

FRA NEWS

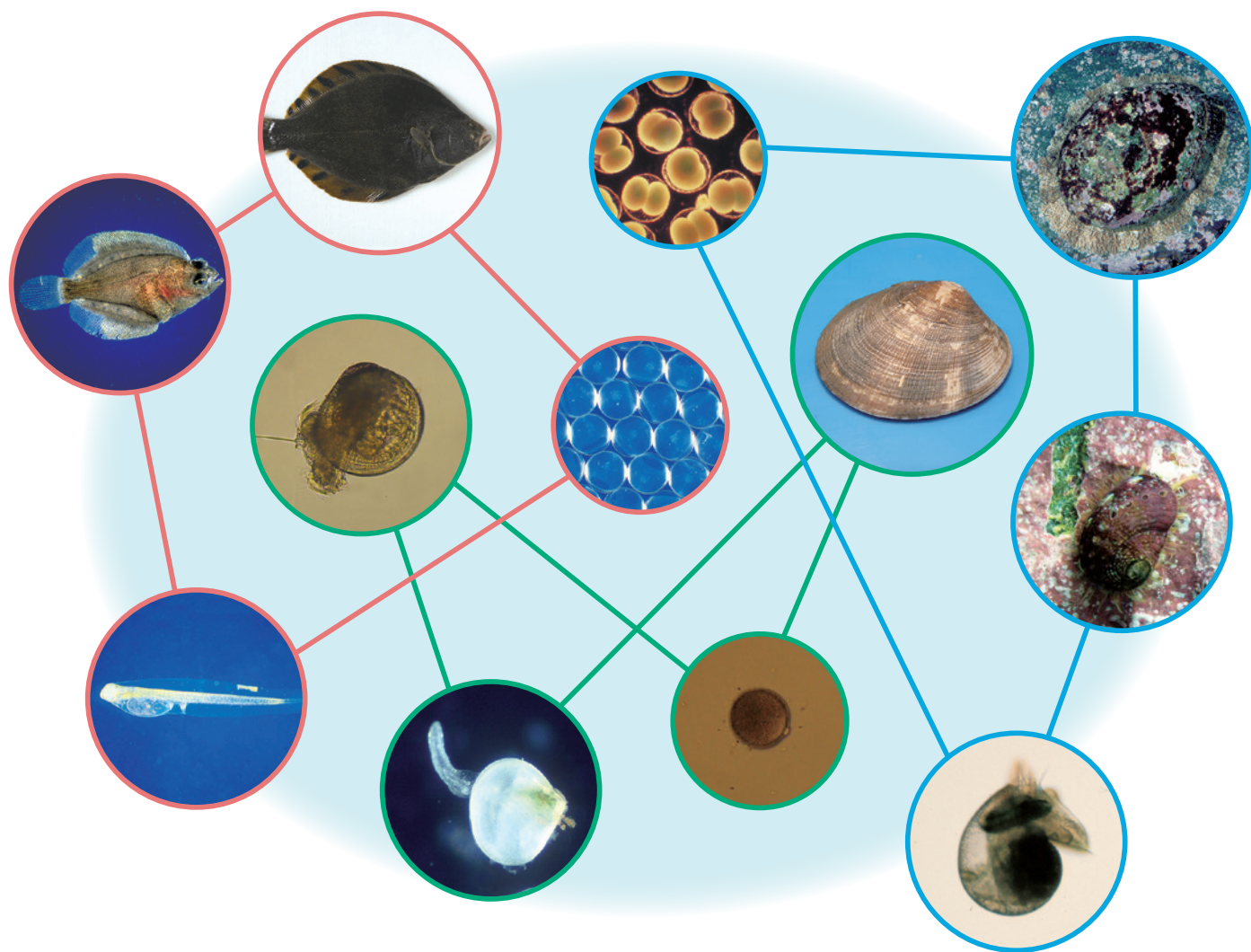
水産業の未来を拓く

vol.
61

2020.1

水産資源再生のカギ

生態系ネットワーク研究



Contents

- 2 水産資源再生のカギ 生態系ネットワーク研究
- 22 会議・イベント報告
- 22 刊行物報告
- 23 会議・イベント報告／執筆者一覧
- 24 ピックアップ・プレスリリース
- 24 編集後記

生態系ネットワークの修復による 水産資源の回復

水産生物は、卵からふ化すると生育段階にあった生息場所を移動しながら成長し、新しい命の「再生産」を繰り返しています。水産研究・教育機構は、生物が健全に再生産できる生息場所のつながり＝生態系ネットワークの修復により、資源回復をめざす研究を行ってきました。



瀬戸内海区水産研究所
生産環境部
吉田 勝俊

資源減少と 生態系ネットワークの分断

日本の漁業生産の3分の1を占める沿岸漁業。しかし、その生産量は1985年の227万トン进行ピークに減少し、現在では100万トン前後になっています。中でも、岸にごく近い浅い海域の生物は、開発や水質悪化の影響を受けやすく、瀬戸内海のアサリ漁獲量は20年間で200分の1まで減少しています。

資源の回復のために、これまでさまざま

まな方策がとられてきましたが、多くの魚種で十分な資源の回復につながらないのが現状です。その理由の一つとして考えられるのが、生態系ネットワーク（以下「ネットワーク」は同義）の分断による再生産効率の低下です。

水産生物のほとんどは、生まれてから死ぬまでの一生（生活史）の中で、それぞれの生育段階にあった生息場所を移動することで成長し、繁殖して新しい命を産み出します（再生産）。このネットワークは、水産生物が健全に再生産でき

る生息場所間のつながりを示しています（図）。生息場所のつながりが切れると、その部分がボトルネック（*1）となり、資源の再生に支障をきたすこととなります。

研究で解明された 生息場所間のつながり

こうした背景から、当機構ではさまざまな機関（*2）と共同し、2013年から2017年の5年間、農林水産技術会議委託プロジェクト研究「生態系ネッ

*1 ボトルネック：物事の進行の妨げとなる要因のこと

トワーク修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発」を実施しました。

このプロジェクトでは、資源量の減少が著しく、これまで種苗放流効果が薄いと思われるアサリ、アワビ、カレイ類の3種を対象に、「それぞれの生態系ネットワークの解明」、「分断個所と再生産ボトルネックの特定」、「ネットワークの修復技術の開発によるボトルネックの解消と資源の自律的再生産」をめざして研究を進めました。

その結果、アサリではモデル海域内の幼生の移動を推定し、天然稚貝を保護することでボトルネックを解消し、自律的再生産を見込めるようになりました。

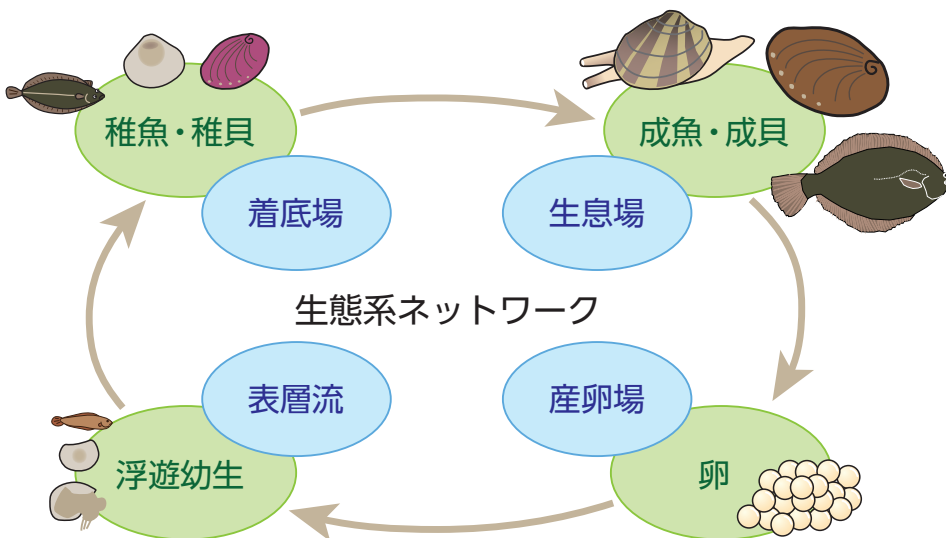
アワビでは生息域となる藻場の回復の適地選定予測を開発し、稚貝期に特徴的なボトルネックを明らかにするとともに、ボトルネック対策による効果の推定が可能になりました。

カレイ類ではバイオロギングデータなどさまざまな手法でネットワーク構

造を推定し、ボトルネック個所を特定して、その対策の効果をシミュレーションにより推定することが可能になりました。

今回の特集では、本プロジェクト研究

のおもな成果を紹介します。これらの成果を活かして、水産資源の回復につなげられるよう、今後も研究開発に取り組んでいきます。



魚や貝は卵が産み付けられる産卵場から、ふ化した浮遊幼生が流れに乗って移動し、稚魚・稚貝として着底します → 着底場近辺あるいはさらに移動した場所で成長し、成魚・成貝となります → 成熟し産卵します

図 生態系ネットワークの模式図

◎本プロジェクトの成果をまとめた詳しい報告書は、農林水産技術会議ウェブサイトに掲載されています。

▶農林水産技術会議ウェブサイト内:平成29年度 委託プロジェクト研究「水産業再生プロジェクト」最終年度報告書「生態系ネットワーク修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発」
<http://www.affrc.maff.go.jp/docs/project/seika/2016/attach/pdf/seika2016-58.pdf>

* 2 農林水産技術会議委託プロジェクト研究「生態系ネットワーク修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発」(平成25年～29年度) 参画機関:産業技術総合研究所・東京大学大気海洋研究所・東北大学・東京海洋大学・京都大学・広島大学・北海道立総合研究機構・千葉県水産総合研究センター・神奈川県水産技術センター・大阪府立環境農林水産総合研究所・岡山県農林水産総合センター・山口県水産研究センター・香川県水産試験場・愛媛県農林水産研究所・福岡県水産海洋技術センター・豊前海研究所・大分県農林水産研究指導センター・鹿児島県水産技術開発センター・株式会社 沿海調査エンジニアリング・株式会社 沿岸生態系リサーチセンター

ネットワークの修復で アサリ漁を再生

(1) ネットワーク構造を調べる解析技術の開発

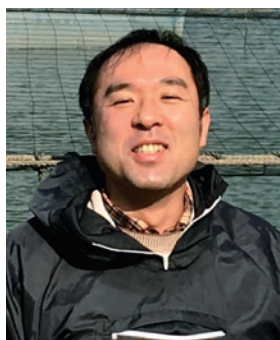
浮遊幼生期に移動するアサリ

アサリは砂に潜って生活するため、あまり移動しないと考えられていますが、卵からふ化して約3週間は浮遊幼生として海水中を漂い、海の流れによって移動・分散します(図1)。たとえば、東京湾のアサリの場合、浮遊幼生は羽田周辺海域から横浜まで移動することが分かっています。

このように浮遊幼生期にネットワークを形成し、三番瀬、羽田周辺海域、千葉港、盤洲・富津・横浜の各市内の干潟や漁場がつながっていると考えられます(図2)。

遺伝子マーカーによる解析

このアサリの生態系ネットワークの構造を調べるには、二つの方法があります。一つは、特定の海域でアサリ浮遊幼生の分布や海流を調べ、パソコンによるシミュレーションなどによってアサリ浮遊幼生がどのように流れていくかを調べる方法です。アサリ浮遊幼生の分布を調べるためには、調査船などで採取したプランクトンの中からアサリ浮遊幼生を探し出し数えなければなりません。しかし、顕微鏡で観察してもほかの二枚貝の浮遊幼生と形態の差が小さく、見つけ出すのは困難でした。そこで開発されたの



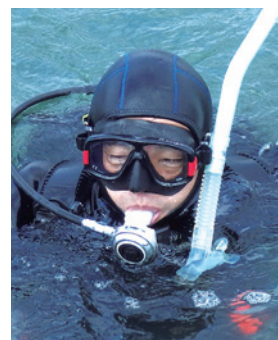
瀬戸内海区水産研究所
海産無脊椎動物研究センター
甲殻類グループ
すがや たくま
菅谷 琢磨



瀬戸内海区水産研究所
海産無脊椎動物研究センター
貝類グループ
いとう あつし
伊藤 篤



瀬戸内海区水産研究所
海産無脊椎動物研究センター
貝類グループ
やまざき ひでき
山崎 英樹



瀬戸内海区水産研究所
生産環境部
干潟生産グループ
はまぐち まさみ
浜口 昌巳

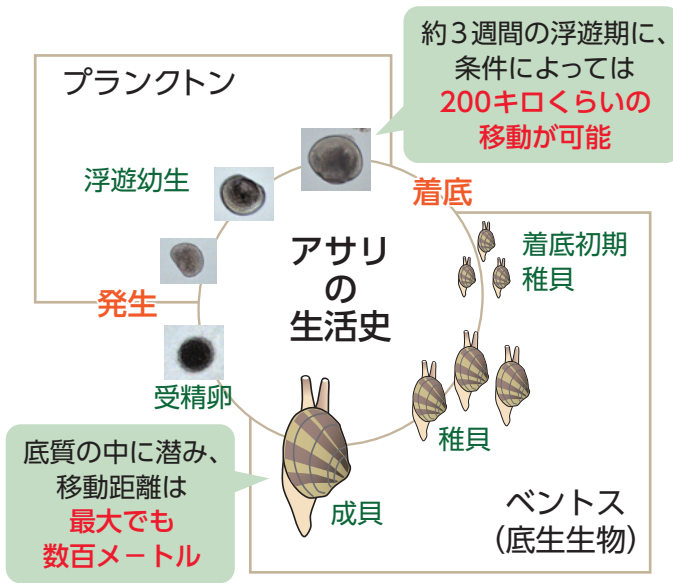


図1 アサリの一生



図2 アサリのすんでいるおもな場所 (東京湾)

が、アサリ浮遊幼生だけを特異的に染め分けることのできる手法で簡単にアサリ浮遊幼生を見つける方法です。これにより、実際の海域でアサリ浮遊幼生がどのように移動しているのかといった調査が可能となりました。

しかし、これだけでは生態系ネットワークの構造を調べることはできません。そこで、本プロジェクトではもう一つの方法であるマイクロサテライトマ

ーカー（以下「MSマーカー」*1）という高精度遺伝子マーカーによる親子など血縁解析手法の開発を行いました。アサリのMSマーカーは2006年に報告されて以来、いくつか追加されています。今回は、遺伝子の塩基配列を高速に読み出せる最新の装置を活用してMSマーカー数をさらに増やし、選抜育種などを組み合わせて有効なマーカーを選別して、親子など血縁関係の評価をより高度化しました。これらを組み合わせてネッ

トワークの構造を評価する方法を検討しました(図3)。

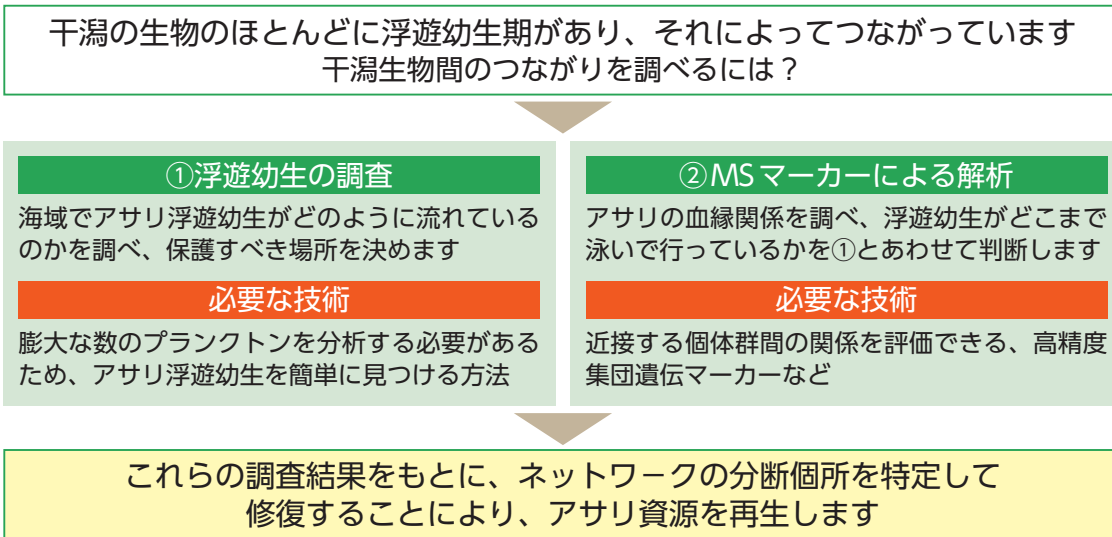


図3 ネットワーク分断個所の調査方法

*1 マイクロサテライトマーカー (MSマーカー) : DNA配列中にある、2~4個の塩基を一単位として複数回繰り返している部分のこと。この部位の繰り返しの回数が個体間によって異なるため、親子判定や個体識別に有効なマーカー (目印) になります

(2) 分断個所の特定

広島湾のアサリで調査

本プロジェクトでは、広島湾をモデル海域とし、調査船しらふじ丸で前述の手法を用いて浮遊幼生の調査を5年間行いました（写真1）。それとともに、広島湾内の漁場で天然に発生したと考えられるアサリ稚貝を採取し、MSマーカーなどを活用して広島湾のアサリの血縁関係を調べました。

その結果、広島湾では、おもに秋に浮遊幼生の密度が高まる頻度が高く、大野瀬戸から大竹市にかけての海域で高密度となることが分かりました（図4）。これらの調査結果をもとにモデル解析を行い、広島湾のどの場所で生まれた浮遊幼生が、どのように流れるのかも解析しました。

一方、MSマーカーによる解析では、呉から西部の広島湾では各漁場のアサリ



写真1 しらふじ丸（左）によるアサリ浮遊幼生調査（右）

は血縁関係があり、東京湾と同様、メタ個体群（*2）を形成しているのではないかと考えられます。

このような結果から、大野瀬戸でアサリを増やすことで、広島湾内全体に波及する可能性があると考えられました。しかし、大野瀬戸では、毎年秋に着底したアサリ稚貝は翌年の春から夏に成長し、

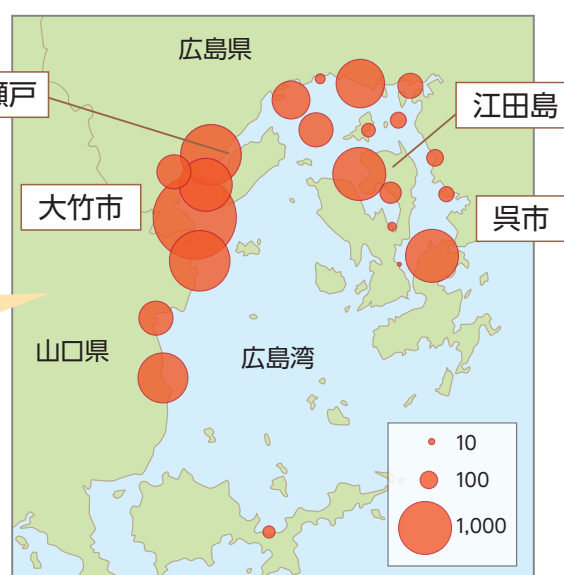


図4 広島湾のアサリ幼生の分布（2015年秋）

2015年秋の アサリ浮遊幼生の分布の特徴

- ・ 全湾的に出現密度が高い
- ・ これまでアサリ浮遊幼生の発生密度が低かった江田島、呉周辺でも高密度

*2 メタ個体群：同じ種類の仲間である局所的集団が多数集まり、それぞれの局所的集団は生成と消滅を繰り返している個体群のこと

殻長10ミリ前後になると減っていくことが分かりました。

これらの結果から、広島湾のアサリの

生態系ネットワークは、着底期以降の殻長10ミリ前後で分断されていることが明らかとなりました。

(3) ネットワークの修復

稚貝の不足で生産性が低下

調査の結果、広島県沿岸では、秋に着底して翌年の夏ごろに殻長10ミリに成長した稚貝は、クロダイなどに食べられて減少し、ネットワークが分断されること

業者個人に漁場が振り分けられ、漁場の維持や管理がしっかりと行われているのが特徴です。また、古くから魚類などの食害対策として保護網の設置が行われています。

が判明しました。また、予備実験により、この時期の稚貝を食害から保護すれば、生き残って成貝まで育つことが分かりました。

モデル海域に含まれる大野瀬戸は、全国的にも珍しい区画漁業権が設定されたアサリ漁場があり(写真2)、「大野アサリ」は地域のブランドアサリとして流通しています。この漁場は、漁

以前は大野瀬戸でアサリ稚貝を採取し、それぞれの漁場に放流・育成して出荷していましたが、稚貝が不足するようになると、ほかの地域から購入して補っていました。しかし、近年の全国的なアサリ生産量の減少から、アサリ稚貝を購入することが年々困難になっていくうえ、購入したアサリの生き残りが悪いこともあり、大野アサリの生産性も低下しています。



写真2 大野瀬戸前^{まえがた}潟漁場

地場の稚貝を増やす試み

本プロジェクトの目的は、ネットワークの分断個所を特定し、それを修復することで漁業を再生することです。大野アサリでも、地場で発生するアサリ稚貝を

有効に活用してアサリ漁業を再生する方法を、広島県、廿日市市はっかいちしと共同で開発しました。

まず、春先にアサリ稚貝を採取できる場所を漁業者と一緒に探し、高密度にアサリ稚貝が生息している場所を見つけ出します。そして、その場の表層砂を袋網に入れ、干潟に並べて夏頃まで成長させます（写真3）。夏になると、袋網内のアサリ稚貝をふるいなどで回収し（写真4）、得られたアサリ稚貝をそれぞれ個人の漁場に放流して育成するという方法です。

この試みを開始した初年度は、採取したアサリ稚貝は50万個でしたが、それ以降は約200万個採取できるようになりました。大野地区の中で最も大きなアサリ漁場の一つである前潟干潟（7ページ、写真2）では、必要なアサリ稚貝数は400万個くらいと試算されています。この試みに参加する漁業者は年々増えており、採取するアサリ稚貝数も増加し

天然発生アサリ稚貝の回収方法



袋網内の砂をふるいなどにかけてアサリ稚貝を選別



表層の砂を袋網に入れます



採れた稚貝を袋に入れます



袋網の口を縛ります



稚貝が入った袋を回収します



袋網を干潟に並べます

写真4 アサリ稚貝の回収

写真3 袋網によるアサリ稚貝の保護

ています。現在、大野瀬戸では、地場で発生するアサリ稚貝を有効に活用した自律的なアサリ生産が行われるようになりました。

ほかの地域でも活用

今回開発した方法は、大野瀬戸以外にも条件が整えば適用可能です。

瀬戸内海の東部に位置する和歌山市内の和歌浦干潟は、かつては大阪方面から年間数万人が訪れる関西最大の潮干狩り場でした。しかし、近年はアサリが激減して潮干狩りや漁業ができない状況が続いています。そこで、和歌山県、和歌山市および地元の和歌浦漁業協同組合青年部が中心になり、本プロジェクトで開発した方法で地場産アサリを生産しています。

アサリの再生には地域の協力が必要です。和歌浦干潟では、地元の小学生に協力してもらいながら資源量調査を行っており（写真5）、資源の増加を確認して



写真5 和歌浦干潟で地元の小学校とともに資源調査
和歌浦小学校 150人が参加し、潮干狩りをしました

います。現在は、純粋な和歌浦産アサリが販売できるまでになっています（写真6）。

このように、本プロジェクトで開発した方法によって、アサリ漁業の再生が可能となりました。現在、各地でアサリの



写真6 和歌浦あさりの販売

垂下養殖（*3）が盛んになってきていますが、高齢化が進んだ場所では労力のかかる垂下養殖は困難であり、干潟を有効活用した自律的生産方法のほうが有効と考えられます。

*3 垂下養殖：貝類・藻類などをかごに入れたり縄に付着させたりして、海中につり下げて養殖する方法のこと

放流貝の貢献とウニ除去による藻場再生の効果を検証

磯焼けによる繁殖力の低下

高級食材として知られるアワビですが、最近では資源量が減っており、北の海に住むエゾアワビも例外ではありません。アワビ類は、資源が減って親貝の密度が下がってしまうと子孫がうまく残せません。また、エサとなるコンブなどの大型海藻が磯焼け（*）などで減ってしまふと（写真1、2）、栄養不足で卵や精子をうまく作れなくなります。

そこで、資源を補うために人工種苗放流や、海藻群落を復活させるために海藻を食べてしまうウニの除去などをしてきました。しかし、放流貝が親貝として再生産に貢献しているのかはつきりしておらず、ウニの除去などの効果もばらつき

がありました。

放流貝もアワビの再生産に貢献

今回のプロジェクトでは、北海道の試験漁場に人工貝3万4950個体を親貝として放流し、翌年以降その海域で生まれた稚貝（460個体）を採取して、放流貝の子どもがどのくらいいるのかを調べました（図1）。

まず、試験海域での親アワビの産卵量の割合は、87・7%が天然貝で、12・3%が放流貝に由来すると推定されました。一方、MSマーカーを使って稚貝との親子判別をした結果、両親とも天然貝の子どもは89・7%、両親とも放流貝あるいは片親が放流貝の子どもは10・3%でした。このことから、放流貝も再生産

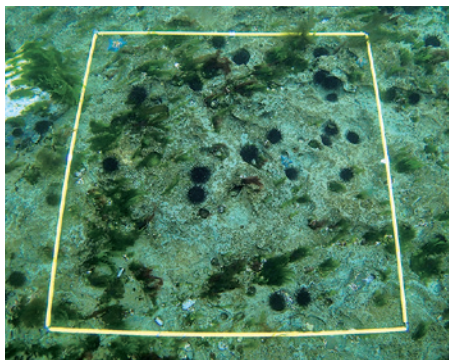


写真2 磯焼け海域のようす
海藻がなくなり岩盤上にキタムラサキウニが多く見られます

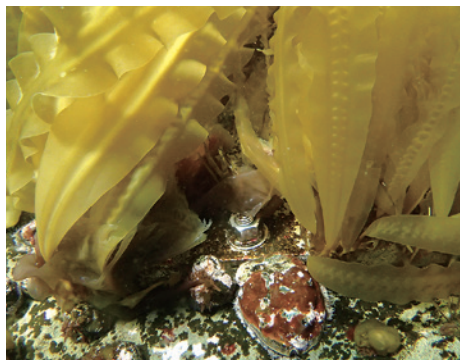
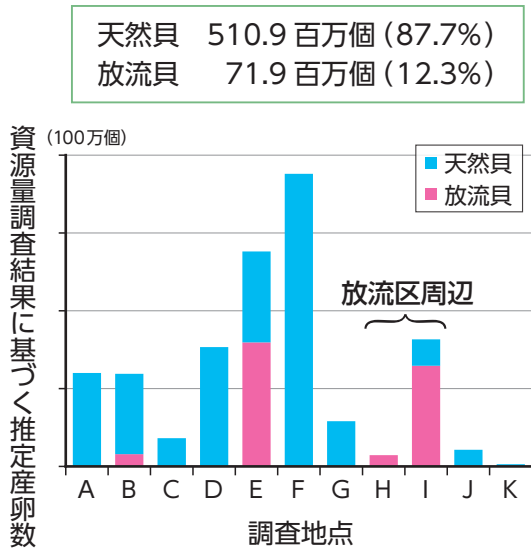


写真1 ホソメコンブの根元に集まっているエゾアワビ



北海道区水産研究所
くろかわ ただひで
黒川 忠英

* 磯焼け：沿岸海域で藻場を形成しているコンブやワカメなどの海藻が減少・消失し、不毛の状態となる現象



採集稚貝数 437 個体の分析結果

天然貝 × 天然貝	392 個体 (89.7%)
天然貝 × 放流貝	31 個体 (7.1%)
放流貝 × 放流貝	14 個体 (3.2%)
合計	437 個体

図1 稚貝の親子判別

試験漁場で天然貝と放流貝の産卵数を推定し、そこで生まれた稚貝の親を推定した結果、少なくとも45個体(10.3%)が放流貝の子どもでした

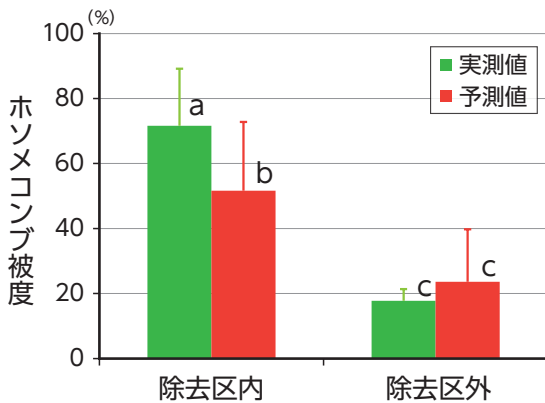


図2 事前評価手法による藻場回復へのウニ除去効果の確認

ウニ除去で海藻群落が回復し、その覆われている割合(被度)もモデルの予測値とよく一致していました

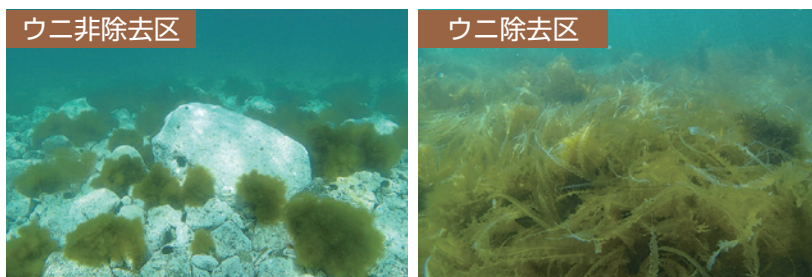


写真3 図2で確認できたウニ除去による海藻群落の回復

ウニ除去の事前評価手法を開発

に貢献することが初めて示されました。ただ、量的な貢献度の評価は今後の課題です。

北日本の磯焼けの大きな原因は、ウニによる食害です。エサのない磯焼け海域のウニは身入りが悪く商品価値がまったくないうえに、それらを除去するにもお金や労力がかかります。そのため、ウニ

除去により海藻群落が回復するかどうか

を予測する技術が求められていました。

本プロジェクトでは、その予測モデルを作成して事前評価手法を開発し、それに基づいて実際にウニを除去した場合の効果を検証しました(図2、写真3)。

回復効果が高いと予測された場所でウニを除去した結果、除去しなかった試験区に比べ、ホソメコンブなどが大幅に回復し、その状況は予測モデルの値とよく

一致していました。

なお、南日本では、アイゴなどの植食性魚類による食害の影響が大きいため、この事前評価手法の利用には注意が必要です。

磯焼けによる ネットワークの分断と対策

藻場衰退の影響を定量的に解析

アワビ類は、コンブ類やホンダワラ類などの大型褐藻類をおもなエサとしています。磯焼けの発生で大型褐藻類が消失してしまうと、アワビ類はエサ不足で成長・成熟が悪くなり、漁獲量が大きく減少します。

九州などの暖流域では、アラメやカジメなどのコンブ類と、栄養価の異なる多くのホンダワラ類の藻場が混在するため（写真1）、藻場の変化がアワビに与える影響について定量的な解析が困難でした。

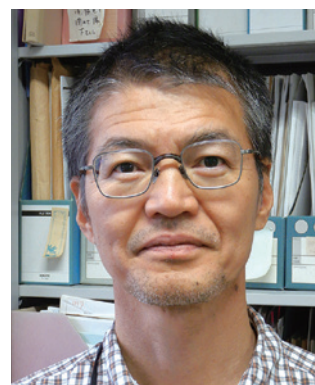
そこでまず、過去の現地調査データがそろっている海域で、衛星画像と現地調査データの対応をもとに海藻のタイプご

との藻場面積を推測しました。さらに海藻のタイプごとにアワビ類の成長・再生産などを推定することで、定量的な解析が可能となりました。

再生産などを推定することで、定量的な解析が可能となりました。

エサ環境の改善——藻場回復へ

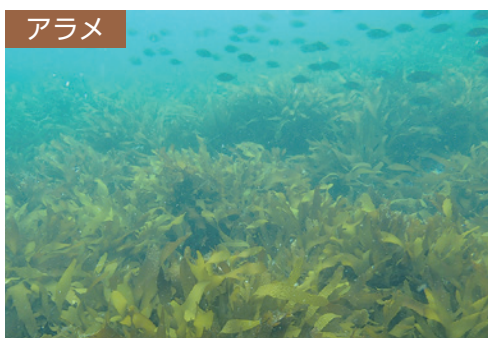
磯焼けで悪化したエサ環境を改善するためには、藻場を回復させる必要があります



西海区水産研究所
資源生産部
藻類・沿岸資源管理グループ
きよもと せつお
清本 節夫

ます。そこで、漁業者による藻場造成で回復したコンブ類であるクロメの藻場で、放流されたメガイアワビの成長・成熟を確認し、エサ環境の改善を実証しました（写真2、3）。

藻場造成を行う海域では、母藻を投入して幼胚や遊走子（ゆうそうし）を供給する必要があると見られます。また、貴重な母藻を有効利用するため、海中で長期間維持できることが望まれます。鹿児島県水産技術開発センターが母藻を収容して現場に固定するスポアバッグを改良し、約2か月間母藻を維持できるよ



アラメ



ホンダワラ類

写真1 大型褐藻類の藻場



写真2 磯焼けした海底(左)と再生されたクロメの藻場(右)



写真3 成熟したメガイアワビ
 左がメス、右がオス。アワビは成熟すると「ツノ」(黄色の線で囲った部分)が、メスは緑、オスは白になります
 【撮影】しやお ほあめい邵花梅



写真5 植食性魚類のブダイ(上)と植食性魚類の採食により茎状部のみとなったクロメ(下赤丸内)

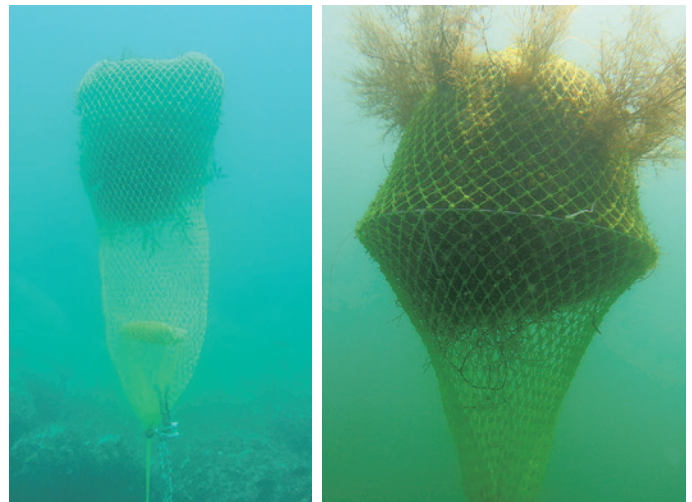


写真4 従来のスポアバッグ(左)と改良型のスポアバッグ(右)

改良型は中に枠を入れることで海藻の^{かたよ}偏りや締め付けによる傷みが少なく、上部の目合いを大きくすることで母藻を外に引き出すことが可能となり、2か月間維持できるようになりました
 【写真提供】鹿児島県水産技術開発センター

うになりました(写真4)。
 また、藻場造成では母藻投入に加え、過剰に存在するウニ類の排除が必要ですが、場所によってはウニ類を排除しても藻場が回復しません。このため、藻場造成に適した場所を事前に推定することが重要です。そこで、北海道(10〜11ページ参照)と同様に、現地の環境条件から

ウニ類排除の対策適地を推定する方法を開発しました。
 しかし、暖流域ではブダイなどの植食性魚類の関与が大きく(写真5)、魚類による影響の推定と対策が今後の課題として残されています。

稚貝場と親貝場をつなげて 天然貝の再生産を改善

天然貝再生産のボトルネック

日本のアワビ類の漁獲量は、近年減り続けています。その原因として想定されているのが、磯焼けによって生息環境が悪化し、アワビのエサである海藻が不足することです。そのため、藻場の回復をめざしたさまざまな試みが行われていきます。一方、磯焼けが発生していない海藻が豊かな海域でも、アワビ類は広範囲に減少しています。磯焼け以外の要因も取り除かないと、アワビ類の資源回復は望めません。

神奈川県相模湾沿岸では、2013年にはカジメなどの海中林が広範囲に分布し、アワビ類の浮遊幼生と稚貝期の個

体が比較的高い密度で見られていました。それにもかかわらず、水揚げされるアワビ類の約9割が放流貝で占められ、天然貝の再生産になんらかの問題が起きている状態が続いていました。

そこで、アワビ類の生活史のどこかに生じているボトルネックを突き止め、その解消手法を開発するための研究を行いました。

稚貝場と親貝場をつなげる

まず、相模湾沿岸の岩礁域がんしょういきでアワビ類の分布調査をしたところ、殻長10〜20ミリくらいの稚貝期（写真1）に、エサが不足したりほかの生物に食べられたりして、多くの個体が死んでいることが明

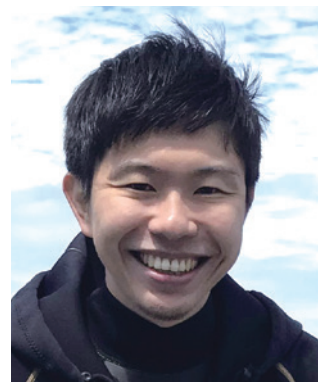


写真1 アワビ類の天然稚貝

殻長10〜20ミリ。相模湾沿岸では小さな転石の裏側に生息していることが多いです

らかにになりました。

この時期に、生息場を小さな転石から大きな転石や岩盤へと広げ、エサも小



中央水産研究所
沿岸・内水面研究センター
沿岸資源・生態系グループ
さわやま しゅうへい
澤山 周平

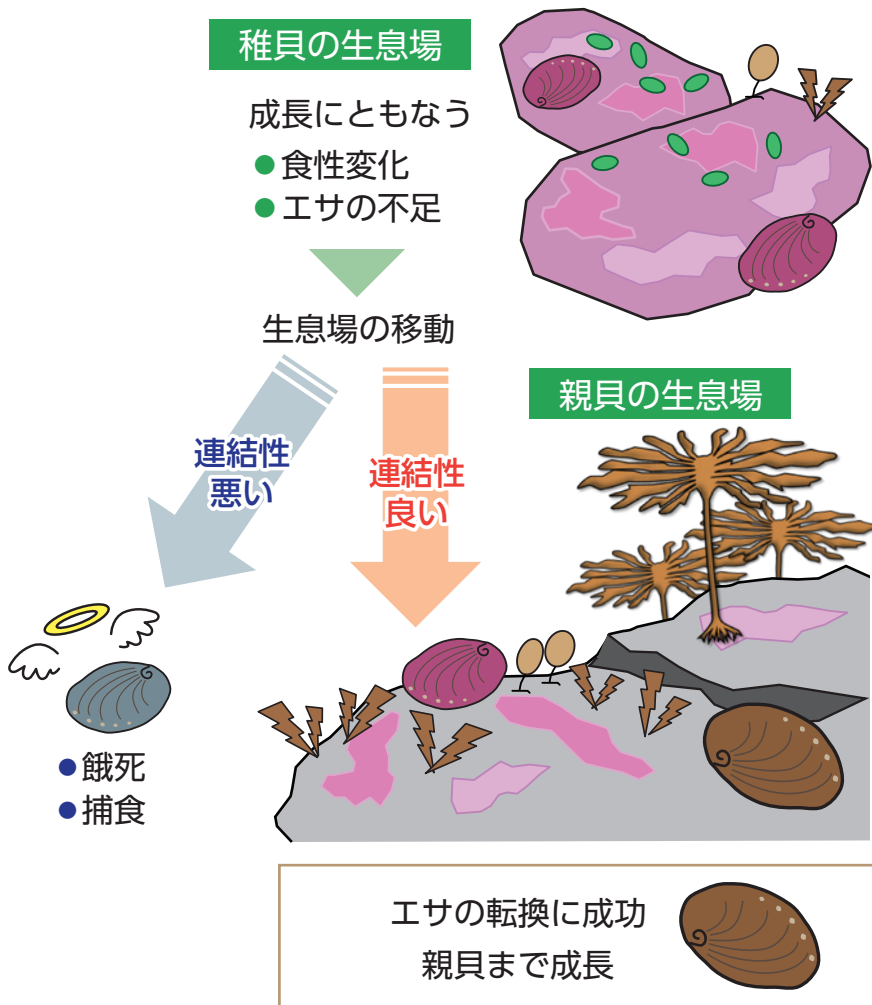


図 アワビ類の稚貝期で生息場の移動により生じるボトルネックのイメージ



写真2 海底に造成した稚貝場

本来はアワビの稚貝が住めない砂底に小型の御影石(*)を投入して生息環境を整備しました

*御影石：未加工の御影石の表面には、適度な滑らかさと凹凸があり、アワビの稚貝の生息に適していることが確認されています

な藻類から大きな海藻へと変化していると考えられます。これらの変化への対応ができるかどうか、その後の生き残りを左右するボトルネックと推定されました(図)。

この調査結果をふまえて、アワビ類の

親貝と稚貝それぞれの生息場(親貝場・稚貝場)と幼生の分散をモデル化して、さまざまなシミュレーションを行いました。その結果、親貝場の保護・造成よりも、稚貝の生息に不適な場に稚貝場を造成し(写真2)、親貝場と稚貝場のネッ

トワークをつなげることが、再生産改善に効果があることが示されました。この成果を活用して、各地でのアワビ類の資源回復への取り組みが広がることを期待しています。

移動・分散による生息場所のつながりと ボトルネックを解明

生活史サイクルの5つのステージ

カレイ類は、冬場に親が浅場で産卵し（卵期）、その卵からかえった仔魚しぎよが海面を漂いながら岸近くに着底し（仔魚期）、着底後は稚魚になります。春先から稚魚が出現し始め、夏ごろまで浅場で成長した後（稚魚期）、夏の暑さを避けるように深場の生息場所へ移動します（未成魚期）。その後、秋が深まって再び浅場の水温が下がり始めると、十分成長した成魚は成熟とともに浅場の産卵場へ移動し、産卵します（成魚期）。この生活史サイクルの5つのステージで利用する生息場所（生態系）のつながりが、カレイ類の生態系ネットワークです（19ページ、図3参照）。

移動・分散を調査する手法を開発

このネットワークそのものを明らかにして、どのステージ・生息場所に生活史サイクルを滞らせるボトルネックがあるのかを調べるには、さまざまな技術を組み合わせた手法を作り出す必要があります。わずか1ミリにも満たない卵や仔魚から時には40センチを超える成魚まで、体の大きさや行動が大きく異なる各生活史ステージの魚を対象に、移動・分散による生息場所間のつながりを明らかにしなければならぬからです。

そこで、仔魚、稚魚、未成魚から成魚までの移動・分散、卵の分布、ネットワークの広がりなどを調べるいろいろな技術を駆使し、カレイ類のネットワーク



瀬戸内海区水産研究所
生産環境部
藻場生産グループ
ほりまさかず
堀 正和

構造を解明する手法開発に成功しました。

ネットワークを解明

開発した解析手法により、東京湾内湾のマコガレイでは図1のようなネットワークが構築されていることが判明しました。マコガレイの産卵場は内湾の湾奥と内房域にあること、湾奥の産卵場はふ化率が低下していることが、千葉県調査で事前に分かっていました。



図1 東京湾・内湾のマコガレイ生態系ネットワーク構造の概要図

緑色の線が通常移動・分散経路、そのうち死亡率が高くなっている（ボトルネック）生活史段階を赤線で示しています

本研究では、その後、卵からかえった仔魚が湾奥の浅場に着底して稚魚になることが分かりました。着底した稚魚は二手に分かれ、東京都側と千葉県側それぞれの岸際の浅場を通過して湾口部に向かっ

て移動して行きました。しかし、東京都側へ向かった稚魚はその途中で多くの個体が死亡し、未成魚の生息場所にたどり着いた稚魚の90%以上は千葉県側を通った個体であることが判明しました。また、湾奥の産卵場へ向かう成魚はほとんどが内湾由来の成魚でしたが、中には内房から来た個体も交じっており、それらの個体はわずか数日で内房から湾奥の産卵場へ到達し、数日後にはまた内房へ戻って行きました。遺伝子解析の結果でも内湾の個体群と内房の個体群は分化しきっておらず、内湾と内房で少し交流が残っていることが確認できました。

これらの解析を瀬戸内海の各灘のマコガレイでも同様に実施し、瀬戸内海のマコガレイは大阪湾・播磨灘を中心とするグループ、広島湾・周防灘・伊予灘を中心とするグループ、その両者からの個体の移入が年によって変動する燧灘のグループの3つのネットワークが形成されていることが分かっています（図2）。

湾奥の産卵場へ向かう成魚はほとんどが内湾由来の成魚でしたが、中には内房から来た個体も交じっており、それらの個体はわずか数日で内房から湾奥の産卵場へ到達し、数日後にはまた内房へ戻って行きました。遺伝子解析の結果でも内湾の個体群と内房の個体群は分化しきっておらず、内湾と内房で少し交流が残っていることが確認できました。

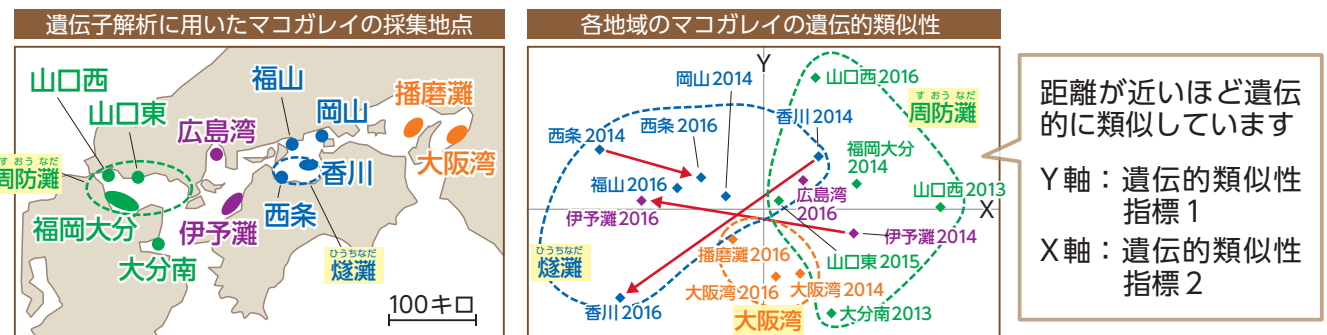


図2 瀬戸内海のマコガレイ集団の海域間での遺伝的な違い

遺伝子解析（マイクロサテライト29マーカーを使用）による結果。距離が近いほど類似した遺伝子構造を持っている、すなわち同じ集団であることを示しています。灘ごとでかたまるように見えますが、伊予灘、香川、西条など瀬戸内海中部海域の局所集団は、その年によって類似する集団が変化しています（→）。大阪湾の集団が周防灘集団に隣接しているのは、大阪湾集団への山口県産の種苗放流の影響がある可能性を示しています

稚魚期からの移行期が高死亡率

先のページで開発した手法によって、

瀬戸内海、東京湾の各海域に生息するマコガレイの生態系ネットワーク構造が明らかになりました。そこで、各海域のネットワーク構造で、ネットワークが分断されそうになっているボトルネックの個所を調べたところ、どの海域も稚魚期から未成魚期にかけての移行期に死亡率が高くなっていることが判明しました(図3)。その原因として、夏場の海水温の上昇が最も深刻であることが分かりました。

稚魚は水深1〜10メートルの浅場に着底し、水温15℃〜20℃で活発にエサを食べて成長します。そして周囲の海水温が20℃近くになると、水温20℃の条件を満たす深場へと移動を開始することが明らかになりました。

ところが海水温の上昇により、水温が20℃くらいの条件を満たす場所がさらに

水深の深い場所へ移動しているため、浅場から深場へ移動距離が長くなり、途中で死亡する個体が増えることが推定されました。加えて、浅場の海水温が20℃近くなる時期も早まり、深場への移動に耐えうる大きさに成長する前に、移動し始めなければならなくなること、さらに死亡率を高めることになっていました。

未成魚・成魚も同じように海水温が20℃付近の場所を好むことから(図4)、マコガレイにとって海水温20℃というのが生息場所の大事な指標になるといえます。

ネットワーク構造の再生

ただし、海水温上昇が原因と分かっても、人の力では海域全体の海水温を下げることは不可能です。稚魚の絶対数を増やし、生残率を上げるために、また、ネットワーク構造を再生するためには、

次のような対策が有効な手段になると考えられます。

- 1 産卵場では操業しないことや、稚魚の混獲を避けて積極的に再放流を行う
- 2 海底湧水域など局所的に海水温が低く安定的に保たれている場所を、コアとなる生息場所として積極的に保護・利用する
- 3 浅場で、稚魚が移動に耐えうるサイズまで早く成長できるように、アマモ場のようなエサ場として好適な場所を増やす
- 4 種苗放流では、種苗を移動に耐えうるサイズまで育てるか、稚魚の移動先の深場で放流を実施する

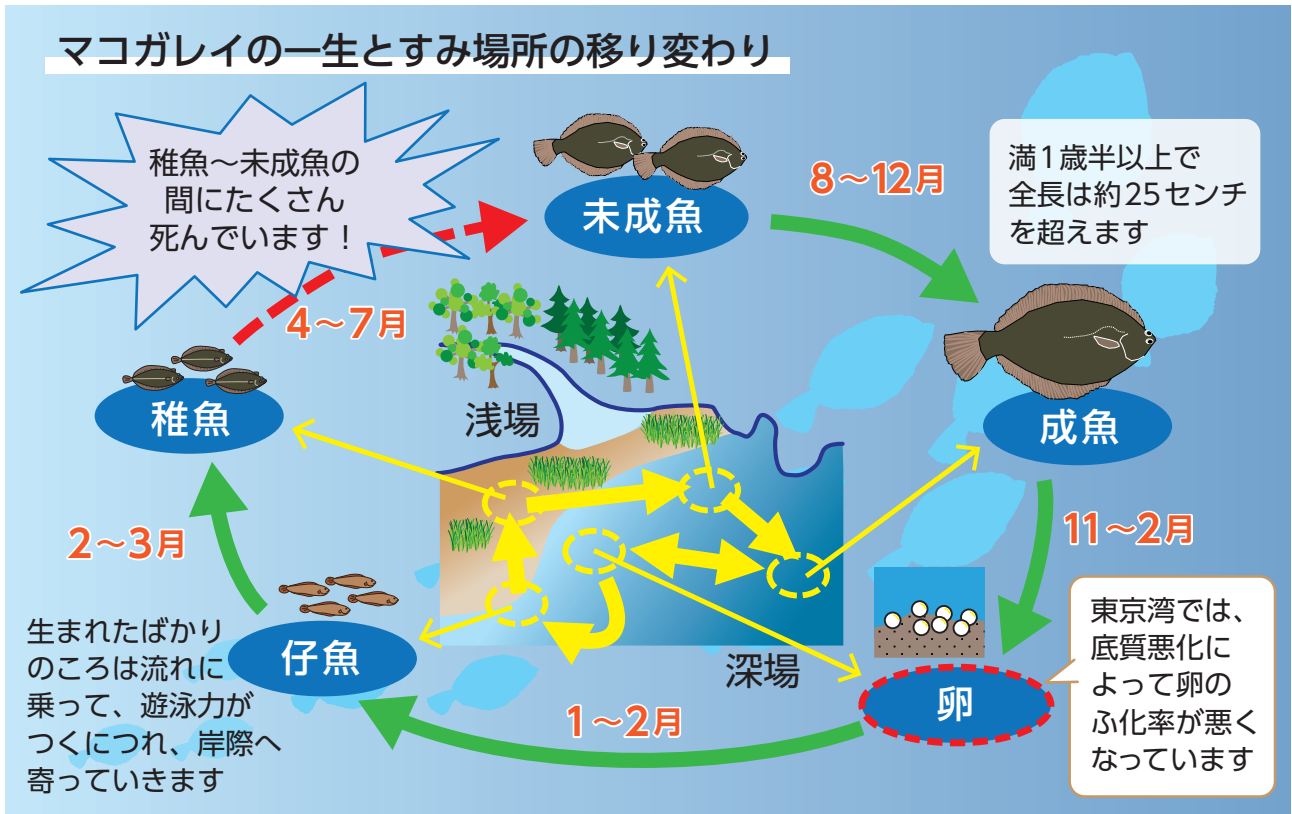


図3 東京湾・瀬戸内海でのマコガレイの一般的な生態系ネットワークの概念図
 ボトルネックとなっている個所を赤点線で示しています。稚魚期から未成魚期のボトルネックはすべての海域に共通していますが、東京湾だけ底質悪化によって卵のふ化率も低下していることがボトルネックとなっています



図4 データロガーをつけて瀬戸内海西部に放流し、再捕獲された成魚のロガーに記録されていた水深と水温のデータ

調査と漁業データの統合・解析で ボトルネットを解明

マコガレイの調査情報を統合

マコガレイの漁業や生物に関する情報は、府県の水産研究機関により、長期間収集し蓄積されてきました。たとえば、仔魚や稚魚のマコガレイについてはさまざまな採集器具を使った調査から、未成魚や成魚については底びき網による漁獲物の調査から得られた情報です。

今回のプロジェクトでは、これらの情報を統合し、東京湾や瀬戸内海のカレイ類が、生活史段階ごと、季節ごとにどのように移動するか、また、生態系ネットワーク構造で分断されそうになっているボトルネットの個所はどこかを、定量的に解明する手法を検討しました。

まず、漁船がいつどこでマコガレイを

獲ったか記録した情報と、水揚げした市場でそれらがどのくらいの大きさだったか測定した情報を組み合わせることで、大きさごとに、毎月どこで、どれだけマコガレイが漁獲されたかが分かります。これを地図上に示し、たくさん獲れている場所がどう変化するかを見ることが、漁獲対象サイズ別の移動について、大まかな情報を得ることができます。

数値を解析して調べる

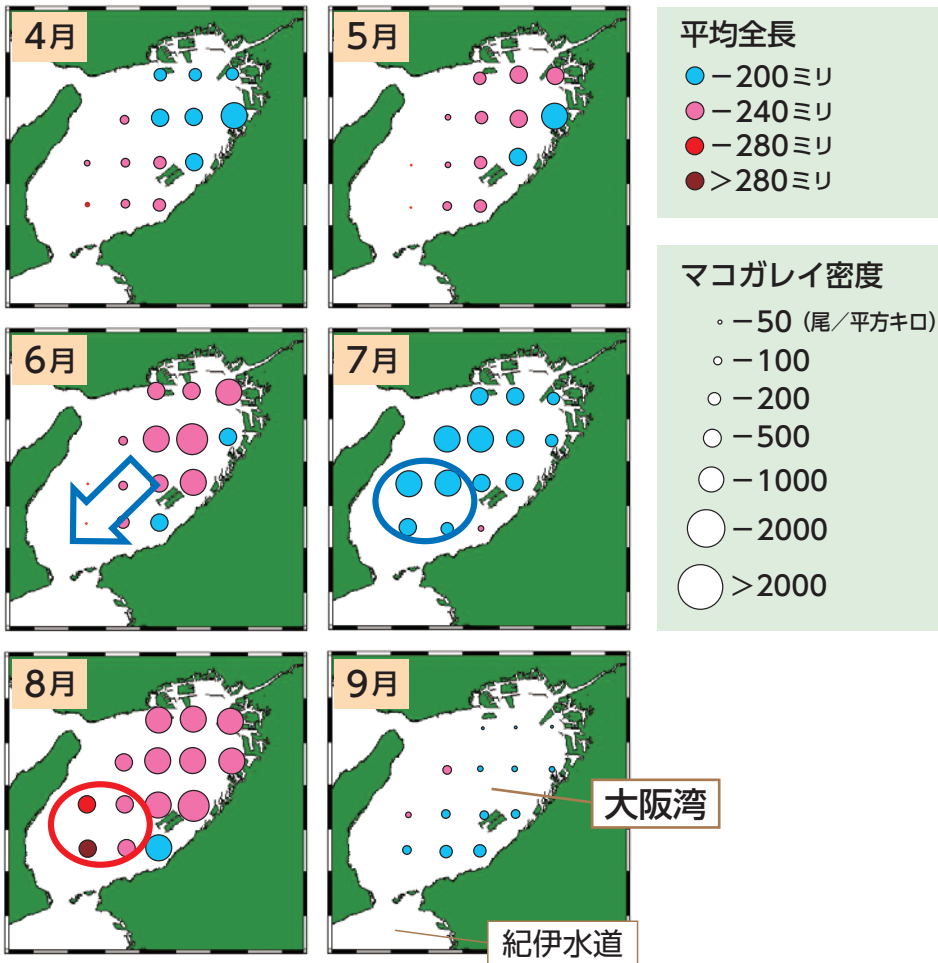
たとえば、マコガレイがたくさんいた1980年代後半の大阪湾でのマコガレイの密度と漁獲サイズの間を見比べると、小さなマコガレイは6月ごろまでは湾奥



中央水産研究所
資源研究センター
資源経済グループ
わたり しんご
亘 真吾

にしかいませんが、7月以降、夏場は南下し、湾全体に分布します。とくに大型のマコガレイは湾奥の高水温を避けるため紀伊水道のほうに南下しているのではないかと、といった移動のようすが見えてきました(図1)。

数値解析により、生態系ネットワーク構造でネットワークが分断されそうになっているボトルネットの個所を検討するためには、まず、仔魚や稚魚の調査や漁業で得られた情報から、月や季節ごとに、同じ年生まれのマコガレイがどれだけいたかを見積もります。そして、ある時期からその次の時期までにどの程度生き残ったか割合を調べます。その割合が



6月から7月にかけて南部に移動し（青矢印）、8月には大型のマコガレイが大阪湾南部に集まっています（青丸から赤丸）

図1 大阪湾のマコガレイ密度分布の季節変動

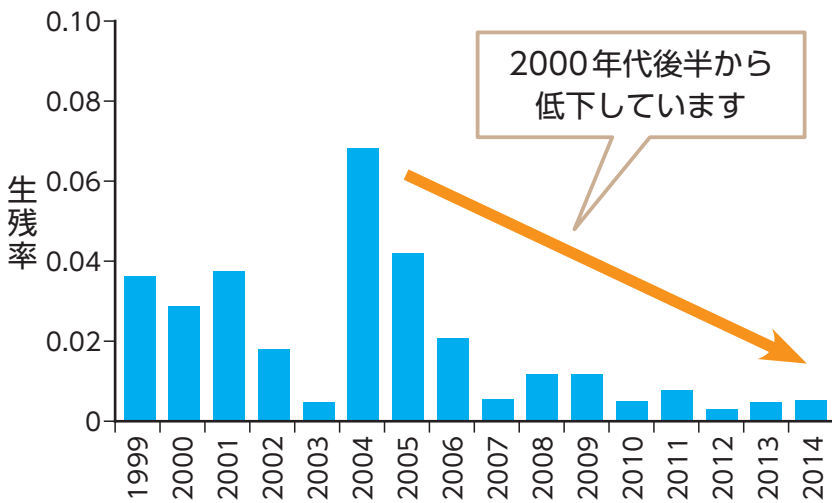


図2 大阪湾での5～6月の稚魚期から漁獲を開始する12月ごろまでの生残率の変化

稚魚期の夏が問題

東京湾や大阪湾では、ボトルネックが

著しく低い時期がボトルネックと考えられます。

漁獲対象となる大きさに成長する前の、稚魚期から0歳、とくに夏ごろにあることが数値解析からも見えてきました。このような分析を大阪湾で長期間実施し、生残率の変化を見てみると、近年生残率

が低くなっていることが分かってきました（図2）。さまざまな調査データを解析することにより、移動のようすやネットワークが分断されているボトルネックの個所が明らかとなり、マコガレイの資源保護を考えるうえでの重要な情報になります。

第39回全国豊かな海づくり大会 あきた大会 関連行事に出展しました

「第39回全国豊かな海づくり大会 あきた大会」が9月7・8日に秋田県で開催され、水産研究・教育機構は、道の駅あきた港で行われた関連行事「豊かな海づくりフェスタ in あきた」に出展しました。

ブースには幅広い年代の来場者がありました。塗り絵が泳ぐ動画となる「作ってみよう！ぼくわたしのおさかな」や、水産物が消費者に届くまでを紹介した間違い探し、子どもから大人までが見てさわって水産業の仕組みが学べる模型などの体験・展示やパンフレットの配布を行いました。

当機構の「あつまれFRAキッズ！イベントページ」にこのイベントで応募があった塗り絵を掲載しています。ぜひご覧ください。



▶あつまれFRAキッズ！ イベントページ
<http://www.fra.affrc.go.jp/forkids/event-sp/>



水産研究・教育機構ブースのようす



ウェブサイトで紹介する塗り絵は大盛況



刊 行 物 報 告



水産研究・教育機構 研究開発情報
日本海 リサーチ&トピックス 第25号

発行時期：2019年9月

問い合わせ先：日本海区水産研究所
業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL： <http://jsnri.fra.affrc.go.jp/pub/rt/index.html>



水産研究・教育機構 研究開発情報
ななつの海から 第17号

発行時期：2019年10月

問い合わせ先：国際水産資源研究所
業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL： <http://fsf.fra.affrc.go.jp/nanatsunoumi/nanaumi17.pdf>



水産研究・教育機構 研究開発情報
瀬戸内通信 No.30

発行時期：2019年10月

問い合わせ先：瀬戸内海区水産研究所
業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL： <http://feis.fra.affrc.go.jp/publi/setotsuu/setotsuu30.pdf>



水産研究・教育機構 研究開発情報
西海(せいかい) No.26

発行時期：2019年10月

問い合わせ先：西海区水産研究所
業務推進部 業務推進課

ウェブサイト URL： <http://snf.fra.affrc.go.jp/print/index.html>



水産大学校 研究報告 68巻 第1号

発行時期：2019年11月

問い合わせ先：水産大学校
校務部 業務推進課

ウェブサイト URL： <http://www.fish-u.ac.jp/kenkyu/sangakukou/kenkyuhokoku/68.html>



おさかな瓦版 No.92

発行時期：2019年11月

内容：定置網

問い合わせ先：経営企画部 広報課

ウェブサイト URL： <http://www.fra.affrc.go.jp/bulletin/letter/no92.pdf>

第47回 UJNR 水産増養殖専門部会・科学シンポジウムを開催

「天然資源の開発利用に関する日米会議（UJNR）」の水産増養殖専門部会は、日本側が水産研究・教育機構、アメリカ側が大気海洋局（NOAA）を窓口とし、毎年交互に会合を持ち、養殖に関わる研究者の交流や共同研究を行っています。今年は11月12・13日に沖縄県那覇市の沖縄産業支援センターで、第47回目となる事務会議と科学シンポジウムを開催しました。

科学シンポジウムのテーマは「持続可能な食料供給と環境変化による影響低減のための養殖技術の応用」で、アメリカから9人、日本から17人の計26人の研究者が参加しました。アメリカからはウニの蓄養、サンゴ礁の修復や海藻の集団遺伝学など、日本からはカキ養殖に関する日米共同研究、海洋酸性化の影響評価やサンゴ礁とその生物集団の保全などの話題提供がありました。会場では、環境変化と養殖の関連について活発な議論が交わされました。

今年が環境変化と養殖をテーマとした三カ年計画の最終年で、来年からは魚病と教育をテーマにした新たな三カ年計画が始まります。



参加したアメリカと日本の研究者

執筆者一覧

■水産資源再生のカギ 生態系ネットワーク研究

○生態系ネットワークの修復による水産資源の回復 瀬戸内海区水産研究所 生産環境部 吉田 勝俊

○アサリ

・ネットワークの修復でアサリ漁を再生 瀬戸内海区水産研究所 生産環境部 干潟生産グループ 浜口 昌巳
 同 海産無脊椎動物研究センター 貝類グループ 山崎 英樹
 同 海産無脊椎動物研究センター 貝類グループ 伊藤 篤
 同 海産無脊椎動物研究センター 甲殻類グループ 菅谷 琢磨

○アワビ

・放流貝の貢献とウニ除去による藻場再生の効果を検証 北海道区水産研究所 黒川 忠英
 ・磯焼けによるネットワークの分断と対策 西区水産研究所 資源生産部 藻類・沿岸資源管理グループ 清本 節夫
 ・稚貝場と親貝場をつなげて天然貝の再生産を改善 中央水産研究所 沿岸・内水面研究センター 沿岸資源・生態系グループ 澤山 周平

○カレイ

・移動・分散による生息場所のつながりとボトルネックを解明 瀬戸内海区水産研究所 生産環境部 藻場生産グループ 堀 正和
 ・調査と漁業データの統合・解析でボトルネックを解明 中央水産研究所 資源研究センター 資源経済グループ 亘 真吾

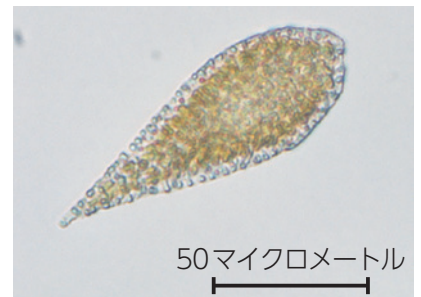
あかしおそう
**赤潮藻シャットネラの遺伝子配列を
 解説し、ウェブサイトで公開**

赤潮の原因プランクトンである赤潮藻を直接駆除することは、規模やコストなどの面からできていません。また、赤潮の発生の予測には、赤潮藻の増殖速度や遊泳力を知る必要がありますが、簡単には調べられませんし、水温や栄養塩濃度など環境データだけから正確に予測することも不可能です。

漁業被害を減らすため、海水中の赤潮藻の数を顕微鏡で観察するなどの監視をして、基準値を超えると養殖魚のエサ止めや生け簀避難、早期出荷など対策がとられています。赤潮藻は種類も多く、監視には経験と時間が必要です。また、これらの対策により、養殖魚の成長や品質に影響が出るリスクもあります。そのため、赤潮の発達や衰退を簡便でより早く正確に予測する技術の開発が強く求められています。

水産研究・教育機構は、基礎生物学研究所（愛知県岡崎市）と共同で、西日本各地で赤潮を発生させる赤潮藻の一種シャットネラ・アンティーカの遺伝子配列を解説することに成功しました。これにより、増殖に必要な栄養塩の窒素やリンの取り込みや代謝、光合成、毒性に関連する活性酸素の産生など、赤潮の発達や衰退に関わる遺伝子配列を明らかにすることができました。

今回得られた研究成果は、遺伝子の発現量を指標として赤潮藻の生理状態を診断し、赤潮の発達や衰退を予測する技術開発につながります。また、今回解説したシャットネラの遺伝子配列が検索できるウェブサイト (<http://hab.nibb.ac.jp>) を公開しました。ここでは、各遺伝子配列で推定される機能や発現量、ほかの生物の遺伝子との比較解析結果などを閲覧できるほか、類似配列の検索も可能です。



シャットネラ・アンティーカの顕微鏡写真

魚への強い毒性を持ち、西日本では赤潮となって魚介類を死亡させ、大きな被害をもたらします

編集
 後記

生物は一つのところで生まれて大きくなるわけではありません。産まれる場所、大きく育つ場所、冬を過ごす場所など、いろいろと場所を変えながら生活しています。このような生物の生息や成長などに関わる生活の場のつながりをネットワークにたとえて、生態系を守るために示された概念が今回の特集「生態系ネットワーク」です。

生物には、それぞれの生態系ネットワークがあります。水質の悪い場所に移動してしまったり、移動に関わる海流に変化があったり、エサとなる生物が少なくなったりすると、その暮らしぶりに大きな影響があり、資源の減少につながります。

潮干狩りで獲ったアサリは、いろいろな場所でふ化した幼生が海流で運ばれてきたものかも知れません。

釣った大きなカレイは、エサの豊富な海域を往き来しながら大きく育つことができたものかも知れません。

生物の過ごす生活の場をつなぐ生態系ネットワークを詳しく知ること、生物の暮らしを守るには何をすべきか明らかになります。生態系ネットワークを知ることは、資源を守るためにもとても大切なことです。

(角楚彰)