# 北海道内中小河川の貯留関数パラメータの 地理特性に関する研究

環境システム工学課程 水文気象研究室 木暮 匠倫 指導教員 助教授 陸 旻皎

1. はじめに

現在,洪水計算を行うモデルは大きく分けて二つある.流域を一つの貯留域として 捉える集中型モデルと流域をメッシュに分け、それぞれについて解析していく分布型 モデルである.これらのモデルは流量・雨 量などの基礎データのほかにモデルそれぞ れのパラメータを設定して予測・再現が行 われる.それらのパラメータは基礎データ 以外の多くの解析用データを用いて設定される.

近年,中小河川では洪水被害が多数確認 されており,中小河川における洪水対策が 望まれている.前述のモデルを用い,洪水 予測を行いたいところたが,中小河川では 解析用データが乏しく全く無い場合も珍し くない.そのような中で容易に手に入る地 理情報からモデルのパラメータを同定する, 総合化という手法がある.総合化は木村 (1962)や永井ら(1982)などによって貯留関 数法の総合化が行われており,本研究では 永井らの研究を参考にパラメータと流域面 積の関係を調べ貯留関数のパラメータの総 合化を行うことを目的とする.

また,貯留関数法で導かれるパラメータ はイベントごとに大きく異なる性質を持ち, そのばらつきは流域面積に係わらない.ば らつきは推定式の相関を乱し,パラメータ の推定に何らかの影響を与えているものと 考えられる.そのようなパラメータのばら つきを抑えるような補正法についても検討 を行う.



# 図 1 北海道河川図

## 2. 使用データ

本研究で用いたデータは北海学園大学に よって編集された「北海道内一級河川13 水系の洪水データ集」を用いる.このデー タ集は道内13水系,90流域(図1),46 6イベントが収録されており,対象河川は Hackの法則(式1)に従っており,対象河川 は高い一般性をもっている.

 $L = uA^{\nu} \tag{1}$ 

ここに,*L*:主河道長,*A*:流域面積で あり,*u*=1.27~1.89,*v*=0.52~0.70と される.

# 3. 手法

# 3.1. 貯留関数法

本研究では貯留関数法の基礎式として次 式を用いる.

$$\frac{ds}{dt} = r_e(t - T_l) - q \tag{2}$$

$$s = Kq^{p} \tag{3}$$

$$r_e = fr \tag{4}$$

ここに,q:流量[m<sup>3</sup>/s],s:貯留量[mm],

*r<sub>e</sub>*:有効降雨[mm/h],*r*:観測降雨[mm/h], *t*:時間[h],*f*:流出率,*K*,*P*,*T<sub>l</sub>*:貯留関数 法におけるパラメータである.この貯留関 数法のパラメータを同定し,地理情報から パラメータ推定式を導く.なお,パラメー タ*P* は永井らの研究から以下のように設定 する.

$$P = 0.6 \tag{5}$$

# 3.2. 流出率·貯留量

降雨資料を直接流出高の分離開始点*Q*<sub>1</sub> の前後で分離し分離点以前を初期損失雨量 *FTR*,分離店以後の総雨量を*TR*とする(図 2)と流出率*f*は次式によって表される.

$$f = \frac{TCQ}{TR} \tag{6}$$

ここに, *TCQ*:総直接流出高 [mm/s], *TR*:総雨量 [mm]

流出率が定まることで式(4)より,有効雨 量が求められる.有効雨量が定まれば式(2) より,流域の貯留量sを求めることができ る.



# 3.3. パラメータ同定

まず,遅滞時間 $T_l$ の値を仮定し,q(t)を 求める.q(t)が等しくなる時刻 $t_1, t_2$ を選び,

$$s(t_2) - s(t_1) = f \int_{t_1}^{t_2} r dt - \int_{t_1}^{t_2} q dt$$
 (7)

とする . sはqの一価関数であるので ,  $s(t_1) = s(t_2)$ になる . つぎに

$$s(t) - s(t_0) = f \int_{t_0}^t r dt - \int_{t_0}^t q dt$$
 (8)

を考える.ここで $s(t_0) = 0$ である.上式に より,貯留量sを求め $s(t) \ge q(t)$ の関係を グラフ化する,各時刻に対応する点を連ね た曲線がループカーブを描いている場合, つまり, $s \ge q$ の関係が一価の関数関係で 無い場合は遅滞時間 $T_l$ を仮定しなおして最 も一価の関数に近くなるように試算を繰り 返し $T_l$ を決定する(図 3).

sとqの関係が一価の関数関係で表され たら,その関係を次式のような形でグラフ 化しパラメータを同定する.

 $\log S(t) = \log K + P \log q(t + T_l)$  (9) sとqの関係は一本の直線で表現され,傾 きにPが,切片にKが表現される(図 4). 以上の操作により,貯留関数法に必要なパ ラメータが同定される.







## 図 4 パラメータ同定の概念

以上の操作を466イベントすべてにおい て行いパラメータ*K*について流域面積と の関係を調べる.

# 4. 結果

# 4.1. Nash and Sutcliffe の効率係数

貯留関数法による洪水再現は,イベント によって再現の精度が異なる.そこで,実 測ハイドログラフに対する計算ハイドログ ラフの一致度を定量的に示す指標として, Nash and Sutcliffe の効率係数(以降 NS 係数と呼ぶ) eを導入する.すなわち

$$e = 1 - \frac{\sum (Q_o - Q_s)^2}{\sum (Q_o - \overline{Q}_o)^2}$$
(10)

ここに, $Q_s$ :各時間ステップの計算流量,

 $Q_a$ :実測流量, $\overline{Q}_a$ :実測流量の平均値である.

NS 係数が1 に近いほど計算ハイドログ ラフが実測ハイドログラフに対する再現性 が高いことを示す.一般に NS 係数 0.8 以 上であれば再現結果は良好だとされている. そのため本研究では,NS 係数 0.8 以下の洪 水イベントは再現性が低いものとして用い ないこととした.

# 4.2. パラメータ推定式の導出

前節の NS 係数を用いてパラメータの



図 5 パラメータ K と流域面積の関係 選別を行い,残ったパラメータから,パラ メータ K と流域面積の関係を示したグラ フを示す(図 5).

このグラフから次のような式を得た.

$$K = 6.6387 A^{0.10/3} \tag{11}$$

ここに, *K*:貯留関数のパラメータ, *A*: 流域面積 [ km<sup>2</sup> ] である.この式の相関係 数は次のようになった.

R = 0.274 (有意水準 5%)

また,本研究で提案するパラメータ推定 式は推定式を必要とする流域に対して適用 するものである.イベントごとにパラメー タが異なる貯留関数法では,流域固有のパ ラメータは存在せず,各イベントから推定 したパラメータ推定式がどの流域でも適応 するか定かではない.そのため,パラメー タKを流域ごとに相加平均し,対象流域固 有のパラメータを仮定した.その結果が次 のグラフ(図 6)である.このとき,イベント が一つしかない流域は推定式の導出には用 いないものとした.

このグラフから次の式を得た.

K = 6.2245A<sup>0.1254</sup> (12)
 ここに, K:貯留関数のパラメータ, A:流
 域面積 [km<sup>2</sup>] である.この式の相関係数
 は次のようになった.

R = 0.431 (有意水準1%)



図 6 流域のパラメータと流域面積の関係

#### 4.3. 再現計算

前節で得た2式を用いて流域面積が異なる8つのイベントで再現計算を行った.その再現結果の一部を示す(図7).

再現を行ったハイドログラフについて, 4.1.節の NS 係数を用いて洪水の再現性を 確認してみたところ比較的高い結果を得て いることが判明した.したがって,本研究 で求めた式(11)(12)はある程度,実用に耐え られる水準の式であると考えられる.



# 5. パラメータのばらつき

山本・陸(2006)によれば洪水イベントのパ ラメータ同定は各々に適した時間分解能を 与えなければそこから推定されたパラメー タは大きな不確実性を伴うとしており,そ の変化を次式のように時間分解能と有効降 雨の式で表している.

$$\frac{\overline{K}}{K_0} = br_e^c K_0^d TR + 1$$
(13)

ここに, $\overline{K}$ :流域のパラメータの平均, $K_0$ :

時間分解能の影響を受けないパラメータ, *TR*:時間分解能, *r<sub>e</sub>*:有効降雨 [mm/h], *b*,*c*,*d*:定数である.この式を用いて,時間 分解の影響を受けないパラメータを導いた. パラメータ推定式の導出方法は前節の方法 と同様の方法である.その結果は次のよう になった.

式(11) R = 0.274 R = 0.281 式(12) R = 0.431 R = 0.442 2 式ともわずかであるが相関係数がよくな

#### 6. 結論

る傾向が確認された.

北海道の過去36年分のデータを用い貯 留関数法のパラメータの推定式を導いたと ころ,いくつかの流域で良好な結果を得た. あわせて,流域ごとにイベントを平均化し て流域のパラメータを仮定したところ相関 係数がよくなるという結果を得た.

また,山本・陸(2006)の式を用いて時間 分解能の影響を受けないパラメータを導い たところ,相関係数でわずかながら良くな ることが確認された.今後,パラメータの ばらつきについて,降雨の空間分布の影響 を考慮するような手法を用いて,パラメー タ推定式を考えていく.

#### 参考文献

- [1] 木村俊晃:**貯留関数法**,河鍋書店, 1975.
- [2] 永井ら: 貯留関数法の総合化,京都
  大学防災研究所年報,第25号B-2,
  1982.