

# 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

小野寺 真一

広島大学大学院総合科学研究科・准教授

## 1. はじめに

大規模な一級河川から海域への栄養塩輸送量の一般的な評価手法として、従来は、塩水の侵入が無い地点における流量と河川水中の栄養塩濃度との積算により、栄養塩負荷量を推定する手法が取られてきた。しかしながら、現状は流量に比べて栄養塩濃度のモニタリング頻度は格段に少なく、また、河口近辺の塩水遡上域（感潮域）における栄養塩動態の変化や、洪水時における流出量変動等の非定常的なプロセスについては、依然として定量的な評価が不十分である。さらに、下流域は一般に河川水と周辺地下水との交流が生じる場に相当することから、河川中の栄養塩動態に及ぼす地下水の影響も評価する必要がある。申請者らのこれまでの研究結果から、大阪湾岸地域は、長期的には地下水の過剰揚水や埋立地造成にともない海域への深部地下水の流出がストップし、地下水位が回復した現在も局所的に塩水侵入の傾向にあることが確認されている（Onodera et al., 2009; 小野寺ほか、2010; Onodera, 2011）。一方で、短期的には潮位変化や降雨浸透にともない地表水-地下水交流が生じ、河口域の栄養塩動態に大きな影響を及ぼすことも分かってきた（清水ほか、2009）。すなわち、河川からの栄養塩負荷を正

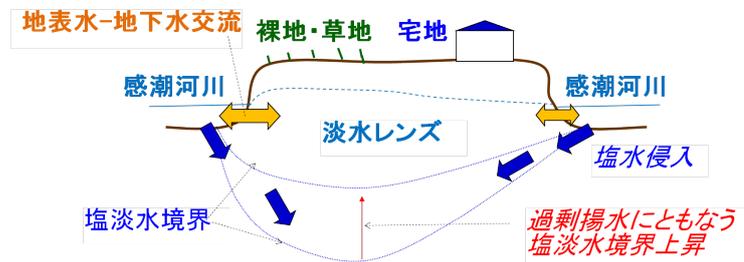


図 1 都市部埋立地周辺における地表水－地下水交流と淡水（地下水）レンズの模式図

確に評価するためには、河川感潮域における上記の河川水－地下水－海水間の相互作用（図 1）が栄養塩輸送に及ぼす影響を加味する必要がある。したがって本研究では、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。

## 2. 研究方法

本研究では、大阪湾に流入する一級河川で、水質汚濁が深刻な大和川を対象とした。まず、(1)感潮域での地表水－地下水交流にともなう栄養塩動態を明らかにするため、地下水に関する既存情報の収集、整理を行うとともに、2011年9月28日～10月2日の大潮～中潮の期間において、阪堺大橋～遠里小野橋にかけての河口から約7km上流までの区間を対象に現地観測を実施した。最下流の阪堺大橋(0Y1

；現河口から 5km 上流)、大和川大橋 (0Y2 ; 6km)、および遠里小野橋 (0Y3 ; 7km) において河床部にピエゾメーターを設置し、間隙水圧のモニターを行うとともに、間隙水および河川水の採取を定期的に行った。また、河口付近に位置する南港 (0Y-Sea) では、定期的に海水の採取を行った。さらに、0Y1 では ADCP (ドップラー式流速計) による河川流速、CTD 計による河川水および間隙水の水温、塩分および水圧、ラドン分析器による河川水中ラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) 濃度の連続モニタリングを行った。また、定期的に河川横断面での観測も行った。採取した水試料は、現地において電気伝導度 (EC)、溶存酸素濃度 (DO)、pH の測定を行い実験室において栄養塩 (DIN、DIP、DSi) 濃度、ラドン濃度の定量分析を行った。また、(2)~(4) 感潮域の上流側を含めた流域からの栄養塩輸送量の高精度な推定 (洪水時を含む) のため、今年度は、河川流量および栄養塩濃度に関する既存データの収集・整備を行うとともに、GIS による土地利用解析および準分布型水文流出モデル (SWAT モデル) による解析領域の設定と流量の推定を行った。

### 3. 結果と考察

#### (1) 感潮域における河川水-地下水交流

図 2 に最下流の阪堺大橋 (0Y1) における河川水位 (a) および河川水と間隙水との水位差 (b) の時系列変化を示す。図 2b で正の値は河川水位より地下の水位が高い状態で地下水が河川に流出していることを示し、逆に負の値は河川水が地下水へ侵入していることを示す。河岸付近 (赤線) では、河川水位が高い時期に正の値を示し地下水流出傾向を、一方河川水位が低い時期に河川水の侵入傾向という再循環傾向を示した。これに対して、河道中央付近 (青色) では常に負の値で河川水が地下へ侵入していることが明らかになった。

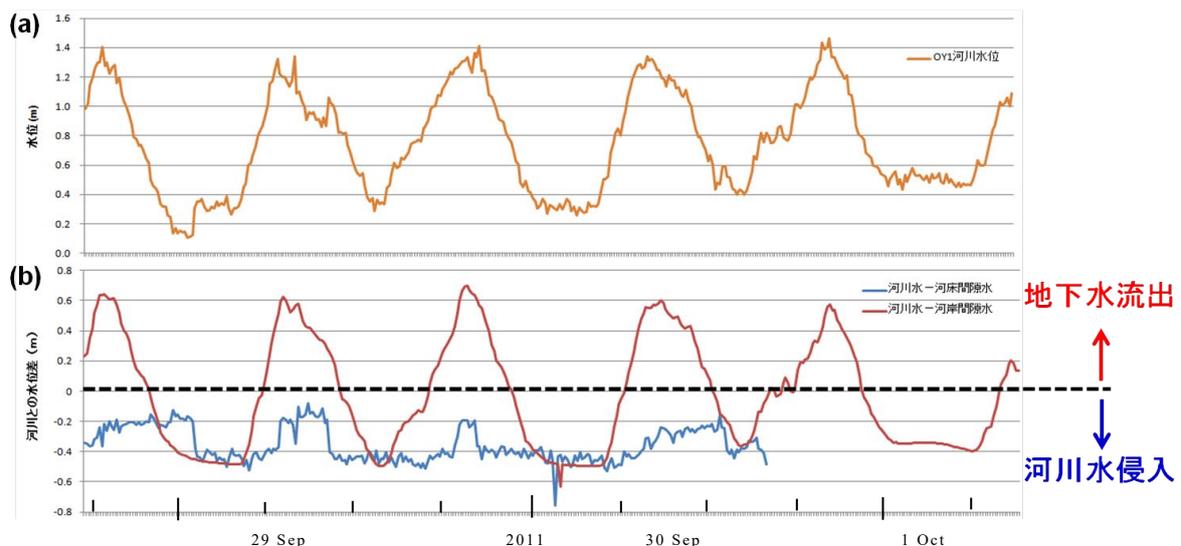


図 2 阪堺大橋(0Y1)での河川水位(a)および河川水と間隙水の水位差(b)の変化

また、河川水中でのラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) 濃度の空間変化を確認した結果、0Y3 および 0Y2 では比較的高い濃度が検出されたものの、0Y1 においては海水 (0Y-Sea) とほぼ同じレベルであった。ラドンは、一般に地下水中に非常に高濃度で含まれ、地下水の

流出がより大きい場所では、河川水のラドン濃度も上昇すると考えられる。したがって、OY3~OY2までの区間は周辺地下水の流出域になっていることが示唆される。一方で、河口近傍のOY1では顕著なラドン濃度の上昇がみられなかったことから、地下水の河川への寄与は小さいと考えられる。この原因の一つとして、市街地における地下水の過剰揚水による水位低下が影響していると考えられる。実際に、大阪近郊においては地下水が下向きに流動していることが確認されている(小野寺ほか、2010)。

## (2) 感潮域における栄養塩動態変化

図3に河川の上流側から下流側(OY3からOY1)へのそれぞれ硝酸性窒素変化量( $\Delta\text{NO}_3\text{-N}$ )とアンモニア態窒素変化量( $\Delta\text{NH}_4\text{-N}$ ) (a)、総溶存窒素変化量( $\Delta\text{TN}$ ) (b)および溶存有機態窒素変化量( $\Delta\text{DON}$ ) (c)との関係を示す。変化量は全てOY1における濃度からOY3の濃度を引いた値であり、すなわち、正の値を示す場合は下流に向かって濃度が上昇しており(窒素負荷、内部生産など)、負の値を示す場合は下流に向かって濃度が減少している(浄化、希釈など)ことを示す。図中の

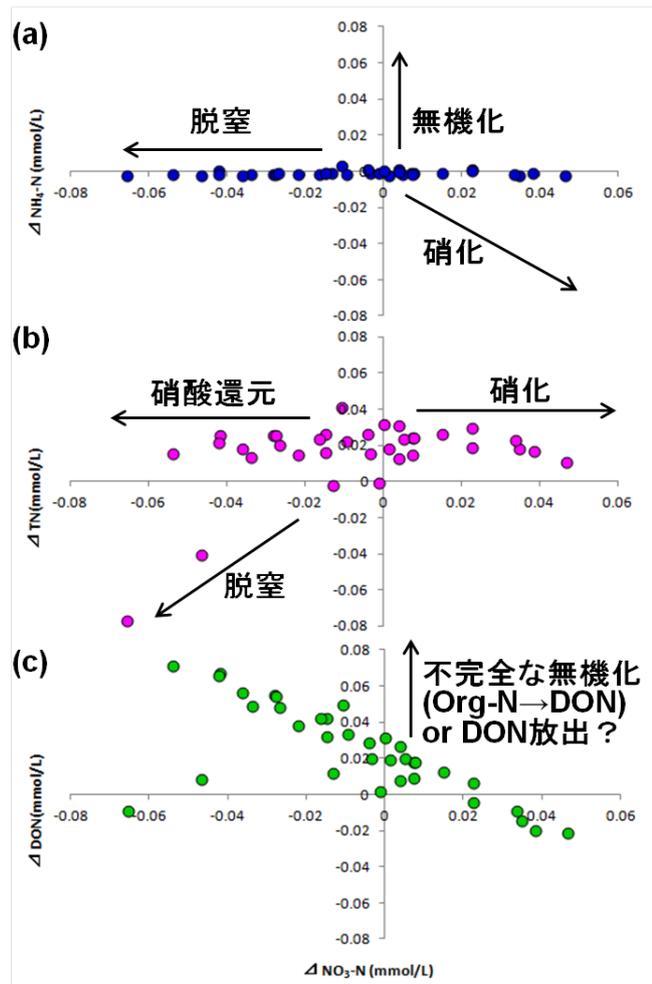


図3 上流から下流への窒素動態変化

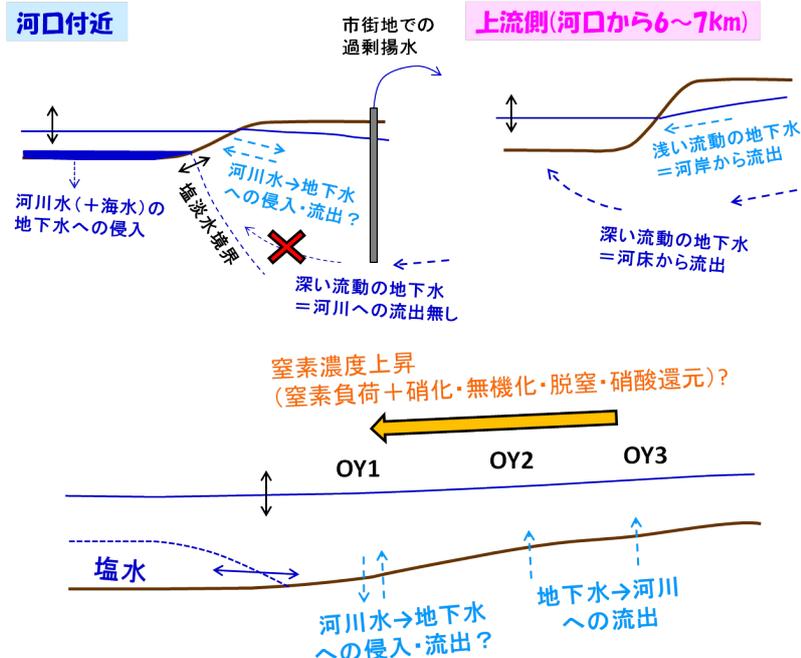


図4 大和川感潮域における地表水-地下水交流および栄養塩動態変化

矢印は、各反応にともなう変化を示す。以上の結果から、全体的にトータルの窒

素濃度は下流に向かって増加していることが確認されたが、 $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度の変化は小さいことから、硝化 ( $\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_3$ )、脱窒 ( $\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$ )、無機化 ( $\text{Org-N} \rightarrow \text{DON} \rightarrow \text{NH}_4$ ) および異化的硝酸還元 ( $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NH}_4$ ) 等のプロセスが複合的に生じていると考えられる。さらに、(c)より  $\Delta \text{DON}$  の増加がみられることから、不完全な無機化によって、有機態窒素

(Org-N)が  $\text{NH}_4$  まで変化せず DON の状態のまま水中に残存しているか、或いは河床堆積物中の有機物や植物プランクトンからの DON 放出 (Cook et al., 2004; Schlarbaum et al., 2011) が生じている可能性が考えられる。

以上の地表水-地下水交流およびそれともなう窒素動態変化についての模式図は図4に示す通りである。

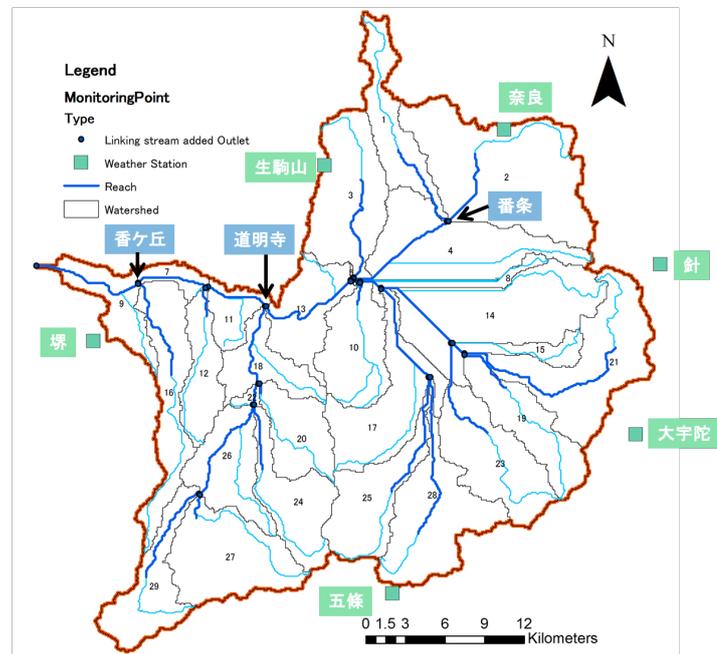


図5 大和川流域における SWAT モデルによる解析領域

### (3) 大和川流域全体を対象とした栄養塩流出推定

図5に、大和川の香ヶ丘（流量）および浅香（栄養塩濃度）等の各観測所及び解析サブ流域を示す。流域の 50m 高度情報、地形、土地利用等の GIS データをもとに水文水質（SWAT）モデルにより解析を実施した。その結果、流量の変動が再現及び検証できた。今後、水質の再現を確認した上で、洪水時の栄養塩流出の時間変動解析を行っていく予定である。

## 4. 結論

本研究では、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、水質汚濁が深刻な大和川の河口を含む下流域を対象とし、現地観測およびモデル計算による評価を試みた。その結果、河口近傍では市街地における過剰揚水により、地下水の河川への流出が殆ど生じていない可能性が高いことが明らかになった。また、河川水の窒素濃度は全体的に河口へ向かって上昇する傾向を示したが、硝化、脱窒、無機化などの多様なプロセスが複合的に生じており、且つ大きく時間変化していることが示唆された。今後は、季節変化や洪水流出の影響を加味したうえで、モデル計算により大和川流域からの栄養塩流出をより高精度で評価していくことが課題である。

共同研究者 齋藤 光代（愛媛大学 CEMS）・清水 裕太（広島大学）  
伊藤 浩子（（財）地域地盤環境研究所）