

総合報告

沿岸海域の物質循環研究におけるモニタリング・データの利用

山本民次*

要旨

国から地方への税源移譲により、これまで継続されてきた沿岸海域のモニタリングの見直しが迫られている。本稿では、これまでの沿岸海域のモニタリングについて概観し、沿岸海域の物質循環研究におけるモニタリング・データの有効利用の例を示した上で、今後のモニタリング事業のあり方について私論を述べた。地方財政が厳しい中で、従来のモニタリング事業の継続は困難であり、合目的性および費用対効果の面も含めて、測定項目や測定の時空間頻度などの見直しを行うべきである。

キーワード：モニタリング、沿岸、物質循環

1. はじめに

これまで沿岸海域のモニタリングは、環境省、水産庁、海上保安庁、気象庁、などで行われてきており、それぞれに特色がある。環境省は水質・底質・藻場・干潟などを中心とし、最近では生物多様性国家戦略とも関係し、生物調査に力が入ってきているように思われる。水産庁は「浅海定線調査」として、漁海況予報事業のための海域環境把握に重点がある。海上保安庁は、水温・塩分・潮汐・潮流など、船の運航に関係した項目を監視している。また、気象庁は、アメダスに代表されるように、降雨・天候に始まり、海域では波浪や津波の観測に重きがある。

これらの我が国沿岸域のモニタリングは、スタイル（やり方）が統一され、非常にシステマティックであり、世界的に見て誇れるものであった。海洋環境関連の国際学会などで、モニタリング・データを使った解析結果を発表すると、そのデータの充実ぶりに外国研究者の多くは驚く。なぜなら、プロジェクト研究が組まれないと行われない諸外国の観測のやり方とは大きく異なるからである。我が国の沿岸海域のモニタリングは、中央政府が音頭を取り、それなりに税金を使ってきたからこそできたものである。このように充実した日本のモニタリング・システムについて、今、再検討が迫られている。

税源移譲によって、これまで国の直轄あるいは補助事

業として行ってきたモニタリングを今まで通り続けるかどうかの判断は地方にゆだねられることになった。まさに「継続は力」のモニタリング事業は、各自治体の厳しい財政状況の中、費用対効果という尺度によって縮小を余儀なくされている。したがって、これまで行ってきたモニタリングの無条件の継続を声高に叫んでも無理というものである。そこで本稿では、まず沿岸海域の（1）モニタリング・データの限界を知ることから始め、（2）モニタリング・データの活用例として、物質循環研究の例を示し、最後に、（3）今後のモニタリングのあり方について、測定項目・測定頻度・費用対効果などの観点も含めて、私論を述べる。

2. モニタリング・データの限界

環境省のモニタリング項目は、カドミウム・シアン・クロム・ヒ素・水銀・PCBなどの「健康項目」と、pH・BOD（生物化学的酸素要求量）・COD（化学的酸素要求量）・SS（懸濁物質）・DO（溶存酸素）・TN（全窒素）・TP（全リン）などの「生活環境項目」に区分されている（Fig. 1）。前者はいわゆる環境「汚染」として社会問題となってきたものであり、法的に厳しい基準値が設けられているので、最近では新たに大きな問題は発生しなくなった。これらの健康項目については、国民の不安もあるので、モニタリングをやめるわけにはいかないが、年数回のモニタリングや今のままの測定点の数で良いかどうかの議論はあろう。一方、後者については、いわば「汚濁」という語が当てはまるように、富栄養化に基づく赤潮や濁りであり、すぐに国民の健康を害するものではない。これらの問題も流入負荷の削減により、かなり解消

2008年1月29日受領

2008年2月28日受理

* 広島大学大学院生物圏科学研究科
〒739-8528 東広島市鏡山1-4-4

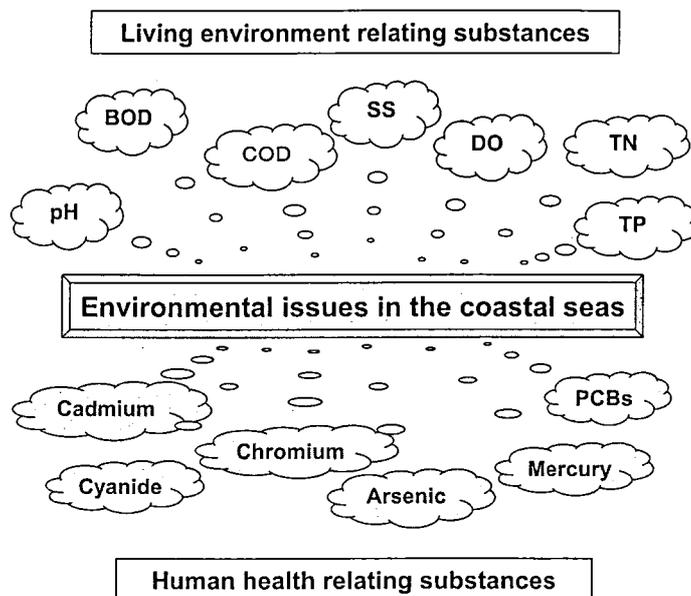


Fig. 1 Monitoring parameters to conserve the coastal seas are categorized into 2 groups, living environment relating substances which promote eutrophication, and human health relating substances which cause water pollution. Parameters shown in the figure are examples. For the regulation levels of these materials, see the Environmental Standard Quality of the Basic Environment Law in the homepage of Ministry of the Environment, Japan, <http://www.env.go.jp/>.

されたが、そのメカニズムは複雑であり、十分に理解が進んでいるわけではない。

さて、この節で「モニタリング・データの限界」として述べたいのは、後者の「生活環境項目」の複雑性についてである。その大きな理由は、窒素やリンなどは、食物連鎖を通して生態系というシステムの中で形態変換しながら循環するからである。海域に負荷された溶存態の窒素およびリンは植物プランクトンに取り込まれて植物プランクトン細胞、つまり粒状態窒素および粒状態リンになる。これらは動物プランクトンに食べられ、さらには魚類に食べられる。もちろん、生物の活動としては、摂餌行為だけでなく、仔を産むという再生産や、糞や尿の排泄もともなう。これらは当たり前の生物活動であるが、これらのプロセスは、実はモニタリング・データをいくら集計して並べてもほとんど何も理解できないということに、多くの人は気づいていないのである。

例を挙げて説明しよう。Fig. 2は栄養塩(N)、植物プランクトン(P)、動物プランクトン(Z)、魚(F)の4つの食段階から成る非常に単純な浮遊生態系の食物連鎖を模式化したものである。また、Lは外部からの栄養塩負荷、 ϵ は枯死や死亡などの自然損失、 τ_F は漁獲による人為的損失、であり、 β は排泄による栄養塩の回帰である。例えば、モニタリングによって、栄養塩濃度と植物プランクトン濃度が得られている場合を考えてみよう。データがFig. 3aのように、時間とともに栄養塩濃度が低

下し、植物プランクトン濃度が上昇したという場合、我々は通常、「植物プランクトンが増えたので(原因)、栄養塩濃度が低下した(結果)」と解釈する。では、Fig. 3bのように、栄養塩、植物プランクトンともに減少した場合はどうであろう。たぶん、「栄養塩濃度が低下したので(原因)、植物プランクトンが増えられなかった(結果)」と解釈するであろう。これらは、食段階構造からみて、前者では「トップダウン」的な解釈となっており、後者では「ボトムアップ」的な解釈をしている。これらが本当かどうかについての100%の確証はない。なぜなら、Fig. 2に示したように、実際にはNに対する負荷Lがあるし、Pに対してはZという摂食プロセスがあるからであり、それらの影響が小さいことを示す裏付けが無い限り断定できないからである。このように、自然海域のモニタリングから得られる測定項目の増減パターンはさまざまであり、それらの結果に対して、我々は勝手な

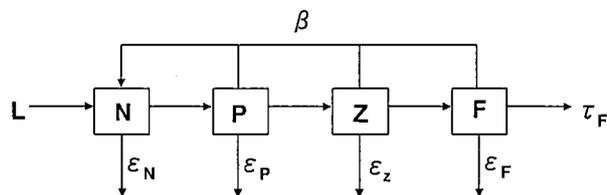


Fig. 2 Simplified food chain in the seas. N: nutrients, P: phytoplankton, Z: zooplankton, F: fish. L, ϵ , τ , β are loads, losses, fish catch, and excretion.

解釈をする。

それならば、すべての食段階についてモニタリングし、それらのデータを並べれば解釈が可能となるはずだ、と考える人もいるであろう。N, P, Z, Fすべてについてモニタリングし、Fig. 3cの結果を得たとしよう。その結果、「栄養塩が減って植物プランクトンも増えられず……だが、動物プランクトンが増えたことが植物プランクトン減少の一因でもあり、魚が増えたのは餌となる動物プランクトンが増えたからかもしれない」などと、訳の分からない解釈をするはめに陥る。つまり、モニタリング項目を食段階全体に拡げると、今度は複雑すぎて人間の頭では解釈不能になってしまうのである。実際の生態系は各食段階の中にさらにさまざまな生物がいるので、もっとはるかに複雑である。

では何故、モニタリングだけでは生態系内の食物連鎖を通じた物質循環が理解できないのかと言うと、通常、モニタリングで得られるデータは「ストック」的項目であり、「フロー」が分からないからである。ストックというのはFig. 2で示されているN, P, Z, Fの四角部分であり、一方、フローというのは矢印の部分である。ストックがいわゆる現存量（バイオマス）で、単位は mg l^{-1} などで表されるのに対して、フローは物質の流れであり、単位は $\text{mg l}^{-1} \text{hr}^{-1}$ など、時間の概念を持つ。光合成速度、摂餌速度、死亡率、排泄率など、フローについても測定することは不可能ではないが、通常のモニタリングで行うには手間がかかりすぎるし、当然、コストもかかる。この点からも、モニタリングはストック的項目に限るべきであるが、上で述べたように、モニタリング・データの羅列だけから言えることには必然的に限界があることを十分に理解すべきである。

3. 沿岸海域の物質循環研究における モニタリング・データの利用例

ここでは、広島湾の水質モニタリング・データを利用した窒素およびリンの収支計算に関する解析結果を例に挙げ、その有効性について示す。内容はすでにYamamoto et al.⁽¹⁾として公表されているものであり、解析手法自体はLOICZ (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone) ワーキング・グループから、LOICZ Biogeochemical Modeling Guidelines (Gordon et al.)⁽²⁾としてホームページ上で公開されているボックスモデルである。ボックスモデルというのは対象水域をボックス(入れ物)とみなし、ボックス内外の物質のやりとりから算出される余剰分から、ボックス内部で起こっているプロセスを見積もるものである。

データ・ソースの詳細は原著 (Yamamoto et al.)⁽¹⁾に譲

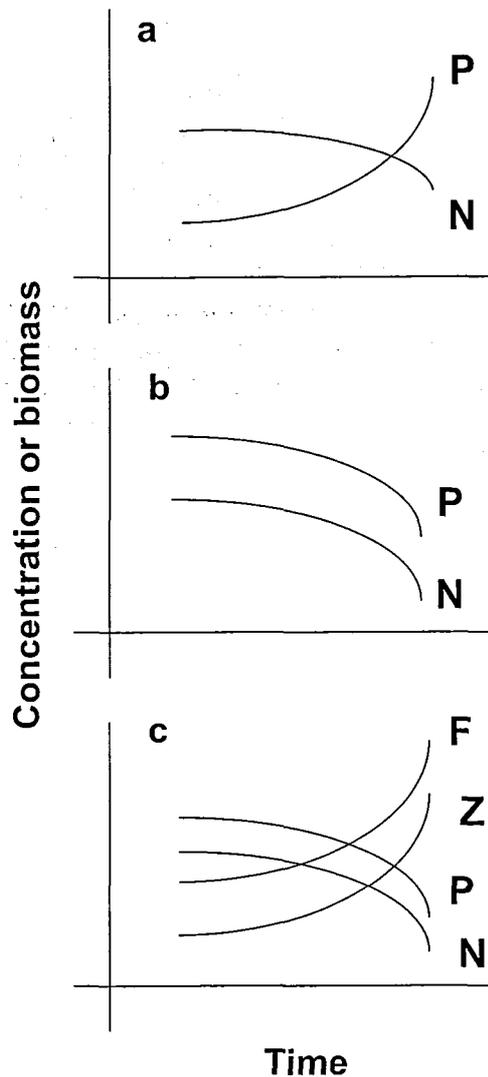


Fig. 3 Examples of time changes in concentrations or biomass of each trophic level. See Fig. 2 the abbreviations. (a) two trophic levels, (b) two trophic levels but different pattern, and (c) four trophic levels.

るが、要点をまとめると次の通りである。広島湾北部海域の海洋観測は、主に第六管区海上保安本部、広島県水産海洋技術センター（旧水産試験場）によって行われており、ここでは前者から水温と塩分、後者から溶存態無機窒素 (DIN) と溶存態無機リン (DIP) のデータを使わせていただいた。ここで「北部海域」とは宮島と江田島に挟まれた奈佐美瀬戸より奥部の海域を指す。観測点はFig. 4に示したとおり、北部海域内に5点、南部に1点、呉湾内に1点ある。また、一級河川（太田川）の河川流量は流量年表から、それ以外の河川の流量は太田川との流域面積比から求めた。河川水中の栄養塩濃度は広島県環境部の報告（公共用水域の水質調査）のデータを

用い、流量と掛け合わせて負荷量を見積もった。降雨による負荷量は気象庁広島地方気象台の降雨量データに降水中の栄養塩濃度の値を掛けて見積もった。底泥からの栄養塩の溶出量は筆者が湾内で測定した実測値を用いた。解析期間はこれら一連のデータがそろった1987年5月～1997年11月の約10年間とした。降雨量と河川水量は高頻度のデータが得られているが、海域の観測は月1回であるので、解析は後者に合わせた。

解析方法の詳細も原著 (Yamamoto et al.)⁽¹⁾に譲るが、手順の要点をまとめると次の通りである。水柱が成層している期間を2層で、混合している期間を1層で表すのが普通であるが、ここでは年間を通して2層モデルとし、混合期は上下層の拡散係数を大きくすることで表現した。LOICZの方法に従い、まず、(1) 河川水量、降雨量、蒸発量 (気温および大気中の水蒸気圧などから計算) などから広島湾北部海域の水量のバランスを計算する。これにより、湾口部での移流流速が求まる。次に、(2) 保存性物質である塩分の収支から、湾内-湾外間および湾内上下層間の拡散係数が求まる。同時に、湾内水の滞留時間も求まる。さらに、(3) (1) および (2) で求めた移流流速および拡散係数を用いて非保存性物質である親生物元素 (窒素およびリン) の収支計算を行い、余剰分から「純生態系代謝量」(Net Ecosystem Metabolism; NEM) および「純脱窒量」(Net Denitrification; ND) を求める。

ここで、「純生態系代謝量」とは、生態系全体での(生産量) - (呼吸・分解量) のことである。植物による(光合成量) - (呼吸量) を純生産量と呼ぶのと同様、いわば生態系を1つの生物とみなし、光合成を行う藻類(プランクトン藻も付着藻も含む) による生産の総量から、バクテリアによる有機物分解およびその他の生物による呼吸などを差し引いた正味の生産量である。純生態系代謝量は、通常、炭素量で表すが、炭素にはガス態(二酸化炭素)があるので、大気中とのやりとりを定量的に求めるのは困難である。そこで、ガス態の無いリンでまず物質収支を計算し、化学量論的に炭素に換算する。ここで、「化学量論的」とは、具体的にはレッドフィールド比のことであり、C:P=106:1である。

また、「純脱窒量」とは、正味の脱窒量 = (脱窒量) - (窒素固定量) のことである。海域内の還元的環境下において硝酸塩の供給があれば脱窒が行われ、通常、底泥表面の酸化層直下では普遍的に起こっていると考えて良い。一方、窒素固定についてはDIN濃度が低い外洋表層では良く見られるが、内湾域の窒素固定に関する研究は少ない。ただ、単細胞の非常に小さなサイズのシアノバクテリア(藍藻細菌)が海水中に普遍的に見られることから、内湾域においても窒素固定は起こっていると考

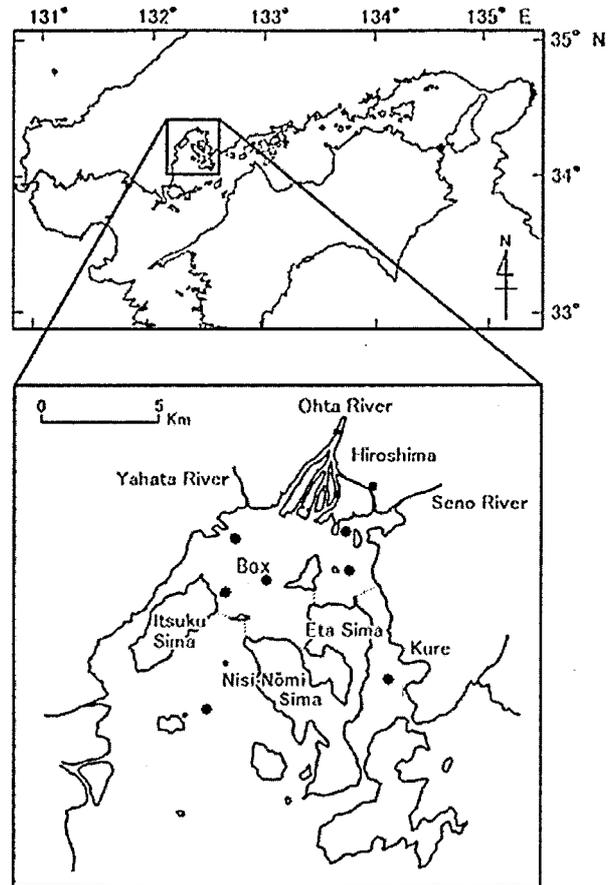


Fig. 4 Map showing the location of Hiroshima Bay, Japan. Enlarged map shows the location of sampling stations with major rivers (Yamamoto et al.⁽¹⁾).

えられる。脱窒量も窒素固定量も正確な実測こそ難しいが、LOICZの計算方法としては、窒素の収支から求まる値から、リンの収支からレッドフィールド比N:P=16:1を用いて得られる「見かけの窒素代謝量」を差し引くことで、純脱窒量を求めることができる。なぜなら、窒素には炭素と同様にガス態(N₂)が存在し、脱窒・窒素固定および大気との交換があるので、モニタリングで得られた実測値による収支結果は脱窒と窒素固定を含んだものであるからである。以上、純生態系代謝量と純脱窒量の計算方法については容易に理解できないかもしれないので、詳細はLOICZのホームページなどの記述あるいはYamamoto et al.⁽¹⁾をじっくりと読んでいただく必要があるが、実にエレガントな方法であることは間違いない。

さて、湾内で観測された塩分の値は、河川水、降水、蒸発、上下混合、湾口部での交換などの結果であるので、ある月の塩分を初期値として、拡散係数を現実的な範囲で変えながら、翌月の実測値に最も近くなるように決めることで、水平・鉛直拡散係数が求まる。これを年12回分、約10年分行った結果がFig. 5である。梅雨期の海域

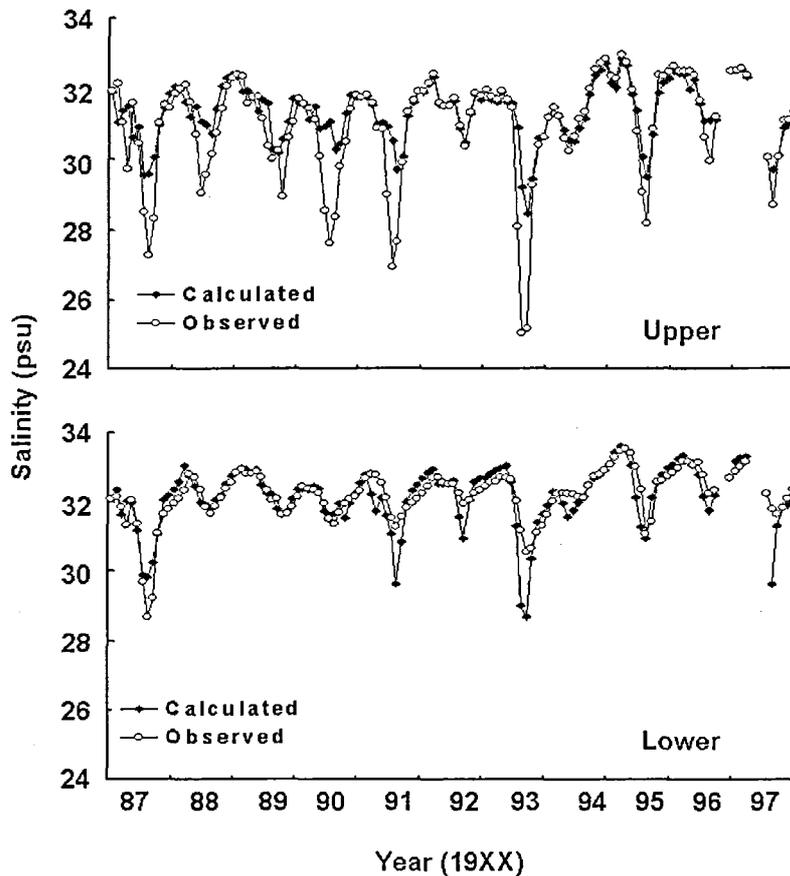


Fig. 5 Comparison between calculated salinity and observed salinity in the upper and lower boxes from 1987 to 1997 (Yamamoto et al.⁽¹⁾).

上層における急激な塩分の低下は再現しきれなかったが、その他の季節については概ね一致した。急激な塩分低下を再現できなかった原因は、北部海域における海水の滞留時間が短いためである。裏返せば、このような海水交換の早い時期は月1回の観測間隔では粗いので、もう少し短い間隔の観測が必要であることを示唆している。実際に、筆者らが広島湾北部海域について独自にある時期に1週間間隔の観測を行って同様の計算を行ったところ、より良好な計算結果が得られている(Yamamoto et al.)⁽³⁾。

上述の計算で得られた最適な拡散係数とモニタリングで得られたリンの実測値を用いて計算した純生態系代謝量の10年間の変化がFig. 6である。上層の値はほぼ常に正であり、下層では負になることが多い。このことは、上層で生産>分解であり、下層で生産<分解であることを示している。また、上層で見られる大きな正の値は春から夏に相当し、この時期に一次生産が高いことを示している。一方、下層で大きな負の値が見られるのは、上層で大きな正の値を取っている時あるいはその少しあとであり、1ヶ月間隔というデータの時間的分解能しかないが、生産と分解のフェーズはほぼ同時またはせいぜい

1ヶ月ずれる程度であることが分かる。計算期間全体の上層の平均値は $710\text{mg C m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ 、下層の平均値は $-200\text{mg C m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ 、水柱全体では $520\text{mg C m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ であった。大ざっぱに言って、呼吸・分解の量は一次生産量の10%程度なので、ここで得られた純生態系代謝量の値の10%増しの約 $600\text{mg C m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ が一次生産量と考えることができる。これは、過去に報告されている一次生産の実測値(例えば、多田⁽⁴⁾)と比べても同等である。

毎月計算された純生態系代謝量の変動について移動平均をかけてみると、長期にわたるトレンドが分かる(Fig. 6)。大ざっぱに見て、1980年代は正の値をとっており、系全体が生産的であったことを示している。一方、1990年代になると値はほぼゼロであり、生産と分解が釣り合って、決して生産的とは言えない系にシフトしたことが伺える。広島湾の特産品であるカキの養殖量は、ちょうどこのころを境に低下の一途を辿っており、その一因として餌不足が挙げられる。赤潮などのイベント的な現象は明らかに減っているが、例えば毎月測定されているクロロフィル量などを見てもあまり良く分からない。このことを理由に、カキ養殖の低迷は餌不足が原因では

ないと主張する向きもあるが、先にも述べたとおり、餌としての植物プランクトンの量は「ストック」であり、植物プランクトンからカキへ行く「フロー」が細ってしまったことは、モニタリングで得られるストック的データからは分からない。今回のように、モニタリング・データを用いて「フロー」の解析をすることで初めて、系が生産的であるかどうかということが分かるのである。

物質循環研究の醍醐味はここにあるのであり、現場観測データを並べただけでは系内のダイナミクスは決して分からない。

次に、純脱窒量の計算結果をFig. 7に示す。上層は脱窒<窒素固定>であり、下層は脱窒>窒素固定である。これは先に述べたように、表層で窒素固定がなされ、底泥表面直下で脱窒が起こるといった従来の認識と一致してい

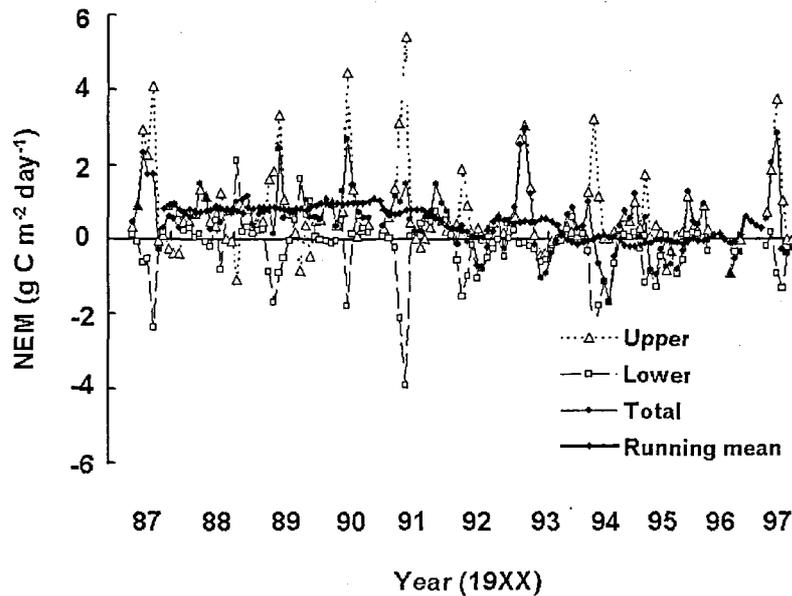


Fig. 6 Yearly variations of estimated net ecosystem metabolism (NEM) in northern Hiroshima Bay during 1987-1997. The thick line shows 6-month running mean (Yamamoto et al.⁽¹⁾).

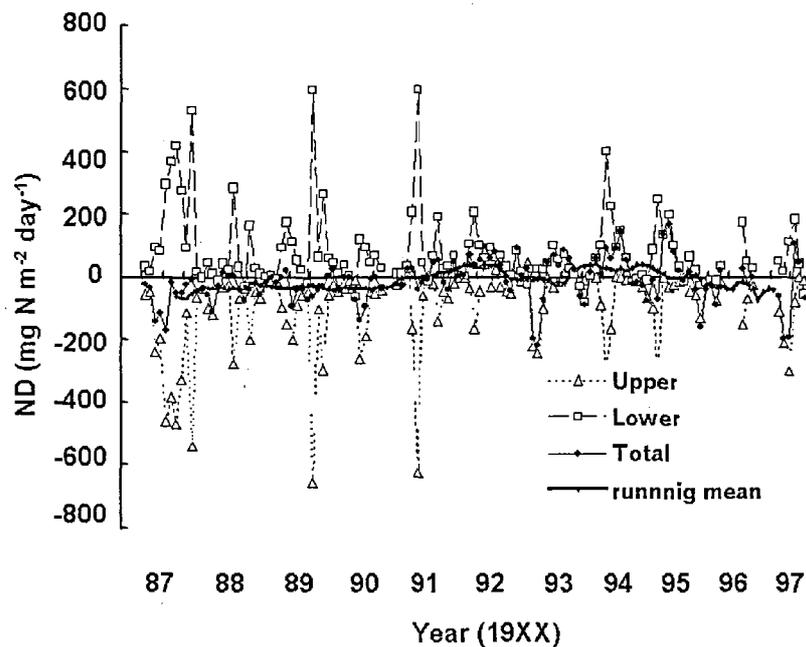


Fig. 7 Yearly variations in estimated net denitrification (ND) in northern Hiroshima Bay during 1987-1997. The thick line shows 6-month running mean (Yamamoto et al.⁽¹⁾).

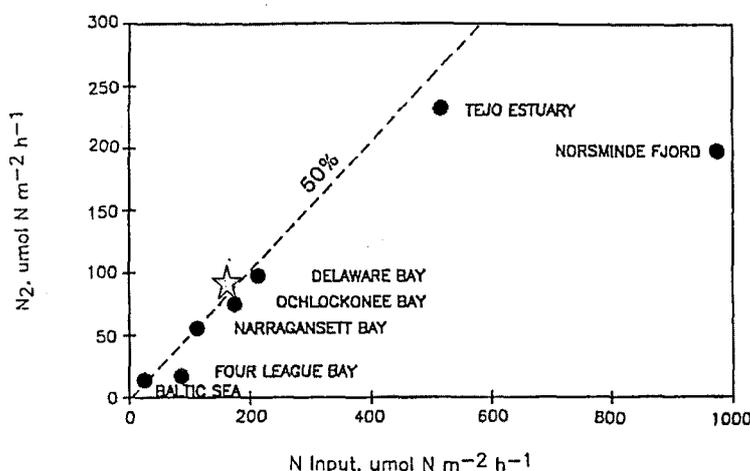


Fig. 8 Denitrification rates vs external N loading rates in estuaries in different sites (Seitzinger⁽⁸⁾). The data plot for the northern Hiroshima Bay (asterisk) was estimated from the nitrogen load (Yamamoto et al.⁽⁷⁾) and the denitrification rate (Fig. 7; Yamamoto et al.⁽¹⁾).

る。ただ、脱窒や窒素固定を実測した例がほとんど無く、我々が1994-1995年に行った脱窒に関する年間の実測値として $0-23.2 \text{ mg N m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ という値が得られているほか(Kim et al.)⁽⁵⁾、窒素固定については1993-1994年においてはほぼゼロであるという報告があるのみである(Lee et al.)⁽⁶⁾。今回の同期間の計算値は $29.9 \text{ mg N m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ なので、それほど間違った値ではないように思われる。

また、長期のトレンドから分かることは、1980年代は窒素固定が勝っていたのに対して、1990年代に入って脱窒が勝るようになったということである。この傾向は、純生態系代謝量が正からほぼゼロに向けて減少したことと首尾一貫している。なぜなら、大気から水中に窒素を取り込む窒素固定はいわば生産であり、窒素を大気に放出する脱窒は浄化に相当するからである。つまり、広島湾では流入負荷の削減により、リンの負荷量は高度経済成長のピーク時に比べて $1/2-1/3$ 程度に低下しており(山本ほか)⁽⁷⁾、リンの負荷がある程度あった1980年代はそれに応じて窒素固定が作用したリッチな系であったが、リンの流入負荷が少なくなるにつれ、脱窒によって窒素も系外に運び出されたと推察される。

これまで、閉鎖性の高いいくつかのエスチュアリーについて、流入窒素量の約50%が脱窒されると報告されている(Seitzinger, 1990⁽⁸⁾; Fig. 8)。広島湾に対する流入負荷量は山本ほか⁽⁷⁾によれば $182 \text{ } \mu\text{mol N m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ であり、これと今回得られた上記の純脱窒量($29.9 \text{ mg N m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)を同図にプロットすると、広島湾北部海域もそれらの例にもれず、流入窒素量の50%が脱窒されていることになる。この理由は良く分からないが、非常に面白い現象である。

4. 今後のモニタリングのあり方—私論

税源移譲により、各自治体では、モニタリング事業が他のプロジェクト研究と同じ土俵の上で議論されるようになってきている。税金を使う以上、「将来何があるか分からないからデータを蓄積する」という理屈はもはや通らなくなってきているのである。したがって、今まで通りのモニタリングの継続を要望しても、説得力の欠如した主張は通らないことは目に見えている。モニタリングも本来、「合目的的」であるべきであり、出口論から考え直す良い機会であると筆者は思っている。目的は複数あって良いが、それらのうちの1つは、先に挙げた「健康項目」であり、これら有害・有毒物質の監視は怠るわけには行かない。これらについては、海域に出てからでは希釈されてしまうので、海域のモニタリングはやめて排出源での連続モニタリングに絞って良い。項目ごとの連続モニタリングが困難であれば、例えば金魚などの生物を使ったモニタリングも有効である。

もう1つは、前節のモニタリング・データの利用例で示したように、沿岸海域の富栄養化問題を考えるには「物質循環を定量的に理解する」ということが最も本質的に重要なことであると筆者は考えている。そのためのモニタリングのあり方において、測定の時空間頻度と測定項目の選定について、十分に検討して計画を練り直す必要がある。まず、モニタリングの時空間頻度については、対象とする海域の海水交換率を算出した上で設定されるべきである。先の例で示したように、広島湾北部海域においては、海水の滞留時間からすると、淡水流入量が多く海水交換の大きい梅雨時には1ヶ月に1回の頻度では少ない。一方、瀬戸内海の中でも周防灘のように、

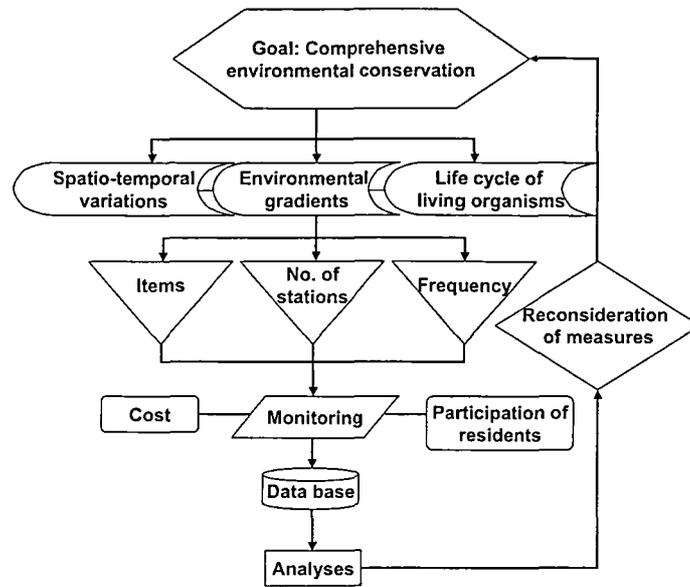


Fig. 9 Scheme of adaptive management for conservation of coastal seas, which starts from the planning of monitorings, data analyses by ecosystem model, and reconsideration of measures.

海域の体積に対して河川水流入量が小さく海水交換の小さい海域では1ヶ月に1回以下の観測で十分かもしれない。測定の配置については、例えば広島湾北部のように空間的な環境傾斜が大きいところでは密に測点を置く必要があるが、広島湾南部海域や周防灘などについてはかなり粗でもよいであろう。

ただし、上記のやり方では赤潮や貧酸素水塊の発生・消滅をリアルに捉えることはできない。これらについては別途、時空間的な連続測定が必要である。底層で形成される貧酸素水塊については溶存酸素を連続的に測定できる装置を設置することになるが、表面現象として捉えられる赤潮については、衛星を有効に利用するのが良い。貧酸素については有機物分解が進む夏季から晩夏に発生することは自明であるので、期間限定のモニタリングが可能である。いずれにせよ、これらのイベント的現象の把握を上記で述べた物質循環の把握のためのモニタリングと同じ枠の中で行うことに期待すべきではなく、別途、費用対便益の点から検討する余地は十分にある。

次に測定項目については、次のように考える。繰り返しになるが、モニタリングで得られる情報のほとんどは「ストック」的項目であり、物質循環研究の上ではこれらを用いて解析することで「フロー」を理解することが本質である。また、測定すべきは炭素・窒素・リンなどの親生物元素である。これらの元素は生物の活動を介して、粒状物や溶存物になり、有機物にも無機物にもなるので、できるだけ各形態別に測定しておきたい。また、海洋生態系では珪藻類を基点とした物質循環のフローが大きいので、ケイ素についても測定しておくのが良い。

一方、納税者である一般住民からの要望は「分かりやすい指標」であり、例えば従来の、良く分からない指標は思い切って切り捨てて良い。例えばCOD・BODなどはすでに30年も測定して、毎年、環境基準達成率が新聞で公表されるが、いまだに住民は十分に理解していないように思える。上述の炭素・窒素・リン・ケイ素なども、生態系の物質循環を科学的に理解するためには重要であっても、一般住民にはわかりにくいかもしれない。そういう意味では、生態系の総合指標として「生物指標」あるいは「生物多様性」の観点も必要であろう。予算の削減は同時に、官製のモニタリングから民の参加への移行を意味する。一般の人が炭素・窒素・リンを測定するのは難しい。COD・BODもしかりである。ただし、高い感度を要求しなければ、これらの一部は簡易のキットを使って一般の人でも測定できる。沖合の海水を採るのは漁業者や遊漁などを利用するしかないが、波打ち際であれば一般の人でも測定できる。生物のモニタリングであれば、分かりやすい写真集や解説を用意し、生物観察教室を開くなりして、ボランティアを募集して訓練すれば、ある程度は可能である。小中学生などの環境教育の一環として浜辺の観覧会などを行うのも良い。この点、住民の積極的な参加による「里海」の保全ということは、官と民の役割分担という点で、モニタリング・スタイルを考える上で重要なポイントである。住民参加がえられることによって、モニタリング・コスト（費用対効果）についてのチェックも同時になされることになる。

陸域-海域の接点である沿岸域は、森-川-海のつながりとしての「流域圏」の一部であり、当然、統合的沿

岸域管理(ICZM; Integrated Coastal Zone Management)という考えをもって臨まねばならない。Fig. 9に示したように、まず包括的な目標設定を行い、対象とする環境の時空間的変動・環境傾斜・生息生物の生活史なども踏まえて、測定項目・点数・頻度などを設定した上でのモニタリングを行うべきである。また、モニタリングは生態系モデルなどを用いた即応的解析と一体になっていることが必要である。あたりまえのことであるが、モニタリングを継続しているだけでは目標や対策は立てられないからである。沿岸域は人間活動が活発であることが大きな特徴であり、環境の保全は人間活動の影響を無視してはあり得ない。ただし、自然生態系は、人間活動を抜きにしても、時に台風などのイベント的気象擾乱によって予期せぬ状況に変化してしまう場合がある。したがって、Fig. 9に示したように、モニタリングと生態系モデルなどによる解析結果を交えて、逐次、対策の軌道修正を行いながら継続的な環境保全を行う、柔軟な「順応的管理」の考え方で望むことになる。モニタリングは環境保全を行う上で最も重要な要素であることは間違い無いが、生態系モデルなどを用いたデータ解析と対策の軌道修正という繰り返しのサイクルがあつてこそ、その意義が高まるというものである。

謝 辞

この内容は、2007年12月6日、下関水産大学校において行われた、2007年度九州沖縄地区合同シンポジウム「沿岸海洋モニタリングの現状と課題」で話した招待講演の内容をまとめたものである。このような機会を与えてくださったオーガナイザーの滝川哲太郎博士および鬼塚剛博士に感謝します。

参考文献

- (1) Yamamoto, T., A. Kubo, T. Hashimoto and Y. Nishii (2005): Long-term changes in net ecosystem metabolism and net denitrification in the Ohta River estuary of northern Hiroshima Bay-An analysis based on the phosphorus and nitrogen budgets. In, Burk, A. R. (ed.), *Progress in Aquatic Ecosystem Research*, Nova Science Publishers, Inc., New York, pp. 99-120.
- (2) Gordon, D. C., P. R. Boudreau, K. H. Mann, J. E. Ong, W. L. Silvert, S. V. Smith, G. Wattayakorn, F. Wulff and T. Yanagi (1996): *LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines, LOICZ Report and Studies, No. 5*, 96 pp.
- (3) Yamamoto, T., Y. Inokuchi and T. Sugiyama (2004): Biogeochemical cycles during the species succession from *Skeletonema costatum* to *Alexandrium tamarense* in northern Hiroshima Bay. *J. Mar. Sys.*, **52**, 15-32.
- (4) 多田邦尚 (1996): 低次生産の現状は。岡市友利・小森星児・中西 弘 (編), 瀬戸内海の生物資源と環境, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 52-57.
- (5) Kim, D.-H., O. Matsuda and T. Yamamoto (1997): Nitrification, denitrification and nitrate reduction rates in the sediment of Hiroshima Bay, Japan. *J. Oceanogr.*, **53**, 317-324.
- (6) Lee, Y. S., T. Seiki, T. Mukai, K. Takimoto and M. Okada (1996): Limiting nutrient of phytoplankton community in Hiroshima Bay, Japan. *Water Research* **30**, 1490-1494.
- (7) 山本民次・石田愛美・清水 徹 (2002): 太田川河川水中のリンおよび窒素濃度の長期変動-植物プランクトン種の変化を引き起こす主要因として。水産海洋研究, **66**, 102-109.
- (8) Seizinger, S. P. (1990): Denitrification in aquatic sediments. In, Revsbech, N.P. and Sorensen, J. (ed.), *Denitrification in Soil and Sediment*, Plenum Press, New York, pp. 301-322.

Application of Monitoring Data to Material Circulation Studies in Coastal Seas

Tamiji YAMAMAOTO*

Abstract

Part of tax sources was transferred from the central government to local governments in Japan. This may directly affect on the style of monitoring conducted in the coastal seas. In this report, personal views on the future way of monitoring in the coastal seas are proposed after reviewing the present way of the monitoring. Particularly, stress was made on reconsideration of measured items and spatio-temporal sampling intervals to fit to scales of phenomena in terms of both purposiveness and cost-effectiveness considering financial difficulties of local governments.

Key words: monitoring, coastal seas, material circulation

Received 29 January 2008

Accepted 28 February 2008

* Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University