

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

和田安彦*・三浦浩之**

都市化した中小河川の水質悪化防止のために、下水道整備および合併浄化槽設置を行った場合の河川水質改善状況を、発生源別の汚濁負荷の流下過程での変化をシミュレートできるメッシュモデルにより予測・検討した。年間シミュレーションにより、下流部の住宅密集地域を中心に下水道整備することで河川水質を大幅に改善できること、合併浄化槽設置では栄養塩類の水質改善効果が小さいことなどが明らかになった。

Keywords: urban small river, runoff rate of pollutant load, mesh model, sewerage construction household wastewater treatment tank

1. 緒 言

わが国の公共用水域の水質は工場、事業場等からの排水の規制強化等により、長期的には改善されてきたが、近年は横ばいで推移しており、特に湖沼や内海、内湾等の閉鎖性水域や都市内の中小河川では依然として環境基準の達成率は低い。このような公共用水域の汚濁化の要因としては、近年の社会・経済活動等の活発化に伴う、生活系排水の増加による生活系汚濁負荷の増加の比重が高くなっている。このため、公共用水域の水質の一層の改善を行うには、下水道整備等の生活系排水の対策が重要な課題となっている。

特に、大都市近郊の市町村では、近年の都市の拡大により、都市開発が進み、山林・農地の宅地化等の都市化が進行している。これにより、急速に大都市近郊の中小河川の水質の悪化が生じている。

本論文では、このような流域の急速な都市化によって生じる中小河川の水質悪化を防止するため、都市化流域での下水道等の排水処理施設整備による河川水質の改善状況を予測する手法を検討し、河川水質改善状況を計画レベルから検討したものである。

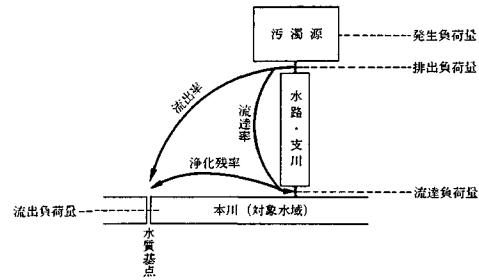
2. 中小河川の流下特性と流域の都市化の影響

(1) 中小河川の流下特性と汚濁流出率

汚濁負荷が発生源から排出されて問題とする水域に流入するまでの過程は汚濁流出率で説明されることが多い。ここで、汚濁流出率は次式で定義される¹⁹⁾。

$$\text{汚濁流出率} = \frac{\text{水質基点において流下する汚濁負荷量}}{\text{当該基点までの流域内の総排出負荷量}}$$

また、汚濁流出率と流達率、浄化残率との関係は図一

図-1 汚濁流出率の定義^{10), 19)}

1に示すとおりである。

著者らは、これまで、下水道未整備地域や自然容量の大きな地域、開発が行われた地域、下水道整備地域等々の地域特性をもつ中小河川流域で、汚濁流出率の研究を行ってきた¹⁾⁻¹⁰⁾。これより、汚濁流出率は河川水質予測や水質管理計画、および河川水系等の公共用水域の水質汚濁防止に最も重要で、かつ基本となることが明らかとなつた。さらに、中小河川の汚濁流出率は次の特性を有していることを明らかにした。

- 1) 汚濁流出率は単位流域面積・単位時間当たりの発生負荷量すなわち比負荷量とほぼ対応し、両者の関係は一次比例式で表わせる。
 - 2) 汚濁流出率は流域の地域特性、汚濁物質の堆積状況に関連する。
 - 3) 発生負荷量の中で生活系の占める割合が高くなるほど、公共用水域への流出負荷量は増大する。
 - 4) 河川流下距離が長くなるほど、汚濁流出率は小さくなる。
- また、汚濁流出率の支配要因には次のものがある。

- ① 単位面積当たりの発生負荷量
- ② 人口密度
- ③ 汚濁発生点と河川との位置関係
- ④ 河川の流下距離

* 工博 関西大学教授 工学部土木工学科
(〒564 吹田市山手町3-3-35)

** 関西大学助手 工学部土木工学科

- ⑤ 流域面積
- ⑥ 流出系の状態
(流出系が自然のままか、人工的か)
- ⑦ 河川流量
- ⑧ 河川の自浄率
- ⑨ 河川のエネルギー勾配（河床勾配、流速）
- ⑩ 土地利用
- ⑪ 河川取水量

一方、大河川の汚濁流出率については、次のような特徴があることを浮田ら¹¹⁾が明らかにしている。

- 1) 大河川では浄化残率は流下距離の指數関数として表わせる。
- 2) 流域面積 300 km²以上の河川での調査結果では、汚濁流出率は次の範囲にある。

COD 0.74～0.88

N 0.65～0.78

P 0.54～0.80

- 3) 大河川では負荷量は流量と直線的な関係にあり、負荷量は流量によってほぼ支配される。

(2) 中小河川での流域の都市化の影響

大都市近郊の市町村ではベッドタウン化等による都市開発が盛んに行われ、山林・農地が次々と宅地化され、居住人口の増加と生活系排水の増加を招いている。その一方で、このような大都市近郊の市町村では下水道整備率はまだ低く、開発に伴って増加した汚濁負荷が直接河川へ流入しており、河川水質の悪化が深刻なものとなっている。

また、急速に都市化された地域では、山林・農地の宅地化によって、雨天時の河川への流出水量が増加、集中化し、河川流量が大幅な増加している。これに対処できるように河川の流下能力を高めるため、河川断面の拡幅や粗度の低下等による改修が行われている。このような河川改修は治水を目的とするものであるため、通常コンクリート三面張りとなり、従来の自然河川の有していた浄化能力が損なわれ、一層河川流下負荷量が増加している。

以上のような要因による都市中小河川の水質悪化を防止するためには、そこで汚濁負荷流下機構を十分に把握したうえで、都市化による影響の把握と公共用水域水質保全のための適切な対策を検討することが必要である。

3. 河川の汚濁負荷流出モデル

(1) 河川の汚濁流出負荷量と自浄作用

河川の任意断面を単位時間に通過する負荷量は、沈殿、生物学的分解などの作用を受けて減少していく。いま、河川の上下流 2 地点間に汚濁負荷量の流入がないと仮定し、上流側断面を通過する負荷量を L_1 、下流側断面を

通過する負荷量を L_2 、地点間を流下する時間を T とする。このとき、 L_2/L_1 が浄化残率、 $\log_e(L_1/L_2)/T$ が自浄係数である¹²⁾。

河川の水質改善のための汚濁負荷削減量や下水道整備量を定量的に求めようとする場合には、汚濁負荷発生・流出プロセスに基づいた必要削減量の算定を行う必要がある。

(2) 水質予測モデル

河川の水質予測では、一般に対象とする河川の現況をシミュレーションすることによって、モデルの諸係数および、モデルの妥当性が検証される。実測データのない場合には、対象河川に一般に当てはまるモデルを用いて、諸係数も類似の河川等の値を用いて水質予測がなされる。

河川での水質・汚濁負荷流出予測モデルには次のものがある¹²⁾。

1) 汚濁負荷流達率を利用したポルートグラフシミュレーションモデル

このモデルは晴天時に流域内に蓄積した特定汚染源、非特定汚染源由來の堆積負荷を降雨時にその流量に応じて掃流させる堆積・掃流モデル、非特定汚染源負荷の評価や地下水経由の流出を表わすための汚濁負荷流出の土地利用別タンクモデルからなっている。

2) 流域一括汚濁負荷モデル

1 年間のような長期間の流出負荷量を算定するモデルで、晴天時流出と降雨時流出の両方を考慮したモデルである。

3) 土地利用別汚濁負荷流出タンクモデル

水系内の水循環構造から汚濁負荷流出量を推定することが可能なモデルで、複合タンクモデルに水質に関する種々の情報による水質サブモデルを附加したものである。

4. メッシュ法による中小河川の水質予測

(1) メッシュ法

先に述べたような水質予測モデルのほかにも種々の予測モデルがあるが、これらの河川水質予測モデルによって流域の都市開発や下水道整備による河川水質の変化を表わすためには、複雑な手順や多くの資料を要することが多い。したがって、流域内の都市開発や下水道等の排水処理施設整備による河川水質の変化を迅速に予測するには問題がある。

そこで、著者らはパラメーターの変更により流域の都市化や下水道等の整備状況を表現できるメッシュモデルにより、中小河川の水質変化を表すことを検討した。メッシュ法は下水道計画の降雨流出解析をはじめ、気象解析、環境情報データベース等さまざまな分野で解析の基礎的な部分に用いられている。

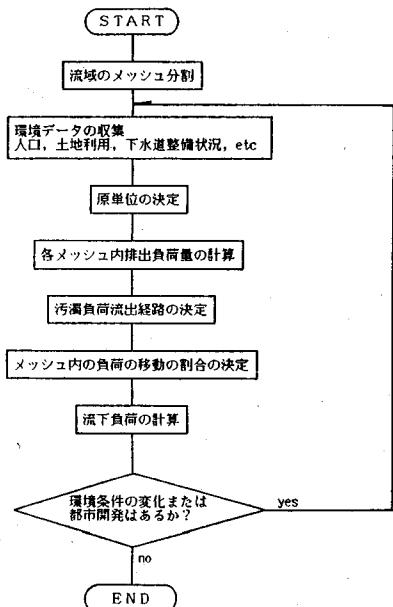


図-2 メッシュ法による解析のフロー

本研究では中小河川流域の環境情報を的確に把握し、各地区で発生した汚濁負荷がどのように流出していくのかを解明する目的で、負荷流出解析法としてメッシュ法を用いる。

メッシュ法の特徴¹³⁾には、

- ① 対象地域の平均化を避け、各細分地域の特性をできるだけ綿密に取り上げられること。

② 各細分地域間の汚濁物質等の物質収支の定量精度を上げられること。

③ 容易に流域をモデル化でき、メッシュ内のデータを変えることによって流域の状況が変化してもシミュレーションがしやすいこと。

等の利点がある。これに対し、

④ メッシュデータとしての細分地区のデータ収集が困難であること。

⑤ 解析過程の定数や計算量が多いため誤差等の生じることがある。

等の注意が必要である。

(2) 解析過程

本研究で行ったメッシュ法による解析過程のフローを図-2に示す。また、ここでは対象河川流域での汚濁負荷の挙動を図-3のように定義した。

1) 流域のメッシュ分割

対象流域の分水嶺を決定し、メッシュ（1辺長=100~1 000 m程度）に細分する。1メッシュの大きさは流域の大きさ、必要とする計算精度によって変わる。1メッシュの面積が大きい場合は計算量は少ないが、解析結果は平均的な値となる。面積が小さい場合には解析精度は

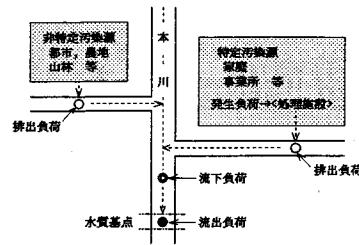


図-3 汚濁負荷の挙動と用語

高くなるが計算量は膨大になる

2) 環境データの収集

メッシュ内の地形の傾斜方向、河川支流、側溝等から汚濁負荷の流出方向を設定する。また人口、公共施設数、事業所数、土地利用面積、下水道整備率、浄化槽設置率、建蔽率等の環境データをできるだけ平均化を避けて収集、算定する。

3) 排出負荷量の計算

各メッシュの負荷量は各メッシュごとに測定するのが最良であるが、測定数、測定誤差から実際には困難があるので、原単位から算定する。原単位法による排出負荷量は、

となる。

家庭からの排出負荷量は、地域の下水道整備状況、浄化槽の設置状況やその種類によって異なる。そこで、対象流域を下水道整備地域と未整備地域に分け、さらに下水道未整備地域は汲み取り、単独式浄化槽および合併式浄化槽設置地域に分ける。下水道整備地域での家庭からの排出負荷は、処理後公共用水域へ放流される。下水道未整備地域での家庭からの排出負荷は、生活雑排水負荷と浄化槽排出負荷である。

その他、自然域（山林）、農地、都市域からの排出負荷がある。

4) 汚濁負荷の流下機構

排出負荷が流下する過程は、以下の条件とした。

- ① 流下負荷は、必ず隣接するメッシュへ移動する。
 - ② 流下負荷は、地形勾配、水路等に沿って移動する。
 - ③ 河川を含むメッシュ内の排出負荷は、その河川区間に流入する。
 - ④ 汚水負荷は、風向によって運搬される。

④ 流下負荷は、最終的に河口を含むマッシュに集まる。

排出された汚濁負荷は、図-3に示すように水路や支川を通り本川に入りある水質基点へと流出する。各マッシュの排出負荷量は路面、側溝等への堆積、土壤への浸透、河川への自浄作用等各作用を受け浄化されながらこの水質基点へ集まる。

本研究では、汚濁負荷の移動を各メッシュの負荷の流入・流出の物質収支として解析した。そのため図-2に

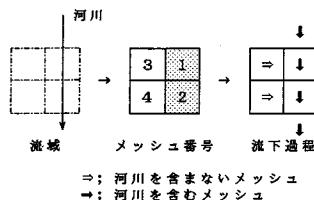


図-4 メッシュ法での汚濁負荷の流下過程

表-1 流下負荷の計算過程

負荷量	流入先メッシュ No.			
	1	2	3	4
排出 L ₁₀	L ₁₁ =L ₁₀	L ₁₂ =C ₁₂ ·L ₁₁	---	---
排出 L ₂₀	---	L ₂₂ =L ₂₀	---	---
負荷 L ₃₀	L ₃₁ =C ₃₁ ·L ₃₁	L ₃₂ =C ₁₂ ·L ₃₁	L ₃₃ =L ₃₀	---
排出 L ₄₀	---	L ₄₂ =C ₄₂ ·L ₄₁	---	L ₄₄ =L ₄₀
流下負荷	L ₁₁ +L ₃₁	L ₁₂ +L ₂₂ +L ₃₂ +L ₄₂	L ₃₃	L ₄₄

 L_{n0} ：メッシュ No. n での総排出負荷量 L_{mn} ：メッシュ No. m での総排出負荷量のメッシュ No. n での流下量 C_{mn} ：メッシュ No. m からメッシュ No. n への負荷量の移動率

おける流達負荷量および流出負荷量をそれぞれのメッシュ内での流下負荷量として計算を行った。汚濁負荷がメッシュ間を移動する割合（移動率）は図-2の流達率、浄化残率の代わりに以下の定数を設けた。

- ① 「河川を含まないメッシュ」から「河川を含まないメッシュ」および、「河川を含まないメッシュ」から「河川を含むメッシュ」への負荷量の移動率
- ② 「河川を含むメッシュ」から「河川を含むメッシュ」への負荷量の移動率
- 5) 流下負荷量の計算

当該メッシュでの流下負荷量は、隣接メッシュから当該メッシュに流入してくる負荷量と、そのメッシュ内のすべての発生源からの排出負荷量（総排出負荷量）の和とする。

図-4のような4つのメッシュからなる流域の場合、メッシュ No. 3 での流下負荷量 L_3 は流入負荷がないので、

$$L_3 = L_{33} = L_{30} \quad (2)$$

となり、メッシュ No. 1 へ流下する。

メッシュ No. 1 での流下負荷量 L_1 は、総排出負荷量 L_{10} とメッシュ No. 3 からの流入負荷量 L_{31} の和となる。

$$L_{11} = L_{10} \quad (3)$$

$$L_{31} = C_{31} \cdot L_{33} \quad (4)$$

$$L_1 = L_{11} + L_{31} \quad (5)$$

ここで、

 L_n ：メッシュ No. n での流下負荷量 L_{n0} ：メッシュ No. n の総排出負荷量

L_{mn} ：メッシュ No. m からの総排出負荷量のメッシュ No. n での流下量

C_{mn} ：メッシュ No. m からメッシュ No. n への負荷量の移動率



図-5 三田川流域地形図

同様にしてメッシュ No. 2 での流下負荷量 L_2 は

$$L_2 = L_{12} + L_{22} + L_{32} + L_{42} \quad (6)$$

となる。

これらを整理すると表-1 のようになる。最下段の合計値は各メッシュでの流下負荷量を表している。また、ある水質基点メッシュでの流下負荷量が、その地域からの流出負荷量となる。

(3) 中小河川の水質解析での移動率の設定方法

各メッシュの汚濁負荷の移動率は次の手順で設定した。

- 1) 移動率を汚濁負荷発生源、水質項目、移動するブロックの地形特性により変えてまず設定する。この際、移動率の値は各汚濁負荷の流下過程での自浄作用の受けやすさ等の特性を考慮して設定する。
- 2) 設定した移動率と水量、負荷量の原単位を用いて対象河川の水質基点の水質値を求める。
- 3) 計算による水質基点の水質値が実測値に合致するように、各移動率を決める。

5. 三田川流域の解析

ここでは、メッシュモデルを用いて、都市化流域の河川である三田川の水量、負荷量、水質を日単位で1年間の予測を行った。

(1) 対象地域

三田川流域のある大津市は京都および大阪のベッドタウンであり、当流域には工場や事業所がなく、下流域を中心に商店街が並び、高等学校、小学校等の教育施設、公民館等がある。流域人口は約7000人であるが、年々山林や農地の宅地造成等の都市開発がなされ流域人口も増加の傾向にある。

三田川は標高400m前後の谷間に源流があり、上流は山林の中を流れ、中流からは農地、宅地の中を流下し瀬田川にそそぐ延長約6kmの中小河川である。三田川流域の地形図を図-5に示す。流域面積は449haでそのうち70%が山林である(316ha)。

解析では、流域を図-6に示すように、33メッシュ(500

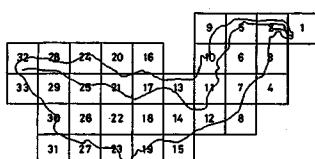


図-6 三田川流域メッシュ分割図

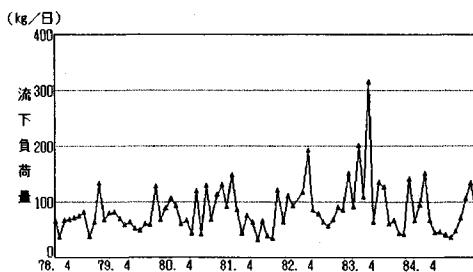


図-7 河川負荷量の月間変化(COD)

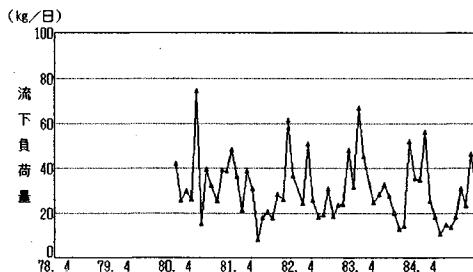


図-8 河川負荷量の月間変化(T-N)

$m \times 500 m$) に細分した。

(2) 三田川の負荷流出特性

三田川における 1978~84 年の年平均 COD 日流下負荷量変化、および 1980~84 年の年平均 T-N 日流下負荷量変化を図-7, 8 に示す。COD の日流下負荷量は年ごとに変動しながらも経年的には増加傾向にある。その原因是、都市開発による住宅地等の増加に伴う家庭雑排水の増加である。また、下流部が三面コンクリート張りの都市型河川であるため、河川の自浄作用が減少し、流出負荷量の河床等への堆積も少ないためである。T-N 日流下負荷量の経年変化は COD とほぼ対応した動きである。T-N も今後家庭排水の増加とともに、流出量が増加する傾向にある。

(3) 原単位等の設定

対象地域での排水量、排出負荷量の原単位等は、対象地域での実地調査、および文献調査結果から次のように設定した。

1) 排水量

排水量は「生活系排水処理ガイドブック」¹⁴⁾に示されている生活系排水量より、次のように設定した。

① 雜排水 200 l/人・日

表-2 三田川での発生原単位¹⁵⁾

発生源	単位	COD	N	P
生活排水 済み取り 農地還元	g/人・日	22.0	10.2	1.17
	kg/km ² ・日	16.0	2.0	0.18
		16.0	4.0	0.20
宅地・道路 水田 畑・転作田 山林(荒れ地等含む)		8.62 14.1 14.1 2.94	1.45 11.0 9.26 1.22	0.315 1.34 0.313 0.026

② し尿浄化槽 20 l/人・日

③ 合併浄化槽 220 l/人・日

2) 排出負荷量

① 雜排水

雑排水の排水負荷量は「生活系排水処理ガイドブック」に示されている生活系排水量と水質より、次のように設定した。

COD 16 g/人・日

T-N 2.5 g/人・日

T-P 0.7 g/人・日

② し尿浄化槽

し尿浄化槽からの排出負荷量は、表-2 において示された原単位を用いた。

③ 合併浄化槽

合併浄化槽からの排出負荷量は、「生活雑排水対策推進指導指針」に示されている合併浄化槽の放流水質調査例より、放流水量を 220 l/人・日として、次のように算定した。

COD 17 mg/l 3.74 g/人・日

T-N 25 mg/l 5.50 g/人・日

T-P 2.8 mg/l 0.62 g/人・日

3) 農地からの排出負荷量

農地からの排出負荷量は、し尿浄化槽と同様に表-2 に示す三田川での原単位と農地からの排水量（後述する水量タンクモデルで算出）から年間平均水質を求め、これを用いた。ここで、農地からの排出水量、排出負荷量は灌漑期と非灌漑期では異なるが、排出水質は大潟村での調査結果¹⁵⁾をもとに算出した灌漑期と非灌漑期の排水水質が

灌漑期 非灌漑期

COD 3.0 mg/l 3.1 mg/l

T-N 2.3 mg/l 2.6 mg/l

T-P 0.23 mg/l 0.38 mg/l

と顕著な差はないことから、ここでは年間を通じて同じ排水水質とみなした。

COD 0.77 mg/l

T-N 0.60 mg/l

T-P 0.073 mg/l

4) 自然域（森林）からの排出負荷量

自然域（森林）からの排出負荷量は、滋賀県での調査

表-4 三田川流域下水道等整備モデルケース

CASE	下水道等整備状況	下水道整備		合併浄化槽設置	
		下水道整備 メッシュNo.	整備率 (%)	浄化槽完備 メッシュNo.*	設置率 (%)
現況	単独浄化槽: 40% 合併浄化槽: 10%	なし	0.0	なし	10.0
1	メッシュ内人口 500人以上(1985年当時) で下水道を整備	2,5,6,10, 11	55.3	なし	4.5
2	下流域 (メッシュNo.12 より下流) で下水道を整備	1,2,3,5,6, 7,8,9,10, 11,12	71.0	なし	2.9
3	下流域 (同上) で未処理市帯に合併浄化槽を設置	なし	0.0	1,2,3,5,6, 7,8,9,10, 11,12	42.6
4	下流域 (同上) ではすべて合併浄化槽を設置	なし	0.0	1,2,3,5,6, 7,8,9,10, 11,12	71.0

* 合併浄化槽もしくは単独浄化槽が必ず設置してある地域
** 整備率、設置率は人口比

各メッシュ間の移動率を表-3に示す。雨天時はすべて移動率 1.0 である。

6. 下水道整備等による河川水質改善効果の予測

今後の下水道整備および合併浄化槽設置による河川水質改善効果をメッシュモデルにより予測した。ここでは、今後、対象地域ではさらに宅地開発が進むと考えられるためこれも考慮した。

(1) 開発プラン

対象地域では今後中流部の農地や山麓部で宅地開発が進むことが考えられるので、中流部 (メッシュ No. 18 より下流部) の農地の 80 % と山麓部が宅地化すると設定した。これにより、対象地域内の人団は 1 万 3 900 人と 1985 年当時の約 2 倍に増加する。なお、これら新規開発宅地での浄化槽設置率は現況と同じとした。

(2) 下水道整備検討ケース

1985 年当時、大津市の下水道は、三田川流域の北側境界線まで整備されていた。今後当流域でも下水道が整備されると思われる。

また、対象流域では 1985 年当時に全家庭の 4 割がし尿浄化槽を設置し、1 割が合併浄化槽を設置していた。河川水質保全のためには生活雑排水も除去できる合併浄化槽の設置も有効である。

以上より、ここでは表-4 に示す 4 つのケースについて検討した。なお、下水道整備時には処理水は他の流域へ放流されると考えた。

(3) 開発による河川水質変化

中流部での宅地開発前後の河川流下方向での年間平均水質を T-N を例として図-12 に示す。これは日単位で 1 年間の計算を行った結果から、各地点での年間の平均水質を河川流下方向で表現したものである。

宅地開発を行った中流部で T-N 濃度は急速に上昇している。他の水質項目でも同様であり、宅地開発により家庭排水流入量が増加すると河川水質は大幅に悪化する状況がメッシュモデルによる解析により判明した。

年間平均での 1 日当たりの河口部での流下負荷量は、

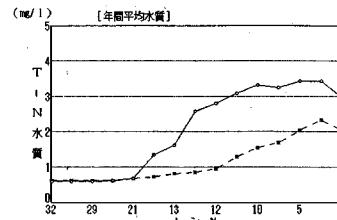


図-12 宅地開発による河川水質の変化

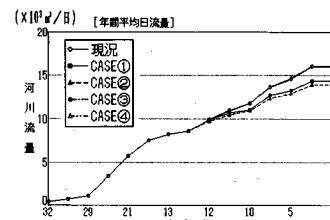


図-13 下水道整備による河川流量の変化

次のように COD, T-N では増加し、T-P ではほぼ横ばいであることもわかった。

開発前 開発後

COD	100.1	146.4
T-N	33.1	47.8
T-P	2.87	2.85 (kg/日)

T-P で宅地開発をしても変化がないのは、農地の宅地への転換により農地排出負荷量が減少したためである。

(4) 下水道等整備による河川水質の改善状況

1) 河川流量

各検討ケースでの河川流下方向での年間平均日流量を図-13 に示す。下水道整備等を行っても年間平均でみると流量の減少はわずかである。これは対象域では山地が流域面積の 70 % を占めそこからの流量が多いこと、および雨天時の屋根、道路と農地からの流量がそれぞれ年間平均でみると生活排水と同程度であることによる。

流量が各検討ケースでさほど変化しないことから、以降の考察では河川水質のみを対象とする。

2) COD

各検討ケースでの河川流下方向での年間平均水質を図-14 に示す。CASE ③ 以外では中流部以降いったん 10 mg/l 程度まで悪化した水質が流下に伴い次第に低下し、河口では 4~5 mg/l と上流部と変わらないレベルにまで良くなっている。

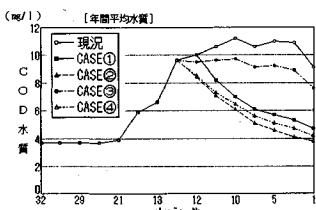
各検討ケースでの河口における年間 COD 負荷流出量と現況 (開発含む) を 100 % とした場合の比率を表-5 に示す。ケース ③ 以外では年間流出負荷量を現況の 35~45 % 程度に減少できている。

3) T-N

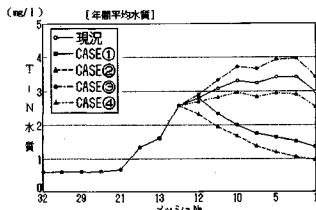
各検討ケースでの河川流下方向での年間平均水質を図

表—5 河川流出負荷削減効果（日平均値）

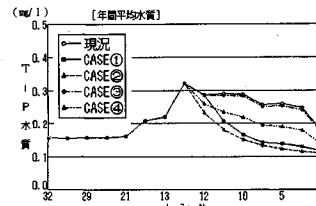
検討CASE	COD		T-N		T-P	
	kg/日	%	kg/日	%	kg/日	%
現況	145.4	100	47.8	100	2.85	100
CASE①	68.1	47	19.4	41	1.70	60
CASE②	52.6	36	13.2	28	1.54	54
CASE③	122.0	83	55.4	116	2.81	99
CASE④	67.5	46	40.9	86	2.24	79



図—14 下水道整備による河川水質の変化



図—15 下水道整備による河川水質の変化



図—16 下水道整備による河川水質の変化

—15に示す。下水道整備を行うCASE①, ②ではCODと同様に中流部以降いったん3 mg/l程度まで悪化した水質が流下に伴い次第に低下し、河口では1~1.5 mg/lと上流部と変わらないレベルにまで良くなっている。CASE④は現況より0.2~0.4 mg/l程度の低下にとどまり、CASE③ではかえって現況よりも0.2~0.4 mg/l程度悪化している。これは合併浄化槽設置によりこれまで汲み取りによって処分されていた屎尿が処理後河川へ放流されるようになったこと、および合併浄化槽では窒素の除去率が低いことに起因するものである。

河口における年間負荷流出量（表—5）においても、下水道整備では年間流出負荷量を現況の30~40%程度に減少できているが、合併浄化槽設置ではCASE③で16%増加、CASE④で14%減少である。

4) T-P

各検討ケースでの河川流下方向での年間平均水質を図—16に示す。T-Nと同様に下水道整備を行うCASE①, ②では中流部以降いったん0.3 mg/l程度まで悪化した

水質が流下に伴い次第に低下し、河口では0.1 mg/l程度となっている。CASE④もCASE①, ②よりは低下割合は小さいが水質は改善されている。CASE③は現況とほとんど変化がない。これもT-N同様に合併浄化槽のリンの除去率に起因するものである。

河口における年間負荷流出量（表—5）は、下水道整備では年間流出負荷量を現況の50~60%程度に減少できている。合併浄化槽設置ではCASE③で1%減少、CASE④で21%減少である。

(5) 下水道等整備による河川水質改善効果の評価

全体に、下水道整備は確実に河川水質を改善できているが、合併浄化槽設置ではその処理特性から設置方法によってはさほど河川水質を改善できず、時には設置前よりも悪化することもあることが予測された。

下水道整備では人口密度の高い地域のみでの整備でも河川水質改善効果は高く、下流域全体で下水道整備した場合と比較しても大きな差は生じなかった。

したがって、対象地域のような比較的小さく、都市化地域の比率が小さい河川流域では、平均的に下水道を整備するよりも人口密度の高い地域で集中的に下水道を整備すれば、河川水質は大きく改善できると判断できる。

一方、合併浄化槽の整備では、特に窒素、リンの除去性能により対象河川の水質よりも処理水質が10倍以上高い場合には、河川水質の改善効果は期待できない場合もあることが解析結果から明らかになった。

以上の検討結果より、対象河川流域のような中小河川流域において、早期に河川水質を改善するには、宅地が密集している地域を優先的に下水道を整備するのが最も効果的であると判断できる。また、COD等の生活系排水に由来する割合が高く、かつ、合併浄化槽でそれらの処理可能な場合には、合併浄化槽の設置も有効であるといえる。ただし、この場合には人口密度の高い地域の全家庭で合併浄化槽を設置する必要があり、下水道整備との効率や施工容易性の比較によって、適切な整備方針を決定すべきである。

7. 結 言

本研究では、都市化により水質汚濁の進行した都市内の中小河川の水質を下水道整備や合併浄化槽設置により改善する場合の効果を予測・評価するため、メッシュ法を用いて汚濁流出機構を解析し、各メッシュ内の諸元をパラメトリックに変化させることによって流出負荷のシミュレーションを行った。

メッシュ法は、各メッシュ内の開発状況や下水道整備状況を容易に表現でき、流域内での汚濁負荷の挙動を明確にするには有益な解析方法である。このモデルでは、解析に用いる定数は、すべての計算値に大きなウェイトをもつてるので、地域に根ざした妥当な値が必要とな

る。

三田川流域を事例として都市化した中小河川流域において本方法により下水道整備等の効果を解析・検討した結果、中小河川流域では住宅密集地域を中心に下水道整備することで河川水質を大幅に改善できること、合併浄化槽設置では住宅密集地の住宅すべてに設置しても合併浄化槽の浄化性能から栄養塩類では水質改善効果が小さいことなどが明らかになった。

謝 辞：資料等を活用させていただいた方々に強く感謝いたします。また、資料収集、解析等で協力を得た当時大学院生 西村員彦君に謝意を表します。

参考文献

- 1) 和田安彦：河川管理における汚濁流達率の研究(I)(II)，用水と廃水，Vol. 18, No. 2, 3, 1976年2月, 3月。
- 2) 和田安彦：下水排除施設未整備地域の汚濁流達率の研究，下水道協会誌，Vol. 13, No. 144, pp. 2~10, 1976年5月。
- 3) 和田安彦ほか：下水排除施設整備地域の汚濁流達率の研究，下水道協会誌，Vol. 13, No. 145, pp. 2~12, 1976年6月。
- 4) 和田安彦ほか：自然容量をもつ地域の汚濁負荷収支と汚濁流達率の考察(I)(II)(III)(IV)，公害と対策，Vol. 12, No. 6, pp. 47~50, No. 7, pp. 34~40, No. 10, pp. 99~104, Vol. 13, No. 4, pp. 83~86, 1976年6月, 7月, 10月, 1977年4月。
- 5) 和田安彦：河川管理計画における汚濁流達率の研究，衛生工学研究論文集，Vol. 13, 土木学会, pp. 40~45, 1977年1月。
- 6) Yasuhiko Wada : Characteristics of the Run-off Rate of Pollution Load in Unseweraged Area, Technology Report of Kansai University, No.18, pp.111~120, 1977年3月。
- 7) 和田安彦：中小河川における汚濁流達特性，日本水質汚濁研究会年次学術講演論文集, pp. 73~78, 1979年2月。
- 8) 和田安彦：都市河川の水質、負荷流出特性とその考察(I)(II), 公害と対策, Vol. 17, No. 2, pp. 21~28, No. 4, pp. 27~32, 1981年2月, 4月。
- 9) 和田安彦：中小河川における汚濁流出特性，水質汚濁研究, Vol. 4, No. 1, pp. 9~17, 1981年3月。
- 10) 和田安彦・三浦浩之：中小河川における汚濁流出率の諸特性，土木学会論文集，第363号／II-4, pp. 215~223, 1985年。
- 11) 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, 1985。
- 12) 國松孝男・村岡浩爾：河川汚濁のモデル解析，技報堂出版，1989年4月。
- 13) 住友 恒：メッシュ法における汚濁分析と水質物質の流出率に関する検討，衛生工学討論会論文集，1973。
- 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・生活雑排水一, 環境技術研究会, 理工新社, 1986年11月。
- 15) 昭和61年度環境庁委託業務結果報告書, 非特定汚染源による汚染防止対策調査報告書, 1987年2月。
- 16) 生活雑排水対策推進指導指針—実践活動を進めるために一, 環境庁水質保全局, ぎょうせい, 1988年11月。
- 17) 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), (2), 下水道協会誌, Vol. 27, No. 309, 310, 1990年2, 3月。
- 18) 和田安彦ほか：土地利用変化による河川流出負荷及び水質の変化，水処理技術，Vol. 28, No. 1, pp. 17~23, 1987年。
- 19) 流域別下水道整備総合計画調査—指針と解説一, 日本下水道協会, 1983年。
- 20) 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年1月。

(1990.7.16 受付)

MODELING AND ESTIMATION ON AN IMPROVEMENT OF SEWERAGE CONSTRUCTION AND HOUSEHOLD WASTEWATER TREATMENT TANKS IN WATER QUALITY OF URBAN SMALL RIVER

Yasuhiko WADA and Hiroyuki MIURA

The domestic wastewater flows into urban small rivers and it pollutes water quality of the urban small rivers. Especially the untreated domestic wastewater from the catchment area with no sewerage works influences water quality of the urban small river significantly.

This paper deals with an estimation of improvement in the water quality of urban small river by treatment facilities of the domestic waste water with the mesh analysis model. The mesh analysis model can estimate flow rate, flowing pollutant loads and water quality in any cross section of the river. The mesh analysis model can estimate changes of flow rate, flowing pollutant loads and water quality by urbanization, sewage works construction, settlement of household wastewater treatment tanks, which purify sewage and domestic waste, and etc.

And the mesh analysis model represents a reduction in the pollutant loads by self purification with runoff rate of pollutant load between a mesh and the next mesh. We estimate an effect of construction of sewerage works and arrangement of the household wastewater treatment tanks for improvement in water quality of Sanda river. The concentration of pollutant load is reduced by the construction of sewerage system in downward of the catchment area and the amount of pollution load decreases from 1/3 to 1/2 of it before sewage works construction.