

急傾斜地における表土流亡危険度判定技術の検討について

誌名	愛媛県林業試験場研究報告
ISSN	03892875
著者名	松本,博行
発行元	愛媛県林業試験場
巻/号	17号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-22
発行年月	1996年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



急傾斜地における表土流亡危険度 判定技術の検討について

松 本 博 行

要 旨

ヒノキ林内の表土流亡量を土砂受け箱により計測した。この結果に基づき、降雨と流亡量の関係を考察し、地表面の状況から流亡量を推定する方法を検討した。

I はじめに

急傾斜地のヒノキ林、特に過密の進んだ林分では、地表の被覆物が失われ表土が流亡している箇所がよく見受けられる。この表土の流亡により、林地生産力の低下のみならず、水土保持機能など森林のもつ公益的機能が損なわれることが懸念される。

ヒノキ林の表層土壌の流亡の実態を把握するために、林内に土砂受け箱を設置し、箱に流入する土砂等の量を計測するとともに、土砂受け箱直上部の地表面の状況を観測した。

この調査結果に基づき、地表面の状況から流亡量を推定する方法を検討した。

II 研究期間

平成4年度～平成6年度

III 試験方法

1 試験場所

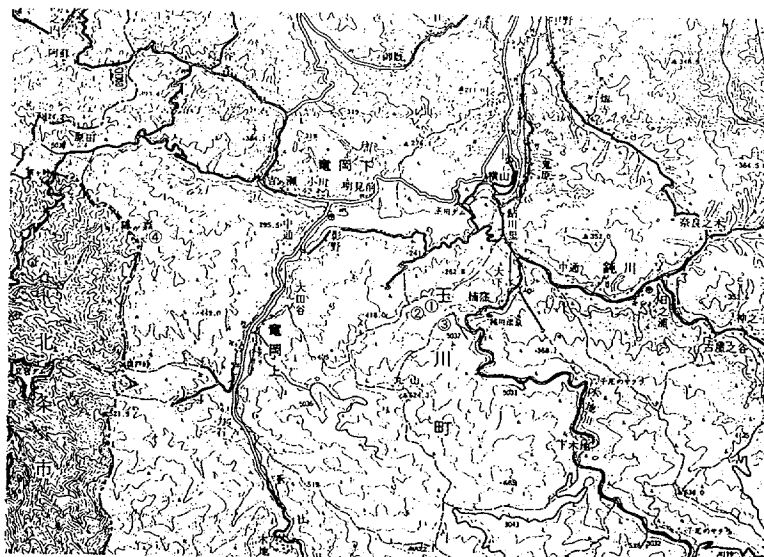


図1 固定試験地の位置

試験地は、花崗岩地域内の越智郡玉川町に4か所設けた。(図1)

No.1からNo.3までの3試験地は、越智郡玉川町鈍川地区の急傾斜地にあり、そのうちNo.1、No.2試験地は、間伐手遅れ林分、No.3試験地は、比較的手入れの良い林分として選んだ。

No.4試験地は、流亡量の傾斜による違いを見るため、越智郡玉川町竜岡地区の山頂緩斜面に設けた。比較的手入れのよい林分である。

2 流亡量の測定

試験区は、1辺10mの方形区で斜面下端寄りに等高線に沿って10個の土砂受け箱をほぼ等間隔に設置した(図2)、土砂受け箱は、受け口が幅25cm×高さ15cm、奥行20cmで、受け口側にはグリキ板を施し、出口側は土砂の流出防止に30目のサランネットで覆ったもので、地面に木杭で固定した(図3)。

この土砂受け箱に流入する土砂等を、1992年の10月から1994年の10月まで、3ヶ月おきに採取し、細砂(2mm未満)、石礫(2mm以上)、有機物に分類し、70℃48時間乾燥重量を計測した。

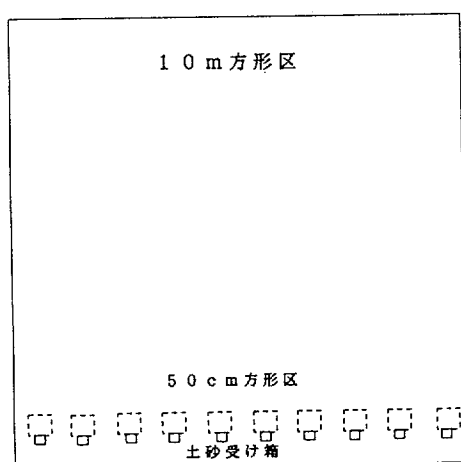


図2 固定試験地設置状況

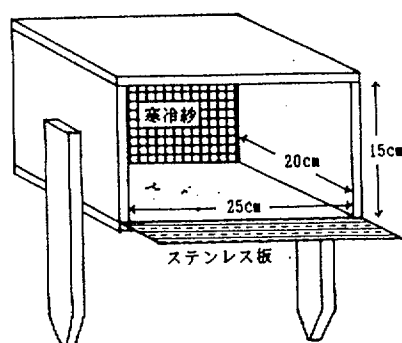


図3 土砂受け箱の構造



写真1 No.3試験地全景

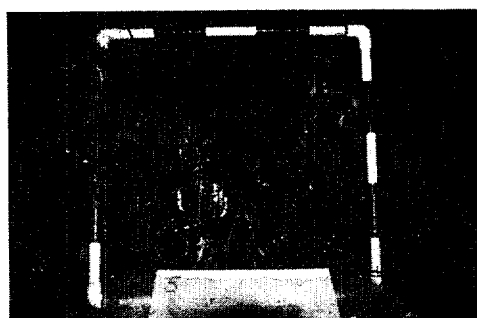


写真2 土砂受け箱直上部50cm
方形区内の地表面の状況

3 流亡指標の観測

土砂受け箱による土砂等採取の際に、土砂受け箱直上部斜面50cm方形区内の地表面の状況を、次の項目について観測した。

(1) 土柱

土柱とは、ヒノキの種子、石礫等のために雨滴による表土の浸食が妨げられ、表土が柱状に残ったものをいい、落枝等のために連続して表土が残った塀状のものも含めた。ただし、傾斜面のために上方側の高さが無いものは、土柱と見なさなかった。土柱は、その最大高と体積（上部断面積×平均高×個数を合計）を目視により測定した。

(2) リル

リルとは雨滴や流下水によって小さな溝が生じた状態をいう、本調査では、リルはほとんど見られず、微少な表層滑りによる亀裂から発達した段差や下方側だけが発達した土柱の連続体から成る段差等が多く見られた。このため、本調査では、段差の最大高と段差面積（延長×平均段差高×本数の合計）を目視により測定した。



写真3 土柱



写真4 段差

(3) 鱗片葉

鱗片葉残存の有無について調査した。

(4) 林床植生地表被覆度

観測者の視線より低いもの、高さ50cm程度以下の植生の50cm方形区に対する投影面積の割合を目視により測定した。

(5) 堆積有機物地表被覆度

L層、F・H層に区分し、地表面の占有面積割合を目視により測定した。

(6) コケ被覆度

コケの地表面の占有面積割合を目視により測定した。

(7) 石礫裸出度

地表面に裸出する石礫（径2mm以上）の占有面積割合を目視により測定した。

(8) 根系裸出度

地表面に裸出する根系を、太さ2mm以上の根と太さ2mm未満の細根とに区分し、占有面積割合を目視により測定した。

4 地形調査

試験地（10m方形区）の地形は、観測期間終了後、コンパス測量を利用した小林の方法により地形測量し、斜面方位、傾斜、微地形指数を求めた。

現地調査及び5千分の1森林基本図より、斜面位置、尾根からの距離を求めた。

横断面型は、主に現地をみて判断した。

また、土砂受け箱直上部50cm方形区の傾斜を、クリノメーターにより計測した。

5 林況調査

林令は、今治地方局林業課の森林簿及び森林施業図により調べた。

毎木調査により、胸高直径、樹高、枝下高、立木密度を調査した。なお、枝下高は生き枝の有るところまでの高さとし、枯れ枝は無視した。毎木調査は、No.4試験地を除き、観測期間終了後実施した。No.4試験地は、地表面を攪乱しないよう注意して、観測期間中に毎木調査を実施した。

開空度は、全天空写真からコンピュータ処理により求めた。

6 林床植生調査

試験地（10m方形区）の下層植生は、高さ3m以上の亜高木階、低木階を高さ2～3mと高さ1～2m、草本階を高さ0.3～1mと高さ0.3m未満に区分し、階層別に植生の種名および占有率を調査した。さらに、種別の占有率を合計し、階層別及び全体の植生被覆率を求めた。この調査も観測期間終了後行った。

7 植生量及び林床堆積物量の測定

観測期間終了後、土砂受け箱直上部50cm方形区内の植生及び林床堆積物を採取し、植生は木本と草本に、林床堆積物は、2mm未満、2～4.75mm、4.75mm以上に区分し、乾燥重量を測定した。

8 土壌調査

試験地（10m方形区）の土壌については、土砂受け箱上方でなるべく近く地表面の攪乱を受けてなく左右中央はほぼ均等になるような3点の表層から、それぞれ400ml土壌採取円筒で1個、100ml土壌採取円筒で2個、すなわち、1試験地当たり400ml土壌採取円筒3個と100ml土壌採取円筒6個の土壌試料を採取した。400ml土壌採取円筒にあっては、加圧法による孔隙解析試験から孔隙組成を求め、定水位法による透水試験から透水開始から5分後及び15分後の透水量を求めた。さらに、土壌試料は、風乾後、細土（2mm未満）、礫（2mm以上）、根に分類し、土壌の容積組成を求めた。また、100ml土壌採取円筒にあっては、定水位法による透水試験のみを行い、5分後及び15分後の透水量を求めた。

中央の土壌試料採取点付近において、幅20cm程度試掘し、簡易土壌面積調査を行い、土壌型や層位の厚さ等を調べた。また、検土杖を用い試験地内の無作為な10点から土壌深度調査を行い、土壌の色、硬度を簡易土壌断面調査の結果と対比することにより、試験地内の平均的な層位の厚さを判断するための参考とした。

9 雨量調査

愛媛気象月報より越智郡玉川町三反地の玉川町役場の観測値を参考とした。

IV 結果と考察

1 地形

この地域の地形的特徴として、谷の開析が非常に進み、大きな尾根谷の間の斜面に小さな尾根谷が襞状に入り、小さな斜面を形成している。斜面位置、尾根からの距離を求める上で、対象とする斜面を大きな斜面とするか小さな斜面とするについて苦慮した。結局、表面流下水の流れに着目し、分水嶺となるだろうと思われる尾根から直下の谷までの斜面を対象とした。これは、ほとんどの場合、斜面長の短い小さな斜面を対象とすることになるため、試験地の位置は谷近くに有りながら、尾根からの距離は非常に短いものになった。

No.1 試験地からNo.3 試験地までの急傾斜地の3試験地について見てみると、斜面方位でNo.1、No.2 試験地が南東向き斜面で、No.3 試験地が北向き斜面であること、また、No.1 試験地は、この地域にしては比較的長い斜面の下部に位置し、No.2、No.3 試験地は、短い斜面の中部に位置していること以外では、この3試験地は、ほぼ似通った地形といえる。傾斜についても、No.1 試験地が他に比べ若干急であるようだが、流亡に直接関係すると思われる土砂受け箱直上部では、3試験地ともほぼ似通った傾斜であるを得ている（表1）。

No.4 試験地は、明らかに緩傾斜地である。山頂緩斜面であるため、斜面方位についてはあまり関係ないと思われる。

また、微地形指数はその計算方法から、縦断方向の斜面型（上昇斜面・下降斜面）と横断方向の斜面型（凸型斜面・凹型斜面）とを区別することができず、縦断方向の斜面型が影響して微地形指数（一般に数値が負の場合凸型、正の場合凹型とされている。）と横断面型が一致しない。このため、斜面型については考察を控えることとした。

表1 試験地の地形

試験地名	斜面方位	傾斜 (°)	斜面位置	尾根からの 距離 (m)	横断面型	微地形指数
No.1	S 45° E	43(41.3)	下部	50	平衡	0.43
No.2	S 35° E	37(41.9)	中部	20	凸形	-3.39
No.3	N 14° E	39(42.3)	中部	20	平衡	-3.30
No.4	N 80° W	14(12.1)	上部	15	平衡	1.53

※ 傾斜 (°) 内は、土砂受け箱直上部50cm方形区の平均傾斜

2 林況

毎木調査の結果は表2のとおりで、手入れの良い林分No.3 試験地では若干立木密度が低く樹高成長がよいが、その他は、No.1、No.2、No.3 試験地でほとんど同じといえる。また、No.4 試験地では、標高も高く尾根部緩斜面に位置するためか、樹高成長が若干悪く、他の試験地に比べ生き枝がかなり下まで有った。さらに、立木密度も低く、開空度はもっとも大きかった。

表2 試験地の林況

試験地名	林令 (年生)	平均樹高 (m)	平均直径 (cm)	枝下高 (m)	立木密度 (本/ha)	開空度 (%)
No.1	31	14.91	19.9	10.30	1800	14
No.2	34	15.51	18.5	10.55	1900	12
No.3	31	16.76	20.2	10.78	1700	13
No.4	34	14.48	21.3	7.23	1600	17

3 植生と林床堆積物

試験地(10m方形区)の下層植生は、No.3試験地(手入れの良い林分)で植生被覆率が約30%と他の試験地(約4~9%)と比べて最も高く、枝打ち等の効果があるものと思われる。同じく手入れの良いNo.4試験地では、開空度が大きいのに植生被覆率が低い。これは、標高が高く寒冷な山頂部であることや地質が火山灰堆積物であること等の条件によるものと思われる(表3)

表3 試験地の下層植生

試験地名	植生被覆率 (%)					植生ランク
	草本階		低木階		亜高木階 3m-	
	0-0.3m	0.3-1m	1-2m	2-3m		
No.1	5.5	1.0	2.0	2.0	9.4	2
No.2	2.2	1.2	0.5		3.9	1
No.3	27.1	25.1	1.5		32.7	3
No.4	2.5	3.5	3.0		6.5	2

また、土砂受け箱直上部の50cm方形区から採取した植生量でもNo.3試験地が他を引き離して多く、植生被覆率と同様の結果が得られている(表4、植生調査表)。

表4 植生量と林床堆積物量

試験地名	植生量(g/m ²)			堆積有機物量(g/m ²)			
	木本葉	木本枝	草本	2mm以下	2~4mm	4mm以上	計
No.1	0.28	0.04	0.00	132.04	28.76	482.00	642.80
No.2	2.36	0.00	0.16	126.36	52.44	510.32	689.12
No.3	12.32	2.56	4.96	139.00	52.76	532.24	724.00
No.4	2.00	0.00	0.16	6158.72	711.20	935.76	7805.68

林床堆積物量は、No.4試験地で約8kg/m²と他の試験地を引き離して多く、特に、2mm以下の腐植の割合が多い。これは、緩傾斜であるために落葉落枝が流亡せず残りその場に堆積して腐食が進んだことが伺われる。急傾斜地の3試験地では、No.4試験地に比べるとかなり少ないが、3試験地間ではあまり差がない。

4 土壌

土壌型は、山頂または尾根に近いNo.2試験地及び谷部に近いNo.4試験地でB_D(d)で谷部に近いNo.1試験地及びNo.3試験地でB_Dであった。

A層+B層の厚さは、尾根に近いほど薄く、谷に近いほど厚い傾向が見られた。なお、A層とB層の区別は、微妙な色の違いによって分けたため、A層またはB層のみの厚さにはあまり意味がない(表5)。

表5 試験地の土壌

試験地名	土壌型	A層厚 (cm)	B層厚 (cm)	A+B層厚 (cm)	透水性 (cc/min)	
					5分後	15分後
No.1	BD	45	0	45	324	232
No.2	BD(d)	5	35	40	206	172
No.3	BD	40	18	58	275	216
No.4	BD(d)	20	15	35	127	122

※ 透水性の値は、400ml土壌採取円筒で透水試験したもの又は100ml土壌採取円筒で試験したものを400ml土壌採取円筒による試験値に換算した値の平均値。

表5の土壌の透水性は、400ml土壌採取円筒の試験値1データと100ml土壌採取円筒の試験値を400ml土壌採取円筒による試験値に換算したものの2データをあわせた3データの平均値である。同じ試験地の試料の中でのバラツキもかなり大きかったが、No.1試験地～No.3試験地の土壌は、概して非常に透水性が良く、15分後の透水量が5分後の透水量に比べ極端に減っていることから、かなり粗しょうな土壌といえる。No.4試験地は、火山灰起源の土壌を反映してか、他の3試験地の土壌に比べやや透水性が悪い。

孔隙解析の結果では、どの試験地の土壌も孔隙量が多く、特にPF1.7以下の粗大孔隙の量が多かった(表6、図4)。

表6 土壌の三相組成と孔隙組成

調査区名	容積量	三 相 組 成			孔 隙 組 成				採取時 含水量
		固相	気相	液相	全孔隙	細孔隙	粗孔隙	粗大孔隙	
No.1-2	68.6	38.6	25.7	35.8	61.4	17.8	5.7	37.9	20.8
No.1-6	61.6	33.9	39.8	26.3	66.1	16.6	2.6	46.9	15.4
No.1-8	44.5	32.5	19.1	48.3	67.5	20.7	2.0	44.7	13.9
No.2-2	57.9	30.6	41.2	28.2	69.4	16.9	5.1	47.4	17.3
No.2-5	63.7	31.7	34.4	34.0	68.3	17.9	6.6	43.8	21.0
No.2-9	63.4	34.6	33.2	32.2	65.4	16.1	5.9	43.4	17.0
No.3-2	47.6	26.5	48.5	25.0	73.5	15.4	3.4	54.8	12.4
No.3-5	57.6	29.3	37.4	33.3	70.7	20.5	5.1	45.2	19.6
No.3-9	50.5	26.1	38.3	35.5	73.9	22.7	4.6	46.5	23.7
No.4-2	59.0	25.9	32.2	41.9	74.1	26.5	4.8	42.9	26.6
No.4-5	54.6	24.8	29.0	46.2	75.2	26.8	4.4	44.0	24.6
No.4-8	51.9	23.5	38.6	37.9	76.5	22.6	4.6	49.3	20.8

表 7 総流亡量

期間：92年10月～94年9月						
調査区名	雨量	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
No.1試験地	3058	11183.36	14025.60	5525.08	30734.04	25208.96
No.2試験地	3058	2851.24	6137.58	3793.09	12781.91	8988.82
No.3試験地	2980	3210.36	4968.52	4405.96	12584.84	8178.88
No.4試験地	2980	26.32	734.00	1910.20	2670.52	760.32

注) No. 1 試験地は、93年10月以降動物による攪乱を受ける。

No. 1 試験地

期間	雨量	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
92.10-12	250	604.20	527.20	627.08	1758.48	1131.40
93.1-3	206	278.92	264.96	390.28	934.16	543.88
93.4-6	705	448.88	809.76	527.16	1785.80	1258.64
93.7-9	967	1385.88	2390.56	481.64	4258.08	3776.44
93.10-12	306	5881.32	6330.40	1708.28	13920.00	12211.72
94.1-3	175	640.16	1022.44	715.28	2377.88	1662.60
94.4-6	238	623.00	840.60	535.60	1999.20	1463.60
94.7-9	211	1321.00	1839.68	539.76	3700.44	3160.68
合計	3058	11183.36	14025.6	5525.08	30734.04	25208.96

No. 2 試験地

期間	雨量	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
92.10-12	250	143.60	319.94	523.77	987.31	463.54
93.1-3	206	123.80	320.04	404.28	848.12	443.84
93.4-6	705	426.68	1181.04	506.32	2114.04	1607.72
93.7-9	967	1324.56	2538.56	653.36	4516.48	3863.12
93.10-12	306	354.84	558.60	513.76	1427.20	913.44
94.1-3	175	100.64	290.80	594.92	986.36	391.44
94.4-6	238	167.00	464.28	327.92	959.20	631.28
94.7-9	211	210.12	464.32	268.76	943.20	674.44
合計	3058	2851.24	6137.583	3793.091	12781.91	8988.823

No. 3 試験地

期間	雨量	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
92.10-12	172	171.44	290.12	594.88	1056.44	461.56
93.1-3	205	293.44	308.20	500.00	1101.64	601.64
93.4-6	837	711.44	1483.80	555.68	2750.92	2195.24
93.7-9	836	773.48	1460.60	402.96	2637.04	2234.08
93.10-12	306	540.28	389.08	649.24	1578.60	929.36
94.1-3	175	87.64	242.04	708.20	1037.88	329.68
94.4-6	238	223.68	337.96	422.16	983.80	561.64
94.7-9	211	408.96	456.72	572.84	1438.52	865.68
合計	2980	3210.36	4968.52	4405.96	12584.84	8178.88

No. 4 試験地

期間	雨量	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
92.10-12	172	0.48	12.84	350.04	363.36	13.32
93.1-3	205	0.64	6.52	122.40	129.56	7.16
93.4-6	679	6.80	37.24	345.52	389.56	44.04
93.7-9	994	15.08	402.80	404.08	821.96	417.88
93.10-12	306	0.60	28.20	428.00	456.80	28.80
94.1-3	175	0.52	124.32	74.80	199.64	124.84
94.4-6	238	0.16	88.68	62.68	151.52	88.84
94.7-9	211	2.04	33.40	122.68	158.12	35.44
合計	2980	26.32	734	1910.2	2670.52	760.32

表 7 総流亡量

期間：92年10月～94年9月						
調査区名	雨量	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
No.1試験地	3058	11183.36	14025.60	5525.08	30734.04	25208.96
No.2試験地	3058	2851.24	6137.58	3793.09	12781.91	8988.82
No.3試験地	2980	3210.36	4968.52	4405.96	12584.84	8178.88
No.4試験地	2980	26.32	734.00	1910.20	2670.52	760.32

注) No. 1 試験地は、93年10月以降動物による攪乱を受ける。

No. 1 試験地

期間	雨量	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
92.10-12	250	604.20	527.20	627.08	1758.48	1131.40
93.1-3	206	278.92	264.96	390.28	934.16	543.88
93.4-6	705	448.88	809.76	527.16	1785.80	1258.64
93.7-9	967	1385.88	2390.56	481.64	4258.08	3776.44
93.10-12	306	5881.32	6330.40	1708.28	13920.00	12211.72
94.1-3	175	640.16	1022.44	715.28	2377.88	1662.60
94.4-6	238	623.00	840.60	535.60	1999.20	1463.60
94.7-9	211	1321.00	1839.68	539.76	3700.44	3160.68
合計	3058	11183.36	14025.6	5525.08	30734.04	25208.96

No. 2 試験地

期間	雨量	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
92.10-12	250	143.60	319.94	523.77	987.31	463.54
93.1-3	206	123.80	320.04	404.28	848.12	443.84
93.4-6	705	426.68	1181.04	506.32	2114.04	1607.72
93.7-9	967	1324.56	2538.56	653.36	4516.48	3863.12
93.10-12	306	354.84	558.60	513.76	1427.20	913.44
94.1-3	175	100.64	290.80	594.92	986.36	391.44
94.4-6	238	167.00	464.28	327.92	959.20	631.28
94.7-9	211	210.12	464.32	268.76	943.20	674.44
合計	3058	2851.24	6137.583	3793.091	12781.91	8988.823

No. 3 試験地

期間	雨量	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
92.10-12	172	171.44	290.12	594.88	1056.44	461.56
93.1-3	205	293.44	308.20	500.00	1101.64	601.64
93.4-6	837	711.44	1483.80	555.68	2750.92	2195.24
93.7-9	836	773.48	1460.60	402.96	2637.04	2234.08
93.10-12	306	540.28	389.08	649.24	1578.60	929.36
94.1-3	175	87.64	242.04	708.20	1037.88	329.68
94.4-6	238	223.68	337.96	422.16	983.80	561.64
94.7-9	211	408.96	456.72	572.84	1438.52	865.68
合計	2980	3210.36	4968.52	4405.96	12584.84	8178.88

No. 4 試験地

期間	雨量	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
92.10-12	172	0.48	12.84	350.04	363.36	13.32
93.1-3	205	0.64	6.52	122.40	129.56	7.16
93.4-6	679	6.80	37.24	345.52	389.56	44.04
93.7-9	994	15.08	402.80	404.08	821.96	417.88
93.10-12	306	0.60	28.20	428.00	456.80	28.80
94.1-3	175	0.52	124.32	74.80	199.64	124.84
94.4-6	238	0.16	88.68	62.68	151.52	88.84
94.7-9	211	2.04	33.40	122.68	158.12	35.44
合計	2980	26.32	734	1910.2	2670.52	760.32

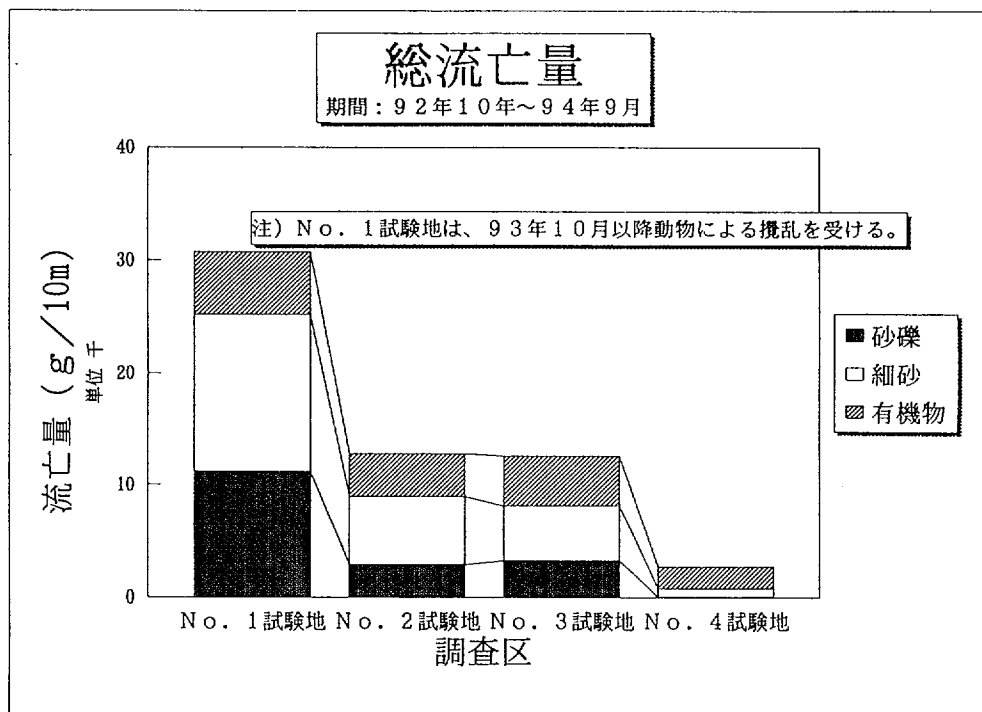


図 6

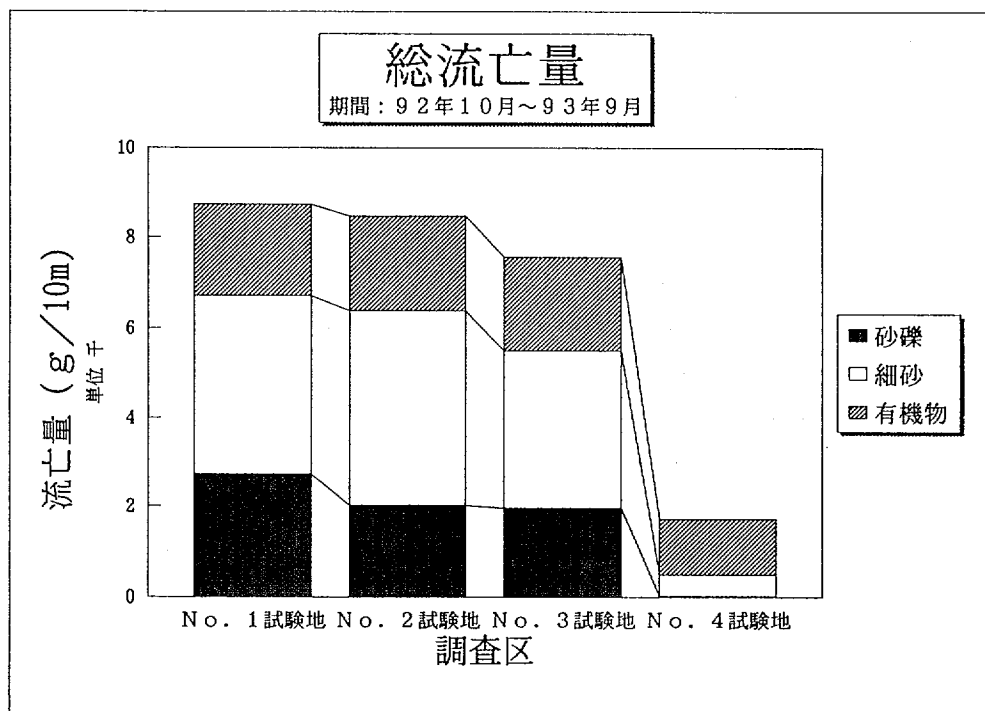


図 7

6 雨量

調査した8期間の雨量、採取期間及び日数等の概要を表8に、雨量と流亡量の変化を試験地別に図8～11に示す。この地域の過去10年間（1985～1994年）の総雨量は、表9のとおりで、平均が1508mm、最大が2195mm、最小が827mmである。調査期間前半の1年間（92年10月～93年9月）の雨量は約2100mmであるから、平年に比べて非常に多く。後半の1年間（93年10月～94年9月）の総雨量は約900mmと非常に少なかった。

表8 雨量データ

調査区	期間	開始年月日	採取年月日	日数	雨量	30日換算雨量
No.1	92.10-12	92/10/06	93/01/08	94	250	80
No.1	93.01-03	93/01/08	93/04/05	87	206	71
No.1	93.04-06	93/04/05	93/07/16	102	705	207
No.1	93.07-09	93/07/16	93/10/06	82	967	354
No.1	93.10-12	93/10/06	94/01/07	93	306	99
No.1	94.01-03	94/01/07	94/04/14	97	175	54
No.1	94.04-06	94/04/14	94/07/14	91	238	78
No.1	94.07-09	94/07/14	94/10/06	84	211	75
No.2	92.10-12	92/10/06	93/01/08	94	250	80
No.2	93.01-03	93/01/08	93/04/05	87	206	71
No.2	93.04-06	93/04/05	93/07/16	102	705	207
No.2	93.07-09	93/07/16	93/10/06	82	967	354
No.2	93.10-12	93/10/06	94/01/07	93	306	99
No.2	94.01-03	94/01/07	94/04/14	97	175	54
No.2	94.04-06	94/04/14	94/07/14	91	238	78
No.2	94.07-09	94/07/12	94/10/06	86	211	74
No.3	92.10-12	92/10/09	93/01/08	91	172	57
No.3	93.01-03	93/01/08	93/04/02	84	205	73
No.3	93.04-06	93/04/02	93/07/19	108	837	233
No.3	93.07-09	93/07/19	93/10/05	78	836	322
No.3	93.10-12	93/10/05	94/01/06	93	306	99
No.3	94.01-03	94/01/06	94/04/13	97	175	54
No.3	94.04-06	94/04/13	94/07/11	89	238	80
No.3	94.07-09	94/07/11	94/10/07	88	211	72
No.4	92.10-12	92/10/09	93/01/09	92	172	56
No.4	93.01-03	93/01/09	93/04/02	83	205	74
No.4	93.04-06	93/04/02	93/07/08	97	679	210
No.4	93.07-09	93/07/08	93/10/05	89	994	335
No.4	93.10-12	93/10/05	94/01/06	93	306	99
No.4	94.01-03	94/01/06	94/04/13	97	175	54
No.4	94.04-06	94/04/13	94/07/11	89	238	80
No.4	94.07-09	94/07/11	94/10/07	88	211	72

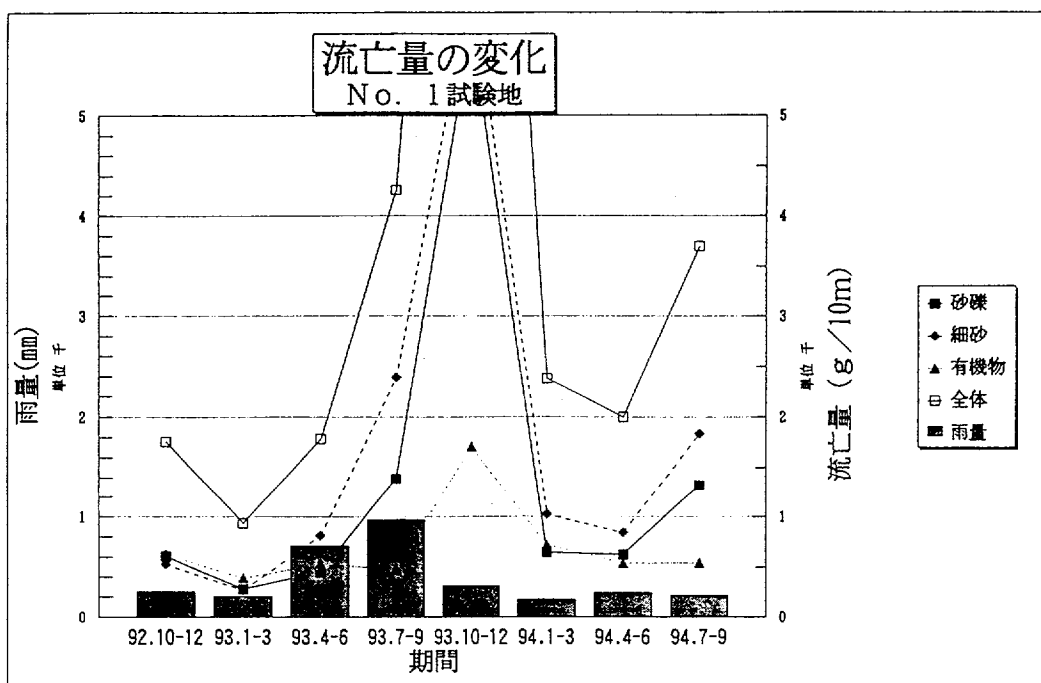


図 8

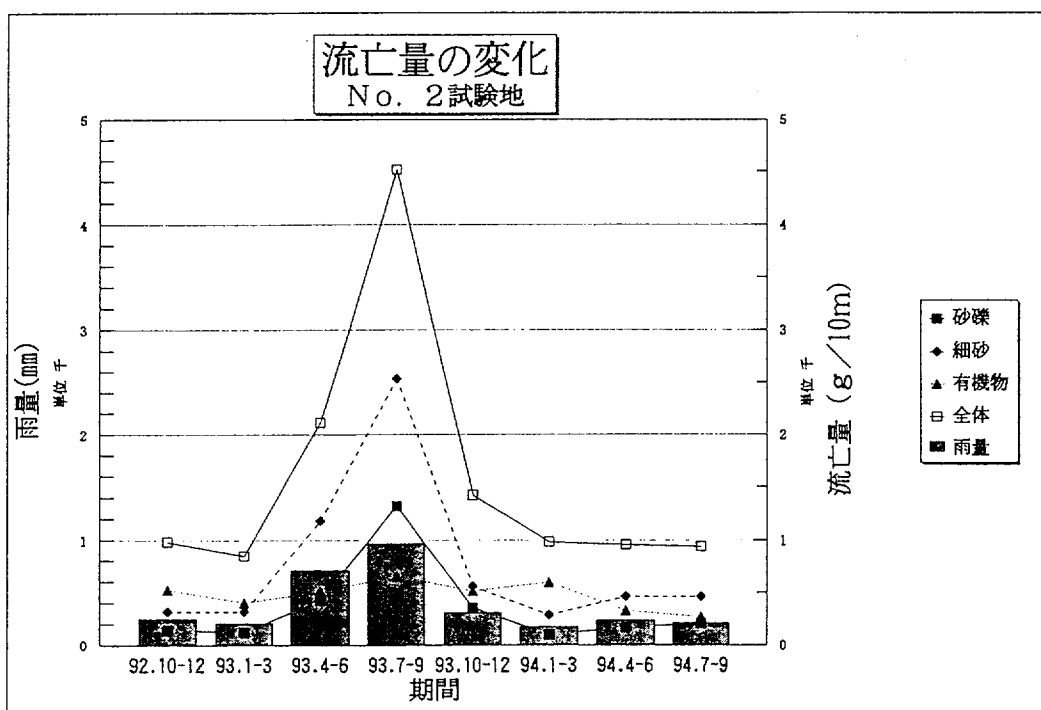


図 9

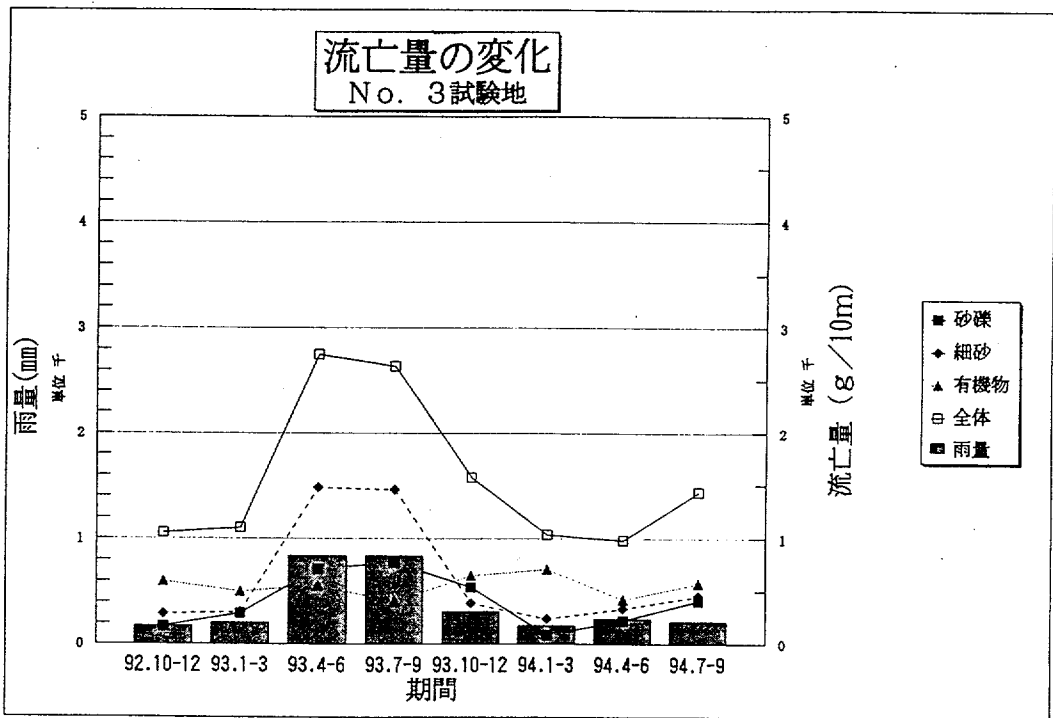


図10

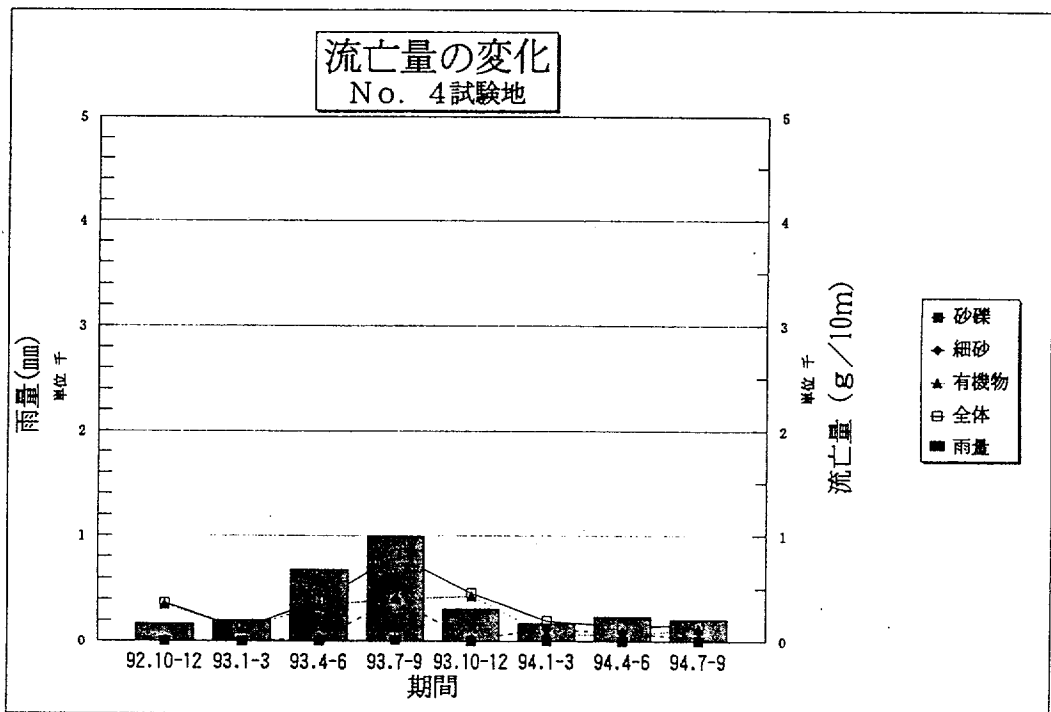


図11

7 雨量と流亡量の関係

図8～11をみると、地表面に動物による攪乱を受けたNo. 1試験地以外では、雨量により流亡量が増減していたことがわかる。この関係をさらに詳しくみるために、雨量と流亡量との関係を試験地別に対数回帰分析により求めた。このとき、No. 1試験地の動物による攪乱を受ける以前の4期間のデータとNo. 2試験地の8期間のデータを、急傾斜地で間伐手遅れの林分として1グループとした。また、試験地、期間によって日数に最小78日から最大108日までとばらつきが大きいので、雨量及び流亡量のデータは30日当たりに換算した値を使用した。

表9 過去10年間の雨量

年	玉川	丹原
1985	1497	1232
1986	1198	1030
1987	1461	1450
1988	1464	1230
1989	1820	1620
1990	1826	1864
1991	1442	1354
1992	1346	1299
1993	2195	2163
1994	827	824
平均	1507.6	1406.6
最大	2195	2163
最小	827	824

対数回帰分析の結果は表10のとおりで、相関係数Rから判断すると、No. 1～No. 3試験地の急傾斜地域では、 $R=0.9$ 以上の高い相関を示し、特に移動物の中でも細砂がもっとも強い相関を示している。有機物の流亡量は雨量にはほとんど関係ないものと思われる（図12、13）。そこで、全体から有機物を差し引いた砂礫と細砂の流亡量、すなわち土壌鉱物の流亡量に注目して、間伐手遅れ林分（No. 1、No. 2試験地）と手入れの行き届いた林分（No. 3試験地）とを比較してみる。

グラフでみるとそれぞれ（図14、15）のとおりで、雨量をX（単位：mm/30日）、流亡量をY（単位：g/10m・30日）としたときの回帰式はそれぞれ次のようになる。

（No. 1 + No. 2試験地の回帰式）

$$Y = 1.47 \times X^{1.1304} \dots (1)$$

（No. 3試験地の回帰式）

$$Y = 2.52 \times X^{1.0174} \dots (2)$$

両式を具体的に数値でみると、(1)式は(2)式にくらべ、30日当たり雨量300mmで11%、同400mmで15%、流亡量が多くなる（表11）。すなわち、間伐手遅れ林分では手入れの良い林分に比べて雨量が多くなれば多くなるほど流亡量の増え方が増し、豪雨に弱い傾向が伺われる。これは、No. 3試験地では、夏期の雨量の多い時期に繁茂する植生量が多く、その植生が地表を覆うことにより土砂の流亡を防いでいるものと考えられる。しかしながら、今回の調査からこのこと明確に言うことは難しい。それは、統計処理上のサンプル点数が少なく、また、No. 1、No. 2試験地とNo. 3試験地の全データ20点で対数回帰分析をした場合においても高い相関を示し（表10）、No. 1、No. 2試験地とNo. 3試験地とは、同一母集団からの標本と見なせなくもないからである。

そして、そのときのNo.1、No.2試験地とNo.3試験地の全データ20点による回帰式は次式のようになる。

(No.1 + No.2 + No.3 試験地の回帰式)

$$Y = 1.82 \times X^{1.0862} \dots (3)$$

このように、若干の差はあるものの、大きな違いが現れなかったのは、林分構成にあまり差が無かったことが理由として考えられる。

表10 雨量-流出量対数回帰分析結果

調査地	分析項目	砂礫	細砂	有機物	全体	土壌鉱物
No. 1 + No. 2 試験地	Y切片	-0.3312	-0.0543	1.8405	0.9554	0.1674
	Y評価値の標準誤差	0.2129	0.1124	0.1050	0.1096	0.1330
	R	0.8528	0.9515	0.6634	0.9193	0.9324
	X係数	1.1446	1.1454	0.1694	0.8431	1.1304
	X係数の標準誤差	0.2217	0.1171	0.1093	0.1141	0.1385
No. 3 試験地	Y切片	0.1125	0.0730	2.5492	1.4740	0.4010
	Y評価値の標準誤差	0.2064	0.0776	0.0589	0.0600	0.1038
	R	0.8204	0.9732	0.6129	0.9520	0.9494
	X係数	0.9598	1.0653	-0.1480	0.6044	1.0174
	X係数の標準誤差	0.2731	0.1027	0.0779	0.0793	0.1373
No. 1 + No. 2 + No. 3 試験地	Y切片	-0.1290	-0.0191	2.1448	1.1726	0.2605
	Y評価値の標準誤差	0.2033	0.0973	0.1021	0.0966	0.1170
	R	0.8339	0.9580	0.0977	0.9128	0.9374
	X係数	1.0599	1.1216	0.0346	0.7445	1.0862
	X係数の標準誤差	0.1653	0.0791	0.0830	0.0785	0.0951
No. 4 試験地	Y切片	-4.3372	-0.9399	0.4028	0.5261	-0.9857
	Y評価値の標準誤差	0.3799	0.5128	0.3016	0.2013	0.4949
	R	0.8450	0.5311	0.5759	0.7369	0.5570
	X係数	1.9651	1.0519	0.6953	0.7181	1.0863
	X係数の標準誤差	0.5077	0.6852	0.4029	0.2689	0.6613

表11 回帰式による推定流出量（土壌鉱物）

雨量	No.1+No.2	No.3	比率
100	268	273	0.98
200	587	553	1.06
300	928	835	1.11
400	1284	1119	1.15
500	1653	1404	1.18

注1 雨量は、30日換算雨量。

注2 推定流出量の単位は、g/10m・30日。

注3 比率は、No.1+No.2の流出量をNo.3の流出量で除したもの。

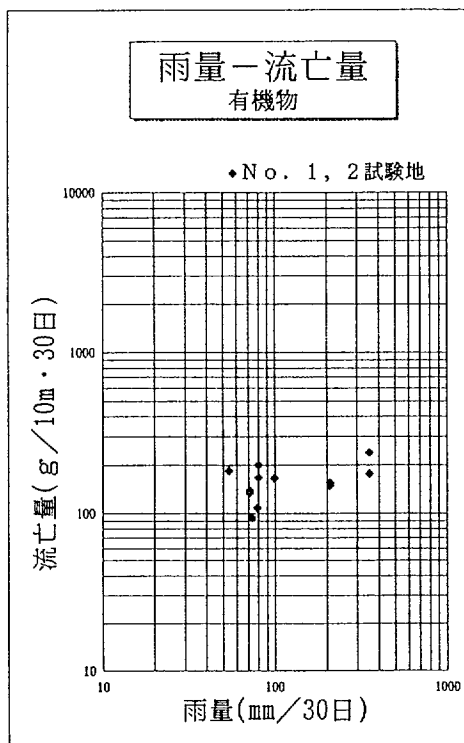


図12

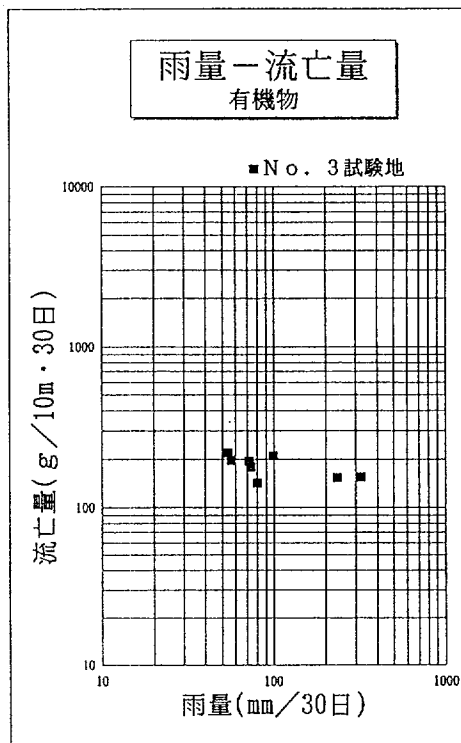


図13

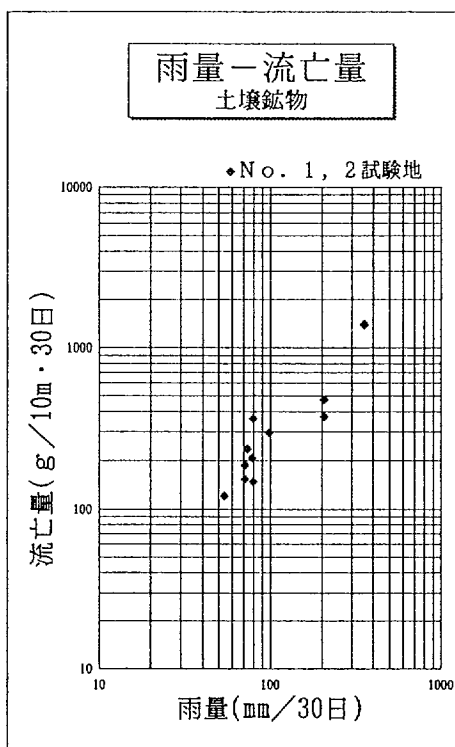


図14

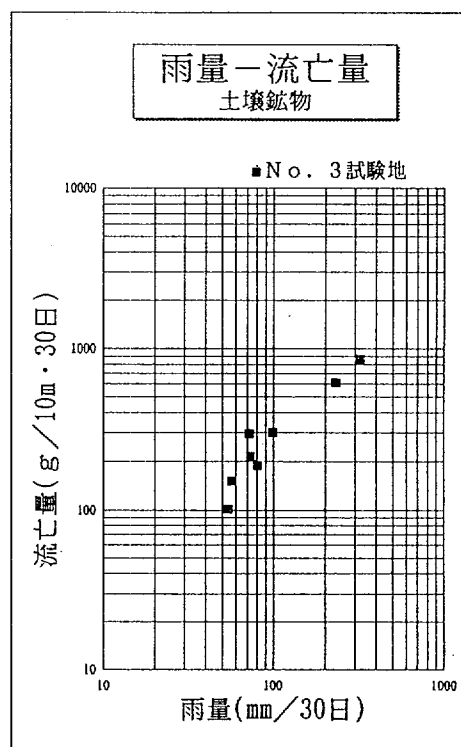


図15

8 地表面の流亡指標と流亡量の関係

今まで述べたように、土砂受け箱を設置して流亡量を測定した箇所（固定試験地）では、林況等についても大きな差がなかった。地況や林況から表土流亡の程度を判断するためには、求めるサンプルにさらに多くの多様性が求められる。地況・林況の異なる多くのデータを集めるためには多数の試験地が必要となるが、土砂受け箱を設置した固定試験地を多数設けることは、人員的にも経費的にも困難である。

このようなことから、今まで調査した固定試験地の観察データを利用して、流亡量を推定する方法を見つけないかを検討してみた。その方法とは、土柱、段差、林床堆積物被覆度、石礫裸出度等目視によって簡単に測れる地表面の状態から、流亡量と相関の強い因子を抽出し、それを流亡量を表す流亡指標として流亡の程度を知ろうというものである。

統計処理に利用したデータは、比較的雨量、流亡量とも大きかった93年4月から12月までの2期間の急傾斜地の3試験地（Na 1、Na 2、Na 3 試験地）の土砂受け箱ごとのデータを1サンプルとする、 $10（1 \text{ 試験地の土砂受け箱数}） \times 3（\text{試験地数}） = 30$ 点のサンプルを対象とした。このとき、流亡量は、個々の土砂受け箱の2期間の流亡量を合計し、期間の日数で除し30倍し、さらに40倍して、幅10m当たり・期間30日当たりの流亡量に換算した数値を、また、流亡指標は2期間のそれぞれの平均値を期間の日数で加重平均した数値（次式）を統計処理上のサンプルデータとして用いた。

$$H = \left(\frac{H_0 + H_1}{2} \times D + \frac{H_1 + H_2}{2} \times D_2 \right) \div (D_1 + D_2) \cdots (4)$$

H : 統計処理に用いた指標データ

H₀ : 93年4月に観測したデータ

H₁ : 93年10月に観測したデータ

H₂ : 94年1月に観測したデータ

D₁ : 93年4月～6月の間の期間日数

D₂ : 93年7月～9月の間の期間日数

個々の指標と流亡量の単相関係数は表12のとおりで、A₀層被覆度や石礫裸出度が流亡量に関連が深いことがわかる。また、流亡するものの中でも、細砂が最も流亡指標との相関が大きい。更に、A₀層被覆度+コケ被覆度、L層被覆度+コケ被覆度を複合被覆度として、相関係数を求めてみた結果では、どちらの場合の相関係数もA₀層のみのときの相関係数より高くなり、特にA₀層被覆度+コケ被覆度の複合被覆度が最も相関が強くなった、おもな指標と細砂流亡量の関係をグラフに表すと図16～22のとおりで、植生被覆度とコケ被覆度は、相関係数はかな

り低い、グラフで見るとL型の分布をしており、植生又はコケがある地表面では、極端に大きな流亡がないことがわかる。

表12 流亡量と流亡指標との相関係数

指標	流亡量				
	砂礫	細砂	有機物	全体	土壤鉱物
土柱最大高	0.332	0.377	0.007	0.359	0.378
土柱体積	0.201	0.279	-0.061	0.241	0.259
段差最大深	0.394	0.627	0.529	0.569	0.557
段差面積	0.320	0.586	0.438	0.507	0.499
植生被覆度	-0.166	-0.165	-0.309	-0.189	-0.174
L層被覆度	-0.440	-0.646	-0.276	-0.580	-0.588
F・H被覆度	-0.272	-0.357	-0.330	-0.346	-0.338
A層被覆度	-0.486	-0.706	-0.333	-0.639	-0.645
コケ被覆度	-0.123	-0.175	-0.319	-0.177	-0.161
石礫裸出度	0.619	0.755	0.397	0.728	0.734
土壤裸出度	0.176	0.429	0.403	0.353	0.339
根系裸出度	0.046	0.053	0.034	0.052	0.052
複合被覆度2	-0.536	-0.776	-0.511	-0.714	-0.711
複合被覆度3	-0.513	-0.750	-0.477	-0.687	-0.684

注1 複合被覆度2は、A層被覆度+コケ被覆度。

注2 複合被覆度3は、L層被覆度+コケ被覆度。

これら流亡指標を独立変数、流亡量を従属変数として多変量解析を行った。まず、各流亡指標と最も相関の大きい細砂の流亡量を従属変数とし、試行錯誤を繰り返した結果、独立変数に段差最大深、A層被覆度、石礫裸出度の3変数を選んだときに最も重相関係数が高く、次式の多重回帰式が得られた。

重相関係数 $R=0.855$

$$V=581.4+30.652 \times D-11.054 \times A+15.683 \times S \cdots \cdots (5)$$

V：細砂の流亡量（単位：g/10m・30日）

D：段差最大深（単位：cm）

A：A層被覆度（単位：%）

S：石礫裸出度（単位：%）

A層被覆度の代わりに単独では最も相関の強かったA層被覆度+コケ被覆度を独立変数に加えて解析を試みた結果では、重相関係数が0.822となり逆に下がってしまった。他の独立変数との関係でそうだったと思われる。

また、同様の指標を独立変数とし、土壤鉱物（石礫+細砂）流亡量または流亡量全体を従属変数として多変量解析を行った結果は、次のようになった。

(Vが土壌鉱物の流亡量の場合)

重相関係数 $R=0.802$

$$V=781.3+33.090 \times D-15.385 \times A+29.618 \times S \cdots \cdots (6)$$

(Vが流亡量全体の場合)

重相関係数 $R=0.798$

$$V=923.1+40.629 \times D-15.832 \times A+30.021 \times S \cdots \cdots (7)$$

以上、(5)～(7)式により地表面の状態から流亡量を推定することが可能と思われるが、試験地の地質地形条件、指標となるデータの観察時期、期間の雨量等から、次のような制限がある。

- (1) 花崗岩地帯の急傾斜地に適用する。
- (2) 指標となる段差最大深、A₀層被覆度及び石礫裸出度は、4月～10月の間に観察したものであること。
- (3) 計算上の流亡量は、ほぼ30日当たり270mmの雨量により流亡する量と推定される。

また、推定の精度を推し量る上での参考として、解析に利用したデータの実測値と推定値の関係を図23～25に示す。

図16

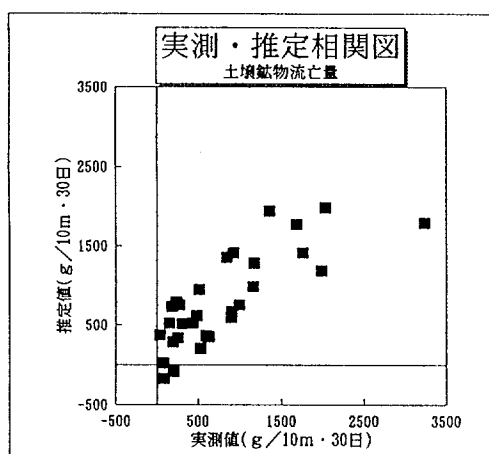


図17

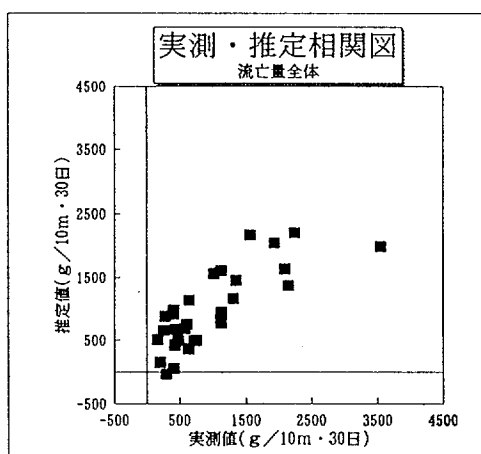


図18

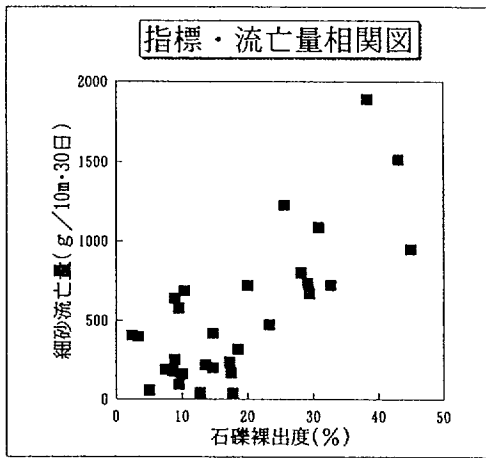


図19

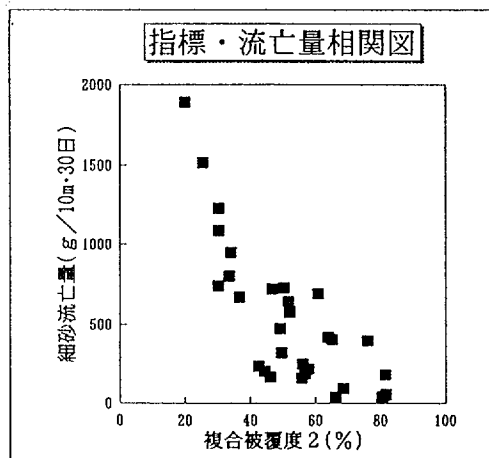


図20

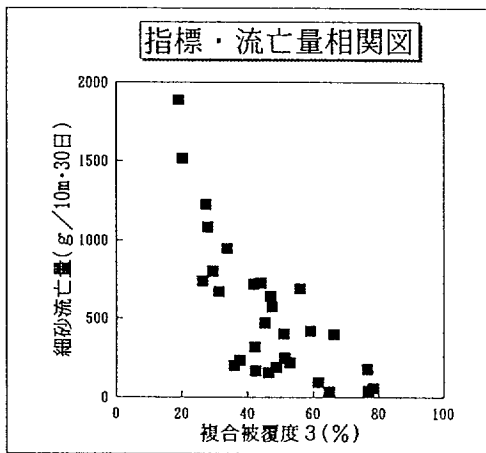


図21

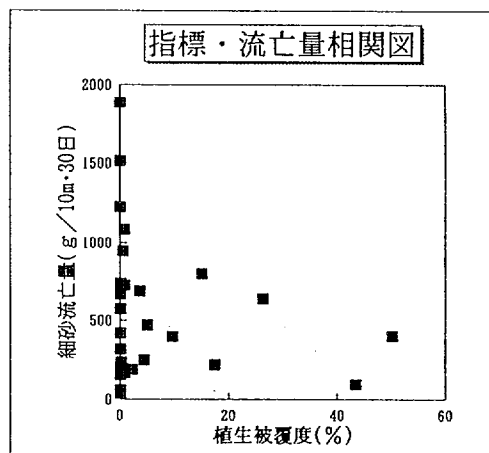


図22

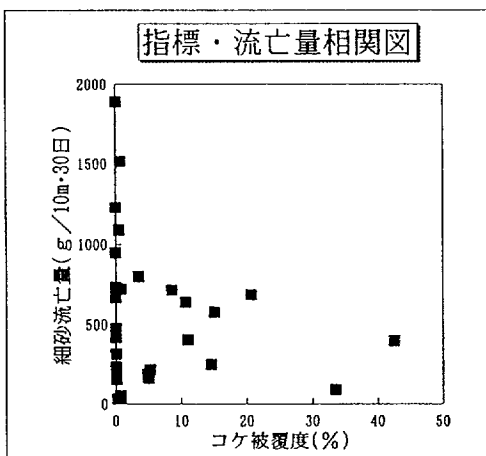


図23

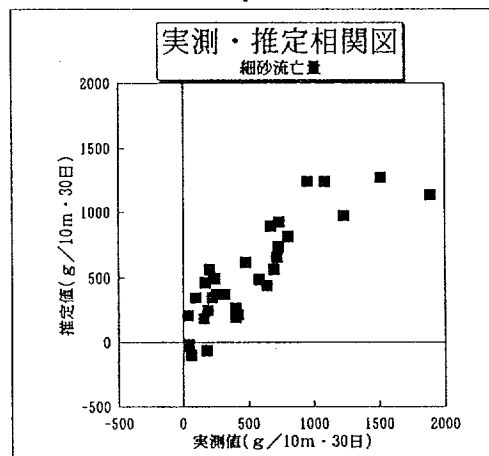


図24

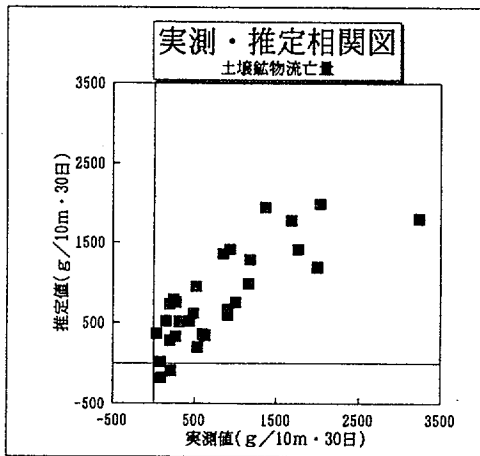
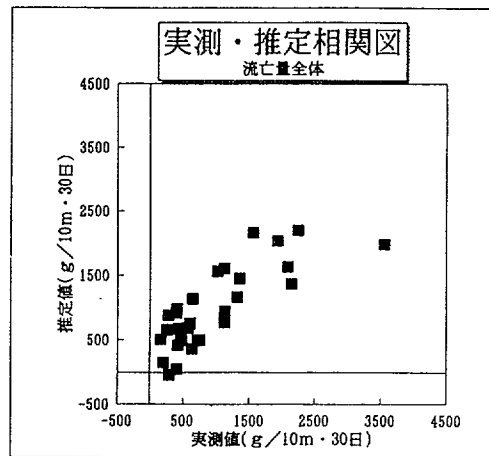


図25



V おわりに

地表面の状況を観察することで、表土の流亡量を推定することが可能であることがわかったが、まだまだ精度が低く適用できる地域も花崗岩地域の急傾斜地と限られている。他の地域においても同様の試験をすれば推定式を得ることが可能と思われる。また、精度を高めるにはさらに多くの固定試験地による試験データを集める必要があろう。しかしながら、最終的には、その林分の地況・林況から表土流亡危険度を判定できる方法を探し出すことが望ましい。このためには、地況・林況の異なる多くの林分で、地表面の状況だけでも調査することが必要である。現在、多点調査と称して、この調査を実施しているが、統計解析ができるには遠く点数が及ばず、今後、共同研究を行った他県の成果とも合わせてより良い成果が得られることを期待している。

最後に、この研究に試験地の提供をはじめご協力ご助言いただいた今治市・玉川町及び朝倉村共有山組合、西条営林署、今治地方局林業課の方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 小林繁男：森林土壌の諸性質及び植生に及ぼす微地形の役割に関する方法論的研究
(1989)
- 2) 気象月報

固定試驗地植生調查表

No. 1 試験地			94/10/19調査		No. 2 試験地			94/10/19調査		No. 3 試験地			94/10/20調査		No. 4 試験地			94/10/20調査	
階層	植生名	占有%ランク	階層	植生名	占有%ランク	階層	植生名	占有%ランク	階層	植生名	占有%ランク	階層	植生名	占有%ランク	階層	植生名	占有%ランク		
3m-		-	3m-		-	3m-		-	3m-		-	3m-		-	3m-		-		
小計		0	小計		0	小計		0	小計		0	小計		0	小計		0		
2-3m	ヒサカキ	2.0	2-3m		-	2-3m		-	2-3m		-	2-3m		-	2-3m		-		
小計		1	小計		0	小計		0	小計		0	小計		0	小計		0		
1-2m	ヒサカキ	2.0	1-2m	シロダモ	0.5	1-2m	ヒサカキ	1.0	1-2m	ヒサカキ	1.0	1-2m	ヒサカキ	2.0	1-2m	ヒサカキ	2.0		
	イヌビワ	1.0								ヤブツバキ	0.5		ヤマウルシ	1.0					
		1																	
小計		2	小計		1	小計		0.5	小計		2	小計		3.0	小計		2		
0.3-1m	シロダモ	1.0	0.3-1m	ヒサカキ	1.0	0.3-1m	ヒサカキ	1.0	0.3-1m	コガクウツギ	15.0	0.3-1m	コガクウツギ	15.0	0.3-1m	ヤマウルシ	2.0		
		1		イヌビワ	0.2		イヌビワ			ヒサカキ	5.0		ヒサカキ	1.0		ヒサカキ	1.0		
										イヌビワ	1.5		イヌビワ	1.5		ワラビ	0.5		
										ヤマムグラ	1.5		ヤマムグラ	1.5					
										シロダモ	1.0		シロダモ	1.0					
										ネズミモチ	1.0		ネズミモチ	1.0					
										ノアズキ	0.1		ノアズキ	0.1					
小計		1	小計		1	小計		1	小計		7	小計		25.1	小計		3		
-0.3m	キツタ	2.0	-0.3m	マルババニシダ	1.2	-0.3m	マルババニシダ	1.0	-0.3m	コガクウツギ	15.0	-0.3m	コガクウツギ	15.0	-0.3m	ワラビ	3		
	サカグイノデ	1		クズ	1.0		クズ	1.0		ヒサカキ	5.0		ヒサカキ	5.0		ナギリスゲ	1.0		
	アラカシ	0.1		ジャノヒゲ	0.1		ジャノヒゲ	0.1		チヂミザサ	2.0		チヂミザサ	2.0		スノキ	0.2		
	イヌビワ	0.1		ヤマノイモ	0.1		ヤマノイモ	0.1		ウラボシ	1.5		ウラボシ	1.5		アオキ	0.1		
	イワガキセンマイ	0.1								ヤマハゼ	0.8		ヤマハゼ	0.8		アカメカシワ	0.1		
		+								ヘクソカズラ	0.6		ヘクソカズラ	0.6		カナクキノキ	0.1		
	クズ	0.1								ウツギ	0.5		ウツギ	0.5		クサイチゴ	0.1		
	コガクウツギ	0.1								ムベ	0.2		ムベ	0.2		コナズビ	0.1		
	サネカズラ	0.1								イズセンリョウ	0.1		イズセンリョウ	0.1		サルトリイバラ	0.1		
	サルトリイバラ	0.1								イノデ	0.1		イノデ	0.1		サワオトギリ	0.1		
	ジャノヒゲ	0.1								ウラボシ	0.1		ウラボシ	0.1		シロダモ	0.1		
	ナガバノダチツボスミ	0.1								キツタ	0.1		キツタ	0.1		ツルリンドウ	0.1		
	フユイチゴ	0.1								クサイチゴ	0.1		クサイチゴ	0.1		ヤブコウジ	0.1		
	ムベ	0.1								コムラサキ	0.1		コムラサキ	0.1		ヤブコウジ	0.1		
	ヤブコウジ	0.1								サルトリイバラ	0.1		サルトリイバラ	0.1		ヤブムラサキ	0.1		
	ヤマイタチシダ	0.1								シシガシラ	0.1		シシガシラ	0.1		ヤマウルシ	0.1		
	ヤマウルシ	0.1								ノブドウ	0.1		ノブドウ	0.1		ヤマウルシ	0.1		
	ヤマノイモ	0.1								フユイチゴ	0.1		フユイチゴ	0.1		ヤマノイモ	0.1		
										マルバスマイレ	0.1		マルバスマイレ	0.1					
										ヤブコウジ	0.1		ヤブコウジ	0.1					
										ヤブムラサキ	0.1		ヤブムラサキ	0.1					
										ヤマウルシ	0.1		ヤマウルシ	0.1					
										ヤマノイモ	0.1		ヤマノイモ	0.1					
小計		17	小計		7	小計		1	小計		23	小計		27.1	小計		13		
		5.5			2.2			1			32.7			3			2.5		
		2			3.9			1			3			3			6.5		
		2			1			1			3			3			2		