

豊前海における水質とプランクトン相の変化

片山 幸恵・江崎 恭志・長本 篤
(豊前海研究所)

Change of the water quality and plankton phase in the Buzen sea

Sachie KATAYAMA, Yasusi ESAKI and Atsusi NAGAMOTO
(Buzenkai Laboratory)

豊前海の属する瀬戸内海においては1973年に瀬戸内海環境保全臨時措置法(後に、特別措置法)が制定され、栄養塩的には負荷が制限され、当時に比べかなり改善されている。¹⁾ 豊前海においても同様であり、過去の研究²⁾によると豊前海は1950年代には富栄養域と区分されていたにもかかわらず、現在は赤潮の発生件数の減少が顕著である。しかし現在の豊前海が以前とどの様に変化したかを水質環境及びプランクトン相について細かく検討をした研究は少ない。生態環境の指標となる水質やプランクトン相の変化は貝類や甲殻類の生長、分布に大きな影響を及ぼす。これらの魚種に依存度の高い豊前海においてはこの研究は漁獲変動の原因を解明する一つの要因として重要である。解析は毎月1回実施している浅海定線調査結果と'80~'82年の3ヶ年について実施されたプランクトン調査の報告³⁾を元に、本研究では過去の調査と同様の手法を用いて2000年3月~'01年2月の1年間において調査を実施し、豊前海における漁場環境の変化とその変動要因について検討したので報告する。

方 法

1. 水質調査

1980年1月から'82年12月までと'98年3月から2001年2月までの3ヶ年分の水質測定データを用いて解析した。調査は、毎月1回12点(図1)で行い、0, 5, 10, 15 mの所定層について水温、塩分、栄養塩類(DIN, PO₄-P)及びクロロフィルaを測定した。解析は、測定した項目毎について毎月の測定された各調査点の所定層の値を深さ方向に加重平均し、その値をその調査点での平均値とした。また結果には全調査点の平均値を平均して整理した。

2. プランクトン調査

本調査の解析には1980年1月から'82年12月までと2000年3月から'01年2月のデータを用いた。調査は水質調査と同様の調査定点で実施した。プランクトンは、海底鉛直1m上から北原式プランクトンネットを用いて採集し、船上でホルマリン固定した後、研究室に持ち帰り検鏡を行った。検鏡では出現したプランクトンのうち優占種について調べた。優占種の定量方法としてCR法に準じて行ったが、CR法では定量的概念に乏しいため、一定量のサンプル中に出現する主な種類について概略計数した後に下記の基準により判定した。結果ではCC及びCについてを優占種として整理した。

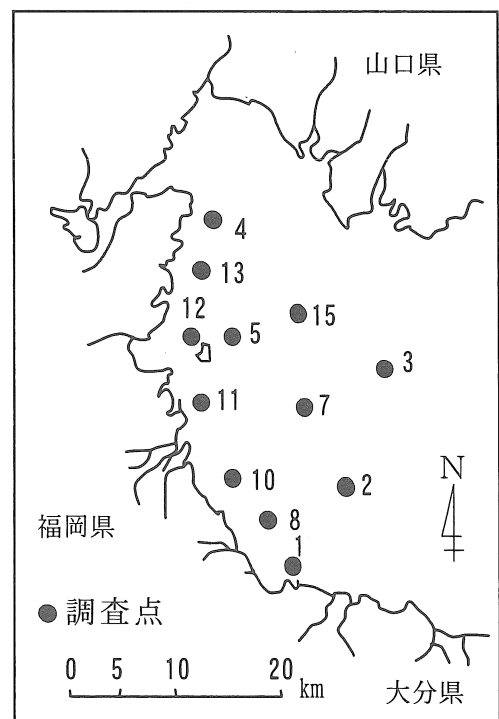


図1 調査定点

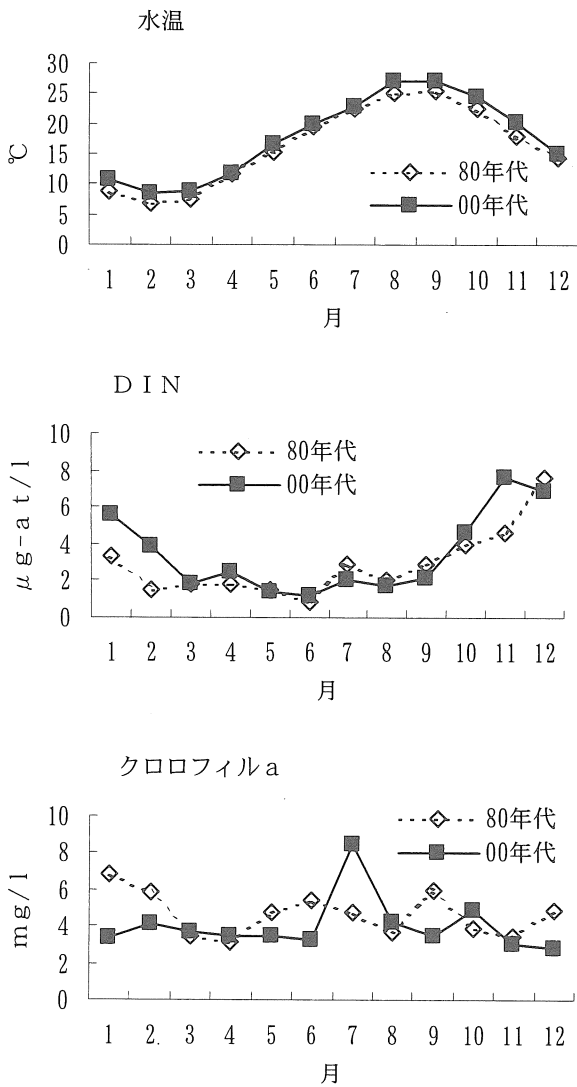


図2-1 年代別月別全点全層平均値
(水温・DIN・クロロフィル-a)

(CR法判定基準)

- 45%以上 : CC 非常に多い
- 30~45% : C 多い
- 15~30% : + 普通

結 果

1.水質調査

(1) 年代別比較

水質の比較については前述の1980年1月から'82年12月までの3ヶ年平均値を'80年代、同様に'98年3月から2001年2月までの3ヶ年平均値を'00年代として整理した。各項目の年代別全点全層平均値の月別推移を図2に示す。

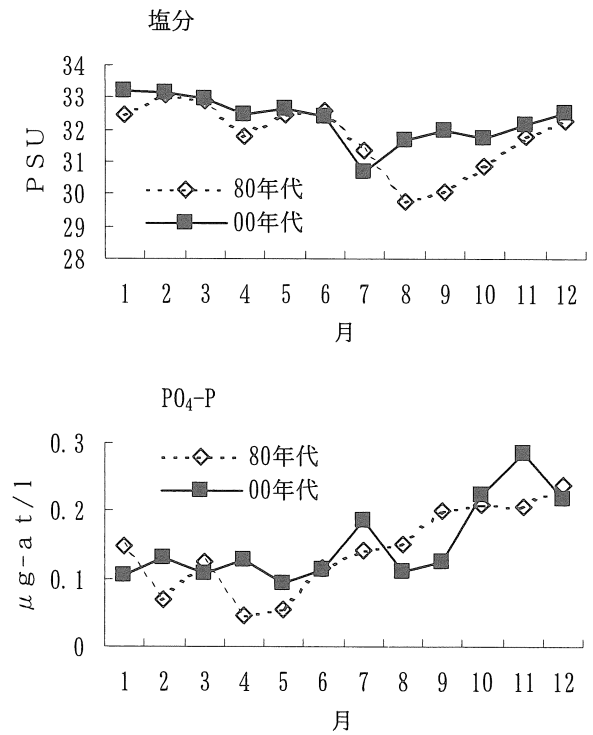


図2-2 年代別月別全点全層平均値
(塩分・PO4-P)

水温は'80年代に比べ、'00年代では全ての月で高く、特に8~3月については0.7~2.3℃の上昇を示し、年間の最低水温は、6.9℃から8.3℃へ上昇し、最高水温についても25.5℃から27.0℃へと上昇していた。

塩分は'80年代で8~10月にかけて塩分が大きく低下しているのに対して、'00年代では7月には30.7まで低下したものの、その後は31.5以上の値を示していた。このことから月毎の変化が少なくなっていることが認められた。

DIN濃度は'80年代に比べ'00年代では1年間の平均値で見ると約1.2倍に増加していた。特に1及び2月、10及び11月に0.7~3.0 $\mu\text{g-at/l}$ 高くなっており、低水温期に高く、高水温期には低いという傾向がより強くなっていた。

PO4-P濃度は'80年代では濃度が1~5月にかけて低下し、その後6~12月にかけて上昇する傾向があったが、'00年代では1~9月まで7月を除いて0.09~0.13 $\mu\text{g-at/l}$ とほとんど変化がみられなかった。また、10~12月にかけては濃度は0.2~0.3 $\mu\text{g-at/l}$ の範囲にあり、'80年代に比べ上回っていることが分かった。1年間の平均値ではほとんど変化はみられなかった。

クロロフィルaは'80年代では3及び4月、10及び11月

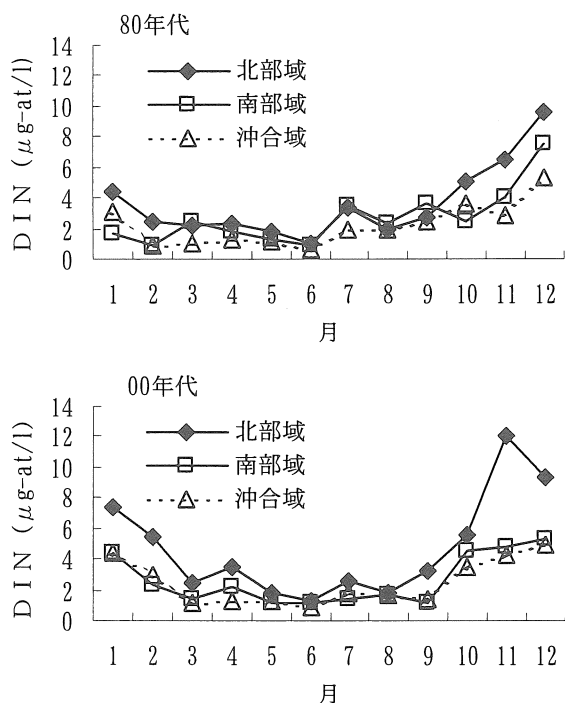


図3 月別地域別平均DIN濃度

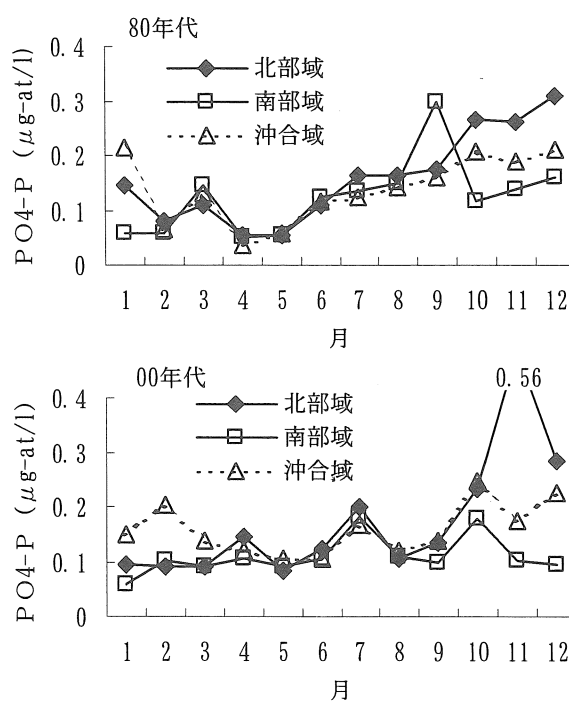


図4 月別地域別平均PO₄-P濃度

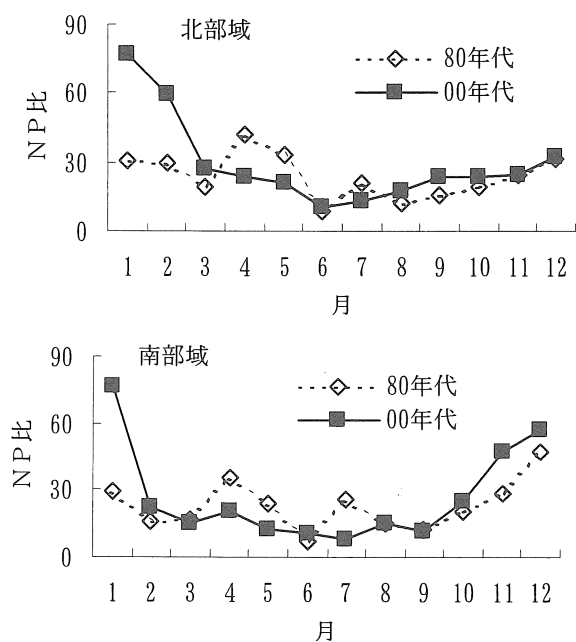


図5-1 月別年代別N:P比

の水温の上昇及び下降期に低く、そのほかは高い値であったが、'00年代では7月を除き3~5mg/lの範囲にあり、季節変動がみられなかった。また、1年間の平均値で見ると'80年代に比べ約0.7mg/l減少し、豊前海全体の一次生産量の低下が認められた。

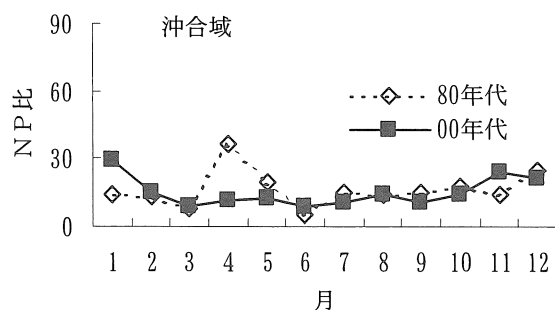


図5-2 月別年代別N:P比

(2) 地域別比較

栄養塩類、クロロフィルaについては地域毎の差が大きいこともあるため、過去の地域区分⁴⁾を参考にして地域毎の比較を図3、4に、またプランクトンの増殖に影響を及ぼすN:P比について整理したものを図5-1~3に示した。

DIN濃度は'80、'00年代ともに北部域で高く、沖合域で低い傾向を示した。特に'00年代では低水温期に北部及び南部域で'80年代に比べ約3~6μg-at/l高い値を示した。

PO₄-P濃度は'80年代では4月から12月にかけて濃度が増加する傾向にあったが、'00年代では'80年代にあった増加傾向は見られず、北部及び沖合域で10月以降の低水温期のみ増加がみられた。

表1 調査年別出現した優占種

属名	種類名	調査年			
		'80	'81	'82	'00
珪藻類 (15種)	● <i>Skeletonema costatum</i>	○	○	○	○
	● <i>Stephanopyxis palmeriana</i>				○
	● <i>Leptocylindrus danicus</i>	○	○	○	
	● <i>Guinardia flaccida</i>				○
	<i>Thalassiosira mala</i>				○
	● <i>Coscinodiscus spp.</i>	○	○	○	○
	● <i>Rhizosolenia spp.</i>	○	○	○	
	● <i>Chaetoceros spp.</i>	○	○	○	○
	● <i>Cerataulina pelagica</i>		○		
	<i>Bellerophon horologicalis</i>				○
	● <i>Eucampia zodiacus</i>	○		○	○
	● <i>Asterionella glacialis</i>	○	○	○	
	<i>Thalassiosira nitzschii</i>				○
	<i>Thalassiosira fluviatilis</i>				○
	● <i>Nitzschia pungens</i>	○	○	○	○
渦鞭毛藻類	● <i>Noctiluca scintillans</i>	○	○	○	○
	● <i>Ceratium spp.</i>	○	○	○	○
放散虫類	<i>Sticholamne sp.</i>	○	○	○	○
かいあし類	<i>Copepoda nauplius</i>		○		○
合計		13	14	14	14

●は富栄養化指標種

○は'80年代も'00年も両方優占した種

これらを地域別のNP比でみると、'80年代に比べ高水温期では低く、低水温期では高くなっていた。また、沖合域では大きな変化はみられなかったが、北部及び南部域では1, 2月の低水温期に'80年代に比べ'00年代で約30~45高くなっており、南部域では10月以降で約10~15高くなっていた。

2. プランクトン調査

優占種として出現したプランクトン種類を表1に示した。プランクトンについては'80年1月から'82年12月までの3ヶ年の結果を栄養塩同様に'80年代として整理し、2000年3月から'01年2月までの1ヶ年を'00年代として整理した。'80年代及び'00年の結果から豊前海において優先的に発生するプランクトンは、珪藻類15種、渦鞭毛藻類2種、放散虫類及びかいあし類がそれぞれ1種ずつの合計19種であった。'80年代及び'00年代で優占種として年間に発生したプランクトンの種類数はいずれも13~14種でほとんど差がみられなかった。そのうち、'80年代で連続して優占種として発生し、'00年代でも発生したプランクトンは表1に示す *Skeletonema costatum* を含む珪藻類6種と、渦鞭毛藻類では *Noctiluca scintillans* を含む2種及び放散虫類では *Sticholamne sp.* 1種であった。しかもこの種類すべてが富栄養化の指標種²⁾ となっているものであった。月別

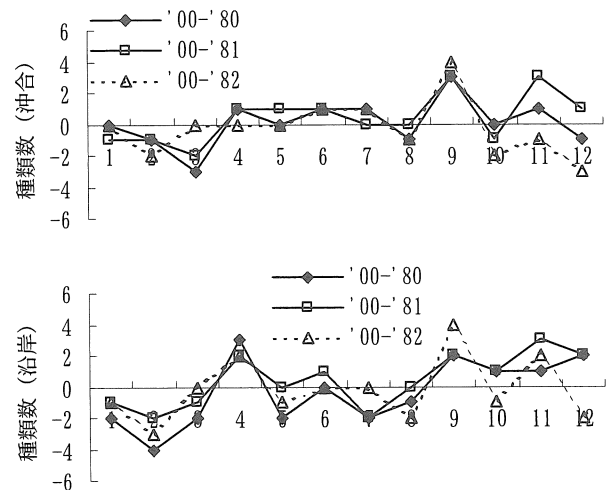


図6 地域別優占種類数の'80年代と'00年の差

優占種の変動をみると夏場で少ない傾向が見られた。内訳をみると珪藻類では6~8月にかけて少なく、この期間に *Coscinodiscus spp.* のみが連続して発生していた。渦鞭毛藻類では'80年代では6~7月を除いて3~11月に優占種として発生しやすい傾向にあったが、'00年代ではその期間が狭まって9月までの発生となった。

Skeletonema costatum は低濃度ではあるが年間を通じて出現が認められ、特に9~12月の秋から初冬にかけて高頻度で出現がみられた。大型の *Coscinodiscus spp.* 及び *Thalassiosira fluviatilis* は冬季に多く出現がみられた。 *Chaetoceros spp.* は周年高い優占度で出現した。

一方、優占範囲から整理してみると、全域におよぶ優占種は、'80年代の3ヶ年いずれも8~9種であったものが'00年代は5種に減少していた。また、'80年代と'00年代の調査で出現がなくなったものと、新しく出現した種類がみられた。どちらも珪藻類において種が交代しており、特に *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia spp.* 及び *Asterionella glacialis* は'80年代は優占種として3ヶ年ともに出現していたが、'00年代は優占種とはならなかった。その代わりに優占種となったプランクトンは1種減少し *Stephanopyxis palmeriana*, *Guinardia flaccida* 及び *Bellerophon horologicalis* の3種であった。

また、地域別に検討するため、水質の調査に準じて海域区分をした。北部及び南部域を沿岸域とし、沖合域と区分した。海区毎に優占種として出現したプランクトンの種類数について'00年代と'80年代について比較したものを図6に示した。'00年代の調査では1~3月で出現種数の減少がみられ、9~12月には増加している。特に

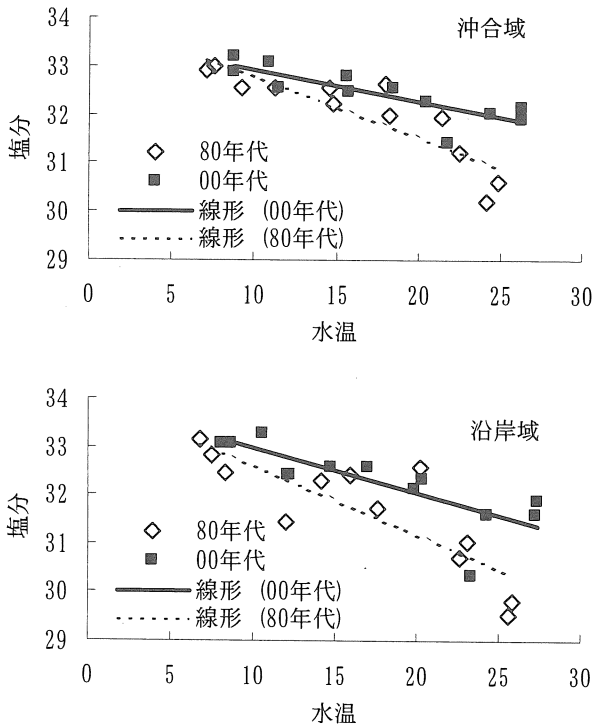


図7 水温及び塩分の関係

沖合域と比較して沿岸域についてが顕著である。

表2 沿岸域における種類別出現回数

年	種 類		
	<i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Thinitzschites</i> , <i>T. h. fluenterdii</i>	<i>Coscinodiscus</i> spp.
1980	7	6	4
1981	4	0	7
1982	9	3	9
2000	15	8	1

考 察

水質調査結果から水温、塩分をみると(図7)、80年代に比べ、夏季において高水温、高塩分で推移していることがわかった。特に沖合域に比べ、沿岸域で大きく変化していた。また栄養塩類について4~9月までと10~3月までの平均値を求め、季節比をみたところ図8に示すとおり窒素では'00年代で大きくなっており、特に南部で約2倍になっていた。リンについてはあまり変化が見られず、栄養塩類の季節変動は窒素による変化に依存していることがわかった。NP比では沿岸域において顕著に増加していた。その増加からプランクトン相へ大きな影響について検討した。過去の研究^{5~10)}からNP比の変化は特定のプランクトンについて増殖量を変化させることがわかっている。今回の調査からも低水温期にNP

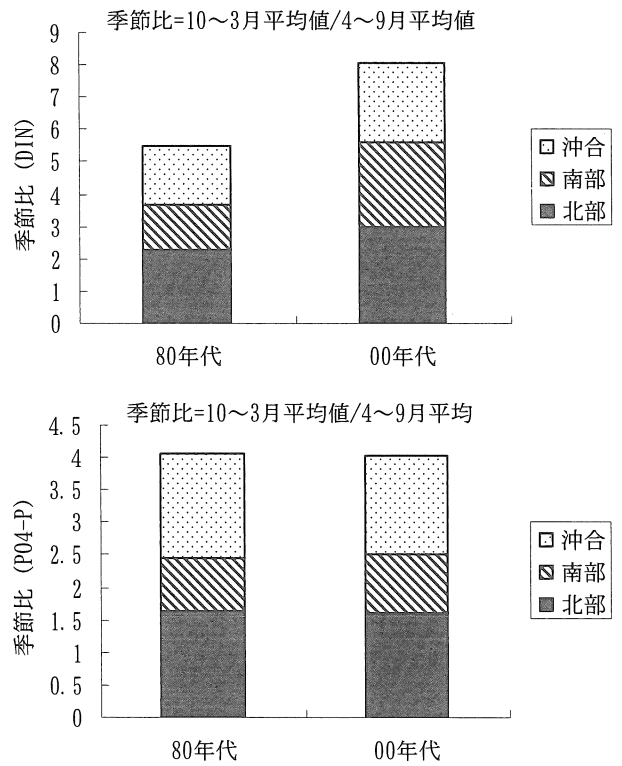


図8 季節別地域別の栄養塩濃度比

比が増大した沿岸域では、*Chaetoceros*属が優占種を形成する範囲が広がり、また出現期間も長くなっていた。小型珪藻の*Chaetoceros*属はNP比の増大により増殖することが推察された。これは過去の知見にも見られた。¹¹⁾ また、*Thalassiosira*属の2属についても出現件数が増加していた。他に、大型珪藻である*Coscinodiscus* spp.については'80年代では冬季に広範囲に出現していたのが、'00年では出現範囲が狭まり、出現期間も減少した。大型珪藻が優占しなくなったことにより、クロロフィルa濃度が減少したことにも影響していると考えられる。このように豊前海においてもNP比の変化によるプランクトン相の変化が確認された。

また、リン濃度は洗剤の改良や排水規制等により近年押さえられているが、今年から総量削減基本方針の策定による窒素やリンの総量規制基準の設置予定である。このことがNP比に大きく影響すると想像される。過去の研究では富栄養化期間からリン濃度の規制によりNP比の増大への影響は詳しく研究されているが、今後はNP比が小さくなることが予想されるため、水質調査及びプランクトン相の変動を観察し、このような海域の基礎生産の変化などの影響が漁業生産へどのように関与するかを調査する必要がある。

要 約

- 1) 水温が'80年代より0.7~2.3℃上昇し、最低水温が1.4℃上昇して8.3℃となり、最高水温が1.5℃上昇して27.0℃と高くなった。
- 2) 塩分濃度の季節変動が乏しくなった。
- 3) DIN濃度では10~2月の低水温期に高く傾向が強くなった。地域別では北部域が高くなっていた。
- 4) PO₄-P濃度では'80年代では1~5月にかけて低下しその後12月にかけて上昇する傾向であったが、'00年代では1~9月までの濃度変化が乏しくなった。10月以降は上昇傾向であった。地域別にみると、'80年代に比べ北部で上昇した。
- 5) これら栄養塩類濃度の変化によるN:P比の増加がみられた。
- 6) クロロフィルa濃度では'80年代に比べ季節変動が乏しくなった。年平均値では約0.7mg/l減少した。
- 7) プランクトン相については出現した優占種類数は変わらなかったが、珪藻類の出現種類の交代と広範囲に及ぶ優占種の出現種類の減少があった。
- 8) '80年代及び'00年ともに出現した優占種は富栄養化の指標種であった。
- 9) 渦鞭毛藻類では優占種として出現する期間が減少した。
- 10) N:P比が高い1~3月に優占種類数が減少し、9~12月に増加した。この傾向は特に沿岸域で顕著であった。
- 11) N:P比の増加に伴い、*Chaetoceros*属、*Thalassiosinema*属の2属が優占件数を増加させた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり有益なご意見を頂くとともに、本稿をまとめるご指導を頂いた前豊前海研究所環境課長寺田和夫氏に深く感謝します。

文 献

- 1) 岡市友利：瀬戸内海の生物資源と環境，第1版，恒

- 星社厚生閣，東京，1996，pp30-40
- 2) 山田真知子・徳崎健史：水域別の水生生物に及ぼすN:P比の影響，洞海湾・響灘，「水域の窒素：リン比と水産生物」（吉田陽一編），恒星社厚生閣，1993，pp96-106
- 3) 寺田和夫・神菌真人：豊前海のプランクトン相について出現種とその分布，福岡県豊前水産試験場研究業務報告書，172-210（1982）
- 4) 片山幸恵・神菌真人：豊前海における基礎生産力，福岡県水産海洋技術センター研究報告，第10号，91-94（2000）
- 5) 船越真樹：農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究，東海区水産研究所・南西海区水産研究所・水産大学校，1973，pp131-135
- 6) 山路勇・宇野悦夫・増田親・筒井久吉・原田彰：農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究，東海区水産研究所・南西海区水産研究所・水産大学校，1974，pp177-182
- 7) 山路勇・佐治恒夫・宇野悦夫・島田道子・増田親・筒井久吉・原田彰・山本文夫：農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究，東海区水産研究所・南西海区水産研究所・水産大学校，1976，pp170-180
- 8) 山路勇・木村金雄・山本文夫：農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究，東海区水産研究所・南西海区水産研究所・水産大学校，1977，pp220-221
- 9) 山口峰生：植物プランクトンの増殖に及ぼすN:P比の影響，渦鞭毛藻類，「水域の窒素：リン比と水産生物」（吉田陽一編），恒星社厚生閣，1993，pp11-19
- 10) 西島敏隆・深見公雄：植物プランクトンの増殖に及ぼすN:P比の影響，ラフィド藻類及び珪藻類，「水域の窒素：リン比と水産生物」（吉田陽一編），恒星社厚生閣，1993，pp20-28
- 11) 矢持進：水域の窒素：水域別の水生生物に及ぼすN:P比の影響，大阪湾，「水域の窒素：リン比と水産生物」（吉田陽一編），恒星社厚生閣，1993，pp73-83