

## 吉野川における栄養塩類動態

徳島県立保健製薬環境センター

浅川 愛・酒池 遼<sup>\*1</sup>・管生 伸矢<sup>\*2</sup>・中石 明希<sup>\*2</sup>

Nutrients dynamics at the Yoshino river

Ai ASAKAWA, Ryo SAKAIKE, Shinya SUGAOI, and Aki NAKAISHI

Tokushima Prefectural Public Health, Pharmaceutical and Environmental Sciences Center

### 要 旨

沿岸海域への栄養塩類の供給源のうち、最も重要なのは河川をはじめとする陸域からの供給であり、河川からどのような形態で栄養塩類が供給されるのかについて把握することは、海域における栄養塩類の管理を行う上で重要である。本研究では、吉野川上流から河口域における窒素及びリンの形態変化について調査した。その結果、河川水は、窒素として硝酸態窒素を、リンとしてリン酸態リンを多く含み、汽水域において、河口から流入する海水と混合することにより、全窒素・溶存態無機窒素・硝酸態窒素濃度は低下を、亜硝酸態窒素・アンモニア態窒素・溶存態有機窒素・全リン・リン酸態リン・溶存態有機リン・粒子状有機リン濃度は上昇を伴うものの、リンに対し窒素が豊富な状態で海域へ流入することが明らかになった。

Key word : 栄養塩 nutrient, 吉野川 Yoshino river, 河口域 estuary, 紀伊水道 Kii channel

### I はじめに

かつて富栄養化が社会問題となっていた瀬戸内海は、瀬戸内海環境保全臨時措置法（後に特別措置法）の施行後、一連の環境施策により水質は改善し、近年では反対に多くの海域で貧栄養化が指摘されている<sup>2)</sup>。本県においても、栄養塩、とりわけ溶存態無機窒素（以下「DIN」という。）の濃度低下に伴い養殖ノリやワカメの色落ちが頻発するとともに他の水産資源への影響も懸念されており<sup>3)</sup>、豊かな瀬戸内海を取り戻すための方策が求められている<sup>4)</sup>。

一方、沿岸海域への栄養塩類の供給源のうち、最も重要なのは河川をはじめとする陸域からの供給であるといわれている<sup>3)</sup>。河川からどのような形態で栄養塩類が供給されるのかについて把握することは、海域の栄養塩類の管理を行う上で重要である<sup>5)</sup>が、本県における詳細な報告例はない。

そこで、県内最大の一級河川であり、その河口域や沿岸海域においてワカメやノリの藻類養殖漁業や漁船漁業も盛んな吉野川に着目し、上流から河口域にかけて窒素及びリンの形態がどのように変化するかについて調査した。

### II 方法

#### 1 調査地点及び調査日

吉野川上流から河口域までの12地点を調査地点とした(図1)。2017年11月27～28日に各調査地点において表層水を採取し、後述の方法により分析した。

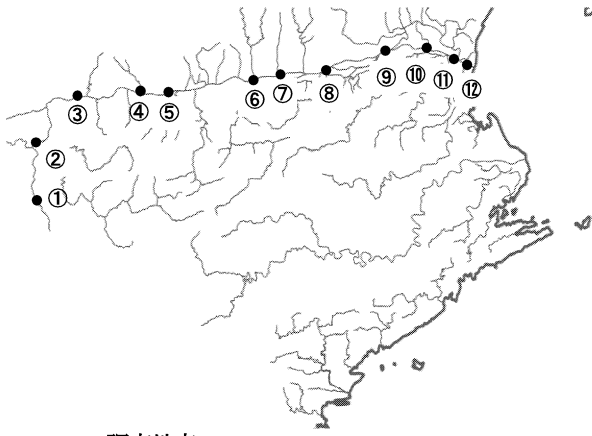
#### 2 分析方法

試料は、採水当日に分注・ろ過を行った。

溶存態全窒素(DTN)、溶存態全リン(DTP)、亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N)硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)、アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)、リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)の分析には、450°Cで4時間焼成した47mm径のガラス繊維ろ紙(Whatman GF/C、孔径1.2µm)

<sup>\*1</sup>現 キオクシア株式会社

<sup>\*2</sup>現 環境管理課



調査地点

- |         |            |
|---------|------------|
| ① 大歩危橋  | ⑦ 瀬詰大橋     |
| ② 国見山橋  | ⑧ 阿波中央橋    |
| ③ 三好大橋  | ⑨ 六条大橋     |
| ④ 東三好橋  | ⑩ 四国三郎橋    |
| ⑤ 美馬中央橋 | ⑪ 吉野川橋     |
| ⑥ 穴吹橋   | ⑫ 阿波しらさぎ大橋 |

図1 調査地点

を用いて試料を吸引ろ過することで得られたろ液を使用した。なお、全窒素 (TN), 全リン (TP), 塩分の分析には、ろ過を行わない試料を用いた。

TN, TP, DTN, DTP, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P の分析にはオートアナライザー (QuAAtro 39, ビーエルテック (株) 製) を、塩分の分析には卓上型塩分計 (DIGI-AUTO MODEL-5, (株) 鶴見精機製) をそれぞれ使用した。

溶存態無機窒素 (DIN) は NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N を合計することで算出し、溶存態有機窒素 (DON) は DTN と DIN との差から、溶存態有機リン (DOP) は DTP と PO<sub>4</sub>-P との差からそれぞれ算出した。粒子状成分 (粒子状有機窒素 (PON) 及び粒子状有機リン (POP)) は、全成分と溶存態成分との差から算出した。なお、値がマイナスになる場合はゼロとして取り扱った。

クロロフィル a (Chl-a) は、450°C で 4 時間焼成した 47 mm

径のガラス繊維ろ紙 (Whatman GF/F, 孔径 0.7 μm) を用いて試料を吸引ろ過した後のろ紙について、海洋観測指針<sup>9)</sup>に基づき分析した。なお、吸光度の測定には紫外可視分光光度計 (UV-2700, (株) 島津製作所製) を使用した。

III 結果及び考察

1 形態別窒素動態

吉野川上流から河口域における形態別窒素濃度、塩分濃度及び Chl-a 濃度を図 2 に示す。なお、NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N 及び NH<sub>4</sub>-N を合計すると DIN となり、DIN, DON 及び PON を合計すると TN となる。

TN は、最上流地点である大歩危橋から下流にいくに連れ上昇したが、これは、流域の生活排水等の流入によるものと考えられる。しかしながら、TN は六条大橋で最大となった後、下流にいくに連れ低下した。

このことについて、塩分濃度に着目すると、上流から極めて低濃度で推移しているものの、六条大橋より下流において明らかに上昇している。このことから、六条大橋と四国三郎橋の間に位置する第十堰より下流において、河口から海水が流入していることが考えられた。そこで、六条大橋より下流における塩分濃度と TN の関係 (図 3) を調べると、両者は強い負の相関 (決定係数 R<sup>2</sup>=0.9965) を示したことから、六条大橋より下流において、TN は海水で希釈されることにより濃度が低下していることがわかった。

続いて、窒素構成形態に着目すると、大歩危橋から阿波しらさぎ大橋までの全域において、DIN が多く (79-96%) を占めており、DIN のうちほとんど (88-99%) が NO<sub>3</sub>-N であることがわかる。六条大橋より下流において、海水により TN が希釈されることは前述したが、形態別に見ると (図 3)、DIN (R<sup>2</sup>=0.9999) 及び NO<sub>3</sub>-N (R<sup>2</sup>=0.9999) は強い負の相関を示したことから、TN 同様、海水により希釈されることで濃度が低下していることがわかる。一方、NO<sub>2</sub>-N (R<sup>2</sup>=0.9799),

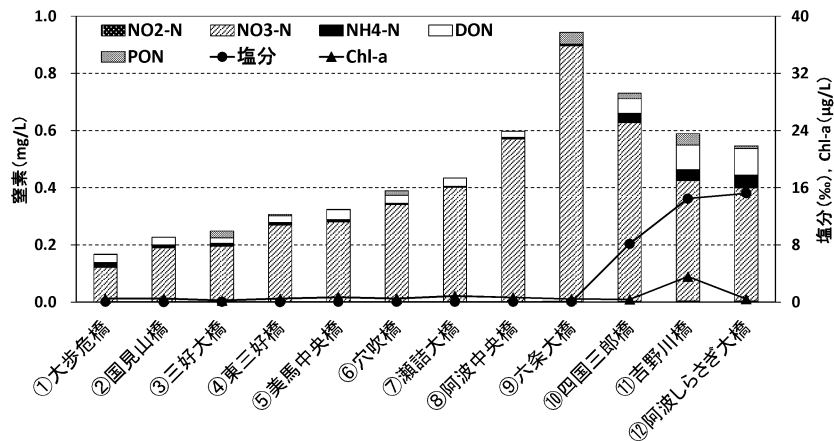


図2 吉野川上流から河口域における形態別窒素濃度、塩分濃度及び Chl-a 濃度

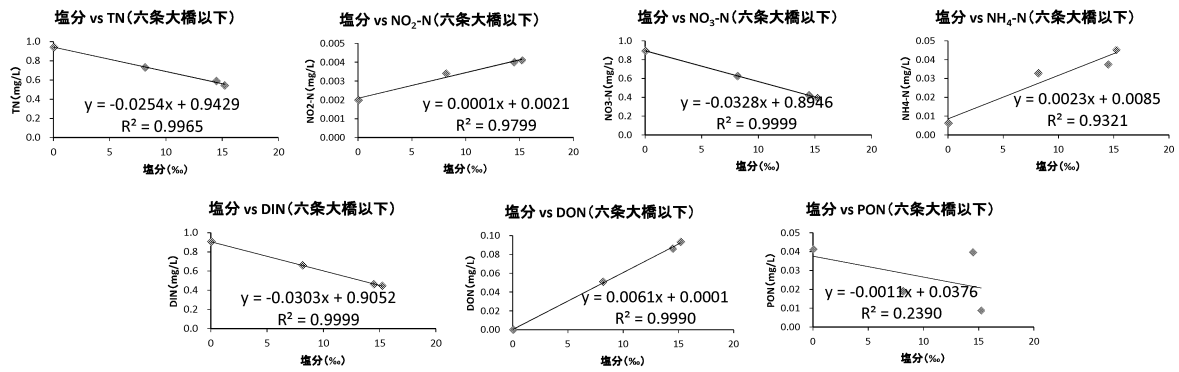


図3 六条大橋より下流における塩分濃度と各窒素構成形態濃度との関係

NH<sub>4</sub>-N (R<sup>2</sup>=0.9321), DON (R<sup>2</sup>=0.9990) は強い正の相関を示した。このことから、これらの形態は河川水より海水中に多く存在しており、海水の混合により濃度が上昇していることがわかった。

このように、ほとんどの窒素構成形態が塩分濃度と強い相関を示したのに対し、PON (R<sup>2</sup>=0.2390) のみ塩分濃度との相関は低かった。小林ら<sup>7)</sup>は、2003年11月～2005年6月のほとんどの月において、播磨灘におけるPON濃度とChl-a濃度との間に有意な相関が認められたと報告している。また、高木ら<sup>8)</sup>は、夏季の備讃瀬戸河口域において、PON濃度とChl-a濃度との間に有意な相関が見られたことから、河川から流入してきたDINが植物プランクトンに取り込まれてPONに変化したと考察している。そこで、PONとChl-aとの関係を調べたが、両者は弱い正の相関 (R<sup>2</sup>=0.2785) を示すとどまった。つまり、本調査におけるPONの濃度変化には、海水による希釈や植物プランクトンによる形態変化以外の要因が関係していると考えられる。

以上から、吉野川全域を通して、河川水に含まれる窒素の多くはDINであるNO<sub>3</sub>-Nであることがわかった。また、河川水は第十堰より下流の汽水域において、河口から流入する

海水と混合することにより、TN, DIN, NO<sub>3</sub>-Nは濃度の低下を伴いながら、反対にNO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, DONは濃度の上昇を伴いながら海域へ流入することが明らかになった。

## 2 形態別リン動態

吉野川上流から河口域における形態別リン濃度、塩分濃度及びChl-a濃度を図4に示す。なお、PO<sub>4</sub>-P, DOP, POPを合計するとTPとなる。

TPは、TNとは異なる挙動を示した。上流から下流にいくに連れ多少の変動を伴いながら緩やかな上昇傾向を示し、六条大橋を境に顕著に上昇し、吉野川橋で最も高値となった。

リンの形態に着目すると、吉野川全域を通じて、PO<sub>4</sub>-Pが占める割合 (38-71%) が最も高い地点がほとんどであった (10地点/12地点) が、そうでない地点もあった。また、DOP (4-30%) 及びPOP (18-57%) の割合も地点によりばらつきがあり、全体として何らかの傾向を見出すことはできなかった。六条大橋より上流と下流とを比較しても、各形態の比率に違いは見られなかった。

六条大橋より下流における塩分濃度とリンの各構成形態との関係 (図5) を調べると、TP (R<sup>2</sup>=0.9697), PO<sub>4</sub>-P (R<sup>2</sup>=0.7902) 及びDOP (R<sup>2</sup>=0.9248) は強い正の相関を示し、POP (R<sup>2</sup>=0.4908)

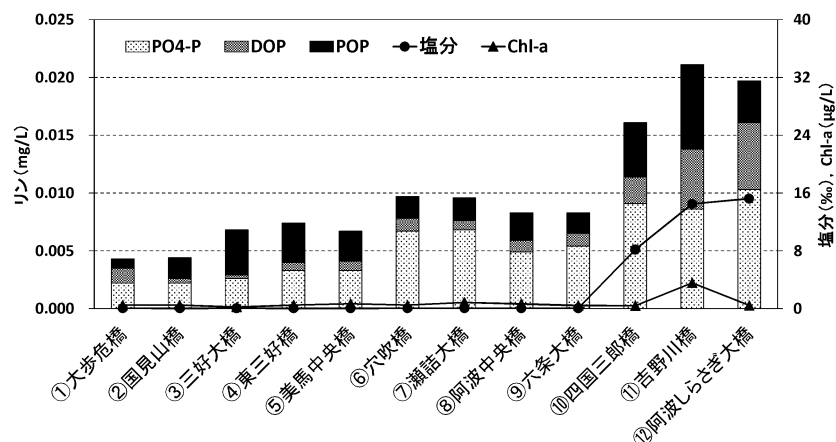


図4 吉野川上流から河口域における形態別リン濃度、塩分濃度及びChl-a濃度

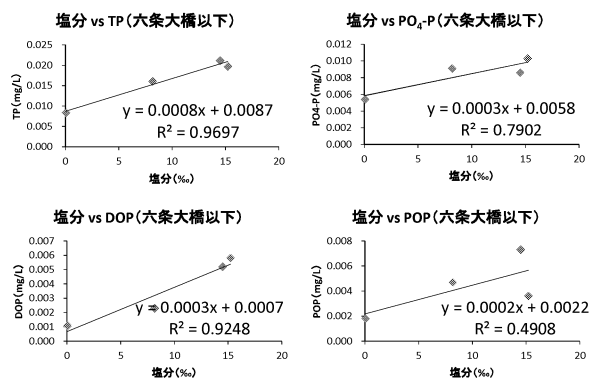


図5 六条大橋より下流における塩分濃度と各リン構成形態濃度との関係

は中程度の正の相関を示した。このことから、リンの全ての形態は河川水より海水中濃度の方が高く、六条大橋より下流において海水と混合することにより濃度が上昇したと言える。ただし、他の形態に比べ POP のみ比較的相関が低かったが、一方で POP は Chl-a と強い正の相関 ( $R^2=0.7216$ ) を示した。つまり、POP は、植物プランクトン量の増加とともに増加していると言える。しかしながら、PO<sub>4</sub>-P と Chl-a とは相関関係が認められず ( $R^2=0.0058$ )、植物プランクトンによりリンの形態変化が生じたかどうかは不明である。

以上から、吉野川の河川水に含まれるリンの多くは PO<sub>4</sub>-P であるが、汽水域において、河口から流入する海水と混合することにより、全てのリン構成形態 (TP, PO<sub>4</sub>-P, DOP, POP) 濃度の上昇を伴いながら海域へ流入することが明らかになった。

### 3 栄養塩比

吉野川上流から河口域における DIN/DIP 比 (以下「N/P 比」という。) を図 6 に示す。なお、図中の点線は、レッドフィールド比 (重量比 7.2) を表す。また、DIP=PO<sub>4</sub>-P とした。

N/P 比は、全ての地点においてレッドフィールド比を大幅に上回った。海水の影響を受けない最下流地点である六条大橋において N/P 比は 167 と最大となり、海水による DIN の希釈が生じていると考えられる最下流地点の阿波しらさぎ大橋においても 43 と、吉野川の河川水はリンに対し窒素が豊富な状態で海域に流入することがわかった。

しかしながら、本県沿岸海域においては DIN の不足が指摘されていることから、今回調査した河口付近より沖合で栄養塩類の形態変化が生じている可能性も考えられる。また、今回は 11 月の一回のみの調査であり、季節変動や出水による影響については調査していない。それらを含め、今後さらなるデータの蓄積が求められる。

## IV まとめ

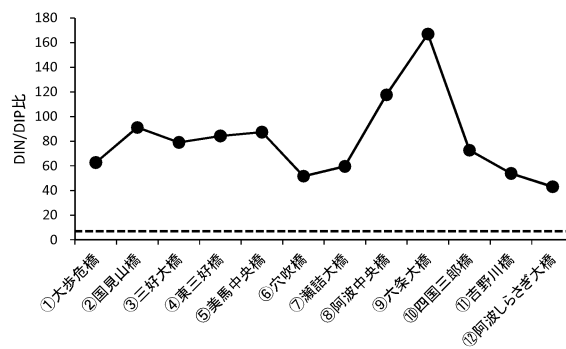


図6 吉野川上流から河口域における DIN/DIP 比

吉野川上流から河口域における窒素及びリンの形態変化について調査したところ、河川水に含まれる窒素の多くは DIN である NO<sub>3</sub>-N であり、第十堰より下流の汽水域において、河口から流入する海水と混合することにより、TN, DIN, NO<sub>3</sub>-N は濃度の低下を伴いながら、反対に NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, DON は濃度の上昇を伴いながら海域へ流入することがわかった。

また、河川水に含まれるリンの多くは PO<sub>4</sub>-P であり、PO<sub>4</sub>-P を含むリンの全ての形態について、河川水より海水中濃度の方が高く、汽水域において、河口から流入する海水と混合することで濃度の上昇を伴いながら海域へ流入することがわかった。

さらに、汽水域におけるこれらの濃度変化を経てもなお、最下流の阿波しらさぎ大橋における N/P 比は高く、吉野川の河川水はリンに対し窒素が豊富な状態で海域に流入することがわかった。

### 参考文献

- 1) 多田邦尚, 西川哲也, 樽谷賢治, 他: 瀬戸内海東部海域の栄養塩低下とその低次生物生産過程への影響, 沿岸海洋研究, **52** (1), 39-47 (2014)
- 2) 山本民次: 瀬戸内海の貧栄養化について (再考), 日本マリンエンジニアリング学会誌, **49** (4), 71-76 (2014)
- 3) 池脇義弘: 徳島県沿岸の栄養塩濃度の低下について, 徳島水研だより, **100**, (2007)
- 4) 阿保勝之, 秋山諭, 原田和弘, 他: 瀬戸内海における栄養塩濃度等の水質変化とその要因, 沿岸海洋研究, **55** (2), 101-111 (2018)
- 5) 石塚正秀, 石川真菜, 宮川昌志, 他: 香川県における河川水の栄養塩形態と備讃瀬戸・播磨灘への影響, 土木学会論文集 B1 (水工学), **69** (4), I\_1423-I\_1428 (2013)
- 6) 気象庁: 海洋観測指針 (第1部), 105-122, 財団法人気象業務支援センター, 東京 (1999)

7) 小林志保, 藤原建紀, 阿保勝之, 他: 播磨灘における全窒素濃度の季節変動と窒素の形態変化, 沿岸海洋研究, **47** (1), 61-69 (2009)

8) 高木秀蔵, 岩本俊樹, 藤原建紀: 河川から供給された窒素の備讃瀬戸河口域, 沿岸海域での形態変化, 沿岸海洋研究, **52** (1), 93-101 (2014)