土木学会論文集 No. 497／II-28, pp. 111~118, 1994. 8

メッシュ法に基づく河川水質予測コンピュータシステムの開発

奥川光治*・宗宮　功**・津野　洋***

河川および流域の詳細な環境情報を，水質環境管理計画に，有効，迅速に活用可能とすることを目的として，パーソナルコンピュータを核にした水質予測コンピュータシステムを開発した．小矢部川水系にシステムを適用したところ，一部において不一致が見られるものの，妥当なパラメータ値の範囲で，基本的には実測水質を再現することができた．また，システムを有効に活用できる各種機能について示した．

Key Words : *river basin management, water quality simulation, personal computer, grid-based model, the Oyabe river*

1. 緒　　論

(1) 研究目的

近年，生活環境の都市化が進み，身近な緑や水辺が少なくなるなかで，生活水準の向上，価値観の多様化により精神的な安らぎや潤いを与える環境との触れ合いが重視されるようになってきている．そういう視座から行政レベルでは，快適な水質環境を創造するため，河川における水質環境管理計画が策定されている．しかし，現状の河川水質環境管理計画では，河川ごと，あるいは，大河川の場合には管理計画ブロック(いくつかの単位流域)ごとに，大雑把な将来水質予測が行われているにすぎず，行政機関等で蓄積されつつある河川流域に関する詳細な情報が十分活かされているとはいえない．本研究の目的は，河川および流域における流量，水質，発生負荷量等の詳細な情報を，河川水質環境管理計画に，有効に，かつ，迅速に利用できるようにするため，パーソナルコンピュータを核にした水質予測コンピュータシステムを開発することである．なお，本研究での対象水質は河川水質環境管理計画で重要な指標の1つとなっているBODとした．

(2) 本研究の特徴と従来の研究

a) メッシュ法に基づく河川水質予測モデル

本研究の特徴の第1は，本システムの中心となる河川水質予測モデルが河川流域における詳細な情報を取り扱うことが可能なようにメッシュ法に基づいている点にある．メッシュ法に基づいて河川における水質汚濁の解析，予測を行った例としては，まず，末石ら[1]の研究がある．末石らは京都市内河川の汚濁分析にメッシュ法を適用し，流出率に関して検討を加えている．その結果，メッシュ別流出率の定量化が不可欠とするとともに，メッシュ別データの不足，河川の水量，水質データの精度の低さを指摘している．ここで指摘された問題点は松本ら[2]の阿武隈川を対象にした研究でも指摘されている．しかし，和田ら[3]は，小流域に対してではあるが，できるだけ平均化を避けてデータの収集を行い，河川の水質予測にメッシュ法を適用している．そこでは，流達率，浄化残率の代わりにメッシュ間の移動率を導入し，末石らの指摘したメッシュ別流出率の定量化を行っている．一方，メッシュ法は水文学の分野において流出解析の1手法として用いられており，Beasley ら[4]，Couillard ら[5]はその手法を土壌侵食によるSSの発生，輸送の問題に拡大，適用している．本研究は，近年行政機関等で蓄積されつつある河川流域に関する詳細な情報から，まだ不十分な面はあるがメッシュ別データを準備し，メッシュ法に基づく水質予測モデルを大規模な河川に適用したものである．メッシュ別流出率の定量化は大河川でも計算が煩雑にならないように流出距離と流下時間の関数として取り扱っている．

b) パーソナルコンピュータによる水質予測システム

本研究の特徴の第2は，システムがパーソナルコンピュータを核に構築されており，どこでも，容易に，対話的に河川水質を予測できる点にある．コンピュータを利用して対話的に水質予測を行うシステムに関する研究例としては以下のようなものがある．すなわち，流入負荷量の変化に対応する湖沼水質の予測を簡易なモデルにより行った市川ら[6]の研究，支援システムを組み込み，流域からの排出負荷量の算定を容易にし，河川・湖沼の水質予測を行ったOkada ら[7]の研究，CAD (コンピュータ支援設計) ソフトウェアを利用してグラフィック出力を重視したChen[8]の河川水質予測システムの研究，湖沼・貯水池の水質予測と人工知能による政策決定支援シ

* 正会員　工修　富山県立大学短期大学部助教授　環境工学科 (〒939-03　富山県射水郡小杉町黒河)
** 正会員　工博　京都大学教授　工学部衛生工学科
*** 正会員　工博　京都大学助教授　工学部衛生工学科

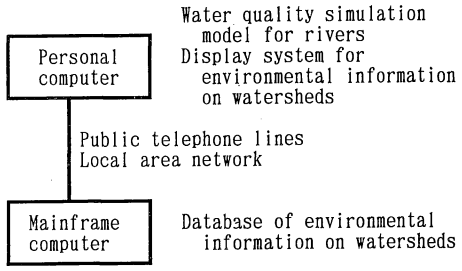

Fig.1 Composition of the Water Quality Simulation Computer System for Rivers.

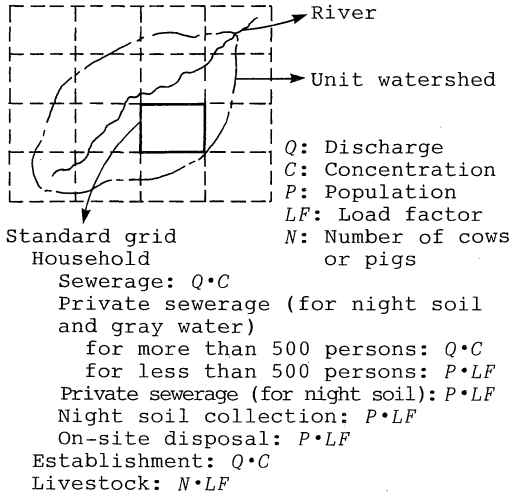

Fig.2 Concept of the model for generation of pollutant loads.

ステムを組み合わせたRecknagelら[9]の研究などがある．以上は，BASICあるいはMS-DOSをOS（オペレーティングシステム）とするパーソナルコンピュータを用いた研究であるが，さらには，ワークステーション（UNIX系マシン）を用いて，流域情報管理システム，流域モデルおよび水環境計画の策定マニュアルからなる流域管理支援システムの構築を目的としている福島ら[10]の研究もある．本研究ではパーソナルコンピュータ（MS-DOSマシン）上のQuickBASIC言語を中心にシステムが開発されており，どこでも，容易にシステムを構築することができ，システムの変更も簡単である．また，流域環境情報の表示や水質予測などを対話的に，ビジュアルな表示で行うことが可能である．

2. 河川水質予測コンピュータシステムの概要

（1） システムの構成

一般に利用が容易なように，本システムはNEC 9800シリーズのパーソナルコンピュータを中心にして構成される（**Fig.1**）．パーソナルコンピュータ上では，Quick BASICで記述された河川水質予測モデルならびに流域環境情報表示システムが作動する．河川水質予測モデル，流域環境情報表示システムで使用するデータファイルは，おもに，富山県立大学計算機センターの大型汎用コンピュータFACOM M 760上に構築された流域環境情報データベースを検索，加工，転送したものである．大型汎用コンピュータは学内LAN，あるいは，公衆電話回線によりパーソナルコンピュータからオンライン利用が可能となっている．

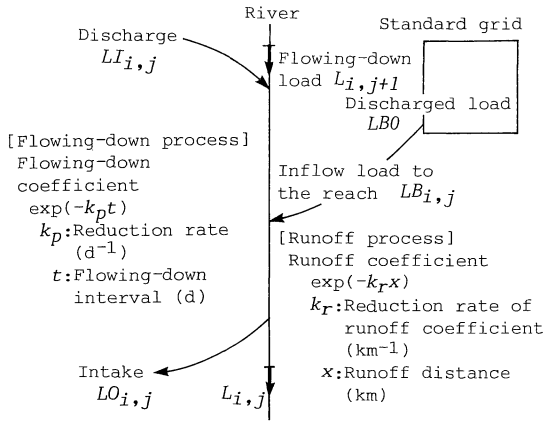

Fig.3 Concept of the model for runoff and flowing-down processes. (Unit river i, Reach j)

（2） 国土数値情報

本システムでは，汚濁物質の流出メカニズムのモデル化にあたり，国土数値情報の河川および流域に関する概念を参考にした[11]．国土数値情報では原則として1：25,000地形図に図示されている河川に関する情報が数値化されている．河川は上流端から合流点まで，合流点から合流点まで，合流点から下流端までを1つずつの単位流路とされ，それぞれの流域が単位流域と呼ばれている．一方，1：25,000地形図を縦横10等分して得られるメッシュは3次メッシュと呼ばれており，国土数値情報の基準のメッシュとなっている．なお，3次メッシュはおよそ1 km四方である．

（3） 河川水質予測モデル

本システムの核となる河川水質予測モデルでは，汚濁物質の流出メカニズムとして，3次メッシュで発生した汚濁物質が溝，水路を経て河川に出るまでの面的な流出過程と河川に出てから下流点までの線的な流下過程とに分けて考え[12]，サブモデルとして，汚濁負荷発生モデル，流出・流下過程モデルを構築した．さらに，流量を算定するための流量収支モデルを構築した．

汚濁負荷発生モデル（**Fig.2**）では，3次メッシュからの生活系，事業所系，畜産系の汚濁負荷排出量が原単位法等により算出される．

流出・流下過程モデル（**Fig.3**）では，河川が原則として1 kmの区間に細分される．そして，各メッシュから排出された汚濁物質の河川への流出率は次式で表わされる．

$$k_l = \exp(-k_r x) \quad \cdots\cdots (1)$$

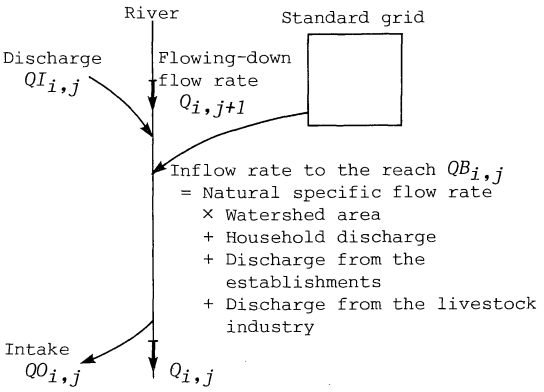

Fig.4 Concept of the water balance model. (Unit river i, Reach j)

ここで，k_l は流出率，k_r は流出率減少係数（km^{-1}），x は流出距離（km）である．なお，流出距離は，上述のように面的な流出過程を考えているので実際の値が不明であるとともにメッシュがおよそ1km四方という有限の要素であることから，メッシュの中心点から流出先の河川区間までの直線距離とした．次に，流下過程での分解・沈殿等浄化作用は次式で考慮される．

$$k_2=\exp(-k_p t) \quad \cdots\cdots(2)$$

ここで，k_2 は流下率，k_p は減少速度定数（d^{-1}），t は流下時間（d）であり，流下時間は流下距離と流速から求められる．流出率と流下率の関数形が異なるのは，流下率については既存の研究が多くあり，減少速度定数を利用できるのに対し，流出率では利用できないからである．

以上を考慮して，河川の任意の区間における流下負荷量は次式で算定される．

$$L_{i,j}=L_{i,j+1}\exp(-k_p t)+LB_{i,j}+LI_{i,j}-LO_{i,j} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$LB_{i,j}=\sum_k LBO_k \exp(-k_r x_k) \quad \cdots\cdots(4)$$

$$LBO_k=LH_k+LE_k+LL_k \quad \cdots\cdots(5)$$

ここで，添字 i, j, k はそれぞれ単位流路の番号，河川区間の番号，3次メッシュの番号，L は河川の任意の区間における流下負荷量，LB，LI は河川の任意の区間への流域からの流出負荷量，直接的な排水による負荷量，LO は河川の任意の区間からの取水にともなう負荷量，LBO は3次メッシュにおける排出負荷量，LH，LE，LL は生活系の負荷量，事業所系の負荷量，畜産系の負荷量であり，$\sum$ は当該河川区間に流出する3次メッシュすべてについて総和をとることを意味する．

一方，流量収支モデル（**Fig.4**）では，各区間の低水流量が，実測の自然比流量と各区間の流域面積，さらには，生活用水，工業用水，農業用水，発電用水および浄化用水等の河川からの取水量と河川への排水量が考慮され，次式で算定される．

$$Q_{i,j}=Q_{i,j+1}+QB_{i,j}+QI_{i,j}-QO_{i,j} \quad \cdots\cdots(6)$$

$$QB_{i,j}=\sum_k (QS_i \cdot A_k+QH_k+QE_k+QL_k) \quad \cdots\cdots(7)$$

ここで，Q は河川の任意の区間における流下流量，QB，QI は河川の任意の区間への流域からの流出流量，直接的な排水量，QO は河川の任意の区間からの取水量，QS，QH，QE，QL は低水比流量，生活系の排水量，事業所系の排水量，畜産系の排水量，A は3次メッシュの面積である．

このようにして求められた各区間での流下負荷量と低水流量とからBOD濃度が求められる．ここで求めたBOD濃度は低水流量に対応しているので，75%水質値に対応しているということができる．求めた濃度が0.5 mg·L^{-1}未満の場合は自然性負荷を考慮して0.5 mg·L^{-1}とした[13]．しかし，低濃度における精度の高い水質予測をも目的とするならば，農業系をはじめとする面源負荷についてモデル化が必要であり，今後の課題である．

（4） システムの特色

本システムの特色は，（1）パーソナルコンピュータを中心にシステムが開発されるため，どこでも容易に，対話的に利用可能である．（2）水質予測結果や河川流域の環境情報等はカラーディスプレー上で画像出力として表示されるため，見てわかりやすいものとなる．（3）3次メッシュの排出負荷量に対応させて河川水質が予測可能である．よって，詳細な河川水質環境管理計画の策定に有効である．（4）河川からの取水，河川への排水を考慮したモデルであるため，浄化用水の効果予測等にも利用可能である．

3. 小矢部川への適用

本論文では，ケーススタディとして開発した富山県の小矢部川を対象にしたシステムについて紹介する．小矢部川は河川長69.9 km，流域面積677 km^2であり，1440の3次メッシュ（1つの3次メッシュに複数の単位流域が含まれている場合はそれぞれ1つのメッシュとして数えた），97の単位流域，500の河川区間に分割してシステムを適用した．河川区間として扱ったのは**Fig.5**に示した流路である．対象年度は1989年（モデル同定用），1995，2000年（予測年度）とした．

（1） 流域環境情報データベースの構築

流域環境情報データベースは，さらに，（1）基本データベース，（2）生活系発生源基数データベース，（3）事業所系発生源基数データベース，（4）畜産系発生源基数データベースに分けて構築した．

基本データベースは3次メッシュ内の個々の単位流域に関するデータベースであり，構成項目は3次メッシュコード，単位流域コード，流域面積，流出先の区間コード，流出距離である．

生活系発生源基数データベースは処理形態別の人口に関するデータベースであり，構成項目は3次メッシュコード，単位流域コード，総人口，下水道利用人口，501人槽以上合併浄化槽利用人口，500人槽以下合併浄化槽利用人口，単独浄化槽利用人口，し尿汲み取り人口，自家処理人口である．総人口については，各市町村の町丁大字別の人口を3次メッシュ，単位流域ごとに配分した．下水道利用人口，501人槽以上合併浄化槽利用人口（住宅団地処理場，農村下水道）は，町丁大字ごとの整備計画より算定した．その他の処理形態別人口は管理計画ブロック内の市町村ごとの処理形態別人口比率で細分した．

事業所系発生源基数データベースは各事業所から排出される汚濁負荷量に関するデータベースであり，構成項目は事業所名，3次メッシュコード，単位流域コード，各年度の排水量と水質である．日平均排水量が50 $m^3 \cdot d^{-1}$ 以上の事業所については排水量，水質とも届出値であり，50 $m^3 \cdot d^{-1}$ 未満の事業所については排水量は届出値，水質は流域下水道計画で用いられている業種別原単位の値[13]である．なお，このデータベースには，下水処理場，501人槽以上合併浄化槽，し尿処理場，と畜場のデータも含めた．

畜産系発生源基数データベースは各事業者が飼育している家畜数に関するデータベースであり，構成項目は事業者名，3次メッシュコード，単位流域コード，牛頭数，豚頭数である．

生活系および畜産系の汚濁負荷原単位は流域下水道計画で用いられている値[13]を使用した．

（2） 流量収支モデルでの配慮

原則として，各区間の流下流量は，上流からの流下流量，当該区間の流域からの流入流量（自然流量と生活系，事業所系，畜産系排水量），導水による排水量および取水量を考慮して算出した．ここで，自然流量は実測の自然比流量に流域面積を乗じて求めたが，実測自然比流量は実測河川流量と取水量，排水量を考慮して算出した．しかし，農業用水は精確なデータが得られないので除外して算出したため，他水系から農業用水を導水しているところでは自然比流量が大きな値となった．小矢部川本川の右岸から流入する支川の多くは，庄川から導水した農業用水が支川上流部に接続されているため自然比流量が大きくなり，上記の原則で流下流量を算出すると支川末端部では実測流量に近い値が得られたが，支川上流部では流量が小さな値となり濃度が高くなった．そこで，他水系から農業用水を導水している支川では，農業用水を導水していない流域での値を参考にして自然比流量が0.05 $m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ 以上の場合，超過分を農業用水として支川上流端に流入させることとした．

（3） 河川水質予測モデルの同定と現況水質解析

本システムでは河川を1 kmごとに分割した各区間に対して水質が予測できる．したがって，水系全体にわたって予測が妥当かどうかできるだけ多くの地点の実測データを用いて評価する必要がある．ここでは下記の36地点の実測データを用いてモデルの同定を行い，定数値を決定するとともに，現況水質のシミュレーション結果について解析を加えた．（1）富山県と高岡市による調査[14),15)]．15地点，1989年12回の測定値の75％値．（2）富山県による調査[14)]．5地点，1989年4回の測定値の平均値．（3）著者らによる追加調査，16地点，1992年4回の測定値の平均値．**Fig.5** に調査地点を示す．なお，著者らによる調査データは1992年時点のものであるが，ここ数年の水質変化が大きくないこと，1989年と1992年の降水量がほぼ等しいこと，一部を除き排出負荷量の増減は大きくないと思われることにより同定用のデータとして使用した．また，いずれのデータも季節を考慮して採られたデータであり，大出水のような異常時は避けて測定されているので，一定程度データの代表性を持っていると思われる．

定数値の決定は，実測値あるいは文献値を参考に定数値を変化させてシミュレーションを実施し，次式の平均自乗誤差が最小値に，あるいは最小値に近くなるように行なった．

$$\sigma = \left(\sum_i E_i^2 / n\right)^{1/2} \quad \cdots\cdots (8)$$

$$E_i = C_{o,i} - C_{c,i} \quad \cdots\cdots (9)$$

ここで，σ は平均自乗誤差（$mg \cdot L^{-1}$），E_i は i 地点の誤差（$mg \cdot L^{-1}$），$C_{o,i}$ は i 地点のBOD実測値（$mg \cdot L^{-1}$），$C_{c,i}$ は i 地点のBOD計算値（$mg \cdot L^{-1}$），n は地点数，i は地点番号である．流出率減少係数 k_r は関根らの値[16]を参考に0.2～0.4 km^{-1} の範囲でシミュレーションを実施し，σ が最小となる $k_r = 0.3$（km^{-1}）とした．減少速度定数 k_b ついては2.0～2.6 d^{-1} の範囲でシミュレーションを実施しところ，$k_b = 2.2$～2.4（d^{-1}）のとき σ が最小となったが，津野[17]がまとめた値0.2～2.0 d^{-1} を参考に $k_b = 2.2$（d^{-1}）とした．流速 v は小矢部川本川での実測値を参考に0.3～0.5 $m \cdot s^{-1}$ の範囲でシミュレーションを実施し，σ が最小となる $v = 0.45$（$m \cdot s^{-1}$）とした．なお，これらの定数値は流出過程，流下過程の種々の条件で変化するものであるが，既存の研究でこの点について十分解明されておらずモデル化できないため，ここでは一定値として扱った．

Fig.6 は上記のとおり決定した定数値を用いたシミュレーションにおける計算値と実測値を比較したものである．誤差の絶対値 $|E_i|$ で評価すると，$|E_i| \leqq 0.5$ なのは25地点，$0.5 < |E_i| \leqq 1.0$ は3地点，$1.0 < |E_i| \leqq 2.0$ は7地点，$2.0 < |E_i|$ は1地点であり，多くの地点で妥当な結果が得られた．誤差が大きい（1 $mg \cdot L^{-1}$ を超える）地点は次のとおりである．（1）河口の感潮部（St.1）．

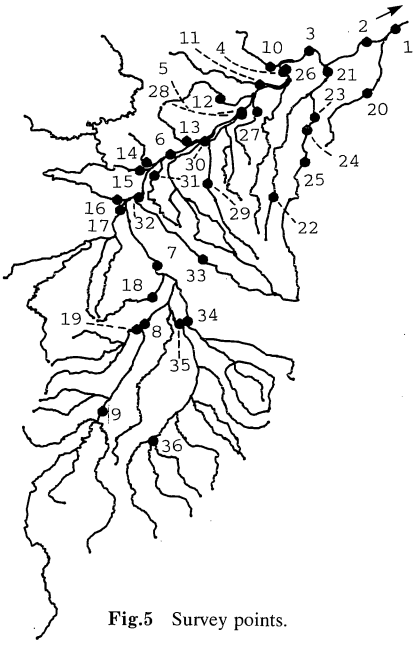

Fig.5 Survey points.

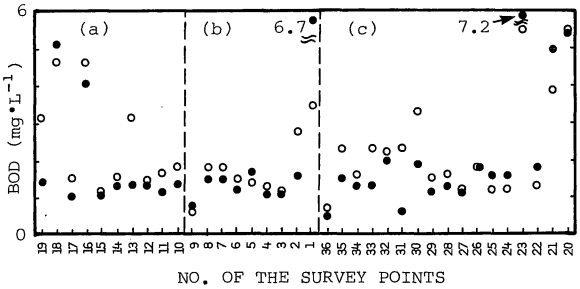

Fig.6 Calculated and observed water quality. (a) The left side tributaries. (b) The Oyabe river. (c) The right side tributaries. ○: Calculated, ●: Observed.

（2）流速が小さく藻類が繁茂し，沈殿，トラップなどの効果が大きいと思われる地点（St. 30, 31）.（3）単位流域の分割が妥当でないと思われる地点（St. 21, 23）. 単位流域の分割は国土数値情報を参考に決定したが，平地部では農業用水が複雑に流れていることや市街地の生活排水の流出先が不明であることなどにより単位流域界の特定が困難な場合が多い.（4）原単位または排出負荷量の推定に問題があると思われる地点（St. 13, 19）.（5）原因不明（St. 2）.

（4） パラメータの感度解析

定数値を標準の値から±2割変化させたときの水質への影響を解析した. 評価に用いた感度の指標は平均変化量，平均変化率，最大変化量，最大変化率であり，次式のとおりである.

$$V_m=\sum_j |C_{s,j}-C_{c,j}|/N \quad \cdots\cdots(10)$$

$$VR_m=\sum_j (|C_{s,j}-C_{c,j}|/C_{s,j})/N \quad \cdots\cdots(11)$$

$$V_{\max}=\max_j |C_{s,j}-C_{c,j}| \quad \cdots\cdots(12)$$

$$VR_{\max}=\max_j (|C_{s,j}-C_{c,j}|/C_{s,j}) \quad \cdots\cdots(13)$$

ここで，V_m は平均変化量，VR_m は平均変化率，$V_{\max}$ は最大変化量，$VR_{\max}$ は最大変化率，$C_{s,j}$ は標準シミュレーション（$k_r=0.3$, $k_p=2.2$, $v=0.45$ のとき）における区間 j の BOD 値，$C_{c,j}$ は定数値を変化させたときの区間 j の BOD 値である. N は感度の計算に用いた区間数で，V_m, VR_m では $C_{s,j}>0.5$ である区間を計算に用いた. これは変化の少ない区間の影響を除くためである. $V_{\max}$, $VR_{\max}$ ではすべての区間に対して計算した. 定義から明らかなように，平均変化量，最大変化量は変化の度合を絶対量で示したものであり，平均変化率，最大変化率はそれを相対値（標準シミュレーションの濃度に対して何％変化したか）で示したものである.

Table 1 に小矢部川水系全体に対する解析結果を，**Table 2** に小矢部川本川のみに対する解析結果を示す. また，Table には示さなかったが単位流路ごとにも感度を計算した. **Table 1** から水系全体で計算した平均変化量，平均変化率，最大変化量では k_r の影響が k_p, v よりも大きいことがわかる. これは，k_r では排出負荷量が少ない山間部を除きいずれの支川でも一定の影響が見られ，とくに排出負荷量が多くて流出距離の大きいところでは影響が大きいためである. 一方，最大変化率では逆に k_p, v の影響が k_r よりも大きいことがわかる. これは **Table 2** に示されているように本川での結果の反映である. すなわち，k_p, v では流下距離の大きい本川や一部の支川で影響が大きいが，とくに，本川の場合流量が多いため濃度レベルが低く，最大変化率では他の支川に比べ大きな影響が現われることになる. 環境管理計画の策定上とくに重要な本川で，相対的な変化の度合を示す最大変化率に対し k_p, v の影響が大きいことは留意すべきである.

4. 河川水質予測コンピュータシステムの機能

Table 3 に本システムの機能一覧を示す. これらの機能を利用することにより，河川水質環境管理計画の策定において本システムを有効に活用することができる. また，本システムでは大型汎用コンピュータのデータベース管理システム STRACT を利用しているほかは，パーソナルコンピュータの QuickBASIC 言語を使用して各機能を実現している. したがって，機能の拡張，変更は容易である. 各機能については以下で述べる.

（1） 流域環境情報データベースの処理

本システムで使用する流域環境情報は大型汎用コンピュータ上のデータベースとして構築されているので，大型汎用コンピュータの既存のデータベース管理システムによりデータの検索，集計，加工，更新等基本的な処

Table 1 Sensitivity analysis for the Oyabe river system.

Case No.	1	2	3	4	5	6
Constant value changed	k_r=0.24 (km^{-1})	k_r=0.36 (km^{-1})	k_p=1.76 (d^{-1})	k_p=2.64 (d^{-1})	v=0.36 ($m \cdot s^{-1}$)	v=0.54 ($m \cdot s^{-1}$)
Mean variation ($mg \cdot L^{-1}$)	0.0556	0.0518	0.0447	0.0404	0.0499	0.0369
Mean relative variation (%)	2.50	2.32	2.25	2.01	2.48	1.86
Maximum variation ($mg \cdot L^{-1}$)	0.6191	0.5517	0.2331	0.2132	0.2648	0.1924
Maximum relative variation (%)	9.58	8.02	12.64	9.99	12.17	10.31

Table 2 Sensitivity analysis for the main river of the Oyabe river system.

Case No.	7	8	9	10	11	12
Constant value changed	k_r=0.24 (km^{-1})	k_r=0.36 (km^{-1})	k_p=1.76 (d^{-1})	k_p=2.64 (d^{-1})	v=0.36 ($m \cdot s^{-1}$)	v=0.54 ($m \cdot s^{-1}$)
Mean variation ($mg \cdot L^{-1}$)	0.0387	0.0360	0.1002	0.0832	0.1018	0.0821
Mean relative variation (%)	2.30	2.13	6.27	5.19	6.35	5.14
Maximum variation ($mg \cdot L^{-1}$)	0.1174	0.1106	0.2301	0.1911	0.2340	0.1885
Maximum relative variation (%)	3.87	3.64	12.64	9.99	12.17	10.31

Table 3 Functions of the Water Quality Simulation Computer System for Rivers.

Processing of database of environmental information on watersheds	Search, processing, modification, etc. of data Data transport Graphic display of grid-based data
Calculation and display of flow rate	Calculation of flow rate Graphic display of flow rate in river systems Graphic display of longitudinal flow rate
Calculation and display of water quality	Calculation of water quality Graphic display of water quality in river systems Graphic display of specification of environmental criteria Graphic display of longitudinal water quality Recalculation of water quality Water quality prediction Calculation of prediction accuracy Sensitivity analysis Output to printer or data file

理が可能である．河川水質予測モデル，流域環境情報表示システムで使用するおもなデータファイルはこのようにして処理されたデータをパーソナルコンピュータに転送したものである．流域環境情報表示システムでは3次メッシュごとの総人口，処理形態別人口，事業所からの排水量・排出負荷量，牛および豚の飼育頭数など基本的なデータをディスプレー上に画像情報として表示させることができる．1例を **Fig.7** に示す．

（2） 流量の計算，表示

流量収支モデルに基づき低水流量が計算される．計算された流量は水系全体での流量分布図，本川あるいは支川ごとの縦断変化図としてディスプレー，XY プロッタに出力可能である．水系の流量分布図では各区間の流量が大小に応じて太さを変えて表示される．

（3） 水質の計算，表示

本システムの中心を担う機能である．計算された水質は水系全体での水質分布図（**Fig.8**），本川あるいは支川ごとの縦断変化図（**Fig.9**）としてディスプレー，XY プロッタに出力可能である．**Fig.8** で示すとおり，水系の水質分布図では各区間の水質が6段階に色別に分けて表示される．参考のため環境基準類型指定図が同様の様式で表示可能である．また，対話的にパラメータ値を変更して水質の再計算を行う機能，予測精度の計算機能，感度解析機能，水質計算値のプリンタならびにファイル出力機能，将来水質予測機能などがある．将来水質予測機能については次節で詳しく述べる．

（4） 将来水質予測

対話的に排水量，排水水質データを追加して予測計算をする方法とまえもって予測年度における流域環境情報のデータファイルを作成してから予測計算をする方法の2種類の機能がある．前者は事業所系の排水に限定され，1事業所あるいは数事業所からの排出負荷の影響を予測評価するときに有効である．後者は流域の排出負荷構造が大幅に変化するときに対応している．

後者について小矢部川への適用例を紹介する．小矢部川では1995年，2000年のデータファイルが流域環境情報データベースから作成されている．各年度における排出負荷構造は富山県の資料を参考に以下のように考えた．（1）総人口は1989年に等しいものとし，流域下水道と農村下水道の整備，その他の処理形態別の人口比率

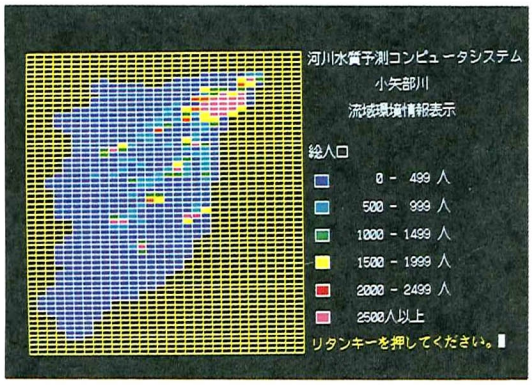

Fig.7 Display of grid-based data.

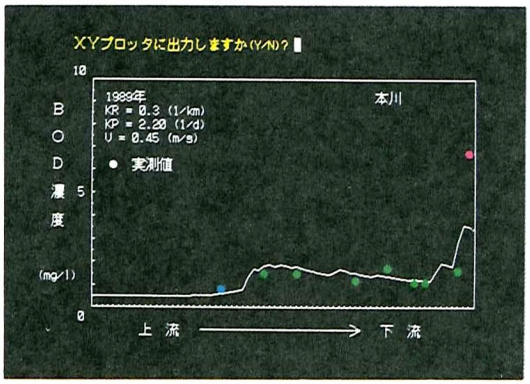

Fig.9 Longitudinal variation of water quality.

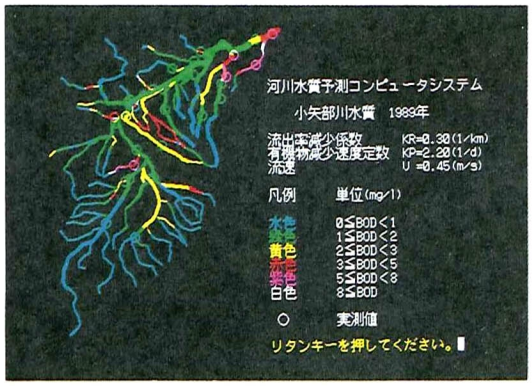

Fig.8 Water quality in each reach of the Oyabe river system.

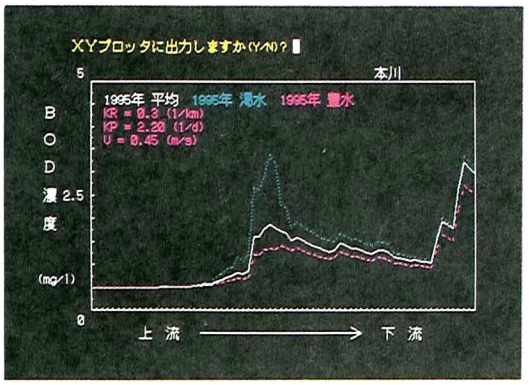

Fig.10 Water quality prediction in 1995.

の変化が進む．（2）事業所系負荷量は各事業所から届出された排水量，水質等の計画値により算出した．（3）畜産系負荷量は1989年と等しくした．**Table 4** にこのようにして算出した排出負荷量を示す．生活系排出負荷量は下水道，農村下水道の整備により着実に減少している．事業所系排出負荷量は1995年には減少するが，2000年には増加している．しかし，単位流域ごとに細かく見ると着実に増加していく地域もある．一方，低水流量については1975年～1984年の平均値，最小値（1977年，渇水年と表記），最大値（1980年，豊水年と表記）を使用した．**Fig.10** に予測結果の1例を示す．渇水年において中流部での濃度上昇が特徴的である．これは中流部付近での事業所系排出負荷量が増加するとともに農業用水の取水による河川流量の減少が原因であり，水質環境管理計画の策定においては負荷量だけではなく流量の取り扱いの重要性が指摘できる．

5. 結　　論

河川および流域における詳細な環境情報を，河川水質環境管理計画に，有効，迅速に活用可能とすることを目的として，パーソナルコンピュータを核にした水質予測コンピュータシステムを開発した．本システムではパーソナルコンピュータと大型汎用コンピュータがオンラインで結ばれている．大型汎用コンピュータ上には流域環境情報データベースが構築されており，パーソナルコンピュータ上では流域環境情報表示システムと河川水質予測モデルが作動する．本システムの特徴は，システムの中心となる河川水質予測モデルが河川流域における詳細な情報を取り扱うことが可能なようにメッシュ法に基づいている点およびシステムがパーソナルコンピュータを核に構築されており，どこでも，容易に，対話的に河川水質を予測できる点にある．小矢部川にシステムを適用し，36地点の実測水質データを用いて河川水質予測モデルを同定したところ，多くの地点で妥当な結果が得られた．また，本論文では流域環境情報の処理機能，流量と水質の計算・表示に関する各種機能などシステムの機能について示した．これらの機能を利用することにより，河川水質環境管理計画の策定において本システムを有効に活用することができる．

今後の課題は以下のとおりである．（1）詳細なメッシュ別データの収集――現段階でも可能な限り詳細なデータを収集したが，まだ不十分なデータもある．行政レベルで本システムを本格的に運用することになれば，都道府県と市町村その他との連携により，より詳細な

Table 4 Discharged load. ($\times 10^3 kg \cdot d^{-1}$)

Year	1989	1995	2000
Household	10.1	8.01	7.56
Establishment	16.5	14.7	15.6
Livestock industry	0.788	0.788	0.788
Total	27.4	23.5	23.9

データの収集が可能と考えられる．（2）モデルの定数値の空間分布の導入．（3）他の河川水系への適用．（4）窒素，リンなど他の水質指標への適用．（5）75％水質値の予測ではなく，降雨時を含めた水質の時間変化の予測が可能なモデルへの発展．（6）予測水質と75％水質値の対応の検討．

なお，資料収集においては富山県企画県民部公害対策課の羽岡昭氏，津田伸也氏，橋本淳一氏，同土木部下水道課の屋敷大作氏をはじめ，同土木部河川開発課，同農地林務部農村整備課，建設省富山工事事務所，小矢部川流域市町村などの多くの関係者の方々に便宜をはかっていただいた．また，本研究においては，国土情報整備事業の一環として建設省国土地理院において作成された流域等に関する国土数値情報資料を使用した．さらに，データの入力，実測調査などにおいては富山県立大学のゼミ生ならびにアルバイトの方々の協力を得た．紙面を借りて深甚なる謝意を表したい．

また，本研究の一部は（財）富山第一銀行奨学財団の助成金を得て行われたものであることを付記し，あわせて謝意を表したい．

参考文献

1） 末石富太郎・住友恒・松尾直規：メッシュ法による汚濁分析と水質物質の流出率に関する検討，第9回衛生工学研究討論会講演論文集，pp. 38～47，1973.
2） 松本順一郎・市川新・大沼正郎・大内三久：阿武隈川水系における負荷発生と汚染メカニズムの現象解析，下水道協会誌，Vol. 10，No. 112，pp. 2～13，1973.
3） 和田安彦・三浦浩之：都市化した中小河川の水質に及ぼす下水道等整備効果のモデル解析，土木学会論文集，No. 429／II-15，pp. 97～105，1991.
4） Beasley, D.B., Huggins, L.F. and Monke, E.J. : ANSWERS ; A Model for Watershed Planning, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, pp.938～944, 1980.
5） Couillard, D., Cluis, D. and Morin, G. : An Extension of the Grid-based Hydrological Model CEQUEAU to Suspended Sediment Movement through Drainage Basins, Water Research, Vol.22, No.8, pp.991～999, 1988.
6） 市川新・楠田哲也・山本唯夫：TVゲーム：湖沼水質予測モデル，第14回環境問題シンポジウム講演論文集，pp. 31～39，1986.
7） Okada, M., Chihara, K., Kawashima, H. and Suzuki, M. : Development of a Personal Computer-based System to Support Basin-wide Management of Water Quality in Lakes and Rivers, Water Science and Technology, Vol.24, No.6, pp.125～132, 1991.
8） Chen, S. : Water Pollution Simulation over a River Basin Using a Computer Graphic Model, Water Science and Technology, Vol.24, No.6, pp.101～108, 1991.
9） Recknagel, F., Beuschold, E. and Petersohn, U. : DELAQUA-a Prototype Expert System for Operational Control and Management of Lake Water Quality, Water Science and Technology, Vol.24, No.6, pp.283～290, 1991.
10） 福島武彦・原沢英夫・天野耕二・海老瀬潜一：流域管理とその支援システム（第1報），環境システム研究，Vol. 18，pp. 129～135，1990.
11） 建設省国土地理院地図管理部：国土数値情報の概要，147pp，1983.
12） 浮田正夫・中西弘：河川の汚濁負荷流達率に関する研究，土木学会論文集，第357号／II-3，p. 225～234，1985.
13） 建設省都市局下水道部監修：流域別下水道整備総合計画調査　指針と解説，日本下水道協会，177pp，1983.
14） 富山県企画県民部公害対策課：水質汚濁の現況，平成元年度，1990.
15） 高岡市：公害の現況と対策，平成元年度，1990.
16） 関根雅彦・浮田正夫・山本修司・中西弘：揖保川のポルートグラフシミュレーション，衛生工学研究論文集，第22巻，pp.103～109，1986.
17） 津野洋：河川における自然浄化機能，自然の浄化機構（宗宮功編著），技報堂出版，pp.85～100，1990.

（1993. 7. 15 受付）

DEVELOPMENT OF A WATER QUALITY SIMULATION COMPUTER SYSTEM BASED ON SMALL WATERSHED ELEMENTS

Koji OKUGAWA, Isao SOMIYA and Hiroshi TSUNO

A water quality simulation computer system was developed to utilize detailed environmental information on a watershed effectively and rapidly for planning of river basin management. The system was composed of a personal computer and mainframe computer. A water quality simulation model and display system of environmental information worked on the personal computer. The database on a watershed was constructed on the mainframe computer. The system was applied to the Oyabe river. The water quality observed in 1989 was well simulated with reasonable parameter values, although there were disagreements for some tributaries. The functions, which enabled effective utilization of the system, were also shown.