



変わりゆく日本の海、世界の海 ～瀬戸内海の今と未来を考える～

NPO 法人 里海づくり研究会 理事・事務局長
田 中 丈 裕

1. はじめに

2000 年代以降、温暖化に伴い瀬戸内海系群を資源量ではるかに凌駕する東シナ海系群のサワラ越冬群の北上により、北陸や東北でサワラが大量に漁獲され始めた。近年では、全国津々浦々の浜で未曾有の異変が相次いでいる。2010 年代後半から北海道や東北でサンマ、サケ、スルメイカが獲れなくなった。2021 年 4 月から 6 月にかけて開催された水産庁「不漁問題に関する検討会」は、これらの不漁要因を分析したうえ、そのとりまとめの中で、温暖化等により今後とも 3 魚種以外で不漁が発生する可能性も否定できないとした¹⁾。温暖化どころか“地球沸騰化”という言葉が流布し始めた。筆者が住む瀬戸内海中央部に位置する岡山の海では、2018 年頃から様々な異変が明瞭に現れ始めた。全国沿岸で起きている異変、さらには海外にも目を向けて世界の海の現状を俯瞰し、瀬戸内海のこれまでとこれからを考えてみたい。

2. 我が国沿岸各地で相次ぐ異変

2021 年 11 月、全漁青連が全国の青年漁業者を対象に、最近の海の状況についてアンケート調査を実施した。水温の異常、漁期のずれ、不漁や魚種組成の変化など多くの異変情報に加え、「資源管理だけでは資源は戻らない。」「漁業が継続できなくなるのではないか。」など不安の声や、「藻場・干潟の造成」、「徹底した原因究明」と「収入安定対策」などを求める浜のリーダー達の切実な訴えが寄せられた。北海道や東北では漁場が沖合に移動してサンマが獲れなくなり、サケ定置網にサケが獲れずにブリが大量に入網し、「イカの街」函館からスルメイカの姿が消えた。2021 年には北海道がトラフグ・マフグ漁獲量全国1位に躍り出た。マイワシの大豊漁、ブリ、カツオ、マグロ類などの好調な漁模様、ズワイガニ漁大幅アップ、北海道でサバ漁獲量が前年の 100 倍(羅臼町)、群来(ニシン)の再来等も報じられているが、ホタテ稚貝大量死、アコヤガイ大量死、イワシ大量死、ハタハタ記録的不漁、イカナゴ資源激減による休漁、アサリ・アワビ極端な不漁続き、ウニ類・ホヤ漁獲不振・大量死、コンブ類の激減、20 種以上の魚介類が北上、国内の店頭に並ぶ魚介類が減少し年中同じ種類に、琵琶湖のアユ激減、宍道湖シジミ資源量の減少など、海や漁業に関する異変が毎日のようにテレビや新聞等で盛んに報道され、その数は 2023 年 6 月～2024 年 6 月で218 件、2024 年 6 月～2025 年 6 月では 1,060 件にも及んだ。

3. 変わりゆく世界の海

2019 年の夏、イギリス科学出版社エルシビアにより Predicting Future Ocean²⁾ という本が出版された。これは、2011～2019 年まで 9 年間で費やし、世界の 17 の大学が協力連携して、人為起源 CO₂ の過剰排出を原因とする地球規模の気候変動が、「海にどのような影響を及ぼすか」を研究予測した日本財団ネレウスプログラムの成果をとりまとめたもので、49 章、554 ページにも及ぶ大著である。ネレウスプログラムの統括リーダーであり、人類学者で海洋政策の専門家であるワシントン大学の太田義孝教授(当時、現在はロードアイランド大学教授)が、その中から 16 章を翻訳し、2021 年 8 月下旬に「海洋の未来³⁾」として出版した。その内容はかなりショッキングなものである。地球規模で起こっている気候変動が海に与える影響は、

海水温の上昇や海面上昇、海洋酸性化、海中溶存酸素濃度低下といった直接的な変化とともに 2 次的で累積的な影響によってますます増加する。その変化への生物的な適応や漁業の動向は、異常熱波など突発的な打撃によって不可逆的な事態に陥るといふ。2011 年に西オーストラリアで発生した海洋熱波は、オーストラリア沖の温帯性ケルプの森を崩壊させ、生態系を破壊した。2014～2017 年に長期的に継続した海洋熱波は、世界のサンゴ礁の 75%を白化させ、死亡率 30%に至らしめた。2018～2021 年にかけて 100 億匹以上のズワイガニがベーリング海東部から姿を消したが、これも 2018～2019 年の海洋熱波と深く関連付けられている⁴⁾。本書では、水産資源は個体群単位で高緯度海域に移動し、漁獲枠の割当量や公平性の認識に関する政策上の問題が生ずるとし、企業の社会的責任(CSR)や譲渡可能個別漁獲割当(ITQ)制度などの解決策がこの公平性を脅かすと論じている。そして、「未来の海は、気候変動の影響により持続可能な海ではなくなる。」という結論を導き出し、そのうえで「格差の海」に向かうにあたって「再分配」と「社会公正」の重要性を強調する。「格差の海」に立ち向かうべく、2019 年には日本財団ネクサスプログラムが発足、ワシントン大学を中心に世界の 20 の大学が連携し、すべての人が豊かで美しい海に抱かれるために、「海の未来の予測から踏み出し、海の未来から格差を取り除く方向に舵を切る」という言葉で、この本は締めくくられている。

4. 瀬戸内海のこれまで

瀬戸内海の漁場環境は、1970 年代から半世紀の間、人の手によって大きく変えられてきた。富栄養化に伴うクラゲ大量発生は浮遊生態系を細く小さくし、1980 年代までに干拓等による干潟・藻場の喪失がボディブローのように効いて底生生態系を細く小さくしていった。1990 年代後半から顕著になった貧栄養化によって養殖ノリ色落ち被害が拡大、水温上昇とも相まって磯焼けが進行し、珪藻が小型化して上位の食物連鎖につながらなくなり、海底の砂漠化と付着動物・底生動物の激減を招くとともに、浮遊生態系・底生生態系が矮小化し、著しく物質循環が停滞している(図 1)。

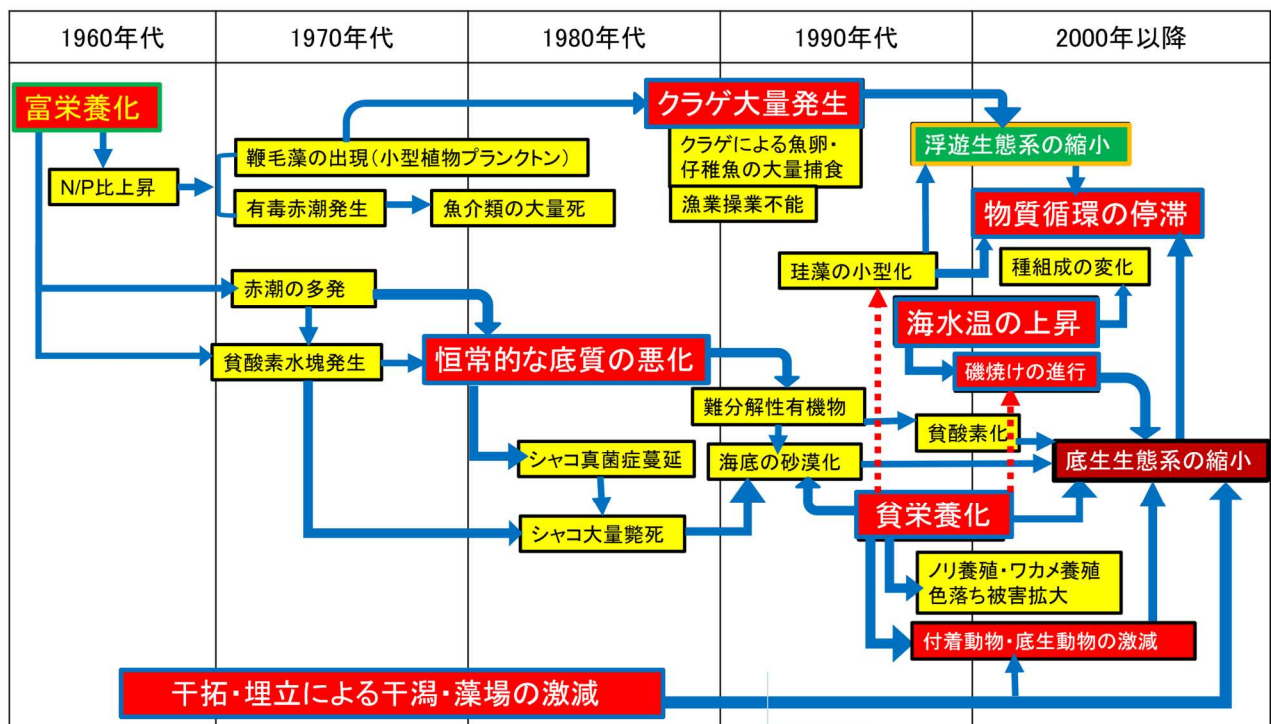


図 1. 瀬戸内海的环境変化とその主要因

海水温の上昇によって北方系のカレイ類やアイナメ等が減少し、南方系のキジハタ等が増加した。マダイが浅瀬で越冬するようになり、春から秋に大量に漁獲されるため市場単価が急落、クロダイは養殖ノリやカキ種苗、貝類を食い荒らす害魚に転落し、最近では盛んに消費拡大への試みがなされている。台湾ガザミが漁獲ベースで年々増加し、春から夏にはハマチ、冬場には 10kg を超えるブリ、ヒラマサが漁獲されるようになった。トゲシャコ、ヘリトリマンジュウガニ、イケガツオ、ヨコスジフエダイなど南方系の魚介類が獲れ始め、ソウジハギ、ヒョウモンダコ、スベスベマンジュウガニなど有毒性の魚介類も混獲されるようになった。2021 年頃からエビ類、シタビラメ類、アナゴ、タコ類、ガザミなどこれまで季節の旬を彩った多様な魚介類が次々に姿を消していつている。2020 年からは「足切れ」マダコが市場に出始め、その割合は年々増加、2024 年以降はマダコそのものが獲れなくなり、たこば漁師は休業を余儀なくされている。獲れるのはマダイ、クロダイ、ハモ、キジハタのみで、捕食圧の強い魚種だけが生き残っている感がある。2018 年頃からウミホタルが建網にかかった魚を食べるようになり、2019 年から流し網にかかったサワラの腹部にハマトビムシが食い付いて傷を付け、売り物にならない(図 3)。潜水器漁師によれば、2018 年からホトギスガイが成長しないまま足糸を異常に伸ばして絨毯状に覆い尽くし、その下でナミガイなど二枚貝類が死んでいるという。これらの現象の主要因は海水温の上昇と貧栄養化であると考えられるが、果たしてそれだけだろうか？広島湾では、「富栄養化時代の負の遺産」として広大な堆積範囲と堆積厚で難分解性有機物が居座って、これが硫化水素の発生源となって貧酸素を引き起こしているという。このままでは硫化水素の生成と底層の貧酸素は今後も永久的に繰り返され、底泥の改善に真剣に取り組まなければ底生生態系の回復は望めないとの指摘がなされ⁵⁾、表層の貧栄養化と底層の貧酸素化という深刻な現状が浮き彫りにされた。

2021 年 6 月 3 日、改正瀬戸内法が通常国会で可決、成立、6 月 9 日に公布された⁶⁾。「地域合意を前提とした栄養塩類の供給を可能とする栄養塩類管理制度の創設」、「自然海浜保全地区の指定対象の拡充」、「海洋プラスチックごみを含む漂流ごみ等の発生抑制等に関する責務規定」、「気候変動による環境への影響に関する基本理念の改正」の 4 つを柱とする大改正である。しかし、今のところ瀬戸内海全域で有効な貧栄養化対策が講じられているとは言い難い。

瀬戸内海の姿の長期的な変化を端的に著わすならば、「タイの海」(1930～1950 年代)→「イワシの海」(1950～1980 年代)→「クラゲの海」(1990 年代以降)への変貌である⁷⁾(図 2)。クラゲは魚卵、仔稚魚など何でも食い尽くすため、大量発生すれば水産資源への影響は計り知れず、また漁具が損壊するなどして漁業操業が不能となる。ユウレイクラゲがこれに絡みつくとともに厄介である。温暖化によってミズクラゲ発生期間が長期化しており、さらに深刻さを増している。一方で、ほんの数年前まで瀬戸内海において広域的な問題として捉えられていたミズクラゲの大量発生は、2023 年以降になって顕著に現れる県が散発的になり、また同じ県内でも一部の地域だけの問題となるなど、断続的かつ局所的になってきている。ミズクラゲ対策としては、浮桟橋の裏側などが温床となっているポリブの一斉駆除が効果的とされるが、逆に対応策が難しくなってきた側面がある。ミズクラゲに比して冷水性のアカクラゲはほとんど見られなくなり、ヒ

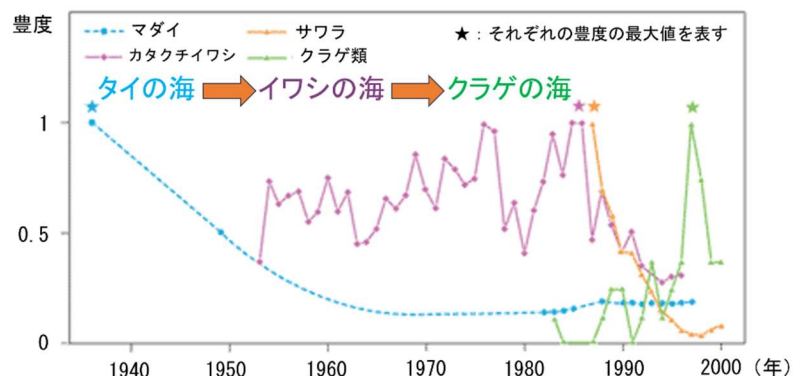


図 2. 瀬戸内海のマダイ、イワシ、サワラ、クラゲ豊度の推移
(永井:2005 を改編)

ゼンクラゲ、エビクラゲなど南方系のクラゲが出現し始めた。瀬戸内海は、今も現在進行形で変わり続けている。

5. 瀬戸内海のこれから ～私たちは何をすべきか？～

今、瀬戸内海で起きている海の異変の主因は、地球温暖化に伴う海水温の上昇と貧栄養化である。温暖化は世界的な問題であり、ただちに改善することはできない。しかし、貧栄養化は人の手で、地域の取り組みで解決できる課題である。

水産研究・教育機構等の長年に亘る調査研究により、貧栄養化が養殖ノリ色落ち被害だけでなく、海藻藻場の回復を難しくさせ、植物プランクトンの小型化を招きイワシ資源に悪影響を与えていることも明らかにされた。また、海底耕耘や現行の下水処理施設の管理運転は一定の効果はあるとしたものの、それだけでは十分でないことも示唆された⁸⁾。漁師たちは口を揃えて海底に餌になる生き物がなくなったと訴え、付着動物も激減している(図3)。栄養塩レベルの低下が一次生産を低下させ、生態系に影響を与えていることは今や明白である。貧栄養化の原因のひとつは、汚濁指標 COD を下げるため溶存態難分解性有機物の存在に気付かぬまま続けられた窒素・リンの過剰削減である。農業の営みを通じて大地に蓄積され地下水を通じて供給されてきた栄養塩が、耕作放棄地の増加により枯渇してきたことも大きいと考えられ、海に流れ込む河川水の栄養塩濃度に加え陸域負荷量そのものも減少傾向にある^{9, 10)}。

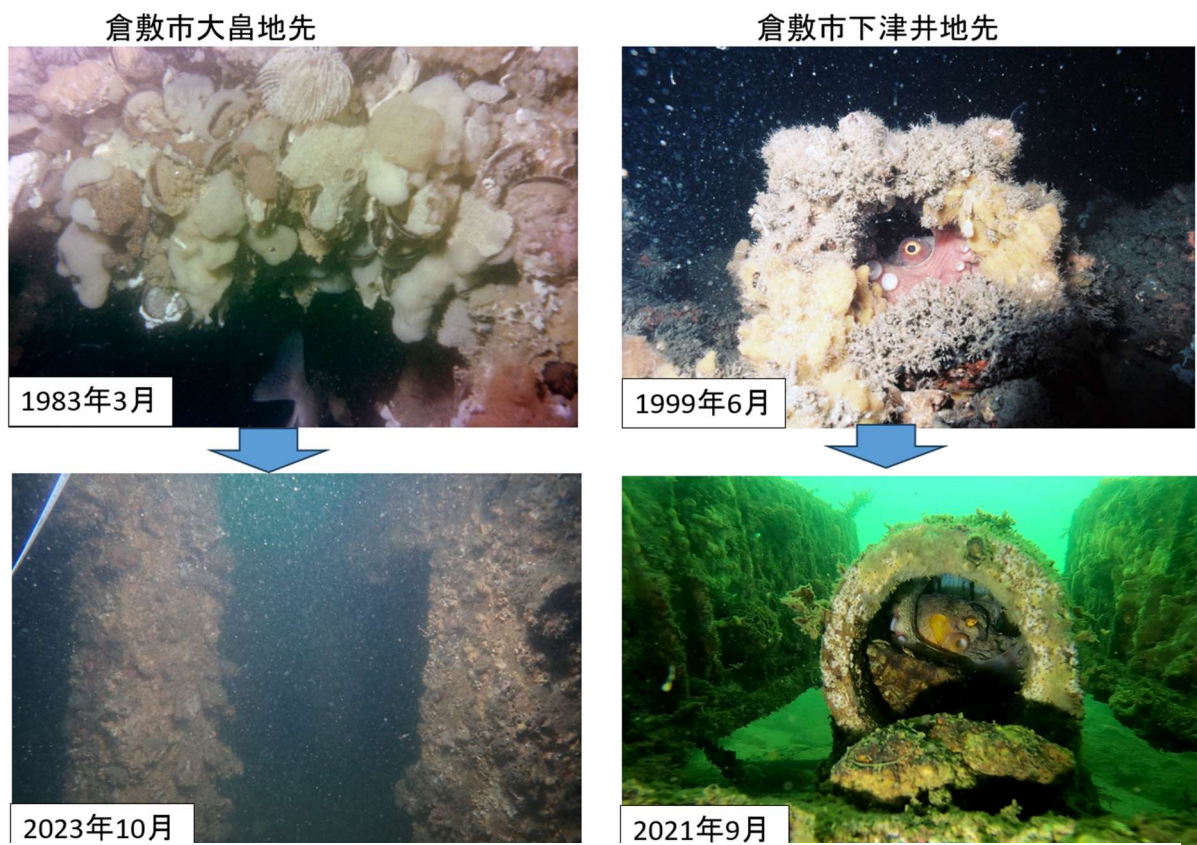


図3. 岡山県倉敷市地先の同一箇所における付着動物量の過去と現在の比較

(写真提供：海洋建設(株)水産環境研究所)

2025年2月、環境省は「水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準」を改正し、有機汚濁を主因とした利水上の支障が生じていない場合、CODの環境基準の達成状況の評価は必ずしも行わなくてよいこととした¹¹⁾。これ以上、栄養塩濃度を低下させないための舵取りの変更である。兵庫県は、2022年10月に瀬戸内海の関係府県に先駆けて「栄養塩類管理計画」を策定し、工場等からの栄養塩供給、下水処

理場の季節別運転、海底耕耘や「かいぼり」、漁場への施肥など、様々な栄養塩類供給量を増やすための取組みを続けている¹²⁾。今こそ、栄養塩レベルの適正化を瀬戸内海の広域的な取り組みとして最重要課題として掲げ、その実現に向けて、漁業関係者、関係府県等の地域行政、水圏に関わる多くのステークホルダーが連携して、施肥やモニタリング手法の確立など具体的対策を練り上げ、取り組むべき時ではなからうか。

また、浮遊生態系(生食連鎖)と底生生態系(腐食連鎖)の回復にも目を向けねばならない。貧栄養化対策を基本として、浮遊生態系の回復には栄養塩レベルの適正化に加えて N/P 比の管理とクラゲ対策、底生生態系の回復にはカキ養殖業で産み出されるカキ殻を利用して底生生態系を回復させる方法¹³⁻¹⁵⁾などあらゆる方法や技術を駆使して小型動物群を回復させることが重要である。

6. さらなる脅威 ～デッドリートリオ～

近年、世界中の海洋学者の間で「デッドリートリオ(死のトリオ)」という言葉が囁かれるようになった。「温暖化」、「海洋酸性化」、「貧酸素化」である。海水温が上昇すると魚の酸素消費は増えるのに海水に溶け込む酸素は減少し、大型の魚は棲めなくなるとも言われる²⁾。また、表層水温が上昇して成層が発達するため、底層では貧酸素化が進み底生性魚介類の生息を危うくする。

海洋酸性化は、もうひとつの CO₂ 問題とも言われ、海水温が下がる南極域や北極域で進んでいるが、日本近海でも少しずつ進行している。

しかし、海の酸性化には、大気中の CO₂ 濃度の増加に伴い海水中の CO₂ 濃度が増加することによる海洋酸性化と、陸水とそれに含まれる有機物の流入と分解による沿岸酸性化がある¹⁶⁾。アメリカ西海岸のピュージェット湾では、2005～2009 年に、プランクトン等の死骸が分解される際に発生する CO₂ が海底から湧昇して表層近くが酸性化し、ワシントン州とオレゴン州の養殖施設でカキ幼生が大量死する事態も起きている¹⁷⁾。これは、沿岸酸性化による被害の典型的事例である。

2020 年度から日本財団と NPO 法人里海づくり研究会が協働し「海洋酸性化適応プロジェクト」がスタートした。カキ養殖に焦点を絞り、最もリスクを負う漁業現場のアクションに繋げるためのリサーチである。まずは我が国沿岸における酸性化の実態を把握するとともに、モニタリングシステムを構築し、適応策を講じるための手法と体制の確立を目論んでいる。東京大学、福井県立大学、愛媛大学等の大学、水



図4. 2024 年度 海洋酸性化適応プロジェクト観測海域:21海域
JAMSTEC 独自の観測海域:3 海域 計 24 海域

産研究・教育機構、関係県水産研究所、JAMSTEC、NPO等の地域法人、漁業団体、関係漁協、民間企業など参画している組織・団体は30を越えている。観測海域は、初年度の2020年度に2海域でスタートしたが、観測サイトを年々増設し2024年度には北海道から九州まで24海域に及んでいる。2024年度の観測では、24海域のうち7割を超える海域において、発生時期・持続期間などは異なるものの、短期間ながらカキ浮遊幼生にとって危険レベルまで酸性化が進んでいることが確認され、沿岸酸性化に対して脆弱な可能性があることが分かってきた。今のところ、我が国においては酸性化による海生生物に悪影響は確認されていないが、線状降水帯の頻発やゲリラ豪雨の増加等によって沿岸酸性化はさらに進行し、全球的な海洋酸性化とも相まってリスクが増大することが予想され、今後とも長期的にモニタリングを継続していくことが必要である。詳細はまたの機会に譲るが、本プロジェクトは、我が国沿岸における酸性化の実態をほぼ解明しつつあり、適応策を提案すべく着実に成果を挙げつつある¹⁸⁻²⁰⁾。

7. おわりに

人為的なCO₂過剰排出による気候変動が止まらない限り、危機が去ることはない。デッドリトリオは、世界の国々、世界の人々が努力しパリ協定を達成しない限り、今世紀末には世界の海に大きな脅威を与えることになる。これらの深刻な影響を回避するためには、CO₂排出抑制とともに、顕在化することが予想される異変への適応策も両輪で進める必要がある。アマモ等の海草藻場や海藻藻場は、炭素を吸着するブルーカーボンとして、効果的な緩和策になることが期待されるが、CO₂を吸収するだけでなく大量の酸素を産み出し、水温上昇を抑制し、付着生物、葉上動物、葉間動物および底生生物を増殖させて生物相を多様化させ、栄養塩を供給する物質循環の核となる。また、アマモ場は、陸水とともに流入する大量の有機物をトラップして分解することによって沿岸酸性化をも軽減することも分かってきた²¹⁾。世界各地で藻場を再生または造成することは、全球的な緩和策として有効であるとともに、地先海域ごとの緩和策、地域の適応策になるのは明らかであり、世界的な取り組みとして拡大し加速化しなければならない。

すでに現状において、地球規模の気候変動による海への影響は国民の食卓に及んでいる。これから貴重なタンパク源である水産物事情はどうなっていくのか？世界的な食糧危機を迎えはしないか？などの不安が押し寄せる。これから大切なことは、むやみに恐れることなく、現状を正しく認識し、今後の対応策等について広く国民にも正しく伝えていくことである。そして、今後とも続くであろう「海の異変」を適切に把握し、緩和策・適応策を検討し実践していくためには、より多くの人達と共有し、連携していかなければならない。とりわけ、「暮らしを守り子育てしていくために」海と対峙する漁師さん達と科学者との緊密な連携体制を確保することは不可欠である。2024年度から、全国の若い漁師さんが漁業者モニターとなり「漁師の知恵と科学の融合」を目指した「日本財団 海洋環境変化対応プロジェクト²²⁾」が始まった。さらに、その先には、市民科学の推進などを含めた多様な主体による総力戦での臨戦態勢を構築し、維持していくことが重要であろう。

参考文献

- 1)不漁問題に関する検討会(2021):不漁問題に関する検討会とりまとめ～中長期的なリスクに対して漁業を持続するための今後の施策の方向性について～。
https://www.jfa.maff.go.jp/j/study/attach/pdf/furyou_kenntokai-19.pdf
- 2) Andre´s M. Cisneros-Montemayor・William W.L. Cheung・Yoshitaka Ota(2019): Predicting Future Oceans, Sustainability of Ocean and Human Systems Amidst Global Environmental Change. Elsevier.
- 3)アンドレス・シスネロス＝モンテマヨール、ウィリアム・チェン、太田義孝 編著、太田義孝 翻訳(2021): 海洋の未来 持続可能な海を求めて。勁草書房、東京。
- 4)Cody S. Szuwalski et.al(2023): The collapse of eastern Bering Sea snow crab. Vol 382、Issue 6668、

- 306-310.
- 5)山本民次(2021):瀬戸内法の再改定と広島湾に環境改善策の提案. 豊かな海、No.54、23-31.
- 6)浜名功太郎(2021):瀬戸内海環境保全特別措置法改正の経緯とその内容. 国立公園、No.798、2-6、(一財)自然公園財団.
- 7)永井達樹(2005):瀬戸内海の富栄養化とクラゲ類の増大について. 日本プランクトン学会報、52 巻 1 号、27-31.
- 8)国立研究開発法人 水産研究・開発機構ほか(2023):平成30年度～令和4年度水産庁漁場環境改善推進事業のうち栄養塩、赤潮・貧酸素水塊に対する被害軽減技術等の開発「栄養塩の水産資源に及ぼす影響の調査」
- 9)国立研究開発法人 水産総合研究センターほか(2016):平成 27 年度漁場環境・生物多様性保全対策事業のうち赤潮・貧酸素水塊対策推進事業「漁場生産力向上のための漁場改善実証事業」.
- 10)齋藤光代ほか(2021):流域圏の土地利用変遷および洪水流出を考慮した大阪湾への長期栄養塩流出量の推定.瀬戸内海, No.82,65-67.
- 11)環境省(2025):水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて.
https://www.env.go.jp/press/press_04359.html
- 12)兵庫県(2022):ひょうごの環境 兵庫県栄養塩類管理計画～豊かで美しい里海を目指して～
https://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/jp/mizu_dojo/leg_249/22996
- 13)田中丈裕・清野聡子・山本民次(2015):沿岸環境修復技術としての貝殻利用の最前線Ⅰ-物質循環の促進向上に向けて-. 月刊海洋, Vol.47,No.2.
- 14)田中丈裕・清野聡子・山本民次(2015):沿岸環境修復技術としての貝殻利用の最前線Ⅱ-物質循環の促進向上に向けて-. 月刊海洋, Vol.47,No.3.
- 15)岡山県(2022):カキ殻を利用した総合的な底質改良ガイドライン[改訂版].
- 16)藤原 建紀: 海洋酸性化と水質環境基準 pH、表層および底層 DO, 瀬戸内海, 2025.
- 17)Feely R. A., C. L. Sabine、J. M. Hernandez-Ayon, D. Ianson, B. Hales (2008): Evidence for upwelling of corrosive "acidified" water onto the continental shelf. Science, 320, 1490-1492.
- 18)Masahiko Fujii et al. (2023):Assessing impacts of coastal warming, acidification and deoxygenation on Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) farming, a case study in the Hinase area, Okayama Prefecture and Shizugawa Bay, Miyagi Prefecture, Japan. Biogeosciences, 20,4527-4549.
- 19)Tsuneo Ono et al.: Short-term variation of pH in seawaters around coastal areas of Japan: Characteristics and forcings、Biogeosciences、21、177-199、<https://doi.org/10.5194/bg-21-177-2024>、2024.
- 20)NPO 法人 里海づくり研究会(2025):令和 6 年度年度 海洋酸性化適応プロジェクト報告書
- 21)小埜 恒夫: 瀬戸内海における海域別の pH 変動特性, 瀬戸内海, 2025.
- 22)日本財団 海洋環境変化対応プロジェクト
<https://www.nippon-foundation.or.jp/what/projects/ocean-monitoring>