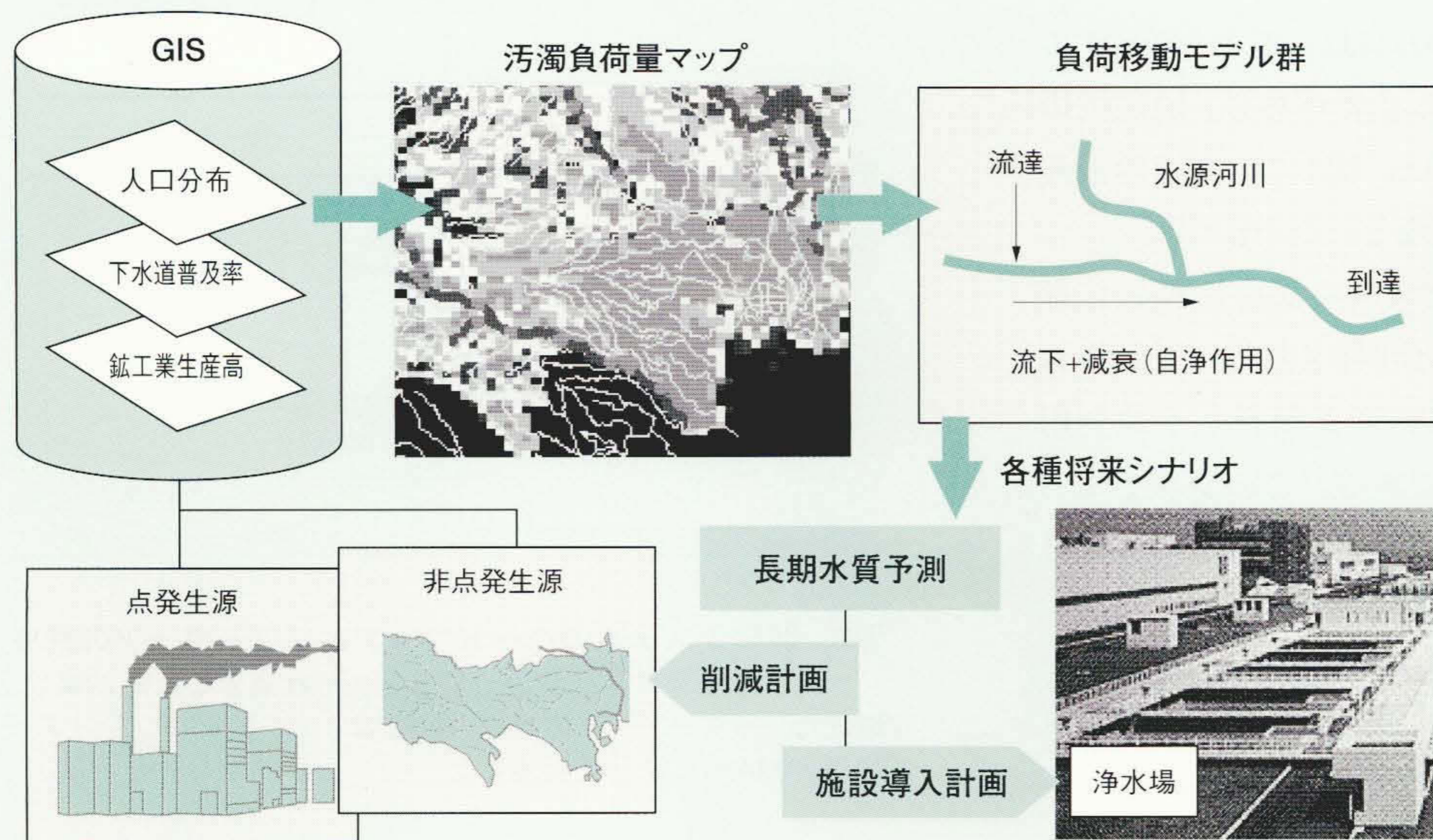


水系の長期計画を支援する水源水質動向予測システム

Water Quality Prediction System for Long-term Planning of Waterworks Management

圓佛伊智朗 *Ichirô Embutsu* 中澤昭夫 *Akio Nakazawa*
筒井和雄 *Kazuo Tsutsui*



注：略語説明

GIS (Geographic Information System)

水源水質動向予測に基づく水系の長期計画支援の概要

オゾンや活性炭処理などによる高度浄水施設の導入計画にあたっては、水源河川水質の長期予測が重要である。日立製作所は、東京都水道局の委託により、河川流路や流域人口などから、各種将来シナリオでの排出汚濁負荷量を評価する技術を開発し、河川水質の長期予測を実現した。

都市河川を水源とする水道事業体では、良好な水道水質を維持することを目的として、浄水プロセスへのオゾンや活性炭による高度処理の導入を進めている。施設導入計画の策定にあたっては、判断材料として、河川水質の長期予測結果が重要である。日立製作所は、東京都水道局の委託により、急速な普及が進むIT (Information Technology) の一つであるGIS (Geographic Information System) の手法を導入した水源水質動向予測システムを開発した。このシステムの特徴は、汚濁負荷の発生を説明できる流域人口や鉱工業出荷額などの情報に基づいて、流域から河川に流入する汚濁負荷量を算定することにより、河川水質を長期予測できることである。

流域の下水道普及率の推移など、さまざまな将来シナリオでの水質予測機能を実現することにより、施設導入計画にかかわる選択肢を具体的に比較、検討することを可能とした。評価解析では、東京都水道局の水源河川での微量有機成分(トリハロメタン生成能)濃度の予測も行った。

1 はじめに

水源河川の水質は、事業場に対する排水規制や下水道整備の効果により、1965年後半を境に改善傾向を示してきた¹⁾。しかし、都市部を貫流する、いわゆる都市河川の一部では、水質の改善が横ばいで推移しており、今後も水質保全への取組みが必要である。

このような都市河川を水源とする水道事業体では、水道水質を良好に維持していくために、浄水プロセスへの高度処理施設(オゾン接触池、活性炭吸着塔など)の導入を進めている。将来の河川水質改善が期待できれば、導

入の規模は抑えられるが、今後も水質悪化が避けられない見通しであれば、本格的な施設導入を検討することになる。このため、施設計画の策定にあたっては、河川水質の長期予測結果が重要な意思決定材料となる。

日立製作所は、東京都水道局の委託により、急速な普及が進むIT (Information Technology) の一つであるGIS (Geographic Information System) を応用した水源水質動向予測システムを開発した。このシステムでは、上下水・流域管理向けマッピングシステム“AQUAMAP”により、汚濁負荷の発生を説明できる流域情報をデータベース化している。

ここでは、具体的な適用事例として、水道水のトリハロメタン^{※1)}の生成に影響する微量有機成分であるTHMFP(トリハロメタン生成能)の濃度の予測結果について述べる。

2 水源水質動向予測システム

2.1 水質動向予測の考え方

河川水質を長期で予測するためには、河川に流入する汚濁負荷量を高い確度で算定する必要がある。流域内の発生源から排出された汚濁負荷は、**図1**に示す移動過程を経て、着目する地点(取水地点など)に到達する。

排出される汚濁負荷量は、流域内の都市活動に依存し、その影響因子は「フレーム」と呼称される。フレームは、流域人口や鉱工業出荷額、畜産養飼数、土地利用など広範にわたる膨大なデータである。このシステムでは、マッピングシステムの導入により、河川流路位置と関連づけてデータベースを構築する方針とした。

各発生源からの排出負荷量は、流達-流下のモデル演算で減衰分が除かれた後、着目地点での河川流量に応じた希釈モデルにより、水質濃度に変換される。

2.2 システムの構成と機能

開発システムの構成を**図2**に示す。ソフトウェアは、以下の三つのモジュール構成としている。

(1) 汚濁負荷評価モジュール：対象水系流域の排出汚濁

※1) トリハロメタン(Trihalomethane)：水道原水中の有機成分と消毒用塩素との反応で生成する発がん性物質であり、厚生省の水道水質基準では0.1 mg/L以下とされている。

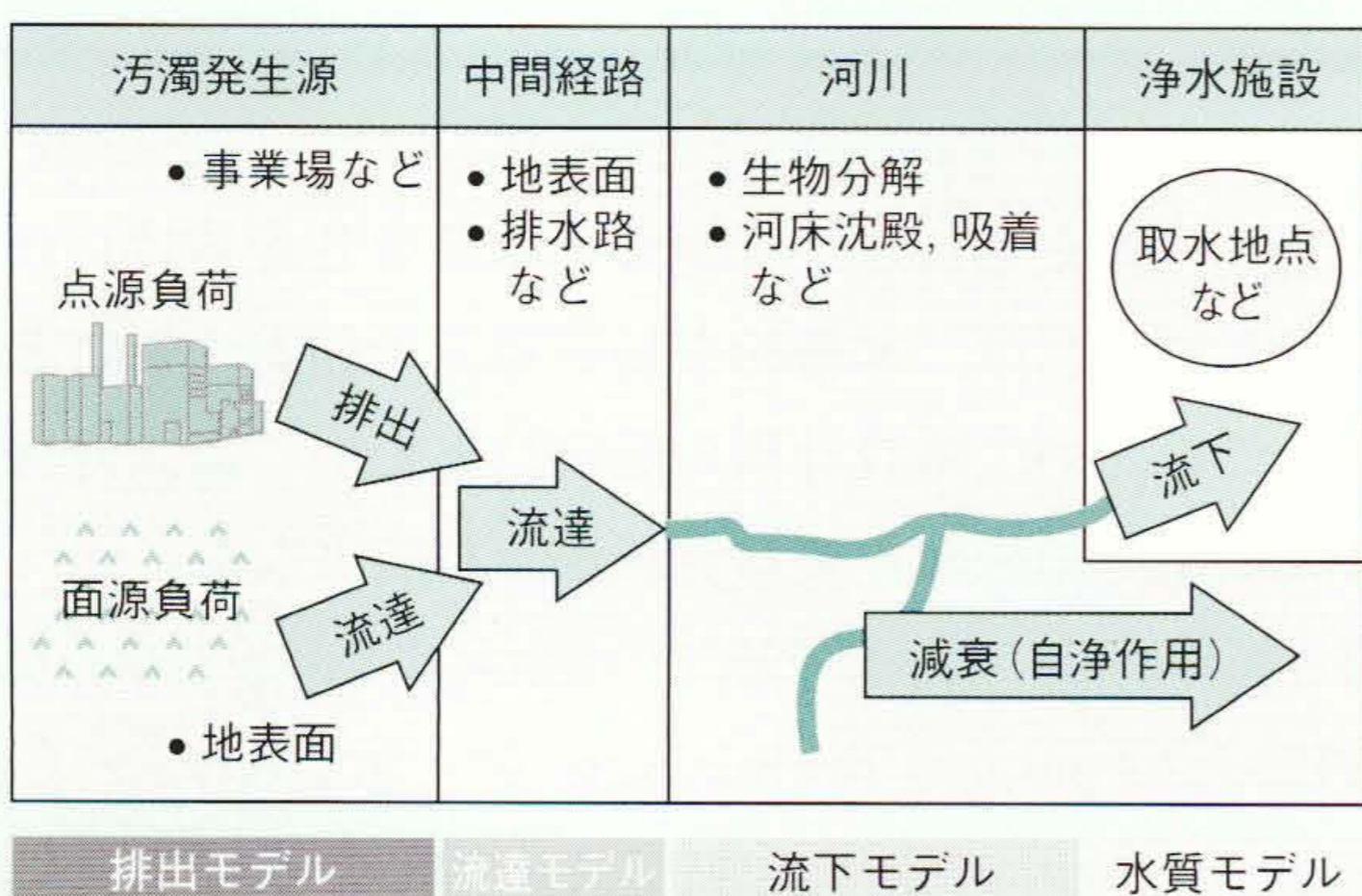


図1 汚濁負荷移動の過程とモデル群

流域内で発生した汚濁負荷は、地表面などを流達し、河川に流入する。河川内で自浄作用を受けながら流下した負荷量により、水質が決定する。

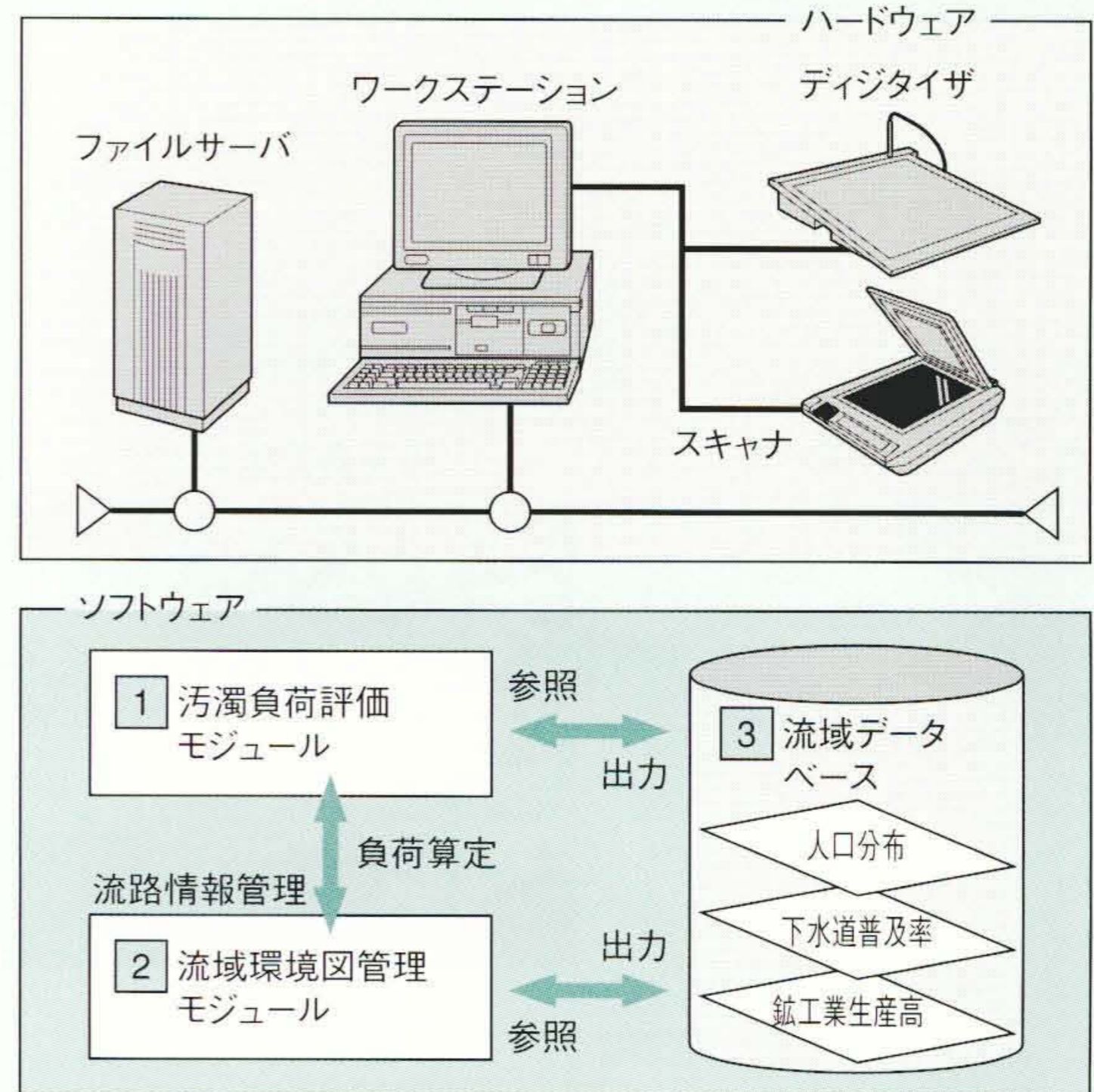


図2 開発システムのハードウェアとソフトウェアの構成

ソフトウェアは、三つのモジュールで構成する。流域環境図管理とデータベースの基本機能は、マッピングシステム「AQUAMAP」によって実現した。

負荷量を各種将来シナリオで年度単位に算定する。また、これに基づいて河川流路区間ごとの水質を予測する。

(2) 流域環境図管理モジュール：東京都水道局の流域環境図を電子ファイル化して、表示、検索する機能を提供する。流域環境図は、 $\frac{1}{25,000}$ の縮尺でA2版150枚に相当する。

(3) 流域データベース：流域環境図の属性情報として、フレーム情報、河川流路、特定事業場の情報を含む。

このシステムの利用者としては、水道事業体の調査、企画、計画部門などの担当者を想定している。なお、ここでは省略するが、上記(2)のモジュールを応用した河川流下シミュレータも開発済みである。このシミュレータにより、突発的な河川水質事故時に必要となる、流下時間や拡散濃度を予測する機能も提供している。

2.3 汚濁負荷移動のモデル概要

排出負荷量は、生活系、事業場系、畜産系、面源系、下水処理系負荷ごとに、原単位法^{※2)}で算定する。対象水質項目は、THMFP、COD(化学的酸素要求量)、全窒素など全部で5項目である。

排出地点から河川流入地点までの移動を意味する「流

※2) 原単位法：単位人口当たり、または単位出荷額当たりの排出負荷量(原単位)と流域人口などとの積算により、総排出量を間接的に算定する方法

達過程」には、流達距離で指数的に減衰するモデルを構築した。また、河川内での流下過程は、Streeter-Phelps式²⁾として知られる自浄作用のモデルを改良して適用した。

着目する地点の水質濃度は、流下した負荷量を河川流量で希釈する計算で求めることができる。河川流量については、取水地点などの平均流量や渇水流量(年間の95%累積頻度流量)といった代表流量を設定できる。

2.4 流域データベースの概要

各種データソースから情報を収集し、位置情報と関連づけたうえでデータベース化した。主なデータ形式は、ラスタ(メッシュ)形式とベクトル形式である。前者は国勢調査のメッシュ統計データなど、後者は国土数値情報の河川流路データなどがそれぞれ相当する。ラスタ形式の解像度は、国土数値情報の最小区分の距離である1 kmとした。

データベース内の流域情報の処理例を図3に示す。前述の流達モデルを実行するためには、各排出源から河川流入地点までの流達距離が必要となる。面源系負荷(水田、畑、市街地など)の場合には、各メッシュが排出源となるので、設定すべき流達距離のデータ数は数千から数万のオーダーとなる。このため、このシステムで導入したマッピング機能を用いることにより、各メッシュから再近傍の河川流路を探索し、流達距離を自動設定することを可能とした。

このほか、精密な河川流路データにより、本川への支川合流による負荷積算や、取水せきなどの利水施設での流量分配なども考慮できるようにした。マッピング機能により、実用化が難しかった詳細なモデル適用を実現できた点が特徴である。

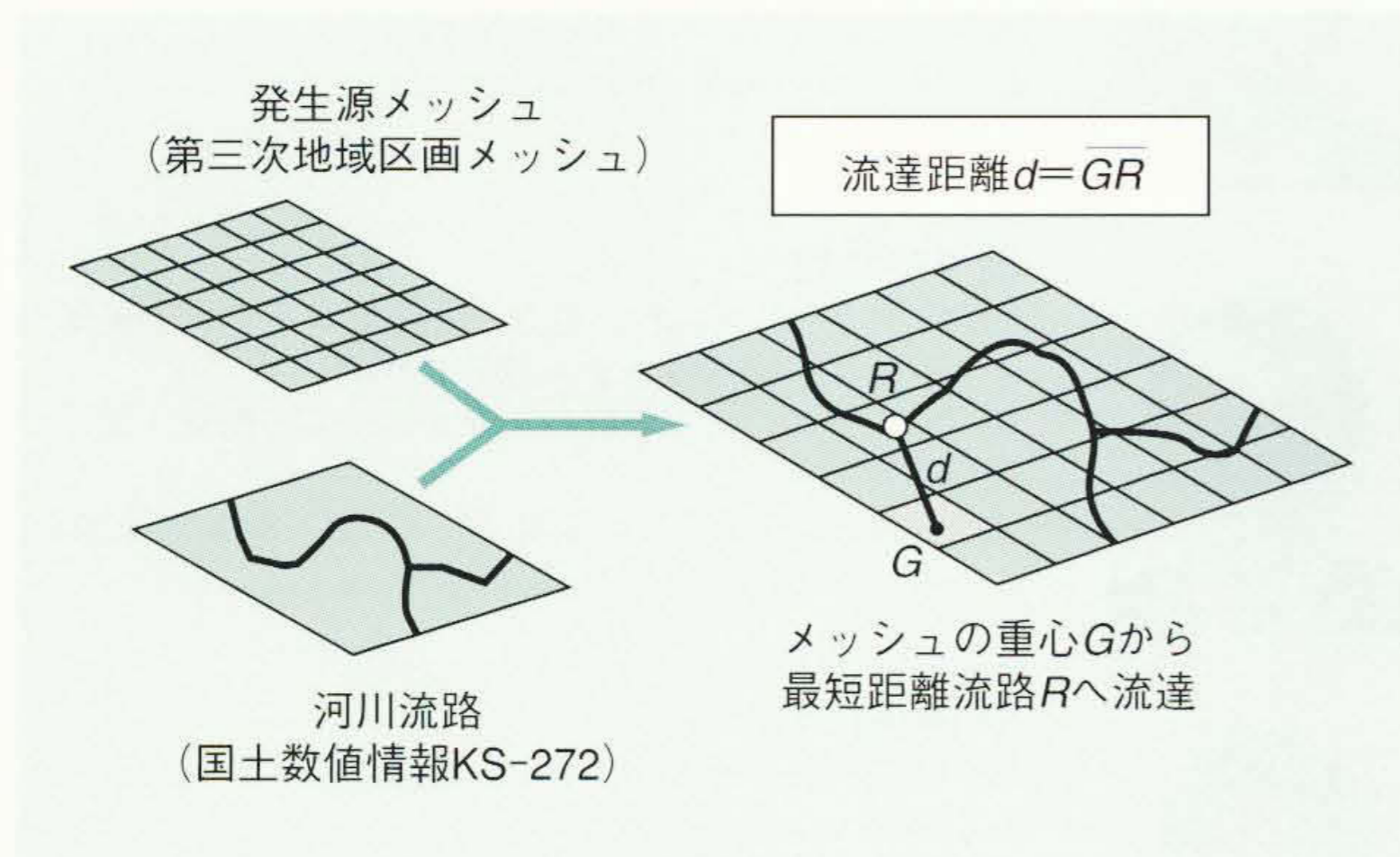


図3 負荷評価における流域情報の処理例

国勢調査情報などのメッシュ情報と河川流路などのベクトル情報とを統合して、モデル演算に利用する。

3 長期水質予測の事例

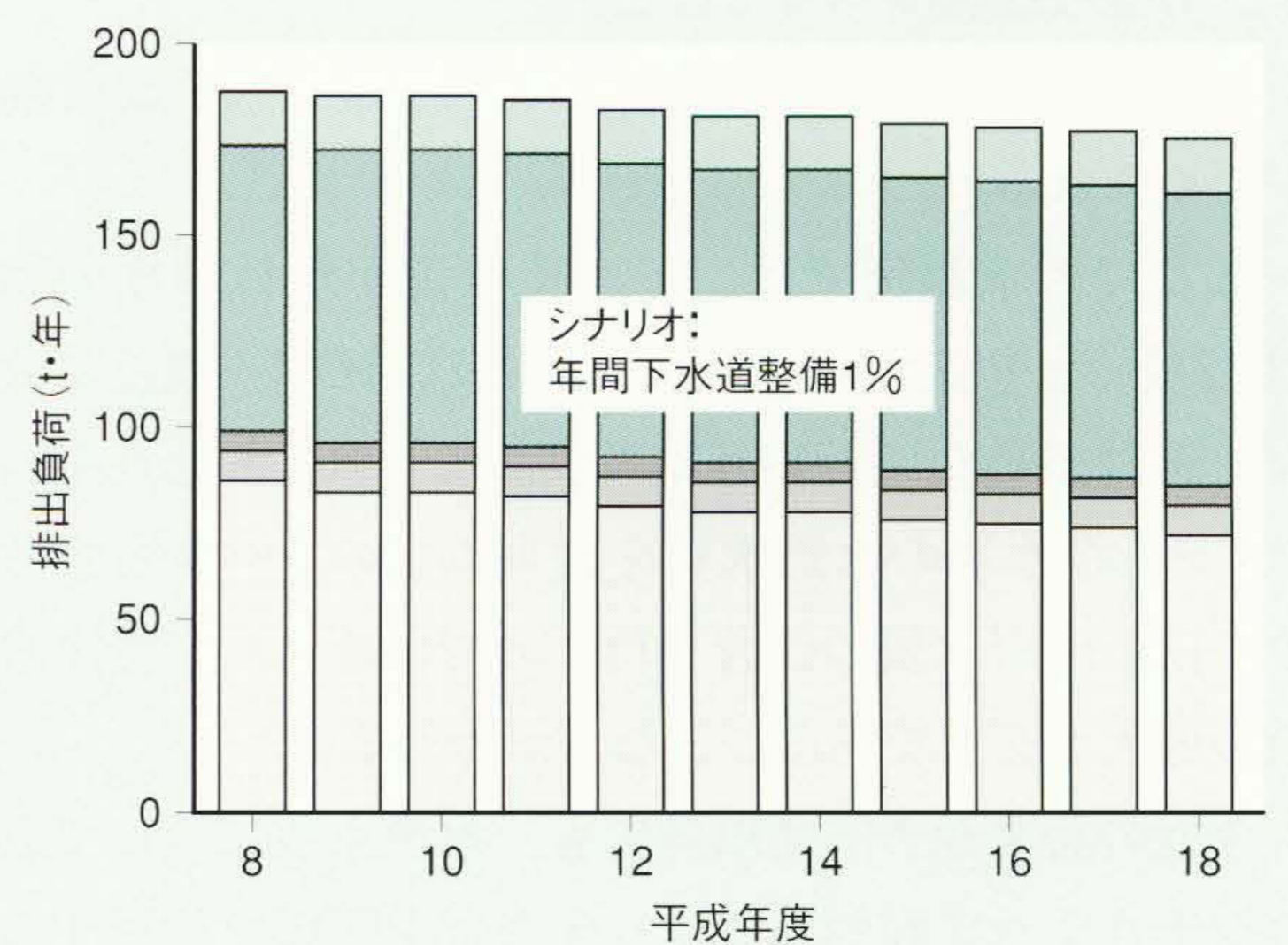
3.1 対象水系概況と将来シナリオ

東京都水道局の水源水系は、1都6県にまたがる主要3水系で構成している。予測解析結果のうち、流路総延長が約330 kmであるA水系での事例について以下に述べる。本水系は、流域面積約7,800 km²に約300万人の人口を有している。

将来の河川水質は、流域での都市活動がどのように推移すると想定するかという「将来シナリオ」に影響される。将来シナリオでは、各フレームのデータ値を経年変化として用いた。例えば、流域人口は時系列的に緩やかに変動し、高い確度で予測できることが知られており、厚生省の人口問題研究所の年度別将来人口の推計値を用いることができる。また、鉍工業出荷額は変動が大きく、都県別に独自に予測することが難しいことから、通商産業省が全国ベースで推計した「業種別鉍工業生産指数」を採用した。生活系負荷と下水処理系負荷に大きく影響する下水道普及率については、現行程度の年間1%の向上を基本シナリオとした。

3.2 排出負荷量予測の例

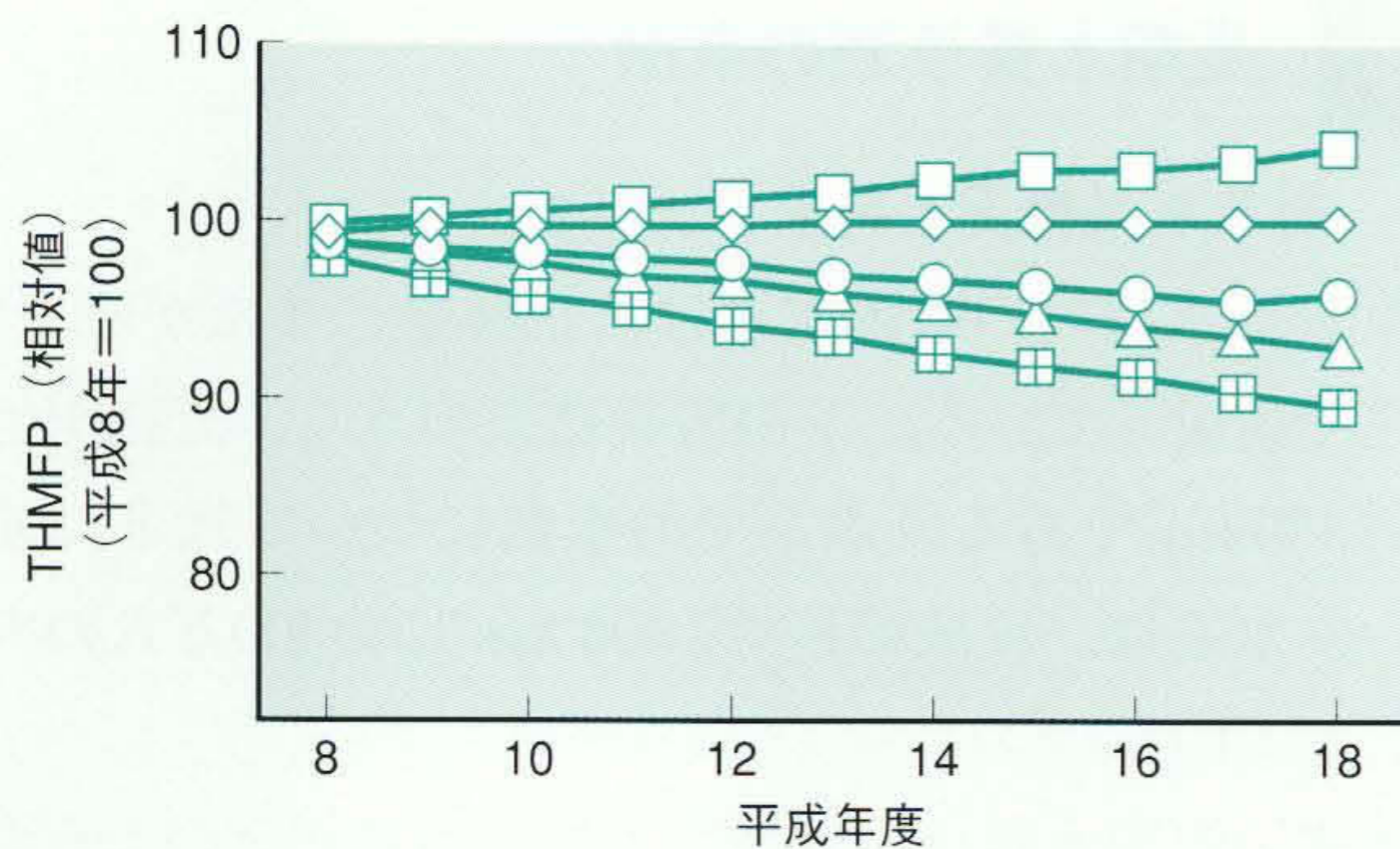
前節で述べた将来シナリオで予測した、A水系流域の河川へのTHMFP総排出負荷量を図4に示す。流域の総人口が増加するシナリオとしていることから、生活系発生負荷量自体は増加する(同図には示していない。)が、年間1%の下水道整備の効果により、排出負荷量は減少



注: □(生活系), □(事業場系), □(畜産系), □(面源系), □(下水道)

図4 A水系流域での排出負荷量算定結果例

流域人口が増加する条件でも、現行の年間1%程度の下水道整備により、生活系負荷は減少する。



注：□ (年間0%)，◇ (年間1%)，○ (年間2%)
△ (年間3%)，■ (年間4.5%)

図5 下水道普及率向上による将来水質の推移予測例

水質予測の一例を示す。年間1%程度 of 下水道整備では河川水質は横ばいで推移し、同2%以上で水質改善が期待できる。

することがわかった。また、これに対応して下水処理場からの排出負荷量は増加するが、総排出負荷量を増加させるレベルではない。

事業場系負荷は総負荷量の5%以下であり、水質汚濁への寄与は小さい。このシナリオの条件では、総排出負荷量は漸減傾向となることが期待できる。

3.3 将来水質予測と長期設備計画

流域の下水道を年間0~4.5%で整備するシナリオでのB取水地点の平水流量^{*3)}時のTHMFP濃度を図5に示す。予測に用いた流達モデルと流下モデルのパラメータ(流達係数、自浄係数)は、実測の河川水質データなどからチューニングした。同図から、下水道整備が凍結された場合、すなわち年間0%の整備では、水質汚濁は進むことがわかる。他方、年間1%ではTHMFP濃度は漸減するが、有意な改善レベルではない。

年間2%以上の下水道整備では、明確な水質改善効果が認められる。

ここでの予測例では、下水道整備が現行程度の年間1%で続くと想定すると、水道原水のTHMFP濃度に大幅な改善は望めないという結果になる。B取水地点を原水とするC浄水場の水道水質を従来以上のレベルとするためには、河川水質の改善を待つのではなく、高度浄水施設の導入が必要であることなどがわかる。

今回の将来シナリオ以外にも、水源水質について最悪のシナリオや楽観的なシナリオなどを幅広く検討するこ

*3) 平水流量：日平均流量の1年分を降順に並べたときの累積頻度50%の値(中央値)を指し、一般に、河川水質を評価するときの代表流量として用いられる。

とにより、必要とされる下水道普及率や、高度浄水施設の導入可否を判定することができる。

将来的な機能として、各シナリオに関連した事業(下水道整備、高度浄水施設導入、河川浄化施設導入など)の事業費算定機能を追加し、費用対効果に基づいた長期計画を支援していく考えである。

4 おわりに

ここでは、水道事業体の長期計画を支援する水源水質動向予測システムについて述べた。

水系の長期予測では、流域から河川へ流入する汚濁負荷量を正確に算定することが基本であり、流域情報データベースの質と量に負うところが大きい。広範な流域を対象とする場合、実務上、膨大な情報を取り扱う必要があることから、このシステムのようなGISによるデータベース構築の効果は大きい。

水道事業を取り巻く環境が多様化する中で、長期計画の策定には、将来動向を高い確度で予測することが求められる。今後も、さらに広範囲の水道情報を集約していきけるように、水系計画支援のための新たなシステムの開発に努めていく考えである。

参考文献

- 1) 国土庁編：日本の水資源(平成9年度版)、大蔵省印刷局(1997)
- 2) 國松，外：河川汚濁のモデル解析、技報堂(1989)
- 3) Matsuda, et al.: Development of a Computer Mapping System for Long-term Predictions of Pollutant Load Discharged into Rivers, Proceedings of IWAQ Workshop on ICA(1997)

執筆者紹介



圓佛伊智朗

1988年日立製作所入社、電力・電機グループ 電力・電機開発研究所 都市環境システム研究センター 所属
現在、上下水、水圏監視制御技術の研究に従事
電気学会会員、日本水環境学会会員
E-mail: enbutsu@erl.hitachi.co.jp



筒井和雄

1974年日立製作所入社、電力・電機グループ 情報制御システム事業部 社会システム設計部 所属
現在、上下水、河川分野の情報システムの開発・設計に従事
電子情報通信学会会員、環境システム設計制御学会会員
E-mail: kazuo_tsutsui@pis.hitachi.co.jp



中澤昭夫

1963年日立製作所入社、電力・電機グループ 社会システム事業部 公共電機システム部 所属
現在、上水道用電源システム、制御システムのエンジニアリング業務に従事
技術士(電気・電子部門)
E-mail: akio_nakazawa@pis.hitachi.co.jp