

# 大阪湾における赤潮発生機構に関する研究

(1974年8月 定点連続観測結果)

城 久・矢持 進・西村 肇<sup>※</sup>

Studies on the Mechanisms of Red Tide Occurrence  
in OSAKA Bay.

Hisashi JOH. Susumu YAMOCHI. Hajime NISHIMURA

大阪湾に発生する赤潮の実体については1968~'69年に総合的な調査を行い、大阪湾の環境条件と赤潮出現種、その分布および季節変化等について明らかにするとともに20日間の定点連続観測から経時的な水塊変動にともなう赤潮の消長を観察し、赤潮発生にいたるメカニズムについても予備的に検討<sup>1)</sup>した。

しかしこれは一点の連続観測であるため環境やプランクトンの経時変化が水塊内での変化か、水塊移動による変化が定点の時間的な変化として現われたのか区別することが出来ない難点があった。

赤潮が発生する内湾水塊中において水温・塩分等の保存性の要素や栄養塩等の物質収支に影響をおよぼすプロセスとして水平方向の対流・拡散、鉛直方向の拡散・生物による取込みと分解が考えられるが、これらの因子を分離した観測によって赤潮発生時の環境条件の変化を別個に把握できれば、その発生要因の動的過程がより明らかにされるものと考えられる。

このため今回の調査では定点の連続観測と並行させて漂流ブイによる漂流点観測、室内実験による生産量の測定を併せて行い、赤潮発生時の環境条件、発生機構の一因を探求しようとしたものである。

なお、この調査は東京大学工学部化学工学科西村研究室(代表 西村肇 助教授)の指導のもとに、筆者等が共同で行ったものである。

## 観測方法

(1) 定点連日観測……貝塚沖2kmの海域(水深12m)に観測定点を設定し、1974年8月12日~19日までの間、毎日午前10時に定点で7層(0, 2, 4, 6, 8, 10, 底層)の鉛直観測を行った。

※ 東京大学工学部化学工学科

(2) 漂流点観測……定点に到着時に2 m層に抵抗板をつけたブイを漂流させ、3時間後の漂着点で定点と同一の観測を行った。この観測は定点で観測した水塊の状態がその後3時間のあいだにどう変化するかを漂流ブイによって追跡したものである。

(3) 生産量測定……定点観測時の表層水(0 m, 2 m層)を実験室に持帰り室内水槽(27℃, 10,000 Lux, 6時間)でウインクラ法によって生産量を測定すると共に、淡水流入による海水の希釈がプランクトンの増殖におよぼす影響を実証するため、現場海水を蒸留水で15%, 13%に希釈したもののについても同時に測定した。

#### (4) 調査、測定項目

水温、塩分、濁度、pH、溶存酸素、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DON、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、DOP、POP、クロロフィル-a、生産力、プランクトン(種類および個体数)

### 調査結果

#### (1) 定点における鉛直水塊分布の経時的变化

8日間にわたる連日観測から定点観測点の水塊鉛直分布の経時的变化を項目別に図示したのが図-1である。この結果は大阪湾東部沿岸水域における高温期の水塊特性をよく表わしている。

全般的な概況についてみれば8月12~16日の間は中層での躍層形成が顕著であり、高温・低かん・酸素過飽和・貧栄養の表層水と低温・高かん・貧酸素・過栄養の底層水が明らかに分離している。しかし17日には台風が接近して鉛直混合が促進されたため鉛直差が消失してほとんど上下均一の分布となった。

18日以降は再び天気回復したので19日まで日を追って表層の酸素飽和度が上昇するなど躍層が再度形成される徴候があらわれている。躍層が最も顕著にみられるのは8月14日で6~8 m層の間で水温1.5℃、塩素量0.5%、酸素飽和度100%の差を生じている。この躍層はその後上に移動し、16日には水深2~4 mの間に存在している。8月16日から18日の状況は躍層形成時に底層に蓄積されている栄養塩類が鉛直混合によって表層に供給されること、および風浪が強く(10~15 m/sec)なると沿岸部(水深12~14 m)では1日以内に水塊の上下攪拌により鉛直差が消失することを示している。

躍層の形成に対応して特徴的な現象は14日の底層水を中心にみられる無酸素水塊の出現である。この水塊の時間的経過は12~14日の間に底層水の貧ないし無酸素化が進むと共に厚みを増し、14日には8 m層で0に近い値となった。15日以降は再び10 m層まで下り、16日には底層直上に存在した。このような溶存酸素量からみた上下異質の水塊の消長および17日からの混合状況はpH分布のパターンとほとんど同一であり、その他水温、塩素量、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 等の無機栄養塩類ともよく対応している。 $\text{PO}_4\text{-P}$ でみられる底層の高濃度分布は還元的な雰囲気形成されることによって生じる底質からの溶出と考えられる。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は酸素過飽和の表層水中で低く、底層水塊で高濃度となる傾向は $\text{NH}_4\text{-N}$ と同様であるが、底層での分布がやや複雑で必ずしも酸素量と対応していない。すなわち無酸素化が最も顕著に現われた14日は $\text{NH}_4\text{-N}$ が増加するのに対し、これら2つの形態の窒素は逆に減少している。これは底層水が強い還元状態になり $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が脱窒素作用を受け見かけ上 $\text{NH}_4\text{-N}$ に還元された結果と考えられる。杉浦<sup>2)</sup>は脱窒素作用は海水の酸素量が0.2 ml/l以上は起きにくいとしているが、今回の観測でも飽和度5%以下の無酸素海域に限って出現したことはその可能性が高い。

リンは無機態の $\text{PO}_4\text{-P}$ のほか有機態のものを溶存態(DOP)、懸濁態(POP)に分けて測定し

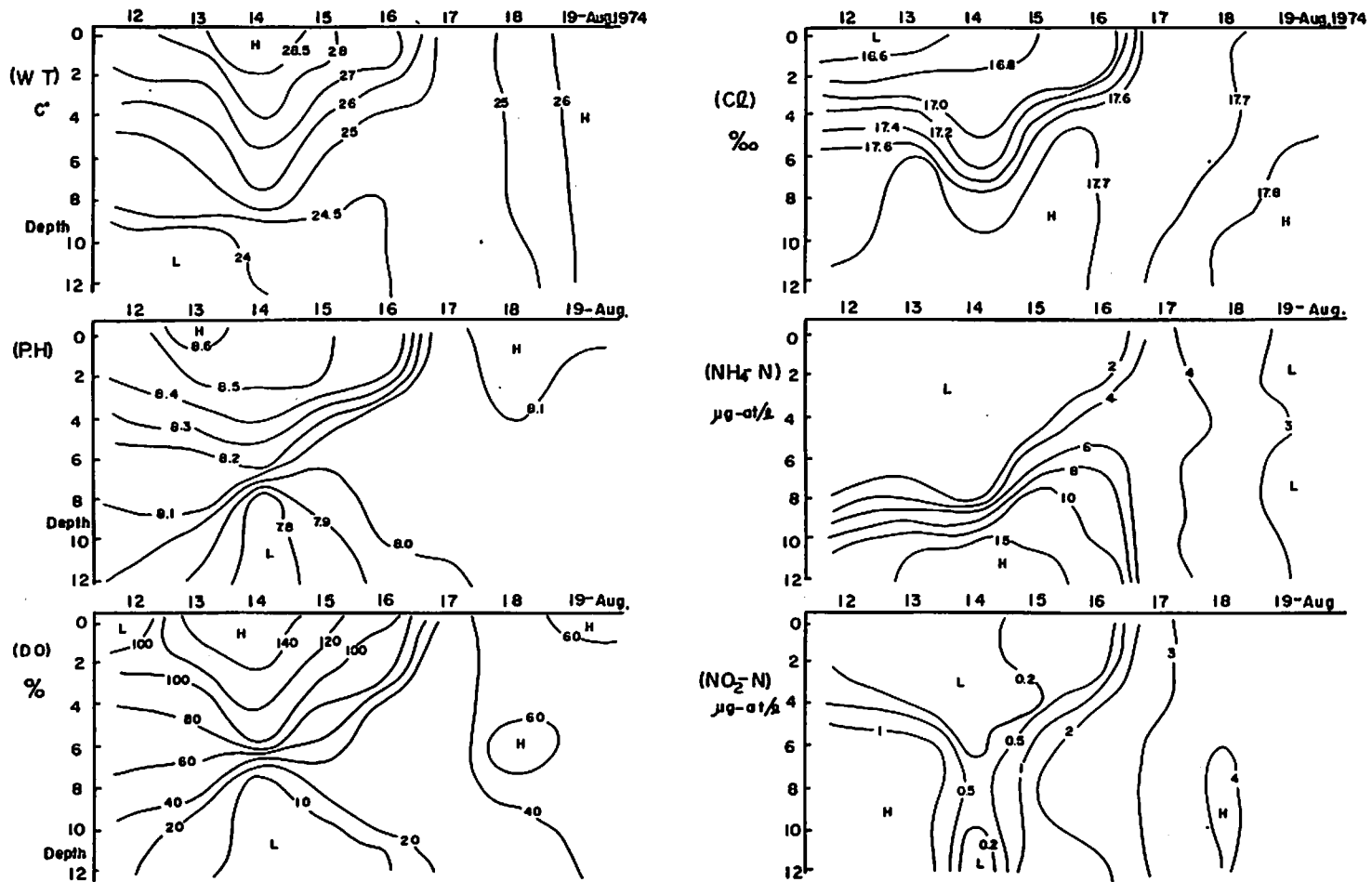


図-1 定点における鉛直水塊分布の経時的変化

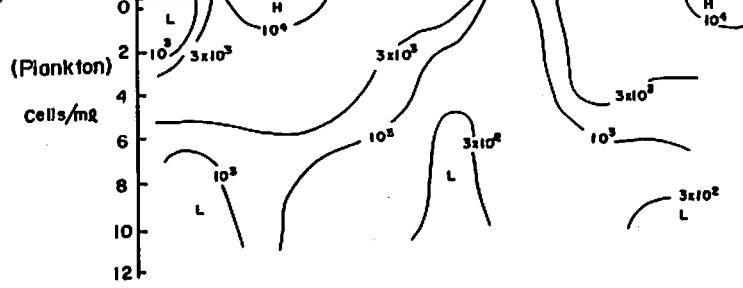
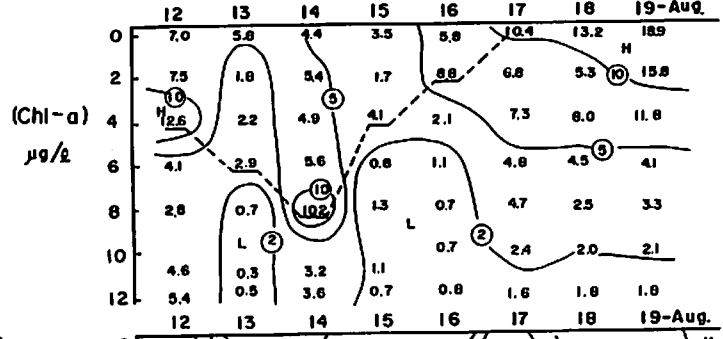
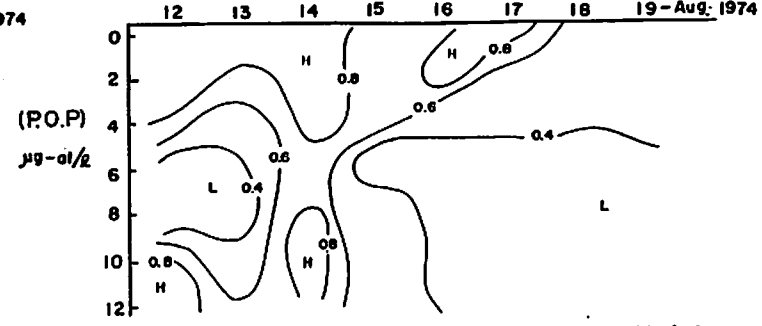
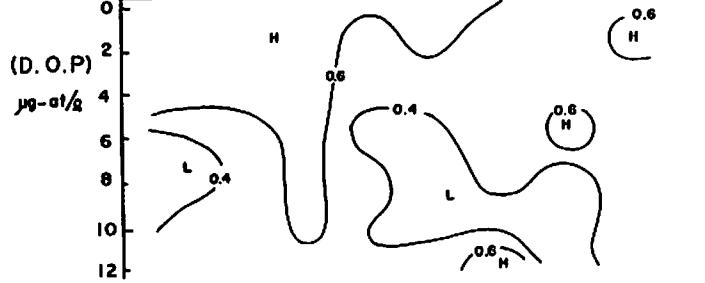
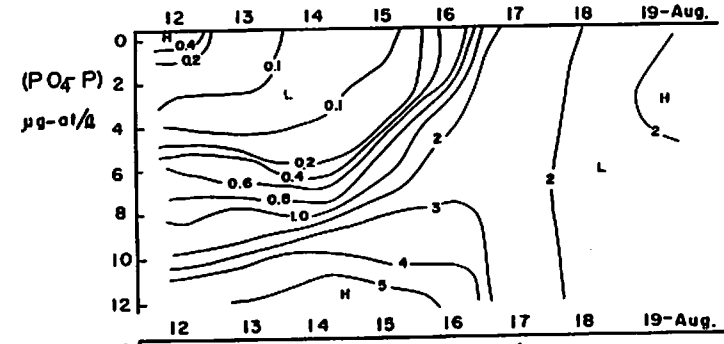
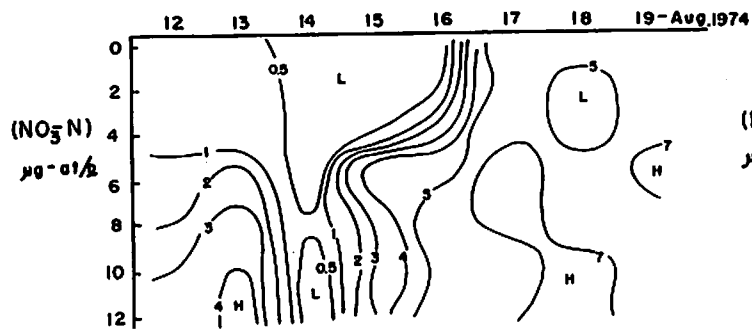


图 - 1 (续表)

た。DOPは0.3~0.8  $\mu\text{g-at}/\ell$ の濃度分布となっているが経日的にも、鉛直的にも濃度差が少ないといえる。わずかに躍層形成時の表層水での濃度がいく分高くなる傾向がある。POPは0.2~1.2  $\mu\text{g-at}/\ell$ の値を示し、分布状況はDOPと類似している。

クロロフィルaの分布はこの間の赤潮プランクトンの消長を現わしているが、その分布状況は水温・塩分等の一般項目といく分異なった形である。全般的には表層で高く、底層水で低いが躍層形成時は13日を除いて躍層直上で最高の値を示している。このことは表層の薄い赤潮水塊から絶え間なく沈降するプランクトンが躍層での密度差によって沈降が妨げられ躍層直上に一時的に集約されたものと解釈され、赤潮末期の状況を現わしているものと考えられる。上下混合が行われた17日以降は日を追って上層ほど高くなる分布となり、他の項目で上下差が殆んどみられないのとは逆にクロロフィルでは鉛直差が生じている。これは20日に赤潮が発生したことや、生産量の測定等から赤潮発生の事前徴候が現われていると見ることができると。

プランクトン個体数の出現状況は8月12日を除いて表層水で密度が高く $10^3 \sim 3 \times 10^4 \text{ cells}/\text{ml}$ の間で変化している。3層での計数であるためクロロフィルaの分布と厳密な比較は困難であるが、12日の4m層は表層に比べて1桁高密度で存在し、躍層直上に濃密に分布していることを示している。

出現種は珪藻類が優勢している。特に13,14日は*Nitzschia closterium*が優勢で、15日からは*Leptocylindrus danicus*と交代して16日まで表層水塊中で薄い赤潮状態となった。17日には表層の個体数が激減して鉛直差が消失したが、18日からは、上層で*Skeletonema costatum*が優勢となり、20日には周辺海域一帯に拡がる赤潮となったことが観測されている。(図-5参照)

## (2) 漂流点観測結果と物質収支

定点で観測した水柱の状態がその後どのように変化するかを知るために2m層に抵抗板をつけたパイを漂流させ、3時間後の漂流点で同じ観測を行った。

定点観測点(st.1)と漂流点(st.2)における水塊特性を塩素量、水温、無機態窒素、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、の4項目について対比して示したのが図-2である。この場合st.1の水塊がst.2の位置にそのまま運ばれているとみなされるのは、保存性の要素について見た水柱の上下層がくずれることなく一体となって移動していることであり<sup>8)</sup>、躍層が消失した17日以降は上下均一となったので判然としない。したがって成層状態にあった12~16日の間で、この実験に成功したか否かについて図-2から判断すると塩素量では13日は不成功と做される。水温では13,14,15日の3日間に中層のずれが目立っている。結局この観点から見ると保存性の量がst.1,2の間で変化せず、実験に成功したと考えられるのは12日と16日の2日間である。無機態窒素や $\text{PO}_4\text{-P}$ でも同様のことが云えるがプランクトン等生物の代謝があるのでこれを判定の基準とすることは出来ない。図-1では経日的に躍層が上昇している傾向が現われていたが、漂流点観測の3時間でも底層水塊が上昇し、表層水と混合している状況が認められる。

この間における表層水中でのプランクトンの増殖・代謝の状況を表わしたのが図-3,4,5である。クロロフィルaでst.1とst.2を比較すると、いずれも3時間後の量が増加している。漂流中に光合成が行われ増加したものと考えられるが増加の程度は13,16日が大きく $6 \sim 7 \mu\text{g}/\ell$ 、他は $1 \sim 2 \mu\text{g}/\ell$ である。

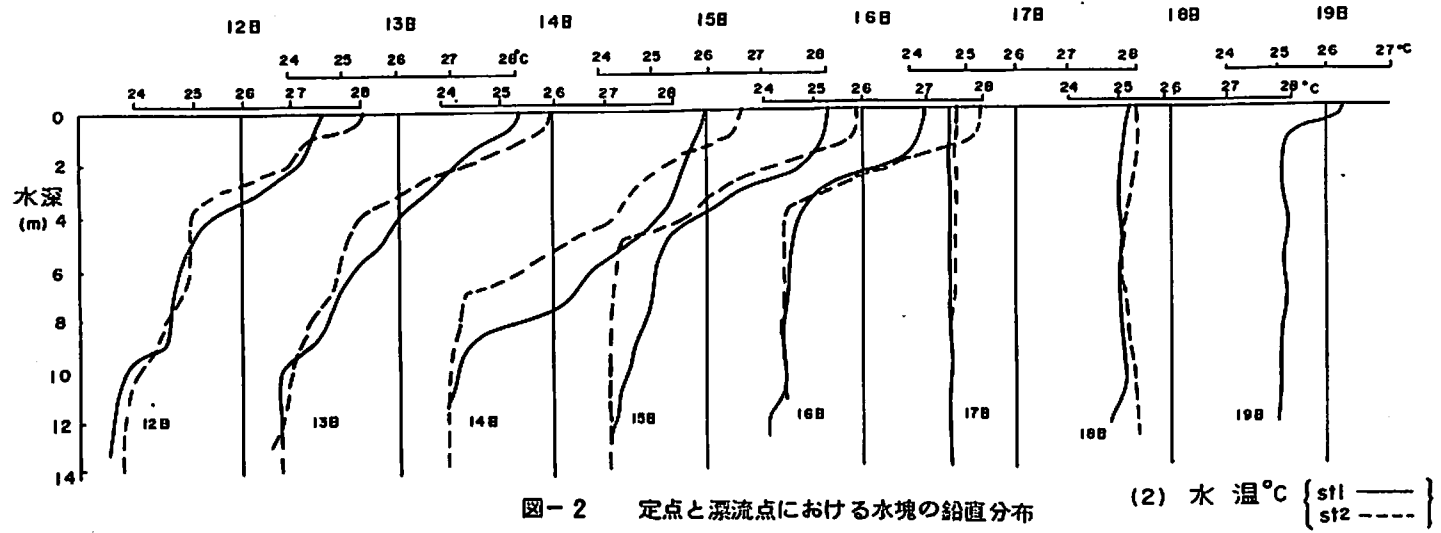
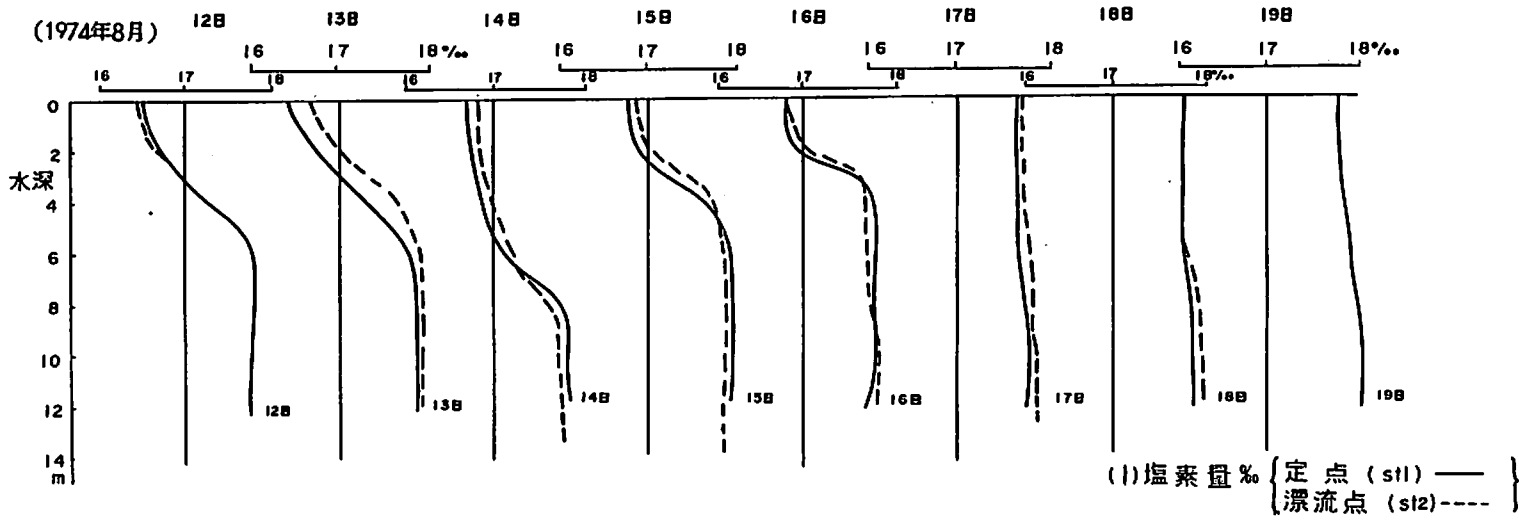
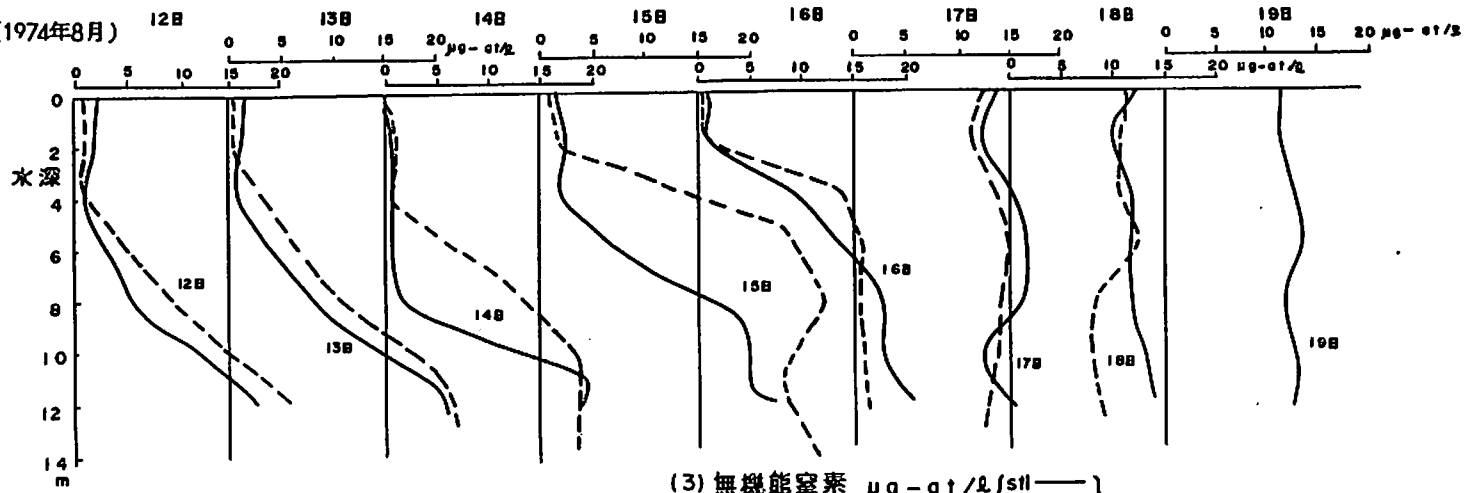
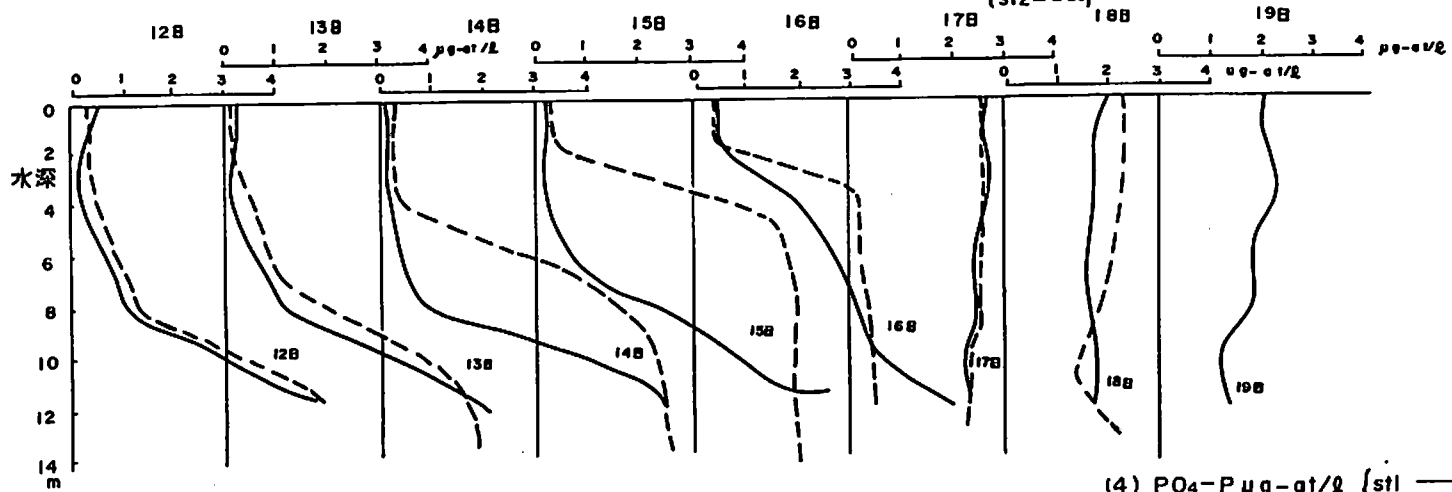


図-2 定点と漂流点における水塊の鉛直分布

(1974年8月)



(3) 無機態窒素  $\mu\text{g-at/l}$  {st1 — }  
{st2 - - - }



(4)  $\text{PO}_4\text{-P}$   $\mu\text{g-at/l}$  {st1 — }  
{st2 - - - }

図-2 (続き)

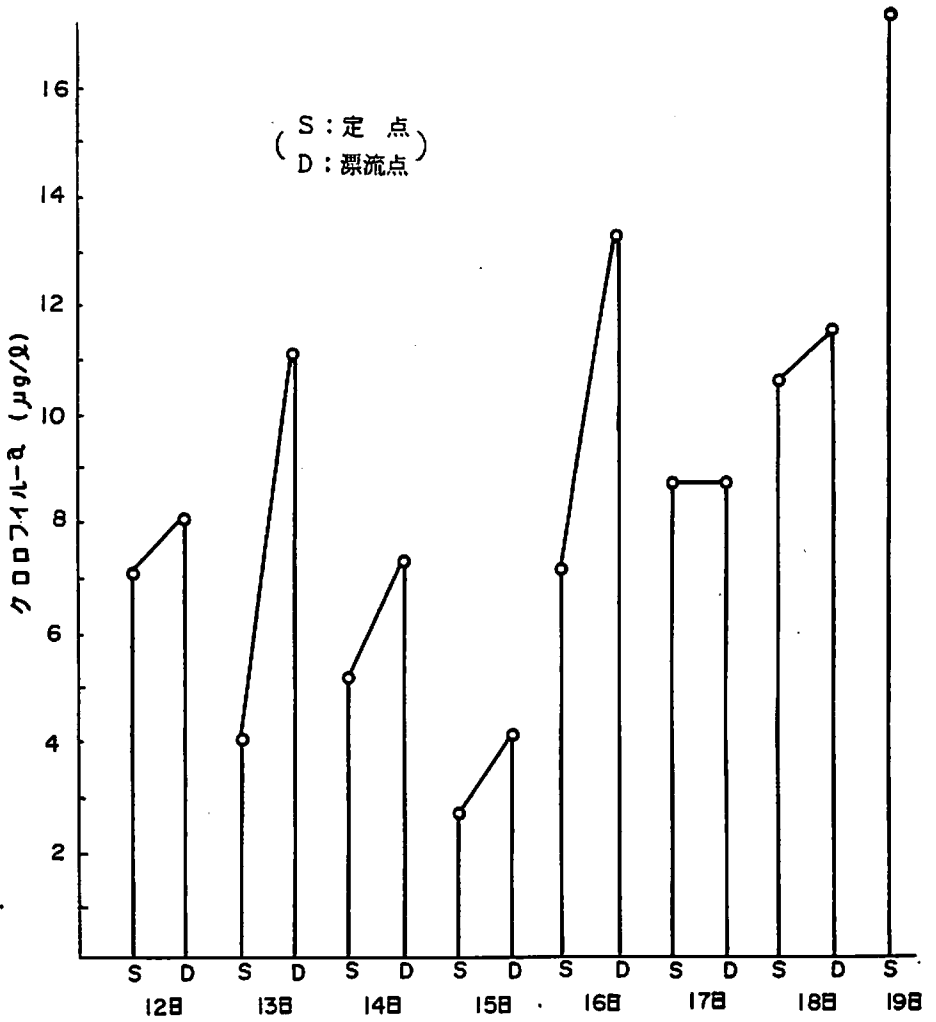


図-3 0~2m層クロロフィル-a含量の経過

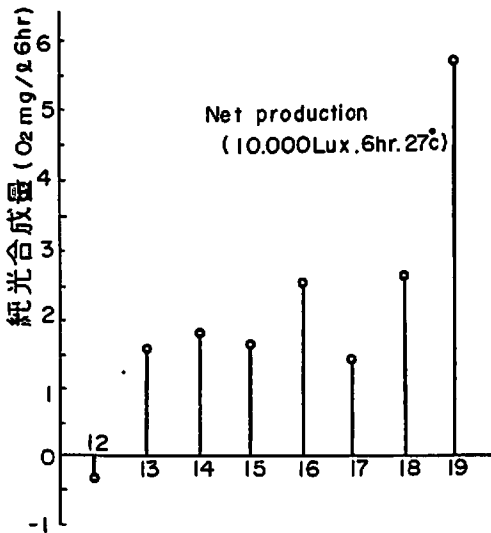


図-4 表層水(0, 2m層の平均) についての光合成量



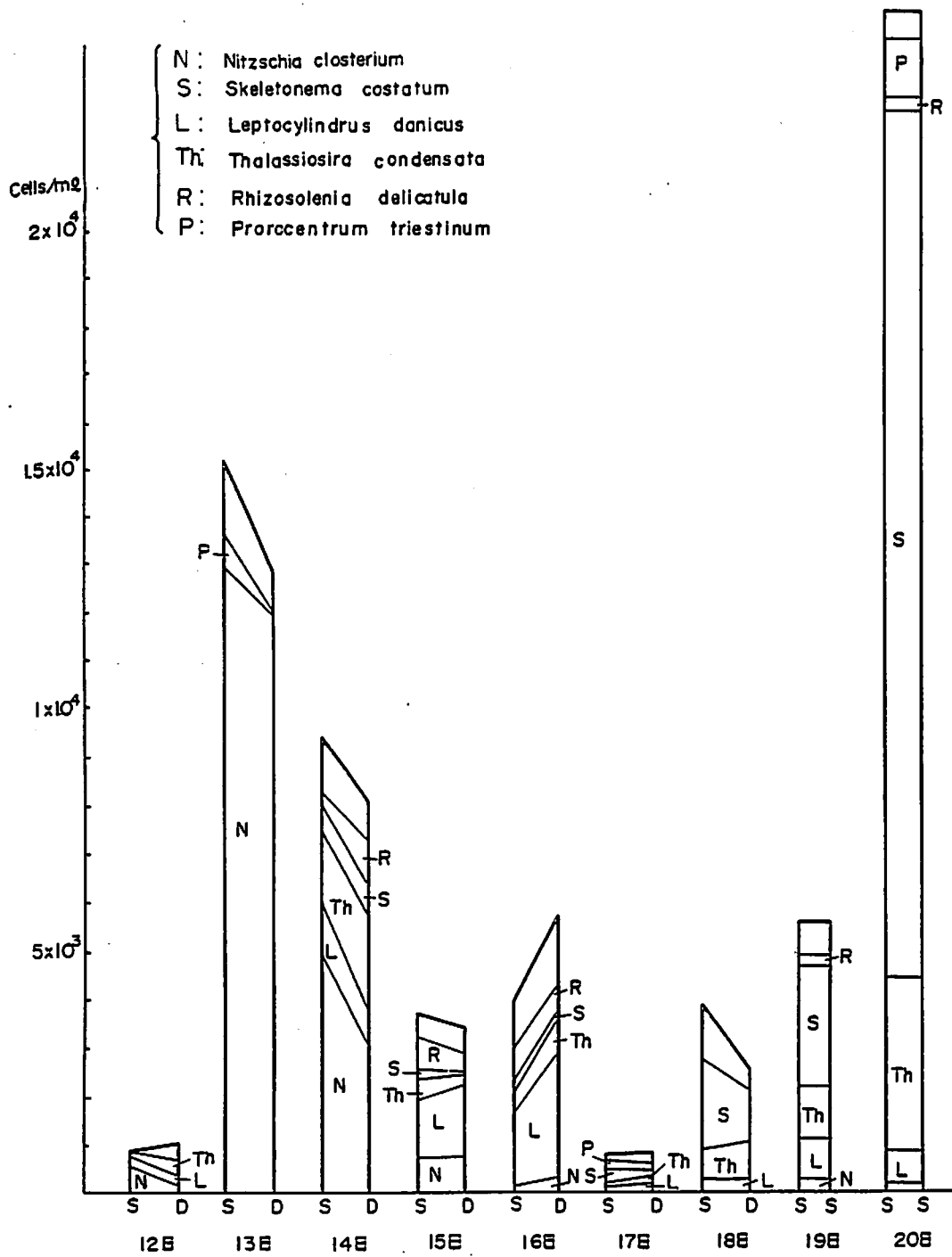


図-5 表層水域中のプランクトンの変化 (S: 定点 D: 漂流点)

表層水の光合成力を室内実験で求めた純生産でみると(図-4)、成層期間中よりも上下混合が行われた18日以降の生産が大きくなり、19日の大きな値は20日に赤潮が発生した事実よく一致している。成層期間中では16日の生産が最も大きい、この時はまた漂流中のクロロフィルの増加量とよく対応している。

このようなプランクトンの繁殖状況は当然その場の環境条件に支配されるところが大きいと考えられる。18日以降の生産力の増大と20日の赤潮発生は、水塊の上下混合が行われ、底層に蓄積された栄養塩等が表層に供給された結果と関連が深い、栄養塩の補給が即刻プランクトンの繁殖を促進するものではない。すなわち17日の観測時はすでに混合が完了していたが、その現場海水を採水して室内で

光を照射しても生産力はそれほど高くはなく、プランクトンの繁殖が盛んになる迄に栄養塩等の補給から約1日の"ずれ"があるように見受けられる。同じことが16日についてもいえる。表層水の無機態窒素の濃度変化を図-6に示したが、8月16日はその濃度が最も低いが生産力は成層期間中で最大である。しかし15日は窒素濃度が比較的高く、1日のタイムラグををいて考えると、16日の生産は15日の無機態窒素と関係があるようである。そこでその日の生産力を示したグラフの上に1日前の無機態窒素濃度を記載したのが図-7である。

図では生産力の増減が前日の窒素濃度とよく対応している状況が認められ、栄養塩の供給が1日後の生産に影響を及ぼしていることがわかる。

次に表層水塊中のプランクトン増殖と物質収支の関連について検討した。漂流点観測が成功し、かつ生産力が大きかった16日の結果によれば6時間の酸素増加が約2.5 mg/lであるから、3時間の増加は約1.2 mg/lとみつめることが出来る。これに相当する炭素量は0.45 mg/lである。Strickland<sup>4)</sup>は栄養塩が不足した沿岸水では有機炭素/クロロフィル比は約60としている

が、この時の光合成実験に伴うクロロフィルの増加量は7.5 μg/lと推定され、現場での増加量6 μg/lにはほぼ等しい。

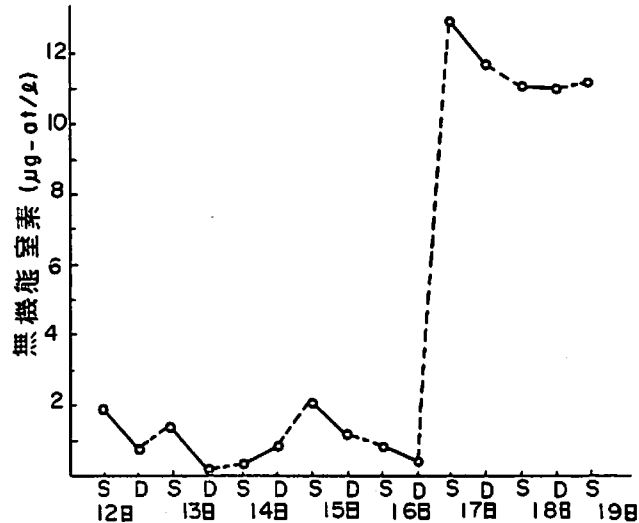


図-6 表層水中の無機態窒素の経過

(S:定点 D:漂流点)

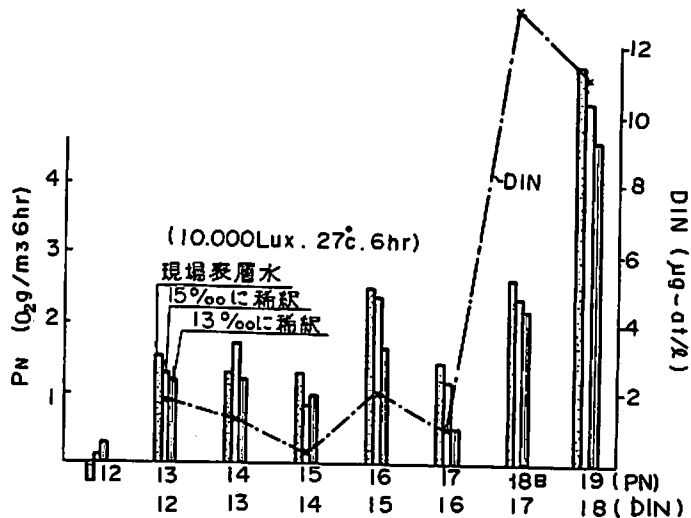


図-7 純生産と前日の無機態窒素(DIN)の関係

このことから8月16日の現場表層水中の生産力は炭水化物であらわすと約1 mg/ℓ程度と推定して大きな違いはないと考えられる。

この生産に伴うN, Pの消費量をプランクトン組成式  $(CH_2O)_{106}, (NH_3)_{16}, PO_4$  から間接的に求めると、3時間の光合成による表層水からの減少量は

$$\Delta N = 5.0 \mu\text{g-at}/\ell$$

$$\Delta P = 0.3 \quad "$$

となる。しかし現場の観測結果でst.1とst.2の濃度変化は

$$\text{無機窒素} \begin{cases} \text{st.1} & 0.77 \mu\text{g-at}/\ell \\ \text{st.2} & 0.20 \quad " \end{cases} \quad \Delta N = 0.57$$

$$PO_4-P \begin{cases} \text{st.1} & 0.43 \mu\text{g-at}/\ell \\ \text{st.2} & 0.37 \quad " \end{cases} \quad \Delta P = 0.06$$

で計算上の推定値の $1/5 \sim 1/9$ の値である。

この食違いを説明する理由として考えられることは ①現場海域では絶えず栄養塩濃度の高い水が補給されている。②無機態の栄養塩だけでなく有機態のものを直接利用している。③ $PO_4-P$ では増殖前の細胞がかなり貯蔵していた<sup>5), 8)</sup>ということである。

現場での濃度変化がN, P共計算上の値よりも小さかったことについては①, ③の理由で説明できるが、生産実験に使用したst.1の海水中の無機窒素濃度がすでに光合成に必要な量以下であったということは、窒素に関して②の理由を考えざるを得ない。この時の表層水は $20 \sim 60 \mu\text{g-at}/\ell$ の溶存態有機窒素が含まれており、プランクトンは無機態窒素と共に主として有機態の窒素を利用していったと解釈できる。

### (3) 塩分の低下がプランクトンの増殖におよぼす影響について

赤潮は降雨後、海が穏やかで、日照の強いときに内湾の奥部でしばしば発生するという事は、古くから経験的に知られている。

また大村湾では7月赤潮(降雨性赤潮)と9月赤潮があつて<sup>6)</sup>、降雨と赤潮発生には何らかの関係があるのではないかと考えられている。

1969年に行った20日間の連日観測で3回の赤潮発生が観測されたが、うち2回は前日より塩分量が2~3%低下した時に発生した<sup>1)</sup>。

これらの結果から塩分量の低下にみられる陸水の流入は赤潮発生の引金的な役割を果す要因の一つとも考えられる。しかしこれは塩分量の低下自体が物理的な刺激となって引金的な作用をするのか、陸上の汚濁水中に含まれる栄養塩やビタミン等の刺激物質が流入したことが誘発要因となったかについては明確でなかった。そこで今回はこの点を確かめるため、12~19日の全期間中現場表層水の生産力実験と並行して表層水を蒸留水で $cl=13\%, 15\%$ に希釈して原水と同様に生産力を測定した。結果は図-7のとおりで14日の例外を除けば常に低かん化した試水の生産力は原海水の生産力を下廻っている。したがって単なる海水の塩分低下はプランクトンの繁殖を刺激する直接的な要因ではないといえる。

### (4) 内湾沿岸域における栄養塩の存在形態と溶存酸素の関係

経時的に見た水塊の断面分布で栄養塩の分布は溶存酸素とよく対応しており、項目によっては貧酸素水塊での高濃度な分布が顕著であった。そこで定点観測点の溶存酸素をAOU(理論飽和量-現場酸素

量)であらわし、栄養塩濃度の関係について検討した。

AOUと $PO_4-P$ の関係を示したのが図-8である。両者はAOUが3.5で屈折する2つの直線に沿って分布している。①の直線は水中の有機物が溶存酸素を消費する過程で再生する $PO_4-P$ の濃度をあらわしていると考えられ、AOU 3.5以上の領域では、その上に底質からの溶出と做される $PO_4-P$ が加わり直線①より公配の大きい②の直線に沿って規則的に分布している。

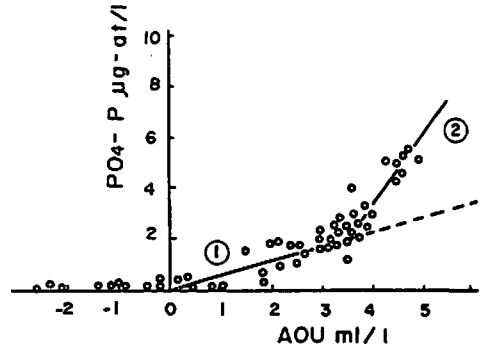


図-8 AOUと $PO_4-P$ の関係

貧酸素化した底層水塊中で底質からのリンの溶出機構は、不溶性のリン酸第2鉄が第1鉄へ還元される時にリン酸イオンが水中に放出される結果であるとされている。

したがって底質からのリンの溶出は底質の汚染と密接な関係があり、水塊の停滞とともに内湾の富栄養化に大きな影響を及ぼしていることが推察される。

有機態のリンは無機リンに比較すると鉛直的にも水平的にも濃度勾配は小さく、溶存酸素(D.O)との関係もあまり明確でない。

溶解性有機リン(DOP)とD.Oの関係を図-9から見れば、D.Oの増加に伴ってDOPも増加する弱い( $r=0.55$ )相関があり、プランクトンの代謝と何らかの関係があるものと考えられる。

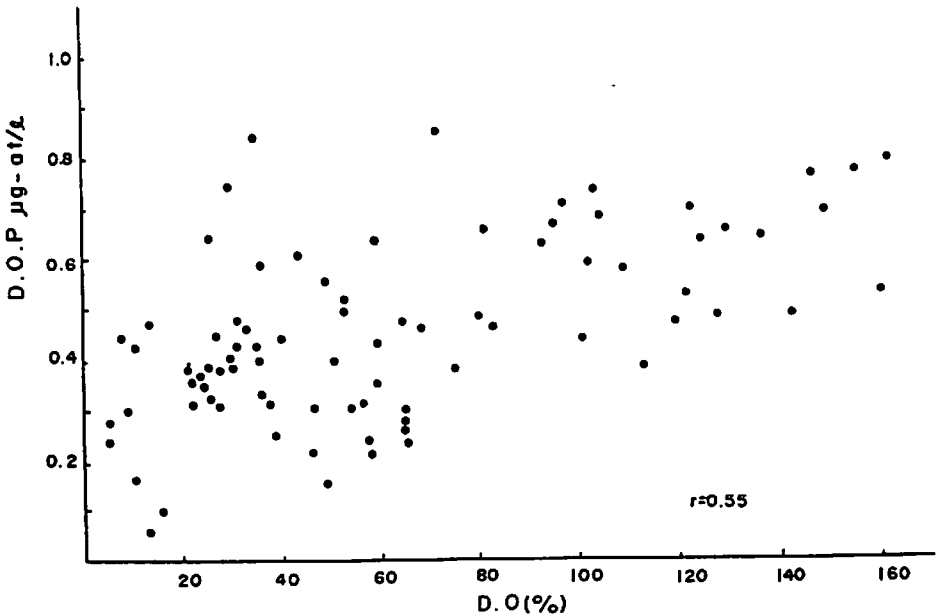


図-9 酸素飽和度と溶存態有機リン(DOP)の関係

懸濁態有機リン(POP)の濃度は内湾ではプランクトン性のものの占める比率が大きいと考えられるのでクロロフィル-aとの関係について図-10に示した。クロロフィルの増加に対応してPOPも増加する傾向があるが両者の相関( $r=0.60$ )はあまり密接でない。

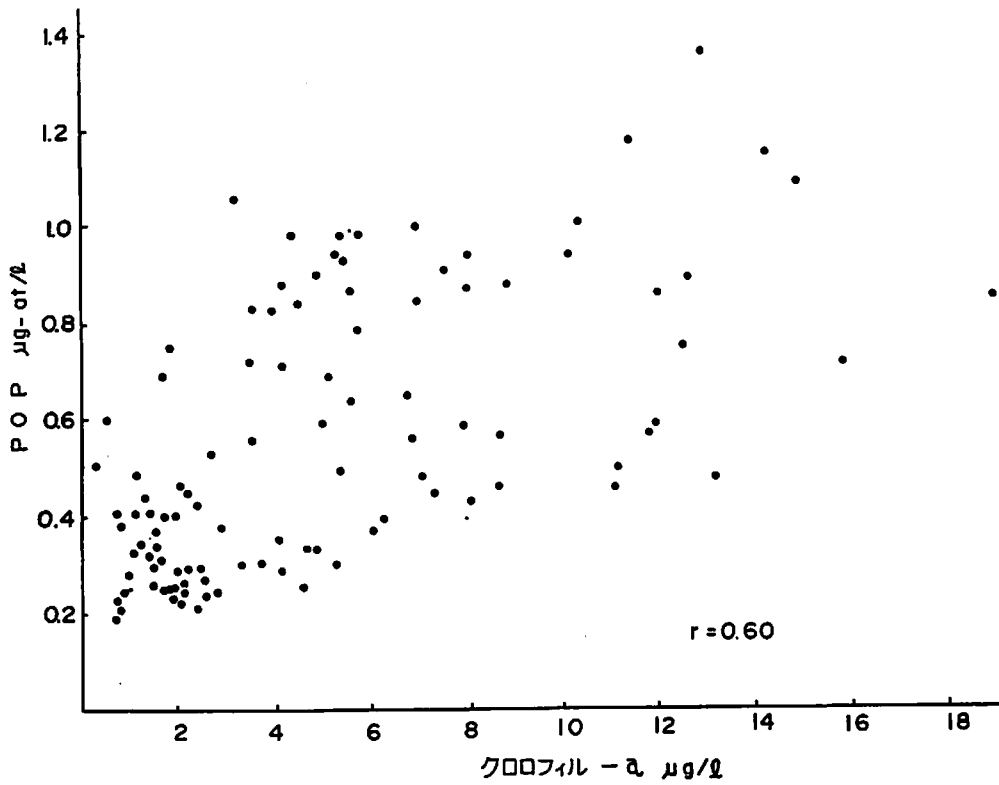


図-10 クロロフィル-aと懸濁態有機リン(P O P)の関係

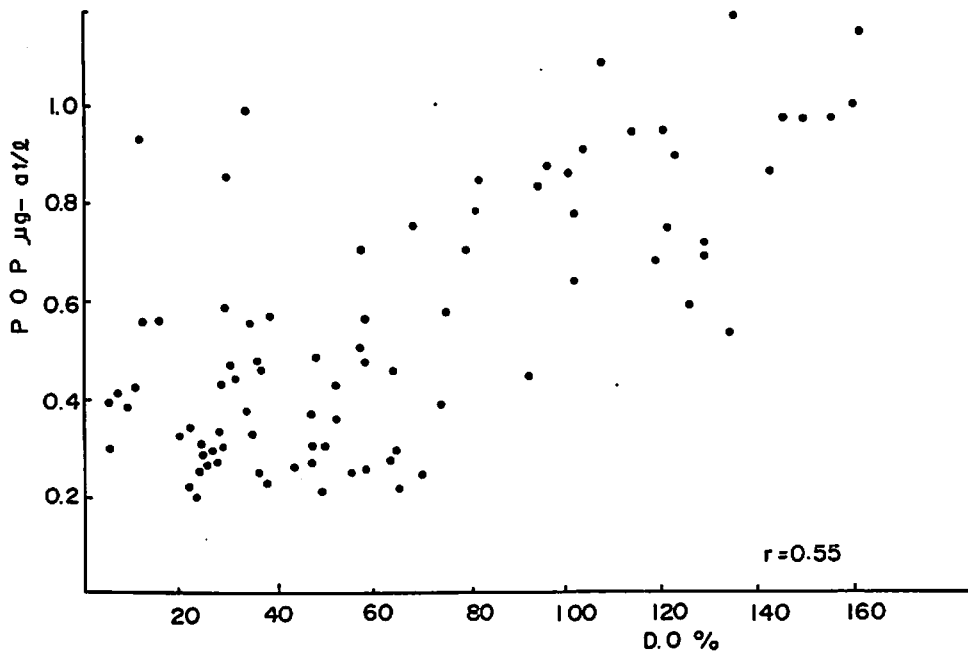


図-11 酸素飽和度と懸濁態有機リンの関係

POPは0.2~1.4  $\mu\text{g-at}/\ell$ の間に分布していて、クロロフィルが0に近づいても0.2  $\mu\text{g-at}/\ell$ 以下の値をとっていない。したがって夏期の沿岸海域ではプランクトンに由来しないPOPが約0.2  $\mu\text{g-at}/\ell$ 存在し、それ以上の増加はクロロフィル-aの増加と対応しているものが多い。POPと

溶存酸素の関係についても同様に図-11に示した。DOPと類似の状況で両者の間に弱い正の相関が認められる。

このようにリンは有機・無機態とも海中濃度は溶存酸素量との関係が比較的密接であることが明らかとなったが、今回の観測資料から酸素飽和度別の平均的な溶在形態の比率を示したのが図-12である。過飽和の表層水塊は貧酸素の底層水塊に対して全リン濃度は $1/2$ 以下であり、またその90%が有機態である。これに対して飽和度50

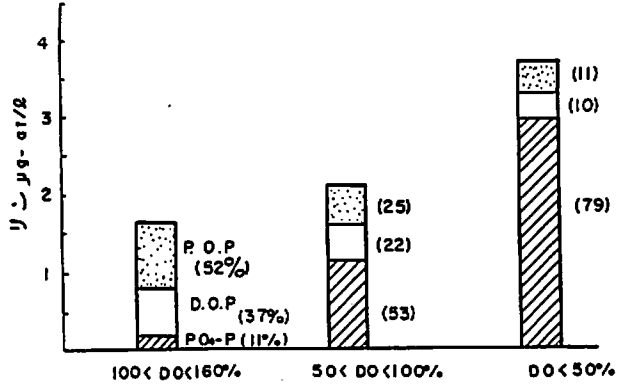


図-12 酸素飽和度の違いによるリンの存在形態の変化

％以下の水塊ではPO<sub>4</sub>-Pが約80%を占めDOPとPOPが各10%と有機態リンの比率は小さい。両者の間に存在する未飽和の中層水は濃度も、存在比も両者の中間を示しPO<sub>4</sub>-Pが約 $1/2$ を占めている。

次に無機態の窒素についてAOUとの関係を検討した。NH<sub>4</sub>-NとAOUの関係は図-13のようになり、AOU 3.5で屈折する2つの直線で近似出来る。NH<sub>4</sub>-NがAOU 3.5以上の底層貧酸素水塊で急に高くなるこの現象はPO<sub>4</sub>-Pと同様に底質からの溶出が加わる結果のように見受けられるが、窒素に関してはリンのような溶出機構は認められていない。

しかし海水中のNH<sub>4</sub>-NはDOと密接な関係があり、AOU 3.5までの水塊では水中有機物から分解・再生したと解釈されるNH<sub>4</sub>-NがAOUに比例して増加している。また3.5以上ではその上に水塊の還元状態に比例して生じるNH<sub>4</sub>-Nが加わっていることは事実である。

一方無機三態窒素とAOUの関係について図-14に示した。NH<sub>4</sub>-Nが2つの折れ線で近似されるのに対して無機三態窒素ではAOUと一本の直線で近似出来るということはAOU 3.5以上でのNH<sub>4</sub>-Nの急激な増加がNO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nによって補われていることを示唆している。

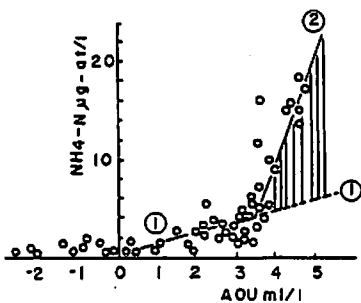


図-13 AOUとNH<sub>4</sub>-Nの関係

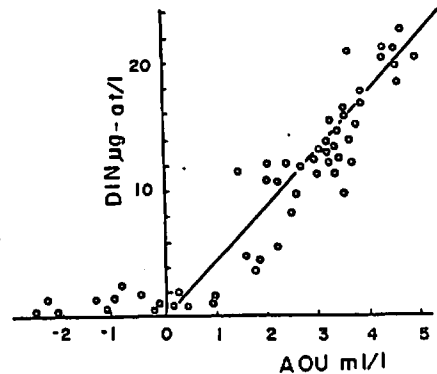


図-14 無機三態窒素(DIN)とAOUの関係

そこで $\text{NO}_2\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の和とAOUの関係を  
 図-15にあらわした。図によるとAOU 3.5ま  
 では貧酸素化に伴って窒素濃度は増加する。しか  
 しAOU 3.5をピークとしてそれ以上になると濃  
 度は減少しAOU 5で0となっている。また、  
 $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ 濃度が最高を示すときのAOU値は  
 $\text{NH}_4\text{-N}$ の2つの近似直線の交点のAOUの値と  
 等しい。このことから図-13において直線(2)  
 から(1)の延長線(①)を引いた差の濃度(リンにつ  
 いての底質からの溶出分に相当する)は図-15  
 の2つの直線の差(②'-①)に相当するため、極  
 度の貧酸素海域に出現する $\text{NH}_4\text{-N}$ の高い値は見  
 かけ上 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の脱窒によって補われているものと考えられる。

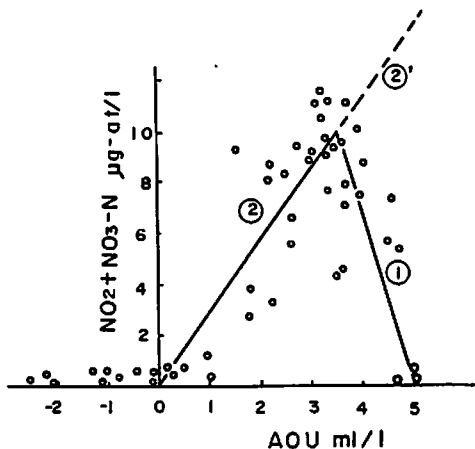


図-15 硝酸・亜硝酸態窒素の和とAOU  
 の関係

このように $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 等の無機3態窒素はAOUによって溶存形態が変化するが、  
 その和では一本の直線で近似出来ることから、窒素の分解・再生は溶存酸素と定量的な関係をもって行  
 われ、底質からはリンのような顕著な溶出は行われていないものと考えられる。

無機態窒素の3成分とAOUの相互関係は今回の観測結果に現らず、こゝ数年来の夏期内湾の全域観  
 測結果においても同様に認められている<sup>7)</sup>。この場合 $\text{NO}_2\text{-N}$ や $\text{NO}_3\text{-N}$ のピークや各近似直線の勾配  
 ・切片の値は年によって多少変動している。

## 要 約

赤潮が頻発する大阪府中部沿岸海域で8日間の連日観測を行い、赤潮発生時の動的過程とその環境条件  
 の関連について検討した。

結果の概要は下記のとおりである。

(1) 夏期の鉛直水塊構造は高温・低かん・酸素過飽和・貧栄養の表層水と低温・高かん・貧酸素・栄  
 養塩過多の底層水に分かれ、異質の水塊が重なっている。その境界の深さは刻々変動するが、風浪が強  
 まると1日以内に上下均一となり躍層は消失する。この結果底層に蓄積されている栄養塩は表層に供給  
 され、次に大規模な赤潮を発生させる前提条件となる。

(2) 夏期に貧栄養化した表層水塊では2~3日の短い周期でプランクトン優占種の遷移が繰返されて  
 おり、躍層周辺部には濃密なクロフィルの分布が観測された。これは上層から沈降するプランクトン  
 が躍層の密度差によって沈降を妨げられるためと考えられ、赤潮末期の症状をとらえているものと解釈  
 される。

(3) 栄養塩が不足気味の表層水塊において、プランクトンの生産力は前日の無機態窒素濃度との関連  
 が深い。このような海域でプランクトンはその増殖に有機態の窒素も利用しているようである。

(4) 淡水の流入による海水の低かん化は赤潮の直接的な誘発要因ではない。今回の観測結果では栄養  
 塩等が蓄積された底層水との上下混合が行われ、表層水に供給されたことが赤潮を誘発したものと考えら  
 れる。

(5) 躍層形成時の底層水が貧酸素となり、それに対応して $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高くなるのは内

湾停滞水域特有の現象であるが、そのメカニズムはリンと窒素で大きな違いがある。PO<sub>4</sub>-PはAOU 3.5までは水中有機物の分解・再生が溶存酸素と定量的な関係で行われる。3.5以上の還元的な雰囲気になるとそれに比例して底質からの溶出とみなされるPO<sub>4</sub>-Pが加わり、濃度が急激に増加する。

これに対してNH<sub>4</sub>-NはAOUとの関係で見かけ上PO<sub>4</sub>-Pと類似の傾向を示しているが、AOU 3.5以上での急激な増加はNO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nの減少によって補われており、無機3態窒素とAOUの関係は一本の直線で近似できる。

従って極度に貧酸素化した底層水塊でのNH<sub>4</sub>-Nの急激な増加は見かけ上NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nの脱窒による転換によって生じたものとみなすことが出来る。

#### 参 考 文 献

- (1) 城 久・安達六郎・三好礼治：大阪府水試研究報告, 3, 1~113, (1971)。
- (2) 杉浦吉雄 “海水の化学” (海洋科学基礎講座 10) 296~297, 東海大学出版会(1970)。
- (3) 西村 肇・城 久：昭和50年度日本海洋学会春季大会講演要旨集
- (4) STRICKLAND J.D.H Chemical Oceanography 1, 477~610 Academic Press. London and New York. (1965)。
- (5) 岩崎英雄, 日本水産学会誌, 37, 606~609 (1971)。
- (6) 花岡 資・入江春彦・上野福三・飯塚昭二・岡市友利・岩崎英雄：内湾赤潮の発生機構, 35~57 日本水産資源保護協会 (1972)。
- (7) 城 久・安部恒之・矢持 進：昭和51年度 日本水産学会春季大会講演要旨集。
- (8) 岩崎英雄 植物プランクトンの生理(海洋科学基礎講座6) 東海大学出版会(1975)。