

漁業影響評価指針

令和5年6月

一般社団法人 全国水産技術協会



漁業影響評価等検討委員会（五十音順）

鈴木 輝明	名城大学大学院総合学術研究科特任教授 農学博士
反田 實	元兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター所長 博士（農学）
中田 喜三郎	名城大学大学院総合学術研究科特任教授 博士（工学）
松田 治	広島大学名誉教授（委員長） 農学博士
山田 久	国立研究開発法人水産研究・教育機構フェロー 元国立研究開発法人中央水産研究所長 工学博士、博士（農学）

一般社団法人全国水産技術協会執筆担当者会議（五十音順）

新井 義昭	研究開発部長 技術士（水産部門）
石田 基雄	東海・北陸支部長 元愛知県水産試験場副場長
市川 哲也	技術専門員 博士（工学）
今尾 和正	統括技術専門員 博士（学術）、技術士（水産、建設、総合技術監理部門）
風間 崇宏	統括技術専門員 技術士（水産、建設、総合技術監理部門）
小山 利郎	統括技術専門員 技術士（水産、環境、建設、総合技術監理部門）
芝 修一	技術専門員 博士（学術）
中根 徹	統括技術専門員
橋口 晴穂	技術専門員 博士（学術）、技術士（建設部門）
原 武史	統括本部長（座長） 元社団法人日本水産資源保護協会専務理事 元水産庁中央水産研究所長 農学博士

はじめに

我が国の漁業の持続的発展を図る観点から学識経験者による検討を経て、第三者による漁業影響調査の実施を目指す「漁業影響調査指針(社団法人日本水産資源保護協会・全国漁場環境保全対策協議会・全国漁業協同組合連合会)」が2005年3月に公表され、漁業影響を科学的に調査するための手順、方法等について明らかにされました。

沿岸域における大規模火力発電所の施設更新に際し、冷却用排水の温度の拡散をめぐり漁業影響調査指針に沿った調査が実施されたのは2011年のことでした。

これらに続き、沿岸域においてバイオマス燃料等による小規模な火力発電所の建設等が進められ、漁業者からの要請を受け漁業影響調査指針に沿った調査が実施されてきているところです。

しかしながら、漁業影響調査指針が公表されてからかなりの時間が経過し、この間における宇宙からの海洋観測技術やコンピューターによるデータ処理技術等の発展が著しく、また、我が国の漁業実態も大きく変化してきたこともあって、漁業者および事業者から従来の漁業影響調査に止まることなく、漁業影響を一層、科学的かつ、定量的に評価することを求められるようになりました。

このような漁業者等からの要請を受け、当協会は沿岸域における温排水の拡散による漁業影響調査に加えて、2014年から開始された土砂処分場整備のための埋め立て等による漁業影響調査を漁業影響調査指針に沿って行ってきました。これらの調査の実施に当たっては、漁業ばかりでなく漁業の対象となる水産生物への影響についても科学的、定量的に解析し、さらに詳細な漁業への影響評価を行うことに取り組んできたところです。

なお、このように長年、当協会が沿岸域における漁業影響調査に従事して得た教訓は、漁業者の積極的な参加なくして、漁業影響調査を実施することはできず、科学的な漁業影響評価も不可能ということです。また、調査案件ごとに設置され、学識経験者で構成される漁業影響検討委員会においてもご指導をいただくとともに、この取りまとめに当たってもご尽力いただいていたところです。

今般、その重要な事項等について「漁業影響評価指針」として取りまとめたところです。

この漁業影響評価指針は、漁業影響調査指針の精神は継承しつつ、近年における沿岸域における事業の多様化や技術の発展に対応した漁業影響調査の具体的な方法を詳細に示し、漁業影響を一層、科学的、定量的に評価することによって、漁業者および事業者双方の理解の増進に資することを願うものです。

水産業は国民に優良なたんぱく質である魚介類を供給する食料産業として、持続的発展を図る必要があります。今後、沿岸漁業の重要性が広く国民に理解されるためにも、漁業への影響を科学的に評価した上で、それを最小化するなどの努力が求められると考えています。

ここに漁業影響評価指針として取りまとめたところですが、今後の漁業環境の変化や技術の進展に応じて必要な改訂を行う所存です。

最後に、本評価指針作成に当たり終始ご指導いただいた漁業影響評価等検討委員会の先生方に厚くお礼を申し上げるとともに、漁業影響調査に従事した経験を生かし、漁業影響評価指針として取りまとめるために多大の協力をいただいた会員の皆様方に感謝申し上げ、この指針が漁業の持続的発展のために広く活用されることを願ってやまない次第です。

令和5年6月

一般社団法人 全国水産技術協会
会長 川口 恭一

目次

I. 総論	1
1. 評価指針の必要性	1
2. 評価指針の基本的な考え方	1
1) 評価の考え方	1
2) 漁業影響検討委員会の設置	1
3) 漁業影響調査の対象となる開発事業	2
4) 開発事業によるインパクトの考え方	2
5) 現況調査	2
6) 調査対象海域の設定	2
7) 現況調査の期間	3
8) 評価対象種の選定	3
9) 数値シミュレーション	3
10) 漁業影響モニタリング調査	3
3. 漁業影響調査の構成と流れ	3
II. 現況調査	5
1. 現況調査の考え方と構成	5
2. 現況調査の基本	5
1) 漁業実態調査	5
2) 水産生物生態等調査	6
3) 漁場環境調査	8
4) その他	9
III. 評価	11
1. 数値シミュレーションの活用と評価までの流れ	11
2. 数値シミュレーションの役割	12
3. 数値シミュレーションの種類と実績	13
1) 物理環境シミュレーション	13
2) 水質生態系シミュレーション	13
3) その他のシミュレーション	13
4. 評価対象種と評価項目の選定	14
5. 定量化手法の事例	15
IV. 漁業影響モニタリング調査	18
1. 漁業影響モニタリング調査の目的・意義	18
2. 各種モニタリングの考え方	18
1) 工事中漁業影響モニタリング調査	18
2) 工事後漁業影響モニタリング調査	19
3) 延伸漁業影響モニタリング調査	19
参考文献	20
参考 一般社団法人全国水産技術協会について	21

I. 総論

1. 評価指針の必要性

漁業影響調査指針（以下、「調査指針」という。）は、「開発事業が計画された段階において、漁業を維持し、持続的に発展させるために、漁業影響調査はいかにあるべきかを取りまとめたものである」（指針の利用について、p36）とされており、漁業影響調査の理想的な考え方と手順が記載されている。

一方で、調査指針が策定されてからすでに 18 年が経過しており、その間、大規模火力発電所の施設更新、小規模火力発電施設の新設、洋上風力発電施設の新設、海域の大規模埋め立て、防波堤の建設等が実施されたほか、最近では大規模洋上風力発電施設の建設が計画され、開発事業は多様化の一途を辿っている。また、沿岸域においては、貧酸素水塊の発生に伴う漁業被害は依然として主要な環境問題の一つであり、加えて経年的な水温上昇や海域の貧栄養化に伴う生物生産力の低下がみられ、新たな問題も顕在化するようになった。

これらを背景に、実際の漁業影響調査の現場では、開発事業と沿岸域の環境問題に適切に対応するため、従来の漁業影響調査に止まることなく、現況調査から評価に至る具体的な方法を詳細に示した新たな指針が求められるようになった。本稿は、2011 年以降における当協会の漁業影響調査の実績を基に、現況調査から評価に至る具体的な方法を示した新たな指針「漁業影響評価指針」（以下、「評価指針」という。）として取りまとめたものである。

2. 評価指針の基本的な考え方

ここでは、評価指針に定める漁業影響調査の実施に際して、必要となる新たな考え方と現実的な対応について記載した。

1) 評価の考え方

伊勢・三河湾を含めた諸海域において、2011 年以降に実施された漁業影響調査では、開発事業の実施に伴う漁業への影響を、可能な限り定量的に漁業者が感覚的に捉え易い漁獲量もしくは生物量の変化として示してきた。具体的には、まず現況調査の結果を踏まえて、調査対象海域において、評価の対象とすべき水産生物種（以下、「評価対象種」という。）を選定した。その後、数値シミュレーションにより現況の漁場環境を再現し、再現された現況に対して、開発事業によるインパクトを入力し、開発事業実施後の漁場環境の変化を予測した。漁場環境の現況と予測された変化のそれぞれに対し、定量的手法を用いて評価対象種の漁獲量もしくは生活史段階ごとに生物量を算出し、その差を影響と考え、評価してきた。

なお、ここでの評価では市場価格の変動等の経済的要因については考慮していない。

2) 漁業影響検討委員会の設置

漁業影響調査は、科学的、中立的立場から公正に実施されなければならない。そのため、漁業影響調査は、漁業、資源、増殖、漁場環境、騒音・振動、海洋土木、数値シミュレーションおよび施設建設等の専門家で組織される漁業影響検討委員会（以下、「検討委員会」という。）の指導と助言のもとに、現況調査の計画段階から評価の確定にいたるまで一貫して進められる。検討委員会では、検討内容の妥当性を含め、さまざまな意思決定がなされる。また、対象海域における漁業実態や漁場環境および水産生物を熟知した、地元の水産試験研究機関の研究に従事している職員を「専門員」として位置付け、協力を得ることも重要である。

3) 漁業影響調査の対象となる開発事業

2018年11月に「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」が成立し、外洋に面した沿岸域においては、大規模な洋上風力発電施設の建設が計画されている。調査指針では、「わが国の沿岸域において計画され、開発事業が実施されることによって、漁業へ影響を及ぼすことが想定される場合には、規模の大小に関わらず対象となる」

(第4章2.2)(1)開発事業計画、p16)としているが、洋上風力発電施設建設については具体的な記載がない(第4章2.2)(1)開発事業計画表3、p16)。評価指針では、洋上風力発電施設建設のような漁業へ影響を及ぼす可能性がある新たな開発事業についても、漁業影響調査の対象とする。

4) 開発事業によるインパクトの考え方

漁業影響調査は科学的見地に基づいて実施されなければならないが、評価対象種の生理・生態に関する知見が十分でない場合も多く、将来の気候変動に関しても予測が難しいため、評価には不確実性を伴う。したがって、対象となる開発事業においては、安全側での評価ができるよう計画段階で考える最大のインパクト(例えば、排水温度や排水量、埋め立て面積や構造物形状)を想定しなければならない。

また、近年、二酸化炭素排出量削減対策の一環として、環境アセスメントを必要としない小規模火力発電所の建設が進められているが、1施設当たりの排水量はわずかであっても、同一海域に複数の発電所が立地されれば、複合的、相乗的に影響が拡大することが危惧される。このような場合は、開発事業者が異なる複数の発電所を一体のものとして、評価指針に基づく漁業影響調査を実施することが必要である。

5) 現況調査

現況調査は、開発事業が実施される水域の漁業実態、漁場環境および水産生物に関する特性を把握し、評価の基礎となる情報の取得を目的に行われる。現況調査の計画立案に当たっては事前に漁業者から聞き取り調査等を実施し、漁獲および漁場環境に関する統計情報を整理する必要がある。また、調査対象海域における漁業実態を把握する標本船調査および聞き取り調査の実施に当たっては(詳細は第II章を参照)、正確な情報を取得するために漁業者の積極的な協力と参加が不可欠である。

近年では観測機器の進歩もあり、現況調査で取得される情報は膨大となる。現況調査のデータは、数値シミュレーションの入力および検証にも用いられ、評価に至るすべての過程で利用される。そのため、これら観測データは一元的に管理し、特異値の確認と検証を経て解析に用いる必要がある。なお、検討委員会において、評価のために新たな調査の必要性を指摘された場合は、速やかに検討し、現況調査の内容を変更する必要がある。

6) 調査対象海域の設定

現況調査では、開発事業のインパクトに伴う漁場環境の変化に対して、適切かつ安全側からの評価ができるよう十分な範囲を想定して、調査対象海域を設定しなければならない。なお、調査対象海域の設定が困難な場合には、事前調査として、簡易的な数値シミュレーションにより水温・塩分の変化域をあらかじめ推定することも必要となる。伊勢・三河湾では、安全側での評価に配慮して、事前調査の数値シミュレーションで計算された水温・塩分の変化域の約3倍を調査対象海域に設定した事例がある。

7) 現況調査の期間

調査指針では、「漁場環境の自然変動等を考慮して、原則として5年間以上の調査期間を確保しなければならない」(第4章3.3) 調査期間、p31) としている。これは、水産生物への影響は、対象生物が生まれてから一生を終えるまでを包括できる期間とする考え方である。しかし、開発事業には時限的な制約がある場合もあり、漁業関係者と開発事業者との協議の中で、現実的な調査期間を設定することもある。

8) 評価対象種の選定

漁業影響調査では、現況調査の結果を踏まえて、影響が懸念される評価対象種が選定される。そのため、現況調査では、漁業実態、流動および水質等の把握のほか、評価対象となりうる水産生物の生態等を踏まえた調査が必要となる。現況調査の計画を策定する前に、公的機関から公表される漁獲統計や様々な観測情報を入手し、評価対象種に選定される可能性のある種を想定して、現況調査を実施することも重要である。

9) 数値シミュレーション

数値シミュレーションは、漁場環境の特徴を時空間的に把握し、開発事業のインパクトに伴う漁場環境の変化を予測するためのツールとして使用する。数値シミュレーションでは、再現の信頼性を問われるため、現況調査での結果と計算結果を比較した再現性の検証は必要不可欠である。

10) 漁業影響モニタリング調査

評価は不確実性を伴うため、工事中や供用後の漁業影響モニタリング調査は必須である。また、当初の計画よりも事業の開始が遅れた場合は、漁業影響調査の有効性を確認するために、延伸漁業影響モニタリング調査も実施しなければならない。

3. 漁業影響調査の構成と流れ

漁業影響調査の流れを図I-1に示した。

漁業影響調査は、検討委員会における議論と了承をもって進められる。現況調査の実施とその解析・考察(第II章を参照)、数値シミュレーションによる漁場環境の現況再現と事業実施後の変化予測に基づいた評価(第III章を参照)、および評価確定後の漁業影響モニタリング調査(第IV章を参照)の3つの大きな流れがあり、それらは相互に関係している。

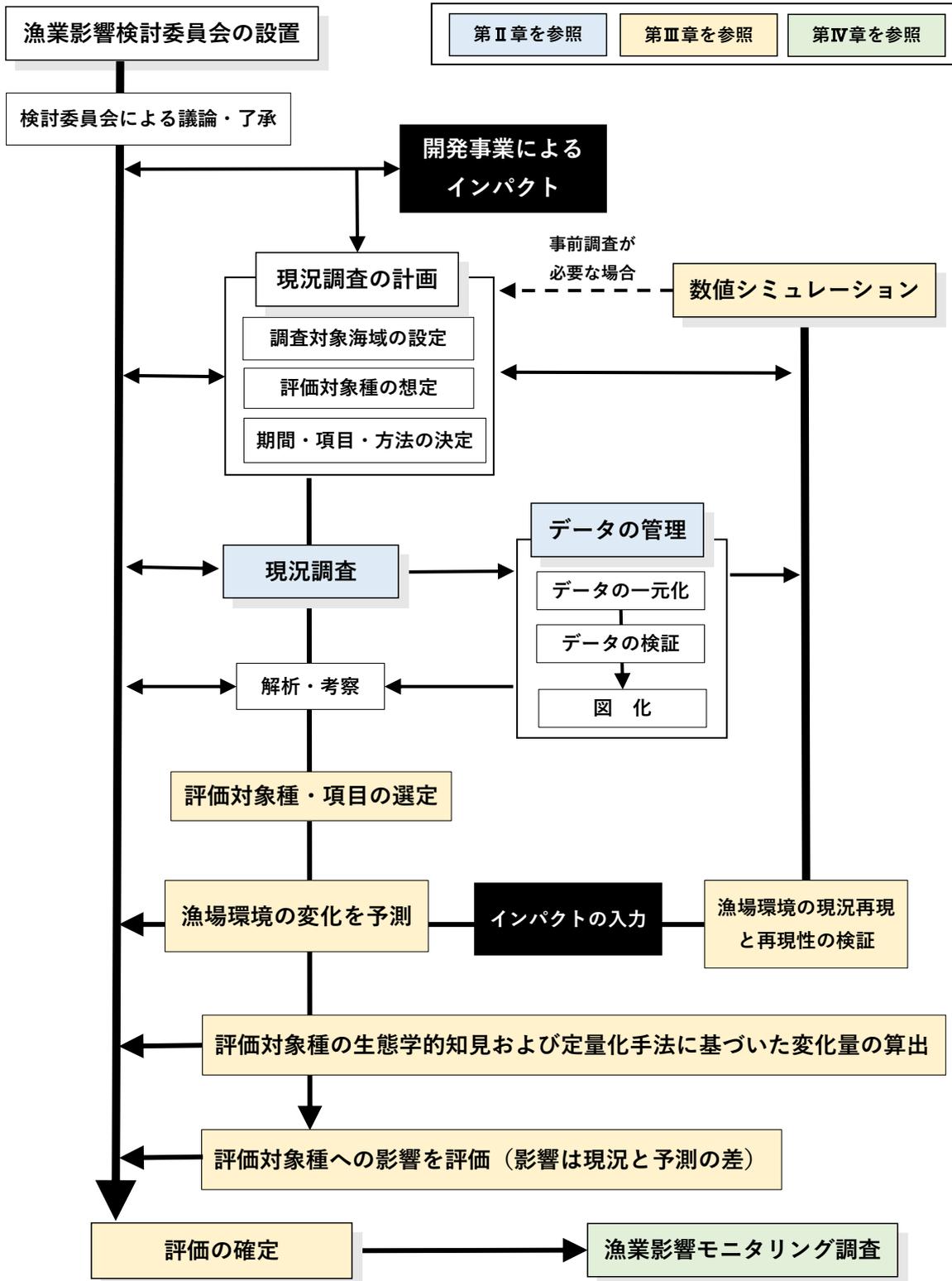
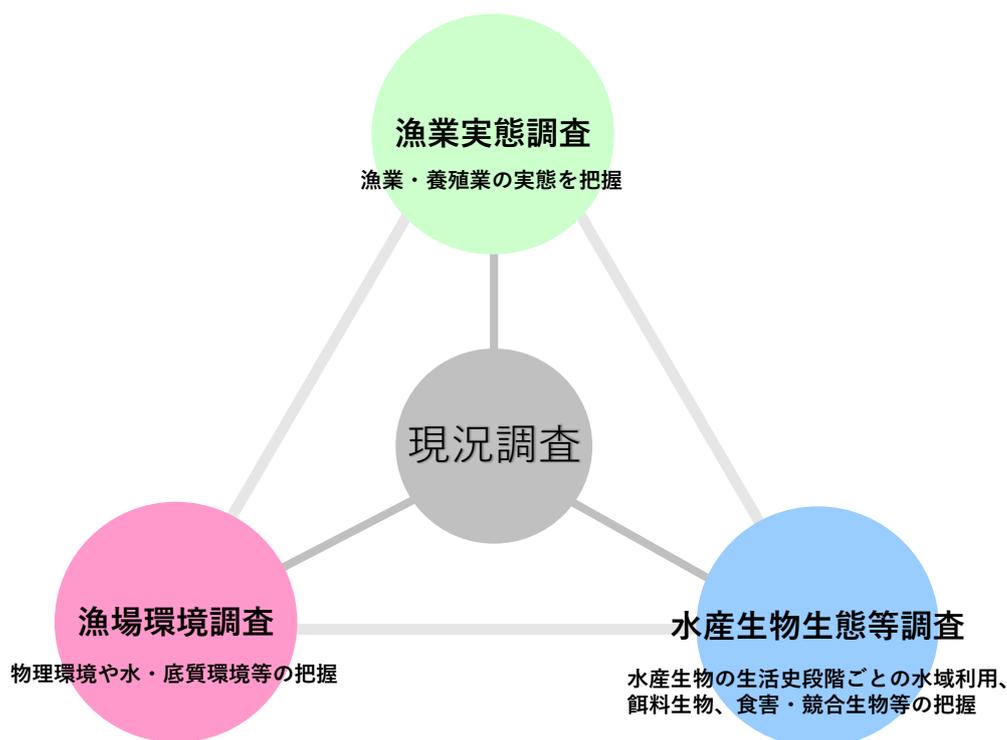


図 I-1 漁業影響調査の流れ

II. 現況調査

1. 現況調査の考え方と構成

現況調査は、調査対象海域における漁業実態および水産生物とその生息にかかわる漁場環境の特性を把握し、評価の基礎となる情報を取得することを目的として実施する。現況調査は、主に調査対象海域における漁業の実態を把握する「漁業実態調査」、漁業実態調査では把握することができない水産生物の生活史段階ごとの水域利用やその餌料生物、食害・競合生物等を把握する「水産生物生態等調査」、および水産生物に影響を与える物理環境や水・底質環境等を把握する「漁場環境調査」から構成される（図II-1）。



図II-1 現況調査の構成

2. 現況調査の基本

1) 漁業実態調査

漁業実態調査は、「標本船調査」、「試験操業調査」および「聞き取り調査」から構成される（図II-2）。

(1) 標本船調査

標本船調査（養殖業、遊漁を含む）では、選定した標本漁家に調査日誌（標本船日誌）を配布し、漁船漁業については漁場、魚種ごとの漁獲量を操業日ごとに、養殖業については日々の収穫量とともに病障害の発生状況のほか、養殖管理状況についての記録を依頼する。標本漁家は、調査対象海域で操業している漁船を中心に選定する。操業域が広範囲に及ぶ船びき網や底びき網では、調査対象海域が漁場としてどの程度重要であるかを判断するため、調査対象域外の情報を得ることも必要である。また、標本船調査と併せて、漁獲統計情報を収集し、整理することも重要である。

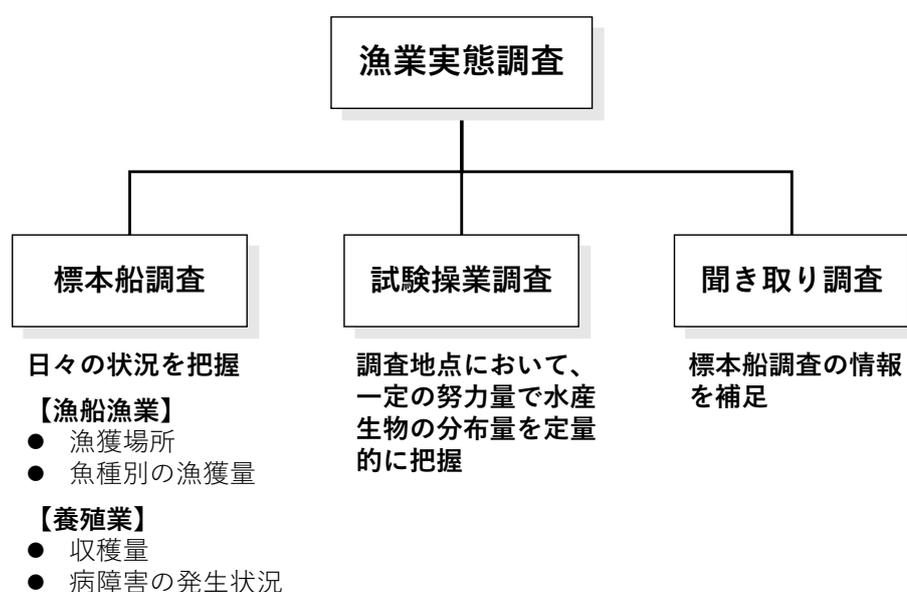
なお、標本船調査においては、調査対象海域での操業実態を正確に把握することが重要であり、そのためには漁業者の積極的な協力と参加が必要不可欠である。

(2) 試験操業調査

標本船調査から得られる結果は、操業効率等の要因により、必ずしも水産生物の生息密度の多寡を反映しているわけではない。したがって、標本船調査とは別に、あらかじめ設定した定点において、実際に漁業で使用される漁船および漁具を用いた試験操業調査を定期的を実施する必要がある。試験操業調査では、時系列的な変動を把握できるよう毎月の調査を基本とするが、漁場が短期間で変動するような浮魚類を漁獲対象とした船びき網では、その変化を把握するためのより高い頻度での調査が必要となる場合がある。また、浮魚類を対象とする場合には定量性が高い計量魚群探知機を用いた調査を併用する場合もある。試験操業調査では定量的なデータが取得できるほか、未成魚や市場に水揚げされない生物種の情報を得ることもできる。

(3) 聞き取り調査

聞き取り調査は、標本船日誌で把握できない情報の補足や試験操業調査の結果を整理する段階で必要となる。標本船調査と併せてもしくは後日、調査対象海域における漁場の実態を正確に把握するために実施する。漁業協同組合でも一定の情報が得られるが、重要な事項については、標本漁家から直接聴取する必要がある。聞き取り調査においても標本船調査と同様に漁業者の積極的な協力と参加が必要不可欠である。



図Ⅱ-2 漁業実態調査を構成する調査

2) 水産生物生態等調査

水産生物の多くは生活史段階によって生息域や餌料が異なるため、生活史段階ごとの分布量に加えて、生息環境や餌料環境、競合種の情報も合わせて把握する必要がある（図Ⅱ-3）。水産生物は、漁場環境の変化に敏感に応答することから、調査時に合わせて水温・塩分、溶存酸素量等の環境情報を測定することも重要である。水産生物生態等調査は毎月の調査を基本とするが、評価対象種が明確な場合にはその生活史段階ごとの生態に応じて、より高い頻度で調査する必要もある。

(1)魚卵稚仔・二枚貝類浮遊幼生調査

魚卵や稚仔魚の多くは、プランクトンとして海中を浮遊している。卵稚仔の採集は、水質調査時にプランクトンネットを用いて一定量の海水をろ過して行う。水深帯により分布密度が偏ることも多いことから、MTD ネットのような網口に開閉構造を有するネットによる調査が必要となる場合もある。また、二枚貝類の浮遊幼生を対象とする場合には、評価対象種の生息密度を考慮して、動力ポンプを用いた大容量の採水が必要な場合もある。

魚卵、稚仔魚や二枚貝類の浮遊幼生は、形態学的特徴による同定が困難な場合も多い。したがって、種の同定に当たっては必要に応じて孵化実験や DNA 分析、モノクローナル抗体法を併用する。

(2)幼稚魚、稚貝・幼貝調査

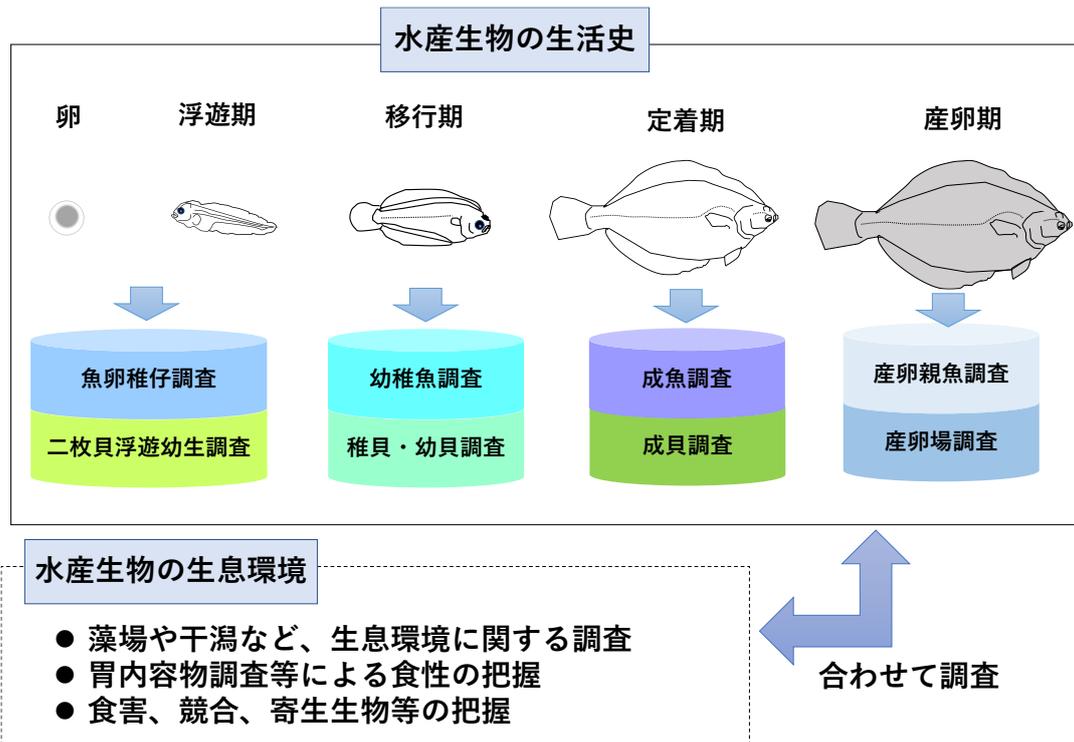
水産生物の中には、浮遊生活期を経た後、底生生活へ移行する種も多く存在する。例えば、マコガレイやイシガレイ等の異体類、クルマエビやガザミ等の大型甲殻類、アサリやハマグリ等の二枚貝類が挙げられる。これらのように、成長に伴って移動する水産生物では、その経路が遮断されることによって成長、生残に影響が及ぶことも想定される。したがって、評価対象種の生態学的特徴を踏まえ、例えば、異体類ではソリネット、潜砂する大型甲殻類は水流噴射式ネット、二枚貝類稚貝においては潜水による一定面積内の海底泥採取のように、採捕器具を適切に選択して分布を正確に把握する必要がある。同時に、それらの生息環境（藻場や干潟・浅場）に関する調査や胃内容物分析による食性の把握も必要となる。

(3)成魚・成貝調査

水産生物は、遊泳速度が速い種、潜砂する種、藻場や岩礁域に隠れる種、夜行性種等の様々な行動生態を有しており、その分布量を正確に把握するためには、幼稚魚、稚貝・幼貝調査と同様に、採捕器具を適切に選択する必要がある。一方、成魚・成貝調査は、漁業実態調査における試験操業調査の結果を併用できる場合も多く、相互に調整し、試験操業調査で不足する情報を補うことが重要である。また、採捕された個体の体重や体長等の生物学的計測や胃内容物の分析も重要である。

(4)産卵親魚・産卵場調査

水産生物の資源量を左右する再生産を把握するためには、産卵時期や産卵場を特定することは極めて重要である。産卵親魚は、試験操業調査で把握することも可能であるが、生息密度が低い種や特定の産卵場が存在する種に関しては情報が不足することが懸念されるため、漁業者への聞き取りによる情報収集や市場でのサンプリング調査を実施する。また、例えばマコガレイのように粘性沈着卵を産卵する種は、卵の採集が可能であり、産卵場を特定できる可能性がある。そのような種に対しては、潜水や採泥器を用いた調査により、沈着卵を採集することも必要である。採捕された個体については、体長や体重のほか、生殖腺重量の生物学的計測が必要である。



図Ⅱ-3 水産生物生態等調査における調査区分

3) 漁場環境調査

漁場環境調査は、一定の頻度で広域的な環境を把握する「定期調査」、特定の期間に環境の変化を連続的に把握する「連続調査」および観測期間中の気象条件や対象海域と接する境界域（流入河川や湾口域）の条件を把握する「境界域調査」に区分される（図Ⅱ-4）。

(1) 定期調査

定期調査では、水温・塩分および溶存酸素量等、多項目水質計を用いて水柱内の鉛直構造を観測するほか、低次生産の基盤となる栄養塩濃度、それらを利用して生態系ピラミッドの基礎を成す植物プランクトン、動物プランクトン、主にそれらから排出される有機物等については炭素、窒素およびリンなど形態別に観測し、漁場環境に関する幅広い項目を調査する必要がある。また、懸濁態有機物の沈降速度や海底からの栄養塩溶出および酸素消費速度、水底質間の物質循環に関連したフラックス調査や粒度組成、海底有機物量および底生動物等、海底環境に関する調査も必要である。これらは、相互に関連する生態系の構成要素であり、数値シミュレーションにおける条件設定や再現性の検証においても重要な情報である。

定期調査は原則として毎月の調査が必要であるが、例えば、貧酸素水塊が発達する時期や低次生産力が低下する時期等、評価対象種の成育に重要な時期は、より高い頻度の調査が必要である。また、調査の実施に当たっては同時性を重視し、調査時刻（潮時）は目的に応じて適切に設定しなければならない。

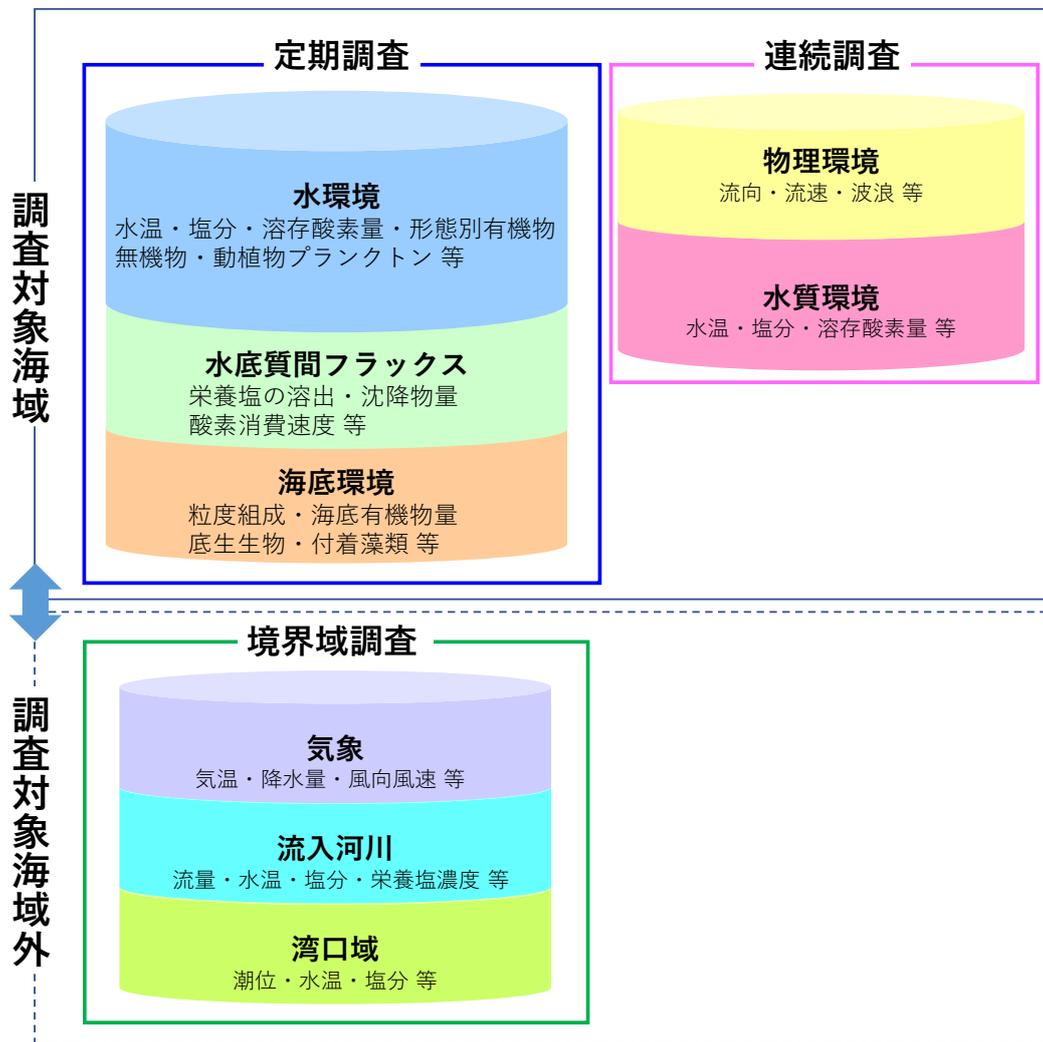
(2) 連続調査

漁場環境は様々な要因により時々刻々と変化している。そのため、時系列的に連続した情報を収集することが重要であり、定期調査と並行して連続調査を実施する必要がある。さらに、連続調査は数値シミュレーションの再現性の検証においても必要不可欠である。

連続調査は、調査項目と調査対象海域の特性を踏まえて、適切な場所、水深、期間を設定しなければならない。また、国、地方自治体、試験研究機関では海洋観測施設を設置し、漁場環境を連続に観測していることがある。それらの情報を入手することは極めて有効である。

(3)境界域調査

沿岸域、特に閉鎖性内湾は、気象の影響を受け易く、エスチュアリー循環をはじめとした物理的な特性に伴う漁場環境の変化が大きい。したがって、数値シミュレーションを行う際には、陸域からの淡水流入量、栄養塩等の負荷量および湾口における外海との海水交換量等の多くの要素を境界条件として設定する必要がある。このような調査対象海域と接する境界域の諸条件は、計算結果の信頼性を左右する極めて重要な調査項目であるが、観測情報は必ずしも十分ではない。したがって、定期的な調査を含め、関連する観測情報の収集が必要不可欠である。



図Ⅱ-4 漁場環境調査における調査区分

4) その他

(1)観測情報および文献の収集整理

上述した調査の実施とともに、国、地方自治体、試験研究機関により公開されている観測情報の収集整理が必要である。利用可能な情報には、気象、海象、河川流量、水質、底質に関する

る情報が挙げられる。その他、水産生物の生理生態、環境条件の変化に対する水産生物の応答、数値シミュレーション手法および解析、評価に利用できる既往知見については、科学論文、試験研究報告の収集整理が必要である。

(2) 衛星リモートセンシングの活用

近年、海洋観測が可能な人工衛星の情報を利用し、海洋環境をモニタリングする技術が進歩している（日本リモートセンシング学会;2021, 2022）。衛星リモートセンシングは、衛星に搭載されているセンサーにより数 10m から数 10km まで空間解像度に差があるものの、海表面における水温や懸濁物質、クロロフィル a 濃度を広範囲に把握することが可能である。衛星リモートセンシングの活用では、以下に示した効果が期待される。

- 20 年を超える長期情報が入手可能であり、漁場環境に関する情報をより詳細に把握できる可能性がある
- 調査対象海域や調査時期、調査地点の設定にも有益な情報であり、現況調査の有効性を高めることが期待できる
- 数値シミュレーションにおける水温、濁度、クロロフィル a および基礎生産速度などの時空間的な変化の検証に利用可能である

(3) 生物生理実験

開発事業のインパクトにより発生する水温・塩分、溶存酸素量、餌料供給量等の変化が水産生物に及ぼす影響に関する知見は必ずしも十分とはいえない。特に、生活史初期における生理生態学的情報は不足している場合が多いことから、必要に応じて室内実験を実施して基礎情報を取得しなければならない。

(4) データの品質確保と一元管理

調査で得られた情報は一元的に管理し、様々な解析に有効に活用できるように保管しなければならない。一方で、現況調査で得られたデータには、観測機器の不具合や人為的エラーにより誤った値が混在する可能性がある。取得された各調査のデータについては、測定値の品質を確保するのみならず、項目間の相関関係の確認、他機関の情報との比較検討により、異常値の有無をチェックした上で、共用データベースとして一元管理する必要がある。また、解析を進める段階で特異値が検出される場合もある。その際には、直ちに元データに遡り確認することも重要である。

Ⅲ. 評価

1. 数値シミュレーションの活用と評価までの流れ

2011 年以降に実施された漁業影響調査では、各種の開発事業のインパクトに伴う漁場環境の変化を予測するツールの一つとして、数値シミュレーションを利用してきた。漁業影響調査における数値シミュレーションの利用は、内湾域を中心とした流動、水温・塩分等の物理場や溶存酸素量、栄養塩濃度、植物・動物プランクトン量等の生物量の変化を定量的に予測するものであり、水産生物への影響量を直接予測するものではないが、明確な目的や必要な情報の取得、再現性の検証等、利用に際しての条件が整えば非常に有効なツールであるとの認識が高まっている。

数値シミュレーションを用いた現況再現とその検証および漁場環境の変化予測までの手順は、図Ⅲ-1（主に右側のフロー）に示すとおりである。

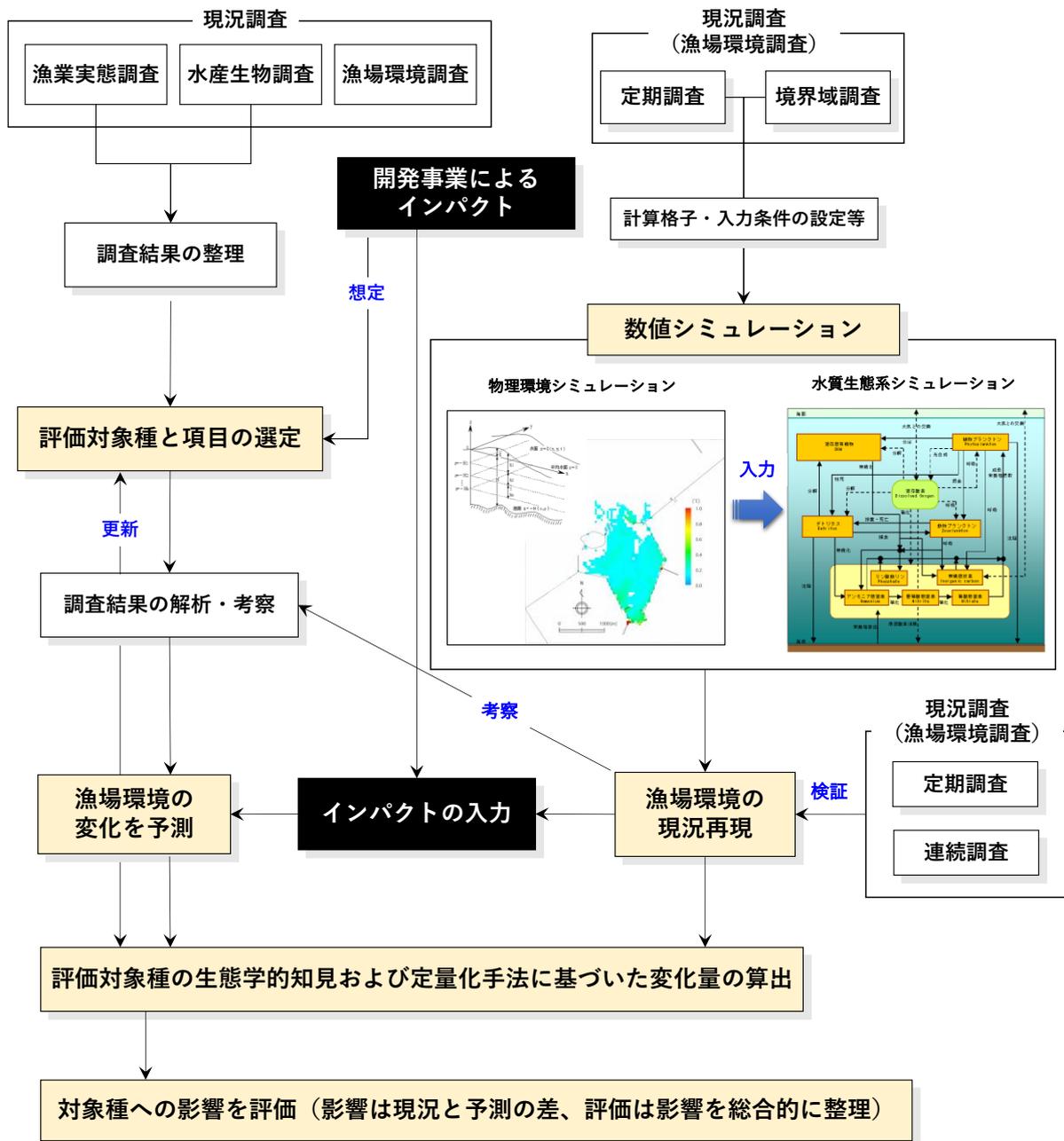
数値シミュレーションでは、第Ⅱ章（現況調査）で示した定期調査および境界域調査の情報を整理し、計算格子や入力条件、設定するパラメータを検討しながら、現況の漁場環境を再現する。再現性の検証に当たっては、定期調査および連続調査の情報を用い、条件設定を見直ししながら、再現性を向上させる。これらの手順を経て、検討委員会において目的に応じた利用が可能と判断された後、開発事業のインパクトを入力して、漁場環境の変化を予測する。

現況調査から評価に至る手順は図Ⅲ-1（主に左側のフロー）に示すとおりである。

評価に向けた手順は、漁業実態調査および水産生物生態等調査で得られた結果を整理し、評価対象種を選定することからはじまる。併せて開発事業によるインパクトを想定した上で、評価対象種ごとに評価すべき項目を選定する必要がある。評価対象種と評価項目は、評価を検討する際に不足がないよう、現況調査の解析の進捗に応じて、段階的に更新する必要がある。

数値シミュレーションでは、流れや水温・塩分、水質等の漁場環境の変化を予測することは可能であるが、予測された漁場環境の変化から評価対象種の漁獲量や生物量の増減を直接予測することは困難である。そのため、予測された漁場環境の変化から評価対象種への影響を定量的に見積もるためには、別途、評価対象種の生態学的知見の収集および定量化手法の検討が必要になる。最近では、環境要因と生物量との関係を経験式で表した数値モデルや機械学習等を用いた様々な定量化手法が報告されており、2011 年以降の伊勢・三河湾における評価においては、それらの手法が実際に活用されている。また、埋め立てや海中構造物設置に伴い海域が占有される場合は、漁場の消滅もしくは構造物周辺への漁船の立入りが制限（操業禁止区域の設定）される。その場合は、漁業実態調査で得られた占有海域における漁獲量等の情報のみで影響を見積もることが可能である。

上述した手順を踏み、最終的に評価対象種ごとの影響を評価する。なお、第Ⅰ章（総論）において述べたように、影響とは調査対象海域における評価対象種の漁獲量もしくは生活史段階ごとの生物量の現況と予測との差であり、評価は検討委員会での議論と了承をもって確定する。



図III-1 評価の流れ

2. 数値シミュレーションの役割

漁場環境は、気象、海象および潮汐の影響を受けて時空間的に大きく変動し、水産生物はその影響を強く受ける。数値シミュレーションは、このような漁場環境の時空間的な変動を推定することが可能なツールであり、開発事業のインパクトにより変化する漁場環境を、科学的に予測できる有効なツールの一つである。一方で、数値シミュレーションの結果は、評価の基礎となるため、再現性の検証に当たっては慎重かつ丁寧な対応が必要である。

3. 数値シミュレーションの種類と実績

1) 物理環境シミュレーション

漁場環境のうち、水温・塩分および流動等の物理環境に関する計算には、数値流体力学モデルによる「物理環境シミュレーション（流動シミュレーション）」を用いる。これは、外洋との間に自由な海水交換があり、陸域から流入する淡水の影響で海水の塩分が希釈されたメソスケール（1～100km）の半閉鎖性内湾（エスチャリー）の環境を表現するのに適したモデルである。一般的にエスチャリーは複雑な海岸線や海底地形を有する上、潮汐や河川水の流入、風、日射、気温等の様々な駆動力の影響を受け、その流動環境は時間的にも空間的にも絶えず変動しているため、物理環境シミュレーションには空間3次元非定常計算の仕様を満たすマルチレベルモデルを用いる必要がある。

2) 水質生態系シミュレーション

漁場環境のうち、生物・化学的物質循環に関する計算には、低次栄養段階を対象とした水質生態系モデルによる「水質生態系シミュレーション」を用いる。漁業影響調査における水質生態系シミュレーションの役割は、水産生物の生息条件に影響を及ぼす溶存酸素量、栄養塩濃度、植物プランクトン、動物プランクトン等の実態を明らかにすることである。水質生態系モデルは、主に動物プランクトン、植物プランクトン、デトリタス、溶存態有機物、栄養塩濃度および溶存酸素量を構成要素（コンパートメント）とし、低次栄養段階生態系における物理的、生物化学的物質循環の動態を炭素、窒素、リンおよび酸素について定式化したものである。コンパートメントは、調査対象海域において考慮すべき生態系の特性（例えば、プランクトンのサイズ分画や微生物の重要性を踏まえた区分）によって決定される。また、水質生態系シミュレーションの物理的輸送のパラメータには物理環境シミュレーションの結果を利用することから、水質生態系シミュレーションには物理環境シミュレーションの計算が必要となる。

3) その他のシミュレーション

漁場環境の変化を予測する際には、上述した物理環境シミュレーションと水質生態系シミュレーションを基本とするが、評価対象種の生態学的特性に応じて、他のシミュレーション手法を併用する場合もある。下記にその代表事例を示す。

(1) 漂流シミュレーション

水産生物の中には、生活史初期の段階を卵や仔魚および幼生として海水中を浮遊し、産卵場とは異なる場所に着底して、その後の生活史を過ごす種も存在する。浮遊生活に伴う生態系ネットワークの形成は、水産生物の資源維持において重要な過程であり、流動や水温、貧酸素水塊の影響を強く受ける。したがって、開発事業に伴い生活史初期の移動経路や浮遊期間中の生残に変化が生じるか否かを検討しなければならない場合がある。

上記の検討に当たっては、漂流シミュレーションを実施する。漂流シミュレーションは、物理環境シミュレーションの結果に、卵や仔魚および幼生を粒子に見立てて、その動きを追跡できるモデルである。漂流シミュレーションでは産卵場からの漂流経路を推定できるほか、現況調査で観測された仔魚や幼生の分布密度を計算の初期値として、時間を遡る（逆時間追跡）ことによって、その供給源（産卵場、産卵量、産卵日）を推定することも可能である。2011年以降の伊勢・三河湾においては、漂流シミュレーションを利用したアサリ浮遊幼生の漂流および着底状況、マコガレイの産卵場推定および卵・仔魚の湾内加入量の変化を推定した。

(2) 波浪等による稚貝移動シミュレーション

水産生物の中には、稚貝や幼稚仔の時期を水深が浅い干潟や浅場で生活する種も存在する。干潟や浅場の物理環境は、流動のみならず波浪の影響も強く受けるため、防波堤やその他の海中構造物が設置された場合、物理環境が変化し、稚貝や幼稚仔の分布が変化することも想定される。例えば、アサリ稚貝が大量に発生する三河湾の豊川河口六条干潟においては、漂流シミュレーションを改良し、アサリ稚貝の移動量の変化を推定した実績がある。具体的には、風波と潮流から計算される底面摩擦速度を考慮して干潟域における物理環境を再現し、それらを外力（アサリ稚貝を動かす力）として、アサリ稚貝の限界摩擦速度をその外力が上回るか否かを明らかにすることによってアサリ稚貝の移動を推定した。

(3) 護岸・浅場生態系シミュレーション

既存の護岸および浅場には、魚介類や付着動物、藻類、底生動物をはじめとした多くの生物が生息し、それら生物群集は食物連鎖を通じて周辺の水産生物やそれを取り巻く漁場環境と密接に関係している。開発事業に伴い護岸・浅場の生態系が消失する場合は、それらの機能も失われるため、物質循環の解析と消失に伴う変化の程度を把握する必要がある。護岸・浅場の生物群集は複雑であるため、湾スケールを対象とした水質生態系シミュレーションで同時に計算することは困難であり、別途、専用のモデルを構築する必要がある。

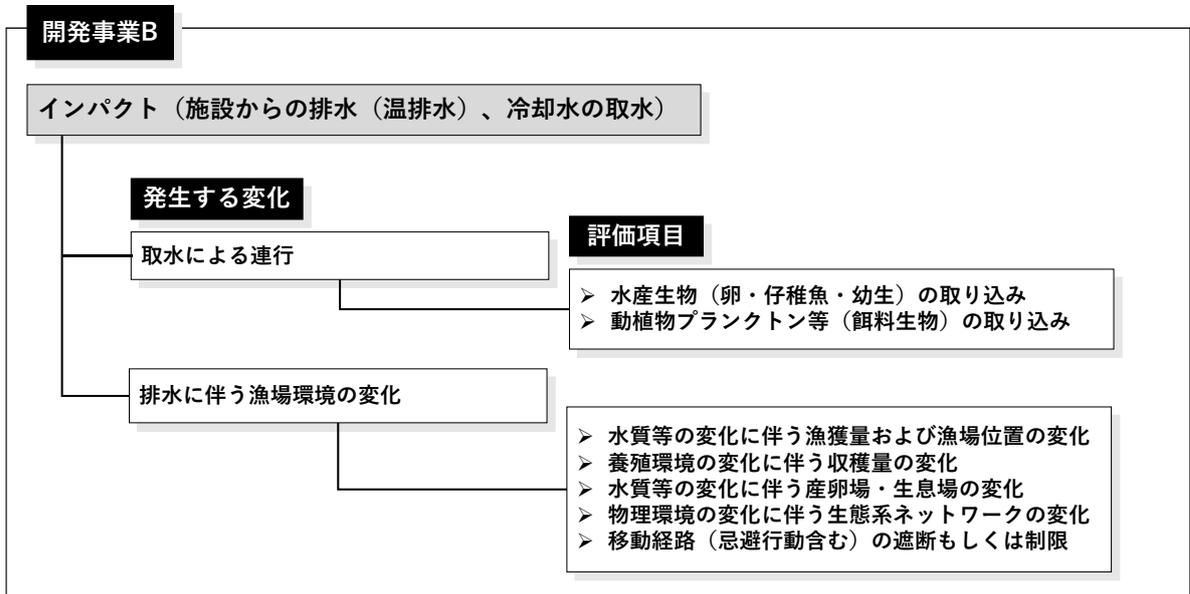
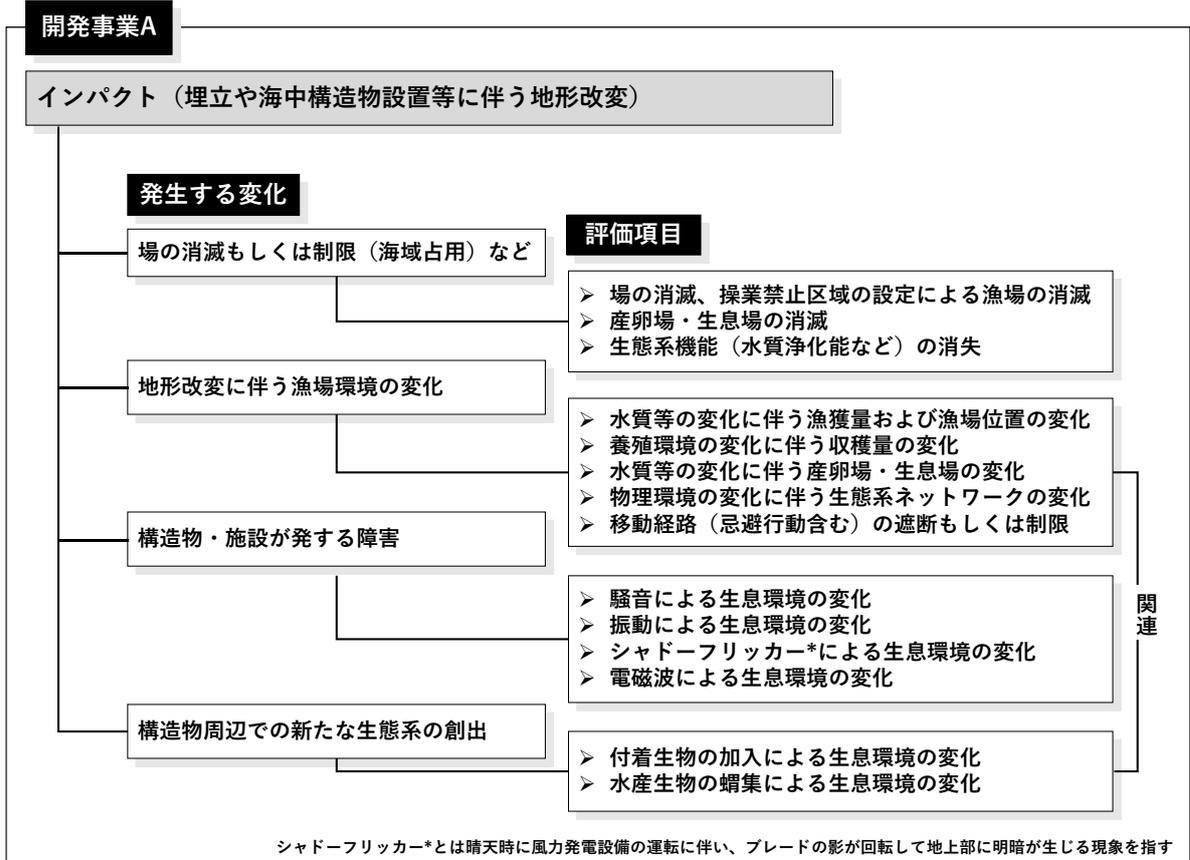
護岸・浅場生態系シミュレーションを構成する生物群集は、メバルやカサゴ等の魚類、ワカメやホンダワラ等の海藻類、フジツボ類、二枚貝類およびホヤ類等の懸濁物食者、マナマコ、サンショウウニ等の堆積物食者および浅場に生息する底生動物等であり、それらによる物質循環（炭素・窒素・リンの循環）を、一年を通して計算する。入力する境界条件には物理環境シミュレーションおよび水質生態系シミュレーションで計算された値を用い、護岸・浅場生態系を介して出力された境界値を水質生態系シミュレーションに反映することによって、護岸・浅場生態系の機能を推定する。

4. 評価対象種と評価項目の選定

漁業実態調査では、漁業種類（養殖業、遊漁を含む。）ごとに水産生物の漁獲量が主な情報として取得される。一方、漁業実態調査で得られる情報はあくまでも漁獲に適したサイズに達した水産生物の情報に限られる。例えば、漁業実態調査の結果のみで評価対象種を選定することは、生活史初期の段階で調査対象海域を利用している水産生物の情報が不足するため、水産資源の持続可能性の観点から過小評価につながる可能性がある。したがって、評価対象種は水産生物の各生活史段階の分布を把握するための水産生物生態等調査の結果も合わせて、総合的に選定しなければならない。なお、評価対象種の選定においては、検討委員会を構成する各分野の専門家および調査対象海域における漁業実態や漁場環境および水産生物を熟知した専門員の意見も参考にする必要がある。

開発事業のインパクトは、図Ⅲ-2に示すとおり、対象となる開発事業の特性（開発事業Aあるいは開発事業B）により異なる。開発事業のインパクトにより発生する場の消滅もしくは制限（海域占用）、構造物・施設が発する障害、取水による連行は、水産生物の生息に直接作用する。また、漁場環境の変化や構造物周辺での新たな生態系の創出は、それらの変化を介して水産生物の生息に作用する。漁業影響調査では、開発事業のインパクトにより発生する変化に

対して、評価対象種ごとに考え得る評価項目を選定しなければならない。



図Ⅲ-2 開発事業によるインパクトと評価項目の一例

5. 定量化手法の事例

評価においては、数値シミュレーションで予測された漁場環境の変化から、評価対象種ごとにその影響を定量的に見積もる必要がある。そのためには、評価対象種ごとの生態学的知見を収集し、定量化の手法を検討しなければならない。2011年以降の伊勢・三河湾での評価にお

いて、実際に適用された定量化手法の事例を紹介する(表Ⅲ-1)。なお、表中の開発事業、インパクトにより発生する変化および評価項目の区分は図Ⅲ-2に対応する。

表Ⅲ-1(1) 定量化手法の事例

開発事業	発生する変化	評価項目	定量化手法の概要
A	場の消滅	漁場の消滅	消滅する海域における漁獲量から減少量を推定
		産卵場・生息場の消滅	資源特性値(水産庁漁港漁場整備部, 2021)を用いて、消滅する海域に生息する親魚量から再生産により期待される漁獲量を算出し、将来失われる漁獲量を推定
		生態系機能の消失	消滅する護岸、浅場の生物量を基に計算される護岸・浅場生態系シミュレーションにより、護岸生態系が有する水質浄化機能(鈴木ら, 2000)および周辺への栄養塩供給量の消失量を推定
	漁場環境の変化	移動経路の遮断、制限	波浪等による稚貝移動シミュレーションにより(水産工学研究所, 2009)、物理環境の変化に伴う稚貝着底量の変化を推定
産卵場・生息場の変化		観測された卵・仔魚を粒子に見立てて、時間を遡る漂流シミュレーションにより、産卵場およびその重要度を推定	
B	取水連行	水産生物の取り込み	取水連行による卵、浮遊幼生等の減少(斃死)量を物理環境シミュレーションにより推定
A および B	漁場環境の変化	漁獲量および漁場位置の変化	漁獲量データと漁場環境データ(物理環境・水質生態系シミュレーションによる)との関係を機械学習法(XGboost)により解析し、漁場環境の変化予測から、イワシ類の漁獲量の変化を推定(濱田ら, 2019)
			底層の溶存酸素量と底生魚介類の出現確率を定式化したモデル(曾根ら, 2014)を用い、水質生態系シミュレーションによる溶存酸素量の変化に伴う底生魚介類の漁獲量の変化を推定
	産卵場・生息場の変化	iOSIモデル(橋口ら, 2016)を用い、底層の水温および溶存酸素量の変化(水質生態系シミュレーションによる)に伴う底生動物(評価対象種もしくはその餌料生物)現存量の変化を推定	
		アサリ成長モデル(芝ら, 2020, 2021)を用い、水質生態系シミュレーションによる水温、植物プランクトン量の時系列変化から、アサリの重量(栄養状態)の変化を推定	
			評価対象種の生息適環境(餌料を含む)に関する知見を基に、物理環境・水質生態系シミュレーションにより適水域面積の縮小および時間の変化等を推定

表Ⅲ-1(2) 定量化手法の事例 (つづき)

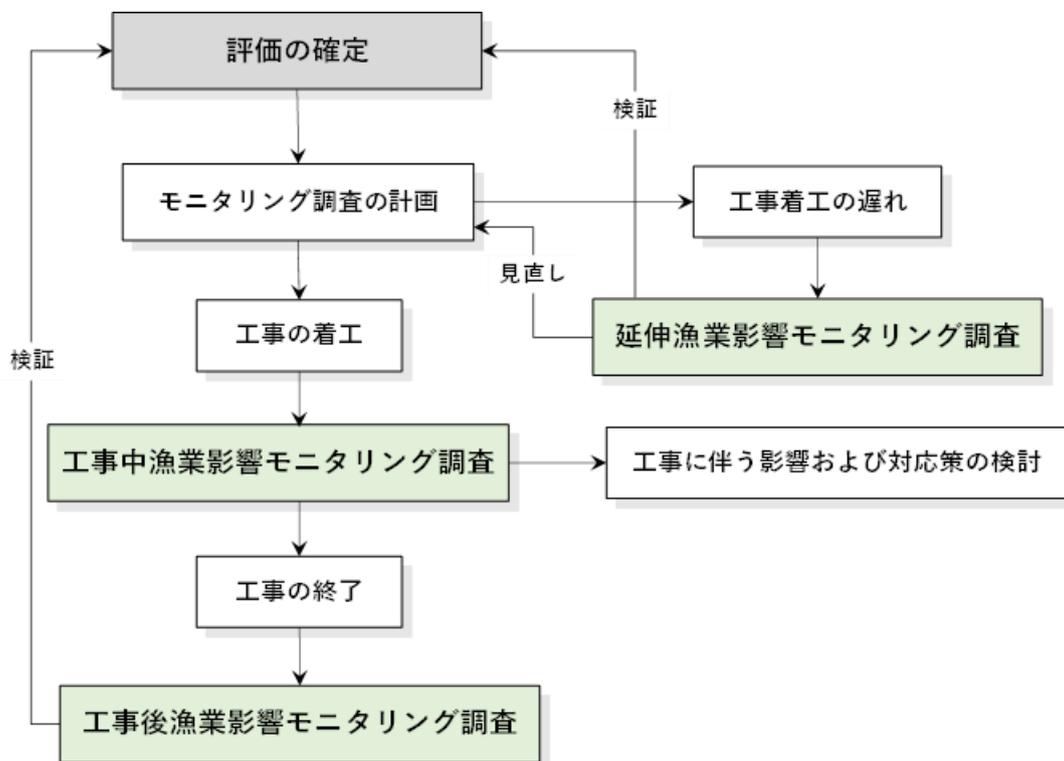
開発事業	発生する変化	評価項目	定量化手法の概要
A および B	漁場環境の変化	移動経路の遮断、制限	浮遊幼生を粒子に見立てた漂流シミュレーションにより (例えば、鈴木ら, 2002)、漂流経路の変化、着底の場所・量の変化を推定
			卵・仔魚を粒子に見立てた漂流シミュレーションにより、港内 (湾内) と港外 (湾外) との海水交換の変化に伴う、生息場への卵・仔魚の供給量の変化を推定
		養殖環境の変化に伴う収穫量の変化	漁場環境、ノリおよび大型珪藻 (ユーカンピア) に関する知見 (愛知県水産試験場, 2001、西川, 2002、西川・堀, 2004) を参考に、水質生態系シミュレーションにより水温上昇に伴う栄養塩濃度の減少を推定し、ノリの色落ちが発生し、のり養殖が終漁となる日を推定
			秋芽網の生育と水温との関係に関する室内実験 (愛知県水産試験場, 2001)、実海域における水温と養殖の実態および物理環境シミュレーションによる計算結果から、水温上昇に伴う育苗開始期の遅れ、秋芽網収穫量の低下を推定
			水温とクロダイのノリ摂餌量の関係式 (草加, 2007) および物理環境シミュレーションによる計算結果から、魚類による食害量の変化を推定
			流速、水温とアカグサレ病感染リスクとの関係式 (愛知県水産試験場, 2000) と、物理環境シミュレーションによる計算結果から、アカグサレ病の発生の変化を推定

IV. 漁業影響モニタリング調査

1. 漁業影響モニタリング調査の目的・意義

調査指針では、複雑な自然環境による影響予測の不確実性を前提とし、「工事中及び供用後において、予測された影響を確認・検証及び事前に予測できなかった影響あるいは突発的な影響を監視するために行う」（第4章 2.5）漁業モニタリング調査、p28）ための調査として、漁業モニタリング調査を位置付けている。

評価指針における漁業影響モニタリング調査は、図IV-1 に示すように「工事中漁業影響モニタリング調査」、「工事後漁業影響モニタリング調査」および「延伸漁業影響モニタリング調査」から構成される。調査指針と異なる点は、当初の予定より工事の着工が遅れ、漁業影響調査の実施から時間が経過した場合に、評価の有効性を確認することを目的とした「延伸漁業影響モニタリング調査」が追加されたことである。なお、漁業影響モニタリング調査においても、科学的かつ公正に実施されなければならないため、各分野の専門家によって構成される検討委員会の指導助言のもとに実施することが必要である。



図IV-1 漁業影響モニタリング調査の流れ

2. 各種モニタリングの考え方

1) 工事中漁業影響モニタリング調査

工事中漁業影響モニタリング調査では、事業開発に伴う建設工事が騒音・振動の発生、濁水や浮泥の漁場への拡散、操業の障害等を伴う可能性がある場合、それらの漁業への影響およびその対応策を検討するものである。そのため、工事内容に応じたモニタリング計画の作成が必要であり、工法や期間等の工事内容の早期提示が求められる。

2) 工事後漁業影響モニタリング調査

工事後漁業影響モニタリング調査では、事業実施前に確定した評価の妥当性を検証し、事業者および漁業者に提示しなければならない。そのため、評価の基礎となった現況調査の内容を踏まえたモニタリングの実施が求められる。また、事前の評価は工事終了後（供用後）の気候変動、漁業形態の変化等による不確実性を伴うため、評価と大きく異なる結果が得られた場合には、その原因を検討する必要がある。

3) 延伸漁業影響モニタリング調査

延伸漁業影響モニタリング調査では、工事後漁業影響モニタリング調査と同様に、評価の基礎となった現況調査の内容を踏まえたモニタリングの実施が必要である。その際、気候変動や漁業形態の変化も合わせて確認する必要がある。

参考文献

- 愛知県水産試験場 (2000) モノクローナル抗体を利用したアカグサレ病発生拡大予察技術の開発「平成 11 年度バイテク利用養殖システム高度化事業報告書」. 愛知水試研究業績 C-92, 6-19.
- 愛知県水産試験場 (2001) ノリ養殖テキスト. 愛知海苔協議会.
- 濱田孝治, 吉田司, 岡村寛, 原武史, 鈴木輝明 (2019) 機械学習を利用した内湾における浮魚類群集の空間分布量の推定. 土木学会論文集 B2(海岸工学), 75, I_1129-I_1134.
- 橋口晴穂, 中田喜三郎, 鈴木輝明, 今尾和正, 高倍昭洋 (2016) 貧酸素とそれに伴うマクロベントス群集の消長に関する数値モデルの再現性向上. 水産工学, 53, 15-25.
- 日本リモートセンシング学会 (2021) 人工衛星を利用した海洋の可視化の推進に向けた調査報告書. 海洋政策研究所, 海洋デジタル社会の構築事業資料,
https://www.spf.org/global-data/opri/visual/rep02_vis_satellite.pdf.
- 日本リモートセンシング学会 (2022) 人工衛星を利用した海洋データ活用のための 事例整理と提言に向けた調査 報告書. 海洋政策研究所, 海洋デジタル社会の構築事業資料,
https://www.spf.org/global-data/opri/visual/rep02_wvis_search.pdf.
- 西川哲也 (2002) ノリの色落ち原因藻 *Eucampia zodiacus* の増殖に及ぼす水温, 塩分および光強度の影響. 日本水産学会誌, 63, 356-361.
- 西川哲也, 堀豊 (2004) ノリの色落ち原因藻 *Eucampia zodiacus* の増殖に及ぼす窒素, リンおよび珪素の影響. 日本水産学会誌, 70, 31-38.
- 芝修一, 姫野天領, 吉田司, 蒲原聡, 田中義人, 鈴木輝明 (2020) 個体成長モデルを用いた伊勢湾東部沿岸域におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* 資源の減耗要因の検討. 水産海洋研究, 84, 11-26.
- 芝修一, 吉田司, 鶴島大樹, 蒲原聡, 田中義人, 鈴木輝明 (2021) アサリ (*Ruditapes philippinarum*) 資源動態に係る餌料環境解析手法としての個体成長モデルの比較検討. 海洋理工学会誌, 26, 1-12.
- 曾根亮太, 蒲原聡, 山田智, 鈴木輝明 (2014) 夏季の三河湾における底層溶存酸素濃度に対するメガベントスの出現確率の推定. 水産海洋研究, 78, 268-276.
- 草加耕司 (2007) クロダイによる養殖ノリの摂餌試験. 岡山水試報, 22, 15-17.
- 水産庁漁港漁場整備部 (2021) 水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン 参考資料 令和 3 年 5 月.
https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_gideline/attach/pdf/index-41.pdf
- 水産工学研究所 (2009) 敷設材によるアサリ稚貝の定着促進に関する評価方法について, 1-51.
- 鈴木輝明, 青山裕晃, 中尾徹, 今尾和正 (2000) マクロベントスによる水質浄化機能を指標とした底質基準試案, 一三河湾浅海部における事例研究一. 水産海洋研究, 64, 85-93.
- 鈴木輝明, 市川哲也, 桃井幹夫 (2002) リセプターモードモデルを利用した干潟域に加入する二枚貝浮遊幼生の供給源予測に関する試み一三河湾における事例研究一. 水産海洋研究, 66, 88-101.

参考 一般社団法人全国水産技術協会について

漁業影響調査等の実績

当協会は国・道府県等の試験研究機関等において、研究・開発業務等に従事した者が、在職中に得た技術、経験、人脈等を生かして、水産業の振興・発展に貢献することを目的として、平成 20 年 10 月に設立した一般社団法人であり、現在約 70 名の会員が全国で活躍している。

当協会は愛知県漁業協同組合連合会および宮城県漁業協同組合からの要請を受けて、施設のリニューアル工事あるいは新設工事等に伴う水温上昇等の問題について、漁業影響調査を実施してきた実績(平成 23 年以降 17 件)があり、我が国における漁業影響調査実施する機関として第一人者であると自負している。

当協会は内湾域における漁業影響調査等の実績と経験等のノウハウを蓄積しているため、これらが洋上風力発電施設の建設に伴う漁業影響調査を実施する際には、「洋上風力発電施設の建設に伴う漁業影響調査実施要領」という漁業者のための実施機関として I. 4. の 1) の要件を備えている。

当協会の各種調査に対する実施体制

当協会は漁業影響調査を受託した場合には、協会の試験研究に従事した経験を有する職員のほか、賛助会員の中からその経験年数、研究・調査実績等をもとにして、出向契約を締結して当協会の職員として調査業務に従事している。

当協会の「技術専門員等規程」に定めるところにより、出向契約した職員には技術専門員、調査専門員、解析専門員、調査協力員等の役職名を付与し、当協会の制服等を着用して調査業務に従事している。

当協会は「受託業務実施規程」によって、調査の実施段階から結果の取りまとめに至るまでの間、その責任者を定めなければならないと規定されているので、報告書等の成果物は一定の品質が保証されている。

当協会は「受託業務実施規程」により、受託案件ごとに水産資源学、沿岸海洋学、水産増殖学、数理解析等の専門家から構成される「漁業影響検討委員会」等を設け、専門家の指導・助言と、地元の水産試験場等の協力を得て、現地の状況等を詳細に入手し、中立・公正な立場から影響を科学的に評価している。

品質管理等

当協会は ISO9001:2015 品質マネジメントシステムおよび ISO14001:2015 環境マネジメントシステムの認証を受けている。

一般社団法人 全国水産技術協会

〒105-0003 東京都港区西新橋二丁目 15 番 7 号

MSC 西新橋ビル 5 階

TEL 03-6459-1911 FAX 03-6459-1912

e-mail zensuigikyo@jfsta.or.jp

HP <http://www.jfsta.or.jp/>

