

資料

## 鹿児島湾における水質の季節・経年変動

湯田 達也                      中尾 兼治                      右田 裕二  
 宮元 誠                         山田 正人

### 1 はじめに

鹿児島湾は九州本土の最南端に位置し、南北約80km、東西約20kmの細長く入り込んだ内湾で、桜島以北の湾奥部と桜島の南の湾中央部、湾入口の湾口部に分けられる。最大水深は湾奥部で206m、湾中央部で237mにも達し、他の閉鎖性海域に比べて水深が大きいことが特徴の一つとなっている。湾奥部と湾中央部との間の西桜島水道は水深約40m、幅1.9kmと狭く、湾口部は水深約80m、幅8.7kmにすぎず、湾奥部と湾中央部はすり鉢を2つつないような特殊な形をしている。このように、鹿児島湾は湾内水と外洋水との交換が悪い閉鎖性の高い海域であり、特に湾奥部はその傾向が強い。

鹿児島県では鹿児島湾の水質保全のための基本計画として、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定を行っている。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、表1に示すとおり1998年度を境にCODの環境基準に適合していない環境基準点が増加している状況である。

田島ら<sup>1)</sup>は、1998年度以降の鹿児島湾のCOD環境基準適合率悪化の要因として、湾内の内部生産CODの上昇と外海のCODの上昇が影響を及ぼしている可能性を報告している。

そこで本報では、1998年度以前とそれ以降で、鹿児島湾のCOD、水温、クロロフィルa、塩化物イオンの季節変動にどのような違いがみられるか比較するとともに、経年変動について検討したので報告する。

### 2 調査方法

#### 2.1 調査地点

表1に示す基準点24地点（うち港湾部は8地点）、監視点10地点でCOD等の常時監視調査を実施した。監視点トは1984年度から、監視点チ、リ、ヌは1996年度から常

時監視調査を実施した。

#### 2.2 調査時期

調査は年6回、2004年度までは偶数月、2005年度以降は奇数月に原則として行い、天候等の関係で調査できなかった場合（1984年8月、2000年6月、2001年10月）は翌月に行った。

#### 2.3 海域区分及び各水質項目の解析対象地点

鹿児島湾全域を3つの海域に分け、各海域の解析対象地点を以下のとおりとした。港湾部は解析対象から除外した。解析対象地点の位置を図1に示す。

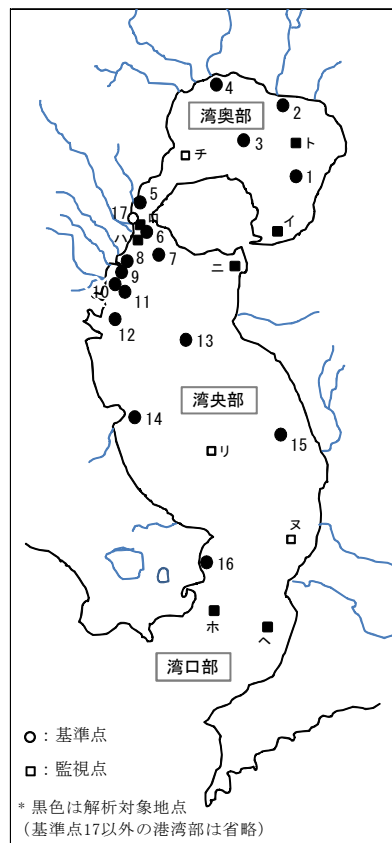


図1 調査地点

表1 COD (全層75%値) に係る環境基準の達成状況

(単位: mg/L)

地点名	類型	基準値	海域区分				年 度																							
			湾奥	鹿児島市沖	湾央・指宿沖	港湾部	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997		
一般海域基準点	基準点 1	A 2.0	●				1.8	2.0	1.5	1.2	2.2	1.6	1.3	1.9	1.4	1.4	1.1	1.4	1.5	1.9	1.4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	
	基準点 2	A 2.0	●				2.1	1.4	1.8	1.5	2.3	1.5	1.9	1.6	1.8	1.8	2.0	2.0	1.8	1.6	1.9	1.7	2.4	1.4	1.5	2.1	1.9	1.5		
	基準点 3	A 2.0	●				1.5	2.1	1.2	1.2	1.8	1.4	1.5	1.3	1.3	1.1	1.1	1.3	1.2	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.4	1.1		
	基準点 4	A 2.0	●				2.1	1.9	1.6	1.9	2.7	1.7	1.4	1.5	2.5	1.7	1.7	2.2	2.9	1.9	1.9	2.1	1.4	1.5	1.9	1.7	1.7	1.8		
	基準点 5	A 2.0		●			1.6	1.4	1.5	1.7	2.7	1.5	1.4	1.6	2.0	1.5	1.7	1.9	2.0	1.8	1.9	1.6	1.8	1.6	2.3	2.0	1.6	1.7		
	基準点 6	A 2.0		●			1.7	1.7	1.6	1.8	1.9	1.5	1.3	1.4	1.9	1.5	1.7	2.2	1.8	1.8	1.9	1.9	1.8	1.5	2.0	1.5	1.6	1.5		
	基準点 7	A 2.0		●			1.5	1.6	1.2	1.4	2.1	1.6	1.2	1.4	1.7	1.4	1.5	1.8	1.8	1.6	1.4	1.1	1.5	1.2	1.8	1.4	1.7	1.5		
	基準点 8	A 2.0		●			3.0	1.7	1.6	1.6	2.3	2.2	1.4	1.9	2.1	1.5	1.6	2.0	1.9	1.7	1.8	1.5	1.6	1.6	1.9	1.4	1.7	1.6		
	基準点 9	A 2.0		●			1.8	1.8	1.7	1.7	2.2	1.7	1.3	1.4	2.2	1.5	1.3	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.5	1.5	2.0	1.4	2.0	1.5		
	基準点 10	A 2.0		●			2.1	1.7	1.7	1.5	2.0	1.8	1.3	1.4	1.7	1.7	1.5	1.8	2.0	2.0	2.0	1.3	1.9	1.5	1.7	1.5	1.9	1.6		
	基準点 11	A 2.0		●			1.7	1.7	1.4	1.6	1.4	1.6	1.3	1.4	1.7	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.5	1.5	1.6	1.5	1.7	1.6		
	基準点 12	A 2.0		●			1.5	1.6	1.7	1.7	1.9	1.7	1.6	1.7	1.6	1.5	1.7	1.7	1.9	1.7	1.9	1.6	1.7	1.6	1.8	1.9	2.0	1.7		
	基準点 13	A 2.0			●		1.5	1.2	1.5	1.6	2.0	1.4	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	1.1	1.0	1.0	1.1	0.9	1.1	1.0	1.2	1.1	1.1	1.0		
	基準点 14	A 2.0			●		1.3	1.6	2.0	1.9	2.1	1.8	1.3	1.5	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	1.5	1.7	1.3	1.0	1.4	1.7	1.4	1.4	1.9		
	基準点 15	A 2.0			●		1.4	1.5	1.5	1.5	1.9	1.5	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.4	1.2	1.4	1.4	1.6	1.4	1.3		
	基準点 16	A 2.0			●		1.1	1.5	1.7	1.8	1.8	1.8	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.5	1.4	1.3	1.4	1.2	1.4	1.5	1.4	1.5	1.4	1.2		
港内基準点	基準点 17	A 2.0				○	2.1	1.8	1.8	1.7	2.1	1.8	1.6	1.7	2.2	1.6	1.7	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	1.6	1.7	1.7	1.9	1.6	1.4	1.7	
	本港区中央	B 3.0				○	1.9	1.5	2.1	1.8	2.3	2.0	1.4	1.9	2.9	1.7	1.9	1.9	1.8	2.0	2.0	2.3	1.8	1.7	2.7	1.4	1.7	1.7		
	南港区中央	B 3.0				○	1.9	1.7	1.8	2.1	2.6	1.7	2.0	2.0	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	2.2	2.1	1.4	1.5	1.6	2.1	1.5	1.8	1.4		
	木材港区中央	B 3.0				○	1.9	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	1.7	1.7	1.7	2.2	2.4	2.0	2.2	2.1	2.4	1.6	1.6	1.8	2.3	1.8	1.7	1.7		
	谷山一区中央	B 3.0				○	1.7	1.7	1.8	1.7	2.2	1.9	1.9	1.5	1.6	1.9	1.8	1.6	1.9	1.8	2.1	1.8	1.6	1.6	2.3	1.4	1.2	1.6		
	谷山二区 1	B 3.0				○	—	—	1.8	1.7	2.0	1.8	1.6	1.6	1.8	2.0	2.5	2.1	2.1	1.7	1.3	1.6	1.8	2.3	1.6	2.0	1.7			
	谷山二区 2	B 3.0				○	—	—	1.9	1.6	2.1	1.8	2.1	1.8	1.6	1.9	1.9	2.0	2.1	1.8	1.3	1.8	1.8	2.3	1.8	1.9	1.9	1.7		
	山川港中央	B 3.0				○	2.2	2.2	2.6	2.4	2.8	2.0	1.9	2.1	1.8	2.4	3.1	1.7	2.8	2.9	2.0	2.7	2.2	1.9	2.9	1.5	1.8	1.7		
監視点	監視点 イ	—	—	●			2.3	2.0	1.9	1.7	3.1	2.4	2.2	1.8	1.5	1.5	1.9	1.9	2.0	1.7	1.8	1.8	1.7	1.7	1.8	2.5	1.4	1.8		
	監視点 ロ	—	—		●		1.4	1.7	1.7	1.7	2.1	1.9	1.9	1.9	2.3	1.7	1.5	2.0	2.0	1.9	1.9	1.7	1.6	1.9	2.0	1.5	1.9	1.7		
	監視点 ハ	—	—		●		2.6	2.1	1.7	1.8	2.1	1.9	1.5	1.7	2.3	1.7	1.5	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	2.0	2.1	1.7	1.9	1.8		
	監視点 ニ	—	—		●		2.0	1.2	2.1	1.9	2.8	1.9	2.1	1.3	1.6	1.4	1.3	2.1	1.5	1.5	2.3	1.5	1.6	1.4	1.8	1.2	2.3	1.7		
	監視点 ホ	—	—		●		1.6	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.2	1.5	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.5	1.5	1.5	1.0	1.2	1.2		
	監視点 ヘ	—	—		●		1.2	1.1	0.9	1.5	1.5	1.5	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.3	1.2	1.1	1.7	1.5	1.1	1.1	1.3	
	監視点 ト	—	—	●			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.7	1.7
	監視点 チ	—	—	○			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.4	1.3
	監視点 リ	—	—		○		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.4	1.5
	監視点 ヌ	—	—		○		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.6	1.4
基準点1~16の非達成地点数							4	1			8	1			3			2	1			1	1		1	1				

地点名	類型	基準値	年 度														非達成回数		年あたり採水回数	採水層 (m)									
			1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		2014	1997年度 年度 まで	1998年度 以降	計	0.5	20	50			
一般海域基準点	基準点 1	A 2.0	1.7	1.8	2.0	1.6	1.7	1.9	1.8	1.7	1.8	1.9	1.8	1.7	1.8	1.8	1.6	1.6	1.3	1.8	1	0	1	6	0.5	20	50		
	基準点 2	A 2.0	2.3	1.9	2.9	2.3	2.0	3.3	2.5	2.4	2.3	2.6	2.2	2.3	1.7	2.0	2.3	2.1	2.2	4	13	17	6	0.5	2				
	基準点 3	A 2.0	1.5	1.4	1.6	1.6	1.4	1.8	1.7	1.6	1.7	1.7	1.4	1.5	1.4	1.6	1.7	1.6	1.6	1	0	1	6	0.5	20	65	130		
	基準点 4	A 2.0	2.6	2.4	3.0	2.3	2.1	3.1	2.2	3.0	2.6	2.9	2.5	2.3	1.8	1.9	2.2	2.5	2.9	6	15	21	6	0.5					
	基準点 5	A 2.0	2.4	2.0	2.6	2.4	2.6	2.9	2.3	2.8	2.5	3.0	2.4	2.0	1.9	1.9	2.3	2.2	3.0	2	13	15	6	0.5					
	基準点 6	A 2.0	2.2	2.4	2.6	1.7	2.0	2.8	2.1	2.6	2.8	2.6	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	1.8	2.3	1	9	10	6	0.5					
	基準点 7	A 2.0	2.6	1.7	2.6	1.7	1.6	2.6	1.7	2.0	2.7	2.4	1.8	1.9	1.7	1.7	2.2	1.7	2.1	1	7	8	6	0.5					
	基準点 8	A 2.0	2.0	2.0	2.7	2.9	2.3	3.2	2.4	2.1	2.6	2.5	2.1	2.1	2.1	1.9	2.1	1.7	2.0	4	12	16	6	0.5	2				
	基準点 9	A 2.0	2.0	1.7	2.8	2.1	2.1	3.5	1.9	2.1	2.1	2.8	2.2	2.0	1.9	1.6	2.2	1.9	2.0	2	9	11	6	0.5					
	基準点 10	A 2.0	2.2	2.1	2.6	3.2	2.4	2.6	2.3	2.0	2.2	3.1	2.3	2.0	2.1	2.0	2.1	2.1	2.4	1	14	15	6	0.5					
	基準点 11	A 2.0	2.0	2.0	2.3	2.9	2.0	2.6	1.7	2.6	2.4	3.4	2.1	1.9	1.7	1.8	2.2	1.6	2.3	0	9	9	6	0.5					
	基準点 12	A 2.0	1.8	1.8	2.4	3.2	2.2	2.7	1.8	2.4	2.3	2.7	2.2	2.1	1.7	1.7	2.2	1.9	2.3	0	11	11	6	0.5					
	基準点 13	A 2.0	1.4	1.4	1.6	1.3	1.4	1.8	1.5	1.3	1.4	1.7	1.3	1.4	1.2	1.2	1.4	1.2	1.2	0	0	0	6	0.5	20	100	200		
	基準点 14	A 2.0	2.2	1.7	2.3	1.8	1.9	2.6	1.9	2.1	1.2	2.6	2.7	1.8	1.9	1.7	1.8	1.7	2.5	1	8	9	6	0.5					
	基準点 15	A 2.0	1.8	1.5	2.2	1.7	1.5	2.7	1.7	2.0	1.9	2.9	2.3	1.7	1.6	2.4	2.1	1.6	2.2	0	7	7	6	0.5					
	基準点 16	A 2.0	2.0	1.9	1.9	1.7	1.5	2.6	1.9	1.5	1.7	2.4	2.1	1.9	1.5	1.5	1.8	1.6	2.0	0	3	3	6	0.5					
港内基準点	基準点 17	A 2.0	2.4	2.2	2.5	2.1	2.0	3.6	2.1	2.0	2.6	2.5	2.6	1.8	2.2	1.8	2.1	1.8	3.0	4	12	16	6	0.5					
	本港区中央	B 3.0	2.0	2.1	2.3	2.1	2.1	3.5	2.1	3.0	2.8	2.5	2.4	2.0	2.2	1.8	2.2	1.8	2.4	0	1	1	6	0.5					
	南港区中央	B 3.0	2.6</																										

- 湾奥 : 基準点1, 2, 3, 4  
監視点イ, ト (6地点)
- 鹿児島市沖 : 基準点5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12  
監視点ロ, ハ (10地点)
- 湾央・指宿沖 : 基準点13, 14, 15, 16  
監視点ニ, ホ, ヘ (7地点)

なお、水温については、鉛直連続測定を継続して実施している基準点3及び基準点13のみを対象とした。

## 2. 4 解析データ

1984年度から2014年度までの31年間を解析対象とし、1984～1988年度の鹿児島県公共用水域の水質測定結果<sup>2)</sup>、1989～2014年度の鹿児島県公共用水域及び地下水の水質測定結果<sup>3)</sup>のデータを用いた。

## 3 結果及び考察

### 3. 1 COD環境基準の達成状況

鹿児島湾における各基準点のCOD（全層75%値）に係る環境基準の達成状況を表1に示す。

1976年度から1997年度までの基準点1～16における環境基準の非達成地点数は、1980年度が8地点とやや多いが、その他は0～4地点で推移した。湾奥や鹿児島市沖の河口に近い海域での非達成地点が多く、湾央・指宿沖ではほとんど非達成地点はみられなかった。

1998年度以降は非達成地点数が増加し、年度によっては鹿児島湾のほぼ全域で非達成地点がみられた。

基準点ごとにみると、湾奥の基準点2, 4及び鹿児島市沖の基準点5～12では、1998年度から2014年度までの17年間で非達成回数が7～15回と多かった。また、湾央・指宿沖の基準点14～16でも非達成回数が3～8回と、1997年度までに比べ大きく増加した。

なお、3層以上の層採水を実施している基準点1, 3及び13では、CODが低い中層や下層の結果も含む全層平均値で評価を行っているため、1981年度以降の全ての年度で環境基準を達成している。

2010年度、2011年度には、非達成地点数がそれぞれ2地点、1地点と一時的に改善されたものの、その後再び非達成地点が多くなっている状況である。

### 3. 2 CODの季節・経年変動

#### 3. 2. 1 調査月別の推移

調査方法で示した区分により、湾奥6地点、鹿児島市沖10地点、湾央・指宿沖7地点の表層CODの長期的な推移を、調査月別に図2に示す。

本報では、調査月別の推移の検討に際し、海域ごとの

水質の変動傾向を把握するために、基準点以外にも1984年度以降継続して調査を実施している監視点を含め、各海域の表層CODの平均値を求めた。

春季から秋季の表層CODは、湾央・指宿沖に比べ湾奥や鹿児島市沖で高く、海域による違いがみられる。それに対し、冬季の12月から2月には年間で最も低く、同一年度では各海域がほぼ同じ値となっている。春季から秋季には内部生産や外部負荷の影響により海域ごとの表層CODに違いが生じるが、冬季には水温の低下により内部生産が少なくなることに加え、CODが低い底層と混合する鉛直循環により、表層CODが低下していることが分かる。

偶数月に調査した1984年度から2004年度までの表層CODの推移をみると、全体に上昇傾向にある。特に、1998年度以降の8月のCODは、湾奥で2.2～3.5mg/L、鹿児島市沖で1.9～4.0mg/L、湾央・指宿沖で1.7～2.8mg/Lと、いずれの海域も1997年度までと比較して高く推移し、6月及び10月にも年度によっては2mg/Lを超える海域がみられた。

奇数月に調査した2005年度以降は、7月に最も高く推移し、表層CODが2mg/Lを大きく超える海域がみられた。また、5月及び9月にも年度によっては2mg/Lを超える海域がみられた。

1997年までは4月に湾奥などで突発的なCODの上昇が度々みられたものの、6～10月に2mg/Lを超えることは少なかった。1998年度以降は5～10月のCODが高くなり複数回2mg/Lを超える地点が増加した。

#### 3. 2. 2 海域別及び水深別の季節・経年変動

CODの季節変動と経年変動を検討するため、1984年度から1997年度、1998年度から2004年度、2005年度から2014年度の3期間に分けて月ごとに平均値を求めた結果を、図3、図4に示す。

図3は海域別に表層CODの季節・経年変動を示したもので、前項の図2と同地点のデータを用いた。

1997年度までの表層CODの季節変動は一山型を示し、最大値を示す月は鹿児島市沖、湾央・指宿沖では8月であったが、湾奥では4～8月にほぼ同じ値となった。

1998～2004年度の表層CODの季節変動は、夏季の8月に最大となり、冬季に最低となる一山型を示したが、鹿児島市沖のみ春季の4月にもピークがみられた。これは、2001年4月の基準点10, 12の表層CODが、それぞれ9.7mg/L, 7.2mg/Lと極めて高かったことが影響している。

2005～2014年度の表層CODの季節変動は、夏季の7月に最大となり、冬季に最低となる一山型を示した。

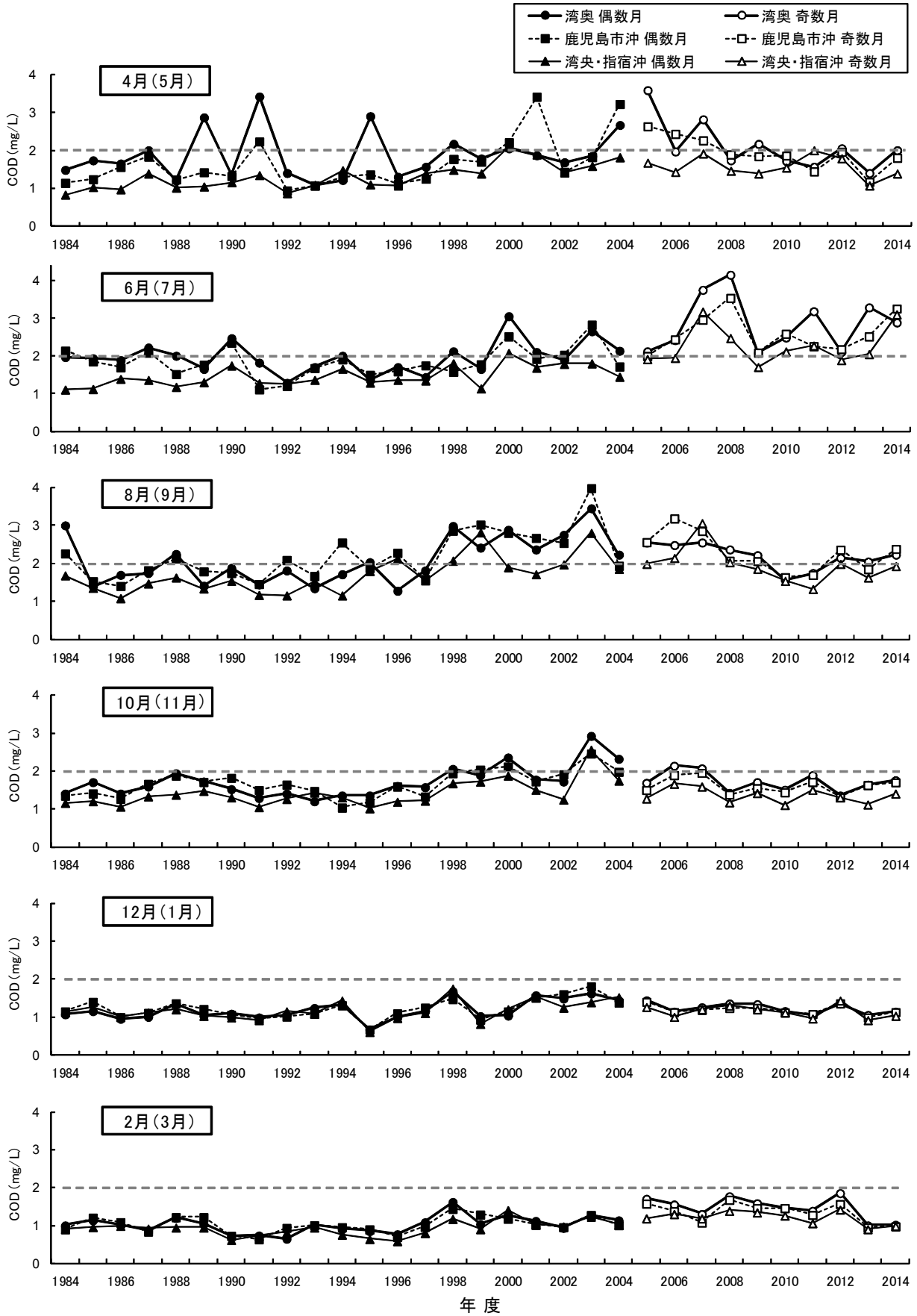


図2 調査月別の表層COD (各海域平均) の推移

海域別の表層CODの1998～2004年度平均値と、1984～1997年度平均値の差を表2に示す。

1998～2004年度の表層CODの平均値は、1984～1997年度に比べ、全ての海域、調査月上昇した。特に、8月の平均値の上昇は、湾奥、鹿児島市沖で0.95～0.96mg/L、湾央・指宿沖では0.69mg/Lと大きかった。また、4月の平均値の上昇も、鹿児島市沖で0.87mg/L、湾央・指宿沖では0.54mg/Lと大きい、湾奥では前述のとおり突発的なCODの上昇が以前から度々みられており差が小さかった。

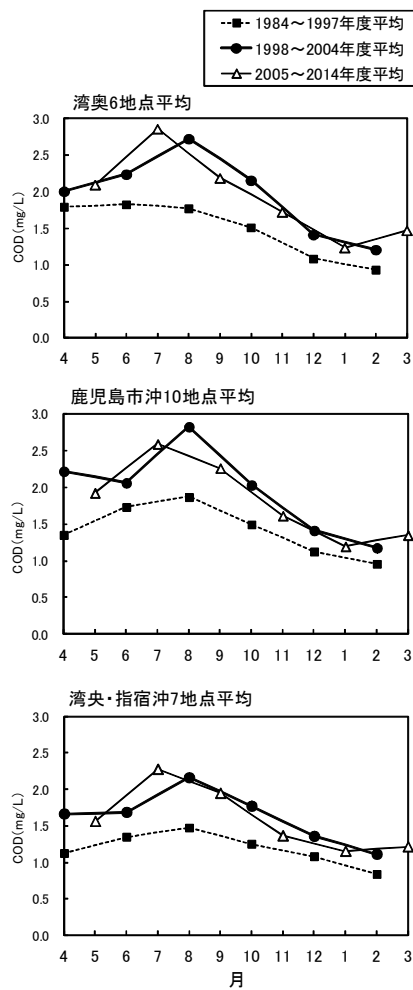


図3 海域別の表層CODの季節・経年変動

表2 海域別の表層CODの1998～2004年度平均値と1984～1997年度平均値の差

(単位：mg/L)

海域	調査月					
	4	6	8	10	12	2
湾奥	0.21	0.41	0.95	0.64	0.33	0.27
鹿児島市沖	0.87	0.33	0.96	0.54	0.29	0.22
湾央・指宿沖	0.54	0.34	0.69	0.52	0.28	0.28

2005年度以降は、調査月が変更になったことから直接の比較はできないが、図3をみると、2005～2014年度の表層CODは1998～2004年度と同様の傾向を示しており、1984～1997年度と比べて表層CODが高くなっていると考えられる。

表層以外の季節・経年変動の傾向をみるため、基準点3及び基準点13のデータを用いて、水深別のCODについて、前述の海域別と同様の期間に分けて月ごとに平均値を求めた結果を、図4に示す。

季節変動は、全ての期間において20m層では夏季に最大となる一山型であったが、最大値と最小値の差は小さかった。中層（基準点3：65m、基準点13：100m）及び下層（基準点3：130m、基準点13：200m）では明確な季節変動はなく、年間を通してほぼ一定であった。

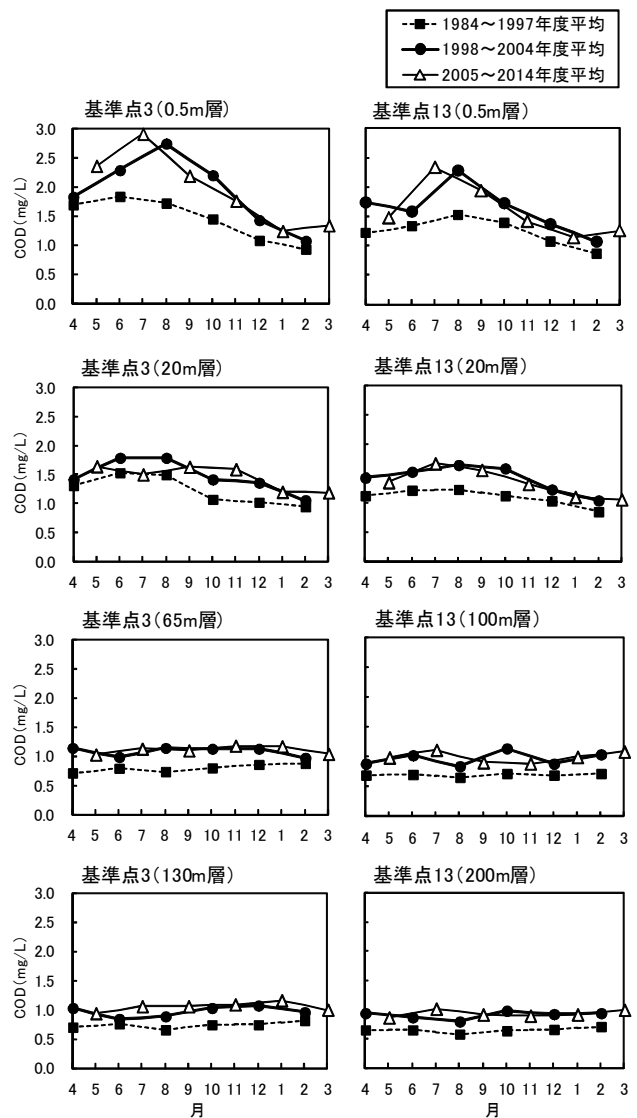


図4 水深別のCODの季節・経年変動（基準点3、13）

経年変動をみると、20m層、中層、下層でも、表層と同様に1998～2004年度のCODの平均値が1984～1997年度に比べ、ほぼ全ての調査月で上昇した。2005年度以降も、1998～2004年度と同様にCODが高い傾向である。

### 3. 3 水温の季節・経年変動

#### 3. 3. 1 調査月別の推移

湾奥部の基準点3（全水深約140m）及び湾中央部の基準点13（全水深約230m）の水温の長期的な推移を、調査月別に図5に示す。

春季から夏季の基準点3と基準点13との水温差は、湾内水より水温の高い外洋水の流入<sup>4)</sup>によるものと思われる、4月の水温は、表層（0.5m層）及び20m層で基準点13のほうが1～2℃高く推移した。また、基準点13以外にも湾口部の監視点へ及び湾中央部東側の基準点15で、2～4月の表層水温が他の地点より2℃以上高いことがあった。

その後、表層の水温は気温の上昇とともに上がり基準点3と基準点13の差は小さくなるが、20m層をみると、5月から10月まで基準点13の水温が基準点3を上回っている。これらのことから、基準点13では基準点3に比べ、外洋水の影響が大きいことが示唆される。

偶数月に調査した1984年度から2004年度までの水温の推移をみると、上野ら<sup>5)</sup>の報告と同様、下層（基準点3：130m、基準点13：200m）では長期的な上昇傾向が認められる。また、中層（基準点3：65m、基準点13：100m）でも下層と同様の傾向である。表層及び20m層は、年度による変動の差が大きい、概ね上昇傾向であり、特に基準点13の20m層では、6月の水温が1995年度以降高く推移した。

奇数月に調査した2005年度以降から2014年度までの水温の推移をみると、中層及び下層では概ね上昇傾向となっているが、表層及び20m層では横ばい若しくは低下傾向がみられる。

#### 3. 3. 2 水深別の季節・経年変動

水深別の水温の季節変動と経年変動を検討するため、1984年度から1997年度、1998年度から2004年度、2005年度から2014年度の3期間に分けて月ごとに平均値を求め、図6に示す。

なお、調査月が翌月となった1984年9月3日、2000年7月12日、2001年11月14日のデータを除いた平均値とした。

季節変動は一山型で、表層では8月に最高水温となり、20m層では9月、中層は10～11月頃と、水深が深くなるにつれて最高水温になる時期が遅れ、下層では冬季に最高水温となる。このように、水深の深い鹿兒島湾では、

表層から徐々に暖まる過程をとるが、全ての期間で季節変動に違いはみられなかった。

調査月別の1998～2004年度の平均水温と1984～1997年度の平均水温の差を表3に示す。

年平均では、いずれの水深でも水温の上昇がみられ、1998～2004年度の平均水温は1984～1997年度より0.37～0.71℃高かった。

また、鹿兒島県周辺海域の年平均水温の推移<sup>6)</sup>を図7に示す。定期客船により、鹿兒島湾内の谷山沖、薩摩半島西部の甑海峡、鹿兒島県本土の南方に位置する竹島沖、奄美大島南部の与路島沖で、1～2日に1回の間隔で測定されているもので、観測水深は約5mである。

各海域の年平均水温の推移をみると、鹿兒島湾以外も水温は上昇傾向であり、いずれの海域でも1998年の水温が他の年に比べ高かった。

表3で調査月別の1998～2004年度の平均水温と1984～1997年度の平均水温の差をみると、6月の基準点13の20m層で最も差が大きく2℃以上高くなった。これは、前述の調査月別の推移でもみられたとおり、1995年頃から、以前より高い水温の外洋水が流入している影響によるものと考えられる。また、基準点3の20m層でも、6月から12月にかけて1℃前後の水温の上昇がみられた。

2005～2014年度の平均水温は、調査月が変更になったことから直接の比較はできないが、図6をみると、基準点13の20m層では、7月の平均水温が1998～2004年度の6月の平均水温を下回っていることが分かる。

鹿兒島地方気象台の1996年から1998年までの日平均気温の月平均値を表4に示す。

1998年の気温は、平年と比較して2月に2.5℃、4月に2.8℃、5月に1.9℃高く、春先から初夏の気温が特に高い年であった。1998年を境に鹿兒島湾のCOD環境基準の達成状況は悪化しており、春先の気温の変化などの気象要因が、鹿兒島湾の水質の変化に関わっている可能性が示唆される。

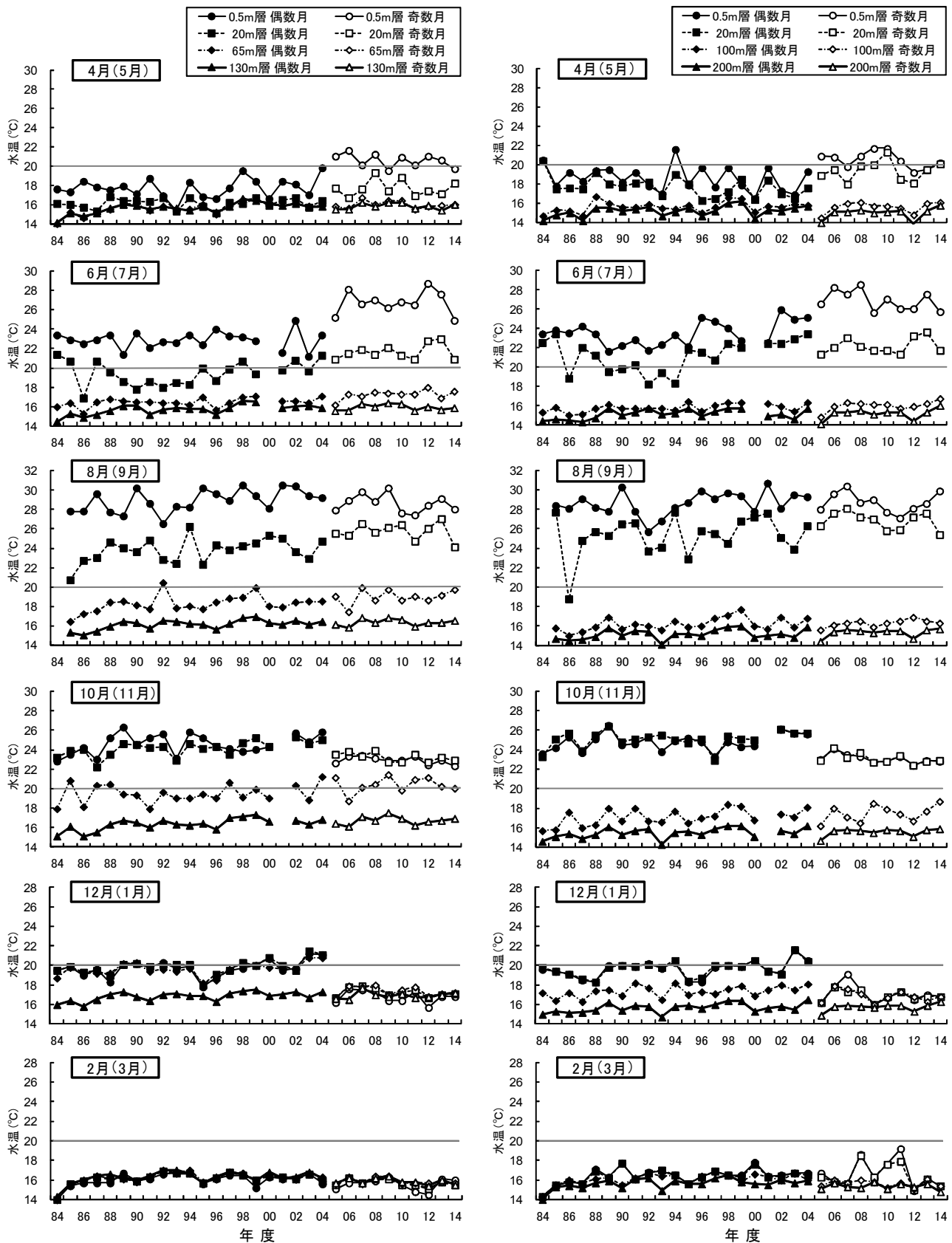
### 3. 4 クロロフィルaの季節・経年変動

#### 3. 4. 1 調査月別の推移

クロロフィルaの測定を継続して行っている湾奥3地点（基準点1, 3, 監視点イ）、鹿兒島市沖2地点（基準点7, 11）、湾中央・指宿沖5地点（基準点13, 14, 監視点ニ, ホ, ヘ）の、表層の平均濃度の推移を調査月別に図8に示す。

クロロフィルaは、全ての藻類に含まれている光合成色素であり、植物プランクトン量の一つの目安になる。

偶数月に調査した1984年度から2004年度までの表層のクロロフィルaの推移をみると、1996年前後から8月は3



(注) 1984年度3回目は9月3日, 2000年度2回目は7月12日, 2001年度4回目は11月14日に調査日がずれたためデータから除いた。

図5 調査月別の水温の推移 (左: 基準点3, 右: 基準点13)

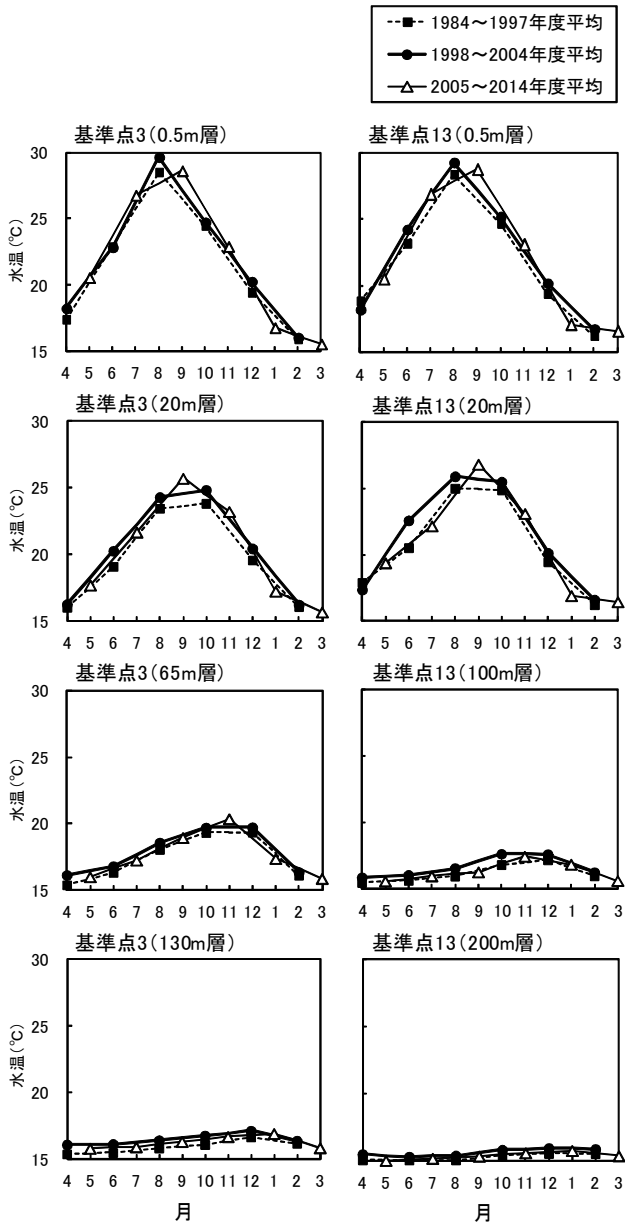


図6 水深別の水温の季節・経年変動（基準点3, 13）

表3 調査月別の1998～2004年度平均水温と1984～1997年度平均水温の差

(単位: °C)

調査地点	水深(m)	調査月						年平均
		4	6	8	10	12	2	
基準点3	0.5	0.83	-0.05	1.13	0.25	0.82	0.10	0.51
	20	0.23	1.16	0.84	1.01	0.86	0.16	0.71
	65	0.74	0.46	0.52	0.38	0.39	0.24	0.45
	130	0.71	0.65	0.52	0.68	0.48	0.19	0.54
基準点13	0.5	-0.66	1.03	0.90	0.52	0.77	0.49	0.51
	20	-0.54	2.06	0.91	0.62	0.67	0.39	0.69
	100	0.39	0.42	0.61	0.82	0.44	0.28	0.49
	200	0.43	0.25	0.33	0.45	0.41	0.34	0.37

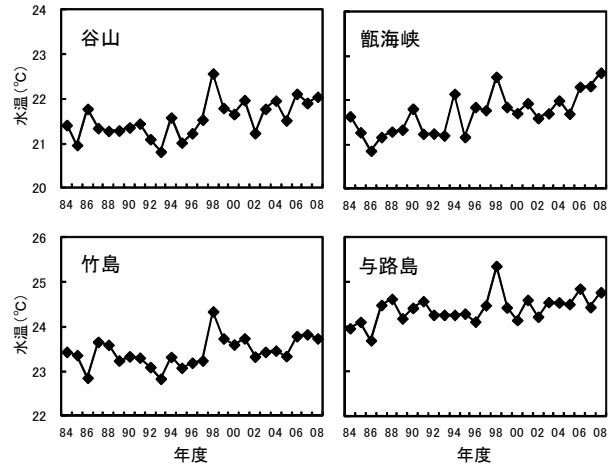


図7 鹿児島県周辺海域の年平均水温の推移  
(定期客船による海面水温連続観測結果)

表4 日平均気温の月平均値（鹿児島地方気象台）

(単位: °C)

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月
1996	8.3	7.8	12.1	14.1	20.4	25.0
1997	8.1	9.4	13.8	17.3	21.4	23.8
1998	9.2	12.3	12.5	19.7	22.7	24.4
平年	8.5	9.8	12.5	16.9	20.8	24.0
1998年と平年の差	0.7	2.5	0	2.8	1.9	0.4

年	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均値
1996	27.9	28.5	26.4	21.3	17.0	10.5	18.3
1997	27.9	28.5	25.1	19.6	17.0	12.0	18.7
1998	28.7	29.6	27.1	23.0	16.5	12.1	19.8
平年	28.1	28.5	26.1	21.2	15.9	10.6	18.6
1998年と平年の差	0.6	1.1	1.0	1.8	0.6	1.5	1.2

(注) 平年値の統計期間は1981～2010年の30年間

海域ともに大きく減少、10月は増加していることが分かる。

奇数月に調査した2005年度以降は、それまで4月の調査でみられていたような急激な濃度の上昇が、3月にみられることが多く、7月及び11月にも濃度が高い年がみられた。

植物プランクトンは、冬季の循環により栄養塩が上層に上がり、十分な日射や、降水による塩分成層の発達などの条件がそろって春季に急増する。偶数月に調査していた2004年までの期間は、4月に鹿児島市沖や湾奥などで度々みられていたクロロフィルaの急増として現れていたが、奇数月の調査となった2005年以降は、3月に湾奥などで同様の現象が頻繁にみられている。

春季から秋季の基準点3、基準点13の表層（0.5m）及び20m層の水温の推移を表5に示す。



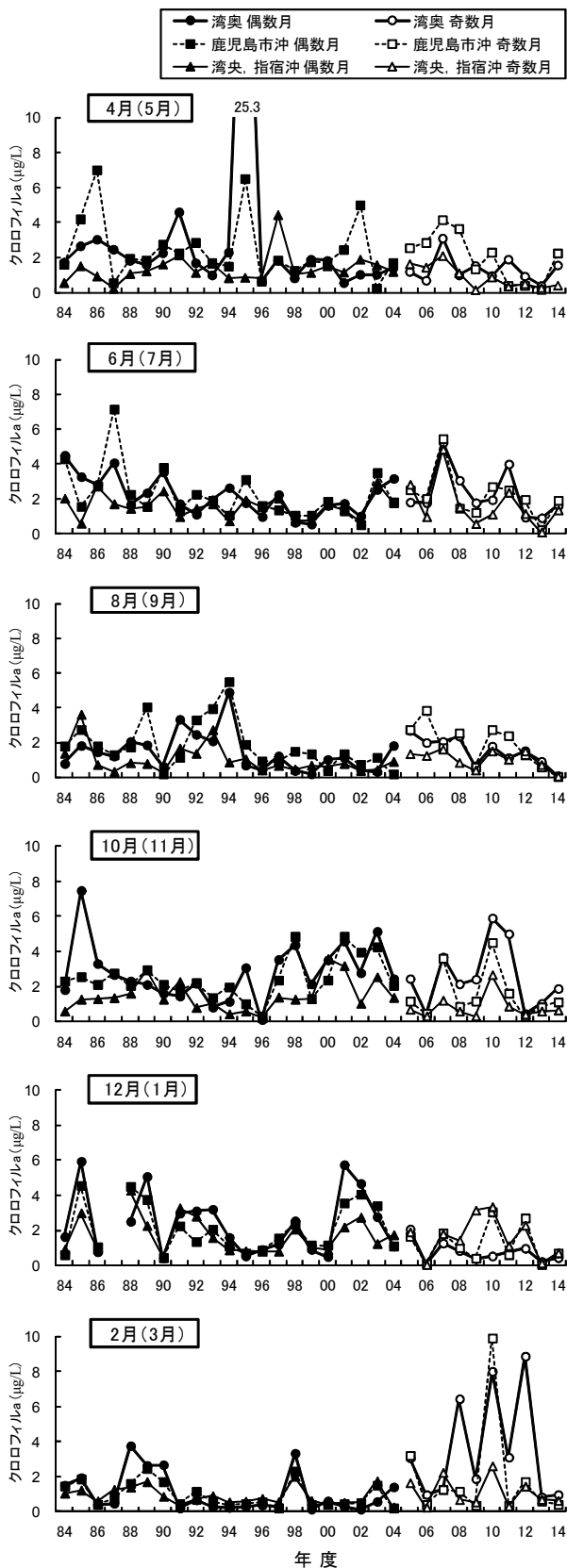


図8 調査月別の表層クロロフィルa (各海域平均) の推移

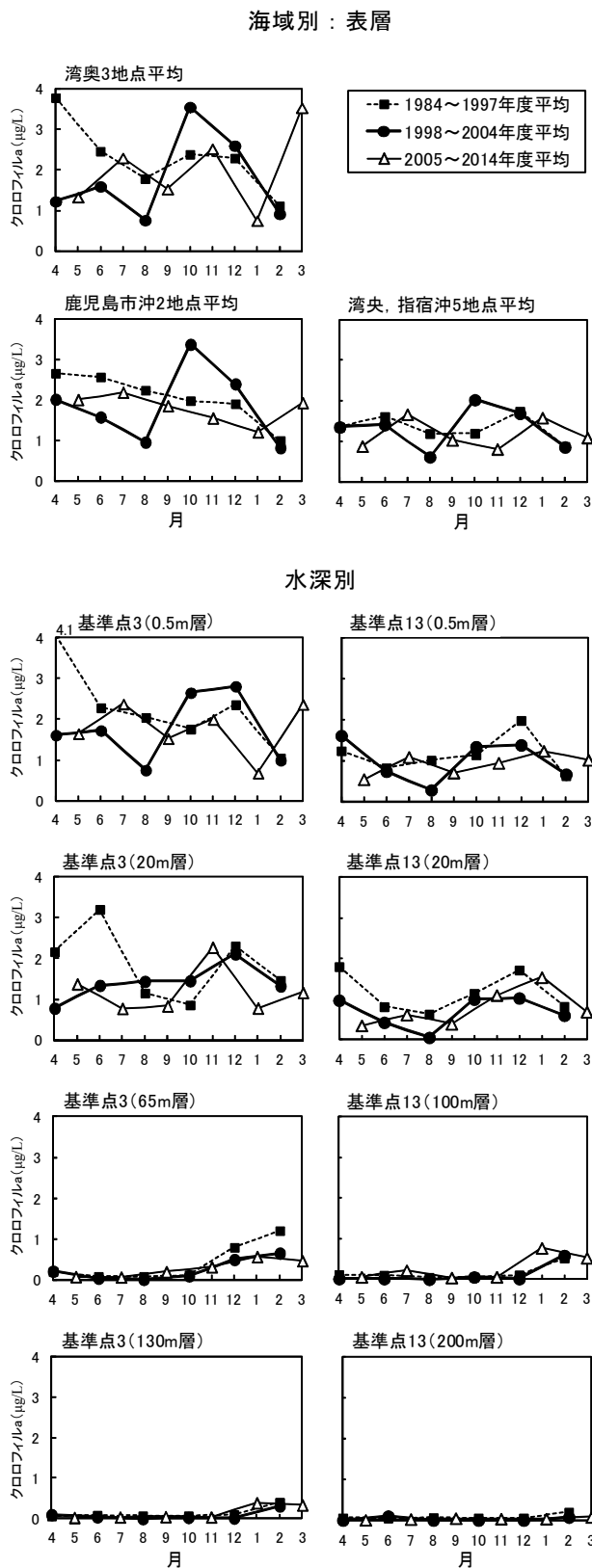


図9 海域別及び水深別のクロロフィルaの季節・経年変動

表5 春季から秋季の水温の推移

(単位: °C)

調査地点	水深 (m)	期間 (年度)	調査月								
			3	4	5	6	7	8	9	10	11
基準点3	0.5	1984~1997	-	17.4	-	22.9	-	28.5	-	24.5	-
		1998~2004	-	18.3	-	22.9	-	29.6	-	24.7	-
		2005~2014	15.6	-	20.6	-	26.8	-	28.6	-	22.9
	20	1984~1997	-	16.1	-	19.1	-	23.5	-	23.8	-
		1998~2004	-	16.3	-	20.3	-	24.3	-	24.9	-
		2005~2014	15.7	-	17.7	-	21.7	-	25.7	-	23.2
基準点13	0.5	1984~1997	-	18.8	-	23.2	-	28.3	-	24.6	-
		1998~2004	-	18.2	-	24.2	-	29.2	-	25.2	-
		2005~2014	16.6	-	20.5	-	26.9	-	28.7	-	23.1
	20	1984~1997	-	17.9	-	20.5	-	25.0	-	24.9	-
		1998~2004	-	17.4	-	22.6	-	25.9	-	25.5	-
		2005~2014	16.5	-	19.4	-	22.2	-	26.8	-	23.1

水温の上昇により、植物プランクトンの増殖速度は増加することが知られているが、一方で、水温が高い場合(30°C)の増殖速度は、植物プランクトンの種類や塩分濃度によっては減少するとの報告がある<sup>7)</sup>。鹿兒島湾では、前述したように1995年頃から以前より高い水温の外洋水が流入しており、水温上昇によって植物プランクトンの増殖に適した時期が変化していることが推察される。特に、1996年前後から8月のクロロフィルaが大きく減少したこと、水温上昇の時期は概ね一致している。

8月のクロロフィルaの減少については、海水温の上昇のほかに、上層での栄養塩の欠乏が要因の一つとして考えられることから、今後、クロロフィルaと栄養塩類の季節変動との関係についても検討が必要である。また、クロロフィルaの変動に関連すると考えられる<sup>8)</sup>日射、降水などの気象要因や、透明度、DO、pHなどの水質項目についてもさらに検討が必要である。

### 3. 4. 2 季節・経年変動

クロロフィルaの季節変動と経年変動を検討するため、1984年度から1997年度、1998年度から2004年度、2005年度から2014年度の3期間に分けて月ごとに平均値を求め、図9に示す。

表層のクロロフィルaの季節変動は、海域、期間により最大となる時期が異なり、一定の傾向がつかみづらいが、春季と秋季に増加し、冬季に低下する二山型を示す場合が多い。

1998年度以降とそれ以前では、表層のクロロフィルaの季節変動に変化がみられた。1998~2004年度の季節変動は、3海域とも同様に、10月に最大、8月及び2月に最低となり、1997年度までとは異なる傾向を示した。しかし、奇数月の調査に変更となった2005~2014年度の季節変動は、一定の傾向が認められなかった。

表層以外のクロロフィルaの季節変動をみると、有光

層である20m層では、春季と秋季に最大となる二山型か、水温の上昇とともに増加し12月に最大となるなだらかな一山型である。基準点13の200m層では年間をとおしてほとんど変化はみられないが、基準点3の65m層及び130m層、基準点13の100m層では、冬季に濃度の上昇がみられる。これらの水深では植物プランクトンの増殖は考えにくく、冬季の海水循環に起因するものと考えられる<sup>9)</sup>。

経年変動は、期間ごとの年平均値を比較すると、横ばい、1998年度以降のほうがやや低かった。しかし、前述のとおり、水温の上昇によって植物プランクトンの増殖に適した時期が変化していることや、調査月の変更もあり、1998年度以降のクロロフィルaの増減については、今回とりまとめたデータだけでは判断できなかった。

### 3. 5 塩化物イオンの季節・経年変動

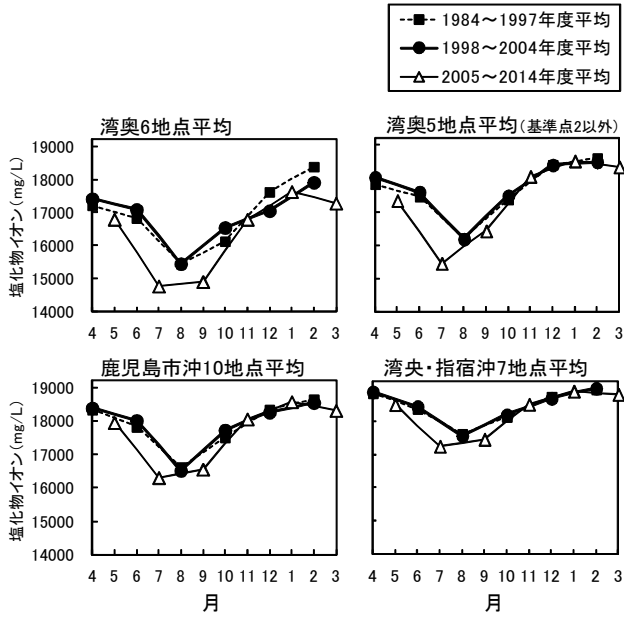
塩化物イオンの季節変動と経年変動を検討するため、1984年度から1997年度、1998年度から2004年度、2005年度から2014年度の3期間に分けて月ごとに平均値を求め、図10に示す。海域別の検討には、CODと同地点のデータを用いた。

表層の塩化物イオンの季節変動は、循環期の冬季に最大となり、降水が最も多くなる梅雨期の後の7~8月に最低となる一山型を示す。1998年度以前とそれ以降で、季節変動の違いはほとんどみられなかった。

外洋水の流入が多い湾央・指宿沖では表層の塩化物イオンが他の海域より高く推移し、4月の濃度は冬季と同程度であった。一方、湾奥及び鹿兒島市沖では、河川からの淡水流入の影響を受けやすく、4月から表層の濃度が低くなる。

また、湾奥の基準点2は、塩化物イオンの平均値が明らかに低く天降川の河川水の影響を受けていると考えられ<sup>1)</sup>、湾奥の塩化物イオンの平均濃度は、基準点2を除いた場合と比較すると大きく異なることが分かる。

海域別：表層



水深別

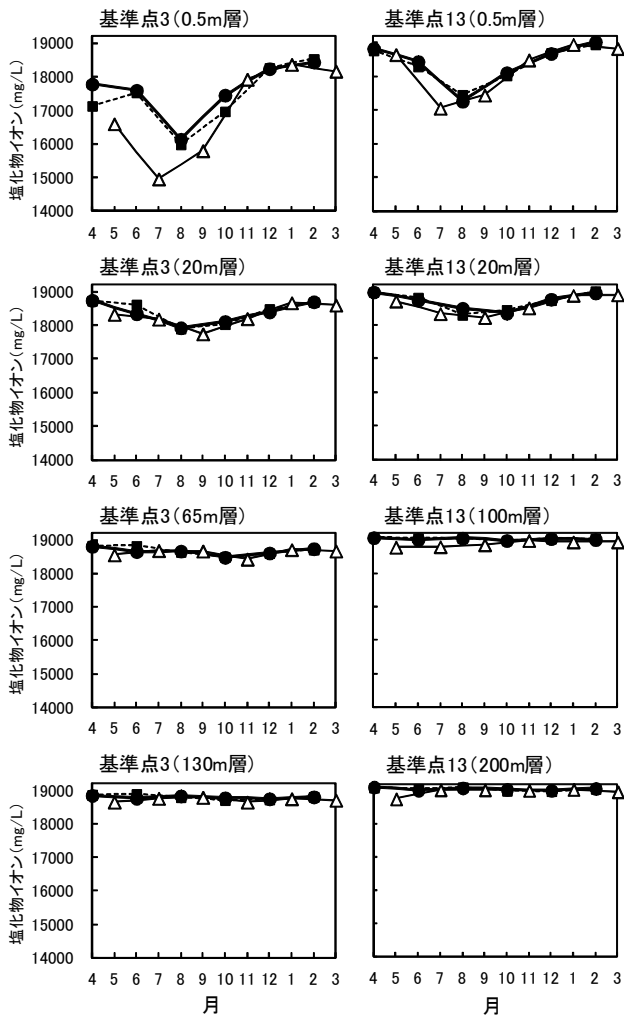


図10 海域別及び水深別の塩化物イオンの季節・経年変動

表層以外の塩化物イオンの季節変動をみると、20m層では8～9月に最低となり、中層、下層ではほぼ一定の濃度で推移した。1998年度以前とそれ以降で、季節変動の違いはほとんどみられなかった。

基準点3では、基準点13に比べ表層、20m層と下層との塩分濃度の差が顕著になる。以上のことから、湾奥では、湾央・指宿沖に比べより強い密度成層が発達しやすいことが示唆される。

経年変動をみると、2004年度までの偶数月どうしでは、塩化物イオンの増減は特に認められなかった。奇数月に調査した2005年度以降は、湾奥で7月及び9月が低めであった。

4 まとめ

鹿児島湾のCOD環境基準達成状況が悪化した1998年度以降とそれ以前で、水質の季節変動にどのような違いがみられるか比較するとともに、経年変動について検討したところ、以下の特徴が見いだされた。

- 1) 1998～2004年度の表層CODの平均値は、1984～1997年度に比べ、全ての海域、調査月で上昇した。特に、8月の平均値の上昇は、湾奥、鹿児島市沖で0.95～0.96mg/L、湾央・指宿沖では0.69mg/Lと大きかった。
- 2) 基準点3及び基準点13における水温はいずれの水深でも上昇傾向にある。特に、6月の基準点13の20m層では、1998～2004年度の平均水温が1984～1997年度の平均に比べて2℃以上高くなっており、1995年頃から、以前より高い水温の外洋水が流入している影響によるものと考えられる。
- 3) 表層のクロロフィルaの季節変動は、10月に最大、8月及び2月に最低となり、1997年度までとは異なる傾向を示した。特に、1996年前後から8月のクロロフィルaは大きく減少しており、水温上昇等の気象要因により、植物プランクトンの増殖に適した時期が変化していることが推察された。
- 4) 塩化物イオンについては、特筆すべき変化はみられなかったが、奇数月に調査した2005年度以降は湾奥で7月及び9月の平均値が低めであった。

鹿児島県周辺海域の年平均水温が他の年に比べ高かった1998年を境に、鹿児島湾のCOD環境基準の達成状況は悪化しているが、年度により変動がある。春先の気温の変化などが、鹿児島湾の水質の変化に関わっている可能性が示唆されることから、その変動の要因についてさらに検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) 田島義徳, 瀬戸加奈子, 他; 鹿兒島湾の水質変動に関する調査研究, 本誌, 11, 67~78 (2010)
- 2) 鹿兒島県; 昭和59~63年度公共用水域の水質測定結果
- 3) 鹿兒島県; 平成元~26年度公共用水域及び地下水の水質測定結果
- 4) 櫻井仁人, 前田明夫, 他; 鹿兒島湾の湾口断面を通しての海水流入・流出過程, 海の研究, 9 (1), 1~12 (2000)
- 5) 上野剛司, 東小菌卓志, 他; 鹿兒島湾における水温変動について, 本誌, 1, 92~94 (2000)
- 6) 鹿兒島県水産技術開発センター; 定期客船による海面水温連続観測結果
- 7) 山口峰生, 今井一郎, 本城凡夫; 有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *C.marina* の増殖速度に及ぼす水温, 塩分および光強度の影響, 日本水産学会誌, 57 (7), 1277~1284 (1991)
- 8) 柳哲雄, 石井大輔; 博多湾奥における水質の季節・経年変動, 海の研究, 17 (4), 255~264 (2008)
- 9) 山野一幸, 松元重彦, 他; 鹿兒島湾ブルー計画推進による湾域の変化と将来の予測 (その1) —環境水質の推移—, 鹿兒島県環境センター所報, 2, 79~95 (1986)