

研究課題名：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

—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）・清水裕太

（近中四農研）・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する。そのため、申請者らが最近数年間で集中的に調査を実施してきた大和川^{①,③,④}を主な対象とし、さらに淀川流域、および寝屋川流域を含めた数か所の下水処理排水放流点とその沿岸部において (1)洪水流出時を含めた現地観測を実施し、栄養塩濃度、クロロフィル、安定同位体およびラドン濃度等の時空間変化を明らかにし、(2)マルチトレーサー法により、下水道由来の栄養塩負荷を他の供給源（河川、地下水）と分離して評価し、以上の結果を基に(3) 流域流出モデル及び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する。本研究の最終的な目標として、下水道由来栄養塩負荷の影響範囲は夏季及び平水時には河口近傍に留まり、一方で洪水時および冬季にはより沖合まで顕著に拡大するという仮説（図1）を検証する。

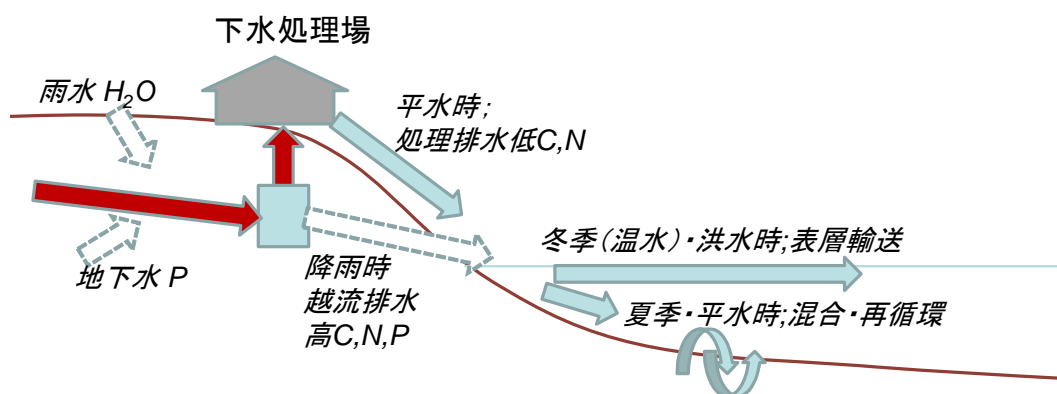


図1 大都市沿岸における下水道由来栄養塩負荷とその輸送に関する模式図

[研究方法]

(1) 現地調査

- ①陸域調査：大阪湾岸に立地する大阪市此花下水処理場、住之江下水処理場、堺市三宝下水処理場を対象に、それぞれの処理場を訪問・見学し、放流量や水質の情報を収集した。
- ②沿岸調査：各処理場の処理排水放流口を起点として沖側に向かう約 4～8km の側線（此花

処理場ライン：KH、住之江
 処理場ライン：SU および
 三宝処理場ライン：SA) を
 設定し (図 2)、2014 年 8
 月 31 日～9 月 1 日 (SU お
 よび SA)、10 月 18 日 (SA
 および KH) および 2015 年
 2 月 7 日 (KH) の期間に実
 施した。各側線において、
 海水の水温、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

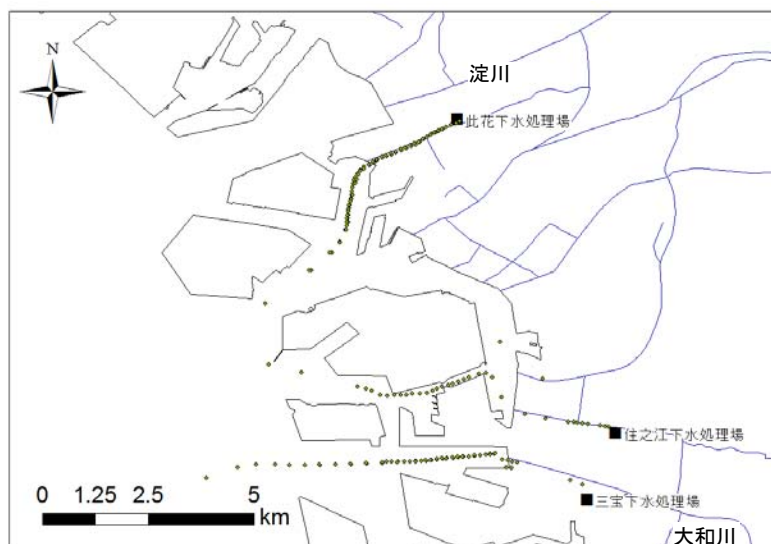


図 2 大阪湾沿岸 (大阪市・堺市) の調査範囲

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) および窒素 (PON) 懸濁態リン (PP) 分析用に約 300m 間隔で採取した。底層の海水および底質試料の採取は 300m～600m 間隔で行った。

(2) 分析および観測結果解析

試料水および底質試料は実験室に持ち帰り、栄養塩 (窒素、リン、珪素) 濃度、溶存有機体炭素濃度、酸素・水素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O} \cdot \delta\text{D}$)、懸濁態成分の窒素・炭素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N} \cdot \delta^{13}\text{C}$) について定量分析を行った。観測された結果及び分析結果に基づき、マルチトレーサー法により河川および沿岸域における下水道由来の栄養塩負荷を他の供給源 (河川、地下水) と分離し、平水時および洪水時における寄与率の推定を行った。また、その空間分布および時間変化についても明らかにした。

(3) モデル解析

①流域流出モデルおよび下水道モデル：合流式下水道による雨天時の未処理排水を考慮した流域からの栄養塩負荷量の評価を目的とし、大和川流域河口部に位置する三宝下水処理場を対象として Soil and Water Assessment Tool (SWAT) モデルを用いて推定を行った。具体的には旧 1 系、新 1 系の 2 統系の処理工程を考慮したサブモデルを構築

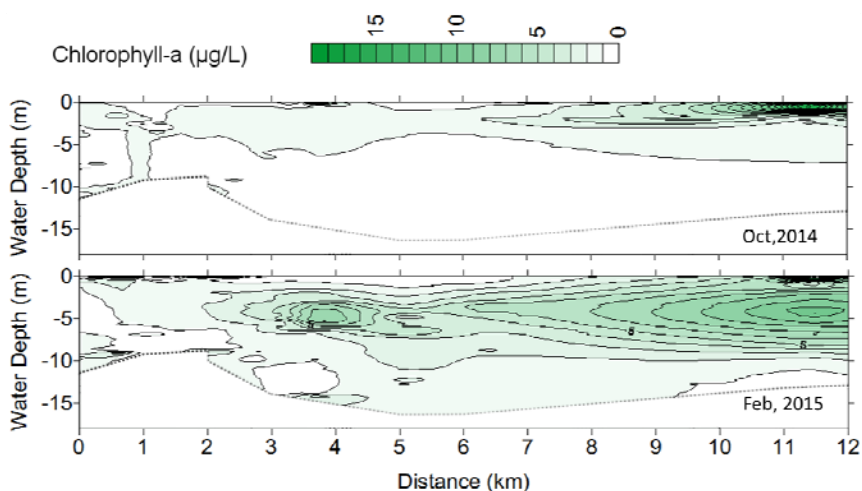


図 3 KH ラインにおける Chl-a の分布

し、SWAT モデルと連結させ雨天時の負荷量を推定した。

②沿岸モデル解析：ELCOM、CAEDYM を用いた三次元水理・生態系モデル解析によって下水処理場放流水の大阪湾への流入過程を再現した。今回の解析対象は、もっとも簡単な構造であることから、此花下水処理場周辺とした。

[結果と考察]

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、数か所の下水処理排水放流点とその沿岸部を対象に既存データの整理および現地観測を行うとともに、得られた現地観測結果を基にマルチトレーサー法による下水道由来栄養塩負荷の評価およびモデル解析を行った。その結果以下のことが明らかになった。

- 1) 大阪市内の 13 の下水処理区を対象に、下水道で処理される生活排水と産業排水の割合を推定した結果、産業排水の割合がかなり高いことが明らかになった。また、下水処理場への流入負荷および放流負荷を比較した結果、有機態の窒素・リンは殆ど除去されているが、無機態として大阪湾に流出していることが確認できた。
- 2) 大阪湾への下水処理排水放流点とその沿岸部を対象とした現地観測の結果から、此花処理場ライン (KH) においては、冬季においてより海水の電気伝導度が低い傾向が確認された。また、この時期には Chl.-a (図 3) と DO も比較的高く、植物プランクトンの生産も活発であることが示唆された。酸素同位体分布も冬季の方が低いエリアが広く分布し (図 4)、処理排水が沖まで輸送されていることが示唆された。

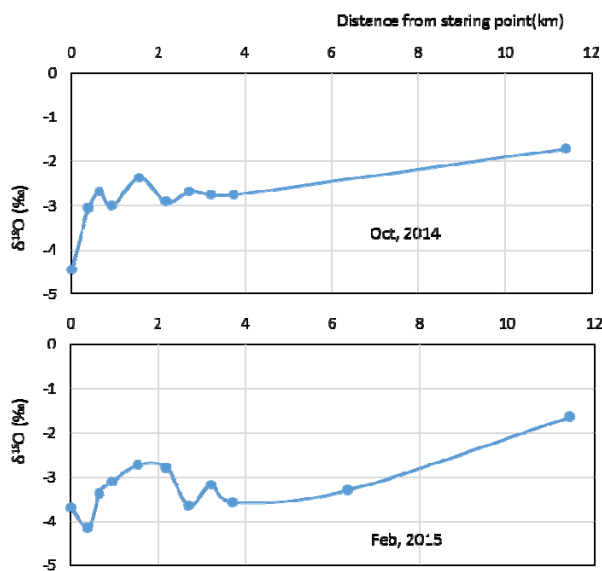


図 4 KH ラインにおける $\delta^{18}\text{O}$ の分布

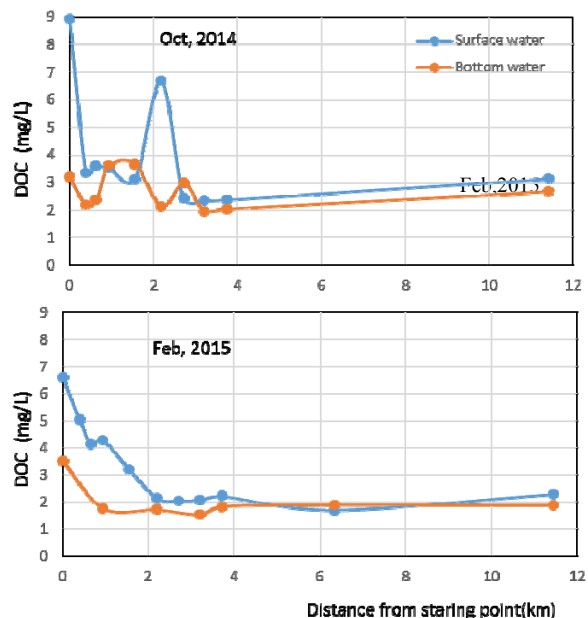


図 5 KH ラインにおける DOC 分布

- 3) 観測領域の表層海水においては、下水処理水の放流口付近で栄養塩濃度が最も高く、その後沖側に向かって低下していく傾向を示した。DOC の分布 (図 5) においては、10 月に比べて 2 月の方がより沖まで輸送されている様子が確認できた。これは、2 月により排水自体

が輸送されていることと 10 月により分解が進んでいることが関係していると考えられる。処理場から放流される排水と沖合の海水とを端成分（エンドメンバー）とし、観測領域における栄養塩の消失・生産過程について考察を行った結果、特に KH ラインにおいては、冬季に植物プランクトンの取り込みによる栄養塩の消失が顕著になる傾向が確認された。一方で、晩夏においては栄養塩の生産傾向が示唆された。

- 4) モデル解析の結果は、洪水時に下水処理場（合流式の場合）から溶存窒素およびリンで約 10%、懸濁物質で 40%流出負荷量が増大していることが確認できた。また、夏季よりも冬季により下水が沖合に輸送される傾向を、洪水時により輸送される傾向（図 6）が確認できた。

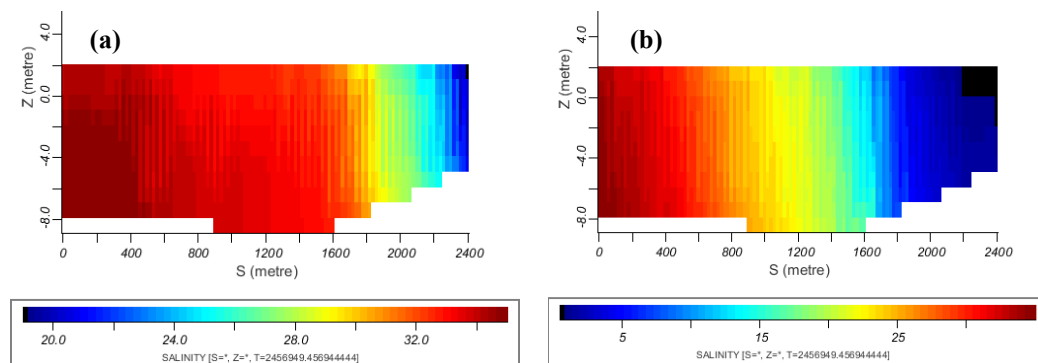


図 6 2014 年 10 月 18 日 23:50 時の塩分の鉛直断面図（左端が大阪湾，右端が此花下水処理場）

(a) 通常放流（晴天時を想定）

(b) 放流量 10 倍（雨天時を想定）

[まとめ]

本研究の結果、仮説（図 1）のような下水処理場からの排水の沿岸への拡散影響が季節および洪水時に依存して拡大することを確認できた。

今後は、より定量的にかつ多様な条件で評価していく必要がある。また、堆積物の影響^②などを含めた解析も必要である。さらに、下水道については、地下水との相互作用についても確認していく必要もある。

参考文献

- ①Onodera, 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.
- ②Jin, G., Onodera, S., Saito, M., Shimizu, Y. et al. “Effects of dam construction on sediment phosphorus variation in a semi-enclosed bay of the Seto Inland Sea, Japan.” Estuarine, Coastal and Shelf Science, 135, 191-200, 2013.
- ③Shimizu, Y. et al. “The effect of small impoundments on nutrient transport in a suburban watershed.” IAHS Publication, 362, 172-177, 2013.
- ④大西晃輝・小野寺真一ほか“巨大都市ジャカルタのチリウン川における水質汚濁特性.” 日本水文学会誌, 43, 39-46, 2013.