

東京湾水質データの統計解析 (その2)

嶋津暉之 安藤晴夫

要 旨

「公共用水域の水質測定結果」による12年間の測定データを用いて、東京湾内湾主要8地点の水質変動の特性とその支配要因について統計解析を行った。その結果、表層部の全有機態炭素測定値には三つの変動要素、すなわち、陸上起源と推測される溶存性有機態炭素の漸増傾向、各年の日射量の変化による二次生産DOCの変動、採水検体への植物プランクトンの混入による粒子性有機態炭素の変化があることが分かった。また、全窒素は長期的な増加傾向と、降雨量の増減に正比例的に対応する変動、全りんは漸減の傾向と植物プランクトン関係の変動がみられた。更に、過栄養度を検討したところ、沿岸部の測定点に比べて、沖合の測定点は窒素、りんの利用率がかなり低く、流入栄養塩削減の効果はまず、沖合で現れるものと推測された。

1 はじめに

東京湾をかつてのような首都圏民の憩いの場とするため、また、青潮等による漁業被害をなくしていくため、その水質の改善が急がれている。その対策を進めていくためには、東京湾の水質がどのように推移してきているかを見極めるとともに、その動向を支配している要因を知ることが必要である。東京湾の水質については東京都等の自治体が水質測定計画に基づいて測定を行っており、かなりのデータが蓄積されている。今回、このうちの東京都の水質測定データを用いて、東京湾の水質の長期的傾向と変動特性及びその支配要因について解析を行った。この解析はまだ中途の段階にあるが、現在までの解析で明らかになったことを報告する。

2 使用データ

東京都環境保全部水質保全部の「公共用水域の水質測定結果」のうち、東京湾内湾部の主要8地点(St. 5, 6, 8, 11, 22, 23, 25, 35)の測定データを用いた。この8地点については毎月1回の測定が継続されている。ただし、水質項目により、毎月1回の測定が開始された時期は異なっている。今回は富栄養化の点からみて重要な水質項目である窒素、りんの利用率が毎月行われるようになっ

た1978年4月以降、90年3月までの12年間のデータを使用することにした。各水質項目の使用データは次の期間のものである。

- ① COD, TOC (全有機態炭素), T-N (全窒素), T-P (全りん), NH₄-N (アンモニア性窒素), NO_x-N (亜硝酸・硝酸性窒素), PO₄-P (リン酸性りん): 78年4月~90年3月
- ② DOC (溶存性有機態炭素): 80年4月~90年3月
- ③ クロロフィルa+フェオ色素: 81年4月~90年3月
- ④ POC (粒子性有機態炭素), PON (粒子性有機態窒素), DTP (溶存性全りん): 84年4月~90年3月

また、今回の解析には、東京湾の水質データ以外に次のデータも用いた。これらは一部を除き、1978年4月~90年3月の12年間のデータを使用した。

- ① 江戸川, 多摩川のT-N, T-P及び多摩川のCOD連続測定値(「公共用水域の水質測定結果」)
- ② 降水量, 日射量(東京管区気象台月報)
- ③ 江戸川, 多摩川の流量(東京都水道局事業年報)

3 解析の方法, 結果及び考案

- (1) 東京湾の水質に影響する自然条件
東京湾の水質汚濁のほとんどは、家庭排水や工場排水

など、人間活動により、排出される汚濁物質、あるいはそれらによって二次的に生産されるものに起因しており、自然由来のものは非常に少ない。しかし、その水質の動向は自然現象によって少なからぬ影響を受けている。水質に関係する自然現象としては次のようなものがある。

ア 降 雨

降雨は東京湾の水質に対して、プラスとマイナスの効果がある。雨が多ければ、湾への淡水流入量が増加し、湾の水質が希釈されるが、一方で、降雨量が大きいと、河床の沈殿物などが洗い流され、流入汚濁量が増加する。図1は多摩川・調布取水堰におけるCOD連続測定の結果を用いて、流量とCOD負荷量の12カ月移動平均値の経年変化を示したものである（移動平均をとる理由は後述）。雨が多く、川の流量が増えれば、その希釈効果でCOD濃度は低下すると一般に考えられるが、現実には同図にみられるようにCOD濃度の低下率よりも、流量の増加率の方がはるかに大きく、COD負荷量は流量とともに増加している。窒素、りんについてはこのような連続測定データがないが、多摩川と江戸川について月1回の水質測定値に月平均の流量を乗じて毎月の負荷量を計算すると、図1と同様な傾向がみられる。このように、雨が多い年は東京湾に流入する有機物質、窒素、りんの負荷量が増加する。ただし、同図の1989年は流量が大きい年であるにもかかわらず、負荷量の減少がみられる。これは豊水年が続き、河床等の沈殿物がある程度、洗い流された後は汚濁負荷量が減少することを意味してい

る。

一方、降雨による希釈効果は、内湾全体に関してはさほど大きくはない。内湾全体の容積180億 m^3 に対して、河川水の総流入量が平均で年間100億 m^3 、海水交換量が年間1200億 m^3 とされており、外洋から流入する海水による希釈効果の方がはるかに大きい。降水量の変動によって、河川水の流入量が50億 m^3 変化しても、内湾全体に対する影響は小さいと思われる。

なお、12年間全体を通してみると、降水量（図2）はわずかに増加傾向にある（平均変化率は+1mm/月/年）。

イ 外洋海水の流入

上述のとおり、東京湾へ大量の外洋海水が流入している。日本列島の太平洋側を北上する黒潮の分流が千葉県側に沿って北上して湾奥に流入し、反時計まわりの還流をつくった後、三浦半島沿いに南下して外洋へ流出する。湾口部での流入と流出は水深を異にしており、流入は概ね水深10m以深、流出は水深10m以浅とされている。黒潮が特に発達するのは春から夏にかけてで、内湾の海水交換量も夏場が大きい。黒潮そのものは北太平洋全体の風系によって起こされた吹送流が原因であるから、年によって流れの強さが変化し、その結果、東京湾内への外洋海水流入量も変動すると考えられる。

図2上段は大手町の降水量とSt.35表層の淡水比率（外洋海水の塩分濃度を35‰として塩分濃度から求めた淡水の混入率）の移動平均を対比したものである。両者の動きはよく対応しているが、近年は降水量の増加率に

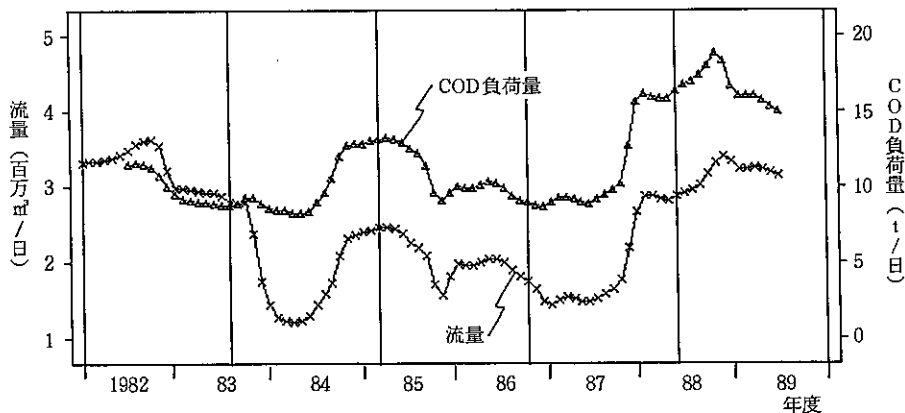


図1 多摩川調布取水堰の流量とCOD負荷量の推移（12カ月移動平均値）

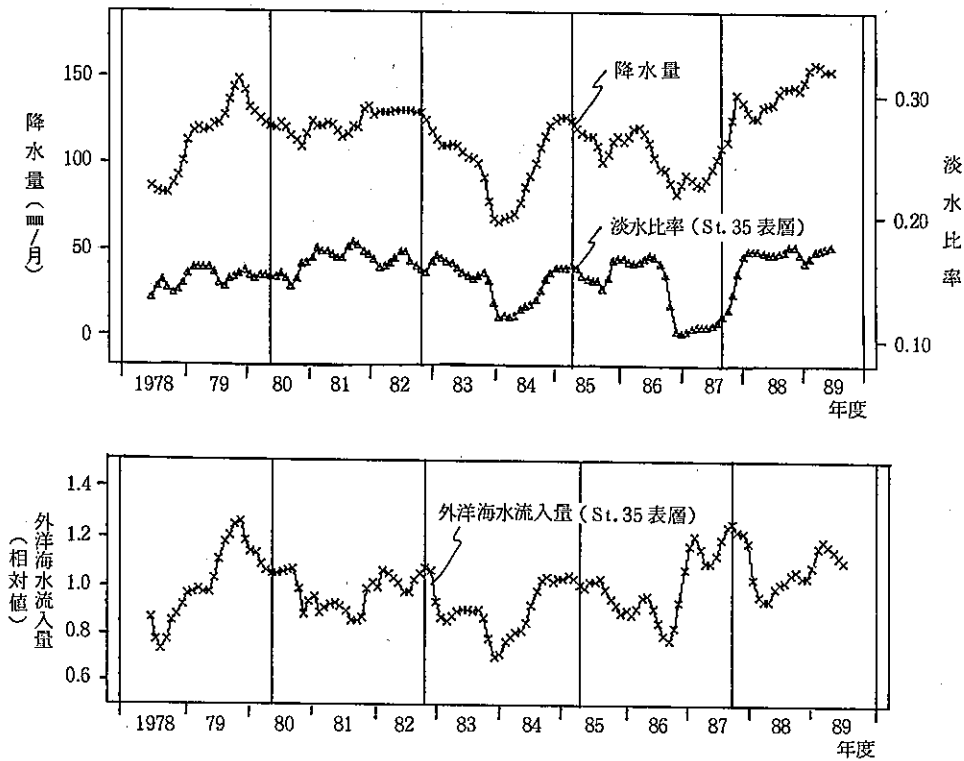


図2 降水量、淡水比率、外洋海水流入量の推移 (12カ月移動平均値)

比べて、淡水比率の増加割合が小さい。これは近年、外洋からの海水流入量が大きくなっていることを示唆している。この二つのデータから、外洋海水流入量の相対的な変化を求めたのが同図下段である。この図をみると、最近数年は外洋海水の流入量が増加している。12年間全体としてもわずかに増加傾向にある (平均変化率は $\pm 0.9\%$ /年)。

ウ 日 射 量

東京湾の水質汚濁は植物プランクトンの増殖に起因するものが多い。この植物プランクトンの増殖量をきめる一つの要因は日射量である。図3は東京大手町における全天日射量の12カ月移動平均の経年変化を示したものである。日射量の移動平均値は $10.5\sim 12.5$ (MJ/m^2)の間を変動している。日射量は冬場でも $7\sim 8$ (MJ/m^2)の値を示しているので、ベースとして 7.5 (MJ/m^2)を

差し引くと、変動範囲は $3\sim 5$ (MJ/m^2)となる。年による日射量の変動が大きく、植物プランクトンの増殖も年により、少なからず変動するものと考えられる。12年間全体を通してみると、日射量はやや減少の傾向にある (平均変化率は $-0.1\text{MJ}/\text{m}^2/\text{年}$)。

エ 水 温

水温も植物プランクトンの増殖をきめる要因の一つである。東京湾の水温変化の範囲では水温が上昇するほど、植物プランクトンの増殖速度が高まることが多い。St. 35における水温の12カ月移動平均の経年変化を図3に示す。移動平均値の変動幅は $16\sim 19^\circ\text{C}$ の範囲にあるが、これが植物プランクトンの増殖にどの程度、影響するかは不明である。12年間全体では水温はやや減少の傾向にある (平均変化率は $-0.09^\circ\text{C}/\text{年}$)。

以上の四項目の自然条件について12年間の傾向をまと

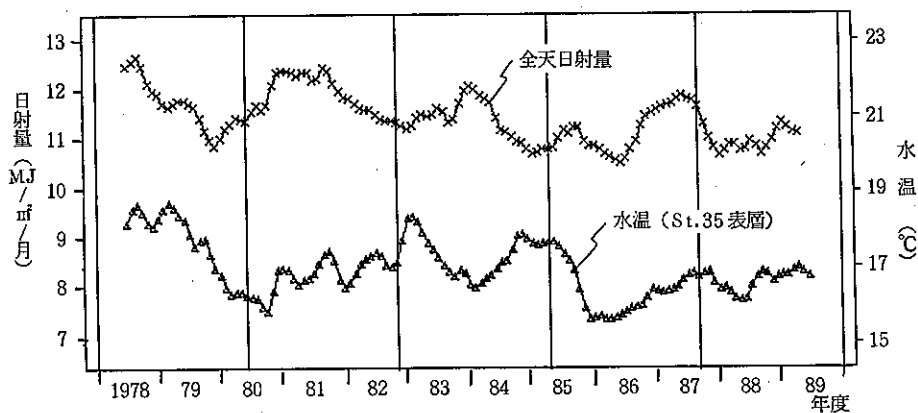


図3 日射量と水温の推移 (12カ月移動平均値)

めると、降水量はやや増加、外洋海水流入量はやや増加、日射量と水温はやや減少の方向にある。降水量は流入汚濁量をやや増やす方向に、外洋海水流入量は湾内の水質をやや希釈する方向に、日射量と水温は植物プランクトンの増殖を少なくする方向にある。このように自然条件の大半は湾内の水質を悪化させる方向には働いていない。

(2) 長期的な傾向

多くの水質項目は季節変動が大きく、また、その時々不規則変動が加わることもあり、長期的な経時変化を描いても、その水質項目の動向が分かりにくい。12カ月の移動平均をとると、このような季節変動や不規則変動を消去し、長期的な傾向を取り出すことができる。しかし、多くの水質項目は対数正規に近い分布で、桁の異なる測定値が混在しており、単に移動平均をとると、桁の大きい月の影響が12カ月間に及んで、長期的な傾向が分かりにくくなってしまふことが多い。そこで、測定値を一度、対数値に変換した上で、12カ月移動平均を求め、その後、再度、真数値に戻す方法をとることにした。各水質項目の変動特性については後述することとし、まず長期的な傾向を述べる。

ア 有機物質

図4上段はSt. 5を例にとって、表層のCODとTOCの経年変化を示したものである。両者の傾向はよく似ていて、1985年頃をピークとし、それまでは上昇傾向、それ以降は漸減の傾向が見られる。同図下段に示すように、これらの動きはクロロフィルa+フェオ色素に影響され

るところが多い。しかし、同図中段をみると、TOCの約7割を占めるDOCはTOCの動きとは異なり、最近1、2年を除けば、ほぼ上昇の傾向にある。下層TOC、DOCの動きは表層DOCとよく対応している。他のSt.も似たような傾向がみられることが多く、内湾全体のDOCが概ね、このような動きを示している。

イ 窒素

St. 5、35における表層、下層の窒素の経年変化を図5に示す。表層T-Nは年による変動がみられるが、12年間全体としては増加傾向にある。T-NのほとんどがDTN(溶解性全窒素)、また、DTNの大半がDIN(溶解性無機態窒素)で、DTN、DINとも長期的には増加傾向がみられる。

下層T-Nも増加傾向にある。ただし、表層でみられた、年による変動がほとんどない。下層の場合もDTN、DINがT-Nに占める割合が大きく、三者の動きはほとんど同じである。

ウ リン

St. 5のT-P、DTP、PO₄-Pの経年変化を図6に示す。表層のT-Pは年による変動がみられるが、下層に行くと、その変動幅がわずかなものとなる。しかし、両者とも、12年間全体としては漸減の傾向にある。DTP、PO₄-Pは表層ではT-Pの約8割、下層ではその9割を占め、T-Pとはほぼ同じ傾向がみられる。

8地点の表層、下層のTOC、DOC、T-N、T-Pについて12年間の平均変化率を求めた結果を表1に示す。

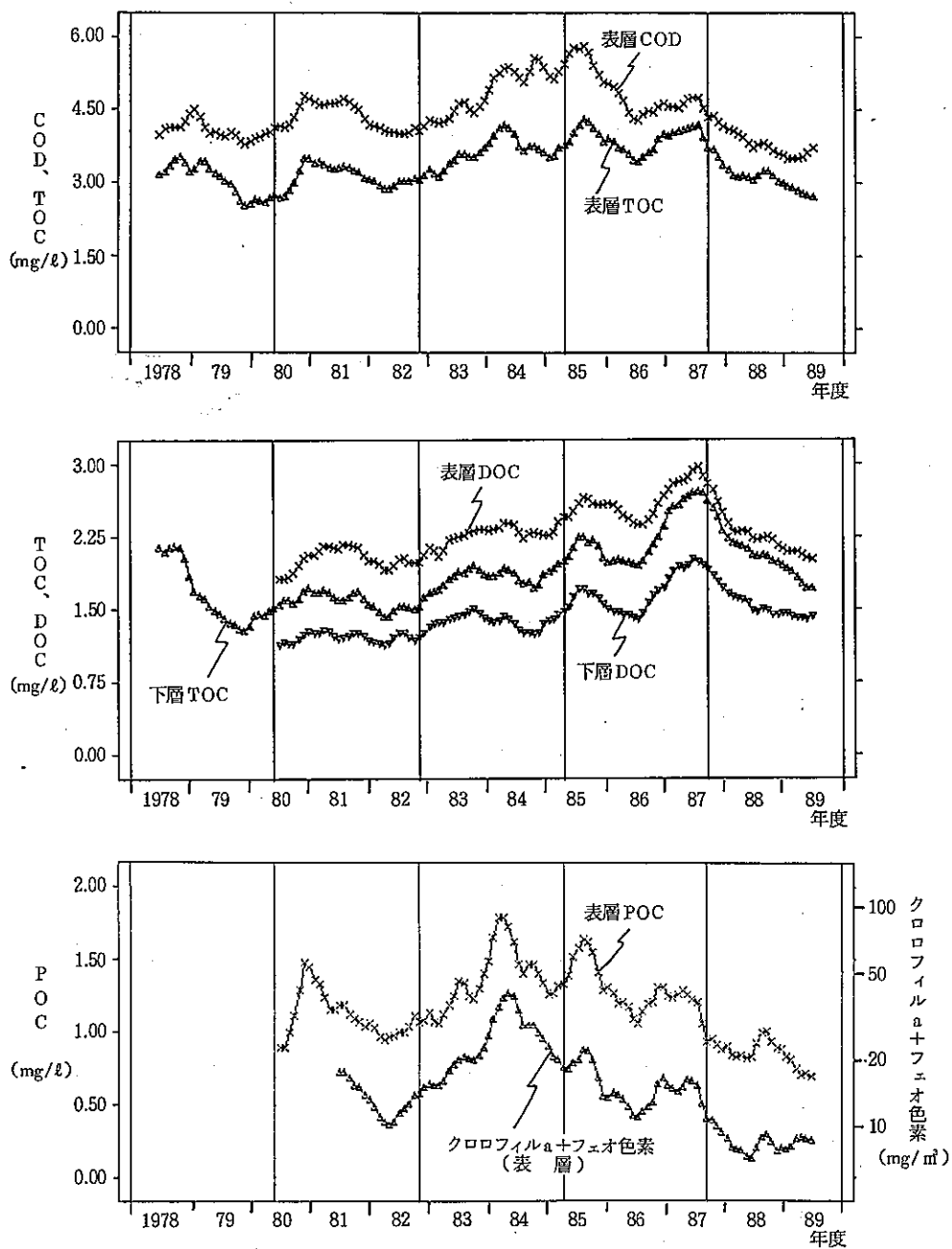


図4 St. 5のCOD, TOC, DOC, POC, クロロフィルの推移 (12カ月移動平均値)

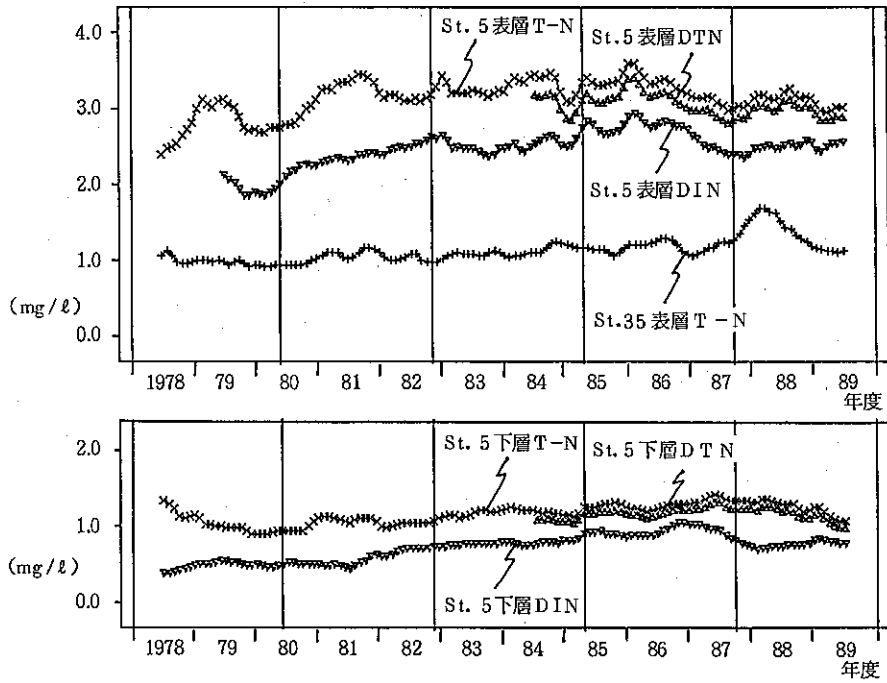


図5 T-N, DTN, DINの推移 (12カ月移動平均値)

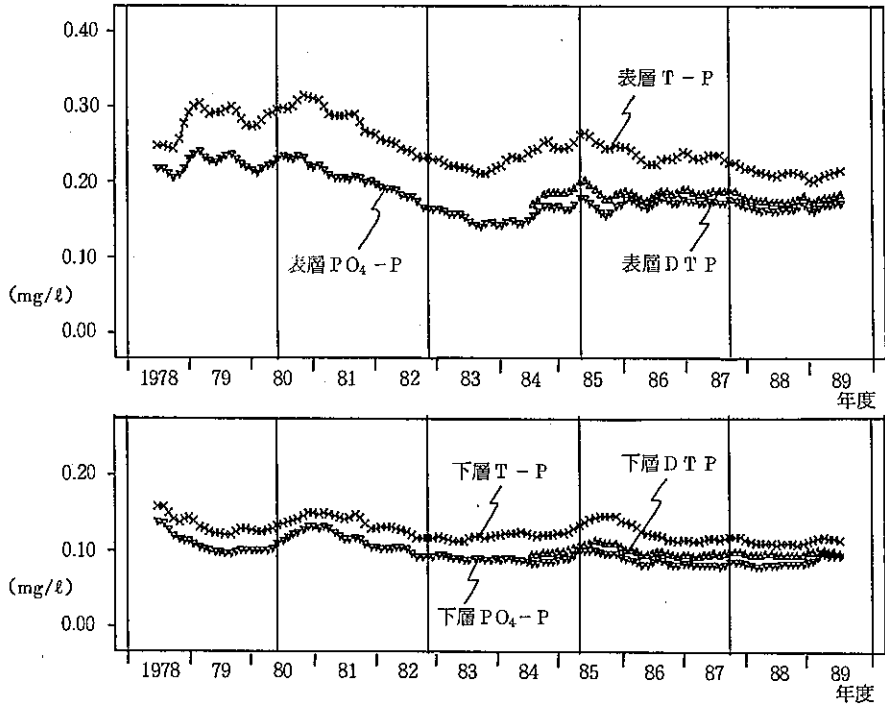


図6 St. 5のT-P, DTP, PO₄-Pの推移 (12カ月移動平均値)

表1 12カ月移動平均値の平均変化量
(1978.4～1990.3) 単位 mg/ℓ/年

		TOC	DOC	T-N	T-P
表層	St. 5	+0.047	+0.055	+0.032	-0.008
	St. 6	+0.083	+0.047	+0.019	-0.006
	St. 8	+0.110	+0.085	+0.113	-0.004
	St. 11	+0.053	+0.042	+0.047	-0.007
	St. 22	+0.142	+0.093	+0.056	-0.001
	St. 23	+0.132	+0.065	+0.118	-0.007
	St. 25	+0.103	+0.048	+0.067	-0.002
下層	St. 35	+0.082	+0.062	+0.037	-0.001
	St. 5	+0.067	+0.060	+0.029	-0.002
	St. 6	+0.044	+0.045	+0.020	-0.003
	St. 8	+0.069	+0.056	+0.042	-0.004
	St. 11	+0.057	+0.054	+0.029	-0.002
	St. 22	+0.060	+0.052	+0.017	-0.001
	St. 23	+0.081	+0.048	+0.035	-0.003
下層	St. 25	+0.062	+0.046	+0.027	-0.003
	St. 35	+0.062	+0.050	+0.021	-0.001

どの地点も平均変化率のプラスマイナスは共通しており、TOC、DOC、T-Nは増加、T-Pは減少の傾向にある。(1)で述べたように、自然条件の大半は湾内の水質濃度を低下させる方向に動いており、また、流入汚濁物の削減対策も進められているから、T-Pのように減少傾向にあるべきだが、T-N、DOCは最近1、2年を除けば、増加傾向にある。その原因については(3)で検討することにする。

(3) 変動の支配要因

各水質項目と自然条件の12カ月移動平均の経年変化図を重ね合わせて、各項目を変動させる支配要因を検討した。

ア 有機物質

前述のとおり、表層のCOD、TOCの変動はクロロフィルa+フェオ色素の動きによる部分が多い。赤潮発生時の植物プランクトンは一様ではなく、パッチ状に分布し、更に、日周期の垂直運動を繰り返す³⁾。それゆえ、表層のCOD、TOCは、採水検体に植物プランクトンがどの程度、混入するかで決まる部分が少なくない。植物プランクトンの動きに直接関係するのは、粒子性のもので、前出の図7下段に示したように、POCがクロロフィルa+フェオ色素の動きによく対応している。

これに対して、DOC、特に、下層のDOCはそれとは別の動きを示している。図7～9は時間を説明変数とする一次回帰式からの変動を示したものである。図7をみると、DOCの動きは日射量の変化によく対応している。表2に示すように、他のSt.でも、少なくとも下層のDOCは日射量との対応がみられる。これは、日射量の大きい年は植物プランクトンの増殖量が大きく、その分解でより多くのDOCが供給されたことを意味する。なお、最近1、2年のDOCは日射量の増加に対応せず、減少傾向にあるが、これは(1)で述べた外洋海水流入量の増加によるものとも考えられる。

このように、DOCの変動は日射量の変化で説明する

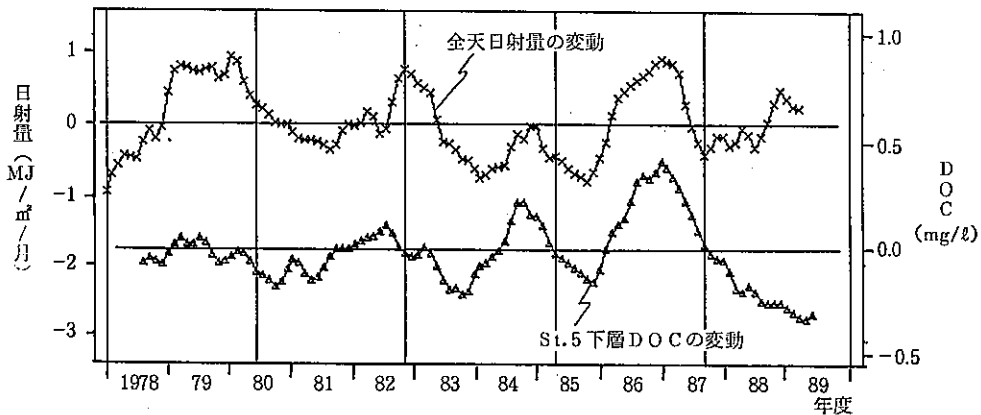


図7 下層DOCと日射量の変動の対応 (12カ月移動平均)

表2 12か月移動平均値の変動パターンの対応

○ 対応あり △ 対応が少しあり × 対応なし

		DOCと日 射量	T-Nと淡 水比率	T-Pとク ロロフィル
表 層	St. 5	○	△	○
	St. 6	△	○	×
	St. 8	△	○	○
	St. 11	○	○	×
	St. 22	×	○	×
	St. 23	×	△	×
	St. 25	×	○	×
	St. 35	△	○	×
下 層	St. 5	○	×	×
	St. 6	○	×	×
	St. 8	○	×	×
	St. 11	○	×	×
	St. 22	○	×	×
	St. 23	○	×	×
	St. 25	○	×	×
	St. 35	○	×	×

ことができる。しかし、日射量は長期的にはやや減少の傾向にあるから、DOCの長期的な増加の説明要因にはならない。その増加が二次生産由来でないとすれば、陸上起源ということになる。東京湾まで流下して残留する陸上起源の有機物質は難分解性のものと推測される。水洗便所の普及等、生活様式の変化が難分解性有機物質の排出量増加につながっているかどうかを今後、検討して

いく必要がある。

以上の検討を整理すると、表層のTOCの値は次の三つの動きを重ね合わせたものであると考えられる。

- ① ベースとしてのDOCの経年的な増加
- ② 日射量の経年変化によるDOCの変化
- ③ 採水時の植物プランクトンに起因するPOCの変化

窒素

窒素も上記と同様に、採水検体への植物プランクトンの混入度に影響される部分があるが、窒素の場合はPON、すなわち、植物プランクトン関係のものが占める割合が小さく（1割以下）、植物プランクトンの変動に対応する動きはみられない。むしろ、表層のT-Nの動きによく対応するのが、淡水比率の経年変化である（図8）。降水量が大きい年は陸上からより多くの窒素が流入して表層のT-Nを上昇させる傾向がある。ただし、その影響は下層のT-Nにはほとんど及んでいない。

しかし、淡水比率には増加傾向がみられないから、それで説明できるのは、年によるT-Nの変化だけである。表層、下層のT-Nに共通してみられる増加傾向の説明要因にはならない。T-Nの増加は陸上からの流入量が増えてきたことを意味するが、それがDOCと同様、水洗便所の普及等によるものかどうかは不明である。

ウリ

表層のT-Pは、植物プランクトン関係のものが2～4割を占めているので、一部のSt.では図9のとおり、

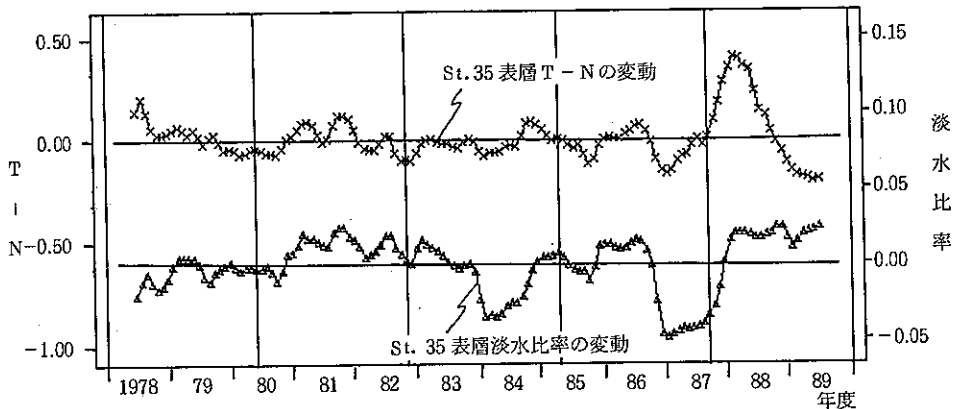


図8 表層T-Nと淡水比率の変動の対応（12か月移動平均）

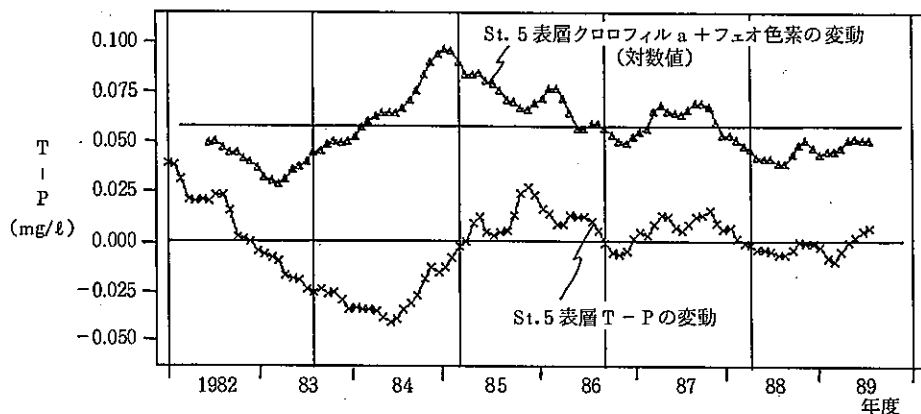


図9 表層T-Pとクロロフィルの変動の対応 (12カ月移動平均)

植物プランクトンの変化の影響がみられることがある。しかし、T-Nのように淡水比率の変化に対応する変動はみられない。降水量が多く、淡水比率が上昇する年はT-Pも陸上からの流入量が増加しているが、湾内のT-Pは上昇していない。この理由の一つとして、河川流量増加時に流下する土砂がりんの一部を吸着し、湾流入部で沈降してしまうことが考えられる。

T-PはT-NやDOCと異なり、長期的にはわずかに減少する傾向がある。これは、下水処理場の除去率が窒素よりりんの方が高く、下水道の普及に伴ってりん排出量が減少してきたことを示しているとも考えられる。なお、東京都下水道局事業年報(昭和63年度)によれば、都の14下水処理場全体のりん除去率は55%、窒素除去率は35%である。

(4) 過栄養度の検討

東京湾には植物プランクトンが増殖するのに十分すぎる窒素とりんが含まれていると言われているが、実際にどの程度、過栄養の状態にあるかが明らかにされていない。この過栄養の程度を知るため、以下の検討を試みた。まず、この検討の前提として次の三つの条件を設けた。

ア 水中の窒素、りんを形態により、次の三とおりに区分する。

粒子性の窒素、りん：植物プランクトンに取りこまれたもの

溶存性有機態の窒素、りん：植物プランクトンの分解等で生じたもので、即座に利

用することが困難なもの
無機態の窒素、りん：植物プランクトンが利用可能なもの

植物プランクトンは一部の溶存性有機態の窒素やりん(尿素やグリセロりん酸塩等)で増殖することが可能であるが、ここではそれらが占める割合が小さいとして、利用可能な窒素、りんを無機態のみとした。

イ 無機態の窒素、りんの限界利用濃度をゼロとする。植物プランクトンの増殖速度に影響する窒素、りんの濃度、すなわち、利用限界濃度はきわめて低い。

植物プランクトンの比増殖速度式

$$\mu = \mu_{\max} \cdot S / (S + K)$$

S：窒素、りんの濃度、K：定数(半飽和濃度)

における半飽和濃度はNH₄-NやNO₃-N(硝酸性窒素)については0.01~0.05mg/l、PO₄-Pについては0.001~0.003mg/lとされており、東京湾の現状濃度に比べて二桁小さい。例えば、NH₄-Nが0.2mg/lあれば、比増殖速度は最大速度に近い値になる。それゆえ、水中の窒素、りんのほとんどを使いきる状態になるまで、植物プランクトンの増殖速度は変わらず、窒素、りん濃度の影響をほとんど受けない。

ウ 植物プランクトンの必要栄養塩類量、すなわち、Cに対するN、P比を次のとおりとする。

窒素：PON/POCの実績値

りん：① PTP(粒子性全りん)/POCの実績値

② PTP/POC=1/50

②は、植物プランクトンがりんを過剰吸収する性質を考慮したものである。植物プランクトンは過剰吸収したりんを保持しているため、りんの供給がなくても、しばらくの間は増殖することが可能とされている。PTP/POCとSt.との関係を見ると、T-Pの水中濃度が高い地点はPTP/POCが高くなる傾向がある。8地点の中でT-Pが最も低いSt.35はPTP/POCの平均が約0.02であるが、一方、T-Pが最も高いSt.5は約0.04で、りん過剰吸収の傾向がある。②ではSt.35の値(0.02)を植物プランクトンの必要りん量とした。

以上の前提条件をおくと、窒素・りんの未利用率は次式から求められる。

〔窒素〕 $DIN/T-N$

〔りん〕① $PO_4-P/T-P$

② $\frac{PO_4-P+PTP-POC}{T-P}$

上式より、St.5とSt.35の表層について、過去6年間月別の窒素・りんの未利用率を計算した結果を図10、11に示す。未利用率はSt.5とSt.35で大きく異なり、春夏の最大消費月でSt.5が窒素60%~70%、りん①40~50%、②50%~70%、St.35が窒素10~20%、りん①、②0%~10%である。沖合のSt.35は最大消費月には窒素、りんの大半が利用されている状態にあるが、沿岸部のSt.5は窒素、りんとも、かなりの過栄養の状態にある。

この未利用率は海水中の窒素、りん濃度を低減させていった場合に、赤潮の発生に抑制効果が現れ始める時の

低減率を表している。そのような観点で、毎年最大の赤潮に対して抑制効果が現れ始める窒素、りんの低減率を各St.ごとに求めたのが表3である。平均T-Nが1mg/ℓ台のSt.は窒素低減率が概ね10~20%、3mg/ℓ台のSt.は50%~60%、平均T-Pが0.1mg/ℓ前後にあるSt.はりん低減率が1~10%、0.2mg/ℓ台にあるSt.は40~60%である。したがって、今後、窒素・りん流入量の削減を進めていった場合、窒素、りん濃度が比較的低い沖合では赤潮抑制の効果が早く現れるが、濃度が高い沿岸部では当分の間は過剰分の減少に費やされるものと予想される。

表3 赤潮抑制に効果が現れ始める窒素・りん濃度の低減率

	赤潮抑制に効果が現れ始める低減率(%)			平均水質	
	窒素 C/N=実績	りん		T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)
		①C/P=実績	②C/P=50		
St.5	63	46	60	3.3	0.25
St.6	49	21	42	2.7	0.20
St.8	48	38	46	3.3	0.21
St.11	58	38	52	3.3	0.24
St.22	22	6	6	1.7	0.12
St.23	50	32	53	3.3	0.24
St.25	31	12	26	2.2	0.16
St.35	12	5	1	1.3	0.08

〔注〕1984~89年度の6年間において植物プランクトンの増殖抑制に効果が現れ始める月別低減率のうち、小さい方から第6位目までの平均値を示す。確率的に毎年最大の赤潮に対して抑制効果が現れ始める時の低減率を表している。

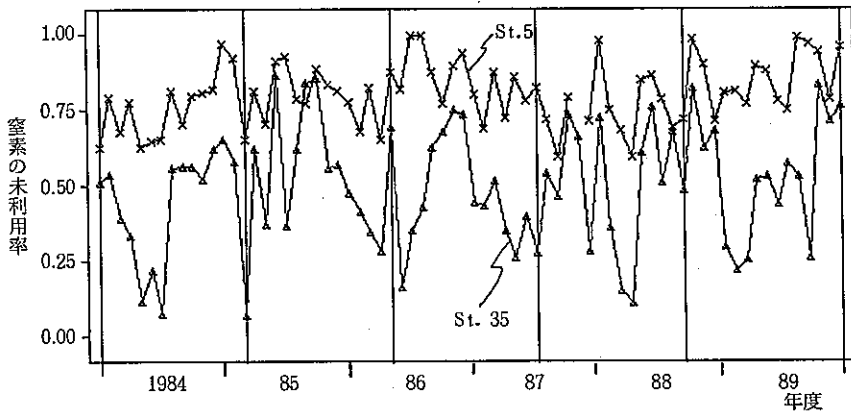


図10 過栄養度(窒素の未利用率)

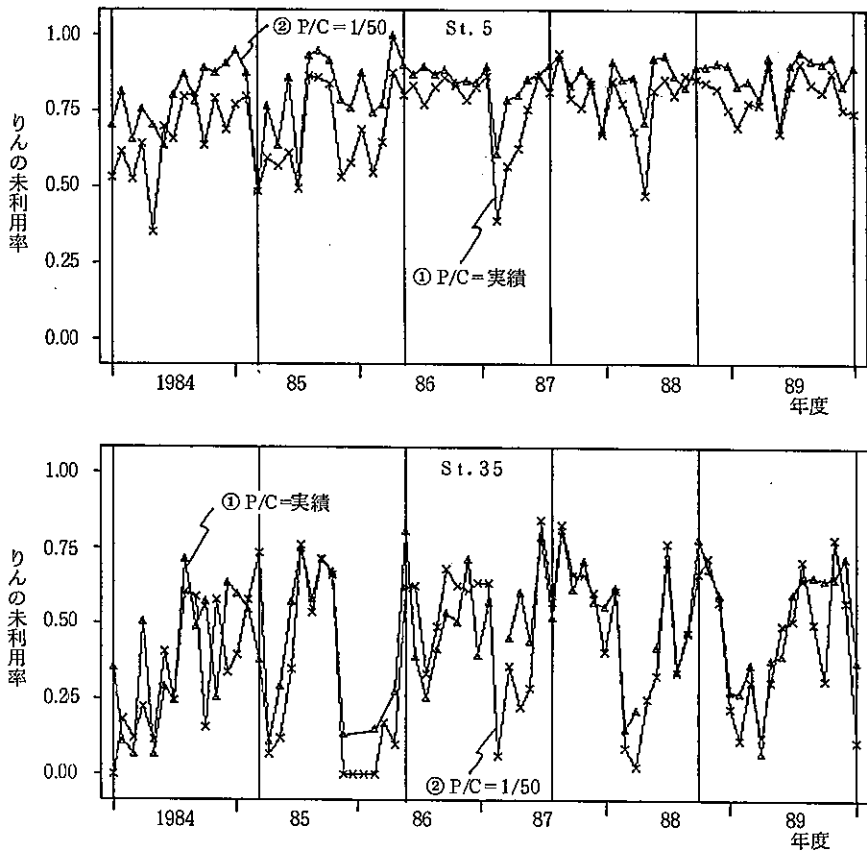


図11 過栄養度（りんの利用率）

4 おわりに

以上、「公共用水域の水質測定結果」の12年間のデータを用いて、東京湾の水質の長期的傾向、変動特性等について統計的な解析を行った。その解析により、次の諸点が明らかとなった。

① 12か月移動平均をとり、季節変化や不規則変化を消去すると、過去12年間全体の傾向として、DOC、T-N はやや増加、T-P はやや減少の方向にある。

② 東京湾の水質に影響を与える自然条件のうち、海水の交換、日射量、水温は12年間全体の傾向としては水質をやや改善させる方向に動いており、DOC等の増加の説明要因にはならない。ただし、降水量は陸上からの流入汚濁負荷量をやや増加させる方向に動いている。

③ DOC、特に、下層DOCの変動は日射量の変動によく対応しており、日射量が多い年は植物プランクトンがより多く増殖してDOC濃度が高まるものと推測される。

④ 表層のTOCの変化は、②のDOCの長期的増加傾向と、③の日射量に対応したDOCの動きの他に、採水検体に混入する植物プランクトン関係のPOCの変化が加わったものとなっている。

⑤ 降水量が多い年は湾に流入する汚濁負荷量が増大するため、淡水比率が上昇すると、T-N濃度が上昇することが多い。しかし、りんについては淡水比率に対応した変動特性がみられない。

⑥ 窒素、りんの利用率をSt.ごとに試算したとこ

ろ, St.35のような沖合は過栄養度が小さく, St. 5のような沿岸部は大きい。それゆえ, 窒素, リン流入量削減の効果は沖合で早く現れるが, 沿岸部では当分の間は過剰分の減少に費やされるものと予想される。

今回のような統計的な解析ははじめての試みであり, まだまだ不十分な点が多い。東京湾の水質変動の機構を明らかにするため, 変動パターンを解析する統計的手法を更に検討していくことにしたい。

参 考 文 献

- 1) 日本科学者会議編：東京湾, 大月書店, p. 2, 49 (1979).
- 2) 菊地利夫：東京湾史, 大日本図書, p.32 (1974).
- 3) 花岡 資ら：生物の異常発生, 共立出版, p.109 (1972).
- 4) 西条八束編：内湾の環境科学下巻, 培風館, p.47 (1984).
- 5) 日本水産学会編：水域の自浄作用と浄化, 恒星社厚生閣, p.71, 79 (1979).