



## 豊かで恵み多い「おおさかの海」に向けて

大阪湾環境再生研究・国際人材育成コンソーシアム・コア

大阪市立大学 名誉教授

矢 持 進

### 1. はじめに

大阪湾は年配の人には汚れた海のイメージが強い。一方、若者の多くには大阪湾そのものに対するイメージがなく、彼らにとって海は遠い存在なのであろう。近年、国や地方自治体などから豊かな海「大阪湾」の再生に関する計画や提案が複数発表されたが、具現化されたものは少なく、何処かの主体が取り組んでいるプロジェクトを転載しているに過ぎないものもある。また、播磨灘の栄養塩激減報道に関連してか、メディアなどから大阪湾奥部が貧栄養であるなどの報道を時々見かける。貧栄養の定義が必ずしも明確でない中、科学的知見に基づく正確な情報提供を願いたいものである。

筆者は1973年に大阪府水産試験場(現大阪府環境農林水産総合研究所水産技術センター)に勤め、以後、大阪湾の重金属・PCB汚染、富栄養化と貧酸素、赤潮発生機構、渚の環境機能と構造、幼稚仔保育場としての淀川河口域、魚介類の放流技術開発ほか、数多くテーマに従事させていただいた。大学(工学研究科都市系専攻環境水域工学分野)に移籍してからは、干潟の生物生産と水質浄化機能、大和川の「アユ」復活プロジェクト、都市干潟のCO<sub>2</sub>吸収・排出動態などに関する研究を行った。昨今は大阪湾沿岸部でカキ養殖が可能であることや建設副産物を基質として活用したアカガイのカゴ養殖試験に取り組んでいる。

本稿では、今、少し話題となっている大阪湾の栄養塩や底層溶存酸素濃度、ならびに主要魚介類の漁獲量変化に関する動向を紹介するとともに、豊かで恵み多い大阪湾を目指すことに関する私見を述べたい。

### 2. 大阪湾の水環境

#### 2.1 栄養塩

1970年代から80年代にかけて筆者も担当していた浅海定線調査のデータを活用し、水域別の溶存無機態窒素(DIN、以下窒素と言う)の経年変化を図1に示す。当時は北原式採水器で採取した試水を手作業で分析していたが、近年は栄養塩自動分析装置を用いて迅速かつ精度良く測定できるようになった。また、水温や塩分もCSTDなどを用いて測定層を誤ることなく緻密かつ簡易に計測することが可能になっている。分析および計測技術に関しては隔世の感を禁じ得ない。なお、ここで湾奥海域とは神戸和田岬と泉大津を結ぶ線以東の水域(6定点)を、湾東部海域は岸和田沖から関西国際空港島南西沖にかけての水域(5定点)を、湾西部海域は須磨沖から淡路島津名沖当たりの水域(5定点)を、湾南部海域とは淡輪から洲本を結ぶ線上の水域(4定点)をそれ

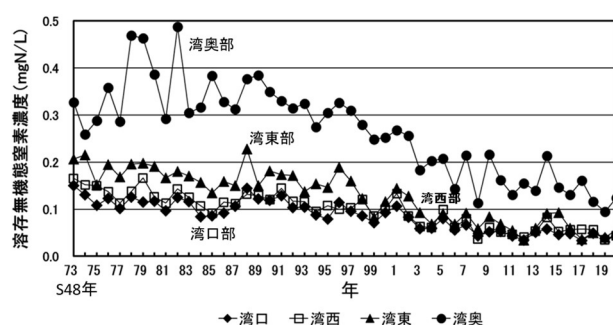


図1 海域別の溶存無機態窒素濃度(DIN)の経年変化  
(表層と底層の値を積算し、平均化したもの 年平均値  
大阪府環境農林水産総合研究所 浅海定線データより作成)

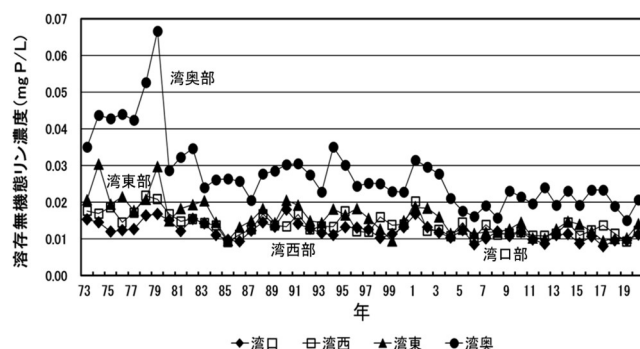


図2 海域別の溶存無機態リン濃度(DIP)の経年変化  
(表層と底層の値を積算し、平均化したもの 年平均値  
大阪府環境農林水産総合研究所 浅海定線データより作成)

ぞれ示す。窒素は濃度低下が顕著で、特に近年の湾奥海域は1970年代後半から80年代前半の1/4から1/5に低下し、0.1-0.15mgN/Lのレベルにある。また、東部海域の窒素濃度は湾西部や南部海域のそれと近年は大差がない。1970年代後半から80年代にかけては、富栄養化のため、調査で出航すると高水温期を主体に比較的広い海域において珪藻、渦鞭毛藻、ラフィド藻のいずれかによる赤潮が発生していたと記憶している。70年代には湾奥海域の高過ぎる栄養塩を何とか低減しなければ海の復活は難しいと感じていたが、それが結果的にある程度達成された気がする。なお、現在の大阪湾の窒素濃度は、海の貧栄養化がまったく問題となっていない1980年代の瀬戸内海東部海域表層(例えば播磨灘)の濃度<sup>1)</sup>と同程度か上回るレベルである。

図2は溶存無機態リン(DIP、以下リンと言う)の経年変化である。湾奥域のリン濃度は1975年から80年頃にかけて0.04-0.07mgP/L近くの高い値を示したが、その後急減した。

これは滋賀県などにおける無リン洗剤の使用と時期的に合致しており、琵琶湖から淀川を通じて湾奥部に流入したリンの減少によるものと推察される。リンは窒素に比べて濃度低下が不明瞭で、近年は湾奥部平均で0.02mgP/L、その他の海域では0.01mgP/L前後で推移している。そのため、窒素/リン比が減少し、1970年代は植物プランクトンの増殖がリン制限であろうと考えられていたが<sup>2)</sup>、近年は窒素制限に変化したと思われる。なお、1952年6月に神戸海洋気象台によって尼崎地先のリン濃度が調べられている<sup>3)</sup>。それによれば、当時の尼崎地先の3および5m水深の濃度は概ね0.003-0.006mgP/L (0.1-0.2  $\mu$ g-atmP/L)となっており、第二次大戦後まもない時期のリン濃度は近年の値よりも低い。

これらのことから、近年の大阪湾が一部の局所的海域を除き、貧栄養化していると評価するのは適切ではないと考えられる。環境省の広域総合水質調査によれば大阪湾上層のクロロフィルa濃度は大阪湾以外の瀬戸内海よりも5倍ほど高く、大阪湾は栄養塩が比較的多く、魚介類のエサとなるプランクトンが他海域に比べ豊富と言えるであろう。

## 2. 2 底層の溶存酸素(DO)

2016 年 3 月に底層溶存酸素量を新たな生活環境項目環境基準へ追加することが告示され、大阪湾についても底層溶存酸素の類型指定について検討が行われている。大阪湾における底層溶存酸素量類型指定検討会では、当面、水深 15m 以浅の湾奥海域を主たる対象に生物 3 類型( $2\text{mgO}_2/\text{L}$  以上、生息段階および再生産段階において貧酸素耐性の高い水生生物が生息・再生産できる場を保全・再生)を保全目標としている<sup>4)</sup>。図 3 に貧酸素傾向が強い 8 月上旬の大阪湾底層における溶存酸素濃度の経年変化(3 年間の移動平均値)を示す。大阪湾底層の溶存酸素濃度を各海域の平均値で見ると、4 海域とも年々増加する傾向にあり、湾口や湾西部海域では近年  $5\text{mgO}_2/\text{L}$  以上、湾東部海域でも  $4\text{mgO}_2/\text{L}$  以上を記録している。また、湾奥海域でも  $3\text{mgO}_2/\text{L}$  を上回る時が見られる。この経年変化について、湾の流況が変化していなければ栄養物質の流入負荷量の低下→海域の栄養塩濃度の減少→植物プランクトン生産量の低下→海底への沈降有機物量の減少→海底堆積物上面での酸素消費量の低下などで概ね説明できる。

湾奥域の DO 濃度を類型指定との関連で検討した場合、一見、目標値( $2\text{mgO}_2/\text{L}$ )を達成しているように思われる。ただ、図 3 は 8 月上旬の湾奥 6 定点底層の平均 DO 濃度を 3 カ年移動平均した値であり、湾奥海域の多くでは、未だに夏季に底層が強く貧酸素化する。因みに、2023 年 9 月 19 日に大阪府環境農林水産総合研究所水産技術センターにより行われた観測では、湾奥から東部沿岸海域が強く貧酸素化していた<sup>5)</sup>。また、図 4 に示したように、神戸沖と西宮沖の定点では 2016 年以降も 8 月上旬には  $2\text{mgO}_2/\text{L}$  以下になることがあり、湾奥域底層の貧酸素化が完全に解消されたわけではない。

過栄養で夏季に底層水が貧酸素化し、多くの魚介類が死亡しても、翌年に新たな群れが他地域から加わり、毎年の漁獲量に大きな変化がないならそれで良いではないかとの意見がある。少し考えてみて欲しい、夏に死亡することなく翌年や翌々年まで生き残り、大型個体になると魚介類の単価が跳ね上がることによって漁業者は潤う。また、長寿命・大型個体の多い生態系の方が小型・短命個体が卓越する生態系より安定であり、栄養循環・物質循環、生態系ネットワークの面からも健全と考えられる。夏に底曳き網を曳いても貧酸素によりほとんど何も獲れない不毛な海は避けなければならない。

汚濁負荷量が減少し、水質が改善され、酸素消費の原因となる有機物の海底への沈降量が減ったはずなのに貧酸素化が完全に解消しないのは何故だろう？ 底層水の貧酸素化と関連する海水の成

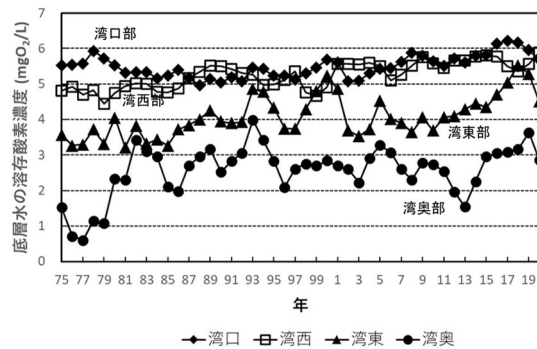


図3 海域別の底層溶存酸素濃度の経年変化  
(3年間の移動平均値 大阪府環境農林水産総合研究所 浅海定線データより作成)

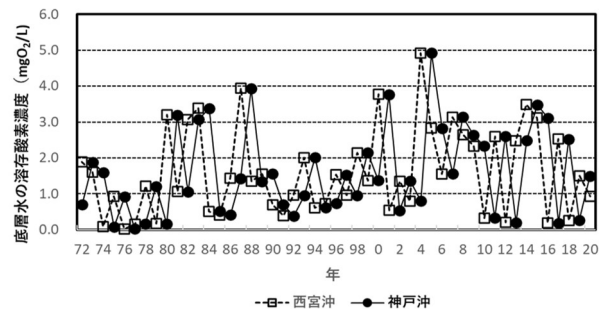


図4 8月上旬の神戸沖と西宮沖定点における  
底層溶存酸素濃度の経年変化

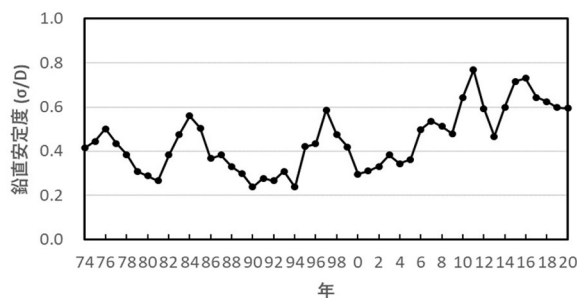


図5 8月上旬の湾奥域における鉛直安定度の推移  
(3年間の移動平均値)

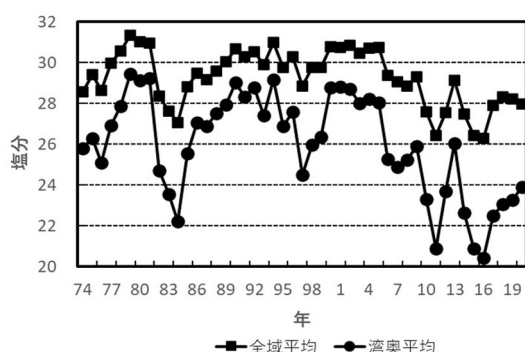


図6 8月上旬の表層塩分の推移

層状況はどうなんだろう。そこで底層と表層の密度差( $\sigma_{tB} - \sigma_{tS}$ )を水深で除した海水の鉛直安定度( $\sigma/D$ )を使って調べてみた。その結果、2010年以降の湾奥域の鉛直安定度は1970年代や80年代より高いレベルにあり、成層強度の増していることが示唆された(図5)。気候変動の影響で表層水温が近年上昇し、それが湾奥域の表底層間の密度差に繋がったと考え、水温と鉛直密度差の関係を検討したところ、両者には明瞭な対応は見られず、むしろ塩分と鉛直密度差との間に相関が強かった(相関係数 $r=0.95$ )。3年間の移動平均値による8月上旬の湾奥域の表層塩分は、2010年以降が1970年代後半より明らかに低い(1970年代後半:25-30, 2010-20年:20-26)。この傾向は湾全域平均でも認められた(図6)。なお、8月上旬の底層塩分については経年的な低下傾向は見られなかった。近年、8月上旬の湾奥域の成層強度が増加していることについては表層の塩分低下の影響が強いことが示唆されたが、7月の大阪府

の降雨量や7月下旬の淀川枚方大橋の河川流量との関係については、前者が月総雨量であること、後者は2008年以降欠測が多いことなどの理由で明瞭な正の対応関係が見いだせなかった。地球温暖化の影響で梅雨末期の降雨量が増加し、それが湾奥域に停滞することで成層強度が上昇したと考えれば説明が付きやすいが、裏付けとなるデータがない。それとも、大出水後の湾奥域の海水の停滞性がなんらかの理由で増したのであろうか、これらを含め底層DOが完全に回復しない原因については次世代の大阪湾研究者の活躍に委ねたい。

### 3. 漁獲量の変化

大阪湾は、約230種類の食用となる魚介類が生息し、漁業が盛んな豊かな海であることは余り知られていない。図7に中国四国農政局統計情報部資料より作成した1965年から2012年の大阪湾における類別(魚類、甲殻類、貝類、海藻類、その他水産動物)の年間漁獲量の推移を示す。なお、2007年以降は湾ベースの漁獲統計資料が無くなったため、神戸市、淡路市、洲本市について播磨灘に対する大阪湾側の過去の漁獲量比率を用いてこれら3市の2007年から12年の大阪湾側漁獲量を推定した。図から分かるように大阪湾では魚類が全漁獲量のほとんどを占め、これはイワシ類の漁獲が多いためである。近年、大阪湾のマイワシは関東で人気があり、「金太郎イワシ」として東京市場に出荷され、それが大阪に舞い戻ってきて、我々の食卓を賑わしている。一方、1960年代に比べると甲殻類、貝類、海藻類などは全般的に減少傾向にあり、特に貝類は1/100程度に低下した。水が良くなったのに魚が増えず、甲殻類や貝類が減少したことについては、浅場や浜辺が復活していない、底質の改善

が充分ではない、海水の栄養濃度や質が変化した、生態系の循環が変わった、温暖化の影響などの諸説がある。

2007 年から 2021 年の大阪府の漁獲量については(図 8)、魚類は 2018 年を除き 1.5-2 万トン前後で推移している。また、甲殻類やその他の水産動物が獲れなくなっているのに対して、貝類は 2020-21 年に多く捕獲された。なお、2022 年についても貝類は豊漁であったと泉南の漁業者から聞いている。甲殻類の落ち込みはサルエビなどの小型エビ類の貧漁が原因で、その他の水産動物の減少はタコなどに起因する。一方、貝類はアカガイとトリガイが豊漁であったため漁獲量が増加した。このように、この数年の大阪湾は小型甲殻類やタコ類が減少し、アカガイやトリガイなど貝類の漁獲が増えていることが特徴と言える\*。なぜ、小型甲殻類が減少したかについては、水温上昇の影響や餌となるプランクトン起源の有機物が、彼らが摂餌する前

にアカガイやトリガイなどによって取り込まれるためとの説明も可能であるが、検証はされていない。また、アカガイやトリガイの増加については、① 好適な生息場(細粒分からなる泥場)が増えた、② 極度に貧酸素化しなくなり硫化水素の発生海域が縮小した、③ アカガイについては放流の効果、などの説もある。いずれにしても、これらを検討するに当たっての基礎となる大阪湾全域の底質や底生動物相は、関西国際空港建設に先立つ漁業環境アセスメントや 1983 年の大阪府水産試験場による調査以後 50 年近く調べられていない。目先の成果が求められる昨今の研究・調査事情では、このような詳細・大規模なモニタリング調査は難しいのであろうか・・・。

## 4. 二枚貝養殖プロジェクト

### 4. 1 マガキ

大阪湾は水質が改善しているものの餌となる植物プランクトンは他海域より豊富であるため、懸濁物食者のマガキ(*Crassostrea gigas*) が湾東部沿岸海域で養殖可能であると考え、2015 年 5 月から漁業者の協力を得て実験的に大阪府貝塚市阪南 6 区の閉鎖性海面でマガキ養成実験を行った(図 9)。図 10 に水深別のマガキの成長を示す。なお、この閉鎖性海面(水深 約 10m)は中下層の酸素濃度が夏季に低下するため、マガキの垂下は水深 4.5m 層までとした。マガキはこの水域で順調に大きくなり、5 月下旬に約 20mm の殻高で養成を開始した種苗は、7 月には約 55mm、9 月には約 75mm、11 月には

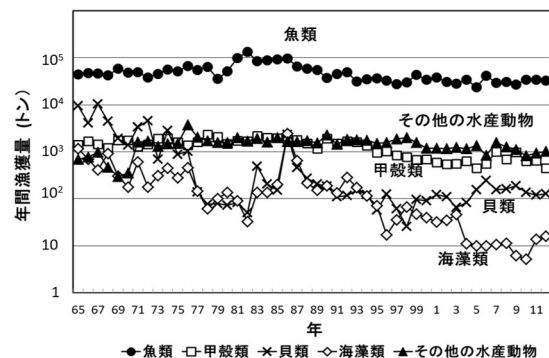


図7 1965年から2012年の大阪湾における類別年間漁獲量の推移

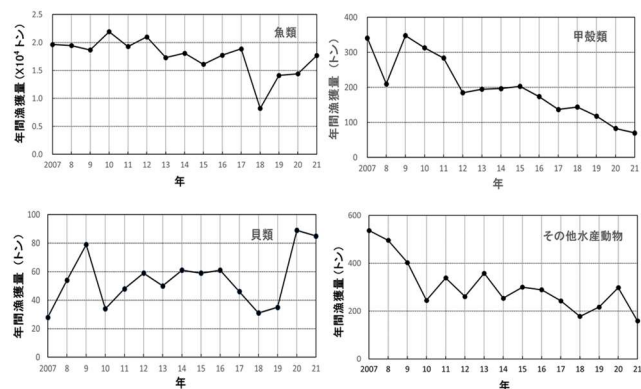


図8 大阪府における2007年以後の類別年間漁獲量の推移  
(農林水産省統計情報より)

\*トリガイについては漁獲量の年変動が大きいいため今後の推移をモニタリングする必要がある。



図9 マガキ養成実験海域

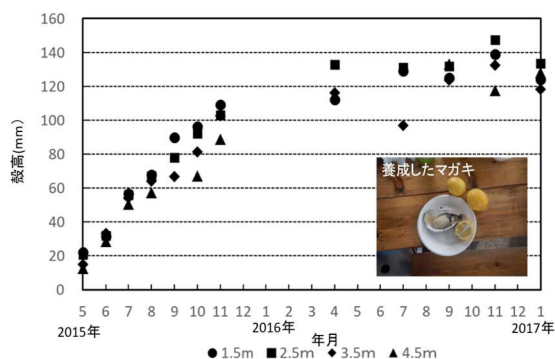


図10 阪南6区の閉鎖性海面におけるマガキの水深別成長

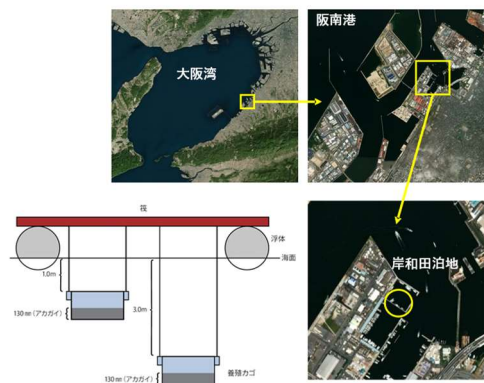


図11 アカガイの養成実験海域とカゴの設置方法

約 100mm に、翌年 4 月には殻高が 110mm を超えるまでに成長した。水深別には 1.5m-4.5m 層までのマガキには顕著な殻長の違いは見られなかったが、4.5m 層では生存率が低下した。なお、養成したマガキは肉質が厚く、俗に言う「プリプリ牡蠣」であった。また、阪南 6 区の閉鎖性海面ではマガキ養殖に関する区画漁業権が認められ、都市域内湾における漁業権の復活という事象は水産的に大きな出来事と考えられた。背後の陸上部の活用を含めて賑わいの浜辺づくりに向けた今後の展開が期待される。なお、この閉鎖性海面での持続可能で安定したマガキ生産のためには適正な養殖密度と底質や水環境保全のための方策が不可欠であることは言うまでもない。

#### 4. 2 アカガイ

アカガイ (*Scapharca broughtonii*) やトリガイ (*Fulvia mutica*) といった市場価値の高い二枚貝類がこの数年大阪湾で多く漁獲されるようになった。沖合で漁獲された小型個体の畜養および東部沿岸海域でのアカガイ養殖の可能性を検討するため、2021 年 9 月から 2023 年 3 月まで大阪府岸和田市阪南 1 区岸和田泊地においてアカガイの垂下式カゴ養成実験を実施した(図 11)。なお、稚貝(殻長 約 38mm)は山口県下松市から購入し、また底質材料として市民生活から大量に発生するガラス瓶を粉砕し、エッジレス化したもの(クリスタルストーンサンド CSS:粒径 1.2 - 2.5 mm, 密度 2.4 - 2.6 g/cm<sup>3</sup>)を有効利用した。

図 12 に水深 1.5m と 3.0m に垂下したアカガイの成長を示す。アカガイは 2023 年 3 月 7 日までの 525 日間の飼育により、平均殻長が水深 1 m 層で 64.3 mm、水深 3 m 層で 65.6 mm まで成長した。本実験でのアカガイの平均日間成長速度を求めてみたところ 0.05 mm/day であり、この値は佐賀県伊万里湾で 0.06 mm/day、三重県鳥羽市および山口県笠戸湾の 0.09 mm/day と同程度かやや低い値を示した<sup>6)</sup>。本実験ではカゴ内の生息密度がかなり高かったにもかかわらず既往知見程度の成長となったのは、富栄養により餌が多かったためかと考えられる。なお、生残率はいずれの飼育区においても実験開始後の 2 - 3 ヶ月の間に大きく低下したが、それ以降については飼育が終了するまでは緩やかな減少にとどまった。飼育終了時(3 月 7 日)の生残

率は 48 - 60%であった。このように大阪湾東部の岸に近い閉鎖性水域でアカガイの養成が可能であることが検証された(図 13)。

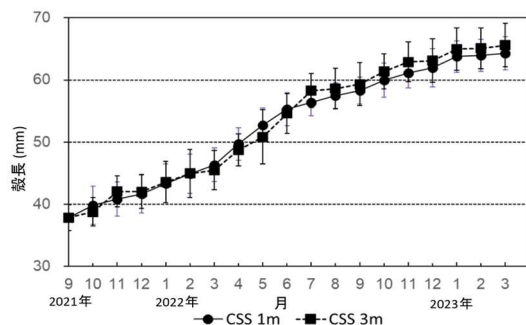


図12 アカガイの成長(平均殻長±SD)



図13 成長したアカガイ

## 5. 賑わいの浜辺づくり

2023 年 11 月に大阪府泉佐野漁協により泉佐野うみ祭りが開催された。この時、地元で漁獲されたアカガイとトリガイのブランド名が発表され、アカガイが泉州「げんこつ赤貝」、トリガイが泉州「極みトリ貝」と命名された(図 14)。また、大阪府西鳥取漁港では冬季に「波有手(ぼうで)の牡蠣小屋」が運営されており、新鮮で美味しい牡蠣を求めて大阪方面などから多数の来場者があると聞いている。2015 年に大阪湾東部沿岸海域においてカキ養殖が可能である



図14 大阪湾で捕獲されたアカガイ・トリガイのブランド化(泉佐野漁協)

ことを実証して以来、西鳥取をはじめ大阪府の泉南地方を中心に複数の漁協でマガキ養殖が行われるようになってきている。さらに、大阪府岸和田市、貝塚市、泉南市、阪南市などの各市が牡蠣祭りを開催するようになったと聞いた。地元産の海の幸にブランド名を付け、それを多くの人々が食し愉しむ。地産地消をモットーとし、水環境保全に留意した持続可能な漁業はこれからの都市型漁業ひいては港に市民を呼び戻すための港湾政策の進むべき道の一つではないかと思われる。

ここで、現状の大阪湾における二枚貝養殖に関する課題を列記してみた。水環境では、① 北東部沿岸海域における高水温期の貧酸素(青潮)の軽減・抑制 ② 貝毒や貝類のへい死をもたらす有害プランクトン(渦鞭毛藻類)の発生対策(現状のモニタリング体制を継続する。また、成長の良い大阪湾のマガキは貝毒が発生する前に出荷が可能、アカガイについては毒成分の代謝・排出技法の開発試験が必要か)。次に合意形成については ① 公的機関の許認可とサポート(海上保安庁や港湾局、水産部局)② 企業が将来二枚貝養殖に参画する場合には実務者である漁業者団体との協調、漁業者団体間に関しては海域利用の調整・協力が必要と考えられる。

この 10 年間の「おおさかの海」で特筆すべきこととして、

- ・水質は湾奥の港湾域と湾中央部とのギャップが拡大

・漁業については水がきれいになっても甲殻類・タコ類が減少し、代わって二枚貝（アカガイ・トリガイ）がこの数年増加傾向。二枚貝の海面養殖や魚類の陸上養殖の取り組みが始まった。

・協働の取り組みとしては、大阪湾を見守る市民団体の活動が活発になり、国・自治体・市民団体などが協働して大阪湾の水質や生き物一斉調査が継続していること。SDGs やカーボンニュートラルを意識してか、企業の海に関する取り組みがやや増え、海に係わる環境産業の支援・育成を目指し、企業の参画を促す団体が設立されたこと。

・海を楽しむ施設については、牡蠣小屋や海産マルシェ、ビーチレストランが増加し、それを楽しむ家族連れが食を通じて大阪湾を知る機会が少しずつ増えつつあることなどがあげられよう。

最後に、豊かで恵み多い魚庭（なにわ）の海を創るために、

- ・食を起点とした浜の賑わい（グルメ・牡蠣小屋）
- ・港湾海域の過栄養、貧酸素の改善
- ・湾中南部沖合域への栄養供給（透過堤などによる海水交換の促進）
- ・海洋生物の生活史の完結（干潟・浅場の復元）

などが必要であり、そのイメージを図 15 に示した。大阪湾の生態系ネットワークや栄養循環を健全化し、

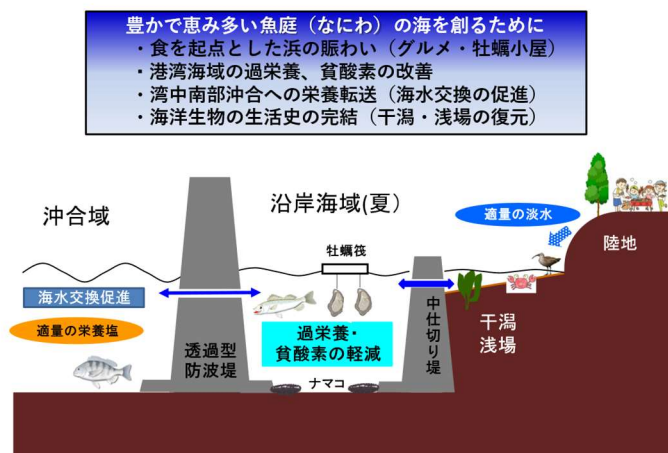


図15 豊かで恵み多い魚庭（なにわ）の海を創るためのイメージ

適度な栄養塩による多様で持続可能な安定した都市型漁業や海の再生を産官学民の協働で進めて欲しい。近未来においては人口減少や産業構造の転換などにより、沿岸陸域の土地利用がかなり変化すると予想される。重厚長大な工場や倉庫群など無機質な構造物が卓越する都市の海岸埋め立て地の幾つかが、地球温暖化軽減に貢献し、市民が容易に海を楽しむことができる姿に変貌することを期待したい。

## 謝辞

50年以上の長期にわたって大阪湾の水環境モニタリングを継続している大阪府環境農林水産総合研究所水産技術センターの浅海定線調査担当者諸氏に敬意を表する。また、二枚貝養成試験に際しては田中映治氏、音掬政啓氏、吉村直孝氏、平井研氏、大嶋真謙氏らのご尽力があった。ここに記して感謝する。

## 参考文献

- 1) 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: 瀬戸内海東部海域におけるノリ、ワカメ養殖のための栄養塩管理に向けて（水産庁委託「沿岸域の栄養塩管理技術の開発」）事業成果ダイジェスト」, p.p.28, 2015.
- 2) 矢持 進: 水域別の水産生物に及ぼす N:P 比の影響 大阪湾, 水域の窒素:リン比と水生物, 恒星社厚生閣, 水産学シリーズ 95, p.84-95, 1993.

- 3) 市川譽, 守安茂雄, 北村弘行: 川口附近の海況について, 中央気象台海洋報告, 第2巻, 第4号, p.364, 1952.
- 4) 環境省: <https://www.env.go.jp/press/110959.html>
- 5) 大阪府環境農林水産総合研究所: <https://www.knsk-osaka.jp/suisan/gijutsu/do/r5/r5do.html>
- 6) 大嶋真謙・山本剛一・中岡 明・横山隆司・久保忠義・吉田 司・矢持 進: 大阪湾沿岸域におけるエッジレスガラス瓶カレットを活用したアカガイのカゴ養殖実験, 土木学会論文集B3(海洋開発), 79, 3, 23-18008, 2023.