

東部瀬戸内海における栄養塩環境の順応的管理手法に関する研究

○中嶋昌紀[†]、原田和弘^{††}、宮原一隆^{††}、仲川直子[#]

[†]大阪府環境農林水産総合研究所 主任研究員

^{††}兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター 主任研究員

[#]兵庫県環境研究センター 主任研究員

1. はじめに

瀬戸内海の水質環境は法的排出規制によって改善してきたが、一方では養殖ノリの色落ち被害や漁獲量の減少が顕著となっている。このような海の生産力の低下は、栄養塩濃度（特に窒素）の低下が原因の1つと推察される。栄養塩の供給源としては陸域や外海水の流入が考えられるが、人為的にコントロール可能なのは前者である。豊かな海の再生を実現するためには、望ましい栄養塩レベルを明らかにしつつ、陸域からの栄養塩供給の制御を通じた、栄養塩環境の順応的管理手法の研究を進める必要がある。これにはまず、現状の栄養塩環境の正確な把握のほか、栄養塩の化学的動態を明らかにしておくことが必要である。特に、環境指標である全窒素（TN）と一次生産に最も重要な溶存態無機窒素（DIN）の関係を明らかにすることは、順応的管理を進める上で基本的な事項である。そこで、本研究では窒素等の存在形態別濃度の時間的、空間的変動を明らかにし、TNとDINの関係およびそれらの変動要因について検討した。

2. 調査研究方法

大阪湾奥部には淀川、神崎川、大和川といった大河川が存在し、東部瀬戸内海に対する陸域からのNP負荷が集中している。そこで、大阪湾奥部から播磨灘にかけての水塊分布と、窒素、リンの存在形態別濃度分布を明らかにし、さらに難分解性等、溶存有機物の特性に関する知見を得るために、以下の調査を行った。

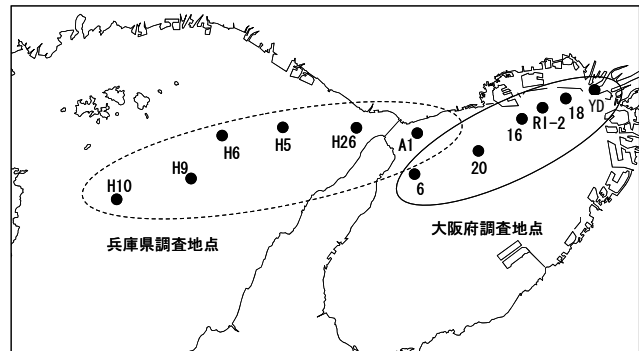


図1 調査地点

2-1. 海洋観測

- ・調査海域：大阪湾奥の淀川河口から播磨灘中央に至る海域（図1）
- ・調査時期：冬季を中心とした年6回（2009年5, 8, 11, 12月、2010年1, 2月）
- ・観測内容：一般海洋観測（水温、塩分、透明度等）、クロロフィルa、プランクトン。

CTD観測は表層から近底層まで行い、採水は表層、中層（5m又は10m）、底層（海底上1~5m）で行った。

2-2. 分析項目

採取した海水は、一部をGF/Cガラスろ紙によりろ過し、ろ過海水と生海水について下記の項目の分析を行った。なお、懸濁態有機窒素・懸濁態リンについては、全窒素・全リンから溶存態全窒素・溶存態全リンの値を差し引くことによって求めた。

- ・窒素濃度：全窒素（以下 TN）、懸濁態有機窒素（以下 PON）、溶存態有機窒素（以下 DON）、溶存態無機窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の合計、以下 DIN）
- ・リン濃度：全リン（以下 TP）、懸濁態リン（以下 PP）、溶存態有機リン（以下 DOP）、溶存態無機リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ 、以下 DIP）
- ・ケイ素濃度：ケイ酸態ケイ素（ $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 、以下 DSi）

2-3. 難分解性有機物試料の調製と分析

8, 12月に採取した St. A1, 16, 18, YDにおける表層海水をそれぞれ 1L 容のねじ口ガラスビンに 9 分目になるように分取した後、シリコ栓でフタをし、通気性を維持した状態で、 20°C に設定したインキュベーターにおいて、100 日間、毎分 50 回転で振とうさせた。なお、100 日間分解されずに残っている有機物を難分解性有機物と定義し、100 日間の生分解試験後に得られた試料を難分解性有機物試料とした。試料番号は各定点番号に (R) をつけて表記した。採取直後の試料と難分解性有機物試料について、それぞれ全有機炭素濃度（以下 TOC）、ろ過試料の溶存有機炭素濃度（以下 DOC）を測定し、懸濁態有機炭素濃度（以下 POC）は TOC から DOC を差し引くことによって求めた。難分解性有機物試料については TN、PON、DON、DIN も測定した。また、各試料の溶存態物質の蛍光特性を把握するために、ろ過試料の 3 次元蛍光スペクトル分析を行った。

3. 結果と考察

3-1. 水塊分布

表層塩分分布の変動を図 2 に示す。表層塩分は大きな河川水流入のある淀川河口 St. YD が最も低く、5, 8 月には 5 以下とかなり低くなっている、河川水の影響域（river plume、概ね塩分 31 以下）は大阪湾中央部 St. 20 まで達していた。river plume の範囲が最も小さかったのは 12 月で、大阪湾奥部の St. 18 までであった。全ての観測時における密度の鉛直構造は、夏季の底層を除いて、主に塩分の鉛直分布によって決まっていた。

3-2. 各態窒素の時間的・空間的変動

一例として、表層 TN 水平分布の季節変動を図 3 に示す。表層については、大阪湾奥部では DIN が高いために TN も高くなっていた。11 月-2 月では DIN と TN は同じような分布をしていたが、5 月、8 月の TN は他の月に比べて St. 16, 20 で相対的に高めになっていた。これは 5 月、8 月の PON が高くなっていたためである。12

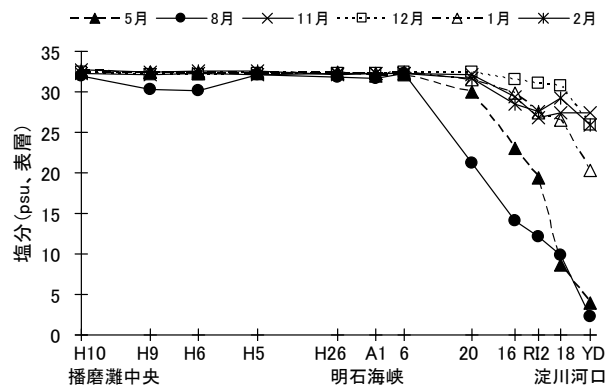


図 2 塩分水平分布の季節変動（表層）

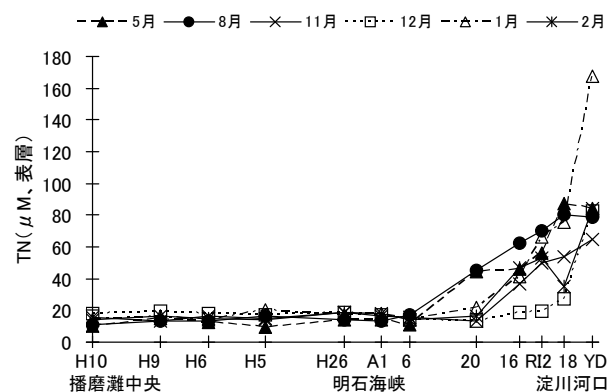


図 3 TN 水平分布の季節変動（表層）

月、1月を除いて、大阪湾のPONは淀川河口 St.YDよりも西側の定点で最も高くなっていた。これは river plume の広がり良く一致していて、河川水が大阪湾に流入した直後よりも、ある程度沖合に広がったところでPONが最も高くなることを示している。一方、播磨灘ではDINは低く、TNのうちのかなりの部分をDONが占めていた。これらのことから、淀川河口に流入した大量のDINは沖合への river plume の広がりとともに急速に植物プランクトンに消費され、大阪湾中央部の St.20 から播磨灘中央部の St.H10 では一様に低濃度になっていると考えられた。また、TNは大阪湾奥部を中心として river plume 内で高濃度になっているが、river plume の外側では播磨灘も大阪湾西部も同程度の濃度分布になっていると考えられた。

3-3. N・P 各項目間の関連性

大阪湾奥部から播磨灘中央部にかけての海域の表層では、季節を問わず TN と DIN に非常に高い正の相関があることが分かった。また、表層よりは相関が低いものの、底層の TN と DIN にも高い正の相関があった。TP と DIP の相関については、表層ではばらつきが大きいですが、底層では TP と DIP に高い正の相関があった。

3-4. 塩分と TN・TP の関連性

表層の TN については、調査毎に塩分と TN の値は異なるものの、両者には非常に高い負の相関が見られた。一方、底層の TN については、8月は TN と塩分の間に関連性は見られず、その他の月では大きく見れば負の相関が見られるが、1月を除いて相関は高くなかった。

表層の TP については、塩分と TN の関係よりはやや相関が低い月もあるが、塩分と TP には高い負の相関が見られた。一方、底層の TP については、8月は TN 同様、TP と塩分の間に関連性は全く見られず、1月にやや負の相関が見られた。

これらのことから、大阪湾奥の表層に淡水とともに流入した TN、TP は、淡水の拡散と同時に希釈されて運ばれ、見かけ上、保存物質的に振る舞いながら播磨灘中央部まで表層を拡散していくことが示唆された。なお、8月の底層で特に相関が見られない理由としては、大阪湾奥部や播磨灘中央部の底層付近に形成される冷水塊中で N、P が分解・再生、溶出して蓄積されることが影響していると考えられる。

3-5. DIN/DIP 比について

播磨灘中央部から大阪湾中央部にかけての海域では、周年、DIN/DIP 比はレッドフィールド比の 16 よりも低く、DIN が枯渇しやすい環境にあることが分かった。一方、大阪湾奥部で DIN/DIP が 16 より大きい海域は、塩分の分布から river plume 内部と判断した海域と一致する。また、底層の DIN/DIP 比は大阪湾の最奥部で 1月と 2月に 16 より大きくなっているのみで、ほとんどの調査時には DIN が相対的に少なかった。これらのことから、大阪湾から播磨灘中央部にかけての海域では、大阪湾奥からの river plume 内部でリンが枯渇しやすく、それ以外の大半の海域では窒素が枯渇しやすい環境となっていた。

3-5. 有機炭素、有機窒素を指標とした有機物の分解特性について

有機物（懸濁態＋溶存態）に関する 100 日生分解試験の結果、有機態炭素、有機態

窒素を指標としたいずれの分析からも、生分解後には溶存態の占める割合が高くなることが明らかになった。また、生分解後に残っている有機物を難分解性有機物として分布を見ると、有機炭素を指標とした 8 月試料と 12 月試料、有機態窒素を指標とした 8 月試料とも、概ね淀川河口から離れるに従って分解されずに残る有機物の割合は高くなっていった。

3-6. 3次元蛍光スペクトル分析の結果

3次元蛍光スペクトル分析による蛍光特性から、生分解過程中、タンパク質様ピークの蛍光を発する有機物の一部が分解され、腐植物質様ピークの蛍光を発する有機物が生成されていき、難分解性溶存有機物を構成する有機物の多くを腐植物質タイプの有機物が占めていることが示唆された。また、8月試料はタンパク質タイプの有機物が生分解を受けやすいが、12月試料では、タンパク質タイプの有機物が生分解を受けにくく、一部タンパク質タイプの有機物として残存することが示唆された。

4. おわりに

公共用水域測定結果等から大阪湾奥部における窒素濃度の動向を概観すると、TNは1970年代末に最高レベルに達したのち1980年代になって減少し、1990年代初頭にかけては横ばいで推移したが、その後は減少を続けている。一方、DINは、これまではTNと概ね同じような変動をしていたが、2003年頃からはTNと異なって低下が著しい。同様に播磨灘北部海域における窒素濃度の動向を概観すると、TNは2000年代に入って低下の傾向が見られるものの、1970年代末～1980年代初めに比べると高いレベルにある。一方、DINは、増減はあるものの、長期的な減少傾向がみられ、近年はノリ養殖期において色落ち限界濃度の $3\mu\text{M}$ を下回るようになってきている。このように、モニタリングデータによる長期間の経年変動からは、近年の大阪湾奥部や播磨灘北部海域におけるTNとDINの変動傾向は一致していないようである。

環境指標であるTNと1次生産に利用されるDINとの間に乖離があるとすれば、栄養塩環境の評価と管理において大きな問題であると考えられたが、今回の調査海域内においては、TNとDINには表層、底層、季節を問わず、非常に高い正の相関があることが明らかになった。しかしながら、経年的なTNとDINの乖離の問題と、今回の調査においてTNとDINに高い相関があったことは別の問題である。生物に利用されにくいとされる難分解性有機窒素がTNに占める割合が増えると、TNとDINの乖離が進むことが考えられるが、難分解性有機物に関する経年的なデータは無い。今後とも、負荷量の推移や海域生態系の変化などに関連させて、TNとDINの関係の経年的な変動について調査研究を続けていく必要があると考えられた。