

(5) スマート水産業による「越前がに」に代表される底魚資源維持増大事業
　　オ　水中ドローンによる資源量推定の高精度化（保護礁内含む）

前川 龍之介・元林 裕仁・荒井 遼

1 目的

水産資源の持続可能な利用を実現するためには、科学的根拠に基づいた資源管理体制の構築が不可欠である。特に、福井県において重要な水産資源であるズワイガニ *Chionoecetes opilio* については、資源量調査の継続的な実施と精度向上が求められている。

現在、ズワイガニの資源量調査は、主に調査船によるトロール網を用いた採集調査に依存している^{1,2)}。しかし、この手法には保護礁での調査実施に関する課題がある。福井県沖合にはズワイガニの資源保護を目的として、コンクリート製で一边が 3.25 m の保護礁ブロック (FP3.25) が多数設置されている。これらの海域は物理的に曳網が不可能であるため、調査対象から除外されている。同海域では、代替的にカニ籠を用いた調査が行われているものの³⁾、漁具特性がトロール網と異なることから、得られたデータは資源量の推定には考慮されていない。

加えて、これらの保護礁は古いものでは設置から 30 年以上が経過している。過去にはサイドスキャンソナーを用いた損壊および埋没の状況調査が実施された⁴⁻⁶⁾が、音響調査の性質上、詳細な状況把握には限界があり、その精度については更なる検証が必要な状況にある。

上記を踏まえ、本調査では、自律型無人探査機 Autonomous Underwater Vehicle (AUV) の保護礁におけるズワイガニの資源量調査および保護礁ブロックの状況調査への有効性の検証を目的とした。

令和 6 年度の調査では、その第一段階として、保護礁外の海域でトロール網による採集調査と AUV による海底撮影を実施し、両手法によって得られるデータの比較を行った。併せて、保護礁ブロックの直接的な撮影も行った。なお、本調査は、いであ株式会社との共同で実施し、同社が保有する AUV を福井県沖の水深 200~300 m の海域で運用して海底撮影を行った。

2 方法

1) AUV を用いた海底撮影

海底撮影には、AUV に搭載した静止画用カメラ 2 機（リコー製 GR II、鉛直下方撮影）と、動画用 4K カメラ 1 機（ソニー製 UMC-S3CA、前方撮影）を用いた。

AUV の運航では、いであが機材の準備や整備、潜航前のプログラミング、潜航中の通信を担当し、漁業資源調査船「福井丸」が AUV の投入および回収を行った。潜航中は、AUV と船上の受信機との間で常時、音響通信を維持し、航行状態をリアルタイムで監視した。

2) ズワイガニの資源量調査

調査海域は図 1 のとおりとし、令和 6 年 7 月 17 日および 18 日に AUV による海底撮影を実施した。撮影後は静止画を分析し、ズワイガニの 1haあたりの雌雄別の撮影個体数を算出した。画像解析および計測は、いであが担当し、画像の色彩・歪み補正の後、各個体の甲幅と第二歩脚長を 0.01 mm 単位で計測した。雌雄判別は、第二歩脚長と甲幅の比（第二歩脚長/甲幅）を基準とし、1.0 以上をオス、0.9 未満をメス⁷⁾、0.9 以上 1.0 未満の個体は目視で判別した。最終的な雌雄の判断は、福井県水産試験場が実施したが、雌雄判別ができなかった個体は不明として計数した。

AUV 調査を実施した海域において、従来手法であるトロール網による採集調査を、令和 6 年 6 月 5 日および 7 月 31 日に福井丸により実施した。曳網条件は船速 3 ノット、曳網時間 20 分を基本とした。トロール調査でも同様に 1haあたりの採集個体数を算出し、各個体の甲幅を 0.01 mm 単位で計測した。さらに、両手法で得られた個体の雌雄別甲幅組成を比較し、データの特性を検討した。

最適な AUV 調査手法を確立するため、航行方法の比較検討も行った。航行方法はカメラの画角と高度から決ま

る一定幅の帯状の範囲を連続的に撮影するライントランセクトおよび調査範囲を隙間なく面的に撮影するグリッドの2手法を試行した。そして、両手法の調査範囲が重複するエリア内のデータにおいて、それぞれの静止画からズワイガニの1haあたりの雌雄別の撮影個体数を算出して比較した。

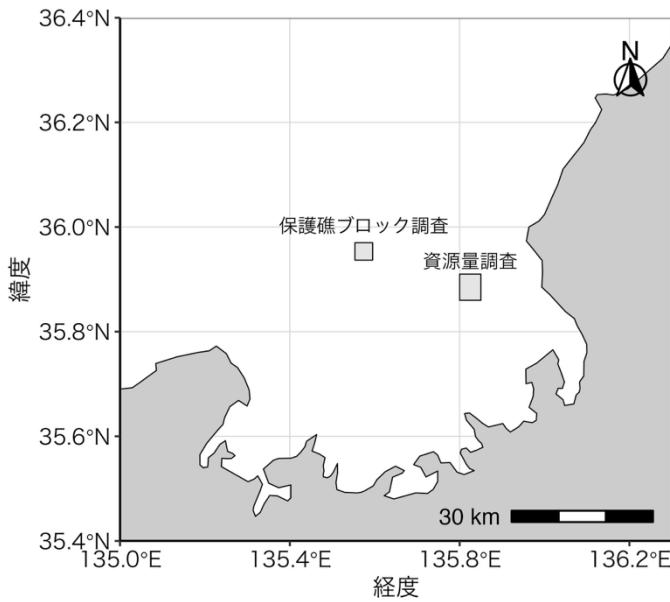


図1 調査海域

3) 保護礁ブロック調査

昭和63年設置の保護礁を調査対象とし(図1)、令和6年7月19日および20日にAUVによる海底撮影を実施した。調査対象とした保護礁ブロックは、既存のサイドスキャナーソナーのデータ⁵⁾を基に、周囲に他の保護礁ブロックがなく孤立しており、かつ明瞭な音響反応が確認されたものとし、福井丸に搭載された魚群探知機でおおよその位置を特定した。この事前情報に基づきAUVの航行計画を立案し、保護礁ブロック周辺の海底撮影を実施した。

取得した静止画および動画から、保護礁ブロックの損壊、埋没および生物分布等を視覚的に確認し、その機能性を評価した。

3 結果

1) ズワイガニの資源量調査

海底撮影時のAUVの航跡およびトロール調査時の曳網中の福井丸の航跡を図2に示す。

AUVの撮影高度は、調査効率と画質のバランスを考慮し、現場の濁りの状況に応じて撮影可能な最大高度に設定した。これは、撮影高度を上げるほど調査面積は広がる一方、濁りの影響で画像が不鮮明になることを避けるためである。調査実施日における濁りの状況から、撮影高度は2.2 mに設定した。

AUV調査およびトロール調査により得られたズワイガニの1haあたりの撮影個体数および採集個体数を表1に、撮影および採集個体の雌雄別甲幅組成を図3にそれぞれ示す。AUV調査による撮影個体数がトロール調査による採集個体数を上回った。一方で、雌雄別甲幅組成については、雌雄ともに両調査手法間で顕著な差は見られなかった。なお、AUV調査による撮影個体数の算出において、甲幅を測定できなかった4個体は除外した。また、今回のAUV調査では、機体の接近に対するズワイガニの逃避行動は確認されなかった。

表2にAUV調査によるライントランセクトとグリッドの重複エリアにおける1haあたりの撮影個体数を示す。メスは両手法で近似値を示したが、オスでは同様の傾向は見られなかった。また、この重複エリアの面積はライントランセクトがグリッドの約1/6であった。

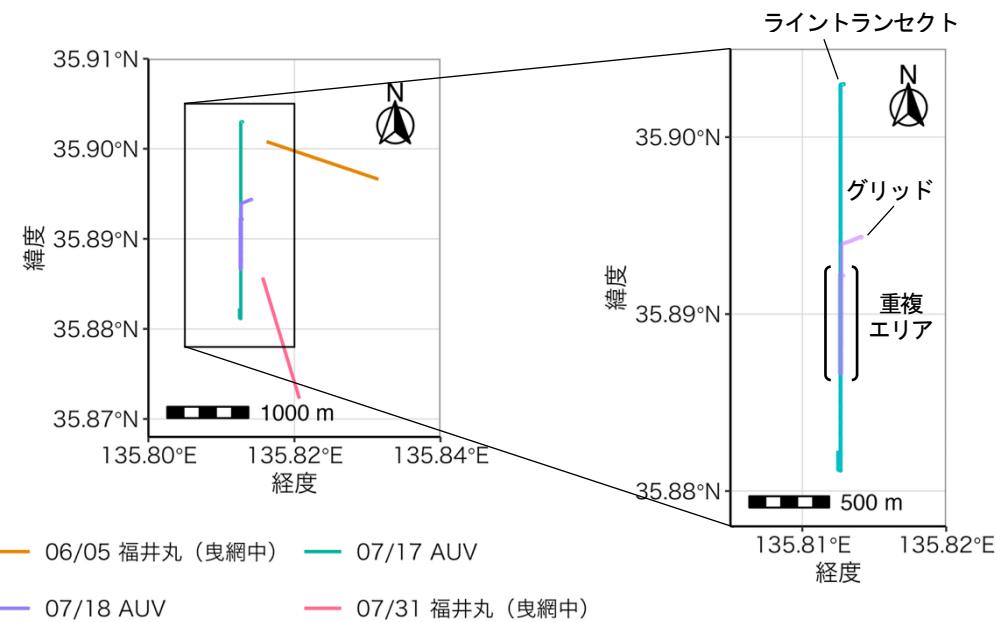


図2 ズワイガニの資源量調査におけるAUVの航跡およびトロール調査時の曳網中の福井丸の航跡

表1 AUV調査およびトロール調査の撮影個体数および採集個体数

| 調査手法 | 日時 | 航行方法 | 調査面積 (m ²) | 撮影個体数および採集個体数 (個体/ha) | | | |
|------|---------|-----------|---------------------------|-----------------------|------|------|------|
| | | | | 全個体 | オス | メス | 不明 |
| AUV | R6.7.17 | ライントランセクト | 5,158 | 135.7 | 85.3 | 38.8 | 11.6 |
| | R6.7.18 | グリッド | 9,013 | 92.1 | 54.4 | 30.0 | 7.8 |
| トロール | R6.6.5 | — | 17,673 | 47.5 | 32.3 | 15.3 | — |
| | R6.7.31 | — | 18,699 | 50.8 | 32.6 | 18.2 | — |

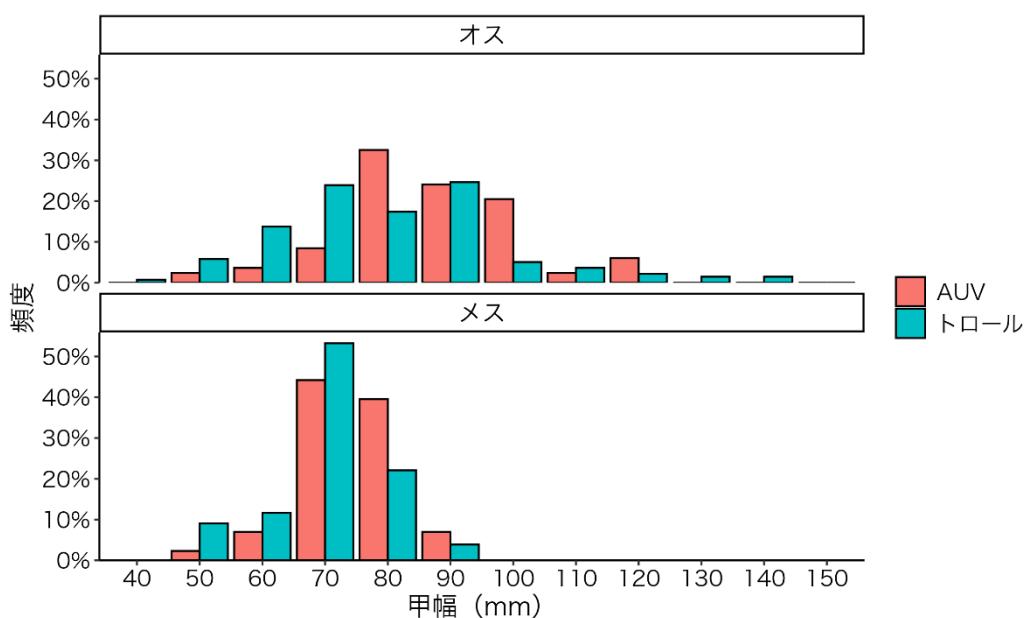


図3 AUV調査およびトロール調査におけるズワイガニの雌雄別甲幅組成

表2 AUV調査によるライントランセクトとグリッドの重複エリアにおける撮影個体数

| 調査手法 | 日時 | 航行方法 | 調査面積 (m ²) | 撮影個体数 (個体/ha) | | | |
|------|---------|-----------|---------------------------|---------------|------|------|------|
| | | | | 全個体 | オス | メス | 不明 |
| AUV | R6.7.17 | ライントランセクト | 1,206 | 140.9 | 91.2 | 33.2 | 16.6 |
| | R6.7.18 | グリッド | 7,119 | 101.1 | 60.4 | 32.3 | 8.4 |

2) 保護礁ブロック調査

AUVの撮影高度は目的に応じて変更した。7月19日は保護礁の全体像を上部から把握するため4.0 mとし、7月20日は構造物の詳細な状態を確認するため、側面や底部に接近できる2.5 mで撮影を行った。海底撮影時のAUVの航跡を図4に示す。なお、構造物へ低高度で接近する際も、AUVは障害物回避機能によって自動的に一定の高度まで浮上するため、安全な航行が可能であった。

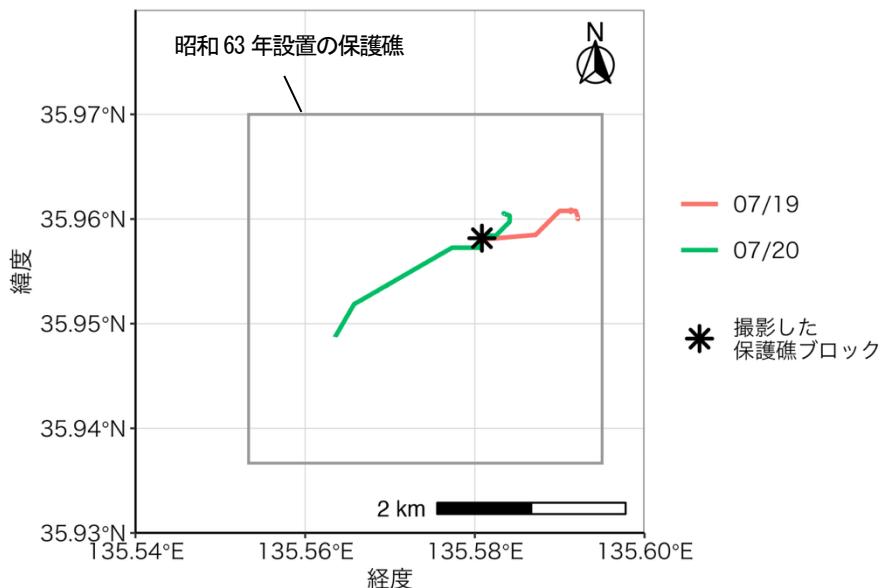


図4 保護礁ブロック調査におけるAUVの航跡

北緯35° 57.49' 東経135° 34.85' 付近で保護礁ブロックが撮影された。撮影した画像を図5に示す。画像からは多少の洗堀は見られるものの、埋没や傾きは確認されなかった。図6に示す別の角度からの画像ではタラバエビ科およびエゾバイ科の生物が保護礁ブロックに聚集している状況が確認された。



図5 AUVで撮影した保護礁ブロックの画像

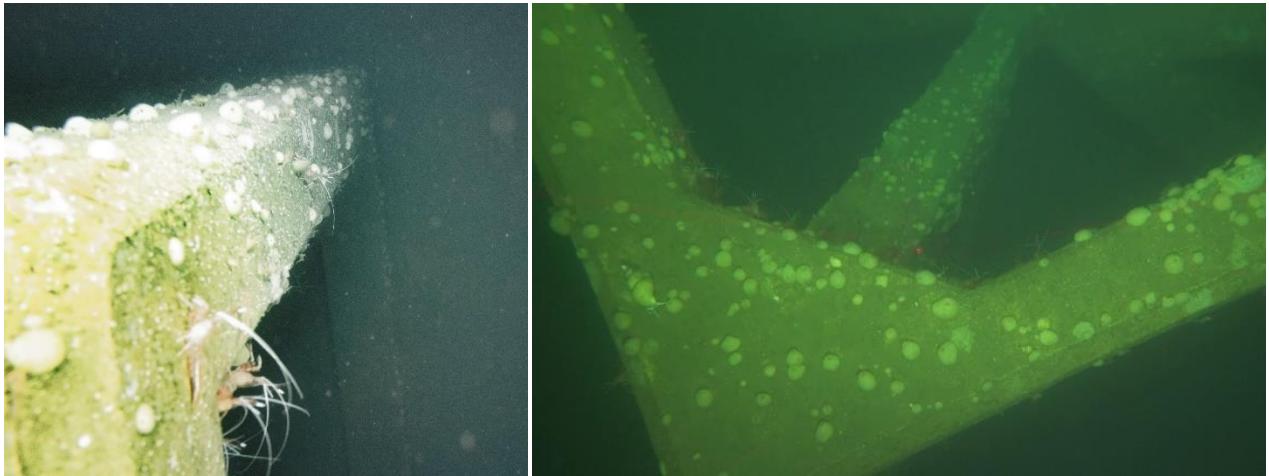


図6 保護礁ブロックに蝦集するタラバエビ科およびエゾバイ科の生物

4 考察

本調査の最も重要な結果は、AUV 調査の 1haあたりの撮影個体数がライントランセクト、グリッドとともにトロール調査の採集個体数よりも高い値を示した点である。これは、両手法の特性の違いを反映している。トロール調査では、採集効率は漁具の形状や曳網速度、海底地形など、多くの要因に影響されるため、得られた採集量から資源量を推定する際には、不確実性が伴うことが指摘されている²⁾。そのため、実際の生息個体数よりも採捕個体数は少なくなる。一方、AUV は海底のズワイガニを直接撮影するため、実際の生息個体数に近い値となったのであろう。さらに今回の調査では、AUV の接近によるズワイガニの逃避行動が確認されなかった。このことからも、AUV は生物に与える影響を最小限に抑えつつ、自然状態での生息数を正確に把握できる手法であると考えられる。

AUV 調査とトロール調査の雌雄別甲幅組成に顕著な差が見られなかった点は興味深い。これは、今回のトロール調査における採集効率が、個体のサイズに依存せず、全体として一定の割合であった可能性を示唆している。これらの結果からトロール調査の採集効率を推定することができ、AUV 調査はトロール調査を補完する有力な調査手法となりえる。

本調査では、AUV 調査における最適な航行方法を検討するため、ライントランセクトとグリッドを比較した。その結果、重複エリアにおける個体数はメスでは両手法で近似した一方、オスでは差が見られた。この差異が生じた要因として、オスとメスの分布様式の違いが考えられる。メスは群れる習性があるため、航行方法が異なっても安定して計数されたのに対し、分散して生息するオスは調査手法の違いが影響した可能性がある。また、重複エリアの面積はライントランセクト法がグリッド法の約 1/6 と狭かった点も考慮が必要であり、今後さらなる検証が必要である。

保護礁ブロック調査では、撮影対象とした保護礁ブロックの埋没や傾きは確認されなかった。一方で、平成 25 年度に昭和 63 年設置の保護礁を対象としたサイドスキャンソナーを用いた調査では、高さが約 1.5 m まで低下し、埋没が示唆される保護礁ブロックの存在が報告されている⁵⁾。本調査ではサイドスキャンソナーによる明瞭な音響反応があった保護礁ブロックを対象としており、調査対象外の保護礁ブロックでは埋没や傾きが生じている可能性は否定できない。

また、撮影された保護礁ブロックにはタラバエビ科およびエゾバイ科の生物が蝦集している様子が視覚的に捉えられた。これは、保護礁ブロックが単なる物理的な障害物としてだけでなく、水産生物の生息場所や隠れ家として機能していることを示唆している。保護礁ブロックがズワイガニだけでなく、その他の生物にも影響を与えている可能性があり、その有効性を裏付ける重要な知見である。

本調査の成果を踏まえた課題として、画像分析と個体計測の効率化および保護礁ブロックの調査範囲の拡大が挙げられる。現状では、撮影された膨大な画像の分析と個体計測に多大な労力を要している。今後は AI による画像認識技術を導入し、ズワイガニの自動検出、雌雄判別、甲幅測定などを自動化することで、より迅速かつ客観

的なデータ処理が可能となるだろう。保護礁ブロックの調査対象は今回1基のみであり、今後の継続的な調査が不可欠である。特に、魚群探知機に反応しにくい埋没した保護礁ブロックの状況や、昭和63年設置の保護礁以外の保護礁ブロックの実態を把握するため、調査範囲を拡大していくことが求められる。

6 参考文献

- 1) 仲野 大地・岩崎 俊祐・梶原 大郁・安田 政一・松宮 由太佳・手賀 太郎・元林 裕仁・前川 龍之介 (2024) : (2) 200 カイリ水域内漁業資源総合調査事業 ア 我が国周辺漁業資源評価等推進委託調査. 福井県水産試験場報告 令和5年度:93-114
- 2) 佐久間 啓・吉川 茜・白川 北斗・内藤 大河・佐藤 信彦・飯田 真也・秋田 鉄也・平尾 章・山本 岳男 (2025) : 令和6(2024)年度ズワイガニ日本海系群A海域の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 78pp
- 3) 前川 龍之介・手賀 太郎・松宮 由太佳・山田 洋雄 (2024) : (7) スマート水産業による「越前がに」に代表される底魚資源維持増大事業 イ 保護礁内におけるズワイガニ資源状況調査. 福井県水産試験場報告 令和5年度:162-164
- 4) 河野 展久・児玉 晃治・手賀 太郎 (2013) : (3) ズワイガニ資源増大対策事業 イ 3D サイドスキャンソナーを用いた漁場形成要因等調査. 福井県水産試験場報告 平成24年度:53-61
- 5) 河野 展久・手賀 太郎・北山 和也 (2014) : (4) ズワイガニ資源増大対策事業 イ 3D サイドスキャンソナーを用いた漁場形成要因等調査. 福井県水産試験場報告 平成25年度:55-60
- 6) 河野 展久・手賀 太郎・北山 和也 (2015) : (4) ズワイガニ資源増大対策事業 イ 3D サイドスキャンソナーを用いた漁場形成要因等調査. 福井県水産試験場報告 平成26年度:56-59
- 7) 松浦 義雄 (1934) : ズワイガニの生態に就いて. 動物学雑誌. 46:411-420