



1回調査が行なわれてきた地点の中から東京湾全域にほぼ均等に分布する41地点を選び、その水質測定データに対して、次に述べる季節調整法及び平面補間法を順次適用して、毎月の東京湾全域の水質平面濃度分布を推定した。

### 2. 2. 1 季節調整法

筆者らは、水質の長期変動傾向を推定するのに季節調整法の利用が有効であることを報告した<sup>1)</sup>。その場合には、変動の大きい水質測定データからトレンド成分を抽出することが季節調整法を使用する目的であった。

本報告では、平面補間を行なうための前処理として季節調整法を使用した。すなわち東京湾全域の41地点で測定されたデータは、年月が同一でも、測定日は地点により異なる場合が多い。そのため、気象状況の変化などにより、ある地点では強風の日に測定が行なわれ、別の地点では大雨後に測定が行なわれていたような場合が起こりうる。このような測定データをそのまま使用して平面補間処理を行なった場合には、天候など、一時的な要因の影響が水質濃度分布に反映され、本来推定したいその年月の特徴的な濃度分布が得られない可能性が高い。そこで、水質時系列データから強風や大雨などの突発的な事象の影響をノイズと見なして除去するために、バイズ型季節調整法を用いた<sup>7)</sup>。すなわち、水質データの構造を

測定値=トレンド成分+季節成分+ノイズ成分  
とモデル化し、各地点の測定データを季節調整法により3成分の時系列データに分解した。次に、平面補間の対象とする年月のトレンド成分と季節成分の和を、その時点本来の平均的な水質であると仮定して、平面補間に使用するデータとした。

### 2. 2. 2 平面補間法

まず、図1に示すように、東京湾を54×46(1kmメッシュ)の格子に分割した。このとき、海域の格子数は981、東京内湾の格子数は876であった。東京内湾の面積は約960km<sup>2</sup>と言われているが、格子化したことにより、それより狭くなった。

次に、各測定地点に対応する格子座標上に水質データ(トレンド成分+季節成分)を配置し、離散薄板モデルに基づく平面補間法<sup>8)</sup>によって全格子点の濃度を推定した。

この離散薄板モデルはスプライン補間法の一つで、各地点の水質濃度を、対応する座標上に立てた棒の長さで表したとすると、その上から柔軟性のある薄板を被せ、すべての棒の先端に薄板が接触するように変形したときにできる曲面で全域の濃度を推定することに例えることができる。

## 3 結果と考察

### 3. 1 水質の平面濃度分布の特徴

公共用水域水質測定データから得られた東京湾表層における毎月のCOD、T-N、T-Pの平面濃度分布の推定画像を図2、3、4に示す。これらの図で、左右方向には4月から3月までの1年間の変化が、また上下方向には過去から1997年度までの年度による変化が分かるように各月の平面濃度分布図を配置した。なお、41地点全てで測定が開始された年度は項目により異なるため、作図の開始年度も異なっている。

#### 3. 1. 1 COD

図2は、1976~1997年度のCODの平面濃度分布を示したものである。

CODの平面濃度分布の季節変化をB類型の環境基準値3mg/Lを超える黄色で示された領域に注目して比較すると、2月には既に最湾奥部の海岸線付近に3mg/Lを超える領域が出現し、以後次第に拡大して、5~9月の間は東京内湾に全域に広がっている。そして、特に6月には最も値が高い赤で示される領域が湾奥部をほぼ被っている。

東京湾では、湾内の有機物中に占めるプランクトン起源の有機物の割合は数10%に達すると報告されており<sup>9)</sup>、こうしたCODの季節変化は、植物プランクトンによる内部生産量の変化に対応していると考えられる。すなわち、植物プランクトンの増殖速度を制限する要因は、気温、日射、栄養塩濃度であるが、東京における気温と全天日射量の平年値は、それぞれ8月と5月に最も高い。また6月には梅雨の影響により河川を通じて有機汚濁物質とともに、栄養塩類が陸域から豊富に供給される。こうした気象等の要因の組み合わせで、毎年6月頃に最もプランクトンの増殖に最適な条件が出現し、COD濃度が上昇すると考えられる。

CODの経年的な変化については、この22年間、顕著な変化は認められない。

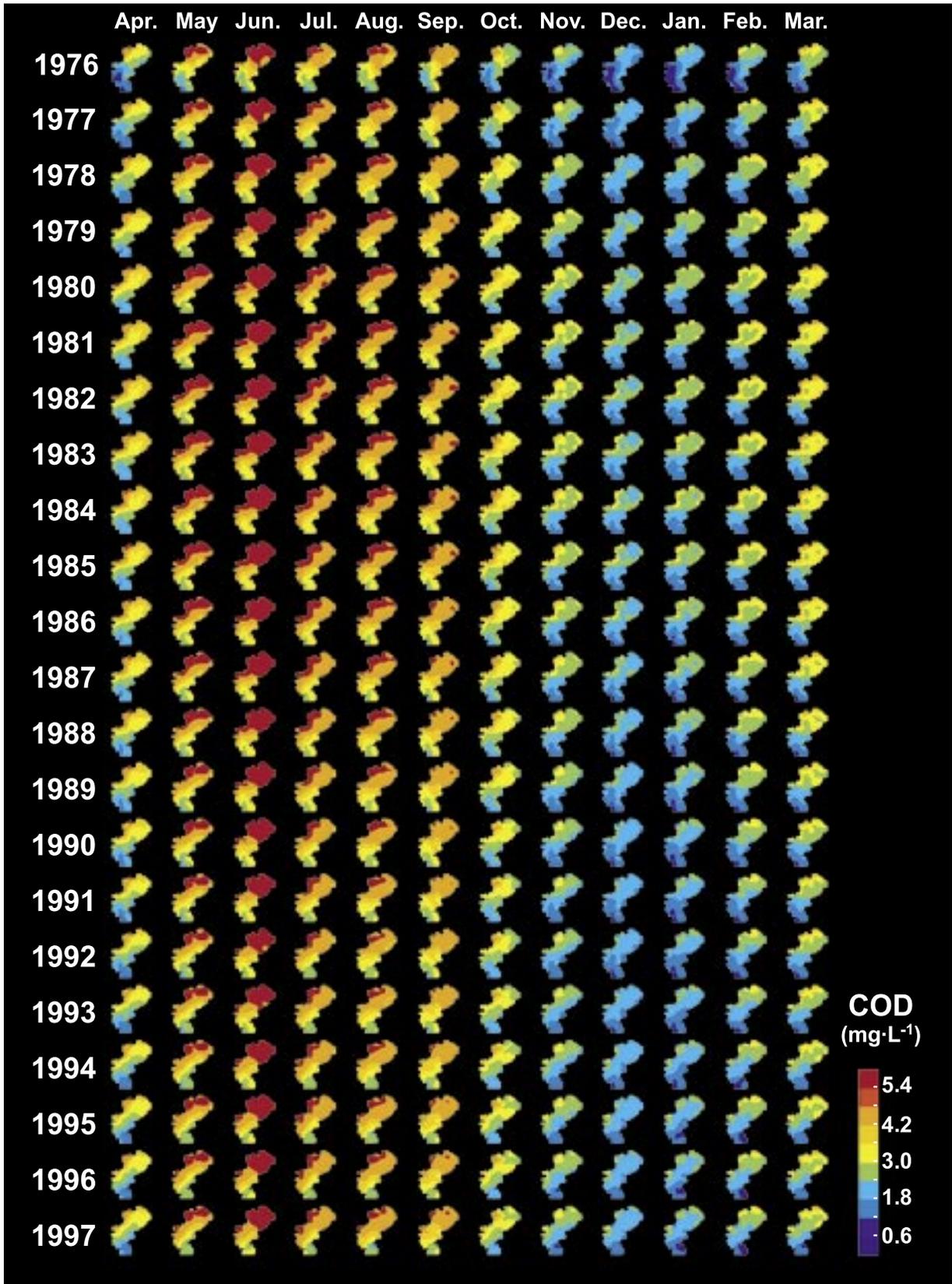


図2 東京湾表層におけるCOD平面濃度分布の推移

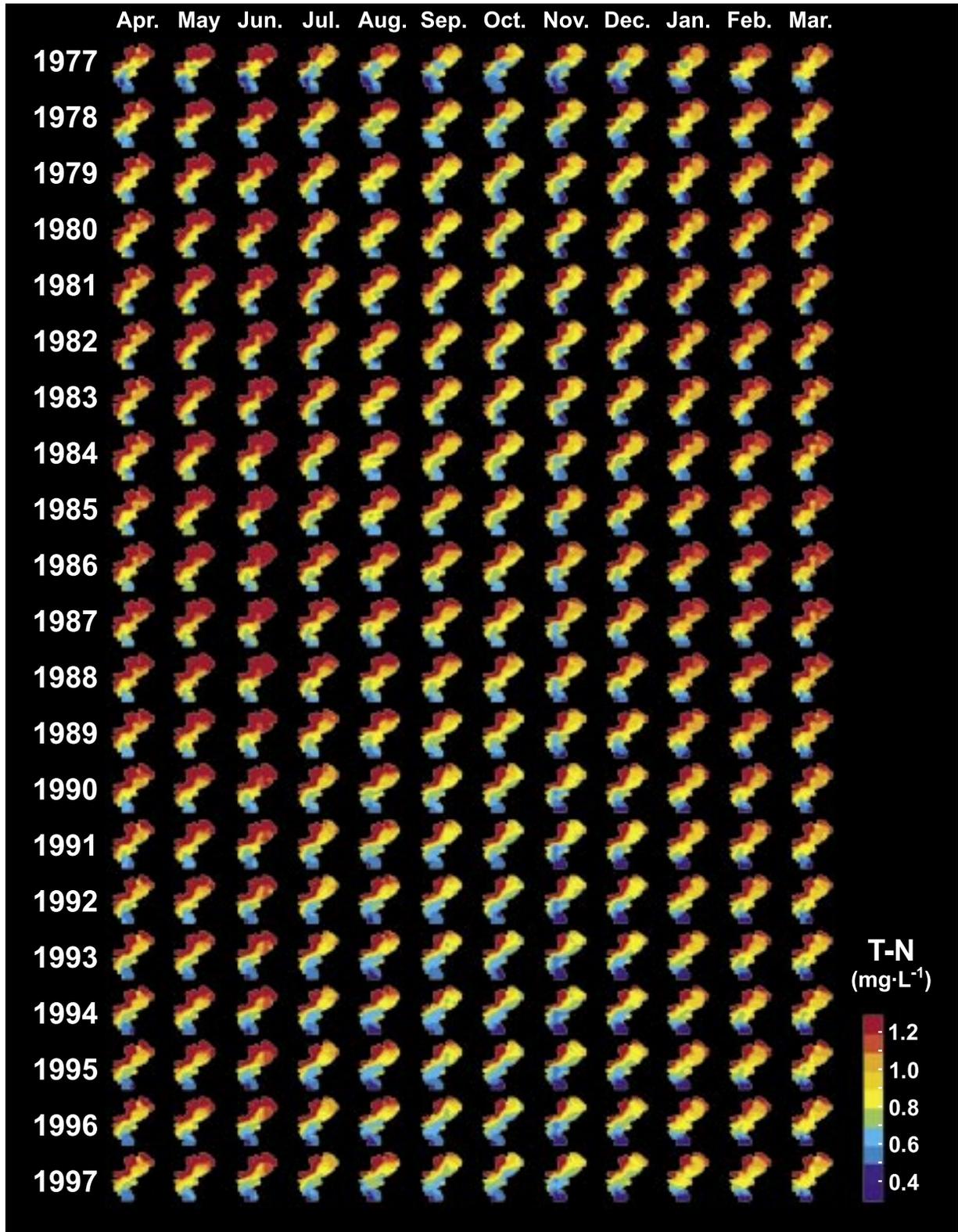


図3 東京湾表層におけるT-N平面濃度分布の推移

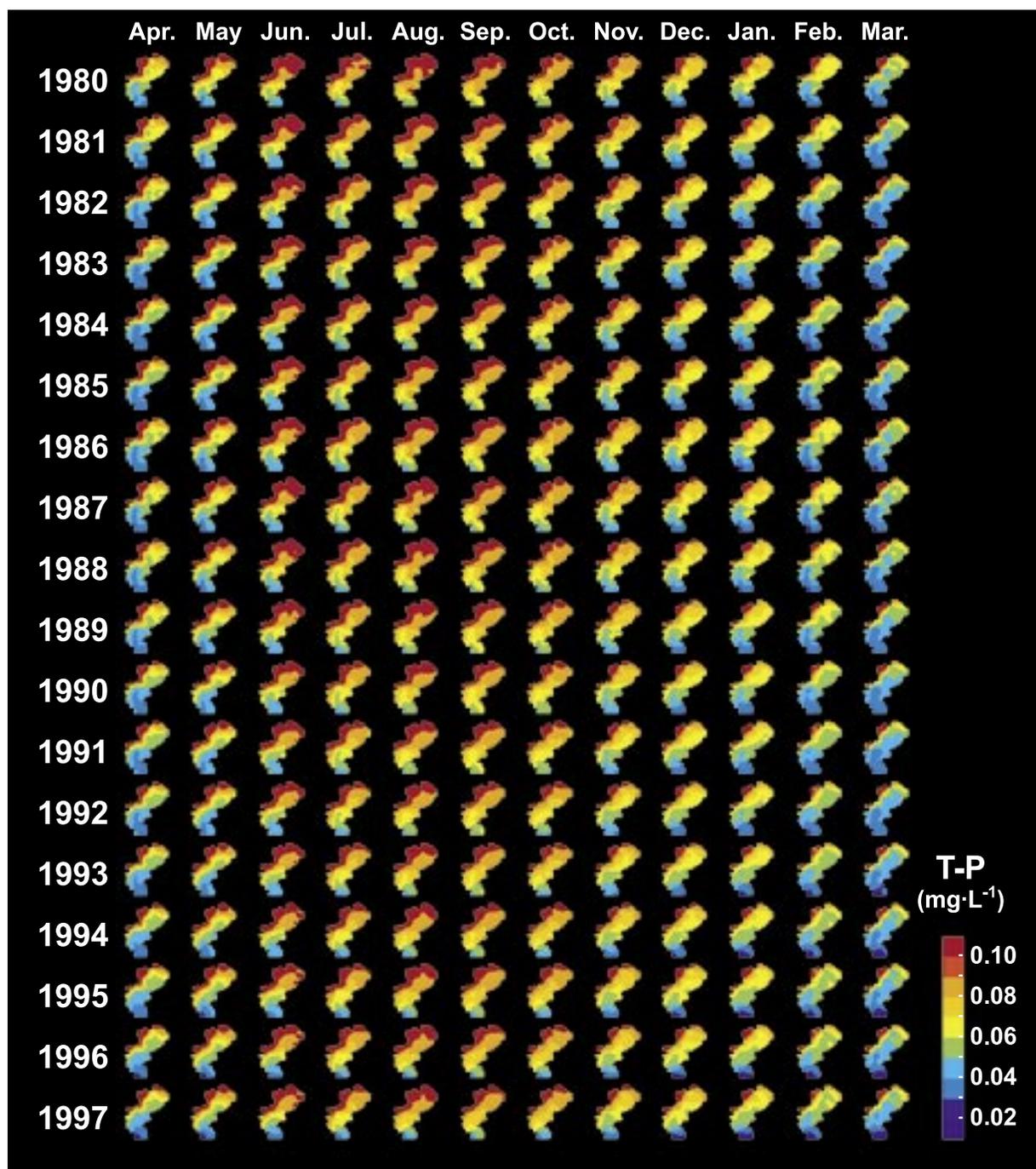


図4 東京湾表層におけるT-P平面濃度分布の推移

### 3.1.2 T-N

図3は1977～1997年度の表層T-Nの平面濃度分布図である。季節的には、春から夏にかけて濃度の高い領域が拡がり、CODと同様に6月頃に最も拡大している。空間的には、湾奥西岸の東京から川崎、横浜の沿岸にかけては年間を通じて、1mg/L以上の赤で示される高濃度の領域が広がっている。一方、東岸の千葉県寄りの水域では、5～6月に高濃度域が最も拡大し、その後、夏季には濃度が低下し、冬に若干濃度の高くなる傾向が認められる。東京湾の主要な流入河川である江戸川の篠崎水門、多摩川の田園調布堰における公共用水域の水質測定結果によれば、T-N濃度は冬季に比較的高く、夏季に低い傾向を示している。ただし、これはあくまでも晴天時の濃度値であるため、海域の濃度変化との関連は明確ではない。むしろ、T-Nを構成する無機体窒素（硝酸性窒素：NO<sub>3</sub>-N、亜硝酸性窒素：NO<sub>2</sub>-N、アンモニア性窒素：NH<sub>4</sub>-N）の河口域での濃度は、降雨直後に濃度が高いことが報告されており<sup>10</sup>、降水量の多い梅雨期に陸域からの負荷が多いことに起因すると考えられる。

経年的には1～3月の濃度が1980年代半ばに最も高くなり、その後少しずつ、この時期の濃度が低下する傾向が認められる。

### 3.1.3 T-P

図4は、1980～1997年度における表層のT-Pの平面濃度分布である。

T-Pは、T-Nと同様に、東京の沿岸域では年間を通じて赤で示される0.09mg/L以上の高濃度の状況が継続している。

季節的には、T-P濃度は6～9月に濃度の高い領域が拡がり、8月頃に最大になっている。これは、前述のCOD及びT-Nに比べて約2ヶ月遅い。

T-Pの経年的な変化については、この図からは明確な減少傾向は認められない。

## 3.2 環境基準値を超える面積の割合

### 3.2.1 東京内湾の水質類型と環境基準

東京内湾の各水域は、利水目的等に応じて、CODについてはA、B、Cの3類型、T-N、T-PについてはⅢ、Ⅳの2類型に区分され、それに従って環境基準値が定められている。CODの環境基準値は、A類型が2mg/L、B類型は3mg/L、C類型は、8mg/Lである。

一方、T-N、T-Pの環境基準値は、類型Ⅲの場合それぞれ0.6mg/L以下及び0.05mg/L以下（年平均値）、類型Ⅳでは、1mg/L以下及び0.09mg/L以下（年平均値）と定められている。

通常、環境基準の達成率は、測定回数に対して環境基準値を超えた回数の割合で表されているが、ここでは、前述の平面補間法を用いて計算された東京湾全域の濃度推定値をもとに、環境基準を超える面積の割合を求め、検討した。すなわち、東京内湾に該当する876格子について、各月ごとに、CODはB類型の3mg/L、T-N、T-Pは類型Ⅳの1mg/L及び0.09mg/Lの環境基準値と比較して、その値を超える格子数の割合を計算し、時系列図に表した（図5）。なお、前述の3.1では、表層の結果についてのみ述べたが（図2～4）、ここでは、同様な手法で得られた底層の結果も併せて検討した。

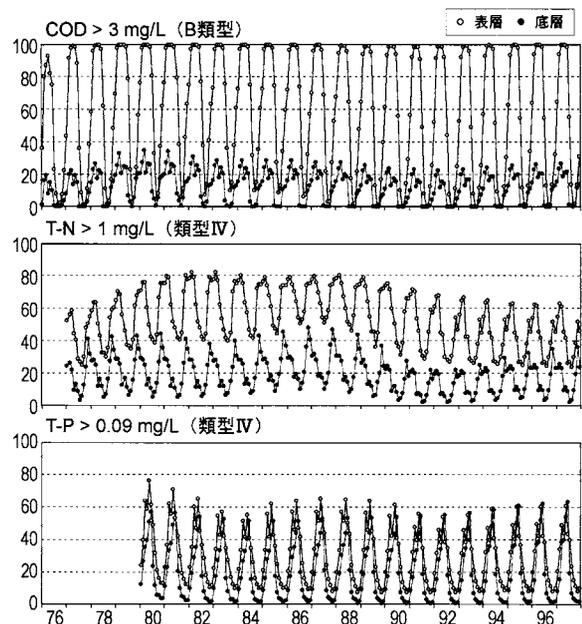


図5 東京内湾において環境基準を超える面積の割合 (%)

### 3.2.2 COD

表層については、CODが3mg/Lを超える面積の割合は、毎年5～9月にほぼ100%に達した。東京内湾の水域は、陸域に近い一部の水域（C類型）を除いて、多くがA類型またはB類型に区分されており、B類型の基準が達成できない場合にはA類型の基準も達成できないことを意味している。したがって、春から夏の間はほぼ東京内湾全域で環境基準が達成できないこと

を示している。

一方、底層の場合には、6月の約30%が最大であり、表層に比べて底層のCODレベルがかなり低いことも表している。このことは、有機汚濁の主要な原因が表層での内部生産によるものであること意味している。

なお、冬季には、表層、底層とも毎年ほぼ環境基準値以下に回復することも分かる。

### 3.2.3 T-N

表層のT-Nについては、濃度が1mg/Lを超える面積の割合は、1980年代には、1～6月に高くなり約80%に達したが、1990年以降は次第に60%程度まで低下しピークの期間も5～6月と短くなる傾向が認められた。

底層についても同様に、1990年代に入って基準を超える面積の割合が低下する傾向を示した。

また、CODと比べて、年間の変動幅が小さく、最も低下した場合でも30～40%の領域が1mg/Lを超えている。このことは、年間を通じて比較的濃度が高いことを示している。

T-Nの起源としては、下水処理水のほか、肥料、大気汚染などに由来するものが考えられる。特に、バブル経済が崩壊した1990年代に入って濃度の低下が認められることから産業活動と関連している可能性もあるが、現状では明確な理由は不明である。

### 3.2.4 T-P

表層のT-Pは、0.09mg/Lの基準値を超える面積の割合は毎年8月頃に最大になり、その値は約60%であった。また、底層の変動パターンも表層とほぼ同じであったが、そのピークは、毎年9月頃で表層に比べて約1ヶ月間遅れる傾向が認められた。

既に述べたように、CODとT-Nは、表層と底層とで、変動パターンが異なり、両者の濃度レベルの差が大きいことを示しているが、T-Pの場合には表層と底層の濃度レベルがほぼ等しいと考えられる。また底層のピーク時期が東京湾の貧酸素化が最も進行する9月であることは、底泥からの溶出の寄与が大きいことを示唆している。

## 4 おわりに

本研究から、以下のことが明らかになった。

- (1) 季節調整法と平面補間法を組み合わせることで適用することにより、調査日が異なるデータからでも平面濃

度分布を推定することが可能である。

- (2) 時間的空間的に変動する水質の状況を明らかにする方法として、カラー化した平面濃度分布図を時系列的に配置した図による表現が有効である。
- (3) 東京湾表層では、CODとT-Nは6月頃に、T-Pは8月頃に高濃度の領域が最も拡大する
- (4) 東京都の地先海域では、COD、T-N、T-Pとも年間を通じて濃度が高い
- (5) 平面補間結果によれば、表層のCODは、5～9月は東京内湾全域で、B類型の環境基準値3mg/Lを超えていると推定される。
- (6) T-Nは、1mg/Lの値を超える面積の割合の最大値が1980年代の約80%から1990年には約60%に低下する傾向が認められる。
- (7) T-Pは、0.09mg/Lを超える面積の割合が、表層と底層でほとんど差がなく、最大で約60%と推定される。

## 引用文献

- 1) 安藤晴夫, 柏木宣久ら: 東京都内湾の水質の長期変動傾向について, 東京都環境科学研究所年報, pp.60-67 (1999)。
- 2) 二宮勝幸, 柏木宣久ら: 東京湾におけるCODとDOの空間濃度分布の季節別特徴, 水環境学会誌, 19(9), pp.480-490 (1996)。
- 3) 二宮勝幸, 柏木宣久ら: 東京湾における溶存性無機態窒素およびリンの空間濃度分布の季節別特徴, 水環境学会誌, 20(7), pp.457-467 (1997)。
- 4) 東京都環境局: 昭和51～平成9年度 公共用水域の水質測定結果 (資料編)。
- 5) 千葉県環境局: 昭和51～平成9年度 公共用水域水質測定結果及び地下水水質測定結果。
- 6) 神奈川県環境局: 昭和51～平成9年度 神奈川県水質調査年表。
- 7) Akaike H: Likelihood and the Bayes procedure, Trabajos de Estadística, Vol.31, pp.143-166 (1980)。
- 8) Matsushita K., Kashiwagi N. et al.: Statistical analysis of air pollution data with graphical methods; location characteristics of the monitoring stations, In "Statistical Theory and Data Analysis" Elsevier Science Publishers B.V. (1988)。

- 9) 小倉紀雄編：東京湾-100年の環境変遷-, 恒星社厚生閣, pp.43, (1993)。直濃度分布の特徴,全国環境研会誌, 26(4), pp. 14-19, 2001.
- 10) 安藤晴夫,山崎正夫：東京湾における栄養塩類の鉛

## Temporal Changes and Characteristics of the Spatial Water Quality Distribution in Tokyo Bay

Haruo Ando, Nobuhisa Kashiwagi\*, Katsuyuki Ninomiya\*\*  
Hisako Ogura\*\*\* and Masao Yamazaki

\*The Institute of Statistical Mathematics

\*\*Yokohama Environmental Research Institute

\*\*\* Chiba Prefectural Environmental Research Center

### summary

Applying statistical methods to the water quality monitoring data of public waters, spatial water quality distributions in Tokyo Bay can be visualized. The results clearly show the characteristics of long term trend, seasonal change and spatial distribution of water quality. Compliance area with the environmental quality standards of N, P and COD can be also calculated.

**Key words** : Tokyo Bay, spatial distribution of water quality, nutrients, seasonal adjustment, spatial interpolation