HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道大学和歌山地方演習林におけるスギ・ヒノキ複層林の施業実験(IV)：列条間伐作業と樹下植栽木の被害
Author(s)	湊, 克之; 門松, 昌彦; 野田, 真人 他
Citation	北海道大学農学部 演習林研究報告, 54(2), 143-158
Issue Date	1997-09
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21412
Type	departmental bulletin paper
File Information	54(2)_P143-158.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学和歌山地方演習林における スギ・ヒノキ複層林の施業実験（Ⅳ）

—列条間伐作業と樹下植栽木の被害—

湊　克之*　門松　昌彦*　野田　真人*　小宮　圭示*

Experimental Studies on the Conversion of Japanese Cedar and Japanese Cypress Plantations to the Multi-storied Forests in Wakayama University Forests, Hokkaido University (Ⅳ) Line thinning work and damage of under-planted trees in forests

by
Katsuyuki MINATO*, Masahiko KADOMATSU*,
Masato NODA* and Keiji KOMIYA*

要　旨

複層林施業の実験計画にしたがって，1996年に第2回の上層木の間伐試験を実施した。今回の実験は，今後の労務事情から直営による試験継続が困難視されることから，立木処分による継続を念頭に置いた作業法を採用した。すなわち，作業法はハイリード式集材による1伐2残の列条間伐とした。また調査項目は，立木処分に供する場合に必要と思われる作業功程，保残木の被害についての資料採取とその分析に主きをおいた。最後に，これら調査結果から立木処分成立の可能性について考察した。

試験の結果，作業法については上述の方法での集材で幅員3mの林道上での造材が可能であった。作業功程については，事業規模100m³程度での平均的な作業功程1m³/人工が得られた。保残木の被害については，上層木で10.6%，下層木で41.2%の被害が発生したが，これらは今後の施業にとって大きな障害にはならないと判断した。

以上から，立木処分成立の可能性は高いと結論した。

キーワード：複層林施業，列条間伐，立木被害，作業功程，立木処分

1997年3月31日受理．Received March 31, 1997

*北海道大学農学部附属演習林
The Hokkaido University Forests, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060

目　　次

Ⅰ　はじめに……144
Ⅱ　作業方法……145
　1．作業対象林分……145
　2．作業順序……145
　3．作業の人員配置……147
Ⅲ　作業結果……147
　1．作業結果の概要……147
　2．林分構造の変化……148
　3．間伐材の収穫……148
　4．保残木の被害……149
　5．作業功程の概要……151
　6．集材・造材作業の時間分析……151
Ⅳ　考　　察……152
　1．施業林分の変化について……152
　2．作業功程について……153
　3．残存木の被害について……156
　4．立木処分に向けて……156
Ⅴ　おわりに……157
引用文献……158
Summary……158

Ⅰ　は　じ　め　に

北海道大学和歌山地方演習林（以下，和歌山演習林とする）では，1931年から1937年にかけて植栽されたスギ・ヒノキ人工林に対して生産材の多様化，林地の保全などいくつかのメリットを期待し1981年から1987年にかけて第1回の定性間伐と樹下植栽をおこない，単層林を複層林に誘導する施業実験を実施した。その結果，現在約21haの複層林が形成されている。この複層林施業に関する意義や実験計画等については「北海道大学和歌山地方演習林におけるスギ・ヒノキ複層林の施業実験Ⅰ（1989）」[1]，その他[2,3]で詳しく述べられている。

この実験計画では，上層木の成長予測や林内照度の推移予測から下層木の成長のためには，第1回間伐後の15年後に第2回間伐をおこなうこととしている。

1996年に第1回の施業実験開始から15年後に当たる林分で，実験計画に従って第2回の間伐をおこなった。この結果について報告する。

第1回の間伐は，単線循環式集材法[4]による定性間伐をおこなった。しかし，今回の間伐は，直庸労働組織が初回間伐時に比べて半減したため，前回と同様の方法による定性間伐をおこなえる環境になかった。さらに，なお一層の減少が確実視される。このことは，次年度以降の直庸労働組織による施業実験の継続は困難であると思われる。

このような理由から，第一に現有の直庸労働組織でおこなえる作業法であること，第二に次年度以降の実験を継続するには立木処分に頼らざるを得ない状況にあることを想定して，立木処分を可能にする作業法やその根拠となるデータを得ることを目的として，以下の作業法を採用した。

間伐は，第1回と異なり列条間伐とした。1931年造林時の植栽列は等高線に沿っているので，植栽列が必ずしも林道と直交方向でなかったが，植栽幅は概略1列3mとなっていたので，3m幅の伐採帯と6m幅の保残帯とを繰り返すことにより，林道と直交方向のいわゆる1伐2残に近い列条間伐とした。集材法は，集材機で操作されるワーヤーロープで全幹材を列の上方の林道路面まで引き上げるハイリード式地曳き集材でおこなった。列の上方への地曳き集材は，架空索集材に比べて配置人員が少なくてすみ，既存の集材機やタワーヤーダでも集材が容易におこなえるためである。

この論文は，主として立木処分をおこなうについての必要な知見を得るための作業方法，作業功程，作業による下層木の被害についての検討に止めた。複層林施業の第1回から第2回間伐にかけての時系列的な下層木の成長や林内照度の推移については，別に報告する。

II 作 業 方 法

1．作業対象林分

間伐実施林分は，1981年に第1回の定性間伐と樹下植栽を実施した5林班の内1.11haを対象にした。林地は南斜面で，傾斜度は20～30度であった。対象林分の位置を図-1に，また列条間伐位置を図-2に示す。

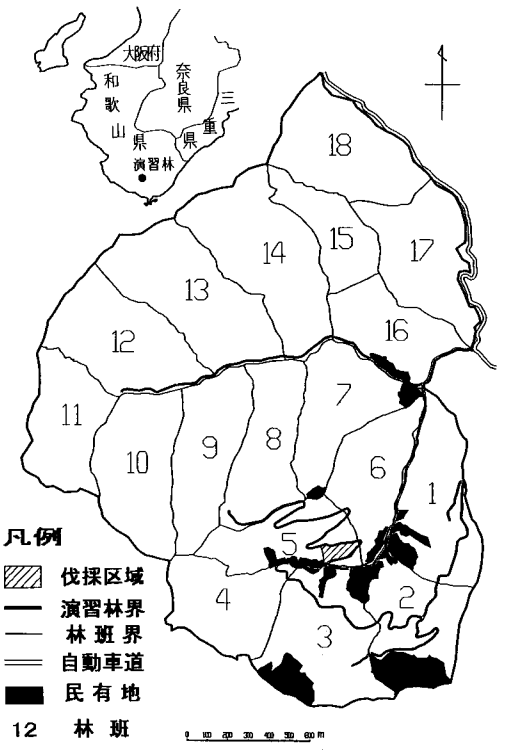

図-1 施業位置図

2．作 業 順 序

1）伐倒作業

作業順序は，まず伐採列に指定された列の下方の上層立木から順に斜面上方に向けての伐倒と枝払いをおこない，順次上方の立木に同様な作業をおこないながら，その列条の全上層立木を伐倒する。結果として，指定列内の立木は梢端を上方に向けた全幹材として下から順に倒れ重なった状態となる。

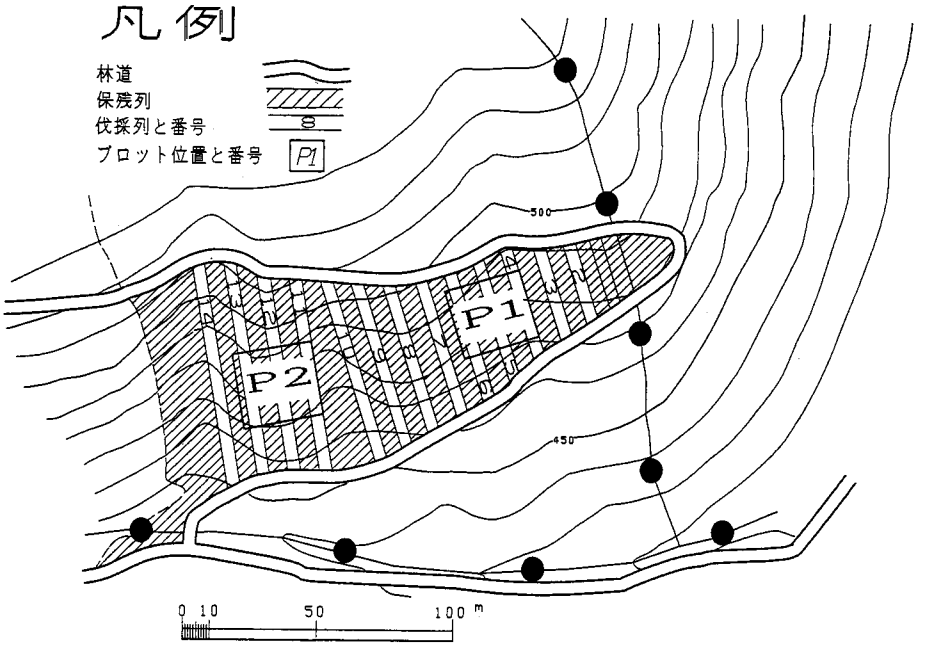

図-2　列条間伐列とプロット位置図

2）集材作業

集材に使用した集材機は釜原鉄工社製SK30A，第1ドラムの最大巻上力2,449kgを使用した。なお，試験的に列番号2列目を，これよりも小型の南星社製K－1（最大巻上力750kg）を使用したが，1m³を超える全幹材にたいしては十分な引き上げ力を得られなかった。集材は集材機で操作される荷揚げ索（直径12mm）の先端に付けられたフックを全幹材の梢端部に取り付けられる荷掛けロープに掛け上方の林道路面に直角に引き上げられる。玉切り造材は幅員3m前後の路面上でおこなわれるため，同一全幹材を引き上げ，玉切り，さらに4m程度の引き上げ，玉切りを複数回繰り返し1本の全幹材を処理した後，次の全幹材の処理に掛かることになる。ただし，林道直下の立木は伐倒時点で梢端部が路面にかぶさり，改めての地曳き集材の必要がない全幹材も発生している。

荷揚げ索の引き戻しは，荷揚げ索の先端とエンドレス状に繋がれた引き戻し索（直径9mm）でおこなわれる。

索張り方式のうち，荷揚げ索の索張りは林道上端におかれた集材機から列方向に直角に引き出されたロープを該当列位置の上方の伐区外立木に引き上げ材の先端を浮かすため高さ10m前後の位置に取り付けられたブロックを介して直角に曲げ，該当列に向かうことになる。また，引き戻し索は荷揚げ索と同方向から出て該当列でブロックにより列方向に向かい，列最下方の伐根に取り付けられたブロックを介して上方から延びている荷揚げ索の先端と繋げるエン

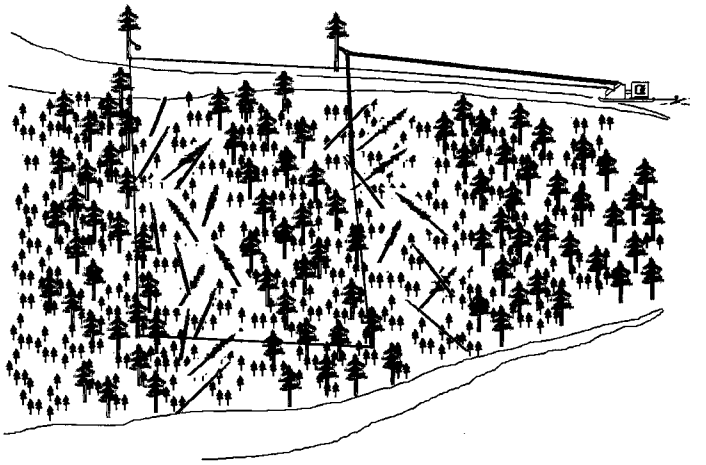

図-3　ハイリード索張り概念図

ドレス状のハイリード式索張り方式とした。ただし，この引き戻し索は伐採列が変わる度におこなわれるブロックの付け替え作業の一部を省略のため複数の伐採列を大廻しされることが複数列でみられた。図-3に，索張りの概略を示す。

3．作業の人員配置

通常の作業種別人員配置は，集材機運転１名，ワイヤー掛け１名，ワイヤー外し兼合図掛かり１名，玉切り造材１名の計４名が集材・造材の基本的配置となる。さらに，林道路面の作業空間を確保するために林道路面の造材木を中間土場まで搬送するホークローダ運転の１名が適時加わる外，先行伐倒・枝払い作業として１～２名の伐木手を配置していた。

III　作　業　結　果

1．作業結果の概要

収穫材の生産は，伐採木の指定から始まり，立木伐採・枝払い，集材機等機器類の搬入・設置，ロープの張り回し，集材・造材，土場への搬送・椪積みを経て機器類の撤去で終わる一連の作業過程が考えられる。作業功程を算出する場合は，これら全ての過程に関わる人工数を検討対象とした。

作業期間は1996年10月30日から12月４日にかけて，実質作業日数は集材機の置設・撤去，土場積み作業を含め21日間であった。この作業で，間伐面積1.11ha，伐採列数13，立木本数209本，立木幹材積136.58m³を処理し，材長４mの素材本数868本，材積124.232m³を生産した。

表-1　上層木のプロット別の林分構造

プトット No.			1			2			こみ		
			平均	最少	最大	平均	最少	最大	平均	最少	最大
施業前		本数	49(784)			64(1024)			113(904)		
		材積 (m^3)	38.3(612.6)			40.6(649.5)			78.9(631.2)		
		胸高直径 (cm)	29.2	17	45	27.0	14	47	28.2	14	47
		樹高 (m)	20.8	17	26	20.0	14	25	20.3	14	26
		幹材積 (m^3)	0.71	0.20	1.71	0.58	0.11	1.78	0.63	0.11	1.78
伐倒後	保残木	本数	27(432)			39(624)			66(528)		
		材積 (m^3)	19.1(304.8)			22.6(361.8)			41.7(333.3)		
		胸高直径 (cm)	29.2	17	45	27.0	14	47	28.2	14	47
		樹高 (m)	20.8	17	26	20.0	14	25	20.3	14	26
		幹材積 (m^3)	0.71	0.20	1.71	0.58	0.11	1.78	0.63	0.11	1.78
	伐採木	本数	22(352)			25(400)			47(376)		
		材積 (m^3)	19.2(307.8)			18.0(287.7)			37.2(297.8)		
		胸高直径 (cm)	32.1	16	47	29.6	14	47	30.8	14	47
		樹高 (m)	21.9	16	26	20.6	15	25	21.2	15	26
		幹材積 (m^3)	0.87	0.16	1.85	0.72	0.12	1.78	0.79	0.12	1.85
択伐率		本数 (%)	44.9			39.1			41.6		
		材積 (%)	50.2			44.3			47.2		

注：本数・材積の項目の（　）内はha換算値

2．林分構造の変化

対象とした林分のプロット別にみた施業前後の上層木の林分構造の変化の概要を表-1に示す。これらのプロットは1981年に実施した第1回の定性間伐時に，固定プロットとして設定したものであり，その位置を図-2に示す。表-1のプロット1，2をこみにした数値から施業前のha当たり上層木の立木本数904本から528本で本数択伐率41.6%，蓄積631.2m^3から333.3m^3で材積択伐率47.2%となっている。施業前後の下層木の変化を表-2に示す。表-2から下層木は施業前の1,712本/ha（平均樹高3.9m，平均胸高直径3.9cm）から伐倒過程で1,168本へ，さらに集材過程を経て1,008本/haへと減少している。下層木の減少は全て作業に拠って生じた被害である。したがって，残存率は伐倒過程ですでに68.2%減となり，最終的には集材過程を経て58.9%となっている。

3．間伐材の収穫

間伐材の収穫は，5林班の伐区面積1.11haを対象に1伐2残の列条間伐で伐採列数13列，列長累計810m（列長39.3m～81.7m）から収穫した。伐採列別の立木本数と素材本数を表-3に示す。表-3から伐採立木本数209本，立木材積136.58m^3から材長4mの素材868本，素材材積124.232m^3を，材積歩止まり91.0%で収穫した。

表-2　下層木のプロット別の林分構造

プトット No.		1			2			こみ		
		平均	最少	最大	平均	最少	最大	平均	最少	最大
施業前	本数	112(1792)			102(1632)			214(1712)		
	胸高直径（cm）	4.6	1.2	7.6	3.1	1.2	5.6	3.9	1.2	7.6
	樹高（m）	4.7	2.2	6.9	3.1	1.9	5.0	3.9	1.9	6.9
伐倒後	本数	81(1296)			65(1040)			146(1168)		
残存率（%）		72.3			63.7			68.2		
集材後	本数	74(1184)			52(832)			126(1008)		
残存率（%）		66.1			51.0			58.9		

注：本数・材積の項目の（　）内はha換算値

表-3　伐採列別間伐対象立木と収穫素材の内容

間伐対象立木 列No.	列長 (m)	立木本数	立木材積 (m^3)	胸高直径（cm） 平均	最小	最大	樹高（m） 平均	最小	最大	材積（m^3） 平均	最小	最大
1	（伐採不実行）		4.43	31.7	24	40	20.5	17	23	0.738	0.41	1.17
2	39.3	6	4.91	31.3	22	44	22.2	18	25	0.818	0.32	1.58
3	44.5	11	9.38	31.6	18	42	22.5	15	25	0.853	0.22	1.45
4	51.3	13	13.13	34.5	19	56	21.6	16	26	1.01	0.23	2.45
5	54.4	16	11.70	29.8	16	47	20.3	16	25	0.731	0.16	1.78
6	57.5	14	8.98	28.2	18	47	20.1	15	26	0.641	0.19	1.85
7	61.0	13	9.34	30.3	20	42	21.1	17	24	0.718	0.28	1.39
8	63.3	17	9.07	25.8	15	39	19.1	15	25	0.533	0.13	1.21
9	60.1	16	9.16	27.1	16	41	19.1	13	25	0.553	0.14	1.39
10	61.5	19	8.99	25.3	13	40	18.2	12	24	0.487	0.08	1.27
11	76.0	22	10.71	25.3	14	42	18.3	14	25	0.487	0.12	1.45
12	80.0	22	13.61	28.1	16	41	20.4	14	24	0.619	0.17	1.22
13	79.4	20	14.04	28.9	14	47	20.4	14	25	0.702	0.11	1.78
14	81.7	20	13.56	30.1	17	48	20.2	15	25	0.704	0.18	1.78
合計	810.0	209	136.58	28.9	13	56	20.3	12	26	0.738	0.08	2.45

収穫素材（材長 4m） 樹種	立木本数	立木材積 (m^3)	等級	造材本数	造材材積 (m^3)	歩留まり (%)
スギ	209	136.58	元玉	142	37.883	
			中玉	600	80.462	
			込等	126	5.887	
			合計	868	124.232	91.0

注：伐採列1列は不実行，2列は小型集材機による試験的集材

4. 保残木の被害

1）上層木の被害

上層木の被害調査は，伐出後に伐区内の全保残木について剝皮の有無，剝皮有については

剝皮箇所の長さと幅から剝皮面積を算出した。

上層保残木の剝皮面積からみた被害状況を表-4に示す。伐区内の立木被害本数28本，プロット調査から推定した被害率は10.6%であるが，その内，剝皮面積500㎠以下の被害度弱が72%を占めていた。

表-4　上層保残木の被害

プロット No.		伐区全域	1	2	こみ
全本数		−	27	39	66
被害本数		28	3	4	7
被害度	強	1	1	0	1
	中	5	0	1	1
	弱	22	2	3	5
	計	28	3	4	7
被害率(%)	強	−	3.7	0	1.5
	中	−	0	2.6	1.5
	弱	−	7.4	7.7	7.6
	計	−	11.1	10.3	10.6

注：強＝剝皮面積が1,000 ㎠ 以上で生育不可能，
中＝剝皮面積が500〜1,000 ㎠ で生育可能だが欠陥材となるもの，
弱＝剝皮面積が500 ㎠ 以下で健全木に回復可能

2）下層木の被害

下層木の被害調査は，伐倒後と集材後に潰れ，折れ，剝皮，倒れ，曲がり，人為的な伐倒の6種類について，その有無をプロット内の全下層木について調査した。

プロット区内の下層木の施業過程別被害状況を表-5に示す。表-5から下層木の被害率は41.2%で，その内伐倒過程ですでに31.8%の被害率を示している。

表-5　下層木の被害（プロット区）

プロット No.	1	2	こみ
施業前本数	112	102	214
伐倒による被害本数	31	37	68
被害率（%）	27.7	36.3	31.8
集材による被害本数	7	13	20
被害率（%）	6.2	12.7	9.3
施業後本数	74	52	126
被害率（%）	33.9	49.0	41.2
残存率（%）	66.1	51.0	58.9

注：不明本数も被害本数に加算した

また，調査対象とした6列の伐採列での下層木被害は表-6となる。表-6から被害率51.0%となり，その内伐倒過程で38.1%の被害率を示している。列間の被害率は非伐採列を含むプロット調査よりそれぞれ約10%増加していることになる。

表-6　下層木の被害（伐採列区）

伐採列 No.	4	5	6	11	12	13	こみ
施業前本数	37	27	47	41	42	45	239
伐倒による被害本数	11	9	15	21	23	18	91
被害率（%）	29.7	33.3	31.9	51.2	54.8	40.0	38.1
集材による被害本数	5	1	23	1	4	11	31
被害率（%）	1.4	3.7	6.4	2.4	9.5	24.4	13.0
施業後本数	21	17	29	19	15	16	117
被害率（%）	43.2	37.0	38.3	53.7	64.3	64.4	51.0
残存率（%）	56.8	63.0	61.7	46.3	35.7	35.6	49.0

注：不明本数も被害本数に加算した

3）下層木の被害の内容

下層木の被害種別の比率を表-7に示す。表-7からプロット区，伐採列とも伐倒後では曲がりが最も高く，集材後は剝皮が最も高くなっている。

表-7　下層木の被害種率（%）

調査区 作業種	被害種	プロット(こみ)	列こみ
伐倒後	潰　れ	14	11
	折　れ	26	16
	剝　皮	26	21
	倒　れ	15	12
	曲　り	40	54
	伐　倒	2	4
	重　複	23	18
集材後	潰　れ	5	2
	折　れ	22	15
	剝　皮	47	44
	倒　れ	17	17
	曲　り	3	4
	伐　倒	34	40
	重　複	28	22

注：被害種数は出現数，重複は外数として計算した比率

5．作業功程の概要

この間伐作業全体に関わった作業人工を表-8に示す。表-8から，小型集材機による試験集材作業を含めて，総人工数137.375人工であった。作業比率は集材機の設置・撤去を含めた集材・造材が52.5%，伐倒・枝払が23.5%で全作業の76%を占めている。このように137.375人工で素材124.232m³を生産したことになり，生産性は0.904m³/人工となる。

6．集材・造材作業の時間分析

集材・造材作業の詳細な作業種を知るため，処理されている材に直接関わっている作業種別時間と材の大きさ集材距離等を調査した。対象とした伐採列は林道下方から3列目，4列目，5列目の3列について，また作業種は10種類に整理した。列別・作業種別にみた時間分析結果を表-9に示す。時間分析の対象にした全幹本数は31本，材積で25.74m³であったが，その内の8本は伐倒時点で梢端部がすでに林道路面に到着していて改めての地曳き集材をおこなう必要がなく，集材距離の累計は382.0mであった。表-9から集材・造材作業の内，集材作業に関わる時間は作業時間全体の24.2%，造材に関わる時間は

表-8　作業種別所要人工

作業種 伐木集材作業人工数(人)	人工数（比率%）	小型集材機での人工数 (内数，列No. 2)
集材機等器具の設置	5.750 (4.2)	2.750
撤去	6.750 (4.9)	
伐倒	14.000 (10.2)	0.125
枝払い	18.250 (13.3)	0.125
集材	32.625 (23.7)	1.500
造材	20.875 (15.2)	1.500
ロープ張り替え	6.125 (4.5)	
山土場巻立て(ホークローダ)	11.000 (8.0)	
処分土場巻立て(ホークローダ)	1.000 (0.7)	
〃　(人力)	3.000 (2.2)	
土場間運材	18.000 (13.1)	
計	137.375	6.000

注：実質稼働時間は現場就労時間9：00～16：30（内休憩・休息時間1.5時間）を除いた6.0時間となる。

59.3%と，造材に関わる時間が60%近くを占めている。

表-9　列別・作業種別時間分析表

伐栽列	4			3			5			合計			
地曳き全幹本数	4			9			10			23			
材積 (m^3)	2.73			6.39			8.65			17.77			
延集材距離(m)	52.0			181.0			149.0			382.0			
列長(m)	51.3			44.5			54.4						
路面上処理全幹本数	4			−			4			8			
材積(m^3)	5.62			−			2.35			7.97			
合計													
作業種別時間(秒)	回数	総数	平均	回数	総数	平均	回数	総数	平均	回数	総数	平均	比率(%)
1. ロープ送り出し	3	205	68.3	8	1170	146.3	9	1350	150.0	20	2725	136.3	9.0
2. 全幹地曳き集材	5	633	126.0	10	2580	258.0	10	1050	105.0	25	4263	170.5	14.1
3. 玉切り	26	4577	176.0	15	1805	120.3	46	4555	99.0	87	10937	125.7	36.1
4. 全幹上方移動	16	1359	84.9	8	770	96.3	30	2020	67.3	54	4149	76.8	13.7
5. 全幹下方移動	9	830	92.2	0			8	570	71.3	17	1400	82.4	4.6
6. ロープ掛け替	4	369	92.3	2	510	255.0	13	620	47.7	19	1499	78.9	4.9
7. 丸太整理待ち	9	924	102.7	2	180	90.0	1	255	255.0	12	1359	113.3	4.5
8. トラブル	2	170		0			2	470	235.0	4	640	160.0	2.1
9. 列替えブロック脱着	1	1715	1715.0	1	1600	1600.0	2	3315	1657.5	11.0			
実質作業時間計											30287		100.0
10. 休憩・休息	1	4122	4122.0	1	1570	1570.0	2	3981	1990.5	4	9673	2418.3	

Ⅳ　考　　察

今回実施した複層林施業実験は，直庸労働組織の減少と今後の立木処分による試験の継続を視野において，1981年に実施した単線循環式集材法式による定性的な間伐方法でなく，省力化や効率性を考慮してハイリード式地曳き集材による定量的な列条間伐方法を採用した。

ここでは主として，この作業方法での作業功程と，下層木の被害について検討する。加えて，前述した立木処分実施に向けた考察もおこなった。

1．施業林分の変化について

1981年からの林分構造や林内照度の推移については別報で詳細に報告する。ここでは，施業前後の変化についての検討に止める。

図-4に上層木の本数と材積の変化と下層木の本数変化を，図-5-1にプロット1，図-5-2にプロット2での各立木位置と，作業後の状態を示した。表-1および図-4から，上層木の立木本数はha当たり約900本から530本，択伐率41.6%へと，また蓄積は約630m^3から330m^3，

択伐率41.6%へと減少している。これは，紀州地方スギ林林分収穫表（地位２等）[7]の林齢65年の立木本数421本/ha，蓄積480.2m³/haと比較して，蓄積は小さいが，立木本数で上回っていて，特に過伐とは思われない。

下層木は上層木の伐倒と集材作業によって，立木本数約1,700本/haから約1,000本/haへと減少しているが，その減少の80%近くはすでに上層木の伐倒過程で生じている。この下層木の被害は，図-5から伐採列区以外でも約20%程度の被害が生じている。これは，上層伐倒木が伐採列区外へ倒れ込んだ結果であり，下層木の被害は伐採列区外へも影響を及ぼし，列外３mの下層木に及んでいる場合も見受けられた。

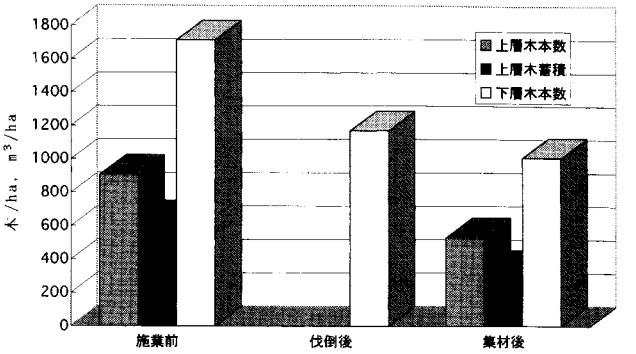

図-4　施業による林分の変化（プロット１，２こみ）

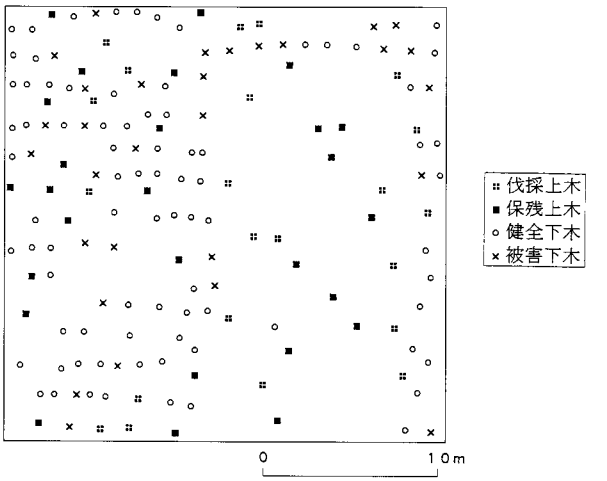

図-5-1　プロット１の立木位置と作業後の状態

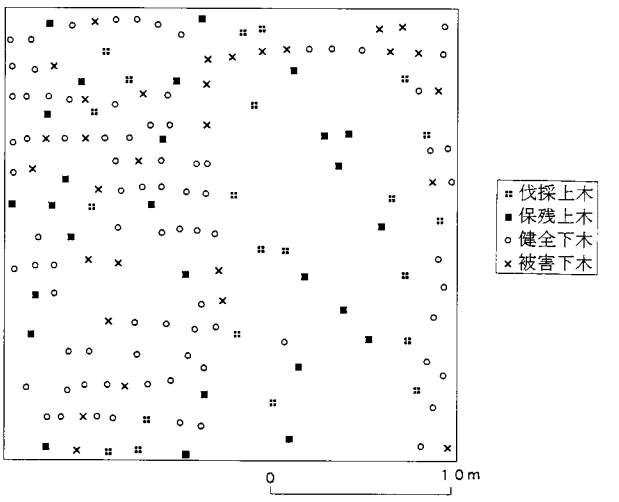

図-5-2　プロット２の立木位置と作業後の状態

２．作業功程について

１）所要人工からみた作業功程

作業功程は，立木処分が可能かどうかの大きな判断材料となる。今回の施業は伐区面積1.11ha，伐採列数13列，累計列長810m（平均列長62.3m），立木本数209本（平均胸高直径28.9cm，平均樹高20.3m），立木材積136.58m³（平均材積0.738m³）から造材本数868本，素材材積124.232m³を生産するに要した所要人工数は137.375人工であった。作業種別

に要した人工数比率を図-6に示した。ここでは，伐倒・枝払いされた素材を集材と造材を交互に繰り返しながら定尺材を生産する関係から造材手が集材を手伝ったり，その逆もあることから明確な作業種区別ができなかった。所要人工からみた作業功程は立木換算で0.994m³/人工，素材換算で0.904m³/人工となる。ただし，作業種別人工比率で集材造材，伐倒枝払いに続いて3番目にあたる比率を占める土場積みの16%については，立木処分の場合は直接トラックへの積み込がおこなわれるのが最も多いことから，この作業で要した土場における巻立ての必要がなくなり，22人工を減じることができる。その結果，所要人工は115.375人工となり立木材積で1.184m³/人工，素材材積で1.077m³/人工となる。この作業功程は1975年時点[6]のものではあるが，事業規模50m³～200m³で0.97m³/人工と同程度となっている。また，1981年に単線循環式集材[4]でおこなった作業功程1.24m³/人工からは劣るが，後述する事業規模換算後の作業功程と同程度となる。このことは，この作業方法が功程面からみて立木処分適用の可能性を示している。

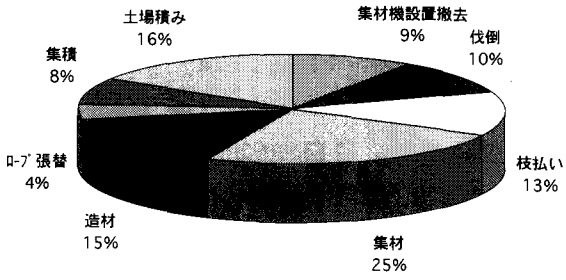

図-6　作業別人工数比率

2）立木処分での所要人工の推定

立木処分に供する立木価格の算定には，立木本数，材積，伐区面積，列条間伐では列数と列長，材質等が事前に調査されるのが一般的である。そこで，これらの事前調査データから所要人工を推定する算定式を検討した。

すなわち，推定要因となる作業種と関係数値とを以下のように考えてみた。伐木・枝払い・造材作業は立木本数と材積量，集材は立木本数と集材距離，ロープ張り替え時間は伐採列数，土場巻立ては材積，集材機の設置・撤去はその移動回数と深く係わる考えられる。このことを前提として，推定要因となる各作業種で単位当たりが要する人工数を調査結果の数値から計算したのが表-10である。この結果から，これと類似した地況林況で，かつ同じような作業

表-10　作業種別にみた単位当たりの作業功程

作　業　種	単位	功程（人工）	計算母数
伐倒・枝払	m³・本	0.00113	立木幹材積（136.53m³）
造材	m³・本	0.000730	〃
集材	m・本	0.00250	平均列長（62.3m）と立木本数（209本）
ロープ張替	列	0.510	列数12列
山土場巻立て	m³	0.0806	立木幹材積（136.53m³）
集材機設置・撤去	回	12.5	設置と撤去回数（1回）

仕組みで立木処分をおこなう場合の所要人工を推定する算定式は所要人工数をｙとすると(1)式となる。

$$y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 + ex_5 + fx_6 \quad (1)$$

ただし，ｙ：所要人工数（人）

x_1：伐木・枝払い(m^3・本)，x_2：造材(m^3・本)，x_3：集材(m・本)，x_4：ロープ張り替え功程(列数)，x_5：集積(m^3)，x_6：集材機の設置・撤去(回)

係数＝a：0.00113，b：0.000730，c：0.00250，d：0.510，e：0.0806，f：12.5となる

同一条件で収穫材積量（事業規模）を0.25倍，0.5倍，1.0倍，1.5倍，2.0倍，2.5倍とした場合の収穫材積と作業功程との関係は図-7となり，収穫材積量が小さいほど集材機の設置・撤去の影響が強く表れるが，150m^3以上ではその影響は急速に小さくなる。1982年におこなった単線循環式集材[4]での作業功程は立木材積333.6m^3の生産で1.26m^3/人工であったのに対して，この作業での作業功程は立木材積136.58m^3の生産で1.18m^3/人工であるが，(1)式から立木材積333.6m^3とすると作業功程は1.26m^3/人工となり，単線循環式集材法[4]による結果と同値となった。

3）時間分析から得られた作業種別内容

この時間分析で対象とした集材過程からの作業種別内容は表-9の通りで，素材の挙動分析から，造材と集材の時間区分，集材ロープ張り替えに要する時間，集材素材の本数，材積，林道上端からの距離と集材時間との関係，造材に要する素材移動の時間と回数等を検討した。収穫素材の挙動についての作業種別時間比率を図-8に示す。図-8から，チェンソーによる造材と造材付帯作業のロープ掛け替え，上下移動で全体の60%，集材と集材付帯作業のロープ送り出し，ロープ掛け34%，その他は待ち時間である整理待ちとトラブルとで6%となる。この時間分析から作業功程を上げるための作業方法の見直しは，待ち時間分の6%を縮小する見直し程度と思われる。集材・造材の作業状況を表現する一

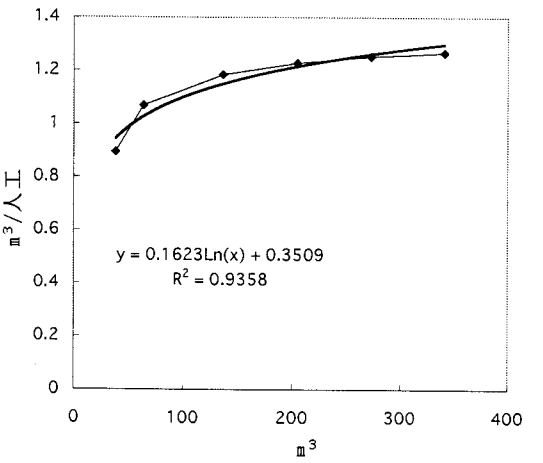

図-7　収穫材積規模と作業功程

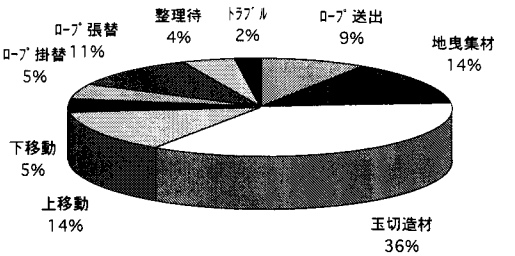

図-8　素材挙動の作業種別時間比率

つとしての作業別の頻度比率は図-9となり，最も頻度が多いのは造材玉切り作業で36%，次に玉切り箇所への集材機による材幹の上下小移動の30%となり，玉切りと小移動の繰り返しによる造材関連作業頻度が多くなっている。

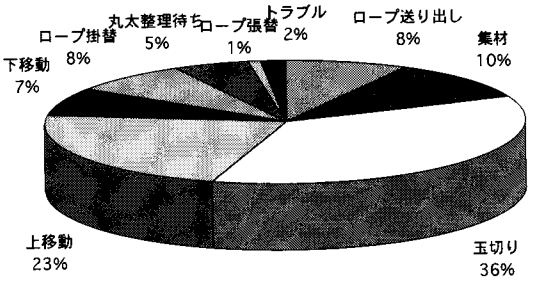

図-9　作業別出現頻度比率

3．残存木の被害について

1）上層木の被害

上層木のプロットでの被害率は表-4から10.6%で，その内の7.6%は被害程度が弱で大きな欠陥材とならないものである。すなわち，89.4%が無被害木であり，これに被害程度が弱を加えると97%が残ることになる。伐出作業では，この程度の被害木の発生は第1回の単線循環式集材法[7]でも生じている。

2）下層木の被害

上層木の被害が軽微なのに比べて，下層木の被害は表-5のプロット区で41.2%，伐採列区で51.0%と極めて大きい。予想では，伐採列区ではほとんどの下層木が被害を受け，保残列区ではほとんどの下層木が無被害ですむと思われた。しかし，作業後では伐採列区で50%近くが無被害で残り，逆に保残列区で20%近くに被害があることから，保残列区内の下層木にも被害が広範囲に及んでいたことになる。また，伐倒と集材の作業過程別に被害の発生率をみると，伐倒作業過程で被害の75%程度が発生し，集材過程では25%程度の被害発生になっている。

被害種別の比率はプロット区と伐採列区とで大きな違いはなく，伐倒過程では上層伐倒木が下層木の上からかぶさるように倒れることから曲がり被害が大きく，次に伐倒木との接触による剝皮となっている。集材過程では，集材移動される全幹材と下層木の接触による剝皮，次に集材の障害になる曲がり木の人為的な伐倒除去となている。下層木の被害による消失を少なくする方策として，上層木の伐倒をできるだけ伐採列区内に納め，曲がり木を人為的に立ち起こす等が考えれれる。しかし，作業後も1,000本/ha程度が残されることから，この下層木が順調に生育するならば，再めて樹下植栽をおこなう必要はないと考えられる。

4．立木処分に向けて

この施業実験の目的は，実験計画による実施の他に立木処分の可能性を検討することにあった。その一つは1伐2残の定量的な列条間伐と，これに適した作業法と，それによる作業功程である。二つには作業による保残木の被害，とくに下層木の被害状況を知ることにあった。

その結果，作業法については，和歌山演習林所在地付近の民間素材業者が普通に所有している直引力2トンクラスの集材機を使用したハイリード式索張りによる地曳き集材で，また造材作業も幅員3m程度の林道上でも充分対応できることが明かとなった。この索張りは，将来的には高性能林業機械のタワーヤーダ使用につながるものである。

作業功程は，素材材積で0.904m³/人工で，事業規模50m³～200m³での平均的な功程[3]の0.97m³にちかい数値であった。

作業により生じる保残木の被害は，上層木で約10%，下層木で約41%であった。上層木の被害については，他の作業法でも同程度の被害[7]が生じていることからみても許容できる範囲と思われる。下層木の被害率は41.2%で，1伐2残の列条間伐で伐採列は100%，保残列は0%として33%程度を予想したのに比べて大きい結果となった。しかし，1,000本/haが保残されことから，これらの生育を期待すれば，下層木本数がとりわけ少ないとも思われない。

V　おわりに

今回実施した第2回の複層林施業実験は，上述したように実験計画による実施の他，今後の立木処分による実験継続の可能性について検討した。立木処分を想定した場合，立木を購入する側は，できるだけ効率良く素材を生産することが収益につながり，他方，森林所有者は今後の財産である保残木の被害が少ないことを希求することになる。

以下で，複層林施業林分を対象にした立木処分の可能性について考察してみる。

購入者側にとって収益を左右する作業効率については，今回の1伐2残の列条間伐をハイリード方式で集材し，林道路面で造材する作業方法であれば1m³/人工程度の作業功程が期待できることから，樹齢65年程度のスギ材で事業規模100m³程度以上であれば立木処分が成立すると思われる。

他方，森林所有者にとっての関心事である保残木の被害は，上層木で10.6%，下層木で41.2%であった。下層木の被害率41.2%は，無被害木が1,000本/haであることから，これらが順調に生育することを前提とするならば，特に追加植え込みをおこなう必要があるほど過小とは思われない。このように，今回の調査から立木処分に供した場合，森林所有者側ではこの程度の被害が発生することを，また立木買い受け側ではこの程度の被害で作業ができることが明かなったことにある。また，上層木の被害率10.6%は，その70%は軽微な被害であることを考慮すれば，今後の施業にとって大きな障害とならないと思われる。

以上，作業功程面からもみても，また保残木のこの程度の被害を双方が許容し合うならば，立木処分成立の可能性は高いと思われる。ちなみに，この試験で生産された素材は演習林内の集積土場において28,680円/m³で，1997年1月8日に和歌山県在住の素材業者に落札された。

終わりに当たり，この実験に協力いただいた和歌山演習林の林業技能補佐員の方々，とく

に1996年度で退職される前田英之助氏，前田寿美夫氏に深謝の意を表する。

引 用 文 献

1) 湊 克之・他(1989)：北海道大学和歌山地方演習林におけるスギ・ヒノキ複層林の施業実験Ⅰ－林内照度と樹下植栽木の成長－．北大演研報 **46**(1)，83-109
2) 北大演習林(1984)：北海道大学和歌山地方演習林長期計画（1984～1993)．演習林業務資料 **18**，1-34
3) 北大演習林(1996)：北海道大学演習林長期計画（1995～2004)．演習林業務資料 **23**，63－72
4) 湊 克之・他(1990)：北海道大学和歌山地方演習林におけるスギ・ヒノキ複層林の施業実験Ⅲ－単線循環式集材の仕組みについて－．北大演研報 **47**(1)，71-82
5) 坂口勝美・他(1983)：スギのすべて．全国林業改良普及協会，629p
6) 林業機械化推進研究会編(1990)：機械化のビジョン．全国林業改良普及協会，177p
7) 湊 克之・他(1989)：北海道大学和歌山地方演習林におけるスギ・ヒノキ複層林の施業実験Ⅱ－伐採に伴う保残木の被害について－．北大演研報 **46**(3)，719-733

Summary

This paper presents the results of a thinning test performed in 1996 according to the experimental plan for management of multi-storied forests. As continuation of the test was expected to be difficult due to the labor situation, a method of logging operation was employed in this experiment with consideration to stumpage sale. For the logging operation, line thinning was carried out by high-lead system yarding, with one line cutting and two lines remaining. In this study, emphasis was placed on the collection and analysis of data concerning output per day and damage to reserved trees, which are necessary for stumpage sale. The possibility of stumpage sale was evaluated, based on the results of this study.

The following results were obtained. Log production with an output of $1m^3$/man per day was possible by the above method of yarding in logging operations. Damage was found in 10.6% of the upper-story reserved trees and in 41.2% of the lower-story reserved trees. This degree of damage was not thought to have a great adverse effecton the continuation of multi-storied forest management. From the results of this study, it was concluded that stumpage sale is possible.

Key word: Management of multi-storied forests, Line thinning, Damage of reserved tree, Output per day, Stumpage sale