

# 大阪湾の埋立による栄養塩バランスの変遷と 適正化に向けた方策の検証

石垣 衛\*・山中 亮一\*\*

(平成23年10月27日受付)

## Optimization of Nutrient Cycling and Balance of Osaka Bay for Coastal Environmental Restoration

Mamoru ISHIGAKI and Ryouichi YAMANAKA

(Received Oct. 27, 2011)

### Abstract

Osaka Bay Area metropolitan region exists, the water quality by regulating the amount of inflow loads are being improved. However, an area of sea where closing practices became high over-nutrition in filled land chronically. By the way, Awaji Island of offshore in Osaka Bay and Harimanada has withered laver. Considered the problem of bias in the balance of nutrient cycling in the Bay Area region in addition to the quantitative issues as the cause of this nutrient.

In this study, which aims to restore a proper balance of nutrient circulation in the area of Osaka Bay. In the first study, the actual condition and problems of bias and nutrients to build organized in GIS databases. Then, we designed the optimal method for sewage effluent for the purpose of optimizing the balance between nutrient cycling. Finally, we evaluated the effect of forecast measures for the application of numerical analysis. From these findings, in Osaka Bay restore Project have shown that the plan will balance the need for nutrient cycling.

**Key Words:** enclosed water, nutrient cycling, environmental restoration, water pollution, numerical analysis

### 1. はじめに

大都市を抱える大阪湾圏域では総量規制等の施策により、水質は一定のレベルまで改善されたものの、埋立等にて閉鎖性を高めた港湾域では流入負荷の滞留が解消されず慢性的な過栄養化の状態にある。一方、淡路島沖や播磨灘ではノリの色落ち等が生じており、漁業関係者から栄養塩の不足による水産資源の枯渇が叫ばれている。このような背景には図1に示すように、栄養塩の量的な問題以外に、湾圏域における栄養塩循環・バランス(分布と質)の偏りという問題が内在している。

本研究では、大阪湾圏域における適正な栄養塩循環・バランスを再生するため、まず、湾圏域の栄養塩の偏りの実態把握と問題点を整理した。次に、図1の中に示す『陸からの負荷量の減少・偏り』に着目し、栄養塩循環・バランスの適正化に向けた下水放流水の最適放流手法について検証した。ここでは、改善方策として下水放流水の沖合放流の適用効果について、数値モデルを用いてその効果の予測評価を実施した。これらの結果より、今後の大阪湾再生事業において、栄養塩循環・バランスを念頭においた計画が必要となることを示した。

\* 広島工業大学工学部都市デザイン工学科

\*\* 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部

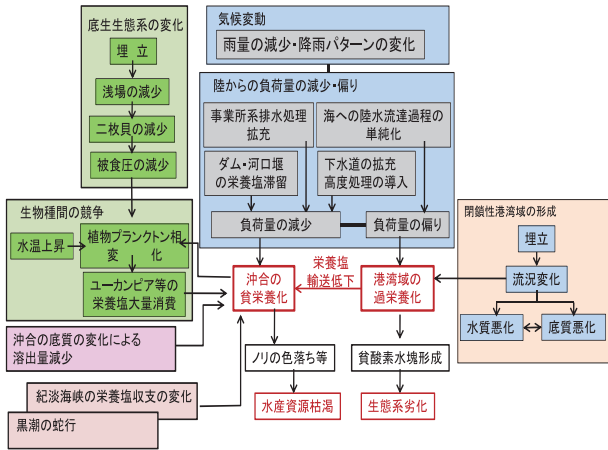


図1 大阪湾圏域の栄養塩循環・バランスの悪化要因

## 2. 研究内容与方法

大阪湾圏域における栄養塩循環・バランスの適正化に向けて、以下に示す2つの項目について研究を実施した。

### 2.1 大阪湾圏域の栄養塩偏りの実態把握

#### (1) 大阪湾圏水質情報データベースの構築

大阪湾圏域で大規模埋立が行われた直後の1975年から2009年を対象とした地形変化、栄養塩分布状況について、既存調査資料を用いて GIS データベースを構築した。ここで、GIS データベース構築に使用した既存資料として、国土地理院発行の測量成果謄本および数値地図 (1/25,000)、大阪府・兵庫県が実施する浅海定線調査データ、公共用水域水質データ、兵庫県漁連のり研究所水質調査データ等の複数の資料を用いた。また、データベース構築ソフトとして ArcGIS Desktop Ver.10 (ESRI Japan) を用いた。

#### (2) 栄養塩分布の経時間変化の把握と評価

構築した GIS データベースを用いて、埋立地形と栄養塩分布の経時変化図を GIS マップを用いることで作成した。ここでは、まず1972年～2009年の各年のデータを5年毎に平均した値を用いて栄養塩分布を表した。次に、当該結果を用いて大阪湾で大規模埋立が実施された前後において、閉鎖性を高めた港湾域の過栄養化と沖合水の貧栄養化の実態を把握・評価した。

### 2.2 栄養塩循環・バランスの適正化方策の適用効果の評価

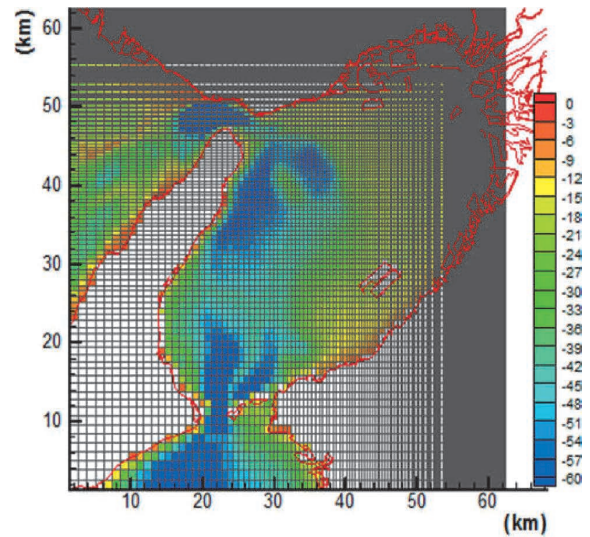
栄養塩循環・バランスを支配する要因として『陸からの負荷量の偏り・減少』に着目したとき、当該事象の支配要因として、埋立による流況変化と下水処理場からの排出負荷の偏りが考えられる。ここでは、大阪湾圏域における埋立と下水処理場からの排出負荷との関係を数値解析により明らかにし、下水処理場からの放流を沖合放流とすることによる栄養塩分布の変化について評価した。

### (1) 数値解析モデルの概要

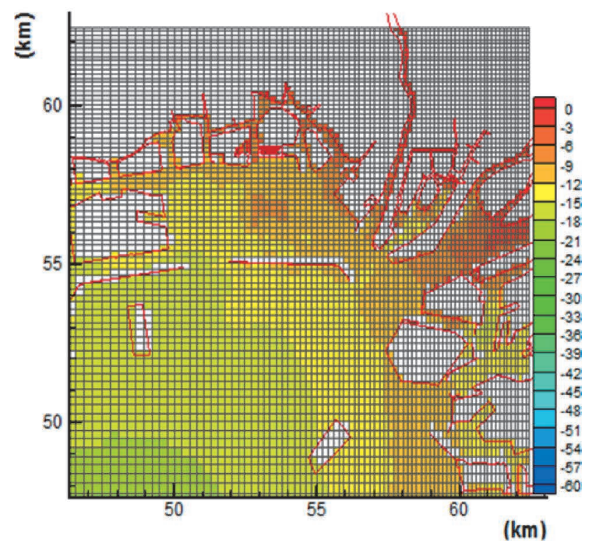
大阪湾圏域に対して、数値解析対象範囲を図2に示すように西端を播磨灘、南端を紀伊水道とした。数値解析モデルにおいて、地形情報は前述の GIS データベースより取得し、水深情報は海図から取得した。ここで、水深は尼崎西宮芦屋港の平均海面水位を基準とした。ここで、尼崎西宮芦屋港周辺の空間解像度を高めた不等間隔直交格子を設定し、計算格子間隔は 100 m ~1200 m までの間で変化させ、尼崎港西宮芦屋港周辺の計算格子間隔は約 180 m とした。鉛直方向には20層設定しており、層厚は水面から 2 m×1層、1 m×10層、2 m×4層、3 m×1層、5 m×1層、7 m×1層、10 m×1層、15 m×1層とした。

### (2) 解析ケース

解析ケースとして表1に示す3つのケースを設定した。Case1 は、2009年を現況を再現することを目的に設定した。また Case2 は、1972年～1975年の地形を用いて2009年



大阪湾全域



尼崎西宮芦屋港

図2 数値モデル概要

表1 解析ケース

ケース名	地形	対象月	流入負荷量	浄水場放流位置
Case1	2009年	2月	2009年	2009年現在の位置
Case2	1975年	2月	2009年	2009年現在の位置
Case3	2009年	2月	2009年	西宮防波堤南側海底

の流入負荷を与えることで、大規模な防波堤設置や埋立による下水放流水が捕捉される効果を評価した。Case3は、2009年の現況に対し下水放流水を西宮防波堤南側海底より沖合放流することで、閉鎖性海域における栄養塩捕捉の緩和効果について検証した。

### 3. 主な結果と考察

#### 3.1 大阪湾の埋立と地形の変遷

1960年以降の大阪湾における埋立の変遷を図3に示す。大阪湾では、瀬戸内海環境保全臨時措置法が施行された1973年以降においても関西国際空港や神戸空港など、大規模な埋立が行われていることがわかる。その累計埋立面積は約9,000 haに達しており、瀬戸内海全域の埋立面積の約20%に相当する。図4に示すように、大阪湾の埋立に伴う地形の変化は、そのほとんどが湾北部と東部に集中しており、過去30年程度で急速に変化してきた。埋立地に囲まれ

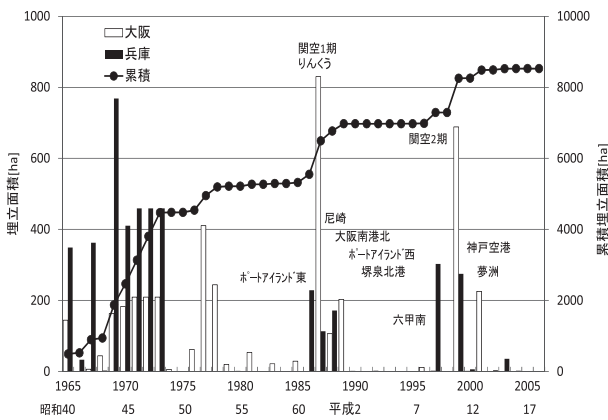


図3 大阪湾における埋立面積の推移

た人工水路（運河）が多く形成されており、2000年以降には沖合での埋立が多く、潮流・水質変化への大きな影響が懸念される。

#### 3.2 大阪湾圏域の栄養塩分布の変遷

図5にGISデータベースにて作成した大阪湾圏域における栄養塩分布（溶存無機態窒素）の変遷図を示す。図は1980年～1985年、1991年～1995年、2006年～2009年の冬季（2月）の分布状況を示したものである。

ここで冬季データは、一次生産が栄養塩濃度分布に及ぼす影響が小さく、当該域の流入負荷の拡散分布をある程度正確に把握できる値として採用した。

中辻ら<sup>2)</sup>の報告によれば大阪湾の栄養塩濃度変化は、1980年～1985年に最大値を示すものの、その後、総量規制等の政策によりその値は減少に転じている。図からも、1985年以降で栄養塩濃度は減少傾向にあり、その値は湾奥の西宮防波堤内で約900 µg/lから230 µg/lへ減少した値を示し、淡路島沖で約90 µg/lから40 µg/lへ減少した値を示した。この結果は、総量規制により大阪湾全体で水質は改善される傾向にあるものの、都市臨海部には栄養塩が偏って存在し、依然として栄養塩濃度が高い状態であるこ

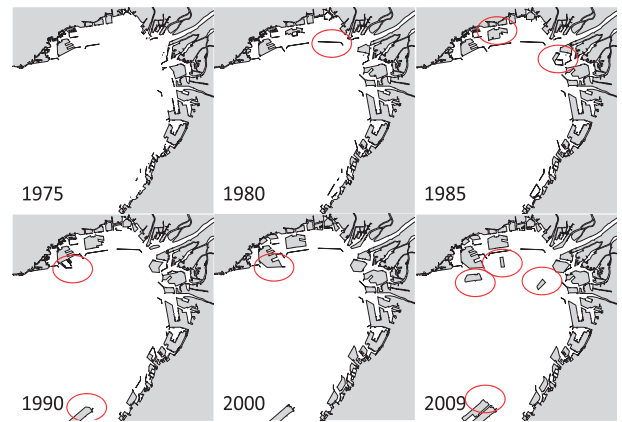


図4 大阪湾の埋立による地形変化の変遷

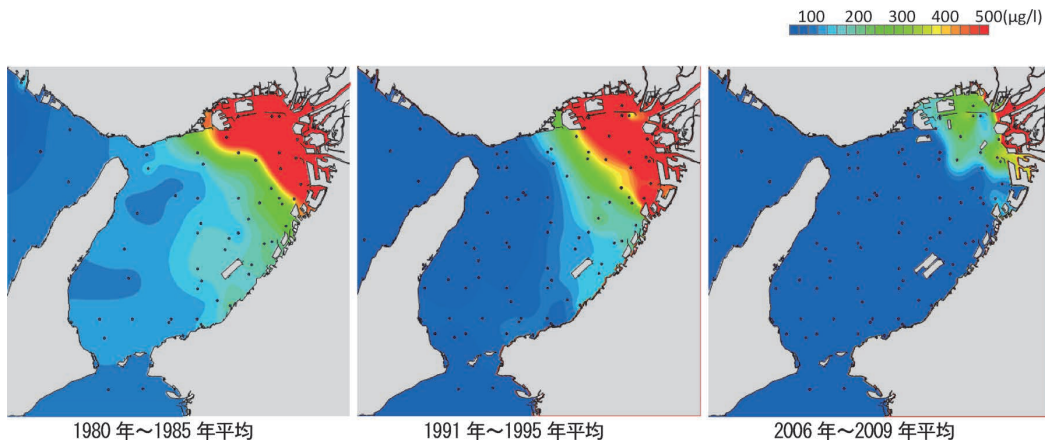


図5 大阪湾圏域の年代別栄養塩分布（溶存無機態窒素）の変遷

と、一方で、ノリ漁場など栄養塩を必要とする沖合の栄養塩が枯渇していることを示し、大阪湾内の栄養塩循環・バランスが崩れていることを示すものである。

都市臨海部に栄養塩が偏って存在する理由として、防波堤や埋立地にて形成される閉鎖性海域が陸域からの流入負荷を捕捉し留めていることが考えられる。特に、尼崎西宮芦屋港では、淀川や武庫川等の河川流入負荷に加え、下水放流水等も捕捉される大きな負荷のとなっていることが考えられる。

### 3.3 ノリ生産量と栄養塩バランスの関係

大阪湾におけるノリ養殖業は図6に示すように都市部を除く沿岸域を網羅するように漁場が配置されている。その総生産量は図7に示すように、1993年以降17億枚に達し、全国生産量の約17%に相当する。しかしながら、2003年に大規模な色落ちが生じることで、総生産量は11億枚へと減少することになる。図8に示す単位柵あたりのノリ生産量の変化からもその影響が伺え、ノリ養殖業に従事する生産者が減少傾向にある中で、毎年のように色落ちが頻発しており、ノリ生産および水産業に大きな影響を与えている。大規模な色落ちの生じた2003年は、衛星画像によると神戸空港（1999年着工）や関西国際空港二期（1996年着工）の工事中で外観はほぼ完成している。図5に示した栄養塩分布は、1991～1995年から2006～2009年へと急激に変化しており、湾中央部で  $150 \mu\text{g}/\text{l}$  から  $50 \mu\text{g}/\text{l}$  へと1/3程度まで減少している。ノリの色落ちの生じた淡路島東部の東浦漁場においても同様に、 $90 \mu\text{g}/\text{l}$  から  $40 \mu\text{g}/\text{l}$  まで減少しており、ノリの色落ち基準値である  $42 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $=3 \mu\text{M}$ ) を下まわっていた。したがって、埋立が進行し地形が大きく変化したことで、本来大阪湾西部まで影響を及ぼしていた流入負荷が湾奥部に留まり、大阪湾奥部以外の海域の生物生産を低下させていることが示唆される。

### 3.4 下水道放流水拡散に及ぼす埋立影響と沖合放流の効果

図9、図10に大阪湾奥の潮汐残差流と塩分分布、栄養塩分布 (TP) の数値解析結果を示す。Case2では淀川河川水が河口から南下する流れを形成し、阻害されることなく湾域に拡散する結果を得た。一方、Case1では淀川河川水は舞州に阻まれることで、一部西流になり西宮防波堤内の海域に進入する成分が生じている。また、武庫川河川水や尼崎西宮芦屋港に位置する下水処理場からの放流水も西宮防波堤の北側に捕捉される傾向にある。このことが西宮防波堤内の栄養塩がCase2に比較して低下する現象を招いていると考えられ、埋立や防波堤の設置が河川水や下水放流水を港内に留め、水質悪化の要因となることが示唆される。

Case1, Case3の比較では、下水放流水を西宮防波堤沖側

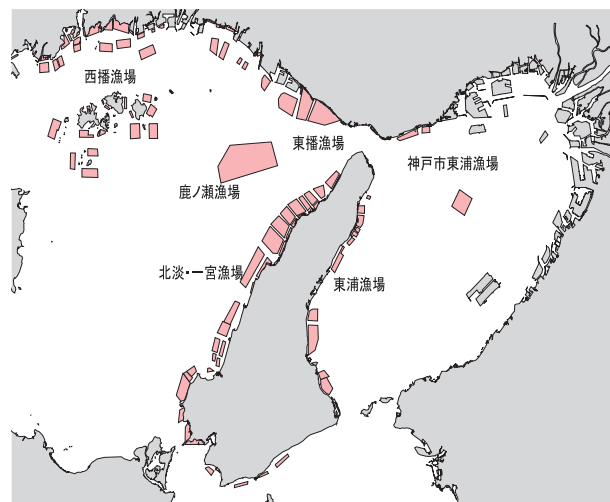


図6 大阪湾におけるノリ漁場の位置

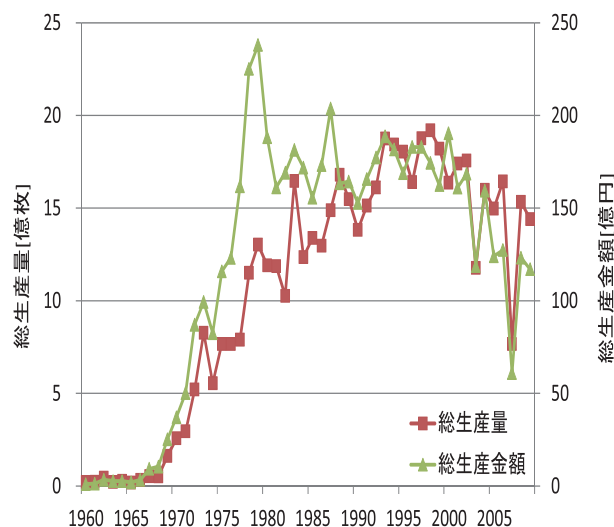


図7 兵庫県養殖ノリ総生産量・総生産金額の変遷

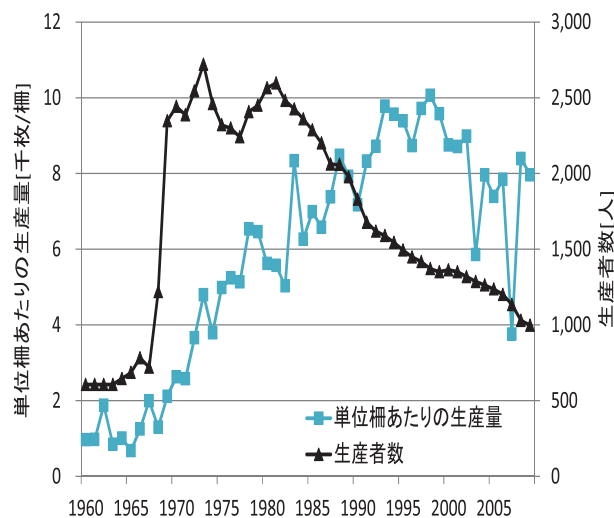


図8 養殖ノリ単位柵あたりの生産量・生産者数の変遷

から沖合放流することで、尼崎港内および、鳴尾浜～甲子園浜海域の栄養塩が減少する結果を得た。この結果は、下水放流水の沖合放流を施すことで、港内への流入負荷を緩

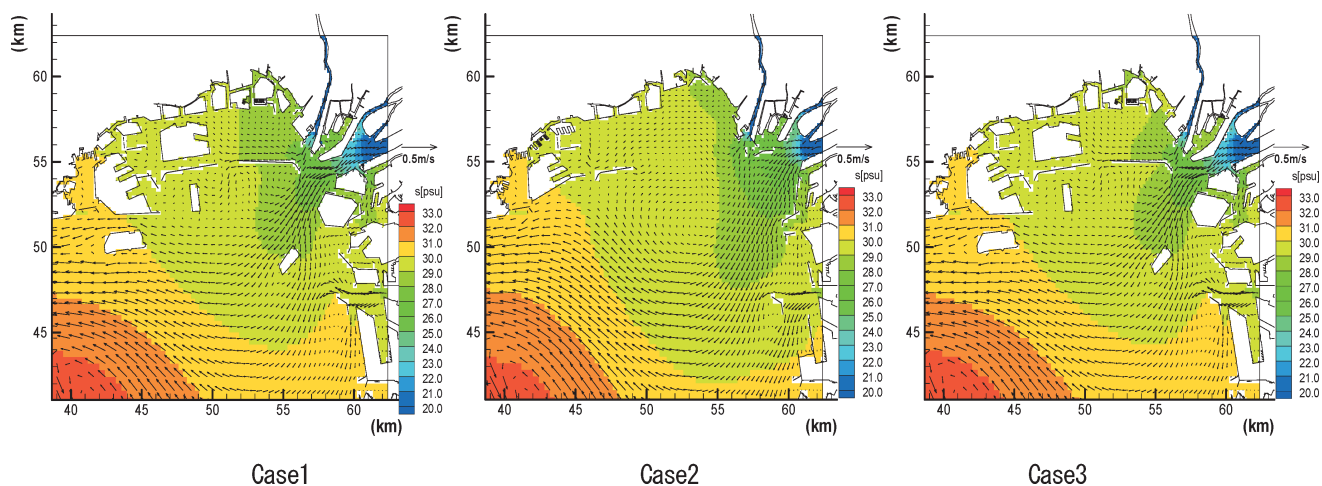


図9 尼崎西宮芦屋港における塩分の拡散状況の変化

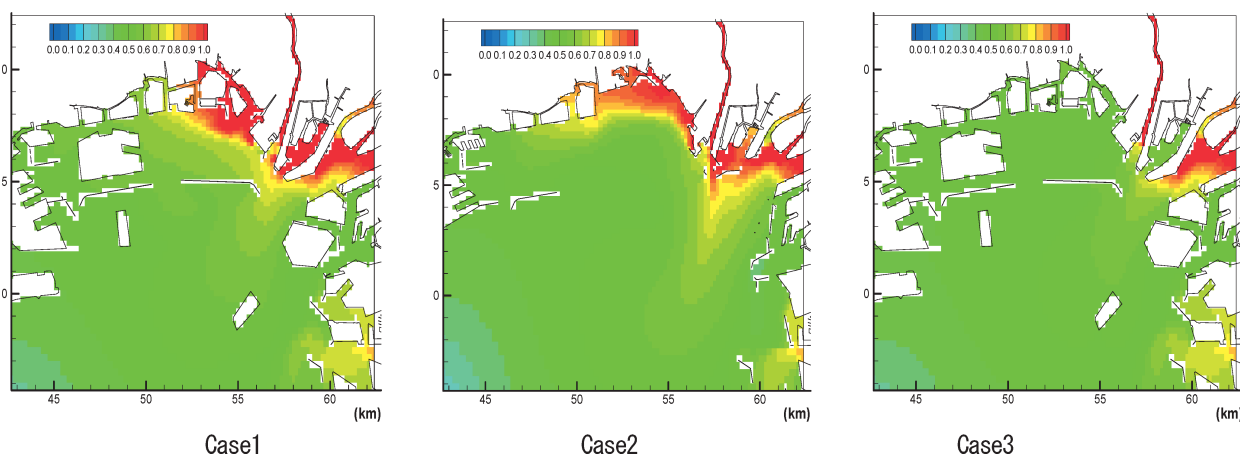


図10 尼崎西宮芦屋港におけるT-Pの拡散状況の変化

和でき、栄養塩濃度を減少させることとなり、水質改善が期待できることを示すものである。

#### 4. 結論

GISを用いた大阪湾水質データベースの構築により、大規模な埋立により閉鎖性海域が形成されることで、陸域からの流入負荷が当該域に補足されることを明らかにした。また、水質総量規制等の施策により、海域全体では栄養塩濃度の低下が確認され、水質は改善傾向にあるものの、都市臨海部では過栄養化、沖合のノリ漁場では貧栄養化の状況であり、栄養塩が偏って存在することが明らかになった。今後の大阪湾の再生計画では、栄養塩の偏りを解消する様々な方策の検討が必要であり、例えば下水放流水の沖合放流等は有効な手法の1つであることが示された。

#### 謝 辞

本研究は、『平成22年度大阪湾圏域の海域環境再生・創造に関する研究助成事業』の助成を受けて実施したものである。兵庫県漁業協同組合連合会のみ海藻事業本部の中谷明泰氏には、兵庫県漁連のみ研究所が有する水質調査データを提供頂いた。また、地図情報データベースの作成に際し、産業技術総合研究所の三好順也博士にご協力を頂いた。ここに謝意を表明する。

#### 文 献

- 1) 社団法人瀬戸内海環境保全協会：平成22年度 瀬戸内海の環境保全資料集, pp. 37-44, 2010年
- 2) 中辻啓二：大阪湾における水質分布・水質変動に関する調査研究, p. 36, 1996年