

ノート

鹿児島湾の水質変動に関する調査研究（第Ⅱ報）

－内部生産CODの長期的変動について－

實 成 隆 志 末 吉 恵 子 吉 留 雅 仁
清 原 拓 二 寶 未 俊 一 宮 田 義 彦

要 旨

鹿児島湾の内部生産CODと外部負荷CODの長期変動を評価するため、1990～2006年度における表層CODデータを Δ COD法及び隣接年比較法により解析した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) CODmin（外部負荷COD）は、1996年度前後を境に全海域でほぼ一様に上昇しているのに対して、 Δ COD（内部生産COD）は海域により上昇傾向に差がみられ、特に鹿児島市沖における上昇が著しかった。
- (2) 隣接年比較法による相関解析の結果、CODの変動と Δ CODの変動には良好な相関関係が認められた。COD変動は Δ CODの変動によってよく説明され、COD上昇は内部生産の上昇によることが明らかになった。また、 Δ CODの変動幅は鹿児島市沖南部、湾奥、鹿児島市沖北部、湾央・指宿沖の順に大きく、この結果は荒川ら¹⁾のCODの濃度変動に関する報告とも一致した。

キーワード：鹿児島湾、 Δ COD法、内部生産、隣接年比較法

1 はじめに

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い、各種水質保全対策を講じてきた。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²⁾されており、本研究は、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。

荒川ら¹⁾は、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示した。また、鹿児島湾を海域毎に区分し、各海域を代表する調査地点の表層COD濃度推移を比較することにより、1996年以降表層CODの濃度上昇が湾奥（基準点3）と鹿児島市沖南部

（基準点10,12）で顕著であることを明らかにした。

本報では、上記に示した各海域におけるCODの動態の相違を明らかにするため、COD法^{3,4)}を用いて表層CODを外部負荷と内部生産に分離してCODの濃度上昇要因を海域毎に比較解析し、また、隣接年比較による相関解析によりCOD変動に及ぼす外部負荷と内部生産の影響及び長期変動を検討した。

2 調査方法

2.1 調査地点

解析対象とした地点は、環境基準点1～16である。調査地点位置を図1に示す。

2.2 対象海域

荒川ら¹⁾の海域区分に準じ、調査地点を以下の4海域に区分した。

- (1) 湾奥 基準点1～4 4地点
- (2) 鹿児島市沖（北部） 基準点5～8 4地点

- (3) 鹿児島市沖(南部) 基準点9~12 4地点
- (4) 湾央・指宿沖 基準点13~16 4地点

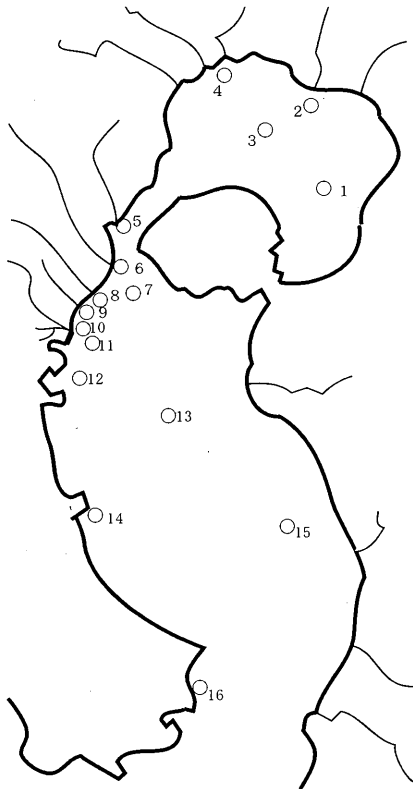


図1 調査地点

2. 3 解析データ

解析には、1990年度から2006年度の「公共用水域及び地下水の水質測定結果」の表層のCODデータを使用した。なお、2004年度以前は奇数月、2005年度以降は偶数月に調査を行っている。

3 結果及び考察

3. 1 外部負荷CODの長期的変動

3. 1. 1 CODminの設定

ΔCOD法では、以下の2つの仮定の下にCOD内部生産を推定している³⁾。

(1) 一般に夏場に高く冬場に低い海域のCODの季節変動は、主として植物プランクトンの増減に由来するものであり、COD濃度の最小を示す時期には基礎生産はなく、全てのCODは外部負荷CODで構成されている。

(2) 外部負荷CODの平均値がCODminに相当する。

本報ではこれらの仮定を前提に、植物プランクトンの増殖が少ないと考えられ、CODが年間で最も低い値を示す傾向の強い冬季(2004年度以前は2月、2005年度以降は1月)のデータをCODmin(外部負荷COD)として

評価した。

3. 1. 2 CODmin(冬季COD)の推移

CODminの海域別平均値(各海域とも4地点のCODmin平均)の1990~2006年度の推移を図2に示す。CODminについては、荒川ら¹⁾が報告したCODと同様、1996年前後を境に各海域とも上昇傾向が認められた。

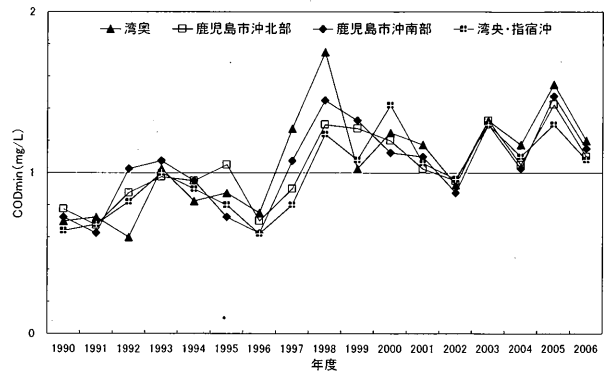


図2 海域毎のCODminの推移

そこで、この上昇傾向を比較するために、海域毎のCODminの平均値を1990~1995年度と1996~2006年度に区分して求めた結果を表1に示す。

表1 海域毎のCODmin平均値

		(単位: mg/L)						
海域	期間	湾奥	鹿児島市沖(北部)		鹿児島市沖(南部)		湾央・指宿沖	
1990-1995	最大	0.85	最大	1.07	最大	0.98	最大	0.80
	最小	0.73	最小	0.77	最小	0.77	最小	0.73
	平均	0.79	平均	0.88	平均	0.85	平均	0.78
1996-2006	最大	1.41	最大	1.14	最大	1.18	最大	1.15
	最小	1.09	最小	1.09	最小	1.11	最小	1.01
	平均	1.22	平均	1.11	平均	1.14	平均	1.08
増減	平均	0.43	平均	0.23	平均	0.28	平均	0.30

いずれの海域においても、1990~1995年度の平均値と1996~2006年度の平均値との間には危険率1%未満で有意差が認められた。

海域間に関しては、1990~1995年度では鹿児島市沖(北部)と湾央・指宿沖の間に、また、1996~2006年度では湾奥部と湾央・指宿沖の間にそれぞれ有意差が認められた(いずれも危険率5%未満)。

CODminは各海域において増加傾向を示しており、その変動幅は、湾奥、湾央・指宿沖、鹿児島市沖(南部)、鹿児島市沖(北部)の順に大きかった。ΔCOD法の仮定を適用すると、外部負荷CODの平均値がCODminに相当するため湾全体で外部負荷CODが増加していること

となるが、CODmin上昇の原因については、鹿児島湾へのCOD流入汚濁負荷量の変動や冬季の内部生産量の算定などの観点から、さらに検討する必要がある。

次にCODminの長期的な変動傾向を調べるため、上昇傾向がみられた1996～2005年度における海域別の移動平均（3年間の移動平均）の推移を図3に示す。CODminは、1999年まで各海域とも上昇傾向を示し、その後は1.1mg/L前後でほぼ横ばいに推移していることが分かる。

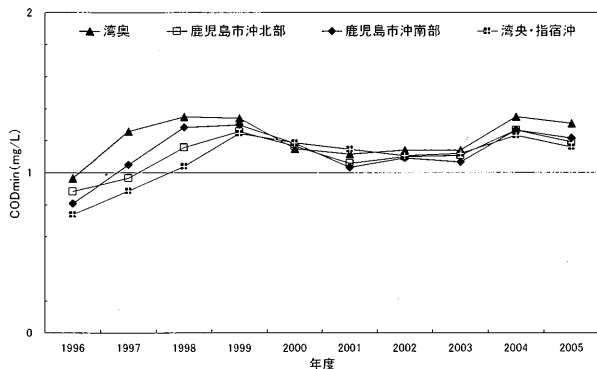


図3 海域毎のCODmin移動平均の推移

3. 2 内部生産CODの長期的変動

3. 2. 1 ΔCODの算出方法

各海域で生産されたΔCODは、CODの年平均値からCODminを差し引いた値とした。

なお、CODminは年度によるばらつきの影響を小さくするため、前述した3年間の移動平均値を使用した。このため、ΔCODの算定期間は1991～2005年度である。

3. 2. 2 ΔCODの推移

海域別のΔCODの平均値をCODminと同様、1995年度以前と1996年度以降とに区分し、表2に示す。湾奥を除き、1991～1995年度の平均値と1996～2005年度の平均値との間には危険率1%未満で有意差が認められた。

海域間を比較すると1991～1995年度は鹿児島市沖（北

表2 海域毎のΔCOD平均値

(単位: mg/L)

海域	湾奥	鹿児島市沖 (北部)	鹿児島市沖 (南部)	湾中央・指宿沖	
1991-1995	最大	0.67	最大 0.53	最大 0.48	最大 0.39
	最小	0.50	最小 0.32	最小 0.31	最小 0.35
	平均	0.59	平均 0.43	平均 0.41	平均 0.37
1996-2005	最大	0.79	最大 0.77	最大 0.81	最大 0.59
	最小	0.48	最小 0.53	最小 0.69	最小 0.36
	平均	0.66	平均 0.68	平均 0.73	平均 0.49
増減	平均 0.07	平均 0.25	平均 0.31	平均 0.13	

部)と鹿児島市沖（南部)並びに鹿児島市沖（南部)と湾中央・指宿沖の間を除き、有意差が認められた。また、1996～2005年度には湾中央・指宿沖とその他の海域の間に有意差が認められた（いずれも危険率5%未満）。

ΔCODは、1995年度以前は、湾奥、鹿児島市沖（北部）、鹿児島市沖（南部）、湾中央・指宿沖の順に高く、湾奥部に行くにしたがって内部生産CODが高い傾向を示したが、1996年度以降は鹿児島市沖の内部生産上昇が大きく、特に南部での上昇が目立っている。CODminが全ての海域においてほぼ一様に増加しているのに対し、ΔCODは各海域における増加傾向に違いがあることが明らかになった。

3. 3 隣接年比較法によるCODmin及びΔCOD評価検討

3. 3. 1 各海域におけるCODminの長期的変動

海域の水質変動がほとんど無視できると考えられる隣接年を対象に、CODminおよびCODについてそれぞれ前年との差を求め、両者の相関解析を行った。この方法は海域における水質の変動の影響が懸念される場合に有効な方法であり隣接年比較法^{5, 6)}と称される。各海域毎の両者の相関関係は図4に示すとおり、各海域とも相関は認められなかった。したがって、外部負荷由来CODの変動でもってCODの濃度変動は説明され得ない。しかし、1990～1995年に比較して1996～2006年のCODminは全海域で上昇（平均0.23mg/L～0.43mg/L）しており、流域から流入する有機物質の負荷量について検討が必要である。

次に2005年、2006年に調査した溶存態COD（D-COD）の冬季における濃度を表3に示す。冬季における各海域のD-CODは、2005年度が1.03～1.18mg/L、CODに占める割合は71～85%で、2006年度は1.00～1.15mg/Lで濃度の変動は各海域ともみられないが、CODに占める割合は89～100%と明らかに高くなっている。

冬季におけるCODは各海域とも0.3mg/L前後の濃度変動がみられたが、D-CODの濃度変動はほとんどなかったことから冬季のCODの濃度変動（CODminの変動）の原因についてD-CODとの関係から検討する必要がある。

3. 3. 2 各海域におけるΔCODの長期的変動

CODminと同様隣接年比較法を用いて、ΔCOD、CODについてそれぞれ前年との差を求め、両者の相関解析を行った。各海域毎の両者の相関関係は図5に示すとおり、いずれの海域も良好な相関がみられた。COD変動はΔCODの変動により、よく説明できることを表している。

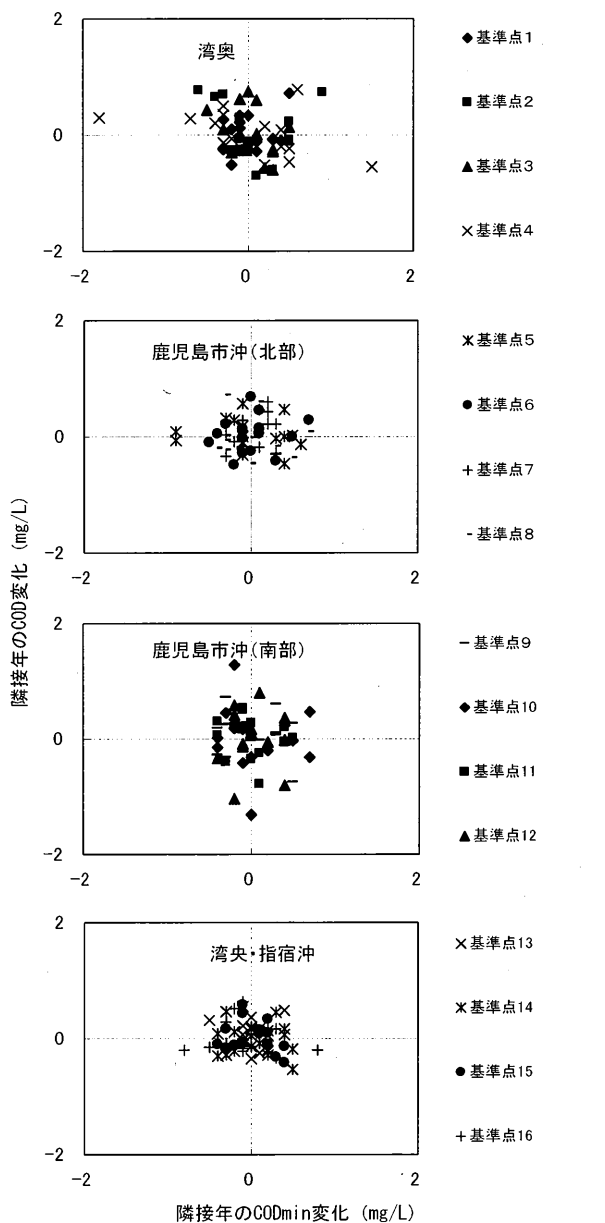


図4 隣接年COD変動に対する隣接年CODmin変動

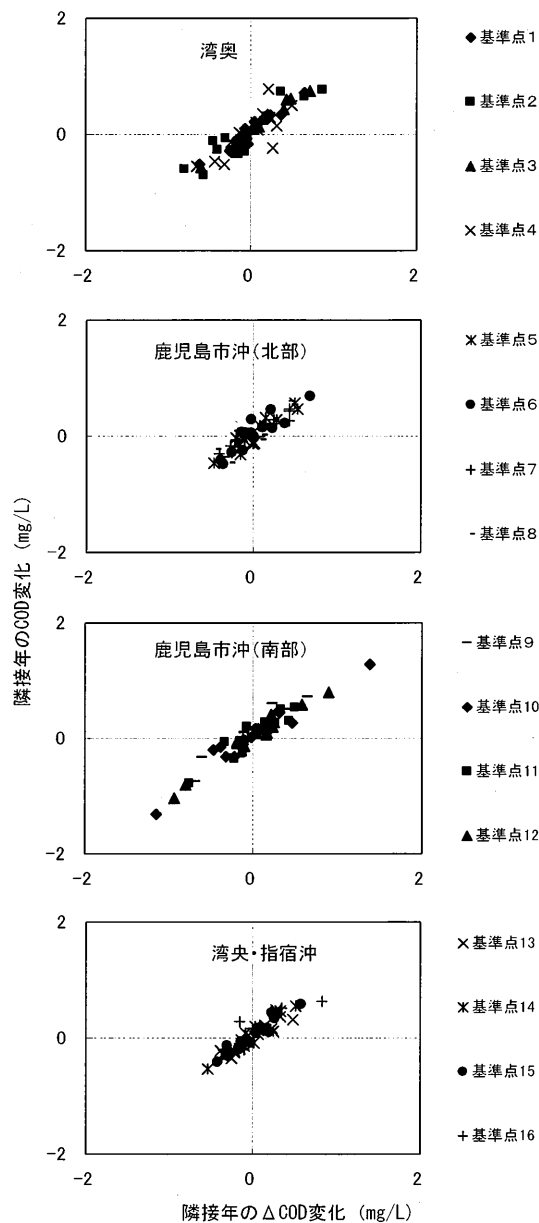


図5 隣接年COD変動に対する隣接年ΔCOD変動

表3 冬季における海域毎の溶存態COD濃度

(単位: mg/L)

年度	海域	湾奥		鹿児島市沖(北部)		鹿児島市沖(南部)		湾央・指宿沖	
		COD	D-COD	割合	COD	D-COD	割合	COD	D-COD
2005	COD	1.55	1.43	76%	1.48	1.30	1.05	85%	
	D-COD	1.18	1.03	72%	1.05	1.10	1.05	85%	
	割合	76%	72%	71%	71%	85%	85%		
2006	COD	1.20	1.10	96%	1.15	1.08	1.03	93%	
	D-COD	1.15	1.10	100%	1.03	1.00	1.00	93%	
	割合	96%	100%	89%	89%	93%	93%		

4 海域の相関関係を詳細に比較すると、ΔCODの変動幅は、鹿児島市沖南部、湾奥、鹿児島市沖北部、湾央

・指宿沖の順に大きく、この結果は荒川ら¹⁾のCODの濃度変動に関する報告とも一致している。したがって、近年CODの濃度上昇が特に顕著である鹿児島市沖南部海域については、内部生産(ΔCOD)の上昇、つまり富栄養化と関係する窒素及びりん動態や負荷量に関する詳細な調査検討が必要であると考えられる。また、ΔCODは湾口部や湾奥部など比較的清浄な海域においても上昇傾向がみられたことから、海域全体の窒素及びりん動態や負荷量についても調査検討が必要である。

4 まとめ

鹿児島湾における1990～2006年度の表層CODデータ

を、 Δ COD法及び隣接年比較法により解析した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) CODminは、1996年度前後を境に海域全体で上昇しているのに対して、 Δ CODは海域により上昇傾向に差がみられた。
- 2) 隣接年比較法による解析の結果、CODとCODminには相関がみられず、外部負荷CODの変動ではCOD濃度変動を説明できないことが分かった。一方、CODと Δ CODには良好な相関が認められた。 Δ CODの変動は、鹿児島市沖南部、湾奥、鹿児島市沖北部、湾央・指宿沖の順に大きく、この結果は荒川らのCODの濃度変動に関する報告とも一致した。 Δ CODの増大が特に顕著な鹿児島市沖南部海域は富栄養化成分である窒素及びリンの動態と負荷量の変動に関する調査検討が重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 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, 49~55 (2006)
- 2) 鹿児島県; 第4期鹿児島湾ブルー計画(2005年3月)
- 3) 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)
- 4) 中西弘; 海域の富栄養化の機構と予測, 環境管理, 30, 276~281 (1994)
- 5) 福島武彦, 上西弘晃, 他; 浅い富栄養湖に及ぼす気象の影響, 水環境学会誌, 21, 180~187 (1998)
- 6) 福島武彦, 尾崎則篤, 他; 地球温暖化等の気象変動が河川・湖沼水質に及ぼす影響の統計的解析, 京都大学防災研究所年報, 43, 97~107 (2000)

Studies on the Water Quality Variations of Kagoshima Bay (II)

— long-term variation of internal production COD —

Takashi MINARI, Keiko SUEYOSHI, 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

As a result of analyzing surface course COD data in fiscal 1990~2006 by COD method and by "comparison method between successive 2 year", in order to evaluate the long-term fluctuation of internal production COD and external load COD of Kagoshima Bay, it became clear the following fact.

- (1) CODmin (external load COD) increases in around fiscal 1996 for the boundary in all sea area. There was a difference on the upward trend of COD (internal production COD) by sea area, and it rose excessively in offshore of Kagoshima City.
- (2) As a result of the correlation analysis by "comparison method between successive 2 year", there was the good correlation for variation of COD and that of COD. The COD variation was able to be explained by the variation of COD, and the fact by the rise in the internal production clarified on the COD rise. And, the fluctuation of COD was increased in the sequence of sea area, the southern offshore of Kagoshima City, bay inner part, northern offshore of Kagoshima City, bay center and offshore of Ibusuki, and this result agreed with the report on concentration fluctuation of COD of Arakawa *et al.*.

Key Words : Kagoshima Bay, COD method, internal production, comparison method between successive 2 year