

信州大学工学部 正員 荒木 正夫  
 信州大学工学部 正員 寒川 典昭  
 信州大学大学院 学生員 ○滝沢 文雄  
 信州大学工学部 学生員 吉沢 茂

## 1.はじめに

流域内積雪は重要な水資源であり、特に春の訪れとともに安定した流量を河川に供給するときにはきわめて有効である。しかし融雪は複雑かつ不確定な現象であるため、決定論的立場だけでは解析は不十分である。本稿ではエントロピー モデルを用いて、融雪期の流出現象を確率論的に検討する。

## 2. エントロピー モデル

エントロピー モデルによる状態遷移確率は次式で与えられる。<sup>1)</sup>

$$p_i(j) = (B_j/B_i) w^{-t_{ij}} \quad \dots \dots (2.1)$$

ここで、 $w$  は  $|w^{-t_{ij}} - \delta_{ij}| = 0$  <sup>2)</sup>  $\dots \dots (2.2)$

なる方程式の最大正実根であり、 $B_i$  は

$$\sum_j B_j (w^{-t_{ij}} - \delta_{ij}) = 0 \quad \dots \dots (2.3)$$

を満足する自明でない解である。ただし  $\delta_{ij}$  は Kronecker-Delta を表現している。

## 3. 入力規模と特性値の算定法

日融雪量の算定には境の横算気温  $D$  を用いた Degree-hour factor <sup>2)</sup>

$$f_s = \Sigma Q / D \quad \dots \dots (3.1)$$

( $\Sigma Q$  : 単位面積あたりの融雪量) より、次のように計算する。図-1において斜線部の融雪量は次式となる。<sup>3)</sup>

$$\Sigma Q = (\Sigma Q_i) \Delta t \quad \dots \dots (3.2)$$

流域全体の融雪量を  $Q'$  とすると、 $Q' [m^3/s] / A [km^2] = Q' \times 10^{-3} / A$

[mm/s] であるから、 $Q_i$  を [mm/s]、 $\Delta t$  を [s] にとると [ $\Sigma Q$ ] =

[mm] となる。この  $\Sigma Q$  が 1 日の横算気温  $D$  に対応するから、 $\Sigma Q$  の単位は [mm/day] とみなしてよく、日融雪量  $I_s$  (=  $\Sigma Q$ ) は  $D$  を計算することにより (3.1) 式から評価される。次に降雨量であるが、融雪期の降水は降雨と降雪の 2 つの現象から成り立っているので、気温から求めた凍結線と不凍結線を用いて、降水から降雨を分離して、降雨量のみを抽出する。<sup>4)</sup> こうして融雪量  $I_s$  と降雨量  $I_r$  が求められると、その和  $I = I_s + I_r$  は入力量とみなすことができる。一方、特性値  $t_{ij}$  は、降雨期のハイドログラフより、状態間の到達時間に頻度を考慮して評価する。

## 4. 実流域への適用と考察

対象流域は、図-2 に示す信濃川水系陸郷流域とした。解析資料としては、1971年～1977年における 8 地点の日最大・最小気温、日降水量、及び陸郷日流量を採用した。又、 $f_s$  の算定には、1977年の陸郷時間流量を用いた。融雪期はハイドログラフから 3月11日～6月30日とし、その間を、松本最高

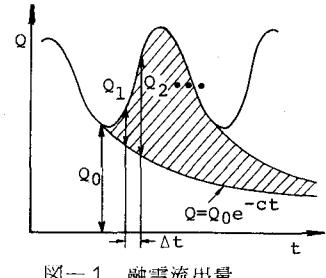


図-1 融雪流出量

気温を用いて“ $\chi^2$ 検定”<sup>5)</sup>を行ない、3つの層に分割して、層内では $f_s$ を一定と仮定した。ここでは第3層（5月11日～6月30日）についての計算結果を示す。なお流出状態と入力規模は表-1のように定めた。このようにして求められた遷移確率が表-2である。

理論値には次の傾向がある。①入力規模が $I_1$ のとき、遷移前の状態( $E_i$ )にかかわらず、遷移後( $E_j$ )は同じ状態にとどまるか、1つ下の状態に遷移する確率が大きい。②入力規模が $I_2$ のとき、 $E_i=E_1, E_2, E_3$ では同じ状態にとどまるか1つ上の状態に、 $E_i=E_4, E_5$ では同じ状態にとどまるか1つ下の状態に遷移する確率が大きい。③入力規模が $I_3, I_4$ になると $E_j$ の確率に分散傾向が強まる。

次に、実測値と比較すると、④ $I_k$ 及び $E_i$ が小さい程、又データ数が多い程、適合度が高まる傾向にあり、このようなところでは、理論値は実測値をよく説明している。

⑤ $I_k$ や $E_i$ の大きいところでは、小標本となるため、実測値は系の状態を再現しているとはい難く、理論値との比較は、データが整備された時点で行なわれなければならない。

しかし、我々は水資源としての融雪流出を目的としているため、 $I_k, E_i$ の小さいところでよい適合度を示すことは好ましい結果である。

## 5. あとがき

ここでは、エントロピーモデルを融雪期に適用して、確率論的立場から融雪期の流出現象を検討した。今後はさらに整備されたデータを用いて解析していくとともに、(2.1)式に入力規模をも織り込んだモデルの適用をはかりたいと考えている。

- 1) 高柳琢馬、池淵周一：長期間流出機構の情報理論的研究、京大防災研究所年報12号B（昭. 44. 3）。
- 2) 境隆雄：河川の融雪流出に関する研究、土木学会論文報告集、1963年7月。
- 3) 高瀬信忠：融雪出水の解析、水工学に関する夏期研集会講義集、1977年7月。
- 4) 前出2)と同じ。
- 5) 岸根卓郎：理論・応用統計学、養賢堂。

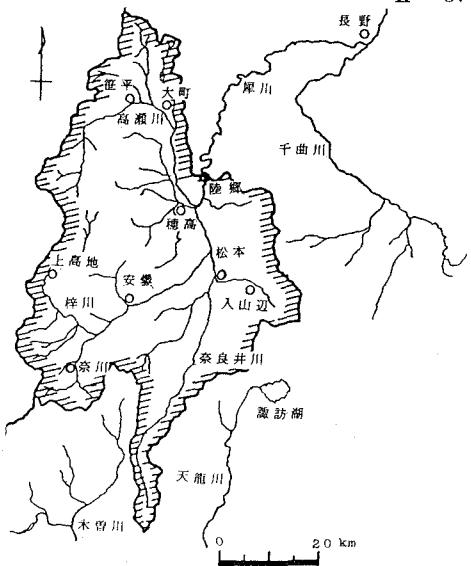


図-2 陸郷流域概況図

表-1 流出状態と入力規模  
(a) 流出状態 (b) 入力規模

流出状態	日流出量 (m <sup>3</sup> /sec)	入力規模	日入力量 (mm/day)
$E_1$	0 - 100	$I_1$	0 - 5
$E_2$	100 - 125	$I_2$	5 - 20
$E_3$	125 - 150	$I_3$	20 - 40
$E_4$	150 - 200	$I_4$	40 -
$E_5$	200 -		

表-2 遷移確率の理論値と実測値  
上段：実測値 下段：理論値

$I_k$	$E_i$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	データ数
$I_1$	$E_1$	0.972 0.769	0.028 0.231				71
	$E_2$	0.342 0.284	0.632 0.716	0.026			38
	$E_3$	0.063 0.149	0.687 0.466	0.250 0.385			16
	$E_4$	0.023	0.294 0.119	0.588 0.281	0.118 0.577		17
	$E_5$	0.002	0.024	0.049	0.250 0.196	0.750 0.729	12
$I_2$	$E_1$	0.589 0.586	0.308 0.414	0.077	0.026		39
	$E_2$	0.167 0.024	0.603 0.532	0.167 0.444	0.063		48
	$E_3$	0.026	0.545 0.155	0.318 0.438		0.137	22
	$E_4$	0.007	0.045 0.105	0.230 0.414	0.680 0.438	0.045 0.036	22
	$E_5$	0.002	0.058	0.164	0.100 0.296	0.200 0.480	10
$I_3$	$E_1$	0.250 0.236	0.270 0.300	0.372 0.100	0.070 0.500	0.750 0.100	4
	$E_2$	0.076	0.189	0.428	0.178	0.129	10
	$E_3$	0.081	0.053	0.286 0.279	0.571 0.394	0.143 0.193	7
	$E_4$	0.125	0.152	0.100 0.308	0.600 0.279	0.200 0.136	10
	$E_5$	0.043	0.108	0.166	0.198	0.750 0.485	4
$I_4$	$E_1$	0.251	0.296	0.185	0.186	1.000	2
	$E_2$	0.107	0.178	0.221	0.397	0.500	4
	$E_3$	0.086	0.170	0.178	0.319	0.247	0
	$E_4$	0.064	0.142	0.167 0.235	0.333 0.376	0.500 0.183	6
	$E_5$	0.000	0.006	0.125	0.125	0.750	8