

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2）

代表：小野寺 真一（広島大学大学院総合科学研究科・准教授）

代理発表者：丸山 豊（同上・修士課程1年）

共同研究者：齋藤光代（岡山大学）・清水裕太（学振PD・近中四農研）

〔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。ここでは、特に水質汚濁が深刻な大和川河口域を含む都市河川を対象とし、前年度までに確認してきた大和川周辺の地下水情報（地質及び水位変動）、感潮域での河川水－地下水交流およびそれともなう栄養塩動態観測結果とその課題を踏まえて、今年度は主に(1)安定同位体などのいくつかのトレーサーを用いた感潮域での河川水－地下水交流にともなう栄養塩動態を詳細に解明し、(2)河川感潮域の栄養塩収支を観測データ及び分布型流域流出モデルにより推定し、(3)さらに、分布型モデルにより、沿岸部での土地利用の違いによる地下水涵養量の空間変化が地表水－地下水交流に及ぼす影響を見積もる。

〔研究方法〕

前年度までに確認してきた大和川周辺の地下水情報（地質及び水位変動）、感潮域での河川水－地下水交流およびそれともなう栄養塩動態観測結果を踏まえて、2年目である今年度は下記の内容を行った。(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

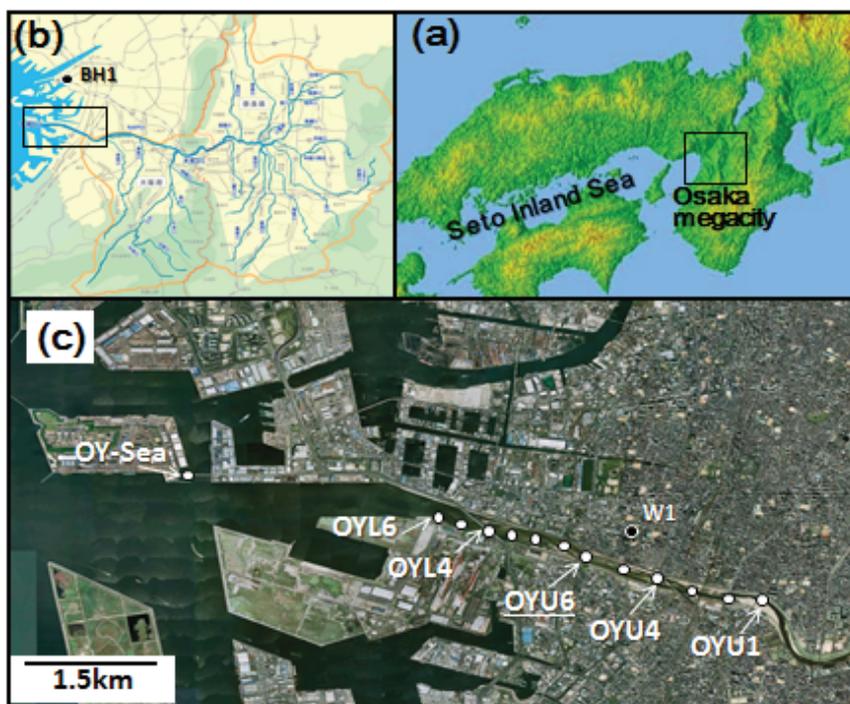


図1 研究地域概要

明らかにするため、ラド

ントレーサー及びピエゾメーター法による調査をより詳細に実施し（図1白丸印の全13地点でラドン測定、OYU1～OYL6の計5地点でピエゾメーター観測）、処理排水などの流入の確認、安定同位体比測定を行った。今回は、2012年9月、11月、2013年1月と3回の集中観測（阪堺大橋 OYU6 でクロロフィル、流量、電気伝導度のモニター及び採水）を実施し、流量及び気温の影響についても調査を行った。採取した水試料は電気伝導度(EC)、溶存酸素濃度(DO)、pHの測定を行い、現地において濾過を行った

のちに、実験室において溶存物質については栄養塩（DIN、DIP、DSi）濃度および無機イオン濃度の定量分析を、またフィルターに残された懸濁物質についても各成分濃度（PP、PON、POC）の定量分析を行った。

また、(2)(3)感潮域の上流側を含めた流域からの栄養塩輸送量を高精度に推定（洪水時を含む）するため、準分布型流域流出モデル（SWAT モデル）による解析を行った。

[結果と考察]

1. 感潮域における河川水-地下水交流・栄養塩動態

OYU1～OYL6 における河川水位と地下間隙水圧の差（■、+：失水、-：流出）およびラドン（Rn）濃度（折れ線）の分布（図2）は、OYU1 を除いて、河川水は失水傾向を示し、地下水を涵養する傾向にあることが確認された。ただし、その量は観測区間における平水時の河川流量（ $25\text{m}^3/\text{s}$ ）に対して $0.1\sim 0.5\%$

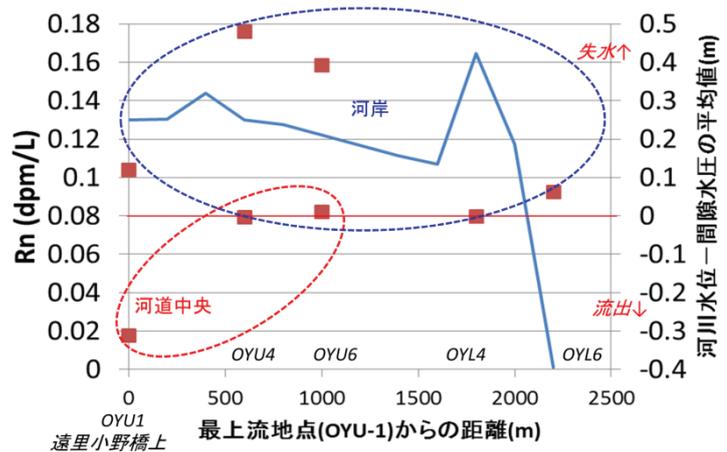


図2 OYU1～OYL6 における河川水-地下水交流の分布

程度と無視できる程度であるが、

昨年も確認したように、干満に伴う地下水-河川水の出入り（交換量）は河川流量の 1% 程度であると見積もられた。地下水流出のトレーサーである Rn 濃度（Burnett and Dulaiova, 2003）も失水傾向を支持した。ただし、OYL4 で一旦急上昇するのは排水の流入によるものである（都市下水には地下水も多く流出するため）。

また、上流から河口にかけての栄養塩および DOC の濃度分布結果は、干潮時に OYU6 或いは OYL6 に向かって概ね上昇傾向を示し、海域（OYSea）で最も低濃度を示した。排水等の流入は OYU1 の直上及び OYL4 のみであるため、OYU6 周辺での栄養塩濃度の上昇には、上述の河川-地下水交流にともなう栄養塩の供給、或いは Eyre (2000) や Cook et al. (2004) で指摘されているような塩水-淡水混合域でみられる堆積物からの巻き上げ-溶出に加えて堆積物中への水の出入りが関与している可能性が考えられる。

また、図3に上流から河口までにおける懸濁態有機物（POM）の安定同位体比の分布を示す。 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の関係から、海水系（OYSea）と淡水系（OYU2、4、6、OYL6）のプランクトンでは $\delta^{13}\text{C}$ が大きく異なる点、また、感潮域である OYU4～OYL6 においても淡水性のプランクトンが優先している点が明確に確認できる（図4a）。また、OYU6 における $\delta^{15}\text{N}$ は上流の OYU2 と河口域の OYL6 との間の中間的な値を示すものの、PON は上昇していることから（図4b）、堆積物からの再生産によって供給された低い同位体比の無機態窒素が影響している可能性がある。また、OYU6 における栄養塩濃度は、干満に伴う変動が主要成分の DIP 及び NO_3^- で確認でき、概ね干潮に向かって濃度が上昇し満潮に向かって低下する傾向を示す。以上の傾向は、ともに河川-地下水交流に

ともなう栄養塩供給を示唆するものである。

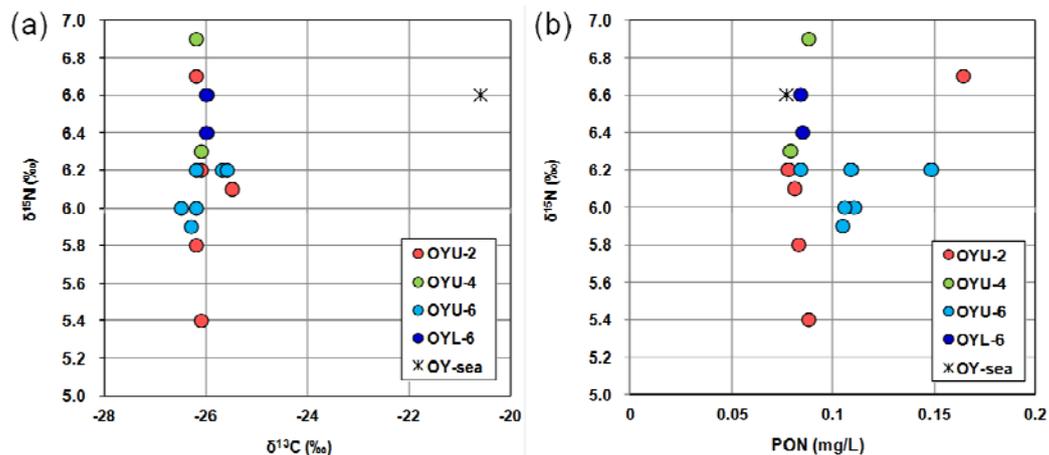


図3 上流～河口での懸濁物質の (a)C-N 安定同位体比および(b)PON-N 同位体比との関係

表 1a, b, c に OYU6 と OYU2 及び OYL6 と OYU6 との間での栄養塩収支を示す。冬季のこの期間は OYU6 まではいずれもプラスであり（堆積物からの供給）、DTN で 9%、DTP で 4%、PP では 70%の負荷があったことが確認できた。溶存成分については、前年の夏季の傾向（Onodera et al., 2013）と同様であるが、懸濁成分については季節変化の評価が必要である。OYL6 までの区間では、排水の流入による栄養塩の負荷も考慮に入れているが、干潮時はトータルの溶存態および懸濁態ともにマイナスとなり、栄養塩の除去（脱窒、リンの吸着・沈殿等）プロセスが卓越していることが明らかになった。一方で満潮時は、DIP の生産が顕著になった。塩水環境においてリンの脱着が起こり、DIP 濃度が上昇したためであると考えられる。また、DON については干潮、満潮ともに感潮域における生産が顕著であることが明らかになった。この原因については定かではなく、今後更なる検討が必要であるが、DON 濃度の高い排水の流入や植物プランクトンからの DON 放出等が影響していると考えられる。

表 1 (a) OYU6 と OYU2 との間での栄養塩収支、(b)干潮時および(c)満潮時の OYL6 と OYU との間での栄養塩収支

OYU-2 → OYU-6	DIN	DON	DTN	PON	DIP	DOP	DTP	PP
ΔNutrients (kg/d)	513	372	885	26	21	1	22	39
ΔNutrients /OYU-2 flux (%)	6	22	9	22	4	10	4	70

OYU-6 → OYL-6 Low tide	DIN	DON	DTN	PON	DIP	DOP	DTP	PP
ΔNutrients (kg/d)	-7202	+6082	-1120	-139	+20	-51	-31	-103
ΔNutrients /OYU-6 flux (%)	-87	+440	-12	-43	+3	-87	-5	-63

OYU-6 → OYL-6 High tide	DIN	DON	DTN	PON	DIP	DOP	DTP	PP
ΔNutrients (kg/d)	-6710	+6348	-362	-45	+175	-27	+148	-31
ΔNutrients /OYU-6 flux (%)	-85	+300	-4	-20	+36	-54	+28	-37

2. 大和川における流域水文モデル（SWAT）による栄養塩流出解析

準分布型水文流出モデル(SWAT モデル；米国農務省開発)による流出解析を行った。

前年の計算条件に対して、新たに他流域（淀川流域、紀ノ川流域）からの導水情報、農地施肥情報、下水処理整備情報を考慮して栄養塩濃度の再現性向上を試みた。計算期間は2000年1月から2013年1月までとした。流量および水質（SS、NO₃、PO₄）のパラメータのキャリブレーションは、2003年から2004年の2年間で、ヴァリデーションは2008年から2009年の2年間でいった。モデルで使用したデータは、標高データ（50mメッシュ）、土壌（20万分の1土地分類調査の土壌分類図；国土交通省土地・水資源局国土調査課）、土地利用（国土数値情報土地利用細分メッシュデータ平成18年度情報）と、流域内外の6つの気象観測所（五條、奈良、堺、生駒山、針、大宇陀）で測定された降水量、気温、風速、相対湿度、日射量（推定値）である。最終的な計算領域とサブ流域構成およびデータ（気象、水文）入力地点を図4(a)に示す。

本解析では、特に、流量、SS、TP、DIPは洪水時の変動を含めて十分高い再現性が確認できた。また、水収支パラメータのキャリブレーションは完了したことから、地下水涵養量の分布を図4b,cのように推定できた。

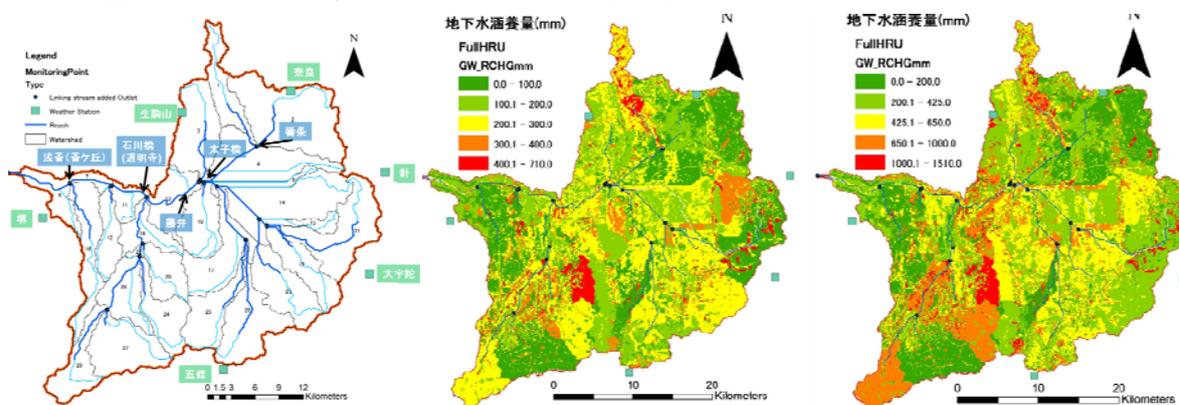


図4 (a)SWATモデル構成、地下水涵養分布解析結果（渇水1994年、豊水1998年）

[今後の課題]

なお、課題は下記の通りである（3年計画の3年目実施分に相当）。（1）SWATモデルのキャリブレーションデータとして、洪水時の情報を個別に採取する必要性。（2）河川モデル及び河川—地下水交流影響も含めて連成した感潮域区間モデル解析による、堆積物との栄養塩交換の評価の必要性。（3）自記記録式センサーで測定された濁度とPP濃度、PON濃度、PON濃度との関係を明確にし、SWATモデルのSS計算結果からPP濃度を再現していく新規の試み。

引用文献

- Burnett, W. C. and Dulaiova, H. (2003) Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. *Journal of Environmental Radioactivity*, 69: 21-35.
- Cook, P.L.M., Eyre, B.D., Leeming, R. and Butler, E.C.V. (2004) Benthic fluxes of nitrogen in the tidal reaches of a turbid, high-nitrate sub-tropical river. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 59: 675-685.
- Eyre, B. D. (2000) Regional evaluation of nutrient transformation and phytoplankton growth in nine river-dominated sub-tropical east Australian estuaries, *Marine Ecology Progress Series*, 205: 61-83.
- Onodera, S., Saito, M., Yoshikawa, M., Onishi, K., Shimizu, Y. and Ito, H. (in press) Nutrient transport and surface water-groundwater interactions in the tidal zone of the Yamato River, Japan, *IAHS Publication* (accepted).