

北部閉鎖性海域の溶存酸素の鉛直分布調査結果について (Ⅱ)

— 阿蘇海 —

田口 寛 井上 知明

Vertical Distribution of Dissolved Oxygen in the Closed Waters of Northern Kyoto(Ⅱ) — Aso Sea—

Hiroshi TAGUCHI and Tomoaki INOUE

キーワード：閉鎖性海域、溶存酸素、密度、COD

key words : Closed Waters, Dissolved Oxygen, Density, COD

はじめに

阿蘇海は、図1に示したように、京都府北部丹後半島の東側付け根に位置し、日本3景の一つである天橋立に隣接することから、周辺一帯は、風光明媚な自然景観や温泉に恵まれた観光地となっている。

阿蘇海は、天橋立によっていずれも幅35~40m、最大水深3mの二つの狭い水路で宮津湾とつながっており、前報¹⁾の久美浜湾と同様、典型的な閉鎖性水域である。1977年3月に水質環境基準のB類型に指定されているが、測定開始当初からCODが基準値の3.0mg/Lを超える年度がしばしばあった。しかし、近年においてはほぼ基準が達成されてきている²⁾。

また、1980年代はじめには大規模な調査³⁾もされてきたが、更に、水質監視の強化ということから、環境基準点での溶存酸素の鉛直分布調査が26年間実施されてきた。今回、その調査内容の見直しを図る目的で過去のデータの整理・検討を行ったので報告する。

調査内容

調査対象地点は、図2に示した阿蘇海の野田川流入点：A-1 (平均水深6.9m)、中央部：A-2 (平均水深12.5m)、溝尻地先：A-3 (平均水深9.1m)、文殊地先：A-4 (平均水深11m) であり、調査はおおよそ2箇月から3箇月に1回実施されている。今回検討したデータは、すべて京都府公共用水域及び地下水の水質測定結果⁴⁾を用いた。また、COD等の考察のため、野田川と宮津湾江尻地先の2地点のデータも用いた。

海域における密度は、密度 ρ から1を減じ、それを1000倍した $\sigma = (\rho - 1) \times 1000$ という量を用いる。ある $t^{\circ}\text{C}$ における σ_t は、下記のクヌーツセンの式から求めた⁵⁾。

$$\sigma_t = \Sigma_t + (\sigma_0 + 0.1324) \times [1 - A_t + B_t(\sigma_0 - 0.1324)]$$



図1 阿蘇海の位置



図2 阿蘇海採水地点

(平成18年7月31日受理)

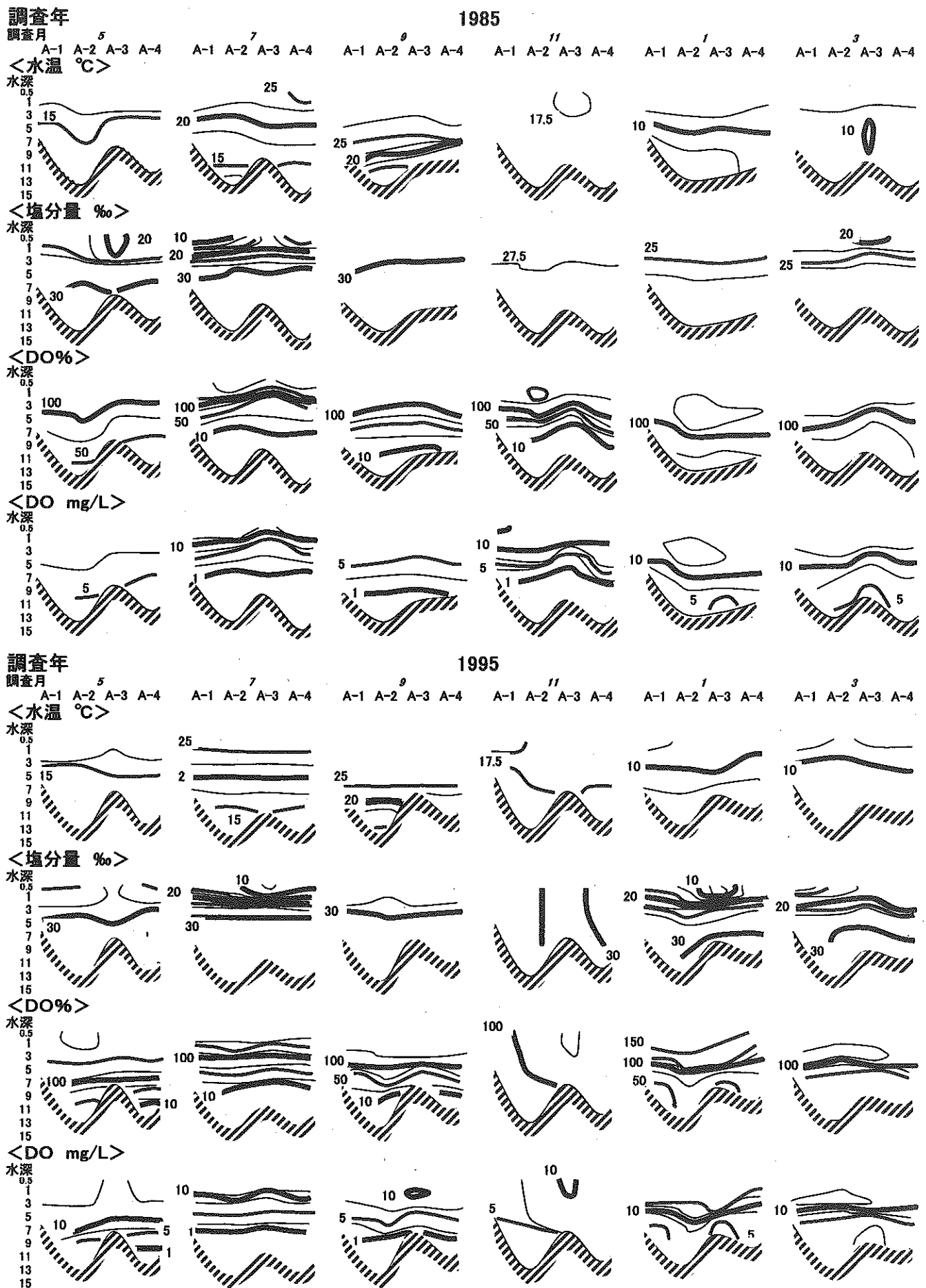


図3 鉛直分布の季節変動

$$\sigma_t = -0.069 + 1.4708\{Cl\} - 0.001570\{Cl\}^2 + 0.0000398\{Cl\}^3$$

ただし、 $\{Cl\} = (S(\text{塩分量} : \%) - 0.030) / 1.8050$

$$\Sigma_t = -(t - 3.98)^2 / 503.570 \times (t + 283) / (t + 67.26)$$

$$A_t = t(4.7867 - 0.098185t + 0.0010843t^2) \times 10^{-3}$$

$$B_t = t(18.030 - 0.8164t + 0.01667t^2) \times 10^{-6}$$

結果及び考察

1. 季節変動

感年度ごとに違いは見られるが、代表的な変動傾向を示した1985年度と1995年度の全地点での鉛直分布を図3に示した。

5月にはなだらかな水温躍層が形成されており、水深の大きい中央部 (A-2) と文殊地先 (A-4) では、底層の溶存酸素が50%以下に低下し、7月には水温差の大きい水温躍層が形成され、水深6mから8mより深い部分では無酸素状態となっていた。水温躍層が逆転し始める11月になっても、1985年度のように深層では無酸素状態が継続している場合と1995年度のように解消されている場合とがあった。その後、1985年度では表層水温が低い水温躍層が形成されるとともに、深層への溶存酸素が供給されてくるが100%までは回復しなかった。一方、1995年度では11月より1月が、底層の溶存酸素量の減少が見られた。これは、1985年度の場合秋季から冬季での上下の循環が徐々に生じたのに対して、1995年度では秋季に早く上下攪拌が生じたが冬季に底層での溶存酸素の消費が生じたためと考えられる。

丹後半島の西側付け根に位置する久美浜湾では水深14m付近から無酸素状態であったのに対して¹⁾、阿蘇海はそれよりも浅い地点からであり、若狭湾の三方五湖の

一つである水月湖の8m以深^{6, 7)}と同程度である。

島根県の中海では、無酸素状態が5月から12月まで継続した後、1月には100%まで回復すると報告されており⁸⁾、久美浜湾もほぼ同様であるが、阿蘇海では、循環期の起こる時期が年により異なることを示している。

水温分布は平面的には同じ傾向を示すが、溶存酸素は水深の浅い溝尻地先 (A-3) が躍層の位置も高く、湾口部と湾奥部で躍層の形成が小さい久美浜湾や湾奥部のみ溶存酸素の減少がみられる洞海湾⁹⁾とは異なっていた。

塩分量が低下する深度は、中海では4m付近までとされ^{10, 11)}、また久美浜湾では3m付近までであり湾全面に存在しているのと異なり、阿蘇海では、2~3mとやや浅く、湾全体が均一となる場合が少なかった。

2. 密度分布

海水における混合、攪拌等を考慮する上で大きな要素となる密度をクヌーツセン法により求め、結果を図4に示した。

等密度線の混雑している部分では混合攪拌が起こらないと考えられるので、躍層の発達した7月では、上下の攪拌は起こっていないことがわかる。また、冬季の1月、3月においても上下の密度差が出現していることは、上下間の混合が十分行われず、上下循環が春季と秋季に起こることを表しており、久美浜湾¹⁾と同じ傾向であった。

3. 経年変化

各地点における水温と溶存酸素の1978年度から2003年度までの鉛直分布を図5に示した。

水温の季節変動は、毎年同じようなパターンを示し、夏季において20℃以上の底層における領域が広がる傾向

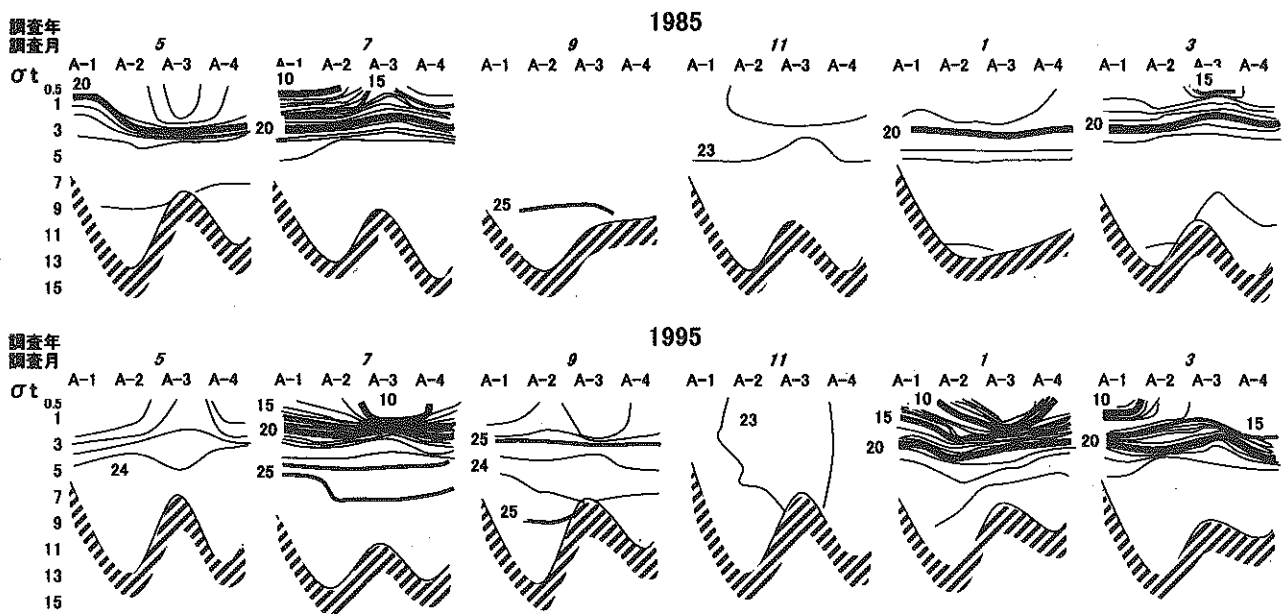


図4 密度 (σ_t) の鉛直分布

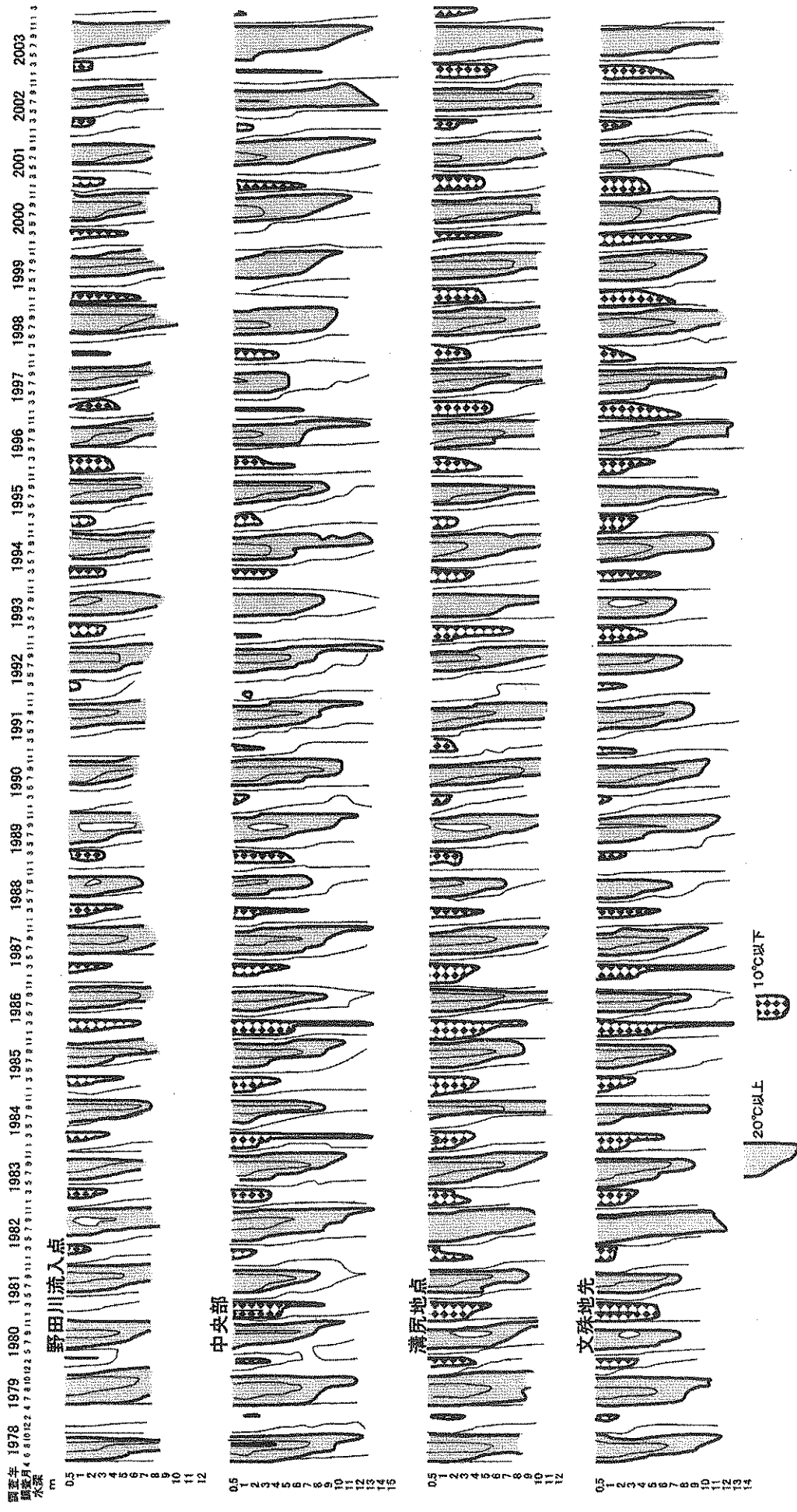


図5-1 各地点における水温の経年変化

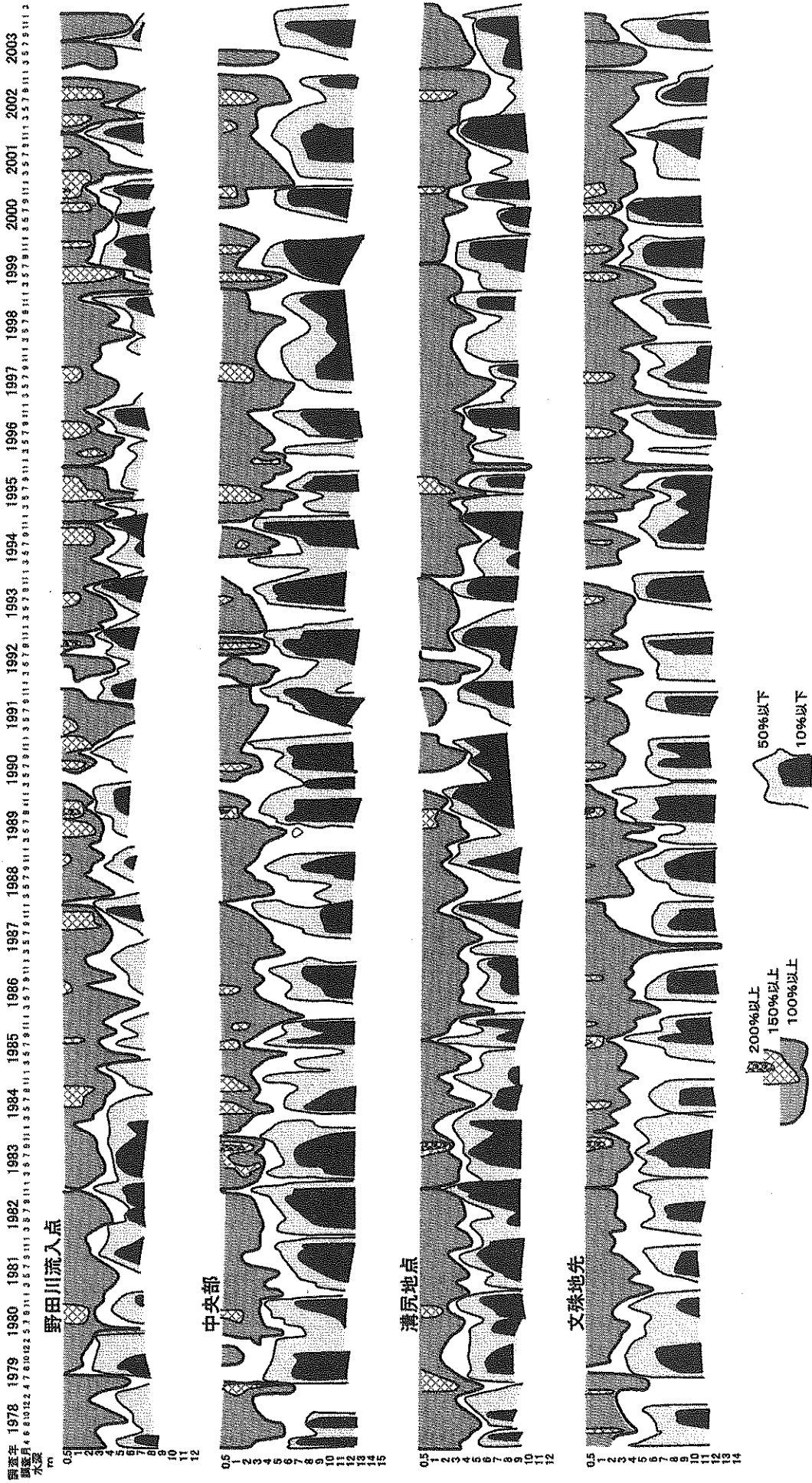


図5-2 各地点における溶存酸素飽和率の経年変化

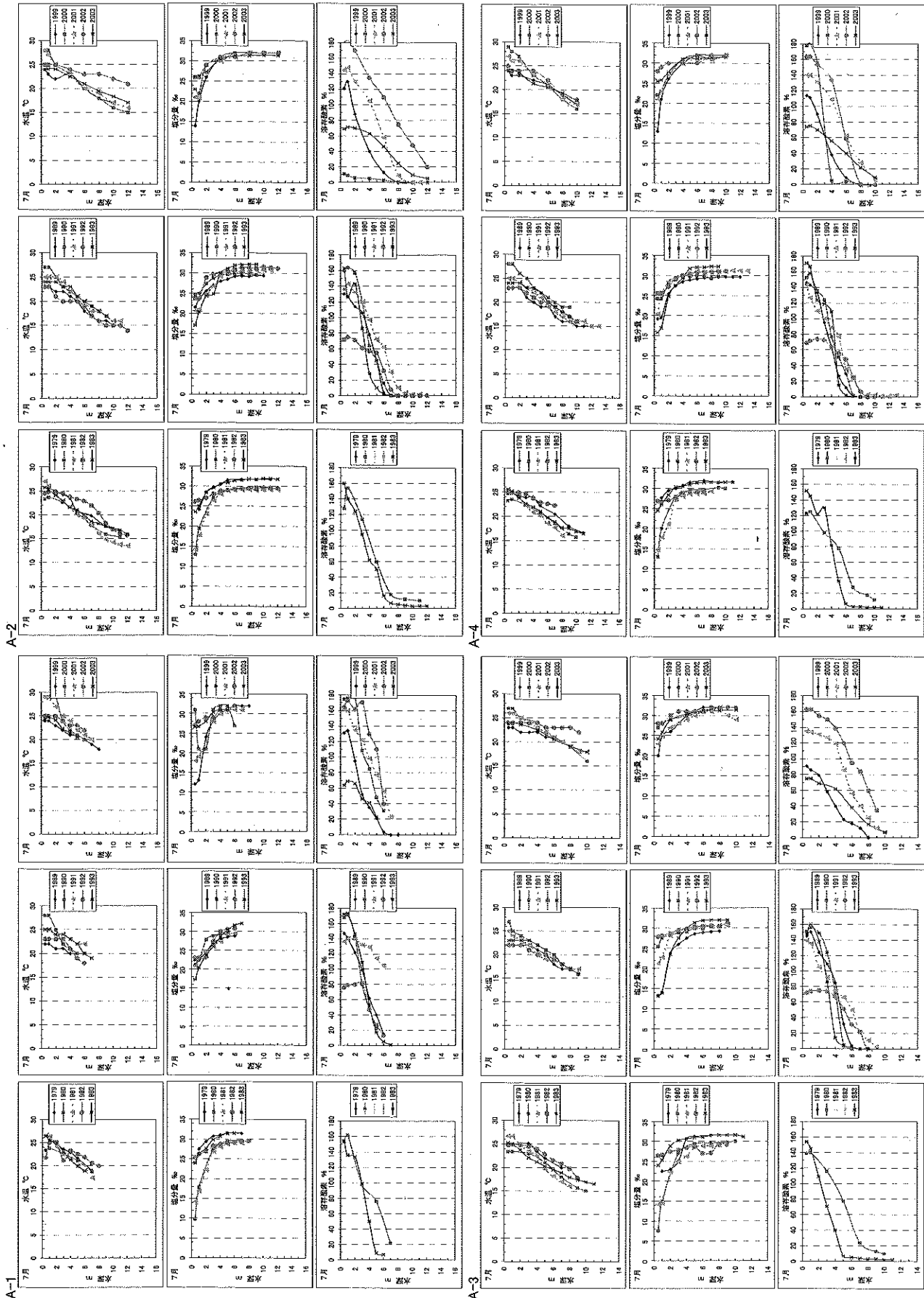


図6-1 7月の水温、塩分濃度と溶存酸素飽和率の鉛直分布

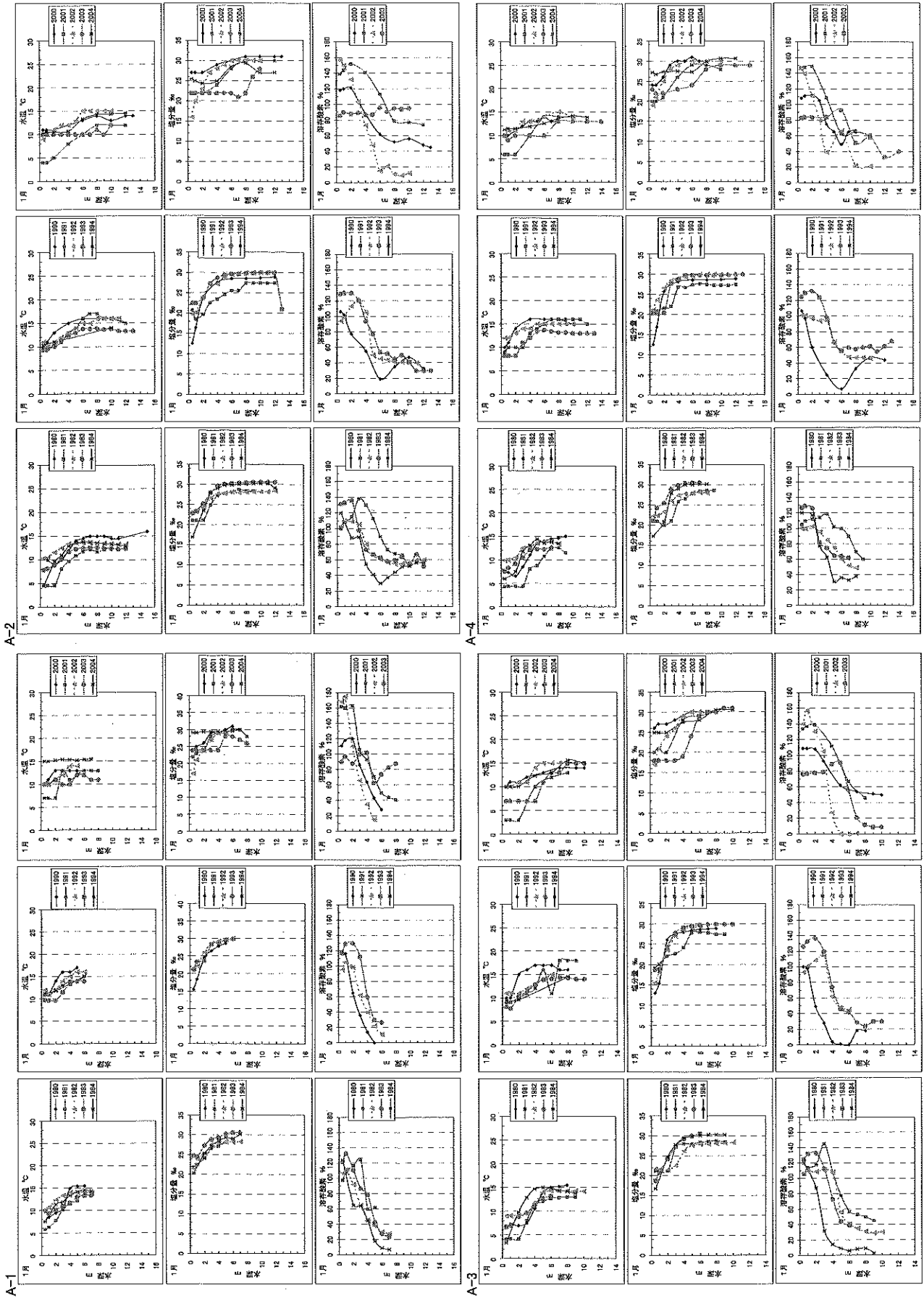


図6-2 1月の水温、塩分量と溶解酸素飽和率の鉛直分布

にある。

溶存酸素も毎年同じようなパターンを示し、調査期間を通じて差がないようにみえる。

詳しくみるため、水温躍層が発達している7月と、逆の水温躍層が形成されている1月について、1981年度、1991年度、2001年度を中心とした5年間で報告のある年の鉛直分布を図6に示した。

7月の水温分布については、いずれの地点においても表層付近で年による差がみられた。塩分量は、水温以上に表層での差が大きいことから、降雨等による流入水の影響が大きいと考えられる。

また、溶存酸素も同様な傾向を示すが、2001年度前後は年ごとの差が大きく、躍層位置も年により変わっていた。降雨等の影響によると考えられるが、原因は不明である。

1月については、水温分布は7月に比べ年ごとの差が大きく、調査月の気温等の影響が大きく現れたものと考えられる。溶存酸素は、密度分布から明らかなように上下攪拌が少ない場合が多いこともあり、京都府公害対策者会議の報告と同じく³⁾ 冬季にもかかわらず底層では50%以下しかない場合が多かった。しかし、京都府立海洋センターの調査¹²⁾ のように70%程度まで回復する場合もあった。また、経年的な変化はないように見える。すなわち、年間を通して底層部分では溶存酸素が少なく、魚等好気的な生物が生息しにくい状況もあると思われる。

4. CODとクロロフィル-a

溶存酸素の鉛直分布調査結果では、調査期間を通じてほぼ同じ傾向が見られたが、最近、溶存酸素の鉛直分布の不安定化が見られたことから、富栄養化の指標であるCODについて検討したところ、各地点の経年変化は図7のようになった。

いずれの地点の表層、中層、下層も1990年頃から減少傾向にあり、水質がやや改善されてきていることがわか

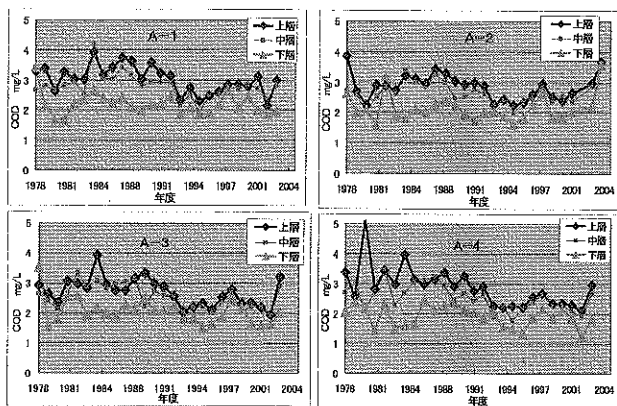


図7 各地点のCODの経年変化
 上層：0.5m
 中層：2m
 下層：A1は4～5.5m、A2は9～10m、
 A3は6～8m、A4は8～10m

表1 各地点のCODとクロロフィル-aの増加直線の傾き

	水深	阿蘇海				宮津湾・江尻地先	野田川・堂谷橋	単位
		A-1	A-2	A-3	A-4			
COD	0.5m	-0.030	-0.013	-0.027	-0.055	0.006	0.016	(mgL)/年
	2.0m	-0.018	-0.002	-0.024	-0.030			
	下層	-0.012	-0.005	-0.025	-0.018			
クロロフィルa	0.5m	-0.95	-0.32	-0.35	-0.51	—	—	(μgL)/年

る。回帰直線をとった場合の傾きを表1に示したが、下層が他の地点に比べ小さく、富栄養化した底泥からの影響があるものと考えられる。

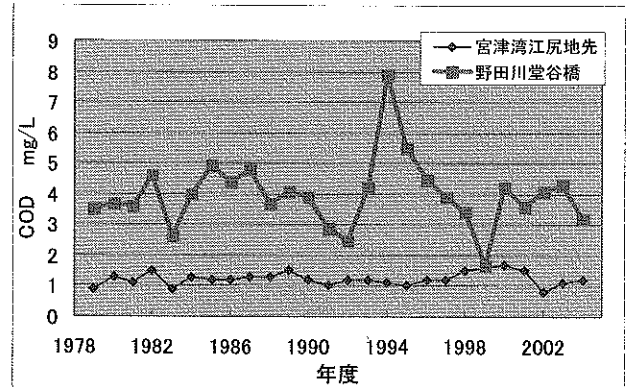


図8 宮津湾江尻地先と野田川堂谷橋のCODの経年変化

このCODの減少傾向は、図8に示したように、外海の宮津湾及び代表的な流入河川であり、総流入負荷量の8割以上を占める野田川³⁾ には見られないことから、流入水の改善によるものではないと考えられる。

そこで、プランクトンの発生量と関係するクロロフィル-aと透明度の経年変化を図示すると図9のようになり、クロロフィル-aはやや減少傾向か横ばいであるが、透明度はやや増加傾向を示しており、透明度の上昇と関係す

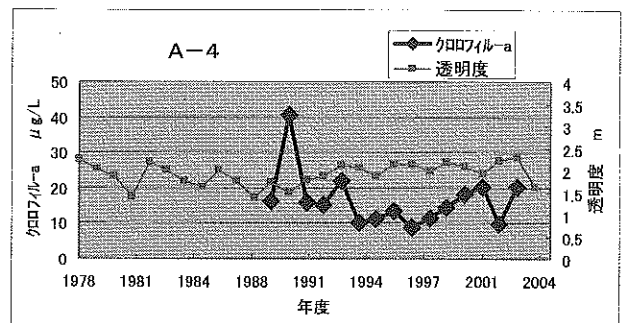
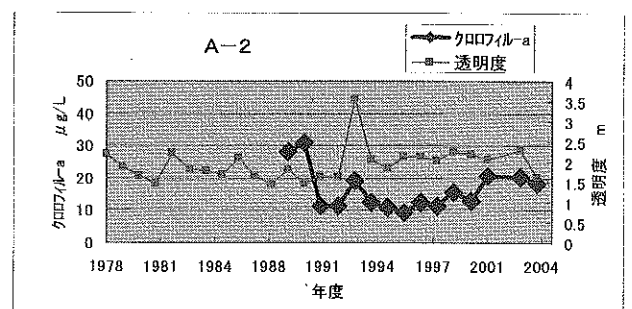


図9 クロロフィル-aと透明度の経年変化

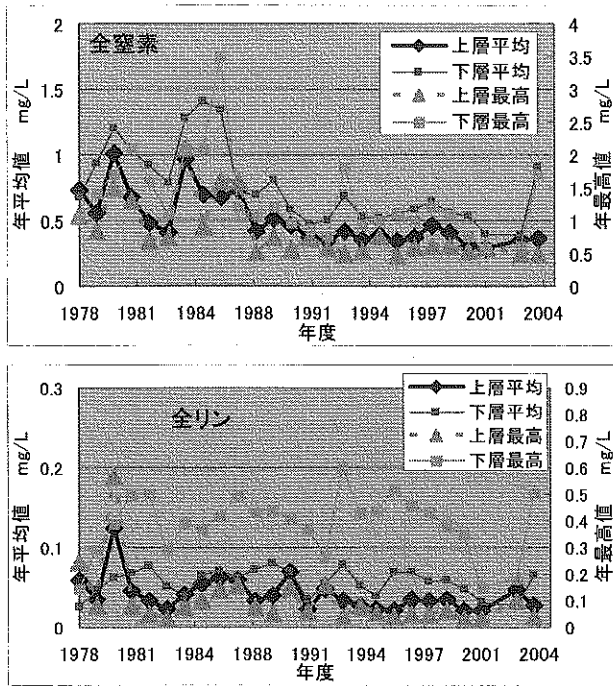


図10 中央部の全窒素と全リンの経年変化

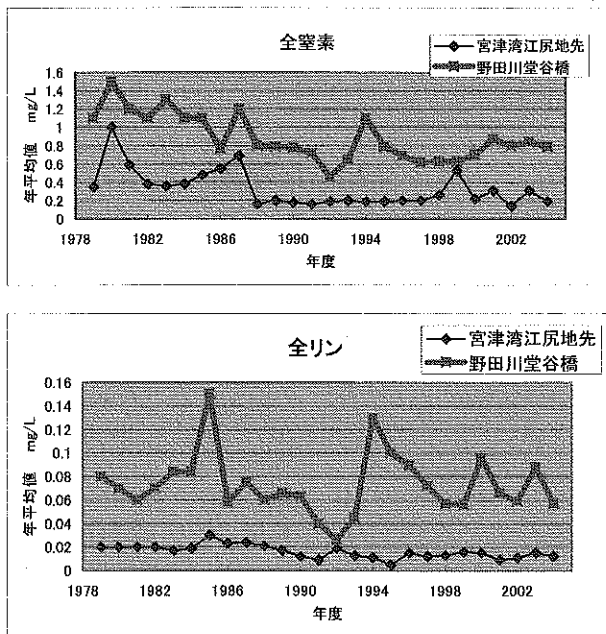


図11 宮津湾江尻地先と野田川堂谷橋の全窒素と全リンの経年変化

る内部生産の減少がCODの減少傾向と関係している可能性が考えられた。

富栄養化と関係する全窒素、全リンの経年変化をみると、中央部では図10のように減少傾向を示し、また、図11に示した宮津湾の全リン、野田川の全窒素も減少傾向を示した。このことから全窒素、全リンの減少が内部生産を減少させて、CODの減少傾向となったものと考えられ、阿蘇海の富栄養化はやや改善傾向にあると思われるが、CODの2003年度の上昇と底層での改善傾向の少なさ、窒素やリンの溶出が依然高濃度で生じていること、また、

野田川からの流入負荷に改善傾向がみられないことから、一部では覆砂等の対策が講じられているが、更に根本的な富栄養化防止策の検討が必要と考えられる。

まとめ

閉鎖性水域の阿蘇海で、継続的に調査されてきた溶存酸素の鉛直調査の結果をとりまとめた。

1. 5月には水温躍層の形成が始まるとともに、底層の溶存酸素が減少し始め、7月から11月頃まで底層の無酸素状態が継続し、冬季においても下層は50%程度までしか溶存酸素が回復しない。
2. 密度分布から、上下の水の循環は夏季と冬季にはみられない。
3. 経年的に見られるやや良化傾向は、全窒素等の流入負荷の減少による内部生産の減少によるものと考えられるが、CODは依然高い濃度で推移しており、2003年度では逆に高くなったことから、抜本的な水質改善策が必要と思われる。

謝 辞

25年間以上にわたる膨大な検査データをパソコン入力していただいた奥村真友美氏に感謝します。

文 献

- 1) 田口寛ほか：本誌、50、87 (2005)
- 2) 京都府：環境白書 平成16年度版、同17年度版
- 3) 京都府公害対策技術者会議：阿蘇海の汚濁機構 阿蘇海の汚濁機構解明調査研究報告書 (1984)
- 4) 京都府：公共用水域及び地下水の水質測定結果 昭和53年度～平成17年度 (1979～2005)
- 5) 和達清夫監修：海洋の事典、東京堂出版、554 (1972)
- 6) 内田利勝ほか：福井県公害センター年報、19、155 (1989)
- 7) 内田利勝ほか：福井県公害センター年報、20、140 (1990)
- 8) 石原純子ほか：島根保環研所報、43、168 (2001)
- 9) 山田真知子ほか：全国環境研会誌、29、23 (2004)
- 10) 向井哲也ほか：島根県内水面水産試験場事業報告書 平成14年度 (2003)
- 11) 向井哲也ほか：島根県内水面水産試験場事業報告書 平成15年度 (2004)
- 12) 中西雅幸ほか：京都府立海洋センター研究報告、3、103 (1979)