



## 二度の瀬戸内法の改正に思う

流域圏環境再生センター 所長  
山本 民次

### 1. はじめに

本冊子の読者は、瀬戸内海で魚介類がどんどん獲れなくなっていることは、ご存知のことと思う。ところが、スーパーに行くと、魚介類は冷蔵棚に十分量並んでいる。多くの人はそれらが国産であろうが輸入品であろうが、そんなことはお構いなしで、安いほうが良いという傾向である。最近のニュースで、中国産のアサリに国産のレッテルを貼った、いわゆる食品偽装は大きな衝撃であった。このことについて、時間をかけて調べ上げ、夜中に行われている不審な収穫行為を映像として捉えたマスコミの努力には感心した。長年のデフレで、価格が安いほうになびく消費者性向に対する警鐘のように思えた。ただ、このことは消費者だけが悪いとも言えない。水産物のかなりが輸入品である現状、食料安全保障の観点から、国の農林水産行政は、もっと危機感を持って当たるべきであり、国民に対する水産物の生産・流通の現状と食料安全保障面での注意喚起が必要であろう。

### 2. 貧栄養化

さて、瀬戸内海で魚介類が獲れなくなったことの最大の原因は「人為的貧栄養化」(Cultural Oligotrophication)である。あえてここでは言い切るが、温度上昇、酸性化などが漁獲量の減少にまったく寄与していないと言っているわけではない。ただ、何でもかんでも温暖化のせいにする方々から、筆者が納得できるだけの科学的エビデンスが示されたことは無い。一方、人為的貧栄養化ということで多くが説明できる。このことについて、筆者は2003年に論文を発表した。英語論文なので、国内ではほとんど読んでもらえなかったのは残念である。学会でも同様の内容について口頭発表をしたが、「瀬戸内海が貧栄養などということはありません！」という極めて厳しいお叱りともいえる反論を受けた。筆者の目には、2003年には瀬戸内海の貧栄養化はすでにかかなりの程度進行しており、対策をしないまま放置すれば、漁獲量はつるべ落としのごとく急減すると見えた。しかし、強く反論した研究者に限らず、水環境あるいは水産分野の行政担当者の多くは、当時、もっと流入負荷削減を進めるべきと考えていたようである。その後の漁獲量の推移がまさにつるべ落としであることは火をみるより明らかである。

先日、ある研究者から、「貧栄養の定義を教えてください」という問い合わせがあった。そもそも、その質問が的外れである。富栄養とか貧栄養とか、私はこれまで一度も、栄養塩やクロロフィルなど、濃度や量で表せる「ストック」のレベルについて言及したことはない。私は常に「貧栄養化」という言い方をしてきた。貧栄養化の「化」は傾向(トレンド)を示す言葉である。窒素・リンなどの濃度レベルを目標値とすることはあるとしても、窒素やリンなどの親生物元素は生態系内で形態を変えて循環し、時間変動するわけで、濃度を直接コントロールすることはできないからである。コントロールできるのは負荷量である。大学の講義で、私は毎年必ず、ストックとフローの話をしてきた。学生の何割かが、必ずストックとフローの概念を混同する。研究者にもこのことが理解できない人がいるということは極めて残念である。

### 3. 瀬戸内法の改正

さて、瀬戸内海環境保全特別措置法(以下、単に「瀬戸内法」)は、同臨時措置法が 1978 年に恒久化して以来すでに 45 年も経っている。臨時措置法から数えると 50 年経っている。この法律がようやく、2015 年に改正され、2021 年には二度目の改正となった。2015 年の改正の際、環境省は漁獲量減少の最大の原因が貧栄養化にあることを認識し、下水道処理水の管理運転を打ち出した。筆者が貧栄養化について述べた上記の論文を書いてすでに 12 年が経っていた。それまでの縦割り行政—水質は環境省、水産物のことは水産庁—から脱却し、水産資源を維持するために下水道放流水を緩和することである。水圏生態系において水質と生物が密接に関係しているということを環境省が認識した瞬間であった。

それまで、広い瀬戸内海をひとくくりにして流入負荷削減をしてきたが、湾・灘ごとにきめ細やかに管理しようということにもなった。各関係府県は、それぞれ特徴の異なる湾・灘規模で対策に当たるよう「湾灘協議会」を設置し、科学的知見に基づいて議論し、府県計画を立てるよう、環境省は指導している。湾・灘ごとに海岸地形、海底地形、負荷源の位置・量、生物相、水産物の種類、養殖形態、その他さまざま、特性が異なるので、当然のことである。

ところが、関係 13 府県の中で前向きに努力している府県は一部であり、多くの府県はほぼ何もしていないと言ってよい。おそらくこれに業を煮やした環境省は、2021 年の再改正に踏み切ったものと筆者には思える。「湾灘協議会」すら開催しようしない府県もある。これでは議論さえできない。環境省が望むのは、さまざまなステークホルダー(利害関係者)を含む湾灘協議会において、科学的知見に基づいて十分に議論し、ロードマップを含む具体的な計画を立てることである。ただ、府県計画を作成して具体的な施策に取り組む期限が示されていないことが欠陥である。これでは、何も動かない府県があっても、なんともならない。

### 4. 科学的知見

環境省が言う「科学的知見」というのは、地方の行政担当者にとっては極めて難題である。これまで流入負荷削減することに全力を注いできたのに、急に 180 度方向転換して、水産資源の維持のために増やすべき流入負荷量を科学的に示せということである。これは、単にデータを並べて折れ線グラフを描くということではない。生態系は非線形でダイナミックな複雑系である。つまり、そのような解析は、生態系シミュレーションでしかない。あるいは一步譲って、流入負荷量、湾内外の交換量、代表的な生物種を入れたバルク計算である。いずれにしても、水産資源を持続的に維持するための適切な負荷量を示すためには、アウトプットを水産資源とし、流入負荷量を変化させると生態系がどのように応答するかという、感度解析が不可欠である。魚介類などの水産資源、いわゆる生態系の高次生物の動態が計算できない生態系シミュレーションでは全く役に立たない。

行政担当者に生態系シミュレーションをやれ、と言っているのではない。だが、やれないからやらない、というのも許されない。技術を持った環境コンサルに外注すれば良い。当然、費用はかかる。県単独で予算措置ができないのならば、国への補助金申請をすべきである。いつまでも抱え込まず、何しろすぐにも行動すべきである。

さて、二度目の改正では、「府県計画」とは別に「栄養塩管理計画」を立てるように環境省は指導している。栄養塩を管理すると言っても、上述の通り、海の中で循環する窒素・リンを管理することはできない。管理できるのは負荷量であり、どれくらい負荷量を上げれば「豊かな海」にすることができるかということである。海を汚濁させずに水産資源の持続性を確保する適切なレベルの負荷量にすることである。環境省もこれらのことが難題であることは良く理解しているようで、2022 年 3 月には「栄養塩管理計画策定に関するガイ

ドライン」を各府県に配布し、その中で極めて丁寧な説明をしている。各府県の担当者は、このガイドラインに沿って粛々に行えばよいのであるが、要は科学的知見が無いことが最大の問題である。この巻頭言を執筆している今、栄養塩管理計画が示されたのは、筆者が知る限り、兵庫県のみのものである。他の府県も至急、科学的知見を得たうえで、湾灘協議会で議論し、栄養塩管理計画を立てて戴きたい。

## 5. 底質の問題

「科学的知見」という点でもう一つのハードルは底質の問題である。瀬戸内海の湾や灘のように水深の浅い海域の水質は、陸域からの負荷量に加え、底泥からの溶出の影響も無視できない。底泥からの窒素、リンの溶出に関する報告はいくつかあるが、実験的に溶出量を求めることはかなり難しいことであることは、実際にやってみた者なら分かる。とくに、リンは底泥の酸化還元電位に大きく左右され、直上水と接する底泥表面では酸化鉄につかまっているが、環境が還元的になると一気に脱着する。したがって、泥と直上水を不攪乱採泥器で丁寧に採取したとしても、例えば 24 時間などの長い時間にわたって実験をしている間に、どんどん還元的になってしまい、何を測っているのかわからない。また、現場の底層では水は動いているが、ほとんどの実験ではこれを無視している。流動条件を加味するかしないかで、まったく結果は違うはずである。また、窒素の場合、実験期間中に硝化や脱窒が起こることもあり、見かけ上、水から泥への下向きフラックスとなる場合もある。

泥中の酸化還元反応は極めて複雑なプロセスである。酸素、鉄、マンガン、イオウ、リンなどが、酸化還元電位や pH の違いによって、さまざまに結合したり、形態を変化させたりする。これらの化学プロセスについても動的な計算をするべきである。現在のところ、実験的に得られた値を入れて、物質循環を計算するケースが多いが、筆者からすると、そのような計算はまったく受け入れられない。なぜなら、そのような計算の場合、泥は水の中の現象を計算するための単なる境界領域として扱っているわけで、泥の中で起こっている動的なプロセスを無視しているからである。水と泥は一体である。

底層の貧酸素水塊形成は汚濁していた 40～50 年前とほとんど変わらず、いまだに深刻である。水柱内で生産された有機物が海底に沈降し、それらがバクテリアの好気分解によって分解されることで底層の酸素が枯渇するのが貧酸素水塊の形成機構だと考えている研究者がいまだに多い。貧栄養化してきた現状では、水中内の有機物生産は大きく低下している。その一方で、底質には難分解性有機物が堆積しており、酸素供給が少ないことで還元的になり、海水中にふんだんに存在する硫酸イオンを使う硫酸還元によって硫化水素が発生する。硫化水素は還元物質なので、酸素を容易に消費する。これが、貧栄養化時代の貧酸素水塊形成の主要な原因となっている。このことを理解し、対策につなげるにも、底質中の酸化還元反応を無視した計算はあり得ない。

## 6. おわりに

環境省のこれまでの旗振りにも拘わらず、動かない地方行政に対し、漁業者は業を煮やしている。このままでは、漁業者は真綿で首を絞められるごとく、じわりじわりと廃業に追い込まれるであろう。最初の話に戻るが、水産物の国内生産量の回復は、食料安全保障の観点で極めて重要である。エネルギー自給率が低いことはともかくとしても、四方を海に囲まれた我が国の水産物自給率が低いことについて、漁業者だけでなく、一般の方々も不安を感じる人は多いに違いない。折しも、福島原子力発電所からの処理水の排出に対し、近隣諸国からは科学的データを無視した水産物の不買宣言が出されている。無理に買ってもらわなくても良い。国内での販売拡大を進めるべきである。安売りではなく、価値に見合った価格での販売でよい。

## 参考文献

- ① 山本裕規・山本民次・高田忠宏・三戸勇吾・高橋俊之:浮遊系-底生系カップリング・モデルによる広島湾北部海域の貧酸素水塊形成に関する動態解析. 水環境学会誌, 34, 19-28 (2011.2).  
<https://doi.org/10.2965/jswe.34.19>
- ② Yamamoto, H., T. Yamamoto, Y. Mito and S. Asaoka: Numerical evaluation of the use of granulated coal ash to reduce an oxygen-deficient water mass. Mar. Poll. Bull., 107, 188-205 (20160615).
- ③ Yamamoto, T.: The Seto Inland Sea-Eutrophic or oligotrophic? Mar. Poll. Bull., 47, 37-42 (2003). DOI: 10.1016/S0025-326X(02)00416-2
- ④ Yamamoto, T., H. Ikeda, T. Hara and H. Takeoka: Applying heat and mass balance theory to the measurement of benthic material flux in a flow-through system. Hydrobiologia, 435, 135-142 (2000).
- ⑤ Yamamoto, T., K. Orimoto, S. Asaoka, H. Yamamoto and S. Onodera: A conflict between the legacy of eutrophication and cultural oligotrophication in Hiroshima Bay. Oceans, 2021, 2, 546-566. DOI: <https://doi.org/10.3390/oceans2030031>
- ⑥ Yamamoto, T., S. Nakahara, K. Hiraoka and K. Fukuoka: Efficacy of the application of organic fertilizer to oyster growth. Mar. Poll. Bull., 187 (2023) 114512.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbu.2022.114512>