメタバーコー

ディング解析を組み合わせた手法は、環境負荷の低い魚礁効果評価技術として有効であると考えられる。

3. 2 魚探計測データの解析結果

解析は利尻海域の主要魚種であるホッケを対象に実施した⁴⁾⁶⁾。この海域において、ホッケの刺網漁が行われている夜間（21 時～3 時）のデータに、調査海域で得られたホッケ固有のターゲット・ストレングス（TS：1 個体の対象生物が音波を反射する割合）を解析ソフト MagicView に入力し⁷⁾、観測期間中に検出されたホッケの個体数、魚体長、水深情報を出力した。そのうち魚体長 10 cm 以上 35 cm 未満の個体を対象とした水深別（表層：0～30 m、中層：30～60 m、底層 60～90 m）の検出個体数の時系列を図 - 6 に示す。図 - 6 では、中層でホッケの検出個体数が多く、底層で少ないこと、また、ピーク時の 7 月 21 日には、魚礁区の中層から 10 分間で 320 匹の魚体が検出されたことを確認できる。

魚礁区と対照区で検出されたホッケの検出個体数で統計解析の結果、中層では魚礁区の出現個体数が有意に多かった（図 - 7 参照）。また表層と底層では有意差が見られなかった。7 月 14 日～8 月 10 日までの調査期間中、表層、中層、底層で検出された個体総数は魚礁区では 2298 尾、対照区では 967 尾となり、魚礁区が約 2.4 倍と多く、1 回の検出個体数で統計解析を行った結果、魚礁区が有意に多かった（図 - 8 参照）。

上記の結果により、当該人工魚礁がホッケなど魚礁性のある魚の蟄集効果をもっている可能性が示された。

4. まとめ

本研究では、沖合に整備された人工魚礁による漁場環境改善効果を適切に評価するためモニタリング手法の開発を目的として、ROV 採水と得られた試料のメタバーコーディング解析および高解像度計量魚群探知機による魚群の定量化を試みた。魚礁区と対照区において ROV 採水を行い、得られた試料をメタバーコーディング解析した結果、魚礁区で検出された魚種のほうが対照区よりも多いことを確認することができた。また、魚礁区と対照区で高解像度計量魚群探知機による魚群計測を行った結果、調査期間中、表層、中層、底層で検出されたホッケの総数は魚礁区で 2298 尾、対照区で 967 尾となり、魚礁区の個体数のほうが優位に多いことが確認された。これらの結果を踏まえて、ROV 採水とメタバーコーディング解析および高解像度魚群探知機は人工魚礁による環境改善効果を評価できる可能性があると考えられる。

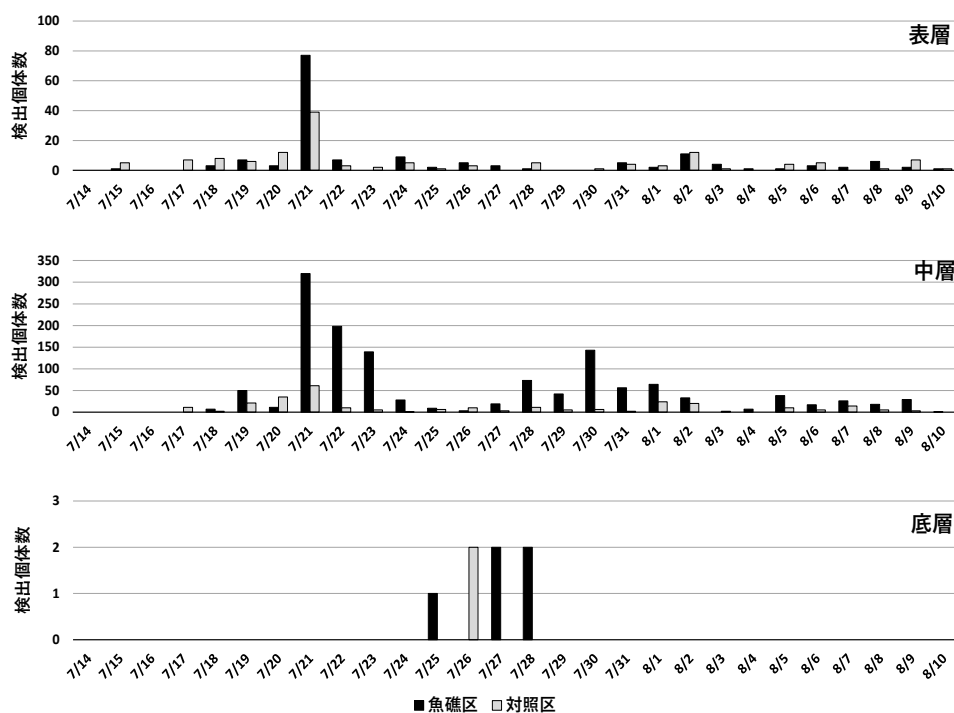


図 - 6 夜間（0 時台）に表層（上段）、中層（中段）、底層（下段）で検出されたホッケ個体数の時系列

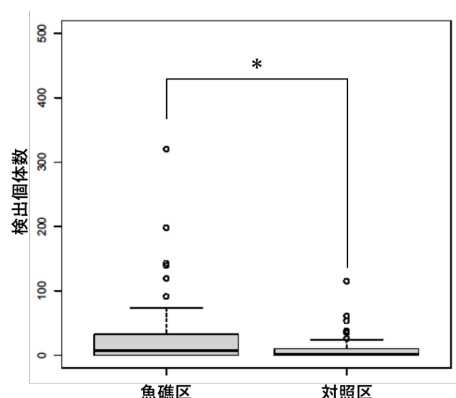


図 - 7 夜間（21 時台から 3 時台）に中層で検出されたホッケ個体数の統計解析結果（Wilcoxon、n = 72、 $p < 0.05$ ）

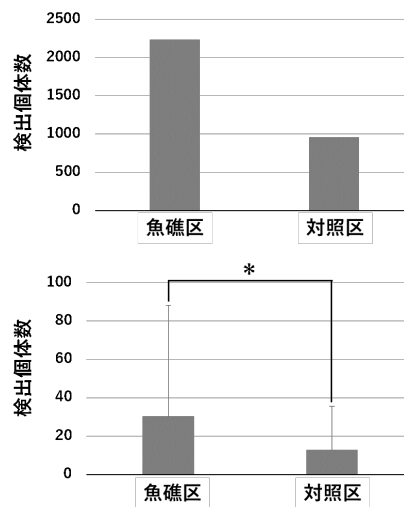


図 - 8 夜間（21 時台から 3 時台）に全層で検出されたホッケ個体数の積算値（上段）と統計解析結果（下段、平均+標準偏差、Wilcoxon、n = 74、 $p < 0.05$ ）

参考文献

- 1) 農林水産省：海面漁業生産統計調査
https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/
- 2) 松尾行雄、笹倉豊善：高速送信周期エコーサウンダー AquaMagic を用いた魚群密度・魚体長の推定アルゴリズムの開発、海洋音響学会講演論文集、19/20、2020。
- 3) Takuma Matsumoto, Kenya Sudo, Ken-Ichiro Ishii, Ayako Imura and Nobuharu Inaba: Distribution of Diatom Resting Stage in Sediment near Artificial Reefs Deployed in the Dysphotic Zone: Exploration of New Artificial Reef Function,

Applied Sciences, 12, 9972, pp. 1-14, 2022.

- 4) 北海道水産林務部：北海道水産現勢、平成 30 年確報、p.27、2019。
- 5) 同上 3)、令和元年確報、p.27、2020。
- 6) 同上 4)、令和 2 年確報、p.27、2021。
- 7) 高嶋孝寛：海中垂下されたホッケ *Pleurogrammus azonus* のターゲット・ストレングス、北海道立水産試験場研究報告、70 号、pp.73-80、2006。

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL MONITORING METHODS TO ASSESS THE EFFECTIVENESS OF OFFSHORE ARTIFICIAL REEFS

Research Period : FY2023-2025

Research Team : Cold Region Hydraulic and Aquatic
Environment Engineering Research
Group (Fisheries Engineering Team)

Author : NISHIZAKI Takayuki

OTSUKA Junichi

KAJIHARA Rumiko

INABA Nobuharu

AHN Hyojin

Abstract : To properly evaluate the effectiveness of offshore artificial reefs in improving the fishing environment, we sought to quantify fish stocks using ROV water sampling, metabarcoding, and high-resolution quantitative fish finders. We conducted ROV water sampling in both the reef and control areas; metabarcoding analysis of the samples confirmed that more fish species were detected in the reef area than in the control area. Furthermore, fish stock measurements using a high-resolution fish finder in both the artificial reef area and the control area revealed that, during the survey period, the total number of Atka mackerel detected in the surface, mid-water, and bottom layers was 2,298 in the artificial reef area and 967 in the control area, confirming that the population in the artificial reef area was significantly larger. Based on these results, ROV water sampling, metabarcoding analysis, and high-resolution fish-finder measurements have the potential to evaluate the effectiveness of artificial reefs in improving the fishing ground environment.

Key words : offshore, artificial reefs, ROV water sampling, eDNA, high-resolution quantitative fish finders

論文リスト

● 学術誌等による成果普及

査読無し論文・海外（計 1 本）

- e-1) 石澤健志, 安孝珍, 森健二: ホッケを対象とした沖合人工魚礁における魚類分布の把握, 北海道開発技術研究発表会論文集, 第 67 回, 2023

学会発表等その他（計 4 本）

- e-2) 安孝珍, 石澤健志, 須藤賢哉, 森健二: Do fish really use artificial reefs?, 58th European Marine Biology Symposium, 2025.7
- e-3) 須藤賢哉, 森健二, 笠井亮秀: 環境 DNA による人工魚礁の漁場環境モニタリングの可能性, 山口大学環境 DNA 研究センター第 7 回シンポジウム「環境 DNA 研究の最前線と企業の取り組み」, 2025.1
- e-4) 石澤健志, 須藤賢哉, 森健二: 沖合人工魚礁における高解像度計量魚群探知機搭載ブイによる魚類分布把握について, 2023 年度日本水産工学会学術講演会, 2023.5
- e-5) 安孝珍, 須藤賢哉, 石澤健志, 森健二: 北方海域における人工魚礁の周辺環境調査および有効性の検討, 第 21 回全国漁港漁場整備技術研究発表会, 2023.11

土研刊行物（計 2 本）

- e-6) 須藤賢哉, 森健二, 笠井亮秀: ホッケの胃内容物による食性解析への DNA メタバーコーディングの適用可能性, 寒地土木研究所月報（技術資料）, 第 865 号, pp34-40, 2025.1
- e-7) 石澤健志, 安孝珍, 須藤賢哉, 森健二: 高解像度計量魚群探知機搭載ブイを用いた人工魚礁の魚類集集効果の検討, 寒地土木研究所月報（技術資料）, 第 854 号, pp44-48, 2024.3