

II-41

山地河川流域における降雨流出過程のモデル化

群馬高専 正会員 山本 好 克

1. はじめに 洪水防御・水資源などの計画や管理においては、流域の降雨量から流出量を把握することが重要となることから、種々の流出解析モデルが提案され、現在その中のいくつかが研究や実務に使用されている。しかしながら、いずれのモデルにも問題点があり、共通的には、同一モデルによる時間単位の異なる流出現象(短期・長期)の解析が困難であること、モデルが有しているパラメータが流出毎に異なること、などから、必ずしも有用かつ実用的なモデルになっているとは言い難いように思われる。

本研究では、近年の森林斜面などにおける水循環過程に関するいくつかの知見^{1)・2)}に基づき、著者が提案しているモデル³⁾の再構築を試み、この新たなモデルの降雨流出過程の妥当性と流域固有のパラメータ設定の可能性および短期・長期流出解析法としての有用性について、利根川水系神流川試験流域で得られている水文観測データ⁴⁾を用いて検討するものである。

2. 山地河川流域における降雨流出過程の概念とその定式化

図-1には、山地河川流域における降雨流出過程の概念を示してある。流域は、流路系と斜面系とから成ると考え、斜面系への降雨 R_s は、遮断や植生に捕捉されたのち蒸発散 E_s となる以外はすべて土中に浸透し、飽和・不飽和地中流となって流路系へ流出 $\bar{Q}$ し、流路系の降雨 R_r (一部蒸発 E_r する)とともに流量 Q となるものとする。

こうした降雨流出過程における水理学的運動の基礎式は、流路系については式(1)、(2)、(3)³⁾で、斜面系については式(4)、(5)で表わされる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = (r_r - e_r) \cdot B + q \quad \cdots (1), \quad -i + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{f'}{R} \frac{v^2}{2g} + \frac{v(r_r + q)}{gA} = 0 \quad \cdots (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad \cdots (3), \quad \gamma \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial y} = r_s - e_s \quad \cdots (4), \quad q = -K\bar{h} \frac{\partial \bar{h}}{\partial y} \quad \cdots (5)$$

ここに、 t : 時間、 x ; y : 流路系・斜面系下流方向の距離、 A : 流水断面積、 B : 水面巾、 Q : 流量、 h ; $\bar{h}$: 流路・地中水深、 v : 平均流速、 q : 流路単位長当りの地中流出量、 r_r ; e_r ; r_s ; e_s : 流路系・斜面系単位面積当りの降雨量と消失量、 i : 流路勾配、 R : 径深、 f' : 摩擦損失係数、 K : 飽和・不飽和透水係数、 γ : 有効間隙率、 g : 重力加速度、である。

本モデルを集中パラメータ型とするとその基本式としては、流路系においては流路長 L わたって式(1)、(2)を積分することなどにより式(6)、(7)が、斜面系においては斜面長 $\bar{L}$ ・流路長 L にわたって式(4)、(5)を積分することなどにより式(8)、(9)が導出される。

$$\frac{dS(t)}{dt} = f(R - E) + \bar{Q} - Q \quad \cdots (6), \quad Q(t) = m(e^{kS} - 1) \quad \cdots (7)$$

$$\frac{d\bar{S}(t)}{dt} = (1-f)(R - E) - \bar{Q} \quad \cdots (8), \quad \bar{Q}(t) = \alpha \bar{S}(\bar{S} - \beta S) \quad \cdots (9)$$

$$\text{ただし、} S(t) = \int_0^L A(x, t) dx, \quad \bar{S}(t) = \int_0^{\bar{L}} \int_0^L \gamma \bar{h}(y, t) dx dy, \quad \bar{Q}(t) = q(t) \cdot L, \quad R(t) = R_r(t) + R_s(t),$$

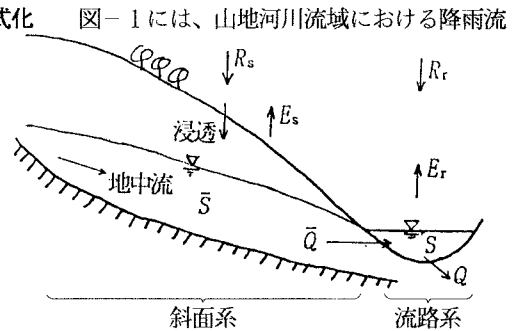


図-1 山地流域における降雨流出過程の概念

キーワード: 山地河川流域、降雨流出過程、流出モデル

連絡先: 〒371-8530 前橋市鳥羽町580・Tel. 027-254-9188・Fax 027-254-9183

$R_r(t)=r_r \cdot B \cdot L$, $R_s(t)=r_s \cdot \bar{L} \cdot L$, $E(t)=E_r(t)+E_s(t)$, $E_r(t)=e_r \cdot B \cdot L$, $E_s(t)=e_s \cdot \bar{L} \cdot L$, f : 流路面積比、 m ; k ; α ; β : 定数、である。なお、式(3)は、ハイドログラフがある時間、変形・減衰することなく移動することを表わしており、本モデルでは“移動時間 T ”とよび、パラメータとして取り扱う。

3. 神流川試験流域への適用 本研究では、表-1に示す神流川試験流域(面積 373.6 km²)若泉地点で観測された6洪水を対象とした。本モデルのパラメータ f , $m(\text{mm} \cdot \text{h}_r^{-1})$, $k(\text{mm}^{-1})$, $\alpha(\text{mm}^{-1} \cdot \text{h}_r^{-1})$, β , $T(\text{h}_r)$ の値は、観測期間最長(6.5日)のNo. 1洪水を用い、実測と計算のピーク流出高の相対誤差 E1 が5%以内かつ相対誤差の平方和 E2 が最小となる条件のもとで、モデル基本式(6)~(9)を Runge-Kutta 法による試行錯誤によって求めた。なお降雨量 $R(t)$ にはティーセン法による流域平均雨量を、計算初期値 $Q_c(t=0)$ と $\bar{Q}_c(t=0)$ には実測値 $Q_0(t=0)$ を与えた。また蒸発散量 $E(t)$ は、短期流出では無視し、長期流出では蒸発散量比率を用いて日蒸発散量(mm)を推定⁴⁾した。

図-2には、パラメータ同定結果とそのハイドログラフを実測値と比較して示してある。図-3には1例として、流出高最大洪水No. 5の再現結果を示した。また、表-1には、対象洪水誤差 E1、E2、E3(ピーク流出高の平方誤差)を示してある。さらに、日単位変換したパラメータ値(k 値は実測ピーク値に適合させた)を用いた長期流出計算結果の1例を図-4に示した。短期・長期流出とも良好な再現性が見い出された。

4. おわりに 山地河川流域における降雨流出過程に関する本モデルによる洪水流出解析では、流域固有のパラメータ設定が可能であること、また、その日単位変換により長期流出計算ができ、しかも良好な再現性を得られることなどが見い出され、本モデルの妥当性と有用性が確認された。

表-1 対象洪水と生起年月日・流出高・誤差

No.	年月日	流出高	E1	E2	E3
1	301010	3.06	-.048	1.754	.0014
2	310926	2.88	-.193	8.870	.0024
3	330917	15.4	.100	4.522	.0020
4	330923	11.8	-.047	10.33	.0020
5	340812	20.6	-.049	8.963	.0014
6	340925	6.48	.073	3.201	.0029

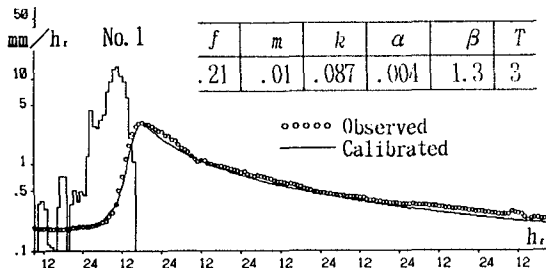


図-2 モデルパラメータ同定結果と再現性

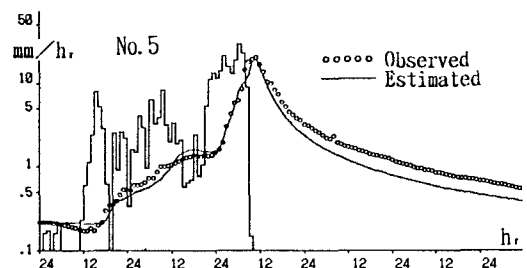


図-3 短期流出再現結果の1例

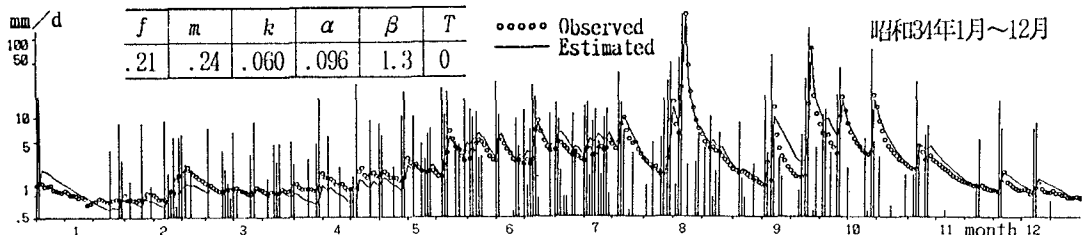


図-4 長期流出再現結果の1例

参考文献 1) 塚本編：森林水文学、文永堂出版、1992 2) Kirkby: Hillslope hydrology、John Wiley & Sons、1978 3) 山本・丸井：山地河川流域における洪水流出解析、水工学論文集 第39巻、1995.2 4) 建設省土木研究所：神流川流域水文観測資料、土木研究所資料 第324号、1968 5) 山本：山地河川流域における日蒸発散量推定に関する一考察、水工学論文集 第38巻、1994.2