

千葉県沿岸海域の環境特性について I

東京内湾の有機態ちっ素の動態と植物性色素との関係について

加瀬 信明 ・ 柿野 純

はじめに

東京内湾は日本で最も富栄養化の進行の著しい海域のひとつであり、その水質は1972～1974年頃を悪化のピークとして、それ以降は横ばい状態である¹⁾²⁾とされている。これは主としてケルダール窒素、無機態窒素及びリン、COD等について論じられたものであるが、有機態窒素の動態については検討されていない。

しかし、COD総量規制の実施に続き、現在は海域における窒素、リンの環境基準の設定が検討されており、すでに三河湾、燧灘では有機態窒素、リンを含めた有機汚濁物質の現存量の把握とその収支、循環についてボックスモデルを用いた考察がなされている。³⁾⁴⁾

そこで、昭和54年度に当场で行なった東京内湾での環境調査において、季節毎の窒素の分布とその性状を把握し、併せて植物性色素としてのクロロフィルaの測定を行ない、若干の知見を得たので報告する。

調査方法

1) 調査対象海域と調査点

調査は富津岬と観音崎を結んだ線以北の東京内湾海域において、図1に示した27点で行なった。各調査点の位置、水深、採水層は表1に一括してまとめた。

2) 調査時期

調査は昭和54年度の季節毎に1回、計4回行なった。それぞれの調査年月日は次のとおりであった。

第1回調査 昭和54年5月8日～9日

第2回調査 昭和54年7月23日～24日

第3回調査 昭和54年10月11日～12日

第4回調査 昭和55年2月20日～21日

3) 調査船と採水方法

調査は千葉県水産試験場漁業指導船、第二ふさみ丸(総トン数29.4トン、久米俊和船長以下4名)で行なった。採水は表層では船上からバケツを用いて行ない、5m層以深(40m層まで)については北原式B号採水器を使用した。

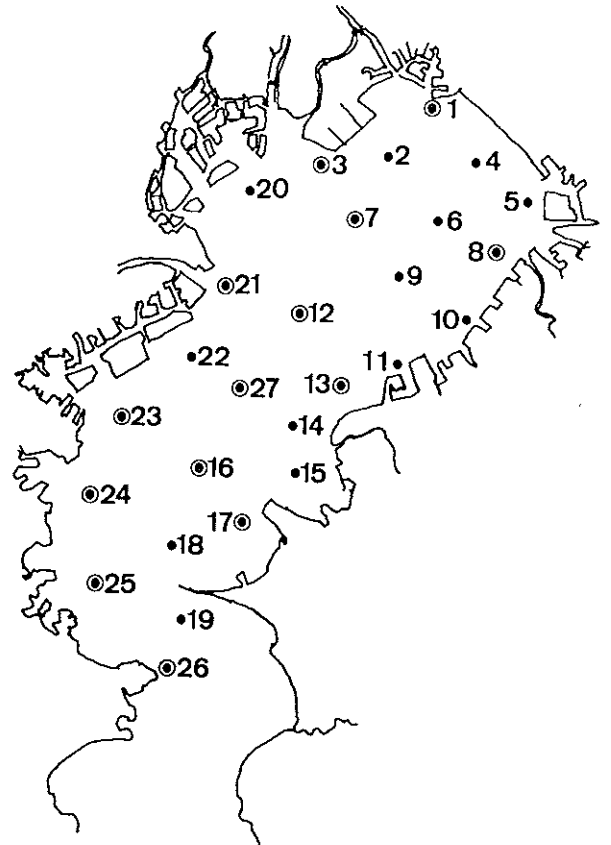


図1 1979年度環境調査点 (●印は特殊項目の測定点)

4) 調査項目と測定法

調査項目は一般気象、海象のほか、DIN(溶存無機態窒素： $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、DON(溶存有機態窒素)、PON(懸濁有機態窒素)、クロロフィルaであり、各項目の測定法は表2に示した。

調査結果と考察

1) 東京内湾の窒素の分布とその性状

富栄養化による有機汚濁の指標物質の一つとして窒素(N)が大きな意味を持つことは言うまでもない。海水中の窒素は陸岸から流入したものが微生物による分解や植物プランクトンによる消費、海底への沈降などの他に、底土からの溶出、深層水の湧昇などにより供給

表1 各調査点の位置, 水深, 採水層

調査点	緯度(°N)	経度(°E)	水深(m)	採水層 (m)
①*	35° 38.40'	140° 0.82'	6	0.5
2	35° 37.76'	139° 58.11'	12	0.5, B**
③	35° 36.45'	139° 54.60'	7	0.5
4	35° 36.52'	139° 53.10'	10	0.5, B
5	35° 36.16'	139° 51.16'	9	0.5, B
6	35° 35.48'	139° 49.88'	13	0.5, 10, B
⑦	35° 36.72'	140° 02.68'	15	0.5, 10, B
⑧	35° 34.69'	140° 00.87'	17	0.5, 10, B
9	35° 33.92'	139° 04.19'	18	0.5, 10, B
10	35° 32.95'	140° 02.72'	17	0.5, 10, B
11	35° 30.98'	140° 01.63'	10	0.5, B
⑫	35° 31.92'	139° 57.38'	25	0.5, 10, 20, B
⑬	35° 38.98'	139° 53.33'	12	0.5, 10, B
14	35° 29.27'	139° 59.37'	20	0.5, 10, B
15	35° 28.10'	139° 57.50'	11	0.5, 10
⑯	35° 28.99'	139° 55.78'	22	0.5, 10, 20
⑰	35° 27.17'	139° 54.39'	8	0.5, B
18	35° 27.02'	139° 52.04'	19	0.5, 10, B
19	35° 25.08'	139° 52.92'	10	0.5, B
20	35° 24.61'	139° 50.23'	12	0.5, 10
⑳	35° 23.34'	139° 51.72'	15	0.5, 10, B
22	35° 30.17'	139° 52.14'	28	0.5, 10, 20, B
㉓	35° 27.23'	139° 49.33'	30	0.5, 10, 20, B
24	35° 22.98'	139° 47.27'	40	0.5, 10, 20, 30, B
㉕	35° 20.37'	139° 45.55'	48	0.5, 10, 20, 30, B
㉖	35° 23.78'	139° 45.22'	45	0.5, 10, 20, 30, B
㉗	35° 26.73'	139° 42.58'	30	0.5, 10, 20, B

* 〇印はPON, クロロフィルaの測定点である。
 ** 底層 (Bottom layer) 底土直上1m前後で採水した。

表2 調査項目と測定法, 分析法

	気象海象	海洋観測指針 ⁹⁾ 記載の方法
一般調査	NH ₄ -N	海洋観測指針 ⁹⁾ 記載のインドフェノール法
	NO ₂ -N	ストリックランド・パーソンズの方法 ¹⁰⁾
	NO ₃ -N	同上
	PO ₄ -P	同上
特殊調査	DON	紫外線照射による酸化分解 ¹¹⁾ 後、ストリックランド・パーソンズの方法
	PON	サリチル硫酸分解によるケルダール法 ¹²⁾
	クロロフィルa	YENTSCH C.S.・D.W.MENZEL (1963)の方法の西条による改良法 ¹³⁾

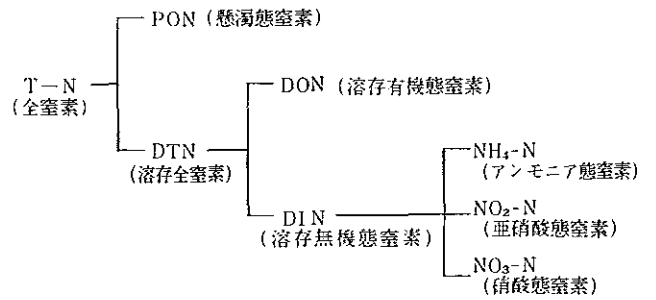


図2 海水中の全窒素の組成

され、複雑なサイクルで循環している。海水中の全窒素(T-N)の組成は本調査における分析項目からは図2のように分けられる。

ここでは、各調査毎の表層水のT-N, PON, DON, DINの分布をそれぞれ図3-1~3-4, 図4-1~4-4, 図5-1~5-4, 図6-1~6-4に示した。

これらの図から、T-N, DONでは5月調査時に降雨の影響により多摩川河口周辺で高い値となったほかは、4回の調査とも同様な分布を示した。すなわち、T-Nでは周年にわたって湾口部で500~700μg/l, 湾奥部で1,000~1,500μg/lの範囲で推移していた。DONについても、ごく沿岸部を除いて季節変動は小さく、湾口部で100~150μg/l, 湾奥部で200~300μg/lの範囲にあった。

これに対し、PONとDINの季節変動は大きく、PONが5月、7月には500~1,000μg/lにも達するのに対し、10月、2月には200μg/l以下の値となった。一方、DINは特に7月に沿岸部を除いて200μg/l以下であったものが、10月、2月には500μg/lを越えるなど、双方が互いに相反する傾向がみられた。これは、夏季には赤潮の頻発により多くのDINが消費されるが、冬季には植物性プランクトンによる消費は少ないためであり、東京内湾のT-N量は年間を通してほぼ一定であると考えられた。

これをさらに詳しく考察するため、東京内湾中央部を中心としたSt. 7, St. 12, St. 18, St. 26の4点の表層および底層のT-Nの各成分の組成を図7-1~7-4に示した。

これらの図から、5月、7月調査時の表層ではT-Nに占めるPONの割合が湾全域で50%以上を占めていた。一方、10月、2月調査時にはPONは減少し、DIN, 特にNO₃-Nの割合が高かった。

また、底層では5月、7月ではPONの占める割合は表層にくらべ大きく減少したが、10月、2月調査時の表層と同様な傾向にあった。

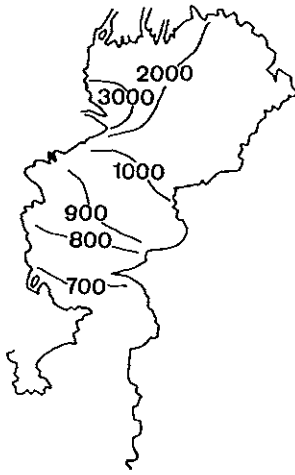


図3-1 5月・T-N (µg/l)

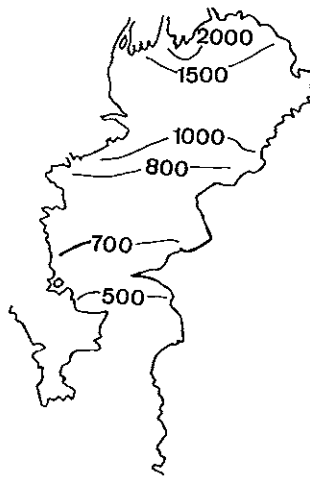


図3-2 7月・T-N (µg/l)

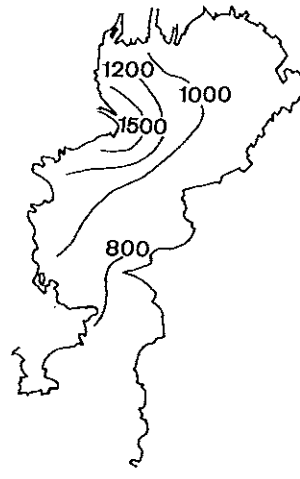


図3-3 10月・T-N (µg/l)

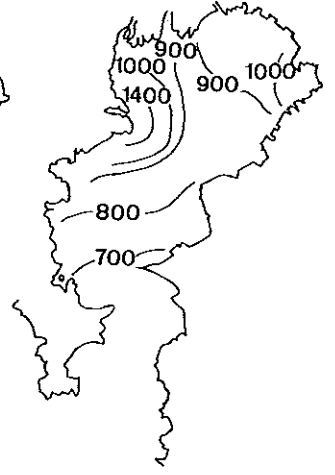


図3-4 2月・T-N (µg/l)

図3 T-Nの季節別水平分布

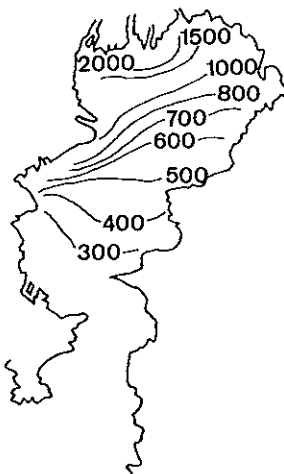


図4-1 5月 PON (µg/l)

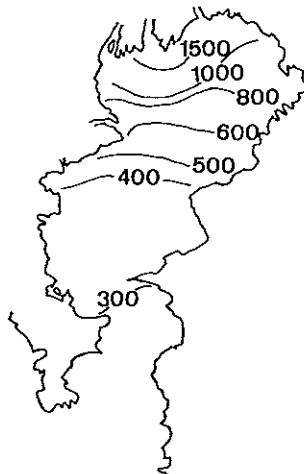


図4-2 7月 PON (µg/l)

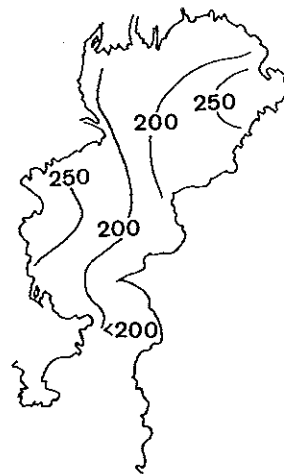


図4-3 10月 PON (µg/l)

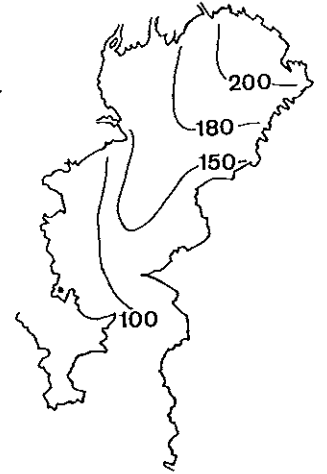


図4-4 2月 PON (µg/l)

図4 PONの季節別水平分布

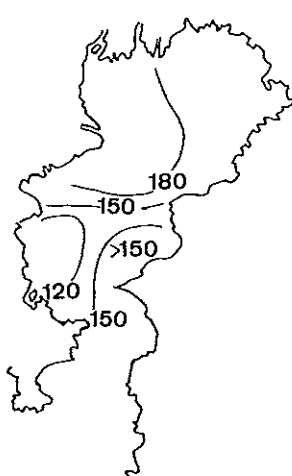


図5-1 5月 DON (µg/l)

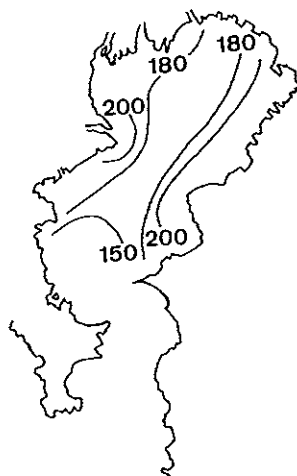


図5-2 7月 DON (µg/l)

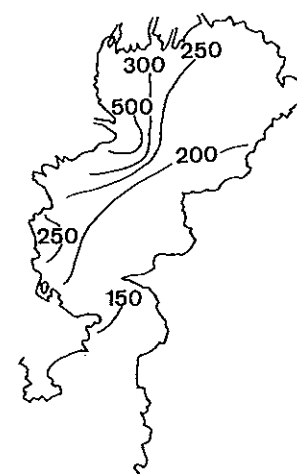


図5-3 10月 DON (µg/l)

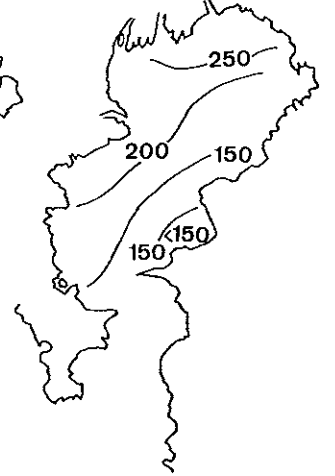


図5-4 2月 DON (µg/l)

図5 DONの季節別水平分布

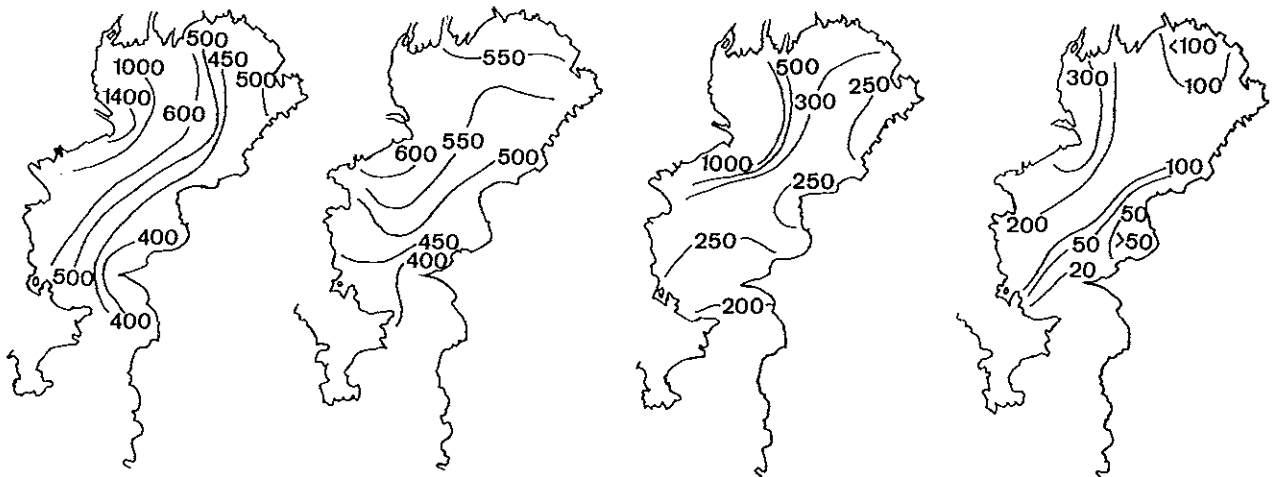


図6-1 5月 DIN (µg/l)

図6-2 7月 DIN (µg/l)

図6-3 10月 DIN (µg/l)

図6-4 2月 DIN (µg/l)

図6 DINの季節別水平分布

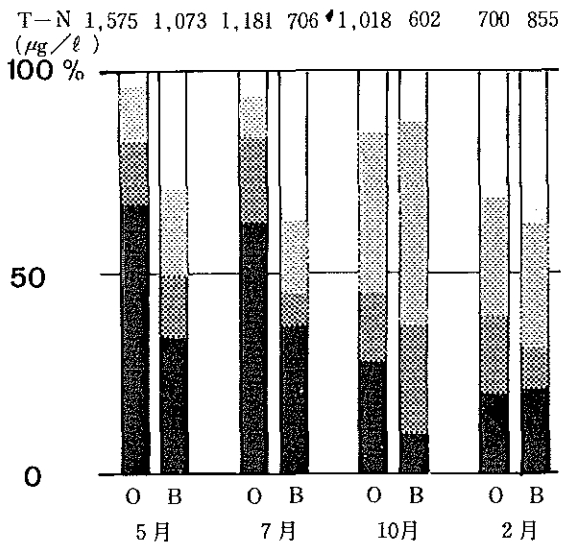


図7-1 St. 7におけるT-Nの成分比率

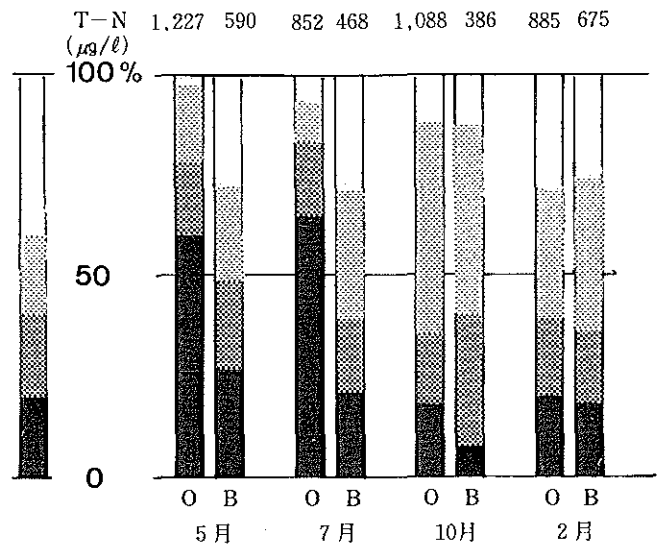


図7- St. 12におけるT-Nの成分比率

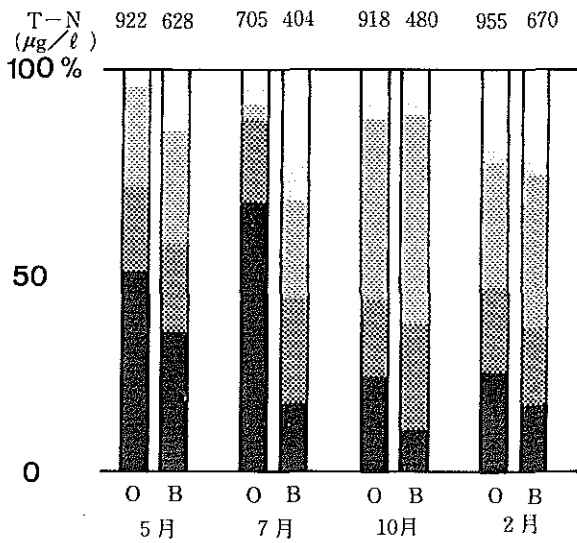


図7-3 St. 16におけるT-Nの成分比率

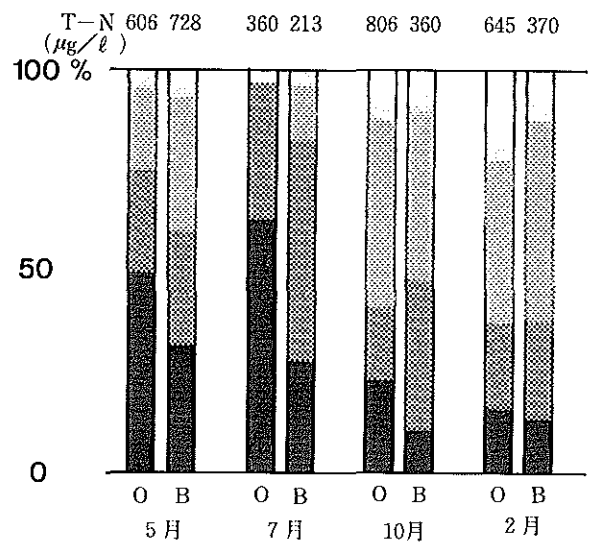


図7-4 St. 26におけるT-Nの成分比率

図7 東京内湾主要調査点でのT-Nの成分比率

したがって、赤潮の多発期では表層で特に植物プランクトン量の指標となるPON量が高く、DINは消費されて少なくなると考えられる。そして、秋から冬季には植物プランクトン量が少なくなり、消費量の減るDIN、特に $\text{NO}_3\text{-N}$ の値が増加し、上下間の混合がこの時期は起こりやすいことから、均一な分布をとっていくものと考えられた。

2) 東京内湾におけるクロロフィルaの分布
東京内湾の水質は春から夏季にかけて著しく悪化し、

冬季には良化するが、昭和54年度も各調査時の透明度の変化(図8-1~8-4)から、同様な傾向がみられた。こうした透明度の低下は赤潮の発生と降雨による流入河川水の急増などが主要な原因であるが、春から夏季では沿岸部を除いて前者の影響が強いと考える。そこで、植物プランクトン量の指標として、クロロフィルaの水平、鉛直分布をそれぞれ図9-1~9-4、図10-1~10-4に示した。



図8-1 5月 透明度 (m)

図8-2 7月透明度 (m)

図8-3 10月 透明度 (m)

図8-4 2月透明度 (m)

図8 透明度の季節変化

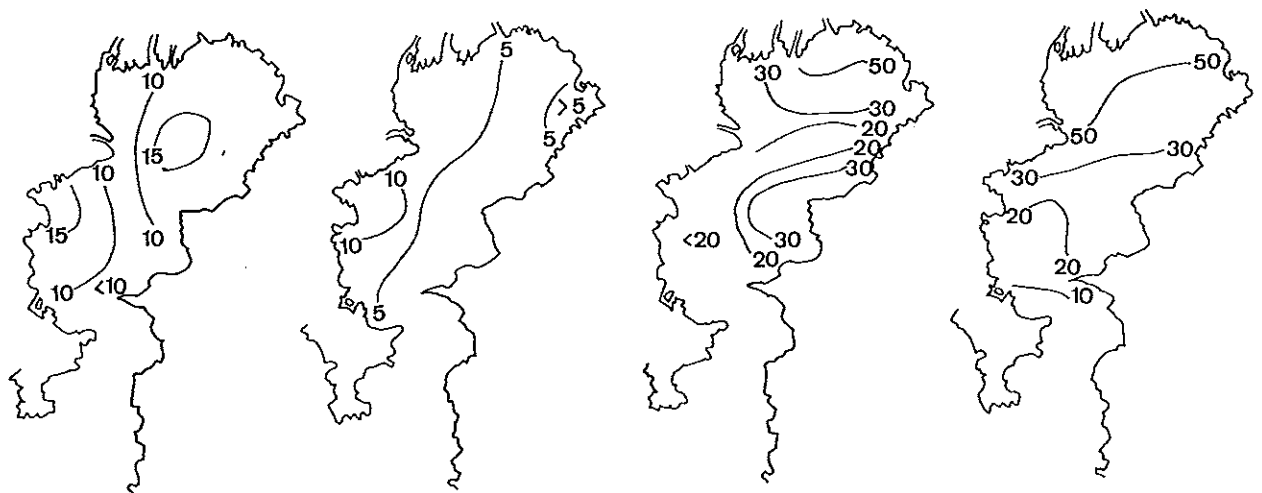


図9-1 5月 クロロフィルa

図9-2 7月 クロロフィルa

図9 10月 クロロフィルa

図9-4 2月 クロロフィルa

図9 クロロフィルaの季節別水平分布

これらの図から、クロロフィルaの季節変化は著しかった。すなわち、表層では5月、7月調査時で高く、特に湾奥部では $30\sim 50\mu\text{g}/\ell$ 以上であったが、10月、2月調査時は東京内湾全域で $20\mu\text{g}/\ell$ 以下であった。

一方、鉛直分布からは5月、7月調査時においてもクロロフィルa濃度が $30\mu\text{g}/\ell$ を越える高密度層は湾奥部の水深 $10\sim 15\text{m}$ 層までに限られた。それ以深ではクロロフィルa濃度は急減し、水深 $25\sim 30\text{m}$ 層以深では $1\mu\text{g}/\ell$ 未満であった。10月、2月調査時は混合期であることを反映してクロロフィルa濃度は水深 $10\sim 20\text{m}$ 層まではほぼ均一に分布し、それ以深では5月、7月調査時と同様に急減していた。

今回の調査で得られた東京内湾のクロロフィルaの水平分布については有賀と柴田⁶⁾、および東京都環境保全局の報告⁷⁾とも一致しており、山口ら⁷⁾によれば春から夏季におけるこれらの値は自然海域の極限值に近いと指摘されている。しかし、春から夏季にかけての透明度はおおむね 2m 以下と低いことから、水中の照度は水深が深くなるにつれて急激に減衰するため、光合成生産層がごく表層に限られるためにクロロフィルaは図10-1、10-2のような分布をとると考えられる。10月、2月のような混合期においても透明度が $4\sim 5\text{m}$ の東京内湾での補償深度は $4\sim 12\text{m}$ ⁷⁾とされ、上下間の鉛直混合を加味しても水深 $25\sim 30\text{m}$ 層以深ではクロロフィルaはほとんど検出されないと考えられる(図10-3、10-4)。

3) 東京内湾におけるPONとクロロフィルaとの関係

海水中に存在する有機性懸濁物は主として植物性、動物性プランクトン、魚貝類の卵稚仔や陸上から流入する一般排水に由来するもの等が考えられる。しかし、陸上から供給される有機性懸濁物のほとんどは河口から海域に流入すると比較的沿岸部で拡散し、沈降するほか、海水中の溶存酸素やバクテリアの作用で分解されると考えられる。

そこで、有機性懸濁物として最も重要なものはプランクトンに由来すると考えられるため、PONを有機性

懸濁物の指標としてクロロフィルaとの関係をそれぞれ図11-1~11-4に示した。図11-1~11-3から、5月、7月、10月調査時とも両者の相関はきわめて高く、特に7月調査時ではPONとクロロフィルaの間にはほぼ直線関係が認められた。2月調査時(図11-4)では両者の相関は $r=0.49$ と低かったが、これはクロロフィルa濃度が全点で $10\mu\text{g}/\ell$ 以下、PONも $30\sim 270\mu\text{g}/\ell$ と他の3回の調査時に比べて低い値の範囲にあり、植物性プランクトン量と他の有機性懸濁物量との差が相対的に縮まったためと考えられた。

しかし、全般的に見れば東京内湾では冬季の一部の期間を除いて、 $10\mu\text{g}/\ell$ 以上のクロロフィルa濃度が保持されており、東京内湾の有機性懸濁物に占める植物性プランクトンの割合が高いことを示唆している。

また、PONのクロロフィルaに対する濃度勾配(PON/クロロフィルa)は植物プランクトン増殖の一つの目安になると考えられるが、岡市ら⁸⁾は燧灘において6月、9月のPON/クロロフィルaがそれぞれ7.3、32であったことから植物性プランクトンの現存量は9月の方が高く、これが秋の増殖期に相当するとしている。東京内湾は燧灘よりも富栄養化が進行しているが今回の5月、7月、10月におけるPON/クロロフィルaはそれぞれ13.3、17.9、12.9と7月が最も高くなるが、その差は燧灘にくらべて小さかった。植物性プランクトンの増殖期は一般の海域では春と秋がピークとなる⁸⁾とされているが、東京内湾でそのような傾向が認められず、むしろPON/クロロフィルaが7月に最も高くなったことは、東京内湾は過栄養の状態にあるためプランクトン増殖の季節変化が現われにくくなったと考えられる。

これは言い換えれば東京内湾では冬季を除いては、常時赤潮発生の可能性をもっていることになる。

以上のことから、東京内湾のように富栄養化の進んだ海域では有機性懸濁物に占める植物性プランクトンの割合が高く、PONもその指標となりうることがわかった。

いまのところ、有機性懸濁物についての測定例は少

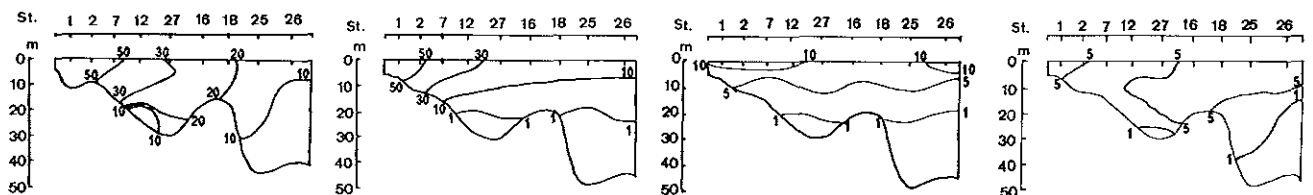


図10-1 5月 クロロフィルa

図10-2 7月 クロロフィルa

図10-3 10月 クロロフィルa

図10-4 2月 クロロフィルa

図10 クロロフィルaの季節別鉛直分布

ないが^{3),4)},その挙動は大変興味深く、有機汚濁機構解明の指標として重要な意味を有する。PONの測定はCHN

コーダーの使用によりルーチンワークにも適応できるため、今後のデータの蓄積が期待される。

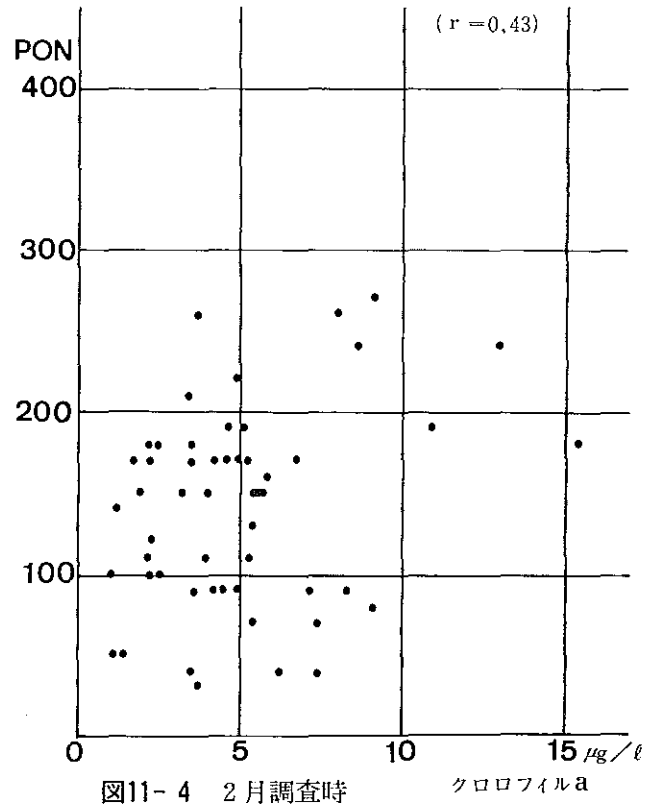
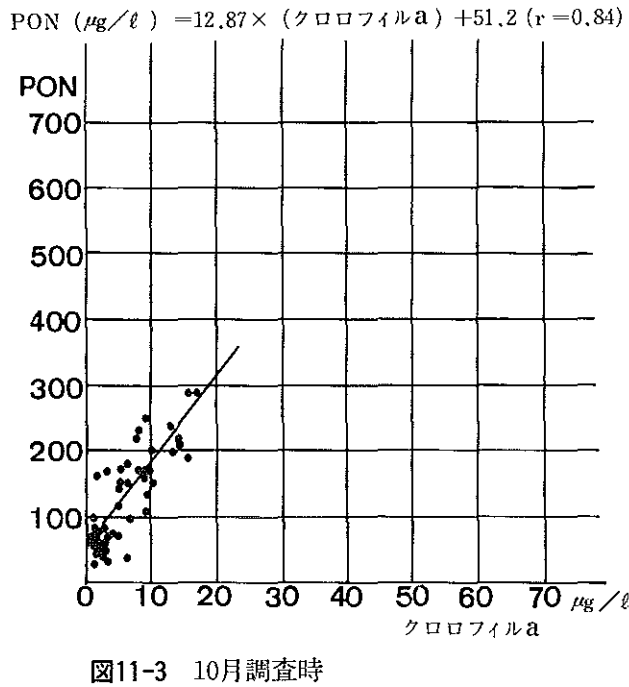
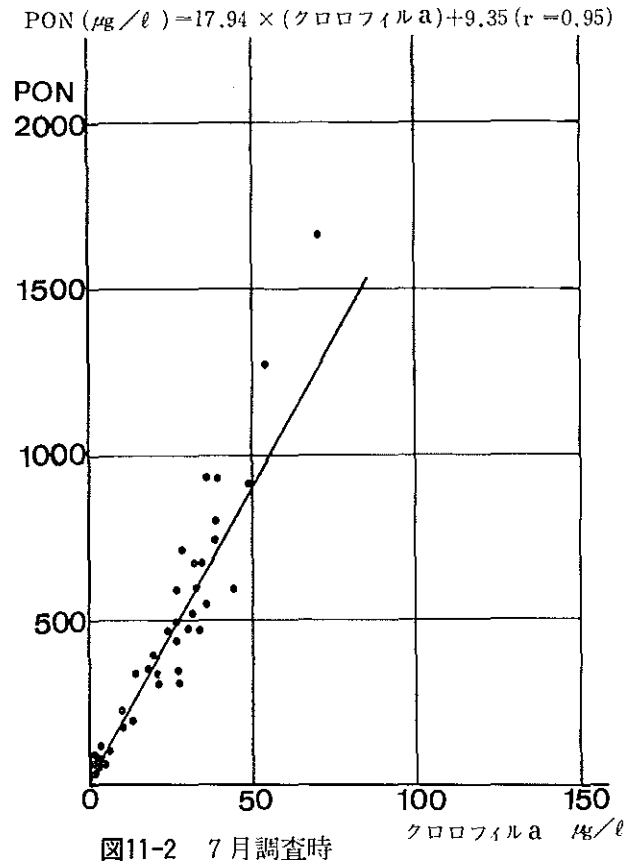
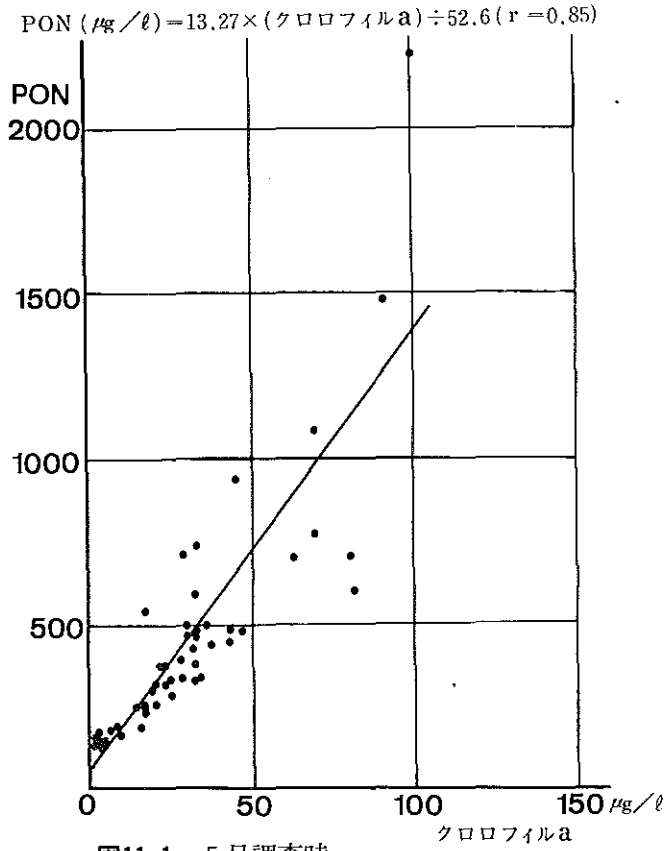


図11 PONとクロロフィルaとの相関

要 約

東京内湾で昭和54年度に行なった環境調査の中から、季節毎の窒素各成分の分布とその性状をまとめ、併せて懸濁態有機窒素とクロロフィルaとの関係を求めた。

- (1) 富栄養化の指標となるT-Nは湾奥部で高く、湾口部に向かうにつれて値が低くなる傾向がみられた。
- (2) T-Nの季節変動は小さく、ごく沿岸部を除いて周年にわたり湾口部500~700 $\mu\text{g}/\ell$ 、湾奥部1,000~1,500 $\mu\text{g}/\ell$ の範囲にあった。
- (3) T-Nの各成分の季節変動は大きく、特にPON, DINはそれぞれ植物性プランクトンの構成体、栄養塩となり、互いに相反しながら変化していた。
- (4) クロロフィルaは表層では春から夏季にかけては30 $\mu\text{g}/\ell$ 以上の高い値をとるが、冬季には10 $\mu\text{g}/\ell$ 前後の値であった。
- (5) クロロフィルaの春から夏季の30 $\mu\text{g}/\ell$ を越える高密度層は水深10~15m層以浅に限られ、水深15m層以深では他の季節と同様にその値は急減する傾向にあった。
- (6) PONとクロロフィルaの間には、クロロフィルaが10 $\mu\text{g}/\ell$ 以上では高い相関がみられた。このことから、冬季を除いて東京内湾での有機性懸濁物のほとんどが植物性プランクトンであると推察した。

文 献

- 1) 千葉県漁業環境整備基金編：東京内湾の漁場環境ならびに漁業実態報告書
- 2) 江角比出郎(1979)：東京湾の水質(1972-76) ,

沿岸海洋研究ノート 16(2), pp101~105

- 3) 松川康夫・鈴木輝明(1983)：ボックスモデルによるNおよびPの収支と循環の解析,内湾底泥をめぐる物質収支の動態究明に関する研究 pp76~88
- 4) 遠藤拓郎・岡市友利(1977)：汚染物質の循環とプランクトン生産の動態に関する研究,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 昭和51年度研究成績報告書 pp91~97
- 5) 有賀祐勝・柴田佳明(1978)：東京湾における植物プランクトンのクロロフィルと光合成活性の変動 (1976~1977) 1978年度日本海洋学会春季大会講演要旨集pp204~205
- 6) 東京都環境保全部水質保全部(1981)：昭和54年度東京都内湾プランクトン調査結果 pp8~16
- 7) 山口征矢・柴田佳明(1979)：東京湾における基礎生産の現況,沿岸海洋研究ノート 16(2), pp106~111
- 8) 奈須敬二(1975)：世界の海洋環境と資源生物 日本水産資源保護協会水産研究叢書27 pp11~13
- 9) 日本気象協会編(1970)：海洋観測指針, pp85~101, pp145~174
- 10) J. D. H. Strickland・T. R. Parsons(1968)：A Practical Handbook of Seawater Analysis, pp71~80, pp63~65
- 11) 鈴木輝明・湯浅泰昌(1977)：紫外線照射装置の改良, 第2回東海ブロック水質担当会議資料
- 12) 土壌養分測定法委員会(1980)：土壌養分分析法, pp171~178
- 13) 西条八東(1975)：クロロフィルの測定法, 陸水学会誌, 36(3), pp103~109