II-68 エントロピー法を用いた有効雨量の推定について

北海道大学工学部 正員 道口敏幸
同 上 正員 藤田睦博

竹内[1]は、有効雨量とこれに対応する流出量が既知であるとして、式(1)に示す $h_{i,j}$ $(j \geq i)$ をエントロピー法を用いて求める手法を提案している。

	r_1	r_2	$\cdots$	r_i	$\cdots$	r_m
q_1	$h_{1,1}$					
q_2	$h_{1,2}$	$h_{2,2}$				
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\cdot$			
q_i	$h_{1,i}$	$h_{2,i}$	$\cdots$	$h_{i,i}$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\cdot$	
q_m	$h_{1,m}$	$h_{2,m}$	$\cdots$	$h_{i,m}$	$\cdots$	$h_{m,m}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
q_n	$h_{1,n}$	$h_{2,n}$	$\cdots$	$h_{i,n}$	$\cdots$	$h_{m,n}$
$(\sum r_i - \sum q_j$	$h_{1,n+1}$	$h_{2,n+1}$	$\cdots$	$h_{i,n+1}$	$\cdots$	$h_{m,n+1})$

(1)

r_i：有効雨量 q_j：有効雨量に対応する流出量 $h_{i,j}$ $(j \geq i)$ は、i 時刻の有効雨量 r_i が j 時刻に流出する成分である。r_i, q_j に関して次式が成立している。

$$r_i = \sum_{j=i}^{n} h_{i,j} \tag{2}$$

$$q_j = \sum_{k=1}^{s} h_{k,j} \qquad s = \begin{cases} i & j \leq m \\ m & j > m \end{cases} \tag{3}$$

単位図は、$h_{i,j}$を r_i で規格化したものである。

$$t_{ij} = \frac{1}{r_i} h_{i,j} \tag{4}$$

本研究は、r_i に損失も含んだ雨量(実測降雨に相当)とし、式(1)の下端の項$h_{i,n+1}$ $(1 \leq i \leq m)$ を新たに加える。この項は、r_i の損失雨量に相当し、次式が成立している。

$$\sum_{i=1}^{m} r_i - \sum_{j=1}^{n} q_j = \sum_{i=1}^{m} h_{i,n+1} \tag{5}$$

竹内の手法を用いると次式を得る。

$$E_i \sum_{j=i}^{n+1} D_{i,j} q_j F_j = 1 \qquad 1 \leq i \leq m \tag{6}$$

$$F_j \sum_{k=1}^{s} D_{k,j} r_k E_k = 1 \qquad 1 \leq j \leq n+1 \tag{7}$$

$$s = \begin{cases} i & j \leq m \\ m & j > m \end{cases}$$

$$D_{i,j} = exp\{-1-\gamma C_{i,j}\} \tag{8}$$

$$h_{i,j} = D_{i,j} r_i E_i q_j F_j \tag{9}$$

式の誘導過程は、原論文を参照してもらうこととして、計算の順序だけを説明すると$D_{i,j}$を既知とし式(6),(7)より E_i, F_jを求めると式(9)より$h_{i,j}$が得られる。式(8)の$C_{i,j}$としては、竹内と同様に

$$C_{i,j} = ln(j-i+1) \tag{10}$$

とした。γの値は、有効雨量r_iが既知の場合図-1の流れ図1に示すεを最小にするγの値を得た。計算によるとγ=-1が最適値であった。また、有効雨量と損失雨量の和のみが既値のとき、図-2の流れ図による計算でγ=2.3の最適値を得た。

図-3は、シミュレーションの一例を示したもので、(a)の実線の指数関数的に減少する r_{li} (損失雨量)を仮定し、有効雨量 r_i としては一様乱数を与えた。q_j はr_i と次式の単位図$t_{i,j}$((c)の実線)より求めた。

$$t_{ij} = 0.172(j-i+1)^2 exp\{-0.7(j-i+1)\} \tag{11}$$

γ=2.3として得た$h_{i,n+1}$ (r_{li}の推定値)を(a)の破線に示す。r_{li}と$h_{i,n+1}$は、よく一致している。次に γ=-1 として、有効雨量を次式で求め

$$r'_i = R_i - h_{i,n+1} \tag{12}$$

r'_iとq_jより求めたt_{ij}の推定値t'_{ij}を(c)の破線に示す。式(11)に示す与えた単位図を再現していないが、実用的には充分な精度で単位図が得られた。

図-4,5は、天塩川上流部名越橋流域(612.4km²)の実測資料を用いた解析例である。図の雨量は、流域平均雨量(観測所数3)を示し、ハイドログラフの立上り時刻以前の雨量を無視している。流量は、初期流量で直線分離した直接流出量を示す。なお、計算の方法は、図-3と同様である。図-5(c)で後半の単位図のピーク値が大きくなっているのは、(a)の後半の小降雨群によるもので、この流域は単位図による流出解析の適合する流域である。

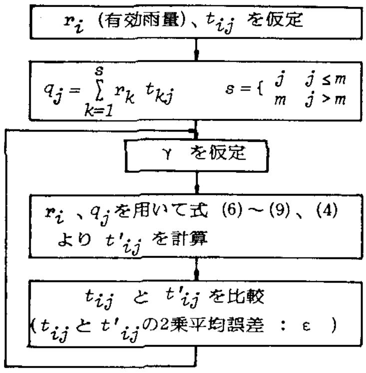

図- 1　フローチャート 1

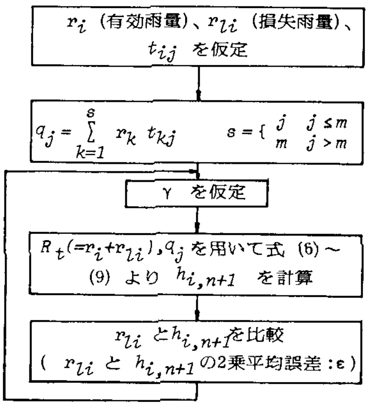

図- 2　フローチャート 2

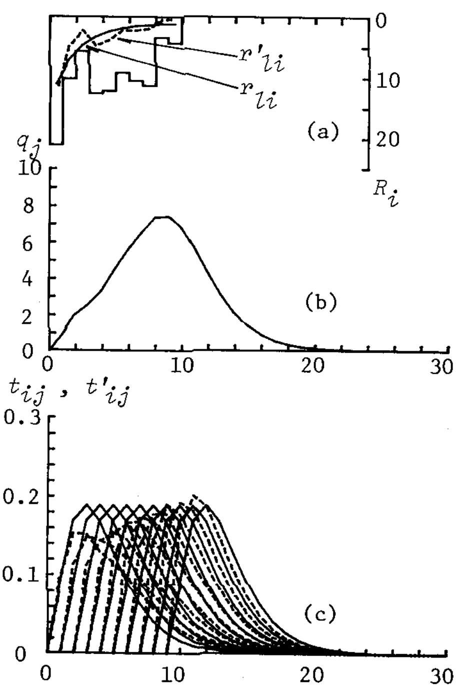

図- 3　シミュレーションの例

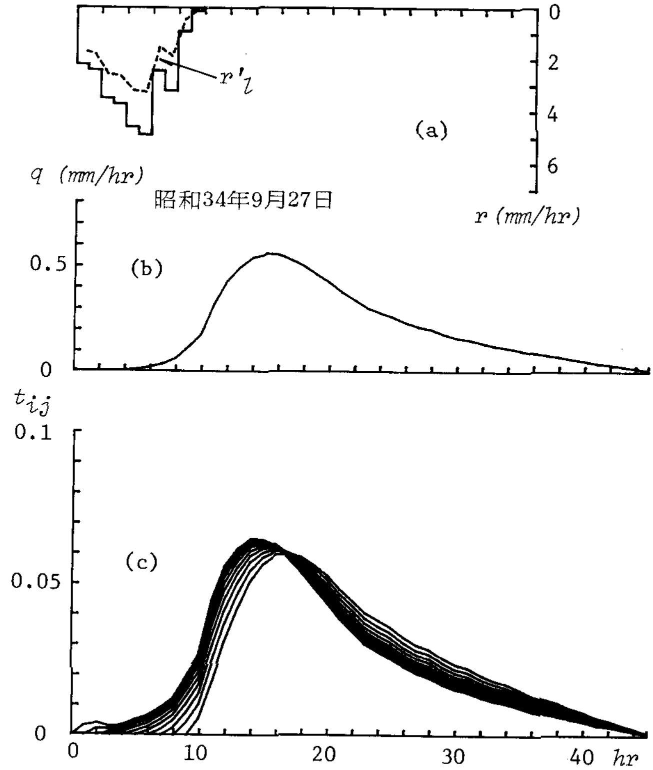

図- 4　天塩川における解析

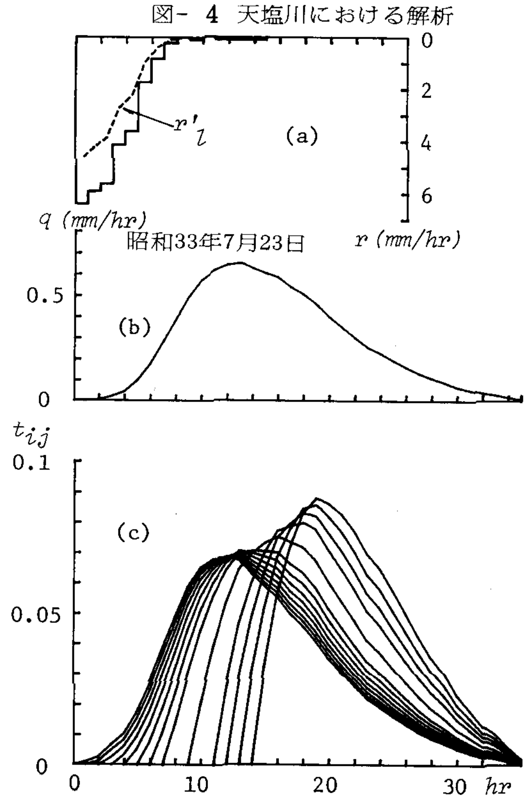

図- 5　天塩川における解析

1) k. Takeuchi; The Law of Entropy Increase Governing Rainfall-Runoff Process, Third International Symposium on Stochastic Hydraulics (1980)