

II-577

流域特性を考慮した汚濁物流出プロファイルの予測

立命館大学大学院 学生員 大西 敏之

立命館大学理工学部 正 員 市木 敦之 山田 淳

1. はじめに 適切な水域管理計画を策定するためには、マクロにはあっても流域からの汚濁物流出量を把握できなければならない。本報告は、複数の中小河川における晴天時、降雨時の実測データを基に、汚濁物流出負荷量を流域の人口、土地利用、下水道整備率などの流域特性を用いてモデル化し、流域構造の変容に呼応して変化する汚濁物流出プロファイルの予測を行ったものである。検討の対象としたのは、京都市の東西を流れる天神川と山科川、および琵琶湖へ東岸から流入する十禅寺川、伊佐々川である。流域の概要を表-1に示す。

表-1 流域の概要

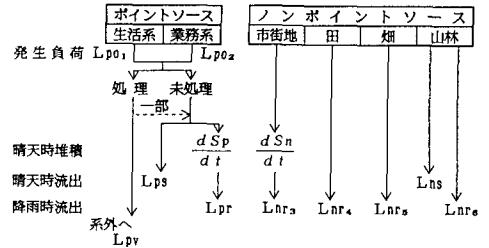
河 川	集 水 面積 km ²	流域人口 ×千人		下水道整備率 %	
		1980年	1990年	1980年	1990年
天 神 川	25.75	157.8	151.4	38.8	92.3
山 科 川	32.21	141.3	141.7	0.0	90.3
十禅寺川	0.68	—	2.8	—	0.0
伊佐々川	3.93	—	9.0	—	65.4

下水道整備率：市街地における面積整備率

2. 汚濁物発生、堆積、流出挙動のマクロモデル

汚濁物の流出挙動は流出源や晴天により大きく異なることを考慮して、ここでは、図-1のようにマクロモデルの構成を定め、以下の手順で定式化した。1) ポイントソースにおける発生負荷量 (L_{p01} , L_{p02}) は、生活系、業務系に分けて原単位と人口、産業出荷額を用いて算定し、下水道や浄化槽等によるポイント負荷の排除率 (x) によって排水系統内に放出されるものと系外除去されるものに振り分けた。2) 排水系統内に放出されたポイント負荷は、晴天時に一部が堆積 (dS_p/dt) し、残り (L_{ps}) は山林からの基底流出分 (L_{ns}) とともに公共用水域へと流出するものとし、ポイント負荷の堆積率 (y) は、天神川、山科川における晴天時の河川負荷量（「京都府公共用水域水質測定結果」, 1980~1991年）とポイントソースからの排出負荷量 ($(L_{p01}+L_{p02}) \cdot (1-x/100)$) の回帰分析¹⁾により定めた。3) ノンポイントソースは土地利用により市街地、田、畑、山林に区分し、路面堆積物の実態調査結果から市街地における挙動を (4), (6) 式で表すものとし、回帰分析を用いて用途地域別の極限堆積量 (S_{nu}) および堆積速度係数 (k_{ns})、表-2 マクロモデルのパラメータ流出速度係数 (k_{ns}) を定めた²⁾。4) 降雨時流出負荷量は、有効降雨量 (Q_r) のべき乗に比例するものとし、その指数 (b) を降雨時の実測結果から流域毎に回帰分析により求め、さらにこれらの b をポイント負荷の排除率 (x) により (10) 式で回帰して係数 α , β を定めた。5) 降雨時のポイント由来負荷流出量 (L_{pr}) は、(5) 式で表すものとし、ここでは $a=1$ として、京都地方気象台で観測された降水量系列を用いて計算した過去10年間の L_{pr} の積算量が、その間の dS_p/dt の積分値に一致するように何回かの試行を行い、 k_p の値を定めた。6) $k_{ns} \sim k_{ne}$ は、降雨時の実測負荷量 (L_r) を L_{pr} , L_{ns} および Q_r^b を用いた重回帰式 (11) により定めた。

$$L_r = L_{pr} + L_{ns} + \sum_{i=1}^6 (k_i / A_i) \cdot Q_r^b \quad \text{----- (11)}$$



$$\begin{aligned} L_{pv} &= (L_{p01} + L_{p02}) \cdot x & (1) \\ L_{ps} &= (L_{p01} + L_{p02}) \cdot (1-x/100) \cdot (1-y/100) & (2) \\ \frac{dS_p}{dt} &= (L_{p01} + L_{p02}) \cdot (1-x/100) \cdot y/100 & (3) \\ \frac{dS_n}{dt} &= k_{ns} \cdot S_{nu} \cdot \exp(-k_{ns} \cdot T) & (4) \\ L_{pr} &= k_p \cdot S_p^a \cdot Q_r^b & (5) \\ L_{nr3} &= S_{nu} \cdot \{1 - \exp(-k_{ns} \cdot R)\} & (6) \\ L_{nr4} &= k_{ns} \cdot Q_r^b & (7) \quad L_{nr5} = k_{ns} \cdot Q_r^b & (8) \quad L_{nr6} = k_{ne} \cdot Q_r^b & (9) \\ \text{ただし } b &= \alpha \cdot x + \beta & (10) \end{aligned}$$

L : 負荷量 (kg/day) S : 堆積量 (kg) R : 日降雨量 (mm/day)
 Q_r : 有効日降雨量 (mm/day) x : ポイント負荷の排除率 (%)
 y : ポイント負荷の堆積率 (%) S_{nu} : 極限堆積量 (kg)
 k_{ns} : 堆積速度係数 $k_p, k_{ns} \sim k_{ne}$: 流出速度係数
 α, β : 係数 a, b : 指数
添字 p : ポイントソース (1. 生活系, 2. 業務系)
 n : ノンポイントソース (3. 市街地, 4. 田, 5. 畑, 6. 山林)
 o : 発生 v : 系外除去 s : 晴天時 r : 降雨時

図-1 マクロモデルの構成

表-2 マクロモデルのパラメータ

項 目	SS	COD
晴 堆		
y	71.27	68.70
S_{nu} 住専系	8.5	0.45
A_s 住商系	25	1.50
t/km^2 工業系	45	2.50
k_{ns} 1/day	0.058	0.051
時 流 出		
L_{ns}/A_s kg/km ² ·day	1.42	2.09
降 流		
$k_p \times 10^{-6}$	7.1	82
k_{ns} day/mm	0.022	0.039
$k_s/A_s \times 10^{-4}$	2.058	235.8
$k_e/A_s \times 10^{-4}$	8.298	174.5
$k_e/A_s \times 10^{-4}$	9.273	58.9
雨 出		
α	0.006	0.003
β	1.155	0.922

3. マクロモデルの検証 SS, CODについて、マクロモデルのパラメーター一覧を表-2に示す、またこれら

のパラメータを用いて算定した各河川比負荷量の推定値と実測値との関係を、晴天別に図-2に示す。晴天時負荷量は、天神川で過小に、山科川で過大に見積もられており、流域により差が出たため再現性は高くない。しかし、降雨時負荷量については一定の精度を有しており、年間流出負荷量のかなりの部分をこうした降雨時流出成分が占めることと流出量をマクロに把握するという本来の目的から、本モデルは十分な再現精度を有していると考えてよい。

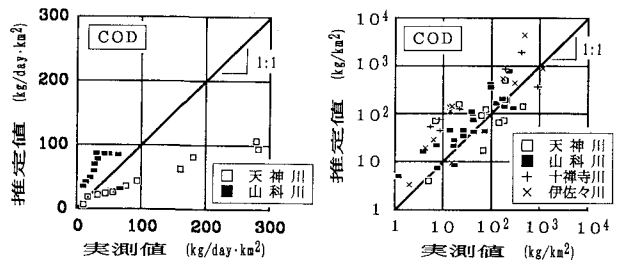


図-2 実測値と計算値の関係
(左：晴天時比負荷量，右：降雨時比負荷量)

4. 下水道の整備進捗にともなう汚濁物流出特性の変化

マクロモデルを用いて、下水道整備率をシナリオドライバーとしたシミュレーションを行い、年間流出負荷量に及ぼす下水道整備効果を検討した。シナリオでは、流域フレームを1990年の値で固定し、下水道整備率のみを0%から100%へと変化させ、その他の排水処理は行われないものとした。天神川、山科川において過去10年間の降水量系列を用いたSSとCODのシミュレーション結果を年間流出比負荷量にして図-3に示す。一般的な傾向として下水道整備にともなう流出負荷量の削減とノンポイントソースの構成比率の増大が認められるが、一方で整備途上の流域では、排水系統等のバイパス効果によるノンポイント負荷の顕在化のために、必ずしも下水道整備率に応じて一様に流出負荷量が減少していくというわけではなかった。また、このような流域では、ポイントソース由来負荷の構成比率も大きく、こうした排水系統内の堆積負荷についての対策が水域管理のうえで重要であることが明らかとなった。

5. おわりに

本報告では、汚濁物流出量をマクロにとらえるモデルを構築し、シミュレーションにより下水道整備効果を明らかにした。さらに流域の様々な社会変化にともなう流出特性の変化について検討したと考えている。なお、本研究の一部は、平成3～5年度滋賀県琵琶湖研究所委託研究として実施された。

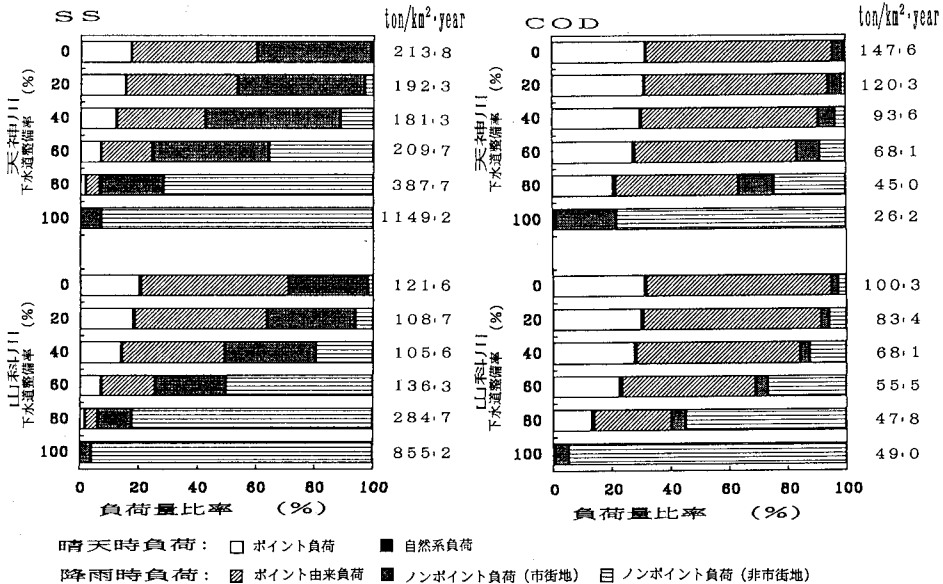


図-3 下水道整備の進捗と流出源別流出量の変化（年平均降水量 1562.3 mm）
(左：SS，右：COD)

<参考文献> 1) 山田，市木：第28回水環境学会，1994.3 2) 山田，梅原他：第28回水環境学会，1994.3