

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

13406073

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

研究実施期間	平成 25 年度～平成 29 年度（5 年間）
代表機関	国立研究開発法人 水産研究・教育機構
研究開発責任者	吉田 勝俊
共同研究機関	国立研究開発法人 産業技術総合研究所
	国立大学法人 東京大学大気海洋研究所
	国立大学法人 東北大学
	国立大学法人 東京海洋大学
	国立大学法人 京都大学
	国立大学法人 広島大学
	地方独立行政法人 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
	地方独立行政法人 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	
研究開発責任者 連絡先	TEL : 0829-55-0666 FAX : 0829-54-1216 E-mail : katutosi@affrc.go.jp

< 様式 3 . 平成 2 9 年度の最終年度報告書 >

- 1 . 年次計画

研究課題	研究年度					担当研究機関・研究室	
	2 5	2 6	2 7	2 8	2 9	機関	研究室
<p>1 . 生態系ネットワークの再生によるアサリ資源回復・生態系修復の技術の開発・</p> <p>( 1 ) ネットワークの連結度評価のための高精度遺伝子解析技術開発</p> <p>( 2 ) モデル海域におけるネットワークの分断箇所の特定</p> <p>( 3 ) ネットワークの修復・再結合技術の開発</p>						<p>水産研究・教育機構</p> <p>水産研究・教育機構 産業技術総合研究所</p> <p>水産研究・教育機構</p> <p>産業技術総合研究所 岡山県農林水産総合センター 愛媛県農林水産研究所 大分県農林水産研究指導センター</p>	<p>瀬戸内水研 中央水研</p> <p>瀬戸内水研</p> <p>瀬戸内水研 中央水研</p>
<p>2 . アワビ類における再生産ボトルネックの解消と藻場ネットワークの再生による資源回復・生態系修復技術の開発</p> <p>( 1 ) エゾアワビおよび藻場の再生産ネットワーク構造の解明と再生による資源造成技術の開発</p> <p>( 2 ) : 暖流系アワビ類生息域における漁場環境修復による資源再生技術の開発</p>						<p>水産研究・教育機構</p> <p>東京海洋大学 北海道立総合研究機構</p> <p>水産研究・教育機構</p>	<p>北海道区水研 中央水研 西海区水研 水産工学研</p> <p>西海区水研 瀬戸内水研 中央水研 水産工学研</p> <p>鹿児島県水産技術開発センター</p>

<p>(3) アワビ類の再生産過程におけるボトルネックの特定とその解消技術の開発</p>	<p>再生産ボトルネック特定・解消技術</p>	<p>東京海洋大学 沿岸生態系リサーチセンター 水産研究・教育機構 東京大学大気海洋研究所 神奈川県水産技術センター</p>	<p>中央水研 瀬戸内水研</p>
<p>3. 生態系ネットワークと景観の再生によるカレイ類の資源回復・生態系修復技術の開発</p> <p>(1) カレイ類の広域生態系ネットワーク評価技術の開発</p> <p>(2) カレイ類の生態系ネットワーク再生手法の確立</p>	<p>広域生態系ネットワーク評価技術</p> <p>生態系ネットワーク再生手法確立</p>	<p>京都大学 水産研究・教育機構 東北大学 広島大学 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</p>	<p>瀬戸内水研</p>
<p>(3) : 生態系ネットワークを用いたカレイ類の資源解析手法の開発</p>	<p>資源解析手法開発</p>	<p>水産研究・教育機構 香川県水産試験場 千葉県水産総合研究センター</p>	<p>中央水研 瀬戸内水研</p>

- 2 . 実施体制

研究項目	担当研究機関・研究室		研究担当者
	機関	研究室	
研究開発責任者	水産研究・教育機構	瀬戸内水研	藤井徹生(2013.4～2015.3) 首藤宏幸(2015.4～2017.3) 吉田勝俊(2017.4～2018.3)
1．生態系ネットワークの再生によるアサリ資源回復・生態系修復の技術の開発・	水産研究・教育機構	瀬戸内水研	浜口昌巳
(1) ネットワークの連結度評価のための高精度遺伝子解析技術開発	水産研究・教育機構	瀬戸内水研	菅谷琢磨
(2) モデル海域におけるネットワークの分断箇所の特定	水産研究・教育機構	瀬戸内水研	浜口昌巳
(3) ネットワークの修復・再結合技術の開発	水産研究・教育機構	瀬戸内水研	伊藤篤
2．アワビ類における再生産ボトルネックの解消と藻場ネットワークの再生による資源回復・生態系修復技術の開発	水産研究・教育機構	中央水研	堀井豊充
(1) エゾアワビおよび藻場の再生産ネットワーク構造の解明と再生による資源造成技術の開発	北海道立総合研究機構	中央水産試験場	干川裕(～2017.3) 福田裕毅(～2018.3)
(2) : 暖流系アワビ類生息域における漁場環境修復による資源再生技術の開発	水産研究・教育機構	水産工学研 西海区水研	桑原久美(～2015.3) 清本節夫(～2018.3)
(3) アワビ類の再生産過程におけるボトルネックの特定とその解消技術の開発	水産研究・教育機構	中央水研	黒木洋明
3．生態系ネットワークと景観の再生によるカレイ類の資源回復・生態系修	水産研究・教育機構	瀬戸内水研	堀正和

復技術の開発 (1) カレイ類の広域生態系ネットワーク評価技術の開発 (2) カレイ類の生態系ネットワーク再生手法の確立 (3) :生態系ネットワークを用いたカレイ類の資源解析手法の開発	水産研究・教育機構  広島大学  水産研究・教育機構	瀬戸内水研  大学院生物圏科学研究科  瀬戸内水研	堀正和  小路淳  巨真吾
--	--	---------------------------------------	---------------------------

(注1) 研究開発責任者には、小課題責任者には、実行課題責任者には を付すこと。

中課題番号	13406073	研究期間	平成25～29年度
大課題名	水産業再生プロジェクト		
中課題名	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		
代表機関・研究開発責任者名	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 吉田勝俊		

- 1. 研究目的

沿岸漁業は、我が国の漁業において生産額の33%、経営体数の95%を占めているが、その生産量は昭和60年の227万トンピークに減少を続け、平成22年には128万トンと25年間で半減した。特に、生活史の一部あるいはすべてを岸にごく近い浅海域で過ごす生物は開発や水質悪化の影響を受けやすく、特に瀬戸内海のアサリの漁獲量は20年間で200分の1にまで減少した。資源回復のために藻場造成、干潟の環境改善、資源管理、種苗放流等が行われてきたが、多くの魚種においては資源の回復にはいたっていないのが現状である。その原因のひとつとして、生態系ネットワーク（海洋生物の卵から成体に至る一生を通じた生息環境の連続性）が分断されて再生産効率が低下している可能性が指摘されている。水産生物の多くは浮遊性の卵を産み、幼生や仔魚も受動的に輸送される。そのため、産卵場と成育場をつなぐ輸送、成育場の環境、幼魚（稚貝）が成長・成熟して再生産に加入する過程のいずれかにでも支障が生じると、再生産の効率が低下すると考えられる。卵や幼生が輸送される範囲は数十kmにもおよぶと考えられるため、生態系ネットワーク（以下、ネットワークと記す）の全容を解明するためには、最新技術を持つ関係機関で連携した組織的かつ大規模な取り組みが必要であるが、そのような取り組みはこれまで行われてこなかった。

このため、本研究では、

1. 生態系ネットワークの再生によるアサリ資源回復・生態系修復技術の開発
2. アワビ類における再生産ボトルネックの解消と藻場ネットワークの再生による資源回復・生態系修復技術の開発
3. 生態系ネットワークと景観の再生によるカレイ類の資源回復・生態系修復技術の開発

により、開発した技法により生態系ネットワークを解明するとともにその分断箇所を特定し、続いて分断箇所の環境調査等を行うことにより分断要因を特定するとともに分断されたネットワークを修復する技術を開発する。モデル海域においてこれらの取り組みを行うことにより、自律的な再生産による資源回復を実証する。

その結果、

1. モデル海域の対象生物において生態系ネットワークの構成とその分断箇所、再生産ボトルネックの解明
2. ネットワーク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が期待される。

## - 2 . 研究結果

アサリでは高精度遺伝子解析技術の開発、調査船調査による幼生分布調査・潮流調査、および流況シミュレーションにより、浮遊幼生期の動態を解析することで、モデル海域内の幼生の動きを推定可能となった。広島湾廿日市地先では浮遊幼生着底場所を特定し、網袋での保護育成を行うことで天然稚貝を大量に確保することに成功した。保護網下で生育した親貝からの浮遊幼生が増加することでさらに天然稚貝の採集量が増加し、再生産サイクルが軌道に乗ることが期待される。他のモデル海域でも稚貝採取方法の改善、保護網での食害対策等でネットワークのボトルネックを改善することで、資源の増大を見込んでいる。また、条件の合う海域であれば、同様の調査手法を用いて生態系ネットワークを解析・ボトルネックの特定・解消による資源再生への取り組みが可能であると考えている。

アワビでは寒流系のエゾアワビでは遺伝子解析による人工種苗放流による親集団の育成効果確認、餌料環境と成熟の関係等の解析を行い、放流貝由来の稚貝を確認するとともに、繁殖力の推定を行った。また藻場回復のための適地選定予測モデルの構築を行い対策手法別の適地選定の事前評価が可能になった。暖流系アワビでは藻場タイプと成長・成熟に対する機能をまとめることで、過去の藻場の変遷がアワビ資源にもたらした影響を推定することで適正な漁獲水準の推定が可能になった。また稚貝期に特徴的な減耗期がボトルネックとして存在することが判明し、対応した漁場利用・漁場造成手法が必要なことを示した。さらに、流動モデルのシミュレーション結果を空間モデルに統合する空間明示型モデルを完成し、モデル海域でのボトルネック対策による存続可能性に対する効果の推定が可能となった。また、このモデルは希少生物の保全活動にも利用可能なものである。

カレイでは、様々なバイオロギング手法からのデータを整理し、冬季では10~15、春季から夏期は20前後の水温海域を選択して移動していることが明らかとなった。また、安定同位体分析を利用した稚魚の移動分散解析手法、遺伝子解析による集団解析、海洋物理+粒子追跡モデル等の開発により、生活史段階別の解析を行いモデル海域での生態系ネットワーク構造を推定した。それにより、各モデル海域でボトルネックを特定し、その解消のための対策とシミュレーションによる効果の推定を可能とした。また生態系ネットワークを用いた空間資源量解析手法を開発し、海域別、生活史段階別の資源量からネットワーク構造のボトルネック箇所を推定することが可能になった。さらに、ボトルネック箇所の改善による生態系ネットワーク修復の効果を検証した。これらの結果から東京湾ではボトルネックとなっている卵~稚魚期の生残率向上対策が必要と考えられたが、卵期については研究情報を東京湾再生会議に示したことで、覆砂による産卵場整備が実施されることになった。伊予灘でもマスタープランへの解析技術の提供を行っている。

三つの生物種での成果を取りまとめ、漁業者に向けたパンフレットの配布、webでのマニュアル・ガイドラインの掲載を行い、資源回復に向けた手法のアウトリーチに努める。

## - 3 . 今後の課題

アサリでは本事業のモデルとしている広島湾では資源再生策が軌道に乗りつつある。この条件に見合った場所であれば同様な方法で資源再生が可能と考えられるが、現状では、広島湾で成功事例を作るのが先決であるので引き続き実践に取り組むことが必要と考えられる。アワビでは餌料環境改善（磯焼け対策）の広域的な実施は困難で、特に暖流域では藻食性魚類に対する有効な対策が無いことが問題となる。一方小規模であっても改善策の継続実施が、絶滅回避の観点からも不可欠である。また、精緻な調査に基づいた存続可能性分析による資源回復策の提示は可能になったが、次のステップとして簡略化・効率化が必要。カレイではボトルネック対策として実施される東京湾での産卵場整備等の結果が待たれる。また、種苗放流の効果向上を目指すために

は、海底湧水場を利用した稚魚放流による資源加入の効果向上の実証が必要である。なお、カレイ類と同様に、底生の沿岸魚介類資源も浅場に生息する幼稚魚期にボトルネックを共有していることが明らかになりつつあるため、底生魚介類全般の資源回復を目指す統一した対策が必要と考えられる。



中課題番号	13406073	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	1	研究期間	平成25～29年度
中課題名	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		
小課題名	1 生態系ネットワークの再生によるアサリ資源回復・生態系修復技術の開発		
小課題責任者名・研究機関	浜口昌巳・国立研究開発法人 水産研究・教育機構		

### 1) 研究目的

アサリは浮遊幼生期をもつことから、アサリネットワークの解明のためにはまず浮遊幼生の動態把握が必要である。この期間に関しては調査船しらふじ丸を活用した浮遊幼生分布調査や潮流調査を行い、得られたデータに、流況シミュレーション等を加えた動態解析を行う。これによってモデル海域内の浮遊幼生の動きを推定する。さらに、既存のマーカ―に前年度までの中課題1で新たに開発したマーカ―を加えた高精度遺伝子解析を行い、浮遊幼生期のネットワーク分断箇所を特定する。

一方、ネットワークの分断は、浮遊幼生期以降にも起こると考えられる。そのため、着底後もアサリの全生活史の定量調査が必要となるが、肉眼では判定が困難な殻長0.5mm程度の着底初期稚貝を野外で定量的に調べた事例は少なく、生活史のどの部分でネットワークが分断されているのかは依然不明である。先行研究により、モノクローナル抗体による稚貝の定量的分析技術が確立されているので、これにさらに改良を加えながら活用し、着底後のネットワーク分断箇所を特定するための調査を行う。これらの技術を用いたネットワーク修復状況把握技術を調査船により高密度の調査が可能である広島湾・松永湾での実地調査により開発する。なお、得られた情報や技術は直ちに中課題3に供給し、分断の要因に見合ったネットワーク修復・再結合技術を開発するための要素技術の選定を行う。

### 2) 研究成果

本研究では、前述の目的を達成するために以下の課題を設定して実施した。

課題1 ネットワークの連結度評価のための高精度遺伝子解析技術開発

(26年度に前倒し終了)

課題2 モデル海域におけるネットワークの分断箇所の特定

課題3 ネットワークの修復・再結合技術の開発

以下、それぞれの課題毎に研究内容および成果を説明する。

#### (1) 課題1 ネットワークの連結度評価のための高精度遺伝子解析技術開発

研究内容：アサリのマイクロサテライト(以下、MSと略する)マーカ―は2006年に水産総合研究センター他によって特定され、その後、新たなマーカ―を加えた産地判別方法として技術化されている。さらに詳細に小スケール内でのネットワークの連結度を評価するためには、これらに加えて親子レベルでの判別が必要となる。そのためには多数のMSとともに、ミトコンドリアDNAの一塩基多型(以下、SNPと略する)等のマーカ―を特定する必要があるが、近年、次世代シークエンサ―を活用することにより飛躍的にこれらのマーカ―を特定・解析する技術

が進展している。そこで、本課題では水産総合研究センターが保有する次世代シーケンサーを活用し、新たなマーカーを開発するとともに、高精度遺伝子解析によりモデル海域におけるアサリのネットワークの結合度を評価する技術を開発する。

成果： 親子判別に用いるマ - カ - を選択するための親世代の作出

上記で開発されるマーカーの親子判定能力の実証とマーカー間の連鎖関係の把握に用いるため、雌雄一対交配による解析用家系の作出に取り組んだ。平成 25 年度に開発した雌雄一対のペアでの受精方法を用い(図 1)、8 組のペアについて交配を試みた結果、2 組について良好な受精卵が得られ、2 家系(家系 1 及び 2)の稚貝の育成に成功した。このうち、家系 1 については殻長が約 4mm 及び 8mm に達した時点でそれぞれ 200 及び 100 個体の DNA 分析用サンプルを入手した。また、家系 2 に殻長が約 4mm の時点で約 140 個体をサンプリングした。また、アサリの殻の模様のうち左右の殻が対称なものと非対称なものに別れ、それぞれが遺伝形質であることが証明されている(図 2)。そこで、作出した家系で、この貝殻の模様のパターンを調べたところ、メンデルの法則に従う変異が見られ、開発したマーカーを用いた形質の遺伝要因の分析の有効性を検討する上での指標になると考えられた(表 1)。

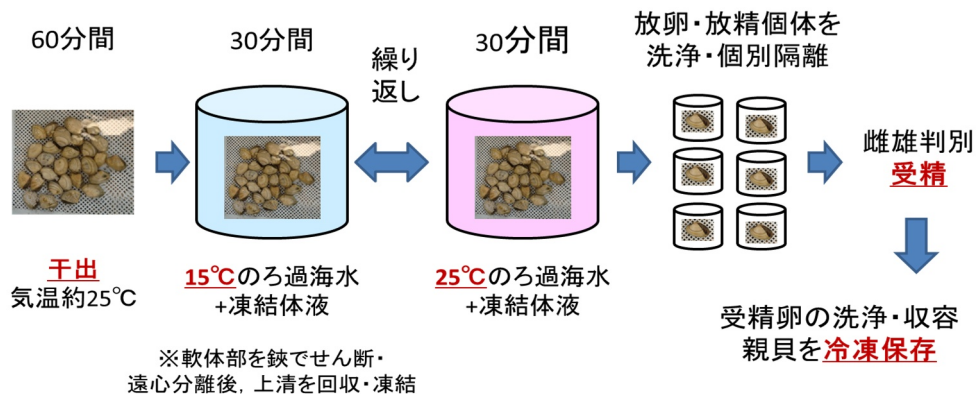


図 1 . 親子判別技術検証用の人工種苗の作成方法



図 2 . アサリ貝殻の模様のパターン

表 1. 殻長約 4mm の時期に採集したサンプルの個体数と殻模様の変異の比率

	家系 1		家系 2	
	対称	非対称	対称	非対称
個体数	54	147	81	58
比率(%)	26.9	73.1	58.3	41.7
殻長(mm ± SD)	4.0 ± 1.62	4.0 ± 1.42	3.2 ± 1.14	3.3 ± 1.34

今回、計画外の成果となるが、次世代シークエンサーによるアサリゲノムの大量解析結果や SNP 解析の結果と、作出した家系サンプルから、これまで解析されていなかったアサリの遺伝子上の色形質に関する遺伝子座が解析できた。貝殻模様の対称・非対称という形質は雌では性、雄では成長と関わる遺伝子座との関連が示され、今後、アサリの育種研究において極めて有用な情報が得られた。このように、最終的には得られた MS や SNP マーカーにより連鎖解析が可能となり、アサリの色形の遺伝子領域が特定され、親子判別のひとつのツールとして活用できることも明らかとなった。

#### 次世代シーケンサーを活用した MS および SNP マーカーの大量特定

・次世代シーケンサーでのアサリゲノムの分析結果に基づいて平成 25 年度に設計した 1330 組の MS プライマー候補から新たに 267 組を選定して実際にプライマーを合成し、PCR 分析によって、増幅の有無と泳動像の明瞭さを確認した。その結果、48 組について良好な PCR 結果が得られた。この平成 25 年度に PCR での増幅が可能であることを確認した 48 組のプライマーを用い、平成 26 年度には実際に天然アサリ 48 個体の DNA を分析した。その結果、24 組のプライマーで高い変異性が認められ、それらがアサリの高精度な遺伝的解析に適していることが確認された(表 2)。

・親子判定に有効な SNP マーカーの探索のため、平成 25 年度に開発した 6 組のプライマーを用い、平成 26 年に瀬戸内海の 2 海域から得られた 40 個体のアサリについて複数個体のミトコンドリア DNA(mtDNA)の全領域(22676 塩基)を増幅し、次世代シーケンサー(ABI 社製 IonPGM400)を用いた SNP 解析を実施した。その結果、短時間に多数の個体の mtDNA 全領域の DNA 情報を入手できることが確認され、予備的なコンピューター解析において多くの SNP が観察された。

これらの新規の MS マーカー 24 組に既存の 7 組を加えた 31 組のマーカーが使用可能となった。また、これらの MS マーカーについて図 3 に示すようなアレルサイズに考慮した Multiplex PCR の系を構築した。これらに、SNP による解析を加え、本プロジェクトで使用する高精度遺伝子マーカーを開発し、本課題は平成 26 年度で終了した。その後は、課題 2 で更なる精度検証を行いマーカーを絞り込むとともに、実際の解析に使用した。

表 2 . 天然アサリでの有効性を確認した 24 個のマーカーの遺伝的変異性

マーカー	マイクロサテライト領域の配列	アリル数	アリルサイズ (bp)	ヘテロ接合体率	
				期待値	観察値
Rphi01	(AC) <sub>15</sub>	16	164-242	0.90	0.44
Rphi02	(TA) <sub>14</sub>	8	125-153	0.38	0.44
Rphi03	(AT) <sub>12</sub>	8	186-202	0.80	0.33
Rphi04	(ATC) <sub>10</sub>	4	129-141	0.61	0.51
Rphi05	(TTA) <sub>13</sub>	19	129-234	0.84	0.31
Rphi06	(TG) <sub>11</sub> CGTGCG(TG) <sub>2</sub> CG(TG) <sub>7</sub>	11	162-242	0.61	0.33
Rphi07	(ATAGA) <sub>8</sub> CTACACCAGAAAAGA(ATAGA) <sub>1</sub>	24	108-253	0.92	0.49
Rphi08	(TACAG) <sub>2</sub> CACAG(TACAG) <sub>8</sub>	6	109-169	0.42	0.19
Rhip09	(AAATA) <sub>1</sub> AAT(AAATA) <sub>2</sub> AAT(AAATA) <sub>7</sub> AATA(AAATA) <sub>1</sub> AACA(AAATA) <sub>2</sub>	21	138-258	0.94	0.69
Rhip10	(TTTTA) <sub>2</sub> TTTT(TTTTA) <sub>2</sub> TTTGATTCTAT(TTTTA) <sub>1</sub>	10	218-249	0.77	0.36
Rphi11	(CA) <sub>8</sub> CTA(CA) <sub>8</sub>	20	165-229	0.94	0.30
Rphi12	(TA) <sub>2</sub> CA(TA) <sub>13</sub>	22	186-262	0.89	0.74
Rphi13	(ATTG) <sub>4</sub> CTTGCTTGATTTAT(ATTG) <sub>7</sub>	11	109-141	0.81	0.63
Rphi14	(AAGAA) <sub>2</sub> TAGAAATAAAAATAATAGA(AAGAA) <sub>1</sub> GAGAA(AAGAA) <sub>4</sub>	12	234-276	0.74	0.43
Rphi15	(CTTAT) <sub>10</sub>	8	190-232	0.81	0.49
Rphi16	(AAACC) <sub>2</sub> TGACC AAAACT(AAACC) <sub>2</sub> AAATT(AAACC) <sub>2</sub> AAATCAAGCAA(AAACC) <sub>1</sub> A(AAACC) <sub>1</sub> AA(AAACC) <sub>2</sub>	4	233-289	0.22	0.05
Rphi17	(TACAG) <sub>1</sub> TGCAG(TACAG) <sub>1</sub> TATAATACGG(TACAG) <sub>2</sub> TGCAGTGCAGTGTAG(TACAG) <sub>1</sub> TGTAG(TACAG) <sub>2</sub>	7	268-318	0.73	0.30
Rphi18	(AAAAAT) <sub>1</sub> AAATAAATAAATAAATAAAGAAAGAAAT(AAAAAAT) <sub>1</sub> AAAT(AAAAAAT) <sub>1</sub> AA(AAAAAAT) <sub>1</sub> AAG(AAAAAAT) <sub>1</sub> AA(AAAAAAT) <sub>1</sub> AAATAG(AAAAAAT) <sub>1</sub>	27	166-366	0.96	0.25
Rphi19	(CTTT) <sub>1</sub> TTT(CTTT) <sub>12</sub>	23	118-194	0.92	0.61
Rphi20	(TCAT) <sub>3</sub> C(TCAT) <sub>1</sub>	32	123-243	0.97	0.41
Rphi21	(TAT) <sub>5</sub> CAT(TAT) <sub>17</sub>	17	145-228	0.92	0.25
Rphi22	(TTG) <sub>9</sub> TAG(TTG) <sub>3</sub>	18	133-168	0.92	0.67
Rphi23	(AAC) <sub>8</sub> AAA(AAC) <sub>1</sub>	10	120-177	0.86	0.23
Rphi24	(AAC) <sub>6</sub> AA(AAC) <sub>3</sub> AGC(AAC) <sub>1</sub>	12	167-211	0.80	0.13

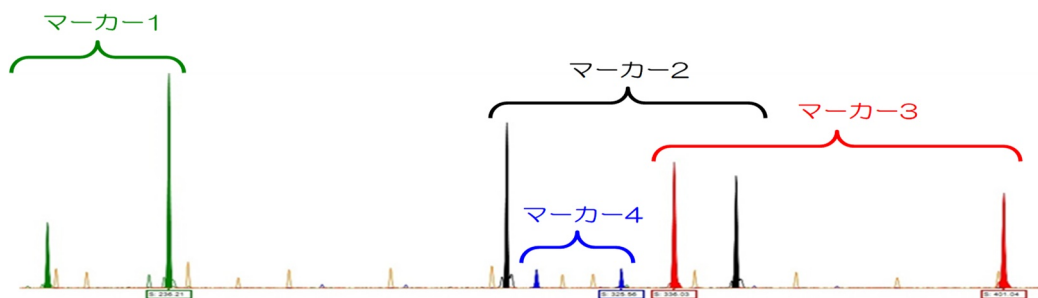


図 3 . 開発した MS マーカーを用いた MultiplexPCR による複数のアリルの検出例.

## (2) 課題 2 モデル海域におけるネットワークの分断箇所の特定

アサリは浮遊幼生期をもつことから、アサリネットワークの解明のためにはまず浮遊幼生の動態把握が必要である。この期間に関しては調査船しらふじ丸を活用した浮遊幼生分布調査や潮流調査を行い、得られたデータに、流況シミュレーション等を加えた動態解析を行う。これによってモデル海域内での浮遊幼生の動きを推定する。さらに、既存のマーカーに課題 1 で新たに開発したマーカーを加えた高精度遺伝子解析を行い、浮遊幼生期のネットワーク分断箇所を特定する。

一方、ネットワークの分断は、浮遊幼生期以降にも起こると考えられる。そのため、着底後もアサリの全生活史の定量調査が必要となるが、肉眼では判定が困難な殻長 0.5mm 程度の着底初期稚貝を野外で定量的に調べた事例は少なく、生活史のどの部分でネットワークが

分断されているのかは依然不明である。先行研究により、モノクローナル抗体による稚貝の定量的分析技術が確立されているので、これにさらに改良を加えながら活用し、着底後のネットワーク分断箇所を特定するための調査を行う。一方で、前述の技術を用いたネットワーク修復状況把握技術を調査船により高密度の調査が可能である広島湾・松永湾での実地調査により開発する。なお、得られた情報や技術は直ちに中課題3に供給し、分断の要因に見合ったネットワーク修復・再結合技術を開発するための要素技術を選定する。

得られた成果：

#### モデル海域内の浮遊幼生の調査結果

まず、のちの流況シミュレーションモデルによるアサリ浮遊幼生の動態解明のためのモデルのパラメータとして必要なアサリ浮遊幼生の分布水深やサイズ別の分布状況を平成25～27年まで秋のアサリの産卵期を中心に広島湾北西部の大野瀬戸において調査船こたか丸で調査した(図4)。



図4．こたか丸と同船上でのアサリ浮遊幼生調査

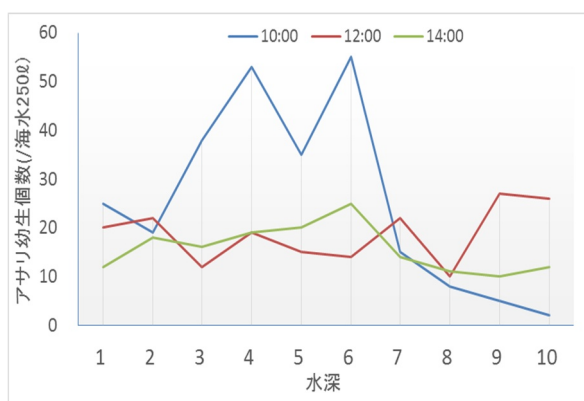


図5．広島湾のアサリ浮遊幼生の垂直分布

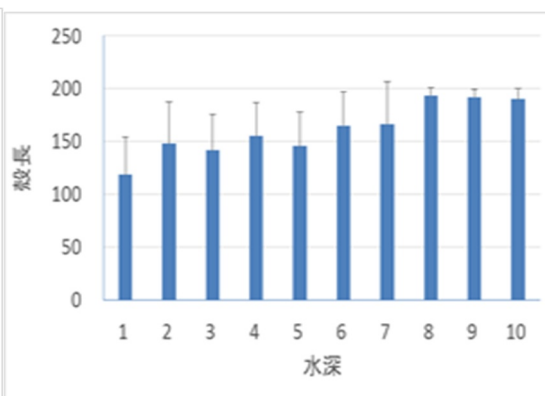


図6．広島湾の水深別アサリ浮遊幼生の殻長

こたか丸によるアサリ浮遊幼生調査の結果、図5には垂直分布調査の一例を示すが広島湾のアサリ浮遊幼生は3-5m層を中心に分布するが、潮汐、降雨、風などのかく乱の影響を受けやすいことが明らかとなった。また、サイズ別分布では発生初期の小型の浮遊幼生は表層近くに、着底前の幼生は8-10mの深い層に分布することが明らかとなり(図6)、以下のモデル解析に情報を提供した。

一方、平成25年から平成29年まで毎年、モデル海域内でも重点調査地域とした広島湾で調

調査船しらふじ丸によるアサリ浮遊幼生調査（図7）をアサリの産卵期である5-6月、10-11月に湾内21-22定点で実施した（図8）。本研究に先立ち平成22年から同様な調査を実施していたので、これらのデータも加えて解析を行った。もうひとつのモデル海域である松永湾でもの浮遊幼生調査は先行研究での報告例があるのでそれを参考にし、現状についても平成29年秋に調査を行った。



図7．調査船しらふじ丸と同船上での広島湾の浮遊幼生調査



図8．広島湾のアサリ浮遊幼生調査地点



図9．2015年11月初旬の広島湾のアサリ浮遊幼生の分布

本プロジェクト期間中、広島湾の調査のアサリ浮遊幼生分布調査のうち、広島湾全体でアサリ浮遊幼生が高密度で観察された平成27年11月初旬の調査結果を図9に示す。図9では、広島湾のアサリ浮遊幼生は、アサリ漁場のある宮島北西部にある大野瀬戸から大竹市にかけての海域に高密度で分布していることが明らかである。これについて平成25-29年のすべての調査結果をもとに広島湾の海域別のアサリ浮遊幼生密度を調べた結果を図10に示す。この結

果から、大野瀬戸は春、秋の産卵期ともに広島湾内でアサリ浮遊幼生の密度が最も高く、近辺の大竹、岩国市を含む広島湾の山口県東部海域といった広島湾北西部は常にアサリ浮遊幼生が多く分布することから、この海域であれば天然稚貝の採取が可能なのではないか、と考えられた。この結果については後の流況シミュレーションモデル解析で詳細に解析することとした。

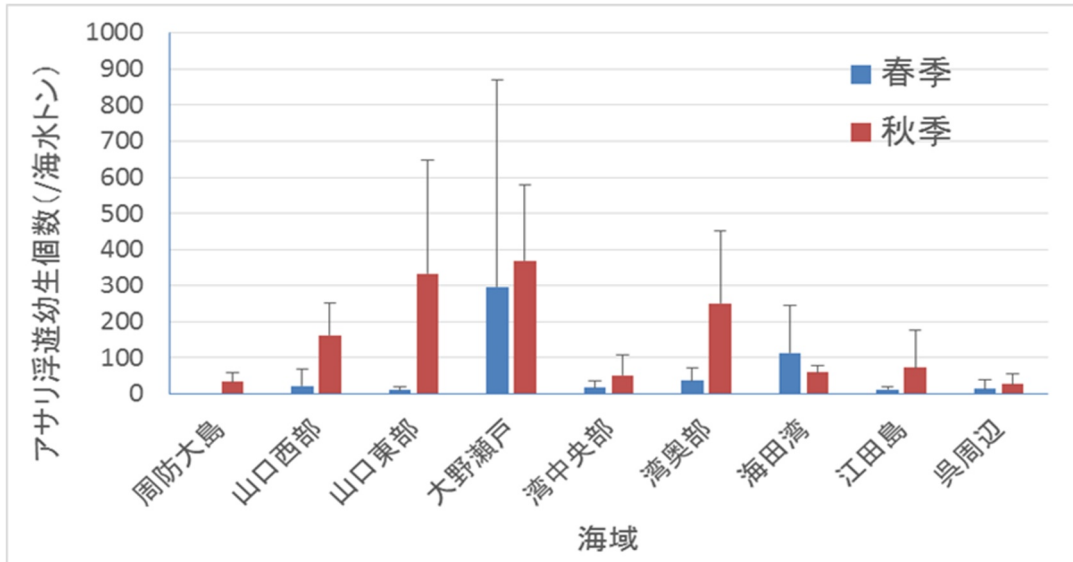


図10．本プロジェクト期間中の広島湾の場所別アサリ浮遊幼生の分布密度

一方、課題3と共同で進める大野瀬戸のアサリ資源再生では、平成27年度から本プロジェクトで開発したアサリ天然稚貝の採取方法を実践している。その結果、平成27年度年から大野瀬戸のアサリ漁場内で飼育されているアサリの密度が増加していると考えられる。図11には平成29年度年までの大野瀬戸のアサリ浮遊幼生密度の変化を示す。今回開発した方法で採取したアサリ稚貝は、その年の秋には産卵可能なサイズに達するため、漁場に放流後、直ちに親個体群として機能する可能性がある。図9に示すように平成27年以降、大野瀬戸ではアサリ浮遊幼生密度が資源再生を開始する前の平成25、26年と比較すると高くなっていることが明らかとなった。

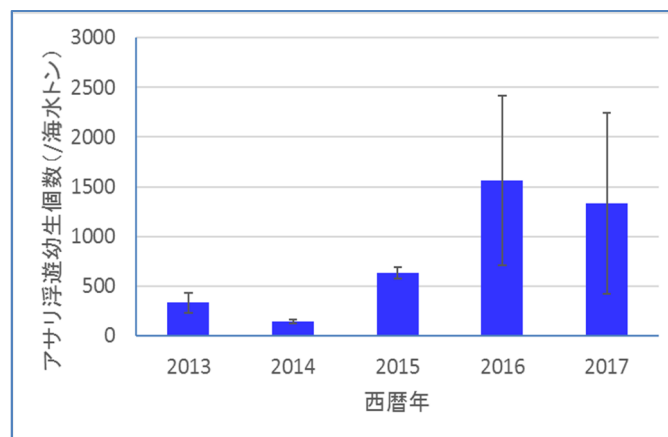


図11．大野瀬戸のアサリ浮遊幼生出現密度の変化

もうひとつのモデル海域である尾道・松永湾でのアサリ浮遊幼生の調査は2017年に実施したが、浮遊幼生数は少なかった。2010年に先行研究により同海域で実施したアサリ浮遊幼生

分布調査結果を参考資料として図12に示す。現在、尾道・松永湾の主要漁場である山波の洲ではアサリ資源が減少したことにより漁業は行われていないが、2010年にはまだ漁業が行われていた。今回浮遊幼生数が少なかったのは、現在の松永湾のアサリ資源の状態を表している可能性がある。

2010年11月10日:アサリ幼生(平均出現密度 553個/トン)

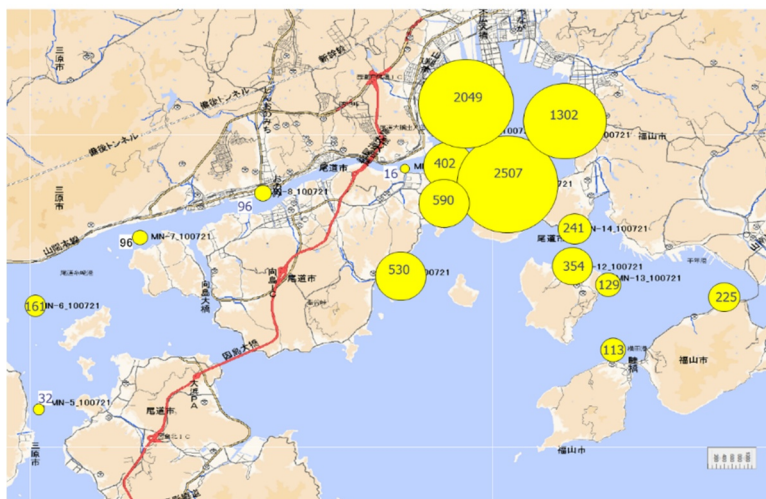


図12 . 2010年11月10日の尾道・松永湾のアサリ浮遊幼生分布調査結果。黄色の円の大きさはアサリ浮遊幼生の密度を表し、大きいほど高密度であることを示している

2010年11月10日は松永湾を中心にアサリ浮遊幼生が分布しており、ここから周辺海域に幼生が供給されているように見える。そのため、松永湾の親個体群がこの海域では重要な親個体群と考えられる。これについては以下の流況シミュレーションモデル解析で動態を解析した。

#### 流況シミュレーションモデルによるアサリ浮遊幼生動態解析

本プロジェクトでは平成25-26年にかけて広島湾および尾道・松永湾海域において流況シミュレーションモデルを構築し(図13)、先に述べたアサリ浮遊幼生調査やその際に実施している海洋環境調査等の情報を利用してvalidationを行い、モデルの精度を向上させた。それを用いて平成26-28年には、広島湾および尾道・松永湾のアサリ浮遊幼生の動態を解析した。

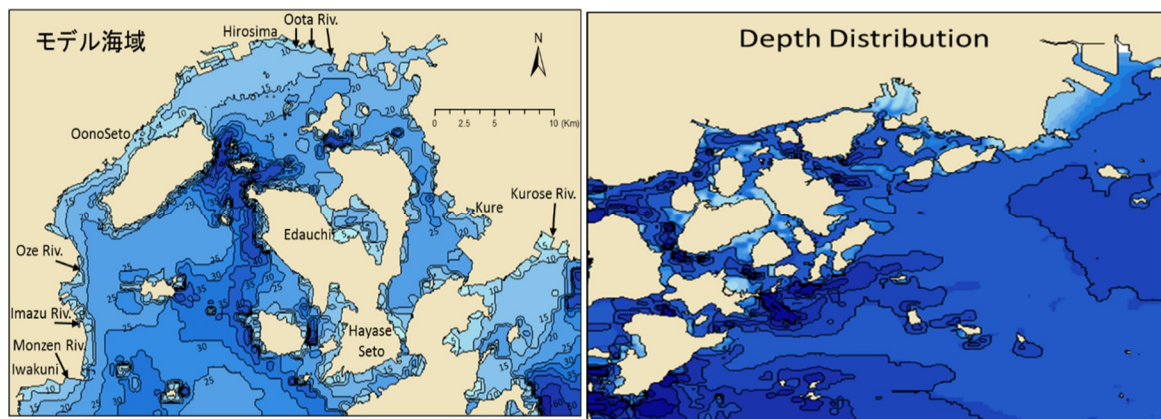


図13 . 広島湾(左)と尾道・松永湾(右)の流況シミュレーションモデルの計算範囲



構築したモデルで図14に示す大野瀬戸を中心とした広島湾北西部の干潟やアサリ漁場からアサリ浮遊幼生に模した粒子の計算結果を図15に示す。



図 14 . 大野瀬戸周辺海域におけるアサリ浮遊幼生に模した粒子投入点（産卵場所）

幼生追跡結果：湾全体モデルとの比較

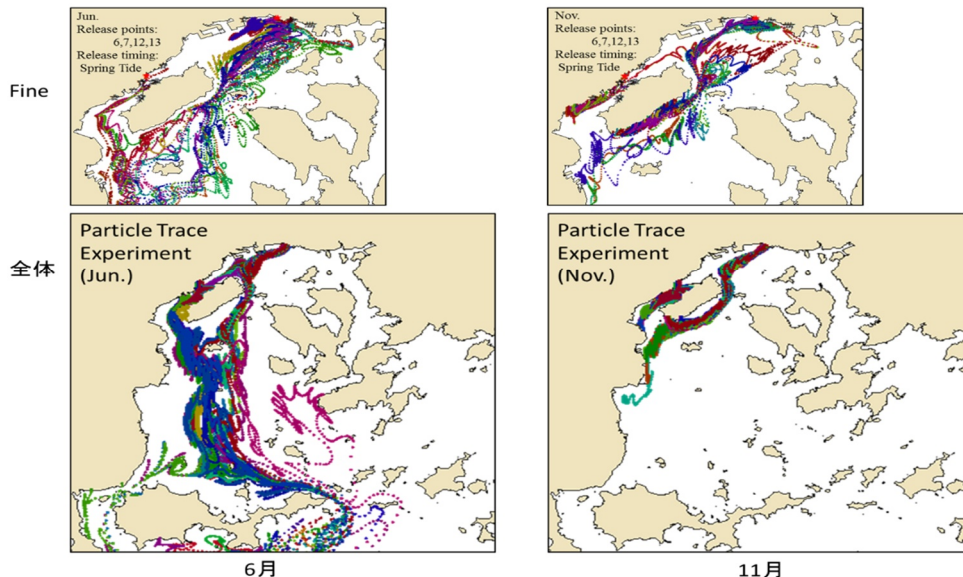
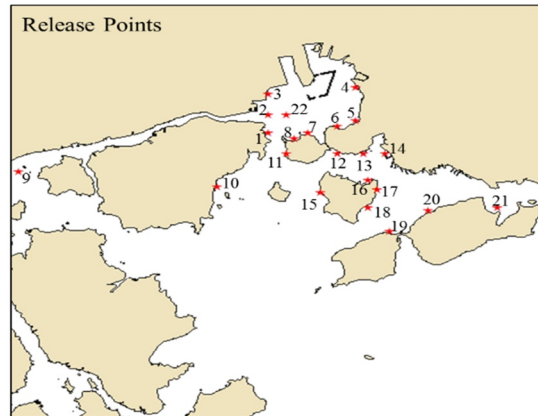


図 15 . メッシュサイズを小さくした場合（上）と大きくした場合の計算結果（下）。左は6月、右は11月の計算結果を示す

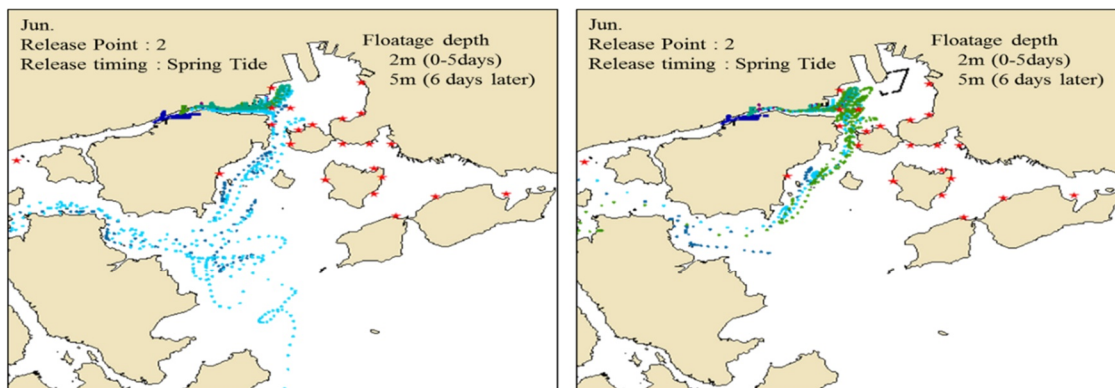
広島湾のアサリの産卵期は5-6月頃と10-11月頃であるが、5-6月には広島湾北西部で産卵された浮遊幼生は広島湾の広範囲に分散し、特に、山口県沿岸への移送が顕著であった。このことから、山口県のアサリ資源再生は、広島湾北西部海域との連携が必要であり、県を超えた広域体制が必要ではないかと考えられた。一方で、10-11月には広島湾北西部で産卵された浮遊幼生は広域に分散せず、産卵場所へ回帰する傾向が強いことが明らかとなった。このことは図11に示したように、大野瀬戸でのアサリ資源再生開始以降、アサリ浮遊幼生密度が上昇する要因の一つと考えられる。すなわち、同海域では秋が主要なアサリの産卵期であるが、この時期の浮遊幼生は広域に分散しないので、同海域内のアサリ親个体群の密度が上昇すれば、直ちに浮遊幼生密度の上昇に繋がるのではないかと考えられる。このよう

に、浮遊幼生が分散しない、あるいは、集積し易い場所では資源再生の効果が、予想以上に早く発現するのではないかと考えられる。

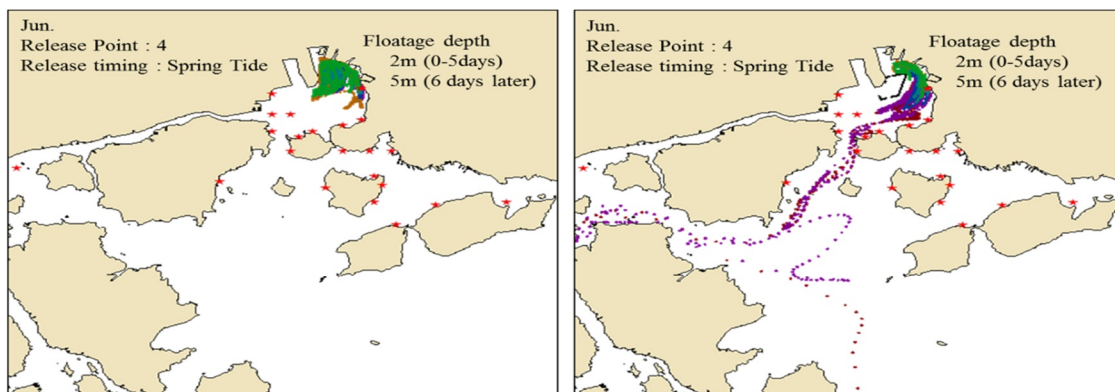


幼生放流点位置

図 16 . 尾道・松永湾での粒子投入場所



放流点2(山波の州)から放流した場合の幼生の軌跡  
6月、大潮時、12時間1時間毎に放流  
浮遊水深: 放流後5日間2m, 6日目から5m  
左図: 堤防ナシ 右図: 堤防アリ



放流点4から放流した場合の幼生の軌跡  
6月、大潮時、12時間1時間毎に放流  
浮遊水深: 放流後5日間2m, 6日目から5m  
左図: 堤防ナシ 右図: 堤防アリ

図 17 . 松永湾の流況モデルによる粒子追跡実験

さらに、平成29年には、広島湾では大野瀬戸へアサリ浮遊幼生を供給できる場所の特定を行い、広域連携による広島湾全体のアサリ資源再生に資する解析を行った。一方、尾道・松永湾では後述するが親個体群の再配置が必要となったため、同湾の主要アサリ漁場である山波の洲へ浮遊幼生を供給することのできる場所の特定を行った。

松永湾では図16に示す粒子投入点22に同地の最大のアサリ漁場である山波の洲が存在するが、現在、アサリ資源が減少して漁業は行われていない。そのため、この海域では山波の洲のアサリ資源再生が切望されている。そのため、山波の洲で発生したアサリ浮遊幼生や同地にアサリ浮遊幼生を供給している場所を検討するための解析を行った。その結果を図17に示すように、山波の洲で産卵されたアサリ浮遊幼生は松永湾の外に流出することから、周辺海域への重要な親個体群となるのではないかと考えられた。それに対し、山波の洲へのアサリ浮遊幼生の供給場所は、松永湾の北東部の干潟やアサリ漁場であることが判った。この結果から、山波の洲のアサリ資源再生のためには松永湾北東部のアサリ親個体群を増やす必要があることが明らかとなった。

#### マイクロサテライト解析による各個体群の関係

浮遊幼生の動態解明だけでは個体群間の連結性の可能性は示唆できるが、完全に証明するためには高精度遺伝子解析による血縁度や親子判別などの解析が必要となる。そこで、本プロジェクトでは、平成25年に瀬戸内海の各県に依頼してアサリ試料を採取し、既存の7つのMSマ - カ - を用いて連結性を評価した（図18）。

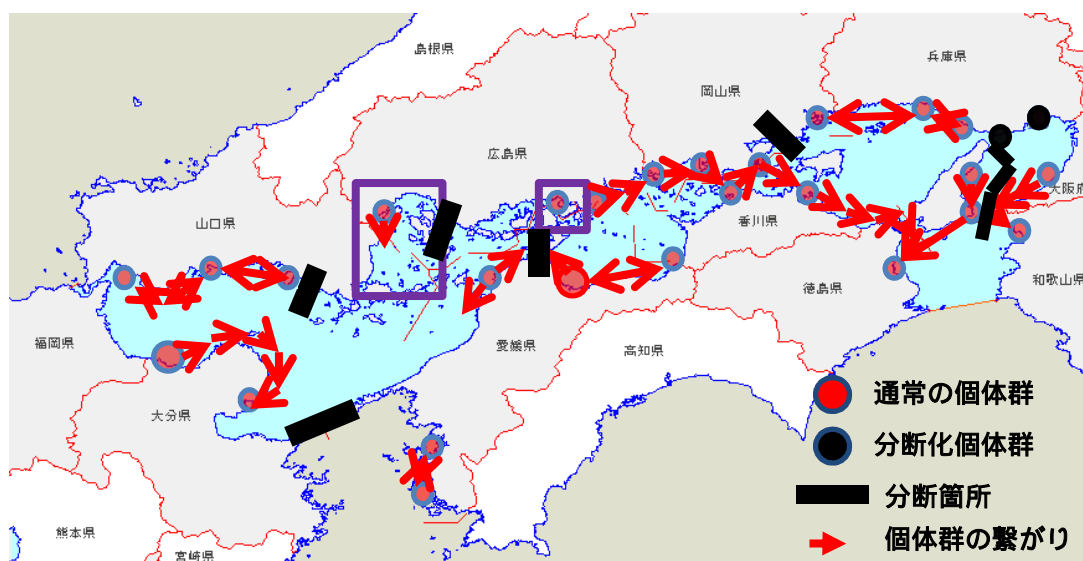


図18．これまでに得られた情報による瀬戸内海のアサリ個体群の連結性と分断箇所

瀬戸内海のアサリ生産量は最盛期の1985年には4万5千トンほどであったが、平成26年以降は200トンを切るほどに減少している。このように瀬戸内海のアサリ個体群は急速に減退したが連結性は維持されており、20-100kmの間で連結性を生じていることが明らかとなった。また、それぞれの連結性は瀬戸内海の流れの構造と類似しており、アサリの個体群間の連結性はそれぞれの海域の流れの影響を強く受けるのではないかと考えられた。

図18に示す四角で囲った範囲はモデル海域である広島湾、尾道・松永湾であるが、尾道・松永湾は先行研究によりMSマ - カ - による解析を行っており、山波の洲を中心に百島から三原市内の先木島までの間がメタ個体群としての構造を持っているのではないかと考

えられている（図19）。一方、広島湾は今回のプロジェクトで解析しなおしたが、広島湾全体がひとつのメタ個体群ではないかと考えられたが（図20、21）、呉では少し変異が認められ、東部海域では隔離機構が働いている可能性もある。しかし、広島市内の干潟や漁場と岩国市門前川までのアサリは連結性が高い結果となり、の流況シミュレーションモデルによるアサリ浮遊幼生の動態解析結果と一致した。

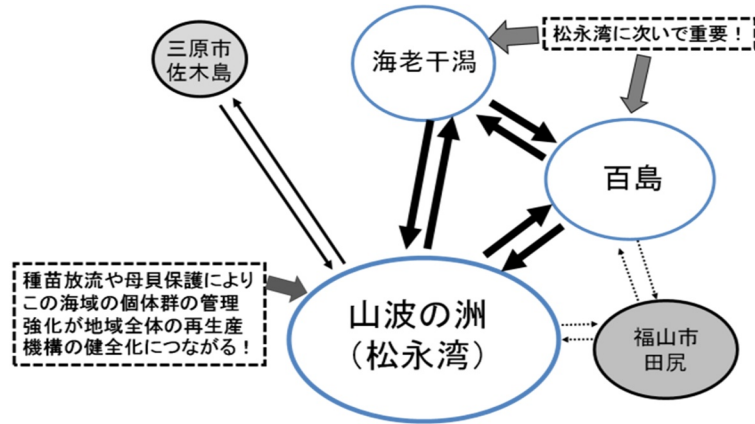


図 19. MS 解析結果から推測される尾道・松永湾海域のアサリ個体群の連結性（参考資料）



図20. 広島湾MS解析用アサリ個体採集地点

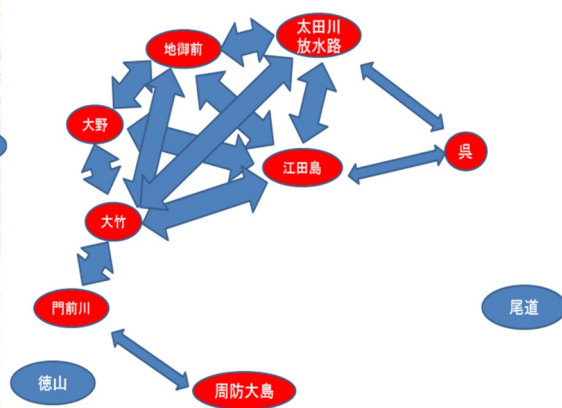


図21. MS解析の結果から推定される広島湾のアサリ個体群の連結性

で述べたように大野瀬戸ではアサリ資源再生開始後、アサリ浮遊幼生密度が高まっている。このことは、漁場内で飼育している天然アサリ稚貝が産卵している可能性が高いため、平成 29 年度は課題 1 で平成 26 年度までに開発した親子判別手法を用いて解析を行っているところであるが、仮に、この方法で親子関係が明確になれば、先に述べたように海域の特性にもよるが資源再生効果は予想より早く発現するのではないか、という仮説が証明できるのではないかと考えられる。

また、課題 3 とともに進めている大野瀬戸におけるアサリ天然稚貝の採取は、参加する漁業者が増え、採集量も安定してきたため、広島湾全体のアサリ資源再生のための親個体群の強化のために振り向けることが出来るようになった。そこで、まず、大野瀬戸での天然稚貝の採集を安定させるために、のモデル解析で解析を行ったところ、大田川放水路、八幡川河口、大田川（本川）河口等のアサリ個体群が重要という結果が得られた。そこで、現在、

広島県を通じ、大野瀬戸で採取したアサリ稚貝をこれらの地域に放流する試みが検討されている。

#### ネットワーク分断箇所の特定

課題2では ~ の技術による調査を行い、モデル海域でネットワークの分断箇所を特定することになっている。その一環として、広島湾では平成 25-27 年にアサリの生活史調査を行った。尾道・松永湾では山波の洲のアサリ資源回復のためには、親個体群を増やす必要があると判断されたが、それについてさらに確認するために平成 29 年に松永湾で SCUBA 潜水を行い、これまで調査されてこなかった深場のアサリ個体群の調査を行った。

広島湾では先行研究を含め、これまでの浮遊幼生調査の結果、密度は低いものの毎年浮遊幼生の供給が見られ、着底初期稚貝も観察されることから着底期以降にボトルネックが生じているのではないかと考えられた。そこで、宮島・長浦で稚貝の動態調査を行った。図 22 にはその結果を示す。宮島・長浦では 5 月には最大 1m<sup>2</sup> あたり 1 万個を超える稚貝が生息していたが、9 月には 1m<sup>2</sup> あたり千個程度まで減少していた (図 23)。これらのことから、広島湾の主要な産卵期が秋であることから、前年の秋に着底したアサリ稚貝が翌年 5 月ごろまで高密度で分布しているが、それ以降に減少することにより個体群形成が阻害されているのではないかと考えられた。

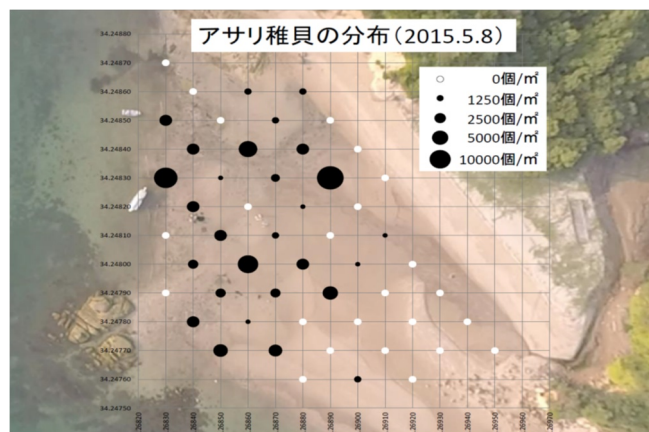


図 22 . 長浦におけるアサリ稚貝の分布状況

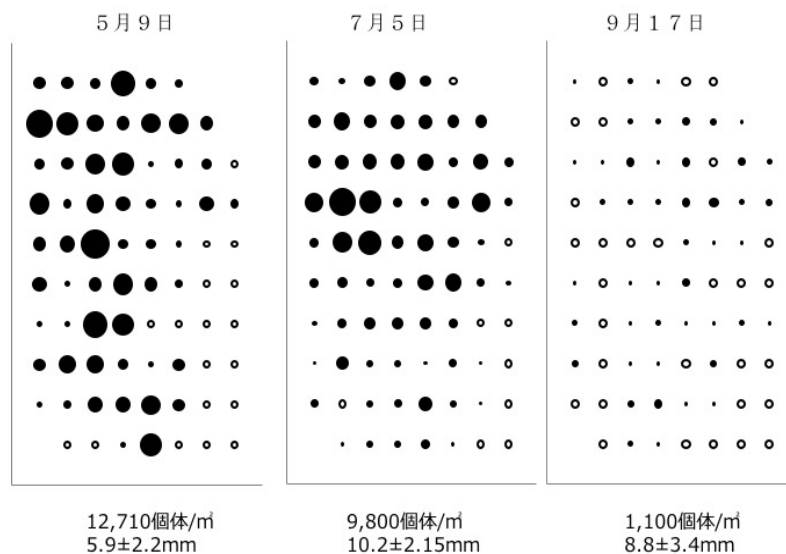


図 23 . 宮島・長浦のアサリ稚貝密度の変化

広島湾と同様に愛媛県燧灘の高須・河原津干潟や岡山県・寄島も浮遊幼生が多いが、成貝までの間に、中津干潟や尾道・松永湾では親個体群の密度が低く、それぞれがボトルネックとなっているのではないかと考えられた(図24)。前者では稚貝の保護育成作業、後者では、親個体群の最適配置場所を検討するとともに、親個体群の再構築するための方策が必要であることが明らかとなった。

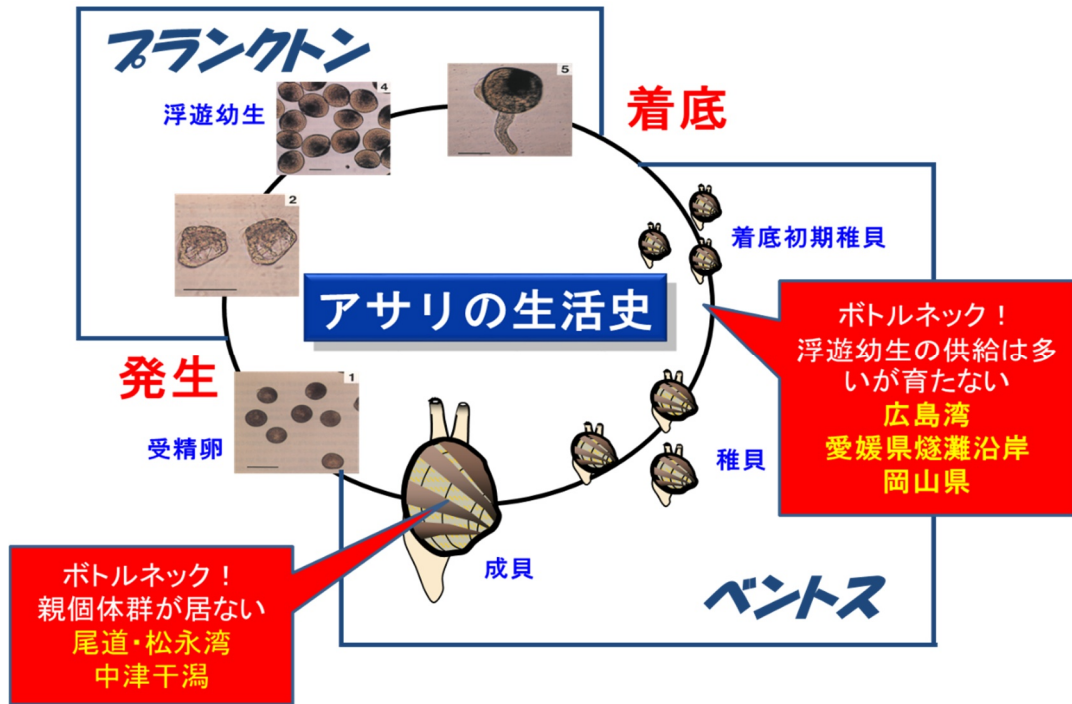


図24. 本プロジェクトの各地のネットワーク分断箇所の特定結果

なかでも、松永湾は干潟域の網掛け保護を行っている場所にしか親個体群が居ないことが明らかとなったので、山波の洲の資源再生のためには、早急な親個体群の再構築が必要ではないかと考えられた(図25)。これらの情報は直ちに課題3に伝え各地でのネットワーク修復作業に取り掛かった。

## モデル地区内の生態系ネットワーク構造と再生方策

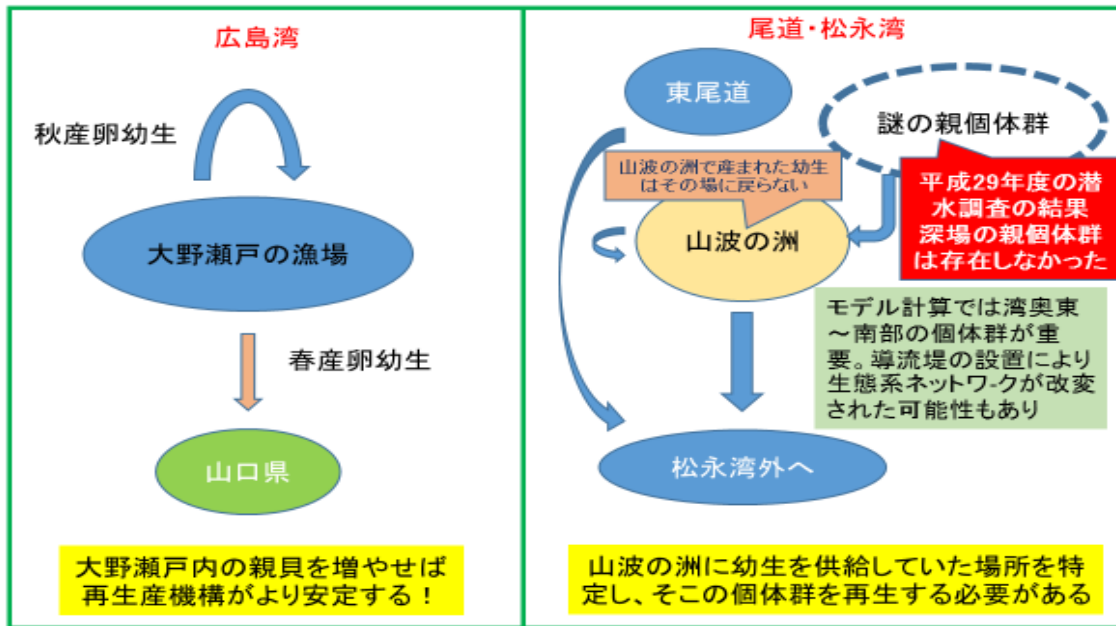


図 25 . モデル海域内のアサリの生態系ネットワークの構造と修復方策

### (3) 課題3 ネットワークの修復・再結合技術の開発

研究内容：瀬戸内海のアサリ資源は激減しているが、様々な環境特性を持つアサリ漁場や干潟が存在しており、それぞれにおいて減耗要因が異なることが知られている。そこで、ネットワークの分断要因を抽出し、それぞれの要因に見合ったネットワークの修復・再結合技術を開発することによって、全国各地の漁場に適用可能な汎用性の高い技術を提供する。

例えば、都市化が進み、海岸開発や、泥分率の上昇など部分的な環境悪化によりアサリに好適なハビタットが消失し、浮遊幼生を介したネットワークが分断された海域が存在することが想定される。このような場所でのアサリを鍵種とした干潟生態系の再生には、失われたハビタットを再生することによってネットワークの修復・再結合が必要となる。そのためには、人工造成や環境改善によるハビタットの創出・再生が必要であるが、例えば、人工造成ハビタットは天然干潟や漁場とは異なるために、安定した再生個体群の維持・管理手法を開発する。一方、環境悪化の改善のためには地域で生じる安価な素材等の活用による環境改善方法を開発する。一方、着底稚貝のその後の生残率が低いことが想定される海域においては、着底直後から詳細に稚貝の調査を行い、大量減耗に関連した環境・生物要因を解明するとともに、安価で簡便な方法による生産率を向上させる技術を開発する。

本課題では常に課題2と連携し各モデル海域内でネットワーク分断箇所を特定する。先行研究によりネットワーク評価のための調査知見がある松永湾、大分県ではそれらのデータをもとにネットワーク修復・再生策のための作業を地元自治体や漁業協同組合と連携して開始する。なお、本課題ではモデル海域を担当する瀬戸内海区水産研究所に加え、岡山県、愛媛県、大分県が参加するとともに、課題に参加しないが和歌山県の協力を得ることになっている。それぞれの役割分担は図26に示す。

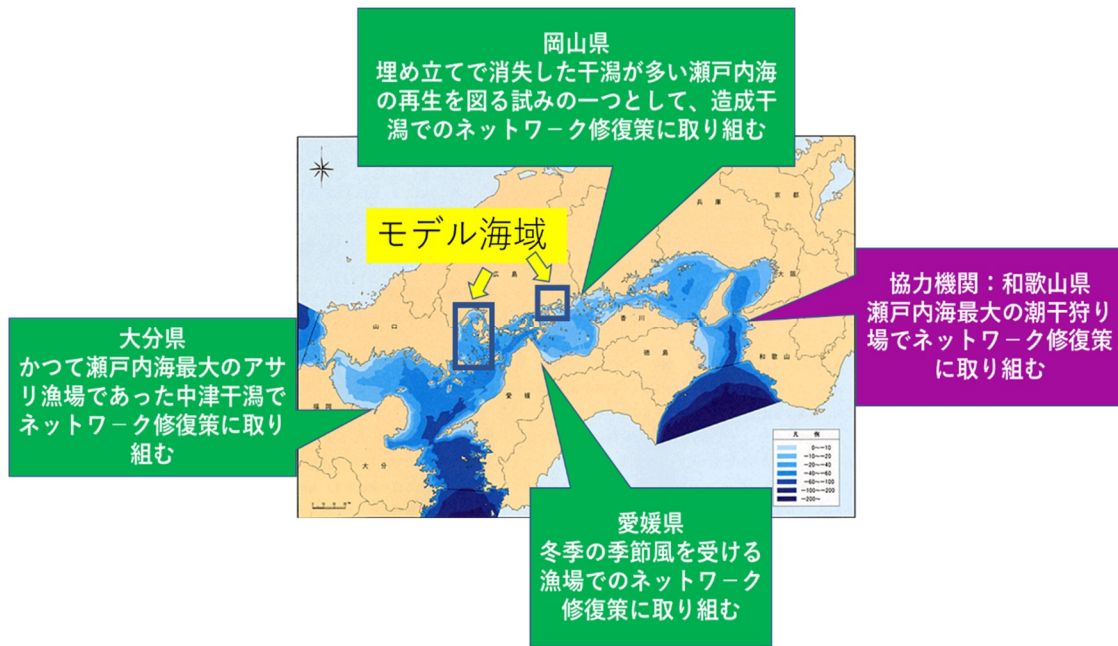


図26.課題3に参加する各県の役割分担

#### それぞれの海域に適したアサリの保護方法の検討

瀬戸内海のアサリ漁場では魚類等の食害を避けるために保護対策が必要である。今回のプロジェクトでも、各地でアサリ資源の再生を目指すためには、まず、保護網の設置等について検討する必要がある。保護網はアサリの資源再生には有効な手法であるが、風波によって剥離されたり、付着物等により悪影響が生じたりするためそれぞれの環境条件に見合った維持管理方策が必要である。そこで、図26に示すように様々な干潟や漁場環境で網掛けやそれに類する方法での保護策を検討した。実際は各地で様々な方法が試みられたが、ここでは抜粋して報告する。

岡山県・寄島では環境が均質な人工造成干潟を用いて保護網に加え、保護網より簡単に設置や維持が出来るトリカルネットを使った方法を検討した(図27)が、アサリの保護効果は保護網が一番良かった(図28)。



被覆網



トリカルネット



トリカルネット+上部網

図27.岡山県寄島地先の試験区の設置状況



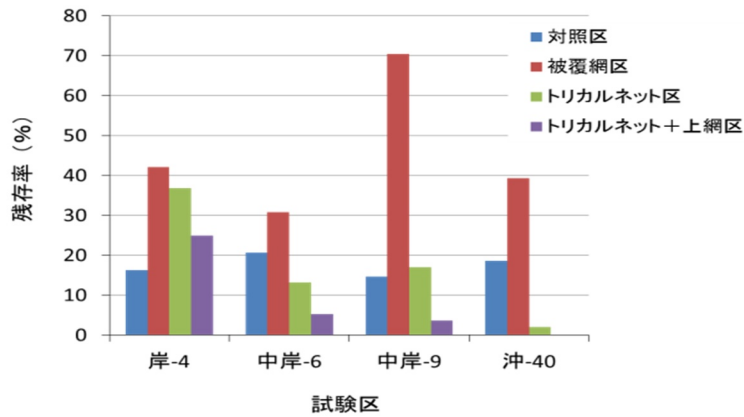


図 28. 岡山県寄島地先の試験区別アサリの残存率

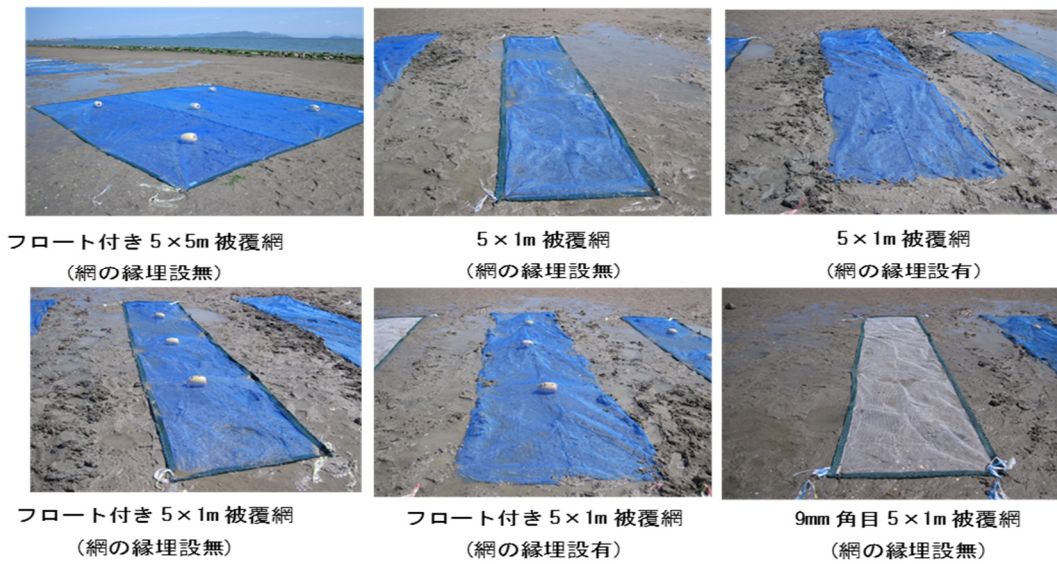


図 29. 試験区の設置状況 (9mm 角目 5×1m 被覆網以外の網はすべて 4mm 角目を使用)

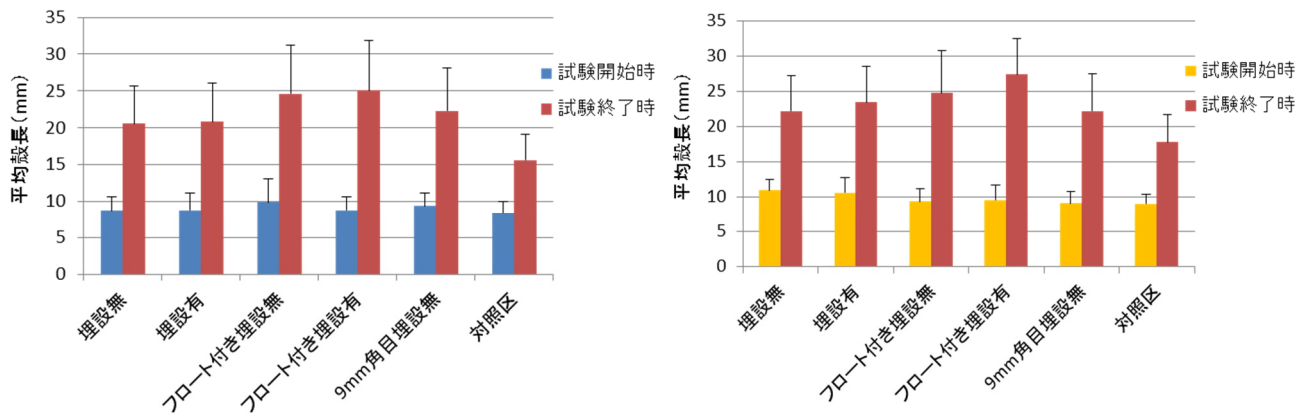


図 30. フロート付き 5×1m 被覆網区の平均殻長 (左:岸側、右:沖側)

そこで、次いで寄島人工造性干潟では、保護網の張り方や固定方法、フロートの有無を検討した(図 29)。その結果は図 30 に示すとおりである。寄島人工造成干潟では、フロートをつけたほ

うが保護効果は高かったが、保護網の縁を埋める、埋めないでは差が無かった。一般に、保護網の縁を埋めたほうが保護効果は高いと考えられているが、労力が必要なために埋めないことが多い。本結果から、保護網の縁を埋めなくても保護効果が変わらなかったことから、より簡便に保護網が設置できるようになるのではないかと考えられた。これについては尾道・松永湾のモデル海域内でも同様な実験が行われており(図 31) 同様な結果が得られている。一方、大分県中津や愛媛県の沿岸の干潟では季節風等による波浪の影響が大きく、このような場所ではフロ - トの設置は網が剥離される原因となるので好ましくないことが明らかとなった。

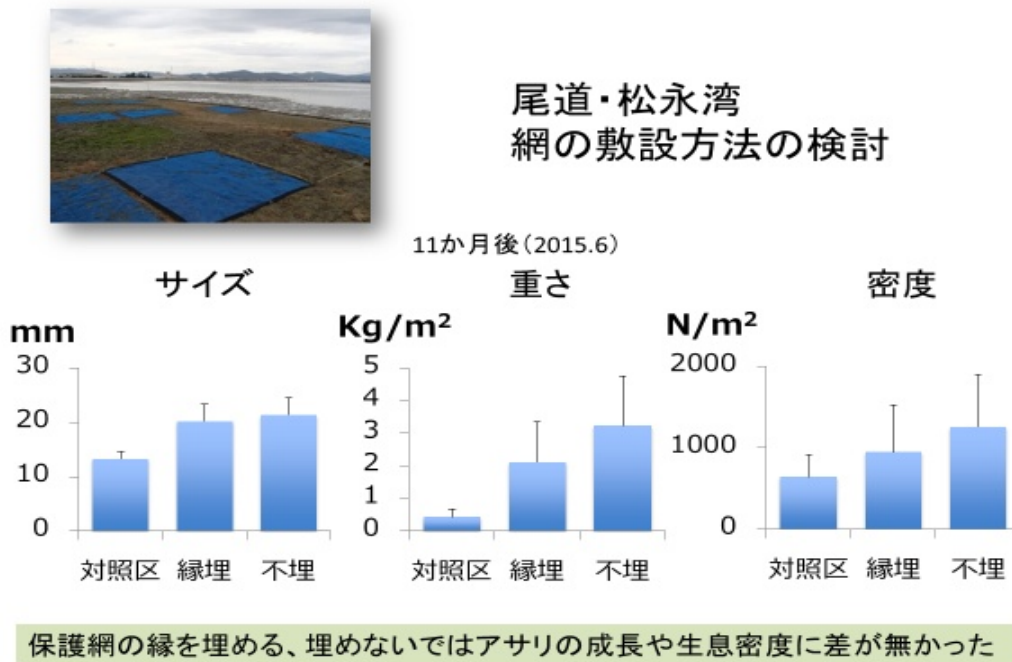


図 31 . 尾道市東尾道地先の被覆網試験におけるアサリの殻長、湿重量、生息密度

#### それぞれの海域に適したアサリ稚貝の採取方法の検討

課題 2 で報告したように、瀬戸内海のアサリ漁場では広島湾、岡山県寄島や愛媛県高須、河原津干潟では稚貝期にボトルネックが生じると考えられるため稚貝を効率よく回収し、保護する必要がある。そこで、ケアシエル、カキ殻、碎石を活用した袋網採苗器について検討した。その結果、尾道・松永湾では設置型採苗器の効果は低く、また、ケアシエル、カキ殻、碎石間で有意差が無く、高価なケアシエルを特に使用しなくても良いことが明らかとなった(図 32)。

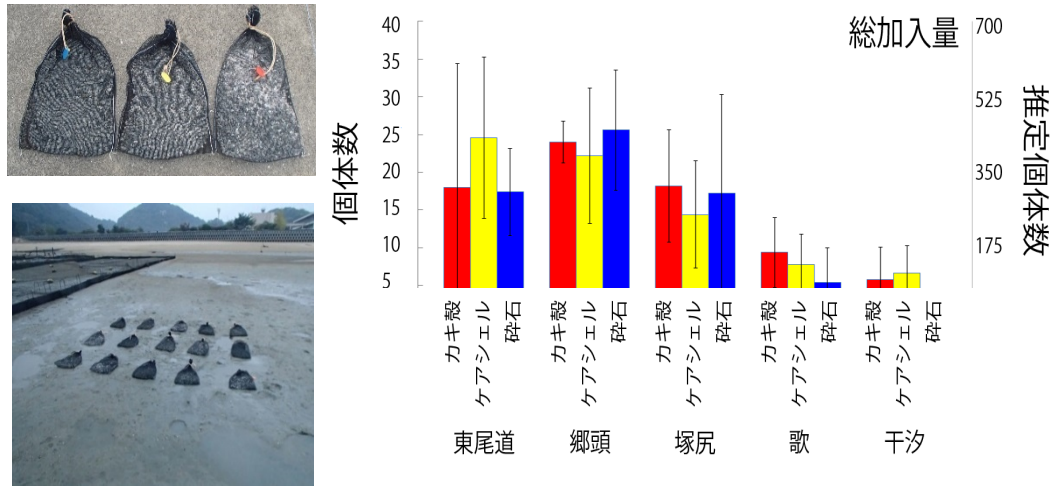


図 32. 尾道周辺 5 地先に設置した袋網採苗器と採苗個体数

また、設置型の採苗器では設置する場所によって稚貝の採集量が大きく変動するために必ずしも効率がよいわけではない。一方、本課題で開発したように、事前に天然稚貝の分布調査を行い、稚貝の多い場所の砂ごと保護する方法だとタマネギ袋のような袋網だけでよく中に入れる基材は不要である。しかし、この方法の問題点は稚貝の調査をどのように行うかである。都道府県や水産研究所等の研究者が協力できる場合は図 33 に示すような GPS を用いたグリッド調査を行い、稚貝の分布密度が高い場所を調べることが出来る。

2014.7.14 戸崎・塚尻干潟におけるアサリ分布結果

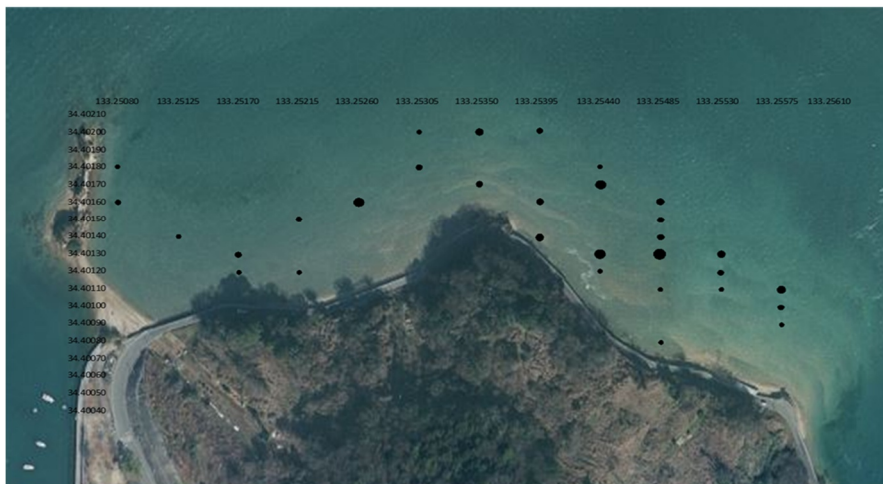


図 33 . 尾道・松永湾内の干潟におけるアサリ分布調査結果

しかし、漁業者が単独に行う場合は、アサリの計数やサイズの測定等が困難な場合がある。そこで、本課題ではスマホ等による画像でアサリの計数やサイズの測定が出来る方法を開発した。方法は図34に示す、スケールと篩を持って干潟に行き、適当な場所で一定の枠やコアで底質を採取し、篩でふるって採取したアサリの画像を撮影し、特定のサ - パ - に送信する(図35)。特定のサ - パ - に届いた画像ファイルを研究所等で解析し、アサリの個数とサイズを計測するという方法である。この方法はスマホの位置情報を活用するため、干潟を歩くだけでGPSを用いたグリッド調査に似た調査が可能となる。そのため、漁業者や漁協関係者だけでも稚貝分布調

査が出来るようになった。

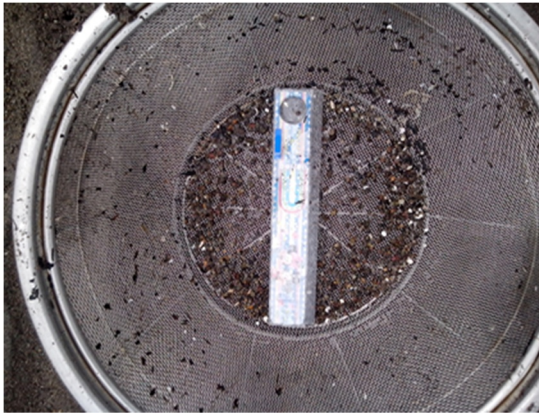


図34．採取した稚貝とスケール



図35．携帯電話等で撮影し画像を送付



図36．今回開発したシステム運用の流れ

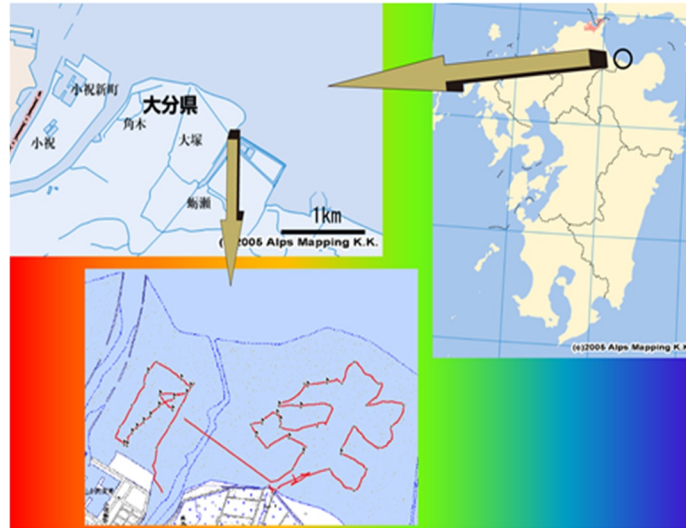


図37．中津干潟での実用化試験

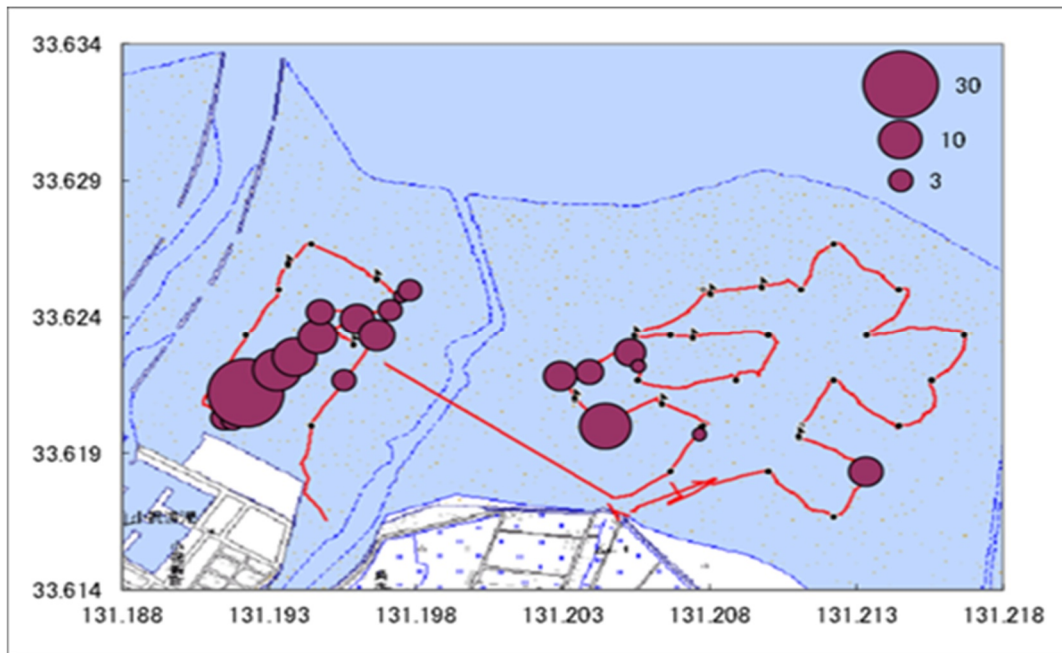


図38．今回のシステムで調べた稚貝分布

このシステム(図36)を用いて大分県中津干潟で漁業者とともに行った調査結果を図37と38に示す。中津干潟は沖だし1.5kmにもおよぶ広大な干潟であるが、このシステムにより稚貝の分布調査が簡便に出来るようになった。

一方、中津干潟のような広大な干潟では稚貝の分布調査や先に報告した網掛け保護をするためには適当な場所を選定する必要がある。しかし、徒歩で調査すれば多大な労力を要するので、事前に簡便な方法で干潟のある程度の範囲を俯瞰的に調べる方法があればより便利である。そこで、本課題では小型ラジコンヘリ(ドロ-ン)やインタ-ネットカメラを活用した広域干潟調査手法を開発した(図39)。これにより、干潟の形状等から稚貝の分布を予想できるとともに、砂れんが少ないなど保護網の設置にふさわしい場所を事前に選定できるようになった(図40、41)。



図 39 . 中津干潟における小型ラジコンヘリによる空撮（左）  
とインターネットカメラによるリアルタイム観察（右）

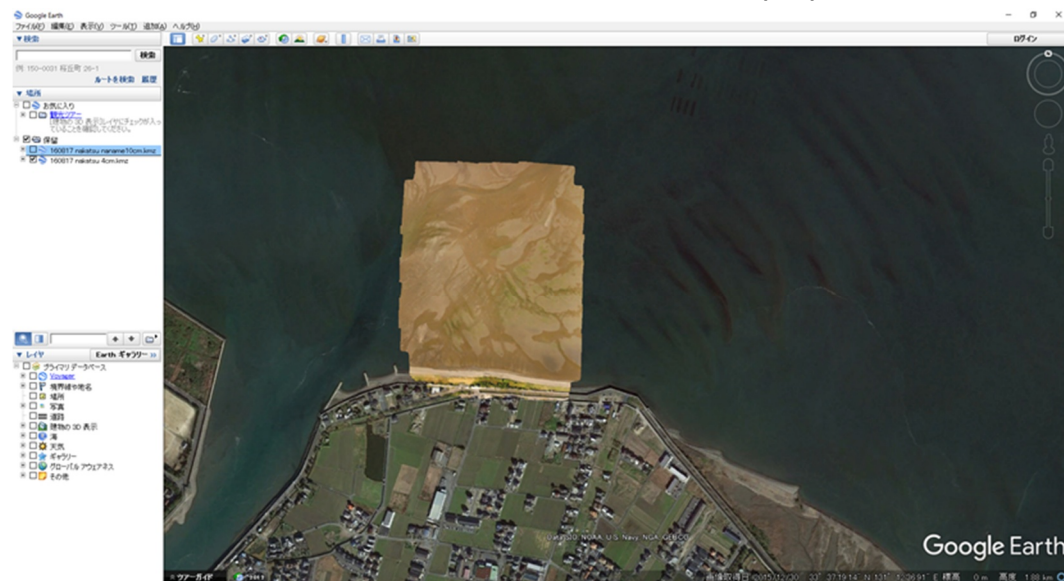


図 40 . 大分県中津干潟における垂直撮影画像から合成したオルソ画像 .

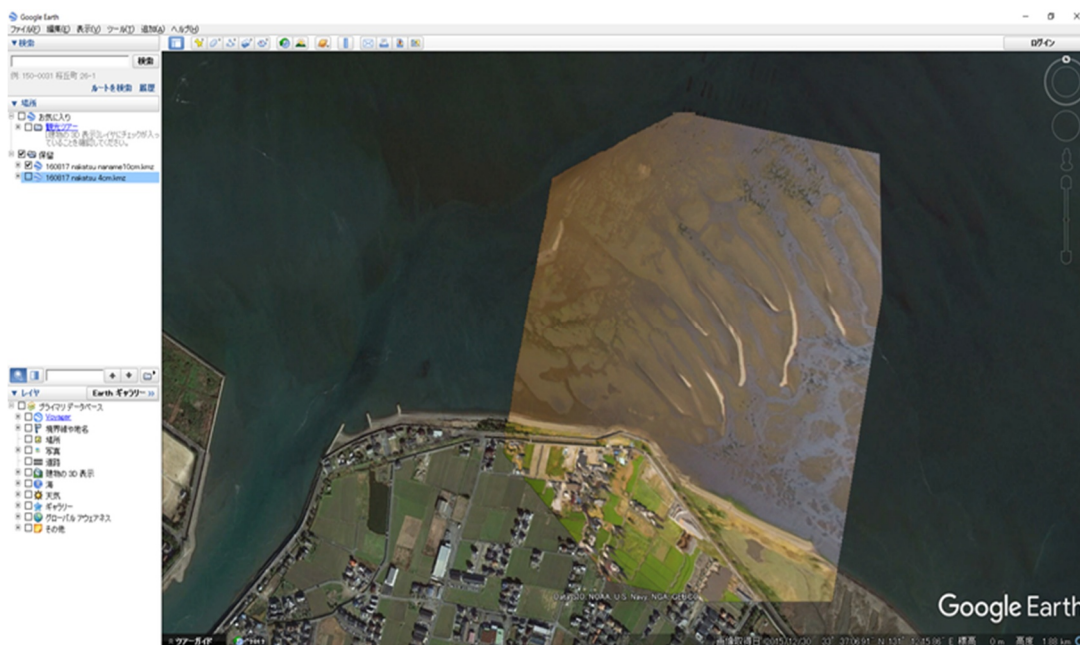


図 41 . 大分県中津干潟における斜め撮影画像から合成したオルソ画像 .

調査によってアサリ稚貝の分布状態が把握できれば、次には稚貝の採取である。それには以下に示す方法を広島県、廿日市市、廿日市市大野の漁業協同組合の方々と試行錯誤しながら開発した。アサリは一般的に殻長の2倍程度潜砂するとされている。本課題では殻長5mm程度の稚貝を対象とするためちりとり等で表層1cm程度の砂を書き取り(図42の1)、タマネギ袋に収容する(図42の2)、タマネギ袋の口を縛り(図42の3)、袋網が重ならないように干潟に並べ(図42の4)、そのまま中間育成する、という方法である。



図42．宮島長浦地先における袋網を用いたアサリ稚貝の中間育成作業

中間育成は殻長10mm程度となるまで行い、その後篩等でふるってアサリだけを回収する(図43)。



図43．袋網からアサリの回収作業



図 44 . 廿日市地先における漁業者による稚貝採取（左）と採取された稚貝（右）

回収したアサリ稚貝（図 44）は対岸のアサリ漁場（図 45）に運び育成中である。廿日市市大野のアサリ漁場は全国的にも珍しい区画漁業権が設定されており、ここの漁場の管理は厳しく徹底されている。そのため、その場で育成したアサリの追跡調査が容易である。今回の方法で採取した稚貝は、漁業者からは他地域から購入した稚貝より生残率がよく、漁場内での定着率も高いという声が聞こえてくる。平成 27 年度からこの方法が導入されており、今後、この方法による経済効果等が算定されることになっている。



図45 . 広島県廿日市市大野のアサリ漁場の一例。区画漁業権が設定されており、それぞれの漁業者により区画内はしっかりと網掛け保護されるとともに管理されている



かつて、この漁場では宮島等で天然稚貝を採取し、それを漁場で育成していたと漁協の古  
老から聞いたが、今回はこのような地域本来のアサリ漁業を復活させたことになる。このよ  
うに他の地域でも天然に発生する稚貝を有効利用することにより、地域のアサリ資源を再生  
するとともに漁業に活用することが出来る可能性がある。現在、廿日市市大野ではアサリ漁  
業のために約500万個のアサリ稚貝が必要とされているが、本課題により平成27年度にこの  
試みを開始した時は50万個、平成28年には250万個、今年は目標が500万個であったが残念な  
がら225万個に留まったが、必要量の半分以上を地場産の天然稚貝に置き換えることに成功  
した(図46)。今後は稚貝の回収時における労力を軽減する方法を検討する必要がある。



図46．採取した天然稚貝を手にして喜ぶ漁業者と関係者

### 3) 成果活用における留意点

本プロジェクトによるアサリ天然稚貝の採集方法は、広島県廿日市市内の漁業協同組合、廿日市市、広島県と共同で開発したものである。作業方法等はマニュアル等で公表するが、使用する場合には協力機関にも留意していただきたい。

### 4) 今後の課題

今回開発した技術やアサリ資源再生法の考え方等をどのように広めてゆくか、が問題となるが、本プロジェクトでは成果集や作業マニュアルを作成するのでそのPRを進めるべきであろう。

中課題番号	13406073	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	2	研究期間	平成25～29年度
中課題名	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		
小課題名	2 アワビ類における再生産ボトルネックの解消と藻場ネットワークの再生による資源回復・生態系修復技術の開発		
小課題責任者名・研究機関	国立研究開発法人水産研究・教育機構 中央水産研究所 堀井豊充		

#### 1) 研究目的

エゾアワビおよび藻場の再生産ネットワーク構造の解明と再生による資源造成技術の開発

エゾアワビの漁獲量は1970年前後には2,000～3,000トンの水準で推移していたが、その後1990年にかけて大きく減少し、現在でも1,000トンを下回る低い水準で推移している。

漁獲量の変動は東北地方太平洋沿岸ではほぼ同じ傾向を示しており、親潮の離接岸等をもたらす冬季海水温の変動が影響を及ぼしていることがわかっている。

北海道では日本海沿岸～噴火湾周辺で漁獲されるが、資源増殖のため奥尻産天然稚貝の移植が過去には広範囲で行われており、特に噴火湾の資源は移植によって新たに造成された資源であるとされる。近年では人工種苗の放流による資源増殖が図られているが、こうした天然および人工由来の放流個体の再生産による資源添加については定量的な評価に至っておらず、再生産によって資源の自律的回復を促すために有効な放流手法の開発と効果の検証を行う必要がある。

また北海道日本海沿岸ではウニ類の食害を主因とした磯焼けが進行しており、餌料環境の悪化がエゾアワビ資源回復の阻害要因となっていると考えられる。食害種の除去による藻場の回復が各所で図られているものの小規模な群落形成にとどまっており、広域におよぶ藻場回復技術の開発が急務である。

これらの問題解決を図るため、北海道沿岸を対象として以下の研究開発を実施する。

- (1) 親子判別のためのmtDNAのSNPsマーカーおよびMSマーカーの開発
- (2) 遺伝情報を用いた放流貝再生産構造の特定と適切な放流手法の開発
- (3) 藻場回復の適地選定手法の開発とその実証
- (4) 造成藻場による水産資源回復効果の検証

暖流系アワビ類生息域における漁場環境修復による資源再生技術の開発

クロアワビ、メガイアワビ等暖海性アワビの漁獲量は、1980年代後半から大きく減少し、現在も回復の兆しがみられていない。藻場は、アワビなど磯根資源にとって重要な環境であるが、近年ウニ類の食害に加え、アイゴやブダイなど植食性魚類の食害により、著しく衰退している。本課題では、環境特性や植食動物の影響によって成立する様々なタイプの藻場や磯焼けが、アワビの成長や成熟に与える効果を明らかにする。また、藻場回復には、

植食動物の食圧制御が重要な課題であることから、これらの遺伝情報を用いて地域集団の有無などを解明し、より効率的な食害対策の可能性を検討するとともに、ヘクター規模の藻場造成を実現させるための要素技術開発として、小型海藻も対象に含めた新しい播種方法を開発する。アワビ類をはじめとする磯根資源の加入・成長・生残過程を解明することで、造成された藻場が果たす機能を評価する。これらの問題解決のため以下の研究開発を実施する。

- (1) 暖流系アワビに対するタイプ別藻場の機能と適正な空間配置の推定
- (2) 藻場造成に関わる適地選定と低コスト・低労力化に向けた技術開発

#### アワビ類の再生産過程におけるボトルネックの特定とその解消技術の開発

我が国のアワビ類漁獲量は、人工種苗放流等の資源増殖策にもかかわらず回復の兆しはみられない。原因としては、磯焼けをはじめとした生息環境の悪化が考えられるが、海藻群落の豊度が高い海域においても広範囲に資源減少が認められている。本課題では、海藻群落の豊度が高く浮遊幼生および着底初期～稚貝期の個体が比較的高い密度で観察されるにもかかわらず親資源が形成されない三浦半島相模湾沿岸を対象に、フィールド調査および室内実験を併用して再生産過程で生じているボトルネックを特定し、その解消手法を開発する。

- (1) 着底初期の漁場環境がもたらすボトルネックの特定とその解消技術の開発
- (2) 流動モデルと空間モデルの統合解析による生活史の解明

## 2) 研究成果

### エゾアワビおよび藻場の再生産ネットワーク構造の解明と再生による資源造成技術の開発

人工放流貝の再生産への貢献度解析のための親子判別技術開発では、解析した29個のマイクロサテライト(MS)マーカーのうち22個の多型性が高く、親子判別に有効と判断された。また、天然アワビ集団の遺伝的多様性をもとに、多様性の高い順にマーカーを増やして親子判別を行い累積親子判別成功率をシミュレーションしたところ、14マーカーを使った時点で99%に到達し、偽親(天然個体の中の放流種苗由来の稚貝のジェノタイプを偶然生じさせるジェノタイプを持つ個体)を親とみなすエラーが生じる確率は $10^{-8}$ ときわめて低いことが明らかになった(図1)。

遺伝情報を用いた放流貝再生産構造の特定と適切な放流手法の開発では、北海道豊浦町の試験海域に大型人工貝合計34,950個体を放流し、試験海域でH28年度に460個体の当歳貝を採取した。放流貝の再生産への貢献度を評価するため、上記マーカーを用いて稚貝サンプルの親子判別を実施した結果、放流貝の子孫が全体の10.3%を占めた。試験海域全体の親集団の天然貝と放流貝の存在比から産卵量を推定して求めた放流貝由来の稚貝の推定存在比は23%であり、現場調査でのばらつきや、すべての放流親貝の遺伝的情報が得られた訳ではないため放流貝由来を過小評価している可能性を考慮すれば、今回の分析値は概ね予想範囲内と判断された。本成果は、人工放流貝の再生産への貢献に関して直接的な証拠を得た初めてのケースとして、高く評価出来る(図2)。

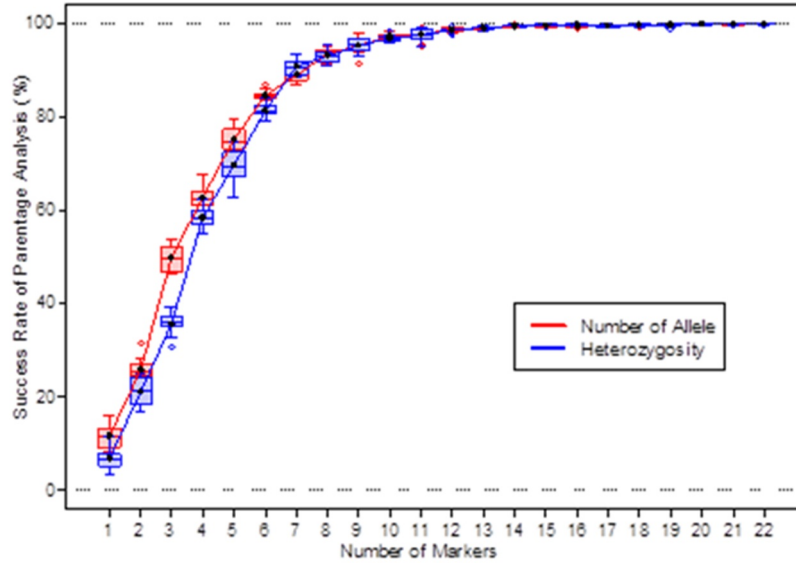


図1. 累積親子判別成功率積親子判別成功率。赤：アリル数の高い方から一つずつマーカーを加え（横軸），親子判別を行った縦軸が累積親子判別成功率（10回試行）。青：ヘテロ接合体率の高い方から一つずつマーカーを加えた時の累積親子判別成功率。ともに14マーカー程度で親子判別成功率はほぼ飽和に達した

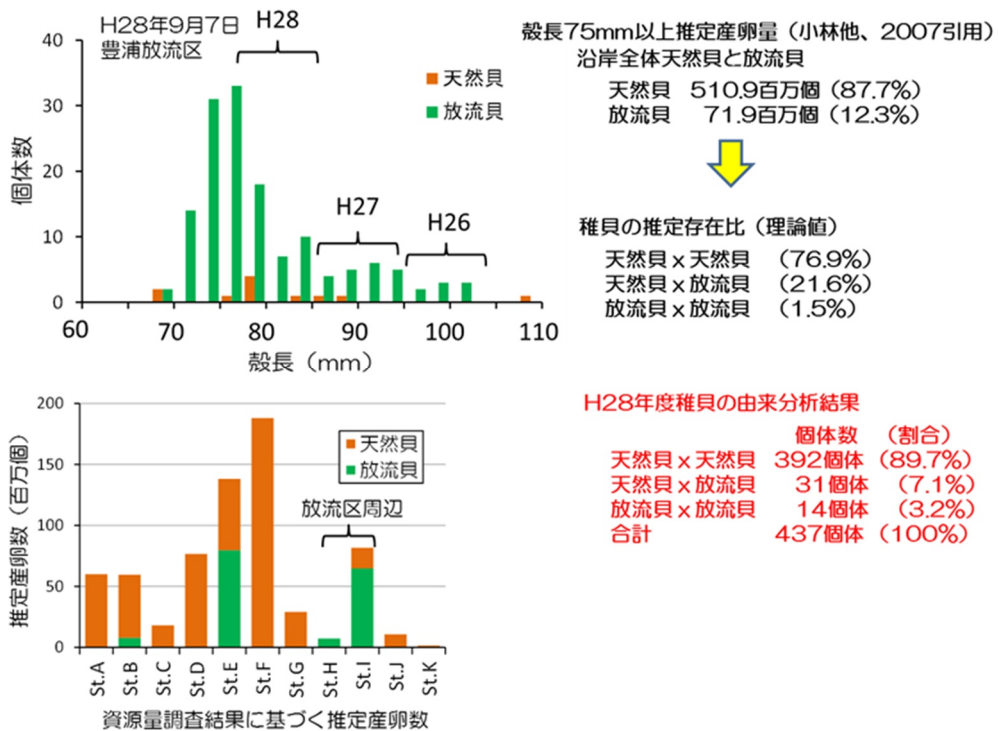


図2. 平成28年度の人工具放流試験区におけるアワビの殻長組成と豊浦町漁場全体における天然貝と放流貝の推定産卵量および採捕稚貝の由来分析結果

ウニ密度管理適地を計算・表示するGISデータベースを開発し、対象海域全体を20mメッシュで表示し、各メッシュにおいて適地判断の予測・可視化によって、対策域の場所的な複数配置への提案を可能とした。平成27年と平成28年の秋に、モデルによりホソメコンブ群落形成されることが期待された群来地区で、底質条件（不安定な礫より安定性の高い岩盤が良い）を考慮したウニ除去を実施し、さらにウニ類密度を低く維持するように留意した。その結果、平成28年春には予想通りホソメコンブを含むワカメ等が主体となった海藻群落形成され、さらに冬季水温が低かった平成29年春には除去区内にホソメコンブ群落形成され、11月まで群落が残存したことが確認された(図3)。

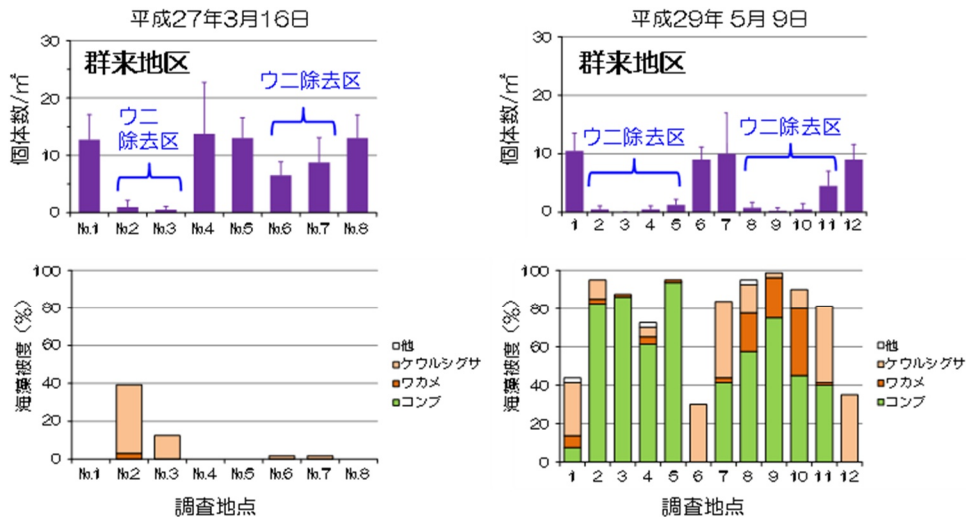


図3 . 2015年および2017年春のウニ除去区におけるキタムラサキウニ密度および海藻被度

#### 暖流系アワビ類生息域における漁場環境修復による資源再生技術の開発

長崎県小値賀町地先に設置されている海藻礁に網囲い(1m×1.5m×0.5m)を設置し、内部の植生を操作したうえで、メガイアワビを収容し、成熟の比較を行った。その結果、クロメ区では成熟が確認でき、ホンダワラ類であるアカモク、マメタワラ、キレバモクでも現存量が多い場合には成熟する個体が確認された。

大分県佐伯市沿岸のタイプの異なる2つの藻場（クロメとマクサが混生する藻場；以下クロメ場、ホンダワラ類のヨレモクモドキの藻場から小型海藻のマクサの藻場に变化した藻場；以下マクサ場）に放流されたメガイアワビは、成長はクロメ場が良く、成熟率もクロメ場では放流2年目で降クロメ場では100%であったのに対し、マクサ場では3年目でも58%であった。産卵量を反映すると考えられる生殖腺体積でもクロメ場はマクサ場の10倍以上であった。

過去の藻場調査結果と衛星画像から藻場の再現を試み、アラメ・カジメ場、四季ガラモ場、春ガラモ場、小型海藻、裸地（磯焼け）の5タイプの藻場時系列変化を明らかにした（図4）。さらに、資源量、漁獲量、藻場タイプ比率、藻場面積の各時系列データからクロアワビ・メガイアワビの再生産率および生残率との関係をそれぞれ数値化し、空間明示型モデルに組み込んだ。得られた野外データを用い、野外個体群の生態特性と生息場所の質を反映できる現実的なパラメータの推定を行った。これらのパラメータをもとに、重点海

域での過去の藻場の変遷に伴う再生産力の変化を推定したところ、漁獲制限サイズを変えることで資源の減少が防ぎ得た可能性が示唆された（図5）。

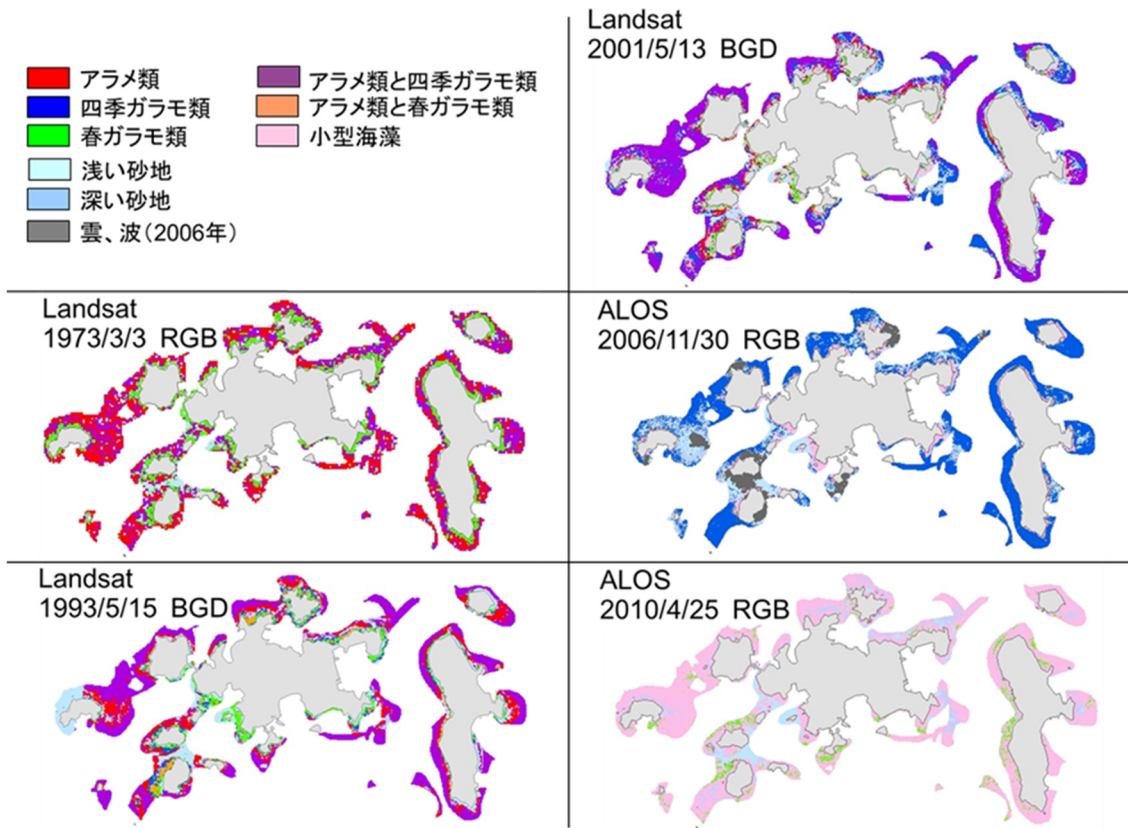


図4．長崎県小値賀島海域を対象に衛星画像より推定された藻場の分布変遷図

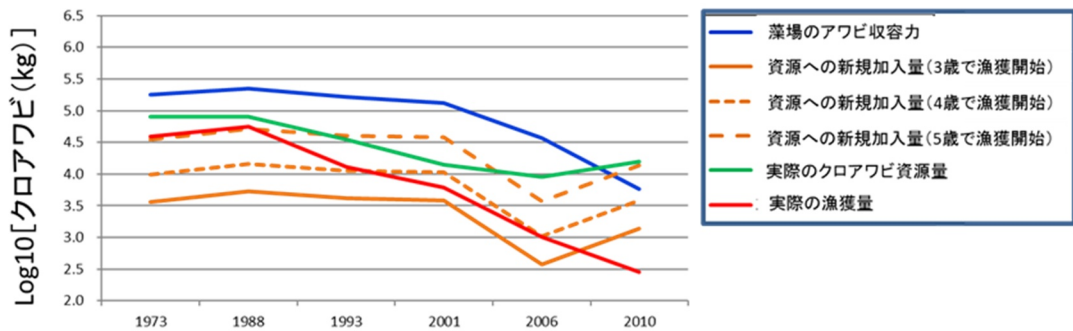


図5．長崎県小値賀島海域における過去の藻場の変遷に伴うクロアワビ再生産力の時系列変化の推定結果。藻場のアワビ収容力とは、その年における藻場タイプ別の分布面積とその比率から計算される、藻場単位面積あたりに生息可能なアワビ資源量を示している。資源への新規加入量はそれぞれ、各歳の殻長サイズから漁獲を開始した場合、漁獲を逃れた個体の再生産によって翌年以降に漁獲サイズに加入できる資源量を推定している

クロアワビとメガイアワビを対象に藻場のタイプ別の成長・成熟に対する効果を取りまとめた。成熟に関しては、クロアワビ・メガイアワビともにアラメ・カジメ類が構成種となる藻場（カジメ場）で成熟度が高く、クロアワビでは周年形成されるホンダワラの藻場

(四季ガラモ場)、春から初夏にのみ形成されるホンダワラの藻場(春ガラモ場)、小型海藻のみの藻場(小型海藻藻場)でも、カジメ場に比べて産卵量は3割程度であるものの成熟可能と考えられた。一方、メガイアワビでは四季ガラモ場でもカジメ場と同等に成熟するものの、春ガラモ場ではクロアワビと同様にカジメ場の3割程度の産卵量と考えられ、小型海藻藻場では成熟しないと考えられた。成長に関してはクロアワビではカジメ場、四季ガラモ場、春ガラモ場ではほぼ同等であり、小型海藻藻場の一部でも同等の可能性があると考えられた。一方、メガイアワビでは小型海藻藻場では成長が悪くなると考えられた(表1)。

藻場のタイプ	構成種	秋の状況	成熟		成長	
			クロ	メガイ	クロ	メガイ
コンブ目 多年生藻場	アラメ、カジメ、 クロメなど	藻場				
ホンダワラ類 四季藻場	混生 ノコギリモク	藻場 藻場	○			
ホンダワラ類 春藻場	混生	微小	○?			?
1年生海藻	ワカメ・アカモク アントクメ	微小 微小	○ ?			
小型海藻	周年存在 季節的 サンゴモ類	藻場 小 小				
			x	x	○? x?	x x?

表1. 藻場のタイプ別のアワビに対する成熟と成長に対する機能。 : ア  
ラメ・カジメ類の藻場に相当、○: アラメ・カジメ類の藻場に劣るが可  
能、 : アラメ・カジメ類の藻場にかなり劣る、x: 不可

礫表面の付着物(ほとんどが泥)からDNAを抽出、精製する方法を確立し、PCR増幅後、次世代シーケンサーを用いたメタゲノム解析を実施し、シーケンスエラーを除去するためにプログラムの修正を加えたことで、高精度で礫表面上から海藻の網羅検出が可能となった。大分県佐伯市、北海道美国町から採集した70個の海藻サンプル、その他の地点も含めると78サンプルからrbcL遺伝子配列の取得に成功した(未同定の海藻種も含む)。これらの配列を公的核酸配列データベースに登録することにより、種同定の精度向上への貢献が期待できる。

ホンダワラ類幼胚の確実かつ簡便な添加技術として、スポアバッグは内部への円枠固定による形状安定化、中層網は1枚網へのバンド結束による簡素化という改良を加えた方法を開発した。また、ホンダワラ類の成熟指標として生殖器床開口部周辺の黒化が有効であることを明らかにした。母藻が放出する幼胚量及び野外実験の結果から、理想的な(新しい基質で植食性動物がいない)状況で、マメタワラでは雌母藻0.5~1.0kg(スポアバッグで実施)、ヤツマタモク母藻5kg(雌雄区別せず中層網で実施)で100 m<sup>2</sup>の藻場を形成させ

ることが可能であった。

磯焼けの発生している長崎市沿岸でウニ除去を行うことで、数百～千数百 $m^2$ 規模の小型海藻からなる藻場造成が可能であり、ウニ漁業により大型個体の密度が低下することで、ウニ除去を行わなくても4年間小型海藻藻場が維持できる可能性が示された。また、食害防止ネットを持つ核藻場礁を用いた野外実験により、ウニ除去を6～9月に実施すれば、小型海藻の被度及び種数が増加することが示唆された。

大分県佐伯市名護屋湾において、水深、地形、底面流速、ウニ類の密度、ウニ除去総数（ランクデータ）、海藻の被度をGISデータベースに集約し、各種海藻の被度を説明するための一般化線形モデルを構築した。この結果から、ウニ類の除去を実施したときの大型褐藻類と小型海藻類の被度分布を求め、ウニ密度管理の適地を求めた。その結果、大型褐藻類では湾奥部、小型海藻類では湾中央部においてウニ除去による藻場回復効果が高くなることが示された。

#### アワビ類の再生産過程におけるボトルネックの特定とその解消技術の開発

相模湾沿岸の岩礁漁場の大型アワビ類の生活史段階別減耗過程を調べたところ、殻長10mm台までの個体は生息場所として小型の転石を選好し、成長に伴って大型転石や岩盤へと生息範囲を拡げていたが、この移行段階で飢餓や被食によるものと推定される大きな減耗を生じることが明らかになった。この移行段階では稚貝から成貝への食性変化が起こっているものと考えられ、食性変化に伴う生息場所の移動に障害があればボトルネックとなることから、「稚貝場と親貝場との連結性の低下」を生活史ボトルネックが生じる主要な要因の一つに絞り込んだ。

相模湾沿岸でのアワビ幼生の分散過程の予測を可能にする局所海域に流動モデルを開発して幼生分散過程をモデル化し、この幼生分散モデルとアワビ類生息場所の空間構造を統合した空間モデルを開発した（図6）。このモデル開発によって時空間構造を組み込んだアワビ類の生活史モデルを構築できたことから、生息地の人為的造成や磯焼け発生等の環境変化がアワビ類の生活史に与える影響をシミュレーションによって評価することが可能になった。

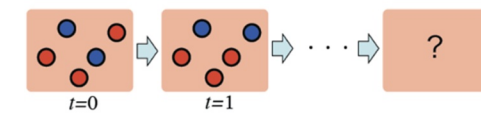
フィールド調査結果をふまえ、相模湾沿岸の岩礁域におけるアワビ類の親貝と稚貝それぞれの生息場を好適度に応じてカテゴライズした50m格子の海域メッシュマッピングを行い（図7）、流動モデルを組み込んだ空間モデルによるシミュレーションを行ったところ、親貝場の保護・造成よりも、稚貝生息に不適な場の生息好適性を上げ、親貝場と稚貝場の連結性（ネットワーク）を向上させることが最も再生産改善に効果があるという結果を得た（図8）。その結果を受けて、アワビ類生活史ボトルネックの解消手法としては「稚貝生息場」造成が最も効果が期待できると判断し、隣接して親貝生息適地がある砂地に転石投入を行い、稚貝場と親貝場が連結している「稚貝生息場」を実験的に造成した（図9）。

実験造成した「稚貝生息場」のモニタリング調査を実施したところ、元々砂地であった造成場所に天然のアワビ類稚貝が生息することを確認し（図10）、人工造成した稚貝生息場が着底・生息場としての機能を有することが確認できた。造成後の追跡調査の結果、造成後9か月（6月）までは大型アワビ類稚貝が確認できたが、造成後10か月以降（7月以降）は大型アワビ類稚貝が見られなくなり、周辺からはアワビ類稚貝の死殻が確認された。周辺の親貝生息適地へ移動成功した見られる個体はわずかしか確認できず、造成後に周辺で発生した磯焼け（図11）によって隣接する親貝生息場の機能が著しく低下してしまい、結



果的に生息場移行ステージでの生活史ボトルネックの解消には至らなかったものと推察された。本課題では磯焼けによる親貝生息場機能の低下は想定していなかったが、現状として、効果的な稚貝生息場造成のためには、同時に磯焼け対策を実施する必要があることが確認された。

また、空間モデルの各パラメータを意図的に変化させたシミュレーションを行い、アワビ個体群の増加率・持続安定性の指標となる固有値の変化を分析した結果、三浦半島東岸での造成効果が高い稚貝場の空間配置が抽出された(図12、図13)。実験造成した稚貝生息場の造成効果は磯焼け発生後に低下したことから、現状で造成効果が高いと判定された場所の特徴から造成適地選定のための条件をまとめ、アワビ類の再生産過程におけるボトルネック解消技術として今後マニュアル化を進める予定である。



パッチ*i*が時刻*t*に占有されている確率 $p_i(t)$ の変化

$$p_i(t+1) - p_i(t) = \underbrace{(1 - p_i(t))C_i}_{\text{占有確率の変化 いない}\rightarrow\text{いる}} - \underbrace{p_i(t)E_i(1 - C_i)}_{\text{いる}\rightarrow\text{いない}}$$

$C_i$  : パッチ*i*に他パッチからの加入が起きる確率  
 $E_i$  : パッチ*i*が漁獲により消失する確率

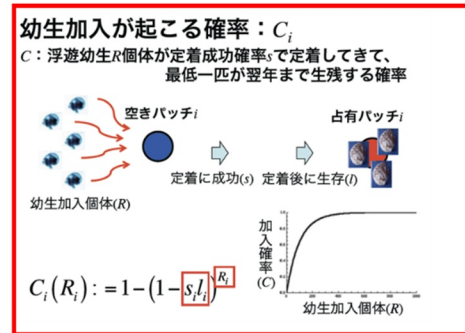
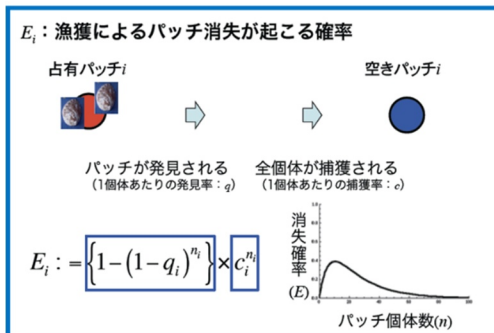


図6. 開発した空間統合モデルの基本概念図。対象とする漁場において、アワビが生息する各磯根(パッチと呼称)に新しくアワビが浮遊幼生として加入する確率と、漁獲によってアワビが磯根からいなくなる確率でアワビ個体群の動態が決まることを想定している。幼生の移動分散過程を流動モデルが計算し、その結果と磯根の空間配置、各磯根の生息場所の質を空間モデルに組み込んでシミュレーションする

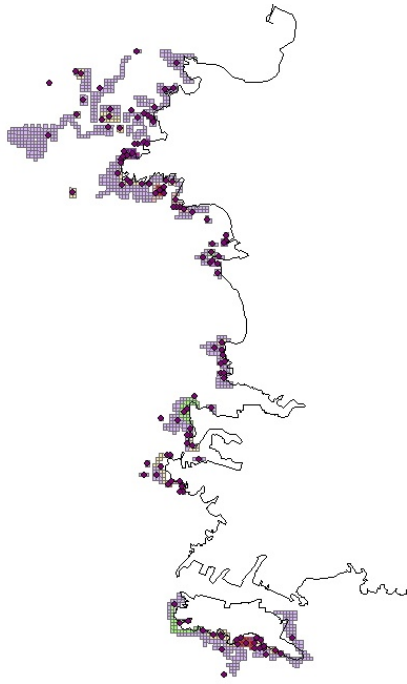


図7．対象海域のメッシュ図。各磯根の中心位置を赤丸で示し、メッシュ(50×50m)は磯根のみ示している。メッシュの色の違いが稚貝・親貝にとっての生息場所の質の違いを示している。各磯根の親貝から放出された浮遊幼生が、各メッシュに到達・着底する割合を流動モデルで計算し、着底後の生残・成長・産卵までを空間モデルが計算している

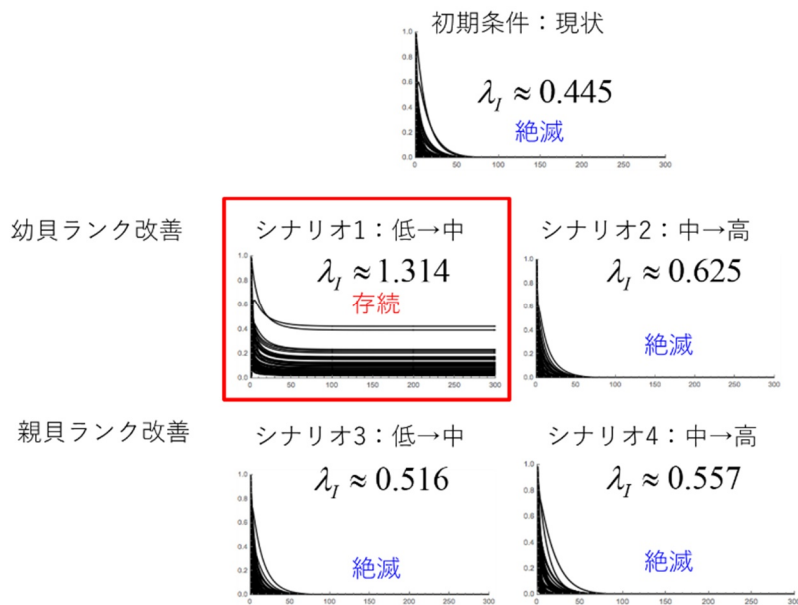


図8．対象とした漁場でのアワビ個体群の現状解析と漁場造成シミュレーションの結果。黒線が各磯根のアワビ存続確率を示している。初期条件となる現状解析では、すべての磯根で50年後にアワビが絶滅する結果となっている。これに対し、稚貝の生息場所ランクのうち低ランクの磯根を中ランクへ増加させた場合、中ランクを高ランクへ増加させた場合、親貝の生息場所ランクのうち低ランクの磯根を中ランクへ増加させた場合、中ラン

クから高ランクへ増加させた場合の4通りのシミュレーションでは、稚貝の生息場所ランクのうち低ランクのものを中ランクへ改善させた場合のみ、アワビが絶滅せずに存続する結果が得られた

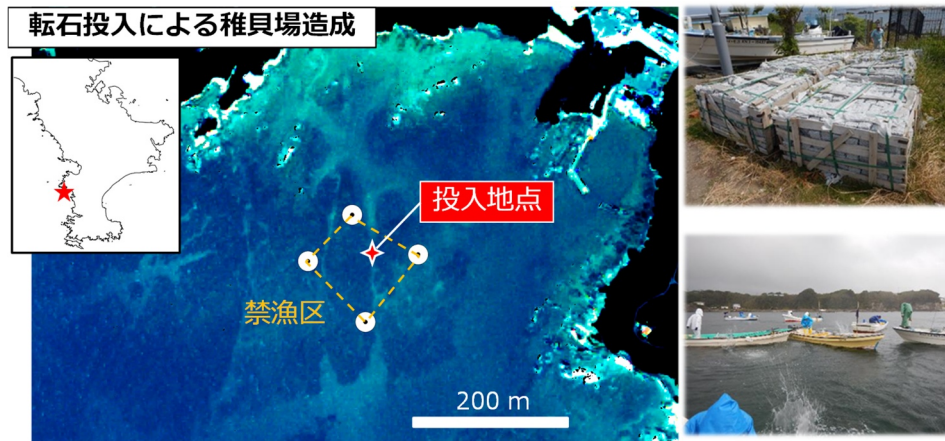


図9．三浦半島西部の荒崎南の禁漁区内のカジメが豊富な岩礁帯を分断していた砂底に御影石の転石を投入し、稚貝生息場を造成した



図10．造成稚貝生息場の転石上に付着したアワビ類稚貝（造成後4か月）



図11．2016年9月に造成した稚貝生息場周辺の岩礁帯で発生した磯焼けの急激な進行の様子。左：2016年5月、中：2017年1月、右：2017年8月

移入が起こりやすいパッチ

移動成功率が高いパッチ

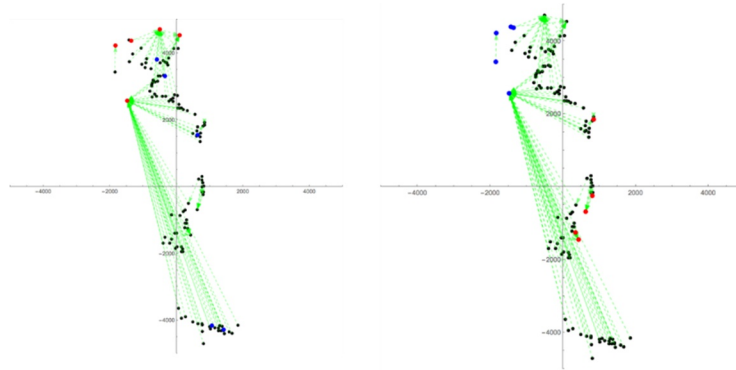


図12．三浦半島西岸のアワビの生息場所パッチをXY座標として相対配置した図  
 黒丸が各磯根を示す。左図は各磯根のうち、最もアワビ幼生の加入が多かった上位5パ  
 ッチを赤丸で、下位5パッチを青丸で示している。右図は各磯根のうち、最も移動成功  
 率（各磯根の親貝から放出されたアワビが、いずれかの磯根に着底成功する確率）が  
 高かった上位5パッチを赤丸で、下位5パッチを青丸で示している

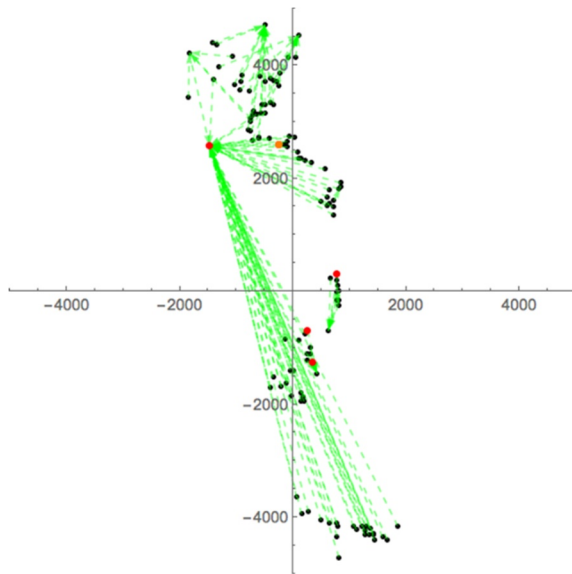


図13．三浦半島西岸のアワビの生息場所パ  
 チのうち、シミュレーションによって稚貝場造  
 成によるアワビ資源回復効果が最も高くなると  
 予測された上位5パッチ（赤丸で示す）

### 3) 成果活用における留意点

エゾアワビおよび藻場の再生産ネットワーク構造の解明と再生による資源造成技術  
 の開発

全ての回復藻場ではないが、その中で密漁監視が可能で、藻場形成条件が満たされてい  
 る場所を選定し、再生産用親貝藻場としてエゾアワビの成長や成熟を保障するような漁場  
 の配置および漁業管理を検討する必要がある。

北海道日本海沿岸では、ウニ類漁業が終了する9月に沖から主にキタムラサキウニを浅所の漁場へと移殖しているが、餌用の藻場を作る場所と次の年の漁獲資源となるウニ類を維持する場所を分けて計画的に漁場を活用する必要がある。

#### 暖流系アワビ類生息域における漁場環境修復による資源再生技術の開発

野外実験によるタイプ別藻場の機能評価について、今回の野外実験では、網囲いによる光条件の悪化により海藻の現存量が実際の藻場よりも小さかった可能性が高い。また、クロアワビに関しては、野外実験において死亡率が高く、明瞭な結果が得られなかった。

造成藻場が有する機能の検証について、実験当初はヨレモクモドキによる春ガラモ場の機能の推定を目指したが、実験途中でマクサが優占する小型海藻藻場へと変わったため、春ガラモ場の機能推定はできなかった。また、今回の結果は、多数の種がある小型海藻のうち、マクサからなる藻場の結果であり、ほかの種類の小型海藻の場合には異なる可能性もある。

空間明示型モデルの作成と藻場の変遷の影響推定について、野外個体群の生態特性と生息場所の質を反映したパラメータはモデル上での計算を単純化するために平均値を用いるか、単純な相関関係を仮定している。そのため、現場の殻長サイズの生息場所によるばらつきや詳細な成長曲線などは反映できていない。例えば藻場タイプによってアワビ局所個体群のサイズ組成が大きく異なるような場所では、結果は異なる可能性もある。また、藻場のアワビ個体群収容力（単位面積当たりのアワビ生息可能個体数）は、藻場の餌料価値だけではない、様々な要因が作用した結果である野外での密度を利用しているため、本当の意味での個体群収容力を示していない可能性もある。

藻場再生後の資源回復技術の開発について、小型海藻による飼育ではメガイアワビが成熟しなかったが、小型海藻は多くの種からなり年による種構成の変動も大きいことから、異なる種からなる小型海藻藻場でも成熟しないのか確認が必要である。クロアワビの春ガラモ場での成熟は塩蔵ワカメを春ガラモ場の繁茂期のみ給餌し、それ以外を無給餌で飼育した結果であり、実際に春ガラモ場構成種による給餌実験により確認する必要がある。

#### アワビ類の再生産過程におけるボトルネックの特定とその解消技術の開発

本課題の調査地とした相模湾沿岸の岩礁域では、本課題の進行過程で磯焼けが発生した。本課題は、藻場が良好に保たれている岩礁漁場でのアワビ類の生活史ボトルネック解消を目指したものであることから、本課題の成果活用においては、磯焼けが起きていない岩礁漁場を対象としていることに留意する必要がある。

### 4) 今後の課題

#### エゾアワビおよび藻場の再生産ネットワーク構造の解明と再生による資源造成技術の開発

広域からアワビを採集して、その筋肉含水率からアワビの餌料環境を評価することで、栽培漁業における放流適地や、公共事業による藻場回復効果範囲の推定が可能となる。しかし、現在の手法ではアワビを殺さないで筋肉含水率を求められないため、漁業者の同意は得にくいことと、大量のサンプル処理には労力を要する。そのため、生きた状態で簡便に筋肉含水率を測定する手法の開発が必要となる。

#### 暖流系アワビ類生息域における漁場環境修復による資源再生技術の開発

野外実験によるタイプ別藻場の機能評価について、海藻の現存量を高め、クロアワビの生き残りを高くする方策を行って各藻場の機能を実証する必要がある。

造成藻場が有する機能の検証について、今回、実証できなかった四季ガラモ場、春ガラモ場に属する造成藻場において、クロアワビとメガイアワビの成長、成熟を確認する必要がある。

空間明示型モデルの作成と藻場の変遷の影響推定について、今回は検証できなかった各藻場タイプのアワビ生息可能個体数を精査し、各藻場のアワビ収容力を精査してモデル計算に反映させる必要がある。

藻場再生後の資源回復技術の開発について、異なる構成種の小型海藻でもメガイアワビが成熟しないのか確認する必要がある。またクロアワビについて飼育実験や放流後の追跡により、春ガラモ場、小型海藻藻場での成長、成熟を確認する必要がある。

アワビ類の再生産過程におけるボトルネックの特定とその解消技術の開発

磯焼けの原因究明と藻場の回復を進めることでアワビ類親貝場の機能を先ず向上させることが今後の課題として挙げられる。その上で稚貝生息場の造成を進めることで、再生産過程におけるボトルネック解消へとつながると考えられる。

中課題番号	13406073	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	3	研究期間	平成25～29年度
中課題名	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		
小課題名	3 生態系ネットワークと景観の再生によるカレイ類の資源回復・生態系修復技術の開発		
小課題責任者名・研究機関	堀 正和・国立研究開発法人水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所		

#### 1) 研究目的

本研究の対象海域となる瀬戸内海および東京湾では、カレイ類の主要魚種であるマコガレイについて産卵場所、稚魚の発生場所、成魚の漁場など、いくつかの海域で個々の生活史段階の生息環境となる場所が明らかにされている。その一方、稚魚期から成魚にいたる移動分散に関わる情報、特に県をまたぐ移動分散やあるいは湾・灘単位等の広域な移動分散に関する知見がほとんど欠如している。そのため、カレイ類の生態系ネットワーク構造を把握・評価できる新しい技術開発が必要である。そこで(1)第一の研究目的として、カレイ類の5つの生活史段階(卵、仔魚、稚魚、未成魚、成魚:図1)のうち、主に未成魚・成魚期において個々の生息場所をつなぐ移動分散の経路の評価を可能にするバイオテレメトリー技術、生態系ネットワーク構造の空間範囲や集団サイズの評価を可能にする遺伝子解析技術、主に稚魚期の移動分散の評価を可能にする安定同位体比分析技術、仔魚期の移動分散の評価を可能にする海洋物理モデルを用いたシミュレーション技術の開発、それらを統合して生息場所間の結合度と生息環境との関連解析を行うための三次元GIS技術を対象とした研究開発を実施する。

対象海域のうち、東京湾ではその閉鎖的環境を生かし、カレイ類の生活史コホートの継続追跡等の知見が得られている。特にマコガレイに関しては多くの知見が得られているものの、各生息場所間での生活史循環に伴う移動分散の経路網やその規模に関する情報がまだ不十分であり、生活史全体を通じた資源管理を行うまでに至っていない。生活史循環のどの段階で生残と死亡率が資源量に最も影響するかなど、再生産の阻害要因等に関する知見が不足している。もう一方の対象海域である瀬戸内海では、カレイ類の主要魚種であるマコガレイを対象に、周防灘、燧灘、播磨灘などいくつかの灘において、産卵場所、稚魚の発生場所、成魚の漁場など、個々の生活史段階の生息環境となる場所が断片的にいくつか明らかにされている。その一方、各生息場所間での生活史循環に伴う移動分散の経路網やその規模に関する情報がまだ不十分であり、東京湾と同様に生活史全体を通じた資源管理を行うまでに至っていない。特に、調査海域(灘)間で生じる移動分散に関する情報が欠如している状態である。そこで(2)第二の目的として、対象海域の東京湾および瀬戸内海において、カレイ類が生活史を通じて利用する生態系ネットワーク構造とその空間範囲を詳細に把握し、資源回復の妨げとなっている生活史段階とその阻害要因を特定するとともに、阻害要因の解消や環境修復を行うための再生手法を考案する。

最後に、対象海域で明らかとなった生態系ネットワーク構造を実際の資源管理や生息環境修復に直結させるためには、生態系ネットワークの空間構造を加味した新しい資源解析技術を開発し、生態系ネットワーク修復による資源回復への効果を検証することが必要となる。そこで(3)第三の目的として、対象海域で明らかになった生態系ネットワーク構造に基づき、毎年の資源解析で行われる標本船データをより広域な空間スケールで生活史段階別に評価する技術を開発すること、さらに生活史循環での移動分散経路と集団範囲などの空間構造を加味した新しい資源解析モデルを開発し、生態系ネットワークの修復による資源増強効果や、各海域に適した資源管理手法を導き出す解析技術手法を開発する。



図1. マコガレイを例としたカレイ類の生態系ネットワークの概略図

## 2) 研究成果

### (1) カレイ類の広域生態系ネットワーク評価技術の開発

カレイ類の移動分散の経路の評価を可能にするバイオテレメトリー技術の開発

#### 【目的】

未成魚および成魚の生活史段階において個体の移動経路・分布推定が可能なバイオリギングを含む総合的なバイオテレメトリー手法を開発する

#### 【方法】

成魚が産卵場へ移動する経路や浅場から深場へ移動する未成魚の経路など、数か月以内での比較的短い時空間スケールでのカレイの個体追跡に最適なバイオテレメトリー手法を考案する。

カレイ類の生息環境条件の計測や数か月以上の長い時空間スケールでの個体の移動経路の追跡に有効なバイオリギング手法を考案する。

#### 【成果】

カレイ類に関する生態・漁業情報が他海域より充実している東京湾のマコガレイを対象として技術開発を実施した。バイオテレメトリー手法の考案においては、マコガレイは日中はあまり動かないこと、その一方で季節的に長距離の生息地間移動を行うことから、短期間での個体追跡には受信機を船舶に搭載する追尾型のバイオテレメトリー手法を採用した(図2)。次に、考案した追尾型テレメトリーシステムの検証のために、東京湾においてマコガレイ成魚の体腔内に発信機を装着し、貧酸素から逃避するために内



湾北部の浅場から南部の深場へ移動する行動、その数か月後に北部へ再帰する移動する行動を追跡した。その結果、内湾中央部を経路として南北移動するマコガレイの追跡に成功した（図3）。

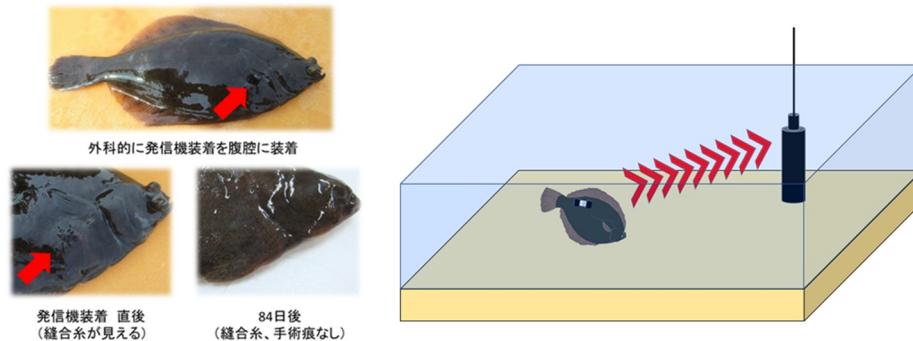


図2．カレイ類を対象としたバイオテレメリー手法の概略図。体腔内あるいは体表に発信機を装着し、その個体が受信機の範囲内（およそ半径200m）に入ると、IDと時刻が受信機に記録される方式

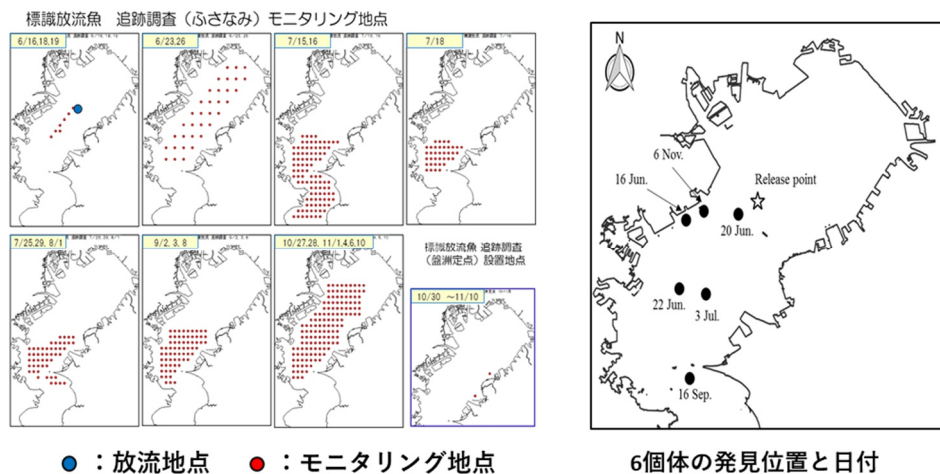


図3．東京湾での追跡結果。17個体に超音波発信機を装着し、6個体の位置を確認した。日付順に追いかけると、南北移動している経路が見える

バイオロギング手法の考案では、バイオテレメリーに用いた発信機と同じ大きさ・重量で、装着したカレイ個体が経験した水温と水深を約3～12か月にわたり記録できる記録計を製作した。記録計は装着した個体を再放流した後、漁業活動等で再捕獲される必要があるため、その採捕率を上げるために漁業者が容易に視認できる背側の体表上に固定する方法を考案した。バイオロギングの検証は東京湾、瀬戸内海東部、西部それぞれの調査海域で実施したところ、数日間（再放流後、数日後に漁獲されてしまった）から約1年間の生息環境の記録に成功した。その記録データを解読したところ、すべての海域において、マコガレイは自身に適した水温帯（夏期：20～23、冬期：10～13）にとどまれるよう、日々生息水深を大きく変えていることが明らかとなった（図4）。この記録データのうち、水深データと対象海域の潮汐データを用いた解析により、長期間での移動経路の把握にも成功した。東京湾では内湾個体は内湾の産卵場、内房の

個体は内房の産卵場といったすみわけがあると考えられていたが、このデータ解析により、内房に生息する個体も内湾へ産卵のために北上し、また内房へ回帰していることが明らかとなった(図5)。

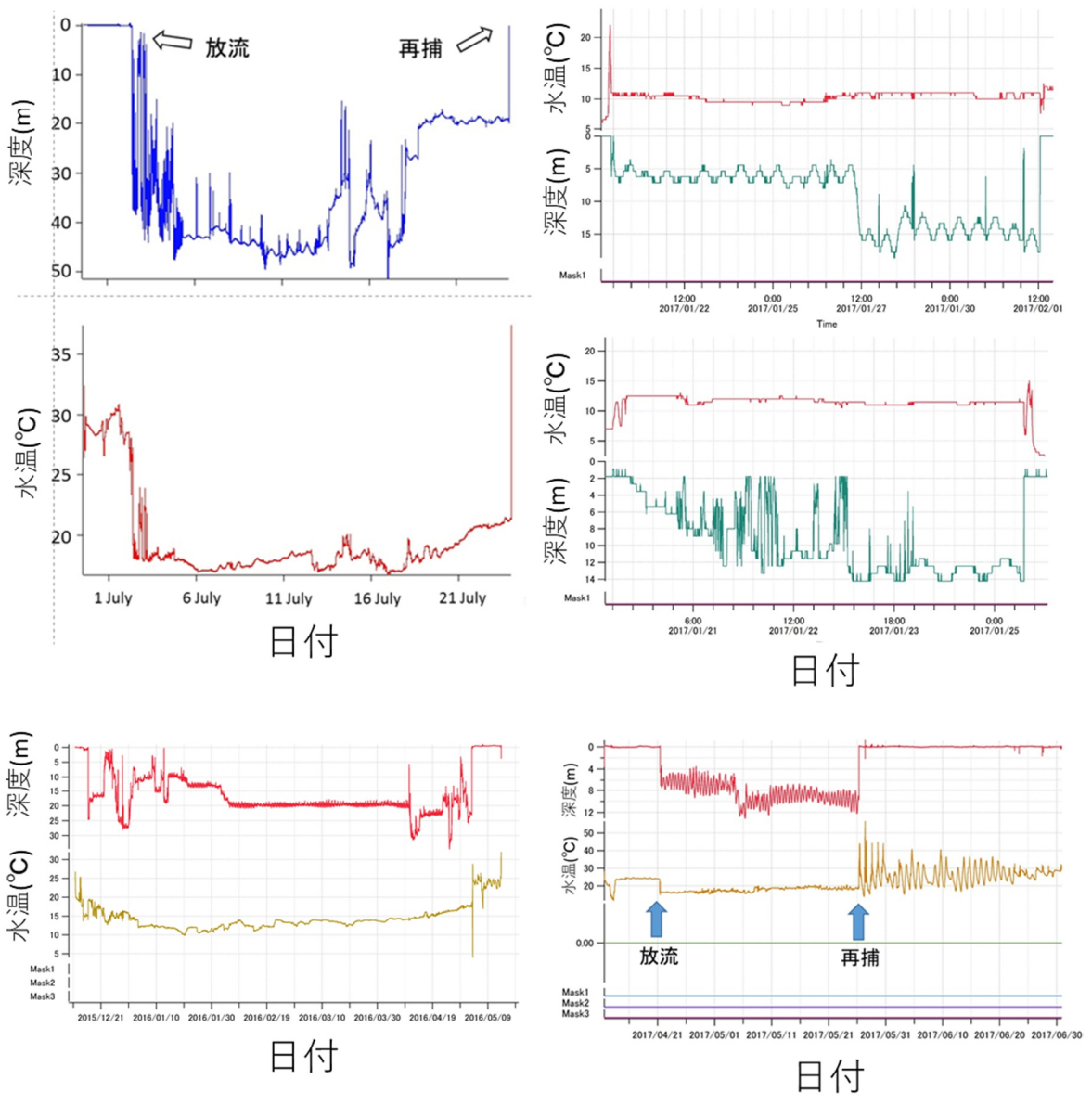
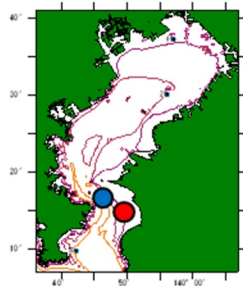


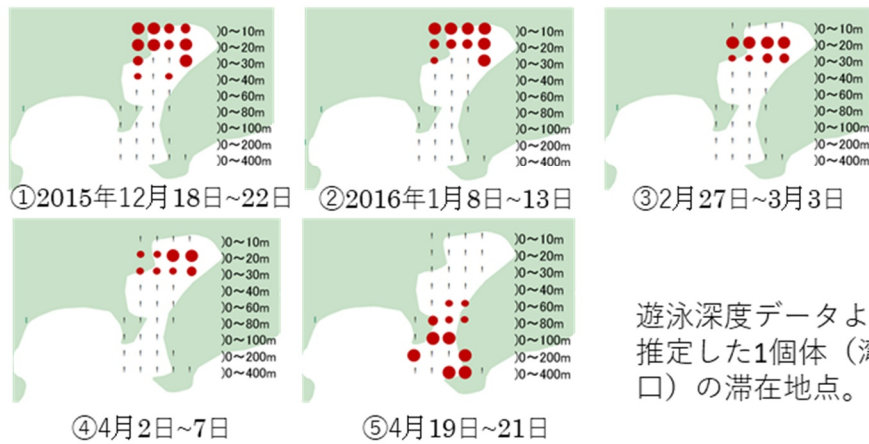
図4 . バイオロギングデータ。東京湾（左側）と瀬戸内海（右側）すべての記録計において、水深が大きく変動しているのに対し、水温はほとんど変化していない



● : 捕獲・放流  
● : 再捕獲



マコガレイ1個体（湾口）の移動（左図）と同個体の遊泳深度および経験水温（右図）



遊泳深度データより推定した1個体（湾口）の滞在地点。

図5．東京湾の内房で放流・再捕された個体の口ガーデータを用いた分布と移動推定の結果

### カレイ類の生態系ネットワーク構造の評価にむけた遺伝子解析技術の開発

#### 【目的】

カレイ類の生態系ネットワーク構造の空間的広がり和生活史段階間のネットワークを解明するための遺伝子解析手法を開発し、東京湾および瀬戸内海のマコガレイを対象とした解析を実施する。

#### 【方法】

マコガレイを対象とした遺伝子解析用に新しいマイクロサテライト DNA マーカーの開発および解析手法の開発を実施する。次に開発したマイクロサテライト DNA マーカーと遺伝子解析手法を用い、東京湾及び瀬戸内海のマコガレイ成魚を対象とした解析による局所集団の把握を実施する。その後、仔魚や稚魚集団とその産卵親魚集団の関係から生態系ネットワーク構造の空間的広がりの推定を実施する。

#### 【成果】

東京湾産（24個体）、瀬戸内海産（山口産：40個体、香川産：24個体）のマコガレイを試料とし、次世代シーケンサーによる解析の結果、39遺伝子座のマイクロサテライトDNAマーカーの開発に成功した。

このうち多様性の高い36マーカーを用い、瀬戸内海全域のマコガレイ成魚の試料を用いて瀬戸内海集団内の遺伝的近縁度及び集団間距離の指標を計算した結果、瀬戸内海のマコガレイは備讃瀬戸およびしまなみ海道を境界に大阪湾・播磨灘集団、燧灘集団、広

島湾・伊予灘・周防灘、の3つの集団に大別され、このうち燧灘集団は大阪湾・播磨灘集団と広島湾・伊予灘・周防灘集団との遺伝的類似度（仔魚分散等の遺伝子流動による）が年によって変化することが明らかとなった(図6)。ただし、山口東産の種苗放流を行っている大阪湾・播磨灘集団は距離が離れた広島湾・伊予灘・周防灘集団とも遺伝的距離が近くなる傾向があった。一方で東京湾では、富津岬より北側の内湾集団および南側の内房集団で産卵場が異なるとの情報から遺伝的に分化している可能性が考えられたが、今回のマイクロサテライトDNAマーカーを用いた解析では分化は確認されなかった。

最後に調査海域の大阪湾、燧灘、伊予灘・周防灘において、ある年の稚魚集団の個体が前年のどの成魚（産卵親魚）集団に帰属するか、帰属性解析を実施した結果、大阪湾の稚魚の少なくとも17 - 48%は大阪湾の産卵親魚から、16 - 20%は播磨灘の産卵親魚に帰属することが明らかになった（図7）。燧灘では、稚魚のうち55%は燧灘の産卵親魚、9%が播磨灘の産卵親魚、15%が広島湾・伊予灘の産卵親魚に帰属した。また、周防灘の稚魚の23%は周防灘の産卵親魚に帰属し、15%が別府湾、11%が広島湾、8%が伊予灘の産卵親魚に帰属する結果となった。

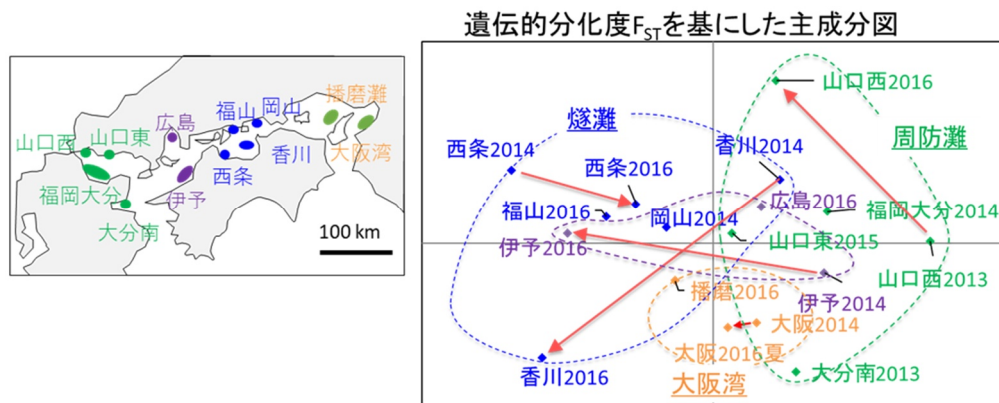


図6．瀬戸内海全域を対象としたマコガレイ成魚の遺伝的集団解析の結果。各色の点線が集団の範囲を示している。香川と伊予の集団が異なる灘集団間を大きく移動している様子（矢印）がわかる

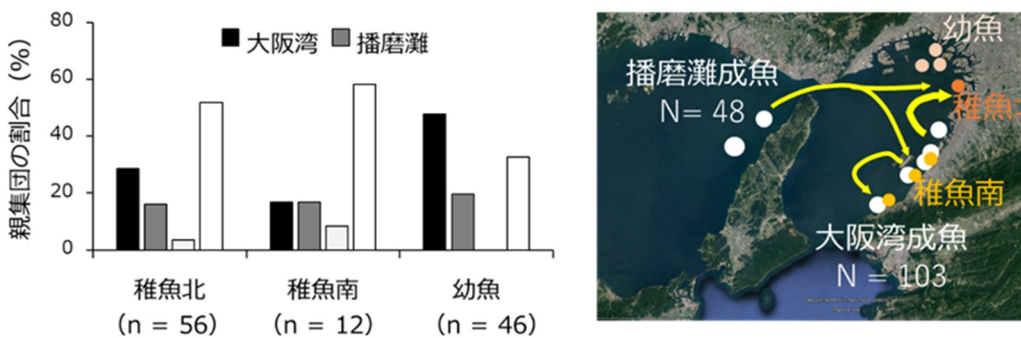


図7．アサシメントテストによる親集団への帰属性解析の結果。大阪湾北部の稚魚と幼魚、南部の稚魚ともに大阪湾と播磨灘両方の親集団の寄与がある

生態系ネットワーク構造を評価にむけた安定同位体比分析技術・海洋物理モデルを用いたシミュレーション技術・三次元GIS技術の開発

#### 【目的】

主稚魚期の移動分散の評価を可能にする安定同位体比分析技術、仔魚期の移動分散の評価を可能にする海洋物理モデルを用いたシミュレーション技術の開発、それらを統合して生息場所の分布と水質環境との関連解析を行うための三次元 GIS を用いた解析技術を開発し、対象海域においてその実証を行う。

#### 【方法】

稚魚期の移動分散の評価においては、稚魚が利用する生息場所の有機物（餌）と稚魚の体内に存在する炭素・窒素安定同位体比の関係から、稚魚の移動経路を推定する手法を開発し、東京湾のマコガレイ稚魚を対象とした移動分散推定を実施する。

仔魚期の移動分散の評価においては、海洋物理モデルを用いたシミュレーション方法を考案し、海水の流れに乗って仔魚が移動分散する過程を再現した。この手法を用いて、大阪湾を対象に仔魚分散推定を実施する。

GIS を用いた解析技術の開発では、他の課題で収集された情報のうち、各生活史段階の分布情報、生息環境情報（水深・水温・塩分など）を収集するデータベースを構築する。このデータベースを利用し、瀬戸内海におけるマコガレイの生態系ネットワーク構造のボトルネックを生じさせる高水温海域の時系列変遷、ボトルネックの解消に有効なアマモ場や海底の湧水域（伏流水）の有無について解析を実施する。

#### 【成果】

マコガレイ稚魚は底泥中の有機物を利用して迅速に再生産している小型の無脊椎動物を餌とするため、マコガレイ稚魚の体内の炭素安定同位体比はその場所の有機物が持つ炭素安定同位体比を反映する。この特徴を利用して、対象海域の底泥中の有機物の分布を GIS で空間マッピングし、そのマップ上に現場海域で採集された地点別にマコガレイ稚魚を重ね合わせ、その地点間の連結度を炭素安定同位体比の転換効率から計算する ISOSCAPE 法を開発することに成功した。東京湾を対象に、この手法を用いて湾奥に着底した稚魚が未成魚の生息場所である湾口部へ移動する経路を推定したところ、その経路は東京湾の西部（東京都側）の浅場と東部（千葉県側）の浅場を通る 2 経路が確認され、最終的に未成魚の生息場所へ到達できた個体のうち、91.1%が東部沿岸経由、残りの 8.9%が西部沿岸経由であるとの結果が得られた（図 8）。

Princeton Ocean Model をベースに水産工学研究所で開発された瀬戸内海の沿岸数値モデルを用い、このモデル上にマコガレイの仔魚の生態情報を載せた粒子を流してシミュレーションを実施した。シミュレーションでは時系列を逆にして時間をさかのぼることにより、稚魚の生息場所から放出した粒子がどこから流れてきたのか、その場所の推定する手法を開発した（産卵場の探索）。また、時間軸を順方向にとるシミュレーションでは、マコガレイ仔魚の移動経路とその着底先を予測する手法を開発した（稚魚期の生息場所への加入）。これらの手法を用いて大阪湾の仔魚を対象としたシミュレーションを実施した結果、大阪湾の仔魚のうち数割が播磨灘から移入してきた個体であることが明らかとなった（図 9）。この結果は、(1) の遺伝子解析で大阪湾の稚魚の少なくとも 16 - 20%が播磨灘由来という結果にも一致した。

作成した GIS データベースのうち、瀬戸内海各府県の浅海定線調査による底層水温の分布状況の時系列変遷を解析したところ、マコガレイの資源状態が良好であった 1993

年、減少傾向にシフトした 2003 年、大幅な減少傾向となった 2013 年に時間が進むにつれ、夏期の底層水温が確実に上昇しており、9 月平均では目的 ( 1 ) で明らかとなったマコガレイの夏期の好適水温 ( 20 ~ 23 ) を示す海域面積が減少していることが明らかとなった ( 図 10 )。特に、備讃瀬戸、燧灘、周防灘の海域は好適水温の海域が殆ど消滅していた。また、この高水温対策として有効である可能性が目的 ( 2 ) によって示された海底湧水域について、集水域 ( 地上 ) の傾斜・形状からその有無を判断する手法 ( 清水・小野寺・齋藤 2009 ) を応用し、瀬戸内海全域での海底湧水量の多寡を評価することに成功した ( 図 11 )。

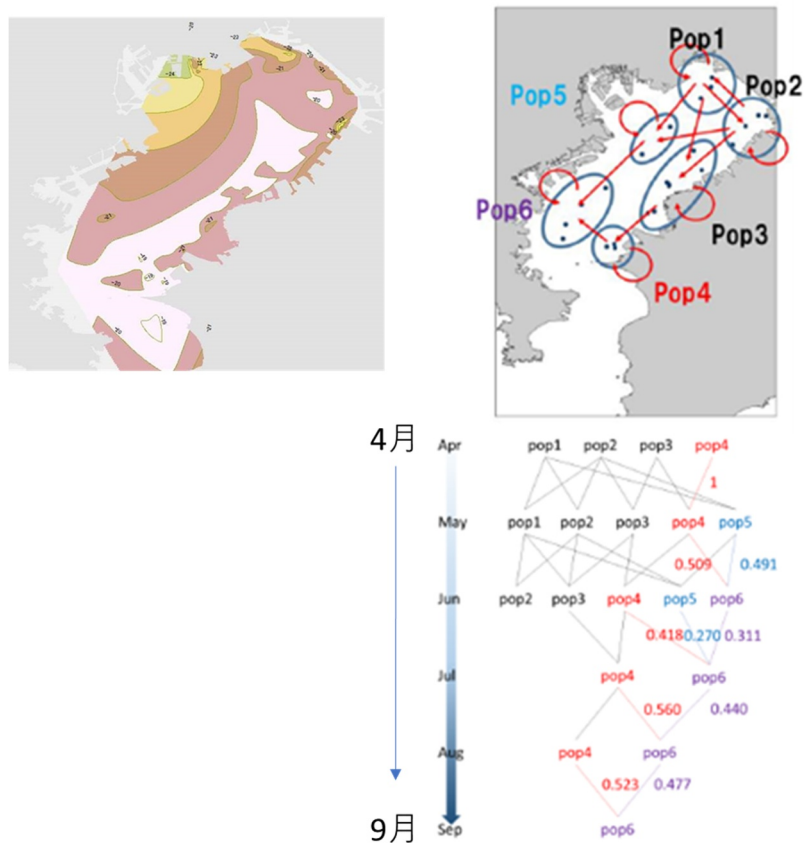


図8．炭素安定同位体比による稚魚の移動経路の推定手法。ベースとなる底泥中有機物の炭素安定同位体比の分布 ( 左図 ) と、稚魚の最終地点間の移動経路の推定 ( 右図 )。着底後すぐの場所 ( Pop1およびPop2 ) から、未成魚の生息場所 ( Pop6 ) まで、4月から9月までの期間でどの経路を通過したか、計算する

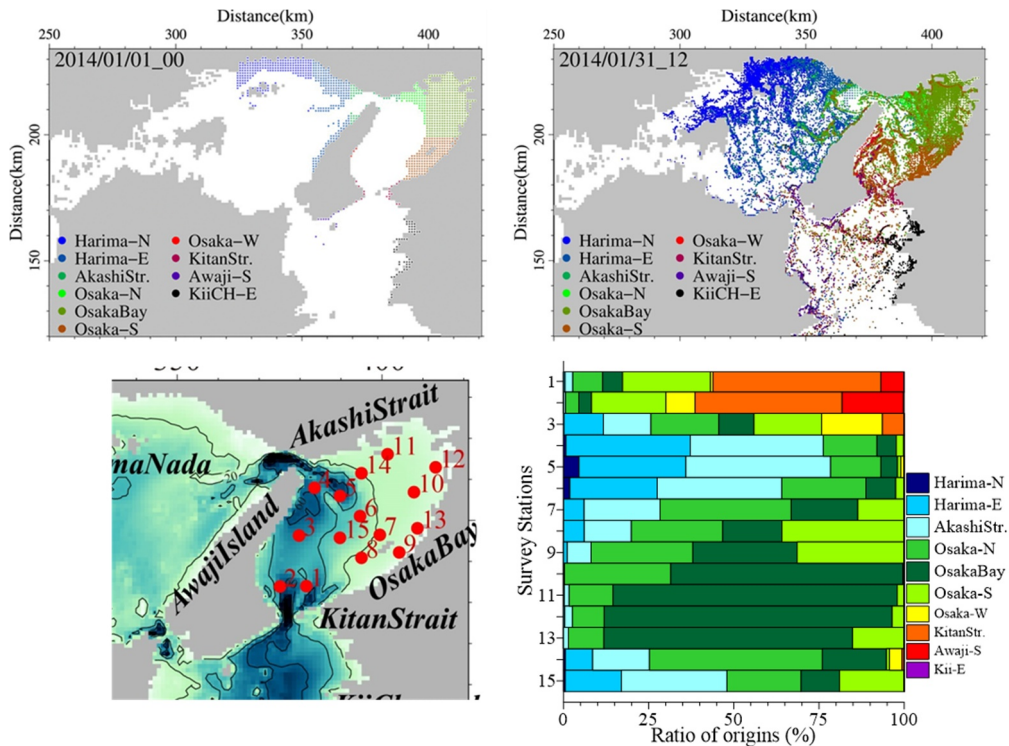


図9．各産卵場での産卵量を一定と仮定した場合の、モデルシミュレーションによる仔魚の帰属性解析の結果。仔魚に見立てた粒子の出発点（上左図）および14日後の粒子の分散状態（上右図）。その粒子の分布を各調査地点（下左図）別に割合で示した（下右図）。色が各海域を示している

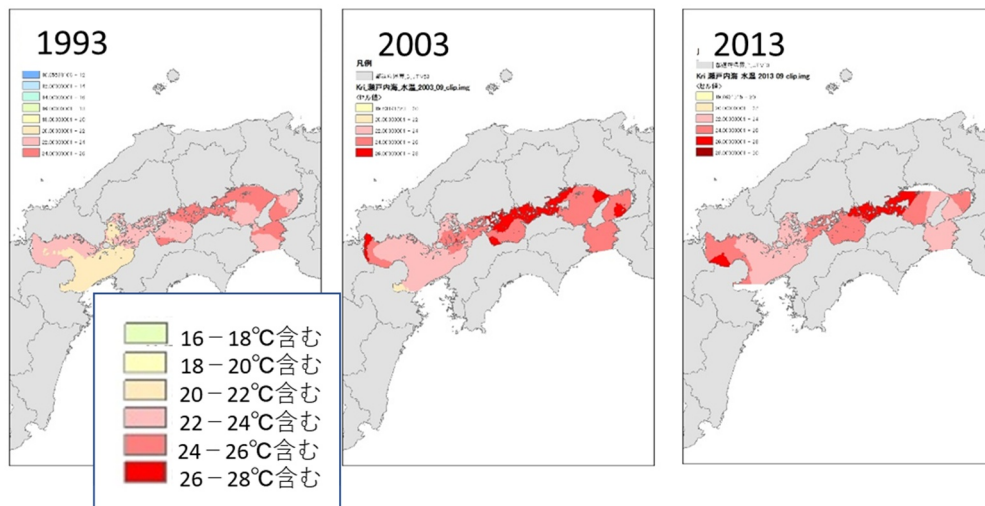


図10．各府県の浅海定線データよりGIS上で計算した9月の底層水温の空間分布

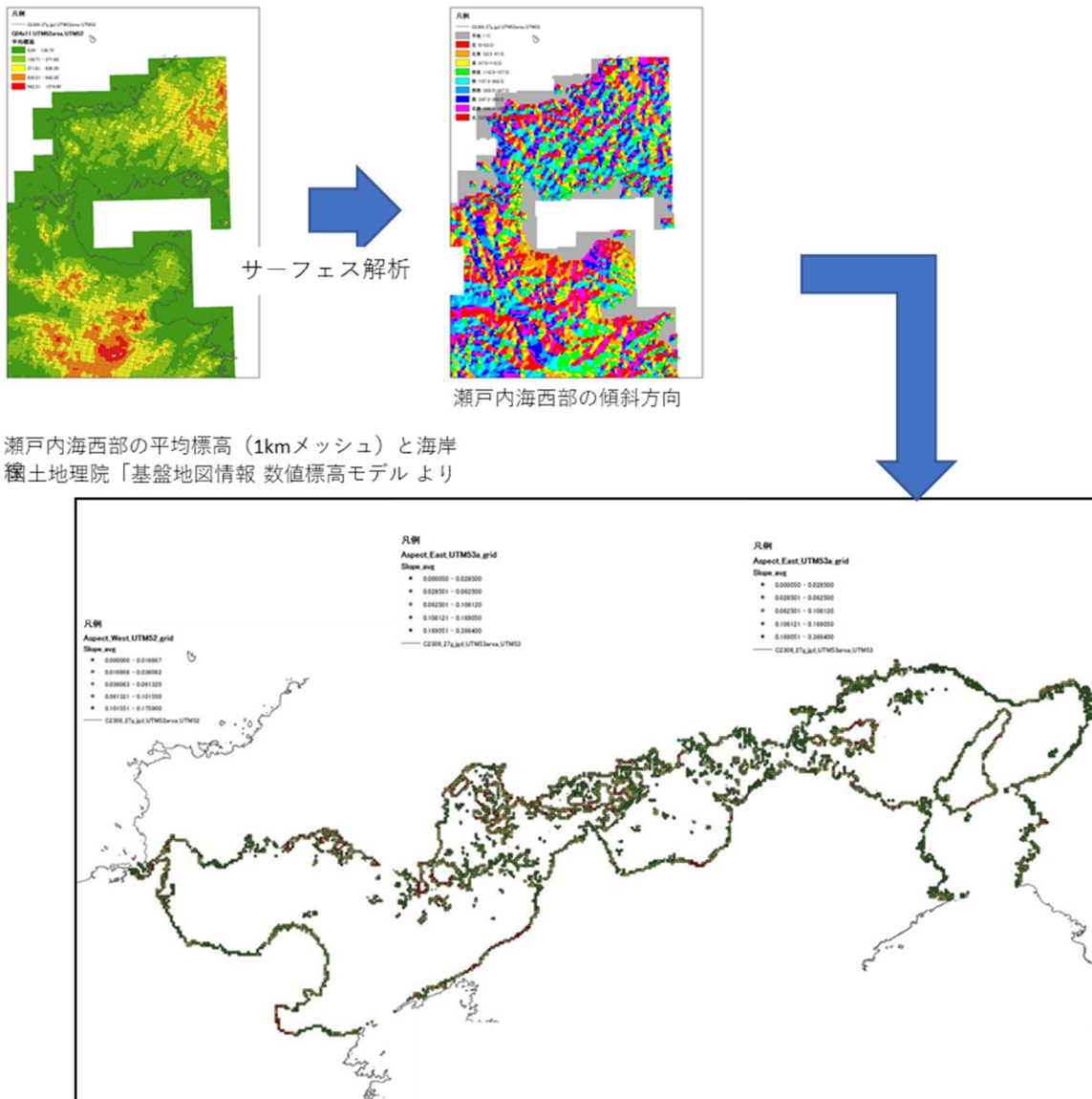


図11 . GISを用いた海底湧水域（伏流水海域）の分布推定。瀬戸内海沿岸一帯で推定結果を得ることができている。赤色が強い海岸線ほど、伏流水が多いことを示している（下図）

## （2）カレイ類の生態系ネットワーク再生手法の確立

重点海域におけるカレイ類の生態系ネットワーク構造とその空間範囲の探索

### 【目的】

東京湾および瀬戸内海において、カレイ類の生活史循環に利用する生態系ネットワーク構造とその空間範囲を解明する

### 【方法】

東京湾の主要魚種であるカレイ類の各生活史段階の生息場所を整理し、生態系ネットワーク構造の現状を把握するために、産卵親魚、卵、仔魚、着底稚魚、未成魚の移動推定などを実施した

瀬戸内海の各海域においてカレイ類の各生活史段階の分布状況および生息場所の把握



を実施した。各府県の試験操業や市場調査により得られた情報にもとづいて、マコガレイを中心とする水産業上重要な異体類数種（マコガレイ、イシガレイ、メイタガレイ、ヒラメ）の魚種構成を把握した。可能な限り統一的漁法によって年間を通じて得られた情報を抽出することにより、漁獲される主要異体類の種構成にみられる特性、漁獲実態を海域間で比較した。最も重要な漁獲対象の1つであるマコガレイ（1才魚以上中心）の各海域における漁獲時期を把握するために、2014年1～12月の市場調査、試験操業等による魚体データを解析に用いた。

【成果】

東京湾では、湾奥、神奈川県側の内湾南部、内房など産卵親魚が漁獲される海域が数か所あり、産卵盛期も異なっていた。2012年には湾奥、東京港で天然卵が採取され、産卵場が確認された（図12）。マコガレイ仔魚は1、2月を中心に、湾奥部で採集された（図12）。マコガレイ稚魚は春期に湾奥部に多く分布したが、夏期には分布の中心域が南部へ移動した。

大阪府、岡山県、山口県、香川県、愛媛県、福岡県、大分県において、市場調査、試験操業、潜水観察等を含む延べ1、160回の調査を実施し、主要異体類4種（マコガレイ、イシガレイ、メイタガレイ、ヒラメ）合計19、693個体の魚体データを入手した。主要4種に占めるマコガレイの割合は7府県全体で43.8%（8、627個体）であり、大阪、岡山、山口、香川、愛媛、福岡、大分においてそれぞれ49.7、35.6、31.5、9.0、57.1、23.8、67.5%を占めた（図13）。マコガレイ漁獲指数の季節変動は府県および海域間で異なり、愛媛(垣生)で2月、山口(防府)で4月、大阪(泉佐野)で5月、岡山(西部海域)で7月（ただし、漁獲対象とされない当歳魚）、愛媛(北条)で10月、香川(坂出・燧灘)・福岡(行橋)・大分(宇佐)で12月に最大となった（図14）。ほとんどの海域において高水温期（7-9月）における漁獲尾数が少ない点は他年の解析結果とも共通していた。

これらのデータに加え、第一の目的として開発した生態系ネットワーク解明のための各技術による取得データを統合することで、各海域の生態系ネットワーク構造が解明された（東京湾：図15、大阪湾：図16、燧灘：図17、周防 伊予灘：図18）。

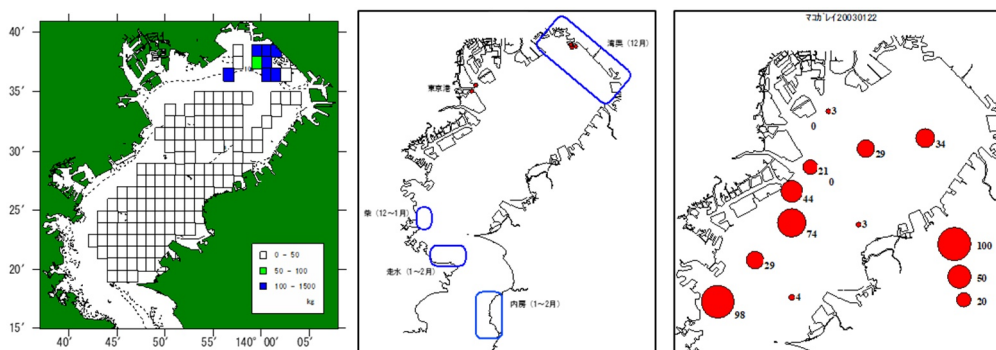


図12．重点海域（東京湾）におけるマコガレイ標本船調査の結果（12月：左図）、推定された親魚の分布海域（中央：青線）、海底で卵が採集された地点（中央：赤）、および湾北部における浮遊仔魚の分布（右）

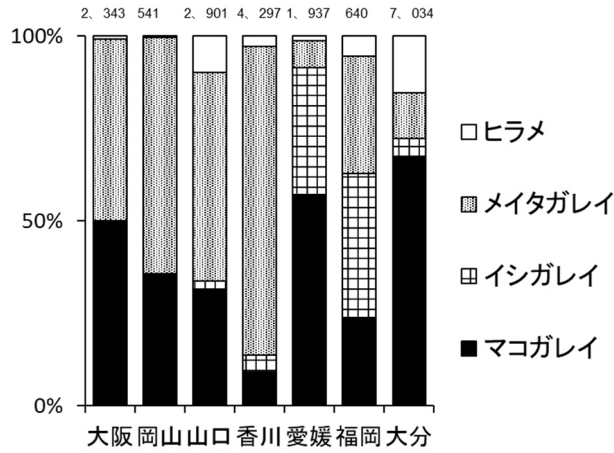


図 13．各府県において市場調査、試験操業等により魚体データを入力した主要魚種の構成割合（2014年1～12月の合計）。数字は全長測定を実施した主要魚種の合計尾数を示す

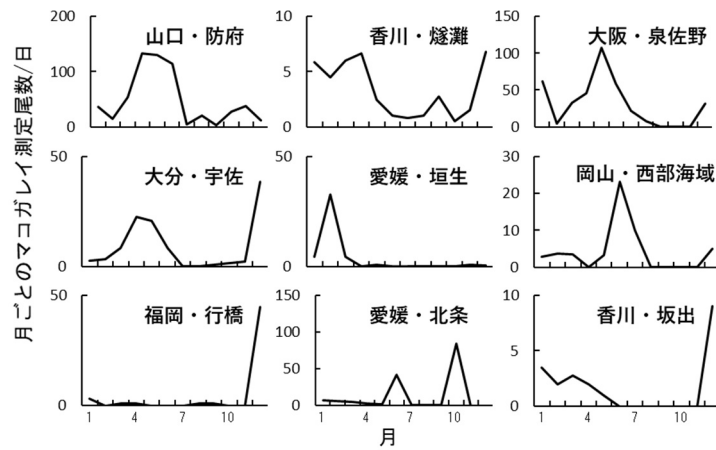


図 14．各府県の主要な漁場における 1 日あたりのマコガレイ測定尾数の季節変化。いずれの海域においても 2014 年 1～12 月のデータを月ごとに集計した

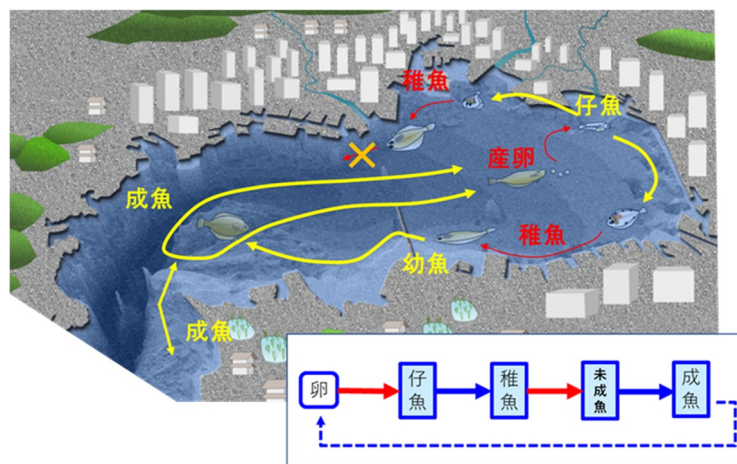


図 15．東京湾のマコガレイ生態系ネットワーク構造の概略図。東京湾のマコガレイは東京湾内で隔離されており、湾外の個体群からの移出入がない

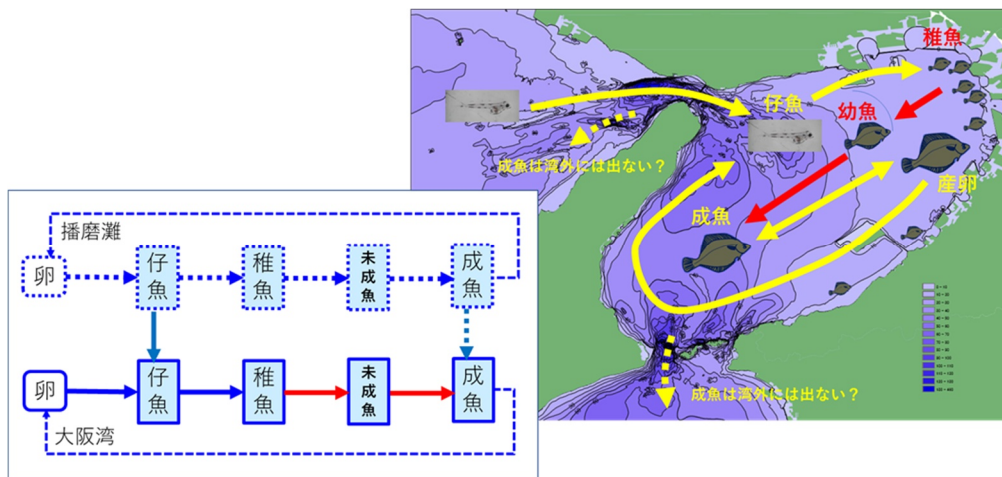


図 16 . 大阪湾のマコガレイ生態系ネットワーク構造の概略図。浮遊仔魚の数割が播磨灘から流入していること、夏場に播磨灘から成魚も移入している可能性が示唆されている

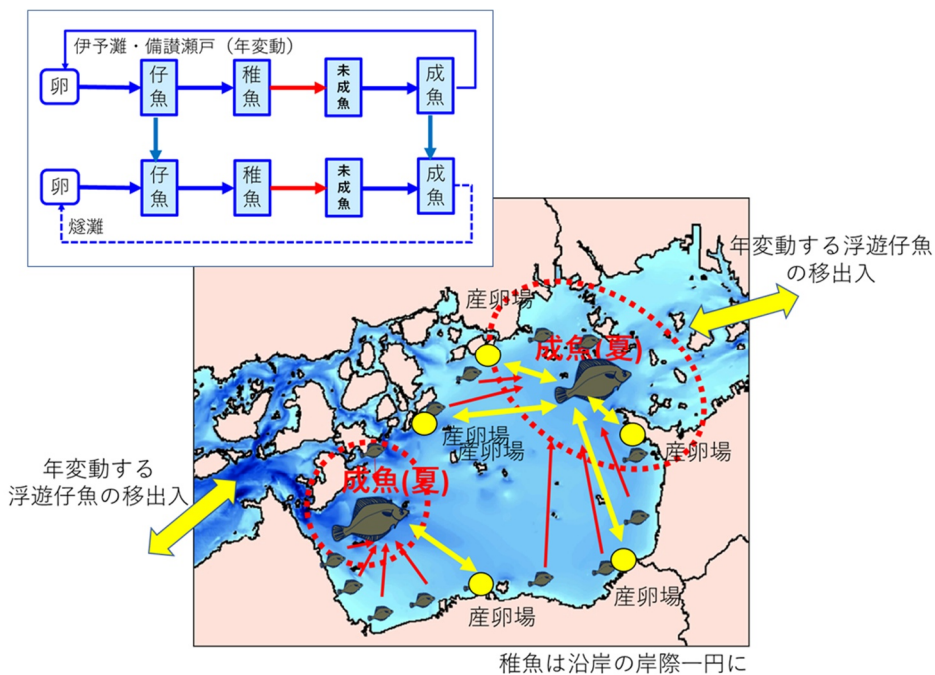


図17 . 燧灘のマコガレイ生態系ネットワーク構造の概略図。成魚は各産卵場と西部、東部の水道部に近い深場を季節移動する。稚魚は沿岸一帯に着底するが、成長に伴い成魚の分布域へ移動する。浮遊仔魚は備讃瀬戸と移出入する場合と、伊予灘と移出入する場合が年によって異なる

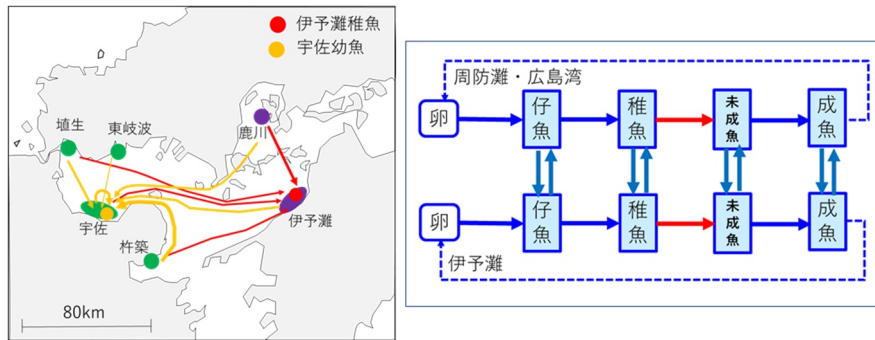


図 18 . 周防灘・伊予灘のマコガレイ生態系ネットワーク構造の概略図。広島湾を含め、すべての生活史段階で伊予灘・別府湾と周防灘・広島湾は相互に移出入が生じていることが明らかとなった(右図)。その例として、遺伝子解析では宇佐地域の稚魚は鹿川(広島湾)、伊予灘、杵築(別府湾)、東岐波、埴生の親魚から生まれた個体の集団であり、伊予灘も同様に広島湾、周防灘、別府湾の親魚から生まれた個体の集団とみなせる

#### - 1 資源回復の妨げとなる阻害要因の解明：高水温

##### 【目的】

東京湾および瀬戸内海において資源回復の妨げとなっている生活史段階(稚魚期)と想定される阻害要因(高水温)の影響を解明する。

##### 【方法】

東京湾のマコガレイ稚魚は春季に千葉県沿岸に分布し、成長に伴い沖合・南部に移動することが既往知見により明らかにされている。沿岸部では夏季に大規模な貧酸素水塊が発生し、稚魚の分布と重なるため、へい死することが予想されるが、実態は不明であった。そこで、底層水温分布がマコガレイ稚魚の分布密度へ及ぼす影響について検討した。なお、マコガレイ稚魚の分布密度(個体/100 m<sup>2</sup>)は、千葉水総研セ、国環研、千葉県の底びき網漁業者が3~12月に毎月南北に分けて25調査点で実施した稚魚調査結果を用いた。各月の分布密度データを調査点ごとに線形補間して日別のデータを作成した。日別の底層水温の分布は、生態系モデル(千葉水総研セの「東京湾貧酸素水塊分布予測システム」)の解析結果から抽出し、稚魚分布密度の日別データと重ねて比較した。

瀬戸内海において、資源のボトルネックとなっている要因として着底稚魚~当歳魚が遭遇する高水温に着目し、瀬戸内海中央部(広島県沿岸域の干潟)におけるマコガレイ稚魚の分布密度と水温の関係を解析した。

さらに、高水温がマコガレイ稚魚の成長に与える影響を飼育実験により評価した。山口県下松市栽培センター産の人工種苗を6区の水温(8-20 )で1週間、個別に飼育した。飼育期間中は給餌量を記録し、1週間の体長・体重の増加量、摂餌量、餌料転換効率を算出した。

##### 【結果】

東京湾の底層水温は、鉛直混合期から成層期に移行する春季には、北部・沿岸で低く南部・沖合では高かった。一方、表層水温が上昇し成層する6~7月頃には、底層水温は北部の沿岸域で高く、逆に沖合の深場の方が低くなった。稚魚は水温が低い海域に移動する傾向がみられ、春季に沿岸に分布した稚魚は、夏季には底層水温が低下した沖合の深場に移動するものと推察された(図19)。

広島県沿岸域において、マコガレイ稚魚は水温 20 以上の条件下では採集されなかったことから（図 20）、水温 20 を上回る時期には干潟から沖合のより深い海域へ移動しているものと推察された。

飼育実験では、実験期間中の成長（体長および体重の増加量）、摂餌量、餌料転換効率、いずれも水温 20 で高い値となった（図 21）。

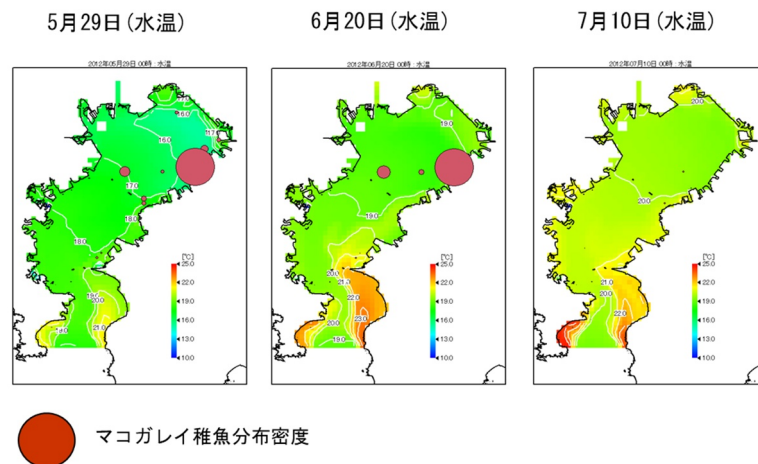


図 19 . 東京湾における 5、6、7 月の底層水温とマコガレイ稚魚の分布。水温が 20 度を上回る 7 月にはマコガレイ稚魚の分布密度が急激に低下する

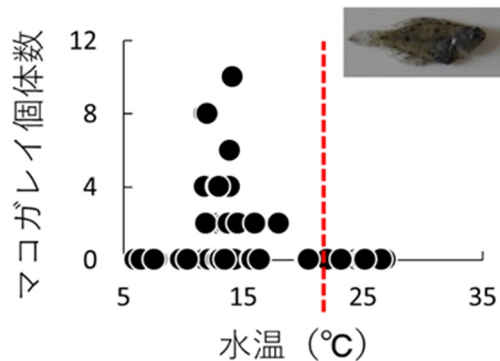


図 20 . 瀬戸内海(広島県竹原市)の干潟において 2014 年 2 月～2015 年 1 月に実施したマコガレイ稚魚の分布調査による水温と分布密度の関係。水温 20 以上ではマコガレイ稚魚が採集されなかった。赤色の破線は水温 20 を示す

- ・飼育魚を個別に飼育
- ・7日間
- ・約20°Cで最大成長

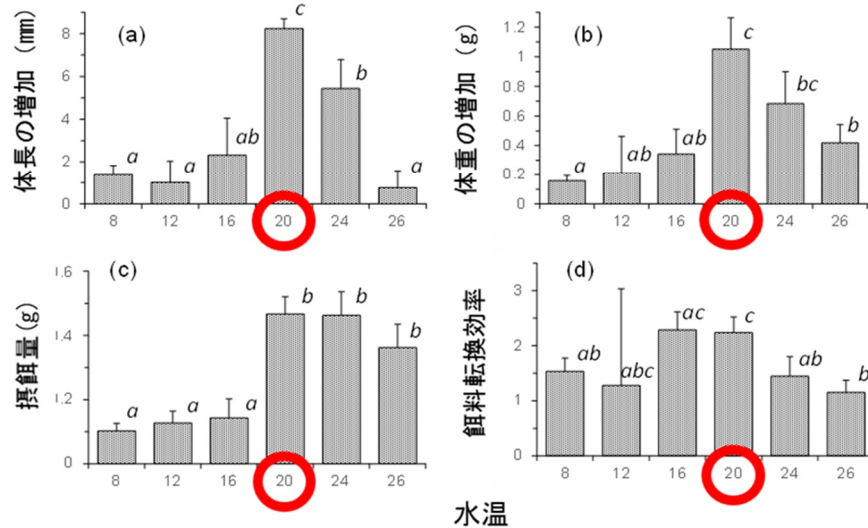
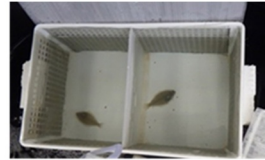


図 21 . 飼育条件下における水温とマコガレイの体成長(a)、重量成長(d) 、摂餌量(c) 、餌料転換効率(d)の関係

## - 2 資源回復の妨げとなる阻害要因の解明：貧酸素

### 【目的】

東京湾および瀬戸内海において資源回復の妨げとなっている生活史段階と想定される阻害要因（貧酸素）の影響を解明する。

### 【方法】

東京湾のマコガレイ稚魚は春季に千葉県沿岸に分布し、成長に伴い沖合・南部に移動することが既往知見により明らかにされている。沿岸部では夏季に大規模な貧酸素水塊が発生し、稚魚の分布と重なるため、へい死することが予想されるが、実態は不明であった。そこで、底層の溶存酸素濃度がマコガレイ稚魚の分布密度へ及ぼす影響について検討した。

マコガレイ稚魚の分布密度（個体/100 m<sup>2</sup>）は、千葉水総研セ、国環研、千葉県の底びき網漁業者が3～12月に毎月南北に分けて25調査点で実施した稚魚調査結果を用いた。各月の分布密度データを調査点ごとに線形補間して日別のデータを作成した。日別の底層DOの分布は、生態系モデル(千葉水総研セの「東京湾貧酸素水塊分布予測システム」)の解析結果から抽出し、稚魚密度の日別データと重ねて比較した。

瀬戸内海においては、資源のボトルネックとなっている要因として着底稚魚～当歳魚が遭遇する低酸素環境に着目し、重点海域の大阪湾において海底付近の溶存酸素濃度とカレイ類の分布に関する調査を実施した。とくに貧酸素水塊の発達が発達している夏期を中心とした時期における当歳魚の分布との関連を調査した。

さらに、飼育条件下において溶存酸素濃度がマコガレイ稚魚の生残に与える影響を評価した。山口県下松市栽培センター産の人工種苗（平均全長 38.6 mm）を 1、2、4 mg/L

および空気を飽和させた状態の計 4 区の溶存酸素濃度条件下で 20 L の密閉容器に 20 尾ずつ収容した。10、20、30 分後の生残率を 3 区の水温（15、21、27℃）で比較した。

#### 【結果】

東京湾の底層 DO は、春季には内湾全域で高いが、5 月以降は北部で低下が目立ち、DO 濃度 2.5mg/L 以下の貧酸素水塊の分布が拡大した。これに伴って、夏期には稚魚が沖合に移動するのが一般的傾向であるが（図 22）、2012 年には 7 月に貧酸素水塊の沿岸域への拡大が比較的急速に拡大し、沿岸に滞在した稚魚がよりへい死したと考えられた。以上より、マコガレイの稚魚の移動には水温が影響し、年による底層水温・DO 分布の差異が、生残を左右することが推察された。

大阪湾西部では調査期間を通じて海底付近が低酸素条件（底層の溶存酸素濃度が 3mg/L 以下）となることはなかったが、湾東部では低酸素条件の海域が 6 月～9 月に拡大し、マコガレイ当歳魚の分布密度が低下した（図 23）。湾奥部における低酸素条件の海域が拡大する夏期には、大阪湾から紀伊水道もしくは播磨灘へマコガレイが移動する可能性が示された。

飼育実験においては、4 mg/L 以上ではすべての個体が生残したのに対し、1 および 2 mg/L では時間の進行とともに生残率が低下した（図 24）。さらに、水温が高いほど生残率の低下が早まる傾向がうかがえたことから、夏期に発生する高水温と貧酸素水塊はマコガレイ資源のボトルネックの要因となることが裏付けられた。

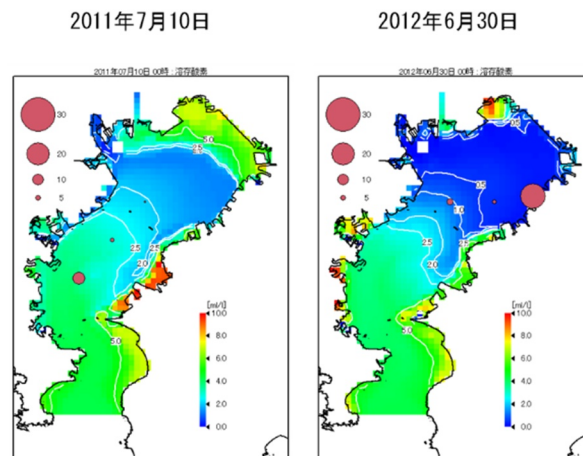


図 22 . 東京湾における 2011 年および 2012 年夏期の海底の溶存酸素濃度とマコガレイ稚魚の分布。湾奥では夏期の溶存酸素濃度の低下とともにマコガレイ稚魚の分布密度が低下する。2012 年には湾奥部の溶存酸素濃度低下が急速に進行し、取り残される形となったマコガレイ稚魚が湾奥部でこの後に死亡したと推測された

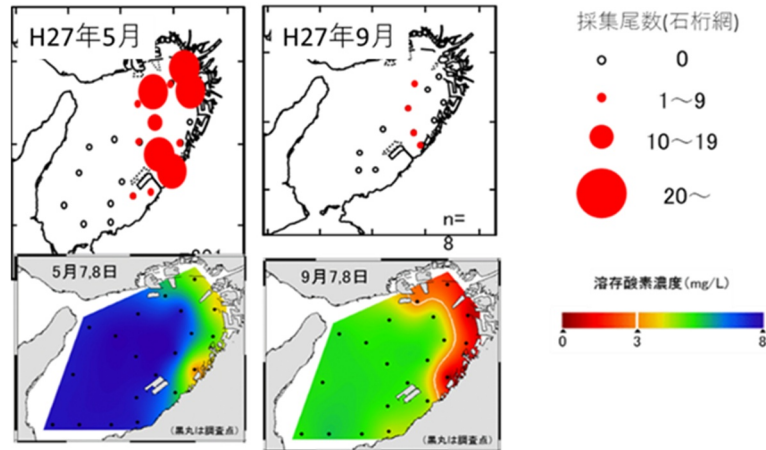


図 23．瀬戸内海（大阪湾）における海底の溶存酸素濃度とマコガレイ稚魚の分布。湾奥では春期から夏期に溶存酸素濃度が低下しマコガレイ稚魚の分布密度が低下する

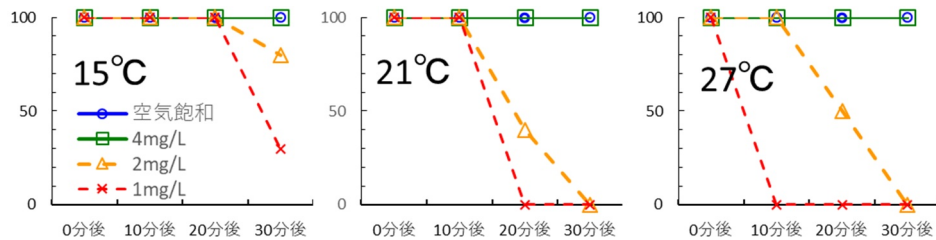


図 24．飼育条件下（密閉容器内）における 4 段階の溶存酸素濃度（1、2、4mg/L および空気飽和）ごとのマコガレイ稚魚の生残率（30 分間の実験、水温 3 区）。1 および 2mg/L では生残率が低く、短時間で致命的な影響を及ぼす。生残時間は高水温条件下ほど短い

- 1 阻害要因の解消や環境修復を行うための再生手法：アマモ場等の好適な生息場所とその空間配置が有する資源回復の促進効果の解明

【目的】

東京湾において、カレイ類稚魚期の好適な生育場所となるアマモ場とその周囲の浅海砂泥域を主要な対象に、カレイ類の出現・分布パターンと浅海砂泥域の景観構造との関係を解明する。

瀬戸内海において、アマモ場等の好適な生息場所とその空間配置が有する資源回復の促進効果の解明を行う。好適な生息場所となることが想定できる場所を探索し、稚魚等の分布状況の把握を行う。

【方法】

東京湾では、アマモ場等の好適な生息場所とその空間配置が有する資源回復の促進効果の解明のために、カレイ類に好適な生息場所となることが想定できる場所を探索し、稚魚等の分布状況の把握を行うとともに、周辺海域との比較、実験等により、促進効果の有無を検証する。

瀬戸内海では、アマモ場や伏流水海域などカレイ類に好適な生息場所となることが想定できる場所を探索し、稚魚等の分布状況の把握を行った。また、アマモ場の成長促進



効果を検証するための野外実験を実施するためのマコガレイ稚魚の収容密度の検討を行った。この収容密度のもと、成長促進効果を検証する本実験を実施した。

【成果】

・富津干潟で、アマモ場の中、際、外側にそれぞれケージを置いたものを4セットを設置した。1つのケージにはマコガレイ種苗を5匹(平均全長61.29mm、体重3.24g)入れ、2014年6月13日から36日間の体重増量と炭素同位体の変化を調べた。アマモ場の際に設置したカレイで体重の増量や餌を食べていることを示唆する炭素同位体の変化が確認され、稚魚にとってアマモ場の際が餌場に適していることが確認された(図25)。また、富津干潟のアマモ場の中、際、外側において、それぞれマコガレイ種苗20匹(平均全長40.06mm)を釣り糸で塩ビ管につなぎ、設置2時間後及び20時間後の生残(いる=1、いない=0)を2016年5月12日~13日において調べた。その結果、設置20時間後ではアマモ場内外の位置により生残率に有意な違いがあり、アマモ場の際で最も生残率が高かった(図26)。

アマモ場の成長促進効果を検証する野外ケージ実験の手法を確立するために、人工種苗を用いて最適収容密度を調べた。マコガレイ稚魚が生息する海域において、6段階の異なる密度(ケージあたり2-12個体)でマコガレイ人工種苗を収容し、約1週間飼育した。本手法においてマコガレイ稚魚の成長に大きく影響しない収容密度はケージあたり6個体以下と推定された。予備実験により求められた最適収容密度下で実験を行い、アマモ場周辺と砂浜域でマコガレイ稚魚の成長速度を比較した。アマモ場周辺では餌料生物の現存量、マコガレイの胃内容物重量、成長速度が有意に高く、成長促進効果が裏付けられた(図27)。

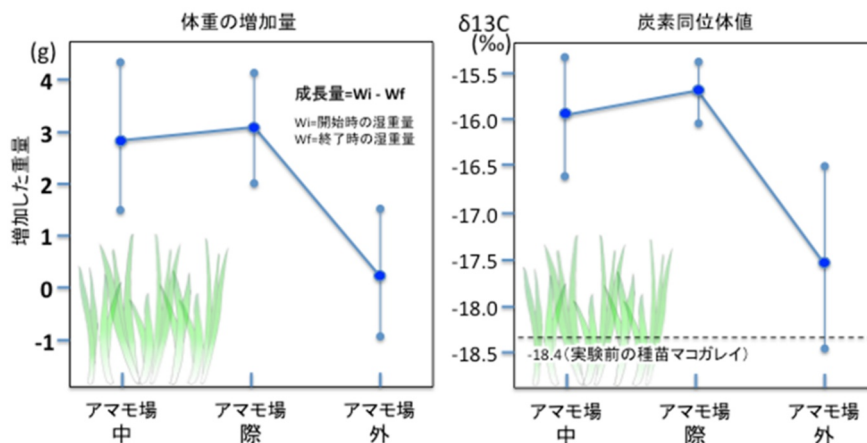


図25. 東京湾のアマモ場内外におけるマコガレイ稚魚の体重増量と炭素安定同位体比の変化

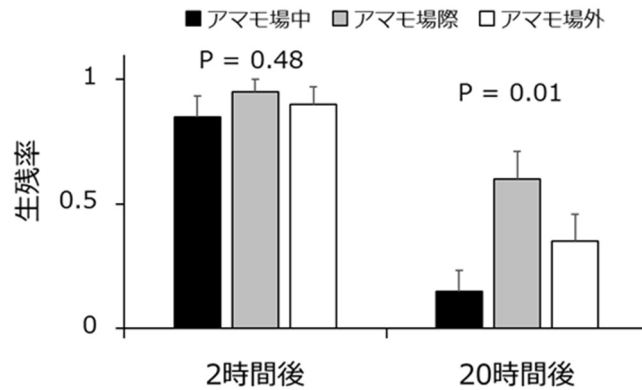


図26．東京湾のアマモ場内外におけるマコガレイ稚魚の生残率を比較した糸つなぎ実験の結果。設置後20時間後のアマモ場の際の生残率（0.60）は、中（0.15）と外（0.35）に比べて高かった

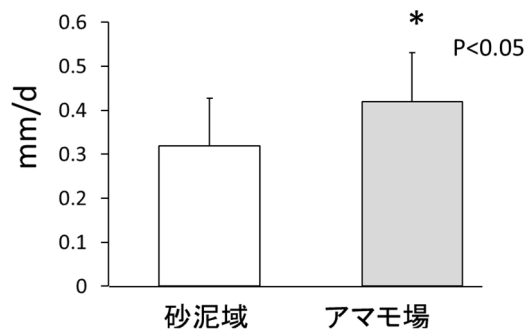


図27．瀬戸内海のアマモ場周辺とアマモ場が存在しない砂泥域におけるマコガレイ稚魚の成長速度を比較したケージ実験の結果。アマモ場周辺での成長速度（0.42mm/d）は砂泥域（0.32mm/d）に比べて有意に高かった

- 2 阻害要因の解消や環境修復を行うための再生手法：海底湧水域等の好適生息場所の探索と、成長促進効果検証のための野外実験法の確立

【目的】

海底湧水域などカレイ類に好適な生息場所となることが想定できる場所を探索し、稚魚等の分布状況の把握を行う。周辺海域との比較、実験等により、促進効果の有無を検証する。

【方法】

瀬戸内海の各府県において、マコガレイ稚魚の分布実態調査を実施し。このうち、広島県竹原市の干潟では伏流水の湧出が確認されており、重点的に調査を行った。マコガレイ稚魚が出現する 2-5 月に月 2 回の頻度で稚魚分布調査、餌料生物調査を実施した。稚魚の胃内容物調査、安定同位体比分析により、伏流水起源の栄養によるカレイ類の生産に対する寄与の有無を調査した。加えて、人口マコガレイ種苗を用いた野外ケージ実験により、伏流水によるカレイ類稚魚の摂餌・成長への促進効果の有無を検証した。

【結果】

伏流水の湧出地点の周辺においてマコガレイ稚魚が周辺に比べて高密度で分布することが確認された（図 28）マコガレイ稚魚の胃内容物解析を実施したところ、主要餌料生物は多毛類、底生甲殻類であった。安定同位体比分析により、伏流水を介して陸起源栄養がマコガレイ稚魚に利用されていることが裏付けられた。ケージ実験では、伏流水の湧出地点の周辺では、伏流水の影響が少ない地点に比べて、カレイ稚魚の摂餌量、成長速度が大きいことが示された（図 29）。

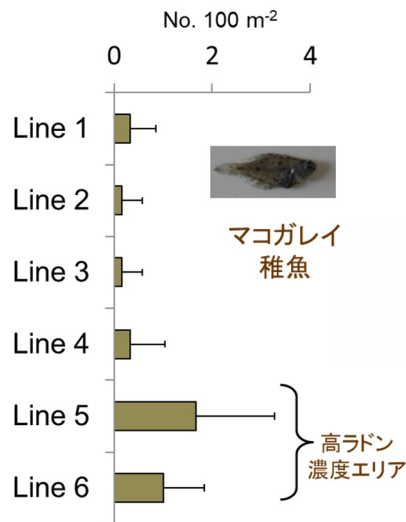


図 28．瀬戸内海（広島県竹原市）の干潟において伏流水が湧出する地点とその周辺で実施したカレイ類の分布調査の結果。伏流水の湧出点に近い調査ライン（ライン 5、6）においてマコガレイ稚魚の分布密度が高かった。調査ラインの間隔は約 100m

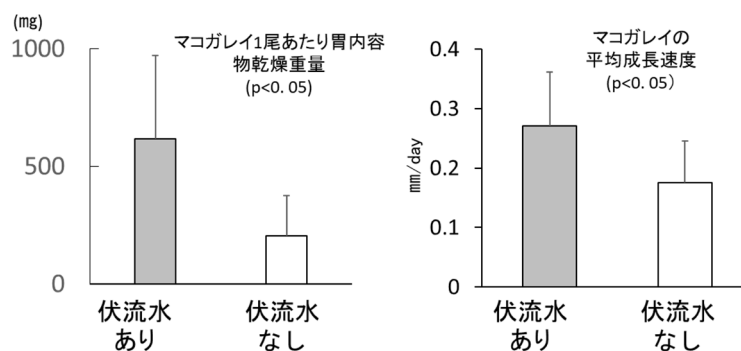


図 29．瀬戸内海の伏流水の影響が強い地点と、影響がほとんど無い地点において実施したケージ実験の結果。1週間後の胃内容物重量（左）および成長速度（右）はともに伏流水の影響が強い地点で有意に高かった。地点間の距離は約 2km

### (3) 生態系ネットワークを用いたカレイ類の資源解析手法の開発

#### 重点海域における生態系ネットワークを用いたカレイ類の資源構造解析

##### 【目的】

漁業情報を用いた生活史段階別の移動、分散様式について解明する手法を開発する。開発した手法を用いて、重点海域である東京湾、大阪湾、燧灘、周防灘・伊予灘で解析を実施する。

##### 【方法】

操業位置を記載した標本船日誌、月別水揚港別の漁獲量、市場での漁獲物の体長測定データ、耳石による年齢、体長、体重などの生物測定データを用い、生活史段階別の移動、分散様式について解明する手法を検討した。

東京湾の解析では、千葉県水産総合研究センターが調査した操業位置を記載した標本船日誌、市場での漁獲物の体長測定データを用い、季節別海域別体サイズ別の漁獲物分布図を作成するとともに、漁獲物の体長組成、漁獲統計、耳石による年齢、体長、体重などの生物測定データを用い、年別年齢別漁獲尾数を推定した。

大阪湾とその周辺海域の解析では、大阪府立環境農林水産総合研究所が調査した月別水揚港別の漁獲量（一部兵庫県水産技術センター提供データ）を用い、月別水揚港別漁獲量の推移から漁獲対象サイズのマコガレイの移動状況について検証した。1980年代に調査された操業位置を記載した標本船日誌、市場での漁獲物の体長測定データを用い、季節別海域別体サイズ別の漁獲物分布図を作成した。また、漁獲物の体長組成、漁獲統計を用い、年別年齢別漁獲尾数を推定した。

燧灘および周辺海域の解析では、岡山県農林水産総合センター、香川県水産試験場、愛媛県農林水産研究所が調査した月別水揚港別の漁獲量を用い、月別水揚港別漁獲量の推移から漁獲対象サイズのマコガレイの動状況について検証した。また、市場での漁獲物の体長測定データ、漁獲統計を用い、年別年齢別漁獲尾数を推定した。

周防灘および周辺海域の解析では、山口県水産研究センター、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が調査した月別水揚港別の漁獲量を用い、月別水揚港別漁獲量の推移から漁獲対象サイズのマコガレイの移動状況について検証した。また、市場での漁獲物の体長測定データ、漁獲統計を用い、年別年齢別漁獲尾数を推定した。

##### 【成果】

操業位置を記載した標本船日誌と市場での漁獲物組成情報を組み合わせることで、月別海域別体サイズ別の分布図を作成することができ、同一サイズの分布の月変化から漁獲対象サイズ別の移動についての情報を得ることができた。対象海域の月別水揚港別の漁獲量の変化から、漁獲対象サイズ全体の移動の傾向についての情報を得ることができた。

東京湾における解析では、2008～12年のマコガレイの単位努力量CPUE（小型底びき網の曳網回数）当たりの漁獲量CPUEweigh（図30）および全長組成、全長と体重の関係式に基づき、各季節のサイズ別の単位努力量当たりの漁獲尾数CPUEinds（図31）を算出したところ、概して冬は北部（湾奥）、春は一様、夏は南部（湾口）、秋は北部のCPUEindsが高かった。季節ごとにサイズ別の分布をみると、冬と秋はサイズに関わらずCPUEindsの高い海域が同じで、冬は羽田空港・千葉港・袖ヶ浦沖であり、秋は千葉港・袖ヶ浦沖であった。一方、春の分布についてみると、全長20cm未満の小型魚は北部で密度が高く、全長20-30cmの中型魚は一様、30cm以上の大型魚は南部で高い傾向がみられた。夏はすべてのサイズで南部のCPUEindsが高く、北部で低かった。特に小型魚と大型魚ではマコガレイの漁獲のない海域が広がった。

大阪湾における解析では、月別水揚港別漁獲量の推移からを大阪湾とその周辺につい

て検証すると、夏場に大阪湾を漁場とする岸和田と泉佐野のマコガレイの漁獲は大きく減少するが、逆に明石海峡・播磨灘では漁獲量が多くなった。このことは大阪湾のマコガレイが夏場に明石海峡付近に移動している可能性を示している（図32）。大阪湾内のマコガレイの移動をみるため、資源量の多かった1988年10月～1989年9月のマコガレイの密度（石げた網操業1 km<sup>2</sup>当たりの漁獲尾数）と漁獲サイズをみた（出典：辻野ら1997，大阪水試研報10；29-50）（図33）。10～1月に北東の沿岸域の密度が高く、2月になると沖合域の密度高くなった。サイズについてみると、1月には北東の湾奥域，2月には南の関西空港付近で大型個体が漁獲された。3～6月には湾奥域で小型個体の密度が高くなった。7月には沖合域、8月には沿岸域で密度が高くなるが、海域間の密度差は小さい。8月には紀伊水道に近い南部域で大型個体が漁獲された。これは大型個体が高水温から逃避するため紀伊水道付近へ移動している可能性を示している。9月には南部域でしか漁獲がなく、全体の密度も8月に比べてかなり低くなった。

燧灘における解析では、燧灘および周辺海域におけるすべての海域においてマコガレイの漁獲が秋期から冬期に集中し、季節的な移動の傾向は把握できなかった（図34）。これらは産卵場に集群する個体と考えられる。

周防灘・伊予灘における解析では、福岡県沿岸や伊予灘愛媛県側ではマコガレイの漁獲は冬期に集中し、それ以外の季節はほとんど見られず、産卵のため沿岸に集群するものと考えられる（図35）。他の県では春に多く漁獲されることから、沿岸から沖合いに移動している可能性も考えられる。夏に関してはいずれの海域でも明瞭な漁獲のピークは見られなかった。

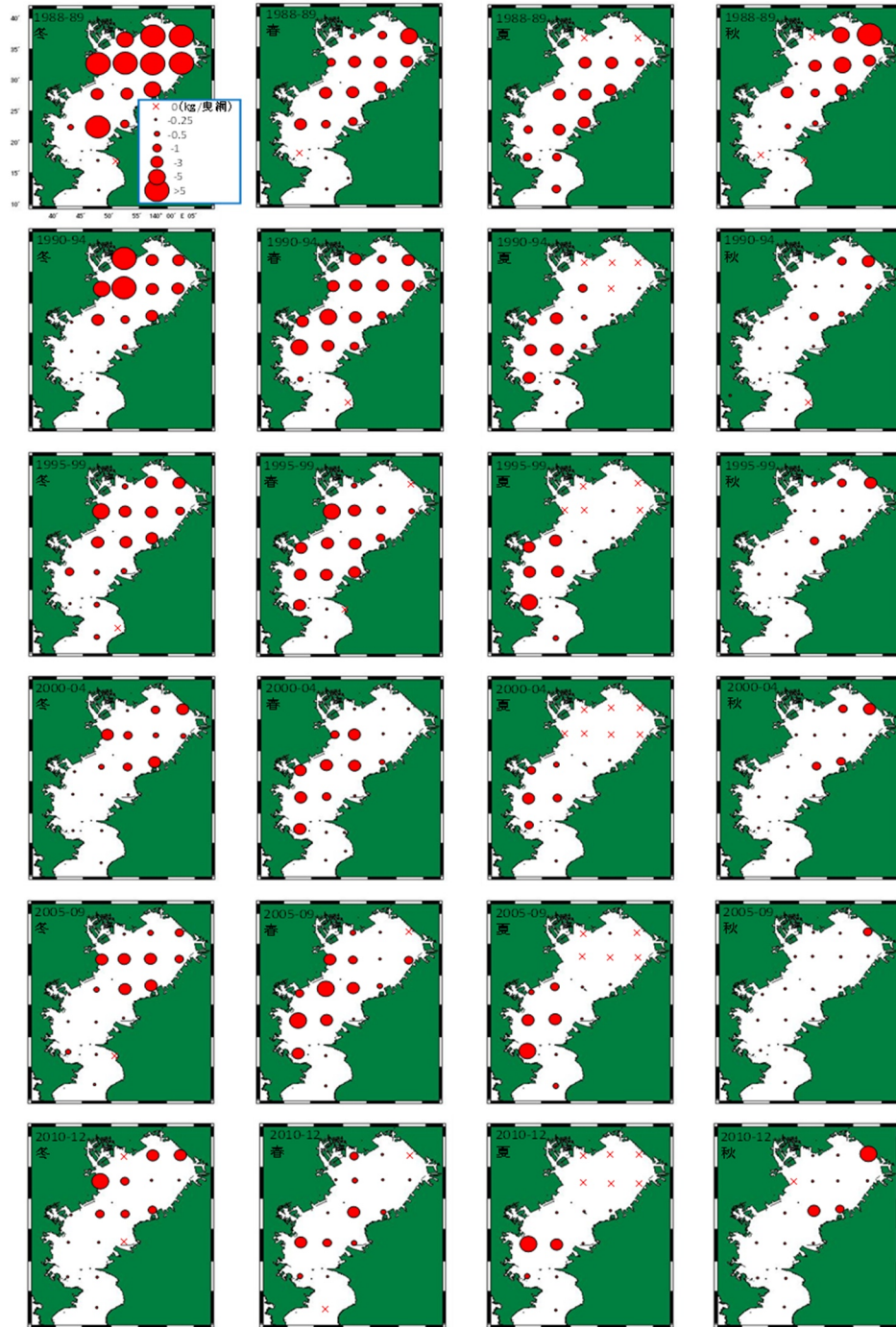


図30．東京湾における1988～2012年のマコガレイのCPUEweigh（単位努力量当たりの漁獲量）の季節変動。冬、1～3月；春、4～6月；夏、7～9月；秋、10～12月

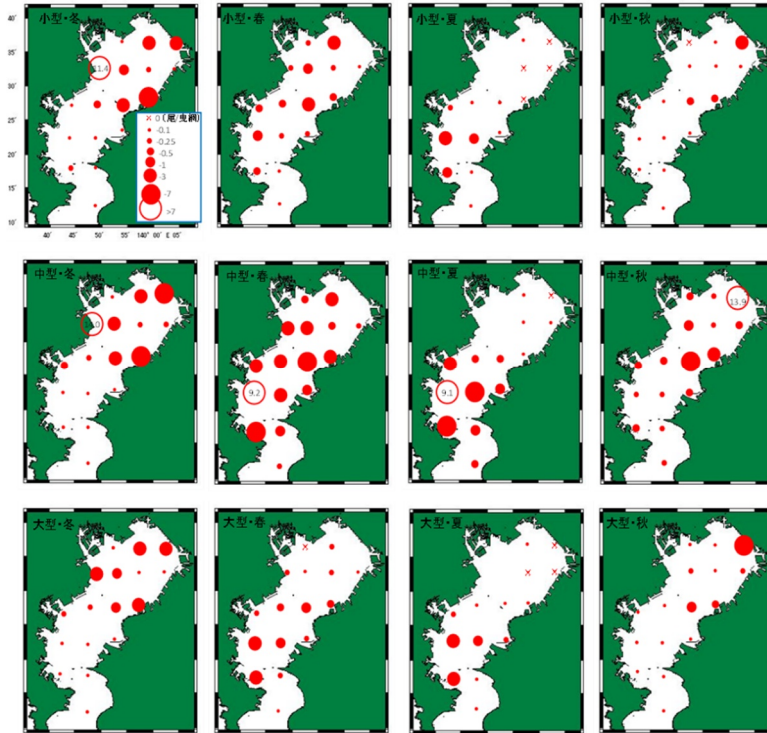


図31．東京湾における2008～2012年のマコガレイのサイズ別のCPUEinds（単位努力量当たりの漁獲尾数）の季節変動。冬、1～3月；春、4～6月；夏、7～9月；秋、10～12月。小型、全長20cm未満；中型、20～30cm；大型、30cm以上

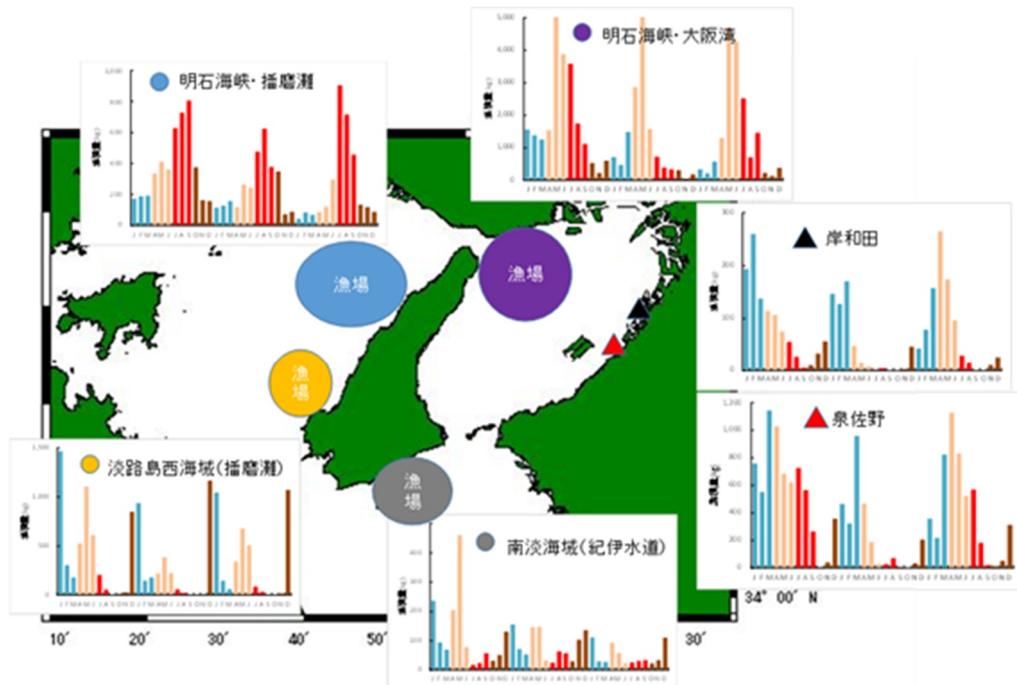


図32．大阪湾と周辺海域における2012年1月～2014年12月のマコガレイの月別漁獲量（明石海峡、淡路島西、南淡の漁獲量は、兵庫県水産技術センター提供）

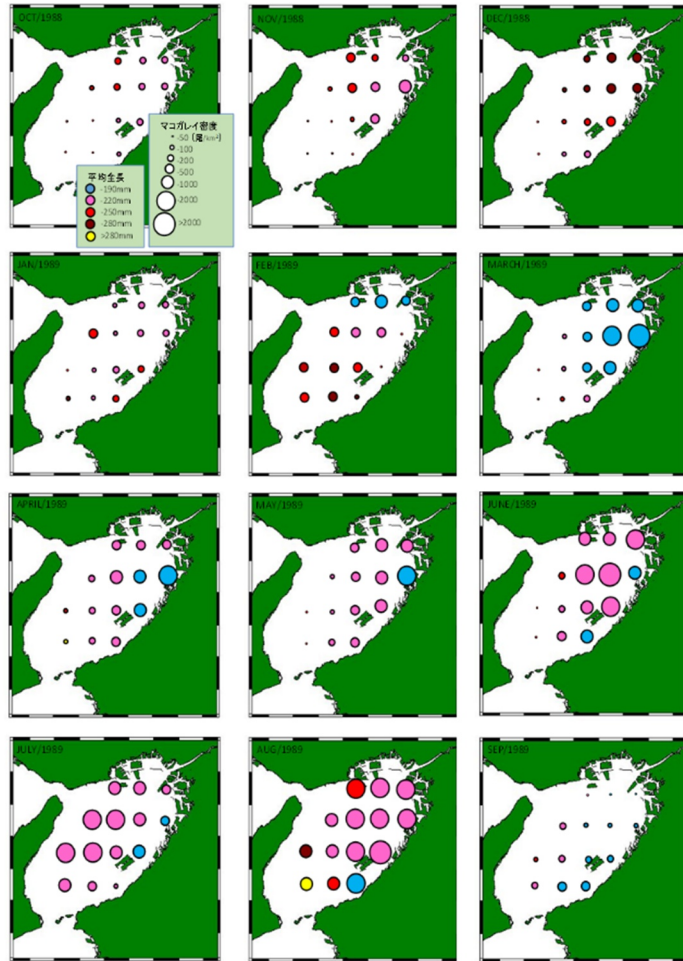


図33．大阪湾における1988年10月～1989年9月のマコガレイ密度の季節変動

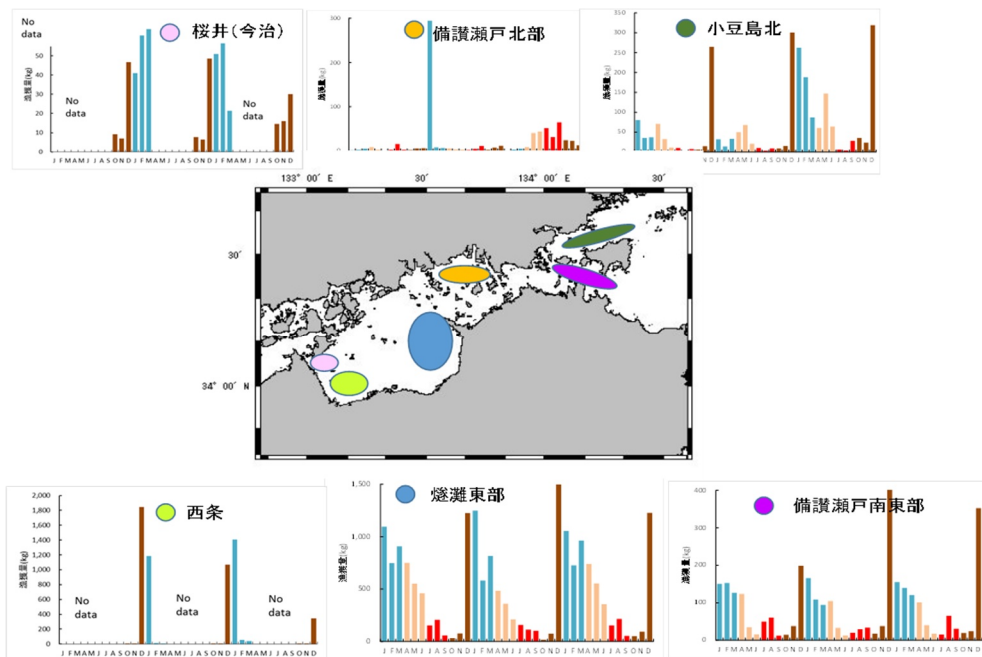


図34．燧灘および周辺海域における月別漁獲量  
(青：1～3月、橙：4～6月、赤：7～9月、茶：10～12月)



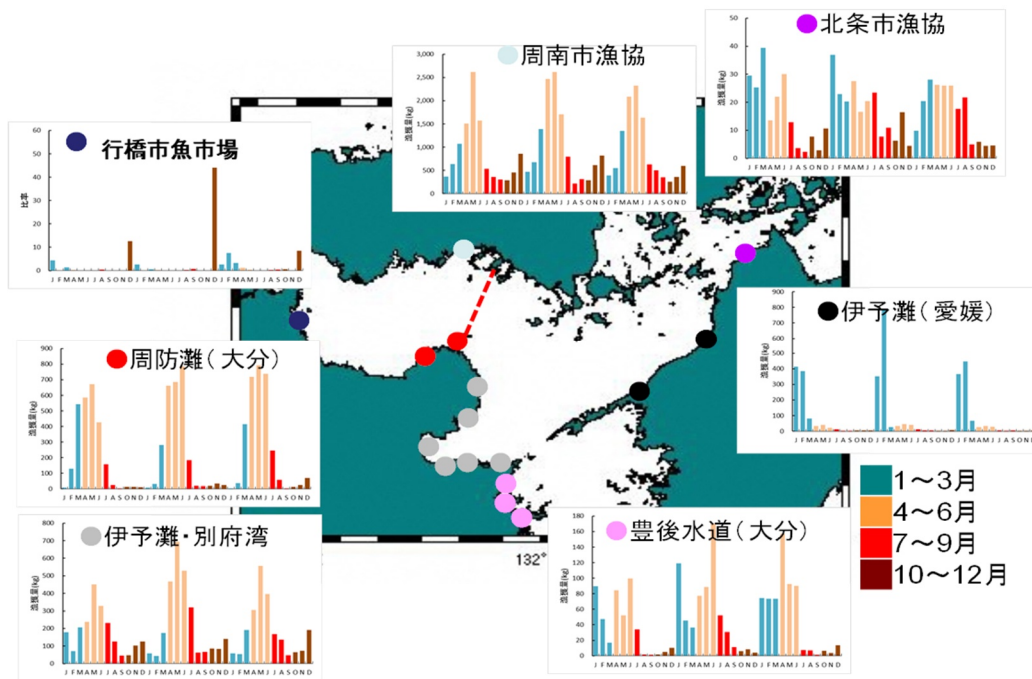


図35．周防灘および周辺海域における月別漁獲量  
 (青：1～3月、橙：4～6月、赤7～9月、茶：10～12月)

### 生態系ネットワークを組み入れた新しい資源解析モデルとその解析技術の開発

#### 【目的】

調査ならびに漁業情報を用い生活史段階ごとの移動分散様式をモデル化し、ボトルネックとなる生活史段階を特定する手法を開発する。

開発したモデルを用いて、重点海域である東京湾、大阪湾、燧灘、周防灘・伊予灘でボトルネックとなる生活史段階を特定する。

#### 【方法】

ボンゴネット、稚魚ネットなどを用いた調査船による浮遊仔魚調査、ソリネット、桁網などを用いた着底稚魚調査、年別年齢別漁獲尾数を用いたコホート解析、親魚量と抱卵数の情報などを組み合わせることで、卵から成魚に至る生活史ステージごとの個体数を推定し、生残率が低下するボトルネックとなる生活史段階を特定する。

東京湾を対象とした解析では、各生活史段階の個体数を調査船調査情報ならびに資源解析により推定した。浮遊仔魚期は1，2月に実施した調査での単位面積あたりの採集数をスプライン補間で湾全体に引き延ばし、着底稚魚は5～11月に毎月実施した桁網調査の捕獲尾数の変化から個体数を推定した(図36)。小課題3-3-1で算定した年別年齢別漁獲尾数を用いたコホート解析、親魚量と抱卵数の情報などを組み合わせることで、卵から成魚に至る生活史ステージごとの個体数を推定し、生残率が低下するボトルネックとなる生活史段階を特定した。個体数が著しく減少した着底稚魚について、月間の桁網調査から推定した捕獲尾数の変化から、生残率を算出した。生残率は年、月によらず一定としたが、ある月だけ生残率が異なると仮定することで、ボトルネックとなる月を特定した。さらに、漁獲量を1.5倍にするために必要なボトルネックと考えられる生活史ステージの生残率の増加率を計算した。

大阪湾を対象とした解析では、大阪湾でこれまでに調査されたデータを使用し、卵、浮遊仔魚、稚魚、漁獲サイズにいたる個体数の減耗過程を、卵、浮遊仔魚期、稚魚期、

漁獲期の4つのステージにわけ算出する方法を検討した。各生活史段階の個体数を調査船調査情報ならびに資源解析により推定した。浮遊仔魚期は1, 2月に実施したポンゴネットによる調査での単位面積あたりの採集数を湾全体に引き延ばし、着底稚魚は5月下旬～6月上旬に実施した桁網調査の捕獲尾数の変化から個体数を推定した。小課題3-3-1で算定した年別年齢別漁獲尾数を用いたコホート解析、親魚量と抱卵数の情報などを組み合わせることで、卵から成魚に至る生活史ステージごとの個体数を推定し、生残率が低下するボトルネックとなる生活史段階を特定した。さらに、漁獲量を1.5倍にするために必要なボトルネックと考えられる生活史ステージの生残率の増加率を計算した。

燧灘を対象とした解析では、これまでに調査されたデータを使用し、漁獲サイズにいたる個体数の減耗過程を算出する方法を検討した。各小課題3-3-1で算定した年別年齢別漁獲尾数を用いたコホート解析、漁獲対象サイズに達してからの個体数を推定した。年代間の生残率と比較することで、生残率が低下するボトルネックとなる生活史段階を特定した。さらに、漁獲量を1.5倍にするために必要なボトルネックと考えられる生活史ステージ、または、その周辺生活史ステージの生残率の増加率を計算した。

周防灘を対象とした解析では、これまでに調査されたデータを使用し、漁獲サイズにいたる個体数の減耗過程を算出する方法を検討した。各小課題3-3-1で算定した年別年齢別漁獲尾数を用いたコホート解析、漁獲対象サイズに達してからの個体数を推定した。年代間の生残率と比較することで、生残率が低下するボトルネックとなる生活史段階を特定した。さらに、漁獲量を1.5倍にするために必要なボトルネックと考えられる生活史ステージ、または、その周辺生活史ステージの生残率の増加率を計算した。

マコ(個体/5002㎡)2014/2/6

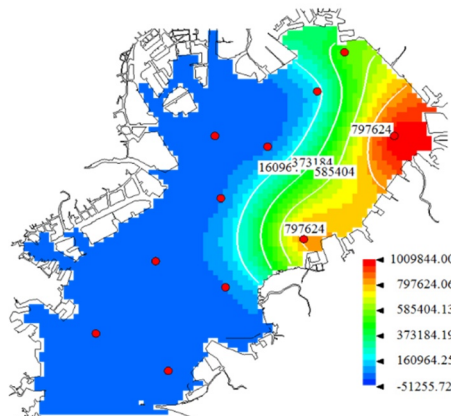


図36．東京湾における500平方メートル当たりの浮遊仔魚分布量（イメージ図）

### 【成果】

浮遊仔魚調査、着底稚魚調査、年別年齢別漁獲尾数について経年的な調査情報があることで、生残率が低下するボトルネックが、どの生活史ステージに何年ごろから発生しているかを検証することができた。

東京湾の解析では、これまでに調査されたデータを使用し、卵、浮遊仔魚、稚魚、漁獲サイズにいたる個体数の減耗過程を、卵、浮遊仔魚期、稚魚期、漁獲期の4つのステージにわけ算出した。浮遊仔魚期における東京湾内湾における個体数は、1月が11億尾、2月が12百万尾と推定された。稚魚期は5月を1.0とした資源尾数は11月には0.065まで低下し、半年間で大きく個体数が減耗した。特に6～7月の生残率が0.27で、それ以外の0.75より非常に低い値であった。コホート解析で推定した漁獲期はの資源尾数は、0歳の12月時点で69万尾、5歳以上の1月時点で18千尾と推定された。年齢毎の親魚尾数×一尾あたり産卵数の合計より算出した卵の量は、981億粒と推定された。以上よりの

981億粒の卵が、11億尾の浮遊仔魚、1400万尾の稚魚となり、0歳漁獲開始期には69万尾、成熟年齢に到達する個体が23万尾、5歳の1月の時点で17,874尾まで減耗することを明らかにした（図37、表1）。卵から浮遊稚魚、稚魚期の6～7月の生残率はそれぞれ、0.01、0.27と低い値であり、東京湾でのマコガレイ生残過程の中でのボトルネックであると考えられた（図38、表1）。ボトルネックの解消を実施した場合を想定し、卵から浮遊稚魚期の生残率が0.01から0.02に、または、稚魚期の6～7月の生残率が0.27から0.41に増加すると、漁獲期の生残尾数（0歳12月時点）が現状の1.5倍に増加した。

大阪湾の解析では、1999年～2014年までに調査されたデータを使用し、卵、浮遊仔魚、稚魚、漁獲サイズにいたる個体数の減耗過程を、卵、浮遊仔魚期、稚魚期、漁獲期の4つのステージにわけ算出した。浮遊仔魚期における大阪湾における個体数は、1月が6.3億～108億（平均34億）尾、稚魚期は1.7千万～10.7千万（平均5.3千万）尾と推定された。コホート解析で推定した漁獲期はの資源尾数は、0歳の12月時点で11.5万～312.2万（平均96.3万）尾、5歳以上の1月時点で0.4千～10.4千（平均2.8千）尾と推定された。年齢毎の親魚尾数×一尾あたり産卵数の合計より算出した卵の量は、111億～697億（平均320億）粒と推定された（図39）。以上より、1999年～2014年の平均で320億粒の卵が、34億尾の浮遊仔魚、5368万尾の稚魚となり、0歳漁獲開始期には96.3万尾、5歳の1月の時点で2,794尾まで減耗することを明らかにした。5-6月から漁獲開始期までの生残率は平均0.018であったが、1999～2006年、2007～2014年と期間別では0.032、0.007と、近年生残率が非常に低下していた（図40、表2）。2000年代後半に稚魚期から漁獲開始の生活史ステージにおいて何らかのボトルネックが出現している可能性がある。稚魚期から0歳漁獲開始期にまでの生残率を0.0053（2007～2014年の中央値）から0.0071と1.35倍にすると、5年後の漁獲量が1.5倍に増加した。

燧灘の解析では、2004年～2015年までに調査されたデータを使用し、漁獲対象サイズでの個体数の減耗過程を算出した（図41）。解析機関を2007年までと2008年以降に分離し、0歳以降の生残率を比較したところ、両期間の生残率は同定であった。2008年以降の方が、0歳の漁獲加入時点ですでに個体数が減少しており、漁獲加入前に減耗要因が存在すると考えられた（図42）。未成魚である0歳漁獲開始から1歳までの生残率を0.78から0.93、1歳から2歳までの生残率を0.69から0.82と1.19倍にすると、再生産関係が良好であった場合、10年後の漁獲量が1.5倍に増加した。

周防灘の解析では、1999年～2015年までに調査されたデータを使用し、漁獲対象サイズでの個体数の減耗過程を算出した（図43）。解析機関を2007年までと2008年以降に分離し、0歳以降の生残率を比較したところ、両期間の生残率は同定であった。2008年以降の方が、0歳の漁獲加入時点ですでに個体数が減少しており、漁獲加入前に減耗要因が存在すると考えられた（図44）。未成魚である0歳漁獲開始から1歳までの生残率を0.76から0.82、1歳から2歳までの生残率を0.48から0.52と1.07倍にすると、5年後の漁獲量が1.5倍に増加した。

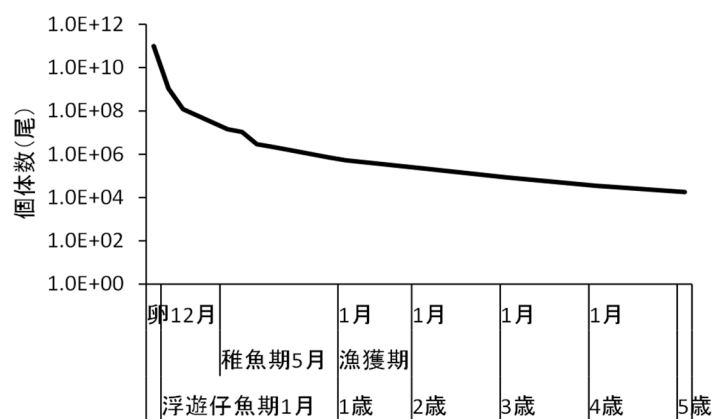


図37．東京湾における卵から漁獲対象サイズの個体数の減耗（縦軸は対数）

表1．東京湾における卵から漁獲対象サイズの個体数と前月、時期からの生残率の変化

年齢	ステージ	月	尾数(尾)	生残率	
0歳	卵	12月	98,169,387,625		
		浮遊仔魚期	1月前半	1,065,316,664	0.01
	稚魚期		1月後半	784,126,871	0.74
			5月	14,296,463	0.02
			6月	10,713,926	0.75
			7月	2,946,075	0.27
			8月	2,207,821	0.75
			9月	1,654,565	0.75
			10月	1,239,949	0.75
			11月	929,232	0.75
漁獲期		12月	696,376	0.75	
	1歳	1月	525,660	0.75	
	2歳	1月	234,795	0.45	
	3歳	1月	83,958	0.36	
	4歳	1月	34,923	0.42	
5歳	1月	17,874	0.51		

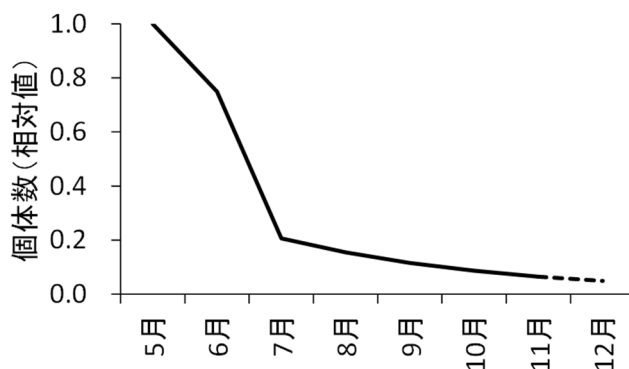


図38．東京湾における稚魚期個体数相対値の経月変化。6～7月にかけて個体数が大幅に減少している

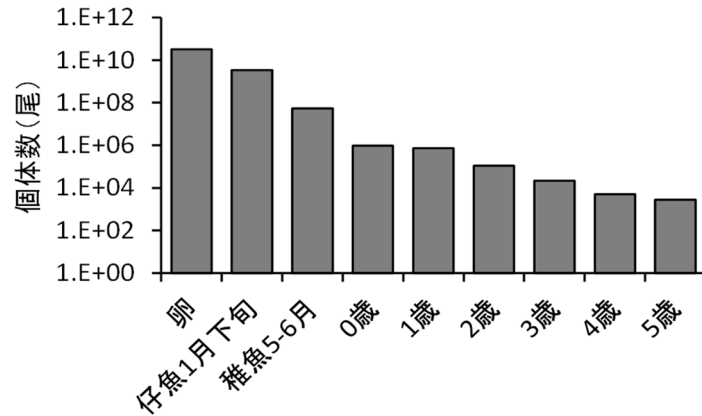


図39．大阪湾における卵から漁獲対象サイズの各生活史ステージでの個体数の減耗（縦軸は対数）

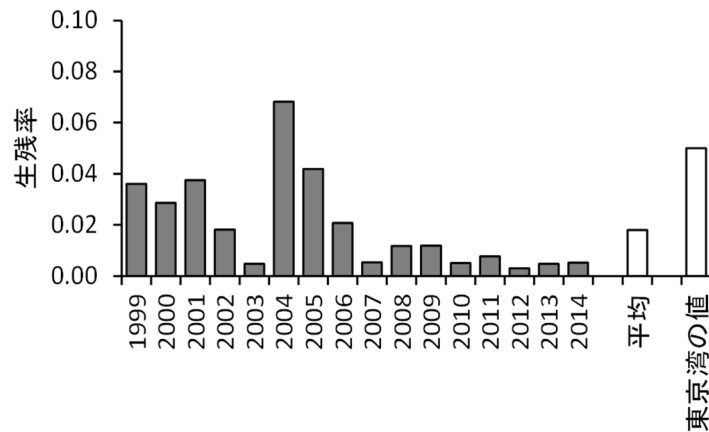


図40．大阪湾における5-6月の稚魚期から漁獲開始期までの生残率の経年変化

表2．大阪湾における卵から漁獲対象サイズの個体数（億粒、万尾）

年	産卵数 (億粒)	面積密度法 ボンゴネット		面積密度法 石桁網		この間の 生残率	コホート解析					
		0歳		0歳			0歳 12月	1歳 1月	2歳 1月	3歳 1月	4歳 1月	5+歳 1月
		1月上旬	1月下旬	2月上旬	5月下旬~6月上旬							
1999	697	3,749	133,621	822,210	5,839	0.036	211	35	23	4.3	2.2	0.2
2000	172	39,738	149,885	53,535	10,785	0.029	309	162	1	2.5	0.2	1.0
2001	407	5,860	230,403	556,075	8,338	0.037	312	208	17	0.6	0.6	0.7
2002	364	173,576	1,080,128	343,413	6,630	0.018	120	243	16	1.1	0.1	0.3
2003	584	294,488	360,913	336,570	7,669	0.005	36	93	25	3.0	0.1	0.1
2004	325	110,749	119,793	73,668	1,735	0.068	118	28	7	4.3	0.9	0.1
2005	199	0	141,853	66,160	2,133	0.042	89	92	6	1.1	1.0	0.1
2006	448	473,639	213,811	227,469	4,643	0.021	96	69	18	1.7	0.2	0.5
2007	664	94,249	610,361	95,741	8,556	0.005	46	75	20	7.4	0.6	0.3
2008	296	54,410	462,168	213,190	3,370	0.012	40	34	11	1.5	0.3	0.4
2009	175	38,208	509,517	167,097	4,375	0.012	52	31	5	1.4	0.5	0.2
2010	180	182,564	445,384	692,631	3,275	0.005	16	40	6	1.3	0.4	0.2
2011	161	7,730	348,706	324,926	4,119	0.008	31	13	5	1.1	0.3	0.1
2012	199	72,218	396,420	122,635	3,760	0.003	12	24	6	1.7	0.3	0.1
2013	132	73,896	63,633	112,988	7,904	0.005	37	9	5	1.0	0.2	0.0
2014	111	1,132	285,341	38,069	2,754	0.005	14	29	4	1.0	0.2	0.1
平均	320	101,638	346,996	265,398	5,368	0.018	96	74	11	2.2	0.5	0.3

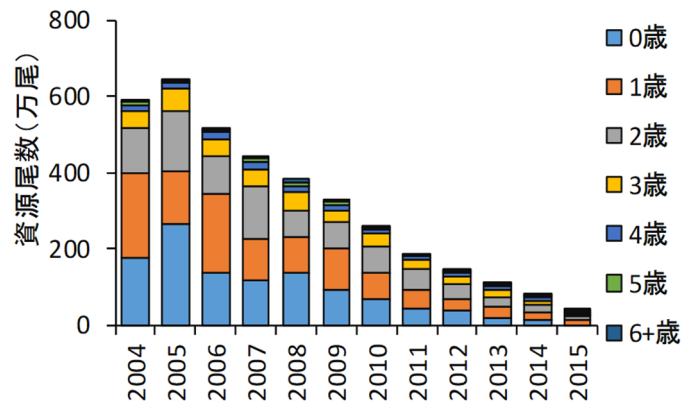


図41．燧灘における年齢別資源尾数の推移

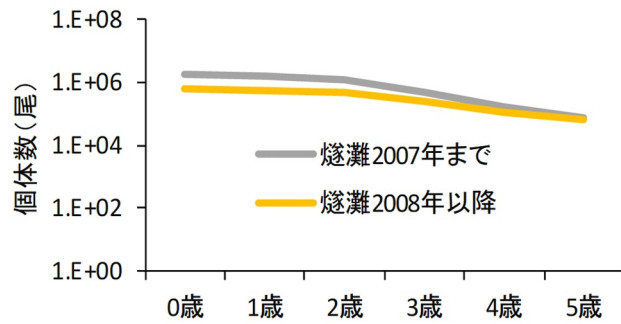


図42．燧灘における0歳加入時点から5歳までの年代による個体数の減耗状況

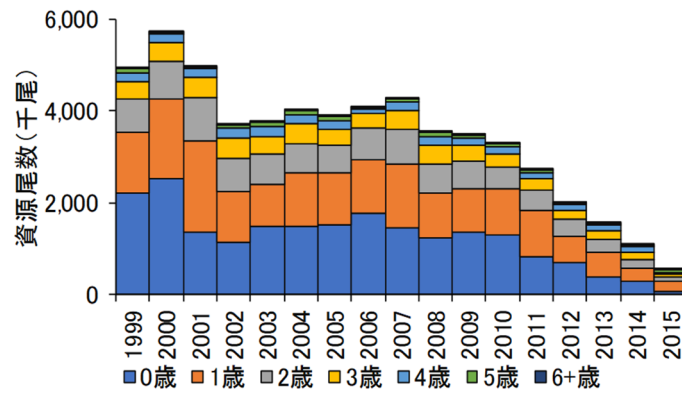


図43．周防灘における年齢別資源尾数の推移

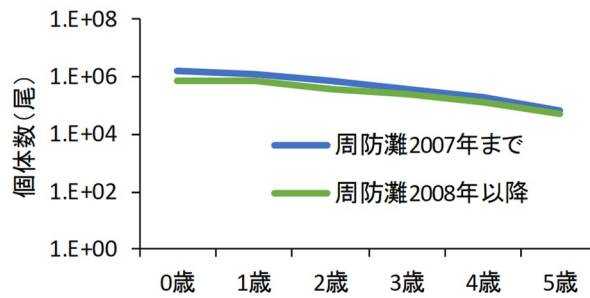


図44．周防灘における0歳加入時点から5歳までの年代による個体数の減耗状況

以上のことより、マコガレイの減少要因で最も深刻なものとして、春期から夏期にかけての高水温が稚魚に与える影響があげられる。本課題が対象としたすべての海域において、稚魚期に生態系ネットワークのボトルネックが存在していた。成長過程の稚魚にとって最適な水温は20℃までであり、生息場所での水温が20℃を越えるまでに十分な体サイズまで成長していない場合は、その後の高水温で死亡することも(2)の調査で明らかになっている。また、未成魚・成魚の生息場所となる水温20℃前後の海域は、(1)のGISデータベースを用いた解析により最近20年間でさらに深い水深へ移動し、そのため生息場所の海域面積も大きく縮小した。したがって稚魚が浅場で十分なサイズに成長していたとしても、稚魚が未成魚・成魚の生息場所へ移動する距離は以前よりも長くなり、あるいは移動できる生息場所が消失することで移動中の死亡率が高くなることが想定される。

さらに東京湾では卵から浮遊仔魚の生残率が低い値であり、この生活史段階にもボトルネックであるとみなされる。マコガレイは沈性粘着卵を産出し、主産卵場となっている湾奥は泥質で有機物含量が多く、それによる埋没や冬季の溶存酸素濃度の低下の可能性があることから、ふ化率の低下が減耗の大きな要因であると考えられる。

したがってマコガレイの生態系ネットワーク構造の修復による資源回復を実施するためには、図45に挙げた方策が考えられる。第一に、産卵場の適地を造成、あるいは保護することが重要である。特に東京湾では有機物負荷によって軟泥化している産卵場の底質をマコガレイの産卵に適した砂泥域に造成することが早急の対策となる。一方で瀬戸内海では卵期のボトルネックは確認できていないが、冬場に産卵場で底びき網で漁獲が行われている現実を踏まえると、産卵場を攪乱し、卵の死亡率を高めている可能性が十分ある。したがって、主要な産卵場では操業を取りやめるなどの対策が必要と考えられる。

第二に、稚魚の生息場所適地の保全や積極的な利用が重要である。稚魚期に存在する深刻なボトルネックを解消することは、資源回復にとって最も重要であり、早急に取り組むべき課題である。海水温を人工的に下げることは不可能であるため、現存する生息場所適地では稚魚の混獲を避けるために操業をしない保全策や、海底の湧水域(伏流水)やアマモ場は水温が他の海域より低く餌も豊富であり稚魚の成長・生残を高めるため積極的に利用するなどの適応策を講じることも有効である。特に種苗放流では、これまで地先の浅場で放流していたものを、湧水域やアマモ場に放流すること、水温が低いより深場へ放流することは放流効果の改善につながるはずである。

このことは第三に、稚魚の生息場所と未成魚・成魚の生息場所となる沖合・深場との連環を確保することにも通じる。成長に伴う生息場所移動に有利な場所（深場に隣接した浅場など）は操業せずに保全し、時には積極的に種苗放流等に利用することも一案としてあげられよう。成魚の生息場所に近い浅場に、稚魚に適した生息場所を造成することも可能である。今後は、このような稚魚期のボトルネックを解消させることで生態系ネットワークを健全化させ、マコガレイの資源回復につながることを実証する現場での取り組みが必要である。

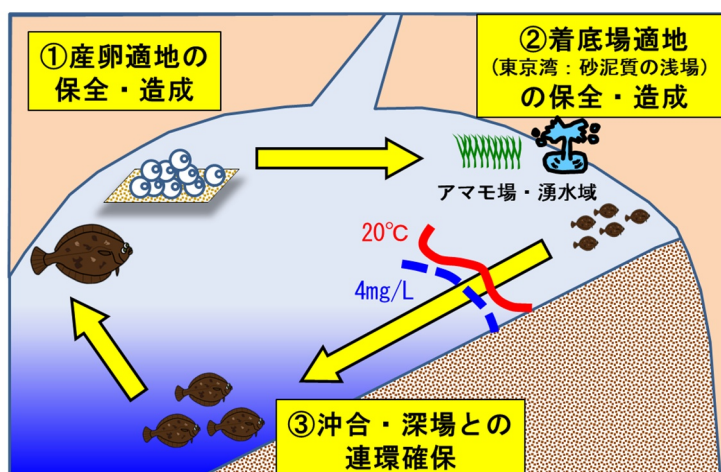


図45．生態系ネットワークの再生のカギとなる環境条件および各発育段階の施策案

### 3) 成果活用における留意点

- (1) では開発した技術はマコガレイを対象に開発しているため、他のカレイ類に利用する際はその生活史にあった調整が必要となる。
- (2) では東京湾および瀬戸内海を対象としており、特に瀬戸内海はマコガレイの分布域を考えると南限近くに位置する。東日本や日本海など、他海域では全く異なる生活史や生態系ネットワークが形成されているはずである。そのため、本成果は東京湾以西の地域に活用できる。
- (3) では成果(1)と同様に本技術はマコガレイを対象に開発しているが、解析手法や開発したモデルは他のカレイ類、魚種にも応用することが可能である。

### 4) 今後の課題

- (1) では開発した技術を改良し、さらには様々な魚類へと活用していくために、様々な現場で利用し、実績を増やしていく必要がある。といくつかの技術については専門性が高いため普及が難しいが、この点を改善していくことが必要である。その一方、バイオテレメトリー手法や遺伝子解析については一般的な解析ツールが市販されていることもあり、汎用性が高いため、即座に現場へ応用することが可能である。
- (2) および(3) では現状把握とモデルでの予測結果から修復方針を提案しており、現時点では不確定要素を多く含むことも事実である。現場で利用できる状態へ調整するためには阻害要因の除去による生態系ネットワークの修復、及び促進効果の実証試験が必要である。



このシートに記載された成果は、プロジェクト終了後全て公表します。

V これまでの研究実施期間における研究成果(論文発表、特許他)【一般公表可】

課題番号 13406073

成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		出版図書	国内特許権等		国際特許権等		報道件数	普及しうる成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得				
13406073	12	10	39	28	0	0	0	0	0	3	1	0	62

(1)学術論文

区分: ①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	機関名	タイトル	著者	掲載誌	巻(号)	掲載ページ	発行年	発行月
1	①	水産機構・沿岸リサーチ	藻場や磯焼け域の把握に関わる新たな装置や技術、間欠撮影カメラ、廉価版サイドスキャンソナー、ラジコンヘリの利用	梶原瑠美子・桑原久実・濱田保夫・中嶋 泰	水産工学	51(3)	221-226	2015	2
2	①	水産機構	小型海藻藻場の重要性と磯焼け域におけるその回復の試み	吉村 拓、八谷光介、清本節夫	水産工学	51(3)	239-245	2015	2
3	①	水産機構	魚の食害対策に係わる技術と課題	桑原久実	水産工学	51(3)	253-257	2015	2
4	①	岡山県農水総セ・水産機構	浅口市寄島町地先人工干潟における被覆網を用いたアサリの保護効果.	泉川晃一、元谷 剛、村山史康、佐藤二郎、高木秀蔵、伊藤 篤、西本篤史、山崎英樹、崎山一孝	岡山県農林水産総合センター水産研究所研究報告	30	17-23	2015	
5	①	水産機構	アワビ資源管理・保全におけるDNAマーカーの活用	関野正志・原素之	水産育種	44	25-29	2015	7
6	①	水産機構	磯焼け対策のための新たなモニタリング技術の利用とその展望	梶原瑠璃子, 桑原久実	月刊海洋	47	295-299	2015	
7	①	大阪環境農水総研・水産機構	海洋数値モデルを用いた大阪湾におけるマコガレイ稚魚の生態系ネットワークの評価.	杉松宏一・大村智宏・大美博昭・辻村浩隆・堀正和・中山哲巖	土木学会論文集B2	72(2)	1375-1380	2016	11
8	①	京大	溶存酸素量の低下に対するヒラメParalichthys olivaceusの行動変化	河野友香、西澤秀明、荒井修亮、三田村啓理.	海洋理工学会誌	22(1)	39-45	2016	6

9	①	水産機構	浅海域の造成漁場と天然礁における底生生物相	丹羽健太郎,寺本航,黒木洋明,	海洋と生物	38(6)	667-674	2016	12
10	①	水産機構	大分県中津干潟における地温とアサリ着底稚貝個体数の変動特性	梶原直人・手塚尚明・浜口昌巳	水産工学	53(3)	139-146	2017	2
11	①	水産機構	市販ドローンを活用した瀬戸内海の藻場・干潟空撮モニタリング	手塚尚明・梶原直人・島袋寛盛・吉田吾郎・榎本洗一郎・戸田真志	水産工学	54(2)		2017	11
12	①	道総研・水産機構	ドローンを用いた広域藻場調査	山田充哉・渡辺一俊・南部亮元・干川 裕・福田裕毅・秋野秀樹・梶原瑠美子・桑原久実・森口朗彦	水産工学	54(2)	121-125	2017	11
13	①	水産機構	Isolation and characterisation of 23 microsatellite markers for marbled sole, <i>Pleuronectes yokohamae</i> .	Kitanishi, S., A., Fujiwara, M. Hori, T. Fujii and M. Hamaguchi	Conservation Genetics Resources	6	951-953	2014	12
14	①	水産機構	<i>Ruditapes philippinarum</i> mortality and growth under netting treatments in a population-collapsed habitat.	Tezuka, Kanematsu M, Asami K, Nakagawa N, Shigeta S, Uchida M, Usuki H.	Coastal Ecosystems	1	1-13	2014	
15	①	水産機構	Seasonal dynamics of the larval distribution and settlement of the clam <i>Ruditapes philippinarum</i> in the Suo-Nada Sea, Japan.	Tezuka N., M. Hamaguchi, M. Shimizu, H. Iwao, T. Tawaratsumida, S. Taga	Coastal Ecosystems	3	1-15	2016	
16	①	水産機構・広島大学	Turnover rates of carbon and nitrogen stable isotopes in juvenile marbled flounder <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> estimated by diet switch.	Hamaoka, H., J. Shoji, M. and Hori	Ichthyological Research,	63	201-206	2016	11
17	①	香川水試・東北大学	Growth and spawning period of ridged-eye flounder <i>Pleuronichthys lighti</i> Wu 1929 in the central Seto Inland Sea, Japan.	Yamamoto, M. and S. Katayama	Asian Fisheries Science	29	112-123	2016	6
18	①	東北大学・香川水試・広島大学	Diel feeding patterns and daily food intake of juvenile stone flounder <i>Platichthys bicoloratus</i> .	Tomiyama T, Katayama S, Yamamoto M, Shoji J.	Journal of Sea Research	107	130-137	2016	2
19	①	広島大学, 水産機構	Occurrence, distribution and prey items of juvenile marbled sole <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> around a submarine groundwater seepage on a tidal flat in southwestern Japan.	Hata M, Sugimoto R, Hori M, Tomiyama T, Shoji J.	Journal of Sea Research	111	47-53	2016	5
20	①	水産機構	Growth patterns and population dynamics of the kelp crab <i>Pugettia vulgaris</i> (Decapoda, Brachyura, Epialtidae) on the coast of Sagami Bay, Japan	Ohtsuchi N, Kawamura T, Hayakawa J, Kurogi H and Watanabe Y.	Crustaceana	89(6-7)	645-667	2016	
21	①	京都大学・広島大学	Ventilatory and behavioural responses of the marbled sole <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> to progressive hypoxia.	Hideaki Nishizawa, Yuka Kono, Nobuaki Arai, Jun Shoji, Hiromichi Mitamura	Journal of Fish Biology	90(6)	2263-2374	2017	4

22	①	広島大学, 水産機構	Effects of water temperature on feeding and growth of juvenile marbled flounder <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> under laboratory condition.	Kusakabe, K., M. Hata, J. Shoji, M. Hori and T. Tomiyama	Fisheries Science	83(2)	215-219	2017	5
----	---	------------	---	--	-------------------	-------	---------	------	---

(2)学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	東京湾における成長の異なるマコガレイの時空間分布	石井光廣・片山知史	千葉県水産総合研究センター、東北大学	水産海洋学会	2013	11
2	次世代シーケンサーを用いたアサリのミトコンドリアDNA解析.	西木一生・岩崎裕貴・野村洋輔・藤原篤志・小島大輔・菅谷琢磨.	水産機構	平成26年度水産学会春季大会	2014	3
3	Shift from bottom-up to top-down control of the algal community due to climate change: impacts on the Japanese spiny lobster in southwestern Japan.	Yoshimura, T., Yatsuya, K., Taneda, Y., Kiyomoto, S., Yoshida, G.	水産機構	10th International Conference and Workshop on Lobster Biology and Management. Cancun,	2014	5
4	Why do young Japanese spiny lobsters aggregate in sea anemone colonies?	Yoshimura, T., Todaka, T., kajiwara R., Kuwahara, H., Nakajima, Y.	水産機構	10th International Conference and Workshop on Lobster Biology and Management. Cancun,	2014	5
5	植食性魚類ブダイの除去効果の持続期間について	中嶋 泰・桑原久実・西崎孝之・渡邊耕平	沿岸生態系リサーチセンター、水産機構	平成26年度日本水産工学会学術講演会	2014	6
6	2013年台風26号により更新された中津干潟土砂のコンパクション	梶原直人・手塚尚明・浜口昌巳	水産機構	日本水産工学会学術講演会	2014	6
7	画像からの測定と実測によるアサリ殻長測定結果の比較	梶原直人・手塚尚明・浜口昌巳.	水産機構	平成26年度日本水産学会秋季大会	2014	9
8	Spatial non-variability in stable carbon isotope ratio of juvenile stone flounder ( <i>Kareius bicoloratus</i> ) in Seto Inland Sea.	Hori, M., H. Hamaoka, H. Shimabukuro and T. Hujii.	水産機構	9th International Flatfish Symposium,	2014	11

9	Daily food consumption of juvenile stone flounder ( <i>Platichthys bicoloratus</i> ) with special reference of their feeding of bivalve siphons.	Takeshi TOMIYAMA, Satoshi KATAYAMA, Masayuki YAMAMOTO and Jun SHOJI.	広島大学、東北大学、香川水試	The 9th International Flatfish Symposium	2014	11
10	東京湾におけるマコガレイ、イシガレイの分布の特徴	石井光廣・梶山 誠・大畑 聡・堀口敏宏・片山知史	千葉県水産技術センター、東北大学	2014年度水産海洋学会研究発表大会	2014	11
11	エゾ・クロアワビの境界域個体群の遺伝的特徴	関野正志・原素之	水産機構	平成27年度日本水産学会春季大会	2015	3
12	室内試験によるエゾアワビの成熟や肥満度等に及ぼす餌料環境の影響評価指標の検討	干川 裕・高谷義幸	北海道立総合研究機構	平成27年度日本水産学会春季大会	2015	3
13	メタゲノム解析による海底礫表面からの海藻種網羅検出の試み	高野義人・村澤博基・漆崎慎吾・安池元重・田辺晶史・藤田大介・長井敏・桑原久実	水産機構、東京海洋大	藻類学会第39回大会	2015	3
14	三浦半島長井における大型アワビ類とトコブシの稚貝生長・生残の比較.	黒木洋明・丹羽健太郎・寺本航・早川 淳・河村知彦・岡部久・堀井豊充.	水産機構、東大大気海洋研、神奈川県水産技術センター	平成27年度日本水産学会春季大会	2015	3
15	東京湾におけるマコガレイ・イシガレイ浮遊期の分布	石井光廣・梶山誠・島田裕至・片山知史	千葉県水産技術センター、東北大学	平成27年度水産学会春季大会	2015	3
16	広島湾におけるアサリ浮遊幼生の動態.	高橋暁・浜口昌巳	産総研、水産機構	2015年春季海洋学会	2015	3
17	海底湧水が沿岸域の水産生物に与える影響:魚類群集構造に注目して.	小路 淳・杉本 亮・本田尚美・富永 修・小林志保・山田 誠・谷口真人	広島大学	日本地球惑星科学連合2015年大会セッションA-CG33-08 陸海相互作用ー沿岸生態系に果たす水・物質循環の役割ー	2015	5

18	Effect of netting on survival of manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> in an artificial tideland in Okayama, Japan.	Koichi Izumikawa, Tsuyoshi Mototani, Fumiyasu Murayama, Jiro Sato, Atsushi Nishimoto, Hideki Yamazaki, Kazutaka Sakiyama, Atsushi Ito.	岡山県農林水産総合センター、水産機構	The Third International Symposium on Manila(Asari) Clam – International Collaboration for Manila clam Studies	2015	6
19	Observation and monitoring of asari clam predators in a population-collapsed habitat using Field Server.	Naoaki Tezuka, Naoto Kajihara, Tokihiro Fukatsu, Kazumasa Oguri, Takehisa Yamakita.	水産機構	The Third International Symposium on Manila(Asari) Clam – International Collaboration for Manila clam Studies-	2015	6
20	Seasonal Variation of Transportation of Asari Clam, <i>Ruditapes philippinarum</i> , Larvae in Hiroshima Bay.	Satoru Takahashi, Masami Hamaguchi	産総研、水産機構	EMECS11	2016	8
21	相模湾浅海岩礁域の人工投石礁における炭素・窒素安定同位体比を用いた食物網構造の解析	寺本航・丹羽健太郎・石樋由香・黒木洋明・山本敏博・渋谷拓郎.	水産機構	平成27年度日本ベントス学会	2015	9
22	Contribution of submarine groundwater to food web in coastal ecosystems: feeding habits of flatfish juveniles in the Seto Inland Sea, Japan.	Shoji J, Hata M, Sugimoto R.	広島大学	Estuarine Coastal Sciences Association Meeting 55, O-4.15	2015	9
23	広島県竹原市賀茂川河口周辺域における異体類稚魚の食性の違い.	秦正樹・田中拓希・宇都宮達也・杉本亮・富山毅・小路淳.	広島大学	H27年度日本水産学会秋季大会	2015	9
24	海底湧水が魚類群集, 生産に与える影響: 地球温暖化のもとでオアシスとなりえるか?	秦正樹・宇都宮達也・堀正和・杉本亮・富山毅・小路淳.	広島大学、水産機構	2015年度水産海洋学会研究発表大会	2015	10
25	Trials to rebuilt the abalone stock after disappearance of macroalgal bed.	Kiyomoto, S, M. Tagawa, T. Kadota, T. Yoshimura	水産機構	9th international abalone symposium	2015	10
26	Comparison of the metabolism between wild and hatchery-produced abalone, <i>Haliotis gigantea</i> .	Niwa K, Teramoto W, Kurogi H.	水産機構	9th international abalone symposium	2015	10
27	二重網を活用したアサリ稚貝の保護・育成手法の検討.	崎山和昭・田村勇司・山田英俊	大分県農林水産研究指導センター	2015年度水産海洋学会	2015	10

28	Do species diversity and productivity of fisheries resources increase around submarine groundwater seepages in coastal area?: possible effects of global warming.	SHOJI J, Hata M, Hori M, Sugimoto R, Tomiyama T.	広島大学、水産機構	The 16th Japanese-French Oceanography Symposium Abstract book. Com-8	2015	11
29	中津干潟におけるアサリ生息環境としての地温.	梶原直人・手塚尚明・浜口昌巳.	水産機構	日本海洋学会2015年度秋期大会	2015	9
30	エゾアワビ生息場所の餌料環境を評価する指標の検討	千川 裕・高谷義幸	北海道立総合研究機構	日本水産学会平成28年度春季大会	2016	3
31	東京湾におけるマコガレイ稚魚の分布・移動・へい死に対する底層水温・DOの影響	石井光廣・内藤大輔・児玉圭太・堀口敏宏・片山知史	水産機構、東北大	H28日本水産学会	2016	3
32	Effects of submarine groundwater on feeding and growth of juvenile marbled flounder <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> in the Seto Inland Sea, Japan.	Shoji J, Hata M, Fujita K, Tomiyama T.	広島大学	The North Pacific Marine Science Organization 25th Annual Meeting (PICES-2016)	2016	4
33	Possible effects of the global warming on Water-Food NEXUS in coastal ecosystems: fish species diversity and production around submarine groundwater seepage. Future Earth Water-Energy-Food	Shoji J.	広島大学	NEXUS Workshop “Governance transformation and integrated information for the W-E-F Nexus” Agenda	2016	4
34	地球温暖化に伴う環境変動が海底湧水を通じて沿岸域の水産生物に与える影響.	小路淳・杉本亮・本田尚美・富永修・小林志保・山田誠・谷口真人.	広島大学	日本地球惑星科学連合2016年大会セッション「陸海相互作用ー沿岸生態系に果たす水・物質循環の役割ー」	2016	5
35	Optimal temperature for feeding and growth of juvenile marbled flounder <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> under laboratory conditions.	Kusakabe K, Hata M, Shoji J, Tomiyama T.	広島大学	7th World Fisheries Congress.	2016	5
36	中津干潟の夏季における地温とアサリ着底稚貝との関係	梶原直人・手塚尚明・浜口昌巳	水産機構	2016年度日本海洋学会秋季大会	2016	9
37	市販ドローンを活用した瀬戸内海の藻場・干潟空撮モニタリング.	手塚尚明・梶原直人・島袋寛盛・吉田吾郎・榎本洗一郎・戸田真志	水産機構	平成28年度水産工学会秋季シンポジウム	2016	9

38	ドローンを用いた広域藻場調査による北海道美国・古平地先におけるウニ密度管理適地選定手法の検証	森口朗彦・梶原瑠美子・南部亮元・渡辺一俊・山田充哉・桑原久実・干川 裕・福田裕毅・秋野秀樹	水産機構、北海道立総合研究機構	平成28年度日本水産工学会秋季シンポジウム	2016	9
39	中林の衰退に伴う底生動物群集の変化: 相模湾長井地先における人工礁・天然礁の比較,	折田亮,丹羽健太郎,澤山周平,黒木洋明,山本敏博,張成年,堀井豊充,澁野拓郎,鬼塚年弘,寺本航,早川淳,大土直哉,工藤孝浩,木下淳司	水産機構	ベントス学会	2016	9
40	海底湧水が魚類の成長に及ぼす影響: ケージ実験による検討.	藤田浩司・富山毅・小路淳	広島大学	平成28年度日本水産学会秋季大会	2016	9
41	Tidal Flat Observation and Monitoring Using Still Video and Network Cameras.	Naoaki Tezuka, Toshihiro Shigeta, Motoharu Uchida, Tokihiro Fukatsu.	水産機構	Techno-Ocean	2016	10
42	東京湾におけるイシガレイの生物情報の整理	石井光廣・梶山誠・片山知史.	千葉県水産総合研究センター、東北大学	2016年度水産海洋学会研究発表大会	2016	11
43	飼育条件下におけるマコガレイ稚魚の摂食と成長に及ぼす水温の影響.	日下部和志・秦正樹・小路淳・富山毅.	広島大学	日本水産増殖学会第15回大会	2016	11
44	Effects of submarine groundwater on feeding and growth of juvenile marbled flounder <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> in the Seto Inland Sea, Japan	小路淳・秦正樹・藤田浩司・富山毅	広島大学	PICES 2016 Annual meeting	2016	11
45	東京湾におけるマコガレイの産卵回遊経路の把握	樋口裕人・三田村啓理・西澤秀明・荒井修亮・石井光廣・梶山誠・堀 正和	京都大学、千葉県水産総合研究センター、水産機構	平成 28 年度日本水産学会近畿支部例会	2016	12
46	広島県沿岸の干潟におけるアサリ増養殖の取り組み	伊藤 篤・山崎英樹・浜口昌巳・高橋 暁	水産機構、産総研	第17回広島湾研究集会	2016	12
47	メッシュバッグを用いた大分県中津干潟におけるアサリ増殖の試み.	梶原直人・手塚尚明.	水産機構	平成29年度日本水産工学会学術講演会学術講演論文集. 120-121p	2017	5
48	瀬戸内海中央部の海底湧水域におけるカレイ類を中心とした魚類の出現.	小路淳・杉本亮・本田尚美・谷口真人.	広島大学	日本地球惑星科学連合2017年大会	2017	5

49	海底湧水が魚類の成長に与える影響:カレイ類稚魚のケージ実験による検証.	小路淳・杉本亮・本田尚美・谷口真人.	広島大学	日本地球惑星科学連合2017年大会	2017	5
50	Possible contribution of submarine groundwater on feeding and growth of juvenile marbled flounder <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> in the Seto Inland Sea, Japan.	Shoji J, Hata M, Fujita K.	広島大学	The Japanese Society for Fisheries Science 85th Anniversary- Commemorative International Symposium	2017	9
51	Thermal responses of juvenile marbled flounder <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>	富山 毅・櫻井玄人・日下部和志・高橋聡史・吉田侑生・小路淳	広島大学	10th International Flatfish Symposium	2017	11
52	Does submarine groundwater discharge affect growth of juvenile flatfish? a cage experiment in the Seto Inland Sea, Japan	藤田浩司・富山毅・小路淳	広島大学	10th International Flatfish Symposium	2017	11
53	Analysis of depletion factors of the marbled flounder, <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> , in Osaka Bay, Japan	Shingo Watari, Masayuki Yamamoto, Hiroaki Omi, Hirotaka Tsujimura	水産機構、香川県水産試験場、大阪府環境農林水産総合研究所	10th International Flatfish Symposium	2017	11
54	HOW DOES MARBLED SOLE (PLEURONECTES YOKOHAMA) RELATE TO TOKYO BAY SURROUNDED BY THE METROPOLITAN AREA,	Ishii, M., Kajiyama, M., Katayama, S., Hori, M	東北大学、千葉県水産総合研究センター、水産機構	10th International Flatfish Symposium	2017	11
55	OTOLITH MICROCHEMISTRY OF MARBLED FLOUNDER IN TOKYO BAY, JAPAN,	Katayama, S. and Ishii, M	東北大学、千葉県水産総合研究センター	10th International Flatfish Symposium	2017	11
56	Detecting migration routes of coastal flatfish juveniles using a stable isotope analysis in Tokyo Bay, Japan	堀正和・濱岡秀樹・石井光廣・梶山誠	水産機構	10th International Flatfish Symposium	2017	11
57	Temporal stability of genetic structure and gene flow of marbled flounder <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> in Tokyo Bay, Japan	佐藤允昭・石井光廣・堀 正和・梶山誠・浜口昌巳	水産機構、千葉県水産総合研究センター	10th International Flatfish Symposium	2017	11
58	Life cycle of the marbled sole inhabiting Tokyo Bay facing the metropolitan area of Japan	石井光廣・梶山誠・片山知史・堀 正和	千葉県水産総合研究センター、東北大学、水産機構	10th International Flatfish Symposium	2017	11
59	Movements of the marbled flounder in relation to water temperature and dissolved oxygen in Tokyo Bay monitored by acoustic telemetry	三田村啓理・新井修亮・堀 正和・内田和彦・梶山誠・石井光廣	京都大学、千葉県水産総合研究センター、水産機構	10th International Flatfish Symposium	2017	11
60	Post-spawning movement and behavior of marbled flounder in Tokyo Bay, Japan	西澤宏明・三田村啓理・石井光廣・梶山誠・新井修亮・堀正和	京都大学、千葉県水産総合研究センター、水産機構	10th International Flatfish Symposium	2017	11



61	Collection record marbled flounder eggs attached to the siphon and shell of large bivalves from Bisan-seto, central Seto Inland Sea, Japan.	Yamamoto M, Tomiyama T, Shoji J	香川水試、広島大学	10th International Flatfish Symposium	2017	11
62	瀬戸内海燧灘西部の砂浜浅海域におけるマコガレイとイシガレイ仔稚魚の個体数密度の経年変化	渡邊昭生・成田公義・清水孝昭	愛媛県水産研究センター	2017年度日本水産増殖学会大会講演要旨集、8p	2017	11
63	東京湾におけるマコガレイ稚魚の移動経路	石井光廣・三田久徳・玉圭太・堀口敏宏・堀正和・片山知史・内藤大輔	千葉県水産総合研究センター、水産機構、東北大学	2017年度水産海洋学会研究発表大会	2017	11
64	大分県中津干潟におけるメッシュバッグ増殖におけるアサリの成長と稚貝集積機能の付加	梶原直人	水産機構	平成29年度二枚貝類飼育技術研究会	2017	12
65	大分県中津干潟におけるメッシュバッグ保護下のアサリの成長と稚貝集積機能の付加	梶原直人	水産機構	第6回アサリ研究会	2018	2
66	瀬戸内海におけるマコガレイの集団遺伝構造：種苗放流がみえにくくする元の集団構造	佐藤允昭・北西滋・浜口昌巳・亘真吾・堀正和	水産研究・教育機構 水産工学研究所	ポスター発表（第65回日本生態学会）	2018	3
67	長崎県檜山町地先における小形海藻藻場造成の試み	門田立・増田佳子・清本節夫・邵花梅・中川雅弘・吉村拓・宮野哲平	水産機構	平成30年度日本水産学会春季大会	2018	3(発表予定)

## (3) 出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌(注)(1)学術論文に記載したものを除く、重複記載をしない。)、③年報、④広報誌、⑤その他

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1	②	浜口昌巳、川根昌子(アサリをモデルとした大阪湾および周辺海域の干潟生物ネットワークの解明). 瀬戸内海, 65: 57-60.	浜口昌巳、川根昌子	瀬戸内水研	(公社)瀬戸内海環境保全協会	2013	3
2	②	瀬戸内海の魚介類漁業の現状と課題. 海洋と生物. 海洋と生物, 205: 125-131.	浜口昌巳	瀬戸内水研	生物研究社	2013	4
3	②	舞根湾に蘇った干潟におけるアサリの出現と動態. 海洋と生物, 209: 575-581.	千葉 晋、園田 武、藤浪祐一郎、浜口昌巳	瀬戸内水研	生物研究社	2013	12
4	③	公募型研究事業(藻場回復高度化事業), 平成25年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書	猪狩忠光, 久保 満, 塩先尊志	鹿児島水技セ	鹿児島県水産技術開発センター	2015	2

## (4) 国内特許権等

整理番号	特許権等の名称	発明者	権利者(出願人等)	機関名	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日
	該当無し							

## (5) 国際特許権等

整理番号	特許権等の名称	発明者	権利者(出願人等)	機関名	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日	出願国
	該当無し								

## (6)報道等

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

区分	記事等の名称	掲載紙・放送社名等	掲載年	掲載月	掲載日	機関名	備考
②	「瀬戸内海カレイ資源に危機一周防灘20余年で9割減、研究進展で増加に望みも」	みなと新聞	2016	1	17		
③	「うまいッ！大粒でうまみ濃厚！大野あさり」	NHK	2017	6	18	水産機構	
③	ダーウィンが来た「徹底比較！ヒラメとカレイ」	NHK	2017	12	17	千葉県水産総合研究センター	本プロ研で実施したマコガレイ仔魚調査を含む

## (7)普及に移しうる成果

区分:①普及に移されたもの、製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの

区分	成果の名称	機関名	普及(製品化)年月		主な利用場面	普及状況
②	アサリ稚貝の簡便な保護育成法の開発	水産機構	2015-	2017	アサリ漁場での放流用稚貝の確保	県・市・漁協と協力し広島県大野浦近隣3漁協では2百数十万個稚貝確保し、生産した成貝を出荷予定、和歌山県和歌浦漁協でも、試験的な潮干狩りを実施し、成貝を出荷予定。

(8)発表会の主催の状況  
(シンポジウム・セミナー等を記載する。)

整理番号	発表会の名称	年月日			開催場所	参加者数	機関名	備考
	該当無し							

(9)アウトリーチ活動の状況

当事業の研究課題におけるアウトリーチ活動の内容は以下のとおり。

区分：①一般市民向けのシンポジウム、講演会及び公開講座、サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展、大学及び研究所等の一般公開への参画、

③その他(子供向け出前授業等)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	年月日			開催場所	参加者数	主な参加者	機関名	備考
1	③	第5回中津干潟を元気にする検討会 講演「移植したアサリ稚貝の成長と生残」	2018	3	23	大分県漁業協同組合中津支店 大会議室	約40名の見込み	漁業者	大分県農林水産研究指導センター	中津干潟を元気にする会が主催
2	①	千葉県漁業操業安全対策協議会 講演会「豊かな海を目指した内湾管理」	2018	3	15	千葉県 きぼーる13階会議室	約100名	東京湾沿岸の漁業組合・関係者、企業関係者、行政機関、一般市民	瀬戸内海区水産研究所	カレイ類の復活・ブルーカーボン利用に向けたアマモ場再生など
3	③	いぶり噴火湾漁業協同組合礼文地区浅海部会説明会「生態系ネットワーク2013～2017年の成果」	2018	3	13	いぶり噴火湾漁業協同組合 礼文支所	約15名	浅海部会漁業者	道総研中央水産試験場	
4	①	平成29年度岡山県農林水産総合センター水産研究所研究成果発表会 演題「アサリを守り育てる」	2018	3	13	ピュアリティまきび	約50名	一般市民、漁業関係者、大学、市町村関係者等	岡山県農林水産総合センター水産研究所	
5	③	第5回アサリ研究会	2018	2	22	農林水産省会議室	約90名	県、市、公社、民間企業	瀬戸内海区水産研究所	
6	①	水産研究・教育機構第15回成果発表会 講演「アサリ資源減少への反撃」	2018	2	16	ヤクルトホール	約180名	一般市民	水産研究・教育機構	
7	③	西条干潟再生研究会 講演「アサリ資源回復試験の取組み状況について」	2018	2	7	愛媛県東予地方局西条第2庁舎 2-3会議室	14名	漁業関係者、県・市職員	愛媛県農林水産研究所水産研究センター栽培資源研究所	
8	③	平成29年度九州・山口ブロック水産試験場長会アサリ分科会 話題提供「広島県におけるアサリ増養殖の取組み ～浮遊幼生調査の活用～」	2018	1	25-26	山口グランドホテル	約25名	公設水試担当者	山口県水産研究センター	

9	③	尾道市水産振興協議会臨時総会	2018	1	23	尾道漁協	約30名	漁協、市、県	尾道市水産振興協議会	
10	③	平成29年度あさり勉強会 話題提供「アサリメッシュバッグ増殖における成長と稚貝集積機能の付加」	2017	12	26	東京海洋大学		県、公社、大学など	東京海洋大学	
11	③	平成29年度二枚貝類飼育技術研究会 話題提供「大分県中津干潟におけるメッシュバッグ増殖におけるアサリの成長と稚貝集積機能の付加」	2017	12	20	神戸市教育会館	64名	公設水試、栽培センター、公社担当者	瀬戸内海区水産研究所	
12	③	松永湾水産振興協議会	2017	12	7	尾道東部漁協山波支所	約15名	漁協組合長、市、県	松永湾水産振興協議会	
13	③	三浦アサリ研究会水産多面的機能発揮対策事業にかかる打合せ会 講演「アサリ資源回復試験の取組み状況について」	2017	12	6	愛媛県農林水産研究所水産研究センター 大会議室	24名	漁業関係者、学生、県・市職員	愛媛県農林水産研究所水産研究センター栽培資源研究所	
14	③	鹿児島県瀬戸内漁業協同組合藻場造成講習会 講演「奄美海域における藻場造成について」	2017	12	6	瀬戸内漁業協同組合会議室	約15名	漁業者	鹿児島県水産技術開発センター	
15	①	第18回広島湾研究集会 講演「アサリ資源回復への幼生追跡実験の貢献」	2017	11	16	広島市西区民センター	約80名	一般市民	水産機構	水産海洋学会
16	③	海部郡広域水産業再生委員会 講演「アワビ類の増殖と管理に関する研修会」	2017	11	2	徳島県南部総合県民局	約70名	漁業者、漁協関係者、地方自治体関係者	西海区水産研究所	
17	③	平成29年度長崎県アワビ種苗生産技術研究会、「最近の藻場の変化と推定されるアワビへの影響」	2017	9	14	長崎タクシー会館	約20名	アワビ種苗生産従事者、地方自治体関係者	西海区水産研究所	
18	③	東しゃこたん漁業協同組合古平浅海部会役員会「生態系ネットワーク2017年中間報告(ウニ除去試験結果および計画)」	2017	9	14	東しゃこたん漁業協同組合会議室	15名	浅海部会役員漁業者	道総研中央水産試験場	
19	③	東しゃこたん漁業協同組合古平浅海部会役員会「生態系ネットワーク中間報告(ウニの身入りとアワビ調査結果)」	2017	9	14	東しゃこたん漁業協同組合会議室	15名	浅海部会役員漁業者	道総研中央水産試験場	

20	①	第4回 海の科学講座in九州『変わりゆく海』『地球温暖化による「海の森」の変化』	2017	8	6	九州大学西新プラザ 大会議室	約50名	一般市民、学生	西海区水産研究所	福岡管区气象台、九州大学応用力学研究所との共催
21	③	二枚貝資源緊急増殖対策委託事業検討会	2017	6	26	下関市勤労者総合福祉センター	約15名	漁協、市、県	水産機構	(株)ジェイワイカーゴ
22	①	尾道アサリシンポジウム 講演「アサリってどんないきもの？」	2017	6	24	尾道市民センターむかいしま	約70名	一般市民	水産機構	尾道学園
23	③	積丹町農林水産課「生態系ネットワーク2016年の結果報告と2017年の計画説明」	2017	4	20	積丹町	3名	積丹町水産係職員	道総研中央水産試験場	
24	③	東しゃこたん漁業協同組合古平浅海部会役員会「生態系ネットワーク2016年の結果および2017年の計画説明」	2017	4	19	東しゃこたん漁業協同組合会議室	15名	浅海部会役員漁業者	道総研中央水産試験場	
25	③	前潟干潟研究会	2017	4	5	広島信漁連広島西支店	約30名	漁業者、漁協、市、県	水産機構	前潟干潟研究会
26	③	いぶり噴火湾漁業協同組合礼文地区浅海部会説明会「生態系ネットワーク2016の結果と2017年の全体計画」	2017	3	24	いぶり噴火湾漁業協同組合礼文出張所	約15名	浅海部会漁業者	道総研中央水産試験場	
27	③	第4回中津干潟を元気にする検討会 講演「移植したアサリ稚貝の成長と生残」	2017	3	22	大分県漁業協同組合中津支店大会議室	約40名	漁業者	大分県農林水産研究指導センター	中津干潟を元気にする会が主催
28	③	鹿児島県大和村漁業集落講習会 講演「奄美における藻場造成について」	2017	3	22	大和村中央公民館	14名	漁業者	鹿児島県水産技術開発センター	
29	③	鹿児島県長島地区藻場保全会講習会 講演「藻場造成とアワビ漁業について」	2017	3	10	鹿児島県水産技術開発センター	7名	漁業者	鹿児島県水産技術開発センター	
30	③	鹿児島県西薩地区漁協青壮年部研修会 講演「薩摩半島西岸の藻場について」	2017	2	20	シーサイドガーデンさのさ	約40名	漁業者、漁協、市	鹿児島県水産技術開発センター	西薩地区水産業改良普及事業推進協議会
31	③	アイゴ勉強会 講演「ドローンを用いた広域藻場調査と名護屋湾における藻場回復適地選定手法」	2017	1	20	児島湾漁村センター	約20名	水研、県水産研究者	勉強会主催：瀬戸内海区水産研究所、当該講演：水産工学研究所	

32	③	第3回北海道あさり勉強会:瀬戸内海西部におけるアサリ増養殖の取り組み	2017	1	18	北海道立道民活動センター	約80名	道、市町村、漁協関係者	北海道立総合研究機構	
33	③	アサリ勉強会:大分県中津干潟におけるメッシュバッグを用いたアサリ増殖試験	2016	12	22	東京海洋大学		県、公社	東京海洋大学	
34	①	第17回広島湾研究集会:広島県沿岸の干潟におけるアサリ増養殖の取り組み.	2016	12	16	広島市市民交流プラザ	約80名	一般市民	水産機構・産総研	水産海洋学会
35	③	平成28年度 二枚貝類飼育技術研究会:最近のアサリトピックス	2016	12	6-7	クィーンズフォーラム	46名	県、公社	瀬戸内海区水産研究所	
36	③	東しゃこたん漁業協同組合古平浅海部会役員会「生態系ネットワーク2016年中間報告(ウニの身入りとアワビ調査)」	2016	8	23	東しゃこたん漁業協同組合会議室	15名	浅海部会役員漁業者	道総研中央水産試験場	
37	③	いぶり噴火湾漁業協同組合礼文地区浅海部会説明会「生態系ネットワーク2015年結果と2016年計画」	2016	5	10	いぶり噴火湾漁業協同組合礼文出張所	約15名	浅海部会漁業者	道総研中央水産試験場	
38	③	名護屋湾磯焼け協議会との成果報告及び意見交換会	2016	5	9	大分県漁業協同組合名護屋支店	約10名	漁業者(藻場造成担当者)、漁協担当者	水産工学研究所・西海区水産研究所	
39	③	積丹町農林水産課および東しゃこたん漁業協同組合美国支所説明会「生態系ネットワーク2015年ウニ除去試験の結果と2016年計画」	2016	4	25	積丹町水産課および東しゃこたん漁協美国支所	4名 3名	積丹町水産係職員 漁協職員	道総研中央水産試験場	
40	③	東しゃこたん漁業協同組合古平浅海部会会議「生態系ネットワーク2015年ウニ除去試験の結果報告と2016年計画の説明」	2016	4	18	東しゃこたん漁業協同組合会議室	15名	浅海部会役員漁業者	道総研中央水産試験場	
41	③	第3回中津干潟を元気にする検討会 講演「再放流したアサリ稚貝の成長と生残」	2016	3	17	大分県漁業協同組合中津支店大会議室	約30名	漁業者	大分県農林水産研究指導センター	中津干潟を元気にする会が主催
42	③	第3回中津干潟を元気にする検討会 講演「二重網を活用したアサリ稚貝の保護・育成手法の検討」	2016	3	17	大分県漁業協同組合中津支店大会議室	約30名	漁業者	大分県農林水産研究指導センター	中津干潟を元気にする会が主催
43	③	西海大崎漁業協同組合 黒潮会 学習会 講演「アワビ類の生態について」	2016	1	12	西海大崎漁業協同組合本所	約30名	漁業者、漁協関係者、地方自治体関係者	西海区水産研究所	

44	③	東しゃこたん漁業協同組合古平浅海部会会議「生態系ネットワーク2015年ウニ除去試験の結果と計画説明」	2015	9	28	東しゃこたん漁業協同組合 会議室	約30名	浅海部会漁業者	道総研中央 水産試験場	
45	③	東しゃこたん漁業協同組合古平浅海部会会議「生態系ネットワーク2015年中間報告(アワビの餌環境について)」	2015	9	28	東しゃこたん漁業協同組合 会議室	約30名	浅海部会漁業者	道総研中央 水産試験場	
46	③	平成27年度長崎県アワビ種苗生産技術研究会 講演「長崎県沿岸における藻場の変化とアワビへの影響」	2015	9	8	長崎県総合水産試験場	約20名	アワビ種苗生産担当者、 地方自治体関係者	西海区水産研究所	
47	③	平成27年度尾道市水産振興協議会総会 講演「尾道産のアサリを増やすために」	2015	7	23	尾道漁協	約30名	漁協、市、県	水産機構	尾道市水産振興協議会
48	③	平成27年度寄島町漁業協同組合定例理事会 講演「アサリ、モガイの調査報告」	2015	6	16	寄島町漁業協同組合	約30名	漁協組合員	岡山県農林水産 総合センター水 産研究所	
49	③	東しゃこたん漁業協同組合古平浅海部会会議「生態系ネットワーク2014年結果と2015年計画説明」	2015	5	25	東しゃこたん漁業協同組合 会議室	約20名	浅海部会漁業者	道総研中央 水産試験場	
50	③	いぶり噴火湾漁業協同組合礼文地区浅海部会説明会(生態系ネットワーク2014年結果と2015年計画)	2015	5	21	いぶり噴火湾漁業協同組合 礼文出張所	約15名	浅海部会漁業者	道総研中央 水産試験場	
51	③	第2回中津干潟を元気にする検討会 講演「アサリ稚貝を再放流した石原漁場のアサリ生息状況」	2015	3	26	大分県漁業協同組合中津支店 大会議室	約40名	漁業者	大分県農林水産 研究指導セン ター	中津干潟を元気にす る会が主催
52	③	第2回中津干潟を元気にする検討会 講演「二重網を活用したアサリの稚貝集積と保護・育成について」	2015	3	26	大分県漁業協同組合中津支店 大会議室	約40名	漁業者	大分県農林水産 研究指導セン ター	中津干潟を元気にす る会が主催
53	③	清本節夫. 小型海藻藻場へのアワビの放流ー小値賀における途中経過ー 平成26年度長崎県アワビ種苗生産技術研究会	2014	9	30	セントヒル長崎	約20名	アワビ種苗生産担当者、 地方自治体関係者	西海区水産研究所	



54	③	東しゃこたん漁業協同組合古平浅海部会会議「生態系ネットワーク2014年中間報告」	2014	9	25	東しゃこたん漁業協同組合会議室	約30名	古平浅海部会漁業者	道総研中央水産試験場	
55	③	尾道東部漁業協同組合大磯地区被せ網講習会 講演「被覆網によるアサリ稚貝の保護について」	2014	9	11	尾道東部漁協		漁協、市、県	水産機構	尾道東部漁協
56	③	尾道東部漁業協同組合大磯地区被せ網講習会 講演「アサリ資源再生について」	2014	9	11	尾道東部漁協		漁協、市、県	水産機構	尾道東部漁協
57	③	平成26年度尾道市水産振興協議会総会 講演「アサリ資源の復活にむけて」	2014	7	3	尾道漁協	約30名	漁協、市、県	水産機構	尾道市水産振興協議会
58	③	東しゃこたん漁業協同組合「生態系ネットワーク2013年結果報告と2014年計画説明」	2014	3	7	東しゃこたん漁業協同組合会議室	約40名	古平地区および積丹町美国地区の浅海部会漁業者	水工研・道総研中央水産試験場	
59	③	第1回中津干潟を元気にする検討会 講演「25年度沖石原における集積装置によるアサリ稚貝の動向について」	2014	3	7	大分県漁業協同組合中津支店大会議室	約40名	漁業者	大分県農林水産研究指導センター	中津干潟を元気にする会が主催
60	③	第1回中津干潟を元気にする検討会 講演「アサリ吸引装置を用いた移植の試み」	2014	3	7	大分県漁業協同組合中津支店大会議室	約40名	漁業者	大分県農林水産研究指導センター	中津干潟を元気にする会が主催
61	①	2013年度水産海洋学会研究発表大会公開シンポジウム「沿岸海域の複合生態系Ⅲ-9.沿岸域の生態系ネットワーク再生による生態系サービス向上への取り組み」	2013	11	15	京都大学益川ホール		一般市民、研究者等	広島大学	
62	③	平成25年度 尾道市水産振興協議会総会 講演「尾道産アサリを増やすための種貝の安定確保と保護」	2013	7	2	尾道漁協	約30名	漁協、市、県	水産機構	尾道市水産振興協議会

**【アウトリーチ活動とは】**

国民の研究活動・科学技術への興味や関心を高め、かつ国民との双方向的な対話を通じて国民のニーズを研究者共有するため、研究者自身が国民一般に対して行う双方向的なコミュニケーション活動。  
「科学技術・学術審議会 基本計画特別委員会（第3期科学技術基本計画）の重要施