

## 三河湾における栄養塩の低下

蒲原 聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也

(2017年10月24日受付, 2017年12月11日受理)

## Nutrient decrease in Mikawa bay

KAMOHARA Satoru\*, TAKASU Yuuji\*, YUGUCHI Manami\*,  
MIMA Noriko\*, and AMANO Yoshinari\*キーワード: 三河湾, 渥美湾, 知多湾, TN, TP, DIN, PO<sub>4</sub>-P, クロロフィル *a*

伊勢・三河湾では、赤潮や貧酸素水塊の増加を流入負荷増大に伴う富栄養化現象ととらえ、COD, 総窒素(TN), 総リン(TP)の環境基準を定め、その達成のために陸域における水質総量規制が1980年から35年以上にわたって実施されている。2014年までに三河湾を含む伊勢湾への発生負荷量は、窒素で41.2%, リンで66.4%が削減されている。<sup>1)</sup> その結果、三河湾においてはTPが減少し赤潮の発生延べ日数も減少したものの、<sup>2)</sup> 赤潮の発生件数は依然として横ばい、<sup>3)</sup> 貧酸素水塊の発生面積は拡大傾向にある。<sup>4)</sup>

一方、冬季には栄養塩の低下が養殖ノリの色落ちを招き、生産量に大きな影響を及ぼしている。以前の色落ちは、赤潮の発生により海域の栄養塩が枯渇して発生した。しかし、赤潮の発生延べ日数が減少傾向にあるにもかかわらず、<sup>2)</sup> 漁期後半に栄養塩不足による色落ちが発生し、そのまま終漁をむかえる年が増えている。<sup>5)</sup> そこで、比較的水塊が停滞し易い渥美湾、エスチュアリー循環に起因する物質循環が大きい知多湾<sup>4)</sup>と環境特性が異なる両湾において水質の変動を比較したので、ここに報告する。

愛知県水産試験場は、「愛知県公共用水域及び地下水の水質測定計画」に基づき、1971年4月以降、毎月1回、伊勢湾、三河湾の41点において水質調査を実施している。また、1997年からは栄養塩調査を追加している。そこで、本報告では1997年4月から2017年3月までの20年間を解析の対象とし、水質項目は溶存酸素(以下、DOとする)、TN, TP, クロロフィル *a* (以下、Chl-*a*とする)、フェオ色素, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-Pとした。解析に用いた測点は、図1に示す渥美湾でA5, A6, A7, A8, A9, A10, A14, K8を、知多湾でK4, K5, K6, K7の計12測点とした。各水質項目の表層の値を13ヵ月移動平均した経年変化を図2に示した。なお、溶存態無機

窒素(DIN)はNH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nの合計である。TN及びTPは、20年間で両湾とも減少傾向にあった(図2(a),(b))。DINは、20年間の平均値で知多湾が105.2 μg/lと渥美湾の59.5 μg/lより高く、両湾とも減少傾向にあった(図2(c))。PO<sub>4</sub>-Pは、20年間の平均値で知多湾が12.3 μg/lと渥美湾の7.1 μg/lより高く、両湾とも減少傾向にあった(図2(d))。渥美湾のDIN及びPO<sub>4</sub>-Pの近似直線における20年間の減少割合は、63.8%及び32.0%と、TN及びTPの27.3%及び24.4%より大きかった。同様に、知多湾のDIN及びPO<sub>4</sub>-Pの減少割合も、62.3%及び44.0%と、TN及びTPの28.9%及び37.0%より大きかった。このように、両湾ともノリや植物プランクトンが利用する栄養塩のDIN及びPO<sub>4</sub>-Pの減少割合は、TN及びTPの減少割合より大きかった。Chl-*a*の減少割合は両湾とも51.7%で、生物の餌料としての植物プランクトン量が半減していることがうかがえた(図2(e))。フェオ色素は、両湾とも減少傾向にあり、減少割合は渥美湾が83.6%、知多湾が91.2%と知多湾の方が大きかった(図2(f))。蛍

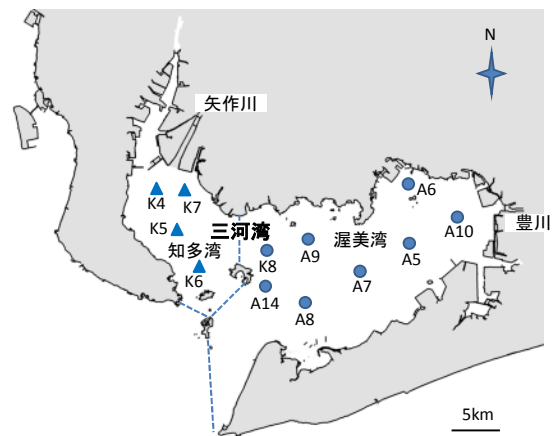


図1 水質調査測点 渥美湾 (●), 知多湾 (▲)

\* 愛知県水産試験場 (Aichi Fisheries Research Institute, Wakamiya 97, Miya, Gamagoori, Aichi 443-0021, Japan)

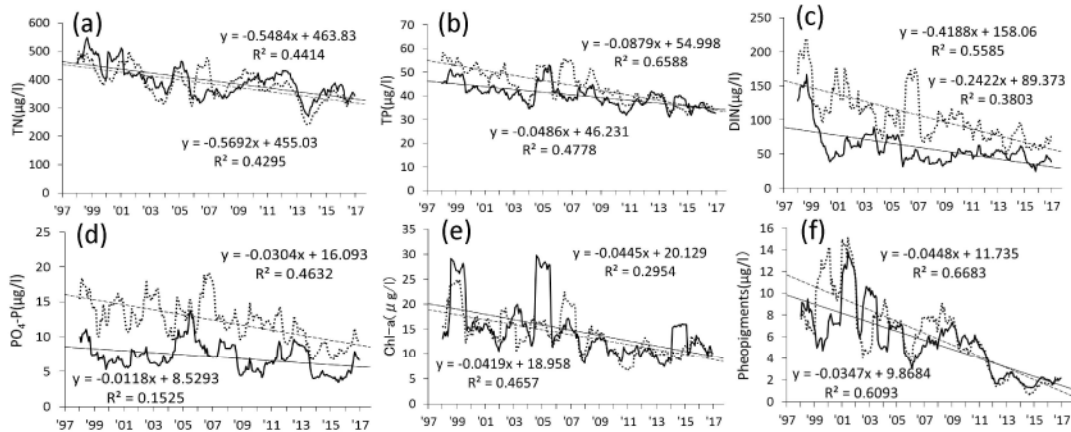


図2 渥美湾（実線）及び知多湾（点線）における水質の経年変化 TN (a), TP (b), DIN (c), PO<sub>4</sub>-P (d), クロロフィル *a* (e), フェオ色素 (f) 直線は近似線：渥美湾（実線），知多湾（破線）

光法により測定したフェオ色素は、クロマトグラフにより厳密に測定したものに比べ過大に出ていることが多く、半定量的な議論に限るべきとされている。<sup>6)</sup> そこで、Chl-*a* 及びフェオ色素の経年変化の傾向に着目すると、フェオ色素は Chl-*a* より減少割合が大きい。フェオ色素は、植物プランクトンを摂餌する動物プランクトンの排泄物やアサリの消化盲嚢に多く含まれることから、<sup>6, 7)</sup> 植物プランクトンを摂取する生物も減少している可能性が考えられた。

図2(d)から、2013年以降のPO<sub>4</sub>-Pが4年にわたり低い状態が続いたため、1997年4月から2013年3月までの16年間と2013年4月から2017年3月までの4年間に分けて、月別の平均値を図3に示した。最近の4年間は、渥美湾では4月、6月から2月にかけて過去の16年間より低く、10月がピークでなくなっていた。知多湾では4月から2月にかけて過去より低く、ピークは10月から11月に移りその値は27.4%減となった。さらに、10~3月に行われるノリ養殖で良質なノリができる目安となる10 µg/l<sup>8)</sup>を下回る時期が、渥美湾では1月から12月に、知多湾では2月から1月に、共に1ヵ月早くなっていた。

海域への栄養塩の供給源は、河川、大気降下物、海底堆積物からの回帰、水柱での有機物の無機化と海域外からの侵入がある。<sup>9)</sup> PO<sub>4</sub>-Pが最近減少していることから、河川や海底堆積物からの回帰によるPO<sub>4</sub>-P供給量の変化を観測値から検討した。そこで、河川水の影響を直接受ける河口域の表層及び湾中央の底層のPO<sub>4</sub>-Pを両湾で比較することとした。河口域の表層は渥美湾の豊川河口に近いA10表層と知多湾の矢作川河口に近いK4表層を、湾中央の底層についてはA5底層（平均水深11.7mの底上1m）とK5底層（平均水深17.2mの底上1m）を比較して図4に経年変化を示した。20年間でPO<sub>4</sub>-PはA10表層で

17.8%、K4表層で55.4%、A5底層で43.7%、K5底層で20.5%減少した。K4表層がA10表層より減少割合が大きいことから、知多湾の方が渥美湾より河川からのPO<sub>4</sub>-Pの供給が減っていると推測された。また、A5底層の方が

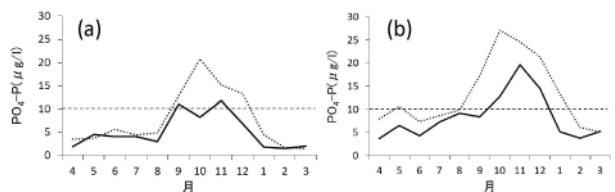


図3 渥美湾 (a) 及び知多湾 (b) における PO<sub>4</sub>-P の月変化 1997.4~2013.3 (点線), 2013.4~2017.3 (実線), 10µg/l (破線)

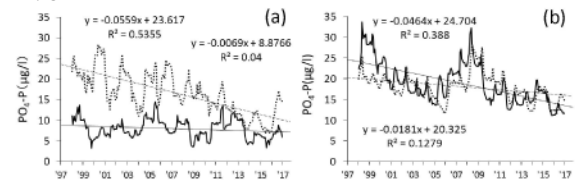


図4 表層と底層の PO<sub>4</sub>-P の経年変化 表層 (A10: 実線, K4: 点線) (a), 底層 (A5: 実線, K5: 点線) (b), (a)の近似直線: A10 (実線), K4 (破線), (b)の近似直線: A5 (実線), K5 (破線)

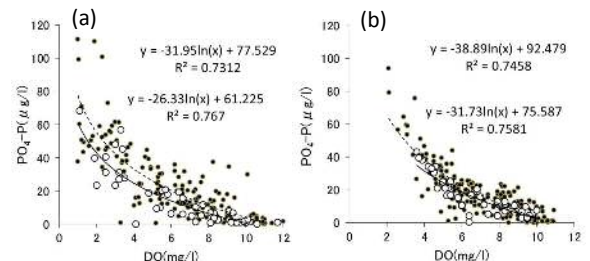


図5 A5底層 (a) 及び K5底層 (b) における DO と PO<sub>4</sub>-P の関係 1997.4~2013.3 (●), 2013.4~2017.3 (○), 曲線は近似線: 破線 (1997.4~2013.3), 実線 (2013.4~2017.3)

K5 底層より  $\text{PO}_4\text{-P}$  の減少割合が大きかった。三河湾における底泥からの  $\text{PO}_4\text{-P}$  の溶出は夏季の還元状態で促進されることから、<sup>4)</sup> A5 及び K5 の底層の DO と  $\text{PO}_4\text{-P}$  の関係を、前述の 1997 年 4 月から 2013 年 3 月までの 16 年間で 2013 年 4 月から 2017 年 3 月までの 4 年間に分けて図 5 に示した。最近 4 年間の A5 底層は、過去と比較して DO に対する  $\text{PO}_4\text{-P}$  が低下していた (図 5(a))。これは、夏季の低 DO 時の  $\text{PO}_4\text{-P}$  溶出量が低下している可能性を示しており、底泥に蓄積されているリンが減少しているためと推測された。渥美湾では、豊川からの  $\text{PO}_4\text{-P}$  の供給がそれほど減少していないことから、今後は、湾外からの供給も含めて  $\text{PO}_4\text{-P}$  の循環を把握する必要がある。また、最近 4 年間の K5 底層は DO が  $3.6\text{mg/l}$  を下回らなくなり、 $\text{PO}_4\text{-P}$  が  $43.3\ \mu\text{g/l}$  を上回ることがなくなった (図 5(b))。  $\text{PO}_4\text{-P}$  は還元状態で底泥からの溶出が促進されることから、<sup>4)</sup> K5 底層の DO が回復傾向にあることが  $\text{PO}_4\text{-P}$  が減少した一因と推測されるが、その減少割合は 20.5%と K4 表層の 55.4%ほどではない (図 4(a, b))。これは、知多湾の夏季の表層は強い流出、底層は流入の流れが生じることから、<sup>10)</sup> 底層に流入する  $\text{PO}_4\text{-P}$  を含んだ湾外水の影響を受けるためと推測された。なお、矢作川は豊川より河川流量が 1.8 倍多いため、知多湾の方がエスチュアリー循環が良く機能している。<sup>4)</sup> よって、知多湾の  $\text{PO}_4\text{-P}$  の減少は、河川からの  $\text{PO}_4\text{-P}$  の供給が減少しているためと推測された。今後は、観測により湾外から知多湾への  $\text{PO}_4\text{-P}$  供給量を把握する必要がある。さらに、両湾に共通する Chl-*a* の減少から、水柱中で植物プランクトンが枯死後に無機化して生じる  $\text{PO}_4\text{-P}$  が減少している可能性についても把握が必要である。

図 2(c)から、2015 年、2016 年と DIN の低い状態が続いたため、1997 年 4 月から 2015 年 3 月までの 18 年間で 2015 年 4 月から 2017 年 3 月までの 2 年間に分けて、月別の平均値を図 6 に示した。過去と比較して最近 2 年間の DIN は、渥美湾ではほぼ周年、知多湾では秋季から冬季にかけて低かった。また、渥美湾では 10~3 月に、知多湾では 10 月、1~3 月にノリ養殖で良質なノリができる目安となる  $100\ \mu\text{g/l}$ <sup>8)</sup> を下回っていた。

以上のことから、ノリ養殖時期となる 10~3 月の  $\text{PO}_4\text{-P}$  及び DIN は共に近年減少している。ノリ養殖を継続するためには、河川、海底、湾外からの  $\text{PO}_4\text{-P}$  及び DIN の供給量の把握と養殖への必要量の検討が求められる。また、栄養塩の低下が漁業生産を低下させている可能性が指摘されており、<sup>5)</sup> 因果関係の究明や必要な栄養塩量の算定が求められる。そのためには、栄養塩が二枚貝などの生物生産に結びつく場である干潟・浅場の位置付けが重要

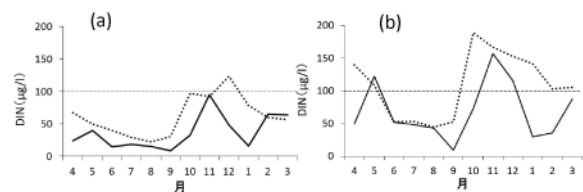


図 6 渥美湾 (a) 及び知多湾 (b) における DIN の月変化 1997.4~2015.3 (点線), 2015.4~2017.3 (実線),  $100\ \mu\text{g/l}$  (破線)

であり、最近、秋季から冬季に減耗が確認されているアサリ資源と栄養塩の関係についても解明が必要である。

## 謝 辞

愛知県環境部水質調査船「しらなみ」、愛知県漁業取締・水質調査兼用船「へいわ」により観測が実施された。観測並びに水質分析を実施された皆様に感謝の意を表す。

## 文 献

- 1) 伊勢湾再生行動計画 (第二期) (2017) 発生負荷量管理等調査 (環境省). 伊勢湾再生推進会議, [http://www.cbr.mlit.go.jp/kikaku/sai\\_ise/bosyu/pdf/keikaku2.pdf](http://www.cbr.mlit.go.jp/kikaku/sai_ise/bosyu/pdf/keikaku2.pdf), (2017 年 10 月 11 日).
- 2) 中嶋康生・山田 智・戸田有泉・二ノ方圭介 (2014) 2006 年以降の三河湾における赤潮発生状況の急激な変化. 愛知水試研報, 19, 10-15.
- 3) 愛知県水産試験場 (2017) 平成 28 年伊勢湾・三河湾の赤潮・苦潮発生状況. 愛知水試研究業績 C-214, 3p.
- 4) 本田是人・戸田有泉・二ノ方圭介・中嶋康生・鈴木輝明 (2015) 三河湾における水質環境と貧酸素水塊の変動. 水産海洋研究, 79(1), 19-30.
- 5) 石田基雄・青山高士 (2012) 伊勢・三河湾における水質変化と漁獲量変動について. 海洋と生物, 34(2), 149-157.
- 6) 西條八東 (1975) クロロフィルの測定法. 陸水学実験法シリーズ 1. Jap, J, Limnol, 36, 3, 103-109.
- 7) 沼口勝之 (1990) アサリ漁場における底層水, セジメントおよび底泥のクロロフィル *a* とフェオ色素量. Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture, 18, 39-50.
- 8) 愛知県水産試験場 (2004) ノリ養殖テキスト, 80pp.
- 9) 梅澤 有・鈴木昌弘・塚崎あゆみ・尾崎健史・牟田直樹・山口 聖 (2015) 沿岸生態系のリン循環. 地球環境, 20(1), 63-76.
- 10) 宇野木早苗 (1987) 第 13 章 伊勢湾・三河湾 II 物理 (日本海洋学会編) 日本全国沿岸海洋誌, 東京, 524.