

小流域からの水の流出過程 (I)

細 田 豊

(農学部 防災林学研究室)

The Run-off Process out of a Small Drainage Basin (I)

Yutaka Hosoda

Laboratory of Erosion Control Engineering Faculty of Agriculture

Abstract

This paper reports an outline of the run-off process out of a small drainage basin. From the observational data, the ratio of run off has 15.8% when the total rain is 54^{MM} and 24.8% when the total rain is 65.5^{MM}. The hydrograph shows in Figure 3 and 4. Still, for the duration of observation, the detailed result of the run-off analysis reports in the next paper.

I はじめに

水資源の開発のために、貯水ダムを建設することにはある限界がある。水の需要が増加して来ると、グリーンダムと表現されるように、流域の森林地の保水機能に期待される面が大きい。森林地の保水機能のみならず、流域の保水機能を高める効果として、砂防、治山ダムの効果は無視出来ないと考える。砂防、治水施設の効果は有害な土砂量の抑制と同時に、山脚の固定、また山腹工事による有害な土砂生産の阻止など、その効果は非常に大きい。流域の保水機能の面に視点を置くならば、砂防、治山ダムによる降雨時の急激な出水の緩和機能及び砂防、治山ダム背後の堆砂地による滲透水の貯留効果などが考えられる。砂防、治山ダムによる保水機能の効果を量的に推定するためには、これらの施設群が施工される流域を対象として、量水堰を設置し、砂防、治山施設群が施工されるにつれて、流域からの基底流量の変動過程を研究する必要がある。

今回は、高知県森林土木課が、水資源開発のための治山施設効果を追求する目的で、吉野川流域の右支瀬戸川流域内の小支溪境谷流域に、昭和54年10月に量水堰を設置し、水位及び降雨量の観測が開始されたので、その概要を報告する。

II 流域の概要

境谷流域を含む瀬戸川流域の地質、地形などの概要を述べる。

瀬戸川は水源を稲叢山(標高1,506 m)に発し、地盤運動、地質及び地形などに影響されて、流路は蛇行し、早明浦ダム貯水池に流入する流域面積 66.1 km²、幹川流路延長約 18.2 km、流域の平均傾斜 35.5 度の水系である。水の流出と関係のある本流域の水系網の発達様式について検討する。水系網の地形解析には、国土院発行の 1/25000 地形図を使用した。まず水系網の次級化は、Horton 方式を改良し、今日一般的に行われている Strahler 方式を採用した。Strahler 方式によって水系区分し、Horton 則が成立するかどうかを考察した結果では、相関係数が 0.99~0.93 の範囲内であり、Horton 則が本流域の水系網発達に対しても成立する。なお計測値は表-1に示す。

Table-1

Vally order	Stream number	Mean slope of stream	Mean length of stream	Mean area of drainage basin
First order	983	0.468	230 ^(m)	0.0568(KM ²)
Second order	245	0.352	317	0.227
Third order	52	0.237	696	0.823
Fourth order	12	0.143	1,443	2.893
Fifth order	3	0.062	2,667	9.423
Sixth order	1	0.023	12,870	66.080

計測値による回帰直線は次の如くなる。

- 1) $\log N_u = 3.577 - 0.61 \log u$ 分岐比 4.093
- 2) $\log \bar{L}_u = 1.884 + 0.338 \log u$ 流長比 2.178
- 3) $\log \bar{S}_u = 0.053 - 0.258 \log u$ 勾配比 1.811
- 4) $\log \bar{A}_u = -1.725 + 0.554 \log u$ 面積比 3.581

但し N_u : 流路数, \bar{L}_u : 平均流路長, \bar{S}_u : 平均流路勾配, \bar{A}_u : 平均流域面積, u : 流路次数である。

ここで早明浦ダム直下流で合流する汗見川, 森川両流域を含めた全流域を対象とした, 分岐比, 流長比, 勾配比は, それぞれ4.487, 2.270, 2.143である。これらの数値と瀬戸川流域の計測値と比較すると, 谷の分岐過程は, 地質, 地形の影響のためか著しくない。流長比についてみれば, ほぼ類似の数値であり, 勾配比は相対的に小さい。これらのことから瀬戸川流域の水系網の発達様式としては, 低次数谷の発達が著しくなく, 流路長は高次数谷ほど相対的に長く, 流路勾配は流長比との関係で比較的緩勾配をなしている。分岐比, 流長比, 勾配比などの factor は水の流出過程に

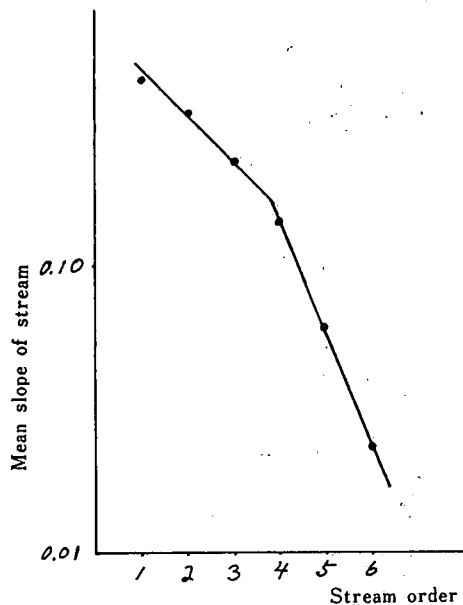


Fig. 1 Relation to stream order and Mean slope of stream.

影響を与える重要な factor であるが、量水堰を設置している流域は、瀬戸川流域内の小支渓流域であるために、現段階では検討出来ない。

更に、表-1の数値から流路次数と平均流路勾配との関係を描いたのが図-1である。図から明らかごとく、3次谷と4次谷との間に著しい屈曲点の存在が認められる。このことは3次谷以下の流域の流路勾配は、相対的に急である。これは本流域の3次谷以下の流域の溪流の侵食作用は旺盛であることを示していると思われる。

また本流域の傾斜度を調べてみると、傾斜度25~30°, 19.3%, 30°~35°, 21.7%, 35°~40°, 29.4%, 40°~45°, 15.3%である。この結果をみれば、傾斜度30°以上が66.4%と急峻な地形条件を示している。即ち、流域の地形発達段階は壮年地形であるといえる。

流域の地質は、主として緑色片岩、黒色片岩類であるが、上流水源地帯には強削離性を示す黒色片岩の分布する清水構造帯及び秩父累帯が存在する。

III 量水堰設置流域(境谷)の概要

境谷流域は、瀬戸川流域の上流部に位置し、流域面積 0.346 km² の小流域である。1/5000 地形図で谷次数を計測すれば、2次谷流域に該当する。流域の基岩類は黒色片岩である。また植生としては、人工林率は99.2%で、その内杉60%、桧40%で、樹令は2令級以下の林分より3~8令級の林分が主体である。

流出に関係する地形要素についてみると、主流長 1.15 km, 流域平均幅 0.300 km, 流域周囲長 2.94 km, 流域の集中度 0.707, 形状比0.576, 主流平均勾配0.35, 表流水の到達距離集中度 0.273, 本支流の総延長 2.44 km, 谷密度 7.052, 流域の平均傾斜 35.7度である。本流域の森林土壌に関する井上¹⁾の調査によれば、“各土壌型ごとの分布面積は B_D 型土壌が最も広く約40%を占め、B_{D(a)} 型土壌35%, B_F 型土壌20%で、B_O 型土壌の分布面積は最も狭く、ほぼ5%弱を占めるに過ぎない”である。

IV 流量と降雨量との関係

境谷流域に設置した量水堰の構造は図-2に示す。流量式は、

$$\begin{aligned} h \leq 0.40\text{m} & \quad G = 0.590C_1 h^{3/2} \text{ m}^3/\text{sec} \\ h > 0.40\text{m} & \quad G = 0.590C_1 h^{3/2} + 5.902C_2 (h - 0.4)^{3/2} \text{ m}^3/\text{sec} \end{aligned}$$

但し、流量係数 C は、

$$\begin{aligned} C_1 &= 0.6228 \left(1 + \frac{0.0012}{h} \right) \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{h}{B_1}}}{10} \right) & B_1 &= 0.2 \\ C_2 &= 0.6228 \left(1 + \frac{0.0012}{h-0.4} \right) \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{h-0.4}{B_2}}}{10} \right) & B_2 &= 2.0 \end{aligned}$$

である。

現地では水位を観測し、上式で求められた数表によって、流量を算定した。

現在観測を継続中であるが、今回は、昭和54年10月~昭和55年1月中に得られた降雨量と流量との関係について取りまとめたので、その概要について述べる。それ以後の傾向については、第2報として発表する予定である。

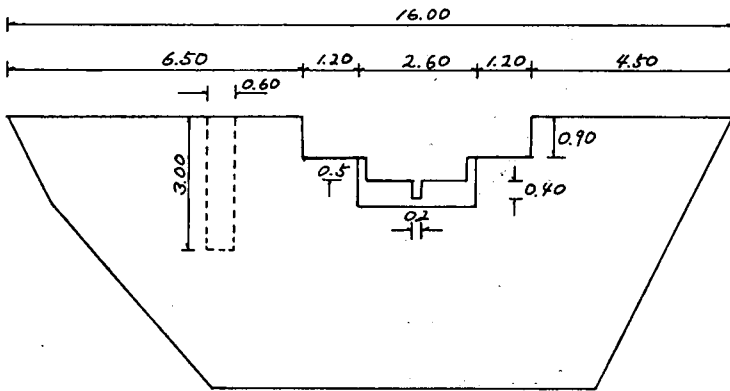


Fig. 2 Structure of a gauging well.
S=1 : 100 (単位はM)

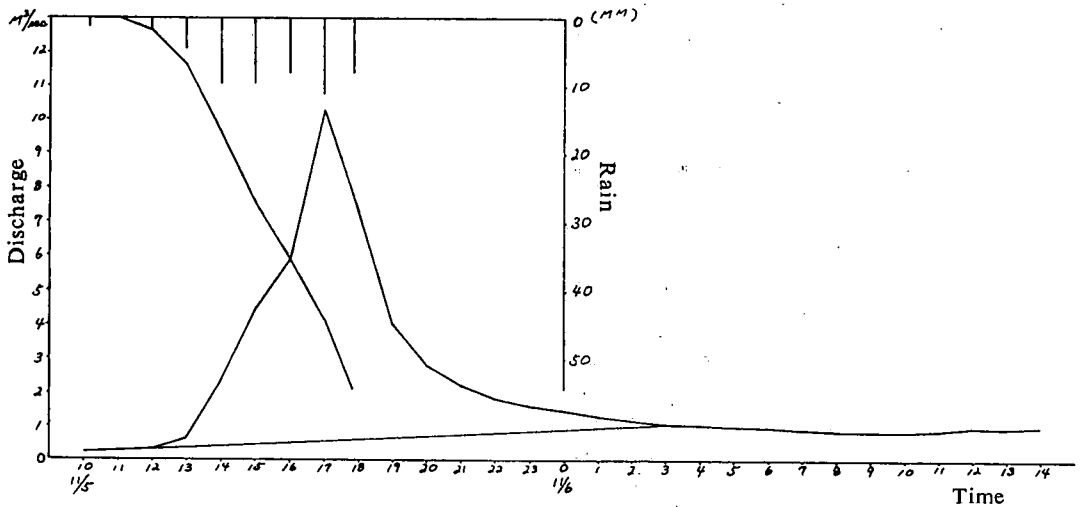


Fig. 3 Hydrograph. Distribution of Rain and Rain Mass Curve.

第3図に、昭和54年11月5日～11月7日間の降雨量と流量との関係図を示す。このハイドログラフから基底流量の分離を試みる。基底流量分離の方法の一つは、減水曲線を片対数紙上に描いて得られた直線を、次の出水の上昇開始点から時間的にさかのぼって、ピークに向ってたどり、最初の屈折点を求め、上昇開始点とを結んで、この直線の下部領域を基底流出とするのである²⁾。表-2に、この期間の観測資料を示す。

また、この期間の総流出量と基底流出量は表-3に示す。

この期間中の累加降雨量は 54 mm、総流出量は 2,950.1 m³、また基底流出量は 604.5 m³である。そのときの最大ピーク流量は 618.6 m³/hr である。総流出量から基底流出量との差 2,345.6 m³ が表面流及び中間流として流出した量となる。

この期間の流出率を求めてみると、1時間の平均降雨量は 7.7 mm、1時間の平均総流出量は 196.7 m³ である。この量を流出高に換算すると、流出高は 0.568 mm となるから、1時間の平均流出率は7.3%である。また総降雨量に対する総流出量の流出率は15.8%である。

Table-2

Time		Mass rain (mm)	Stage (cm)	Discharge (m ³ /min)	
5 日	10:00	0	5.7	0.29	
	10:10	1.6	"	"	
	11:00	0	5.8	0.30	
	12:00	2.0	6.2	0.33	
	13:00	7.0	9.5	0.61	
	14:00	17.0	24.0	2.32	
	15:00	27.0	37.9	4.45	
	16:00	35.5	42.1	5.87	
	17:00	47.0	47.2	10.32	
	17:10	48.0	49.5	12.88	
	17:50	55.5	45.2	8.34	
	18:00	0	44.0	7.29	
	19:00	"	35.0	3.98	
	20:00	"	27.0	2.75	
	20:25	0.5	25.0	2.46	
	21:00	0	23.0	2.18	
	22:00	0.5	20.0	1.79	
	23:00	0	18.2	1.56	
	6 日	0:00	"	17.0	1.41
		1:00	"	15.9	1.28
2:00		"	15.0	1.18	
3:00		"	14.2	1.09	
4:00		"	13.9	1.06	
5:00		"	13.2	0.98	
6:00		"	13.0	0.96	
7:00		"	12.5	0.91	
8:00		"	12.1	0.86	
9:00		"	12.0	0.85	
10:00		"	11.8	0.83	
10:50		4.0	12.4	0.90	
11:00	0	12.5	0.91		
12:00	"	13.2	0.98		

Table-3

Time	Total discharge (m ³ /hr)	Base flow (m ³ /hr)	Time	Total discharge (m ³ /hr)	Base flow (m ³ /hr)
12~13	28.1	19.5	20~21	146.4	43.5
13~14	87.9	22.5	21~22	119.1	46.5
14~15	203.2	25.5	22~23	100.4	49.5
15~16	309.2	28.5	23~0	89.2	52.5
16~17	485.5	31.5	0~1	80.9	55.5
17~18	618.6	33.0	1~2	73.9	58.5
18~19	337.9	37.5	2~3	68.1	61.5
19~20	201.7	39.0			

更に同年11月17日13時~18日17時までの降雨と流量との関係は図-4に示す。なお観測資料は表-4である。また、この期間の総流出量と基底流出量との数値は表-5に示す。

総降雨量は 65.5 mm, 総流出量は 6,439.8 mm³, 基底流出量は 2,208.0 m³ 最大ピーク流量は 664.8 m³/hr である。表面流及び中間流としての流出量は 4,231.8 m³ となる。また全流出高は 18.6 mm で、降雨量に対する流出率は28.4%である。更に1時間の平均流出率は17.4%になる。

代表的な2例について比較検討してみると、総降雨量が 54 mm から 65.5 mm に増加すると総流出量は 2950.1 m³ から 6439.8 m³ に増加し、その比率は約2.2倍である。即ち降雨量の増加率に比例して総流出量が変動するのではなく、その変動量は急激である。これは森林土壌の物理的な性質によるものであろう。

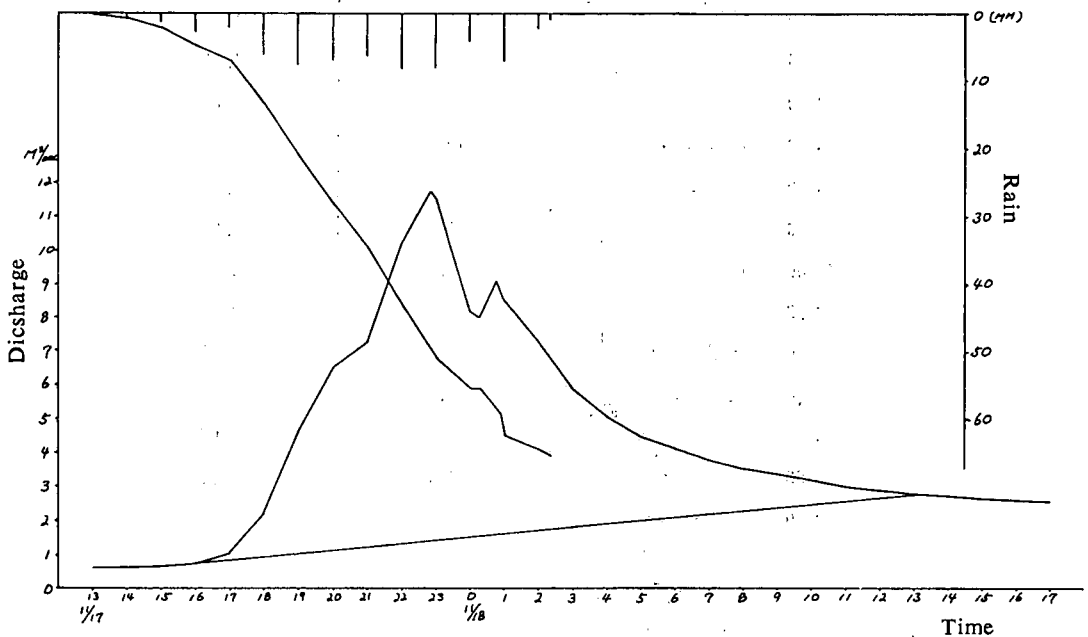


Fig. 4 Hydrograph. Distribution of Rain and Rain Mass Curve.

Table-4

Time		Mass rain (mm)	Stage (cm)	Discharge (m^3/min)
17日	13:00	0	9.5	0.61
	13:55	"	"	"
	14:00	0.6	"	"
	15:00	2.0	10.0	0.66
	16:00	4.7	11.0	0.75
	17:00	7.0	14.0	1.07
	18:00	13.5	23.2	2.21
	19:00	21.1	39.3	4.69
	20:00	28.1	43.0	6.50
	21:00	34.6	44.0	7.29
	22:00	43.1	47.1	10.21
	22:50	49.7	48.5	11.73
	23:00	51.0	48.3	11.51
18日	0:00	55.5	45.0	8.16
	0:15	"	44.8	7.98
	0:45	59.1	46.0	9.10
	1:00	62.6	45.4	8.53
	2:00	64.6	44.0	7.29
	2:20	65.6	43.5	6.88
	3:00	0	42.1	5.87
	4:00	"	40.6	5.03
	4:50	"	38.6	4.57
	4:55	1.0	38.4	4.53
	5:00	0	38.1	4.48
	6:00	"	35.8	4.11
	7:00	"	33.8	3.78
	8:00	"	32.1	3.52
	9:00	"	31.1	3.36
	10:00	"	30.0	3.19
	11:00	"	28.7	3.00
	12:00	"	28.0	2.89
	13:00	"	27.2	2.78
	14:00	"	26.8	2.71
15:00	"	26.2	2.63	
16:00	"	26.0	2.60	
17:00	"	25.8	2.57	

Table-5

Time	Total discharge (m ³ /hr)	Base flow (m ³ /hr)	Time	Total discharge (m ³ /hr)	Base flow (m ³ /hr)
16~17	54.6	48.0	3~4	326.9	111.0
17~18	98.3	54.0	4~5	284.9	117.0
18~19	206.9	60.0	5~6	257.7	123.0
19~20	245.5	66.0	6~7	236.7	129.0
20~21	413.6	70.5	7~8	219.0	135.0
21~22	525.0	76.5	8~9	206.3	139.5
22~23	664.8	82.5	9~10	196.6	144.0
23~0	590.0	87.0	10~11	185.7	150.0
0~1	509.4	93.0	11~12	176.7	156.0
1~2	474.5	99.0	12~13	170.1	162.0
2~3	396.6	105.0			

V ま と め

降雨期間中のハイドログラフの傾向から、上昇部が急であり、一方最大流出量に達した後の下降部の減水曲線が長くなり、降雨に無関係な基底流量に達するまで相当な時間を要する。基底流量は 0.34~0.31 m³/min と推定される。流出量は森林土壌の浸透能と密接な関係にあり、中野²⁾の資料によれば、雨量強度と終期浸透強度について、雨量強度 300 mm/hr 程度までは浸透強度も 300 mm/hr 程度期待される。しかしハイドログラフ曲線の傾向から、上昇部が急であることは、流域の保水能は高いけれども、地表流が生じたと考えられる。このことは林地地面各部の浸透能が不均一であることに起因していると考ええる。

今回は短い期間の資料であり、現在観測が継続中であるので今後の資料を追加しながら水の流出過程の問題を更に詳細に検討したい。

引用文献

- 1) 重要水源山地整備治山事業調査報告書(土佐郡土佐町瀬戸地内) 1980. 3 高知県
- 2) 中野秀章著 森林水文学 共立出版社 1976

(昭和55年9月30日受理)

(昭和56年2月16日発行)