

## 高隈演習林内の第2号試験流域における水文観測

— 1986年～1988年の水文資料解析 —

地頭蘭 隆・下川悦郎  
(砂防工学研究室)

### Runoff-Characteristics in the No.2 Experimental Basin Covered with Volcaniclastic Materials in the Takakuma Experimental Forest

— Analyses of Hydrologic Data Obtained during the Period 1986~1988 —

Takashi JITOSONO and Etsuro SHIMOKAWA  
(Laboratory of Erosion Control)

#### はじめに

鹿児島大学農学部附属高隈演習林は、鹿児島湾北部の始良カルデラのすぐ南東部に位置し、演習林内には有史以前からの始良・阿多・霧島・桜島などの火山から噴出したシラス・溶結凝灰岩・降下軽石・火山灰などの火山碎屑物が厚く堆積している。このような火山碎屑物に覆われた山地流域の流出特性を解明し、火山碎屑物のもつ水源涵養機能の定量的評価を行うことを目的として、演習林内に複数の試験流域を設定し、水文観測を継続している。

ここでは、1986年8月に設定された高隈第2号試験流域<sup>1)</sup>の流出特性を解明するために1986年8月～1988年12月の観測データを対象にして解析を行ったので報告する。

#### 試験流域の位置および概況

高隈第2号試験流域（以下、2号流域と呼ぶ）は、志布志湾に流入している肝属川の支川（串良川）の上流部に位置し、高隈演習林の最高峰である鷓岳（885m）の南東斜面の第10林班に属している（Fig. 1）。

2号流域の地形、地質、植生などの調査結果については既に報告している<sup>2)</sup>。ここでは、その概況について述べる。

2号流域は、面積34.02 ha、標高615～885mに分布し、下流部が広がり上流部が狭くなった細長い扇形をなしており、水系は羽状に発達している（Fig. 2）。量水観測地点のすぐ上流で2流路が合流しており、東側の流域より西側の流域の面積が大きく水量も多い。表流水は、西側流域で標高800m付近まで、東側流域で標高750m付近まで見られる。流域の下流部の溪流は部分的に急勾配をなし、滝となっているところもある。縮尺5000分の1地形図上で流域に1cm×1cmの方眼をかけ、方眼内の等高線本数から傾斜を求め流域全体で平均した流域平均勾配は26.2度であった。

現地調査により作成した2号流域の表層地質図を Fig. 2 に示す<sup>2)</sup>。流域には中生界に属する砂岩



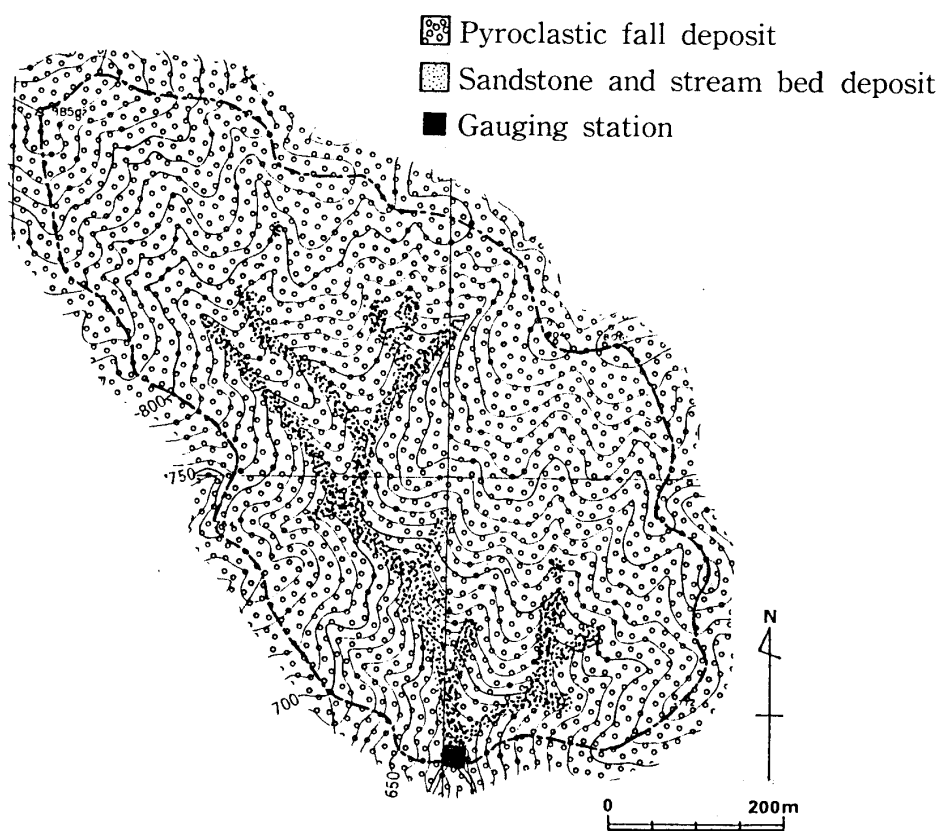


Fig. 2 Topography and geology of No. 2 Takakuma basin.

からなる四万十層群，これを覆う形で洪積世末期に始良・阿多両カルデラから大量に噴出した降下火砕物が分布している<sup>3)</sup>。その大部分は始良カルデラ起源の大隅降下軽石である。降下軽石層は数m程度の厚さを持ち，尾根部で厚くなっている。また，土層の上層部には流域ほぼ全体にわたり霧島および桜島から噴出した降下火山灰・降下軽石が分布している。流域は火山碎屑物に覆われる以前は主に砂岩を表層地質とする山地であった。始良・阿多・霧島・桜島などの火山活動に伴い流域内は火山碎屑物に一樣に覆われ，その後侵食により谷が発達し，現在の地形が形成されたと推定される。したがって，流域の基盤岩（砂岩）の露頭がみられるのは谷底部分とその周辺のみである。

試験流域一帯には，大正3年（1914年）桜島爆発に伴う降下軽石・火山灰が堆積した腐植含量の少ない粗粒の黒色土壌が分布しており，粗粒淡色黒ボク土壌に分類されている<sup>3)</sup>。試験流域内の土壌断面の観察によると，最表層のA<sub>0</sub>層には黒色の新鮮な火山灰が含まれ，その下位のA～B層は黒褐色を呈する火山灰および軽石の風化物から成り，さらにその下位のC層はあまり風化されていない軽石から成っている。

試験流域の植生は，下流～中流部は林齢約50～60年生のスギと広葉樹あるいはヒノキと広葉樹の混交林や広葉樹林，中流～上流部は風の影響を受け樹高の小さい約80年生の広葉樹林である。

### 観測方法

水文観測施設は，試験流域の下流端に設置され，量水堰堤，湛水池，流量測定用水槽，水位計お

よび雨量計から構成される<sup>1)</sup>。量水堰は頂角120度の刃形三角堰と長方形堰からなる複合堰であり、水位80cm以下に対しては刃形三角堰によって対応し、水位80cm以上に対しては刃形三角堰に長方形堰を加えた断面によって対応している。水位は波浪の影響を防ぐため貯水を堰堤内に埋設した塩化ビニール管の観測井戸に導き、フロートを介して測定される。雨量は1回転倒0.5mmの転倒ます型雨量計により測定されている。なお、水位および雨量観測装置には池田計器製作所製 ALR - 203WP 型 1ヶ月巻用自記水位雨量計を使用している。

水位流量関係は、実測された水位と流量の関係から決定した。流量の実測は、量水堰堤の下流側に設けた水槽において堰の越流水量を測定する方法で行った。水位流量曲線は、水位を  $H$  (m)、流量を  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) とすると次式で表された (Fig. 3)。

$0 < H \leq 0.8\text{m}$  の場合

$$Q = 1.566 H^{2.311} \quad (1)$$

なお、水位80cm以上の洪水は1986年8月～1988年12月の解析対象期間においては記録していない。

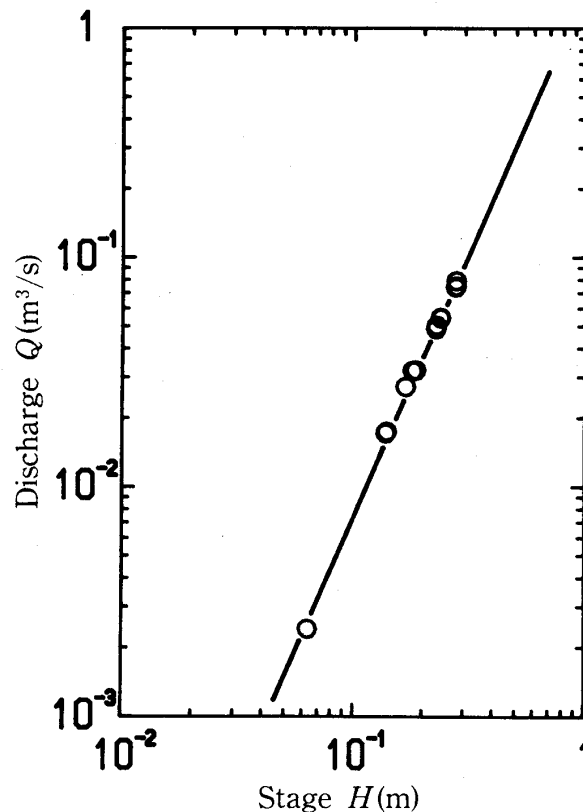


Fig. 3 Relationship between stage and discharge at No. 2 Takakuma gauging weir.

### 降雨および流出状況

2号流域における1987年および1988年の年降雨量は3795.0mmおよび2870.0mm、年流出量は2478.9mmおよび2179.6mmであった。鹿児島市における1987年および1988年の年降水量は2653.5mmおよび2001.0mmであり<sup>4)</sup>、2号流域の年降雨量は鹿児島市の約1.4倍である。

Fig. 4は、2号流域における1986年8月～1988年12月の月降雨量および月流出量の変化を示した

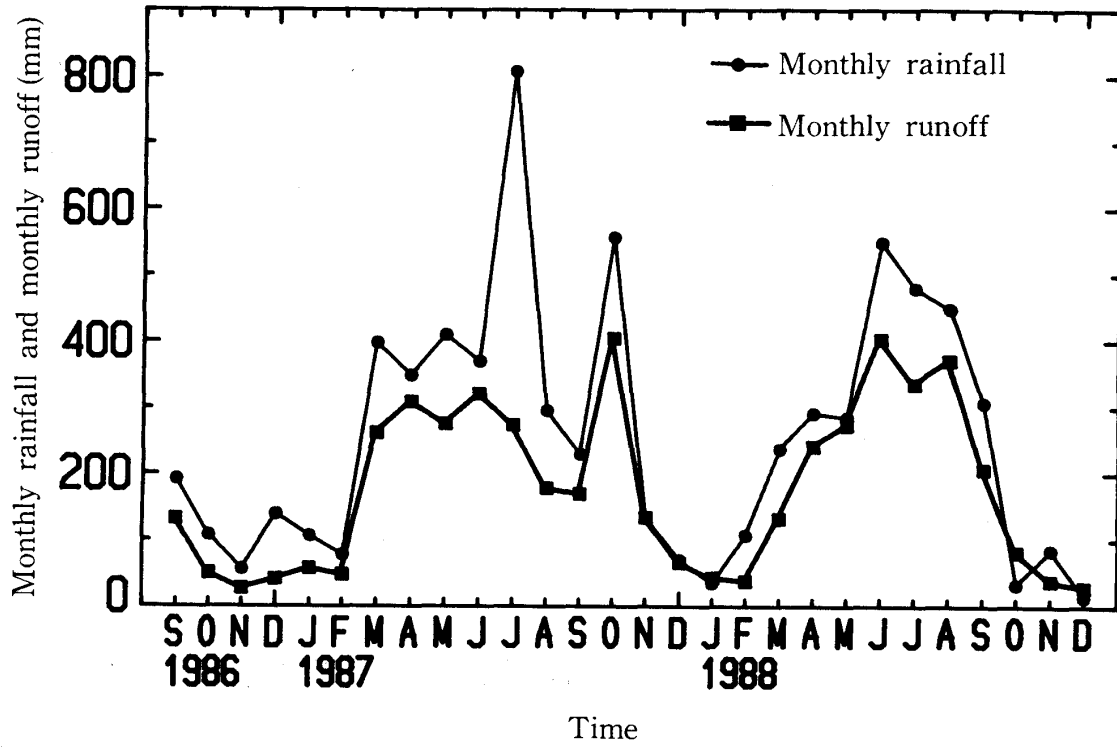


Fig. 4 Fluctuation of monthly rainfall and monthly runoff at No.2 Takakuma basin.

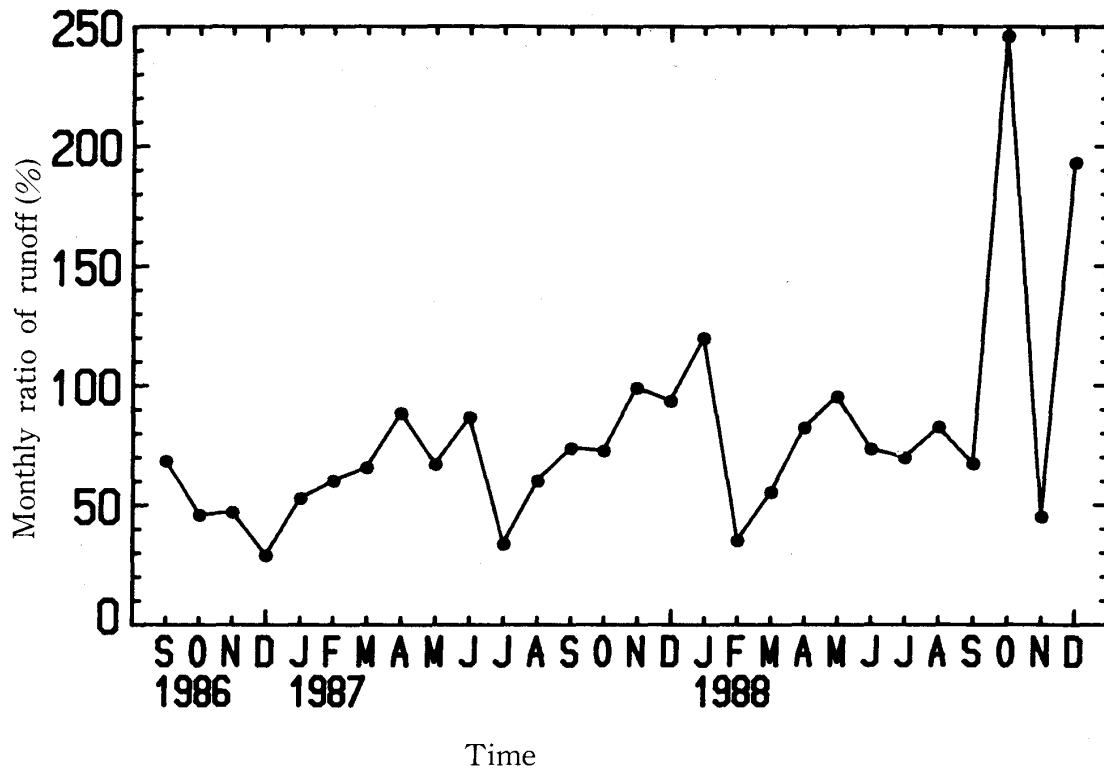


Fig. 5 Fluctuation of monthly ratio of runoff at No.2 Takakuma basin.

ものであり、また、Fig. 5 は月流出率の変化を示したものである。月降雨量と月流出量はほぼ同様の傾向を示しており、両者とも夏期に大きく、冬期に小さい。1987年7月は降雨量に比べ流出量が極端に小さくなっているが、これは中旬の豪雨時に水位欠測を生じ、その期間の流量推定が不適當であったためと思われる。今後再検討を要する。月流出率は非常に散らばりがあり、100%以上となる場合もある。これは、月流出量がその月の降雨量だけでなく、その前月の降雨量にも影響されているからである。特に月末に大雨が発生した場合、翌月の月流出率は非常に高くなっている。1988年10月および12月は、鹿児島市においても平年の30%以下の月降水量を示し、記録的な小雨の月であり、月流出率が異常に高くなっている。年流出率は1987年約65%および1988年約76%であり、全国的な平均値である約70%<sup>5)</sup>とほぼ同様の値を示している。

Fig. 6 は、1986年8月～1988年12月の日降雨量および日流出量から求めた日単位のハイドログラフである。小流域であるにもかかわらず年間を通して日流出量の変動が比較的小さく、無降雨日にも高い流出量がみられる。Fig. 6 によると、基底流出量は夏期において大きく、冬期の1月あるいは12月において最も小さくなっている。したがって、1水年は1月から12月までと定めてよい。

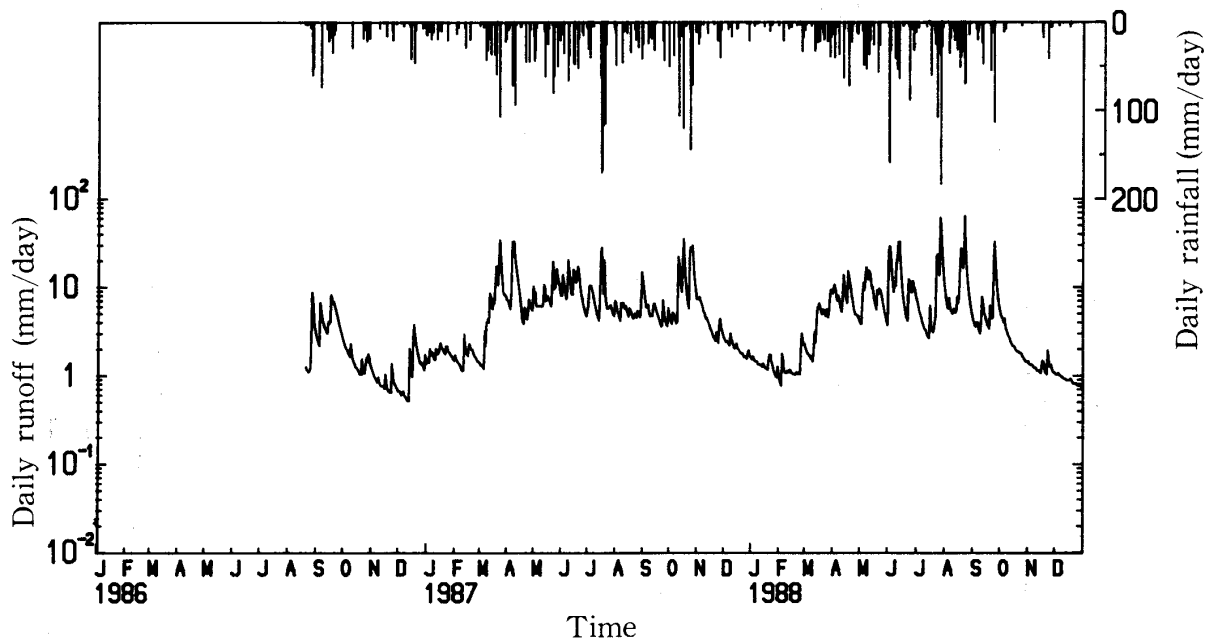


Fig. 6 Hydrograph of daily runoff at No. 2 Takakuma basin.

Fig. 7 は、1水年の日降雨量および日流出量を順序統計量になおして大きい順にプロットした雨量継続時間曲線および流量継続時間曲線(流況曲線)と年平均の日流出量の直線を1987水年および1988水年について示したものである。年平均日流出量は1987水年6.8mm/day および1988水年6.0mm/day である。Fig. 7 に示される流況曲線上で95番目、185番目、275番目および355番目の日流出量として定義される豊水量、平水量、低水量および渇水量を求めると、それぞれ1987水年7.9, 5.3, 2.4, 1.4mm/day, 1988水年7.2, 3.8, 1.3, 0.8mm/day である。

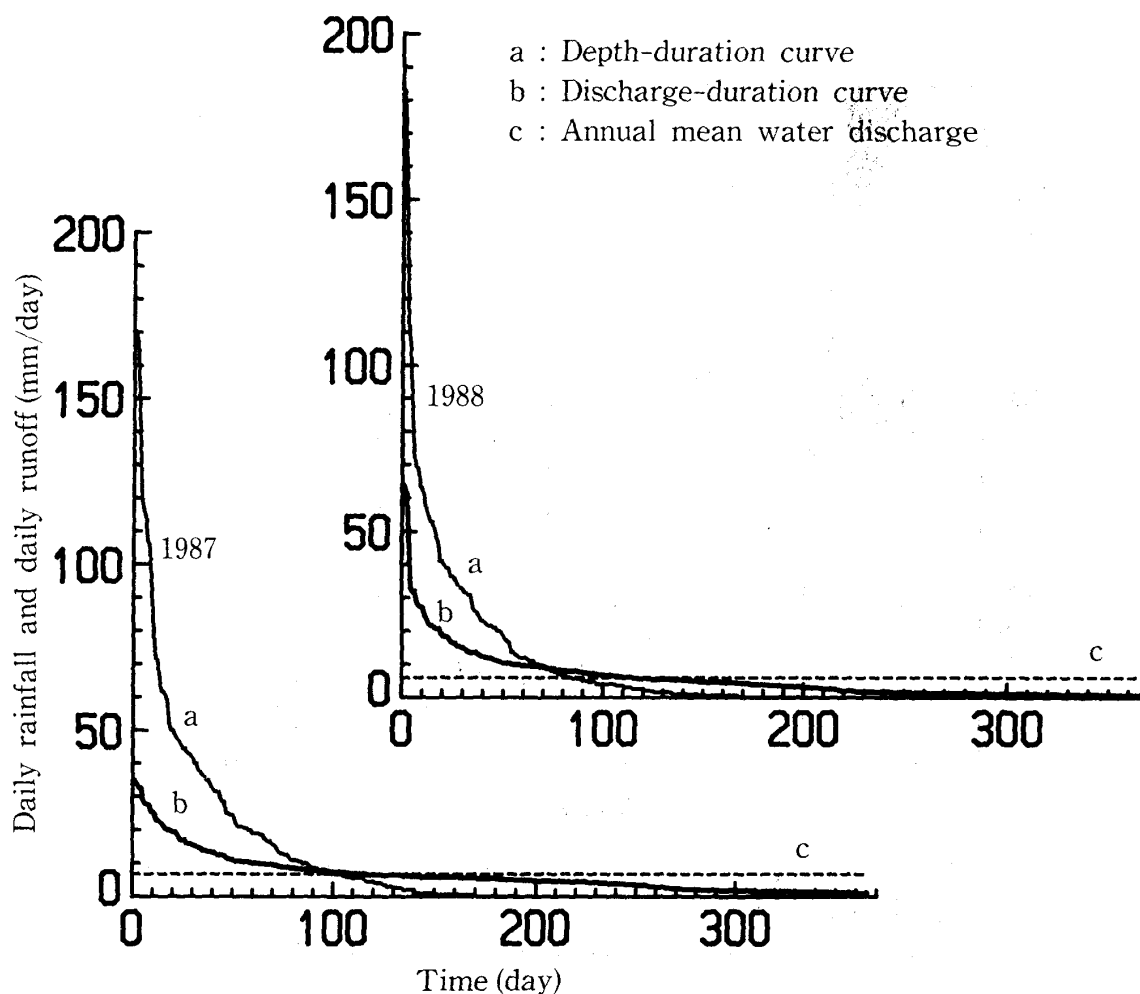


Fig.7 Depth - duration curve and discharge - duration curve at No.2 Takakuma basin.

### 短期流出特性

試験流域において水位データが一様に増加あるいは減少していくとみなせる時間単位は10分程度であったため、ハイトグラフとハイドログラフは10分単位で作成した。一雨ごとのハイトグラフとハイドログラフから総雨量、降雨強度、直接流出量、直接流出率、減水係数などの水文因子を算出した。解析の対象とした一雨データは1986年8月～1988年12月に90個得られた。

ところで、直接流出量の算定には種々の方法が提案されている。Fig. 8は、短期流出のハイドログラフを模式的に示したものである。短期流出のハイドログラフは、表面流出・中間流出および地下水流出の3つの成分から構成される。表面流出と中間流出は直接流出と呼ばれ、その成分を直接流出量と呼ぶ。直接流出量の算定には、ハイドログラフの立ち上がり点のA点とG点を直線で結び、その直線とハイドログラフで囲まれる斜線部分を直接流出成分とする方法<sup>6)</sup>を採用した。G点の決定方法は次のようである。流量を対数目盛、時間を普通目盛とした片対数方眼紙上にハイドログラフをプロットすると、その減水部は一般にいくつかの直線からなる折線に近似される。その第2折線と第3折線の境、すなわち第2折曲点をG点とした。この方法では、第1折曲点の時刻で表面流出が、第2折曲点の時刻で中間流出が終了したと考えられている。しかし、一雨の降雨状況によって

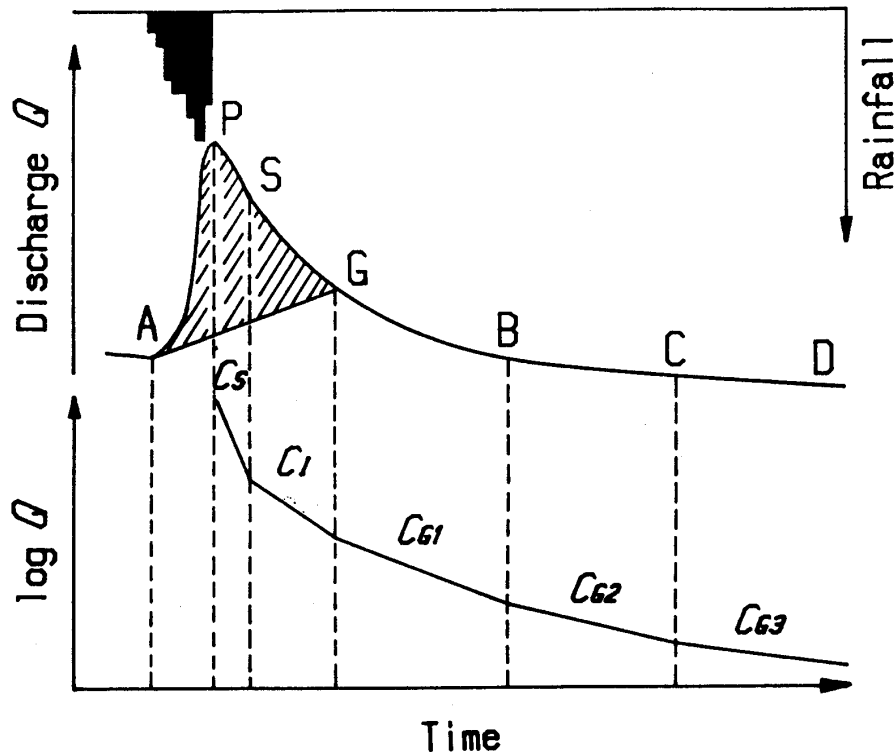


Fig. 8 Direct runoff and recession coefficient in flood hydrograph.

▨: Direct runoff.

$C_s, C_1, C_{G1}, C_{G2}, C_{G3}$ : Recession coefficient.

は、ハイドログラフに表面流出成分あるいは中間流出成分が分割できない場合がある。この場合は第1折曲点をG点とした。

また、ハイドログラフの減水部は次の指数関数式で表される。

$$Q_t = Q_0 e^{-Ct} \quad (2)$$

ここで、 $Q_0$ : 減水曲線のある時点における流量、 $C$ : 減水係数、 $t$ : 時間、 $Q_t$ : ある時点から  $t$  時間後の流量である。片対数方眼紙上にプロットされた一雨ハイドログラフの減水部 (Fig. 8) において、直線で近似された各折線の継続期間に上式を最小自乗法で適合させ、各継続期間の減水係数を算出した。

10分間単位で作成した一雨ごとのハイトグラフとハイドログラフから算出した水文因子を Table 1 (A) ~ (C) に示す。また、Table 2 は、Table 1 に示されたそれぞれの因子間に回帰曲線 (指数曲線) および回帰直線を当てはめた場合の相関係数を求め一覧表にしたものである。以下、2号流域の短期流出特性を解明するために、ハイドログラフの直接流出部、増水部および減水部の各特性について検討する。

### 1. 直接流出部の特性

直接流出量  $Q_D$  は、降雨因子との相関が高く、特に一雨総雨量と相関が高い (Table 2)。Fig. 9 は、総雨量  $P$  と直接流出量  $Q_D$  の関係を普通方眼紙上にプロットしたものである。2号流域においては、



Table 1 (A). Hydrologic factors of short term runoff at No. 2 Takakuma basin in 1986

No.	Date	P	P <sub>10P</sub>	P <sub>20P</sub>	P <sub>30P</sub>	P <sub>60P</sub>	Q <sub>D</sub>	T <sub>D</sub>	R <sub>D</sub>	Q <sub>I</sub>	Q <sub>P</sub>	Q <sub>R</sub>	T <sub>R</sub>	Q <sub>R</sub> '	C <sub>S</sub>	C <sub>I</sub>	C <sub>G1</sub>	C <sub>G2</sub>	C <sub>G3</sub>
1	1986.8.26	28.5	8.0	11.5	13.5	14.0	.856	18.2	3.0	.01239	.14289	.13049	10.7	.01223	.455	.067	.015		
2	1986.8.27	57.0	6.5	12.5	16.5	21.5	4.708	18.3	8.3	.02332	.37357	.35025	2.8	.12362	.283	.060	.028		
3	1986.8.28*	25.0	5.0	9.5	12.0	20.5	1.082	3.7	4.3	.04897	.28572	.23675	1.2	.20293	.671	.248	.024	.018	
4	1986.9.6*	73.5	19.0	33.5	46.0	56.0	5.417	11.8	7.4	.02437	1.82521	1.80084	2.5	.72034	.736	.053	.011	.005	
5	1986.9.14	21.5	3.0	5.5	6.5	9.5	.605	6.7	2.8	.03316	.09996	.06681	2.5	.02672	.319	.088	.021		
6	1986.9.18	30.5	5.0	7.0	9.5	14.0	.840	7.3	2.8	.04738	.18262	.13523	1.2	.11592	.258				
7	1986.9.20*	16.0	7.0	13.0	13.0	13.5	.630	4.0	3.9	.06941	.27702	.20761	.5	.41521	.852	.121	.015	.003	
8	1986.10.10*	20.0	8.0	14.0	14.5	16.0	.816	7.5	4.1	.02129	.20188	.18058	.7	.27088	.357	.064	.019	.003	
9	1986.10.22*	17.5	5.5	9.5	11.5	13.5	.545	11.7	3.1	.01204	.07542	.06339	1.0	.06339	.364	.063	.006		
10	1986.10.26*	23.5	2.0	3.0	4.0	6.0	.433	13.3	1.8	.01135	.04207	.03072	4.7	.00658	.121	.061	.029	.011	
11	1986.10.29	14.5	1.0	1.5	2.0	3.5	.325	15.8	2.2	.01586	.03316	.01730	7.0	.00247	.134	.037	.017	.004	
12	1986.11.17*	14.5	1.0	1.0	1.5	2.5	.220	17.8	1.5	.00828	.01670	.00842	6.0	.00140	.080	.030	.014		
13	1986.11.23*	16.5	1.0	2.0	3.0	5.5	.277	14.2	1.7	.00747	.02545	.01798	3.2	.00568	.176	.039			
14	1986.11.24*	12.0	1.5	3.0	4.0	6.0	.233	12.0	1.9	.01005	.02886	.01881	2.7	.00705	.103	.049	.022		
15	1986.12.14*	17.5	8.0	10.0	11.5	13.5	.722	11.8	4.1	.01425	.10610	.09184	.8	.11021	.430	.089	.028	.011	
16	1986.12.18	45.5	6.0	9.5	13.5	21.0	1.852	14.7	4.1	.01069	.28572	.27503	1.7	.16502	.141	.038	.029	.010	

\* Single peaked hydrograph.

P : Total rainfall, mm.

P<sub>10P</sub> : Maximum rainfall per ten minutes, mm/10min.

P<sub>20P</sub> : Maximum rainfall per twenty minutes, mm/20 min.

P<sub>30P</sub> : Maximum rainfall per thirty minutes, mm/30 min.

P<sub>60P</sub> : Maximum rainfall per sixty minutes, mm/60 min.

Q<sub>D</sub> : Direct runoff, mm.

T<sub>D</sub> : Duration of direct runoff, hr.

R<sub>D</sub> : Ratio of direct runoff, %.

Q<sub>I</sub> : Initial specific discharge, m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>.

Q<sub>P</sub> : Peak specific discharge, m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>.

Q<sub>R</sub> : Increase of discharge during rising limb, Q<sub>R</sub> = Q<sub>P</sub> - Q<sub>I</sub>, m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>.

T<sub>R</sub> : Duration of rising limb, hr.

Q<sub>R</sub>' : Increase per an hour of discharge during rising limb, Q<sub>R</sub>' = Q<sub>R</sub>/T<sub>R</sub>, m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>.

C<sub>S</sub> : Recession coefficient of the line PS (Fig. 8), hr<sup>-1</sup>.

C<sub>I</sub> : Recession coefficient of the line SG (Fig. 8), hr<sup>-1</sup>.

C<sub>G1</sub> : Recession coefficient of the line GB (Fig. 8), hr<sup>-1</sup>.

C<sub>G2</sub> : Recession coefficient of the line BC (Fig. 8), hr<sup>-1</sup>.

C<sub>G3</sub> : Recession coefficient of the line CD (Fig. 8), hr<sup>-1</sup>.

Table 1 (B). Hydrologic factors of short term runoff at No. 2 Takakuma basin in 1987

No.	Date	P	P <sub>10P</sub>	P <sub>20P</sub>	P <sub>30P</sub>	P <sub>50P</sub>	Q <sub>b</sub>	T <sub>b</sub>	R <sub>D</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>P</sub>	Q <sub>R</sub>	T <sub>R</sub>	Q <sub>R</sub>	C <sub>S</sub>	C <sub>I</sub>	C <sub>GI</sub>	C <sub>G2</sub>	C <sub>G3</sub>
17	1987. 1. 2*	10.5	1.5	2.5	3.5	6.0	.266	8.7	2.5	.01425	.04583	.03157	3.0	.01052	.292	.045	.009	.002	.002
18	1987. 1. 5*	16.5	1.0	2.0	2.5	4.5	.171	7.8	1.0	.01586	.03510	.01925	4.7	.00412	.122	.022	.022	.003	.003
19	1987. 1. 7*	10.0	6.5	8.5	9.0	10.0	.311	7.5	3.1	.01846	.06747	.04901	.7	.07352	.424	.040	.003	.003	.003
20	1987. 1.16	9.5	2.5	4.0	4.5	5.0	.204	7.3	2.1	.02129	.04506	.02377	3.2	.00751	.216	.045	.012	.002	.002
21	1987. 1.23	21.0	2.0	4.0	5.0	9.0	.585	14.3	2.8	.01891	.07339	.05448	4.7	.01167	.394	.042	.012	.002	.002
22	1987. 2. 2*	11.5	1.5	2.0	3.0	5.5	.130	5.0	1.1	.01627	.03510	.01883	2.0	.00941	.214	.015	.015	.002	.002
23	1987. 3. 7	42.5	4.0	5.5	6.5	9.5	1.405	18.0	3.3	.01349	.09521	.08172	9.0	.00908	.185	.047	.015	.007	.007
24	1987. 3. 9*	26.5	2.5	4.0	5.5	10.0	.713	9.3	2.7	.02712	.09521	.06808	3.8	.01776	.150	.057	.006	.006	.006
25	1987. 3.17	31.5	3.0	4.5	6.0	9.0	.792	8.2	2.5	.06275	1.4289	.08013	2.7	.03005	.074	.074	.017	.004	.004
26	1987. 3.19	58.0	7.5	14.0	16.5	21.0	2.572	9.7	4.4	.06941	1.03918	.96977	5.7	.17114	.601	.036	.010	.010	.010
27	1987. 3.23*	77.5	14.5	29.0	36.0	45.5	5.165	5.5	6.7	.11244	2.42728	2.31484	2.2	1.06839	1.257	.054	.017	.014	.014
28	1987. 3.29*	21.0	1.5	2.0	3.0	5.5	.443	10.5	2.1	.08832	.13275	.04443	7.0	.00635	.117	.055	.014	.005	.005
29	1987. 3.30*	14.5	1.5	3.0	4.0	5.5	.341	5.0	2.4	.08173	.13417	.05244	2.7	.01967	.205	.089	.004	.004	.004
30	1987. 4. 6	57.0	7.0	9.5	12.5	20.5	3.826	10.2	6.7	.11244	.77746	.66501	6.0	.11084	.740	.086	.025	.025	.025
31	1987. 4.21	44.5	4.5	8.5	11.0	16.0	2.562	10.5	5.8	.03990	.47796	.43806	4.5	.09735	.316	.042	.021	.007	.007
32	1987. 4.25*	45.5	3.5	6.0	7.5	11.0	1.285	10.3	2.8	.04583	.18776	.14193	4.3	.03275	.337	.060	.027	.007	.007
33	1987. 5.16*	21.5	5.0	7.0	9.0	14.0	.668	4.0	3.1	.07749	.23974	.16225	1.3	.12168	.538	.074	.021	.001	.001
34	1987. 5.27	48.5	9.5	11.5	15.0	18.0	3.104	9.8	6.4	.12303	.61063	.48760	.3	1.46279	.883	.041	.006	.006	.006
35	1987. 6. 1*	13.5	1.0	2.0	2.5	4.5	.303	7.0	2.2	.08832	.11900	.03068	3.5	.00876	.063	.063	.007	.007	.007
36	1987. 6. 2*	36.5	12.5	24.0	26.5	30.5	2.582	5.7	7.1	.08609	2.22514	2.13905	2.2	.98725	1.411	.093	.012	.004	.004
37	1987. 6.14*	12.5	1.0	2.0	3.0	5.5	.159	5.5	1.3	.08609	.11244	.02635	3.3	.00791	.131	.097	.005	.005	.005
38	1987. 6.14*	55.0	3.0	5.0	6.5	11.0	2.741	12.5	5.0	.09058	.31275	.22216	5.7	.03921	.131	.040	.005	.005	.005
39	1987. 6.19	41.5	2.5	4.5	7.0	13.0	1.090	6.2	2.6	.11374	.26216	.14842	2.2	.06850	.164	.164	.007	.007	.007
40	1987. 6.20*	17.5	3.5	6.5	8.5	15.0	.622	2.7	3.6	.15811	.34605	.18794	1.0	.18794	.375	.043	.009	.009	.009
41	1987. 7. 3*	25.0	8.0	13.0	18.0	19.5	1.370	4.3	5.5	.06747	.80486	.73739	.7	1.10608	.801	.043	.009	.009	.009
42	1987. 7. 3*	11.5	1.5	3.0	4.0	7.0	.280	4.0	2.4	.10362	.15039	.04677	1.5	.03118	.168	.041	.001	.001	.001
43	1987. 8. 1*	8.0	5.0	6.5	7.0	7.0	.195	3.3	2.4	.05141	.09876	.04736	.3	.14207	.345	.092	.020	.020	.020
44	1987. 8. 1	25.0	6.0	11.5	12.5	17.5	1.409	8.7	5.6	.05476	.23579	.18103	.7	.27154	.448	.035	.020	.020	.020
45	1987. 8. 1*	12.0	4.5	8.0	9.5	11.5	.256	3.0	2.1	.07440	.14141	.06701	7.0	.10051	.544	.105	.006	.006	.006
46	1987. 8. 8*	9.0	2.5	4.5	5.0	6.5	.340	5.2	3.8	.04583	.10988	.06405	1.7	.03843	.412	.064	.020	.020	.020
47	1987. 8. 8*	29.0	12.5	19.0	24.5	28.5	2.092	6.0	7.2	.05307	1.25652	1.20345	1.0	1.20345	1.513	.090	.025	.025	.025
48	1987. 8.10	9.5	2.0	4.0	4.5	5.5	.286	6.5	3.0	.07138	.12714	.05576	3.8	.01455	.370	.052	.022	.003	.003
49	1987. 8.13*	11.5	3.0	4.5	6.0	7.5	.436	6.3	3.8	.06368	.13849	.07481	1.7	.04488	.354	.048	.003	.003	.003
50	1987. 8.17*	34.0	10.0	14.0	22.0	31.0	2.101	6.0	6.2	.04897	.84495	.79598	.8	.95517	1.018	.083	.020	.006	.006
51	1987. 8.31*	23.5	10.0	14.0	16.5	18.5	1.756	5.5	7.5	.09996	.80486	.70489	1.2	.60420	1.010	.093	.008	.008	.008
52	1987. 9. 7*	12.5	2.0	4.0	5.0	7.5	.291	5.3	2.3	.06747	.10861	.04114	1.8	.02244	.104	.104	.029	.005	.005
53	1987. 9.10*	16.0	4.0	8.0	11.0	15.0	.450	4.7	2.8	.05307	.16126	.10820	.8	.12984	.548	.055	.006	.006	.006
54	1987. 9.11*	11.0	3.5	5.5	6.0	9.0	.192	3.3	1.7	.05223	.09058	.03835	1.3	.02876	.229	.020	.020	.001	.001
55	1987. 9.23	28.0	2.0	3.5	5.0	8.0	.398	9.2	1.4	.04134	.09876	.05742	6.2	.00931	.275	.060	.023	.023	.023
56	1987. 9.24*	27.5	6.0	10.0	12.0	15.5	1.414	8.0	5.1	.05562	.31972	.26411	2.2	.12190	.799	.099	.024	.009	.009
57	1987.10. 5*	36.5	3.0	5.0	6.5	11.0	1.302	11.0	3.6	.04355	.15192	.10837	4.5	.02408	.289	.045	.007	.004	.004
58	1987.10.16	108.5	6.0	10.5	16.0	29.5	9.282	20.7	8.6	.11116	.85310	.74194	10.3	.07180	.082	.033	.026	.017	.017
59	1987.10.24	133.5	4.5	7.5	9.5	16.5	10.739	21.3	8.0	.08173	.62423	.54251	10.2	.05336	.060	.028	.016	.016	.016
60	1987.10.30*	11.5	7.5	9.0	9.0	9.0	.495	4.0	4.3	.11244	.29681	.18437	.5	.36874	.674	.050	.010	.010	.010

Table 1 (C). Hydrologic factors of short term runoff at No. 2 Takakuma basin in 1988

No.	Date	P	P <sub>10P</sub>	P <sub>20P</sub>	P <sub>30P</sub>	P <sub>60P</sub>	Q <sub>D</sub>	T <sub>D</sub>	R <sub>D</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>H</sub>	Q <sub>R</sub>	T <sub>R</sub>	Q <sub>R'</sub>	C <sub>S</sub>	C <sub>I</sub>	C <sub>G1</sub>	C <sub>G2</sub>	C <sub>G3</sub>
61	1988. 3.11*	37.0	7.5	11.0	12.0	19.0	1.427	9.5	3.9	0.1627	.26425	.24798	4.2	.05951	.743	.201	.022		
62	1988. 3.15*	12.0	6.0	7.5	8.5	10.5	.420	3.0	3.5	.04977	.15039	.10062	.7	.15092	.668	.172	.017	.002	
63	1988. 4.12	68.5	10.0	15.0	19.5	29.0	3.552	10.0	5.2	.05648	.88614	.82966	3.7	.22627	.951	.081	.017		
64	1988. 4.18*	54.5	4.5	8.5	11.5	20.5	3.320	6.2	6.1	.09288	.58393	.49105	2.8	.17331	.626	.118	.029	.011	
65	1988. 5. 4*	38.0	6.5	11.5	13.5	19.0	2.331	7.3	6.1	.05223	.68756	.63533	3.5	.18152	.787	.112	.014		
66	1988. 5.15*	25.0	2.5	4.5	6.0	10.5	.987	7.0	3.9	.10117	.25593	.15475	2.7	.05803	.425	.077	.012		
67	1988. 5.20*	52.5	7.0	9.5	11.5	18.5	2.240	7.8	4.3	.06184	.47503	.41319	3.0	.13773	1.035	.158	.023	.004	
68	1988. 6. 9*	9.0	5.5	7.5	8.0	8.0	.361	2.0	4.0	.11504	.23776	.12272	.5	.24544	.645	.176	.016		
69	1988. 6.10*	43.5	7.5	11.0	14.5	21.0	1.359	5.2	3.1	.12168	.69119	.56951	3.2	.17984	1.130	.087	.011	.004	
70	1988. 6.11*	10.0	5.5	7.5	9.0	10.0	.314	1.8	3.1	.23974	.37870	.13896	.5	.27792	.509	.165	.029		
71	1988. 6.12*	19.0	5.0	7.0	10.0	12.5	.968	2.5	5.1	.24173	.65546	.41373	.7	.62060	1.170	.092	.017		
72	1988. 6.12*	19.0	4.0	8.0	11.5	15.5	.650	2.3	3.4	.32679	.64148	.31469	1.3	.23602	.771	.207	.006		
73	1988. 6.27*	30.5	6.5	12.5	16.5	24.5	1.401	3.3	4.6	.09521	.60389	.50868	.8	.61042	1.363	.239	.025	.005	
74	1988. 7.21*	17.5	6.0	10.0	14.5	16.5	.940	3.7	5.4	.03849	.38128	.34279	.8	.41134	1.253	.208	.023	.006	
75	1988. 8. 5*	42.5	8.0	12.5	17.0	25.0	2.366	4.2	5.6	.05735	.63801	.58065	1.7	.34839	1.509	.247	.028	.006	
76	1988. 8.10*	10.0	3.5	6.5	7.5	9.5	.203	2.8	2.0	.05391	.10988	.05597	1.2	.04797	.446	.171	.016		
77	1988. 8.11*	14.0	5.0	7.0	9.0	13.5	.338	2.8	2.4	.05562	.15192	.09630	.8	.11556	.649	.205	.024	.003	
78	1988. 8.14*	18.0	7.5	10.5	11.0	15.5	.582	3.2	3.2	.05391	.23382	.17991	1.2	.15421	.979	.239	.025		
79	1988. 8.14*	18.5	5.0	8.5	11.5	18.0	.803	3.8	4.3	.06368	.31972	.25604	1.2	.21946	1.056	.094	.013		
80	1988. 8.17*	28.0	13.0	13.5	13.5	20.5	1.554	3.3	5.6	.08720	.71314	.62594	.3	1.87781	.553	.071	.012		
81	1988. 8.19*	30.0	12.0	18.0	23.0	29.5	1.934	2.5	6.4	.24979	1.21117	.96139	.8	1.15366	1.428	.074	.004		
82	1988. 8.22*	12.0	4.5	7.0	8.0	10.0	.481	2.0	4.0	.18262	.47796	.29534	1.0	.29534	1.256	.177	.018		
83	1988. 8.27*	11.5	6.0	11.5	11.5	11.5	.407	1.7	3.5	.09876	.29235	.19358	.3	.58075	1.078	.344	.025	.014	
84	1988. 9. 6*	9.0	4.5	6.5	7.0	7.5	.214	3.2	2.4	.04207	.09997	.05790	.5	.11579	.519	.167	.028	.005	
85	1988. 9.10	20.5	5.5	8.5	10.0	12.0	.611	5.8	3.0	.03577	.18262	.14685	3.0	.04895	.810	.204	.021	.009	
86	1988. 9.20*	51.0	14.0	17.0	24.0	43.5	3.543	5.7	6.9	.04134	1.16677	1.12543	.7	1.68815	1.290	.112	.029	.006	
87	1988. 9.23*	9.5	2.0	3.5	4.5	7.0	.171	3.3	1.8	.05141	.08832	.03691	1.3	.02769	.293	.053	.021		
88	1988.10. 5*	13.5	4.0	6.0	8.0	11.0	.429	4.7	3.2	.04281	.12033	.07753	.7	.11629	.396	.104	.012	.009	
89	1988.11.16*	10.0	2.0	3.5	4.5	6.5	.130	5.3	1.3	.01275	.03252	.01977	2.0	.00988	.331	.157	.009	.003	
90	1988.11.23	40.5	4.5	6.5	7.5	11.0	1.080	13.8	2.7	.01204	.09173	.07969	7.5	.01062	.511	.150	.029		

Table 2. Coefficients of correlation between hydrologic factors of short term runoff at No. 2 Takakuma basin

P	P <sub>10P</sub>	P <sub>20P</sub>	P <sub>30P</sub>	P <sub>60P</sub>	Q <sub>b</sub>	T <sub>b</sub>	R <sub>b</sub>	Q <sub>t</sub>	Q <sub>p</sub>	Q <sub>R</sub>	T <sub>R</sub>	Q <sub>R</sub> '	C <sub>S</sub>	C <sub>i</sub>	C <sub>G1</sub>
P	0.469***	0.493***	0.560***	0.696***	0.929***	0.521***	0.628***	0.091	0.627***	0.698***	0.431***	0.298**	0.069	-0.200	0.195
P <sub>10P</sub>	0.418***	0.973***	0.956***	0.885***	0.670***	-0.177	0.786***	0.281**	0.796***	0.856***	-0.406***	0.871***	0.706***	0.232*	0.200
P <sub>20P</sub>	0.457***	0.987***	0.923***	0.923***	0.692***	-0.182	0.802***	0.310**	0.831***	0.885***	-0.371***	0.874***	0.708***	0.239*	0.179
P <sub>30P</sub>	0.507***	0.982***	0.962***	0.962***	0.743***	-0.143	0.819***	0.318**	0.863***	0.916***	-0.327**	0.875***	0.691***	0.211	0.165
P <sub>60P</sub>	0.620***	0.918***	0.960***	0.960***	0.827***	-0.048	0.817***	0.311**	0.878***	0.932***	-0.193	0.814***	0.605***	0.167	0.173
Q <sub>b</sub>	0.949***	0.465***	0.504***	0.642***	0.827***	0.352***	0.872***	0.242*	0.801***	0.865***	0.197	0.552***	0.258*	-0.142	0.178
T <sub>b</sub>	0.546***	-0.099	-0.042	0.016	0.478***	0.050	0.050	-0.603***	-0.207	-0.099	0.737***	-0.473***	-0.558***	-0.648***	0.079
R <sub>b</sub>	0.675***	0.730***	0.748***	0.771***	0.780***	0.156	0.735***	0.387***	0.854***	0.895***	-0.157	0.766***	0.467***	-0.030	0.113
Q <sub>t</sub>	0.043	0.139	0.146	0.139	0.098	-0.433***	0.240*	0.332**	0.641***	0.493***	-0.334**	0.554***	0.447***	0.256*	-0.207
Q <sub>p</sub>	0.549***	0.810***	0.885***	0.867***	0.591***	-0.071	0.735***	0.332**	0.992***	0.976***	-0.194	0.848***	0.632***	0.162	0.067
Q <sub>R</sub>	0.564***	0.821***	0.897***	0.880***	0.599***	-0.017	0.730***	0.213*	0.992***	0.976***	-0.159	0.847***	0.634***	0.138	0.141
T <sub>R</sub>	0.515***	-0.238*	-0.175	-0.097	0.412***	0.796***	0.007	-0.229*	-0.063	-0.036	0.382***	-0.659***	-0.496***	-0.376***	0.075
Q <sub>R</sub> '	0.188	0.770***	0.675***	0.669***	0.267*	-0.271**	0.590***	0.289**	0.684***	0.671***	-0.382***	0.629***	0.763***	0.308**	0.066
C <sub>S</sub>	0.075	0.669***	0.651***	0.594***	0.106	-0.498***	0.491***	0.385***	0.630***	0.603***	-0.413***	0.629***	0.622***	0.622***	0.134
C <sub>i</sub>	-0.214*	0.081	0.082	0.044	-0.206	-0.532***	-0.073	0.205	-0.035	-0.062	-0.349***	0.043	0.512***	0.512***	0.328***
C <sub>G1</sub>	0.161	0.098	0.084	0.146	0.153	0.111	0.136	-0.207	-0.001	0.026	0.071	-0.014	0.145	0.353**	

Number of date=90.

Upper : application to regression curve.

Lower : application to regression line.

\*\*\* : 0.1 % level of significance, \*\* : 1 % level of significance, \* : 5 % level of significance.

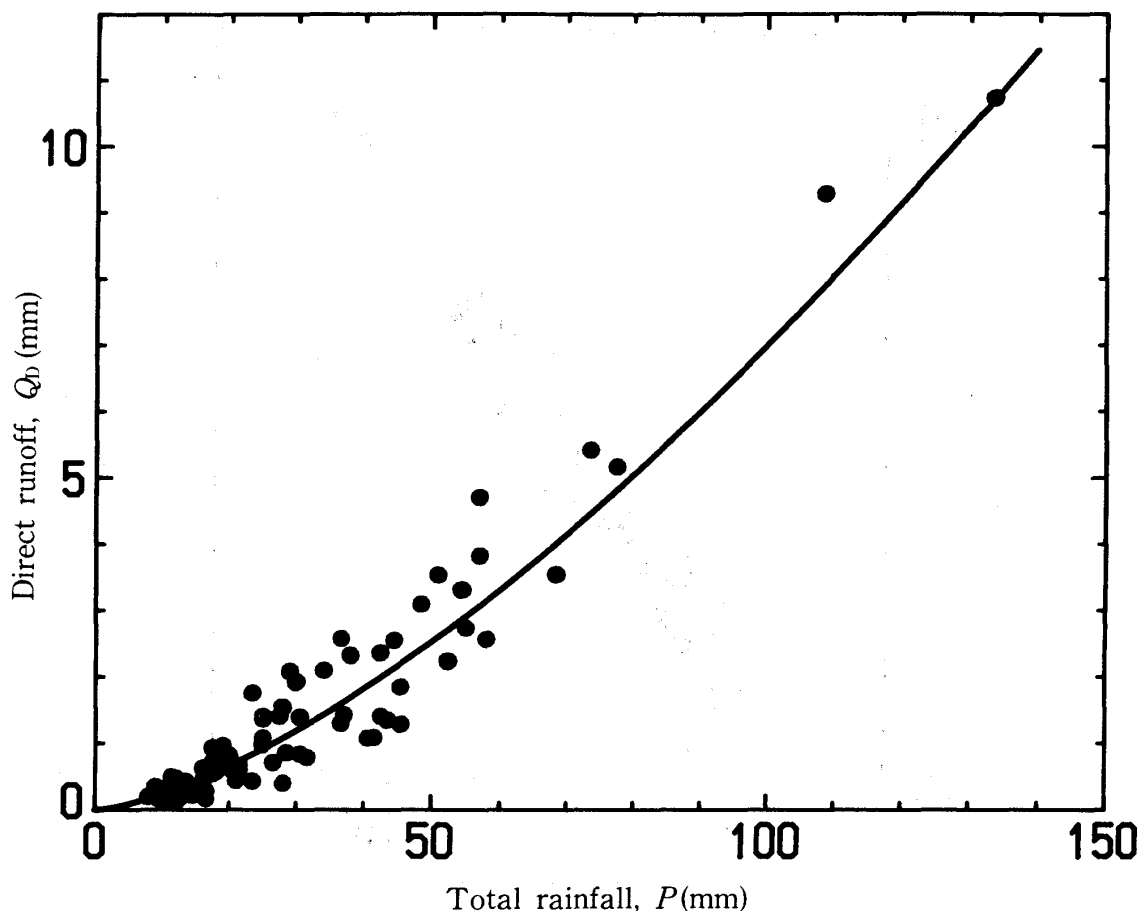


Fig. 9 Relationship between total rainfall and direct runoff.

現在のところ総雨量が150mm以上の降雨では湛水池が堆砂し量水が不可能となっている。Fig. 9によると  $Q_D$  は  $P$  の増加に伴い指数関数的に増加している。両者の間に最小自乗法により指数曲線を適合させると、

$$Q_D = 7.920 \times 10^{-3} P^{1.473} \quad (r = 0.929^{***}) \quad (3)$$

で表された (図中実線)。相関係数  $r$  は危険率0.1%以内で高度に有意である。

流域に降雨があった場合、流域からの流出量は降雨開始時の土壤の含水状態に影響される。流域の乾湿度を表す指標としては初期流量 (増水開始時の流量) あるいは先行降雨が取り上げられることが多い。ここでは、流域の土壤の乾湿度を表す指標値として初期比流量  $Q_I$  を取り上げた。Fig. 10は、Fig. 9に示された  $P$  と  $Q_D$  の関係を  $Q_I$  で記号分類してプロットしたものである。両対数方眼紙を用いたのは、Fig. 9に示されたように  $P$  と  $Q_D$  の間に指数関数的な関係が認められたことによる。Fig. 10において、+印と破線Aは  $Q_I$  が  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  未満の両者の関係とその回帰曲線であり、また、●印と破線Bは  $Q_I$  が  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  以上の両者の関係とその回帰曲線である。 $P$  が同じ程度である場合、 $Q_I$  が大きい方が  $Q_D$  は多くなっている。共分散分析法により破線AとBの回帰式を比較すると、回帰係数には差は認められなかったが、回帰定数には危険率0.1%以内で差が認められた。

直接流出率  $R_D$  は、1.0~8.6%の範囲、平均3.9%であり、1山ハイドログラフに限ると、1.0~7.5%の範囲、平均3.7%である (Table 1)。直接流出率  $R_D$  は、降雨因子との相関が高く、特に一雨総雨

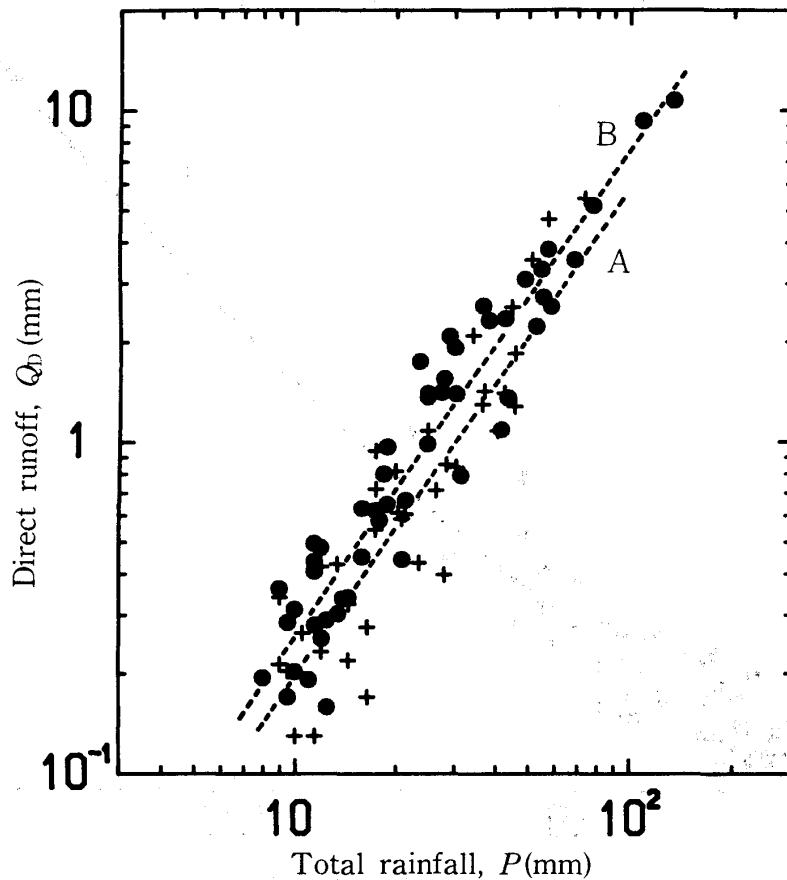


Fig.10 Relationship between total rainfall and direct runoff (at logarithmic paper).

---+--- A: Initial specific discharge under  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .

---●--- B: Initial specific discharge above  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .

量より降雨強度と相関が高い (Table 2)。

Fig. 11 および Fig. 12 は、総雨量  $P$  および最大30分間雨量  $P_{30P}$  と直接流出率  $R_D$  の関係を普通方眼紙上にプロットしたものである。 $R_D$  は  $P$  および  $P_{30P}$  の増加に伴い増大しているが、しだいに増大率は小さくなり、一定値を示すようになっている。それぞれの両者の間に最小自乗法により指数曲線を適合させると、

$$R_D = 7.777 \times 10^{-1} P^{0.4776} \quad (r = 0.628^{***}) \quad (4)$$

および

$$R_D = 8.955 \times 10^{-1} P_{30P}^{0.6242} \quad (r = 0.819^{***}) \quad (5)$$

で表された (図中実線)。相関係数  $r$  はそれぞれ危険率 0.1% 以内で高度に有意である。

直接流出継続時間  $T_D$  は、1.7~21.3 hr の範囲、平均 7.5 hr であり、1 山ハイドログラフに限ると、1.7~17.8 hr の範囲、平均 6.0 hr である (Table 1)。Table 2 によると直接流出継続時間  $T_D$  と総雨量  $P$  の間に正の相関関係が認められ、雨量が多いほど流出時間は長くなる。しかし、 $T_D$  と降雨強度の間には関係は認められない。

## 2. 増水部の特性

増水をもたらした降雨因子と増水特性の関係を検討した。Fig. 13 は、増水をもたらした一雨降雨

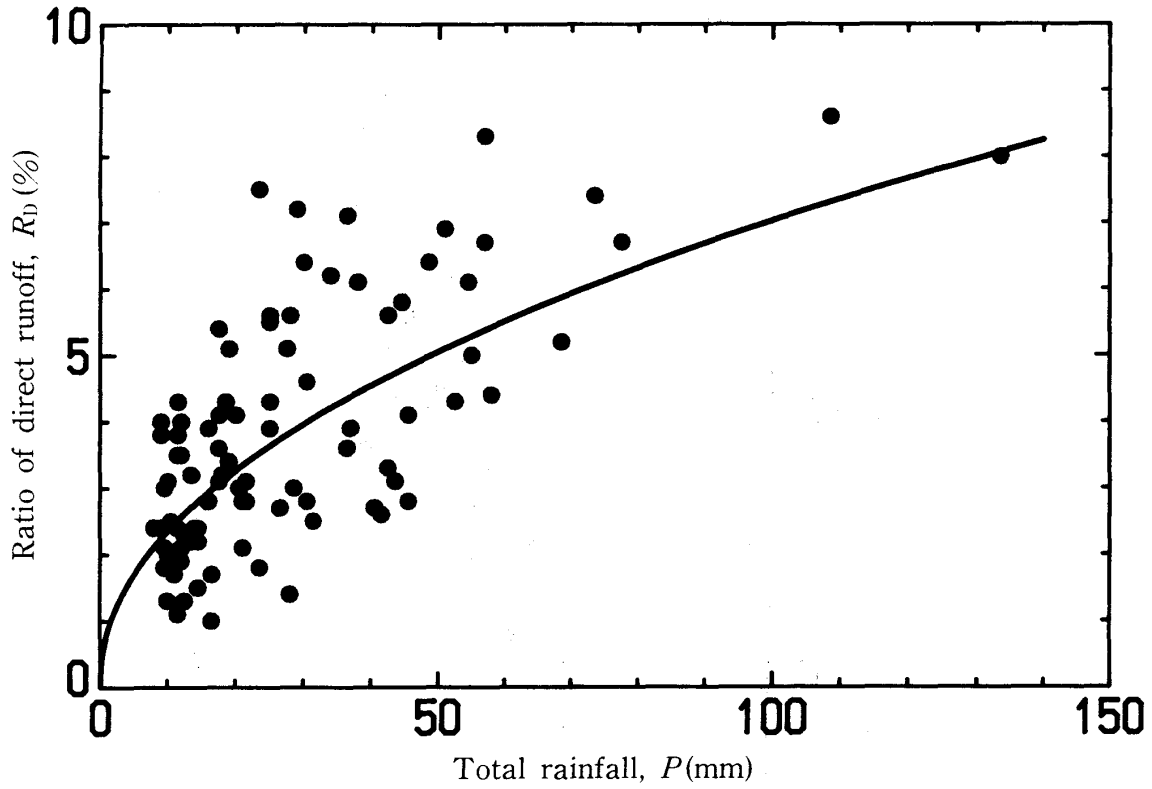


Fig. 11 Relationship between total rainfall and ratio of direct runoff.

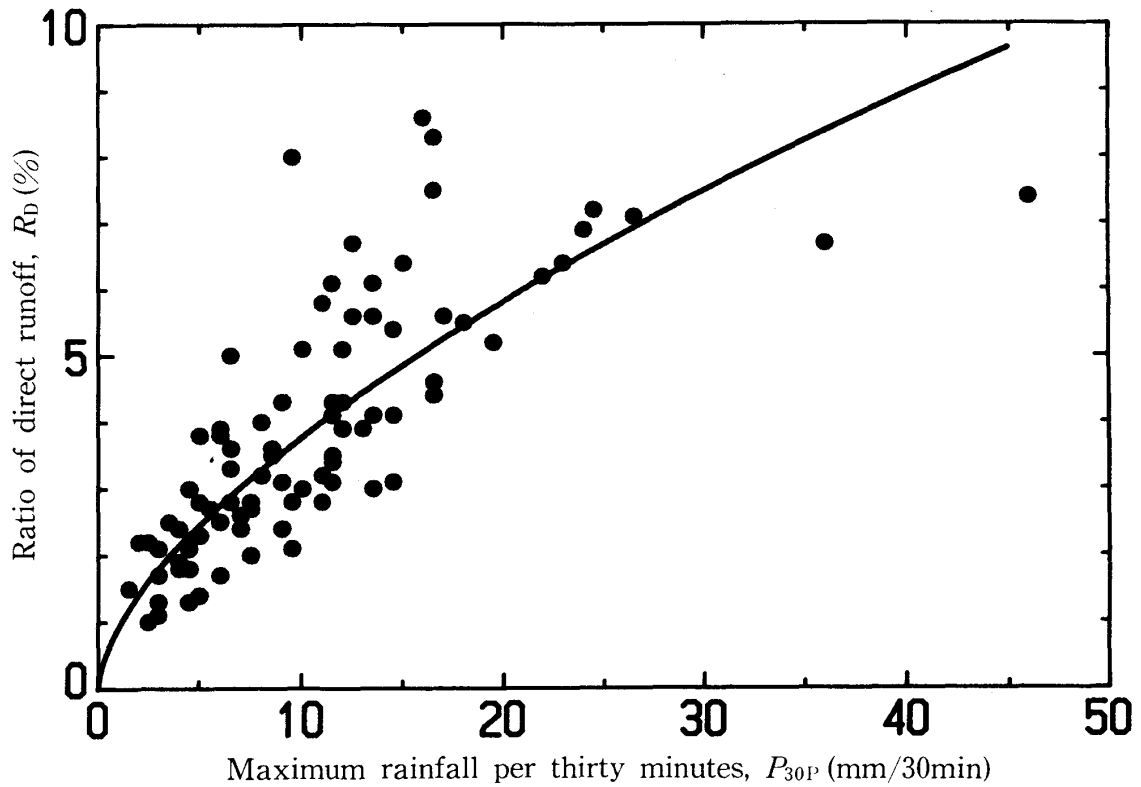


Fig. 12 Relationship between rainfall intensity and ratio of direct runoff.

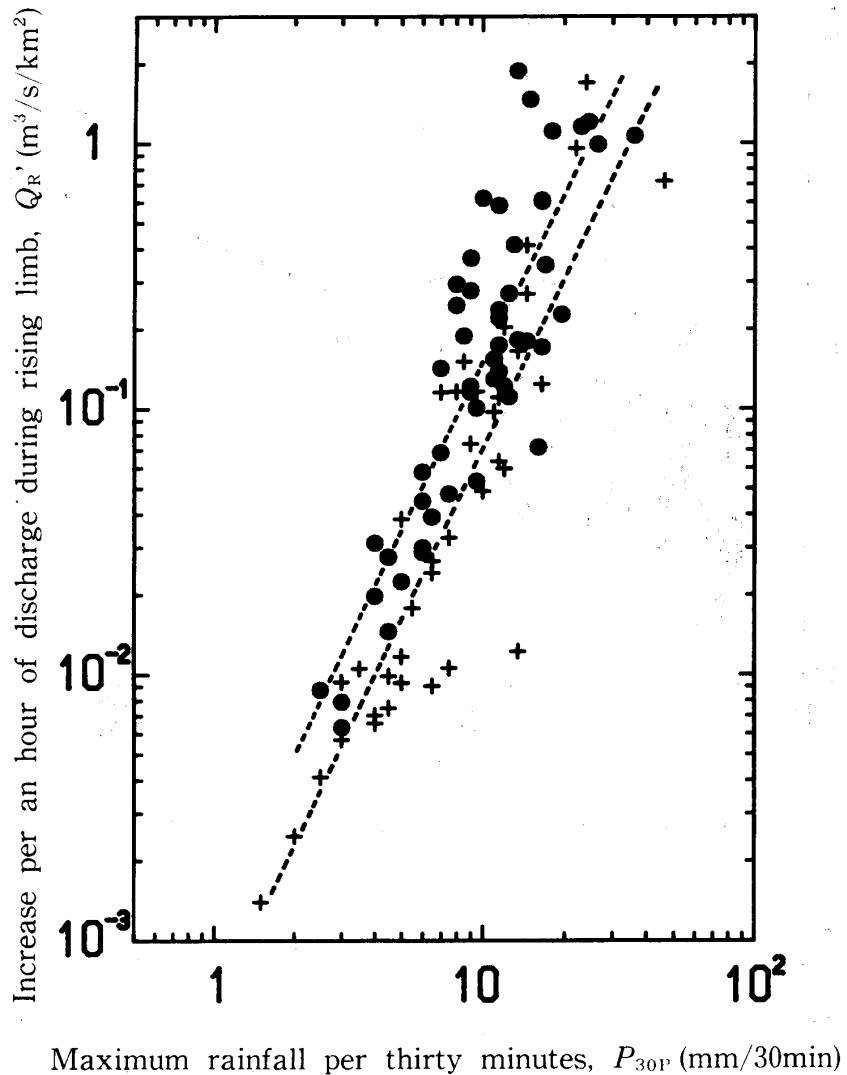


Fig. 13 Relationship between rainfall intensity and increase per an hour of discharge during rising limb.

---+--- A: Initial specific discharge under  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .

---●--- B: Initial specific discharge above  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .

内の降雨強度と増水の早さの関係を示したものである。降雨強度には最大30分間雨量  $P_{30P}$  を用い、増水の早さを表す因子にはハイドログラフの増水部における流量の増加量  $Q_R$  を増水時間  $T_R$  で除した値  $Q_R'$  を用いた。また、図中の両者の関係は初期比流量  $Q_I$  で記号分類してプロットしている。すなわち、+印と破線Aは  $Q_I$  が  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  未満の両者の関係とその回帰曲線であり、また、●印と破線Bは  $Q_I$  が  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  以上の両者の関係とその回帰曲線である。Fig. 13によると、一雨内の降雨強度が大きいほど増水が早くなっており、また、降雨強度が同じ程度の場合、初期流量が大きい、すなわち、流域の土壌が湿潤な状態にある場合の方が増水は早くなっている。共分散分析法により破線AとBの回帰式を比較すると、回帰係数には差は認められなかったが、回帰定数には危険率0.1%以内で差が認められた。



### 3. 減水部の特性

短期流出ハイドログラフの減水部の特性について検討した。減水部において、表面流出が卓越しているP S間 (Fig. 8) の減水係数  $C_s$  は0.060~1.513 hr<sup>-1</sup>の範囲にあり、平均0.588 hr<sup>-1</sup>であり、中間流出が卓越しているS G間の減水係数  $C_i$  は0.028~0.344 hr<sup>-1</sup>の範囲にあり、平均0.098 hr<sup>-1</sup>である。また、地下水流出のみが行われているG B間の減水係数  $C_{G1}$ 、すなわち地下水減水係数は0.001~0.029 hr<sup>-1</sup>の範囲にあり、平均0.017 hr<sup>-1</sup>である。

減水係数間の相関関係 (Table 2) をみると、 $C_s$ と $C_i$ の間、および $C_i$ と $C_{G1}$ の間には正の相関が認められる。また、降雨因子と減水係数の相関関係においては、 $C_s$ は総雨量とは関係がみられないが、降雨強度とは高度に有意な相関関係が認められ、 $C_i$ も総雨量とは関係がみられないが、降雨強度とはやや関係が認められる。これは、表面流出や中間流出が卓越している期間の減水が降雨の量より降雨の時間的な分布に強く影響されていることを示唆している。 $C_{G1}$ はどの降雨因子とも関係が認められなかった。すなわち、地下水流出が降雨形態とは無関係に行われていることを意味している。

## 要 約

鹿児島大学農学部附属高隈演習林内の火山砕屑物に覆われた森林流域において水文観測を継続している。これらの観測の目的は、火山地帯における森林流域の流出現象を定量的に把握することである。

本論では、高隈第2号試験流域において1986年8月~1988年12月に得られた水文観測データから2号流域の流出特性について検討した。得られた結果をまとめると次のようである。

1) 2号流域における1987年および1988年の年降雨量は3795mmおよび2870mm、年流出量は2479mmおよび2180mm、年流出率は約65%および約76%であった。

2) 2号流域の流出特性を定量的に把握するために、調査対象期間に得られた90個の一雨データから試験流域の短期流出特性を表す水文因子を算出した (Table 1)。

3) 一雨降雨量と直接流出量の間には正の高度に有意な相関関係が認められ (Table 2)、直接流出量は降雨量の増加に伴い指数関数的に増大している (Fig. 9)。さらに、この関係は増水開始時の流域土壌の含水状態に影響される。すなわち、一雨降雨量が同じ程度である場合、流域の乾湿度を表す指標として取り上げた初期流量 (増水開始時の流量) が大きい方が直接流出量は多くなる。

4) 直接流出率は、1.0~7.5%の範囲にあり、平均3.7%であった (Table 1)。直接流出率は一雨総雨量や降雨強度の増加に伴い増大しているが、しだいに増大率は小さくなり、一定値を示すようになっていく。

5) 直接流出継続時間は、1.7~17.8 hrの範囲にあり、平均6.0 hrであった (Table 1)。

6) 短期流出ハイドログラフの増水部の特性と増水をもたらした降雨因子との関係を検討した。その結果、一雨内の降雨強度と増水の早さの間には正の高度に有意な相関関係が認められ (Table 2)、降雨強度が大きくなると増水は指数関数的に増大する (Fig. 13)。降雨強度が同じ程度の場合、流域の土壌が湿潤な状態にある場合の方が増水は早くなっている。

7) 短期流出ハイドログラフの減水部の特性について検討した。地下水流出のみが行われている期間の減水係数 (地下水減水係数) は、0.001~0.029 hr<sup>-1</sup>の範囲にあり、平均0.017 hr<sup>-1</sup>である。

## 謝 辞

水文観測においては、砂防工学研究室の学生諸君、ならびに高隈演習林の職員の方々に多大なご

協力を受けている。また、観測データの整理においては当研究室大学院生の海田和孝君、および当時学生であった栢木敏仁君にご協力いただいた。ここに記して謝意を表したい。

### 参 考 文 献

- 1) 地頭蘭隆・下川悦郎ほか：高隈演習林における水文観測施設（高隈第2号量水堰堤）の建設について，鹿大農演報，No.15，83-93（1987）
- 2) 地頭蘭隆・下川悦郎ほか：高隈演習林内の森林理水試験流域における水文観測—高隈第2号試験流域の地形・地質・植生—，鹿大農演報，No.16，109-116（1988）
- 3) 鹿児島県：志布志湾地域開発地域 土地分類基本調査 岩川5万分の1（1972）
- 4) 鹿児島地方気象台観測資料（1987，1988）
- 5) 竹下敬司・高木潤治：暖帯林地の水保全環境に関する土壌及び地形的研究，福岡県林業試験場時報，No.26，1-51（1977）
- 6) 金丸昭治・高棹琢馬：水文学，pp. 223，朝倉書店，東京（1975）

### Summary

Some hydrological observations were carried out in the forested basins covered with volcaniclastic materials and situated in the Takakuma Experimental Forest of Kagoshima University. The purpose of these observations was to understand, quantitatively, the runoff-phenomena in the forested basins in volcanic area.

In this paper, making use of the hydrologic data obtained in the No.2 Takakuma experimental basin during the period from 1986 to 1988, the runoff-characteristics of the No.2 basin were described. The results are summarized as follows:

1) The annual rainfalls at the No.2 basin in 1987 and 1988 were 3795 mm and 2870 mm, the annual runoffs were 2479 mm and 2180 mm, and the annual ratios of runoff were 65% and 76%, respectively.

2) To make a quantitative understanding of the runoff-characteristics observable at the No.2 basin, some hydrologic factors of short term runoff were researched, using the ninety data of the storm observed during the period of the investigations (Table 1).

3) Between the total storm rainfall and the direct runoff a positive correlationship of high significant level was noted (Table 2). The direct runoff increased exponentially with the increase in the amount of rainfall (Fig. 9). This relationship was due to the discharge at the time of rising, namely, to the initial discharge representing the index of the basin-moisture-conditions. This is to say that in the case in which storms contained similar amounts of rainfall, the direct runoff increased with the initial discharge.

4) The ratios of direct runoff at the No.2 basin were within the value-range from 1.0% to 7.5%, being 3.7% in the mean value (Table 1). The ratio of direct runoff increased with the increasing in the total storm rainfall and in the rainfall intensity, reaching a constant at the time when a certain value was obtained.

5) The durations of direct runoff at the No.2 basin were within the range 1.7-17.8 hours, being 6.0 hours in the mean value (Table 1).

6) The relationships between the characteristics of rising limb on the hydrograph and the rainfall inducing the rising were examined. Between the rate of rising and the rainfall intensity a positive correlationship of high significant level was noted on logarithmic graph paper (Fig. 13). This relationship was dependent upon the moisture-conditions of the basin.

7) The characteristics of recession period on the hydrograph were examined. The groundwater recession-constants were within the value-range from  $0.001 \text{ hr}^{-1}$  to  $0.029 \text{ hr}^{-1}$ , being  $0.017 \text{ hr}^{-1}$  in the mean value.