

東京湾の富栄養化機構の研究 (その6)

負荷量削減等に関する数値実験

安藤晴夫 曾田京三

1 はじめに

昭和61年度の東京都内湾の水質測定結果によればB類¹⁾型地点上層での環境基準適合割合は低い状態が続いている(図1)。このような状況を改善するために、現在、流入負荷量の削減や底質浄化などの対策がとられている。

沿岸海域の水質の浄化対策の効果や汚濁機構を検討する上で、電子計算機を用いたシミュレーション(数値実験)は、有効な手段の一つと考えられる。ここでは、水質の外的支配要因の一つとして、流入負荷量を変化させたとき等について、単純化したケースを設定して水質予測モデルによる数値実験を試みたので、その結果について報告する。

2 水質予測モデルと計算領域

(1) モデル

予測計算には、前報で述べた生態系水質予測モデル(図2)に基づいて開発した水質予測プログラムを使用した。

(2) 計算領域

東京湾を図3に示す11ボックス、2層に分割した。また表層の層厚は5mに設定した。なお、この分割では、ボックスNo.2が東京都の地先海域(東京都内湾)に、ほぼ対応している。

(3) 使用計算機

環境情報管理システムのFACOM M360(OS IV/F4 MSP)を使用した。

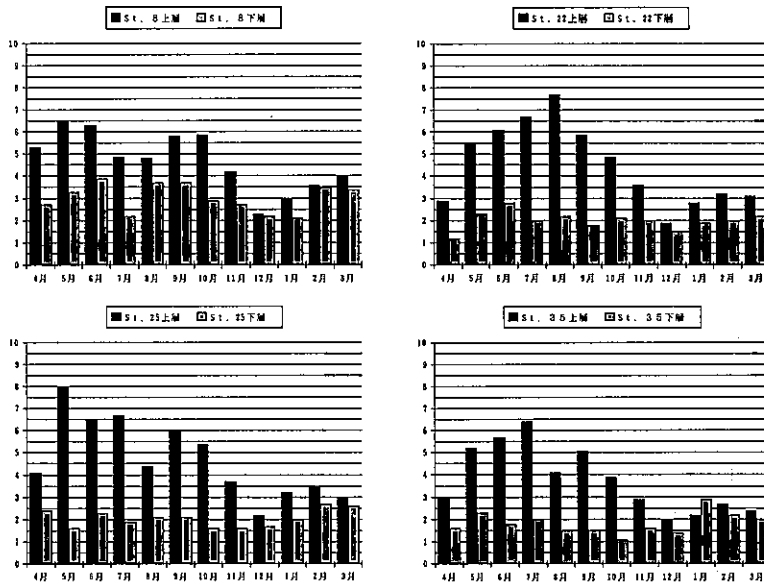


図1 昭和61年度東京都内湾B類型(環境基準値: COD3 mg/l)地点におけるCODの経月変化

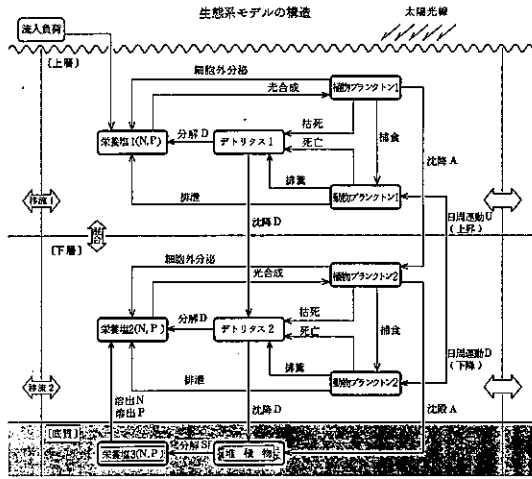


図2 生態系水質予測モデルの概念図

3 数値実験の方法

基本ケースとして、現況の諸条件を設定して水質を計算し、次に設定条件のうち流入負荷量と溶出速度係数を変化させてそれに対する水質（特にCOD：化学的酸素要求量）の応答を数値的に実験した。

(i) 基本ケース

ア 水温、日射量

水温は各ボックス、各層ごとに月別日平均値で与えた(図4)。日射量は全ボックスに同一に月別日平均値で与えた(図5)。

イ 流入負荷量

流入負荷量は、季節変動を考慮してボックスごとに月別日平均値で与えた(表1)。

ウ 諸係数及び変換係数

諸係数、変換係数は東京湾での実測値と文献値をもとに表2のとおりを設定した。

エ 計算の初期値

実測データを参考に表3のように設定した。

表1 流入汚濁負荷量

	COD (ton/日)	T-N (ton/日)	T-P (ton/日)
夏期	217	234	16.5
冬季	183	223	15.4

注1: 夏期は5~7月及び9~10月、冬季は12月及び1~3月。
注2: 4, 8, 11月の負荷量は夏期と冬季の平均値とした。

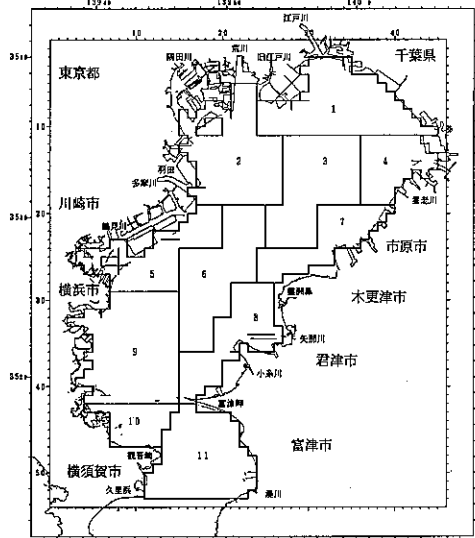


図3 対象海域とそのボックス分割

〔海岸線は日本海洋データセンターの東京湾海岸線データ(提供番号85-079)を使用して作成。〕

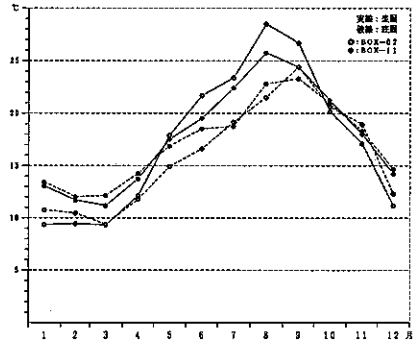


図4 東京湾の水温経月変化

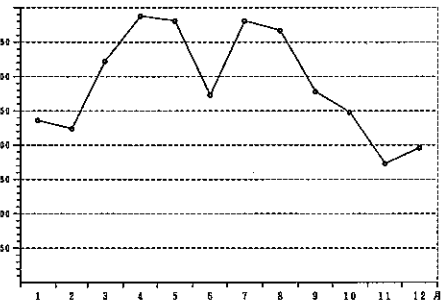


図5 東京湾の海面日射量経月変化
(cal · cm⁻² · day⁻¹)

表2 諸係数の設定値 (基本ケース)

名称	単位	設定値	備考
最大増殖速度	day ⁻¹	0.59exp{0.063t}	t: 水温
半飽和程度	cal · cm ⁻² · day ⁻¹	1.72	
半消滅係数	m ⁻¹	1.1	
窒素半飽和濃度	g · m ⁻³	0.025	
りん半飽和濃度	g · m ⁻³	0.016	
細胞外分泌度	day ⁻¹	0.1	
植物枯死率	day ⁻¹	0.50	
植物沈降速度	m · day ⁻¹	0.1	
最大捕食率	day ⁻¹	1.6	
IVLEV定数		5.0	
捕食の閾値	g · m ⁻³	0.016	
同化効率		0.7	
総成長効率		0.3	
動物死亡率	day ⁻¹	0.30	
動物上昇速度	m · day ⁻¹	0.2	
動物下降速度	m · day ⁻¹	0.2	
デトリタス分解率	day	0.1	
デトリタス沈降速度	m · day ⁻¹	0.2	
窒素溶出速度	g · m · day	0.04	
りん溶出速度	g · m ⁻² · day ⁻¹	0.006+0.00005t	t: 水温
[A] [Z] → [N] [D]	mgN/mgC	0.11	[A]: 植物プランクトン [Z]: 動物プランクトン
[A] [Z] → [P] [D]	mgP/mgC	0.016	[D]: デトリタス [N]: 溶存性無機態窒素 [P]: 溶存性無機態りん
[A] [Z] → [COD] [D]	mgCOD/mgA mgCOD/mgZ mgCOD/mgD	1.5	

表3 水質計算の初期値

項目名	単位	設定値	
		上層	下層
植物プランクトン	mgC/ℓ	1.00	0.25
動物プランクトン	mgC/ℓ	0.05	0.05
デトリタス	mgC/ℓ	0.10	0.60
無機態 N	mgN/ℓ	0.24	0.24
無機態 P	mgP/ℓ	0.017	0.017
負荷COD	mg/ℓ	0.10	0.05
全COD	mg/ℓ	1.58	1.35

オ 計算方法

タイム・ステップは3時間とし、3年間分の反復計算を行い、最後の1年間分を計算結果として考察の対象とした。

(2) 負荷量及び溶出速度係数変更ケース

流入負荷量及び窒素(N)、りん(P)の溶出速度係数以外については基本ケースと同一条件で計算を行った。

4 数値実験の結果

(1) 基本ケース

ボックスNo.2上層における水質の年間変動パターンを図6に示した。COD値は、1~3月までは約2mg/

ℓ、4月に急激に立ち上がり、5月から10月初旬まで12.5mg/ℓ前後で推移し、そこから再び値が急速に低下する。この結果を東京湾内湾での実測値(図1¹⁾)と比べると年間の変動傾向は比較的良く一致するが、夏期のCOD値は実測値より高めになっている。ただし、過去の測定結果によれば、夏期のCOD値は測定年度、地点によりかなり変動が大きい。

図7には各ボックス水質の年間(1~12月)と夏期(7~9月)の平均値を示した。ボックス間の水質の傾向をCOD値で比べると、東京湾の湾口部にあたるボックスNo.11が最も低い。それに対して東京都内湾のボックスNo.2が最も高く、その値は年間平均値で約3倍、夏期平均値で約4倍になっている。

ボックスNo.2のCOD値についてみると、夏期の平均値(約12.9mg/ℓ)は年間平均値(約7.8mg/ℓ)に比べて50%ほど高い。また、上層と下層の比較では、上層は下層の約2倍になっている。その他に、N、P濃度は全般的に下層が高く、特に夏期の上層のP濃度は著しく低下するという特徴がみられる。

(2) 流入負荷量及び溶出速度係数変更ケース

流入負荷量を全ボックス同率で段階的に削減した場合のボックスNo.2上層の年間平均及び夏期平均水質(COD値)の変化を図8に示した。

ア 流入負荷量

N負荷量の削減率が60%を超えてはじめてCOD値が減少した。100%削減時にCOD値は年間平均値で約40%、夏期平均値では約53%減少した。

P負荷量を10%削減するごとに、年間平均値で0.43mg/ℓ、夏期平均値で0.77mg/ℓの割合でCOD値が直線的に減少した。100%削減時にCOD値は年間平均値で約55%、夏期平均値では約60%減少した。

COD負荷量の削減もCOD値の直線的な減少をもたらし、100%削減時にCOD値は年間平均値で19%、夏期平均値で12%減少した。

N、P、COD負荷量を同率で削減する場合をここでは“全負荷量”と定義する。すなわち、N、P、COD負荷量をすべて10%ずつ削減する場合、全負荷量の削減率は10%である。

この場合も削減率に対するCOD値の変化は直線的で、全負荷量10%削減当たり年間平均値で0.58mg/ℓ、夏期平均値で0.92mg/ℓ減少した。100%削減時

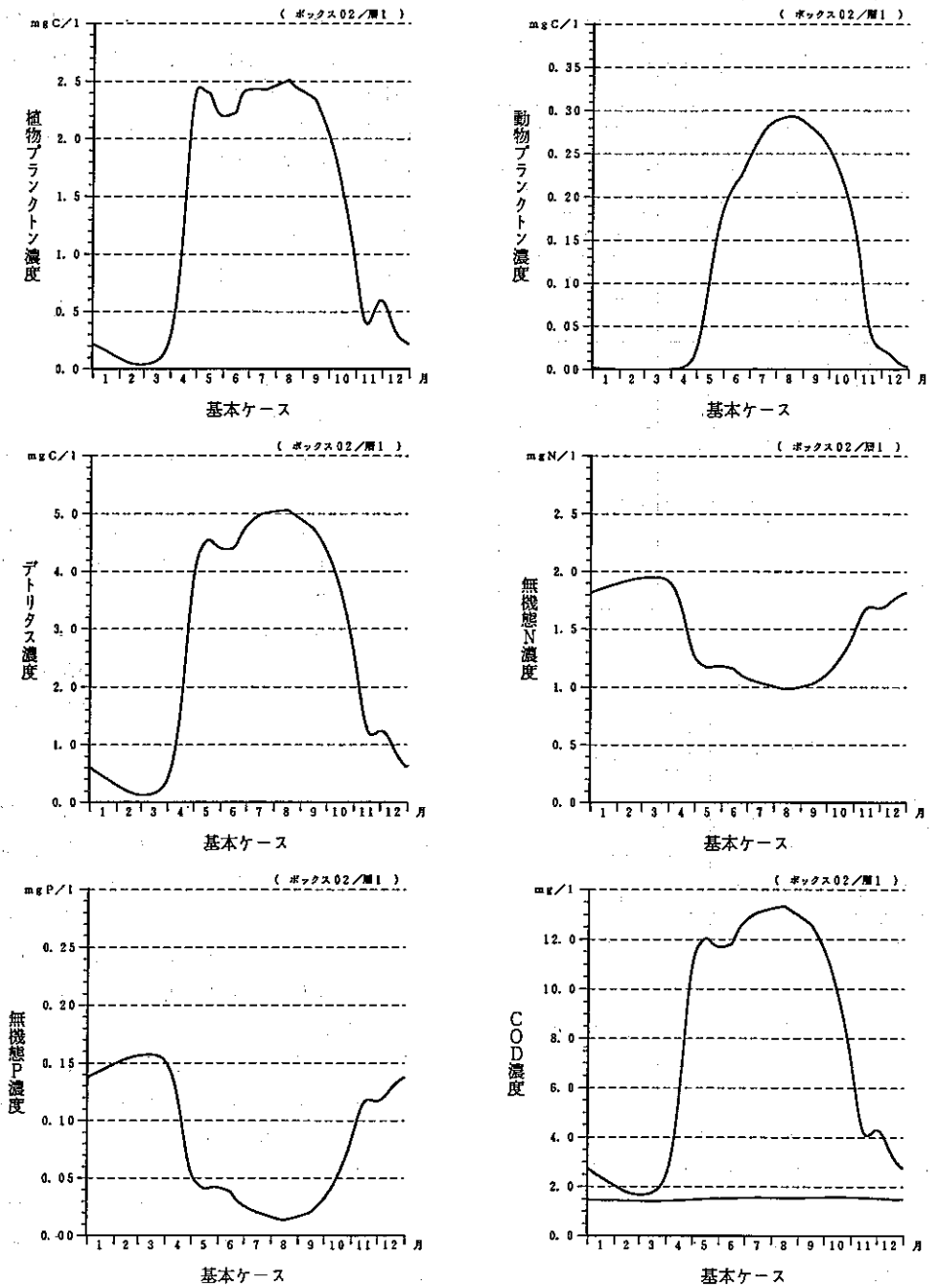


図6 ボックスNo.2上層における水質の経時変化(基本ケース)

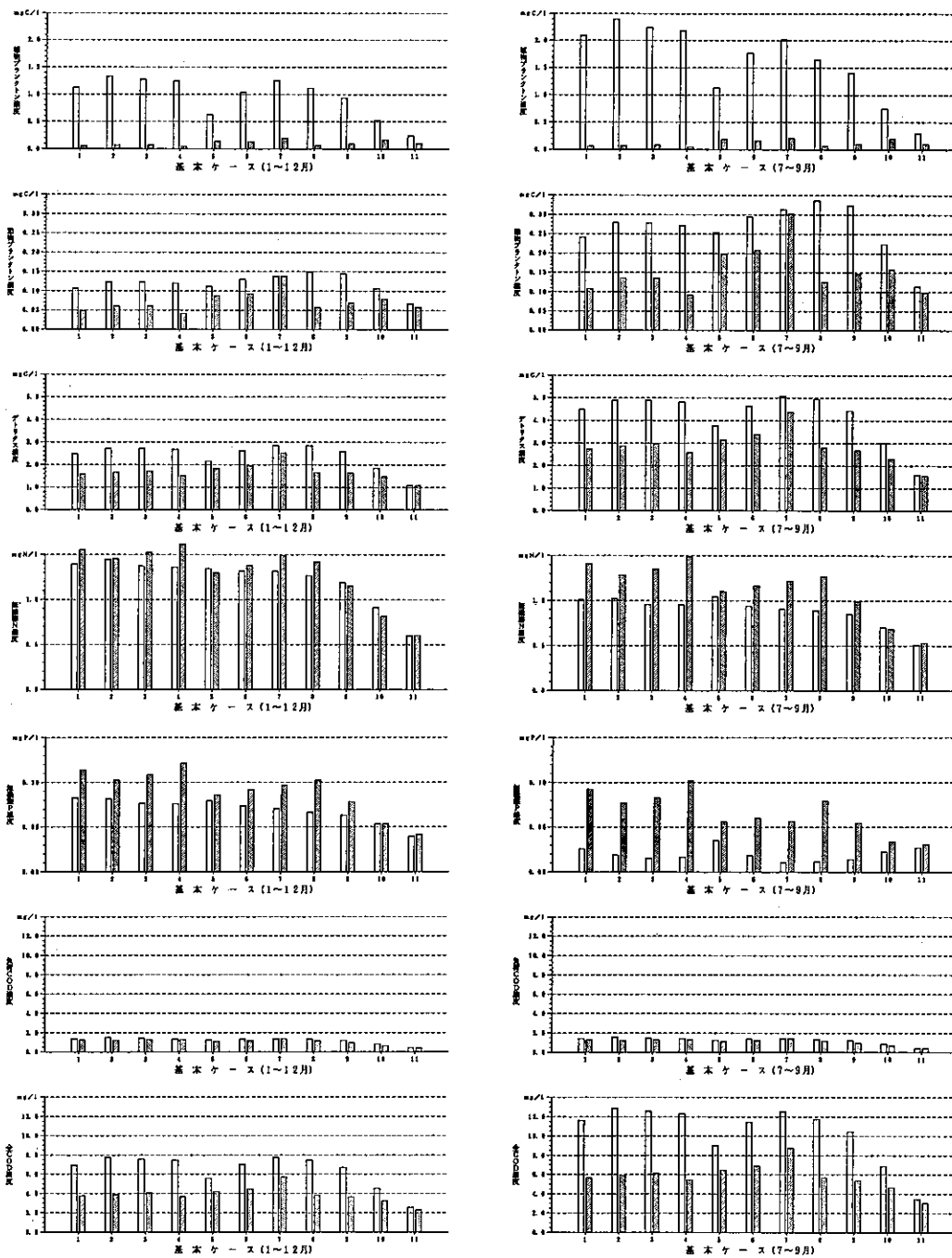


図7 水質の年間平均値及び夏期平均値
(横軸: ボックス番号, 白棒: 上層, 黒棒: 下層)

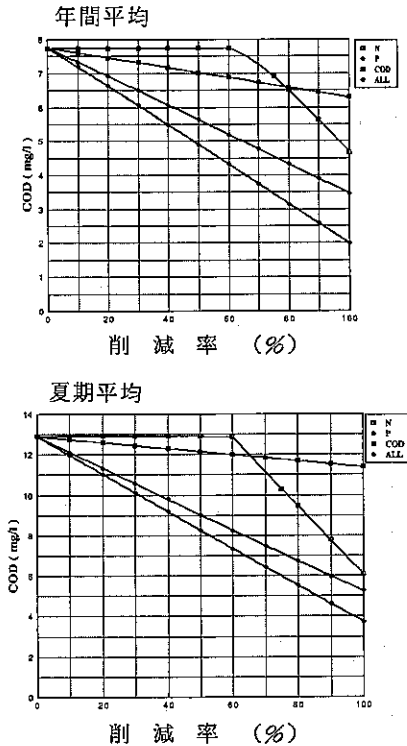


図8 基本ケースの計算で与えた流入負荷量を段階的に削減した場合の水質平均値の変化

にCOD値は年間平均値で74%、夏期平均値では71%減少した。

イ N, Pの溶出速度係数

N, Pの溶出速度係数をゼロにして底泥からのN, Pの溶出が無いものとした場合と、流入負荷量を100%削減した場合のCOD値の年間及び夏期平均値を図9に示した。

Nの溶出を100%抑制してもCOD値に変化は見られなかったが、Pの場合には、年間平均値で19%、夏期平均値で20%、COD値が減少した。N, Pの溶出量を同時に100%抑制した場合は、Pのみの場合と変わらなかった。

5 まとめ

以上に述べた数値実験の結果から次の点が明らかになった。

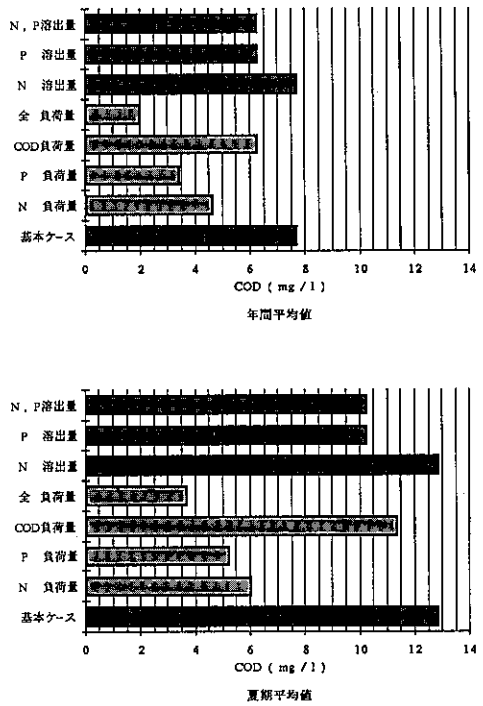


図9 溶出量及び流入負荷量をゼロにした場合のCOD平均値(縦軸:ゼロにした項目)

流入負荷量など基本ケースにおいて設定された計算条件を前提にすれば、

(1) N, Pの流入負荷量を単独に削減する場合、環境水質(COD値)を改善するためには、Pを削減する方が、Nを削減するより効果が高い。

(2) 底泥からのPの溶出量の抑制はCOD値を低下させるが、Nについては変化をもたらさない。したがって底質改善はP溶出量の削減となって水質の改善に寄与する。またPの溶出量を100%抑制した場合の効果は、Pの流入負荷量を約30%削減した時の効果に等しい。

上述の(1), (2)は、基本ケースにおいては、植物プランクトンの増殖にとってNはPより大過剰に存在し、そのためPが増殖の制限因子となっていることを示している。実際、藻類生産の潜在能力(AGP)測定結果から、東京都内湾では藻類増殖の制限因子はPである場合が多いことが前報⁷⁾で報告されている。

(3) CODの流入負荷量を100%削減した場合と全く削減しない場合との比較から、ボックスNo.2上層でのCODの起源は、負荷流入に由来する量に比べて内部生産(植物プランクトンの増殖)に由来する量が著しく多い(年間平均値で約5倍、夏期平均値で約8倍)と推定される。ただし、このモデルでは藻類増殖の栄養制限因子としてはN、Pだけを考えている。実際の海域で、それ以外の物質も制限因子となる場合、藻類の増殖は、それによっても抑制され、その結果、CODは計算値より低くなると推定される。したがって、計算結果から推定されたCOD起源の内部生産に由来する分は、実際より過大評価されている可能性が高い。

6 おわりに

本報では、流入負荷量の削減に伴う水質の変化を数値実験した。これは、流入負荷量に関するモデルの感度解析でもある。すなわち、モデルは削減効果の高い物質に対し感度が高い。言い換えれば、予測計算に入力する削減効果の高い物質の流入負荷量データの精度は、水質予測結果の精度に強く影響することになる。

ところで、東京湾への流入負荷量は、経済活動の変化や洪水時の流入など多くの不確定要素に影響され、算定が非常に難しい。しかし、水質予測精度の向上を図るためには、流入負荷量(特にPのように感度の高かった物質の)の算定精度の向上、算定手法の開発が不可欠である。

一般に、モデル式は、対象とする現象を細部にいたるまで完全に記述したものではなく、目的に応じて対象を単純化、抽象化したものであり、また、数値計算の過程では、各種の空間的、時間的平均化の操作が行われる。さらに、モデル内の係数や入力データについても、上述の流入負荷量のように現場で測定するのが困難なものや推定に頼らざるを得ないものもある。それらの程度によって、数値実験の信頼性は、事例ごとに色々な幅を持つものである。従って、数値実験の結果は、種々の判断の絶対的な根拠とするよりも、むしろ判断の基礎資料の

一つとして利用すべきものと考えられる。

しかし、数値実験は、迅速性、費用面で優れていることと、模型実験と比較して実験条件をはるかに幅広く設定できること等、他に換え難い長所を備えているので、水質予測手法としての意義は今後ますます高まるものと考えられる。

予想されるケースを計算条件に置きかえて、容易に水質を予測し、定量的な水質評価が出来るようなシステムを開発することが本研究の主な目的のひとつである。そのため現在、予測領域の地形・水深データの自動生成、境界データや検証データの作成を支援する実測データの検索システム作成、予測目的に応じてモデル(ボックスやメッシュなど)や処理を選択するためのメニュー化など、使い易い運用形態にするためにプログラム作成、改良を行っている。また、今後は上述の予測システムを使い、東京湾の現状及び将来についてより一層適合した計算条件を設定し、より精度の高い水質予測を行う所存である。

参考文献

- 1) 東京都環境保全局水質監視課: 昭和61年度公共用水域の水質測定結果〔資料編〕(1988)。
- 2) 安藤晴夫ら: 東京湾の富栄養化に関する研究(その3), 東京都環境科学研究所年報1986, p.69~80。
- 3) 曾田京三ら: 東京湾の富栄養化に関する研究(その5) - 底質からの栄養塩類等の溶出実験の結果について -, 東京都環境科学研究所年報1988, p.81~83。
- 4) (株)日本水質汚濁研究協会: 水質総量規制推進検討調査 - 一海域富栄養化シミュレーション等調査 -, (1985)。
- 5) T.R. パーソンス, 高橋正征: 生物海洋学, 三省堂(1974)。
- 6) 東京都環境保全局水質監視課: 昭和59年度公共用水域の水質測定結果〔総括編〕, p.186~187(1988)。
- 7) 安藤晴夫ら: 東京湾の富栄養化に関する研究(その2), 東京都公害研究所年報1985, p.109~120。