

平成 21 年 5 月 18 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560512

研究課題名（和文） 閉鎖性内湾の物質循環に及ぼす非制御系栄養塩の影響解析

研究課題名（英文） Influence Analysis of Noncontrollable Nutrients on Material Cycle in Enclosed Bay

研究代表者

西田 修三（NISHIDA SHUZO）

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40172663

研究成果の概要：閉鎖性内湾の水質は陸域起源の負荷ばかりではなく、外洋起源や底泥起源、さらには大気起源など、人為的制御の及ばない物質動態に大きく依存していると考えられる。本研究では、大阪湾を対象にそのような非制御系栄養塩に着目し、外海起源の栄養塩の湾内への流入や、降雨による海面への直接的な栄養塩の供給等を、観測データと数値シミュレーションにより定量的に解析し、その影響を明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：閉鎖性内湾，栄養塩，物質循環，大阪湾

1. 研究開始当初の背景

東京湾や大阪湾に代表されるような閉鎖性内湾の水質は、陸域からの流入負荷によって決定されると考えられてきたため、総量規制等の負荷量削減施策によって水環境の改善を図ってきた。しかし、30年余におよぶ規制にも拘わらず未だに赤潮や青潮といった水質汚濁現象が頻発し、期待したほどの改善効果は得られていない。この原因の一つとして、長年にわたり海底に堆積した有機物の分解・溶出現象があげられる。この底泥から海水中に回帰した栄養塩が内湾の基礎生産を促進し、その結果大量に発生した植物プランクトンが枯死・堆積し大量の酸素を消費する

という、「負の循環」が生じている。この循環を断つための方策として、浚渫や覆砂といった物理的手法や、底質改善のための薬剤注入などの化学的手法が一部の水域で講じられているが、実施規模が小さく広域な底質改善には至らず、効果の持続性も低い。

一方、沿岸域では溶出とは逆に窒素除去に大きく貢献している脱窒機能が注目されている。筆者が大阪湾奥部で実施した脱窒調査の結果からは、既往の観測結果と同様に、沈降する有機態窒素の最大で約50%が除去されていた。しかし、この脱窒も場所によって活性が大きく異なり、窒素除去量の見積りには大きな誤差が含まれている。

また、最近の研究から、外洋起源の栄養塩の流入が大きく関わっているとの指摘もある。例えば、瀬戸内海に存在する栄養塩の約80%が外洋起源であるとの試算もある。しかし、その実態は未だ明らかになっていない。筆者が1999年より大阪湾の湾口に位置する紀淡海峡において実施してきた観測によると、黒潮離岸時には50m以深の底層から高濃度の栄養塩が大阪湾に侵入し、その一日あたりの流入量は陸域からの日流入負荷量に匹敵するものであった。

これらの研究成果より、閉鎖性内湾の水質は陸域起源の負荷ばかりではなく、むしろ外洋起源や底泥起源、大気起源など、非制御系(noncontrollable)の物質動態に大きく依存していると考えられる。しかし、未だに閉鎖性水域の水環境の保全と再生の議論においては、外洋起源の栄養塩の流入のような非制御系負荷についてはほとんど取り上げられず、その結果施策にも反映されていないのが現状である。それは、非制御系負荷の実態が明らかになっていないことに加え、時空間変動が大きく定量的な影響評価が難しかったことにも起因している。

2. 研究の目的

本研究では、大阪湾を対象に非制御系栄養塩の動態に着目した解析を行い、物質収支に及ぼす影響を定量的に明らかにすることを最終目的としている。本研究が目指す具体的な定量化の目標は以下の5項目である。

- (1) 紀淡海峡から大阪湾へ流入する外洋起源の水塊の定量的把握
- (2) 河口沿岸域における有機物の沈降・分解・堆積量の推定
- (3) 降水による海面への栄養塩の直接流入負荷量の算定
- (4) 淀川における出水時の負荷量の算定
- (5) 底泥からの溶出量の推定

これらの結果を基に、大阪湾の物質収支に及ぼす非制御系負荷の影響を定量的に明らかにする。

3. 研究の方法

研究は、現地観測と室内分析、既往の資料収集・解析、モデリングとシミュレーションより構成されており、以下の方法にて研究を実施した。

- (1) 降水による大阪湾海面への栄養塩負荷の年総量と季節変動を明らかにするために、雨水の捕集と分析を約2年間継続して行った。
- (2) 河口沿岸域の懸濁有機物質の分解過程を明らかにするため、大阪湾奥部において植物プランクトンの採取を行い、室内にて分解・沈降実験を実施した。
- (3) 観測データと収集した資料データを基に、淀川からの流入負荷量の再解析を行い、より

精度の高い流入負荷量の算定を行い、既往の手法による算定結果との比較・検討を行った。

(4) 河口沿岸域の酸素消費や栄養塩溶出など底泥性状を明らかにするために柱状採泥した試料の実験・分析を行い、水質・底質モデルのパラメータ同定と栄養塩溶出および酸素消費の定量化を行った。

(5) 降雨により負荷された栄養塩が大阪湾の一次生産に及ぼす影響を明らかにするために、海面負荷を与えた3次元流動水質シミュレーションを実施した。

(6) 水素と酸素の同位体分析を行い、大阪湾を含む周辺海域の海水の起源推定を行った。

(7) 大阪湾全域の栄養塩の動態を明らかにするために、紀淡海峡より侵入した外洋起源の栄養塩の動態とその影響について、3次元流動水質シミュレーションを用いて定量的評価を行った。

4. 研究成果

(1) 降水による大阪湾への栄養塩負荷

降水のリン濃度は窒素濃度と比較して2桁低い値を示し、乾性沈着が増加する春季を除き、負荷量はかなり小さい。降水による大阪湾表層への栄養塩負荷は、陸域からの流入負荷量、T-N 121ton/day、T-P 8.2ton/day(環境省, 2006)に対して、T-N 3.56ton/day、T-P 0.031ton/dayを示し、陸域負荷のT-Nは2.9%、T-Pは0.38%であった。1年という長期間で捉えた場合、降水による大阪湾への栄養塩負荷は、陸域負荷に比して微少であったが、負荷量は大きな季節変動を有しており、夏季には降雨による直接負荷量は淀川からの流入負荷量の約20%にも上り、無視できる量でないことが明らかとなった。植物プランクトンの光合成が活発な夏季に、短時間ではあるが降雨によるこのような窒素の供給は、大阪湾の一次生産を促進する可能性がある。特に、窒素濃度が低く窒素制限下にある水域では、より降水の影響を受けやすいものと考えられる。

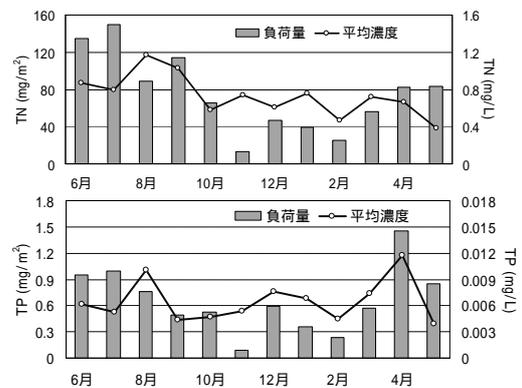


図-1 月毎の負荷量と平均濃度

(2) 有機懸濁物質の沈降・分解過程

有機懸濁物質の沈降・分解過程に着目し、大阪湾奥部で採取した現地海水試料を用いた室内実験により特性を定式化するとともに、実験結果を基に有機懸濁物質による栄養塩の鉛直輸送の実態を明らかにした。

表層に存在した PON は、そのほとんどが 6 日以内には沈降過程で分解もしくは海底に堆積した。水深 3 m 付近に形成される躍層以浅では PON は沈降しにくく滞留している一方、躍層以深では速やかに沈降することがわかった。これらの傾向はリン、ケイ素にも共通してみられた。生成速度の大小を反映し、窒素やケイ素に比してリンは水中に回帰する割合が大きいこともわかった。

室内実験結果を基に、粒径 30 μm の有機懸濁物質の沈降・分解過程について一次元鉛直モデルを用いて解析を行った結果、夏季の表層に発生した有機懸濁物質は 6 日以内に沈降過程で水中に回帰もしくは海底に堆積し、初期存在量のうち窒素は 31%、リンは 55%、ケイ素は 28% が海水中に回帰されることがわかった。このうち、それぞれ 9.4%、18.3%、7.2% が躍層以浅で回帰しており、これらは有光層で再び一次生産に用いられると考えられる。

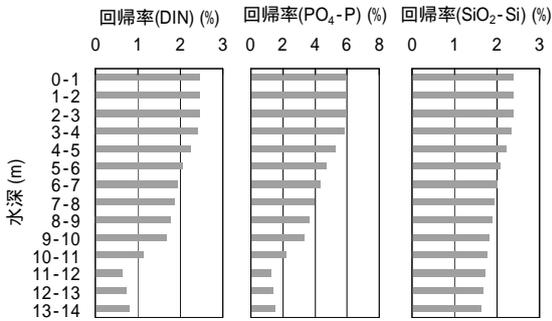


図-2 各水深への栄養塩回帰量

(3) 降水の一次生産への影響解析

三次元モデルを用いて、7月を対象に降雨

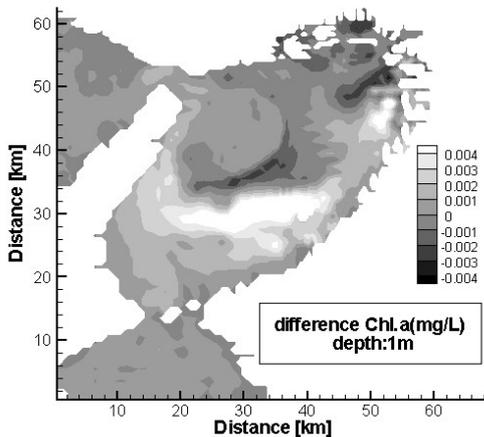


図-3 降雨による表層 Chl.a 濃度の変化量

を考慮した大阪湾の流動と水質の解析を行った。

シミュレーションの結果、表層の栄養塩濃度が減少し降雨の栄養塩濃度の方が大きくなる夏季には、降雨負荷により表層濃度の急激な上昇が生じ、停滞性が強い湾南西部等の海域において、その後の日射の作用によりプランクトンの増殖が認められた。

(4) 河口沿岸域における底泥特性

底泥による酸素消費速度は、地点による差異が大きいが、直上水中での酸素消費速度は各河川上流側で大きな値を示すとともに、SS濃度が高いほど酸素消費量が大きくなっていった。硫化物イオン濃度が高い地点では酸素消費速度が大きくなっていったが、酸素消費速度と硫化物イオン濃度は港湾域で通常見られるほど強い相関関係は示さなかった。河口沿岸域の底泥による酸素消費には、硫化物イオンの酸化以外に生物化学的過程も大きく作用していることがわかった。

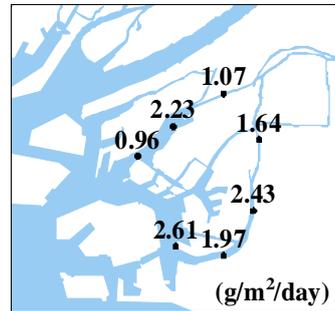


図-4 大阪湾奥部の酸素消費速度

(5) 本研究では 2008 年秋季に大阪湾およびその周辺水域において実施された瀬戸内海総合水質調査の海水試料の水質および安定同位体比を分析し、それらを用いて起源推定、水塊・水域区分を行った。本研究によって得られた主たる結果は以下のとおりである。大阪湾とその周辺海域の水塊は、□大阪湾表層、□大阪湾・播磨灘、□紀伊水道表層、□紀伊水道底層に概ね分類できることがわかった。

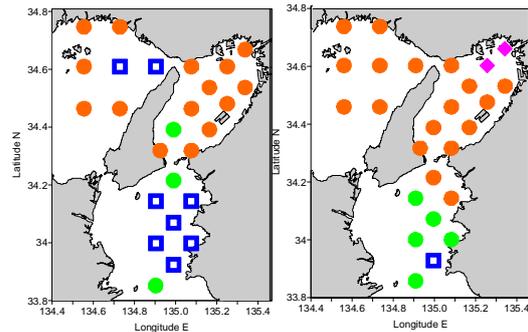


図-5 水塊のクラスター分析(底層, 表層)

(6) 大阪湾の物質収支に及ぼす外海の影響
 黒潮離岸時、接岸時それぞれについて、外海条件を変化させ三次元流動シミュレーションを行った。その結果を基に紀淡海峡および明石海峡からの流入・流出量を算定し、大阪湾の流量収支、塩分収支を明らかにした。

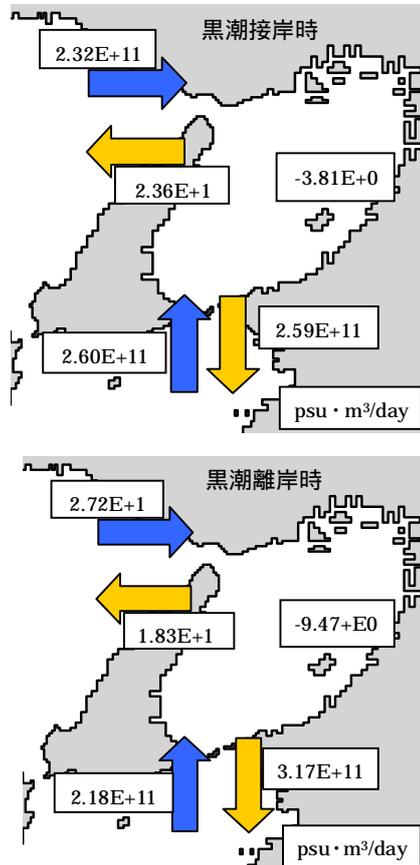


図-6 大阪湾の塩分収支への黒潮の影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8件)

1. 西田修三, 中谷祐介, 嶋田恭佑, 入江政安: 降水の水質特性と大阪湾への栄養塩負荷の影響解析, 海岸工学論文集, Vol.55, pp.1061-1065, 2008.
2. 金 漢九, 中辻啓二, 前田瑛美, 西田修三: 大阪湾・紀伊水道において観られるもう一つの密度流系, 海岸工学論文集, Vol.55, pp.391-395, 2008.
3. 西田修三, 中谷祐介, 嶋田恭佑, 入江政安: 大阪湾の水質と一次生産に及ぼす降雨の影響, 水工学論文集, Vol.52, pp.1345-1350, 2008.
4. 入江政安, 西田修三, 庄路友紀子: 都市域の感潮河川網における水質構造とその潮汐応答性, 水工学論文集, Vol.52, pp.1099-1104, 2008.
5. 西田修三, 中谷祐介: 淀川河口域における河川懸濁物質のリン吸着特性, 海岸工学論文集, Vol.54, pp.1101-1105, 2007.

6. 入江政安, 中辻啓二, 寺中恭介: 大阪湾阪南港浚渫地における底質環境に関する調査研究, 海岸工学論文集, Vol.54, pp.1091-1095, 2007.
7. 中辻啓二, 入江政安, 柴田剛志: 大阪湾阪南港浚渫地における流動および水質の現地観測, 海岸工学論文集, Vol.54, pp.1096-1100, 2007.
8. 入江政安, 窪田勇輝, 中辻啓二, 西田修三: 都市海浜における底質の非一様性を考慮した酸素消費量の推定, 海岸工学論文集, Vol.54, pp.1026-1030, 2007.

〔学会発表〕(計 6件)

1. 入江政安, 山中敦史, 西田修三: エコロジカル・フットプリントを用いた内湾流域圏の人間活動の定量化に関する考察, 土木学会年次学術講演会, 2008年9月10日, 仙台市.
2. 大木寛子, 嶋田恭佑, 西田修三: 淀川下流域の水質変動に及ぼす流域環境の影響解析, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2008年5月24日, 大阪市.
3. 中谷祐介, 今井文乃, 西田修三: 降水の水質特性と大阪湾への栄養塩負荷の解析, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2008年5月24日, 大阪市.
4. 柴田剛志, 入江政安, 中辻啓二: 阪南港浚渫地とその周辺における水質の現地観測, 土木学会年次学術講演会, 2007年9月12日, 広島市.
5. 庄路友紀子, 入江政安, 西田修三: 大阪市内河川における水質の潮汐応答特性, 土木学会年次学術講演会, 2007年9月12日, 広島市.
6. Keiji NAKATSUJI et al. Water exchange in strait-basin system under the influence of meandering ocean current: The 10th International Conference of Estuarine and Coastal Modeling, 2007年11月5日, 米国ニューポート市.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西田 修三 (NISHIDA SHUZO)
 大阪大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号: 40172663

(2) 研究分担者

中辻 啓二 (NAKATSUJI KEIJI)
 大阪大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号: 10029324
 入江 政安 (IRIE MASAYASU)
 大阪大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号: 00379116

(3) 連携研究者