

論 文

間伐伐出作業による残存林分の損傷と林分の事後成長*

鈴木保志**・神崎康一**・川上好治***

鈴木保志・神崎康一・川上好治：間伐伐出作業による残存林分の損傷と林分の事後成長
日林誌 75: 528~537, 1993 中国地方の1925年植栽のヒノキ人工林において、1987~1988年に間伐率約50%で優勢木を伐出したときの伐出後の林分の事後経過の調査を行った。伐出による被害は残存木の18%に生じていた。1993年の再調査までに台風害と雪害もあって、24%が消失した。根についた傷の深さについては悪化する傾向を示したが、直径成長は伐出被害木と被害木との間に有意な差は認められなかった。残存林分の成長の分析には材積年成長を樹幹表面積で割った値を指標として用い、対照林分に比べて間伐後の成長は遜色がないことが確認された。

SUZUKI, Yasushi, KANZAKI, Kouichi and KAWAKAMI, Yoshiharu: **Damage and growth of a residual stand after a logging operation with a non-clearcutting system.** J. Jpn. For. Soc. 75: 528~537, 1993 We investigated a logging operation with thinnings and the growth of the residual stand after the operation. The stand, which is located in the Chugoku Region and was planted in 1925, was thinned with a thinning intensity of 50% in 1987~1988. Felled trees were dominant trees. 18% of the remaining trees were injured, and 24% of these had removed until 1993, probably because of typhoon and/or snow. The depth index of injury tended to become greater, but there was not a significant difference between the diameter growth of damaged trees and that of undamaged trees. We defined the value of the annual volume growth per stem surface area as the growth index. Growth after the thinning of the remaining stand was observed being as large as the control stand.

I. はじめに

本論文は、優勢木を中心とする強度の間伐作業が残存林分に及ぼす影響について、その損傷と事後成長の2点の検討を目的とする。具体的には前者については伐出作業による直接の被害と残存木の消失状況および損傷について、後者については間伐効果の検証である。

調査は福山営林署管内京山国有林(1925年植栽のヒノキ人工林)において行った。伐採率は本数で約50%であった。集材作業にはホイール型スキッドが使用された。当該林分は福山営林署管内長者原国有林、新見営林署管内三室山国有林などとともに、「最大収益施業林(5, 6)」として設定された。ここに採用されている最大原理による伐採木の選木方法(3, 4)は、現在立木を収穫して更新するべきか将来価値が増大するのを待つべきかを利率と径級別市場価を考慮して判断するもので、理論的に林分からの収益の最大化を目指したものである。選木結果はいわゆるナスビ伐りとなり、残存林分には細い径級の林木が多くなる。伐採率

が大きくなりがち傾向があり、伐採後の林分が健全に成長するかどうかということが検討課題の一つであった。またこの方法は残存木の成長を期待するものであるため、伐出作業による残存林分の損傷を抑えることも重要な懸案事項である。

間伐の主たる目的は林分の質を向上させることであり期待する効果の一つは立木密度を疎にすることにより残存木の平均径級を高めることである(8)。そこで残存林分の事後成長については、残存木の成長の変化を樹幹解析によって調べることにより、間伐作業後に成長量が十分に増加したかどうかを検証する。

II. 伐出作業

1. 調査方法

京山国有林(図-1, 表-1上段)で1987年10月から12月および1988年10月から12月にスキッド(イワフジ製 T30F, 4.3 t)によって行われた伐出作業の功程調査をそれぞれの年の10月に行った。図-1の太枠で囲まれた部分がスキッドによる伐出作業が行われた区

* 本研究の一部は第104回日本林学会大会で口頭発表した。

** 京都大学農学部 Fac. of Agric., Kyoto Univ., Kyoto 606-01

*** 内外エンジニアリング(株) Naigai-Engineering Co. Ltd., Kyoto 601

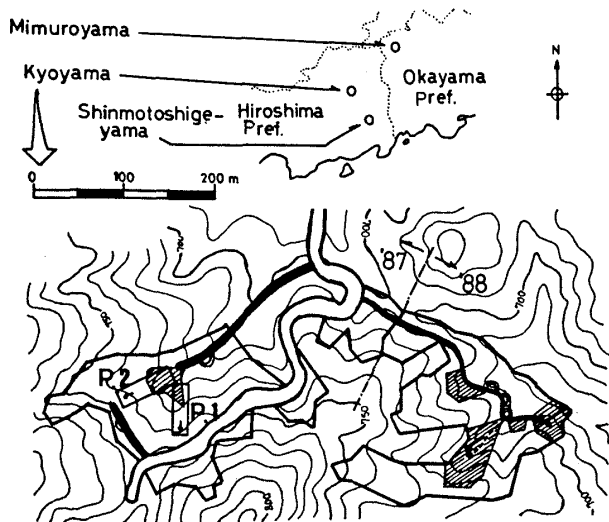


図-1. 調査地の位置と地形
Location and topography of investigated area

黒く塗りつぶした道は作業道を、枠で囲まれた区域は1987年と1988年の伐出作業区域を示す。年の境界は1点鎖線で示した。斜線部と半二重円は功程調査時の作業区域と土場を示す。P.1およびP.2は伐出被害木の調査プロットを示す。矩形の中の矢印は斜面の上方向を示している。

Notes: Black strips are spur roads. Enclosed areas are operation areas of 1987 and 1988, divided by dashed line. Shaded areas and half dual circles are areas and landings which were investigated for logging operation. P.1 and P.2 are plots for the investigation of damaged-trees. Arrows in rectangles point to upper-side of slopes.

域で、斜線で示した部分で行われた作業を調査した。結果の一部は報告済み(7)であるので、ここでは要点のみ述べる。

2. 作業方法と作業功程

作業班の基本的構成は作業員4名、機械はスキッド1台とチェーンソー(50cc)2台である。1987年の調査時には1名あるいは2名の補助作業員が加わることもあった。伐倒作業時は伐倒班と土場整理班に分かれて作業が行われる。集造材作業時の伐倒木の木寄せに際しては図-2 模式図に示すように伐倒木を梢端が作業道に向くように、また木寄せ経路(搬出路)を想定して倒しておくことにより、作業の円滑化を図っていた。

表-1 下段に作業功程の要約を示す。文献(7)にも述べたように集造材作業の能率低下の原因は、集材作業での木寄せ距離の負担と土場が狭いため集材作業と造材作業が輻湊したことであった。

3. 林地と残存林分の被害

1987年の調査時の作業では集材はスキッドのウィンチによる作業道上への木寄せにより行われた。残存木の被害は伐倒時には伐倒木が、集材時には伐倒木あるいはスリングロープが残存木に接触することにより

表-1. 京山調査地概要と伐出作業功程
Outline of investigated area and operational efficiency of logging

場所	福山営林署 京山国有林 113 い 林小班					
Location	Fukuyama District, Kyoyama 113 "I" compartment					
林況	ヒノキ人工林 約900~1300本/ha 62年生(1987年)					
Conditions	Planted hinoki, about 900~1300 trees/ha, 62 years old (1987)					
土壌型	B1D-d 20% B1D-m 80%					
Soil type						
作業実施年	1987					1988
Years						
面積 (ha)	2.84					2.80
Areas (ha)						
生産量 (m³)	453					432
Products (m³)						
作業種	人工数	生産性 (m³/人日)	人工数	生産性 (m³/人日)		
Operations	Man·	Productivity	Man·	Productivity		
	day	(m³/man·day)	day	(m³/man·day)		
		年間 功程調査		年間 功程調査		
		Year Investigated		Year Investigated		
		total		total		
		sample		sample		
伐倒・枝払	51	8.88	21.93	63	6.86	—
Felling and delimiting						
集造材	82	5.52	6.45	134	3.22	4.63
Logging and bucking						
小計	133	3.41	4.98	197	2.19	2.76
Sub-totals						
盤台作設等	23			2		
Working platform and others						
計 Totals	156	2.90		199	2.17	

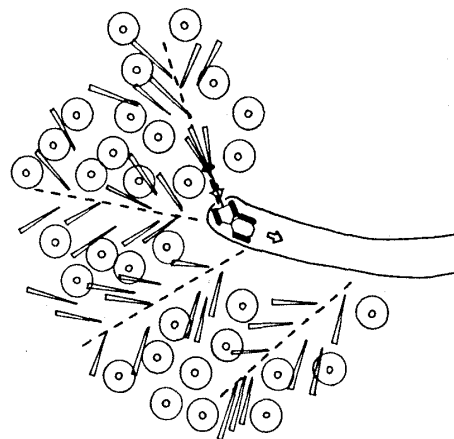


図-2. 集材方法模式図
Illustration of logging operation

円は立木を、細い三角形は伐倒木を、また破線は搬出路を示す。
Notes: Circles are standing trees, and narrow triangles are felled trees. Dashed lines are skidding paths.

生じることが観察された。このときの残存木の損傷については当該年度の伐出作業終了後にプロット(図-1)

を設けて調査を行った (III章)。

1988年の調査区域の作業では搬出のために作業道を設けずトラクタが林内を走行した以外は伐出作業の方法は1987年と同様であった。走行による土壌の締固めは土壌深15cmまでの範囲では走行跡・地引き跡・林地(対照)の土壌硬度間に有意な差は認められなかった(7)。これは走行回数が少ないことと(7)、枝条上を走行したためであると考えられる。この結果は文献(1)の結果と一致する。当該林分では天然更新による稚樹の発生状況は良好で(5)、京山担当の森林官への聞き取りによれば生育状況も良好である。伐出作業による残存稚樹への影響については(7)の稚樹の被害調査結果からは明確なことはいえない。

III. 残存木の消失状況と伐出による被害

1. 調査方法

1987年の伐出作業が終了した同年12月に伐出作業による被害木の調査プロットを設けた。ただし被害木であっても伐出されたものについて記録を追うことはできなかったため、伐出作業後に残っている林木について被害状況とその経過を調べることにした。調査期間の制約のため1988年の作業区域にはプロットを設けていない。

プロットは2個(以下P1, P2), 幅20m, 縦60~70mとし縦は搬出路を中心軸として斜面方向に沿うように設けた(図-1, 4)。位置を図-1中に矩形P.1とP.2で示した(矩形の中の矢印は斜面の上方向を示す)。プロットの概要を表-2の上段に記した。設定時に立木(すなわち伐出作業後の残存木)と伐根の位置, 残存木の胸高直径と伐根高直径を測定し, 残存木の集材作業による損傷(以下傷と略記)を記録・写真撮影した。事後調査のため傷の原因を確定することはできないので, 以下に述べるように傷の分類は位置と程度によることとした。傷の位置は1:根, 2:膝, 3:腰, 4:胸の4分類に分け, 傷の程度はその深さを形成層の露出度により判断することにし, 0:樹皮のわずかなはがれのみで形成層はみえない, 1:樹皮がはがれたあとが黄色くみえている, 2:形成層が白くみえている, 3:形成層がみえ樹幹表面と明らかな断差が認められる, の4段階に分類した。傷の大きさは図-3に示すように縦長・横長・面積の3項目として, 写真からデジタイザを用いて計測した。1992年6月に再調査を行い, 傷の同定と写真撮影を行った。残存木の胸高直径の再測定を1993年2月に行った。

表-2. 被害木調査プロット概要
Outline of damaged-tree plots

	Plot 1		Plot 2*		全体 Total	
傾斜(°)	21.0		23.7		—	
Ground slopes						
面積(m ²)	1204		1348		2552	
Areas						
1987	本数 Numbers	密度(/ha) Densities	本数 Numbers	密度(/ha) Densities	本数 Numbers	密度(/ha) Densities
伐採前 Before thinnings	93	772	134	994	227	889
伐採後 After thinnings	34	282	75	556	109	427
伐採率 Thinning ratios	63.4%		44.0%		52.0%	
	本数 Number	率 Ratio	本数 Number	率 Ratio	本数 Number	率 Ratio
被害木 Damaged trees	7	20.6%	13	17.3%	20	18.3%
1993	本数 Numbers	密度(/ha) Density	本数 Numbers	密度(/ha) Density	本数 Numbers	密度(/ha) Density
残存木 Remaining trees	10	83	73	542	83	325
うち被害木 Damaged trees	1		13		14	

* この集計ではプロット2の広葉樹8本(うち残存木2本)は除いている。

* Hardwoods on Plot 2 are excluded from this table.

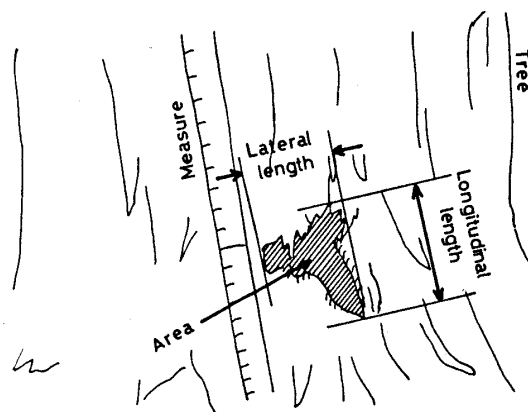


図-3. 損傷の計測方法
Illustration of measuring injury indices

損傷の大きさはデジタイザを用いて写真から計測した。
Note: Injury indices were measured on photographs with a digitizer.

2. 調査結果

プロットの調査結果を図-4, 概要を表-2に示す。プロット1の伐採前の立木密度は772本/haで, プロット

ト 2 の 994 本/ha の 8 割程度である。伐採率は約 50 % で、伐採後はそれぞれ 282/ha 本, 556/ha 本と、その差はおおよそ 2 倍に開いている。伐出作業後の残存木

の 18% が伐出作業による被害をうけていた。その後 1993 年の再調査までに、プロット 1 では 34 本中 24 本、プロット 2 では 75 本中 2 本、合計 109 本中 26 本

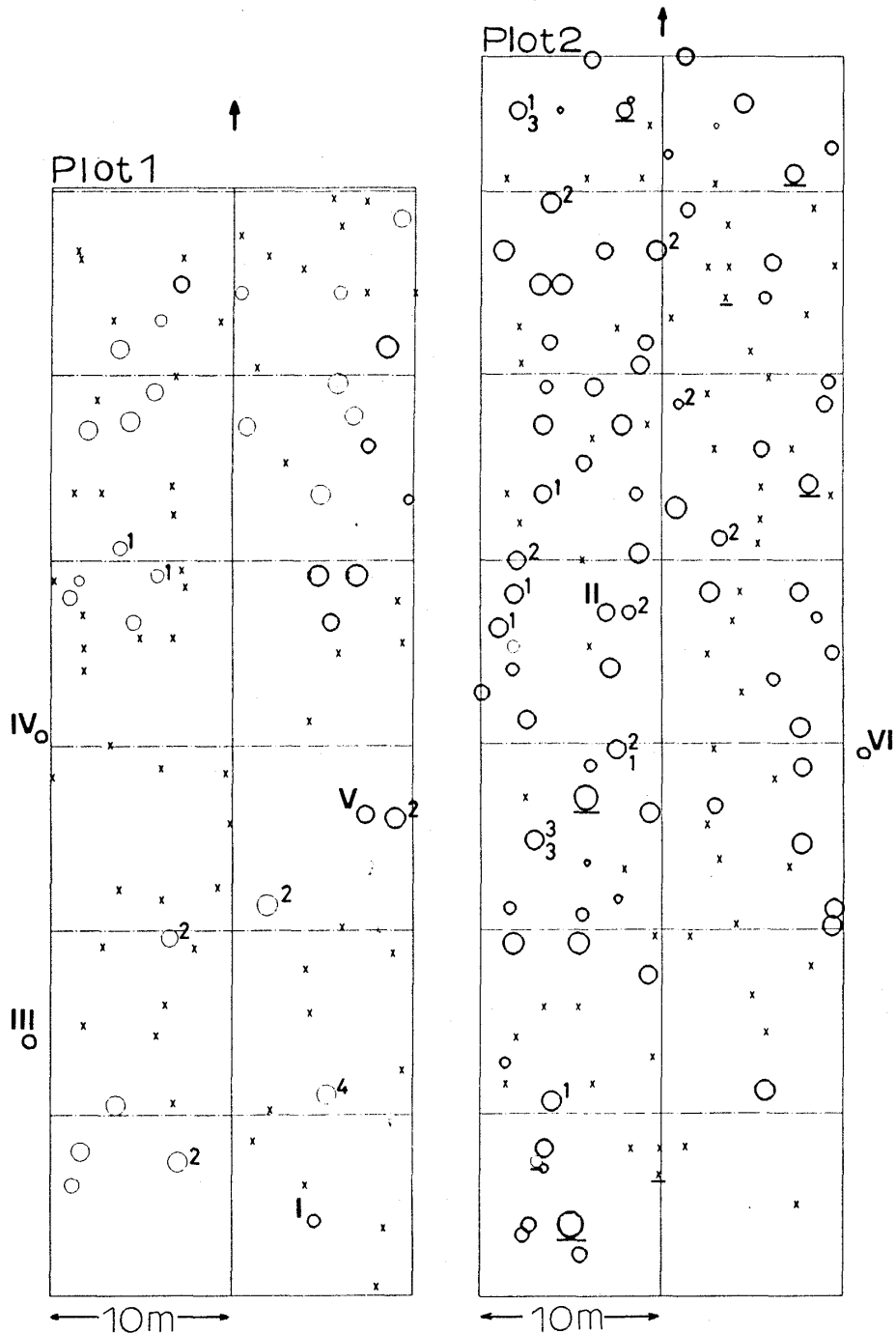


図-4. 被害木調査プロット
Injured-tree survey plots

1987 年の調査時の残存木を胸高直径の 2 倍の直径をもつ円で示した。細い線・太い線の円はそれぞれ 1983 年の調査時までに消失したもの、残っていたものを示す。×は 1987 年の調査時の伐根を示す。アラビア数字は損傷の位置(表-5)、ローマ数字は樹幹解析の試料木を示す。矢印は斜面上方を示している。広葉樹には下線を付した。

Notes: Circles mean section of remaining trees in 1987. Thick lines are remaining trees in 1993. The scale of circles are doubled. "X" indicates stump in 1987. Numbers indicate height of injuries (see Table 5). Roman numbers indicate trees for stem analysis. Arrows point to upper-sides of the slopes. Under-bars are for hardwoods.

表-3. 調査木の直径
Diameters of investigated trees

	Plot 1				Plot 2**				Plot 1 and Plot 2			
	DSH* ¹	DBH			DSH* ¹	DBH			DBH		損傷あり 損傷なし	
		All	Removed* ²	Remaining* ³		All	Removed* ²	Remaining* ³	All	Remaining* ³	Damaged	Undamaged
Numbers	93	34	24	6	131	74	2	69	108	68	11	57
'87												
Means	37.4	22.6	23.0	21.3	33.3	19.9	12.4	20.5	20.8	20.5	22.7	20.1
STD.* ⁵	9.77	4.03	3.79	5.01	11.17	4.73	4.65	4.24	4.69	4.44	2.18	4.64
Max.	60.0	28.4	28.4	26.5	60.0	27.0	17.0	27.0	28.4	27.0	27.0	27.0
Min.	18.0	13.0	14.6	13.0	10.3	7.7	7.7	8.0	7.7	8.0	8.0	8.0
'93												
Mean				23.0				22.1		22.0	24.3	21.6
STD.* ⁵				5.53				4.63		4.82	2.60	5.03
Max.				28.9				28.9		28.9	28.9	28.9
Min.				13.5				8.7		8.7	8.7	8.7
'93~'87												
Mean				1.62				1.57		1.50	1.56	1.49
STD.* ⁵				0.615				0.819		0.672	0.646	0.676
Max.				2.40				3.40		2.90	2.90	2.90
Min.				0.50				0.06		0.30	0.30	0.30

*¹ DSH: 伐根高の直径(cm)。*² 1993年までに除去されたもの。*³ 1993年の残存木。1993年のデータに特異値があったものは除いている。*⁴ プロット2の'87年のデータには1個欠測値がある。*⁵ STD.: 標準偏差。

*¹ DSH: Diameter of stump height (cm). *² DBH of trees removed until 1993. *³ DBH of trees remaining 1993. Unfitted data are excluded. *⁴ One datum of Plot 2 ('87) was unobserved. *⁵ STD.: Standard deviations.

と24%が消失している(図-4中細い線の円で示したもの)。消失の直接の原因は雪害や台風害により倒伏あるいはひどく折損したものの除伐である。台風害の回数やその後の除伐の正確な記録はないが、1989年の台風害については記録が残っており、113い林小班で被害木としてヒノキ209本(46 m³)、アカマツ14本(8 m³)が除伐されている。

直径に関する調査結果を表-3に示す。1993年の胸高直径のデータには、1987年の値を下回るものがあった。1993年の計測では積雪や下層植生等1987年の計測時に比べ根元部に障害物が多かったため、計測が不適正に行われたものがあると考えられたので、1993年のデータから1987年の値を下回るものをまず取り除いた上で、母平均の±95%の信頼限界を外れるものは集計から除外した。

傷は伐出被害木20本中3本に2個が確認された以外は1本当りに1個で、総数では23個が確認された。写真計測による傷の大きさについては、1987年時のものについては撮影の不備のため14個分のみ計測できた。1992年の調査までに6本が消失したため、大きさの変化を比較できた傷は表-4-2に示すように8個となった。

3. 考 察

1) 残存木の消失

1987年の調査時の両プロットの伐根高直径の平均値(P1, 37.4 cm; P2, 33.3 cm)の差と伐出作業後の残存木(表-3のAll)の胸高直径の平均値(P1, 22.6 cm; P2, 19.9 cm)の差を検定すると、どちらも1%有意であった。このことから、伐採前後ともプロット1の方が平均して径級が大きかったといえる。これに対し1993年時の残存木の胸高直径の平均値(P1, 23.0 cm; P2, 22.1 cm)の差には有意差はなかった。1993年の残存木の1987年から1993年までの直径成長の平均値(P1, 1.62 cm; P2, 1.57 cm)の差についても統計的に有意な差はないが、1993年までに消失、除去された木の1987年時の胸高直径の平均値(P1, 23.0 cm; P2, 12.4 cm)の差は1%で有意であることから、両プロット間の平均径級の差が顕著でなくなった原因は平均径級の大きな木がプロット1から多く消失、除去されたためといえる。この原因についてはさらにV章で考察する。

2) 伐出被害木と無被害木の直径成長の差

伐出被害木は傷により成長が阻害されることが考えられる。1987年の平均直径は無被害木(20.1 cm)より

表-4-1. 傷の大きさ
Sizes of damaged area

	縦 (cm) Longitudinal	横 (cm) Lateral	面積 (cm ²) Area
1987			
Numbers	14	14	14
Means	12.3	5.1	56.8
STD.	5.69	3.30	68.08
Max.	24.8	14.2	256.7
Min.	4.0	1.9	6.7
1992			
Numbers	17	17	17
Means	13.9	4.1	54.2
STD.	12.03	2.75	77.52
Max.	43.8	10.8	296.9
Min.	1.1	0.9	0.9

表-4-2. 傷の大きさの変化*
Size changes of damaged area*

	縦 (cm)	横 (cm)	面積 (cm ²)
Numbers	8	8	8
1987 Means	10.2	3.7	24.5
1992 Means	14.3	3.4	56.2
+	4	3	3
-	4	5	5

* '87 も '92 も傷の大きさが計測できたもの。
* Size change between 1987 and 1992.

表-4-3. 傷の位置と深さ
Height and depth of injury

傷の高さ Heights	傷の深さ：形成層のみえぐあいによる指標* Depths of injury : Indexes of cambium exposure*										
	1987				1992						
	0	1	2	Sums	-	0	1	2	3	Sums	
胸 Breast-	4	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
腰 Hip-	3	1	1	1	3	0	1	0	0	2	3
膝 Knee-	2	3	6	1	10	3	2	0	1	4	10
根 Root-	1	2	4	3	9	2	0	0	1	6	9
Sums	6	11	6	23	6	3	0	2	12	23	

* 指標値：-, 消失木；0, みえない；1, 黄色い；2, 白い；3, 深い。
* Index value : -, Removed tree, 0, unviewable ; 1, yellow ; 2, White ; 3, Deep.

も伐出被害木 (22.7 cm) の方が大きかったが、直径成長の平均値は無被害木 (1.49 cm) に対し伐出被害木 (1.56 cm) であった (表-3)。直径成長の差は統計的に有意なものではなかったが、伐出被害木の直径成長から判断する限り、伐出被害木の成長が阻害されていることはないものと思われる。

3) 傷の程度の変化

大きさの変化を比較できた 8 個の傷をみると (表-4-

表-4-4. 傷の深さの推移
Transitions of injury depths

	'92 深さ '92 Indexes of depths						
	-	0	1	2	3	Sums	
'87 深さ	0	2	2	0	0	2	6
'87 Indexes of depths	1	2	1	0	2	6	11
	2	2	0	0	0	4	6
Sums	6	3	0	2	12	23	

表-4-5. 傷の位置と深さの変化
Injury height and depth transition

傷の高さ Heights	深さの変化* Transition*			
	0	1	Sums	
胸 Breast-	4	0	0	0
腰 Hip-	3	1	2	3
膝 Knee-	2	2	5	7
根 Root-	1	0	7	7
Sums	3	14	17	

* 0, 変化なしあるいは軽減；1, 悪化。
* Index of depth became : 0, Lighter ; 1, Heavier.

2), 傷が大きくなったものと小さくなったものとはほぼ同数であった。

傷の位置と深さのクロス表を表-4-3 に示す。位置については膝あるいは根に属するものがほとんどであり、伐倒の過程での接触による傷は少なかったことを示している。傷の程度の分類のうち、「3: 深い」は傷がついた後の成長により露出した形成層と樹幹表面の間に段差ができるため生じるものであり 1987 年の調査では該当がないが、1992 年の時点では 7 割の傷がこの分類に該当している。傷の深さの推移を表-4-4 に示す。このクロス表の対角線より上にあるものは傷の深さが進行しているものである。軽減あるいは変化していない傷は 1987 年時に 0 あるいは 1 に分類された 3 個のみである。

傷の位置と傷の深さの変化の関係を表-4-5 に示す。根についた傷はすべて悪化している。ただし傷の位置と深さの変化の間の独立性は χ^2 自乗検定の結果棄却できなかった。

IV. 間伐後の成長の変化

1. 調査方法

1992 年 6 月の調査時に被害木調査プロットの中あるいは近接部から試料木を 6 本採取した (図-4)。選木

は林分の疎密度を考慮して疎・密から3本ずつ選んだ(それぞれ試料木番号I, III, IVおよびII, V, VI)。本論の樹幹解析は一般に行われている方法(10)に準拠し、年輪は1年単位で計測し、また偏心円盤の直径の計測には材積計算の誤差を小さくするために右田式半径平均法(11)を用いた。

間伐を一種の林分の開放にとらえ、伐開により林分が開放された対照地との比較により成長の変化の効果を検証する。比較には1989年7月から1990年1月にかけて採取した同地方に属するヒノキ人工林(表-5)の資料木のデータを利用した。ここに林分の開放とは京山では伐採率50%の間伐、対照地では伐開線から片側の皆伐によるものである。試料木の履歴を図-5に示す。試料木は各採取地で林縁から3本、林縁から20m以上林内に入ったところから3本の計6本を採取している。新元重山の伐採時の立木密度については、同一の施業区域に属する新重山に関する文献(2)を参考にした。

2. 調査結果と考察

試料木の採取時の大きさを図-6に示す。ばらつきは京山が最も大きく、その最小値は母平均の95%の信頼

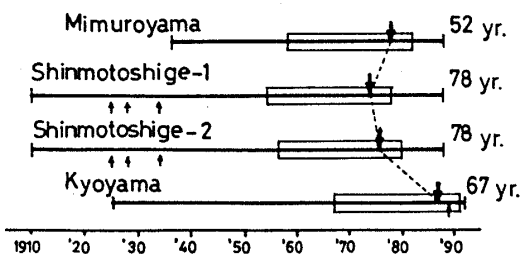


図-5. 樹幹解析試料木の履歴
History of stem analysis of sample tree

下向きの矢印は伐開年を、上向きの矢印は確認できた除間伐年を示す。横長の矩形は分析した期間を示す。

Notes: Down-pointing arrows indicate years of opening. Up-pointing arrows indicate years of thinnings or salvage cuttings which can be certified. Narrow rectangle shows analyzed period.

表-5. 樹幹解析資料木採取地概要
Sites of sampling trees for stem analyses

採取地 Locations	樹種 Tree species	採取時林齢 Ages at sampled	立木密度(本/ha) Densities (n/ha)	伐開状況 Conditions of openings
三室山 Mimuroyama	Hinoki	52	1300	幅30mの架線道を伐開 Cable corridor of 30m width
新元重山1 Shinmotoshigeyama 1	Hinoki	78	1000~1500	保護樹帯として40m幅を伐り残し Shelter belt of 40m width
新元重山2 Shinmotoshigeyama 2	Hinoki	78	1000~1500	保護樹帯として40m幅を伐り残し Shelter belt of 40m width

限界を下回る値となっている。採取地間の値の差については、採取時の林齢(表-5)を考慮すると三室山、京山では新元重山1,2に比して成長が早いことが推察される。

1) 成長量の指標

成長量の指標としては、試料木間の材積の絶対的な差の影響を取り除くために、材積の連年成長量をその林齢での樹幹表面積で割った値を用いることにする。以下この値について説明する。

いま、樹幹断面の高さ方向(h軸)と直径方向に図-7のように座標系をとる。樹齢i年の樹幹表面(実際に

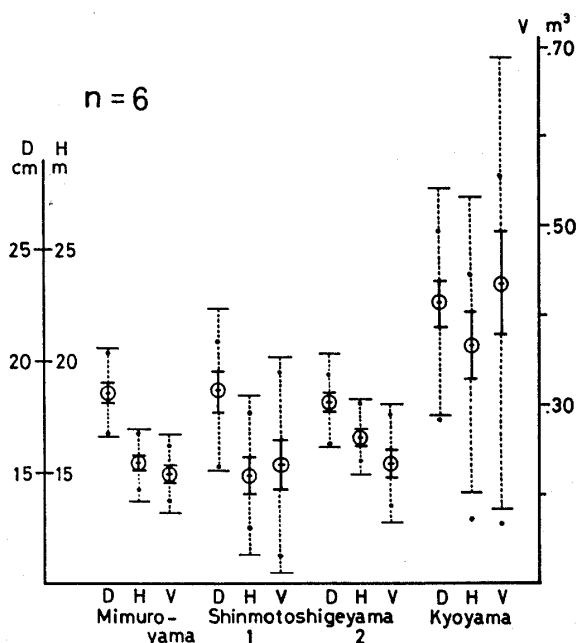


図-6. 樹幹解析試料木の採取時の大きさ
Sizes of sample trees for stem analyses

D, 胸高直径 (cm); H, 樹高 (m); V, 材積 (m³)。白ぬきの丸は平均値、黒丸は最大・最小値。長い横棒は母平均の±95%の信頼限界を、短い横棒は平均の標準誤差を示す。

Notes: D, DBH (cm); H, Height (m); V, Volume (m³). Circles are mean values, and dots are maximum and minimum values. Long bars indicate ±95% confidence limits. Short bars indicate M. S. E.

は形成層がなす面)の曲線がその部位の高さ h の関数 $f_i(h)$ で表されるとする。これは高さ h の部位の樹齢 i 年の年輪の半径を意味している。幹足と主要区分の材積は放物体として、梢端部の材積は円錐体として樹齢 i 年の材積 V_i を(1)式より求める (10)。

$$V_i = \int_0^{h_i} \pi f_i(h)^2 dh \quad (1)$$

樹齢 i 年の材積年成長 Y'_i は次式で表される。

$$Y'_i = V_{i+1} - V_i \quad (2)$$

樹齢 i 年の樹幹表面積 S_i は(1)式と同様にして次式で計算できる。

$$S_i = \int_0^{h_i} 2\pi f_i(h) dh \quad (3)$$

樹齢 i 年の材積年成長を樹幹表面積で割った値を Y_i とすると、

$$\begin{aligned} Y_i &= Y'_i / S_i \\ &= (V_{i+1} - V_i) / S_i \\ &= \left(\int_0^{h_{i+1}} \pi f_{i+1}(h)^2 dh - \int_0^{h_i} \pi f_i(h)^2 dh \right) / S_i \\ &= \left\{ \int_0^{h_i} (\pi f_{i+1}(h)^2 - \pi f_i(h)^2) dh \right\} / \int_0^{h_i} 2\pi f_i(h) dh \\ &\quad + \int_{h_i}^{h_{i+1}} \pi f_{i+1}(h)^2 dh / \int_0^{h_i} 2\pi f_i(h) dh \quad (4) \end{aligned}$$

樹齢 i 年の樹幹表面積に対し i 年から $i+1$ 年までの樹高成長に伴う梢端材積が小さい、すなわち(4)式の右辺第2項が微量 δ とみなせれば、(4)式は次のように表すことができる。

$$Y_i = G_i + \delta \quad (5)$$

G_i は(4)式および図-7から樹齢 i 年の樹幹方向に平均した直径成長を意味するものと考えることができる。 Y_i のディメンジョンは、

$$[L^3]/[L^2] = [L] \quad (6)$$

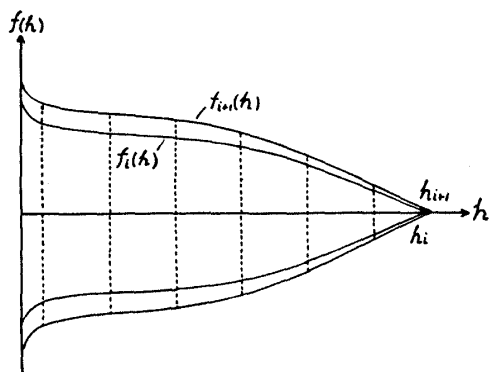


図-7. 樹幹断面の模式図
Illustration of stem section

破線は材積計算のための区分を示す。
Note: Dashed lines are borders of sectional measurements.

となる。以降 Y_i は次式のように単位を mm にとることとする。

$$Y_i = Y'_i / S_i \times 1000 \quad (7)$$

京山の試料木について Y, Y' の値を計算した結果を図-8に示す。 Y' では明らかな個体間の絶対的な大きさの差が、 Y ではわずかになっていることがたしかめられる。

2) 成長に影響を及ぼす要因の分析

要因を A:採取地(4水準), B:開放・閉鎖(2水準), C:齢階(6水準)として3元配置の分散分析を行った。Bの開放・閉鎖の要因は、林分の疎密度を表す指標と考えて設定したもので、三室山・新元重山の試料木については林縁・林内、京山については林分密度の疎・密に対応する。Cの齢階については当初は5年で分析する計画であったが、京山で試料木を採取した6月には、連年成長が継続している時期であり最終年の連年成長の値は1年間の成長を示す値としては不当に小さなものとなってしまった(図-8)。そこで4年を1齢階の単位とし、伐開あるいは間伐による林分の開放の前5齢階と後1齢階について分析した。結果を表-6に示

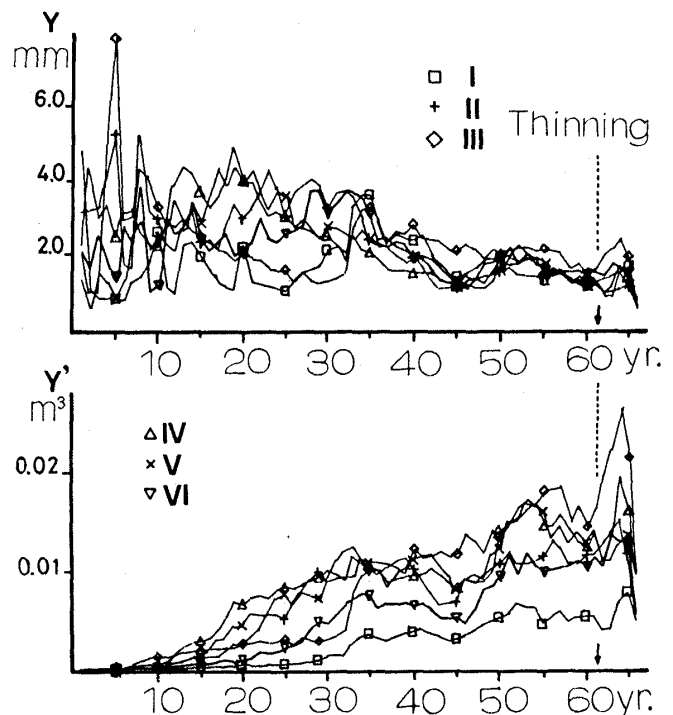


図-8. 成長量の指標の比較
Comparison between two growth indices

Y , 材積年成長/樹幹表面積 (mm); Y' , 材積年成長 (m^3)。ローマ数字は図-4で示した試料木番号である。
Notes: Y , Annual volume growth/surface area of stem (mm); Y' , Annual volume growth (m^3). Roman numbers are the same as Fig. 4, that of sample tree of Kyoyama.

表-6. 成長指標の分散分析
Analyses of variance for growth index

データ数 576 Y: 材積年成長/樹幹表面積 (0.1 mm)
Number of data Y: Annual volume growths/surface areas of stems (0.1 mm)

要因 Factors	自由度 Degrees of freedom						寄与率 Contributing portions	
		f	S	V	F	pr>F	S'	ρ
A: 採取地 Locations	3	94672.9	31557.6	377.85	0.0%**	94422.4	40.2%	
B: 開放・閉鎖 Openesses	1	366.8	366.8	4.39	3.7%*	283.2	0.1%	
C: 齢階 Age classes	5	41908.4	8381.7	100.36	0.0%**	41490.8	17.7%	
A*B	3	4008.5	1336.2	16.00	0.0%**	3758.0	1.6%	
A*C	15	39981.0	2665.4	31.91	0.0%**	38728.2	16.5%	
B*C	5	3307.2	661.4	7.92	0.0%**	2889.7	1.2%	
A*B*C	15	6434.3	429.0	5.14	0.0%**	5181.6	2.2%	
e	528	44097.7	83.5					
e'	528	44097.7	83.5			48023.1	20.5%	
計 Sums	575	234776.9				234776.9	100.0%	

F 値の有意性確率: * 5%, ** 1%.
Significant probabilities of F value: * 5%, ** 1%.

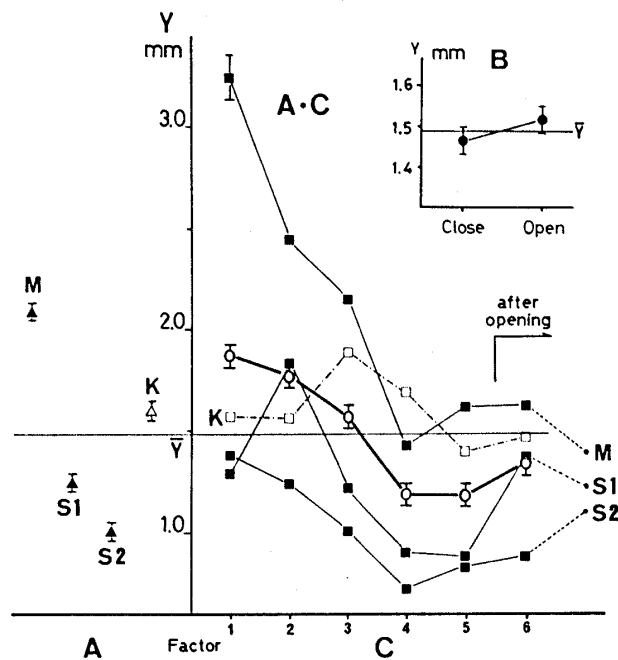


図-9. 成長量の分散分析の主効果
Main effects of growth index from analysis of variance

主効果: A, 採取地; B, 開放・閉鎖; C, 齢階。A の分類: M, 三宮山; S1, 新元重山1; S2, 新元重山2; K, 京山。横棒は 95% の信頼限界を示す。
Factor: A, Location; B, Openess; C, Age class. Classes of A: M, Mimuroyama; S1, Shinmotoshigeyama-1; S2, Shinmotoshigeyama-2; K, Kyoyama. Bars indicate 95% confidence limits.

す。すべての要因が有意な結果となったが、寄与率の大きな A, C, A * C の三つの要因と寄与率の小さい B の要因について考察する。これらの要因の主効果を図-9 に示す。A * C の主効果のグラフには、京山以外の採取地については 7 番目の齢階にあたる 4 年間の Y の値の平均も点線で示した。

要因 A の主効果をみると京山は 4 カ所の採取地の中では中間の値となっている。要因 C の主効果をみると、林分の開放以前までは成長が落ちてきているが、開放後に成長が増加していることがわかる。A * C の主効果で採取地間の C の効果の違いをみると、京山の開放後の成長の回復の程度は四つの採取地の中で中間となっている。寄与率が非常に小さい要因 B は主効果の分類間の差も小さい。これは林分内での疎密度の違いの効果は、林分の開放すなわち林分全体の疎密度の変化ほど大きくないことを示していることになる。

V. ま と め

伐出作業による林地の損傷については、当該現場ではスキッドによる林床の締固めは有意なものではない。調査した 2 個のプロットのうち平均径級が大きく立木密度が低いプロット 1 の方に残存木の消失木のほとんどが属していた。消失の直接の原因は雪害あるいは台風害である。伐出作業による損傷が間接の原因となった可能性も否定はできないが、プロット 2 では被害木も含め、ほとんど消失木が生じていないことから、消失木発生の間接の原因は立木密度の低さにある可能性の方が高いと考えられる。すなわち本研究で調査した伐出作業後の林分は、被害木も含めて成長という面では否定できる要素はないが、より残存立木密度の低いプロットから多くの消失木が生じていることから、高い間伐率が林分の一部で雪害あるいは台風害への耐性を低めた可能性がある。なお、樹幹解析用の 6 本の資料木の形状比の平均は 90.8 であり、当該林分は完満度の高い立木からなる林分であったことが推察される。伐倒木の接触あるいはスリングロープの擦れが原因とみられる損傷が生じた被害木は残存木の 18% で、損傷は悪化する傾向を示した。しかし伐出被害木と無被害木の直径成長の間には統計的に有意な差はなく、また間伐後の林分の成長は比較した他の林分に対し遜色はなかった。

伐出による損傷については悪化する傾向があることから、被害木の成長への影響についてはさらに経過を追う必要がある。損傷の積極的な発生防止や伐出作

表-7. 作業経費

Cost of logging operation

項目 Items	金額 Costs	単位 Units	作業道・搬出路作設 Spur road construction
賃金 Labor fees	12261	円/人日 ¥/man·day	延長 (m) Lengths 453
スキッド損燃料 Skidder costs	15864	円/台日 ¥/car·day	経費 (千円) Cost (¥1000) 1040
チェーンソー損燃料 Chain saw cost	3291	円/台日 ¥/unit·day	単価 (¥/m) Unit cost 2296

作業条件

Operation conditions

総作業量 900 m³, 作業道 453 m 作設, 2.50 m³/人日

4人組基本, スキッド1台, チェーンソー2台使用

Operation lot 900m³, Spur road 453m, 2.50m³/man·day

4 man crew base, 1 Skidder, 2 Chain saw

組人数 Crew members	伐出経費 Logging costs	増加分 Cost increments
4	8305 円/m ³ ¥/m ³	—
5	9531 円/m ³ ¥/m ³	1226
6	10757 円/m ³ ¥/m ³	2452

業時に十分な保護措置をとるなどの対策が必要と考えられる。

最後に伐出被害の保護措置について考察する。本林分の施業目標である収益の最大化のためにも損傷による残存林分の価値の低下は避けなければならない。実際 1987 年の伐出作業の功程調査時には補助作業員が残存木の根元に保護材を取り付ける作業を行っていた。伐出被害木の調査結果から、残念ながらこの保護措置は完璧なものではなかったことがわかったが、利用される部分の高さの損傷は少なかったことからある程度の効果はあげているものといえる。このように、残存木の損傷を防ぐための措置として伐出作業時に残存木の保護措置専門の作業員を配置することが考えられる。十分な準備と訓練を積めば、保護措置の効果も高められるであろう。そこで、保護措置専門の作業員を配置した場合の伐出経費の負担を試算してみる。1987 年と 1988 年の調査結果から作業経費を計算する(9)と表-7 のようになる。作業条件として総作業量, 作業道作設延長は 1987 年と 1988 年の 2 年間の合計を想定する。作業功程(表-1 の生産性の値)については功程調査による値は年間平均の値に比して概して高く, 作業員の心理への影響や作業余裕の取り方などへの配慮が不十分であった可能性が考えられるため, 年間平均の平均値 2.50 m³/人日を想定する。伐出作業は 4 人組で行われるものとし, 保護措置専門の作業員が 1

名あるいは 2 名加わった場合, 作業経費は 8,300 円/m³ に加え 1,200 円/m³ あるいは 2,500 円/m³ と 15~30% 増加する。これに対し当該現場のヒノキの販売価格が 1986 年度は 47,000 円/m³(5)。1987 年度は 67,000 円/m³ であった。損傷の減少と品質向上による販売価格の上昇や損失木の減少による総収穫量の増加などの効果, 相場の変動なども考えられるが, ここでは上述の条件を仮定し 1986 年度の販売価格で計算すると, 保護作業員を 2 名にした場合, その費用は材の販売価格から伐出経費を除いた金額の 6.5% にあたる。

本研究の遂行にあたっては, 福山営林署および新見営林署の方々にたいへんお世話になった。また, 調査に際しては京都大学農学部林業工学研究室の専攻生諸氏および鳥取大学農学部林業工学研究室卒業生川口彰宏氏の協力を得た。ここに謝意を表す。

引用文献

- (1) BECKER, von G., HOFMANN, R., ROEDER, A., EISENBARTH, E. and HANEWINKEL, M. (1989) Bodenschäden durch Forstmaschinen auf Tonstandorten? — Entstehung, Messung, Begrenzung —. Forst- u. Holzw. 44: 507~512.
- (2) 家原敏郎 (1989) 無間伐ヒノキ林分の生長と林分構造の推移 — 新重山固定試験地の生長経過. 日林関西支講 40: 107~110.
- (3) 神崎康一 (1983) 最大原理による最適伐期の判定について. 日林誌 65: 29~33.
- (4) 神崎康一・中村宗治 (1987) 最大収益を目標とした最適収穫過程 — 石原氏の提言による選木基準へのアプローチ. 日本林業の将来. 29~40, 佐々木功教授定年退官記念事業会, 京都.
- (5) 大阪営林局福山営林署 (1987) 昭和 61 年度技術開発報告書別冊 — 最大収益施業林複層林施業における車両系搬出技術体系の検討. 51 pp.
- (6) 大阪営林局新見営林署 (1987) 昭和 61 年度技術開発報告書別冊 — 最大収益施業林・新見. 25 pp.
- (7) 鈴木保志・神崎康一・出来俊彦・田中良明 (1989) ホール型スキッドによる択伐伐出作業. 100 回日林論: 713~714.
- (8) 堤 利夫・濱谷稔夫・武藤憲由・片岡寛純・真下育久・陣内 巖・橋詰隼人・岡田幸郎・宮島 寛・千葉宗男・川名 明・野上寛五郎・浅田節夫・須藤昭二 (1981) 新版造林学. 234 pp, 朝倉書店, 東京.
- (9) 梅田三樹男・辻 隆道・井上公基 (1982) 標準功程表と立木評価. 140 pp, 日本林業調査会, 東京.
- (10) 山田茂夫・村松保男 (1963) 再訂増補例解測樹の実務. 258 pp, 地球出版, 東京.
- (11) 山畑一善・舛岡 学 (1959) 樹木の生長解析法に関する研究 (I) 偏心円盤の面積査定法. 日林誌 41: 93~97.

(1993 年 3 月 24 日受理)