

令和6年度 特筆すべき研究成果

国立研究開発法人 水産研究・教育機構

番号	成果名
重点研究課題 1. 水産業の持続可能な発展のための水産資源に関する研究開発	
1	マサバ太平洋系群の資源評価モデルへの SAM 実装
2	クロマグロのベンチマーク資源評価
3	海況予測システム FRA-ROMS II v2 を用いた過去 30 年長期海洋環境データセットの構築
4	水産業を対象とした気候変動の影響把握と将来予測
重点研究課題 2. 水産業の持続可能な発展のための生産技術に関する研究開発	
5	ウナギ仔魚用核酸添加飼料の開発
6	全面シャワー方式によるハタ類の開鰓促進技術
7	ブリ類ノカルジア症に有効な弱毒生ワクチンの開発
8	マイクロプラスチックのベクター効果の検討
9	安全性を確保した水産物の付加価値向上技術開発
10	クルマエビ養殖シミュレーター
重点研究課題 3. 漁業・養殖業の新たな生産技術定着のための開発調査	
11	電動型自動釣り機の開発・改良及び実証
12	日本海大和堆のドスイカの漁場開発と利用
人材育成業務	
13	プランクトンの生物学・栄養学的研究による海産仔魚用餌料の高度化

マサバ太平洋系群の資源評価へのSAM実装

水産資源研究所 水産資源研究センター 浮魚資源部 浮魚第1グループ

研究の背景・目的

1. マサバ太平洋系群では、令和6年度に新たな管理基準値を提示し、漁獲シナリオを更新する必要があった。
2. 前年度評価まで使用していたVPA（Virtual Population Analysis、コホート解析）では、データを更新するたびに直近数年間の資源量推定値が大きく変化することが課題であった（図1）。
3. 北太平洋漁業委員会（NPFC）において、日本が提案したSAM（State-space Stock Assessment Model、状態空間資源評価モデル）を資源評価モデルとして使用することが2023年に合意された。
4. SAMを本系群に適用し、データの更新に対する親魚量等の推定値の頑健性を評価した。さらに、SAMで推定された個体群動態や資源尾数の不確実性を考慮した将来予測及び管理基準値の計算を行った。

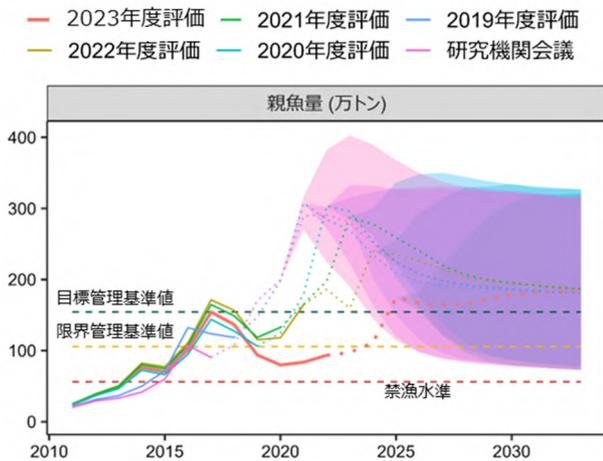


図1. VPAを使用していた2023年度以前の資源評価における親魚量の推定値（実線）と将来予測（点線）。網掛け部分は90%予測区間を表す。各基準値は2023年度評価時点の値。

*凡例中の研究機関会議は、2019年4月に開催されたさば類の管理基準値等に関する研究機関会議を表す。

研究成果

1. VPAでは、2023年のデータを追加すると、親魚量推定値が大幅に下方修正されたのに対し、SAMでは、親魚量推定値の下方修正の程度はかなり小さかった（図2）。結果として、2022年までのデータでは、VPAとSAMの親魚量推定値は大きな違いがあったのに対し、2023年までのデータで推定された親魚量の動向

- は、VPAとSAMで大きな差がなかった。この結果は、SAMの頑健性を示すとともに、資源の急減をSAMの方が早く検知できることを示唆している。
2. VPAとSAMの結果に違いが生じたのは、SAMでは年齢別漁獲尾数の観測誤差や1歳魚以上の資源尾数の過程誤差（自然死亡や移出入によるランダムな変動）を推定し、各指標値に対してバランスよく適合できたためである。VPAでは、2022年までのデータを使用したときには加入量指標値に強く適合していたのに対し、2023年のデータを追加したときには親魚量指標値に適合していた。資源量指標値の間に動向の不整合が認められる本系群では、VPAでは指標値に過度に適合しやすくなり、データの更新に伴って推定値が変化しやすいことが明らかになった。

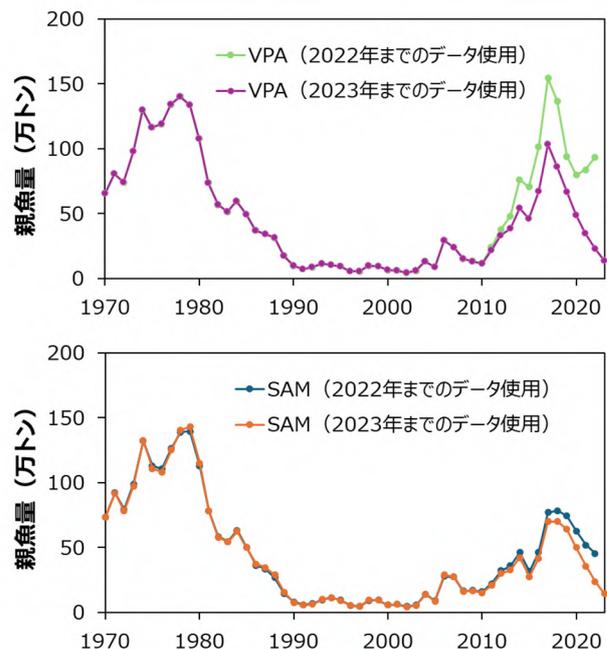


図2. VPA（上）とSAM（下）により推定した年別親魚量の経年変化。図中の昨年と今年はそれぞれ、2022年および2023年までのデータを使用した場合である。

3. こうした傾向が毎年生じるかを調べるため、最新のデータから1年ずつ除いて、回顧的に解析を繰り返すレトロスペクティブ解析を行った。VPAでは、データの追加に対して親魚量推定値が大きく変動し、特に近年はデータが追加されるたびに下方修正されることが分かった（図3左）。一方、SAMではデータを追

加しても変動は小さく、頑健性が高かった(図3右)。

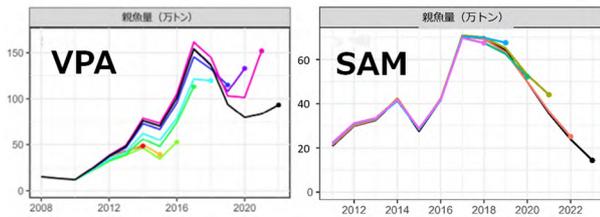


図3. VPA (左) と SAM (右) に関するレトロスペクティブ解析における親魚量推定値。VPA は 2023 年度資源評価、SAM は 2024 年度資源評価の結果による解析結果。

4. VPA による資源評価の結果は毎年大きく変化していたにもかかわらず、将来予測及び管理基準値を計算する際には、資源量推定値の不確実性を考慮していなかった(図1)。一方、SAM では資源量推定値の不確実性を考慮した将来予測が可能となる。そこで、資源尾数等のパラメータの推定誤差からパラメータセットを複数用意して、それぞれに対して将来予測を実施した。その結果、資源量推定値の不確実性を考慮しなかった従来の手法よりも、不確実性を考慮した手法が将来の親魚量の不確実性も大きくなった(図4)。また SAM は、1 歳魚以上における、自然死亡の変動や移出入による各年級の個体数の増減(過程誤差)を推定しており、将来予測においては1 歳魚以上の過程誤差も考慮できた。

資源量推定の不確実性の考慮 — なし - - あり

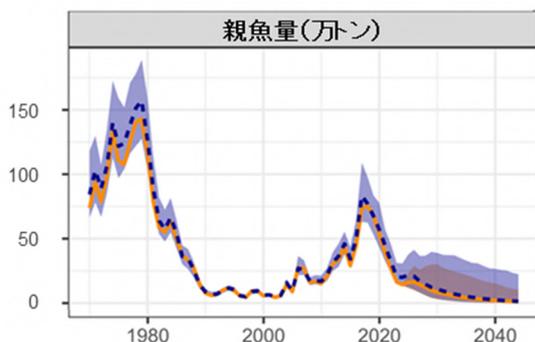


図4. 資源量推定値の不確実性を考慮していない場合とした場合の親魚量の推移の比較。網掛け部分は 90% 予測(信頼) 区間を表す。将来については現状の漁獲圧を続けた場合を示している。

5. VPA に基づくマサバ太平洋系群の資源評価では、データやパラメータ推定、過程誤差についての不確実性を十分に考慮できておらず、その結果、資源評価の頑健性は低く、将来の不確実性やリスクを過小評価していたと考えられる(表1)。一方、SAM に基づく資

源評価では、様々な不確実性を考慮でき、資源評価の頑健性も担保され、将来の不確実性やリスクもより適切な評価が可能になった。資源量指標値の間に不整合が見られる本系群では、VPA による資源量推定は不安定であったが、SAM を使用することにより資源評価の信頼性が向上し、本系群の持続的な利用と管理に貢献することが期待される。

アウトカム

1. NPFC において、日本が SAM による資源評価を主導し、初めてマサバの資源評価を完了した。この資源評価結果に基づく科学勧告を作成・合意し、国際的な資源管理に貢献した。
2. 我が国における重要な浮魚資源であるマサバ太平洋系群について、国際水準の資源評価を実施した。SAM の実装により、年齢別漁獲尾数の観測誤差や過程誤差、推定誤差を考慮でき、信頼性の高い資源評価結果が得られた。この結果に基づく令和7年度以降の管理基準値と漁獲シナリオが採択された。

表1. マサバ太平洋系群の VPA による資源評価と SAM による資源評価のパフォーマンスの比較

	VPAによる資源評価	SAMによる資源評価
年齢別漁獲尾数の観測誤差	なし	あり
加入(0歳魚)の変動	あり	あり
1歳魚以上の過程誤差	なし	あり
将来予測における資源量の推定誤差の考慮	なし	あり
資源評価の頑健性	低い	高い
将来の不確実性・リスク	過小評価傾向	より適切

論文などの公開情報

1. 由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・井須小羊子・古市生・渡部亮介・東口胤成・齋藤類・石川和雄. 2024. 令和6(2024)年度マサバ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2024-SC16-01.
2. Shota Nishijima, Momoko Ichinokawa, Akihiro Manabe, Kazuhiro Oshima, and Joel Rice. 2024. Base case stock assessment for chub mackerel in Northwest Pacific Ocean in 2024. NPFC-2024-TWG CMSA09-WP03 (Rev.1).
3. Technical Working Group on Chub Mackerel Stock Assessment. 2024. Stock assessment report for chub mackerel. NPFC-2024-SC09-WP20 (Rev. 1).

クロマグロのベンチマーク資源評価

水産資源研究所 水産資源研究センター 広域性資源部

研究の背景・目的

1. 北太平洋まぐろ類国際科学委員会 (ISC) でのクロマグロ資源評価は、国際漁業管理機関における本種の保存管理措置の科学的根拠となる重要課題です。
2. 2024年に、ISCは入力データと資源解析モデルの全面的な見直しを含めた資源評価を実施しました。
3. 前回の資源評価では、推定される産卵資源量について、僅かながら過少推定の傾向(データ追加のたびに上方修正)があることと、資源の生産性などの設定の変更への資源解析モデルの柔軟性の向上が課題として挙げられていました。
4. 上記を解決するため、機構職員がISCのメンバーとして、データとモデルの改善を実施しました。

研究成果

1. 個体群動態モデル、観測モデル、入力データのそれぞれにおいて過少推定を導く原因を探索しました。その結果、一部の入力データと、観測モデルのパラメータ推定方法に原因があることが明らかとなり、これを改善することで、データ追加ごとの上方修正を抑えることに成功しました(図1)。

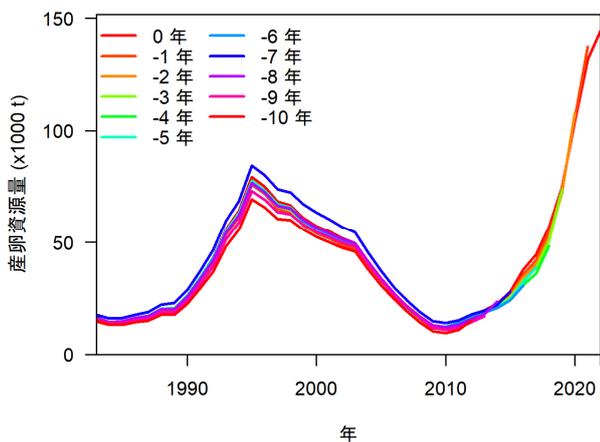


図1. 2024年クロマグロ資源評価における産卵資源量のレトスペクティブ解析。入力データを1年ずつ減じて10年分遡り(-1年~-10年)、全てのデータを使ったモデル(0年)と比較。

2. より信頼の高いデータを重要視するため、資源解析の開始年を、1952年から1983年に短期間化しました。その結果として、複雑であったモデル構造が単純化され、モデルの柔軟性と近年の推定精度を向上

させることに繋がりました。

3. これらの改善によって、モデル内の様々な仮定と入力データの一貫性が高く、矛盾の少ないモデルを構築できました。このモデルは、将来の資源動態を精度良く予測できるため、資源管理のための科学的根拠として適切であると考えられています(図2)。
4. このモデルを用いて、ISCでの2024年資源評価が実施されるとともに、ISCで開発を進めているクロマグロ管理戦略評価(MSE)の基本モデルにも採用されました。

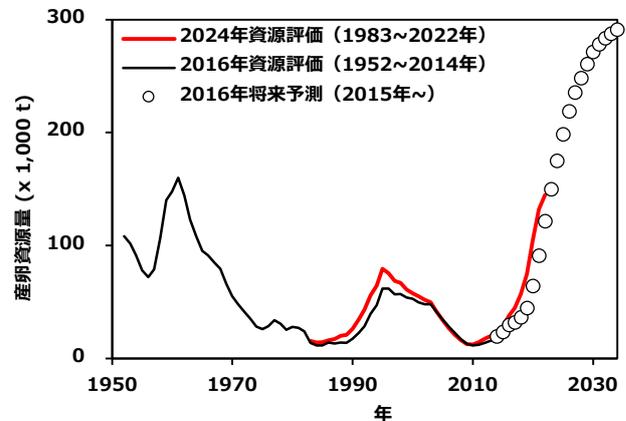


図2. 2024年及び2016年に実施されたクロマグロ資源評価で推定された産卵資源量と、2016年資源評価時に実施された将来予測の比較。

アウトカム

1. ISCにおけるクロマグロ資源評価の精度向上を達成したことで、これまで以上に信頼性の高い科学的助言を提供することが可能になりました。
2. クロマグロの産卵資源量が急激に回復している事実が、国内外の関係者に認識されることで、太平洋のまぐろ類地域漁業管理機関における我が国を含む各国・地域の2025年以降のクロマグロ漁獲量の上限に係る議論に貢献し、その結果として漁獲上限の増枠に繋がりました。

本成果が記された論文等

Fukuda, H. *et al.* (2024). Assumptions and its alternatives for the assessment model in the 2024 Stock Assessment of Pacific Bluefin Tuna. ISC/24/PBFWG-1/08.

URL:https://isc.fra.go.jp/pdf/PBF/ISC24_PBF_1/2024_ISC_PBFWG-1_08.pdf

海況予測システム FRA-ROMSIIv2 を用いた 過去 30 年長期海洋環境データセットの構築

水産資源研究所 水産資源研究センター 海洋環境部 暖流第3グループ

研究の背景・目的

1. 水産研究・教育機構が 2022 年から運用を開始した海況予測システム FRA-ROMSII は、日本周辺海域の過去の再現と予測を行う海洋同化モデルです（同化とは、観測データを海洋モデルへ適切に取り込み、モデル計算を随時修正する手法です）。FRA-ROMSII は、2003 年から現在に至る約 20 年間の長期海洋環境データセット（以下、長期データセット）を構築・公開し、日本周辺海域の海況予測や重要水産資源の資源評価、重要水産資源の変動要因の解明等の水産海洋研究で利用されてきました。
2. 近年、気候変動が拡大・加速していることから、気候変動に対する日本周辺の長期的な海洋環境変化ならびに水産資源の応答を把握することが急務となり、より長期間のデータセットの必要性が高まってきました。また、従来の FRA-ROMSII は、東シナ海と親潮域の海況の再現精度に問題を抱えていました。東シナ海や親潮域の海況予測や、スルメイカやマアジ等の日本周辺海域を広域に回遊する重要水産資源研究への一層の活用のため、より高精度な海況予測システムの構築が求められてきました。
3. 本研究では、FRA-ROMSII の親潮域と黒潮域（特に東シナ海）を新たに改良したバージョン FRA-ROMSIIv2 へ更新し、高精度な長期データセットを構築することとしました。同化で重要な役割を担う衛星海面高度データが 1993 年から利用可能であることから、長期データセットの期間は従来よりも 10 年長い 1993 年から現在に至る約 30 年間としました。

研究成果

1. 従来の FRA-ROMSII が抱えていた大きな問題の一つは、親潮第一分枝が過剰に南下することです（図 1）。この原因として、従来の FRA-ROMSII では同化する親潮域の海洋内部観測データが乏しいこと、そして北太平洋の亜寒帯循環が現実よりも強いことが考えられました。そこで、FRA-ROMSIIv2 では、日本海洋データセンター (JODC) などのデータベースに登録されている未活用のデータを追加することによって、同化する海洋内部観測データを拡充するとともに、

北太平洋の亜寒帯循環を弱めるために、親潮域における衛星海面高度データの同化システムの調節を行いました。その結果、FRA-ROMSIIv2 では親潮第一分枝の南限緯度が観測と同程度となり、変動パターンも観測と良く一致し、親潮第一分枝の過剰な南下傾向を解消することに成功しました（図 1 (b)）。

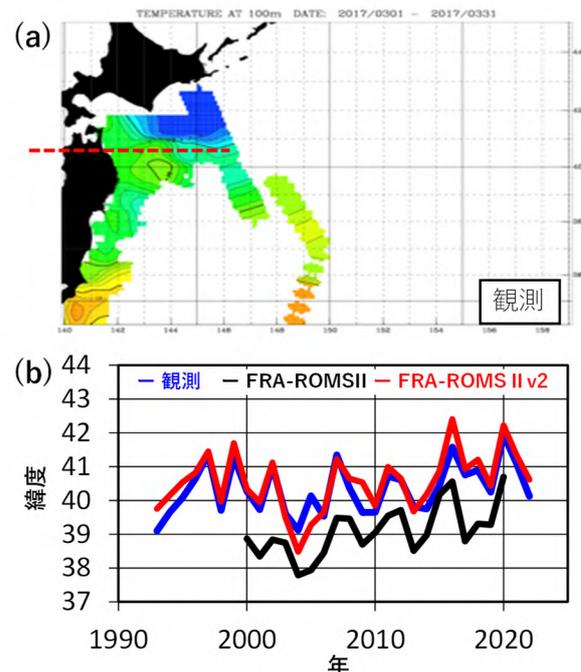


図 1. (a) 2017 年 3 月の 100m 深観測水温分布。赤線は親潮第一分枝の南限位置（100m 深 5°C の等温線の南限位置）を示す。(b) 年平均した親潮第一分枝の南限緯度。

2. 従来の FRA-ROMSII による東シナ海の再現精度では、黒潮に代表される流動の変動が弱いこと、そして水温と塩分の再現性が低いことが問題となっていました。これらの原因として、従来の FRA-ROMSII では、東シナ海の海底地形が強く平滑化されていたこと、海洋モデルの水平境界条件（水温、塩分、流速等）と東シナ海に流出する長江河川水が平年値で与えられていたことが考えられました。そこで、FRA-ROMSIIv2 では、①東シナ海の海底地形を弱く平滑化した地形へ変更、②海洋モデルの水平境界条件を全球同化モデル SODA (Carton and Giese, 2008) の 5 日毎のデータへ変更、そして③長江河川水を JRA55-do (気象庁) の日別データへ変更するとともに、大陸 10 河川と日本の 11 河川（内、東シナ海に流出す

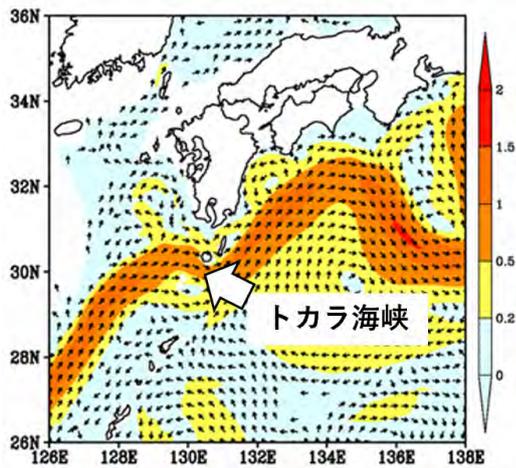


図2. FRA-ROMSIIv2による2025年1月1日の100m深流速ベクトル図。流速の大きさが0.5m/s以上の海域は黒潮の流路と概ね一致する。

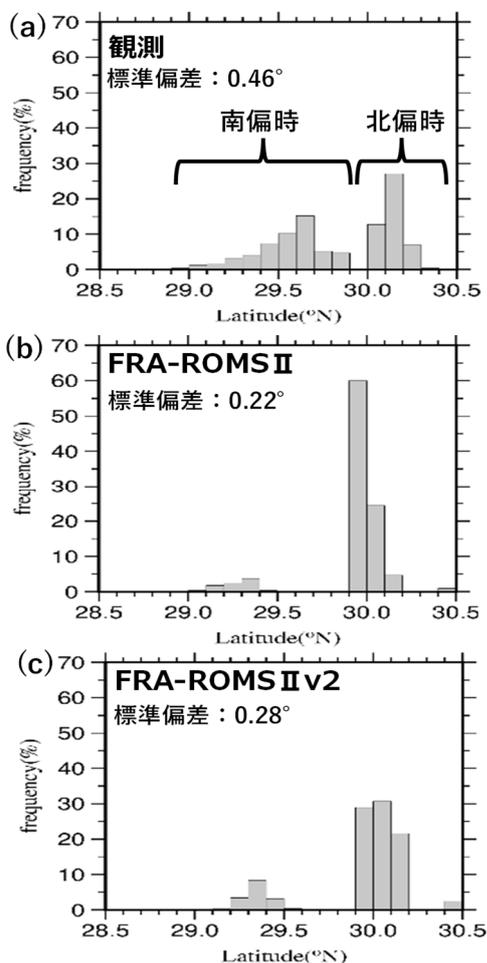


図3. 2001～2021年のトカラ海峡における黒潮流軸位置のヒストグラム。

る河川は大陸7河川と日本の2河川)を新たに追加しました。その結果、FRA-ROMSIIv2では従来と比べて東シナ海の流動変動が活発化し、水温と塩分の再現性も向上しました。例えば、トカラ海峡(図2)における黒潮流軸の位置パターンは南偏時と北偏時に分けることができますが(図3)、南偏時の割合は

海況予測システム	水温	塩分
FRA-ROMSII	2.6	0.17
FRA-ROMSIIv2	2.1	0.15

表1. 2001～2022年の100m深水温/塩分の観測と海況予測システムの二乗平均平方根誤差。

観測では43%であるのに対して、従来のFRA-ROMSIIでは9%しかなく、大きく北偏バイアスを示していました。また、北緯30度付近に位置する頻度が非常に高く、流軸位置の標準偏差も観測よりも小さい(図3(b))、つまり黒潮流軸位置の変動が非常に小さい問題がありました。しかし、FRA-ROMSIIv2では南偏時の割合が16%まで上昇し、北偏バイアスが改善されました。また、従来のFRA-ROMSIIと比べて流軸位置の標準偏差も上昇しており(図3(c))、流軸変動が小さい問題が改善されました。モデルの水温と塩分に関しては、観測からの誤差を見積もると、FRA-ROMSIIv2の方が垂表層における水温と塩分の誤差が小さくなっていました(100m深での比較について表1)。特に、東シナ海の大陸棚南西部や五島列島南西海域などで水温誤差が、沖縄トラフ周辺で塩分誤差が低減しました。このように、FRA-ROMSIIv2への更新により、東シナ海の流動変動や水温・塩分の再現性を向上させることに成功しました。

アウトカム

1. FRA-ROMSIIv2は、2025年1月8日にその運用が開始されました。FRA-ROMSIIv2による親潮域/東シナ海の再現精度が向上した高精度長期データセットはウェブサイト(<https://fra-roms.fra.go.jp/fra-roms/>)にて公開されています。
2. データ期間を大幅に拡張した高精度な長期データセットを構築したことにより、近年の気候変動に伴う海洋環境の変化の把握、水産資源の動向の変化に対応した水産資源管理手法の開発、そして日本周辺海域を広域に回遊する重要水産資源に関する資源変動要因解析の高度化が期待されます。

引用文献

Carton, J. A., & Giese, B. S. (2008). A reanalysis of ocean climate using simple ocean data assimilation (SODA). *Monthly Weather Review*, **136**(8), 2999–3017. <https://doi.org/10.1175/2007MWR1978.1>

水産業を対象とした気候変動の影響把握と将来予測

水産資源研究所 水産資源研究センター 底魚資源部、社会・生態系システム部、海洋環境部
水産技術研究所 環境応用部門 沿岸生態システム部、水産大学校 海洋生産管理学科

研究の背景・目的

1. 気候変動による水産業への影響が各地域で顕在化しています。特に近年の東北地方太平洋側では、水温が著しく上昇すると共に南方系の魚介類の漁獲量が急増している地域があります。その一方で、シロザケ、サンマなどの冷水性魚類の漁獲量の減少や養殖業の地域的な収量低下も生じています。
2. 各地域で顕在化してきた気候変動による水産業への影響が今後、各地域の漁業・養殖業においてどこまで拡大するか、どの程度まで適応可能であるかを把握することが重要となっています。
3. 本課題では、これまでの水産業への気候変動の影響と対応を整理すると共に、今後の気候変動への適応を目指し、主要な水産業における将来予測と想定される適応策の効果を温暖化レベル（産業革命以降の全世界の平均気温の上昇 $^{\circ}\text{C}$ ）別にまとめました。

研究成果

1. 近年、日本各地で漁獲される魚種の組成が大きく変化しています。そこで、このような状況は過去にも経験した変動なのかを探るため、1894年（明治27年）から現在までの魚種別都道府県別漁獲量統計を用い、様々な魚種の漁獲量の重心位置の経時的変化を調べ、その周期性や海洋環境との関係性を明らかにしました^{1), 2)}。ブリの事例では、近年、漁獲量の重心が北東に移動していますが、1920年代や1960年代にも北東に移動した時期があり、生物の分布の変化と共に主産地も変化する状況を把握することができました（図1）。このように近年様々な魚種で北日本での漁獲が増えています。明治・大正時代にも似たような状況があったことから、気候変動への適応策のヒントが過去の漁業活動から得られるかもしれないことを見出しました。
2. 次に将来の影響について紹介します。サンマは資源量の減少によって各国の漁獲量が減少しています。中でも日本では高水温によって日本近海の漁場面積が縮小し、漁獲量の減少率が特に大きくなっています。そこで将来の気候シナリオに基づく

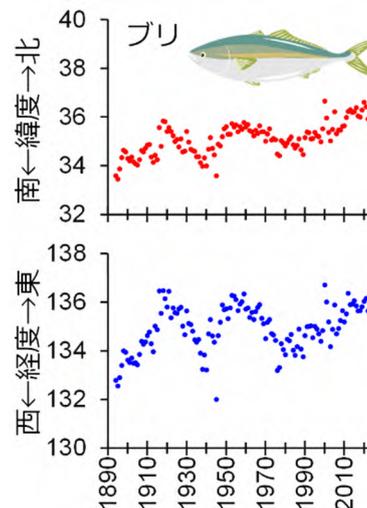


図1. ブリにおける漁獲量の重心の変化
各年の都道府県の漁獲量のバランスから重心となる緯度経度座標1点を求めました。

- 水温データセットを用い、適水温範囲からサンマの漁場面積を予測したところ、温暖化レベルが 2°C 程度では、近年と大きな違いは見られませんが、温暖化レベルが 4°C では初漁期の9月にはほとんど漁場が形成されないと予想されました。漁期後半の11月にはその影響は小さいと予想されており、主漁期が遅くなる傾向が示されました。
3. 近年、東北地方太平洋側では回遊性種に加えて、暖水性の沿岸性種・底魚類も増加しており、今後の変化が注目されます³⁾。そこで、東北地方太平洋側における海流系（黒潮、親潮）の特徴も考慮して底魚類の将来予測を行いました⁴⁾。当海域の気候変動による底魚類の影響特性として、ヒラメ等の浅海域の暖水性種は分布域が北上する傾向が強いのに対し、キチジ等深海性種では水深が深くなる傾向が強いことも示されました。
 4. 養殖業への影響は産地によっても異なります。ワカメは鳴門海域（瀬戸内海）と三陸海域が主産地ですが、気候変動による影響や有効な適応策が産地によって異なることが示されました⁵⁾。鳴門海域（瀬戸内海）では温暖化レベルが 4°C まで進行すると、生長が現在の78%に低下すると予想されました⁶⁾。しかし、高温耐性品種を用いることで、

生長の低下を92%に抑えられることも示されました(図2)。一方、三陸海域では鳴門海域よりも水温が低いため、温暖化レベルが4℃でも生長への影響が小さいことが示されました⁷⁾。ただし、収穫時期が2ヶ月程度早期化するため、収穫スケジュールの変更など、鳴門海域とは異なる適応策が必要であることが示されました。

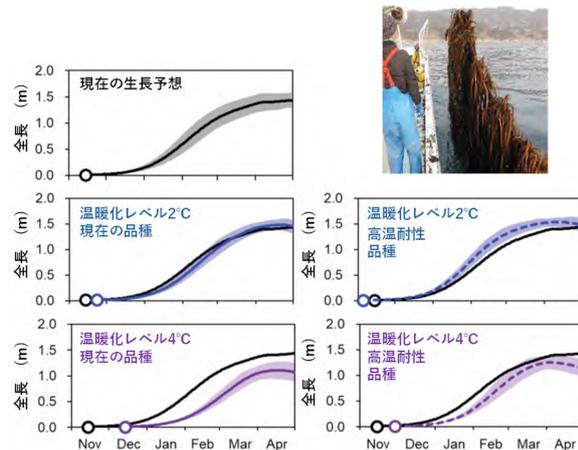


図2. 瀬戸内海における養殖ワカメの生長への温暖化の影響

上段：現在の環境下での生長(黒実線) 予想
中段：温暖化レベル2℃の環境下での生長予想
下段：温暖化レベル4℃の環境下での生長予想

中下段の左図は現行品種(紫実線)、右図は高温耐性品種(紫点線)

*生長は全長(m)で示し、現在の生長(黒線)との比較も合わせて示した

5. 岩礁藻場では高水温に起因する磯焼けが各地で報告され、あわび類等の磯根資源への影響が懸念されています。三陸海域では今後の水温上昇によってコンブ藻場からアラメ藻場に移行し、温暖化レベルが2℃ではエゾアワビの分布密度が半分程度、温暖化レベルが4℃になると10%未満に低下すると予想されました⁴⁾。ただし、アラメ藻場では稚貝放流による増殖効果が高いことから、稚貝放流によって影響を大きく改善(分布密度の減少を約50%に改善)できる可能性も示されました。
6. 以上のように、主要な漁業・養殖業において温暖化レベルが2℃では影響が限定的であるものの、それ以上温暖化が進むと影響が顕著になると予想されました⁴⁾。また、地域によっても影響や適応策が異なり、気候変動に対して脆弱な地域・業種がある一方で、影響に対し頑健な地域・業種がある事も示せました⁸⁾。なお、水産業を取り巻く社会・経済状況が変化していることに加え、温暖化

によって海洋環境の変化も複雑になってきています。そのため、気候変動への水産業の対応はさらに困難になるとの指摘もあります⁹⁾。

用語解説

温暖化レベル：産業革命前と比べた時の全世界の平均気温の上昇幅(℃)です。有効な対策を取らない場合、今世紀末に温暖化レベルが4℃に達するとされています。

アウトカム

1. 本研究の結果は、気候変動適応法に定められている気候変動に関する国の総合的評価(気候変動影響評価報告書)や地方自治体が定める地域気候変動適応計画の基礎データとして活用されます。
2. 本課題で得られた成果の一部は水産白書の特集でも取り上げられ、行政施策に利用されると共に広く国民に還元されています。
3. 気候変動が水産業に及ぼす影響を具体的に示すことで、国民の理解の下に、積極的な緩和策・適応策の推進が図られることが期待されます。
4. 本課題における公開情報は下記の通りです。
 - 1) Watari et al. (2024) <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1265907>
 - 2) 亘 真吾 (2024) アクアネット, 27 (9), 44-49.
 - 3) 笥 茂穂・成松庸二 (2024) 地球環境, 29 (1), 71-82.
 - 4) 令和6年度水産学会春季大会 水産環境保全委員会シンポジウム要旨集(日本水産学会水産環境保全委員会 (2024) Nippon Suisan Gakkaishi, 90 (5), 486-489.として概要報告)
 - 5) Kakehi et al. (2025) https://doi.org/10.1007/978-981-96-2436-2_7
 - 6) Onitsuka et al. (2024) <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03291-1>
 - 7) Kakehi et al. (2024) <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03382-z>
 - 8) S18 最終報告書 (2025) : <https://adaptation-platform.nies.go.jp/external/s-18/ccap-jp/wp-content/uploads/2025/04/799aa767c8a8cde43a7614b7dc0e2a91.pdf>
 - 9) 木所英昭 (2024) 地球環境, 29 (1), 61-69.

ウナギ仔魚用核酸添加飼料の開発

水産技術研究所 養殖部門・シラスウナギ生産部 基盤グループ

研究の背景・目的

1. ウナギの養殖では、毎年、冬季に河口域で採集される稚魚（シラスウナギ）を利用しています。しかし、近年では、シラスウナギの採捕量が大幅に減少し、低水準で推移しているため、天然に依存せず、卵からシラスウナギを人工的に大量かつ安定的に育てるための技術開発が行われています。
2. 卵からシラスウナギを育てる飼料として、先ずアブラツノザメ卵を主体としたスラリー状飼料を開発しました。次に、持続可能性を高めるために、サメ卵に代わる原料を探索し、鶏卵黄粉末、乳蛋白、魚粉等を主原料としたサメ卵代替飼料（FSD）を開発しました。
3. しかし、FSD では、ウナギ仔魚がシラスウナギへ変態する過程で、脊椎に高頻度で形態異常が発生し、このままでは養殖用種苗として利用できず、シラスウナギ量産技術開発の大きな問題となりました（写真1）。
4. そこで、本研究では、脊椎の形態異常を抑制するために、細胞の分化や増殖等の生命活動に重要な栄養素である核酸類に着目し、核酸類そのものや、核酸類を多く含んだ酵母エキスを飼料へ添加し、それらの有効性を飼育試験により検証することを目的としました。



写真1. シラスウナギの正常個体と重篤な脊椎異常の個体

研究成果

1. FSD に、核酸類試薬を4段階の濃度で添加した飼料（FSD+MN）と、核酸類を高濃度で含む酵母エキスを添加した飼料（FSY）をそれぞれ作製しました。
2. ウナギ仔魚は、全飼育期間FSDで育成する対照群と、ふ化から80日齢まではFSDで育成し、81日齢から各試験飼料を与え、シラスウナギまで飼育する実

験群を設けました。

3. その結果、FSD+MNでは、シラスウナギの脊椎の形態異常率は濃度依存的に低下しました。また、FSYにおいても、核酸類の添加濃度が高いFSD+MNの場合と同程度まで、脊椎の形態異常率が低下しました（図1）。なお、核酸類及び酵母エキスを添加した飼料で飼育したウナギ仔魚の生残や成長については、FSDと同等以上であり、負の影響は認められませんでした。
4. 以上から、核酸類あるいは酵母エキスを飼料へ添加することにより、シラスウナギにおける脊椎の形態異常の抑制が可能となることが明らかとなり、サメ卵に全く依存せずにシラスウナギまで健全に育てられる新たなウナギ仔魚用飼料を開発することができました。今後は、FSYをさらに改良し、大量かつ安定的に入手できる持続可能な原料で、成長と生残性を高めたスラリー状飼料の開発を進めます。

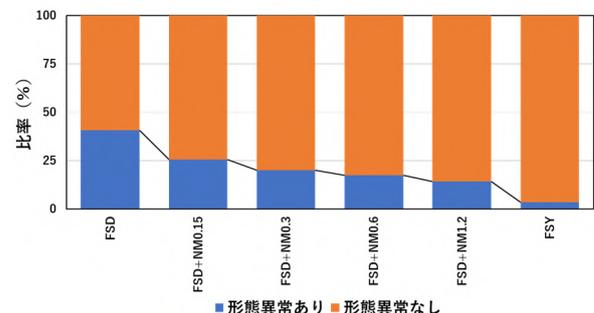


図1. シラスウナギにおける脊椎の形態異常率、FSD：サメ卵代替飼料、NM：核酸類試薬、数値は添加濃度を示す、FSY：酵母エキス添加飼料

アウトカム

1. 本研究で開発したFSYによって、サメ卵に依存しない飼料で健全なシラスウナギを生産できるようになり、ウナギ種苗生産の実用化へ向け大きく前進しました。
2. 本件は、令和7年4月に特許登録され、権利化されました（特許第7671080号）。これにより、ウナギ種苗生産や飼料販売への民間企業の参入を促し、人工種苗によるウナギ養殖業の実現が加速するものと期待されます。

全面シャワー方式によるハタ類の開鰓促進技術

水産技術研究所 養殖部門・生産技術部 技術開発第5グループ

研究の背景・目的

1. ハタ類は上品な身質をもつ高級魚として国内にとどまらず、東南アジアや中華圏を中心に高い人気があります。その経済的価値から農林水産省が令和2年7月に策定した「養殖業成長産業化総合戦略」では、ハタ類が新たな戦略的養殖品目として指定され、生産量の拡大が求められています。
2. しかし、多くのハタ類の養殖では形態異常、特に脊椎骨が前方へ過度に曲がる「前彎症(ぜんわんしょう)」がいまだ問題となっています(図1)。この異常は大きく成長した後に顕在化することが多いため、それまでの飼育コストが無駄になり、養殖経営を圧迫します。さらに早期に見つかっても種苗の安定供給を阻害するため、産業発展のボトルネックにもなっています。



図1. スジアラの稚魚の正常個体(上)と形態異常(前彎症)個体(下)

3. この前彎症は、仔魚期に水面で空気を呑み込めず、鰓(うきぶくろ)に空気が入らないことが原因で発生します(この空気を取り込む現象を「開鰓(かいひょう)」とここでは呼びます)。鰓に空気がないと魚体の比重が高くなり、さらに浮力調節ができなくなります。その結果、沈まないように常に泳ぎ続けなければならないと、脊椎骨に過度な負担がかかって前彎症を引き起こすと考えられています。
4. 開鰓を妨げる主な原因は水面に形成される油膜が空気の取り込みを妨げていることです。従来は、この油

膜を除去するために、水槽の形状に合わせて水流・水量を微調整しながら油膜を除去するなど高度な技術が必要でした。そのため、油膜除去の成否は担当者の技術に大きく左右され、開鰓率が安定しないという課題がありました。そこで、ハタ類の一種で前彎症が大きな問題となっていたスジアラを対象に、簡便で担当者の技術に依存しない開鰓促進技術の開発に取り組みました。

研究成果

1. 既往技術を参考に新たな技術として飼育水面の全体に海水を散布する「全面シャワー方式」による開鰓促進技術を開発しました(図2)。



図2. 園芸用スプリンクラーを水面全面(1平方メートル当たり1個)に設置し海水を散布することでスジアラ仔魚の開鰓を促すことができる。

2. 全面シャワー方式の開鰓促進効果について実験的に検証した結果、7日齢での開鰓率が油膜除去を行わない対照区では0%であるのに対して全面シャワー方式では60%以上となり統計的に本方式の有効性が証明されました。
3. 全面シャワー方式を導入した結果、令和3～5年度に生産した140日齢前後のスジアラ稚魚の形態異常率は大幅に改善しました。従来の油膜除去を行わない方法では3事例平均で40%以上だったのに対し、この新技術では3事例平均で10%以下まで低減することに成功しました(図3)。

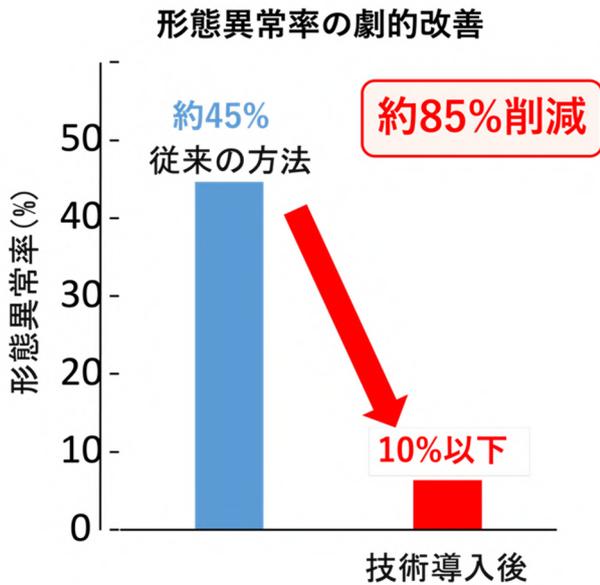


図3. 令和3～5年度スジアラ種苗生産における形態異常率（各3事例平均）

4. 沖縄県で盛んに養殖されているハタ類のヤイトハタに対しても全面シャワー方式が統計的に開鰓促進に効果があることがわかりました。全面シャワー方式では水槽全面に設置したスプリンクラーから自動的に海水を散布し続けることにより開鰓促進効果が得られます。そのため、飼育期間中に油膜を除去する作業がほとんど必要なく、水槽の形状や担当者の技術レベルに関わらず安定して効果が得られる汎用性の高い技術であることが大きな利点です。

アウトカム

1. 本研究成果について水産研究・教育機構主催の暖水性海産魚類分科会（令和6年度）で技術紹介をし、地方公共団体等7機関に情報提供と技術指導を行いました。その結果、3機関が種苗生産に活用し、キジハタとマハタでも開鰓促進効果があることが確認されました。
2. この技術の普及により、これまで大きく成長した後で顕在化し経済的損失を招いていたハタ類の前彎症の発生を抑制でき、養殖経営の安定化が期待できます。また、形態異常ではない健全な種苗の安定供給という養殖業の基盤強化にも貢献し、産業発展のボトルネックを解消する重要技術として位置づけられます。
3. 複数の魚種に適用可能な汎用性の高さが実証されたことで、魚類養殖産業全体の低労力化と生産性向上に寄与する技術として、今後さらなる普及が見込まれます。

ブリ類ノカルジア症に有効な弱毒生ワクチンの開発

水産技術研究所 養殖部門・病理部 免疫グループ

研究の背景・目的

1. ノカルジア症は、ブリ類やシマアジなど国内の主要な海面養殖魚において発生する細菌性感染症であり、1960年代から現在に至るまで、実に50年以上にわたり問題となっています。ノカルジア症を発症した病魚の体表には潰瘍が、臓器には結節が形成され、死に至ります(図1)。特にブリ類養殖においては、ノカルジア症は魚病被害額全体の3割ほどを占め、令和4年には16億円を超える甚大な被害をもたらしています(図2)。

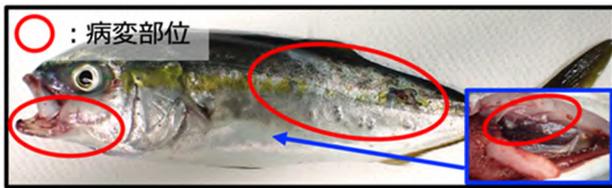


図1. ノカルジア症の症状
体表に潰瘍、腎臓などの臓器には結節が形成される。

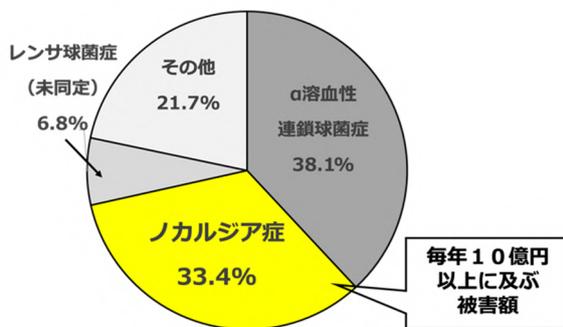


図2. ブリ類養殖において発生した魚病被害の割合
(令和4年 農林水産省ウェブサイトより)

2. ノカルジア症に対する防疫対策として、抗菌薬が承認・市販されていますが、この病気の原因菌は細胞内にも侵入し、抗菌薬は細胞の中まで届きにくいいため、養殖場での治療効果は乏しいのが現状です。また近年問題となっている、抗菌薬が効かなくなる薬剤耐性(AMR)を持つ細菌の出現を防ぐためにも、抗菌薬以外の防疫法の開発が強く求められていました。

3. 抗菌薬以外の防疫対策の1つにワクチンによる予

防があります。この方法であれば、AMRの発生も起こらず、感染症の防疫法として非常に優れています。しかし、効果の高いノカルジア症ワクチンはこれまで開発が困難でした。国内で水産用ワクチンとして認められている不活化ワクチンでは、ノカルジア症の予防効果は低く、全く異なる手法が必要と考えられていました。そこで本研究では、毒性の低い生きた細菌を用いる弱毒生ワクチンに着目し、ブリに対して効果の高いノカルジア症ワクチンの開発を行いました。

研究成果

1. 「弱毒生ワクチンはノカルジア症の感染予防に効果的である」

これまでに収集してきたノカルジア菌株の中からブリに対して毒性の低い細菌株を1株発見しました。そこで、この細菌株を弱毒生ワクチンの候補株として、ワクチン効果を測定する実験を行いました。候補株をブリに接種し、その1ヶ月後に人為的にノカルジア症を感染・発症させる試験(人為感染試験)を行ったところ、86.7%のブリが生存し、ワクチンを投与しない陰性対照及び異なるタイプのワクチン(不活化ワクチン及びDNAワクチン)を接種したブリの結果と比較して顕著に生存率が高いことが判明しました(図3)。つまり、本弱毒生ワクチンはノカルジア症に対して感染予防効果があると言えます。

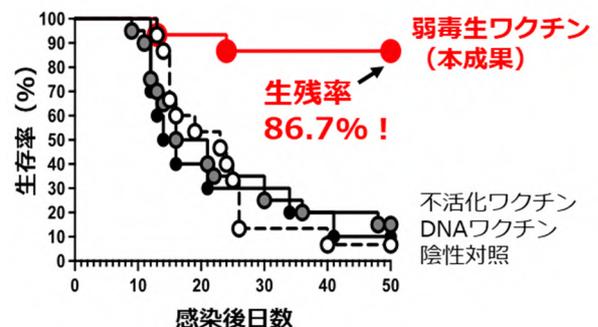


図3. ノカルジア症に対する各種ワクチンの有効性
各種ワクチンを接種したブリを用いて人為感染試験を行い、感染後経時的に生存率を測定した。

2. 「ノカルジア症に対する弱毒生ワクチンの効果は1年以上の長期間持続する」

開発した弱毒生ワクチンの効果について、人為感染試験によりその持続期間を調べました。その結果、感染予防効果は少なくとも1年以上にわたり弱まることなく持続することがわかりました(図4)。よって、本弱毒生ワクチンは、一度の接種で長期にわたる高い予防効果が期待できます。

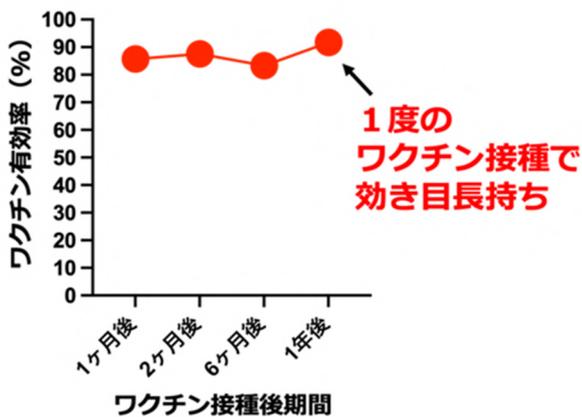


図4. 弱毒生ワクチンの長期間にわたる有効性
弱毒生ワクチン接種の1、2、6ヶ月及び1年後に人為感染試験を実施し、ワクチン有効性を測定した。ワクチン接種群と未接種群の死亡率から有効率を算出した。

3. 「弱毒生ワクチンは養殖ブリに対して安全に使用できる」

弱毒生ワクチンは生きた細菌を用いるワクチンであるため、その接種により魚に悪影響を与える可能性があります。そこで、開発したノカルジア症弱毒生ワクチンを接種したブリを解剖検査し、臓器等に影響がないか調査したところ、これらに異常所見は確認されませんでした。また、弱毒生ワクチン接種に起因する死亡も発生しませんでした。よって、本ワクチンは養殖ブリに対して安全に使用できることが確認されました。

今後は、本ワクチン実用化にむけて、接種した魚への安全性についてより詳細に検証するほか、周辺に生息する野生魚や環境への影響などについても調査を進める必要があります。

アウトカム

1. ブリ類養殖におけるノカルジア症による被害は、多い年で全体の3割以上を占めるため、その対策が急務でした。本研究において開発に成功した弱毒生ワクチンは、ノカルジア症の予防効果が極めて高く、本ワクチンが実用化されれば、養殖場におけるノカルジア症被害の大幅な軽減が期待され、抗菌薬の使用量削減への貢献も可能です。

本成果が記された論文

1. Matsuura *et al.* (2025) *Fish Pathology* 60(1), 1-11
<https://doi.org/10.3147/jsfp.60.1>

特許出願

PCT/JP2024/002908 弱毒性細菌株、弱毒生ワクチン、防除方法、及び生産方法 (出願中)

マイクロプラスチックのベクター効果の検討

水産技術研究所 環境・応用部門 環境保全部 化学物質グループ

研究の背景・目的

- ベクター効果とは、マイクロプラスチック (MP) が有害な化学物質の運び屋 (キャリアー) となる現象のことで、有害化学物質を吸着した MP を取り込んだ魚類の体内にそれらの化学物質が蓄積することが、MP が問題視された当初から懸念されていました。
- これまでも MP のベクター効果に関する報告はありましたが、魚体内から検出例のないサイズ (50 μm 以下) の MP や実環境中濃度に比べてはるかに高い有害化学物質濃度で行われたものであり、ベクター効果が実際の環境で起こりうるのか不明な部分が多く残されていました。
- 本研究では、燃焼や油流出により環境中に広く分布する有害化学物質である多環芳香族炭化水素化合物 (PAHs) をモデル物質として、MP のベクター効果を実海域に近い条件で検証しました。

研究成果

- 物性の異なる 16 種類の PAHs について、実海域において魚体内から検出されたサイズ (250-300 μm) の MP を用い、実環境中濃度レベルの PAHs を MP に吸着させる試験の結果、水に溶けにくい PAHs ほど海水から MP に吸着しやすいことが明らかとなりました。
- 有害化学物質を吸着した MP を取り込んだ魚類の体内にそれらの化学物質が蓄積するためには、まず、消化管内でそれらの化学物質が MP から溶出する必要があります。そこで、上述の PAHs を吸着させた MP について、魚類消化管内容物を用いた溶出試験¹⁾により、MP からの PAHs の溶出を調べたところ、水に溶けにくい PAHs ほど、MP から溶出しにくいことが明らかとなりました (図1)。これらの結果は、実海域で MP に吸着している PAHs は、それらを取り込んだ魚類消化管内で MP から溶出しにくいことを示唆しています。

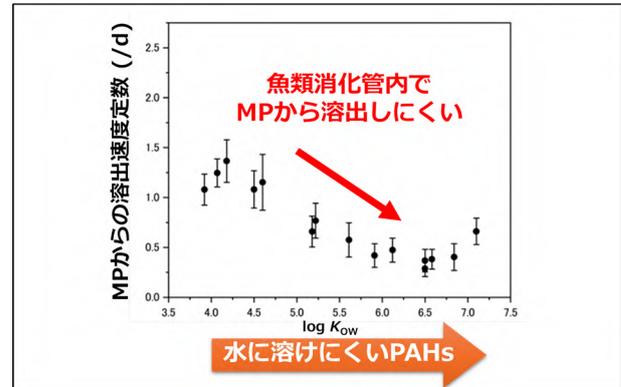


図1. PAHsの水への溶けにくさ ($\log K_{ow}$) と MP からの溶出しやすさ (溶出速度定数) の関係

- これらの結果と、実海域で報告された PAHs の MP への吸着濃度や海産魚類における MP の摂取量及び体内滞留時間^{2,3)}、PAHs の生物濃縮係数等の知見から、海産魚類 (マダイ及びマミチヨグ) による PAHs の蓄積における寄与を調べたところ、実海域において魚体内から検出される主な PAHs は、その 95%以上が海水から鰓を経由して魚体内に蓄積され、PAHs を吸着した MP の取り込みによって由来する PAHs の蓄積の寄与はわずか5%未満であり、海産魚類による PAHs の蓄積において、MP のベクター効果は小さいことが明らかとなりました (図2)。また、PAHs を吸着した MP の取り込みによって由来する魚体中 PAHs 濃度は、アメリカ食品医薬品局の基準値の 100 万分の 1 のレベルでした。

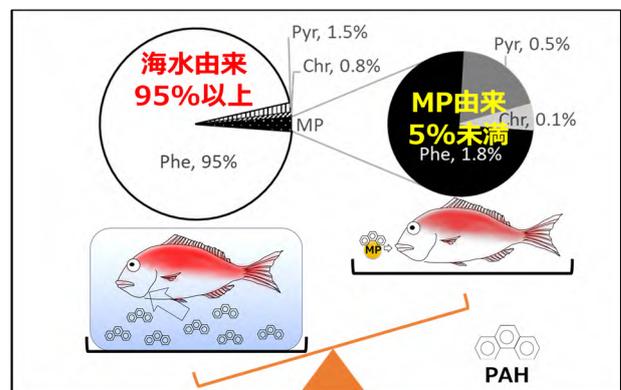


図2. 海産魚類による PAHs の蓄積における寄与 (フェナントレン: Phe, ピレン: Pyr, クリセン: Chr は魚体から検出される主な PAHs)

アウトカム

1. MPによる海洋汚染における懸案事項のひとつであったベクター効果の一端が解明され、行政施策に反映させることが可能になりました。

本成果に関する論文

本研究成果はすでに国際誌で公表され、MPのベクター効果に関する新たな知見としてMP研究に貢献することができました

Kono K, Ito M, Hano T, Ohkubo N. (2024) Estimation of the uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons desorbed from polyethylene microplastics in the digestive tract of the red seabream (*Pagrus major*) and mummichog (*Fundulus heteroclitus*). *Marine Pollution Bulletin*, 209, 117216
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117216>

引用文献

- 1) Ito M, Hano T, Kono K, Ohkubo, N. (2022) Desorption of polycyclic aromatic hydrocarbons from polyethylene microplastics in two morphologically different digestive tracts of marine teleosts: gastric red seabream (*Pagrus major*) and agastric mummichog (*Fundulus heteroclitus*). *Environmental Pollution*, 308, 119589.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119589>.
- 2) Ohkubo N, Ito M, Hano T, Kono K, Mochida K. (2020) Estimation of the uptake and gut retention of microplastics in juvenile marine fish: Mummichogs (*Fundulus heteroclitus*) and red seabreams (*Pagrus major*). *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111630.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111630>.
- 3) Ohkubo N, Yoneda M, Ito M, Hano T, Kono K. (2022) Microplastic uptake and gut retention time in Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) under laboratory conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 176, 113433.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113433>.

安全性を確保した水産物の付加価値向上技術開発

水産技術研究所 環境・応用部門 水産物応用開発部 付加価値向上グループ

研究の背景・目的

1. 血抜き(脱血)は水産養殖製品や天然漁獲物の低温貯蔵中の品質劣化を抑制するために重要である。脱血は死後硬直や肉質軟化を遅らせる働きがある(安藤ら、1999;望月ら、1998)。
2. 脱血は、心臓の血圧を利用して切り口から放血させる方法が一般的であるが、血管に液体を通す「灌流(かんりゅう)」を用いて脱血を行う方法が開発された。従来の放血と比較して、灌流の高い脱血効率が示されている(成澤ら、2023)。しかし、一度に大量の漁獲物が発生する水産業において、従来の灌流技術では作業効率が低いことが問題であり、大量処理を困難にする一因となっていた。
3. 著者らは、簡便・迅速に灌流するために、特殊な形状をした器具(魚類血管内容物置換器具)を開発し、その効果を検証してきた。養殖魚や天然漁獲物では、効率的な脱血によって品質が向上した。
4. アニサキス食中毒防除のためには魚肉を冷凍させ死滅させることが有効であるが、冷解凍による肉質劣化が問題になる。凍結の前に灌流することで肉質改善の効果も期待される。

研究成果

1. 図1は開発した血管内容物置換器具(特許第7288723号)である。上が小型魚用(脱血対象魚体重1~3kg程度)、下が大型魚用(同3~10kg程度)である。図2の様に先端の5本の針部をエラ膜に挿入し、ホースを介して水道水や滅菌希釈海水を魚体に注水することで、尾部の静脈切断部から残存血液が排出される。



図1. 魚類の脱血を行う血管内容物置換器具

2. 本脱血器具を使用するメリットは、①放血と比較して高い効率で魚体の残存血液を除去できること、②

器具をエラ部に挿入するだけなので従来の灌流技術より簡便であること、③器具は図2のようにエラ部に固定されるため、作業員1名で多数の魚を同時処理できることである。



図2. 定置網で漁獲されたシイラ(約10kg)に実施した例

3. 漁獲後の貯蔵中にシイラ肉で発生する白色化や肉質軟化が抑制された(この様な効果は魚種によって異なるため、それぞれ検証が必要である)。
4. 通常の放血と比較して本器具を用いて脱血した魚肉では、貯蔵中のpHが高く維持された。この理由を調べるために、排出された希釈血液(排出液:血液と灌流による注水が混ざった液)を採取し、乳酸量を測定した。1個体から得られた排出液を100mlずつ5つに分け測定したデータを掲載する。図3に示す通り、サンプリング番号1には、排出液100ml中に約30mgの乳酸が含まれ、番号2の100ml中には約40mg、5回の合計では約120mgの乳酸が含まれていた。測定したすべての個体で同様の効果が確認された。このように魚肉のpHを低下させる乳酸を排出することで魚肉のpHを高める効果があることを見出した。

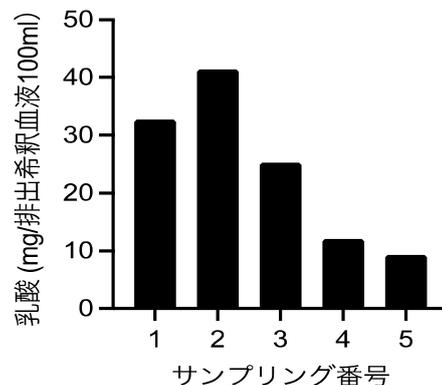


図3. シイラから排出された希釈血液(排出液)に含まれる乳酸量

5. 本器具による脱血は鮮魚の品質保持のみならず、冷解凍後の魚肉の色調劣化や肉質軟化を抑制する効果があることを見出した。

アウトカム

1. 【発明の名称】 魚類血管内容物置換器具、および血管内容物置換魚類の製造方法。特許第 7288723 号 特許査定。製造委託先（株式会社玉川パイプ 〒144-0045 東京都大田区南六郷 2-21-11 TEL：03-3738-3538 <https://tamagawa-pipe.com>）から販売中。
2. 脱血作業の効率化により、水産業の経営改善に貢献。
3. 冷凍は魚肉中でアニサキスを死滅させるため、国内外でアニサキス症を防止する有効な対策として位置付けられているが、冷解凍後の肉質劣化が問題になっている。本技術の使用によって安全性が担保された高品質な生食用冷凍水産物の開発が可能になる。
4. 解凍後の肉質劣化が少ない高品質生食用冷凍水産物の製造技術開発は、水産業の振興など、業界の活性化・基盤強化に貢献。

引用文献

- 1) Ando M, Nishiyabu A, Tsukamasa Y, Makinodan Y (1999)
Post-mortem softening of fish muscle during chilled storage as affected by bleeding. J Food Sci 64(3): 423-428
- 2) 望月 聡、乗田 嘉子、前野 久美子 (1998) マアジ筋肉の死後変化に及ぼす脱血の影響, 日本水産学会誌 64(2): 276-279
- 3) Narisawa Y, Tsutsumi Y, Nakamura Y, Takahashi K (2023)
Blood removal and water behavior in horse mackerel *Trachurus japonicus* muscle using water perfusion. Aquaculture 565: 739098

クルマエビ養殖シミュレーター

水産技術研究所 環境・応用部門 水産工学部 漁業生産工学グループ

研究の背景・目的

1. クルマエビ (*Penaeus japonicus*) は、その大きさや色彩、風味の良さから高く評価されており、九州や沖縄において広く養殖が行われています。クルマエビ養殖では、陸上に設けた池 (図1) に稚エビを投入し、給餌により生育し、成長したエビを出荷します。水温と池内に占めるエビの密度はクルマエビの成長に強く影響するほか、生残率にも関係する重要な要素です。しかし、クルマエビは夜行性で日中は砂に潜る性質を持つため、養殖池内の尾数を正確に計測することは技術的に困難であり、養殖経営の安定にとって大きな課題となっています。
2. 養殖において、出荷の量とタイミングが養殖経営を安定させるための重要な要素です。しかし、クルマエビの需要や価格は1年の間に大きく変動します。また、夏期は気温の上昇でクルマエビが弱りやすく出荷しにくいなどの問題もあります。様々な条件を勘案した上で、稚エビをどの時期にどれだけ投入し、飼育期間をどれくらいにするかといった戦略は、養殖業者にとって重要な意思決定事項です。
3. そこで本研究では、クルマエビ養殖業者の経営安定や新規参入促進のため、数値シミュレーション技法の一つであるシステムダイナミクス手法を用いて、クルマエビの養殖池内における成長や尾数を仮想的に把握するモデルを作成しました。さらに、最適な稚エビ投入量、投入時期、及び出荷戦略といった意思決定を支援するため、養殖業者が自ら操作可能なシミュレーターの開発を行いました。



図1. 養殖池の様子

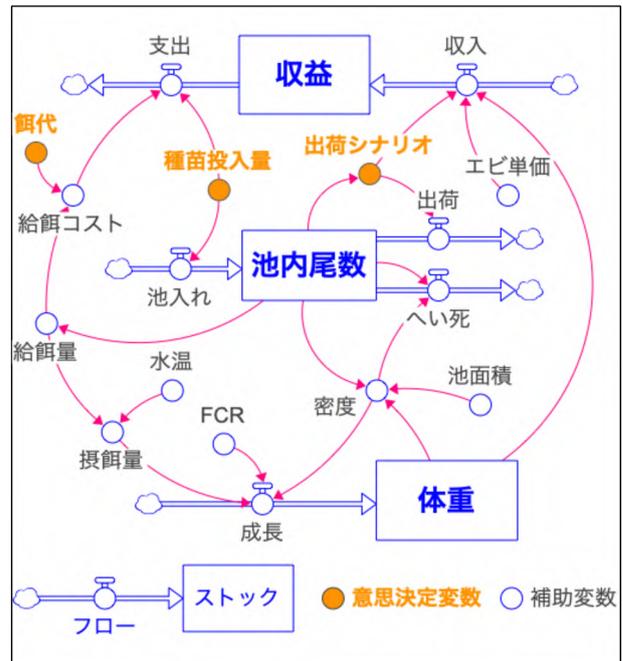


図2. シミュレーションモデル概略図

研究成果

1. 本研究で開発したシミュレーションモデルは、「池内尾数」「体重」「収益」の3つの主要なストック (注目する量) を中心に構築されています (図2)。このモデルでは、四角で囲まれた要素がストックを表し、フロー (白抜き矢印) によって増減します。フローの雲記号はモデルの境界を示しており、システムの外側の供給源または吸収先を表しています。フローの制限は、フローに矢印でつながっている要素 (補助変数や意思決定変数) を用いて計算します。矢印は、それぞれの要素の間の因果関係を表しています。複数の矢印が収束する要素については、矢印の元の要素を用いて定式化しています。

池内尾数は、ある時に生残しているエビの数であり、稚エビを投入 (池入れ) したら増え、出荷とへい死によって減っていくストックです。体重は、ある時の平均重量であり、摂餌量、飼料効率 (FCR: Feed Conversion Ratio) 及び密度によって日々の成長量が変わります。摂餌量は水温が 25°C 以上で最大となり、15°C で半減、10°C で摂餌をしなくなるように設定しました。また、密度効果は、ある時のエビの平均体重と池内尾数によって計算され、ある一定の値を超えた

ら成長が抑制されるように設定しています。収益は、稚エビのコスト（購入価格）を初期値として、収入は出荷量と出荷した月の平均価格（豊洲市場の5年間の

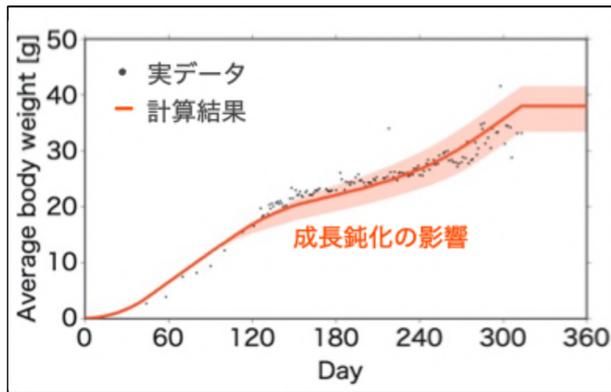


図3. クルマエビ平均体重：モデルによる計算結果と実データの比較

月別平均) から算出し、支出は飼料コスト（餌代）のみ設定しています。

- シミュレーションモデルの検証のために、養殖場で観測されたクルマエビの体重データとシミュレーション結果の比較を行いました（図3）。その結果、養殖開始後120日目から240日目にかけて成長の鈍化が確認されました。この主な要因は、冬季の水温低下と出荷前における過密状態の飼育による影響であり、出荷による密度低下とともに成長が回復します。観測値とシミュレーション結果の間には、養殖期間全体を通じて顕著な差異は見られず、平均値を用いた決定係数は0.9と算出され、本研究で構築したモデルの妥当性が示されました（決定係数は0~1の間の数字で表され、1に近いほどモデルの妥当性が高くなります）。
- 構築したモデルを基に、養殖シミュレーターを開発しました（図4）。シミュレーターでは、左側のUSER CONTROLSにおいてモデルの意思決定変数（稚エビ投入量、餌代）を自由に調整でき、右側のMODEL OUTPUTSにおいて、収益や平均体重、池内

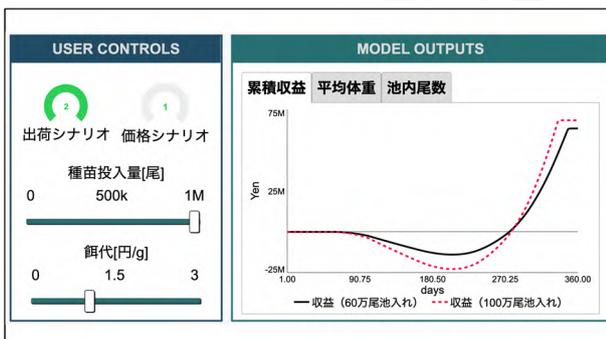


図4. クルマエビ養殖シミュレーター

尾数を確認できるようにしました。出荷については、需要のピークである年末年始に大量出荷することを想定して8月に稚エビを投入するシナリオと、価格のピークである翌年6月に大量出荷することを想定して10月に稚エビを投入するシナリオの2つを設定しました。

アウトカム

- 稚エビ投入量や餌に掛けるコストを、従来は養殖業者の経験や勘に頼って判断していましたが、本シミュレーターを活用することでよりの確な判断が可能となります。このことは新規参入の支援や養殖経営の安定化に役立つものと期待されます。
- 今後は、地球温暖化による水温上昇などの変数を増やすことで、それらも考慮した意思決定が可能となります。

本成果に関する論文

本研究の成果は下記の論文で報告しています。

Yasuda K, Fuseya R, Yamamoto S, Miyoshi J, Takahashi R, Takahashi Y (2024) Simulation for Decision Support of Shipment Strategy in Prawn Aquaculture Using System Dynamics. *ACMSA 2023 Final Proc.*1:235–251.

電動型自動釣り機の開発・改良及び実証

開発調査センター 漁業第二グループ

研究の背景・目的

1. 遠洋かつお一本釣り漁業は、主にさしみやタタキの原料となる凍結カツオ（図1）や凍結ビンナガを年間4万トン前後水揚げする、わが国の主要な漁業の一つです。
2. この漁業は、乗組員が竿で一本ずつ魚を釣り上げる伝統的な漁法で、乗組員総出の30人近い大人数で操業が行われています。
3. 近年は、労働力不足により、乗組員の確保、省人・省力化が大きな課題となっています。しかし、本漁業は、その中核となる一本釣り作業をはじめ、多くの作業をマンパワーに依存しているため、新たな技術の導入による省人・省力化の余地が多く残されています。
4. このような背景のもと、一本釣り作業の省人・省力化をめざし、電動型自動釣り機（以下、釣り機）を開発し、その改良と実証を行いました。



図1. カツオ (*Katsuwonus pelamis*)

研究成果

1. 令和4年度までに、乗組員が魚を釣り上げる動作に近い制御プログラムや張力計で針掛かりを検知するシステムを組み込み、釣獲性能を向上させました。また、釣り機の機械的な部分の仕様を確定しました。
2. 令和5年度より、より多くのカツオを釣り上げられるよう3台の釣り機を同時に運用する試験を行いました（図2）。
3. 試験開始当初は釣り機同士の釣り糸が絡むなどのトラブルが起きましたが、釣り機の間隔や針掛かりした魚の移動範囲を考慮して竿と糸の長さを調整することで、安全で効率的な釣り上げを可能にしました。
4. この方法により、令和6年の第1次航海では、水揚げ数量280トンのうち、釣り機3台で約10トンとい

う過去最高の漁獲結果を達成しました。この結果は、乗組員1人当たりの平均漁獲量約9トンを上回っており、3台の導入で乗組員1人分の仕事がこなせることを意味しています。

5. 現行の製品機3台を導入した令和5年度からの支出と釣り機による漁獲実績をもとに費用対効果を試算しました。その結果、3台運用での収支は、1年目が約-556万円、2年目が約546万円、2年合計で約-10万円でした。このように、約2年で利益が出る費用対効果（初期費用回収）を実証しました。将来的に省人化につながれば、人件費削減効果が加わり、費用対効果はより高まると考えられます。

表1. 釣り機3台同時運用における費用対効果

	収入 ^{*1}	支出	収支
1年目	7,926	13,491 ^{*2}	-5,565
2年目	8,715	3,252 ^{*3}	5,463
合計	16,641	16,743	-102

*1 釣り機3台での漁獲重量×単価（単位：千円）

*2 釣り機3台の購入費、設置費、保守費、竿等消耗品費

*3 釣り機3台の保守費、竿等消耗品費

アウトカム

1. この事業成果を踏まえて、水産庁事業を利用して新規に建造された遠洋かつお一本釣り漁船1隻に3台の釣り機が導入されました。

発表論文等の公開情報

1. 令和5年度海洋水産資源開発事業報告（速報） 遠洋かつお釣：太平洋中・西部海域（令和6年6月）
2. 令和5年度海洋水産資源開発事業報告書 遠洋かつお釣：太平洋中・西部海域（印刷中）
3. FRANEWSNo.81 遠洋かつお一本釣り漁業のスマート化（令和7年1月）

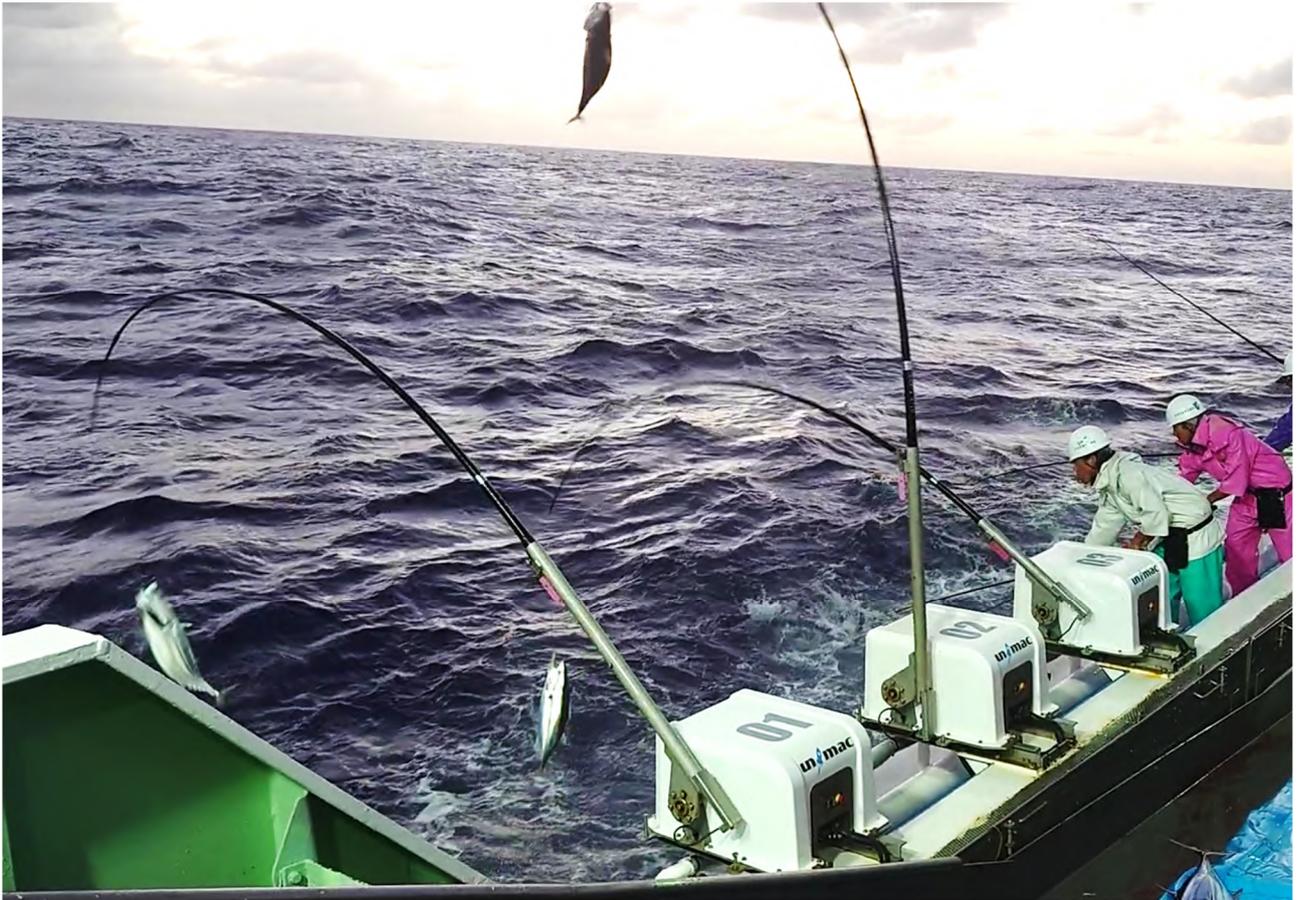


図2. 3台同時運用中の釣り機

日本海大和堆のドスイカの漁場開発と利用

開発調査センター 漁業第三グループ

研究の背景・目的

1. 日本海大和堆で操業する底びき網漁業は、漁獲収入の約90%をホッコクアカエビ1種に依存しており、漁獲対象種の拡大による安定的な漁業経営を目指す必要性が指摘されていました。
2. そこで、本海域ではほとんど利用されていなかったドスイカ(図1)の資源に着目し、過去の本海域におけるドスイカ調査¹⁾の結果等を踏まえ、商業利用の可能性を確認するための操業試験と漁獲物の販売試験に取り組みました。
3. ドスイカは、日本海、太平洋東北沖、北海道〜カリフォルニア沖の水深300m帯に生息する冷水性のテカギイカ科ドスイカ属のイカです。身が柔らかくて鮮度落ちが早いので、現状では市場価値が低く、その流通消費は地元に限定されることがほとんどです。日本周辺ではドスイカ属は3種が報告されていますが²⁾、これらは外見では識別できないので、本調査ではまとめて“ドスイカ”と称します。
4. 現在、スルメイカの不漁によって国内のいか類加工原料の不足が深刻化しています。ドスイカの供給は、いか類原料不足の改善にも役立つと期待されます。

研究成果

1. 兵庫県浜坂漁業協同組合所属の沖合底びき網漁船2隻をチャーターし、令和6年6月6日〜7月12日の37日間に操業試験と販売試験を実施しました。
2. 操業試験は大和堆全域で実施しましたが、漁獲量がまとまったのは大和堆の西部海域でした(図2)。操業水深は284〜500mでした。総漁入網量は74トンであり、操業日数37日で除すとドスイカの1日1隻あたり平均漁獲量はおよそ2トンと見積もられました。
3. ドスイカに適した漁具の改造も視野に従来漁具を用いて操業試験を開始しましたが、ドスイカは問題なく漁獲でき、漁具の改造は必要ないと考えられました。また、ドスイカは昼間に漁獲がまとまるため、主に夜間に操業するホッコクアカエビ漁との両立も可能であることが確認できました。
4. 販売試験では、船内で凍結したブロック凍結製品は300〜400円/kg、一本凍結製品(IQF)は600円/kgを

超える価格で販売できました(図3)。凍結時に手間がかかりますが、収益向上のためにはIQF製品を増やす努力も有効と考えられました。混獲物としては価値が低いドスイカですが、漁獲がまとまり、鮮度よく凍結することで市場価値が向上しました。

5. 期待される漁獲量と販売価格、ホッコクアカエビ漁との兼業の容易さ等から、地元漁協はドスイカ漁の兼業による収益が見込めると判断しました。

なお、本種の持続的な利用に資するため、開発調査センターでは引き続き本種の利用実態に関するモニタリング及びその生態研究を継続します。

アウトカム

1. 操業試験と販売試験の結果を受けて、試験終了直後から兵庫県、石川県の沖合底びき網漁船が大和堆におけるドスイカの商用操業を開始しました。
2. 浜坂漁協はドスイカを「大和イカ」ブランド化して販売促進に成功したほか、原料購入業者が加工品の製造販売に繋げ、株式会社フーディソンは関東圏で、株式会社万代は関西圏で販売を行っています(図4)。
3. 第22回シーフードショー大阪(令和7年2月19〜20日)に出展し、実際の操業にあたった漁業者とともに本成果を発表するとともに試食(煮物と炙り)の提供を行い、来場者から好評を博しました。

参考文献

- 1) 服部守男・浅中正祿・安達二郎・北沢博夫・村山達朗(1984)沖合漁場開発調査(ドスイカ資源調査). 島根県水産試験場昭和59年度事業報告, 26-29.
- 2) 尾形哲男・沖山宗男・谷野保夫(1973)トロール漁獲物からみた日本海における深海生物資源の性状. 日水研報告, 24, 21-51.
- 3) 奥谷喬司(2015)新編世界イカ類図鑑. 全国いか加工業協同組合, 東京, 153pp.

図1 漁獲直後のドスイカ
(外套長 約25cm)

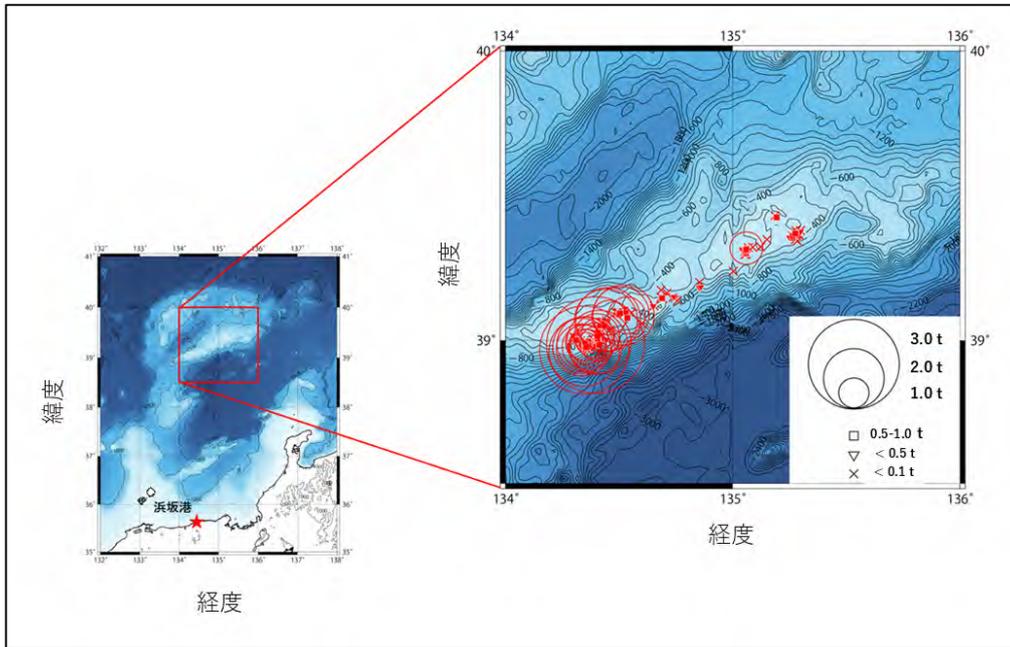


図2 調査海域 (大和堆) と漁獲量



図3 ブロック凍結製品(上)と
一本凍結製品(下)



図4 ドスイカ製品
株式会社 フーディソン (左) と
株式会社 万代 (右)

プランクトンの生物学・栄養学的研究による海産仔魚用餌料の高度化

水産大学校 生物生産学科

研究の背景・目的

1. 海産魚類の種苗生産では、ふ化してまもない仔魚への初期餌料として多くの場合海産ツボワムシ類(ワムシ)とアルテミアの2種の動物プランクトンが使われています。これら餌料には海産魚に必須の栄養素である脂肪酸種(EPA・DHAなど)が不足しているため補う(栄養強化)が必要です。その際、油原料としてイワシ類などの天然資源が消費されています。現法の種苗生産では、天然の魚から魚をつくる矛盾から脱することができていません。
2. 一部の海産微細藻類は、魚油成分のEPA・DHAを生合成できます。微細藻類のEPA・DHAをワムシに取り込ませる効率を高めることができれば、魚油を消費しない持続的な種苗生産の実現に近づくことができます。
3. カイアシ類(動物プランクトン的一种)は、その高いEPA・DHA含量、仔魚への嗜好性(海産魚の多くは仔魚期にカイアシ類を好んで食べる)、および仔魚成長促進効果などから、ワムシやアルテミアに代わる新たな餌料候補として期待されています。ところが、カイアシ類は既存餌料よりも増えにくいことが経験的に知られており、培養工程が煩雑で実用レベルでの大量培養技術が確立されていません。
4. ワムシに餌料として微細藻類を与えEPA・DHAの取り込み量を高める研究に取り組み、ワムシを主餌料とする種苗生産方法に適合した餌料開発を行いました。そのほか、カイアシ類の餌料としての実用化を目指して、カイアシ類の培養系を確立したのちに、その個体群動態について調べました。これらの研究に資することで、次代の養殖業に向けた海産仔魚用餌料の開発(高度化)を目指しました。

研究成果

1. 微細藻類種のうち、DHA含有藻の*Tisochrysis*(イソクリシス・タヒチ株)を対象に、培地中の栄養塩欠乏に伴う脂肪酸の時間変化を調査しました。その結果、極性脂質型DHA(非極性脂質型DHAよりも海産仔魚にとって高い栄養効果を示す)において、リンと窒素が存在するときよりもリンのみ欠乏する時期のほうが多く蓄積されていることを発見しました(図1:

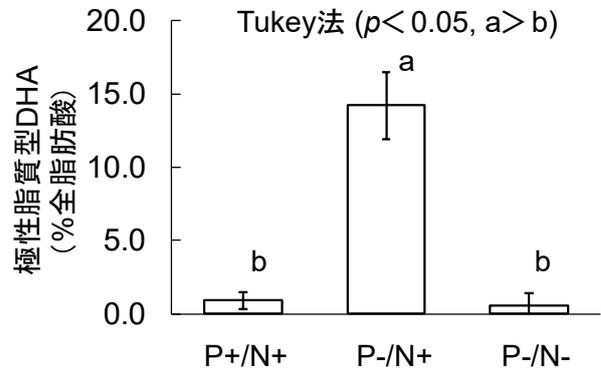


図1. 培地中のリン(P)と窒素(N)の欠乏状況に応じたイソクリシスの極性脂質型DHAの挙動(+・-は栄養塩の存在下または欠乏下を示す)

Tukey法による多重比較検定)。このDHA量はリン・窒素の同時欠乏時期には減少していたため、リンの単独欠乏時期のうちにイソクリシス・タヒチ株をワムシの餌として収穫する必要があると判明しました。実際に、リン欠乏時期のイソクリシス・タヒチ株をワムシに与えると、欠乏前の細胞群よりも高いワムシ栄養強化効率を示しました(図2: Tukey法による多重比較検定)。イソクリシス・タヒチ株リン欠乏細胞群は海産魚(ヒラメ)の仔魚飼育時のワムシ栄養強化剤として使用する段階まで研究が進展し、その魚油代替源としての有意性を実証できました。

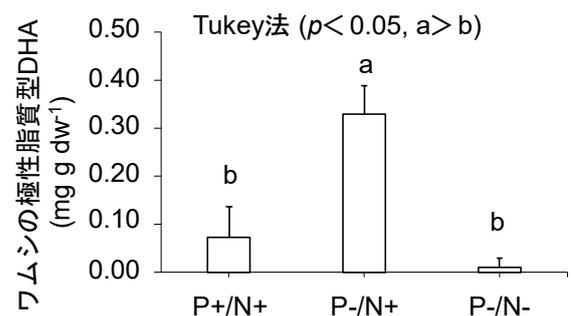


図2. 各種栄養塩状態のイソクリシス・タヒチ株を摂餌したワムシにおける極性脂質型DHAの比較(+・-は藻類培養時の栄養塩の存在下または欠乏下を示す)

また、EPA含有藻の*Nannochloropsis*(ナンノクロロプシス)について、厚い細胞壁による細胞の消化吸収性の低さを改善するため、委託元の民間企業で開発中の遺伝子改変株のもつ水産餌料としての価値を実験室

内で評価しました。遺伝子改変株は野生株よりも有意に薄い細胞壁を有していました。野生株を24時間継続的に給餌することで達成できるワムシのEPA量に対して、遺伝子改変株ではその半分の給餌時間のみで統計的に同程度のEPA量を強化できました(図3)。一方、改変株の給餌時間を24時間まで長くしてもワムシのEPA量はそれ以上高くなりませんでした。つまり、遺伝子改変株はワムシのEPA最大量を高めるのではなく、その強化速度を高める役割があると判明しました。微細藻類の生産方法の工夫によってワムシの栄養強化を効率化させるこれらの技術開発は、将来的には魚油原料を介さない持続的な種苗生産技術の構築に貢献するものとなります。

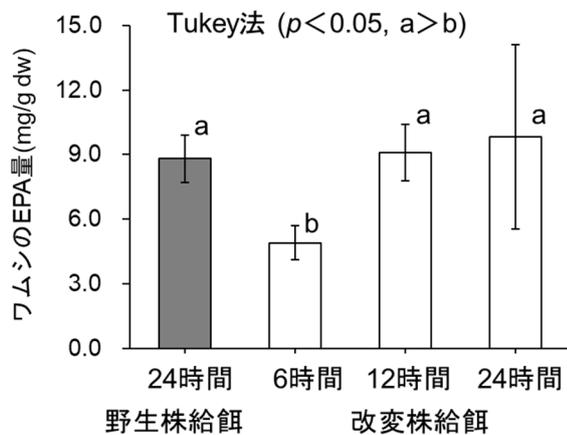


図3. ナノクロロプシスの遺伝子改変株を摂餌したワムシにおけるEPA強化効率の向上

- 日本の沿岸全域に生息するカイアシ類 *Paracalanus orientalis* (パラカラス、図4) について、1年以上の長期間にわたり室内で継代できる培養系を確立しました。この培養系では、個体群内で優占する発達段階が時間経過に伴いノープリウス幼生、コペポダイト幼生、成体の順に変化し、その後の成体期の終

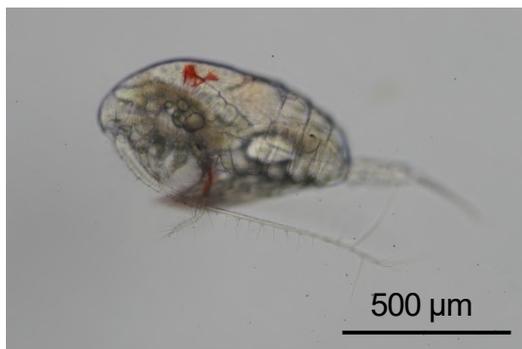


図4. 培養系で得られたパラカラスの成体メス

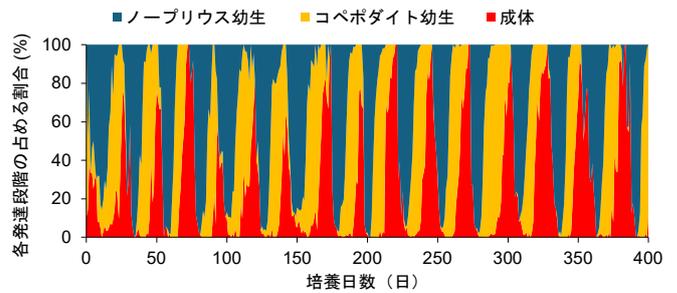


図5. パラカラスの培養個体群における発達段階の推移

息とともに次世代のノープリウス幼生期が出現していました(図5)。この周期的なパターンは十数世代にわたって継続的に観測されており、パラカラスが長期的に継代できることを実証しました。残念なことに、本培養系では、ワムシなどでみられる世代重複型の効率的な個体群増殖を示さず、低い密度域で増減を繰り返すのにとどまっていた。その状況証拠として、成体メスが培養個体群内に出現してからしばらくの間、次世代の幼生がまったく検出されないことを発見しました。今後はパラカラスの大量培養技術の確立に向けて、次世代幼生の出現しにくい原因について調査を継続します。

アウトカム

- 本校の令和6年度公開講座において、持続可能な水産業を目指した次代の餌料開発に関する課題について発信し、その内容がみなと新聞(水産業に関する日刊専門誌、令和6年10月17日付け)に取り上げられました。
- 本研究成果の一部を本校の講義(水族栄養学など)へ反映させており、受講者から高い評価を受けました(学生授業評価4.52点/5点満点)。

本成果に関する論文

イソクリシスのリン欠乏細胞群の生産方法、及びそれをワムシ栄養強化剤として用いた際のヒラメ仔魚の飼育成績についてまとめた論文が学術雑誌 *Aquaculture International* に掲載されました。

- Hideaki Matsui, Satoshi Kono, Kakeru Ishibashi, Manabu Ishikawa, Tomonari Kotani (2024) *Aquaculture International* 32: 6665–6687

<https://doi.org/10.1007/s10499-024-01483-7>