

# 山地土壌侵蝕の研究 (第3報)

## 地被物の侵蝕防止機能 に関する実験

川 口 武 雄<sup>(1)</sup>

滝 口 喜 代 志<sup>(2)</sup>

### は し が き

森林が土壌侵蝕（以下本報告では侵蝕の語は表面侵蝕 Surface erosion を指すものとする）を防止する効果のあることは一般に認められている<sup>3)</sup>。しかし森林といつても、幹・枝・葉など地面より離れて高く空中にある部分と、落葉・落枝・草生・灌木など地面近くにある部分と、いずれが侵蝕防止に重要であるか、あるいは、針葉樹と広葉樹ではいずれが侵蝕防止に適当であるか<sup>3)</sup>、はまだ十分に明らかにされていない。また、降雨が地面に到達する時の打撃力によつて生ずる侵蝕、すなわち雨滴侵蝕 Raindrop erosion と、降雨が地面到達後地表流として土壌粒子を分散・運搬する地表流下水の侵蝕と、いずれが重要であり、それは傾斜や地被物の状況によつていかに変化することも明らかにされていない。

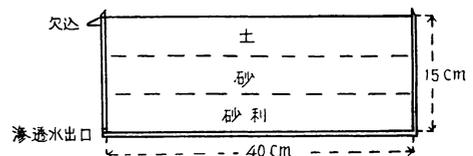
これらの問題を明らかにする目的をもつて、昭和26～29年まで当林業試験場内で野外および室内の実験を行つたので、その結果を取りまとめ報告する次第である。なお、本報告の一部は日本林学会誌35巻3号に予報<sup>4)</sup>として発表したのが、その後昭和28～29年の実験も完了し、いろいろの都合で遅れていた全体的取りまとめを行つたものである。

### I 野 外 実 験

#### 1. 実験設備および測定方法

##### a) 実験箱

長さ40cm、巾20cm、深さ15cmの木箱を、上面縁を鋭縁として縁上に落下した雨滴が箱の中へ飛び込んだり流入したりするのを防ぎ、底面下端に小孔をあけて滲透水が抜けられるようにし、上面下方縁に1cmぐらゐの欠込をつけ、地表流下水および流出土が円滑に下の土砂受箱に入るように導入路をつけた（第1図）。箱内には下部深さ5cmは小砂利、中部5cmは砂、上部5cmは場内の関東ローム



第1図 実験箱

(1) 防災部防災第一科長

(2) 防災部防災第一科治山第一研究室員

表層土（黒味のあるもので比重 2.45）をつめ、上部の試験土壌は数回に区切つてつめて、できるかぎり均一にして、表面を平滑に仕上げして  $0.6 \text{ kg/cm}^2$ （あとに室内実験の項で詳述する）の荷重で加圧した。

箱はつぎの3個を用意する。(A)は試験土壌面を露出させ、雨滴が直接土壌面に到達するようにする。(B)は雨滴の直撃によるエネルギーを殺す目的で、三原氏の実験 net<sup>7)</sup>を改良考案したものを地面上  $1 \text{ cm}$  の高さにかぶせ（写真1）、地表流下水による侵蝕のみが起るようにし、この場合 net があつても試験土壌面に達する雨量は net が無い時と同量になるように net を工夫した（三原氏の net では、降雨が net 上を伝わつて流下し、net が無い時と雨量が同量にならない）。(C)は設置する個所の林木の落葉を周辺の自然地面と同程度（土壌面の約7割程度が落葉で被覆される）になるよう試験土壌面にしき、この落葉が風や雨で移動しないように細い絹糸の  $2 \text{ cm}$  目ぐらいの網をかぶせた（写真2）。

#### b) 設置個所

実験箱を設置する個所としては、裸地区・ラクウショウ林区・カシ林区の3つを選び、地上  $20 \text{ cm}$  ぐらいの高さに設置台をつくつて地面からの雨滴のはね込みを防ぎ、各箱は設置台上に傾斜  $30^\circ$  に固定して設置した。

裸地区は上方に何の障害も無い所に (A)・(B)2種の箱を設置した（写真1）。ラクウショウ林区は、本来は針葉樹林区としては代表的なスギまたはアカマツを選びたかつたが、場内に実験に適する程度のこれらの林が無いので、やむを得ず針葉樹林区として採用したもので、だいたいの林相は写真3のごとくで、この下に (A)・(B)・(C)3種の箱を設置した（写真2）。カシ林区は広葉樹林区の代表として選んだもので、だいたいの林相は写真4のごとくで、この下にやはり (A)・(B)・(C)3種の箱を設置した（写真5）。

この3区はそれぞれ  $20 \sim 40 \text{ m}$  程度しか離れていない所で、林内は針葉樹区・広葉樹区ともに上方の枝葉のうつべい度あまり違わぬ所を選んだが、樹高はラクウショウがカシよりいくぶん高い。

#### c) 測定方法

雨量はこの3区に最も近く林木や建物の影響を受けない場所に、日巻と日巻を廻巻に改造した2つの自記雨量計を設置して、その記録から降雨量・降雨時間・降雨強度を読みとつた。

地表流下水量・流出土量の測定は夏季一降雨ごとに行い、土砂受箱にたまつた流下水と流出土は、上澄みをメスシリンダーではかり、残余は乾燥秤量して流出土量を測定し、乾燥時の重量と採取時の重量の差を  $1 \text{ g} = 1 \text{ cc}$  と換算して上澄みに加えて地表流下水量とした。地表流下水や流出土が測定できるような降雨は、多くて1年間に7回、少ない年は3回ぐらいで、十分な資料をとるには非常な長年月を要するので、一応4年間の測定で打ち切つた。

なお、冬季霜柱などによつて持ち上げられた土壌が、春先の降雨で相当流出するので、昭和28年と29年には4月末に1回その流出土量を測定した。

## 2. 測定結果

昭和26～29年の4年間に測定した結果は、第1表のごとくである。なお、第1表で昭和28年の流出土量の(B)の値が×になつてゐるのは、最初の年に考案した net が不十分で、その測定値は信頼できず採用しなかつたためである。また、昭和26年には地表流下水量は各区とも測定しなかつた。

第1表から夏・冬ごと、年ごと、全体などの計を求めたのが第2表である。第2表では、流出土量は箱の平面積 ( $693 \text{ cm}^2$ ) で割つて、 $\text{ton/ha}$  の単位で示してある。



3. 考 察

a) 有林地と裸地の差

第2表の裸地区(A)の値を100として、ラクウショウ林区・カシ林区の(A)・(C)の値を換算すると、第3表のごとくなる。

第3表 有林地と裸地

測定期間	流 出 土 量					地 表 流 下 水 率				
	裸地区	ラクウショウ林区		カシ林区		裸地区	ラクウショウ林区		カシ林区	
	(A)	(A)	(C)	(A)	(C)	(A)	(A)	(C)	(A)	(C)
昭 26 夏	100	49	2	48	2					
〃 27 〃	100	79	6	144	10	100	74	145	76	256
〃 28 〃	100	118	24	290	46	100	41	101	41	276
〃 29 〃	100	62	6	174	17	100	122	68	104	190
昭26~29夏計	100	68	6	133	11					
昭27~29夏計						100	79	113	74	244
昭 27 冬	100	112	36	137	37					
〃 28 〃	100	93	29	17	11					
昭27~28冬計	100	99	31	52	19					
昭 27 計	100	95	21	141	23					
〃 28 〃	100	95	29	31	13					
昭27~28 計	100	95	25	80	18					

第3表の夏季の流出土量についてみると、有林地の(C)、すなわち落葉のある場合は、裸地(A)の約1割程度の流出土量で、森林の侵蝕防止効果を明らかに示しているが、有林地の(A)、すなわち落葉の無い場合は、裸地(A)より大きい時があり、特にカシ林区に著しい。

第3表の夏季の地表流下水率についてみると、流出土量の場合とは反対で、有林地の(C)は裸地(A)より地表流下水量が多いことが多く、有林地の(A)は裸地(A)より少ないことが多い。これは本測定期間内のごとく強い豪雨が無い時は、落葉上を伝わって流れる地表流下水が大きな部分を占めることと、雨滴侵蝕によつて生ずる土壌面の凹所に地表流下水が妨げられて貯溜され、かえつて滲透の機会を多くすること、とによるものであろう。

以上の夏季の流出土量・地表流下水率についていえることは、第1表の一降雨ごとの数字についてみても、だいたい同様のことがいわれる。

第3表の冬季の流出土量についてみると、カシ林区(A)が年により非常に異なっているが、だいたい有林地(A)は裸地(A)とあまり変らぬと考えられるのに対し、有林地(C)は裸地(A)の約2~3割程度の流出土量で、ここでも森林の侵蝕防止効果は落葉に負うところが大きいことが示されている。

第3表の夏・冬通した年間の流出土量についてみると、カシ林区(A)が年により異なつた値を示しているが、だいたい裸地(A)に比して有林地(A)はやや少ない程度であるのに対し、有林地(C)は裸地(A)の2割程度の流出土量があるにすぎない。

b) 針葉樹と広葉樹の差

第3表の夏季の流出土量の値をラクウシヨウ林区(A)とカン林区(A), ラクウシヨウ林区(C)とカン林区(C)と、それぞれ比較してみると、いずれもカン林区の方が大きいことが多い。これは後に述べるごとく、広葉樹樹冠下の雨滴侵蝕が大きいためである。

夏季の地表流下水率については、(A)はラクウシヨウとカシと大差ないが、(C)ではカン林区がはるかに大きい。これは雨が弱い時は、扁平な巾広い広葉樹の落葉の方が地表流下水が伝わりやすいためである。

冬季の流出土量については、年によつて異なり、ラクウシヨウとカシの差は明らかでなかつた。

夏・冬通した年間の流出土量については、カン林区(A)が年によつて非常に異なっているが、だいたいはカン林区がラクウシヨウ林区より少ないとみられる。

以上の結果はただちに山地の一般の針葉樹と広葉樹の侵蝕防止効果の比較とはならない。針葉樹としては冬季落葉するラクウシヨウは適当な代表でないこと、本実験ではラクウシヨウ林区・カン林区ともだいたい同程度の落葉量となつているが、一般山地の落葉量はこれと異なること、一般山地では針葉樹と広葉樹ではその下の表土層も異なること、などのためである。

c) 雨滴侵蝕に起因する侵蝕

第2表の夏の流出土量・地表流下水率について、各区の(A)を100として net で雨滴のエネルギーを殺した(B)の値を換算すると、第4表のごとくなる。

第4表 雨滴侵蝕阻止

測定期間	流出土量						地表流下水率					
	裸地区		ラクウシヨウ林区		カン林区		裸地区		ラクウシヨウ林区		カン林区	
	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
昭 27 夏	100	12	100	15	100	11	100	135	100	93	100	394
〃 28 〃	100	37	100	26	100	23	100	60	100	176	100	706
〃 29 〃	100	21	100	14	100	13	100	142	100	116	100	354
昭 27~29 夏計	100	17	100	14	100	13	100	118	100	165	100	424

(B)の net は落葉のように土壌表面には接していないが、雨滴の打撃力はまったく殺され、地表流下水による侵蝕だけが生じているわけであり、第4表の流出土量の(A)―(B)は雨滴侵蝕によつて生じた流出土量となるが、各区とも流出土量の約8割以上が雨滴侵蝕によつて生じている。

CHAPMAN 氏の実験結果<sup>1)</sup>では、1時間 50 mm 以下の降雨では林内の雨滴の運動エネルギーは林外より大きく、1時間 50 mm 以上の降雨で林内の方が小さく樹冠が有効となる。本実験の測定期間では、第1表の最大時雨量をみればわかるごとく、最大時雨量は最も大きい時でも 40 mm で、樹冠が有効となる降雨よりは弱い雨ばかりであるとみられ、裸地区(A)の流出土量を100として換算した第5表の値をみても、有林地(A)が裸地(A)より大きいことが多い。第5表の各区の(B)をみれば明らかのごとく、雨滴侵蝕を防いだ(B)では、各区ともだいたい同じような数値となつている。

第5表でカン林区(A)は常に裸地区(A)より流出土量が多いが、これはカン林区(A)の雨滴侵蝕がはなはだしいのを示している。カン樹冠から落下する雨滴は、ラクウシヨウ樹冠から落下する雨滴の3倍以上の径を有することが降雨時に観察され、また中崎氏の実験<sup>2)</sup>では、水滴が大きいほど運動エネルギーも大

第5表 雨滴侵蝕阻止

測定期間	流出土量					
	裸地区		ラクウシヨウ林区		カシ林区	
	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
昭 27 夏	100	12	79	12	144	10
〃 28 〃	100	37	118	31	290	46
〃 29 〃	100	21	62	9	174	17
昭27~29夏計	100	17	68	11	133	15

で、土壌面の破壊直径や土壌の飛散量も大きいことが示されているが、本実験でも写真6に示すごとく、カシ林区(A)は、樹冠から落下する大きな雨滴の打撃によつて、土壌面に著しい凹凸を生じ<sup>6)</sup>、雨滴のエネルギーが減殺されたカシ林区(B)・(C)では、土壌面に雨滴侵蝕による凹凸をあまり生じていない。

地表流下水率は第4表でわかるごとく、

本測定期間内のような降雨では、各区とも雨滴の打撃を減殺した(B)が(A)より地表流下水率が大きい場合が多い。

d) 地表流下水に起因する侵蝕

第4表の流出土量の数字でわかるごとく、雨滴侵蝕を防いで地表流下水による侵蝕のみが起るようにした各区の(B)は、雨滴侵蝕も生ずる(A)すなわち全流出土量の1~2割程度である。第5表をみても、各地区の(B)は裸地区(A)の1~2割で、地区による差はあまり無い。

(B)は林地でも落葉が無い場合であるが、地面に落葉がある(C)と比較するため、(B)を100として第2表の値を換算したのが第6表である。

第6表 地表流下水による侵蝕と落葉

測定期間	流出土量				地表流下水率			
	ラクウシヨウ林区		カシ林区		ラクウシヨウ林区		カシ林区	
	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)
昭 27 夏	100	55	100	63	100	93	100	86
〃 28 〃	100	77	100	69	100	140	100	95
〃 29 〃	100	69	100	77	100	48	100	52
昭27~29夏計	100	69	100	70	100	86	100	77

第6表ではラクウシヨウ・カシともに、落葉のある(C)は落葉の無い(B)の約7割程度の流出土量である。(C)の落葉は土壌面全面を被覆しているわけではなく、落葉の無い露出面では雨滴侵蝕が起つているが、それでも(C)が(B)より流出土量が少ないことは、落葉が雨滴の打撃力を阻止する効果のほか、地表流下水のエネルギーを減殺する効果があるのを示している<sup>5)</sup>。地表流下水率も第6表でわかるごとく、落葉のある(C)は(B)より少ない。第3表で落葉のある(C)は落葉の無い(A)よりは地表流下水率が多いことがわかるが、(C)ではこの多い地表流下水は落葉の上を伝わるので、地表流下水による侵蝕がほとんど生じないわけである。

e) 夏と冬の侵蝕

第2表から夏・冬合わせた流出土量を100として、夏・冬それぞれの流出土量を換算すると第7表となる。

夏の降雨が回数も量も多かつた昭和27年には、各区とも(A)は年流出土量の約半分が夏に生じ、残り

第 7 表 夏 と 冬 の 侵 蝕

測定期間	流出土量							
	裸地区		ラクウショウ林区			カシ林区		
	(A)	(B)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
昭 27 夏	51	28	43	22	16	53	33	22
〃 28 〃	5	6	7	6	4	49	32	19
昭27~28夏計	26	13	23	13	9	52	32	21
昭 27 冬	49	72	57	78	84	47	67	78
〃 28 〃	95	94	93	94	96	51	68	81
昭27~28冬計	74	87	77	87	91	48	68	79

半分が冬に生じているのに対し、雨滴侵蝕を防いだ(B)や落葉のある(C)では、夏には年流出土量の2~3割が流出するにすぎず、大部分が冬に起つている。夏の降雨が少なかつた昭和28年には、裸地区・ラクウショウ林区は(A)・(B)・(C)ともに流出土量はほとんど冬に生じているが、カシ林区のみは27年と同じ傾向である。

両年をとおしてみると、流出土量の約2割ぐらいが夏に生じ、約8割ぐらいが冬に生じているが、これは霜柱のできやすい関東ロームを試験土壌として用いたので、冬の流出土量が非常に大きくなるためである。

また第3表をみれば明らかのごとく、落葉のある(C)は落葉の無い(A)より夏・冬ともに流出土量が少ないことはもちろんである。

f) 降雨と侵蝕の関係

降雨を示すものとして第1表の一降雨総量・最大時雨量・平均時雨量をとり、それぞれと一降雨ごとの流出土量の相関係数を求めてみると第8表のごとくである。

危険率5%で有意な相関係数の値を示すのは、一降雨総量は裸地区・カシ林区の(A)の流出土量との間に、最大時雨量はラクウショウ林区・カシ林区の(C)の流出土量との間に、平均時雨量はラクウショウ林

第 8 表 降雨と侵蝕の相関係数

降 雨	流出土量				
	裸地区	ラクウショウ林区		カシ林区	
	(A)	(A)	(C)	(A)	(C)
一降雨総量	0.525	0.277	0.197	0.493	0.110
最大時雨量	0.272	-0.197	0.803	0.428	0.475
平均時雨量	0.345	0.045	0.636	0.419	0.397
備 考	危険率5%で有意な相関係数の値は 0.468				
一降雨総量と最大時雨量	0.535	0.414	0.807	0.567	0.478
備 考	危険率5%で有意な重相関係数の値は 0.608				

区(C)との間にだけであり、その他の相関係数は有意とならない。また、降雨の量を示すものとして一降雨総量、質を示すものとして最大時雨量をとり、これらと流出土量の重相関係数を求めてみても<sup>2)</sup>、第8表のごとく有意となるのはラクウシヨウ林区(C)のみである。

第8表の数字からみて、落葉の無い(A)は一降雨総量との相関が高く、落葉のある(C)は最大時雨量との相関が高いことがうかがえるが、一降雨総量と最大時雨量の双方を考えた重相関がほとんど有意とならず、以前の研究成果<sup>2) 3)</sup>とも異なり、降雨と侵蝕の関係を明らかにつかむことはできない。

g) 地表流下水の濁度

第1表・第2表の値から、地表流下水1mmが運ぶ土量、すなわち地表流下水の平均の濁度を計算すると、第9表のごとくである。

第9表 地表流下水の濁度

測定期間	地表流下水1mmの運ぶ土量(g)							
	裸地区		ラクウシヨウ林区			カシ林区		
	(A)	(B)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
昭 27 夏	1.25	0.11	1.32	0.09	0.06	2.35	0.06	0.05
〃 28 〃	0.29	0.17	0.82	0.12	0.07	2.04	0.07	0.05
〃 29 〃	1.68	0.22	0.75	0.06	0.12	2.43	0.09	0.13
昭27~29夏計	1.11	0.15	1.01	0.09	0.07	2.34	0.07	0.07

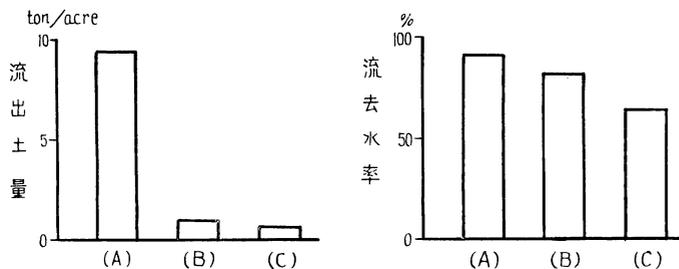
第9表の数字でわかるごとく、雨滴侵蝕のはげしい(A)区と雨滴のエネルギーが減殺される(B)・(C)区では、画然と地表流下水の濁度に差がある。特にカシ林区では(A)と(B)・(C)との差がはなはだしい。

第2表の地表流下水率の数字のごとく、林地の落葉のある(C)は落葉の無い(A)より、本測定期間内のような降雨では、地表流下水率は多くなるが、その地表流下水の平均濁度ははるかに小さく、落葉による雨滴の衝撃力および地表流下水の流速の減殺によつて、侵蝕は落葉の無い林地よりはるかに少ない。

h) 他の実験との比較

アメリカの Ohio 州 Zanesville の土壌保全試験場で、(A)裸地、(C) 2 ton/acre の敷薬を地面上に置いたもの、(B)同量の敷薬を地上わずかの距離に網を張つてその上に置いたもの、の3種で流去水量と流出土量を測定した結果<sup>3)</sup>は第2図のごとくである。

同様に本実験の昭和 27~29 年夏の各区の結果を図示したのが第3図である。



第2図 Zanesville の実験結果

第2図と第3図を比較してみると、流出土量については、地面上に被覆物を有する(C)が最小、地面からあるわずかな距離を離して設けた net のある(B)がこれにつき、地面に被覆物の無い(A)が最大であることは、まったく同一である。

地表流下率は第2図で(B)・(C)が(A)よりやや少なくなるのに対し、第3図では(B)・(C)が(A)より大きくなるのは、降雨の強さが異なるためと考えられる。いずれにしても、地面に被覆物のある(C)が著しく流出量が減ずることは確かである。

## Ⅱ 室内実験

以上野外実験の結果から、森林の侵蝕防止機能といつ

ても、その効果の大部分は落葉などの地面の被覆物に負うものであることが明らかになったが、この落葉の効果もその被覆密度、傾斜の変化、降雨の変化によつて異なるわけである。野外実験では、土砂が流出するほどの降雨は年に数回しかなく、降雨量を自由に变化させることは不可能であり、設置個所の関係で落葉の被覆密度や傾斜をいくとおりも設けることも不可能であつたので、落葉の効果と被覆密度、傾斜、降雨量との関係を明らかにするため、人工降雨器を試作して室内実験を行つた。

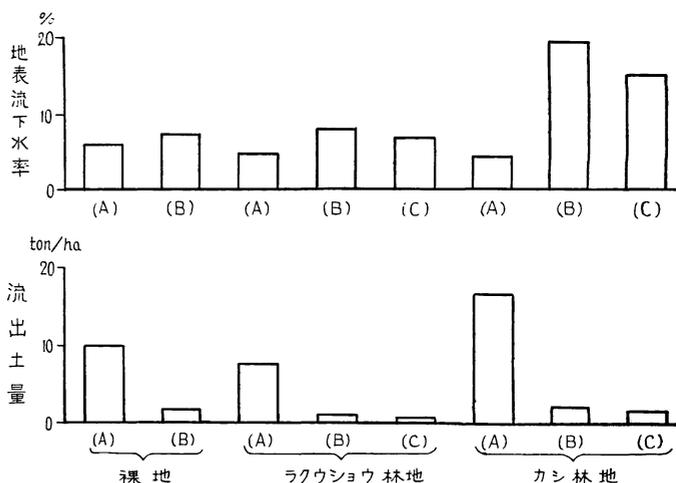
### 1. 実験設備および実験方法

#### a) 実験箱

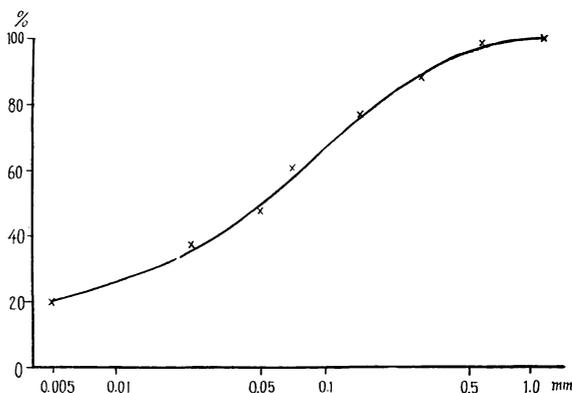
室内実験で用いた実験箱は、野外実験で用いた実験箱とまったく同一のものである。

実験箱につめた試験土壌も野外実験と同一の関東ローム表土で、比重 2.46、流出限界 33%で、比較的粘性にとほしく、粒度分析の結果は第4図のごとくで、土質調査委員会の表示法では砂質ロームに入り、粘土質、ローム質ともそれぞれ 20%ぐらいで砂質の多い土壌である。この土壌を適当に乾燥し 3mm 目の篩を通したものを使用した。土量の関係で一度使用したものをまた乾燥して粉砕しふるつて使用した。繰り返し使用するのだから、粒度の変化を調べるため、再三粒度分析を行つたが、ほとんどその変化はなかつた。

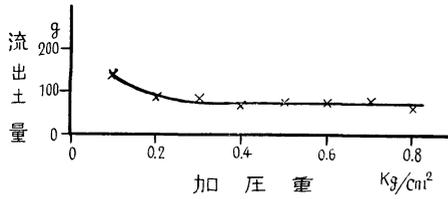
実験箱内の土のつめ方は、野外実験とまったく同一で、箱の最下部に小砂利、その上に砂、最上部に試験土壌をつめた。試験土壌の表面は入念に均一にして定規で平滑に仕上げ、 $0.6\text{kg/cm}^2$ の荷重で加圧した。加圧の大小により流出量が異なることが予想されるので、本実験にさきだつて  $0.1\sim 0.8\text{kg/}$



第3図 本実験の結果



第4図 試験土壌の加積曲線



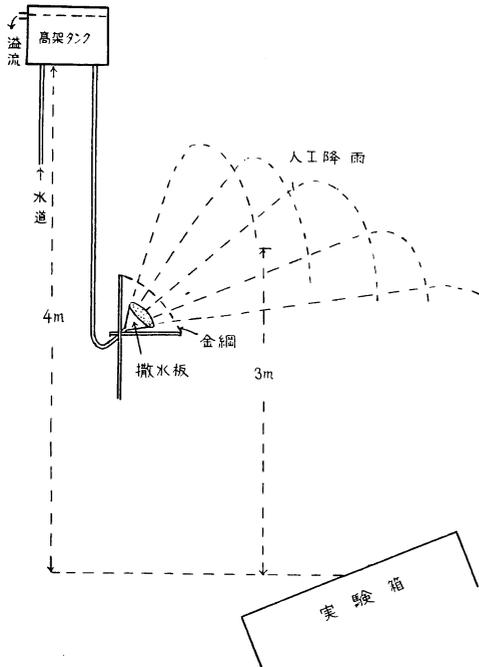
第 5 図 加圧重と流出土量

乾燥しすぎると、吸水によつて箱内の中央部がふくらみ出し、膨軟となつた所から雨水がしみ込んで底部に達し、実験ごとに不整の値を示すので、つめる土壌の水分は大体含水比 30 %前後とした。

実験箱はつぎの種類を用意する。野外実験とまったく同じに、(A')は試験土壌面を露出させ、雨滴が直接土壌面に到達するようにし、(B')は(A')の上に野外実験と同じ net をかぶせたものである(写真 7)。(C')は(A')の上に針葉区としてはストローパツ、広葉区としてはカシの落葉をしいたもの(写真 8)。(D')は(C')の上に野外実験と同じ net をかぶせたものである。ストローパツ落葉はだいたい長さ 6 cm のもの、カシ落葉は葉面積がだいたい 20 cm<sup>2</sup> のものを採取し気乾にして用いた。

b) 人工降雨器

人工降雨器の撒水板は直径 15 cm の如露の放水口を大型にしたような円弧で、これに 2 cm 間隔に径 0.5 mm の小孔をあけたもので、この撒水板は高さ 2 m の所に斜め上向きに固定する。撒水板の前方 15 cm の所に金網を張り、降雨分布を一樣ならしめると同時に、大小の雨滴の造成混合に役立たせた。この金網の目の大小と線の太さにより雨粒の大小、雨量がある程度変えられ、本実験では網目は 5 mm、線の太さは 1 mm を使用した。また、高さ 4 m の所に高架タンクを設置し、タンクには水道から給水して実験中は常に満水溢流させ、このタンクと撒水板を連結して head を一定に保つようにした。人工降雨装置全体の配置は第 6 図のごとくで、人工降雨の平均落下高は約 3 m となる。

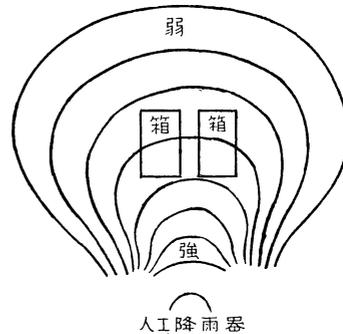


第 6 図 人工降雨装置

cm<sup>2</sup> の間を 0.1 kg ごとに加圧量を変えて数回実験した平均の値を示したのが第 5 図で、第 5 図では 0.4~0.7 kg/cm<sup>2</sup> では、その間で流出土量の差がほとんど認められぬので、実験にはすべて 0.6 kg/cm<sup>2</sup> の加圧を採用することとした。試験土壌の水分はあまり湿潤すぎると、実験開始後 10~15 分ぐらいで全土壌が吸水したところに、底部から泥流化して流れ出し、またあまり

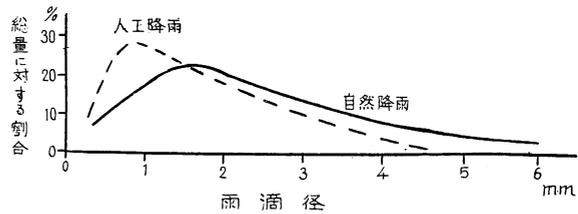
乾燥しすぎると、吸水によつて箱内の中央部がふくらみ出し、膨軟となつた所から雨水がしみ込んで底部に達し、実験ごとに不整の値を示すので、つめる土壌の水分は大体含水比 30 %前後とした。

この人工降雨器による降雨面積はだいたい 10 m<sup>2</sup> ぐらいで、その分布はだいたい第 7 図の



第 7 図 人工降雨器による降雨分布

ような形となり、場所による雨量の差は5mmぐらゐであるが、実験箱は場所による降雨の差が最も少ない中央部分に置いて、常に2個だけ併置して実験するようにしたので（写真9）、降雨の分布の差による影響は無いものとみられる。降雨の平均落下高が約3m



第8図 雨滴の粒径分布

であるのは、自然降雨の落下速度が等速になる12mぐらゐに比して小さいが、室内実験ではこれ以上の落下高にすることは不可能であり、室外では落下高は大きくできるが、風の影響で降雨分布が不整になるので、やむを得ず室内で3mの落下高とした。

自然降雨の雨滴の粒径は、最大が5~7mmで、普通は5mmを越すことはなく、1mm以下が最も多いとされている。上質の透明ガラスの箱に透明な上質油を入れ、採取した雨滴が油膜に包まれて他の雨滴と一緒になるのを防ぎ、採取した人工降雨の雨滴を顕微鏡で観察した結果は第8図のごとくで、人工降雨では0.8mm前後が最多であるが、自然降雨では1.5mm程度が最多で、この人工降雨の雨滴は自然降雨に比してやや小粒である。

c) 実験方法

実験箱の傾斜は10°~60°まで10°ごとに変え得るような操作台（写真9）をつくり、傾斜は6階級とした。

落葉の被覆度は、100%にすると実験中雨滴の衝撃によつて落葉が移動して被覆度が異なつてきたり、ストローブマットは100%被覆が困難であつたので、60%、90%の2階級とし、落葉と落葉の重なりは自然状態と同じようになるように被覆度によつて適宜増減した。用いた落葉の状況は第10表のごとくである。

人工降雨による雨量は1時間50mm、1時間75mm、1時間100mmの3階級とした。

以上のごとく実験箱は6種（A'・B'）それぞれ1、（C'・D'）は針広でそれぞれ2、

第10表 落葉被覆の状況

針	広	被覆度 (%)	落葉数量	落葉面積 (cm <sup>2</sup> )	落葉の重なり (%)	被覆面積 (cm <sup>2</sup> )
カ	シ	60	30枚	620	約20	480
		90	50枚	1,030	約30	720
ストローブマット		60	2,300本	690	約30	480
		90	3,700枚	1,110	約35	720
備	考	実験箱面積は 800 cm <sup>2</sup>				

傾斜は6種（落葉被覆の場合は60°では落葉が土壤面に留止していないので、50°までの5階級とした）、落葉被覆度は2種、降雨量は3種と、これらの数多い組合せについて実験し、同一実験を平均15回ぐらゐ（流出土量の少ないもので9回、多いものでは20回ぐらゐ）繰り返した。実験箱内の試験土壤は、1回の実験ごとに取りかえ、すでに準備した別の土壤と入れかえてまた実験を行った。

流出土量の測定は、野外実験とまったく同一で、土砂受箱に流入した土と水と一緒に秤量し、上澄みを静かに取つて残余を乾燥秤量し、乾燥時の減量1g=1ccとして地表流下水量および流出土量を算出した。



$$x_0 - s \sqrt{\frac{(N-1)t^2}{N-2+t^2}} < x < x_0 + s \sqrt{\frac{(N-1)t^2}{N-2+t^2}}$$

とし、t を有意水準5%の値にとつて異常値を棄却し、残りの数値について平均した結果が第11表・第12表である。

第13表 裸地と落葉被覆地の流出土量

3. 考 察

a) 落葉被覆地と裸地の差

第11表の流出土量の値を裸地区(A')を100として、ストロブマツ落葉区・カシ落葉区(C')の値を換算すると、第13表のごとくなる。

第13表で落葉のある(C')の流出土量は落葉の無い(A')の0~14%で、落葉被覆の侵蝕防止効果を明らかに示している。また第13表から、落葉被覆度が大なほど、この落葉の効果が大な傾向があることがうかがえる。

第12表の地表流下水率の値を裸地区(A')を100として、落葉区(C')の値を換算すると、第14表のごとくである。

第14表で落葉のある(C')の地表流下水率は、一部を除いて落葉の無い(A')より少ない。雨量50mmの傾斜50°の場合および傾斜40°の落葉被覆度90%の場合に、(C')が(A')より大きいことは、急傾斜の降雨があまり大きくない時には、落葉上を伝わる地

雨量	傾斜	区 種別 落葉被覆度	裸地区	ストロブマツ落葉区		カシ落葉区	
			(A')	(C')		(C')	
			0 (%)	60	90	60	90
50mm	10°		100	3	0	0	0
	20		100	4	0	6	0
	30		100	3	2	5	5
	40		100	7	7	7	6
	50		100	9	6	14	6
75	10		100	3	1	5	0
	20		100	7	0	8	0
	30		100	7	1	10	1
	40		100	10	1	10	1
	50		100	9	1	13	1
100	10		100	14	1	9	1
	20		100	12	2	12	1
	30		100	12	2	13	2
	40		100	10	2	14	2
	50		100	11	1	11	1

第14表 裸地と落葉被覆地の地表流下水率

雨量	傾斜	区 種別 落葉被覆度	裸地区	ストロブマツ落葉区		カシ落葉区	
			(A')	(C')		(C')	
			0 (%)	60	90	60	90
50mm	10°		100	39	38	21	26
	20		100	60	63	51	50
	30		100	55	101	42	81
	40		100	85	167	64	146
	50		100	106	207	114	160
75	10		100	91	37	68	6
	20		100	89	38	81	28
	30		100	95	65	93	28
	40		100	101	57	99	38
	50		100	101	55	100	51
100	10		100	87	73	53	44
	20		100	83	71	77	42
	30		100	87	68	78	53
	40		100	98	58	90	54
	50		100	101	68	100	65

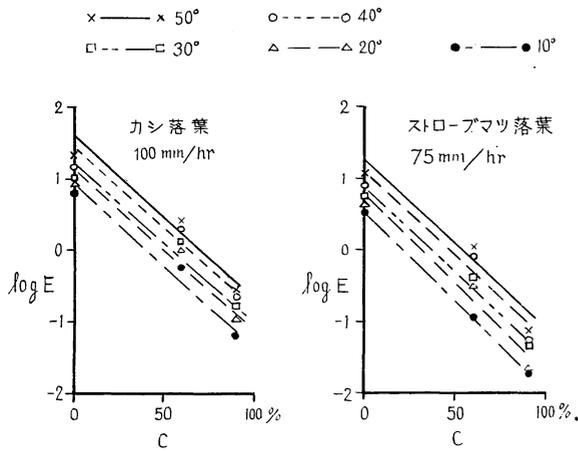
表流下水が大きな部分を占めるためであろう。第 14 表から降雨の大きい時は、落葉被覆度が大なほど、傾斜が緩なほど、落葉の効果が大な傾向があることがうかがえる。

b) 針葉樹落葉と広葉樹落葉の差

第 13 表のストロームマツ落葉区とカシ落葉区を比較すると、 $10^\circ \cdot 20^\circ$  の緩傾斜を除いた  $30^\circ$  以上の傾斜では、ストロームマツ落葉区はカシ落葉区よりやや流出土量が少ないようであるが(写真 10)、その差はあまり大きくなく、特に落葉被覆度 90 %では両者ほとんど同一である。

第 14 表の地表流下水率では、ストロームマツ落葉区はほとんどカシ落葉区より大きく、野外実験の結果と異なっているが、これは野外実験より降雨が強いためであろう。

c) 落葉被覆度による差



第9図 落葉被覆度と流出土量

落葉被覆度としては、裸地区(A')すなわち被覆度0%とストロームマツ落葉区・カシ落葉区(C')とも被覆度60%・90%の値があるので、第11表から流出土量E (ton/ha)と落葉被覆度C (%)の関係を示す例として、雨量100 mmのカシ落葉区(C')と雨量75 mmのストロームマツ落葉区(C')の場合を図示すると第9図のごとく、だいたい log E と C は直線関係となる<sup>3)</sup>。すなわち、

$$E = E_0 e^{-aC}$$

$E_0$  は  $C=0$  の  $E$ ,  $a$  は常数

の関係で、流出土量Eは落葉被覆度Cの増大によつて減少する。 $E_0$ はもちろん雨量大なほど、傾斜急なほど大で、 $a$ はだいたい0.05ぐらいの値で傾斜急なほど小さくなる傾向がある。

地表流下水率に対しては、雨量75 mm・100 mmでは流出土量の場合と同じく、落葉被覆度の増大によつて地表流下水率も減少するが、雨量50 mmでは第12表で明らかなごとく、落葉被覆度が大になれば地表流下水率が増す場合があり、特に急傾斜にその傾向が著しい。

d) 雨滴侵蝕に起因する侵蝕

第11表の流出土量について、(A')および(C')を100として、netで雨滴のエネルギーを殺した(B')および(D')の値を換算すると、第15表のごとくなる。

(B')・(D')はnetによつて雨滴の打撃力は殺され、地表流下水による侵蝕だけが生じているわけで、第15表の(A')-(B')または(C')-(D')が雨滴侵蝕によつて生じたものであるが、第15表の値からは、流出土量の70~100%は雨滴侵蝕によつて生じていることがわかる。また、この雨滴侵蝕の役割りは、傾斜が緩なほど、落葉被覆度が大なほど大きい。雨滴侵蝕が起る場合とこれを防いだ場合の土壤面に生ずる凹凸の差は、写真11・12のごとくである。

また第11表の裸地区(A')の値を100として裸地区(B')、落葉区(D')の値を換算すると第16表のごとくである。

第 15 表 雨滴侵蝕阻止の流出土量

落葉被覆度 種別 雨量 傾斜		裸 地 区		ス ト ロ ー プ マ ツ 落 葉 区				カ シ 落 葉 区			
		0 (%)		60		90		60		90	
		(A')	(B')	(C')	(D')	(C')	(D')	(C')	(D')	(C')	(D')
50mm	10°	100	0	100	0						
	20	100	0	100	0			100	0		
	30	100	5	100	0	100	0	100	0	100	0
	40	100	6	100	0	100	0	100	0	100	0
	50	100	8	100	29	100	15	100	19	100	0
	60	100	14								
75	10	100	0	100	0	100	0	100	0		
	20	100	1	100	0	100	0	100	11	100	0
	30	100	2	100	18	100	0	100	11	100	0
	40	100	2	100	13	100	0	100	14	100	0
	50	100	6	100	17	100	0	100	12	100	0
	60	100	16								
100	10	100	2	100	5	100	0	100	16	100	0
	20	100	4	100	12	100	0	100	13	100	27
	30	100	6	100	14	100	0	100	14	100	28
	40	100	10	100	17	100	0	100	20	100	0
	50	100	12	100	18	100	9	100	19	100	0
	60	100	31								

第 16 表でわかるごとく、裸地では雨滴侵蝕を阻止しても、傾斜が急になるほど、降雨が大になるほど流出土量を増すが、落葉被覆度 60 % では、傾斜急か降雨が多い時に流出土量を生ずるだけとなり、落葉被覆度 90 % となると、雨滴侵蝕が阻止されるときはほとんど流出土量を生じない。

地表流下水率については第 12 表でわかるごとく、雨滴の打撃を殺した(B')・(D')はそれぞれ(A')・(C')より地表流下水率を減ずることが多く、雨滴侵蝕が地表流下水量を増加させる一

第 16 表 雨滴侵蝕阻止の流出土量

落葉被覆度 種別 雨量 傾斜		裸 地 区		ス ト ロ ー プ マ ツ 落 葉 区		カ シ 落 葉 区	
		(A')	(B')	(D')		(D')	
		0 (%)	0	60	90	60	90
50mm	10°	100	0	0	0	0	0
	20	100	0	0	0	0	0
	30	100	5	0	0	0	0
	40	100	6	0	0	0	0
	50	100	8	3	1	3	0
	60	100	14				
75	10	100	0	0	0	0	0
	20	100	1	0	0	1	0
	30	100	2	1	0	1	0
	40	100	2	1	0	1	0
	50	100	6	1	0	1	0
	60	100	16				
100	10	100	2	1	0	1	0
	20	100	4	2	0	2	0
	30	100	6	2	0	2	1
	40	100	10	2	0	3	0
	50	100	12	2	0	2	0
	60	100	31				

因であることを示しているが、ただ落葉被覆度 90 % の場合は(D')は(C')より大きな値を示すものが一部あつた。

e) 地表流下水に起因する侵蝕

第 15 表の数字でわかるごとく、雨滴侵蝕を防いで地表流下水による侵蝕のみが起るようにした(B')・(D')は、雨滴侵蝕も生ずる(A')・(C')の3割程度以下の流出土量である。また、この地表流下水による侵蝕の役割りは、傾斜が急なほど、落葉被覆度が小なほど大きいことが、第 16 表からうかがえる。

裸地区(A')の流出土量を 100 として、(B')、(C')の値を換算比較すると第 17 表となる。

第 17 表 裸地と落葉被覆地の流出土量

雨量	傾斜	裸地区		ストローブマツ落葉区		カシ落葉区	
		(A')	(B')	(C')		(C')	
		0 (%)	0	60	90	60	90
50mm	10°	100	0	3	0	0	0
	20	100	0	4	0	6	0
	30	100	5	3	2	5	5
	40	100	6	7	7	7	6
	50	100	8	9	6	14	6
75	10	100	0	3	1	5	0
	20	100	1	7	0	8	0
	30	100	2	7	1	10	1
	40	100	2	10	1	10	1
	50	100	6	9	1	13	1
100	10	100	2	14	1	9	1
	20	100	4	12	2	12	1
	30	100	6	12	2	13	2
	40	100	10	10	2	14	2
	50	100	12	11	1	11	1

第 17 表では、地表流下水による侵蝕だけが起つている(B')は、雨量 100mm、傾斜 50° の時(A')の 12 % であるのが最大であるが、落葉被覆度 60 % の(C')ではこれより大きな値が生ずることは、雨滴侵蝕、地表流下水による侵蝕の防止が落葉被覆度 60 % では充分でないことを示している。落葉被覆度 90 % の(C')ではいずれも (B') より小さな値であることは、落葉で被覆されていない 10 % の露出面では雨滴侵蝕が生じているが、90%の落葉被覆は地表流下水のエネルギー

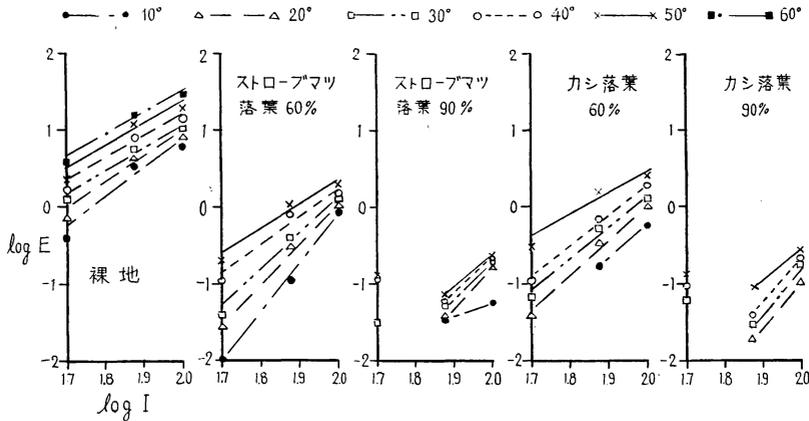
を十分に減殺し、全体としては (B') より流出土量が少なくなることを示し、この落葉の地表流下水による侵蝕を防止する機能は、第 16 表でわかるごとく降雨が大なほど、傾斜が急なほど重要となる。

地表流下水率は第 14 表でわかるごとく、落葉被覆地(C')は落葉の無い(A')より多いことがあるが、(C')ではこの多い地表流下水もほとんど落葉の上を伝わり、地表流下水による侵蝕はわずかしか起らぬため、第 16 表・第 17 表のごとく流出土量は(A')よりはるかに少ない。

f) 降雨と侵蝕の関係

室内実験では、50 mm・75 mm・100 mm の3種の人工降雨を用いた降雨量で実験したが、この3種はいずれも降雨時間 1 時間であるので、時雨量 50 mm・75 mm・100 mm の3種の降雨強度の変化による流出土量の差が測定されたことになる。第 11 表の(A')・(C')の流出土量 E (ton/ha) と降雨強度 I (mm) の関係を図示すると、第 10 図のごとくである。

第 10 図では、落葉被覆度 90 %、降雨量 50 mm の場合の一部を除いて、log E と log I はだいたい直線関係となる<sup>3)</sup>。すなわち、



第 10 図 降雨強度と流出土量

$$E = aI^b \quad a, b \text{ は常数}$$

の関係で、流出土量 E は降雨強度 I の増大によつて増加する。b は裸地・落葉被覆地ともだいたい 3 ~ 6 ぐらいの値で、傾斜急なほど小さく、裸地は落葉被覆地よりいくぶん小さな傾向があり、a はもちろん裸地は落葉被覆地よりはるかに大きい。

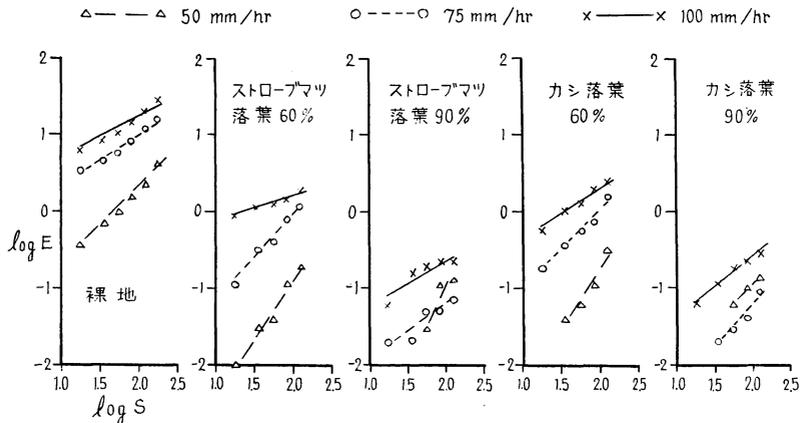
また、地表流下水量 R (mm) と降雨強度 I (mm) についても、E の場合と同じく、落葉被覆度 90%、降雨量 50 mm の場合の一部を除いて、

$$R = a'I^{b'} \quad a', b' \text{ は常数}$$

の関係で、地表流下水量 R は降雨強度 I の増大によつて増加する。b' は b と同じ傾向であるが、a' は a と異なり裸地も落葉被覆地もあまり違わぬ。

g) 傾斜と侵蝕の関係

傾斜は裸地区では 10° ~ 60° まで 10° ごとに、落葉被覆区では 10° ~ 50° まで 10° ごとに覚えて実験したので、第 11 表の(A')・(C') の流出土量 E (ton/ha) と傾斜 S (%) の関係を図示すると、第 11 図のごとくである。



第 11 図 傾斜と流出土量

第 11 図では、 $\log E$  と  $\log S$  はだいたい直線関係となり<sup>3)</sup>、すなわち、

$$E = aS^b \quad a, b \text{ は常数}$$

の関係で、流出土量  $E$  は傾斜  $S$  の増大によつて増加する。 $b$  は  $0.5 \sim 2$  ぐらいの値で、降雨強度大なほど小さく、裸地は落葉被覆地より小さい傾向があり、 $a$  はもちろん降雨強度大なほど大きく、裸地は落葉被覆地よりはるかに大きい。

また、地表流下水量  $R$  (mm) と傾斜  $S$  (%) についても、 $E$  の場合と同じく、

$$R = a' S^{b'} \quad a', b' \text{ は常数}$$

の関係で、地表流下水量  $R$  は傾斜  $S$  の増大によつて増加する。 $b'$  は  $b$  と同じ傾向であるが、 $a'$  は  $a$  と異なり裸地と落葉被覆地とあまり違わぬ。

h) 地表流下水の濁度

第 11 表・第 12 表の値から、地表流下水 1 mm が運ぶ土量、すなわち地表流下水の平均の濁度を計算すると、第 18 表のごとくなる。

第 18 表 地表流下水 1 mm の運ぶ土量 (g)

雨量	傾斜	裸 地 区		ス ト ロ ー プ マ ッ 落 葉 区				カ シ 落 葉 区			
		(A')	(B')	(C')		(D')		(C')		(D')	
				0 (%)	0	60	90	60	90	60	90
50mm	10°	0.34	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0
	20	0.56	0	0.04	0	0	0	0.03	0	0	0
	30	0.73	0.24	0.04	0.01	0	0	0.04	0.02	0	0
	40	0.86	0.32	0.07	0.02	0	0	0.05	0.02	0	0
	50	0.91	0.36	0.08	0.01	0.01	0.00	0.05	0.02	0.04	0
	60	1.21	0.35								
75	10	1.15	0	0.04	0.02	0	0	0.09	0	0	0
	20	1.24	0.13	0.10	0.01	0	0	0.12	0.02	0.07	0
	30	1.48	0.18	0.11	0.02	0.04	0	0.15	0.03	0.06	0
	40	1.58	0.20	0.16	0.02	0.04	0	0.15	0.02	0.07	0
	50	1.83	0.45	0.16	0.02	0.04	0	0.23	0.03	0.06	0
	60	1.48	0.59								
100	10	1.32	0.12	0.21	0.02	0.05	0	0.22	0.03	0.06	0
	20	1.52	0.26	0.23	0.04	0.10	0	0.24	0.05	0.06	0.03
	30	1.56	0.29	0.19	0.04	0.07	0	0.25	0.05	0.06	0.02
	40	1.72	0.48	0.18	0.05	0.06	0	0.26	0.05	0.08	0
	50	1.87	0.48	0.20	0.03	0.06	0.00	0.23	0.04	0.06	0
	60	1.88	0.90								

第 18 表の数字でわかるごとく、裸地(A')と落葉被覆地(C')では画然と地表流下水の濁度に差があり、また、雨滴侵蝕のある(A')・(C')に比してそれぞれ雨滴のエネルギーが減殺された(B')・(D')は濁度が小さい。第 14 表の地表流下率の数字のごとく、落葉被覆地(C')は裸地(A')より地表流下率は大きいこともあるが、落葉は雨滴の衝撃力および地表流下水のエネルギーを減殺するので、地表流下水の濁度は落葉被覆地は裸地よりもはるかに小さく、地表流下水は無害に流れて侵蝕は少なくなる。

第 18 表の数字からは、地表流下水の濁度は降雨強度が大なるほど大きくなる傾向があり、傾斜が大になるほど裸地では地表流下水の濁度も大なる傾向であるのに対し、落葉被覆地では傾斜が大になるほど濁度も大になるとは限らず、特に被覆度 90 % では、降雨強度が一定であれば、傾斜を変えても地表流下水の濁度は一定である傾向がみられる。

i) 侵蝕に関連する因子の影響度の比較

第 11 表の流出土量の(A')・(C')の値は、傾斜が 10°~50° まで 10° ごとの 5 階級、降雨強度は 50mm・75 mm・100 mm の 3 階級、落葉の種類が針葉樹落葉と広葉樹落葉の 2 種、落葉の被覆度が 0 %・60 %・90% の 3 階級あり、すなわち、5×3×2×3=90 組み合わせの実験結果があることになるので、傾斜・降雨強度・落葉の針広の別・落葉被覆度の 4 つの因子の侵蝕に影響する程度を比較するために、分散分析を行った結果が第 19 表である。

第 19 表 流出土量の分散分析表

要 因	平 方 和	自 由 度	不 偏 分 散	F <sub>0</sub>	F	α
全 分 散	1,722.536	89				
傾 斜	111.784	4	28.046	3.81	>3.56	0.01
降 雨 強 度	246.545	2	123.273	16.75	>7.54	0.001
針 広	0.023	1	0.023	0.00	<3.96	0.05
落 葉 被 覆 度	775.483	2	387.742	52.69	>7.54	0.001
交 互 作 用	588.701	80	7.359			

第 19 表の値からは、本実験の範囲内では、落葉被覆度の影響が最も大きく、ついで降雨強度の影響であり、傾斜の影響はこれより小さく、落葉の針広の差は有意でなかった。

また傾斜によつて 3 階級の降雨強度、針広の 2 種の落葉、3 階級の落葉被覆度の 3 つの因子の侵蝕に影響する程度がいかにより異なるかをみたのが第 20 表である。

第 20 表 流出土量の傾斜別分散分析表

傾 斜		10°		20°		30°		
要 因	自 由 度	不 偏 分 散	F <sub>0</sub>	不 偏 分 散	F <sub>0</sub>	不 偏 分 散	F <sub>0</sub>	
降 雨 強 度	2	7.505	4.31	13.569	4.56	16.575	4.61	
針 広	1	0.005	0.00	0.001	0.00	0.002	0.00	
落 葉 被 覆 度	2	20.317	11.68	36.959	12.43	55.630	15.47	
交 互 作 用	12	1.740		2.973		3.596		
傾 斜		40°		50°		F		
要 因	自 由 度	不 偏 分 散	F <sub>0</sub>	不 偏 分 散	F <sub>0</sub>	α = 0.05	α = 0.01	α = 0.001
降 雨 強 度	2	35.721	4.35	70.204	4.23	3.88		
針 広	1	0.015	0.00	0.058	0.00	4.75		
落 葉 被 覆 度	2	109.146	13.28	241.459	14.55		6.93	12.97
交 互 作 用	12	8.219		16.598				

第 20 表の値からは、本実験の範囲内では、どの傾斜でも落葉被覆度の影響が最も大きく、ついで降雨強度の影響であり、落葉の針広の差はどの傾斜でも有意でないことがわかる。また、降雨強度の影響はどの傾斜でもだいたい同じであるが、落葉被覆度の影響は 10°, 20° の緩傾斜よりも 30°, 40°, 50° の急傾斜の時に大きい傾向がある。

第 12 表の地表流下水率の(A')・(C')の値を第 19 表と同じく分散分析した結果が第 21 表である。

第 21 表 地表流下水率の分散分析表

要 因	平 方 和	自由度	不 偏 分 散	F <sub>0</sub>	F	α
全 分 散	17,048.9	89				
傾 斜	4,980.8	4	1,245.2	19.13	>5.13	0.001
降 雨 強 度	3,310.7	2	1,655.4	25.43	>7.54	0.001
針 広	676.8	1	676.8	10.40	>6.96	0.01
落 葉 被 覆 度	2,868.7	2	1,434.4	22.03	>7.54	0.001
交 互 作 用	5,211.9	80	65.1			

第 21 表の値では、第 19 表とは全然異なり、傾斜の影響が最も大きく、ついで降雨強度であり、落葉被覆度の影響、落葉の針広の影響の順であるが、さらに傾斜別にみると第 22 表のごとくである。

第 22 表 地表流下水率の傾斜別分散分析表

傾 斜		10°		20°		30°	
要 因	自由度	不偏分散	F <sub>0</sub>	不偏分散	F <sub>0</sub>	不偏分散	F <sub>0</sub>
降 雨 強 度	2	422.9	9.59	418.3	8.98	310.0	6.33
針 広	1	241.3	5.47	144.5	3.10	126.4	2.58
落 葉 被 覆 度	2	548.9	12.45	504.4	10.82	275.9	5.63
交 互 作 用	12	44.1		46.6		49.0	
傾 斜		40°		50°		F	
要 因	自由度	不偏分散	F <sub>0</sub>	不偏分散	F <sub>0</sub>	α=0.05	α=0.01
降 雨 強 度	2	321.3	2.84	248.3	1.80	3.88	6.93
針 広	1	109.7	0.97	79.0	0.57	4.75	
落 葉 被 覆 度	2	187.9	1.66	99.7	0.72	3.88	6.93
交 互 作 用	12	113.2		138.1			

第 22 表の値では、傾斜 10° では落葉被覆度の影響が最も大きく、ついで降雨強度、落葉の針広の差の順であるが、傾斜 20° 以上では落葉の針広の差は有意でなく、傾斜 30° では降雨強度の影響が落葉被覆度

第 23 表 地表流下水に起因する流出土量の分散分析表

要 因	平 方 和	自由度	不 偏 分 散	F <sub>0</sub>	F	α
全 分 散	17.3018	89				
傾 斜	2.2779	4	0.5695	4.87	>3.56	0.01
降 雨 強 度	2.5985	2	1.2993	11.11	>7.54	0.001
針 広	0.0017	1	0.0017	0.01	<3.96	0.05
落 葉 被 覆 度	3.0701	2	1.5351	13.13	>7.54	0.001
交 互 作 用	9.3536	80	0.1169			

にまさり、傾斜 40° 以上では各因子の交互作用が大きくなり、各因子単独での差は有意でない。

地表流下水率に対しては、落葉被覆度の影響が最大とはいえぬが、地表流下水に起因する流出土量、すなわち第 11 表の net で雨滴侵蝕を防いだ(B')・(D') 区の値を分散分析した第 23 表では、落葉被覆度の影響が最も大きく、ついで降雨強度、傾斜の順であることは第 19 表と同じである。

また、第 11 表の (A')-(B'), (C')-(D'), すなわち雨滴侵蝕に起因する流出土量の値を分散分析した結果が第 24 表である。

第 24 表 雨滴侵蝕に起因する流出土量の分散分析表

要 因	平 方 和	自 由 度	不 偏 分 散	F <sub>0</sub>	F	α
全 分 散	1,451.300	89				
傾 斜	84.538	4	21.135	3.55	>2.48	0.05
降 雨 強 度	203.687	2	101.844	17.11	>7.54	0.001
針 広	0.012	1	0.012	0.00	<3.96	0.05
落 葉 被 覆 度	687.010	2	343.505	57.72	>7.54	0.001
交 互 作 用	476.053	80	5.951			

第 24 表の値では、落葉被覆度の影響が最も大きく、ついで降雨強度、傾斜の順で、落葉の針広の差は有意でないことは第 19 表と同じである。

第 19・21・23・24 表を通じてみると、落葉被覆度は流出土量に対する影響が最も大で、特に雨滴侵蝕に起因する流出土量に対する影響が大きい。傾斜は地表流下水率に対する影響は最も大きく、流出土量に対しては、特に雨滴侵蝕に起因する流出土量に対して、落葉被覆度、降雨強度の影響より劣る。降雨強度は、流出土量に対しては、落葉被覆度の影響より、地表流下水率に対しては傾斜の影響より劣っているが、流出土量（雨滴侵蝕に起因するものと地表流下水に起因するものとのいずれにも）、地表流下水率の双方に同じような影響を有する。落葉の針広の差は流出土量に対しては有意でなかつた。

j) 侵蝕に関連する因子の総合

本実験では流出土量に関連すると予想される因子として、傾斜、降雨強度、落葉の針広の差、落葉被覆度の4つを取り上げて実験したが、第 19 表の結果では落葉の針広の差は有意でなく、他の3つの因子が流出土量と関連することが確かめられた。また傾斜、降雨強度、落葉被覆度の3つの因子の個々と流出土量の関係はすでにIIの3の c), f), g) で述べたごとくである。

これらを総合すると、流出土量 E (ton/ha) と傾斜 S (%), 降雨強度 I (mm/hr), 落葉被覆度 C (%) の関係は、 $a \cdot s \cdot i \cdot c$  を常数として、

$$E = aS^s I^i e^{-cC}$$

すなわち、

$$\log E = \log a + s \log S + i \log I - 0.4343 cC$$

で示される。落葉の針広の差は有意でないで、第 11 表のストローブマツ落葉区とカシ落葉区の値を平均した第 25 表から常数  $a \cdot s \cdot i \cdot c$  を求めてみることにする。

第 25 表の値から平均法で常数の値を求めると、だいたい  $\log a = -12.3$ ,  $s = 3$ ,  $i = 4$ ,  $c = 0.04$  ぐらいの値となり、すなわち、

$$E = 5 \times 10^{-13} S^3 I^4 e^{-0.04C}$$

第35表 流出土量 E (ton/ha)

傾斜	降雨強度 落葉被覆度	50 (mm/hr)			75 (mm/hr)			100 (mm/hr)		
		(A')		(C')	(A')		(C')	(A')		(C')
		0 (%)	60	90	0	60	90	0	60	90
17.4 (%)		0.36	0.01	0	3.34	0.14	0.01	6.30	0.71	0.06
36.4		0.70	0.04	0	4.39	0.34	0.02	8.55	1.05	0.14
57.7		1.25	0.05	0.05	5.63	0.47	0.04	9.90	1.23	0.19
83.9		1.58	0.11	0.11	7.51	0.74	0.05	14.46	1.73	0.22
119.2		2.28	0.26	0.14	12.19	1.31	0.08	20.56	2.38	0.25

で示される。a は実験箱内の試験土壌の種類・性質などで定まるものと考えられ、傾斜の増大はその3乗で、降雨強度の増大はその4乗で流出土量を増し、落葉被覆度の増大は流出土量を減少させる。

### III 結 論

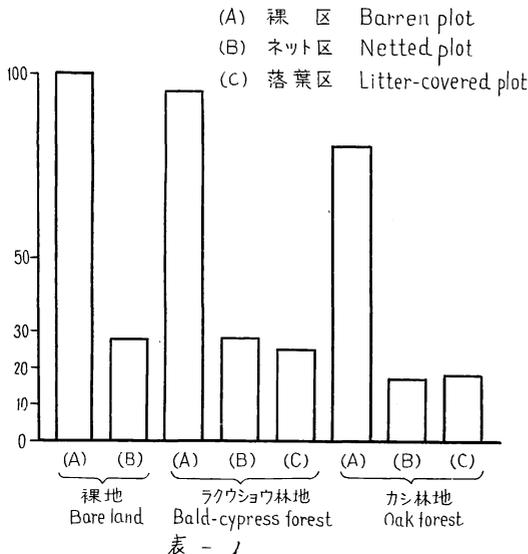
#### 1. 野外実験

##### a) 流出土量

裸地(A)の年間流出土量を100としての各区の流出土量の比較値を示したのが、第12図である。

第12図で明らかなごとく、有林地は裸地より流出土量が少ないが、netをした(B)区、落葉被覆のある林地(C)区が裸地(A)区の2割程度の流出土量であるのに対し、落葉被覆の無い林地(A)区は裸地(A)区の8~9割もの流出土量がある。

霜柱のできやすい関東ロームを用いた本実験では、年間流出土量の7~8割は冬に生じた。(B)区、



第12図 流出土量の比  
Fig. 12 The ratio of soil losses.

(C)区は夏冬ともに裸地(A)区の2割程度の流出土量であるが、林地(A)区は夏冬とも裸地(A)区より流出土量が多いことがしばしば起る。

夏季の流出土量はカシ林がラクウショウ林より多いが、冬季の流出土量は年によって異なり、また年間を通じてはカシ林とラクウショウ林の差は明らかでない。

##### b) 雨滴侵蝕ならびに地表流下水に起因する流出土量

自然降雨による夏季の流出土量の約8割以上は雨滴侵蝕に起因するものである。特にカシ樹冠から落下する雨滴は大粒となつて雨滴侵蝕の作用が著しく、土壤面に落葉被覆が無いと、雨滴の打撃によつて土壤面

に著しい凹凸を生ずる。

地表流下水に起因する流出土量は、夏季の全流出土量の1～2割程度である。落葉のある(C)区は落葉の無い(B)区の7割程度の流出土量で、落葉が地表流下水のエネルギーを減殺するのを示している。

#### c) 地表流下水

降雨があまり強くない時は、net で雨滴の打撃を減殺した(B)区、落葉被覆のある(C)区は、裸地(A)区より地表流下水は多くなる。林地(A)の地表流下水は裸地(A)より少ないことが多く、落葉のある(C)はnetの(B)より少ない。

しかし、地表流下水の濁度は、雨滴のエネルギーが減殺される(B)・(C)区は雨滴侵蝕のはげしい(A)区に比してはるかに小さい。落葉被覆のある(C)区は(A)区より地表流下水は多いことがあつても、その多い地表流下水は落葉の上を無害に伝わって流れ、またその濁度も小さく、したがって、流出土量は落葉の無い(A)区より少なくなる。

#### d) 地被物の効果

年間流出土量は、落葉被覆のある(C)区は裸地(A)区の2割程度であるのに、落葉の無い林地(A)区は裸地(A)区の8～9割程度で、林地でも地面に落葉が無いと裸地とあまり差が無い。特に夏季の流出土量は、(C)区は裸地(A)区の1割程度であるが、林地(A)区は裸地(A)区より大きいこともあり、森林の幹枝・葉などの空中部分は、直接の侵蝕防止効果は大して期待できぬ。

落葉は雨滴侵蝕を防止し、林地(C)区には裸地(A)区・林地(A)区に見られるような雨滴侵蝕による土壌面の凹凸を生じないが、また落葉は同時に地表流下水のエネルギーを減殺し、土壌凍結を緩和する効果は大で、林地(C)区は落葉で土壌面の7割程度を被覆しているだけであるが、netだけで落葉の無い林地(B)区の約7割程度の流出土量である。地面上に直接敷敷するのが最も侵蝕防止効果が大であるというアメリカの実験結果と同じく、本実験でも、地面を直接被覆する落葉が、森林の空中部分よりも、侵蝕防止機能上ははるかに重要であることが確かめられた。

## 2. 室内実験

### a) 流出土量

降雨強度 50～100 mm/hr, 傾斜 10°～50°, 落葉被覆度 0～90%の室内実験の(A')・(C')の流出土量を示したのが第13図である。

第13図で明らかなごとく、流出土量は、降雨強度大なほど、傾斜大なほど多量で、落葉被覆度大なほど少なく、落葉のある(C')は落葉の無い(A')の1割程度以下の流出土量である。針葉樹落葉と広葉樹落葉の差はほとんど認められない。

流出土量Eと降雨強度I (mm/hr)の間には、 $a \cdot b$ を常数として、

$$E = aI^b$$

の関係があり、また、傾斜S(%)との間には、 $a \cdot b$ を常数として、

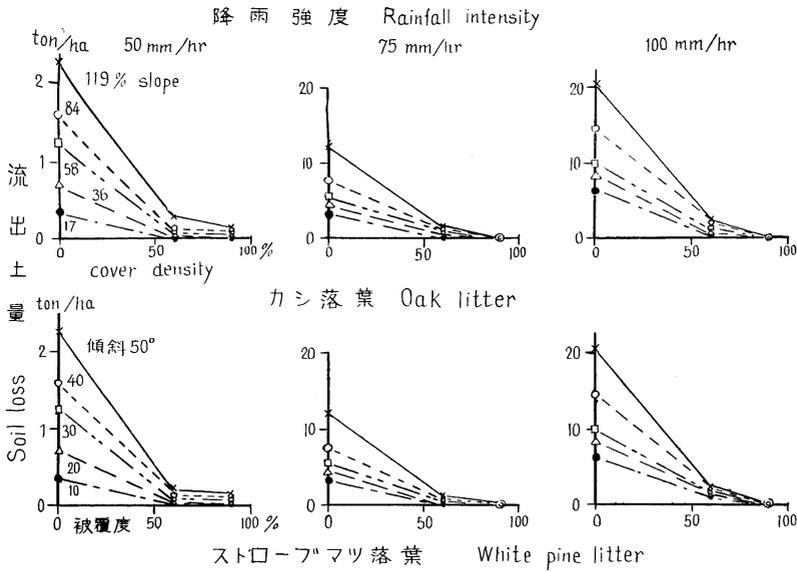
$$E = aS^b$$

の関係があり、落葉被覆度C(%)との間には、 $a$ を常数として、

$$E = E_0 \cdot e^{-aC} \quad (E_0 \text{ は } C=0 \text{ の } E)$$

の関係がある。

### b) 雨滴侵蝕ならびに地表流下水に起因する流出土量



第13図 流出土量 Fig. 13 Soil losses.

全流出土量の7割以上が雨滴侵蝕に起因し、この雨滴侵蝕の役割りは、傾斜緩なほど、落葉被覆度大なほど大きい。落葉被覆度90%では雨滴侵蝕はほとんど阻止される。

地表流下水に起因する流出土量は全流出土量の3割以下で、この地表流下水による侵蝕の役割りは、傾斜急なほど、落葉被覆度小なほど大きい。落葉が地表流下水による侵蝕を防止する機能は、降雨が大なほど、傾斜急なほど重要となる。

c) 地表流下水

急傾斜の降雨があまり大きくない時は、地表流下水が落葉上を伝わって多くなるが、それ以外は落葉のある(C')は落葉の無い(A')りよ地表流下水率は少ない。

地表流下水量は、降雨強度大なほど、傾斜大なほど多量で、落葉被覆度大なほど少ない。雨滴侵蝕は地表流下水量を増加させる一因である。ストローブマツ落葉区の地表流下水率はほとんどカシ落葉区より大きい。

地表流下水の濁度は、雨滴のエネルギーが減殺される(B')・(D')区は、雨滴侵蝕のある(A')・(C')区より小さく、また、落葉被覆のある(C')区は落葉被覆の無い(A')区より地表流下水は多いことがあつても、濁度はすべて(C')区の方が小さい。地表流下水の濁度は降雨強度大なほど大きくなる傾向がある。

d) 侵蝕に関連する因子の影響および総合

流出土量に対しては、落葉被覆度の影響が最も大きく、ついで降雨強度・傾斜の順で、落葉の針広の差は有意でない。落葉被覆度の影響は、緩傾斜よりも急傾斜の時に大きい傾向があり、特に雨滴侵蝕に起因する流出土量に対する影響が大きい。

地表流下水率に対しては、傾斜の影響が最も大きく、ついで降雨強度・落葉被覆度・落葉の針広の順である。傾斜20°までは落葉被覆度の影響が降雨強度の影響より大きい。

本実験の範囲では、流出土量E(ton/ha)と傾斜S(%),降雨強度I(mm/hr),落葉被覆度C(%)の間には、だいたい、

$$E = 5 \times 10^{-13} S^3 I^4 e^{-0.04C}$$

で示される関係がある。

### 3. 実際面への応用

以上野外実験・室内実験を通じて、

- (1) 実験箱は 800 cm<sup>2</sup> の小面積であるので、実際の大きい山地斜面の状態とは異なること。
- (2) 試験土壌には場内の関東ロームを用いただけであるので、土壌の種類による差は明らかにしていないこと。
- (3) 試験土壌は実験箱に人工的に填充したものであるもので、実際の山地斜面の土壌の状態とは異なり、また箱の下方に砂・砂利をつめたので、雨水の滲透は実際の山地より良好ではないかと考えられること。
- (4) 野外実験では針葉樹林区・広葉樹林区といつても、上木が針葉樹・広葉樹であるだけであり、室内実験では針葉区・広葉区といつても、落葉が針葉樹・広葉樹であるだけで、下の試験土壌は裸地区と同じ関東ロームで針葉樹林・広葉樹林の林地土壌そのものを用いていないこと。

など、実際の山地の状態と異なる条件下で実験を行ったので、いずれも実験操作上やむを得ないことではあるが、本実験の流出土量・地表流下水量の測定した絶対値はそのまま実際の山地には適用できない。しかし、有林地と裸地の差、傾斜による差、降雨強度による差、落葉被覆度による差などの比較の相対値は、本実験結果に示された傾向はある程度実際の山地にも応用可能と考えられるので、本実験結果の実際面への応用を以下記することとする。

#### a) 雨滴侵蝕の重要性

緩傾斜の農地などでは、流出土量の大部分は雨滴侵蝕によるものであることは、従来からいくぶん気づかれていたが、急傾斜の山地では、流出土量は大部分急傾斜のための多量な地表流下水のエネルギーによるものであると考えられてきた傾向がある。しかし、傾斜 30° の野外実験、傾斜 10°～60° の室内実験の双方とも、降雨による流出土量の 7 割以上が雨滴侵蝕に起因していることがわかるので、急傾斜の山地でも流出土量の軽減には雨滴侵蝕の防止が重要である。

しかし、地表流下水に起因する流出土量は、野外実験では降雨による全流出土量の 2 割程度、室内実験でも傾斜 40° 以上ではやはり 2 割程度に達すること、また、雨滴侵蝕で流出しやすくなった土粒を下方へ運搬するのは地表流下水であること、とを考えれば、地表流下水の軽減も侵蝕防止上無視される程度のものではない。

#### b) 冬季の流出土の重要性

本実験では霜柱・凍結の起りやすい関東ロームを試験土壌に用いたためでもあるが、野外実験では年流出土量の半分以上が冬季に生じている。侵蝕といえはすぐ降雨と考えられやすいが、冬季低温で霜柱・凍結の起りやすい土壌の地では、侵蝕防止には夏の豪雨時の対策だけでは不十分で、冬の侵蝕防止対策が重要である。

#### c) 森林の侵蝕防止機能の実態

野外実験の結果では、林地は裸地より年流出土量が少ないが、落葉のある林地は裸地の 2 割程度の流出土量であるのに対し、落葉の無い林地は裸地の 8～9 割も流出土量があり、特に雨滴侵蝕は落葉の無い林地の方が裸地よりはげしいことが多い。このことは山地でも実際に観察されることで、林地面に落葉・落

枝・下草などの無い林，すなわち過密な針葉樹人工林や落葉・落枝を採集する林では，裸地状となつた林地は侵蝕され，はなはだしい時は rill をも生じている場合すらある。

以上のことは侵蝕防止上では，落葉・落枝など林地を直接被覆する森林部分が，幹・枝・葉など林地から離れている森林の空中部分より重要であることを示している。森林の空中部分は落葉・落枝などの生産源としての間接効果を有するが，直接の侵蝕防止効果は大して期待できず，主として森林の空中部分を利用する一般林業面と異なつて，侵蝕防止上では落葉・落枝が大切で，美林といわれる蓄積の多い林でも林地が落葉・落枝が無くて裸地状であれば，侵蝕防止の見地では優良林とはいへぬ。

#### d) 落葉の重要性

森林の侵蝕防止効果は落葉に負うところが大部分であり，野外実験の結果では，落葉は雨滴侵蝕を防止し地表流下水のエネルギーを減殺して降雨による流出土量を減ずるほか，冬季の侵蝕も軽減し，落葉のある林地は年流出土量を裸地の 2 割程度にとどめ得たので，侵蝕防止の見地では，最も効果的な侵蝕抵抗物である落葉・落枝を山腹面にたえず保持することが必要である。

室内実験の結果では，落葉区は裸地区の 1 割程度以下の流出土量で，しかも落葉被覆度の増大とともに流出土量は減少し，落葉被覆度の流出土量に対する影響は，降雨強度・傾斜の影響より大きく，落葉被覆度 90 % では雨滴侵蝕はほとんど阻止されるので，山腹面に密な落葉被覆を維持することが侵蝕防止に効果的である。

野外実験・室内実験を通じて，落葉被覆度が裸地より地表流下水量がかえつて多いことがあるが，これは急傾斜の雨の弱い時に限られ，その時でも地表流下水の濁度はもちろん裸地より小さく，多量の地表流下水は落葉上を無害に伝わって流下するので，侵蝕防止上は心配無い。

#### e) 針葉樹と広葉樹の侵蝕防止機能の優劣

野外実験の針葉樹林と広葉樹林，室内実験の針葉樹落葉と広葉樹落葉の比較は，実験に使用した樹種が適当でないこと，使用した試験土壌がそれぞれの樹種の林地土壌ではないこと，とのため，結果はそのまま山地の針葉樹・広葉樹の比較には適用できない。野外実験では夏季にカシ林の流出土量がラクウショウ林より多く，室内実験ではストロブマツ落葉区の地表流下水率がカシ落葉区より大きい傾向が認められた以外に，針広の差は明らかでなかった。

本実験では針広ともにその落葉量を等しくして比較したが，一般の山地では広葉樹の方が針葉樹より落葉量も多く，また下草・灌木も多く，侵蝕防止機能は広葉樹の方が良好と観察されることが多い。

## 要 約

1) 森林の空中部分と地面部分，あるいは針葉樹と広葉樹の表面侵蝕防止機能の比較，さらに雨滴侵蝕と地表流下水による侵蝕の表面侵蝕作用上の役割りの比較とその傾斜・降雨・地被物状況による変化を明らかにする目的で，野外実験および室内実験を行った。

2) 野外実験は写真 1・2・5 のような傾斜 30° にした箱内に関東ロームをつめた装置をそれぞれ裸地・ラクウショウ林地・カシ林地に設置し，自然降雨による夏季の流出土量・地表流下水量と冬季の流出土量を測定した。

3) 野外実験の主要な結果はつぎのごとくである。

a) 裸地・有林地の年間流出土量を比較すれば第 12 図のごとくで，net をした(B)区，落葉被覆の

ある林地(C)区が裸地(A)区の2割程度の流出土量であるのに、落葉被覆の無い林地(A)区は裸地(A)区の8~9割もの流出土量がある。年流出土量の半分以上は冬に生ずる。ラクショウ林とカシ林の差は明らかでない。

b) 降雨による流出土量の約8割は雨滴侵蝕に起因し、落葉被覆の無いカシ林地の雨滴侵蝕ははげしい。降雨による流出土量の1~2割が地表流下水に起因する。

c) 降雨があまり強くない時は、落葉被覆のある(C)区は裸地(A)区より地表流下水は多いが、濁度はかえって小さく、地表流下水は落葉上を伝わって流れ、流出土量は常に(C)区は(A)区より少ない。

d) 森林の幹・枝・葉などの空中部分の直接の侵蝕防止効果は大して期待できず、地面を直接被覆する落葉は、雨滴侵蝕を阻止し地表流下水のエネルギーを減殺し、土壌凍結を緩和し、森林の侵蝕防止機能は落葉に負うところが大きい。

4) 室内実験は写真7・8・9のような装置で、傾斜は $10^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$ 、降雨強度は人工降雨で $50\sim 100\text{mm/hr}$ 、落葉被覆度はストロブマツ落葉とカシ落葉を0~90%に変化させ、流出土量と地表流下水量を測定した。

5) 室内実験の主要な結果はつぎのごとくである。

a) 裸地・落葉被覆地の流出土量を比較すれば第13図のごとくで、落葉のある(C')区は落葉の無い(A)区の1割程度以下の流出土量である。流出土量は、降雨強度大なほど、傾斜大なほど多量で、落葉被覆度大なほど少ない。ストロブマツ落葉とカシ落葉の差はほとんど認められない。

b) 流出土量の7割以上が雨滴侵蝕に起因し、落葉被覆度90%では雨滴侵蝕はほとんど阻止される。流出土量の3割以下が地表流下水に起因し、落葉が地表流下水のエネルギーを減殺する作用は、降雨が大なほど、傾斜急なほど重要となる。

c) 急傾斜の降雨があまり大きくない時は、落葉のある(C')区は落葉の無い(A')区より地表流下水は多くなるが、濁度は小さく、降雨が大きくなると、落葉被覆度の増大とともに地表流下水率は減少する。

d) 流出土量に対する影響は、落葉被覆度・降雨強度・傾斜の順で、落葉被覆度は雨滴侵蝕に対する影響が大きい。地表流下水率に対する影響は、傾斜・降雨強度・落葉被覆度・落葉の針広の順である。

本実験の範囲では、流出土量  $E$  (ton/ha) と傾斜  $S$  (%), 降雨強度  $I$  (mm/hr), 落葉被覆度  $C$  (%) の間には

$$E = 5 \times 10^{-13} S^3 I^4 e^{-0.01C}$$

の関係がある。

6) 野外実験・室内実験の双方の結果から、実際面へ応用可能と考えられることはつぎのごとくである。

a) 急傾斜の山地でも流出土量の軽減には、雨滴侵蝕の防止が重要で、地表流下水の軽減も無視はできない。

b) 冬季霜柱・凍結の起りやすい地は、侵蝕防止には夏の対策だけでは不十分で、冬の対策が重要である。

c) 侵蝕防止上では落葉・落枝が大切で、美林といわれる蓄積の多い林でも、林地面に落葉・落枝が無くて裸地状であれば、侵蝕防止の見地では優良林といえぬ。

d) 森林の侵蝕防止効果は落葉に負うところ大であるので、山腹面を常に密な落葉・落枝で被覆することが必要である。

e) 本実験では針葉樹と広葉樹の侵蝕防止機能の差は明らかでなかつたが、一般の山地では落葉量の関係から広葉樹の方が良好な機能を有すると考えられる。

#### 文 献

- 1) CHAPMAN, C.: Size of raindrops and their striking force at the soil surface in a red pine plantation, Trans. Amer. Geophys. Union, 29, 5, (1948) p. 664~670
- 2) 川口武雄：降雨と山地土壌侵蝕の関係，日本林学会誌，33，1，(1951) p. 4~7
- 3) 川口武雄：山地土壌侵蝕の研究（第1報）従来の資料による統計的研究，林業試験集報，61，(1951) p. 1~44
- 4) 川口武雄，滝口喜代志：地被物の侵蝕防止機能に関する実験（予報），日本林学会誌，35，3，(1953) p. 73~77
- 5) LOWDERMILK, W. C.: Influence of forest litter on run-off, percolation and erosion, Jour. Forestry, 28, 4, (1930) p. 474~491
- 6) 三原義秋：洪水及土壌侵蝕と雨の一役割，農業気象，5，2，(1949) p. 109~112
- 7) 三原義秋：降雨の土壌侵蝕力に関する研究（第1報）土壌侵蝕に及ぼす雨滴の速度の影響（予報），農業気象，5，2，(1949) p. 85~88
- 8) 中崎昭人：水滴による土壌面破壊について，農業土木研究，18，3，(1950)，p. 148~151
- 9) 統計科学研究会編：統計数値表 I，河出書房（1944）p. 62

**Studies of Soil Erosion on Mountain Areas. (3) Experiments  
on erosion control function of ground cover.**

Takeo KAWAGUCHI and Kiyoshi TAKIGUCHI

(Résumé)

(1) The purposes of these experiments.

- a) Clarifying the differences of erosion control function between the aerial part and the ground part of a forest, and between the needle-leaved tree and the broad-leaved one.
- b) Clarifying the roles of raindrop erosion and the erosion due to surface run-off in soil erosion and their varieties by slope gradient, rainfall intensity, and ground cover condition.

(2) The experimental method of the field experiment.

Measurement of the soil losses and surface run-off by summer rainfall and the soil losses during the winter season from plots having the below-mentioned conditions and installed in bare land, bald-cypress forest land and oak forest land.

The conditions of the plots (as shown in Phot. 1, 2 and 5)

- a) length—40 *cm*, b) width—20 *cm*, c) depth—15 *cm*, d) surface soil—Kantō loam, e) slope gradient—57.7%, f) kind—barren, netted and litter-covered.

(3) The results of the field experiment.

a) Comparisons of the yearly soil losses from the bare land and the forest land are shown in Fig. 12. The soil losses from the netted plots (B) or the litter-covered plots (C) are only about 20 percent of those from the barren plot (A) in the bare land, but those from the barren plots (A) in the forest lands amounted to 80~90 percent of those from the barren plot (A) in the bare land. More than 50 percent of the yearly soil losses is produced during the winter season. Striking differences of erosion control function between the bald-cypress forest and the oak forest are not recognizable.

b) About 80 percent of the soil losses from summer rainfall is due to the raindrop erosion and about 10~20 percent is due to the force of surface run-off. The raindrop erosion in the oak forest with no litter cover is severe.

c) In moderate rain, the surface run-off from the litter-covered plots (C) are greater than those from the barren plot (A) in the bare land, but the surface run-off from the former plots flows along the litter surfaces and has smaller turbidity than the latter, so the soil losses from the former plots are always smaller than the latter.

d) We must not expect too much of the direct effect of the aerial part of a forest such as stem, twigs and branches, and leaves on erosion control. The forest litter which is the direct cover on forest floors controls the raindrop erosion and the erosion due to surface run-off, and protects the soil from freezing, so the erosion control function of a forest is largely influenced by forest litter.

(4) The experimental method of the laboratory experiment.

Measurement of the soil losses and surface run-off from the plots with below-mentioned conditions.

The conditions of the plots (as shown in Phot. 7, 8 and 9)

a) length, width, depth and surface soil—same as in the field experiment, b) slope gradient—17~119%, c) rainfall intensity—50~100 *mm/hr* by the artificial rainmaker, d) cover density of litter—0~90%, e) kind of litter—white pine litter and oak litter.

(5) The results of the laboratory experiment.

a) Comparisons of the soil losses from the barren plots and the litter-covered plots are shown in Fig. 13. The soil losses from the litter-covered plots (C') are small, being less than 10 percent of those from the barren plots (A'). The greater the slope gradient and the rainfall intensity, the greater the soil losses become, and the greater the cover density of litter, the smaller the soil losses become. No striking differences of erosion control function between the white pine litter and the oak litter are recognizable.

b) More than 70 percent of the soil losses is due to the raindrop erosion, and such erosion is almost prevented by litter having a cover density of 90 percent. Less than 30 percent of the soil losses is due to the force of surface run-off, and the greater the slope gradient and the rainfall intensity, the more important the control function of the litter against surface run-off becomes.

c) In moderate rain on steep slopes, the surface run-off from the litter-covered plots is greater than that from the barren plots, but the turbidity of the former is smaller than that of the latter, and in heavy rain, the percentage of surface run-off to rainfall amount is reduced with the increment of litter cover.

d) As regards the ranking of the effect upon soil losses, the cover density of litter comes first, the rainfall intensity next, and the slope gradient last. The effect of the cover density of litter upon the raindrop erosion is the greatest. As to the ranking of the effect upon surface run-off, the slope gradient comes first, the rainfall intensity second, the cover density of litter third, and the difference of the needle-leaved litter and the broad-leaved litter last. The following relation has been concluded in this experiment,

$$E = 5 \times 10^{-13} S^2 I^4 e^{-0.04C}$$

where E=soil loss(*ton/ha*), S=slope gradient(%), I=rainfall intensity(*mm/hr*), C=cover density of litter (%) and e=natural logarithmic base.

(6) The practical applications of these experimental results.

a) To prevent soil loss from steep mountains, the control of raindrop erosion is important, and also the control of surface run-off is not to be ignored.

b) To prevent soil erosion on mountain areas having frequent soil freezing in winter, not only preventing measures in summer but also those in winter are necessary.

c) For erosion control the forest litter is important, and the so-called good forest . . . . good because of its plentiful stock . . . . . is no excellent forest from the standpoint of erosion control, if that forest has a barren floor with no forest litter.

d) The erosion control function of a forest is largely dependent upon the forest litter, so the continuous maintenance of dense forest litter on mountain slopes is necessary.

e) No striking difference in the erosion control function between the needle-leaved forest and the broad-leaved one was recognized in these experiments, but we suppose that the broad-leaved forest has the better function owing to its larger amount of forest litter as compared with the needle-leaved one.

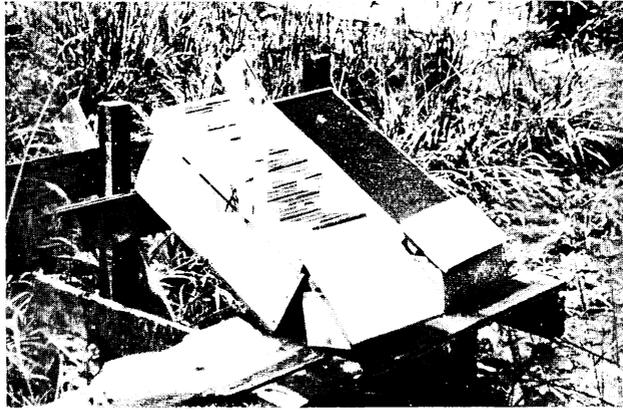


写真 1 裸地区 (左より(B)・(A))

Phot. 1 Netted and barren plots in bare land.



写真 2 ラクウシヨウ林区 (左より(A)・(B)・(C))

Phot. 2 Barren, netted and litter-covered plots in bald-cypress forest.



写真 3 ラクウシヨウ林



写真 4 カ シ 林

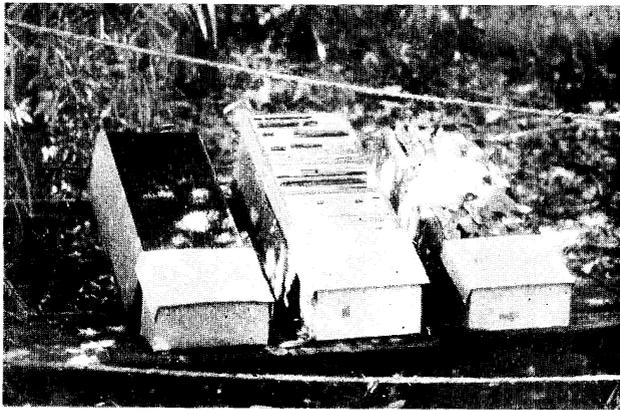


写真 5 カシ林区 (左より (A)・(B)・(C))

Phot. 5 Barren, netted and litter-covered plots in oak forest.

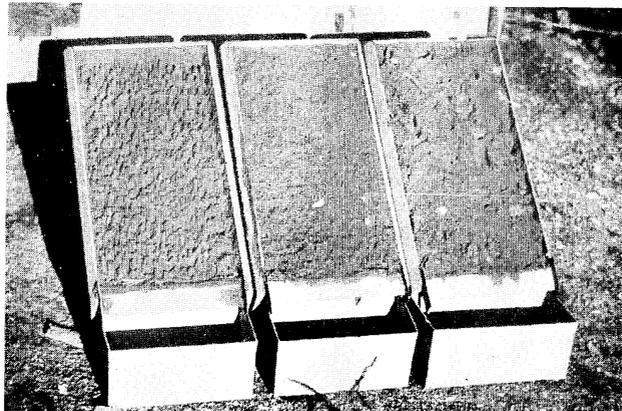


写真 6 カシ林区の降雨後の土壌面 (左より(A)・(B)・(C))



写真 7 左より (A')・(B')  
Phot. 7 Barren and netted plots.

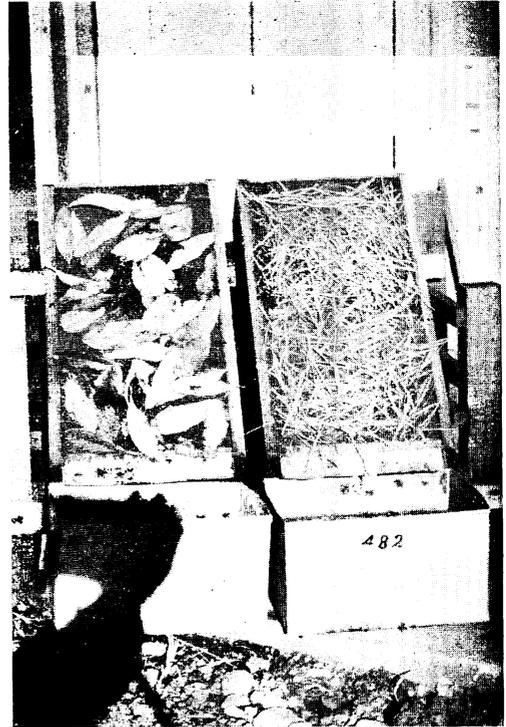


写真 8 (C')  
Phot. 8 Litter-covered plots.



写真 9 人工降雨による実験  
Phot. 9 Experiment by artificial rain.

写真 12 人工降雨実験後の土壌面 (左より(A')・(B'))

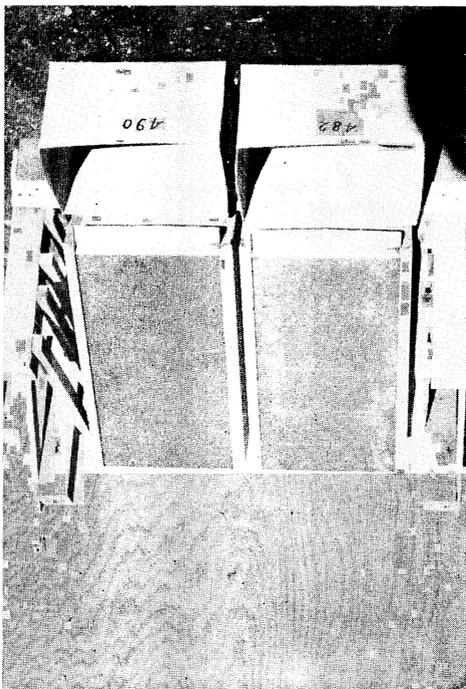


写真 10 人工降雨後の(C)土壌面(左よりカ  
シ落葉区, ストローチップ落葉区)

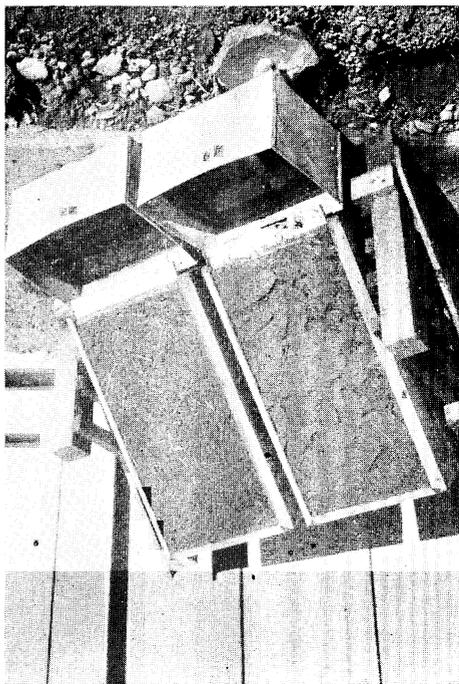


写真 11 人工降雨実験前の土壌面

