

林地の水および土壌保全機能 に関する研究(第2報)

——地床かく乱が地表流下・

浸透および侵食に及ぼす影響と林地の保全策——

村 井 宏⁽¹⁾・岩 崎 勇 作⁽²⁾

Hiroshi MURAI and Yûsaku IWASAKI: Studies on Function
of Water and Soil Conservation based on Forest Land (II)
——Influence of disturbance in ground floor upon
water runoff, infiltration and soil erosion, and the
conservation management of forest land——

要 旨: 本報では、山地流域における森林の伐採・搬出、放牧や林野火災などの各種の地床かく乱が、林地の水および土壌の保全機能に与えた影響を定量的に究明し、それに対する若干の林地の保全策について検討した。

伐採・搬出に関しては、地床を破壊しない単なる立木除去状態では、地表流下や侵食の面に顕著な影響を与えないのに対し、傾斜のきつい場所での夏山トラクタ集材は、地表かく乱程度が著しいために、浸透能の低下と多量の有機物に富む土砂を損失させることがわかった。林野放牧に関しては、家畜のたまり場や通路の浸透能低下は顕著で、禁牧区の1/10にも満たないこと、地表傾斜角が20°を越えると家畜の行動による裸地が急増すること、また、他の立地条件にも左右されるが立木密度が高い場所ほど、荒廢地の発生が少ないことがわかった。林野火災跡地の調査によると、風衝面の山腹上部の激じん被災地では、地表火と地中火のために、地被物や表土が燃焼して表土が露出乾燥し、浸透能が低下するために、風水食が激化することが明らかにされた。

このような林地かく乱の影響を、水土保持の観点からできるだけ少なくするための措置として、トラクタ集材跡の裸地での枝条被覆や草生緑化工、激じん火災跡地での焼損材活用の粗だ筋工などを考え実行したが、いずれも有効で実用的なことがわかった。

目 次

I 緒 言	2
II 森林の伐採・搬出による地床かく乱の影響と林地の保全策	3
1. 伐採種および地表処理別の比較試験	3
2. トラクタ集材の影響調査	10
3. 伐採・搬出による林地破壊に対する保全策	19
III 林野放牧による地床かく乱の影響と林地の保全策	21
1. 放牧共用林野における荒廢実態調査	21
2. 放牧実験林地における調査	26
3. 林野放牧による林地破壊に対する保全策	30
IV 林野火災による地床かく乱の影響と林地の保全策	31
1. 大規模被災事例の調査	31
2. 流下区による火入れ実験	39
3. 林野火災による林地破壊に対する保全策	41

V 総括および結論	42
文 献	45
Summary	48
Plates	1~6

I 緒 言

森林は他の地被よりも高い理水・侵食防止機能を有することが従来から知られており、それは前報によっても一段と明確にされた。しかし、現存の森林を現状のまま維持することは不可能で、何らかの外力によってかく乱されることは避けられない事実であるので、本報は立木の伐採・搬出、火災や放牧などにより地床がかく乱された場合に、いままでは林地として保持してきた前記の機能がどのように変化するかを、実験や現地調査を行うとともに、その保全的措置も具体的に検討した成果である。

まず、立木の伐採・搬出の問題は、山地は林業経営の場として、流域内の森林の一部または全部が利用されるのは当然であるが、伐採・搬出が水土の保全機能に影響することは無視できない。その影響程度は、立地条件や伐採の規模、集材時の地表かく乱状況によって、かなりはっきりした差異が認められる¹⁰⁾¹⁷⁾¹⁸⁾⁸¹⁾⁸⁸⁾。近年省力化のため、伐出作業は機械化され作業種も皆伐方式が一般的となり、しかも、集材はほとんど暖候期で、搬路は高密度化し、本来平地や丘陵緩斜地のトラクタが、かなりの傾斜地でも活動している。このような結果、林地の傷痕はずい所に見られ、豪雨時の異常出水や表土侵食の誘因となることが指摘されている¹²⁾²⁸⁾。

本研究では、立木の伐採・搬出作業の地表流下、浸透および侵食への影響を具体的に知るため、特定林分に伐採種・地表処理別の試験区を設定し、また、トラクタ集材の小流域で、水・土砂の流出量観測、浸透能測定などを行った。

つぎに、林地かく乱の一形態として畜産利用については、近年、東北地方の山地は林・畜共用または畜産専用として、放牧・採草のため積極的に利用されるようになってきた。林地放牧の場合、家畜・林木への損傷がまず問題となるが、土地条件への影響も無視できない。無計画な過放牧は土地荒廃の誘因になることが知られており⁶⁾¹⁴⁾⁴²⁾、事実、長期間の粗放施業の放牧共用林野の一部に、荒廃地化した場所が見られる²²⁾⁴³⁾。放牧の土地条件への影響を調査した外国文献は、かなり多く見られ⁴⁾²⁰⁾²¹⁾³⁴⁾⁸⁸⁾、それらは放牧による植生変化と関連させて、放牧強度別の浸透能・土壌物理性への影響と水・土砂の流出の問題を取扱っている。わたくしたちも林・畜の複合利用形態である混牧林施業の実験により、放牧状態別の土地条件への影響を解明し、すでにその一部を報告した²⁴⁾。本研究では、長期間きわめて粗放な形態で利用されてきた北上山地の放牧共用林を主対象に、家畜が関与したとみられる荒廃地の分布・発生状況を、立地条件との関連で考察した。また、大規模実験放牧林地での観察調査によって、家畜による地床破壊のメカニズムと裸地発生状況を追跡し、土地条件への影響をさらに明確にした。

林野火災は貴重な森林資源を無為に焼失させ、同時に生産基盤である林地にも少なからぬ悪影響を与え、土壌侵食や崩壊という二次的被害を誘発する場合がある。既往、林野火災・火入れに関連して山地の水流出・浸透・侵食や土壌への影響を扱った外国の報告は少なくなく、これらの報告では、被災や火入れによる浸透能の低下、水・土砂の流出の増加が一般的傾向であるが⁷⁾¹⁹⁾⁸⁵⁾、一部にはこれを否定するものもある²⁾³⁾⁴¹⁾。本研究では、これらの問題を明確にするため、1969年の春季の岩手県三陸沿岸および県北地帯の大規模な林野火災事例を対象に、被災程度別林地の浸透能の測定、侵食発生、土砂流出の状況の継

統的観測を行い、また、人工降雨装置付の地表流下区で小規模な火入れ実験を行なった。

前記の調査・実験を通して、林地の落葉地被物や表土からなる地床は、理水および侵食防止の面で重要な役割を果たしており、しかも、このかく乱は物理性の低下により、水土の保全機能が著しく低下することがわかった。このため、地床のかく乱を最小限にとどめることが肝心で、一度破壊した場所のできるだけ早期の被覆、表土の移動防止により、林地破壊の拡大はある程度抑制できることが実証された。これらの研究成果が、森林の保全的施業の面に、多少とも参考になればと考え、総括して報告するものである。本研究実施に際し、御指導賜った川口武雄元林試防災部長と中野秀章防災部長に、また、実行と取りまとめの両面で協力された当研究室北田健二、北田正憲の両技官および岩手大学石井正典教官に深甚な謝意を表する次第である。

II 森林の伐採・搬出による地床かく乱の影響とその保全策

1. 伐採種および地表処理別の比較試験

(1) 試験地と試験方法

試験地は当場好摩実験林内にあり、標高 230 m、南東に面する 20°~23° のほぼ整一な山腹斜面である。対象地の植生はカラマツ人工林で、林冠はほぼ閉鎖状態にあり、したがって下層低木類は少なく、林床にはオクミヤコザサが全面に疎生していた。土壌は新期の岩手山火山灰からなる未熟な砂質壤土で、土壌型は Bb(d) で代表され、雨水の浸透性はきわめて良好である。なお、試験処理前後における各区の林分構造は Table 1、階層別植被の発達状況は Table 2、土壌の物理性は Table 3 に示した。

試験区は一様な地形部分を選んで、およそ 0.1 ha ずつ 4 区並設した。これらの試験区に対して、Table

Table 1. 試験対象林分の処理前後の林分構造の変化

The stand structure of experimental forest

好摩 (Kôma)

調査時期 Time	樹種 Tree species	試験処理 Experimental treatment	ha 当り Per hectare			胸高直径 Diameter breast high (cm)	樹高 Tree height (m)	樹冠疎密度 Crown density (%)
			本数密度 Tree density (N)	蓄積 Growing stock (m³)	幹断面積 Total basal area (m²)			
処理直前 Before treatment (1966. Jul.)	Karamatsu (<i>Larix leptolepis</i>)	Non-treatment (Plot Q)	2,373	172.7	26.6	$\frac{11.2}{4-8}$	$\frac{10.4}{4-17}$	94.6
		Thinning (Plot R)	2,218	199.5	30.1	$\frac{13.3}{4-24}$	$\frac{11.9}{6-18}$	92.2
		Clear cut (Plot S)	2,009	163.6	23.8	$\frac{12.3}{4-22}$	$\frac{11.2}{5-17}$	92.2
処理直後 After treatment (1966. Aug.)	Karamatsu (<i>Larix leptolepis</i>)	Non-treatment (Plot Q)	2,373	172.7	26.6	$\frac{11.2}{4-18}$	$\frac{10.4}{4-17}$	94.6
		Thinning (Plot R)	793	98.6	15.3	$\frac{15.0}{4-24}$	$\frac{12.8}{6-18}$	53.1
		Clear cut (Plot S)	—	—	—	—	—	—
試験終了時 Completed time of experiment (1969. Sep.)	Karamatsu (<i>Larix leptolepis</i>)	Non-treatment (Plot Q)	2,274	189.8	29.7	$\frac{12.4}{4-20}$	$\frac{10.8}{5-17}$	96.2
		Thinning (Plot R)	759	134.6	19.7	$\frac{18.4}{10-28}$	$\frac{13.5}{7-18}$	77.5

Table 2. 各試験区の植被および地被物の発達状態
Development condition of vegetation and litter on each plot 好摩 (Kôma)

試験区 Plot	階層 Stratum	被覆率 Coverage (%)	組成 Composition
無処理 Non-treatment (Q)	I (> 8 m)	100	カラマツ <i>Larix leptolepis</i> (5)*
	II (3~8 m)	—	
	III (0.8~3m)	—	
	IV (0.05~0.8m)	47	オクミヤコザサ <i>Sasa septemtrionalis</i> (3)
	V (0.05m<)	3	タチツボスミレ <i>Viola grypoceras</i> (+)
	Litter	100	厚さ Thickness : 3.3 cm 風乾重 Weight (air dry) : 2.3 kg/m ²
間伐 Thinning (R)	I	100	カラマツ <i>Larix leptolepis</i> (5)
	II	—	
	III	—	
	IV	53	オクミヤコザサ <i>Sasa septemtrionalis</i> (4)
	V	4	チヂミザサ <i>Oplismenus undulatifolius</i> (+)
	Litter	100	厚さ Thickness : 3.6 cm 風乾重 Weight (air dry) : 2.5 kg/m ²
皆伐 Clear cutting (S)	I	100	カラマツ <i>Larix leptolepis</i> (4)
	II	—	
	III	—	
	IV	57	オクミヤコザサ <i>Sasa septemtrionalis</i> (4)
	V	5	チヂミザサ <i>Oplismenus undulatifolius</i> (+)
	Litter	100	厚さ Thickness : 3.5 cm 風乾重 Weight (air dry) : 2.6 kg/m ²

優占度階級

* Class of dominance.

Table 3. 各試験区の土壌の諸性質
Soil properties of each plot 好摩 (Kôma)

因子 Factor	無処理 Non-treatment (Q)		間伐 Thinning (R)		皆伐 Clear cutting (S)			
					自然状態 Natural (S-I)		地表露出状態 Exposed (S-II)	
	0~5 cm	20~25 cm	0~5 cm	20~25 cm	0~5 cm	20~25 cm	0~5 cm	20~25 cm
容積重 Volume weight (%)	76.6	86.1	74.9	85.3	76.0	88.0	75.3	84.5
圧結度 Compactness (%)	77.2	88.8	79.2	87.4	77.5	89.5	78.9	86.3
全孔隙量 Total porosity (%)	69.4	63.5	71.2	65.8	70.5	65.7	71.9	62.9
非毛管孔隙量 Non-capillary porosity (%)	15.0	16.4	15.3	9.2	24.2	9.8	10.0	9.0
透水性 Percolation rate (cc/min)	54	57	54	45	47	45	49	52

4 に示す試験処理を加えた。そして各区のほぼ中央部に、斜面長 20 m、幅員 5 m の地表流下区を 1 区設定した。各試験区の面積、傾斜角などは Table 5 に示した。各流下区では地表流下量を転倒マス式量水計に電接回数自記器を接続させ、継続記録した。流出土砂量はプロットの下端に、半円ヒューム管による捕そく装置を施設し、随時貯砂を秤量した。降水量は幅 10 cm、長さ 20 m の樋型雨量計を特製し、各区

Table 4. 立木伐採および地表かく乱の試験の処理
The experimental treatments of the tree cutting and the disturbance on ground surface

好摩 (Kôma)

試験区 Plot	処 理 Treatment	摘 要 Remark
Q	無 処 理 Non-treatment	枯損木も除去しないそのままの状態。 既往の伐採歴なし。
R	間 伐 Thinning	幹断面積合計のおよそ 1/2 を伐採。 伐採木および末木枝条は林外に搬出。
S	I 皆 伐 Clear cutting	皆伐後地床はそのままの状態。 伐採木および末木枝条は林外に搬出。
	II 皆伐 (地表露出) Clear cutting (Exposed ground surface)	皆伐後、地被物を剥脱し、表土を露出。 伐採木、末木枝条、地被物など林外に搬出。

Table 5. 各試験区の面積および傾斜角
Area and inclination of each experimental plot

好摩 (Kôma)

試験区 Plot	処 理 面 積 Treatment area (ha)	流下区面積 Runoff plot area (m ²)	傾 斜 角 Inclination angle (°)
Q	0.084	90.9	24
R	0.087	91.7	22
S	I 0.049	93.4	21
	II 0.047	93.4	21

Table 6. 各流下区からの地表流下
Surface runoff of each plot

好摩 (Kôma)

月 Month (1966~69)	降 水 量 Precipitation (mm)	無 処 理 Non-treatment (Q)		間 伐 Thinning (R)		皆 伐 Clear cutting (S)			
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	自然状態 Natural (S-I)		地表露出 Exposed (S-II)	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Apr.	74.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5
May	88.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.4	0.8
Jun.	60.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	0.8	1.4
Jul.	140.5	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	1.2	1.1
Aug.	215.0	0.6	0.5	0.5	0.1	0.4	0.2	2.2	1.3
Sept.	138.3	1.2	0.8	0.6	0.5	1.4	1.0	2.7	2.2
Oct.	95.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.8	0.7	1.5	1.4
Nov.	62.2	0.2	0.2	0.7	1.0	0.3	0.4	0.5	0.8
計 The total	874.3	2.8		2.7		3.3		9.5	

2 基ずつ流下区両側に設置し、地上到達分を捕そくし自記させた。

土壌中の水分動態を知るために、各区の流下区の中中部両側面の地表下 20 cm と 40 cm に、有光ら¹⁾の考案した細菌濾過管を用いたテンションライシメータを各深さにつき 3 個ずつセットした。さらに、各試験区の流下区外域から、深さ別 (0~5 cm, 20~25 cm, 40~45 cm, 60~65 cm, 80~85 cm, 100~105 cm) の 6 位置で、1 週間おきに土壌試料を 200 cc 採土円筒で自然状態に採取し、土壌含水量を測定した。上

記の諸観測は1966年9月から1969年8月までの3か年間で、冬期は除いた。

(2) 地表流下量および土砂流出量の差異

3か年間の地表流下量の観測結果を、月別に集計したのが Table 6 である。この結果によると、各区とも地表流下がきわめて微量である。これは当該地の土壌の浸透性がきわめて良好なこと、強雨ひん度が比較的少なかったことが起因している。各処理区別にみると、皆伐し地表露出した S-II 区がもっとも大きかったが、それでも年地表流下率は1%強に過ぎない。このことは伐採地表処理のいかに問わず、降雨の地上到達量のほとんどを浸透させ、地中水分として供給していることを示している。ただし、この結

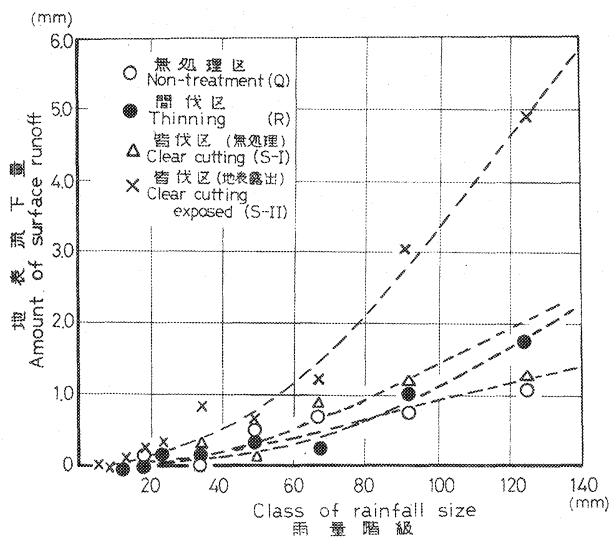


Fig. 1 各処理区における雨量階級と地表流下の関係 (好摩)
Relation of surface runoff to class of rainfall size at each treatment plot. (Kôma)

果は観測期間中の通算平均値であって、これは1降雨ないし日単位にみれば、地表流下率は数%に達する場合もある。

Fig. 1は各処理区の3か年間の日雨量別の地表流下量を、雨量階級ごとに整理したものである。これによると、各区とも雨量が多くなるにつれて、地表流下量が上昇曲線を描いて増加する傾向が認められる。しかし、かなりのばらつきがあって、その回帰式を求めるまでに至らないが、川口¹⁶⁾や中野²⁸⁾の報告のような $R=aP^b$ (R : 月流下量, P : 同期間の雨量, a と b : 常数) の放物曲線

Table 7. 各流下区からの土砂流出
Sediment load at each plot

好摩 (Kôma)

月 Month (1966~69)	無処理 Non-treatment (Q)		間伐 Thinning (R)		皆伐 Clear cutting (S)			
					自然状態 Natural (S-I)		地表露出 Exposed (S-II)	
	(kg/ha)*	(mm)**	(kg/ha)*	(mm)**	(kg/ha)*	(mm)**	(kg/ha)*	(mm)**
Apr.	0.7	0.0	0.6	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0
May	1.9	0.0	3.9	0.0	5.0	0.0	743.6	0.1
Jun.	5.9	0.0	7.7	0.0	3.7	0.0	2,682.8	0.3
Jul.	3.2	0.0	2.8	0.0	5.2	0.0	8,183.2	0.8
Aug.	2.7	0.0	19.8	0.0	9.7	0.0	13,817.5	1.4
Sept.	12.7	0.0	18.1	0.0	11.8	0.0	3,055.3	0.3
Oct.	7.4	0.0	8.4	0.0	1.9	0.0	257.3	0.0
Nov.	0.6	0.0	5.6	0.0	1.8	0.0	10.6	0.0
計 The total	35.1	0.0	66.9	0.0	39.4	0.0	28,750.6	2.9

* 絶対乾重で表示した。Express with weight of oven dry.

** 絶対乾重 1 ton \div 1 m³ で換算した。Convered into 1 ton (oven dry) \div 1 m³.

式に近似している。

本試験の結果では、無処理、間伐、皆伐の伐採処理間の地表流量には、大きな差異が認められないが、やはり地表露出によって、他の各区よりも多少増加の傾向がみられた。当該地の場合は、伐倒木の径級が4~18 cm という比較的細いもので、地床を破壊しないよう人力で林外に搬出した。このため伐採前に保持していた高い浸透能が、伐出によってもそれほど低下しなかったものと推察される。

つぎに、同期間の各処理別の流出土砂量を、月別に集計したのが Table 7 である。これによると、皆伐し地表を露出させた S-II 区以外は微量である。すなわち、間伐はもとより皆伐しても、地床が破壊されない限り、侵食は発生せず流出土砂量もほとんど認められない。しかし、地被物を剥ぎとると、流出土砂量は急激に増大し、年累加量の3か年平均は29 ton/ha（絶乾重量）に達する。S-II 区では地表露出状態であるが、カラマツ伐根が2,000 本/ha 前後残存しており、表土の緊縛にかなり効果を發揮している。同区の流出土砂量を月別にみると、8月が他の月にくらべて圧倒的に多い。これは降雨総量が多いいうえに、強雨のひん度が高いこと、さらに、盛夏時に表土が極端に乾燥し、流亡しやすい条件下にあったことによる。

同区の4か年間の流出土砂量を、雨量階級別に整理してプロットしたのが、Fig. 2 である。これによると多少ばらつくが、雨量が多くなるにつれて、流出土砂量が次第に増大する傾向が認められ、この関係は $E=1.448 P^{1.508}$ (E : 流出土砂量 (絶乾重 ton/ha), P : 雨量) の放物曲線式であらわされる。ばらつきの原因は、降雨の型や土湿条件などに関連するものとみられる。なお、流出土砂量と降雨強度の関係は、すでに川口ら¹⁷⁾¹⁸⁾によっても、 $E=aP^b$ (a と b は常数) の関係があることが明らかにされている。

(3) 土壌含水率と土壌水分動態の差異

Fig. 3 は1968年4月から11月までの期間、各区の深さ0~5 cm で測った土壌含水率の変動を示したものである。また、全期間の平均含水率とその変化係数を、Table 8 に示した。含水率の表示は、飽水時含水量に対する採取時含水量の容積百分率である。深さ1 mまでの6点の全層平均では、各処理区別に明白な差異や特徴が認められない。しかし、各深さ別や表層(0~40 cm)、下層(60~100 cm)に区分してみると、その変化に若干の特徴がみられる。

すなわち、各区とも表層部にくらべて下層部の変化が少ない。また、各処理別には皆伐区が0~5 cm と20~25 cm の位置の変化係数が多少大きいのに対し、有林区では20~25 cm と40~45 cm の位置がいくらか大きい。皆伐区の表土の含水率は、被覆物が乏しいため降雨や蒸発の影響を直接的に受けて変化しやすいのに対し、有林区では林木の蒸散作用の関連で、やや深い位置で変化が大きくなるものと推察される。年間の全層平均含水率では、各処理区間に有意な差異が認め難いが、表層部に限ると皆伐区がやや大きい傾向がある。

当該地のように降雨量が比較的少なく、しかも浸透能の高い土壌では、地表到達雨量が多く蒸散量の少ない皆伐区の方が、地表からの蒸発損失が大きくとも、有林区よりも土壌中の水分含量が多くなる可能性がある。このような事実は、四手井ら³⁹⁾がスギ壮令林で、佐藤ら³⁸⁾がアカマツ壮令林で伐採跡地とくらべながら、年間通じて土壌水分の測定を行った結果でも指摘されている。なお、皆伐地表露出区では、乾天が続くと地表が極端に乾燥し灰状を呈することがある。しかし、この深さは当該地のような砂質土ではせいぜい2 cm 程度に過ぎない。地表部が気乾状態に近くとも、その下層からの毛管上層水は、この部分でしゃ断されむしろ蒸発損失を抑制する結果となっている。

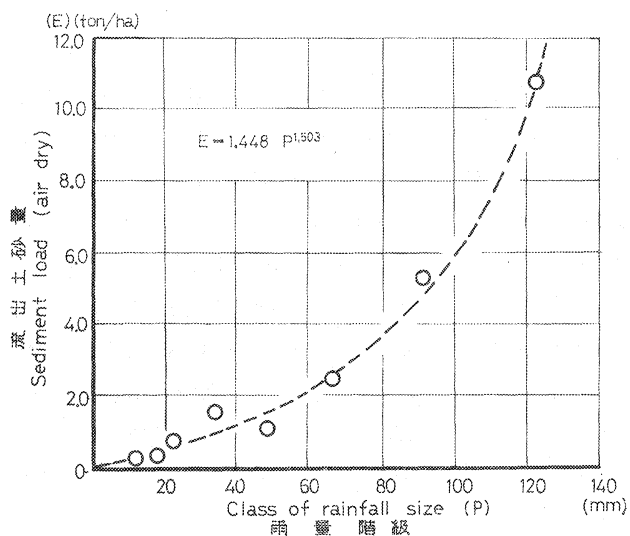


Fig. 2 皆伐地表露出区における雨量階級と流出土砂量の関係(好摩)
Relation of sediment load to class of rainfall size at S-II plot.
(Kôma)

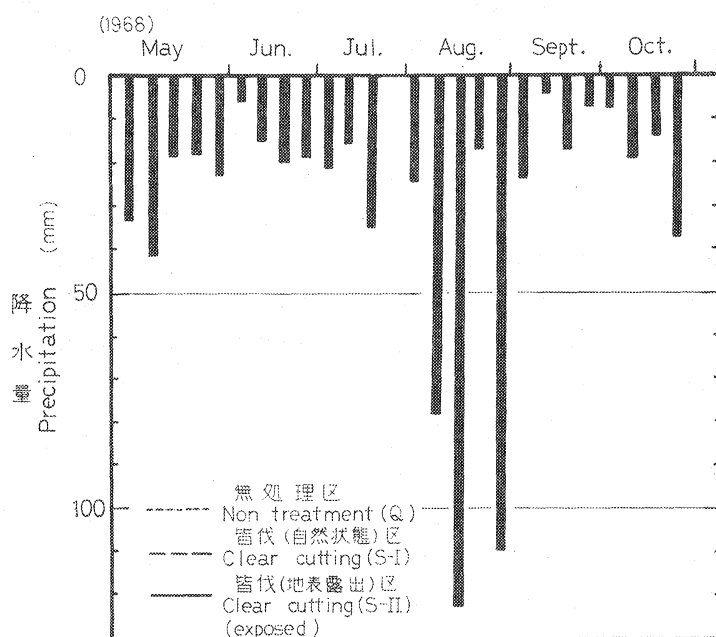


Fig. 3 各区における0~5 cmの深さの土壌水分の季節的な変化(好摩)
Seasonal changing of soil moisture in 0~5 cm depth at each plot. (Kôma)

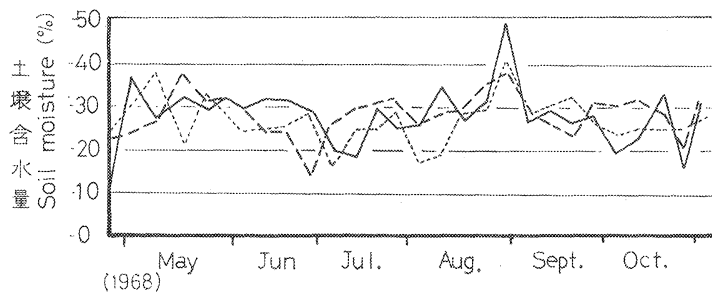


Table 8. 全期間の平均土壌含水率と変化係数
Average soil moisture content and coefficient of variation
on the total period
好摩 (Kôma) (1966~68)

試料採取位置 Sampling depth (cm)	無 処 理 Non-treatment (Q)		間 伐 Thinning (R)		皆 伐 Clear cutting (S)			
	土壌含水率 Moisture (%)	変化係数 C. V.	土壌含水率 Moisture (%)	変化係数 C. V.	自然状態 Natural		地表露出 Exposed	
					土壌含水率 Moisture (%)	変化係数 C. V.	土壌含水率 Moisture (%)	変化係数 C. V.
0~ 5	26.0	0.23	25.0	0.24	28.8	0.22	28.5	0.28
20~ 25	25.8	0.25	22.0	0.25	26.2	0.25	23.1	0.25
40~ 45	37.1	0.19	30.2	0.27	38.5	0.18	38.4	0.15
表層土平均 Surface soil (Average)	29.6	0.22	25.7	0.25	31.2	0.22	30.0	0.23
60~ 65	41.3	0.18	38.5	0.14	43.9	0.15	40.9	0.11
80~ 85	44.2	0.17	40.0	0.12	46.0	0.11	44.7	0.10
100~105	45.7	0.17	42.9	0.14	47.0	0.12	47.0	0.09
下層土平均 Sub soil (Average)	43.7	0.17	40.5	0.13	45.6	0.13	44.2	0.10
全層平均 Total layer (Average)	36.7	0.20	33.1	0.19	38.4	0.17	37.1	0.15

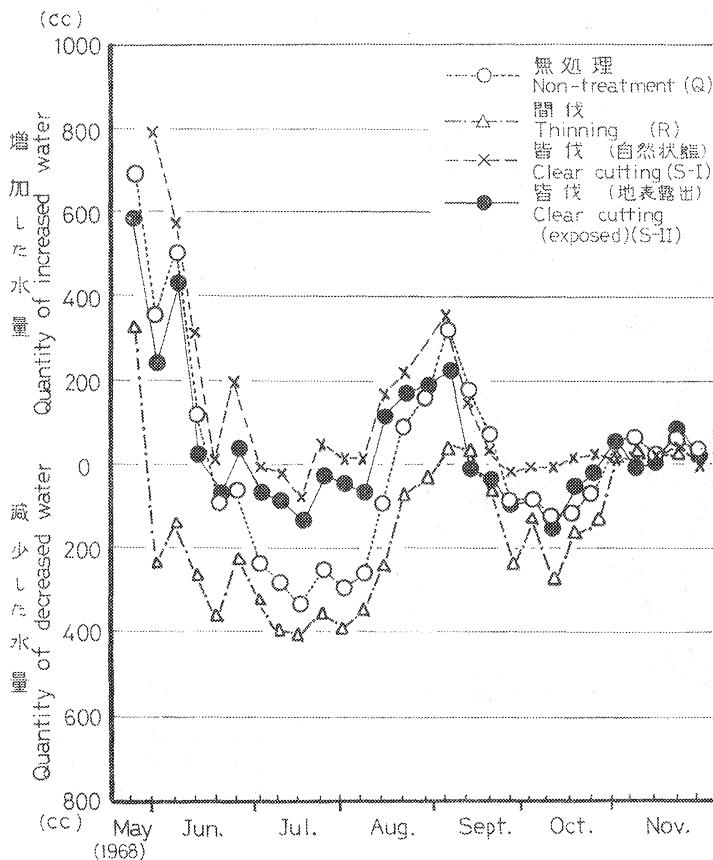


Fig. 4 テンションライシメータ法による20~40 cmの土壌含水量の動態(好摩)
Movement of water content in the soil at 20~40 cm depth by the tension lysimeter method, (Kôma)

つぎに、Fig. 4 はテンションライシメータによる表土（深さ 20～40 cm）の水分動態を示したものである。各区 3 測点の平均値であるが、長さ 15 cm、径 1.6 cm という小型の濾過管であり、特定点の水の動きを示すに過ぎない。この結果によると、蒸発散作用の活発な 6～8 月の期間は各区とも減水し、とくに有林区の方が無林区よりも水分消費が大きいたことがわかる。また、全期間を通じて各区とも減水傾向がみられるが、水収支の面でこの範囲においてマイナスとなっていることを意味する。有林区が無林区より不足分が大きくなる理由は、降雨しゃ断による消失量と蒸散による消失量が蒸発量における両区の差を上廻った結果と推察される。本数密度の低い間伐区が高い無処理区よりも減水量が大きいの、間伐による成長促進にともなう蒸散量の増大と、疎開による蒸発損失の増大が加わった結果と考えられる。

2. トラクタ集材の影響調査

(1) 調査地と調査方法

調査対象地は、岩手県下の四日市国有林（岩手営林署管内）と兄川国有林（田山営林署管内）の 2 か所である。前者は標高 400m 前後の丘陵地に成立したアカマツ天然生林地で、南面の 10～25° の傾斜地である。後者は標高 700m 前後の山丘地に成立したブナ・ミズナラ天然生林地で、北面の 15～30° の傾斜地である。以下前者を四日市調査地、後者を兄川調査地と呼ぶ。

四日市調査地は 1970 年春季に立木が伐採され、並行的にトラクタ（クローラ型・岩手富士産業製、型式 CT-35、重量 4.65 ton、接地圧 0.35 kg/cm²、全幅 1.74 m、全長 2.76 m）により当該流域末端の山元土場まで搬出された。調査地は Fig. 5 に示したように、1 本の小沢を中心とする小流域を形成し、全面積

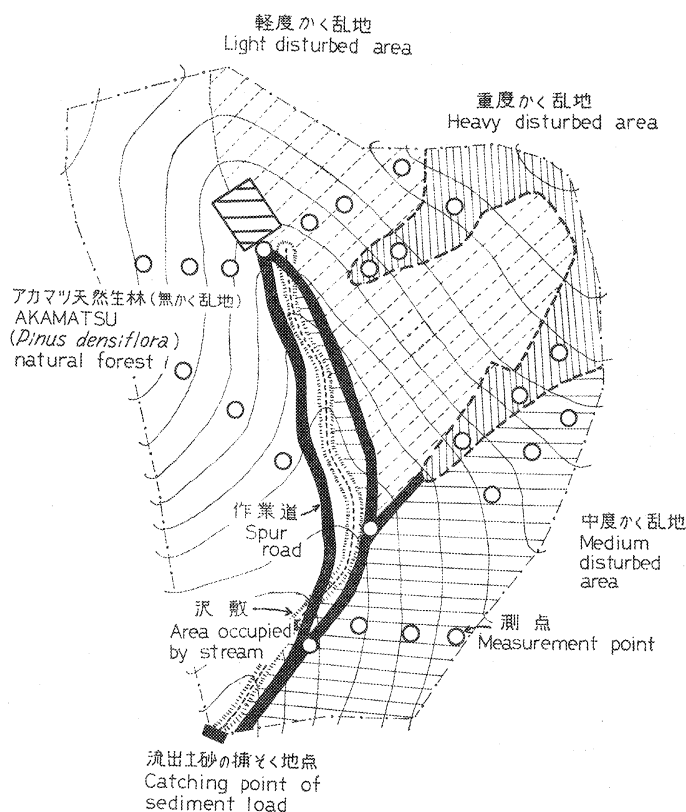


Fig. 5 トラクタ集材による地表変動調査地と各種測点（四日市調査地）
Study area of the tractor logging and each measurement point, (Yokkaichi)

は 3.0 ha である。兄川調査地は、1973 年夏季に立木が伐採され、トラクタ (クローラ型、キャタピラ三菱製、形式 Cat. D-4、重量 65 ton、接地圧 0.42 kg/cm²、全幅 2.02 m、全長 3.10 m) により、秋季までに当該流域末端の山元土場まで搬出された。調査地は Fig. 6 に示したように、2 分岐する小沢を有する小流域を形成し、全面積は 4.3 ha である。

伐採木の搬出方式は両調査地ともほぼ同様であり、当初トラクタが行動できるような作業道 (幅員おおむね 3.0 m) を、装備する排土板によって作設したのち、これをベースとしてワイヤで木寄せし、集材搬出している。全幹集材型の作業体系で、伐採木は数本全幹のまま一括され、アーチ方式によりサルキ (Logging sulky) によって吊り上げながら、トラクタでけん引されるものである。両調査地から伐採搬出された伐採木の本数、材積などは、Table 9 に要約したとおり、トラクタによる搬出直後、両調査地ともに地床がかなりかく乱され、とくに傾斜が急で導入機械が大型な後者の方が顕著であった。詳細にみる

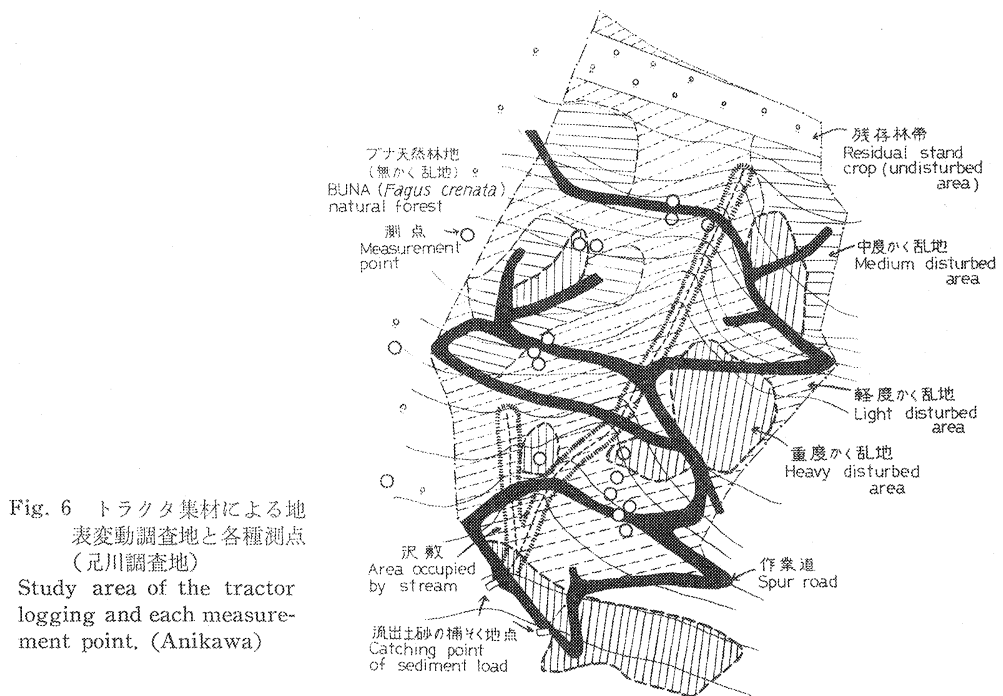


Fig. 6 トラクタ集材による地表変動調査地と各種測点 (兄川調査地)
Study area of the tractor logging and each measurement point. (Anikawa)

Table 9. トラクタ集材による地表変動調査地の林況と集材量
Forest condition before the cutting and the logging volume on the investigated area which measured changing of ground surface

調査地 Investigated area	面積 Area (ha)	伐採前の林況 Forest condition before cutting				集材量 Logging timber		主要樹種 Mainly tree species
		胸高直径 Diameter breast high (cm)	樹高 Tree height (m)	本数 Number (N/ha)	材積 Volume (m ³ /ha)	本数 Number (N/ha)	材積 Volume (m ³ /ha)	
四日市 Yokkaichi	2.0	18~36	14~24	500	240	432	210	アカマツ (<i>Pinus densiflora</i>)
田山 Tayama	4.6	12~150	12~23	386	191	332	175	ブナ (<i>Fagus crenata</i>) ミズナラ (<i>Quercus crispula</i>)

と、かく乱程度は場所によってかなりの差異が認められた。すなわち、最も激しくかく乱されたのは作業道およびその周辺で、ついでトラクタが集材のため高ひん度に通過したか回転した部分で、これらの場所には地被物がほとんどみられない。これに対し、ワイヤで集材された部分は、地床はほとんど損傷されていない。なお、両調査地とも近接地に、トラクタの全く行動しない無かく乱地を対照区として設定した。

調査は搬出完了直後から始め、翌年の秋季までの期間継続した。調査内容は調査地によって若干異なり、四日市調査地ではかく乱程度別の浸透能や土壌物理性に与えた影響とその回復過程に、兄川調査地ではかく乱程度別の地表の変動深と全流域からの流出土砂量の捕そくに重点をおいた。具体的には、地表かく乱程度別に 2 m 方形の固定調査区を、斜面・中・下の 3 か所に設置し、地表保護物（落葉地被物、地床植物）の被覆率と量・土壌物理性（硬度、孔隙量、圧結度、分散率など）を調査分析した。浸透能測定は Rocky Mountain 型浸透計を、地表変化深は試作した土壌侵食計を用いた。また、流域末端には木製の簡易土砂受け装置を設置し、随時流出土砂量を捕そく計量した。これらの測定位置や施設配備位置は、前掲の Fig. 5, Fig. 6 の中に示してある。

（2）トラクタの行動と地表かく乱の状況

現地の観察によると、地床のかく乱程度は、地形に応じておよそ区分ができる。このことは、トラクタの行動が地形とくに傾斜角に対応して定まることを意味している。林野庁で示した「トラクタ集運材作業基準」³⁷⁾によれば、搬路の制限勾配は土道で 25° になっている。登坂能力はおおよそ 35° なので、実際には 30° 前後の急傾斜でも無理をして行動する場合もまれではない。20° 以下の緩斜地では集材コースをとくに定めない場合が多いので、トラクタはほぼ全面を自由に行動する。

林地保全上からみたトラクタ集材地の重度かく乱地は、急斜面の下降地、緩斜面の回転地、作業道周辺に限られる。中度かく乱地は、集材コースを定めないで行動した緩斜面であり、軽度かく乱地はそれ以外の場所で、主としてワイヤで木寄せした傾域である。この中で最も問題となるのは、傾斜地に作設する荒けずりの作業道と丸太の地擦りにより発生するかく乱である。両調査地とも地びき集材ではなく、吊上げ方式であるので、荷の摩擦抵抗はほぼ半減されているが、ブナやミズナラのような広葉樹大径木の場合には、枝張りが大きいので地床破壊の度合いが大きい。

トラクタ集材地を Table 10 に示したかく乱程度によって観察区分とすると、四日市調査地の場合には、重度区が 21%（この中には作業道 5%）、中度区 37%、軽度区 42% となる。このかく乱程度は地表保護

Table 10. トラクタ運材による地表のかく乱状態の区分
Classification of the disturbance condition on ground surface
by the tractor logging 四日市 (Yokkaichi)

区 分 Classification	地 表 の 状 態 Condition of ground surface
A. 軽度かく乱区 Light disturbed area	伐倒木がワイヤーで集材された跡地。通例、トラクタの通過はなく、地床がほとんど破壊されていない。無かく乱地も含む。
B. 中度かく乱区 Medium disturbed area	トラクタがほぼ全面不規則に、数回通過。A ₀ 層が圧縮され、一部地表露出する。
C. 重度かく乱区 Heavy disturbed area	トラクタが集中的に十数回以上通過。地表はほぼ全面にわたり露出し、しかも固結している。
D. 作 業 道 Spur road	トラクタに付帯したアングルドーザにより作設した道路。幅員 3 m で、表土数十 cm が掘削され、地表面は強く固結している。

Table 11. トラクタ集材跡地の地表の状態（植被および落葉地被物）
The ground condition (standing vegetation and litter) of the tractor logging areas

調査地 Study area	区分 Division 地表保護物 Soil protecting cover	かく乱地 Disturbed area				無かく乱 林地 Un- disturbed forest land
		軽度 Light	中度 Medium	重度 Heavy	作業道 Spur road	
四日市 Yokkaichi	植 被 率 Percentage of vegetation (%)	61.2	43.3	8.3	0.3	66.7
	全 植 物 量 Weight of total vegetation (air dry g/m ²)	44.1	38.5	—	—	93.1
	植物遺体の被率 Percentage of litter cover (%)	100.1	100.0	38.3	11.7	100.0
	植物遺体重 Weight of total litter (air dry g/m ²)	1,794.1	2,394.0	—	—	1,482.6
	全植物遺体の平均厚さ Mean thickness of litter (cm)	1.7	1.7	0.2	0.1	2.3
	全被覆率（植物および遺体） Percentage of total cover (%)	100.0	100.0	38.3	11.7	100.0
	全被覆重（植物および遺体） Weight of total cover (air dry g/m ²)	1,838.2	2,432.5	—	—	1,575.7
兄 川 Anikawa	植 被 率 Percentage of vegetation (%)	33.3		18.0	1.6	41.6
	全 植 物 量 Weight of total vegetation (air dry g/m ²)	33.8		—	—	59.2
	植物遺体の被率 Percentage of litter cover (%)	100.0		25.0	7.7	100.0
	植物遺体重 Weight of total litter (air dry g/m ²)	1,090.7		—	—	1,225.0
	全植物遺体の平均厚さ Mean thickness of litter (cm)	2.7		0.3	—	3.5
	全被覆率（植物および遺体） Percentage of total cover (%)	100.0		25.0	7.7	100.0
	全被覆重（植物および遺体） Weight of total cover (air dry g/m ²)	1,124.5		—	—	1,284.2

物（植被および植物遺体）の現存量と直接的に関連しており、重度区ではそれがほとんどなく、中度区では無かく乱地の1/2以下であるが、軽度区では無かく乱地とほとんど差がない。これらについて、両調査地で詳細に測定した結果を Table 11 に示した。

（3）土壌物理性の差異

トラクタの走行荷重は弾動荷重ともいわれ、荷重の加わり方は単なる踏圧の場合と違って、垂直荷重強度の影響のみでなく、これに土壌面に対するキャタピラや丸太の地すりなどの複雑な運動の影響が加わっている。トラクタによる集材の結果、林地の表土の物理性に少なからぬ悪影響をあたえたことは、現地観察からも感知された。その端的な変化は地表面の硬化である。Table 12 は四日市調査地において、地表かく乱程度別に、地表面と20 cmの深さで、土壌硬度を測定した結果である。また、Fig. 7 は兄川調査地でかく乱されない周辺の残存林帯と比較し、地表から40 cmまで、深さ別に各区の土壌硬度を測定した結果である。測器は山中式土壌硬度計を用いた。

Table 12. 各調査区の土壌硬度
Hardness of surface soil at each study area 四日市 (Yokkaichi)

調査区 Study area	地表面 Ground surface		20 cm の深さ 20 cm in depth	
	絶対値 Absolute value (kg/cm ²)	指標値 Index value (mm)	絶対値 Absolute value (kg/cm ²)	指標値 Index value (mm)
A. 軽度かく乱区 Light disturbed area	0.942	8.1*	3.299	14.5
B. 中度かく乱区 Medium disturbed area	2.687	13.4	3.691	15.1
C. 重度かく乱区 Heavy disturbed area	5.077	16.8	4.129	15.7
D. 作業道 Spur road	14.238	22.0	10.870	20.7
E. アカマツ天然生林地 (無かく乱地) Akamatsu natural forest land (non-disturbance)	1.427	10.1	2.493	13.0

* 同符号をもった平均値は5%の有意水準で差異が認められない。

Means with the same letter superscript are not statistically different from other at the 0.05 level of significance.

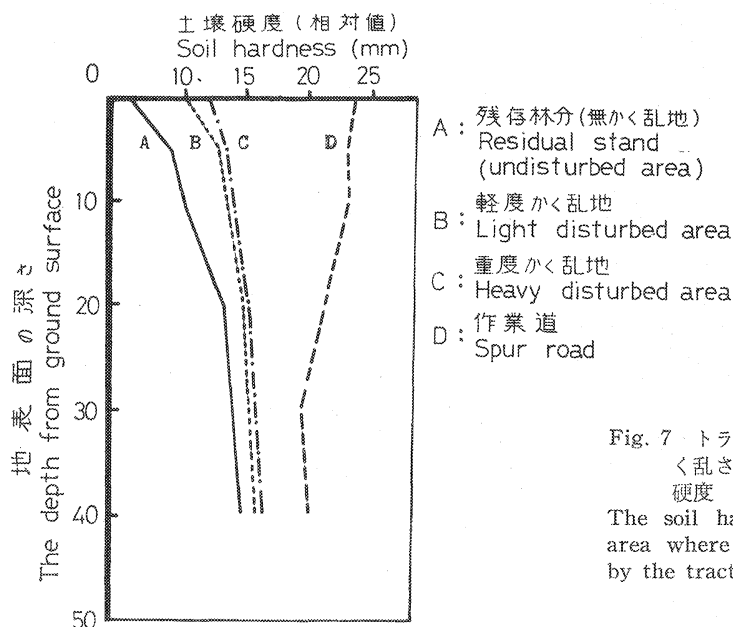


Fig. 7 トラクタ集材によりかく乱された各地区の土壌硬度

The soil hardness of each area where were disturbed by the tractor logging.

(Anikawa)

これらによると、各区分の両深さの土壌硬度を比較した場合に、有意な差異が認められ、とくに地表面が顕著である。作業道が下層まで他の区よりも硬化しているが、トラクタの行動のほかに、路面設定に際して表土をカットしたことも影響している。通過ひん度のもっとも高い作業道の硬化は当然のことであるが、重度および軽度かく乱地の表土も若干硬化している。土壌硬度はそれ自体指標的な意義を示すに過ぎないが、土壌の物理性との関連性は高い²⁴⁾。

Table 13 は四日市調査地において、各地区別に0~5 cm と20~25 cm の両位置から、400 cc の採土円筒を用いて自然状態に採取した土壌試料を調べた結果である。これによると圧結度、容積重などがかく

Table 13. 各調査区の土壌の諸性質

Soil properties at each study area

四日市 (Yokkaichi)

調 査 地 Study area	因 子 Factor	軽 度		中 度		重 度		作 業 道		林 地 (無かく乱地) Forest land (non-dis- turbance)	
		Light		Medium		Heavy		Spur road			
		cm 0~5	cm 20~25	cm 0~5	cm 20~25	cm 0~5	cm 20~25	cm 0~5	cm 20~25	cm 0~5	cm 20~25
	分 散 率 Dispersion ratio (%)	15.8	23.1	26.1	32.3	28.8	23.8	19.0	29.3	17.7	24.7
	団 粒 化 率 Aggregation (%)	30.9	29.3	31.2	31.0	29.6	29.3	44.3	40.8	27.8	23.5
	粘 土 比 Clay ratio (%)	18.4	15.8	17.1	12.8	18.1	20.6	15.8	10.7	18.1	15.9
	透 水 性 Percolation rate (cc/min)	94	53	47	38	21	29	4	10	88	47
	自然状態の容積重 Volume weight (%)	47.2	58.6	51.6	46.3	58.4	47.3	67.1	48.5	37.0	52.7
	圧 結 度 Compactness (%)	60.6	71.9	68.2	62.5	74.5	62.1	82.1	65.5	48.5	68.1
	非毛管孔隙量 Non-capillary porosity (%)	13.6	12.6	5.5	6.2	4.8	10.0	1.8	4.2	14.8	12.0
	全 孔 隙 量 Total porosity (%)	81.1	78.0	79.1	81.7	76.3	80.5	72.6	80.7	85.3	79.0
	最大容水量 Water holding capacity (%)	80.8	86.7	82.2	85.6	84.6	86.3	80.7	83.4	76.3	84.0

乱程度が強まるにつれて明らかに増大しており、反面、透水性や孔隙量などは低減している。この場合においても、地区間では作業道の路面が顕著な値を示し、深さ別にみると 0~5 cm の方に影響が強くあらわれている。これに類似する結果は、ZASADA⁴⁴⁾ により北部 Minnesota のポプラ林地のトラクタ集材地で実証されている。

受食性の限界値を示した難波ら²⁹⁾の提案を参照すると、四日市調査地の分散率では中度、重度、作業道の各区は受食性が最高位の 3 に該当している。なお、現地での観察によると、融雪直後や長雨のあとのような土壌含水率の高いときは、トラクタの行動による地床かく乱や土壌への影響は著しく増大することが確かめられた。MOEHRING ら²⁵⁾は Arkansas の Loblolly pine の林地でのトラクタ集材で、湿潤時の方が乾燥時よりも、土壌の容積重を増大させ、大孔隙を減少させたことを明らかにしている。

(4) 浸透能および侵食深の差異

四日市調査地の各区で、Rocky Mountain 型浸透計を用いて、浸透測定を行った。この場合、現実予想される最大の降雨強度 100 mm/hr を基準とし、降雨期間 1 時間の浸透レートの経過と、この期間の累加流出土砂量を測定した。また、降雨強度を 20~250 mm/hr まで変化させて、対応する浸透レートも測定した。これらの結果は Table 14, Fig. 8 のとおりである。

これによると初期および最終浸透レートとともに、各区间に有意差が認められ、とくに重度区や作業道は、無かく乱の林地や軽度区にくらべると、最終レートはおおよそ 1/3 に過ぎない。また、地被物のほとんどない重度区や作業道では、実験降雨による流出土砂量が多く、また、地表流下開始降雨強度がかく乱されない場所にくらべて著しく低い。

兄川調査地で固定杭と前記土壌侵食計を用いて地表侵食深を測定したが、この結果は Table 15 に示し

Table 14. 各調査区の浸透強度と流出土砂量
Infiltration intensity and sediment load at each study area

四日市 (Yokkaichi)

調査区 Study area	平均降雨強度 Average rainfall intensity (mm/hr)	浸透強度 Infiltration intensity (mm/hr)		流出土砂量 Sediment load 絶乾重 (ovendry: ton/ha)
		初期レート Initial rate (f_0)	最終レート Final rate (f_c)	
A. 軽度かく乱区 Light disturbed area	107.4	137 ^{a*}	90 ^a	—
B. 中度かく乱区 Medium disturbed area	100.5	111 ^b	79 ^b	—
C. 重度かく乱区 Heavy disturbed area	102.0	96 ^c	58 ^c	4.0
D. 作業道 Spur road	97.6	76 ^d	19 ^d	10.6
E. アカマツ天然生林地 (無かく乱区) Akamatsu natural forest land (non-disturbance)	108.3	144 ^a	92 ^a	—

* 同符号をもった平均値は5%の有意水準で差異が認められない。

Means with the same letter superscript are not statistically different from other at the 0.05 level of significance.

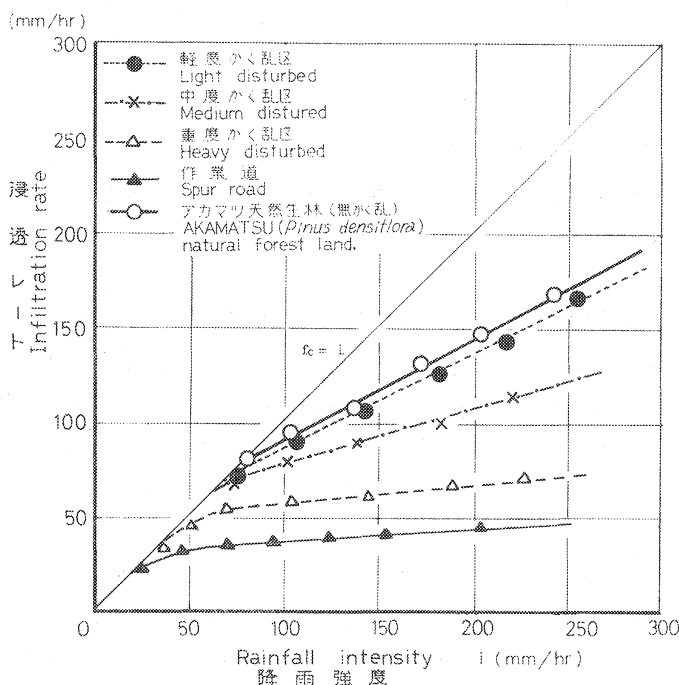


Fig. 8 トラクタ運材による各調査区での降雨強度と浸透レートの関係(四日市)
Relation of rainfall intensity to infiltration rate at each measurement area by the tractor logging. (Yokkaichi)

たとおりである。これは搬出完了後、春から秋までの4か月間の測定結果であるが、これによると重度区と作業道の谷側のり面の損失深が他よりも大きく、斜面の上、中、下部の平均値が1.5~1.8 mm の範囲で斜面上部がとくに大きいことが注目される。ここで、変化深とは増減の絶対値の合計平均、損失深とは減深のみの合計平均をさしている。豪雨時の観察によれば、路面が水みちとなり、周辺の浮土砂が下流に流送され、水流が作業道を経由して谷側の盛土面に流入する部分には水食溝が発達している。

Table 15. トラクタ集材跡地におけるかく乱程度別の地表変動および損失深
The changed depth and the lost depth on ground surface of each
disturbance degree of the ground floor 兄川 (Anikawa)

項 目 Item	傾斜角の位置 Parts of slope	かく乱程度 Disturbance degree		搬路 Spur road		
		軽 度 Light	重 度 Heavy	路面 Surface of road	盛土面 Banking slope	切土面 Cutting slope
変 化 深 Changed depth (mm)	上部 Upper	1.28	1.15	0.54	1.87	1.02
	中部 Middle	1.08	1.03	0.58	1.64	—
	下部 Under	0.75	1.51	0.95	1.05	1.11
	平均 Average	1.04	1.23	0.69	1.52	1.07
損 失 深 Lost depth (mm)	上部 Upper	0.62	0.41	0.24	0.78	1.52
	中部 Middle	0.02	0.65	0.43	0.30	1.49
	下部 Under	0.51	0.99	0.68	0.93	0.04
	平均 Average	0.38	0.68	0.45	0.67	1.02

(5) 全域からの流出土砂量

両調査地で、搬出の終了した春季から同年の秋季まで、全流域からの流出土砂量を捕そく測定した。降雨条件にもよるが、地形や比較的ゆるやかで、小型車輛を用いた四日市調査地は、地表侵食や土砂流出が目立たなかった。しかし、1970年7月31日～8月1日の120 mm という豪雨の際に、流域内の各地点で表土の侵食現象が確認された。流域末端で0.28 ton/ha (絶乾重) の土砂が捕そくされたが、これは当該流域面積3 ha に換算すると0.13 mm、伐出面積2 ha に限ると0.19 mm となる。この土砂の根源は、主として作業道開設の際に生じたのり面周辺の不安定土砂と路面の侵食によるものである。作業道や重度区には面状および細溝水浸食の形跡がみられ、また、流域末端まで到達しないで途中の伐根枝条などに停滞している土砂も観察された。

兄川調査地の場合、傾斜も急で作業道の密度が高いこと、大型の車輛を導入したことなどが関連し、地床かく乱程度が顕著で地表侵食や土砂流出が目立った。すなわち、1974年7月から11月までの時期別流出土砂量を、Table 16 に示したが、これによると全期間0.53 ton/ha (絶乾重) に達し、侵食深で示すと0.26 mm 程度になる。流域面積当たりの侵食深は、四日市調査地のおよそ2倍に達し、しかも強雨が少なかった割合に毎月土砂流出が継続したのが特徴である。兄川調査地は立地条件がわるく、地床かく乱程

Table 16. トラクタ集材跡地からの流出土砂量と損失有機物量
The sediment load from the tractor logging area and the contents of
organic matter in the sediment load 兄川 (Anikawa)

項 目 Item	測 定 期 間 Measurement duration					合計(平均) Total (Average)
	1974 Jun. 2～ Jun. 22	1974 Jun. 23～ Aug. 23	1974 Aug. 24～ Sept. 24	1974 Sept. 25～ Oct. 25	1974 Oct. 26～ Jan. 16	
流出土砂量 (絶乾重) Weight of sediment load (ton/ha, oven dry)	0.04	0.42	0.04	0.02	0.01	0.53
炭素含有率 (%) Percentage of carbon contents	2.8	1.8	2.4	3.7	4.3	(3.0)
有機物量 Weight of organic matter (kg/ha)	2.1	13.3	1.6	1.2	0.8	19.0

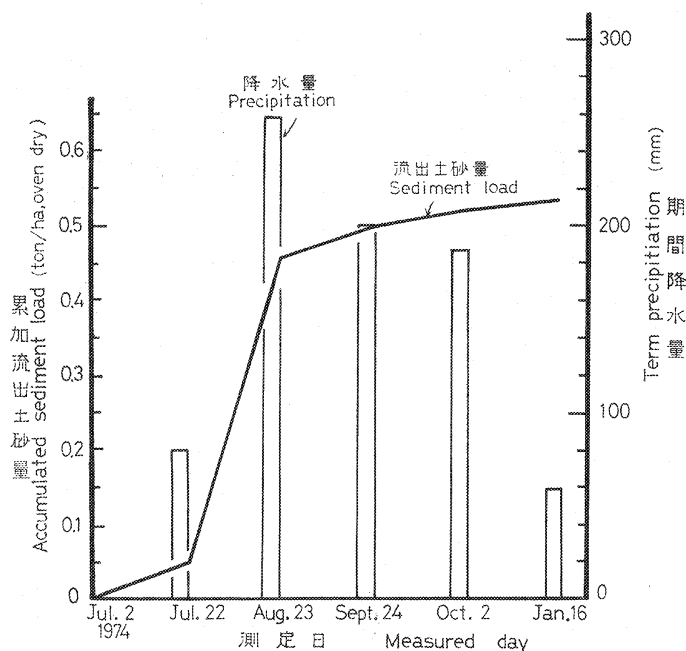


Fig. 9 トラクタ集材地の期間降水量と累加土砂量 (兄川)

The term precipitation and accumulated sediment load from the small basin of tractor logging. (Anikawa)

度が顕著で植生の回復力がおそいので、次年以降もかなりの土砂流出が続いた。すなわち、第2年目の秋季までの流出土砂量は0.5 ton/ha (絶乾重) を超えた。

土砂流出は降雨条件によって左右されるが、兄川調査地について期間別の両者の累加量を対応させて示したのが、Fig. 9 である。これによると降雨の多かった搬出当年の7月下旬～8月上旬の期間の流出土砂量が最大であった。この期間の7月28日には日雨量70 mm, 1時間最大雨量は21 mm であった。

流出土砂は下流に流送されけい床を高め、洪水時において災害を誘発する起因となる場合が多い。一方、その流失土中に含まれる有機物量は無視できず、林地の地力低下に結びつく。前掲の Table 16 の中に、流出土砂量に含有する全有機物量および炭素量を示してある。これは流出土砂から少量抽出し、TURINの迅速滴定法³⁰⁾で分析した結果である。流水によって溶脱されたら、浮遊物として流失する分もあり、有機物の全損失量12 kg/haを上廻ることは確かである。

(6) かく乱跡地の自然回復状況

四日市調査地で、伐出完了後1年経過した1971年8月に、前年各地区別に設定していた固定方形区を対象に、その自然回復状況を調査観察した。地表植被率と地表の土壤硬度を測定した結果は Table 17 のとおりである。

これによると地表保護の役割を果たす地床植生は作業道を除き、かなり回復再生しており、軽～中度のかく乱地には、裸地がほとんど見当たらない。これら植生の優占種はクマイザサである。一方、地表硬度は各区とも前年の測定値と有意な差異が認め難い。冬季に霜柱・凍上が発生したにもかかわらず、土壤物理性には顕著な変化が認められなかった。このようなトラクタ集材による林地かく乱の影響は、短期間に回復が困難であることを示唆している。

当該流域全体では、伐出後2年間の経過観察を通じて、林地の加速的な侵食や荒廃地化の兆は認められ

Table 17. 搬出直後と1年後における各調査区の植被率および地表硬度の比較
Comparison of the vegetation cover degree and the soil hardness on the ground surface at the times of immediately after and after one year of logging in each study area
四日市 (Yokkaichi)

調 査 区 Study area	地 表 植 被 率 Vegetation cover degree (%)		地 表 硬 度 Soil hardness (mm)	
	搬出直後 Immediately after	1 年 後 After one year	搬出直後 Immediately after	1 年 後 After one year
A. 軽度かく乱区 Light disturbed area	57.5	83.8	8.1	10.2
B. 中度かく乱区 Medium disturbed area	43.3	81.7	13.4	12.1
C. 重度かく乱区 Heavy disturbed area	16.7	83.3	16.8	16.9
D. 作 業 道 Spur road	0.3	7.3	22.0	20.6
E. アカマツ天然生林 (無かく乱地) Akamatsu natural forest land (non-disturbance)	82.5	75.0	10.1	9.8

なかった。流域末端においても、2年目秋季まで流出土砂の貯留はなかった。ただ、作業道の一部や谷側のり面の裸地が侵食を受け、やや不安定な状態にあった。立地条件が比較的良好な当該地のような場所では、立木の伐採により陽性植物が急激に繁茂し、外観的には裸地も被覆されるので、山火事の激じん被災地のように地床や表土が燃焼する状態と異なり、局所を除き林地の傷痕は消えやすい。しかし、兄川調査地のように、亜高山地帯で立地条件も比較的低位な場所では地床植生の発達が遅く裸地の残存期間が若干長びくことは確かである。

3. 伐採・搬出による林地破壊に対する保全策

上記の成果からみると、林地の水文学的状态や受食性に直接的悪影響を及ぼすのは、立木の伐採よりも、搬出にともなうかく乱にあると考えてよい。とくに問題になるのは夏山トラクタ集材である。省力と能率化の面から、この体系化された搬出方式は、今後も各地で行われるであろう。しかし、林地保全上からみて問題が多いので実行上に十分な留意が必要である。

基本的には立地条件、とくに傾斜角や土壌の受食性などを重視し、また、作業は融雪直後とか長雨の後などの湿潤期間はさけ、無理のない運行が肝心である。大型車輛で作業する以上は、地床の破壊はある程度避けられないので、事前事後において適切な保全的措置がなされることがのぞましい。四日市および兄川両調査地においても、トラクタ作業道の作設時に多量の土砂を沢部に落下させている。このような場合、作業道はできるだけ沢から離すような留意が必要であり、やむを得ず沢を横断しなければならない場合には、伐採木の枝条などを利用して事前に暗渠を施工することにより土砂の流送をかなり抑制することができる。さらに、侵食の進行しやすい裸地面に簡便な被覆処理を加えることによって、地表流の分散や浸食防止に直接役立つ。現実にはこれらのことは両調査地で一部実行し効果をあげている。

自然復旧が困難で裸地が拡大しそうな場所を対象に、簡易な被覆処理試験を行った。実施場所は岩手山麓の平笠国有林であり、立地条件や伐出条件が四日市調査地に近似している。土壌は新期の火山放出物で砂質壤土からなり、受食性は比較的高い。この試験処理は Table 18 に示したが、被覆土は伐採木の枝条（アカマツ）の全面散布と牧草類の播種の2種で、無被覆の裸地と比較し流下区法によって、流出土砂量

Table 18. 被覆処理による侵食防止効果についての試験（トラクタ搬出跡地）
Examination on effect of erosion control with some covering treatment in the
logging over land by tractor 平笠 (Hirakasa)

試 験 区 Experimental plot	試 験 処 理 Experimental treatment
A	アカマツ樹枝による地表全面被覆工 Covering work of the whole ground surface with Akamatsu (<i>Pinus densiflora</i>) branches and twigs. 被覆量 Covering volume : 1.69 kg/m ² (気乾重 Air dry weight)
B	牧草（オーチャードグラス）の実播工 Seeding work of whole ground surface with orchard grass seed. 秋季の立毛生産量 Standing crop in the autumn : 0.65 kg/m ² (気乾重 Air dry weight)
C	無処理（裸地） Non-treatment (bare land)

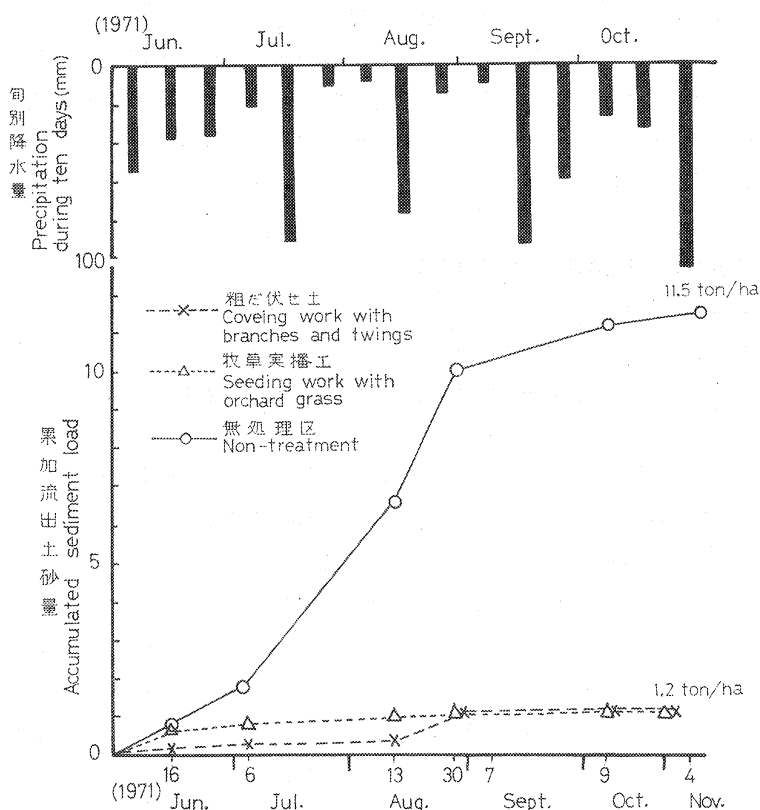


Fig. 10 旬別の降水量と各試験区からの累加流出土砂量（平笠）

The precipitation during the ten days and accumulated sediment load from each experimental plot. (Hirakasa)

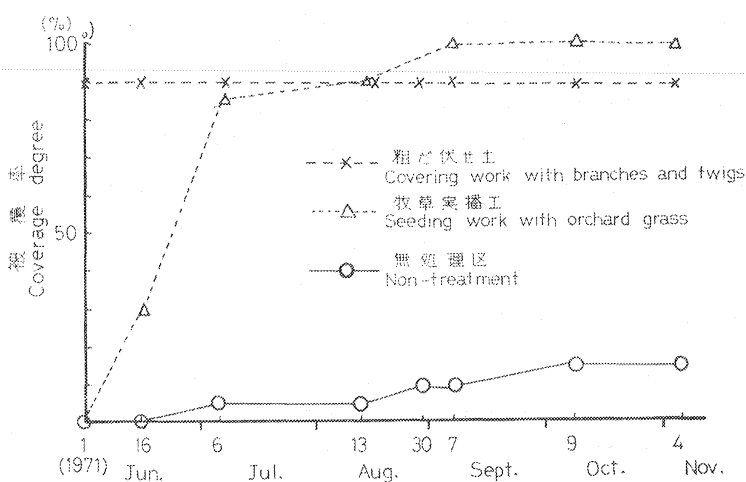


Fig. 11 各試験区の被覆率の推移 (平笠)

Changing of coverage degree on each experimental plot. (Hirakasa)

を調べた。

試験区の数は、各処理2区ずつ計6区で、幅員3m、斜面長10mの長方形の流下区をこの中に設定した。各区の地表傾斜角は15~20°である。対象地はトラクタ集材による走行荷重が最大に加わったとみられる作業道路面である。観測期間は搬出完了後の1971年6月から11月までの6か月間で、原則として毎月1回以上流出土砂量や被覆物の現存量を測定した。これらの結果は、Fig. 10 および Fig. 11 のとおりである。同一処理2区間の観測値に有意差がなかったので2区を平均して示した。

これによると、有被覆の枝条散布区と牧草播種区の全期間の累加流出土砂量は、いずれも1.2 ton/haに過ぎない。これに対し、無処理裸地区では、およそ10倍の11.5 ton/haに達している。被覆物の被度の推移を対比すると、当初裸地状態に近い牧草播種区では、初め1か月半ぐらいの期間は植被の発達が不十分のため枝条散布区よりいくらか流出土砂量が多い。播種の際には団結した地表をレーキで簡単に掻き起す程度の前処理であったが、幸い草冠の閉鎖までに豪雨がなかったので牧草は十分に定着した。

枝条散布区は当年秋までに、枝条に付着していたアカマツ枯葉はおおよそ1/3量地上に落下したが、それはそのまま地表保護の役割を果し、越冬後の翌春以降においても被覆の効果はそれほど減退せず、また、自然植生が徐々に内部に侵入発達した。枝条は移動しないようにできるだけ元口を斜面方向とし地面に接合させたので流出土砂が枝条で抑制された。牧草は翌春以降肥料切れし植被がある程度衰退したが、残存した根系や植物遺体が侵食を防止することができた。本試験では枝条の散布や牧草播種などの処理をかなりいいねいに実施しているが、実用上はより簡易な方式でも実効が期待できる。

III 林野放牧による地床かく乱の影響と林地の保全策

1. 放牧共用林野における荒廃実態調査

(1) 調査地と侵食発生状況

調査地は紡錘状をなす北上山地の中央部からやや北に位置している。当該山地は概して起伏の少ない地形で、山頂部には広い準平原が発達しており、畜産利用のため好条件下にある。このため過去300年以上

にわたって牛馬の放牧が継続されてきた。調査地は青森営林局岩泉営林署管内の国有林の一部で、放牧共用林野として現在も地元民が継続利用している。すなわち、毎年5月から10月まで、約5,000 ha の林野に500頭前後の肉牛（日本短角種）が、粗放な定置方式で放牧されている。

気象条件は少雪寒冷で冬季偏西風が強いことが特徴であって、Table 19 に示したように、1969～1971年の期間の気象観測結果は、このことを裏づけている。冬季山腹上部の風衝面無林地の積雪深は、通常0.1～0.2 m に過ぎず、厳冬季には表土が0.5 m 以上もコンクリート状に凍結する。地形は山頂部が平坦であるのに対し、けい谷は著しく刻まれている。地質は古生層に属する粘板岩、珪岩で断層が多く、土壌はこれらの風化物が下部に、上部に火山灰が30～50 cm 被覆している。

Table 19. 調査地の気候表
Climatic table in the study area

岩泉 (Iwaizumi)

月 Month		1	2	3	4	5	6
要素 Element	最高 (Max.)	−5.5	−5.5	−4.6	7.0	16.0	18.8
	最低 (Min.)	−11.3	−11.4	−10.6	−2.3	5.5	9.5
	平均 (Mean)	−8.5	−8.5	−7.6	2.4	10.8	14.2
平均風速 (m/s) Wind velocity (Mean)		*	10.5	9.5	6.0	4.7	*
降水量 (mm) Precipitation		*	*	*	*	43.0	70.5
月 Month		7	8	9	10	11	12
要素 Element	最高 (Max.)	21.3	22.4	17.2	11.2	6.4	−1.3
	最低 (Min.)	13.4	14.8	9.7	3.1	−0.5	−7.3
	平均 (Mean)	17.4	18.6	13.5	7.3	3.0	−4.3
平均風速 (m/s) Wind velocity (Mean)		4.4	6.6	5.7	6.5	5.7	6.5
降水量 (mm) Precipitation		90.0	140.0	62.0	87.5	49.5	87.5

(1) 観測期間 Observed duration: 1969～1971.

(2) 観測地点 Observed point: 岩手県岩泉町一杯森 Ippaimori, Iwaizumi T., Iwate P.

(3) * 欠測 Lacking in observation data.

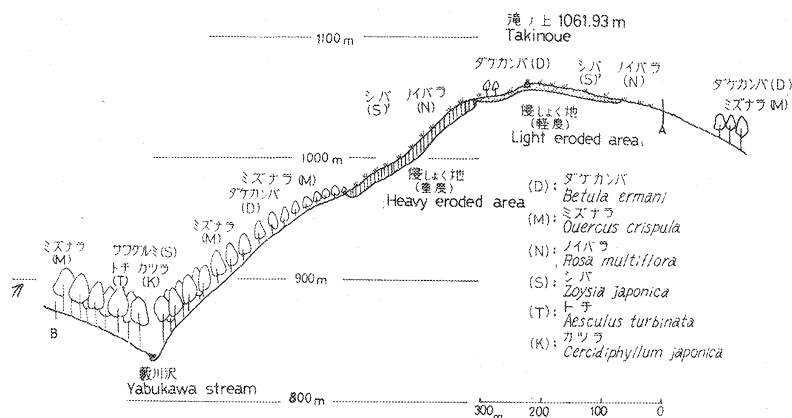


Fig. 12 岩泉放牧林野における典型的な荒廃地（縦断面図）

Typical denuded land in Iwaizumi grazing forest (longitudinal section).

Table 20. 荒廢地の大きさ別の分配
Distribution on each area size of the denuded land 岩泉 (Iwaizumi)

区分 Classification	面積 Area (ha)						
	0.01~0.05	0.05~0.10	0.10~0.30	0.30~0.60	0.60~1.00	1.00~3.00	3.00以上
箇所数 Number	96	85	60	24	9	11	7
%	32.9	29.1	20.5	8.2	3.1	3.7	2.4

- (1) 調査対象面積 Study area : 5,000 ha.
 (2) 荒廢面積 Denuded area : 10.3 ha.
 (3) 荒廢率 Ratio of denuded area : 2.1%.

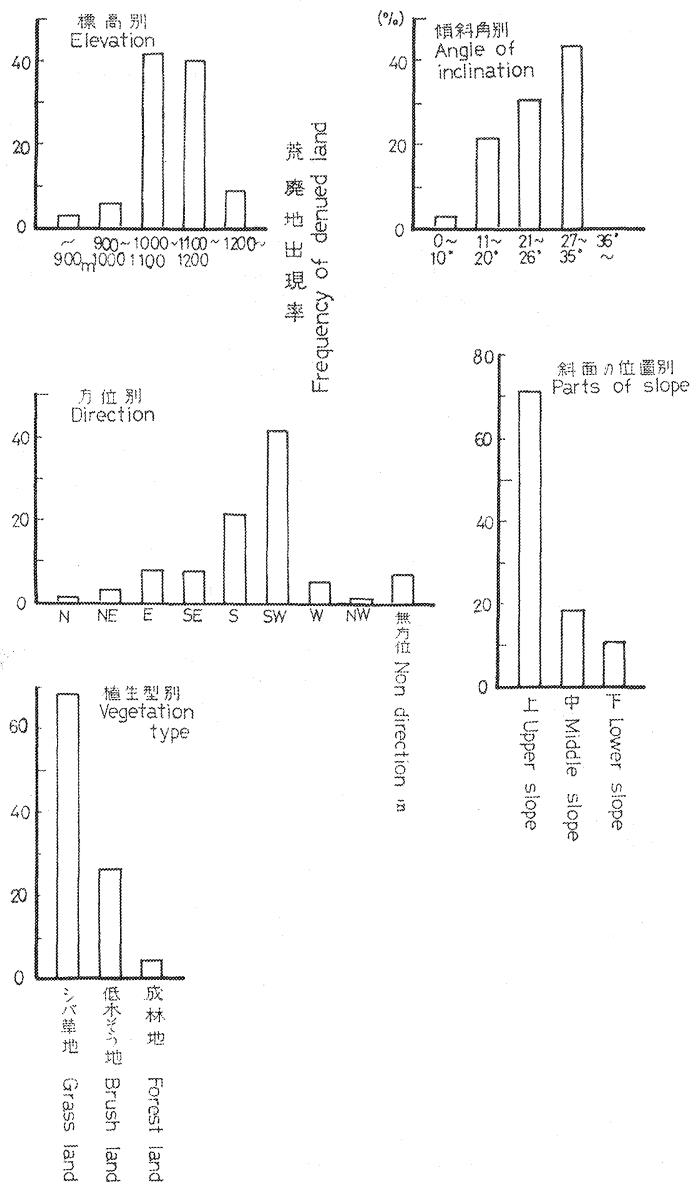


Fig. 13 立地要因別の荒廢地
分布 (岩泉)
Distribution of the denuded
land for each habitat factor.
(Iwaizumi)

標高は 700~1,100 m で、山腹斜面にはブナ—ミズナラの天然生林が主体をなし、山腹上部一頂部にはダケカンバを主とする広葉樹疎林、ノイバラ、ミヤマハンノキなどの低木類やこれらの点在するシバ草原が発達している。斜面上部の風衝面となる疎立木地には、侵食地が多数分布している。この典型的な状況を、Fig. 12 に示したが、この場所は固定調査地として、地表変動状況を継続的に観察した箇所の一つである。

この調査地内に分布する侵食地を、その大きさ別に区分したのが Table 20 である。1 か所の大きさが最大 13 ha に達するものもあったが、全数のおよそ 60% は 0.1 ha の小型である。荒廃の形態は山崩れではなく風水による侵食なので、個別の荒廃地が画然としたものではない。また、周辺に荒廃移行地や自然復旧地が入り混じって存在する。この侵食の形態は面状タイプのものが大半を占めるがなかには深さ幅とも数 m に達する溝状タイプもみられる。個別の侵食地の自然立地条件を調べて、各条件ごとに集計したのが Fig. 13 である。これによると、標高別では 1,000~1,200 m の範囲に、斜面の位置別では上部に、植被別には自然草地（シバ）に、方位別には南西部に、傾斜別には 21~35° の範囲に侵食地の数が集中している。この結果は、立地条件別に荒廃地の集中度を示したに過ぎず、荒廃地の集中度の高い立地条件をも

Table 21. 荒廃率と立地諸要因との相関係数および多変量解析法によるスコア
Correlation coefficient between environmental factors and ratio of denuded area
and these score by the multivariate analysis 岩泉 (Iwaizumi)

要因とカテゴリー Factor and category	範囲 Latitude	スコア Score	偏相関係数 Partial correlation	重相関係数 Multiple correlation
開放度 Open degree	1 ~-50m	0.000	0.306	
	2 0~-50m	0.231		
	3 50~0m	0.980		
	4 50m~	1.047		
標高 Elevation	1 ~ 700m	0.000	0.177	
	2 700~ 800m	0.591		
	3 800~ 900m	0.642		
	4 900~1,000m	0.642		
	5 1,000~	0.757		
方位 Direction	1 無方位 Non direction	0.000	0.138	0.717
	2 Mainly NW	0.019		
	3 " S	0.198		
	4 " W	0.235		
	5 " SW	0.254		
傾斜角 Inclination angle	1 ~10°	0.000	0.211	
	2 10~20°	0.226		
	3 20~26°	0.330		
	4 26~27°	0.250		
	5 27~35°	0.056		
斜面上の位置 Parts of slope	1 下 Lower	0.000	0.199	
	2 中 Middle	0.188		
	3 上 Upper	0.294		
森林疎密度 Forest density	1 ~ 25%	0.000	0.684	
	2 25~ 50%	-0.165		
	3 50~ 75%	-0.639		
	4 75~100%	-1.419		

(1) 調査区数 Number of study plot : 296.

(2) 荒廃率はつぎのように区分した。

The ratio denuded area divided into five class as follow :

⑤ 30%~以上 ④ 15~30% ③ 5~15% ② 0~5% ① 0%

つ場所は必ずしも侵食危険度が高いとはいえない。

（2）侵食危険地の推定

どのような立地条件をもつ場所が侵食を受けやすいかを予測するために、全地域を 300m の方形に細分し、空中写真から上記の立地条件を読みとり、各条件別に 3～5 カテゴリーに分け、荒廃率（個別方形区内の裸地面積の占有率）を外的基準とする多変量解析を行った。荒廃率は 5（30%以上）、4（15～30%）、3（5～15%）、2（+～5%）、1（0%）と 5 区分した。この計算結果は、Table 21 のとおりである。

要因ごとに各カテゴリーに与えた数値（スコア）から荒廃率を確定した場合の的中率は、およそ 60% であった。偏相関係数は森林疎密度が最高の値を示すが、これによると立木の少ない場所ほど荒廃率が高いことを意味している。ついて開放度が高い値を示したが、開放度とは地形的に障害のない度合を表現している。ここでは南西の地区より高いか低いを示し、具体的にはその地区の平均標高と南・南西・西の平均標高との差より求めた。

上記の検討結果には、肝心の家畜の行動の影響が表現されていない。当該形式における放牧は前述のように粗放な定置方式であって、地区別にどの程度の放牧圧が加わっているか、定量的に把握することが困難である。しかし、放牧期間中の家畜の行動観察や牧夫の証言などから、現在侵食地が発生している高台の風衝面が、家畜の休息地とほぼ一致していることがわかった。このような場所は、おおむね立木の乏しいシバ草原である。当該地における山地荒廃の主な誘因は家畜による踏圧とみられるが、素因である自然立地条件の影響の度合いは大きく、また、侵食の加速化には風雨両営力が推進力となっている。

（3）侵食の発生と拡大機構

荒廃地周辺の植生状況から推測するに、放牧開始前はブナ、ミズナラを主体とする広葉樹天然林（下層にチシマザサ密生）であったと考えられる。このあと、強度に伐採され、火入れと放牧がくりかえされ、ササが急速に退化し、漸次シバ植生に移行したとみられる¹³⁾。土地保全上から見た場合、シバはササよりもかなり弱く、家畜のたまり場となった高原地は、踏みつけによって局部的に裸地化していったものと推

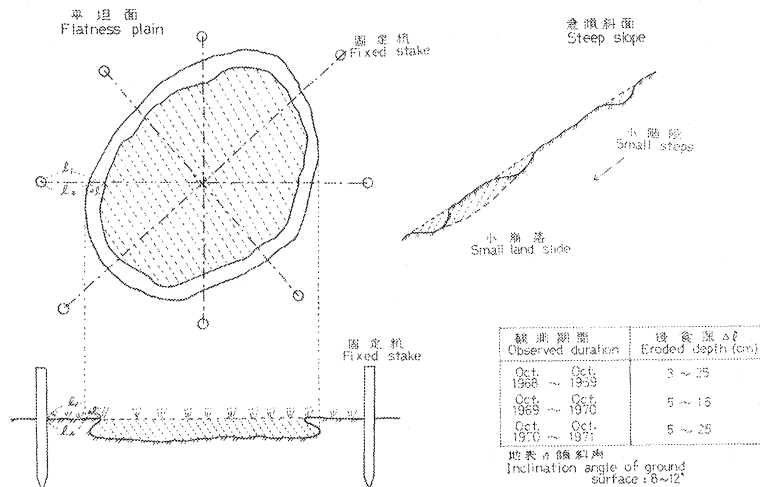


Fig. 14 侵食拡大のモデルと固定杭法による測定結果（岩泉）

The model of erosion development and the measuring data by fixed stake method. (Iwaizumi)

Table 22. 固定杭法による地被別の表土の移動深 (mm)
 Removed depth of surface soil on each ground cover which measured
 by the fixed stake method 岩泉 (Iwaizumi)

観 測 期 間 Observed duration	広 葉 樹 林 地 Forest land of broad leaved trees		自 然 草 地 Natural grass land		裸 地 Bare land	
	変 化 深 Variation	損 失 深 Loss	変 化 深 Variation	損 失 深 Loss	変 化 深 Variation	損 失 深 Loss
1968 ~ 1969	1.7	1.0	1.9	1.2	3.7	1.2
1969 ~ 1970	1.5	1.1	1.5	1.0	8.6	7.8
1970 ~ 1971	1.6	1.1	1.4	0.8	7.4	5.7
平 均 Mean	1.6 ^a	1.1 ^c	1.6 ^a	1.0 ^c	6.6 ^b	4.9 ^d

(1) 異符号は平均値間に5%の水準で有意差のあることを示す。

Means with the same letter superscript are not statistically different from other at the 0.05 level of significance.

(2) 地表傾斜角 Inclination angle of ground surface : 15~17°.

方 位 Direction : W.

察される。

現地の観察結果から、Fig. 14 のモデルのように、傾斜地には小階段状、平坦地には面状の裸地が形成され、これらが冬季の霜柱、凍上によって徐々に崩落していくようである。立木の少ない風衝面では、前述のように風食に対する抵抗力が弱いので、強風によって裸地が拡大する。しかし、危険地形であっても有林地が少なく、たとえ家畜によって発生した裸地でも容易に拡大しない。シバが消滅し孔状に裸地化した場所の土壌の凍結融解による表土の移動現象 (Soilfluxion) による周辺拡大量は意外に大きく、3か所の固定杭法による観測結果では、毎年5~25 cm 表土が崩落することがわかった。

周辺の表土崩落は家畜の踏圧や強風によっても促進されている。シバ生地の破壊の端緒は、家畜のひづめによる動荷重によるが、シバ自体の健康度にもかなり関係している。すなわち、シバが葉腐れ病 (*Rhizoctonia solani* KÜHN) におかされ、斑状に枯死している部分は、根系緊縛力が弱いため地床が破壊されやすい。このことは村井ら²²⁾により、岩手県中部櫃取放牧地の調査事例の中で、すでに指摘されている。

Table 22 は、当該調査地内に裸地 (侵食地)、草地 (シバ生地)、林地 (広葉樹天然林) の代表地を選んで、固定杭法によって表土の移動深を測定した結果である。これによると、裸地の年間平均損失深は4.9 mm なのに対し、林地のそれは1.1 mm に過ぎない。なお、地表がシバで全面が覆われている場合でも溝状侵食が発達することが認められた。これは上部斜面が家畜の踏圧により浸透能が著しく低下したため、豪雨時に地表水が水みちを形成して流下した結果発生したものと考えられる。しかし、有林地においては、落葉地被物や根系の好影響のためかこのような現象は全く認められない。

2. 放牧実験林地における調査

(1) 調査地と調査方法

前述の調査地のように、大面積の場所へ多頭数放牧した場合に、家畜の影響による侵地が発生したとしても、家畜の行動との直接的な関連性を具体的に究明することは困難である。これを補完する目的で実施した姫神実験牧場での調査結果について述べる。調査地の位置は、岩手県岩手郡玉山村姫神岳 (盛岡営林署管内国有林) で、姫神山東方の中腹、標高700~900 m の高地にある。年間降水量およそ1,200 mm、基岩は花崗岩で表土は火山放出物で微砂質壤土からなっている。植生は以前は広葉樹天然生林であった

が、現在はこれを皆伐しカラマツが植栽（2～3年生）されている。実験牧場の全面積は、およそ、400 ha であって9～15牧区に分割し施業されている。

青森営林局姫神肉用牛生産育成実験牧場の協力を得て、上記牧区の中から2放牧区（第4牧区と第12牧区）を選んで家畜の放牧による裸地発生の状況と、林地浸透能の変化の程度を調べた。両調査牧区とも山麓の長大な斜面で、傾斜角は5～35°である。比較的起伏の少ない地形であるが、牧区内を流れる小沢を中心に侵食が徐々に進行している。放牧は50頭を一群とする多頭放牧で、林内可食植生の消費状況を判断し、年間2～3回輪換利用されている。毎年の開放は5月中旬で閉放は11月中旬であり、冬期間は基地で舎飼いされている。

調査両牧区とも、調査時には放牧後3か年を経過した段階であった。林地保全関係の調査として、地床破壊と侵食状況は Line interception 法と固定杭法により、浸透能測定は傾斜地については Rocky Mountain 型浸透計を、平坦地については Musgrave 型円筒浸透計を用いた。あわせて、土壌物理性（土壌硬度、圧結度、透水性、非毛管孔隙量など）について放牧区を比較調査した。なお、禁牧区は放牧区内に数か所ずつ、方形状（面積100～200 m²）に設定されている。

（2）浸透能および土壌物理性の変化

Table 23 は、平坦地（0～5°）と傾斜地（20～25°）別に、植生および家畜の行動状況によって区分し浸透能を測定した結果である。これによると、平坦地、傾斜地とも禁牧区にくらべて放牧区の測定値が著しく小さい。とくに、放牧区内に小規模に造成した人工草地（耕起）や家畜の行動ひん度の高いたまり場（休息地）や通路（牛道）の低下は顕著であって、禁牧区の1/10にも満たない。人工草地の浸透能低下

Table 23. 放牧による浸透能の変化
Change of infiltration capacity by the grazing 姫神 (Himekami)

測 定 地 Measurement area		浸 透 レ ー ト Infiltration rate (mm/hr)				
		前半30分 The first half (30 min)	後半30分 The latter half (30 min)	最 終 Final	1時間平均 Mean of one hour	
平 坦 地 Flat area (0~5°)	禁 牧 Non-grazed		305.8	171.3	172.3	226.2
	放 牧 Grazed	自 然 草 地 Natural grass land	114.2	52.1	50.6	83.2
		人 工 草 地 Artificial grass land	52.3	6.0	5.0	41.2
踏 圧 裸 地 Trampled bare land	休 息 地 Bed ground	74.1	21.5	20.1	47.8	
	牛 道 Trail	36.9	15.4	12.0	24.7	
傾 斜 地 Sloping area (20~25°)	禁 牧 Non-grazed		124.5	123.8	124.0	124.2
	放 牧 Grazed	自 然 草 地 Natural grass land	39.9	19.7	20.1	29.8
		人 工 草 地 Artificial grass land	34.2	8.6	8.4	13.7

Table 24. 放牧3か年後における
Comparison of the soil properties on the

調 査 地 Investigated area		植物遺体重 Litter weight (kg/m ²)	地表硬度 Soil hardness (kg/cm ²)	容 積 重 Volume weight (%)		
				0~5 cm	20~25 cm	
平坦地 Flat area (0~5°)	禁 牧 Non-grazed	1,173	2,493	64.6	69.4	
		放 牧 Grazed	自然草地 Natural grass land	630	4,368	71.8
	人工草地 Artificial grass land		210	5,830	72.5	71.5
	踏圧裸地 Trampled bare land		休息地 Bed ground	362	6,380	84.6
		牛 道 Trail	—	7,744	82.1	82.2
傾斜地 Sloping area (20~25°)	禁 牧 Non-grazed	826	3,006	61.7	61.5	
	放 牧 Grazed	自然草地 Natural grass land	470	7,744	70.9	71.3
		人工草地 Artificial grass land	114	11,556	73.9	71.8

の主な原因は、大型機械による造成、刈取、施肥などによる転圧と家畜の踏圧が集中的に加わったことによると考えられる。

Table 24 は禁牧区と比較しながら放牧区の土壌物理性を調べた結果である。これによると各因子ともに、表層 (0~5 cm) の方が下層 (20~25 cm) にくらべて、放牧の影響が大きい。とくに、休息地や牛道などの特定地は、放牧区全体にくらべて顕著である。禁牧区に対比して、放牧区 (自然草地) の表層の圧結度は17%, 分散率が39%増大し、非毛管孔隙量は30%, 透水性が78%減少している。また、下層の圧結度は13%, 分散率が19%増大し、非毛管孔隙量は2%, 透水性は63%減少している。

これを休息地や牛道などの特定地に限定すると、上記の差はさらに大きくなっている。このことは土壌硬度の測定結果をみても明らかである。土壌硬度が高まるということは、一般的にみて土壌が緊密化し、容積重が増加したと考えてよい。放牧区は禁牧区にくらべて地表が明らかに硬化していることがわかるが、休息地や牛道においてそれが顕著である。

なお、別に行ったわたしたちの調査結果²⁴⁾³²⁾や米国における JHONSTON¹⁵⁾, ORR³⁴⁾らの報告によっても、放牧により表土の物理性が悪化し、浸透能が著しく低下することを認められている。このような事実はいうまでもなく、家畜の踏圧の影響が主たる原因と考えられるが、放牧区域内においても家畜の行動ひん度の高い牛道、水飲場、休息地などでその影響はとくに高く現われている。

林地土壌の物理性の比較

forest land at three year after pasturage

姫神 (Himekami)

圧 結 度 Compactness (%)		全 孔 隙 量 Total porosity (%)		非毛管孔隙量 Non-capillary porosity (%)		透 水 性 Percolation rate (cc/min)		分 散 率 Dispersion ratio (%)	
0~5 cm	20~25 cm	0~5 cm	20~25 cm	0~5 cm	20~25 cm	0~5 cm	20~25 cm	0~5 cm	20~25 cm
75.1	71.3	76.5	72.5	28.8	19.4	63.3	57.3	21.2	29.0
88.0	80.5	69.5	65.5	20.2	19.1	14.0	21.0	29.5	34.5
95.1	94.2	61.3	62.5	15.7	18.1	10.6	17.3	28.3	30.0
92.8	91.3	60.3	63.0	16.9	17.9	7.6	18.7	64.6	31.2
89.1	86.9	69.1	61.4	14.0	14.4	5.3	23.0	56.4	25.0
75.0	71.1	77.7	69.4	27.5	20.0	18.7	13.3	18.1	29.1
94.0	92.4	67.7	60.6	13.4	19.5	11.0	13.0	27.0	20.6
93.2	85.9	68.5	61.9	8.2	16.0	4.3	6.7	34.2	23.9

（3）裸地の発生と林地の侵食状況

家畜の行動ひん度の高い場所は当然裸地化する。裸地は一般に急傾斜の斜面中腹部に集中し、ついで下部の平坦部に多くなっている。その形態についてみると、中腹部に小階段状のものと、それが発展し崩落した状態のものが多い。斜面下部のたい積面には、放牧初期に陥没型のもが発達する。このあと、斜面下部や上部の平坦な台地面では、これが全面に踏み固められて、深みのない裸地に移行する。

一方、裸地発生の多少は、地表傾斜角と密接な関係があることがわかった。Fig. 15 は裸地発生ひん度と裸地面積率を、2 m ごとに区分した傾斜角ごとに示したものである。すなわち、発生ひん度は21~25%になると次第に高まり35%ぐらいとなり、26%を越えると急増して70%となり、さらに30%を越えると100%に近づく。面積率

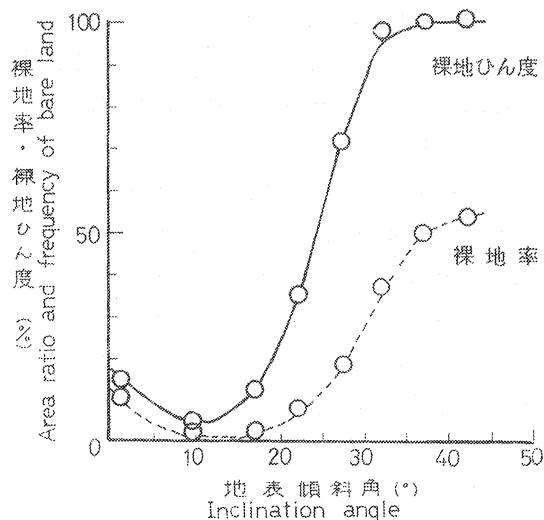


Fig. 15 放牧地における地表傾斜角と裸地率・裸地発生ひん度の関係（姫神）
Relation of inclination angle to area ratio and frequency of bare land in the grazing land. (Himekami)

は0~20°では2%に満たないが、21~25°で10%近くとなり、26~30°では20%と高くなり、31~35°では40%、36°を越えると50%内外に達することがわかる。

調査2牧区とも、全面積に対するこのような裸地の占有面積率は、いまのところ3%を越えない。これらの裸地は放置することによってすべて荒廢地に移行するとは限らないようである。一定期間休牧することによってかなりの部分に地床植生が侵入し、また、カラマツ落葉によって被覆されている。当該地で侵食が最も加速的に進行している部分は、小沢の周辺である。すなわち、牧区内の小沢は家畜の水飲場となり、その行動の際にけい岸が破壊され拡大していく。また、傾斜方向の家畜の通路は固結し浸透能が著しく低いため、降雨の際に水食道(Erosion pavement)になっていることも無視できない。なお、当該地の土壌は腐植に富み通気性、通水性のわるい粘質土のために、湿潤時の放牧は林地破壊に及ぼす影響が大きいように観察された。

3. 放牧による林地破壊に対する保全策

林野は家畜生産のために飼料の供給源となり、また、放牧によって雑木類の繁茂が制御されるために、植栽木の生育に好影響をあたえる。しかし、上記のように林地に少なからぬ悪影響をあたえることも確かである。放牧による林地の荒廢を防止する根本的な対策は、利用地の選択と適正な放牧管理にあるといっても過言でない。岩泉放牧共用林野は、きわめて粗放な形態の利用方式であって、今後このように立地条件を軽視した過度利用はなされないと考えられるが、悪影響を究明する上で参考になる。

林野放牧に対する具体的な保全策として、上記の調査結果からつぎのことが考えられる。まず、気象条件や土地条件からみて荒廢危険度の高い地域には家畜を入れないことである。すなわち、流域全体として豪雨のひん度が高かったり、山崩れや侵食の発生しやすい場所はあらかじめ利用地から除外すべきである。全域として利用可能とみられても、局部的な危険地区、たとえば侵食されやすい高海拔の風衝面や崩落しやすい谷頭などが存在する場合には、家畜の侵入を排除するよう牧柵を設置する必要がある。

つぎに、利用地はできるだけ緩傾斜地を主体とすべきである。傾斜が急なほど家畜の行動による裸地化が進展しやすく、水食や崩壊の危険度が高まる。急傾斜地は家畜も敬遠するが、斜面上部の高台が休息地になる場合が多く、その経路となる急傾斜部が破壊される。姫神実験牧場での調査の結果のように、地表傾斜角20~25°を越すと急激に裸地発生ひん度や裸地率が高まっていることからみて、この下限の20°をチェックポイントとして、それ以下の場所の利用にとどめたい。

つぎに、上流水源地帯を利用地から除くことがのぞましい。水源かん養ならびに荒廢防止のためには、流域の上流部の森林土壌を良好な状態に保っておくことが肝要である。けい流沿いは家畜が水飲みなどのため行動ひん度が高まるので、けい岸崩壊など起しやすい。上流水源地帯とは具体的に決め難いが、河川勾配の主要な変移点からの上部、または、その付近の合流点より上流の集水域をさすと考えてよい。

混牧林方式により、通常の施業林分に一定期間家畜を導入する場合には、それほど土地条件に悪影響をあたえない。これは放牧期間が比較的短期なことにもよるが、林木が高密度に存在し、林地を直接保護している効果は見のがせない。ほぼ家畜専用に近い形態で林野を利用する場合には、疎林化するので林地保護の効用がうすれる。このような場合には、沢沿いの凹部や山頂風衝面には団状に森林を残存すべきである。

放牧利用中の問題として林地保全上注目すべき点は、裸地発生である。地床植物や落葉地被物などの地表保護物が十分に存在するうちは侵食は発生し難いが、休息地や水飲場などの家畜のたまり場にはほとん

ど裸地化している。家畜のたまり場の土壌受食性はかなり高まっており、侵食発生の端緒となる。一つの目安として、裸地率が3%を越えるような場合には、放牧期間の短縮や待機などの措置を講ずる必要がある。また、侵食が加速化し水食溝などが発達した場合には、その復旧に多くの時間と経費を必要とする。したがって、発生した裸地にはできるだけ家畜を排除し、牧草類の播種などにより早期緑化をはかる必要がある。

IV 林野火災による地床かく乱の影響と林地の保全策

1. 大規模被災事例の調査

(1) 調査地と調査方法

東北地方の太平洋岸側には、古くから林野火災の発生ひん度が高く、かつ、その被災規模も大きい。これはこの地方が春季にフェン現象をともなう特異の乾燥気象条件におかれる機会が多いことによる。さきにわたくしたちは、1961年の春季に三陸沿岸に大規模に発生した林野火災の被災事例を調査し、林野火災による土壌侵食や地力低下に及ぼす影響の概要を明らかにした⁴⁰⁾。本報告では新たな被災地を対象に、より詳細な調査観測を行った。

調査地は1969年春季の被災事例で、岩手県北部の久慈市、大野村および山形村にまたがる地域で、焼失面積はおよそ4,500 haである。当該地域は北上山地の北辺部で、標高350~700 mの起伏の少ない地形である。地質は古生層からなり、被災前の山地荒廃率は比較的低い安定した地域であった。林相としてはアカマツやコナラ、クリなどを主体とする天然生林が多く、また、各地にアカマツ、カラマツ、スギなどの造林地が点在していた。

出火は山形村と大野村の2か所で、いずれも1969年5月6日である。当日の気象は最小湿度9%, 瞬間風速20 m/sという異常な乾燥、強風条件下にあった。地元の見撃者の話によると、火は強風にあおられまたたく間に拡大し、火勢が強まるにつれてつぎつぎに飛火し、主風方向に沿って東から西に長卵形状をなして延焼し、5月10日頃まで燃え続けた。被災直後の実態を観察した結果では、一般的な延焼傾向として風衝部の斜面上部が強度に焼け、斜面中部から下部にかけて軽微となっている。また、一部には最初沢沿いに進み、以後両側の山腹にはい上ったところもあった。

伐採跡地は残存枝条が多く、かつ、障害物も少なかったため、地表部の燃焼が激しんであった。アカマツの樹冠は飛火延焼の一助となり、峯通りや一斉造林地でこの様相が顕著に見られた。森林の被災形態として全般的に樹冠火が目についたが、フェン現象にもとづく強風下のため、樹冠、幹、地表の各部を問わず、混然として燃焼している。火災のピーク時には焼燃物が風で空中高く舞い上り、スモッグが天を覆い日中でも暗くなったと地元民は当日の様相を表現している。

調査地は Fig. 16 に示したように、山形村(久慈営林署管内国有林)被災地一円とし、有無林地別に被災程度の異なる調査区を Table 25 のように選んだ。被災程度の区分は、地表部および表土の焼燃状況に重点をおいて、激じん、中度、軽微の段階に概括的に区分した。調査時期は被災直後を第1回とし、以後1か年の期間をおおむね1か月おきとした。

調査内容は、被災区分別の各区において、地被物残存量と土壌の燃焼量、浸透能および土壌物理性の変化、地表の侵食深および流出土砂量、植生の回復状況などである。これらの調査に際しては、各区の斜面上、中、下の3位置に測点をとった。そして、浸透測定は山地斜面浸透計を用い、侵食深は固定抗法によ

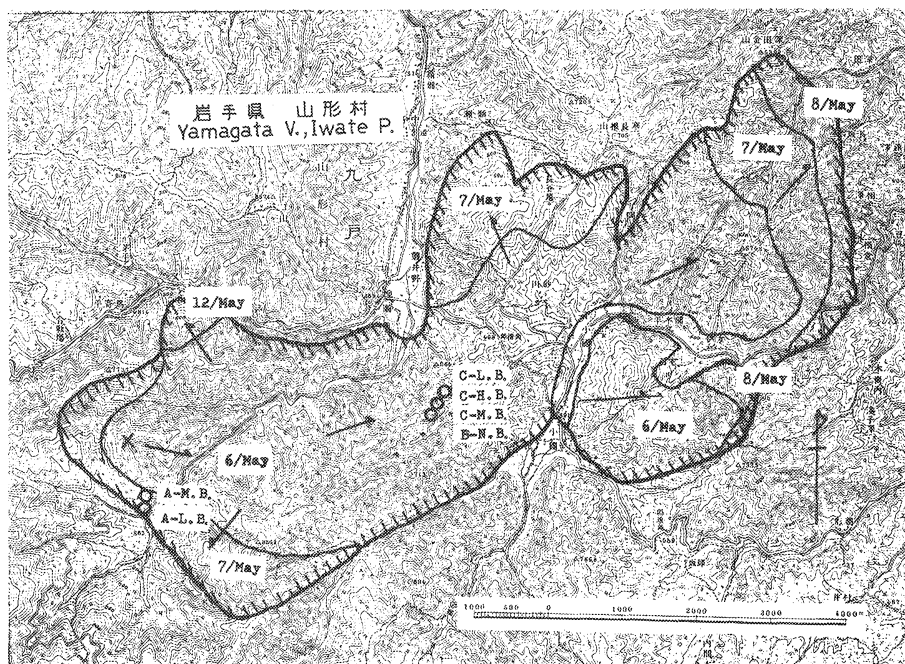


Fig. 16 1969年の山火事により被災した地域と調査地の位置

The damaged area by the forest fire in 1969 and the studied sites.

Table 25. 1969年の山火事により被災した調査地の自然概況

The natural condition of study areas, which damaged by the forest fire in 1969

山形 (Yamagata)

地区 Area No.	標高 Elevation (m)	方位 Bearing	斜面の形状 Slope form	傾斜角 Inclination angle (°)	土壌型 Soil type	母岩 Country rock	植生 Vegetation type	樹高 Tree height (m)
A-I (M.B.)*2	650	S SW	平衡面 Balance	31	B/b(d)	珪石 Quartzite	Planting forest (Akamatsu)	5
A-II (L.B.)*1	660	S SW	凸面 Convex	32	B/b(d)	"	"	5
C-I (H.B.)*3	550	S SW	平衡面 Balance	29	B/b(d)	"	Cut-over land	—
C-II (M.B.)	550	S SW	" Balance	30	B/b(d)	"	"	—
C-III (L.B.)	550	S SW	" Balance	30	B/b(d)	"	"	—
B-I (N.B.)*4	550	N NE	" Balance	33	B/b(d)	"	Natural forest (Udaikanba)	8

*1 軽微 Light burned (L.B.)

*2 中度 Medium burned (M.B.)

*3 激じん Heavy burned (H.B.)

*4 被災外地 No burned (N.B.)

った。流出土砂量は各調査区別に流下区(幅4m, 斜面長10m, 傾斜およそ30°)を1区ずつ設定し, また, 3段階の被災強度の複合する小流域(皆伐跡地)を選んで, 定期的に流出土砂量を観測した。

(2) 地被物および表土の焼燃状況

激じん被災地は落葉落枝などの地被物をほとんど焼きつくし, 地表は完全に露出した状態にあった。石れきは顕著に浮き出ており, 表土は極端に乾燥し粉末状を呈していた。とくに, 斜面上部の風衝面の無立木地において著しかった。しかし, 風背面の被災程度の弱い場所では, 火が軽く地表を走った程度で表層

Table 26. 落葉地被物の現存量と表土の燃焼深
The existing volume of litter and the burning depth of surface soil

山形 (Yamagata)

地 区 Area (No.)	落葉地被物の現存量 Existing volume of litter		表土の燃焼深 Burning depth of surface soil (cm)
	被 覆 率 Coverage (%)	重 量 Air dry weight (kg/m ²)	
A-I (M. B.)*2	—	—	0.0
A-II (L. B.)*1	70	0.16	—
C-I (H. B.)*3	—	—	7.0
C-II (M. B.)	—	—	1.0
C-III (L. B.)	45	0.09	—
B-I (N. B.)*4	100	0.24	—

*1 軽微 Light burned (L. B.)

*2 中度 Medium burned (M. B.)

*3 激じん Heavy burned (H. B.)

*4 被災外地 No burned (N. B.)

部の A₀ 層のみの燃焼にとどまった。

被災時期は前述のように5月下旬であって、現地においては地床植物が未だ十分開葉しない段階で、前年の植物遺体が燃えやすい状態のまま残存していた。地床植物は激じん区および中度区では、そのほとんどが焼損した。しかし、2か月後の7月中旬には皆伐跡地の激じん区では全く裸地状態のままであったのに対し、中度区では植被率が23%となっていた。そして、当年秋季には中度区で50%を超えたが、激じん区では5%に満たなかった。沢沿いの湿潤地では、一般に燃焼程度も軽微であり、植生の回復力もおう盛であった。なお、被災後に出現した主要な植生はヤマハギ、タケニグサ、ススキ、ヒメジョオンなどである。

土壌の燃焼深度は、激じん区において最大20 cmに達した。また一部に枯死根が導火路となって、それ自体および周辺土壌に拡大していた。軽微区では落葉地被物に限られ、火は土壌面に到達していない。なお、激じん区で表土が燃焼した場所は、土壌断面を設定してみると、表層は灰褐色となりかなりはっきり区分できた。Table 26 は各区の斜面上の各位置で、地被物および表土の燃焼深を測定した結果である。この表中の激じん区のように、地表保護を果してきた落葉地被物や地床植物が焼失したところは、後述のように水および風の営力で侵食が著しく加速されている。

(3) 土壌物理性の変化

各区から採取した土壌の分析結果を Table 27 に示した。全体的にみて被災程度の差が土壌にそのまま現われているとはいえないが、0~5 cm の深さでかなり明白な影響が認められる。すなわち、被災の程度が高いほど団粒化率が小さくなり、逆に分散率が大きくなっている。地被物や表土の燃焼した中度以上の場所の透水性は、軽微区や火の入らなかった場所にくらべて著しく小さい値を示している。このほかの因子については顕著な傾向が認め難いが、ただ激じん区の0~5 cm の深さで、最小容気量が著しく大きいことが注目される。これは表土の撓水性 (Repellency) と関連すると見られ、通常行われる浸水法では24時間で飽水できず、真の最小容気量よりも過大な値が得られた。

このような場合、高熱蒸気処理、アルコールや過酸化水素処理などの方法で、ぬれがある程度回復し得るが、それでも火の入った場合は菌糸網層などが発達して撓水性を帯びた土壌よりも、その回復がゆるやかである。自然的な撓水性は Wax や Resin のような特殊の有機物による表面被膜化が要因となっていると考えられているが²⁶⁾、山火事による地被物や土壌が燃焼した場合には、これと若干異なる要因が関与

Table 27. 各調査地の土壌の諸性質

The soil properties of each study area

山形 (Yamagata)

調査地 Study area		A-I (M. B.)*2		A-II (L. B.)*1		C-I (H. B.)*3		C-II (M. B.)		C-III (L. B.)		B-I (N. B.)*4	
採取の深さ Sampling depth		0~5 cm	20~ 25cm	0~5 cm	20~ 25cm	0~5 cm	20~ 25cm	0~5 cm	20~ 25cm	0~5 cm	20~ 25cm	0~5 cm	20~ 25cm
土壌因子 Soil factor													
容 積 重 Volume weight (%)		57.0	62.6	61.3	88.5	63.4	70.8	59.8	63.9	62.6	79.5	38.5	50.9
圧 結 度 Compactness (%)		76.9	68.0	75.1	88.2	73.4	78.9	74.8	74.3	84.4	88.2	60.8	66.1
孔 隙 量 Porosity (%)	{ 全 The total 非 毛 管 Non-capillary	77.8	77.7	79.9	68.7	75.5	74.4	77.3	76.9	74.6	69.3	83.4	80.4
		17.8	15.9	20.1	13.4	13.8	14.5	12.7	11.6	15.6	16.8	15.2	14.6
最 大 容 水 量 Water-holding capacity*1(%)		70.9	66.9	67.2	62.8	44.2	60.3	58.2	68.0	63.6	69.0	72.1	74.7
固 粒 化 率 Aggregation (%)		22.8	19.4	19.2	20.4	12.4	13.3	22.0	17.6	18.1	10.7	25.6	22.9
分 散 率 Dispersion ratio (%)		54.6	68.4	51.2	44.2	59.1	44.5	37.7	45.5	50.5	47.7	40.5	40.9
粘 土 比 Clay ratio (%)		5.4	18.8	8.1	15.2	8.3	7.1	8.9	6.6	11.8	13.7	5.9	5.0
流 度 Erodibility (%)		97.0	87.0	92.0	96.0	73.5	72.7	97.0	97.9	81.3	100.0	74.1	88.4
膨 潤 性 Rapidity of swelling (sec)		5.0	6.6	5.4	4.7	5.2	7.1	2.0	3.6	5.4	2.6	2.3	3.3
透 水 性 Percolation rate (cc/min)		57	86	97	60	52	102	139	144	53	76	97	91
有 機 物 Organic matter (%)		13.7	10.3	9.8	5.7	9.3	4.0	12.5	3.1	9.2	3.5	35.8	8.5
土 壌 含 水 量 Soil moisture*1 (%)		31.6	40.5	34.8	35.9	23.2	33.3	31.3	38.1	24.3	39.8	36.3	34.4
pH (H ₂ O)		6.0	6.3	5.9	6.0	5.6	5.9	5.9	5.8	5.8	6.0	5.6	5.7

*1 軽微 Light burned (L.B.)

*2 中度 Medium burned (M.B.)

*3 激じん Heavy burned (H.B.)

*4 被災外地 No burned (N.B.)

しているようである。

上記の結果は、0~5 cm と 20~25 cm という特定の深さの土壌試料の分析値である。中度以上の被災地では、地表数mmの土壌は気乾状態に近く、かつ、この薄層が異常な分散状態を呈している。機械や家畜による踏圧の場合と異なり、容積重や孔隙量といった因子よりも、地表面の気乾状態の薄層が地表流下や侵食に直接関連していると考えられるが、このことについては次項以下においてもふれる。

(4) 浸透能の変化

Fig. 17 は各調査区において、300 mm/hr の降雨強度で浸透能の測定をおこなった結果の一部を示した。すなわち、火の入らない広葉樹林地と被災の激じんな皆伐跡地の浸透経過の典型である。浸透経過は一般的には消耗現象に特有な減衰曲線を描くことは、前報²⁷⁾のとおりである。これは初期段階で土湿不足を補うほか、それ以後において土壌膠質の膨潤や懸濁水による孔隙のつまりなどによって考えられている¹¹⁾。

ところが、被災して地表部が顕著に燃焼した場所は、降雨の初期において浸透レートが極端に小さく、

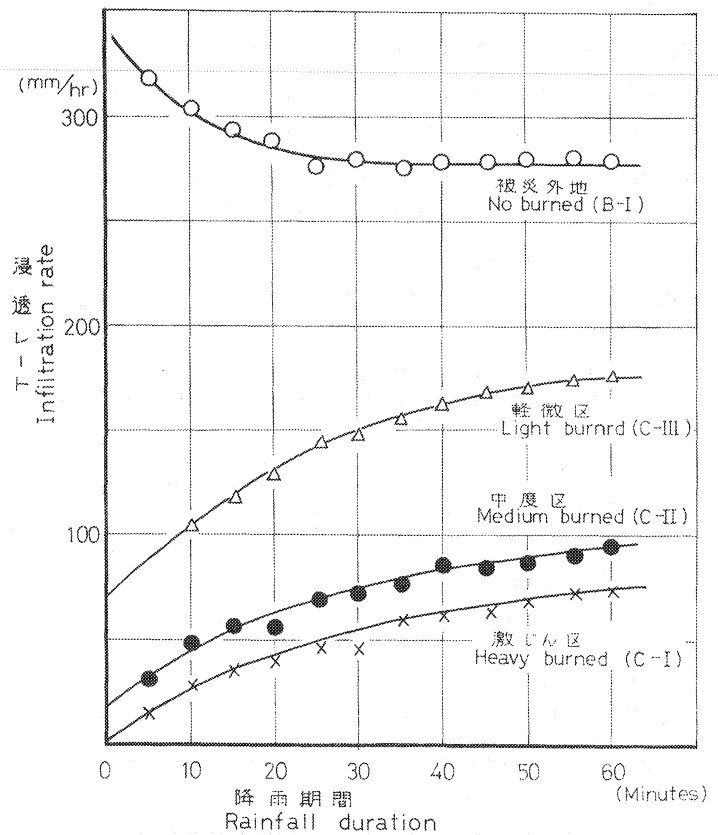


Fig. 17 各区において山地浸透計で測定した降雨期間と浸透レートの関係 (山形)
Relation of infiltration rate to rain duration by the mountain infiltrometer at each area. (Yamagata)

Table 28. 各調査地の浸透能と浸透指標
Infiltration capacity (f_0 , f_c) and infiltration indexes (k , ρ_0)
of each study area 山形 (Yamagata)

地 区 Area No.	浸 透 能 Infiltration capacity (mm/hr)		浸 透 指 標 Infiltration index	
	f_0	f_c	k	ρ_0
A-I (M. B.)*2	123	235	0.410	190
A-II (L. B.)*1	34	142	0.333	64
C-I (H. B.)*3	2	74	0.221	8
C-II (M. B.)	24	92	0.230	13
C-III (L. B.)	72	180	0.540	43
B-I (N. B.)*4	342	290	0.840	263

*1 軽微 Light burned (L. B.) *2 中度 Medium burned (M. B.) *3 激じん Heavy burned (H. B.)

*4 被災外地 No burned (N. B.)

ほとんど水を浸入させない。以後時間の経過とともに徐々に浸透レートを増加させたが、供試降雨期間の1時間内にプロット内土壌が十分に湿潤するまでには至らなかった。この原因は、前述の土壌の撓水性に関連するものであるが、要は土壌中の空気と浸透水との交換がスムーズになされない結果による。山火事跡において地表面下に撓水層が形成されることは、すでに DEBANO ら⁸⁾⁹⁾によって報告されており、また、宮本²⁶⁾によって理論的な検討がなされているが、なお不明な点が残されている。

Table 28 は浸透能の測定結果をまとめたものであり、 f_0 と f_c は降雨強度 300 mm/hr での初期および最終浸透レートで、 K は降雨強度を変化させたときの浸透強度直線の方向係数であり、 ρ_0 は流下開始点の降雨強度を示している。これによると、火の入らない広葉樹林地の f_0 と f_c は最大であり、また、 ρ_0 も大きい。それにくらべ激じん被災地の皆伐跡地はこれと全く逆で、流下開始点が著しく低く 4 mm/hr 程度に過ぎない。 f_c についてみても激じん被災地は火の入らない林地の 1/4 強の値であり、同じ地被の場所でも被災強度によって顕著な差異が認められた。

(5) 表土の損失深

Table 29 は固定杭および固定岩石によって各調査地区の表土損失深を測定した結果である。これは被

Table 29. 固定杭および岩石により測定した表土の損失深
The lost depth of surface soil which was measured by the fixed stakes and rocks
山形 (Yamagata)

地区 Area No.	斜面の位置 Site of slope				観測期間 Observation period
	上部 Upper (cm)	中部 Middle (cm)	下部 Lower (cm)	平均 Average (cm)	
A-I (M. B.)*2	-1.5	-1.4	-1.2	-1.4	Jul.~Nov./1969
A-II (L. B.)*1	-1.5	-1.2	-0.6	-1.1	"
C-I (H. B.)*3	-4.4	-3.3	-2.5	-3.4	May~Nov./1969
C-II (M. B.)	-0.5	-0.1	0.0	-0.2	Jul.~Nov./1969
C-III (L. B.)	-0.9	-1.1	-1.2	-1.1	May~Nov./1969

*1 軽微 Light burned (L.B.) *2 中度 Medium burned (M.B.) *3 激じん Heavy burned (H.B.)

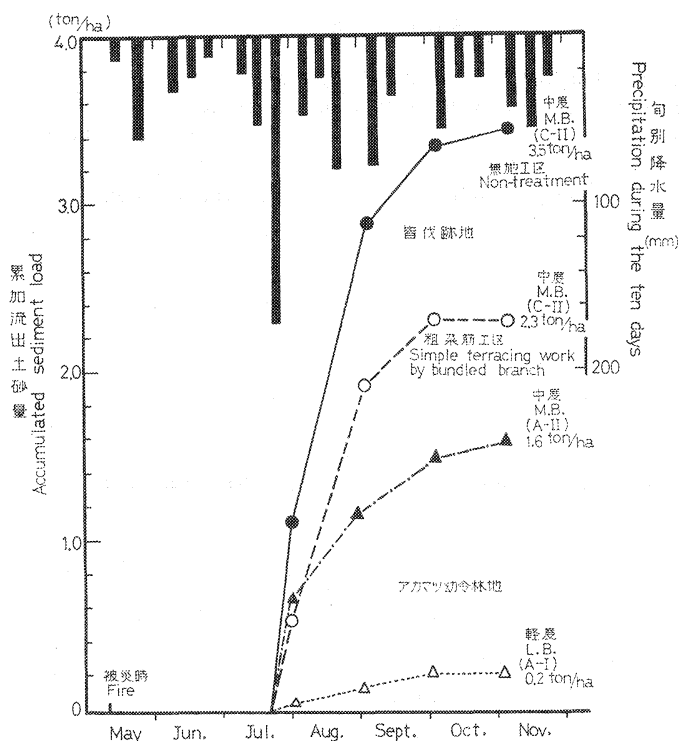


Fig. 18 被災各区からの累加流出土砂量と旬別の降水量 (山形)
Accumulated sediment load from each plot and precipitation during the ten days. (Yamagata)

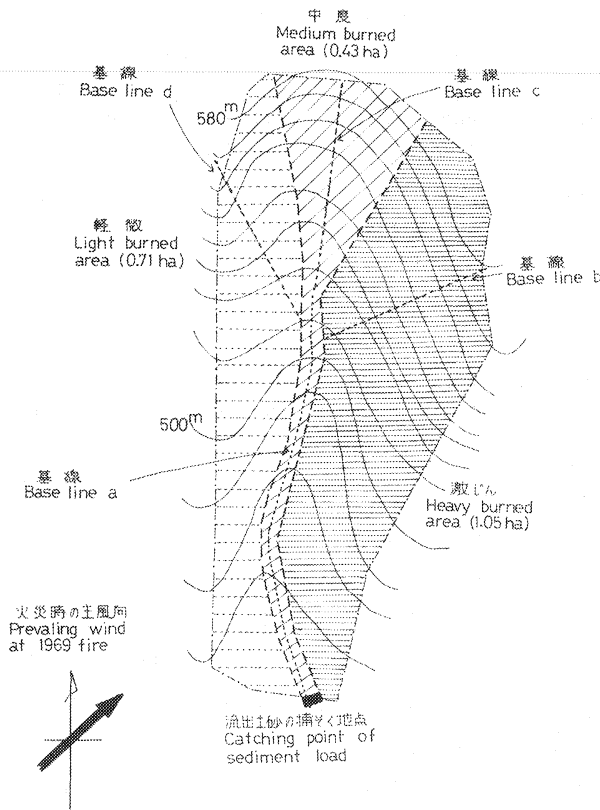


Fig. 19 流出土砂や他の因子を測定した小流域 (山形)
The burned small basin which measured the sediment load and some factors. (Yamagata)

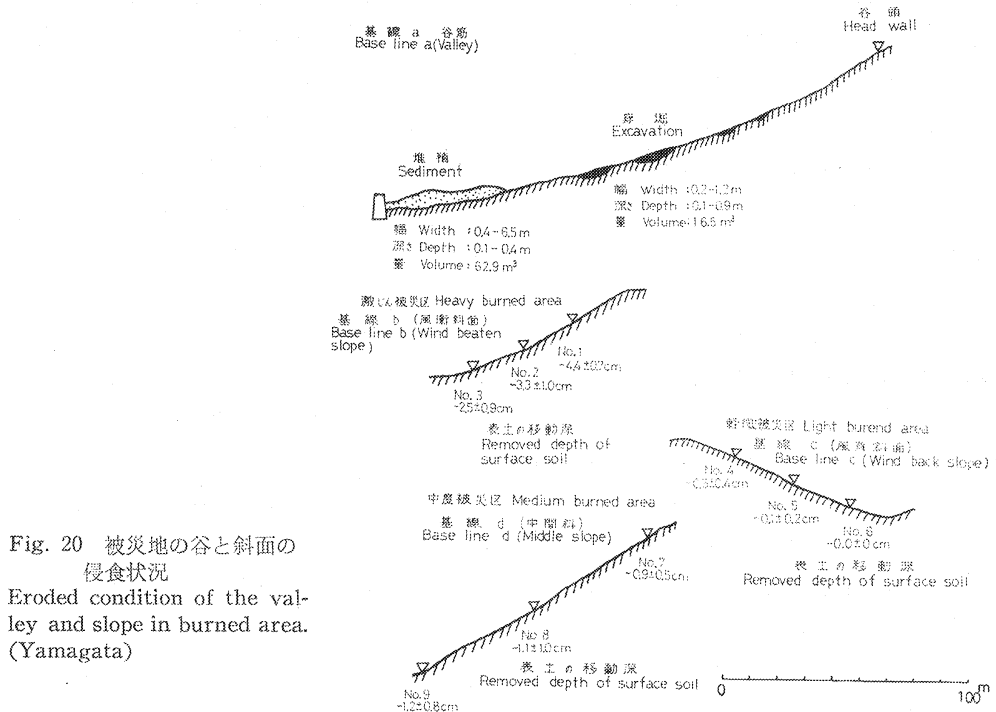


Fig. 20 被災地の谷と斜面の
侵食状況
Eroded condition of the valley and slope in burned area. (Yamagata)

Table 30. 各流下区からの流出土砂量と
The sediment load from each runoff plot and the

流下区 Plot No.	土 砂 Soil	有 機 物 Organic matter		土 砂 Soil	有 機 物 Organic matter	
	Jul. 24~Aug. 1			Aug. 1~Sept. 2		
	ton/ha	%	kg/ha	ton/ha	%	kg/ha
A-I (M. B.)*2	0.67	8.4	56.5	0.51	7.7	39.1
A-II (L. B.)*1	0.05	7.6	3.9	0.10	7.9	7.9
C-II-a (M. B.)	1.12	20.5	229.3	1.80	14.8	265.5
C-II-b (M. B.)	0.55	14.4	79.1	1.39	11.4	158.2

(1) *1 軽微 Light burned (L. B.) *2 中度 Medium burned (M. B.)

(2) 無処理区 (C-II-a) Non-treatment plot. 粗だ筋工区 (C-II-b) Plot of simple terracing work by bun-

災後から秋季まで、およそ6か月間の累加値である。これによると、全体として斜面上部の損失深が大きく、下部が小さい。激じん区においてこれが顕著である。このような表土の損失は、乾燥した土粒が地表流や風で流亡飛散したものと推察され、とくに斜面上部の風衝面では風食が著しかった。

つぎに、各区内に設定した地表流下区で捕そくされた累加流出土砂量は Fig. 18 に示した。皆伐跡地の中度被災地では 3.5 ton/ha であったのに対し、軽微被災のアカマツ造林地では 0.2 ton/ha に過ぎなかった。後者の場所では地被物と樹幹基部が焼けた程度であり、立木は次第に枯損したがその過程において新たな落葉が被災後の地表を覆い、侵食防止に効果的な役割を果たした。

Fig. 19 に示した小流域（面積 2.2 ha）を対象に、被災後の荒廃状況を観察調査した。この場所はアカマツ天然林の皆伐跡地で、被災当時は伐採枝条が地表に散乱していた。この図に示したように、被災時の風衝度合いによって被災程度はおおむね3区分できる。風衝面となった上流部左岸の斜面上部は、完全に裸地化し、細溝状水食の痕跡が多数認められた。

この流域の末端部で、被災後同年末までに捕そくした流出土砂の総量は、62.9 m³ に達した。これを面積当たりの厚さで示すと、およそ 3 mm になる。しかも、強風で飛散したり、流水中に混合し流域外に流失した微粒土砂はこの中に含まれていない。既往の研究成果によると、ふつうの皆伐跡地の平均年侵食深は 1 mm 以下であって、この被災地でみられた侵食深は、明らかに山火事による悪影響によるものと推察される。

けい床のせん掘された分を除く大部分の土砂生産源は、前述した左岸の激じん区にあることは確かで、その部分は当年秋季においても、地床植物の再生または侵入による発達ほとんど認められなかった。この流域内の各区で固定杭法によって地表侵食深を測定したが、その結果は、Fig. 20 のとおりである。この結果によると、激じん区の斜面上部の侵食深は 40 mm を越えている。

流出土砂は、下流において物理的に有害な働きをするが、同時にそれは有機物を多量に含む肥沃な表土であって、これにともなう地力の低下は少ない。Table 30 は各区に設置した流下区で捕そくされた流出土砂量中の有機物含量である。これによると中度被災の皆伐跡地では、測定期間中の総量でおよそ 0.5 ton/ha に達している。この中には植物生体やその遺体の不完全燃焼による炭化物の粉末もいくらか含まれているが、土壌とともに流亡した有機物は予想以上に多量で、これを再び林地に蓄積するためには長年月を必要とするであろう。

その有機物含有量

content of organic matter in the sediment load

山形 (Yamagata)

土 砂 Soil			有 機 物 Organic matter			土 砂 Soil			有 機 物 Organic matter			土 砂 Soil			有 機 物 Organic matter		
Sept. 2~Oct. 3			Oct. 3~Nov. 5			The total											
ton/ha	%	kg/ha	ton/ha	%	kg/ha	ton/ha	%	kg/ha	ton/ha	%	kg/ha	ton/ha	%	kg/ha	ton/ha	%	kg/ha
0.33	7.8	25.6	0.10	8.1	8.1	1.61	8.0	129.3									
0.07	6.6	4.6	0.01	7.9	0.8	0.23	7.6	17.2									
0.45	11.4	51.2	0.10	12.6	12.6	3.47	14.8	558.6									
0.38	10.4	39.3	0.00	7.4	0.0	2.32	10.9	276.6									

dle-branch.

2. 流下区による火入れ実験

(1) 実験方法

この実験設備は1プロットが幅1 m, 斜面長1.5 m, 深さ0.5 mの大きさを持ち、傾斜角は30°である。プロット内には、自然状態の植生つきの表土を現地から採取し、できるだけ構造を破壊しないようにはめ込んだ。深さ0.5 mの底部には現場土壌が密着し、その透水性は比較的良好である。降雨は散水器の交換により変化させ、プロットの下端で地表流下量と流出土砂量を捕そくした。なお、この実験設備は前報²⁷⁾の6-2の項で説明したものと同一で、好摩実験林で実行した。

本実験では火山灰土に成立したイネ科雑草類を主体とする自然草生地を対象としている。すなわち、火入れ（地表部完全燃焼）、刈取り、無処理（自然放置）の3種とした。火入れは早春新葉が出そろわぬうちに、トーチランプを用い、地上に存在する植物生体とその遺体のすべてを燃焼させた。供試降雨強度は70 mm/hr 前後、1降雨期間は2~3時間とし処理後5か月間に7回の降雨実験をくりかえした。

(2) 実験結果と考察

各処理区の時期別の地表流下率を、Fig. 21 に示した。また、この間の植被発達推移を参考までにFig. 22 に示した。これらによると、火入れ直後に地表流下が急激に増大することが認められたが、植被の回復とともにおよそ2か月経過した段階で、無処理区と差異のないほど少なくなった。また、刈り取り処理は地際までとしたが、火入れの場合よりも植被の発達がむしろおそいが、浸透能はいくらか早目に回復している。いずれにしても、植生の発達経過と浸透能の回復過程とは密接な関連がみられる。

降雨強度70 mm/hr 前後で連続2~3時間という当地方ではほとんど見られない強雨にもかかわらず、火入れ直後の状態でも測定できるほどの流出土砂が認められず、流下水が黒褐色に混濁した程度であった。地表の植物遺体を完全に焼きつくしたが、前述の山火事のように強風によって火があおられ、地床がある深さをもって燃焼した状態と異なり、このような規制した火入れではそれほど受食性を高めるには至らない。地表が焼損し全面黒褐色化しても、ススキ、トダシバなどの根系は地接部において生存し、比較的すみやかに地上部を再生させたことによっても、火入れの植生に及ぼす影響が弱かったことがわかる。しかし、火入れ直後に浸透能が著しく低下したことは明らかであり、短期間ではあるが火入れによって地表流下率が5%から68%に増大したことに注意しなければならぬ。

火入れと山火事の場合では地床の燃焼度にかかなり差異があり、土地の水文学的条件にあたる影響にも

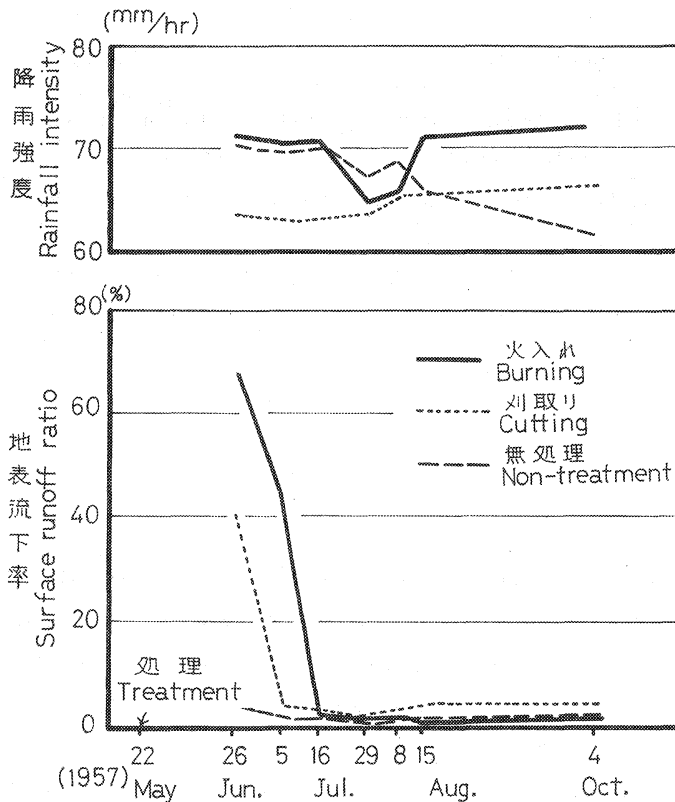
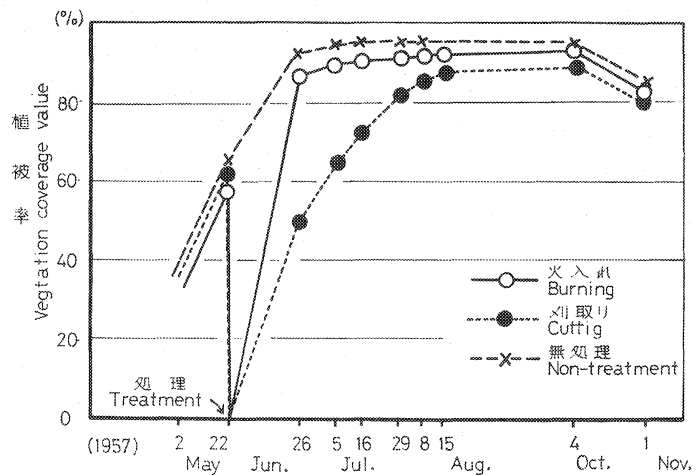


Fig. 21 各草地区の地表流下率の変化 (好摩)
Changing of the surface runoff ratio at each grass land plot. (Kôma)

Fig. 22 各草生区の植被率の変化 (好摩)
Changing of the coverage value on each grass land plot. (Kôma)



おのずから差異が生ずるものと見られる。既往の火入れに関する報告をみても、土壌条件に及ぼした影響に異論がある。Rowe³⁶⁾が North Fork で行った火入れ試験では、火入れ区は無火入れ区よりも地表流下や土壌侵食が著しく増加したと述べているが、VEHMER ら⁴¹⁾および BURG ら³⁾が、California において火入れ前後の浸透能を測定したところ、火入れによってほとんど低下しなかったと述べている。また BISWELL ら³⁾は Arizona 地方で行った火入れ試験による毎年の規定した火入れの継続でも、高い浸透能

が維持され、侵食を促進するようなことはなかったと述べている。これらの結果の差異は、立地条件も関与するとは考えられるが、結局は燃焼度の差異によるものであろう。

3. 林野火災による林地破壊に対する保全策

林野火災のほとんどが人為的失火であることは、既往の統計資料が証明しているが、ほんのわずかな不注意が有形無形の多大の損失を与えている。最も重要なことは発生を予防することであり、また、発生した場合は被害を最小限にとどめ拡大を防ぐことである。一度発生し、しかも大面積にわたって延焼した場合には、前述のように林地のもつ水文学的諸条件を著しく悪化させるから、水および土壌保全上から何等かの具体的措置を必要とする。とくに、激しな地表火の跡地に対する処置には急を要する場合が多く、その時期が遅れることによって損失が拡大する可能性がある。

被災が大面積にわたる場合には、跡地全面の侵食防止工の施工は現実には困難であるが激しな地に限定すれば局所的な対策も考えられる。わたくしたちは、被災事例を対象にして簡易な2種の保全工法を考案し実行してみた。すなわち、1つは焼け残りの枝条を活用した簡便な常状粗だ筋工と草本類の実播工である。

粗だ筋工は等高線方向に配置し、間隔は将来の苗木植栽を考慮して、斜面長1.5mを目やすとした。まず最初に太さ5~10cm、長さ50cm程度の杭を、等高線方向に1m間隔に打ち、その背後に任意の長さの枝条をたばね2~3本筋状にならべた。この粗だ筋により地表流をしゃ断し、流出土砂を保留しようとした。焼残りの立木、伐根や固定岩石などが現場にある場合には、杭の代りにこれを活用した。

激しな被災地の皆伐跡の傾斜地を対象に、上記の簡易粗だ筋工を施工し、無処理区と比較しながら流出土砂量を測定した。流下区は幅4m、斜面長10mの大きさで、傾斜角はおおよそ30°である。被災後から当年秋季まで約4か月間の流出土砂の総量(絶乾量)は、無処理区で3.5 ton/haであったのに対し、粗だ筋工区は2.3 ton/haにとどまった。施工区においても意外に流出土砂が多かったが、粗だ筋が十分に接地しなかったことが起因している。それでも、筋の背後にかなりの表土を抑制したが、構造に改良を加えることによって効果が一層高まるであろう。

実播による緑化工は、完全に裸地化し植生の回復が長期間困難な場所に対しては、適切な方策と考えられる。とくに広域な場所ではヘリコプター実播なども可能である。しかし、激しな被災地を対象に行った簡易な実播工は、必ずしも良好な成果が得られなかった。被災後2か月経過した7月上旬の降雨のあった後を見はからい、ケンタッキー 31・F、ウィーピングラブグラスなど牧草類の種子8 g/m²と、腐植土に粒状化成肥料100 g/m²を混合した種肥土を散播した。この結果は、斜面中~下部では秋季までに40~70%の植被率で散生したが、斜面上部では受食性の高い乾燥した土壌のために、植生がほとんど定着できなかった。このような場所に対しては、ワラ伏せかムシロ張りをして、風雨による種肥土の飛散防止や保湿に配慮しない限り早期緑化は困難である。

林野火災跡地の場合、はげ山や崩壊地と異なり、面積的な広がりが大きく多額の経費や人手はかけ難いが、加連的な侵食を防止するためには、荒廃危険度の高い局所に対して上記のような簡易な筋工や緑化工などの措置が必要である。同時に、被災による土地の浸透能低下は免れないので、下流における保全対象の状況によっては、異常に流出する土砂のコントロールのためにダムや遊水・沈でん池の新設も必要になる。

IV 総括および結論

1. 研究の目的と方法

この研究は、森林の伐出・林野放牧・林野火災などによる地床かく乱によって、林地の水土保持機能にあたえた影響を明らかにし、あわせて、このような原因に基づく林地の破壊に対する具体的な保全策について検討することである。

すなわち、いくつかのかく乱事例や特別につくったモデル施業地を対象にして、かく乱程度別に地表流下浸透および侵食などの観測を行った。これらの測定には、試作した山地浸透計や土壌侵食計などの携帯式測器や、固定流下区を用いた。

研究対象地は東北地方の山地流域で、また関連する実験は当場好摩実験林や実験室内でなされた。研究期間は1966～1975年の10か年間である。研究の具体的方法と結果の概要はつぎのように要約される。

2. 研究結果の要約

(1) 森林の伐採・搬出による地床かく乱の影響と林地の保全策

1) 好摩実験林内のカラマツ壮令林を対象に、間伐、皆伐などの伐採処理と地被物剥脱などの地表処理を行い、各区内に固定流下区を設定した。そして1966～1969年の4か年間、水と土砂の流出量を観測した。また、各区内で土壌採取法とテンションライシメーター法により、時期別の土壌水分の動態を調べた。

2) 当該地の浸透能はきわめて大きく、かつ、観測期間中強雨が少なかったため、各区からの地表流量はきん少であった。観測期間中の地表流下率の平均値は、最大であった皆伐地表露出区でも、1%強に過ぎなかった。また、単なる地上部の伐採処理別には、地表流量に有意差が認められなかった。

3) 流出土砂量は伐採処理を行っても、無処理区と同様きわめて微量であった。しかし、皆伐し地表露出した区では、年間およそ30 ton/ha (絶乾重量)の土砂を流出した。また、同上区からの流出土砂量 E と期間雨量 P との間は、 $E=1.488P^{1.503}$ の放物線式で表現できた。

4) 有無林地区間の深さ1 mまでの全層平均の土壌含有率を比較した結果、顕著な差異が認められなかった。しかし、年間の深さ別の土壌含水率の変化係数を比較したところ、有林区では20～25 cm と40～45 cm の両位置が他の位置よりも大きかった。無林区では0～5 cm と20～25 cm の両位置は他の位置よりも大きかった。

5) テンションライシメーターによる測定結果では、各区とも20 cm と40 cm の両深さで顕著な減水傾向を示した。とくに、夏季においては有林区は無林区よりも減水傾向がいくらか大きかった。なお、テンションライシメーターによる減水分は、そのそう入位置周辺からの蒸発散消失分に直接関連している。

6) トラクタによって全幹集材した2小流域を対象に、地表かく乱程度別の各地区で浸透能および土壌物理性を調べた。また、両流域の末端部に簡易な土砂受け装置を設け、全流域からの流出土砂を捕そくし定期的に計量した。調査流域の一つは傾斜の比較的ゆるやかなアカマツ天然林皆伐跡地であり、他は傾斜の比較的急なブナ天然林皆伐跡地である。

7) 集材のためのトラクタの行動は地形によって定まる。緩傾斜地ではほぼ全域くまなく行動するのに対し、急傾斜地では特定地に通過路が固定する。上部と下部の平坦面には、トラクタの回転のために裸地が発生する。トラクタ集材跡地はその行動ひん度から、地床かく乱程度を重度、中度、軽度、無かく乱

地、作業道に区分できる。

8) 各地区で浸透測定を行った結果、作業道および重度、中度の各区は、無かく乱地や軽度区にくらべて、浸透能が著しく低下していることがわかった。無かく乱地の値を100%とした場合の各区の相対値は、作業道が21%、重度区に63%、中度区は86%、軽度区は100%となった。

9) 各地区で土壌物理性の調査を行ったところ、明白な影響は土壌硬度において見られた。とくに、地表部の土壌硬度は、各地区間に有意差があった。20 cm 以上の深さでは荷重の影響は顕著でなかった。このほか、0~5 cm の深さで、圧結度、透水性、非毛管孔隙量などの諸因子に、各地区間に有意差が認められた。

10) 各流域末端部における搬出当年の流出土砂量は、アカマツ流域で0.28 ton/ha、ブナ流域で0.53 ton/ha（絶乾量）であった。第2年目のその量は、かく乱程度の軽微な前者では皆無に近かったが、かく乱程度の顕著な後者では、前年に近い量が捕そくされた。これらの流出土砂の主な発生源は、作業道の路面とその谷側の裸地面であった。

11) トラクタ集材による林地の破壊は無視できないので、侵食の受けやすい傾斜裸地面はすみやかに被覆する必要がある。作業道の路面を対象とし、伐採枝条の散布による被覆工と牧草類実播による緑化工を施工した。この結果によると、上記の2種の保全処理とも、侵食防止の面で有効であった。裸地無処理区の年流出土砂量は11.5 ton/ha（絶乾重）であったのに対し、被覆した両区はその10%にも満たなかった。

（2）林野放牧による地床かく乱の影響と林地の保全策

1) 北上山地の準平原上の岩泉放牧林野を対象に、荒廃地の分布状況と立地条件の関連性を検討した。当該地は冬季寒冷で偏西風が強く、過去300年以上牛馬の放牧がなされてきた。約5,000 ha の当該地域内には、きびしい気象条件と牛馬の放牧が関連したとみられる侵食地が多数存在する。

2) 荒廃地の分布状況を立地条件別に集計したところ、標高別には1,000~1,200mの範囲に、斜面の位置別では上部に、植被別では自然草地に、方位別には南西部に、傾斜角別には21~25°の範囲に荒廃地が集中していることがわかった。

3) 全地域を300m 方形に細分し、荒廃面積率と立地条件との関係を、多変量解析法により荒廃危険度の判定を試みた。これによると、森林疎密度、地形開放度、標高、方位、傾斜角、斜面の位置などの各因子の総合により、ある程度荒廃発生の予側が可能となった。

4) 荒廃地発生の端緒は、放牧家畜の行動に関連する裸地発生によるものと推察された。裸地の拡大には霜柱・凍上に基づく表土の崩落と風水食が強く影響している。特定地における地被別の表土の移動調査では、裸地の年間侵食深は4.9 mm に達したが、放牧中の自然草地や林地では1 mm 前後であった。

5) 家畜の放牧による土地の荒廃現象を解明するために、姫神国有林の放牧林地を対象に、禁牧区と対比しながら浸透能や土壌物理性の変化、地床の破壊と侵食の発生状況などを調査した。当該地はカラマツ幼令造林地であり、この中に和牛を50頭1群として、輪換方式により放牧されている。

6) 3か年間の放牧によって、林地の浸透能が明らかに低下したことが認められた。また、表土の硬度、圧結度、分散率は増大し、非毛管孔隙量や透水性は減小した。これらの影響は放牧区域内に発生する休息地や牛道などでとくに顕著であった。

7) 牧区内に発生した裸地を調査した結果、全面積に対する裸地の面積率は3%に満たなかった。裸地

は傾斜の急な斜面中腹部に集中し、ついで下部の平坦部に多い。傾斜角と裸地の発生状況との間には密接な関係がみられ、 20° を越すと裸地発生ひん度およびその面積率ともに、急激に増大することがわかった。

8) 発生した裸地形態は、地形によって特色が見られた。すなわち、斜面の上、下部の平坦面には固結した面状の裸地が発生したのに対し、山脚部のたい積面には、陥没状の裸地がみられ、斜面部に形成された小階段状の牛道は、放牧期間の経過とともに階段が崩落した。侵食は牧区内を流れる小沢の周辺や踏み固められた通路から発達しており、豪雨の際の流出土砂の根源となることがわかった。

9) 林野放牧に対する根本的な土地保全策は、適正な利用地の選択と放牧管理にあるといえよう。利用地の選択に際しては、傾斜角 20° は重要なチェックポイントとなる。放牧利用はこれ以下の緩斜地に限定すべきである。また、放牧利用地は地表保護物（地床植生や落葉地被物）の消長に対応して家畜をローテーションさせることが必要である。なお、沢沿いや高冷な風衝面には、できるだけ森林を残存させなければならない。

(3) 林野火災による地床かく乱の影響と林地の保全策

1) 1969年5月上旬、岩手県北部に発生した林野火災踏地を対象、激じん、中度、軽微の3段階の被災強度別の調査地を選び、火のはいれなかつ場所と対比して火災の土地条件に与えた影響を明らかにした。すなわち、各地区別の浸透能や土壌の諸性質にあてた影響を調査し、また、地表侵食深や流出土砂量を観測した。

2) 激じん被災地の浸透能は、火災をうけなかった場所や軽微被災地にくらべて、著しく小さい値を示した。このような場所は、地被物が焼失し、表土が乾燥し分散しているために、降雨初期の浸透レートは著しく小さかった。しかし、降雨期間の経過とともに徐々に浸透レートが増大した。すなわち、浸透曲線は一般的にみられる減衰型ではなく漸増型のものが得られた。

3) 固定杭および固定岩石を基準とし、地表侵食深を測定した。被災直後から当年秋季まで、激じん被災の皆伐跡地の急斜面では平均 34mm に達した。しかし、軽微被災の同様な場所では、平均 2mm に過ぎなかった。侵食深は、斜面上部が大きく下部は小さかった。

4) 各地区内に設定した固定流下区で測定した流出土砂量は、中度被災の皆伐跡地で 3.5 ton/ha 、中度被災のアカマツ造林地で 1.6 ton/ha 、軽微被災の同地で 0.2 ton/ha （いずれも絶乾重）であった、また、激じん、中度、軽微の3強度の被災地で構成された約 2 ha の皆伐跡の小流域を対象にその末端部で流出土砂を捕そくした。被災直後から当年秋までの流出土砂量は 63.9 m^3 （厚さに換算約 3.3 mm ）に達した。

5) 地表植被率は、被災当年秋までに軽微と中度の両地区でおよそ50%に回復した。激じん・中度の両地区の落葉地被物は、火災によってほぼ完全に焼失し地表は露出した。

6) 火災の土壌の諸性質に与えた影響はそれほど顕著でなかった。しかし、 $0\sim 5\text{ cm}$ の深さで激じん地区の透水性と団粒化率は、軽微区のそれにくらべて明らかに小さく、また、分散率は逆にいくらか大きかった。

7) 流出土砂とともに失なわれる有機物量は予想以上に多かった。すなわち、TIDRINの迅速滴定法により分析した結果、中度被災の皆伐区からの有機物量は、被災直後から当年秋までにおよそ 0.5 ton/ha に達した。

8) 入工降雨装置を付帯する固定流下区で、火山灰土壌に成立した自然草本植生を用いて、火入れ実験を行った。火入れ直後に地表流下量は増大したが、植被の回復とともに浸透能が漸次大きくなった。およ

そ2か月後の火入れ区と無処理区の流下レートの間には有意差が認められなかった。

9) この実験で70 mm/hr という強雨を長時間継続しても、無処理区はもちろんのこと火入れ区からも測定できるほどの流出土砂量は認められなかった。火災と規制された火入れとでは、地床の燃焼程度に顕著な差異がみられる。

10) 林野火災による激じん被災地は、地表が露出し表土が乾燥するため、風や水による侵食に対する抵抗力が著しく弱い。火災が原因となる林地荒廃を防ぐには激じん被災地への保全処理が必要である。焼残り枝条を活用した簡易粗だ筋工を施工した結果、表土の移動抑止にある程度の効果をあげることができた。

3. 結 論

森林の伐採・搬出、林野放牧、林野火災などの各種の地床かく乱の結果、浸透能の低下をはじめ土壌物理性の悪化など土地のもつ水文学的諸条件に多大の悪影響を及ぼすことがわかった。浸透能が低下すると、直接流出は増大し出水時のピーク流量を高め、同時に、掃流力は増大するので水食の加速化を招来する。

森林の伐出による水や土砂の流出に及ぼす影響は、伐採による立木の消滅よりも、その搬出過程をとおしての地床の破壊が大きく関与する。森林の取扱いを保全的観点からのみ規制することはできないが、搬出時にできるだけ裸地の発生と地表の転圧を少なくすることがのぞましい。やむを得ず発生した裸地には、伐採木の枝条などで早期に被覆することが肝心である。

定置方式による粗放な放牧は土地の荒廃に結びつく。とくに自然立地条件のきびしい場所では、その影響が顕著にあらわれる傾向がある。また、家畜の行動ひん度の高いたまり場や通路が、林地破壊の端緒になる場合が多い。急傾斜地では裸地発生が顕著となるが、とくに20°を越えると急激に増加する。林野放牧に際しては、対象地を荒廃危険度の低い地域に限定し、利用に際しては、地表保護物を常に一定量保持するよう留意すべきである。

地表火や地中火の激じん被災地における浸透能の低下は著しい。地表は撓水性を帯びるので、初期浸透レートは極端に小さく加速的な侵食をもたらす。また、表土は著しく乾燥するので風食によって飛散する。このような場所は、峯通りの風衝面が多いが、荒廃の拡大を防ぐためには、早期に簡易な被覆工や土留工が必要である。

林地の水土保全機能は、植被や土壌条件などによって差異の生ずることを前報において明らかにした。さらに、本研究の結果、同一立地条件下でもこれらの機能は地床のかく乱によって顕著に低下することがわかった。これらの機能を維持するためには、地床かく乱をできるだけさけるような土地の利用管理法を採るべきである。林地においては、地表保護物(落葉地被や地床植物)を温存させることは、これらの機能保全のためにとくに重要である。地床をかく乱した跡に対して保全策がとられても、これらの機能回復は容易ではなく長期間を必要とすることを知らなければならない。

文 献

- 1) 有光一登・松井光瑤: 簡易なテンションライシメーターによる土壌水分の動的研究(I), 日林誌, 46, 208~213, (1964)
- 2) BURG, R. H. and SCOTT, V. H.: Some effects of fire and ash on the infiltration capacity of soils. Trans. Amer. Geophys. Union, 33, 405~416, (1952)

- 3) BISWELL, H.H. and SCHULTZ, A.M.: Surface runoff and erosion as related to prescribed burning. *J. Forestry*, 55, 5, 372~374, (1957)
- 4) BRANSON, F., A.F. MILLER and I.S. McQUEEN: Effects on contour furrowing, grazing intensities and soil on infiltration rates, soil moisture and vegetation near Fort Peck Mountain. *Soil and Water Conserv.* 15, 3, 151~158, (1962)
- 5) BETHLAHMY, N.: Effect of exposure and logging on runoff and erosion. U. S. Forest Service Research Note, 61, 1~7, (1967)
- 6) 地理調査所地図部編: 日本の土地利用, 古今書院, 75~81, (1955)
- 7) GROUSE, R.P. and HILL, L.W.: What's happening at San Dimas? Miscellaneous Paper of Pacific Southwest Forest and Range Exp. Sta., 68 pp., (1962)
- 8) DeBANO, L.F. and J.S. KRAMMES: Water-repellent soils and their relation to wildfire temperatures. *Bull. Int. Assoc. Soil Hydrol.*, 11, 14~119, (1966)
- 9) DeBANO, L.F.: Formation of non-wettable soils involves heat transfer mechanism. U. S. Forest Serv. Res. Pacific S.W. Forest and Range Exp. Sta., 132 pp., (1966)
- 10) 遠藤泰造・鶴田武雄: 北海道の頁岩地帯における林地の崩壊機構に関する研究, 74 回日林講, 363~366, (1963)
- 11) HORTON, R. E.: Analysis of runoff-plot experiments with various infiltration-capacity. *Trans. Amer., Geophys. Union*, 693~711, (1939)
- 12) 石川政幸: 森林伐採による山地の荒れ方の一例, 北方林業, 13, 28~32, (1961)
- 13) 岩田悦行: 北上山地の二次植生, 特に草地植生に関する生態学的研究, 岐大農研報, 第30号, 288~430, (1971)
- 14) 岩田悦行: 山地傾斜地一般, 日草誌, 15, 4, 332~334, (1969)
- 15) JOHNSTON, A.: Effects of grazing intensity and cover on the water-intake rate of fescue grass-land. *J. Range Mangt.* 13, 2, 80~86, (1960)
- 16) 川口武雄: 地表流下雨量に就て, 森林治水試験集報, 20, 9~28, (1944)
- 17) 川口武雄・山本勝市: 土砂防止林の伐採と流出土砂について, 林試集報, 57, 1~18, (1948)
- 18) 川口武雄: 禿禿地の崩砂崩落, 森林治水試験集報, 20, 29~38, (1944)
- 19) KRAMMES, J.S.: Erosion from mountain side slopes after fire in Southern California. Research Note of Pacific Southwest Forest and Range Exp. Sta., 171 pp., (1960)
- 20) LEATHERED, H.L.: Runoff in relation to range condition in the Big Bend-Davis Mountain section of Texas. *Jour. Range Mangt.*, 12, 2, 83~87, (1957)
- 21) LIACOS, L.G.: Water yield as influenced by degree of grazing in the California winter grass land. *Jour Range Mangt.* 15, 1, 34~41, (1962)
- 22) 村井三郎・流石英紀: 岩手県中部釐取放牧地所に於ける植物学的二, 三の研究, 日林誌, 26, 243~244, (1944)
- 23) 前田 隆・横田廉一・堂脇 純・小林昌雄: 重車輛の通行による林地の荒廃, 農業気象, 19, 140~144, (1964)
- 24) 村井 宏・岩崎勇作・北田正憲: 放牧状態が林地の浸透および土壌の受食性に及ぼす影響, 林試研報, 223, 69~90, (1969)
- 25) MOHRING, D.M. and RAWLS, I.W.: Detrimental effects of wet weather logging. *J. Forestry*, 68, 3, 166~167, (1970)
- 26) 宮本征一: 土の濡れと撈水性, 土壌の物理性, 土壌物理研究会, 27, 24~35, (1972)
- 27) 村井 宏・岩崎勇作: 林地の水および土壌保全機能に関する研究 (第1報), 林試研報, 274, 23~84, (1975)
- 28) 中野秀章: 傾斜面浸透計による試験成績, 林試集報, 59, 39~56, (1950)

- 29) 難波宣士・垂沢倭子：山地土壌侵蝕の研究（第2報），林試研報，70，33～46，（1954）
- 30) 農林省林業試験場・林野庁：国有林野土壌調査報告書，林野共済会，，（1955）
- 31) 難波宣士：山地流域からの土砂流出に及ぼす諸因子とくに森林の影響，林試研報，173，93～116，（1965）
- 32) 農林省水産技術会議事務局：山地傾斜地草地の利用管理および造成技術の組立に関する研究，農林省水産技術会議事務局・研究成果，58，199～221，（1972）
- 33) 中野秀章：森林の水土保全機能とその活用，わかりやすい林業研究解説シリーズ，51，72 pp.，（1973）
- 34) ORR, H. R.: Soil porosity and bulk density on grazed and protected Kentucky Blue Grass range in the Black Hills. Range Mangt. 13, 2, 80～86, (1960)
- 35) ROWE, P. B.: Some factors of the hydrology of Sierra Nevada forest hill. Trans. Amer. Geophys. Union, 22, 90～100, (1941)
- 36) RAUZI, F.: Water intake studies of range soils at three location in the Northern Plains. Jour. Range Mangt., 14, 4, 179～184, (1960)
- 37) 林業機械化協会編：トラクタ集運材作業基準解説，林業機械化21集，林業機械化協会，221 pp.，（1962）
- 38) 佐藤 正・村井 宏：アカマツの有無林地における土壌含水量の季節的变化，66回日林講，57～59，（1956）
- 39) 四手井綱英・菅原敬二・片岡健二郎：有無林地表層土の含水量変化について（第1報），林試集報，60，31～43，（1951）
- 40) 東北支場経営部経営第4研究室：昭和36年5月末の三陸沿岸大火による森林被災状況についての調査報告，林試研報，172，95～116，（1965）
- 41) VEIHMEYEN, F. J. and JHONSTON, C. N.: Soil Moisture records from burned and unburned plots in certain grazing area of California. Trans. Amer. Geophys. Union, 25, 72～84, (1944)
- 42) WILLM, H. G.: 森林と流域（松尾兎洋訳「森林の公益機能」の一部），水利科学研究所，31～51，（1962）
- 43) 山谷孝一：北上山系の草生地における土壌侵食形態について，65回日林講，134～135，（1965）
- 44) ZASADA, Z. A. and TAPPEINER, J. C.: Soil disturbance from rubber-tire skidders during summer harvesting of aspen. Minnesota forestry Research Note, 204 pp., (1969)

**Studies on Function of Water and Soil
Conservation based on Forest Land (II)**
—Influence of disturbance in ground floor upon water
runoff, infiltration and soil erosion, and the conservation
management of forest land—

Hiroshi MURAI⁽¹⁾ and Yûsaku IWASAKI⁽²⁾

Summary

The purpose of the present study is to clarify the influence of the disturbances to the ground floor such as cutting and logging of the forest, forest fire or forest grazing upon the water and conservation functions of the forest land. Besides, the findings revealed in the investigation are to be utilized in the conservation management against the destruction of the forest land brought about by the above-mentioned causes.

The study is based on the analysis of factors such as surface runoff, infiltration or soil erosion on several examples of disturbance, or on the specially provided model working areas, through comparing the disturbed land with the undisturbed land. Measurements were made using the portable devices built as trials such as slope infiltrometer and soil erosion gauge or using the fixed runoff plot.

The object of the investigation was the mountainous drainage basin in the Tohoku district, and the relating experiments were carried out in Koma experimental forest of this institute or in the laboratory. The term of the study was 10 years, from through 1975. The outline of the method and the results of the study are summarized as follows:

I. Influence of the disturbance in the ground floor due to cutting and logging of the forest and conservation management of the forest land

(1) Choosing the Karamatsu (*Larix leptolepis*) thrifty stand in Koma experimental forest as an object, cutting works such as thinning or clear cutting and stripping of litters were conducted. After that, fixed runoff plots were set up in each part of the forest. During Four years from 1966 through 1969, the runoff discharges and the amount of sediment load were observed. Besides, the seasonal fluctuation of the water content of the soil of each part of the forest was investigated, using soil sampling method as well as free tension lysimeter.

(2) The amount of surface runoff from each part of the forest was small due to the large infiltration capacity of this area as well as the lack of heavy rainfall during the observation term. The mean value of the ratio of surface runoff during the observation term was only a little more than 1 per cent even at the area where the ground surface was exposed due to the clear cutting. The difference in the extent of cutting, namely the thinning or the clear cutting, did not produce any distinct difference in the amount of surface runoff.

(3) The amount of sediment load was extremely scarce even after the cutting works such as thinning or clear cutting. However, from the area where the ground surface was exposed due to clear cutting, the sediment of approximately 30 ton/ha (oven-dry) was transported annually. The relation between the amount of sediment load from that area *E* and the precipi-

Received November 10, 1975

(1) (2) Tohoku Branch Station

tation P was known to be expressed by the exponential equation $E=1,488 P^{1.503}$.

(4) Comparing the percentage of soil moisture content by its average value of total layer down to the depth of 1 m between the forested land and the deforested land, there was no distinct difference. However, comparing the annual percentage of soil moisture content of each depth by its coefficient of variation, the depths of 20~25 cm and 40~45 cm had larger values than the other depths in the forested land. In the deforested land, the coefficients of variation were larger at the depths of 0~5 cm and 20~25 cm than at the other depths.

(5) As a result of free tension lysimeter measurement, both depths of 20 cm and 40 cm showed prominent dewatering tendencies in each area. Especially in summer, the dewatering tendency was more prominent in the forested area than in the deforested area. The dewatering measured by the free tension lysimeter is directly related to the evapotranspiration around the location of the instrument.

(6) Choosing two small basins where stem-length skiddings were carried out with tractors as object, the infiltration capacity and the soil physical properties were investigated in five areas into which the basins were divided according to the extent of disturbance in the ground floor. Moreover, simple soil catching apparatuses were provided at the ends of both basins. Sediment loads from the entire basins were caught here and weighed periodically. One of the investigated basins was a gently sloping cut-over land of Akamatsu (*Pinus densiflora*) natural stand. The other was a cut-over land of Buna (*Fagus crenata*) natural stand with comparatively steep slope.

(7) The movements of tractor skidding vary depending on the topography. For instance, in the gently sloping area, it can move over the entire ground surface, while in the steeply sloping area, the passages are likely to be concentrated on some special routes. On the flat planes of the upper part or of the lower part of the slope, bare lands are formed due to the turning of the tractor. The parts of the land where skidding works were conducted by tractors are classified into the following by their degree of disturbance from the frequency of the movement of tractors, namely, light disturbed area, medium disturbed area, heavy disturbed area, non-disturbance and spur road.

(8) As a result of infiltration experiments, it was revealed that the infiltration capacity was extremely lowered at medium disturbed areas, heavy disturbed areas, and spur roads, compared with light disturbed areas and non-disturbed areas. In other words, if the value at the non-disturbed area is assumed to be 100%, the relative values of the spur road, heavy disturbed area, medium disturbed area and light disturbed area are 21%, 63%, 86% and 100% respectively.

(9) Investigations of soil physical properties on each area showed an apparent influence of the soil hardness. Especially in the soil hardness of the surface layer, there were significant differences among each area. At the depth exceeding 20 cm, the influence of the rolling pressure was not prominent. Besides, significant differences among each area were noticed at the depth of 0~5 cm by such factors as compactness, percolation rate and non-capillary porosity.

(10) The amount of soil loss at the end of each basin in the year of skidding was 0.28 ton/ha by Akamatsu natural stand, and 0.53 ton/ha (oven dry) by Buna natural stand. The amount in the second year was almost zero by the former where the degree of disturbance was light, whereas an amount almost similar to that of the preceding year was shown by the latter where the degree of disturbance was prominent. It was confirmed that the principal sources of these sediment loads were the surface of the spur road and the bare land which

composed the slope on the valley side of the spur road.

(11) Since the destruction of the forest land through skidding by tractors cannot be neglected, the sloping bare land where the erosion is likely to occur is to be covered as soon as possible. Over the surface of the spur road, the covering work of spreading branches of cutting trees and the greening work of seeding pastures were executed. From the results of these works, both conservation treatments were effective from the standpoint of the prevention of erosion. Comparing the annual soil loss, it was 11.5 ton/ha (oven-dry) at the bare land without treatment, while it was less than 10% of the former at both covered areas.

II. Influence of disturbance in ground floor due to pasturage in the forest land and conservation management of the forest land

(1) Choosing Iwaizumi pasturage forest land on a peneplain in Kitakami mountainous areas, the relation between the distribution of the devastated land and the site conditions was examined. This area is severely cold in winter with strong westerly wind and has pastured oxen and horses for more than 300 years. In this area of approximately 500 ha, there exist expanses of eroded land which are thought to be caused by the severe meteorological conditions and the grazing of oxen and horses.

(2) Summing up the distribution of the devastated lands according to the site conditions, there are the following characteristics: The devastated lands are concentrated within the range of the elevation of 1,000~1,200 m, on the upper parts of slopes, on natural grasslands concerning the kind of ground coverage, on the south-west parts and within the range of 21~35° with respect to the slope angle.

(3) An attempt was made to judge the degree of the danger of devastation, through dividing the whole area into 300 squares and calculating the relation between the ratio of the devastated area and the site conditions using multivariate analysis. From this, it became possible to some extent to foresee the occurrence of the devastation through analyzing such factors as forest density, open degree, elevation, direction, inclination angle and parts of slope.

(4) The beginning of the occurrence of the devastated land was inferred to be due to the occurrence of the bare land caused by the behavior of grazing cattle. The enlargement of the bare land is strongly influenced by the collapse of the top soil layer caused by the frost columns or the frost heave as well as by the weathering and the erosion of it. The investigation into the movement of the top soil by the kinds of surface coverage showed that the annual erosion depth of the bare land reached 4.9 mm. Whereas it was only about 1 mm in the natural grassland under pasturage or in the forest land.

(5) In order to clarify the devastation phenomena due to the pasturage of grazing cattle, an investigation as against non-grazing stand was carried out on the destruction of ground floor, the occurrences of the erosion, the infiltration capacity, soil physical properties and the amount of sediment load in Himekami national grazing forest. The areas are young Karamatsu (*Larix leptolepis*) by planting and fifty cattle of one group are grazing by the rotation system within that forest land.

(6) As a result of investigation three years after pasturage, it was revealed that the pasturage had lowered extremely the infiltration capacity. The influences of the behavior of the grazing cattle on the top soil of each grazing plot were apparent: the soil hardness, the compactness and the dispersion ratio were increased, and the percolation rate and non-capillary porosity were decreased by the cattle grazing. These influences were remarkably large on the trail and the bet ground of the cattle.

(7) As a result of investigation into the occurrences of bare lands after pasturage, it was shown that the ratio of the bare land was less than 3% of total area. The bare lands are concentrated the most on the mid-high steep slope, and secondly on the flat area at the lower part. The occurrences of bare land are closely related to the angle of the slope. When the angle exceeded 20° , the frequency of the appearance of the bare land and its ratio in area increased abruptly.

(8) The shapes of the bare lands which occurred showed special features depending on the topography, and also changed with the time elapse of the pasturage. For instance, on the flat areas at the upper and lower parts of the slope, compact plane bare lands appeared, while on the steep slopes small stair-like bare lands appeared. On the talus at the foot of the mountains, subsided bare lands were found. At the small stair-like trails formed on the slope, the steps collapsed with the time-elapse of pasturage.

(9) The fundamental land conservation management concerning the grazing in the forest land consists in the appropriate selection of the land and the grazing management. In selecting the land, the angle of slope 20° is an important check point. The lands to be used for pasturage should be on a gentle slope with the slope angle less than the above-mentioned value. Besides, on a grazing lot, it is necessary to rotate the cattle corresponding to the appearance or the disappearance of the protection cover of land surface (ground floor plants and litter). On the land along valleys or located on high elevation exposed to cold strong winds, it is necessary to conserve forest as much as possible.

III. The influence of the disturbance in the ground floor caused by the forest fire and the conservation management of the forest land

(1) On the ruins of the forest fire which had occurred in early May 1969 in the northern part of Iwate prefecture, the influences of the fire on the land conditions were clarified by means of selecting investigation areas with three stages of damage intensity, namely, heavy burned, medium burned, and light burned and including the areas which had not been influenced by the fire. The influences on the infiltration capacity and the various soil properties were examined on each area. Besides, eroded depth of the ground surface and the amount of sediment load were observed.

(2) The infiltration capacity of the heavy burned areas was extremely small compared with those of the areas without fire or of the light burned areas. In such areas, ground floor plants and litters were burned down and the top soil was dried and dispersed. Therefore, the infiltration rate at the beginning of the rainfall was very small. However, with the elapse of the rainfall, the infiltration rate increased gradually. That is to say, the infiltration curve was not the diminishing type as seen in general but the increasing type.

(3) Eroded depth of the ground surface was measured using the fixed stakes and rocks as reference points. From immediately after the fire to the autumn of that year, it reached 34 mm on the average, on the steep slope of the clear cut ruins of the heavy burned area. However, it was only 2 mm on the average on similar places of light burned area. The erosion was deep on the upper part of the slope, and shallow on the lower part.

(4) The amounts of sediment load measured at fixed runoff plot set up in each area was 3.5 ton/ha by medium burned clear cut ruins, 1.6 ton/ha by medium burned Akamatsu planting stand, and 0.2 ton/ha by light burned Akamatsu planting stand (all of these values were oven-dry). Also, the amount of sediment load was measured at the end of a small basin of approximately 2 ha which was composed of the three degrees of clear cut ruins, in other

words, the heavy burned, medium burned and light burned. From immediately after the fire to the autumn of that year, the sediment load amounted to 63.9 m^3 (which corresponded to the thickness of approximately 3.3 mm).

(5) The coverage of ground floor plants was restored to about 50% by the autumn of the year of the fire at both areas of light burned and medium burned. The litters were almost completely burned out, and the land was exposed at both areas of heavy burned and medium burned.

(6) The influences of the fire on soil properties were not particularly prominent. However, the infiltration capacity and the rate of granular solidification within the depth of 0~5 cm in the heavy area were distinctly small compared with those in the light burned area, and on the contrary the dispersion ratio was somewhat larger.

(7) The amount of organic materials lost with the sediment load were more than expected. As a result of analysis using THURIN's rapidity-titration method, the contents of organic matter in soil in the medium burned clear cut area amounted to approximately 0.5 ton/ha from immediately after the fire to the autumn of that year.

(8) In a fixed runoff plot equipped with artificial rainfall apparatus, a firing experiment was carried out on a natural grass-vegetation growing over the volcanic soil. The surface runoff discharge increased immediately after the firing, but the infiltration capacity increased gradually together with the regrowth of vegetation. And about two months after that, there was no significant difference in the surface runoff discharge rate between the fired area and the area without firing.

(9) Even with a long duration of the artificial rainfall of 70 mm/hr, there was not any perceptible amount of sediment load from the fired area nor from the area without firing. There seem to be distinct differences between the fire and the controlled firing in the degree of the combustion of the ground floor.

(10) The heavy burned area by the forest fire is irresistible against the erosion caused by the water or the wind, because the ground surface is exposed and the top soil is dried out. In order to protect the forest land from the devastation caused by the forest fire, a conservation management is necessary for such heavy burned areas. The simple terracing work by bundled branches using branches remaining unburned was quite effective for the prevention of the movement of the top soil.

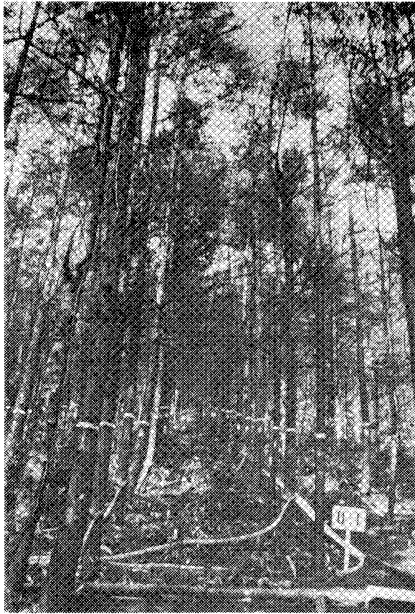


Photo. 1 無処理カラマツ林地における地表流下区
The runoff plot in the Karamatsu (*Larix leptolepis*) stand of the non-treatment.



Photo. 2 間伐カラマツ林地における地表流下区
The runoff plot in the Karamatsu (*Larix leptolepis*) stand of the thinning treatment.

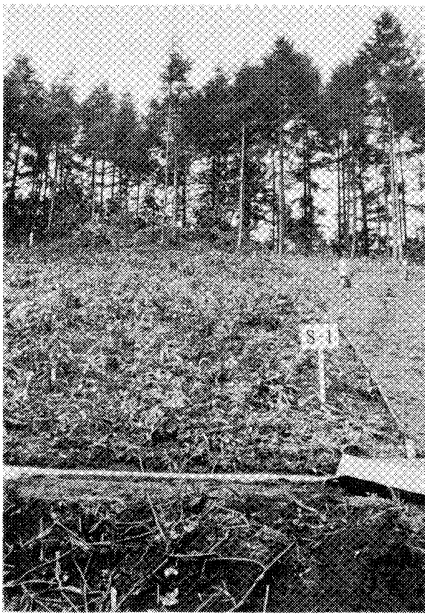


Photo. 3 カラマツ林の皆伐跡地における地表流下区
The runoff plot in the cut-over land of the Karamatsu (*Larix leptolepis*).

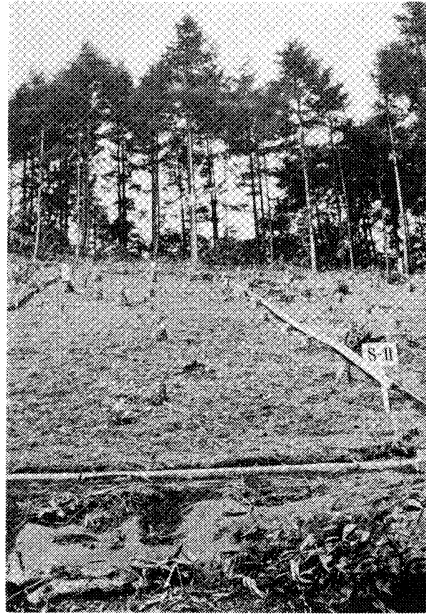


Photo. 4 皆伐地表露出区における地表流下区
The runoff plot in the exposed condition of cut-over land.

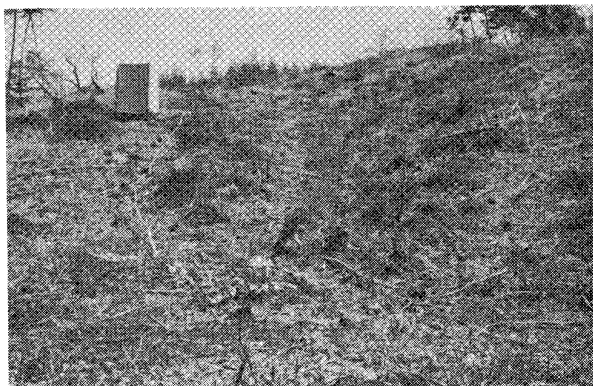


Photo. 5 トラクタで集運材された皆伐跡地（四日市調査地）
The clear cut-over land where the felling trees skided and
logged by the tractor (Yokkaichi investigated area).



Photo. 6 丸太の地擦りにより地表が重度にかく乱された状態
The heavily disturbed condition of ground surface
by the tractor logging.

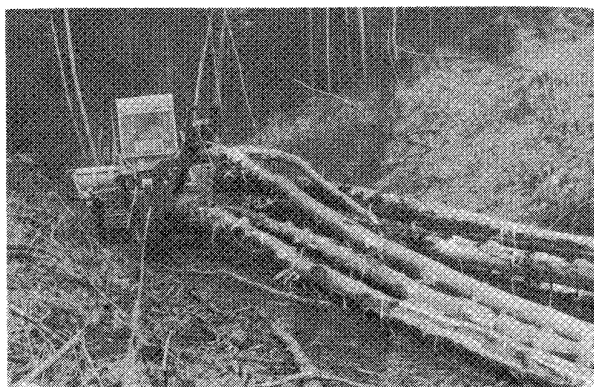


Photo. 7 トラクタによるアカマツ伐採木の全幹集材
The stem-length loggings of Akamatsu (*Pinus
densiflora*) logs by the tractor.

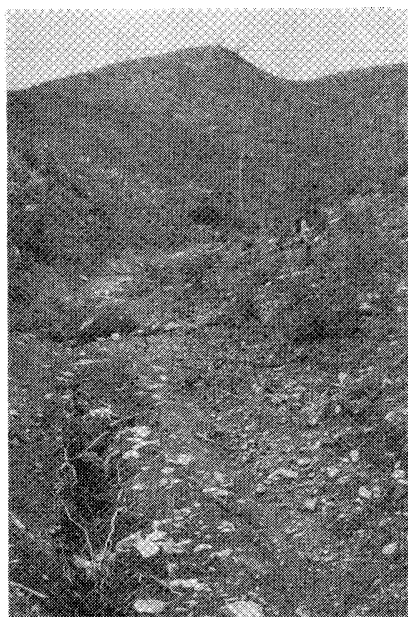


Photo. 8 地表侵食深，流出土砂量および浸透能などを測定した被災小流域

The small burned basin by forest fire which measured erosion depth, sediment load and infiltration capacity.

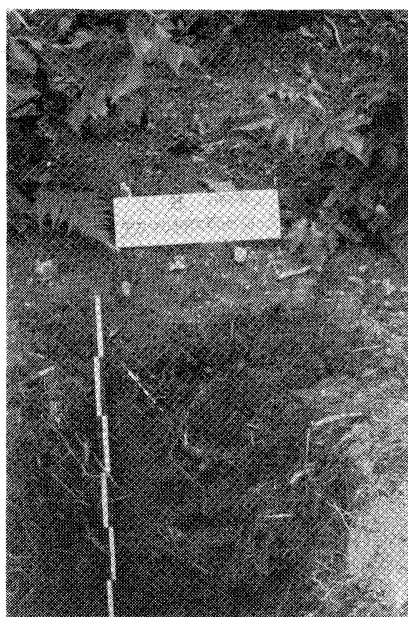


Photo. 9 山火事により激しな被災を受けた皆伐跡地の土壌断面

The soil profile in the heavily burned area of cut-over land.

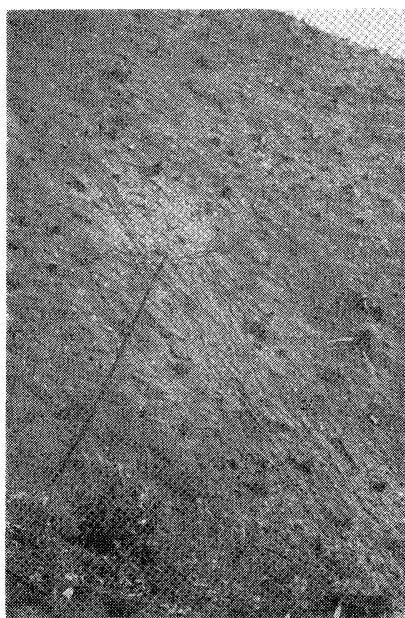


Photo. 10 激しな被災地の急斜面にみられる表面侵食

The sheet erosion which have observed in the steeply slope of the heavily burned area.



Photo. 11 激しな被災地の地表面は著しい撥水性を呈する

The ground surface take on very repellency in the heavily burned area.

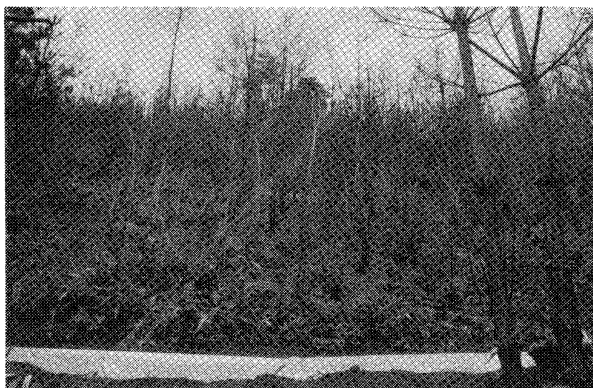


Photo. 12 アカマツ造林地の中度被災地に設定した地表流下区
The runoff plot in the medium burned area of Akamatsu (*Pirus densiflora*) planting forest.



Photo. 13 皆伐跡地の中度被災地に設定した地表流下区（無処理）
The runoff plot in the medium burned-area of clear cut-over land (Non-treatment).

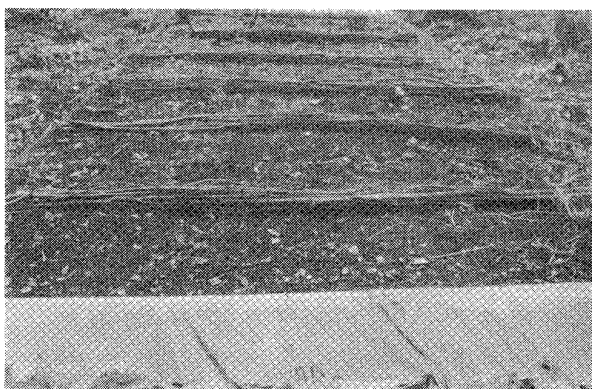


Photo. 14 皆伐跡地の中度被災地に設定した地表流下区（粗だ筋工）
The runoff plot at the medium burned area of clear cut-over land (Simple terracing work by bundled branch).



Photo. 15 北上山地準平原にみられる荒廃牧野
The denuded range land where exist on the peneplain
of Kitakami mountain.

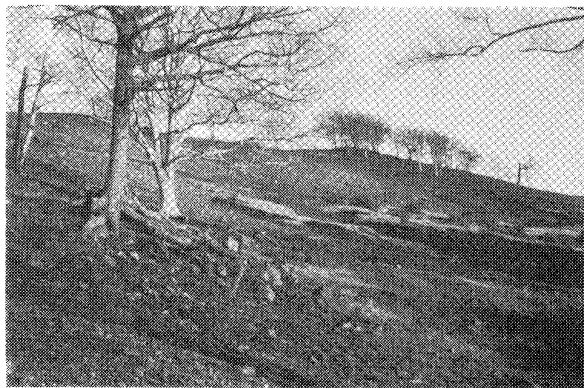


Photo. 16 荒廃牧野の地表面は風と水の両営力によって
加速的な侵食をうける
The ground surface of denuded range-land area eroded with
increasing speed by the working of wind and water.

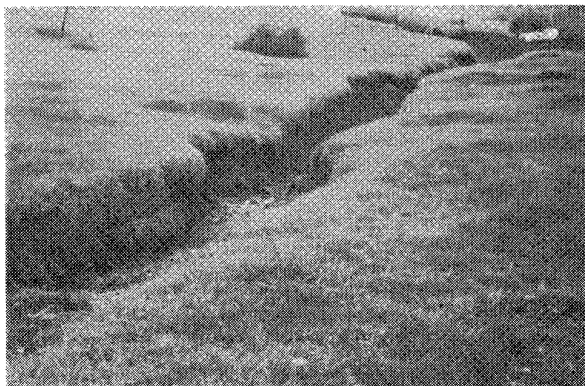


Photo. 17 放牧自然草の中に発達した雨裂
The gully erosion in natural grass land with cattle grazing.



Photo. 18 家畜の踏圧影響の大きいたまり場
The bed ground of the livestock where affected by
heavy trampling.