

山地小流域の短期流出に対するモデル
A Model for storm runoff in Several small mountainous basins

京都大学農学部 正員 〇福嶋義宏
京都大学農学部 正員 武居有恒

1. はじめに 山地流域の短期流出について、小出水から大出水まで統一的に説明でき、かつ適用の良好なこと、および裸地・林地の地表条件を評価し得ることを満足する流出モデルを求めた。基本は Kinematic Wave 法とした。以下本モデルの考え方と適用結果について示す。

2. モデルの構成 Kinematic Wave 法を用いる場合、まず流出場をどのように考えるかという点が問題となる。最も単純なモデルは有効降雨がすべて地表流となるという考え方である。さらに、林地では高棟（1963）の提出した、A層内を流下する場合を中間流、表面にあらわれる場合を表面流とする考え方もある。一方、流域斜面は不均質であり、不浸透部も存在する。不浸透部の面積割合すなわち水みち面積率は、金子ら（1960）によれば、地被良好な林地で5～10%とされ、一方、安藤ら（1979）の例では10%程度と見積られ、特に小出水を対象とする際には無視し得ない流出場である。

このように考えて、出水規模別につきのような流出場を想定した。

(i) 小出水：降雨強度は大きい総雨量が少ない。この場合は流域の一部（領域1とする）に地表流出が発生する。

(ii) 中出水：降雨強度は大きくない総雨量が多い。この場合は領域1の地表流に残りの全流域（領域2とする）から中間流出が加わる。

(iii) 大出水：降雨強度も大きく、総雨量も多い。この場合は領域2からも地表流出が発生する。

いま、領域1は河道や河道横の湿地や露岩あるいは表土層の薄い斜面部を含めた総合的表現である。一方流域の地形モデルは面積をもたない河道と短形の斜面から構成される。領域1については、図1に示すように、残りの斜面と同じ斜面長をもち、常に領域2とは独立な流出発生場を考える。このようにモデル化した場合の領域1の性格について調べておく。安藤ら（1979）の多摩川の例では、領域1の面積率は一定である。しかし、奥西ら（1980）の焼岳のルルの出水解析ではその面積割合が必ずしも一定ではない。しかし、領域1と領域2の出水成分はかなり異なるようであり、かりに、通常観測される出水は(i)，(ii)の流出場のみが関与するとみなして領域1の最大面積率 α_m を想定する。一方、 $(1 - \alpha_m / 100)$ の斜面である領域2では、林地表層の Humus 層を流下する成分はせいぜい降雨量の2～3%程度であり（加藤ら：1975），大部分の中間流出は Humus 層下の土壌中の大孔隙を流下すると考えられる。

数値計算はつぎの関係式を使った。

斜面の連続式は、領域1，2ごとに

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} + \frac{\partial q_1}{\partial x} = C r_{e1}, \quad \frac{\partial h_2}{\partial t} + \frac{\partial q_2}{\partial x} = C r_{e2} \quad (1)$$

ここに h_1, h_2 ：領域1，2の斜面における水深， q_1, q_2 ：領域1，2の斜面の幅当り流量， r_{e1}, r_{e2} ：領域1，2の有降雨量， C ：単位変換係数， t, x ：時間，距離である。

河道の連続式は

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\alpha_m}{100} q_1 + (1 - \frac{\alpha_m}{100}) q_2 \quad (2)$$

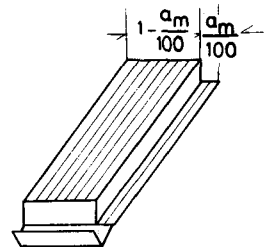


図1 流域斜面モデル (α_m : 領域1の最大面積率)

ここにA；流積，Q；流量である。

一方，運動則は，斜面について

$$h = kq^p \quad (3)$$

となる。Manning 型を考えれば

$$k = \left(\frac{N}{I^{\frac{1}{3}}} \right)^p, \quad p = \frac{3}{5} \quad (4)$$

型を考えれば

$$k = \left(\frac{I}{MI} \right)^p, \quad p = 1 \quad (5)$$

となる。ここにk, p；定数，N；等価粗度，I；勾配，M；透水係数，r；有効間隙率となる。

河道の運動則は

$$A = KQ^P \quad (6)$$

いま

$$R = K_1 A^Z \quad (7)$$

とおき，Manning 則を使うと

$$K = \left(\frac{n}{K_1^{\frac{1}{3}} I^{\frac{1}{3}}} \right)^P, \quad P = \frac{3}{2Z+3} \quad (8)$$

となる。ここにK, P；定数，R；径深，K₁, Z；河道断面に関する定数，n；Manningの粗度，とする。

3. 対象流域の概要

対象とする斜面プロットおよび流域の諸元を表1-1, 2に示す。単位流域とは，湧

水地点あるいはガリーの出発点を河道の始まりとした場合の河道長が70 m未満であり，地形モデルが単一斜面として表現される流域である。こ

表1-1 対象とする斜面プロットおよび単位流域の諸元

No.	Name of basin or plot	Region	Geology	Basin or plot area (ha)	Length (m)	Width (m)	Slope angle (sinθ)	Vegetation	Measuring method of water level or discharge
1)	Nekoiwa 1	Tanakami	w.g.	0.01	20	5	0.57	(bare)	30°V-s.n.
2)	Nekoiwa 2	"	"	"	"	"	"	PT,A	"
3)	Kiryu P1	"	"	0.005	10	"	0.42	P	t.b.
4)	Kiryu P3	"	"	"	"	"	0.45	P,Ch	"
5)	Kawamukai 2	"	"	0.38	35	108.6	0.37	PT,A	60°V-s.n.
6)	Rachidani	"	"	0.178	25	71.2	0.56	(bare)	"
7)	Kiryu 1	"	"	0.26	70	37.1	0.25	Ch	30°V-s.n.
8)	Kiryu 3	"	"	0.70	110	63.6	0.22	P,Ch	"
9)	Toino	Tanba	Pal.	2.5	200	125	0.58	Cr	90°V-s.n.

w.g.; weathered granite, V-s.n.; V-shaped notch, t.b.; tipping bucket of 1 litre, PT; *Pinus Thunbergii*, A; *Alnus pendula*, P; *Pinus densiflora*, Ch; *Chamaecyparis obtusa*, Cr; *Cryptomeria japonica*, Pal; Palaeozoic

れらの対象地は3地域に分布している。まず琵琶湖東南部の田上山地である。風化花崗岩より成るこの地域は昔から荒廃山地として有名である。全般的に傾斜は緩い。本地域からの流水は大戸川を経て瀬田川に入るが，桐生だけは草津川の支流である。完全な裸地としては，猫岩1と裸地谷がある。植生がほぼ良好なものは桐生である。川向，若女，猫岩2は樹冠閉鎖が完全でなく，地表裸出が部分的にみられる。一方，同じく花崗岩より成るがより急峻な地域の例として表六甲山地のハチースがある。本流域は都賀川の支流である。植生は良好では

表1-2 対象とする流域の諸元

No.	Name of basin or plot	Region	Geology	Basin or plot area (ha)	Average slope angle (sinθ)	Main stream angle (sinθ)	Vegetation	Measuring method of water level
10)	Kiryu Main	Tanakami	w.g.	5.99	0.35	0.11	P,Ch	90°V-s.n.
11)	Kiryu 2	"	"	1.75	0.30	0.14	Ch,P	60°V-s.n.
12)	Kawamukai Main	"	"	2.66	0.42	0.22	PT,P,A	90°V-s.n.
13)	Jakujo	"	"	2.89	0.41	0.13	P,Ch	"
14)	Hachiece	Rokko	"	17.6	0.60	0.37	P	"
15)	Yayoi	Tanba	Pal.	10.5	0.47	0.092	Cr	"

ないが、ほぼ地表を覆っている。

古生層地域の例としては、由良川源流の京大芦生演習林内の下谷で、約1.3 kmと近接した2流域であるトヒノとヤヨイがある。2流域とも植生はスギを上木としており、生育は良好である。

本対象流域群は斜面プロットと単位流域および河道系を含む流域に区分される。

斜面プロットは猫岩1、2と桐生P1、P3である。猫岩1は裸地プロットであり猫岩2は植栽地プロットである。単位流域群

は表1-1の流域

No.5~9である。そして河道系を含む流域群は流域No.10~15となる。図2はこれらの対象流域の流域図である。それぞれの面積は斜面プロットが50~100 m²、単位流域は0.178~2.5 ha、河道付き流域は1.75~17.6 haの範囲である。なお、斜面プロットの流水採集方法について述べる。猫岩ではプロット下端にコンクリート製の擁壁を設け、表流水を集めた。また桐生のP1はHumus層の、P3は岩盤上の流れをすべて集める。各プロットの両横はコンクリート壁や木製壁を設け、上端は猫岩が尾根に一致し、桐生では木製壁となる。特に、桐生P3の上端より尾根までの距離は3 m程度である。

4. 対象とする出水 対象とする出水例は表2に示す17例である。出水11~14は特に桐生において小出水から中出水の際の流出を解析するために使った。出水11は小出水例である。また出水17は台風性の降雨で、総雨量208 mm、最大降雨強度150 mm/hrであるが、本解析では中出水として取り扱った。なお、降雨と水位あるいは流量記録の時刻のズレはほとんど3分以内であり、読み取り時間々隔を10分とした。但し、裸地谷は水位計の紙送り速度が遅く、15分間隔としたが、ほぼ実際の水位変化を再現している。ピークの流量の最も大きいのはヤヨイ流域の23.5 mm/hrである。

5. 解析方法 (1) 直接流出の分離法 hydrographにおいて減少時の流量を対数表示して、その勾配変化点の流量と出水開始流量を直線で結び、その直線より上側の流量を直接流出とした。

(2) 有効降雨の算定法 有効降雨 r_e の算定には、基本的に貯留関数法における有効降雨算定法を用い、さらに浸透能 f を考慮する。すなわち

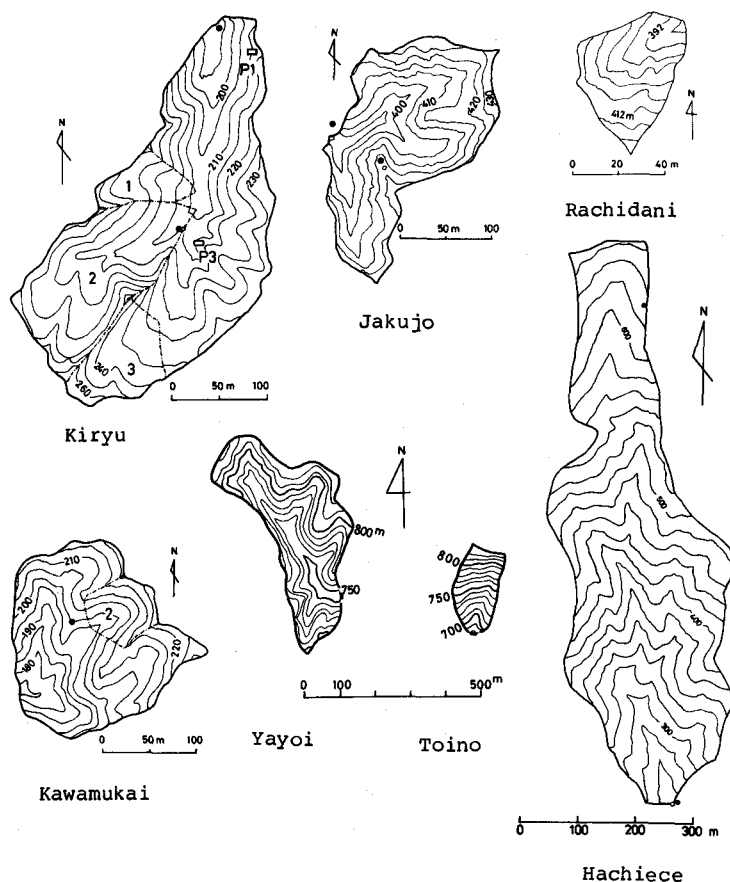


図2 対象流域の流域図（●印は雨量計の位置を示す）

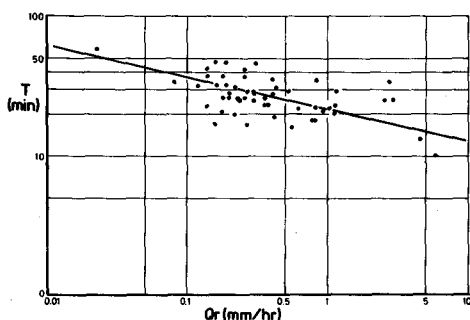


図3 桐生本流ピーク流量と桐生2のピーク流量の遅れ時間

$$\left. \begin{aligned} \Sigma r < a_1 &: r_0 = 0 \\ a_1 < \Sigma r < a_2 &: r_0 = (r-f) b_1 \\ a_2 < \Sigma r &: r_0 = (r-f) b_2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

ここに r は雨量, Σr は累加雨量, a_1, a_2 は一次流出および二次流出の起る雨量, b_1, b_2 は一次および二次流出率である。

(3) 河道流定数の決定法 表1-2に示すよう

に、対象流域の内ではヤヨイの河床勾配が最も緩く、ついで桐生、若女、桐生2となり、川向ではより急な勾配を、ハチースは最も急な河床勾配をしめす。なお、桐生、若女の両流域では谷止め堰堤が階段状に設置されているが、ヤヨイは自然河床である。

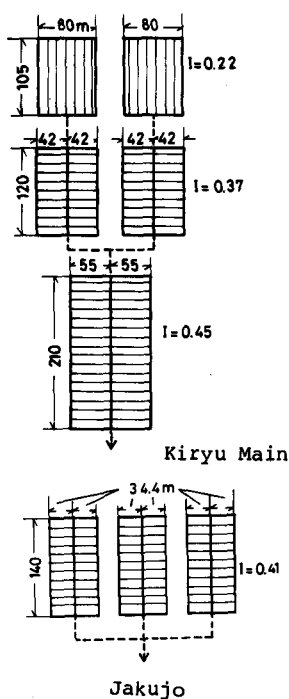
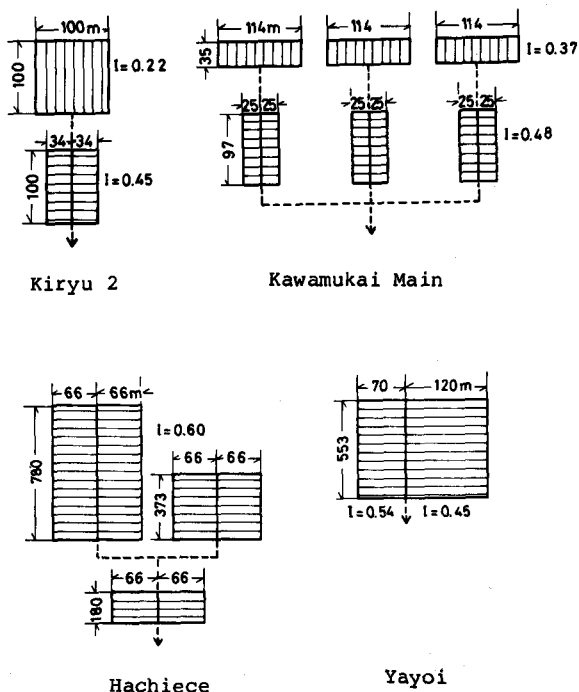


表2 対象とする出水例

Flood No.	Date	Total rain-fall (mm)	Max. rain-fall intensity (mm/hr)	Direct runoff (mm)	Peak discharge rate (mm/hr)	Objective basin or plot No.
1)	Sep.18, '70	83.6	57.0	16.1	31.1	1
				1.3	1.1	2
2)	Sep.18, '70	42.9	30.8	11.4	17.0	1
				0.7	0.9	2
3)	Jul. 2, '73	49.0	54.0	0.7	0.7	3
				3.2	2.9	4
4)	Jul.15, '72	90.0	33.0	1.5	0.8	3
				3.2	7.4	4
5)	May 26, '79	48.0	58.0	18.6	22.8	6
6)	Jun.28, '79	85.0	28.0	34.8	16.4	6
7)	Jun.27, '79	77.0	66.0	7.7	1.9	5
8)	Sep.30, '79	73.0	69.0	5.6	1.4	5
				6.2	3.0	12
9)	Jun. 9, '76	64.0	66.0	13.0	8.3	12
10)	Jul.12, '67	77.2	75.0	17.6	10.7	12
11)	Jul.16, '77	39.0	105.0	3.0	2.7	10
				2.1	1.5	7
				2.6	2.8	11
				0.7	0.8	8
12)	Jun.23, '78	66.5	39.0	21.0	5.8	10
				23.7	6.6	7
				25.0	6.4	11
				5.2	2.4	8
13)	Jun.27, '79	74.0	75.0	9.5	4.3	10
				14.4	3.4	7
				6.5	3.4	11
				2.0	1.5	8
14)	Aug.22, '75	114.0	63.0	31.0	9.7	10
15)	Sep.30, '79	67.5	63.0	7.1	6.6	13
16)	"	89.5	69.0	18.2	7.9	14
17)	"	208.0	150.0	57.9	19.5	9
				78.7	23.5	15

図4 河道系を含む流域の地形モデル



川向、ハチースは岩盤土を水が流れる。

これらの河床の河道流定数 K 、 P を以下のように決定した。

いま、桐生本流のピーク流量 Q_r と桐生2のピーク流量との遅れ時間 T の関係を図3に示す。図3より

$$T = 21.7 Q_r^{-0.28} \quad (10)$$

の関係が認められる。一方、(6)式を微分すると

$$\frac{dA}{dQ} = KPQ^{P-1} \quad (11)$$

となる。洪水波の伝播速度 ω は

$$\omega = \frac{dQ}{dA} \quad (12)$$

であり、伝播時間 t と流下距離 L と ω の関係は

$$t = \frac{L}{\omega} \quad (13)$$

となる。(13)式に(11)、(12)式を代入すると

$$t = KLPQ^{P-1} \quad (14)$$

となる。(10)、(14)式は恒等な関係であり、2点間の距離 $L = 210 \text{ m}$ を代入すると $P = 0.77$ 、 $K = 3.0$ ($m\text{-sec}$ 系)が得られる。

従って、河床状態の類似する桐生本流、桐生2、若女についてはこの数値を使う。また断面形状の類似するヤヨイでは P に同じ値を使い、 K は試行的に2.0と決めた。なお川向とハチースでは放物断面形の $P = 0.7$ を使い、 K については角屋(1978)の表を参考にして $K = 1.0$ とした。

(4) 流域地形のモデル化 河道系の入らない流域の地形モデルは表1-1に示す。河道系を含む流域については図4のように流域をモデル化した。桐生、川向のように内部流域をもつ場合の本流々出量計算に際しては、内部流域を平均化して取り扱っている。斜面長の最も短い流域は裸地谷の25 mであり、最も長いものは古生層流域であるトヒノの200 mである。なお計算上の斜面長は近似的に水平長を使った。

6. 解析結果 地表流を想定する領域1についてはManning則を使い良好であった。しかし中間流領域ではDarcy則を使ったが適合性が不良な結果となった。中間流に対して、Darcy則の適合性が良くないことは小川

(1977)の指摘がある。また杉山(1980)の実験結果も流量でい減時におけるDarcy則の不一致を示している。そのために、根拠は不明確ではあるが、領域2の成分に対してもManning則を使って良好な結果を得た。各流域、各出水ごとの解析に際しての有効降雨パラメータを表3に、また得られた領域1、2の等価粗度 N_1 、 N_2 と領域1の最大面積率 α_m と使用した河道流定数 P 、 K を表4に示す。また解析結果の内、代表的な5例を図5-1~5に示す。図5-1は斜面プロットの例として出水3に対する桐生の P_3 の結果である。図5-2は裸地谷の出水6に対する結果である。図5-3~4は桐生本流の小出水と中出水の例である。最後に、図5-5はトヒノの出水17に対する結果である。

浸透能 f は斜面プロットの地表流では評価したが、単位流域および河道系を含む流域の解析では斜面の地表面流出成分よりも河道周辺の不浸透部で発生する地表面流出成分が相対的に多いと判断して $f = 0$ とした。植栽地プロットである猫岩2の有効降雨量は裸地プロットである猫岩1と比較して、 f が倍となり、一次流出率 b_1 が1/10と低下した。しかし、地表面状態が不良のためか等価粗度 N_1 は裸地と同じ $N_1 = 1$ となる。桐生 P_1 のHumus層の流出成分は f を無視しても、降雨量の2~3%にすぎない。桐生 P_3 の流出量は P_1 と比較するとほとんどHumus層下の流出成分によって占められると考えられる。 P_3 の流出に対しては、本来上下層を想定するモデルの方が合理的であろうが、単位流域群の解析例より判断して本提出モデルである並列モデルを適用した。結果は $b_1 = 0.02$ 、 $N_1 = 0.3$ の領域1と $N_2 = 5$

表3 使用した有効降雨算定パラメーター

Object- tive basin or plot No.	Flood No.	Area 1 (overland flow)				Area 2 (subsurface flow)				
		f	a ₁	b ₁	a ₂	b ₂	a ₁	b ₁	a ₂	b ₂
		(mm/hr)	(mm)		(mm)		(mm)		(mm)	
1	1	6	8	0.5						
1	2	6	5	0.5						
2	1	12	5	0.05						
2	2	12	5	0.05						
3	3	3	0	0.02						
3	4	3	0	0.03						
4	3	0	0	1.0			0	0.06	45	0.12
4	4	0	0	1.0			10	0.06	45	0.12

5	7						0	0.12		
5	8						0	0.10		
6	5	0	4.5	0.44						
6	6	0	10	0.44						
7	11	0	0	1.0			0	0.05	50	0.44
7	12	0	0	0.5	20	1.0	0	0.3	40	0.44
7	13	0	0	0.4	40	1.0	45	0.44		
8	11	0	0	0.4			18	0.02		
8	12	0	0	1.0			0	0.07		
8	13	0	0	0.1	20	1.0	18	0.02		
9	17	0	0	1.0			0	0.2		

10	11	0	0	0.6			0	0.06		
10	12	0	0	1.0			0	0.25		
10	13	0	0	0.2	20	1.0	20	0.1		
10	14	0	0	0.5	20	1.0	20	0.1	50	0.35
11	11	0	0	0.5			0	0.07		
11	12	0	0	0.2	20	1.0	0	0.4		
11	13	0	0	0.2	20	1.0	20	0.15		
12	8						0	0.1		
12	9						0	0.24		
12	10						0	0.24		
13	15	0	0	0.3	30	1.0	0	0.05		
14	16	0	0	0.2	30	1.0	25	0.2		
15	17	0	0	0.5	20	1.0	0	0.3		

また桐生3は $N_1=0.2$ の領域1が2%で領域2は $N_2=0.5$ となった。ただ桐生全域の中で本内部流域のみ直接流出量が著しく少なく、全般的に斜面下端部の近傍成分が領域2の流出成分となっているようである。従って領域2の代表とするには無理である。トヒノは $N_1=1$ の領域1が13%で領域2は $N_2=5$ となる。つぎに河道系を含む流域の結果では、桐生本流は $N_1=1$ の領域1が10%で領域2は $N_2=5$ となる。また内部流域である桐生2は $N_1=0.2$ の領域1が6%で領域2で $N_2=5$ となった。

一方、川向本流が源頭部に $N_2=10$ なる内部流域をもつことは川向2の結果でわかるが、有効降雨算定を全斜面で同一としたため、全域としては $N_2=6$ となる領域2の流域としてモデル上表現される。本流域はむしろ源流域の斜面と河道の両横の斜面で有効降雨、等価粗度とも異なる流域と言えよう。また若女は桐生本流と同じく $N_1=1$ の領

表4 得られた領域1,2の等価粗度 N_1, N_2 と領域1の最大面積率 α_m 、および使用した河道流定数P, K

Basin or plot No.	Area 1		Area 2		Constants of river system P K	
	N_1 (sec.m ^{-1/3})	α_m (%)	N_2 (sec.m ^{-1/3})			
1	1	100				
2	1	100				
3	0.3	100				
4	0.3	2	5			
5		0	10			
6	1	100				
7	0.5	1.5	5			
8	0.2	2	(0.5)			
9	1.0	13	5			
10	1	10	5	0.77	3	
11	0.2	6	5	0.77	3	
12		0	6	0.7	1	
13	1	10	5	0.77	3	
14	0.5	10	5	0.7	1	
15	1	13	10	0.77	2	

の領域2で適合した。また川向2は川向流域の内部では最も植生が良好で、谷止め堰堤も源流まで入り、斜面下部の土層も厚い。この解析結果は $N_2=10$ なる領域2の成分だけで適合した。裸地谷はすべて $b_1=0.44$ と $N_1=1$ で良好な適合である。桐生1は $N_1=0.5$ の領域1が15%で、領域2は $N_2=5$ となった。

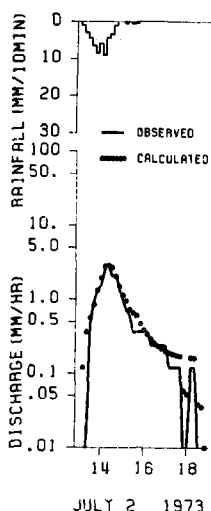


図5-1 桐生P3の解析例(出水3)

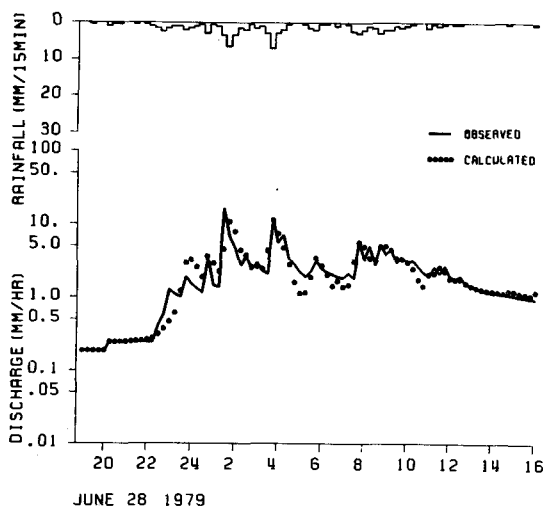


図5-2 裸地谷の解析例(出水6)

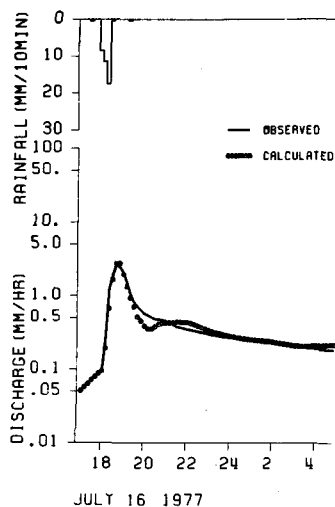


図 5-3 桐生本流の解析例
(出水 11)

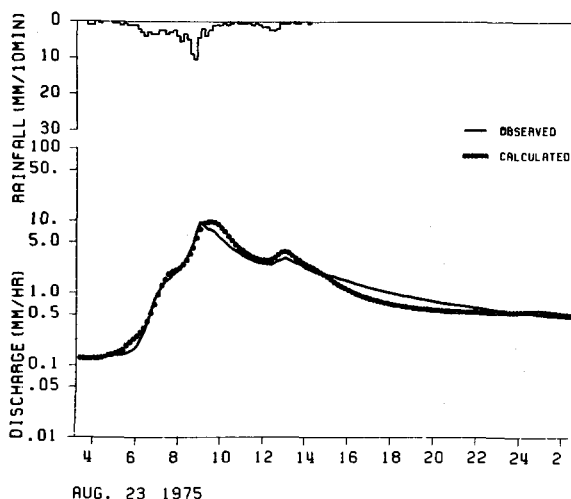


図 5-4 桐生本流の解析例 (出水 14)

域が 10% で $N_2=5$ となった。
ハチースは $N_1=0.5$ の領域 1 が
10% で $N_2=5$ となった。ヤヨ
イはトヒノとまったく同じ N_1 、
 α_m 、 N_2 を示し、有効降雨パラメ
ーターだけが異なる。

7. 総括 流域斜面は
独立した 2 つの領域、すなわち
地表流発生場 (領域 1) と中間
流発生場 (領域 2) から成り、
流域ごとに領域 1 の最大面積率
 α_m が定まるとする流出モデルを

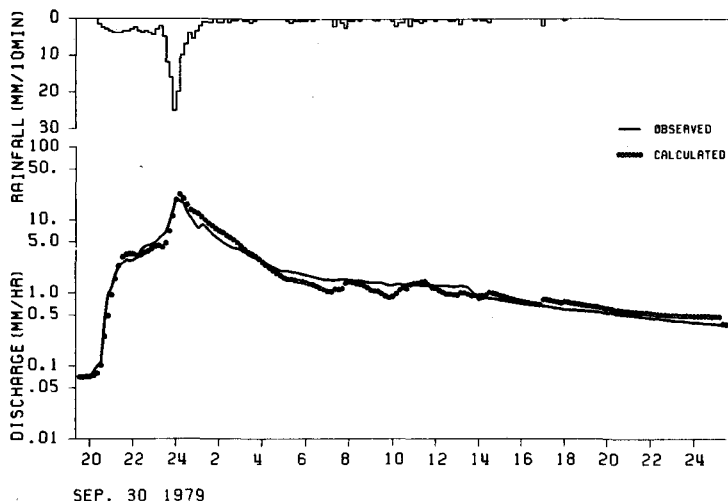


図 5-5 トヒノの解析例 (出水 17)

提示した。本モデルを風化花崗岩山地と古生層山地の斜面プロットや小流域に適用した結果、つぎのことが明らかとなった。

Ⅰ) それぞれの領域に Manning 則を用いた場合、小出水から中出水まで、あるいは裸地と林地に対して、また面積的に 0.005~17.6 ha の範囲まで統一的な評価が可能となった。

Ⅱ) 林地である桐生流域内で α_m は流域面積の増大に対して増加傾向が認められる。すなわち、最小流域 (0.26 ha) で 1.5% であるが流域全体 (5.99 ha) では 10% となる。これは河道周辺が地表流発生の主要な部分を占めるためであると判断される。桐生本流の α_m は若女、ハチースについても同じであるが、川向のように $\alpha_m=0$ とみなされる流域も存在する。また古生層地域の 2 つの流域、すなわちトヒノとヤヨイにおける比較的大きな出水例でも $\alpha_m=13\%$ にすぎない。

Ⅲ) 領域 1 の等価粗度 N_1 は裸地の場合 $N_1=1$ と評価された。林地の場合、主要な発生場は斜面下部の可能性が高いが、これをすべて斜面全域に置き換えたために、相対的に小さな N_1 として評価される。特に小プロットや 2 ha までの小さな流域ではこの傾向が強くあらわれるようである。しかしながら、2 ha 以上の流域ではすべて $N_1=0.5 \sim 1$ の範

囲となる。なお領域 2 の水の運動に Manning 則の関係を使うと、すべて $N_2 = 5 \sim 10$ の範囲となる。

iv) 小出水では領域 1 の流出成分が卓越するために、流出の減衰は早い。しかし中出水では領域 1 の場が飽和状態となるのに対し、領域 2 の成分は総雨量の増大に対して増えてくる。桐生で小出水が卓越する場合は出水初期の状態にもよるが、ほぼ総雨量 50 mm までである。なお、林地の α_m はその値の大きい流域でも 1.3 程度であったから、比較的大きな出水を対象とする際は領域 2 の成分だけでかなり良好な推定が可能である。

v) 領域 1 の有効降雨の比率は必ずしも 1.0 ではなく、出水ごとに変化する。この結果は領域 1 が不浸透部のみで構成されるのではないことを意味する。

vi) 林地の裸地に対する出水の相違を本モデルによって述べると、斜面プロットでは有効降雨の大幅な低下であり、流域単位では領域 1 から領域 2 への変化にともなう初期損失雨量の増加と等価粗度の増大である。

8. 謝辞 本研究に際して建設省琵琶湖工事々務所と六甲砂防工事々務所、および大津営林署、京都大学芦生演習林の諸機関の協力を得ている。また観測に際して本学大学院生 鈴木 雅一、谷 誠の両氏の助力を得ている。記して謝意を表したい。なお、計算は京都大学大型計算機センターの Facom M-200 のシステムを使用した。

9. 引用文献

- 1) 高樺琢馬 (1963) : 出水現象の生起場とその変化過程, 京大防災研年報 6 pp 166-180
- 2) 金子 良, 五十嵐正次, 上村春美 (1960) : 小流域における流出機構の研究, 農技研報告 F12 pp 211-343
- 3) 安藤義久, 虫明功臣 (1979) : 丘陵地における直接流出の生起領域, 自然災害シンポジウム論集 16 pp 129-132
- 4) 奥西一夫, 浜名秀治 (1980) : 焼岳東斜面源頭部における水文特性 (2), 砂防学会発表概要集 pp 104-105
- 5) 加藤博之, 福嶋義宏, 鈴木雅一 (1975) : 山腹斜面の流出機構について (1) ライシナーターと表層流出量について, 京大演習林報告 47 pp 74-85
- 6) 角屋 睦, 福嶋 晟, 佐合純造 (1978) : 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 pp 221-233
- 7) 小川 滋 (1977) : 山地小流域における出水解析の基礎的研究, 九大演習林報告 50 pp 1-68
- 8) 杉山博信 (1980) : 斜面雨水流の抵抗則に関する実験的研究, 農土論集 87 pp 16-23