

中谷祐介<sup>1)</sup>, 西田修三<sup>2)</sup>

1) 大阪大学大学院工学研究科 助教

2) 大阪大学大学院工学研究科 教授

## 1. はじめに

大阪湾では現在も汚濁海域が存在し、現行の水質総量規制においてもさらなる負荷削減の方針が採られているが、その実効性を正しく評価するための十分な知見が得られているとは言い難い。大阪湾における物質循環機構の把握と水環境健全化方策の提案に向けて、申請者らはこれまで研究を進めてきた。昨年度は、沿岸海域の水質汚濁の元凶とされてきた陸域負荷を精確に把握することを目的に、合流式下水道越流水CSOによる汚濁負荷の実態解明に向けた現地調査を実施し、既往の研究成果とあわせて解析を行うことで、雨天時負荷を含めた陸域負荷の実態を定量的に明らかにした。

しかしながら、大阪湾の水質汚濁機構には、陸域だけでなく大気、外洋、底泥を起源とする栄養塩の動態も無視できない影響を及ぼしている可能性が既往研究により指摘されており、負荷削減施策の実効性を正しく評価するためには、これらの負荷も考慮した統合的な解析が不可欠である。

本研究では、窒素やリンに加えて、海域の一次生産にとって重要なシリカ等の項目も含めた水質調査を実施し、大阪湾とその周辺海域における水質構造について分析を行った。また、昨年度の成果を踏まえ、大阪湾に流入する陸域負荷について雨天時の影響も含めた算定を行うとともに、数値モデルを用いて海域における窒素・リンの収支と循環の定量化を試みた。さらに、陸域負荷削減に対する湾内の物質循環系の応答性について解析を行った。

## 2. 方法

### 1) 大阪湾及び周辺海域における水質構造の分析

国土交通省が各季に実施している瀬戸内海総合水質調査で採取された海水試料を一部提供いただき、形態別の窒素、リン、シリカ、炭素等の項目について水質分析を行った。本研究では、2009年5月から2012年10月までに得られた水質データを用いて、各季における大阪湾とその周辺海域の水質構造について分析を行った。

### 2) 大阪湾へ流入する汚濁負荷の定量化

昨年度に算定対象としたリン、窒素、有機物に加え、珪藻類の一次生産に必要なケイ素も含めて、大阪湾への流入負荷量の算定を行った。算定対象期間は2009年4月から2010年3月の1年間とした。算定方法は昨年度と同様に、大阪湾への流入負荷を①河川負荷、②下水処理場負荷、③事業場負荷、④浄化槽等負荷の4つに区分して積算することにより、原単位法等の従来法よりも精確な流入負荷の算定を図った。

算定に当たっては、既往研究で構築した水質データベースを利用するとともに、雨天時に発生する負荷として主要河川の出水負荷だけでなく、昨年度実施したCSO実態

調査結果を基に CSO による負荷量も考慮している。ただし、ケイ素に関しては実測データが不足していたために、大阪湾流入河川において水質調査を本年度に実施するとともに、下水道や事業場からの放流水質に関する資料の分析を行い、負荷量の算定を行った。

### 3) 数値モデルを用いた大阪湾の物質循環解析

三次元流動モデル ECOMSED と水質・底質モデル RCA を用いて、大阪湾における窒素・リンの収支と循環を定量化するとともに、底質の影響や陸域負荷削減に対する物質循環系の応答性について解析を行った。計算対象領域は、**図-1** に示す大阪湾とその周辺海域（紀伊水道、播磨灘、備讃瀬戸東部）とし、水平方向には 1km メッシュのデカルト座標系を、鉛直方向には 20 層等分割の  $\sigma$  座標系を採用した。

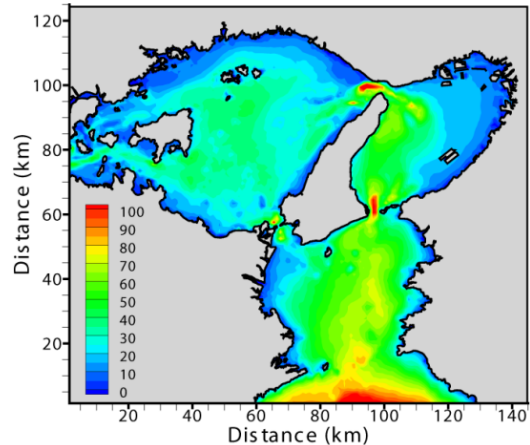


図-1 計算領域と水深分布 (m)

開境界条件には実測潮位の変動を与えるとともに、西端境界には浅海定線水質調査および瀬戸内海総合水質調査において測定された水温と塩分の月変動を、南端境界には FRA-JCOPE2 による水温と塩分の再解析値より日変動を与えた。気象条件は気象庁メソ数値予報モデル GPV 再解析データと AMeDAS データを基に与えた。陸域流入条件は 2. の算定結果を与えた。降水の海面沈着による栄養塩負荷は既往の調査研究結果を基に与えた。解析期間は 2009 年 4 月 1 日から 2010 年 3 月 31 日までの 1 年間とした。

## 3. 結果と考察

1) 大阪湾の T-N 分布は年間を通じて大きく変化せず、湾奥部から湾口部にかけて濃度勾配が形成されていることが確認された。また、T-N に占める有機態成分の割合は溶存無機態成分よりも大きく、海域内の窒素プールとなっていると考えられた。一方、T-P については、高温期には底泥から  $PO_4-P$  が溶出するため季節によって分布が異なること、また T-P に占める有機態の割合は窒素に比して小さいことがわかった。さらに、夏季には大阪湾奥部底層に  $SiO_2-Si$  の高濃度域がみられ、底泥からの溶出の影響を受けている可能性が示唆された。なお紙面の都合上、本稿では上記結果に関する図面の掲載を省略する。

2) 雨天時の影響を含めた大阪湾への流入淡水量と栄養塩負荷量の算定結果を**図-2**に示す。なお、図中の値は各河口からの流出量を示しており、淀川や大和川からの取水・導水に伴う流域間の受け渡し分は、最終的な排出先の負荷量に含まれている。いずれの項目についても、大阪市内河川・寝屋川流域（図中の「寝屋川」に相当）からの負荷量が最も大きく、大阪湾への総負荷量のうち約 30~40%を占めていた。淀川河

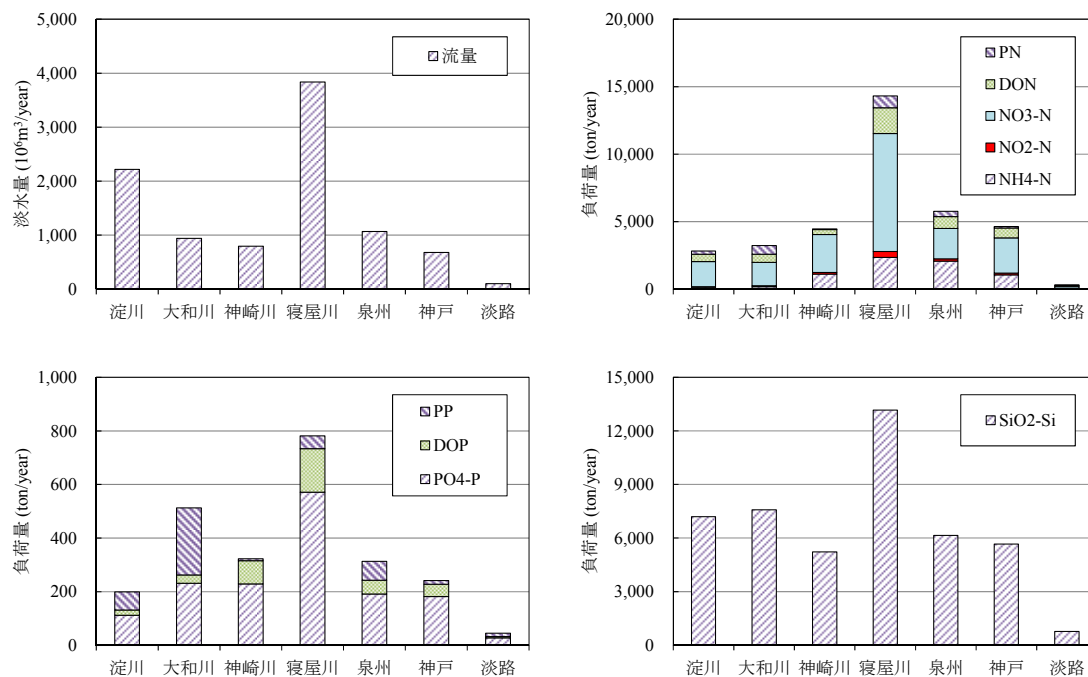


図-2 流域・地域別の大阪湾への流入淡水量と栄養塩負荷量（2009年度の年平均値）

口からの淡水流入量は全体の約 23%を占めていたのに対し、窒素、リン、ケイ素の負荷量ではそれぞれ約 9%、約 9%、約 16%であった。なお、負荷発生源別の内訳としては、T-NやT-Pでは流域下流部に位置する下水処理場からの放流負荷が全体の 40～50%を占めており、今後さらなる負荷削減を進めるためには下水処理能力の向上が重要であることが示唆された。

3) 大阪湾におけるリン、窒素の年間の収支と循環について、数値シミュレーション結果を図-3に示す。無機態の窒素、リン (I-P, I-N) とともに、海峡部を通じた隣接海域との交換量や底質から供給される量は、陸域から流入する負荷量と同オーダーを示し、湾の栄養塩収支に大きく影響を及ぼしているとの結果が得られた。一方、降水を介して海面に直接供給される栄養塩量は、陸域からの流入量に比して 1～2 桁小さく、物質収支に及ぼすその影響は軽微であった。また I-N, I-P とともに、大阪湾では系外から供給される量に対して、湾内における一次生産や有機物分解等に伴う循環量が無視できない量であった。

陸域負荷量の変化に対する物質循環系の応答を調べるために、大阪湾に流入する陸域負荷量を半減させた場合のシミュレーションを行った。その結果、図-4に示すとおり、例えば植物プランクトンによる栄養塩摂取量がリンでは約 75%、窒素では約 50%にまで減少するなど、湾全体の物質循環が非線形にかつ大きく縮小する結果が得られた。また、明石海峡を通じた播磨灘への栄養塩輸送量に着目すると、リンではほとんど変化がない一方で、窒素については 62ton/day から 9ton/day へと大きく減少する結果となり、大阪湾における負荷削減の影響は湾内だけでなく周辺海域にも及ぶ可能性が示唆された。

ただし、本研究で使用した数値モデルの再現性には改善の余地が残されており、特

に底質モデルの改良やモデルパラメータの精査については今後さらなる検討が必要と考える。

#### 4. 結論

本研究で得られた主たる結論は以下の通りである。

- 1) 大阪湾へ流入する総負荷量のうち、大阪市内河川・寝屋川流域から供給される負荷量が約 30~40%と最も多くを占めていた。さらなる負荷削減のためには下水処理能力を向上させることが重要であると考えられた。
- 2) 数値シミュレーションの結果、大阪湾においては隣接海域や底泥から供給される栄養塩量は陸域からの流入負荷量と同オーダーであり、無視できない規模であることが示された。
- 3) 大阪湾に流入する陸域負荷量が半減した場合、一次生産が大幅に減少するなど、湾内の物質循環系は非線形にかつ大きく縮小し、その影響は隣接海域にまで及ぶ可能性が示唆された。

**謝辞** 本研究を進めるにあたり、海水試料提供のご高配を頂いた神戸港湾事務所、和歌山港湾事務所、神戸港湾空港技術調査事務所の関係各位に感謝の意を表します。

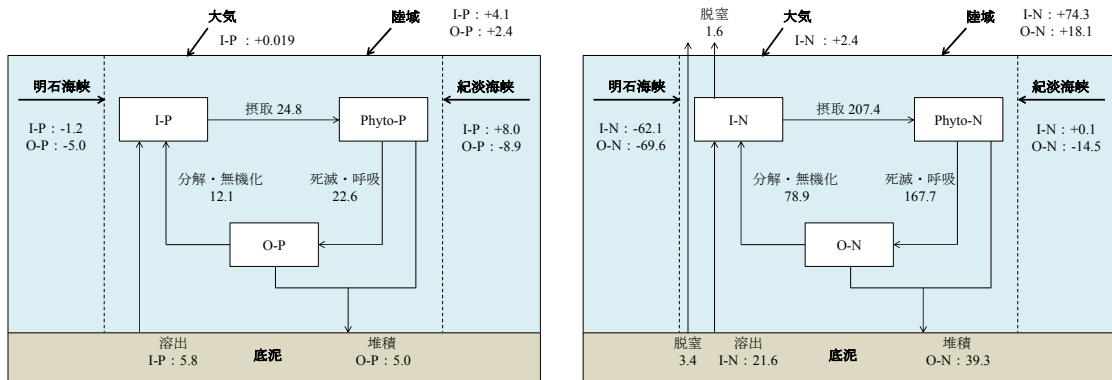


図-3 リン、窒素の收支と循環 (2009年度の年平均値, 単位: ton/day)  
(大阪湾への流入方向を正とする)

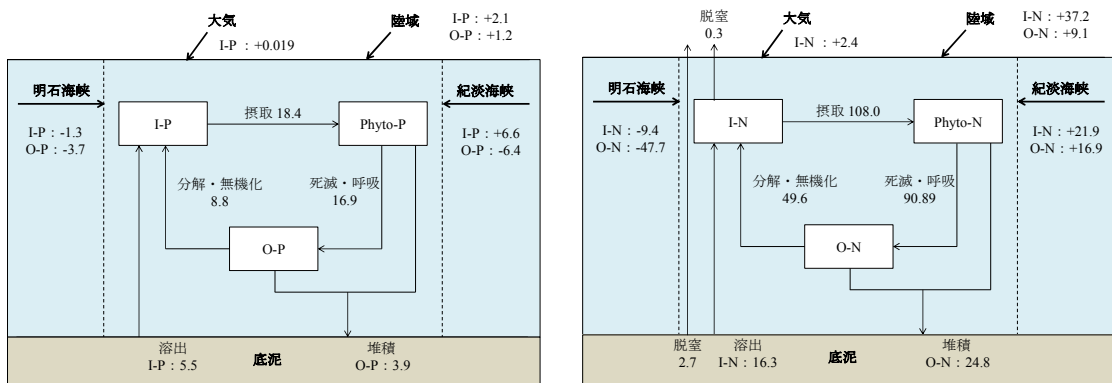


図-4 流入負荷半減に対する物質循環系の応答