

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

福田 晴耕¹・藤田 光一²・伊藤 弘之³・長野 幸司⁴・小路 剛志⁵・安間 智之⁶

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

²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)

³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)

⁴正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川環境研究室 主任研究官 (同上)

⁵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 研究官 (同上)

⁶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 交流研究員 (同上)

持続可能な社会への転換を求められている現在、都市化の進行等による水循環や生態系への悪影響を緩和・解決し、都市等に住む人間が自然と共生し自然の恩恵を享受できる環境を取り戻すことへの国民・社会のニーズはきわめて大きい。本報では、自然共生型流域圏の再生の推進を図るため、都市及びそれを取り巻く流域圏全体を視野に入れた水質・水量等の水環境の回復・水循環の健全化と、生態系の保全・再生、ヒートアイランドの解消等を遂行する総合的な自然共生型流域圏の再生に向けた政策シナリオを提示し、東京湾とその流域を対象に水物質循環モデル・水域生態系モデル・熱環境モデルによる施策評価を行い、総合的な政策シナリオを検討する上で、複数のシミュレーションモデルを活用する意義を整理した。

Key Words : watershed regeneration in accord with nature , environment problems,
policy scenarios, Tokyo Bay

1. はじめに

人間が生活を営む都市は、その都市を含む流域圏における水循環・物質循環系や生態系といった自然のシステムに依存し、これら自然システムから多大な恩恵を受けてきた。しかし、20 世紀後半に生じた急激な都市化、経済発展、大量消費型ライフスタイルへの変化などは、水循環・物質循環系や生態系等に対する多大なインパクトとなり、自然のシステムは変調を来し、河川や湖沼等の水環境の悪化、動植物の減少、ヒートアイランド現象など様々な問題が生じている。

また、現在の環境の劣化は特定の汚染源によるものと言うよりも、国民生活や社会のあり方自体が環境負荷の原因になっていると言え、根本的な問題解決のためには、環境再生に係わる種々の施策や事業を効果的に行うだけでなく、国民一人一人のライフスタイルや社会システムの変化を促していくことが重要と考えられる。

本論では、まず自然共生型流域圏の再生を図るための考え方や検討プロセスを著者らなりに整理し、それらを踏まえて、自然共生型流域圏再生の推進¹⁾を目指して、流域圏全体を視野に入れた水質・水量等の水環境の回復・水循環の健全化と、生態系の保全・再生、ヒートア

일랜드現象の軽減等を遂行するための施策群の検討を行う。著者らはこれまで、霞ヶ浦流域を対象に水物質循環モデルを通じた水環境改善に焦点を当てた検討を行っているが²⁾³⁾、今回は東京湾とその流域を対象とし、水物質循環モデルにとどまらず、水域生態系モデルや熱環境モデルも用いて、より幅の広い施策群の検討を行った。東京湾流域圏においては、高度経済成長期以降、首都郊外の土地開発が活発に進められることにより、生物の生息生育環境が大きく変質するとともに、都市への人口の集積および都市域の拡大と排熱量の増大により、ヒートアイランド現象が生じるようになった。水環境については、東京湾の水質悪化が河川と同様に 1950 年代後半から顕著になり、1970 年頃にピークに達した。湾中央部において COD は 1958 年頃まで約 1 mg/L であったが、1970 年代後半には 6~7mg/L に達した。1975 年に水質汚濁防止法が制定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。最近では、貧酸素水塊の形成と拡大、そしてその挙動が問題となっている。東京湾に対しては、流域からのインパクトに加えて、干潟の埋め立てを中心とする直接改変のインパクトも作用している。

このように、東京湾流域圏には、流域の自然システムに負担をかけながら都市的活動様式を拡大させてい

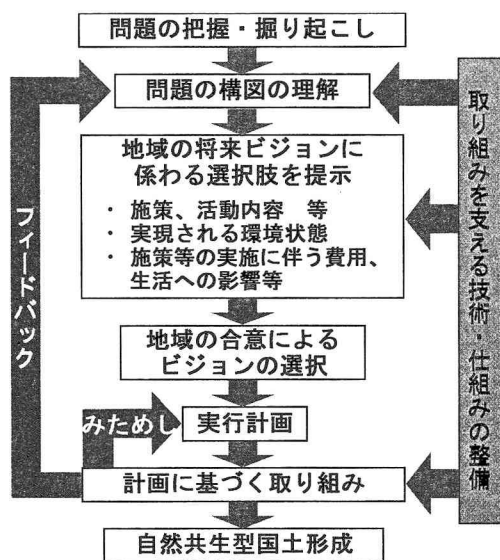


図-1 自然共生型流域圏・都市再生のプロセスについての考え方

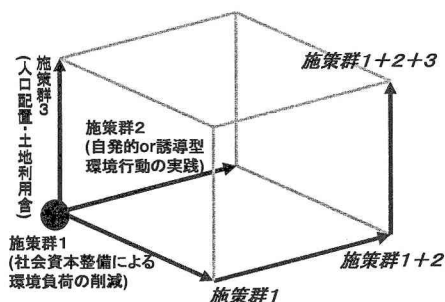


図-2 施策群設定の概念図

くという流域圏に関わる問題の構図が端的に現れており、施策群検討に最も適した対象の1つである。

2. 自然共生型流域圏・都市再生に向けての施策検討プロセスについて

ここでは自然共生型流域圏・都市再生に向けての施策検討プロセスを図-1 のように考えていく⁴⁾。人の生活という視点から、できる限り実感しやすい将来ビジョン案を複数作成し、これらをもとに地域の関係主体が現在の生活とも比較しながら、国土・社会のあり方を模索するという過程を中心に置き、このプロセス自体も重要視していくというスタンスをとる。

この中で本論においては、特に、シミュレーションモデルの活用により自然共生化のための様々な施策(群)の効果を極力定量的かつ具体的に表現する部分、これを流域圏再生を目指した建設的議論の土台と

し、重要なステップであるビジョンの形成と選択につなげていく部分に焦点を当てる。すなわち、シミュレーションモデルの活用が、施策(群)の形成、ひいてはビジョン群の形成と選択にどのようにつながっていくかを、東京湾流域圏を対象にした試算により吟味していく。

ここで、数多くある施策の効果を体系的に把握するために、同じ指向をもった施策同士でグルーピングし、各グループの中にある個々の施策の効果把握、次いで、同一グループに属する全ての施策(以後、施策群と呼ぶ)を実行した場合の効果把握、さらに、異なる施策群を組み合わせた場合の効果把握を順次行うというような階層的検討が有用と考えた。このグルーピングの指向軸として、本論では、図-2 に示すとおり、実施手法にかかわる質の違いに着目して、施策群1；社会資本整備による環境負荷の削減、施策群2；自発的または誘導的に環境に配慮した産業・生活活動の実践、施策群3；面的な土地利用の改変や自然環境の保全・再生、の3つを設定する。施策群の組み合わせ方については、図-2 の丸に示す現状(施策群0)、施策群1、施策群1+2、施策群1+2+3の4つの“座標点”を取り上げる。

3. モデル群の説明

本章では、シナリオ検討に用いた水・物質循環モデル、水域生態系モデル、熱環境モデルの概要を説明し、現況についてモデルの再現性を検証した結果を示す。

(1) 水・物質循環モデル

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、リン、COD であり、流域モデルには BOD を、湾内モデルには Chl-a と DO を加えている。表-1 にモデルの内容を示す。

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流出モデル⁵⁾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⁶⁾、さらにその水を介して流動する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⁷⁾である。モデルの構造は、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-3に示す6分類の土地利用条件をメッシュ毎に与え、鉛直方向に表層・不飽和層・地下水層の3層に重ねたタンクモデルを用いるというものである。一方、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。

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、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。その結果を、代表地点の河川流量・水質について図-4に、水質が悪化する夏期の東京湾水質の平面分布について図-5に⁹⁾、東京湾の代表地点の水質の年間変化について図-6に示す。これらに表されるように、モデルによる計算は、河川流量・水質の時間変化特性、東京湾水質の時空間変化特性を大局的に再現しており、施策群の効果の概略把握には耐えられるものと判断した。ただし、細部を見ると計算値と実測値が乖離する部分があり、扱っている現象の複雑さから考えて、モデルの再現性向上のための技術的検討は引き続き必要と考えられる。ここでは、こうしたモデルの再現性とその限界を踏まえた上で、それらを用いた施策群の効果計算に進んでいく。

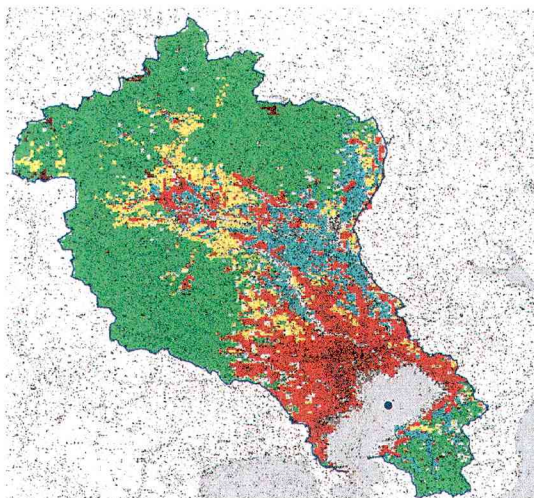


図3 対象となる東京湾流域

(2) 水域生態系に関わるモデルについて

ここでは、「東京湾干潟等の生態系再生研究会」⁹⁾などでも注目されているアマモを対象として、U.S. Fish and Wildlife Service (米国連邦野生生物局) で開発された HEP(Habitat Evaluation Procedures)を用い、生息生育場評価を行う¹⁰⁾。HEPでは、対象生物について生息生育に影響を及ぼす環境要因を整理し、各要因について生息生育環境を点数化し(SI: Suitability Index)、それらを合わせて1点満点の数値として生息生育地選好指標 (HSI: Habitat Suitability Index) を算出する。

既往の知見^{11)・12)}を踏まえ、水深、水中光量、塩分、泥分率を環境要因として250mメッシュ毎にSI値を設定した。アマモの生育に対する各要因の影響は同等と仮定

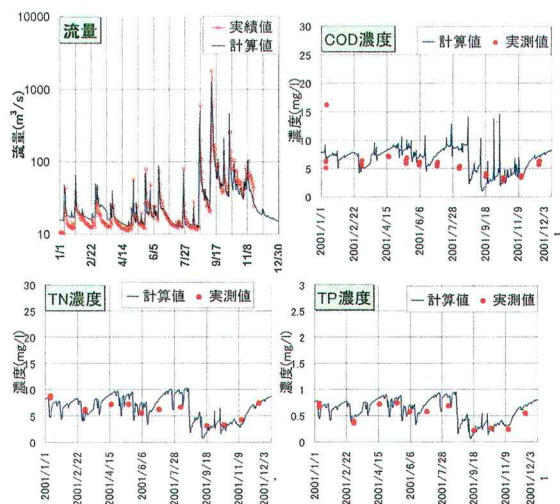


図4 河川流量・水質の実測値と計算値
(多摩川・石原地点)

表-1 水物質循環モデルの概要

水循環モデル		物質循環モデル	
陸域モデル	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。(対象河川:利根川(江戸川分派点まで)、江戸川、荒川、中川、隅田川、多摩川、鶴見川等26河川)	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。
湾モデル		水域分割:500mメッシュに分割した4層モデル。(第1層:0~5m、第2層:5~15m、第3層:15~30m、第4層:30m~)流動:潮汐流、吹送流、密度流を考慮したマルチレベルモデル。	流入流出過程と移流拡散過程を考慮。当該物質の反応過程を低次生態系モデルとして表現。

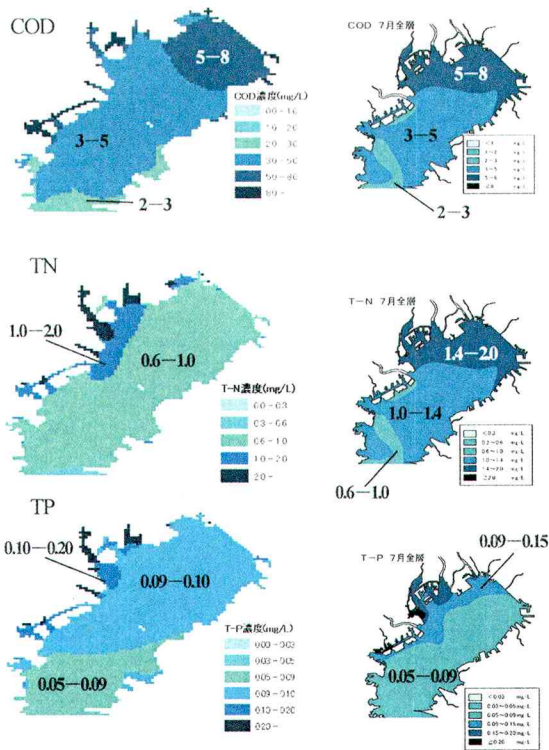


図-5 東京湾水質の実測値^⑧(右：全層)と計算値(左：第1層)(2001年7月15日12時)

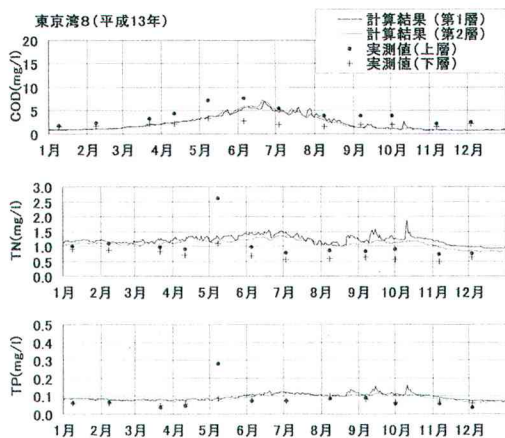


図-6 東京湾央(図-3の青丸)の水質の実測値と計算値

し、各要因のSIの積からHSIを算出した結果を図-7に示す。三番瀬における移植実験^⑩や環境省第4回自然環境保全基礎調査^⑪と比較すると概ね適切な推定がなされているが、盤州干潟については良好なアマモ場として知られているにもかかわらずHSIが0であった。この原因は、評価範囲が広範囲であるがゆえに、選定した各種環境要因および対象種の生育状況に関する調査が十分

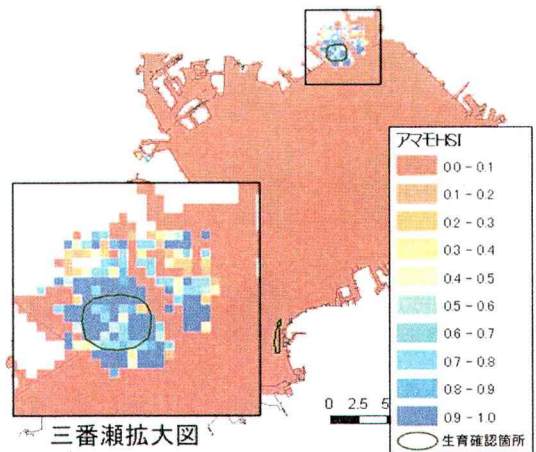


図-7 アマモ生育場としての評価の結果

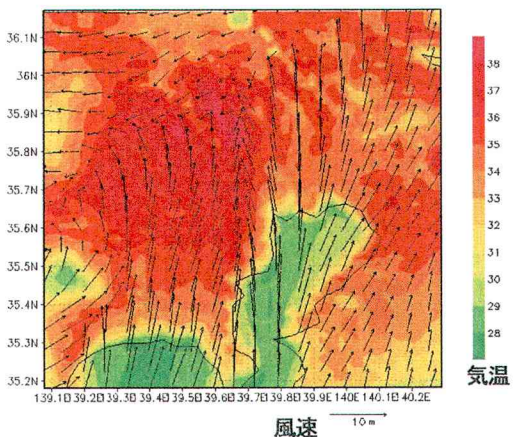


図-8 首都圏の気温、風速の再現計算結果(1995年8月25日14時)

な精度で行われていないことであると考えられ、評価の精度を高めるためには、これらの調査の実施が不可欠である。

(3) 熱環境モデル

首都圏全体を包含する半径50km圏内のスケールでヒートアイランド対策の効果을推定するために、吉谷・木内のモデル^⑫を用いる。これは、米国で開発された汎用型気象モデルMM5を基本とし、地表面の状態を表す情報として細密数値情報を用い、地表面における水熱移動過程、人工排熱の時空間変動などを組み込んだメソスケールモデルである。

1995年8月23日21時～26日5時の気象条件を与えた計算の結果から、晴天であった25日14時の東京都心を中心とする領域の地上気温と地面からの高さ10mにおける風速ベクトルを図-8に示す。この時点を含む計算結果

が概ね実測を再現することは、吉谷・木内により確認されている¹⁵⁾。同時に彼らは、代表的な施策の効果について、既存の研究^{16)・17)}と同様の結果が本モデルの計算により得られていることも確認している。

以下では、本モデルを用いて種々の施策の熱環境改善に関わる効果を推定していく。

(4) 各モデルが扱う現象間の相互作用の考慮について

各モデルが扱う現象の間には大なり小なり相互作用がある。それを考慮することは、施策間の相乗効果の評価につながり、施策群のあり方を考える上で重要な情報をもたらす可能性がある。現時点で、そのすべてを考慮し完全な統合化をはかることは難しいが、ここでは、図-9に示すように、水物質循環モデルから出てくる水質改善効果と水域に関するHEPから出てくる生育場改善効果の間の相互作用の計算を試みた。

具体的には、まず、水物質循環モデルにより求めた東京湾のCOD値の改善度（アマモの生育特性から6月の数値を用いる）を、実測値から求めたCODと透明度の関係式より透明度の改善度合いに変換し、その透明度と全天日射量から環境要因である水中光量を求め、アマモのHSIに及ぼすCOD値改善の影響を算出する。

次に、求めたアマモのHSI値(0~1)の変化を被度(0~100%)の変化に線形換算することで、アマモの変化が今度は湾内の水質浄化に新たに寄与する度合いの算定を以下のように行う。アマモのHSIが1の時(被度100%)の1m²あたりの窒素浄化量を、屋外の水槽実験結果より20mgN/g plant N/dayと設定し¹⁸⁾、被度と株数の関係¹⁹⁾、単位株あたりのアマモの重量²⁰⁾、アマモ体中の窒素重量割合²¹⁾から90mgN/m²/dayとおく。また、リンについては、アマモ体中の窒素とリンの重量割合が4.8:1であることから²²⁾、その浄化量を18mgP/m²/dayと設定する。これらの浄化量をHSIが高くなった箇所に相当するブロックの窒素・リンの底泥溶出速度から差し引いた条件で、湾内水質の年間計算を再度行う。

以上は、流域の施策群による湾内の水質改善効果がアマモの生育場改善に及ぼす作用、さらにそれが湾内の水質改善に及ぼす作用を1サイクル計算したことになる。これらの相互作用は連動させて計算することが望ましいが、まずはこのような簡略化した方法により、相互作用の重要度を議論できる情報を得ることとした。

4. 施策群の実施効果の計算結果

(1) 計算の前提条件

再生のターゲットとなる年次を概ね20~30年後と置いた。これに合わせ、施策効果の計算は、将来の数値

がある程度公式に推計されているものについては、その推計値を与えて行った。具体的には、人口について、市町村ごとに算定された国立社会保障・人口問題研究所による2030年の中位推計値を与えた。これにより、図-3のエリアでの東京湾流域圏における現況人口の設定値を2897万人(2000年国勢調査)、ターゲット年次の将来人口の設定値を2816万人(2.8%減少)とした。

気象(気温、降水、潮位変動など)については、現在(2004年)と同一の条件を与えた。土地利用、産業などの社会経済活動にかかわる条件については、施策と連動させて与えることとし、対象とする施策がその条件の制御を直接含んでいない場合は、現況(2001年時点)を与えて計算した。

(2) 対象とした施策群

2で述べたように検討を行う3つの施策群を表-2に示す。施策群1は「インフラ整備主体型」と呼べるもので、下水処理場での高度処理または高度合併浄化槽整備や透水性・保水性舗装などハード的な施設整備を実施するものである。施策群2は「産業・生活スタイル転換型」と呼べるもので、汚濁負荷、排熱負荷の排出を抑制するように環境に配慮した生活行動・産業活動を実践するものである。施策群3は「自然機能回復型」と呼べるもので、都市内での緑地の確保、荒川と多摩川沿いでの連続的な緑地の確保、湾岸での干潟再生など、自然機能の回復を、土地利用改変を含めて行うものである。

各施策をモデル上で表現するための条件やパラメータ設定に際しては、既往の文献を極力参考にした。ただし、明確な根拠を持って与えることが現時点では難しく、割り切って設定しているものもある。また、前述のように、モデルの実現象再現能力に関しても向上させるべき点を残している。これらの意味で、以下に述べる結果は、種々の環境改善施策に概ね対応するようにパラメータや条件を変えて、モデルの感度分析を行ったものとして見るべきものであり、したがって個々の施策の評価に直接資する熟度はまだ有していない。

なお、本計算では、施策が機能するまでの経過時間(事業期間)は考慮していない。

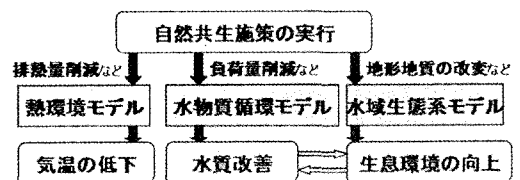


図-9 モデルで扱う現象間の相互作用について

表-2 東京湾流域圏再生にかかわる施策群の設定内容

施策群	施策内容	モデルで設定する内容		
		水物質循環モデル	水域生態系モデル	熱環境モデル
施策群0	現況	—	—	—
施策群1	特に即効性の高いハード的な事業の実施	下水高度処理、合流改善 (既整備地域+整備予定地域) 高度処理型合併浄化槽の設置 (下水道整備予定外地域) 透水性・保水性舗装	水質の改善(水物質循環モデルの結果の反映)	保水性舗装
施策群2	循環型社会の構築を目指した産業・生活スタイルの転換	環境保全型ライフスタイルの転換 環境保全型農業 下水処理水の再利用 家畜し尿の農地還元 雨水貯留浸透施設の整備(屋上緑化)	水質の改善(水物質循環モデルの結果の反映)	環境保全型ライフスタイルの転換 エコカーの普及 屋上緑化 保水性建材の利用
施策群3	面的な土地利用の改変により緑地、干潟の回復	都市部および荒川、多摩川の両岸に緑地の確保 調整池の確保 干潟の造成	水質の改善 底質、水深 (幕張・いなげの浜の再生)	緑地への転換(都市部および荒川、多摩川の両岸)

(3) 施策群の実施効果—流量・水質

表-3に基づき水物質循環モデルを用いて計算を行った。計算結果から、東京湾に流入する全河川を対象に流量で重み付け平均した水質を求め(以後、「平均水質」と呼ぶ)、各施策(群)の実施による現況からの改善効果として図-10にまとめた。

まず、図-10から、施策群0、すなわち人口に2030年推計値を用いたこと以外、現況と変わらない条件では、河川水質に現況とほとんど差が出ていないことがわかる。これは、この圏域の現況から2030年にかけての人口変化が微減と推定されているため、施策(群)の効果に比べ人口変化の影響が大幅に小さいと計算されるためである。このことを踏まえ、以後は、施策(群)の実施効果を現況値との比較で見えていく。

次に、図-10から、排出負荷量の6割を生活排水で占める東京湾流域では、合流改善や下水の高度処理化、高度処理合併浄化槽の整備など生活排水対策の効果が相対的に大きい傾向にあることが把握できる。生活排水対策につながる非ハードの対策(下水処理場への負担を減らすことを含む)、すなわち排水量や排出負荷量の削減を流域住民自らが実践することの重要性も計算結果に現れている。

施策(群)の組合せ効果(各施策を包含する施策群単位の棒グラフにより表示)を見ると、複数の施策の実施により、効果が着実に増大することが確認できる。このことは、異なる施策群を重ねることについても言える(図-10では、施策群1と2を合わせて実施した場合、施策群1、2、3を合わせて実施した場合も効果の計算値が示されている)。以上のことは、単独の施策(群)では目的に達しない場合に、施策(群)の組み合わせ実施を進めることの重要性を改めて示すものである。

図-11は、施策群を1、1+2、1+2+3と重ね合わせていく毎に東京湾の水質分布がどうなっていくかを示したものである。前述のように、アマモ生育場の改善効果との相互作用を1サイクル考慮して算出している。COD、TN、TPのいずれについても、施策群の重ね合わせが進むと効果が増していき、濃度の高いエリアが湾全体にわたって縮小していく計算結果になっていることがわかる。

図-10は、流域での施策(群)のいわば地先(施策が実施された場所の近く)での効果を現すもの、図-11はその遠隔地での集積的效果を現すものと言える。これらの図が示す結果は、施策(群)の地先での効果と、遠隔地であるが流域で広く問題を共有すべきエリア(ここ

表-3 水物質循環モデルでの設定内容

	水環境政策	対策
施策群1	下水道の整備: 下水処理計画区域の全域に下水道整備を行う	流域
	合流改善: 日雨量25mm(現況5mm)以下までは処理排水を排出	流域
	下水の高度処理化: 処理場からの排出負荷量をBOD、COD、TNは8.0(mg/l)、TPは0.4(mg/l)と設定	流域
	単独浄化槽の合併処理化: 下水道整備予定外の地域全体について、単独浄化人口を全て合併浄化人口に転換	流域
	高度処理合併浄化槽整備: 下水道整備予定外の地域全域に高度処理合併浄化槽を整備(排出負荷量はBOD、COD、TNは2.5g/人日、TPは0.25g/人日)	流域
施策群2	透水性・保水性舗装整備: 市街地メッシュのうち幹線道路面積について表層タンクのパラメータを畑・荒地の値を設定する	流域
	環境保全型ライフスタイルの実践: 全住民が環境保全型ライフスタイルを実行することにより排水量が36%削減されると設定。また生活雑排水未処理人口の生活雑排水からBOD、CODは28%、TNは30%、TPは20%の削減	流域
	環境保全型農業: 環境保全型農業の推進により田畑への施肥量を削減し、作物の生長に必要な分以外を100%削減すると設定	流域
	下水処理水の再利用: 全下水処理水の10%を生活用水として再利用することで生活用水取水量と排水量を削減	流域
	家畜し尿の農地還元: 全家庭し尿を農地に還元することで家畜由来の負荷量を100%削減すると設定	流域
施策群3	各戸雨水貯留・浸透: 全家庭の屋根全体(建坪率)に貯留浸透施設を設置し表面流出を抑制(市街地メッシュのうち宅用地面積について表層タンクのパラメータを畑・荒地の値を設定)	流域
	市街地の緑地化: 市街地メッシュの3割と荒川、多摩川の河道メッシュを緑地化(土地利用を「森林」に設定)	流域
	調整池の整備: 市街地メッシュのうち公共施設、中高層住宅地について雨水の流出を一時貯留させる調整池を設定(600m ² /ha)	流域
	干潟の再生: 幕張・いなげの浜に干潟を再生し、植生・土壌・生態系等の機能を活用した浄化を図る(7.5km ²)	湾内

では東京湾)への効果を, つなげて考えていくことの重要性, 有用性を示唆するものと言える。

(4) 施策群の実施効果—アマモ生育場—

施策群の実施のやり方とアマモ生育場ISIとの関係を, やはり図-11に示す。また図-12は, 三番瀬と幕張・いなげエリアの各メッシュのISI値を合計した値を示したものである。施策群1や施策群1+2のような施設整備を中心とする取り組みや産業・生活スタイルの転換による水質改善だけでも, 透明度の改善を介して, 三番瀬ではISIが少し向上する結果となっている。一方, その他の地域では改善効果は現れていない。これは, 他の環境要因の状況が悪すぎて, 水質改善効果だけでは効果をもたらさないためと推定される。

施策群1+2+3の段階になると, 施策群3における幕張・いなげの浜の再生や底質環境の改善という直接的な取り組みが加わるため, 図-11や図-12に示すように, 干潟再生地域を中心に生育場の評価値が大きく向上する結果となっている。

以上から, 湾内生物の生息生育状況を改善するために, 干潟再生などの直接的な再生策とともに, 流域におけ

る施策がもたらす効果も合わせて考慮することの重要性がうかがえる。なお, 施策群1+2+3がもたらすアマモのISI値の向上が湾内水質の改善に寄与する量は, 東京湾への流入負荷に対して, 窒素, リンをそれぞれ0.05%, 0.16%除去するのと同等と計算された。この量は小さいものであるが, 東京湾沿岸各地で藻場再生の取り組みが広がることによって, アマモ等のエリアがさらに増大していくことを想定すれば, 生物状況の変化が湾の水質に与える影響を考慮することの重要性は引き続き留意されるべきであろう。

(5) 施策群の実施効果—熱環境の改善—

熱環境の改善施策に関する具体的な設定条件を表-4に, 施策群を重ね合わせていく毎の熱環境の改善効果の計算結果を図-11に示す。保水性舗装を整備した場合(施策群1), 都心部を中心に現況と比較して最大0.5℃程度の気温が低下する結果となる。保水性舗装に加えて, 環境に配慮した生活スタイルの実践等による排熱量の削減や屋上緑化や保水性建材の利用を加えることで(施策群1+2), 都心では最高気温が現況から最大2℃弱まで低下する結果となっている。さらに市

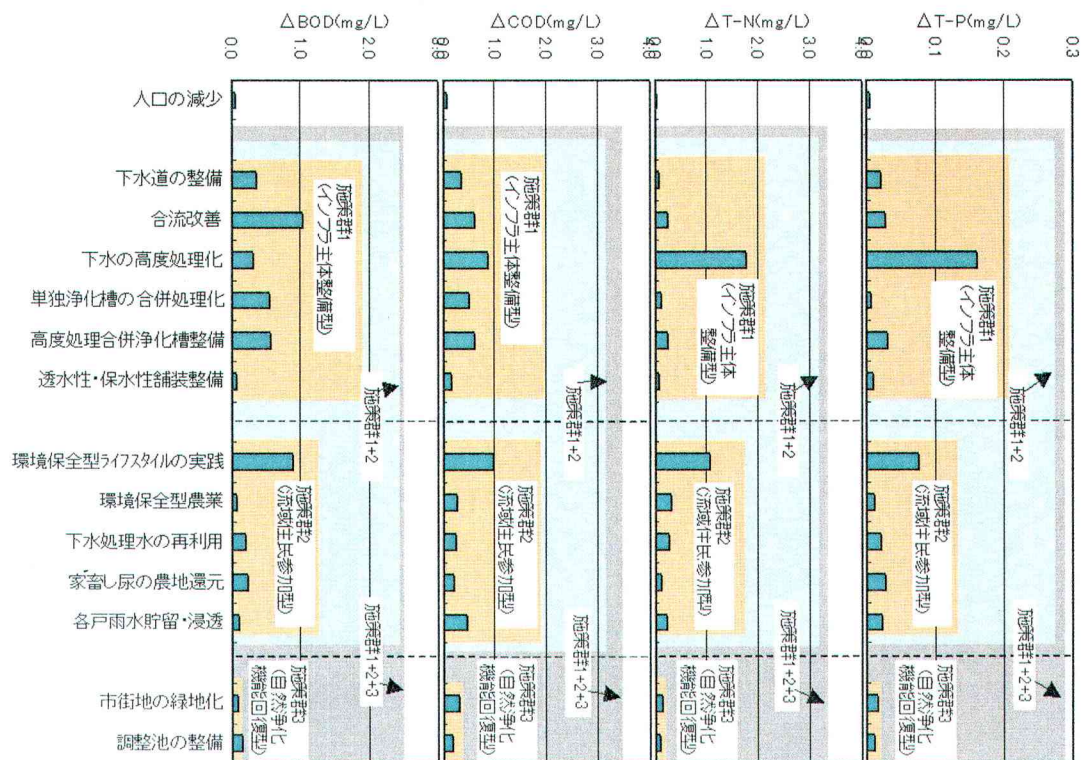


図-10 東京湾流入河川の平均水質に関する施策(群)の個別・重ね合わせ効果の計算(現況との差分で表示)

(現況(計算値): BOD 4.3 mg/L, COD 6.9 mg/L, T-N 5.8 mg/L, T-P 0.46 mg/L)

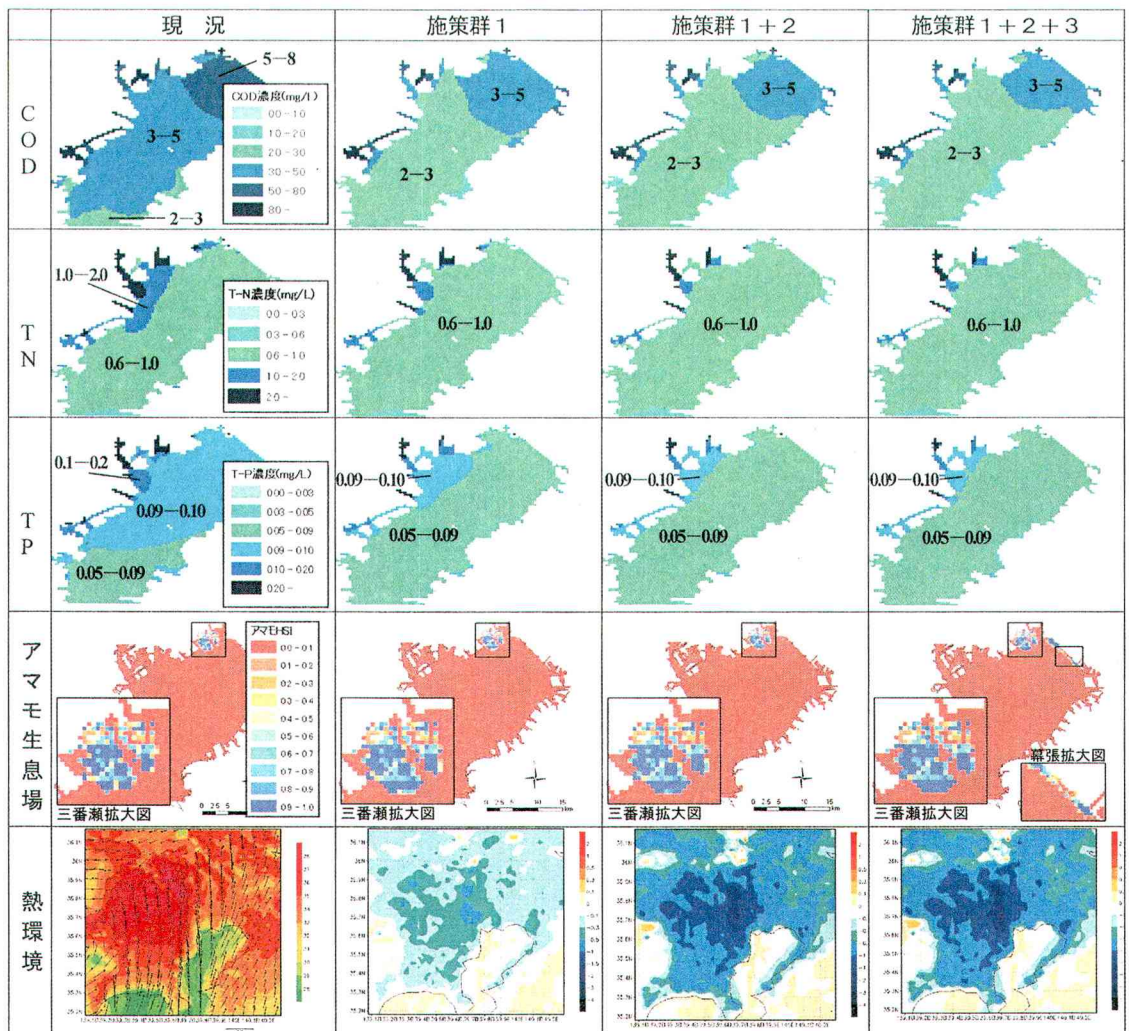


図-11 東京湾の水質とアマモ生育場、首都圏の熱環境に関する施策群の重ね合わせ効果の計算

(東京湾の水質とアマモ生育場HSIについては絶対値で表示、

熱環境については、現況は絶対値で、その他は現況との差分で表示)



図-12 アマモHSI値に与える施策群重ね合わせの効果(三番瀬と幕張・いなぎエリアの全メッシュの合計値)

表-4 熱環境モデルでの設定内容

熱環境政策	
施策群1	保水性舗装:「道路」の保水率を変更 環境保全型ライフスタイルの転換:全「建物用地」について冷熱を50%削減
施策群2	エコカーの普及:「道路」の排熱量を1割削減 屋上緑化:全「建物用地」に屋上緑化を行い、緑被率を向上 保水性建材の利用:全「建物用地」の保水率を変更
施策群3	緑地への転換:市街地の30%と荒川、多摩川の河川沿い500mを緑地に転換

街地の3割と荒川と多摩川の河川沿い500m幅を緑地に転換した場合(施策群1+2+3)、若干の気温低減効果が働き、最高気温に現況に比べ最大2℃強の低下が生じるとの結果となった。なお、図-11からは、両岸に緑地帯を設置した河川沿いでの気温低減効果は明確でない。これは、市街地の緑地増分に比べ、河川沿いの

緑地増分が量的にずっと少ないため、2kmメッシュの本計算ではその効果が見えにくいと考えられる。

5. まとめ

本研究は、自然共生型流域圏の再生を図るための考え方やプロセスを提示するとともに、東京湾とその流域圏を対象に、政策シナリオの検討につながる施策群を具体的に設定し、水物質循環モデル・水域生態系モデル・熱環境モデルを適用して、施策群に応じた環境改善度合いを把握した。水質、生息場評価値、気温が各モデルの出力値として定量化されることにより、施策群実施後の流域環境がある程度描かれることは、自然共生型流域圏の構築に向けて有用な情報になるものと考えられる。また、施策効果を表現しうる複数のシミュレーションモデルを用いた総合的な政策検討から得られる重要な観点として以下の点が挙げられる。

a) 多岐にわたる環境問題を解決するための対策を施策パッケージとして評価すること

水物質循環、生態系の健全化およびヒートアイランド現象の対策などの解決に向けては、個別に課題の解決の方策を検討するよりも、多くの課題を同時に改善する方法を選択することが効率的である。複数の環境問題に対する解決手法を施策パッケージとして提案し、シミュレーションモデルによる効果把握を試みたことは、具体的な政策決定へのプロセスに活用するという点で意味を持とう。

例えば、緑地の増加が水物質循環や熱環境の改善、さらには、今回は検討していないが陸域生態系の回復にも資するという複合的效果を持つ。これらを1つの政策シナリオに基づき、それぞれのシミュレーションモデルによって定量的評価が可能になる。

b) 複数の系に及ぼす相乗効果を考慮した施策検討

上記とも関連するが、複数のモデルから解を出す場合、モデル間で相互作用が働く事象については、それを計算に反映させることが、重層的な構造からなる環境問題の検討において重要である。

水質改善と水域生息場の改善が相互にフィードバックする関係は、この必要性を理解するためのわかりやすい例であり、今回簡略化した表現ではあったが、その効果を一部定量化した結果、これについての具体的な検討を行うことができた。

c) 施策による地先の水質改善効果と閉鎖性水域の水質改善効果の関係性を提示

東京湾の水環境の現状を知る機会は、多くの人にとって極めて少ないと言えよう。本検討において流域水

物質循環モデルと東京湾流動・水質モデルを接続したことにより、流域の水質改善効果と東京湾の水質改善効果との連動性を示した。地先の努力が東京湾の水環境の回復にも資することを実感することにより、環境改善行動の実践を促す状況づくりにつなげていくことも、シミュレーションモデルに期待される効用の1つであろう。

最後に、本論では、水物質循環・水域生態系・熱環境の観点から施策評価を行ったが、今後、自然共生型流域圏の再生像を提示するために、陸域生態系の改善方策や都市構造の改変などの検討も合わせて行うとともに、政策シナリオの実践に向けて社会全体の取り組みを効果的・持続的に実施するための施策立案手法の検討を行う必要がある。

謝辞：熱環境モデルの検討においては、木内豪元土木研究所主任研究員（現福島大学助教授）に多大なるご支援、指導を頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 「自然と共生した流域圏・都市の再生」ワークショップ実行委員会編著：自然と共生した流域圏・都市の再生、山海堂、2005。
- 2) 藤田光一、伊藤弘之、小路剛志、安間智之：GIS、流域水物質循環モデルを活用した水政策検討、土木技術資料、Vol.46-7, pp20-25, 2004。
- 3) 藤田光一、伊藤弘之、小路剛志、安間智之：水環境問題解決への水物質循環モデル適用の試みとその課題、土木学会水工学委員会河川部会、河川技術論文集, vol.11, pp59-64, 2005。
- 4) 藤田光一：自然共生型の流域圏再生—その実行に向けて、雑誌「河川」、No.697, pp11-14, 2004。
- 5) 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。
- 6) 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。
- 7) 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・物質流動モデルの構築、水工学論文集、第47巻, pp217-222, 2003。
- 8) 東京湾岸自治体環境保全会議：東京湾水質調査報告書（平成13年度）、p22-23, 2003。
- 9) 国土交通省港湾局、環境省自然環境局編：干潟ネットワークの再生に向けて～東京湾の干潟等の生態系再生研究会報告書～, pp87-110, 2004。
- 10) Division of Ecological Services, U.S. Fish and Wildlife Service: Habitat Evaluation Procedures, 1980。
- 11) 川崎保夫・飯塚貞二・後藤弘・寺脇利信・渡辺康憲・菊池

- 弘太郎：アマモ場造成法に関する研究，電中研研報総合報告U14，1988.
- 12) 日本資源保護協会：アマモ類，環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」，pp.38-47，1992.
- 13) NPO 法人 三 番 瀬 環 境 市 民 セ ン タ ー HP：
<http://www.sanbanze.com/npo/>
- 14) 生物多様性情報システム：<http://www.biodic.go.jp/J-IBIS.html>
- 15) 吉谷純一，木内豪：都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究(その2)，土木研究所資料，第3783号，2001.
- 16) 環境省：平成13年度ヒートアイランド対策手法調査検討業務，pp.127-130，2002.
- 17) 森山正和編：ヒートアイランドの対策と技術，学芸出版社，pp.96-110，pp.121-131，2004.
- 18) 飯泉仁：海藻類の栄養塩取り込みについて，月刊海洋，Vol.21，No.6，pp.317-321，1989.
- 19) 生物の多様性分野の環境影響評価技術検討会：生物の多様性分野の環境影響評価技術(II)生態系アセスメントの進め方について 生物の多様性分野の環境影響評価技術検討会中間報告書，<http://assess.eic.or.jp/houkokusho/tayousei0008/>，2000.
- 20) 輪島毅，有松健，伊東永徳，豊原哲彦，吉澤忍，福島朋彦：東京湾藻場分布調査—アマモ場調査のまとめ—，日本海洋生物研究所 年報，pp.31-37，2004.
- 21) 平塚純一，山室真澄，石飛裕：アマモ場利用法の再発見から見直される沿岸海藻藻場の機能と修復・創生，土木学会誌，vol.88，no.9，pp.79-82，2003.

STYDY ON POLISY SCENARIOS FOR WATERSHED REGENERATION IN ACCORD WITH NATURE IN TOKYO BAY AND ITS WATERSHEDS

Seikou FUKUDA, Koh-ichi FUJITA, Hiroyuki ITO,
Kohji NAGANO, Takeshi ORO and Tomoyuki ANMA

To restore an urban environment so its residents can enjoy the beneficence of nature, it is essential to establish measures based on the perspective of an entire watershed to curb environmental pollution, to conserve water environments and create ecological networks, and to practice national land management to restore cities in asymbiotic relationship with nature through restoring the water cycle and the ecosystem.

In this paper, to promote watershed/urban regeneration in accord with nature, we propose comprehensive policy scenarios to aim at watershed restoration in terms of hydrological & material cycles and ecosystems and the improvement of heat island phenomena for recovering sound urban environment. In the next step, we evaluate the effect of these scenarios making use of the simulation models. Finally, it is discussed that application and combination of the models to evaluate the policy scenarios is beneficial for multiplier effects and investigation.