

雨天時流出を考慮した水環境管理システムとその適用

和田安彦¹・三浦浩之²

¹正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564 大阪府吹田市山手町3-3-35)

²正会員 関西大学助手 工学部土木工学科

近年の河川汚濁の原因として生活雑排水の未処理放流や単独処理浄化槽放流水に起因する負荷の割合が高くなっていることが指摘されている。また、降雨時には都市域を中心としたノンポイント汚染源負荷が多量に発生し、水環境の管理を適切に行うためにはこれらの影響は無視できなくなっている。

そこで我々は、これらノンポイント汚染源負荷の影響を考慮した「流域水環境評価シミュレーションモデル」を構築した。本モデルでは、下水道や浄化槽整備後の河川流下方向の水質結果表示の外、河川の任意点における年間にわたっての水質変化予測など様々な側面から水環境管理が行える特徴を持つ。

Key Words : *non-point pollutants, water quality simulation, domestic wastewater, river basin, personal computer*

1. 緒言

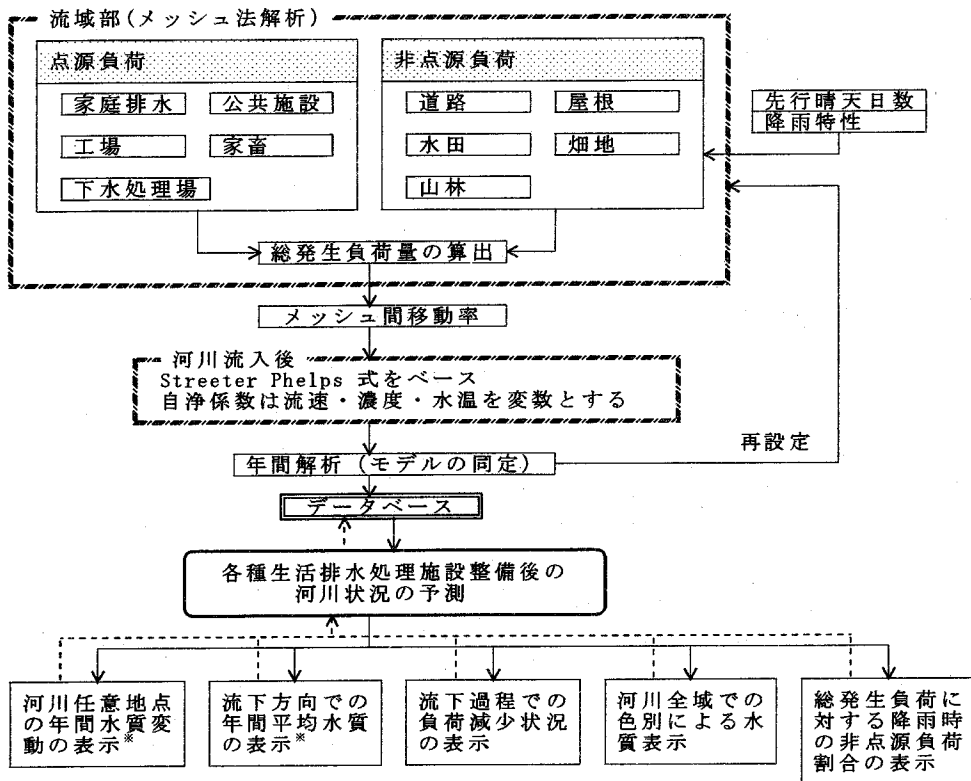
昭和30年代から40年代にかけての高度経済成長期に日本の河川は工場排水、生活雑排水の未処理放流などにより著しく汚染されてきた。その後の法的な規制や条例、上乘せ基準などにより工場排水に対する取り締まりが厳しくなった結果、河川水質はある程度改善されたと言える。しかし、下水道整備の遅延による生活雑排水の河川への未処理放流は現在でも十分に改善されておらず、下水道未整備地域の多くは生活雑排水を未処理のまま河川へ放流しているのが現状である。したがって、近年の水質汚濁原因として河川汚濁中に占める負荷の内、生活雑排水に由来する負荷の割合が高くなっていることが指摘されており¹⁾、河川水質を改善するためには生活排水処理対策のいち早い実施が望まれる。

近年、河川汚濁の原因として生活排水と共に問題となっているのが降雨時に主に都市域などから発生するノンポイント汚染源負荷である^{1), 2)}。都市域では活発な生産活動や人や物質の流動による運輸・交通の高密度・大容量化等により、都市環境に蓄積される汚濁負荷が増大してきている。同時に、都市化によって雨水流出率が高くなり、都市の雨水流出量が増大して、都市環境に蓄積された汚濁負荷が降雨時に掃流されやすくなっている。

都市域では、土地利用面積の20～30%近くが路面である。路面は自動車、人の往来により生じる汚濁物質が堆積しているため屋根や空き地に比較して堆積汚濁物は多く、堆積汚濁負荷のポテンシャルは非常に大きく³⁾、側溝堆積負荷、雨水樹堆積負荷は合流式下水道から流出する負荷の30～45%を占めている⁴⁾。したがって、河川汚濁を改善するためには、これら生活排水対策とノンポイント汚染源負荷対策が重要となっている。

河川汚濁の改善に当たり、改善後の流量や水質などの水環境を予測することは重要であり、河川水質環境管理計画に活かせるような河川水質予測システムが開発されている⁵⁾が、都市域からの雨天時のノンポイント汚染源負荷の流出量を原単位法により表しており、ノンポイント汚染源負荷堆積量の先行晴天日数による違いや降雨量・降雨強度に影響されるその堆積負荷量の流出状況等について十分考慮できていなかった。筆者らはこれまで都市域のノンポイント汚染源負荷については晴天時の堆積負荷モデルと雨天時の流出モデルの両方を用いて定量評価することを試みており^{3), 6)}、筆者らと同様な考え方をもとにした河川の水質管理モデルの研究⁷⁾⁻⁹⁾も行われるようになってきている。

本研究では、より適切な河川水環境管理とそのため流域管理に寄与できる水環境管理システム「流域水環境評価シミュレーションシステム」の開発を目的と



* 流量，負荷量についても表示可能

図-1 流域水環境評価シミュレーションシステムの構成

する。このシステムは、先行晴天日数や前回降雨量によるノンポイント汚染源負荷堆積量の違い、初期堆積負荷量と降雨強度に従う雨天時のノンポイント汚染源負荷の流出挙動等を詳細にモデル化し、年間を通じた河川水質予測を可能とする。また、近年のパーソナルコンピュータへの Windows の普及を考え、システムを Windows 上で操作可能なものとした。

設定する。流域部においては各メッシュ毎に発生水量、負荷量を算出し、流下過程における負荷減少状況は「メッシュ負荷低減率」により表現する。河川部においては自浄係数を変数として表した。

また、解析データをデータベース化することにより、河川水環境を様々な側面から評価できるようにしている。

2. 流域水環境評価シミュレーションシステム

(1) システムの概要

本システムの構成を図-1に示す。本システムは流域の水環境の状態の多面的な評価・把握を目的とする。このため、本システムは発生負荷量の季節的な変動や降雨量の違いによるノンポイント汚染源負荷の流出量の違いを考慮している。

発生負荷の流出過程は流域部と河川部を区分して考える。すなわち、流域部は負荷発生から河川流入まで、河川部は負荷の河川流入後とする。

流域部においては各地域の土地利用状況や下水道整備率などの詳細なデータが扱いやすいようにメッシュ法¹⁰⁾を適用し、河川は各メッシュ間を流れるように

(2) 流水・負荷発生機構

流域の流水・負荷発生源としては以下のものを対象とする。

- ・山地からの自然系ノンポイント汚染源負荷
- ・農耕地からのノンポイント汚染源負荷
- ・道路負荷
- ・屋根負荷
- ・生活系負荷（し尿，雑排水，浄化槽排水）
- ・学校などの公共施設からの負荷
- ・事業所系負荷
- ・家畜による負荷

各汚濁発生源からの発生水量および発生負荷量の算出方法を表-1に示す。これらのうち、雨天時に降雨量により変動するのは、山地，農耕地などのノンポイ

表-1 発生水量・負荷量の算出方法

発生源	発生水量	発生負荷量
山地	タンクモデル + 基底流量	L-Q式
農地	タンクモデル + 基底流量	原単位負荷 + 降雨時流出負荷
屋根 道路	タンクモデル	晴天時負荷堆積モデル 雨天時負荷流出モデル
家庭 学校 工場 家畜	} 原単位法	} 原単位法

ント汚染源負荷と降雨時に流出する道路、屋根負荷である。

a) 山地

山地からの発生水量の算出にはタンクモデルを用い、負荷量の算出にはL-Q式 ($L=a \cdot Q^b$, $L; g/km^2/日$, $Q; m^3/km^2/日$) を用いた。タンクモデルは、通常、直列2段から3段のものが用いられるが、本システムではモデルの複雑化を避けるため1段のタンクモデルを用いた。タンクより浸透した水は基底流量となる。ただし、豪雨時における急激な流出水量を表現するためタンクの流出係数は定数値とはせず、タンクの貯留高によって変更した。また、基底流量は対象地域の過去の流量データから設定する。

b) 農耕地

水田、畑地などの農耕地からの発生負荷量は地域特性や期間(灌漑期、非灌漑期)、季節、施肥量、栽培作物、栽培方法などに大きく左右される。そこで、本システムでは発生水量については山地と同様に1段のタンクモデルを用い、基底流出水量も設定する。発生負荷量については晴天時は原単位法、雨天時は式(1)に示すように、原単位法により算出した負荷量に降雨による流出水量分の負荷を加えることで表現した。これは、原単位算出の元になった調査が晴天時におけるものであるため、原単位値も晴天時のものとなっているためである。

$$L_f = U \cdot (1 + \frac{Q_f}{Q_b}) \quad (1)$$

ここで、 L_f は農耕地からの総発生負荷量、 U は原単位法により算出される発生負荷量、 Q_f はタンクモデルにより算出される流出水量、 Q_b は農耕地からの基底流出水量値である。

ただし、窒素、リンについては施肥期の影響は無視できないと考え、5月~7月の施肥期には式(1)の U の値を非施肥期に比べ高くした。方法は他地域の調査データ¹¹⁾を基に、施肥期と非施肥期の窒素、リンの

流出量を平均し、施肥期は非施肥期の窒素2.6倍、リン1.5倍の流出があるものとした。

c) 屋根・道路

屋根、道路などの都市域からのノンポイント汚染源負荷は、晴天時には堆積量を増し、降雨時に降雨強度や降雨量に比例して流出する¹²⁾。また、晴天時の堆積量の増加は直線的ではなく、対数的な増加状況を示す¹³⁾。

このような特性を表現するため、本システムでは、次に示す汚濁負荷堆積モデルにより晴天時の堆積負荷の増加状況を、雨天時流出モデルにより雨天時の流出状況を表した。

<汚濁負荷堆積モデル>

$$S = S_0 \cdot e^{-kn} + \frac{a(1 - e^{-kn})}{1 - e^{-k}} \quad (2)$$

<雨天時流出モデル>

$$L = Cr(S \cdot A)^{Mr} \cdot R \quad (3)$$

ここで、 S は堆積負荷量(g/m^2)、 S_0 は前回の降雨による残存堆積負荷量(g/m^2)、 a は単位面積当たりの汚濁負荷発生量($g/m^2/day$)、 K は堆積負荷減衰係数、 n は前回の降雨からの経過日数(days)、 L は流出負荷量(g/day)、 A は対象域面積(m^2)、 R は降雨量(mm/day)、 Cr は流出係数、 Mr は運動式の係数である。

d) 生活系・公共施設

生活雑排水、単独処理浄化槽排水、合併処理浄化槽排水を対象とする。文献^{14)~16)}、資料¹¹⁾によりそれぞれの排出原単位を設定し発生負荷量を算出した。

対象地域内に学校などの教育施設や公共施設などがある場合には、それらから発生する負荷は無視できなくなるため、施設利用状況、移動人口、し尿およびそれ以外の排水の処理状況などを調査した上で原単位法により発生負荷量を算出する。

各発生源からの排出原単位の設定値を表-2に示す。

e) 工場・家畜

工場排水については業種別に設定した原単位¹¹⁾に産業出荷額を考慮して発生負荷量を算出する。

家畜については飼育動物種を考慮し原単位法¹⁷⁾により発生負荷量を算出する。

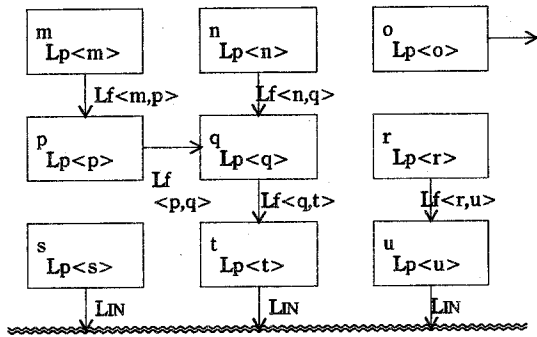
(3) 流域部における負荷流下機構のモデル化

流出過程での沈殿、吸着などによる自浄作用は、一般に負荷の流下過程での減少状況を表現するのに用いられる流達率、浄化残率の代わりに、「メッシュ負荷低減率」を用いて表現した。

「メッシュ負荷低減率」の値はメッシュ内の土地利

表-2 原単位の設定値

	排水量 (m ³ /人/日)	発生負荷量 (g/人/日)		
		BOD	T-N	T-P
生活雑排水	0.20	32.0	2.5	0.70
単独浄化槽	0.02	1.3	2.4	0.33
合併浄化槽	0.22	4.4	4.5	0.53
教育施設	0.05	22.0	1.5	0.20



$Lp<m>$: メッシュ m での発生負荷量
 $Lf<m,n>$: メッシュ m からメッシュ n への流達負荷量

図-2 負荷の流出過程の概念図

用状況により設定を行う。すなわち、メッシュ内で主となる土地利用により「山地メッシュ」、「農耕地メッシュ」、「住宅地メッシュ」の3通りに分け、各メッシュ毎に負荷低減率の設定を行う。

山地においては、通常、流出負荷量が測定されていることから、「山地メッシュ」の負荷低減率は 1.0 とする。

「農耕地メッシュ」、「住宅地メッシュ」では、該当する対象地域内すべてのメッシュの河川までの平均流下回数と流達率との関係から 1 メッシュ当たりの負荷低減率を決定する。

$$Rf = kf^{1/n} \quad (4)$$

ここで、 Rf は該当メッシュでの負荷低減率、 n は河川までの平均流下回数、 kf は発生負荷の流達率である。流達率については地域特性により値が異なるため現地における実測を原則とするが、実測が困難な場合は過去の調査データを参考にする。

また、晴天時に比べ雨天時の汚濁負荷流達率は高くなるため¹⁸⁾、雨天時におけるメッシュ負荷低減率は式(4)において kf を雨天時の流達率に置き換えて算出する。

あるメッシュで発生した負荷が河川に流入するまでの流出過程は図-2のように表せる。すなわち、メッシュ m から発生した負荷量 $Lp<m>$ の内、低減され

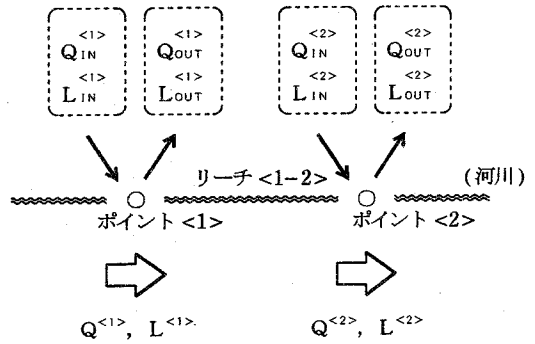


図-3 河川部における概念図

なかった分だけ次のメッシュへ移動する。この時の負荷低減率を $r<m,p>$ とすれば、メッシュ m から p への流達負荷量 $Lf<m,p>$ は以下のように表せる。

$$Lf<m,p> = Lp<m> \cdot r<m,p> \quad (5)$$

次のメッシュ q へは、この $Lf<m,p>$ とメッシュ p での発生負荷量 $Lp<p>$ とをあわせた負荷の内、さらに低減されなかった分だけが移動する。すなわち、メッシュ q へ流達する負荷量は以下ようになる。

$$Lf<p,q> = (Lf<m,p> + Lp<p>) \cdot r<p,q> \quad (6)$$

同様の計算を負荷が河川に流入するまで繰り返して、河川への流入負荷量 LIN を算出する。

(4) 河川部における負荷流下機構のモデル化

河川部では河川における自浄作用を考慮した流下モデルを用いる。すなわち、有機物の分解過程を表す *Streeter Phelps* 型の一次反応速度式を用いて、自然浄化作用による負荷量減少を考慮した。

河川は図-3に示すようにメッシュ解析での 1 メッシュの辺長に対応した長さのリーチ (区間) に細分化する。リーチの区切りはポイントとし、流域からの水量、負荷量の流入は、このポイントにおいて行われるものとする。

そして、以下のようにリーチ内での物質収支とポイント間での物質の移動により流下過程を表現する。

流下水量はポイントでの水量収支により表現する。例えば、ポイント [2] での総流下水量 $Q^{[2]}$ は式(7)で表される。

$$Q^{[2]} = Q^{[1]} + Q_{IN}^{[2]} - Q_{OUT}^{[2]} \quad (7)$$

ここで、 $Q^{[1]}$ 、 $Q^{[2]}$ は各ポイントでの総流下水量、 $Q_{IN}^{[2]}$ はポイント 2 での集水域からの河川流入水量、 $Q_{OUT}^{[2]}$ はポイント 2 での流出水量 (取水、河床への浸透等) である。

流下負荷量はリーチでの負荷量収支と自浄作用による負荷減少から求める。例えばポイント2での総流下負荷量は式(8)で表される。ただし、自浄係数(k)は通常、定数により表されるが、実際には河川状況によりその値は変動しているため、本モデルでは流速・濃度・水温などを変数とする関数式¹⁹⁾を用いる。

$$L^{[2]} = L^{[1]} e^{-k[t_{1-2}][t_{1-2}]} + L_{IN}^{[2]} - L_{OUT}^{[2]} \quad (8)$$

ここで、 $L^{[1]}$ 、 $L^{[2]}$ は各ポイントでの総流下負荷量、 $L_{IN}^{[2]}$ はポイント2での集水域からの河川流入負荷量、 $L_{OUT}^{[2]}$ はポイント2での流出負荷量(河床への浸透も含む)、 $k[t_{1-2}]$ はリーチ1-2での自浄係数(1/day)、 t_{1-2} はリーチ1-2を流下するのに要する時間(days)である。

流速は河川の各ポイントで流量と流速の関係式を実測値あるいは河川断面形状と河床勾配、粗度から求めておくことにより算出する。水温は当該河川の水質測点における実測値を用いる。

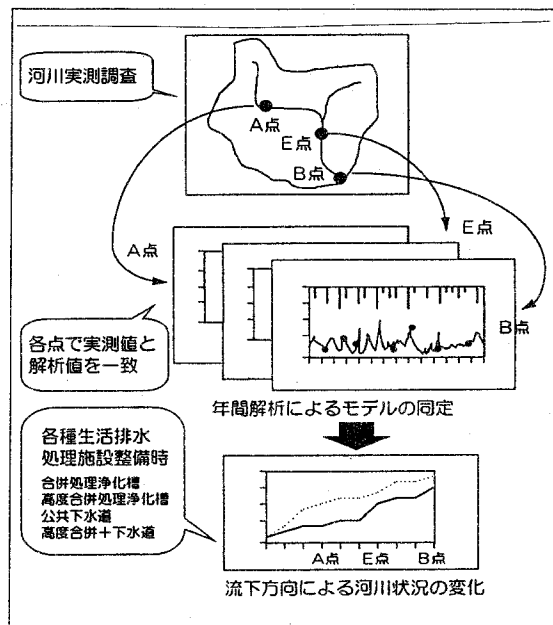


図-4 システムの機能

(5) システムの機能

本システムでは、対象河川の現況や流域における種々の環境保全対策の河川環境への影響をわかりやすく把握できるよう、対象地域のデータを解析した結果のデータベースを活用する次の機能を持っている(図-4)。

a) 任意の流量、水質、負荷量の年間変動の表示

河川の流量、水質、負荷量の年間にわたる変化を表示できる。表示する地点は対話形式で任意に選択できる。

b) 河川流下方向の流量、水質、負荷量変化の表示

河川の流下方向での流量、水質、負荷量変化をある特定日、あるいは月間平均、年間平均として表示可能である。また、複数の解析結果を同時に表示することも可能である。さらに、各リーチにおいて河川水質レベルによって6段階に色別に表示することができ、視覚的に河川水質の状況が分かるようになっている。

c) 汚濁物質の流下過程における変動の表示

流域部における解析はメッシュ法を用いているため、ある発生源(メッシュ)から発生した汚濁物質の流出過程における減少状況を表示可能である。

d) Windows対応による他のアプリケーションソフトとの互換性の確保

システムはVisual Basicで記述してWindows上で動作可能とした。これにより、一般に広く使用されているアプリケーションソフト(ワードプロセッサ、表計算ソフト等)とデータや図の互換性を持っている。また、他のソフトと同時にシステムを運用することも可

能である。

3. モデル地域への適用

(1) モデル地域

a) 地域の概要

モデル地域として図-5に示す近郊住宅地が流域にある檜尾川流域(大阪府高槻市)を選定した。対象地域の概要を表-3に示す。河川上流部は山地であり、中流部から下流部にかけて住宅が密集している。下水道は未整備であり、単独処理浄化槽を設置している家屋が全体の約6割を占め、1割強が合併処理浄化槽を設置している。したがって、全体の9割は生活雑排水を未処理放流している。

河川水質は上流部ではBOD 1 mg/l以下の非常に良好なレベルにあるが、中流部から下流部にかけて生活雑排水及びさほど処理性能の高くない古いタイプの単独処理浄化槽排水等の流入により急激に水質は悪化し、地点によってはBOD 20mg/l程度になっている。

b) 地域のメッシュ分割

図-6に示すように流域部を一辺250mのメッシュに分割し、河川はメッシュ間を通るように設定した。河川リーチ長はメッシュ長に対応させた250mとする。

(2) モデルの同定

モデルの同定は1994年6月から10月にかけて行った6回の現地調査結果及び他地域における関連調査の結果に基づいて行った。

表-3 対象地域の概要

流域面積		1,080 ha
土地利用	山地	78.4 %
	農地	4.2 %
	宅地	10.3 %
	道路	1.6 %
	公共用地	1.1 %
	水系	0.4 %
その他	4.0 %	
人口等	人口	13,333 人
	人口密度	12.3 人/ha
	世帯数	4,368 世帯
排水処理設備等	単独処理浄化槽人口	7,898 人
	合併処理浄化槽人口	1,600 人
	下水道整備人口	0 人
	汲み取り他	3,835 人

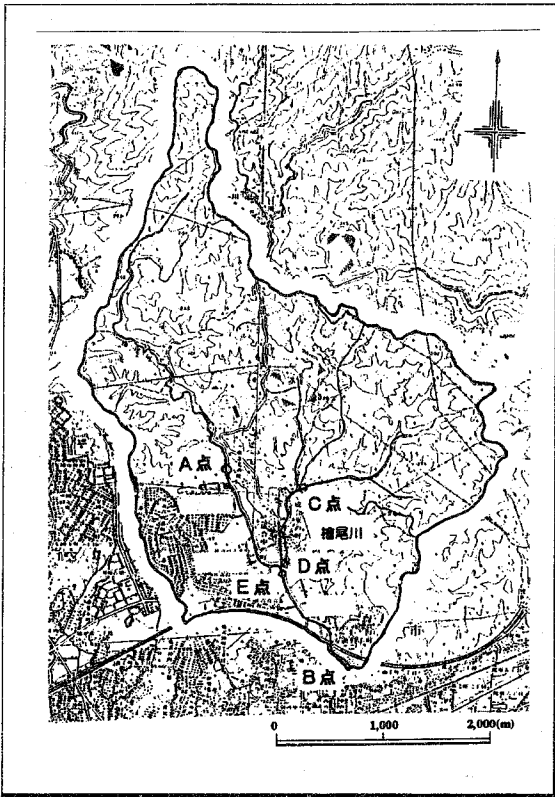


図-5 対象地域と調査地点

a) タンクモデル

山地については、調査地点の中で集水域が山地だけであるA点の調査結果を用いて、タンクモデルによる流出シミュレーションを行って係数値を同定した。得られたタンクモデルによる河川流量シミュレーション結果を図-7に示す。基底流量については6回の実測調査結果における最低流量の60%値を用いる。

農地については、集水域が農地だけである地点がなかったこと、農地面積が少ないことから、山地と同じタンクモデルを用いることとした。

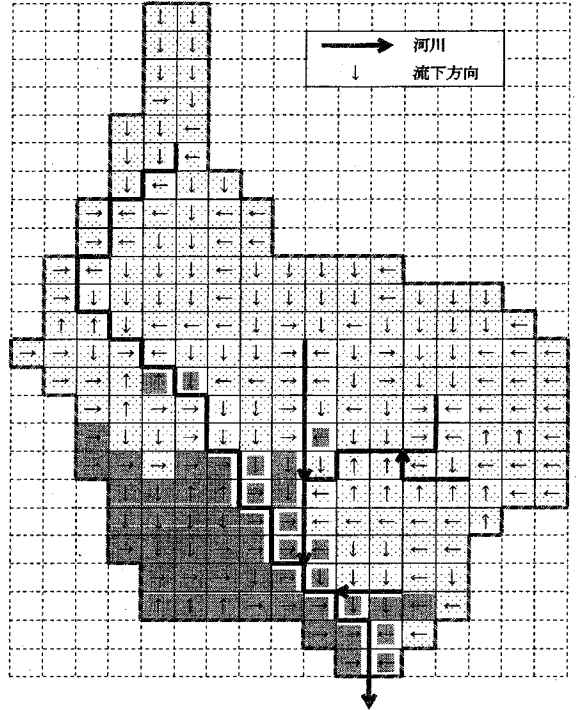


図-6 対象地域のメッシュ分割図

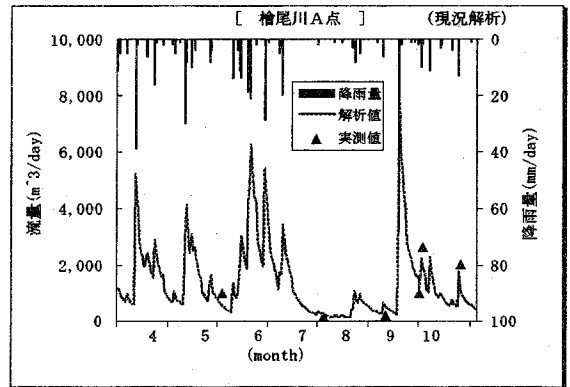


図-7 同定タンクモデルによるシミュレーション

屋根(宅地)・道路については、筆者らが三田川流域の解析で用いたもの¹⁰⁾を適用した。

同定した各タンクモデルの係数値を表-4に示す。

b) L-Q式

タンクモデルと同様にA点の調査結果をもとに、比流量と比負荷量との関係を求め、これよりL-Q式を同定した。L-Q式の係数値を表-5に示す。

c) 発生負荷量原単位

農地の晴天時発生負荷量原単位は、農地からの排水に関する現地調査に基づいて算出した(表-6)。

d) 汚濁負荷堆積モデル, 雨天時流出モデル

表-4 タンクモデルの係数値

	山地	農地	宅地等	道路
Cq	豪雨時	0.025	0.025	
	通常時	0.020	0.020	0.090 0.080
	濁水時	0.015	0.015	
Sq	0.100	0.010	0.000	0.000
H	0.005	0.005	0.005	0.005
豪雨時	タンク貯留残高		40mm 以上	
通常時			20mm 以上	
濁水時			20mm まで	

Cq: 流出率
Sq: 浸透率
H: 流出高

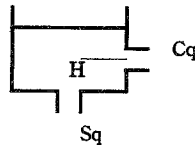


表-5 L-Q式の係数値

	α	β
BOD	0.4312	0.983
T-N	0.1141	1.182
T-P	0.0124	1.011

表-6 農地からの発生負荷原単位

原単位 (g/ha/日)	
BOD	71.0
T-N	86.0
T-P	4.50

表-7 汚濁負荷堆積モデル・雨天時流出モデルの係数値

汚濁負荷発生量 a	0.01 (g/m ² /day)
堆積負荷減衰係数 K	0.1
流出係数 C_r	0.1
運動式の係数 M_r	0.5

都市域における汚濁負荷の堆積状況は地域特性により異なるが、ここでは本ケースでは筆者らが大学周辺の道路において1986年9月から1987年8月までの1年間にわたり月1回の頻度で行った路面堆積物調査結果から同定したモデル³⁾を用いた。表-7にシミュレーションに用いた各係数値を示す。

e) メッシュ負荷低減率

晴天日の住宅地からの汚濁負荷流達率は、現地調査からBOD 0.4, T-N 0.9, T-P 0.8である。これと住宅地から河川までの平均移動メッシュ数(3.72回)からメッシュ負荷低減率を同定した。

雨天日の流達率は晴天日に比べ1.3~2倍程度の値であるという報告¹⁷⁾に基づき、雨天日の流達率を晴天日の1.5倍とし、メッシュ負荷低減率を同定した。同定結果を表-8に示す。

表-8 メッシュ負荷低減率の設定値

	晴天時		雨天時	
	宅地	山地	宅地	山地
BOD	0.72	1.00	0.88	1.00
T-N	0.94	1.00	1.00	1.00
T-P	0.91	1.00	1.00	1.00

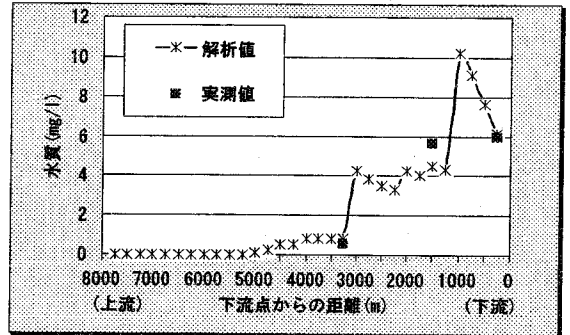


図-8 河川流下方向の水質変化(T-N)

(3) 現況シミュレーション結果

同定したモデルにより現況のノンポイント汚染源負荷を含む汚濁負荷の流出状況のシミュレーションを行った。年間シミュレーションした結果よりある特定日(調査日)を選択して河川流下方向の水質変化を図化した(図-8)。ほぼ実際の各測点の水質を再現できている。実測値との差は下流部における河川水の浸透による流量減少を完全には再現できていないことに起因している。

4. 水環境管理施設導入時の河川水質予測への適用

本システムは下水道未整備地域に水環境管理施設を導入した場合の河川水質を多面的に予測、評価できる。対象地域では生活排水の処理が不十分で河川水質が悪化した状態にあることから、流域全体に以下の各種生活排水処理施設を整備した場合の河川水質改善効果について評価を行った。

- ①全戸に小型合併処理浄化槽を設置した場合
 - ②全戸に高度合併処理浄化槽を設置した場合
 - ③全域に小規模下水道を整備した場合
 - ④人口密度の高い地域には下水道を、低い地域には高度合併処理浄化槽を設置した場合
- 各ケースの排水濃度は表-9に示す値とした。

(1) 様々な側面からの河川水質評価

本モデルによる様々な側面からの河川水質予測結果の表示例を図-9~11に示す。

図-9は本モデルにより算出した対象地域の最下流

表-9 生活排水処理施設の排水濃度設定値^{20)~30)}

	排水濃度 (mg/l)		
	BOD	T-N	T-P
小規模下水道処理場	10	12	1.0
小型合併処理浄化槽	20	21	2.4
高度合併処理浄化槽	10	10	1.0

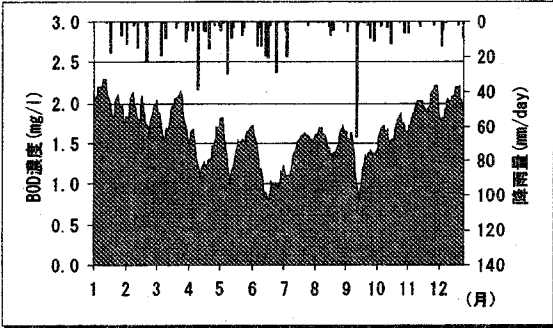


図-9 下水道整備時の河川水質年間変動 (BOD)

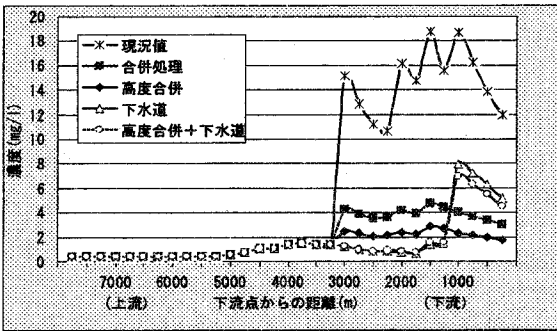


図-10 生活排水処理施設整備時の水質改善効果 (BOD)

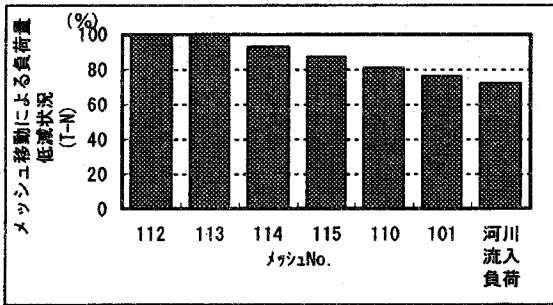


図-11 流下過程での負荷低減状況の表示例

点において小規模下水道を整備した場合のBOD濃度を日単位で年間にわたって予測した結果を表示したものである。季節的な水質の変動、降雨による水質変動を表現できている。

図-10は対象地域において各生活排水処理施設を導入した場合の河川流下方向での年間平均水質を、現況値と比較して表したものである。これにより、各生活排水処理施設を整備した場合の河川水質改善状況を評

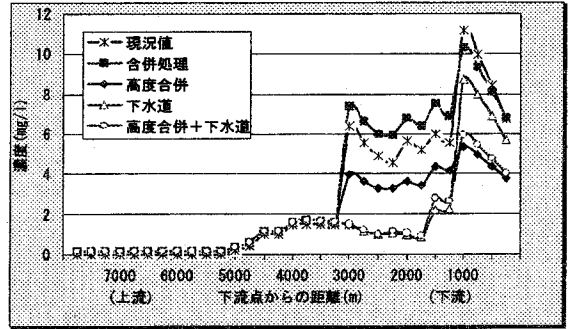


図-12 生活排水処理施設整備時の水質改善効果 (T-N)

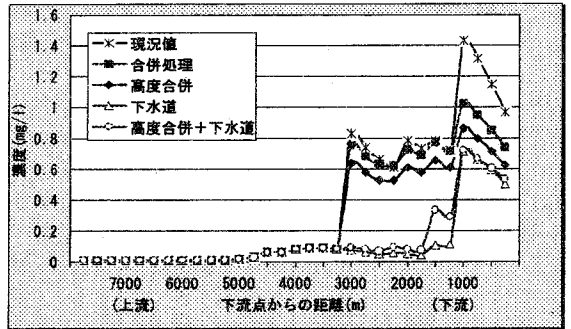


図-13 生活排水処理施設整備時の水質改善効果 (T-P)

価できる。

図-11はメッシュNo. 112において発生した負荷が河川に流入するまでの低減状況を表したものである。メッシュNo. 112は山地メッシュであるため負荷は低減せず、その後の宅地メッシュでは指数的に負荷は減少している。

(2) 各施設整備後の水質評価

各生活排水処理施設を整備した場合の河川流下方向の年間平均水質をT-N, T-Pについて図-12, 13に示す。図-10に示したBODの結果と合わせて、各施設整備時の水質改善効果を評価できる。ここで下水道整備時の処理場の位置は下流より1,000m地点とした。

対象地域では河川流量に対する生活排水量の比率が高く生活雑排水が未処理で流入していること等により急激に水質が悪化しているが、シミュレーション結果より生活排水処理設備を整備すれば大幅な水質改善が期待できることが明らかになった。

BODでは、下水道以外の施設整備を実施すれば、河川全域で河川水質を年間平均で5mg/l以下に改善できている。下水道整備時には処理場放流水が流入するまでは2mg/l以下と清澄な水質にできるが、放流水流入点で8mg/lまで悪化してしまう。

T-N, T-Pでは高度処理を行う施設を導入しな

いと水質改善はあまり期待できない結果となっている。最も水質改善効果が高いのは、人口密度の高い地域には下水道、低い地域には高度合併処理浄化槽をする場合である。

このように、個別処理施設設置時には河川全体の水質改善が行え、集合処理時には処理場放流水が流入するまでは大幅な水質改善が可能である。

ここでは年間の平均水質を示したが、システムにおいては河川流下方向の河川水質の日変化も表示できる。このように、本システムにより各種の生活排水処理施設を整備した場合の河川水質改善効果を河川全域にわたり把握でき、地域に最も適した処理施設の選択に寄与できる。

5. 結言

公共用水域における水質改善のためには、生活系に由来する汚濁負荷を削減すると共に都市域を中心とする雨天時のノンポイント汚染源負荷の削減が重要となっている。

本研究では、この雨天時のノンポイント汚染源負荷を考慮した河川水質予測システムについて検討した。

これまで、雨天時のノンポイント汚染源負荷を考慮し、かつ計算結果を多面的に評価できるシステムは存在しなかった。本研究では以下の点について特に考慮して、河川水環境の評価が行えるシステム作りを目指した。

- ・雨天時ノンポイント汚染源負荷を考慮
- ・河川の自浄量を変数として表現
- ・解析結果をデータベースとしており、河川の水量、水質変化が様々な側面から表示可能
- ・窒素、リンについても解析可能

また、システムはパーソナルコンピュータで運用できるものであり、Windowsにも対応できるため、手軽に解析でき、解析結果の加工も容易である。

本システムを用いることにより、現在、生活排水や都市域のノンポイント汚染源負荷により河川汚濁が進行している地域について、その汚濁発生源がどのように河川水質の悪化に影響しているかについて評価が行える。また、下水道未整備地域に新たに各種生活排水処理施設を整備した場合にどの程度河川水質が改善され、また、どの施設を整備した場合が最も改善効果があるかなどについて評価が行える。

本システムを下水道未整備地域に適用した結果、生活排水処理設備により河川水質の改善効果が異なることを明らかにできた。本システムは現在問題となっている公共用水域の適切な管理を行う上で、重要な役割を担うものである。

謝辞：最後に、本研究の遂行に当たり、種々の面からお世話になった方々に心からの謝辞を申し上げます。また、調査・プログラムの作成・解析に当たっては当時関西大学大学院学生森兼政行君（現中央復建コンサルタンツ）、同工学部学生松村貴司君（現日本理水設計）の協力を得た。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 和田安彦：ノンポイント汚染源のモデル解析，技報堂出版，pp.1-10，1990.
- 2) 和田安彦：ノンポイント負荷の制御，技報堂出版，pp.1-23，1994.
- 3) 和田安彦，三浦浩之，長谷川健司：都市域の堆積汚泥の含有負荷特性とその定量化(1)，下水道協会誌，Vol. 27，No. 309，pp.38-47，1990.
- 4) 和田安彦：都市域からの非特定汚染源負荷の削減，用水と廃水，Vol.32，No. 10，pp.20-26，1990.
- 5) 奥川光治，宗宮功，津野洋：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，土木学会論文集，No. 497/ II -28，pp.111-118，1994.
- 6) 和田安彦：非点源における路面堆積負荷の定量と流出シミュレーションに関する研究，第17回土木学会衛生工学研究討論会，1981.
- 7) 河原長美，平山克也，國松孝男：流域の水質管理モデルに関する研究，土木学会第49回土木学会年次学術講演概要集 II B，pp.1156-1157，1994.
- 8) 河原長美，國松孝男：農耕地河川からの汚濁負荷流出量の予測モデル，汚濁負荷流出の制御からみた流域保全，滋賀県琵琶湖研究所琵琶湖集水域研究班，1994.
- 9) 大西敏之，市木敦之，山田淳：流域特性を考慮した汚濁物流出プロファイルの予測，土木学会第49回土木学会年次学術講演概要集 II B，pp.1154-1155，1994.
- 10) 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.
- 11) 土木研究所資料第2766号，汚濁負荷の原単位に関する調査報告書(1)，建設省土木研究所下水道部水質研究室，1989.
- 12) Newton, C.D., Shephard, W.W. and Coleman, M.S. : Street runoff as a source of load pollution, *WPCF*, Vol.46, May, 1974.
- 13) Sartor, J.D., Boyd, G.B. and Agardy, F.J. : Water pollution aspects of street surface contaminants, *WPCF*, Vol.46, No. 3, 1974.
- 14) 生活系排水処理ガイドブック - 浄化槽・小規模下水道・農業集落排水・生活雑排水 -, 環境技術研究会, 理工新社, 1986.
- 15) 生活雑排水対策推進指導指針 - 実践活動を進めるために -, 環境庁水質保全局, ぎょうせい, 1988.
- 16) 伊藤光一：兵庫県における生活雑排水対策，用水と廃水，Vol.24，No. 4，pp.52-55，1982.
- 17) 日本下水道協会：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説，1990.
- 18) 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，No. 357/ II -3，pp.225-234，1985.
- 19) 大久保卓也，村上昭彦：重回帰分析による水路・河川における晴天時浄化率の予測，用水と廃水，Vol.35，No. 5，pp.16-22，1993.
- 20) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説，

- 1994年版(前編).
- 21) 飯島卓, 桑名美恵子, 坂本賢, 伊沢勝義: 家庭用合併処理浄化槽実態調査結果, 生活と環境, Vol.34, No. 11, pp.30-36, 1989.
- 22) 嶋津暉之, 木村賢史, 三好康彦: 窒素・リン除去機能を持つ戸別合併処理浄化槽の開発, 月刊生活排水, Vol.11, No. 1, pp.8-12, 1991.
- 23) 比沢忠男: 小型合併処理浄化槽実態調査について, 月刊浄化槽, No.196, pp.36-40, 1992.
- 24) 宮本涼一: 嫌気・好気循環ろ床法による有機物, 窒素の高度処理, 公害と対策, Vol.27, No. 9, 1991.
- 25) 伊予亨, 小川雄比古, 田所正晴: 水位変動型の流量調整機能を備えた嫌気好気循環濾床方式小型合併処理浄化槽の処理特性, 環境技術, Vol.21, No. 10, pp.48-50, 1992.
- 26) 吉田博次他: 流量調整式高度小規模合併処理浄化槽の開発, 環境研究, No. 87, pp.41-50, 1992.
- 27) 山本泰弘, 北浜弘幸, 長屋利郎: 生物ろ過プロセスによる高度処理, 用水と廃水, Vol.34, No. 11, pp.18-26, 1992.
- 28) 佐藤八郎, 北井良人, 本田和之: 家庭用合併処理浄化槽の窒素除去能安定化, 第6回全国浄化槽技術研究集会講演要旨集, pp.23-27, 1992.
- 29) 稲盛悠平, 宗吉明, 小林昌俊, 菊地寿一, 中村似正, 須藤隆一: 合併処理浄化槽に出現する大型障害無脊椎動物の異常増殖制御と浄化能の高度化に関する研究, 浄化槽研究, Vol.4, No. 1, pp.11-24, 1992.
- 30) 厚生省委託, 平成3年度水質環境を確保するための生活排水の高度化処理技術の確立に関する研究報告書.

(1994.10.11 受付)

WATER QUALITY CONTROL SYSTEM CONSIDERING STORM RUNOFF AND ITS APPLICATION

Yasuhiko WADA and Hiroyuki MIURA

We must consider an influence of pollutants from non-point sources on water quality of a river for environmental control of a river basin. Especially, in urban area, storm runoff water is much polluted by non-point pollutants. But, until now most simulation models which are developed for environmental control of river basin for predicting water quality of the river have not considered pollutants from non-point source. Therefore, we developed "The Water Quality Control System of River Basin" which has the simulation model considering non-point pollutants flushed out with storm runoff. This system can evaluate the environmental effects of construction of a sewerage system and installation of household wastewater treatment tanks on all houses in the basin. And this system can display longitudinal change and daily change of water quality at any point of the river.