

## 長短期流出両用モデルに流域地形効果を組入れた流出解析例

福島 晟

### An Example of Runoff Analysis included the Topographical Effects of a Watershed to the Long and Short Terms Runoff Model

Akira FUKUSHIMA

**Abstract** This report describes a modified method of runoff analysis by the long and short terms runoff model (LST-II), which is proposed by Kadoya and Nagai. The modified method is attempted to introduce the effect of basin characteristics to the LST-II model.

The outline is as follows:

(1) The input sequence of areal mean rainfall in a basin is transformed to the delayed one as a method of modeling the delayed and propagation process reflecting watershed characteristics in flood runoff. In modeling the formation process of a hydrograph of flood runoff, it is assumed that the topographical effects of a watershed is lumped by the distribution characteristics of concentration slope length which is approximated with gamma probability density function with two parameters.

(2) In the flood routine system, the delayed rainfall sequence is used as input condition to the LST-II model and is transformed to the calculated discharge sequence by the LST-II model generating the effects of storage type process.

(3) As a case study, this method is applied to the flood in the Masuda reclamation basin of 0.29 km<sup>2</sup>. And it is shown that the reproducibility of observed hydrograph is improved about 10% by the modified method than the original one.

Key words: Runoff model; flood runoff; runoff analysis; hydrograph; watershed characteristics.

#### ま え が き

タンクモデルあるいは貯留関数法などの貯留型流出モデルを利用した洪水流出モデルの総合化については、様々な試みによって、その研究成果が実用に供されているが、流域地形特性、あるいは流域内の土地利用形態の分布特性とモデル定数との関連についてはなお検討の余地が残されていると思われる。本報告では、貯留型流出モデルに分類される角屋・永井の長短期流出両用モデル<sup>1)</sup>に、流域内の斜面長分布特性と雨水伝播特性を考慮した流出解析手法を導入し、流域地形効果との関連で貯留型流出モデルの適用性を向上させることを意図した若干の検討例について述べる。

#### 1. 長短期流出両用モデル (LST-II)

角屋・永井は長短期流出両用モデルLST-IIを提案<sup>1)</sup>している。本流出モデルは、図1に示すように、三段のタンクで構成され、第1段目タンクは上層と下層に分かれている。各段タンクの連続の式は次式で表されている。

$$dS_1/dt = r - E_1 - f - Q_1 - Q_2 \dots\dots\dots(1)$$

$$dS_2/dt = f - Q_3 - g_1 \dots\dots\dots(2)$$

$$dS_3/dt = g_1 - E_2 - Q_4 - g_2 \dots\dots\dots(3)$$

$$dS_4/dt = g_2 - E_3 - Q_5 \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 $S_1 \sim S_4$  (mm) : 第1段上層～第3段タンクの貯留量 (mm)  $t$ : 時間 (h),  $r$ : 流域平均降雨強度 (mm/h),  $f$ : 第1段タンク上層部からの浸入強度 (mm/h),  $Q_1 \sim Q_5$ : 流出量 (強度) (mm/h) で、 $Q_1$ は表面流出,  $Q_2$

は早い中間流出,  $Q_3$ は遅い中間流出,  $Q_4$ と $Q_5$ は地下水流出が想定されている。  $E_1 \sim E_3$ : 各段タンクからの蒸発散強度 (mm/h) で, 月平均日蒸発量の値を利用して, 各段タンクの  $E_1 \sim E_3$ の算定法が導入されている。

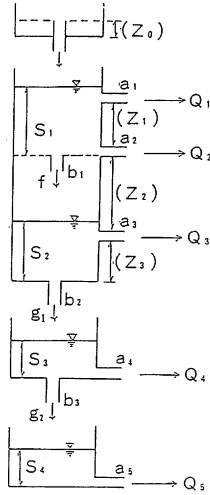


図1 長短期流出両用モデル (LST-II)

また,  $Q, g$ は貯留量が孔の高さを越える場合のみ流出があるものとして, 次式で与えられている。なお, ここでは, LST-IIモデルで定義されているモデル定数  $A_1 \sim A_5, B_1 \sim B_3$ を, 以下のように  $a_{1N}$ (または  $a_{1k}$ ),  $a_2 \sim a_5, b_1 \sim b_3$ に変換したモデル定数による表示も併記する。

$$Q_1 = A_1 (S_1 - z_1)^m \dots\dots\dots(5)$$

$$= \alpha_1 \sqrt{s} (S_1 - z_1)^m / a_{1N}$$

$$= \alpha_1 \{ (S_1 - z_1) / a_{1k} \}^m$$

$$Q_2 = A_2 S_1 = \alpha_1 a_2 S_1 \dots\dots\dots(6)$$

$$f = B_1 (z_2 + z_3 - S_2) \dots\dots\dots(7)$$

$$= \alpha_1 b_1 (z_2 + z_3 - S_2)$$

$$Q_3 = A_3 (S_2 - z_3) \dots\dots\dots(8)$$

$$= \alpha_1 a_3 (S_2 - z_3)$$

$$g_1 = B_2 S_2 = \alpha_1 b_2 S_2 \dots\dots\dots(9)$$

$$Q_4 = A_4 S_3 = \alpha_1 a_4 S_3 \dots\dots\dots(10)$$

$$g_2 = B_3 S_3 = \alpha_1 b_3 S_3 \dots\dots\dots(11)$$

$$Q_5 = A_5 S_4 = \alpha_1 a_5 S_4 \dots\dots\dots(12)$$

ここに,  $A_1 \sim A_5, B_1 \sim B_3$ : 定数,  $\alpha_1$ : 換算係数で  $\alpha_1 = \alpha_s / B, \alpha_s = 36, B$ : 流域平均斜面長,  $s$ : 流域平均斜面勾配,  $a_{1N}, a_{1k}$ : それぞれ表面流モデルの等価粗度  $N (m^{-1/3} \cdot s)$ , 斜面流定数  $k = (N / \sqrt{s})^{0.6} (m^{-1/5} \cdot s^{3/5})$  に対応する定数,  $m$ : 定数 (=5/3),  $a_2, a_3$ : 中間流モデルの定数  $k_1 \cdot s / \lambda (k_1$ :

表層の透水係数,  $\lambda$ : 表層有効間隙率) に対応する定数 (cm/s),  $a_4, a_5$ : 帯水層の斜面方向の透水係数, 動水勾配に規定される定数 (cm/s)。  $b_1, b_2, b_3$ : 鉛直方向の浸透量を規定する定数 (cm/s)。

2. 長短期流出両用モデルへ遅れ時間の導入

永井は, 長短期流出両用モデルによる流出解析では, 以下のような点を指摘している。<sup>2)</sup> すなわち, 計算ピーク流量発生時においては, 計算ピーク流量は, その時の降雨強度よりも大きくなること, したがって, たとえば, 降雨終了後または降雨が小降りになってから実測洪水ピーク流量の現れる場合には, 長短期流出両用モデルは実測洪水ピーク流量をうまく再現しにくいことが予想されるとし, この難点を改善する一方策として, 洪水時に遅れ時間の導入した検討を行っている。そして, 岡山県の吉井川水系の湯郷流域 (490km<sup>2</sup>), 久木流域 (979 km<sup>2</sup>), 岩戸流域 (1717km<sup>2</sup>) の遅れ時間  $t_d$ として, それぞれ1.6, 2.4, 3.6hの最適平均値を得ている。これらの検討結果から, 洪水の遅れ時間は, 出水規模と流域面積に左右されるのではないかと推察している。

一方, 自然丘陵山地流域の洪水到達時間推定式, あるいは貯留関数法で定義されている遅滞時間推定式はいずれも流域面積及び有効降雨強度の関数として定式化されている。

筆者も, 長短期流出両用モデルを斐伊川流域及び益田開拓農地造成域に適用した結果, 計算ピーク流出量が観測値よりもやや過小評価され, その発生時刻は実測値より早くなる傾向にあることを指摘している。そして, このような点は, 長短期流出両用モデルを含めた貯留型流出モデルを洪水流出予測に適用するに際して, 解消されるべき課題であるとし, 洪水到達時間の概念を応用した遅延効果を導入した手法について報告<sup>3)</sup>している。しかし, 本手法により, 観測ハイドログラフピーク部の再現性は改善されるものの, 降雨変換過程に含まれる2つのパラメーターと流域斜面部及び河道部における流域特性との関係については残された検討課題であった。

そこで, 上述の研究成果を参考にしつつ, 角屋・永井の長短期流出両用モデルは, i) 直接流出成分への有効降雨が自動的に算定できる, ii) 複数の流出サイクルにおける直接流出成分と低水流出成分が同時に評価される等の特長を持っていることを活用し, 本流出モデルの応用を考えることとする。すなわち, 以下3. のような手法で長短期流出両用モデルに流域地形効果を組み入れて流出解析を行い, 本法の適用性の向上を図ることとする。

3. 流域地形効果を考慮した遅延降雨系列

さて、洪水流出過程は流域に降った雨水の移動・伝播過程と理解し、巨視的観点から雨水の流出過程は斜面域における雨水から流出水への変換過程と河道系における流出水の伝播・変形過程とで表現されるものとする。すなわち、流域への入力降雨はこうした斜面域及び河道系における雨水伝播過程の特性を受けた後に、流域最下流端の流出高を形成することとなる。そこで、こうした遅れ過程を長短期流出両用モデルに取込むために、次の仮定(i)~(iv)が成立するものとして検討を進める。

(i) 斜面域における雨水伝播過程に対する流域地形効果は斜面域の斜面長分布特性に集約できるものとする。そして、河道に付随する斜面域の斜面長Bはガンマ分布で近似できるものとする。

すなわち、次式で斜面長の分布関数が与えられるとする。

$$F(B) = \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} \int_0^B \exp(-\lambda B) B^{n-1} dB \dots\dots\dots(13)$$

ここに、n: 形状母数, 1/λ: 尺度母数。

(ii) 洪水到達時間に関する角屋らの研究成果<sup>1)</sup>を利用し、最遠斜面から斜面最下流端部までの雨水伝播時間 $t_{ms}$ 、及び河道最上流端から河道最下流地点までの雨水流伝播時間 $t_{mc}$ が、次式のように表現できるものとする。

$$t_{ms} = C_s \cdot A^{0.24} \cdot r^{-0.40} \dots\dots\dots(14)$$

$$t_{mc} = C_c \cdot A^{0.30} \cdot r^{-0.30} \dots\dots\dots(15)$$

ここに、 $C_s, C_c$ : 定数, A: 流域面積 (km<sup>2</sup>), r: 降雨強度 (mm/h)。

(iii) 河道から斜面に沿い距離 $B_0$ の斜面長と斜面域の雨水擾乱の伝播時間が1対1に対応するものとする。

この仮定により、斜面域の雨水擾乱の伝播時間の確率分布は、以下に示す集中斜面長図に対応した分布となり、斜面域の流域地形効果はこの集中斜面長図に集約されることになる。

いま、河道から斜面に沿い距離 $B_0$ をとったとき、そこに含まれる斜面面積の流域面積に対する比率 $P(B_0)$ は次式で表される。

$$P(B_0) = \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} \int_0^{B_0} \exp(-\lambda B) B^{n-1} dB + \sum_j \frac{B_0 \cdot \lambda^n}{B_j \Gamma(n)} \int_{B_j}^{B_{j+1}} \exp(-\lambda B) B^{n-1} dB \dots\dots\dots(16)$$

ここに、 $B_j = (2B_j + \Delta B)/2, B_j = j \cdot \Delta B, (j=0, 1, 2, \dots\dots)$

ここで、斜面長 $B_0$ と $P(B_0)$ との関係を図示したものを集中斜面長図と呼ぶことにする。

なお、実際の流出計算に応用するに際し、(17)式で表される形状母数n, 尺度母数 $1/\lambda=1$ とするガンマ分布の確率密度関数 $f_y(y)$ を利用して、 $P(B_0)$ に対応する $W(y)$ の値を(18)式により算定しておく。

$$f_y(y) = \frac{1}{\Gamma(n)} \int_0^y \exp(-y) y^{n-1} dy \dots\dots\dots(17)$$

$$W(y) = \frac{1}{\Gamma(n)} \int_0^{y_0} \exp(-y) y^{n-1} dy + \sum_j \frac{y_0}{y_j \Gamma(n)} \int_{y_j}^{y_{j+1}} \exp(-y) y^{n-1} dy \dots\dots\dots(18)$$

ここに、 $y = \lambda B, y_0 = \lambda B_0, y \leq z_B$ 。

ここに、 $z_B$ は形状母数n, 尺度母数 $1/\lambda=1$ とするガンマ分布関数 $F_y(y)$ の値が0.99999となる値とする。ここでは、角屋・福島・佐合の研究成果<sup>4)</sup>を参考にして、斜面長分布が形状母数n=3で近似できるとすると、n=3に対し、 $z_B=16.55$ となる。

(iv) 河道部における雨水擾乱の伝播時間の確率分布は、河道配列構造等の河道網特性に左右されるが、ここでは斜面長分布と同様にガンマ分布で近似されるものとする。

流域への入力降雨系列は上述の(i)~(iv)に示す仮定に基づく遅延効果を受けた降雨系列に変換した後、長短期流出両用モデルに入力され、さらに長短期流出両用モデル構造による貯留型変換過程を経て流域最下流端の流出高を形成することになる。

さて、このような仮定のもとに、長短期流出両用モデルへ入力する遅延降雨系列の算定法を考えると以下のようになる。

いま、入力降雨単位時間を $\Delta t$ とし、時刻 $t_{i-1} \sim t_i$ 間の降雨強度を $r_i$ とする。この $r_i$ は、集中斜面長分布に対応した確率分布を有する遅れ時間の効果を受けて、河道に到達するものとする。すなわち、 $r_i$ を、雨水擾乱の集中時間を考慮した遅延作用素(重み関数)により、次式のような降雨系列 $r_s(j \cdot \Delta t)_i$ に変換する。

$$r_s(j \cdot \Delta t)_i = r_i \cdot \Delta W(t_s) \dots\dots\dots(19)$$

ここに、 $i=1, 2, \dots\dots N, j=i, i+1, \dots\dots, i+n_s-1, n_s=t_{ms}/\Delta t, \Delta W(t_s) = W(y_s) - W(y_{s-1}), y_s = \alpha \cdot t_s, \alpha = z_B/t_{ms}, t_s = s \cdot \Delta t, s=1, 2, \dots\dots n_s$ 。

ついで、 $r_s(j \cdot \Delta t)_i$ を、河道系での伝播時間の確率分布に対応する遅れの効果を受けた $r_c(n \cdot \Delta t)_{i,j}$ に変換する。なお、この河道系での遅れ時間の確率分布は前述の仮定(iv)に示したようにガンマ分布で表現できるものとする。

$$r_c(n \cdot \Delta t)_{i,j} = r_s(j \cdot \Delta t)_i \cdot \Delta Y(t_k) \dots\dots\dots(20)$$

ここに、 $n=j, j+1, \dots, j+n_k$ .  $n_k=t_{mc}/\Delta t$ .  $\Delta Y(t_k) = F(t_k) - F(t_{k-1})$ ,  $F_i(t_k) = \Gamma(n, y_k)/\Gamma(n)$ ,  $\Gamma(n, y_k) = \int_0^{y_k} \exp(-y)y^{n-1}dy$ で定義される不完全ガンマ関数、 $\Gamma(n)$ はガンマ関数である。 $y_k = \beta \cdot t_k$ ,  $\beta = z_B/t_{mc}$ ,  $t_k = k \cdot \Delta t$ ,  $k=1, 2, \dots, n_k+1$ ).  $k \cdot \Delta t > t_{mc}$  に対し、 $\Delta Y(t_k) = 0$ .

以上のようにして、流域平均観測降雨系列 $r_i$ , ( $i=1, 2, \dots, N$ )は、上述の(i)及び(iv)の手順を経て得られる降雨系列 $r_c(n \cdot \Delta t)_{i,j}$ のうち、 $n=i$ となる $r_c(n \cdot \Delta t)_{i,j}$ を集計することによって、長短期流出両用モデルに入力すべき遅延降雨系列 $r_m(l \cdot \Delta t)$ に変換される。ここに、 $l=1, 2, \dots, N+n_s+n_k-1$ .

4. 遅延降雨の計算例

角屋らは洪水到達時間実用推定式として、次式を提案している。<sup>5)</sup>

$$t_p = CA^{0.22} r_e^{-0.35} \dots\dots\dots(21)$$

ここに、 $t_p$ : 洪水到達時間 (min),  $C$ : 係数,  $A$ : 流域面積 ( $km^2$ ),  $r_e$ : 有効降雨強度 (mm/h).

さらに、角屋はいくつかの流域における観測結果ならびに研究成果を考慮の上、(21)式中の係数 $C$ を改めて土地利用係数と定義するとともに、 $C$ の標準値として次のような値を与えている<sup>6)</sup>.

- 山林:  $C=250\sim350$
- 放牧地:  $C=140\sim200$
- ゴルフ場:  $C=120\sim150$
- 粗造成宅地, 造成農地:  $C=80\sim120$
- 運動場:  $C=70\sim90$
- 市街地:  $C=60\sim80$

したがって、合理式による洪水ピーク流量の推定の際に活用されている洪水到達時間実用推定式で定義されている $C$ の値が、土地利用形態に応じて評価されていることから、遅延降雨系列の算定に際し、(14), (15)式中の $C_s$ 及び $C_c$ の評価の指標として参考になる。

表1(a~c)は益田開拓農地造成域の流域面積 $A=0.2963km^2$ の流域を対象に、また表2(a~c)は流域面積 $1000km^2$ の大流域を対象にして、入力降雨 $r=30, 50, 100$  mm/hに対する(14), (15)式に基づく $t_{ms}$ ,  $t_{mc}$ 及び $t_{mp}(=t_{ms} + t_{mc})$ の算定例である。これらの表に示すような計算結果から、流域面積、降雨強度の大きさ及び定数 $C_s$ ,  $C_c$ の値により、どの程度の遅れ時間が斜面部及び河道系で期待できるかの概略値を把握することが可能となる。

表3は、流域面積 $A=0.2963km^2$ の流域を対象として、入力降雨 $r=10mm/10min$ に対し、 $C_s=100, 300, 600, 900$ とした場合の遅延降雨系列の算定例である。ただし、いずれも $C_c=15$ と固定した計算値である。表3に示す計算結果から、(21)式で与えられる洪水到達時間実用推定式の造成農地に対する土地利用係数の値 $C=80\sim120$ に比較し、 $C_s$ の値をかなり大きくしないと遅れ時間の効果が生じないと言える。

5. 遅延降雨系列を用いた流出解析例

益田開拓農地造成域で昭和58年7月豪雨時に観測された出水を解析対象とする。解析対象期間を昭和58年7月22日19時~7月23日23時とした場合を出水Aとし、昭和58年7月20日12時~7月23日23時とした場合を出水Bとする。出水Aの総雨量は391mm、ピーク流量は7月23日

表1  $t_{ms}$ ,  $t_{mc}$ ,  $t_{mp}$ の算定例 (流域面積 $A=0.2963km^2$ )  
(a)  $r=30.0$  (mm/h) の場合

Cs	Cc=15.0			Cc=30.0		
	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)
100.0	19.2	3.8	22.9	19.2	7.5	26.7
200.0	38.3	3.8	42.1	38.3	7.5	45.8
300.0	57.5	3.8	61.2	57.5	7.5	65.0
400.0	76.6	3.8	80.4	76.6	7.5	84.1
500.0	95.8	3.8	99.5	95.8	7.5	103.3
600.0	115.0	3.8	118.7	115.0	7.5	122.5
700.0	134.1	3.8	137.9	134.1	7.5	141.6
800.0	153.3	3.8	157.0	153.3	7.5	160.8
900.0	172.4	3.8	176.2	172.4	7.5	179.9
1000.0	191.6	3.8	195.3	191.6	7.5	199.1

(b)  $r=50.0$  (mm/h) の場合

Cs	Cc=15.0			Cc=30.0		
	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)
100.0	15.6	3.2	18.8	15.6	6.4	22.1
200.0	31.2	3.2	34.5	31.2	6.4	37.7
300.0	46.9	3.2	50.1	46.9	6.4	53.3
400.0	62.5	3.2	65.7	62.5	6.4	68.9
500.0	78.1	3.2	81.3	78.1	6.4	84.5
600.0	93.7	3.2	96.9	93.7	6.4	100.1
700.0	109.3	3.2	112.5	109.3	6.4	115.8
800.0	124.9	3.2	128.2	124.9	6.4	131.4
900.0	140.6	3.2	143.8	140.6	6.4	147.0
1000.0	156.2	3.2	159.4	156.2	6.4	162.6

(c)  $r=100.0$  (mm/h) の場合

Cs	Cc=15.0			Cc=30.0		
	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)
100.0	11.8	2.6	14.5	11.8	5.2	17.1
200.0	23.7	2.6	26.3	23.7	5.2	28.9
300.0	35.5	2.6	38.1	35.5	5.2	40.7
400.0	47.3	2.6	50.0	47.3	5.2	52.6
500.0	59.2	2.6	61.8	59.2	5.2	64.4
600.0	71.0	2.6	73.6	71.0	5.2	76.2
700.0	82.9	2.6	85.5	82.9	5.2	88.1
800.0	94.7	2.6	97.3	94.7	5.2	99.9
900.0	106.5	2.6	109.1	106.5	5.2	111.8
1000.0	118.4	2.6	121.0	118.4	5.2	123.6

表2  $t_{ms}$ ,  $t_{mc}$ ,  $t_{mp}$ の算定例 (流域面積 $A=1000\text{km}^2$ )

(a)  $r=30.0$  (mm/h) の場合

Cs	Cc=15.0			Cc=30.0		
	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)
100.0	134.6	42.9	177.6	134.6	85.9	220.5
200.0	269.3	42.9	312.2	269.3	85.9	355.2
300.0	403.9	42.9	446.8	403.9	85.9	489.8
400.0	538.5	42.9	581.5	538.5	85.9	624.4
500.0	673.2	42.9	716.1	673.2	85.9	759.1
600.0	807.8	42.9	850.7	807.8	85.9	893.7
700.0	942.4	42.9	985.4	942.4	85.9	1028.3
800.0	1077.1	42.9	1120.0	1077.1	85.9	1163.0
900.0	1211.7	42.9	1254.6	1211.7	85.9	1297.6
1000.0	1346.3	42.9	1389.3	1346.3	85.9	1432.2

(b)  $r=50.0$  (mm/h) の場合

$C_s$	$C_c=15.0$			$C_c=30.0$		
	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)
100.0	109.8	36.8	146.6	109.8	73.7	183.4
200.0	219.5	36.8	256.4	219.5	73.7	293.2
300.0	329.3	36.8	366.1	329.3	73.7	402.9
400.0	439.0	36.8	475.9	439.0	73.7	512.7
500.0	548.8	36.8	585.6	548.8	73.7	622.5
600.0	658.5	36.8	695.4	658.5	73.7	732.2
700.0	768.3	36.8	805.1	768.3	73.7	842.0
800.0	878.0	36.8	914.9	878.0	73.7	951.7
900.0	987.8	36.8	1024.6	987.8	73.7	1061.5
1000.0	1097.5	36.8	1134.4	1097.5	73.7	1171.2

(c)  $r=100.0$  (mm/h) の場合

$C_s$	$C_c=15.0$			$C_c=30.0$		
	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)	$t_{ms}$ (min)	$t_{mc}$ (min)	$t_{mp}$ (min)
100.0	83.2	29.9	113.1	83.2	59.9	143.0
200.0	166.4	29.9	196.3	166.4	59.9	226.2
300.0	249.5	29.9	279.5	249.5	59.9	309.4
400.0	332.7	29.9	362.6	332.7	59.9	392.6
500.0	415.9	29.9	445.8	415.9	59.9	475.7
600.0	499.1	29.9	529.0	499.1	59.9	558.9
700.0	582.2	29.9	612.2	582.2	59.9	642.1
800.0	665.4	29.9	695.3	665.4	59.9	725.3
900.0	748.6	29.9	778.5	748.6	59.9	808.4
1000.0	831.8	29.9	861.7	831.8	59.9	891.6

表3 遅延降雨系列の算定例  
(流域面積 $A=0.2963\text{km}^2$ ,  $C_c=15$ )

$t$ (min)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$C_s=100$	9.81	0.19	—	—	—	—	—	—	—
$C_s=300$	4.68	4.15	0.99	0.16	0.02	—	—	—	—
$C_s=600$	1.39	3.29	2.66	1.50	0.70	0.29	0.11	0.04	0.02

7時に、 $8.17\text{m}^3/\text{s}$ が記録されている。また、出水Bの総雨量は $519\text{mm}$ である。

出水Aに対し、10分毎の観測降雨をそのまま長短期流出両用モデルへ入力した場合、観測ハイドログラフの再現性は相対誤差で23%、計算ピーク流量は観測時刻より10分早く発生し、 $7.23\text{m}^3/\text{s}$ となった。これに対し、前項3.で述べた遅延降雨系列を用いて長短期流出両用モデルを同定した結果、 $C_s=600$ ,  $C_c=15$ とした解析結果が最も良好で、出水A観測ハイドログラフの再現性は相対誤

差で13%、計算ピーク流量は $7.20\text{m}^3/\text{s}$ でその発生時刻は観測値と一致した結果が得られた。

出水Bでは、10分毎の観測降雨をそのまま長短期流出両用モデルへ入力した場合、観測ハイドログラフの再現性は相対誤差で37%であった。

一方、遅延降雨系列を用いて長短期流出両用モデルを同定した場合、図2に示すように相対誤差で23%の再現性が得られた。

このように、長短期流出両用モデルに流域平均降雨系

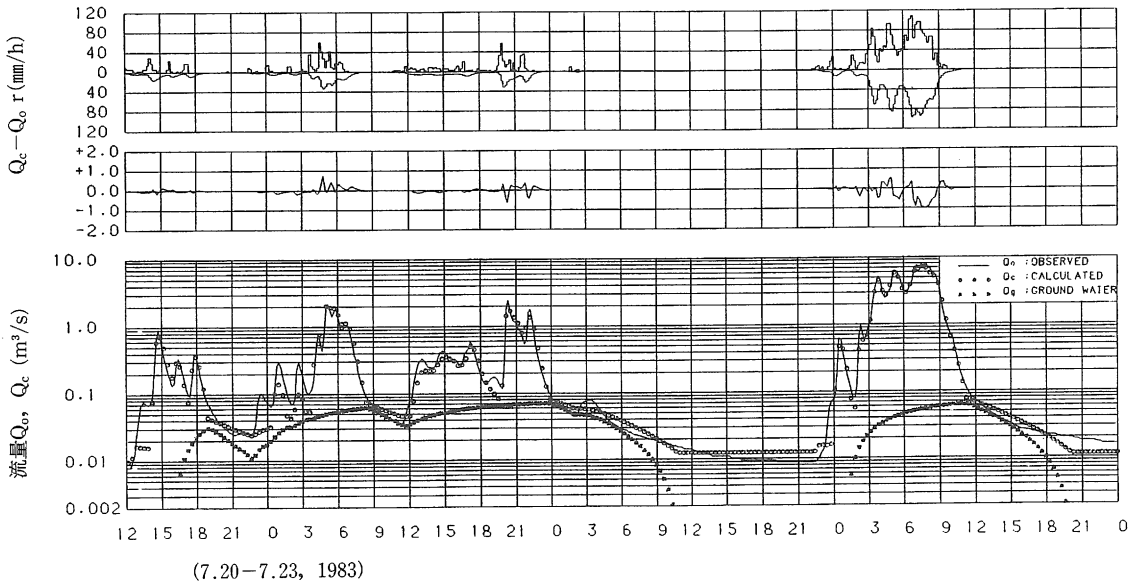


図2 流出解析例 (音無川流域)

列をそのまま入力するよりも、上述3. に示した手法で遅延効果を組入れた降雨系列を入力することにより、観測ハイドログラフの再現性が10数%改善されることが示された。

### あとがき

本報告では、雨水流出過程のモデリングに際し、まず雨水流出現象に及ぼす流域地形効果を集中斜面長分布の特性で集約し、この集中斜面長分布が斜面域及び河道系での雨水伝播時間を想定した遅れ過程に反映するものとして、流域平均入力降雨を遅延降雨系列に変換する手法を示した。次いで本遅延降雨系列を長短期流出両用モデルへの入力降雨系列とすることにより、さらに雨水流出過程における貯留型変換過程の効果を受けるとする流出解析手法を導入することによって、長短期流出両用モデルの応用を図った。益田開拓農地造成域の出水例で検討した結果、本解析法により出水ハイドログラフの再現性が向上することが認められた。しかし、同定されたモデ

ル定数は対象出水によって異なる結果となったため、本解析法の適用性については、今後なお流域特性及び出水規模を踏まえた検証の必要があると言える。

### 引用文献

- 1) 角屋 睦・永井明博, 長短期流出両用モデルの開発改良研究. 農土学会論文集, 136: 31-38, 1988.
- 2) 永井明博, 長短期流出両用モデルの総合化に関する研究. 昭和63年度科研費(一般研究C)研究成果報告書, 65pp., 1989.
- 3) 福島 晟・田中礼次郎, 遅延降雨系列の貯留型流出モデルへの応用. 島大農研報, 24: 152-157, 1990.
- 4) 角屋 睦・福島 晟・佐合純造, 丘陵山地流域モデルと洪水流出モデル. 京大防災研年報, 21(B-2): 219-233, 1978.
- 5) ———・福島 晟, 中小河川の洪水到達時間. 同, 19(B-2): 143-152, 1976.
- 6) ———・土地利用変化に伴う流出特性の変化. 農土誌, 56(11): 5-9, 1988.