



$r_e$ :有効降雨[ mm/h ],  $r$ :観測降雨[ mm/h ],  
 $t$ :時間 [ h ],  $f$ :流出率,  $K, P, T_l$ :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.

$$P = 0.6 \quad (5)$$

### 3.2. 流出率・貯留量

降雨資料を直接流出高の分離開始点  $Q_1$   
 の前後で分離し分離点以前を初期損失雨量  
 $FTR$ , 分離点以後の総雨量を  $TR$  とする(図  
 2)と流出率  $f$  は次式によって表される.

$$f = \frac{TCQ}{TR} \quad (6)$$

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. 有効雨量が定めれば式(2)  
 より, 流域の貯留量  $s$  を求めることができ  
 る.

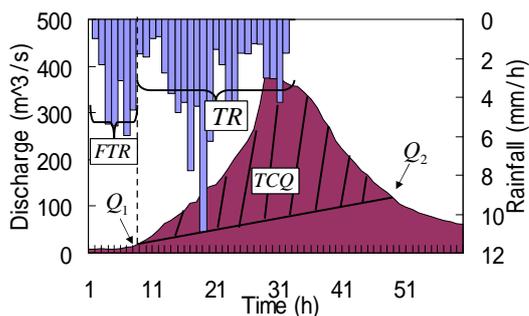


図 2 流出高分離概念図

### 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,

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

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

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

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  $s(t)$  と  $q(t)$  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,  $s$  と  $q$  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.

$$\log S(t) = \log K + P \log q(t + T_l) \quad (9)$$

$s$  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.

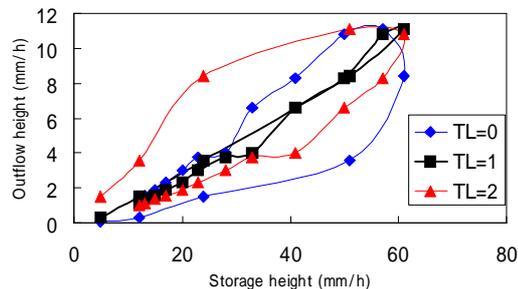


図 3  $s$  と  $q$  および  $T_l$  の関係

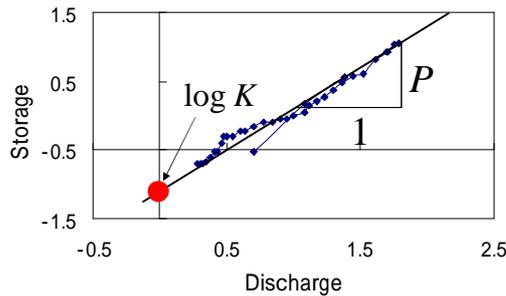


図 4 パラメータ同定の概念

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

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

ここに、 $Q_s$ :各時間ステップの計算流量、 $Q_o$ :実測流量、 $\bar{Q}_o$ :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

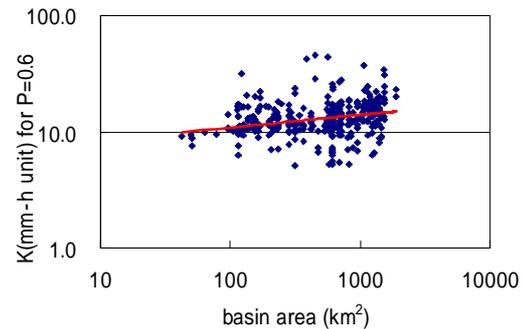


図 5 パラメータ  $K$  と流域面積の関係

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。

$$K = 6.6387A^{0.1073} \quad (11)$$

ここに、 $K$ :貯留関数のパラメータ、 $A$ :流域面積 [ $\text{km}^2$ ] である。この式の相関係数は次のようになった。

$$R = 0.274 \quad (\text{有意水準 } 5\%)$$

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用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。

$$K = 6.2245A^{0.1254} \quad (12)$$

ここに、 $K$ :貯留関数のパラメータ、 $A$ :流域面積 [ $\text{km}^2$ ] である。この式の相関係数は次のようになった。

$$R = 0.431 \quad (\text{有意水準 } 1\%)$$

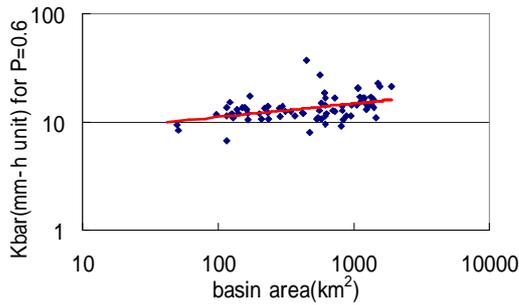


図 6 流域のパラメータと流域面積の関係

#### 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。

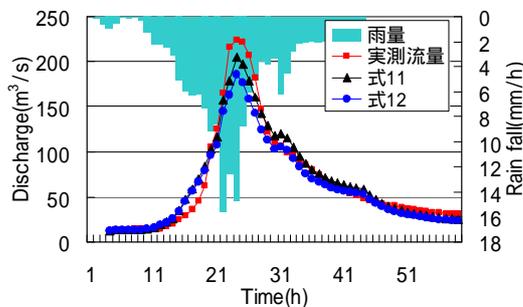


図 7 再現ハイドログラフ  
(後志利別川水系 美利河観測所)

#### 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。

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

ここに、 $\bar{K}$ :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、 $r_e$ :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。

$$\text{式(11)} \quad R = 0.274 \quad R = 0.281$$

$$\text{式(12)} \quad R = 0.431 \quad R = 0.442$$

2 式ともわずかであるが相関係数がよくなる傾向が確認された。

#### 6. 結論

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。