

1980年以降の東京湾の水質汚濁状況の変遷について — 公共用水域水質測定データによる東京湾水質の長期変動解析 —

安藤 晴夫 柏木 宣久* 二宮 勝幸** 小倉 久子*** 川井 利雄
(*統計数理研究所 **横浜市環境科学研究所 ***千葉県環境研究センター)

要 旨

1980年以降の東京湾の水質汚濁状況の推移を、水質濃度と、その評価基準の一つである環境基準達成状況の側面から検討した。全般的な水質汚濁状況としては、湾東側では湾奥方向に改善傾向、湾西岸部では湾口方向に悪化する傾向が認められた。CODは1980年代後半に改善傾向を示したが、1990年代前半からは改善が進まない状況が続いている。T-NとT-Pは、改善傾向が認められたが、DOについては、夏季に湾奥部全域が貧酸素化する状況や、湾口部に近い海域で濃度の低下傾向が見られるなど、横ばいか、やや悪化する傾向を示している。

キーワード：東京湾、長期変動傾向、COD、NP、DO

Changes in the State of Water Pollution in Tokyo Bay since 1980 — Trend analysis of water quality using monitoring data obtained by Local Governments —

ANDO Haruo, KASHIWAGI Nobuhisa *, NINOMIYA Katsuyuki **,
OGURA Hisako ***, KAWAI Toshio
* The Institute of Statistical Mathematics
** Yokohama Environmental Research Institute
*** Chiba Prefectural Environmental Research Center

Changes in the state of water pollution in Tokyo Bay since 1980 were analyzed from the aspects of concentration and compliance ratio of environmental standards. As an overall trend, the state of water pollution has been improving in the eastern side of bay and worsening in the western side. The concentration of COD decreased in the late 1980's and has been continuing to stagnate since the early 1990's. The concentrations of total nitrogen and total phosphorus show a declining trend. Even today, anoxic bottom water still spreads throughout the head of Tokyo Bay in summer, and a declining trend of dissolved oxygen is observed around the mouth of bay. Therefore it seems that the environmental status of dissolved oxygen has been worsening rather than improving.

Keywords : Tokyo Bay, longterm-trend, COD, NP, DO

3.1.1 COD

図2によれば、湾最奥部のCOD濃度は1984年頃に最も高くなり、都内湾の隅田川河口域から西岸沿いに5 mg/ℓ以上の水域が分布している。またそれより東側では、江戸川河口を中心に4.5 mg/ℓを超える水域が広がっている。その後は、湾奥部で4 mg/ℓ以上の水域が縮小するとともに、湾全域の濃度分布パターンにも変化が認められる。すなわち、湾西側の横浜市以南の水域では濃度が上昇傾向を示しているのに対し、湾東側では、湾奥部の千葉市付近まで濃度の低下傾向が認められる。このため、CODの湾内での濃度勾配が次第に南北方向から東西方向に変化している。海底地形やコリオリ力の影響で、東京湾の恒流は、湾口部では西岸側が上層流出、下層流入、東岸側では全層流入の傾向であると言われている¹²⁾。したがって千葉県側では湾外水が北上し、神奈川県側では湾内水が表層を南下することになる。一方、近年、首都圏への導水などで淡水流入量が増加し、その結果、密度成層が強化され、湾外からの流入水量も増加傾向にあるとの指摘もある¹³⁾。したがって、前述の濃度分布の変化が、汚濁負荷量の増減だけでなく、流況の変化に起因する可能性もあり、汚濁対策の効果を的確に把握するためには、そうした視点から今後、更に詳細な検討が必要である考えられる。

図3は、各濃度レベルに対応する水域面積の変化を経年的に示したもので、各折れ線上の数値が濃度を、縦軸がその濃度レベル以下の水域の割合を表している。

5 mg/ℓの折れ線は、概ね面積割合100%の線に重なり、大部分の水域では1980年代から今日まで、CODが5 mg/ℓを超えないレベルにあったことを示している。4 mg/ℓ以下の水域の割合は、1985年の約50%から、1993年頃には80%以上にまで増加し、この間に、水質が改善したと考えられるが、その後はほぼ横ばいの状況で推移している。3 mg/ℓ以下の水域の割合は、1985年の20%から1992年頃には40%に増加した後、再び30%まで減少し、その後はほとんど変化していない。

解析の最終年度である2002年度時点では、対象水域全体のうち、2 mg/ℓ以下の面積割合は約5%、3 mg/ℓ以下は約30%、4 mg/ℓ以下は約80%と推定された。また最高値は森ヶ崎処理場周辺水域の5.7 mg/ℓであった。

3.1.2 全窒素 (T-N)

T-Nについては、湾奥部西岸側の都内湾部から横浜市付近までの濃度が、他の水域に比べて極端に高いことが特徴として挙げられる。このうちでも特に、隅田川、荒川、鶴見川河口の濃度が高い。この水域には、河川のほか、大規模下水処理場から、硝酸やアンモニアなどの無機態窒素が多量に流入する。また、大雨の際には下水道越流水などの影響も最も強く受ける水域である。このため、T-N中の無機態窒素の割合は、東京湾の他の水域では30~40%程度であるのに対して、この水域では70~80%と非常に高い。T-Nの濃度レベルは、1980年代後半が最も高く、湾奥部は全域が1 mg/ℓ以上の値を示している。その後、CODの場合と同様に、千葉県寄りの湾東岸を北上する形で次第に濃度の低下する水域が拡大する傾向が認められる。

T-Nの濃度レベルと水域面積の関係については、1 mg/ℓ以下の水域の割合は1980年の約50%から1985年には40%以下に減少した後、1992年頃までに約60%まで増加し、しばらく横ばいの後、1997年頃から再度増加の傾向を示している(図3)。0.6、0.8 mg/ℓ以下の水域も、1985年頃に最も減少した後、増加の傾向が認められる。ただし、1.4 mg/ℓ以下の割合は1995年以降ほとんど変化がない。すなわち、T-Nについても、東京湾全域で見て、1980年代半ばに最も濃度が高くなり、その後改善傾向が続いているが、高濃度(>1.4 mg/ℓ)の水域面積は減っていない。2002年時点では、0.4 mg/ℓ以下の割合は0%、0.6 mg/ℓ以下の割合は約15%、1 mg/ℓ以下が約70%推定され、最高値は4.1 mg/ℓとなっている。

3.1.3 全りん (T-P)

T-Pについても、都内湾を中心とした湾奥部西岸側の水域で、極端に濃度が高い傾向が認められる(図2)。その原因としては、T-Nと同様に、下水処理水など陸域からの流入負荷の影響が大きいと考えられる。更に、りんの場合には、夏季には底泥からの溶出の影響も受ける。また、その影響は千葉県側を含む湾奥部全域に及ぶと考えられる¹⁴⁾。下層のT-Pが上層の濃度にどの程度影響するかは明らかではない。ただし、湾最奥部千葉県寄りの沿岸域では、青潮の発生に示されるように、湧昇が起こりやすい。図2では、この水域でT-P濃度が比較的高めに推移しているが、陸域

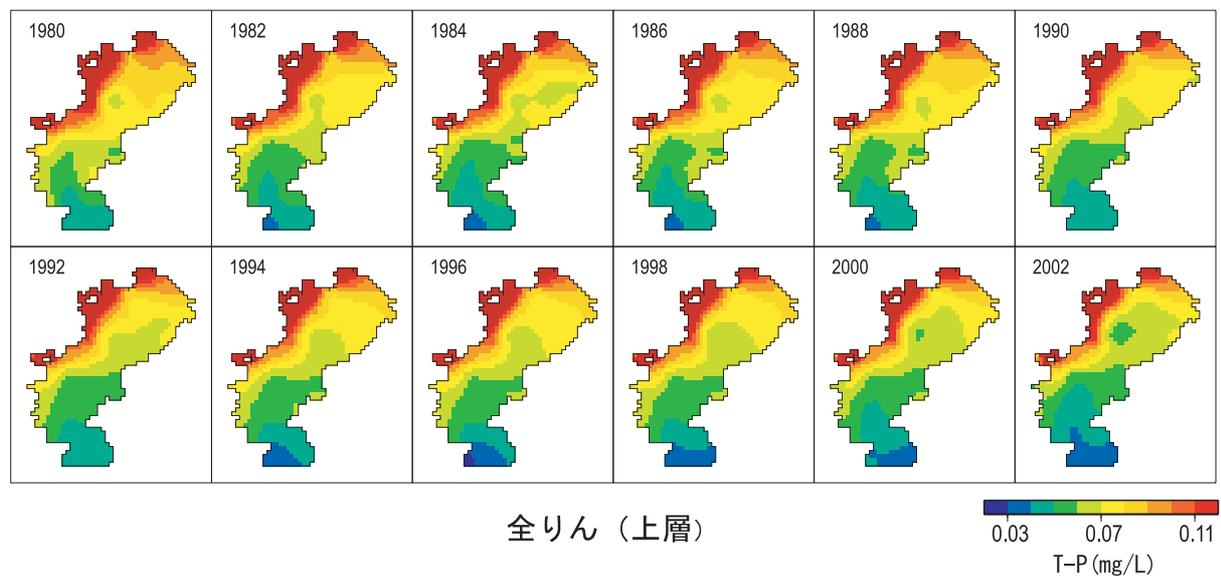
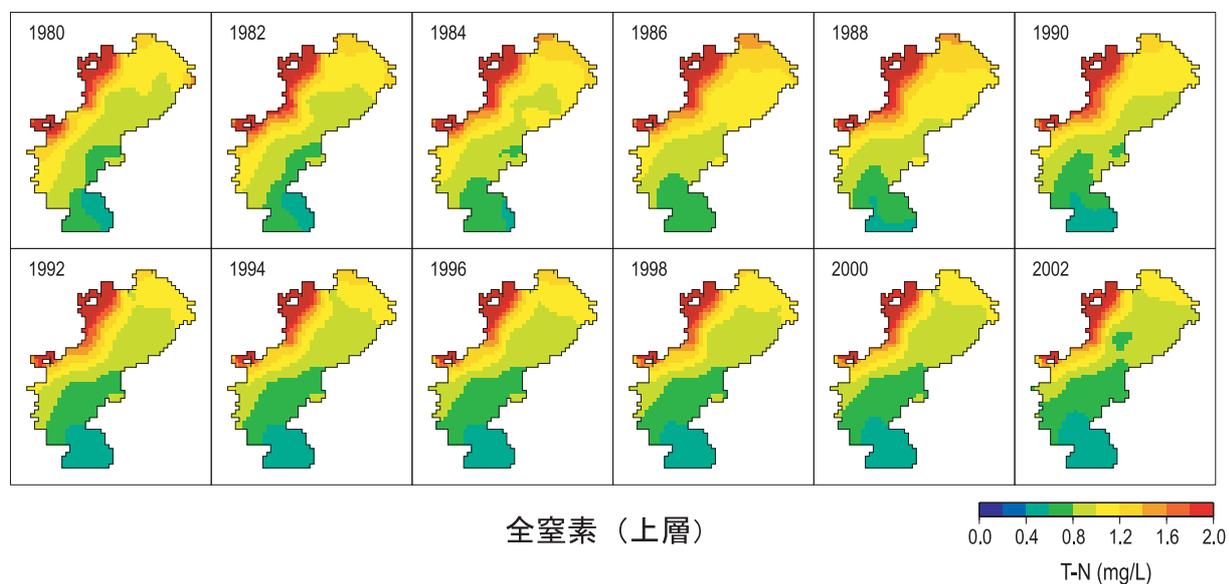
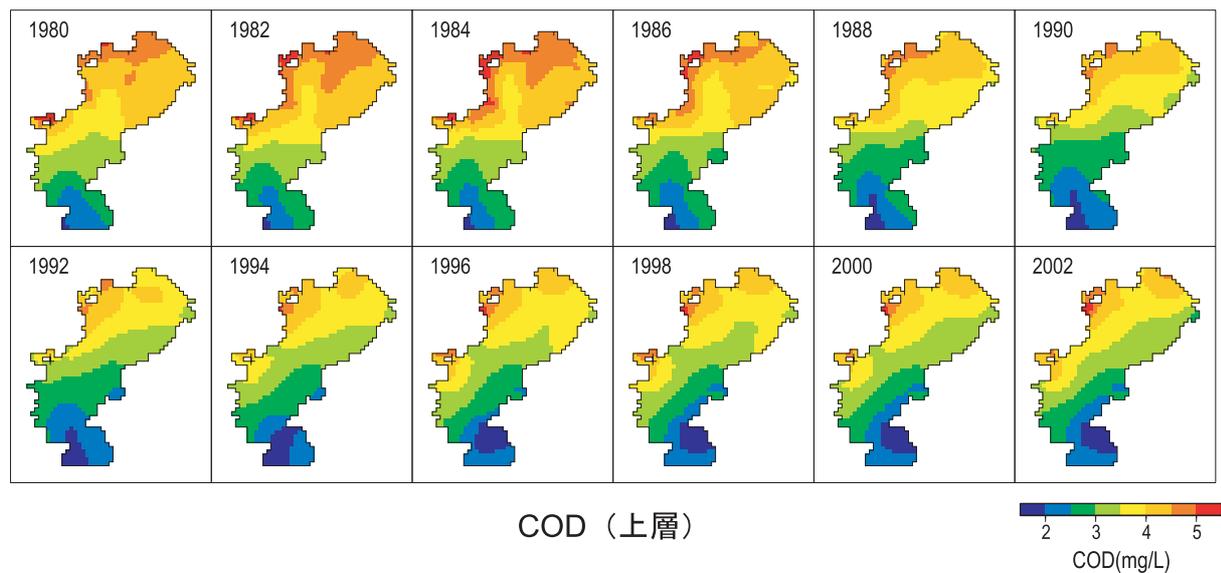


図2 東京湾における水質平面分布の経年変化

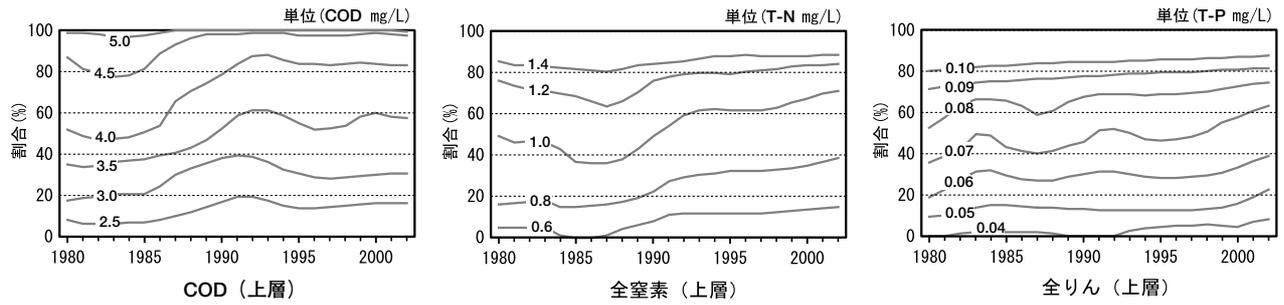


図3 濃度別水質面積（割合）の経年変化

からのT-P負荷の流入とともに、下層からの湧昇の可能性も否定できない。

長期的な濃度分布の推移については、CODおよびT-Nと同様に東京湾の東岸寄りで、湾奥方向に濃度

の低下する水域が拡大していく傾向が認められる。

T-P濃度と水域面積の関係については、0.09 mg/l以下の水域は、1980年の約70%から2002年まで直線的に約10%増加している。しかし、それ以下の

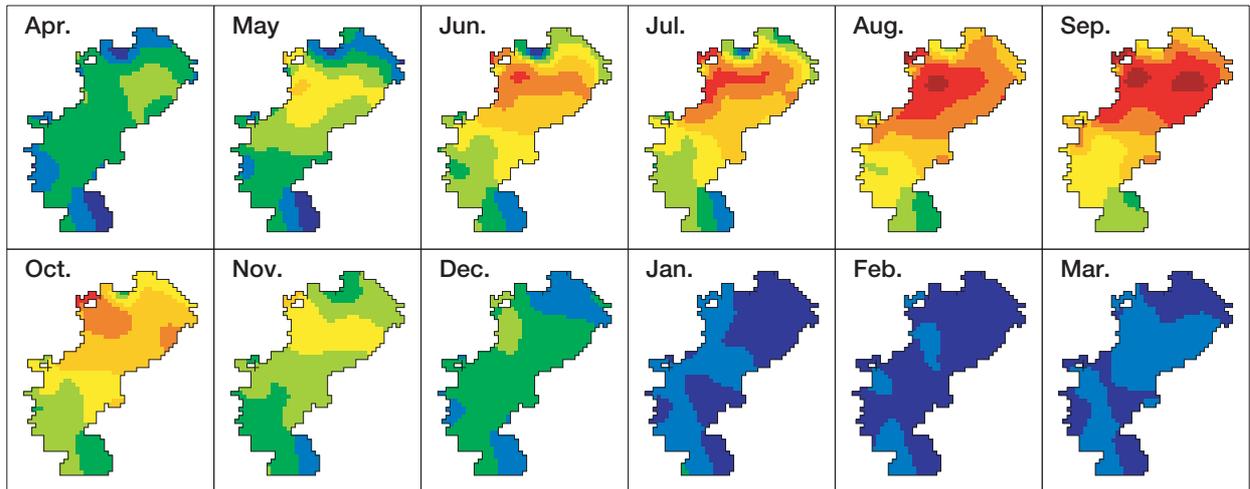


図4 DOの平面分布の季節変化（2002年下層）

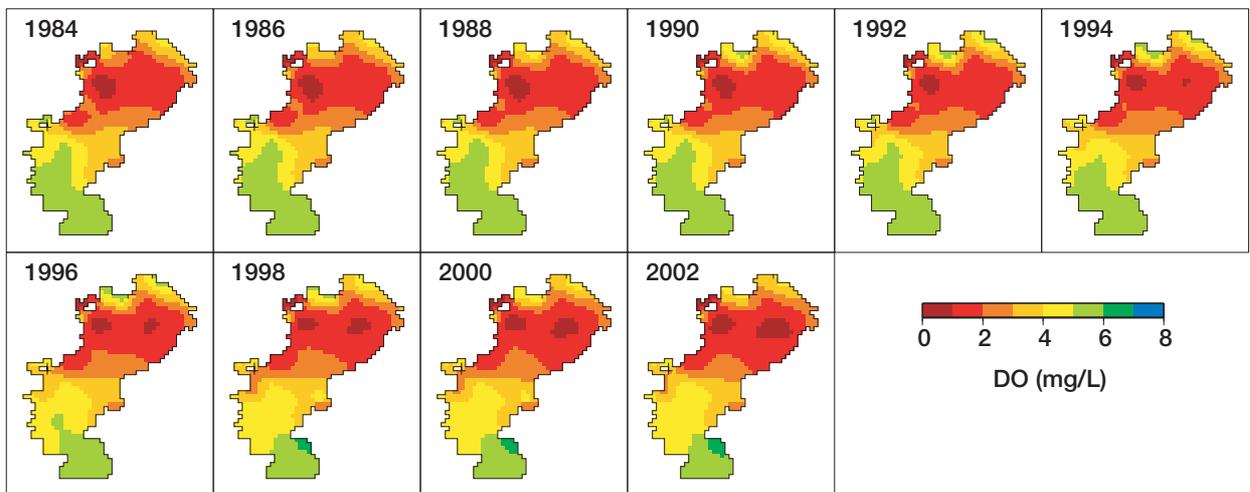


図5 DOの平面分布の長期的推移（9月下層）

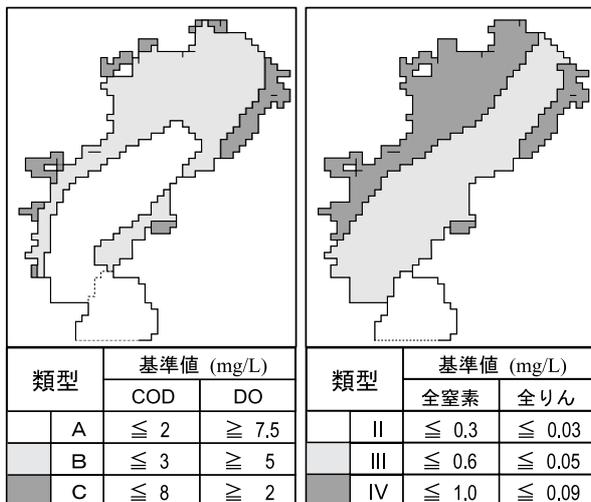
濃度レベルでは、増加減少を繰り返している（図3）。ただし、1980年と2002年について比較すると、概ね低濃度側の面積が増加している。

2002年時点では、0.03 mg/l以下の水域は0%、0.05 mg/l以下が約22%、0.09 mg/l以下が約80%で、濃度の最高値は、0.36 mg/lとなっている。

3.1.4 溶存酸素量 (DO)

DOは、一時的な低下でも水生生物の死滅などの被害を及ぼすため、CODやN、Pとは異なり、年平均値によって水域環境の良否を評価することは意味がない。そのため年間で最も貧酸素水域が拡大する月の平面分布を経年的に比較することにより、長期的な変動傾向を検討した。なお、生物に悪影響を及ぼすDO濃度は、生物種により異なるが、ここでは一般的によく用いられている2 mg/lを閾値とし、それ以下を貧酸素状態とみなした。

まず、下層DOの季節変化について検討するため、季節調整値（トレンド成分+季節成分）を用いて、1984～2002年度の毎月の平面分布図を作成した。そのうちの2002年度12ヶ月の平面分布の推移を示す（図4）。図4によれば、6月に東京湾湾奥部の荒川河口付近に、2 mg/l以下に貧酸素化した水域が出現し、月毎にその領域が拡大して、9月には湾奥部のほぼ全域が貧酸素状態になる。その後10月になると急速に貧酸素状態が解消される。それ以前の年度についても、毎年9月に貧酸素水域が最も拡大する同様な変動傾向が認められた。



* CODは上下2層平均値の75%値、T-N,T-Pは上層年平均値によって基準の適合性を評価する

図6 東京湾の類型区分と環境基準値

以上の結果からDOについては毎年9月下層の状況を比較するのが、環境の状況を評価する上で最も適切と考えられた。

図5は、1984～2002年9月の下層DOの濃度分布の経年変化を示している。1984年からDO2 mg/l以下の貧酸素化した水域が、湾奥部全域に拡大する状況が続いている。更に、1984年に荒川河口域で認められたDO濃度1 mg/l以下の水域が、1994年からは千葉県側でも出現し、拡大傾向を示している。また、湾口部付近では、1990年代半ばから濃度の低下傾向が認められる。

このように、東京湾の下層DOについては、CODやN、Pと異なり、改善よりも悪化の傾向が認められた。

3.2 水質環境基準との比較

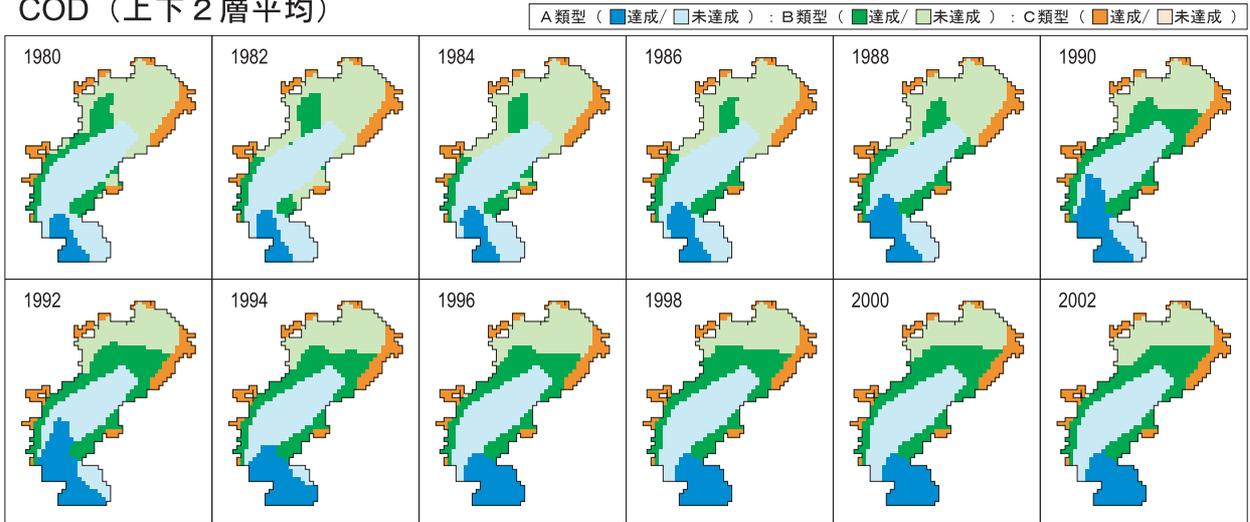
各自治体は、公共用水域水質調査結果に基づき、毎年、国の定めた水域区分毎に環境基準の適合状況を報告している。基準適合の評価方法は、対象とする水質項目によって異なる。CODについては、水域区分内のすべての環境基準点で、上下層平均値の75%値が基準値を満たした時を基準適合（あるいは達成）と定義している。また、T-N、T-Pの場合には、水域区分内のすべての環境基準点上層の年平均値を平均した値が基準値を満たした時を達成としている。

本研究では、各格子を類型区分に振り分け（図6）、平面補間で推定された各格子の水質トレンド値とその水域の環境基準値とを比較し、前者の値が環境基準値を満たす場合を基準に適合すると定義した。なお、解析期間の途中から基準が設定されたN、Pについても、現行の基準値により達成状況を評価した。

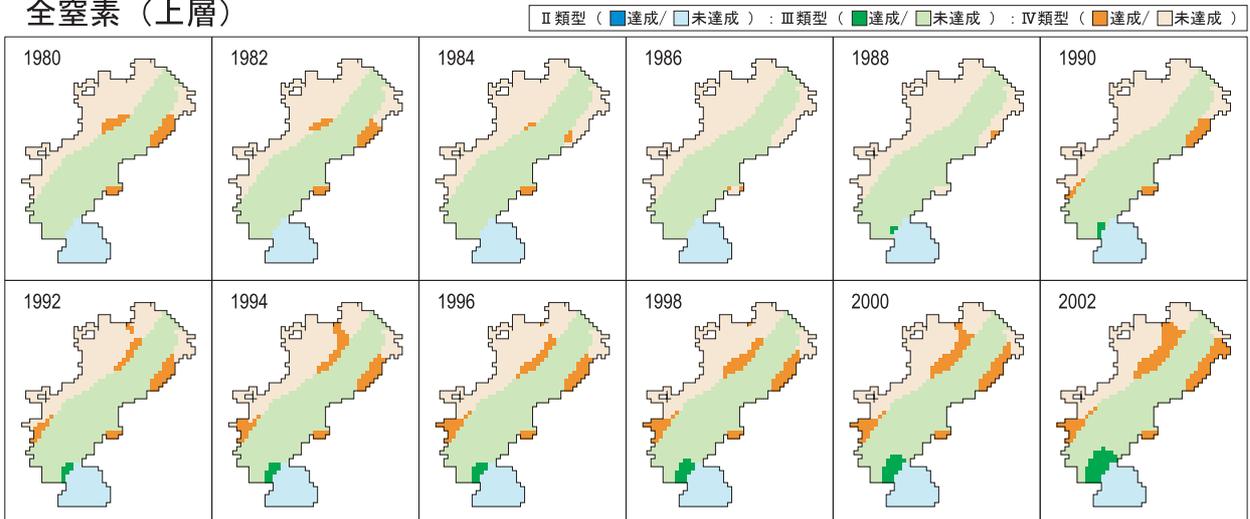
3.2.1 COD

東京湾では、CODはA、B、Cの3類型に水域が区分され、それぞれ2 mg/l、3 mg/l、8 mg/lの環境基準値が設定されている（図6）。ここでは、各格子の上下2層のトレンド値を平均し、基準値と比較して判定を行った。図7は、各年度毎に環境基準を達成した地点を示したものである。湾岸部に位置するC類型では、全期間を通じ、すべての水域で環境基準が達成されている。前述の通り、一般に下層より濃度が高い上層CODの濃度でも、5 mg/lを超える格子はほとんど出現しない。したがって上下平均値は、更に低くなり、環境基準値の8 mg/lは、実際の濃度に比べてはるかに高いレベルになっている。B類型については、1980

COD (上下2層平均)



全窒素 (上層)



全りん (上層)

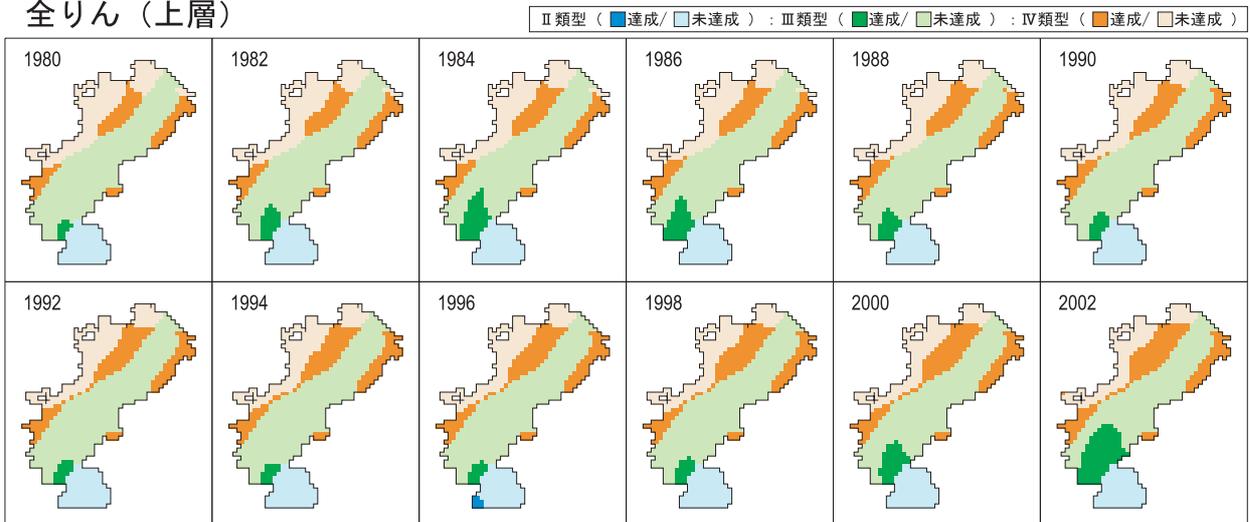


図7 環境基準達成水域分布の経年変化

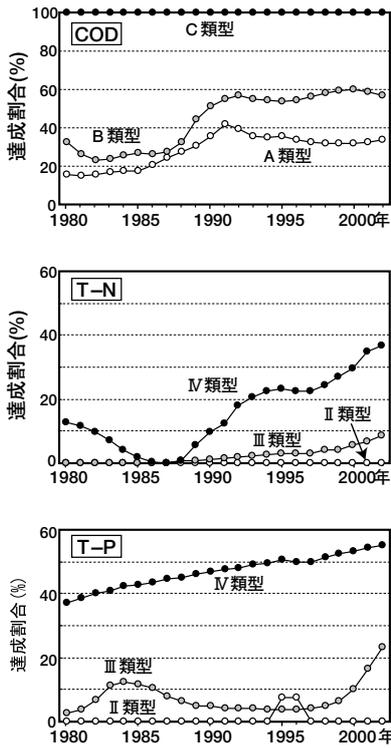


図 8 基準達成水域の割合

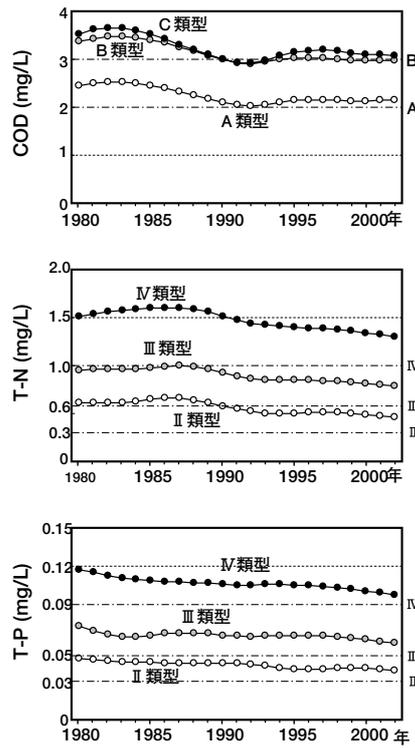


図 9 平均濃度

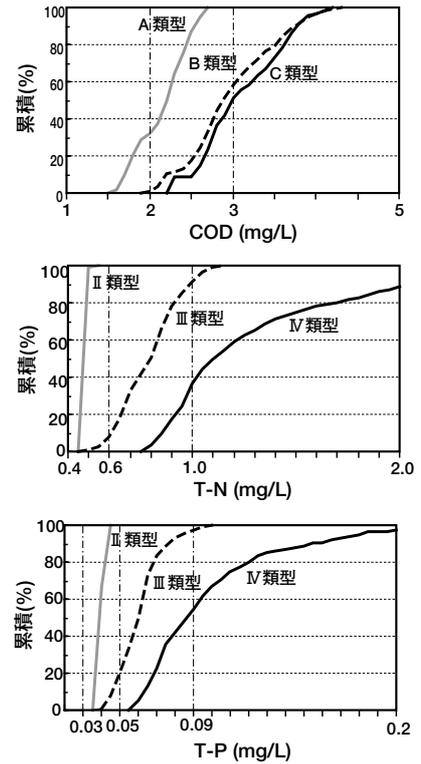


図 10 濃度の累積面積比

年代には荒川河口域と、横浜市沿岸域、富津周辺に限られていた基準達成水域が、1990年代には湾奥東岸まで拡大して、A類型を取り囲む水域では、基準を達成する状況になった。しかし、その後は達成水域の拡大が見られない。A類型では、1990と1992年に観音崎一富津以南の東京内湾部まで一時的に達成水域が拡大したが、それ以降は、東京内湾部の水域は未達成の状況になっている。

図8は、類型別の基準達成水域の面積割合と、類型別の平均濃度について、その推移を示したものである。C類型については前述のように、常に100%で推移している。B類型は1985年に30%未満であったものが1992年には約60%まで増加したが、その後は変化が少ない。A類型も1980年代から1990年に達成水域が約2倍に拡大したがその後は横ばいの状況にある。

類型別平均濃度については、A、B、Cの3類型とも1993年頃に最も低下した後、ほぼ横ばいの状況になっている。B類型とC類型では平均濃度にほとんど差がない。また、2002年には、A、B類型ともに、水域平均では、かなり基準値に近いレベルにある。

3.2.2 T-N

東京湾では、T-N、T-Pの環境基準について、水域がII、III、IV類型に区分されている。このうち、T-Nの基準値は、類型ごとに、上層の年平均値が0.3 mg/l、0.6 mg/l、1 mg/l以下と定められている(図6)。

図7によれば、東京外湾に位置するII類型では全期間を通じて、基準が達成された水域はない。ただし、本解析の対象外である外洋に近いII類型の海域については、不明である。III類型では、II類型に接する湾口部で少しずつ達成水域が拡大する傾向が認められる。IV類型では、III類型の周辺水域で基準を達成する水域が拡大している。

図8は、類型別にT-Nの環境基準を達成した水域の経年的変化を示し、III類型、IV類型ともに1989年頃から上昇傾向が認められる。特に、IV類型では、2002年には、約40%まで増加していることが分かる。

類型別の平均濃度の推移については、3類型とも、1980年代後半から平均濃度が少しずつ低下する傾向を示している。

3.2.3 T-P

T-PのⅡ、Ⅲ、Ⅳ類型の基準値は、年間平均値で0.03 mg/l、0.05 mg/l、0.09 mg/l以下と定められている。

図7によれば、Ⅱ類型では、1996年の一部水域を除き、環境基準は達成されていないが、T-Nと同様にその解析対象の外側については、不明である。Ⅲ類型では、Ⅱ類型に接する一部の水域で基準が達成されているが、経年的には、増減を繰り返している。Ⅳ類型では、Ⅲ類型に接する水域で基準が達成され、その領域は拡大傾向を示している。

図8によれば、T-Pの基準達成の割合は、Ⅱ類型では1995～6年に一時的に増加した以外、0%となっている。Ⅲ類型の水域では1998年頃から急速に増加する傾向が認められる。Ⅳ類型の水域も1980年から直線的に増加する傾向を示している。

平均濃度の推移については、Ⅳ類型の値が低下傾向にあるがⅡ、Ⅲ類型では変化が小さい。

3.2.4 今後の環境基準達成率の推移

図10は、2002年の平面濃度分布について、類型別に濃度と面積の関係を示したもので、例えばCODは、傾きが大きいほど地点による濃度差が小さいことを示している。すなわちCODでは、A、B、C類型とも環境基準値を中心とした比較的大きな傾きのグラフになっている。したがって、今後、濃度低下が続けば基準を達成する面積がそれにしたがって増加すると考えられる。一方、T-N、T-Pの場合には、Ⅳ類型に非常に高濃度の水域があり、ある程度まで達成水域が拡大した後は、それ以上達成水域を拡大するには、大幅な水質改善が必要になると考えられる。

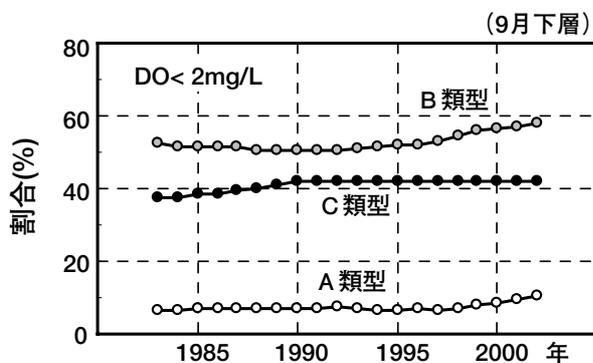


図11 貧酸素化した水域面積割合の経年変化

3.2.5 DO

図11は、類型別に、DO濃度が2 mg/l以下の水域の割合を経年的に示したもので、DO濃度が2 mg/l以下の割合は、A類型が10%、B類型が50%、C類型が40%で、DOの環境基準値が高いB類型の方が、貧酸素化した水域の割合が高くなっている。その理由としては、B類型の水域は、C類型より沖合いで水深が大きいことや、赤潮の発生域が沖合に多く、それが沈降・堆積し、ヘドロ化しやすいことが挙げられる。経年的には3類型とも貧酸素水域の割合は、横ばいか、やや増加の傾向を示している。

4 おわりに

本研究から、以下のことが明らかになった。

- (1) 湾全域の水質汚濁状況は、湾東側では改善傾向、西側では悪化傾向が認められた。
- (2) CODは、1990年代の初め頃に改善傾向が止まり、その後は横ばい状態にある。T-N、T-Pについては、濃度が低下する傾向が続いている。
- (3) COD、T-N、T-P濃度の長期変化には、淡水流入量の増加に伴う流況の変化が関係している可能性がある。
- (4) 東京湾で夏季に発生する下層の貧酸素化は、約20年来、改善傾向が認められない。また、湾口部周辺では、DO濃度が低下する傾向が認められた。
- (5) 環境基準達成状況を平面分布で検討すると、CODについては、1990年初めまでは達成水域が拡大傾向を示したが、それ以降は、ほとんど変化がない。
- (6) T-Nについては、1986年頃に3類型とも全域で未達成の状況になったが、その後、Ⅳ類型で達成水域の拡大傾向が認められる。
- (7) T-Pについては、Ⅳ類型で、基準達成水域の継続的な拡大傾向が認められる。またⅢ類型では、2000年代に入り増加傾向が顕著になっている。

引用文献

- 1) 中央環境審議会：第6次水質総量規制の在り方について (答申)、p.13 (2005)。
- 2) 小倉久子、飯村晃ら：東京湾に出現する赤潮プランクトンの経年変化、2003年日本水環境学会春季大会講演要旨集、p.365 (2004)。

- 3) 安藤晴夫、柏木宣久ら：東京における水質平面濃度分布の変遷と特徴、東京都環境科学研究所年報、pp.97-104 (2002).
- 4) 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).
- 5) 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).
- 6) 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).
- 7) 東京都環境局：昭和 55 ～平成 14 年度 公共用水域の水質測定結果 (資料編).
- 8) 千葉県環境局：昭和 55 ～平成 14 年度公共用水域水質測定結果及び地下水水質測定結果.
- 9) 神奈川県環境局：昭和 55 ～平成 14 年度神奈川県水質調査年表.
- 10) Akaike H: Likelihood and the Bayes procedure, Trabajos de Estadística, Vol.31,pp.143-166 (1980).
- 11) Matsushita K., Kashiwagi N. et al. : Statisticfal analysis of air pollution data with graphical methods; location characteristics of the monitoring stations, In "Statistical Theory and Data Analysis" Elsevier Science Pubulishers B.V. (1988).
- 12) 財団法人気象協会：気象海象要覧、東京湾、p.334、(1993).
- 13) 高尾敏幸、岡田知也ら：2002 年東京湾広域環境調査に基づく東京湾の滞留時間の季節変化、国総研資料第 169 号、pp.78. (2004).
- 14) 鯉淵幸生、小倉久子ら：東京湾湾奥における栄養塩の周年変動に関する現地観測、海岸工学論文集、47、pp.1066-1070 (2000).