

流域水物質循環モデルを用いた東京湾と 流入河川における水質変遷再現について

APPLICATION OF A HYDROLOGICAL & MATERIAL CYCLE SIMULATION MODEL TO REPRODUCING LONG-TERM WATER QUALITY CHANGE IN TOKYO BAY AND ITS INFLUENT RIVERS

安間 智之¹・小路 剛志¹・伊藤 弘之²・藤田 光一³
Tomoyuki ANMA, Takeshi ORO, Hiroyuki ITO and Koh-ichi FUJITA

¹正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所河川環境研究室（〒305-0804 つくば市旭1番地）

²正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所 建設マネジメント技術研究室長（同上）

³正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川環境研究室長（同上）

The watershed-scale hydrological and material cycle system has deteriorated owing to the construction of various infrastructures to accommodate rapid increase of urban population and economic growth. For appropriate and efficient restoration, the entire system should be correctly understood and integrated measures should be implemented in order to build sound water and material cycles. This study attempts to develop a hydrological and material cycle simulation model for grasping water pollution processes and relationship between Tokyo Bay and its watershed. It is discussed that application of the model to understand real phenomena from the past to the present is beneficial for the investigation of water environment problems and that understanding of material outflow structure in watershed is necessary for grasping material cycle mechanism in closed water area and its watershed.

Key Words : hydrological and material cycle simulation model, water environment problems,
process of water pollution, watershed-scale, Tokyo Bay

1. はじめに

東京湾における水質の悪化は、河川と同様に1950年代後半から顕著になり、1970年頃にピークに達した。湾中央部のCODは1958年頃まで約1mg/Lであったが、1970年代後半には6～7mg/Lに達した。1970年に水質汚濁防止法が制定され、さらに1978年にはCODの総量規制制度が導入され、水質は徐々に改善され、1986年頃から4mg/L程度になり、その後ほぼ横ばい状況が続いている。現在は、2009年度を目標とする第6次総量規制のための汚濁負荷量の総量の削減に関する基本的な事項を定める総量削減基本方針の策定が環境省により進められている¹⁾。また公共用水域の水質環境基準を達成維持するための下水道整備を効果的に実施することを目的として、東京湾流域下水道整備総合計画が平成24年を目標年次として平成9年に策定されている²⁾。このような法的な規制や計画の実行は水質改善に一定の効果を上げてきているが、依然として環境基準を達成するには至っていない。

閉鎖性水域における水環境に関わる課題解決のために

は、水環境に関する現象理解が不可欠であり、その検討過程においてシミュレーションモデルの活用が有効な手段となる。これまで閉鎖性水域を対象にした水質シミュレーションモデルを活用した現況再現の検討は、現象解明やモデルの精緻化を目指した研究レベルから³⁾⁵⁾政策検討ツールとしての活用¹⁾²⁾まで広く行われている。

また閉鎖性水域の水環境の変化は長期にわたることが一般的である。大局的な政策検討の方向性を検討する上で、水環境が良好であった時期から悪化に至るまでの変遷過程を再現することは重要であり、これまでも過去から現在までの水質再現の試みが行われている⁶⁾⁹⁾。

これらの検討過程において、流域からの流入負荷量は①原単位法、②流入河川のL-Q式と流量、③平均流量と平均水質、などの方法により算定される。これらの手法の問題点としては、面源負荷や合流式下水道越流水のような雨天時汚濁負荷の流出形態を十分に考慮していないこと、全ての流入河川については評価していないこと、②の方法については、L-Q式を平水時の実測値に基づき作成しているために、降雨時の流入負荷を過小に評価されている可能性があること等が挙げられる。分布型の流

域水物質循環モデルは上記の事項をある程度考慮でき、また、流域の土地利用形態や産業構造、人口分布の変化を考慮した流域から閉鎖性水域までの長期的な環境変遷を総合的に分析する上で有用である。

著者らはこれまで東京湾とその流域を対象とした2030年を対象年次とした水物質循環モデル等を活用した政策検討を試みている¹⁰⁾。今後の政策検討に向けた方向性の議論を深める上で、大局的に水環境の変遷を理解することが必要であると考え、本論では流域水物質循環モデルを用いた過去から現在までの東京湾と流入河川の水質再現を試みた。この結果をふまえ、水環境悪化の原因の理解に資する情報を得ると同時に、水物質循環モデルを活用した河川と閉鎖性水域の水環境改善に関わる政策検討の方向性を考察する。

2. 水物質循環モデルの概要

水物質循環モデルは、流域モデルと湾モデルから成る。計算対象物質は、窒素(T-N)、リン(T-P)、CODであり、流域モデルにはBODを、湾内モデルにはChl-aとDOを加

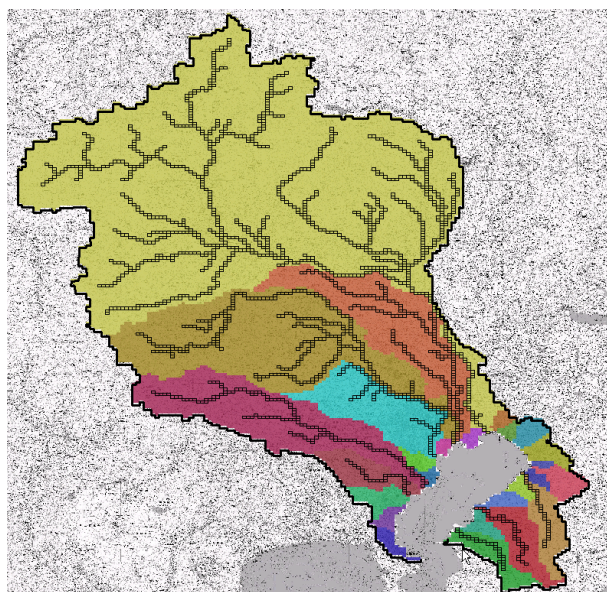


図-1 対象となる東京湾流域(流域分割と河道メッシュ)

えている。

(1) 流域水物質循環モデル

流域モデルは、自然系水循環の流出過程を表現する分布型のタンクモデル¹¹⁾をもとに、農業・工業・生活等の用水・排水といった人工系水循環を組み込み¹²⁾、さらにその水を介して流動する有機物、栄養塩等の物質循環を表現するモデルを組み込んだもの¹³⁾である。モデルでは、東京湾流域を約1km×1km(国土数値情報の3次メッシュ)の15,558メッシュに分割し、図-1に示す26流域に分割して計算を行う。図-2,3に水循環と物質循環のモデル構造を¹⁰⁾、表-1に流域水物質循環モデルの概要を示す。

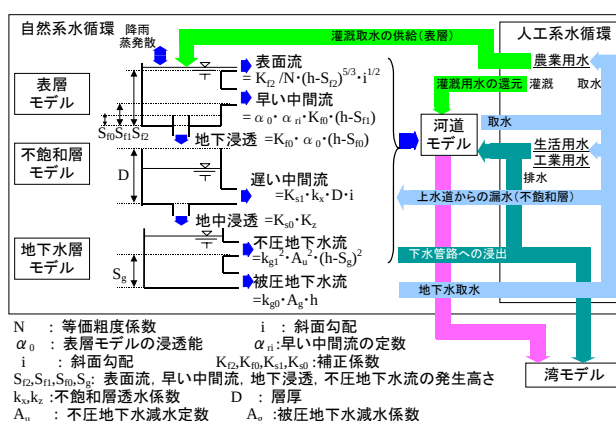


図-2 流域水循環モデルの構造

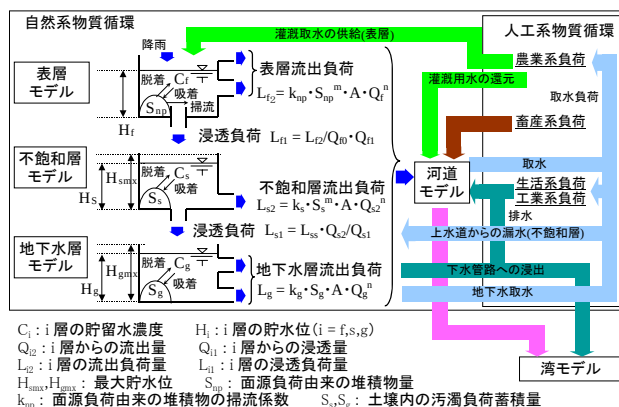


図-3 流域物質循環モデルの構造

表-1 流域水物質循環モデルの概要

	水循環モデル	物質循環モデル
表層モデル	降雨を表面流, 早い中間流, 地下浸透流に分離。 表面流はManning則が成り立つものとして基礎式を決定。 早い中間流出量, 地下浸透量は浸透能(タンク水位と流出孔との差に比例)に比例。 水平方向へは落水線に沿って流下(不飽和帯, 地下水モデルも同様)。 蒸発散はPenman式。	降雨負荷, 面源負荷の地表面への堆積による汚濁負荷は表層流(表面流+早い中間流)の掃流力によって流出。 堆積物の流出負荷量は流量のべき乗に比例。 不飽和タンクへは表層流と同じ水質で浸透。
不飽和帯モデル	遅い中間流は不飽和透水係数(水分量に比例)に比例し, 動水勾配が近似的に地形勾配に等しいとして流出量を計算。 地中浸透量は不飽和透水係数に比例し, 動水勾配を1として計算。	地中浸透した汚濁負荷は土壌内に蓄積し, 蓄積物に吸脱着する過程を考慮。 蓄積物から溶脱した汚濁負荷は中間流により流出。 地下水タンクへは中間流と同じ水質で浸透。
地下水モデル	被圧地下水はタンク水位に比例し, 不圧地下水はタンク水位と不圧地下水流発生高の差の2乗に比例。	地中浸透した汚濁負荷は土壌内に蓄積し, 蓄積物に吸脱着する過程を考慮。 蓄積物から溶脱した汚濁負荷は基底流により流出。
人工系モデル	上水, 工業用水, 農業用水は, 当該メッシュの地下水もしくは河道から取水。 排水(生活系, 農業系, 工業系)は, 当該メッシュの表層モデルに与える。ただし, 下水処理の排水については処理場から表層または湾モデルに与える。	生活系・畜産系・産業系の排出負荷量はメッシュごとにGISを用いて原単位法により計算し, 表層モデルの入力条件とする。 ただし, 下水処理の負荷については処理場から表層又は湾モデルに与える。
河道モデル	水の挙動(水位, 流速)の基礎式: 1次元Kinematic-waveモデル。	各タンクから河道に流出した汚濁負荷について河床への沈降・吸着を考慮。

(2) 湾モデル

湾モデルは、流動モデルと低次生態系モデルにより、東京湾内の水と物質の循環を表現するものである。

a) 流動モデル

流動予測モデルは鉛直方向に静水圧近似を仮定した準3次元の運動方程式、連続方程式(非圧縮性流体を仮定)、熱・塩分・物質の移流拡散方程式、密度の状態方程式である。以下に基礎式を示す。

①運動方程式(x, y方向)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(u^2) - \frac{\partial}{\partial y}(uv) - \frac{\partial}{\partial z}(uw) + f_0 v - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_0}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(uv) - \frac{\partial}{\partial y}(v^2) - \frac{\partial}{\partial z}(vw) - f_0 u - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_0}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

ここに、 u , v , w : x , y , z 方向の流速, N_x , N_y , N_z : x , y , z 方向の渦動粘性係数, f_0 : コリオリパラメータ, g : 重力加速度, ρ : 密度, p_0 : 大気圧。

②熱・塩分・物質の移流拡散方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(uT) - \frac{\partial}{\partial y}(vT) - \frac{\partial}{\partial z}(wT) + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial Cl}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(uCl) - \frac{\partial}{\partial y}(vCl) - \frac{\partial}{\partial z}(wCl) + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial Cl}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial Cl}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial Cl}{\partial z} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{hx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{hy} \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial c}{\partial z} \right) + S_c \quad (5)$$

ここで、 T : 水温, k_x , k_y , k_z : x , y , z 方向の熱に関する乱流拡散係数, Cl : 塩素量, K_x , K_y , K_z : x , y , z 方向の塩素量に関する乱流拡散係数, S_c : 内部変化項, c : 物質濃度, D_h , D_v : 水平、鉛直渦動拡散係数で、塩素量と水温から密度を計算するための状態方程式としてKnudsenの式を用いる。

b) 低次生態系モデル

湾内の物質循環については流動モデルによる移流拡散の他に、生化学過程を組み込んだ低次生態系モデルを用いている。計算項目は図-4に示す8項目で、全COD、全窒素、全リンは次式より求める。

全COD=(植物プランクトン態COD)+(動物プランクトン態COD)+(非生物体有機態COD)

全窒素=(植物プランクトン態窒素)+(動物プランクトン態窒素)+(非生物体有機態窒素)+(無機態窒素)

全リン=(植物プランクトン態リン)+(動物プランクトン態リン)+(非生物体有機態リン)+(無機態リン)

(a)植物プランクトン(以下、「植物P」と表記)

$S_P = (\text{植物Pの生成}) - (\text{植物Pの自己分解}) - (\text{動物Pによる摂取}) + (\text{沈降})$

(b)動物プランクトン(以下、「動物P」と表記)

$S_Z = (\text{動物Pの生成}) - (\text{動物Pの自己分解}) - (\text{動物Pの自然死滅})$

(c)無機態窒素

$S_{IN} = -(\text{植物Pによる摂取}) + (\text{植物Pの自己分解による回帰}) + (\text{動物Pの自己分解による回帰}) + (\text{非生物体有機態窒素のバクテリアによる分解}) + (\text{底泥からの溶出})$

(d)有機態窒素

$S_{ON} = (\text{植物Pの自己分解による回帰}) + (\text{動物Pからの排泄}) + (\text{動物Pの自己分解による回帰}) + (\text{動物Pの自然死滅}) - (\text{非生物体有機態窒素のバクテリアによる分解}) + (\text{沈降})$

(e)無機態リン

$S_{IP} = -(\text{植物Pによる摂取}) + (\text{植物Pの自己分解による回帰}) + (\text{動物Pの自己分解による回帰}) + (\text{非生物体有機態リンのバクテリアによる分解}) + (\text{底泥からの溶出}) + (\text{沈降})$

(f)有機態リン

$S_{OP} = (\text{植物Pの自己分解による回帰}) + (\text{動物Pからの排泄}) + (\text{動物Pの自己分解による回帰}) + (\text{動物Pの自然死滅}) - (\text{非生物体有機態リンのバクテリアによる分解}) + (\text{沈降})$

(g)COD(非生物体有機物)

$S_{COD} = (\text{植物Pの自己分解による回帰}) + (\text{動物Pからの排泄}) + (\text{動物Pの自己分解による回帰}) + (\text{動物Pの自然死滅}) - (\text{非生物体有機物のバクテリアによる分解}) + (\text{沈降})$

(h)DO

$S_{DO} = (\text{植物Pによる生産}) - (\text{植物P呼吸}) - (\text{動物P呼吸}) - (\text{非生物体有機物のバクテリアによる分解}) + (\text{再曝気}) - (\text{底泥による消費})$

図-4 各物質の変化速度の基礎式

各物質の基礎式を図-4に示す。各式の左辺が式(5)の内部変化項 S_c に対応する。植物プランクトンの増殖速度に影響する因子として日照強度、水温、無機態窒素濃度、無機態リン濃度及びスペース効果を考慮する。動物プランクトンの増殖は植物プランクトンの捕食のみを考え、捕食速度は植物プランクトン濃度に比例し、水温と飽食効果も考慮している。

3. モデルによる過去から現在までの水環境再現

(1) 現況再現

現況の水量と水質のモデルによる再現性を調べるため、土地利用、水利用、排出負荷に関するデータを収集し、表-2～4に示す条件で、2001年の年間計算を行い、河川流量10地点、河川水質8地点、東京湾水質5地点について計算値と実測値を比較した。これらの流量・水質の再現性は概ね良好であった¹⁰⁾。詳細は文献10)を参照されたい。

(2) 東京湾流入河川における過去再現

過去の再現計算を行う年度は東京湾の水質がまだ良好であった1950年、水質悪化が著しかった1970年および水質汚濁防止法制定後の1976年とし、表-2に示す流域条件および原単位のもとで各設定年度の年間計算を行った。なお、過去再現計算時の条件設定に際しては、極力、再現年当時のデータ収集に努めたが、当時の知見がない条件については、近傍の年の情報がある項目についてはトレンドから求め、また、それらの知見も無く、水物質循

表-2 現況と過去の再現条件

	現況(2001年)	1976年, 1970年	1950年
流域地形等	50mメッシュ標高データ, 国土数値情報(1981)		
河川流路	50mメッシュ標高データより落水線計算		
流域分割	流総(1997)をベースに50mメッシュ標高データより作成		
気象データ	アメダス観測所・測候所日データ(各年)		
人口	地域メッシュ統計(2000)	国勢調査(調査年以外は線形補間) 分布は現況のメッシュ人口に比例	
上水道			
取水水量	水道統計(2001)の 県別一人あたり水道 取水水量から、地下 ・地表別取水水量 を算出し、メッ シュ人口を乗じて 算定	一人あたり使用量経年変化(水資源白 書)から現況との比率を求め、県別一 人あたり取水水量を算出し、メッシュ 人口を乗じて算定 地下・地表別取水割合は現況と同じ とするが、1950年の埼玉、群馬、茨 城、栃木は全量を地下取水	
	大規模取水 5m ³ 以上の堰を対象	関東地建水利権一覧(1996)の水利権 東京、神奈川、千 葉の大口取水は現 況と同様	
処理形態別人口			
下水道	下水道統計(2003) (人口集中メッ シュに割り振る)	現況との線形補間により推定(処理場 の有無は下水道統計の稼働開始年よ り)	
	県別処理形態別人口 割合(H14環境統 計)を下水道以外 人口に乗ずる	全国ベースの処理形態別人口割合の 経年変化(世界水フォーラム資料 2003)を、下水道以外の市町村人口に 乗ずる	
下水処理場			
処理水量	市町村別人口に下水道普及率および一人あたり水道使用 量を乗じて算出		
	処理水質	実測放流水質(2001)	
土地利用	国土数値情報	国土数値情報(1976)	
農業用水			
取水水量	田・畑面積に期別減水深を乗じて算出、水資源白書 (2003)から地表水・地下水利用割合を算定		
	大規模取水 給水範囲	関東地建水利権一覧(1996)の水利権5m ³ 以上の堰を対象 かんがい用水地域現況図(1973)、利水現況図(1981)	
工業用水取水水量	工業統計表(2001) をもとに、都県別 の地下水取水、地 表水取水を算出 し、工業統計メッ シュ(2000)のメッ シュ毎製造品出荷 額に比例するとし てメッシュに分配	工業統計の出荷額の現況との比率から 算出したメッシュ毎製造品出荷額 と淡水使用量から算出 地下水取水、地上水取水比率は現況 と同様	
家畜頭数	農林業センサス (2001)	農林業センサス(1950～)の県別頭数 を現況割合で割り振る	
負荷量原単位			
生活系	流総指針(1999)	流総指針(1974)	
	工業系	細分類別排水量原単位および排水水質原単位(流総指針 (1999))、淡水使用量および工業出荷額(工業統計)をも とに算出し、水質規制値(東京都上乗せ基準等)、除去率 等を考慮して決定	
家畜	BOD: 流総指針(1999)、COD、N、P: 東京湾流総(1997)		

表-3 湾モデルに与える境界条件

項	目	境界条件
河口条件	流量	流域モデルから算出される日平均流量と日平均水質から 均等割して与える
	水質	水質の実測値がある河川についてはIN/TN割合、IP/TP割合 との関係性を求め、流域モデルの全窒素、全リンからIN,IPに変換 実績データがない河川については土地利用割合から変換式 を求め、流域モデルの全窒素、全リンからIN,IPを計算
	Chl-a	流山橋地点の実測値からCOD~Chl-a相関式を作成し、 全河川についてCOD計算値からChl-a値に変換
	DO	流入河川水温に対する飽和濃度で与える $DO \text{ 飽和濃度 (mg/l)} = (10.291 - 0.2809 T + 0.006009 T^2 - 0.000063 T^3) \times 32 / 27.4$
	水温	水温の実測がある河川については流入河川の実測水温と気 温の相関式を用いて気温(気象庁大手町)から水温を変換
	下水 処理水 直接 排水	処理場毎に実績値を一定で与える。日雨量が5mmを超過する 場合は、超過分については未処理相当水質分が排出 東京都下水道局による年平均処理水質割合(IN/TN, IP/TP) の平均値を求め、処理水質の全窒素、全リンからIN,IPを計算 東京都下水道局による下水処理水温の測定値(月平均)と 気象庁大手町の月平均気温から相関式を作成
開境界 条件	潮汐	第1海堡の推算潮位(各再現年について設定)
	水質 塩分 水温	第3海堡の測定値 (ただし、動物プランクトンは測定値がないため、 0.1 mg/lを与える)
風速、風向	気象庁東京測候所の日平均風速を日最多風向で与える	
気象条件 (気温、日射量)	気象庁千葉測候所	
初期条件	水質 水温	湾中央の2000年11,12月の測定値の平均値を湾全体に与える
底泥溶出速度(IN, IP) 底泥DO消費速度	千葉県の実地調査結果に基づき設定 浅場については干潟の浄化機能(脱窒、堆積、採餌、漁獲に よる系外への移動)をINの溶出速度で考慮	

表-4 流動モデルの入力条件

諸条件	設定値
時間間隔	$\Delta t = 5.0$ 秒
格子間隔	$\Delta S = 500 \times 500$ m(95格子×90格子)
層厚	最上層: 平均潮位下5m(層厚約5m、可変) 第2層: 層厚10m 第3層: 層厚15m 第4層: 平均潮位下30m以深
海底摩擦係数	2.6×10^{-3}
海面摩擦係数	なし
水平渦動粘性係数	5.0×10^5 cm ² /sec
鉛直渦動粘性係数	2.0 cm ² /sec
水平乱流拡散係数	5.0×10^5 cm ² /sec
鉛直乱流拡散係数	0.5 cm ² /sec
コリオリ係数	$f = 8.40 \times 10^{-5}$ rad/sec

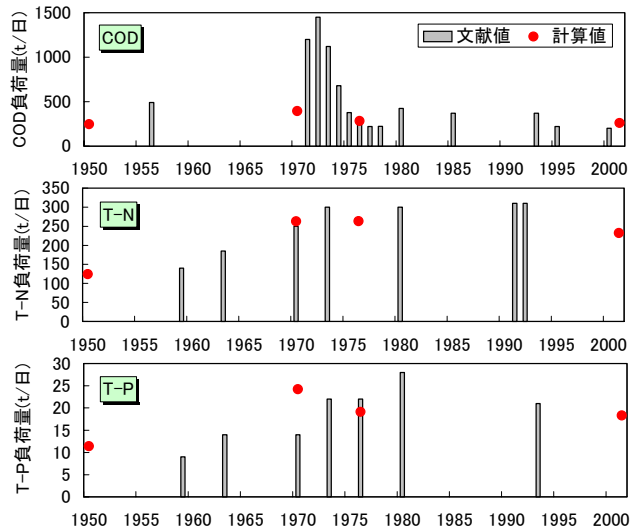
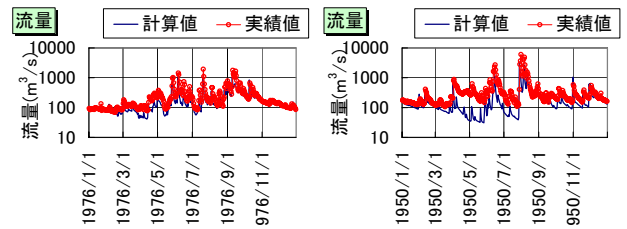
図-5 東京湾への流入負荷量の変遷⁽⁴⁾

図-6 河川流量の実測値と計算値(利根川・栗橋地点)

(左: 1976年, 右: 1950年)

環へ与える影響が大きくないと考えられる項目については現況と同じ値を設定した。

はじめに、東京湾への流入負荷量の変遷について、運輸省港湾技術研究所等による¹⁴⁾既往調査結果を集約した値(図中の灰棒)とモデルによる計算結果(図中の丸)を比較したものを図-5に示す。流入負荷量は、全体として既往調査結果とほぼ同程度の値が得られたと言える。

次に、モデルによる過去の河川水量および河川水質の再現性を調べるため、河川流量10地点、河川水質4地点について計算値と実測値の比較を行った(観測実績がない地点、項目を含む)。その例として、利根川・栗橋地点における河川流量について1976年および1950年の再現計算結果の年間変動を図-6に示す。1976年については良好に再現できているが、1950年は低水時の再現性が不十分である。この理由としては当時の雨量観測地点数が疎

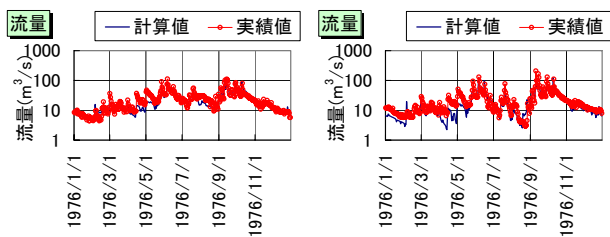


図-7 河川流量の実測値と計算値(荒川・1976年)

(左：寄居地点，右：大芦橋地点)

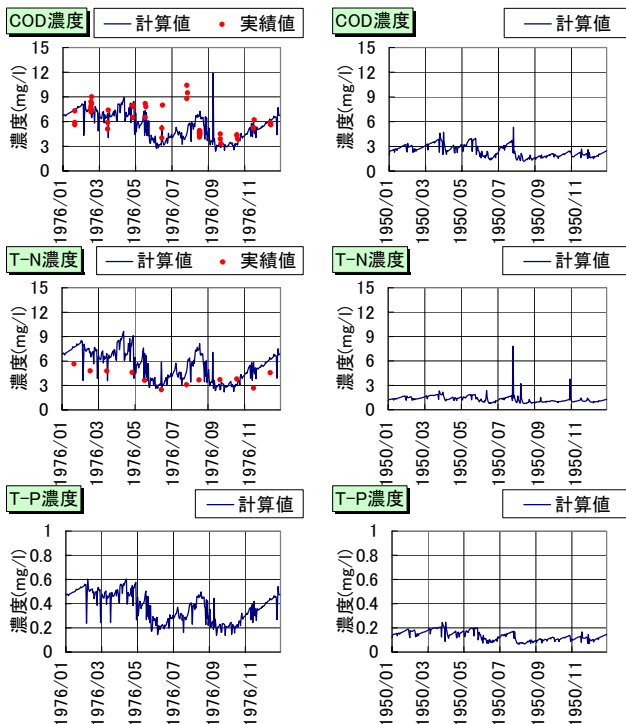


図-8 河川水質の実測値と計算値(荒川・笹目橋地点)

(左：1976年，右：1950年)

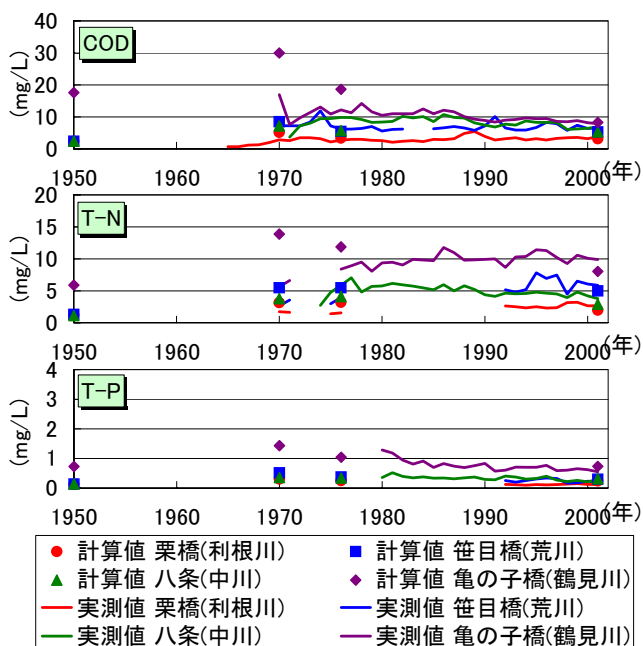


図-9 東京湾流入河川の流入水質の変遷

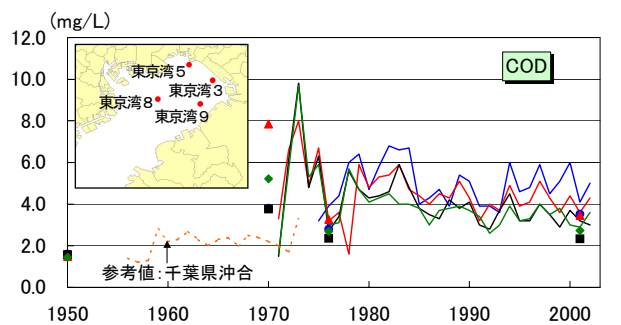


図-10 東京湾の実測水質の変遷と計算結果との比較(COD)

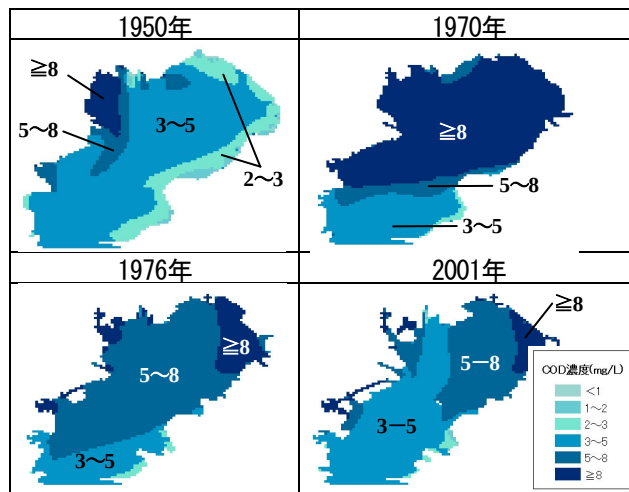


図-11 東京湾における水質変遷(COD)の計算結果(最上層)

(表示している日時は各年の6月15日12時)

であり、利根川上流域の山間部は降雨量の少ない前橋地点のデータを用いているために、春の融雪期及び夏の出水後において流量の再現性があまり良好でないことが考えられる。このことは現象のモデリングの解像度向上とモニタリングデータの充実が不可欠であることを示唆するものである。この他、1950年については1976年の土地利用データを用いて計算していることの影響も考えられる。

次に荒川・寄居地点、大芦橋地点における河川流量について1976年の再現計算結果の年間変動を図-7に、荒川・笹目橋地点における河川水質について1976年および1950年の再現計算結果の年間変動を図-8に示す。COD値については、1976年6、7月に実測と異なる傾向を示す部分がみられた。その他の流量および水質については、現況再現と同様に過去再現についてもモデル計算によって河川流量・水質の時間変化特性を概ね再現できている。実測データが得られた他の地点、年次においても概ね同様の結果が得られた。これらのことから、過去から現在までの東京湾における水環境の変遷の理解に資する情報を得られるものと判断した。

また、主要河川の水質測定地点における河川水質の経年変化について、図-9に実測値(図中の実線)と計算値(図

中のプロット)の比較を示す。実測値は年間の測定値の平均値、計算値は1年間の日平均水質の平均値である。CODについては計算結果を高水時における水質も含めた平均値で評価していることもあり、鶴見川などで実測値よりも高めに出現しているものの、計算結果と実測値は同様のトレンドを示している。T-Nについては現況計算結果は概ね実測値と一致しているものの、実測値が全体的に増加傾向にあるのに対して、計算結果は1970年をピークに緩やかな減少傾向をみせており、過去からのトレンドと再現性については課題が残されている。なお、T-Pについては、現況の計算結果は概ね実測値と一致している。

(3) 東京湾における水環境悪化の変遷の把握

流域の水環境の変遷による東京湾の水質変化を再現するために、流域モデルによる流入量、流入負荷量の計算結果を用いた東京湾の水質再現計算を行った。過去再現を行う際の境界条件は、沿岸地形は東京湾における埋め立ての変遷データ¹⁴⁾をもとに、潮位は海上保安庁HPの潮汐推算をもとにそれぞれ当時の条件を設定し、その他の条件については現況と同じ設定で計算を行った。なお、文献¹⁴⁾から当時干潟があったと考えられる沿岸域については干潟の浄化機能を現況と同様に無機態窒素の溶出速度に反映させている。図-10に湾内の公共用水域水質調査地点におけるCOD実測値(年平均値)の経年変化(図中の実線)とモデル計算による年平均値(図中のプロット)の比較を示す。また、図-11にCODが最も高い値を示す6月におけるCODの計算結果の平面分布を示す。水質が良かった過去から1970年代前半に水質が悪化し、その後改善し現在に至るという水環境の大局的な変遷については、概ね再現できたと考えられる。

4. まとめ

本研究では、東京湾とその流入河川を対象に、水物質循環モデルを用いた環境変遷の再現について検討を行った。その結果、現況再現と同様のパラメータを用いたモデルに、客観的に辿りうる過去の流域条件を設定して計算を行うことで、環境変遷の再現が概ね可能であることが示された。このことは、本検討で用いた水物質循環モデルが、過去から現在に至る環境変化の振れ幅のスケールで、環境改善施策の評価を行うツールとなりうることを示唆するものである。

一方、過去の底泥条件が十分に考慮されていない点や、湾内の計算に用いた低次の生態系モデルについても、生態系の構成自体が異なるであろう数十年前の現象を現況計算と同様に扱うことができるかという問題がある。このようなモデル自体がもつ限界に加え、過去再現計算に

おける設定条件についても、データの不足により、かなり大胆に条件を与えたことなどの点について改良を進めていく必要がある。

参考文献

- 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), 2005. <http://www.env.go.jp/council/toshin/t097-h1703.html>
- 2) 建設省関東地方整備局, 東京湾流域別下水道整備総合計画検討委員会：東京湾流域別下水道整備総合計画に関する基本方針策定調査報告書, 1997.
- 3) 鈴木雅春, 三村信男, 塚田光博：3次元生態系・水質モデルによる東京湾の水質改善予測, 海岸工学論文集, Vol.46, pp1011-15, 1999.
- 4) 岡田知也, 中山恵介, 宮野仁, 古川恵太：総合的内湾水質評価モデルの構築と東京湾への適用, 海岸工学論文集, Vol.49, pp1051-55, 2002.
- 5) 柳哲雄, 屋良由美子, 松村剛, 石丸貴：東京湾のリン・窒素循環に関する数値生態系モデル解析, 海の研究, Vol.13-1, pp61-72, 2004.
- 6) 川島博之：東京湾とその流域における窒素収支の歴史的変遷, 沿岸海洋研究, 33-2, pp147-155, 1996.
- 7) 北澤大輔, 多和田茂, 藤野正隆：陸域からの物質負荷量に対する東京湾の水質の応答, 沿岸海洋研究, 40-2, pp159-169, 2003.
- 8) 浮田正夫, 山原康嗣, 中西弘：大阪湾における流入負荷量の推移と内部生産, 沿岸海洋研究ノート, 29-1, pp51-59, 1991.
- 9) 中辻啓二, 寺辻貴康, 山根伸之：近年70年の大阪湾水質の時間変化と環境事後評価の試み, 海岸工学論文集, Vol.45, pp1011-15, 1998.
- 10) 福田晴耕, 藤田光一, 伊藤弘之, 長野幸司, 小路剛志, 安間智之：自然共生型流域圏再生のための東京湾とその流域における政策シナリオの検討, 第33回環境システム研究発表会講演集, pp365-374, 2005.
- 11) 吉野文雄, 吉谷純一, 堀内輝亮：分布型流出モデルの開発と実流域への適用, 土木技術資料, Vol.32-10, pp54-59, 1990.
- 12) 安陪和雄, 大八木豊, 辻倉裕喜, 安田佳哉：分布型流出モデルの広域的適用, 水工学論文集, 第46巻, pp247-252, 2002.
- 13) 辻倉裕喜, 安陪和雄, 大八木豊, 田中伸治：湖沼流域管理のための総合的な水循環・物質循環流動モデルの構築, 水工学論文集, 第47巻, pp217-222, 2003.
- 14) 運輸省港湾技術研究所, (財) 港湾空間高度化センター, 海域環境研究所：平成9年度東京湾の環境管理に関する調査-その2-報告書, 1998.

(2005. 9. 30受付)