

水産生物の生活史を考慮した効果的な
漁場環境の形成に係るガイドライン

平成 27 年 3 月

水産庁漁港漁場整備部

はじめに

これまでの漁場整備は、その手法においては、特定種のみを対象とした「点」的な整備であり、水産生物の集団としての空間的広がりを考慮したものではありませんでした。そのような中、水産庁では、今後の漁場整備に向けて従来の漁場整備手法を見直し、有識者からなる委員会を通して平成 22 年度に「水産環境整備」の考えをとりまとめました。それ以後、生態系全体の生産力の底上げを目指し、水産生物の生活史に対応した漁場整備を推進してきたところです。

さらに、平成 22 年度から平成 26 年度まで「水産生物の生活史に対応した漁場環境形成推進委託事業」を実施し、東京湾のマコガレイやインガレイ、播磨灘のマダイやヒラメを対象に、その生活史を把握するとともに、漁場環境データを整理のうえ HSI モデルを作成し、各生活史段階に適した漁場整備の適地選定を行うなど、効率的な漁場環境形成手法の検討を行い、その成果を本ガイドラインとして整理しました。

本ガイドラインは、「水産生物の生活史に対応した広域的に連携する漁場環境形成手法検討委員会」（委員長：佐々木淳 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授）においてご検討いただき、ご指導・ご助言を得たものです。今後、水産生物の生活史に対応した漁場整備を行うにあたって、本ガイドラインの活用が有効であると考えています。

平成 27 年 3 月 水産庁漁港漁場整備部

目次

I 目的	1
II 本ガイドラインの位置づけ	3
III 環境形成手法の検討手順	4
1. 生活史の把握	4
2. 環境因子の把握	5
3. 生活史と環境因子の重ね合わせと効果的な環境形成手法の検討	7
IV 効果的な環境形成手法の検討例	9
1. 対象海域・魚種	9
2. 生活史の把握	9
3. 環境因子の把握	9
4. 生活史と環境情報の連結・および効果的な環境形成手法の検討	12
V 種苗放流・資源管理との連携を踏まえた漁場の管理・運営手法	14
VI 参考資料	15
【東京湾マコガレイ卵期の検討事例】	15
【播磨灘ヒラメ後期稚魚期の検討事例】	20
【数値解析の活用】	25
【環境因子資料の入手】	26

I 目的

本ガイドラインは、水産生物の生活史に対応する広域的な水産環境形成手法をとりまとめたものであり、海岸・沿岸域における水産資源の回復・増大と豊かな生態系の維持・回復のための連続性を確保した漁場の整備、管理・運営を図ることを目的とする。

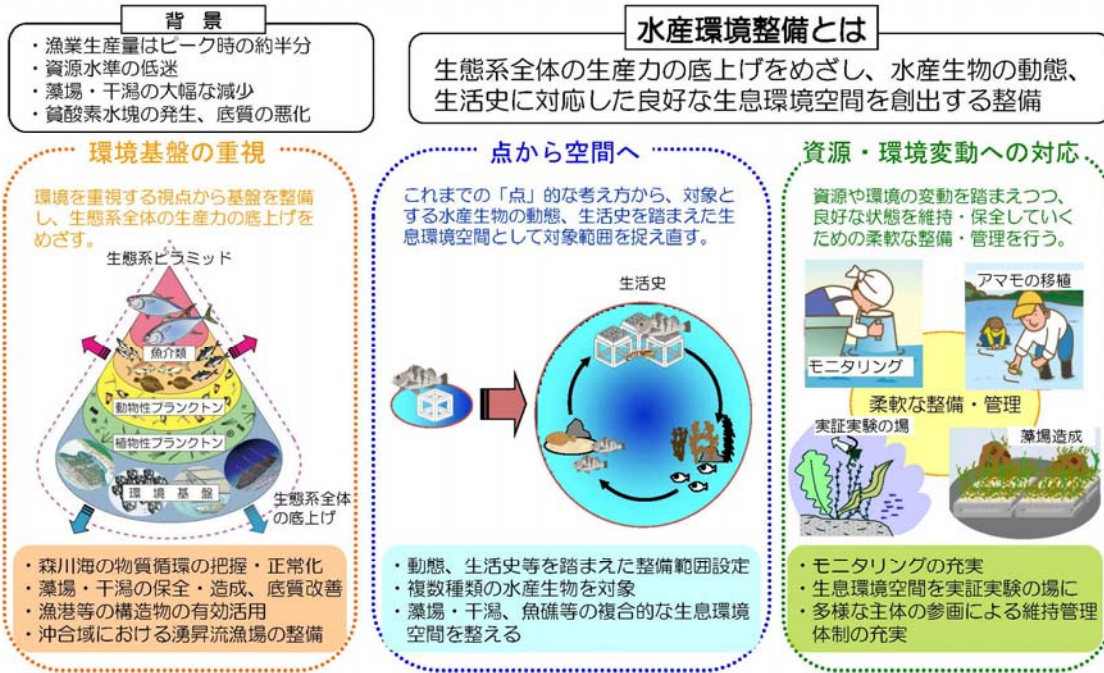
【解説】

これまでの水産基盤整備事業の中で、地先の増殖場造成や底質改善等の整備を実施してきたところであるが、現行の整備手法による限定的な整備(いわゆる「点」の整備)では、漁場環境を早急に改善することは困難と考えられる。

平成 22 年 12 月に策定・公表した「水産環境整備の推進に向けて」では、基本方針として「環境基盤の重視」、「点から空間へ」、「資源や環境の変動への対応」の 3 本柱が示され、対象海域の範囲ごとに事業を推進するとともに、現在の知見では資源・環境の変動予測に限界があるため、計画(Plan)－実施(Do)－検証・評価(Check)－改善(Action)という PDCA サイクルに従って進めることとされた。図-1 に「水産環境整備の推進に向けて」の概要を示す。

こうした背景をふまえ、水産生物の生活史に対応する広域的な水産環境形成手法とともに、種苗放流・資源管理との連携を踏まえた漁場の管理・運営手法を検討し、漁場の連続性を確保したより効果的な漁場環境の形成を目的として本ガイドライン策定に至ったところである。

水産環境整備の推進に向けて（基本方針）



海域ごとにマスタープランを策定し、モニタリングを充実した事業の推進

水産環境整備の推進に向けて（計画づくりと事業推進）



海洋・沿岸域における①水産資源の増大②豊かな生態系を維持・回復

図-1 「水産環境整備の推進に向けて」概要(水産庁 HP より)

II 本ガイドラインの位置づけ

本ガイドラインは PDCA サイクルに基づいた全体計画策定の中で、環境整備の対象範囲・対象魚種の選定、対象魚種の生活史や生息環境の定量的な把握、それに基づいた漁場造成適地等の検討を担うものである。

【解説】

水産生物の生活史に対応した効果的な漁場環境整備実施に際して、現在の知見では資源・環境の変動予測に限界があるため、計画(Plan)-実施(Do)-検証・評価(Check)-改善(Action)という PDCA サイクルに従って進めることが重要である。図-2 に全体計画策定と PDCA サイクルの流れを示す。

全体計画策定に当たっては、最初に事前調査や生活史等の基礎資料の整理により事業の対象範囲を設定する。その上で、対象海域の環境や資源の変動といった不確実性を勘案し、広範囲における改善すべき課題、長期的な目標、複数の対象魚種等を決める。

次に、事業内容の実施計画を策定するとともに、整備の時期及び場所を踏まえて PDCA サイクルを考慮して、必要に応じて例えば実施計画と県境評価・改善計画のように複数の計画に分ける。実施計画には短期的な目標、整備内容、検証・評価方法、連続性を加味した漁場の連系内容等を加味する。

従来型の事業は、特定の対象魚種の漁獲増加量を重視していたのに対し、水産環境整備の実施計画においては対象海域の生産力底上げを目指し、対象魚種の漁獲増に加えて生態系全体の生産力増などについて定量的な指標を用いて計画を検討する。

本ガイドラインは、この全体計画策定のうち対象範囲・対象魚種の選定、対象魚種の生活史や生息環境の定量的な把握、それに基づいた漁場造成適地等の検討を担うものである。

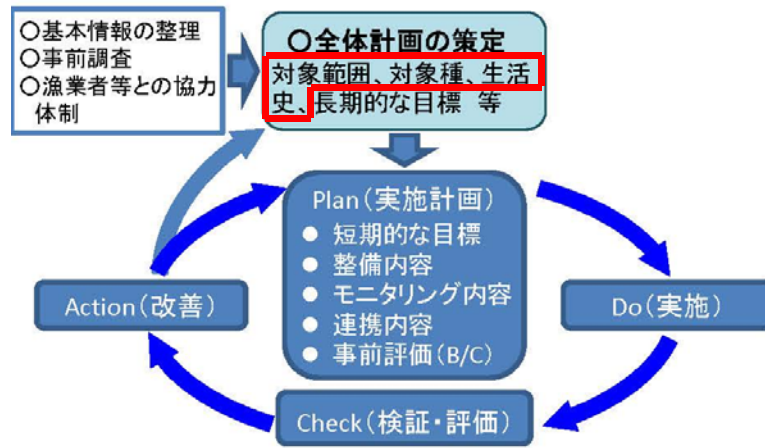


図-2 水産環境整備における全体計画策定とPDCAサイクルの流れ(赤枠内が本ガイドラインの適用範囲)

III 環境形成手法の検討手順

1. 生活史の把握

これまでの漁業実態、漁場整備、栽培漁業対象種、資源回復計画、海域環境特性等を勘察し、対象海域の対象範囲および魚種を選定する。その上で、対象魚種の生活段階毎の分布、移動特性、好適環境等をまとめて、生活史を時間・空間的に把握する。

【解説】

(1) 対象海域、魚種の設定

対象魚種は、これまでの漁業実態、漁場整備の実績、栽培漁業対象種、資源回復計画対象種、その他海域環境特性等を十分吟味して決定するとともに、その生息空間の広がりに基づいて対象となる海域の範囲を決める。

生息空間の広がりには対象魚種によって異なるので十分吟味が必要であるが、一般的には「〇〇海」、「〇〇沿岸」、「〇〇灘」、「〇〇湾」など複数の魚種の生息環境が内包される程度の範囲が目安となる。その際、複数の都道府県にまたがる場合は、関係都道府県が連携して調整する。

(2) 対象魚種の生活史の把握

対象魚種の生活史に関する知見を集約し、生活段階を決定する。次に生活段階ごとの空間分布、移動の経路・範囲、それらの時期、好適環境等を取りまとめる。生活段階毎の空間分布については、図-3のように図に落とし込むとわかりやすい。また、生活史の把握にあたっては、各生活段階の餌料、天敵、生残率、分散率等の知見も収集し、生息場ネットワーク(天然礁、既存魚礁施設、養殖施設、既存漁港施設を含む)の把握と評価も可能な限り行う。

その上で、資源水準底上げに最も効果的な生活段階(資源水準を低下させている生活段階)を抽出する。例えば、飢餓や被食による初期減耗が多い稚魚期、産卵を控えた抱卵親魚期等が挙げられる。なお、最近では生活史の不明な部分を数値解析で補完する試みもなされている*。

*杉松ら(2012): 双方向粒子追跡法を用いた隠礁におけるマダイ産卵場の推定, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第 68 巻, pp. 1111-1115.

【注意】

水産生物の分布を把握する基礎資料として漁獲量分布を用いる場合、漁獲分布は操業位置の分布であるため、実際の水産生物の分布と異なる場合があるので、利用には十分注意する必要がある。

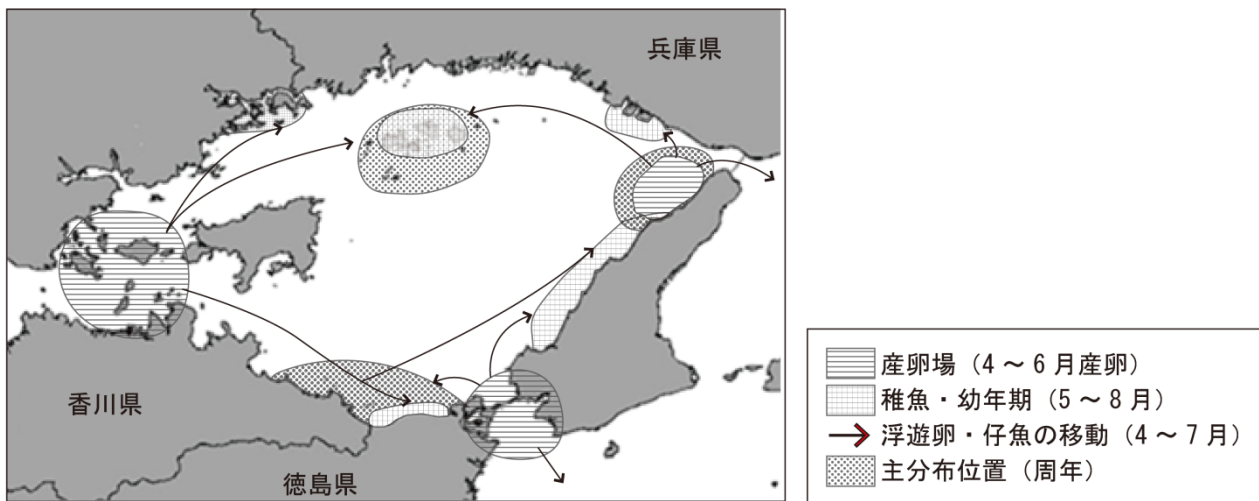


図-3 魚種 A の生活段階別空間分布図の作成例

2. 環境因子の把握

対象海域における各種環境データを収集整理し、対象魚種の資源水準底上げに最も効果的な生活段階における環境因子を把握する。

【解説】

(1) 環境因子の選定

対象海域において、対象魚種に影響する水質、底質、餌料、水深、天敵、波浪・流況等環境因子を時間・空間的に網羅するよう収集整理する(巻末参考資料参照)。データが欠落した空間が多い場合には、信頼できる数値解析結果を用いて補完することも有効である。その上で、対象魚種の資源水準底上げに関して最も有効な生活段階を代表する環境因子を選定する(選定例を表-1で後述)。その際、選定する環境因子と生活段階の時間軸は一致させなければならない。例えば、有効な生活段階として稚魚期を選定し、それが春季ならば環境因子も春季の値を抽出する。同じ魚種でも生活段階で支配的な環境因子が異なるならば、注目する生活段階に応じた環境因子を選択せねばならない。また、単純に環境因子を並べるのではなく、対象魚種の生残・成長に関わる生息環境の支配要因やボトルネックを十分吟味することが必要である。特に、魚類の生息は餌料の有無に大きく依存することに留意すべきである。

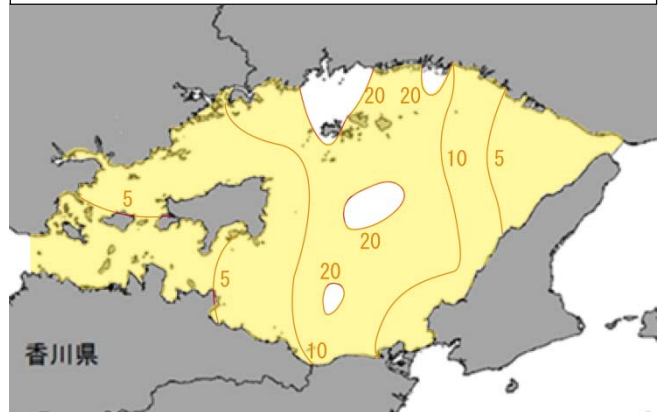
(2) 環境因子の空間分布の把握

選定した環境因子の分布図を作成し、空間的に把握・評価する。図-4には、魚種 A の稚魚期を例として示す。生息環境に影響する環境因子として水深、底質 COD、藻場を選択し、空間分布図を作成する。次いで、これらの分布図を重ね合わせて、複数の環境因子を包括した生息環境としての適性或ボトルネックを空間的に把握する。

・環境因子 1：水深(m)分布
5~20m(水色領域)が好適環境



・環境因子 2：底質 COD(mg/g)分布
20mg/g 以下(黄色領域)が好適環境



・環境因子 3：藻場分布
藻場存在域(赤色領域)が好適環境



重ね合わせ

・包括環境因子分布

- ①左図：緑色領域が、水色、黄色、赤色が重なった包括的な好適環境領域。
- ②右図：水色、黄色、赤色が重なった領域が包括的な好適環境、不足する色の環境因子が、その場所における環境ボトルネック。

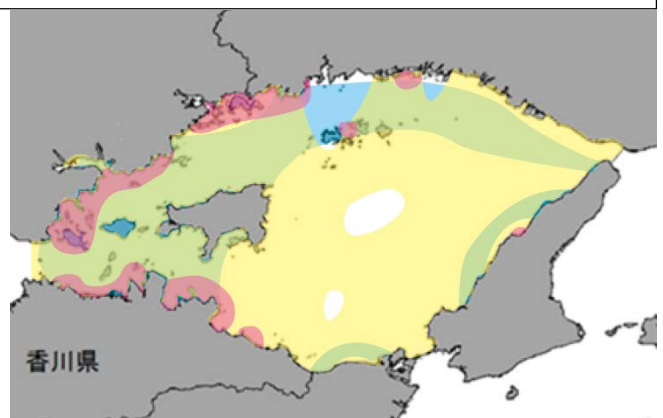


図-4 魚種 A 稚魚期を対象とした環境因子の把握結果

※参考：HEPによる環境因子空間分布把握

複数の環境因子を包括した生息環境としての適性把握には HEP(Habitat Evaluation Procedure(ハビタット評価手続き))が有効である。HEP とは、評価対象である複雑な生態系の概念を野生生物の生息環境(ハビタット)に置き換え、その適性をシンプルかつ総合的に定量評価することである。

HEP において個々の環境因子の「質」を表す指数は「SI(Suitability Index、環境要因ごとの適正指数)」として表す。それら複数の SI 値を統合し、評価種のハビタットとしての総合的な適性を示す指標が「HSI(Habitat Suitability Index、ハビタット適正指数)」である。

まず、選定された評価種の生息環境(水産生物では、例えば水質、底質、餌料等)にはどのような生存必須条件(環境因子)があるのかを既存資料や専門家の判断により把握・整理する。最終的に絞り込んだ生存必須条件の状態と生息環境としての適性の間の相関関係を設定する。これが「SI モデル」である。SI モデルは 0(全く不適)から 1(最適)の範囲で表現される。

次に、HSI は複数の SI 値をかけ合わせたり、足し合わせたりして統合する。HSI 値も SI 値同様 0(全く不適)から 1(最適)の範囲で表現される。例えば、アサリは水温、塩分濃度、溶存酸素に影響されるため、それら環境因子別の評価に加え、更にそれらを総合的に判断する仕組みが必要になる。本ガイドラインの考え方をあてはめるならば、選定した環境因子別の評価が SI モデル、複数の環境因子を取りまとめて総合的に判断する仕組みが HSI モデルとなる。

3. 生活史と環境因子の重ね合わせと効果的な環境形成手法の検討

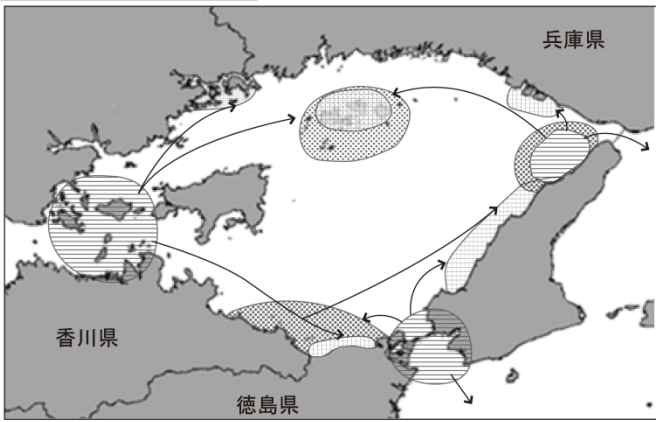
把握した生活段階および環境因子の時間・空間分布を重ね合わせてその特性を検討し、対象種の資源底上げに関して最も効果的な漁場整備の適地を検討する。

【解説】

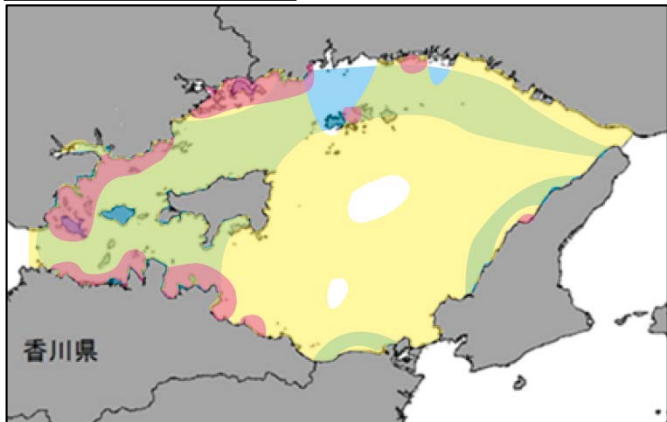
対象魚種の資源水準を効率的に底上げするには、適切な生活段階と、その時期に利用する海域で、対象魚種の積極的な保護を図ることが有効である。把握した生活段階および環境因子の時間・空間分布を重ね合わせることで、保護すべき位置や保護手法に関する情報が得られる。例えば、稚魚の主要な多棲域の環境適性が低いならば、その原因となる環境因子、すなわち資源水準を底上げするボトルネックとなっている原因を特定した上で、それを改善するような環境形成策を講じて初期減耗を防ぐことが資源全体の底上げに寄与することとなる。そして、それが連続性を確保した漁場環境の形成となる。以上の模式図を図-5 に示す。また、具体例を「IV 効果的な環境形成手法の検討例」および「VI 参考資料」に示す。

なお、生活史を考慮することは各生活段階の繋がりを重視することでもある。よって、保護すべき位置は、空間分布図の重ね合わせ結果から機械的に選定するのではなく、他の生活段階と、その段階で利用する海域との関わりや、近傍海域の環境適合度の状況も念頭に置いて、生息や移動を妨げないように定めねばならない。

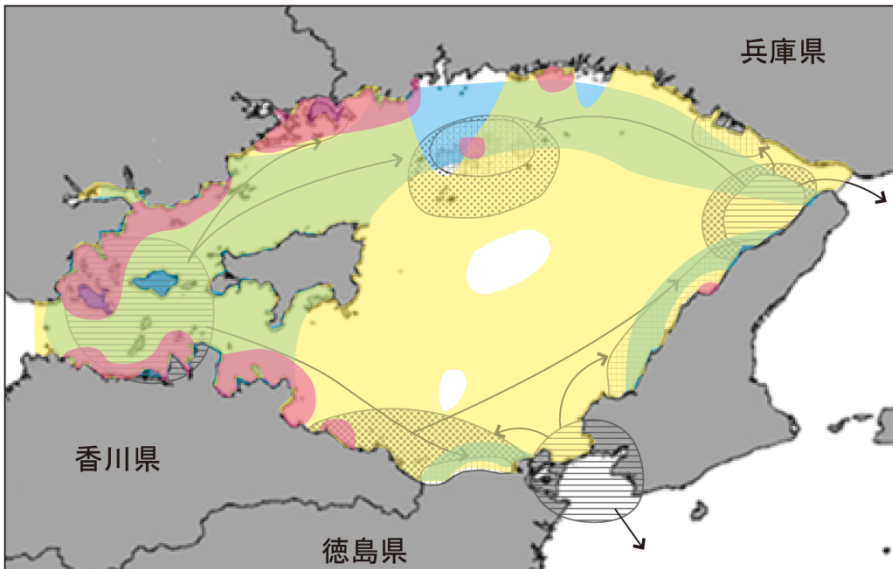
生活段階分布



包括環境因子分布



重ね合わせ



保護すべき期間が稚魚・幼年期(図中格子柄)ならば、その分布域の環境適性が明らかとなる。
 →資源水準を低下させる環境因子を特定した上で、改善する環境形成手法を講じる。





-  産卵場 (4～6月産卵)
-  稚魚・幼年期 (5～8月)
-  浮遊卵・仔魚の移動 (4～7月)
-  主分布位置 (周年)

図-5 生活段階別分布と環境因子分布の重ね合わせ

IV 効果的な環境形成手法の検討例

1. 対象海域・魚種

ここでは、播磨灘を対象海域、マダイを対象魚種とした環境形成手法の検討例について示す。

2. 生活史の把握

①マダイについて、既往調査・研究資料、漁獲資料等を収集整理するとともに、地元有識者・漁業者へのヒアリング等により、生活段階別分布域、移動方向、分布時期、更に生活段階別の好適環境を把握する。

②把握した魚種の生活段階別分布を地図上にプロットし、時間・空間的に明確化する。図-6 に播磨灘におけるマダイの生活段階別分布図を示す。

③資源水準底上げに最も効果的な生活段階を選定する。ここでは、飢餓や被食に対して脆弱であるとともに、着底期に移って定着するため保護しやすくなる幼稚魚期を選定し、その段階の減耗を抑制することで資源水準の底上げを図る。

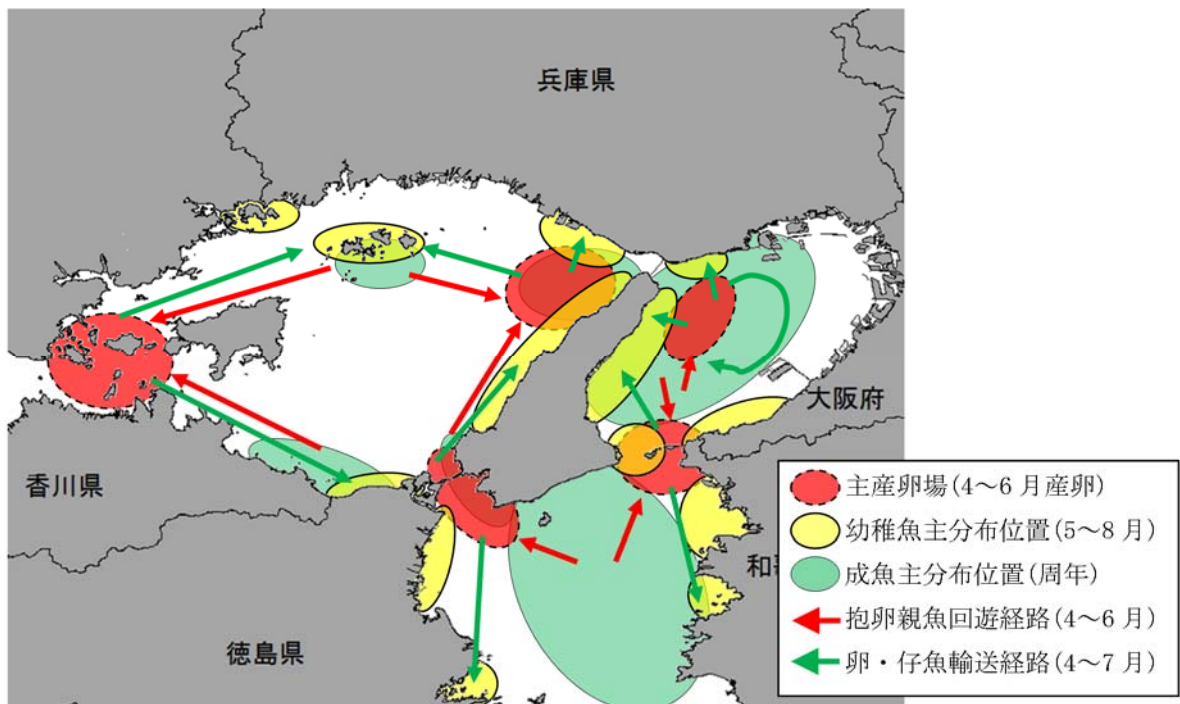


図-6 マダイの播磨灘における生活段階別分布図

3. 環境因子の把握

①対象海域において生物生息に影響する環境因子を時間・空間的に網羅するよう収集整理する。その上で、対象種の資源水準底上げに最も有効な生活段階である稚魚期に影響を与える環境因子を選定する。

②ここでは、マダイ幼稚魚期に最も影響する環境因子(SI)としてSI₁:水深、SI₂:底質COD、SI₃:藻場の

有無を選定し、空間分布図を作成した。表-1 に選定理由を示す。更に、各環境因子において前述の SI モデルを適用し、0(全く不適)から 1(最適)の範囲で評価した^{※1}。その上で各環境因子を式(1)に示すように相加平均で統合して、対象生物の総合的な生息環境適性値である HSI 分布を求めた^{※2}。以上の検討結果を図-7 に示す。なお、ここでは藻場は棒グラフによる不連続な設定としたが、藻場分布面積などを勘案して他の環境因子と同様に連続変数とすることも有効である。

$$HSI = (SI_1 + SI_2 + SI_3) / 3 \quad (1)$$

表-1 マダイ稚魚期に影響を与える環境因子と選定理由

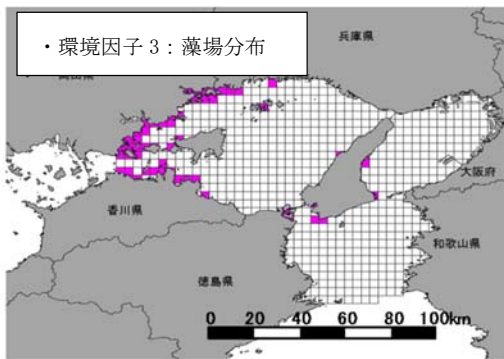
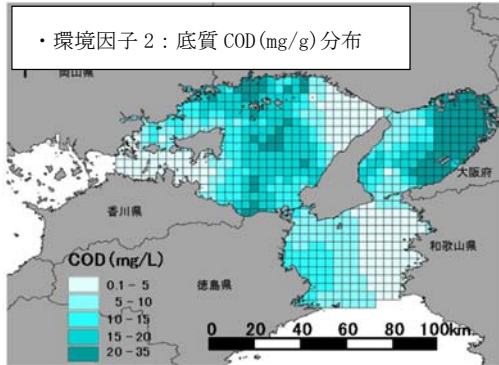
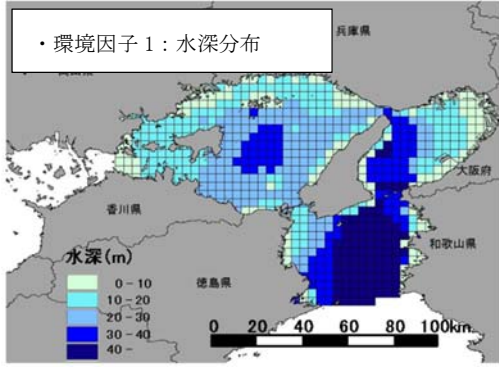
環境因子	選定理由
水深 (SI ₁)	マダイ稚魚期の生息域は 5m 以深で 10~20m 程度までとされている。
底質 COD (SI ₂)	マダイは主に底層に生息している。底層の有機物状況を示す底質 COD は、水産用水基準で 20mg/g 以下が海域の基準とされている。
藻場 (SI ₃)	マダイ稚魚は、藻場を隠れ場および餌場として利用し、特にアマモ場を好むとされている。

※1：SI モデルにおける 0~1 評価(図-7 右図)は、既往調査・研究資料や水質基準等や、後の図-14 に示すように生息地の現地観測を基にして設定する。

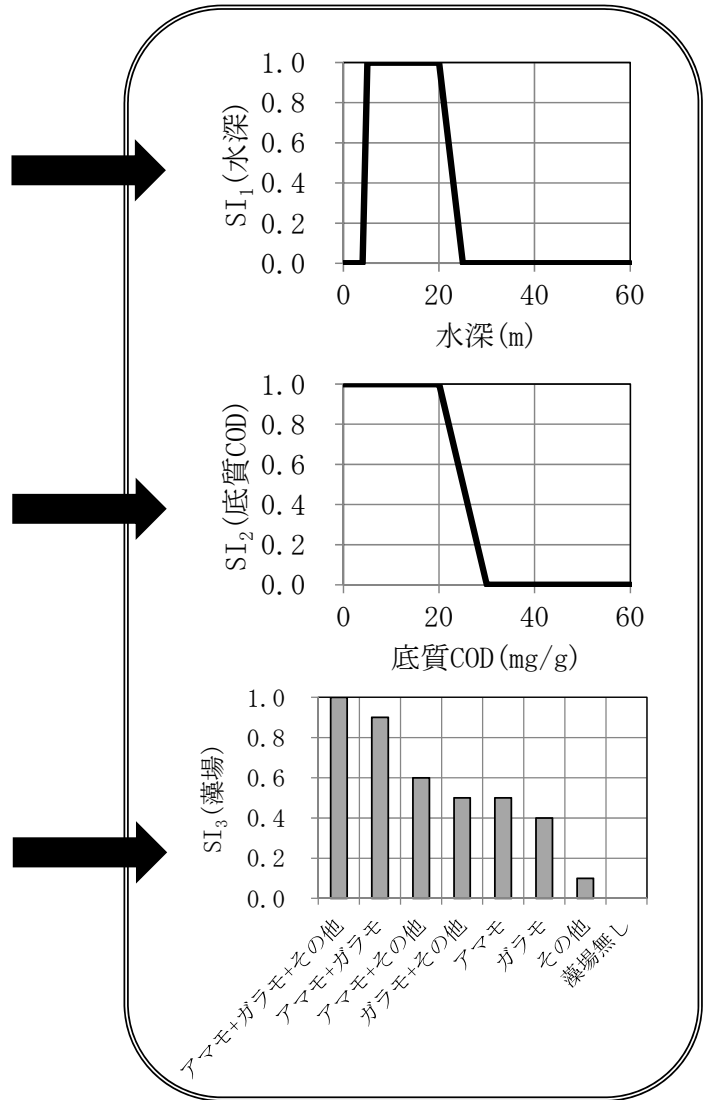
※2：ここでは式(1)に示す相加平均を用いたが、式(2)に示す相乗平均を用いる場合もある。相加平均は SI の一つが 0 でも生息地としてそれなりに機能する場合に有効であり、生息環境のポテンシャルを評価するに適した手法である。これに対して相乗平均は SI の一つが 0 なら生息地として機能しない場合に有効であり、候補海域の絞り込みに適した手法である。これらの特性を考慮して目的に適した手法を選択、ないしは両者を組み合わせて検討する。

$$HSI = (SI_1 \times SI_2 \times SI_3)^{1/3} \quad (2)$$

SI モデルの適用



※この図はアマモ分布であるが、ガラモ等の分布図も別途作成し、結合させてSI₃を定めた。



相加平均により総合的な環境適性 HSI 分布算出

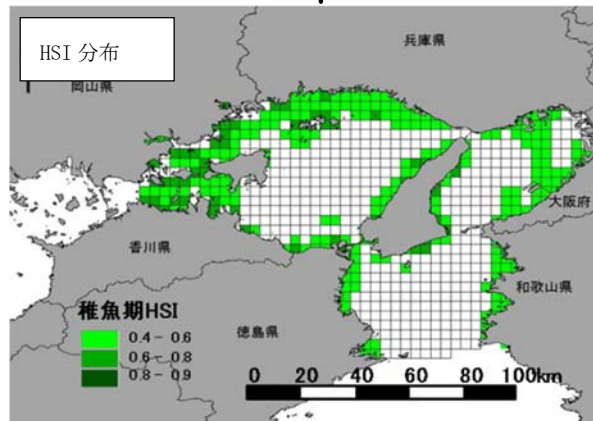


図-7 マダイ幼稚魚期を対象とした HSI 分布算出例

4. 生活史と環境情報の連結・および効果的な環境形成手法の検討

幼稚魚の効果的な環境形成手法の検討のため、先ず図-6 に示した生活段階分布のうち、幼稚魚分布と図-7 に示した幼稚魚期 HSI 分布を重ね合わせて幼稚魚期の環境適性を評価する。図-8①は図-6 の生活段階分布をメッシュ状に修正したものであり、水色部分が幼稚魚多棲域である。これと図-8②に再掲する幼稚魚期 HSI 分布(図-7 下図)を重ねた結果が図-8③である。図-8③中の赤枠内が幼稚魚の多棲域である。これにより、幼稚魚多棲域の環境適性が定量的に把握された。

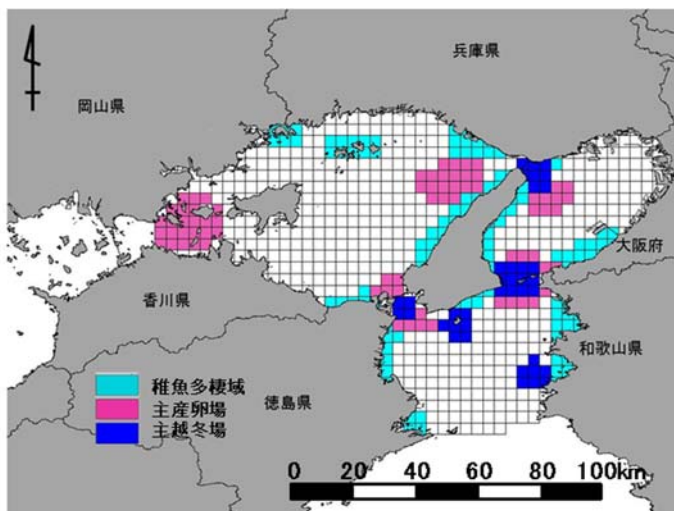


図-8① マダイの幼稚魚多棲域分布(図-7 改変)

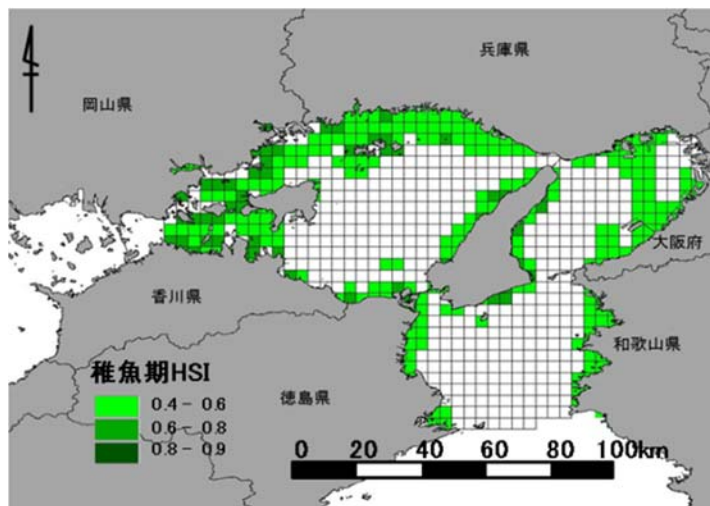


図-8② マダイ幼稚魚期の HSI 分布

重ね合わせ

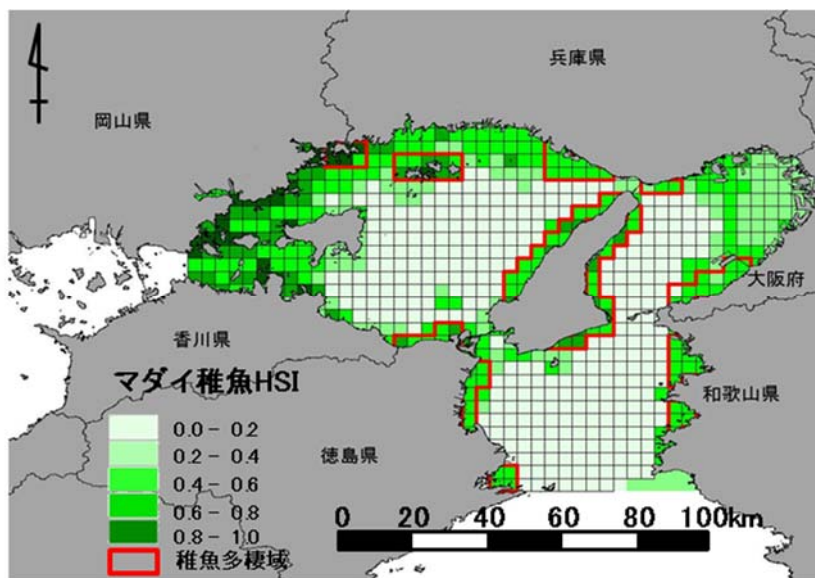


図-8③ マダイ幼稚魚分布と幼稚魚 HSI 分布の重ね合わせ

次いで、重ね合わせた結果から、効果的な環境形成手法を検討する。例えば、HSI 値が 0.0 に近ければ、それを 1.0 に近づけるのには多くの労力と投資が必要となるが、例えば 0.5 以上ならばそれを 1.0 に近づけるのは比較的容易である。ここでは HSI が 0.4~0.9 の範囲を例として選定し、HSI が低い原因を検討する。前述の 3 種の環境因子(SI)について、どの因子が HSI を下げているか類型化^{*}した結果が図-9 である。この中で、例として領域 C(緑色部)に着目する。図-10 は領域 C における SI 値の分布である。水深と底質 COD の SI は 1.0 で最適であるが、藻場の SI が低水準なため、HSI が結果として 0.7 程度になっている。よって、領域 C での藻場造成の実施はマダイ稚魚の生息環境を向上させ、マダイの初期減耗を抑制すると考えられるので、効果的な環境形成手法であると判断できる。

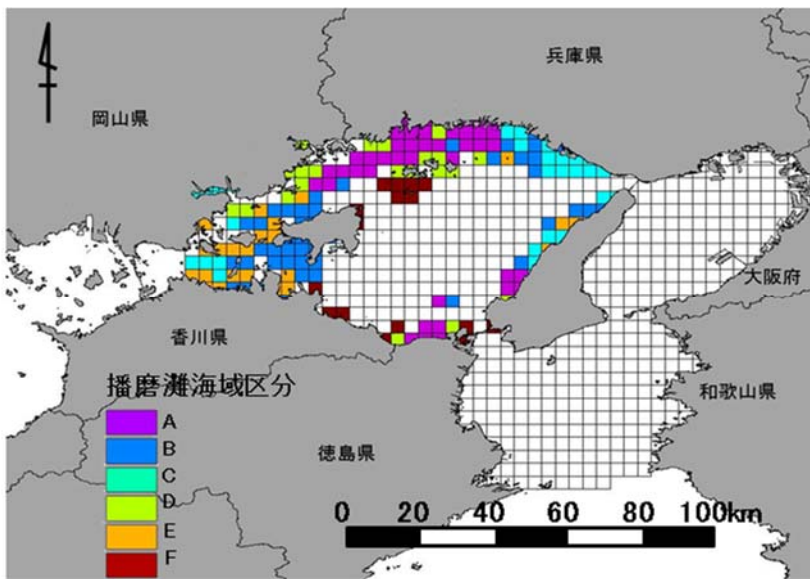


図-9 海域の類型化

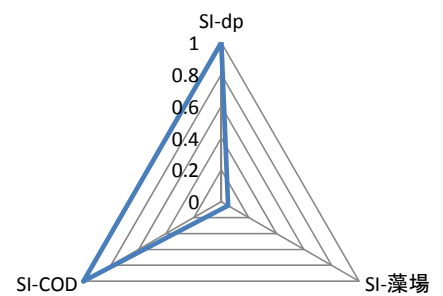


図-10 領域 C の環境因子分布

^{*}類型化は、メッシュ毎の SI 値を表-2 に示すように一覧表にして実施すればよいが、環境因子が多い場合にはクラスター分析が有用である。

表-2 メッシュ毎の SI 値一覧の模式表

メッシュ番号	SI ₁ (水深)	SI ₂ (底質 COD)	SI ₃ (藻場)	類型化
1	1.0	1.0	0.1	C
2	1.0	1.0	0.5	E
3	0.0	1.0	0.5	F
		•		
		•		
		•		
		•		

V 種苗放流・資源管理との連携を踏まえた漁場の管理・運営手法

より生残率の高い種苗放流の位置・時期の絞り込み、資源水準低下を抑制する適切な操業の管理には、生活段階別の空間分布および環境因子の空間分布の活用が有効である。

【解説】

(1) 種苗放流への活用

これまで種苗は経験的に生残率が高いと考えられる位置に放流されてきたが、より効果的な種苗放流の実施には生活段階分布や環境因子分布の活用が有効である。

例えば、対象放流魚種の稚魚期の環境因子分布図を作成することにより、環境適性値がより高い種苗放流位置を絞り込むことができる。また、種苗の被食を抑制するには、天敵となる魚種の生活段階分布図を作成し、例えば天敵魚種の成魚の分布域を種苗放流位置から外すことが考えられる。図-11 に播磨灘におけるマダイ種苗放流量と前章で示した HSI 分布の関係を示す。種苗は概ね環境適性が高い位置で放流されており、更には図中青矢印で示したように、近隣のより環境適性が高い領域へ移動することが可能な放流位置である。

(2) 資源管理への活用

適切な資源管理にも対象魚種の生活段階分布および環境因子分布の活用が有効である。

例えば、生活段階分布図にて稚魚が多棲とされる時期・海域では稚魚の混獲を防ぐ漁具を使用する、ないしは操業を自粛することによる管理が考えられる。また、水産生物の資源水準が低下している場合は、稚魚多棲域の環境適性値を向上させる環境形成事業を行う管理が考えられる。

以上のように、生活段階別分布および環境因子分布は、種苗放流・資源管理との連携を踏まえた漁場の管理・運営に対して有効なツールとなり得る。

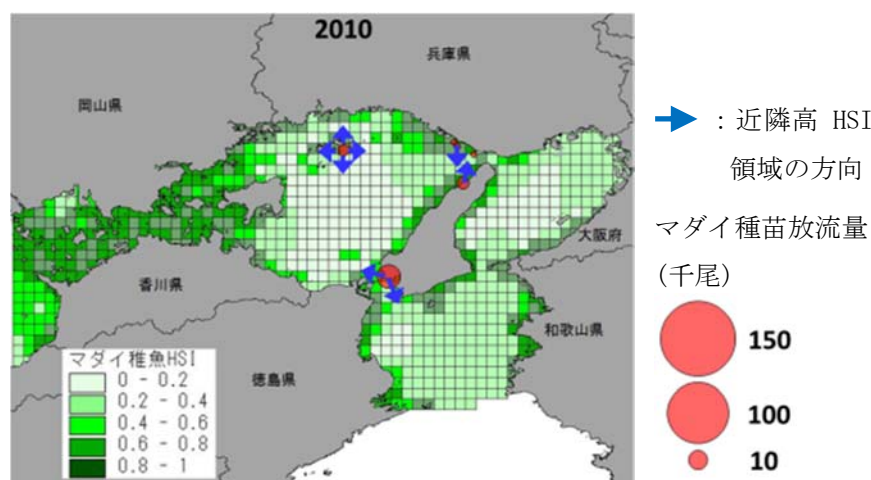


図-11 播磨灘におけるマダイ稚魚 HSI と放流位置・量の関係(平成 22 年)

VI参考資料

【東京湾マコガレイ卵期の検討事例】

1. 対象海域・魚種

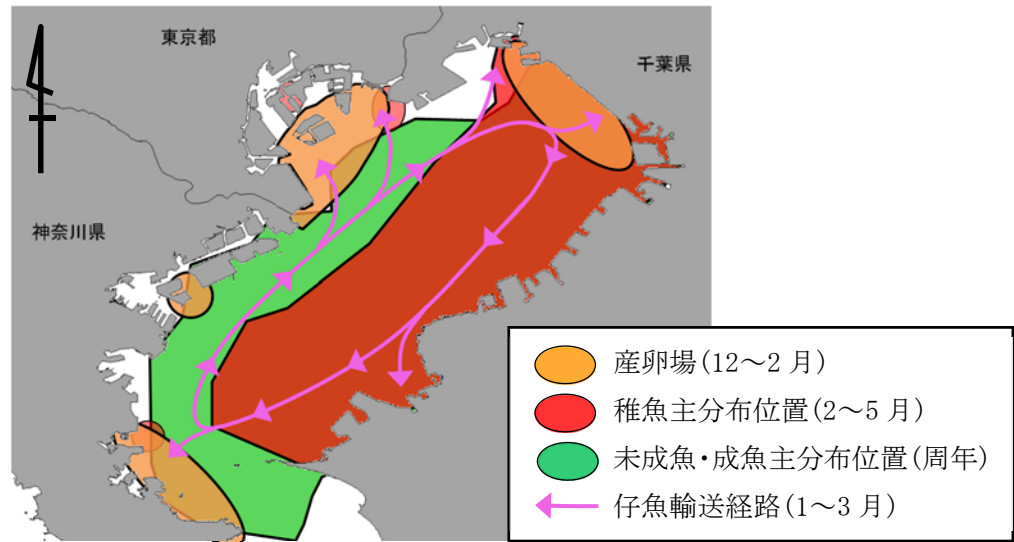
ここでは、東京湾を対象海域、マコガレイを対象魚種とした環境形成手法の検討例について示す。

2. 生活史の把握

①試験研究機関による論文・調査資料、および関係水産試験場・漁協・遊漁船組合等へのヒアリングにより、マコガレイの生活段階別分布域、移動方向、分布時期、更に生活段階別の好適環境を把握した。

②マコガレイの生活段階別分布を図-12 に示すように地図上にプロットした。

③仔魚は流れにより受動移動する、稚魚期の分布域は非常に広いという特徴があるのに対し、東京湾での産卵場は概ね特定の位置であることと、卵は海底砂へ粘着する性質を持つことから、資源水準底上げに最も効果的な生活段階として卵期を選定した。



※東京都・神奈川県沿岸のマコガレイの正確な稚魚主分布位置は知見が不足しているため不明であるが、千葉県沿岸と同様に広範囲に分布していると考えられる。

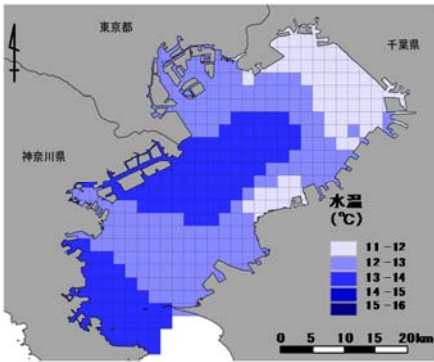
図-12 マコガレイの東京湾における生活段階別分布

3. 環境因子の把握

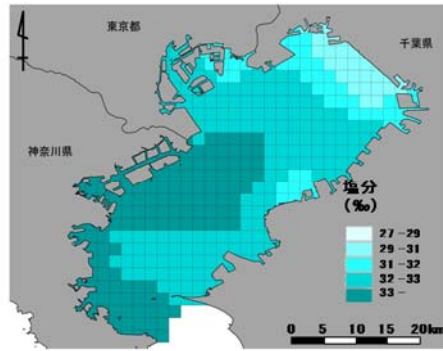
①砂質海底地盤に粘着するマコガレイ卵期の特性を考慮して、影響する環境因子(SI)としてSI₁:底層水温、SI₂:底層塩分、SI₃:底層DO、SI₄:水深、SI₅:中央粒径およびSI₆:貝殻被度を選定し、それらの観測データを収集整理した。卵期を考慮して、季節変動がある環境因子の値は1月の値とした。図-13に選定した環境因子の空間分布を示す。

②次いで、各環境因子においてSIモデルを適用し、0(全く不適)から1(最適)の範囲で評価した。図-14にマコガレイ卵期のSIモデルを示す。ここでは既往の観測データをプロットしてあり、そのデータの包絡線としてSIの範囲を定義した。

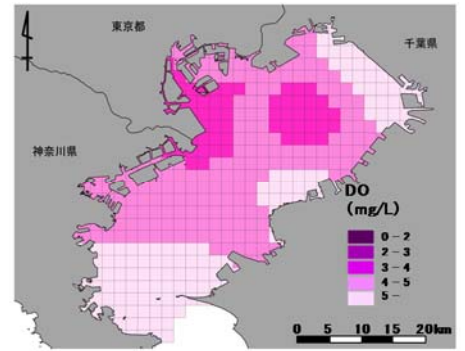
・ SI₁:底層水温(1月)



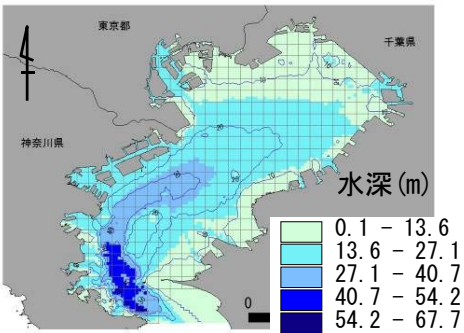
・ SI₂:底層塩分(1月)



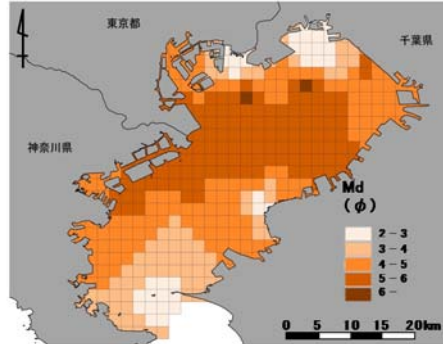
・ SI₃:底層DO



・ SI₄:水深



・ SI₅:中央粒径



・ SI₆:貝殻被度

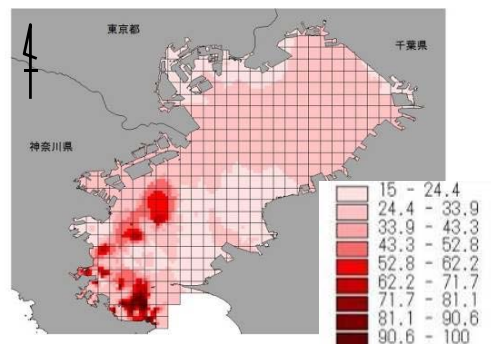


図-13 マコガレイ卵期に影響する環境因子の空間分布

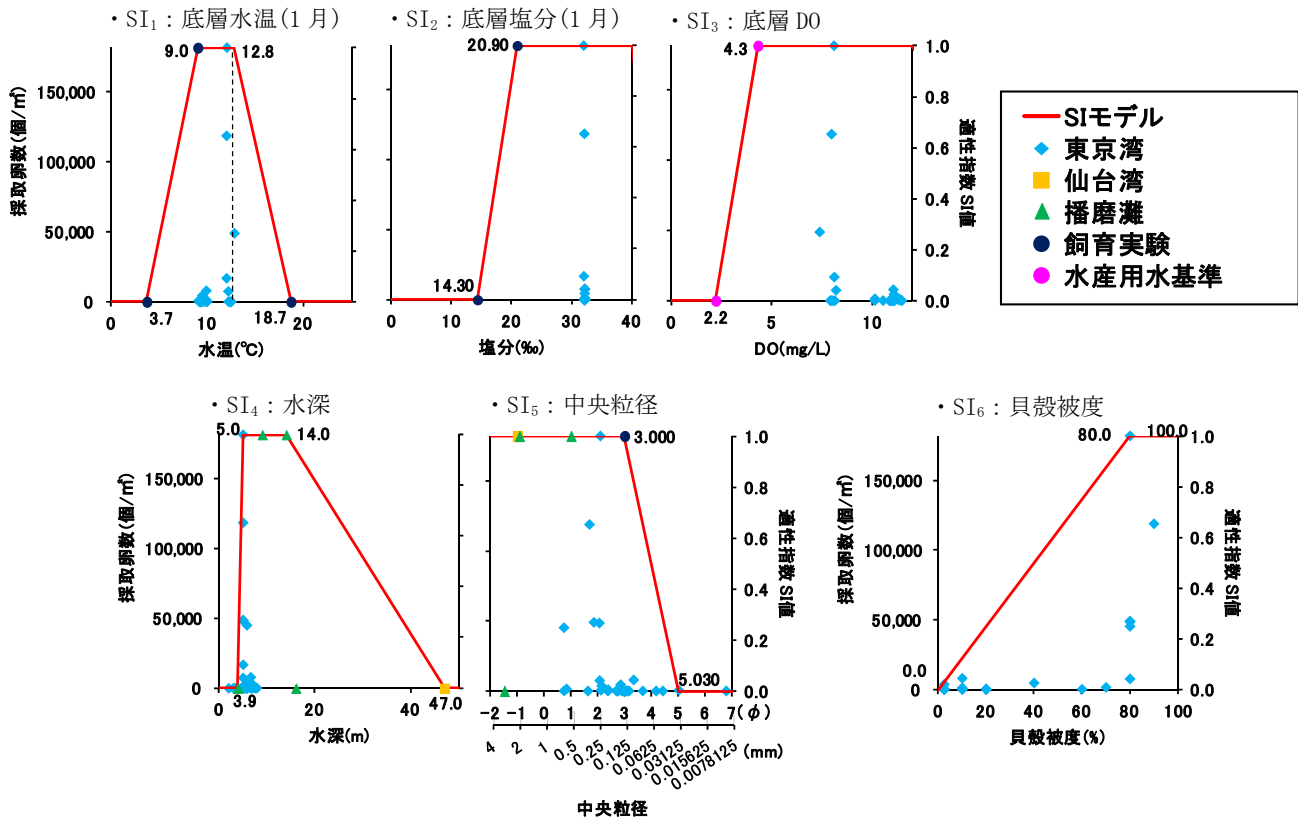


図-14 マコガレイ卵期の SI モデル

③粘着卵は自律移動できないので、その位置の水温、塩分、D_O が生息範囲を外れると斃死する。そのため、6種の環境因子を相乗平均で統合し(因子が一つでも0なら統合値は0)、マコガレイ卵期の総合的な生息環境適性値である HSI 分布を求めた。マコガレイは砂と貝殻のどちらにでも産卵するため、両者の SI 値が大きい方を採用することとした。統合式を式(3)に示す。また、算出した HSI 分布を図-15に示す。

$$HSI = \{SI_1 \times SI_2 \times SI_3 \times SI_4 \times \max(SI_5, SI_6)\}^{1/5} \quad (3)$$

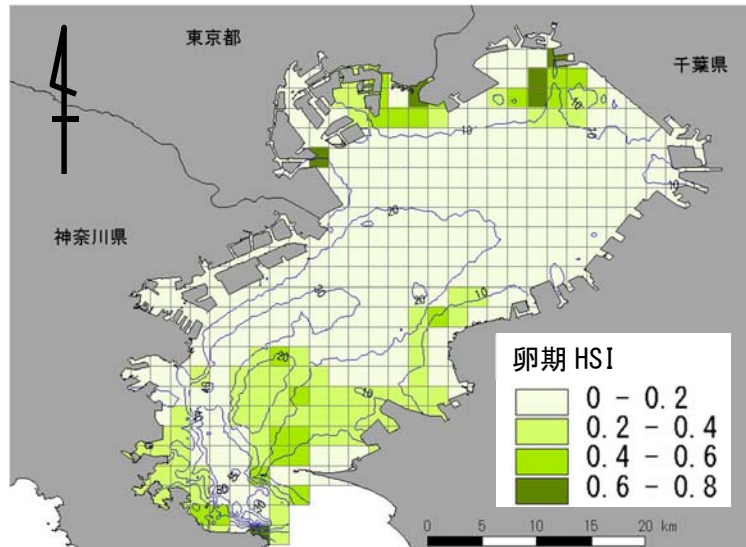


図-15 マコガレイ卵期の HSI 分布算出結果

4. 生活史と環境情報の連結・および効果的な環境形成手法の検討

図-12 に示した生活段階分布図と図-15 に示した HSI 分布を重ね合わせて、マコガレイ卵期の環境適性を評価した。図を重ねる過程と結果を図-16 に示す。図中の赤枠内が稚魚の多棲域である。これにより、稚魚多棲域の環境適性が定量的に把握できた。

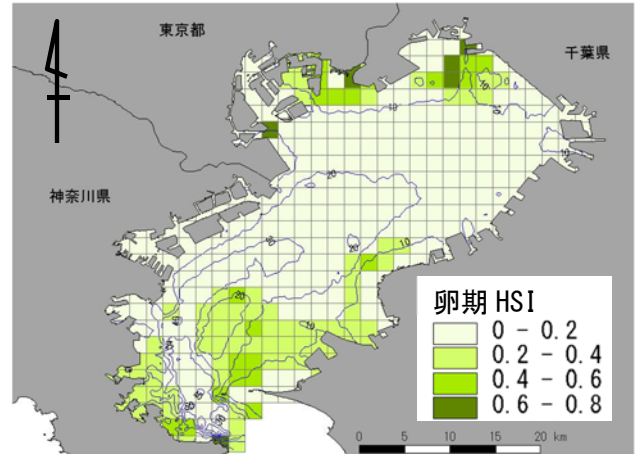
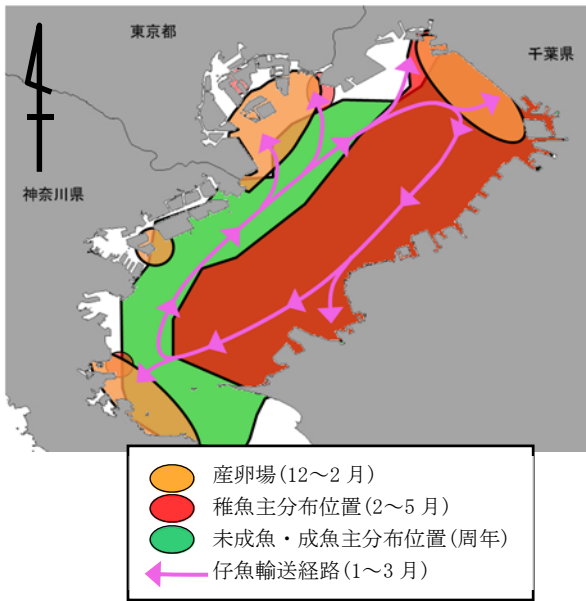


図-16① マコガレイの東京湾における生活段階別分布

図-16② マコガレイ卵期の HSI 分布

重ね合わせ

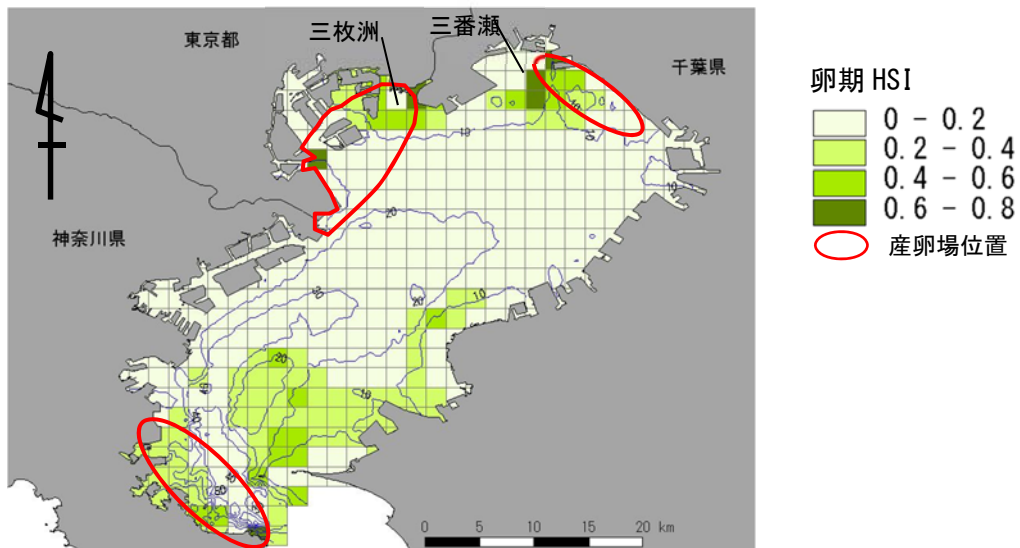


図-16③ マコガレイ卵分布と卵期 HSI 分布の重ね合わせ

ここでは湾奥の産卵場を対象としてHSIが低い原因を検討した。前述の6種的环境因子(SI)について、どの因子がHSIを下げているか類型化した結果が図-17である。この中で、例として領域Aに着目した。図-18は領域AにおけるSI値の分布である。この領域は中央粒径および貝殻被度が低水準なためHSIが低くなっていた。よって、領域Aでは覆砂または貝殻散布の何れかを実施し、マコガレイ産卵期の卵付着基質を増やすことで、産卵を促進し、産出された卵を保護できると考えられ、資源水準の底上げに効果的な環境形成手法であると判断できる。

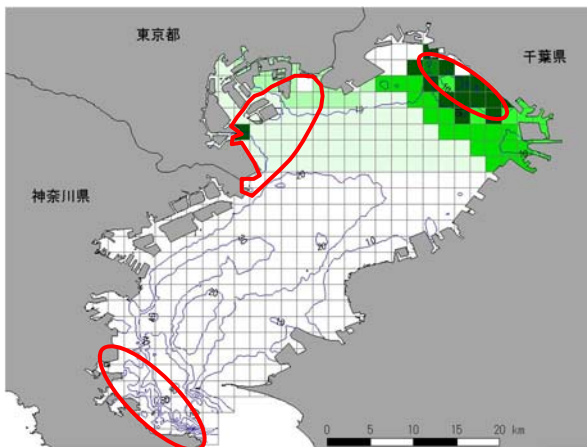


図-17 海域の類型化

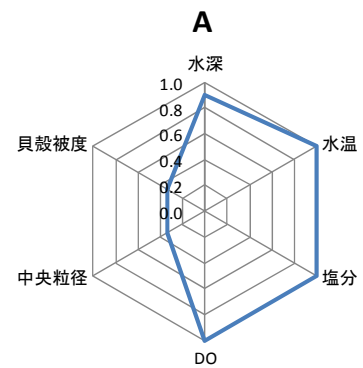


図-18 領域Cの環境因子分布

【播磨灘ヒラメ後期稚魚期の検討事例】

1. 対象海域・魚種

ここでは、播磨灘を対象海域、ヒラメを対象魚種とした環境形成手法の検討例について示す。

2. 生活史の把握

①試験研究機関による論文・調査資料、および関係水産試験場・漁協・遊漁船組合等へのヒアリングにより、ヒラメの生活段階別分布域、移動方向、分布時期、更に生活段階別の好適環境を把握した。

②ヒラメの生活段階別分布を、図-19 に示すように地図上にプロットした。

③卵は浮遊卵であり、卵期と仔魚期は流れに乗って受動的に分散する。稚魚は浅場に着底し、前期稚魚期は主にアミ類を摂餌するが、後期稚魚期はイカナゴシラス・イワシシラス等の魚食性に移行する。ここでは餌料供給による初期減耗の抑制を図ることとし、資源水準底上げに最も効果的な生活段階として後期稚魚期を選定した。

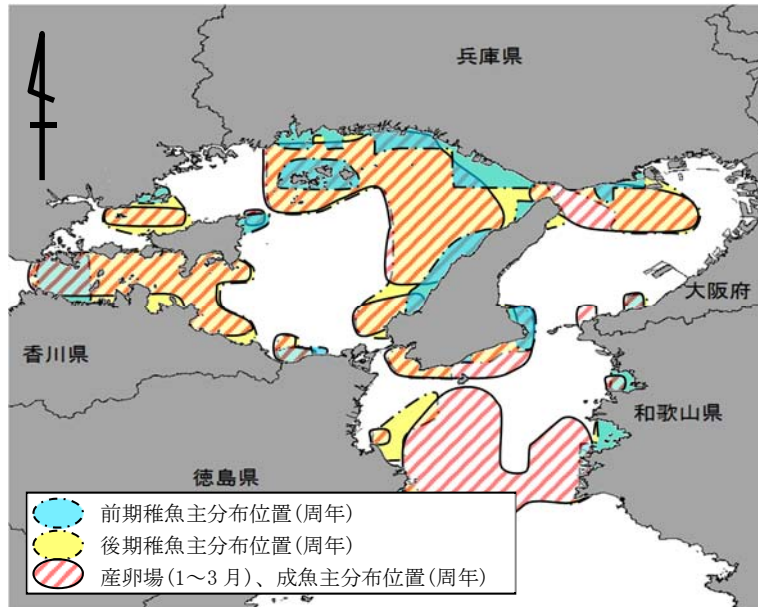


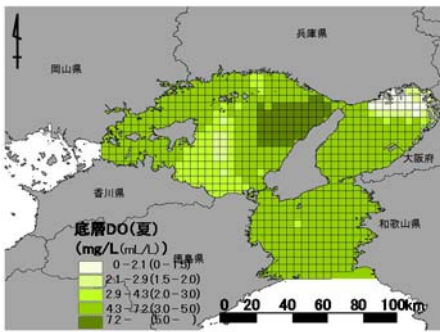
図-19 ヒラメの生活段階別分布(仔魚期は知見なし)

3. 環境因子の把握

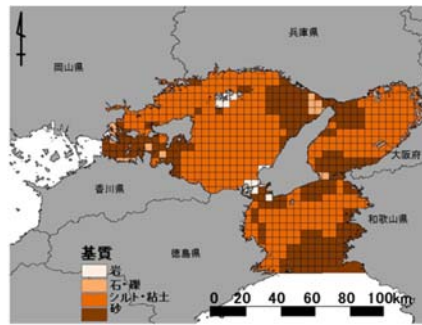
①着底して魚食するヒラメ後期稚魚期の特性を考慮し、環境因子(SI)として SI₁: 底層 D0、SI₂: 底質、SI₃: 水深、SI₄: ぱっち網漁獲量(餌料となるシラス漁獲量)、SI₅: 前期稚魚 HSI(生活段階の連続性を考慮)を選定し、そのデータを収集整理した。後期稚魚期は周年に渡るが、底層 D0 の値は安全側を考慮し、最も低くなって生物生息に不適となる夏季の値を採用した。図-20 に選定した環境因子の空間分布を示す。

②次いで、各環境因子において SI モデルを適用し、0(全く不適)から 1(最適)の範囲で評価した。図-21 にヒラメ後期稚魚期の SI モデルを示す。

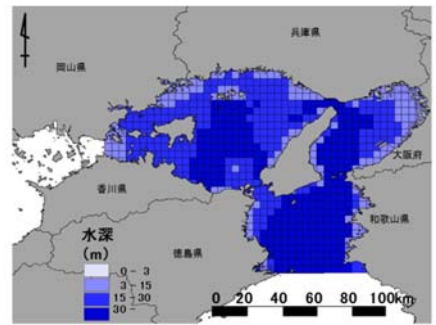
・ SI₁:底層 DO(夏季)



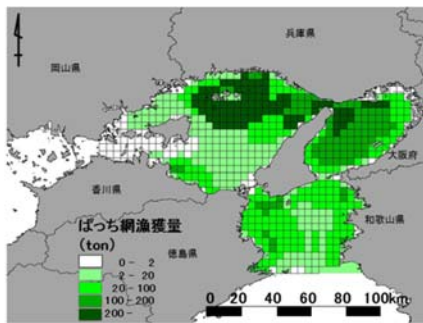
・ SI₂:底質



・ SI₃:水深



・ SI₄: ぱっち網漁獲量



・ SI₅:前期稚魚 HSI

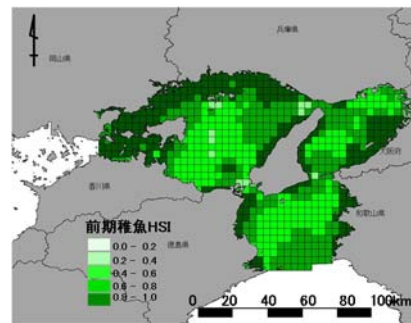
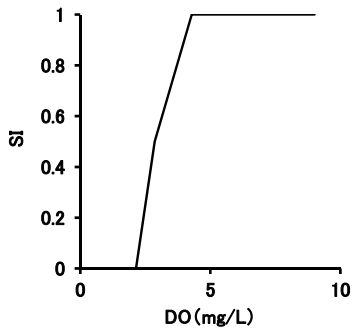
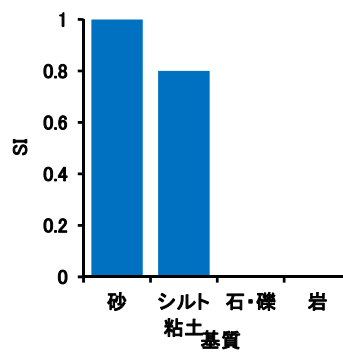


図-20 ヒラメ後期稚魚期に影響する環境因子の空間分布

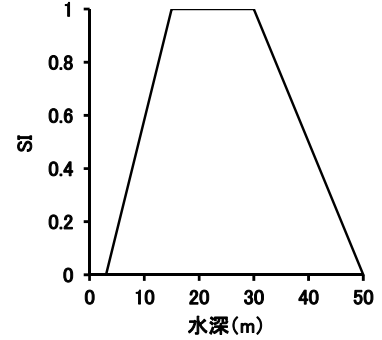
・ SI₁:底層 DO(夏季)



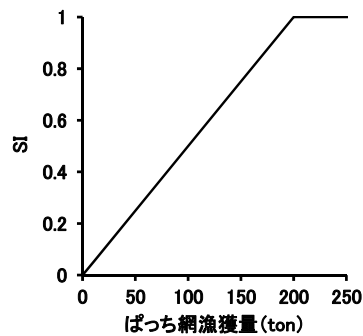
・ SI₂:底質



・ SI₃:水深



・ SI₄: ぱっち網漁獲量



・ SI₅:前期稚魚 HSI

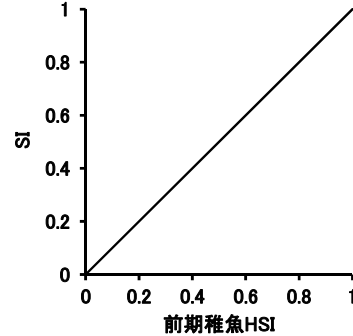


図-21 ヒラメ後期稚魚期の SI モデル

③ヒラメ後期稚魚は、より良い環境を求めて自律移動できることから、一つの環境因子が 0 となると生息適性が全く不適になってしまう統合は馴染まない。ここでは 5 種の環境因子を相加平均で統合して、総合的な生息環境適性値である HSI 分布を求めた。統合式を式(4)に示す。また、算出した HSI 分布を図-22 に示す。

$$HSI = (SI_1 + SI_2 + SI_3 + SI_4 + SI_5) / 5 \quad (4)$$

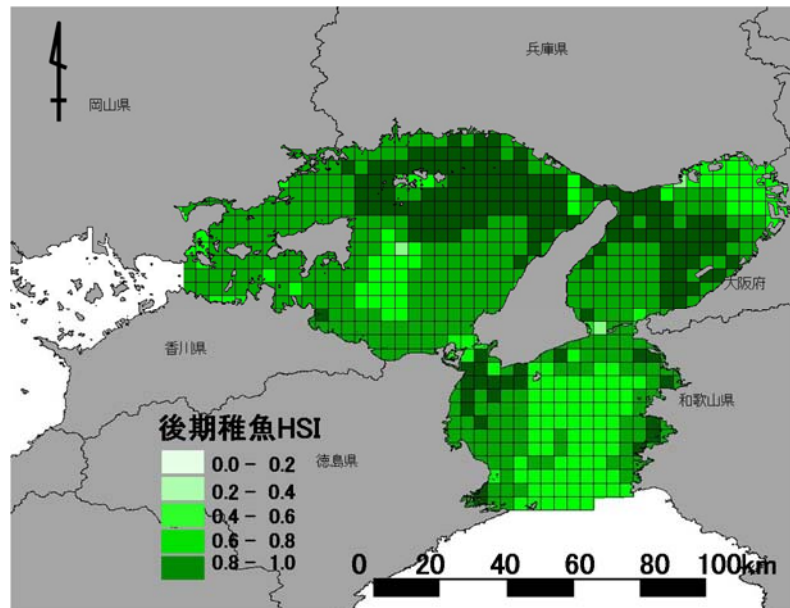


図-22 ヒラメ後期稚魚期の HSI 分布算出結果

4. 生活史と環境情報の連結・および効果的な環境形成手法の検討

図-19 に示した生活段階分布図と図-22 に示した HSI 分布を重ね合わせて、ヒラメ後期稚魚期の環境適性を評価した。図を重ねる過程と結果を図-23 に示す。図中の赤枠内が稚魚の多棲域である。これにより、稚魚多棲域の環境適性が定量的に把握できた。

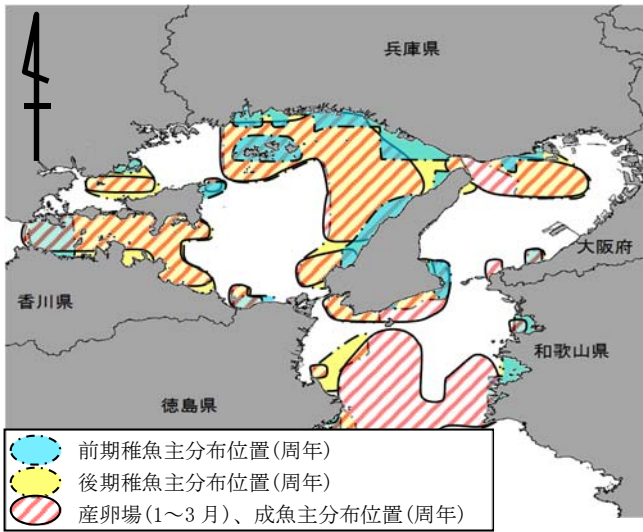


図-23① ヒラメの播磨灘における生活段階別分布

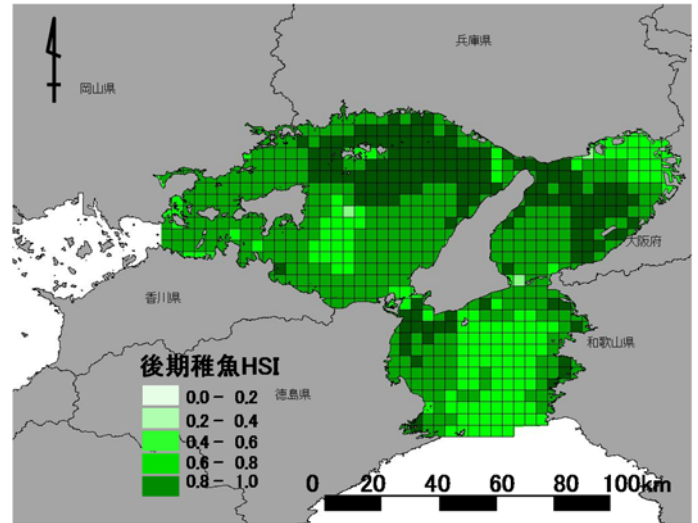


図-23② ヒラメ後期稚魚期の HSI 分布

重ね合わせ

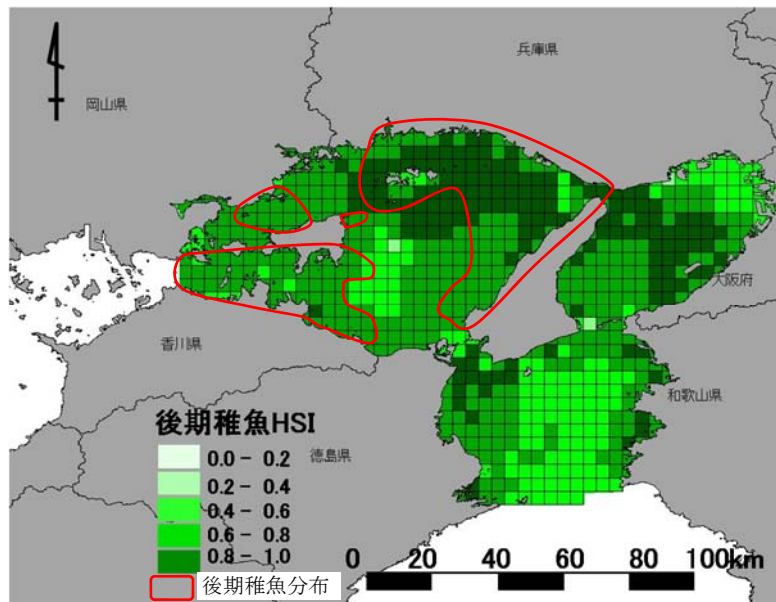


図-23③ 播磨灘ヒラメ後期稚魚分布と HSI 分布の重ね合わせ

ここでは、一つの環境因子を改善することで HSI を 1 に近づけることができる範囲として、HSI=0.7～0.8 の領域を対象に HSI が低い原因を検討した。前述の 5 種の環境因子(SI)について、どの因子が HSI を下げているか類型化した結果が図-24 である。この中で、例として領域 E に着目した。図-25 は領域 E における SI 値の分布である。この領域は、餌料が低水準なため HSI が低くなっていた。そのため、例えば、人工魚礁造成等により餌料となるシラス等を増集させ、餌料を供給することで飢餓による初期減耗を抑制できると考えられ、資源水準の底上げに効果的な環境形成手法であると判断できる。

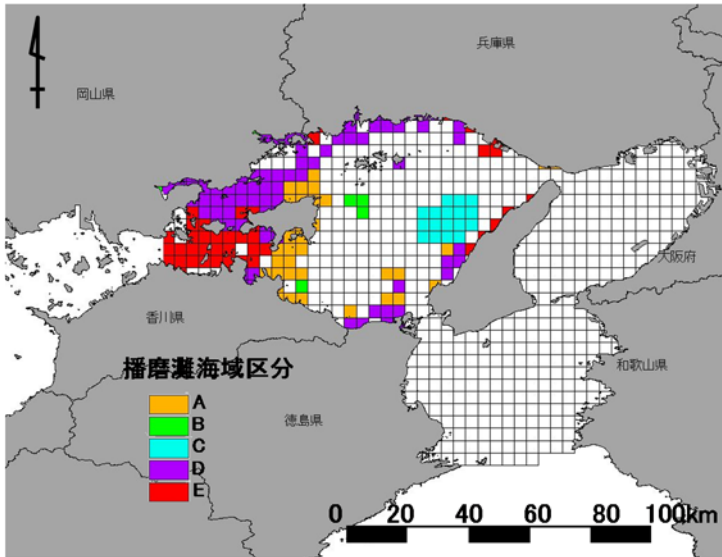


図-24 海域の類型化

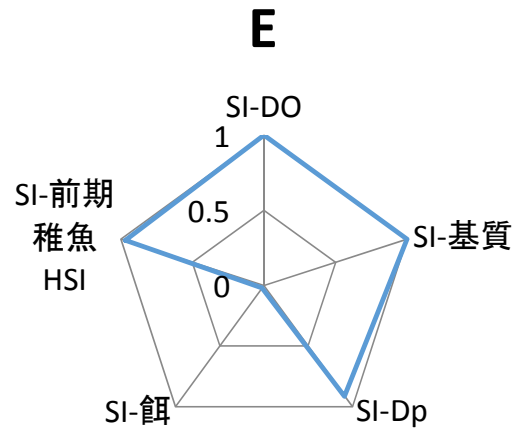


図-25 領域 C の環境因子分布

【数値解析の活用】

これまでに、対象魚種の生息環境を支配する環境因子選定の重要性について述べてきた。しかし、環境観測データが乏しい海域においては、環境因子の資料を入手することは困難である。また、特に受動移動する卵期や仔魚期等生活段階毎の分布について不明な魚種が多い。観測データが乏しい海域における環境因子の把握には、信頼できる数値解析結果を用いることが有効である。また、数値解析による浮遊卵および仔魚の移動と着底位置予測等、生活段階毎の分布把握についても研究が進められている。

数値解析モデルは、対象とする環境因子の解析に適したモデルを選定する必要がある。前出の【播磨灘ヒラメ後期稚魚期の検討事例】で選定した環境因子のうち底層 D0 を例にとると、流れについては鉛直分布を計算できる 3 次元流動モデル、その上で酸素に関して海表面における曝気、生物の呼吸、光合成、有機物分解による消費等を考慮した水質解析モデルが必要となる。また、数値解析結果については、観測値と比較検討して精度を担保する必要がある。

図-26 には、数値解析による生活段階毎の分布予測結果例として、播磨灘におけるマダイの浮遊卵の現地調査結果と予測計算結果の比較を示す。図から明らかのように、予測計算結果には、現地調査結果で示された備讃瀬戸や鳴門海峡周辺で浮遊卵密度が高い状況が再現されている。この解析は流動を計算するとともに、それに乗った粒子の移動を併せて計算する粒子追跡法を用いており、浮遊卵の移動予測に適したモデルである。

以上のように数値解析は有効なツールであるが、目的に適したモデルであるか十分吟味した上で用いることが肝要である。

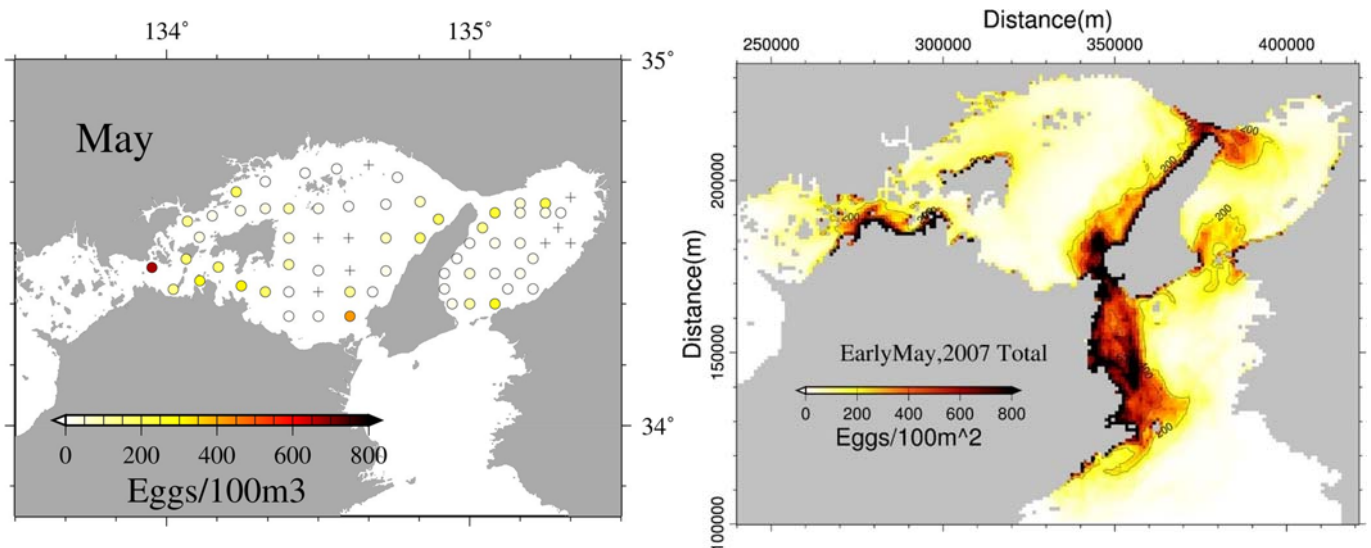


図-26 マダイ浮遊卵の分布の現地調査結果と予測計算結果の比較

(「平成 26 年度 水産生物の生活史に対応した漁場環境形成推進委託事業のうち水産生物の生活史に対応した広域的に連携する漁場環境形成手法の検討報告書」より)

【環境因子資料の入手】

環境因子は様々な機関によって調査・公表されている。ここでは例として、本ガイドライン作成にあたって使用した資料を示す。インターネット上で公開されているものについてはURLも記載する。また、その他有用な入手先も併せて示す。

1. 水質・底質

- 1) 国土交通省 中国地方整備局 瀬戸内海総合水質調査
<http://www.pa.cgr.mlit.go.jp/chiki/suishitu/index.html>
- 2) 水産庁 漁場環境評価メッシュ図-瀬戸内海-(1999)
- 3) 千葉県水産総合研究センター 水産情報
<http://www.pref.chiba.lg.jp/lab-suisan/suisan/suisan/index.html>
- 4) 国土交通省関東地方整備局 千葉港湾事務所 平成 21 年度東京湾底質底生生物調査報告書(2009)
- 5) 海図

2. 水深

- 1) 日本海洋データセンターオンラインデータ提供システム(水質、海流等もあり)
http://www.jodc.go.jp/jodcweb/JDOSS/index_j.html
- 2) 海図

3. その他有用な情報の入手先

- 1) 各都道府県水産研究機関による漁海況情報：多くの都道府県で水質等がインターネット公開されている。
- 2) 国土交通省港湾局全国港湾海洋波浪情報網リアルタイムナウファス：概ね全国を網羅した波浪情報
<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/index.html>

水産生物の生活史に対応した漁場環境形成推進委託事業のうち
水産生物の生活史に対応した広域的に連携する漁場環境形成手法の検討

水産生物の生活史に対応した広域的に連携する漁場環境形成手法の検討委員会 委員名簿

氏名	所属	役職	備考
佐々木 淳	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	教授	委員長
堀 正和	独立行政法人 水産総合研究センター 瀬戸内海区水産研究所 生産環境部	主任研究員	委員
安永 義暢	日本海区水産研究所	元所長	委員

(五十音順、平成 27 年 3 月時点)

本ガイドラインに関する問い合わせ先
水産庁漁港漁場整備部整備課設計班
〒100-8907 東京都千代田区霞が関 1-2-1
TEL 03-3502-8111