

# 港湾域におけるリン溶出抑制技術の開発

藤井智康

奈良教育大学 教育学部 准教授

## 1. はじめに

港内域の富栄養化や貧酸素化は全国で問題となっている。港湾海域は防波堤に囲まれた強閉鎖性海域であり、水の流動は防波堤の外と比較して小さく、海水交換が弱い。また、港湾海域には多くの埋立地があり、海面は長さ数百から数キロメートルの水路状地形となっている。また、要所には航路が掘り込まれ、浅場の中に深みがある地形となっている。さらに、下水処理場の多くは埋立地に立地し、水路状海域に排水している。複雑な水路状地形によって、多くの停滞性の水域（よどみ地形）ができています。特に深掘り跡にできる貧酸素水塊は、外部とほとんどほとんど交換せず、秋季まで滞留する。貧酸素化と底泥からのリン溶出は大阪湾のみならず、他の内湾でも起きており、貧酸素化・リン溶出対策は内湾の環境再生に共通する主要な課題となっている。

## 2. 研究方法

港湾海域のリン濃度の分布、および貧酸素水塊の分布を明らかにするために、2013年9月6日に、大阪湾奥部の神戸港東部から西宮港内の水路において、短い測点間隔（おおむね 300～500 m 間隔）で観測を行った（図-1 の St. 1～26）。各調査地点で、直読式総合水質計 AAQ-177（JFE アドバンテック社製）を用いて、水温、塩分、DO、クロロフィル蛍光の鉛直分布を水深 0.1 m 間隔で測定した。St. 1～St. 21 では、表層および底層水を北原式採水器を用いて採水し、全リン（T-P）、溶存態全リン（D・T-P）、リン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）の分析を行った。

測線 A を、青潮が頻繁に生じる甲子園浜を縦断する測線として St. 21 → 11 → 12 → 13 → 14 → 15 → 16 → 17 → 18 → 19 → 20 とした。また、測線 B を芦屋下水処理場からの排水が流入する南芦屋水路として、St. 6 → 5 → 4 → 3 → 7 → 8 → 9 → 10 → 21 とした。

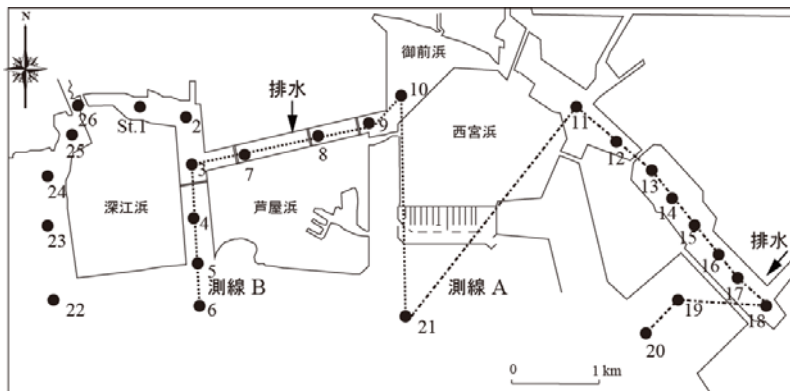


図-1 大阪湾北岸における貧酸素・リン分布調査地点.

### 3. 結果と考察

#### 3.1 大阪湾における窒素・リンの変化

全窒素濃度が経年的に低下しているのに対し、全リン濃度は低下しないことの原因として、湾奥部にある貧酸素水塊中でリンが溶出していることが考えられる（図-2）。また、海産植物プランクトンの標準的な窒素、リン濃度比はレッドフィールド比（RF比）と言われる。この値は、重量比では7.2：1であり、モル比では16：1である。TN/TP比は陸水ではRF比よりも著しく大きい。陸水と海水のTN/TP比は、海水と混ざり合う河口域で急激に変化している（図-3）。河口域においてリンは濃縮・高濃度化され、ここからRF比にしたがって海域にリンが供給されていると考えられる。

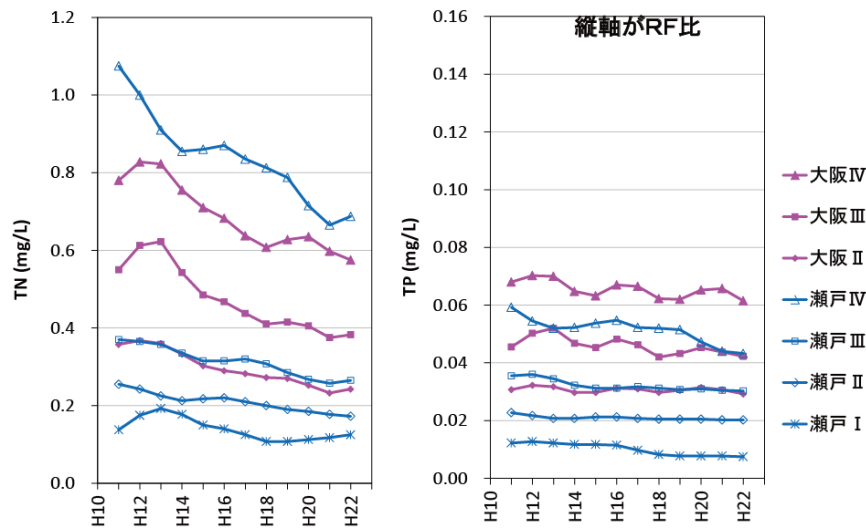


図-2 瀬戸内海・大阪湾における類型別全窒素（TN）、全リン（TP）の経年変化。  
縦軸はレッドフィールド比

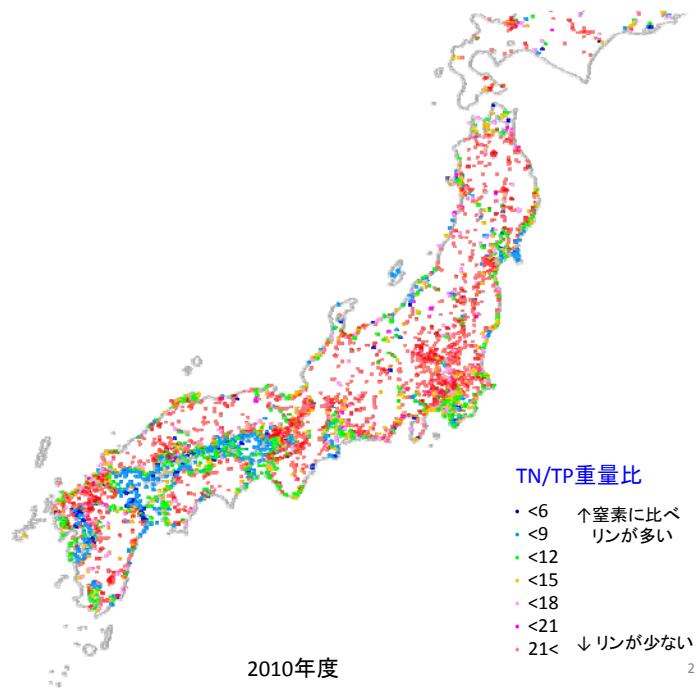


図-3 TN/TP 重量比の分布.

### 3.2 甲子園浜（測線 A）におけるリン・貧酸素分布

甲子園浜の地形の模式図を図-4に、リン濃度、水温、クロロフィル蛍光、DOの分布を図-5に示す。

甲子園浜は、大阪湾において最も頻繁に青潮の生じる水域である。青潮は、硫化水素を含む無酸素水が海面に上昇したときに生じる。この水域の貧酸素・無酸素水塊は模式的に示すと下記のような構造になっていた（図-8）。

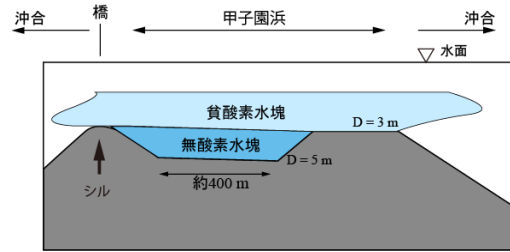


図-4 甲子園浜における地形模式図

St. 12 と 13 の間には、橋脚撤去後の敷居状地形（シル）があり、小規模な窪地地形を形成していた。この浅い窪地の中に無酸素水塊ができています。浅い海域であり、比較的開放的な海面であるため、比較的弱い風が吹いても底層の無酸素水塊は海面に表れ、青潮となると考えられる。

御前浜から甲子園浜にかけての St. 11～18 までは、表層 DO が 5 mg/L 程度と低く、青潮の影響が見られた（図-5 (e)）。浅い窪地内の St. 13～14 の底層の無酸素水塊中では、表層に比べて底層の T-P 濃度が高くなっており、底泥からリンが溶出していると考えられる（図-5 (a) (b)）。また、枝川浄化センター（St. 18 付近、図-1 中の矢印）の排水が流入している地点では、周辺海域と比べて表層のリン濃度が高くなっていました（図-5 (d)）。上層のクロロフィル濃度は、甲子園浜外の地点よりも低く、この海域で有機物（酸素消費物質）が周辺海域よりも多く作られているように見えない（図-5 (d) (e)）。

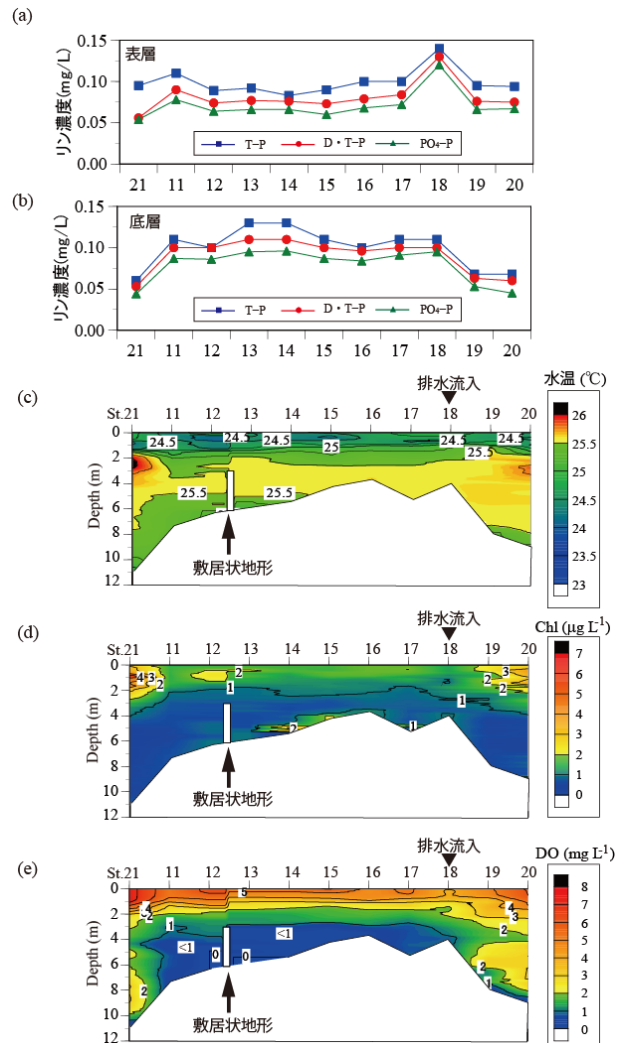


図-5 甲子園浜（測線 A）における(a)表層リン濃度、(b)底層リン濃度、(c)水温、(d)クロロフィル蛍光、(e) DO の分布. 2013年9月6日.

### 3.3 南芦屋浜水路（測線 B）におけるリン・貧酸素分布

南芦屋浜水路の地形の模式図を図-6に、リン濃度、水温、クロロフィル蛍光、DOの分布を図-7に示す。

この水路の無酸素水域には窪地状地形はみられず、台地状地形となっている（図-6）。このことから、無酸素水塊は、停滞性により無酸素化しているわけではなく、下水処理

排水によって作られた高クロロフィル水塊から沈降してくる有機物によって、局地的に酸素消費速度が大きくなってできた無酸素水塊と考えられる。窪地型とは異なった型の無酸素水塊が作られていることが分かった。

芦屋下水処理場排水が流入（図-1のSt. 7と8の間）するため、St. 8では表層のT-P濃度が周辺海域よりも2倍ほど高くなっていた（図-7(a)）。

St.8 付近には、表層に高濃度のクロロフィル層があり、植物プランクトンが増殖していた。この高クロロフィル海域の底層は、無酸素水塊となっていた（図-7(d)(e)）。

### 3.4 リンの存在比

D・T-P/T-Pの比は、表層で0.775 (77.5%)、底層で0.877 (87.7%) であり、表層では粒状のリンの割合が大きい。一方、 $PO_4\text{-P}/T\text{-P}$ の比は、表層で0.656 (65.6%)、底層で0.747 (74.7%) であった。底層では、70%程度が無機態の形で存在していた。無酸素水塊中の底泥からの無機態リンの溶出により、表層よりも存在比が大きくなっていた。

## 4. 結論

本研究では、大阪湾北岸の港湾域内のDOとリン濃度の分布を調べた。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 底層の貧酸素水塊中には、70%程度が無機態の形で存在していた。無酸素水塊中の底泥からの無機態リンの溶出により、表層よりも存在比が大きくなっていた。
- (2) 青潮が頻繁に生じる甲子園浜の浅い窪地の中に無酸素水塊ができていた。このため、比較的弱い風でも無酸素水塊が湧昇し、青潮となっていた。浅い窪地内では周辺海域よりリン濃度が高い。

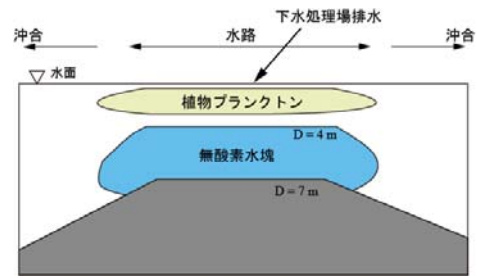


図-6 南芦屋浜水路における地形模式図。

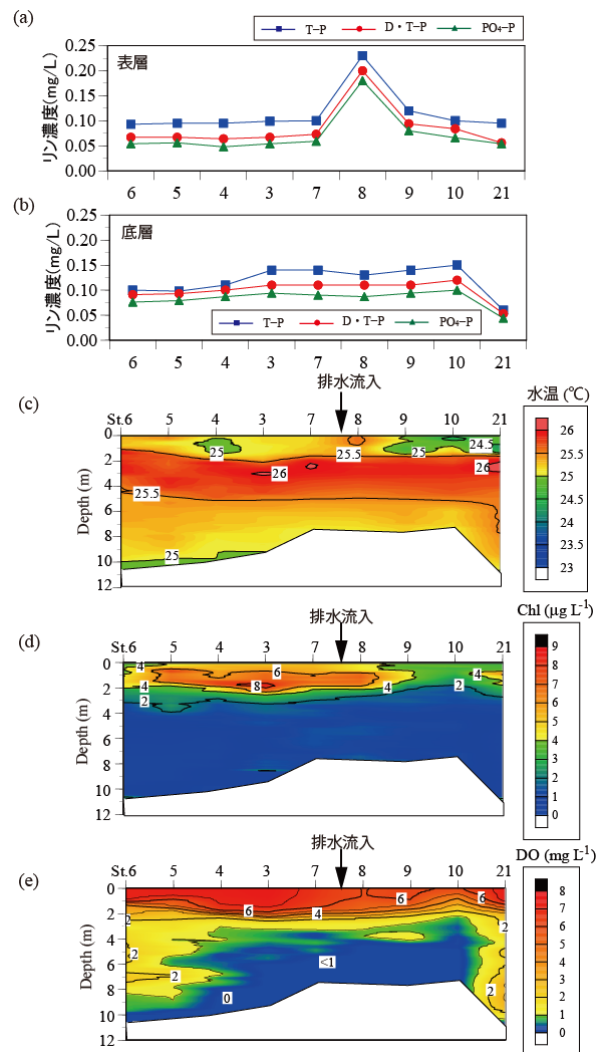


図-7 南芦屋浜水路（測線 B）における(a)表層リン濃度、(b)底層リン濃度、(c)水温、(d)クロロフィル蛍光、(e) DO の分布。  
2013年9月6日。