

丘陵地における雨水の流出状況に関する研究

(第2報) 降雨後の流出状況について

山下栄次*・猶原 順*・石井 猛*
平田まき子*・野瀬和子*・松岡 隆**

*岡山理科大学環境資源研究センター

**岡山理科大学教養部

(1990年9月30日 受理)

1 はじめに

前報で¹⁾著者等は、10ha程度の都市近郊の開発された丘陵地における、雨量強度0.5～10mm/H程度の降雨時の雨水の流出状況について検討を加え、降雨中のハイドログラフでは、降雨強度(mm/H)と流出量(m^3/H)とはよく似たパターンで挙動した。一時間降雨量と一時間流出量の相関関係は有意($P=0.01$)であるがその量的な関係ははっきりしなかった。一雨降水量と総流出量との関係は相関係数0.91で有意($P=0.01$)であり、一雨降水量が増加すると総流出量はほぼ直線的に増加していたことを報告した。

流出については、都市の雨水の収支をまとめたもの^{2) 3)}、水文学の立場から、丘陵地の水の循環について述べたもの^{4) 5) 6)}、洪水、土砂災害の予報技術としてのモデル⁷⁾等が発表され、実用化されている。また、流出を資源の立場から述べたもの⁸⁾もある。しかし、流域の降雨の流出過程についての田中の総説⁹⁾によると、研究対象の気候、地形、土壌、植生、土地利用など、自然的、人為的な影響を受け複雑であるとしており、今だ研究の余地が多いことを示している。

そこで、今回は、雨の降り終わりからのハイドログラフに注目し、降雨の状況(降雨の総量など)と、(1)流出量の増加持続時間 (2)流出量の減衰速度($-dV/dT$)について検討した。研究対象地域は、前報と同じ岡山理科大学(岡山市理大町)である。

2 実験方法

1) 流出量の観測

流量計：金門製作所製パーシャル・フリューム式流量計 スロート幅 3インチ

有効測定流量 3～196 m^3/H

積算計：富士電気製造株式会社製 テレパーム・セキ流量発信器 FJC型

測定期間：1988年3月1日から1989年2月29日の1年間

観測者：本学水質管理室の職員

流出量：本学では生活雑排水は、合併浄化槽で集中処理し流量計へ雨水等は直接側溝に流れ込み流量計へ到達する方式になっている。従って、観測している流出量はこれらの合計量である。

2) 降雨量データ

岡山地方気象台（岡山市桑田町1-36）の地上気象観測日原簿より抜粋した一時間値（ mm/H ）である。対象地域とは4.1km離れている。

3) 流出量集計上留意した事項

集計に用いたデータは、38回の降雨分である。流量計がスケールオーバー（ $200m^3/H$ 以上）した時刻のデータは検討から除いた。流出量は、雨の降り終わりの時刻を起点としてそれから30分毎の流出量（ m^3 ）を算出した。

流出量の増加持続時間の決定方法は、前30分との比が1.00の時が流出量の増加終了時間とした。降雨による増水量は増加終了時刻の流量を基底流量（洗浄排水及び合併処理浄化槽排水の合計量）と考え次の式により算出した。

$$V_t = W_t - W_0$$

V_t : 各時刻の降雨による増水量（ m^3 ）

W_t : 各時刻の流出量（ m^3 ）

W_0 : 基底流量（ m^3 ）

流出量の減衰速度（ $-dV/dT$ ）は、観測した多くのハイドログラフに、降り終わりから1.5時間と、3.5時間に変曲点があったので、各ハイドログラフ毎に3つの流出量の減衰速度を求めた。次の式で算出した。

$$b_1 = -(V_{0.5} - V_{1.5})$$

$$b_2 = -(V_{1.5} - V_{3.5})/2$$

$$b_3 = -(V_{3.5} - W_0)/(t - 3.5)$$

b_1 : 降り終わり0.5時間から1.5時間での流出量の減衰速度（ m^3/H ）

b_2 : 降り終わり1.5時間から3.5時間での流出量の減衰速度（ m^3/H ）

b_3 : 降り終わり3.5時間から基底流量に達するまでの流出量の減衰速度（ m^3/H ）

$V_{0.5}$: 降り終わりから0.5時間での増水量（ m^3 ）

$V_{1.5}$: 降り終わりから1.5時間での増水量（ m^3 ）

$V_{3.5}$: 降り終わりから3.5時間での増水量（ m^3 ）

W_0 : 基底流量（ m^3 ）

t : 降り終わりから基底流量までの時間（ H ）， $t > 3.5$

3 結果及び考察

1) ハイドログラフの実例

観測記録の例を図1に示した。図1は、1989年3月17日の雨の降り終わりから30分毎の流量計の記録である。この雨は降り初めは3月17日4時で、降り終わりが3月17日23時で20時間降雨があり、一雨降雨量は20.5mmであった。

雨の降り終わりと共に急激な逓減期になり逓減期の始めの30分間で 200m^3 近くあった流出量が 90m^3 になった。流出量が基底流量になったのは8時間後であった。

ハイドログラフでは雨の降り終わりから1.5時間と3.5時間で変曲点が認められ、流出量の減衰速度は、 b_1 、 b_2 及び b_3 で、 $35.0 (\text{m}^3/\text{H})$ 、 $7.5 (\text{m}^3/\text{H})$ 、 $2.2 (\text{m}^3/\text{H})$ であった。 $b_1 > b_2 > b_3$ の関係があり、 b_1/b_3 は16であり、本実験地では、20.5mm程度の小雨においても表面流の減衰速度は、大きく変動していた。

各降雨について降雨持続時間、 b_1 、 b_2 及び b_3 を計算し、以下の検討に用いた。

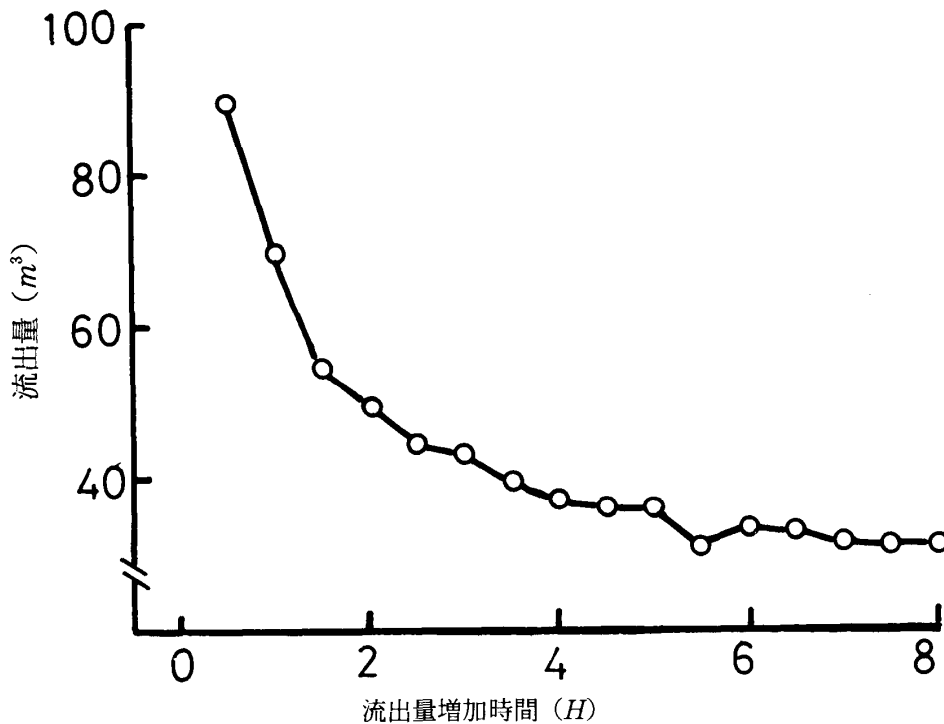


図1 ハイドログラフの実例

2) 流出量の増加持続時間

前報¹⁾では雨が降り初めると、直ちに(10から30分以内)流出量の増加が記録され、降雨中は降雨の強度と良く似たパターンでハイドログラフは挙動すると報告した。

ここでは、雨の降り終わりからの流出量の増加時間(以下 T_v と記す)と一雨の降雨状況との関係について検討した。

降雨状況の項目としては、降雨持続時間(以下 T_R と記す)、一雨降雨量(以下 R_T と記す)、降り終わり前1時間の降雨量(以下 $1R$ と記す)、降り終わり前2時間の降雨量(以下 2

R と記す), 降り終わり前3時間の降雨量(以下 $3R$ と記す)及び $V_{0.5}$ を採用して検討した。

流出量の増加持続時間は、今回の観測38回の集計では最高30時間, 最低3時間, 平均9.7時間, 標準偏差5.7時間であった。

表1に増加持続時間と各項目の相関係数を示した。

図2に T_v と R_T の相関関係を示した。

流出量の増加持続時間と相関係数が高かったのは R_T で, 相関係数0.50であった。

しかし, 相関図に示すようにながりのバラツキがあり, 流出量の増加持続時間は今回検討した項目以外にも大きく関与しているようであった。

表1 流出量の増加持続時間(T_v)と T_R , R_T , $1R$, $2R$, $3R$, $V_{0.5}$, との相関係数

T_R	R_T	$1R$	$2R$	$3R$	$V_{0.5}$
0.22	**0.50	0.26	0.18	0.20	0.05

**は1%危険率で有意

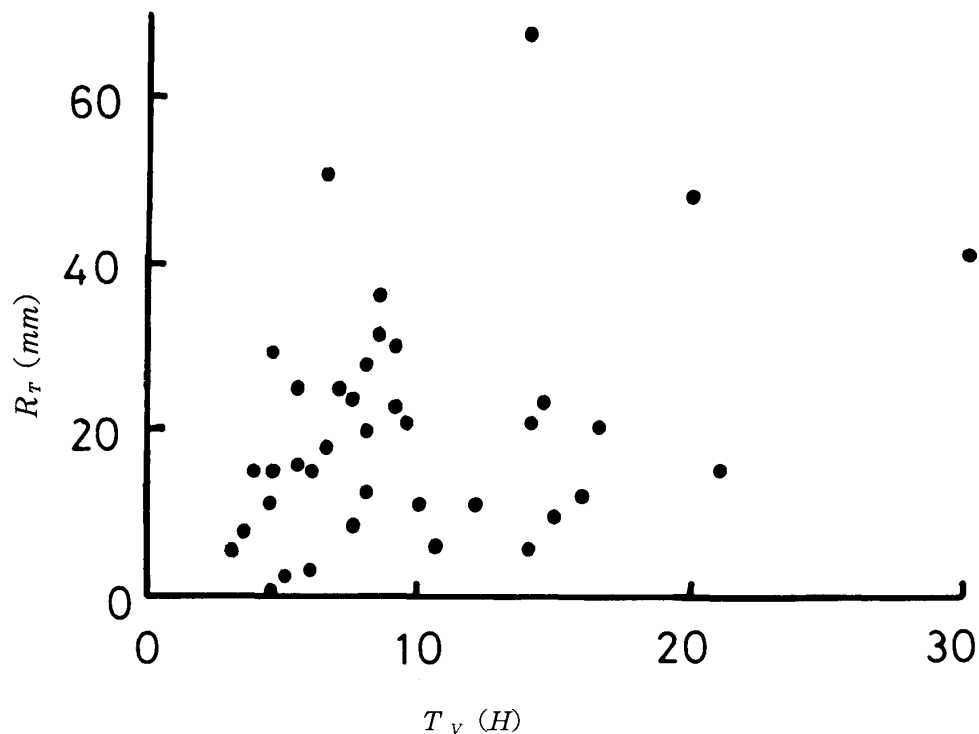


図2 T_v と R_T の相関図

3) 流出量の減衰速度 ($-dV/dT$)

実側例に示すように, ハイドログラフは, いくつかの変曲点を経て基底流量になってい

る。変曲点が雨の降り終わりから何時間後にあるか、また必ずしも2つの変曲点があるのではなかったが、本実験地でのハイドログラフでは、1.5時間後と3.5時間後に変曲点が見いだされる頻度が高かった。

そこで、流出量の減衰速度 b_1, b_2, b_3 を計算し $T_R, R_T, 1R, 2R, 3R$, 及び $V_{0.5}$ との関係について検討を加えた。

表2に b_1, b_2, b_3 の集計値を示した。

b_1 の最高と b_3 の最低値では、251倍の差があった。本データでは、流量計がスケールオーバー (200 m^3 /H以上) した時刻のデータは検討から除いているので、実際はさらにこの比率は大きいと考えられる。 $b_1 > b_2 > b_3$ の関係は常に成立している。

平均値での比較では、 b_3 を1.00とすると、 b_1 は11.2、 b_2 は2.57であった。

表3に b_1, b_2, b_3 , と $T_R, R_T, 1R, 2R, 3R, V_t$ の相関係数を示した。

相関係数の高い例は、 b_1 では $V_{0.5}$ と0.74であった。 b_2 では、 R_T と0.43、 $V_{0.5}$ と0.66であった。 b_3 では $2R$ と0.46、 $3R$ と0.50、 $V_{3.5}$ と0.37であった。

b_1, b_2, b_3 , 共に相関係数の高いのは $V_{0.5}, V_{1.5}, V_{3.5}$ で $-dV/dT$ は、変曲点の降雨による増水量 (V_t) によって支配されていることが推測された。しかし、 b_2 は一雨降雨量 (R_T) と b_3 は降り終わり前2時間の降雨量 ($2R$) 及び降り終わり前3時間の降雨量 ($3R$) との関係も見られ、降り終わり近くの降雨量の影響も無視できなかった。

表2 b_1, b_2, b_3 の集計値

	N	最高値	最低値	平均値	標準偏差
b_1	38	125.5	6.5	47.1	29.2
b_2	38	29.2	1.2	10.8	6.3
b_3	36	12.6	0.5	4.2	3.1

表3 b_1, b_2, b_3 と $T_R, R_T, 1R, 2R, 3R, V_t$ との相関係数

	T_R	R_T	$1R$	$2R$	$3R$	V_t
b_1	0.09	0.12	0.17	0.11	0.02	**0.74
b_2	0.29	**0.43	0.02	0.13	0.11	**0.66
b_3	0.33	0.003	0.29	**0.46	**0.50	*0.37

注) V_t : b_1 は $V_{0.5}$, b_2 は $V_{1.5}$, b_3 は $V_{3.5}$ *は5%の危険率で有意 **は1%の危険率で有意

4 まとめ

降雨後のハイドログラフ上での流出量増加持続時間に注目して、降雨の状況との関係について検討をした。

降雨後の流出量が基底流量（洗浄排水及び合併処理浄化槽排水の合計量）を越えて持続する時間及び流出量の減衰速度と降雨持続時間及び一雨降雨量等との相関係数を計算した。

降雨後の流出量の増加持続時間と相関係数が高かったのは、一雨降雨量 (R_T : mm) であった。相関係数は0.50 ($P < 0.01$) であったが、今回検討した要因以外にも大きく関与しているようである。

降雨後のハイドログラフに変曲点があることに注目して流出量の減衰速度 ($-dV/dT$) を、一雨毎に3つ算出しその各々の値と降雨状況との関係について検討した。

降り終わり0.5時間から1.5時間での流出量の減衰速度 (b_1) は $V_{0.5}$ と、降り終わり1.5時間から3.5時間での流出量の減衰速度 (b_2) は R_T 及び $V_{1.5}$ と、降り終わり3.5時間から基底流量に達するまでの流出量の減衰速度 (b_3) は $2R$, $3R$ 及び $V_{3.5}$ との相関性が認められた。

流出量の減衰速度 ($-dV/dT$) は、 V_t (各時刻の降雨による増水量 (m^3)) との関係が見られたが、定量的ではなかった。また、流出量の減衰速度 ($-dV/dT$) は、単に降雨量などの降雨状況の条件だけで定まっているのではなく、今回検討した要因以外にも大きく関与しているようであるので、今後検討したい。

参考文献

- 1) 山下等：丘陵地における雨水の流出状況に関する研究，岡山理科大学紀要，Vol. 25, 1990
- 2) 科学技術庁資源調査会編：都市の雨水を考える一潤いと水循環の回復をめざして一，大蔵省，昭和63年
- 3) 安藤義久：丘陵地の水循環機構と都市化によるその変化に関する研究，水利科学，Vol. 26, No. 1, 昭和57年4月.
- 4) M.J.Kirkby等（日野等訳）：新しい水文学，朝倉書店，1983.
- 5) 日野幹男，長谷部正彦：水文流出解析，森北出版，1985.
- 6) Sherman.L.K.and Musgrve.G.W.1942, "Infiltration",in Hydrology, Meinzer, O.E., (Ed.), McGraw-Hill, New York, Chapter 7, 712pp.
- 7) 気象庁予報部予報課：洪水・土砂災害の予測技術，測候時報，Vol. 55, No. 4, 1988.
- 8) 吉良竜夫編：水資源の保全一琵琶湖流域をめぐる諸問題一，人文書院，1987. 8.
- 9) 田中 正：流出，気象研究ノート，Vol. 167,1989.

Studies on Overland Flow of Rainfall in Hillslope

(2) Relationship between rainfall and overland flow

Eiji YAMASITA* , Jun NAOHARA* , Takeshi ISHII* ,
Makiko HIRATA* , Kazuko NOSE* , Takashi MATSUOKA**

**Environmental Resources Research Center, Okayama University of Science*
1-1 Ridai-cho, Okayama 700, Japan

***Faculty of Liberal Arts and Science, Okayama University of Science*
1-1 Ridai-cho, Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1990)

The amount of rainfall and the overland flow after rainfall were measured at Okayama University of Science. The overland flow data were considered as a measure *areas of* about 10 ha. The relationships between amount of rainfall and fundamental elements of overland flow, such as decreasing velocity of overland flow and duration periods of rainfall, were studied in the present paper. The correlation coefficient between the time periods when the overland flow exceed usual one and the amount of rainfall was about 0.5 ($r^2=0.25$).