

令和3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	時空間統計モデルによる北西太平洋サンマ資源量指数の推定
2	ホッケ道北系群資源評価手法の高度化
3	東北太平洋沿岸域の底水温の上昇と底魚分布のシフト
4	クロマグロの性決定遺伝子候補を発見
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	乾燥飼料によるシラスウナギの生産
6	タイラギ産卵誘発ペプチドの発見
7	ヒジキの効率的な種苗生産技術と漁業経営体のヒジキ養殖参入条件の把握
8	アコヤガイ軟体部萎縮症の病原体を特定
9	環境DNA を指標とした人工魚礁の新たな効果評価手法の開発
10	北海道において発生したカレニア赤潮について
11	海洋生物毒及び有害微生物を原因とする水産物リスクを管理・制御するための技術開発
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	底びき網漁具の改良による船上作業の軽労化及び収益性改善への取組
13	ブリ優良人工種苗周年供給システムの構築(技術移転プログラム)
人材育成業務	
14	甲殻類アレルギーに対応可能な、かに代替食品製造技術の社会実装
15	新種のノリを発見、センジュアマノリと命名

時空間統計モデルによる北西太平洋サンマ資源量指数の推定

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

研究の背景・目的

1. サンマは、我が国の重要な水産資源の一つですが、近年、資源量は減少傾向にあり、漁業への影響も深刻化しています。我が国では、2003年以降、漁期前の6、7月に北西太平洋において表層曳網調査を実施し、サンマの広域分布の把握を行っています(水産資源調査・評価推進事業)。サンマは、北太平洋漁業委員会(NPFC)による国際的な資源管理の対象となっており、本調査で得られる情報は、NPFCの小科学委員会による本種の資源評価において、極めて重要な役割を果たしています。
2. 本調査は、2003～2021年にかけて東経143度から西経165度までの調査範囲を経度4度おきに設定した観測ラインに沿って行いました。観測した分布密度(単位面積あたりの採集重量)データから、資源量の相対的な指標となる資源量指数を推定します。しかし、2020年と2021年の調査では、やむを得ない運航日数の削減により、調査範囲が縮小し、例年と比較可能な資源量指数を推定することができませんでした。
3. そこで、欠損があるデータに基づく分布の予測に適した時空間統計モデル(Vector Autoregressive Spatio-Temporal model、VAST)を適用し、調査ができなかった海域も含めたサンマの資源量指数を推定しました。

研究成果

1. サンマの年齢別分布密度を遭遇率(いる・いない)と有漁漁獲率(いる場合の獲れ具合)の2段階に分け、それぞれを時間効果(年)や、空間・時空間効果、環境要因として海面水温によって説明する統計モデルを構築し、近年のデータ欠損を補完した調査海域全体における年齢別の分布を予測しました(図1)。0歳魚は主に180度以東に分布し、1歳魚は東経170度付近に高密度で分布しているという例年の分布パターンに従った予測をすることができました。
2. 予測された分布密度と、対応する海域面積との積の総和により資源量指数を推定し、さらに、その不確実性(確からしさ)を推定する方法を確立しました。このようにして標準化された資源量指数は、調査範囲が狭かった年を含む19年間で、減少傾向を示しました(図2)。資源量指数の推定値とその不確実性は、2021

年のNPFCの小科学委員会において、漁業と独立した調査に基づく資源評価データとして新たに採用することで合意されました。

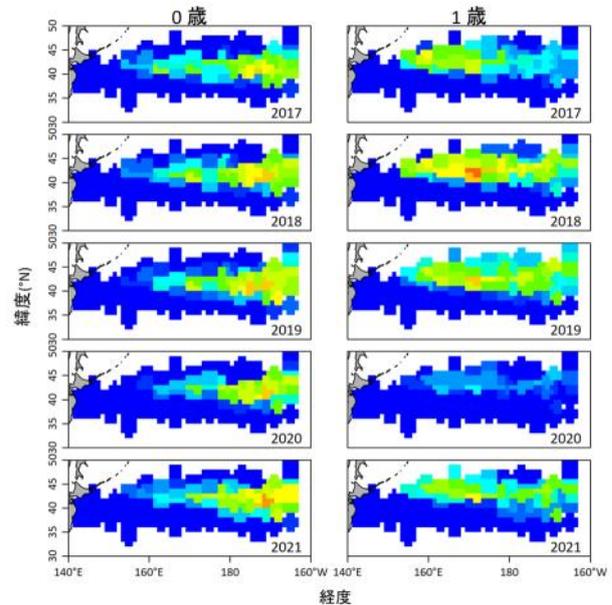


図1. VASTにより予測された2017～2021年6、7月の北西太平洋におけるサンマの年齢別密度分布の推移。青～赤に向かって高密度であることを示す。

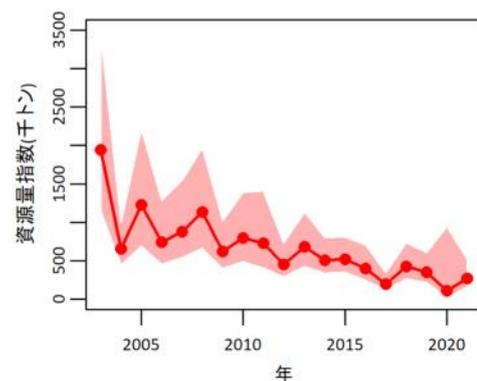


図2. VASTにより推定された2003～2021年のサンマの資源量指数の経年変化。赤い範囲は95%信頼区間。

波及効果

本研究により、最新の資源調査結果を資源評価に取り入れることが可能になり、サンマの資源評価の精度向上が図られました。

ホッケ道北系群資源評価手法の高度化

水産資源研究所 水産資源研究センター 底魚資源部 底魚第1グループ

研究の背景・目的

1. 水産庁委託事業の下、共同実施（JV）機関である北海道立総合研究機構（道総研） 稚内水産試験場、中央水産試験場、網走水産試験場と実施しているホッケ道北系群の資源評価では、2000年代後半から2010年代中盤にかけて資源量が大きく減少したことが示されています。この資源減少を受けて、2012年下半期から漁業者の自主管理として漁獲削減と若齢魚保護の取組が行われています。
2. 本資源では、国内の他の多くの資源と同様に、コホート解析（VPA）^{*1}による資源評価を行っています。その際、沖合底びき網（沖底）漁業による網数あたりの漁獲量（沖底CPUE）と資源量との推移が合うように最近年の漁獲圧を推定するチューニング^{*2}を行うことで、より精度の高い資源量推定を図ってきました。しかし、近年の自主管理により、特に0歳魚の漁獲量が抑制されたことで、その漁獲状況を反映した沖底CPUEのみを用いたチューニングでは、直近年の0歳魚資源尾数（加入量）を正確に推定することが困難になりました。
3. 直近年の加入量は短期的な資源の動向を予測する上で非常に重要です。今回の資源評価では、自主管理による0歳魚の獲り控えの影響を受けにくい1歳魚の標準化CPUEを新たに構築し、それを加入量に対応した指標値としてVPAに加えることにより、資源評価精度のさらなる向上を図りました。

研究成果

1. 小樽を根拠地とする沖底漁船から提供を受けた評価最終年の半期先までの詳細な漁獲情報（2016年下半期～2021年上半期）から、JV機関の協力の下で収集した漁獲物の年齢組成を用いて1歳魚の漁獲情報を抽出しました。抽出した漁獲情報に基づく1歳魚のCPUEを、下記に示す標準化を施した上で、前年（2020年）の加入量に対応した指標値として新たにVPAのチューニングに加えました（図1）。
2. この1歳魚のCPUEには、資源の年変動以外の情報を除去するためデルタ型2段階法^{*3}の下で一般化線形混合モデル（GLMM）^{*5}による標準化を行いました。標準化にGLMMを用いることで、通常の標準化

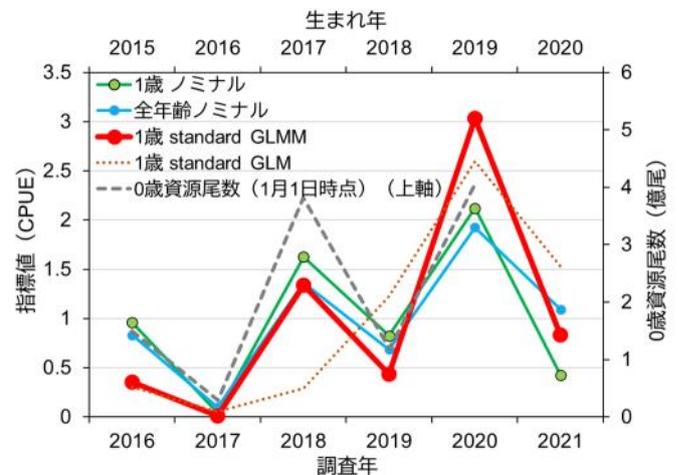


図1. 新たに構築した加入量に対応する指標値、その他の指標値及び0歳資源尾数（加入量）の比較
上の横軸は生まれ年、下の横軸は調査年を示す。一般化線形混合モデル（GLMM）を用いて標準化した1歳魚のCPUE（赤）を加入量に対応する新たなチューニング指標値として最も適切と判断した。標準化していない1歳魚のノミナルCPUE^{*6}（緑）や全年齢を込みにしたノミナルCPUE（青）は、JV機関や漁業者からの情報に基づき、年によっては過大評価・過小評価となると判断した。一般化線形モデル（GLM）で標準化した1歳魚CPUE（茶）は2017年生まれの方が過小評価であると判断した。

で用いられる一般化線形モデル（GLM）^{*4}ではデータの欠損により取り扱うことが出来ない年効果と月効果の交互作用（年による月での獲られ方の違い）の影響を標準化にて考慮することを実現し、指標値の精度向上につなげました。

3. 沖底で漁獲されるホッケは、他魚種の漁獲状況や水温の影響などにより、獲られ方が大きく異なります。そのため、標準化モデルで用いる説明変数には、どのような水深、水温で漁獲されているかなど、ホッケを狙った操業の影響を考慮することが必要です。今回の資源評価では、沖底漁船の漁具へ取り付けられたデータロガーによる水温・水深情報や漁区の情報もGLMMモデルの説明変数に加えることで、漁場環境の特性の違いが示すホッケを狙った操業の影響を考慮しました。
4. 標準化した1歳魚のCPUEをVPAの指標値に加えることで、懸案であった直近年の加入量推定値の妥当性が大きく向上しました。今回の資源評価から、道総研が先行的に実施していた半期単位のVPAに変更し

たことも相まって、これまでよりも安定した資源量推定を実現しました。このことは、VPAの推定結果の安定性を評価するために国際的に広く使用される手法であるレトロスペクティブ解析^{*7}により確かめられました(図2)。

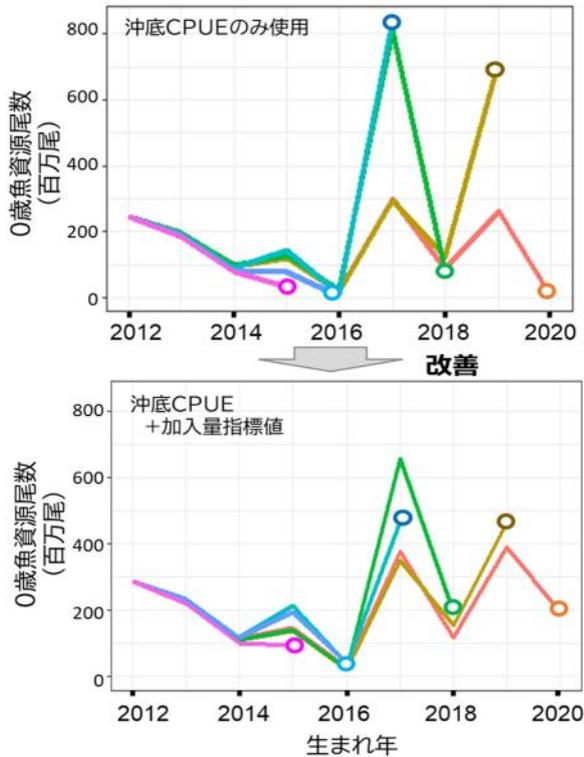


図2. レトロスペクティブ解析による推定結果の安定性の評価

それぞれ異なる色の線は、直近年から1年ずつデータを減らして資源計算し直した場合の0歳魚資源尾数の推定結果を示す。このように推定された結果が過去にわたって偏りがないか確認する手法(レトロスペクティブ解析)でも、従来の沖底CPUEのみでチューニングする場合と比べて(上段)、新たな加入量指標値(1歳魚CPUE)も併せて用いること(下段)で、VPAでの加入量の推定結果が安定し、推定結果の偏りも小さくなることが確認された。特に、2017年生まれや2019年生まれが資源計算の最終年にあたる場合、チューニング指数として沖底CPUEのみ使用した場合に比べて加入量指標値を加える場合の方が0歳魚資源尾数の推定結果が安定することが示された。

波及効果

1. 本資源では、近年、非常に低い年級群が散発するなど、加入量の年変化が大きくなっています。そのような中で、自主管理による若齢魚の獲り控えが行われており、管理の効果を正しく知るためには、正確な加入量の推定が不可欠であると考えられています。今回、GLMMで標準化した1歳魚のCPUEを導入したことによる加入量の推定精度の向上は、高精度の将来の資源量の短期予測の実現につながるのみならず、獲り控

えによる漁獲圧削減の状況をより明確に示すことを可能にするものです。これは、資源状態と利用の現状の理解に大きく資するものと期待され、今後のホッケ道北系群の資源管理に向けた議論の基礎となります。

2. 資源評価結果の妥当性・安定性の向上により、改正漁業法の下での適切な資源管理へに向けた行政官・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。

用語説明

*1 コホート解析 (Virtual Population Analysis, VPA)

資源量推定の代表的手法の一つ。年齢別漁獲尾数と自然死亡係数を利用して年齢別漁獲係数と資源尾数を推定する方法。

*2 チューニング

コホート解析(VPA)において、年齢別漁獲尾数以外に資源量指数や漁獲努力量などの情報が得られている場合に、VPAから計算される資源量と資源量指数が良く合うように漁獲係数を調整する方法。

*3 デルタ型2段階法

最初にゼロ・データの割合をロジスティック回帰などにより推定し、次に非ゼロ・データに共分散分析等を適用し、非ゼロ・データの割合と非ゼロ部分の応答変数(この研究ではCPUE)の値を掛け合わせる方法。

*4 一般化線形モデル (Generalized Linear Model, GLM)

通常の正規分布を仮定した線形モデルを拡張して、目的変数が連続変数でない等、より広い範囲のデータを扱うことができる統計モデル。

*5 一般化線形混合モデル (Generalized Linear Mixed Model, GLMM)

一般化線形モデルをさらに拡張した統計解析モデル。固定効果に加え、変量効果を使用することによって、より柔軟なモデル解析が可能である。

*6 ノミナルCPUE

データの偏りを取り除いていない(標準化されていない)CPUE。

*7 レトロスペクティブ解析

直近年から1年ずつデータを減らしてVPAを行い、元のVPAの推定結果と比較することで、資源尾数や漁獲係数の偏りを評価するために用いられる診断手法。データの削除によって大きく値が変わる(特に傾向的に変わる)場合、安定した推定が出来ていないと判断される。

東北太平洋沿岸域の底水温の上昇と底魚分布のシフト

水産資源研究所 水産資源研究センター 海洋環境部 寒流第2グループ

研究の背景・目的

1. 気候変動の影響により様々な海域で水温上昇トレンド(長期変化傾向)が報告されています。特に海面水温については報告例が多く、日本近海でも気象庁により、長期データをもとに上昇トレンドが報告されています。
2. マダラなど海底付近に生息する底魚類は水産資源としても重要です。底魚類の分布や密度に及ぼす気候変動の影響を評価するためには、海面水温ではなく、底魚類が生息する海底付近の水温(以下、底水温)を用いて行うのが妥当であると考えられます。底魚は種類ごとに特有な分布水深(適水深帯)があるため、水深帯ごとに底水温を知る必要があります。また海面と違って観測データが少ないので、限られた観測値間を補完(内挿:限られた観測値の間の数値を推定して補うこと)して水深帯ごとに解析できるデータセットを作る必要がありました。
3. 本研究では、世界の主要な漁場の一つである東北太平洋沿岸域を研究対象として、観測により得られた底水温を内挿して底水温分布データを整備しました。整備したデータを用いて底水温のトレンドを解析するとともに、底魚類の分布や密度のトレンドと比較しました。

研究成果

1. 清水・伊藤(1996)による水平面における水温の補完手法を改良し、新たに深度の情報を追加して底水温分布データを作成する手法を開発しました。実際に観測された値と比較すると、従来法よりも1℃以上誤差を小さくすることができました。
2. 本手法で作成した2003~2019年における月別の底水温分布データを使用して、対象海域(36°30'~40°30'N)の北部、中部及び南部における50m深ごとの底水温の月別平均値を算出しました。そのトレンドを解析したところ(図1)、水深帯ごとに0.053~0.115℃/年の有意な正トレンドが検出され、この海域の底水温の温暖化が示されました。
3. 漁獲による死亡の経年的な変動の影響を無視できる非商用魚(一般に食用等で利用されない魚種で漁獲

対象種の漁業において混獲され、投棄される種)の分布や密度について、トレンドを解析しました。解析には水産研究・教育機構所属の若鷹丸による秋季の着底トロール調査のデータを用いました。暖水種としてテナガダラ、フジクジラ及びギス、冷水種としてコブシカジカ及びカンテンゲンゲについて、密度と体重のトレンドを解析しました。また、各年の密度分布から分布の中心位置を求め、その位置における水深と本研究で作成した底水温を抽出しました。

4. 例えば、暖水種のテナガダラでは、分布の中心が等深線に沿って有意に北上し(図2)、密度も有意に上昇していました。一方、平均体重、分布中心の水深及び底水温は変化しておらず(図3)、生息水深を変えずに適水温帯に生息できるよう分布を北上させていると考えられました。密度が上昇していることから底水温の上昇がこの魚種の生残や再生産の成功に寄与していると考えられました。また、フジクジラでも同様の傾向が見られました。一方、冷水種の2種では分布の北退と対象海域全体において密度の低下が見られ、底水温の温暖化による負の影響が現れていました。
5. 本研究で開発した手法による底水温分布図は https://ocean.fra.go.jp/bottom_temp/index.html で情報発信されています。

波及効果

気候変動に伴い、漁獲される魚種が変化すると考えられます。この変化に対応した漁業・水産業の適応策を検討するための知見として利用されることが期待されます。

本成果が記された論文

Kakehi *et al.* (2021) *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **677**: 177–196.
DOI: 10.3354/meps13852

引用文献

清水勇吾・伊藤進一(1996) 東北海区水温等値線図の新しい作成方法について. 東北水研報 **58**: 105–117.
東北区水産研究所(2010) テナガダラ. おさかな写真館 <http://tnfri.fra.affrc.go.jp/photo-fish/No.71.pdf>
(2022年3月31日現在)

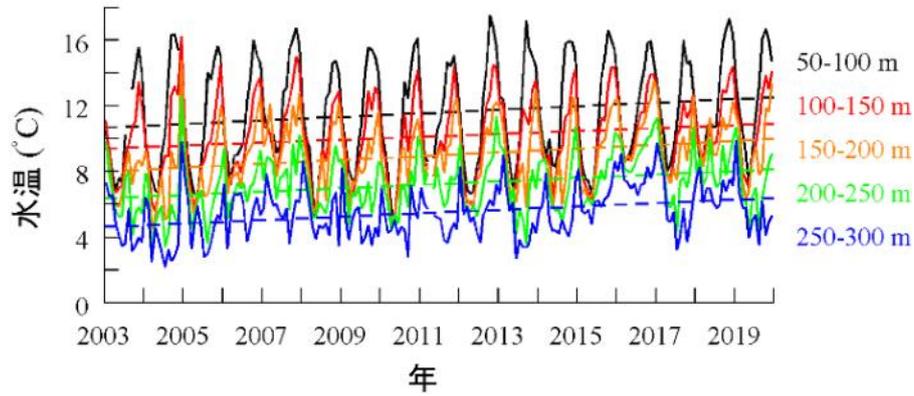


図1. 対象海域のうち南部 (36° 30'–37° 50' N) における各水深帯の底水温の月別変化 (実線) とトレンド (破線)

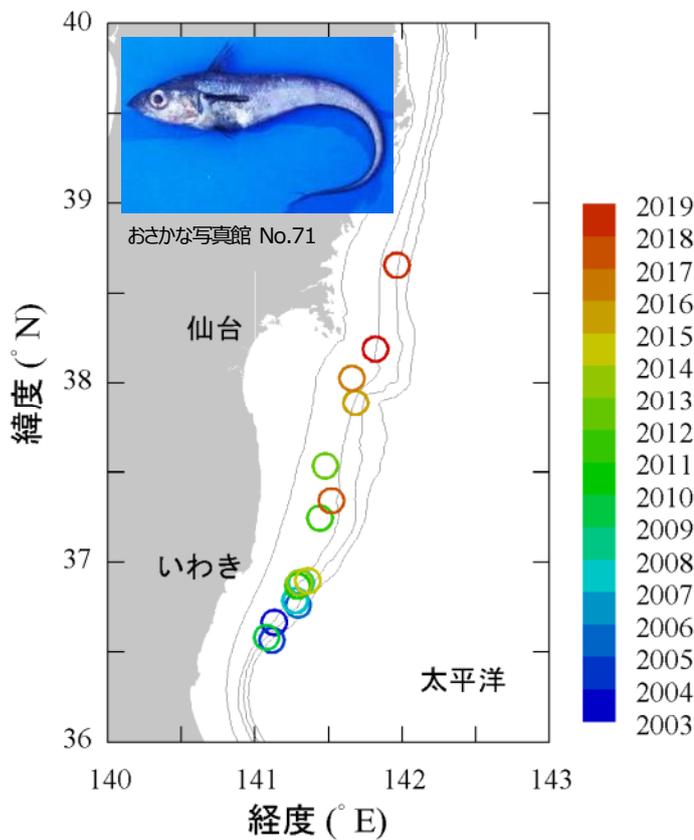


図2. テナガダラの分布中心の経年変化

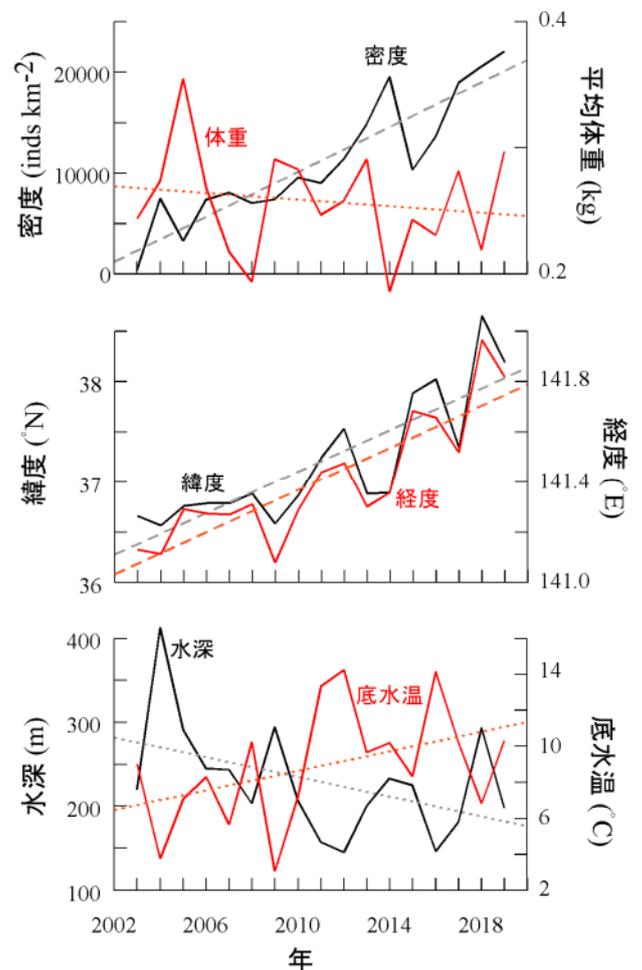


図3. テナガダラの密度・体重、分布中心の緯度・経度、分布中心の水深・底水温の経年変化
直線はトレンドを示し、うち破線は有意水準5%で有意なもの (偶然に起きる確率は5%未満であり、偶然とは考えにくく、意味があると考えられる)、点線は有意水準5%で有意ではないもの (偶然に起きる確率は5%以上ある) を示す

クロマグロの性決定遺伝子候補を発見

水産資源研究所 水産資源研究センター 生命情報解析部 ゲノム情報解析グループ

研究の背景・目的

1. 水産分野における重要大型魚類であるまぐろ類に関して、近年その集団構造や生理生態を解明するための研究が進んでいます。しかし、実証のための飼育実験の困難さゆえに、表現型（生物の観察可能な特徴や性質）と関連した遺伝子研究は十分に進んでいません。とりわけ、まぐろ類の性別がどのような遺伝子で決まっているのかはこれまで謎でした。
2. まぐろ類の資源量推定において雌雄比を知ることは重要なカギの一つです。たとえば、雌雄間での成長速度の差異などを資源量推定モデルに組み込むことができます。しかし、まぐろ類の性別は外見からは判別がつかず、通常は手間のかかる解剖学的所見に頼る必要があります。まぐろ類の性別を決定している遺伝子が発見できれば、その DNA 配列の差異を検出することで非破壊的かつ迅速に性別を判別することができます。
3. そこで本研究では、近年蓄積してきたまぐろ類のゲノム・遺伝子情報を活用し、まぐろ類の性決定機構をオーミクス解析（生物体内での遺伝子や物質間相互作用を網羅的に観測する手法）と細胞生物学・分子生物学実験を組み合わせることを試みました。

研究成果

1. 資源量増加のための取組が行われている代表的な種の一つであるタイヘイヨウクロマグロ（以下「クロマグロ」）を研究の対象として、その雄ゲノム配列と雌ゲノム配列を詳細に比較したところ、エストロゲン硫酸転移酵素のアミノ酸配列を指定する遺伝子の一つ（*sult1st6y* と命名）がクロマグロの雄にのみ存在しており、遺伝的にも雄親から雄の子どもだけに受け継がれていることを発見しました（図1）。これと同時に、クロマグロは雌雄共通のエストロゲン硫酸転移酵素遺伝子（*sult1st6a* と命名）を持つこともわかりました。つまり雄はこの遺伝子を2つ（*sult1st6y* と *sult1st6a*）、雌は1つ（*sult1st6a*）持っていることになります（図1）。*sult1st6y* 遺伝子を持つ個体が雄であり、持たない個体は雌であるという違いが明らかとなりました。このことは *sult1st6y* がクロマグロの性決定遺伝子の最有力候補であることを示しています。

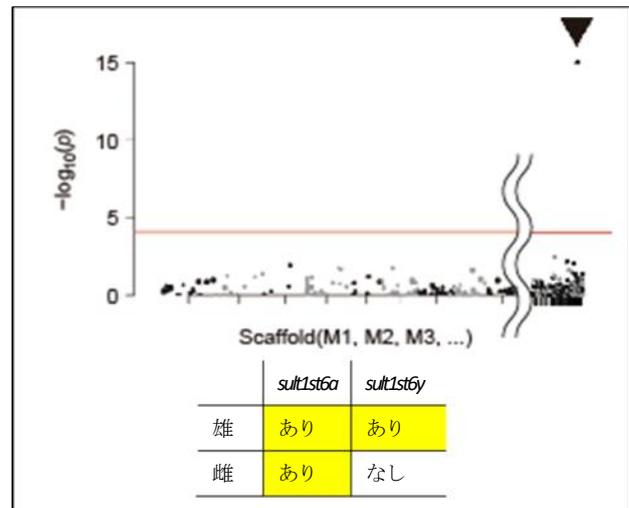


図1. (上)クロマグロゲノム配列のスキャン結果。横軸はゲノムの各領域を表し、縦軸は雌雄間での存在の偏り具合を表す。赤線より上は統計的に有意な偏りを表し、▼で示される雄特異的領域に *sult1st6y* が含まれていた。(下)クロマグロ雌雄間でのエストロゲン硫酸転移酵素遺伝子の有無。

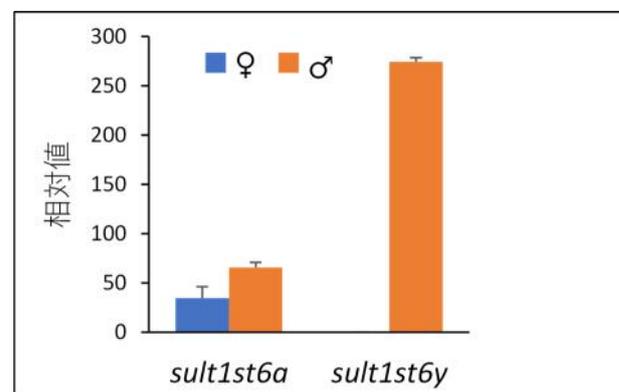


図2. クロマグロ生殖腺の RNA-Seq 解析結果。縦軸は各遺伝子の相対発現量を表す。

2. *sult1st6y* が本当にクロマグロの体の中で性決定に働いているかを確認する必要があります。そこで、DNA からタンパク質への翻訳（遺伝子発現）が起きているかを間接的に測定する手法である RT-PCR と RNA-Seq 解析を行った結果、*sult1st6y* はクロマグロの雄の生殖腺で特異的に高発現していることを発見しました（図2）。この結果も *sult1st6y* がクロマグロの性決定遺伝子である可能性を支持するものです。つまり、

雄の生殖腺において *sult1st6y* から作られる硫酸転移酵素が、雌性ホルモンであるエストロゲンの機能を低下させることで雌化を抑制し、雄化を誘導している可能性が考えられます。

3. これらと並行して、国際塩基配列データベースから、まぐろ類等の魚およそ 50 種が属するサバ科魚類のゲノム配列情報を網羅的に検索し、*sult1st6y* と *sult1st6a* 及びそれらの遺伝子近傍領域を収集しました。この情報に基づいて、キハダ、メバチ等 9 種のサバ科魚類において *sult1st6y* 及び *sult1st6a* に相当する領域の塩基配列を部分的に決定し、PCR により遺伝子断片を増幅して調べたところ、メバチにおいても *sult1st6y* が雄のみに存在している可能性が示唆されました(図3)。

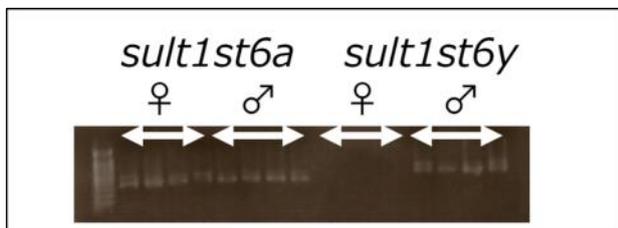


図3. メバチにおける *sult1st6y* の PCR 増幅の結果。バンドが観察されるメバチ雄にも、この遺伝子が存在する可能性が高い。

波及効果

sult1st6y 遺伝子の有無を調べることでクロマグロの雌雄を判別することが可能となりました。この *sult1st6y* を含む配列は、出願中の特許「クロマグロの遺伝的性別別に用いる雄特異的塩基配列」(特願 2021-092491) に活用されています。

本成果が記された論文

Nakamura *et al.* (2021) *Int. J. Genomics* **2021**: 7226353.

DOI: 10.1155/2021/7226353

本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会 (JSPS) 科研費 21H02275 の助成を受けたものです。また、本研究は水産技術研究所養殖部門まぐろ養殖部と共同で実施しています。

乾燥飼料によるシラスウナギの生産

水産技術研究所 養殖部門
生理機能部 飼餌料グループ
シラスウナギ生産部 基盤グループ
愛知県水産試験場
日本農産工業株式会社
不二製油グループ本社株式会社

研究の背景・目的

1. ウナギ養殖では天然から採集したシラスウナギ(ウナギの稚魚)を使って養殖していますが、天然シラスウナギの採捕量が減少しているため、天然シラスウナギに頼らず人工的に育てたシラスウナギを養殖に用いるための技術開発が行われています。
2. 魚がふ化してから親と同じ形の稚魚になるまでの段階を仔魚と呼び、多くの海産魚類の種苗生産では仔魚にシオミズツボウムシなどの動物プランクトンを与えて育てます。しかし、ウナギの仔魚は動物プランクトンでは育てることができません。
3. そのため、シラスウナギの種苗生産では、ポタージュスープのような液体状飼料をウナギ仔魚に与えています。しかし、この飼料は水分を多く含むことから、輸送や保管中の腐敗を防ぐために冷凍設備や電気代のコストがかかるとともに、ウナギ仔魚へ自動で給餌するために冷却機能を備えた複雑な給餌機が必要です。
4. このような液体飼料の欠点を解決するため、冷凍せずに長期保存が可能で、乾燥粉末のまま飼育可能なウナギ仔魚用乾燥飼料の開発を目指して、水産研究・教育機構を含む上記の4機関が共同で取り組んでいます。

研究成果

1. 液体状飼料を乾燥飼料に代えようと一般的な仔魚用微粒子配合飼料を与えても、ウナギ仔魚は摂餌しませんでした。ウナギ仔魚が摂餌してくれる乾燥飼料を開発するため、原料組成と製造方法を変えて多くの飼料を試作し、ウナギ仔魚の摂餌状況を観察するとともに、飼育試験により従来の液体状飼料との比較を繰り返しました。
2. その結果、多数試作した乾燥飼料の一つでウナギ仔魚の成長が確認されました。さらに改良を重ねたことで、ふ化後1ヶ月程度の初期仔魚においては、実験結

果として従来の液体状飼料に近い生残や成長が得られるようになりました。

3. この乾燥飼料だけを給餌して飼育を継続したところ、成長し(図1)、変態してシラスウナギまで育てることに成功しました(図2)。

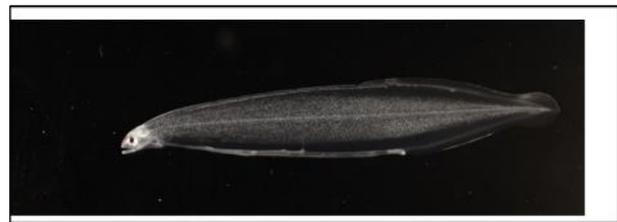


図1. 乾燥飼料で育った変態開始直後のウナギ仔魚(ふ化後174日目、全長52.0 mm)



図2. 乾燥飼料で育った変態完了後のシラスウナギ(ふ化後186日目、全長47.9 mm)

波及効果

1. ウナギ仔魚用飼料を従来の液体状から乾燥状に置き換えることが可能になると、保管に冷凍庫を必要としないため飼料の保管や輸送に要するコストが削減されるとともに、長期保存も可能になります。
2. 餌の準備作業も簡略化されるとともに、冷却機能を備えない簡易な給餌機が利用可能になり、給餌作業に要する手間やコストが大幅に低減されることが期待されます。
3. そのため、人工シラスウナギをこれまでより安価に大量生産することが可能になると期待されます。

プレスリリース

「新たに開発した乾燥飼料でニホンウナギ仔魚をシラスウナギまで育成することに成功」 令和4年2月14日 水産研究・教育機構ウェブサイト

<http://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr2021/20220214/index.html>

参考資料

「ウナギ受精卵、ふ化直後の仔魚および成長過程と変態したシラスウナギ」 水産研究・教育機構ウェブサイト 旧増養殖研究所 ウナギ種苗量産研究センター

<http://nria.fra.affrc.go.jp/RCSEC/index.html>

(令和4年4月7日現在)

本研究は、水産庁委託事業「ウナギ種苗の商業化に向けた大量生産システムの実証事業」において実施されました。

タイラギ産卵誘発ペプチドの発見

水産技術研究所 養殖部門 生理機能部 繁殖生理グループ
北里大学 理学部附属疾患プロテオミクスセンター

研究の背景・目的

1. 水産重要種であるタイラギは貝柱が美味しい大型の二枚貝です。西日本を中心に国内の海に広く生息し、潜水法による漁業が行われていますが、2000年以降資源量の減少が顕著になっています。減った資源を回復させるため、タイラギの人工種苗生産技術が開発され、人工稚貝が漁場に移植されるようになりました。また、その技術は養殖への取組にも活用が進められています。
2. タイラギの種苗生産では、必要な量の受精卵を安定かつ計画的に確保することが重要であり、確実に採卵できる技術開発が期待されています。現在、タイラギでは、水温などの環境刺激で産卵を誘発していますが、採卵用に準備した親貝が産卵しない場合もありました。ナマコやヒトデでは、神経から分泌されるペプチド(アミノ酸が連なった物質、長いものはタンパク質となる)が放卵・放精を誘発することが知られ、実際に誘発に用いられています。そのため、二枚貝においても、神経に産卵を誘発するペプチドが存在すると予想して、タイラギ内臓神経節(神経系の一部が節状に膨らんでいる部分。二枚貝の神経系は脳神経節、足神経節、内臓神経節の3つの神経節からなる)を調べました。

研究成果

1. タイラギ内臓神経節を破碎して抽出された様々な成分の中から主にペプチドで構成される成分を分離し、タイラギ卵巣片に作用させたところ、卵母細胞を受精可能な状態にする卵成熟が誘起されました。また、タイラギ精巣片に作用させたところ、精子の運動性が活発化しました。この内臓神経節のペプチド抽出物について、高速液体クロマトグラフィーを用いて性質ごとに分離し、分離物の中から卵成熟誘起活性を示す部分を選び、さらに液体クロマトグラフィー質量分析計を用いてこの分離物中のペプチドのアミノ酸配列を調べました。得られた602種類のペプチドの中から候補を絞り込み、そのアミノ酸配列情報から複数のペプチドを合成して生殖巣片に作用させたところ、1つのペプチドが強い卵成熟誘起活性と精子運動の活性化

を示しました。

2. 中枢神経系で産生されて生殖巣に作用し、卵成熟や精子運動の活性化などを誘起する物質はその作用の一つとして、産卵も誘発する可能性が高いため、ペプチドをタイラギの閉殻筋(貝柱)に注射により投与したところ、雌雄ともに投与から30分以内に放卵・放精が誘発されました(図1)。また、雌1個体から放出された卵の数は数千万~約1.5億粒であり、種苗生産に必要な十分量の卵を得ることができました。さらに、このペプチドの投与により放出された卵と精子を受精させると二枚貝の発生段階において観察される殻を持った幼生(D型幼生)に正常に発生することを確認しました(図2)。今回発見したペプチドは26個のアミノ酸がつながった新規のペプチドで、二枚貝において世界で初めて発見された放卵・放精を誘発するペプチドです。

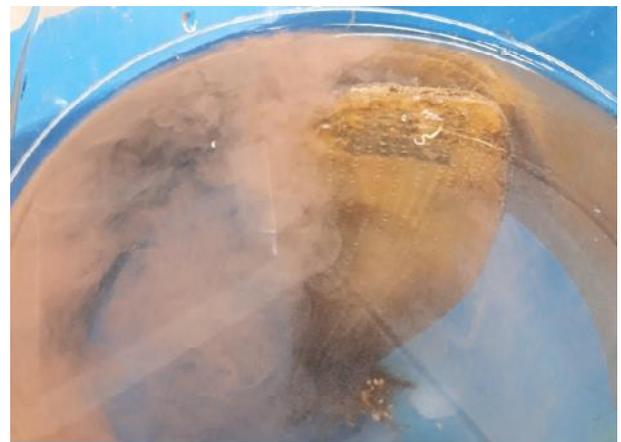


図1. ペプチドを投与したタイラギの雌個体が放卵する様子

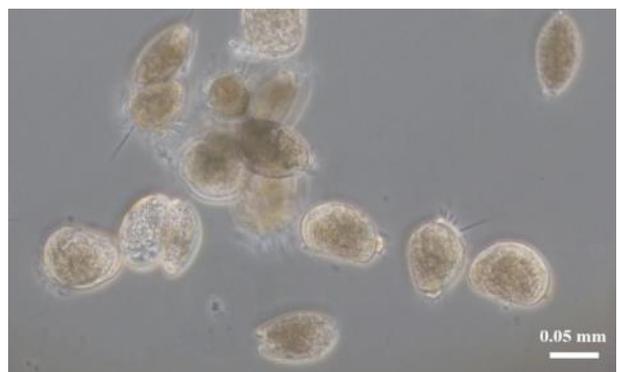


図2. ペプチドの投与で得られた受精卵から正常に発生したタイラギのD型幼生

波及効果

本研究により発見されたペプチドの投与による産卵誘発法は、親貝の解剖が不要であることに加えて、一般的に採卵時に用いられる昇温刺激等の手間やコストをかけることなく、簡便・迅速で確実に産卵を誘発することが可能であることから、新たな産卵誘発法として種苗生産の現場で利用されることが期待されます。

プレスリリース

「タイラギの放卵・放精を誘発する物質（ペプチド）を発見」 令和4年3月10日 水産研究・教育機構ウェブサイト

<http://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr2021/20220310/index.html>

本成果が記された論文

Funayama *et al.* (2022) *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **598**: 9–14. DOI: 10.1016/j.bbrc.2022.02.006

ヒジキの効率的な種苗生産技術と

漁業経営体のヒジキ養殖参入条件の把握

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、養殖経営・経済室

研究の背景・目的

1. ヒジキは日本人にとってなじみの深い食材ですが、近年、日本沿岸では天然ヒジキの生産量が激減しています。
2. 生産量の増加に向けた取り組みとして、ヒジキの養殖も行われていますが、そのほとんどは天然のヒジキを母藻として用いていることから、天然資源の減少等の影響が懸念されています。
3. 人工種苗を用いた養殖や藻場造成の技術開発も行われていますが、ヒジキの種苗生産中におおさ類などの雑海藻が繁茂してヒジキが枯れてしまうという問題が解決できていません。そのため、いかに雑海藻の繁茂を抑えるかがヒジキの安定生産に向けた課題となっています。
4. 本研究では、様々な色の LED 光や、おおさ類を食べるメジナ及びクロメジナ（以下、めじな類）を活用し、ヒジキの効率的な種苗生産技術の開発に取り組みました。
5. また、人工種苗を用いたヒジキ養殖の推進に向け、ヒジキ市場の状況と漁業経営体がヒジキ養殖に参入する条件等について調査しました。

研究成果

1. ヒジキの受精卵（種）に、白色、青色、緑色、赤色の LED の光を別々に照射した結果、緑色はヒジキの生長が速い上に、雑海藻の繁茂を抑えられることが明らかとなりました（図1）。
2. ところが、育成期間が長期に及ぶと緑色の LED でも雑海藻の繁茂を抑えることができず、その対策が必要となりました。
3. 過去の研究から、メジナはよこえび類やごかい類等に加え、おおさ類等の海藻も摂餌することが確認されています。一方、ヒジキが含まれるほんだわら類の摂餌量は少ないことも知られていました。
4. この点に着目し、めじな類にヒジキの生育を阻害する雑海藻を摂餌させる試験を行いました。

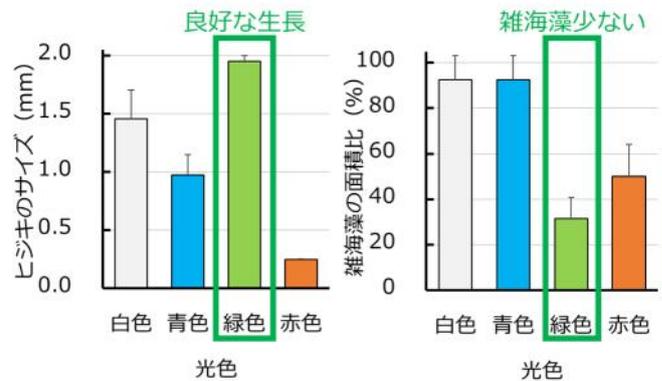


図1. 試験30日目のヒジキのサイズ（左）及び雑海藻の面積比（右）



図2. めじな類の幼魚を用いた雑海藻の駆除
2時間後、雑海藻に覆われていた茶色い棒状のヒジキの幼体が確認できるようになりました。

- ヒジキの幼体と雑海藻が生えたブロックをめじな類の幼魚の水槽に収容したところ、めじな類はヒジキよりもあおさ類などを好んで食べるということが分かりました(図2)。
- 以上の結果から、ヒジキの種苗生産の初期は緑色のLED、その後はめじな類を活用することにより、ヒジキ幼体を覆う雑海藻を防除できることが明らかになりました(図3)。



図3. 緑色LED光とめじな類を活用した効率的な種苗生産と養殖、及び藻場造成への活用

- 現在、国内で流通しているヒジキ製品の約9割は外国産で占められ、国内産のうち養殖ヒジキは僅かです。長崎県で行われているヒジキ養殖の実態を調べたところ、現在のヒジキ養殖は天然種苗が利用され、魚類による食害の防止に経費が掛かることが分かりました。
- そのような中、長崎県五島市では、漁業者と行政が連携して海藻養殖に取り組んでいます(図4)。漁業者のヒジキ養殖参入の意向について調査した結果、食害対策が必要だとしても50万円程度の収益が見込め

れば、漁業者は副業としてヒジキ養殖に参入する可能性があることが分かりました。また、上記の50万円の収益の達成に必要な種苗数等を算出すると、養殖ロープ約500m、種苗25,000本程度が必要と試算されました。加えて、地域の環境に合った種苗を安定して供給することも重要であると考えられました。



図4. 五島市の漁業者によるヒジキの養殖試験用種苗の沖出し(写真上)と養殖中のヒジキ(写真右下)

波及効果

- 本研究で開発した技術により、ヒジキの種苗生産の安定化と省力化が期待できます。特に、めじな類の幼魚は容易に採集でき、飼育には高価な装置や特別な作業を必要としないことから、漁協等の多くの機関に活用されるものと考えられます。
- 本技術によってヒジキの種苗生産が広まれば、地域の環境に合った人工種苗の安定供給が可能となります。また、その種苗を用いて養殖されたヒジキは天然資源に影響を与えない、環境に配慮した製品として付加価値を向上させることができると考えられます。このようなヒジキの種苗生産とそれを用いたヒジキ養殖の普及により、漁業経営体の収益が増加し、地域の重要な産業として位置づけられる可能性があります。

本成果が記された論文

野田ら(2022)水産増殖 **70(1)**: 113-117.

アコヤガイ軟体部萎縮症の病原体を特定

水産技術研究所 養殖部門 病理部 免疫グループ
診断グループ

研究の背景・目的

1. 2019年以降、初夏から秋にかけて全国の主な真珠養殖海域において真珠養殖に用いるアコヤガイ稚貝の大量死が発生しており、対策を講じるために原因究明が求められていました。
2. 発病したアコヤガイでは、軟体部が萎縮し、外套膜が本来の位置から脱落します。病貝では、真珠層（貝殻内側の光沢のある層）の表面に褐色色素が沈着するのが特徴です（図1）。
3. これまでに、飼育環境下での感染試験により本病を再現できることから、大量死は感染症によることを明らかにしていました。また物理化学的性質から、原因病原体は粒径 $0.1\mu\text{m}$ 以下で有機溶媒に耐性を示すウイルスと推定していました（Matsuyama *et al.* 2021）。
4. 本研究では感染試験、遺伝子解析や病理組織学的解析等により本病の病原体の特定を試みました。

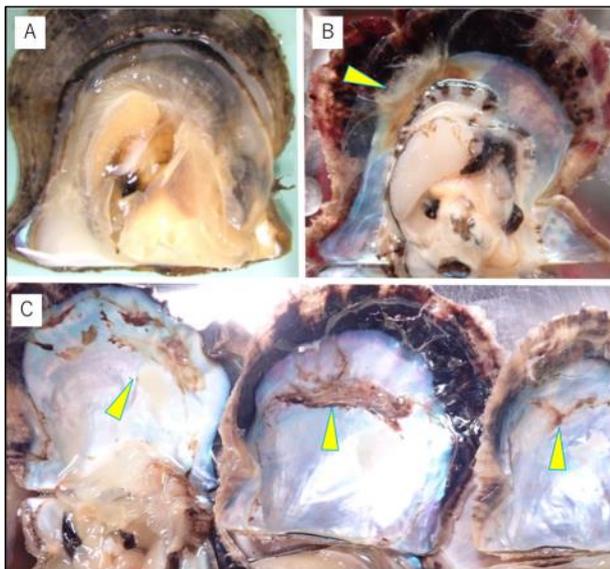


図1. 正常および発病したアコヤガイ。正常なアコヤガイ(A)では軟体部が真珠層全体を覆っているのに対し、発病貝(B)では軟体部が萎縮し真珠層が露出している。病貝の真珠層には褐色色素が沈着する(B,C 矢頭)

研究成果

1. 実験感染した病貝と健康な貝に発現する遺伝子を比較することで、病貝だけに検出される病原ウイルス由来の遺伝子の探索を試みました。様々なウイルスの遺伝子が検出されましたが、その中でビルナウイルスの一種（以降、本ウイルス）の遺伝子が病貝から特異的かつ高頻度に検出されました。これまでに知られているビルナウイルスの仲間と遺伝子を比較したところ、本ウイルスは昆虫に感染する種類に似た新種のウイルスであることがわかりました。
2. 本ウイルスの遺伝子を定量的に検出する定量PCR法を開発し、感染試験における本ウイルスの動態を調べたところ、本病の特徴である軟体部の萎縮を発症する前に本ウイルスが急増することがわかりました。さらに、本ウイルスの粒子を形成するタンパク質を検出する方法を開発し、病貝の体のどこの細胞に本ウイルスが感染するか調べました。すると、本ウイルスは外套膜の真珠層側の細胞に局在しており（図2）、外套膜が脱落し真珠層に色素が沈着する本病の症状と、本ウイルスの分布に関係性が伺えました。

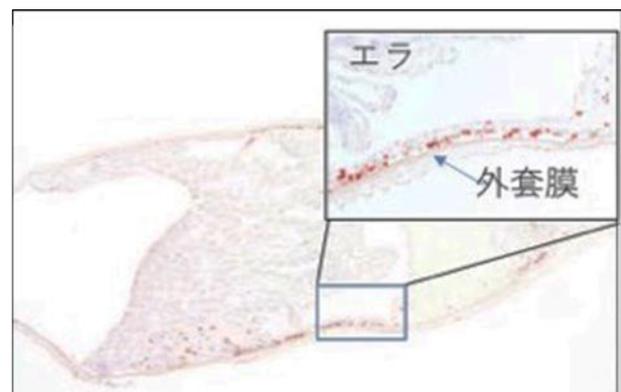


図2. 病貝における本ウイルスの検出。感染した細胞（赤褐色）は、外套膜に局在している。

3. 海域ごとの本ウイルスの分布を調査したところ、三重県と愛媛県の本病が発生している海域の不調なアコヤガイには本ウイルスが検出されましたが両県を含む未発生海域のアコヤガイからは検出されませんでした。また、病貝から精製した本ウイルスを健康な

アコヤガイに接種したところ、本病の特徴である真珠層への褐色色素の沈着が再現されました (図3)。

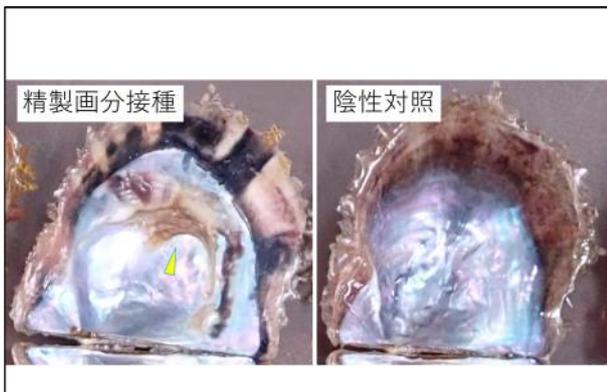


図3. 精製した本ウイルスを用いた感染試験により本病が再現された。感染個体の真珠層には褐色色素が沈着している (左写真矢印)。

4. ビルナウイルスの一般的な性質は、(研究の背景・目的の3で述べた)以前の研究で推定した病原体の特徴(粒径 $0.1\mu\text{m}$ 以下で有機溶媒に耐性)とも一致しません。
5. 以上の研究結果から、2019年から続くアコヤガイの大量死の原因を本ウイルスに特定しました。

波及効果

1. 大量死の原因病原体が特定され、病原ウイルスを定量的に検出する定量PCRや、ウイルス粒子のタンパク質を検出する方法も確立できました。今後は、安全な養殖海域を探すために、確立した検出法を用いて病原ウイルスが存在しない海域を特定することが可能になります。また、養殖環境において本ウイルスの増減や発病に影響する要因を明らかにし、防除対策を講じることで、アコヤガイ大量死の軽減が期待できます。

プレスリリース

「アコヤガイの大量死の原因病原体を特定」令和4年
2月1日 水産研究・教育機構ウェブサイト
<http://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr2021/20220201/index.html>

引用文献

Matsuyama *et al.* (2021) Mass mortality of pearl oyster (*Pinctada fucata* (Gould)) in Japan in 2019 and 2020 is caused by an unidentified infectious agent. *PeerJ* **9**: e12180. DOI: 10.7717/peerj.12180

環境 DNA を指標とした人工魚礁の新たな効果評価手法の開発

水産技術研究所 環境・応用部門 水産工学部 水産基盤グループ

研究の背景・目的

我が国の沿岸域では 1970 年代前半から政府施策のもと、漁場を作る目的で多くの人工魚礁(以下、魚礁)が海中に設置されてきました。設置した魚礁に集まる魚類の種組成やその生物量を調べるために、これまで潜水による魚類観察、漁具を用いた漁獲、魚群探知機(以下、魚探)による調査が行われてきました。潜水観察や漁獲調査では魚類の種判別や密度、サイズの把握ができませんが、両手法とも調査に時間がかかることや、後者は水産資源を目減りさせるという欠点があります。また、魚探は広範囲を短時間で調査できますが、魚種の判定が難しいという課題があります。

魚類などの水生動物の場合、生体やその排泄物等から水中に DNA が放出されます。近年、水中に放出された DNA (以下、環境 DNA) を手がかりに、水生動物の分布が調べられるようになりました。環境 DNA を用いた調査では対象種を採取する必要がなく、既存の方法より野外調査の時間が短いことや、対象種を検出できる確率が高いといった利点が挙げられます。環境 DNA を分析すれば、従来手法の弱点を補うようなデータが入手でき、また簡便に魚礁の集魚効果等の評価ができる可能性があります。

そこで水産研究・教育機構(以下、水産機構)水産技術研究所水産工学部(旧水産工学研究所)では、魚礁の新たな効果指標の開発を目標として 2018 年から環境 DNA 分析による魚類調査を所内プロジェクト研究により開始しました。2018 年 5 月の調査では、水産機構調査船たか丸により、魚探を稼働させながら 2 基の高層魚礁 (AR1: 高さ 30m、AR2: 高さ 25m) の周辺と、AR1 からの距離別(それぞれ東西方向に、150m (E150、W150)、500m (E500、W500)、750m (E750、W750)) の調査点で中層と底層から海水を採水し(図 1)、次世代シーケンサーを用いて定量 Miseq 法*という手法により分析しました。この分析手法を用いることで、サンプル水中に含まれる全魚種の環境 DNA を網羅的に解析することが可能です。

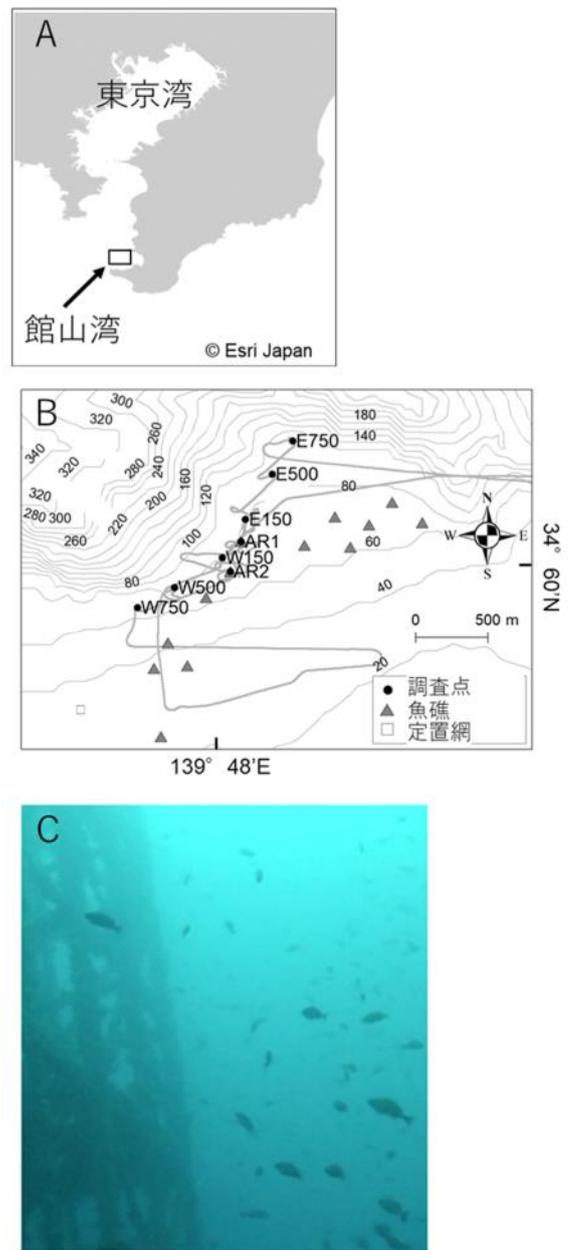


図1 千葉県館山湾内 (A)、調査点、魚礁の位置、調査船の航跡 (B)、対象の高層魚礁の水中画像 (C) (以降の図は全て Sato *et al.* 2021 を改変)

研究成果

1. 館山湾の魚礁周辺の環境 DNA 分析の結果、92 魚種が検出され、イサキ、マダイ、さば類(マサバとゴマサバ)、マアジ及びキンメダイが優占魚種と判定されました(図2)。この結果は、調査地近くの定置網の水揚げ状況ともよく一致していました。

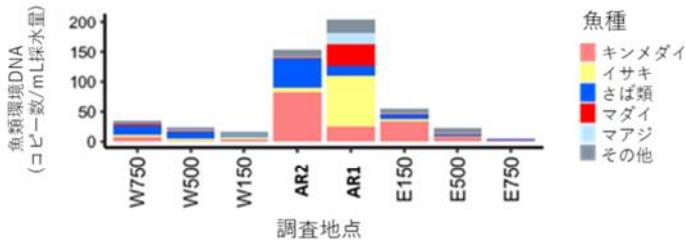


図2 環境DNA分析による各調査点の魚類種組成

2. 優占5魚種の環境DNA量は人工魚礁の周辺で最も大きく、キンメダイを除く4魚種については、人工魚礁から離れるにしたがって環境DNA量が急激に減少することがわかりました(図2)。一方で、キンメダイについては魚礁からの距離と明瞭な関係はみられませんでした。キンメダイ以外の魚種については魚礁に群がる習性が報告されており、上記結果はその習性と一致します。
3. 魚類全体の環境DNA量は中層よりも底層で高く(図3)、キンメダイ、マダイ、さば類でも同様の傾向が見られました。逆にイサキとマアジのDNA量は中層の方が高い結果が得られました。この違いは、各魚種の生息水深等の差を示すものと考えられます。
4. 魚類全体の環境DNA量は魚探から得られた体積散乱強度(魚群分布量の目安)と正の相関がありました(図4)。この結果から、館山湾のような開放的な海域でも、環境DNAの分布量は局所的な魚類分布を反映すると考えられます。

波及効果

1. 環境DNA分析を用いることで、魚礁周辺海域に分布する複数魚種のモニタリングを効率的に行えることが示されました。これより環境DNAの分布量が魚礁の効果指標となる可能性が示唆されました。
2. 環境DNAを魚礁の効果指標に用いることで、調査時間の短縮や、正確な魚種判別が可能になり、既存技術の弱点を補うことができます。
3. さらに、環境DNAを用いたモニタリング技術は、魚礁だけでなく藻場や干潟等の評価にも展開が可能です。

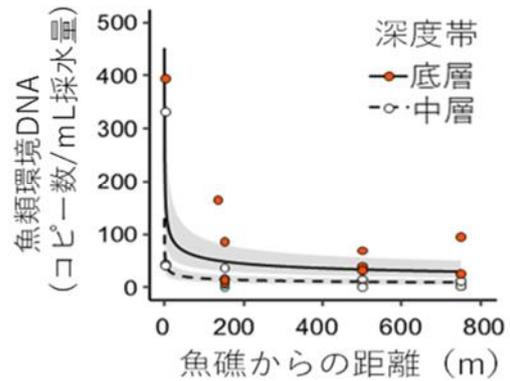


図3 全魚類合計の環境DNA量と魚礁からの距離の関係。実線は底層の環境DNA量の推定値を、点線は中層の環境DNA量の推定値を、灰色の領域は各推定値の信頼区間をそれぞれ示す。

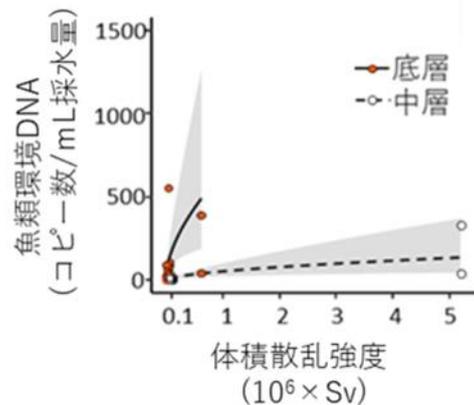


図4 全魚類合計の環境DNA量と魚探で計量した体積散乱強度(魚群分布量の目安)との関係。実線は底層の環境DNA量の推定値を、点線は中層の環境DNA量の推定値を、灰色の領域は各推定値の信頼区間をそれぞれ示す。

*定量 Miseq 法…その海域に存在しない濃度既知のDNA配列を内部標準として添加し、次世代シーケンサーMiseqによるメタバーコーディング(特定の分類群のDNAを網羅的に検出する)を行う手法。内部標準のDNAコピー数と検出配列数の間で検量線を作成し、この検量線を基に各魚種の検出配列数から環境DNA量(DNAコピー数)を定量的に推定できる。

本成果が記された論文

Sato et al. (2021). *Sci. Rep.* **11**: 19477.

DOI: 10.1038/s41598-021-98926-5

北海道において発生したカレニア赤潮について

水産技術研究所 環境・応用部門 環境保全部 有害・有毒藻類グループ
水産物応用開発部 安全管理グループ
水産資源研究所 水産資源研究センター 社会・生態系システム部 沿岸生態系寒流域グループ
海洋環境部 寒流第1グループ
水産大学校

研究の背景・目的

- 2021年9月13日、水産研究・教育機構釧路庁舎内の飼育生物が大量死していることが確認されました。その原因を探るため、周辺の海水を調べた結果、有害赤潮プランクトンであるカレニア属プランクトンが複数種確認されました。その後、北海道道東沿岸でウニや定置網中のサケ等が多数被害にあっていることが続々と報告され始めたため、水産研究・教育機構の水産技術研究所、水産資源研究所及び水産大学校が共同で調査・研究を開始しました。
- 優占種であることがわかったカレニア・セリフォルミス（以下、セリフォルミス）の分布状況を明らかにするために、北海道太平洋沿岸において細胞密度等の調査を行いました。
- セリフォルミスの有害性を調べるため、各種毒性診断を実施するとともに、魚介類に対する暴露試験を行いました。
- セリフォルミスの発生起源や輸送経路を推定するため、粒子追跡解析を実施しました。

研究成果

- 2021年9月、漁業被害が報告され始めた当初は、セリフォルミスに混在してカレニア・ミキモトイ（以下、ミキモトイ）など他のカレニア属、さらにタカヤマ属の一種等のカレニア科のプランクトンが低密度

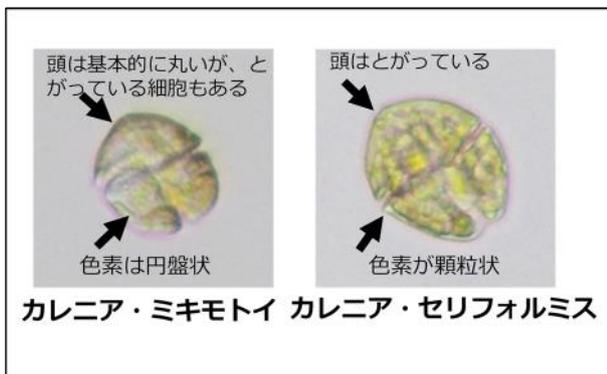


図1. カレニア・ミキモトイ及びカレニア・セリフォルミスの形態比較

で観察されました。その後、被害の拡大につれ周辺海域においてセリフォルミスが優占していることが明らかとなり、本種が漁業被害の主な原因種であると考えられました。

調査の結果、優占種であることがわかったセリフォルミスの形態の特徴としては、西日本で毎年のように漁業被害を引き起こすミキモトイと比較すると、特に色素の形状がミキモトイでは円盤状であるのに対して、セリフォルミスでは顆粒状であること等が挙げられます（図1）。

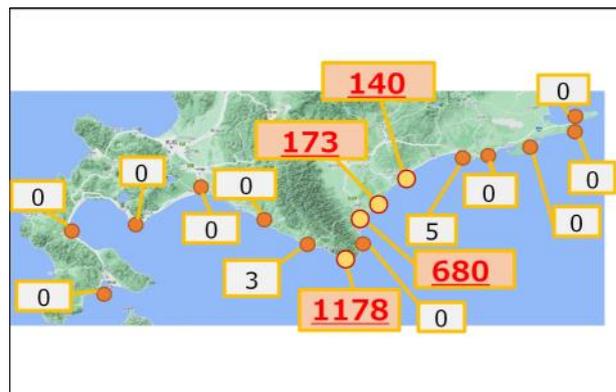


図2. 北海道太平洋沿岸、根室より函館にいたる16地点の表層におけるカレニア・セリフォルミスの細胞密度（細胞/mL）。

2021年11月1日から3日にかけて、北海道太平洋沿岸の根室港から北斗漁港にいたる範囲の16地点におけるセリフォルミスの生息密度及び栄養塩濃度を調査しました。その結果、帯広沿岸から襟裳岬にかけて赤潮状態（海水が緑灰色に着色し泡立つ等）となっていることが明らかとなり、特に襟裳岬漁港では細胞密度が1mLあたり1,000細胞を超えていました（図2）。また、プランクトンの増殖に必要な栄養塩である溶存態無機窒素やリンは十分存在していました。なお、現場の赤潮海水について、カレニア属が産生する毒成分（ギムノジミン及びブレベトキシン）を高速液体クロマトグラフィー質量分析により分析しました

が、いずれの物質も検出限界以下でした。

2. セリフォルミスの毒性の特徴を明らかにするため、ウサギの血球を用いた溶血活性を調べました。溶血活性試験は、赤潮プランクトンの毒性の強さを調べる一手法で、一定量のウサギ赤血球に細胞密度を変えたプランクトンを添加して、どのくらいの細胞密度で赤血球の溶血（破裂）が生じるか調べます。試験の結果、ミキモトイと比較して100倍以上セリフォルミスの毒性の方が強いことが明らかになりました（図3）。また、様々な細胞密度のセリフォルミスを添加したビーカーにヒメダカを入れ、6時間後の生残率を調べる暴露試験を行いました。試験の結果、1 mL あたり約3,600細胞の密度があると、2時間程度で全てのヒメダカが死に至ることが明らかになりました。さらに、遠心分

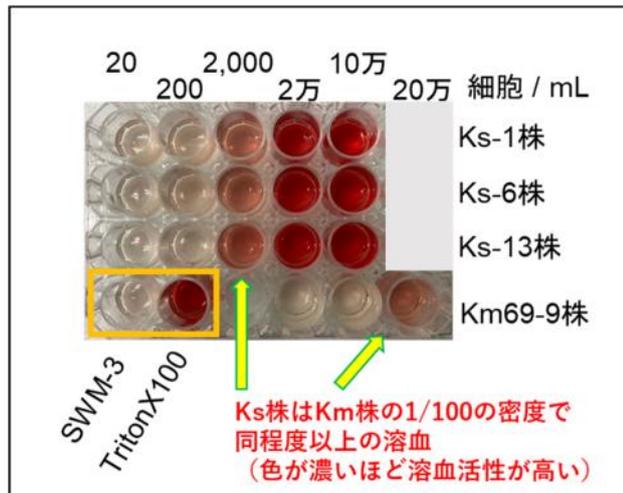


図3. カレニア・セリフォルミス (Ks) 培養株3種類及びカレニア・ミキモトイ (Km) 培養株の溶血活性。SWM-3 (陰性対照で溶血なし) ; TritonX100 (陽性対照で溶血)。

離により細胞を取り除いた培養液に主に毒性が認められたことから、本種は細胞外に毒性因子を放出していることが示唆されました。

また、北海道立総合研究機構等の協力を得て、十勝海域や釧路海域で採取したセリフォルミスを含む赤潮海水を用いて、水産有用種であるマガキ及びホタテガイの種苗への暴露試験を行いました。その結果、いずれの種もセリフォルミスが1 mL あたり1,000細胞の密度では影響は軽微でしたが、3,000細胞では死亡が認められるようになり、10,000細胞では全ての個体が死亡しました（図4）。死亡が観察された細胞密度は、今回の調査結果から、現場でもその集積状態によっては十分起こり得ます。昨年

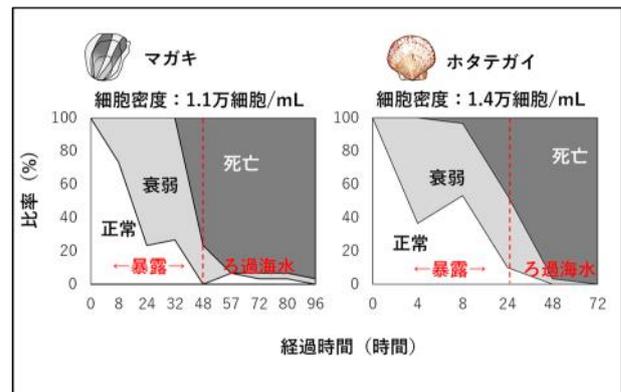


図4. カレニア・セリフォルミス暴露によるマガキ及びホタテガイの生残率の推移。マガキは48時間、ホタテガイは24時間の暴露を行った後に清浄なる過海水での経過観察を行った。

が顕著であったため、二枚貝の被害については十分な情報整理が進んでいませんが、さらなる被害情報の精査や、今後の赤潮発生に向けた警戒が必要です。

3. セリフォルミスの起源と輸送経路について、粒子と海流の関係をシミュレーションする粒子追跡という手法で推定しました。道東沿岸の赤潮発生域に到達する粒子について逆追跡を実施した結果、日本海から宗谷海峡、オホーツク海を経由し道東沿岸にいたるルートが推定されました。道東沿岸での赤潮発生当初に低い細胞密度で観察されたミキモトイについては、西日本の日本海側でも発生の報告例があることから、日本海を経由してきた可能性が考えられました。なお、2020年秋にも東カムチャツカ沿岸でセリフォルミスの大発生が確認されています。広域かつ長期の逆追跡では、東カムチャツカやサハリン東岸に由来する経路も推定され、これらのルートをたどって本種が道東沿岸に到達した可能性も考えられました。ただし、この場合、道東沿岸への到達には4ヶ月以上かかり、また2020年秋に東カムチャツカ沿岸で発生した赤潮がその1年後に道東沿岸に到達する割合は僅か0.3%程度でした。2021年秋の大発生を説明するためには、セリフォルミスの由来に加えて、増殖特性も考慮した環境要因の解明が今後必要になります。また、道東沿岸で発生した赤潮がどこまで到達するかという予測も行いました。解析の結果、道南太平洋への輸送の可能性は低いという結果が得られましたが、気候の予測値を様々な変えたシミュレーション結果の一部で三陸沿岸への輸送も予測されたため、今後の北海道太平洋沿岸での赤潮発生時には東北沿岸でもその発生を監視していく必要があると考えられました。

波及効果

1. セリフォルミスが生物に悪影響を及ぼす細胞密度が明らかになったことから、得られた結果をもとに、本種による赤潮の警報基準等の策定に適用が可能です。
2. 粒子追跡によって赤潮発生により正確な予測が可能となったことで、事前対策による被害軽減が期待できます。

本成果が記された論文

Kuroda *et al.* (2021) *J. Mar. Sci. Eng.* **9**: 1335

DOI: 10.3390/jmse9121335

Iwataki *et al.* (2022) *Harmful Algae* **114**: 102204

DOI: 10.1016/j.hal.2022.102204

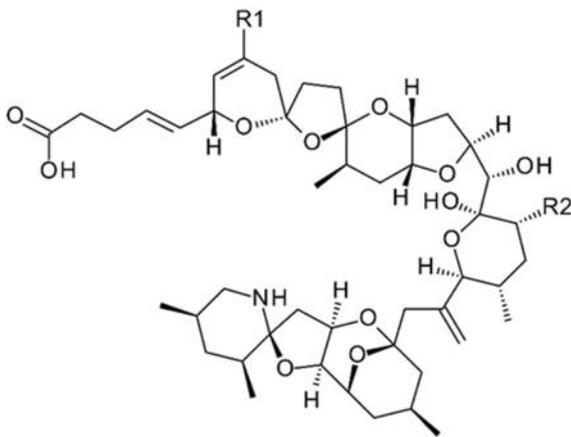
海洋生物毒及び有害微生物を原因とする

水産物リスクを管理・制御するための技術開発

水産技術研究所 環境・応用部門 水産物応用開発部 安全管理グループ

研究の背景・目的

1. 新規下痢性貝毒アザスピロ酸 (AZA) は熱に安定な脂溶性化合物で、アンフィドーマ属やアザジニウム属の有毒プランクトンが作ります。国内でも AZA を作るプランクトンが確認されています。
2. このようなプランクトンを餌として食べることで毒を蓄積 (毒化) した二枚貝を、ヒトが食べることによって、下痢を主な症状とする食中毒が起きます。まだ日本国内の食中毒事例はありません。
3. 日本では AZA は規制されていませんが、国際的な食品規格 (Codex) により構造の異なる AZA1,2,3 (図1) を監視対象として、規制値「可食部 1kg あたり 0.16 mg」が定められており、EU では規制対象とされています。



AZA群	R1	R2
AZA1	H	CH ₃
AZA2	CH ₃	CH ₃
AZA3	H	H

図1. AZA の化学構造

AZA1,2,3 ではそれぞれ R1 と R2 の部分の構造が異なる

4. そのため、国内で食中毒発生の可能性がある AZA について、規制を行う際に必要となる高度な分析法を開発し、国内で分離した有毒プランクトンが作る AZA の詳しい毒素組成を明らかにしました。

研究成果

1. AZA について、LC-MS/MS (液体クロマトグラフ質量分析) による広範囲の検索条件を確立し、AZA を作ると思われるプランクトンの培養株を分析しました (図2、図3)。

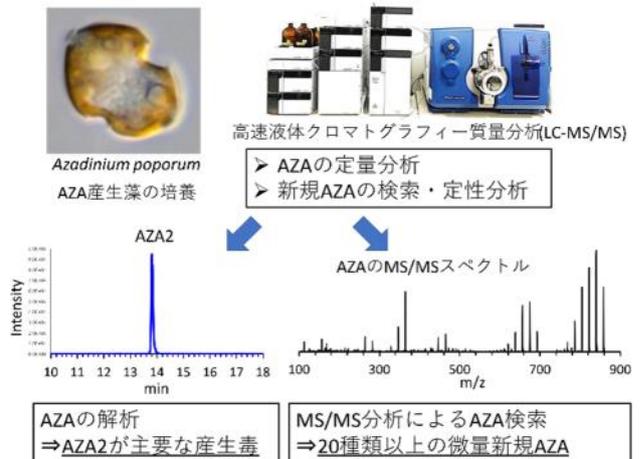


図2. 質量分析による AZA の分析

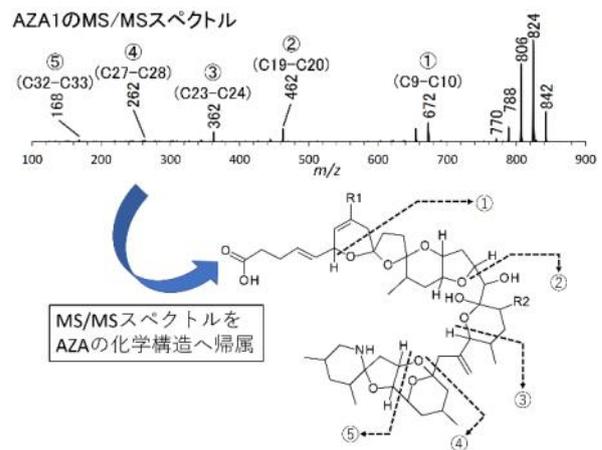


図3. 質量分析による AZA の構造解析

2. 培養株の作る AZA の広範囲な分析により、主要毒素が AZA2 であることがわかりました。さらに、20種類以上の微量な新規 AZA を見つけ (図4)、国内沿岸域から得られた AZA を作る有毒プランクトンの詳しい毒素成分を初めて明らかにしました。

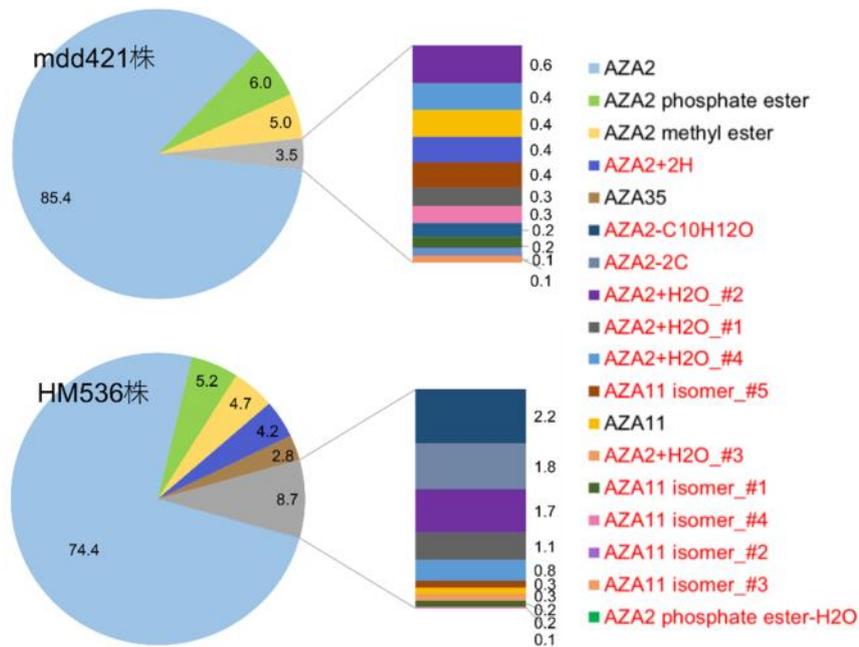


図4. 培養株によるAZA組成の違い

図中の数値の単位は%、赤字は今回発見した微量の新規AZAのうち13種類を示す

波及効果

1. 国内では、AZAによる食中毒は発生していませんが、AZAを作るプランクトンが確認されています。今回開発したAZAの分析法は、水産物リスクを管理・制御するための技術として、二枚貝中のAZA含量を規制する際など、今後のAZAの監視体制の整備に貢献します。

本成果が記された論文

Ozawa *et al.* (2021) *Toxicon* **199**: 145–155.

DOI: 10.1016/j.toxicon.2021.06.010

底びき網漁具の改良による船上作業の軽労化及び収益性改善への取組

開発調査センター 漁業第二グループ

研究の背景・目的

1. 底びき網漁業は多種多様な魚介類を供給する重要な漁業種類です。一方、現在の課題として、乗組員の担い手不足や様々な要因による魚価の低迷が挙げられます。そのため、船上での漁労作業の負担軽減と、収益を高めるための対策が必要です。そこで、秋田県の底びき網漁業をモデルケースとして、船上作業の軽労化を達成するための漁具改良を行うとともに、漁獲物の付加価値向上及び低利用魚種の有効活用による水揚げ金額を増加させる取組を行いました。
2. 漁具改良では、船上作業で最も労力を要する漁獲物の選別作業の効率化に着目しました。また、漁業者が手軽に成果を活用出来ることを重視し、現在使われている漁具仕様をベースに改良を行いました。改良の内容は、一部の網目拡大やロープの追加等のごく簡単なもので効果が得られることを目標としました。
3. 水揚げ金額を増加させる取組では、調査を行った秋田県北部地区の重要魚種であるトヤマエビを対象とし、漁具改良の効果により漁獲時の損傷が抑えられることを活用して単価向上を目指しました。また、普段の操業で入網するものの、現地では販売対象とならずに低利用となっている魚種を対象に、一定以上の単価を得るための試験出荷を継続的に行いました。

研究成果

1. 選別作業の効率化を図る対策として、漁獲物と一緒に大量入網する不要物（泥やひとで類等）が減るように漁具の改良を行いました。秋田県北部地区の漁業者が実際に使用している漁具を対象に、袖網や網口の下側の網目を大きくするとともに、漁具の下側のロープに吊り岩構造と呼ばれる工夫を加えることで、不要物の大量入網を防ぐ対策を取りました（図1）。その結

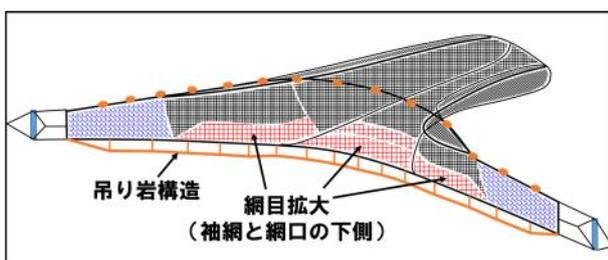


図1 改良した漁具の模式図



図2 漁獲物及び不要物の入網状況
上：改良前の漁具、下：改良後の漁具
改良後の漁具は、ひとで類の入網が大幅に減少

- 果、改良前の漁具に比べて改良後の漁具は、不要物（特に、小型のひとで類であるキタクシノハクモヒトデ）の入網が大幅に減少することが確認されました（図2）。また、漁具の改良に伴って有用魚種の漁獲量が減少することも想定されましたが、改良前の漁具と遜色なく入網することが確認されました。
2. 選別作業の効率化については、改良前後の漁獲物の選別作業に掛かった時間を比較し、その効果を検証しました。改良後の漁具では、不要物が多かった改良前の漁具を使用した場合と比べて、選別作業1回当たり10分間程度の短縮効果が認められました（図3）。

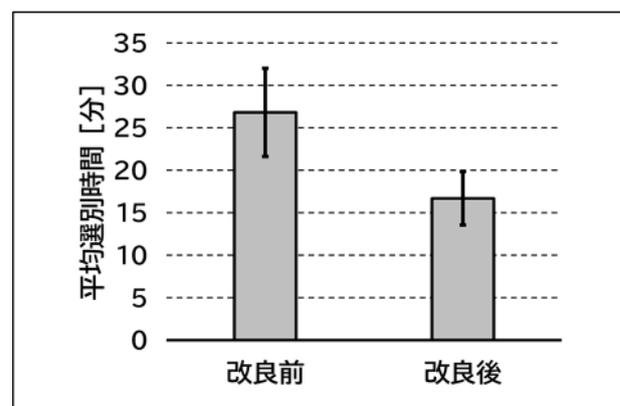


図3 漁具改良前後の平均選別時間の違い
（各棒には標準偏差を示した）

1日の操業回数は10回程度なので、約100分間作業時間が短縮され、選別作業の労力軽減とともに、休憩時間などの確保が可能となりました。

3. 水揚げ金額を増加させる取組として行った、トヤマエビを生きた状態で販売する活出荷(図4)については、図2に示したような不要物の入網量が大幅に減少したことでトヤマエビへの損傷が少なくなり実現しました。加えて、漁獲した直後のトヤマエビの船上での取り扱い方法、陸上での一時畜養による品質の確保及び梱包方法等について検討しました。その結果、活出荷したトヤマエビの単価は3,650円/kgとなり、通常の生鮮製品の単価2,300円/kgと比べて高くなることを確認しました(単価はいずれも調査期間中に販売した全製品の中央値)。

4. 同じく、水揚げ金額の増加を図るための低利用魚の試験出荷では、主にいか類やたこ類を中心に実施し、特に、クモダコについては、令和2年度調査時の平均販売単価を大幅に上回りました(102円/kg → 207円/kg)。試験出荷を始めた当初は、現地での認知度が低く、十分な販売単価を得ることが出来ませんでした。継続的な出荷を行うことで、現地の量販店での取り扱いが始まるなど、商品価値が認められて販売単価が向上したものと考えています。

波及効果

1. 本取組における漁具改良の効果は、どのような漁場であっても不要物の大量入網が起こらずに操業の効率化が図られ、さらに漁獲物の損傷が抑えられることから、全体的な収益性の改善に寄与すると考えられます。
2. また、本成果は秋田県の漁業者支援施策に活用され、秋田県北部地区の5隻の漁船に普及し実装化が進んでおり、当地区のみならず、他地区における漁具改良への転用・活用も考えられます。
3. クモダコのような低利用魚種の有効活用については、継続的な出荷を通じて認知度を上げることで水揚げ金額の更なる増加が期待されます。

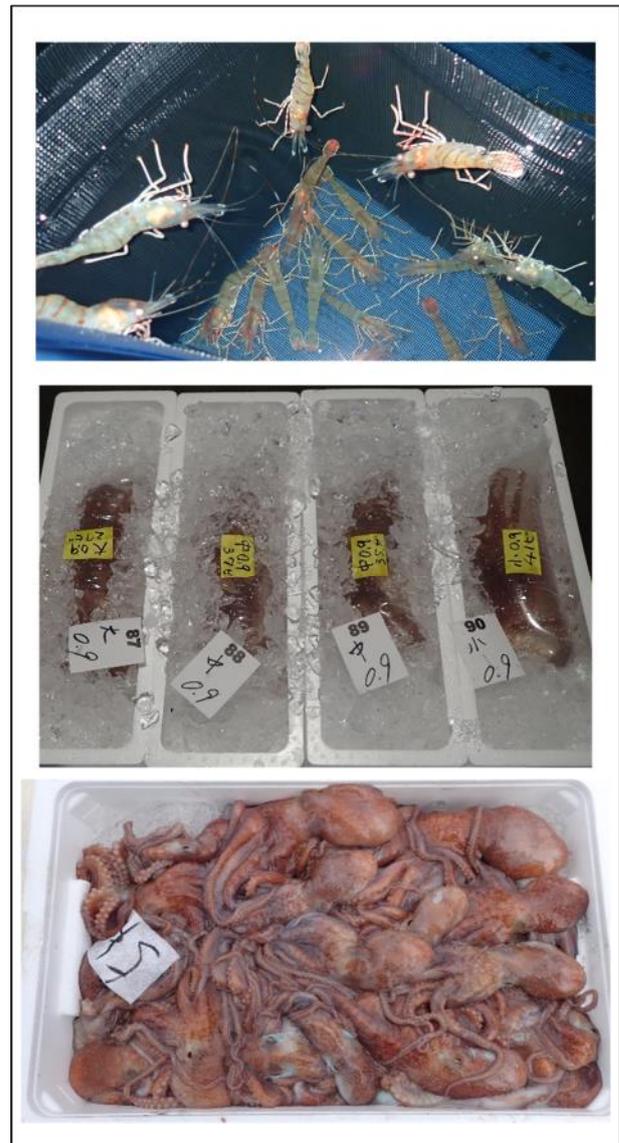


図4 活出荷前のトヤマエビ(上)、活出荷するトヤマエビの製品形態(中)及び試験出荷により定着化が図られたクモダコ(下)

ブリ優良人工種苗周年供給システムの構築（技術移転プログラム）

開発調査センター 養殖システムグループ

背景・目的

1. ブリ養殖では、主として天然稚魚を採捕して養殖用種苗とするため、①種苗の確保が不安定、②入手時期が4～5月に集中するため周年出荷が困難、③人為的な繁殖管理が必要となる育種ができないといった課題があります。天然資源に頼らない持続可能な養殖生産を実現するためには、①、②を解決しつつ③の育種成果を普及することにより、ブリ養殖における人工種苗の利用を促進することが不可欠です。
2. ブリ人工種苗の普及には、養殖業者のニーズに適った時期に人工種苗を供給できる事業者が必要です。
3. 令和元年度から開始したブリ優良人工種苗周年供給システムの構築事業では、養殖期間を短縮するためのブリの高成長育種を進めています。これと並行して、ブリ人工種苗の生産・供給が行える事業者を増やすため、水産研究・教育機構（以下、水産機構）内で協力し開発した親魚養成・採卵技術、種苗生産技術を社会実装し、実地研修またはアドバイスによって移転する「技術移転プログラム」を実施しました。

成果

1. 従来から行っている水産機構施設での技術移転に加え、技術移転を希望する者の施設での出張研修、ブリの受精卵の供給を併用した出張研修及び過去のプログラム参加者も含めた電話・Webによる遠隔研修

を、公的機関、民間業者を問わずに実施しました。

2. 令和3年度は、①水産機構五島庁舎における研修を2件（1者）、②先方（希望者）の施設における出張研修を5件（5者）、③電話・Webによる逐次研修を23件（7者）、合計では30件（9者）の技術移転を実施しました。
3. 出張研修は、先方施設の形状や設備に合わせた飼育研修が行える点で効率的であり、さらにブリの受精卵の供給を併用した実践的な飼育研修を行うことで、効率よく技術移転が行えました。
4. 令和元～3年度の移転先は公的機関7者、民間業者4者（計11者）でした（表1）。多くの者が種苗生産技術のみでなく親魚養成・採卵技術の移転も希望していることから受精卵を外部に頼らず自前で確保したいと考えていることがわかります。

波及効果

令和3年度は、

1. 公益社団法人大分県漁業公社、公益財団法人かごしま豊かな海づくり協会、マルハニチロ株式会社が親魚養成・採卵に成功しました。
2. 種苗供給プログラムで受精卵が供給された一般財団法人宮崎県水産振興協会、フィードワン株式会社が種苗生産に初めて成功しました。
3. 昨年度までの参加者も含めて、疑問や問題が発生し

表1. 令和元～3年度に実施した技術移転プログラムの概要

移転先	技術移転の内容		研修場所または方法		
	親魚養成・採卵	種苗生産	機構施設	先方施設	Web等
【公的機関】					
かごしま豊かな海づくり協会	○	○		*	*
大分県農林水産研究指導センター	○	○		*	
大分県漁業公社	○	○		*	
熊本県水産研究センター	○	○			*
宮崎県水産試験場	○	○	*		
宮崎県水産振興協会		○			*
愛媛県農林水産研究所水産研究センター		○			*
【民間企業等】					
東町漁業協同組合JV	△	○		*	*
マルハニチロ株式会社	○	○	*	*	*
山崎技研	○	○			*
フィードワン株式会社	△	○	*	*	*

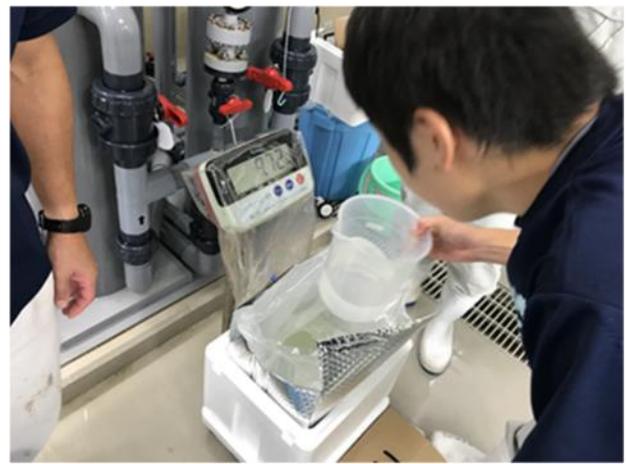
○は研修、△は相談のみ

た際に Web 等を用いて先方の状態を確認し、適切なアドバイスを行うことで各者のレベルアップが図られ、参加者からも好評でした。

- これらの波及効果を受けて、水産庁・全国海水養魚協会が主催する「ブリ人工種苗増産にかかる検討会」では、ブリ人工種苗の普及のための重要な施策として本事業が位置づけられました。



参考1. 五島庁舎における採卵作業の研修



参考2. 受精卵の計数と輸送のための梱包作業



受精卵 (直径 1 mm)

仔魚 (全長 8 mm)

稚魚 (全長 70 mm)

参考3. ブリの受精卵 (左)、仔魚 (中)、稚魚 (右)

甲殻類アレルギーに対応可能な、かに代替食品製造技術の社会実装

水産大学校 食品科学科
有限会社 村田豊商店

研究の背景・目的

1. わが国では学童期以降の1～3%の方が何かしらの食物アレルギーを有すると考えられており、甲殻類は、学童期から成人において主要な原因食品として挙げられます。乳幼児の食物アレルギーは成長と共に耐性が得られますが、大人の食物アレルギーにおいては耐性獲得が困難であり、甲殻類アレルギーは後者に該当します。そのため甲殻類アレルギーを有する方は、甲殻類およびこれを含む食品を再び口にすることも困難です。
2. かに風味かまぼこは、今日では魚肉練り製品のみでなく水産加工食品を代表する食品であり世界中で食われています。他方、かに風味かまぼこの主要な原材料はすり身ですが、かにエキスやかに肉が添加されるため、甲殻類アレルギーを有する方が食べることは困難または不適當です。また宗教や信仰上の理由で甲殻類を食べることができない方もおられます。
3. 水産大学校食品科学科では、甲殻類アレルギーに関する研究に取り組む中で、約10年前に複数のアミノ酸と糖を混合焙煎することで様々な香り（におい）を発生させる技術を見出しました。その後、同技術を応用した魚肉練り製品への香り付加に取り組んできました。

約5年前に共同開発企業である有限会社村田豊商店の柔軟かつ高度なかまぼこ製造技術が組み合わさり、かにエキスやかに肉を使用しないで製造する「かに風味かまぼこ」、すなわち甲殻類アレルギーを有する方でも食べることができる、かに代替食品の創出を目標に研究が加速しました。甲殻類アレルギーを有する方にも、再びかきを食べた気持を味わって頂くこと、より多くの方に手軽なかきに食（疑似）体験を届けること等を目的に水産大学校の教育職員、学生と民間企業が一体となって、かに再現度の高い「かに風味かまぼこ」の創出に取り組みました。

研究成果

1. すり身に添加して加熱加工した際に、かにを連想する香りを発生させることができるアミノ酸数種と還元糖の配合を見出し、メイラード型香り付加技術と

して確立しました。メイラード反応は、食品の加熱加工中などに起こる化学反応であり、アミノ酸やタンパク質と糖の複合体形成に加えて褐色色素と焙煎香気の生成を伴います。同技術では配合するアミノ酸の種類や量を変えることで、かに風味以外の香りを発生させることが可能です（図1）。

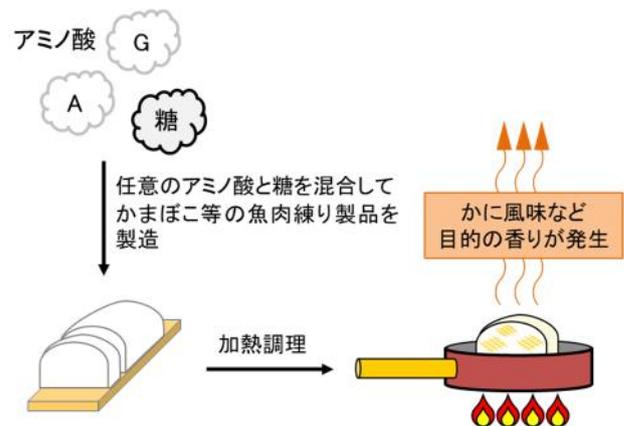


図1. メイラード型香り付加技術の概要

2. メイラード型香り付加技術に加えて、香り発生成分を添加したすり身の成形、加熱工程、その他成分の配合等を検討し、製造ラインにて連続的にメイラード型香り付加かに風味かまぼこを製造する技術を確立しました。同製造方法はメイラード型香り付加技術と合わせて、前述企業と国内共同特許を出願中（特願2021-149606）です。製品は冷蔵または冷凍で流通・販売が可能であり、調理不要なReady to eat製品として、令和3年度に市販化しています（図2）。
3. 水産大学校での甲殻類アレルギー研究で得られた知見を活かし、食品表示基準における特定原材料（7大アレルゲン）を全て使用しない原材料配合を見出しました。甲殻類アレルギーを有する方であっても一般的なかまぼこを食べることができる方であれば、安心して食べて頂けます。



図2. 市販化した、かに不使用のかに風味かまぼこ

波及効果

1. 甲殻類アレルギーの有無に関わらず、分け隔てなくかに食（疑似）体験を楽しんで頂くことが可能となりました。
2. 本技術を用いて製造した、かに風味かまぼこは、かにの香りが強く、かにの代替品として様々な用途に活用して頂くことができます。

新種のノリを発見、センジュアマノリと命名

水産大学校 生物生産学科
千葉県立中央博物館分館海の博物館

研究の背景・目的

1. ノリ（スサビノリ）養殖は、日本の海面養殖で生産量が最も多く、重要な産業のひとつです。
2. 近年の気候変動によりノリ養殖生産量は減少傾向にあります。そのため、育種による気候変動に適応した新品種の開発や新しい養殖種の探索が急務となっています。
3. 気候変動対策のひとつとして、地域に生育する海藻類を活用した地域産業の創出が挙げられます。そこで、ノリ類を中心とした地域海藻資源の探索を目的に、各地に生育するノリ類の調査を行いました。

研究成果

1. 山口県下関市、千葉県いすみ市、銚子市で採集されていたノリ類のひとつが、形態観察とDNA分析から未記載種（学術論文で正式に発表されていない生物種）であることが判明しました。
2. 形態的な特徴として、生長過程で葉状体の根元にある根様糸細胞から新しい葉状部を発出することがわかりました（図1）。この特徴は、これまでに報告されている他のノリ類にはありません。
3. DNA分析の結果、オニアマノリ属（*Neoporphyra*）に属する新種のノリであることが判明したため、令和3年度に以下のように学名と標準和名を命名しました。

学名：*Neoporphyra kitoi*（ネオポルフィラ・キトイ）

標準和名：センジュアマノリ（千手甘海苔）

学名の属名に続く後半の部分である種形容語「*kitoi*」は、本種の最初の発見者である水産大学校名誉教授鬼頭鈞先生への献名です。また、標準和名は、本種を室内培養していると次々と新しい葉状部を発出し、まるで千手観音のような様相を示したことに由来します（図2）。

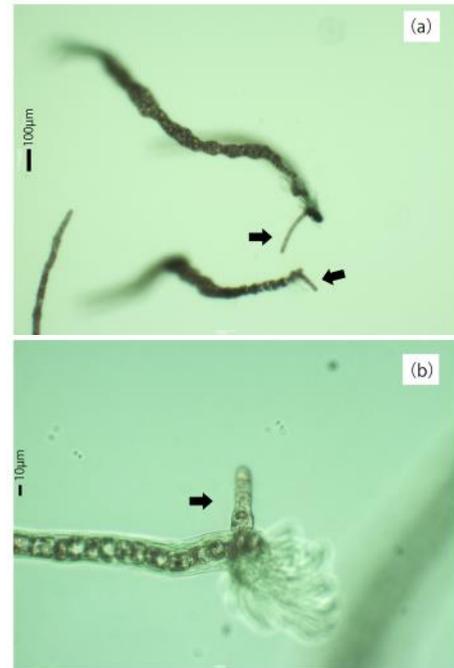


図1. 室内培養により根様糸細胞から発出した新しい葉状部 [(a)、(b) 矢印部分]



図2. 多くの葉状部を発出した藻体

4. 2021年に公表した新種記載論文では、水産大学校が配置されている下関市の沿岸において、2012年に採集したセンジュアマノリを使用しました。2012年以降もセンジュアマノリの調査を継続していましたが、下関市沿岸では2014年以降のセンジュアマノリの生育は確認できていませんでした。しかし、2022年2月の調査において、本種を8年振りに再発見することができました(図3)。

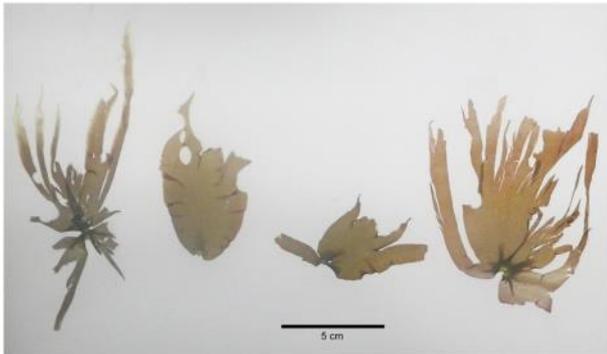


図3. 下関市沿岸において8年ぶりに再発見されたセンジュアマノリ

波及効果

1. この度、新種として記載されたセンジュアマノリは、葉長20~30cmほどの大型に生長するノリであり、千葉県では食用利用されている地域もあります。このため、自生地付近を中心とした地域特産種としての活用が期待されます。
2. 本種は、養殖ノリ(スサビノリ)がほとんど生長しない25°Cでも生長するため、高水温耐性を有することがNiwaらにより報告されています(注1)。このため、新規の養殖素材としての活用も期待されます。
3. 水産大学校における「水産植物増殖学」等の講義に地域資源の活用や地域振興に向けた事例を反映させ、人材育成に貢献しています。

本成果が記された論文

Abe et al. (2021) *Phycological Research* 69: 237-245

DOI: 10.1111/pre.12464

引用文献

注1 : Niwa et al. (2022) *Aquaculture* 548: Part1, 737650