

令和4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	亜寒帯水と亜熱帯水の混合は大型カイアシ類を増加させる
2	マアジの加入量と輸送条件の関係
3	水産資源の状態を評価するための新しい手法の導入
4	ふ化放流の効果を高めるためには野生魚の保全が重要だった： 野生魚は放流魚の回帰率を改善する
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	シラスウナギ生産技術の県水産試験場への移転
6	赤潮に強い養殖ブリを作る
7	先進的なホシガレイ陸上養殖の社会実装
8	音響によるツノナシオキアミの現存量推定精度向上に寄与
9	マガキ採苗不調の原因解明のための調査・解析
10	電位操作によるベントスの活性変化の把握及び底質改善効果
11	安全なサキシトキシシン鏡像異性体標準物質の開発
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	
12	LED 船上灯によるいか釣漁業の収益性改善効果
人材育成業務	
13	麴由来アミン酸化酵素と酢酸菌アルデヒド酸化酵素の共役反応による水産食品中ヒスタミンの 除去技術の確立
14	バイオスティミュラントでワリの環境耐性強化

亜寒帯水と亜熱帯水の混合は大型カイアシ類を増加させる

水産資源研究所 水産資源研究センター 広域性資源部 外洋資源グループ
 海洋環境部 寒流第1グループ
 海洋環境部 寒流第2グループ
 社会・生態系システム部 沿岸寒流域グループ

研究の背景・目的

1. 東北沖はサンマ、サバ類、マイワシ等の豊かな水産資源に恵まれ、漁業生産の高い海域です。この海域は、北に親潮、南に黒潮が流れ、その間には移行領域と呼ばれる海域が広がっています。移行領域では親潮が運ぶ冷たく栄養塩が豊富な亜寒帯水と、黒潮が運ぶ暖かく栄養に乏しい亜熱帯水が混合します。サンマやサバ類、マイワシ等の小型浮魚類は、この移行領域を親魚の索餌場や仔稚魚の生育場として利用しており、本領域での魚の餌料環境は魚の成長や生き残り、肥満度を左右すると考えられています。
2. 小型浮魚類の主な餌はプランクトンです。特にカイアシ類は動物プランクトンにおいて最も量が多く、小型浮魚類の主要な餌生物です。カイアシ類は多様な種で構成されており、海洋環境に応じて出現種の量や組成（群集と言われる）が異なります。また、種によってサイズや行動も異なり、小型浮魚類は多様なカイアシ類の中から選択的に捕食します。そのため、カイアシ類群集の地理分布やその分布を決定する環境要因の把握は、小型浮魚類の資源変動を理解する上で重要です。
3. 私たちは東北沖の豊かな水産資源がどのような仕組みで支えられているのか解明することを目指して、東北沖の生態系を調査研究しています。本研究では日本沿岸から約4,500km（西経165度）に至る広域を対象に物理環境、植物プランクトン、そして小型浮魚類の主要な餌生物であるカイアシ類まで包括的に調査・分析し、生態系の地理的分布を明らかにしました。

研究成果

1. 2017年と2018年に行われたサンマ資源量調査において北太平洋標準プランクトンネット（NORPACネット）により採集された動物プランクトン試料233検体を分析した結果、99種のカイアシ類が採集されました。
2. カイアシ類の種組成を基にクラスター解析を行った結果、2つの大きなグループ（AとB）に分けられ

ました。グループAは調査海域の北側に分布し、冷水性カイアシ類が多く出現し、逆にグループBは暖水性のカイアシ類の占める割合が高く南側に出現しました。グループAとBの分布の境は、亜熱帯水と亜寒帯水の境界である「亜寒帯境界」という海洋前線と概ね一致し、亜寒帯境界付近に亜寒帯生態系と亜熱帯生態系の境があることが明らかになりました（図1）。

3. さらにグループAとBはそれぞれ4つサブグループ（A1からA4とB1からB4）に分けることができました（図1）。このうちA2は低塩分・低水温・高栄養塩で特徴づけられる典型的な亜寒帯域の環境に出現し、*Neocalanus*属カイアシ類が優占しました（図2）。一方、高塩分・高水温の典型的な亜熱帯水には小型種が低密度で分布するB3が出現しました。A2とB3は、小型の植物プランクトンが優占し、クロロフィル濃度が低いという共通点がありました（図3）。
4. その他の群集は、亜寒帯境界周辺に出現し、暖水種と冷水種両方が混じっていました。この結果は亜寒帯境界付近では、亜熱帯水と亜寒帯水がある程度混ざっているということを意味しています。また、典型的な亜寒帯群集（A2）や亜熱帯群集（B3）とは対照的に、水が混合している群集（A3やB2）では、大型の植物プランクトン（珪藻）が優占し、さらにカイアシ類、特に大型種（*Calanus*や*Eucalamus*）の分布量も多く、大型珪藻→大型カイアシ類→魚類とつながる栄養段階の少ないユニークな食物連鎖（古典的食物連鎖）が発達していることが示唆されました（図1）。古典的食物連鎖は、親潮域（A1）で発達することが知られていましたが、本研究により黒潮続流から波及する流れ（磯口ジェットや黒潮続流分枝）によって亜熱帯水と亜寒帯水が混合する海域（A3やB2）においても発達していることが新たに示され、移行領域での水の混合はサンマ等の浮魚類にとって良い餌料環境を提供すると考えられます。

アウトカム

1. 今後、餌料生物群集の分布様式に関する理解を深め、サンマ等の浮魚類の資源変動要因の解明に向けた研究の進展に貢献。

2. 学術論文として Progress in Oceanography に掲載されました。

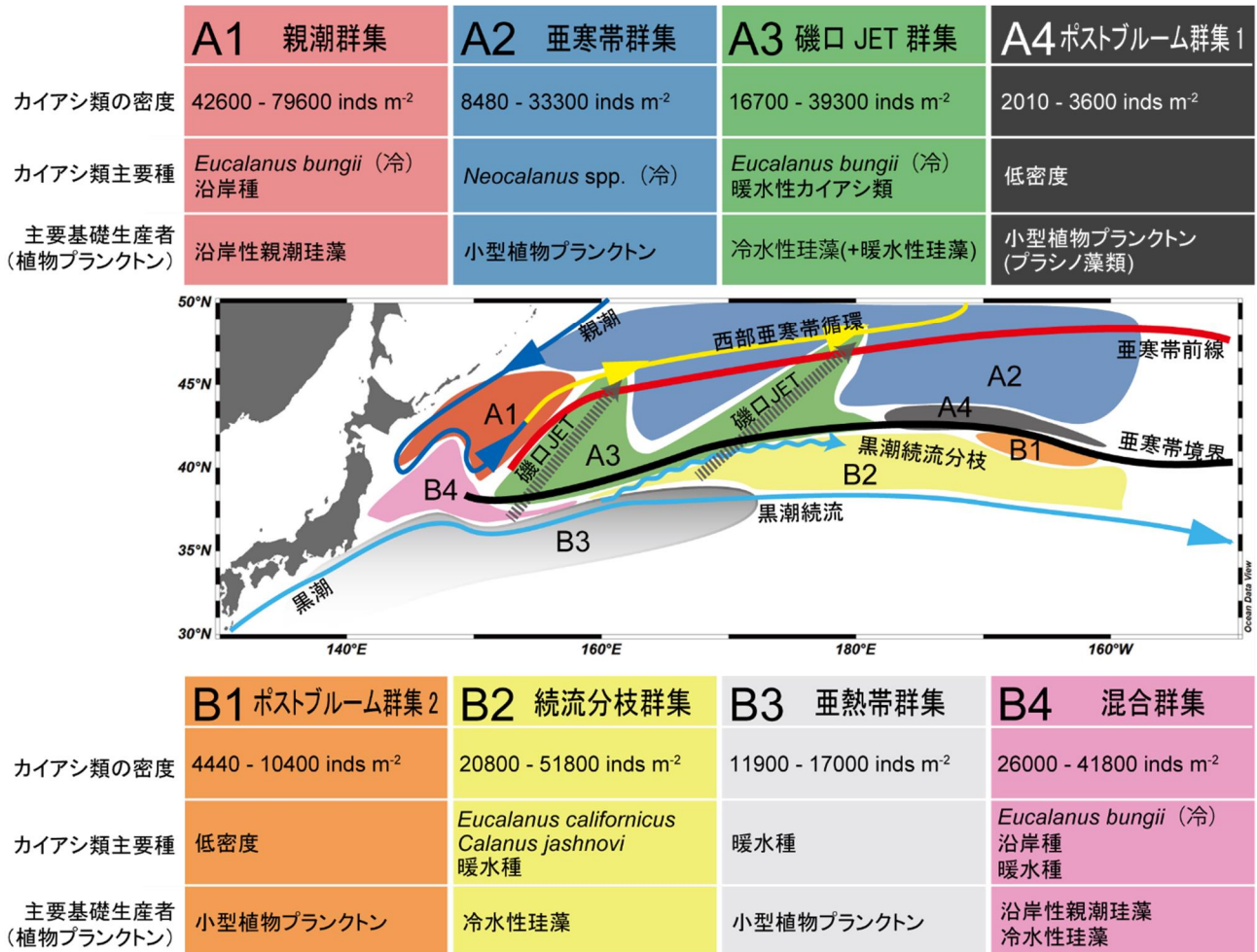


図1. カイアシ類群集の地理分布及び各群集の特徴。地理分布は結果を基に作成。種名の隣に(冷)と書かれた種類は冷水種、それ以外は暖水種であることを示す。ポストブルーム群集1(A4)と2(B1)は、植物プランクトンの増加が終了し、A3とB2から遷移した群集であると考えている。

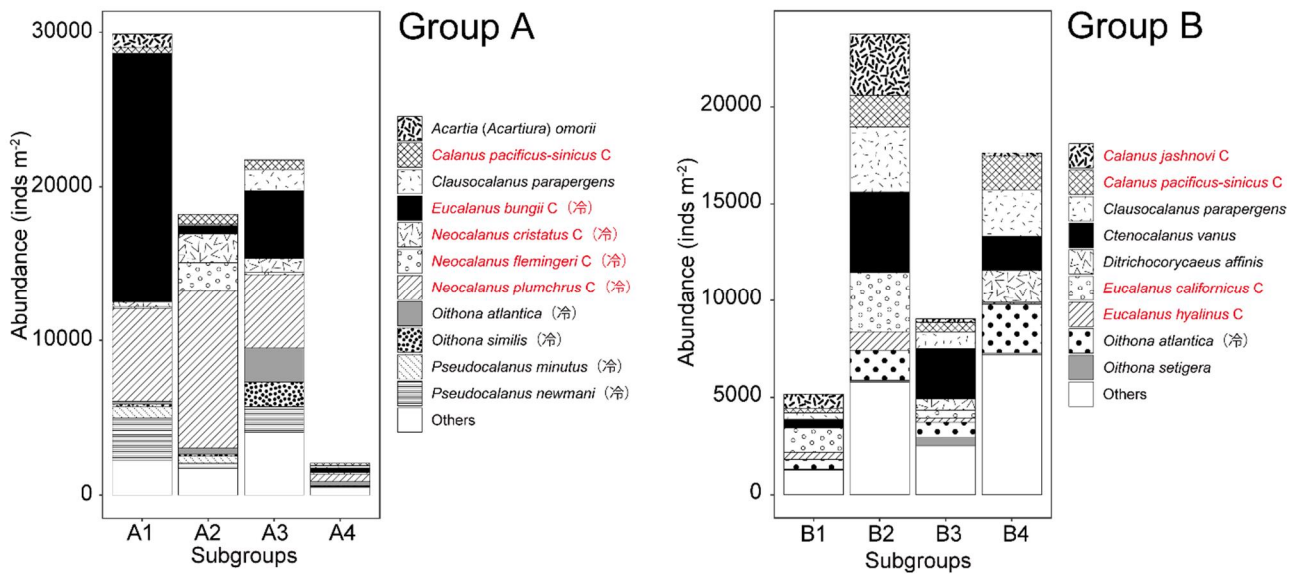


図2. 各群集のカイアシ類優占種の平均種組成。赤字は大型カイアシ類。Group Aのうち、典型的な亜寒帯水 (A2) に比べて、親潮域 (A1) や磯口JET (A3) では *Eucalanus bungii* の増加が認められる。典型的な亜熱帯水 (B3) に比べて、続流分枝 (B2) や混合域 (B4) では *Eucalanus* 属や *Calanus* 属の増加が顕著である。

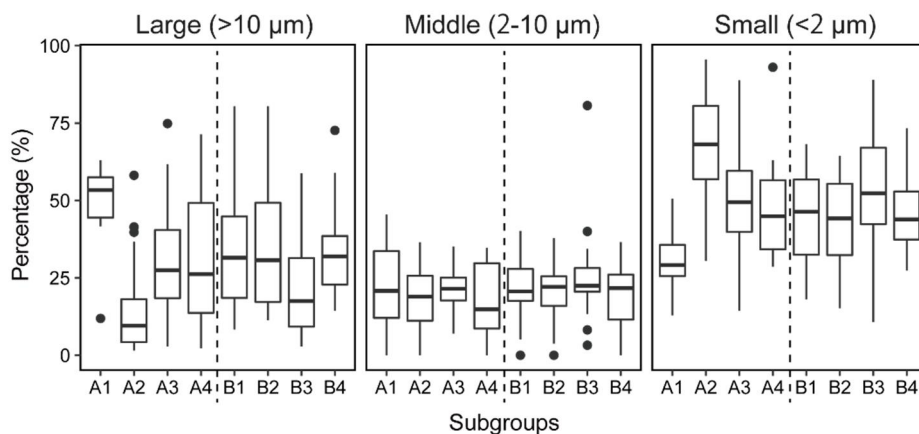


図3. 各群集におけるサイズ分画したクロロフィルa濃度。どのようなサイズの植物プランクトンが多いのかを示してしている。亜寒帯群集 (A2) や亜熱帯群集 (B3) では小型の植物プランクトン (Small) の割合が他の群集に比べて高く、その他の群集では大型 (Large) の割合が高い。

マアジの加入量と輸送条件の関係

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. 太平洋のマアジは、各地先で生まれるものに加え、東シナ海南部の大規模な産卵場から黒潮に輸送され、到達した群とで構成されると考えられています。その太平洋岸における0歳魚漁獲量、それらから推定されるマアジの加入尾数(資源量増加に寄与する稚魚の数)は2000年以降減少し、低位の状態が続いています(図1(a))が、その理由についてはわかっていません。
2. 同時期には、偏西風・貿易風の長期的な変化に伴い黒潮が日本西部海域で北上し、その北上を引き金に、幾つかのプロセスを経て、対馬暖流の流勢が強まった事が示されつつあります(例えば Kida et al. 2021)。
3. 本研究では、上記のような海流系の変化により、遊泳能力の乏しいマアジ仔稚魚の輸送経路が変化し、それがマアジの太平洋岸への加入に影響を及ぼした可能性を調べました。手法としては、水産機構で運用していた海洋予測モデル JADE2 (東シナ海～日本海の水温や流速をコンピュータで再現・予測するシステム)の計算結果を用いた粒子追跡実験を採用しました。

研究成果

1. JADE2 内の東シナ海南部にマアジの仮想産卵域を設定し(図2紫枠)、そこからマアジ粒子を水深20mに仮想的に放流し、その輸送経路を調べました。その結果、マアジは東シナ海の大陸棚上の流れに乗って九州西方へ、また黒潮の北縁に乗ってトカラ海峡を通過した後に太平洋へ輸送される事が示されました(図2)。太平洋へ輸送される粒子の数は、2000年以降、年を追う毎に減っており(図1(b))、マアジの加入量が減少するという事実と符合します。
2. 1の結果は、流動変化のみの影響によって太平洋へ輸送される粒子が経年的に減るとことを示しています。太平洋へ輸送されるマアジ粒子が減る2006年以降について、粒子の輸送経路を調べると、九州西方を対馬海峡へ向け北上する粒子が増えました(図3黒枠内とその周辺)。マアジ粒子は、毎年同じ個数を放流したので、北上粒子数が増えた分、太平洋へ輸送される粒子が減少したと判断できました。
3. 北上粒子が増加した理由を理解するために、東シナ海全域における物質の輸送の変化について調べました。東シナ海全体に粒子を配置し、2000～2017年の

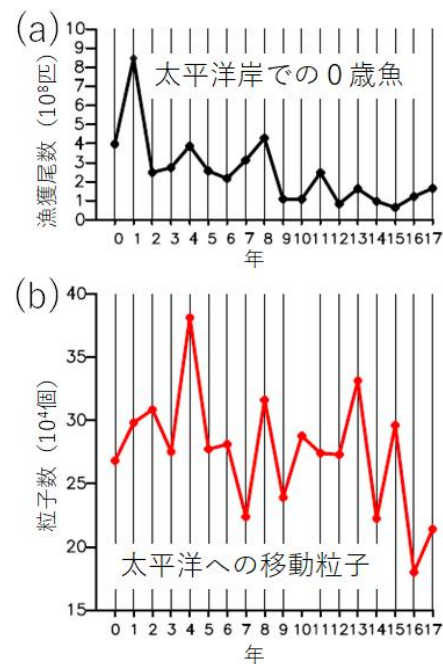


図1. (a) 太平洋沿岸における0歳のマアジ漁獲尾数の年変化。(b) 太平洋へ輸送されたマアジ仔稚魚粒子数の年変化。年の0は2000年を示す。

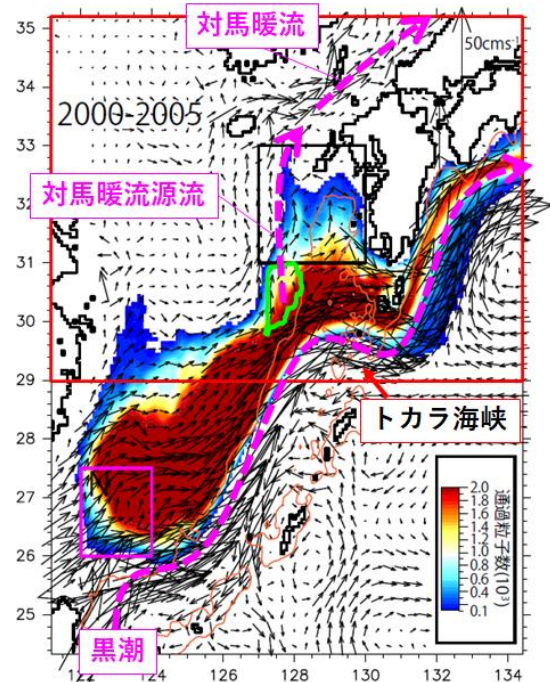


図2. 2000-2005年の平均的なマアジ仔稚魚粒子の通過経路。暖色系ほど多くの粒子が通過した事を示す。黒色の矢印は同期間の2～4月の平均的な20m深の流れのベクトルを示す。桃色枠はマアジの仮想産卵域、緑色枠は図4bの「振り分け海域」と同じ。桃色点線矢印は各海流を模式的に示したもの。

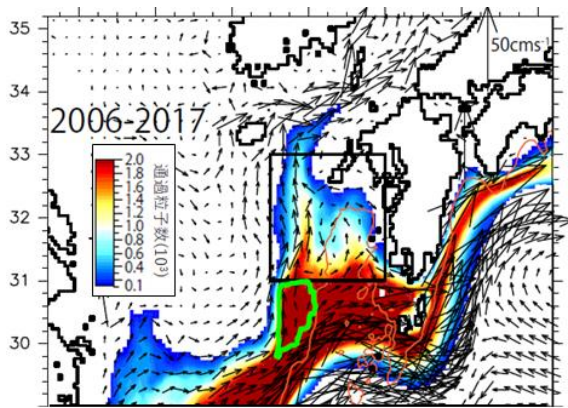


図3. 図2と同じだが、2006-2017年平均。図2の赤枠領域のみ表示。

間、粒子を定期的に放流し続ける実験を行うことで、東シナ海全体における物質の輸送の変化を可視化しました。図4は、この実験結果から見積もった、東シナ海から日本海へ移動する物質の分布を示しており、暖色系ほど日本海へ流入する確率が高い事を示しています。つまり、暖色系の領域は対馬海峡から日本海へ流入する対馬暖流の源流域ということになります。対馬暖流の源流域は、九州の南西で、黒潮に接近している事が分かります (図4(a)、図4(b))。

4. 対馬暖流の源流域は、期間前半 (図4(a)) に比べ、期間後半 (図4(b)) の方が南へ伸びていました。これは、九州西方から対馬海峡に至る、対馬暖流の源流域の北上流が強まり、対馬海峡へ向けての物質の輸送距離が伸びたことを意味します。そして、この北上流の強化は、対馬海峡を通過する流れの強化によって誘発された、つまり対馬海峡の海水を吸い込む力が強まったことに因ると考えられました。単位時間あたりの物質輸送という観点での対馬暖流の源流域が、黒潮北縁がある九州南西海域 (図4(b)の「振り分け領域」と示されている緑枠周辺) まで伸びる形になります。
5. 東シナ海南部から黒潮の北縁域を移動してきたマアジ粒子は、期間前半にはトカラ海峡を通り太平洋へ移動しましたが、期間後半には「振り分け領域」を経由し、九州西方へ移動する傾向に変化しました。これが、対馬暖流強化に伴い、マアジ粒子が太平洋側へ輸送されなくなった原因と考えられました。
6. 上記のプロセスが、太平洋岸のマアジの加入量減少の一因を担う可能性があります。しかし、太平洋岸のマアジには、各地先で生まれる群があります。また黒潮で輸送されるマアジも、加入するためには黒潮から離脱し、沿岸に輸送される過程を経る必要があります。太平洋岸のマアジの加入量減少を理解するには、これ

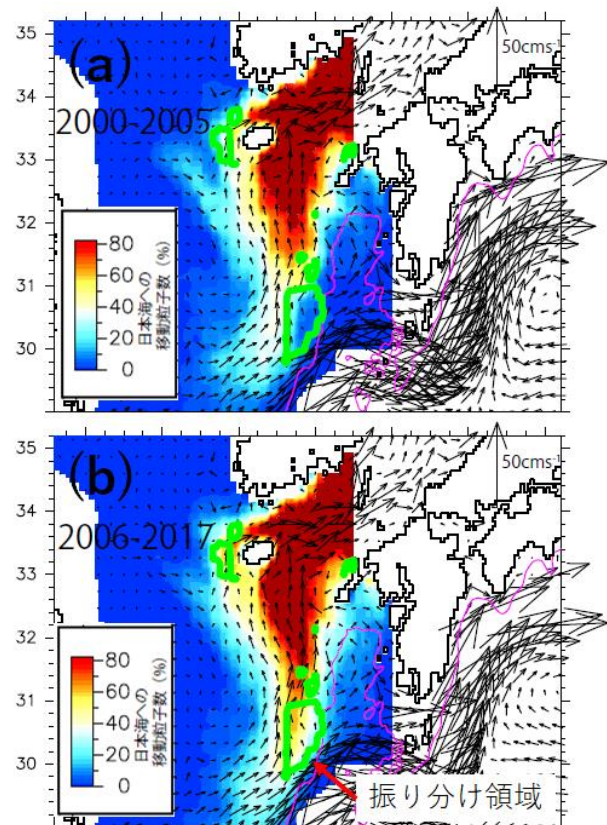


図4. (a)日本海へ移動する粒子が分布する確率の水平分布。2000-2005年平均した結果。(b)(a)と同じだが2006-2017年平均のもの。緑枠は、(b)から(a)を引いた際に20%以上の差があった海域。

らの要因も含めて、今後研究していく必要があります。

アウトカム

1. 本研究は、マアジ仔稚魚の輸送に関する仮説を検証し、新たな理解を示したことで、マアジの生活史の理解に大きく貢献しました。
2. 我が国の水産資源の資源量推定計算において、海洋環境要因の効果は導入されていません。マアジ資源変動機構に対する海洋環境要因の一因を示した本研究結果のアイデアは、マアジの資源量推定の高精度化における海洋環境要因の導入の端緒を開きます。

本成果が記された論文

Igeta *et al.* (2022). *Fisheries Oceanography*, 32(1),133–146.
<https://doi.org/10.1111/fog.12622>

引用文献

Kida, S., Takayama, K., Sasaki, Y.N., Matsuura, H., & Hirose, N. (2021). Increasing trend in Japan Sea throughflow transport. *Journal of Oceanography*, 77, 145–153.
<https://doi.org/10.1007/s10872-020-00563-5>

水産資源の状態を評価するための新しい手法の導入

水産資源研究所 水産資源研究センター

資源評価高度化作業部会 プロダクションモデルチーム

底魚資源部 底魚第1グループ

研究の背景・目的

1. 水産資源の量や漁獲量が、持続的利用を実現するための適切な水準（最大持続生産量、MSY水準）と比べてどのくらいの位置にあるかを調べることを「資源評価」と呼びます。
2. 水産資源をMSY水準で維持するような持続的な管理をするためには、科学的知見やデータが少ないために今まで評価できなかった水産資源についても資源評価を実施していく必要があります。
3. 本研究では、科学的な知見やデータが不足しているために従来の方法では評価が行えない資源にも適用できる新しい資源評価手法を検討し、ソウハチ等の複数魚種に適用しました。

研究成果1：複数魚種に適用するためのガイドラインの作成

1. 再生産の関係（資源の増減と新しく生まれてくる魚の量との関係）が不明な水産資源でも、成長や成熟パターンのような生物的特徴や他の資源から得られた知見をもとに、MSY水準に準じた資源量や漁獲量の適切な水準を決定するための手法を導入しました（図1①）。この手法を、再生産の関係が不明で適切な水準を判断できなかったヒラメやトラフグに適用することで、これらの資源で管理の目標値を決定することができました。
2. 漁獲されている魚の詳細な年齢構成が不明な場合でも適用できる資源量の推定方法（プロダクションモデル）を我が国資源に初めて導入しました（図1②）。

プロダクションモデルは、年齢組成データが利用できない分、推定値の信頼性は低くなります。そこで、利用できる情報の質に応じて、モデルから得られる推定値をどの程度まで信頼して用いるべきかのガイドラインを合わせて作成しました。その結果、ソウハチ（研究成果2）・マガレイ・マダラ等の魚種で、プロダクションモデルから得られた推定値を用いた資源評価が行われました。

3. 資源を持続的に利用するためのルールを、資源の利用者（ステークホルダー）が決定するための手順をガイドライン化しました。

アウトカム

1. 令和4年度において、MSY基準の資源評価が22魚種に増加したことに大きく貢献しました。
2. 成果を学術論文（新しく開発した資源利用のルールの決定方法、水産学会誌）や国際ワークショップ（プロダクションモデルのガイドライン）で発表しました。
3. 資源解析技術の普及・啓発に努め、共同実施機関向けの各種モデル説明会を開催しました。

市野川ほか（2022）改正漁業法下での様々な漁獲管理規則の検討：マイワシ2系群を例に。日本水産学会誌 88巻4号 239-255

Ichinokawa et al (2022) Development of a uniform protocol for the application of state-space production models to Japanese domestic fishery stocks. CAPAM workshop, Rome

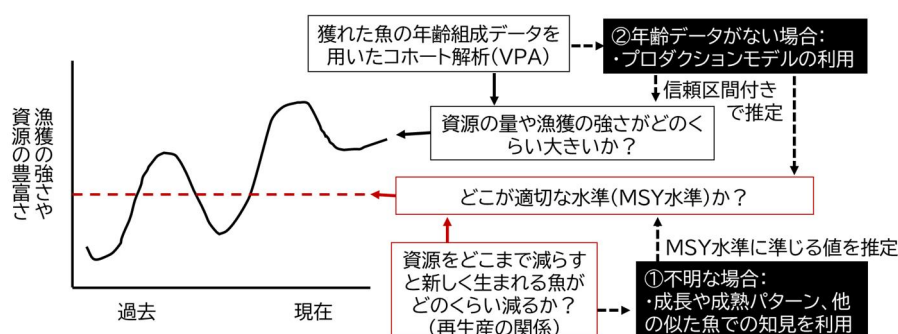


図1. 本研究で導入した新しい資源評価の方法。再生産関係の知見が利用できない場合①や詳細な漁獲物データがない場合②でも適用できる。

研究成果2：ソウハチ北海道北部系群への適用例

1. 本系群は、沖合底びき網漁業（沖底）においてスケトウダラやホッケ等を狙った操業の際に混獲される場合がほとんどですが、2015年漁期以降は販路拡大に伴ってソウハチを狙った漁獲が行われるようになりました。このような狙いの強さの変化は獲れ具合に大きく影響するため、資源の相対的なトレンドを表す指標（資源量指標値）である「網数あたり漁獲量（CPUE）」からの資源の年変動の把握を難しくします。
2. CPUE から資源の年変動以外の影響を取り除き、資源の変化を的確に把握できるようにする解析処理を標準化と呼びます。本系群では、沖底 CPUE について、通常の線形モデルを拡張した一般化線形モデルを非線形なデータを柔軟に扱えるようにさらに拡張した一般化加法モデルを用いて、操業記録の約半数を占めるソウハチの無漁獲情報や狙い操業、季節、漁船の根拠地、操業位置等の影響を考慮した標準化を行うことで、CPUE の資源量指標値としての精度向上に繋がりました（図2）。

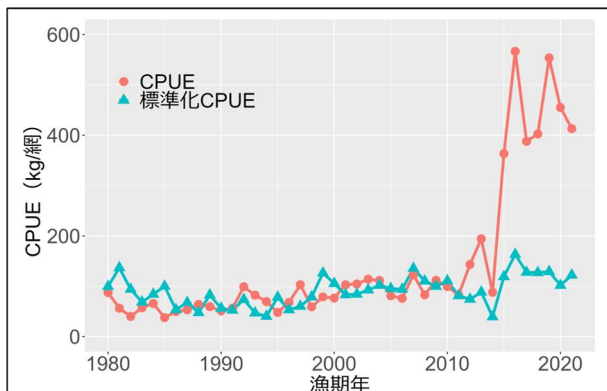


図2. 標準化前のCPUEと標準化したCPUEの比較
標準化によってソウハチの狙いが強くなったと考えられている2015年漁期以降のCPUEが低く抑えられている。

3. プロダクションモデルでは、漁獲量と資源量指標値の情報に基づいて資源量やMSY水準等を計算します。標準化した沖底CPUEを、北海道立総合研究機構（道総研）が独自に実施・公表している本系群のコホート解析から求めた資源量の推移とともに資源量指標値として用いることで、プロダクションモデルから資源量の絶対値について信頼性の高い推定値が得られたと考えられました。
4. 事前情報の与え方の異なる2つの基本モデルで資源状態を評価したところ、本系群の2021年漁期

の資源量（B）は5,539トン（90%信頼区間は3,884～7,897トン）で、MSYを実現する水準（ B_{msy} ）を上回り、資源量は健全な状態であると考えられました。漁獲圧（F）もMSYを実現する水準（ F_{msy} ）を下回り、過剰漁獲の状態ではないと考えられました（図3）。

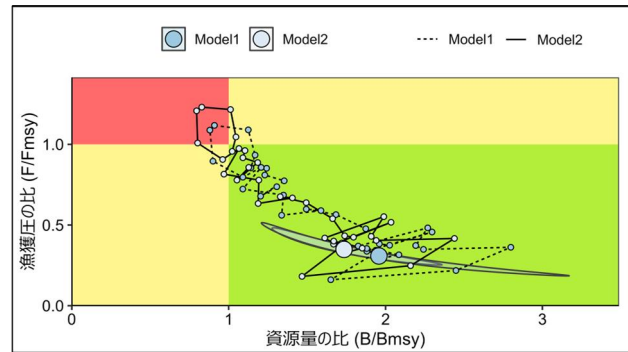


図3. 神戸プロット（神戸チャート）

図中の大きな丸は2021年漁期の資源状態。色の着いた楕円は2021年漁期の資源状態の90%信頼区間を示す。

アウトカム

1. 本系群の資源評価は、水産庁委託事業の下、共同実施機関である道総研と協力して実施されてきました。今回のプロダクションモデルによる資源解析の結果は、平成6年3月から漁業者らが資源管理協定を締結して取り組んでいる小型魚の漁獲規制等により、漁獲圧が削減されて資源量が回復したことを示していると考えられます。これは、資源の利用とその管理が資源状態にどのように影響するのかを理解する上で大変有益な情報であると期待されます。
2. 資源評価手法の高度化により、改正漁業法の下での適切な資源管理へ向けた行政官・漁業者らによる議論に対し、より正確な科学的助言を提供することが可能になります。

千葉ほか（2022）令和4（2022）年度ソウハチ北海道北部系群の資源評価（簡易版）

https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2022/simple_2022_67.pdf

ふ化放流の効果をもとめるためには野生魚の保全が重要だった：

野生魚は放流魚の回帰率を改善する

水産資源研究所 さけます部門 資源生態部 資源管理グループ

研究の背景・目的

1. さけます類のふ化放流という行為は、生物をその一生の少なくとも一部において飼育環境下で繁殖・飼育するという広義の「飼育下繁殖」に含まれます。こうした飼育下繁殖は、保全や生物資源管理の観点から世界中の多くの種で行われてきました。
2. 一方で、日本ではあまり認識されていないものの、世界では飼育環境への適応や近交弱勢(近親交配による弊害)の影響によって、野外における適応度(≒次世代に残す子孫の数の期待値)の低下が広く懸念されています。この問題の解決策として、飼育下繁殖個体群に野生個体群の遺伝子を導入することが提案されてきましたが、この手法がどのような効果をもたらすか不明でした。
3. 本研究では、水産研究・教育機構が実施したサケとサクラマス長期標識放流データを用いて、ふ化放流に用いる野生魚の割合がふ化放流個体群の野外における生存率に及ぼす影響を評価しました(図1)。

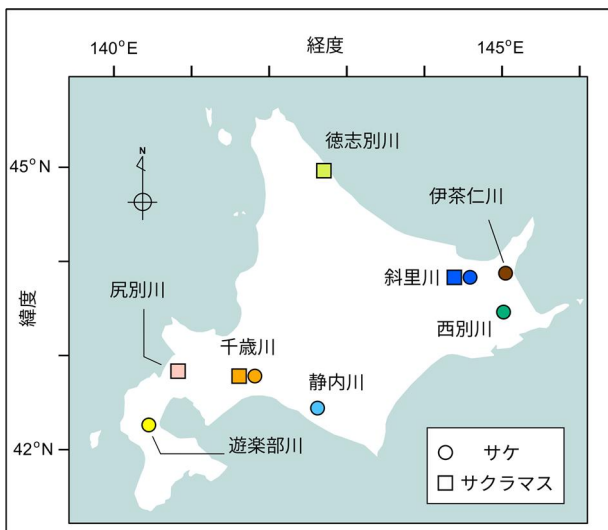


図1. 研究データを取得した北海道の8河川。丸印はサケ、四角印はサクラマスの調査河川を示します(プロット点の色は河川に対応)。

研究成果

1. 研究の結果、両種において、ふ化放流に用いる野生魚の割合が高いほど、ふ化放流で生まれた子の野外に

おける生存率が高いことがわかりました(図2)。つまり、野生魚がふ化放流事業の親魚に加わることによって、放流された稚魚の回帰率が向上していました。さらに、サケではふ化放流に用いる野生魚の割合を20%から40%にできれば、ふ化放流で生まれた子の野外における生存率は1.9倍にもなることがわかりました(図2)。

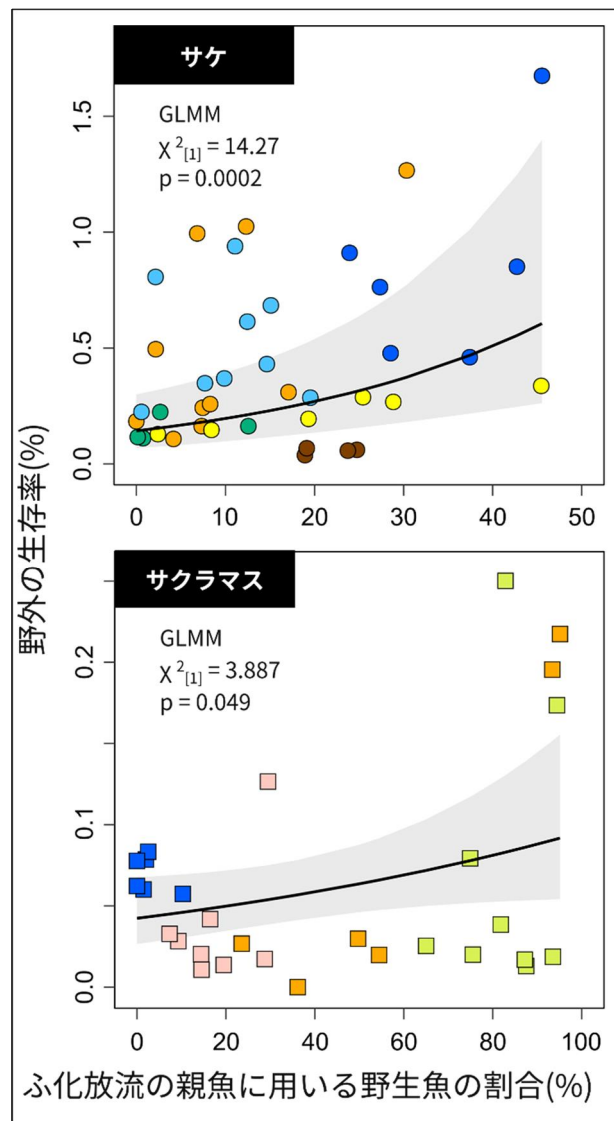


図2. ふ化放流の親魚に用いる野生魚の割合と野外の生存率の関係。プロット点の色は、図1の河川に対応します。黒線は回帰曲線、グレーの網掛けは95%信頼区間を示します。

アウトカム

1. これまで、野生魚を適切に保全することで、稚魚の大幅な増加や親魚不足のリスク低減につながるなど、多くのメリットがあるということが明らかにされてきました。今回の研究では、これまでの知見に加えて、野生魚がふ化放流事業の親魚に加わることによって、ふ化放流で生産された稚魚の回帰率向上にも貢献することを明らかにしました。
2. 今回の知見を用いることで、現在深刻な不漁に直面しているサケ資源の回復と安定的な利用を実現できる可能性があります。
3. そのためには、自然産卵親魚を取り残す管理方策やふ化放流に使用しない親魚の河川への再放流など、自然産卵で生まれる野生魚を保全する取組を早急に実現することが必要です。

本成果が記された論文

Sahashi, G., & Morita, K. (2022). Wild genes boost the survival of captive-bred individuals in the wild. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 20(4), 217-221.
<https://doi.org/10.1002/fee.2457>

本成果に関する詳細な一般向け解説

佐橋玄記 (2023). ふ化放流の効果を高めるためには野生魚の保全が重要だった:野生魚は放流稚魚の回帰率を改善する. *Salmon 情報*, 17, 9-12.
https://salmon.fra.affrc.go.jp/kankobutu/srr/srr017_p09-12.pdf

シラスウナギ生産技術の県水産試験場への移転

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
量産グループ

研究の背景・目的

1. ウナギの養殖では、種苗として天然から採集した稚魚（シラスウナギ）を使っています。しかし、天然のシラスウナギの採捕量が減少しているため、天然に頼らず人工的にシラスウナギを育てるための技術開発が行われています。
2. 人工的にシラスウナギを育てることは出来るようになっていますが、飼育水槽、飼料、飼育方法が特殊なため限られた機関で、限られた人員のみで実施されています。
3. 最近、水産技術研究所・養殖部門・シラスウナギ生産部では、ウナギ仔魚の大量飼育・シラスウナギの大量生産を目指し、新規量産水槽及びこれを用いた飼育方法を開発しており、500尾以上/水槽での生産が可能となっています。
4. 本研究は、開発されたシラスウナギの大量生産技術が移転可能な水準に達しているかを確認するとともに、移転に際して生じる問題点等を洗い出すことを目的に実証試験を行いました。

研究成果

1. 宮崎県水産試験場に新規量産水槽を設置して、ウナギ仔魚の40日齢までの短期飼育を複数回繰り返しました。比較的安定して仔魚飼育が実施できる状態になったことを確認した後、シラスウナギまでの長期飼育実証試験を試みました。その結果、158日齢で仔魚からシラスウナギの変態開始が確認されました。その後、ピブリオ病が発生して仔魚が死亡する時期もありましたが、300日齢までの長期仔魚飼育に成功し、最終的には560尾/水槽でのシラスウナギ生産に成功しました。
2. 鹿児島県水産技術研究センターに新規量産水槽を設置して、ウナギ仔魚の40日齢までの短期飼育を複数回繰り返しました。比較的安定して仔魚飼育が実施できる状態になったことを確認した後、シラスウナギまでの長期飼育実証試験を試みました。その結果、132日齢で仔魚からシラスウナギの変態開始が確認

されました。その後、疾病等の大きなトラブルも生じることなく順調にシラスウナギが生産され、346日齢までの長期仔魚飼育に成功し、最終的には2,269尾/水槽でのシラスウナギ生産に成功しました。



図1. 実証試験で生産されたシラスウナギ
(鹿児島県水産技術研究センター提供)

3. 宮崎県水産試験場、鹿児島県水産技術研究センターともに、2回目の実証試験を実施中で、初期飼育以降は比較的順調に仔魚飼育が行われています。ただ、どちらの機関でも複数回にわたって初期仔魚飼育の不調があり、実証試験の中止を繰り返しました。これは、シラスウナギ生産部でも起きている問題なので、初期の仔魚飼育の安定化が大きな課題の一つと考えられます。

アウトカム

1. 県水産試験場への技術移転が、ある程度順調だったため、開発された技術は十分に移転可能な水準に達していると考えられました。今後は、問題点を解決しながら、民間事業者への技術移転も積極的に行い、人工シラスウナギ生産の社会実装を加速していきます。
2. 新規量産水槽を用いた飼育技術の安定性が実証されたので、民間事業者による新規量産水槽の市販が期待されます。

赤潮に強い養殖ブリを作る

水産技術研究所 養殖部門 生産技術部 技術開発第4グループ
環境・応用部門 環境保全部 有害・有毒藻類グループ

研究の背景・目的

1. 赤潮は水中のプランクトンが大量に増殖して水の色が変わる現象です。魚に対して有害な種類のプランクトンの赤潮が発生すると、養殖業者が育てていた魚が大量にへい死してしまいます。そのため、赤潮は養殖業にとって重大なリスクとなっています。
2. 成長の良さや病気への強さなど、生物が持っている特性を改良することを育種と言います。特に、優れた特性を持つ親を選抜して交配することを繰り返して、子や孫の世代の能力を累積的に高めていく手法を選抜育種と呼びます。この選抜育種の技術を使って赤潮に強いブリを作ることが出来れば、赤潮が引き起こす養殖被害の軽減が期待できます。
3. そこで本研究では、赤潮に強いブリを実験によって選抜し、親に育てて交配することで、赤潮に強い次世代を作り出すための研究を行いました。

研究成果

1. 赤潮に強いブリの親候補を選抜するために、2018年に赤潮耐性試験を実施しました。まず、ブリの人工授精技術（図1）によって計画的な交配を行い、117家系のブリを作りました。次に、有害赤潮プランクトンであるシャットネラ・アンティーカを大量に培養し、作出したブリの稚魚をプランクトン培養液にばく露し、赤潮耐性試験を実施しました（図2）。試験した3,790尾のブリのうち、22.2%にあたる840尾が赤潮へのばく露に生き残り、赤潮に強い親候補として選抜されました。
2. この赤潮耐性試験における生残率は家系ごとに異なり、赤潮に強い家系と弱い家系が存在することが明らかになりました（図3）。また、赤潮耐性試験によって得られたデータを解析した結果、赤潮に強いという特性は、親から子へと能力が伝わる遺伝的形質であることが示唆されました。
3. 選抜した親候補は交配が可能となる大きさ・年齢になるまで養成されました。そして2021年に、2018年の赤潮耐性試験で選抜した赤潮に強い魚（生残魚）と、赤潮耐性試験を行っていないため赤潮への強さが不明な魚（通常魚）を用いて交配試験を行いました。



図1. ブリの人工授精の様子。水色のボウルに入った卵をビーカーに入った精子で人工授精することにより、任意の親の組み合わせで交配する。



図2. 赤潮耐性試験の様子

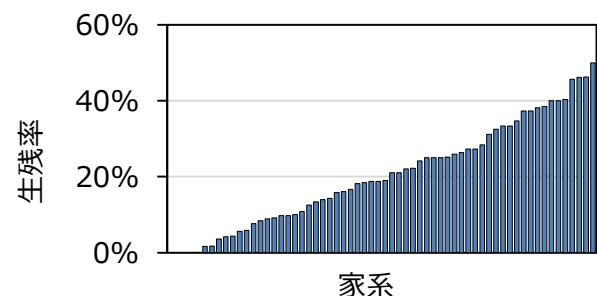


図3. 親世代の赤潮耐性試験における家系ごとの生残率。生残率は0~50%の間で家系ごとに異なっていた。

生残魚同士の交配を12家系、生残魚と通常魚の交配を12家系、通常魚同士の交配を4家系、それぞれ作出しました。作出した次世代を親世代と同様の赤潮耐性試験に供することで、生残率を交配群ごとに算出しました。次世代の赤潮耐性試験は3回繰り返して実施し、選抜交配によって赤潮への強さが改良されたか調べました。

赤潮耐性試験における生残率は、生残魚同士の交配群では42%、通常魚同士の交配群では25%、通常魚と生残魚の交配群では生残率21%であり、生残魚同士の交配群が高い生残率を示しました(図4)。選抜育種によって赤潮への強さが改良されたことが、実験的に確認されました。

アウトカム

1. 赤潮被害を軽減するための新しい対策技術として、選抜育種の有効性が示されました。選抜育種では選抜と交配のサイクルを繰り返すことで、集団の能力をさらに向上させることが可能です。育種改良により赤潮に強くなったブリを養殖用種苗として利用することで、赤潮被害の軽減が期待されます。
2. 現在のブリ養殖は天然種苗が主体です。人工種苗に「赤潮に強い」という新たな価値が加わることで、天然種苗から人工種苗への転換を促し、天然資源に依存しない持続可能な水産業の発展に寄与します。
3. 本研究により開発された、赤潮耐性試験による選抜と生残魚の交配というシンプルなアプローチは、ブリ以外の養殖対象種にも幅広く適用できます。
4. なぜ養殖魚が赤潮でへい死するのかは、まだ解明されていません。本研究で作り出した赤潮に強いブリを詳しく調べることにより、赤潮で養殖魚がへい死するメカニズムに関する研究がさらに進み、赤潮被害を軽減させる新しい技術開発に繋がる可能性があります。

本成果が記された論文

Akita et al., (2022) *Aquac. Res.* 53(12): 4449-4459.

DOI: 10.1111/are.15942

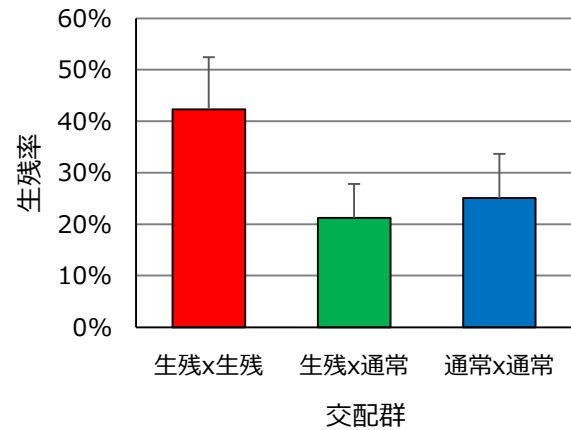


図4. 次世代の赤潮耐性試験における交配群ごとの生残率。生残魚同士の交配で作出した次世代は、他の交配群よりも生残率が高かった。

先進的なホシガレイ陸上養殖の社会実装

水産技術研究所 養殖部門 生産技術部 技術開発第2グループ

研究の背景・目的

1. ホシガレイ (図1) は、稀少性と市場価値の高さから、新たな栽培漁業や養殖の対象種として注目されてきました。水産技術研究所では、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業生物系特定産業技術研究支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業」の委託事業を受け、本種の種苗生産技術の開発を進め、健全(正常率90%以上)な種苗を安定的(生残率80%以上)に大量生産(50万尾規模)する技術を確立しました。
2. 一方、東北沿岸では東日本大震災により漁業者の減少がますます進行し、漁業生産量は減少しています。東北の水産業を立て直すためには、新たな産業の展開による新規着業者の増加が必要です。また、津波による浸水地域の有効利用も求められています。そこで、被災地からの新産業の創出につなげることを目的に、海面養殖に比べ生産性の向上が見込まれる陸上養殖に加え、特定波長光照射飼育など新たな技術を応用してホシガレイ養殖の技術開発を行いました。

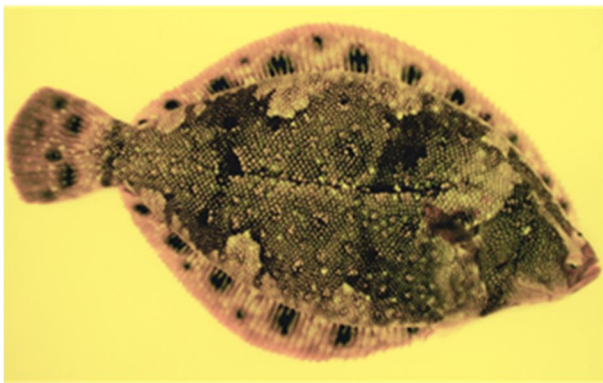


図1. ホシガレイ (*Verasper variegatus*) の成魚 全長65cm、体重4kgまで成長するカレイの仲間。現在では幻の魚といわれるほど資源水準が低下しており、分布の範囲は三陸、瀬戸内海西部、九州西部等に縮小している。

研究成果

1. ホシガレイの成長促進に効果がある光の波長を調べました。屋内光が差し込む水槽に、青、青緑、緑、赤、白の発光ダイオード(LED)を設置した試験区とLEDのない対照区を設け、平均全長5cmの種苗を用

いて60日の飼育試験を行いました。その結果、緑色LEDで最も成長が良く、対照区と比較して成長促進効果が認められました(図2)。

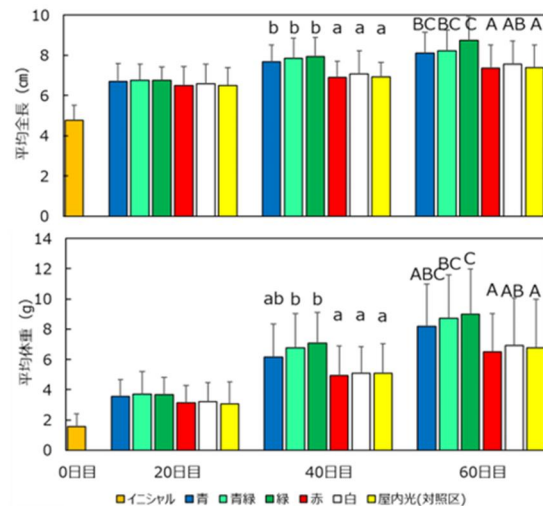


図2. 様々な波長で飼育したホシガレイの成長 (各試験区 n=40) Shimizu et al. (2019)を改編

2. 緑色LED光下で飼育し成長促進させたホシガレイと通常の屋内光で飼育したホシガレイの脳・下垂体を分析し食欲及び成長に関する様々なホルモン遺伝子の発現量を調べました。その結果、緑色LED光により発現量が増加したのは、メラニン凝集ホルモン(MCH)-1型だけであり、傍証の段階ではありますが、MCH-1型の食欲亢進作用によって摂餌量が増加し、成長が促進されると考えられます。
3. また、緑色LED光で成長促進したホシガレイと従来法で養殖したホシガレイにおいて、筋肉中の一般成分、遊離アミノ酸組成等の分析、及び官能検査を行った結果、両者で差はなく、緑色LED光照射飼育は養殖したホシガレイの「質」に悪影響を及ぼさないことがわかりました。これらの結果により、緑色LED光照射で養殖した魚に対する理解を、新規着業者と消費者から得られると考えています。
4. さらに、ホシガレイ陸上養殖の事業化に向けた基盤技術として、飼育密度、水温、塩分など各種飼育条件も明らかにしました。以上の技術をパッケージとして

新規養殖業者に提供しています。

アウトカム

1. 地元漁協と共同でホシガレイの養殖試験を令和元年から開始し、3期連続で養殖ホシガレイ (700g) の出荷 (約 500 尾) を達成しました。さらに、緑色 LED 光照射により通常 2 年かかる養殖期間を 1 年に短縮できました (図 3)。
2. 種苗量産技術が確立されるとともに、養殖での飼育条件が解明され、緑色 LED 光照射による成長促進により養殖期間が 1 年に短縮できたことから、東北地方の新たな養殖産業として発展することが期待されます。

本成果が記された論文

1. Shimizu *et al.* (2019) *General and comparative endocrinology*. 271 82-90.
2. 清水ら (2020) *水産増殖*. 68(2) 169-176.
3. Shimizu *et al.* (2021) *Fisheries Science*. 87(1) 113-119.
4. 清水 (2022)e-水産学シリーズ 3「光が彩るヒラメ・カレイ類養殖」. 22-33.

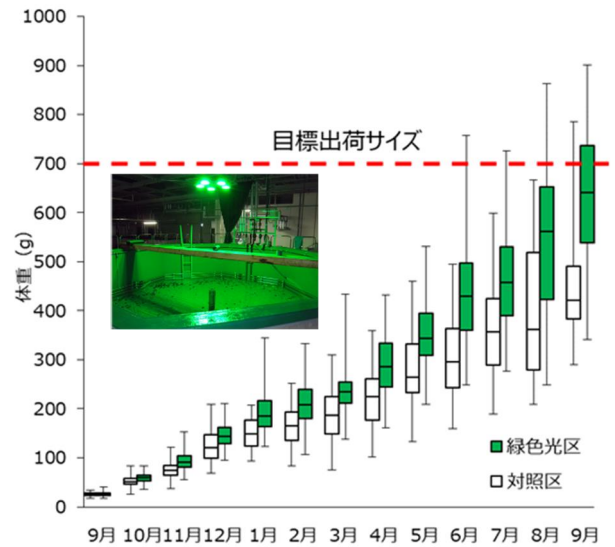


図 3. 緑色 LED 光照射飼育で養殖開始後、1 年で出荷サイズ (700g) に達した (通常は 2 年) (各試験区 n=800、月に 1 回 n=50 を測定)
清水 (2022) を改編

音響によるツノナシオキアミの現存量推定精度向上に寄与

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. ツノナシオキアミ (*Euphausia pacifica*, 図1) は、主に北日本沿岸に多く生息する最大体長 20 mm 程度の甲殻類です。植物プランクトンを食べて成長し鯨類や魚類の餌になることから、生態系の中で重要な種の一つとして知られています。また、三陸沿岸では直接の漁獲対象にもなっており、養殖の餌料や釣り餌として利用されるほか、干したものが食用としても利用されています。このようにツノナシオキアミは、水産有用種の一つであり、その分布や現存量（ある時点での生物量）を知ることが求められています。
2. 計量魚群探知機を使用した音響調査は、短時間で広範囲を連続的に調査可能という特長を持っており、魚類だけでなくオキアミ類を含む動物プランクトンについても実施されています。音響手法では、計量魚群探知機で得られた体積当たりの音響反射の強さを、生物1個体あたりの音響反射の強さで割ることによって体積当たりの分布密度を求め、これを深度方向に足し合わせることで、面積当たりの分布密度に変換します。尾数は調査面積と面積当たりの平均分布密度の積により求めることができます。このときに使用する生物1個体あたりの音響反射の強さをターゲットストレングス (TS) と呼んでいます。過去にオキアミ類やカイアシ類などの動物プランクトンのTSについて理論的に検討した結果から、密度比（海水に対する動物プランクトンの密度比）と音速比（海水に対する動物プランクトンの音速比）の2-3%程度の変化でTSは20dB変わることが報告されています(Chu et al., 2000)。20dBは現存量推定値では100倍の変化に相当し、無視できない誤差になります。TSが季節や年で大きく変動する場合には、その季節や年に応じたTSを使用



図1. 本研究で対象としたツノナシオキアミ。

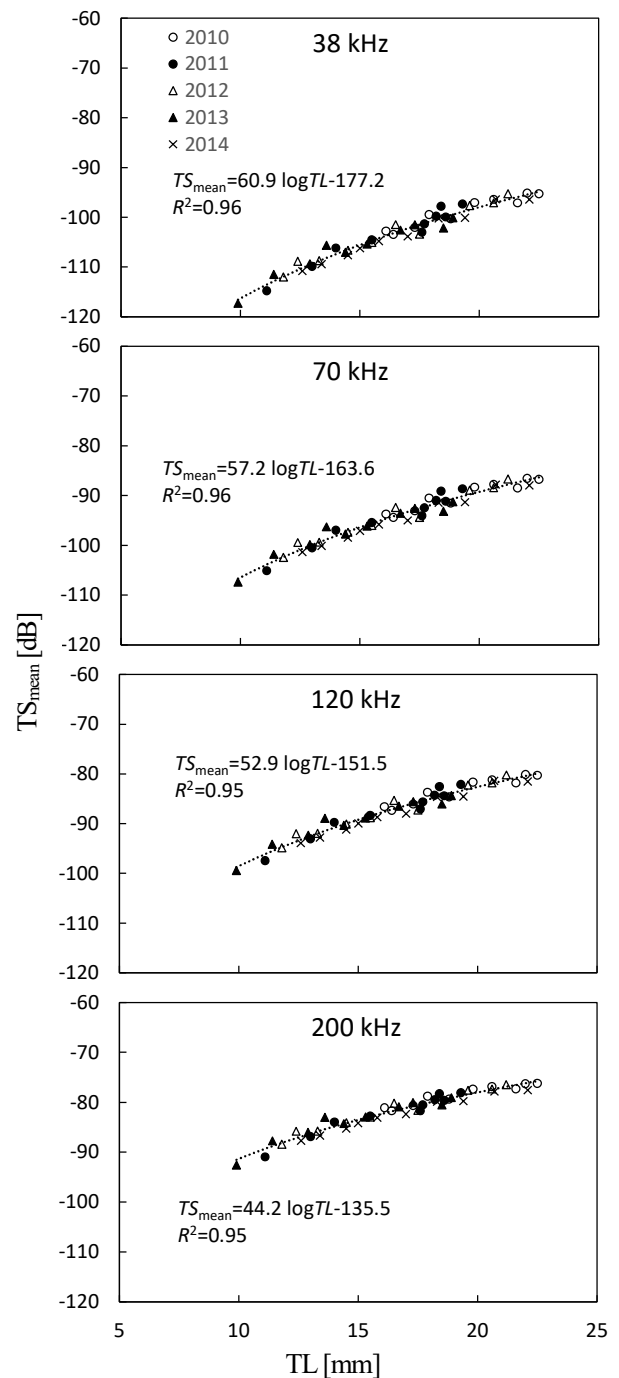


図2. ツノナシオキアミの全長 (TL) と姿勢平均 TS の関係

する必要があるため、その変動の程度をあらかじめ知っておく必要があります。

- 3.そこで本研究では、北海道釧路沖でツノナシオキアミの密度比、音速比を5年間にわたって測定し、その年変化を調べました。次にこれらのパラメータを使い、

音響調査で使用される周波数 38、70、120、200 kHz について、ツノナシオキアミの姿勢平均 TS^{*1} を計算し、現存量推定に必要な全長と TS の関係を明らかにしました。

研究成果

1. 調査は 2010～2014 年の期間、北海道釧路沖で行いました。サンプル採集には、網口面積 5 m² のフレームトロールである MOHT、10 m² の多層曳可能な MOCNESS、口径 80 cm のリングネットを使用しました。また、TS の計算に必要な周囲の海水の密度と音速の値を調べるための調査も同時に実施しました。得られたサンプルからツノナシオキアミのみを抜き出し、密度比と音速比の測定を行いました。密度比と音速比はそれぞれ density bottle 法^{*2} と T チューブを用いた伝搬時間計測法^{*3} で測定しました。測定した結果から、密度比と音速比に年変動がどの程度あるかを確認しました。
2. 各年の密度比と音速比を使用して計算したツノナシオキアミの姿勢平均 TS を図 2 に示します。上から周波数 38、70、120、200 kHz の順に示してあり、横軸は全長 (Total length、TL、単位 mm)、縦軸は対象の遊泳姿勢分布を考慮した姿勢平均 TS (TS_{mean} 、単位 dB) です。図中のシンボルの違いで各年の違いを示しています。4 周波とも各年の間で姿勢平均 TS に大きな変化がないことがわかりました。また、すべてのデータを使用した近似曲線も一緒に示しています。この図から TL と姿勢平均 TS の関係は以下の式で表されることがわかりました。

$$38 \text{ kHz } TS_{\text{mean}} = 60.9 \log TL - 177.2$$

$$70 \text{ kHz } TS_{\text{mean}} = 57.2 \log TL - 163.6$$

$$120 \text{ kHz } TS_{\text{mean}} = 52.9 \log TL - 151.5$$

$$200 \text{ kHz } TS_{\text{mean}} = 44.2 \log TL - 135.5$$

アウトカム

1. 本研究の結果からツノナシオキアミの密度比と音速比の年変化は、TS に大きな影響を与えないことがわかりました。
2. 今回測定した密度比と音速比の値から計量魚群探知機で使用される周波数 38、70、120、200 kHz における TL と姿勢平均 TS の関係を示しました。これからは本調査海域のツノナシオキアミの現存量推定には、本研究で示した関係式を使用することができます。

本成果が記された論文

福田ら. (2022) 海洋音響学会誌. 48(1), 1-14

Doi: 10.3135/jmasj.48.1

参考文献

D. Chu, P. Wiebe, and N. Copley, ICES J. Mar. Sci., 57, 1128-1142(2000).

注

*1 TS は姿勢によって変わるため、現存量推定のときには姿勢変化の影響を考慮した平均値を用います。

*2 密度の異なる溶液を作製し、オキアミが中性浮力となったときの密度をオキアミ密度とする手法です。

*3 T 型のチューブをさかさまにし、片方に送波器、もう片方に受波器をつけ、チューブの中の海水だけあるいは多数のオキアミを入れた状態で、短いトーンバースト波を送波します。このときのチューブ内通過時間を測定し、オキアミの体内を通過する音波の速度を推定する手法です。

マガキ採苗不調の原因解明のための調査・解析

水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 漁場生産力グループ

研究の背景・目的

1. 広島湾は日本最大のマガキ養殖産地であり、全国のマガキの約60%が生産されています。本海域では、マガキ養殖に用いる種苗のほとんどを天然に発生する幼生を採苗器に着底させる天然採苗により確保しています。しかし近年、養殖に必要な量の種苗が確保できない、いわゆる採苗不調が問題となっています。マガキの幼生は卵から孵化した後、約2週間の浮遊期を経て着底します。この浮遊幼生期に餌が少ないなど、環境が不適であると着底が上手くいかず、採苗不調に繋がる可能性がこれまでに指摘されてきました。しかし、科学的な知見は不足している状況でした。
2. そこで本研究では、マガキ浮遊幼生の生息環境（水温、塩分、浮遊幼生の餌の量）と着底の成否との関係を明らかにするために、広島市及び広島県と協同し、3カ年にわたり広島湾で観測を行いました。
3. また、マガキ浮遊幼生の餌は非常に小さな植物プランクトンであると考えられていましたが、詳しい種類についてはこれまで不明でした。本研究では、マガキ浮遊幼生の餌生物の特定と、その餌生物の増殖特性の解明にも取り組みました。

研究成果

1. 広島湾において、2018年から2020年の6月から8月に、水温、塩分、浮遊幼生の餌の量（ $10\mu\text{m}$ よりも小さなサイズの植物プランクトン由来のクロロフィル濃度）を週に一度調査しました。また、マガキ浮遊幼生の発生量（D型幼生の密度）とその着底量も調査し、浮遊幼生の着底の成否を評価する指標（着底指数：着底量/D型幼生密度、高いほど着底に成功）を作成しました。その結果、D型幼生期の水温が 26.9°C 以上であり、 $10\mu\text{m}$ よりも小さなサイズの植物プランクトン由来のクロロフィル濃度が $5\mu\text{g/L}$ 以上であると、着底が上手くいくことが見出されました（図1）。逆の見方をすると、D型幼生期の水温が低い場合や、餌の量が少ない場合にはその後の着底が上手くいかず、採苗不調に繋がることが示されました。D型幼生期は浮遊幼生期のごく初期にあたりますが、この時期の餌の多寡が広島湾におけるマガキの天然採苗の好不調に影響を与えることが明らかになりました。このこと

は、数値シミュレーションでも再現され（図2）、実際の現場データとも整合するものでした。

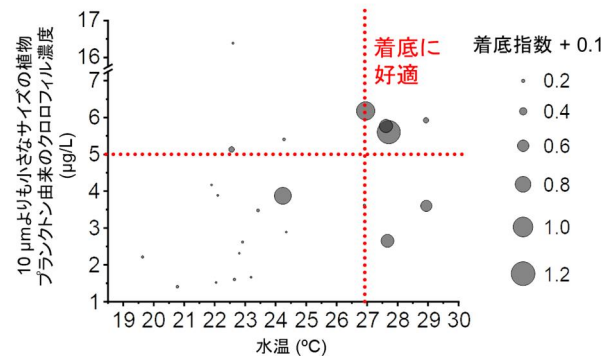


図1. D型幼生期における水温及び餌の量と着底の成否との関係

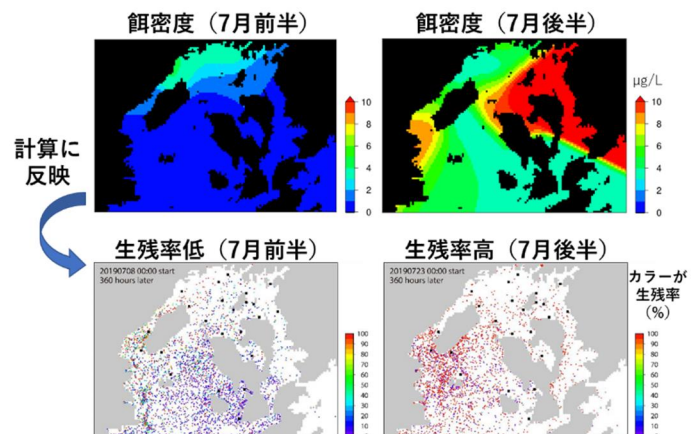


図2. マガキ浮遊幼生の餌料環境を反映したシミュレーション例（餌密度によって生残率が変化）

2. 広島湾の海水やマガキ浮遊幼生の消化管内容物におけるDNAの網羅的解析（メタバーコーディング解析）の結果、植物プランクトンの中でも珪藻類のシクロテラ属がマガキ浮遊幼生の主要な餌であることを見出しました（表1）。

表1 広島湾で採取したマガキ浮遊幼生の消化管内容物から検出された植物プランクトン（数字はDNA量）

植物プランクトン	マガキ浮遊幼生の殻長			
	<90 μm (D型幼生)	90~120 μm (小型)	120~240 μm (中型)	>240 μm (大型)
シクロテラ属	3.4	34	79.1	105.7
ナピキュラ属	未検出	28	未検出	未検出
ニッチア属	0.4	未検出	未検出	未検出
キートセロス属	未検出	18.4	2.2	6.9
テラセルミス属	未検出	13.8	3.3	未検出

3. また、2021年にはシクロテラ属を広島湾の海水から分離、培養することに成功しました(図3)。

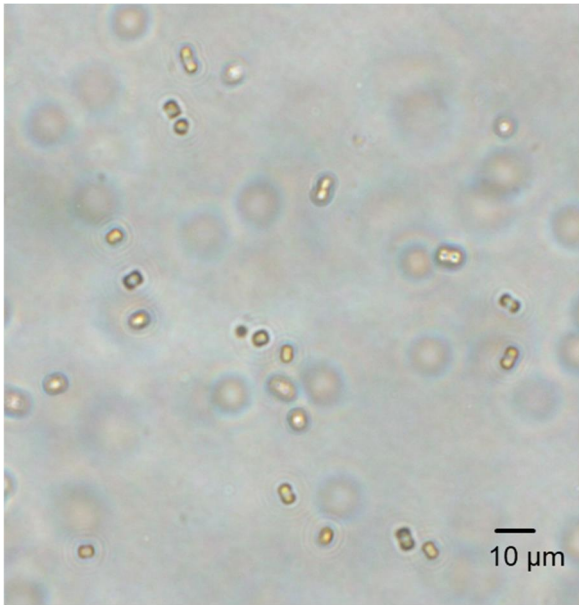


図3. 広島湾の海水から分離したシクロテラ属の培養株

このシクロテラ属の培養株と、人工授精により作出したマガキ浮遊幼生を用いた飼育試験の結果、マガキ浮遊幼生はシクロテラ属をよく捕食することが確認されました(図4)。また、培養株を用いてシクロテラ

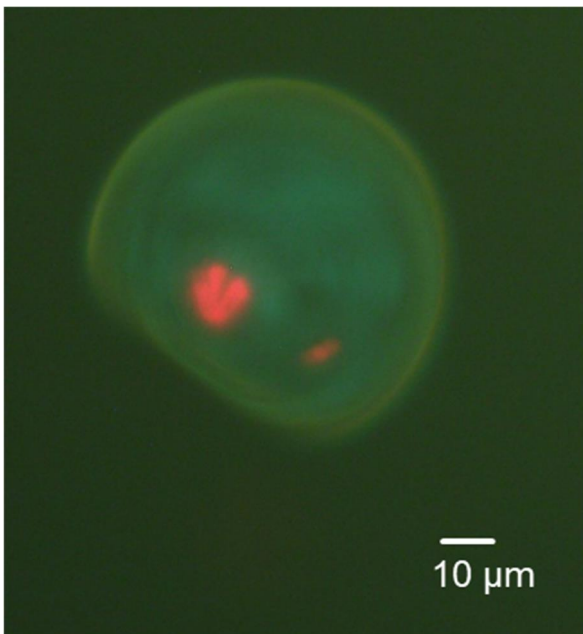


図4. シクロテラ属の培養株(赤色)をマガキ浮遊幼生が捕食した様子(蛍光顕微鏡で撮影)

属の増殖特性を調べたところ、増殖に好適な水温は25~30℃であることが明らかになり(図5)、現場でシクロテラ属が優占する場合の水温と一致していました。このことから、水温をこまめに把握しておくこと

が、シクロテラ属の発生予測に重要であ

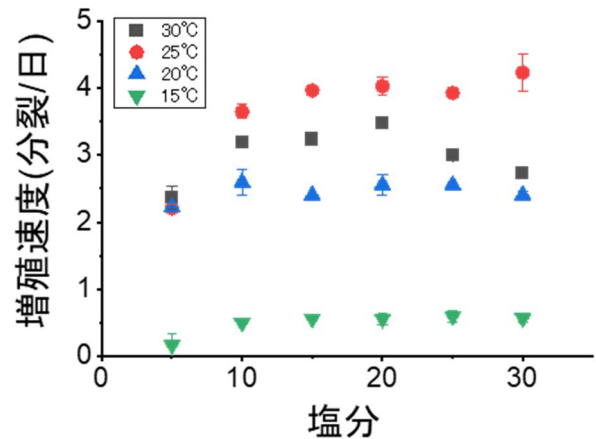


図5. シクロテラ属の水温及び塩分に対する増殖特性

と考えられました。シクロテラ属はサイズが3 μm程度と非常に小さいため、通常の顕微鏡観察では存在を把握することができません。しかし、本研究では海水中に含まれるシクロテラ属のDNA量からその生物量を定量的に把握する手法(定量PCR)を確立しました。2022年度からは、漁協など広島湾におけるマガキ養殖の関係者へ、浮遊幼生の餌料環境情報の即日での提供を試行しています。

波及効果

1. D型幼生期の水温が26.9℃以上であり、餌が豊富であると、マガキの着底が上手くいくことが明らかになりました。好適な餌密度であるクロロフィル濃度5 μg/Lは、3 μmのシクロテラ属の場合、40,000 cells/mLの細胞密度に相当します。D型幼生が着底するまでには10日間ほどかかるので、水温や定量PCRによる餌生物量の調査データから、10日後に採苗が上手くいくかどうか予測することができます。また、今後、シクロテラ属の発生予測法が確立されれば、その予測結果を本研究で構築した数値モデルに組み込むことで、採苗に好適な時期と海域の予測が可能となり、天然採苗の安定化に繋がることを期待されます。
2. 本研究では、シクロテラ属の培養株の確立に成功しました。シクロテラ属はマガキ浮遊幼生の重要な餌であることが分かりましたが、これまでに二枚貝の種苗生産用の餌料として活用されたことはありません。今後、シクロテラ属を高密度でかつ大量に培養することが可能になれば、二枚貝の種苗生産における新たな餌生物としての利用が期待されます。

電位操作によるベントスの活性変化の把握及び底質改善効果

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
共同研究機関 理化学研究所 環境資源科学研究センター

研究の背景・目的

1. 人口の増加に伴う食料危機を回避する切り札として、養殖業を主とした持続可能な水産資源に大きな期待がかかっています。
2. 一方で、過剰な飼料投与による養殖環境の悪化は、深刻な問題になっています。特に、残餌や排泄物が蓄積する底質環境への負荷は大きく、底質のヘドロ化や富栄養化状態を作り出し、貧酸素水塊が形成されるだけでなく、赤潮や魚病の発生につながる懸念されています。
3. そのため、底質環境の健康度を評価するための環境評価技術や実用性のある底質改善技術の開発が求められています。
4. これまで、国立研究開発法人理化学研究所及び民間企業と共同で、底質環境指標の一つである酸化還元電位（環境電位）のリアルタイムモニタリングに成功しました。本課題では外部からの電位操作による底質改善効果及び底生動物（ベントス）の活性変化を検証し電気化学的手法を活用した底質浄化法の有効性を検証しました。

研究成果

1. 重度の有機汚濁底質（酸揮発性硫化物量*¹（以下、硫化物量）：11.2 mg/g-dry）を、電位操作が可能なリアクター内に入れ、底質の電位を人為的に正の電位（0.30 mV vs. Ag/AgCl）に操作し、60日間、20℃で培養しました。作用極にはガラス電極（フッ素ドープ酸化スズ（FTO）電極）を用い、電位操作を行わないリアクターを対照区とし各試験区には4つの繰り返し区を設けました。試験開始から、10日、30日及び

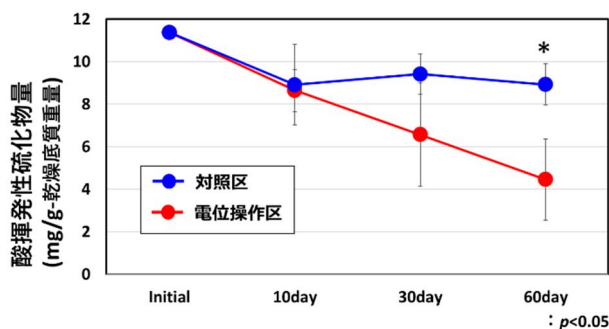


図1. 電位を酸化的に操作した際の硫化物量の変化

60日後に、底質中の硫化物量及び硫酸還元菌*²の遺伝子コピー数（菌数）を経時的に解析しました。その結果、人為的に電位を0.30 mVに操作した試験区の硫化物量は、30日目に平均6.6 mg/gまで減少し、60日目には平均4.6 mg/g（6割減少）となり、対照区と比較して有意な差が認められました（図1）。硫酸還元菌数は、硫化物量と同様に、30日目から対照区と比較して低い値を示し、60日後には有意な差が認められました。（図2）

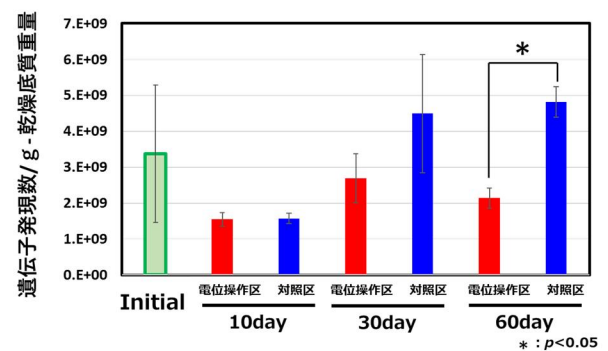


図2. 定量PCR法による硫酸還元菌数の推移

以上の結果から、汚染底質の電位を人為的に操作することで、電気化学的に硫化物量が減少するほか、硫酸還元菌の活性を抑えることが可能であることが明らかとなりました。

2. ゴカイやミミズなどのベントスは底質中の有機物質を分解したり、自らが動き回ることによって底質を攪拌し底質環境を浄化する能力を持つことが知られています (Ito et al., 2016)。海産ミミズ (*Thalassodrilides cf. briani*) はベントスの中でも汚染に対して耐性が高く、有害な化学物質も浄化する能力があることが明らかになっています (Ito et al., 2022)。底質浄化を効率よく行うには、ベントスが底質中で活発に動き回ることが重要です。そこで、底質電位の変動に伴うベントスの活性変化を検証するため、環境電位を計測しながら、海産ミミズの行動を調べました。飼料を投与する前は、およそ半数の海産ミミズが尻尾を海水に突き出していました。飼料の投与により電位が低下すると、ほぼ全ての海産ミミズは底質に潜り出し、体全体を底質に埋めま

した。数日後、電位が回復し出すと、尻尾を海水に突き出した元の行動に戻りました(図3)。このことから、海産ミミズの行動も、底質電位を計測することで評価できることが示唆されました。さらに、核磁気共鳴(NMR)法を用いて、異なる環境電位に置かれた海産ミミズの代謝解析を行いました。その結

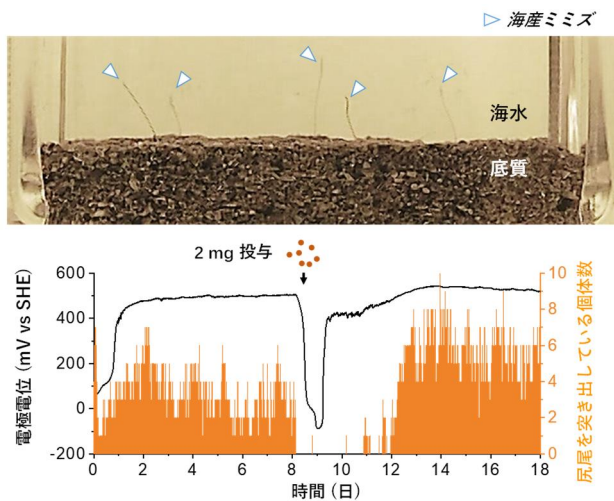


図3. 電位に応じた海産ミミズの行動変化

果、海産ミミズは環境電位が高く、酸化的な環境(酸素が比較的多い環境)では尻尾を海水に出し好気呼吸を行い、一方、環境電位が低いときには底質の中に体を沈めフマル酸呼吸^{*3}を行っていることが分かりました。

これらの結果は、海産ミミズが、飼料の投与により大きく変動する環境電位に対して、行動と代謝を切り替えながら適応していることを示しています。

波及効果

1. 環境電位は給餌量に応じて変化することから、同手法を用いることで養殖場での適切な給餌量を見積もることが可能になります(特許 WO2018/127989)。人為的に電位を操作することで海産ミミズの代謝活性さらには運動性までも制御が可能であることから、養殖場の環境診断のみならず、微弱電気を利用した環境浄化法としての利用が期待されます。
2. 以上の成果は、環境負荷を抑えた持続的な水産養殖業や、汚濁した底質の浄化法の確立に向けた進歩であり、国際連合が2016年に定めた17項目の「持続可能な開発目標(SDGs)」のうち「2.飢餓をゼロに」「6.安全な水とトイレを世界中に」「14.海の豊かさを守ろう」に貢献する成果です。

プレスリリース

「電気を使った海産ミミズの観察と制御—養殖場の環境診断と浄化技術への応用に期待—」令和4年8月9日 理化学研究所—水産研究・教育機構 共同プレスリリース

水産研究・教育機構ウェブサイト

<https://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr2022/20220809/20220809press.pdf>

本成果が記された論文

Shono *et al.* (2022) *Frontiers in Microbiology*

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.907703>

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究脱炭素・環境対応プロジェクトのうち「有害プランクトンに対応した迅速診断技術の開発 研究代表者：五條堀孝」JPJ005317の課題にて行われました。

用語説明

*1 底質の環境評価する指標の一つ。値が高いほど底質環境が悪いことを示し、水産用水基準で示されている底質基準値は0.2 mg/g-dryである。

*2 嫌氣的環境において有機物を分解し、硫黄化合物を還元する微生物の総称。硫化水素などの還元物質を生成することで、底質の環境電位は低下する。

*3 低酸素濃度環境で進行する呼吸の一種。酸素の代わりに、コハク酸が最終電子受容体として働く。

参考文献

Ito, K., *et al.* (2022). *Sci Total Environ*, 153969.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153969>

Ito, M., *et al.* (2016). *Chemosphere*, 163, 392-399.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.046>

安全なサキシトキシン鏡像異性体標準物質の開発

水産技術研究所 環境・応用部門 水産物応用開発部 安全管理グループ

研究の背景・目的

1. 国内における二枚貝の麻痺性貝毒検査では、動物を用いた検査が用いられていますが、EUをはじめとする諸外国において、機器分析法への移行が進められています。
2. 機器分析における検査対象成分の一つであるサキシトキシン (STX) は、化学兵器の原料となる化学物質として、経済産業省の許可なく製造、使用することが禁止されているため、麻痺性貝毒機器分析法の普及の妨げとなっています。
3. 物理化学的性質は同じですが、天然型 STX とは薬理活性が異なると推測される STX 鏡像異性体 (右手と左手の関係のように、鏡に映したような構造をもつ化学物質) に着目し、無毒で安全な STX 鏡像異性体標準物質の開発に取り組みました。

研究成果

1. L-リンゴ酸を出発原料 (合成の最初に用いる原料) に、STX 鏡像異性体の立体構造を維持した合成に成功しました (図1)。この化合物は非常に安定で、天然型 STX に変換することはありませんでした。

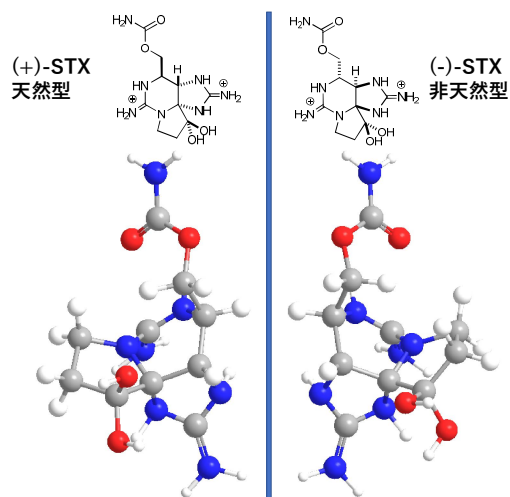


図1. STX (天然型) と STX (非天然型: 鏡像異性体) の化学構造と立体構造

2. 合成した鏡像異性体は、機器分析において、分析カラムから溶出してくる時間 (保持時間) や検量線、化合物特有の断片化パターン (MS/MS フラグメンテーション) が STX と同一であるため、機器分析の標準

物質として利用できることが明らかになりました。さらに、抗体を用いた簡易分析法であるイムノクロマトグラフィー法では、STX とその鏡像異性体を識別できることが確認できたことにより、検査機関等で鏡像異性体を STX と識別し、安全に管理できることが明らかになりました。(図2)

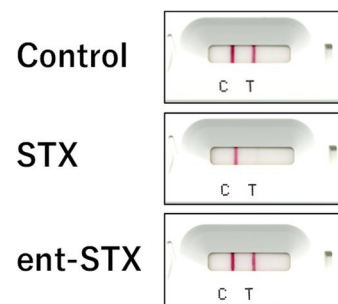


図2. イムノクロマト法による STX とその鏡像異性体 (ent-STX) の識別: T ラインにバンドが消失していると、STX 陽性と判別します。

3. 鏡像異性体の毒性について様々な方法を用いて調べました。100 マウスユニット (1 マウスユニットがマウスを1匹殺す毒量に相当) の STX 鏡像異性体をマウスの腹腔内に投与しましたが、致死毒性を示しませんでした。また、STX の作用標的である電位依存性ナトリウムチャンネル (神経や筋肉細胞の表面にあり、ナトリウムイオンが通る穴を形成する。STX はここに結合して神経伝達を遮断するため、四肢の麻痺や呼吸困難等が生じる。) を豊富に発現した Neuro 2A 細胞を用いた毒性試験を実施したところ、対照としたテトロドトキシン (STX と同様の作用標的を持つ神経毒成分) の約 7500 分の1以下の活性しかないことを確認しました。さらに、ナトリウムチャンネルへの特異的な作用を調べたところ、鏡像異性体はチャンネルにおけるイオンの流入阻害作用がなく、無毒であることがここでも証明されました。

アウトカム

1. STX 鏡像異性体を用いた貝毒検査法を公定法として、あるいは地方公設試験場や民間検査機関に社会実装するため、経済産業省において化学兵器禁止法上における鏡像異性体の取り扱いが検討された結果、一般試

薬としての流通が可能となります。

2. 毒性のあるSTXを使用せずに、機器分析によりSTXを検査できるようになり、国内において機器分析への移行が可能になります。
3. STXの保有量を減らすことにより、我が国も批准している化学兵器禁止条約の施行に貢献します。

本成果が記された論文

Watanabe et al. (2022) Anal. Chem. **94**, 11144-11150

LED 船上灯によるいか釣漁業の収益性改善効果

開発調査センター 実証化企画室

研究の背景・目的

- 我が国で漁獲されるスルメイカの約半分とアカイカのほぼ全てはいか釣漁業により供給されています。本漁業の主力漁船である中型いか釣漁船のスルメイカの漁獲量は、平成23年度の約4万トンから令和3年度には約6千トンまで急減しています。そのため、中型いか釣漁船の利益も減少しており、抜本的な収益改善策が必要です。
- いか釣漁業は、より広い範囲から多くのいか類を集めるため、夜間の操業で強い光を発する船上灯を常時使用しています。そのため、必要な発電量が多くなり、他漁業と比較して単位漁獲量あたりの燃油消費量が多い傾向にあります。また、現在の船上灯には、主に水銀が含まれているメタルハライドランプ（以降MH）が用いられています。一方、我が国では、カーボンニュートラル宣言や水銀使用に関する水俣条約が施行されています。これらの対策として、従来の光源であるMH船上灯から電力消費量の少ないLED船上灯に転換して、省エネルギー化と水銀からの脱却を図る取り組みが必要と考えられます。
- 同じく船上灯を利用するさんま棒受網漁業と異なり、いか釣漁業ではLED船上灯の普及が進んでいません。この要因としては、いか釣漁業において、使用する船上灯の光源の違いやLED船上灯を使用した場合の漁獲性能や省エネ効果、さらに、その導入による収益性への影響が不透明であることが考えられます。そこで、中型いか釣漁船を対象に、船上灯を全てLED光源とした場合（全灯LED船上灯）の（図1）の有効性を実証する調査を複数年にわたり行いました。



図1. 調査船に搭載したLED船上灯

研究成果

- 船上灯の光源の違いが、漁獲に影響を及ぼすかどうかを確認するための実験を行いました。実験にはMH船上灯とLED船上灯を両方搭載した2隻の中型いか釣漁船を用いて、交互に異なる光源の船上灯を一晚毎に入れ替えながら操業して漁獲量を比較しました。その結果、2つの光源の光の明るさと広がりをもとに同等にすることで、スルメイカの漁獲量に違いは生じないことを確認しました。ただし、この実験は実際に操業している中型いか釣漁船（当業船）よりも弱い明るさで行われたため、当業船の光の明るさと広がりにも合わせたLED船上灯の調査も必要となりました。
- 全灯LED船上灯を搭載した中型いか釣漁船（調査船）と、MH船上灯を搭載した複数の当業船の漁獲結果を比較することで、LED船上灯を導入した場合の漁獲性能を調べました。なお、LED船上灯の光の明るさや広がりには当業船のMH船上灯の光の明るさと広がり（船上灯出力：190~250kW）と同等となるように設定しました。アカイカ及びスルメイカを対象に同時期・同海域で操業したところ、平成27年度から令和2年度までの当業船に対する調査船の漁獲割合は、アカイカで約1割多く、スルメイカで約1割少なくなりました（表1、当業船の漁獲量は中央値）。

表1. 当業船に対する調査船の漁獲割合

年度	当業船に対する調査船の漁獲割合(%)	
	アカイカ	スルメイカ
H27	-	103.7
H28	-	97.3
H29	102.5(冬漁)	72.3
H30	102.4(夏漁)	81.7
R1	120.0(夏漁)	49.7
R2	117.3(夏漁)	46.0
H27~R2	114.3	90.7

- MH船上灯とLED船上灯を用いた場合のそれぞれの燃油消費量を調べて、LED船上灯の導入による省エネ効果を定量的に確認しました。漁場移動や探索等の航走時や船上灯を使用する操業時も含めた1稼働日あたりの燃油消費量の削減割合は、アカイカ操業では約2割、スルメイカ操業では約3割となり（図2）、

省エネ効果が認められました。

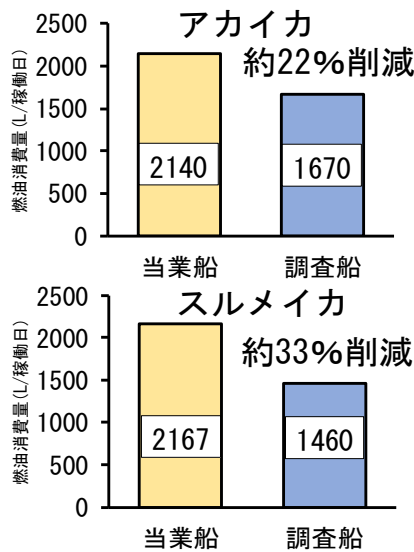


図2 稼働日あたりの平均燃油消費量の比較
上：アカイカ操業 下：スルメイカ操業

4. LED 船上灯の導入による収益性への影響を把握するため、漁業経営の実態に則した収支を比較しました。各年度の1年間の漁労収支は、LED 船上灯とMH 船上灯を使用した場合の漁獲性能の違いを考慮して求めた全漁獲物の販売金額を収入とし、LED 船上灯の省エネ効果による燃油消費量の違いも含めた漁労売上原価や販売費及び一般管理費を支出としました。平成27年度から令和2年度まで(平成29年度を除く)の調査船の漁労収支は、全ての年度で当業船と同等かそれ以上となりました(表2)。なお、スルメイカが不漁であった令和元年度と令和2年度は、調査船のスルメイカの漁獲量は当業船を大幅に下回りましたが(表1)、LED 船上灯の利用による省エネ効果とアカイカの漁獲量が当業船を上回ったことで、年間の漁労収支は当業船以上となりました。

表2 調査船と当業船の漁労収支の比較

年度	漁労収支 (万円)		
	調査船	当業船	調査船-当業船
H27	36	-253	289
H28	4,136	4,109	27
H30	-546	-929	383
R1	-1,259	-1,652	393
R2	-1,073	-1,314	241

※平成29年度は調査期間が短いため、試算から除外した

5. 漁労収支の試算に用いた燃油単価は調査当時の価格(47~76円/L)でしたが、現在(令和5年1月)は様々な世界情勢の影響により、さらに燃油価格が高騰(88円/L)しています。そのため、いか釣漁業における支出はより増大しており、LED 船上灯の導入による燃油経費の削減効果はより高まっています。また、スルメイカが不漁の昨今において、アカイカ操業でのLED 船上灯の優位性は、収益性を確保するための重要な点となります。

アウトカム

- これらの成果は、LED 漁灯活用ガイドII (<http://jamarc.fra.affrc.go.jp/LEDguide2/LEDguide2.htm>) として取りまとめました。また、プレスリリース (https://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr2022/20221223_1/index.html) や水産業普及指導員研修会を通じて、関係各所へ広報しました。
- 全灯LED 船上灯で操業する中型いか釣漁船、優位性が確認されているアカイカ操業時にLED 船上灯のみを使用する中型いか釣漁船もあります。また、一部にLED 船上灯を導入している中型いか釣漁船もあり、中型いか釣漁船におけるLED 船上灯の普及は拡大しつつあります。

麴由来アミン酸化酵素と酢酸菌アルデヒド酸化酵素の共役反応による 水産食品中ヒスタミンの消去技術の確立

水産大学校 食品科学科 食品機能学講座
山口大学 農学部 生物機能科学科 応用微生物学研究室

研究の背景・目的

1. ヒスタミンは、生体アミンとして我々の体内で働く低分子化合物ですが、一般的には食中毒の原因物質として知られています。ヒスタミン食中毒の原因食品の代表は、魚とその加工品であり、チーズや種々の発酵食品からも高濃度のヒスタミンが検出されることがあります。これらのヒスタミンは、アミノ酸脱炭酸酵素を持つ微生物（モルガン菌や一部の乳酸菌等）の汚染や増殖によって、食品に含まれる遊離アミノ酸であるヒスチジンから産生されます。食品の衛生管理が発達した我が国でも、ヒスタミン食中毒の事例は絶えず、消費者庁の公表では2013～2017年の5年間で50件、患者数1,013名となっています。これに、表面化しにくい食卓での発生を加えると、さらに多くの食中毒が発生していることが想定されます。幼児や児童の食中毒は、健康被害が深刻になりやすく、食中毒経験後の魚とその加工品の過剰な回避による食文化の衰退や消費の低迷につながる懸念があります。
2. 我が国では、厚生労働省、農林水産省、内閣府食品安全委員会から、それぞれ個別にヒスタミン管理指針が示されており、各都道府県では、食品衛生法に基づいて監視指導をしています。欧米では、世界保健機構（WHO）とアメリカ食品医薬品局（FDA）が合同で食品の国際規格（CODEX規格）として、食品中のヒスタミン濃度に対する安全基準を厳密に定めています。多くの場合、ヒスタミン濃度が200ppmを超えないように管理されていますが、登田らの報告^{*1)}では50～100ppmでもヒスタミン食中毒が発症する可能性が指摘されています。
3. ヒスタミン食中毒が発生してしまうと、消費者のみでなく生産者、販売者も多大な損害を被るため徹底した予防管理が求められます。今日では、食品中のヒスタミン量は、比色定量法等で容易に測定することができるため、徹底した温度管理を行うことで中毒リスクを軽減できます。しかしながら、ヒスタミンは、一度産生されると加熱加工による分解や洗浄による除去が困難であり、食品加工の範疇で除去する技術はあり

ませんでした。すなわち、管理指針や安全基準が示されているものの、抜き取り検査と低温管理に依存しており、途上国や我が国の中小零細企業では常に不安と隣合せでした。この不安を裏付けるように、実際に我が国で市販されている食品におけるヒスタミン含有状況の報告例^{*2)}では、干物で約6品に1品、練り製品で約15品に1品の頻度で50ppmを超えるヒスタミンが検出されており、それぞれの最高値は3,400ppm、340ppmでした。同調査では、チーズでも2,000ppmを超えるヒスタミンが検出された事例が複数報告されています。

上述のように、ヒスタミン食中毒は、今日の我が国においても身近で見過ごすことのできない問題です。特に、低温管理のみに依存した予防管理策は薄氷を踏むような状況であり、より強固なヒスタミン食中毒対策が求められます。そこで、本研究では、醸造等を通じて古来より食経験が豊富な麴カビと酢酸菌を活用し、麴由来のアミン酸化酵素（FAO）と酢酸菌由来のアルデヒド酸化酵素複合体（ALOX）の2酵素共役反応によるヒスタミンの消去に取組みました。そして本研究成果を水産食品の衛生管理強化策として応用し、食経験のある微生物を活用した安全で安価なヒスタミン消去技術として、食品加工現場に実装可能にすることを目指しました。

研究成果

1. 図1に示したFAOとALOXの共役反応系（FAO/ALOX）によるヒスタミンのイミダゾール-4-酢酸（I4AA）への酸化を実証しました。共役反応とは複数反応が組み合わさり連動しておこる化学反応を意味します。FAOとALOXのような酵素反応においても、一方の反応生成物が他方の反応の基質となるような一連の反応系列を作っている場合、これらの酵素は共役して反応するといえます。FAO/ALOXは、2段階で進む共役酸化反応であり、第1段階ではヒスタミンをFAOが酸化して対応するアルデヒド、すなわちイミダゾール-4-アセトアルデヒドに変換しま

す。このイミダゾール-4-アセトアルデヒドは文字通りアルデヒドであるため未だ有害です。そこで第2段階で ALOX がイミダゾール-4-アセトアルデヒドを対応するカルボン酸である I4AA に酸化します。I4AA はヒトの体内で行われるヒスタミン代謝(解毒)でも生じる化合物です。また FAO/ALOX の主旨はアルデヒド生成後に間髪を入れず直ちにカルボン酸へと酸化することにあるため、ヒスタミンの減少と I4AA の生成が反応の開始から終了まで化学量論的に一致する必要があります。FAO と ALOX を共役させずに FAO のみでヒスタミンを酸化した場合は、生じたイミダゾール-4-アセトアルデヒドが共存するタンパク質等と無秩序に反応してしまい、意図しない様々な化合物が多量に生じてしまいます。当然ながら、その後に ALOX を作用させても当初のヒスタミン量に応じた I4AA は回収できません。ゆえに FAO と ALOX が冒頭に述べた共役反応を行うことについて検証しました。高速液体クロマトグラフ (HPLC) による両物質の定量分析法を用いて、両化合物の増減量の一致から、間接的ですがアミンから生じたアルデヒドが他の分子と自由に反応することなくカルボン酸まで酸化されることを証明しました。

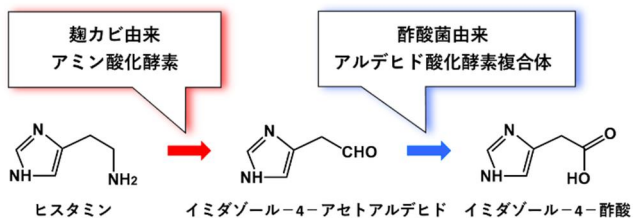


図1. FAO/ALOX によるヒスタミン消去の概要

2. 実際の食品保蔵条件でも FAO/ALOX が成立することを証明しました。まず、一般的な水産塩蔵品など高塩濃度の食品では、酵素活性が低下することが懸念されるため、高塩濃度条件下での FAO/ALOX のヒスタミン消去活性について検討した結果、5% 塩化ナトリウム (NaCl) 存在下では、NaCl 非存在下と比較してヒスタミン消去活性に変化は見られませんでした。他方、10% NaCl 存在下では活性が半減し、15%以上では 1/3 以下に低下しました。多くの塩蔵品は食塩濃度が5%以下であることから、FAO/ALOX の適用範囲は十分に広いことが示唆されました。さらに、低温条件下 (10°Cまたは4°C) でもヒスタミンを I4AA へと変換可能であることを確認しました。
3. アジの干物や市販顆粒出汁をモデルに、FAO と

ALOX の実用例を示しました。ヒスタミン生成が起こった魚肉を模したヒスタミン添加マアジフィレー一夜干しやヒスタミン添加市販顆粒出汁において、FAO/ALOX によるヒスタミン消去と I4AA の生成について確認した結果、マアジフィレー一夜干しでは、当初 646 ± 59 nmol/mL であったヒスタミン濃度が FAO/ALOX を添加して 10°C で9時間静置した後ではヒスタミン濃度は 10 ± 15 nmol/mL に低下しました。I4AA の濃度は 120 時間後で 619 ± 87 nmol/mL まで増加し、ヒスタミンの消去率は、 $96 \pm 13\%$ に達しました (図2)。

これらの結果から、万が一ヒスタミンが生じた場合でも、FAO と ALOX を添加することで低温保存中にヒスタミンを消去することが示唆されました。

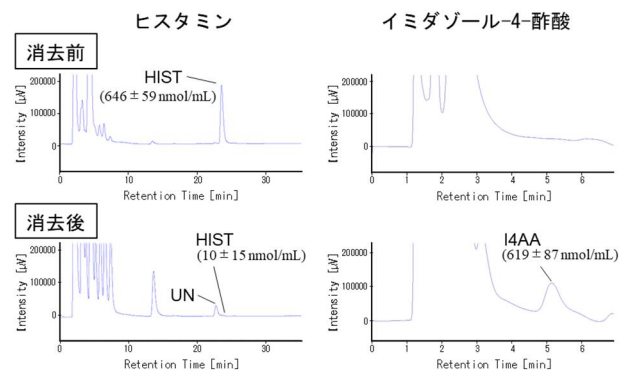


図2. ヒスタミン消去共役反応のヒスタミン含有魚肉 (マアジフィレー) への応用例

顆粒出汁では、こんぶ、いりこ、あご、かつお出汁として市販されている風味調味料各1種を用いて、各商品に記載されている方法で出汁溶液を調製し、各出汁溶液に 250 nmol/mL となるようにヒスタミンを添加することで、ヒスタミンが発生した出汁溶液を模して検証を行いました。同溶液に FAO 及び ALOX を加え、20°C で酵素処理した結果、各出汁中のヒスタミンは、酵素処理 10 分後に 1/2~2/3 が消去され、24 時間後までに大半が消失しました (表1)。I4AA 回収率は、こんぶ出汁、いりこ出汁及びあご出汁で 24 時間後までに添加したヒスタミンの 8 割に相当する I4AA が生成されました。他方、かつお出汁では 6 割に留まりました (表2)。以上の結果より、出汁の種類によって効果の違いは見られるものの、適切な FAO 及び ALOX の添加によって出汁中のヒスタミンを消去できることが示されました。

表1. 各出汁溶液におけるFAO/ALOXによるヒスタミン消去率

	10min	20min	30min	24h
こんぶ	57.02%	78.97%	91.83%	99.10%
いりこ	43.84%	65.47%	81.78%	98.26%
あご	45.56%	68.13%	81.99%	98.01%
かつお	53.80%	64.01%	86.91%	94.66%

*表中の時間は酵素添加後の経過時間

表2. 各出汁溶液におけるFAO/ALOXによるI4AA回収率

	10min	20min	30min	24h
こんぶ	0.46%	2.11%	4.06%	82.10%
いりこ	1.21%	3.05%	5.01%	82.47%
あご	0.35%	1.71%	2.90%	83.53%
かつお	0.55%	3.39%	5.20%	59.57%

*表中の時間は酵素添加後の経過時間

アウトカム

1. 世界で初めて水産食品等に適用可能で安全安価なヒスタミン消去技術を確立し、その応用例とともに論文報告しました。
2. 共同研究機関の山口大学にて、本技術の特許申請がなされ、令和4年11月に権利化されました。
【発明名称：アミンの酸化方法、特許第7176745号】

本成果が記された論文

M. Usui, S.Kawabe,*et al.*(2022).Histamine elimination by a coupling reaction of fungal amine oxidase and bacterial aldehyde oxidase.*Bioscience Biotechnology and Biochemistry*,**86**(10).1438-1447.
<https://doi.org/10.1093/bbb/zbac121>

引用文献

- 1) 登田美桜, 山本 都, 畝山 智香子, 森川 馨(2009). 国立医薬品食品衛生研究所報告, **127**.31-38.
<https://www.nihs.go.jp/library/eikenhoukoku/2009/031-038.pdf>
- 2) 井部明広(2014).日本調理科学会誌,**47**(6).341-347.
<https://doi.org/10.11402/cookeryscience.47.341>

バイオスティミュラントでノリの環境耐性強化

水産大学校 生物生産学科

研究の背景・目的

1. ノリ（スサビノリ）養殖は、日本の海面養殖の中で生産量が最も多い重要な産業の一つです。
2. 近年の海水温の上昇や海域の貧栄養化等により、ノリ生産量は減少傾向にあります。そのため、育種による新品種の開発や養殖技術の高度化が急務となっています。
3. そこで、農業分野で気候変動対策の一つとして活用されているバイオスティミュラント^ア)に着目し、高水温に起因する「ノリの芽落ち・芽流れ^イ」防止効果について検討しました。

研究成果

1. アミノ酸のうち、アルギニンとオルニチンは、バイオスティミュラントとしてノリに有効でした。
2. 採苗^ウ直後にアミノ酸を溶解した海水に24時間浸漬することにより、育苗^エ期にノリの網に付着する力（ヒキ）が強くなりました（図1）^オ。

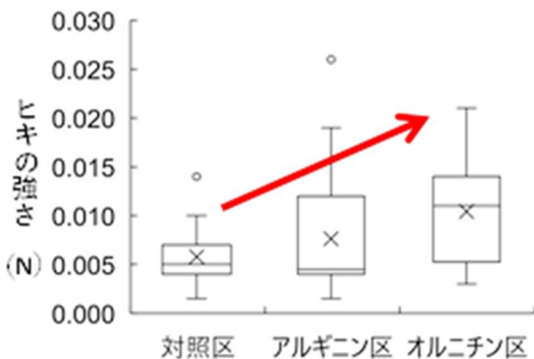


図1. 採苗直後にアルギニン及びオルニチンに浸漬したノリのヒキの強さ（縦軸の単位はN:ニュートン）

3. 海域でのノリ養殖試験において、アミノ酸を溶解した海水に浸漬した試験網の収量が1.1~1.3倍になりました。
4. ノリの採苗直後にアミノ酸を溶解した海水に浸漬することにより、秋季の水温動態がノリの生長に多少不適であったとしても、ノリが基質に付着する部位（仮根）はある程度発達することができ、ヒキが強くなったと考えられます。

5. ノリ葉体の仮根が発達することにより、生長したノリの芽落ちや芽流れが起きにくくなり（図2-b、c）、収量が増大したと考えられます。

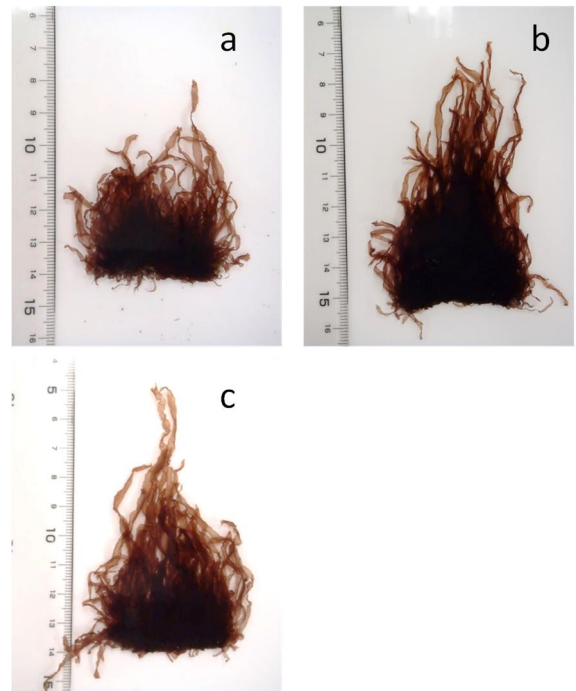


図2. 採苗直後にアルギニン及びオルニチンに浸漬した後、約1ヵ月育苗したノリ葉状体

a: 対照区; b: アルギニン区; c: オルニチン区

アウトカム

1. 現行のノリ養殖工程の中で、本研究で提案した追加項目は網養生用海水にアミノ酸を溶解させるだけであることから、すぐに現場実装が可能です。
2. ノリに対してアミノ酸のアルギニンとオルニチンがバイオスティミュラントとして有効性を示したことから、ワカメ等の他の海藻種への活用・応用が期待されます。
3. 水産大学校における「水産植物増殖学」「応用生物学」等の講義に本研究の成果を反映させ、人材育成に貢献します。

本成果が記された論文

阿部,多良,藤木,川崎,村瀬(2022).ノリの活着力(ヒキ)と生長に及ぼす殻孢子着生直後のアルギニンまたはオルニチン浸漬の効果.水産増殖,70.179-191

<https://doi.org/10.11233/aquaculturesci.70.179>

参考情報

ノリの研究や養殖に関して水産研究・教育機構の発行している下記の広報誌「FRANEWS」や「おさかな瓦版」をご覧ください。

FRA NEWS Vol.52 2017年12月刊行「ノリの研究」
<https://www.fra.go.jp/home/kenkyushokai/book/files/franews/fnews53.pdf>

おさかな瓦版 No.105 2022年1月刊行「ノリ」
<https://www.fra.go.jp/home/kenkyushokai/book/files/kawaraban/no105.pdf>

用語説明

ア) バイオスティミュラント: 生物刺激剤とも呼ばれ、環境ストレスを緩和する物質や微生物のこと。

イ) 芽落ち・芽流れ: ノリ葉体が、ノリ網から脱落・流失してしまう現象のこと。「芽落ち・芽流れ」は、ノリ葉体の仮根(図3): 基質に付着する部位)の発達が大きく影響しています。特に、漁期が開始される秋季の高水温や水温降下の鈍化は仮根の発達を妨げます。仮根が発達していないノリ葉体は、ヒキ(網に付着する力)が弱くなります。

ウ) 採苗: 養殖に使用するノリ網にノリのタネである殻孢子(かくほうし)を付着させること

エ) 育苗: ノリ網に付着した殻孢子を葉長数cm程度の葉体にまで生長させること

オ) ヒキの測定には、自作の測定装置を用いました。ヒキは、生育環境によって強くも弱くもなりますが、ヒキの強さと仮根の発達には正の相関があります。装置の詳細やヒキと仮根との関係については、下記の水産大学校研究報告をご覧ください。

阿部,崎山,大柱,加藤,中川,佐藤,村瀬(2021).紅藻スサビノリのヒキ(活着力)と葉状体の基部長・基部幅との関係.水産大学校研究報告,69(3).75-79

https://c-dolphin.fish-u.ac.jp/kenkyu/sangakukou/kenkyuhoukoku/69/03_4.pdf

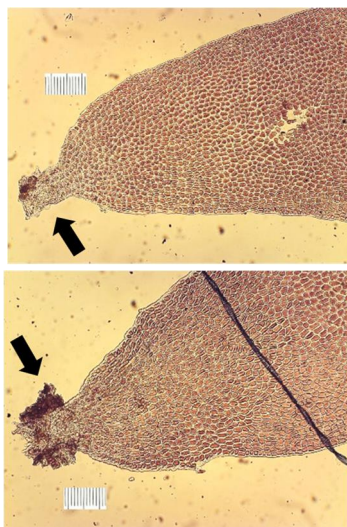


図3. ノリ葉体の仮根(矢印)

上: 未発達の仮根; 下: 発達した仮根