

## ノート

## 鹿児島湾の水質変動に関する調査研究 (第Ⅲ報)

## —COD濃度変動に影響を及ぼす成分の検討—

末吉 恵子                      實成 隆志                      吉留 雅仁  
清原 拓二                      實未 俊一                      宮田 義彦

## 要 旨

1996～2006年度の鹿児島湾の水質常時監視データを使用して、クラスター分析および重回帰分析を行い、各海域の類似度の分類とCODの濃度変動に寄与する成分の検討を行った結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 水質常時監視データの平均値を用いてクラスター分析により常時監視基準点間の類似性を調べた結果、CODの濃度が比較的高い湾奥、次いでCOD濃度の高い鹿児島市沖北部、近年COD濃度の上昇傾向が顕著な鹿児島市沖南部、及び他の海域より比較的COD濃度が低い湾中央・指宿沖の4海域に概ね分類され、實成ら<sup>1)</sup>による $\Delta$ COD法による海域の分類結果とほぼ一致した。
- (2) 各海域におけるCOD濃度変動と関係する成分を重回帰分析により解析した結果、近年特にCOD濃度上昇が著しい鹿児島市沖南部、及びCOD濃度が継続して高い湾奥では全りと全窒素について、それぞれ成分の動態と流域から流入する負荷量などの調査検討が必要であると考えられる。
- (3) クラスター分析においてどの基準点ともクラスターを形成しなかった湾奥の基準点2は、重回帰分析においてCODと有意な関係を有する成分は選択されなかったことから、海域全体の中で特異性を有することが示唆された。

キーワード：鹿児島湾、COD、T-N、T-P、経年変化、クラスター分析、重回帰分析

## 1 はじめに

本調査研究の一環で荒川ら<sup>2)</sup>は、近年の鹿児島湾におけるCOD濃度上昇の傾向<sup>3)</sup>は、湾奥部、鹿児島市沖（北部、南部）及び湾中央・指宿沖など海域によって異なること、COD濃度上昇に懸濁態COD（P-COD）の寄与が大きいこと、CODの濃度上昇と春季から夏季のプランクトンの増殖が密接に関係していることを報告した。さらに實成ら<sup>1)</sup>は、 $\Delta$ COD法<sup>4, 5)</sup>を用いてCODの基礎生産（CODmin）及び内部生産（以下「 $\Delta$ COD」という。）の長期的変動とCOD濃度上昇の関係を考察し、鹿児島湾の各海域におけるCODmin及び $\Delta$ COD上昇傾向と、各海域中でも荒川ら<sup>2)</sup>の指摘した鹿児島市沖南部において近年 $\Delta$ CODの上昇が著しいことを明らかにした。

これらの検討結果を踏まえて、鹿児島湾におけるCOD（ $\Delta$ COD）の濃度上昇については、富栄養化現象の究明という観点から窒素やリンの動態<sup>6)</sup>に関する検討が必要であり、CODや窒素、リンなどの水質常時監視データに基づいて、海域間の類似度を分類比較することや、鹿児島湾海域の中でも近年特にCOD濃度の上昇が著しい鹿児島市沖南部においてCODの濃度変動に影響を及ぼす主要な成分を抽出することは重要である。

本報告では、荒川ら<sup>2)</sup>や實成ら<sup>1)</sup>の分類した各海域においてCODおよび $\Delta$ CODの濃度変動に影響を及ぼす主要な因子を抽出することを目的に、1996～2006年度の鹿児島湾の水質常時監視データを使用して、まず、クラスター分析<sup>8, 9)</sup>により基準点間の非類似度を調べた。次に、

重回帰分析<sup>8)</sup>により各常時監視基準点別のCOD濃度に寄与する主要な成分の推定を行い、各海域の特徴について比較検討した。

## 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類型に指定されている基準点1～16である。各基準点の位置を図1に示す。

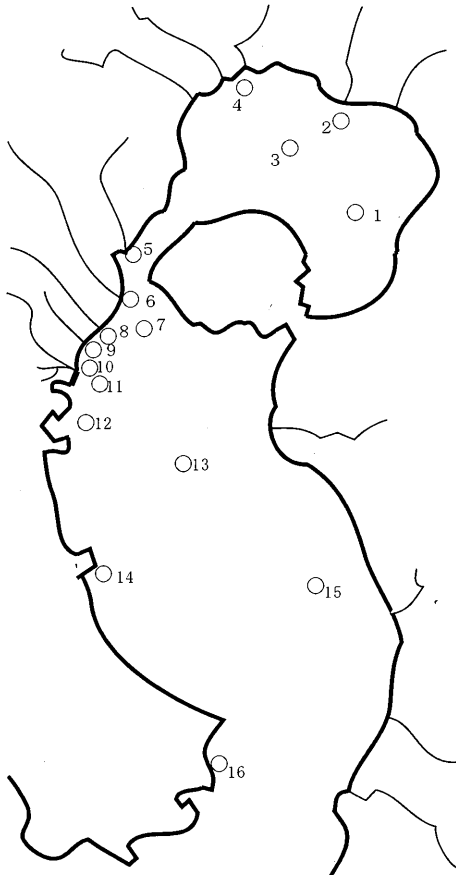


図1 調査地点

### 2.2 対象海域

實成ら<sup>1)</sup>の海域区分に従い、調査地点を以下の4海域に区分した。

- |               |          |
|---------------|----------|
| (1) 湾奥        | 基準点1～4   |
| (2) 鹿児島市沖(北部) | 基準点5～8   |
| (3) 鹿児島市沖(南部) | 基準点9～12  |
| (4) 湾央・指宿沖    | 基準点13～16 |

### 2.3 解析データ

解析には、1996～2006年度の「公共用水域及び地下水の水質測定結果」から表層(0.5m)の水質常時監視データを使用した。

## 2.4 多変量解析による分析

### 2.4.1 クラスタ分析

1996～2006年度の表層の平均値を使用した。解析に使用した水質成分は、DO、COD、T-N、T-P、Clである。

### 2.4.2 重回帰分析

1996～2006年度(11年間)の表層のデータを使用し、CODを目的変数とし、各基準点で常時監視されている項目(分析成分)を説明変数として推定することを試みた。分析成分はDO、T-N、T-P、Cl、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、クロロフィル4項目(Chla、Chlb、Chlc、T-Chl)の12項目であり、全項目を監視しているのは6基準点(基準点1、3、7、11、13、14)、12項目の内DO、T-N、T-P、Clの4項目を監視しているのは10基準点(基準点2、4、5、6、8、9、10、12、15、16)である。変数選択は変数増減法で行った。

## 3 結果および考察

### 3.1 表層T-N、T-Pの濃度推移

各海域の代表的な調査地点における、1996～2006年度の表層T-N、T-Pの濃度と移動平均値の推移を図2、図3に示す。

T-Nは各地点とも季節的変動は明瞭でなかった。また、濃度変動は、基準点10が明らかに大きく、濃度レベルも他の地点に比べ高い水準で推移している。基準点3、6、13の濃度レベルは微増もしくは横ばいで推移している。

T-Pは各地点とも秋季から冬季に高く、春季から夏季に低くなる傾向を示した。濃度レベルは各地点とも、ほぼ横ばいで推移しているが、基準点10の濃度レベルはT-Nと同様、他の基準点より高い水準で推移している。

### 3.2 クラスタ分析による基準点の類似度評価分類

1996年度以降COD濃度の上昇が顕在化した鹿児島湾のCODは海域により濃度変動が異なることが報告<sup>2)</sup>されていることから、COD以外の監視項目を含めて常時監視基準点間の水質の類似性を調べることは重要である。クラスタ分析は、ある集団をいくつかの群に分類しようとするときに用いられる方法<sup>10、11)</sup>であり、全く基準のないサンプルをデータの数値の類似性(非類似性)の値を求めて、類似しているものを集めてクラスターを作成する分析方法である。

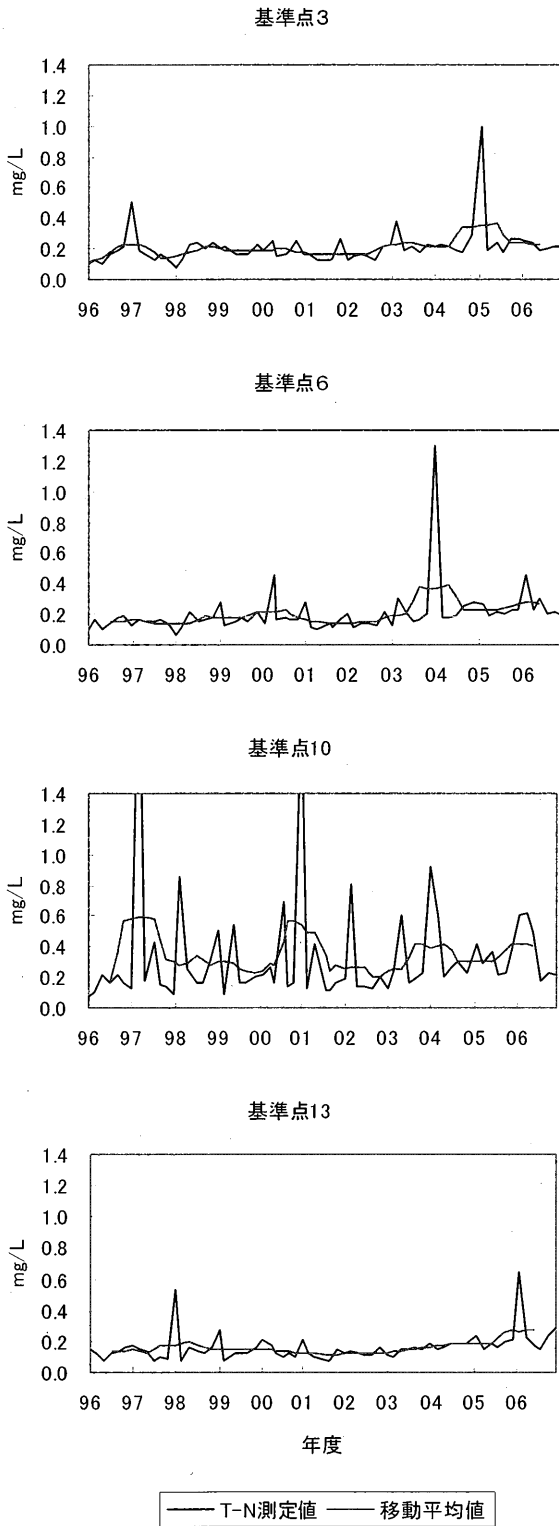


図2 基準点における表層T-Nの経年変化

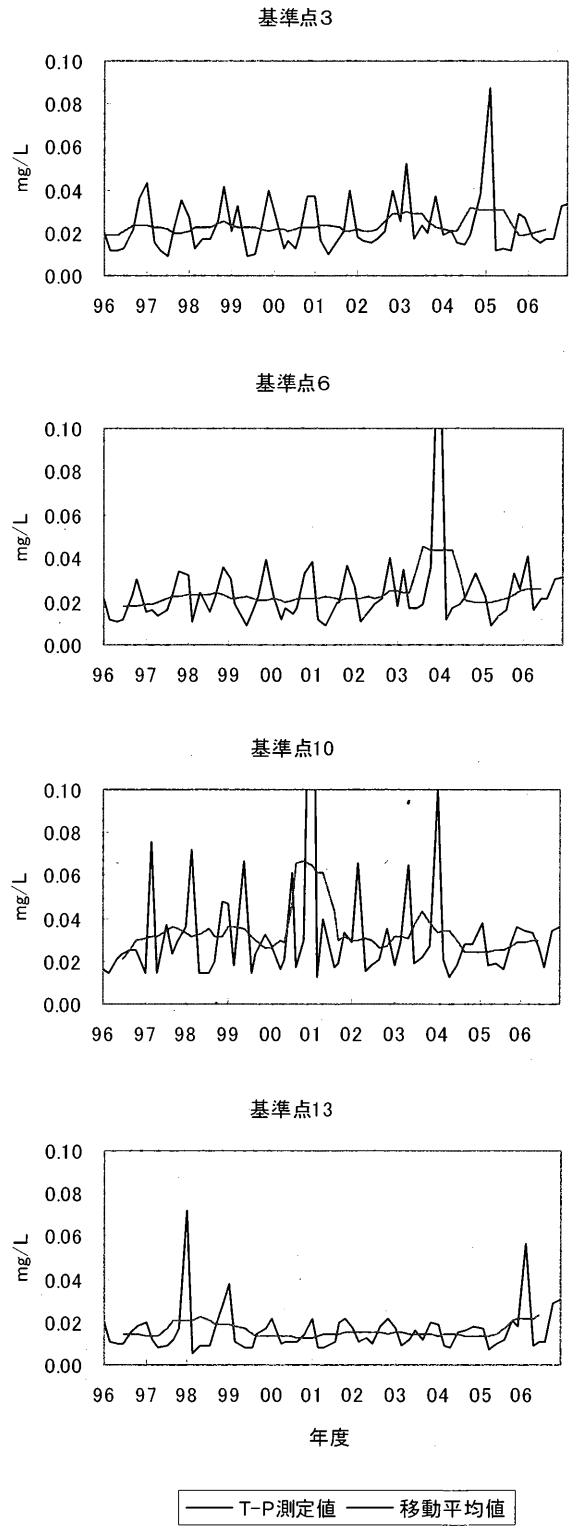


図3 基準点における表層T-Pの経年変化

データ解析はCODの濃度上昇が顕在化した1996～2006年度の表層の平均値を用いて行った。調査地点間の距離(非類似度)の尺度としてユークリッド平方距離を用い、クラスター形成はウォード法を用いた。なお、基準点2はどの基準点ともクラスターを形成しないという特性を

有したので、デンドログラム(樹状図)による説明を簡略化するため、以下基準点2を除いて解析した結果、図4に示すとおり、各基準点は概ね4つのクラスターに分類された。

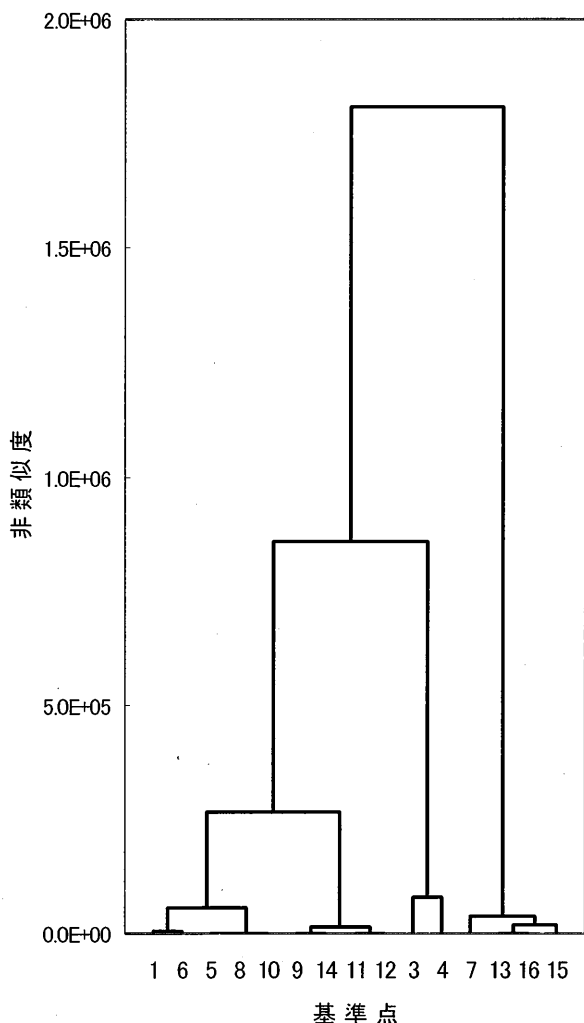


図4 デンドログラム

このデンドログラムにより分類された各基準点を、實成ら<sup>1)</sup>がΔCOD法を用いて水質を評価をするため分類した4海域に当てはめて整理し、比較検討した。なお、實成ら<sup>1)</sup>は、荒川ら<sup>2)</sup>のCODに関する解析結果に、鹿児島湾海域の地理的条件を考慮して海域を分類している。

その結果、基準点1, 7, 10, 14を除く各基準点は表1のとおり分類され、CODに関する汚濁度評価結果とほぼ一致する結果が得られた。なお、基準点(1, 7, 10, 14)は、クラスター分析では基準点1が鹿児島市沖北部、基準点7が湾央・指宿沖、基準点10が鹿児島市沖北部、基準点14が鹿児島市沖南部にそれぞれ分類されたが、いずれも表1の海域分類では近接した海域に分類された。今回のクラスター分析は、近年COD濃度の上昇が顕著になった1996～2006年度の平均値を使用して各基準点の類似度を評価したものであることから、この期間

における各基準点の平均的な水質(COD, DO, T-P, T-N, Cl)の類似度を表すものであり、表1に示す實成ら<sup>3)</sup>が4海域に分類して鹿児島湾の水質を評価することはクラスター分析結果からも妥当であると考えられる。

表1 海域分類の比較

實成らによる海域(基準点)の分類			デンドログラムによる分類が一致した基準点
海域	基準点	CODの濃度状況	
湾奥	1～4	高い	3, 4
鹿児島市沖北部	5～8	やや高い	5, 6, 8
鹿児島市沖南部	9～12	近年上昇	9, 11, 12
湾央・指宿沖	13～16	比較的低い	13, 15, 16

※基準点2はクラスター分析では除外

### 3.3 重回帰分析によるCOD濃度変動に影響を及ぼす成分の検討

重回帰分析によりCOD(目的変数)に寄与する水質常時監視項目(分析成分)を推定することを試みた<sup>12)</sup>。CODの説明変数として各基準点で調査された分析成分を用いた。なお、基準点により分析成分数が異なる(10基準点が4成分、6基準点が12成分)ため、重回帰分析結果から各基準点を等価で比較することはできないが、DO, T-N, T-P, Clは全地点共通に分析されており、T-N, T-PなどCODに寄与する分析成分の寄与を大まかに把握することは可能と考えられる。変数選択は変数増減法で行った。

重回帰分析により目的変数のCODに対する各変数の寄与を推定するため、すべての説明変数を平均0、分散1に標準化した場合の標準偏回帰係数を表2に示した。得られた重回帰式は各基準点間で異なり各基準点の水質の特性を反映していると考えられる。

表2から得られたCODに対してプラスの寄与をする変数を、表3に海域別に整理した。選択された成分は各海域の水質の特性を把握する手掛かりとなる情報である。各海域の特徴として、湾奥、鹿児島市沖北部及び鹿児島市沖南部では、T-N又はT-Pが、湾央・指宿沖ではT-Nが説明変数として選択された。

なお、クラスター分析においてどの基準点ともクラスターを形成しなかった基準点2は、重回帰分析においてCODと有意な関係を有する変数(成分)は選択されなかったことから、海域全体の中で特異性を有する基準点であることが示唆された。基準点2は鹿児島湾奥部に位置し天降川からの流入の影響を受けている可能性がある。

表2 重回帰分析の結果

基準点	標準偏回帰係数												定数	重回帰係数
	DO	T-N	T-P	Cl	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	Chla	Chlb	Chlc	T-Chl		
1			0.6774**	-0.5486**				-0.8389**					8.1755	0.8241**
2					-	-	-		-	-	-	-	1.6827	0.2882
3		0.6328**		-0.2414**			-0.5412**			-0.1527*			4.5605	0.8556**
4	-0.2604**			-0.6663**					-	-	-	-	6.3754	0.7993**
5	0.2445**	0.4874**		-0.4474**	-	-	-	-	-	-	-	-	5.3097	0.7954**
6	0.2242**	0.4021**		-0.6058**	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9182	0.8153**
7			0.8858**	-0.5942**				-0.6892**					11.4547	0.7911**
8	0.2552**	0.4502**		-0.3382**	-	-	-	-	-	-	-	-	2.7008	0.6693**
9	0.1895*	0.2153**		-0.6521**	-	-	-	-	-	-	-	-	8.8686	0.8034**
10			0.7490**	-0.2534**	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1653	0.8050**
11			0.2456**	-0.5312**			-0.3990**						8.6972	0.7752**
12	0.1522*	0.7734**		-0.4107**	-	-	-	-	-	-	-	-	8.2657	0.8860**
13		0.2743**		-0.7174**			-0.1966*			0.1944*			11.3323	0.8262**
14		0.4481**		-0.6462**		-0.1610*	-0.6750**			0.2370**			7.3783	0.8469**
15		0.1383		-0.6381**	-	-	-	-	-	-	-	-	11.6624	0.6464**
16				-0.5245**	-	-	-	-	-	-	-	-	9.0304	0.5245**

\*\* : 1%の危険率で有意, \* : 5%有意, - : 調査されていない成分, 空欄 : 選択されなかった説明変数

表3 各海域でCODにプラスに寄与する変数と基準点

海域	変数 (基準点)
湾奥	T-N (3), T-P (1)
鹿児島市沖北部	T-N (5, 6, 8), T-P (7)
鹿児島市沖南部	T-N (9, 12), T-P (10, 11)
湾央・指宿沖	T-N (13, 14)

次に、重回帰分析において自由度修正済み決定係数が有意の相関関係を示した各海域の代表的な基準点（基準点3, 6, 10, 13）について、実測したCOD濃度と重回帰式から求めた理論値の相関関係を図5に示す。各基準点における実測値と理論値は概ね一致しており、重回帰分析によりそれぞれ選択された成分について、COD濃度上昇との関係を重点的に調査する必要がある。なお、基準点3, 基準点13は窒素 (T-N, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N) やりん (T-P, PO<sub>4</sub>-P) などの水質データが揃っており、CODとの関係が多成分により説明され、今後のCODの動態解明に有用な情報を提供する地点であると考えられる。

#### 4 まとめ

鹿児島湾海域において近年春季から夏季にかけて主にプランクトンの増殖によりCOD濃度が上昇する要因を検討するため、鹿児島市沖南部などでCOD濃度上昇が顕著となった1996年度から2006年度の鹿児島湾の水質常時監視データを使用して、多変量解析（クラスター分析及び重回帰分析）を行った結果、以下のことが明らかになった。

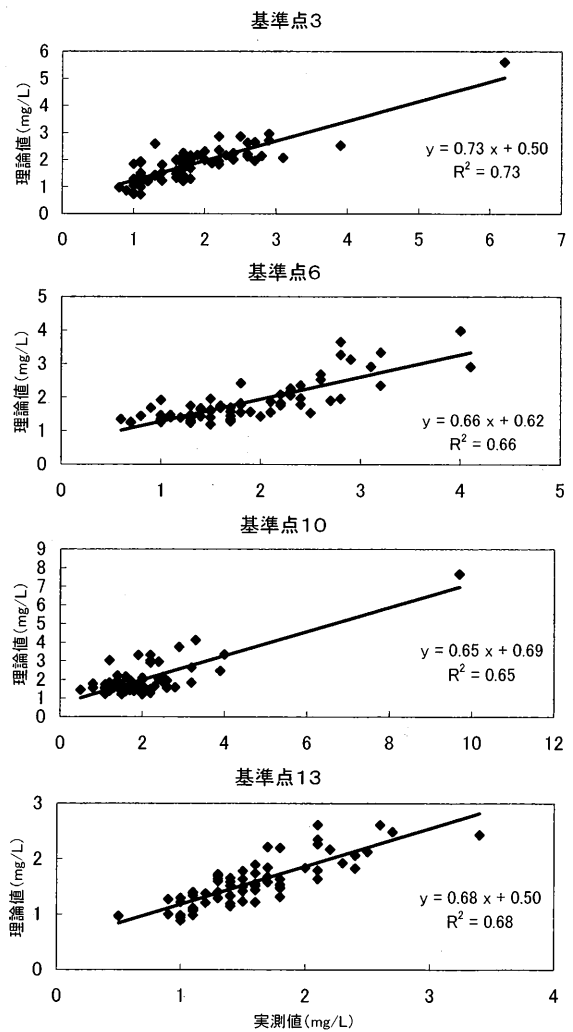


図5 重回帰式から求めたCOD濃度理論値と実測値

- 1) クラスタ分析により1996～2006年度の表層の平均値を用いて常時監視基準点間の類似性を調べた結果、荒川<sup>2)</sup>ら、實成<sup>1)</sup>による海域の分類結果とほぼ同様、他の海域と比較して継続してCODの濃度が高い湾奥、次いでCOD濃度の高い鹿児島市沖北部、近年COD濃度の上昇傾向が顕著な鹿児島市沖南部、及び他の海域より比較的COD濃度が低い湾央・指宿沖の4海域に分類された。したがって、鹿児島湾の全海域の水質を評価する場合、水質常時監視データにより分類された4海域の特性を十分考慮して行う必要がある。
- 2) 重回帰分析により各海域における1996～2006年度のCOD濃度変動と関係する分析成分を解析した結果、湾奥、鹿児島市沖北部及び鹿児島市沖南部ではT-N又はT-P、湾央・指宿沖ではT-Nであった。

鹿児島湾の中で近年特にCOD濃度変動（上昇）が著しい鹿児島市沖南部（基準点10、12）、及び湾奥の基準点3はりんと窒素がCOD濃度変動と関係しており、今後これらの成分の動態と流域から流入する負荷量などの調査検討が重要であると考えられる。
- 3) クラスタ分析においてどの基準点ともクラスターを形成しなかった基準点2は、重回帰分析においてCODと有意な関係を有する変数（成分）は選択されなかったことから、海域全体の中で特異性を有する基準点であることが示唆された。

## 参考文献

- 1) 實成隆志，末吉恵子，他；鹿児島湾の水質変動に関する調査研究（第Ⅱ報），本誌，8，58～62（2007）
- 2) 荒川浩亮，末吉恵子，他；鹿児島湾の水質変動に関する調査研究（第Ⅰ報），本誌，7，49～56（2006）
- 3) 鹿児島県；第4期鹿児島湾水質環境管理計画（平成17年3月）
- 4) 中西弘，浮田正夫，宇野良治；海域におけるCOD生産量について，用水と廃水，17，725～735（1975）
- 5) 中西弘；海域の富栄養化の機構と予測，環境管理，30，276～281（1994）
- 6) 大庭大輔，中尾兼治，他；鹿児島湾の水質及びCOD環境基準未達成要因について，本誌，3，67～95（2002）
- 7) 切通淳一郎，西中須暁子，他；鹿児島湾における窒素，りん濃度変動について，本誌，7，108～113（2006）
- 8) 奥野忠一，久米均，他；多変量解析法＜改訂版＞，日科技連（1983）
- 9) 河口至商；多変量解析入門Ⅱ，森北出版（1978）
- 10) 福島武彦，上西弘晃，他；浅い富栄養湖の水質に及ぼす気象の影響，水環境学会誌，21，180～187（1998）
- 11) 山田佳昭，松下訓；河川水質測定データから推定した相模湾への窒素、リン、CODの流入負荷，神奈川県水産技術センター研究報告，1，43～49（2006）
- 12) 鷺見博生，片山清志；多変量解析による霞ヶ浦の水質浄化対策の評価について，環境技術，30，634～639（2001）

## Studies on the Water Quality Variations of Kagoshima Bay (Ⅲ)

— Estimation of the chemical substances which affects COD concentration fluctuation —

Keiko SUEYOSHI, Takashi MINARI, Masahito YOSHIDOME

Takuji KIYOHARA, Shun-ichi HORAI, Yoshihiko MIYATA

Kagoshima Prefectural Institute for Environmental Research and Public Health

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

### Abstract

We did cluster analysis and multiple regression analysis using water quality data of Kagoshima Bay in 1996 ~ 2006, in order to classify the similarity of each sea area in Kagoshima Bay and to estimate the chemical substances which contribute to the COD concentration fluctuation. The summary of results is shown below.

- (1)The similarity between survey point was analyzed by the cluster analysis using mean value of the water quality data. As the result, it was approximately classified into 4 sea area of bay inner part where the COD concentration is comparatively high, northern offshore of Kagoshima City where the COD concentration is high for the next, southern offshore of Kagoshima City where upward trend of the recent COD concentration is remarkable, bay center and offshore of Ibusuki where the COD concentration is comparatively lower than other sea area.
- (2)The chemical substances which were related to COD concentration fluctuation were analyzed by the multiple regression analysis in each sea area. As the result, in the southern offshore of Kagoshima City where upward trend of the recent COD concentration is remarkable and in the bay inner part where the COD concentration is comparatively high, it seems to be necessary to investigate on dynamic phase and the load which flows from the watershed of chemical substances, such as T-P and T-N.
- (3)The survey point No. 2 in bay inner part did not form the cluster with any other survey point in the cluster analysis, and any substance with the significant relation between COD was chosen in the multiple regression analysis of survey point No. 2. Therefore, it was indicated that it had the characteristic of water quality in the whole sea area.

**Key Words** : Kagoshima Bay, COD, T-N, T-P, concentration fluctuation, cluster analysis, multiple regression analysis.