

京都大学大学院 学生員 今村 宏
 京都大学工学部 正 員 高橋琢馬
 京都大学工学部 正 員 椎葉充晴

1. はじめに

流出系の状態を表わす有限個の状態量を従属変数とし、時刻を独立変数とする一階連立常微分方程式と流出量を状態量で表わす関数として記述される集中型流出モデルを構成する。集中型モデルを採用するのは、数理的取扱いが容易であり、特に状態量の不確実性を考慮する必要がある流出予測において有利であるからである。

2. 集中型流出モデルの構成

本研究で考えたモデルはFig. 1に示すとおりである。流出システムを斜面系と河道網系に分けてモデル化を行ない、斜面系に対しては6個の貯留要素を設定し、河道網系は有限個数(n_c 個)の貯水池系列で表現する。計 $n_c + 6$ 個の貯留要素の貯留量を流域面積あたりの貯水高で表わした変数が本モデルの状態変数である。

このモデルへの入力は降雨強度 R (mm/hr)と蒸発散能力 P (mm/hr)で、 P はThornthwaiteの式を用いて計算する。Fig. 1中の矢印に付した記号は単位時間あたりのその方向の雨水の移動を表わしている。 Q (mm/hr)

Table 1 Functional Representation of flows in storage variables

# slope system	
input	R : rainfall intensity P : potential evapotranspiration
output	Q_1 : slope runoff height per unit time
E_F	$= P_F x_{tF} / M_{tF}$, $P_F = A_F P$
E_U	$= P_U x_{tU} / M_{tU}$, $P_U = A_U P$
E_S	$= P_S x_{tS} / M_{tS}$, $P_S = (P - E_F - E_U) M_{tS} / (M_{tF} + M_{tU} + M_{tS})$
R_{eF}	$= R_F (x_{tF} / M_{tF})^{m_{tF}}$, $R_F = A_F R$
R_{eU}	$= R_U (x_{tU} / M_{tU})^{m_{tU}}$, $R_U = A_U R$
Q_F	$= k_F x_{fF}^2$ for $x_{fF} \leq D$ $= k_F x_{fF}^2 + a_F (x_{fF} - D)^2$ for $x_{fF} > D$
Q_U	$= a_U x_{fU}^2$
i_F	$= A_F i_{FC} P_c I(x_{fF})^*$, $P_c = 1 + c_p (1 - (x_{fS} + x_{tS}) / (M_{fS} + M_{tS}))$
i_U	$= A_U i_{UC} P_c I(x_{fU})^*$
i_{tS}	$= i_p P_{tS} (1 - x_{tS} / M_{tS})$, $i_p = i_F + i_U$
i_{fS}	$= i_p - i_{tS}$
Q_U	$= a_U x_{fU}^2$, $a_U = (A_F i_{FC} + A_U i_{UC}) / M_{fS}^2$
Q_1	$= Q_U + Q_S$
# channel network system	
input	Q_1 : slope runoff height per unit time
output	Q : stream runoff height per unit time
$Q_{c,j}$	$= a_{c,j} F_j^{1-m_{c,j}} (n_c x_{c,j})^{m_{c,j}}$, $Q_{1,j} = F_j Q_1$, for $j=1, \dots, n_c$
Q	$= Q_{c,n_c}$

* $I(x)$ is the step function defined as $I(x)=0$ for $x \leq 0$ and $I(x)=1$ for $x > 0$.

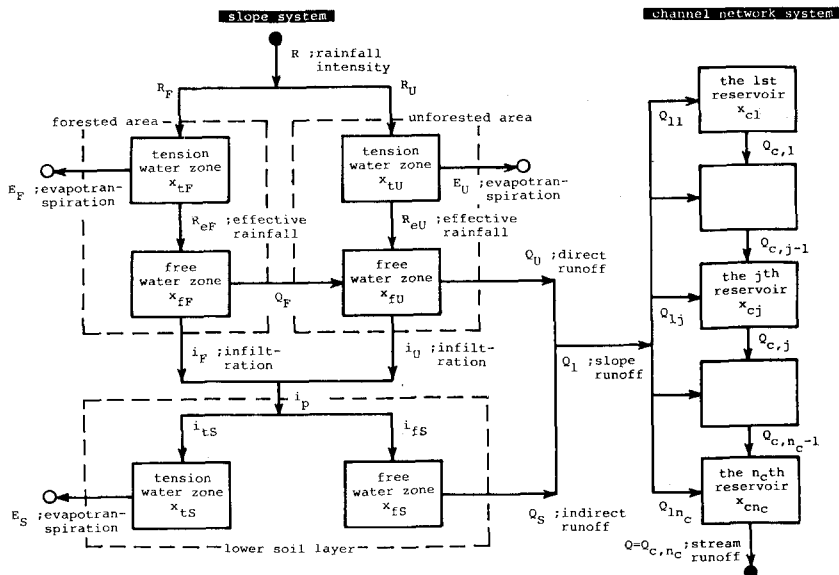


Fig. 1 Schematic diagram of the runoff system model

が出力で、単位面積あたりの流出強度である。各雨水移動の関数形はTable 1に示すとおりであり、Table 1, Fig. 1から各貯水高の連続式を得ることができる。

斜面系は直接流出機構と間接流出機構からなる。前者は、中間流を考えた林草地と裸地（水みちを含む）に分け、それぞれを損失要素（tension water zone）と流出要素（free water zone）とに分けた。後者は、Kitanidisら¹⁾が引用しているNWSモデルを参考にしたものである。どちらも蒸発散は損失要素（tension water zone）のみから起こるものとする。河道網系については、地形パターン関数を用いたKinematic Waveモデル²⁾を変換して、nc段の直列タンクで表わした。

Table 1, Fig. 1で与えられる常微分方程式は、Pade近似による差分公式と局所線形化による反復解法を用いて解く。この方法は、予測の際、確率過程的に流出現象を考えるのに有効である。

3. 適用例

以上のモデルを、由良川上流の大野ダム流域（流域面積341.854km²）に適用してパラメータ、初期状態量を求めるとTable 2, Table 3のようになる。同定に使用した出水は、1970年6月10日0時から6月30日24時までのものである。同定の際、京大大型計算機センターライブラリのコンプレックス法を用いた。Fig. 2が、上述のパラメータ、初期状態量による流量の再現図である。全体的によく再現されているといつてよい。

4. おわりに

本モデルはcontinuousなモデルであるので、長期にわたる流出再現も可能である。また本計算例を含めた検討の結果、モデル構造を簡略化し、パラメータ数を減らすことが可能なようであり、今後モデルの簡潔化を考えたい。

<参考文献>

- 1) Kitanidis and Bras : Water Resources Research, Vol. 16, No. 6, pp. 1025-1044, 1980
- 2) 高樺・椎葉 : Kinematic Wave法への集水効果の導入, 京大防災年報, 1981

Table 2 List of Parameter Values

# slope system	
A_U (-) :	0.0842
M_{tF} (mm) :	43.1
M_{tU} (mm) :	155.0
M_{tS} (mm) :	73.9
M_{fS} (mm) :	270.0
m_{tF} (-) :	1
m_{tU} (-) :	1
D (mm) :	22.3
K_F (1/hr) :	0.0341
a_F (1/(mm·hr)) :	0.298
a_U (1/(mm·hr)) :	0.298
P_{tS} (-) :	0.0123
c_P (-) :	1.24
i_{FC} (mm/hr) :	0.23
i_{UC} (mm/hr) :	0.23

# channel network system	
n_C (-) :	1.45
a_C (mm ^{1-nc} /hr) :	0.00528
n_C (-) :	3
F_1 (-) :	0.346
F_2 (-) :	0.365
F_3 (-) :	0.289

Table 3 List of Initial Values

# slope system	
x_{tF} (mm) :	8.47
x_{fF} (mm) :	0.0
x_{tU} (mm) :	7.43
x_{fU} (mm) :	0.0
x_{tS} (mm) :	1.1
x_{fS} (mm) :	114.0

# channel network system	
x_{c1} (mm) :	0.472
x_{c2} (mm) :	0.788
x_{c3} (mm) :	0.927

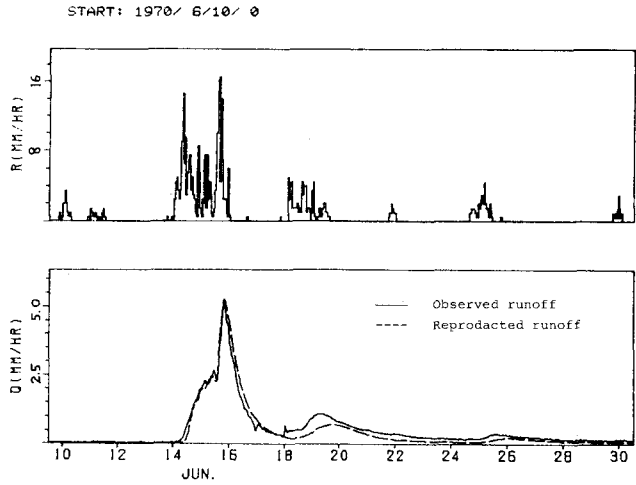


Fig. 2 Observed and reproduced runoff hydrographs