

大阪湾岸河口域周辺における地表水－地下水交流プロセスを考慮した 栄養塩負荷の再評価（その3）

小野寺真一・広島大学大学院総合科学研究科・教授

齋藤光代・岡山大学大学院環境生命科学研究科・特任助教

清水裕太・近中四農研センター・学振研究員（PD）

[研究目的]

本研究では、河川経由の栄養塩負荷量推定の高精度化を念頭に置き、大阪湾岸河口域周辺の栄養塩動態に及ぼす地表水－地下水交流の影響を明らかにすることを目的とした。前年度までに、大和川周辺の地下水情報収集、感潮域での河川水－地下水交流とそれにともなう栄養塩動態観測、準分布型流域流出モデル解析は終了しており（昨年度報告書；Onodera et al.,2013; Shimizu et al.,2013）、今年度は（1）溶存及び懸濁物質の安定同位体比を用いた感潮域での生物地球化学過程の検証を行い、（2）これまでの観測データ及び準分布型流域流出モデルと水域水理生態系モデルの連結モデル解析により、河川感潮域の栄養塩収支及び海洋への負荷に対する感潮域の役割を明らかにすることを目的とした。

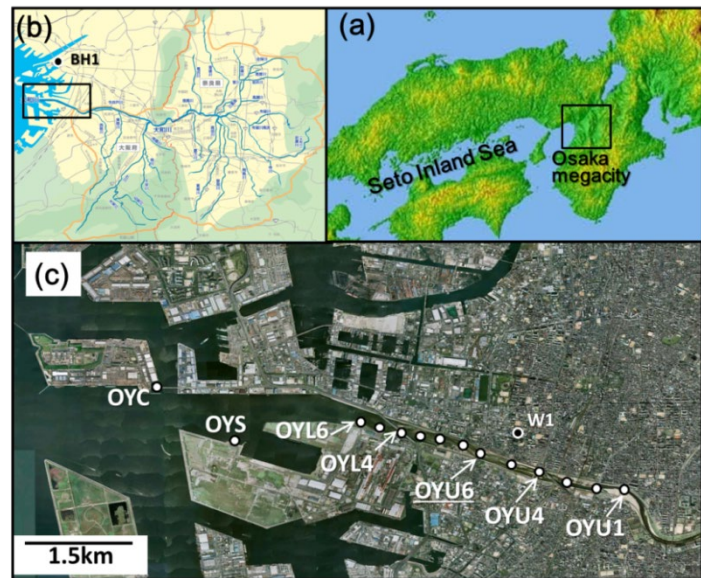


図1 研究地域概要

*OYU1～OYU3:非感潮域, OYU4～OYU6:感潮域（水位変動のみ）, OYL1～OYL6:感潮域（塩分侵入域）, OYS～OYC:海域

[研究方法]

（1）現地観測では、大和川感潮域（図1）において昨年（2012年9月、11月）に引き続き集中観測（2013年1月、8月）を実施した。集中観測の際には、河川水の採水及び流速の測定（ADCPによる）を行うとともに、ピエゾメータでは確認できない深度の淡水・塩水分布状況を把握するため、比抵抗電気探査を試みた。採水試料（濾過後の懸濁物質を含む）は、通常の実験ととも炭素・窒素同位体比分析を行った。

（2）河川感潮域の栄養塩収支及び海洋への負荷に対する感潮域の役割を明らかにするため、西オーストラリア大学(The University of Western Australia)の Centre for Water Research が開発した鉛直次元水域水理生態系モデル（DYRESM-CAEDYM, ver.4.0）に、前年度までに得られた上流域からの流入負荷量をインプットとして導入し、感潮河川域の栄養塩動態・収支解析を行った。感潮域上流側の負荷量は、準分布型流域流出モデル(SWAT モデル)による洪水時の変動を含む解析結果で、上流域における流域外からの導水、下水処理排水の流入などのポイントソース、及び季節変化を含めた栄

養塩濃度に関する既存データに基づき再現され、検証されたものである。計算範囲は、大和川下流部の大和川大橋（OYU-4；図1）から河口部の国土交通省堺水位・流量観測所（OYL-6；図1）までとした。深度方向は、大きく分けて平水時に流れるボックスと出水時に流れるボックスの2層構造とした。解析のタイムステップは1日単位の計算とし、2013年1月1日から12月31日までを計算した。DYRESMで扱う項目は温度、密度、塩分濃度の3つであり、CAEDYMではpH、DO、SS、植物プランクトン網と窒素・リン画分を扱った。植物プランクトン網は、金山ら（2004）を参考に、藍藻網及び珪藻網の2種類を想定した。モデルの再現性の検証は、2013年1月と8月の集中観測で測定されたNO₃⁻、NH₄⁺、DON、PO₄²⁻、DOP、PP濃度に対してそれぞれ実施された。

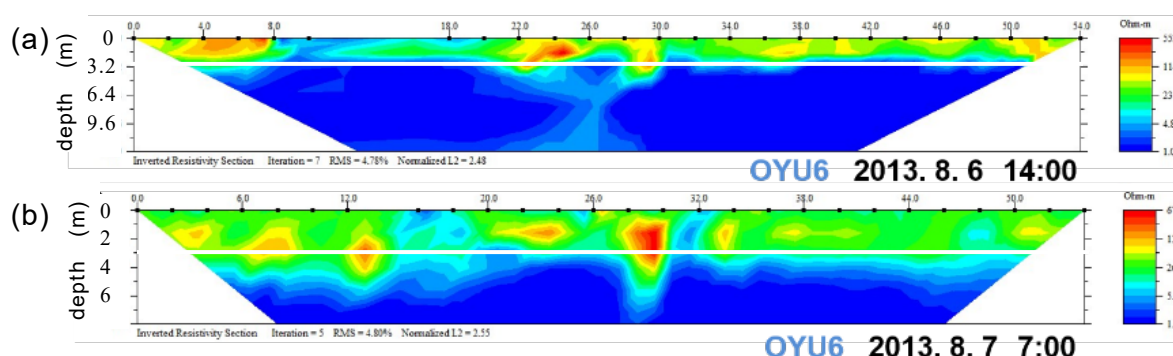


図2 OYU6における地下の比抵抗分布（a：満潮時，b：干潮時）
*白線は3mの深度を示す

[結果と考察]

1. 感潮域における河川水－地下水交流及び栄養塩動態

集中観測時に測定された比抵抗の結果を図2に示す。深度3mに注目すると、潮位変動にともなう表層の淡水領域（高抵抗値）の伸縮すなわち河川-地下水交流が深度3m程度の範囲で行われて

いることが確認でき、前年度までのピエゾメータ及びラドントレーサーによる観測傾向と調和的であった。

表1にOYU6からOYL6の感潮域における2013年1

表1 OYU6-OYL6間の栄養塩収支(2013年1月及び8月)

2013年1月(冬季)	DIN	DON	DTN	PON	TN	DIP	DOP	DTP	PP	TP
△Nutrients (kg/d)	978	-1719	-741	-92	-833	97	-38	59	-67	-8
△Nutrients /OYU-6 flux (%)	12	-98	-8	-34	-8	18	-72	10	-54	-1
2013年8月(夏季)	DIN	DON	DTN	PON	TN	DIP	DOP	DTP	PP	TP
△Nutrients (kg/d)	-1727	672	-1055	56	-999	111	56	167	70	237
△Nutrients /OYU-6 flux (%)	-30	406	-18	16	-16	17	200	25	66	30

月及び8月の栄養塩収支を示す。両期間ともにTNはマイナス（消失）、TPは夏期のみプラス（生産）であった。また、夏季にはDINが消失、DONが生産の傾向を示し、感潮域での脱窒とその際の有機物分解にともなうDONの生産が示唆された。また、河川流速とNO₃⁻-N濃度との関係（図3）からも、感潮域での脱窒等の消失の傾向が確認された。対照的に、冬季にはDINが生産傾向を示し、脱窒よりも硝化の影響が顕著であったことが示唆された。一方、DIPは両期間ともに生産傾向で、特に夏季は懸濁態リンも生産傾向であった。これらは、いずれも河川－地下水交流が駆動している現

象と考えられる。また、図 4 に 1 月(a)及び 8 月(b)における $\text{NO}_3\text{-N}$ の $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ との関係を示す。双方ともに、全体的に 1 月は 8 月と比べて低い傾向を示した。これは、冬季に硝化が顕著であったという栄養塩収支(表 1)を支持する結果と考えられるが、このプロセスについては、より詳細な検証が必要である。

図 5 に、OYU6 における 8 月のリン濃度の経時変化を示す。8 月 5 日の夕方以降に計 30~40mm の降雨があり、懸濁態(PP)の濃度が急激に上昇し、溶存態の濃度は低下している。また、降雨後に C/N 比の上昇がみられたことから、陸上植物由来(地表に堆積していたリター等)の有機物の流入量が増加したことが示唆された。

2. モデル計算による栄養塩動態評価

モデルによる計算結果は、窒素及びリンともに実測値を概ね良く再現していた。図 6 に、モデルで推定した窒素(a)及びリン(b)濃度の季節変化を示す。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は全体的に冬季に高く、春季に植物プランクトンの増殖により濃度が低下し、秋季に向かって再度高くなる傾向であった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び DON はいずれも $\text{NO}_3\text{-N}$ と比べて濃度が低かった。どちらも年間を通じた傾向はみられなかったが、DON は大規模な出水時にピークを示した。また、 $\text{PO}_4\text{-P}$ も $\text{NO}_3\text{-N}$ と同様に春季に植物プランクトンの増殖により濃度が低下し、その後増加する傾向を示した。

PP は河川流量と鋭敏に応答しているが、ある流量以上でないと流出しない傾向を示した。

現地観測では夏季に感潮域でリンの供給傾向が確認されたのに対し、モデル解析では再現できなかった。これは、本モデルが底質堆積物からの拡散溶脱は考慮しているものの、感潮域において重要な

河川水-地下水交流の影響を含んでいないためであると考えられる。また、現在の堆積物より蓄積栄養塩を倍増及び半減させた仮想条件での解析結果は、明らかな水体の

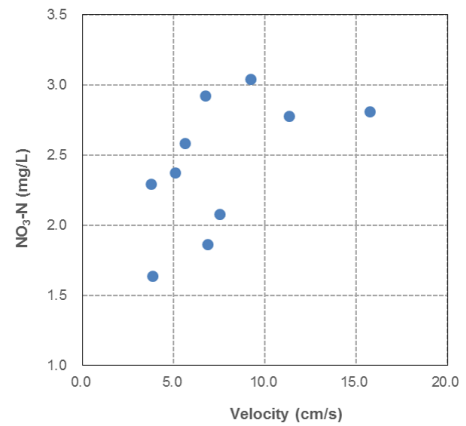


図 3 河川流速と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度との関係

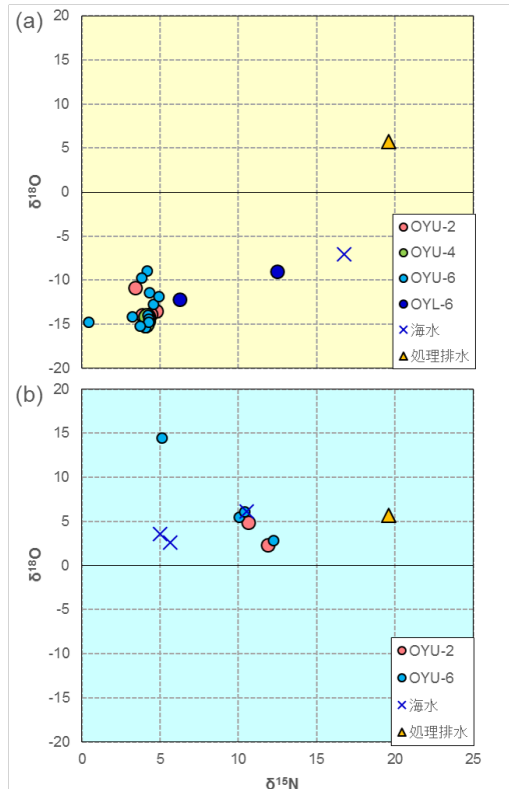


図 4 $\text{NO}_3\text{-N}$ の $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ との関係 (a:1 月、b:8 月)

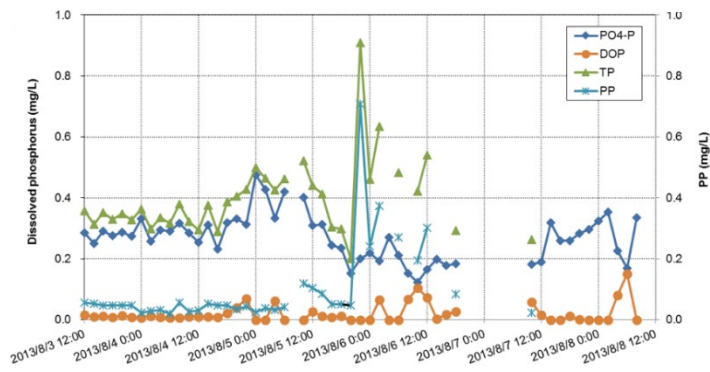


図 5 OYU6 におけるリン濃度の経時変化

栄養塩濃度の変化が確認でき、特に栄養塩含有量の減少により、夏季における河川水中のDIP及びDN濃度が低下することが確認できた。今後さらに河川水質の改善が進んでも底質の改善が進まなければ海洋への負荷量改善には直結しないことが示唆された。

[まとめと今後の課題]

最終年度である今年度は、(1) 溶存及び懸濁物の安定同位体を用いた大和川感潮域での生物地球化学過程の検証を行うとともに、(2) これまでの観測データ及び準分布型流域流出モデルと水域水理生態系モデルの連結モデルによる解析を実施した。その結果は以下のとおりである。

(1) 地下の比抵抗電気探査の結果から、ピエゾメーター法及びラドン (^{222}Rn) トレーサー法による観測結果と調和的な傾向、すなわち河川-地下水交流及び地下での塩淡水境界の変動が確認できた。河川水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、感潮域で一旦上昇しその後低下する傾向が、それぞれ河川-地下水交流による栄養塩の供給及び脱窒/沈澱による消失が示唆された。これらの傾向は同位体比からも支持された。

(2) 生態系モデルを用いた解析結果は、河川水の栄養塩（窒素、リン）濃度の変動を概ね良く再現した。また、収支計算から、上流域から流下してきた窒素・リンの一部は感潮域内に沈殿し蓄積されることがわかった。一方で、観測結果で確認された夏季におけるリンの感潮域での供給傾向は、モデル解析では再現できなかった。この結果から、感潮域における河川-地下水交流という移流現象を考慮することの重要性が示された。また、底質堆積物の栄養塩含有量を変化させた仮想解析では、栄養塩含有量の減少により、夏季における河川水中のDIP及びDN濃度が低下することが確認できた。このことは、底質改善の重要性を示すものであり、今後河口よりも沖合にかけての堆積物の改善が重要であることが示された。

[引用文献]

- Onodera, S., Saito, M., Yoshikawa, M., Onishi, K., Shimizu, Y. & Ito, H. (2013) Nutrient dynamics with interaction of groundwater and seawater in a beach slope of steep island, western Japan. IAHS Publication, 361, 204-211.
- Shimizu, Y., Onodera, S. & Saito, M. (2013) Nutrient exchange between surface water and subsurface water in ponded shallow reservoir of a suburban river catchment. IAHS Publication, 362, 172-178.

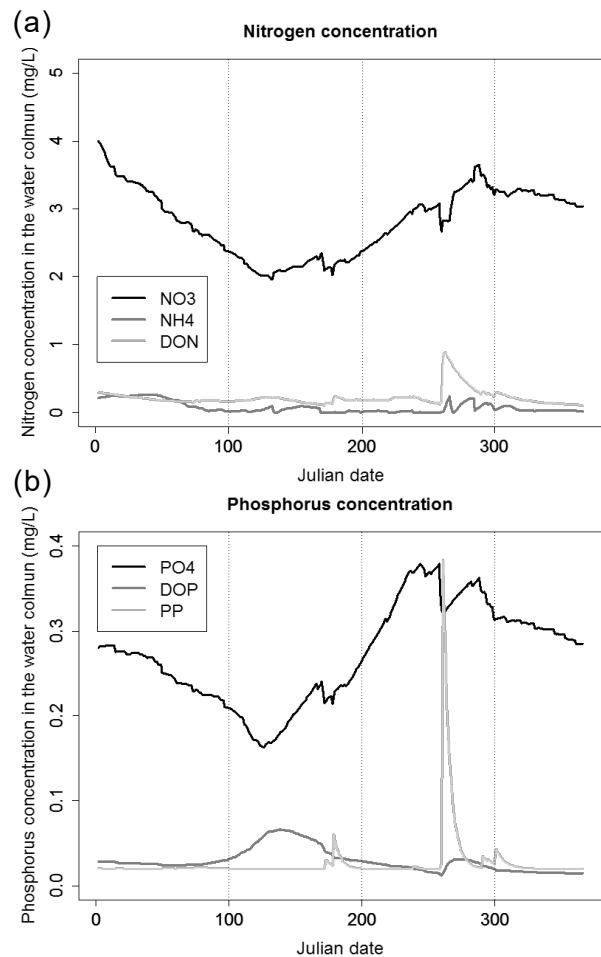


図6 モデル計算による窒素濃度(a)及びリン濃度(b)の時系列変化