



カレイ類の生態系ネットワーク修復による 資源回復に向けたガイドライン

農林水産省農林水産技術会議事務局
国立研究開発法人水産研究・教育機構

2020年9月

目次

| | |
|---|-----|
| 1. はじめに | …1 |
| 2. 本ガイドラインが対象とするカレイ類とその生活史特性 | …2 |
| (1) マコガレイの生物的特性 | |
| (2) マコガレイを対象とした漁業と現状・問題点など | |
| 3. 生態系ネットワークの評価方法 | …5 |
| (1) 生態系ネットワークとは | |
| (2) 生態系ネットワークの評価手法 | |
| ①未成魚期・成魚期・卵期（バイオテレメトリー手法の利用） | |
| ②仔魚期（物物流動モデルの利用＋現地調査） | |
| ③稚魚期（安定同位体比分析の利用） | |
| ④生態系ネットワーク全体の空間範囲の把握（遺伝子解析の利用） | |
| 4. 本ガイドラインの各手法を用いた調査研究の事例 | …8 |
| (1) カレイ類の生活史段階別の生息場所と移動経路の探索 | |
| ①バイオテレメトリーを用いた未成魚・成魚の移動経路の追跡 | |
| ②海洋物理モデルを用いたシミュレーションによる仔魚期の移動分散の推定 | |
| ③遺伝子解析を用いた瀬戸内海のマコガレイ局種集団構造の把握および生活史段階間ネットワークの推定 | |
| ④炭素安定同位体比分析を用いた稚魚期の移動経路と移動成功率の推定 | |
| (2) 各海域の生態系ネットワークとそのボトルネック箇所 | |
| ①東京湾 | |
| ②大阪湾 | |
| ③燧灘 | |
| ④周防灘・伊予灘 | |
| (3) 生態系ネットワークにボトルネック箇所を作る阻害要因 | |
| ①稚魚期の阻害要因その1 | |
| ②稚魚期の阻害要因その2 | |
| ③産卵期の阻害要因 | |
| ④未成魚期の阻害要因 | |
| 5. 生態系ネットワークの修復・補強対策とその効果 | …25 |
| (1) 生態系ネットワークの修復・補強方法 | |
| ①広域な空間範囲での生態系ネットワーク修復・補強の取り組み | |
| ②地域でのネットワーク修復・補強、保護に有効な取り組み | |
| (2) 修復効果の数値目標の設定：資源量への効果推定 | |

1. はじめに

我が国の沿岸漁業の主力魚種の一つであるカレイ類資源は、1970年代に漁獲量のピークを迎えたのち、1980～90年にかけて、特に東京湾以西の西日本海域を中心に急激に減少した(図1)。その後も資源量の減少は止まらず、2010年には、最盛期の10分の1以下にまで減少してしまった。漁獲量回復の兆しが見えない状況を受け、各地で盛んに種苗放流が実施され、2000年代には放流量が1980年代の3倍近くにまで増加したものの、目立った放流効果は得られてこなかった。

そのため、資源量が増加しない原因は個体数の減少によって再生産が難しくなったのではなく、生息環境の劣化や分断によって生活史を完結できず、結果として再生産に結び付いていないと考えることができる。特に、生活史の段階別に異なる生息環境を利用して成長するカレイ類の場合、ある生活史段階で利用する生息環境が劣化するだけで、あるいは生息環境間の移動が困難になるだけで生活史を循環できなくなり、再生産に至るまでに大きく個体数を減らしてしまうためである。

そこで、本ガイドラインでは、カレイ類の生活史循環、各生活史段階の生息環境、それらを連結した生態系ネットワークを把握し、生活史循環のボトルネック(後述)となっている生活史段階とその生息場所を修復するために必要な技術や調査・解析手法などを提案する。対象海域の状況をもとに、カレイ類の生態系ネットワークにボトルネックを作り出している要因は何か(診断)、ボトルネックを解消するためにどのような対策を行うべきか(治療)、ボトルネックの解消による資源回復への効果はどれほど見込めるか(予測)、その処方箋の作成に必要な考え方と手法を中心に、具体的事例を交えて説明する。なお、本ガイドラインの内容は、農林水産技術会議委託プロジェクト研究「水産業再生プロジェクト：生態系ネットワークの修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発(平成25年度～平成29年度)」の成果に基づいて作成されている。

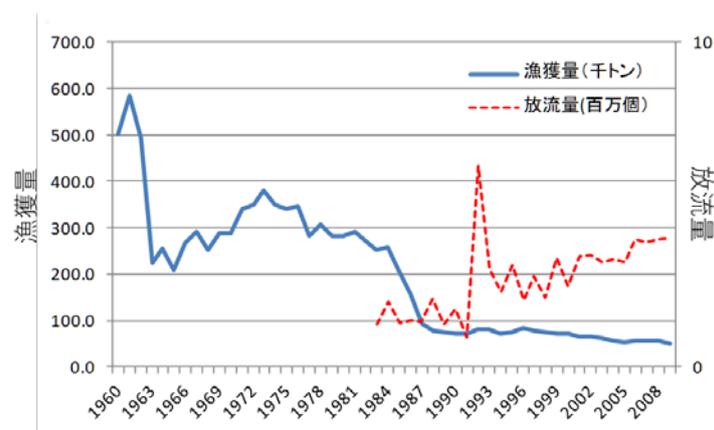


図1. 全国のカレイ類の漁獲量と放流量の推移

2. 本ガイドラインが対象とするカレイ類とその生活史特性

本ガイドラインでは、資源が大幅に減少している東京湾以西のカレイ類資源のうち、特に減少が著しいマコガレイに焦点を当てる。ただし、ガイドラインのマコガレイに対する考え方や手法は、同様の生息環境を利用しつつ類似した生活史循環を持つイシガレイ、メイトガレイにも応用することが可能である。

(1) マコガレイの生物的特性

この節では、対象となるマコガレイの生物的特性を把握することを第一に、学術研究などで用いられる詳細な生物学的データや分類学的特徴などの記述はできるだけ避け、平易な一般的情報のみに絞って以下に説明する。

形態：全長（口の先から尾びれの先までの長さ）は当歳魚で約 15～20 cm、1 歳魚で 30 cm くらいにまで成長し、その後は約 40～50 cm まで成長する。沿岸域に生息するカレイ類で類似した形態を持つものにイシガレイ、メイトガレイがいるが、イシガレイが尾部の付け根がくびれて横長のひし形のように見え、メイトガレイもひし形のような形態を示すのに対し、マコガレイは全体的にずんぐりした楕円形の形態をしている（図 2）。この楕円形の形態から、最近まで英語圏ではマコガレイだけ Sole（舌平目の仲間）と呼ばれていた（近年はイシガレイと同様に Flounder（カレイ・ヒラメの仲間）と呼ばれるようになってきている）。

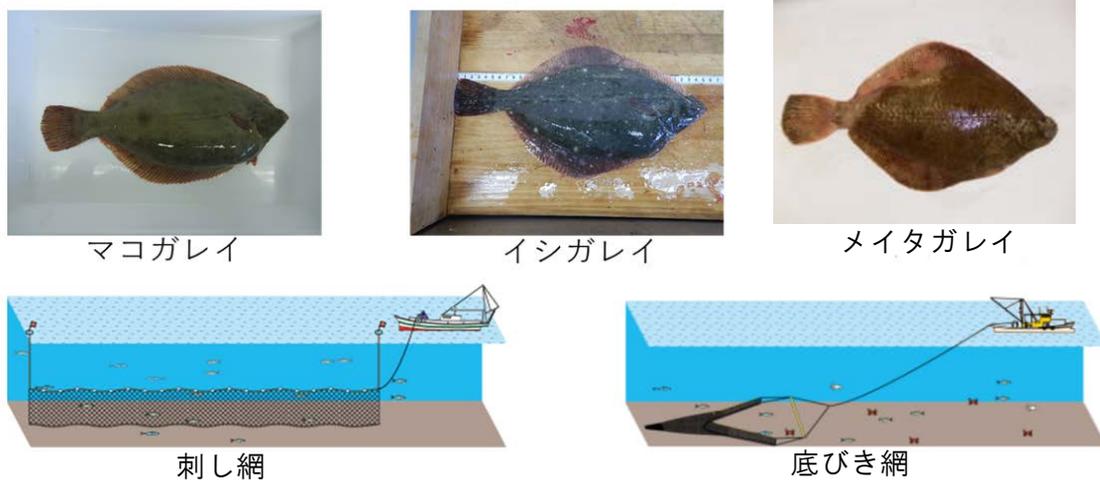


図 2. 沿岸性カレイ類の類似種 3 種（マコガレイ、イシガレイ、メイトガレイ）と主要な漁獲方法（愛媛県提供の資料を改変）

分布：北は北海道南部、南は大分県北部・東シナ海北部まで分布している。この分布範囲から、冷温帯地域を分布の中心とするカレイであることが推測され、瀬戸内海はほぼ南

限に相当する。

生活史：本ガイドラインでは、以下の5つの生活史段階を基準とする（図3）。

【成魚】成魚は水深約10mから約100mまでの沿岸浅海域を生息場所とし、夏場は深場において、冬から春にかけての産卵期に岸近くの浅場へ集団で集まってくる。成魚の餌は甲殻類や多毛類など、海底の堆積物内や表面に生息しているベントス（海底に生息する無脊椎動物類）が中心である。11月頃より産卵が始まるが、産卵場へは一般的にオスが先に到達し、その後しばらくたってメスがやってくる。オスは産卵期に複数回放精するのに対し、メスは1回かあるいは多くても数回しか放卵しないと言われている。また、産卵期には大型個体から先に産卵を始め、若い個体は後半に産卵することが多いことも知られている。



図3. カレイ類の生態系ネットワークの概念図（マコガレイを対象に作成）

【卵】卵は沈性粘着卵と呼ばれる、海底に沈んで砂粒や礫などに付着するタイプであり、浮遊卵を生むイシガレイやメイタガレイなど他の沿岸性カレイ類とは異なる。

【仔魚】卵は約1週間で孵化し、表層を浮遊する仔魚となる。孵化した直後は海水の流れに乗って受動的に移動するが、成長に伴い遊泳力がついてくると、着底する場所などを求めて能動的に泳ぐようになる。表層で約1か月間、動物プランクトンを餌として成長し、その間に全長数mmくらいになると左目が右目に寄り始める。その後、全長10mm程度で右側に両目が移動するタイミングに合わせて海底に着底し、稚魚期に入る。

【稚魚】稚魚は水深10m前後から波打ち際近くのごく浅い海岸線付近まで分布し、小

型のベントス類を餌にしている。そのため、小型のベントス類の餌となる有機物の多く、泥っぽい砂泥域を好むと言われている。イシガレイ稚魚はマコガレイ稚魚と対照的にきれいな砂質の波打ち際などを好むため、岸近くの砂浜海岸でよく見られるカレイ類の稚魚はイシガレイであることが多い。その後春から初夏にかけて、全長 50 mm を超えるあたりから成魚も生息する 10m 以深の海域へ移動を開始すると言われている。

【未成魚】 浅場を離れて移動を開始した稚魚は深場で夏を過ごし、秋から冬にかけて成魚と同じ海域を利用し、**未成魚**と呼ばれる体長 10 cm から 20 cm くらいの全長サイズになるまで成長する。生まれた年は再生産に参加しないが、大きいサイズのもの翌年から再生産に参加するようになり、再生産に参加したものを成魚と呼ぶ。

(2) マコガレイを対象とした漁業と現状・問題点など

マコガレイは主に小型底びき網と刺し網の 2 通りの漁業で漁獲されている (図 2)。小型底びき網は海底にいるカレイを能動的に動いて漁獲する漁法であり、刺し網はカレイの深場と浅場間での移動の通り道などに設置し、移動するカレイを受動的に漁獲する漁法である。この 2 種類の漁法の他には定置網があるが、刺し網と同じく移動するカレイを受動的に漁獲する漁法である。

「1. はじめに」で述べたように、マコガレイ漁業にとって現時点での最大の問題は資源量の大幅な減少にある。ただし、周防灘など、地域によっては漁獲量の多寡に漁法による差があり、一般的に底びき網のほうが漁獲の減少が著しく、刺し網のほうが多く漁獲されている。これは、マコガレイの生活史に伴う生息場所の移動と関連がある。マコガレイは産卵のために浅場へ移動する際や、産卵後に深場へ移動する際には、特定の海域を通過して移動する一方、普段は広い海域に分散している。したがってカレイの個体数が少なくなれば、底びき網で漁獲する場合は個体との遭遇確率が極端に小さくなり、漁獲量は大きく減少する。これに対し、刺し網あるいは定置網で漁獲する場合は、カレイが集まるときにその通り道に網を仕掛けるため、遭遇確率は底びき網より高く、漁獲量は底びき網よりも多くなると考えることができる。このことは、カレイの移動分散を考慮した資源管理・回復が重要となることを示す一例である。

3. 生態系ネットワークの評価方法

(1) 生態系ネットワークとは

卵から成魚にまで育ち、その成魚がまた産卵するまでの成長過程を生活史循環と呼ぶが、カレイ類の多くは生活史循環の中で産卵場（卵）、浮遊仔魚、稚魚、未成魚、成魚と成長するにつれ、それぞれの生活史段階で生息場所を変えていく（図3）。そのため、ある生活史段階で利用する生息環境が劣化するだけで、あるいは個々の生息環境が良好な状態であっても、生息環境間の移動が遮断されるだけで生活史を回すことができなくなり、次の世代を産む成魚に至るまでに大きく個体数を減少させてしまう。このように、生物が生活史を循環させて個体数を維持するために必要な複数の生息場所間のつながりを生態系ネットワークと呼ぶ。したがって、カレイ類の資源回復にはこの生態系ネットワークが健全であることが必須条件である。

(2) 生態系ネットワークの評価方法

カレイ類の生態系ネットワークの健全性を維持するための管理では、生態系ネットワークの現状を把握し、個体数が大幅に減耗している、あるいは分断している生活史段階があれば修復し、ときには補強することが重要である。ネットワークの修復にはカレイ類の成長・生残の低下が生じている生活史段階を見つけ、その低下を引き起こす要因を見出して除去することが必要である。また、ネットワークの補強には各生活史段階でカレイ類の成長・生残を促進できる要因を解明し、積極的に活用することが有効である。ここではマコガレイを例に、その生態系ネットワークを把握・評価するための手法について、図3に示した生活史段階に沿って説明する。なお、これらの手法を用いた具体的事例については、「4. 本手法を用いた調査研究の事例」で紹介する。

①未成魚期・成魚期・卵期（バイオテレメトリー手法の利用）

成魚の生息場所や産卵場、その間を移動する際の経路等を把握するためには、成魚個体の行動を追跡できるバイオテレメトリーを用いた手法が有効である。カレイ類の行動追跡に適したバイオテレメトリー手法は大きく分けて2通りの手法があり、一つはカレイ類に超音波発信機を装着し、受信機（ハイドロホン）を海底に設置して受信するか、あるいは船舶で曳航して発信機が出す超音波を頼りに追跡を行う手法（図4）、もう一つはカレイ類に小型の記録計（データロガー）を装着し、そのカレイが移動する間に記録される水温や水深などの環境データから移動経路を推定する方法である。

両手法とも、カレイそのものに発信機あるいは記録計（通常は発信機・記録計とも同じ形状の防水カプセル内に装填されている）を装着する必要があるため、その大きさがカレイの遊泳の妨げにならないよう、カレイの体サイズによって装

着できる発信機・記録計の大きさには限界がある。現在一般に普及している市販品では、体長で約 12 cm未満の個体には装着することが困難であるため(ただし、最新の記録計ではさらに小さい個体にまで装着できるものが開発され、市販も始まっている。本手法は未成魚か成魚への利用が最も適している。また、記録計を用いた手法では記録計が回収されなければデータを得ることができず、記録計を付けて放流したカレイが必要数再捕されることが前提条件である。

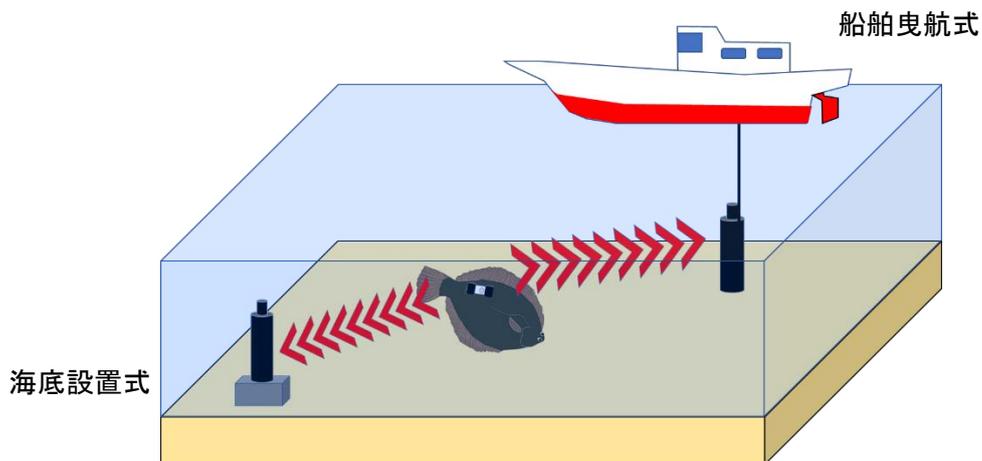
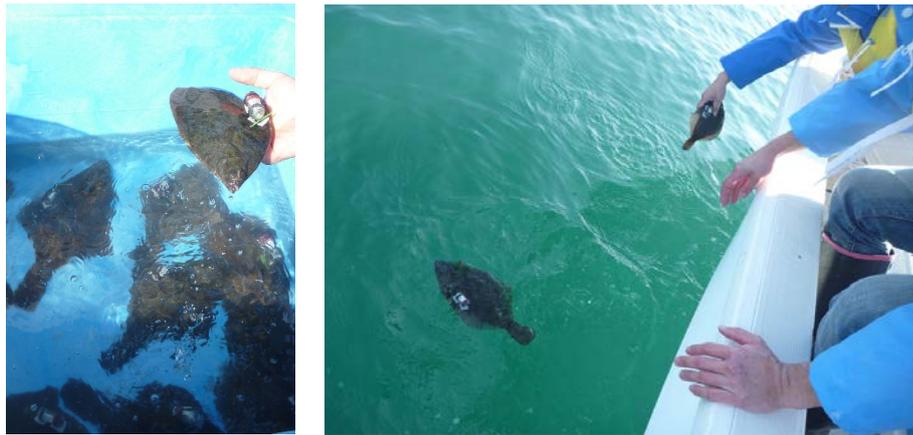


図 4. 海中での一般的なバイオテレメトリー手法の使い方

発信機を装着した個体を放流し、受信機を海底に設置するか、あるいは船舶等で曳航する。発信機を装着した個体が受信機の範囲内(事前に現場において計測した受信範囲、東京湾ではおよそ半径 200m)に入ると、発信機の識別番号や時刻などが受信機に記録される。

②仔魚期(物理流動モデルの利用+現地調査)

仔魚期の移動分散経路の推定には物理流動モデルが有効である。対象となる海域の海水の動きを精緻にシミュレーションし、その動きに仔魚に見立てた粒子を

流して、その粒子が稚魚の生息場所へたどり着くまでの移動経路を推定する、というのが一般的な解析手法となる。その際は粒子を受動的に流すだけでなく、仔魚の生物特性（仔魚は表層を浮遊し1か月後になると底層に異動して海底に着底する、など）を粒子の能動的な挙動としてシミュレーションに組み込むと推定精度が高くなる。また、調査船等を用い、対象となる海域で表層をプランクトンネットなどでサンプリングし、仔魚の密度を直接確かめる現地調査も有効である。

前者の流動モデルでは広範囲での予測が可能であるが、専門的な知識とモデルシミュレーションが必要となるため、専門機関へ外注することが一般的である。一方で現地調査の汎用性は高いが、多大な労力を要するため、広範囲の調査は困難である。仔魚期のネットワーク構造を把握するためには、専門機関でのモデルシミュレーションを行い、その実証と精度向上のために特定の調査海域で現地サンプリングを行うことが最も現実的である。

③稚魚期（安定同位体比分析の利用）

岸際の浅場を生息場所とする稚魚期では、生息場所や移動分散経路の推定に炭素・窒素安定同位体比分析を用いることが有効である。マコガレイ稚魚は、海底に生息している小型の無脊椎動物を主要な餌とし、それらは底泥中の有機物を利用して再生産している。そのため、マコガレイ稚魚の体内の炭素安定同位体比は、その場所の底泥中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、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できる。安定同位体比の分析には専用の分析機器が必要なため、専門機関に外注するのが簡便である。

④生態系ネットワーク全体の空間範囲の把握（遺伝子解析の利用）

遺伝子解析を行うことにより、生態系ネットワークが形成されている空間範囲（例えば、大阪湾のマコガレイの生態系ネットワークは大阪湾の中だけで完結しているか、それとも大阪湾の外の海域にもひろがっているか、など）を推定するとともに、上記①～③の評価手法の推定結果を補完する情報を得ることができる。マコガレイでは、36 遺伝子座のマイクロサテライト DNA マーカーが開発・公開されている。このマーカーを用いることで、例えば瀬戸内海全体の生態系ネットワークの配置やつながり、あるいはあるマコガレイの個体（卵・仔魚・稚魚・未成年魚・成魚のいずれの生活史段階でも可能）がどの海域の産卵親魚に由来するかなどが推定できる。遺伝子解析も専門的分析機器が必要なため、専門機関に外注するのが簡便である。

4. 本ガイドラインの各手法を用いた調査研究の事例

(1) カレイ類の生活史段階別の生息場所と移動経路の探索

① バイオテレメトリーを用いた未成魚・成魚の移動経路の追跡

バイオテレメトリー（発信機）を用いた手法：東京湾においてマコガレイ未成魚（体長 20 cm前後）・成魚（体長 25 cm～40 cm）計 17 個体の体腔内に外科手術によって発信機を装入し（腹腔腔内移植：日本バイオリギング研究会 HP）、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産卵のために移動する行動を追跡した。その結果、内湾（ここでは富津岬と観音崎を結んだラインより北側と定義）中央部を経路として南北移動するマコガレイ未成魚・成魚の追跡に成功した（図 5）。

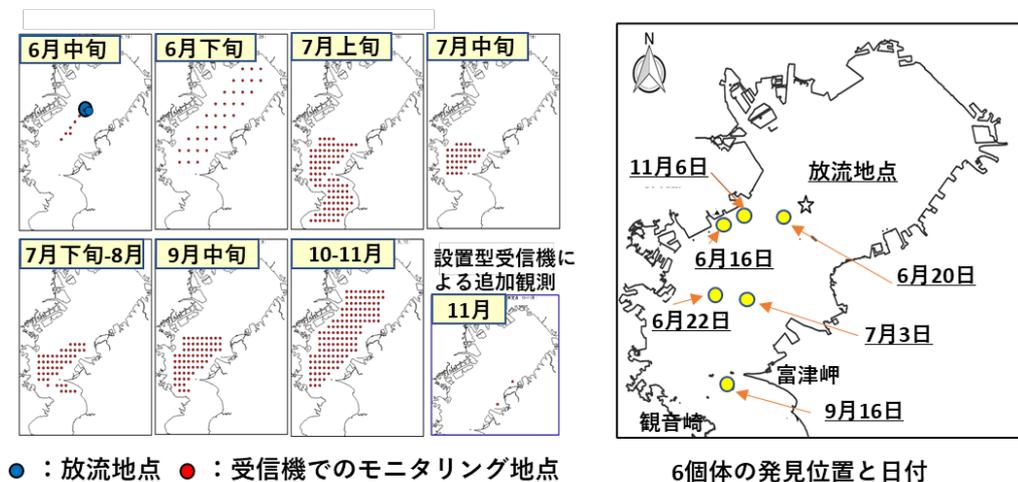


図 5. 東京湾での追跡結果

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。

バイオリギング（記録計）を用いた手法：マコガレイ未成魚・成魚に適した記録計のサイズとして、直径 1 cm×長さ 3 cm程度の円柱型（約 5g）を選定し（装着に適した記録計の大きさ・重量の目安などは魚種や体長によって異なるため、装着した個体の行動に支障がないか、装着前に実験等を行って確認する）、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採用した。東京湾、瀬戸内海東部、西部それぞれの海域で放流・再捕したところ、数日間（再放流後、数日後に漁獲されてしまった）の記録データが回収された個体から、約半年間の記録データが回収された個体まで、さまざまな記録データが得られた。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、マコガレイは水温変化に敏感であり、自身に適した一定の水温帯（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6）。

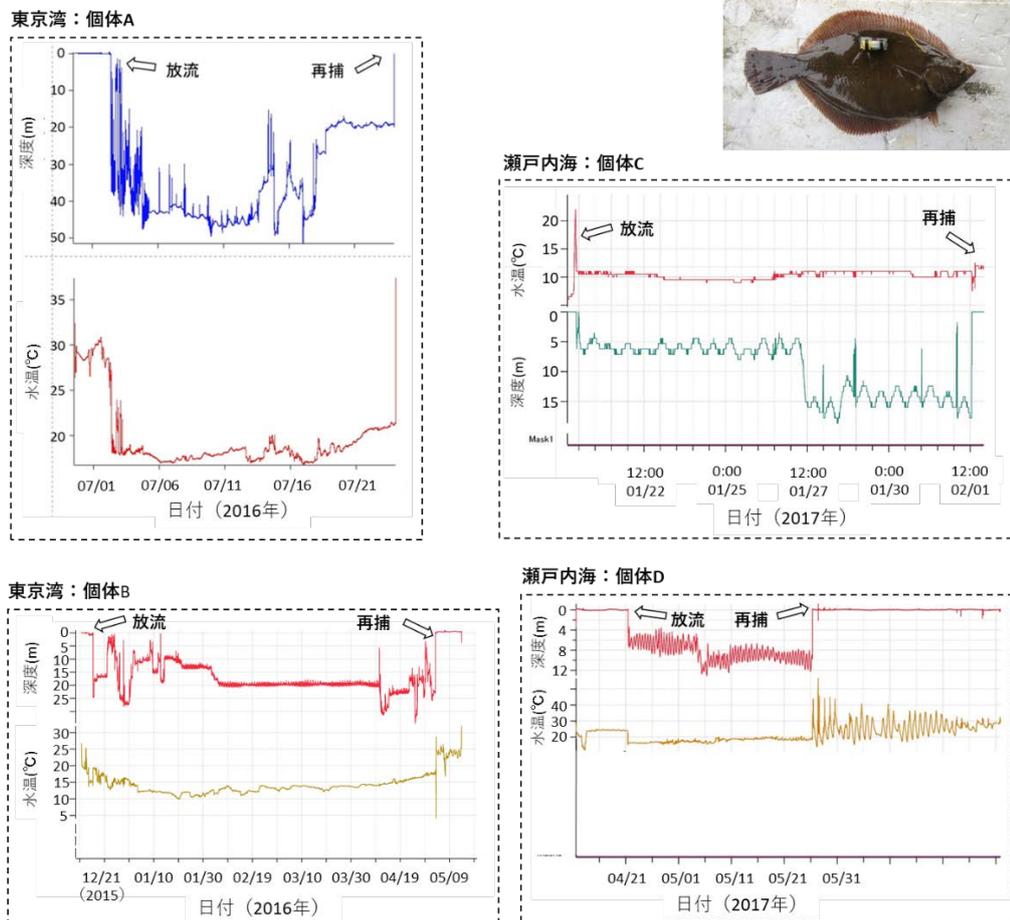


図6. 記録計を装着したマコガレイ成魚と回収されたバイオリギングデータ
東京湾と瀬戸内海の個体に装着した記録計において、すべての個体で水深が大きく変動しているのに対し、水温はほぼ一定の値をとっている

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（本ガイドラインでは富津岬と観音崎を結んだラインより南側と定義）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、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7）。この成魚個体は放流地点、再捕地点が近く、当初は内房に滞在していたと考えられていたが、記録計データの解析で内湾へ産卵移動を実施していたことが判明した。

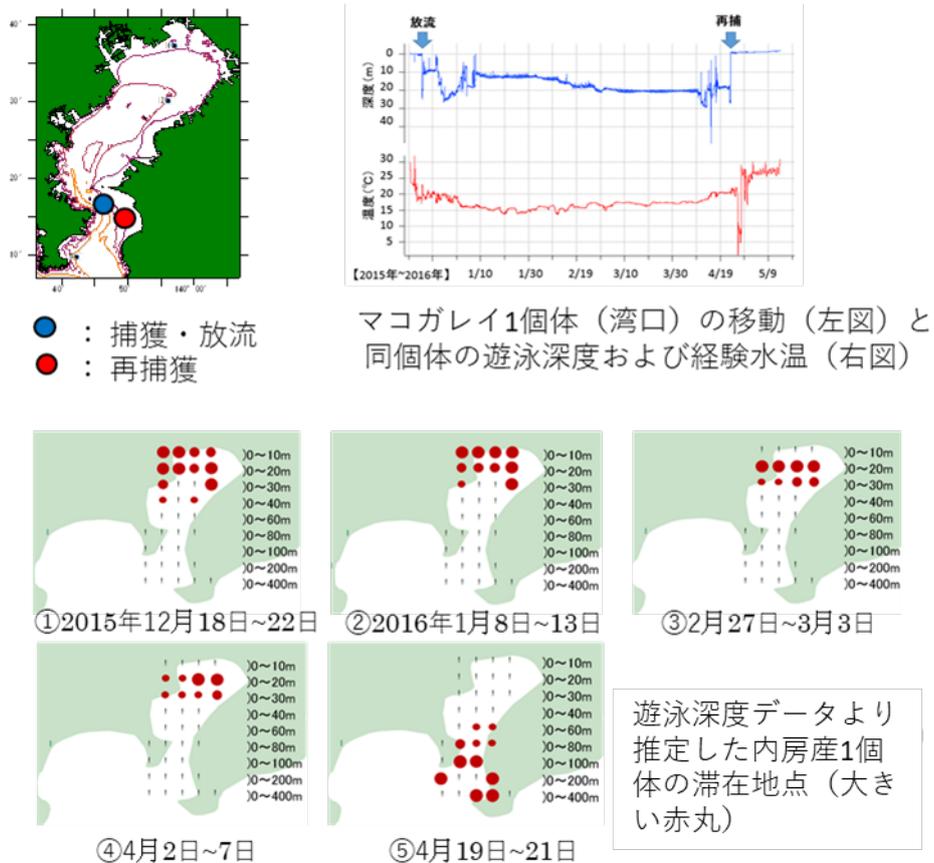


図7. 東京湾の内房で放流・再捕された個体のロガーデータを用いた分布と移動推定の結果

①～⑤の図において、赤丸が大きいほどその場所に滞在していた確率が高いことを示している。2015年12月に内房で放流後、数日で内湾奥（船橋あたり）まで一気に北上し、産卵を行った。その後4月まで産卵場付近に滞在し、2016年4月19～21日の間に内房まで戻ってきたことが推定されている。

②海洋物理モデルを用いたシミュレーションによる仔魚期の移動分散の推定

大阪湾を対象とし、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全域の海洋物理モデルを用い、このモデル上にマコガレイの仔魚の生態情報を反映させた粒子を流してシミュレーションし、この粒子をマコガレイ仔魚と見立てて移動経路とその着底先（仔魚期から稚魚期となる生息場所）を推定した。その結果、地点によっては播磨灘から移入してきた個体が30%～50%以上含まれることが推定された（図8）。この推定結果は、後述する遺伝子解析の結果（大阪湾全体で16～20%が播磨灘由来と推定）とも一致している。

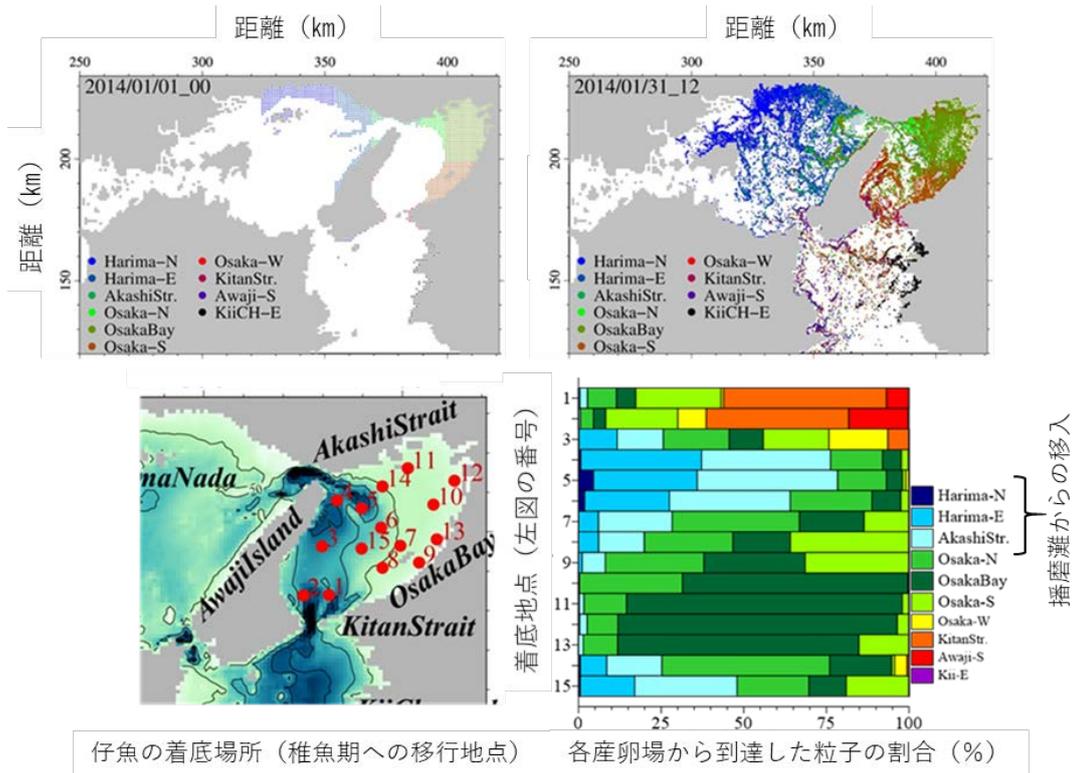


図 8. 各産卵場での産卵量を一定と仮定した場合の、モデルシミュレーションによる仔魚の帰属性解析の結果

大阪湾・播磨灘の各海域（潜在的な産卵場と仮定：左上図の 10 海域）から仔魚に見立てた粒子を出発させ、2 週間は各水深の流れに対し受動的に動くように設定し、14 日後に海底へ着底させた（右上図）。その粒子の分布を各着底地点（左下図の番号）別に割合で示した（右下図：縦軸の番号が各着底地点、横軸が各産卵場から到達した粒子の割合、各色が海域を示している）。着底地点 No. 3~9、および No. 14~15 に播磨灘からの粒子（青色・濃水色・水色）の割合が高く、仔魚が多く到達していることを示唆している。

③ 遺伝子解析を用いた瀬戸内海のマコガレイ局所集団構造の把握および生活史段階間ネットワークの推定

瀬戸内海全域のマコガレイ成魚の試料を用い、36 遺伝子座のマイクロサテライト DNA マーカーすべてを使って瀬戸内海集団内の遺伝的分化度 (FST) を計算し、遺伝的近縁度及び集団間距離の解析を行った。その結果、瀬戸内海のマコガレイは備讃瀬戸、しまなみ海道を境界に大阪湾・播磨灘集団、燧（ひうち）灘集団、広島湾・伊予灘・周防灘集団の 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が年によって変化することが明らかとなった（図 9）。このことは、瀬戸内海のマコガレイは 3 つの生態系ネットワークを形成し、ネットワーク間での個体の移出入が年によ

って変化していることを示唆している。また、山口東産の産卵親魚を使ったマコガレイ種苗を放流している大阪湾・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。

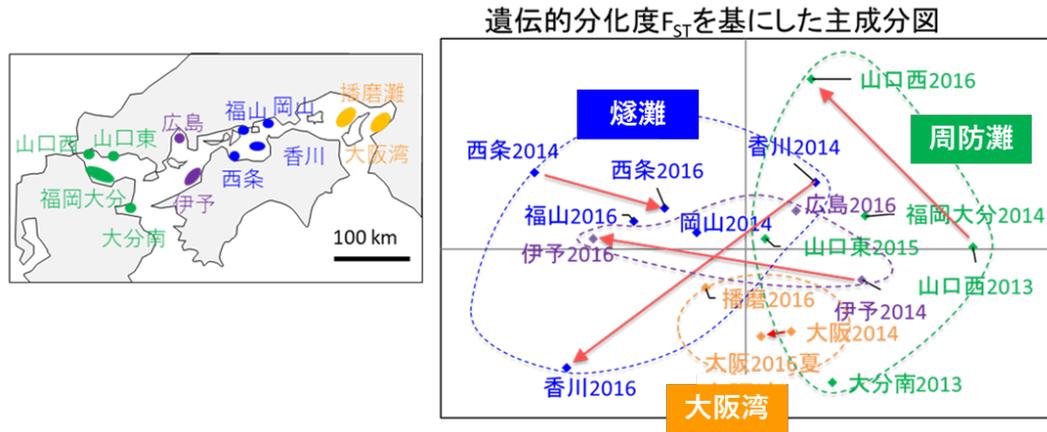


図9. 瀬戸内海全域を対象としたマコガレイ成魚の遺伝的集団解析の結果

12 海域から成魚の試料を3年分収集し（左図、約1500個体）、年による遺伝的分化度の違いを解析した（右図）。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集団間を移動している様子（矢印）がわかる。

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（アサイメントテスト）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10）。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。

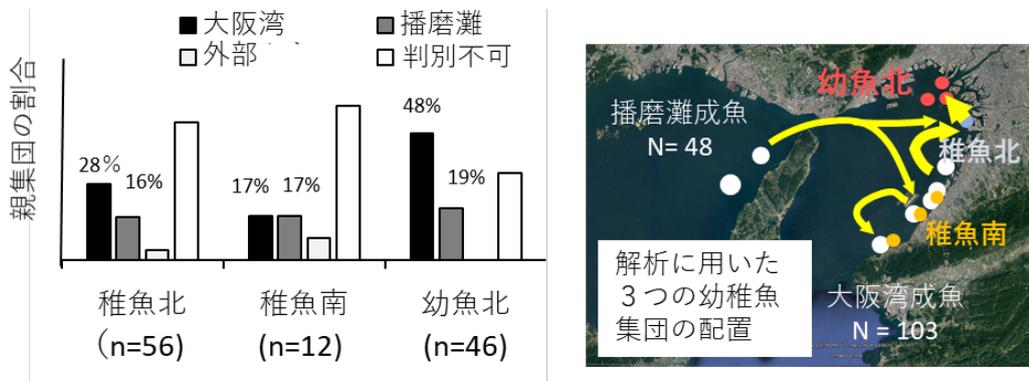


図10. 親集団（播磨灘成魚、大阪湾成魚）への帰属性解析の結果

すべての幼稚魚集団（右図）に播磨灘の親集団に由来する個体が含まれている。

④炭素安定同位体比分析を用いた稚魚期の移動経路と移動成功率の推定

東京湾を対象に、底泥中の有機物の分布を GIS で空間マッピングし(図 11 左)、そのマップ上に地点別に現場海域で採集されたマコガレイ稚魚の空間分布を重ね合わせ、その地点間の稚魚の移動分散頻度を、稚魚と底泥有機物の炭素安定同位体比を用いて計算する ISOSCAPE 法を実施した(図 11 右)。湾奥に着底した稚魚(Pop1~2)が未成魚の生息場所である湾口部(Pop6)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:Pop5 から Pop6 へ)の浅場と東部(千葉県側:Pop3 から Pop4 を介して Pop6 へ)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。

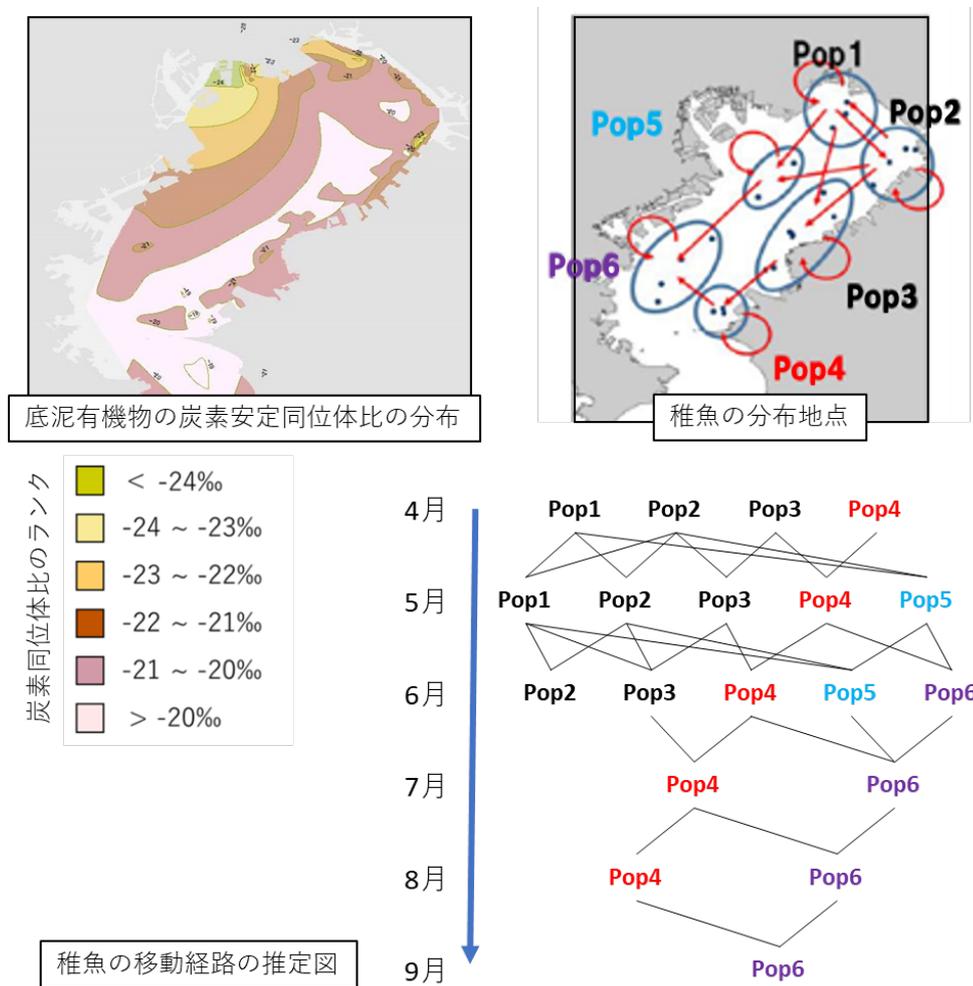


図 11. 炭素安定同位体比分析による稚魚の移動経路の推定手法

下図は前月に各地点にいた稚魚が、翌月に移動した地点を実線で結んでいる。例えば 4 月は Pop1~4 の地点に稚魚が分布し、Pop1 の個体は 5 月に Pop1 にとどまっていた個体、Pop2 および Pop5 へ移動した個体がいたことを実線が示している。7 月に Pop5 にいる稚魚が消え、以降はすべて Pop4 から Pop6 へ移動していたことを示している。

(2) 各海域の生態系ネットワークとそのボトルネック箇所

ここでは、前述の生態系ネットワーク評価および現地調査を実施することにより明らかとなった生態系ネットワーク構造を海域別に示す。また、現時点で存在していた生態系ネットワークのボトルネックについても示す。

①東京湾

東京湾のマコガレイ生態系ネットワークは東京湾外との移出入がない単純な構造を示し、内湾の集団を中心に、その周縁集団として内房集団が形成されていることが明らかとなった（図 12）。湾奥で産卵された卵から孵化した仔魚は湾奥の浅場に着底し、成長とともに南下し、内湾の岸際の浅場（東京側・千葉側の 2 経路）を通過して内湾と内房の境界あたり、未成魚・成魚の夏場の生息場所まで移動していた。その後、秋から冬になると未成魚となり北上をはじめ、産卵のために移動する成魚とともに湾奥へ移動していた。ボトルネックは卵期（産卵場）および稚魚期に存在していることが判明した。稚魚期では、稚魚の多くが次の未成魚・成魚の生息場所へ移動する途中で死亡していた。

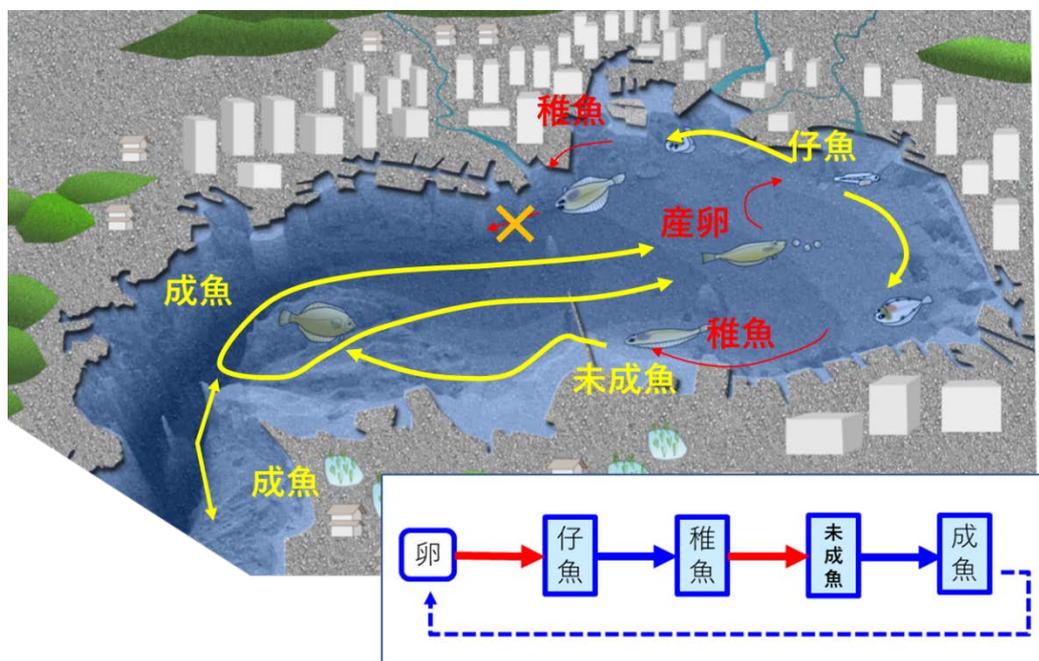


図 12. 東京湾で明らかとなったマコガレイの生態系ネットワーク構造

卵期（産卵場）と稚魚期に大きな個体数減耗が存在することが判明した（赤字・赤線で示した部分）。

②大阪湾（瀬戸内海東部）

大阪湾のマコガレイは播磨灘と同一の遺伝的局所集団に含まれ、仔魚期に播磨灘から大阪湾内へ仔魚が流入していることが判明した（図 13）。湾奥北部で産卵された卵から孵化し、仔魚は播磨灘から流入した個体とともに北部～南部の浅場に着底した（北部＞南部）。その後、着底した稚魚から未成魚へと成長した個体は、成長に伴って湾の中央部の深場へと徐々に移動し、夏の高水温期には湾西部の深場へ成魚と同様のルート移動した。その後、秋から冬にかけて産卵する成魚と同様の移動ルートを辿り、ふたたび浅場へと移動した。ボトルネックは稚魚期、および未成魚-成魚への移行期に存在することが判明した。

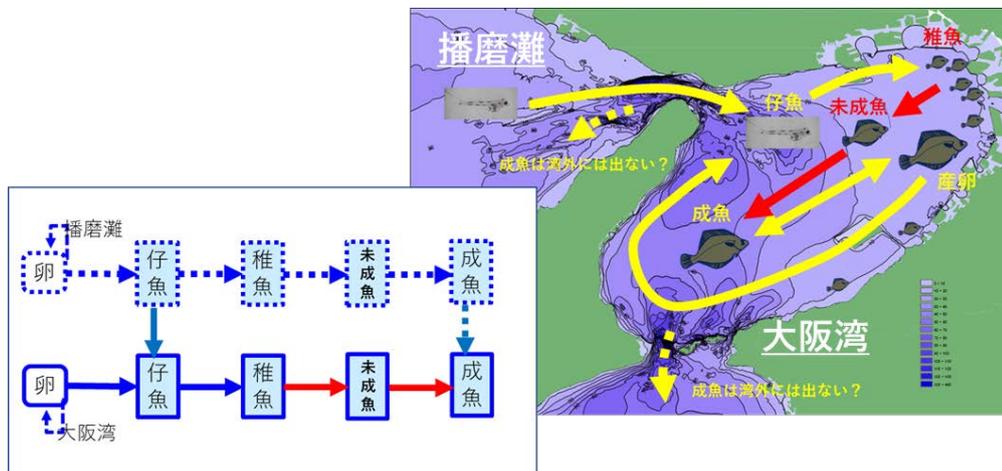


図 13. 大阪湾で明らかとなったマコガレイの生態系ネットワーク構造

紫色が濃くなるほど水深が深くなることを示している。播磨灘から流入する仔魚の割合は大阪湾全体の3割程度と推定された。稚魚期および未成魚から成魚への移行期（当歳魚→1歳魚の間）に大きな個体数減耗が存在することが判明した（赤字・赤線で示した部分）。

③燧灘(瀬戸内海中央部)

燧(ひうち)灘のマコガレイは隣接する大阪湾・播磨灘集団と周防灘・伊予灘集団と頻りに仔魚および成魚の移出入があることが判明した(図14)。沿岸の砂泥域に産卵場が形成され、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した。稚魚は沿岸一帯に着底するが、成長とともに深場(成魚の夏の生息場所)へ移動した。その後、秋から冬にかけて産卵する成魚と同じルートで、ふたたび浅場へと移動した。ボトルネックは稚魚期に存在することが判明した。

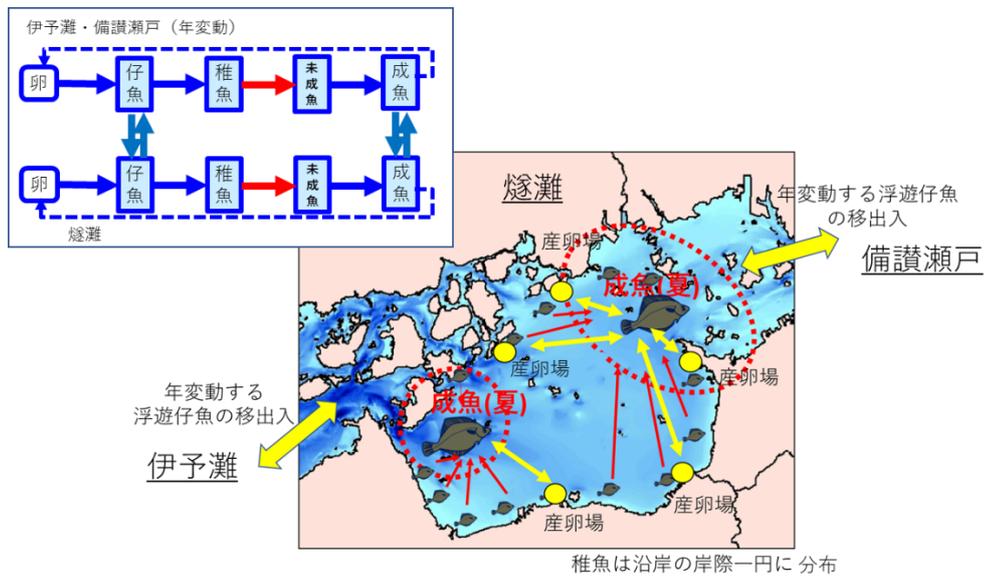


図14. 燧灘で明らかとなったマコガレイ生態系ネットワーク構造

隣接する備讃瀬戸(東側)と伊予灘(西側)間で生じる浮遊仔魚の移出入は、年によってその割合が異なる。

④周防灘・伊予灘（瀬戸内海西部）

この海域では過去にマコガレイ成魚を対象とした標識放流調査が実施され、成魚は周防灘・伊予灘間を移動していることが知られている。そのため、本ガイドラインに関わる調査では、特に稚魚までの生活史段階での移動分散を明らかにし、生態系ネットワーク構造全体を解明した。遺伝子解析により、伊予灘の稚魚には広島湾（鹿川）の産卵親魚、周防灘の産卵親魚（埴生・宇佐）、別府湾（杵築）の産卵親魚から仔魚期に移入した個体が含まれ、周防灘（宇佐）の稚魚にも広島湾、伊予灘、周防灘（埴生・東岐波・宇佐）、別府湾の産卵親魚から仔魚期に移入した個体が含まれていた（図 15）。また、周防灘の未成魚は成魚と同様に夏場は深場へと移動した。ボトルネックは稚魚期に存在することが判明した。

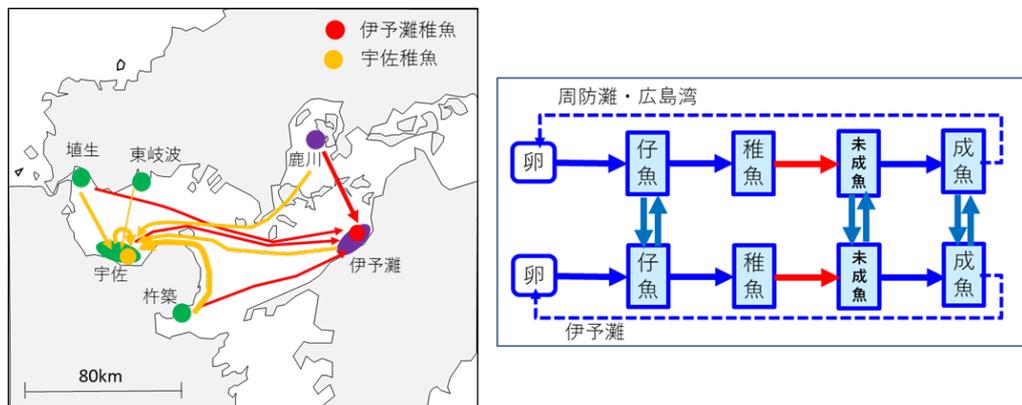


図 15. 周防灘・伊予灘（および広島湾）で明らかとなったマコガレイ生態系ネットワーク構造

多くの生活史段階で移出入があり、海域間をまたいでネットワークが形成されている。紫色の海域および緑色の海域は産卵親魚を採集した海域を示す。

(3) 生態系ネットワークにボトルネック箇所を作る阻害要因

ここでは、生態系ネットワーク構造にボトルネックを生じさせている阻害要因について解説を行う。すべての海域の生態系ネットワークに共通した稚魚期のボトルネックを生じさせている阻害要因、加えて東京湾で見られた卵期のボトルネックを生じさせている阻害要因、大阪湾で見られた未成魚期のボトルネックを生じさせている要因について説明する。

①稚魚期の阻害要因その1：高水温

バイオテレメトリー調査では未成魚・成魚には好適な生息水温帯が存在していたが、稚魚にもその基準となる海水温があることが判明した。東京湾、瀬戸内海ともに稚魚期の浅場の生息場所では、水温 20℃を上回ると個体密度が激減することが明らかとなった（東京湾：図 16、瀬戸内海：図 17）。このことを検証するための一環として、マコガレイ種苗を用いて水温と稚魚の成長の関係を検証した飼育実験では、水温 20℃で最も成長率・摂餌量・餌料転換効率すべてが高い値となった（図 18）。また、本ガイドラインに関わる野外調査の結果、瀬戸内海では稚魚密度は漁獲量の多かった 1990 年台と現在でほとんど変化がなかった。これらのことは、稚魚期から未成魚期へ移行する間にボトルネックが存在することを意味しており、海水温が稚魚の移動や生残にも関わっていることを示唆している。

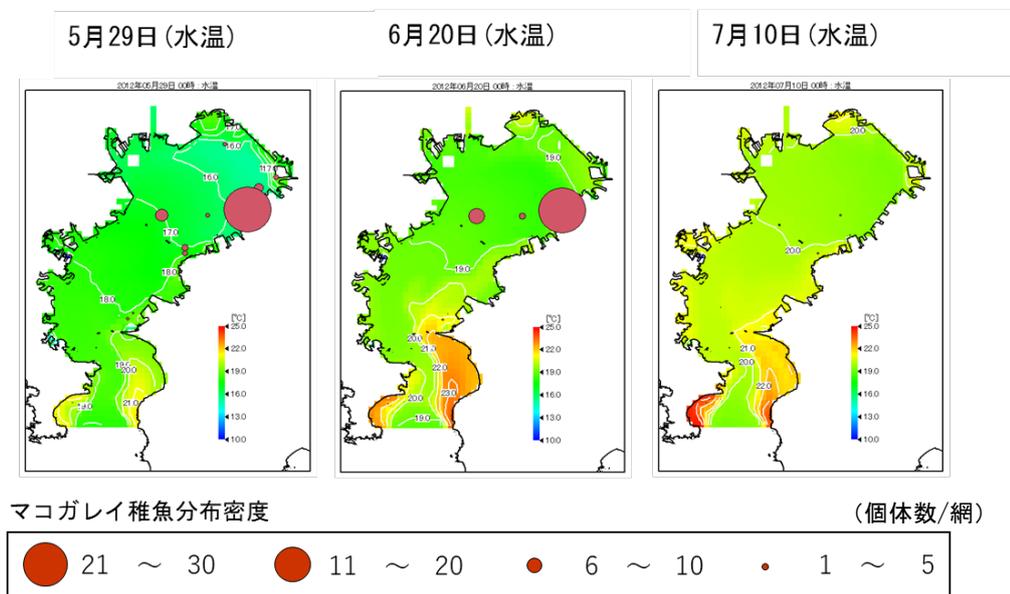


図 16. 東京湾における 5、6、7 月の底層水温とマコガレイ稚魚の分布
水温が 20 度を上回る 7 月にはマコガレイ稚魚の分布密度が急激に低下する。

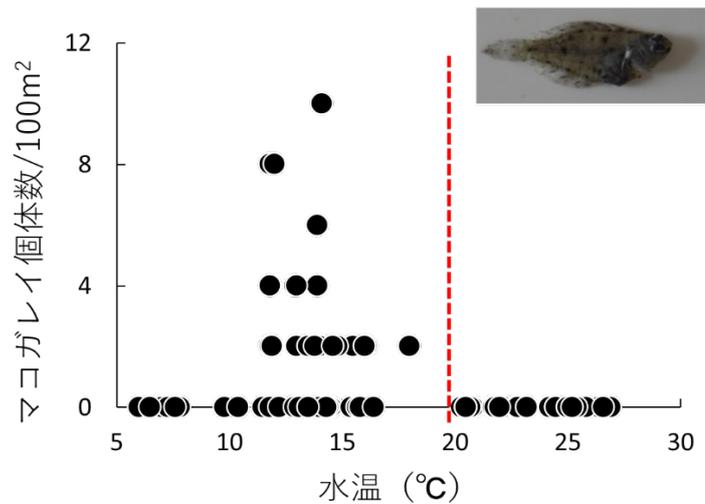


図 17. 瀬戸内海(広島県竹原市)の干潟におけるマコガレイ稚魚の分布調査による水温と分布密度の関係(2014年2月~2015年1月)

水温 20°C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°Cを示す。

- ・ 飼育魚を個別に飼育
- ・ 7日間
- ・ 約20°Cで最大成長

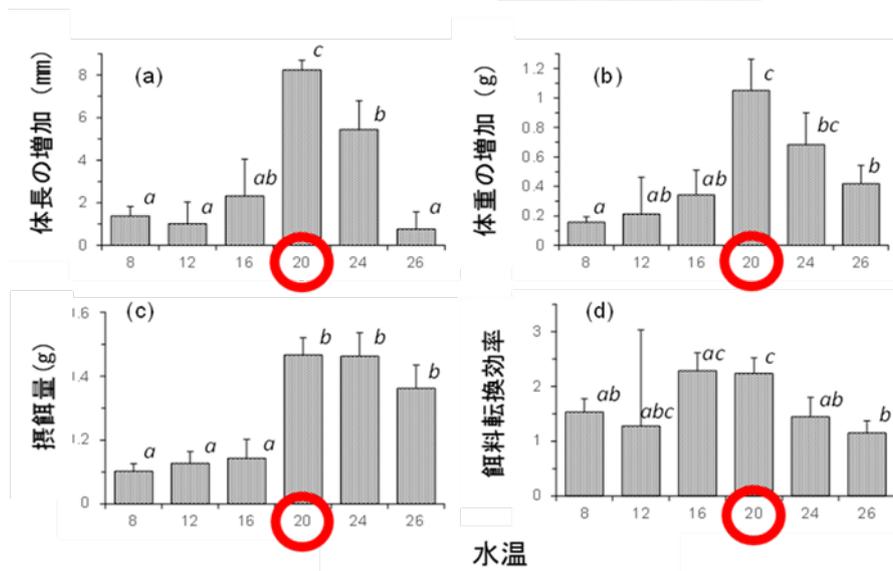


図 18. 飼育条件下における水温とマコガレイの体成長(a)、重量成長(d)、摂餌量(c)、餌料転換効率(d)の関係

水温 20°C付近が稚魚の成長にとって最適な温度であることを示す。abc の値は統計的有意差(同じ文字を含む水温間では有意差なし)を示している。

瀬戸内海の浅海定線調査からマコガレイ稚魚が浅場から姿を消す7月の底層水温の時系列データを用い、漁獲量の多かった1990年代(1993年のデータを使用)、第一期の減少が起きた2000年代(2003年のデータを使用)、第二期の減少で資源量が大幅に減少した現在(2013年のデータを使用)で比較を行った。その結果、1990年代よりも底層水温が約2℃ほど上昇している海域が目立ち、マコガレイの稚魚および未成魚・成魚に好適な水温20℃を示す海域面積が減り、1990年代よりさらに深い沖合の場所に形成されていた(図19)。このことは、稚魚が岸際の浅場から好適な水温の海域まで移動する距離が長くなることに加え、移動中に高水温の影響を受けやすくなっていることを示唆している。東京湾ではこの高水温に伴う稚魚の移動と貧酸素水塊の発生との関係から、稚魚期の死亡を示す解析結果がある(以下、②稚魚期の阻害要因その2:の項目で説明)。

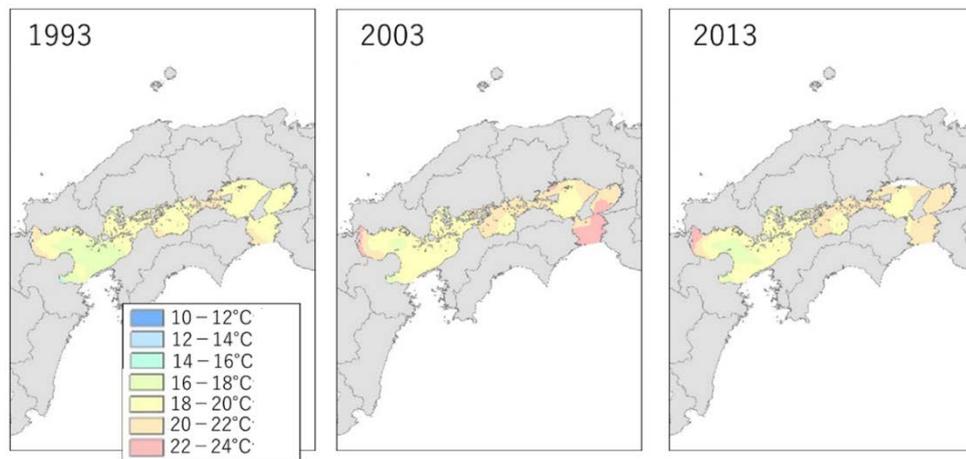


図19. 各府県の浅海定線データからGIS上で計算した瀬戸内海における7月の底層水温の空間分布

②稚魚期の阻害要因その2：貧酸素水塊

東京湾および瀬戸内海のマコガレイ稚魚は沿岸の岸際近くの浅場に分布し、成長に伴い沖合・南部に移動する。この稚魚期の期間、沿岸部では初夏～盛夏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(ボトルネックを生み出す阻害要因である)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(DO)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。

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、DO2.5mg/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、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た。そこで稚魚の推定移動経路における底層水温、DO(2.5mg/L以下)の分布ラインと稚魚分布密度を合成すると(図

20)、2011年は水温の上昇に伴い稚魚が移動しDOが低下しない海域(St.20-22)に到達したが、2012年は移動先の水温が高いため稚魚は停滞し、低濃度のDOの分布と重なり、このことが稚魚が消滅した理由であることが推察された。このことは、高水温と貧酸素水塊は複合的にマコガレイ稚魚に影響することで、生態系ネットワークのボトルネックを作り出す阻害要因となりうるということが裏付けられた。

また、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DO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6~9月に拡大し、マコガレイ当歳魚の分布密度が低下した(図21)。

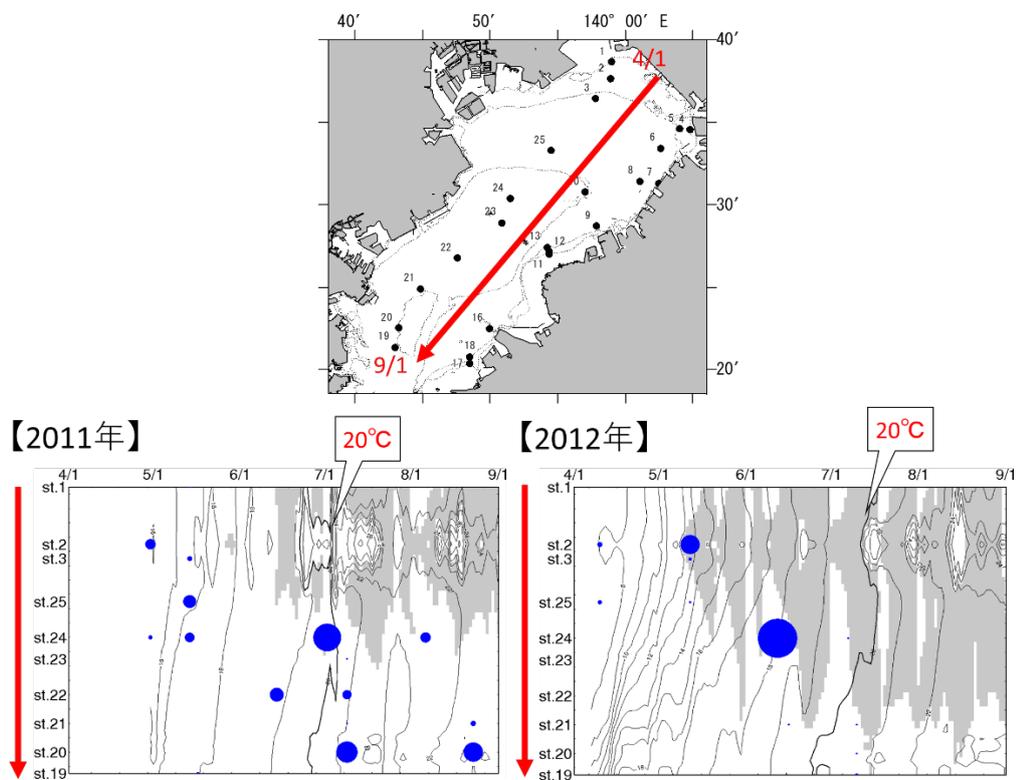


図 20. 東京湾における 2011 年および 2012 年夏期の海底の底層水温、DO とマコガレイ稚魚の分布密度の関係図

縦軸に調査地点を湾奥から未成魚・成魚の生息場所まで順に配置し、横軸を月で表示している。図中の青丸が稚魚の分布密度(大きいほど高密度であることを示す)、等値線が底層水温(20°Cラインが太線、細線は1°C間隔)、グレーの影付き部分が貧酸素水塊(DO2.5 mg/L以下)の発生を示している。2011年は青丸がグレー部分より下部の調査地点に移動できているが、2012年は貧酸素水塊と稚魚の分布域が重なり、稚魚が貧酸素水塊に捕まってしまったことを示している。

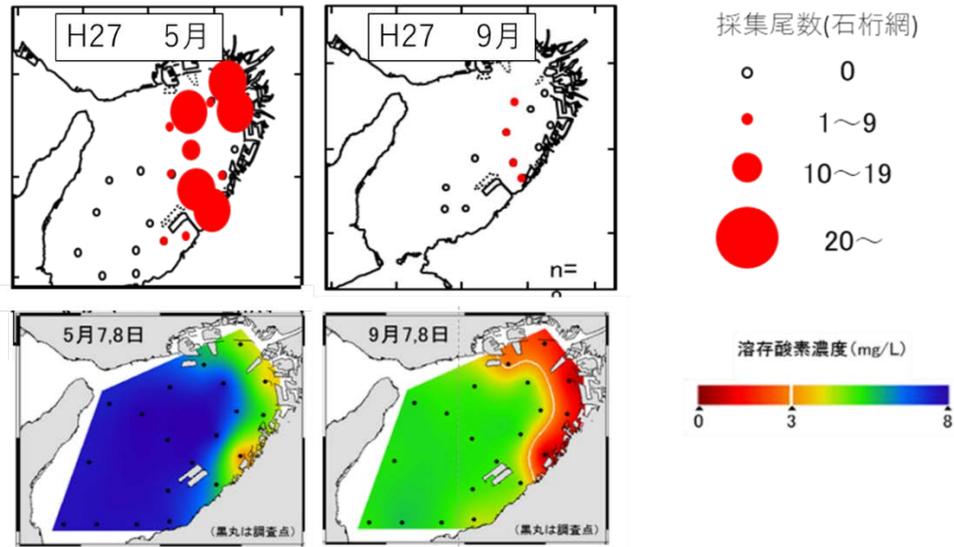


図 21. 瀬戸内海（大阪湾）における海底 DO とマコガレイ稚魚の分布
湾奥では春から夏期に溶存酸素濃度が低下しマコガレイ稚魚の分布密度が低下する。9 月には、稚魚は貧酸素水塊と通常水塊の境界に沿って分布している。

③産卵期の阻害要因：底質の悪化と高水温

東京湾において現場での産卵親魚数と一個体あたりの放卵数から推定した全産卵数と、現地調査で計測した仔魚密度から推定した全仔魚数を比較したところ、卵期から浮遊仔魚期間に大幅な減耗が確認された（図 22）。千葉県産卵場調査によると、湾奥の産卵場付近の底質状態は非常に悪く、マコガレイの粘性沈着卵に最適な砂質は多量の有機物・軟泥に被覆されてしまっていた。そのため、産卵された卵が堆積物中に埋没、酸素不足による孵化率低下が生じている。

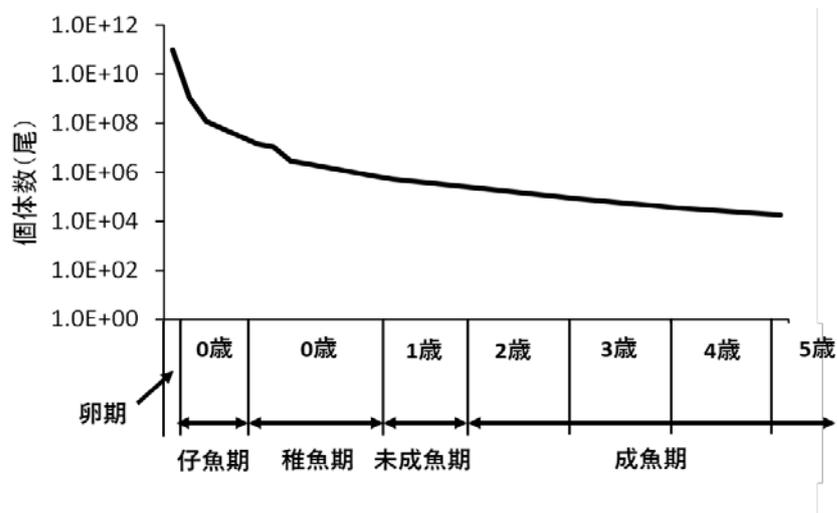


図 22. 東京湾における卵から漁獲対象サイズの個体数の減耗（縦軸は対数）

また、産卵量そのものを低下させる要因として、産卵期の遅延が懸念される。例えば冬場の水温低下の遅れによって、生殖腺の成熟が遅れることが一因となる。そのほか、大型個体の減少・産卵集団の若齢化も一因と考えられる。マコガレイの生物的特性を上述したが、産卵期にはまず大型の個体から産卵が始まり、若齢個体ほど産卵期の後半に産卵する。そのため、成熟遅延により産卵量の多い大型個体が産卵前に漁獲されてしまうと、産卵親魚群の大型個体の割合が減少し、産卵期が遅れて産卵量も減少する。例えば岡山県海域ではまだ産卵期遅延の具体的な例は報告されていないが、図 23 のように水温の上昇に伴い漁獲期の遅れ・短期化が生じている。このような傾向がみられる場合、産卵期の遅延が生じる可能性がある。

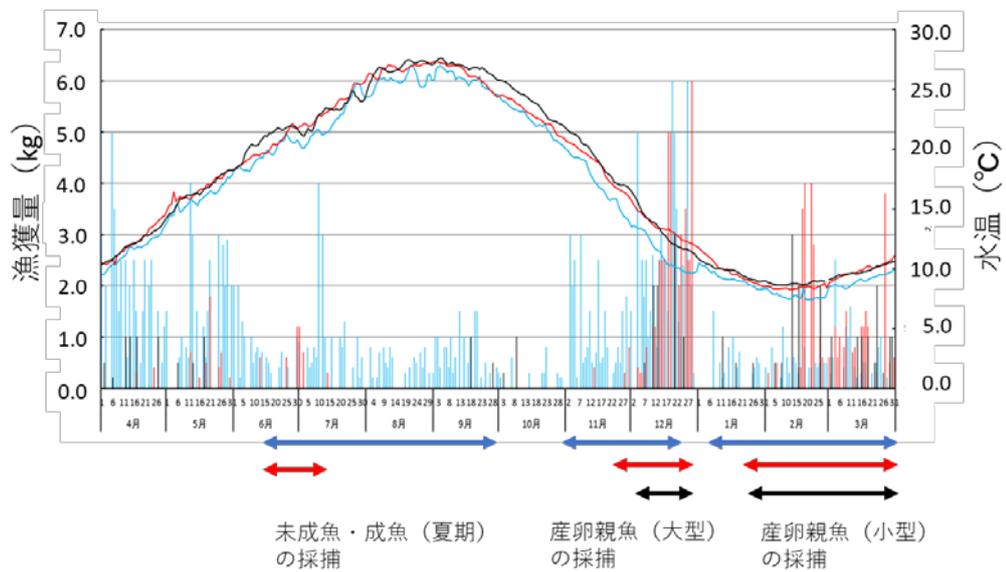


図 23. 岡山県海域で操業する標本船から得られたマコガレイ日別漁獲量の変化
 漁獲量（棒グラフ：1987年：青、1988年：赤、2008年：黒）、瀬戸内市地先海域の表層水温（折れ線グラフ：1985、1986、1988年平均が青色、1996-1998年平均が赤色、2006-2008年平均が黒色）を示す。図の下の矢印は各年代の漁期および採捕された生活史段階を示している。1987年と2008年の比較では、夏期から冬期の水温が約1～2℃上昇し、11～12月の産卵親魚の漁獲時期が約1か月遅延していることを示している。

この産卵遅延は、産卵量だけでなくその後の生活史段階、特に稚魚期のボトルネックの深刻化にも関連することが懸念されている。産卵期が遅延することは、その後の生活史段階、特に稚魚期の浅場での成育期間が短縮することを意味する。浅場で稚魚が成育可能な期間は海水温が20℃未満の時期になるため、産卵期の遅延により遅く生まれた個体は、浅場が20℃以上になって生息に適さなくなる（海

水温がより低い深場へ移動を開始しなければならない) 時期までの期間が短くなってしまふ。産卵期が遅延した分だけ、稚魚期の浅場での成育期間を延長することは不可能である。さらに、近年は初夏の高水温により浅場が 20℃を越える時期も早まりつつある。したがって遅く生まれた稚魚は成長不良のまま、深場へ移動を開始せざるを得ず、移動中の生残率が下がるのが懸念される。大分県で実施された現地調査では、産卵期後半に孵化した稚魚の生残率は著しく悪く、未成魚として生残した個体のほとんどは産卵期前半に生まれた(十分な成育期間が得られた)稚魚、すなわち大型個体から再生産された稚魚の割合が多くなる傾向があるとの報告がある。

④未成魚期の阻害要因：特定できず

大阪湾で確認された未成魚期から成魚期のボトルネックについて、その原因は本ガイドラインに関わる調査では特定できていない。大阪湾の未成魚・成魚も他海域同様に夏場の高水温期には深場へ移動するが、深場の水温が上昇してきていること(図 19 を参照)、個体数の減耗は夏期に生じていることから、現状では夏期の高水温により生残率が減少していると考えられている。

5. 生態系ネットワークの修復・補強対策とその効果

(1) 生態系ネットワークの修復・補強方法

生態系ネットワークを健全化し、資源を回復に向かわせるためには、産卵期および稚魚期に存在していたボトルネックを解消することが必須である。しかしながら、ボトルネックを生じさせている原因は高水温・貧酸素水塊といった大規模な環境要因に起因し、修復の対象となる各海域の生態系ネットワークの空間範囲も広いため、個々の漁協や地域単位での修復は困難である。生態系ネットワークの修復・補強やネットワークの阻害要因の除去には、公共事業など、行政と密接に連携した対策も必要となる。したがって現存する健全な生息場所等を保護するなど、地域での取り組みとの複合的な対策を考案することが有効である。

①広域な空間範囲での生態系ネットワーク修復・補強の取り組み

マコガレイの生態系ネットワークの修復にあたり、卵期においては底質改善、稚魚期においては高水温に対処できる好適生息場所の利用・造成が有効である。

事例1：東京湾におけるマコガレイ産卵場の底質改善

本ガイドラインに関連した調査研究成果に基づき、千葉県から東京湾再生官民連携フォーラムを通して、東京湾再生推進会議へ「生き物生息場つくりに関する提案書」が提出された。この提案書に東京湾奥のマコガレイ産卵場修復計画が掲載されており、覆砂等による底質改善を目指す産卵場の再生が実施されている(図24)。



図24. マコガレイの産卵場造成のイメージ図

東京湾再生官民連携フォーラム HP (<http://tbsaisei.com/team.html>) より引用。

事例 2：稚魚期のボトルネック解消に向けた稚魚期の好適生息場所の利用

稚魚期のボトルネック修復（生残率の向上）には高水温の影響を緩和することが必要となる。その対策としては、相対的に水温が低い海域を利用し、高水温下でも成長できるようにすること、あるいは短期間でいち早く成長させて高水温の影響が出る前に次の生息場所へ移動を開始させること、などが有効となる。前者の候補としては、海底から伏流水が湧き出す海域（海底湧水域と呼ぶ）が有効であることが明らかとなった。後者の候補としては、餌料環境の良いアマモ場を利用・造成することが有効であることが明らかとなった。このようなマコガレイの成長に好適な環境下で種苗放流を行うことも有効である。

瀬戸内海の海底湧水域周辺でマコガレイ稚魚の分布調査を実施した結果、海底湧水域で周辺に比べて高密度に分布することが確認された（図 25）。

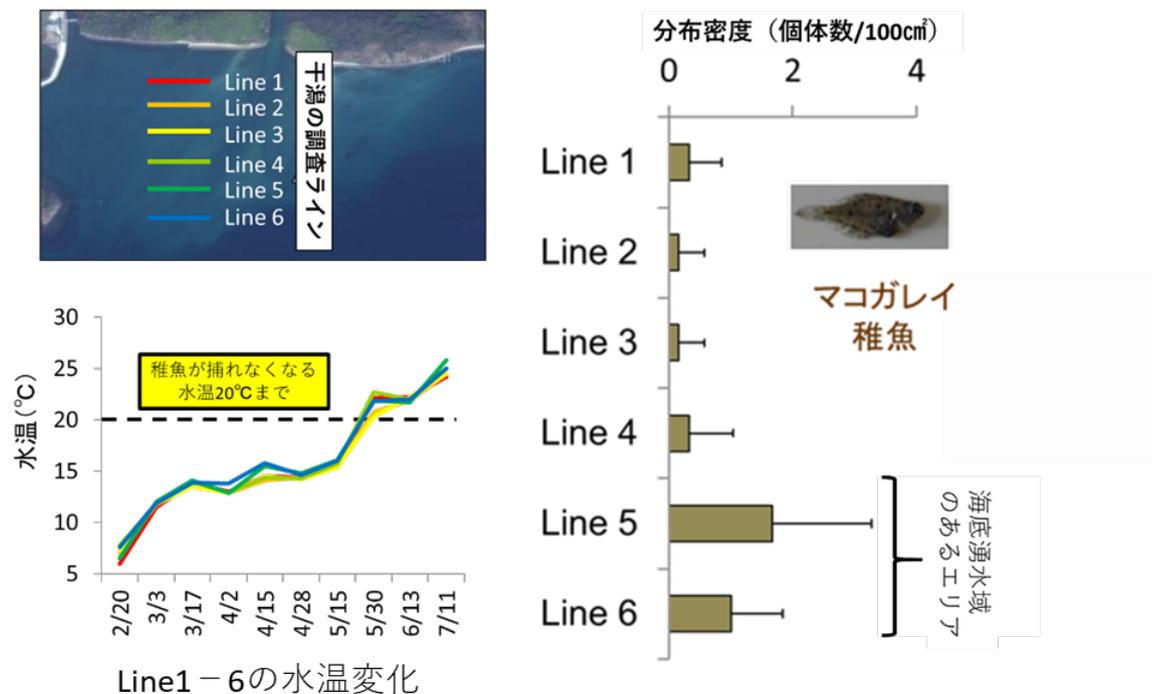


図 25. 瀬戸内海（広島県竹原市）の浅場において伏流水が湧出する地点とその周辺で実施したカレイ類の分布調査の結果

伏流水の湧出点（伏流水には高濃度のラドンが含まれることで判別できる）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。

加えて、マコガレイ種苗を用いて海底湧水域と伏流水がない海域で野外ケージ実験を実施し、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

証したところ、海底湧水域の周辺では、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 26）。海底湧水域はその規模の大小はあれ、沿岸に数多く存在している。海岸際が傾斜となっている海岸線ならば、どこかに湧水域があると云える。

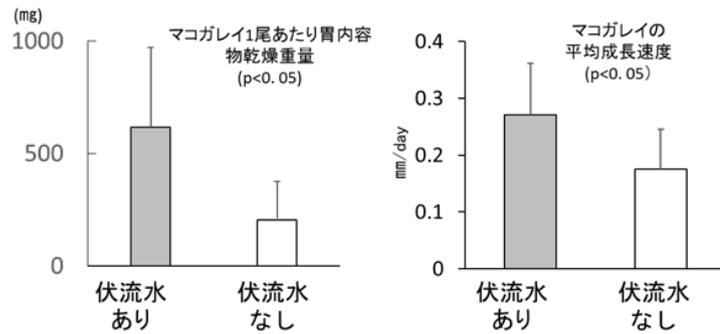


図 26. 瀬戸内海における地下伏流水の影響が強い海底湧水域の地点と、影響がほとんど無い地点において実施したケージ実験の結果

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。

また、アマモ場の成長促進効果を検証するため、東京湾および瀬戸内海の双方でマコガレイ種苗を用いたケージ実験を実施した。東京湾では、アマモ場の中、縁辺部、外側にマコガレイ稚魚を閉じ込めたケージを複数設置し、約 40 日後の体重増量と炭素安定同位体比の変化を調べたところ、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が餌場に適していることが確認された（図 27）。

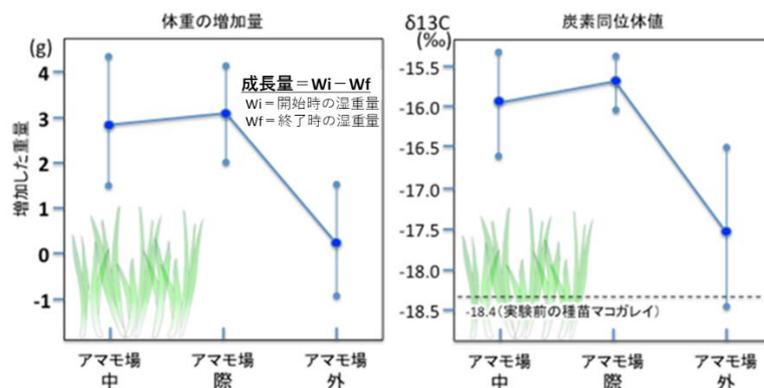


図 27. 東京湾のアマモ場内外におけるマコガレイ稚魚の体重増量と炭素同位体の変化

瀬戸内海においては、アマモ場周辺の砂泥域とアマモ場のない砂泥域にマコガレイ稚魚を閉じ込めたケージを用いて飼育実験を実施した。マコガレイ稚魚の成長速度を比較した結果、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 28）。

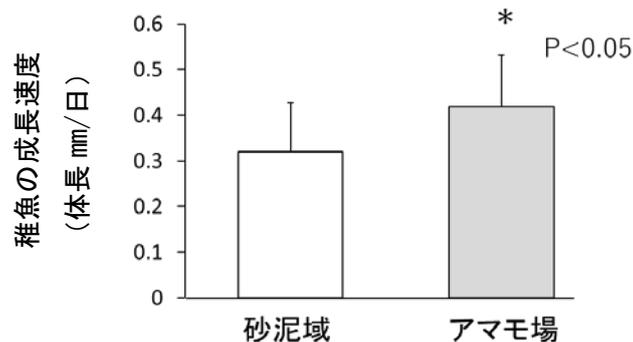


図 28. 瀬戸内海のアマモ場周辺とアマモ場が存在しない砂泥域におけるマコガレイ稚魚の成長速度を比較したケージ実験の結果

アマモ場周辺での成長速度（0.42mm/日）は砂泥域（0.32mm/日）に比べて有意に高かった。

種苗放流は、自然環境下では個体数の減耗が激しい稚魚期を人工的にパスさせるか、新しく条件の良い場所へ放流することによって補強を行うことを目指す。マコガレイは種苗放流では個体数が増加していないため、今後は生態系ネットワークを考慮した的確な種苗放流が必要となる。

そこで、種苗放流で配慮すべき内容を以下に示す。

- ・採卵をできる限り早くし、早く成長させる。高水温が顕在化しない早い時期に生残率の高い大きい個体を放流できる。
- ・海底湧水域やアマモ場など、稚魚の成長に適した海域へ放流する。
- ・稚魚の成育に適した海域であっても、その後の未成魚・成魚の生息場所へのネットワークが確保できなければ移動分散中に死亡してしまう。種苗放流の場所として、稚魚の成長が良いこととともに、次の生息環境である深場との連結度（移動しやすさ）が十分である海域へ放流する。
- ・高水温等が頻発し、深場と連環したアマモ場や海底湧水域など好適な生息場所が見えない海域では、大きいサイズ（浅場から移動を始めるのに十分な体長：10 cm前後）を未成魚期の生息場所に近い深場の海底へ放流する。

現在、周防灘・伊予灘でマコガレイなどを対象に実施されている水産庁「豊かな海を育む総合対策事業（水産環境整備マスタープラン）」では、大分県・愛媛県が本ガイドラインを参考に、深場へ種苗放流を実施している。

②地域でのネットワーク修復・補強、保護に有効な取組

個々の漁業協同組合や漁業関連の協議会等、地域単位で実施可能な生態系ネットワークの修復・保護に関わる活動としては、漁業活動中の配慮による生態系ネットワークの保護が重要となる。以下に、その具体例を示す

- ・稚魚の混獲を避け、積極的に再放流する：未成魚・成魚の生息場所へ到達したばかりの稚魚を混獲死亡させることは、稚魚期の移動中の死亡率をますます増加させてしまい、資源のさらなる減耗につながる（稚魚期のボトルネックをさらに強めてしまうことに）。生残率向上のために積極的な再放流が必須。
- ・重要な産卵場を保護する：特に冬場の漁獲は産卵場へ遡上してきた産卵親魚を対象とするため、数多くの親魚が集まる場所は大きな産卵場となっている可能性がある。ここで底びき網などの操業を行うと、産卵された卵が底質とともに攪乱され、孵化率のさらなる低下につながるものが懸念される（卵期のボトルネックをさらに強めてしまうことに）。産卵場のいくつかは保護区とし、底質を攪乱しないことが重要。
- ・産卵期はじめの大型成魚などは再生産への寄与が大きいため、できる限り保護する：刺し網、定置網等は底びき網と比較して産卵場の底質を攪乱しない良い面もあるが、その場所へ来るカレイ類を殆ど漁獲してしまうため、乱獲とならぬよう禁漁時期を設けるなどの配慮が必要である。大阪湾では漁業者の自主的管理による取り組みとして、刺し網に限り禁漁時期を設定している。おおよそ12月20日ー1月中旬の期間で、産卵期の水温によって毎年調整している。

（2）修復効果の数値目標の設定：資源量への効果推定

最後に、修復効果目標の設定について説明する。本ガイドラインに関連した資源評価モデル開発により、各生活史段階・各生息場所での生残率向上が、生態系ネットワークを介して漁獲資源量（成魚個体数）にどれだけ効果があるか、数値を計算できるようになった（モデルは専門的なため本ガイドラインでは説明を省略する）。水産基本計画の目標値である資源量を1.5倍に増加させる目標達成のために必要な各海域におけるボトルネックの緩和の具体的数値を以下に示す。

東京湾：卵の孵化率を1%向上、あるいは稚魚の生残率を10%向上させる

大阪湾：稚魚の生残率を2%向上させる

燧灘：未成魚までの生残率を15%向上させ、1-2歳の生残率を13%向上させる

周防灘・伊予灘：未成魚までの生残率を6%向上させ、1-2歳の生残率を4%向上させる

このような、数%の生残率上昇などは大規模な改善というより、地道な活動によって達成することが可能であり、この積み重ねが資源回復への第一歩となる。そのためにも本ガイドラインの内容を広く周知し、行政と漁業者の連携による漁場管理と漁業管理の双方の推進が重要である。漁業者への周知用としては、以下のようなパンフレットを作成・配布している（図29）。

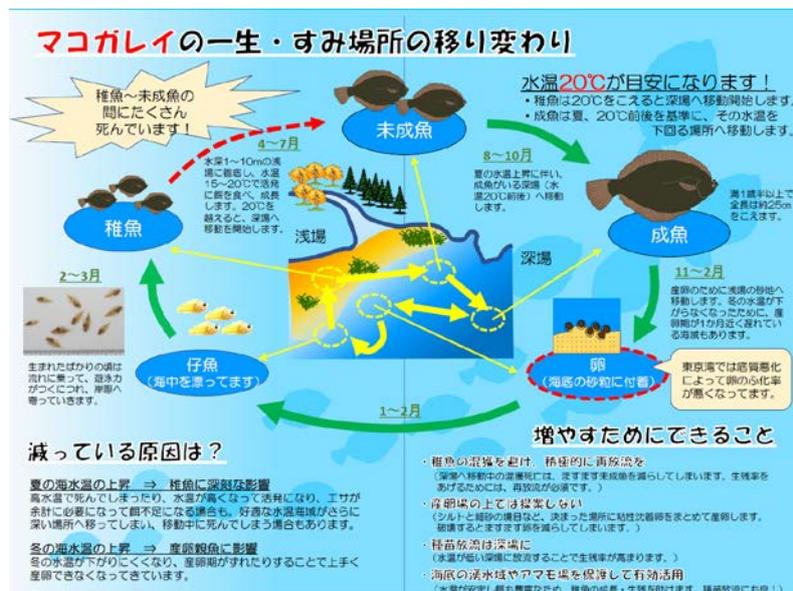


図 29. 漁業者への配布用パンフレット

【本ガイドラインの掲載内容に関する問い合わせ先について】

本ガイドラインは農林水産技術会議委託プロジェクト研究「水産業再生プロジェクト：生態系ネットワークの修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発（平成 25 年度－平成 29 年度）」の成果に基づき、以下の試験研究・教育機関の研究者によって作成されている。

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（代表）

同 中央水産研究所

同 水産工学研究所

（令和 2 年の組織改編により、瀬戸内海区水産研究所は水産技術研究所廿日市拠点に、中央水産研究所は水産資源研究所横浜拠点に、水産工学研究所は水産技術研究所波崎拠点に改組されている）

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 水産研究部

岡山県農林水産総合研究センター 水産研究所

香川県水産試験場

山口県水産研究センター 内海研究部

愛媛県農林水産研究所 栽培資源研究所

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 水産研究部

国立大学法人 広島大学 大学院生物圏科学研究科

国立大学法人 京都大学 大学院情報学研究科・フィールド科学教育研究センター

国立大学法人 東北大学 大学院農学研究科