

大阪湾岸流域における下水道由来栄養塩負荷の影響評価（その2） —地下水流入および洪水時フラッシングを考慮した時空間変化の解析—

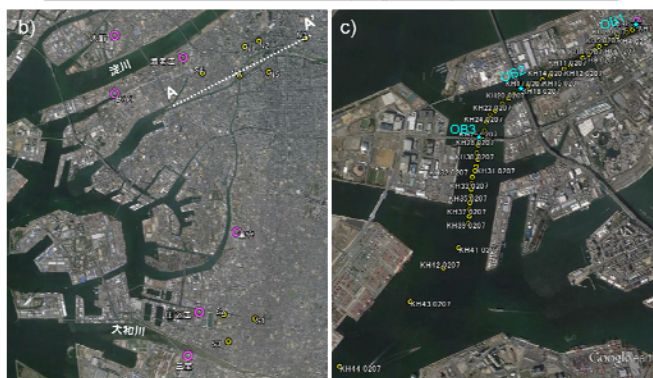
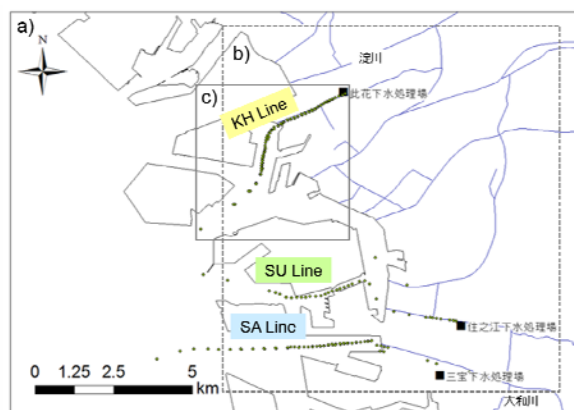
代表者：小野寺真一 広島大学大学院総合科学研究科・教授
代理発表者（共同研究者）：齋藤光代

岡山大学大学院環境生命科学研究科・特任助教

共同研究者：谷口正伸（和歌山大学）・金 広哲（広島大学）

【研究目的】

本研究では大阪湾に対する下水道由来の栄養塩負荷の影響を評価することを目的とし、昨年度は申請者らがこれまで継続的に調査を実施してきた大和川流域¹⁾に加え、淀川流域および寝屋川流域内に位置する下水処理場を対象に既存データの整理、現地観測およびモデル解析を実施した。2年目である今年度は、特に大阪湾沿岸部に位置する下水処理場の排水放流点から沿岸部および処理場近傍の地下水を含む現地調査および洪水流出時を含む変動のモニタリングを実施し、(1)栄養塩濃度および安定同位体等を用いたマルチトレーサー解析により、沿岸海域における下水道由来の栄養塩動態について明らかにするとともに、(2)沿岸堆積物の分析を行い処理排水から堆積物への栄養塩蓄積量および堆積物からの拡散にとまらぬ栄養塩負荷を評価し、(3)以上の結果に基づく水理生態系モデルによる解析を行い、下水道由来の栄養塩負荷による沿岸域への影響を評価し、さらに(4)下水道と周辺地下水との相互作用について明らかにすることを目的とした。



【研究方法】

1. 現地調査

①沿岸海域調査

昨年度調査を行った大阪湾沿岸の3箇所の下水処理場（此花、住之江、三宝：図1a）のうち、此花下水処理場を対象により詳細な観測を実施した。処理排水放流口を起点として沖側に向かう約5kmの側線（KH Line）を設定し（図1c）、2015年8月、11月、2016年1月の期間に海水の水温および電気伝導度、溶存酸素濃度（DO）およびクロロフィルa（Chl.-a）の鉛直分布を約300m間隔で測定した。試料の採取は表層海水試料を栄養塩（窒素、リン、珪素）分析用に約100m間隔で、懸濁態有機炭素（POC）・窒素（PON）および硝酸（NO₃⁻）の窒素・酸素安定同位体（ $\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ ）分析用に300m

図1 対象地域概要 (a: 大阪湾沿岸の下水処理場から沿岸域にかけての調査範囲、b: 沿岸地下水調査範囲、c: 此花ライン（KH Line）の観測点）

～600m 間隔でそれぞれ採取し、底層の海水および海底部の表層堆積物の採取は 300m～600m 間隔で行った。また、3 地点 (OB1～3) にデータロガーを設置し (図 1c)、水温および水圧の変化を 2015 年 8 月～2016 年 1 月の期間でモニタリングした。

②沿岸下水処理場および地下水調査

大阪湾沿岸に位置する 6 箇所の下水处理場 (大阪市：大野、海老江、此花、津守、住之江、堺市：三宝) および地下水地盤環境に関する研究協議会 (以下、地下水協議会) の観測井 5 箇所 (N1～N5)、国土交通省管轄の観測井 2 箇所 (S3、S4) および大阪府管轄の観測井 2 箇所 (S1、S2) を調査の対象とした (図 1b)。地下水の採水点は、それぞれ此花、海老江、住之江下水処理場の流域内に位置する。なお、地下水調査は 2015 年 3 月に実施し、地下水位の測定および地下水の採取を行った。

2. 試料分析

採取した試料は実験室に持ち帰り、水試料は濾過後に栄養塩 (窒素、リン、珪素) 濃度、主要陰イオン・陽イオン濃度、懸濁態成分の窒素・炭素量および窒素・炭素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$)、硝酸性窒素 (NO_3^-) の窒素・酸素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$) について、それぞれ定量分析を行った。また、地下水試料については硫酸 (SO_4^{2-}) の硫黄安定同位体比 ($\delta^{32}\text{S}$) の分析も行った。

堆積物試料については、遠心分離により間隙水を採取した後に乾燥・粉碎を行い、リンの溶出実験により 6 種類の形態別のリン (吸着態リン：NaCl-iP、鉄・マンガン結合態 (酸化還元反応性) リン：NaBD-iP、可動態有機リン：NRP、アルミニウム結合態 (塩基可溶性) リン：NaOH-iP、炭酸塩 (カルシウム) 結合態リン：HCl-iP、残渣性リン：Res-P) 濃度を同定した。間隙水および堆積物抽出水については栄養塩濃度の測定を行い、堆積物試料は窒素・炭素量および $\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$ の測定も実施した。

3. モデル解析

西オーストラリア大学の Center for Water Research (CWR) により開発された ELCOM、CAEDYM を用いた三次元水理・生態系モデル解析により、此花下水処理場 (KH Line) を対象に下水処理場放流水の影響を再現した。境界条件のうち、上流 (陸側) については処理場からの放流水を入力条件とし、海側の境界は放流水流入点から直線距離で約 2,400 m 沖側 (舞洲の直前) に設定し、潮位データは気象庁大阪潮位観測所の毎時データを 10 分間隔に補間し使用した。計算領域内の水深は、現地観測の際に測定した水深データに基づき作成した。気象条件については、大阪管区气象台における気温、降水量、風速、日射量、相対湿度の 10 分データを使用した。計算グリッドについては平面方向に 20m×20m の正方形グリッドを作成し (東西方向(x)：126 グリッド、南北方向(y)：54 グリッド)、鉛直方向は 0.5m 間隔で、計算ステップは 2 分間隔で行った。

季節変化の評価については、①秋季 (10 月) および②冬季 (2 月) の 2 時期を対象として計算および実測結果に基づく検証を行った。また、洪水流出時における変化については、25mm/h、50mm/h および 75mm/h の強度の降雨がそれぞれ 1 時間継続した場合を想定し、降雨開始から約 2 日後までのシミュレーションを行った。この時、流

入水の栄養塩濃度については流量の増加に応じて希釈されると仮定した。また、堆積物からの拡散にともなう栄養塩負荷の影響についても、現地観測結果に基づくシミュレーションを実施した。

【結果と考察】

(1) 下水道由来の栄養塩動態：硝酸の窒素・酸素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$) 等による下水道由来の窒素動態の解析を行った結果、処理排水流入口から 1~2km の区間では下水道由来の窒素負荷の影響が顕著であることが確認され、その一方で、植物プランクトンによる窒素の取込み・増殖にともなう同位体分別が生じている可能性や堆積物からの窒素負荷の影響も示唆された (図 2)。

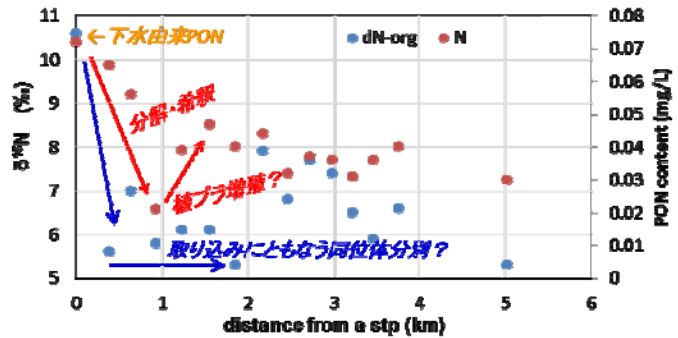


図 2 KH Line における海水中 PON の濃度および $\delta^{15}\text{N}$ の変化

(2) 沿岸堆積物への栄養塩蓄積および堆積物からの負荷：対象地域における海底堆積物中のリン蓄積量は、既存の瀬戸内海沿岸の結果と比較して非常に高いことが明らかになった。また、形態別リンの分析結果から、拡散や酸化還元反応によって輸送されやすい可動

態のリンの割合が高いことも明らかになった。さらに、間隙水と底層海水との濃度勾配から栄養塩の拡散フラックスを推定した結果、特に $\text{NH}_4\text{-N}$ や DIP について比較的大きなフラックスが見積もられた (図 3)。

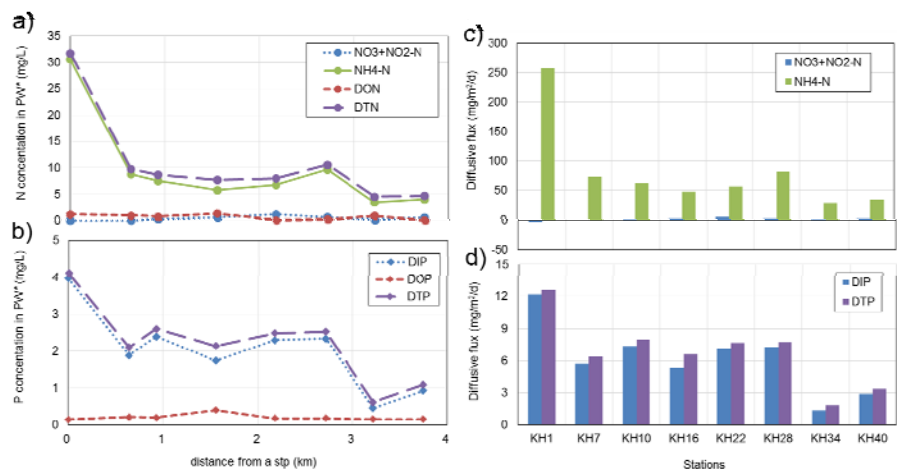


図 3 KH Line における間隙水中の溶存態窒素(a)および溶存態リン(b)の濃度、拡散による窒素負荷量(c)およびリン負荷量(d)の変化

(3) 下水道由来の栄養塩負荷による沿岸域への影響評価：此花ライン (KH Line) における水位および水温の長期モニタリング結果から、時間雨量が 20mm を超える降水があった場合、下水処理排水の影響が流入口から 2.5km 以上沖合まで及んでいる可能性が高いことが明らかになった。また、洪水時を想定した水理生態系モデルによるシミュレーション結果から、降水量の増加にともない低塩分ゾーンが顕著に拡大し、栄養塩負荷の影響も拡大することが再現された (図 4)。一方で、堆積物からの拡散フラックスの影響を仮定したシミュレーション結果には、全体的に大きな違いがみられなかった。これは、言い換えれば下水処理場からの負荷の影響が堆積物からの負荷に比べて顕著に大きいことを意味していると考えられる (図 5)。

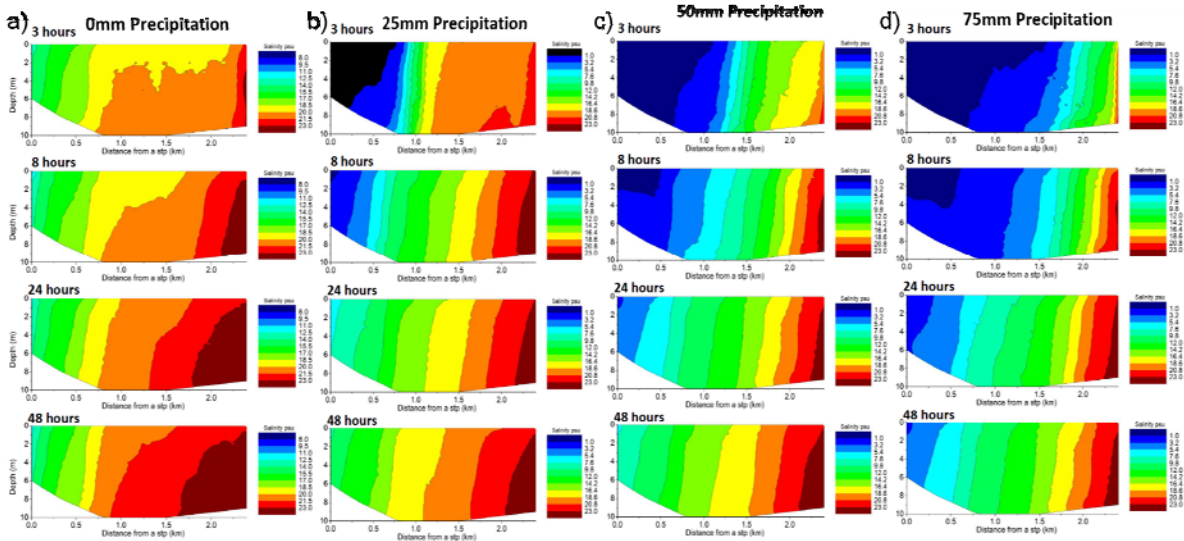


図4 KH Lineにおける塩分のシミュレーション結果
(a: 平水時、b: 25mm/hの降雨時、c: 50mm/hの降雨時、d: 75mm/hの降雨時)

(4) 下水道と周辺地下水との相互作用: 塩分や栄養塩類をマルチトレーサーとした解析を行った結果、海岸線近傍に位置する下水処理場（特に此花処理場）では、塩水性の地下水が下水管に流入していることが明らかになった。対照的に、海岸線よりも2~4km程度上流側の浅層地下水（10m以浅）は下水道から地下水への流入の影響を受けていることが示唆された（図6）²⁾。以上の結果は、下水道および下水処理場の管理の点で重要な知見であり、今後は沿岸海域への影響とあわせてより定量的に評価していく必要があると考えられる。

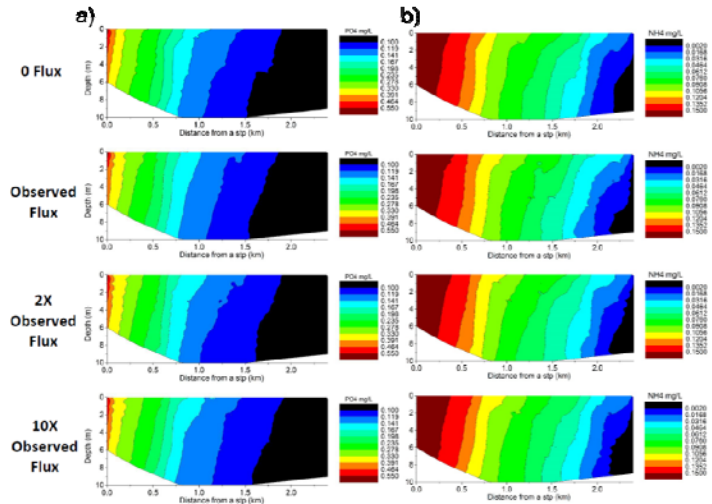


図5 KH Lineにおける堆積物からの拡散を考慮した栄養塩濃度のシミュレート結果 (a: PO₄, b: NH₄)

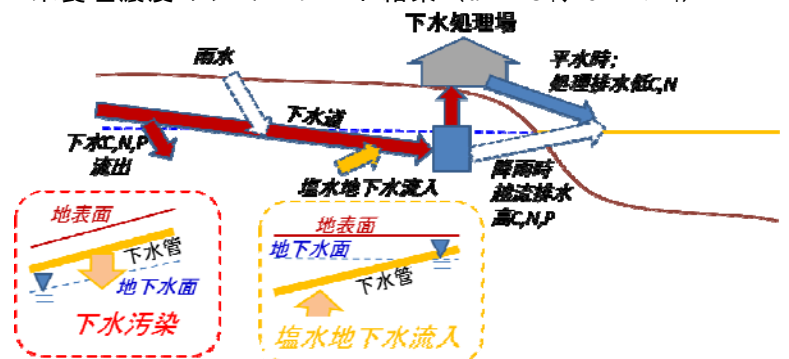


図6 下水道と地下水との相互作用を考慮した排水状況の模式図（青破線は地下水面、黄実線は海水面を示す）

参考文献

- 1) Onodera, S. et al., Nutrient transport and surface water-groundwater interactions in the tidal zone of the Yamato River, Japan. IAHS Publication, 361, 204-211, 2013.
- 2) 齋藤光代・小野寺真一・他5名, 大阪湾沿岸地下水と下水道の相互作用についてー栄養塩類からみてー. Kansai Geo-Symposium 2015 論文集, 87-90, 2015.