

流域の水質管理モデルに関する研究

岡山大学工学部 ○河原長美
岡山県 田頭浩志

1. はじめに

河川ならびに河川が流入する水域の水質管理のためには、流域内での各種開発行為もしくは各種水質保全対策が、河川水質ならびに流出汚濁負荷量に及ぼす影響を予測する事が不可欠である。従来の水文学的モデルにおいては、流域内でのこのような変化を十分表現することができないことが判明したので¹⁾、ここでは、汚濁負荷の発生、流達、流出過程を考慮したモデル化を旭川流域を対象として試みた。

2. 流域の概要と調査方法

旭川流域および調査地点を図-1に示す。旭川は、流域面積1,800km²、長さ150km、平水量約40m³/sの人為的汚染の比較的小さい一級河川である。また、上流には総貯水容量1億m³弱ならびに6,000万m³弱を有する湯原ダムならびに旭川ダムを有し、流量は比較的安定している。解析に用いたデータは、兵団地点での定時定点採水による水質データ、旭川上、中、下流部に位置する上長田、久世、福渡における日降雨量の観測値、および採水地点より約2km上流地点における日平均流量である。また、観測された水質値に日流量を乗じて算出される値を日平均流出汚濁負荷量とした。

3. 水質モデル及び解析方法

3. 1 流域のブロック分割と水質モデル

本研究では、図-1に示すように、旭川流域を2つのダムにより、上流、中流、下流の3つのブロックに分割し、各ブロック毎の発生汚濁負荷量を推定した。モデルは、1) 汚濁源(特定、非特定汚濁源)、2) 流下過程における水質変化、3) ダム貯水池における水質変化から構成されている。

(1) 特定汚濁源

$$\text{流達汚濁負荷量} = (\text{流達率}) \times (\text{排出率}) \times (\text{原単位}) \times (\text{人口もしくは家畜}) \quad (1)$$

(2) 非特定汚濁源²⁾

山林および田畑

$$\text{晴天時 } S(t+1) = S(t) + aA \quad (2)$$

$$\text{雨天時 } L(t) = S(t)(1 - \exp(-\lambda R(t))) \quad (3)$$

$$S(t+1) = S(t) \exp(-\lambda R(t)) \quad (4)$$

宅地と路面

$$\text{晴天時 } S(t+1) = S(t) \cdot \exp(-k) + aA \quad (5)$$

$$\text{雨天時 } L(t) = aS(t)^b R(t)^c \quad (6)$$

$$S(t+1) = S(t) - L(t) \quad (7)$$

ここに、 t は日を表しており、また A は面積を表している。毎日同じ割合 a (t/m²/d)で汚濁物が堆積し、宅地と路面においては、堆積した汚濁物は一日ごとにある割合で減少するとした。雨天時には雨水流出量と堆積汚濁負荷量に依存して汚濁負荷量 $L(t)$ が河川へ流入すると考えた。

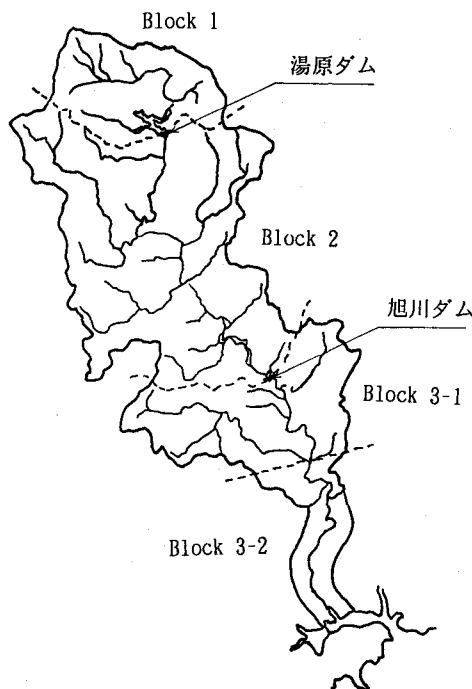


図-1 旭川流域

(3) ダム貯水池における水質変化

$$\frac{d(C_i V_i)}{dt} = (q_{i-1} C_{i-1} - q_i C_i) - k A_i C_i \quad i=1,2 \quad (8)$$

$$\frac{dV_i}{dt} = q_{i-1} - q_i \quad (9)$$

q は流量、 V は体積、 A は表面積、 C は水質濃度、 k は総括的な反応速度定数である。

(4) 河川の流下過程のモデル

流水断面積 A 、幅 B の河川に単位河川長当たり P の汚濁負荷が流入し、水中では、沈降速度 w で沈降、 f で巻き上げ並びに k_1 で分解が生じるとする次式が誘導される。なお、拡散は無視している。

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} = - \frac{\partial (AvC)}{\partial x} - Ak_1 C - BwC + P + Bf \quad (10)$$

上式において、一日ごとの定常を仮定し、 $B/A \approx h$ 、 $AvC=L$ 、 $AC=S$ と置いて、境界条件 $x=0$ で $L=L_0$ を用いて解き、 w/h を k_3 と置くと共に、 $dx=vd t$ なる関係を用いると次のようになる。

$$L = \exp(-(k_1+k_3)T) \int_0^T (P+Bf) \exp(k_1+k_3)T v dt + L_0 \exp(-(k_1+k_3)T) \quad (11)$$

ここに、 T は x の地点までの流下時間である。式中の巻き上げに関する関数 f は、次の形を仮定した。ここに、 Wb は、単位河川長当たりの堆積汚濁物量である。

$$f = a W b Q^b \quad (12)$$

また、 Wb については、巻き上げと沈降によって決定されるとして、次のような方程式が成立する。これを $t=0$ で $Wb=Wb_0$ として積分するとその下の式になる。

$$\frac{dWb}{dt} = \frac{k_3 L}{v} - B a W b Q^b \quad (13)$$

$$Wb = \exp\left(-\int_{t_0}^t B a Q^b dt\right) \int_{t_0}^t \frac{k_3}{v} L \exp\left(\int_{t_0}^t B a Q^b dt\right) dt + Wb_0 \exp\left(-\int_{t_0}^t B a Q^b dt\right) \quad (14)$$

3.3 河道形態の推定

本研究においては、Strahlerの位数理論と観測値とに基づいて得られている各ブロック毎の平均的な河道幅、河床勾配、粗度係数を用い、マニング式と各ブロックの平均的な流量とから、平均的な流速を求め、各ブロックの流下時間を算定した。Strahlerの位数理論とは、河道に次数を考え、この次数によって河道の諸物理量が整理できるというものである。河道の次数は、次のようにして決定される。 n 次河道と n 次河道が合流すると $n+1$ 次河道になるが、 n 次河道と $n-1$ 次河道とが合流しても n 次河道で変化しない。このようにして、最上流を1次河道とし、順次下流に向かって次数をつけていく。結果の一例を、図-2に示す³⁾。

3.4 モデルパラメータの決定法

モデルメータは、観測値が比較的良く整っている1981年の12か月のデータを用いて、非線形回帰手法の1つであるMarquardt法を用いた最小自乗法により決定した。ただし、パラメータ決定に際して、理論的に、もしくは実測値によりパラメータ値の範囲が分かっている場合

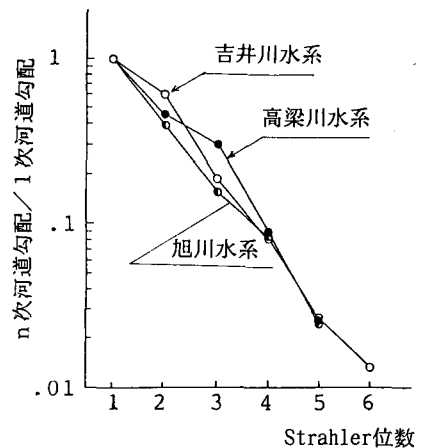


図-2 n 次河道勾配/1次河道勾配

には、推定値がその範囲内に留まるように拘束しておいた。なお、本研究では流出汚濁負荷量の観測値と計算値の両者に対数を取り、その差を残差とした。この理由は、流出汚濁負荷量の推定における誤差は、負荷量の大きいときには大きな誤差が、負荷量の小さいときには小さな誤差が生じると考えられることと、オーダーまで変わる大きな変動を有するの汚濁負荷量をそのオーダーに応じて適合させることができることとによる。しかし、対数処理を行うと真値に対する誤差の比が同じであれば同じ残差の値評価が同じになり、高負荷時には低負荷時の負荷量をはるかに越える大きな誤差を許容することになり、総負荷量を問題とする場合には難点が無いわけではない。

5. シミュレーション結果と考察

1981年の観測値に基づき、モデルのパラメータを推定し、この結果を用いて、ダムでの工事の影響が無く、渇水年でない1983年について、モデルの再現性について検討を加えた結果を図-3に示す。図からわかるように、ここで定式化したモデルは、改良の余地をいくつか残しているが、観測値を比較的良好に再現している。

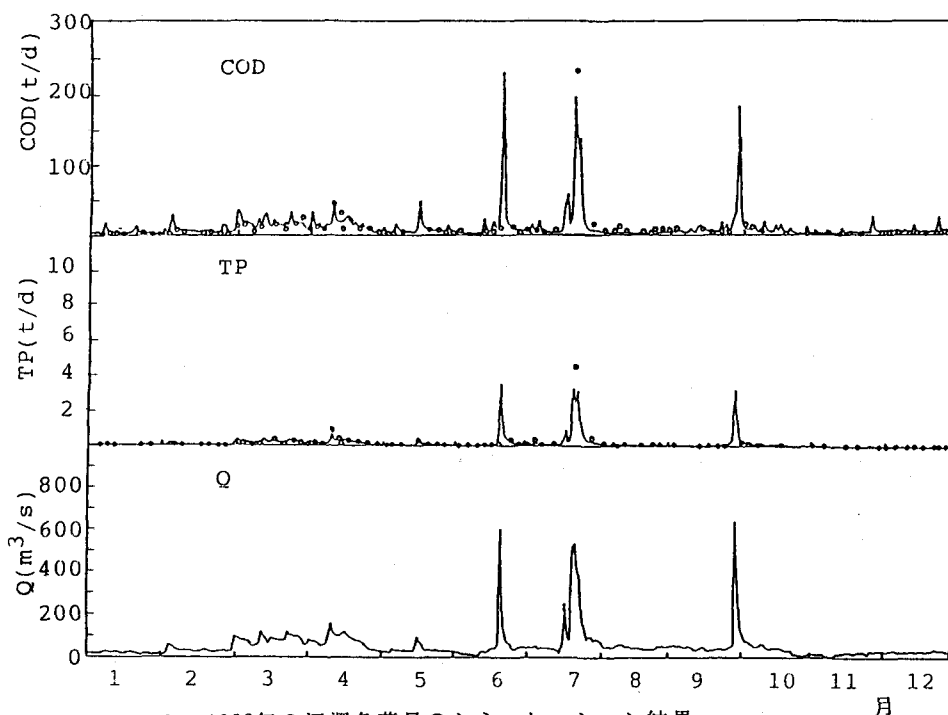


図-3 1983年の汚濁負荷量のシミュレーション結果

6. おわりに

本研究では、汚濁負荷の流達ならびに流下過程を考慮した、旭川における水質予測モデルを作成した。発生汚濁負荷の変化を表現し得るモデル化がほぼ達成されたと考えられる。精度の向上のためには、個別現象のより精緻な把握が必要とされるが、水質のデータが十分でない状況を考慮すると、モデルの単純化の検討も不可欠であると考えられる。今後、このような視点から更に検討を加える予定である。

参考文献

- 1) 河原長美他：旭川の水質および汚濁負荷量の特性に関する研究、第14回環境問題シンポジウム講演論文集、1986。
- 2) 和田安彦：都市のノンポイント流出、水処理技術、Vol. 27, No. 10, 1986。
- 3) 村上始彦：河川流量に及ぼす地形形態の影響に関する研究、岡山大学工学部土木工学科特別研究、1984。