

山口県周防灘海域における最近 30 年間の水質変動

和西昭仁

Variations in the quality of the coastal waters during recent 30 years in the Suo-Nada region off Yamaguchi Prefecture

Akihito WANISHI

The quality of the coastal waters was monthly investigated in the Suo-Nada region off Yamaguchi Prefecture from 1973 to 2003. The long-term variations of the parameters such as transparency, dissolved oxygen (DO), dissolved inorganic nitrogen (DIN) and phosphate (PO₄-P) were analyzed.

Generally speaking, the water pollution in this area by plant effluent and living drainage have been gradually decreasing. For example, transparency and DO concentration at the bottom layers showed tendencies to increase or level off, while nutrients concentration and chemical oxygen demand (COD) showed tendencies to decrease or level off. Chlorophyll-a concentration in the surface layers, which represents the primary productivity of the waters, has also decreased. From the remarkable decline of the recent fisheries production, the present quality of the waters in this area may be relatively poor to maintain successful fisheries industry. Therefore, we should continue to make thorough investigations and discuss what are the suitable conditions of the waters for fishery in this area.

Key words: water quality, DO, DIN, PO₄-P, chlorophyll-a, long-term variation, Suo-Nada

周防灘海域では1972年から浅海定線調査が開始され、30年以上にわたってデータが蓄積されてきた。その間、周防灘の漁獲量¹⁻⁴⁾は1972年の106千トンが2002年には18千トンまで激減し (Fig.1), 産業として危機的な局面を迎えている。そうした中、あらためて過去の海洋環境を振り返る時、30年間のデータがいかに貴重なものであるかを実感することになる。

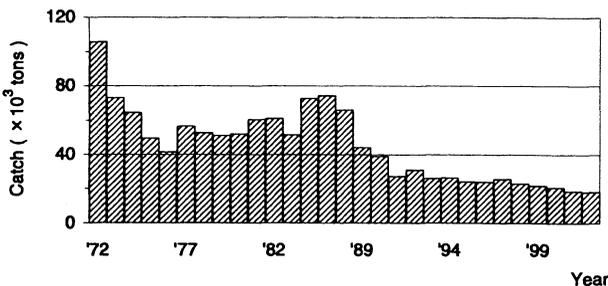


Fig.1. Changes in total catch (x 10³ tons) of fish and shellfish in the Suo-Nada.

筆者は、山口県の周防灘海域で最近30年間に水温が約0.7℃上昇し、それには冬季水温の上昇がより深く関わっていることなどを明らかにした^{5, 6)}。近県海域

においても同様の報告^{7, 8)}があり、20~30年前からの水温の長期的な上昇傾向は、瀬戸内海西部海域に共通した現象と考えられる。

また、環境問題への関心が高まるとともに、「海洋環境の変化が生物相にどのような影響を与えてきたか」ということに対する答えが求められるようになった。すなわち、水温の上昇⁵⁾や瀬戸内海環境保全特別措置法の施行による化学的酸素要求量 (COD) や窒素・リンの負荷量削減⁹⁾などに象徴されるように、海洋環境は最近の20~30年間に大きく様変わりし、その間、周防灘ではアサリ漁獲量の激減、クラゲ類の大量発生、ナルトビエイの出現など海洋生物にも変化が見られている。

そこで今回の報告では、周防灘の海洋環境と漁業生産等との関係を調べるための前段階として、既に報告した水温⁵⁾以外の各調査項目について、30年以上に及ぶ長期的な変動傾向と項目間の関連性などを明らかにすることを目的とした。

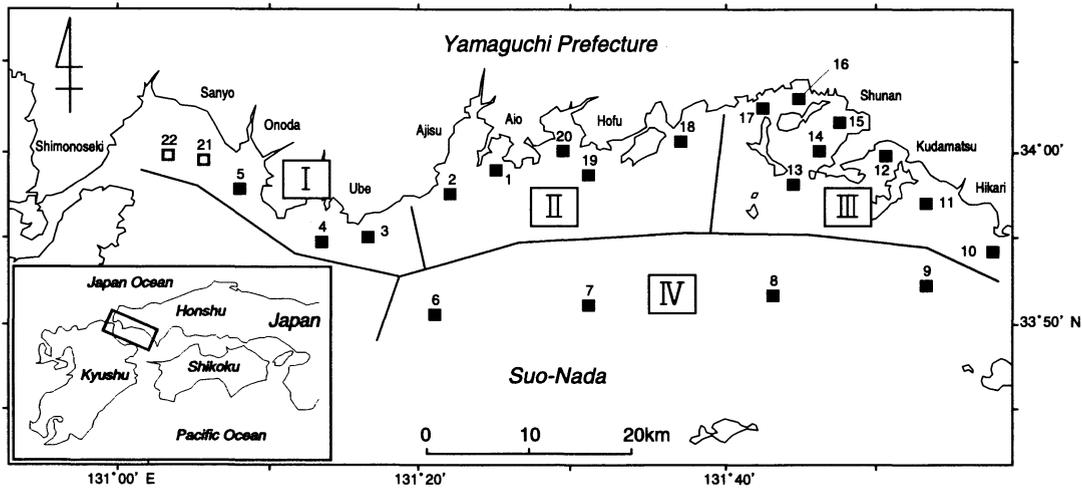


Fig.2. Sampling stations (squares, St.1~22) and divided zones (I~IV). closed squares, stations investigated from 1973; open squares, stations investigated from 1981.

資料及び方法

今回用いた資料は, Fig. 2 の22定点 (詳細はTable 1) において, 1973~2003年の31年間 (372ヶ月間), 毎月1回の浅海定線調査で得られた (1) 塩分 (0・B-1m (底上1m) 深), (2) 透明度, (3) 溶存酸素量 (0・B-1m深), (4) 酸素飽和度 (同), (5) 溶存無機態窒素 (同, 以下「DIN」), (6) アンモニア態窒素 (同, 以下「NH₄-N」), (7) 硝酸態・亜硝酸態窒素 (同, 以下「NO₃-N」及び「NO₂-N」), (8) リン酸態リン (同, 以下「PO₄-P」), (9) 化学的酸素要求量 (同, 以下「COD」), (10) クロロフィル-a (同) のデータである。なお, これより0m深のことを「表層」, B-1m深のことを「底層」と表記する。

分析方法等の変遷についてはTable 2のとおりである。途中で分析方法が変わっている項目もあるが, そ

れに伴う測定精度の差は, 変更時のクロスチェックにより無視できるものと仮定して扱うこととした。

このうち, 塩分は1998年10月までサリノメータで測定し, 1998年11月以降はメモリー式水温塩分計(アレックス電子株AST-500)を用いて測定した。溶存酸素量はWinkler法¹⁰⁾で測定した。栄養塩類はNH₄-N, NO₃-N+NO₂-N, NO₂-N, PO₄-Pを日本海洋学会¹¹⁾の方法に準じて測定し, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-Nを合計してDINとした。CODはアルカリ性過マンガン酸カリウム-ヨウ素滴定法¹²⁾, クロロフィル-aは吸光光度法¹⁰⁾に準じて測定し, Jeffrey and Humphrey¹³⁾の3点法で算出した。

さらに, 山口県の周防灘海域を沿岸3海域(西からI・II・III)と沖合1海域(IV)の計4海域に分けて, これらの海域ごとにデータを整理することにした

Table 1. Location and average depth of each sampling station. Latitude and longitude are shown by World Geodetic System

Station No.	Zone No.	Location		Depth (m)	Station No.	Zone No.	Location		Depth (m)
		Latitude N	Longitude E				Latitude N	Longitude E	
1	II	33° 58' 48"	131° 25' 09"	8	12	III	33° 59' 36"	131° 50' 39"	10
2	II	33° 58' 06"	131° 22' 15"	9	13	III	33° 57' 54"	131° 45' 09"	30
3	I	33° 54' 24"	131° 17' 15"	9	14	III	33° 59' 42"	131° 46' 09"	15
4	I	33° 54' 06"	131° 13' 03"	9	15	III	34° 01' 10"	131° 48' 16"	12
5	I	33° 57' 24"	131° 08' 51"	7	16	III	34° 03' 12"	131° 44' 15"	8
6	IV	33° 50' 18"	131° 21' 03"	27	17	III	34° 02' 30"	131° 42' 03"	11
7	IV	33° 50' 36"	131° 31' 09"	33	18	II	34° 00' 42"	131° 36' 51"	13
8	IV	33° 51' 24"	131° 43' 21"	44	19	II	33° 58' 36"	131° 31' 09"	17
9	IV	33° 51' 54"	131° 53' 45"	38	20	II	34° 00' 12"	131° 29' 27"	10
10	III	33° 54' 12"	131° 57' 45"	33	21	I	33° 58' 48"	131° 05' 21"	6
11	III	33° 56' 54"	131° 53' 15"	23	22	I	33° 59' 12"	131° 03' 21"	7

Table 2. Changes in number of sampling stations, measuring methods and vessels

Year	No. of stations	Measuring method					Vessel (gross tonnage)
		Water Temp.	Salinity	DO ^{*2}	Nutrient	COD ^{*3}	
1973	20	stick thermometer	salinometer	Winkler method	manual analysis	alkaline method	MIDORI (18.21t)
1974						absorption spectrometer	
1975							
1976							
1977							
1978					auto analyzer		
1979							
1980							
1981							
1982	22						
1983							
1984							
1985							
1986							
1987							SETO (40.25t)
1988							
1989							
1990							
1991							
1992							
1993							SETO (33.83t)
1994							
1995							
1996							SETO (30t)
1997							
1998		STD ^{*1}	STD ^{*1}				
1999							
2000							
2001							
2002							

*1 Salinity Temperature Depth recorder. *2 dissolved oxygen. *3 chemical oxygen demand. *4 chlorophyll-a.

(Fig. 2 のⅠ～Ⅳ)。なお、これら海域の区分に際しては、水温等のコンタ図や過去の知見¹⁴⁾を参考に、適当な範囲及び定点数を検討した。

また、調査は原則として毎月上旬に実施されたが、天候等の都合によって中旬や下旬に延期されたり、前の月の下旬に前倒して実施されたこともあった。そうした観測日のばらつきに対応するため、前後の観測値から線形補間によって毎月1日の値を求め、毎月(1日)の各定点における基本データセット(372ヶ月分)を作成した。

次に、Ⅰ～Ⅳの各海域ごとに月平均値を372ヶ月分求め、これらから季節変動成分を除去するために12ヶ月移動平均を施した。さらに長期的な変動傾向を調べるため、12ヶ月移動平均に36ヶ月の移動平均を施したデータセット(324ヶ月分)を作成した。

また、月ごとの平均値を調査年ごとに平均(1～12月)したものを年平均値とし、1973～2003年の月ごと

平均値を調査月ごとに平均したものを平年値として用いた。

結 果

1. 塩分

表層では、梅雨期に急激な塩分低下が見られ、沖合域(海域Ⅳ)でも30psuを下回ることがあった。海域間には海域Ⅳ>Ⅲ>Ⅱ>Ⅰという傾向があり、各海域とも期間全体としてはあまり変化がなかった(Fig.3)。

底層では、海域Ⅰで30psuを下回ることがあったが、その他の海域は31psu以上で推移した。表層と同じく海域Ⅳ>Ⅲ>Ⅱ>Ⅰという傾向があり、期間全体としてはあまり変化がなかった(Fig.3)。

2. 透明度

海域Ⅳ>Ⅲ・Ⅱ>Ⅰという傾向で推移し、海域間で差が大きかった。各海域とも1985～1986年に明瞭

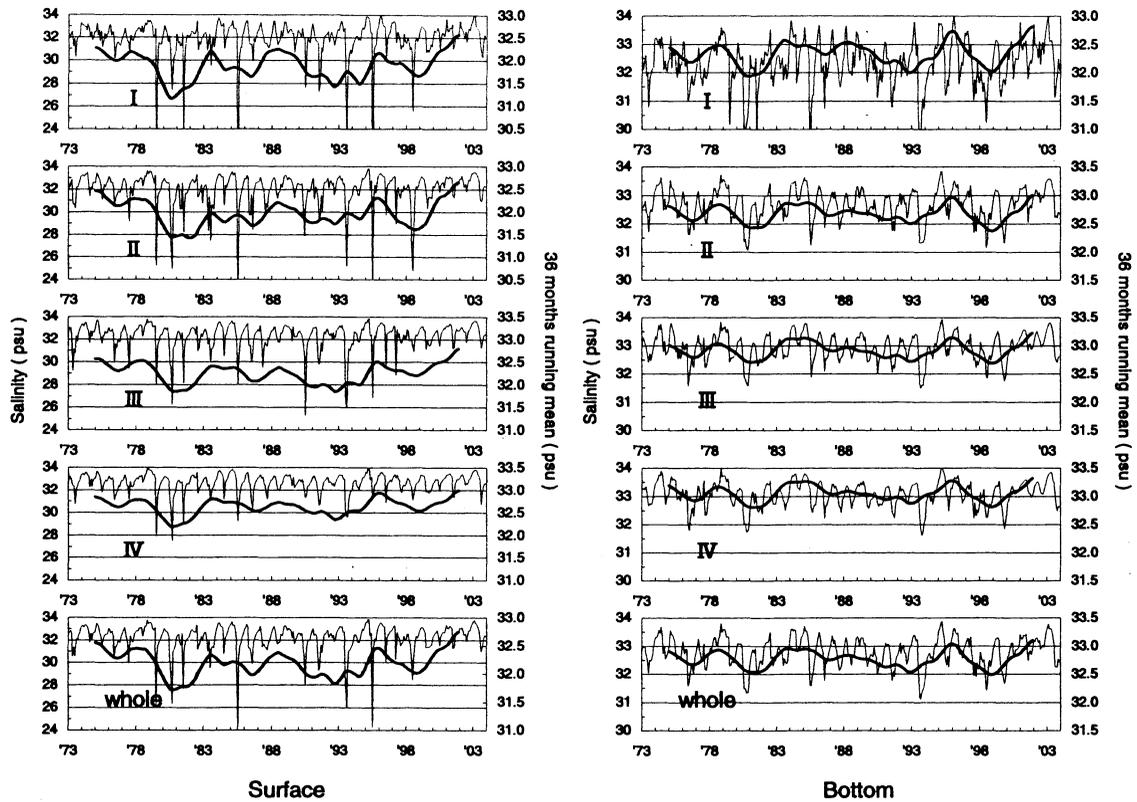


Fig.3. Changes in salinity (psu) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

な極小期があったが、それ以降は上昇傾向にあった (Fig.4)。

3. 溶存酸素量

表層では、1990年代前半の数年間、各年の最低値があまり下がらなかったことから年間の較差が相対的に減少し、1992年頃に極大値となった (Fig.5)。その後2~3 ppmほど減少した時点から横ばいに推移したが、1990年以前の値と比べると約2 ppm低めであり、海域 I を除くと全体的に減少傾向であった。

底層では、ほぼ横ばいか緩やかに減少した後、1990年代前半に年間の較差が相対的に減少したため増加に転じ、1992年頃極大値となったが、その後はあまり大きく減少せず、長期的にはほぼ横ばいか緩やかな増加傾向であった (Fig.5)。

4. 酸素飽和度

表層では、溶存酸素量と同じような傾向で推移し、海域 I を除くと全体的に減少傾向であった (Fig.6)。

底層でも、溶存酸素量と同じような傾向で推移し、長期的にはほぼ横ばいか緩やかな増加傾向であった (Fig.6)。

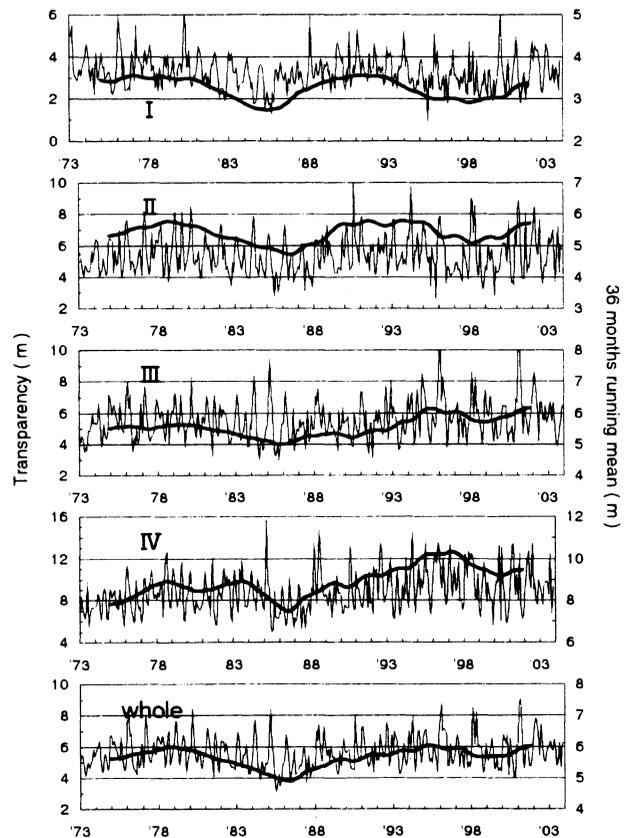


Fig.4. Changes in transparency (m) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

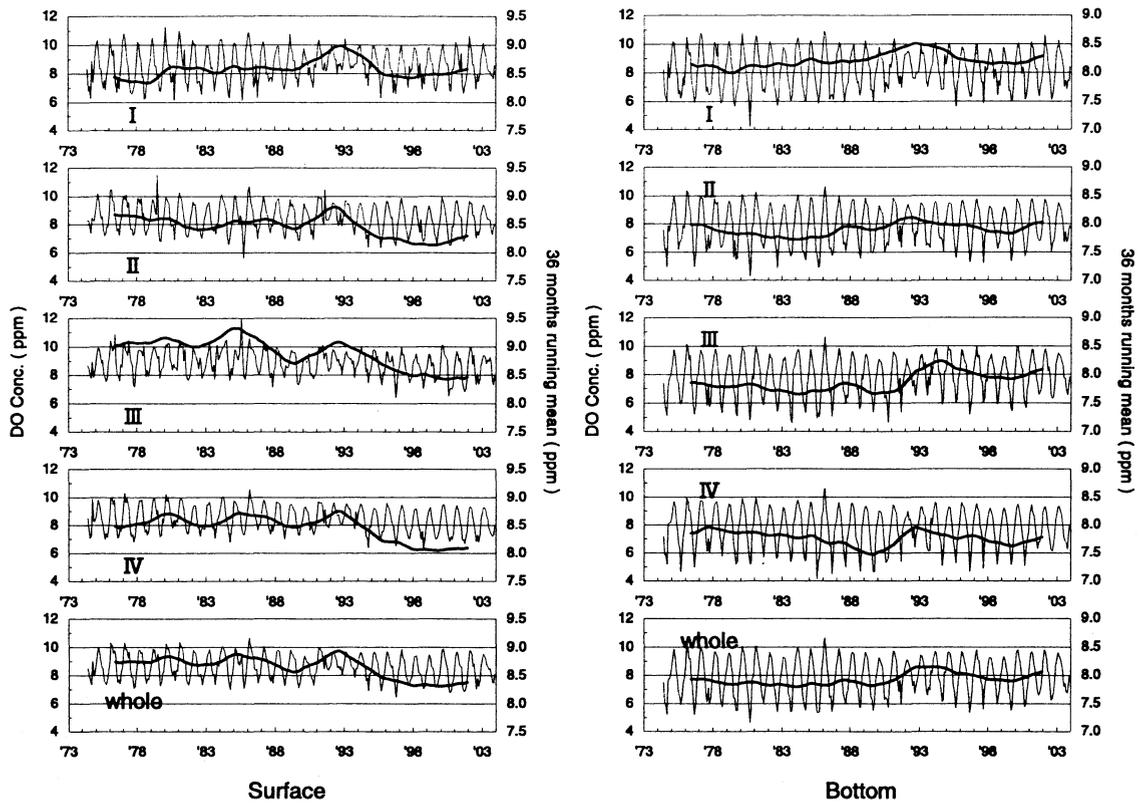


Fig. 5. Changes in dissolved oxygen concentration (DO Conc., ppm) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

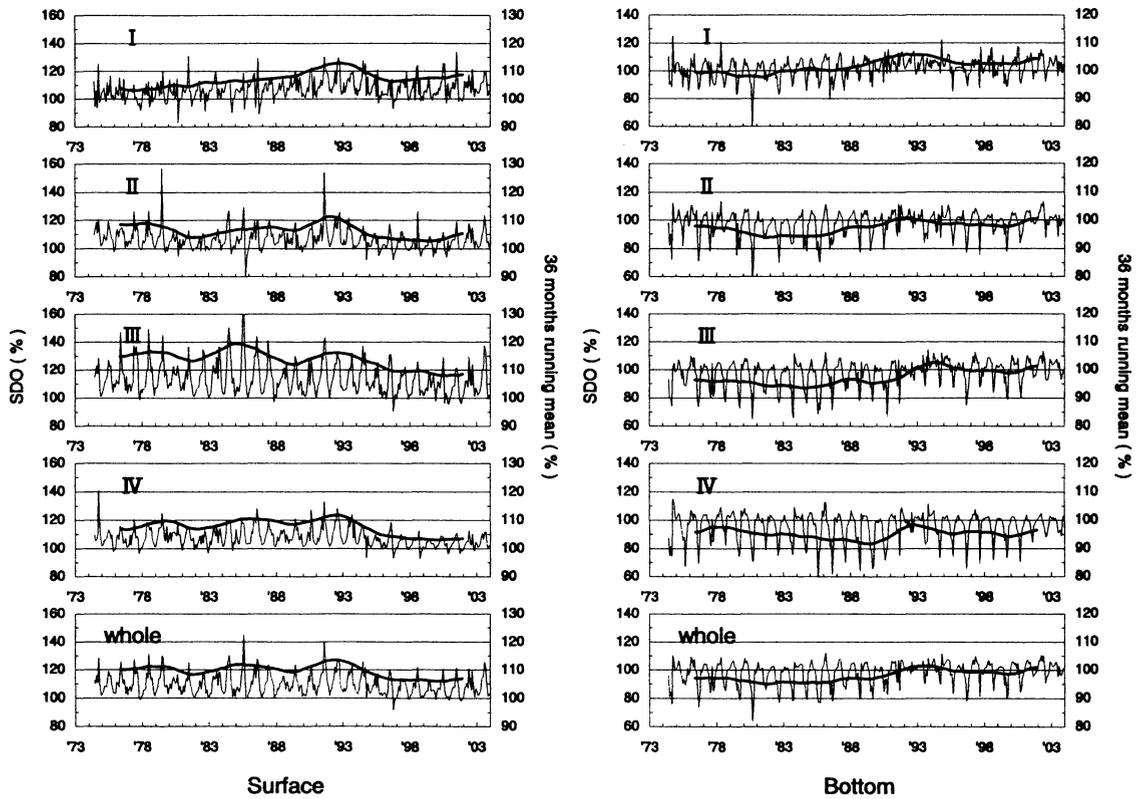


Fig.6. Changes in saturated dissolved oxygen (SDO, %) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

5. DIN

表層では、海域Ⅰ・Ⅱで $20\mu\text{mol/L}$ を超えるような極端に高い値を示すこともあった (Fig.7)。各海域とも数年周期の変動を繰り返しながら長期的に減少傾向であり、もともと高かった海域Ⅰ・Ⅱで減少傾向が最も顕著であった。また、2000年代に入ってから各海域間に大きな差は見られなくなった。

底層でも、全ての海域で数年周期の変動を繰り返しながら減少しており、特に海域Ⅱ～Ⅳでは減少傾向が顕著であった (Fig.7)。また、1990年代以降の減少が著しかった。

さらに、DINの推移を構成要素ごとに調べた結果は次のとおりであった。

(1) $\text{NH}_4\text{-N}$

表層では、減少傾向が次第に強くなっており、1990年代に入ってから減少が著しかった。30年間で沿岸では約6割、沖合では約4割減少した (Fig.8)。

底層では、表層と同じく1990年代に入ってから減少が著しかった。特に海域Ⅱ～Ⅳで顕著であり、30年間で7～8割減少した (Fig.8)。

(2) $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$

表層では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ のような明確な変動傾向は見られ

なかったが、海域Ⅲでは緩やかな増加傾向が見られた (Fig.9)。

底層では、各海域とも1986～1987年に減少傾向に転じ、その傾向は緩やかに推移した (Fig.9)。

6. $\text{PO}_4\text{-P}$

表層では、各海域とも減少傾向であったが、海域Ⅰ・Ⅱにおいては1980年代後半にそれまでの半分程度の値に急激に減少しており、30年間に約5～8割の減少、その他の海域でも約2割減少した (Fig.10)。

底層では、表層よりも減少傾向が顕著で、各海域とも1980年代後半～1990年代前半に急激に減少した (Fig.10)。30年間に海域Ⅰで約7割の減少、その他の海域でも4～5割減少した。

7. COD

表層・底層とも1980年頃から年間の較差が小さくなり減少傾向になったが、1987年頃から微増し、1990年代は横ばいで推移した (Fig.11)。30年間では緩やかな減少傾向であった。

8. クロロフィル-a

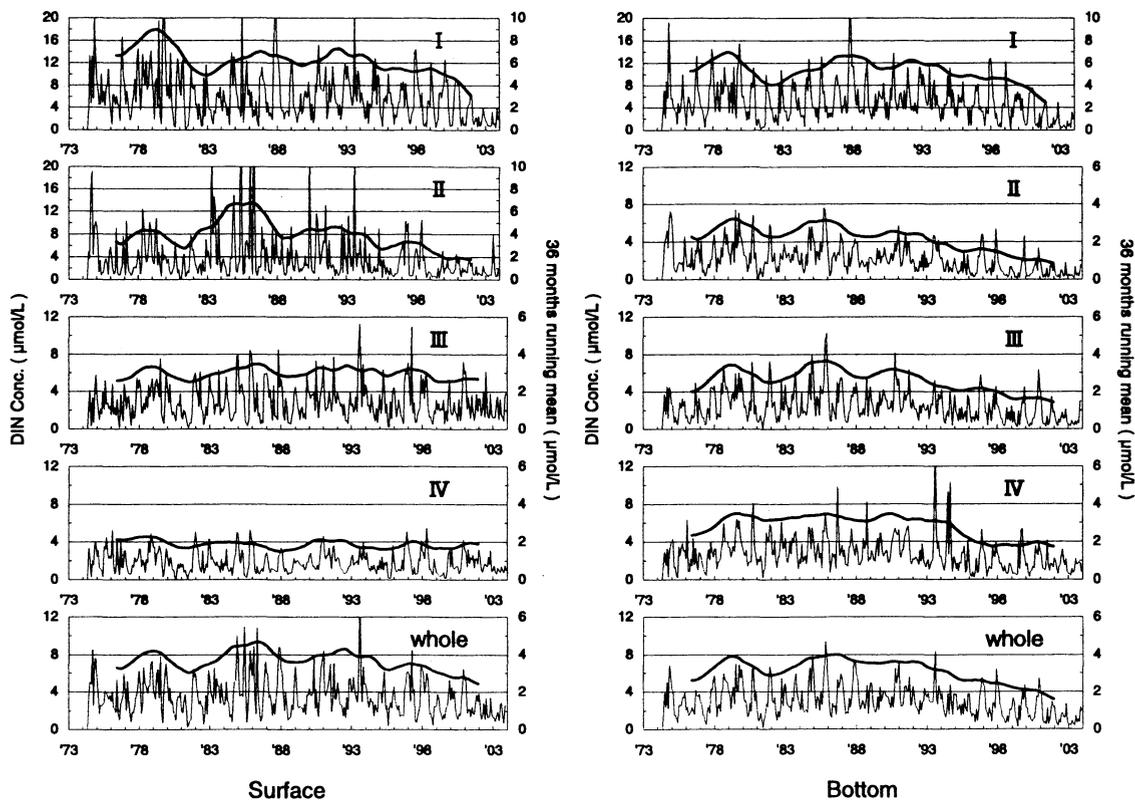


Fig.7. Changes in dissolved inorganic nitrogen concentration (DIN Conc., $\mu\text{mol/L}$) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

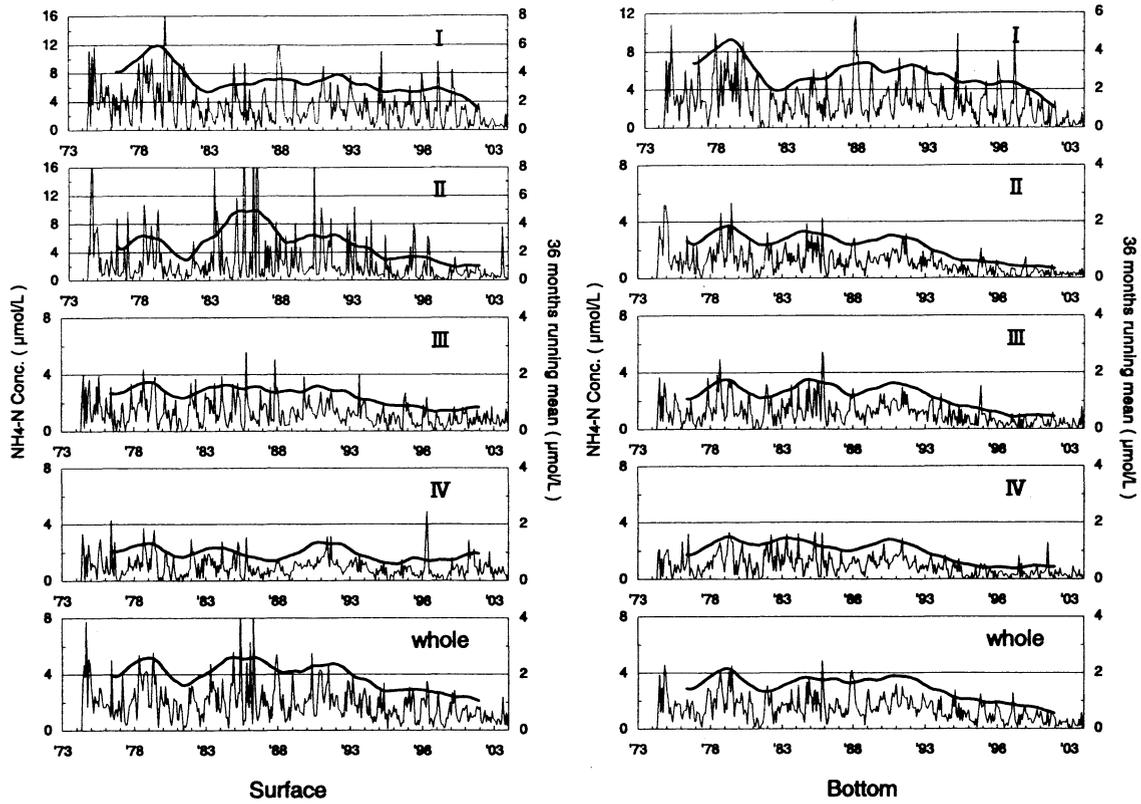


Fig.8. Changes in ammonia nitrogen concentration ($\text{NH}_4\text{-N Conc.}$, $\mu\text{mol/L}$) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

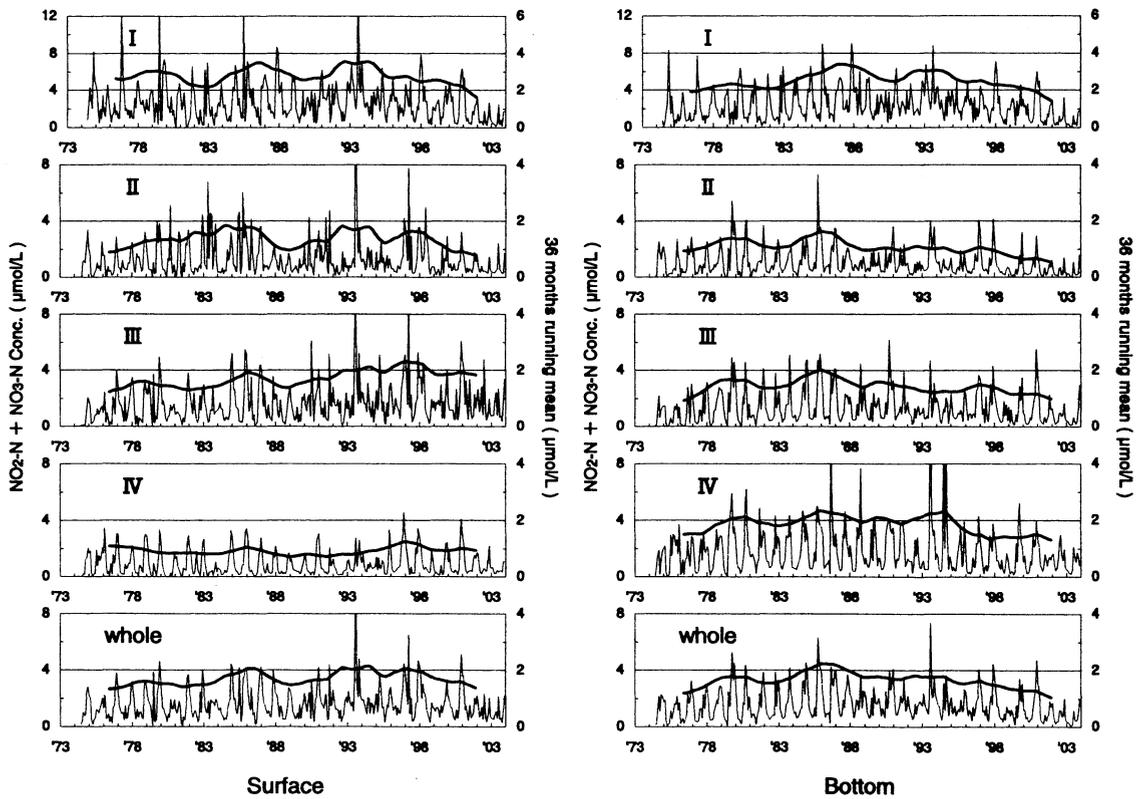


Fig.9. Changes in nitrite and nitrate nitrogen concentration ($\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N Conc.}$, $\mu\text{mol/L}$) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

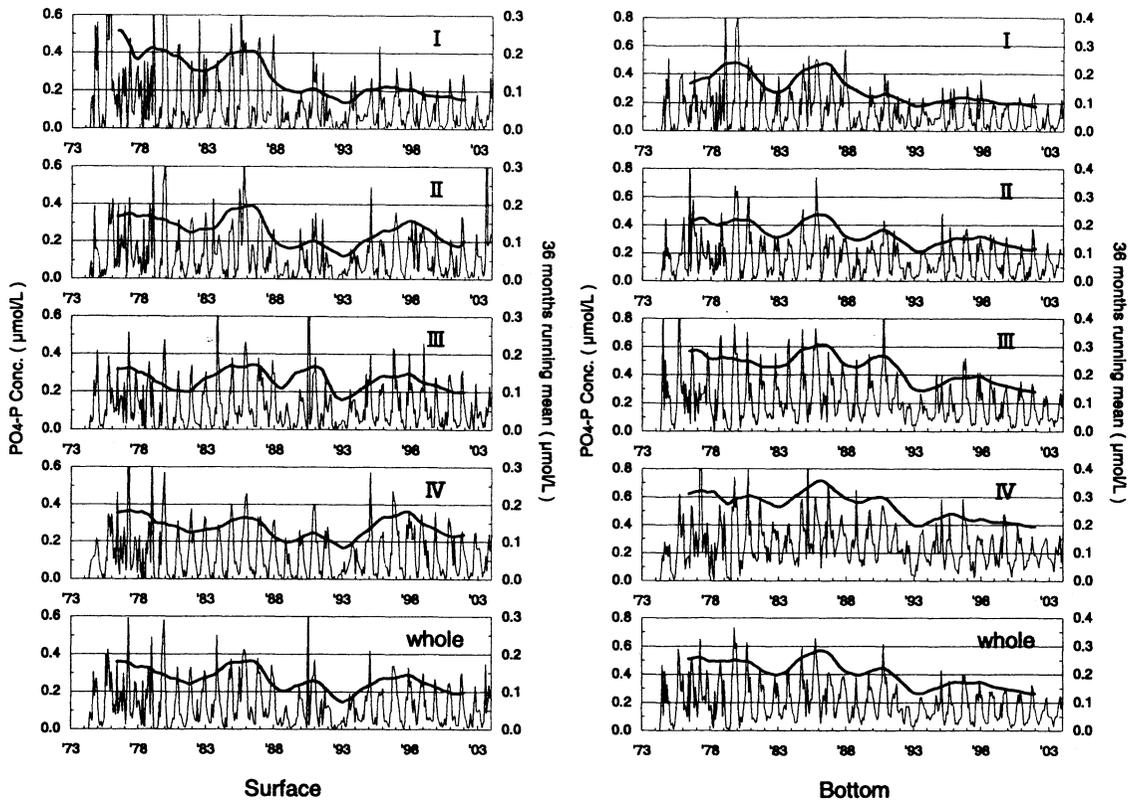


Fig.10. Changes in phosphate concentration ($PO_4\text{-P Conc.}, \mu\text{ mol/L}$) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

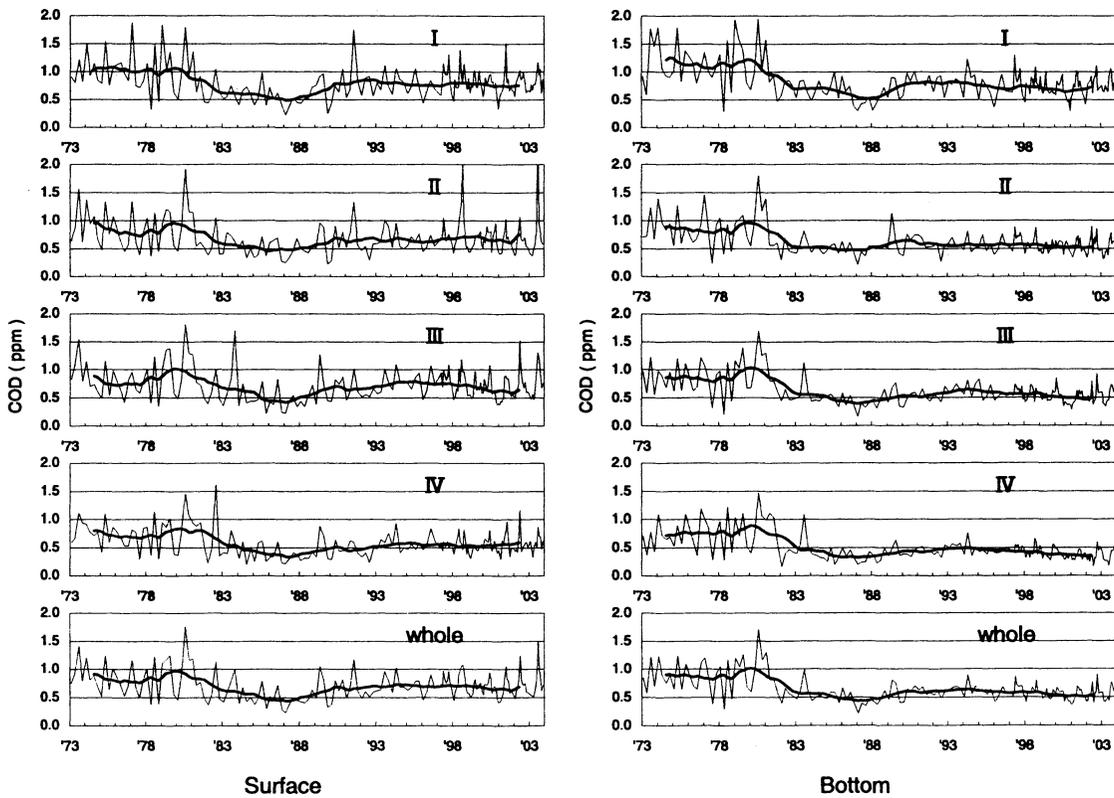


Fig.11. Changes in chemical oxygen demand (COD, ppm) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

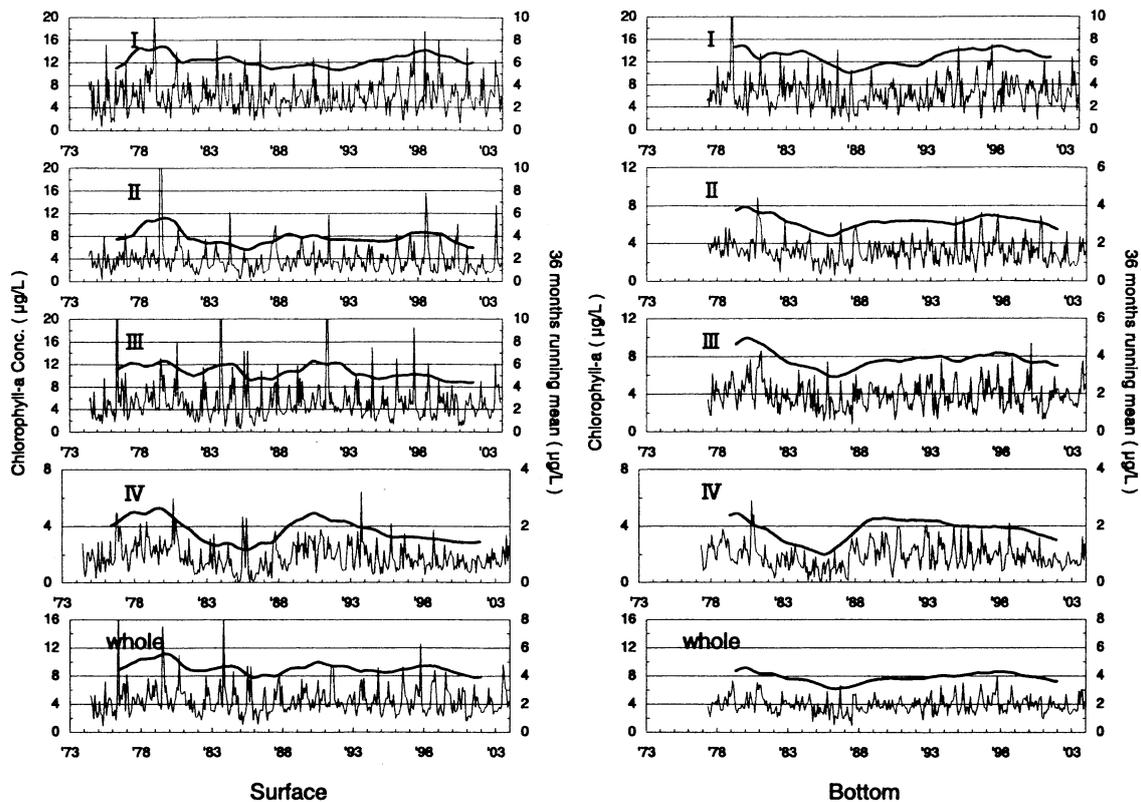


Fig.12. Changes in chlorophyll-a concentration ($\mu\text{g/L}$) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

表層では、海域によって変動傾向に若干の違いが見られたが、各海域とも減少傾向にあり、特に海域Ⅱ～Ⅳでは30年間に2～3割減少した (Fig.12)。

底層では、各海域の変動傾向が比較的良好に一致していた。すなわち、1980年代半ばに著しく減少し、その

後は1990年代後半まで増加した後、再度減少に転じた (Fig.12)。全体的には30年間でほぼ横ばいであった。

なお、以上の結果を踏まえて、各測定項目について、データ期間を大まかに前期、中期、後期の3つに分けた場合、海域全体としての変動傾向がどのように推移

Table 3. Tendency*1 of variations in each parameter at surface and bottom layers

Parameter	Surface layer				Bottom layer			
	Period				Period			
	'73~'82	'83~'92	'93~'03	whole	'73~'82	'83~'92	'93~'03	whole
Salinity	-	.	+
Transparency	-	+	.	.				
Dissolved Oxygen concentration	.	.	-	-	.	.	+	+
Saturated Dissolved Oxygen	.	.	-	-	.	+	.	+
DIN*2 conc. (NH ₄ -N*3 conc.)	.	-	-	-	.	-	-	-
(NO ₂ -N+NO ₃ -N*4 conc.)	+	-	-	.
PO ₄ -P*5 conc.	-	-	-	-	-	-	-	-
COD*6	-	.	.	-	-	.	.	-
Chlorophyll-a conc.	-	+	-	-	-	+	.	.
Water Temperature ⁵⁾	-	+	+	+	-	+	+	+

*1 tendency to increase (+), to decrease (-) and to level off (•).

*2 dissolved inorganic nitrogen. *3 ammonia nitrogen. *4 nitrite and nitrate nitrogen. *5 phosphate. *6 chemical oxygen demand.

してきたかをTable 3にまとめた。

考 察

塩分は、沖合域（海域Ⅳ）でも非常に低下することがあった。周防灘は半閉鎖的な海域であるため⁹⁾、負荷された淡水が塩分に与える影響が比較的大きいと予想される。そこで、下関市（Fig.2）の年降水量を気象庁のWEBサイト「電子閲覧室」からダウンロードし、海域全体の塩分の年平均値（表層及び底層の平均）と比較すると、両者の間には有意な負の相関（ $r=-0.637$,

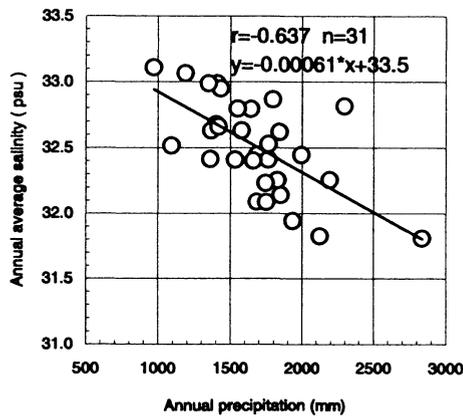


Fig.13. Relationship between annual precipitation (mm) in Shimonoseki (Fig.1) and annual average salinity (psu) of both layers (surface and bottom) in the Suo-Nada Region.

1%水準で有意)が見られた (Fig.13)。

透明度は海域によって横ばいまたは緩やかな上昇傾向であった。透明度に影響を与える要因の1つとしてプランクトンの現存量が考えられる⁹⁾。そこで、透

明度が最も高くなる3月及び最も低くなる10月において、表層のクロロフィル-aとの関連 (Fig.14) を求めると、両者の間には有意な負の相関 ($r=-0.787\sim-0.654$, 1%水準で有意)が見られた。近年における表層のクロロフィル-aの漸減傾向がまだ続くとするれば、透明度はさらに高くなることも予想される。

水産用水基準¹⁵⁾においては、底生生物に悪影響を及ぼす底層の溶存酸素量は4.3ppm (3.0mL/L) 以下とされている。そこで、各海域ごとにこれに該当する値を検索したところ、1988年以前は海域Ⅱ～Ⅳを中心にのべ56定点もあったのに対し、1989年以降はのべ17定点であり、3分の1以下に減少した (Table 4)。また、大阪湾¹⁶⁾では貧酸素水塊が長期的に解消の方向にあることが報告されており、周防灘においても汚濁負荷量の削減努力が底層の環境改善に結びついている可能性が高いと思われる。

一方、栄養塩はほぼ横ばいで推移している場合もあるが、大半の場合は減少傾向にあった。最近、漁業関係者から「昔と比べ海が変わった」という話を耳にす

Table 4. Number of stations observed low dissolved oxygen concentration (bellow 4.3ppm) at the bottom layers

Year	Zone				
	I	II	III	IV	whole
1975~1988	2	10	29	15	56
(minimum)	(3.70)	(3.44)	(1.81)	(2.85)	(1.81)
1989~2002	0	1	9	7	17
(minimum)	(-)	(4.23)	(2.13)	(3.71)	(2.31)

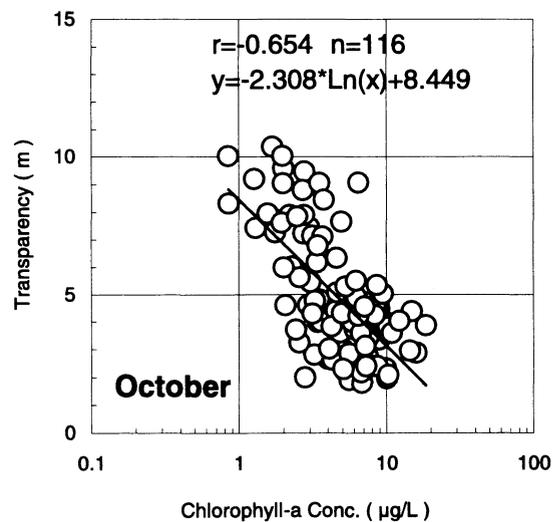
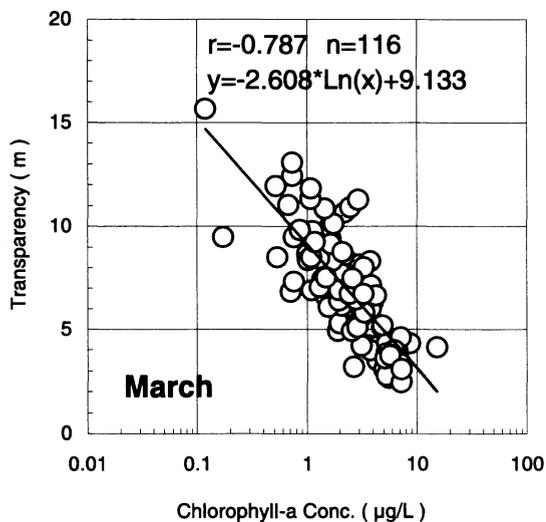


Fig.14. Relationships between chlorophyll-a concentration ($\mu\text{g/L}$) and transparency (m) in March (left) and October (right).

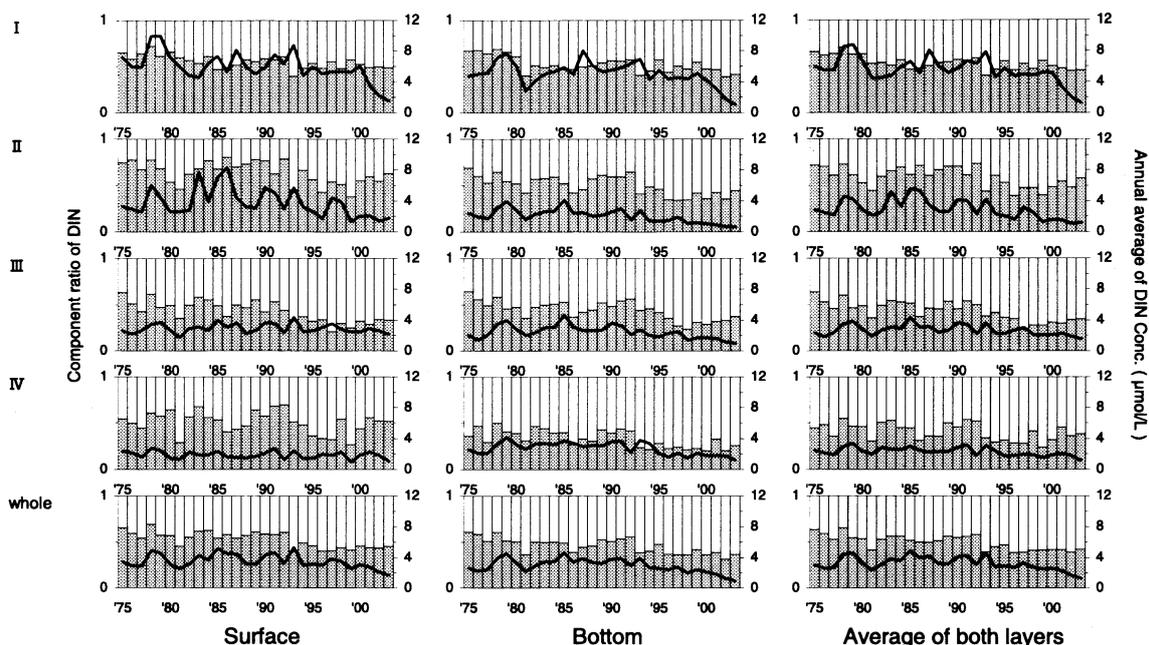


Fig.15. Changes in component ratios of DIN and annual averages of DIN concentration (μ mol/L) at each zone. gray-columns, $\text{NH}_4\text{-N}$; white-columns, $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$; thick lines, annual averages of DIN concentration.

ることがある。基礎生産に直結する栄養塩の変化は、海洋環境や生態系のバランスに変調をきたす一因となる可能性があることから、瀬戸内海の水産業にとってどの程度の栄養塩レベルが適切であるのかについては、今後詳しく議論する必要がある。

また、DINの構成要素 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$: Fig.15) に注目すると、DIN自体の減少傾向に加えて、期間の初めには概ね半分以上を占めていた $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が徐々に低下していた。この一因として下水道の整備等による陸域からの供給量の減少が考えられ、山口県の場合、下水道普及率は全国的に低いほうであるが、それでも1973年度末には約10%であった普及率が、2003年度末には約50%にまで伸びており（山口県都市計画課ホームページよりデータ参照）、今後も $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少傾向が続くものと思われる。

一方、 $\text{PO}_4\text{-P}$ については底泥からの溶出も重要な供給源とされ、低酸素条件下でその溶出が促進される¹⁷⁾ことから、溶存酸素量が比較的低い夏季（7～9月）において、底層の溶存酸素量と $\text{PO}_4\text{-P}$ との関連を調べた (Fig.16)。その結果、両者間には有意な負の相関 ($r=-0.618$, 1%水準で有意) が認められ、これは30年間の底層の溶存酸素量が緩やかな増加傾向にあり、リンが減少傾向であることと一致する。

CODは1980年代初めに大きく減少しているが、この時期はちょうど瀬戸内海環境保全特別措置法によ

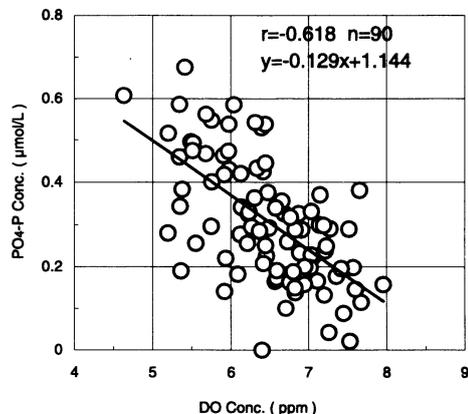


Fig.16. Relationship between dissolved oxygen concentration (DO Conc., ppm) and phosphate concentration ($\text{PO}_4\text{-P}$, μ mol/L) at the bottom layers during summer (from July to September).

る総量規制が始まった直後にあたる。両者の因果関係は今回のデータだけでは説明できなかったが、CODが短い期間内に0.5ppm近くも減少し、その状態がしばらく継続している状況から見ても、総量規制に伴うCODの減少があったと考えられる。

クロロフィル-aは、1980年代前半に大きく落ち込んだ。一方、この数年後、アサリの漁獲量¹⁻⁴⁾が大きく減少していることから、両者の関連性を検討してみたが、クロロフィル-aだけではアサリ漁獲量の変化をうまく説明するまでには至らなかった。

以上、約30年間における山口県周防灘海域の水質環

境の変化について述べた。一言で言えば「海はきれいになってきている」ということであろうが、水産業の立場から見れば「海はきれいになりすぎている」ということかもしれない。

いずれにしても、30年間という期間は、地球温暖化などスケールの大きな現象の解明のためには1つの通過点にすぎず、今後もモニタリングを継続していかねばならないことは言うまでもない。また、それと併せて、環境データと生物データとをリンクさせて考え、環境の変化が生物に与えてきた影響を評価し、今後の施策につなげることも急務である。

要 約

山口県の周防灘海域で30年以上継続されてきた浅海定線調査のデータ(1973~2003年調査分の水温⁵⁾以外の項目)を取りまとめ、最近30年間で水質は改善しつつあることが判った。

塩分は海域Ⅳ>Ⅲ>Ⅱ>Ⅰという傾向で推移し、降水量との間に有意な負の相関が見られた。透明度は海域Ⅳ>Ⅲ≒Ⅱ>Ⅰという傾向で推移し、長期的にはほぼ横ばいか緩やかな上昇傾向であった。溶存酸素量は表層では減少傾向、底層ではほぼ横ばいか緩やかな増加傾向にあった。

栄養塩は減少傾向であった。DINは数年周期の小変動を繰り返しながら減少傾向であり、中でもNH₄-Nの減少が大きかった。PO₄-Pも減少傾向が著しかった。

CODは1980年代初めに減少し、期間全体では緩やかな減少傾向で推移した。クロロフィル-aは1980年代前半に大きく減少し、期間全体ではほぼ横ばいまたは減少傾向で推移した。

水質は向上しつつある反面、この海域の水産業にとってどのような状態が最適な環境なのかについては、今後さらなる議論を要する。

引用文献

- 1) 水産庁瀬戸内海区水産研究所(2001): 瀬戸内海の漁獲量(1952~1999年の灘別魚種別漁獲統計), 178pp.
- 2) 中国四国農政局統計情報部(2001): 瀬戸内海区及び太平洋南区における漁業動向(2000年), pp. 104-105.
- 3) 中国四国農政局統計情報部(2002): 瀬戸内海区

- 及び太平洋南区における漁業動向(2001年), pp. 110-111.
- 4) 中国四国農政局統計情報部(2003): 瀬戸内海区及び太平洋南区における漁業動向(2002年), pp. 110-111.
- 5) 和西昭仁(2004): 山口県周防灘海域における最近30年間の水温変動. 山口県水産研究センター研究報告, 2, 1-6.
- 6) 和西昭仁(2004): 海の生き物の異変に学ぶこと~水温の長期変動の巻~. 山口県水産研究センター内海研究部だより「ないかい」, 14, 1-2.
- 7) 田村勇司(2003): 伊予灘・別府湾の水温等の長期変動. AQUA NEWS, 17, 4.
- 8) 樽谷賢治(2003): 沿岸・内湾域における近年の水温上昇について. 瀬戸内水研ニュース, 10, 11-12.
- 9) 岡市友利・小森星児・中西弘編(1997): 瀬戸内海の生物資源と環境-その将来のために-. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 1-40.
- 10) 気象庁編(1990): 海洋観測指針. 日本気象協会, 東京, 428pp.
- 11) 日本海洋学会編(1979): 海洋環境調査法. 恒星社厚生閣, 東京, 666pp.
- 12) 日本水産資源保護協会編(1980): 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, 552pp.
- 13) Jeffrey, S. W. and G. F. Humphrey (1975): New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c, and c in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochimie Physiologie Pflanzen*, 167, 374-384.
- 14) 神戸海洋気象台海洋課(1985): 周防灘の海況-1982~1983年特殊観測結果-. 神戸海洋気象台彙報, 204, 23-37.
- 15) 日本水産資源保護協会(2000): 水産用水基準(2000年版), 96pp.
- 16) 藤原建紀・岸本綾夫・中嶋昌紀(2004): 大阪湾の貧酸素水塊の短期的及び長期的変動. 海岸工学論文集, 51, 931-935.
- 17) 日本海洋学会海洋環境問題委員会(2002): 有明海環境悪化機構究明と環境回復のための提言2. 海の研究, 11, 631-636.