

(10) 旭川の水質および汚濁負荷量の特性に関する研究

A STUDY ON CHARACTERISTICS OF WATER QUALITY AND POLLUTANT LOADS
IN THE ASAHI RIVER

河原長美*, 森田一也*, 五百木通隆**

Osami KAWARA*, Kazuya MORITA*, Michitaka IOKI**

ABSTRACT ; To clarify the characteristics of water quality and pollutant loads in the Asahi River, Okayama Prefecture, we observed SS (suspended solids), turbidity, COD (chemical oxygen demand), TP (total phosphate), TN (total nitrogen) for over five years and identified hydrologic simulation models of pollutant loads based on the observations.

In the year of lower discharges, the concentrations of TP and TN became higher but the COD values and SS scarcely changed. Therefore, the pollutant loads of COD and SS decreased but TP and TN scarcely changed. The probability distributions of the water quality and pollutant loads observed for a year can be regarded as a log-normal distribution. Identified hydrologic simulation models of pollutant loads estimate well the daily pollutant loads if a yearly average discharge is similar to the year of estimating the model parameters.

KEYWORDS ; Asahi River, Water quality, Pollutant load, Hydrologic simulation model

1. 序 論

河川の水質ならびに汚濁負荷量は、河川水の利用や河川環境の側面だけからではなく、それが流入する水域の水質保全の側面からも重要であり、従来より多数の研究がなされてきている。

水質や汚濁負荷量の時間変動、確率分布、流量との関係などが多くの研究者によって検討され、次第に特性が明らかにされてきている¹⁾。また、水質や汚濁負荷量の予測モデルに関しても多くの研究があり、ここでとりあげる水文学的シミュレーションモデルに関しては、山口ら²⁾の分類に従うと、「流送能力」型モデルと「流送能力・供給関数」型モデルに大別され、いくつかのモデルが提案されている。

「流送能力」型モデルは、流出する汚濁負荷量 L を降雨 R や流量 Q の関数として表わそうとするものであり、一般的には

$$L = f(Q, R)$$

と表わしうる。 $f(Q, R)$ の形には様々な形があり、wash loadの研究に端を発し、汚濁物質についても広く用いられている $L = aQ^b$ という簡単な形から、 b を先行流量によって決まる変数とする試みや³⁾、 L を降雨の寄与と流量の寄与の和とする研究も報告されている⁴⁾。

他方、「流送能力・供給関数」型モデルについては、負荷量ポテンシャル S を導入することにより、流域に堆積している汚濁物質の変化を考慮しようとするものであり、一般的には次式で表わされる。

$$\frac{dS}{dt} = S_{in} - f(R, Q, S)$$

$$L = f(R, Q, S)$$

ここに、 S_{in} は点源による汚濁負荷量ならびに面源における堆積汚濁物の増加等の総体を表わす。

*岡山大学 Okayama University, **アイサワ工業 Aisawa Constructions Inc.

両モデルを比較すると、汚濁物の流出機構をより現実に近い形で表現する点で「流送能力・供給関数」型モデルのほうが適切であるとも考えられるが、 S の値の物理的意味のあいまいさや観測の困難さ、さらにこれに関連した S の初期設定値の妥当性の評価に困難があり、実際に水質もしくは汚濁負荷量を予測する際には、その優劣はつづがたいとされている⁵⁾。

最近、関根ら⁶⁾は、原単位と流出過程を表現する流出率や掃流係数等を用いて、より忠実に流出機構を表現するモデルを提案しており今後の研究の展開方向を示すものとして興味深い。流域の特徴を反映する上述の未知パラメータの決定に困難さが残っている。

本研究では、過去5年間にわたる旭川における観測結果を総括し、水質ならびに汚濁負荷量の特徴を整理するとともに、水文学的シミュレーションモデルをとりあげ、旭川におけるモデルの形を決定し、さらにこれに基づいて、流出汚濁負荷量の特性について検討を加える。

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。調査地点は図-1において白丸印で示される旭川の非感潮部下流端に位置する兵団地点であった。

本研究で対象とした旭川は、岡山県中央部を南流し瀬戸内海に注ぐ、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。

水質については、午前10時前後に定時採水し、SS（ガラスファイバーろ紙法）、濁度（吸光光度法）、COD（Mn）（酸性法）、総窒素（1982年以前のデータは還元法、1983年以後は紫外線吸光光度法）、総リン（混合試薬法）の5項目について分析した。SSと濁度は1979年9月から1984年12月までの64ヶ月分、CODは1980年8月から1984年12月までの53ヶ月分、総窒素・総リンは1980年11月から1984年12月までの50ヶ月分である。

なお、定時観測のデータには欠測等があり、最も観測頻度が高い1980年11月より1981年10月までの12ヶ月分のデータを用いて、本研究のモデル式中のパラメータを決定した。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。

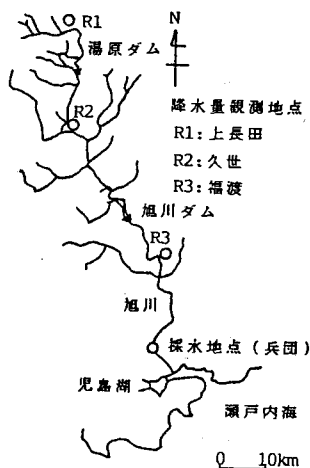


図-1 旭川流域と採水地点

3. 解析方法

本研究では、旭川における汚濁負荷量を定量的に予測するために、「流送能力・供給関数」型モデルを選択した。本研究で選択したモデル式の一般形を以下に示す。

Case 1 および Case 3

$$\frac{dS}{dt} = P_1 - P_2 S(t)^{P_3} Q(t)^{P_4} + P_5 R'(t)^{P_6} \quad S_0 = P_7 \quad \text{-----(1)}$$

$$L(t) = P_2 S(t)^{P_3} Q(t)^{P_4} \quad \text{-----(2)}$$

Case 2

$$\frac{dS}{dt} = P_1 - P_2 S(t)^{P_3} Q(t)^{P_4} - P_5 Q(t)^{P_6} + P_7 R'(t)^{P_6} \quad S_0 = P_9 \quad \text{---(3)}$$

$$L(t) = P_2 S(t)^{P_3} Q(t)^{P_4} + P_5 Q(t)^{P_6} \quad \text{-----(4)}$$

ここに、 $R'(t) = R(t) - E(t)$, $E(t+1) = E(t) + 2.0 - R(t)$ ($0 \leq E(t) \leq 5.0$)

S_0 , $S(t)$: $t=0$ および $t=t$ における堆積汚濁物質

$Q(t)$: 流量

$L(t)$: 流出汚濁負荷量

$R(t)$: 降水量

$E(t)$: 浸透能

$P_1 \sim P_9$: パラメータ

モデル式の意味は次の通りである。(1)式における第1式において、第1項は天候によらない流入負荷、すなわち主として点源を想定している。第2項は流出汚濁負荷量であり、第3項は降雨に関係した流入負荷、すなわち主として非特定汚濁源を想定している。Case2の場合は、流出汚濁負荷量を2種類に分類したものである。

各パラメータは、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。最小自乗法においては、残差の自乗和のとり方が問題になるが、本研究では流出汚濁負荷量の観測値と計算値との差を残差とし、この残差を求める際、Case1とCase2とでは観測値と計算値の両者に対数を取り、Case3では対数をとらなかった。残差算定における対数処理の有無の理由は次の通りである。流出汚濁負荷量の測定における誤差の発生仕方からすると対数処理を行うほうが合理的であると考えられる。しかしながら、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となり、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も生じると考えられる。このように予め両方法の優劣を判定することは困難であるので、計算結果より判定することにした。

次に、Case1を例にとり具体的な解析方法を示す。残差の自乗和 σ^2 は次式で表わされる。

$$\sigma^2 = \sum_t [\ln L_{ob}(t) - \ln \{ P_2 S(t)^{P_3} Q(t)^{P_4} \}]^2 \quad \text{-----}(5)$$

ここで、 $L_{ob}(t)$ は観測された汚濁負荷量である。

次に、 $P_2 S(t)^{P_3} Q(t)^{P_4} = f(P_2, P_3, P_4, S(P, Q, R'), Q)$ とおき $P = P' + \Delta P$ と考え、係数の微小変化をTaylor展開を用い ΔP に関する1次式で近似する。ここに、 P, P' および ΔP はパラメータの真値、仮定値および補正值で、 $P_1 \sim P_7$ に対応する各成分を有している。

$$\begin{aligned} f(P_2' + \Delta P_2, P_3' + \Delta P_3, P_4' + \Delta P_4, S(P' + \Delta P, Q, R'), Q) \\ = f(P_2', P_3', P_4', S(P', Q, R'), Q) + \sum_{i=2}^4 \left(\frac{\partial f}{\partial P_i} \Delta P_i \right) + \frac{\partial f}{\partial S} \sum_{i=1}^7 \left(\frac{\partial S}{\partial P_i} \Delta P_i \right) \end{aligned} \quad \text{-----}(6)$$

次に、(6)式を(5)式に代入し、 $\frac{\partial \sigma^2}{\partial \Delta P} = 0$ とすることにより ΔP を未知数とする正規方程式を導き、これを Marquardt法により解くことにより ΔP が与えられ、 P が得られる。

なお、式中の $\frac{\partial S}{\partial P_i}$ は次のようにして求める。まず、 $\frac{\partial S}{\partial P_i}$ の時間変化は次のように与えられる。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial S}{\partial P_i} \right) = \frac{\partial}{\partial P_i} \left(\frac{dS}{dt} \right) = \frac{\partial}{\partial P_i} \{ P_1 - P_2 S(t)^{P_3} Q(t)^{P_4} + P_5 R'(t)^{P_6} \} \quad \text{--}(7)$$

したがって、 $\frac{\partial S}{\partial P_i}$ の初期値が与えられれば(7)式を時間積分することにより各時点での $\frac{\partial S}{\partial P_i}$ が求まるが、 $\frac{\partial S}{\partial P_i}$ の初期値は $S_0 = P_7$ であるので次のようになる。

$$\frac{\partial S}{\partial P_i} \Big|_{t=0} = \frac{\partial S_0}{\partial P_i} = \begin{cases} 0 & \text{for } i = 1 \sim 6 \\ 1 & \text{for } i = 7 \end{cases} \quad \text{-----}(8)$$

本研究では、 $\frac{dS}{dt}$ および $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial S}{\partial P_i} \right)$ に関する常微分方程式の解法に、初期の4点についてはルンゲ

・クッタ法を、それ以後はアダムス・モルトン予測子修正子法をそれぞれ用いた。

4. 観測結果の特徴

旭川を対象とした4～5年の観測結果に基づき、水質および汚濁負荷量の特徴について検討を加える。

図-2に水質の観測結果を示す。図-2より、1982年の水質は流量が他の年に比較して極端に多いとは考えられないにもかかわらず、極端に高くなっていること、1984年のTPは全体に高くなっていること、1983年の水質は全体的に変動が小さくなっていることなどが特徴である。

1982年の水質が全体的に高くなっているのは、旭川ダムにおいて、放流トンネルや取水塔等に関して工事が行われており、濁水には配慮が払われていたが、これらの工事の影響が現われているものと考えられる。1984年のTPが高くなっているのは、1984年の平均流量は他の年の平均流量の半分程度以下であり、流量が極端に少なかったことによると考えられる。図には示されていないが、TNにも同様の傾向が認められる。しかしながら、SSやCODにはそのような傾向は認められない。なお、1983年の水質変動が小さくなっている原因については不明である。

図-2において、1981年以前と1982年以降とは観測回数が異なるので、汚濁負荷量

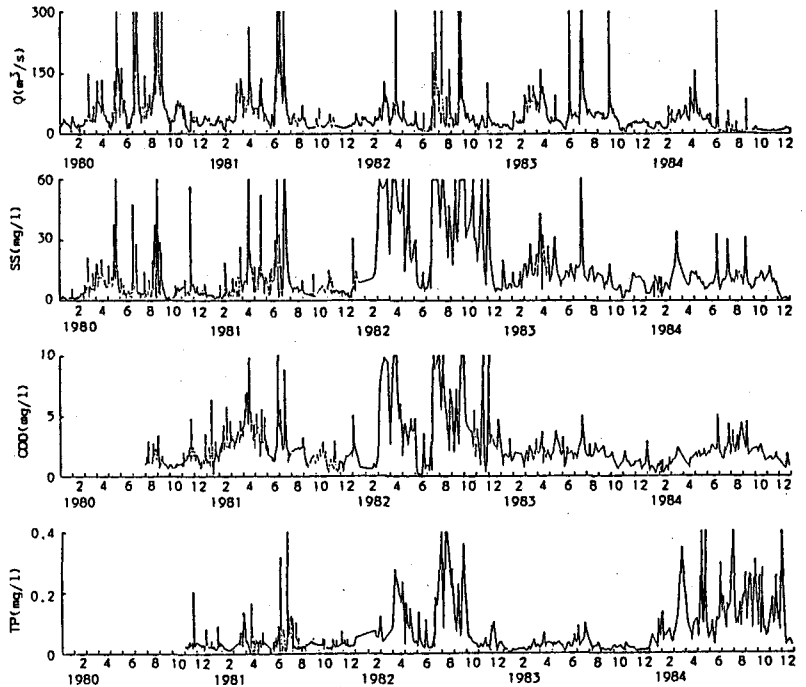


図-2 水質の変動

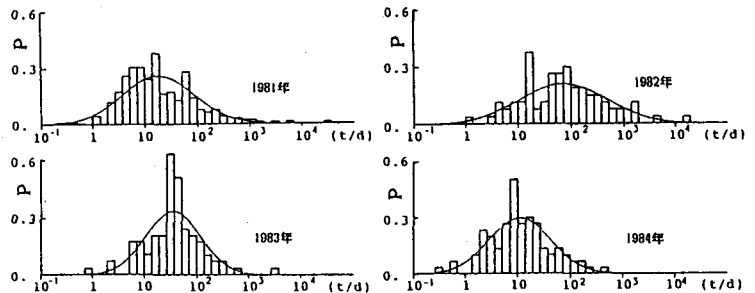


図-3 SSの確率密度分布

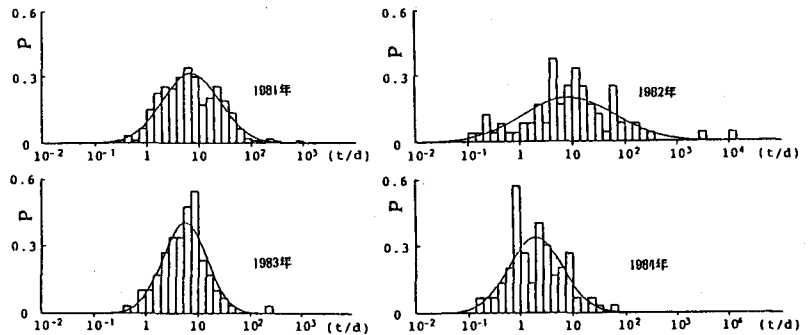


図-4 CODの確率密度分布

が対数正規分布に従うと仮定して、確率密度分布により検討したのが図-3～図-5である。参考のために、流量の分布を図-6に示しておく。各年ごとの水質および汚濁負荷量の確率密度分布が対数正規分布に従うかどうかを、Kolmogorov-Smirnov 検定により検定した結果、有意水準5%では約9割が、また有意水準1%ではすべての場合について帰無仮説が否定された。このことより、有意水準は低いが近似的には対数正規分布に従うとみなしうる。また、図-3～図-5よりわかるように、流量が極端に減少した1984年にはSS、CODでは汚濁負荷量が減少しTPでは幾分増加の傾向が認められる。なお、TNについても同様の傾向が認められた。

5. 水文学的シミュレーションモデルによる検討

1981年の水質および水文量のデータから、「流送能力・供給関数」型モデル式を用いたCase1～Case3の各ケースについてモデル式中のパラメータを推定し、推定されたモデル式を用いて、1981年～1984年の各年毎にモデル式の適合性を検討し、最適なモデル式を決定した。なお、適合性の検討は、実測値と計算値との間の相関係数および回帰直線に基づいて行い、相関係数および回帰直線の勾配が1に近く、回帰直線の切片が0に近い場合を適合性が高いと判定した。

この結果、SS、濁度、TNおよびTPに関してはCase1のモデル式が、CODに関してはCase2のモデル式が最適であった。同定結果を表-1に、各モデル式による計算値と実測値との間の相関係数と回帰直線を表-2にそれぞれ示す。また、一例として、CODの場合の相関図を図-7に示す。相関係数は各場合とも0.8程度以上の値を示すが、工事の影響が現われている

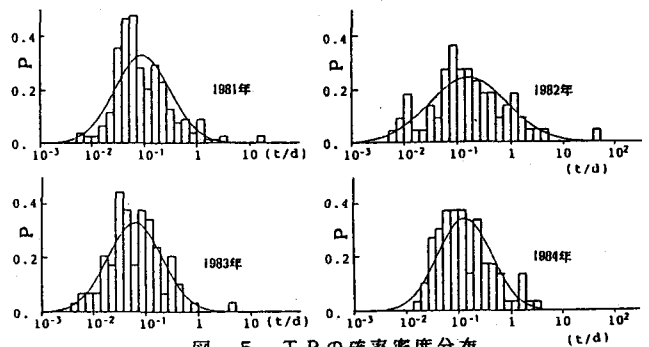


図-5 T/Pの確率密度分布

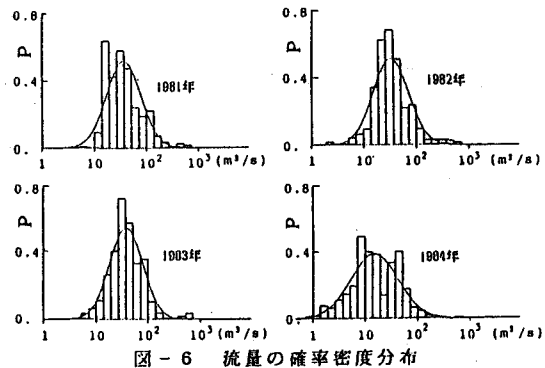


図-6 流量の確率密度分布

表-1 「流送能力・供給関数」型モデル式

指標	モデル式
SS	$\frac{ds}{dt} = 66.6 - 1.58 \times 10^{-4} S(t)^{0.495} Q(t)^{1.83} + 1.71 \times 10^{-5} R'(t)^{3.99}$ $L(t) = 1.58 \times 10^{-4} S(t)^{0.495} Q(t)^{1.83} \quad S_0 = 1.66 \times 10^4$
TUR	$\frac{ds}{dt} = 55.1 - 2.15 \times 10^{-3} S(t)^{0.353} Q(t)^{1.72} + 2.40 \times 10^{-5} R'(t)^{3.97}$ $L(t) = 2.15 \times 10^{-3} S(t)^{0.353} Q(t)^{1.72} \quad S_0 = 5790$
COD	$\frac{ds}{dt} = 20.9 - 9.73 \times 10^{-6} S(t)^{0.995} Q(t)^{1.52} - 1.84 \times 10^{-2} Q(t)^{1.49}$ $L(t) = 9.73 \times 10^{-6} S(t)^{0.995} Q(t)^{1.52} + 1.84 \times 10^{-2} Q(t)^{1.49} \quad S_0 = 1010$
TP	$\frac{ds}{dt} = 1.25 - 3.82 \times 10^{-6} S(t)^{0.873} Q(t)^{1.34} + 1.91 \times 10^{-1} R'(t)^{0.0412}$ $L(t) = 3.82 \times 10^{-6} S(t)^{0.873} Q(t)^{1.34} \quad S_0 = 351$
TN	$\frac{ds}{dt} = 0.202 - 3.47 \times 10^{-5} S(t)^{0.848} Q(t)^{1.16} + 4.12 R'(t)^{0.705}$ $L(t) = 3.47 \times 10^{-5} S(t)^{0.848} Q(t)^{1.16} \quad S_0 = 1760$

S: t, L: t/d, Q: m³/s, R: mm/d

表-2 観測された汚濁負荷量と表-1に示されるモデル式で計算された汚濁負荷量との関係

指標	1981	1982	1983	1984
SS	y = 1.07x - 0.277 R = 0.88	y = 1.15x - 0.964 R = 0.90	y = 0.853x + 0.838 R = 0.97	y = 0.595x + 1.461 R = 0.84
Tu	y = 1.03x - 0.080 R = 0.88	y = 1.21x - 0.440 R = 0.92	y = 0.881x - 0.524 R = 0.83	y = 0.641x + 0.791 R = 0.87
COD	y = 1.01x - 0.218 R = 0.91	y = 1.56x - 0.981 R = 0.93	y = 0.836x - 0.185 R = 0.92	y = 0.626x - 0.090 R = 0.81
TP	y = 0.962x - 0.477 R = 0.79	y = 1.45x + 0.955 R = 0.88	y = 1.07x - 1.341 R = 0.83	y = 0.637x - 0.426 R = 0.78
TN	y = 1.03x - 0.038 R = 0.86	y = 1.78x - 0.079 R = 0.94	y = 0.945x - 0.417 R = 0.93	y = 0.897x + 0.632 R = 0.92

y: 観測値, x: 計算値

1982年の場合は勾配が極端に大きくなっており、流量が極端に少ない1984年の場合は小さくなっている。1982年の場合に適合性が悪いのは当然であるが1984年のように流量が少なくなっても適合性が悪くなることから、水文学が大きく異なる場合には別途モデル中のパラメータを推定する必要があると考えられる。

次に、以前に求めた「流送能力」型モデル⁷⁾との比較検討を行う。表-3に同定されたモデル式を再掲し、表-4にこの場合の相関係数と回帰式を示す。工事の影響や流量の変化の影響に関しては、「流送能力・供給関数」型モデルと同様である。表-2と表-3の回帰式に基づいて両タイプのモデル式を比較すると、SS、濁度およびTNに

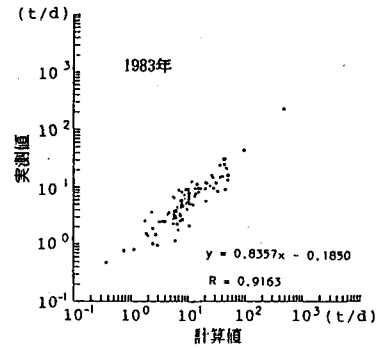


図-7 COD 汚濁負荷モデル式の適合性

表-3 「流送能力」型モデル式

指 標	モデル式
SS	$L(t) = 1.27 \times 10^{-2} Q(t)^{1.84} + 9.04 \times 10^{-3} R(t)^{1.62} + 2.60 \times 10^{-4} R(t-1)^{2.33} + 1.31 \times 10^{-3} R(t-2)^{2.64} + 1.53 \times 10^{-2} R(t-3)^{1.74}$
TUR	$L(t) = 2.52 \times 10^{-2} Q(t)^{1.86} + 5.51 \times 10^{-1} R(t)^{0.521} + 2.28 \times 10^{-5} R(t-1)^{0.08} + 7.71 \times 10^{-6} R(t-2)^{3.85} + 2.30 \times 10^{-2} R(t-3)^{1.67}$
COD	$L(t) = 2.64 \times 10^{-2} Q(t)^{1.43} + 5.76 \times 10^{-5} R(t)^{2.30} + 2.16 \times 10^{-6} R(t-1)^{2.75}$
TP	$L(t) = 1.56 \times 10^{-3} Q(t)^{1.09} + 5.14 \times 10^{-3} R(t)^{0.00116} + 1.57 \times 10^{-5} R(t-1)^{2.53} + 2.12 \times 10^{-6} R(t-2)^{3.24}$
TN	$L(t) = 9.94 \times 10^{-3} Q(t)^{1.41} + 1.75 \times 10^{-1} R(t)^{0.000724} + 2.12 \times 10^{-2} R(t-3)^{0.505}$

L: t/d, Q: m³/s, R: mm/d

ついては「流送能力」型モデルは勾配が小さく切片が大きい傾向にあり、低流出汚濁負荷量時に高めに、高流出汚濁負荷量時に低めに推定する傾向が認められる。このことは、年間総流出汚濁負荷量を問題とするような場合には、小さめの値を算出することを意味している。CODに関しては、優劣はつけがたい。また、TPに関しては「流送能力」型モデルは高めの値を、「流送能力・供給関数」型モデルは低めの値を推定する傾向にある。

以上のように、各水質指標毎に「流送能力」型モデルと「流送能力・供給関数」型モデルとを比較検討したが、考え方の優位性が予測精度に必ずしも明瞭には反映されず、両モデルの優劣の差は小さいものと判定されるが、旭川では幾分「流送能力・供給関数」型モデルのほうが優れていると考えられる。

次に、前節で決定された最適なモデル式中のP₁を晴天時に水系に流入する汚濁負荷量、すなわち点源負荷量と晴天時自然負荷量との和と考え、後述する方法で別途P₁を求め、P₁の値を既知として残りの各パラメータを1981年のデータに基づいて決定した。このようにして得られたモデル式を用いてP₁の流出汚濁負荷量への影響を検討した。

最初に、P₁の推定方法について説明する。COD、TP、TNについては、P₁は家庭からの雑排水、家畜廃水（流出率を考慮）ならびに自然負荷量（平均流量×水質⁹⁾）の和とした。SSと濁度については、観測結果より得られた非超過確率80%以下の日平均汚濁負荷量の総計がP₁に流出率を乗じたものに等しいとおき、福寿⁹⁾が推定した流出率を用いてP₁を推定した。得られた結果は表-5の右辺第1項に示されている。P₁の値を従来求めた年間総負荷量¹⁰⁾の平均値と比較すると4～8割程度であった。

このようにして得られたP₁を固定して1981年のデータを用いて再度モデル式を決定した結果が表-5に

表-4 観測された汚濁負荷量と表-3に示されるモデル式で計算された汚濁負荷量との関係

指 標	1981	1982	1983	1984
SS	y = 0.984x + 0.504 R = 0.87	y = 1.15x + 1.837 R = 0.89	y = 0.827x + 1.525 R = 0.91	y = 0.600x + 1.697 R = 0.77
Tu	y = 0.823x + 0.885 R = 0.83	y = 1.18x + 0.283 R = 0.91	y = 0.805x - 0.048 R = 0.80	y = 0.669x + 0.774 R = 0.81
COD	y = 1.07x + 0.232 R = 0.92	y = 1.65x + 0.024 R = 0.94	y = 0.889x + 0.288 R = 0.92	y = 0.635x + 0.437 R = 0.79
TP	y = 1.07x + 0.145 R = 0.79	y = 1.72x + 2.753 R = 0.88	y = 1.19x + 0.552 R = 0.82	y = 0.767x + 0.432 R = 0.74
TN	y = 0.834x + 0.223 R = 0.83	y = 1.60x + 0.867 R = 0.92	y = 0.852x + 0.234 R = 0.93	y = 0.829x + 1.349 R = 0.88

y: 観測値, x: 計算値

示されている。表-5に示されたモデル式の適合性は、最適なモデル式と比較してCODの場合には幾分悪くなるが他の水質指標の場合には適合性はほとんど変化せず、1981年のデータだけでなく1981年と水文量が類似している1983年のデータも比較的良好に再現する。

次に、 P_1 の値を1/2倍もしくは2倍に変化させて流出汚濁負荷量がどのように変化するかを検討するとCODの場合に明瞭な変化が認められ、SSと濁度の場合には幾分変化するが、TPとTNではほとんど変化が認められなかった。これらの様子をSS、CODおよびTPの場合をとりあげて図-8～図-10に示す。下流で観測された総負荷量に対する P_1 の値が小さくないにもかかわらず、TNとTPの場合にほとんど変化が認められなかったのは、負荷量ポテンシャルSの変化に吸収され

ているためである。1981年や1983年のデータでは適合性が比較的良好であることより、汚濁負荷量が現状と大きく異なる条件下での短期的な予測に関しては、Sに関する情報不足は問題点として表面化しないが、長期予測や条件が変化していく際の予測に関しては、Sに関する情報が必須である。

6. 結 論

本研究では、旭川非感潮部下流端での5年余りにわたる観測結果を総括し、水質および汚濁負荷量の特徴を整理するとともに、水文学的シミュレーションモデルを旭川において同定し、モデルの特性について検討を加えた。

ここで得られた主要な結果は次の通りである。

- 1) 観測結果の整理より、流量の少ない年にはTPやTNの濃度は高くなるが、CODやSSの濃度はあまり変化せず、汚濁負荷量についてはCODやSSでは減少するが、TPやTNではあまり変化がなかった。
- 2) 旭川における水質および汚濁負荷量は、ほとんどの場合対数正規分布に従うとみなしうる。
- 3) 水文学的シミュレーションモデルとして、「流送能力・供給関数」型モデルと「流送能力」型モデルとをとりあげ適合性を比較検討した結果、幾分「流送能力・供給関数」型モデルのほうが適合性が良好であった。なお、同定されたモデル式の適合性は、水文条件が類似している場合には回帰に用いた期間以外のデータに対しても比較的良好であった。

表-5 晴天時流入負荷量を固定して同定したモデル式

指 標	モデル式
SS	$\frac{ds}{dt} = 76.325 - 0.1958 \times 10^{-3} S(t)^{0.4705} Q(t)^{1.823} + 0.818 \times 10^{-7} R'(t)^{0.000}$ $L(t) = 0.1958 \times 10^{-3} S(t)^{0.4705} Q(t)^{1.823} \quad S_0 = 1.665 \times 10^4$
TUR	$\frac{ds}{dt} = 117.614 - 0.1568 \times 10^{-2} S(t)^{0.3749} Q(t)^{1.615} + 0.2187 \times 10^{-6} R'(t)^{0.000}$ $L(t) = 0.1568 \times 10^{-2} S(t)^{0.3749} Q(t)^{1.615} \quad S_0 = 1.912 \times 10^4$
COD	$\frac{ds}{dt} = 9.1866 - 0.9802 \times 10^{-5} S(t)^{0.9947} Q(t)^{1.527} - 0.1781 \times 10^{-1} Q(t)^{1.489}$ $L(t) = 0.9802 \times 10^{-5} S(t)^{0.9947} Q(t)^{1.527} + 0.1781 \times 10^{-1} Q(t)^{1.489} \quad S_0 = 1179$
TN	$\frac{ds}{dt} = 3.205 - 0.1058 \times 10^{-7} S(t)^{1.132} Q(t)^{1.192} + 49.2 Q(t)^{1.249}$ $L(t) = 0.1058 \times 10^{-7} S(t)^{1.132} Q(t)^{1.192} \quad S_0 = 3.279 \times 10^5$
TP	$\frac{ds}{dt} = 0.1832 - 0.1952 \times 10^{-5} S(t)^{0.7436} Q(t)^{1.232} - 15.49 R'(t)^{-0.8105}$ $L(t) = 0.1952 \times 10^{-5} S(t)^{0.7436} Q(t)^{1.232} \quad S_0 = 4949$

S: t, L: t/d, Q: m³/s, R: mm/d

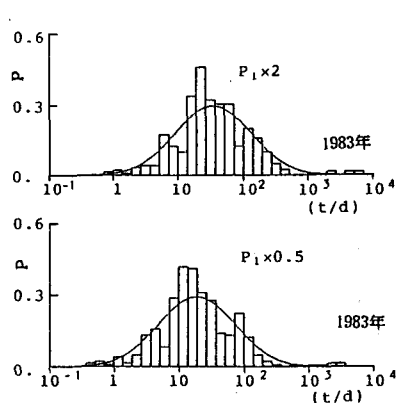


図-8 SS負荷量への P_1 の影響

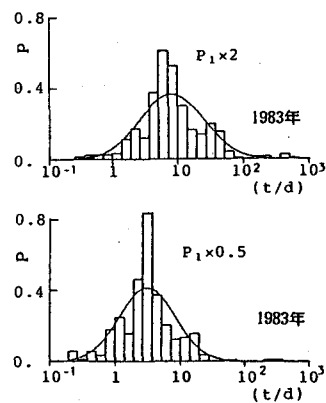


図-9 COD負荷量への P_1 の影響

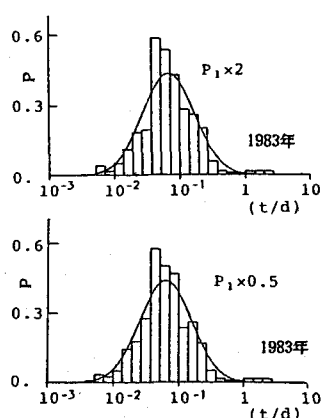


図-10 TP負荷量への P_1 の影響

以上、主要な結論を述べたが、同定された「流送能力・供給関数」型モデル式を用いて、晴天時汚濁負荷量（排出汚濁負荷量）の影響を検討した結果、汚濁負荷量ポテンシャル S の変化に吸収されて下流での流出汚濁負荷量が変化しない場合も認められ、 S に関して今後検討が必要とされる。

〈参考文献〉

- 1) たとえば、新田正：河川の水質の変動に関する研究，東京工業大学学報，No.20， pp.1～96，1961.
- 2) 山口高志，古川勝秀，奥石洋：河川の水質・負荷量に関する水文学的研究，土木学会論文報告集，No.293号， pp.49～63，1980.
- 3) Ledbetter, J.E. and Gloyna, E.F. : Predictive Techniques for Water Quality Inorganics, A S C E, Vol.90, No.SA1, pp.127～151, 1964.
- 4) たとえば、羽田守夫：雄物川の水質の変動特性とそのモデル化，土木学会論文報告集，No.265号， pp.73～81，1977.
- 5) 山口高志，古川勝秀：河川の水質・汚濁負荷量に関する研究（Ⅱ），土木研究所報告，No.154， pp.1～43，1980.
- 6) 関根雅彦，浮田正夫，山本修司，中西弘：揖保川のボルトグラフシミュレーション，衛生工学研究論文集，Vol.22， pp.103～109，1986.
- 7) 河原長美：河川の水質ならびに汚濁負荷量の代表値推定に関する2，3の検討，第12回環境問題シンポジウム講演論文集， pp.1～7，1984.
- 8) たとえば、片山靖夫，他：水質汚濁機構に関する調査研究，第4報河川上流域における自然汚濁調査，岡山県環境保健センター年報， pp.109～113，1985.
- 9) 福寿真也：旭川流域における汚濁負荷の流達過程に関する研究，昭和55年度岡山大学工学部土木工学科特別研究，1981.
- 10) 河原長美，福寿真也，北川知与司：年間総流出汚濁負荷量の推定法に関する研究，水道協会雑誌，Vol.53, No.2, pp.38～44，1984