

ノート

鹿児島湾の水質変動に関する調査研究（第 報）

- COD濃度変動に関する予備的検討 -

荒川 浩 亮 末 吉 恵 子 實 成 隆 志
清原 拓 二 寶 未 俊 一 宮 田 義 彦

要 旨

近年、CODの濃度上昇が指摘されている鹿児島湾の水質変動について、蓄積されている常時監視調査結果と2005年度から新たに開始したD-CODやTOCなどの調査結果をもとに種々解析し予備的な検討を行った結果、今後の調査に対して示唆を与える以下のことが明らかとなった。

- (1) 1990～2005年度までのCODの経年変化（移動平均）を地点別に比較した結果、1996年以降湾奥と鹿児島市沖の調査地点における濃度上昇が明瞭であった。
- (2) 主成分分析を用いて調査地点間のCODの経年変化の類似性を調べた結果、表層CODの汚濁の程度は概ね3群に分類され、近年、特に 群においてCODの悪化傾向が顕著であった。湾口から流入する外洋水の影響を受けると考えられる 群では、COD濃度上昇の傾向が 群及び 群に比較して明瞭でなかった。
- (3) CODとCODからD-CODを引いたP-CODとは良好な相関関係を有し、鹿児島湾におけるCODの上昇に懸濁態有機物であるプランクトンの増殖が密接に関係していることが判明した。
- (4) 1994～2005年までの基準点3及び13における表層、中層、下層におけるT-N、T-P経年変化（移動平均）を比較した結果、T-Nは表層から下層において濃度が上昇する傾向を示し、T-Pは各層とも濃度変動は小さいものの表層、中層よりも下層において濃度レベルが高かった。

キーワード：鹿児島湾、COD、D-COD、P-COD、TOC、主成分分析、経年変化

1 はじめに

鹿児島湾は、南北80km東西20kmの細長く入り込んだ内湾であり、最深部は237mに達する閉鎖性の高い海域である。1970年代半ばに既に初期汚染の段階にあるという専門家の指摘を受け、県は鹿児島湾水質環境管理計画（通称：鹿児島湾ブルー計画）を1979年5月に策定し、以来これまで三次にわたる改訂を行っている。この計画の中で水質汚濁の代表的指標であるCODや窒素、りんについて水質保全目標を設定し、各種水質保全対策を講じてきたが、2005年に策定した第4期鹿児島湾ブルー計画の中で一部海域においてCODに係る環境基準が未達成であることが指摘¹⁾されている。

本調査研究は、その原因を究明するために2005年度から5ヶ年計画で実施しているものである。これまで蓄積

されてきた鹿児島湾の水質に関するデータと2005年度に新たに調査を行ったD-CODやTOCなどのデータをもとに、主に海域の表層における平面的な水質汚濁の広がり（濃度分布）と海域の表層から中層、下層における窒素やりんなどの動態について予備的な解析を行い、特にCODの濃度変動に関する今後の本調査研究の方向性を検討したので報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点

解析対象とした調査地点は、鹿児島湾海域で環境基準A型に指定されている基準点1～17である。各基準点の位置を図1に示す。

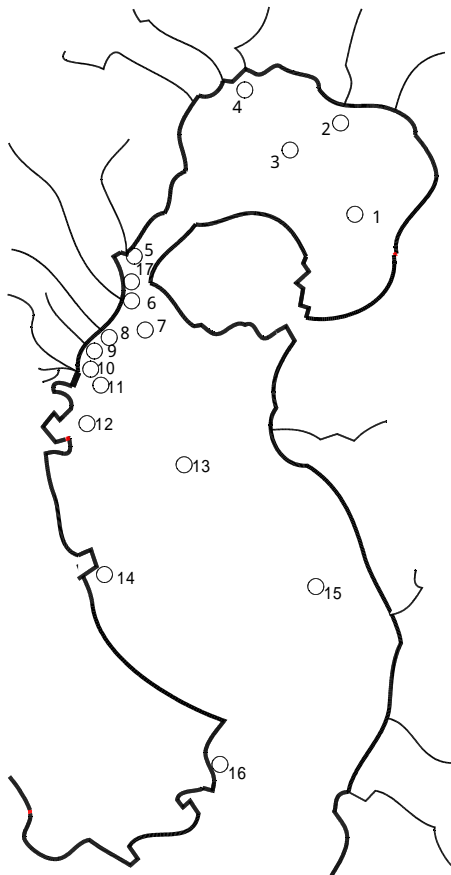


図1 調査地点

2.2 解析データ

解析には、1990年度から2005年度の「公共用水域及び地下水の水質測定結果」のデータ及び2005年度に調査したD-COD、TOCのデータを使用した。

3 結果および考察

3.1 表層CODの濃度推移

図1の調査地点を5つの海域に区分²⁾し、各海域を代表する調査地点として湾奥から基準点3、鹿児島市沖北部から基準点6、鹿児島市沖南部から基準点10、湾中央から基準点13、指宿沖から基準点16を選び、これらの地点における1990～2005年度の表層CODの濃度推移と移動平均値（年平均値）を図2に示す。

各地点ともCODは春季から夏季に高くなり、秋季から冬季に低くなるという年間の周期変動がみられ、また、1996年前後を境に年間最高値と最低値の較差が大きくなる傾向が認められた。

湾奥、鹿児島市沖（北部、南部）では1996年前後を境に移動平均値が明瞭な上昇傾向を示すとともに、年間の最高値レベルが高くなっている。一方、湾中央、指宿沖では同時期から移動平均値が微増傾向を示すとともに、年

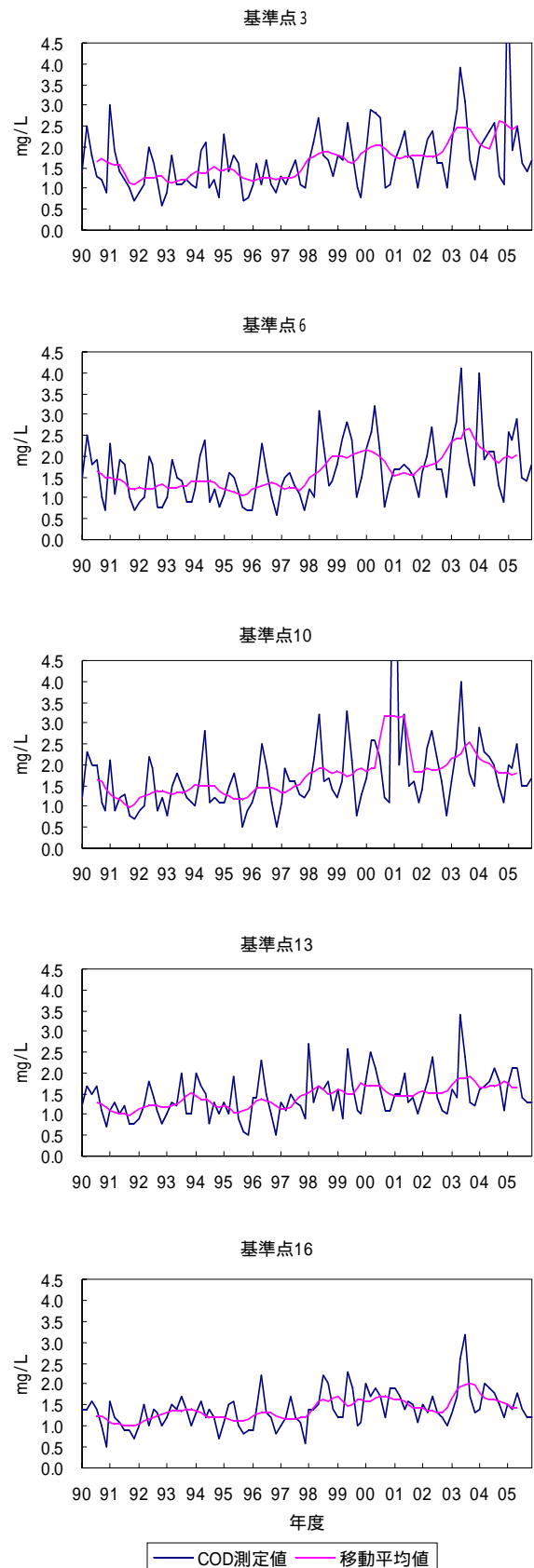


図2 基準点における表層CODの経年変化

間の最低値が漸増傾向にある。

このように鹿児島湾の表層COD濃度は、1996年前後を境に全般的に上昇傾向であり、中でも湾奥、鹿児島市沖（北部、南部）の濃度上昇が顕著であり、湾央、指宿沖でも上昇傾向にあることが確認された。

3.2 主成分分析の結果

図2でみられた各調査地点の表層CODの濃度変動の類似性と傾向を明らかにするために、各調査地点の1990～2005年度のCODデータを用いて主成分分析^{3,4)}を行い、調査地点の詳細な分類を試みた。

調査データをCODの変動が比較的穏やかな1990～1995年度と上昇傾向にある1996～2005年度の2つの時期に分割し、調査地点の表層CODの年度平均値を算出して解析を行った。

調査期間別の第1から第4主成分までの累積寄与率を表1に示す。両方の期間において、第2主成分までの累積寄与率が70%以上となったので、以後、第2主成分までを対象として議論する。

表1 主成分累積寄与率

年度	1990～1995	1996～2005
第1主成分	67.25%	52.29%
第2主成分	84.41%	77.44%
第3主成分	91.55%	84.70%
第4主成分	95.54%	91.01%

図3は1990～1995年度における、図4は1996～2005年度における各基準点の第1主成分と第2主成分のスコアを示したものである。

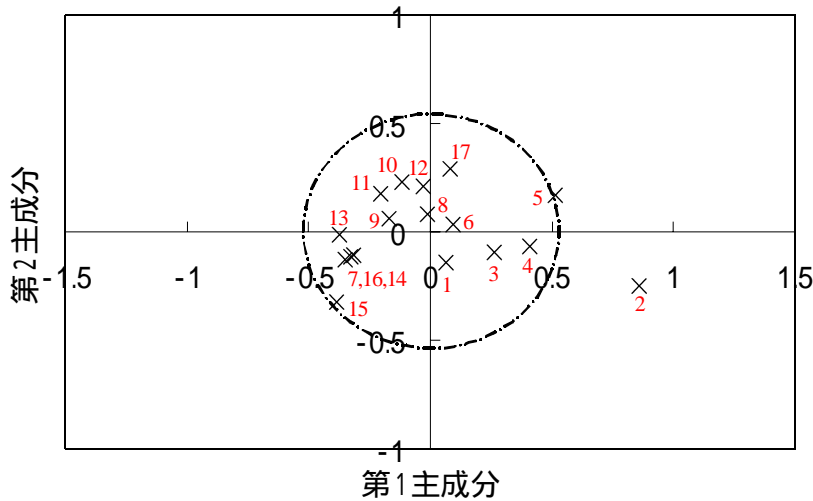


図3 1990～1995年度の主成分スコア

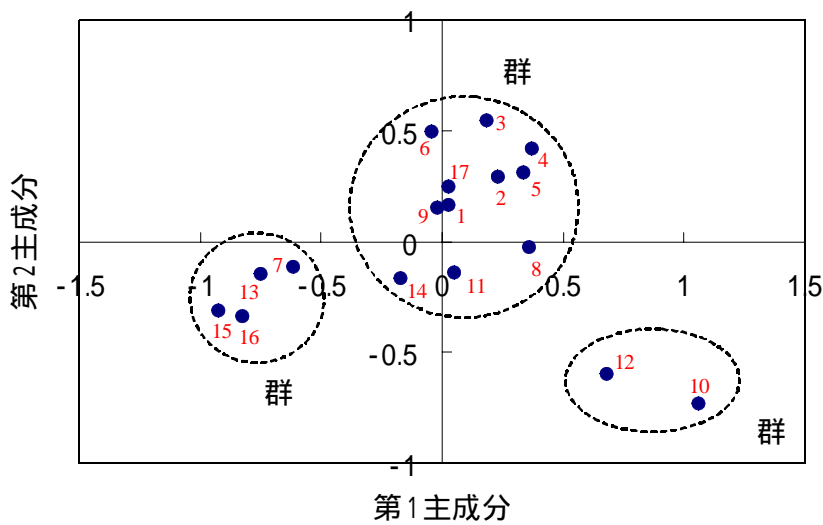


図4 1996～2005年度の主成分スコア

1990～1995年度では図3のとおり、基準点2を除く基準点が破線で囲まれる1つのグループを形成していた。

その後の1996～2005年度では、各基準点は図4の破線で囲まれる3つのグループに分かれて分布している。これらグループは、第1主成分によって分類され、-0.5以上で0.5未満、0.5以上、-0.5未満をそれぞれ群、群、群とした。

図3と図4における基準点の分布の移動が、1990～1995年度から1996～2005年度にかけての水質環境の時間的な変化を示すと考えられる。この分布の移動から、表層CODの経年変化は増加傾向だけではなく、基準点毎に異なる特徴的な傾向を持っていることが確認できた。

第1主成分は、CODの汚濁度合いを表していると考えられる。大きく正の方向に移動した群の2基準点(基準点10, 12)の1996～2005年度のCOD平均値は上位1, 4番目を占め、年度におけるバラツキも大きく1996～2005年度の標準偏差は大きい方の1, 3番目であった。この群は、COD平均濃度が高く、濃度変動が大きいグループと位置づけられる。

群の4基準点(基準点7, 13, 15, 16)について、1996～2005年度のCOD平均濃度は最も低いグループに属し、標準偏差も最も小さいグループであった。この群は、COD平均濃度が低く、濃度変動が小さいグループであると位置づけられる。

群に分類された11基準点は、COD濃度変動が群と群の中間に属するグループと位置づけられる。

これらの分類を基準点の地理的条件と照合すると、群は湾口から流入する外洋水の影響⁵⁾を受けやすいと考えられる桜島以南の基準点が含まれている。群は、閉鎖性のより強い湾奥の基準点と鹿児島市沖の河口付近の基準点から構成されている。この地理的状況と各群の濃度差から、COD濃度変動をもたらす要因の一つとして、流入河川等の影響についての検討が必要である。

これらより、鹿児島湾の表層CODの濃度変動は海域毎に差があることが確認できた。鹿児島湾全体を評価する際には、各群から海域を代表する基準点を取り出して、それぞれを比較検討する必要性が示唆された。

3.3 CODとD-CODの関係

懸濁態有機物質の中でもプランクトンはCODの測定値に大きな影響を及ぼすと考えられる。この影響を除去してCODを評価するために、2005年度よりCOD測定に並行して採取したサンプルをろ紙で濾過し、D-CODの測定を開始した。

基準点1～16、監視点への表層におけるCODからD-COD

を引いた値(以下、P-COD)⁶⁾とCODの関係は、図5に示すとおり相関係数は0.89であり、高い相関が認められた。P-CODの濃度上昇、つまり懸濁態有機物質の濃度上昇は、CODの濃度上昇をよく説明していると考えられる。

また、表層のP-CODの月別変動は図6のとおり、プランクトン増殖が盛んになる春季から夏季に高くなり、秋季から冬季に低くなる傾向を示している。

調査地点の表層におけるD-CODのCODに対する割合を、3.2の主成分分析で分類した3群と比較した結果が表2である。比較的清浄な海域の群の割合が最も高く、残りの群は10%以上低い割合を示した。

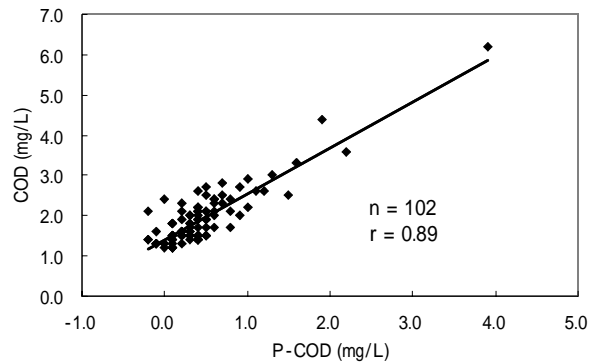


図5 表層のCODとP-CODの相関(2005年度)

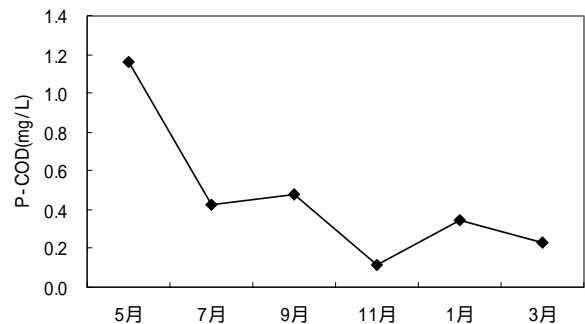


図6 表層P-CODの月別変動(2005年度)

表2 D-CODのCODに対する割合(2005年度)

分類	割合
群(基準点17を除く)	74%
群	80%
群	91%

これらのCODやD-COD, P-CODのデータ解析から、COD濃度上昇に懸濁態有機物であるプランクトンの増殖が密接に関係していることが判明した。

なお、COD濃度上昇やプランクトン増殖は鹿児島湾の各海域により差があることから、今後これらの海域での

D-CODの動態をさらに詳しく解析する必要がある。

3.4 CODとTOCの関係

懸濁態および溶存態の有機炭素の和を表すTOC⁷⁾とCODの関係を調べるために、2005年度よりCODと並行してTOCの測定を行っている。図7に示すとおり、概ね良好な相関が認められ、TOCはCOD同様、海域の水質の総合的な指標として参考になると考えられる。また、D-CODと同様、採取した試料をろ過した検液のTOC値を検討することで、プランクトンのCODやTOC測定値への影響評価がより明確になることが期待される。

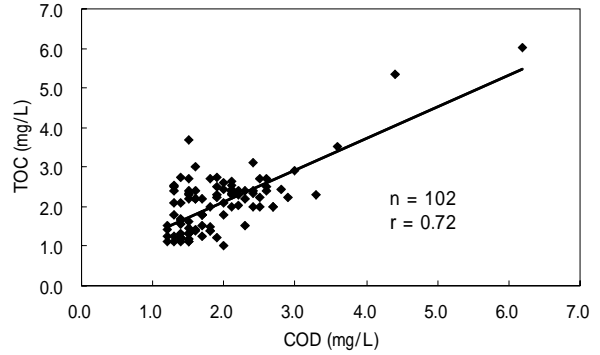


図7 表層のCODとTOCの相関(2005年度)

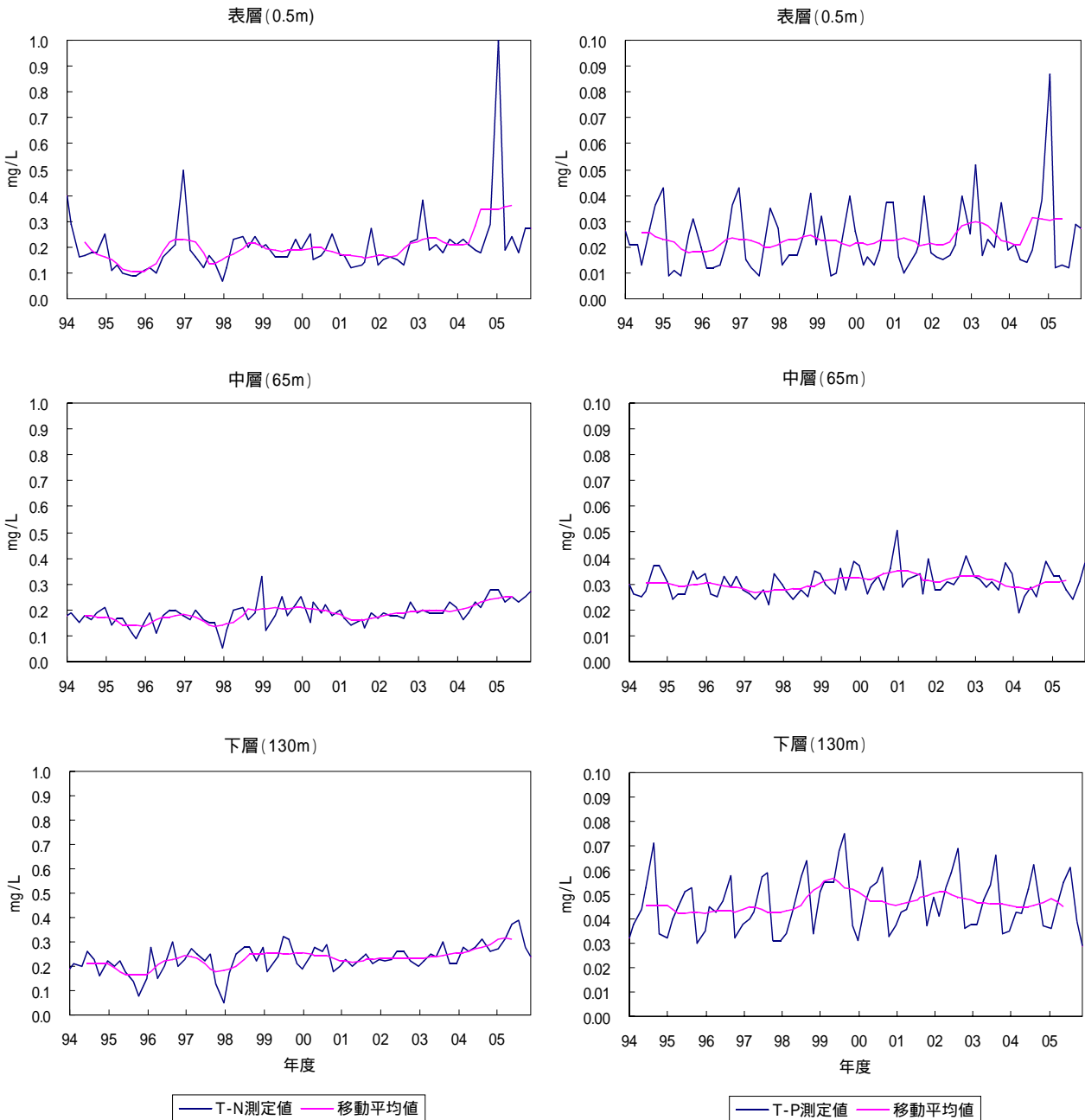


図8 表層、中層、下層におけるT-N, T-Pの濃度推移(基準点3)

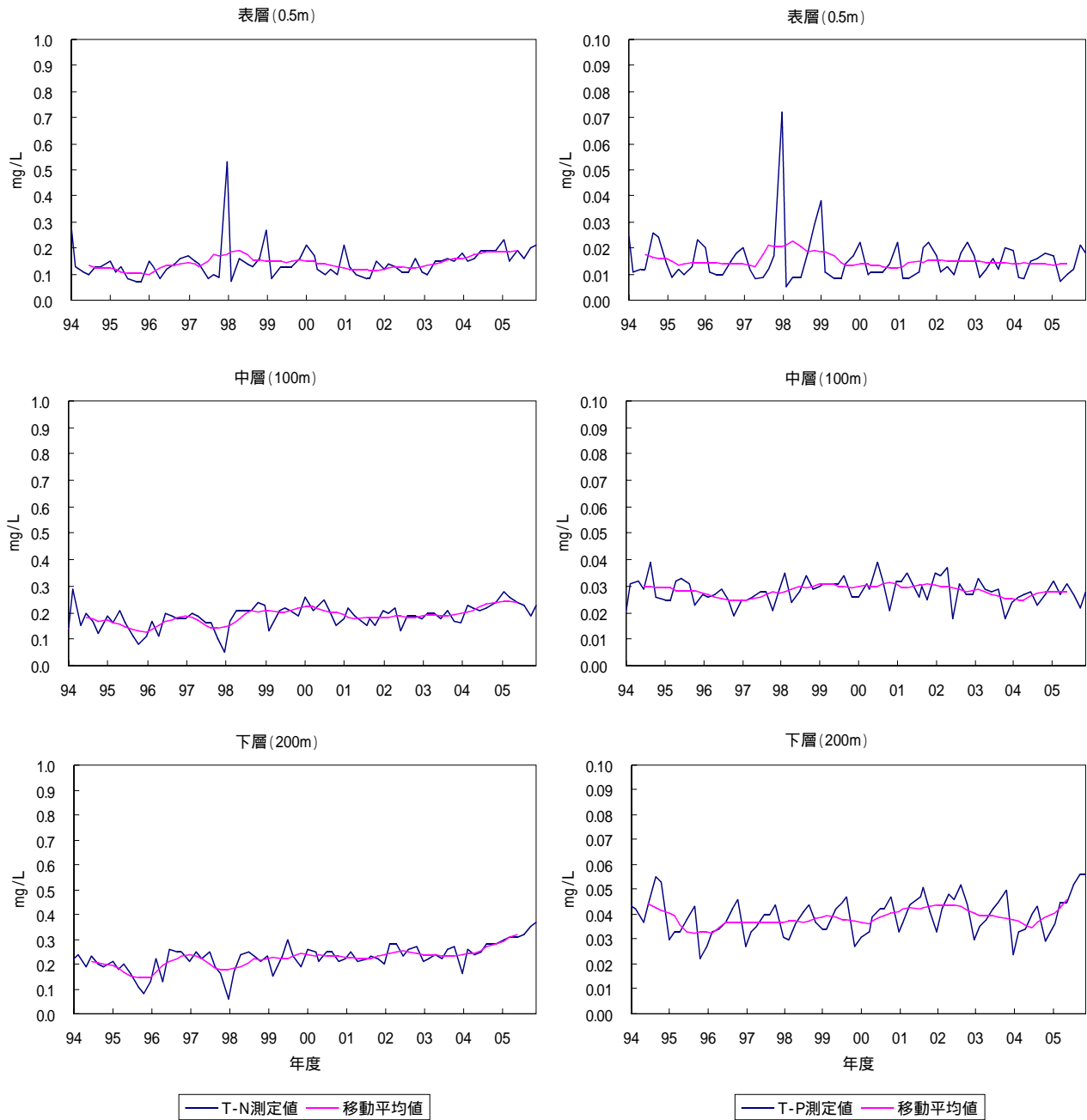


図9 表層，中層，下層におけるT-N，T-Pの濃度推移（基準点13）

3.5 鉛直方向におけるT-N，T-Pの動態

3.1 ~ 3.3で表層CODの湾内における平面的な動態を把握することができたが、特にCOD濃度上昇が顕著な基準点が位置する海域では、陸域から供給される外来性有機物とその海域で生産される内部生産有機物の動態についても検討が必要である。そこで、表層CODに対する鉛直方向の全窒素と全リンの動態について検討するため、3.2で分類した群と群の中で鉛直方向のデータが継続して得られている基準点3（0.5m層，65m層，130m層）と基準点13（0.5m層，100m層，200m層）を

選び出し、それぞれの地点の表層，中層および下層におけるT-NとT-Pの濃度推移および移動平均値（年平均値）を調べた。図8に基準点3，図9に基準点13の結果を示す。

基準点3のT-Pは年間の周期変動が各層においてみられ、特に下層において秋季から冬季に高く、春季から夏季に低くなる傾向が明瞭であった。一方、T-Nの季節的な変動は全層において、T-Pに比較して明瞭ではなかった。移動平均値より、T-Nは2002年前後を境にして表層から下層まで増加傾向がみられ、T-Pは概ね横ばいで推

移していることがわかる。なお、基準点3の各層におけるT-Nの濃度レベルは0.2mg/L前後で層による大きな差はないが、T-Pは下層、中層、表層の順に濃度が約0.01 mg/Lずつ高い濃度レベルで推移している。

基準点13の各層のT-N、T-Pは、年間の周期変動、経年の濃度推移および濃度レベルにおいて基準点3と類似した傾向がみられた。

以上の湾奥および湾中央の表層、中層、下層におけるT-NとT-Pの特徴ある動態⁸⁾と、図2に示した表層におけるCODの動態がどのような関係を有するかについて今後検討が必要である。

4 まとめ

鹿兒島湾の水質変動について、常時監視調査結果と2005年度から開始したD-CODやTOCの調査結果をもとに種々解析した結果、以下の知見が得られた。

表層CODの経年の濃度推移およびその主成分分析の結果から、1996年頃よりCODの濃度上昇が湾奥と鹿兒島市沖で認められ、特に鹿兒島市沖の群で顕著であった。

CODとP-CODは高い相関関係を有しており、湾奥と鹿兒島市沖におけるCOD濃度上昇の原因として春先から夏季にかけて発生するプランクトンの増殖が密接に関係していることが判明した。

湾奥と湾中央の表層、中層、下層におけるT-N、T-Pの経年の濃度推移を調べた結果、T-Pの濃度変動は各層とも比較的小さいのに対し、T-Nは表層から下層において増加傾向を示した。また、T-Nの各層における濃度レベルは大差がなかったが、T-Pの濃度レベルは表層、中層、下層と深くなるに従い高くなっていった。

これらの予備的な解析結果から、今後、COD濃度変動が大きい海域において表層から下層までの水質調査を行い、さらに、汚濁物質の流入負荷などが及ぼす影響評価も含めた詳細な検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 鹿兒島県；第4期鹿兒島湾水質環境管理計画（平成17年3月）
- 2) 大庭大輔，中尾兼治，他；鹿兒島湾の水質及びCOD環境基準未達成要因について，本誌，3，67～95（2002）
- 3) 奥野忠一，久米均，他；多変量解析法<改訂版>，159～258，日科技連（1983）
- 4) 多田薫，多田千鶴子，土取みゆき；香川県海域における水質評価について，香川県環境保健研究センター所報，1，49～59（2002）
- 5) 大谷賢樹，菊川浩行，他；鹿兒島湾への外洋水の流入，海の研究，7，245～251（1998）
- 6) 藤田和男，末石照香，他；児島湖下流域の内部生産（2），岡山県環境保健センター年報，26，8～10（2002）
- 7) 小川浩史；海水中の溶存有機炭素，資源と環境，2（1），13～32（1993）
- 8) 切通淳一郎，西中須暁子，他；鹿兒島湾における窒素，りん濃度変動について，本誌，7，108～113（2006）

Studies on the Water Quality Variations of Kagoshima Bay ()

- Preliminary research on the COD concentration fluctuation -

Hiroaki ARAKAWA , Keiko SUEYOSHI , Takashi MINARI

Takuji KIYOHARA , Shunichi HORAI , Yoshihiko MIYATA

(Kagoshima Prefectural Institute for Environmental Research and Public Health)

18, Jonan-cho, Kagoshima-shi, 892-0835, JAPAN

Abstract

Recently, increase in COD concentration in Kagoshima Bay has been indicated. We analyzed water quality variations of Kagoshima Bay based on accumulated continuous survey result and D-COD, TOC which were measured for 2005. As a result of this preliminary research, it became clear the following fact which gave the suggestion for future investigation.

- (1) As a result of comparing annual change (moving average) of COD concentration of every survey point for 1990-2005 fiscal year, It was clear that rise of COD concentration in survey point in the inner part of Kagoshima Bay and the offshore in Kagoshima City after 1996.
- (2) As a result of examining the similarity of annual change of COD concentration between survey point using the principal component analysis, it was classified into the three groups in which the degree of pollution level of COD differed. Group , group , group were respectively located in the inner part of the bay, the offshore in Kagoshima City, in the mouth of the bay. Recently, it was remarkable to increase in COD concentration in group . The tendency of rise in COD in the group , which seemed to receive the effect of ocean water which from mouth of the bay, was not clearer than group and .
- (3) Concentration of COD and that of P-COD showed the good correlation. It was proven that the multiplication of the plankton which is the suspended organic substance for the rise in COD in Kagoshima Bay was closely related.
- (4) Annual change (moving average) of T-N, T-P concentration in surface layer, middle layer, lower layer were compared in survey point No.3 and No.13 for the 1994-2005 fiscal year. As the result, the concentration of T-N showed the tendency which rose in each layer. The variation of T-P concentration was also small on each layer. And, the concentration level of lower layer was higher than surface layer and middle layer.

Key Words : Kagoshima Bay, COD, D-COD, P-COD, TOC, principal component analysis, annual change