

# 香川県海域における栄養塩類等の挙動について(第1報)

## Study on the Behavior of Nutrients and Etc. in the Sea of Kagawa Prefecture(I)

多田 薫            大森 利春            藤井 裕士  
 Kaoru TADA      Toshiharu OMORI    Hiroshi FUJII  
 三好 健治           美澤   勲  
 Kenji MIYOSHI    Takeshi MIZAWA

香川県海域において昭和58年4月から昭和59年3月まで栄養塩類等を調査した。仁尾町地先(St3)において6月から9月にかけて障層が形成され、その期間表層と底層においてPH、温度、DOの飽和度に差がみられた。塩素量は年間を通してSt3が引田町地先(St1)、直島東(St2)より高かった。クロロフィルaはSt1において7月に赤潮のために5.5~9.0 μg/ℓと高い値を示した。透明度は、St1においては春から秋にかけて低かったが逆にSt3は高い値を示した。St1,2においては総リン(T-P)はリン酸態リン(DIP)の変動とよく一致していた。St3において成層期には底層のDIPは表層に比較して高い値を示した。総窒素(T-N)はSt1,2,3ともに年間を通じて増減をくり返した。3地点ともに懸濁態窒素(P-N)は夏場に高く冬場に低い傾向があった。溶存無機態窒素(DIN)が10月から1月にかけて高い傾向を示したのは3地点に共通していた。

### はじめに

赤潮の発生に栄養塩類が関与していると言われて久しいが、その発生機構は解明されていない。そこで赤潮の発生機構および富栄養化の解明の一助とする目的で、香川県海域における栄養塩類等の鉛直分布及び形態の季節変動について調査した。その結果を報告する。

### 調査方法

#### 1. 調査期間

昭和58年4月から昭和59年3月まで1か月間隔で12回調査した。

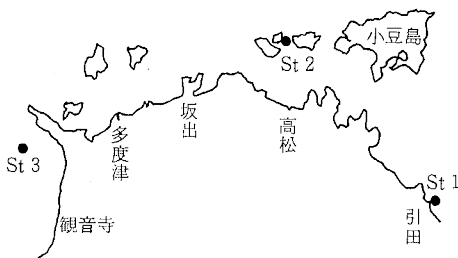


図1 調査地点

#### 2. 調査地点及び調査部位

地点は図1に示すSt1・St2・St3の3地点で行い、0.5m(表層)と底面上0.5m(底層)の水深を4等分する3点の水深、ならびに表層と底層の5層採水を行った。なお水深の浅い採水層より順に1から5層とした。

#### 3. 調査項目及び分析方法

現場で水温と透明度を測り、バンドーン採水器(3ℓ)を用いて採水し、2ℓガラスビンに入れ、溶存酸素についてはその場で固定した。採水試料を直ちに実験室へ持ち帰り、PH、塩分を測定した。T-P、T-Nの分析試料としては、採取試料を直接用いた。NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、DIP、溶存態総窒素(D-T-N)、溶存態総リン(D-T-P)の分析用試料は、ワットマンGF/Cおよび0.45 μmメンブランフィルターの2枚重ねでろ過し、初流の100mlを捨てた後のろ液を用いた。ろ過後ワットマンGF/C上の懸濁物はクロロフィルa(Ch-a)の測定に供した。

分析項目及び分析方法は以下の通りである。

水温：サーミスタ温度計(東邦電探ET-5型)

PH：ガラス電極法(堀場PHmeter F-7 SS)

DO：ウインクラー・アジ化ナトリウム変法

塩分：誘導型サリノメーター法(鶴見精機Digital)

透明度

Ch-a: 95%アセトンで抽出後, 蛍光光度法

栄養塩類: テクニコンオートアナライザー II 型で表 1 に示す方法で測定した。

なお懸濁態リン (P-P), P-N, 溶存態有機リン (DOP), 溶存態有機窒素 (DON) については次のようにして求めた。

P-P: T-P より D-T-P を引いて算出

P-N: T-N より D-T-N を引いて算出

DOP: D-T-P より DIP を引いて算出

DON: D-T-N より NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N を引いて算出

表 1 栄養塩類の分析方法

項目	分析方法
PO <sub>4</sub> -P	テクニコン法 3)
NH <sub>4</sub> -N	テクニコン法 4)
NO <sub>2</sub> -N	テクニコン法 4)
NO <sub>3</sub> -N	テクニコン法 5)
D-T-P	オートクレープ・ペルオキシニ硫酸カリ分解法で分解後, 上記の PO <sub>4</sub> -P の方法
D-T-N	オートクレープ・アルカリ性ペルオキシニ硫酸カリ分解法で分解後, 上記の NO <sub>3</sub> -N の方法

結果と考察

1. 水温, 塩素量, DOの飽和度, PH, Ch-a, 透明度

1) 各項目の季節変動

St1における水温, 塩素量, DOの飽和度, PH, Ch-a および透明度の変動を図 2 に示した。水温は 5.8℃ ~ 27.4℃ の範囲で推移し, 年間を通じて海水の上下混合が活発な為に 1 層と 5 層における温度差は一番大きい時でさえ 1.2℃ であった。塩素量は 17.35 ~ 18.49% の範囲で推移した。10月に 17.35 ~ 17.36% の最低値を示したが, 4 日前および前日の降雨による陸水の影響と考えられる。DO の飽和度は 88 ~ 135% の範囲で推移し, 7 月に 126 ~ 153% の高い値を示したが, 他の月においては 90 ~ 113% であった。PH は 8.05 ~ 8.26 の範囲で推移し, 1 層と 5 層における PH 値の差は一番大きい時で 0.13 であった。7 月の 1 層 ~ 4 層における 8.31 ~ 8.38 の高い値は, DO の飽和度が 139 ~ 153% と高い値を示した時に一致していた。Ch-a は 0.5 ~ 9.0 μg/l の範囲で推移し, 7 月において 5.5 ~ 9.0 μg/l の高い値をとり, 11, 2, 3 月において 0.5 ~ 0.9 μg/l の低い値を示した。透明度は 3.5 ~ 12.0 m の範囲で推移し, 4 月の 12.0 m を除いては年間を通じて変動が小さかった。

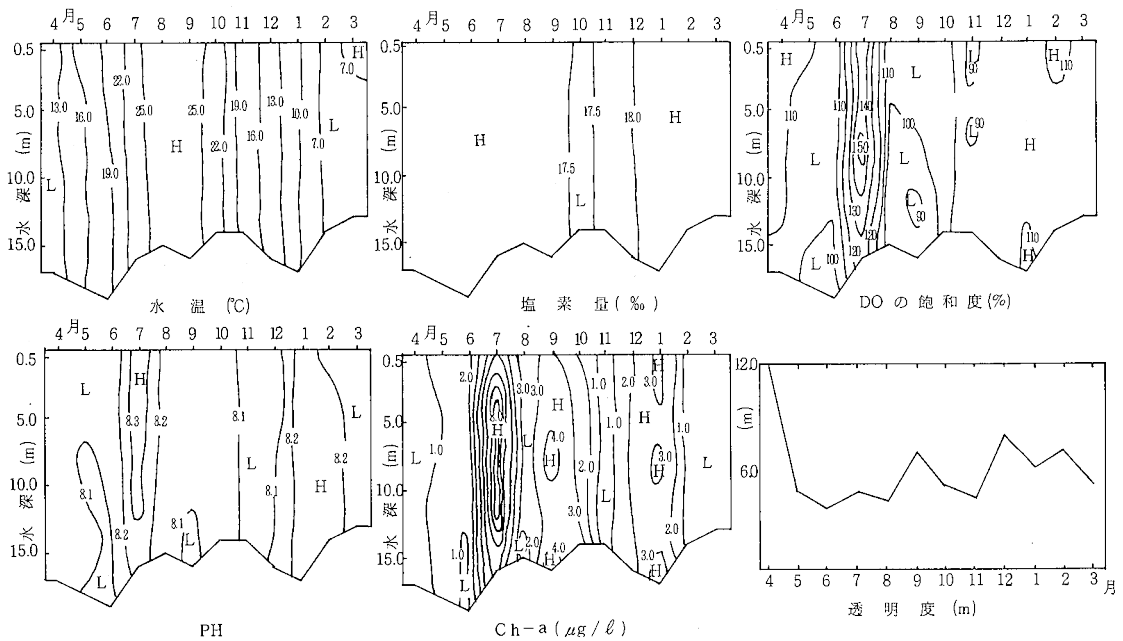


図 2 St1 における水温, 塩素量, DOの飽和度, PH, Ch-a, 透明度

St 2における水温、塩素量、DOの飽和度、PH、Ch-a、透明度の変動を図3に示した。水温は6.2~28.0℃の範囲で推移し、年間を通じて海水の上下混合が活発な為に、1層と5層における温度差は一番大きい時でさえ0.2℃であった。塩素量は16.81~18.55%の範囲で推移した。8月の17.42~17.44%，10月の16.81~

17.07%はそれぞれ3日前の降雨、6日前の大雨による陸水の影響と考えられる。DOの飽和度は86~109%の範囲で推移した。低飽和度の8、10月は塩素量の減少時と一致していた。PHは7.98~8.38の範囲で推移しており、1層と5層のPHの差は一番大きい時で0.04であった。Ch-aは0.5~3.0  $\mu\text{g}/\ell$ の範囲で推移しており、

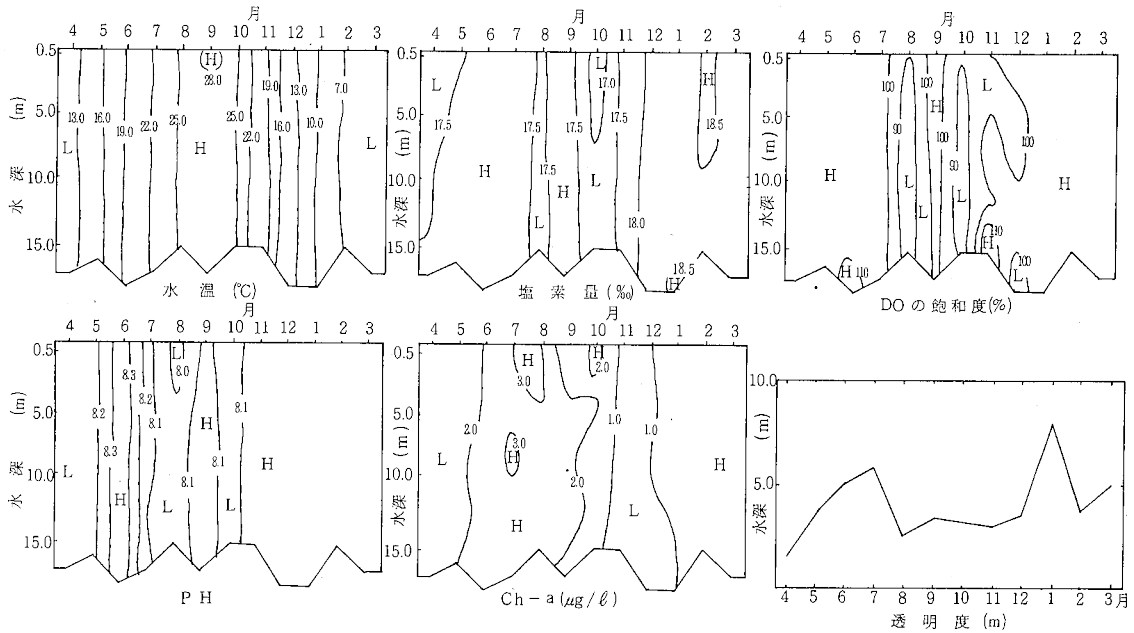


図3 St 2における水温、塩素量、DOの飽和度、PH、Ch-a、透明度

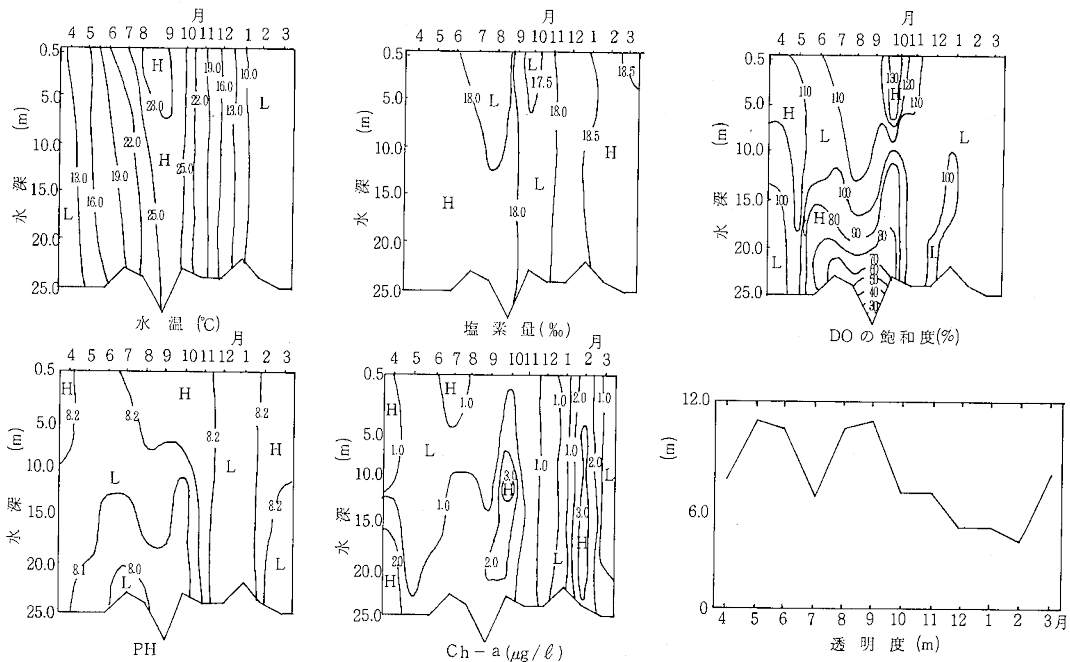


図4 St 3における水温、塩素量、DOの飽和度、PH、Ch-a、透明度

6～9月において高い値を示した。透明度は1.5～8.0 mの範囲で推移し、5～7月および1月に高い値を示した。

St 3における水温、塩素量、DOの飽和度、PH、Ch-a、透明度の変動を図4に示した。水温は7.2～29.1℃の範囲で推移した。春から夏にかけて躍層が形成され8月に1層と5層の温度差は6.1℃になったが10月には躍層は解消された。塩素量は17.16～18.65%の範囲で推移した。年間を通じてSt 1、St 2よりも高い値を示し、特に春から夏にかけて0.40～0.50%高かった。7, 8, 10月の上層における減少は、それぞれ当日の降雨、2日前の大雨、5日前の大雨による陸水の影響であると考えられる。DOの飽和度は29～135%の範囲で推移し、8, 9月の成層期において5層で低い値を示した。特に9月の5層において29%と低い値だった。10月の1層において135%、2層において133%と高い値を示した時、塩素量はそれぞれ17.16, 17.49%と低い値だった。PHは7.97～8.30の範囲で推移した。6～9月の成層期には1層と5層のPH差は、0.12～0.25であり、7月においては0.25の差を示した。Ch-aは0.1～3.2 μg/lの範囲で推移した。4月の4, 5層、10月の3, 4層、2月の全層において2.3～3.2 μg/lの高い値を示した。透明度は4.0～11.0mの範囲で推移し、7月を除けば概して成層期に高い値を循環期に低い値を示した。

2) Ch-aとPH、DOとの相関

表2にCh-aとPH、DOとの相関係数を示した。

表2. Ch-aとPH、DOとの相関係数 (n=60)

地点	項目	PH	DO
St 1		0.617*	0.692*
St 2		-0.057	-0.214
St 3		-0.193	-0.319#

\* 1%の危険率で有意

# 5%の危険率で有意

St 1においては、Ch-aとPH、DOとの間で正の相関がみられることより、一般的に言われているように、PH、DOの飽和度の増減は、植物プランクトンの寄与が大きいと考えられる。St 2, 3においては正の相関はみられないことより、PH、DOの飽和度の変化には植物プランクトンの寄与は小さいと考えられる。

2. 栄養塩

1) りん

ア) りんの形態別における季節変動

St 1におけるりんの形態別、層別の季節変動を図5

に示した。T-Pは全層ともに10月に最高値を取るような山形の曲線を示し、4, 5月を除けば年間を通じて層間の濃度差は小さかった。DIPは全層ともに11月に最高値を取るような山形の曲線を示した。11月を除けば全層ともにT-Pの変動とよく一致していた。P-Pは概して7～10月に高い値を示した。

St 2におけるりんの形態別、層別の季節変動を図6に示した。T-Pは8, 10月に高い値を取るような2つの山をもつ曲線を示した。8月を除いては年間を通じて層間の濃度差は小さかった。8月の4, 5層において、1～3層に比較して高い値を示したのは、採水時に赤潮が発生しており、プランクトンが表層より沈降してきたためP-Pが増加した結果と考えられる。8月を除いてDIPの季節変動は全層においてT-Pの季節変動と類似しており、T-Pの変動にDIPは寄与していると考えられる。DIPの変動は12, 1月を除いては、DOの飽和度とよく一致していた。つまり4～7月、9月、2～3月のDOの飽和度が増加した時、DIPは減少し、8, 10, 11月のDOの飽和度が減少した時、DIPは増加していた。

St 3におけるりんの形態別、層別の季節変動を図7に示した。T-P、P-P、DOP、DIPともに全層において年間を通じて増減をくり返した。4～9月までは1層よりも5層において、T-P濃度、DIP濃度ともに高い値を示した。報告されているように6月、9月におけるこの地点の底質の酸化還元電位は負であることより、4月～9月においてDIPが1層より5層において高い値を示した原因は底質からの溶出によると考えられる。

イ) Ch-aとP-Pの相関

表3にCh-aとP-Pとの相関係数を示した。

表3 Ch-aとP-Pとの相関係数 (n = 60)

地点	項目	P-P
St 1		0.210
St 2		0.265
St 3		0.227

どの地点においても正のよい相関は得られておらず、P-Pの増減は植物プランクトン活性よりむしろ動物プランクトン、ベントス、外来性有機物に寄与していると考えられる。

2) 窒素

ア) 窒素の形態別における季節変動

St 1における窒素の形態別、層別の季節変動を図8に

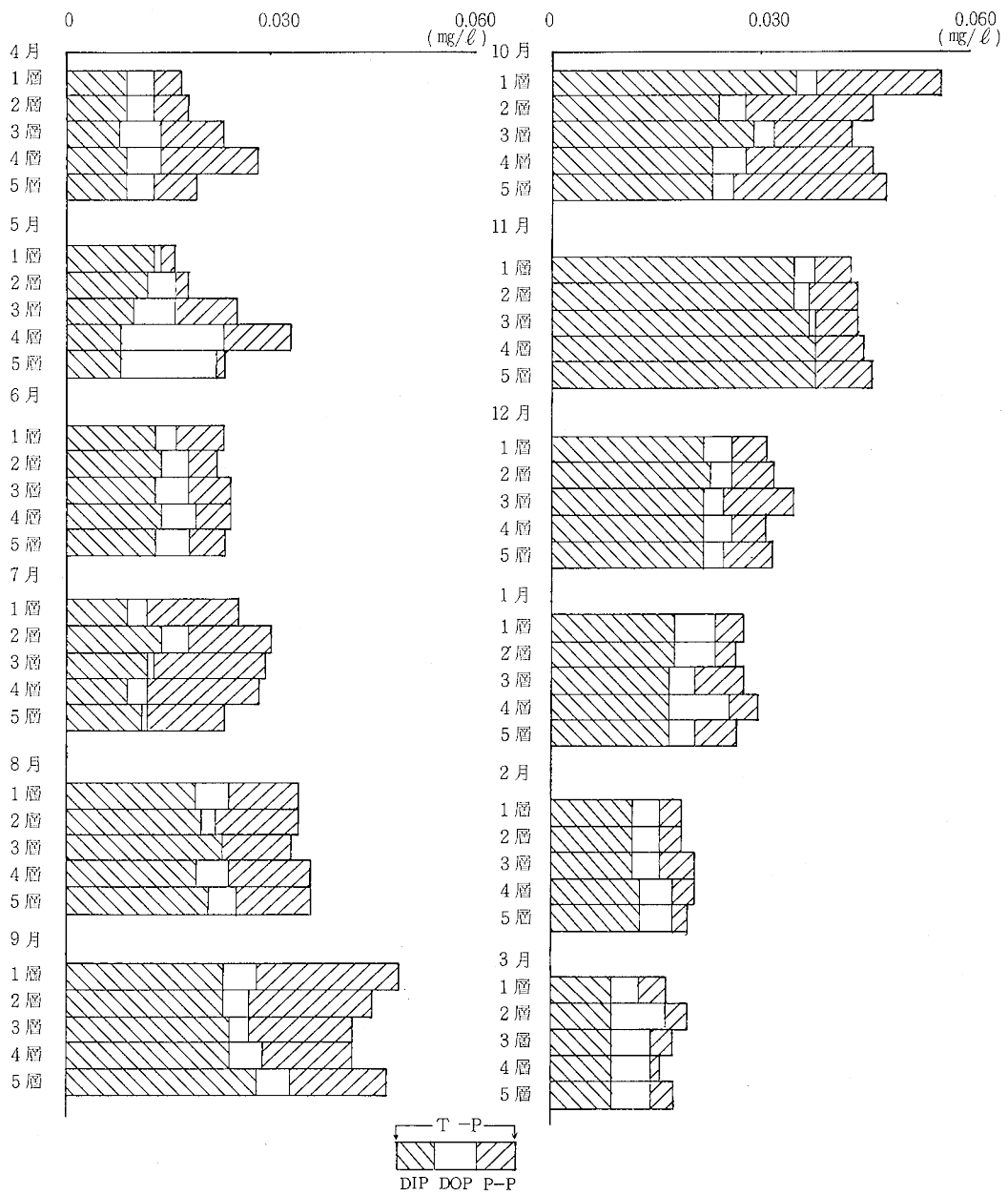


図5 St 1におけるりんの形態別・層別の季節変動

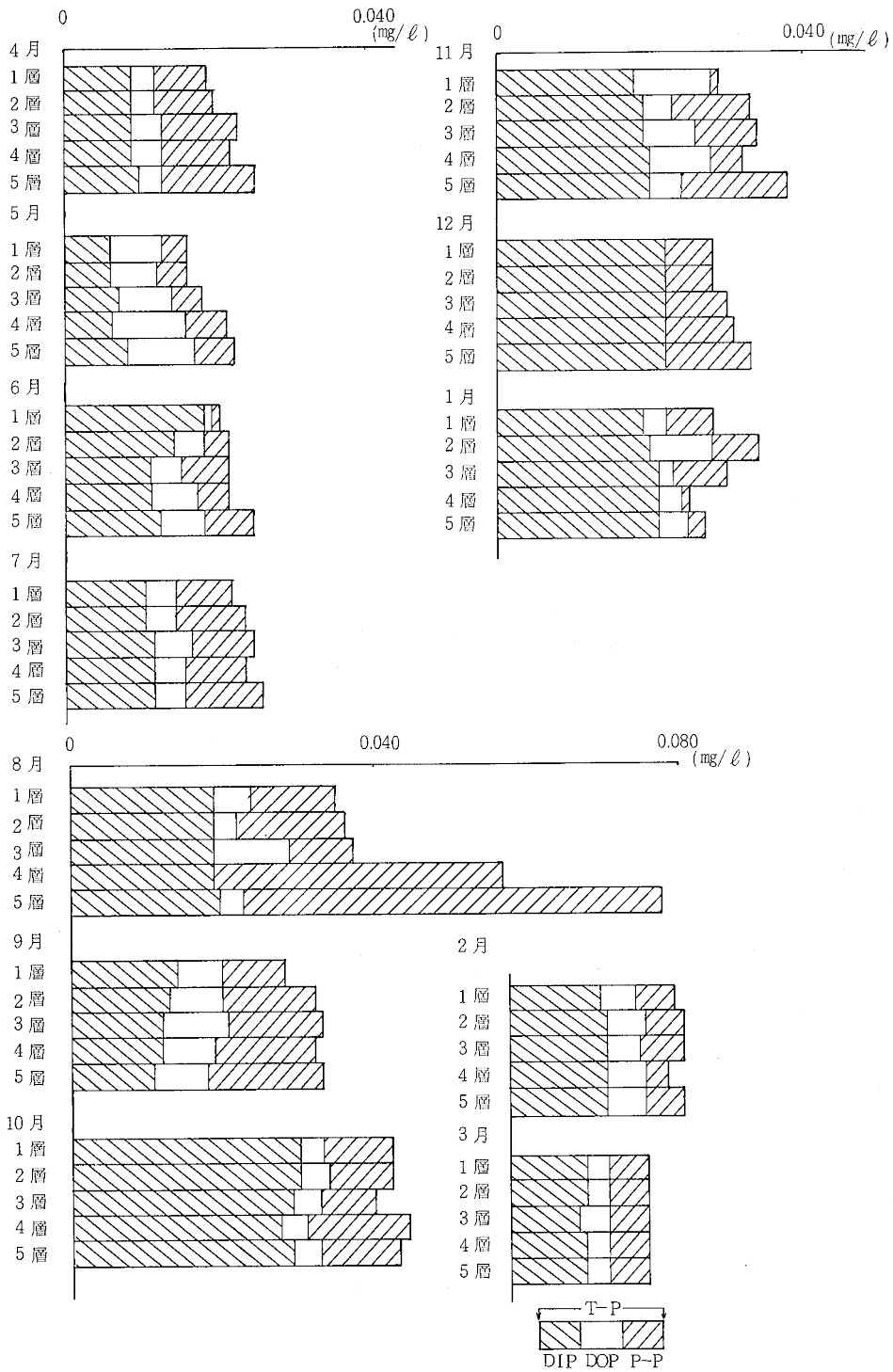


図6 St 2におけるりんの形態別・層別の季節変動

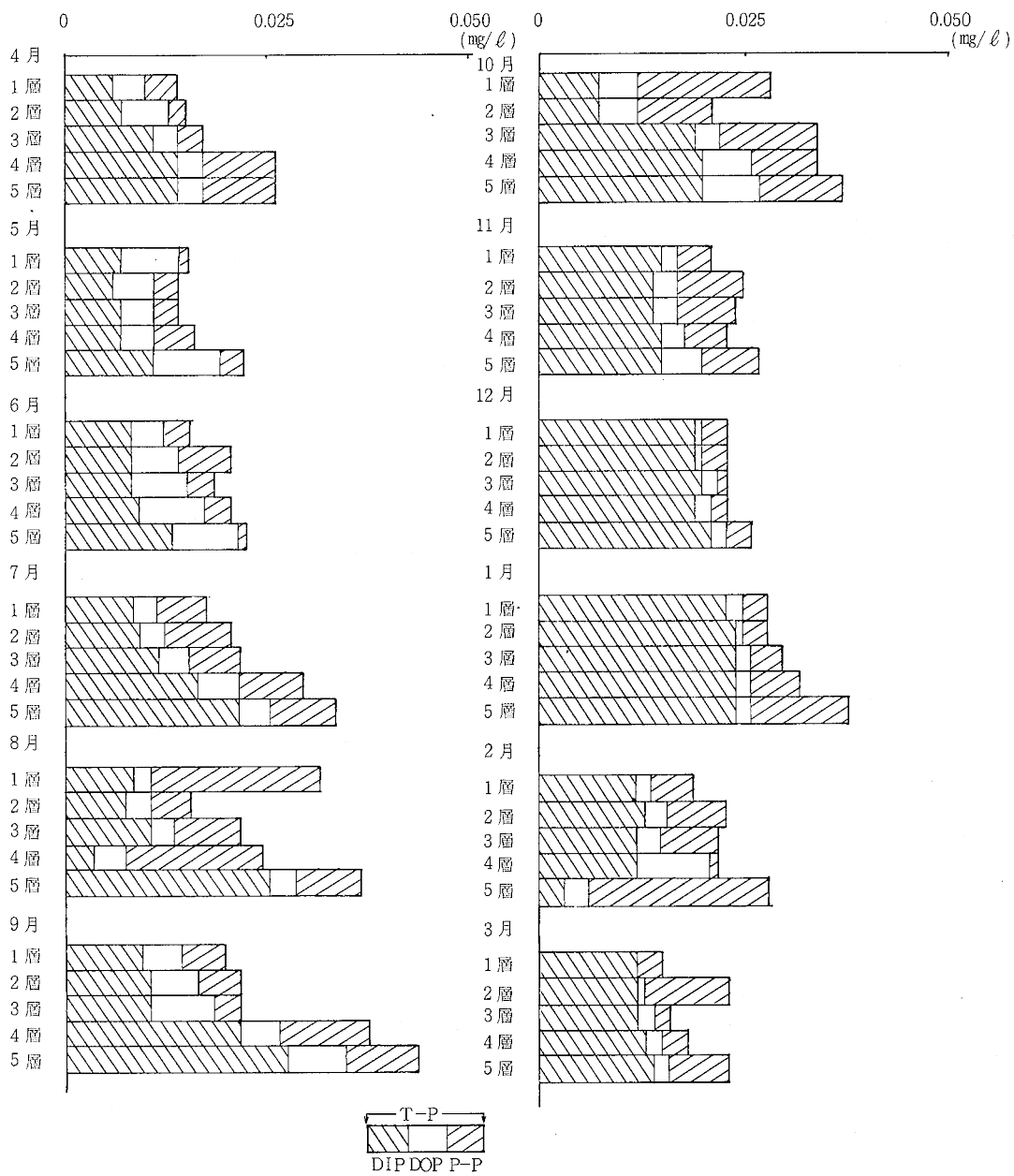


図7 St 3におけるリンの形態別・層別の季節変動

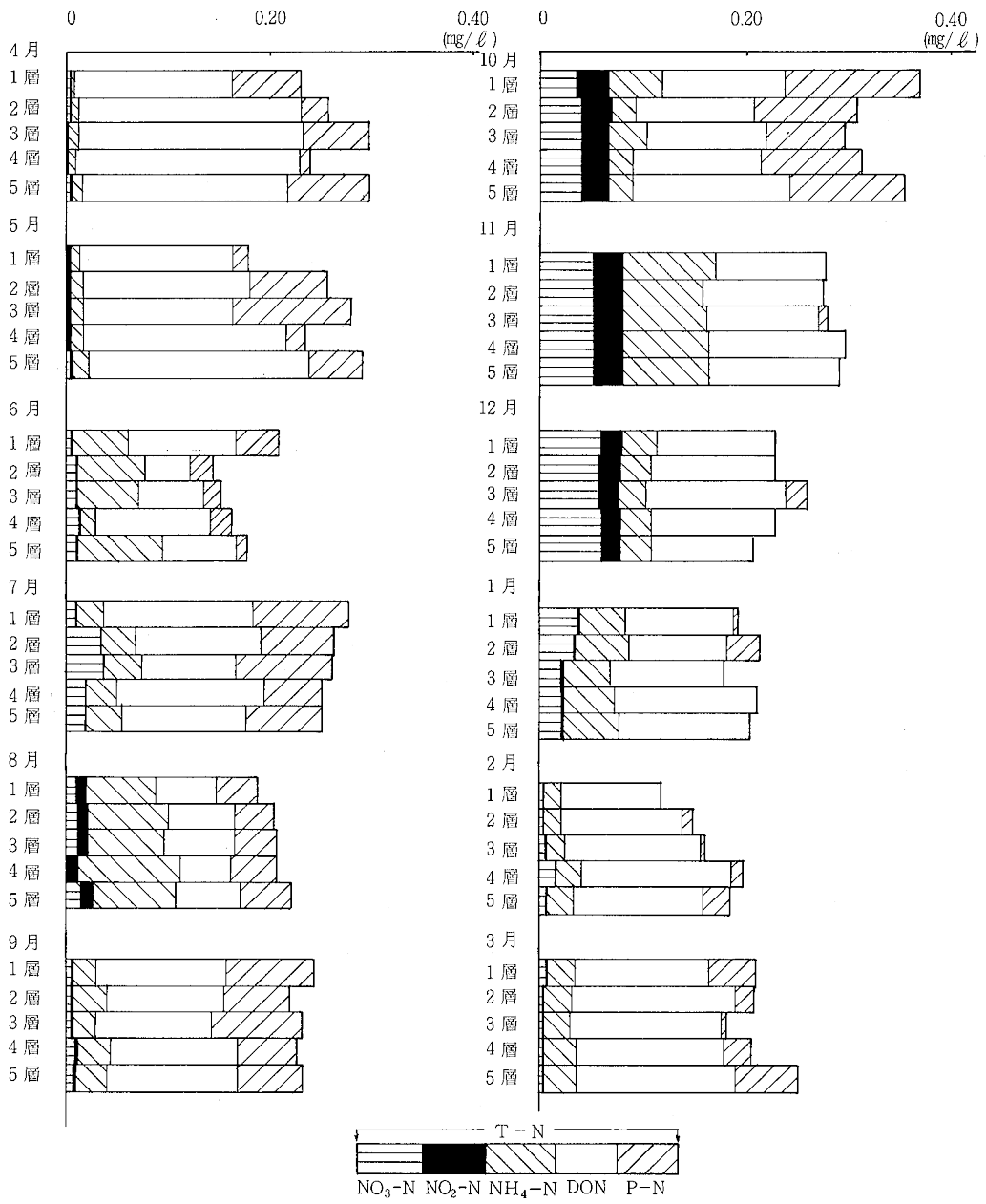


図8 St 1における窒素の形態別・層別の季節変動



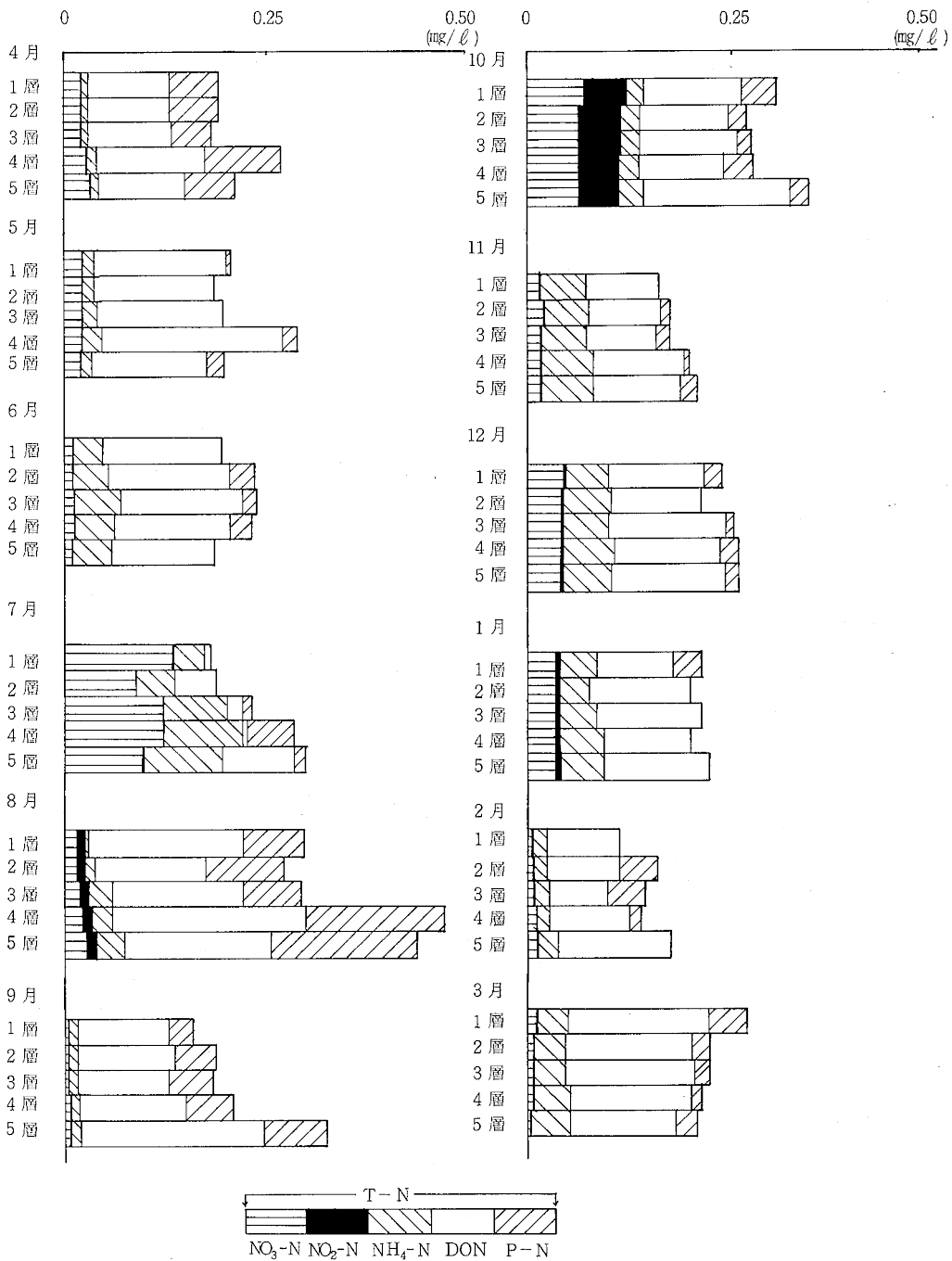


図9 St 2における窒素の形態別・層別の季節変動

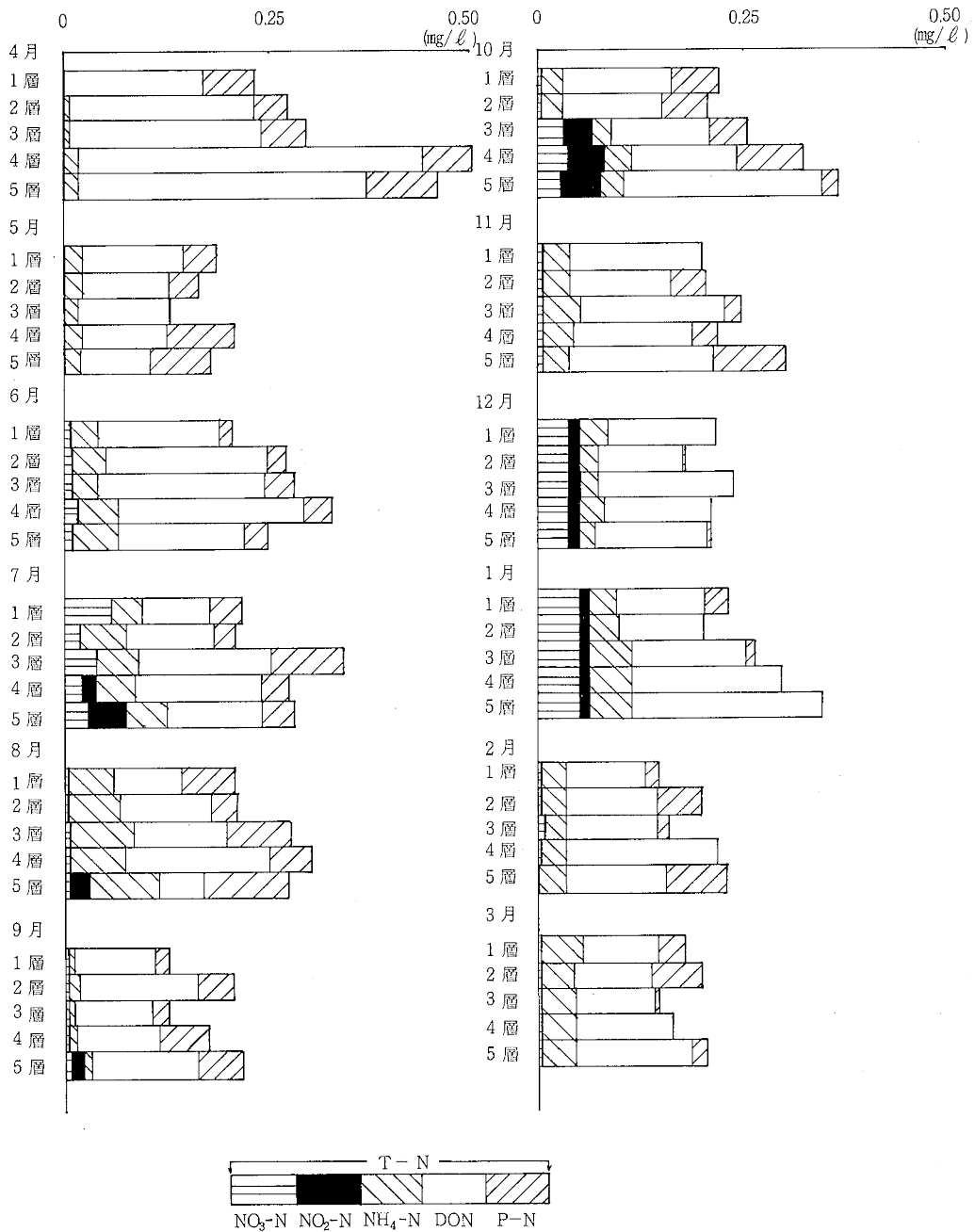


図 10 St 3 における窒素の形態別・層別の季節変動

示した。T-Nは全層において年間を通じて増減をくり返したが、5層ともに10月に最高値を示した。P-Nは全層において7~10月にかけて高い値を示し、11~2月にかけて低い傾向があった。DONは全層において4~5月にかけて高い値を示し、9~2月においては0.10~0.20mg/lのほぼ一定の値であった。DIN(NH<sub>4</sub>-N+NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N)は全層において11月に最高値を示すような山形の曲線を示した。

St2における窒素の形態別、層別の季節変動を図9に示した。T-Nは全層において増減をくり返したが、1, 2層は8月に、3~5層は10月に最大値を示した。7~9月において3~5層が1, 2層に比較して高い値を示しているのを除いては、年間を通じて層間の濃度差は小さい。P-Nは全層において増減をくり返したが、8月に最大値を示した。DONは、7~10月において、層間の濃度差は大きい、その他の月においては小さかった。DINは、7, 10月に山をもつような曲線を示した。7月には他の月と違ってT-Nの内DONの占める割合が極端に減って、DINの占める割合がかなり増えている。NO<sub>3</sub>-Nは、7月を除いては春から夏にかけて低い傾向を示した。

St3における窒素の形態別、層別の季節変動を図10に示した。T-Nは全層において増減をくり返し、最大値を示す月は各層によって異っていた。P-Nは冬場の12, 1月に低い値を示した。DONは全層において年間を通じて増減をくり返したが、全層において4月に最大値を示した。4月には全層においてT-Nに占めるDONの割合が高かった。DINは、4~10月にかけては上層より下層が高い値を示したが、11~3月は層間の濃度差は非常に小さかった。DINにおいて1, 2層は7, 1月に山をもつような曲線を示したが、3~5層は7, 10, 1月に山をもつような曲線を示した。NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-NもDINと同様な季節変動を示した。

#### 1) P-NとCh-a

表4にP-NとCh-aの相関係数を示した。

表4 P-NとCh-aの相関係数(n=60)

地点	項目	Ch-a
St 1		0.436 *
St 2		0.383 *
St 3		0.151

\* 1%の危険率で有意

St1, St2においてP-NとCh-aの間で正の相関が

みとめられることより、P-Nの増減において植物プランクトンの活性が関与していると考えられる。しかしSt3においては相関が認められないことより、P-Nの増減には植物プランクトン活性の関与は小さいと考えられる。

## ま と め

香川県海域において昭和58年4月から昭和59年3月まで調査した栄養塩類等の結果の概略は次のとおりである。

1. St1, 2においては水温による躍層は形成されなかったが、St3においては6~9月に躍層が形成され、この期間に表層と底層において水温、DOの飽和度に濃度差がみられた。塩素量は年間を通じてSt3がSt1, 2より高い値を示した。DOの飽和度は、St1において赤潮の為に126~153%と高い値を示した以外は、St1, 2ともに年間を通じて変動は小さかった。Ch-aはSt1において7月に5.5~9.0 μg/lと高い値を示した。St2, 3においてCh-aは年間を通じて変動は小さかった。

2. St1, 2においてT-Pは10月に最大値を示すような山形の曲線を示し、その季節変動はDIPの変動とよく一致していたが、St3においてはその傾向はみられなかった。St3の成層期においては底層におけるDIPは表層に比較して高かった。

3. T-NはSt1~3ともに年間を通じて増減をくり返した。P-Nは夏場に高く、冬場に低い傾向があった。DINは3地点ともに10~1月に高い傾向があった。St1, 2においてP-NとCh-aに正の相関がみられることより、P-Nの増減には、植物プランクトンの活性が関与していると考えられる。

今後得られた結果をもとにして栄養塩類の挙動について詳しく解析していきたい。

## 文 献

- 1) 岩崎英雄：日本プランクトン学会報，19，2，(1973)
- 2) 遠藤拓郎：広島大学水畜産学部紀要，5，2，(1964)
- 3) テクニコンオートアナライザー：Industrial method No.154-71 W/A Tentative (1973)
- 4) テクニコンオートアナライザー：Industrial method No.158-71 W/A Tentative (1972, 1977)
- 5) テクニコンオートアナライザー：Industrial method No.155-71 W/A Tentative (1973)
- 6) 田辺信介，小野光広，立川涼：燧灘の海岸構造と貧酸素水塊の生成機構に関する研究，77，文部省「環境科学」特別研究「燧灘の海洋構造と貧酸素水塊の生成機構」研究班，(1984)