

## (研究資料)

## 山腹における地表流下量と中間流下量の測定

菊谷昭雄<sup>(1)</sup>・吉野昭一<sup>(2)</sup>・河野良治<sup>(3)</sup>Akio KIKUYA, Shôichi YOSHINO and Yoshiharu KOHNO: A Trial  
Measurement of Surface and Subsurface Runoff on Hillside  
(Research note)

**要旨:** 簡易な採水器を試作して、山腹土層のA層とB層との境界、およびB層とC層の境界またはB層中に挿入して自然降雨による土層中の地表流下量および中間流下量を測定した。

宝川試験地、初沢1号沢、2号沢における3年間(夏期間のみ)の測定で得られた結果によれば、流域中でも全く流下量がない場所があり、また、同一場所でも時により流下量があったり、なかったりした。とくに地表流下量にこの傾向が強かった。中間流下量については、流域の下流部の流下量が上流部に比較して多い結果も得られた。

流域中、流下量の最も多い場所を得られた地表流下量の自記記録と、流域出口のハイドログラフとの対比をした。自記記録から、流下が始まった時刻と、終わった時刻をハイドログラフ上にとり、両時刻を直線で結んで、ハイドログラフから両時刻間の流出量を分離した。このように分離した流出量を地表流出量とみなし、それと降水量や流域土層の乾湿状態を示す初期比流量との関係を求めた。その結果、降水量が多くなると、地表流出量が両時刻間の全流出量に占める割合は80~90%程度の値を示した。さらに、流域の乾湿状態が同じでも、流域によって、地表流出が発生するまでの降水量が異なり、地表流出の発生しやすい流域と発生しにくい流域のあることがわかった。これは流域が示す水文学的性質の一つと考えられた。

## 1. は し が き

山地小流域における降雨による増水は、直接流出に大きく影響される。この直接流出の大部分は地表流と、土層中の比較的浅い部分から短時間に流下する(速い)中間流と考えられている。したがって、流域におけるこの両者の発生状況を知ることは、大きな出水や洪水の発生機構を解明する上で重要なものである。また地表流が発生するのは流域中の地表状態と土層の不良のところであるのか、あるいは、溪流沿いで発生するのかを検討することも重要で、これは洪水発生危険流域を判定する上にも役立つものと考えられる。

本報告では以上の観点から、山腹における地表流や中間流の発生状況を簡易な採水器を試作して測定を試みたものである。このような試験の試みは全く初めてであり、経験もとほしく、十分な解明ができなかったが、今後、機会があれば、このような試験の積み重ねが必要であると考えられるので、その測器や方法および、得られた結果について報告する。

過去におけるこの種の試験は、ライシメーター等の人工土層における試験結果が報告されているにすぎない。実際の流域の山腹における試験はあまり行なわれていないが、わずかに、山腹に土壤断面を作り、トタン製の採水板をA<sub>0</sub>層の下部(地表流下)やB層(中間流下)に挿入して採水を試みたことがある<sup>1)</sup>。

しかし、地表流下も中間流下もほとんどなく、流下量は降水量の 0.01~1.67% の範囲内であった。この試験と、本報告における試験の測定方法の相違点は、前者では土壤断面の埋めもどしを行わず、本報告では埋めもどしを行った点、また、前者では地表流下採水板と中間流下採水板との間に止水板を設置しなかったが、本報告では設置したという 2 点である。今回の試験では予想以上に、流下水量が多かった。

なお、この試験は農林水産技術会議特別研究「山地崩壊および洪水発生危険地区判定法の確立」に関する研究の一部として行なったものである。

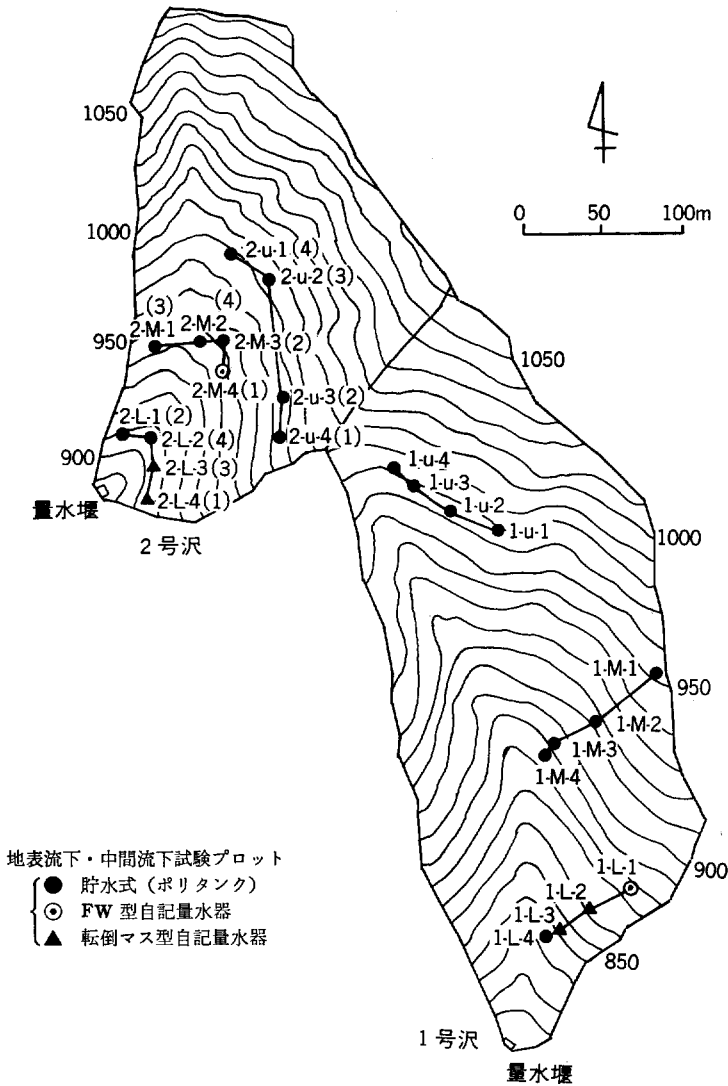


図 1. 宝川森林理水試験地, 1, 2 号沢流域の地形図と地表流下・中間流下試験プロット位置図

## 2. 試験方法

### 2-1. 試験流域の概要

試験流域は群馬県利根郡水上町大字藤原字宝川にある林業試験場宝川森林理水試験地，初沢試験区1号沢（面積 6.48 ha），2号沢（同 4.42 ha）の2流域を使用した。両流域の地形図を図1に示した。

流域の地質は第三紀層の凝灰岩類で，いわゆる御坂層と呼ばれるもので，2流域とも南向きの急斜面をもつ流域である。

土壌は石礫に富む砂壤土，埴壤土である。1号沢では，流域下部の溪岸に厚く崩積土が堆積していることが知られている<sup>9)</sup>。流域中部の溪流には湧水点があるが，流下するにしたがって伏流してしまい，溪流には常時水はない。しかし，流域出口付近になって伏流水は再び地表に現れ，出口の量水堰に入っている。2号沢は全般に土壤層は浅く，この流域も溪流には常時水がなく，流域最下端の量水堰付近になって伏流水が地表に現れている。

地表植生は1号沢ではヒバとブナを主体とする天然林である。2号沢は1号沢と同様の林分を皆伐し，その伐跡地にスギとヒノキを昭和46年に植栽した流域である。

### 2-2. 採水器の構造および埋設方法

試作した採水器の構造を図2に示した。土層へ簡単に挿入できるように，挿入部分を30mmとした。この部分が長いと，横流れしてきた流下水ばかりでなく，地表面から鉛直に透過してくる水をも集めることになるので，後者の透過水をなるべく集めないようにした。地表流下採水器と中間流下採水器との間にある阻水板はB層を横流れしてきた流下水を，そこで阻止し，阻水板の下端を中間流下採水器の内側に入れるようにしたので，阻水板に達した流下水は大部分，中間流下採水器で集められることになる。また，採水器の集水孔に張った金網は，土粒子の流出を阻止するものである。

採水器の埋設方法は，山腹に深さ約1mの土壤断面を鉛直に掘り，断面の表面をなるべく滑らかにして採水器を挿入する方法によって行った。

地表流下採水器はA層の下部に挿入し，採水器の上端は地表面よりやや突出させるようにして，地表

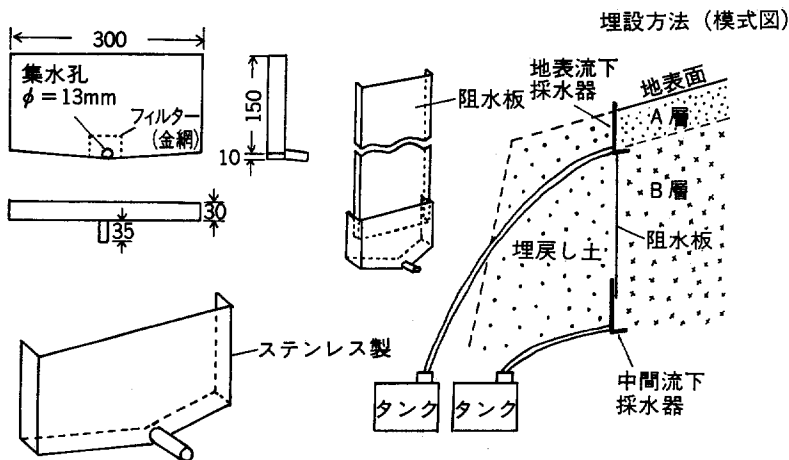


図2. 地表流下・中間流下採水器の構造と埋設方法（単位：mm）

面を流下してきた水も、この採水器で集めるようにした。これをこの報告では地表流下と呼ぶことにする。つぎに、中間流下採水器を B 層と C 層の境界、または、B 層中に挿入して（プロットによって、上下の採水器間の間隔が異なる）、地表流下採水器との間を止水板でふさいだ。この中間流下採水器で集められた流下水を、この報告では中間流下と呼ぶことにする。その後、上下の採水器の集水孔にそれぞれビニールホースを接続し、土や礫で断面の埋めもどしを行い、ホースの先端を容積 10*l*（実容積 12*l*）のポリタンクに接続した。

以上のような一組の採水装置を、流域を上流（U）・中流（M）・下流（L）に 3 区分し、各部の斜面に山頂（1 とする）から溪流沿い（4 とする）に向って 4 か所、計 12 か所に埋設して流下水を採水した。

2-3. 採水器の設置か所および流下水の測定方法

図 1 の地形図中に埋設か所を示した。2 号沢では、流域上部（U）の埋設か所が、流域の中部程度の位置にあるのは、これ以上の上部では傾斜が急で設置が困難であり、また、ほとんど土層がないので、この位置を上部としたためである。1 号沢の上部（U）の各プロットは同一等高線上にあるが、溪流からの距離では、4 が最も溪流に近く、3, 2, 1 の順に徐々に溪流よりはなれていくように配置した。

表 1. 採水器の埋設深とプロット付近の土壌の透水時間

流域名	プロット名	プロットの傾斜角 (°)	透 水 時 間 (sec)				採水器埋設深 (地表から, cm)		中間流下断面深 (2)-(1) ( $D_I$ )
			A <sub>0</sub> 層 (地表)	A 層上部	B 層上部	平均	地表流下 (1) (地表流下断面深 $D_S$ )	中間流下 (2)	
1 号 沢	1-U-1	47	10.8	10.8	16.5	12.7	12	98	86
	1-U-2	39	2.7	5.6	5.1	4.5	14	70	56
	1-U-3	36	6.3	14.8	14.6	11.9	13	76	63
	1-U-4	42	8.1	10.9	14.7	11.2	10	80	70
	1-M-1	30	15.5	13.7	64.0	31.1	12	47	35
	1-M-2	41	2.1	17.6	37.2	19.0	10	80	70
	1-M-3	37	5.4	8.6	47.5	26.6	9	65	56
	1-M-4	38	2.4	9.8	28.4	13.5	8	80	72
	1-L-1	42	6.1	2.7	69.0	17.3	10	80	70
	1-L-2	44	2.9	5.4	35.0	14.4	11	30	19
	1-L-3	40	2.9	2.0	23.8	7.9	10	82	72
	1-L-4	37	4.4	9.2	11.6	8.4	11	67	56
2 号 沢	2-U-1	35	8.0	10.1	31.9	16.7	23	80	57
	2-U-2	31	4.9	26.4	60.3	30.5	17	60	43
	2-U-3	33	6.5	35.5	66.4	36.1	21	60	39
	2-U-4	38	9.0	33.7	40.2	27.6	16	40	24
	2-M-1	38	22.8	42.9	55.5	40.4	20	70	50
	2-M-2	38	16.2	101.9	80.2	66.1	19	50	31
	2-M-3	28	19.3	58.4	岩	38.9	17	42	25
	2-M-4	45	30.2	28.3	岩	29.2	17	45	28
	2-L-1	38	7.5	15.6	27.7	16.9	15	80	65
	2-L-2	37	5.0	11.0	40.4	18.8	16	65	49
	2-L-3	39	18.9	171.9	152.3	88.5	17	47	30
	2-L-4	31	20.6	84.5	40.2	48.6	20	50	30

2号沢では観測の都合で、このような順序に配置されていない。図1中の、各プロットのカッコ書きの番号は、溪流からの距離を考慮に入れたときの順序である。

観測は昭和52年8月～55年10月までの夏期間のみについて行なった。任意の期間（原則として10～15日であるが、大雨の場合は2～3日）後、タンクに採水した水量を測定した。この流域では積雪のため冬期間の観測を中止した。中止期間中には採水器は土中に埋設したままにしておき、なんら手を加えず、翌春、ホースの先端にタンクを接続して観測を続けた。

また、昭和53年からは、1-L-1の地表と中間、2-M-4の地表の3か所（図1中の◎印）にFW型自記量水器（農土試型）を設置し、54年9月からは1-L-2、-3の地表と中間、2-L-3、-4の地表と中間（図1中の▲印）にそれぞれ、転倒マス型自記量水器を設置して観測を行なった。

各流域におけるプロット別の採水器埋設深およびプロット付近における土壌の透水速度を測定した結果を表1に示す。透水時間は採水器設置か所の各土層の透水性をみるために行なったもので、測定方法は容積400cm<sup>3</sup>の土壤採取用円筒を土壤中に高さが約半分（2cm）になるまで挿入し、そこへ200cm<sup>3</sup>の水を一気に注入し、200cm<sup>3</sup>の水が浸透、吸水し終るまでの時間で比較した。

### 3. 試験結果

#### 3-1. 各プロットの流下量

1号沢では昭和52年8月5日から、2号沢では同年8月29日より観測を開始した。通常は10～15日間隔、多量の降雨があった場合には2～3日後に流下量を測定した。昭和55年10月の終了時まで約60期間の資料が得られたが、流下量が多くて、容積10lのタンクでは、しばしばオーバーフローしてしまい欠測のプロットもあった。

期間別流下量と期間降水量との関係は、一般には比例の関係にあるが、プロットによっては、関連が全くないものもあり、流下量が全くないプロットもあった。また、プロットによっては、前の期間の流下水の浸出が継続している場合があるので、短期間で区切った場合には、降水量との関連があまり高いとはいえなかった。ことに中間流下の場合には、この現象が著しかった。したがって、正確に降水との対応関係ができないので年別にプロット間の比較を行なった。その結果を表2に示した。この表には各プロット間および流域間の比較に便利のように、地表流下量  $S$  (cm<sup>3</sup>) および中間流下量  $I$  (cm<sup>3</sup>) を、その期間内の降水量  $P$  (mm) で除した値、 $S/P$ 、 $I/P$  (cm<sup>3</sup>/mm) を指標として計算してある。これは1mm当りの降水量に対する地表流下量と中間流下量を示すもので、プロットにおける流下水の出やすさを示す指標となると考えた。また、各プロットでは採水器の埋設深が相違していることは表1に示したとおりであり、プロットによって地表流下と中間流下の流出断面積が異なるので、上記の指標をさらに断面深（採水器の幅は30cmで一定であるから、深さのみの関数）で除した値を採用した。地表流下の断面深を  $D_s$ 、中間流下の断面深を  $D_I$  とすると、地表流下指数は  $S/P \cdot D_s$ 、中間流下指数は  $I/P \cdot D_I$  (cm<sup>3</sup>/mm・cm) となり、これも表2の中に示した。これは単位断面深当りで降水量1mm当りの地表流下量と中間流下量を示す指標である。

表2によれば、プロット間の地表流下量と中間流下量には非常に大きな差があり、流下水が出やすいプロット、出にくいプロットのあることがわかった。また、同一プロットでも年によっては流下量が多かったり少なかったりするプロットのあることがわかった。これは、その年の雨の降り方（とくに強度）の相

表2. 地表流下量と中間流下量のプロット別比較

プロット名	地 表 流 下 量								中 間 流 下 量							
	昭 52		昭 53		昭 54		昭 55		昭 52		昭 53		昭 54		昭 55	
	S/P	S/P·D <sub>s</sub>	S/P	S/P·D <sub>s</sub>	S/P	S/P·D <sub>s</sub>	S/P	S/P·D <sub>s</sub>	I/P	I/P·D <sub>I</sub>	I/P	I/P·D <sub>I</sub>	I/P	I/P·D <sub>I</sub>	I/P	I/P·D <sub>I</sub>
1-U-1	3.90	0.325	6.06	0.505	7.08	0.590	0.74	0.062	0	0	0	0	0	0	0.07	0.000
1-U-2	13.64	0.974	18.01	1.286	3.97	0.284	0.32	0.023	0.65	0.012	2.24	0.040	0.03	0.001	0.01	0.000
1-U-3	8.41	0.647	0	0	0.34	0.026	0.01	0.001	0	0	0.55	0.009	0.08	0.001	0.14	0.002
1-U-4	15.14	1.514	74.87	7.487	52.23	5.223	47.54	4.754	0.86	0.012	0.13	0.002	0.19	0.003	0.28	0.004
1-M-1	16.83	1.403	40.19	3.349	4.87	0.406	9.16	0.763	2.82	0.081	6.91	0.197	2.73	0.078	1.43	0.041
1-M-2	0.16	0.016	0	0	0.08	0.008	0	0	0.55	0.008	3.27	0.047	1.08	0.015	1.11	0.016
1-M-3	0	0	0.17	0.019	0	0	0	0	0	0	0.19	0.003	0.31	0.006	0	0
1-M-4	0	0	5.69	0.711	4.95	0.619	5.08	0.635	0	0	0	0	0.00	0.000	0	0
1-L-1	22.24	2.224	18.63	1.863	41.10	4.110	0	0	0	0	1,978.27	28.261	0	0	961.88	13.741
1-L-2	22.83	2.075	55.06	5.005	21.31	1.937	5.45	0.495	24.99	1.315	11.37	0.598	10.12	0.533	5.01	0.264
1-L-3	6.45	0.645	27.89	2.789	14.36	1.436	7.27	0.727	0	0	0	0	0	0	0.21	0.003
1-L-4	1.92	0.175	1.99	0.187	0.59	0.054	3.36	0.305	0	0	0	0	0.01	0.000	0	0
2-U-1	2.06	0.090	8.45	0.367	12.64	0.550	17.70	0.770	0	0	0.86	0.015	1.93	0.034	1.59	0.028
2-U-2	19.26	1.133	8.96	0.527	3.17	0.186	7.98	0.469	0.56	0.013	3.11	0.072	1.70	0.040	3.38	0.079
2-U-3	15.28	0.728	29.29	1.395	22.67	1.080	20.51	0.977	0.07	0.002	9.83	0.252	0.47	0.012	4.90	0.126
2-U-4	11.38	0.711	6.32	0.395	0.27	0.017	2.65	0.166	0.74	0.031	23.85	0.994	5.86	0.244	4.02	0.168
2-M-1	19.15	0.958	15.33	0.767	4.57	0.229	7.19	0.360	1.41	0.028	15.88	0.318	1.65	0.033	3.38	0.068
2-M-2	11.74	0.618	22.57	1.188	10.52	0.554	23.05	1.213	0	0	0.14	0.005	3.12	0.101	0.62	0.020
2-M-3	8.92	0.525	34.29	2.017	3.09	0.182	1.03	0.061	85.17	3.407	39.74	1.590	135.60	5.424	274.10	10.964
2-M-4	90.14	5.302	959.40	56.435	1,977.05	116.297	1,112.53	65.443	7.98	0.285	55.69	1.989	11.96	0.427	241.08	8.610
2-L-1	16.16	1.077	44.40	2.960	14.32	0.955	10.21	0.681	0	0	3.21	0.049	0.59	0.009	0.58	0.009
2-L-2	1.12	0.070	10.28	0.643	3.78	0.236	11.44	0.715	0	0	0.25	0.005	7.77	0.159	2.22	0.045
2-L-3	82.78	4.869	59.90	3.524	40.78	2.399	109.95	6.468	63.67	2.122	46.11	1.537	1,028.16	34.272	2,714.91	90.497
2-L-4	8.85	0.443	45.36	2.268	9.95	0.498	3.55	0.178	21.68	0.723	18.65	0.622	43.16	1.439	6.17	0.206

違や、また、地表流下や中間流下には一定の水みちがあり、それに沿って流出するものとするならば、その水みちが土粒子あるいは土中生物の影響で、ある時には閉塞し、ある時には開通しているという理由によるものと考えられる。その他、各プロットの透水時間と流下量、または流下指標との関連も明らかにできなかった。

### 3-2. 位置別流下量の比較

1流域の上、中、下流部や、また、斜面の上、中、下部、溪流沿いなどの部位のちがいで地表流下量や中間流下量に相違がみられるかどうかを調べた結果を表3に示した。

表3には各部位にあるプロット全部の流下量を合計して算出したもので、それぞれの指標の値も示した。2号沢の斜面部位を示す(1)~(4)の符号は、図1中のカッコ書きにした符号で示した。

流域部位で比較すると、地表流下では1、2号沢とも、やや下流が多い程度であるが、中間流下では1、2号沢とも流域下流部の方が圧倒的に多量の流下があることを示している。地表流下量は場所的に非常に変動が大きい、いったん土層中に浸透した中間流下量は逐次下流へ流下するので、流域下部が多いのではないかと思われる。

1、2号沢とも斜面上部に多量の流下量が観測されたが、斜面部位別では地表流下量も中間流下量もはっきりした傾向はつかめなかった。しかし、流下量の多少は、採水器の埋設した場所に、水みちがあるかないかで決まるものと思われる。ここでは、プロットの数が少ないのであまり詳細に検討しなかった。

### 3-3. 流下量の経時的変動

毎降水ごとに、かなり多量の流下量があるプロットを選んで、自記量水器を設置し、流下量の自記記録を得た。1号沢では昭和53年から1-L-1（このプロットは昭和52~54年までは、地表流下量は多かったが、自記量水器を設置した後、次第に流下量が少なくなり、55年には全く流出しなくなった）の地表流下採水器と中間流下採水器にそれぞれFW型自記量水器（農土試型）を設置した。また、2号沢では2-M-4の地表流下採水器のみにFW型を設置した（転倒マス型自記量水器を設置したプロットでの資料は少なく、解析の対象としなかった）。

図3は2-M-4の地表流下量の自記記録と、2号沢および1号沢流域出口におけるハイドログラフとを対比させたものの一例である。流下量の棒グラフは1時間量であ

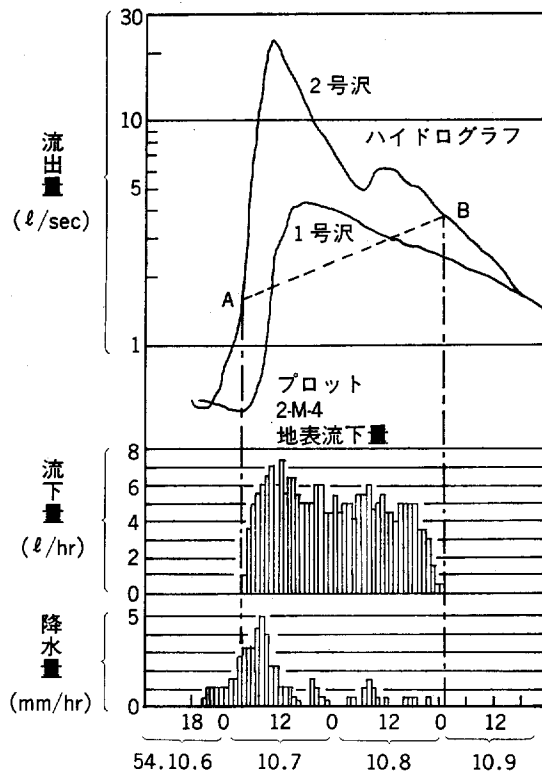


図3. 2号沢のプロット2-M-4における地表流下量の自記記録と流域出口のハイドログラフ

表3. プロットの位置による地表流下量と中間流下量の比較

流域名	プロットの位置	地 表 流 下 量					中 間 流 下 量				
		流下量合計 $\Sigma S$ ( $\text{cm}^3$ )	降水量合計 $\Sigma P$ (mm)	$\Sigma S/\Sigma P$	断面深合計 $\Sigma D_s$ (cm)	$\Sigma S/\Sigma P \Sigma D_s$	流下量合計 $\Sigma I$ ( $\text{cm}^3$ )	降水量合計 $\Sigma P$ (mm)	$\Sigma I/\Sigma P$	断面深合計 $\Sigma D_I$ (cm)	$\Sigma I/\Sigma P \Sigma D_I$
1号沢	上流 (U)	205,251	12,007.6	17.09	49	0.349	3,611	12,007.6	0.30	275	0.001
	中流 (M)	65,594	12,007.6	5.46	39	0.140	16,440	12,007.6	1.37	253	0.005
	下流 (L)	194,729	10,839.4	17.96	42	0.428	1,740,125	10,413.6	167.10	217	0.770
2号沢	上流 (U)	129,897	11,139.5	11.66	77	0.151	52,542	11,370.1	4.62	163	0.028
	中流 (M)	3,662,175	10,723.9	341.50	73	4.678	595,132	10,586.7	56.22	134	0.420
	下流 (L)	253,336	10,893.0	23.26	68	0.342	3,299,836	10,832.5	304.62	174	1.751
1号沢	斜面上部 (1)	136,531	9,005.7	15.16	34	0.446	1,722,940	8,475.7	203.28	211	0.963
	中部 (2)	100,473	8,421.6	11.93	35	0.341	35,200	8,473.7	4.15	145	0.029
	下部 (3)	45,088	8,421.6	5.35	32	0.167	1,270	8,473.7	0.15	191	0.001
	溪流沿い (4)	183,482	9,005.7	20.37	29	0.702	766	9,005.7	0.09	198	0.000
2号沢	斜面上部 (1)	3,614,799	7,676.9	470.87	53	8.884	293,441	7,808.6	37.58	82	0.458
	中部 (2)	163,147	8,521.8	19.14	53	0.361	386,901	8,293.3	46.65	129	0.362
	下部 (3)	201,903	8,078.2	24.99	54	0.463	3,257,365	8,207.9	396.86	123	3.227
	溪流沿い (4)	103,620	8,479.5	12.22	58	0.211	9,803	8,479.5	1.16	137	0.008

注) プロットの設定位置から、2号沢の斜面上部 (1) は (2-U-4)+(2-M-4)+(2-L-4)、中部 (2) は (2-U-3)+(2-M-3)+(2-L-1)、下部 (3) は (2-U-2)+(2-M-1)+(2-L-3)、溪流沿い (4) は (2-U-1)+(2-M-2)+(2-L-2) である。



る。この例では、2-M-4の地表流下はあったが、1-L-1の地表流下はなかった。

この報告では、プロットからの地表流出量や中間流出量を、それぞれ地表流下量、中間流下量といい、ヒドログラフのそれを地表流出量、中間流出量と呼んで区別して記述した。

プロット2-M-4の地表流下量は、2号沢の他のプロットの地表流下量に比較して最も多いことは表2に示したとおりである。したがって、図3に示すようにプロット2-M-4における地表流下の始まった時刻と終った時刻を流域出口におけるヒドログラフ上に延長した点をA、Bとすれば、直線 $\overline{AB}$ より上の部分のヒドログラフの成分は、少なくとも、その期間内に流域のどこかでは地表流下が発生していたことを示すから、この部分のヒドログラフは地表流出量を示すものと考えられる。このようにヒドログラフを分離してみると、直線 $\overline{AB}$ は図3に示すように必ずしも、右上がりの直線にはならないで、右下がりの直線になる場合もあった。これには、流域土壌の乾湿や降水強度が影響を及ぼすものと考えられる。このようにして、ヒドログラフから地表流出量を分離して、その流出量 $Q_s$  ( $m^3$ )とプロット1-L-1および2-M-4における地表流下量 $S$  ( $l$ )との関係を求めたものを図4に示した。1-L-1では、多量の降水があってもなかなか地表流下が発生しないので、全期間ではたった3例の資料が得られたにすぎない。図によると、バラツキが大きいとはいえ、両者の間には相当良好な相関がみとめられる。したがって、1流域内でこのようなプロットを数多く設置した場合に、その資料から流域出口のヒドログラフを地表流出量や、中間流出量、地下水流出量などの成分に分離する手法が見つけれられる可能性があると考

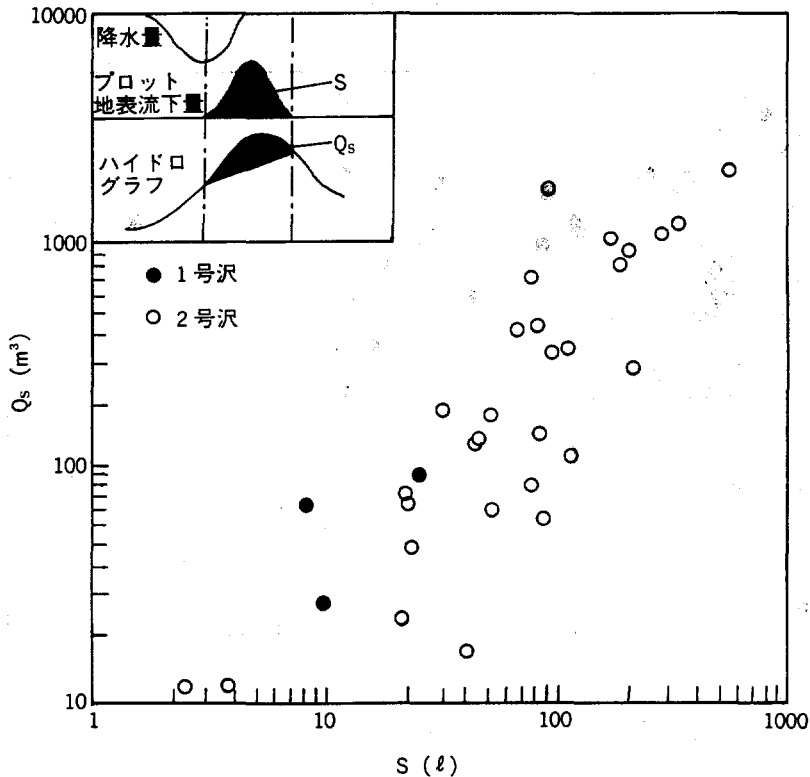


図4. プロットの地表流下量 ( $S$ ) とヒドログラフの地表流出量 ( $Q_s$ ) との関係

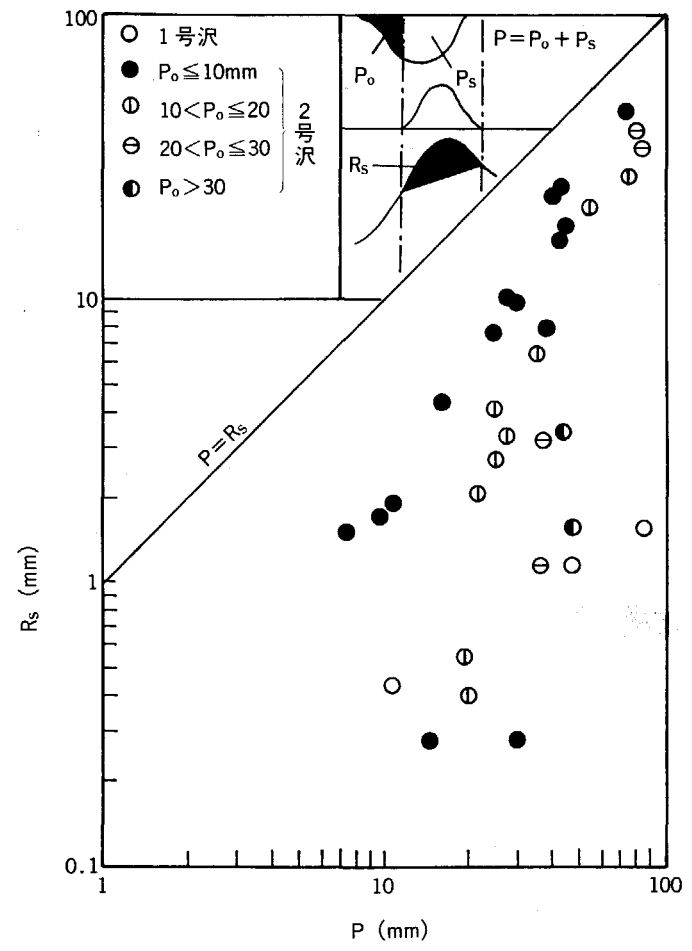


図 5. 地表流出量 ( $R_s$ ) と一連続降水量 ( $P$ ) との関係

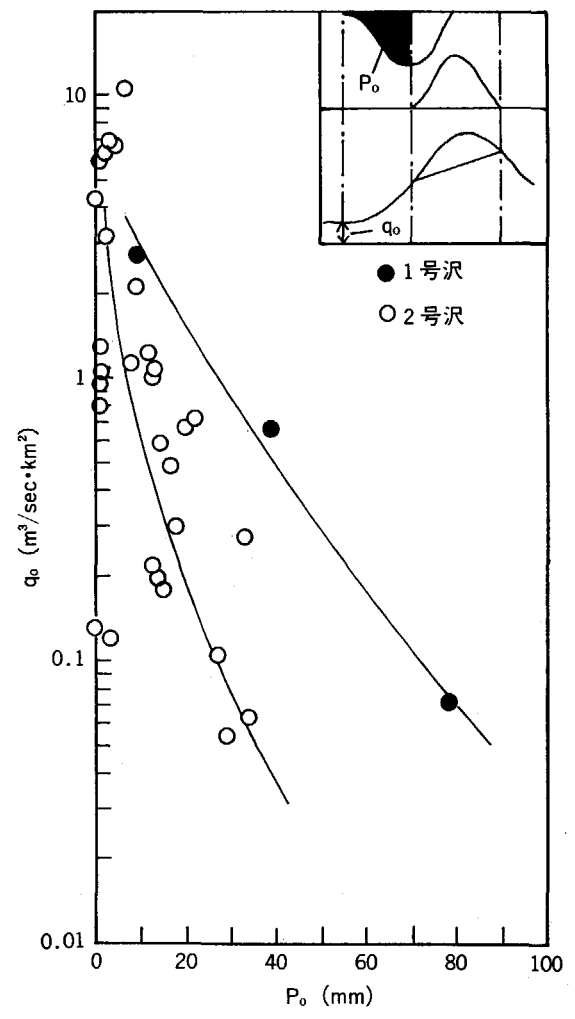


図 6. 初期比流量 ( $q_0$ ) と地表流下が始まるまでの降水量 ( $P_0$ ) との関係

られる。

さて、このようにして、プロットの地表流下現象を基準にして流域出口のハイドログラフから地表流出量を分離して、それと種々の降水因子や流域の乾湿との関連をみたものを以下に示す。

図5はプロットで地表流下が発生した場合の増水について、流域出口のハイドログラフから地表流出量  $R_S$  (mm) を分離し、それと一連続降水量  $P$  (mm) との関連を示したものである。また、この関連を初期降水量  $P_0$  (地表流下が始まるまでの降水量) 別に見たものをも示した。 $P_0$  の値が小さくて地表流下が発生するという事は、流域が湿潤していることを示すもので、この場合には  $45^\circ$  の直線（降っただけ流出する）に接近し、地表流出の流出率が大きいことを示す。つぎに図6には地表流下が発生するまでの降水量  $P_0$  と、その降水の始まったときの流域出口の流量を比流量で表した初期比流量  $q_0$  ( $\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}^2$ ) との関連を見たもので、 $q_0$  が大きいほど、つまり流域が湿潤しているほど、 $P_0$  が小さくて地表流出が始まることを示している。図7は地表流出量  $R_S$  と地表流下が生起している期間の降水量  $P_S$  (mm) との関係で、 $P_S$  が大きくなるほど流出率が大きくなることを示している。

図8は地表流下発生期間内の全流出量  $R$  に対する地表流出量  $R_S$  の比  $R_S/R$  と、地表流下発生期間内の降水量  $P_S$  との関係で、 $P_S$  が大きいほど、 $R_S/R$  は大きくなることを示している。 $P_S$  が  $60\sim 70$  mm 程度の大雨になると、全流出量に占める地表流出量の割合は  $90\%$  程度の大きくなることを示している。

図9-(1), (2) は図6の変形で、流域の乾湿を表す初期比流量  $q_0$  と一連続降水量  $P$  との関係を示す図で、 $q_0$  が大きいと流域は湿潤しているので、少量の降水でも地表流出が発生し、 $q_0$  が小さいと流域が乾燥しているので、多量の降水量がないと地表流出が発生しないことを示すもので、その境界線は、その流域の水文学的性質をよく示すものと考えられて興味あるものの一つである。例えば、図9の(1)と(2)を比較してみると、 $q_0$  が同じ  $0.1$  ( $\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}^2$ )、つまり、同じ乾湿状態に流域がある場合、1号沢では  $80$  mm ぐらいの降水量がないと地表流下が発生しないが、2号沢では、わずか  $30$  mm 前後で地表流下が発生してしまう。

大きな出水量の大部分は流出の早い成分である地表流出量が占めると考えるならば、2号沢は増水に対して著しく危険な流域であるといわなければならない。

以上のように、地表流下採水器および中間流下採水器で得られたデータは、その流域の水文学的性質を知る手がかりを与えてくれるものと思われる。

#### 4. ま と め

簡易な採水器を試作して、山地山腹の土壤断面に挿入し、地表流下量と中間流下量を測定した(図2)。

測定した流域は宝川森林理水試験地、初沢1号沢と2号沢流域である(図1)。1流域の12か所に土壤断面を掘り、上記の採水器をA層とB層の境界(地表流下採水器)および、B層とC層の境界、あるいはB層中(中間流下採水器)に挿入し、両者の間には止水板を設置して流下してきた水量を測定した。

任意の期間ごとに区切って、プロットの流下量を測定したところ、プロット間の流下量には大きな差があり、水が流出しやすいプロット、流出しにくい、全く流出しないプロットがあることがわかった(表2)。とくに地表流下量にこの差が大きかった。また、同一プロットでも流下量があったり、なかったりするプロットもあった。その理由として、流出には水みちがあり、その水みちが土粒子や土中小動物などによる閉塞や閉通があるからだと推測された。

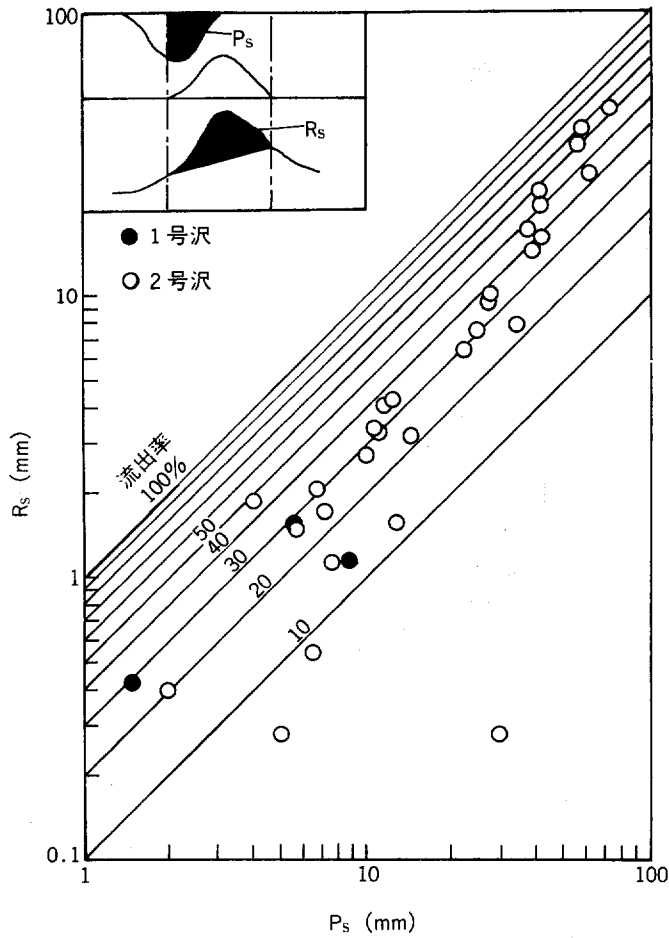


図 7. 地表流出量 ( $R_s$ ) と地表流下が発生している期間内の降水量 ( $P_s$ ) との関係

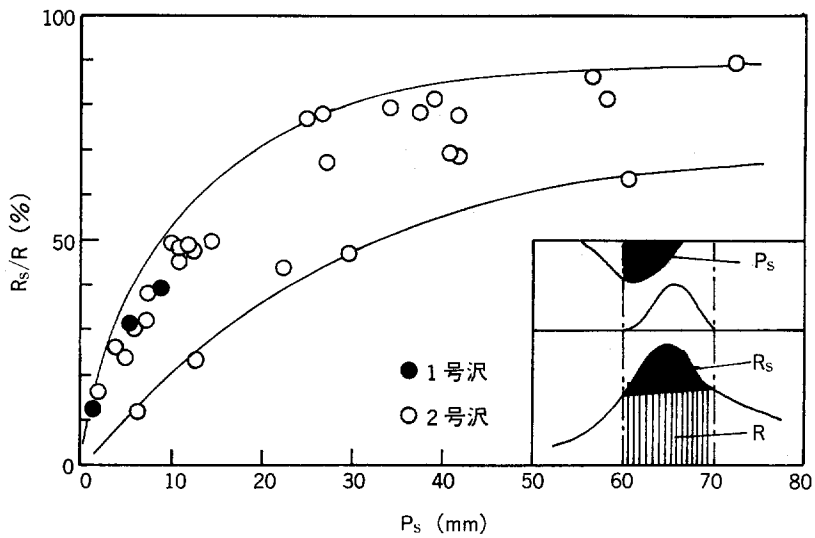


図 8. 地表流出率 ( $R_s/R$ ) と地表流下が発生している期間内の降水量 ( $P_s$ ) との関係

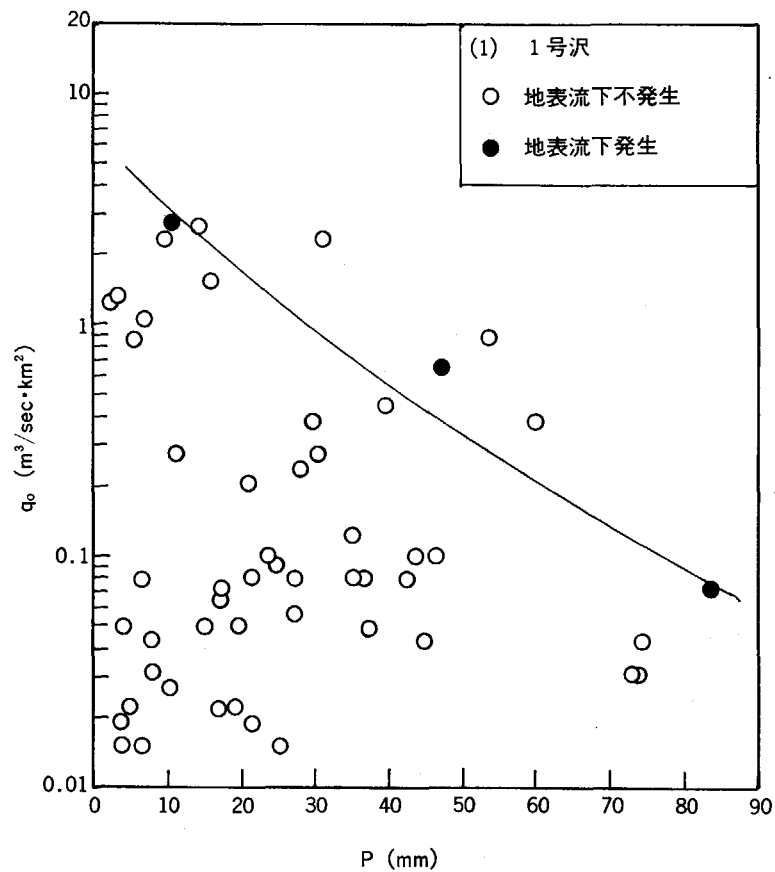


図9-(1).

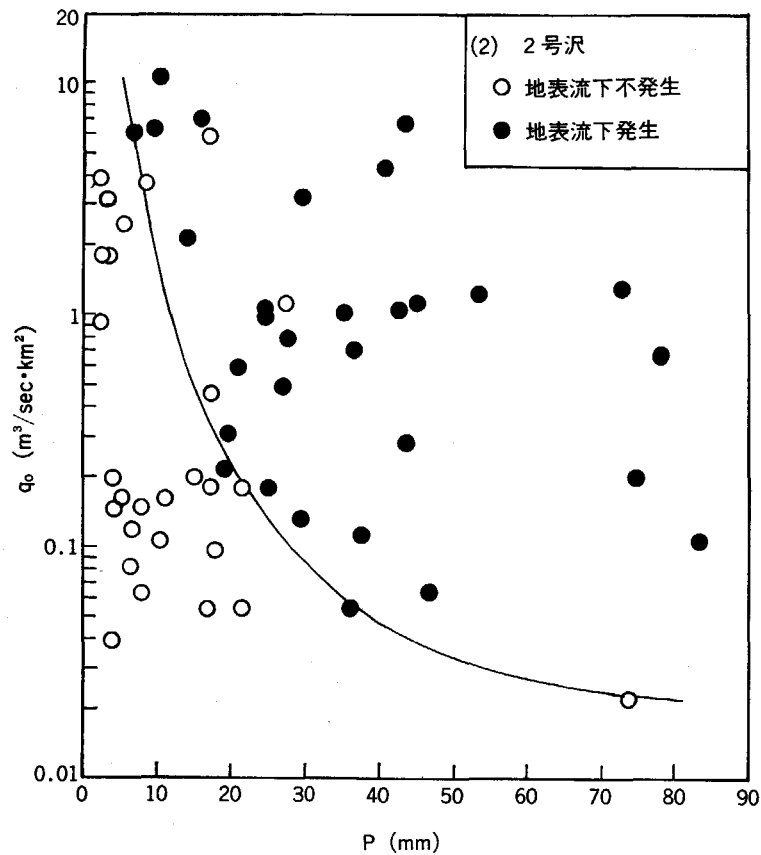


図9-(2).

初期比流量 ( $q_0$ ) と一連続降水量 ( $P$ ) との関係における地表流下発生、不発生の分類

流域の部位や、斜面の部位別に流下量の傾向を調べたところ（表 3）、2 流域とも流域の部位別では、下流部の方が上流部より中間流下量が圧倒的に多い結果が得られた。地表流下量ではそのような傾向はなかった。

斜面の部位別では、地表流下量も中間流下量も一定の傾向はなく、とくに溪流沿いの方が、斜面上部より流下量が多いのではないかと考えられていたが、そのようなことはなかった。

つぎに、流域ごとに流下量の多いプロットを選び、自記量水器を設置して、流下量の経時記録をとった。選ばれたプロットは 1 号沢では 1-L-1 の地表と中間、2 号沢では 2-M-4 の地表であった。しかし、1-L-1 の地表流下量は量水器を取り付けたあと、徐々に流下量が少なくなり、最後には、流下量は全くなってしまった。

これらの選ばれたプロットの地表流下量の記録と、それぞれの流域出口におけるハイドログラフとを対比して、プロットの地表流下の始まった時刻と終わった時刻をハイドログラフ上にプロットし、両方の点を結んだ場合、この直線より上方のハイドログラフの成分は、流域内のどこかのプロットでは地表流下が生起しているので、地表流出量とみなされ（図 3）、その分離された地表流出量と降水量、初期降水量、初期比流量などとの関係が求められた（図 4～8）。得られた関係から、このようにしてハイドログラフから分離された成分は、地表流出量とみなしても不都合な点がなかった。このような方法で、従来、種々提案されてきた、ハイドログラフの地表流出、中間流出、地下水流出などの成分への分離が可能ではないかと思われる。

地表流下の発生、不発生は一連続降水量と、流域土壤の乾湿を示すと考えられている初期比流量に関連すると思われるので、一つ一つの増水について、プロットの地表流下の発生、不発生で分類して両者の関連を求めた（図 9）。

このような図を、対象流域について作製すれば、地表流下が発生しやすい流域か、そうでない流域かが明瞭に判明すると考えられる。したがって、洪水等の災害をもたらす出水の危険流域であるかどうかの判定にも役立つものと考えられる。

#### 引用文献

- 1) 河野良治ら：表日本型ブナ天然林およびヒノキ人工林における実態解析（水収支調査）。農林漁業における環境保全的技術に関する総合試験成績書（第 1 集），86～87，（1978）
- 2) 菊谷昭雄ら：簡易弾性波探査器による流域保水容量の推定法。林試研報，270，77～88，（1975）