

高隈演習林内の森林理水試験流域における水文観測

(第1報) 高隈第1号試験流域の環境調査と1984年および1985年水文資料解析*

地頭蘭 隆・下川 悦郎・野元 俊秀
(砂防工学研究室)

Hydrological Observations in the Forested Basins, Covered with Volcaniclastic Materials in the Takakuma Experimental Forest

I. Environmental Investigations and Runoff Phenomena in the No.1 Takakuma Experimental Basin

Takashi JITOUSONO, Etsuro SHIMOKAWA and Toshihide NOMOTO
(Laboratory of Erosion Control)

まえがき

鹿児島大学農学部附属高隈演習林は、鹿児島県の中央部にある桜島火山のすぐ東側に位置している。有史以前からの始良、阿多、霧島、桜島等の火山活動により、演習林内には火山砕屑物が部分的に厚く堆積している。火山砕屑物に覆われた山地は、従来経験的に水もちがよいといわれる。これは、軽石のような火山砕屑物が一般的に多孔質であることから、透水性・保水性に富んだ地質構造が形成されていることに由来している。一方、固結していない降下軽石層（ボラ層）のような火山性堆積物は非常に侵食されやすく、ボラ層の存在する山地からは多量の土砂生産が行われる。高隈演習林内においてこの火山砕屑物に厚く覆われた流域を選定し、1984年に森林理水試験区（高隈第1号試験流域）を設け³⁾、水文観測を行っている。この観測は、火山地帯における山地流域の流出特性を解明すること、同時にこのような特異な環境条件下における森林の水源かん養機能、洪水調節機能、土地保全機能等について検討するための基礎資料を得ることを目的としている。本報告は試験流域の地形、地質、土壌、植生等の調査結果、および1984年4月～1985年7月の水文観測資料による流出解析結果について述べたものである。

試験流域の位置および概況

高隈第1号試験流域は、Fig. 1に示されるように、志布志湾に流入している肝属川の支川である串良川の最上流部に位置し、高隈演習林においては16林班に属する。

試験流域は、大小7溪流からなる扇形の放射状流域であり、標高520～680mの高度域に位置し、面積は43.42haである。7溪流の中で、東側の2溪流には常時表流水が存在し流量が多いが、西側の5溪流は1溪流に表流水がわずかに存在するだけで、残りの4溪流は洪水時のみ表流水が存在し普段は枯れ沢である。

試験流域の位置する高隈演習林の地質は、中世界に属する砂岩・頁岩の互層からなる四万十層群、

* 本報告の一部は昭和60年度日本林学会九州支部研究発表大会で発表した。

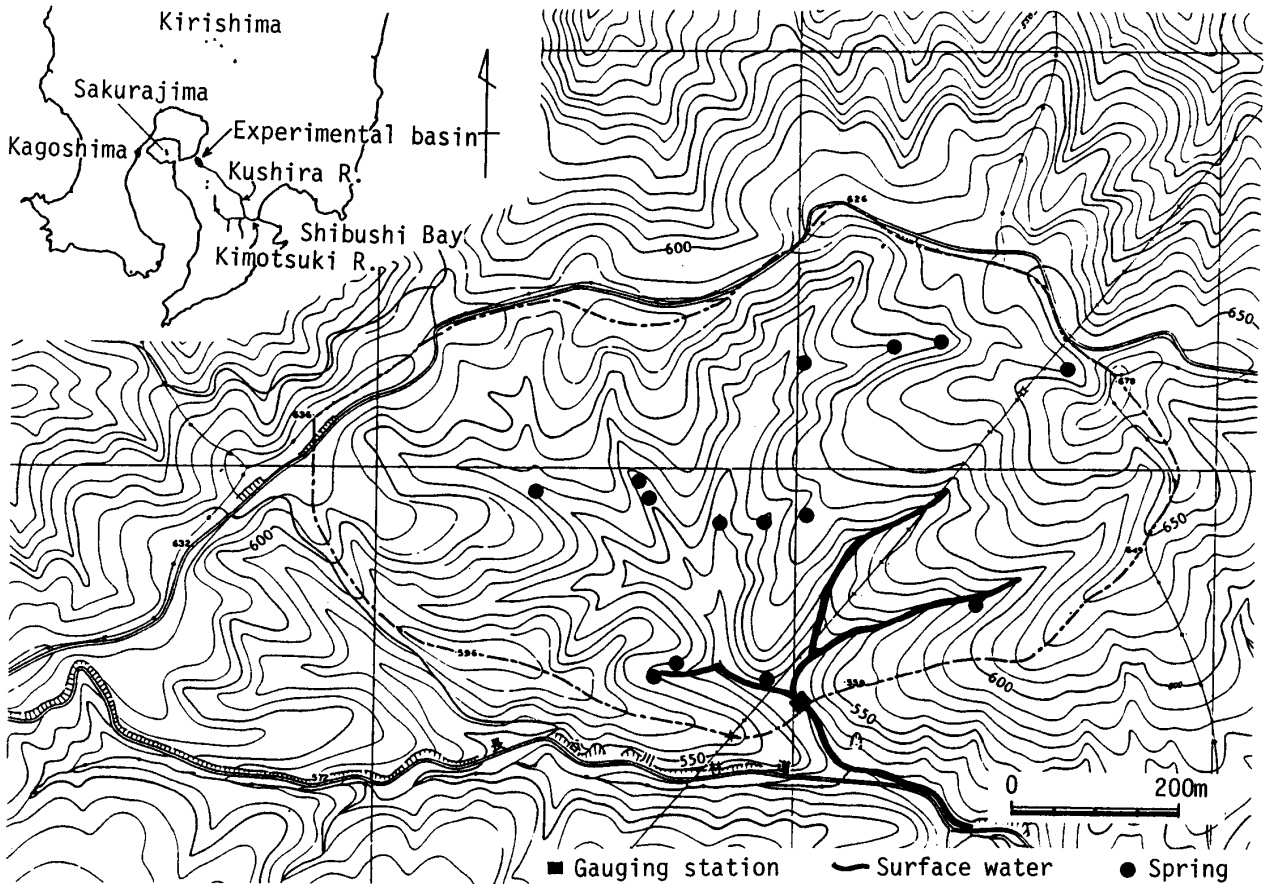


Fig.1. Location and Topography of the experimental basin.

この四万十層を貫いた第三紀中新生の花崗岩、およびおもに始良・阿多両カルデラから洪積世末期に大量に噴出したシラス、降下軽石、熔結凝灰岩からなり、また、ほぼ全域を霧島および桜島火山から噴出した火山灰・降下軽石が覆っている²⁾。なお、現在もおもに冬期に北西の季節風により桜島の火山灰の影響を受けている。

試験流域の林況については、流域のほとんどが森林であり、約40%が針葉樹林、約60%が広葉樹林である。

気象は、高隈演習林管理棟における観測によると年平均気温14~15°C、年降水量1500~3100mmである。

環境調査

1. 調査方法

(1) 地形調査

試験流域の地況を把握するために5000分の1地形図および航空写真を用いて試験流域の地形解析を行った。計測項目は以下の通りである。①流域面積 A (ha)。②最低・最高高度 (m)。③本川流路延長 L (m)。④本支流総延長 L_s (m)。⑤流域周囲長 M (m)。⑥本川平均勾配 H/L (%)：本川源頭地点と水位観測点の高度差 H (m)と本川流路延長 L (m)の比。⑦流域平均勾配 (%)：地形図上に1 cm×1 cm (50m×50m)の方眼をかけ、方眼に内接する円内の等高線本数から次式により算出。

$\tan \theta = h \cdot \Sigma n / R \cdot S \cdot N$, ここで, θ : 流域平均勾配, h : 等高線間隔 (m), R : 内接円の直径 (m), S : 地形図の縮尺の分母, N : 方眼総数, n : 内接円内の等高線本数。⑧流域平均幅 B (m): $B = A / L$ 。⑨形状係数: $A / L^2 = B / L$ 。⑩密集度 K / M : 流域面積と同面積の円の周囲長 K (m) と流域周囲長 M (m) の比。⑪水系密度 (m/ha): L_s / A 。また, 地形図上に $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ の方眼をかけ方眼内の最高点と最低点の標高差を起伏量とし, その分布を表した起伏量図, および地形図の等高線間隔を計測し, 斜面勾配10度ごとの傾斜分布図を作成した。

(2) 地質および土壌調査

20万分の1地質図²⁾, 航空写真および現地調査により試験流域の地質および地質構造を調べ, 地質図を作成した。また, 現地において土壌調査を行った。

(3) 微地形区分調査

5000分の1地形図, 航空写真および現地調査により斜面形と堆積状況を組み合わせた微地形分類図を作成した。斜面形・堆積区分は以下の通りである。①尾根筋緩斜面: 傾斜25度未満の狭い稜線状の残積土面。②緩斜面: 傾斜25度未満の山腹斜面。緩傾斜の匍行土, 残積土および崩積土を含む。③溪間堆積面: 傾斜25度未満の谷間の堆積面, 崩積土面や土石流堆積土面。④崩積土面: 傾斜25度以上40度未満の, 主として凹型斜面上の堆積面。⑤匍行土面: 傾斜25度以上40度未満の, 主として直型ないし凸型斜面上の匍行土面。⑥急峻匍行土面: 40度以上の匍行土面。

(4) 渓流水および湧水地点調査

試験流域内の各渓流における流水の有無, および湧水地点の調査を行った。

(5) 流出土砂量調査

流域内の各渓流に現地の間伐材や玉石を利用して設けた貯砂量 $1 \sim 10 \text{ m}^3$ の簡易な貯砂ダムにおける堆積土砂量, および湛水池における堆積土砂量の測定により試験流域からの流出土砂量を求めた。

(6) 林況調査

演習林森林調査簿, 航空写真および踏査により試験流域の1984年現在の林況を調査した。

2. 調査結果および考察

(1) 地形

試験流域は扇形をした放射状流域である。試験流域における本川には流域面積が最も大きく流路延長の長い流域中央部を貫流している渓流を採用した。支川に相当する渓流は本川の下流部で本川に合流している。5000分の1地形図により求めた流域の地況をTable 1に示す。また, 起伏量図および傾斜分布図をFig. 2およびFig. 3に示す。試験流域は本川長に比べ幅の広い放射状流域であることから, 形状係数および密集度は大きな値を示している。起伏量図から流域平均起伏量を算出すると 26 (m/0.25ha) である。傾斜分布図において斜面勾配10度ごとの面積率を求めると, $0 \sim 10$ 度, $10 \sim 20$ 度, $20 \sim 30$ 度, $30 \sim 40$ 度, $40 \sim 50$ 度の区分に対してそれぞれ6.7%, 21.0%, 37.5%, 25.9%, 8.9%であり, $20 \sim 30$ 度の斜面が最も多い。

Table 1. Topographic factors

Basin area	Altitude	Main stream length	Total stream length	Circumference length	Mean gradient of main stream	Mean gradient of relief	Mean basin width	Shape factor	Compactness factor	Drainage density
(ha)	(m)	(m)	(m)	(m)	(°)	(°)	(m)			(m/ha)
43.42	520-678	725	5,900	2,650	12.4	27.4	599	0.83	0.88	135.9

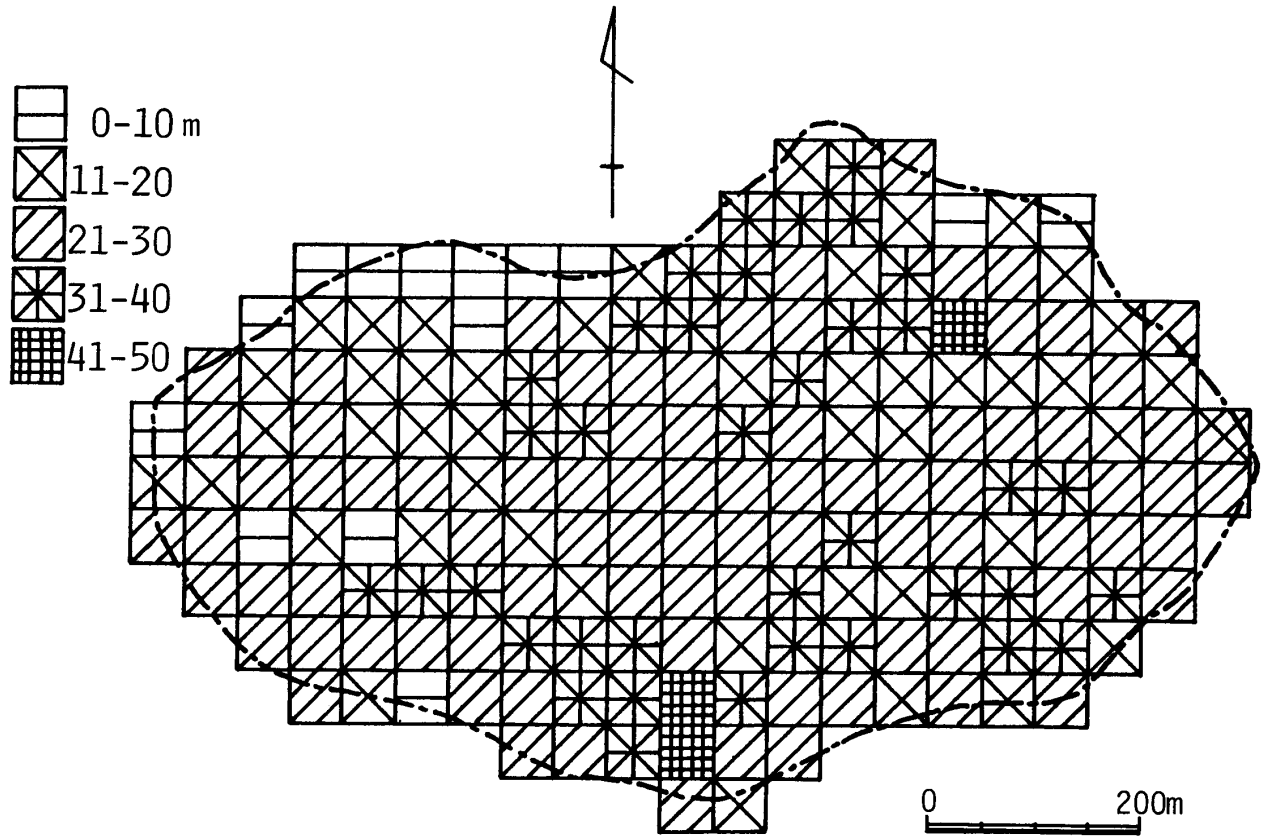


Fig.2. Relief map.

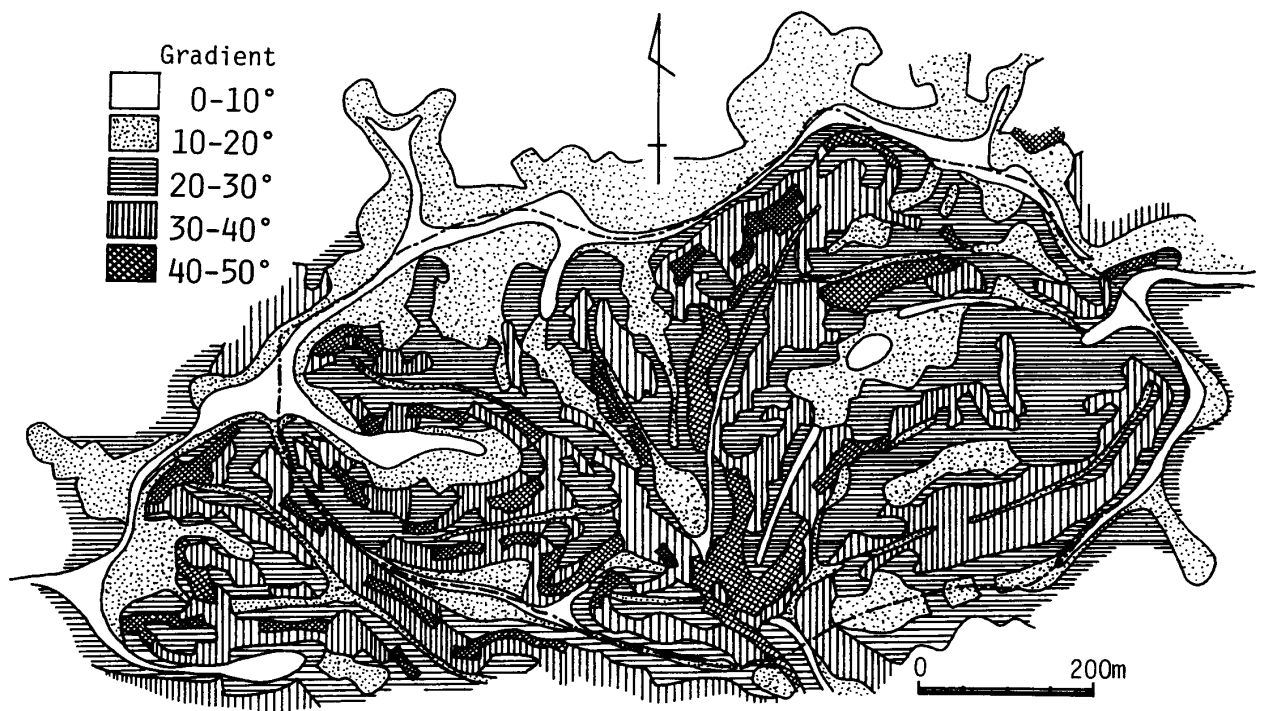


Fig.3. Slope classification map.

(2) 地質

試験流域には、中世界に属する砂岩からなる四万十層、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軽石が分布している。降下軽石層は厚い所では十数mに達し、ルーズな状態で堆積しているため土砂の流出源となっている。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火山灰・降下軽石が分布している。現地調査により作成した試験流域の表層地質図および地質断面図をFig. 4に示す。試験流域は、火山砕屑物に覆われる以前は比較的小起伏の地形を示し、おもに砂岩からなる山地であったと推定される。始良、阿多、霧島、桜島等の火山活動に伴い、流域内は火山砕屑物に厚く覆われ、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考えられる。したがって、Fig. 4に示されるように、流域の基盤を形成している砂岩の露頭がみられるのは深く刻まれた谷の溪床のみであり、そのほかの部分には火山砕屑物あるいは溪床堆積物に被覆されている。

(3) 土壌

試験流域の土壌は火山地帯特有の土壌構造を示す。すなわち、最表層のAo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と降下軽石の風化物からなり、さらにその下位はC層にあたるあまり風化されていない降下軽石層と続く。

(4) 微地形区分

斜面形と堆積状況を組み合わせた微地形区分により求めた微地形分類図をFig. 5に示す。また、微地形区分別の面積および面積率をTable 2に示す。面積的には匍行土面および緩斜面が多く、両者で試験流域の約70%を占める。試験流域の斜面形・堆積区分の特徴として、Fig. 5にみられるように、尾根をはさんで幅の広い緩斜面が分布している。このことは試験流域が一様に火山砕屑物に覆われ、小起伏の地形が形成され、その後侵食により谷が刻まれたことを示している。

(5) 渓流水および湧水地点

渓流水および湧水地点の分布状況はFig. 1に示される。試験流域の地質は基盤を形成している砂岩からなる堆積層とそれを覆う透水性に非常に富む火山砕屑物の堆積層（降下軽石層）からなるため、地下水の大部分はこの降下軽石層を砂岩の堆積層に沿って流下していると思われる。その結果、ルーズな状態で堆積している降下軽石層には地下水の侵食により形成された洞穴がよく観察される。溪流沿いにはこの洞穴に原因した溪岸崩壊が多数発生している。

(6) 流出土砂量

試験流域からは豪雨時多量の土砂が流出されている。流出土砂の構成材料は、現在の桜島の火山活動に伴い流域内に堆積した火山灰、および溪岸における降下軽石層の崩壊による軽石がほとんどである。1984年8月～1985年8月の1年間に流域内に設けられた貯砂ダムおよび湛水池に堆積した土砂量は約150 m³（約345 m³/km²）であった。

(7) 林況

試験流域の森林の状況をFig. 6に示す。流域のほとんどは森林であり、約40%がスギ（一部ヒノキ）を主体とした人工針葉樹林、残りの約60%が壮齢の広葉樹林である。

水文資料解析

1. 観測方法

水文観測施設は、Fig. 1に示されるように試験流域の下流端に設置され、量水堰堤、湛水池、水位計、雨量計および計器室から構成されている。観測施設の構造については文献³⁾で説明されている。

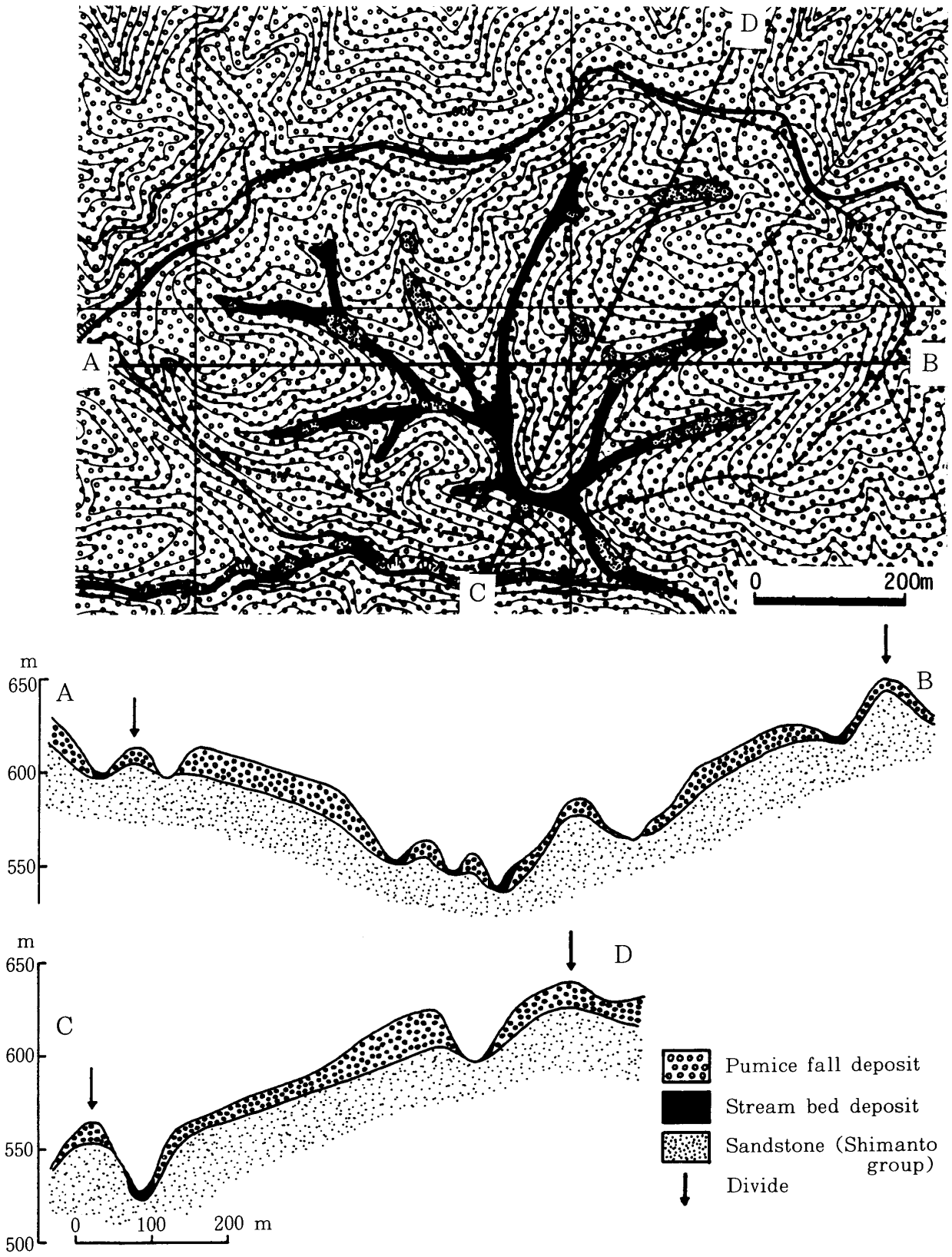


Fig.4. Subsurface geological map and geological profiles.

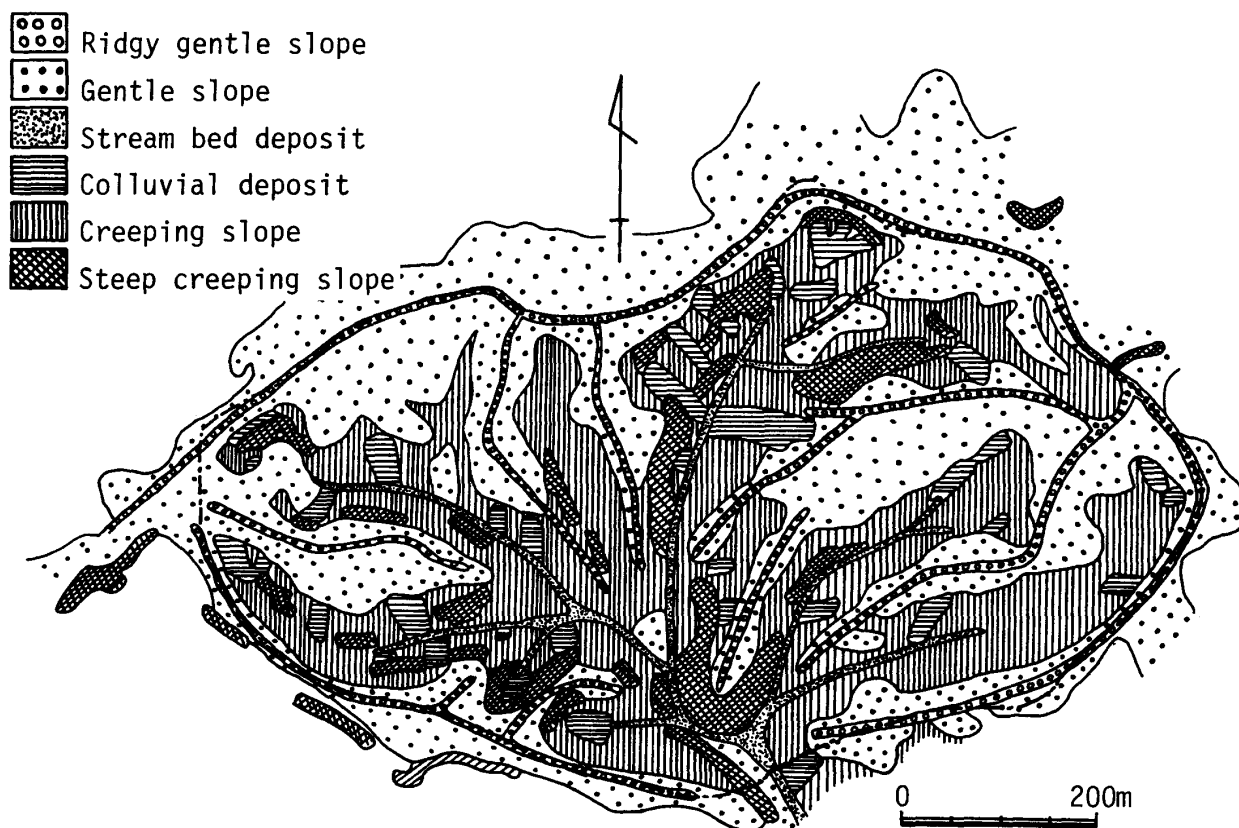


Fig.5. Micro-topography and deposit divisions map.

Table2. Area (ha) and area ratio (%) for each micro-topography and deposit division

Basin area	Ridgy gentle slope	Gentle slope	Stream bed deposit	Colluvial deposit	Creeping slope	Steep creeping slope
ha						
43.42	2.82	15.46	1.52	3.08	15.94	4.60
%						
100.0	6.5	35.6	3.5	7.1	36.7	10.6

量水堰の形は頂角120度の刃形三角堰と広頂長方形堰からなる複合堰であり、越流水位70cm以下に対しては刃形三角堰によって対応し、越流水位70cm以上に対しては刃形三角堰に広頂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観測井戸に導き、フロートを介して測定され、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。

2. 水位・流量の関係

越流水位70cm以下に対しては、実測された14回の水位・流量関係から刃形三角堰の流量算出式の流量係数を求め、水位・流量関係を決定した。流量の実測は、低水位の場合は堰の越流量を直接測定する方法により、また、高水位の場合は湛水池において棒浮子および小型プライス流速計を用いて測定した接近流速と流水断面積から求める方法により行った。求められた三角堰の流量係数は0.63であっ

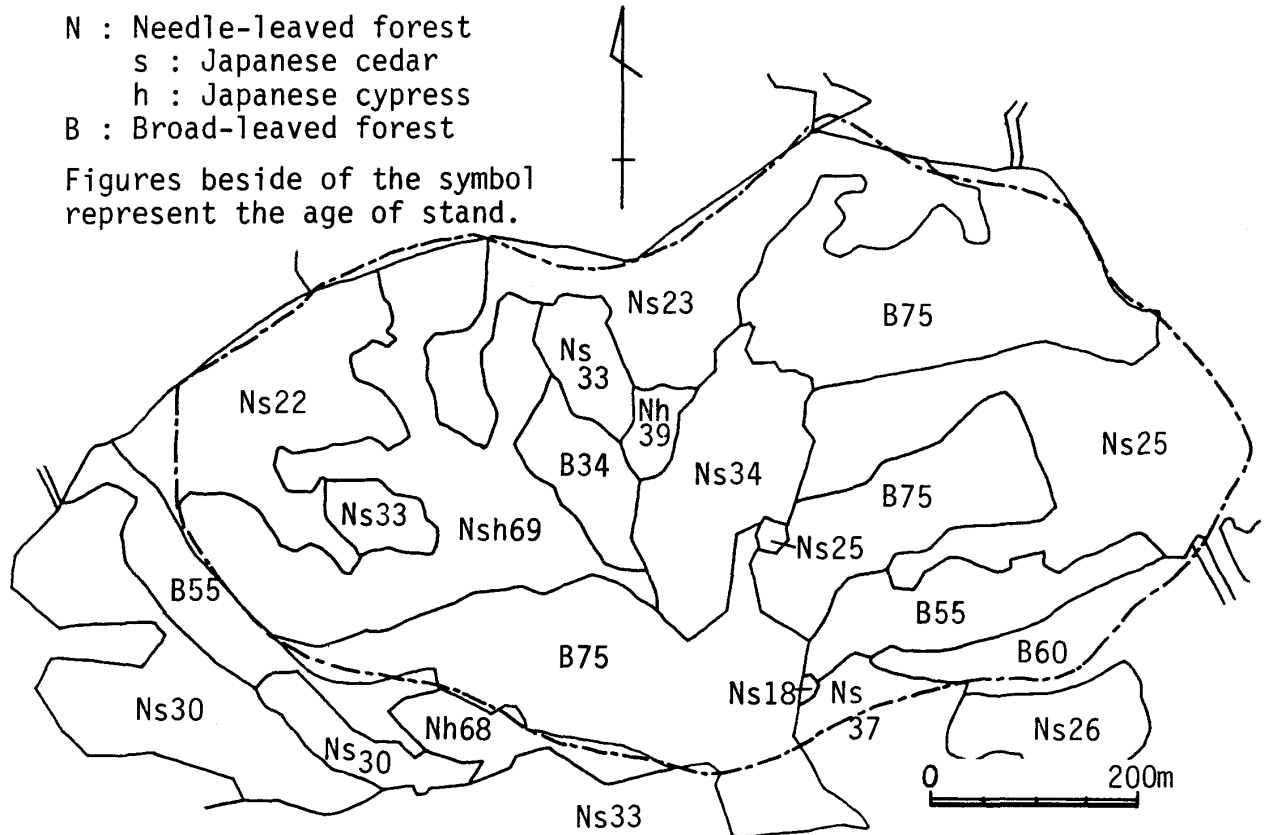


Fig.6. Conditions of the forest.

た。越流水位70cm以上に対しては水位・流量関係は実測されていない。今回は、刃形三角堰に広頂長方形堰を加えた複合堰の断面のうち三角堰の断面部分の流量計算にはオリフィスの流量算出式が適用でき、また広頂長方形堰の断面部分の流量計算には Govinda Rao の流量算出式⁵⁾が適用できると仮定し、両式の和により複合堰からの流量を算出することにした。この場合、水位70cmのとき刃形三角堰の流量算出式から求めた流量値とオリフィスの流量算出式から求めた流量値が一致するように、すなわち、水位・流量の関係が水位70cmにおいて連続するようにオリフィスの流量算出式の流量係数を決定している。求められたオリフィスの流量係数は0.58であった。1984年4月～1985年7月において水位70cm以上を記録したのは、1984年8月25日17時20分～40分（最高水位85.0cm, 17時35分）、および1985年7月2日12時20分（最高水位80.0cm）の2回であった。

水位・流量曲線は、水位を H (m)、流量を Q (m^3/s) とすると次式で表される。

$0 < H \leq 0.7\text{m}$ の場合

$$Q = 2.578 H^{2.5} \quad (1)$$

$0.7\text{m} < H$ の場合

$$Q = 2.187 \sqrt{H - 1.4/3} + 3.53C (H - 0.7)^{1.5} \quad (2)$$

ただし、 $0.7 \text{ m} < H \leq 0.75\text{m}$ のとき $C = 1.669 (H - 0.7)^{0.022}$

$0.75\text{m} < H \leq 0.89\text{m}$ のとき $C = 1.552 + 0.173 (H - 0.7)$

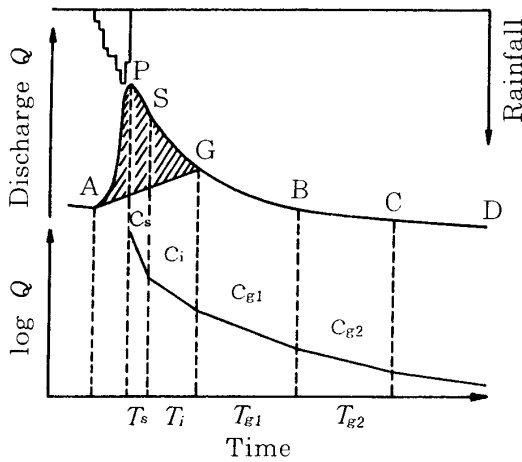


Fig.7. Determination of direct runoff and recession constants.

3. 短期流出特性

(1) 直接流出量の算定

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、表面流出量と中間流出量は直接流出量、地下水流出量は基底流出量と呼ばれる。直接流出量の算定には種々の方法が提案されているが、ここでは、Fig.7に示されるように、ハイドログラフの立ち上がり点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分とした。流量を対数目盛、時間を普通目盛とした片対数紙上にプロットされたハイドログラフ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、勾配の急変点がある。その第2折曲点をG点とした。つまり、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た。ひと雨の降雨状況によって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現れない場合がある。この場合第1折曲点をG点とした。G点の決定には後述する減水定数を参考にしている。

(2) 流出と降雨の関係

1984年4月～1985年7月に得られた66個の短期流出データをTable 3 (A)および(B)に示す。

(a) 直接流出高および直接流出率と総雨量の関係

Fig. 8は、直接流出高 Q_d と総雨量 P の関係を示したものである。両者の関係は実線で示され、

$$Q_d = 1.16 \times 10^{-3} P^{1.70} \quad (\text{相関係数 } r = 0.88^{**}) \quad (3)$$

となり、相関係数 r は危険率1%で有意である。また、Fig. 9は、直接流出率 Q_d' と総雨量 P の関係を示したものである。両者の関係は実線で示され、

$$Q_d' = 1.12 \times 10^{-1} P^{0.707} \quad (r = 0.60^{**}) \quad (4)$$

となり、相関係数 r は危険率1%で有意である。

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壌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。初期流量は一般に基底流量が季節によって変化するので必ずしも流域内の乾湿度を反映するとは限らない。しかし、南九州のような多湿、亜多湿帯では1年を通じて季節の変動が少ないため、初期流量は流域の乾湿度を表す指標になりうるといわれていることから¹⁾、ここでは初期流量をその指標に用いることにした。Fig. 8およびFig. 9においては初期比流量をパラメーターとして両者の関係を分類してある。破線④および⑤は初期比流量が $0.05 \text{ (m}^3/\text{s/km}^2)$ 以下および $0.05 \text{ (m}^3/\text{s/km}^2)$ 以上の場合の Q_d および Q_d' と P の関係をそれぞれ示したものである。総雨量が同程度の降雨の場合、初期流量が大きいとき、すなわち流域の土壌が湿潤な状態にある方が直接流出量が多くなり、直接流出率も高くなることがわかる。

Fig. 9およびTable 3によると試験流域の直接流出率は0.1～12%である。この値は、気候的に

Table3(A). Hydrologic data used in analyses (in 1984)

No	Date	Rainfall				Direct runoff				
		Total Rainfall (mm)	Duration (hr)	Maximum hourly rainfall (mm/hr)	Maximum rainfall per sixty minutes (mm/60min)	Runoff (mm)	Duration (hr)	Runoff ratio (%)	Initial specific discharge ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)	Peak specific discharge ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)
1	4.19 *	90.0	9	39.5	39.5	3.663	12	4.1	.02900	.83369
2	5.13	136.5	13	38.5	50.5	5.406	23	4.0	.02549	.44582
3	5.16 *	32.0	9	11.5	13.0	.216	9	.7	.06971	.09716
4	6. 8 *	45.0	4	22.5	33.0	.539	5	1.2	.03087	.11857
5	6.10 *	52.0	6	39.0	45.0	1.789	5	3.4	.03903	.49442
6	6.18 *	13.0	4	8.0	10.0	.160	4	1.2	.11715	.14577
7	6.20 *	3.0	1	3.0	3.0	.023	2	.8	.09716	.10227
8	6.26 *	10.5	3	5.5	5.5	.067	5	.6	.06080	.06971
9	6.27	54.5	9	27.5	27.5	.643	8	1.2	.06080	.19116
10	6.28 *	30.0	4	28.5	28.5	.462	4	1.5	.07716	.20862
11	6.29 *	14.0	3	11.0	11.0	.119	2	.9	.09970	.13943
12	6.30 *	36.5	2	32.0	35.0	3.846	3	10.5	.10621	1.15771
13	7.11 *	30.0	4	11.5	22.5	.253	6	.8	.06566	.09343
14	7.11 *	7.5	1	7.5	7.5	.057	3	.8	.06666	.07937
15	7.13 *	7.0	2	5.5	7.0	.021	3	.3	.05892	.06566
16	7.23 *	8.5	3	4.0	4.0	.037	4	.4	.04050	.04836
17	7.30 *	24.0	3	23.0	23.0	.381	4	1.6	.03759	.11999
18	8. 9 *	19.5	1	19.5	19.5	.447	5	2.3	.03150	.14258
19	8.11 *	9.0	2	5.5	9.0	.036	3	.4	.03087	.03759
20	8.13 *	14.0	1	14.0	14.0	.166	3	1.2	.02962	.06869
21	8.14 *	7.0	2	6.0	6.5	.026	3	.4	.02962	.03549
22	8.15 *	8.0	2	4.5	4.5	.019	3	.2	.02962	.03480
23	8.18 *	8.5	2	5.0	5.0	.033	3	.4	.02962	.03759
24	8.19 *	12.5	4	6.5	9.5	.036	4	.3	.02962	.03759
25	9.13 *	22.0	6	9.0	9.0	.069	5	.3	.07498	.08740
26	9.15 *	11.0	2	10.5	10.5	.129	2	1.2	.07498	.11297
27	9.15 *	10.5	4	5.0	5.5	.024	3	.2	.07607	.08623
28	9.18 *	55.5	7	39.5	44.5	2.999	6	5.4	.07391	.83827
29	9.21 *	5.0	2	4.5	4.5	.035	2	.7	.08740	.09842
30	10. 1 *	5.0	2	3.0	3.0	.016	2	.3	.06272	.06869
31	10.10 *	12.0	4	3.5	3.5	.025	4	.2	.04919	.05526
32	11.11 *	13.5	4	12.0	12.0	.044	3	.3	.02780	.03759
33	11.15 *	10.0	4	8.0	8.0	.051	3	.5	.02962	.04050
34	11.15 *	23.0	2	21.0	22.5	.526	4	2.3	.02900	.15063
35	12.10	28.0	10	10.0	10.5	.081	10	.3	.02172	.02962

* Single peaked hydrograph.

Table3(B). Hydrologic data used in analyses (in 1985)

No	Date	Rainfall				Direct runoff			Initial specific discharge ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)	Peak specific discharge ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)
		Total Rainfall (mm)	Duration (hr)	Maximum hourly rainfall (mm/hr)	Maximum rainfall per sixty minutes (mm/60min)	Runoff (mm)	Duration (hr)	Runoff ratio (%)		
36	1. 3 *	27.0	9	7.5	8.5	.112	10	.4	.01740	.02840
37	1.27 *	8.0	3	5.5	7.5	.012	3	.1	.01443	.01652
38	2. 9	78.0	22	14.5	17.5	1.397	23	1.8	.01524	.12726
39	2.16	26.0	11	6.5	7.0	.124	12	.5	.02071	.03413
40	2.19 *	40.5	9	14.0	15.0	.749	10	1.7	.02383	.15727
41	3. 2 *	7.5	5	4.0	4.0	.036	6	.5	.02962	.03480
42	3. 8 *	17.0	4	7.0	8.5	.301	3	1.8	.03280	.10621
43	3.11 *	27.5	11	4.5	4.5	.152	10	.6	.03830	.05174
44	3.17 *	19.5	6	7.0	9.0	.125	6	.6	.04591	.06175
45	4.22 *	6.0	3	4.5	4.5	.028	3	.5	.04050	.04836
46	4.26 *	7.0	3	5.5	6.5	.034	3	.5	.03618	.04354
47	5. 7	23.5	10	6.0	7.0	.128	11	.5	.02840	.04125
48	5.14	73.0	8	27.0	27.0	2.790	13	3.8	.02605	.33858
49	5.20 *	59.0	11	21.5	22.5	1.219	11	2.1	.03150	.25074
50	5.24	77.5	12	12.0	12.5	.548	12	.7	.03830	.10098
51	6. 1 *	23.0	4	9.0	11.5	.232	4	1.0	.06272	.09842
52	6. 7 *	16.0	6	3.5	4.0	.063	5	.4	.06666	.07179
53	6. 7 *	11.5	4	4.0	5.0	.082	5	.7	.06566	.07498
54	6.19	77.5	14	11.0	13.0	.686	14	.9	.05348	.12578
55	6.21 *	14.5	6	6.0	6.0	.095	6	.7	.07937	.09466
56	6.25 *	23.0	5	13.5	17.0	.146	5	.6	.07826	.11160
57	6.25 *	18.0	4	11.5	11.5	.475	3	2.6	.08390	.20466
58	6.26 *	12.0	3	6.0	9.0	.093	3	.8	.08623	.10358
59	6.27 *	20.0	2	19.5	19.5	.526	2	2.6	.09099	.24412
60	6.27 *	66.5	4	34.0	50.0	8.212	14	12.3	.09970	1.29595
61	7. 1 *	34.0	10	12.5	14.0	.408	10	1.2	.12874	.19880
62	7. 9 *	21.0	4	11.0	11.5	1.457	4	6.9	.17640	.58591
63	7. 9 *	8.0	2	5.0	7.5	.073	3	.9	.17640	.19116
64	7.11 *	18.0	4	9.0	10.5	.110	3	.6	.14900	.16754
65	7.11 *	9.5	3	7.0	7.5	.074	2	.8	.15063	.17461
66	7.20 *	12.5	3	9.0	11.5	.140	2	1.1	.10227	.14577

* Single peaked hydrograph.

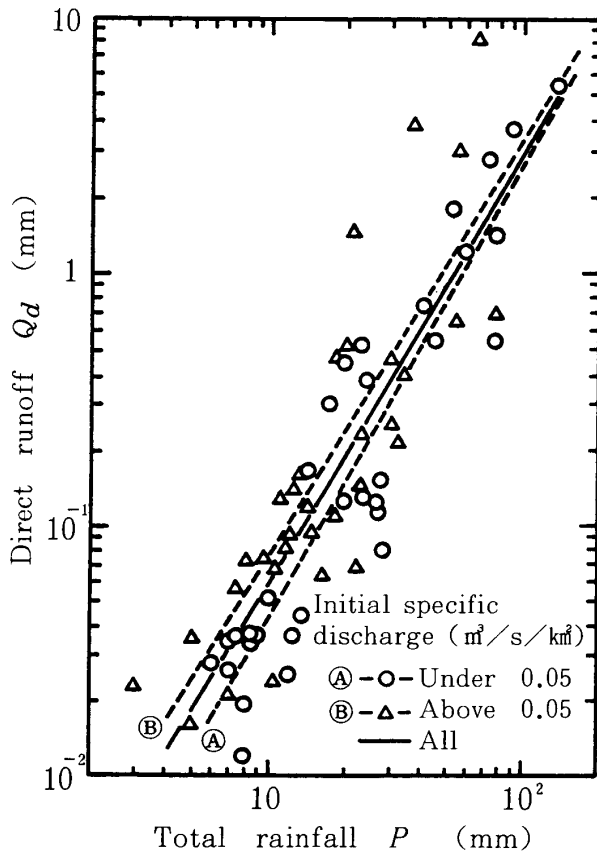


Fig. 8. Relationship between direct runoff and total rainfall.

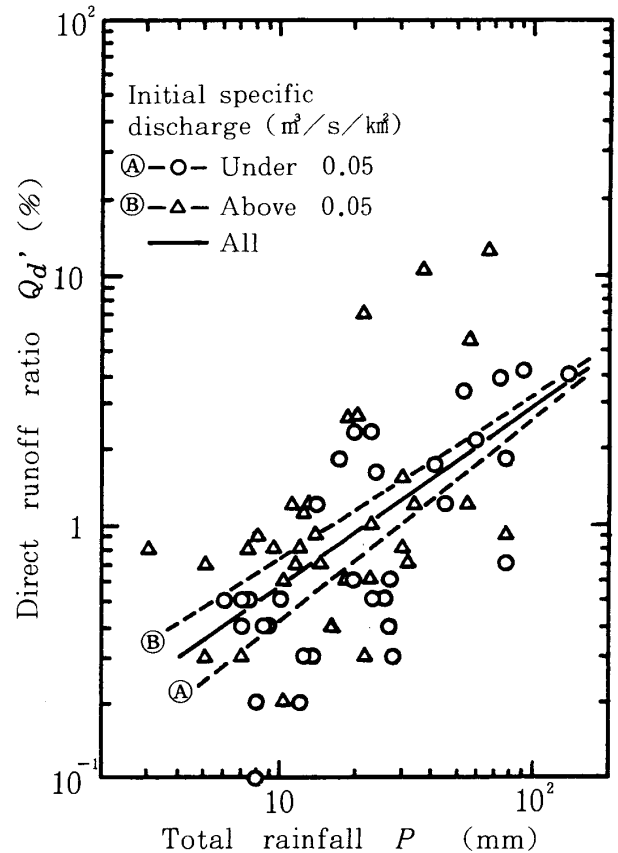


Fig. 9. Relationship between direct runoff ratio and total rainfall.

はほぼ同一条件にあり、火山碎屑物がほとんど堆積していない郡山森林理水試験流域において得られた直接流出率0.4~91%⁴⁾に比べると低い値を示している。

(b) 直接流出高と直接流出継続時間の関係

直接流出高 Q_d と直接流出継続時間 T_d の関係を総雨量をパラメーターとしてFig.10(A)に示す。両者の関係は実線で示され、

$$Q_d = 1.75 \times 10^{-2} T_d^{1.45} \quad (r = 0.58^{**}) \quad (5)$$

となり、相関係数 r は危険率1%で有意である。また、最大60分間雨量(60分間当りの最大雨量)をパラメーターとして Q_d と T_d の関係をFig.10(B)に示す。Fig.10(A)によると総雨量が増加するほど直接流出量は増加し、直接流出時間も長くなる傾向がみられる。Fig.10(B)によると Q_d と T_d の関係は降雨強度により分類され、流出時間が同程度でも降雨強度の大きい降雨ほど流出量は多くなることがわかる。

Fig.10およびTable 3によると試験流域の直接流出継続時間は2~23時間である。郡山試験流域の8~102時間⁴⁾と比較すると、試験流域においては表面流出および中間流出からなる直接流出は短時間で終了している。

(3) 減水部の特性

(a) 減水定数の算出

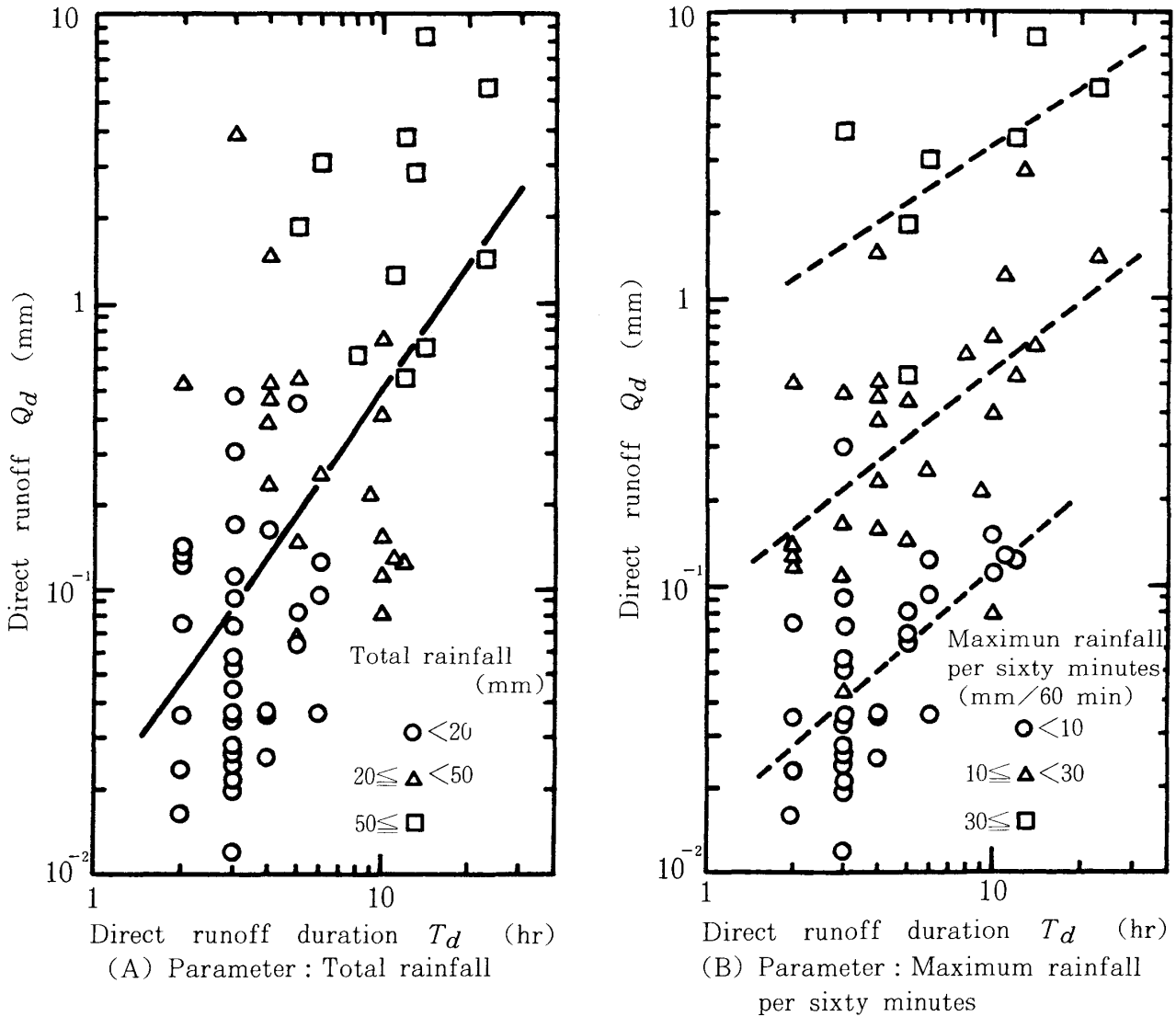


Fig.10. Relationship between direct runoff and direct runoff duration.

流量を対数目盛，時間を普通目盛とした片対数紙上にプロットされたハイドログラフの減水部は，Fig. 7 に示されるように，一般にいくつかの直線からなる折線に近似される。PS間は表面流出が卓越し，SG間は中間流出が卓越していると考えられる。G点以降は地下水流出のみが行われ，GB CDは地下水減水曲線と呼ばれている。各直線は次の指数関数式で表される。

$$Q_t = Q_0 e^{-ct} \tag{6}$$

ここで， Q_0 ：減水曲線のある時点における既知流量， c ：減水定数， t ：時間， Q_t ： Q_0 から t 時間後の流量である。

Table 3 に示された短期流出ハイドログラフの減水部に(6)式を最小自乗法で適合させ，減水定数 c を算出した (Table 4)。Table 4 における c_s および c_i は，Fig. 7 に示されるように，ピーク時から表面流出終了時までの期間 (PS)，および表面流出終了時から中間流出終了時までの期間 (SG)

Table 4(A). Recession constants (in 1984)

No	Date	PS		SG		GB		BC	
		c_s (1/hr)	T_s (hr)	c_i (1/hr)	T_i (hr)	c_{g1} (1/hr)	T_{g2} (hr)	c_{g1} (1/hr)	T_{g2} (hr)
1	4.19 *	.802	3	.039	4	.007	24	.001	131
2	5.13	.101	6	.033	9	.009	23		
3	5.16 *	.087	2	.028	2	.001	67		
4	6.8 *	.339	3	—	—	.015	5	.001	26
5	6.10 *	.571	3	—	—	.011	15	.001	55
6	6.18 *	.124	1	.035	2	.004	55		
7	6.20 *	—	—	.077	1	.004	69		
8	6.26 *	—	—	.068	2	.001	12		
9	6.27	.268	3	—	—	.021	2		
10	6.28 *	.725	1	.052	1	—	—		
11	6.29 *	.210	1	—	—	—	—		
12	6.30 *	1.104	2	—	—	.003	254		
13	7.11 *	.220	1	.043	3	—	—		
14	7.11 *	.145	1	.045	1	.002	48		
15	7.13 *	—	—	.077	1	.002	230		
16	7.23 *	—	—	.070	2	.002	94		
17	7.30 *	.351	3	—	—	.001	240		
18	8.9 *	.705	2	.030	2	.001	39		
19	8.11 *	—	—	.068	2	.002	52		
20	8.13 *	.370	2	.040	1	.002	5		
21	8.14 *	—	—	.060	2	.005	2	.001	20
22	8.15 *	—	—	.099	1	.020	2		
23	8.18 *	.156	1	—	—	.003	20		
24	8.19 *	.116	1	—	—	—	—		
25	9.13 *	—	—	.025	3	.005	14		
26	9.15 *	.353	1	—	—	—	—		
27	9.15 *	—	—	.054	1	.021	2	.001	65
28	9.18 *	1.058	2	.039	2	.002	40		
29	9.21 *	—	—	.092	1	.002	239		
30	10.1 *	—	—	.045	1	.001	117		
31	10.10 *	—	—	.049	1	.011	6	.001	200
32	11.11 *	.176	1	.083	1	.001	68		
33	11.15 *	.156	2	—	—	—	—		
34	11.15 *	.501	3	—	—	.011	9	.001	189
35	12.10	—	—	.055	2	.009	9	.001	71

1) c_s and T_s are recession constant and time elapsed from point P to point S as shown in Fig.7. The other symbols are defined by the same rule.

2) * Single weaked hydrograph.

の減水定数であり、 c_{g1} および c_{g2} は直接流出終了時以降の減水定数である。 T_s 、 T_i 、 T_{g1} および T_{g2} はそれぞれの期間の所要時間を示す。

(b) 各減水定数について

表面流出が卓越しているPS間は減水の割合が大きく、減水定数 c_s は0.087~1.196 (1/hr) の範囲にあり、平均0.393 (1/hr) である。PS間の所要時間は1~5時間であり、平均1.7時間である。また、中間流出が卓越しているSG間の減水定数 c_i は0.025~0.099 (1/hr) にあり、

Table 4(B). Recession constants (in 1985)

No	Date	PS		SG		GB		BC	
		c_s (1/hr)	T_s (hr)	c_i (1/hr)	T_i (hr)	c_{g1} (1/hr)	T_{g2} (hr)	c_{g1} (1/hr)	T_{g2} (hr)
36	1. 3 *	.158	2	.032	3	.001	279		
37	1.27 *	—	—	.068	2	.001	185		
38	2. 9	.236	5	.041	6	.011	29	.001	117
39	2.16	.140	3	—	—	.001	53		
40	2.19 *	1.196	1	.046	7	.004	36	.001	113
41	3. 2 *	—	—	.070	2	.001	50		
42	3. 8 *	.501	2	—	—	.001	51		
43	3.11 *	.119	1	.071	1	.001	47		
44	3.17 *	.177	1	.042	2	.001	37		
45	4.22 *	.123	1	—	—	.020	3	.001	99
46	4.26 *	.109	1	.057	1	.001	244		
47	5. 7	.229	1	.081	1	.001	52		
48	5.14	.637	3	.036	3	.005	29	.001	95
49	5.20 *	.351	5	—	—	.001	89		
50	5.24	—	—	.081	2	.018	3		
51	6. 1 *	.345	1	—	—	.001	22		
52	6. 7 *	—	—	.045	1	.001	1		
53	6. 7 *	—	—	.059	2	.001	95		
54	6.19	—	—	.095	3	.006	29		
55	6.21 *	—	—	.067	2	.001	93		
56	6.25 *	.143	2	—	—	—	—		
57	6.25 *	.419	2	—	—	.004	9		
58	6.26 *	—	—	.078	2	—	—		
59	6.27 *	.845	1	—	—	.017	3		
60	6.27 *	.715	2	.035	10	.010	10	.005	44
61	7. 1 *	.310	1	.039	2	.001	2		
62	7. 9 *	1.130	1	—	—	.022	3		
63	7. 9 *	—	—	.040	2	.004	44		
64	7.11 *	—	—	.085	1	.022	1		
65	7.11 *	.105	1	—	—	.002	176		
66	7.20 *	.267	1	—	—	.021	4	.001	161

1) c_s and T_s are recession constant and time elapsed from point P to point S as shown in Fig.7. The other symbols are defined by the same rule.

2) * Single weaked hydrograph.

平均0.056 (1/hr)である。SG間の所要時間は1~10時間であり、平均2.1時間である。試験流域の c_s および c_i の平均値は、郡山試験流域の c_s および c_i の平均値 0.127 (1/hr) および 0.041 (1/hr)⁴⁾ に比べて大きい。また、試験流域のPS間およびSG間の所要時間の平均値は郡山試験流域の平均値5.9 (hr) および11.4 (hr)⁴⁾ に比べて小さい。このことは、本試験流域の減水の割合が郡山試験流域より大きく、短時間に流出が終了していることを示しており、これは、郡山試験流域が羽状流域であるのに対し、本試験流域は放射状流域であることに関係している。

地下水流出が行われているGB間の地下水減水定数 c_{g1} は、0.001~0.022 (1/hr) の範囲にあり、平均0.007 (1/hr) である。この平均値は郡山試験流域の平均値0.016 (1/hr)⁴⁾ に比べて小さい。このことは、本試験流域の地下水流出が郡山試験流域よりゆっくり行われていることを示している。

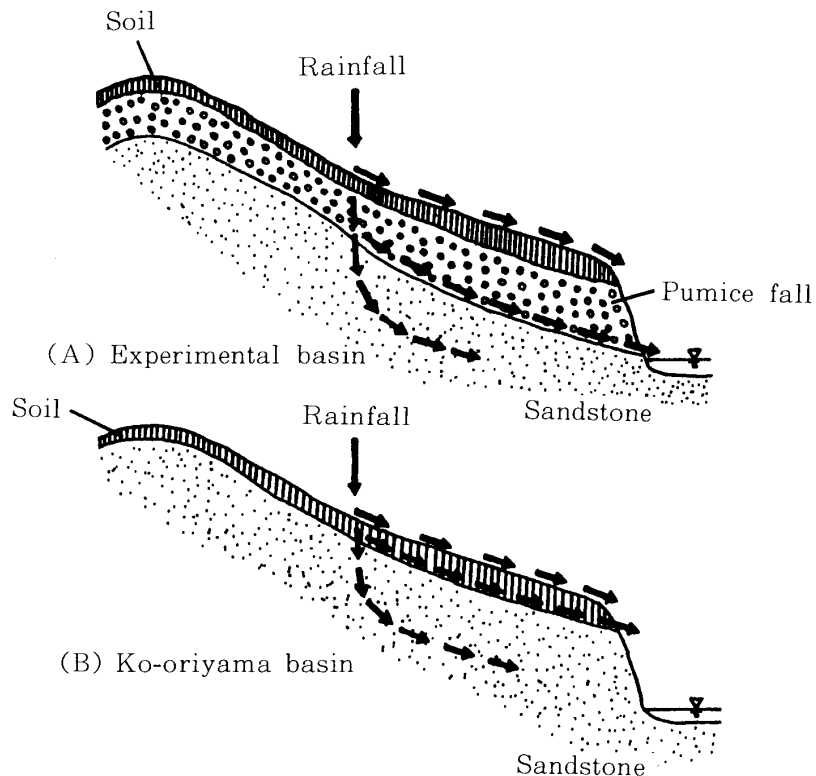


Fig.11. Runoff model.

(4) 流出特性

Fig.11は火山碎屑物に厚く覆われた本試験流域，および火山碎屑物に覆われていない流域例として郡山試験流域の流出過程を図示したものである。試験流域においては，Fig.4の地質断面図に示されたように，土壌層と基岩の間に一般的に透水性・保水性に富む降下軽石層が存在している。地表面に達した雨水の一部は表面流となり，残りは土壌層へ浸透する。土壌層内へ浸透した雨水の大部分は，火山碎屑物に覆われていない流域では基岩の上面に沿って土壌層内を流下していくと考えられるが，試験流域においては降下軽石層の存在によりさらに地中深く浸透し，その後基岩の上面に沿って降下軽石層内を流下する。したがって，試験流域においては直接流出成分を構成している中間流出成分が減少し，地下水流出成分が増加していることになる。このことが直接流出量および直接流出率を減少させ，直接流出を短時間で終了させている原因であると考えられる。試験流域では，地中水は降下軽石層の存在により一般山地流域よりも長い経路をたどりゆっくり河川に達することから，地下水減水曲線の勾配は緩く，無降雨時期にも安定した，高い基底流量が得られる。無降雨時期の基底流量は，試験流域において夏期 $0.04 \text{ (m}^3/\text{s/km}^2)$ ，冬期 $0.02 \text{ (m}^3/\text{s/km}^2)$ である。一方，郡山試験流域では夏期 $0.003 \text{ (m}^3/\text{s/km}^2)$ ，冬期 $0.001 \text{ (m}^3/\text{s/km}^2)$ ⁴⁾である。

要 約

火山地帯に位置し，火山碎屑物に厚く覆われている鹿児島大学農学部附属高隈演習林において，森林理水試験流域を設置し，水文観測を開始した。この観測は，火山地帯における山地流域の流出特性を解明すること，同時にこのような特異な環境条件下での森林の水源かん養機能，洪水調節機能，土地保全機能等について検討するための基礎資料を得ることを目的としている。ここでは，試験流域の

地形、地質、土壌、植生等の調査結果について述べ、1984年～1985年の水文観測資料から試験流域の流出特性について考察した。得られた結果をまとめると次のようである。

1) 試験流域は、扇形をした放射状流域であり、標高520～680mの高度域に位置し、面積は43.42 haである。

2) 流域の地質は、中世界に属する砂岩からなる四万十層、これを覆うように洪積世末期に始良・阿多両カルデラから大量に噴出した降下軽石が分布している。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火山灰および降下軽石が分布している。

3) 試験流域にルーズな状態で堆積している降下軽石層は非常に侵食されやすいため、流域からは多量の土砂流出が行われている。1984年8月～1985年8月の1年間に流域から流出された土砂量は約150 m³ (約345 m³/km²)であった。

4) 試験流域のほとんどは森林であり、約40%がスギを主体とした針葉樹林、残りの約60%が壮齢の広葉樹林である。

5) 試験流域における降雨－流出の関係を解析し、流出特性について考察した。その結果によると、試験流域では直接流出は一般山地流域より短時間で終了し、直接流出継続時間は2～23時間であった。したがって、直接流出量も少なく、直接流出率は0.1～12%の範囲にある。

6) 地下水減水定数は、0.001～0.022 (1/hr)の範囲にあり、平均0.007 (1/hr)であった。これらの値は一般山地流域より小さい。試験流域は火山砕屑物に厚く覆われていることから、地中水は一般山地流域よりも長い経路をたどりゆっくり河川に達している。その結果、地下水減水曲線の勾配は緩く、無降雨時期にも安定した、高い基底流量が得られている。無降雨時期の基底流量は試験流域において夏期0.04 (m³/s/km²)、冬期0.02 (m³/s/km²)である。

謝 辞

水文観測施設の維持、管理等にあつては高隈演習林の職員の方々および当研究室の学生諸君にたいへんお世話になっている。また、観測資料の整理においては当研究室学生の佐伯孝君にご協力いただいた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 岩井重久・石黒政義：応用水文統計学，p.327，森北出版，東京（1970）
- 2) 鹿児島県：岩川5万分の1表層地質図 志布志湾開発地域 土地分類基本調査（1972）
- 3) 下川悦郎・地頭蘭隆他：高隈演習林における水文観測施設（高隈第1号量水堰堤）の建設について，鹿大農演報 No.14，57-66（1986）
- 4) 地頭蘭隆・春山元寿：森林の水土保持機能の定量化に関する研究（第2報）1983年水文資料による流出解析，鹿大農演報 No.13，159-177（1985）
- 5) 土木学会編：水理公式集 昭和46年改訂版，p.262-263，土木学会，東京（1971）

Summary

Some hydrological observations have been carried out in the forested basin covered with volcanoclastic materials and situated in the Takakuma Experimental Forest of Kagoshima University. The purposes of these observations are as in the following : (1) a quantitative understanding of the runoff characteristics in the forested basins in volcanic areas ; (2) obtaining of some hydrologic data contributable to the investigation of the forest-effects on the soil- and water-conservation and on flood-control in volcanic areas. This is a paper dealing with the environmental conditions and the runoff characteristics of the experimental basin. The runoff characteristics were brought into clarification owing to the results obtained by the analyses of the hydrologic data observed in 1984 and 1985. The considerations made above are summarized as follows:

1) The experimental basin is a fan-shaped radial basin, measuring 43.42ha in area, being distributed in heights from 520m to 680m above the sea level.

2) The geology is constituted of sedimentary rock of Mesozoic belonging to Shimanto-group, covered with the volcanoclastic materials erupted out of Aira, Ata, Kirishima and Sakurajima volcanoes.

3) Owing to a erodible property contained in the volcanic deposits in the experimental basin, a great amount of sediment is to be yielded from the basin. The sediment-yield is counted to be about 150 m^3 per annum (about $345\text{ m}^3/\text{km}^2$ per annum).

4) The experimental basin is nearly wholly covered with forests composed of needle-leaved forests and broad-leaved forests in the approximate proportion 4 : 6.

5) To make a quantitative understanding of the runoff characteristics observable in the experimental basin, some analyses were carried out on the rainfall and runoff relationships. The duration of the direct runoff in the experimental basin is within the range 2-23 hours, which is shorter than that in the basin not covered with any volcanoclastic materials. Therefore, the direct runoff amount is comparatively little, the direct runoff ratio being within the range of 0.1-12 per cent.

6) The groundwater recession constants are within the value-range from 0.001 ($1/\text{hr}$) to 0.022 ($1/\text{hr}$), being 0.007 ($1/\text{hr}$) in the mean value. The experimental basin covered deeply with the volcanoclastic materials makes the subsurface water reach the stream channels through the long paths. Therefore, in the experimental basin it is possible to observe a constant and plentiful discharge of the base flow even during a long drought. This discharge of the base flow during a long drought is fixed to be $0.04\text{ (m}^3/\text{s/km}^2)$ in summer season, and $0.02\text{ (m}^3/\text{s/km}^2)$ in winter season.