

## 岡山県北部のヒノキ人工林における水土流出実態の解明

西山 嘉寛

A study on the present situation of soil loss and surface runoff in Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) at the northern part of Okayama prefecture

Yoshihiro NISHIYAMA

## 要 旨

西山嘉寛：岡山県北部のヒノキ人工林における水土流出実態の解明 岡山県林試研報19：1～15 2003 岡山県北部の19～42年生ヒノキ人工林において、1年間にわたって侵食土砂量、地表流出量、流亡リター量を測定し、各林分について降雨因子や林況との関係を明らかにするとともに、保育区、放置区の土壤理化学性について比較分析を行った。その結果、保育区における年侵食土砂量の平均値は（最小値～最大値）は2.22t/ha/年（0.80～5.78t/ha/年）であったのに対し、放置区では約3倍の6.37t/ha/年（0.31～23.08t/ha/年）であった。植生地（保育区、植被率が30%以上）と無植生地（放置区、植被率が5%以下）の年侵食土砂量を比較すると、無植生地は植生地の約5.1倍に増大していた。斜面傾斜、立木密度、下層植生の植被率の3要因、または斜面傾斜、立木密度の2要因による重回帰モデルにより、年侵食土砂量を高い精度で予測できることとなった。斜面傾斜が35°以上に達すると、ha当たりの立木密度を500本に低下させても年侵食土砂量は斜面の傾斜角が大きくなるのにしたがって漸増することが示唆された。月侵食土砂量は、保育区、放置区ともに6～10月に最も多く、逆に11、12月に減少する傾向がみられた。放置区、保育区ともに、降雨因子の月降水量（P）、降水指数（ $P \cdot I_{60}$ ）、降雨加速指数（ $P \cdot I_{60} \cdot I_{10}$ ）と月侵食土砂量との間にはべき乗式が成り立っていた。10、30、60分間最大降雨強度の月積算値と月侵食土砂量の間にもそれぞれべき乗式が成り立っていたが、P、 $P \cdot I_{60}$ 、 $P \cdot I_{60} \cdot I_{10}$ に比べ、いずれも相関係数が低い傾向がみられた。月地表流出量は、保育区、放置区ともに6～10月に多く、逆に11～翌年2月に少ない傾向がみられた。年間の地表流出率の平均値（最小値～最大値）は、保育区、放置区でそれぞれ15.4%（5.2～21.8%）、20.6%（9.3～42.5%）であり、放置区の方が保育区に比べ地表流出率がやや高かった。月地表流出量は降水量（P）および降水指数（ $P \cdot I_{60}$ ）の間にも対数式が成り立った。保育区における年流亡リター量の平均値は0.80t/ha/年（0.35～1.79t/ha/年）であったのに対し、放置区では約2倍の1.57t/ha/年（0.23～3.17t/ha/年）であった。保育区、放置区で三相組成の割合に有意な差は認められなかったが、収量比数（Ry）が低下すると、表層部の粗孔隙量が増加する傾向が認められた。

キーワード：ヒノキ、侵食土砂、地表流出水、流亡リター、粗孔隙

## I はじめに

昭和40年代以降、ヒノキの造林面積は全国的に大きく拡大し、岡山県の場合、ヒノキ人工林資源配置は、間伐、枝打ち等の保育作業を必要とする5～9齢級に大きく偏っているのが現状である（21世紀 2002）。このようなヒノキ人工林においては、間伐、枝打ち作業が適期に実施されないために、地力が低下する問題が発生している（河原 1990）。特に傾斜地ではヒノキ鱗片葉が細片化して地表流出水とともに移動し、A<sub>0</sub>層被覆が失われ、裸地化が進行するため、これを防ぐ対策として、間伐、枝打ち、樹種混交、樹下植栽等が指摘されている（赤井ら 1981、古池 1985、井上ら 1987、田島 1994）。

降雨因子をパラメータにもつ侵食量予測式は、実験式として提案されているが（江崎 1984、大味ら 1967、服部ら 1992）、実際の実態調査に基づいた侵食土砂量の予測式はあまり報告されていない。一方、降雨因子をパラメータにもつ地表流出量の予測式は報告されていないのが現状である。そこで、今回、現地で実際に月侵食土砂量、月地表流出量を測定し、降雨因子と侵食土砂量、地表流出量との関係を明らか

にすることとした（西山 2002a, 2002c, 2002e）。

立地条件や林分条件、下層の植生量等から実際に侵食土砂量を定量的に評価した研究は服部ら（1992）の研究以外にない。

そこで、各ヒノキ人工林における年侵食土砂量を定量的に把握するとともに、斜面傾斜、相対照度、林齢、胸高断面積合計、樹冠投影面積合計、下層植生による植被率等の要因を用いた重回帰分析により、ヒノキ人工林における年侵食土砂量を予測することとした（西山 2002b, 2002d）。

水源かん養機能の高い森林を造成するためには、ヒノキ人工林において林内の土壤粗孔隙量を高める必要性が指摘されている（小柏ら 1990, 1991、近藤ら 1996）。そこで、全試験区について土壤断面調査を実施するとともに、土壤円筒を採取し、土壤理化学性（孔隙量）を明らかにした。

なお、本研究は平成12～14年度に単県課題「スギ・ヒノキ間伐手遅れ林の実態解明」の中で取り組んだものである。成果の一部として、2002年10月に開催された第53回日本林学会関西支部大会（愛媛県松山市）において「ヒノキ人工林における水土流出実態の解明（I）月侵食土砂、地表流出量の季

節変化および降雨因子との関係」, 「ヒノキ人工林における水土流出実態の解明 (II) 侵食土砂量の予測」というテーマでそれぞれ口頭発表した (西山 2002a, 2002b)。

最後に, 本研究を進めるに当たり, 試験地を提供して戴いた森林所有者の方々に対し, この場を借りて深く感謝の意を表す。

II 観測および調査方法

1. 試験区の概要

2000年5月, 2001年5月に岡山県北部に位置する林齢19~42年生のヒノキ人工林内に試験区を合わせて21箇所設定した (図-1)。各試験区の面積は600~1,000㎡である。各試験

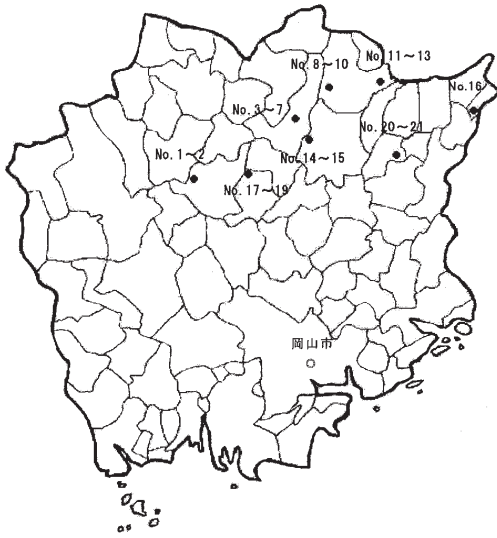


図-1 試験区の位置

区の母材は, 試験区11~13では花崗岩, それ以外の試験区は古生層に属する (岡山県 1980)。年降水量は1,503.5~1,907.0mmである。

全試験区21箇所にそれぞれ600~1,000㎡の調査プロットを設け, この中の全立木について, 樹高, 胸高直径, 樹冠直径を測定した。樹高はブルーメライスにより0.1m精度, 胸高直径は輪尺によりcm単位で測定した。樹冠直径は各立木の中心より4方向について0.1m単位で測定した。樹冠投影面積合計は, 各立木について樹冠直径から算出し, これをha換

表-1 ヒノキ試験区の概況

試験区	地区	林齢 (年)	斜面傾斜 (°)	標高 (m)	立木密度 (本/ha)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	胸高断面積合計 (㎡/ha)	平均樹冠直径 (m)	樹冠投影面積合計 (㎡/ha)	収量比数	下層植生の植生率 (%)	相対照度 (%)
1	落合町	24	32	460	2,800	9.0	12.4	34.4	2.8	17,290	0.64	20	3.1
2		19	35	460	3,680	7.7	11.1	33.6	2.6	19,400	0.63	0	0.5
3	鏡野町	19	34	250	1,700	11.8	15.0	31.0	2.9	11,500	0.68	30	9.0
4		25	40	250	2,060	13.0	16.8	47.1	3.3	17,380	0.80	40	1.2
5		25	41	260	2,060	13.0	16.8	47.1	3.3	17,380	0.80	25	1.2
6		24	49	260	3,280	10.7	13.6	50.9	3.0	22,880	0.82	0	0.3
7		24	53	260	3,280	10.7	13.6	50.9	3.0	22,880	0.82	0	0.3
8	加茂町1	31	45	540	700	13.6	19.9	20.2	3.8	8,070	0.45	35	25.4
9		30	31	540	2,190	14.1	17.9	56.3	3.6	21,870	0.84	10	4.3
10		30	34	540	2,190	14.1	17.9	56.3	3.6	21,870	0.84	15	4.3
11	加茂町2	42	32	670	1,080	13.3	20.1	35.1	3.0	7,700	0.58	50	23.4
12		42	33	670	1,140	13.1	22.1	44.9	3.3	9,790	0.58	75	20.4
13		42	36	680	660	13.7	25.8	35.5	3.9	8,160	0.46	30	22.0
14	津山市	35	32	210	1,920	13.5	17.6	50.1	2.8	11,400	0.80	10	1.3
15		35	29	210	1,920	13.5	17.6	50.1	2.8	11,400	0.80	5	1.3
16	東粟倉村	34	30	760	1,330	16.5	22.6	56.1	3.4	12,470	0.79	2	2.1
17	旭町	30	47	430	2,350	15.9	16.6	56.6	2.6	13,470	0.95	5	1.8
18		30	45	420	2,350	15.9	16.6	56.6	2.6	13,470	0.95	10	1.8
19		38	33	400	1,710	18.2	20.3	58.7	2.5	9,180	0.94	20	2.5
20	勝央町	33	34	160	1,360	14.7	15.9	28.3	2.6	7,390	0.75	40	4.3
21		33	23	160	1,360	14.7	15.9	28.3	2.6	7,390	0.75	30	4.3

算したものとした。

収量比数 (Ry) は, 各林分における上層樹高と立木密度を要因として, 北近畿・中国地方ヒノキ林分密度管理図 (林野庁 1983) より算出した (表-1)。各試験区における保育作業の履歴は表-2のとおりである。全21試験区の中で,

表-2 間伐・枝打ち作業の履歴

試験区	地区	保育・放置区分	間伐の有無	間伐実施時期	枝打ちの有無	枝下高 (m)	
1	落合町	放置区	1	有 (1)	1996年	有	6.4
2		放置区	2	有 (1)	1996年	有	3.6
3	鏡野町	保育区	1	有 (2)	2001年	有	7.3
4		放置区	1	有 (1)	1997年	有	7.0
5		放置区	2	有 (1)	1997年	有	7.0
6		放置区	3	有		有	5.9
7		放置区	4	有		有	5.9
8	加茂町1	保育区	1	有 (2)	2001年	有	8.3
9		放置区	1	有 (1)	1996年	有	7.0
10		放置区	2	有 (1)	1996年	有	7.0
11	加茂町2	保育区	1	有 (2)	2001年	有	7.6
12		保育区	2	有 (2)	2001年	有	7.4
13		保育区	3	有 (2)	2001年	有	7.5
14	津山市	放置区	1	有 (1)	1990年	有	5.9
15		放置区	2	有 (1)	1990年	有	5.9
16	東粟倉村	放置区	1	有 (1)	1991年	有	12.1
17	旭町	放置区	1	有		有	12.4
18		放置区	2	有		有	12.4
19		放置区	3	有		有	14.4
20	勝央町	保育区	1	有 (2)	1997年	有	9.9
21		保育区	2	有 (2)	1997年	有	9.9

注) 1. 除伐は間伐回数から除く  
2. 間伐有無におけるカッコ内の数値は間伐回数を示す  
3. 枝下高は生枝の最低位置を示す

植栽後, 間伐を実施していない試験区, 1回間伐を実施した試験区, 2回実施した試験区はそれぞれ6カ所, 8カ所, 7カ所である。間伐回数が2回と1回以下の試験区を比較すると, 間伐回数が2回の試験区では, 樹冠投影面積合計はha当たり11,500㎡以下, 収量比数 (Ry) は0.75以下, 相対照度は4.5%以上, 植被率は30%以上であったのに対し, 間伐回数が1回以下の林分では, 樹冠投影面積合計は津山市の試験区14, 15を除き12,470㎡以上, 収量比数 (Ry) は落合町の試験区1を除き0.79以上, 相対照度は4.3%以下, 植被率は鏡野町の試験区4を除き25%以下であった。以上の4項目から総合的に判断し, 間伐回数が2回の試験区は樹冠投影面積合計, 収量比数, 相対照度, 植被率の4項目とも間伐回数1回以下の試験区に比べ高く, 以下, 前者を保育区, 後者を放置区とした。

2. 侵食土砂および地表流出水の測定

各試験区内の中心部に侵食土砂および地表流出水を測定するためのプロットを設定した。プロットの大きさは10㎡である。この中に傾斜ライシメータを設置した (図-2)。傾斜ライシメータの大きさは幅100cm, 斜面長200cmで, この下端には土砂およびリターを集める土砂受箱 (プラスチック製丸型雨トイ) を設置した。サイズは幅20cm, 長さ100cm, 深さ10cmである。

土砂受箱内には, 降雨や傾斜ライシメータ以外から飛散土砂が侵入しないように, プ

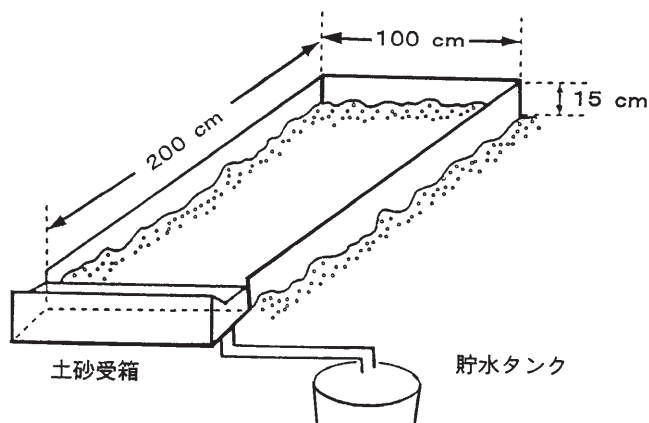


図-2 傾斜ライシメータの設置

プラスチック製波板で覆うとともに、周囲を囲んだ。さらにプラスチック製のパイプ（内径80mm、長さ100cm）で土砂受箱下部とタンク（容量200または300リットル、内径100cm）を直結した。タンクの上部は降雨が侵入しないようにプラスチック製波板で覆った。

土砂受箱、タンク内の堆積物について、2001年6月より2002年5月までの一年間、21試験区のうち15試験区については毎月、残り6試験区については2カ月に一度回収し、水洗により土砂と有機物を分離した。ただし、梅雨時期の6、7月には毎月2回回収した。これを105℃で24時間乾燥させた後、0.01g単位で絶乾重量を測定した。

地表流出水については、地表流出水を0.1リットル単位で測定した。

### 3. 下層植生の植被率調査

2001年9月に傾斜ライシメータ内を写真撮影し、写真判読により植被率を5%単位で算出した。ただし、植被率が5%未満の場合は1%単位で算出した。

### 4. 土壌調査

2000~2002年の6~11月に、上記試験区21カ所のうち、隣接した試験区を除く14カ所について土壌断面調査を実施した。さらに、各試験区について3カ所、表層部0~4cmおよび層位30~34cmの土壌円筒（400cc）を採取し、これを持ち帰り、土壌理化学性（小島ら 1976）について分析を行った。

### 5. 堆積リター現存量の測定

2000年~2001年10~11月に、全21試験区の傾斜ライシメータの周囲5m範囲内にそれぞれ1×1m（1㎡）の固定プロットを5箇所設定し、それぞれ表層部から約5cmの深さまでの層位を採取した。次にこれを持ち帰り、堆積リター（有機物）と土砂とに分け、堆積リターのみ105℃で24時間乾燥させた後、0.1g単位で絶乾重量を測定した。

### 6. 降水観測

2001年5月にデータロガー（KONA SAPPORO CO.,LTD）を接続した自記雨量計（池田計器KK）を各試験区から50m以内の林外にそれぞれ設置し、林外雨について自記記録した。降雨データの観測期間は2001年6月~2002年5月までの一年間であり、最小単位を10分間とし、0.5mm単位で測定した。

降雨因子の解析では、1降雨ごとの降雨強度と侵食土砂量の関係を用いた解析がある（Whischmeier 1976, 服部ら 1992）。また、週間雨量（P）、60分間最大降雨強度（ $I_{60}$ ）、10分間最大降雨強度（ $I_{10}$ ）の積による降雨加速指数による解析（大味ら 1967）や降雨加速指数の $I_{10}$ を除いた降水指数による解析（井上ら 1987）がある。ただし、本研究は月侵食土砂量を月降雨ごとに収集しているため、次の降雨因子を用いた。降雨因子として、月降水量（P）、10分間最大降雨強度（ $I_{10}$ ）、30分間最大降雨強度（ $I_{30}$ ）、60分間最大降雨強度（ $I_{60}$ ）、降雨加速指数（ $P \cdot I_{60} \cdot I_{10}$ ）、降水指数（ $P \cdot I_{60}$ ）とした。

## III 結果および考察

### 1. 侵食土砂

#### (1) 年侵食土砂量

保育区における年侵食土砂量は2.22 t/ha/年（0.80~5.78 t/ha/年）であったのに対し、放置区では6.37 t/ha/年（0.31~23.08 t/ha/年）であり、放置区は保育区の約3倍であった（表-3）。

表-3 試験区別侵食土砂および地表流出

No	試験区	保育・放置区分	年降水量 (mm)	年侵食土砂量 (t/ha/年)	月侵食土砂量 (t/ha/月)	年地表流出量 (mm/年)	地表流出率 (%)	年流出リター (t/ha/年)
1	落合町	放置区 1	1,662.5	0.31	0.004~0.078	381.5	22.9	0.23
2		放置区 2	1,662.5	9.70	0.061~2.042	350.7	21.1	0.91
3	鏡野町	保育区	1,858.5	1.08	0.009~0.178	277.8	14.9	0.82
4		放置区 1	1,858.5	0.67	0.010~0.106	259.3	14.0	0.76
5		放置区 2	1,858.5	3.46	0.037~0.837	329.4	17.7	1.08
6		放置区 3	1,858.5	21.19	0.279~4.163	687.1	37.0	2.36
7		放置区 4	1,858.5	23.08	0.274~4.962	789.1	42.5	3.12
8	加茂町1	保育区	1,907.0	5.78	0.085~1.438	349.0	18.3	1.00
9		放置区 1	1,907.0	5.15	0.035~0.982	360.9	18.9	1.55
10		放置区 2	1,907.0	3.50	0.040~0.587	420.3	22.0	2.00
11	加茂町2	保育区 1	1,907.0	2.99		374.4	19.6	1.79
12		保育区 2	1,907.0	0.80		100.0	5.2	0.35
13		保育区 3	1,907.0	3.10		281.7	14.8	0.60
14	津山市	放置区 1	1,598.5	0.65		148.1	9.3	1.11
15		放置区 2	1,598.5	1.17		176.2	11.0	1.29
16	東栗倉村	放置区	1,760.0	0.64		251.8	14.3	0.91
17	旭町	放置区 1	1,533.0	11.99	0.090~2.330	310.6	22.3	3.17
18		放置区 2	1,533.0	7.03	0.032~2.428	379.2	24.7	1.63
19		放置区 3	1,533.0	0.64	0.004~0.232	179.1	11.7	1.05
20	勝央町	保育区 1	1,503.5	0.94	0.021~0.203	206.8	13.8	0.56
21		保育区 2	1,503.5	0.88	0.015~0.148	327.7	21.8	0.72

注) 1. 年降水量, 年侵食土砂量, 月侵食土砂量は2001年6月~2002年5月に測定された値である  
2. 月侵食土砂量は最低値と最大値の範囲

古池（1985）は23年生のヒノキ人工林内に収量比数 $R_y$ が0.6（近畿・中国国有林・ヒノキ密度管理図）で、枝打ちの高さが樹高の約55%に相当する保育と放置区を隣接して設け、この中に幅100cm、斜面長200cmの傾斜ライシメータを設置し、表層土壌の流去を3年間測定した結果では、放置区は保育区の2.02倍の値を示したことを報告している。服部ら（1992）も26年生ヒノキ人工林に本調査と同一の傾斜ライシメータを設置し、年侵食土砂量は、林床に植生がない場合、おおむね1~16t/ha/年であるが、林分、気象、立地条件により相当の幅があることも指摘している。本結果の場合、保育区に対する放置区の年侵食土砂量の割合は、古池（1985）が指摘

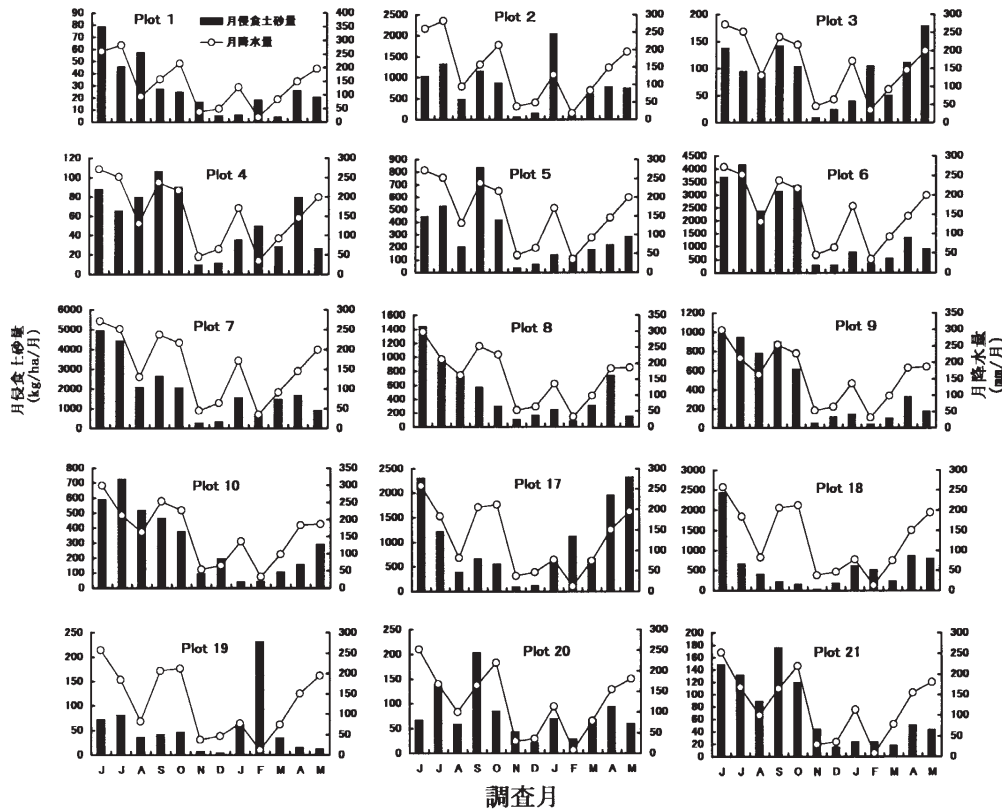


図-3 月別侵食土砂量の変化

した数値よりさらに大きい値を示していた。ただし、放置区における年侵食土砂量の分布範囲は服部ら（1992）が指摘した数値と類似していた。

今回、試験区の中で、下層植生の植被率が30%以上の試験区（植生地）は1例を除きすべて保育区に含まれていたのに対し、林床に植生がほとんどない試験区（植被率5%以下：無植生地）はすべて放置区に該当し、年侵食土砂量はha当たり11.30 t（0.64~23.08 t）であった。これを平均値と比較すると、無植生地は植生地（保育区）の約5.1倍となっていた。このことについて、井上ら（1987）はヒノキ-齊林内の下層植生が繁茂する植生地と下層植生を除去した植生地を比較すると、無植生地では植生地に比べ、土砂は2.8~3.6倍の移動量が測定されたことを報告しているが、今回の結果はこの範囲をさらに上回っていた。

保育区のうち、1年以内に間伐を実施した林分の年侵食土砂量の平均値（最小値~最大値）は2.75 t/ha/年（0.80~5.78 t/ha/年）であったが、一部、試験区8ではha当たり5.78 tの侵食土砂量を記録した。

服部ら（1992）はヒノキ人工林において、地力減退を生じない限界にある侵食土砂量を許容限界侵食土砂量とし、年間1~3 t/haに設定しているが、試験区8ではこれをさらに上回っ

ており、間伐直後1年間では、依然として林床の侵食は続いていると推察される。

(2) 月侵食土砂量の変化

各試験区とも、1年間のうち、月侵食土砂量の最大値は6~10月に、最小値は11~2月に出現していた（図-3）。この季節変化はこの時期の月降水量とよく符号し、月侵食土砂量は降雨条件により変化していることが明らかになった。ただし、試験区2、13では冬季の2月の降水量が非常に少ないにもかかわらず年間を通じて2月の侵食土砂量が最大値を示していた。この時期に採取した土砂はいずれも土砂受箱ならびにタンク内で霜柱の状態で堆積しており、凍上によるものと判断した。試験区1~4に最も近い最寄りの気象観測データによれば、

1、2月の最低気温は-4℃台に低下し、さらに月の半分以上が氷点下となっており（岡山気象 2002）、このことが冬季、侵食土砂の流出に大きな影響を与えていると推察される。この点について、岩川ら（1987）は5~10月の移動量に比べ、相対的に降水量の少ない11~4月の移動量が多いことから、融雪や霜柱の融解に伴う石礫の転落移動が多く含まれていることを指摘しており、本研究と同様の結果が得られている。

(3) 月侵食土砂量と降雨因子の関係

3種類の降雨因子と月侵食土砂量の関係を調べた（表-4）。放置区における月侵食土砂量と降雨因子との適合度を相関係数でみると、Pでは0.616~0.928、P・I<sub>60</sub>では0.650~0.987、P・I<sub>60</sub>・I<sub>10</sub>では0.611~0.974の範囲であり、試験区1、18、19を

表-4 べき乗式  $S=a \cdot P^b$ ,  $S=a(P \cdot I_{60})^b$ ,  $S=a(P \cdot I_{60} \cdot I_{10})^b$  における係数(a, b)と相関係数(r)

試験区	地区	保育・放置区分	$S=a \cdot P^b$			$S=a(P \cdot I_{60})^b$			$S=a(P \cdot I_{60} \cdot I_{10})^b$		
			a	b	r	a	b	r	a	b	r
1	落合町	放置区1	0.34	0.85	0.626	0.40	0.55	0.780**	0.97	0.37	0.808**
2		放置区2	0.96	1.30	0.924**	7.26	0.60	0.815**	32.62	0.33	0.705**
3	鏡野町	保育区	0.08	1.34	0.882**	1.10	0.55	0.785**	5.58	0.26	0.693*
4		放置区1	0.11	1.19	0.834**	0.54	0.59	0.884**	2.63	0.32	0.822**
5		放置区2	0.15	1.45	0.928**	2.21	0.62	0.852**	12.21	0.33	0.779**
6		放置区3	0.71	1.50	0.881**	4.72	0.76	0.953**	48.75	0.30	0.891**
7		放置区4	1.52	1.38	0.880**	10.70	0.66	0.913**	60.63	0.34	0.860**
8	加茂町	保育区	1.97	1.05	0.803**	8.94	0.50	0.891**	25.30	0.30	0.893**
9		放置区1	0.11	1.57	0.910**	1.21	0.73	0.987**	5.92	0.43	0.974**
10		放置区2	1.04	1.07	0.744**	4.50	0.52	0.846**	14.41	0.31	0.826**
17	旭町	放置区1	0.93	1.37	0.842**	4.74	0.70	0.730**	23.87	0.40	0.640*
18		放置区2	1.90	1.08	0.640*	3.56	0.65	0.650*	13.02	0.40	0.611
19		放置区3	0.33	0.92	0.616	0.38	0.60	0.688*	1.38	0.36	0.627
20	勝央町	保育区1	8.93	0.44	0.727**	8.45	0.30	0.799**	13.98	0.19	0.793**
21		保育区2	4.68	4.68	0.637*	2.87	0.43	0.818**	5.35	0.29	0.848**

注) 1. S: 月侵食土砂量, P: 月降水量, I<sub>60</sub>: 60分間最大降雨強度, I<sub>10</sub>: 10分間最大降雨強度  
2. \*\*, \*は1, 5%水準でそれぞれ有意であることを示す

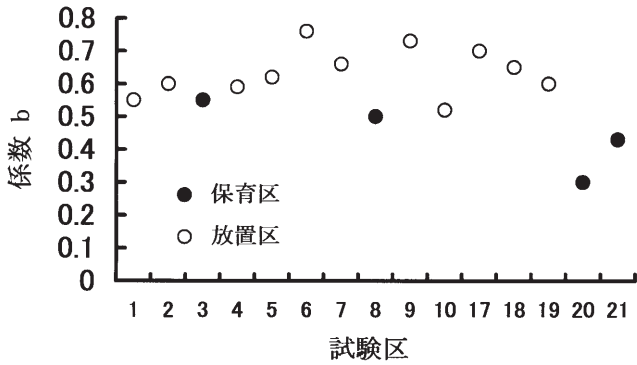


図-4 試験区別べき乗式  $y = ax^b$  の係数 b

除き、3種類の降雨因子と月侵食土砂量との関係は、べき乗式で近似した場合、いずれも1または5%水準で有意であった。

さらに、放置区の中で、年侵食土砂量がha当たり10tを超え、侵食土砂の流出が顕著な試験区6, 7, 17について、降雨因子と月侵食土砂量の適合度を相関係数でみると、3試験区とも、Pでは0.842~0.910,  $P \cdot I_{60}$ では0.732~0.987,  $P \cdot I_{60} \cdot I_{10}$ では0.640~0.974の範囲であり、いずれも1または5%水準で有意であった。

一方、保育区の試験区3, 8, 20, 21について、降雨因子と月侵食土砂量との適合度を相関係数でみると、Pでは0.637~0.882,  $P \cdot I_{60}$ では0.785~0.891,  $P \cdot I_{60} \cdot I_{10}$ では0.693~0.893の範囲であり、いずれも1または5%水準で有意であったが、放置区と同様、相関係数に大きな差は認められなかった。

ヒノキ人工林において、 $I_{10}$ は $P \cdot I_{60} \cdot I_{10}$ ,  $P \cdot I_{60}$ と比べ、降雨因子間の相関係数の差は小さいが、最も相関係数が高かったことを指摘している(服部ら 1992)。ただし、これは1降雨による解析であり、今回の調査で用いた月降雨による解析とは基本的に異なるため、同一の結果が得られなかったと考える。

次に、 $P \cdot I_{60}$ と侵食土砂量との関係をべき乗式 ( $y = a \cdot x^b$ ) で近似した場合、係数 b を試験区別に比較した(図-4)。保育区の係数 b は、いずれも0.30~0.55の範囲であったのに対し、放置区では0.52~0.76の範囲であった。

保育区の場合、樹冠投影面積合計が試験区8, 20, 21は10,000 $m^2$ /ha未満、試験区3でも11,500 $m^2$ /haであったのに対し、放置区では、試験区13以外は10,000~20,000 $m^2$ /ha未満の試験区(試験区1, 3, 4, 5, 17, 18), 20,000 $m^2$ 以上の試験区(試験区6, 7, 9, 10)

であった。

相対照度は保育ではいずれも4%以上、放置区は試験区9, 10を除き4%未満であることから、係数 b を相対照度4%で区分すると、保育区では0.30~0.55であったのに対し、放置区では0.59~0.76であった。

植被率は保育区ではいずれも30%以上、放置区では試験区4, 13を除き30%未満であったことから、係数 b を植被率30%で区分すると、保育区では0.30~0.59であったのに対し、放置区では0.55~0.76であった。

斜面の傾斜は保育・放置区による区分を行わず、係数 b を斜面の傾斜40°未満と40°以上で区分すると、それぞれ0.30~0.73, 0.50~0.76となっており、斜面の傾斜で係数 b に明確な差は認められなかった。

以上の結果より、べき乗式の係数 b を決定する要因として樹冠投影面積合計、相対照度、林床の植被率があげられる。べき乗式の係数 b は $P \cdot I_{60}$ に対する侵食土砂量の増加率を示すものである。放置区では、保育区に比べ樹冠投影面積合計は相対的に大きい、相対照度、林床の植被率はともに小さい。べき乗式の係数 b は樹冠の閉鎖状況に対応していると考えられる。

降雨強度の月積算値と月侵食土砂量との関係をみると、旭町(試験区17~19)を除き、べき乗式で近似した場合、10, 30, 60分間最大降雨強度の各月積算値とも相関係数はそれぞれ0.680~0.952, 0.700~0.944, 0.715~0.928の範囲にあり、1または5%水準で有意であった(図-5)。ただし、3種類

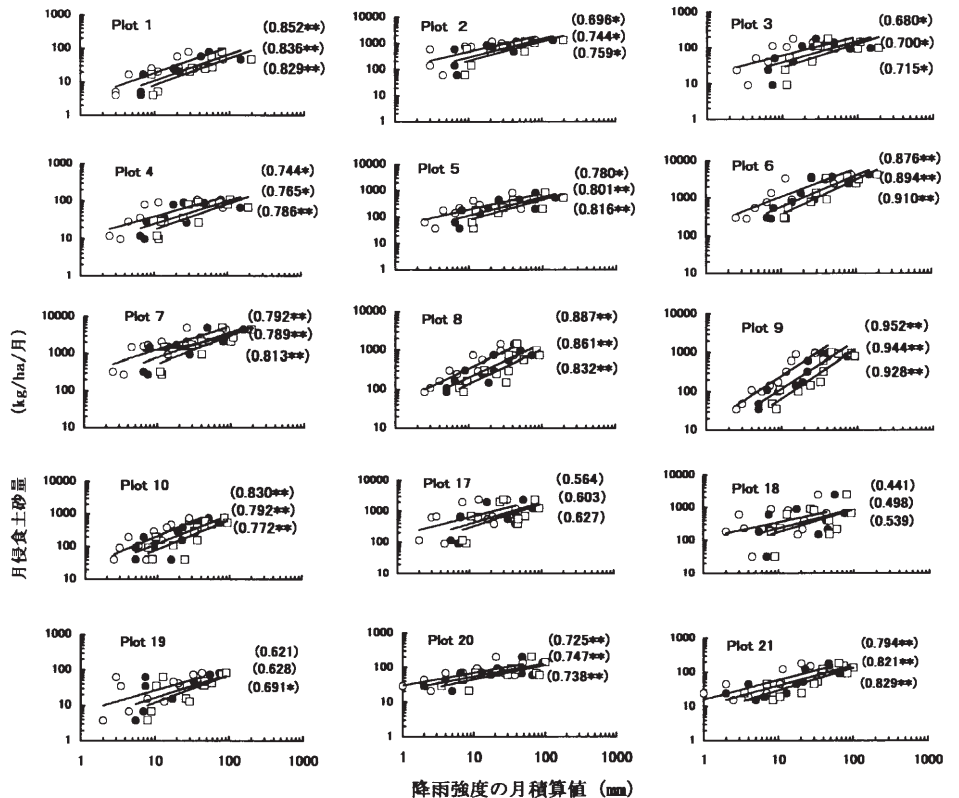


図-5 降雨強度の月積算値と月侵食土砂量の関係

○ : 10分間最大降雨強度, ● : 30分間最大降雨強度, □ : 60分間最大降雨強度  
カッコ内で示した数字は相関係数を示す  
\*\*, \* は1, 5%水準でそれぞれ有意であることを示す

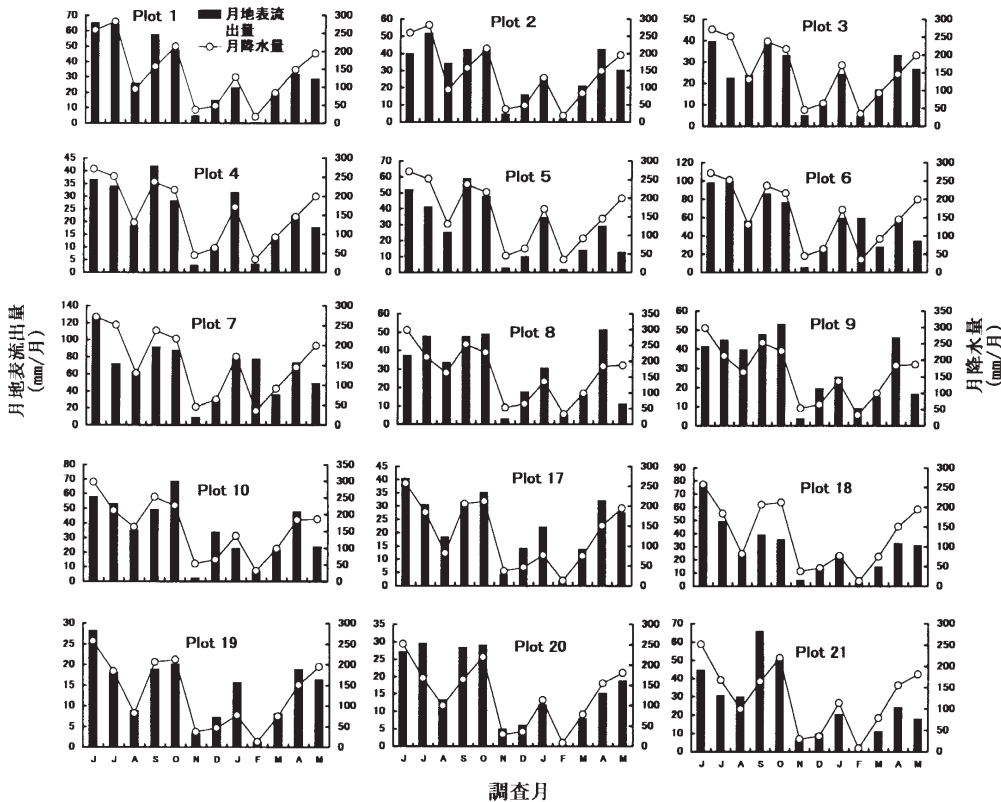


図-6 月地表面流出量の変化

の降雨強度の積算値の中で、どの降雨強度の積算値が最も相関が高いかは特定できなかった。保育区では、10、30、60分間最大降雨強度でそれぞれ0.680~0.887、0.700~0.861、0.715~0.832であったのに対し、放置区では、旭町（試験区17~19）を除き、10、30、60分間でそれぞれ0.696~0.952、0.744~0.944、0.759~0.928であり、相関係数の範囲では後者の放置区の方がやや高く、1または5%水準で有意であった。さらに放置区の中で、年侵食土砂量がha当たり10tを超える試験区6、7、17では、試験区17を除き、10、30、60分間最大降雨強度でそれぞれ0.792~0.876、0.789~0.894、0.813~0.910であり、いずれもべき乗式で近似した場合、1%水準で有意であった。ただし、今回求めた降雨強度の月積算値は、前述の降雨因子 $P \cdot I_{60}$ 、 $P \cdot I_{60} \cdot I_{10}$ に比べ月侵食土砂量との相関係数が試験区1、19を除きいずれも低い傾向が確認された。

## 2. 地表流出水

### (1) 年地表面流出量および年地表面流出率

年地表面流出量を保育区、放置区別でみると、保育区では273.9mm/年(100.0~374.0mm/年)であったのに対し、放置区では358.8mm/年(148.1~789.1mm/年)であった。放置区では保育区より年地表面流出量の平均値がやや高く、また年地表面流出量が保育区の最大値374.0mmを超える試験区も3例確認された。

年地表面流出率を保育、放置区別にみると、保育区では15.4%(5.2~21.8%)、放置区では20.6%(9.3~42.5%)となっており、年地表面流出量同様、放置区は保育区より年地表面流出率がやや高く、かつ年地表面流出率が30%を超える試験区も2例確認された。

ただし、保育区の中で、1年以内に間伐を実施した林分の

年地表面流出量、年地表面流出率はそれぞれ276.5mm、14.6%で推移していたが、2年以上前に間伐を実施した保育区でもそれぞれ267.3mm、17.8%で、間伐実施時期の違いによる年地表面流出量、地表面流出率に差は認められなかった。

### (2) 月地表面流出量および月地表面流出率の変化

各試験区とも、1年間のうち、月地表面流出量の最大値は6~10月に、最小値は11月~翌年2月に出現していた(図-6)。この季節変化は降水量とよく符合しており、月地表面流出量は降雨条件に依存していることを示唆するものである。

放置区の中では、特に試験区6、7では梅雨時期の6~7月には月地表面流出量が月間100mmを超えていたのに対し、

保育区では最大でも試験区21の60mm台に留まっていた。保育区、放置区における月地表面流出率の平均値±標準偏差はそれぞれ $17.2 \pm 3.6\%$ 、 $23.2 \pm 9.2\%$ となっており、やや放置区の方が地表面流出率が高い傾向が認められた(図-7)。

保育・放置区における月地表面流出量、月平均地表面流出率の結果より、間伐等の保育作業は地表面流出水の軽減に効果があると考えられるが、月地表面流出率の変化は試験区によってバラツキが大きく、明らかな傾向は認められなかった。

月地表面流出率の最大値は、試験区9で最大値52.1%を記録したのをはじめ、試験区10で48.3%、試験区7で50.4%、試験区6で42.9%を記録したが、この4試験区とも放置区であった。一方、保育区では、試験区21で39.9%を示したが、それ以外では、試験区3で22.9%、試験区8で27.9%、試験区20で17.6%と放置区に比べ明らかに低く、ヒノキ人工林で手入れが遅れた試験区では、健全に保育管理された試験区に比べ月地表面流出率が高くなることが予想された。服部ら(1992)はヒノキ区の月地表面流出率が2~45%の範囲にあり、降水量に対応し、夏季に大きくなることを報告しており、本結果も月地表面流出率の範囲は類似していた。

### (3) 月地表面流出量と降雨因子の関係

3種類の降雨因子と月地表面流出量の相関分析を行った(表-5)。両者の関係を対数式で近似した場合の適合度について相関係数を基準に順位付けすると、試験区1~6、7~8、17ではP、それ以外の試験区では $P \cdot I_{60}$ の方が相関が高く、 $P \cdot I_{60} \cdot I_{10}$ は両降雨因子に比べ、明らかに相関は低かった。降雨因子Pでは、試験区18、21、 $P \cdot I_{60}$ では試験区18を除き、相関係数はいずれも0.80以上と高く、1%水準で有意であっ

た。

3. 流亡リター

(1) 年流亡リター量

保育区、放置区別に年間の流亡リター量を比較すると、保育区では0.80 t/ha/年 (0.35~1.79 t/ha/年) であったのに対し、放置区では1.57 t/ha/年 (0.23~3.17 t/ha/年) であり、放置区における年間の流亡リター量は保育区の約2倍に達していた。

年間の流亡リター量は試験区17がha当たり3.17 t/ha/年で最も多く、以下、試験区7の3.12 t/ha/年、試験区6の

2.36 t/ha/年、試験区10の2.0 t/ha/年と続いていたが、いずれの試験区とも放置区であった。逆に、年間の流亡リター量が少ない例として、試験区1の0.23 t/ha/年、試験区12の0.35 t/ha/年、試験区20の0.56 t/ha/年、試験区11の0.59 t/ha/年等が挙げられ、このうち試験区1を除きいずれも保育区であった。

保育区のうち、1年以内に間伐を実施した場合、年間の流亡リター量は1.02 t/ha/年 (0.35~1.79 t/ha/年) であったのに対し、2年以上前に間伐を既に実施している保育区では0.64 t/ha/年 (0.56~0.72 t/ha/年) となっており、間伐後1年間ではリターの流亡が依然続いていることが予想される。

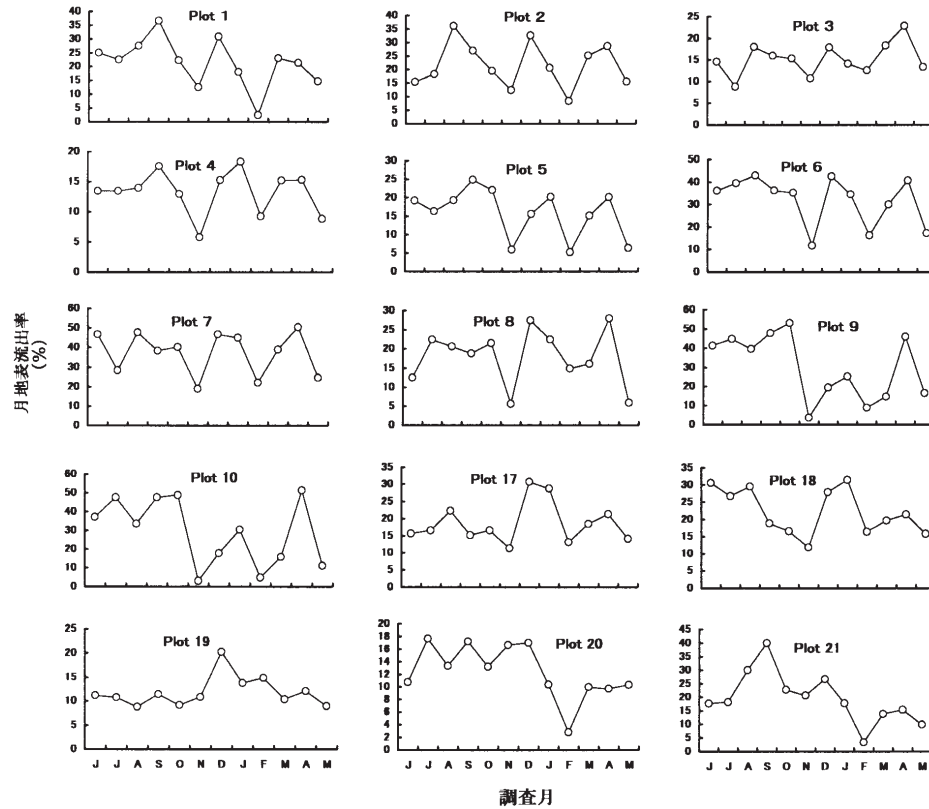


図-7 月地表流出率の変化

年間のリター流亡量は、保育・放置区ともに年侵食土砂量に比べ、明らかに低いオーダーであり、これのみで災害を招くことは考えられないが、侵食土砂、地表流出水と一体化して流亡したことが予想され、地力の低下、林床保護の観点からも非常に重要である。

さて、年流亡リター量は、放置区では保育区に比べ、落葉リター量が大きいのに対し、堆積リターの現存量は逆に保育区の方が放置区に比べ大きいことが予想されることから、堆積リターの現存量と当年に落葉するリター量との関係をさらに調査する必要があると考えられる。

(2) 月流亡リター量の変化

月流亡リター量が梅雨時期の6~7月に最も多い場合として、試験区1, 6, 10, 11月~翌年2月に最も多い場合として、試験区2, 4, 5, 7, 13~15が確認された(図-8)。

前者は降水量が梅雨時期の6~7月に最も多く、この降雨の影響が大きいと考えられる。後者の場合、ヒノキの落葉ピークが主に11~12月に発生するとする報告(服部ら 1992)や30年生ヒノキ林では、10月~翌年1月に落葉が多いとする報告(清野 1990)が既になされており、この時期の落葉が大きく影響していると考えられる。

表-5 地表流出量と降雨因子との関係を表す対数式  $S = a \cdot \ln(P) - b$ ,  $S = a \cdot \ln(P \cdot I_{60}) - b$ ,  $S = a \cdot \ln(P \cdot I_{60} \cdot I_{10}) - b$  における係数(a, b)と相関係数(r)

試験区	地区	保育・放置区分	$S = a \cdot \ln(P) - b$			$S = a \cdot \ln(P \cdot I_{60}) - b$			$S = a \cdot \ln(P \cdot I_{60} \cdot I_{10}) - b$		
			a	b	r	a	b	r	a	b	r
1	落合町	放置区1	28.88	101.28	0.930**	13.03	58.07	0.928**	8.20	32.86	0.905**
2		放置区2	19.32	61.03	0.938**	9.33	35.14	0.919**	5.76	16.17	0.879**
3	鏡野町	保育区	15.77	53.18	0.910**	7.12	28.47	0.805**	3.69	7.98	0.690*
4		放置区1	17.23	60.77	0.946**	7.77	33.74	0.835**	4.22	13.79	0.750**
5		放置区2	26.01	97.77	0.917**	12.00	58.94	0.829**	6.70	30.28	0.752**
6		放置区3	32.27	93.02	0.861**	22.30	107.61	0.909**	12.70	54.16	0.861**
7		放置区4	48.72	172.32	0.943**	21.92	99.63	0.835**	11.96	43.35	0.756**
8	加茂町	保育区	20.77	72.46	0.803**	9.19	37.42	0.827**	5.42	17.20	0.809**
9		放置区1	20.47	69.96	0.830**	9.30	37.17	0.878**	5.46	16.45	0.854**
10		放置区2	24.33	83.92	0.820**	10.63	41.90	0.835**	5.99	16.09	0.779**
17	旭町	放置区1	12.10	32.09	0.955**	7.30	25.76	0.925**	4.73	13.63	0.870**
18		放置区2	24.93	1.08	0.636*	17.68	83.76	0.724*	12.15	59.74	0.720*
19		放置区3	8.51	0.92	0.835**	5.57	21.94	0.878**	3.78	13.97	0.864**
20	勝央町	保育区1	8.97	0.44	0.855**	5.76	22.81	0.926**	3.75	14.02	0.903**
21		保育区2	15.30	4.68	0.788**	9.85	39.28	0.844**	6.31	24.59	0.817**

注) 1. S: 月地表流出量, P: 月降水量,  $I_{60}$ : 60分間最大降雨強度,  $I_{10}$ : 10分間最大降雨強度  
 2. \*\*, \*は1, 5%水準でそれぞれ有意であることを示す

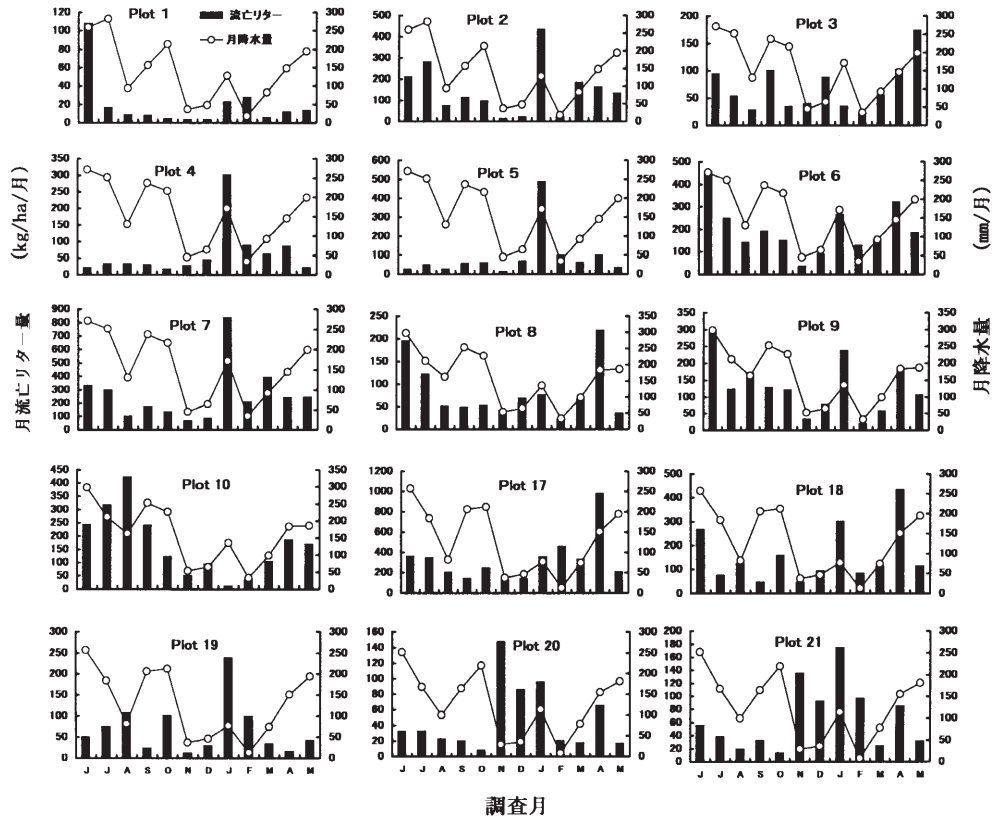


図-8 月別流亡リター量の変化

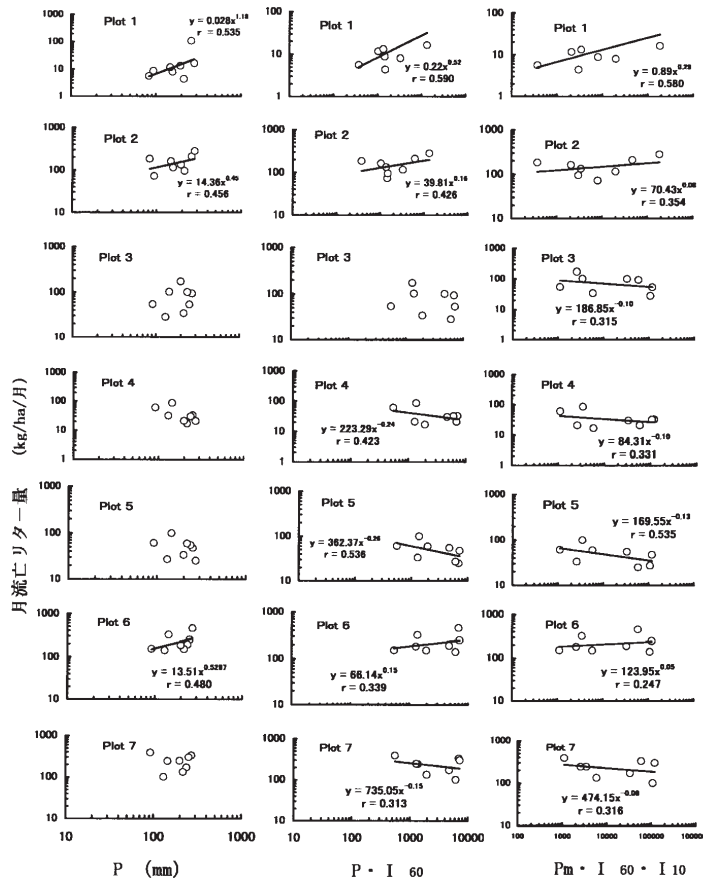


図-9 降雨因子と月流亡リター量との関係 I

注. 2001年11~2002年2月のデータを除く



(3) 月流亡リター量と降雨因子の関係

降雨因子のP, P・I<sub>60</sub>, P・I<sub>60</sub>・I<sub>10</sub>と月流亡リター量との間には、一部、試験区9, 10ではべき乗式で近似した場合、1または5%で相関が認められたが、それ以外の試験区では相関は認められなかった(図-9, -10)。保育・放置区別にみても同様に相関は認められなかった。月流亡リター量と降雨因子との間に侵食土砂量ほどの相関はみられず、降雨因子が流亡リターを規定する主因にはならないと考えられる。

4. 地表流出量が侵食土砂, 流亡リター量に及ぼす影響

月地表流出量と月侵食土砂量との間には、試験区1, 5, 6, 8, 9, 20, 21では一次式または指数式で近似した場合、いずれも相関係数が0.80以上に達し、1%水準で高い相関が認められた(図-11)。ただし、試験区1, 5, 6, 9は放置区、試験区8, 20, 21は保育区であり、保育・放置区の違いにより明らかな傾向は認められなかった。このことについて、服部ら(1992)は、ヒノキ区において地表流出量の増加と侵食土砂量の増加に一定の傾向は認められないことを既に報告しており、本結果でも月地表流出量は、降雨因子と比べ月侵食土砂量との相関が相対的に低く、服部の指摘を裏づけていると考えられる。

月地表流出量と月流亡リター量の間には、試験区9では指数式で近似した場合、1%水準で有意であったが、それ以外の試験区では、両者の間にバラツキが大きく、相関は認められなかった(図-12)。保育・放置区別にみても同様に相関は認められなかった。侵食土砂と異なり、地表流出の影響は小さく、流亡リターを規定する主因にはならないことが推察された。

5. 堆積リター現存量が年侵食土砂量に及ぼす影響

林齢が6~65年生のヒノキ林における堆積リター現存量はスギ林やアカマツ林の1/2~1/3程度で少なく、およそ1,000 g/m<sup>2</sup>であることが既に報告されており(農林 1999)、これはha換算すると10 tに相当する。今回、林齢が19~42年生のヒノキ林においても、堆積リター現存量は平均すると11.87 t/haであり、ほぼこの数値に近いものであった。

堆積リター現存量と年侵食土砂量との関係を調べた結果、両者の間には対数式が成り立ち、5%水準で有意であった(図-13)。リター堆積量が5 t/ha未満の場合、年侵食土砂量はいずれも10 t/ha以上であった。ただし、リター堆積量が5 t/ha以上の場合、年侵食土砂量はha当たり0.31~6.99 t/haとややバラツキが大きかった。堆積リターを一定量以上に保つことは、林地の地力維持とともに、侵食土砂の防止といった観点からも非常に重要であり、ヒノキ人工林の林床の侵食を防止するために必要なリター堆積量を明らかにする必要がある。このことについて、服部ら(1992)は傾斜30~40°のヒノキ・アカマツ混交林における侵食土砂量の実験データと

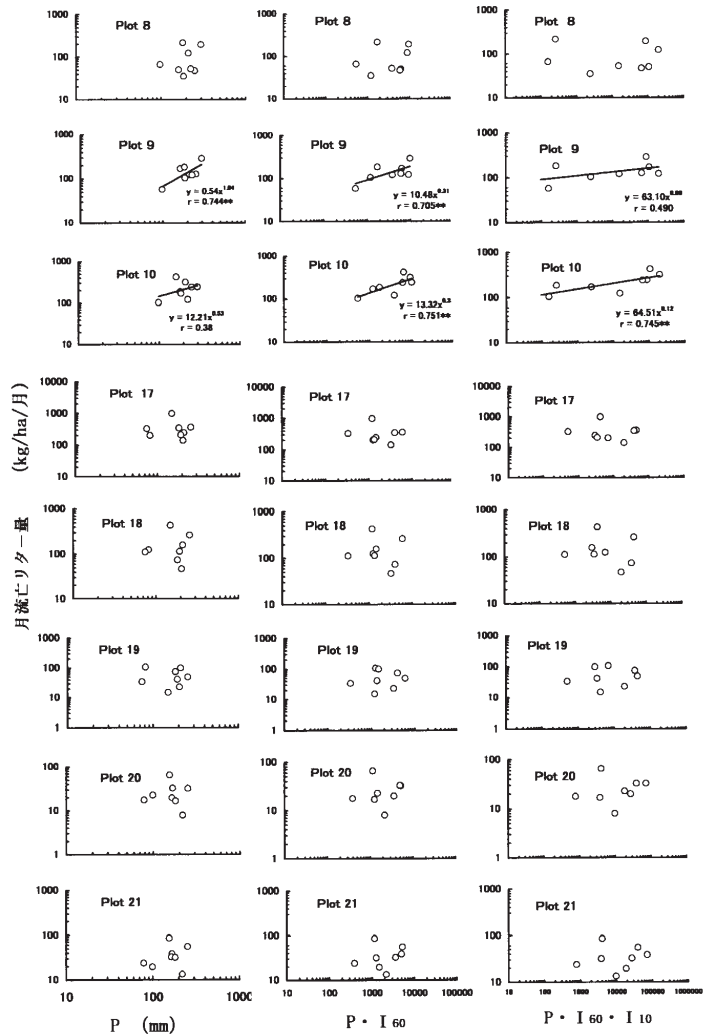


図-10 降雨因子と月流亡リター量との関係Ⅱ

注. 2001年11~2002年2月のデータを除く

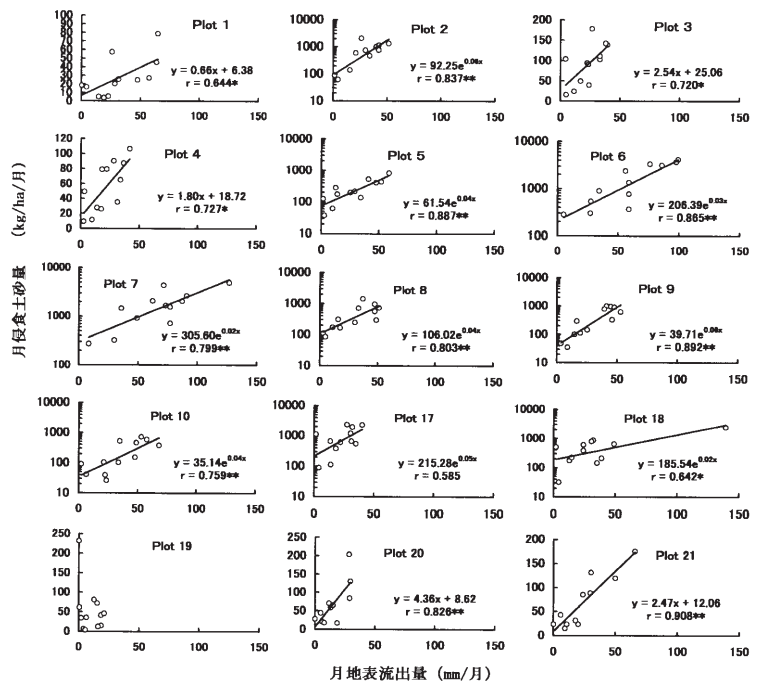


図-11 地表流出量が侵食土砂量に及ぼす影響

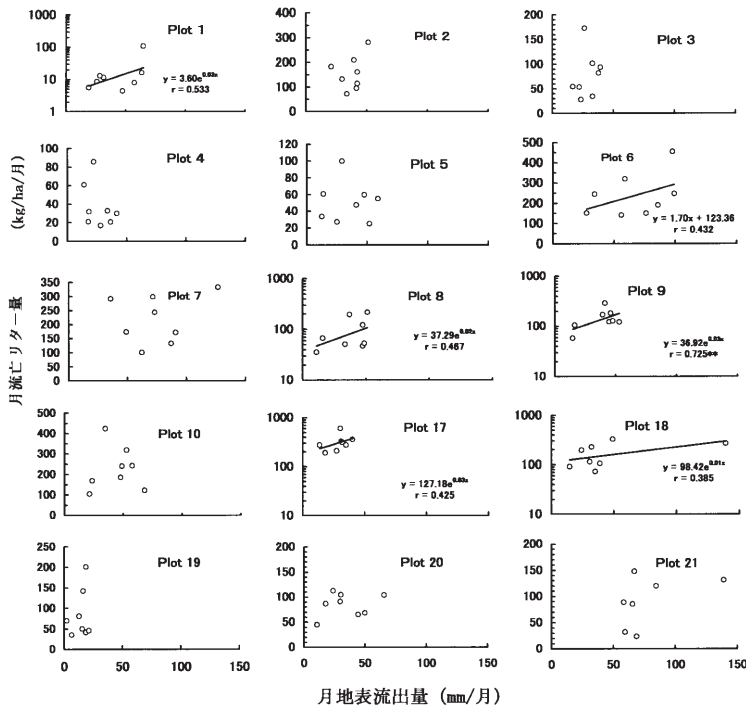


図-12 地表流出が流亡リターに及ぼす影響

注. 2001年11~2002年2月のデータを除く

室内降雨実験をもとに、1~3 t/ha/年の許容限界侵食土砂量を維持するために必要なリター堆積量は5~7 t/haであると結論づけている。今回の結果でも堆積リター現存量が5 t/ha以上では、服部が指摘するとおり、年侵食土砂量が減少する傾向がみられたが、斜面傾斜が35°では、堆積リターの現存量が10.1 t/haの場合でも、年侵食土砂量が6.99 t/ha

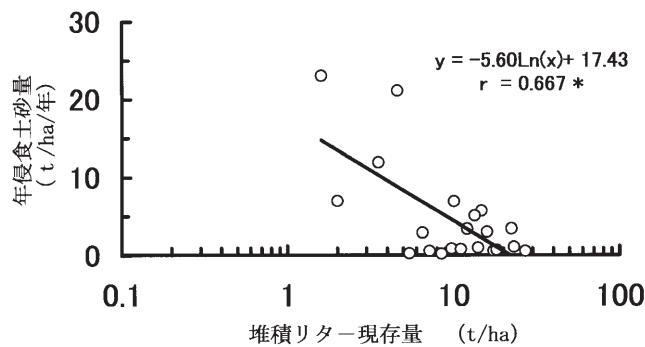


図-13 堆積リター現存量が侵食土砂量に及ぼす影響

に達する試験区もみられた。ヒノキ林の堆積リター現存量がm<sup>2</sup>当たり970 gである場合でも、波板で試験斜面を囲った場合の土壤侵食量は520 g/m<sup>2</sup>/年であり、許容限界侵食土砂量 (200 g/m<sup>2</sup>/年) のおよそ2.5倍に相当し、侵食土砂量を許容以下に抑えることができなかったことを報告している (農林 1999)。このことから、現段階では侵食防止に適した堆積リター現存量を数値で示すことは難しいと考えられるが、今後さらに詳細な調査により明らかにしていく予定である。

### 6. 年侵食土砂量の予測

立地条件 (斜面の傾斜角), 林分条件 (立木密度, 胸高断面積合計, 樹冠投影面積合計), 下層植生の植被率, 光環境 (林内の相対照度), 降雨条件 (年降水量) と年侵食土砂量の相関を表-6に示す。年侵食土砂量は斜面の傾斜, 立木密度との間には1%水準, 樹冠投影面積合計, 下層植生の植被率との間には5%水準でそれぞれ相関が認められた。特に斜面の傾斜と年侵食土砂量との相関係数は0.841と他の要因に比べ明らかに高かった。逆に、年降水量と年侵食土砂量との相関は極めて低かった。

年侵食土砂量を重回帰モデルにより予測する場合、モデルに用いる要因数はできるだけ少ない方が実用性が高い。そこで、11要因から要因数を4個, 3個, 2個ずつ選択して重回帰モデルを作成した (表-7)。要因数を3個用いた場合, どのモデルも高い重相関係数を示したが、傾斜,

表-7 重回帰分析の結果

重回帰式	要因	決定係数 (R <sup>2</sup> )	重相関係数 (r)	F 値
1	②③④⑨	0.824	0.908	18.70 **
2	②④⑦⑨	0.818	0.904	17.97 **
3	②③⑨	0.818	0.904	25.39 **
4	②④⑨	0.815	0.903	25.05 **
5	②③④	0.804	0.897	23.29 **
6	②⑦⑨	0.803	0.896	23.05 **
7	②⑤⑨	0.792	0.890	21.54 **
8	②③	0.802	0.896	36.50 **
9	②⑨	0.789	0.888	33.74 **
10	②⑦	0.771	0.878	30.32 **
11	②④	0.752	0.867	27.35 **

注) 1. \*\*: P<0.01

2. ②傾斜, ③立木密度, ④平均樹高  
⑤胸高断面積合計, ⑦樹冠投影面積合計  
⑨下層植生の植被率

表-6 年侵食土砂量と要因との相関

要因	林 齢 (年)	傾 斜 tan (θ)	立木密度 (本/ha)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	胸高断面積合計 (m <sup>2</sup> /ha)	樹冠投影面積合計 (m <sup>2</sup> /ha)	収量比数	下層植生の植被率 (%)	相対照度 (°)	年降水量 (mm)
①林 齢	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
②傾 斜	-0.381	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
③立木密度	-0.729 **	0.410	-	-	-	-	-	-	-	-	-
④平均樹高	0.597 *	0.172	-0.576 *	-	-	-	-	-	-	-	-
⑤平均胸高直径	0.827 **	-0.245	-0.818 **	0.625 *	-	-	-	-	-	-	-
⑥胸高断面積合計	0.066	0.195	0.346	0.393	0.102	-	-	-	-	-	-
⑦樹冠投影面積合計	-0.657 **	0.428	0.822 **	-0.486	-0.545 *	0.464	-	-	-	-	-
⑧収量比数	-0.209	0.174	0.452	0.417	-0.296	0.786 **	0.376	-	-	-	-
⑨下層植生の植被率	0.508 *	-0.258	-0.651 **	0.222	0.446	-0.371	-0.593 *	-0.423	-	-	-
⑩相対照度	0.552 *	-0.084	-0.714 **	0.046	0.616 *	-0.534 *	-0.551 *	-0.808 **	0.649 **	-	-
⑪年降水量	-0.039	0.218	-0.130	-0.314	0.284	-0.067	0.330	-0.473	0.182	0.499	-
年侵食土砂量 (t/ha/yr)	-0.407	0.841 **	0.640 **	-0.358	-0.426	0.216	0.595 *	0.209	-0.519 *	-0.227	0.162

注) \*\*, \*は1, 5%水準でそれぞれ有意

表-8 重回帰式(3)および(8)

重回帰式の係数	重回帰式(8) S = a + b·X1 + c·X2	重回帰式(3) S = a + b·X1 + c·X2 + d·X3
a	-15.7	-20.7
b	20.1	21.0
c	0.0027	0.0018
d		-0.055

注) S: 年侵食土砂量 (t/ha/年)  
 X1: tan(θ) ただしθは斜面の傾斜角(°)  
 X2: 立木密度 (本/ha)  
 X3: 下層植生の植被率(%)

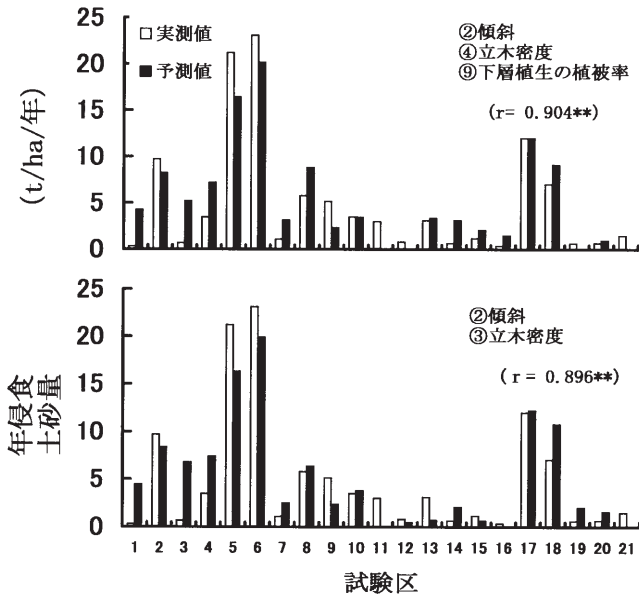


図-14 試験区別年侵食土砂量の  
 実測値と予測値  
 \*\*は1%水準で有意

立木密度, 下層植生の植被率を用いた場合(重回帰式(3))に最も重相関係数が大きくなった(r=0.904)。要因数が2個の場合は, 傾斜と立木密度を用いた場合(重回帰式(8))が最も重相関係数が大きくなった(r=0.896)。表-8に重回帰式(3), (8)の係数を示す。

年侵食土砂量の実測値と予測値の関係をみると(図-14), どちらの場合も, 年侵食土砂量が少ないほど予測値は実測値よりも大きくなる傾向があった。重回帰式(3)の場合, 斜面傾斜, 立木密度, 下層植生の植被率の33要因のうち, 下層植生の植被率は季節によって数値が変動する点や下層植生も草本類, 木本類, シダ類によって階級別にそれぞれ分布が異なっており, 今後, さらに年侵食土砂量の予測精度を高めるためには, 下層植生の植被率について算出方法を検討することが必要である。重回帰式(8)の場合, 重回帰式(3)に比べ, 要因数が少ないこと, 斜面傾斜, 立木密度の両要因とも調査が比較的容易であること, 数値の変動がない点有効である。

年侵食土砂量の高い精度で予測することができれば, 今後, ヒノキ人工林の立地条件や林分条件により, 侵食土砂による流出の危険性を林分ごとに区分でき, かつ間伐の必要性等の情報を森林所有者に提

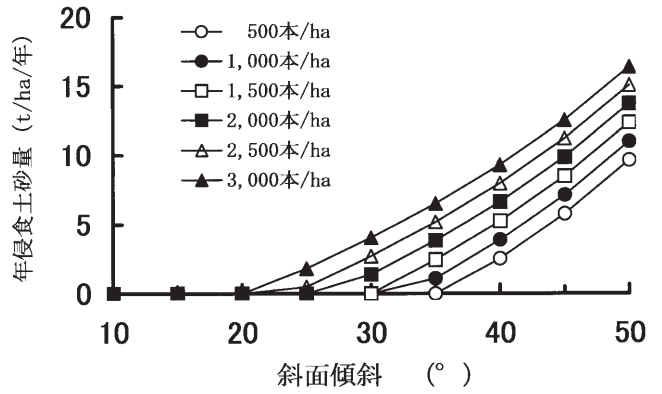


図-15 斜面傾斜・立木密度別年侵食土砂量の変化  
 注. 林齢19~42年生の林分を対象とする

供できることから, 今後, 両重回帰モデルの活用が考えられる。

斜面の傾斜と立木密度別に, 重回帰式(8)を用いて, 立木密度が500~3,000本/haに推移した場合について年侵食土砂量の変化を予測した(図-15)。斜面の傾斜が40°を例にとると, 間伐作業により立木密度をha当たり3,000本から1,500, 1,000本へと随時低下させた場合, 年侵食土砂量はそれぞれ71.4%, 41.9%に減少していた。間伐作業により年侵食土砂量は明らかに減少し, 間伐効果が認められる。ただし, 斜面の傾斜が35°を超えると, 立木密度を500本/haまで下げた場

表-9 試験区別の土壌理化学性

試験区	地区	層位 (cm)	容積重 (g/100cc)	浸透能 (cc/分)	三相組成(%)			孔隙量(%)	
					固相	液相	気相	粗孔隙	細孔隙
1	落合町	0~4	41.8	42	30.2	26.0	43.8	44.0	19.7
		30~34	70.0	93	35.4	33.9	30.7	42.8	17.1
2		0~4	64.9	152	36.3	31.0	32.7	53.5	16.2
		30~34	89.4	97	40.2	29.7	30.1	46.1	18.5
3	鏡野町	0~4	59.3	47	34.1	31.4	34.5	36.8	29.1
		30~34	74.1	87	37.0	34.4	28.6	30.4	32.6
4~5		0~4	46.2	158	30.7	43.6	25.7	44.6	24.7
		30~34	93.2	74	48.0	33.4	18.6	34.8	17.1
6~7		0~4	48.1	89	29.0	38.2	32.8	43.9	25.3
		30~34	99.7	75	39.2	39.3	21.5	32.4	26.0
8	加茂町1	0~4	67.0	209	29.4	36.2	34.4	43.3	27.3
		30~34	93.9	75	40.2	37.1	22.7	33.2	26.3
9~10		0~4	47.2	202	21.8	33.0	45.2	49.9	28.3
		30~34	107.0	60	45.4	30.6	24.0	37.9	16.6
11~12	加茂町2	0~4	59.6	232	25.9	40.3	33.8	45.3	28.8
		30~34	89.3	36	37.1	45.0	17.9	31.0	31.9
13		0~4	51.8	197	28.7	35.9	35.4	44.1	27.2
		30~34	87.9	66	44.6	33.0	22.4	35.2	20.2
14~15	津山市	0~4	63.3	149	35.0	41.8	23.3	40.1	25.0
		30~34	87.9	80	45.5	33.7	20.8	28.4	26.0
16	東粟倉村	0~4	38.8	40	26.9	46.0	27.1	30.1	42.8
		30~34	68.5	8	45.5	33.7	20.8	17.5	53.3
17~18	旭町	0~4	82.8	56	37.9	31.5	30.6	34.7	27.4
		30~34	121.9	13	48.7	26.6	24.7	27.7	26.3
19		0~4	80.6	49	26.9	46.0	27.1	27.7	31.4
		30~34	93.4	42	42.3	30.3	27.4	31.3	26.3
20~21	勝央町	0~4	57.2	89	31.4	27.9	40.7	45.6	23.0
		30~34	64.9	78	33.9	36.0	30.1	36.7	29.3

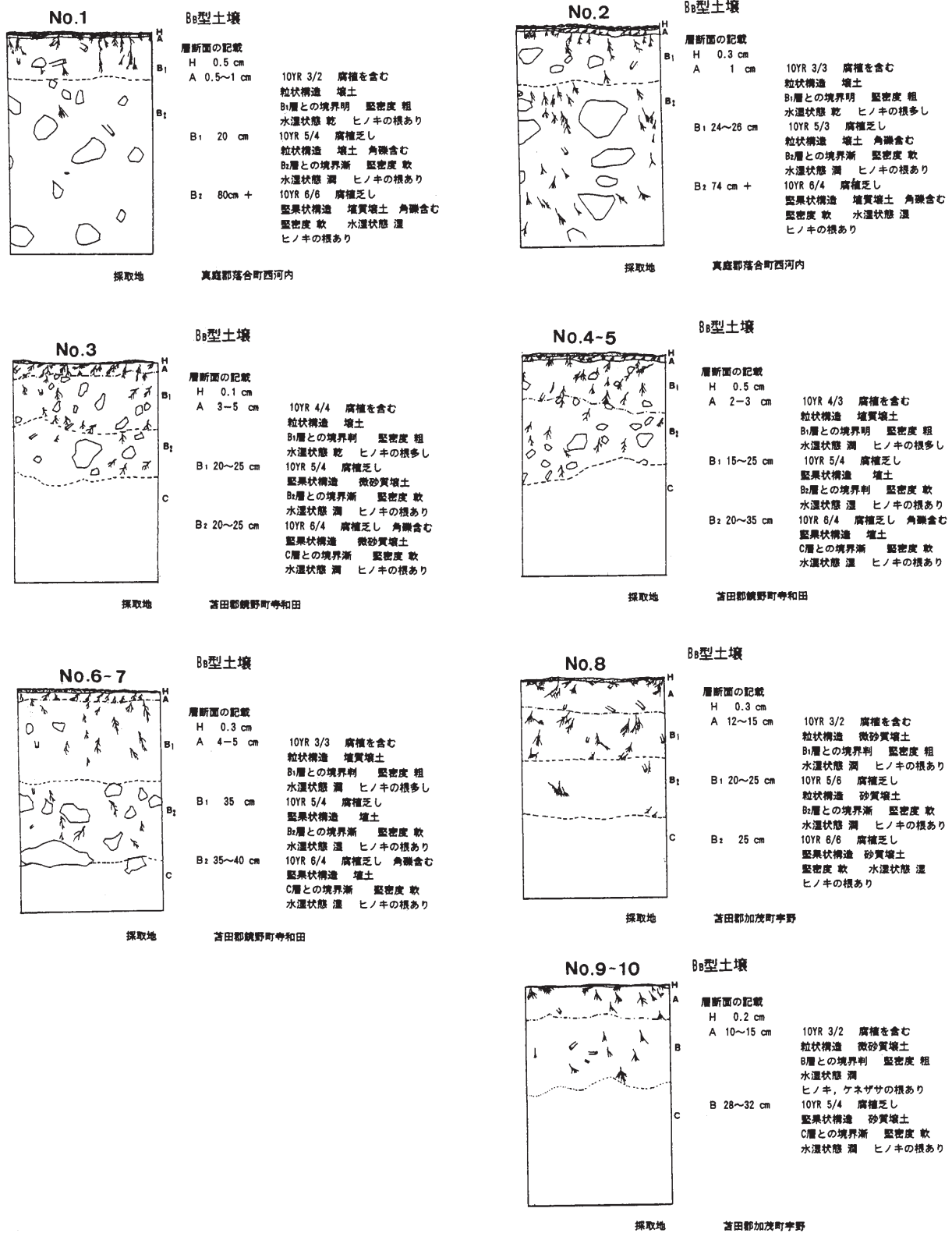


図-16 試験区別土壤断面図 I

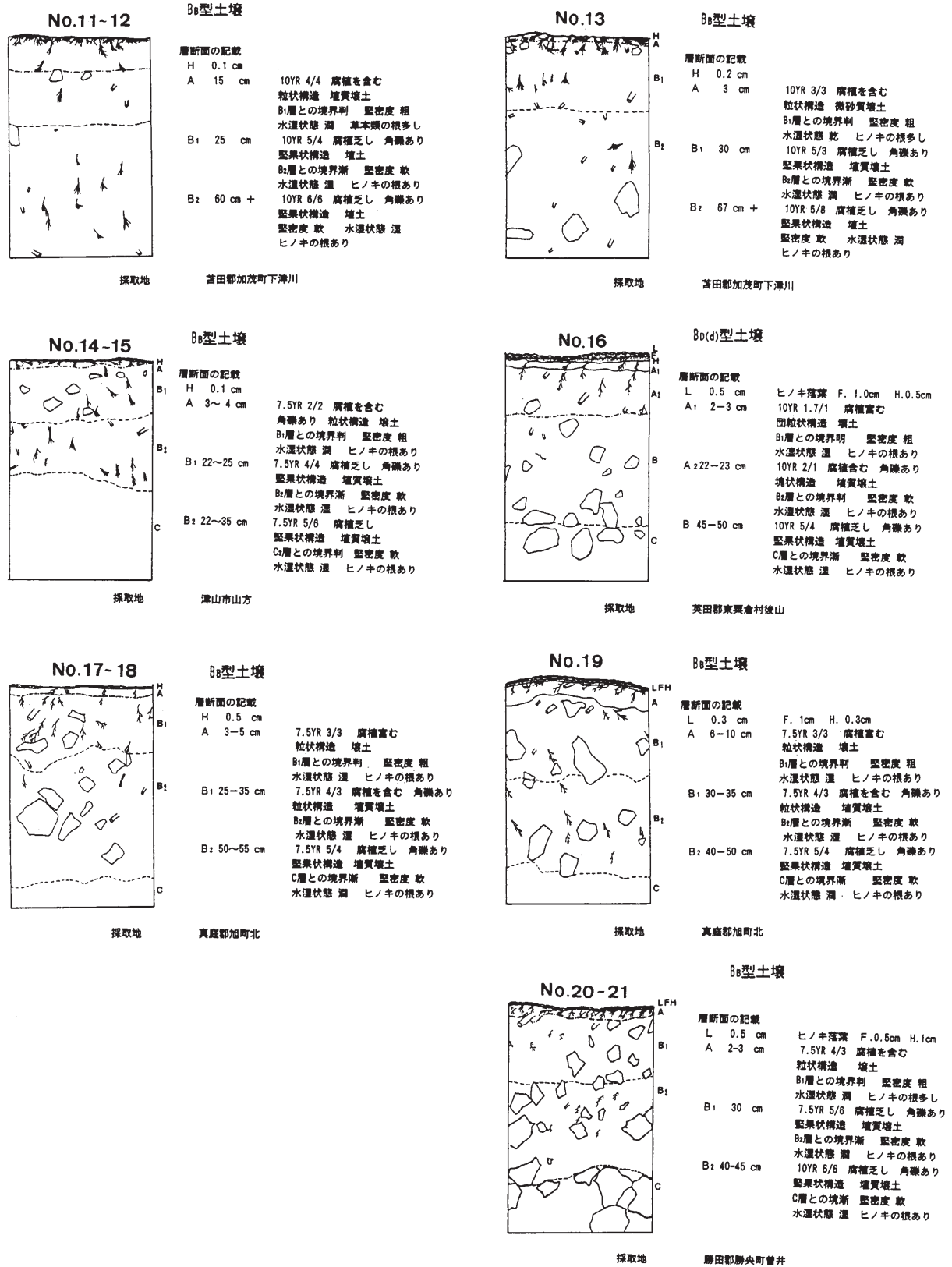


図-17 試験区別土壤断面図II

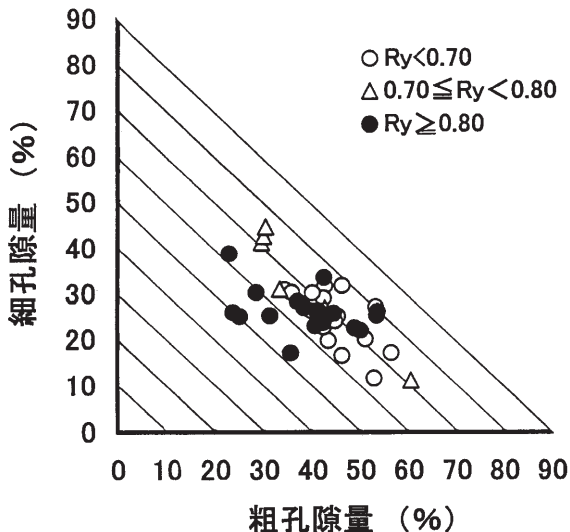


図-18 深さ0～4 cmにおける収量比数別の孔隙解析

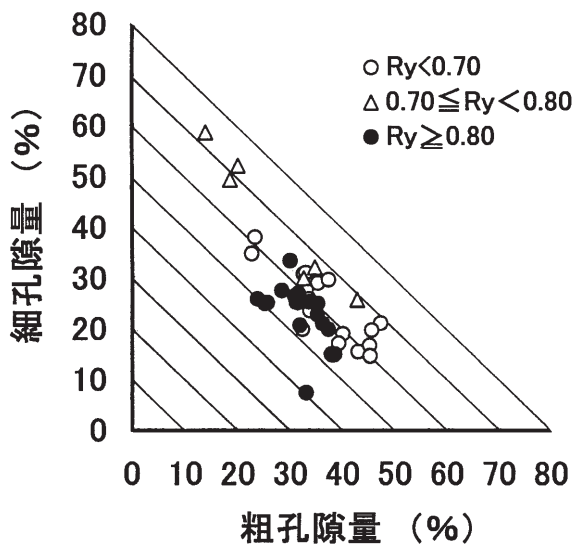


図-19 深さ30～34 cmにおける収量比数別の孔隙解析

合でも土砂侵食が生じる結果となった。田島(1994)は、斜面の傾斜が20°未満では裸地化しにくい、35°を超えると裸地化する危険性は高まることを推察している。本研究では、ヒノキ人工林における下層植生の植被率の変化、または裸地化率の変化については調査しておらず、裸地化の進行については明らかになっていないが、斜面傾斜が35°を超えるような急傾斜地では、土砂侵食が発生することが予想される。また、立木密度が1,000本/ha以上の林分では、斜面傾斜が40°以上に達すると、年侵食土砂量は3 t/ha/年を超え、服部ら(1992)が指摘する年間の許容限界侵食土砂量1～3 t/ha/年を上回っていた。

以上の点より、斜面の傾斜が35°以上の急傾斜地では林地保全上の立場からも柵工、土留工等の人為的な土砂流出防止策を講じる必要があると考えられる。

7. 土壌調査

試験区の土壌型は、B<sub>B</sub>(d)の場合は1例のみであり、それ

以外はすべてB<sub>B</sub>に分類された(図-16, -17)。このことについて、岡山県内におけるヒノキ高齢林の立地環境を調査した結果においても土壌型がB<sub>B</sub>型に属する場合の頻度が37%と最も高く(西山 2002)、このことを裏付けている。

有効土層深は試験区3, 4～5, 9～10, 14～15で40～50 cmの範囲に留まっていたが、それ以外の試験区では60 cm以上であり、特に試験区1～2, 11～13では100 cm以上に達していた。

表層部0～4 cmの三相組成は、土壌深30～34 cmの場合に比べ、固相より液相、気相の割合が高くなっていったが、保育・放置区別、さらには放置区の中でも年侵食土砂が9 tを超えている激害区(試験区2, 6～7, 17～18)についてみても各試験区によりバラツキが大きく、三相組成に明らかな傾向は認められなかった(表-9)。逆に土壌深30～34 cmの場合ではいずれの試験区とも固相または液相の割合が最も高く、逆に気相の割合が最も低かった。

間伐作業と三相組成の関係について、保育区(試験区3, 8, 11～13, 20～21)では、試験区20～21を除き、いずれも液相、気相の割合が30%を超えていた。ただし、放置区のうち、間伐を全く実施していない試験区2, 6, 17～19でも試験区19を除き、液相、気相の割合はともに30%を超え、間伐の有無による三相組成に明らかな差は認められなかった。

表層0～4 cmの粗孔隙量は深さ30～34 cmに比べ、一部、試験区19を除き、いずれも大きく、土壌の粗孔隙量は深さによって影響を受ける要因や影響の程度が異なるとする指摘(小柏ら 1991a)を裏付けている。土壌の粗孔隙量を多く保つ方法の一つとして、前生樹の影響がなくなる前に除間伐を実施して、新たな根系の腐朽を促す必要性があると指摘されている(近藤 1996)。今回の調査では、保育区、放置区でそれぞれ43.0% (36.8～45.6%)、40.9% (27.7～53.5%)と両者の間には有意な差なく、保育区の方が放置区に比べ、表層の粗孔隙量が大きい傾向は認められなかった。

表層の浸透能が100 cc/分を超える場合、粗孔隙量はいずれも40%を超え、逆に浸透能が50 cc/分を下回る場合、粗孔隙量は試験区1を除きいずれも30%台であり、両者の関係が密接であることを示していた。ただし、保育区と放置区の間、浸透能に明確な傾向は認められなかった。

さて、幼齡林から壯齡林になるにしたがって、相対照度が中庸に保たれた林分では、表層土壌の粗孔隙量は増加するのに対し、間伐を行わず密状態に推移すれば粗孔隙量は減少することや収量比数(Ry)の高い林分に粗孔隙量の少ない土壌が多く、収量比数(Ry)の低い林分に粗孔隙量が多い傾向がみられることが報告されている(小柏ら 1991b)。そこで、今回調査した箇所について、深さ0～4 cm, 30～34 cmにおける収量比数別の孔隙量を調査した(図-18, -19)。表層部0～4 cmにおいては、収量比数(Ry)が0.7未満の場合、全孔隙量は60～70%の範囲にあったのに対し、収量比数(Ry)が0.8以上の場合、全孔隙量は40～70%の範囲に分布し、前者に比べ全孔隙量が少ない林分の割合が多い傾向がみられた。粗孔隙量についても同様の傾向がみられ、収量比数(Ry)が0.70未満の場合、粗孔隙量は30～60%の範囲に分布しているのに対し、収量比数(Ry)が0.8以上の場合には粗

孔隙量が20~30%の範囲にも分布がみられた。このことは、間伐作業等の実施が遅れている放置区の場合、適正に間伐作業等が実施された保育区に比べ粗孔隙量は減少することを示すものであり、小柏らの指摘を裏付けており、放置区の場合、保育区に比べ粗孔隙量は減少することを示唆するものである。森林の水土保持機能にかかわる土壌の粗孔隙が形成されるのは、前生樹の根系が腐朽することによるとされており(近藤1996)、除間伐などの保育作業が粗孔隙の増加に大きく寄与していると考えられる。

#### IV おわりに

今回、ヒノキ人工林において、21の固定試験区を設定して、侵食土砂量、地表流出量および流亡リター量等を測定し、降雨因子との関係を調査するとともに、立地条件等の林況より年侵食土砂量の予測を試みた。ただし、今回の結果は一年間の調査データに限定されており、データのさらなる蓄積が必要であると考えられる。

最後に、ヒノキ人工林において従来これほど多くの固定試験区を設定して現地調査した例はみられていないことから、今後、さらに継続して調査を行い、今回の結果について検証を進めていく予定である。

#### 引用文献

- 赤井龍男・吉村健次郎・真鍋逸平・有光一登・相馬芳憲・杉浦孝三(1981)人工降雨によるヒノキ林内の落葉、土壌等の流亡について(Ⅱ) - 下層植生の成立状態の異なる若齢林分のリター、表層土の移動, 日林論 92: 213~214.
- 江崎次夫(1984)林道のり面の保全に関する研究, 愛媛大農演報 21: 1~116.
- 古池末之(1985)保育作業が立地要因に及ぼす影響(Ⅰ) - ヒノキ人工林の枝打ち, 間伐による土壌, 植生の変化と表層土壌の流去および地表流出水の動態, 兵庫林試研報 30: 41~52.
- 服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治(1989)林分条件が異なるヒノキ林の侵食土砂量(Ⅱ) - Ao層の一部除去と降雨強度の影響 -, 日林関西支講 40: 382~385.
- 一・阿倍敏夫・小林忠一・玉井幸治(1992)林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響, 森総研研報 362: 1~34.
- 井上輝一郎・岩川雄幸・吉田圭子(1987)ヒノキ単純林における落葉および土砂の移動, 林試研報 343: 171~186.
- 岩川雄幸・井上輝一郎・酒井正治(1987)山腹斜面のヒノキ林におけるリターおよび土砂の移動について(Ⅰ) - 移動量と斜面位置ならびに降水条件との関係 - 日林関西支講 38: 49~52.
- 河原輝彦(1990)人工生態系管理手段としてのこれからの育林技術, 林業技術 579: 20~23.
- 河田弘・小島俊郎(1976)環境測定法Ⅳ - 森林土壌 -, 166pp. 共立出版, 東京.
- 清野嘉之(1990)ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究, 森林総研研報 359: 1~122.
- 近藤次雄(1996)土壌粗孔隙量に対する除間伐の効果, 森の研究, 林業技術研究会: 128~131.
- 小柏一久・近藤次雄・真下育久(1991)数量化Ⅰ類の手法を用いた森林土壌の粗孔隙量の要因解析(Ⅰ) スギ林における深さ別土壌の粗孔隙量, 日林誌 73(5): 393~395.
- 小柏一久・近藤次雄・真下育久(1991)数量化Ⅰ類の手法を用いた森林土壌の粗孔隙量の要因解析(Ⅱ) スギ林における表層土壌の粗孔隙量と林分密度, 日林誌73(5): 396~400.
- 21世紀のおかやまの新しい森育成指針検討委員会編(2002)21世紀おかやまの新しい森育成指針検討委員会報告書, 126pp. 21世紀おかやまの新しい森育成指針検討委員会, 岡山.
- 西山嘉寛(2002a)ヒノキ人工林における水土流出実態の解明(Ⅰ) - 月侵食土砂, 地表流出量の季節変化および降雨因子の関係 - 第53回日林関西支部大会要旨集: 60.
- 西山嘉寛(2002b)ヒノキ人工林における水土流出実態の解明(Ⅱ) - 侵食土砂量の予測 -, 第53回日林関西支部大会要旨集: 61.
- 西山嘉寛(2002c)岡山県におけるヒノキ人工林の表面侵食と表面流出の研究(Ⅰ) 月侵食土砂量と降雨因子の関係, 森林応用研究 12: 47~52.
- 西山嘉寛(2002d)岡山県におけるヒノキ人工林の表面侵食と表面流出の研究(Ⅱ) 年侵食土砂量の予測, 森林応用研究 12: 53~58.
- 西山嘉寛(2002e)岡山県におけるヒノキ人工林の表面侵食と表面流出の研究(Ⅲ) 月地表流出量と降雨因子との関係, 森林応用研究 12: 59~63.
- 西山嘉寛(2002f)長伐期施業に対応する森林管理技術の研究 - 高齢林内における下層植生の現存量の推定と林分収穫予想表の作成 -, 岡林試研報 18: 33~66.
- 農林水産技術会議事務局(1999)人工針葉樹林における土壌劣化機構の解明, 研究成果 335: 62pp. 農林水産技術会議事務局, 茨城.
- 岡山地方气象台(2002)岡山の気象, 平成14年1~5月. 岡山地方气象台, 岡山.
- 岡山県林業試験場(1980)岡山県の林野土壌, 141pp. 岡山県林業試験場, 岡山.
- 大味新学・綱本皓二(1967)山腹工法面の侵食に関する研究 - 降雨加速指数と土砂流出の関係について -, 日林誌 49: 286~292.
- 林野庁(1983)ヒノキ人工林林分密度管理図説明書 - 北近畿・中国地方 -, 29pp. 林野庁, 東京.
- 田嶋幸一(1994)ヒノキ林における表土流亡危険度判定の指標と土壌保全のための林分構造の特性, 長崎総合農林試研報 25: 1~12.
- Whischmeier, W.H (1976) Use and Misuse of the universal soil loss equation, J. Soil & Water Cons., 31: 5~9.