

た。これに対して、鳴門海峡の場合には、徐々に北に移動する傾向はみられるものの、その移動速度は小さく(0.5~0.7 cm/sec)、また、拡散係数の大きさも明石海峡の1/3~1/5の値を示した。

以上の結果から、各海峡における表層水の流動特性について整理してみると、友ヶ島水道においては、他の海峡に比べて表層水が外海に流出する傾向が著しく強いことがわかる。また、明石海峡の場合には、潮流による往復運動をくりかえしながら、次第に内海側(播磨灘南部)と外海側(大阪湾・紀伊水道)に分かれて移動すると考えられる。一方、鳴門海峡においては、海峡部周辺に表層水が長時間滞留する傾向が強いように思われる。

また、鳴門海峡、明石海峡、友ヶ島水道で投入した漂流ハガキは、備讃瀬戸より西側には全く漂着がみられないことから、これらの水域の表層水は全体に紀伊水道側に移動する傾向をもつと考えられる。

さきに述べた備讃瀬戸における表層水の移動・拡散状況とあわせて考えてみると、備讃瀬戸東部から播磨灘に

かけての東部瀬戸内海の表層水は、備讃瀬戸中央部より西側の水域とは逆に東方に移動する傾向を示すことがわかる。しかしながら、その移動速度や拡散の大きさは西側の水域よりかなり小さいことから、これらの水域には物質が滞留する傾向が強いものと推察される。

文 献

- 1) 千田哲資ほか(1968) 備讃瀬戸における1967年のイカナゴ仔魚。昭和42年度岡山県水産試験場事業報告書, 64-99.
- 2) 千田哲資(1966) 瀬戸内海におけるサヨリの産卵II. 流れ藻に産みつけられた卵の漂流経路と運命。日本生態学会誌, 16(5), 171-175.
- 3) 中田英昭・平野敏行(1976) 瀬戸内海中央部における表層水の流動(漂流ハガキの漂着状況について)。日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 166-167.
- 4) 中田英昭・平野敏行(1977) 瀬戸内海中央部における表層水の流動(2)漂流ハガキの漂着状況(夏季)。日本海洋学会春季大会講演要旨集, 102-103.

2. 大阪湾における形態別リン、窒素の分布と季節変化 およびその現存量について

城 久 (大阪府水産試験場)

瀬戸内海に流入する汚染物質の約1/3が集中的に流入している大阪湾は一年を通して赤潮が頻発しており、瀬戸内海のなかでも最も富栄養化が進んでいる海域と考えられている。

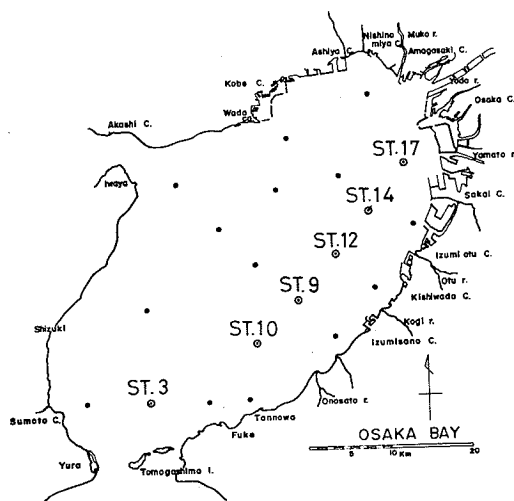
このような状況にある大阪湾では近年多くの現場調査が行なわれているが、これらは主にCOD等の汚染指標や無機態栄養塩の測定にその重点がおかれている。しかし内湾の富栄養化について議論するにはこれらの項目と共に赤潮プランクトンが直接摂取出来るといわれている溶解有機態や、無機塩が転換している懸濁粒子態のリン・窒素についても同時に測定することが望ましい。

そこで今回は1976年の調査結果から無機態と共に有機態のリン・窒素の分布とその季節変化、およびその現存量について、またこれらの分布を支配する要因や赤潮プランクトンとの関連等、大阪湾の富栄養化現象の一端を形態別リン・窒素の挙動に焦点を当てて説明する。

調査方法

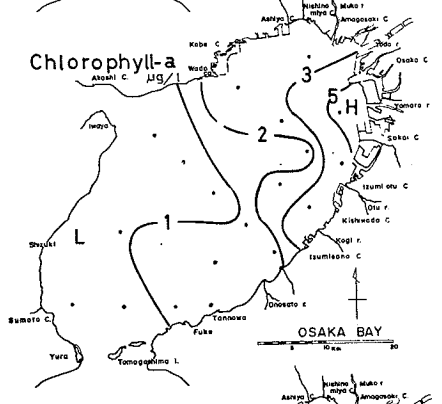
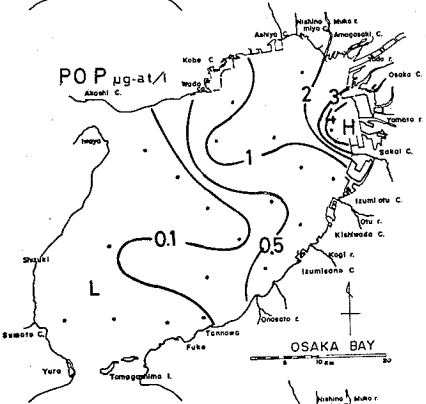
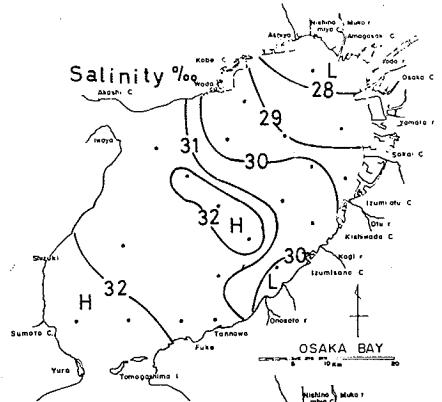
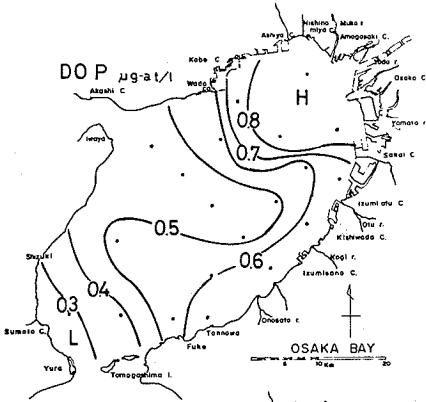
(1) 観測地点 第1図に示す湾長軸の東寄りに設定した

6定点で1976年1月~12月まで毎月1回定期的に観測(1点鉛直4~5層)した。また平面的な状況を見るため湾

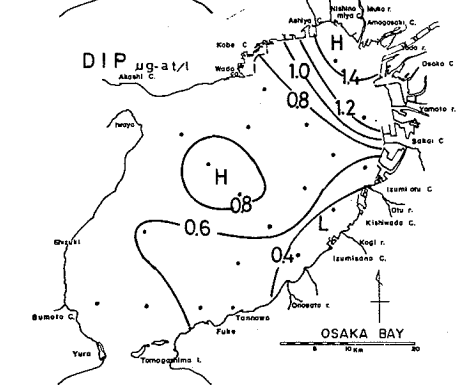
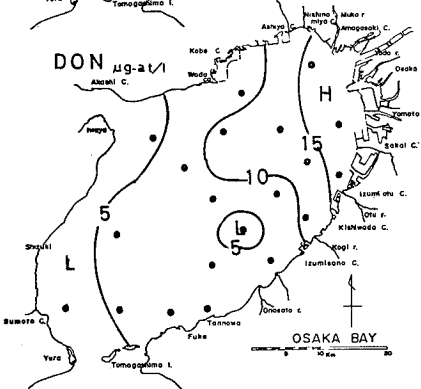
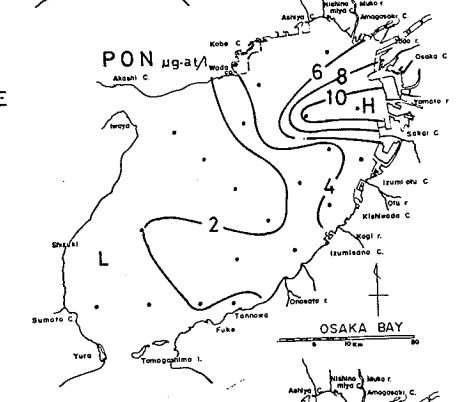
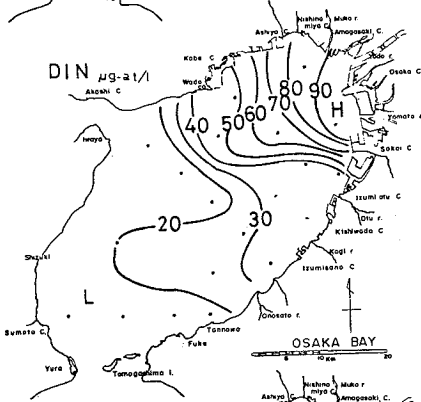


第1図 調査地点図

Feb. 1976
SURFACE



Feb. 1976
SURFACE



第2図 形態別リン・窒素の表層分布 (1976年2月, 表層)

全域20点(表底2層)で2月, 8月に2回測定した。

(2) 測定項目とその分析方法

○DIN (無機三態窒素)… $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ の形態別にオートアナライザーによって測定した。

○DON (溶存有機態窒素)… H_2O 試水をケルダール分解した後中和し, $\text{NH}_4\text{-N}$ として測定した。

○PON (懸濁有機態窒素)…ワットマン GFC 濾紙で海水を大量 H_2O 過し, 濾紙をCNコーダーにかけて測定した。

○DIP ($\text{PO}_4\text{-P}$)…メンツェルの方法による。

○DOP (溶存有機態リン), POP (懸濁有機態リン)…生海水, H_2O 過海水に4% 過硫酸カリ溶液を加えて分解後, メンツェルの方法によって測定し, DIPとの差から求めた。

○クロロフィル a およびフェオフィチン…蛍光法
調査結果および考察

1. 平面分布

湾内の平面分布の一例として1976年2月の表層水の状況を第2図に示した。DIN では湾奥に $90 \mu\text{g-at/l}$ 以上の高い分布があり湾中央部に向けて急激に減少する。

DON は湾奥で高く ($15\sim 20 \mu\text{g-at/l}$), 湾口部にか

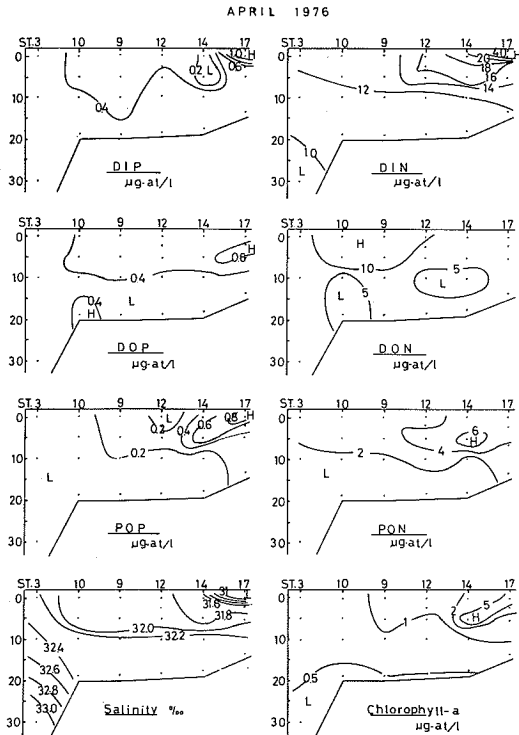
て減少するが, DIN に比較して濃度差が少ない。PON も DIN と殆んど類似のパターンを示すが濃度 ($1\sim 11 \mu\text{g-at/l}$) はその約1/10と低くなっている。

リンについても窒素と同様に湾奥で高く, 湾中央部にかけて低下するが DIP では泉州沿岸域に低い分布が出現している。DOP, POP は $0.3\sim 0.9, 0.1\sim 4 \mu\text{g-at/l}$ の濃度で, 分布パターンは DIN, PON の分布と酷似している。

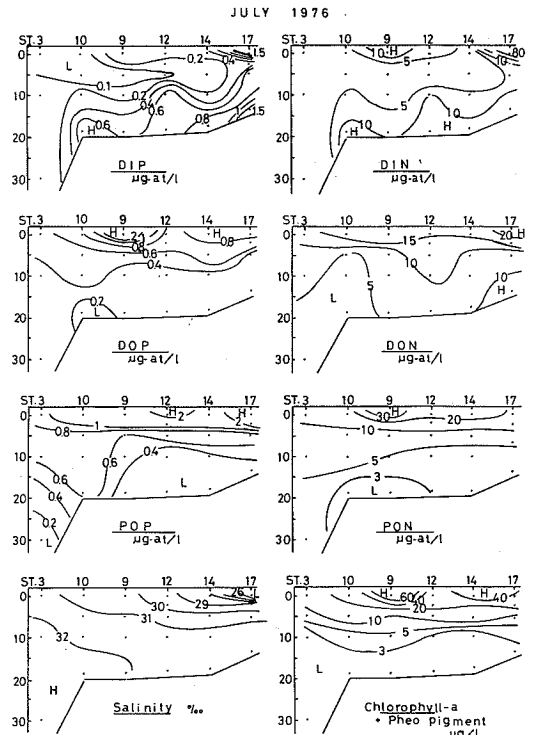
この時の一般的な海況特性は塩分の分布に現われている。湾奥に 28‰ 以下の低かん水があって湾中央部に向けて次第に回復する状況が読取れる。このパターンはリン, 窒素のそれぞれの分布と共通しているといえる。

すなわち, より低かん水が分布している湾奥部ほど各形態のリン・窒素濃度が高く, 塩分が次第に高くなる湾中央部にかけて逆にそれらは低下している。

クロロフィル a についても低かん域で高く, 塩分分布と比較的よく対応している。またクロロフィルが最高となった大和川河口の海域は PON, POP でも最高値を示したところであり, 両者の分布パターンが類似していることから, これら懸濁粒子態のリン・窒素が植物性プラ



第3図 形態別リン・窒素の鉛直分布 (1976年4月)



第4図 形態別リン・窒素の鉛直分布 (1976年7月)

ンクトンに由来するものが多いことを示唆している。

2. 鉛直分布

大阪湾の海況は躍層形成期と混合期で大きく状況を異にするので前者の特徴を1976年4月の結果から、後者については7月の分布を第3,4図に示した。図は湾長軸やや東寄りの水塊断面をあらわして St. 17 は湾奥大阪港の近く、St. 3 は湾口部に面した地点である。

4月の分布は全般的に鉛直差が少ないのが特徴である。塩分では湾奥 St. 17 の表層に河川水の影響が見られ、湾口部の中層には外海水が流入している状況が現われている。そして低かな湾奥部の上層水塊で植物性プランクトンの繁殖がやや活発に行なわれている。DIN, DIP では St. 17 の表層に流入負荷の影響とみなされる高濃度な分布が出現している。

溶存有機態は全域で濃度差が少なく傾向的な特徴もみられないが、クロロフィル a の高い水塊で DOP がわずかに高い分布を示している。

懸濁粒子態は St. 14~St. 27 の上層で高い値が出現しており、塩分やクロロフィル a の分布とよく対応している。

躍層が形成される7月は鉛直差が明確になる。塩分は湾奥 St. 17 の表層で 26‰ 以下と低く、その影響は湾口に近い St. 10 の上層部にかけて徐々におよんでいる。これらの内湾性水塊が分布する表層水では植物性プランクトンの密度も高く、St. 9, 14, 17 等湾奥~中央部の表層水塊ではクロロフィル a とフェオフィチンの和が 40

~70 $\mu\text{g}/\text{l}$ に達している。

DIP, DIN 等無機塩は St. 17 を除いて上層で低く、底層で高い分布となるのに対し、有機態のリン・窒素は表層で高く底層で低い分布を示し塩分やクロロフィル a の分布と類似している。このような分布は湾奥部に流入した汚濁河川水が St. 10~14 の海域にかけて稀釈される間に植物性プランクトンの繁殖によって無機塩が吸収され、有機態への転換が行なわれている状況を間接的に表わしている。

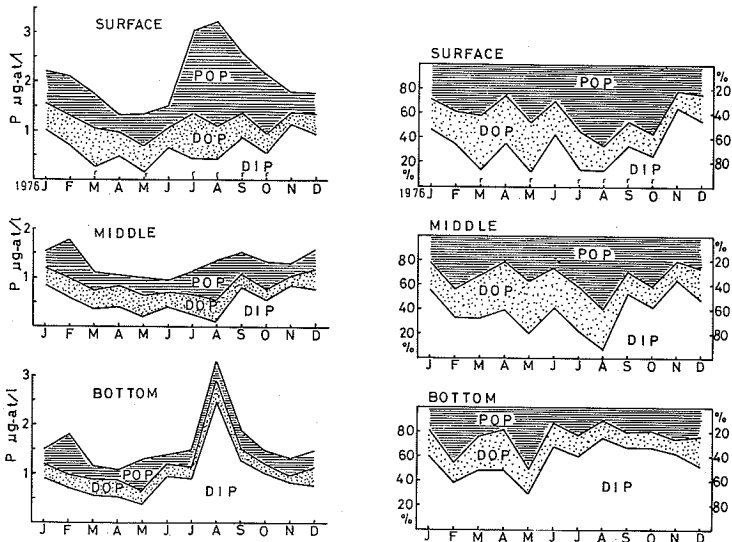
3. 季節変化

層別・形態別の季節変化を6点の平均値で濃度と全体中の構成比について別に示した。

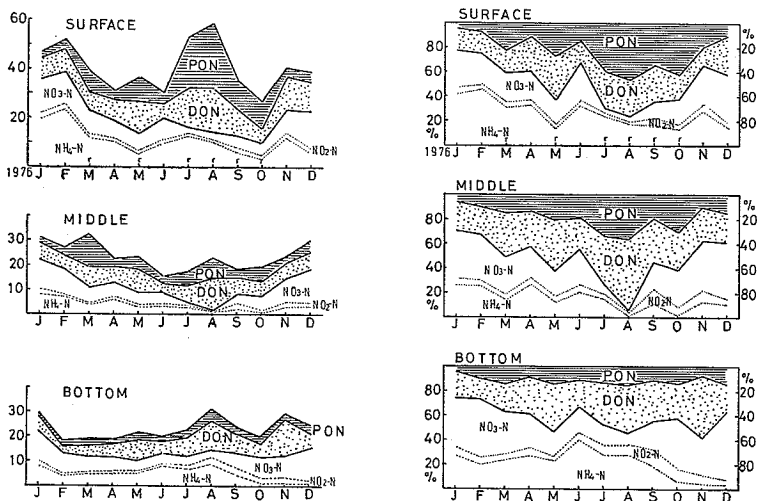
第5図からリンの変化を見ると表層ではDIPが春~夏に少なく秋から冬に増加するのに対し、POP は赤潮が頻発する夏期の増加が著しい。中層では全リン・各形態別とも月毎の変化は表層にくらべて小さくなるが、その中で8月のDIPの減少、2月のPOPの増加が目立っている。これは前者が流入負荷の影響を直接受けることが少ないうえプランクトンによって吸収される結果であり、後者は表層に多いPOPが冬期風浪によって攪拌され鉛直的に均一化されるためと考えられる。

底層水では8月のDIPの増加が著しく、分解再生したものや、貧酸素化に伴って底質から溶出した無機リンが底層水塊中に貯えられている状況を示している。

このようにPOPは夏期の表層水に多く、DIPは夏の底層水で高くなるなど特徴的な季節変化を示すのに対し



第5図 形態別リンの季節変化

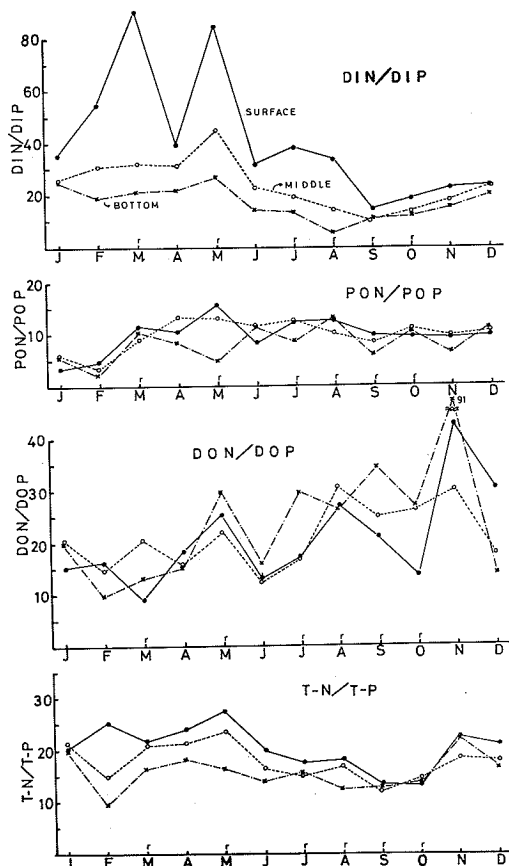


第6図 形態別窒素の季節変化

DOP では上層ほど高い傾向はうかがえるものの各層とも明確な季節変化は認められない。構成比では表層・中層で有機態の占める比率が比較的大きく躍層形成期は全体の60~90%が有機態として存在している。しかし11月~2月の冬期はDIPが多くなり全リンの半ば近くを占めている。底層では年間を通して無機態が多く、かつ構成比の変化も少なくなっている。

窒素の季節変化を第6図に示した。窒素は無機態が更に3つの形態に区別されるのでその分画を破線で示した。表層ではDON, PONとも夏期に多く、リンと同様の経過で推移するが一年を通じて無機態の比率が高いことが特徴である。中層は各形態の濃度や月ごとの変化とも表層にくらべると小さい。また8月のDINの減少が著しいといえるが、これに代ってDONは最高を示し、全体の約60%が溶存有機態となっている。この時の表層水は鞭毛藻、珪藻等による強い赤潮状態を呈していたことから、中層におけるDINの減少、DONの増加は表層水塊中でのプランクトンの分解、代謝と何らかの関係があるものと推測される。底層ではリンのように夏期に無機態が大きく増加することなく、DINは一年を通して15 $\mu\text{g-at/l}$ 前後の濃度で推移している。しかしDINの中では形態の変化があり、躍層形成期は $\text{NH}_4\text{-N}$ が多く、混合期は $\text{NO}_3\text{-N}$ が多い。PONは量的にも構成比も変化が少なく周年10%強の比率を占めている。

このような変化を示すリン・窒素の比について形態別の季節変化を見たのが第7図である。無機塩レシオでは2月~8月と9月~1月の間に傾向的な差がある。2月~8月の期間は上層ほどレシオが高く、特に3月、5月



第7図 形態別N/Pレシオの季節変化

の表層水は 80~90 と高い値を示している。この時は赤潮の発生が認められたが、植物性プランクトンの繁殖が活発となる春の内湾表層水は N, P のバランスが崩れてリンの欠乏した状態を呈している。この傾向は 8 月まで持続するが鉛直混合が行なわれる 9 月になるとレシオは低下し上下均一となる。これは夏期底層水中に貯えられた分解再生リンが上層に供給されるためであり、10 月以降徐々に増加するのはリンと窒素の分解速度の違いが現われているのであろう。

懸濁粒子態では 1, 2 月の低い値 (2~6) に特徴があり、冬期風浪による底泥の捲揚げと DIP の吸着がその原因として考えられる。このことは DIP の分布で泉州沿岸域は DIN とは逆に傾向的な低い分布 (第 2 図参照) が現われていたことにも見られるように、DIP 懸濁質に吸着して見かけ上 POP 濃度を高くしたことがレシオを低下させたのではないかと推察される。

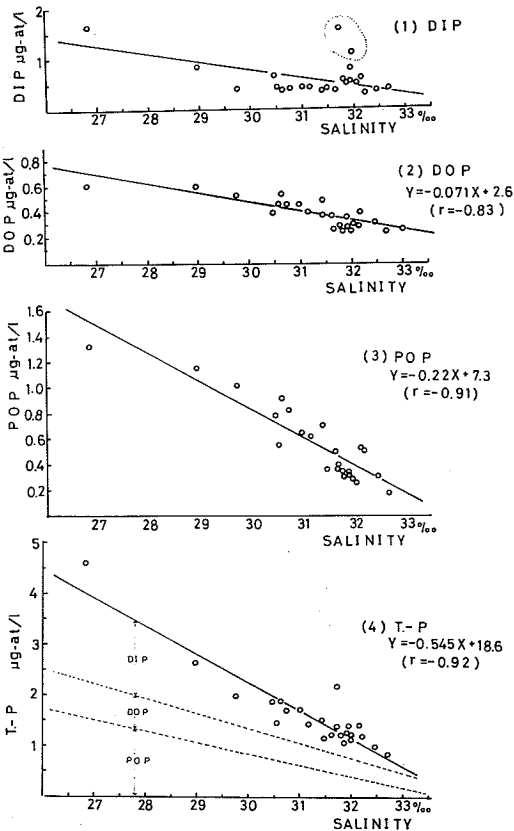
溶存有機態では月毎の変動が大きいが、春から秋にかけてレシオは増加している。

このように形態別には各々に特徴があり、かつ変化が大きいといえるが全窒素・全リンの比は春に高く、秋に低くなる傾向が認められるものの、全般的には変化が小さく、外洋における N/P レシオ 15~16:1 に最も近い値で推移している。

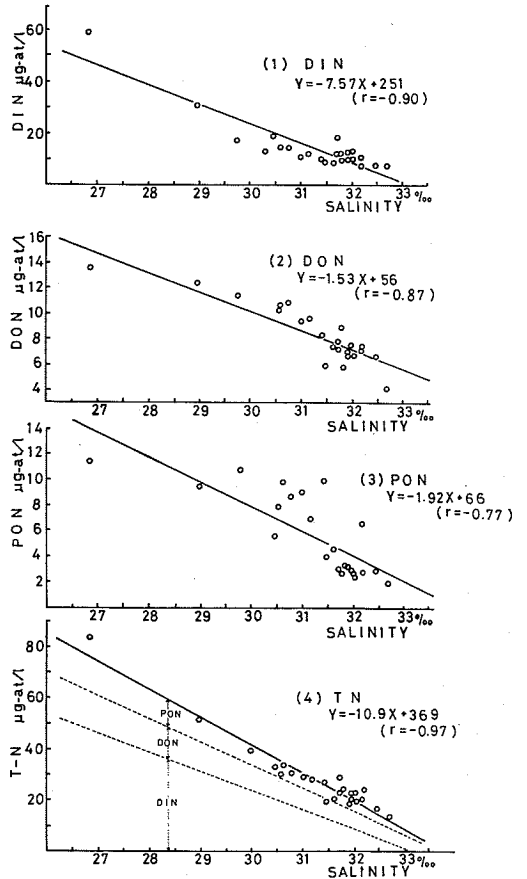
4. 分布を支配する要因

先の分布図で見られたように湾奥の低かん域ほどリン・窒素やクロロフィル a の濃度が高かったことから、これらの間には何らかの関係があるものと予測される。

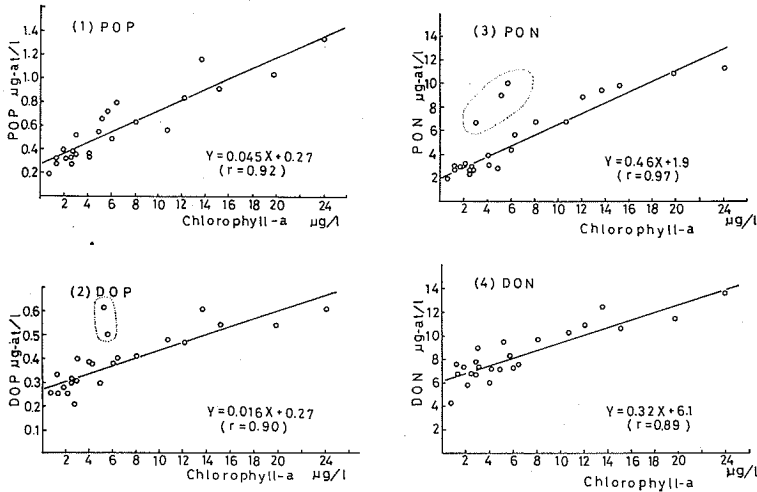
そこで各形態別のリン・窒素濃度と塩分量の関係を各点の年平均値で第 8, 9 図に示した。リンでは三形態とも塩分量と負の相関が比較的密接であり、塩分が 26~33‰ の間では河川水の影響が強い低かん域ほどリン濃度が高い。全リンと塩分の関係も密接であるので第 8 図(1)~(3) の関係を第 8 図(4)に移しとると全リン中の各形態別の構成成分は破線で示される。この図は全リンを構成する各形態別のリンの海中における存在比が塩分量によって変化する



第 8 図 形態別リンと塩分の関係



第 9 図 形態別窒素と塩分の関係



第10図 有機態リン・窒素とクロロフィルaの関係

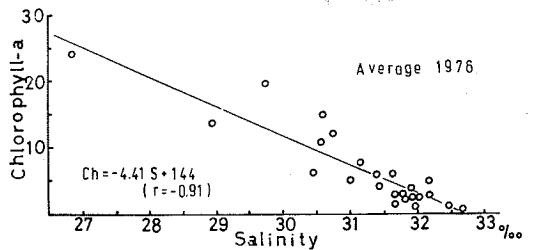
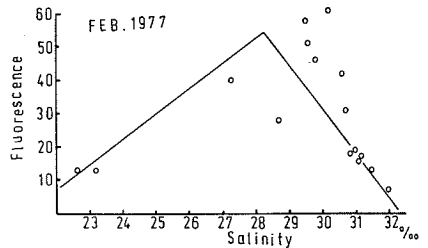
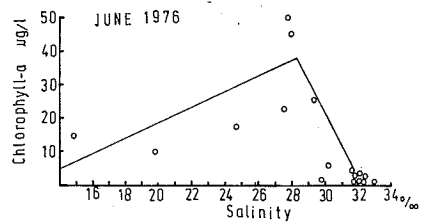
ることを表わしている。すなわち塩分の低下によって大きく増加するのは DIP, POP であり, DOP は濃度はいくらか高くなるが構成比は減少する。逆に塩分が高くなると DIP, POP が非常に少なくなり, 塩分による濃度変化の少ない DOP の比率が高くなっている。

窒素についてもリンと同様のことがいえる。全窒素と塩分の間にも密接な負の相関があり形態別に各構成成分が示されるが, リンに比較して低かん部での DIN の比率が高く懸濁粒子態はあまり増加しない。しかし高かん域ではリンと同様に DIN, PON は著しく減少するのに対し, DON は減少率が小さく窒素の大半が溶存有機態として存在することを表わしている。

このように各形態のリン・窒素とも平均的な海域濃度が塩分量と負の相関が密接であることは, その起源が汚濁した都市河川水であり, それぞれの海域濃度は河川水の稀釈状況によって決定されているといえる。

しかし一方これらのリン・窒素の分布と関連の深いもう一つの要素としてクロロフィルaで表わされる植物性プランクトンがある。特に有機態の分布はクロロフィルaのパターンとよく対応したので溶存有機態・懸濁粒子態のリン・窒素とクロロフィルaの関係を年平均値で図示した(第10図)。

POP, DOP, PON, DONともクロロフィル-aとそれぞれ正の相関が密接であり, その多くが植物性プランクトンに由来するものであることを示している。また2~3の点が傾向的な直線関係から離れているのは, この海域でノクチルカ等クロロフィルを持たないプランクトンによる赤潮が発生したことに起因している。



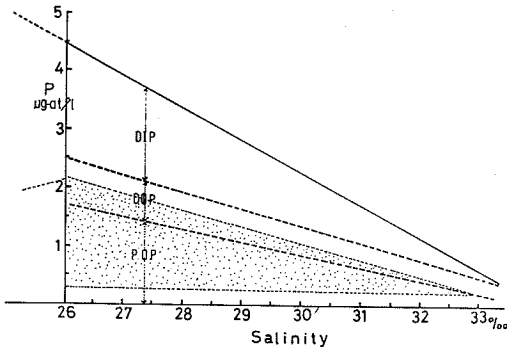
第11図 塩分とクロロフィルaの関係

第10図の各近似直線を求め, クロロフィルaを0とした時のY軸切片の値 (POP, DOP=0.27, PON=1.9,

DON=6.1 各 $\mu\text{g-at/l}$ は植物性プランクトンに由来しないものの平均的な濃度であり、それ以上の値はクロロフィル濃度に比例して増加しているとみなすことが出来る。

このように有機態のリン・窒素がクロロフィルaと正の相関が、塩分と各形態のリン・窒素では負の相関がそれぞれ密接であるという二つの事実からいえることは、大阪湾では河川水の稀釈状況によって基本的に支配されているリンや窒素の高濃度海域ほど赤潮が頻発しているということを意味している。しかしこの場合河川水の稀釈状況によって濃度が決定される有機態のリン・窒素は陸上起源のものが単に稀釈されて分布していると考えるよりも、河口に流入後懸濁態は一旦沈降して無機態に分解された後、今回の相関が密接となった平均塩分 26% 以上の海域にいたる間にプランクトン性のものに転換していると考えるのがより妥当であろう。

第11図はこのことを間接的に表わしている。年平均値でプロットした塩分とクロロフィルaの関係は塩分26~33% の間で負の相関が密でありこの間では塩分が低いほど植物性プランクトンの繁殖が活発となっている。今回の調査では平均塩分量が 26% 以下になるような河口周辺部に測点を設けていないため、より低かん域での両者の平均的な関係を明示することは出来ないが、個々の観測値 (1976年6月, '77年2月) では塩分26~28% を



第12図 塩分の低下に対応して増加する有機態リンの中で占める植物性プランクトン起源の有機態リンの割合

境として、より以上塩分が低くなるとクロロフィルaも少なくなる傾向が現われている。また理論的にも塩分がほぼゼロとなる河口では海のプランクトンも生存できないため、内湾の植物性プランクトンに起因する有機態リン・窒素も殆んどないと考えて差支えない。

このことをリンについて整理すると、第10図の関係からクロロフィルaをゼロとした時のY軸の値を植物性プランクトンに由来しない量とし、それ以上の値はクロロフィルaの増加に比例していたことからこれを植物性プランクトン起源のものとして有機態リンの構成を区別したのが第12図である。打点した部分が植物性プランクトン起源の有機態リンとみなされるが、平均塩分 26% 以下では植物性プランクトンが減少するためこの量は低下し、それに代って陸上から流入したものが増加すると考えられる。この点については今後河口近くの観測を行なうことによって更に検討されるべきであるが、これらのことから結論として次のようにいえる。

すなわち大阪湾内のリン・窒素の分布は無機態・有機態を問わず基本的には汚濁河川水の稀釈状況によって支配されているが、有機態のものは陸上からの流入物が単に稀釈されたのではなく、その多くは塩分が 26% 近くに上昇する間に無機態のものから植物性プランクトン起源のものに速やかな転換が行なわれているのではないかとということである。

5. リン・窒素の形態別現存量

形態別リン・窒素の各濃度が塩分量との関係が密接で、各々是一次の直線式で近似出来ることから、鉛直的にも平面的にもデータが豊富な塩分量によって間接的に形態別リン・窒素の平均的な現存量を推定した。計算方法は湾内20点の年平均塩分量から5~10m層毎に等塩線を描き、等塩線内の容積にその塩分量に対応するそれぞれのリン・窒素濃度を乗じた。ちなみに大阪湾の全容積は 42.5 km^3 となった。試算結果を第1表に示す。

窒素は全体で 11,752 t と見積られるが、その内訳は DIN 5,062 t (43.1%), DON 4,162 t (35.4%), PON 2,528 t (21.5%) である。

リンは DIP 743 t, DOP 429 t, POP 333 t で全リン

第1表 大阪湾の形態別リン・窒素の現存量 (1976年)

窒素	現存量	構成比	リン	現存量	構成比	N/P レシオ
DIN	5,062 t	43.1%	DIP	743 t	49.4%	6.8
DON	4,162	35.4	DOP	429	28.5	9.7
PON	2,528	21.5	POP	333	22.1	7.6
T-N	11,752		T-P	1,505		7.8

として 1,505 t となる。その構成比は 49.4, 28.5, 22.1 各 % となり無機態が最も多く全体の約 1/2 を占めている。両者の構成比を比較すると懸濁粒子態はどちらも 20 % 強ではほぼ等しいが、無機態はリンが、溶存有機態は窒素でそれぞれ構成比がいく分高い。

1971年を基準にして推定した大阪湾への排出負荷量は $N=215$ t/日、 $P=24.5$ t/日 と試算されるが、ここで求めた現存量を一日の排出負荷量で割ると、大阪湾でのリ

ン・窒素の滞留日数は約60日程度になる。

また形態別窒素・リン現存量の重量比は 6.8~9.7 の値を示すが、全窒素-全リン比は 7.8 となり外洋における重量比にはほぼ近い値となっている。このことは季節や水深、形態の転換等から場合によって湾内のバランスが崩れることはあっても内湾水全体の平均的な現存量では両者のバランスは保たれているといえる。

3. 大阪湾におけるヤコウチュウの分布と生態

黒田 一 紀 (東海区水産研究所)

佐賀 史 郎* (東海大学)

1. はじめに

ヤコウチュウ (夜光虫) は広く世界に分布し、日本近海にも普通に棲息する単細胞の原生動物プランクトンである。また、ヤコウチュウは古くから発光微生物として知られており、海洋の発光現象が物理化学的現象ではなく、発光微生物に由来することを知らせた歴史的に有名な生物でもある。かくて、ヤコウチュウの科学は顕微鏡の発達に伴ない、18世紀に端を発し、19世紀にかけて発光生理、発生生理、形態などを中心に研究が進められた (中村, 1944)。しかしながら、ヤコウチュウが余りにもよく知られた種類であったことやマイクロプランクトンとマクロプランクトンの中間的な大きさに定量的な調査研究に欠けたために、その分布や生態に関する研究は不十分である。特に、ヤコウチュウの生活史には2つの生活環があることが知られているが、未知の部分を含んでいる (安達, 1970)。

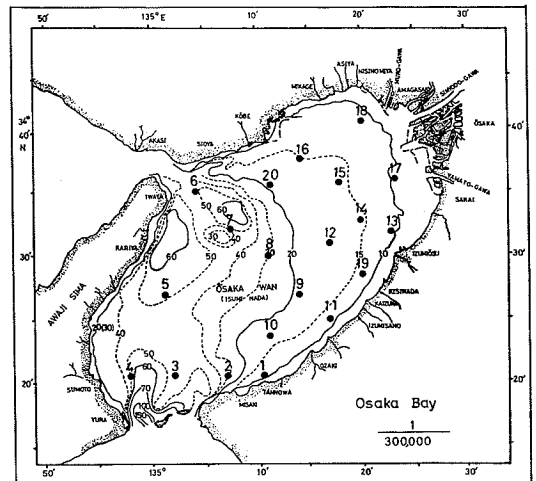
近年瀬戸内海では、海水の富栄養化現象が顕著に進行している。その結果は生物相の変化として反映されており、その最大の反映は赤潮で、社会的にも自然科学的にも注目を集めている。そして、瀬戸内海に生ずる赤潮現象のうち、夜光虫赤潮は大きな部分を占めている (星野, 1972; 村上, 1976; 水産庁瀬戸内海漁業調整事務局, 1972-1977)。

本報告では、瀬戸内海の代表的な赤潮発生海域である大阪湾を対象海域として、その原因生物として重要な役割をもつヤコウチュウの時空間分布を定量的に調査し、環境条件との関係・食性などについても二、三の知見を

得た。また、ヤコウチュウの海洋生態系における役割や意義について考察した。

2. 試料と方法

試料は大阪府水産試験場が実施している大阪湾浅海定線 (20点) で、調査船“はやて” (FRP, 40 t) により、1976年4月~1977年3月の毎月上・中旬に、北原式採水器で採水された (第1図)。500 ml の試水は直ちに中性ホルマリンで1~2% に固定保存された。採水層は0, 5, 10 m を基本とし、水深 20 m 以浅の測点では底層 (海底上 1 m) を追加した。さらに、神戸海洋気象台の大阪湾定線 (5点) で、調査船“春風丸” III 世 (373 t) によ



第1図 大阪湾の海底地形と大阪府水産試験場による海洋観測地点

* 現在、株式会社大木勤務