

受入ID-1519990825D00072



平成 2 年度

国有林野事業特別会計 技術開発試験成績報告書

(完了分)

平成 3 年 10 月



02000-00043106-2

森林総合研究所

平成2年度国有林野事業特別会計 技術開発試験成績報告書

目次

1. 集材トラクタの転倒・転落事故防止のための力学的研究	1
2. 林業機械の振動騒音の防止	45
3. カラマツの葉枯らし等林内乾燥に関する研究	95
4. 複層林の収穫予測手法の開発に関する研究	127
5. 経済環境の変化に対応した木材価格の変動予測モデル	205
6. 人工造林地に更新した有用広葉樹の育成技術	243
7. カシ林の分布, 立地特性及び天然更新技術	269

集材トラクタの転倒・転落
事故防止のための力学的研究

集材トラクタの転倒・転落事故防止のための 力学的研究

I 試験担当者

生産技術部 林業機械科長

伐出機械研究室

造林機械研究室

九州支所 育林部長

辻井辰雄

朝日一司・上村巧・陣川雅樹

佐々木尚三・山田健

柴田順一

II 要旨

集材トラクタの転倒・転落事故について力学的検討を行った。まず、①国有林直営生産現場で発生した31件の事故例について、転倒に至る代表的な原因と型を分析した。次に、②つり上げ法により、クローラ（CT-35・D-30S）及びホイールトラクタ（T-50・T-40・T-30・T-20・T-10）の重心位置を調査・測定した。③アーティキュレートホイール形（T-50）については、屈折による安定性の変化が問題となるため、関節角ごとの安定範囲を求めるとともに、ウォーキングビームの動きを厳密に考えて重心位置の移動から安定範囲の検討を行なった。また、④T-50について関節角度ごとの各方向からの外力に対する安定性を実測した。⑤クローラトラクタについては、傾斜地走行や障害物乗越え時の車体傾斜角の検討・試験を行った。⑥トラクタの安定限界は重力と外力の合力（重力+外力+慣性力）が、車体の安定基礎の境界を越えるときとして得られる。転倒に至る車体動的挙動の一部を取り上げ、それらの合力の大きさなど力学的検討を行った。

III 試験目的

集材作業中に発生するトラクタの転倒や転落事故を防止するためには、作業方法や機械自身の改良に加え、運転者への安全教育をこれまで以上に重視することが必要である。

集材トラクタの転倒・転落事故の原因としては、傾斜地走行における車体固有の安定性の問題、木寄・材の衝突などによる外力効果、障害物乗越えなどによる動的効果などが考えられる。また、足まわりと地表の過度のストレス効果（スピードや傾斜などによる）や、

地表の摩擦不足（積雪・降雨・枝条や植生による）によってスリップが生じ、その結果、動的効果から転倒に至ることも考えられる。本研究ではこれらの問題のうち、固有の安定性、外力、動的効果について力学的検討を行い、やってはならない事項などについて運転者などの理解度を高める資料を提供することを目的とした。

（造林機械研究室・佐々木尚三）

IV 試験の方法と結果

1. トラクタ転倒転落事故の分析

トラクタ事故の形態とその原因を分析して発生頻度の多いものを抽出し、力学的に検討する必要のあるケースを明らかにする。トラクタ事故31例（表1）を収集し、分析した結果は次のとおりである。

1) 事故の形態

トラクタ事故の形態としては、「横転」（19例／31例：61.3%）、「滑落」（6例／31例：19.4%）、「その他」（6例／31例：19.4%）があった（図1）。

ここで、「横転」とはトラクタが外力によって引張られるか、地面の段差あるいは伐根などに乗上げるこよってトラクタが転倒するような状態をいう。「滑落」は外力あるいは段差や伐根が原因となってトラクタが滑る状態をいう。「その他」としては、ステアリングの操作ミスあるいは路肩の崩壊などを原因として発生した林道・作業道などからの転落、ブレーキのかけ忘れによる逸走、外力によるトラクタの回転などがある。なお、外力とはけん引中あるいは木寄せ中の材が立木や伐根などに引っかかった場合などにトラクタに対して発生する引張力のことを指す。

2) 事故の発生原因

トラクタ事故の発生原因としては、「引張られ」（14例／31例：45.2%）、「乗上げ」（10例／31例：32.3%）、「引張られと乗上げの「複合」したもの（2例／31例：6.5%）、「その他」（5例／31例：16.1%）がある（図2）。

「引張られ」は、けん引中あるいは木寄せ中の材が立木や伐根などに引っかかって、トラクタが引張られた状態をいう。「乗上げ」は、移動中に右または左の車輪の一方が段差、材あるいは伐根などに乗上げた状態をいう。また、「複合」とは「引張られ」に続いて「乗上げ」が発生した状態をいう。

(1) 横転の原因

事故の形態として最も多い「横転の原因」について分析した結果は、次のとおりである

（図3）。「引張られ」（9例／19例：47.4%）、「乗上げ」（7例／19例：36.8%）、「複合」（2例／19例：10.5%）、「その他」（1例／19例：5.3%）。

表 1. トラクタ事故

発生日	土質	傾斜	機種	場所	作業	原因1	原因2	内容
1965. 5.26	雪	0	ブルドーザ	路上	除雪	路肩崩壊		転落
75.11. 5	**	**	ブルドーザ	沢状傾斜面	移動	乗上げ		滑落
75.12.27	**	**	ブルドーザ	路上	移動	乗上げ		滑落
84. 4.27	**	**	トラクタ	路上	けん引	引張られ		横転
85. 2.12	**	**	**	路上	補修	乗上げ		横転
85. 4. 8	雪上	0	T 50	路上	木寄せ	引張られ	乗上げ	横転
85. 4.10	雪上	0	T 50	路上	木寄せ	乗上げ		横転
85. 4.17	雪上	18	T 50	路上	木寄せ	引張られ		横転
85. 9.24	裸土	8	T 50	路上	けん引	引張られ		横転
86. 1.28	**	0	T 50	路上	木寄せ	引張られ		横転
86. 3. 4	路面凍結	15	T 50	路上	けん引	外力による滑落	乗上げ	横転
86. 6.24	**	**	トラクタ	路上	停止	ブレーキせず		逸走
86. 8.21	裸土	10	T 50	路上	木寄せ	引張られ	乗上げ	横転
86. 9. 5	埴壤土	14	CT 35	路肩	木寄せ	引張られ	路肩崩壊	転落
86.10. 7	**	7	CT 35	路肩	木寄せ	引張られ		滑落
86.10.13	**	0	T 50	路上	道路補修	乗上げ		横転
86.11.13	軟弱	30	CT 35	山側路上	けん引	乗上げ		横転
86.11.25	雪上	14	T 50	路上	けん引	外力		回転
87. 4. 6	雪上	20	D 40	山側路上	移動	乗上げ		横転
87. 4.28	裸土	17	T 50	路上	けん引	引張られ		横転
87. 9. 4	裸土	13	T 50	路上	けん引	引張られ		横転
87. 9.30	裸土	10	T 50	路上	けん引	引張られ		横転
88. 2.26	黒色火山	6	T 50	路上	けん引	引張られ		横転
88. 8.10	八雲層	15	CT 35	路上	木寄せ	引張られ		滑落
88. 9. 6	普通土	8	CT 35	**	移動	乗上げ		転落
88.11.17	粘土質	17	D 4	路肩	けん引	引張られ		滑落
89. 5.19	裸土	0	フォークローダ	土場	巻き立て	乗上げ		横転
**	熊笹	21	トラクタショベル	斜面	木寄せ	引張られ		滑落
**	**	0	トラクタショベル	路上	道路補修	踏み外し		転落
**	**	20	ブルドーザ	斜面	横断	乗上げ		横転
**	**	15	ブルドーザ	斜面	木寄せ	引張られ		横転

(2) 滑落の原因

事故の形態として2番目に多い「滑落」の原因は、「引張られ」(4例/6例:66.7%)と「乗上げ」(2例/6例:33.3%)であった(図4)。

3) 事故の考察

事故の形態・原因を分析した結果から、検討対象とするのが妥当と思われるのは事故の発生件数の多い「引張られによる横転」(9例/31例:29.0%)、「乗上げによる横転」(7例/31例:22.6%)、「引張られによる滑落」(4例/31例:12.9%)の3つである。

(1) 引張られによる横転

これは、けん引中あるいは木寄せ中の材が立木や伐根などに引っかかることによってトラクタに対するモーメントが発生し、転倒に至ったというケースである。このような問題は、動的な影響が比較的少ないと考えられるので、静力学的に検討するだけでも十分実用的な安定範囲が分かると思われる。従って、トラクタの重心位置を測定し、静力学的な計算に基づいてその安定範囲を明らかにすることが必要である。また、トラクタを様々な方向からけん引し、トラクタの安定を損なう引張力の大きさを測定することも重要である。これらのデータにより任意の方向からある大きさの引張力で引張られた場合、そのトラクタが横転するか否かが判定できるようになる。

(2) 乗上げによる横転

走行中のトラクタが段差、材あるいは伐根に乗上げれば車体が傾斜する。静力学的な計算では、このようにして発生した傾斜角度によって重心位置が安定平面外に出れば転倒するし、出なければ転倒しないことになる。しかし、実際にはこのような運動に伴って、接地した側の前後輪の接地点を結んだ軸回りに角運動量が発生し、静力学的に計算した結果以上に車体が傾く。そのため、このような運動は静力学的にはトラクタの傾きが安定範囲内にある場合でも転倒に至る場合がある。従って、この場合は動力学的な検討が必要であると思われる。

(3) 引張られによる滑落

けん引中あるいは木寄せ中の材が立木や伐根などに引っかかることによってトラクタが引張られ、滑落するケースである。このような場合は土壌とタイヤの間の摩擦係数を明らかにする必要がある。様々な土壌条件、地表条件における摩擦係数が明らかになれば、それぞれの条件の下でどの程度の引張力が発生すればトラクタが滑り出すかを計算することができ安全対策上有益である。

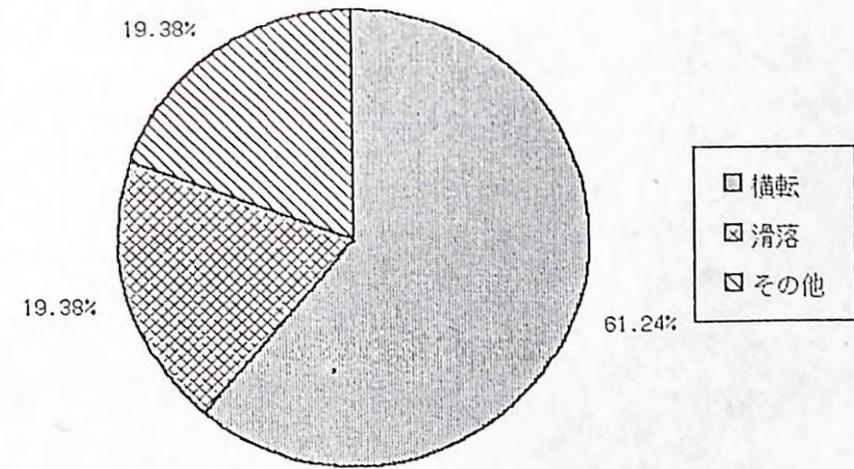


図 1. トラクタ事故の形態

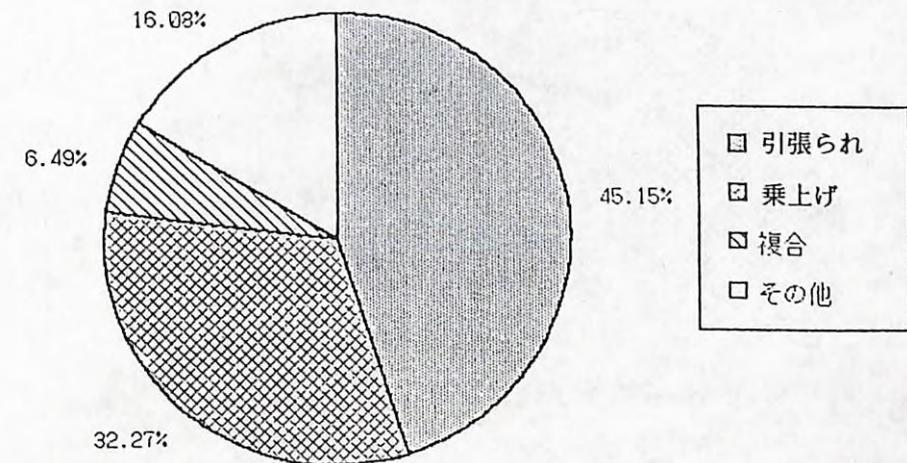


図 2. トラクタ事故の原因

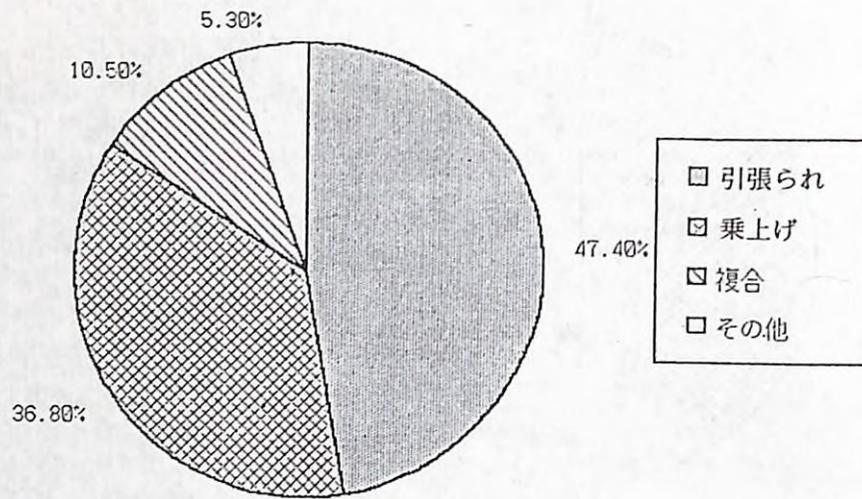


図3. 横転の原因

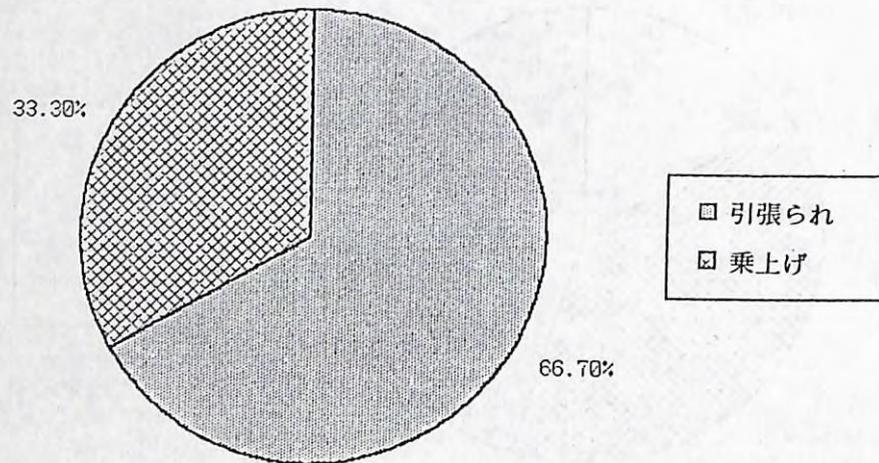


図4. 滑落の原因

以上まとめると、転倒・転落事故のきっかけは

- ①側方木寄作業中に材が障害物などに引っかかり、けん引抵抗が急激に増加した場合
 - (1)ウインチを解放するのが間に合わず、横転する。
 - (2)ウインチロープに引かれて横滑りし、路肩を踏み外す。
 - (3)木寄によってロープと反対側の車輪が浮き上がり、ウインチを解放する。その結果、浮き上がった車輪の落下の慣性で反対側に横転する（アーティキュレート形では、屈折の外側の安定性が充分でないためこの現象が起こりうる）。
- ②走行中に車輪が路肩を踏み外す、または段差に乗上げ（特に後輪）、動的効果で横転する。
- ③曳行中材が障害物などに引っかかり、インテグラルアーチに安定を超える外力が加った。
- ④傾斜地と地表障害物が複合することで、車体が横滑りを起こし、動的効果で転倒する。

（伐出機械研究室・朝日一司）

2. 集材トラクタの安定特性

1) 重心位置の測定

トラクタの重心位置は、安定特性を判定する最も基本的データである。これまでに実施された測定値、メーカー資料などに加えて、新たな測定を実施した。

トラクタの重心位置を測定する方法には、以下の3方法などがある。

- ①全つり上げ法：車体を完全につり上げ、つり上げ点からおろした鉛直線を求める。このことを数回行い、交点から重心位置を決定する。この方法は、簡単で精度がよいが、車体全体をつり上げる施設が必要である。
- ②片側つり上げ法：車体の一端を数回つり上げて、車体の各傾斜角ごとに荷重と支点間距離の変化とを測定し、計算で求める。この方法も精度を上げるために傾斜角を大きくする必要はあるが、施設の制約がある。
- ③傾斜荷重法：つり上げることができないとき、秤量計を傾斜地におき、車輪や履帯の荷重変化を測定して、計算で求める。精度は②とほぼ同様である。

(1)ホイールトラクタの重心位置測定

今回のホイールトラクタの重心位置測定は、②片側つり上げ法を車体前後それぞれについて行なうことから求めた。T-50の測定では森林総研の屋内施設（2.9トン容量天井走行クレーン）でぎりぎり可能であった。また、車体屈折による重心位置の移動は、車体を屈折させた状態で車輪を車重計上に乗せ、車輪荷重を測定して求めた。この場合、ピボット軸（車体屈折軸）は鉛直線と一致しているため、車体を屈折させても重心高さは移動しない。以上の結果を図5に、メーカー資料を図6に示す。

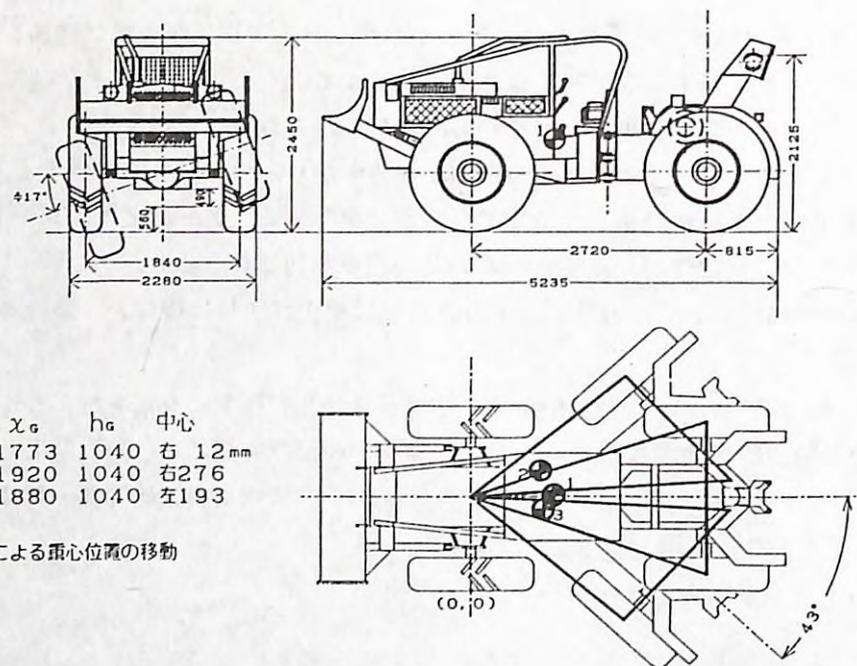
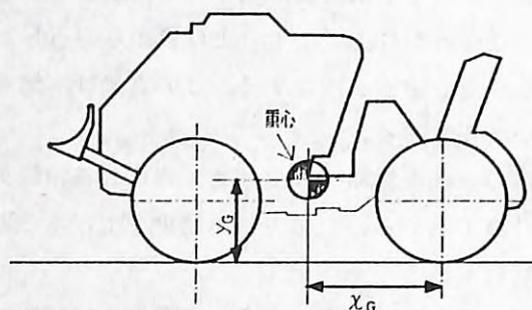


図5. T-50トラクタの重心位置



	T-10A	T-20A	T-30	T-40
車両総重量 (kg)	1895	2800	3475	4765
χ_G (mm)	1095	1275	1225	1385
γ_G (mm)	700	835	775	945

図6. ホイールトラクタの重心位置
(イワフジ工業資料)

(2) クローラトラクタの重心位置測定

クローラトラクタの重心位置測定方法は JIS D6503「履带式トラクタ性能試験方法」に

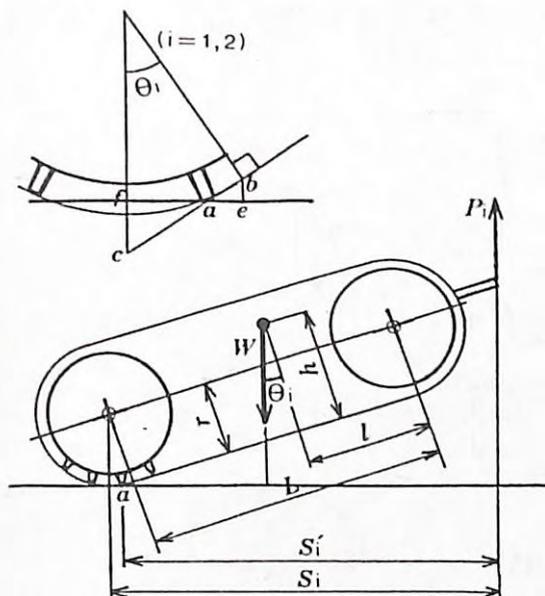


図7. 重心位置測定法

規定されており、②片側つり上げ法を用いて、傾斜角を $\theta_i (i=1,2)$ 変えたときの荷重 P_i 及び支点間距離 S_i の変化から(1)式により求められる(図7)、ここでは測定条件(左右のグローサをそろえ、かつその接地点を遊動輪直下に設定する)の設定が容易なように新しい計算式(2)を導き、繰り返しの精度を向上させた。

図8, 図9, 表2にクローラトラクタの車両重量や重心位置の測定結果, 足回り装置の諸元などを示す。また, l/L は軸距(接地長)と重心位置の関係を表わし, 重心位置が車軸間(履帯接地面)の中央にあるとき 0.5 となる。これら図表よりウインチやインテグラルアーチなどのアタッチメントの装着は, 重心位置や安定角にかなりの影響を及ぼすことが分かる。

$$l = L - \frac{P_1 \cdot S_1 \cdot \sin \theta_2 - P_2 \cdot S_2 \cdot \sin \theta_1}{W \cdot \sin (\theta_2 - \theta_1)} \quad (1)$$

$$l = L + \frac{(S_2 \cdot P_2 / W + S_2 - S'_2) \sin \theta_1 - (S'_1 \cdot P_1 / W + S_1 - S'_1) \sin \theta_2}{\cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2 - \cos \theta_2 \cdot \sin \theta_1} \quad (2)$$

2) 静的安定範囲

(1) 静的安定角度の評価

斜面上のトラクタは, 車体に作用する重力と外力・慣性力の合力が車両に固有の安定図形(三角形, 長方形)内にある範囲で, 安定といえる。安定性の評価の第一段階は, 車体に働く重力が, 安定図形内にある傾斜範囲(外力・慣性力=0), すなわち静的安定範囲の判定によって行う。T-50について詳細に検討した。

① 重心着力点

重心位置から鉛直方向に延ばした直線が接地する点を重心着力点とする。車両の重心着

重心位置 (JIS規格による計算結果)
 重心位置 (新しい計算式による計算結果)
 重心位置 (ウインチを装着しない場合)

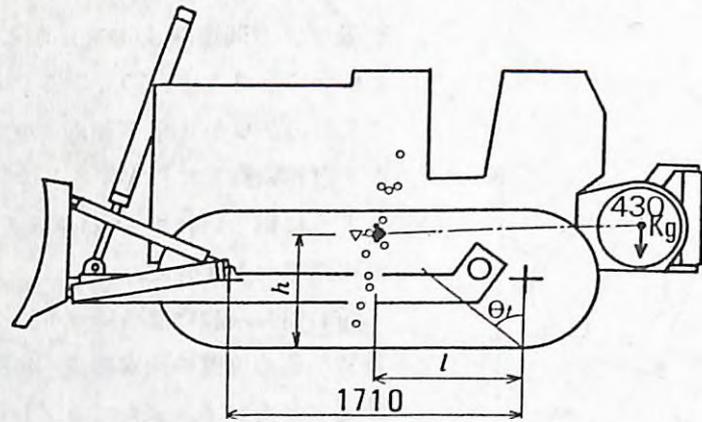


図8. 重心位置測定結果

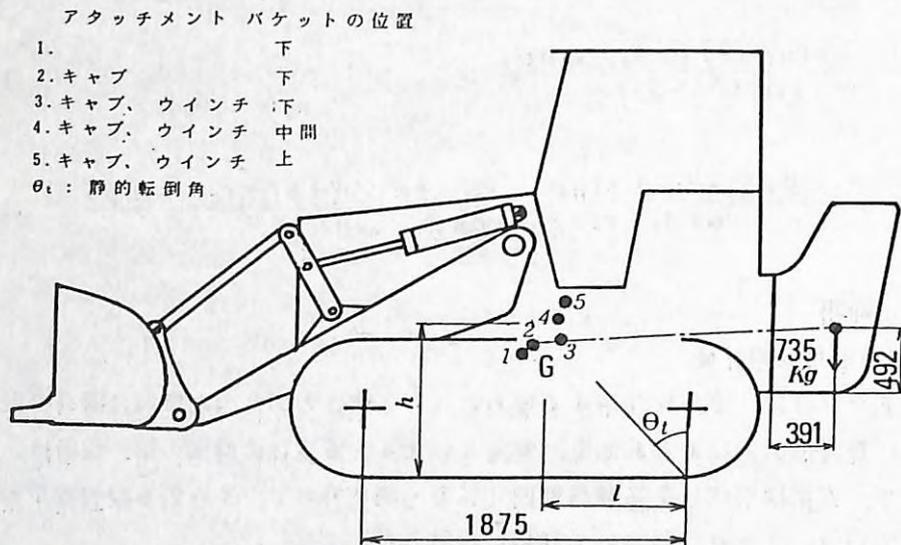


図9. アタッチメントによる重心位置の変化

表2. 供試トラクタの重心位置

トラクタ	アタッチメント	ドーザー、 バケット位置	重量 (kg)	接地長 (mm)	重心位置 ϱ h(mm)		ϱ/L	静的転倒角 (deg)	備考
CT-35TAD	—	下	6845	1710	942	631	0.55	56.2	計算値
CT-35TAD	ウインチ	〃	7275	1710	851	631	0.50	53.4	測定値
CT-35TAD	ウインチ、アーチ	〃	7485	1710	805	640	0.47	51.5	計算値
D30 S-15	—	下	6800	1875	972	739	0.52	52.8	引用(1)
D30 S-15	キャブ	〃	7625	1875	907	797	0.48	48.7	測定値
D30 S-15	キャブ、ウインチ	〃	8360	1875	741	806	0.40	42.6	〃
D30 S-15	キャブ、ウインチ	中	8360	1875	750	940	0.40	38.6	〃
D30 S-15	キャブ、ウインチ	上	8360	1875	730	1035	0.39	35.2	〃

力点の座標を (x, y) とすると車体の姿勢は、次の式から求められる (図10)。

斜面上の車体姿勢をピッチ角 α 、ロール角 β として表現すると

$$\alpha = \tan^{-1} (\pm (x^2 / (h^2 + y^2))^{-1})$$

$$\beta = \tan^{-1} (\pm (y^2 / (h^2 + x^2))^{-1})$$

車体姿勢を斜面傾斜 β 、最大傾斜方向から方位角 α で表現すると

$$\alpha = \tan^{-1} (x / y)$$

$$\beta = \tan^{-1} ((y^2 + x^2) / h^2)^{-1}$$

②安定図形

車両の安定図形は足回り構造の形式や寸法によって決定する。4輪以上の車輪を持った車両は、通常車輪の揺動装置を持っているため、安定図形は長方形にならず、三角形となる。T-50は前輪アクスルを揺動するタイプ(ウォーキングビーム)の車体構造を持つ。従って、車体の安定図形は、後輪の接地点を底辺とし、ウォーキングビーム軸上・前輪軸との交点を頂点とする三角形である。実際に計算に使用する安定図形は、重心位置からながめて地上におろした投影三角形から、車軸より前方にはみ出した頂点部分を除いたものとなる(図11)。

転倒にいたる状態には前輪接地のまま後輪の片側が浮く第1ステージと、ウォーキングビームの揺動が最大となって前輪の片側も地面を離れる第2ステージとがある。第2ステージの安定三角形は、頂点を揺動車輪(転倒の下側)の接地点、底辺は第1ステージと同様固定車輪接地点となる。

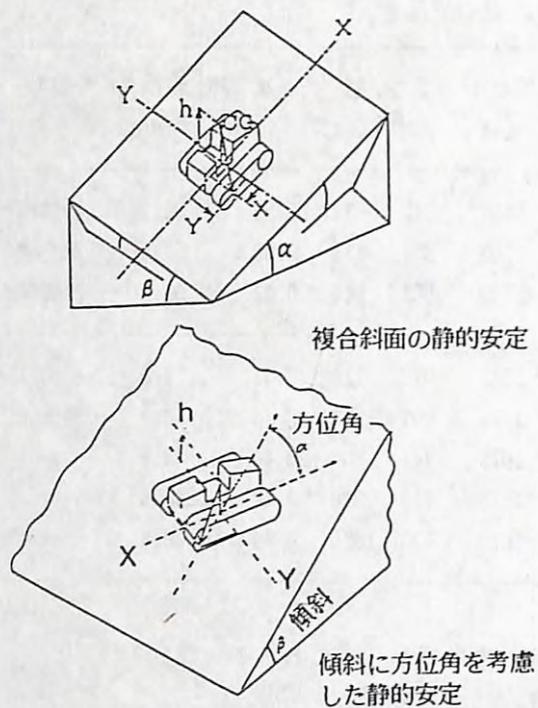


図10. 斜面上のトラクタの姿勢表現

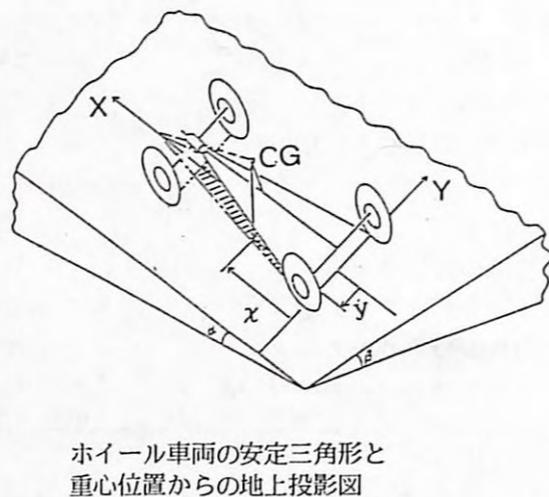


図11. ホイールトラクタの安定図形

③静的安定範囲

図12a)b)の閉曲線は、上記に従って求めたT-50トラクタの静的安定角度範囲を示す。図12a)は車体ピッチ角、ロール角で表される複合斜面上にある場合、図12b)は同心円で表される傾斜の斜面上で、車両が最大傾斜方向からある方位角の旋回を行ったときを示している。また、車体を直進状態と左最大屈折(43°)したとき範囲を同図に示した。ここで中程の太鼓形は第1ステージ転倒を、外側の三日月形は第2ステージ転倒角を示している。本図には右屈折時の範囲は示していないが、左屈折時のそれとほぼ左右対称となっている。これらの閉曲線でT-50トラクタ特有の安定性を表している。一般に揺動車輪を持つ車両の場合、ロール(横)方向の安定性が十分でなく、また、アーティキュレート形車体の問題として屈折時の安定性低下がある。T-50でもこの傾向が見られ、静的安定範囲が(第1ステージ)、直進時でも左右方向で35°程度であり、左屈折時には左前・右後方向が30°程度まで減少している。

(2)ウォーキングビームの動きを加味した場合の評価方法

T-50トラクタの安定性の検討には、安定平面を三角形とするこれまでの考え方では、ウォーキングビームの動きによって発生する復元モーメントを除外することになる。特に

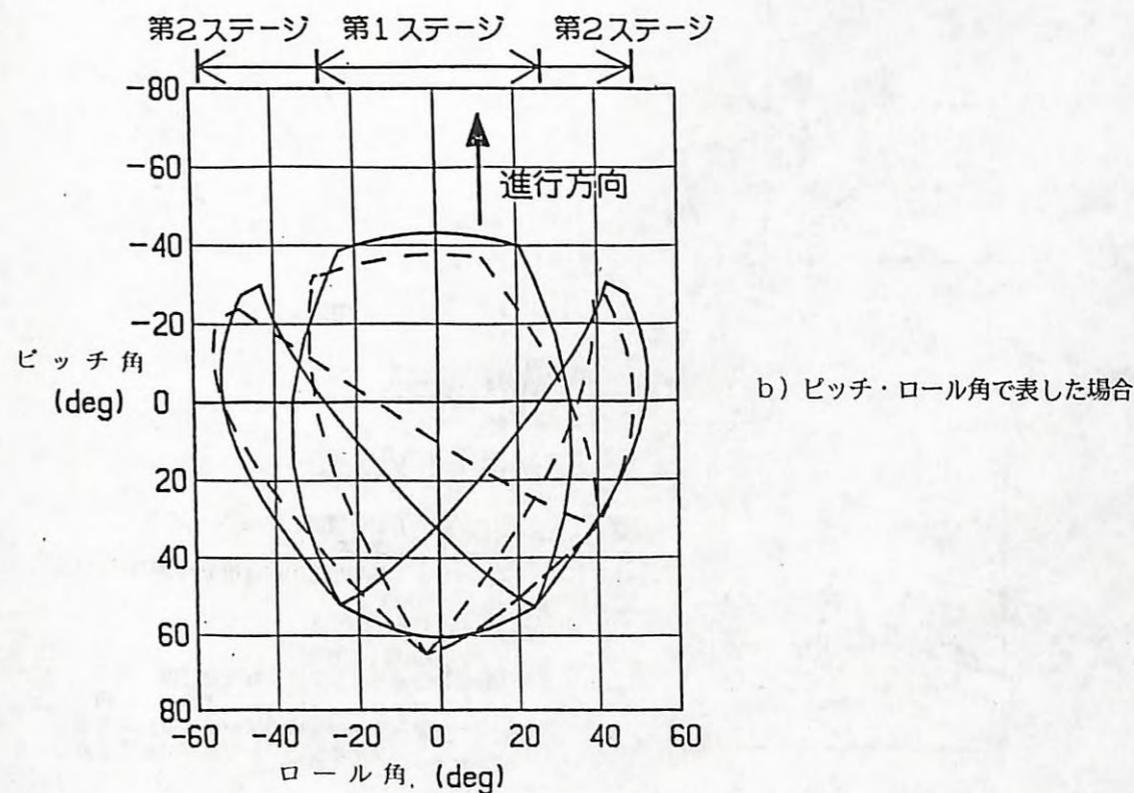
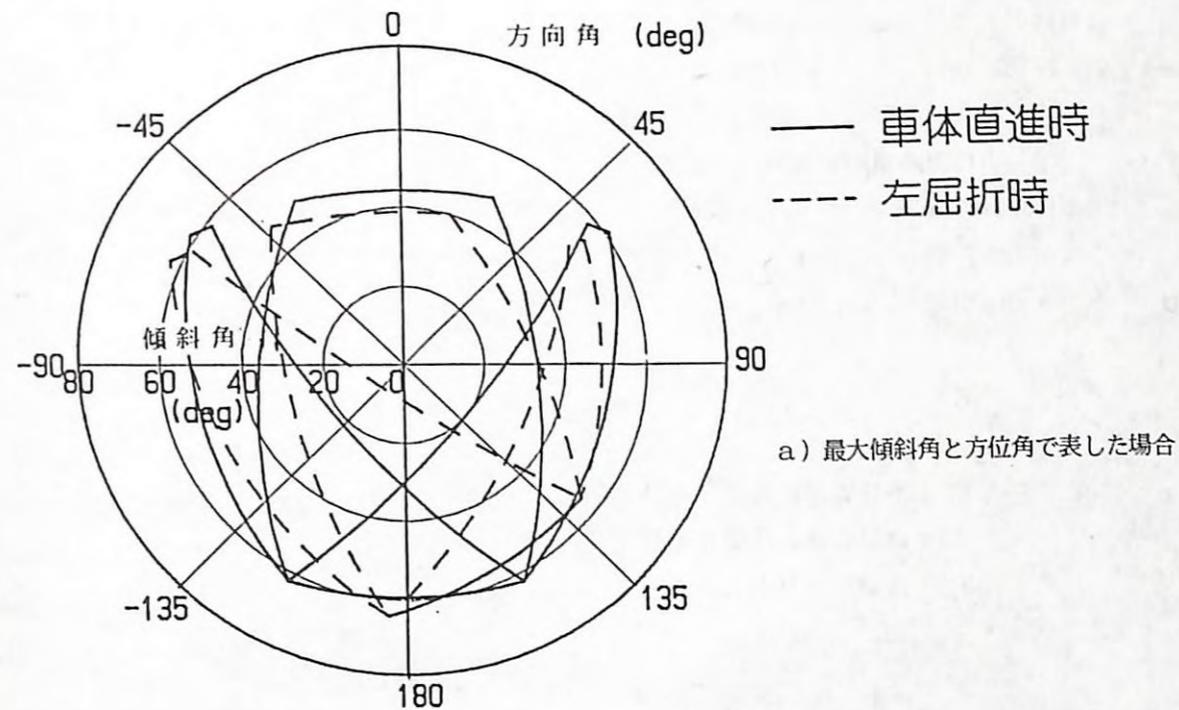


図12. 傾斜地における静的安定範囲

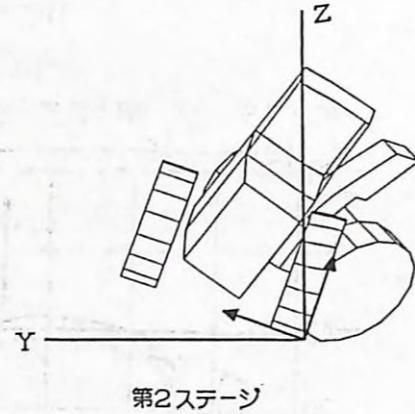
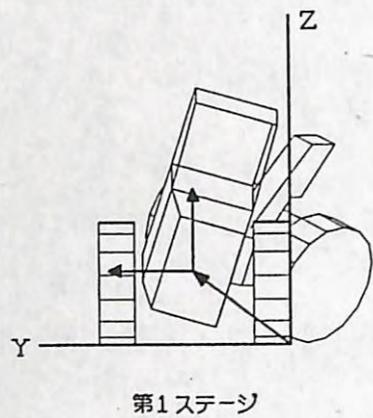
屈折時の安定性では、この影響が大きくなるため、これまでと異なった計算方法を用いて安定範囲を検討した。

①転倒に至る重心の動き

車体にはウォーキングビーム及びピボットの回転軸があり、車輪と地面の間にも回転自由度がある。従って、第1ステージ転倒における車体後部の座標は次の式から求めることができる(図13)。

$$V = T V_0$$

ここに V : 車体各部の座標マトリクス
 V_0 : 直進位置の座標マトリクス
 T : 変換マトリクス



車体の姿勢

$$V = T * V_0$$

ここに V : 車体後部の座標マトリクス
 T : 変換マトリクス
 V_0 : 基準位置の車体後部座標マトリクス

変換マトリクス T は
 1 車体ピッチ角
 2 ウォーキングビームまで並進
 3 ウォーキングビームによるロール角
 4 アーティキュレートジョイントまで並進
 5 アーティキュレートジョイントによるヨー角

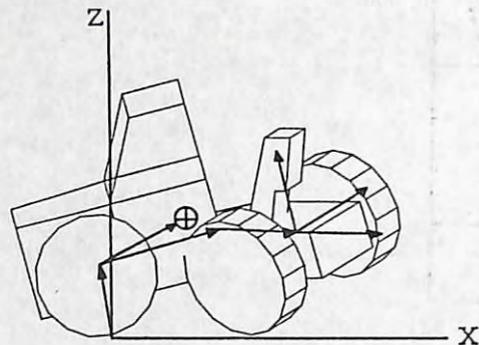


図13. マトリクスを利用した車体姿勢(重心位置)表現法

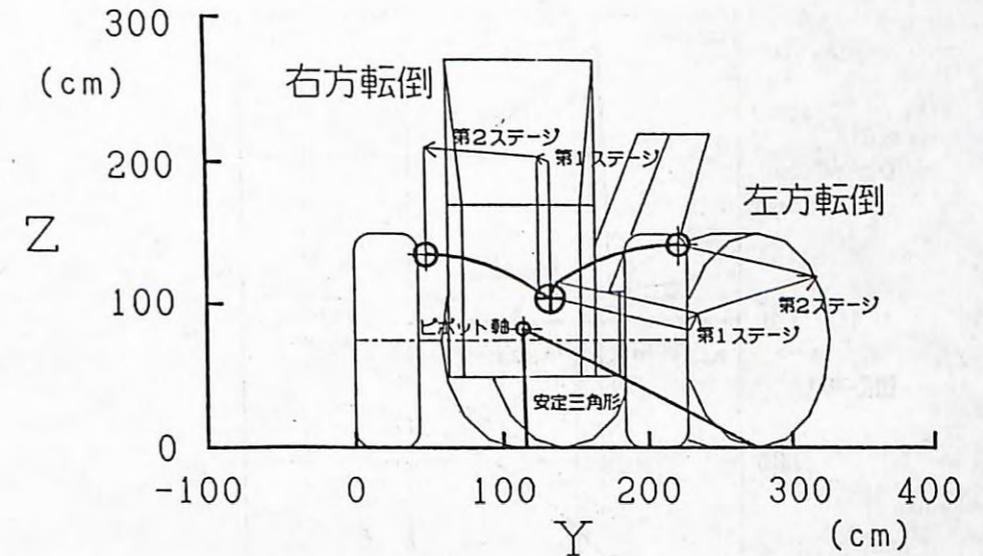
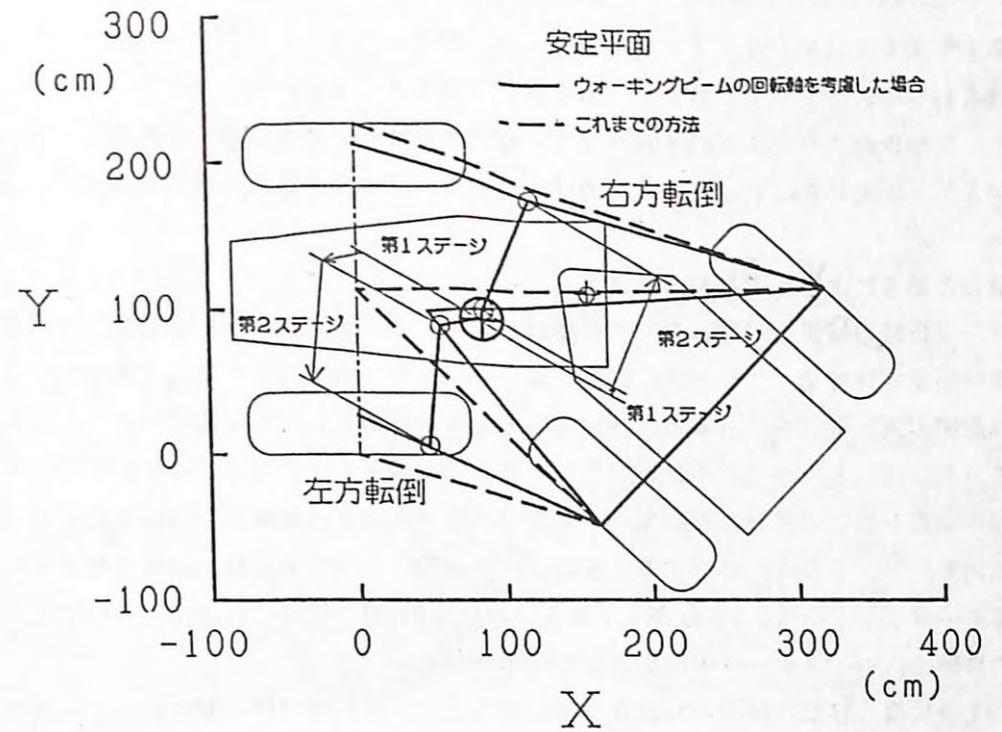


図14. 転倒時の重心位置移動(車体左屈折時)

ここにT は原点まわりに車体ピッチ角を与え、次にウォーキングビーム回転軸まわりにロール角を与える変換マトリクス（前部車体・重心位置）であり、後部車体にはさらにピボット軸まわりにステアリング角を与える変換マトリクスである。第2ステージではさらに加えて、車輪接地点を結ぶ直線まわりにロール角を与える。前輪接地点が原点に、後輪接地点がXY平面上にあるとして、以上の式から転倒に至る重心位置の移動を求めた。

②重心の動きによる安定範囲の評価

図14に左屈折時の結果を示す。重心の移動は第2ステージが大きいが、動的効果を考慮すると車体の安定性は第1ステージの範囲で論じるべきとされており、ここでもそれに従う。車体屈折の内・外側を比べると、外側（右方）転倒時の重心移動距離は内側（左方）転倒のそれらに比較してかなり小さい。また、外側では高さ方向の重心移動がわずかである。図15には重心高さの移動と転倒モーメントを、前部車体ロール角との関係で示した。ここに転倒モーメントとは、転倒するときのロール回転中心からの距離と車体重量によって生じるモーメントをいう、外側転倒するときには内側転倒の1/4程度の転倒モーメントと重心高さの移動で、第1ステージを終えることが示された。

以上のように重心移動軌跡から安定性を検討すると、屈折外側には内側に比べて小さな

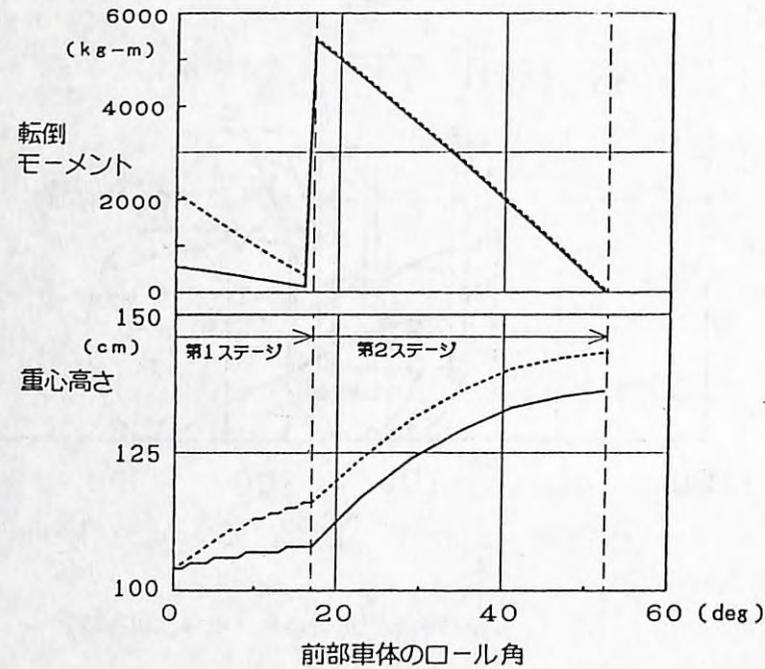
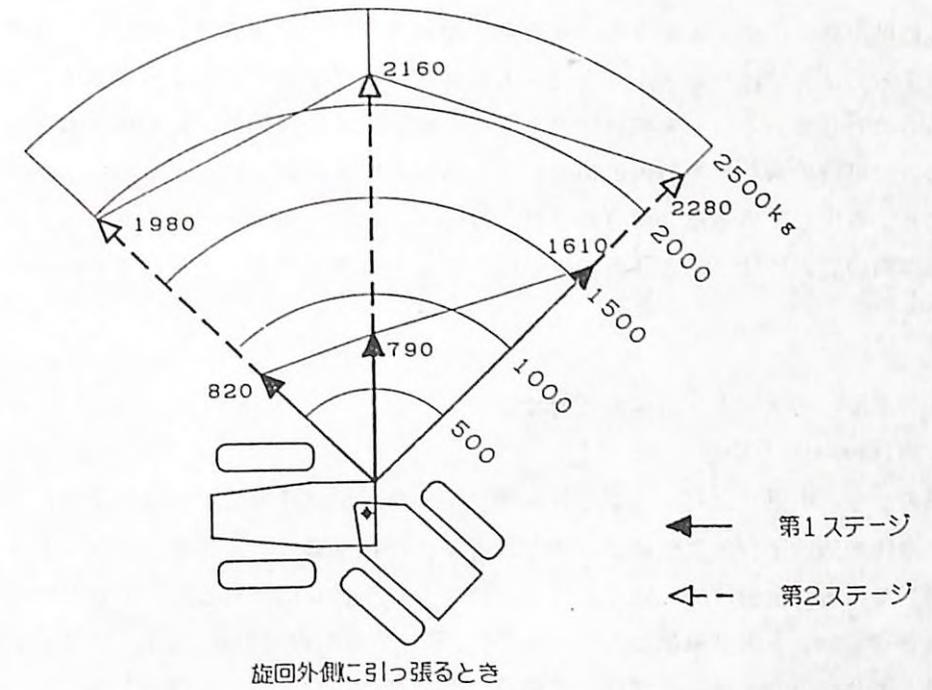
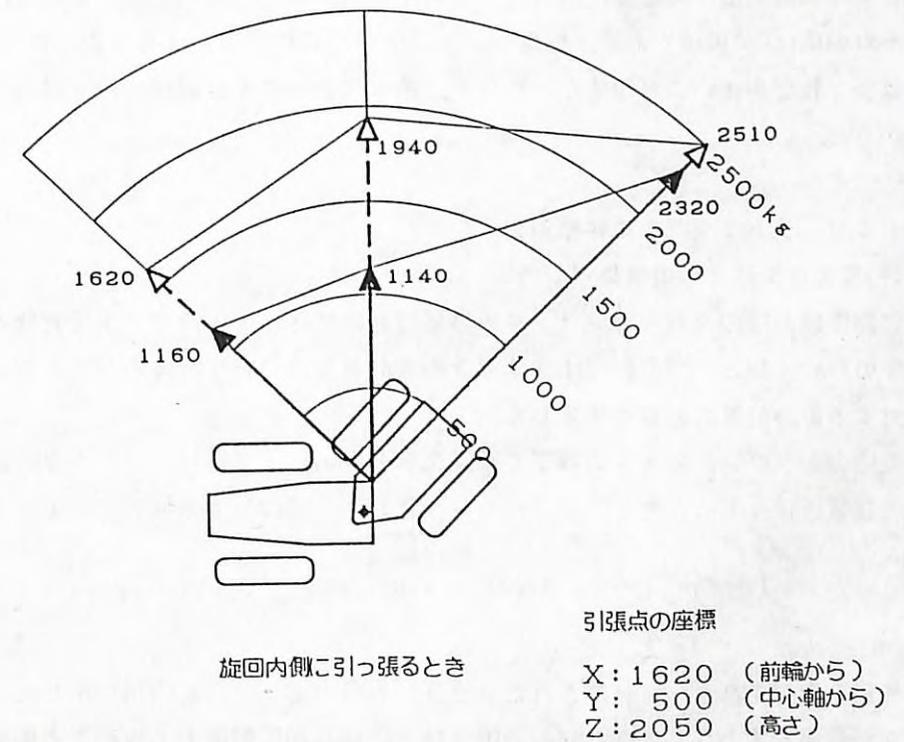


図15. 車体のロール角と重心位置の移動・転倒モーメント



旋回外側に引っ張るとき



旋回内側に引っ張るとき

引張点の座標

X: 1620 (前輪から)
Y: 500 (中心軸から)
Z: 2050 (高さ)

図16. 側方引っ張りテスト結果

外力で転倒し、安定性が低いことが分かる。ところが、重心位置と安定図形から求めた安定性には、外・内側で大きな差が見られなかった。この結果の違いは、(7) 後者（安定図形による方法）ではウォーキングビーム軸をボールジョイントのように無方向性に回転できるものとしている、(4) 実際にはウォーキングビームの揺動は、回転軸（ロール方向）回りのみで可能であり、その他の回転が生じる場合には同時にピッチやヨー方向の回転も伴うことから生じていることが分かった。従って、特にT-50のようなアーティキュレート形車両の安定性は、前者（重心移動軌跡による方法）によって検討する必要があると思われる。

3) ホイールトラクタの外力に対する安定

(1) 側方引張り実験

側方からの引張りに対する安定性をテストした。供試機械はT-50造林用改造機であり、車体後部はインテグラルアーチとウインチが取り外され、三点リンク・P.T.O装置を装備している。重量は5800kgであり、改造なしの車体にほぼ等しい。FOPSキャブ支柱（高さ2050mm）を前部車体に対して±45°、90°の右方向に引張り、第1ステージ開始（後輪浮上）及び第2ステージ開始（前輪浮上）直後のロープ張力を測定した。

車体屈折の内・外側で比較した結果を図16に示す。内・外側とも第1ステージでは前方45°と90°の値がほぼ等しく、後方45°の値がやや大きい。外側の張力は三方向ともに内側のそのほぼ2/3の値である。転倒モーメントの計算結果ほど大きな差はないが、屈折外側では安定性が小さいことが確かめられた。第2ステージでは屈折の内・外側で大きな差はなかった。

4) クローラトラクタの車体傾斜角

(1) 障害物乗越え時の車体傾斜角

障害物乗越え時のクローラトラクタ車体傾斜角の変化は、トラクタが障害物を上がりきるまでの静的運動と、地表に落下するときの動的運動に分けて考えられる。ここでは、前者に対する重心位置の影響を推定した。

登坂中のトラクタが丸太を両履帯で乗越えるときのピッチ角は、トラクタの重心位置が丸太と履帯の接点上にきたとき最大になり（図17）、式(3)で表すことができる。

$$r(1 + \cos(D)) = ha(1 - \cos(D)) + \sin(D)\{l - h \cdot \tan(D + \theta)\} \quad (3)$$

斜面傾斜と乗越え高さから計算されたトラクタの最大ピッチ角を図18に示した。通常オペレータが見落とすとされる高さ15cmの障害物を、傾斜20°斜面上で乗越える場合を考えると、CT-35TAD単体では最大34°のピッチ角となるのに対して、同機種ウインチ付

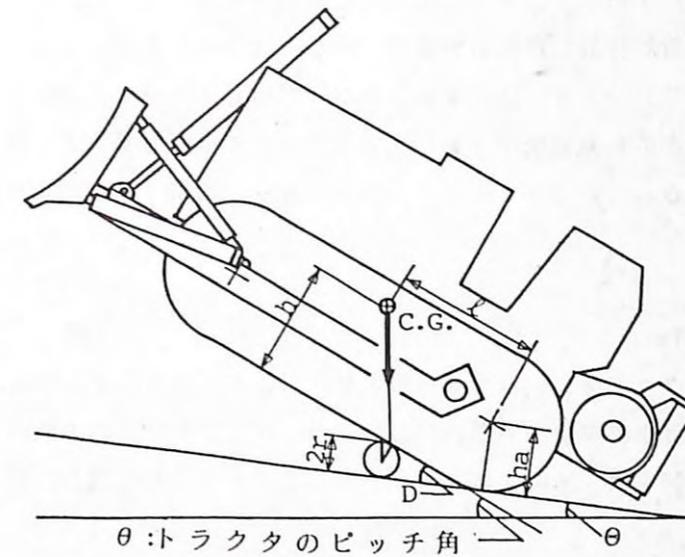


図17. 障害物乗越え時の模式図

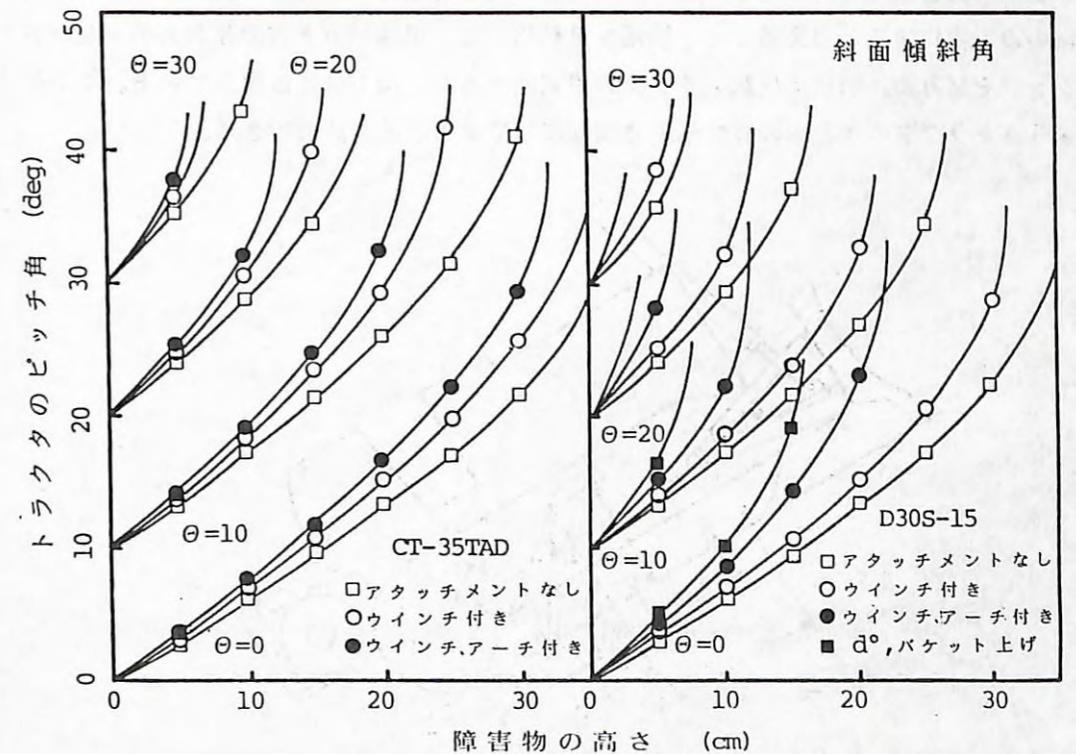


図18. 乗越え時ピッチ角の推定結果

きでは 39° となり、アーチ付きではさらに増大して乗越え不能となった。このようにアタッチメント装着による重心位置の移動の影響は、かなり大きいことが分かる。

また、同条件でD30S-15では、単体でも 37° 傾斜し、アタッチメント付きでは乗越え不能となる。同機種の類似機械がフォークローダとして土場作業によく使われるが、掘削作業を主体に設計されているトラクタショベルであり、傾斜・不整地走行には適していないことが分かる。

(2) 登坂時の車体傾斜角

傾斜地走行中のトラクタ車体の傾斜角は地形の変化に応じて大きく変化する。ここでは地形の変化に応じてトラクタ車体の傾斜角がどのように変化するか予測を試みるとともに、車体の急激な動きにも精度良く追従するセンサーとしてジャイロを使用し、傾斜角の動的測定を行った。

① 登降坂時の車体傾斜角のシミュレーション

クローラトラクタは、その懸架方式によっても異なるが接地面が固定されているため、乗越えで生じる車体傾斜角が大きくなることが多い。このことは土に対するトラクタの静的挙動の問題として理解できる。そのため履帯の沈下と車体の慣性を無視し、地形は進行方向のみで変化すると考えることで問題を単純化して、車体ピッチ方向傾斜角のシミュレーションを試みた。図19は供試トラクタの模式図であり、図上G点は重心である。重心位置より本トラクタの後方への静的転倒角度は 53° であることが計算できる。

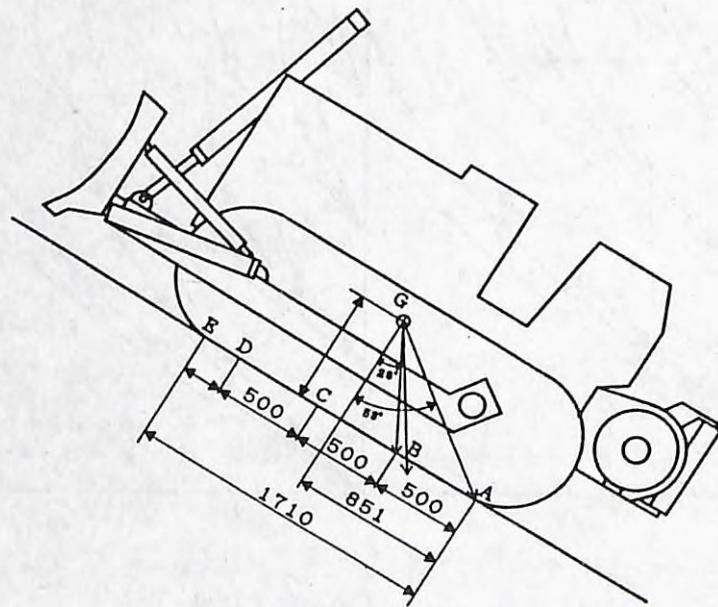


図19. トラクタ車体傾斜角シミュレーションの模式図

履帯上に地形データと同じく50cm間隔でA, B, C, Dの4点を考え、トラクタはこのうちの2点で接地すると考えると、車体傾斜角は地形に応じてどの2点を選択されるかによって決定される。図20が登坂時傾斜角決定の流れ図である。最初にA, D接地と仮定してC点の高さを求め、次に地形データと比較してC点の接地、否接地を決める。C点が接地していなければA, D接地としたままB点の高さを求めた地形データと比較するが、C点が接地であればA, C接地と仮定してからB点の高さを求め検討を進める。このことを繰り返すことによって2点の選択を行い、車体の傾斜角を決定した。ここに路面の傾斜角はトラクタ長さ間における平均傾斜で示した。

以上の手順で求めたトラクタ車体ピッチ角シミュレーション結果の一部を図21に示す。ここでは路面傾斜角 26.0° 地点での、小突起乗越えの前後3点について示しているが、登坂時には車体傾斜角が 34.9° にもなり、小さな地形の変化でも車体が大きくピッチ運動することが予想される。しかし同地点で降坂時には、車体ピッチ角が 21.0° にとどまることが示される。

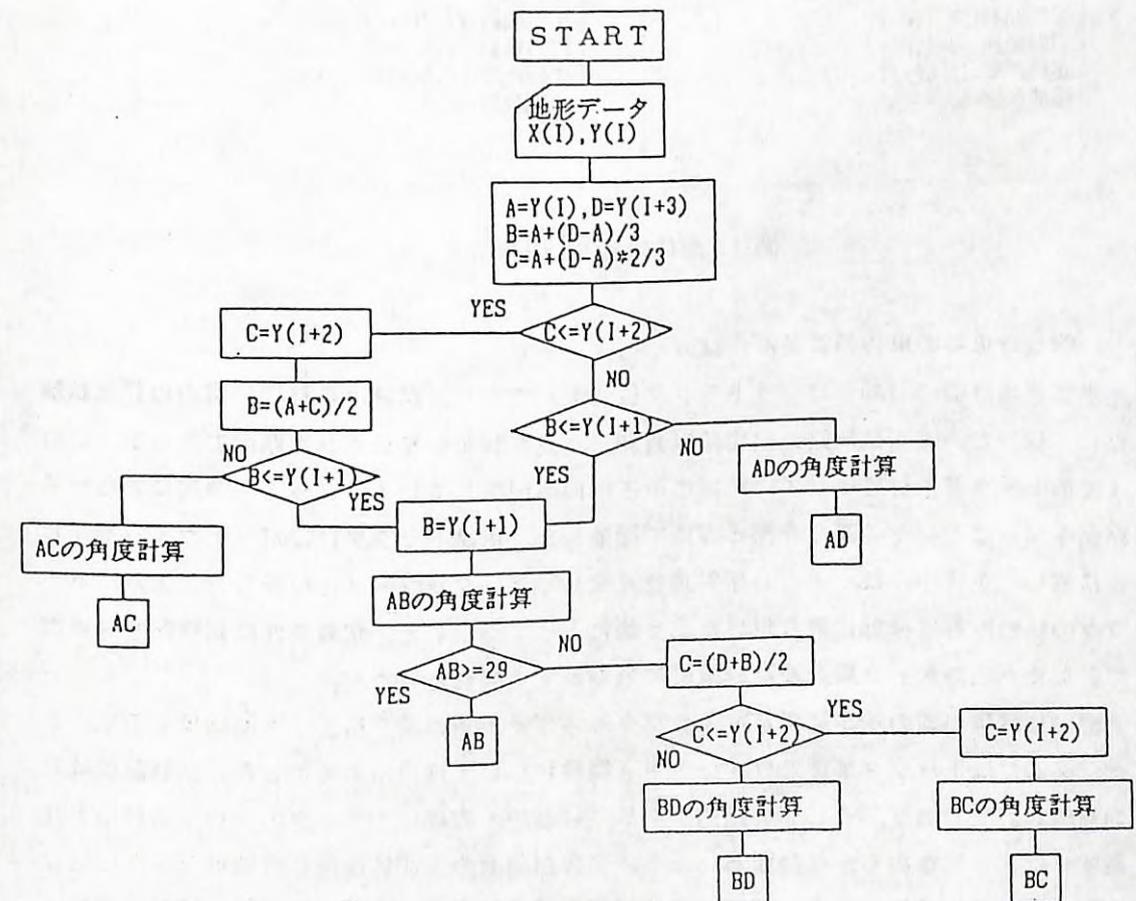


図20. トラクタ車体傾斜角予測の流れ図

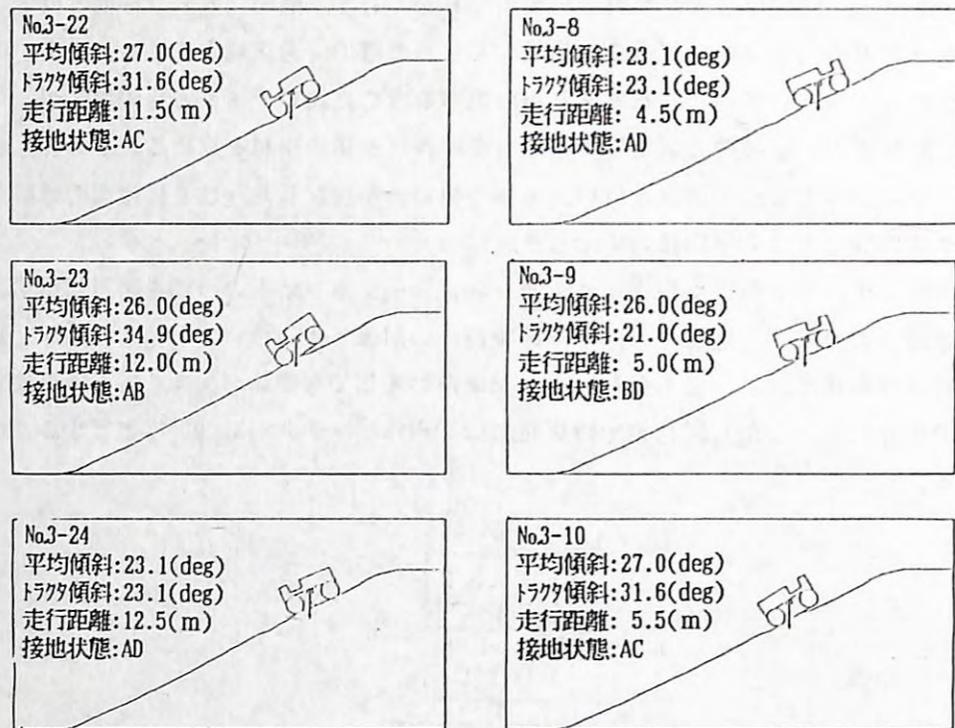


図21. 車体傾斜角の予測結果

②登降坂時の車体傾斜角測定試験

供試機種はCT-35TADクローラトラクタ(7.5t)であり、試験は森林総研構内の登坂試験路にて行った。該当試験路は設定傾斜角30°、長さ16mに整地された路面であるが、これまでのトラクタ走行によって、路面に小さい凹凸が生じている。従って、測定に先だて路面を50cmごとにその高さを測る方法で測量した。供試トラクタにはバーチカルジャイロを搭載し、走行中のピッチ方向傾斜角を連続してデータレコーダに記録した。また、トラクタの移動距離は後部に取り付けた第5輪によって測定した。試験条件は試験路を等速度で登坂または降坂した場合及び降坂時に急制動する場合とした。

図22に試験路面の測定結果及びトラクタ車体ピッチ角の測定結果、予測結果を示す。また、図23にはトラクタ単体とウインチ付き機種について推定結果を示した。試験路面は平均傾斜角27°であり、±15cmの凹凸が生じているが、実際にトラクタの走行する林地と比較すれば非常になめらかな路面といえる。車体傾斜角の予測に使用した地形データには左右わだちの平均値を用いた。図中、中段は登坂時の結果を、上段は降坂時の結果を示し、前者は左から右へ、後者は右から左へそれぞれ移動している。前後者とも、車体傾斜角の

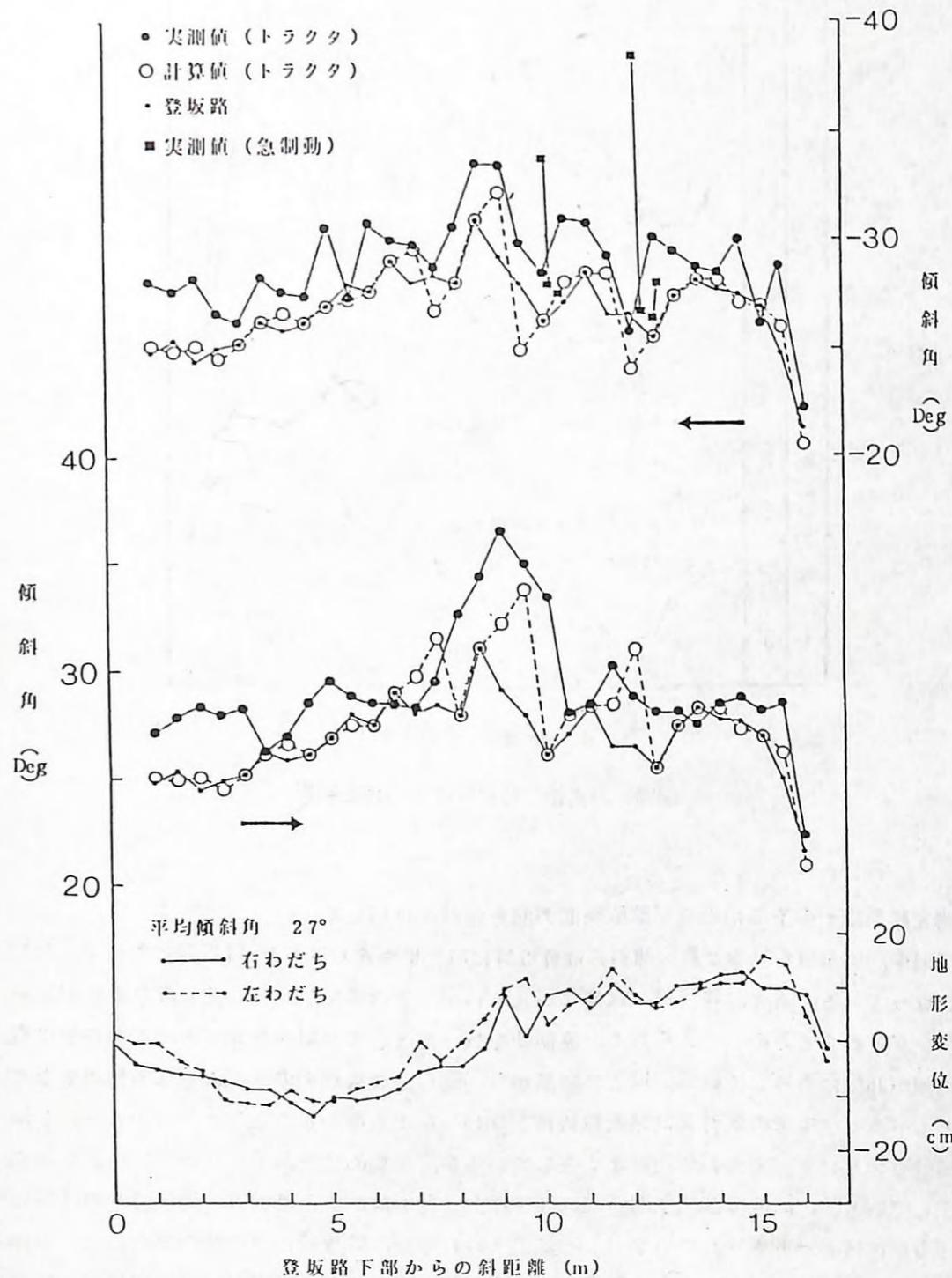


図22. 試験結果

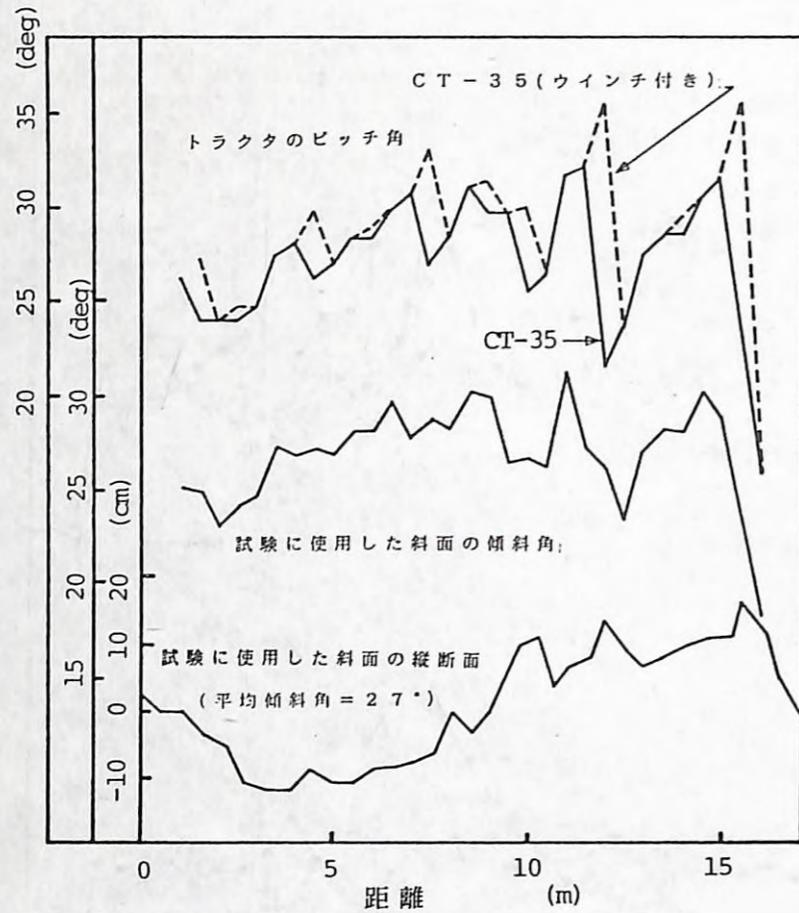


図23. 斜面走行時ピッチ角の推定結果

測定結果にその予測結果及び試験路面の部分傾斜を併記した。

図中、実測値を見ると最大傾斜角は登坂時に 37° にも達しており、降坂時においても 34° になっている。また、降坂時には変化が大きいが、走行速度が比較的速くなり車体がピッチング運動するためと考えられる。急制動を行ったときの傾斜角を見ると、1回目では最大値が 39° にも達している。以上の結果から、明らかな乗越えのあるような不整地でなくともトラクタ車体の傾斜角は路面傾斜角より 10° 以上も増加しうることが分かった。予測値は全体として測定値の傾向をよく表しているが、平均的に実測地より $2\sim3^\circ$ 小さな値を示している。この原因は、予測値には履帯後方（登坂時）または前方（降坂時）の沈下に伴う車体傾斜が考慮されていないことが考えられるが、降坂時や急制動の場合には、車体の慣性による運動がより大きく影響しているものと考えられる。図24は登坂時傾斜角に対する車体傾斜角の予測値及び実測値を表す。直線は、車体と路面の傾斜角が一致する線を表すので本図から車体傾斜角が路面傾斜角より大きくなる様子が明らかになる。

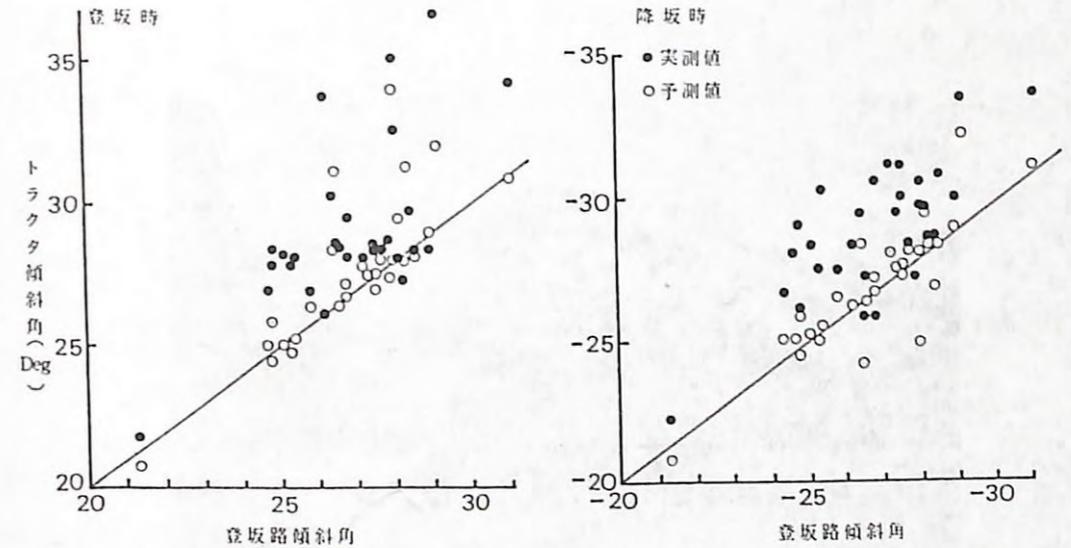


図24. 登坂路傾斜角と車体傾斜角の関係

(造林機械研究室・佐々木尚三)

3. トラクタ転倒に対する動的効果の検討

1) 目的

トラクタの安定性は、静的安定性+外力+動的効果の総合作用によって決定される。動的効果は車体の運動特性を把握し、いろいろな場面での運動方程式を定めることにより、求めることができる。トラクタ車体の運動方程式を定めるためには、車体の各方向に対する慣性モーメントを知る必要があり、さらにタイヤや土の動的挙動も考慮しなければならない。ところが、トラクタのような重量物の慣性モーメントの測定は非常に難しく、土やタイヤは非線形の挙動をするため、求めるべき運動方程式は非常に複雑である。

そこで動的効果の評価方法として、実験的にある場面の動的効果の大きさを把握する手法を用いる。今回は、トラクタ転倒に関して、特に問題となる動的効果として障害物乗越えを取り上げ、速度を上げて乗越えたときの跳ね上げられる車体ロール角度から、車両走行時の安定性を推定する。

2) 丸太の乗越え試験（ジャイロによる車体角度の測定）

(1) 試験方法

丸太を固定しその上をトラクタ（T-50）の片輪で乗越える（写真1）。このときのトラクタの車体角度、(Roll, Pitch)、走行方向 (Direction) をジャイロを用いて計測した。ジャイロは多摩川精機製TA31N10を用い、記録はデジタルデータレコーダ (TEAC: DRF 1) を用いた。ジャイロはウインチ上（後車軸よりやや前方）に取り付けた（図25）。



写真1. 丸太乗越え実験

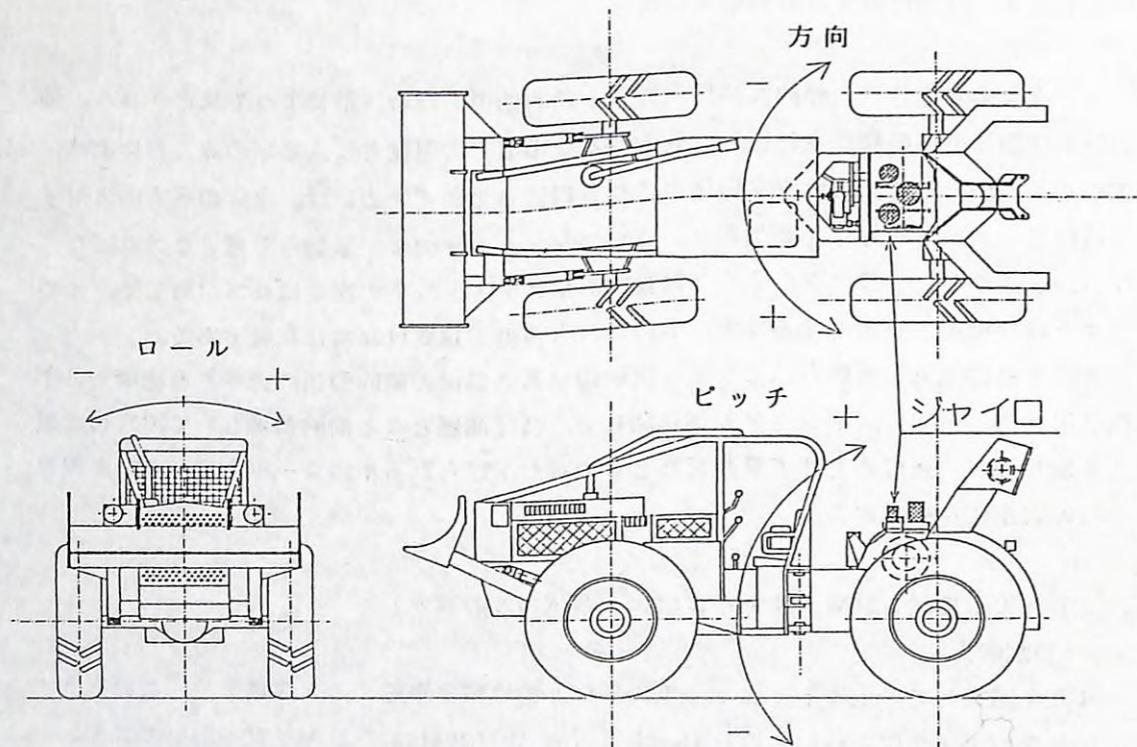


図25. ジャイロ取り付け位置と出力の正負

(2)試験条件

乗越える丸太の太さを45cmと28cmの2種類とし、変速段数をそれぞれ1~3速、3~4速と変えて行った。エンジンの回転数は、いずれの場合も1500~2000rpm.で走行した。

試験を行った場所は、森林総研構内の試験走行用草地で、トラクタの乗越え時に丸太が沈下しないように配慮した(地盤が十分に堅くないので多少の沈下は認められた)。

測定に用いたジャイロは、全て300°を10Vレンジで出力する。また、記録計DRF1は、±5Vの入力レンジを12bitで表現する。なお、サンプリング周期は10Hzである。

(3)ジャイロの出力からの分析結果

図25にジャイロの取り付け位置、及びジャイロの出力の正負を示す。次に、走行中の車体角度の変化を図26~34に示す。また、各測定条件などを表3に示す。

今回の測定では、車体の傾きが±30°以下であるため±1V以内の小さな範囲での記録となり、ノイズがかなり大きくなった。そのため、記録された波形の違いから、各条件ごとの車体の挙動の細かい違いを見ることはできなかった。まず、図26~34までを見ると、いずれもロール、ピッチ角の値はほぼ同様の傾向を示している。最初に前輪が丸太に乗上

表3. 丸太乗越え試験時の測定条件と跳ね上がり角度

測定番号	走行段数	丸太直径 (cm)	Max.Roll Angle (°)	Max.Height (mm)	備考
D11	1	45	15.612	495.2	
D12	2	45	18.243	576.0	
D13	2	45	20.136	633.4	丸太が移動
D14	3	45	22.350	699.7	
D21	3	28	9.987	319.1	
D22	3	28	11.175	356.6	
D23	4	28	7.803	249.8	丸太が沈下
D24	4	28	11.088	353.6	
D25	4	28	8.826	282.3	

※ 表3.の中で Max. Roll Angle (最大ロール角)と Max. Height (最大跳ね上げ地上高)はいずれも後輪の乗越え時の値である。

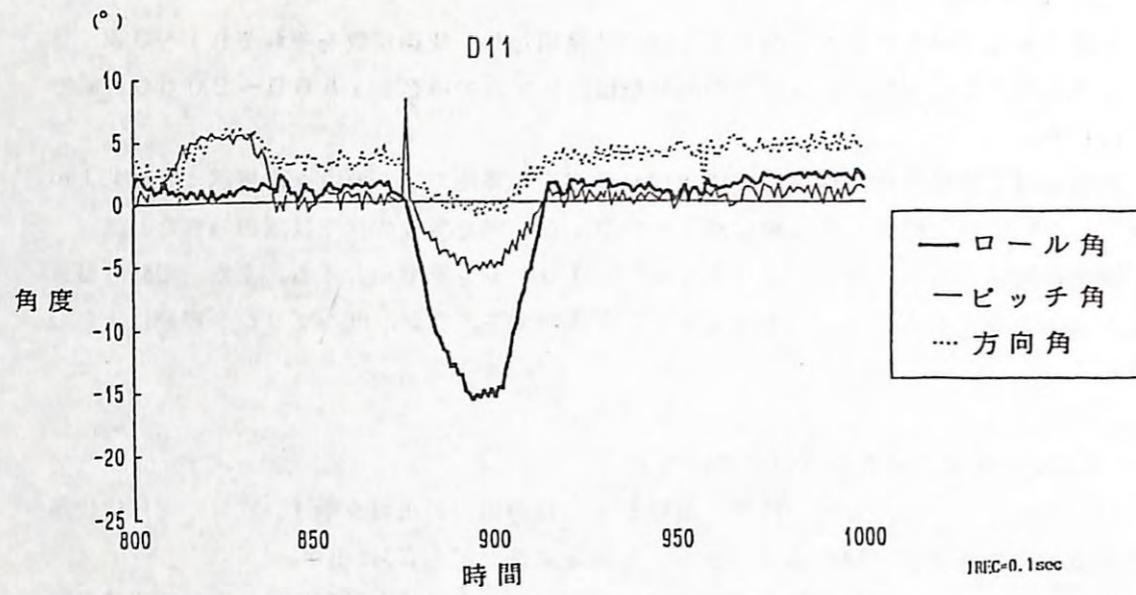


図26. ジャイロによる丸太乗越し時の車体角度の変化 (1速, 丸太の直径4.5cm)

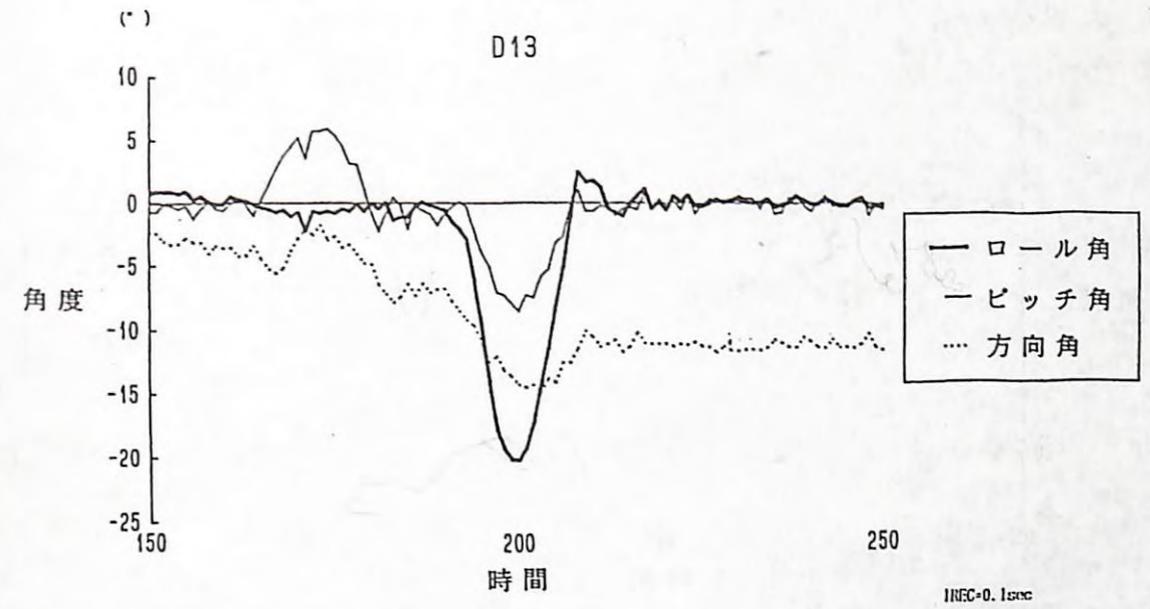


図28. ジャイロによる丸太乗越し時の車体角度の変化 (2速, 丸太の直径4.5cm)

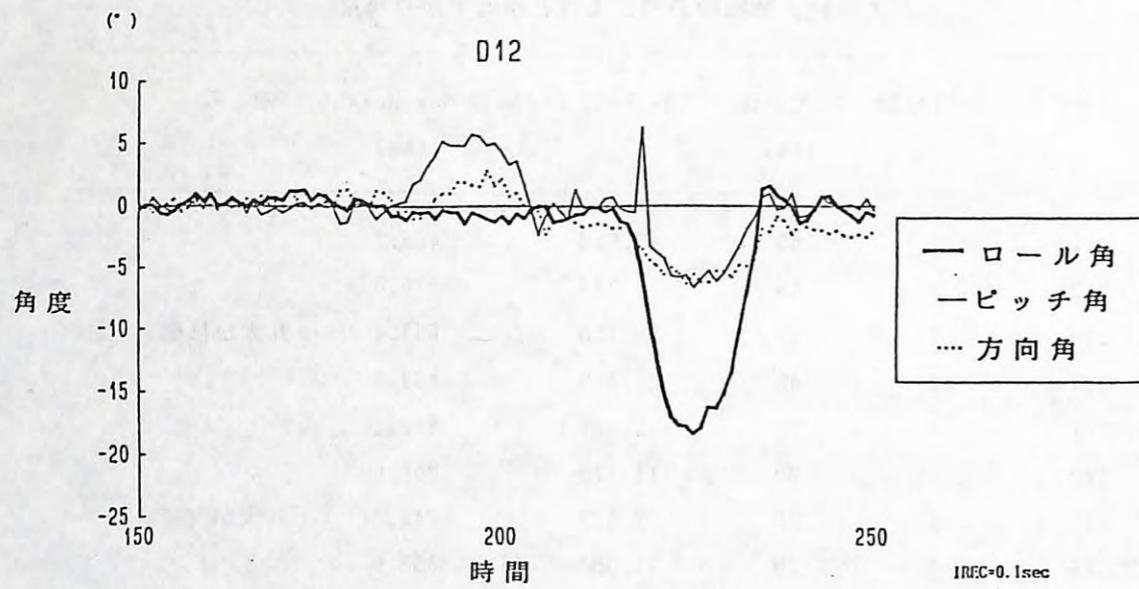


図27. ジャイロによる丸太乗越し時の車体角度の変化 (2速, 丸太の直径4.5cm)

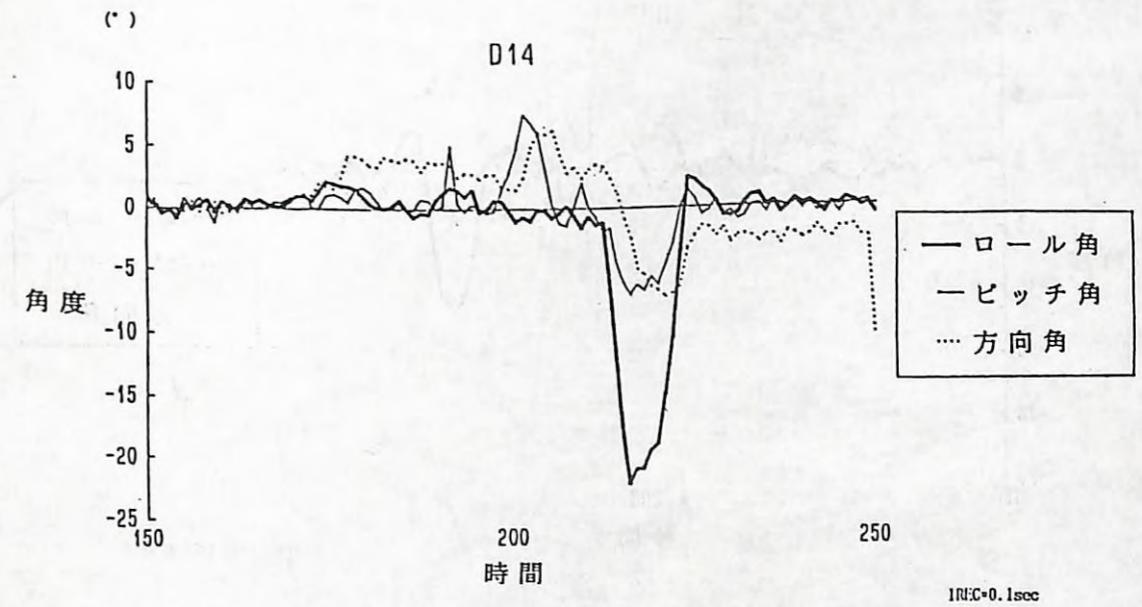


図29. ジャイロによる丸太乗越し時の車体角度の変化 (3速, 丸太の直径4.5cm)

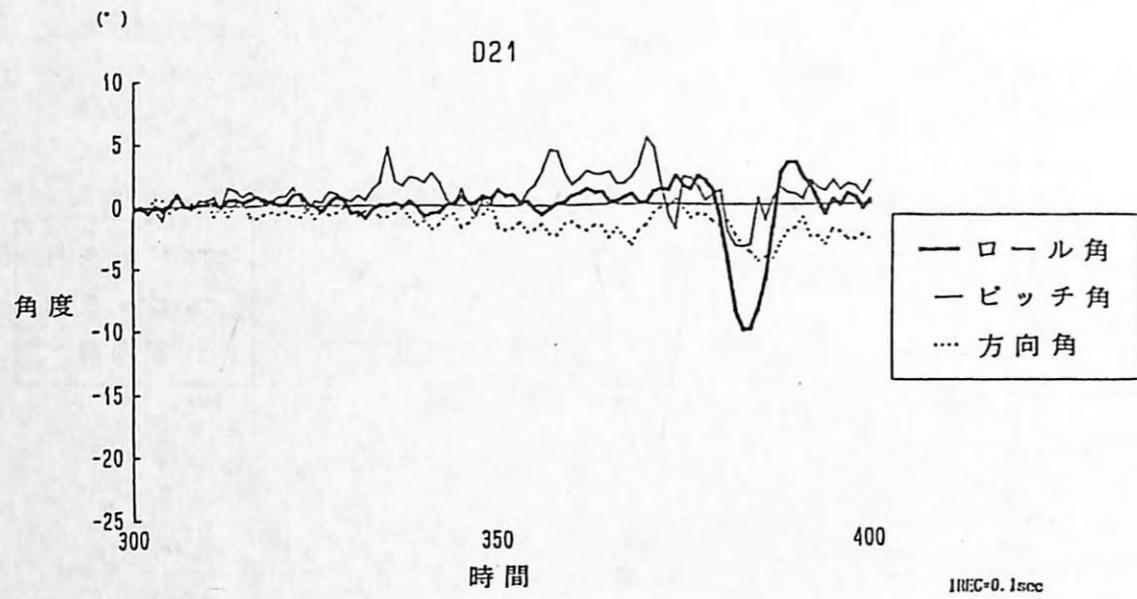


図30. ジャイロによる丸太乗越し時の車体角度の変化 (3速, 丸太の直径28cm)

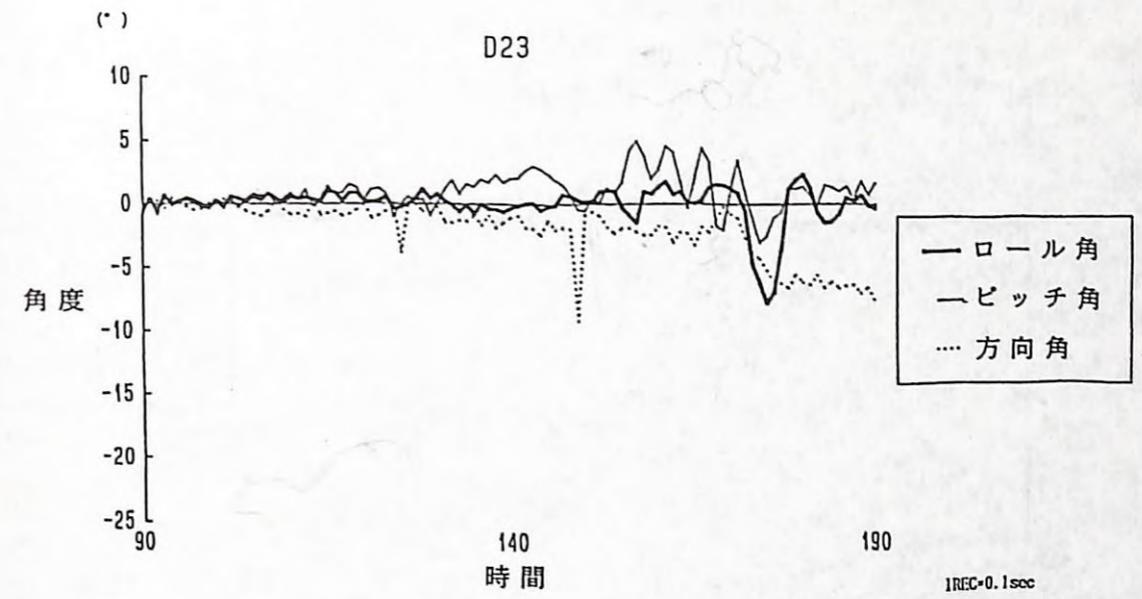


図32. ジャイロによる丸太乗越し時の車体角度の変化 (4速, 丸太の直径28cm)

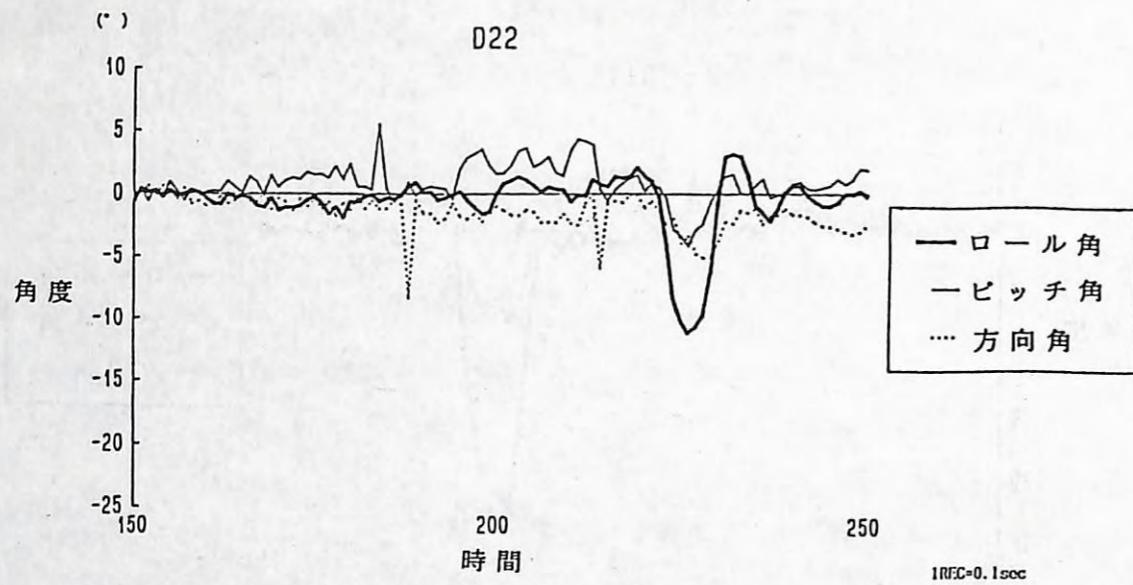


図31. ジャイロによる丸太乗越し時の車体角度の変化 (3速, 丸太の直径28cm)

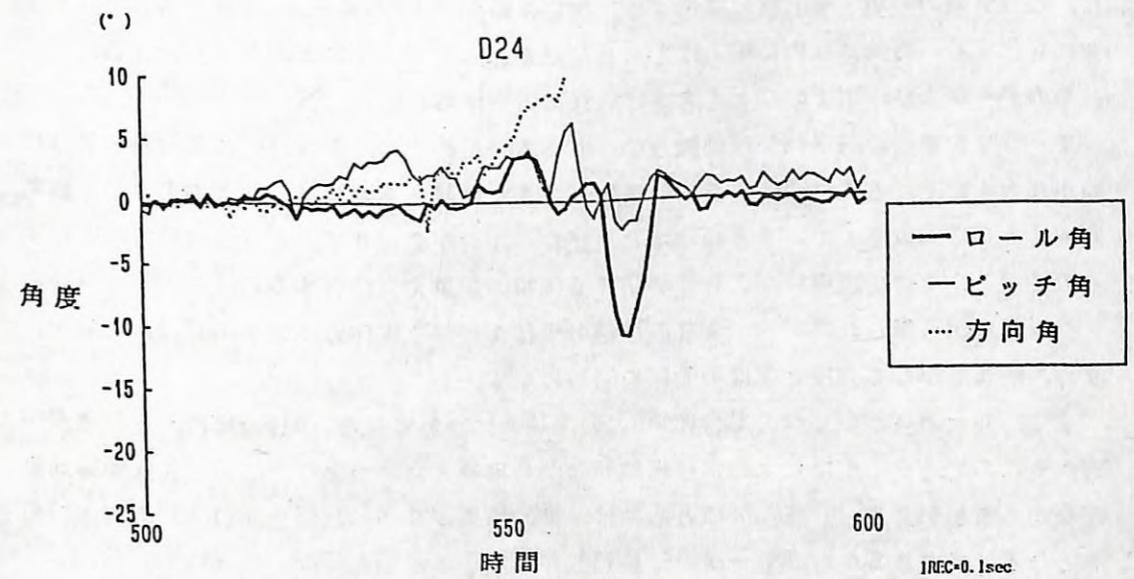


図33. ジャイロによる丸太乗越し時の車体角度の変化 (4速, 丸太の直径28cm)

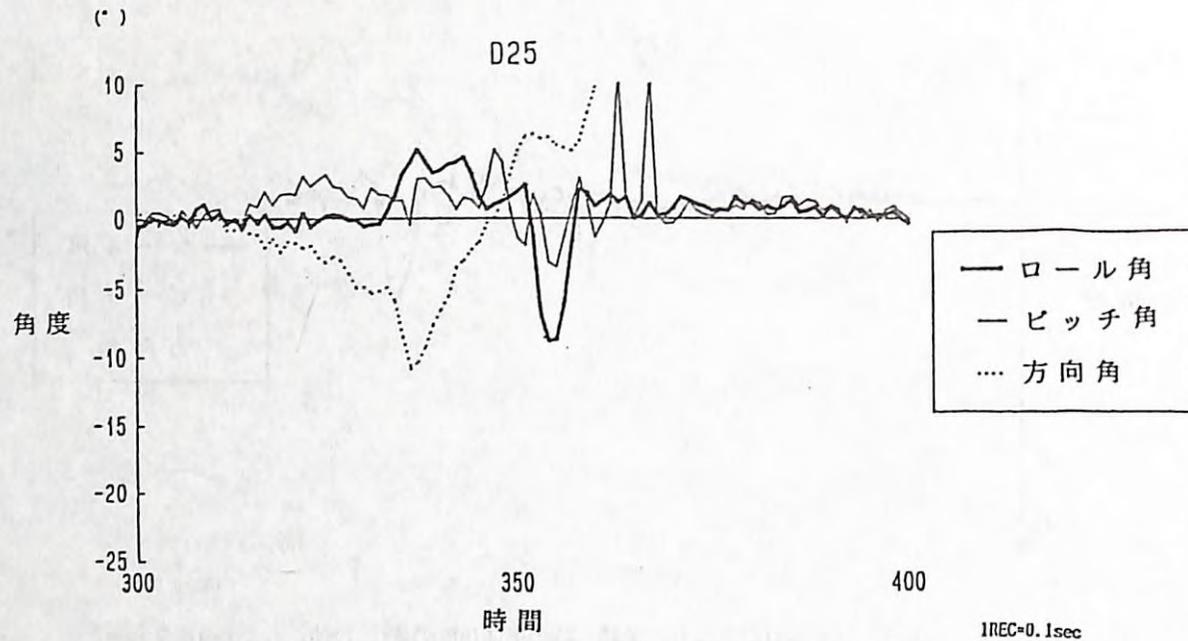


図34. ジャイロによる丸太乗越し時の車体角度の変化(4速, 丸太の直径28cm)

げ, ピッチ角のみが「+」側に变化する。次に後輪が乗上げ, ロール, ピッチ角とも「-」側に变化する。方向は丸太に乗上げたあと左に変わってしまうことが多かった。各図のこれらのデータより, 以下のことを考慮に入れて考察する。

T-50の場合, 前車軸が揺動軸となっている。そのため, 車体ロール角の最大値は後輪が丸太を乗上げる際に発生する。前車軸が丸太を乗越える際には, 丸太の太さが揺動範囲内(560mm以下)であるため, ほとんどロール角が変化せず, ピッチ角のみが変化するのである。そこで, 車体が大きく挙動する後輪の乗越えに注目する。

ジャイロから得られたデータより, 後輪の乗越えに伴う車体の傾きを図35, 36に示す。また, 跳ね上がりの角度と速度の関係を図37に示す。

まず, 丸太の高さが45cmの場合(図35)の乗越えについて見る。D11の場合, 走行速度が遅かったので, タイヤは丸太に常に接触しながら乗越えた。つまり, このときは動的効果がなかったといえる。計算上の値としては, 動的効果がなかった場合は 13.7° の車体の傾きとなるはずであるがこのデータでは約 15° 傾いている。

一方, D12~D14までは跳ね上がりが顕著に認められる。これらの走行速度は変速装置の段数から推測される。D12とD13は2速で乗越え, D14は3速で乗越えており, それぞれの速度は 5.5km/h と 10.3km/h となる。跳ね上がりは速度の速いものほど, その角度が大きくなっており, 跳ね上がり方も衝撃的である。

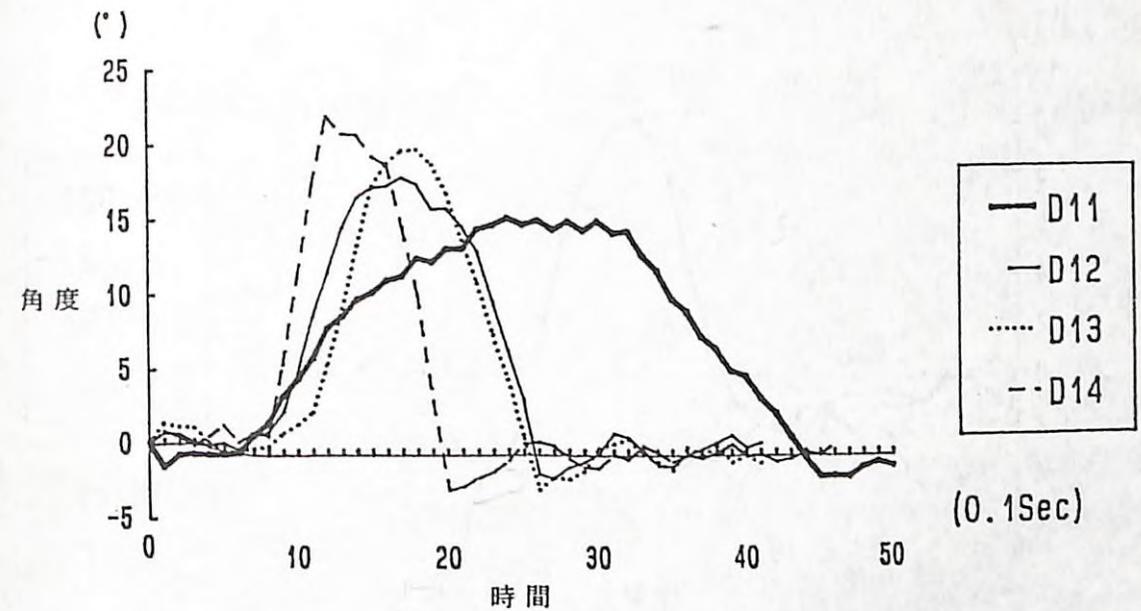


図35. 後車輪乗上げ時のロール角(丸太直径45cm)

次に, 図36の丸太が28cmの場合についてみる。速度は 10.3km/h と 19.8km/h であったが, 速度と跳ね上がりとの関係は明確でない。跳ね上がりの角度も丸太の高さによる角度 8.7° を除くと 2.5° 以下で, 車体の安定に影響するような値ではなかった。また, 跳ね上がり方にも特徴は見い出せなかった。

図37を見ると, すでに述べたように45cmの丸太と28cmの丸太の場合は傾向がまったく違う。45cmの場合は跳ね上げ角度と走行速度は比例し, その角度は, ほぼ走行速度(時速)に等しい値となった。つまり, 時速 5km/h で45cmの丸太を乗越えると 5° 跳ね上がるということになる。転倒しないように乗越えるには, 跳ね上げが起こったとしても安定な範囲内であるように走行しなければならない。特に静的にも不安定な, 斜面のななめ下方向に向かって走行するときは, 跳ね上げが起こらないよう十分注意する必要がある。

28cmの場合は, 速度が速いので動的効果による跳ね上がりも大きいと考えられた。しかし, 実際にはほとんど跳ね上がりが生じなかった。これは, タイヤと丸太の相対的な大きさに起因すると思われる。図38にタイヤと丸太の大きさを同じ比率にして示す。28cmの丸太の場合は相対的に小さいため, 低圧タイヤで乗越えたときに変形によって跳ね上がりの力が吸収されてしまうのであろう。丸太の太さの条件を2種類しか実験しなかったため, はっきりしたことはいえないが, ある程度以上の高さの障害物より跳ね上がりが生じるようになる。また, 跳ね上がりが生じる障害物の高さは, タイヤの変形による力の吸収力と, 相対的な大きさによって決まると思われる。

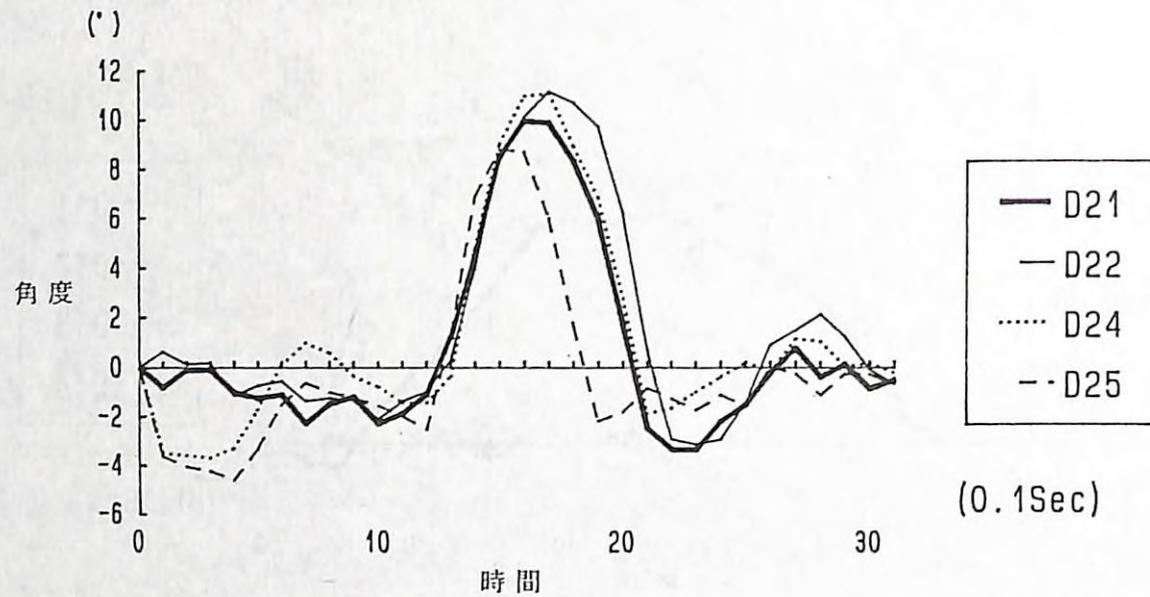


図36. 後車輪乗上げ時のロール角 (丸太直径 28 cm)

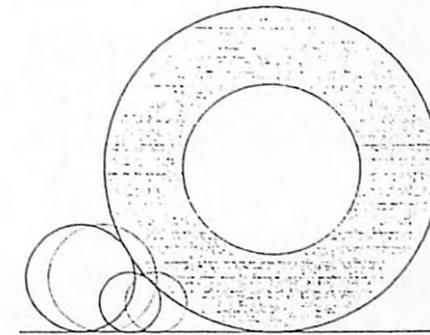


図38. 丸太とタイヤの接触角

(4)実験の問題点

ジャイロを用いた実験では、ノイズの問題が分析の支障となった。測定レンジを小さく取る、サンプリングを速くするなどの対策が必要である。また、測定条件の中で障害物の形、高さ、車両の速度の組み合わせを多くしなければならない。また、障害物の固定の仕方、沈下の防止方法も検討を要する。

(伐出機械研究室 上村 巧)

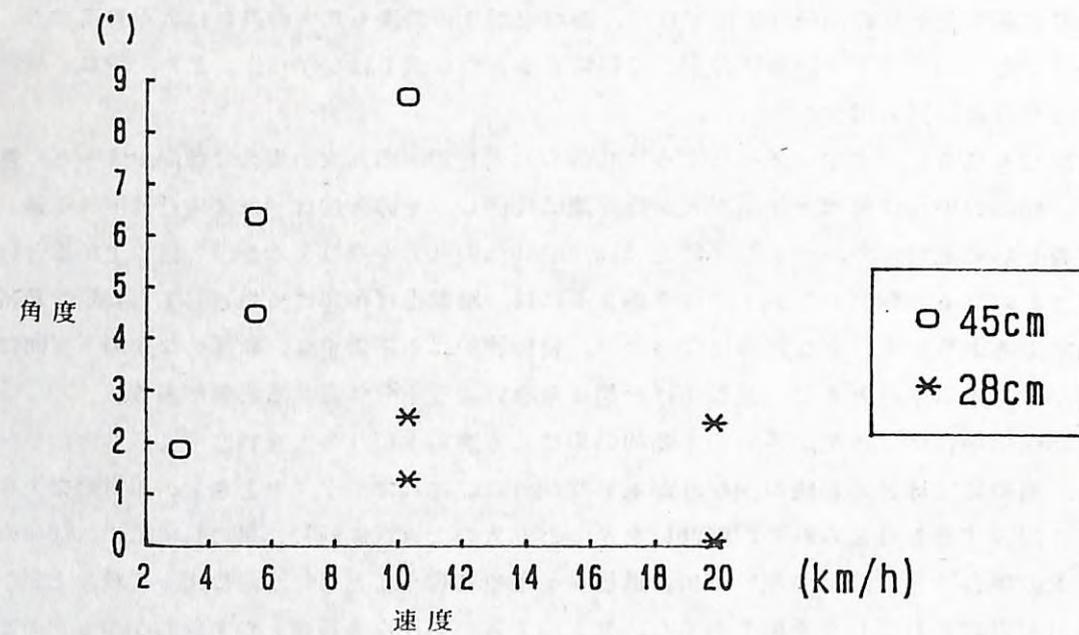


図37. 跳ね上げ角度と速度の関係

3) 丸太の乗越え試験 (動態分析装置による車体角度の測定)

ジャイロを用いた分析では、トラクタが障害物を乗越えるときの車体の傾き、特に後車軸の傾きに注目した。しかし、ジャイロによるデータではノイズが入り、後車軸の傾きの変化が判然としない。そこで、これを測定するため、ビデオによる動態分析を行った。

(1)試験方法

ジャイロを用いた測定試験と同じときに、トラクタのブレード中央の重心高さ(1040mm)の位置にマーキングし、これを走行するトラクタの後方からビデオカメラで撮影した。

(2)試験条件

ジャイロを用いた測定試験と同じである。

(3)分析方法

走行するトラクタの後方から撮影したビデオを n a c High Speed Video (株) ナック製 モデルHSV-400) で再生し、その画面からXYコーディネータ (株) ナック製モデル V-78) を使用して重心位置・右後タイヤ接地点・右後タイヤ接地点を原点とする水平線上の任意の点の3点を入力し、障害物通過における時間ごとの角度 α (図39) の変化を n a

c MOVIAS VIDEO (Ver.3.00) (株) ナック製) で分析した, その結果をプロッタ (HP社製 7550A GRAPHICS PLOTTER) へ出力したものが図40, 41である。

なお, このビデオの場合 1秒間のフレーム数は 60フレームであり, 図40a)では 25フレームごとに, その他は 10フレームごとにデータを取り込んだ。

(4)分析結果

静止状態の角度 α は実測値では 48.5° であるが, 図では $43\sim 45^\circ$ となっている。これはレンズの歪や入力時の誤差によるものであるが, トラクタの傾きの変化が分かればよいので多少の角度 α のズレは関係がないと考える。

図40a)は 1速で走行したときの角度 α の変化であるが, 角度 α の軌跡は放物線状の曲線を描いており, タイヤが丸太に衝突してから丸太に沿って乗越え, 着地していることが分かる。図40の障害物の高さは 45cm ・後車輪の輪距は 184cm で最大傾斜角度は 13.7° であるが, 図40a)の場合はトラクタの最大傾斜は 14° であり, トラクタが障害物を乗越えるときの静的変化と考えられる。図40b)c)は 2速, 図40d)は 3速での角度 α の変化である。いずれの図も障害物衝突時から最大傾斜までは直線的に変化しているが, 最大傾斜から着地までは図40-a)と同じように放物線状に落下している。これは障害物に衝突した瞬間の跳ね上げられる力によって最大傾斜まで傾き, その後は自由落下していくものと考えられる。また, これらの最大傾斜は $15\sim 19^\circ$ であることから, 障害物の高さより高く跳ね上げられていることが分かる。

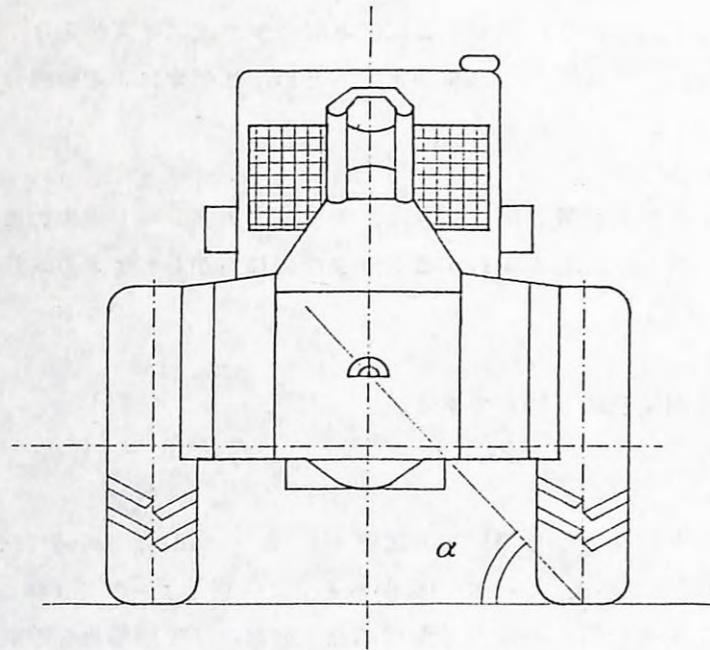
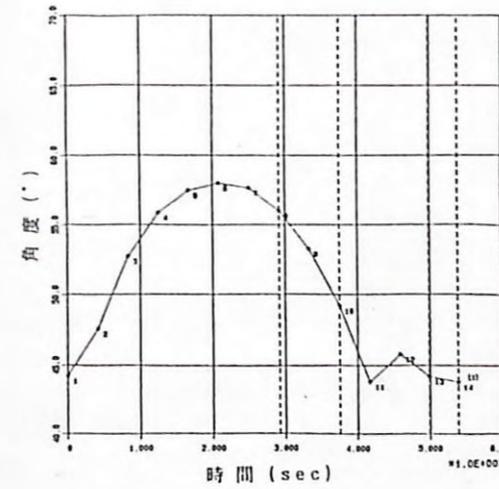
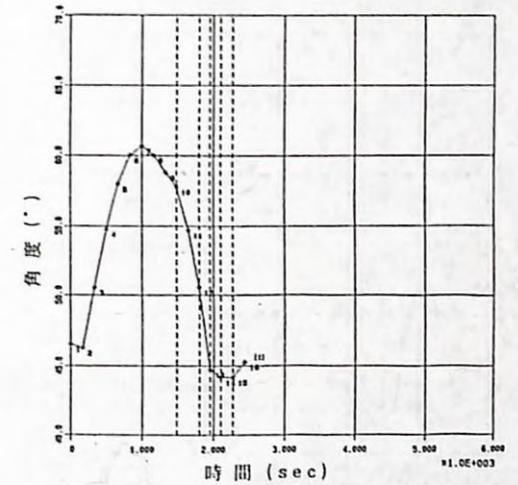


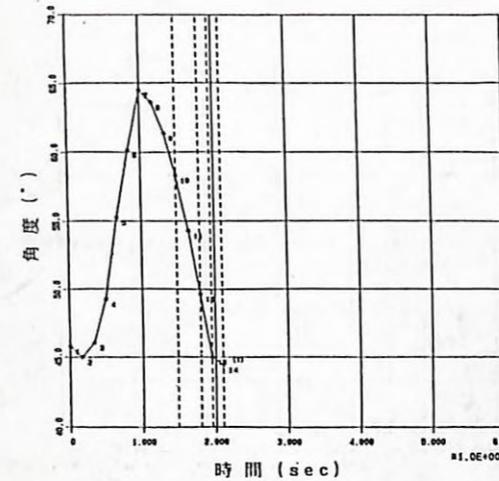
図39. 車体後方図と角 α



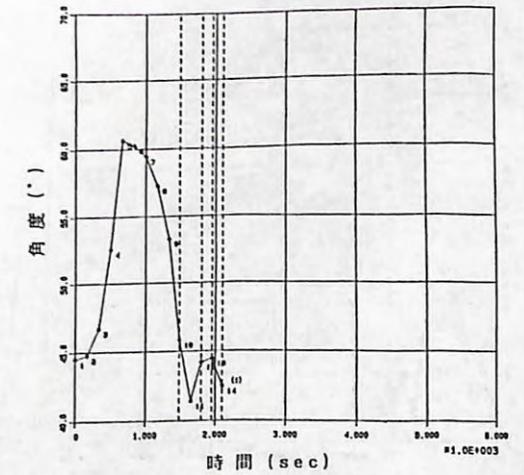
a) 1速, 直径45cm



b) 2速, 直径45cm

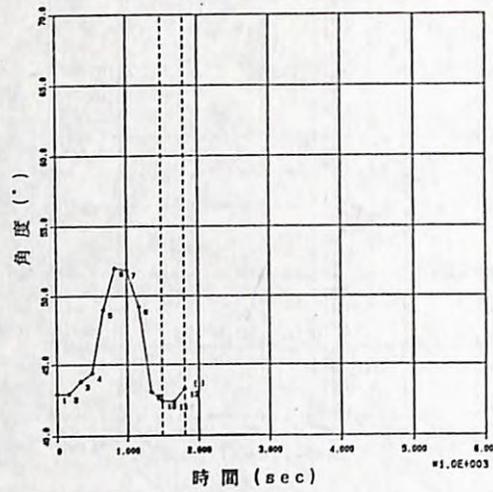


c) 2速, 直径45cm

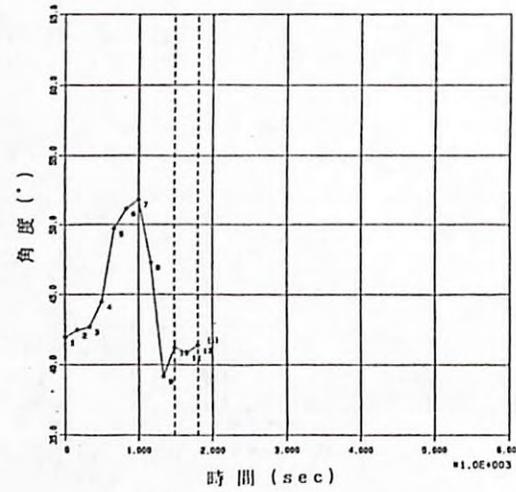


d) 3速, 直径45cm

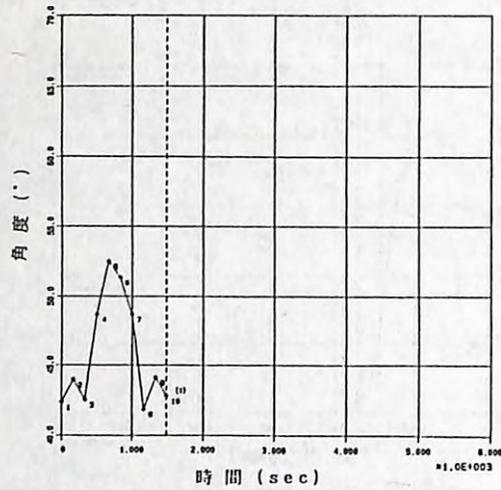
図40. 動態分析による丸太乗越し時の角度 α の変化



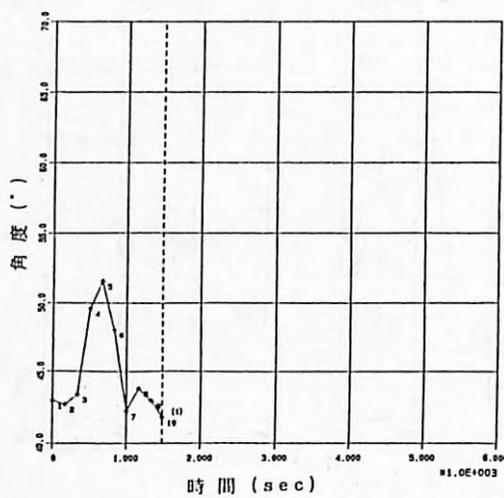
a) 3速, 直径28cm



b) 3速, 直径28cm



c) 4速, 直径28cm



d) 4速, 直径28cm

図41. 動態分析による丸太乗越し時の角度 α の変化

図41は障害物の高さが28cmであり最大傾斜角度は 8.7° である。図41a)b)は3速, 図41c)d)は4速で走行したときの角度 α の変化である,トラクタの最大傾斜は $9\sim 11^\circ$ であり障害物の高さより高く跳ね上げられていることが分かる。しかし, 角度 α の軌跡は, 速度が速いことと障害物の高さが低いことから測定ポイント数が少なくなり, 詳細な変化を見ることができなかった。

これらのデータから動的効果を分析するため, 角度 α の変化を一つのグラフに重ね合わせてみた。図42は丸太の高さが45cmのとき, 図43は丸太の高さが28cmのときである。図中の横線はタイヤが丸太に接触したときの角度 α の実測値に障害物の高さだけ傾いた車軸の角度を加えたものの平均値である。つまり, 静的効果の最大値である。図42から1速で走行したときには静的効果であることがよく分かる。しかし, 2速・3速では跳ね上げられていることは分かるが動的効果があるとはこの図からはいえない。また, 図43でも速度の速い4速のほうが着地までの時間は短いものの動的効果に関してみると3速と4速の間には差はないと考えられる。

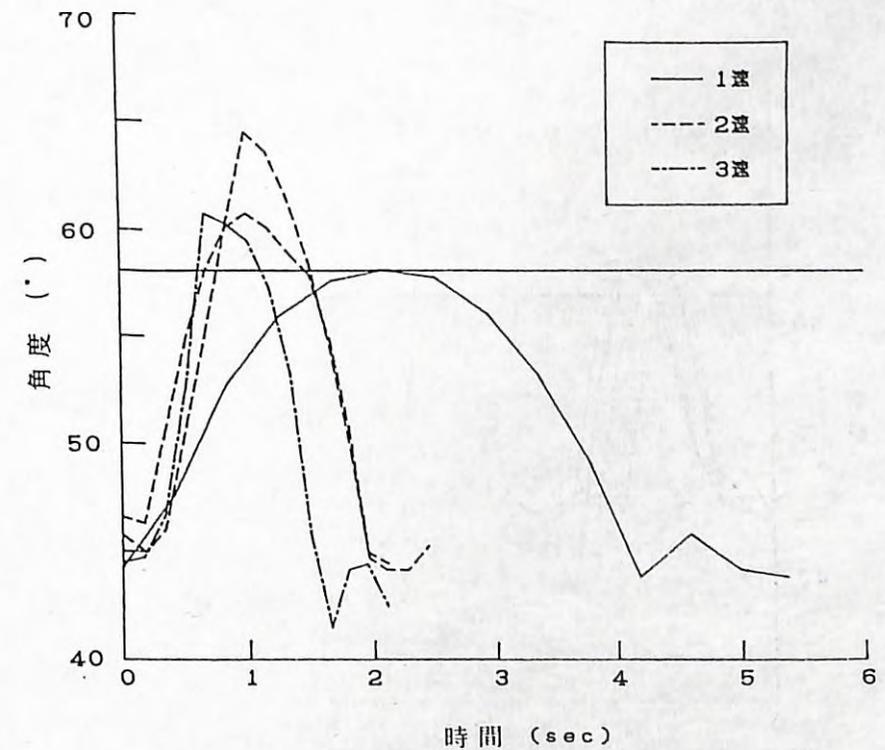


図42. 丸太乗越え時の角度 α の変化 (直径45cm)

つぎに、障害物通過前後の角度 α の変化を見てみる。図40c)と図40d),あるいは図41a)と図41c)の障害物通過後の角度 α の変化を見ると、速度が速いほど角度 α の乱れが大きくなっている。つまり、着地時の衝撃が大きいということである。また、同じ速度で高さの違う障害物を通過したときの図40d)と図41a)を比較すると、障害物が大きいほど角度 α の乱れは大きいと考えられる。また、図41c)d)では障害物衝突前に角度 α の乱れがあるが、これは速度が速いため前輪の揺動が鎮静化する前に後輪が障害物に衝突するからと考えられる。

(5)実験の問題点

- ①実験数が少なかったことと、ビデオ撮影にn a c専用ビデオを使用しなかったため詳細なデータ分析ができず、動的効果を調べるに十分なデータが揃わなかった。
- ②障害物を今回は丸太としたため、樹皮がある場合となくなった場合とによってタイヤと障害物間の摩擦が異なり、同じ条件で走行しても跳ね上げられる力が摩擦力に吸収され跳ね上がらない場合があった。また、トラクタが通過するときに丸太が沈下したり移動してしまったりしたので、伐根のように多少の力がかかっても動かない障害物を使用しなければならない。

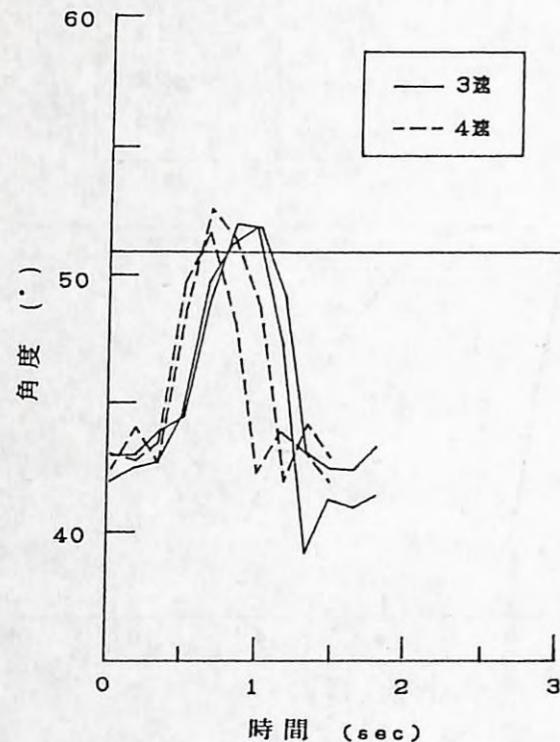


図43. 丸太乗越え時の角度 α の変化 (直径28cm)

(伐出機械研究室 陣川 雅樹)

4)まとめ

ジャイロと動態分析装置を用いた分析結果から次のようなことが明らかになった。

まず、ジャイロのデータから、T-50の場合走行時の安定性で問題となるのは、後輪の障害物乗越えであった。45cmの高さの障害物の乗越えのとき、後輪は低速でも跳ね上がりを起こし、走行速度に比例して跳ね上がり角度も大きくなった。今回の実験では最大8.7°も跳ね上がりが生じた。しかし、障害物の大きさが28cmとタイヤに比べ小さい場合ほとんど跳ね上がらなかった。

動態分析の結果、ジャイロと角度に違いのあるものがあったが、ほぼ同様の傾向を示した。ジャイロでははっきりしなかった跳ね上がり方は、衝突後直線的に跳ね上がり、最大角度に達した後は自由落下に近い形で落下することが分かった。つまり、跳ね上がりの力の成分は衝突時の状況にのみ影響を受けるといえる。障害物が比較的小さい場合に跳ね上がらないのは、衝突時の力の跳ね上がりの成分がタイヤの変形により吸収されるか、ほとんど生じないかのどちらかである。

今回の実験から、跳ね上がりによる車体角度の増加は最大9°近くにもなることが分かった。また、その角度は走行速度に比例していた。トラクタの静的安定角度はすでに前の項で明らかである。走行中は斜面の傾斜角と、障害物による車体角度の増加分と、さらに跳ね上がりによる角度の増加を加え合わせて、静的安定範囲内に重心があるようにしなければならない。また、転倒の第1ステージから動的効果により第2ステージに移行した場合、慣性などの影響から第2ステージの安定範囲を超えて転倒するという報告もある。

安全な走行のためには、転倒の第1ステージの限界までで走行し、しかも大きな障害物を乗越える際には、十分に速度を落として乗越さなければならない。

(伐出機械研究室 上村 巧, 陣川雅樹)

V まとめ

トラクタの転倒・転落事故防止に役立てるため、トラクタの挙動の力学的検討を行った。

(1)集材トラクタの転倒・転落事故の原因としては、以下のようなものがある。

- ①静的安定範囲からの逸脱
(傾斜地走行, 障害物乗越え, 路肩踏み外しなど, それらの複合効果)
- ②外力効果
(過大負荷の木寄, 曳行中材の引っかかりなどによる過大負荷, 材の衝突など)
- ③動的効果
(不整地走行, 障害物乗上げ・乗越え, 路肩踏み外しなど, それらの複合効果)
- ④足まわりの滑りがきっかけとなり, ①~③につながる。
(傾斜地走行, 障害物乗越え, 木寄・曳行など外力効果, それらの複合効果)

- (2)集材用トラクタ（ホイール5機種，クローラ2機種）の重心位置を調査・計測した。
- (3)T-50について屈折による静的安定範囲の変化を求めた。また，転倒時の重心位置の移動から車体の安定性を検討した。
- (3)ホイールトラクタの外力に対する安定性を調べるため，側方からの引張り実験を行った。アーティキュレート形では，屈折の外側に対する安定性が小さいことが明らかになった。
- (4)傾斜地走行や障害物乗越え時の，クローラトラクタ車体傾斜角をシミュレーションと実験の両面から検討した。傾斜地走行では小さな地表突起の通過でも，車体が大きく揺動することが示された。
- (5)動的効果の定量把握を目的として，T-50による丸太の片輪乗越え実験を行った。直径45cmの丸太を比較的高速で乗越えた場合，ロール角の動的効果部分は約9°になった。残された問題点として以下のことがあげられる。
- (1)車体の滑りについて検討するため，車体を横方向にけん引して土質・地表状態・天候別に車輪や履帯の横滑り係数を求める。
- (2)動的効果の定量把握実験を，丸太乗越え以外について実施する。
- (3)車体の動的挙動を理論的に明らかにするため，慣性モーメントなどを求め，各場面の運動方程式を作成する。

引用文献

- (1)佐々木尚三・鈴木皓史：トラクタの登坂時傾斜角について，36回日林関東支論，1984
- (2)佐々木尚三・三村和夫：クローラトラクタの重心位置に関する考察，96回日林論，1985
- (3)佐々木尚三・朝日一司・上村 巧・山田 健：ホイールスキッドの側方安定性について，102回日林論（投稿中），1991

林業機械の振動騒音の防止

林業機械の振動騒音の防止

I 試験担当者

生産技術部林業機械科造林機械研究室

鈴木 皓史

佐々木 尚三

自動制御研究室

平松 修

II 要旨

最初に、チェーンソーのキックバックの発生機序について解明するため、チェーンソーの実機を用いて実験的に現象を再現させた。特に、前ハンドル上端に作用する反力を求め、キックバック時の衝撃の大きさに重点をおいて現象の解明に努めた。さらに、作業姿勢とキックバックの発生との関連性を求めるため、現象の発生要因を分析し、いくつかの仮定において力学的考察を行った。次に、刈払機のキックバック現象についても同様に、その発生要因を機械のメカニズムと作業方法から検討した。また、現象の発生を防止または減少させるための考察を機械の改良、機械の選択、適正な作業方法などの面から行った。
(鈴木皓史)

III 試験目的

いわゆる小形手持ち機械を用いた森林作業において、作業員の労働環境に対する阻害要因として振動騒音をはじめとする諸要因が挙げられる。これらの要因それぞれに関して、その発生機序を明らかにするとともに、機械の改良のみならず使用方法の工夫によってその発生を減少させ、作業環境の向上を図る。

IV 試験の方法と結果

1. チェーンソーのキックバック現象 (I)

1) はじめに

日本でも最近排気量30ccクラスのミニチェーンソーが普及し、チェーンソーも一般工具の類に入ってきている。一方、わが国の林業分野の労働災害の統計では、チェーンソーによる事故が年間数十件程度発生しているといわれているが、詳細は定かでない。

い。一般に日本人の器用さから、チェーンソーのキックバックに起因する災害は少ないといわれているが、さきの林業以外の分野での普及使用が増えるにつれて、取扱不馴れの人々の使用でこの種の災害が増えることも予想される。すでに米国ではこの傾向が現われ、米国消費者協会からメーカー団体の米国チェーンソー協会にキックバック対策を緊急に行うよう要請がなされるとともに、米国の国内規格にキックバック防止を含む安全規格の制定を求め、その規格化(ANSI)の方向で検討がなされている。このほかすでに1978年、ILOは「チェーンソーの安全設計と使用」の勧告に安全構造の具備すべき要件を提起している。また、1982年初めからISOの第23技術委員会第17分科会において、チェーンソーを含む林業用可搬式機械の安全構造(騒音防止を含む)の規格化の検討が開始されている¹⁾。従来、このキックバックの検討は主にチェーンソーメーカー、ソーチェーンメーカーの社内テストの形で行われ、製品の開発改良に活かされているようである。しかし、一般には公表されていないのが実情である。そこで、キックバック現象について実験的に再現を試み、その現象について検討を行ってみたのでその一部を報告する²⁾。

2) 試験方法及び試験装置

チェーンソーのキックバック現象を把握するため、図1-1に示したようにチェーンソーを懸架アームに吊し、案内板先端部に鋸断材を押し当て突込み鋸断を行わせ、このとき生ずるエンジントルク、エンジン回転数、ソーチェーン速度、鋸断材にかかる力、前ハンドル上端に作用する上向きの反力、同じく前後方向反力、案内板の受ける衝撃加速度、鋸断材の受ける衝撃加速度及び鋸断材押し当て開始信号の9現象を計測し、データレコーダに記録した。上記計測には歪測定器、エンジン回転計、圧電式力量計、圧電式加速度計、近接スイッチを使用した。なお、データの解析にはデジタルオシログラフを使用し、現象の詳細な解析を行った。次に、供試したチェーンソーは排気量43.6cc、チェーンソーエンジン部重量8.25kg(トルクピックアップ及びその取付治具を含む)、案内板は18in、14in、ソーチェーンはオレゴン20AP型(セイフティガードの突起部分を研削、在来形のソーチェーンに戻して使用)であった。この供試チェーンカット諸元(平均値)は上刃目立角 $30^{\circ}07'$ 、横刃目立角 $87^{\circ}27'$ 、上刃切削角 $49^{\circ}24'$ 、ソーカット長さ89.3mm、デプスゲージクリアランス0.62mmであった。鋸断材には 5×5 cm角のケヤキ及びブナ材を使用した。

3) 試験結果

(1)キックバック発生要因：案内板先端部で木材を鋸断する際には(図1-1上部)、木材の鋸断によってソーチェーン・カットに切削抵抗力が働く。その方向はソーチェーンの走行方向と逆向きである。また、案内板先端部は通常半円形であるから、ソーチェーンの力の方向も案内板先端部のキックバックの発生部位も案内板の曲線部が始まる部分から半円曲線部の中央部分、つまり、1/4円周部分までの間にある。この1/4

円周部位上でのソーチェーン切削抵抗力の方向は曲線部の始まる部位でチェーンソーの本体を後方に押しやる方向に、また、1/4円周の中央部分では案内板と直角方向に、つまり、案内板を上方に跳ね上げる力となる。かつ、1/4円周上のどの位置の接線力も案内板先端部に作用する。このようなことから、危険な1/4円周部分をより小さくして鋸断材との接触部分を少なくすることによってキックバック事故を減らすことをねらった案内板(舟底形案内板)の発想もみられる。今回は図1-1下部でこの実験の力学モデルが示すように、後ろハンドルグリップ上端をヒンジとして、案内板先端部に鋸断材を押し当てたとき生じる前ハンドル上面に作用する反力の計測を行った。

(2)現象の特徴：計測データの一例を図1-2に示した。これは鋸断材を押し当てた瞬間の102.4ms前から307.2ms後まで、計409.6msの間の現象を示している。鋸断材の押し当ての瞬間から約50msで鋸断が始まり、負荷によってエンジントルクに乱れが生じ、鋸断材には下方に押し下げられる力が働いて約100msでピーク値が発生している。一方、チェーンソー前ハンドル上面には案内板先端に作用する切削抵抗力と後ハンドル・グリップ上端のヒンジ支持から案内板先端までの長さに比例したテコ比で反力が作用し、トルクのピーク値より約1~10ms遅れて前ハンドルに反力が現われ、約10msの周期で振動を起こしている。このほか、ソーチェーン・スピードはソーチェーン片側のカット・リンクの通過を近接スイッチで感知、ソーカット1個の通過に1個のパルスを表示している。従って、切削抵抗によりチェーン速度に変化が生ずれば、パルス間隔が広がり変化量を知ることができる。図1-3は上記の現象の一例を示している。これによると、前ハンドルに衝撃反力が生じる時点では鋸断開始時点より約2m/sほどのソーチェーン速度の低下がみられ、鋸断によりエネルギー消失があったことが分かる。

(3)現象相互の関係：上記のようにソーチェーン速度変化率(V_c/V_0 、 V_0 =鋸断前のチェーンの速度、 V_c =鋸断時のチェーン速度)と前ハンドルの衝撃反力の関係を図1-4に、前ハンドル衝撃反力の単位時間当たりの増加量(立ち上がりの大きさが大きいほど受けるショックが大きいと考えられる)とソーチェーン速度低下率との関係を図1-5に示した。いずれも相関関係はみられなかった。このほか、ソーチェーン速度の低下からソーチェーンの木材への衝突、切削、摩擦により費されたエネルギー消失について推定すると図1-6のとおりである。つまり、ソーチェーンの速度低下率が大きいほどエネルギー消費が大きいことを示している。次に、突込み鋸断時のエンジントルクのピーク値と鋸断時に生ずる鋸断材の反力を図1-7に示したが、相関はみられなかった。エンジントルク(ピーク値)とそれに対応する前ハンドル衝撃反力(ピーク値)との力に対して、エンジントルク(ピーク値)から計算で得られた前ハンドル衝撃反力の関係を図1-9に示した。この場合もバラツキが大きく、相関関係は小さいが、このデータのバラツキの原因の一つは供試チェーンソーに防振形を使用したことによる防振ゴムの緩衝効果によるもの、二つはキックバック現象そのものもソーカット1個1

個の切り込みが時には浅く、時には深くと不確定であることによるものではないかと思われる。なお、図1-4~1-9では案内板長14inを○印、18inを●印で示した。

4) まとめ

チェーンソーのキックバック現象を実験的に発生させて、特に前ハンドル上端に作用する反力を求め、キックバック時の衝撃の大きさに重点をおいて現象の解明につとめた。

(1)一定の押込力で鋸断材を案内板先端部に押し当て、突込み鋸断を行なうと鋸断トルクのピーク値に対応して1~10msの遅れで前ハンドルに衝撃反力が生ずることが分かった。

(2)トルクのピーク値に対応して前ハンドルが受ける衝撃反力とトルクの値との間には、はっきりとした相関関係は得られなかった。

(3)トルクのピーク値から前ハンドルの衝撃反力を計算すると30~100kgの力が前ハンドルに作用することが推定されるが、実測値では最大30kgと推定値の1/3程度であった。この原因としては、防振ゴムの緩衝による効果が考えられる。従って、防振チェーンソーはキックバックの緩衝にもよい影響を持つものと思われる。

(平松 修)

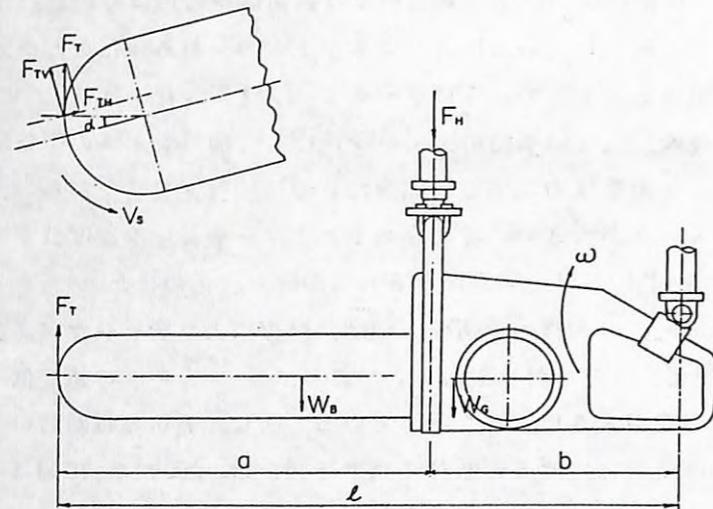


図1-1. キックバック計測モデル

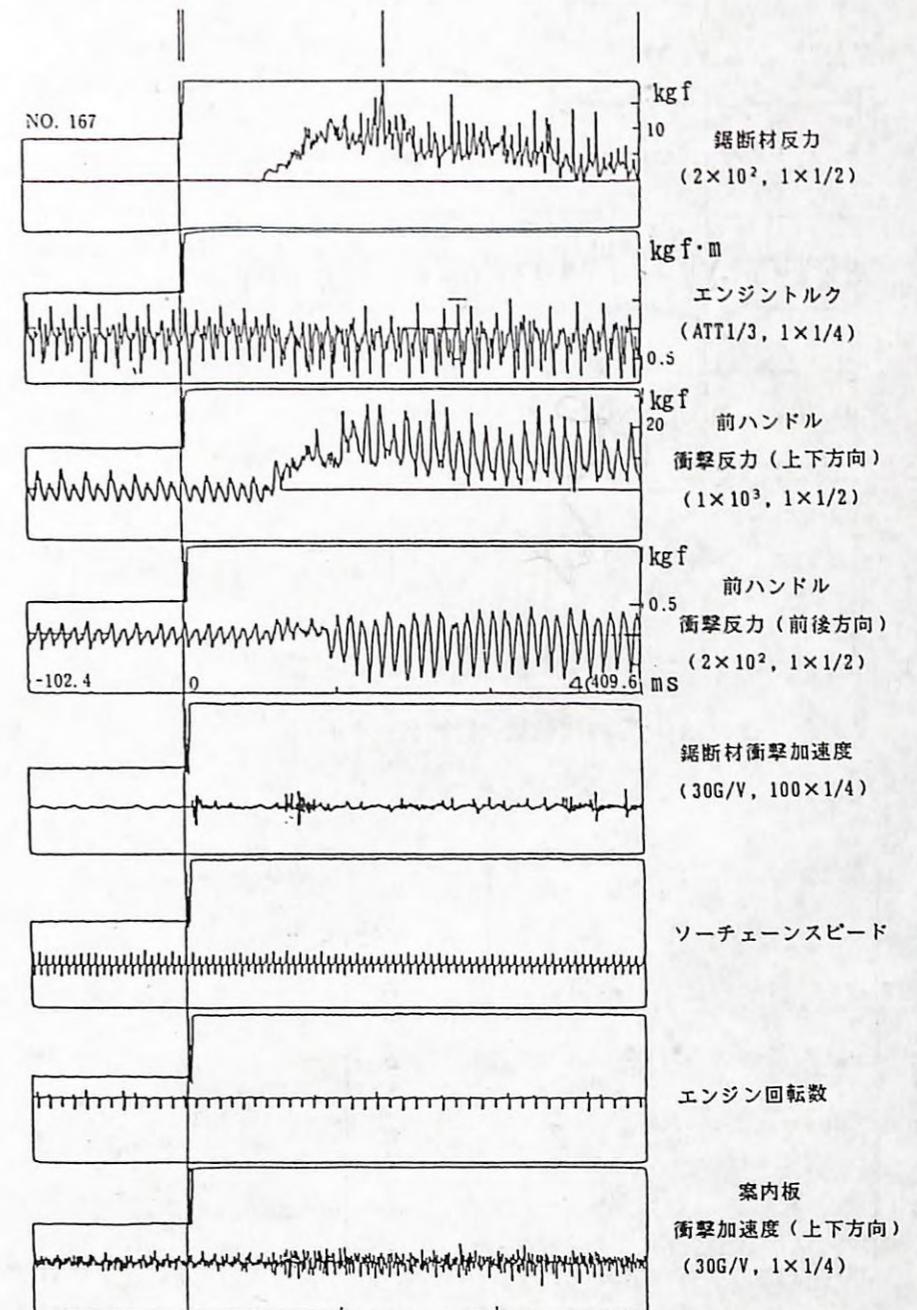


図1-2. キックバック計測データ例

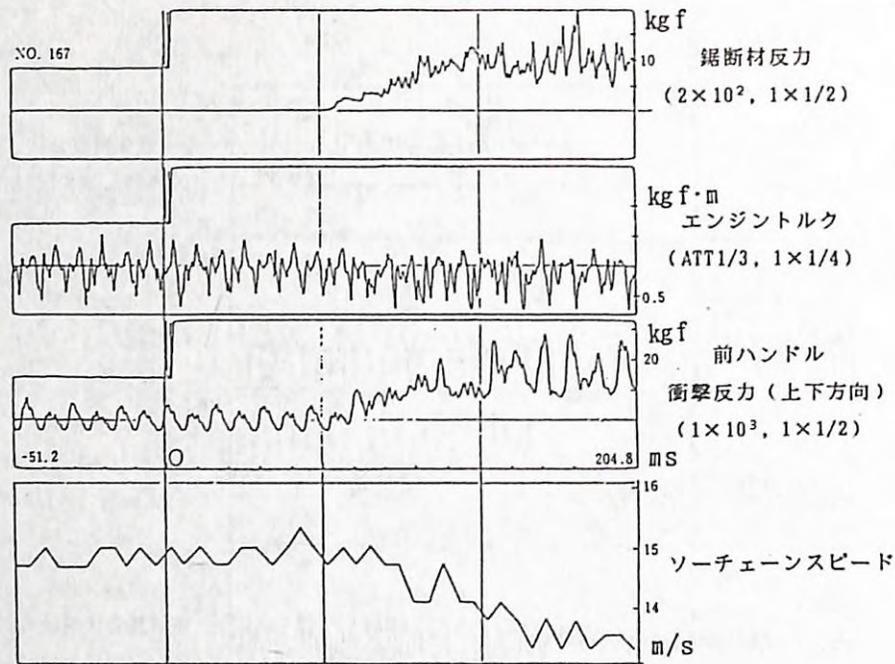


図1-3. 時間軸拡大計測データ例

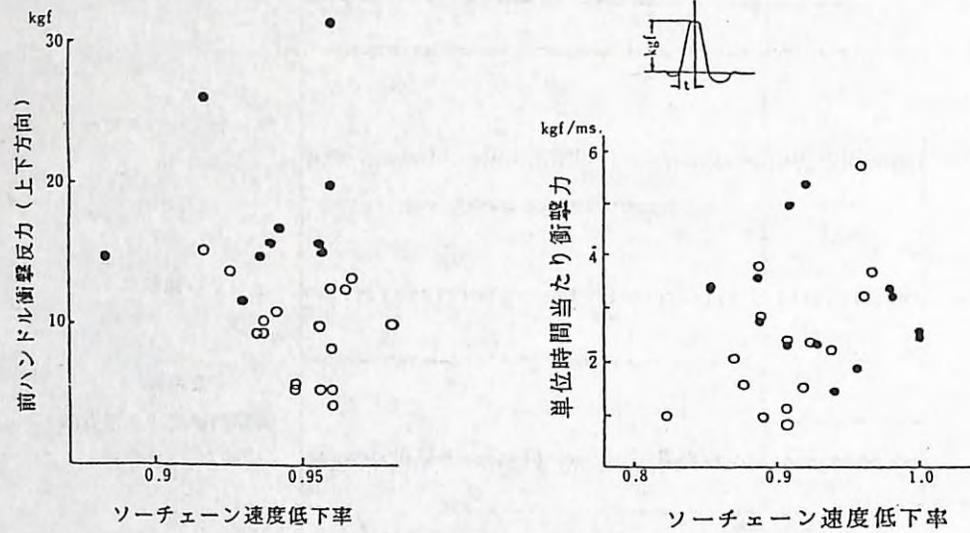


図1-4. 切削によるソーチェーン速度低下率と前ハンドルが受ける衝撃力

図1-5. 切削によるソーチェーン速度低下率と衝撃力の立ち上がりの大きさ

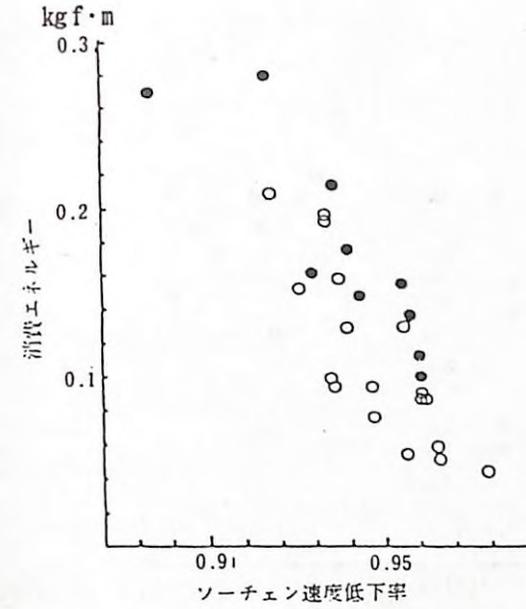


図1-6. 切削によるソーチェーン速度低下率とその消費エネルギー

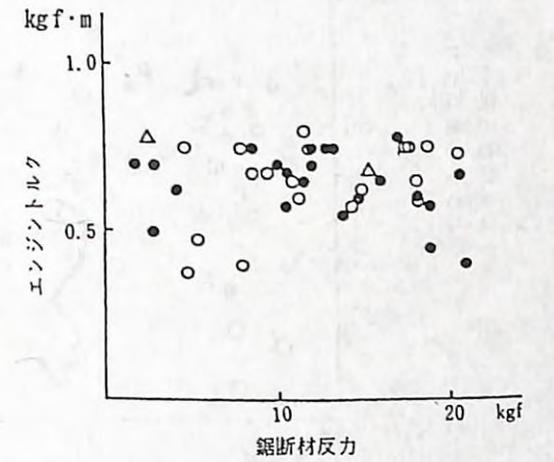


図1-7. 鋸断時の鋸断材のうける衝撃力とエンジントルク (ピーク値)

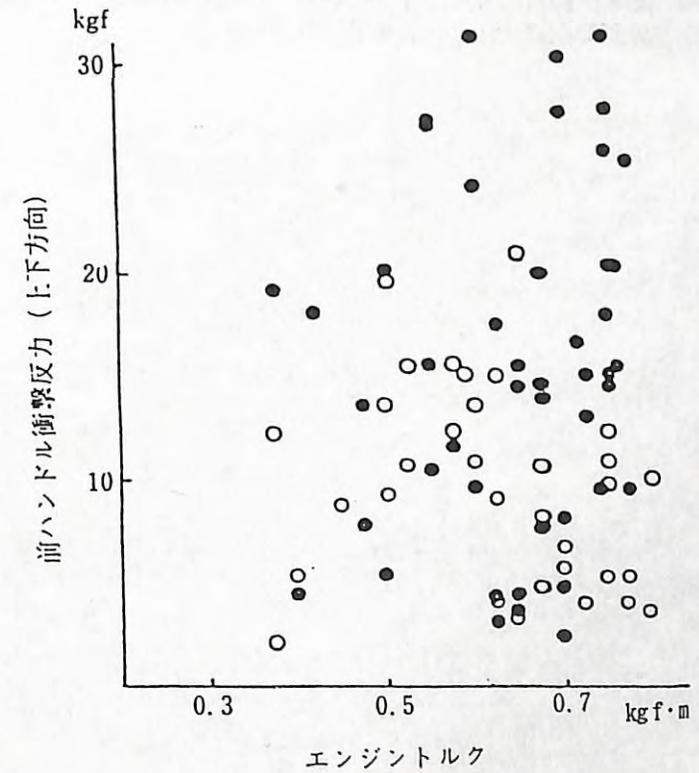


図1-8. エンジントルク (ピーク値) と前ハンドルが受ける衝撃力

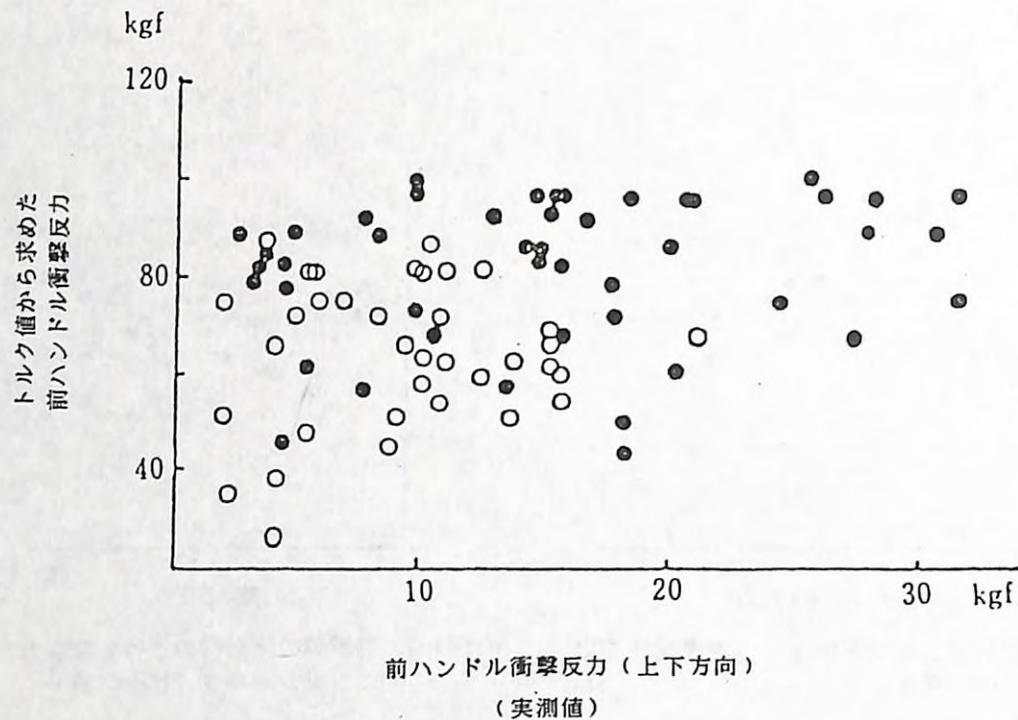


図1-9. 実測で得られた前ハンドル衝撃力とエンジントルク（ピーク値）から推定した前ハンドル衝撃反力

2. チェーンソーのキックバック現象(II) ----作業姿勢のモデル解析----

1) はじめに

欧米においては、林業分野でも事故統計が原因別に分類され、以後の対策に役立てられていると聞いている。これによると、欧米ではチェーンソー使用時の事故の中でキックバックの比率が大きい。その現われとして、現在ISOにおいて林業用手持機械の性能の標準化の検討が進められており、このキックバックが項目の一つに挙げられている。わが国でもチェーンソーのキックバック事故は大小とりまぜると潜在的にはかなりあると思われる。今回、チェーンソーのキックバック発生要因と関連させて、チェーンソーの把持姿勢により把持力が異なることがキックバック対策に効果があると思われ、前章の実験データを用いて検討を試みたので報告する³⁾。

2) 解析方法

(1)キックバック発生機構：チェーンソーは案内板周辺のどこの箇所でも木材を切削鋸断できる。このときの切削反力は、案内板上の切削位置によって異なる。図2-1に示したように、案内板上縁ではチェーンソーをオペレータ側に押し戻す力 F が、一方、案内板下縁ではチェーンソーを鋸断材側に引込む力 F が生じる。案内板先端部は通常半円形に作られており、切削反力も半円曲線部の接線方向に生ずる。この接線力を案内板方向と案内板直角方向の分力に分けて考えると、曲線部中央より上縁では案内板を押し戻す力と、案内板を跳ね上げる力が、下縁では案内板を引き込む力と、案内板を跳ね上げる力が働く。チェーンソーを傾け案内板の傾き角 α で鋸断材に接したときの切削反力の分力は、オペレータ側への押し戻す力： $F_H = F \sin \alpha$ 、跳ね上げ力： $F_V = F \cos \alpha$ となる。通常、案内板曲線部での鋸断は鋸断材の接触巾で行れる。つまり、図2-1では \widehat{ab} で示した区間の間で押し戻し力 F_H と跳ね上げ力 F_V の合力がキックバックとして生ずるから²⁾見掛上鋸断中 α_1 から α_2 の間で案内板の傾きが変動することになる。従って、キックバック分力の大きさも変化し、かつ、接線力も鋸断対象木のかたさなど切削抵抗力によって左右されるためキックバック現象が一定して発生しない、あるいは、偶発的に生ずるといわれる原因がここにあるものと考えられる。

(2)キックバックによるチェーンソーの運動：チェーンソーの案内板先端部ソーカッタの切削反力で生ずる反発力によってチェーンソーに運動が生ずる。この働きについて検討する。一般に、剛体の運動は並進運動と回転運動で表される。従って、ここではチェーンソーの運動を二次平面で取り扱う。図2-2は傾き角 α でチェーンソーを保持しているときの力の方向を示す。上記キックバック反力 F が案内板先端部のソーカッタに極めて短時間 Δt の間作用すれば、つまり、衝撃力が働くとき、チェーンソーの重心 G と F の作用線との距離を l 、 F と重心を含む平面に垂直に重心を通る軸に関するモーメントを I_G とすると、チェーンソーの運動方程式は

$$\text{重心運動} \quad : \quad M \frac{dv}{dt} = F$$

$$\text{重心まわりの回転} : \quad I_G \frac{d\omega}{dt} = l F \cos \alpha$$

両式とも Δt で積分すれば,

$$M \int_0^{\Delta t} dv = \int_0^{\Delta t} F dt \quad \therefore M \Delta v = \int_0^{\Delta t} F dt = S$$

ゆえに,

$$\int_0^{\Delta t} F dt$$

が分かれば重心の速度変化が求まる。

同様に,

$$I_G \int_0^{\Delta t} d\omega = l \cos \alpha \int_0^{\Delta t} F dt \quad \therefore I_G \Delta \omega = l \cos \alpha \int_0^{\Delta t} F dt = S l$$

すなわち、チェーンソーの角運動量の変化は反作用力の力積 S の重心に関するモーメントで表すことができる。チェーンソー案内板先端部に対してソーカッタに作用する切削反力の力積が働くと、チェーンソーの重心の速度は $v = \frac{S}{M}$ 、同じく重心まわりの角

速度は $\omega = \frac{S l}{I_G}$ で運動する。

(3)チェーンソーハンドルに働くキックバック反力：チェーンソーを一つの梁として図2-2に示したように全長 L 、案内板先端部カッタから前ハンドルまでの距離 X_1 、前ハンドルと後ハンドルの距離 X_2 とすると、重心の位置は前ハンドルと後ハンドルの間に位置するから、“テコ比”により案内板先端部カッタに反作用力 F_v が働いたとき、前ハンドルの受ける反力は

$$F_r = (W X_2 - F_v L) / X_2$$

後ハンドルの受ける反力は

$$F_r = (W X_2 + F_v X_1) / X_2$$

となる。

ただし、

F : 切削反力 (衝撃的切削反力)

F_H : 切削反力の案内板方向の分力

F_v : 切削反力の同案内板直角方向の分力

α : 案内板の傾き角

W : チェーンソー総重量

M : W/g

dt : 一枚のソーカッタの鋸断材切削 (= 接触) 時間

r : スプロケットの半径

T : 衝撃的トルク (= $F r$)

l : 案内板先端とチェーンソーの重心間の距離

モデル対象機として、

排気量 : 60 cc

総重量 : 7.76 kg

案内板長 : 16 in

のチェーンソーを使用して反力を求めた。

3) 結果と考察

(1)案内板先端部に作用する力：案内板先端カッタで生ずる反作用力は、ソーカッタが鋸断材から受ける切削抵抗力の反力 F の大きさと異なる。この切削抵抗力の反力は、鋸断材の節など急激な材質変化、あるいは、岩石など異物との接触でも増加する。この反作用力の余弦方向の分力の大きさは案内板の傾き角で異なり、 α が 45° のとき F_v と F_H は等しく、チェーンソーの傾きを大きくする (α が大きくなる) とチェーンソーを後方へキックする力が強く、逆に接触点が案内板先端部の半円中央部に近いほど案内板を上方に跳ね上げる力が大きくなる。特に、跳ね上げる力だけを考えて図2-3の F_v / F_H の比からも見られるように、 20° 以下では大きくなることが指摘できる。

(2)衝撃力：キックバックとして現れる反作用力は衝撃的な切削反力と極めて短い作用時間の積、つまり、力積で表されるから、前章で示した衝撃的トルク及びソーチェーン速度の計測値から衝撃力 = 力積を求めた結果、図2-4が得られた。衝撃トルクは $0.4 \sim 0.7 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ が多く観測されており、この範囲の値を採用した。また、作用時間 Δt は案内板先端部の上縁 $1/4$ 円の約 70% が接する切削長に相当する巾 5 cm の鋸断材の切片をソーカッタが通過する時間を作用時間とした。従って、ソーチェーン速度の増加で作用時間が短くなり衝撃力は小さくなる。

(3)キックバックによるチェーンソーの運動：上記衝撃力 (Impulse) からチェーンソーの重心位置は反作用力の方向に向けて運動を生じ、運動速度 V_0 及びモーメントによる角速度 ω を求めた結果、図2-5にみるように、衝撃力に比例した運動速度と角速度が生ずることを示している。つまり、チェーンソーの重心は速度 V_0 で反作用力の方向に並行運動しながら、かつ、重心まわりに回転し、角速度は衝撃力の大きさに比例して増え、本計算では $100 \sim 250^\circ / \text{sec}$ にも達することを示している。実際にはハンドルで支持されており若干の抗力が働くので、このような大きな角速度にはならないと思われる。

(4)キックバックによるチェーンソーハンドルに与える反力：上述のように、重心の運動速度、重心まわりの回転角速度で運動することが推定されたが、把持しているハ

ンドルではどの程度の反力を受けるか試算の結果を図2-8に示した。なお、試験機の諸元は $L = 74.5\text{cm}$, $X_1 = 47.5\text{cm}$, $X_2 = 27.0\text{cm}$, $X_3 = 2.0\text{cm}$, $W = 7.76\text{kg}$, $r = 1.75\text{cm}$ である。これによると、前ハンドルは上方に押し上げられ、後ハンドルでは下方に引き下げられる力が働くことを示している。その力は衝撃トルクの大きさに比例し、前ハンドルでは衝撃トルクが $0.6\text{kgf}\cdot\text{m}$ 程度で 100kgf にもなることを示しているが、前章でも報告したとおり、防振機ではこのショックは防振ゴムの緩衝作用で $1/3$ 程度に低減するとみてよさそうである。

(5) チェーンソー保持姿勢とキックバック力：上記のように、キックバックによってハンドル部にかかるショックはかなり大きいことが推定される。チェーンソーを保持している保持姿勢を調べると、図2-6にみるようにほぼ5段階に分けられるが、これらの支持位置で人間の保持力（背筋力）を調べると、図2-7にみるように、ヒザ位置（約 50cm ）から目の高さ（約 150cm ）の位置に上るに従い保持力が低下することがみられる。一般に、チェーンソー使用時は図2-7のように力を出し切った作業ではない。おそらく、この値の $1/3$ 程度の力で操作していると思われるから、図2-8に示した最大保持力（Max. keeping force）も低い値と思われる。従って、例えばキックバックによるハンドル部の反力を支える力をヒザ位置で 50kgf の $1/3$ 程度とすると、衝撃トルクは $0.2\text{kgf}\cdot\text{m}$ が限度で、それ以上の衝撃トルクには抗し切れないものと推定できる。特に図2-7にみるように、支持位置が腹部以上の高さ（約 100cm ）で機械を操作したときには、さらに低い衝撃トルクにも抗し切れないものと思われる。

4) むすび

チェーンソーのキックバック現象の発生要因を分析し、いくつかの仮定においてチェーンソーの運動速度、重心まわりの角速度について検討を行った。また、ハンドルに伝わる衝撃反力の推定値と対比して、チェーンソーの保持高さを高くすると保持力の低下が見られることから、耐キックバック能力も低下し危険度が増すのではないかとと思われる。

(平松 修)

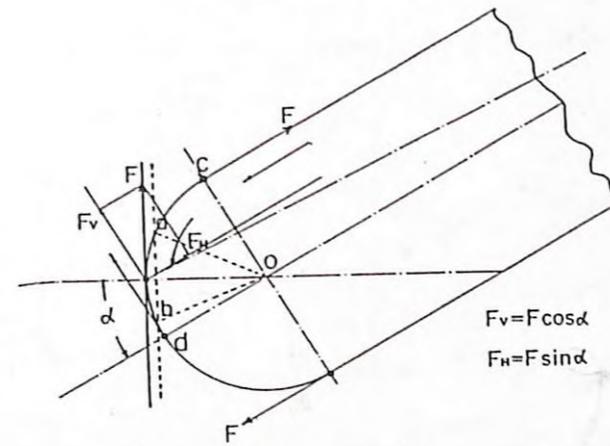


図2-1. キックバック発生機構

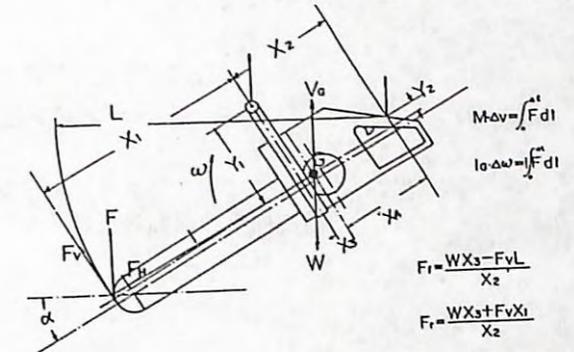


図2-2. キックバックによるチェーンソーの運動

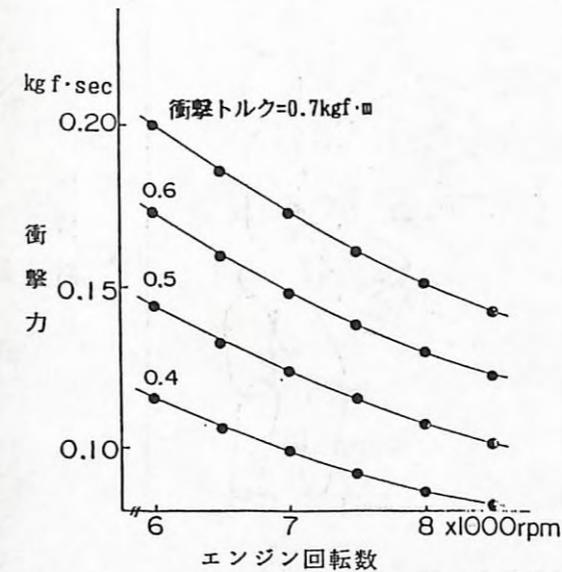


図2-4. 案内板先端部に働く衝撃力

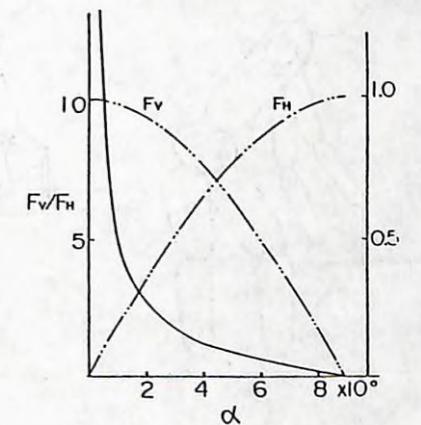


図2-3. 案内板の傾き角 (α) と 切削反力の水平 (F_h), 垂直分布 (F_v)

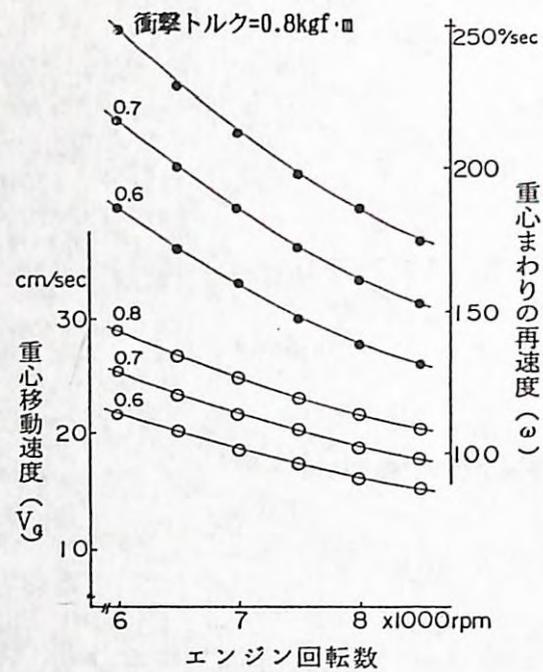


図2-5. キックバックによるチェーンソー重心の運動速度 (V_g) と重心回りの回転角速度 (ω)

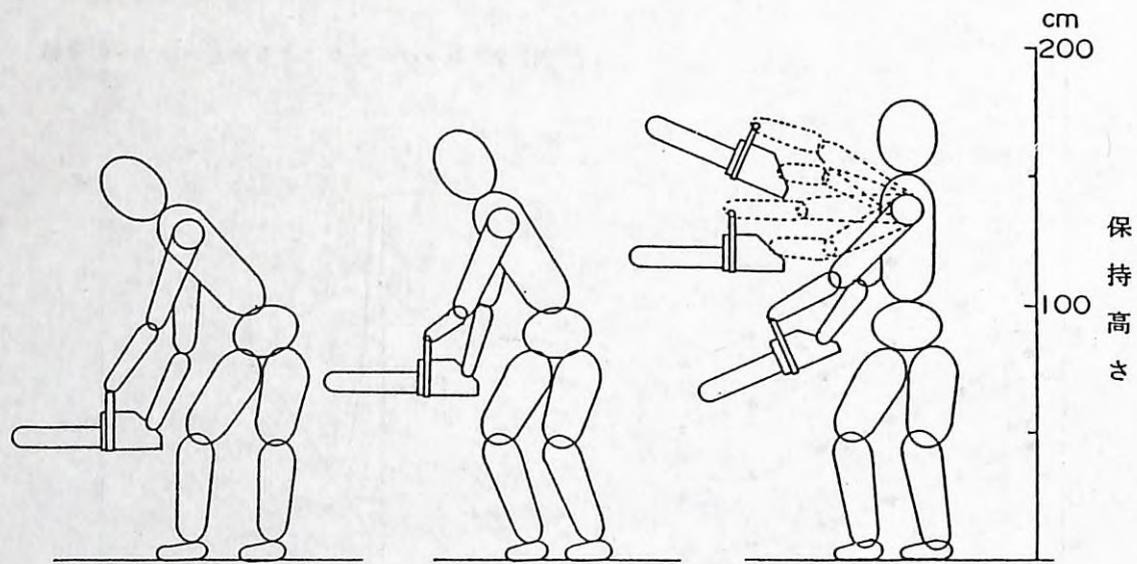


図2-6. チェーンソー使用時の作業姿勢

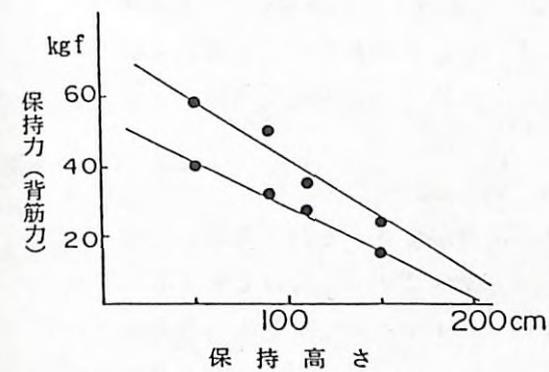


図2-7. 物体の支持高さ和支持力 (背筋力)

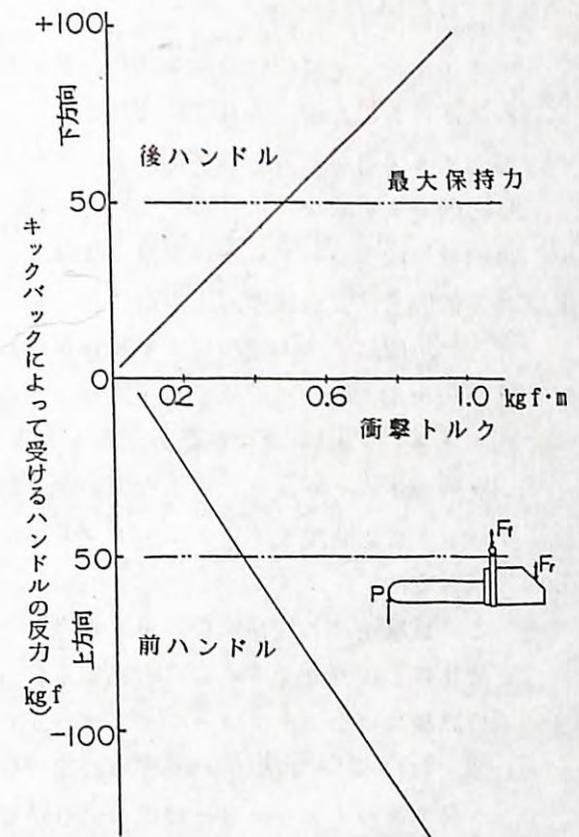


図2-8. キックバックによる前ハンドル及び後ハンドルに生ずる反力 ($F_r \cdot F_{r'}$)

3. チェーンソーのキックバック現象(Ⅲ) ----- チェーンソーの跳ね上がり運動 -----

1) はじめに

チェーンソーは現代の産業活動, 特に林業, 農業, 木工業, 建設業など, また, 一般生活にも広く使用されている。このような使用現場にあっては思いもよらぬ災害に遭遇する場合がある。わが国でもこの種の災害のなかにチェーンソーのキックバックに起因する事故を時折耳にする。すでに, 数年前からISOにおいて林業機械分野での機械性能, パーツなどの規格の標準化が論議されており, その一つにチェーンソーの性能向上, 安全性の向上の検討がある。安全機構の性能比較を行う場合, 同一の条件下で, 同じテスト方法による比較可能な試験データが必要である。今回, チェーンソー・キックバック現象の再現性という点から最も簡易な試験方法¹⁾として提案された本テストを実施, その試験方法とその現象について検討した。既報^{2), 3)}ではチェーンソーのキックバックによる反力の測定解析を中心に進めてきたが, 本報告ではキックバックによって生ずるチェーンソーの運動について検討を行ったので報告する⁴⁾。

2) 試験方法

この試験法は各機種別の対キックバック対策, 例えば, チェーンブレイキの性能などを比較しようとする場合に役立てられ, 簡易に試験ができるという点に特徴がある。この試験ではチェーンソーのキックバック現象を力学的に3つに分けて考える。すなわち, (1)チェーンソーの衝突, (2)案内板先端部でのキックバック発生, (3)キックバック発生後のチェーンソーの跳ね返り運動である。図3-1に示したように, 上方から所定の長さのロープによってチェーンソーを吊り下げ, エンジンを所定の回転数で駆動させ, チェーンソー案内板先端を被削材から一定の間隔離れたところから振子衝突させ, そのとき起きるキックバック現象を観測するもので, 本報告の試験条件は吊り下げロープの長さ2.0m, 案内板先端と被削材との間隔を22.5cm(計算上の衝突速度=0.5m/s), 44.9cm(計算上の衝突速度=1.0m/s), 被削材の傾き角度-5°, 10°, エンジン回転数7500±300rpmでテストを行った。計測項目は被削材と案内板先端の間隔, エンジン回転数, ソーチェーン速度である。解析は主としてビデオ画像に写されている案内板先端の動きを画像解析機によって33/1,000secごとにx-y軸座標上の位置をデジタル化して読み取った。

なお, 供試チェーンソーの諸元は排気量: 62cc, 最大出力: 3kw, 重量: 8.64kg, 慣性モーメント: 2.1167kgf·cm·s², 寸法: 長さ820・幅210・高さ280mmである。また被削材は厚さ50・幅250・長さ1,000mmのブナ板目材を所定の角度(β)で固定した。

3) 試験結果及び考察

一般に, チェーンソーのキックバックの発生原因は次のように考えられる。

- ①案内板先端のソーチェーンに加わる急激な切削負荷反力による跳ね返り。
- ②走行中のソーチェーンが案内板先端で鋸断材に急に挟み込まれ, チェーンソー本体

がパワーによって逆反転する場合。

③材に案内板先端を当てたとき, ハンドルの支えが弱く案内板先端のソーチェーンが材の表面を走行して, 駆け上がり跳ね返る場合。などである。

本テストの場合は①に相当すると思われ, このテストの場合の現象を力学的に考えると次のように表すことができる。

(1)チェーンソーの振子衝突: 図3-1から吊り下げられたチェーンソーの振子衝突による衝撃力は下記③式で示される。エネルギー保存則から,

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \text{ ----- ①}$$

$$v = \sqrt{(2gL_0(1-\cos\theta))} \text{ --- ②}$$

$$\therefore S_{col} = mv \text{ ----- ③}$$

ただし, L_0 = 吊り下げロープ長(cm), m = チェーンソーの質量(kg s²/cm),
 $\theta = \sin^{-1}(a/L_0)$ (deg), a = 案内板先端と被削材の間隔(cm),
 v = チェーンソー衝突速度(cm/s), S_{col} = 衝突による衝撃力(kg s),
 $h = L_0 - L_1 = L_0(1 - \cos\theta)$ = 間隔「a」離れた時の落差(cm),
 $L_1 = L_0 \cos\theta$

で示される。

実際には上記「a」の値を正確に22.5cm, 44.9cmに設定しにくいこともあるが, 画像解析による v の値は計算値より低い値であった。

(2)チェーンソー案内板先端部のキックバック力: 上述のキックバック発生原因の第一に掲げた切削反力を想定すると, 図3-2のように, ソーチェーンの切削反力は案内板先端の半円部の接線方向に発生する。また同時に, 上記の振子衝突による衝撃力によってカッタの切込み深さが通常の切削時より大きくなり, この切削反力が大きく作用する。従って, 案内板先端部に作用する衝撃力は振子衝突による力と, 切削反力のベクトル和として案内板先端に作用すると考える。

$$F = \frac{T}{r} \text{ ----- ④}$$

$$S_{cut} = F \int dt \text{ ----- ⑤}$$

$$\therefore S = \sqrt{S_{col}^2 + S_{cut}^2} \text{ ----- ⑥}$$

ただし, エンジントルク $T = 716P\eta/N$ (kgf·m), P = エンジン出力(PS), η = 機械効率, N = エンジン回転数, F = 切削力(kgf), r = スプロケット半径(mm), S_{cut} = 切削による衝撃力(kg fs), 衝撃的切削の作用時間 = dt (画像解析データから推定すると約5/100sec程度), S = 衝撃力合力(kg fs)。

このほか、上述のキックバック原因の②に当たるソーチェーンの瞬間的停止によるエンジン部の反転を考え、ギャップセンサを使用してソーチェーンの瞬時停止の監視を試みたが、図3-3に示すように、停止現象は見られなかった。

(3)キックバックによる跳ね上がり角度：図3-4のように、吊り下げられたチェーンソーの案内板先端部に衝撃力合力（衝突力と切削力の合力式⑥）が作用すると、チェーンソーには重心回りの回転モーメントが発生するが、前ハンドルは吊り下げロープで回転が拘束されているためチェーンソーは吊り下げられた前ハンドル回りに回転する。従って、跳ね上がりによる転回角度は式⑩で表せる。チェーンソー案内板先端と被削材の衝突後の衝撃合力S（式⑥）によるチェーンソーの角運動量は保存されるから、

$$SL' = I' \omega \text{ ----- ⑦}$$

$$\omega = SL' / I' \text{ ----- ⑧}$$

ゆえに、衝突後のチェーンソーの転回運動のエネルギーは

$$1/2 I' \omega^2 = mgh_1 \text{ ----- ⑨}$$

$$h_1 = K - K \cos \alpha \text{ ----- ⑩}$$

$$1/2 I' \omega^2 = mgK(1 - \cos \alpha) \text{ ----- ⑪}$$

$$\therefore \alpha = \cos^{-1} (1 - (SL')^2 / (2I'WK)) \text{ ----- ⑫ が得られる。}$$

ただし、I'=重心回りの慣性モーメント(kgf·cm·s²),

$$I' = mK' = \text{前ハンドル回りのチェーンソーの慣性モーメント(kgf·cm·s}^2\text{)},$$

$$K' = (I/m) + K = \text{同上の修正慣性半径(cm)},$$

$$L = \text{重心から案内板先端までの距離(cm)},$$

$$K = \text{重心から前ハンドルまでの距離(cm)},$$

$$\alpha = \text{キックバックによる跳ね上がりの転回角度(deg)},$$

$$L' = K + L,$$

$$\omega = \text{チェーンソー重心回りの転回角速度},$$

$$W = \text{チェーンソー重量}$$

図3-5、3-6はキックバック発生時、特に、大きく跳ね上がったときの画像解析事例である。この場合、案内板先端の跳ね上がり高さは約76.6cm、チェーンソーの転回角度にして約82.7°であった。案内板先端部のx、y座標上の各方向の動きの軌跡を一定時間ごとに示したもので、No37のポイントで被削材に衝突、案内板先端部が反発後退しながら跳ね返る現象を示した。また、図3-6は時間軸に対する案内板先端部の縦方向の位置(y)と、その跳ね上がり速度を示している。読み取り点No37を境に跳ね上がっていることが見られ、その跳ね上がり速度は最大3.3m/secの突発現象であることが分かる。

同様に、図3-7に案内板先端の衝突速度と案内板先端の最大跳ね上がり高さの実測値を、図3-8に同衝突速度とチェーンソー最大転回角度の実測値と理論値（式⑫）の関係

を示した。また、図3-9に同衝突速度と案内板先端の最大跳ね上がり速度の実測値の関係を示した。いずれも衝突速度に比例して最大跳ね上がり高さ、転回角度、跳ね上がり速度が増す傾向が見られる。なお、図3-7～3-9の図中のβは被削材の固定傾き角度を示す。

4) まとめ

ロープ吊り下げによるチェーンソーのキックバックテストを行った。テストの結果は次のように要約できる。1)本テストはソーチェーン回転中のチェーンソーを被削材に衝突させてキックバックを再現させるもので、現象を3つに分けて衝突衝撃力を式③、案内板先端の衝撃力を式⑤、跳ね返り角度を式⑫で示した。2)衝突速度に比例して案内板先端跳ね上がり高さ、同跳ね上がり速度、チェーンソー転回角度が増加する傾向が見られる。なお、このテスト法について見ると、

- (1) 本テスト法は簡易でキックバック現象の再現には好都合である。
- (2) チェーンソーの運動はロープの吊り下げのみが拘束力として作用し、力学的にキックバック現象を捉えるには適している。
- (3) チェーンソーは衝突時のキックバック力の方向に予期しない運動を生ずることもあるので、オペレータは注意を要する。
- (4) 試験条件（例えば、エンジン回転数）の正確なコントロールが困難。
- (5) チェーンソーの質量、慣性モーメントに影響を与えるので多くのセンサー類の取り付けが困難。
- (6) チェーンソーの実際使用時と本テスト法に相違がある。

(平松 修)

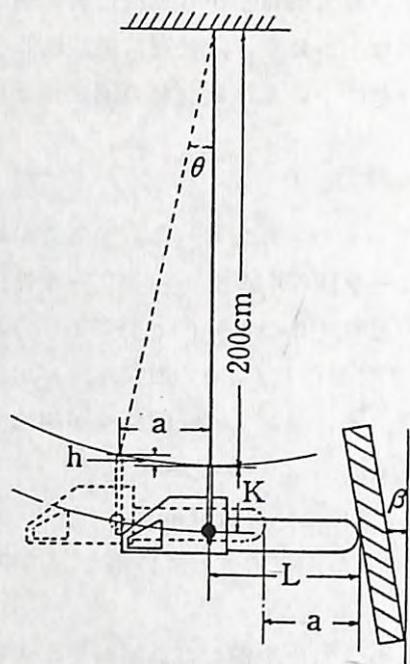


図3-1. キックバックテスト方法

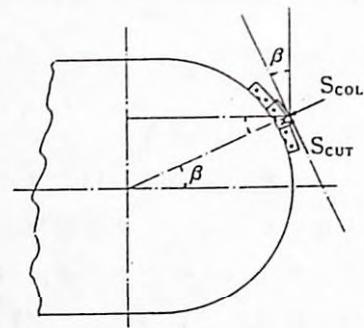


図3-2. 案内板先端部の切削反力

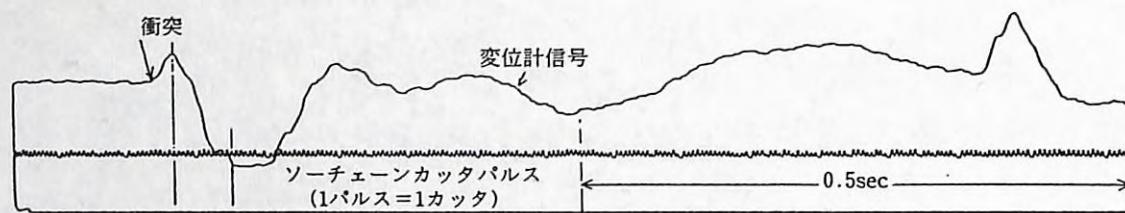


図3-3. ソーチェーンの停止の監視

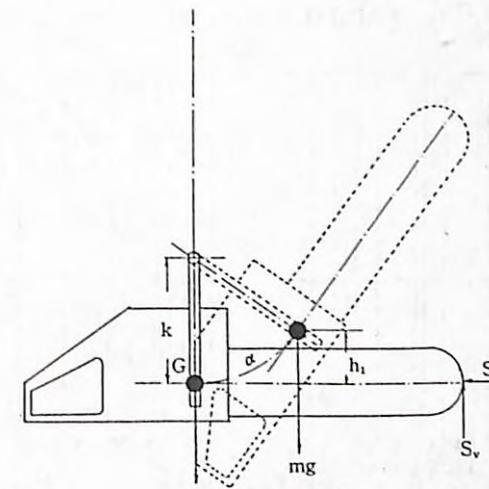


図3-4. キックバックによる跳ね返り運動

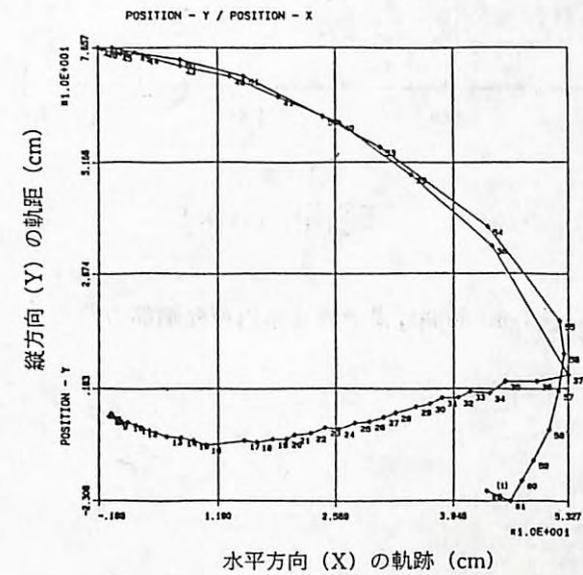


図3-5. キックバック発生時の案内板先端の軌跡

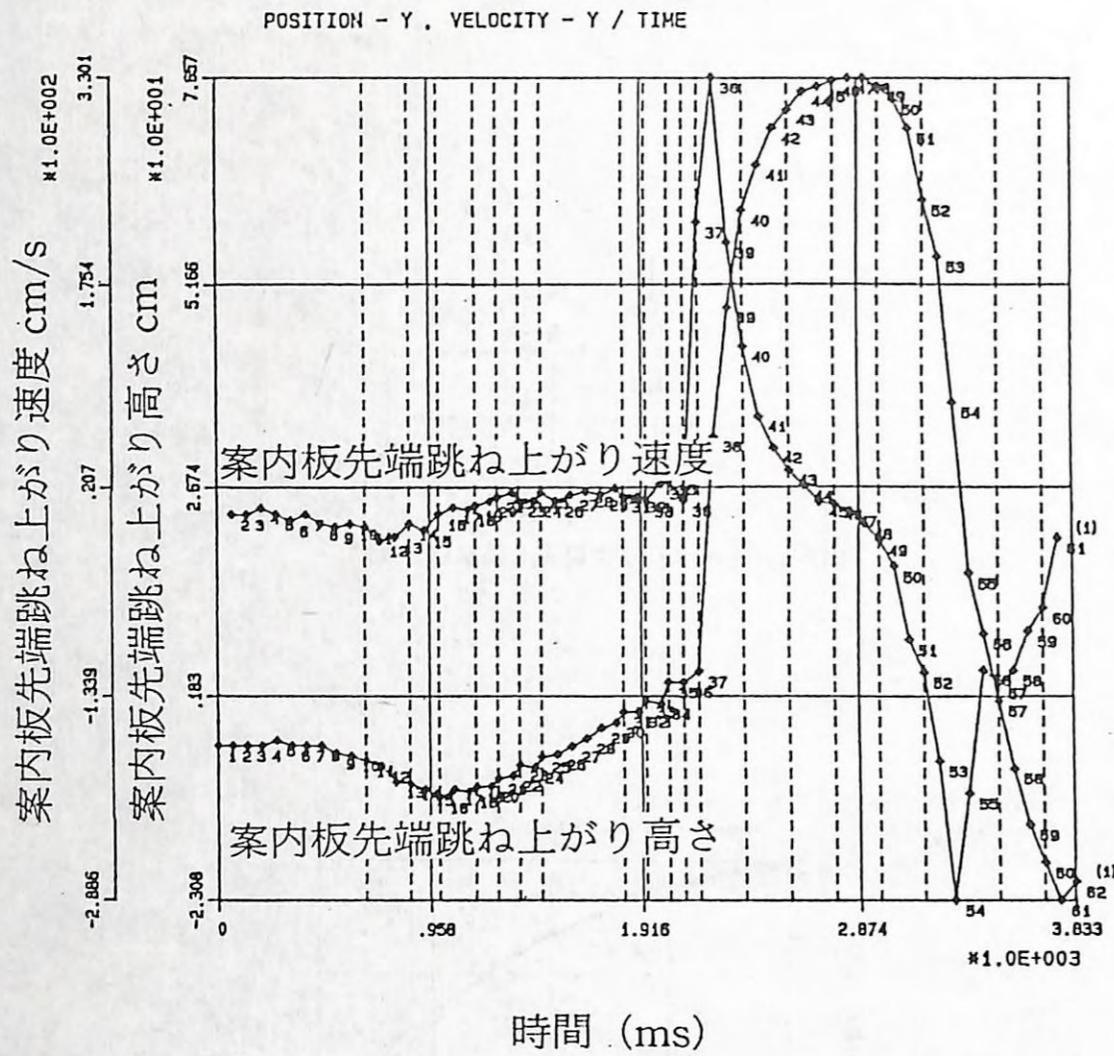


図3-6. 時間経過でみた案内板先端部の動き

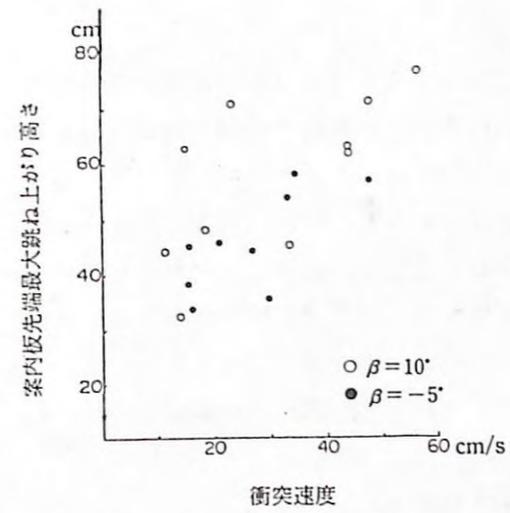


図3-7. 衝突速度と案内板先端部の跳ね上がり高さ

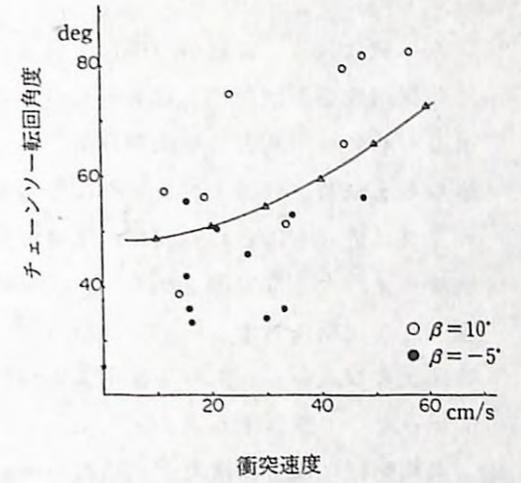


図3-8. 衝突速度とチェーンローラーの転回角度

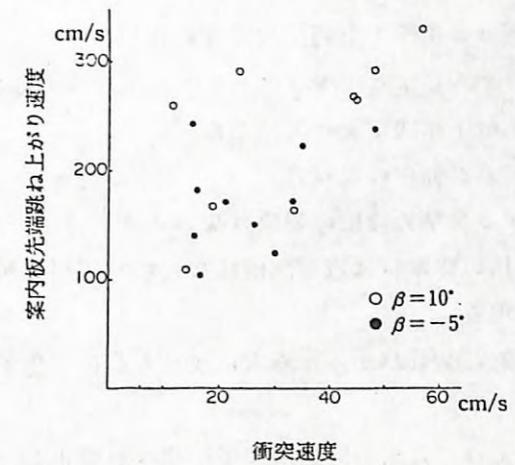


図3-9. 衝突速度と案内板先端跳ね上がり速度

4. 刈払機のキックバック現象 (1)

1) はじめに

刈払機は軽量、安価かつ操作性容易という点などから汎用性のある作業機である。この汎用性をもつがゆえに災害も多い。刈払い作業時には丸鋸や刈刃を高速で回転させるため丸鋸や刈刃には衝撃負荷、曲げ振動などが作用する。さらに刈払い物、石れきなどを飛散させてオペレータに危害を及ぼす場合もある。特に、刈刃によるキックバックは思いもよらぬ方向に刈払機が振り回される現象で、近接していた第三者に危害を与え、大きな災害となるケースが多い。丸鋸を使用する木工用丸鋸盤などでは反発、逆走現象に対する防止対策が労働安全衛生法によっても義務づけられている。災害防止の観点から、丸鋸を使用する刈払機のキックバック現象について力学的な検討を試みたので報告する⁵⁾。

2) 丸鋸回転による衝撃力と刈払機のキックバックモデル

刈払機のキックバック現象に影響する因子には、丸鋸及び刈払機の寸法、重量、慣性モーメント、丸鋸の回転数などが考えられる。図4-1に丸鋸のサイズ別の重量、重心回りの慣性モーメントを示した。また、図4-2は供試機として排気量42.7cc、本体重量9.1kg、本体全長167cmに4サイズの各丸鋸を装着したときの刈払機の重量、慣性モーメントの計測結果を示した。図4-3に力学モデルとして丸鋸の回転に伴う衝撃力が長竿の一端に作用したときの長竿の先端の振り回りの状況及び刈払機が自由に振れるように重心と左右両ハンドルの3点を釣り下げ、刈刃に作用する挟圧拘束力、接触障害物による刈刃の跳ね返りの衝撃力が刈払機先端に作用してキックバックを発生させる様子を示した。このモデルによってキックバック速度を求めた。なお、丸鋸と刈払機の慣性モーメントは釣り下げ式により実測した。

3) 刈払機のキックバック発生の現れ方

丸鋸によって生ずる衝撃力発生の現象は次のように分けられる。

- ① 刈払機による刈払い作業時に岩石、根株などに刈刃が接触して跳ね返される場合
-----跳ね返り現象
 - ② 丸鋸が切削中、急に倒れかかった灌木に挟まりかけて生ずる反発 (キックバック)
-----反発現象の1
 - ③ 上記②の現象によつて丸鋸の回転が挟圧拘束され停止し、クラッチがスリップの状態状態でエンジンから動力が伝えられているとき生ずる反発 -----反発現象の2
- ①と②では丸鋸が回転している状態であり、丸鋸の回転による回転エネルギーによって引き起こされると考えられる。③では伝達トルクによって引き起こされると思われる。

以下に各現象について力学的考察を加える。

(1) 跳ね返り現象： ここでは丸鋸の刃先が硬い異物に接触して刃先の弾性によって

跳ね返る場合で、図4-4-aに示したように丸鋸が異物と接した点で丸鋸の回転方向と逆に刃先の接線方向に衝撃力が作用する。この衝撃力は

$$P = I_c \omega / R \text{ ----- ①}$$

で示され、衝撃力のベクトルから丸鋸盤面上12-3時の位置で生じやすい。

ただし、 I_c ：丸鋸の慣性モーメント、 ω ：丸鋸の回転角速度、 P ：衝撃力、 R ：丸鋸半径、 M_B ：刈払機質量、 I_B ：刈払機慣性モーメント、 L ：刈払機先端から重心位置までの距離、 V_p ：刈払機先端の振れ速度

$$\text{ゆえに、} V_p = P / M_B + P L^2 / I_B \text{ --- ②}$$

図4-5に”跳ね返り”の原因となる衝撃力について、丸鋸の回転数との関係を示した。ここで、点線は丸鋸の回転慣性力だけで生ずる衝撃力、実線は回転中の丸鋸が瞬時に拘束されるとき生ずる衝撃力を示す。

図4-6は、図4-5に示した衝撃力が刈払機先端のキックバックとなって現れるときのキックバック速度を示した。実線、点線の関係は図4-5と同様である。

(2) 反発現象の1： 回転中の丸鋸が急に挟圧されたときに生ずる衝撃力、ここでは回転中の丸鋸が急激に灌木などに挟まれ回転が拘束されたとき生ずる現象で、丸鋸が挟まれたポイントに瞬間回転中心が生じて (挟まれた点を中心に偶力が生じ回転角速度も丸鋸の回転中心の角速度と同一回転を継続しようとする)、この回転中心 (瞬間回転中心) を軸に丸鋸の慣性モーメントの急変による衝撃力が生ずる。図4-4-bに丸鋸挟圧時の衝撃力発生メカニズムを示した。この衝撃力の発生位置は、偏心回転による丸鋸中心の動きの軌跡から丸鋸盤面上の11時-2時の点が振られやすく、危険と思われる。図4-7に丸鋸偏心時の慣性モーメントを r/R 比で示した。このときの衝撃力は下記の式で表され、図4-8は丸鋸の拘束点半径/丸鋸半径比 (回転数=6,000rpm) と衝撃力の関係を示し、拘束ポイント r の位置による衝撃力 P_1 への影響を示した。この衝撃力によって刈払機先端にキックバックを生ずる。

$$P_1 = (I_c + M_c r) \omega / r \text{ ----- ③}$$

ここで M_c ：丸鋸の質量、 r ：丸鋸重心から挟圧点までの距離、

I_1 ：丸鋸偏心時の慣性モーメント とすると

$$I_1 = (I_c + M_c r)$$

$$V_1 = P_1 / M_B + P_1 L^2 / I_B \text{ ----- ④}$$

図4-6に丸鋸の直径別に丸鋸回転数とキックバック速度との関係を示した。

(3) 反発現象の2： 丸鋸が刈払木に挟まれ回転が停止し、エンジン動力はクラッチでスリップしている状態で、挟圧力 p のわずかな変化で丸鋸にトルクが作用して、上記同様のメカニズムによって挟圧ポイントを瞬間回転中心として偏心回転が丸鋸に生じ、上記(2)と同様に衝撃力を発生させる。すなわち、この衝撃力は

$$P_2 = 1 / r \int T_1 dt = I_1 / r (\omega_1 - \omega_0) \text{ --- ⑤}$$

ただし、 $T_1 = T_E - T_B$ 、 T_1 ：偏心回転時の丸鋸駆動トルク、
 T_E ：エンジントルク、 $T_B = \mu p r$ ：丸鋸挟圧時のブレーキトルク、
 p ：丸鋸挟圧力

$$V_2 = P_2 / M_B + P_2 L^2 / I_B \text{ ----- ⑥}$$

この挟圧時当初、丸鋸は停止しているから $\omega_0 = 0$

ゆえに、 $P_2 r = I_1 \omega_1$

図4-9に丸鋸10in装着時のキックバック速度を $\mu = 0.1$ 、 $p = 1 \text{ kgf}$ 、 $T_E = 0.1 \text{ kgf}\cdot\text{m}$ 、 $r_2 = 10 \text{ cm}$ 、作用時間 $t = 0.1, 0.3, 0.5 \text{ sec}$ に対する推定値を示した。

4) キックバック防止対策

丸鋸の性質からキックバック発生の条件をもたらさないような作業方法で刈払機を使うこと、機構の改良点として刈刃ブレーキの装備が必要と思われる。すなわち、

- (1) 刈払機丸鋸盤面（左回転）を時計文字盤に見立て12時-3時の刃先部分の使用は控える。
- (2) 太い灌木類の刈払いでは受け口を作って追い口を入れ、カッタが挟まれない作業を行う。
- (3) 灌木類の刈払い時には刈払機の”こじり”操作を行わない。
- (4) 隣接の作業者との接近作業は厳禁とする。
- (5) 丸鋸の目立ては”あさり”をつけて挽溝の幅を大きくして丸鋸の挟まれることを避ける。
- (6) 軽量で簡易な刈刃ブレーキの開発・装着。

などである。

5) まとめ

林業作業に用いる刈払機では、刈刃の折損による危険を回避するため、丸鋸を使用することが推奨されている。しかし、さきに検討したように丸鋸特有のキックバックの発生が起こりやすい。今回、丸鋸を装着した刈払機のキックバックの力学的な検討を試みた。その結果、キックバックは丸鋸歯先の跳ね返りの場合と、刈払い対象物に丸鋸が挟圧されて発生する場合とがあり、後者の場合がキックバック速度も大きく危険度も高いと思われる。本報告では、刈払機の保持による抵抗力を考慮に入れていないので計算上キックバック速度はかなり大きな値になっていると思われる。今後、実験データと対比しながら検討を進め、同時に簡易なブレーキ機構などの安全機構についても考察する必要がある。

(平松 修)

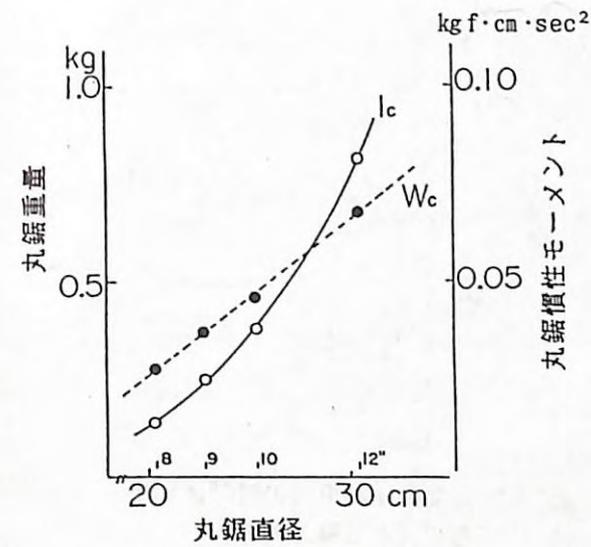


図4-1. 丸鋸直径と重量、慣性モーメントの関係

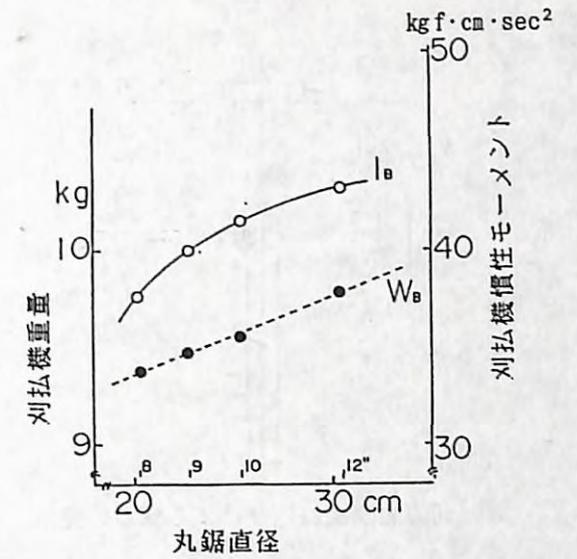


図4-2. 装着丸鋸直径と刈払機重量、刈払機慣性モーメント

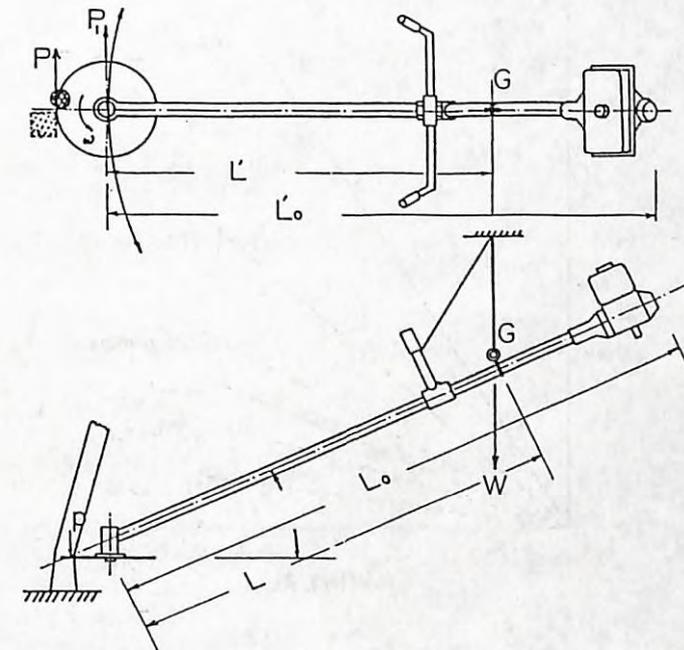
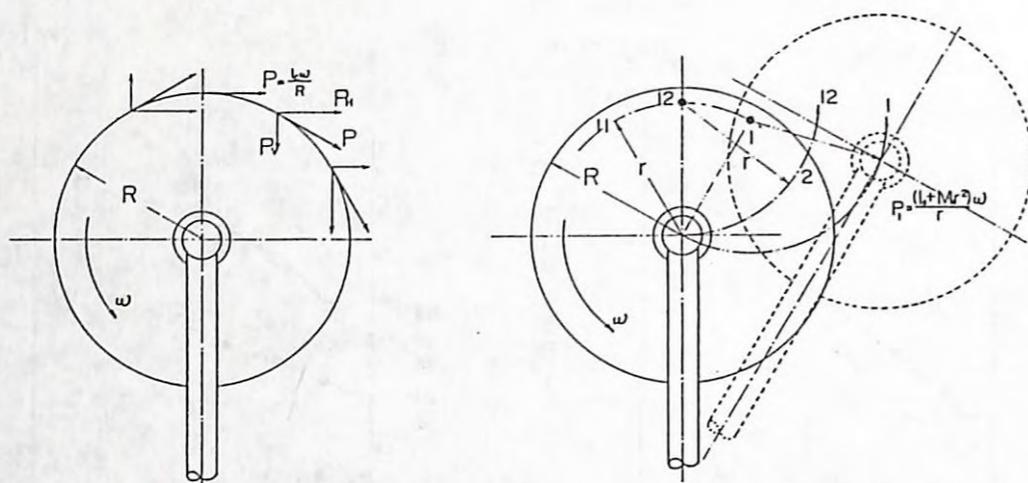


図4-3. 刈払機キックバックモデル



a. 刃先跳ね返りによる撃力の発生
b. 丸鋸挟圧拘束時の瞬間回転中心急変による撃力の発生

図4-4. 丸鋸による撃力(力積)発生メカニズム

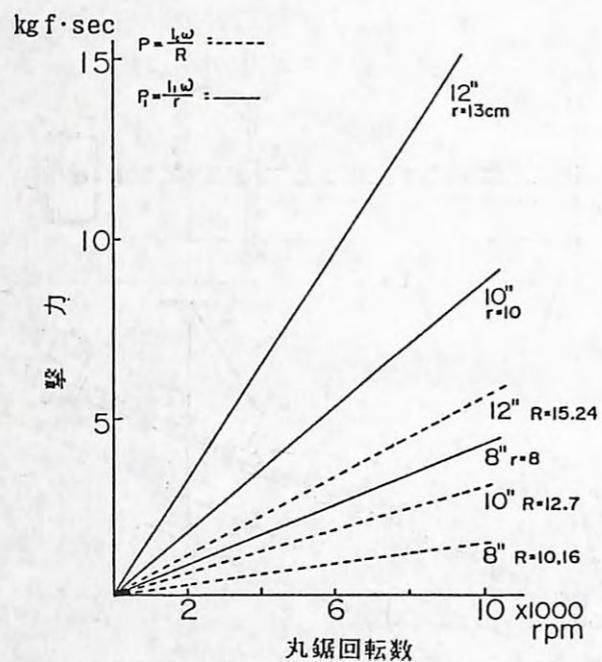


図4-5. 丸鋸回転数と撃力の関係

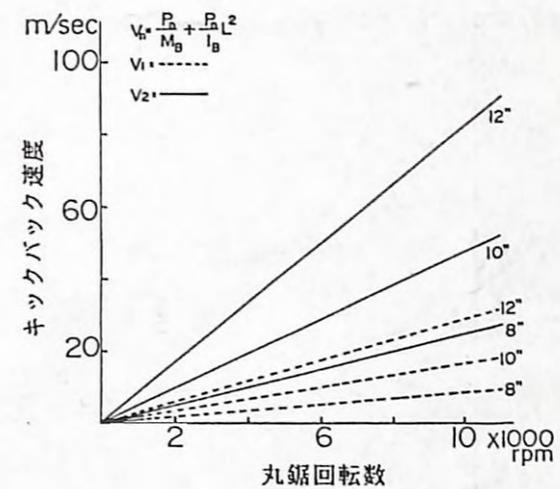


図4-6. 丸鋸回転数とキックバック速度の関係

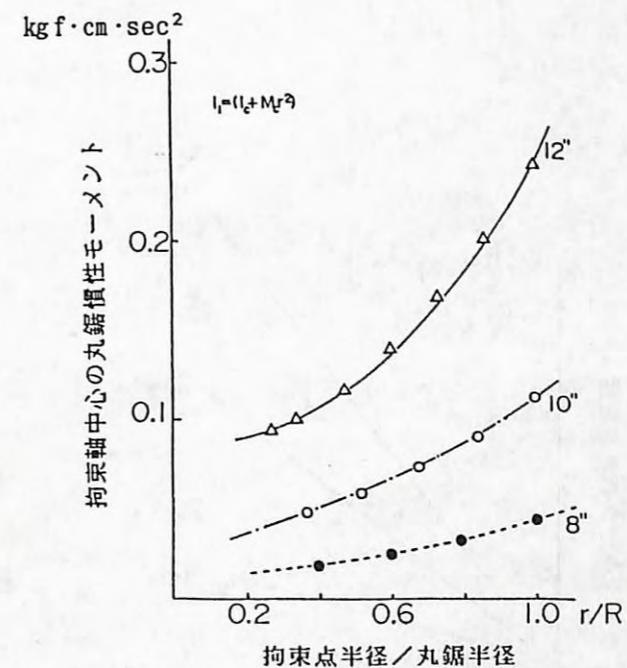


図4-7. 丸鋸挟圧拘束半径と丸鋸の慣性モーメント

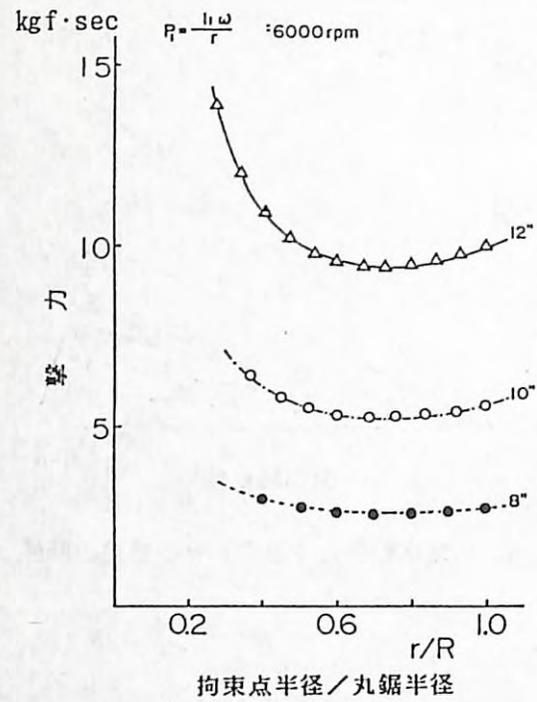


図4-8. 丸鋸挟圧拘束半径と撃力の大きさ

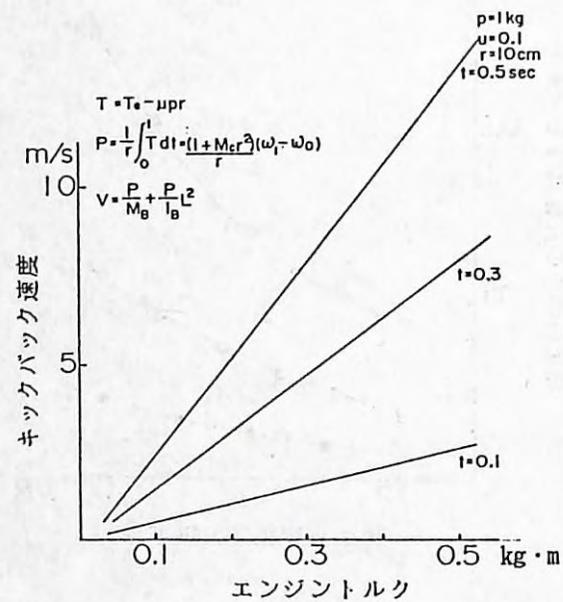


図4-9. エンジントルクから求めたキックバック速度

5. 刈払機のキックバック現象(II) ---- キックバック速度に及ぼす影響因子 ----

1) はじめに

地ごしらえ、下刈りなど刈払機を使った作業において、特に灌木の伐倒時に刈刃が挟まれ、同時に急に刈刃が跳ね返されることを経験する。また、急激な押し付けによる切込みを行ったときなどにも同様のことを体験する。つまり、このように刈刃の切削がなんらかの原因で急激に拘束されたような場合にキックバックが発生しやすい。このことは前章で力学的にも予測し、指摘したところである。今回この現象を実験的に確かめ、発生条件を二三調べたので報告する⁶⁾。

2) 試験方法

灌木伐倒時に急に伐倒木が倒れかかり丸鋸が挟まれる場合、あるいは丸鋸を急激に対象木に押し付け切削が拘束される場合などを想定して、次のような実験方法で試験した。

(1) 回転中の刈払機丸鋸の外周を瞬間的に回転を拘束することができるように 図5-1 に示したテコ式の刈刃瞬間ブレーキ機構を用いて回転中の丸鋸の外周に急ブレーキをかけ、そのとき生ずる反発現象を計測するとともにビデオ録画して解析した。

(2) 計測は反発を生じた時の刈払機先端部の振れ速度 (=キックバック速度) を求めるため、一定間隔で2か所に配置した光電スイッチ上を刈払機先端部が横切るときのスイッチON, OFFのパルス電気信号をデータレコーダに記録した。同時に、エンジン回転パルス信号、丸鋸回転パルス信号も記録した。

(3) 上記の2か所の光電スイッチパルス信号をデジタルオシログラフで記録し、2点間を横切ったときの時間差から反発速度をもとめた。

(4) 上方からビデオカメラによって刈刃の反発現象を撮影録画し、この録画画像を画像解析機によって一定時間間隔ごとのX-Y座標上の位置をデジタル化して読み取り、刈払機先端の運動を解析した。

(5) 試験条件は以下のとおりである。

a : エンジン回転数は5,000-9,000rpmの間1,000回転ごと5段階

b : 丸鋸外周拘束ブレーキ圧力は2-8kgの間2kg増ごとの4段階

c : 丸鋸の拘束位置は時計文字盤に見立て11時-2時の4か所

d : 丸鋸のサイズ別のテスト時のみエンジン回転数6,000rpm, 拘束圧力6kgとした。

(6) 供試刈払機は図5-1に示したように、左右に振れやすくするため左右ハンドルと刈払機本体吊り下げ環をロープで上方から吊り下げ3点吊りとした。

(7) 供試機は排気量42.7cc, 本体重量9.55kg, 全長167cm, U字ハンドル付き, 刈払機の慣性モーメントは41.45kgf·cm·sec² (10in丸鋸付き) を用いた。

3) 結果

(1) エンジン回転数の影響

図5-2は刈払機に10inの丸鋸を装着し、エンジン回転数を1,000rpm増して5,000~9,000rpmの5段階について、回転中の丸鋸に拘束圧力6kgで、拘束位置11時~2時の4か所に拘束急ブレーキを与えた時のキックバック速度を示している。これで見ると、エンジン回転数の増加(=丸鋸回転数の増加)に従ってわずかにキックバック速度が増える傾向が見られるが顕著でない。むしろ、拘束ブレーキ位置による差が顕著に現われていることが見られる。

(2) 拘束位置の影響

図5-3は横軸に拘束位置を縦軸にキックバック速度を示した。これに見るように、丸鋸の拘束位置によってキックバック速度に差が現われており、同時に拘束ブレーキ押圧力の影響は拘束位置が2時のポイントに近いほど影響が大きいことが知られる。このことからキックバックを避けるためには、できるだけ刈払機作業時に、丸鋸の盤面11時~2時の位置の使用を避けることが有効と思われる。

(3) 拘束ブレーキ押圧力の影響

図5-4に図5-3の見方を変えて拘束ブレーキ押圧力の大きさとキックバック速度の関係を示した。この図から拘束ブレーキ押圧力が増加するとキックバック速度が増える傾向が見られるが、図5-2の場合と同じく拘束位置の影響が大きいことが知られる。

(4) 丸鋸の大きさの影響

図5-5は拘束ブレーキ押圧力6kg、エンジン回転数6,000rpmで拘束位置を上記同様4点を瞬間ブレーキ拘束したとき発生するキックバック速度を丸鋸サイズ別に示したものである。データの数が少ないためと思われるがバラツキが大きく、はっきりした傾向は断言できないが、キックバック速度はおおむね丸鋸のサイズに比例して増える傾向が見られる。

(5) 画像解析結果

図5-6はキックバック発生の瞬間をビデオ録画し、画像解析した一例である。ここでは、刈払機先端の丸鋸装着ギヤケースの運動の軌跡をX方向(刈払機ハンドル方向)とY方向(刈払機長軸方向)の座標上に示した。また同時に、同ギヤケースのX軸方向の動きの各ポイントに対するギヤケースの速度(X, Y値の自乗平均値)を示した。これに見られるように、反発速度は反発初期に大きな値を示している。

4) まとめ

刈払機丸鋸装着時のキックバックテストを行った結果、丸鋸の刈払い対象物との接触位置によってキックバック速度(=キックバックエネルギーの大きさ)が異なることが分かった。つまり、反時計方向に回転する丸鋸の先端12~2時の位置を刈払い対象物に当てる場合(左から右に刈払う場合)は、十分注意して使用することが必要と思われる。特に灌木などの伐倒時にカッターが挟まれたとき、あるいは無理な押し込み力で丸鋸を刈払い対象物に当てるとき、あるいはぶつけるような当て方で使用する場

合も注意が求められる。また、直径の大きな丸鋸を使用する時も同様である。一方、危険と思われた硬い石や金属物などへの丸鋸の接触時には、比較的これらの表面をカッターが滑る場合が多く、キックバックの発生原因にはなりにくいようであった。なお本テストの結果、刈払機本体の吊り環と左右ハンドルの三点を吊り下げてテストを行ったが、ロープの剛性などによる抵抗によって、キックバック速度は前章の抵抗値を0とした計算上の予測値よりもかなり低い値であった。

(平松 修)

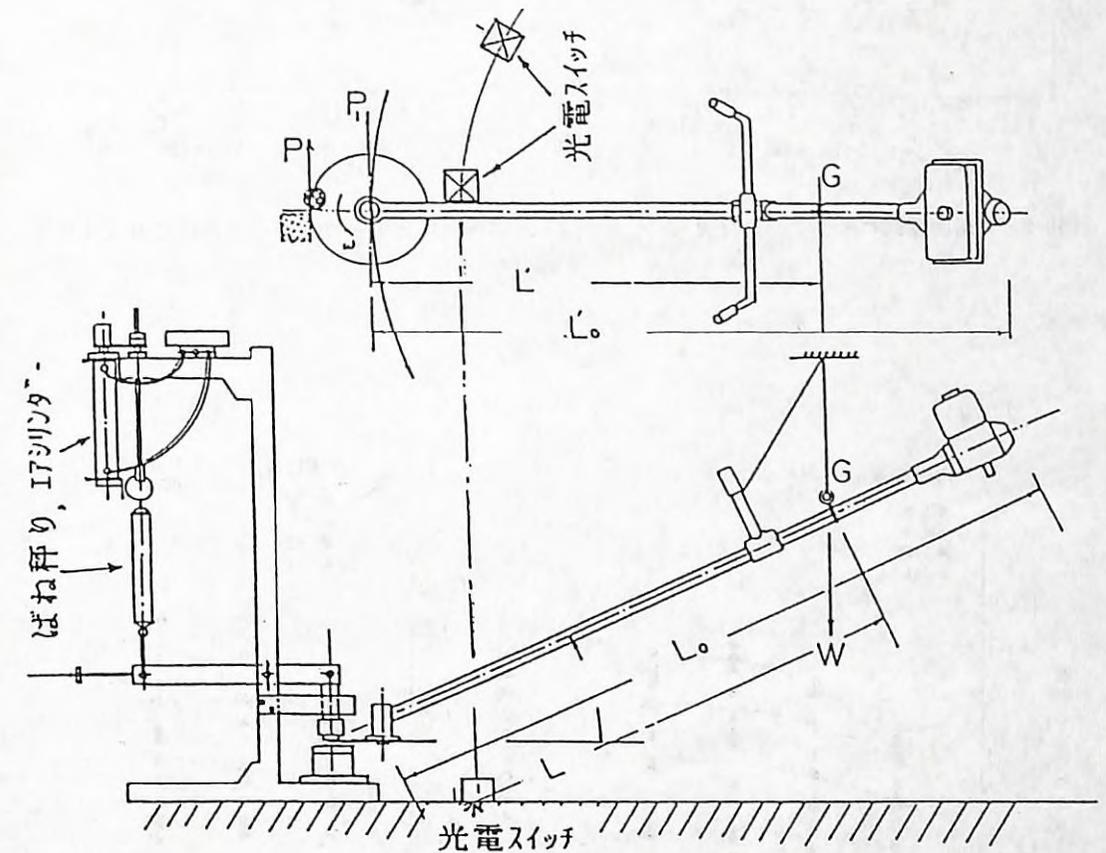


図5-1. 計測方法

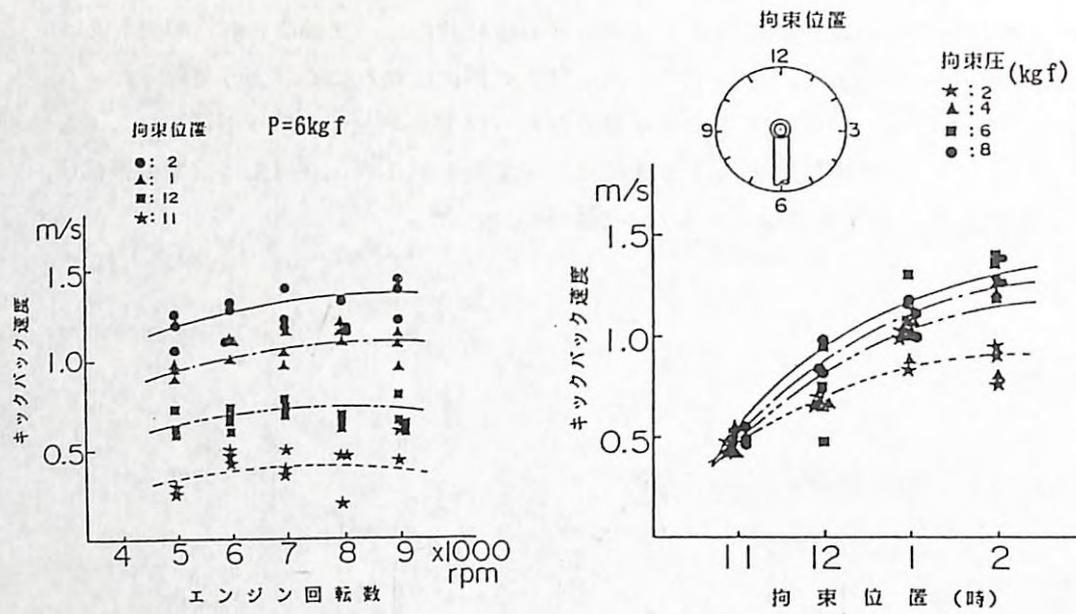


図5-2. 丸鋸回転数とキックバック速度 図5-3. 丸鋸拘束位置のキックバック速度に及ぼす影響

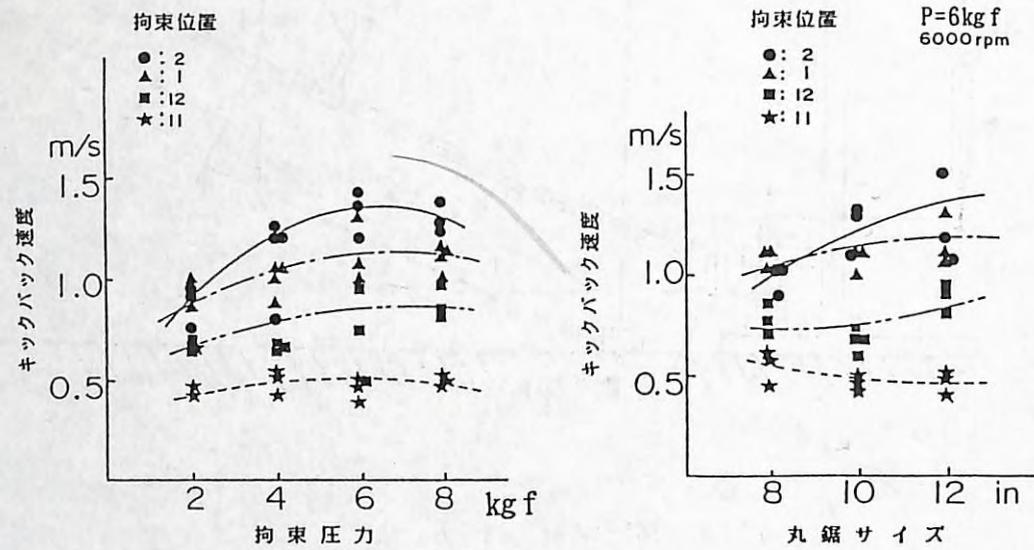
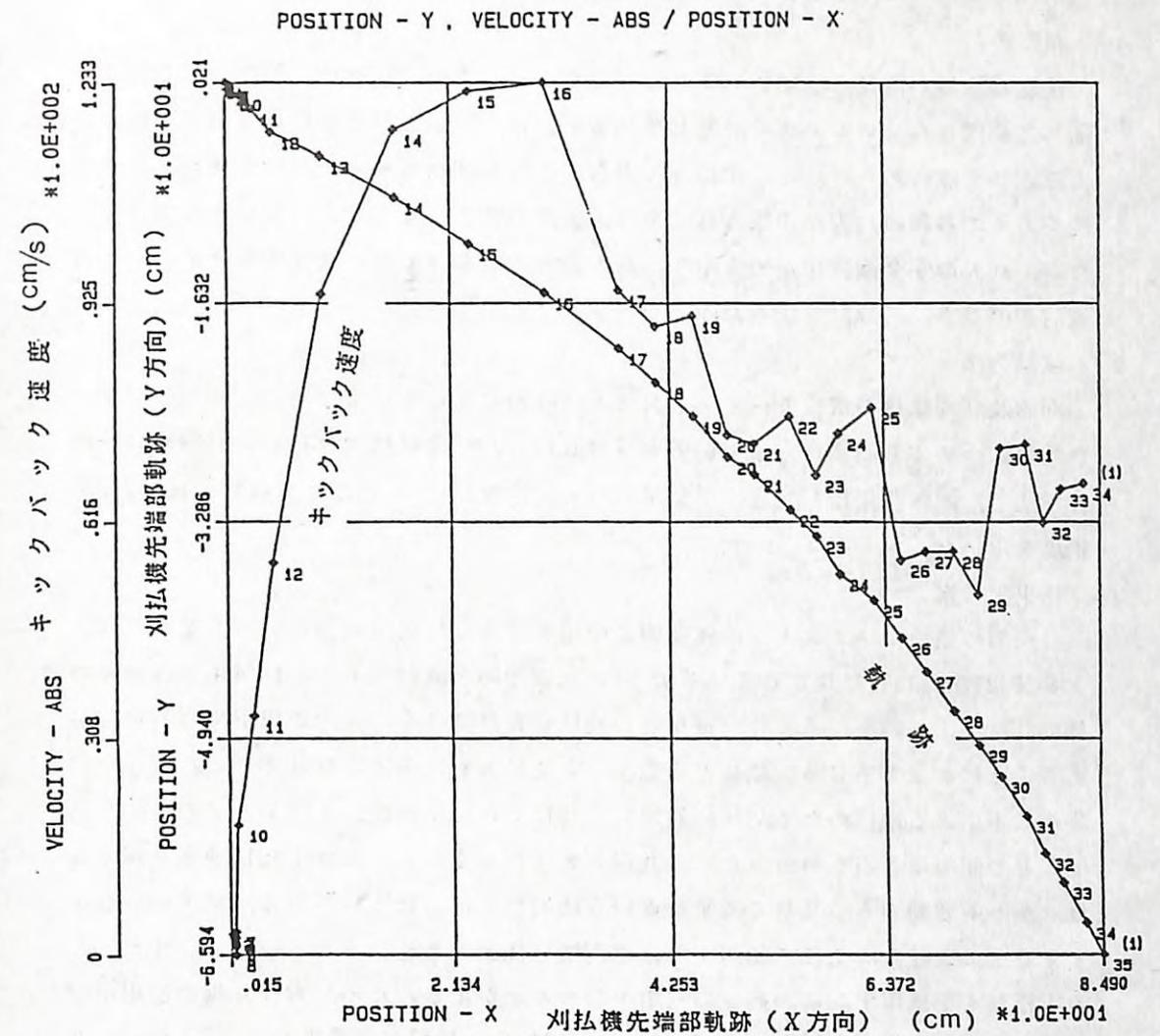


図5-4. 丸鋸拘束圧力のキックバック速度に及ぼす影響 図5-5. 丸鋸サイズとキックバック速度の関係



テスト No: 180
 拘束位置: 2時
 拘束力: 8kgf
 エンジン回転数: 6000rpm

図5-6. 画像解析結果の一例

6. 刈払機用刈刃の寸法及び刈刃回転が刈払機の操作性に及ぼす影響

1) はじめに

国産刈払機が開発されて約30年余の歴史をもつ。この刈払機は、現在、広く国内・国外で使用されている。広く普及している要因は、一般工具と同様に安価で手軽に使えるという点にあらう。この手軽さと裏腹に危険な側面もある。特に作業能率と作業性を考えて各種の刈刃が市販されており、使用方法を誤ると大変危険なものである。今回、刈刃の安全調査を進める中で、刈刃のサイズが作業性に及ぼす影響について機械的側面から二三検討を試みたので報告する⁷⁾。

2) 試験方法

刈刃及び刈払機の慣性モーメントを2本づり振り子の方法で計測し、刈刃のジャイロ効果についても同様の方法で影響を検討した。なお、供試機は1,760L×640W×430mmHの寸法で、本体重量は7.78kg、排気量22.5cc、歯車比10:8、供試丸鋸は8, 9, 10, 12inの新品を用いた。

3) 結果と考察

(1)刈刃の慣性モーメント： 林業用に使用される刈払機用刈刃は日本工業規格（JIS B9212-1978）に規定しているように、丸鋸使用が原則である。林業用では通常の草刈りに加えて、かん木、竹、笹などの刈払いだけでなく、刈刃が伐根や岩石に接触することによって生じる折損などの危険を考慮に入れた規定となっている。刈払い作業は人手による操作のため刈払い対象物、刈払いの切削性能、オペレータの操作の巧拙などで能率は左右される。ただ、丸鋸の周速が速くなるにつれて刈払速度も速くなり、かつ所要動力も少なくてすむという結果⁸⁾が得られているから、刈刃の直径を大きくし、回転数を上げて使用するほど刈払い能率はよくなるともいえる。また、この大径刈刃を使用すれば一振りの刈巾を増すことができるため、大径丸鋸の使用が増えている。刈払機用丸鋸のサイズは8, 9, 10, 12inの4種類が市販されている。刈刃のサイズとその重量は図6-1のように直線的に増加する。また、刈刃の面内の中心軸に対する慣性モーメントは、図6-1に示したように、半径の2乗に比例して増加する。この刈刃の慣性モーメントはエンジンの駆動力や対衝撃力の吸収にも影響し、長軸先端の歯車、伝動軸の強度にも影響する。つまり、刈刃の慣性力の大きなものでは刈刃の加速減速がスムーズにいかない欠点もあるが、衝撃負荷を吸収し、歯車、伝動軸への衝撃力を緩和させる効果を有する。

(2)刈払機の慣性モーメント：刈払機の慣性モーメントは刈刃のサイズによって影響を受け、また、この刈払機の慣性モーメントは刈払機の操作性に影響を与える。図6-2に異なった大きさの刈刃を装着した刈払機の慣性モーメント（エンジン停止時）を示した。刈払機の慣性モーメントが大きくなることは刈払機の左右への振り回し操作に抗力が増え、オペレータの負担が大きくなることを意味する。例えば、8in丸鋸装着時

と12in丸鋸装着時では1.15倍の慣性モーメントの差がある。この一つの例として図6-3に装着した丸鋸直径と平均刈払いテンポ（2分間の観測の平均）を示した。刈刃の直径が大きくなると刈払いテンポも低下してくることを示している。図6-4に刈払機の慣性モーメントの大きさと平均刈払いテンポについて示した。すなわち、刈払機の慣性モーメントの増加に反比例して刈払いのテンポも下る。これは、刈刃のサイズが大きくなると大振りとなり、細かい刈払い動作が難しくなることによるものであらう。

(3)刈刃の回転と刈払機の操作性：刈刃のサイズによって刈刃の慣性モーメントが異なることは上述したが、この刈刃の回転に伴い、刈払機の慣性モーメントへの影響を調べた。図6-5の要領で刈刃を所定の速度で回転させ、そのときの刈払機の慣性モーメントを計測した。図6-5は刈刃のサイズを変えて刈払機の振れの周期を記録したもので、10, 12inの刈刃装着時に振れの周期に乱れを生じ、左右の振れが対称的でない振れを生じている。図6-6は12inの刈刃装着時について、停止時と5,000~8,000rpmで回転中の刈払機の振れの周期を記録したチャートである。この周期から求めた刈払機の慣性モーメントを図6-7に示した。これによると、刈刃サイズの小さい8, 9in丸鋸では回転による影響はほとんど現われないが、10, 12inでは影響が見られ、特に12in丸鋸では回転数に比例して刈払機の慣性モーメントが若干低下する傾向がみられる。また、各刈刃サイズごとに刈払機本体の振れの周期を示すチャートの山と谷の時間（半周期）を読みとり、各回転数別にプロットしてみると図6-8のようになり、右→左、左→右の振り所要時間が異なって現われる傾向がみられた。これによると、右→左方向では刈払機の慣性モーメントが若干小さめに、逆に左→右方向では増加傾向にあることがいえそうである。この原因として、刈刃のジャイロ効果に起因しているのではないかと思われる。

(4)刈刃の回転で生ずるジャイロモーメント：刈払機作業は長軸を左右に振り、かつ集草のため刈刃を刈払い方向に傾けて作業を行う。この傾け操作の角速度が速いと刈刃にコリオリの力が生じて刈刃の中央の長軸と直角方向を軸にモーメントを生じ、ハンドルを左に傾け右から左に振るとき刈刃先端に浮力を、また、ハンドルを右に傾け左から右に振るとき刈刃の先端が沈下する力が働く。図6-9は回転する刈刃を傾けたとき生ずるコリオリの力の発生機構を示している。 y' を $\omega y'$ の角速度で傾けると、回転している刈刃の外周P点は dt 時間後P'点に傾き移る。この刈刃の傾きによってP点での傾き速度 V_v はP'点で V_v' に変る。従って、 $d_v = V_v - V_v' / dt$ の加速度と刈刃の円周方向の刈刃P点の速度 V_h は、刈刃の傾きによってP'点では V_h' の方向が変り、この刈刃の傾け角度 ϕ 分だけ刈刃上面に $V_h \cos \phi / dt$ だけの加速度 d_h を生ずる。つまり、 $d = d_v + d_h$ の加速度によって刈刃に慣性力が生じ、結果として刈刃のX軸に $M_x = I_z \cdot \omega_z \cdot \omega_{y'}$ のジャイロモーメントを生じ、上述の刈刃軸受部分に長軸の傾け方向によって刈刃の浮上、あるいは沈下の慣性力が生ずるとと思われる。

図6-10は刈刃の回転数と、刈刃の傾け速度によるジャイロモーメントの関係を示したもので、刈刃直径の小さい8, 9inでは0.2kgm程度であるが、12inの刈刃では10inのもの2倍、8inの刈刃の8倍のモーメントを生ずることを示している。このジャイロモーメントは刈払い先端部のフラツキを助長し、誤り刈りやキックバックの速因などにもなりやすい。特に、大径刈刃でこの傾向が強いといえそうである。

4) まとめ

刈払機の刈刃のサイズ及び刈払機の慣性モーメントを中心に刈払機の操作性への影響を検討した。刈刃のサイズを大きくすることで、刈払機の慣性モーメントも大きくなり、刈払動作のテンポも大振りとなり、操作しにくくなることを示した。一方、刈刃の回転に伴ってジャイロ効果を生じ、特に刈刃サイズの大きなものでジャイロモーメントが大きく、刈払機先端部のフラツキを生じやすく、刈払対象物への狙いが定まり難しく、誤り刈りやキックバックなどが生じやすくなるものと考えられる。

(平松 修)

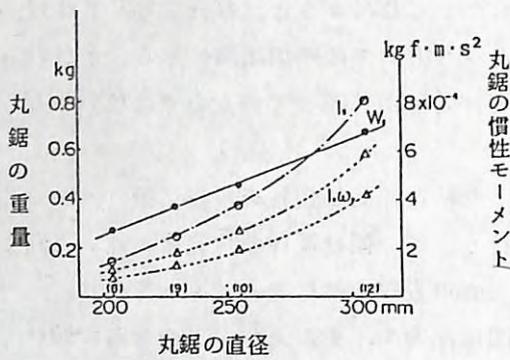


図6-1. 丸鋸のサイズと重量及び慣性モーメント

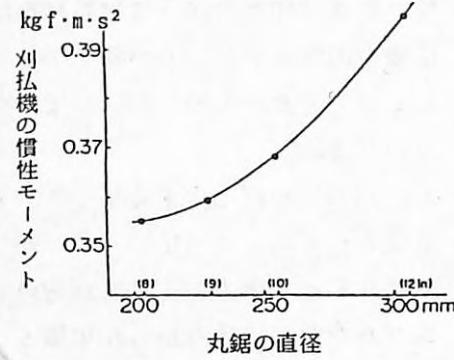


図6-2. 丸鋸のサイズと刈払機の慣性モーメント

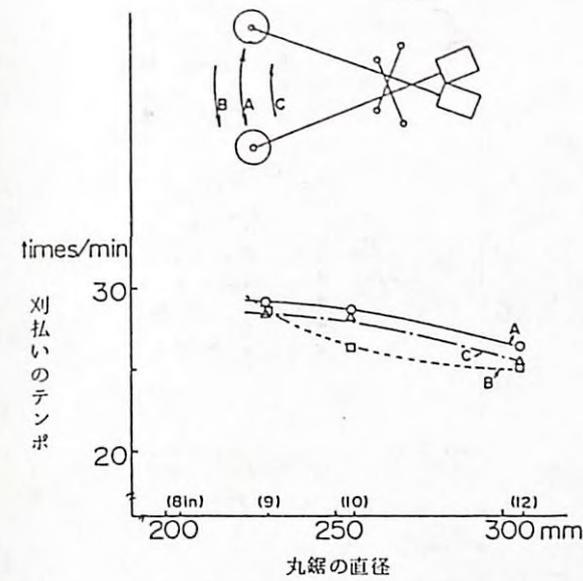


図6-3. 丸鋸のサイズと刈払いテンポ (平均)

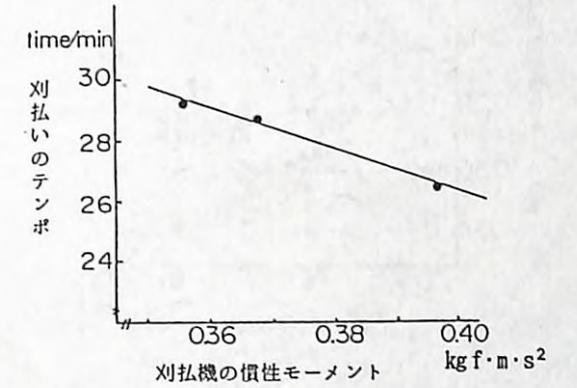


図6-4. 刈払機の慣性モーメントと刈払いテンポ (平均)

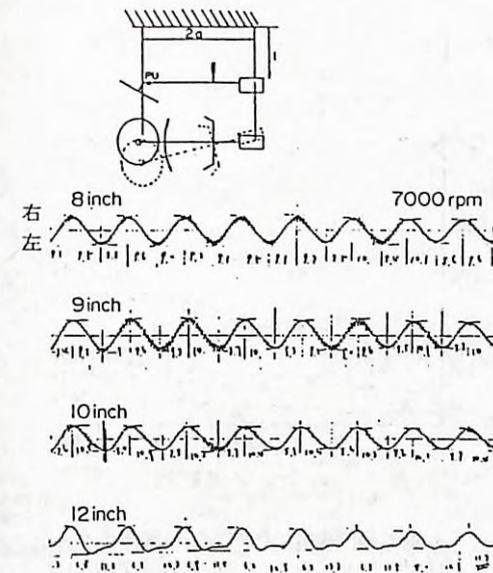


図6-5. 丸鋸回転時の刈払機の振れの周期 (丸鋸のサイズによる影響)

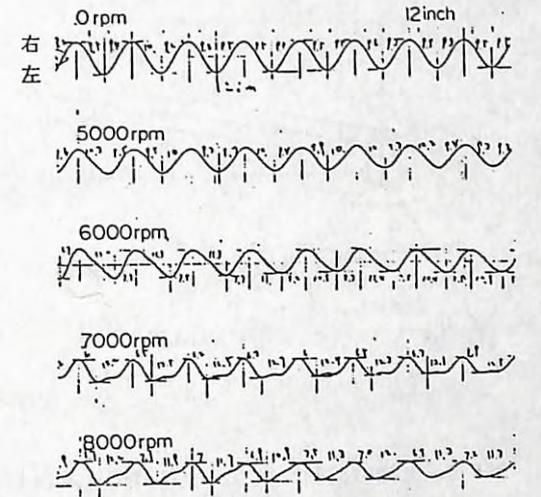


図6-6. 丸鋸の回転時の刈払機の振れの周期 (丸鋸の回転数による影響)

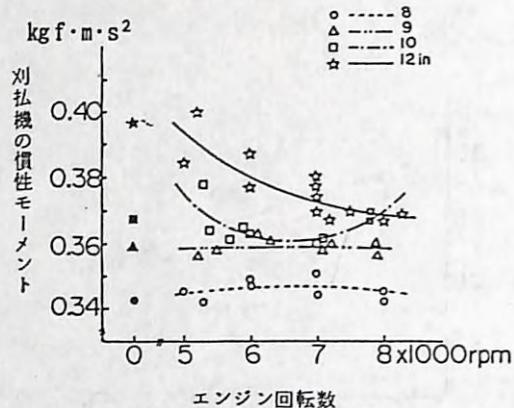


図6-7. 丸鋸の回転時の刈払機の慣性モーメント

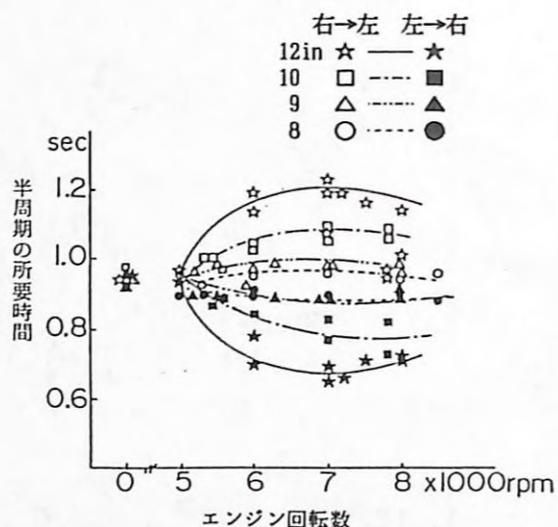


図6-8. 丸鋸の回転時の振れの周期 (振れの方向による周期の違い)

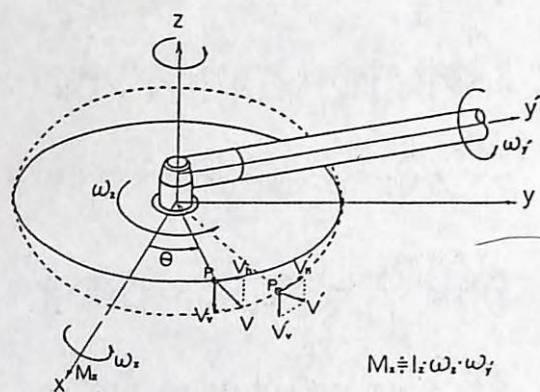


図6-9. 丸鋸の回転に伴うジャイロモーメント

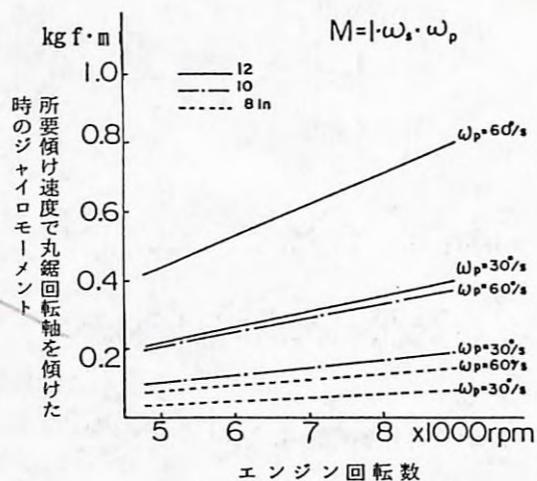


図6-10. 丸鋸の傾け速度に伴う刈払い機歯車ケースに働くジャイロモーメントの推定値

7. 刈払機用丸鋸の安全性能について

1) はじめに

我が国の林業では植付前の地ごしらえ、植え付け後の下刈り保育作業などに刈払機は不可欠な用具である。このとき使われる刈刃の種類も多く、それぞれ特徴がある。林業作業に用いる刈刃は、原則として丸鋸が推奨されている。日本工業規格においても刈払機用刈刃(JIS B9212-1978)として指定されており、また、林野庁も林内の刈払い作業では丸鋸以外の切込刃、三枚刃などの使用を禁じている。しかし、最近、刈払機による労働災害が多く、対策の必要性が求められている。今回、刈刃の安全性の調査を進める中で、丸鋸の芯抜け現象について調べる機会が得られ、二三検討を行ったので報告する⁹⁾。

2) 試験方法

丸鋸の芯抜けの生ずる原因を調べるため、回転中の丸鋸のたわみ振動を計測し、最大たわみ量から丸鋸外縁に作用する力の推定と固定フランジ外周部分の鋸盤面に生ずる応力を求め、強度的検討を行った。また、丸鋸のたわみ振動抑制効果への影響を丸鋸固定フランジのサイズ、鋸厚を変えた場合について測定し、検討を行った。

3) 試験結果と考察

刈払機用刈刃は大別して丸鋸と切込刃に分けられ、刈刃サイズは8in(203mm)から12in(305mm)の間に4サイズがあり、鋸厚は丸鋸で1.25mm、切込刃1.4mm、材質はいずれもSK-5またはこれと同等以上のものとJIS規格では指定しており、近年はSKS-5の材質が多く使われている。なお、丸鋸は焼き入れ、焼き戻し調質が行われ、硬度は45-52°が標準となっている。使用中の丸鋸に作用している力は、表7-1のような要因が主たるものと考えられる。丸鋸の芯抜け現象は刈払い操作のやり方、丸鋸サイズと固定フランジサイズのミスマッチなどによる応力集中、材料上の欠陥なども原因していると思われる。図7-1は完全に抜け落ちた例、図7-2はき裂の入った状態、図7-3は抜け落ちた破断面である。事実、刈払い作業において回転中の丸鋸のたわみ振動が光の反射を通して見られることを経験する。このたわみ振動を実測するため、図7-4に示したように、長軸先端にギャップセンサを取り付け、計測を行った。その計測事例を図7-4に示した。これによると、ギャップセンサ位置の丸鋸盤面に片振幅で最大約3mmのたわみ振動が生じていることが見られる。このたわみ振動によって丸鋸固定フランジ外周部分に曲げ応力が生ずると考えられる。このほか、丸鋸の回転に伴う遠心力による引張り応力が半径方向 σ_r と円周方向 σ_t を生じ、フランジ外周部分に作用する応力は、図7-5に示すように、丸鋸の回転数の二乗に比例して増加する。一方、丸鋸の半径上の各点の応力についてみると、図7-6に示したように、フランジ部分または取り付け穴付近では円周方向の引張り応力が増大する。常用回転数6,000rpm域では4~5kg/mm²となっている。次に、上述の丸鋸固定フランジ部分の曲げ応力の推定を行うため、丸鋸外縁に静荷重

を荷重したときのたわみ変形量を計測した結果が図7-7である。この荷重-たわみ線図から丸鋸固定フランジ外周部分の曲げ応力を求めた結果が図7-8である。丸鋸サイズによってたわみ変形量を求め、そのたわみ変形量に相当する荷重から丸鋸サイズに対応した曲げ応力が読み取れる。図7-8では供試したフランジ径42mmの例を示した。10in丸鋸が外縁で片振幅3mmのたわみ変形が生ずる場合の曲げ応力の値は、約24kgf/mm²程度の値となることが分かる。この曲げ応力が繰り返し負荷されることによって金属疲労を生じ、亀裂破断に至ることが予想される。この金属疲労について文献^{10)~14)}などに従って検討する。ここでは、SK材、SKS材の疲れ強さの公表資料がないので、この鋼材の材質に近いパネ鋼(SUP-3)のデータを引用すると、

引張強さ : $\sigma_B = 140 \sim 160 \text{ kgf/mm}^2$

疲れ強さ(平面曲げ) : $\sigma_{wb} = 42.8 \sim 64 \text{ kgf/mm}^2$

あるいは、 $\sigma_B \geq 120 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_{wb} = 52 \text{ kgf/mm}^2$

が示されている。

従って、疲れを考慮に入れた許容応力を推定すると、寸法効果による疲れ限度低下率 $\gamma_1 = 2$ 、表面状況による疲れ限度低下率 $\gamma_2 = 0.9$ 、切欠き係数 $\beta = 2$ 、材料の疲れ限度に対する安全率 $f_m = 1.5$ 、使用応力に対する安全率 $f_s = 2.5$ として許容応力 $\sigma_{al} = (\gamma_1 \times \gamma_2 \times \sigma_{wb} / \beta) / (f_m \times f_s) = 12.48 \text{ kgf/mm}^2$ が得られ、さきの曲げ応力の値を σ_{al} の値程度に抑えることが必要と思われる。表7-2に丸鋸フランジ外周部分に生ずる各種応力の推定値を丸鋸サイズ別に示した。

丸鋸のたわみ変形を抑える対策として、丸鋸固定フランジの直径を増すことや、鋸厚を増して剛性を高めることなどが考えられる。フランジサイズが丸鋸外縁のたわみ変形に与える影響を静的な測定で確かめたところ、図7-9の結果を得た。これは、丸鋸外縁に2.5kgwの荷重を荷重したときのたわみ変形量を計測したもので、フランジ直径に比例してたわみ変形量が低減し、曲げ応力の低下に有効と思われる。また、鋸厚を1.25mmから1.4mmに増す場合も有効と考える。

以上のように、丸鋸のたわみ変形を減らす対策をとることで芯抜け現象の発生を減らすことが可能と考える。

4) まとめ

刈払機用丸鋸の芯抜け現象の解明とその対策について検討した。丸鋸のたわみ振動は丸鋸の急加速時や鋸断時の無理な”こじり”操作などで生ずる。また、この鋸のたわみ変形量の実測値から推定すると、現況では鋸の曲げ疲労が発生しやすい使用条件下にあるといえる。この防止のためには丸鋸のサイズに適合した丸鋸固定フランジを選定して使用すること、あるいは丸鋸サイズに見合った鋸厚の検討が必要と思われる。

(平松 修)

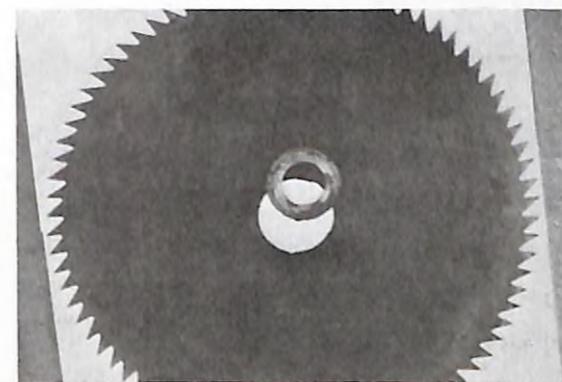


図7-1. 芯抜けで抜け落ちた丸鋸

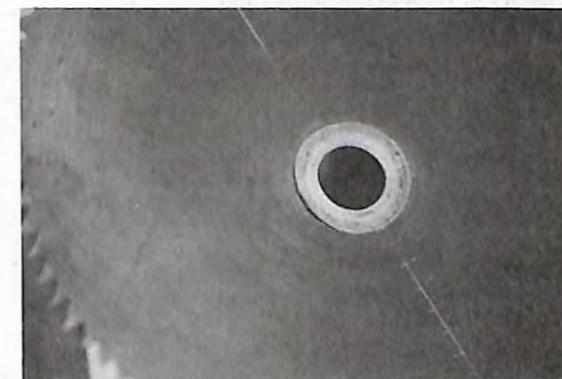


図7-2. 亀裂の入った丸鋸



図7-3. 芯抜け丸鋸の破断面

ノーロード 3000→8000rpm加速時

固定フランジ径 = 42mm

センサ位置の鋸盤たわみ振幅 = 15目盛り

鋸刃外端のたわみ変形量 = 7.88mm

鋸刃外端に作用する力 = 6.07kgf

たわみ変形量で生ずる応力 = 44.4 kgf/mm²

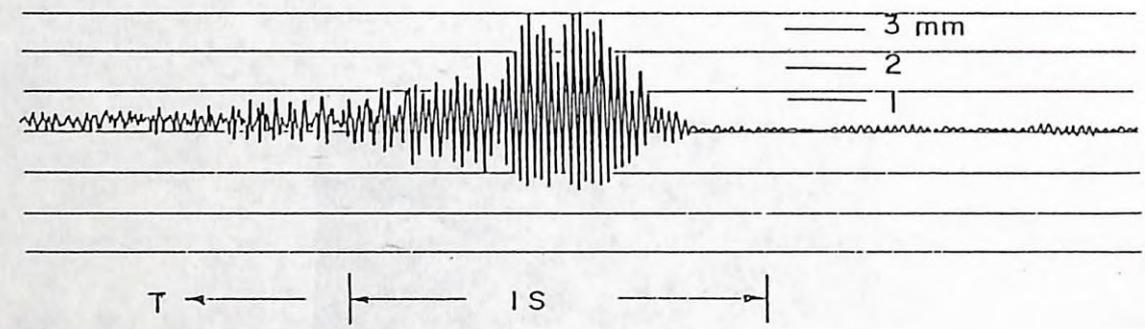
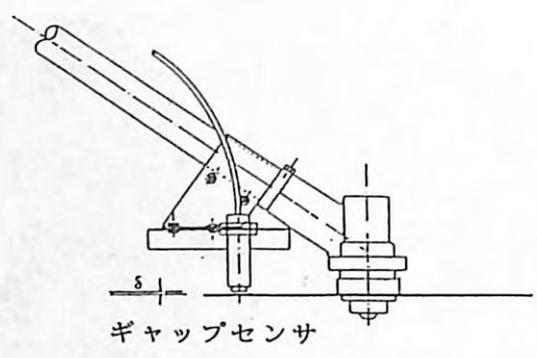


図7-4. 丸鋸回転時のたわみ振動測定方法と測定事例

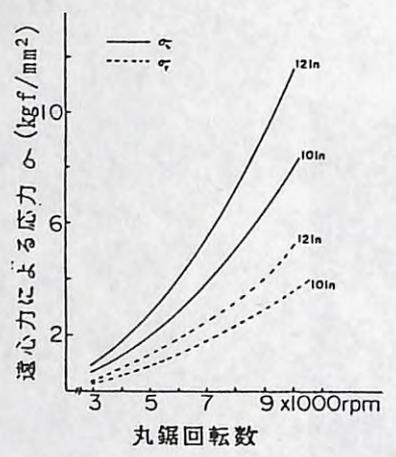


図7-5. 丸鋸回転数と丸鋸フランジ部分に作用する遠心力

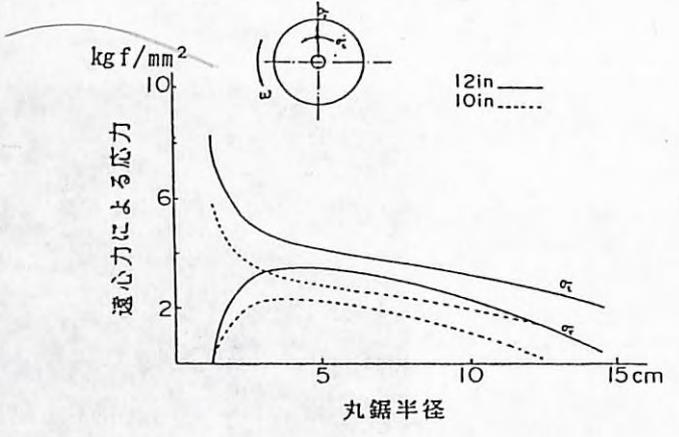


図7-6. 丸鋸半径上の応力分布 (6,000rpm)

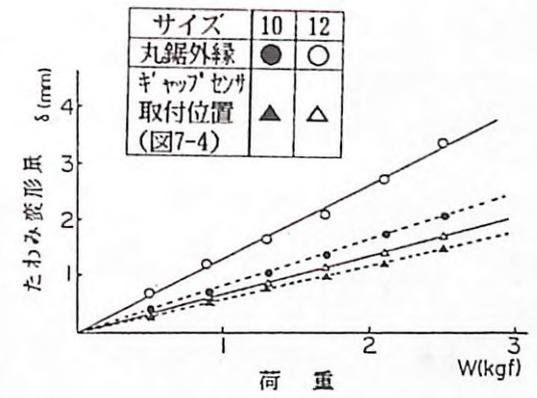


図7-7. 丸鋸外縁への作用荷重とたわみ変形量

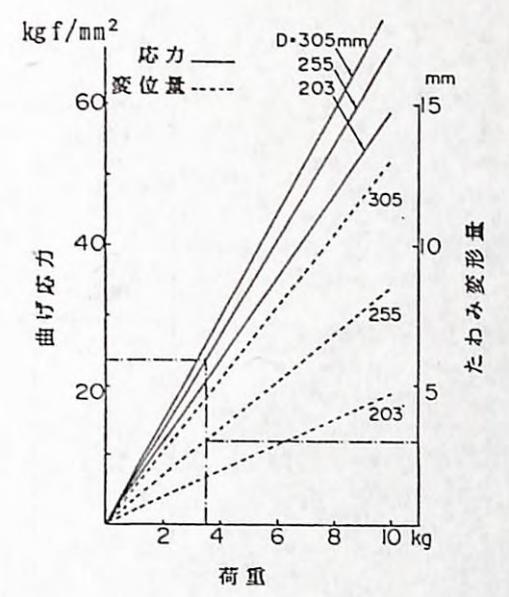


図7-8. 丸鋸外縁に作用する荷重に対するたわみ変形と曲げ応力

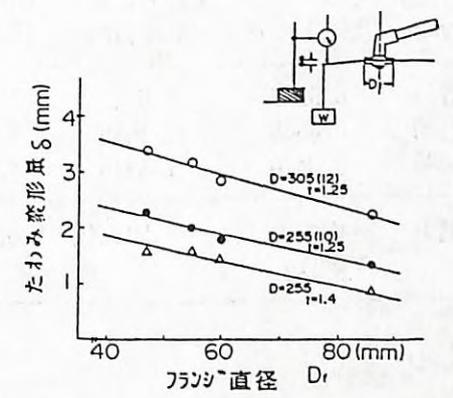


図7-9. 丸鋸固定フランジサイズ及び鋸厚の違いによる丸鋸外端部静たわみ変形量

表7-1. 丸鋸に作用する力

圧縮応力	フランジ締付力
せん断力	切削抵抗力 慣性抵抗力
引張応力	丸鋸遠心力
曲げ応力	フラックリング ジャイロ効果 鋸のこじり操作
熱応力	フランジ圧縮部分の スリップによる摩擦熱 ギヤケースからの伝熱

表7-2. 丸鋸フランジ部分に作用する応力(kgf/mm²)

丸鋸サイズ	せん断応力		遠心力に依る 半径方向	引張応力 円周方向	曲げ応力
	慣性トルク	切削トルク			
8インチ	0.02753	0.0293	0.8159	1.8233	20.89
10	0.07190	0.0368	1.3085	2.8840	23.73
12	0.15485	0.0440	1.8876	4.1311	25.93
注	GD効果	切削力 =1kg	回転数=6000rpm		たわみ変形量 片振幅=3mm

引用文献

- (1) ISO:Chain saw - ISO/TC23/SC17/DIS 9412
- (2) 平松 修:チェーンソーのキックバック現象:93回日林論 1982, P519~522
- (3) 平松 修:チェーンソーのキックバック現象(II):37回日林関東支論 1986
- (4) 平松 修:チェーンソーのキックバック現象(III)----チェーンソーの跳ね返り運動
----:100回日林論1989, 811~814
- (5) 平松 修:刈払機のキックバック現象:99回日林論1988, 749~752
- (6) 平松 修:刈払機のキックバック現象(II)----キックバック速度に及ぼす影響因子
----:40回日林関東支論1988, 263~266
- (7) 平松 修ら:刈払機用刈刃寸法及び刈刃----回転に伴う刈払い機の操作性への影響--
--:38回日林関東支論1986, 269~271
- (8) 山脇三平ら:刈払機の性能試験, 林試研報183, 1-130, 1965.
- (9) 平松 修ら:刈払機刈刃の安全性能:98回日林論1987, 715~718
- (10) 日本機械学会編:金属材料疲れ強さ設計資料, 1-65, 日本機械学会, 東京, 1962.
- (11) 日本材料学会:金属の疲労, 71-446, 丸善, 東京, 1964.
- (12) 斉藤美鶴ら:円鋸に関する研究, 61回日林講, 220-221, 1950.
- (13) 片山 誠:材料力学(北畠, 片山訳), 163-182, 日刊工業新聞社, 東京, 1951.
- (14) 湯浅亀一:材料力学公式集, 213-215, 日刊工業新聞社, 東京, 1961.

カラマツの葉枯らし等
林内乾燥に関する研究

カラマツの葉枯らし等林内乾燥に関する研究

— 林内乾燥法の確立 —

I 試験担当者

木材利用部乾燥研究室長	久田 卓興
木材利用部乾燥研究室	佐藤 庄一, 齋藤 周逸
木材利用部加工技術科長	鷲見 博史
(試験協力機関)	
長野営林局	
上田営林署	

II 要旨

カラマツの林内乾燥の効果をj知るため、季節別に春季、夏季、秋季に分けて葉枯らし及び巻枯らし試験を実施し、含有水分の減少経過を調べた。また、処理材の材質を虫害や変色の発生、製材後の乾燥性、収縮、狂い、ヤニの状況などの観点から検討し、葉枯らし等林内乾燥によって生じる経済的効果について考察した。

葉枯らしによる含有水分の減少は、いずれの季節も辺材部では大きいjが、心材部ではほとんどないかごくわずかであった。カラマツは落葉性のため、初めは葉枯らしの効果は少ないと予想されたが、スギ、ヒノキなどとほぼ同様に辺材含水率が減少する傾向を示した。しかし、春季及び夏季伐倒材は処理中に虫害や青変が発生するため、処理時期は秋季のみに限定すべきである。これに対し、立木の状態で根からの水分吸収を妨げ自然に乾燥させる巻枯らしは、いずれの季節も虫害や青変がなく、含有水分の減少も葉枯らしより大きかった。処理期間内に梅雨を迎える場合、虫害に対して安全かどうかはさらに多くの事例で検討する必要があるが、試験の範囲では問題がなかった。

林内乾燥による経済効果としては、重量減少による伐木運材上の利点と、人工乾燥経費の軽減が考えられる。重量減少は巻枯らしで20%前後の重量減が見込まれ、かなり効果があると考えられる。しかし、乾燥経費についてはカラマツ材の利用状況から見て、用材に主として心材部が用いられることと、ヤニ処理のため高温乾燥が多く乾燥時間そのものが短いことから、あまり大きな効果は期待できないと思われる。

結論として、カラマツの林内乾燥は巻枯らしによるのがよく、処理開始時期は虫害への安全性を見込んで、梅雨明け少し前の7月上旬から落葉2~3か月前の8月下旬までとし、期間は葉が枯れるまでの2~3か月とするのが適当と考えられる。

III 試験目的

林野庁では国有林材の需要拡大を目的として、葉枯らし、巻枯らし処理した良材「サンドライ」の生産を推進している。現在、「サンドライ」は主としてスギ、ヒノキについて行われているが、国有林では今後「サンドライ」の樹種を拡大していこうとする計画があり、その一つにカラマツが考えられている。そのため、この試験では葉枯らしあるいは巻枯らしによる林内乾燥に関し、処理期間中の含有水分の減少経過を調べるとともに、処理によって生じる経済的効果について検討し、カラマツの「サンドライ」生産の指針を得る。

IV 試験の方法と結果

1. 試験の時期と試験地の概況

長野営林局上田営林署管内の国有林に試験地を2か所設定し、平成元年度及び2年度において計3回の葉枯らし試験を実施した。試験は伐採時期を春、夏、秋の3回としたが、春季については芽吹き後ある程度葉が育ってからとし、虫害が起きやすいとされる梅雨期にわざと林内に材を放置してその状況を調べた。また、秋季については自然の落葉と降雪時期を考慮し、それまでに葉枯らしの試験が終了するように時期を設定した。試験時期、試験地、試験木などの概要を表1に示した。また、試験地域の当該時期の気象状況を長野県気象月報から抜粋して表2に示した。

表1. 試験の時期、試験地の概要

回	試験期間	季節呼び名	試験地	標高	方位	傾斜
1	1989.7.20-1989.10.24 (96日間)	夏季	長野県和田村 147林班わ	1500m	南東	緩
2	1989.9.13-1989.12.1 (79日間)	秋季	同上	1500m	南東	緩
3	1990.5.29-1990.9.10 (104日間)	春季	長野県真田町 68林班れ1	1250m	東	急

試験地：長野営林局上田営林署管内

表2. 試験地域周辺の気象状況（長野県上田市）

期間	1989年					1990年				
	7月	8月	9月	10月	11月	6月	7月	8月	9月	
気温(℃)	月間平均	21.3	24.5	21.2	12.9	7.4	21.5	24.8	26.6	21.1
	月間平均	25.8	30.1	25.8	18.5	14.7	27.4	31.3	33.0	26.4
	月間平均	18.1	20.4	17.9	8.2	4.3	16.9	20.3	21.5	17.1
月間降水量(mm)	126	190	142	78	30	63	41	73	182	
月間日照時間(hour)	141	161	107	181	153	126	158	230	127	

第1回目、2回目の夏季、秋季試験を実施した和田村147林班わ小班は、標高1500m、林地傾斜20度の比較的緩やかな南東斜面であった。林齢は52年、立木密度は552本/haのカラマツ純林で、材は樹高約24m、胸高直径約30cmの優良なものであった。試験に際してはあらかじめ試験木以外の木を切り倒してオープンスペースを作ったため、葉枯らし中の材への陽光の照射はほぼ良好であった。なお、通風条件は普通と思われた。(写真1, 2)。



写真1. 葉枯らし試験の状況（第1, 2回目試験）

第3回目の春季試験は真田町68林班れ1小班，標高1250m，林地傾斜38度の急峻な東斜面で行った。林齢は78年，立木密度はかなり密で，ヒノキやアカマツなどとの混交林であった。混交率はカラマツ20%，ヒノキ60%で，ほかはアカマツ，スギ，広葉樹である。材は樹高約31m，胸高直径約36cmのきわめて優良な大径木であった。試験地が急峻なため，伐倒時には材の先端部が衝撃で折れて葉枯らしに障害が起こると感じられたものや，枝葉が重なり合って陽光が遮られるもの，通風が不十分なものがいくつかあった。（写真3）。



写真2. 葉枯らし試験の状況（第1，2回目試験）



写真3. 葉枯らし試験の状況（第3回目試験）

2. 試験の進め方

いずれの試験も供試木は5本を1組とし，表3に示すようなそれぞれ異なる試験方法で実施した。葉枯らしはすべて枝葉付き，皮付きのまま行い，ほとんどを谷側に伐倒した。

Aは伐倒時における立木の生材含水率を調べるための実験である。材は伐倒後3mまたは4m間隔で玉切りし，伐根部と地面からそれぞれ0.6m，1m，5m，8m，12m，16mの位置で厚さ約3cmの円板を採取し，これを適当な大きさに分割して全乾法により辺材部，心材部別に含水率を測定した。また，長さ3mに玉切りした2番玉は，そのあと山土場に放置して含水率低下の状態を調べた。これは葉枯らし等林内乾燥との違いを見るために参考として行ったものである。

B，C，Dは葉枯らしによる含水率の減少状況を調べるための実験である。葉枯らし期間はBは伐倒後約30日，Cは約50日，Dは約80日を目安としたが，実際には試験日程の都合で多少違いが生じた。含水率の測定方法はAとほぼ同じ方法を用い，地面からの高さがそれぞれ1.0m，5.0m，8.0mの位置で円板を採取して行った。この方法は全乾法であるため含水率の測定は正確に行えるが，各実験で用いる試験木がそれぞれ異なるため，個体差が大きい場合は葉枯らしの効果を正確に把握することが難しい。そこで葉枯らし期間の最

表3. 供試木の性状と測定事項

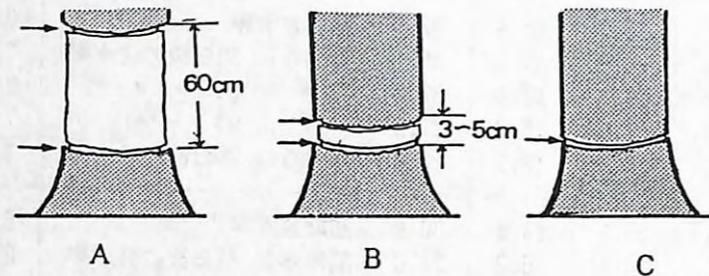
試験時期	記号	樹高(m)	枝下高(m)	胸高直径(cm)	測定事項	実験開始日	円盤採取日
夏季 (1989年)	A	25.7	18.4	32.0	初期含水率	7.20	7.20
	B	24.6	17.3	29.2	葉枯らし 33日後の含水率	7.20	8.22
	C	23.7	17.4	32.0	" 54 "	7.20	9.12
	D	21.0	15.2	27.6	" 96 "	7.20	10.24
	E	26.5	18.1	28.8	巻枯らし 96日後の含水率	7.20	10.24
秋期 (1989年)	A	25.1	14.8	30.0	初期含水率	9.12	9.12
	B	24.4	16.2	24.0	葉枯らし 41日後の含水率	9.13	10.24
	C	24.3	16.3	26.4	" 79 "	9.13	12.1
	D	25.2	13.7	31.6	" 79 "	9.13	12.1
	E	25.5	15.7	32.8	巻枯らし 79日後の含水率	9.13	12.1
春期 (1990年)	A	34.3	21.3	41.2	初期含水率	5.29	5.29
	B	30.7	14.9	34.0	葉枯らし 36日後の含水率	5.29	7.4
	C	36.0	16.0	35.4	" 65 "	5.29	8.2
	D	34.5	16.2	41.0	" 104 "	5.29	9.10
	Ea	26.7	15.8	34.0	巻枯らし104日後の含水率	5.29	9.10
	Eb	25.9	14.8	33.2	" 104 "	5.29	9.10
	Ec	27.1	13.5	35.6	" 104 "	5.29	9.10

注) 樹高、枝下高、胸高直径は供試木5本の平均値

も長いDの試験では、終了時に円板を採取するのとはほぼ同位置から、試験途中の適当な時期に木工錐によって木材細片を切り出し、その含水率を調べることによって葉枯らし中の含水率変化を連続的に測定した。木工錐は直径30mmのものを用い、できる限り弱い力で木片を切り出すようにした。この含水率測定法は前回のスギ、ヒノキの葉枯らし試験で用いたのと同じである。

Eは巻枯らし試験である。巻枯らしの方法は1回目の夏季試験では1種類だけとし、まずチェーンソーによって根本付近に60cm間隔で深さ2~3cmの切り込みを2か所入れ、この間の樹皮を剥皮するとともに、下側を約5cmの幅で帯状に辺材部分を切り取った。しかし、この方法は作業に手間が掛かり現実的でないため、2回目以後は別の方法をとることとし、秋季試験では図1のうちAの方法を、また、春季試験ではA、B、Cの3つの方法をとった。すなわち、Aはチェーンソーを用いて深さ2~3cmの切り込みを60cm間隔で2か所入れ、その間の樹皮を剥皮する方法、Bは切り込みの間隔を3~5cmとして同じく剥皮する方法、Cは切り込みのみを1か所入れる方法である。

巻枯らし試験における含水率減少経過の測定は、前に述べた木工錐による方法で行った。この場合、木材細片を切り取る位置はチェーンソーによる切込みから上に約1m離れた位置とした。また、巻枯らし終了後は材を伐倒し、地面から約5mと8mの位置で円板サンプルを採取して全乾法により含水率を測定した。



巻枯らしの方法

- A: 幅60cmを剥皮。
- B: 幅3-5cmを剥皮。
- C: チェーンソーの切込みのみ。
- : チェーンソーによる切込み、深さ2-3cm。

図1. 巻枯らし試験の方法

3. 樹高方向、季節別の初期含水率

3回の試験における試験開始時の材の生材含水率を測定した。結果は図2~4に示すように、季節別では辺材部の含水率が約130~140%と春に最も高く、夏、秋としだいに低くなっていく傾向があるが、心材部の含水率は季節による変化がほとんど見られない。一方、円板全体としては、含水率は夏、秋に多少低くなるようにも思われるが、年間を通じてほぼ一定であった。カラマツはスギなどに比べると辺材部の割合が少なく、なかでも供試木はいずれも大径の成熟材で、辺材部分が極端に少なかったためこのような結果になったものと思われる。地上高別では伐根部の含水率が、心材ではやや高く、辺材ではやや低くなる傾向が見られるが、ほとんどの部位も一定と考えてよいようである。以上の結果を見ると、カラマツ立木の生材含水率分布の状態はヒノキと非常によく似かよっており、全体としてヒノキよりいくぶん含水率が低いようである。

なお、供試木の初期含水率は辺材が約100~140%、心材が35~40%で、辺心材込みでは60~70%であった。

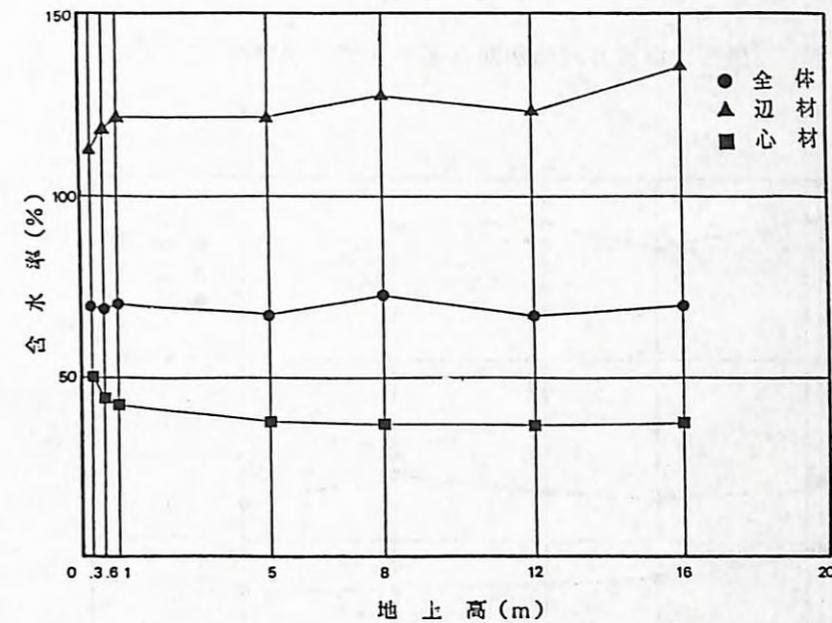


図2. 樹高方向の初期含水率 (夏季伐倒材)

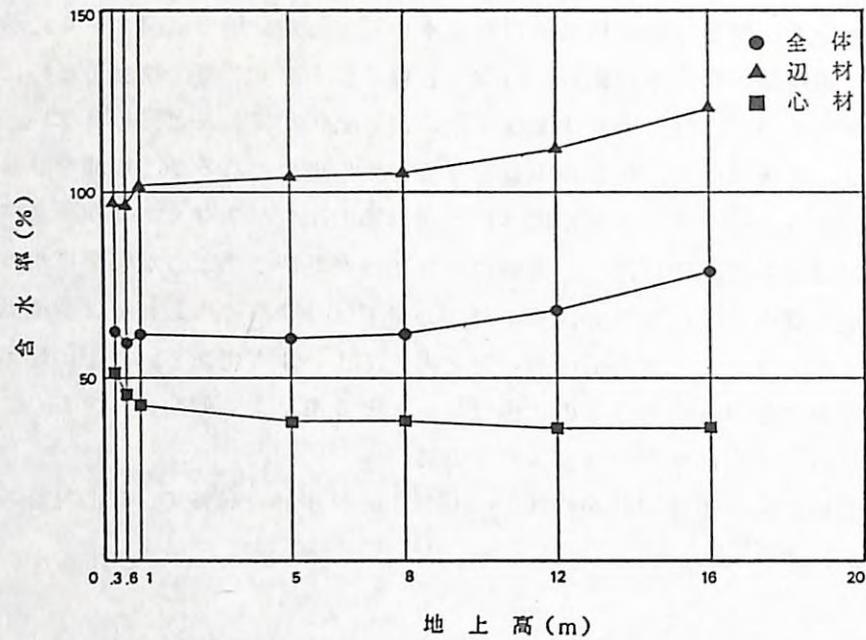


図3. 樹高方向の初期含水率 (秋季伐倒材)

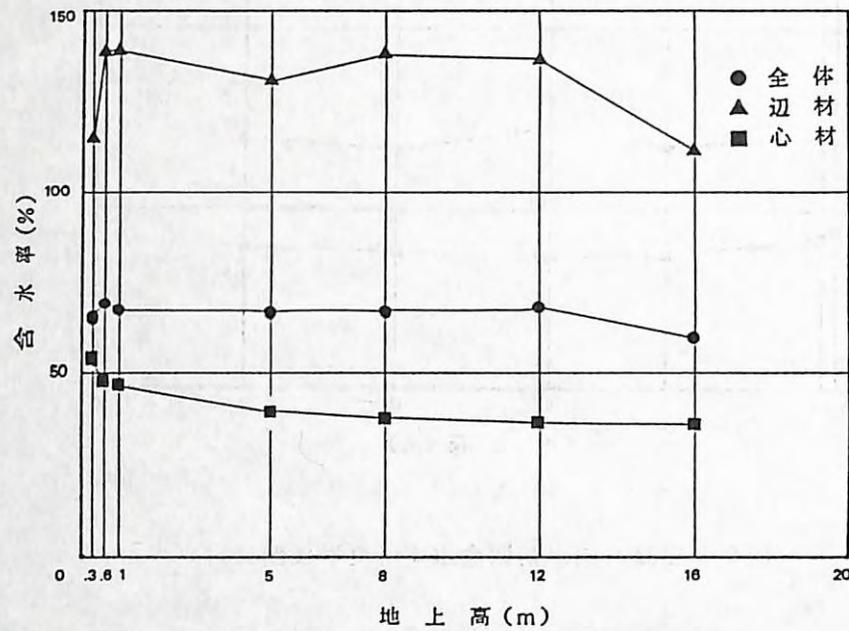


図4. 樹高方向の初期含水率 (春季伐倒材)

4. 葉枯らしによる乾燥効果

葉枯らしによる乾燥効果を調べるため、季節別にそれぞれ約3か月間の試験を行った。表4及び図5～7に含水率変化の測定結果を示した。ここでの含水率測定は、葉枯らし開始から一定期間経過後材を玉切って、2番玉の両側からそれぞれ1枚ずつ円板サンプルを採取する方法で行った。従って、測定値は5個体からの計10枚の円板の平均値である。この場合、試験木はいずれも含水率測定時に玉切りしてしまうため、各測定点はそれぞれ別の個体のものとなる。しかし、カラマツは季節による初期含水率の変動が少なく、また、個体差も少ないため、この方法でも測定結果は十分信頼できるように思われた。この試験では、これとは別に同一試験材で葉枯らし期間中の含水率変化を連続的に測定するため、木工錐を用いた測定も行っているが、高含水率域での測定に多少問題があるため、ここではより信頼度の高いと思われる円板サンプルによる測定結果のみを示すことにした。

試験結果によると、心材含水率は葉枯らしを行ってもほとんど変化しないが、辺材含水率はかなり減少する傾向が認められた。図2～4の初期含水率の測定結果をふまえて、辺材含水率の減少経過を考えてみると、夏季は辺材含水率が約3か月間でおよそ120～130%から60～70%まで低下するとみられる。また、秋季は110～120%から70～80%まで、また、春季は130～140%から70～80%まで乾燥するとみられる。

表4. 葉枯らし材の含水率変化 (円板サンプル)

試験時期	辺心材別		初期含水率 (%)	約1か月後 (%)	約3か月後 (%)
夏季 (1989年)	辺材	平均 (範囲)	124 (108~137)	92 (58~119)	64 (42~96)
	心材	平均 (範囲)	38 (36~43)	38 (32~38)	38 (34~44)
秋季 (1989年)	辺材	平均 (範囲)	105 (94~111)	118 (87~167)	86 (53~126)
	心材	平均 (範囲)	38 (35~43)	39 (35~46)	37 (35~39)
春季 (1990年)	辺材	平均 (範囲)	134 (120~144)	77 (54~127)	82 (45~119)
	心材	平均 (範囲)	41 (36~45)	37 (33~40)	42 (40~44)

注) 約1か月後: 夏季 (33日後)、秋季 (41日後)、春季 (36日後)
 約3か月後: " (96日後)、" (79日後)、" (104日後)
 試料数: 5個体、10サンプル 採材位置: 地上高5～8m

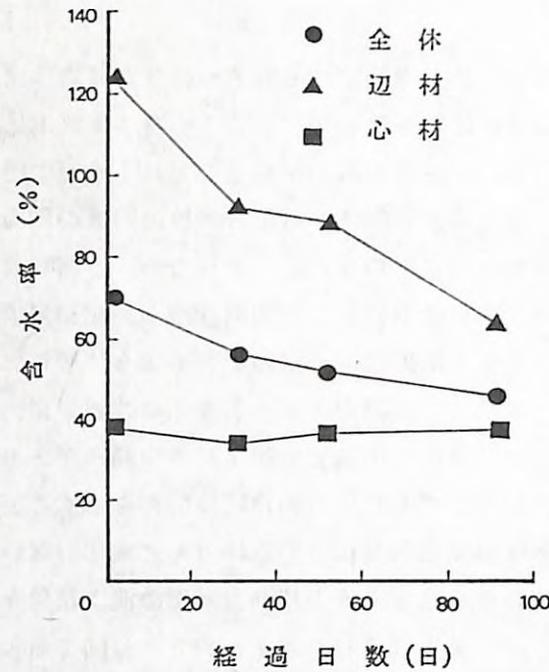


図5. 葉枯らし材の乾燥経過 (夏季)
(円板サンプル, 5個体の平均値)

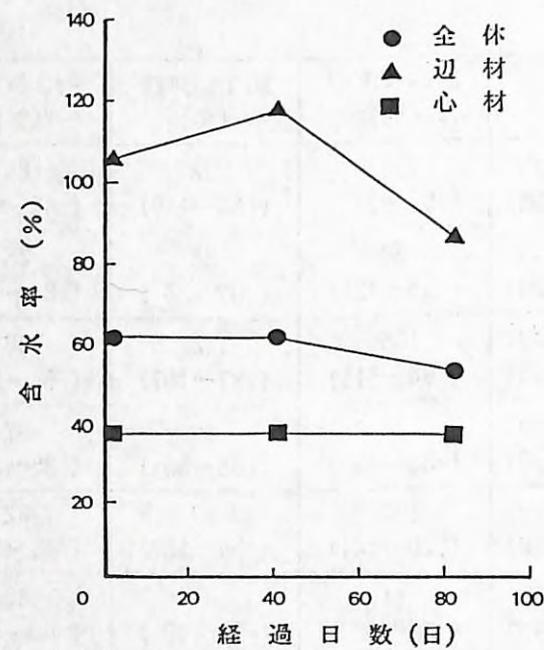


図6. 葉枯らし材の乾燥経過 (秋季)
(円板サンプル, 5個体の平均値)

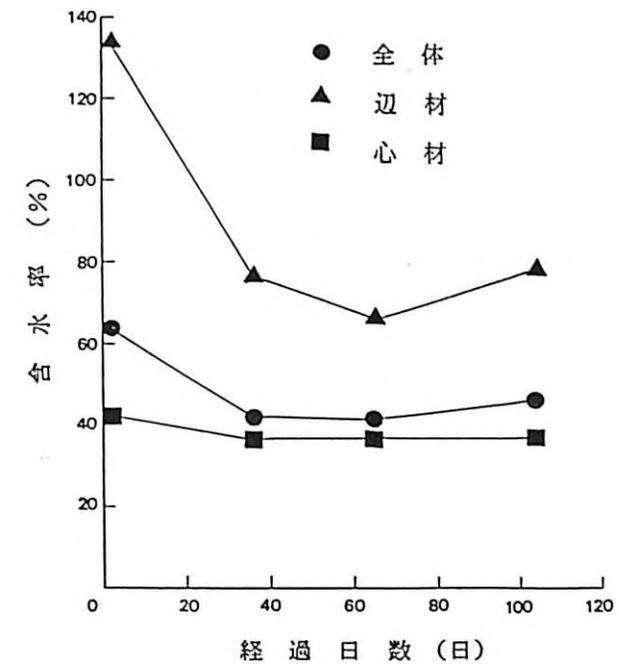


図7. 葉枯らし材の乾燥経過 (春季)
(円板サンプル, 5個体の平均値)

初めはカラマツは落葉性のため、葉枯らし開始後すぐに落葉するか、秋季には早い時期に落葉し、それほど葉枯らしの効果が無いことが懸念されたが、ほかの樹種と同じように伐倒後2~3か月かかって次第に葉が枯れていき、この間に徐々に含有水分が減少していくことが確認された。写真4は夏季試験の33日後の状態であるが、葉の枯れはまだそれほど進んでいない。葉の枯れは54日後にはおよそ全体の半数くらいに及び、96日後には全数が枯れていた。写真5は秋期試験の41日後であるが、葉の枯れはかなり進行し、葉の一部にわずかに緑色の部分が残っている状態であった。この時期にはすでにほかの一般のカラマツでは紅葉が進んでおり、これに比べると葉枯らし材はむしろ葉の黄変が遅れる傾向が見られた。写真6は春期試験終了時の104日後であるが、葉はまだ完全には枯れておらず、ほとんどの材が緑色の部分をかなり多く保ったままであった。この試験よりあとの時期に伐採した夏季試験では、同時期にすでに半分くらい葉の黄変が進んでいたことを考えると、春季試験は試験地が急峻で陽光が周りの木に遮られ、風通しも悪かったことによる影響ではないかと考えられる。



写真4. 葉枯らし試験33日後（夏季伐倒材）



写真5. 葉枯らし試験41日後（秋季伐倒材）



写真6. 葉枯らし試験104日後（春季伐倒材）

5. 巻枯らしによる乾燥効果

伐倒後材を林内に放置する葉枯らし乾燥に比べ、立ち木の状態で根からの水分の吸収を妨げ、自然に葉を枯らして乾燥させる巻枯らしは、作業性や虫害防止の面では優れているといえる。しかし、スギ、ヒノキの例では葉がなかなか枯れず、林内乾燥の効果が得られ難かった。そこで、この試験では、まず最初に、作業性の良否にかかわらず確実に葉が枯れると思われる処理方法を選び、次にこれを簡素化していく方法をとった。

巻枯らしによる林内乾燥の効果を調べる方法として、ここでは葉枯らしと同様に伐倒後に円板を採取してその含水率を調べる方法と、処理期間中の適当な時期に木工錐により木片サンプルを切り出し、含水率変化を連続的に調べる方法とを併用した。図8は木工錐による含水率測定法の精度を調べるため、木工錐サンプルと円板サンプルとの含水率を比較したものである。含水率50%以下では両者はかなりよく近似しているが、高含水率域では木工錐サンプルがやや低い値を示す傾向がある。これを防ぐには直径の大きなよく切れる錐を用いる必要があるが、その点に注意すればまずまずの測定結果が得られると考えられる。

表5は円板サンプル、図9～11は木工錐サンプルによる測定結果である。夏季及び秋季試験では、いずれも早い時期から辺材含水率の著しい減少が見られる。図5、6の葉枯らしに比べて含水率の減少スピードが速く、また、3か月後には最終的に心材とほぼ同レベルまで含水率が低下した。

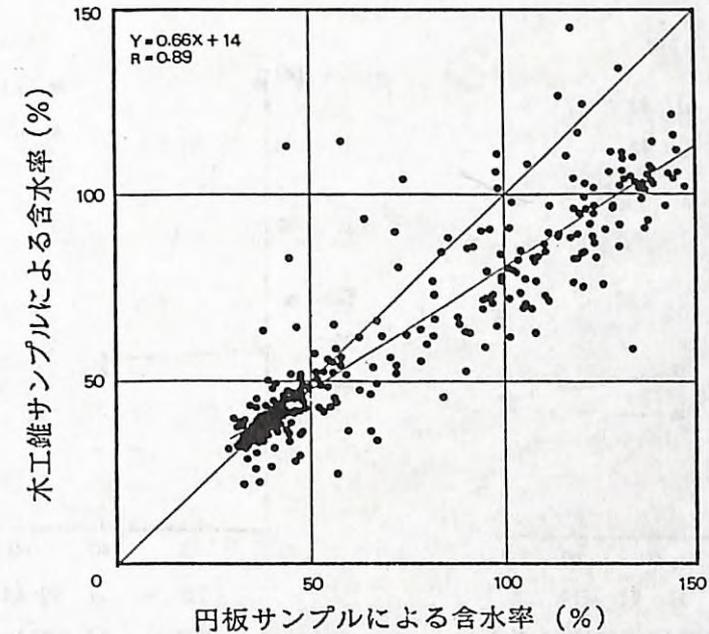


図8. 木工錐による含水率測定の精度

表5. 巻枯らし材の含水率変化 (円板サンプル)

試験時期	処理方法	辺心材別		約3か月後 (%)
夏季 (1989年)	A'	辺材	平均 (範囲)	37 (35~39)
		心材	平均 (範囲)	35 (33~39)
秋季 (1989年)	A	辺材	平均 (範囲)	68 (49~85)
		心材	平均 (範囲)	40 (38~42)
春季 (1990年)	A	辺材	平均 (範囲)	38 (36~41)
		心材	平均 (範囲)	37 (35~41)
	B	辺材	平均 (範囲)	39 (33~48)
		心材	平均 (範囲)	35 (30~38)
	C	辺材	平均 (範囲)	53 (36~93)
		心材	平均 (範囲)	36 (34~40)

処理方法

- A: チェーンソーで切り込みを入れ、幅60cmを剥皮。
- A': Aの処理をし、さらに辺材部分を帯状に幅5cm切り取る。
- B: チェーンソーで切り込みを入れ、幅3~5cmを剥皮。
- C: チェーンソーで切り込みのみを1か所入れる。

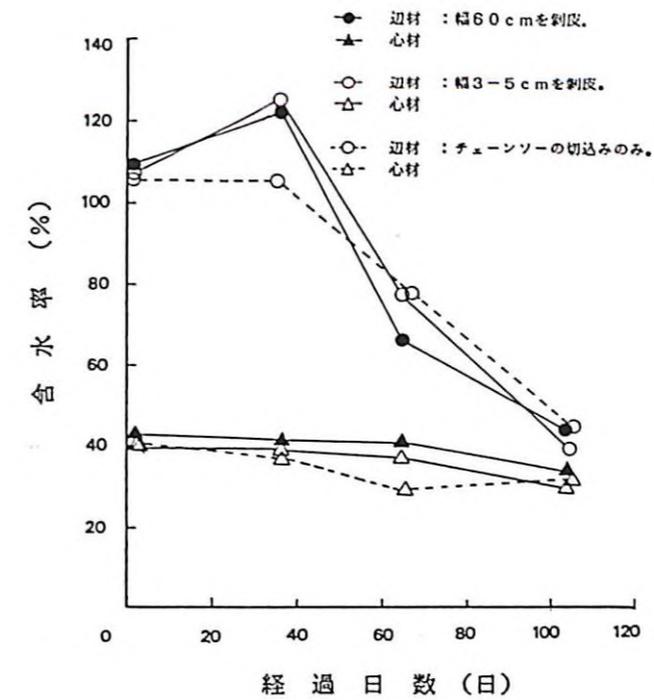


図11. 巻枯らし材の乾燥経過 (春季)
(木工錐サンプル, 5個体の平均値)

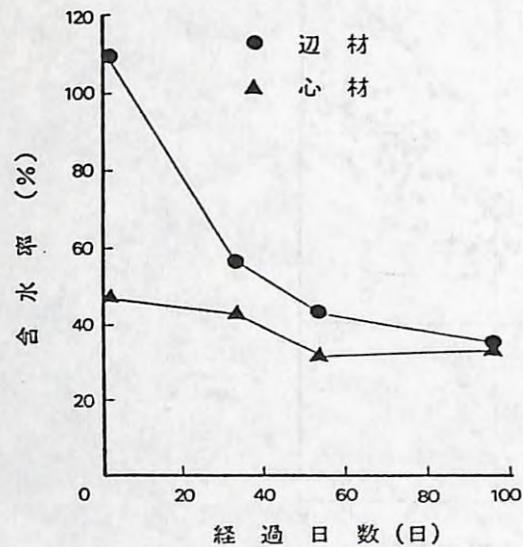


図9. 巻枯らし材の乾燥経過 (夏季)
(木工錐サンプル, 5個体の平均値)

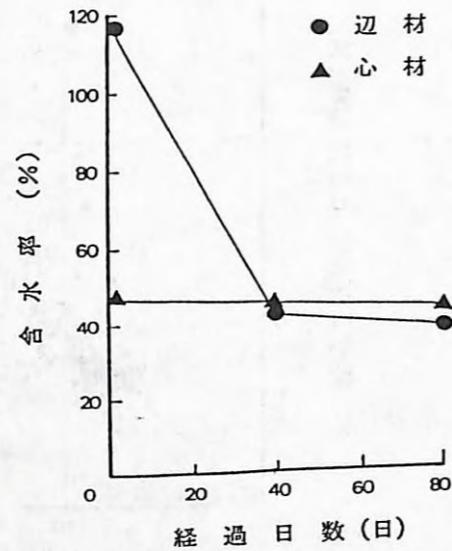


図10. 巻枯らし材の乾燥経過 (秋季)
(木工錐サンプル, 5個体の平均値)

写真7は夏季試験の33日後であるが、写真4の葉枯らしよりも早く葉の黄変が始まっている。また、写真8は秋季試験の41日後で、写真中央の処理材は他の木よりも早く葉が枯れ落ちている。一方、試験開始後まもなくして梅雨を迎えた図11の春季試験では、初めはそれほど含水率が減少しないが、その後8月にかけては急激に辺材含水率が減少し、9月上旬には夏季、秋季試験と同じく約40%近くまで低下した。試験終了時の104日後には葉はすっかり枯れ、この場合も葉の黄変、枯れは写真9のように巻枯らしの方が早く進んだ。

巻枯らし処理の方法と乾燥効果の関係では、処理方法Aの幅60cmにわたって剥皮する方法は十分効果が大きいと判断されたが、この方法は現場における作業性がよくないことが問題である。これに対して剥皮の幅を3~5cmにしたBの方法は、Aとほぼ同程度の乾燥効果が得られた。もう1つのチェーンソーの切り込みだけを入れるCの方法は、図11ではほとんどほかと同じくらい効果のある結果が得られているが、試験終了時の円板サンプルによる測定結果によると、3, 4番玉の中に含水率の高いままの材がいくつか含まれていた。このため、作業性と乾燥効果の両面から判断し、巻枯らし方法としてはBの方法が適していると思われる。



写真7. 卷枯らし試験33日後(夏季)

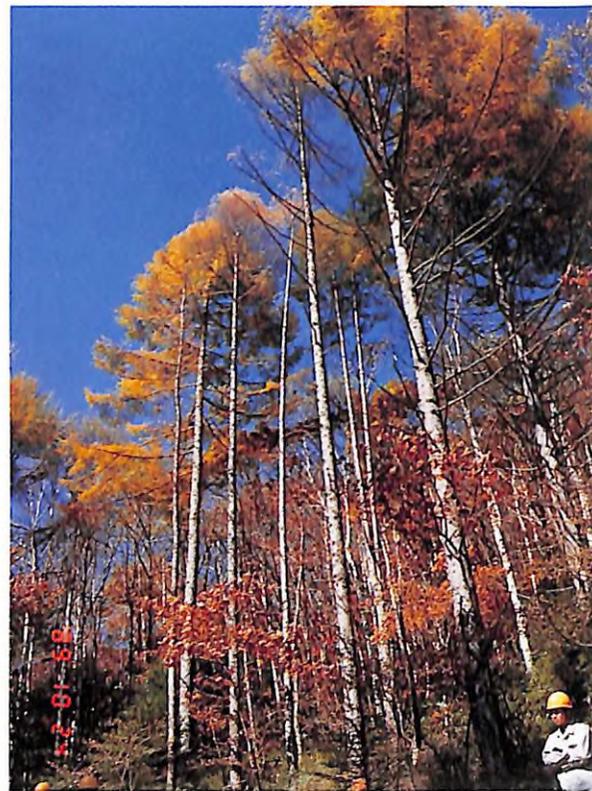


写真8. 卷枯らし試験41日後(秋季)



写真9. 卷枯らし試験104日後(春季)

6. 葉枯らし, 卷枯らしによる重量の減少

葉枯らし, 卷枯らしによる材の重量減少を, 辺心材の含水率の変化から計算により求め, 表6に示した。計算は容積密度数を $400\text{kg}/\text{m}^3$ 一定とし, 辺心材の比率と含水率の値を用いて行った。図12によれば葉枯らしによる重量減少は夏期が約15%と最も大きく, 秋季,

表6. 葉枯らし, 卷枯らしによる重量変化

試験時期	処理方法	初期 (kg/m^3)	約1か月後 (kg/m^3)	約3か月後 (kg/m^3)	
夏季 (1989年)	葉枯らし	800	725	678	
	卷枯らし A	-	-	622	
秋季 (1989年)	葉枯らし	760	732	693	
	卷枯らし A	-	-	666	
春季 (1990年)	葉枯らし	740	661	688	
	卷枯らし	A	-	-	618
		B	-	-	611
		C	-	-	631

注) 容積密度数: $400\text{kg}/\text{m}^3$ 辺材率: 31.7%
卷枯らしの処理方法は表5参照。

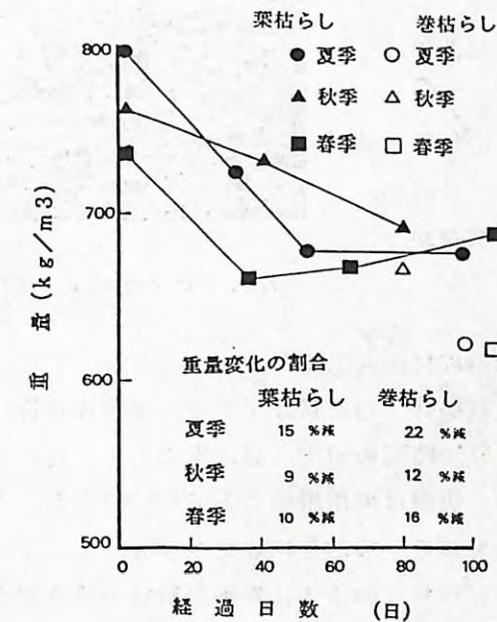


図12. 葉枯らし, 卷枯らしによる重量減少

春季はおよそ10%であった。これに対し、巻枯らしは夏期22%、ほかが15%前後であった。スギ、ヒノキに比べれば重量減少率は低い、それでも巻枯らしによってこれらの樹種の2/3くらいの重量減少が達成できる。また、今回試験に用いた材は辺材率がかなり小さいが、一般にはこれより若令の材が多いため辺材率がもう少し多く、従って、重量減少はこれより多くなることが予想される。この点を加味するとカラマツもほかの樹種と同等あるいはそれ以上の重量減少が期待できると言えよう。

重量減少の観点からは葉枯らしよりも巻枯らしのほうが有利で、処理期間は春季は約3か月、ほかの季節は約2か月が適当と思われる。また、いずれの時期においても葉が十分に枯れるまでというのが一つの目安になる。

7. 葉枯らし、巻枯らし期間中の虫害の発生

葉枯らし、巻枯らし終了材の虫害並びに青変の発生状況を観察したところ、葉枯らしの夏季及び春季伐倒材で直径2~3mmのピンホール状の穴(写真10)や、樹皮裏側から辺材に及ぶ腐朽が見られた。特に梅雨時期に林内に放置した春季伐倒材では腐朽が著しく、かなり辺材部深くまで及ぶものがあり、また、青変菌もかなり全体に広がっていた。しかし、これらの害が及ぶのはいずれも辺材部のみで、かなり腐朽が著しいものでも心材部には全く影響がなかった。



写真10. 葉枯らし期間中に発生した虫害

これに対し、葉枯らしの秋季伐倒材と巻枯らし材ではすべてに腐朽、青変いずれの害も認められなかった。

8. 葉枯らし、巻枯らし処理材の人工乾燥

葉枯らし、巻枯らし処理の終了した材は製材後人工乾燥を行い、林内乾燥によって生じる波及効果、すなわち、乾燥時間の短縮、収縮率の減少、狂いやねじれの減少、ヤニの軽減などについて検討した。実験は実用規模のI F型乾燥室と、小型の実験装置の2種類を用いて、現在広く普及している一般的な乾燥スケジュールによって行った(表7)。

図13は夏季及び秋季試験材、図14は春季試験材の乾燥経過である。板材は厚さ25mm、平割材は厚さ45mmで、材の厚さによって多少乾燥速度が異なるが、いずれも生材と葉枯ら

し材あるいは巻枯らし材との間にほとんど有為な差が認められなかった。図14では巻枯らしの板材の乾燥時間がほかに比べて短い、これはたまたま試験材含水率が低かったためである。実験には心材部から木取った材を用いているが、心材含水率は葉枯らし、巻枯らし処理をしてもほとんど変化しないように思われるため、乾燥時間もあまり変わらないと見るのが妥当であろう。カラマツは成材では一般に辺材部が少なく、用材としては主に心材部が利用される。従って、このような場合は林内乾燥の効果は少ないが、辺材率が多い小径材などでは林内乾燥により含水率がかなり低くなることから考えられるため、これを乾燥する場合には乾燥時間の短縮効果は大きいはずである。

このほか、葉枯らし、巻枯らし材の収縮率、狂い、ねじれ、ヤニなどについても検討したが、これについてもいずれも有為な差は認められなかった。

表7. カラマツ材の人工乾燥スケジュール

時間 (hr)	含水率 (%)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)	備考
0~2	生	30~90	30~90	0	温度上昇
2~5	"	90	90	0	蒸煮 3hr
5~11	生~30	90	85	5	
11~24	30~25	90	80	10	
24~31	25~20	90	75	15	
31~50	20~12	90	70	20	
50~	調湿	90	83	7	

材厚: 板材 25mm、平割材 45mm

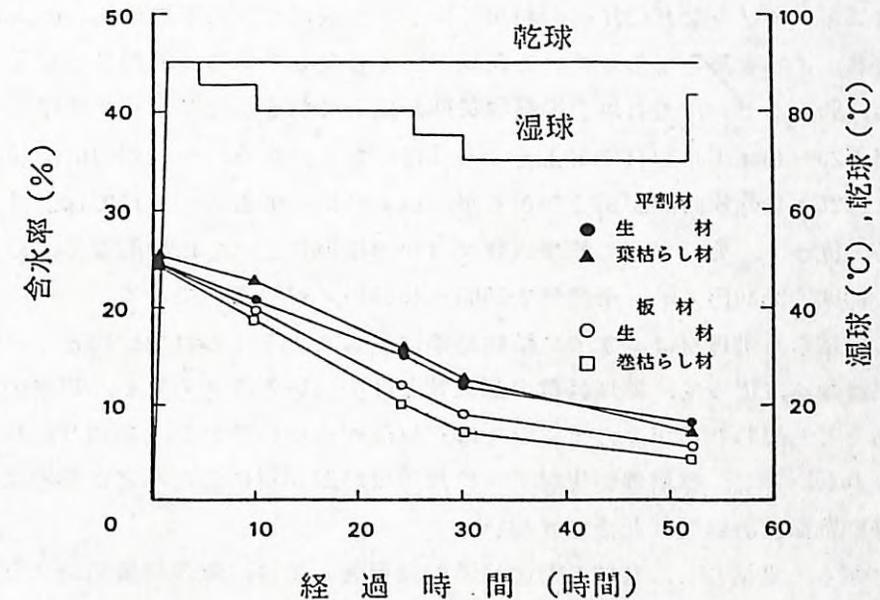


図13. カラマツ材の人工乾燥経過(夏季, 秋季試験材)

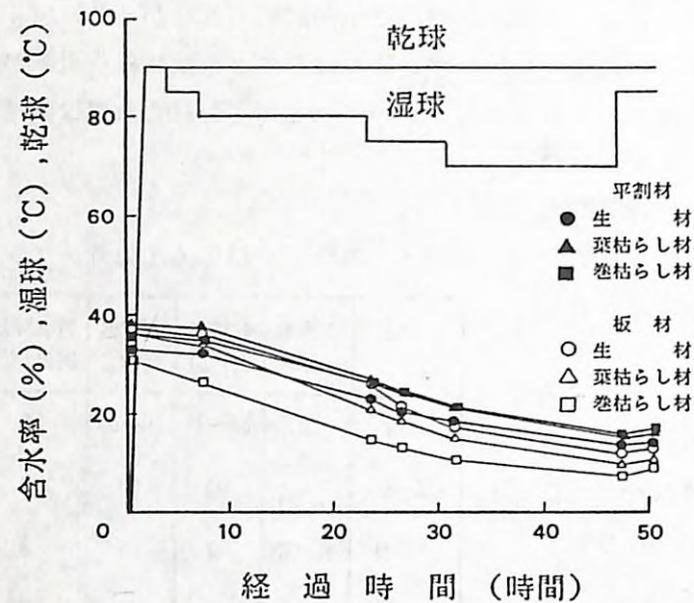


図14. カラマツ材の人工乾燥経過 (春季試験材)

また、この試験では比較のため伐倒後すぐに玉切りし、約3か月間林内に放置した材についても製材し乾燥したが、含水率はほとんど生材と変わらず、乾燥性にも違いが見られなかった。玉切り材は皮付きの状態では放置中にほとんど含水率変化がないようである。

9. 葉枯らし、巻枯らし材の乾燥経費節減効果

カラマツはスギ、ヒノキなどに比べ、利用に際して一般にヤニの滲出や狂いの大きいことが問題とされ、これを防止するため人工乾燥が広く普及している。乾燥スケジュールとしては乾球温度90°Cあるいはそれ以上の高温条件が用いられることが多く、標準的な乾燥所要時間は厚さ25~45mmの平割材でおよそ2~3日である。また、一辺が100mm前後の正角材の場合はこれより乾燥時間が長くなるが、いずれにしても3~4日で仕上げることが可能である。従って、カラマツの乾燥経費はほかの樹種に比べて比較的安く、目安としては平割材で2000~2500円/m³、正角材で3000~4500円/m³くらいである。

葉枯らし、巻枯らし処理材は、すでに試験結果に示したように心材ではほとんど乾燥時間の短縮効果はなく、従って、乾燥経費の節減効果は少ないと考えられる。辺材の場合は多少効果があると思われるが、カラマツでは辺材部が少ないことと、あまり辺材が用材として用いられないこと、無処理の生材でも乾燥所要時間が短いことなどから考えると、ほとんど乾燥経費節減の効果は期待できない。

以上のことから、葉枯らし、巻枯らしの経済的効果としては、乾燥経費節減よりはむしろ材全体の重量が軽減することによる集運材の際の効果が大いといえよう。

10. カラマツ材の林内乾燥を進めていくに当たって

このたびの試験結果や既往の成果などを勘案し、今後カラマツの林内乾燥を進めていくに当たって留意すべき点を、以下に箇条書で記す。

- (1) 葉枯らしは春から夏までに処理を開始すると、処理期間中に虫害や青変が発生するため処理開始は秋季以降とすべきである。ただし、開始時期が遅くなると落葉期に近づくため林内乾燥の効果は低減する。
- (2) 林内乾燥による含有水分の減少効果は、適切な処理方法をとればどの季節も葉枯らしよりは巻枯らしの方が大きい。
- (3) 巻枯らしでは梅雨前に処理を開始しても虫害の発生はなかったが、安全のため処理開始は7月上旬からとし、落葉2~3か月前の8月下旬までとするのがよいと思われる。また、処理期間はいずれも葉が枯れるまでの2~3か月とする。
- (4) 巻枯らしの処理方法としては、伐根近くにチェーンソーで心材部まで達する切り込みを約3~5cm間隔で2か所入れ、この間の樹皮を剥ぐ方法が作業性と効果の両面から適していると考えられる。

引用文献

- (1) 鷲見博史, 佐藤庄一, 齋藤周逸, 中野達夫: スギ, ヒノキ材の葉枯らし, 巻枯らし等林内乾燥試験, 昭和61年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書, 157-171 (1986)
- (2) 高橋邦秀, 原田哲郎: カラマツの立木乾燥, 北方林業, Vol.41, No.4, 7-9 (1989)
- (3) 松岡尊重, 伊藤勇三郎: カラマツ葉枯らし材(サンドライ)生産, 販売の一考察, 青森営林局平成元年度業務研究発表集録, 214-220 (1989)
- (4) 岡田広, 藤井誠, 荒井春男, 上原一義: カラマツのサンドライ生産について, 長野営林局平成元年度業務研究発表集, 99-101 (1990)
- (5) 山本輝男, 小根沢三巻: カラマツのサンドライ生産の調査, 同上, 102-106 (1990)
- (6) 駒瀬勉: カラマツのサンドライ材の生産, 同上, 107-110 (1990)

カラマツの葉枯らし等林内乾燥試験

-カラマツ葉枯らし処理の化学的評価-

I 試験担当者

木材化工部成分利用科抽出成分研究室

林 良興, 加藤 厚,
伊藤由紀子

II 要旨

カラマツ葉枯らし処理が材の化学的性質及び材色に及ぼす効果を知るため、葉枯らし試験を行い、処理材と対照区生材のベンゼン抽出物（全脂質、全樹脂関連物質）及びメタノール抽出物（全材色関連物質）の含有率の変化及び材色の違いを調べた。葉枯らし材ではベンゼン抽出物、メタノール抽出物含有量が、心材ともに対照区のそれぞれの季節の生立木に比べてやや低くなった。材色は葉枯らし区辺材では赤色度が増加したが、心材では変化が認められなかった。

III 試験目的

カラマツの葉枯らし処理技術を確認するため、葉枯らし処理を行った場合に期待される材の化学的性質にもたらされる改善効果を評価するための基礎となるデータを得る目的で本研究が行われた。カラマツは葉枯らし処理をするとヤニが減る、あるいは材色がよくなるなどと経験的にいわれている。これらの効果につき評価するため、葉枯らし処理過程におけるカラマツ材の樹脂関連成分及び材色関連成分の含有率の変化と材色の変化を定量的に把握し、葉枯らし実行期間において、生立木に見られる同成分と材色の変化を比較して、処理効果を評価し、さらに、葉枯らし作業を実施するための好適な時期を検討することにした。カラマツの樹脂関連成分としてはアビエチン酸、ジヒドロアビエチン酸、ネオアビエチン酸、デキストロピマール酸、イソデキストロピマール酸、レボピマール酸、パルストリン酸などの樹脂酸類、 α -ピネン、 β -ピネン、 Δ -3-カレン、 β -フェランドレン、 γ -リモネンなどのモノテルペン類、脂肪酸類、炭化水素類が知られている¹⁾。カラマツ材利用上で問題となるヤニ障害は、液体のモノテルペン類や脂肪酸類に樹脂酸が溶解した状態で樹脂道、あるいは、ヤニツボに蓄えられ、切削により浸出することにより発生する。これらの成分はトータルとしてベンゼンにより抽出される。そこで、本試験ではベンゼン抽出物を全脂質（全樹脂関連物質）として、いわゆる、ヤニ含有量の目安として用いた。また、カラマツ材の材色に関連する成分としてはタキシホリン、ケルセチンなどのフラボノイドやラリシレジノール、ピノレジノール、セコイソラリシレジノールなどのリグナン類、プロシヤニジンが見出されている¹⁾。ケルセチンそれ自体は黄色であるが、

さらに、これらポリフェノール類は空気、酸、酵素などの作用で酸化重合し着色性物質に変化しやすいメタノール可溶性成分である。このため、全材色関連成分としてメタノール抽出物量を指標とした。

IV 試験の方法と結果

1) 試験法

(1) 葉枯らし試験及び採取方法：試験法は、すでに著者らがスギの葉枯らし試験において実施した方法に準拠して行った²⁾（図1参照）。長野営林局上田営林署管内和田山国有林の52年生カラマツ造林地を試験地とした。東南凹斜面に生育する健全かつ成長の類似した25個体を選んだ。第1回1989年7月20日に15本を伐倒した。その中の5本（I群、20/Jul.）について、元口（I-1、地上高0.5m）及びそこから4mの部位（I-2）で約40cmの試料を採取した。残りの10本は枝葉を付けたまま林内に放置し、葉枯らし処理を行った。伐倒方向については考慮しなかった。25本のうち残りの10本は対照区（季節的成分変化及び生材試料）として立木のままとした。約1か月後の8月22日（II群、22/Aug.）及び約三か月後の10月24日（III群、24/Oct.）にI群と同様に玉切りして葉枯らし試料を採取した。それぞれ同じ日に、先に選木した立木のなかから5本ずつ伐倒して、上

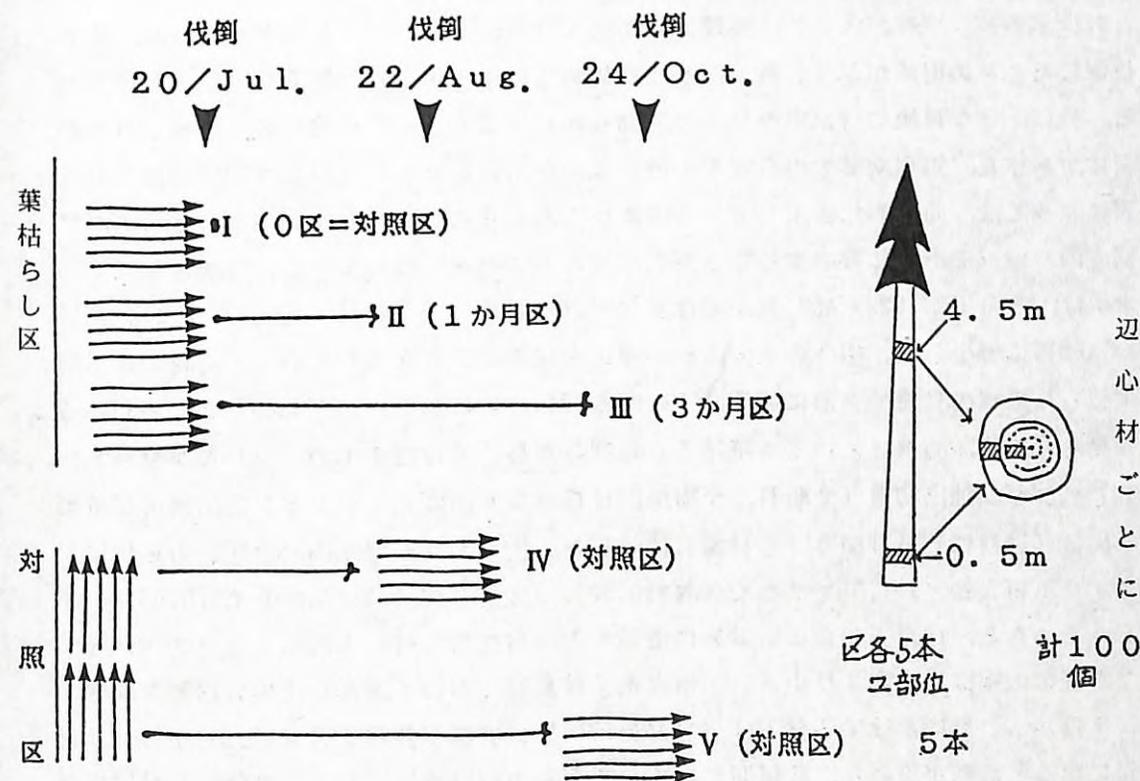


図1. 葉枯らし試験法及び試験材採取法

記同様に玉切りして対照区試料Ⅳ群(22/Aug.)、Ⅴ群(24/Oct.)を採取した。試料材は採材後、乾燥を防ぐため、直ちにゴム系速乾性ボンドを木口に塗布し、ビニール袋に密封して搬送し、分析用試料の調製開始まで4℃に保存した。

(2) 試料調製及び分析法：製材に際して試験材の両端を切捨て、中心部の10cmを試料に用いた。辺心材を分割し、材色測定用、含水率測定用及び成分分析用試料を切り出した。含水率は試料(3×3×5cm)を調製後速やかに105℃で48時間乾燥して測定した。材色測定用試料は製材後70℃で、48時間乾燥したあと、表面を平滑に削り、関係湿度70%、温度22℃で3か月間調湿した。材色はデジタル測色色差計算機を用い、円形測色窓3cmで心材別に測定し、L・a・b・法で表示した。成分抽出試料は試験材を電子レンジで3分間加熱して酵素を失活させたあと、円盤かな機で辺、心材別に木口削片とし、粉碎して40-60メッシュの木粉を調製し、常法に従ってソックスレー抽出器を用いて、ベンゼン(全脂質量、全樹脂関連成分)及びメタノール(全材色関連成分)で逐次抽出した。

2) 試験結果

(1) 葉枯らし効果(含水率の変化)：この試験期間における葉枯らし処理の乾燥結果を図2に示した。7月末の伐倒直後における辺材の含水率は平均124%であったが、1か月の葉枯らし処理で26%、3か月で44%の含水率の減少を示した。しかし、固体ごとに見ると減少率のバラツキが大きく、処理期間が長くなるほどバラツキが大きくなった。これは伐倒したときの樹体が置かれた場所や、樹体同士の積み重なりが影響していると考えられる。特に、3か月後の含水率を見ると変動幅が非常に大きく、伐倒時の含水率よりも高い個体があった。処理期間中の含水率の減少傾向からみると、この現象は樹体の置かれた位置によっては、局部的に吸水している可能性も考えられる。これは葉枯らし施行の際に、伐倒方向や位置を十分に考慮することが大切であることを示唆している。対照区生立木の含水率は、8月下旬(22/Aug.)までは変化がみられないが、10月下旬(24/Oct.)には平均108%に減少した。樹体の水分流動が停止期にあることを示している。心材の含水率は葉枯らし処理の有無や季節に関係なくいつも38%付近にあり、スギの心材とは著しい違いが見られた²⁾。心材においても葉枯らし処理3か月区では含水率のバラツキが見られた。

(2) ベンゼン抽出物量(全脂質、全樹脂関連物質)の変化：ベンゼン抽出物の定量結果を図3(辺材部)及び図4(心材部)に示した。生立木(処理期間ゼロ区)の辺材において7月下旬(20/Jul.)では平均含有量0.33%、8月下旬(22/Aug.)では0.58%に増加し、そのあと、10月下旬には0.55%に微減する。葉枯らし材でも類似したパターンを示したが変化の幅は生立木より小さい。生立木では夏期における盛んな生体の活動を反映して、7月から8月にかけて辺材ではベンゼン抽出物の変動が非常に大きい。しかし、10月下旬になると活動が終わり、蓄積期にあるので変動の幅は小さくなる。葉枯らし材は伐倒

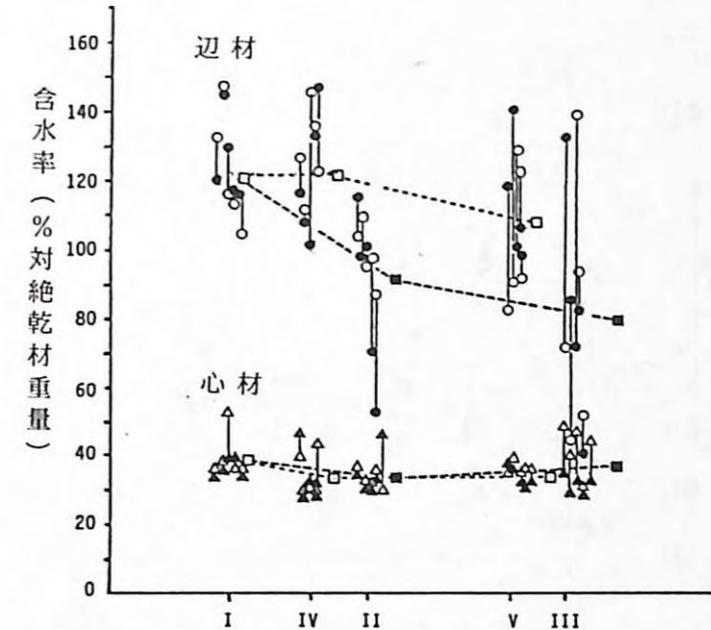


図2. カラマツ葉枯らし処理材及び対照区生材の含水率

記号；対照区地上高0.5m辺材(○),心材(△)
対照区地上高4.5m辺材(□),心材(□)
対照区地上高0.5m辺材(●),心材(▲)
対照区地上高4.5m辺材(■),心材(■)
I：7月20日伐倒, II：7月20日伐倒後1か月処理材, III：同3か月処理材, IV：8月22日伐倒生材, V：10月24日伐倒生材

後なおしばらく生命活動を維持し続けるので、1か月後では同時期の生立木と同じパターンを示すが、代謝能低下、物質供給が減少するので含有量は少なくなり、やがて停止するので、結果的に3か月区的全脂質含有量は少なくなると考えられる。3か月区では、同様の理由で、比較的部位による含有量の変動の幅が小さくなり、均質化の傾向が見られた。心材では処理区、対照区ともほとんど変化はないが、含有量は処理区のほうがやや低く現われている。このような点で、この期間における全脂質(全樹脂関連物質)の含有量は小さくなっており、わずかではあるが、経験的にいわれている葉枯らし処理のヤニ減らし効果が見られる。

(3) メタノール抽出物量(材色関連物質)の変化：メタノール抽出物の含有量の変化も全脂質と似たパターンを示した(図5, 図6)。辺材における変動幅は対照区において大きく、転流糖類の代謝が盛んなためと推定される。辺材、心材とも成分含有量は処理区がやや少なくなっている。

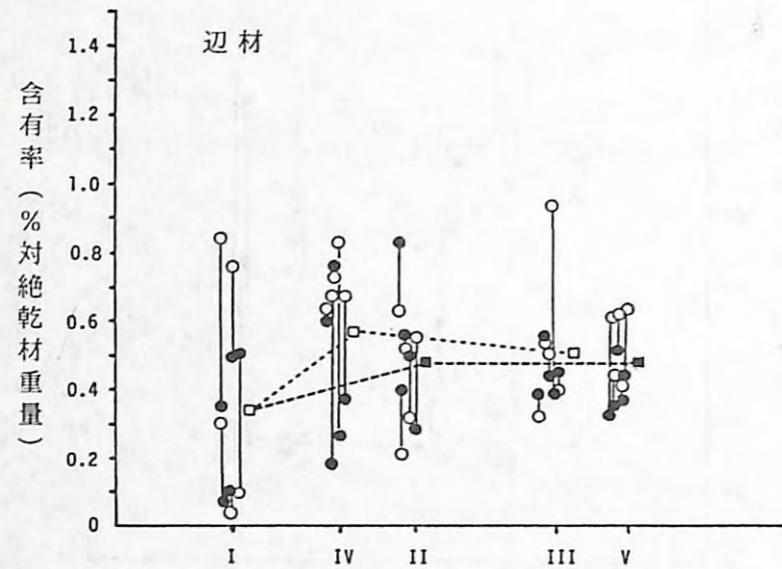


図3. カラマツ葉枯らし処理材及び対照区生材のベンゼン抽出物含有率(辺材)
記号; 前出と同じ

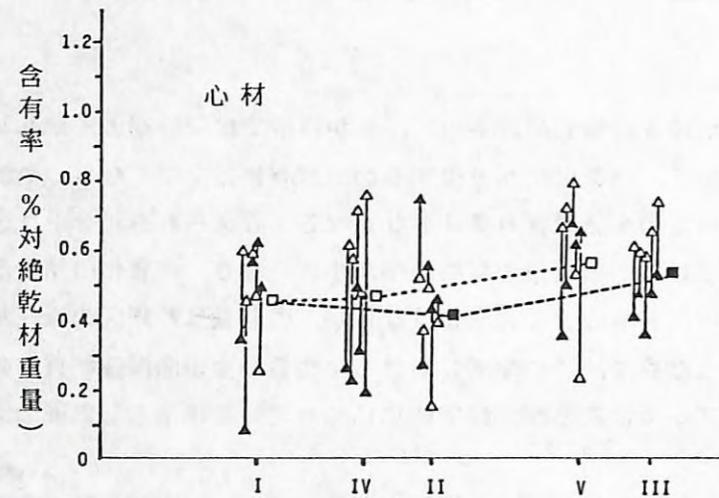


図4. カラマツ葉枯らし処理材及び対照区生材のベンゼン抽出物含有率(心材)
記号; 前出と同じ

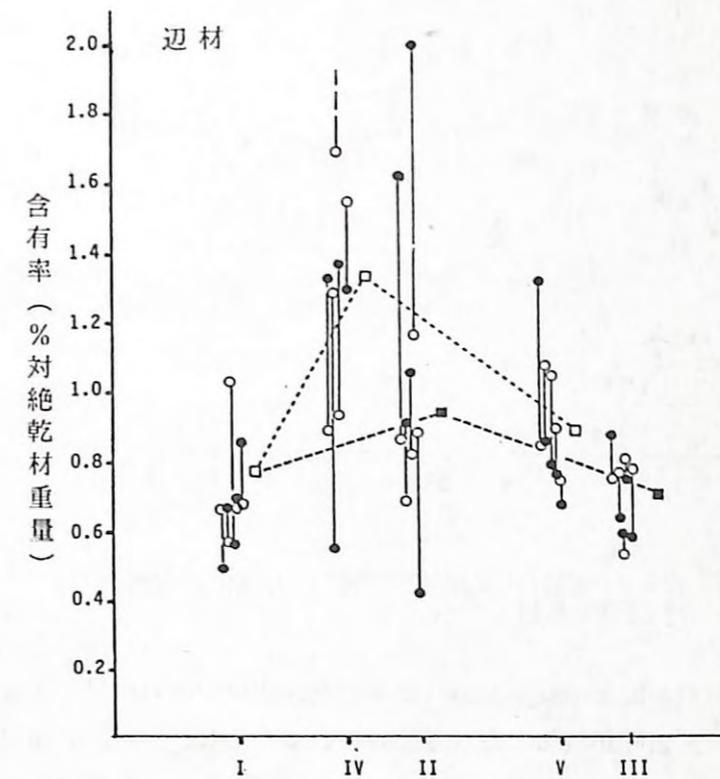


図5. カラマツ葉枯らし処理材及び対照区生材のエタノール抽出物含有率(辺材)
記号; 前出と同じ

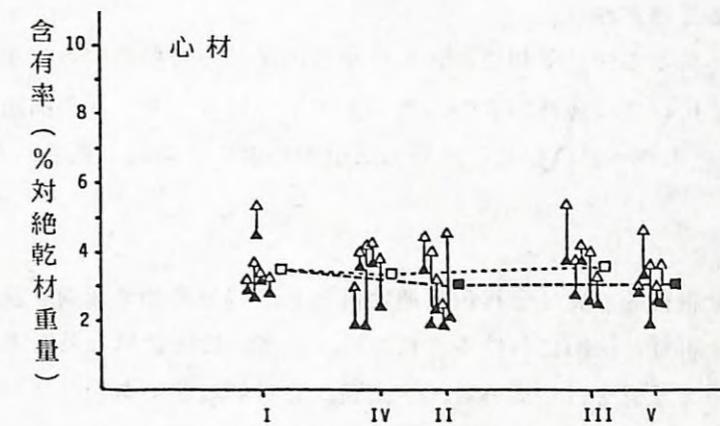


図6. カラマツ葉枯らし処理材及び対照区生材のエタノール抽出物含有率(心材)
記号; 前出と同じ

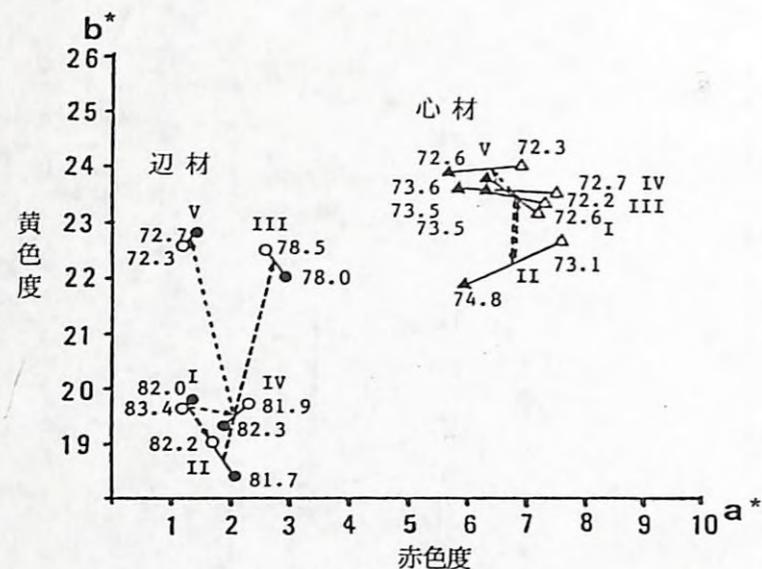


図7. カラマツ葉枯らし処理材と対照区生材の材色の変化
注：図中の数値はL*値を示す

(4) 材色の変化：材色の変化の様子を図7に示した。辺材では対照区の生立木は秋期になると明度が低下し、黄色味が増加したが、赤色度に変化はなかった。3か月葉枯らし区でも同程度の黄色化が起ったが、明度の低下は小さく、赤色度は大きくなった。1か月葉枯らし区はその時期の対照区と変わりはなく、材色の変化は比較的長い処理期間のあとに起っているように見える。この結果から、葉枯らし処理により、辺材色はこの季節の平均的生立木よりもやや赤っぽい材色となることが分かった。また、本試験では調べなかったが、すでにスギにおいて明らかにしたように²⁾、辺材部のデンプン含量は葉枯らし処理で消費しつくされていると推定される。

以上により、7月下旬から10月下旬にかけて3か月の葉枯らし処理実行によって、カラマツは10月末伐採木に比べて、辺材では約25%の含水率の減少、わずかの樹脂関連物質の減少(0.2%)、辺材色のやや赤色化及び成分の部位的均質化の効果が見られた。

V まとめ

今回の試験では、全脂質あるいは全材色関連物質として成分変動の傾向を調べたが、例えば、夏期における全脂質と秋期におけるそれとは、当然、質的に異なると考えられるので、現在、成分の詳細な分析を行っている。本試験は心材形成期にあわせて行ったが、ほかの季節においても試験して、季節的影響をもっと確かめる必要があるだろう。個体間の成分のバラツキの影響を排除するため、形質の揃ったクローンを使って試験することも必要であろう。材質の面からは、わずかながら改質効果が見られるが、葉枯らし施業を実行するには、さらに、材価、労賃、利子などの経済的検討を必要とするであろう。

引用文献

- (1) 林業試験場監修：木材工業ハンドブック，改訂3版，154頁，丸善，1982年
- (2) Yoshioki Hayashi et al.: Mokuzaï Gakkaishi, Vol.34, No.11,934-941 (1988)

複層林の収穫予測手法の
開発に関する研究

複層林の収穫予測手法の開発に関する研究

I 試験担当者

林業経営部資源計画科科长	西川 匡英
林業経営部資源計画科資源解析研究室	神戸 喜久
	高橋 文敏
北海道支所経営部天然林管理研究室	猪瀬 光雄
	小木 和彦
	佐野 真
東北支所経営部広葉樹管理研究室	金 豊太郎
関西支所育林部経営研究室	家原 敏郎
木曾試験地	原 光好
四国支所経営研究室	松村 直人
九州支所育林部経営研究室	松本 光朗

(・ : 現在の所属 企画調整部)

II 要旨

近年、複層林施業が重要視されている。しかし、複層林の所在及び内容についての情報が不足している。また、複層林の収穫予測については、上木下木の生育条件、取り扱い条件が一様でないことに加えてデータ不足であることから、手探りの状態である。このため、現在国有林内に所在し、なんらかの調査が行われている複層林（二段林）についての統一フォーマットによる第一次アンケート調査を行い、さらに、国有林内で複層林施業が行われている林分の箇所数・面積を把握するための第二次アンケートを行った。これにより全国規模での複層林の実態を明らかにするとともに二段林の収穫予測手法の開発を行った。

実態調査は、二段林の設置目的、樹種構成、林況、地況、施業経過など12項目について、営林局・署の協力を得て営林局単位で昭和63年度にアンケート調査を実施し、分析を行った。また、収穫予測手法については、いくつかの新しい予測モデルを開発した。

第一次アンケート調査の結果から、全国で164箇所の二段林についての情報が得られた。第二次アンケートの結果、平成3年3月現在、1,097箇所、6,321haの複層林（二段林）が存在することが示された。

地域によって樹種構成に特徴がみられるとともに、北海道では列状間伐が行われているのがめだっていた。複層林の設置目的では、事業としての複層林造成が今後かなりの面積

で見込まれているが、アンケート調査の時点では、更新・保育・植栽管理試験、諸被害の回避、風致的施業などが上位を占めていた。また、調査時点では下木の林齢が若いものがきわめて多かった。

現在ある複層林について継続的にデータが収集されている林分は下木が若齢であるため、二段林の下木の成長予測のために必要なデータの蓄積が不足している。また、複層林においては、皆伐一斉林施業と異なり、上木の配置が一樣でないため下木の生育条件の幅が大きく、成長予測を困難にしている。こうしたこともあって、これまで複層林に関する収穫予測については系統だった研究はなされていない。

本研究において、収穫予測については、①密度管理図・収量比数・相対照度・樹高成長割引率による成長予測モデル、②林内の光環境の尺度として上木の収量比数を用い、林内の照度低下による下木の成長抑制を示す係数を乗じたミッチャーリッヒの拡張式を用いた収穫予測モデル、③上木の伐採率・相対照度・密度管理図・下木の成長とを組み合わせた成長予測モデル、④林内の光環境の指標として林内照度、収量比数と下木の成長との関係を把握する手法を検討し、上木のha当たり平均占有面積を密度のパラメータとして含むミッチャーリッヒ式を仮定した成長式による成長予測モデルの4つの新しい収穫予測モデルを提案した。加えて、⑤今後の複層林の精密な収穫予測のための考え方として、上木の配置によって形成される異なる生育空間と下木の成長との関係を長期二段林の事例について検討した例、⑥亜高山針葉樹林を間伐した結果形成された天然性二段林の継続調査結果例を示した。

ここにあげた予測モデルについては、下木の成長についておおよその見当をつけるのに有効に利用できよう。今回の研究を通じて、現実林分のデータから、下木の成長が一斉林に比べてかなり劣ることが示された。しかし、モデルを検証するための現実林分のデータが不足しており、下木～上木の継続的な測定資料による予測精度の向上、上木を除去したあとの下木の成長を予測する方法など、データの蓄積を含め、課題が残されている。

(資源解析研究室 高橋文敏, 資源計画科長 西川匡英)

III 試験目的

近年、公益的機能・環境保全、長伐期指向、風致的施業、高品質材生産などの多様な施業動向に応える手段として、従来の画一的な皆伐一斉造林に対する複層林施業に関心が高まり、各地で複層林(二段林)施業が取り入れられるようになってきている。また、複層林施業に関して、更新初期段階の光環境の制御や下木の初期段階での成長などについての多くの報告がなされている。しかし、複層林の施業体系の現状についてみれば複層林の所在情報が不足しており、また、複層林の収穫予測についてはデータ不足から手探りの状態である。このため、現在国有林内に所在する複層林について統一フォーマットによるアン

ケート調査を行い、全国規模での複層林の実態を明らかにすることを第一の目的とする。さらに、今後、事業レベルでの複層林造成が予定されており、森林計画策定上複層林についての収穫予測が必要となっている。しかし、複層林においては、皆伐一斉林施業と異なり、上木の配置が一樣でないため下木の生育条件の幅が大きく、成長予測を困難なものとしている。そうした困難性が予見されていたため、これまで複層林に関する収穫予測については系統だった研究はなされていない。加えて、二段林の下木の成長予測に関しては、必要なデータの蓄積が不足している。そのため、本課題においては、固定試験地の継続調査資料、二段林についてこれまで得られている技術開発試験データ、林内更新についての研究で得られた知見を成長モデルに組み込んだ二段林の収穫予測手法の開発を行う。

(資源計画科長 西川匡英)

IV 試験の方法と結果

1. 二段林の実態調査

1) 国有林に所在する二段林の実態調査

(1) アンケート調査の必要性と実施方法

近年、複層林施業が重要視されるにつれ、国有林内の二段林施業についての実態把握が望まれている。しかし、複層林の所在情報が不足しており、また、複層林施業が行われていてもその林分の履歴、施業内容についてどれだけの調査などが行われたかについての情報も全国的なレベルでは不明である。このため、複層林の収穫予測のためのデータもどこにどれだけあるか手探りの状態である。全国規模で複層林に関する情報を収集し、複層林の実態を明らかにすることを第一の目的として、昭和63年に国有林内に所在し、なんらかの調査データがある複層林(二段林)について統一フォーマットによるアンケート調査を行った。調査表は表 1-1に示した。

9項目からなる第一次アンケート調査票を林野庁と協議の上作成し、各営林局を単位として配布し、国有林に所在する複層林(二段林)の実態調査を行った。アンケート項目の主なものは、昭和63年を調査時点とし、複層林の所在する林小班、面積、上木下木の樹種構成及び植栽年度と植栽本数、その目的、特色、上木下木の施業経過、地況(標高、温量指数、方位、傾斜、表層地質、局所地形、土壌型、有効深度、土性、堆積型、降水量、植生型の12項目)、林況(林分構成の変化など)、その他特記事項の9項目からなっている。

また、第二次アンケートとして測定データの有無に関係なく、平成2年度(3年3月時点)に複層林として存在する林分の箇所数及び面積の把握を行った。

表1-3. 国有林内複層林の上木, 下木の組み合わせ別箇所数と実面積

上木	下木	箇所数	実面積
アカマツ	アカマツ	3	24.07
アカマツ	スギ	2	2.57
アカマツ	ヒノキ	27	174.17
アカマツ	ヒノキ・アカマツ	2	28.73
アカマツ・ヒノキ	ヒノキ	1	1.73
イチイガシ	イチイガシ	2	1.08
イチイガシ	イチイガシ・ケヤキ	1	1.21
エゾマツ	アカエゾマツ	1	2.50
エゾマツ	エゾマツ	3	14.30
エゾマツ・トドマツ	トドマツ	1	0.54
カラマツ	アカエゾマツ	81	755.40
カラマツ	エゾマツ	4	13.10
カラマツ	エゾマツ・アカエゾマツ	1	36.00
カラマツ	グイマツ	1	1.75
カラマツ	スギ	41	61.63
カラマツ	トドマツ	189	3197.36
カラマツ	トドマツ・アカエゾマツ	1	12.00
カラマツ	ヒノキ	93	596.14
カラマツ	ヒバ	1	0.40
カラマツ	ヨーロッパアカマツ	1	22.00
ケヤキ	ケヤキ	1	1.60
ケヤキ	スギ	1	1.00
ケヤキ	スギ外	1	3.14
ケヤキ	ヒノキ	1	3.89
スギ	イチイガシ	2	1.58
スギ	エンジュ	1	3.34
スギ	ケヤキ	4	4.31
スギ	スギ	239	504.02
スギ	スギ・イチイガシ	1	1.69
スギ	スギ・カヤ・ケヤキ	1	1.38
スギ	スギ・ケヤキ	1	0.40
スギ	スギ・ヒノキ	2	1.83
スギ	ヒノキ	17	27.23
スギ	ヒノキ・イチイガシ・ケヤキ	1	2.42
スギ	他広	1	0.42
スギ・ヒノキ	スギ	15	12.51
スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ	32	90.69
スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ・イチイガシ・ケヤキ・イヌエンジュ	1	7.60
スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ・ケヤキ	1	1.56
スギ・ヒノキ	ヒノキ	22	67.03
スギ・ヒノキ・アカマツ	スギ・ヒノキ	2	2.37
スギ・ヒノキ・アカマツ	ヒノキ	3	5.60
スギ・ヒノキ・クス	スギ・ヒノキ	1	7.22
スギ・ヒノキ・モミ	ヒノキ	1	2.51
スギ・ヒノキ・他広	ヒノキ・ケヤキ	2	9.78
スギ・モミ・他広	イチイガシ	3	5.69
スギ・モミ・他広	スギ	1	0.85
タブ	タブ	1	0.54
トドマツ	アカエゾマツ	1	18.38
トドマツ	エゾマツ	2	5.30
トドマツ	スギ	3	5.50
トドマツ	トドマツ	25	40.10
トドマツ	トドマツ・エゾマツ・アカエゾマツ	2	18.00
ドイツトウヒ	スギ	3	2.63
ドイツトウヒ	トドマツ	2	1.45
ヒノキ	クス・タブ・ケヤキ	1	2.34
ヒノキ	クロマツ・ヒノキ	1	0.25
ヒノキ	ケヤキ	5	7.77
ヒノキ	スギ	13	14.45
ヒノキ	スギ・ヒノキ	12	16.47
ヒノキ	ヒノキ	210	458.88
ヒノキ	ヒノキ外	1	3.98
ヒノキ外	ヒノキ外	1	6.32
合計		1097	6320.68 ha

2) 国有林に所在する複層林(二段林)の実態調査結果の解析

(1) 調査結果の概要

国有林に所在し、これまでなんらかの調査が行われている複層林(二段林)に関して、樹種構成、設定の目的、施業経過、林況、地況、特色などの項目についての第一次アンケート調査を行い、164プロット(空欄のあるものも含む)の回答を得た。表1-2に営林局別、上木、下木の樹種構成別の複層林の箇所数を示した。

二段林実態調査の第二次アンケートとして、平成3年3月現在の国有林の複層林(二段林)について営林局・署名、上木、下木の樹種構成及び年齢、箇所数、実面積についての実態把握を行った。この結果、国有林内の複層林は1,097箇所、実面積の総計は6,321haであった。上木、下木の組み合わせ別の箇所数と実面積は表1-3に示した。複層林(二段林)の営林局・署名、上木、下木の樹種構成及び年齢、箇所数、実面積についての一覧を表としてとりまとめた(付表)。

以下に第一次アンケートで得られた結果について述べる。

複層林の局別・樹種構成別の種類とプロット数は表1-2のとおりである。上木、下木の組み合わせではスギ-スギ、カラマツ-ヒノキ、カラマツ-トドマツ、カラマツ-スギ、スギ・ヒノキ-スギ・ヒノキが多い。二段林の面積ではカラマツ-ヒノキ、スギ-スギ、ヒノキほか-ヒノキ(天)、トドマツ-トドマツの組み合わせの二段林の面積が多い。地域別にみると上木にカラマツをもつタイプは帯広、函館、長野に多く、上木スギでは函館、青森、秋田、上木ヒノキでは前橋、長野、大阪、高知、上木スギ・ヒノキの混交林は東京、高知にそれぞれ多くみられた。

二段林を設定した目的の主な内訳と上木、下木の組み合わせ例を回答のあった箇所数の多い順に示すと以下のようになっている。

① 更新、保育、植栽管理試験(37): 新しい更新、保育などの方法を試験的に調べている段階のものを取りあげた。ほかの目的に分類したものでも試験的色彩を含んでいるものがある。北海道全域ではトドマツ-トドマツ、トウヒ-トドマツ、カラマツ-トドマツ、カラマツ-スギの林型が多くみられる。長野では、カラマツ-ヒノキ、大阪ではヒノキ-ヒノキ、アカマツ-ヒノキが試みられている。

② 諸被害の回避(22): 長野のカラマツ-ヒノキのタイプに多くみられる。また、台風に対する二段林造成が1か所あった。

③ 風致的施業(16): 風致的施業は国民の多面的な森林利用への関心が高まるとともに重要視されてきている。秋田では風致的維持を配慮した伐採更新の方法をスギ-スギ、カラマツ-スギで、単木択伐、伐採率を変え樹下植栽する伐採、更新方法の検討がされている。前橋ではヒノキ-スギ・ヒノキ・そのほか針葉樹の混交林の形の例、長野ではヒノキ-ヒノキ(天然林)の組み合わせによる風致施業、熊本では前橋と同じくヒノキ-スギ・ヒノキの組み合わせによる風致的施業の実施とともに高価値材の生産を目的としている。高知

ではスギ・スギ，スギ・スギ・ヒノキの混交林で自然休養林としての風致的施業を行っている。④ 公益的機能(11)：林地保護，水源保全などがその主な目的としてあげられている。長野のヒノキ・ヒノキ(天然林)，木曾ヒノキ・木曾ヒノキ，大阪のヒノキ・ヒノキ，熊本のヒノキ・ヒノキ，ヒノキ・スギ・ヒノキの混交，スギ・ヒノキ・スギなど，ヒノキを中心とした組み合わせが多い。

⑤ 高品質材の生産(5)：高品質材生産を主目的とした長伐期型のものである。秋田のスギ・スギ，名古屋のヒノキ・スギ・ヒノキの混交二段林と高知のヒノキ・ヒノキ・天然下種2類が見られる。

また，特色としては，列状間伐が行われている地域として北海道の帯広があり，カラマツ・トドマツの二段林型で1伐1残，1伐2残，1伐3残，2伐2残，2伐3残，3伐3残と多様な方法を行っている。函館でもトドマツ・トドマツの林型で2伐4残の例があった。そのほか，特色のあるものとして，長野ではカラマツ，ヒノキを同時植栽し，成長のよいカラマツが上木となる二段林型を成しており，秋田では上記③に述べたように，上木について各種の伐採率を検討し，単木伐採後の樹下植栽を行うなど，工夫がみられる。

次に，林齢を見ると上木のヒノキ林は70~80年，スギは50年，一番若いカラマツでは30年の林が多く，下木は若干のプロットを除いて15年以下の若い林が多い。特色のところで述べたように，長野だけに上木(カラマツ)下木(ヒノキ)の林齢が同じものがある。

(2) スギ・スギ二段林の林分構造の特色

第一次アンケートの林況調査項目を用いて複層林の林分構造の解析を行った。

調査の結果上木，下木の樹種の組み合わせが多かった順に，スギ・スギ，カラマツ・ヒノキ，カラマツ・トドマツ，カラマツ・スギなどとなった。そのなかからスギ・スギ，カラマツ・ヒノキについて分析を行った。

スギ・スギ二段林の林分構造の特色は以下のようになっている。

資料は函館13，青森5，秋田7，東京3，高知1の計29プロット(25小班)である。比較的資料の多い函館(13)と青森・秋田を合わせた(12)2つのグループに分けて，これを中心として林分構造の分析を行った。

① 上木の林齢と本数の関係：上木の林齢とha当たり本数の関係を間伐前(○，△，□)と間伐後(●，▲，■)に分け，前者の本数をもとにフリーハンドでほぼ中心線を記入した(図1-1)。

下木植栽時の上木の間伐は38年から72年生頃までに行われており，函館と青森・秋田では上木の本数管理に特に著しい差はないようである。間伐本数は，200本から800本の間で行われ，本数間伐率でいうと40~60%となっている。林分密度の尺度として，林木の平均距離(S)と林分の上層木の平均樹高間(H_u)との比で表わされる相対幹距(S_r) [S_r = (S/H_u) × 100 (%)]を用いて間伐率の目安を検討した。間伐前と間伐後の相

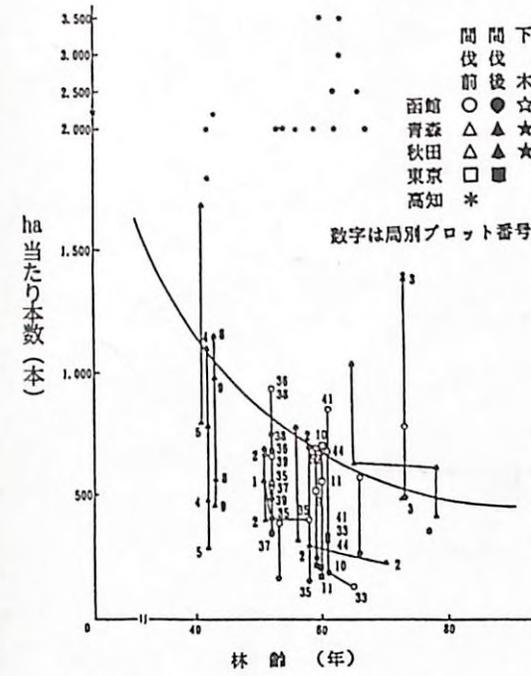


図1-1. スギ・スギの上木，下木の林齢と本数

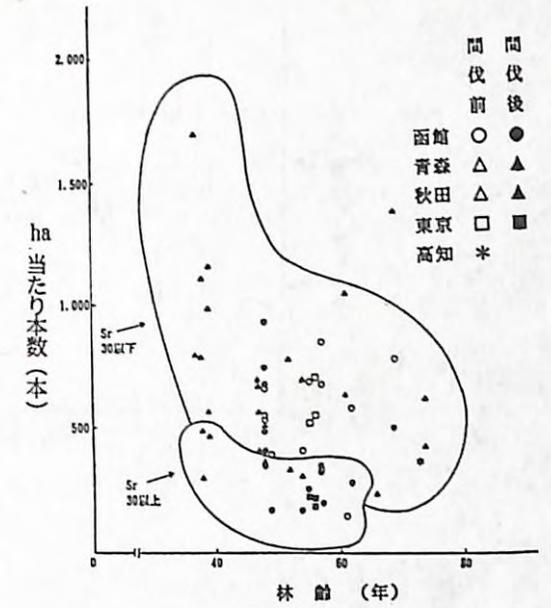


図1-2. スギ・スギの上木の相対幹距

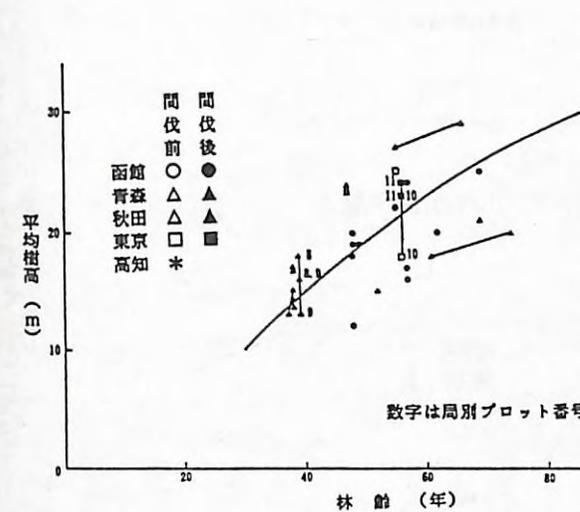


図1-3. スギ・スギの上木の林齢と平均樹高

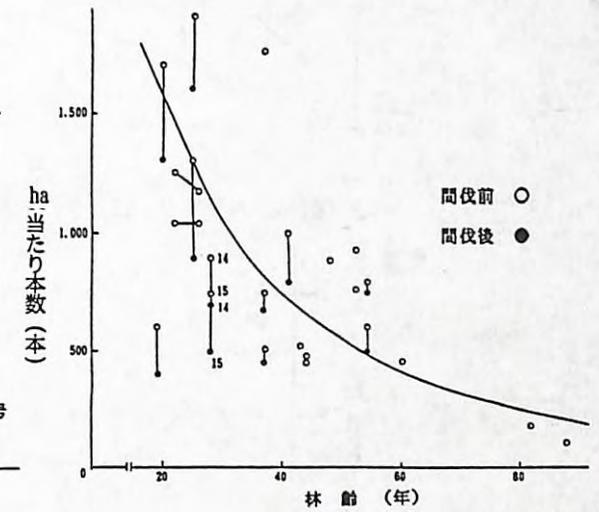


図1-4. カラマツ・ヒノキの上木の林齢と本数

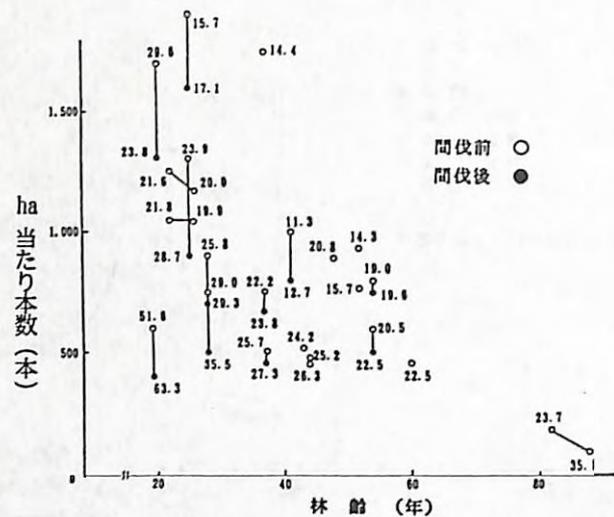


図1-5. カラマツ-ヒノキの上木の相対幹距

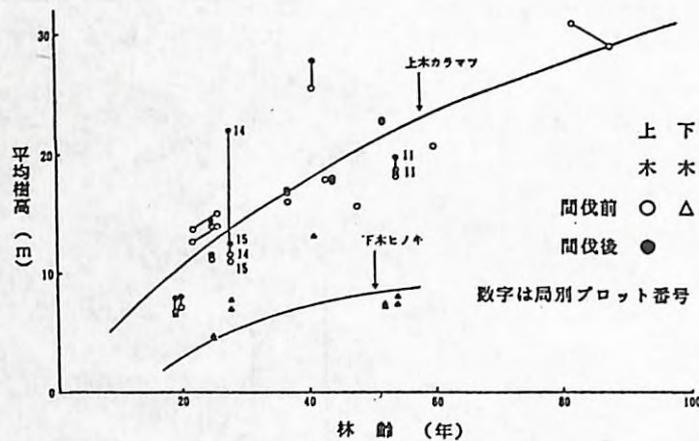


図1-6. カラマツ-ヒノキの上木, 下木の林齢と平均樹高

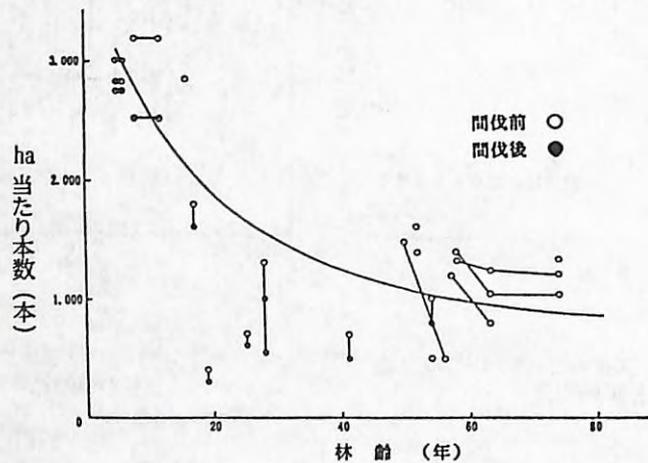


図1-7. カラマツ-ヒノキの下木の林齢と本数

対幹距 (S_r) を算出し、相対幹距30未満と30以上の2つのグループに分けて示したものが図1-2である。図より間伐後の相対幹距はほとんどの場合30代になるような、従来の間伐の尺度からみれば強度間伐を超えるレベルでの本数の管理が行われていることが分かる。

調査の中では初回間伐のものが大半であるが、2回間伐を行っている秋田の1プロットは1回目の間伐で1,038本から627本に、13年後に615本から422本といずれも30~40%の間伐を行っている。また、函館では、第1回目の間伐では545本から405本へと間伐率25%、6年後に第2回目を本数間伐率60%で161本へとという本数管理を行っている。

② 上木の平均樹高成長：平均樹高は間伐前と間伐後の両方記入してあるものと、どちらか一方のみ記入してあるものなどあり正確なものではないが、平均樹高の推移を本数と同様にフリーハンドで記入したものが図1-3である。函館と青森・秋田地区では上木の樹高成長に著しい差はないようである。

③ 下木の本数：下木の林齢が若い（ほぼ1~3齢級）はつきりした傾向はつかめないが、上木の林齢に応じて植栽された下木の本数を示すと図1-1の上部のようになる。ha当たりの植栽本数は2,000本から3,500本の幅になるが、2,000本植栽が比較的多い。

(3) カラマツ-ヒノキ二段林の林分構造の特色

上木にカラマツ、下木にヒノキの調査プロットは長野のみで22プロット（15小班）、ほかに上木のカラマツにヒメコマツ、ダケカンバ、クリ、シデ、シラベ、アカマツなどの混交したものが6プロット（4小班）あった。列状のものが大半（一部群状）であるが、これらは同時植栽で、そのあとのカラマツとヒノキに成長の差が現われ二段林化したものである。

① 上木の林齢と本数の関係：ここでは、下木がヒノキの林分のみをとり上げてスギスギと同様、上木の林齢と本数の関係を図1-4に示し、間伐前の本数をもとにほぼ中心線をフリーハンドで記入した。スギスギの場合の上木の林齢に比して、カラマツの上木の林齢は20年から60年と若くなっている。30年から60年までは間伐前ha当たり本数500本から1,000本の林分が多く、間伐率20~30%程度で実行されている。

スギスギと同様、林齢ごとに間伐前と間伐後の相対幹距を示したものが図1-5である。図内の数字は間伐前後の相対幹距を表わす。スギスギでは相対幹距30を境にして間伐前後の林分のグループに分けられ、間伐前と間伐後の本数管理曲線の大体の目安が得られたが、カラマツ-ヒノキではそのような著しい傾向はなく、それぞれの林分の状態に応じて間伐後の林分相対幹距は12~35と多様であることが分かった。

② 上木, 下木の平均樹高成長：先に述べたように長野のカラマツ-ヒノキは同時植栽し、成長のよいカラマツが上木となった二段林である。図1-6は同時植栽したカラマツ, ヒノキの平均樹高成長の推移を表わしているが、同一林齢でも下木のヒノキの平均樹高はカラマツの平均樹高の約半分程度である。

③ 下木の本数：下木ヒノキの林齢ごとの本数を示したものが図 1-7である。間伐前の本数をもとにフリーハンドでほぼ中心線を記入した。

上木カラマツの本数が、40年で 700～800本、60年で 500本と推移しているのに比べ（図 1-7）、下木ヒノキは40年で1,200～1,300本、60年で 1,000本程度と約2倍程度の本数で管理されていることが分かった。

（4）二段林実態調査からみた収穫予測図

二段林の収穫予測図については現在、正確なものが開発されていないため、営林局や県などでよく使われている二段林施業模式図¹⁾をデータに基づいて作成することを試みた。しかし、スギスギの二段林においては下木の林齢が若いため、下木の植栽時のha当たり本数のみを記入するにとどまった。また、カラマツヒノキについては、同時植栽のため、林齢が経過するにつれて、樹高や本数の推移に著しく差が現れてくる変則的な図（図 1-4, 1-7）となった。今後はこれらの林分の 5年、10年後の経過をみて二段林施業模式図完成を図る必要がある。

アンケート結果では、大部分の下木の林齢が 5年未満で、二段林の林分構造や成長特性などの研究には不十分であった。5年後、10年後に同様な調査の継続・実行が必要である。

引用文献

(1) 榎森啓三：森林計画会会報，10～16，1984

（資源解析研究室 神戸 喜久，高橋 文敏，資源計画科長 西川 匡英）

（5）そのほか、地域に特有な二段林施業に関する知見

ア. 関西地域

大阪営林局は近畿、中国、北陸地方にまたがる気候的にも異なった広大な地域を管轄しており、そのため多様な森林施業が見られるのが特徴である。国有林では、二段林施業や複層林施業は最近造成されたものを除けば試験的に取り組まれたものが多く、過去に行われたものを含め、実際に事業として行われているものは少ないのが現状である。その中で最も多く行われているのは、後述するアカマツヒノキ二段林施業であろう。また、瀬戸内海よりにはヒノキの天然更新が容易な場所が若干あり、広島営林署野路山国有林のように小面積であるがヒノキヒノキ複層林施業が行われてる例もある。中国山地の高海拔地には、かつてブナ・ミズナラなどの広葉樹を混えたスギ天然林が広く分布し、山崎営林署赤西国有林のようにスギの択伐、複層林施業が行われていた事例もある。特殊な施業として日原営林署（島根県西部）でみられるケヤキスギ二段林施業がある。これは上木のケヤキを150～200年生まで生育させ、その間に数回スギの収穫をねらったものである。

（関西支所 家原 敏郎）

イ. 亜高山帯針葉樹林における二段林の一事例

①. はじめに

八ヶ岳国有林において大正末期から昭和初期にかけて大規模な択伐が行われ、コケ型林床に更新したシラベを主とし、アオモリトドマツ、コメツガが混じる幼齢林（12,000～15,000本/ha）を早期に経済的用材林に導く目的で、1936年（樹齢44年）に間伐試験地が設定された^{1,2)}。1958年以降は収穫試験地の一環として定期的に調査を継続し、林分の成長量、収穫量などを長期間にわたって集積している。また、間伐によって下層には稚樹が更新し二段林を形成している亜高山性樹種の稀少な試験地である。ここでは亜高山帯の天然林施業の基礎資料に供するために一部を報告する。

②. 試験地の概況及び調査方法

試験地は八ヶ岳山麓（臼田事業区73a 林小班）に位置し、その面積は0.38ha（B種間伐区 892m²，C種間伐区 815m²，無間伐区 316m²）で、地況は海拔高1,800m，山腹の南東向きの急斜面、土壌型はPw III～II（石礫土）で理化学性は比較的よい状態である。また、年平均気温は 4°C，年平均降水量は 1,700mmである。

林分調査は3～8年間隔で延11回実施した。設定時の毎木野帳が不明で単木の記録は樹齢50年からである。間伐はB種間伐区が樹齢44年（間伐率本数76%，材積40%），58年（34%，14%），66年（31%，18%），74年（15%，7%），82年（21%，12%），90年（10%，7%）に、C種間伐区は樹齢44年（78%，28%），50年（30%，11%），58年（28%，12%），66年（43%，31%），74年（4%，2%），82年（13%，7%）にそれぞれ6回実行された。稚樹の更新調査は樹齢74，79，90，93年にその都度4～50m²のプロットを設定し稚樹高を測定した。また、樹齢90，93年には樹齢解析を試みた。

③. 結果と考察

各調査年度における上木の林分構成値と下木の稚樹本数の推移を表 1-4に示した。材積の連年成長量は現在でも間伐区は 8m³に近い成長を示し、この地域の収穫予想表³⁾を大きく上回り良好な成長を維持している。試験地設定間伐前の林分密度は相対幹距比(Sr)で12%とかなり高密度であった。間伐によってB種間伐区はおよそ17～19%に管理され、C種間伐区は樹齢66年の強度の間伐で27%に上昇し、それ以降は22%まで徐々に低下している。これに対して無間伐区は9%まで低下し、徐々に設定当初の12%に近づきつつある。一方、林内の相対照度を推定すると⁴⁾、試験地設定間伐前は7～8%で初回の間伐で30%以上にあげたが、葉量の増加に伴い年々低下の傾向をたどり間伐が繰り返されて、おおよそB種間伐区では10～21%，C種間伐区は15～34%の範囲の明るさと思われる。また、無間伐区は5～6%の明るさを維持し、かなり暗い林分といえる。樹齢94年における上木樹種の本数比率は、B・C種間伐区ではアオモリトドマツとコメツガは間伐されてシラベの純林を形成

表1-4. 上木の林分構成値(残存木)と下木の稚樹本数の推移 ha当たり

区分	樹齢	上木							下木				
		本数 本	相対 幹距 比%	平均 直径 cm	平均 樹高 m	断面 積 m ²	材積 m ³	総収 穫量 m ³	H10-30 cm 本	31-60 cm 本	61-120 cm 本	121- cm 本	計 本
B 種 間 伐 区	*44	3,532	24.7	6.4	5.0	11.6	44	73					
	50	3,353	19.2	8.9	6.3	23.9	106	137					
	*58	2,153	18.6	13.5	9.6	33.4	192	256					
	*66	1,491	18.5	17.7	12.5	38.5	268	390					
	70	1,424	17.2	19.2	13.6	43.3	319	457					
	*74	1,200	17.8	21.1	14.7	43.4	341	505	3,400	3,000	1,600	200	8,200
	79	1,155	17.3	22.5	15.6	47.2	391	564	6,600	1,800	200	400	9,000
	*82	908	18.7	24.1	16.5	42.2	364	591					
	86	864	18.9	25.0	16.9	43.0	376	624					
	*90	774	19.4	26.0	17.5	41.9	377	654	32,000	10,000	5,500	2,000	49,500
93								120,000	12,000	7,000	4,000	143,000	
94	751	19.3	27.2	17.7	44.2	402	684						
C 種 間 伐 区	*44	3,005	25.7	7.2	5.1	12.5	51	71					
	*50	1,680	25.7	10.9	6.8	17.9	85	120					
	*58	1,214	23.9	16.4	10.2	27.6	166	223					
	*66	687	27.1	22.1	13.1	27.2	192	337					
	70	687	26.3	24.2	13.6	32.6	237	381					
	*74	650	25.3	25.8	14.6	34.9	265	420	2,600	1,400	800	-	4,800
	79	650	23.9	27.4	15.5	39.2	316	471	9,800	3,400	2,400	1,600	17,200
	*82	564	24.9	29.0	16.2	37.9	317	496					
	86	564	23.9	30.0	16.8	40.6	348	526					
	90	564	22.9	30.8	17.5	42.8	381	560	26,500	13,500	4,500	7,500	52,000
93								61,000	12,000	11,000	11,000	95,000	
94	564	21.8	31.7	18.1	45.4	414	592						
無 間 伐 区	44	11,614	11.9	4.6	3.9	21.2	75	75					
	50	11,361	9.6	5.7	4.9	37.8	159	160					
	58	8,861	8.9	7.8	7.3	52.1	280	291					
	66	7,025	8.8	9.8	9.0	63.8	393	421					
	70	5,601	9.3	11.6	10.6	69.0	461	505					
	74	4,620	9.3	12.9	12.0	68.0	492	556					
	79	3,766	10.1	14.3	13.0	66.3	505	608					
	82	3,386	10.4	15.0	13.5	64.8	506	630					
	86	3,133	10.6	15.8	14.1	66.3	521	661					
	90	2,817	11.0	16.2	14.3	63.1	507	686	5,000	-	-	-	5,000
93								22,500	-	-	-	22,500	
94	2,691	10.7	16.9	15.0	65.5	554	743						

* 間伐年

している。無間伐区では設定当初シラベ68% , アオモリトドマツ26% , コメツガ2%であったが, 50年間の枯損率は劣勢木の割合の高いアオモリトドマツとコメツガが90% を超え, シラベも69% に達して, 比率はシラベ90% , アオモリトドマツ8% , コメツガ2%と大きく変遷した。また, 枯損率の最大は89%が持続したときで, 各樹種とも樹齢66~74年に現れている。上木シラベの期首直径(D₅₀)と期末直径(D₉₄)の関係は次式で表され, その結果を図1-8に示した。

B種間伐区 $D_{94} = 13.442 + 1.130D_{50}$ $r: 0.73$
 C種間伐区 $D_{94} = 16.028 + 1.117D_{50}$ $r: 0.73$
 無間伐区 $D_{94} = 3.139 + 1.520D_{50}$ $r: 0.83$

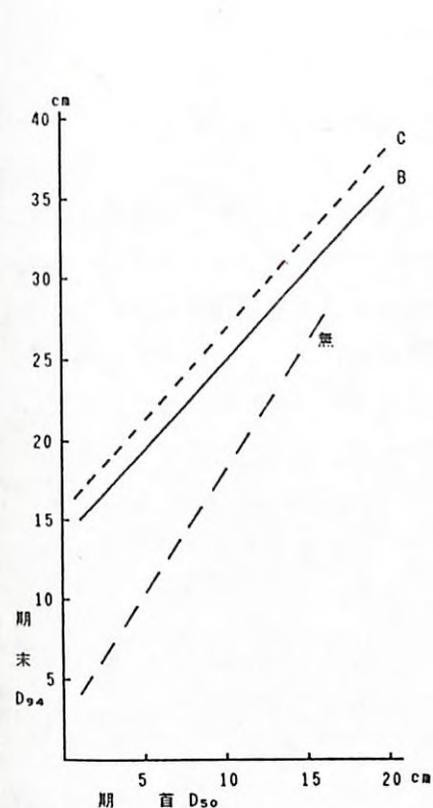


図1-8. 上木シラベの直径成長

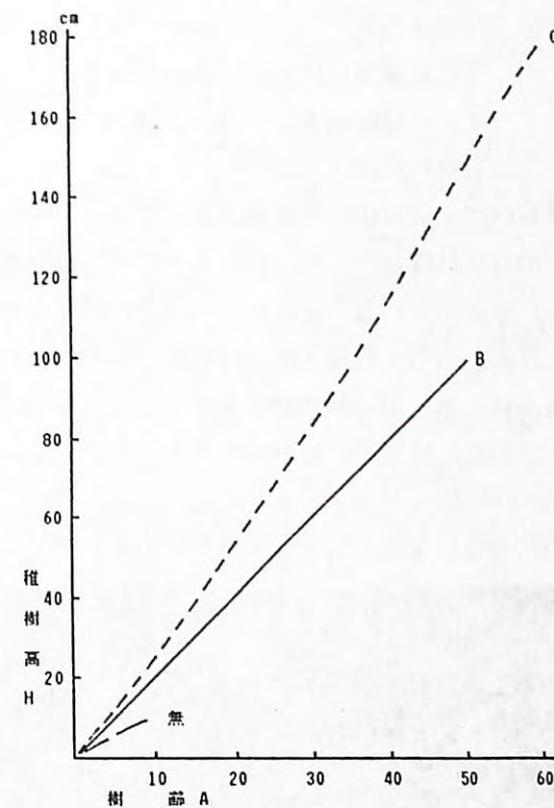


図1-9. 下木の稚樹成長

期首直径10cmの期末直径は, B種間伐区24.7cm, C種間伐区27.2cm, 無間伐区18.3cmに肥大し, 連年直径成長量はそれぞれ0.34cm, 0.39cm, 0.19cmで, 間伐区は無間伐区のほぼ2倍の成長を示し, 間伐効果が顕著に認められる。なお, 間伐効果は期末直径(D₅₀)の連年直径成長量がそれぞれ0.39cm, 0.47cm, 0.28cmを示していることから, すでにこの時期には現れている。一方, アオモリトドマツとコメツガは期末直径(D₅₀)でB種間伐区がそれぞれ0.24cm, 0.24cm, C種間伐区0.38cm, 0.23cm, 無間伐区0.24cm, 0.11cmで, その後は間伐区の標本数が少なく傾向はつかみにくい, シラベと比較してアオモリトドマツはやや劣り, コメツガはかなり劣っていると思われる。

下層に更新した稚樹は, 固定プロットでないためにバラツキが生じているが, 稚樹高10cm以上の本数は年数が経過するにつれて増大し間伐区に多い。無間伐区では地床条件がよいことから樹齢94年における稚樹高10cm未満の稚樹は242,500/haを数え, B種間伐区の

1.9 倍, C種間伐区の3.3 倍の量を示しているが, 低照度のために数年のうちに大部分が消失し10年以上の稚樹はみられない。樹齢94年における更新稚樹の樹種別本数比率は, 間伐種によって多少の違いはみられるが稚樹高10cm以上の稚樹は, おおむねシラベ86%, アオモリトドマツ3%, コメツガ11% である。樹齢(A)と稚樹高(H)の関係は次式で表され, その結果を図 1-9に示した。

B種間伐区	$H=2.6671A^{0.9239}$	$r:0.93$
C種間伐区	$H=2.0958A^{1.0901}$	$r:0.96$
無間伐区	$H=3.8223A^{0.4646}$	$r:0.83$

稚樹高10cm以上の稚樹は試験地設定前に更新したのも数本みられるが, B種間伐区では上木樹齢71年以降が95% を占め, C種間伐区はB種間伐区よりも若干早く更新し, 65年以降が90% を占めている。稚樹高31cm以上の稚樹の平均伸長量はB種間伐区2.9cm, C種間伐区3.7cm と極めて成長速度は鈍いが, 林内相対照度の違いによる成長差が認められる。

亜高山帯林の漸伐用材林施業体系における更新完了判定基準⁵⁾の稚樹は, B・C種間伐区とも確保でき, ほぼ均等に分布していることから, 上木伐採にも十分対応できるものと考えられる。

以上の結果は, 漸伐施業法の更新稚樹の取り扱いに一つの指針を与える資料となる。



写真1
無間伐区の林分状態
(1985年6月)



写真2
B種間伐区の林分状態
(1985年6月)

引用文献

- (1) 松井 勝ほか: 高山性天然幼令林の保育(間伐)の一端, 長野局報 9, 63~70(1951)
- (2) 滑川良一ほか: 八ヶ岳天然幼令林の保育について, 林試研報 123, 93~102(1960)
- (3) 長野営林局: 収穫予想表, 千曲川上流, 漸用I, シラベ地位中, 9~10(1968)
- (4) 長野営林局: 天然更新技術I, 林分構成と稚樹生長状況調査表, 90~95(1974)
- (5) 長野営林局: 千曲川上流地域施業計画区第5次地域施業計画書, 79~82(1989)

(木曾試験地 原 光好)

ウ. 四国地域における複層林施業の特徴

四国地域における国有林の複層林施業は, 昭和48~51年度にかけて下木が植栽された施業試験的性格を持つもの, 昭和59年度以降事業として実施されているもの, さらに, 旧藩造林地の中で複層林と考えられるものと性格的には大きく3つに分類される。そのほか, 上木ケヤキ下木スギの複層林もある。上木の林齢は昭和62年度現在で, 藩政時代に植栽された178年生から38年生のものまでであるが, 60~80生のものが多い。しかし, 下木はほとんどが3齢級以下のものである。

旧藩造林時代の造林地が複層林化している一例として, 川崎営林署管内小椎尾山国有林57林班がある。その, ①地況, ②施業履歴, ③現況(1986.8)を示すと以下のようになっている。

- ① 地況, 面積: 1.42ha, 基岩: 中古生層・砂岩, 土壌型: Bd, 傾斜: 急, 方位: 南東, 標高: 530~600m。
- ② 施業履歴, 上木の植栽年度と施業経緯: 1811年 新植(スギ 0.98ha, ヒノキ 0.44ha), 昭和8(1933)年 択伐(本数36%, 材積31%, 広葉樹は伐採せず), 下木の植栽年度, 施業履歴など: 昭和9年補植(スギ500本, ヒノキ500本, ha当たり710本), 昭和10~14年毎年下刈り(人工数7.0人, 8.8人, 6.8人, 10.5人, 13.7人), 上長成長量: 4年目 スギ0.52cm, ヒノキ0.44cm, 5年目 スギ0.46cm, ヒノキ0.29cm。
- ③ 現況は表1-5に示すようになっており, 自然観察, 自然休養林的な利用が考えられている。

一方, 四国の民有林での複層林施業は久万地方を中心に進められており, その特徴は良質な柱材と大径木生産を生産目標としたきめの細かい作業にある。すなわち, 下層木への光線不足の解消と高品質材の生産を図るため, 上木の伐採, 間伐と枝打のセットなど, 林分ごとの条件に応じた作業実行の配慮がなされている。収穫についても, 伐採・搬出をも考慮した選木がなされている。これらの集約な施業を可能にしているのは, 比較的緩傾斜な地形条件に恵まれ, バックホウによる幅員1.5mの作業道を高密度(久万地方では250m/ha以上が望ましいとされている)で配置してアクセスを改善し, クローラー型林内作業車

を利用して搬出経費の節減を図っていることにある。

これらの集約な施業を今後とも続けるための問題点として労働力の確保があげられよう。

表 1-5. 川崎営林署管内小椎尾山国有林の複層林の現況 (1986.8)

区分	樹種	本数	材積	平均直径	平均樹高	林齢
上木	スギ	74本	445m ³	78cm	33m	176年
	ヒノキ	59	168	58	24	
	そのほかN	123	119			
	そのほかL	24	19			
	計	280	751			
下木	スギ	428	91	16	12	53年
	ヒノキ	329	59	16	11	
	そのほかN	257	9			
	そのほかL	1,987	30			
	計	3,001	189			

(資源解析研究室 高橋文敏)

2. 複層林の収穫予測モデル

1) 密度管理図・収量比数・相対照度・樹高成長割引率による成長予測モデル

～ カラマツ～トドマツ二段林を対象にして ～

(1) 背景・目的

カラマツは現在郷土樹種のような位置を占めているが、本州から移入した樹種である。カラマツが道内で育苗造林されるようになったのは明治の中頃であり、当時は長野県の幼苗を取りよせ苗木を生産していた。この状態は、昭和30年代まで続いたが、昭和32年頃には育苗技術がほぼ確立された。

カラマツ～トドマツ二段林施業は、大正時代に入って小樽国有林、新冠御料林や民有林などで部分的に実施され始めた。

その後、昭和20年代以降のいわゆる拡大造林によって、カラマツは坑木等短伐期施業を目的として道内一円に渡って大面積に植林された。これらの林分は、現在、間伐あるいは主伐期を迎えている。

しかし、現在では、カラマツ材の需要構造の変化や外材の影響などから、その材価や販路が伸び悩んでいる。また、カラマツ材は小・中径木では、ねじれなどで材質が劣ることや、最近の森林の公益的機能に対する国民の要求の高まりの中で、皆伐一斉造林を改める傾向などを背景にカラマツの長伐期化が求められている。

このため、カラマツの下にトドマツを植え込んで二段林とする施業方法が多く採用されるようになってきた。

カラマツ～トドマツ二段林施業の内容についてみると、カラマツを列状間伐したあとにトドマツを列状に植栽している場合がほとんどである。また、上木と下木の年齢差は3年～34年と幅があるが、18年以下の年齢差の少ない林分が多い。

カラマツ～トドマツ二段林の長所については、複層林全体に通じる項目を除けば次のようなことが掲げられる。

土地生産力の向上：カラマツは陽樹であり、樹冠を大きく拡張させて成長する樹種である。従って、長伐期大径材を目的とする場合には、林冠閉鎖以後の間伐を早めに行い、立木に十分な空間を与える施業が求められる。このため、林内空間には余裕ができるので下木にトドマツを植栽することによって、空間の有効利用を図ることができる。

トドマツ植栽木の寒害防止：目的樹種としてトドマツを育成する場合、トドマツの寒害が発生しやすい場所では、最初にカラマツを保護木として利用することによって、トドマツ植栽木の生存率を高めて樹種転換を容易にすることができる。

なお、空間を急激に疎開すると、カラマツは不定芽を発生しやすくなるのでこの点での配慮が必要である。

(2) 材料・方法及び結果

材料

分析に利用した資料は、“複層林施業の実態調査”によって収集されたデータに加え、養老牛試験地^{1)・2)}、パイロットフォレスト内の試験地の報告^{3)・4)}、福地ほかの報告⁵⁾、武井ほかの報告⁶⁾に示めされている数値などを利用している。また、トドマツの地位指数曲線の作成には、道内12地域のトドマツ人工林から選ばれた上層木90本の樹幹解析資料を用いている。

方法及び結果

①カラマツの成長予測

上木であるカラマツの成長は“北海道林分密度管理図”⁷⁾の作成に用いられた計算式で求める。

a. 樹高

上層樹高 H_T は、カラマツの地位指数曲線を利用して、 t における成長曲線 f_1 、誤差の変動幅曲線 f_2 、地位指数 SI と林齢 t を与えることによって次式(1)～(3)式で計算される。

$$H_T = f_1(t) + \frac{f_2(t)}{f_2(30)} (SI - f_1(30)) \quad (1)$$

$$f_1(t) = 22.4497 - 22.0331 (0.952204)^t \quad (2)$$

$$f_2(t) = 3.3948 - 3.0945 (0.919964)^t \quad (3)$$

平均樹高 H_n は(4)式で求められる。

$$H_n = 0.107977 + 1.007113 - 0.118244\sqrt{N} \cdot H_T \quad (4)$$

b. 枝下高H_b

上木であるカラマツの枝下高は、下木トドマツの梢端部の成長に直接影響を与えることから、枝下高の予測式を作成した。枝下高H_bに直接影響を与える因子としては、平均樹高H_nと立木本数Nを考慮して(5)式で表現した。

$$H_b = a + bH_n + c(H_n \cdot \sqrt{N} / 100) \quad (5)$$

”複層林実態調査”，養老牛試験地報告，パイロットフォレスト試験地報告からえられた83組のデータを用いて計算した結果，a = -2.7131, b = 0.3394, c = 0.9536 (r = 0.87) がえられた。

c. 材積V

カラマツの林分材積は次式で求められる。

$$V = (0.0651368 H_T^{-1.238184} + 9492.9 H_T^{-2.948559} / N)^{-1} \quad (6)$$

d. 胸高直径D

平均胸高直径は林分形状高H_F，断面積合計G，断面積平均直径D_gから次の手順で求められる。

$$H_F = 0.954862 + 0.42397 H_T + 0.025833\sqrt{N} \cdot H_T / 100 \quad (7)$$

$$G = V / H_F, D_g = 200\sqrt{G} / (\pi \cdot N)$$

$$D = -0.176987 + 0.99847 D_g - 0.03653\sqrt{N} \cdot H_T / 100 \quad (8)$$

e. 収量比数R_Y

林分の混み具合を示すR_Yは下木トドマツの光環境の指標ともなり、次式で示される。

$$\log N_{Rf} = 5.43631 - 1.718375 \log H_T \quad (9)$$

$$V_{Rf} = (0.0651368 H_T^{-1.238184} + 9492.9 H_T^{-2.948559} / N_{Rf})^{-1} \quad (10)$$

$$R_Y = V / V_{Rf} \quad (11)$$

また、収量比数に応じた本数N_{RY}と材積V_{RY}は(12)，(13)式で求められる。

$$\log N_{RY} = K_1 - 1.718375 \log H_T \quad (12)$$

$$\log V_{RY} = K_2 - 0.7159 \log N \quad (13)$$

$$K_1 = \frac{(1 - Rf) R_Y}{1 - (1 - Rf) R_Y} \cdot \frac{9492.9}{0.0651318} \quad (14)$$

$$K_2 = \frac{(1 - Rf) R_Y}{0.0651368} \left[\frac{0.0651368}{9492.9} \cdot \frac{(1 - (1 - Rf) R_Y)}{(1 - Rf) R_Y} \right]^{-0.7159} \quad (15)$$

なお、限界競争比数R_fは0.3480である。

②トドマツの成長予測

a. 地位指数曲線

従来使用してきたトドマツの地位指数曲線は、年齢の比較的若いデータから作成されたが、今回、林齢50年以上の86組のデータを用いて新しく地位指数曲線を作成した。曲線式

には次式で示されるRichards関数を採用した。

$$W = A \cdot [1 - \exp^{-kt}]^{1/(1-m)} \quad (16)$$

ここで、W：樹高，t：年齢，m，k，A：定数。(16)式の定数の計算には伊藤⁸⁾の開発したSSFITR/86を利用した。

86組の樹高データを50年の値で10グループに分け、階級別樹高の平均値に対して、それぞれについて曲線式の定数を計算した。

10グループについて、m，k，Aと50年の樹高Sの間の関係を表2-1からみて、次のように仮定した。

$$m = b_1 + b_2 S$$

$$k = b_3 + b_4 S \dots \dots (17)$$

$$\ln A = \ln b_5 + b_6 \ln S$$

(16)式の対数を取り、m，k，Aを上式でおきかえると

$$\ln W = \ln b_5 + b_6 \ln S + \ln \left[\frac{1 - \exp \{-(b_3 + b_4 S) t\}}{(1 - b_1 - b_2 S)} \right] \quad (18)$$

となる。ここで、tが50のとき左辺がln Sに等しくなるという条件を使うと、b₅，b₆が消去されて

$$\ln W = \ln S + \ln (X/Y) / (1 - b_1 - b_2 S)$$

$$X = [1 - \exp \{-(b_3 + b_4 S) t\}] \quad (19)$$

$$Y = [1 - \exp \{-(b_3 + b_4 S) 50\}]$$

となる。

逐次近似による最小二乗法で、グループの階級別平均樹高をデータとして(19)式にあてはめて、b₁ = 0.805564, b₂ = -0.009893, b₃ = 0.018915, b₄ = 0.001168が得られた。10年間隔の樹高を地位指数ごとに計算すると表2-2の数値が得られる。なお、計算プログラムを図2-1に示した。年齢(A_X)と上層樹高(X)から地位指数を求めるときはK = 1, 地位指数(X)と年齢(A_X)を与えて上層樹高HGHTを求める場合はK = 2とする。

b. 収量比数と相対照度

下木であるトドマツの上層成長を抑制するのは、林内の明るさや光量などであるが、ここでは、相対照度を明るさの尺度とする。相対照度は、上木のカラマツの密度によって影

表 2-1. グループ別曲線の定数

グループ	本数	50年の樹高(S)		定数		
		範囲	平均	A	m	k
1	2	12.8~13.8	13.3	26.2165	0.7182	0.0349
2	4	15.0~15.8	15.5	26.4104	0.6056	0.0333
3	4	16.6~17.2	16.9	27.8210	0.5846	0.0335
4	6	17.6~18.3	17.9	25.8042	0.6871	0.0443
5	13	18.5~19.4	19.1	28.4138	0.6363	0.0402
6	15	19.5~20.4	20.1	29.5831	0.5782	0.0378
7	16	20.5~21.4	20.9	29.6868	0.5797	0.0398
8	14	21.5~22.4	21.9	30.4160	0.6160	0.0427
9	5	22.5~23.4	23.0	28.2577	0.6023	0.0507
10	7	23.5~25.1	23.9	32.6753	0.5828	0.0421

響を受ける。収量比数は林内材積のつまり具合を示すものであるため、これと相対照度 R_i との関係 (図 2-2) を見た。

この関係は、収量比数が高いほど相対照度は低く、逆に収量比数が小さいほど相対照度が高くなる。これらの関係は次の (20) 式で表された (ただし、 $R_y < 0.25$ のときは $R_i = 100$ とする)。
 $\log R_i = 0.6278 - 2.26866 \log R_y$
 (20)

表 2-2. 地位指数ごとの階級別樹高

階級別樹高	10	20	30	40	50	60	70
15	0.79	3.67	7.63	11.58	15.00	17.73	19.80
16	0.95	4.20	8.44	12.55	16.00	18.69	20.70
17	1.14	4.76	9.28	13.52	17.00	19.65	21.60
18	1.35	5.35	10.15	14.51	18.00	20.61	22.49
19	1.58	5.98	11.05	15.51	19.00	21.56	23.37
20	1.84	6.65	11.96	16.52	20.00	22.50	24.24
21	2.12	7.34	12.90	17.53	21.00	23.45	25.12
22	2.43	8.07	13.86	18.56	22.00	24.39	25.99
23	2.76	8.82	14.83	19.59	23.00	25.32	26.86
24	3.12	9.60	15.82	20.63	24.00	26.26	27.73
25	3.50	10.42	16.83	21.67	25.00	27.19	28.60
26	3.92	11.25	17.85	22.71	26.00	28.13	29.47
27	4.35	12.12	18.89	23.76	27.00	29.06	30.35
28	4.82	13.00	19.93	24.82	28.00	30.00	31.22
29	5.31	13.91	20.99	25.87	29.00	30.93	32.10
30	5.83	14.84	22.06	26.93	30.00	31.87	32.98

```

10 DEF FNEH (X, Y) = (1 - EXP(-(.018915 + .001168 * X) * Y))
20 PRINT: INPUT "地位指数を計算しますか (Yes/No) ", X$: A$ = LEFT$(X$, 1)
30 IF A$ = "N" OR A$ = "n" THEN 80
40 K = 1: PRINT
50 INPUT "年齢は": AX: INPUT "上層樹高は": X
60 GOSUB *HGHT
70 PRINT: PRINT USING "地位指数 = ##.##": HGHT: PRINT: GOTO 120
80 K = 2: PRINT
90 INPUT "地位指数は": X: INPUT "年齢は": AX
100 GOSUB *HGHT
110 PRINT: PRINT USING "上層樹高 = ##.##": HGHT
120 END
1000 *HGHT
1010 IF K = 1 THEN 1040
1020 EST = LOG (X) + LOG (FNEH (X, AX) / FNEH (X, 50)) / (.194436 + .009893 * X)
1030 HGHT = EXP (EST): RETURN
1040 W = 10: ADD = 1!
1050 EST = LOG (W) + LOG (FNEH (W, AX) / FNEH (W, 50)) / (.194436 + .009893 * W)
1060 EST = EXP (EST)
1070 IF ABS (EST - X) < .1 THEN 1110
1080 IF EST < X THEN 1100
1090 W = W - ADD: ADD = ADD * .1: W = W + ADD: GOTO 1050
1100 W = W + ADD: GOTO 1050
1110 HGHT = W: RETURN
    
```

図2-1. 地位指数または上層樹高を求めるためのプログラム

c. 相対照度と樹高成長

一般に、相対照度が高くなれば下木の樹高成長も良好であることが福地らの報告⁵⁾で示されている。この報告から、相対照度とトドマツの樹高の成長割合 H_r (相対照度80%のときの値を1とする) を調べると (図 2-3), この関係は次式で表現できた。

$$\log H_r = 0.012238 - 0.793702 \cdot 0.948023^{R_i} \quad (21)$$

以上の関係式を利用することによって、カラマツ林下の成育段階と密度に応じた樹高成長が求められる。

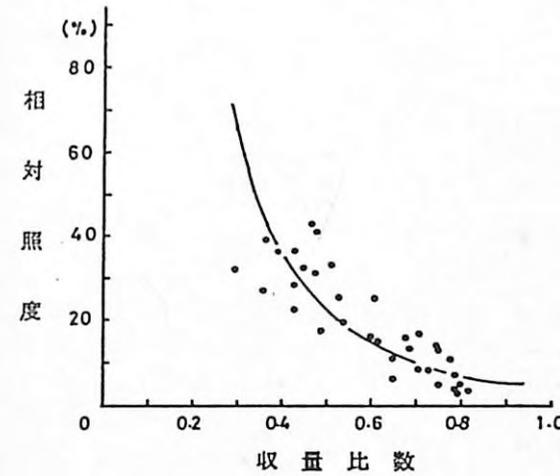


図2-2. カラマツ林分の収量比数と相対照度の関係

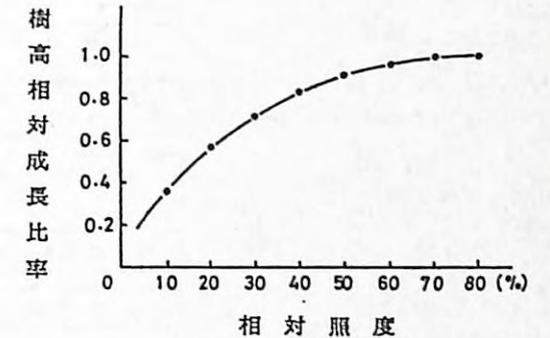


図2-3. 相対照度に応じたトドマツの樹高相対成長比率 (相対照度80%を樹高成長1とする)

d. 胸高直径 D_r

樹下植栽されたトドマツ下木の胸高直径の成長については、現在のところ予測に十分な研究蓄積がえられていないのが現状である。ここでは、立木密度の高い林分ほど形状比 ($S_r = H/D$) が高くなることに着目し、成育段階と収量比数によって変化する形状比の値を利用して樹高 H から平均直径 D を計算する。その手順は次のとおりである。上層樹高 H_r と収量比数 R_y に応じた立木本数 N_{R_y} は次式で求められる。

$$N_{R_y} = (126777.1384 R_y) / (1 - 0.8833 R_y) H_r^{-1.893839} \quad (22)$$

次いで、材積 V が (23) 式で求められる。

$$V = (0.215578 H_r^{-1.617855} + 30941.2 H_r^{-3.51173} / N_{R_y})^{-1} \quad (23)$$

また、形状高 H_f は次式で計算される。

$$H_f = -0.2785 + 0.4877 H_r - 0.04143 \sqrt{N_{R_y}} \cdot H_r / 100 \quad (24)$$

カラマツの場合と同様に、胸高断面面積合計 G は、 $G = V / H_f$ 、また、断面面積平均直径 D_g は、 $D_g = 200 \sqrt{G} / (\pi \cdot N_{R_y})$ で、次いで、直径 D は、

$$D = -0.1287 + 0.9935 D_g - 0.05676 \sqrt{N_{R_y}} \cdot H_r / 100 \quad (25)$$

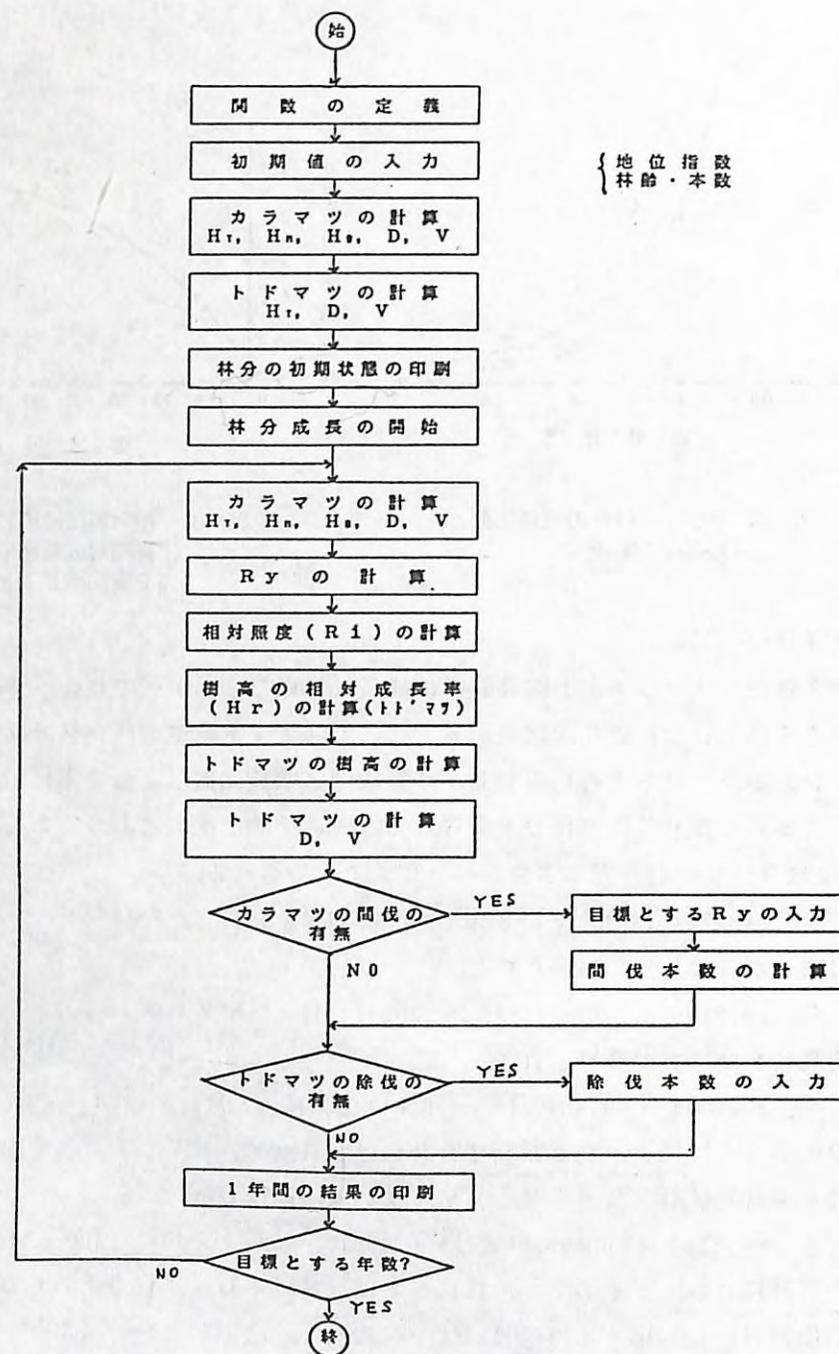
(25) 式から計算される。そして、形状比 S_r は、 $S_r = H_r / D$ で求められる。従って、トドマツの樹高 H_r に対応する直径 D_r は、次式

$$D_r = H_r \times 100 / S_r \quad (26)$$

によって求められる。

③計算プログラムの概要

①および②に示される計算式をもとに、カラマツトドマツ二段林の計算プログラムを作成した。そのフローチャートを示すと、図 2-4のとおりである。以下に、その手順を概説する。



{ 地位指数
林齢・本数

図2-4. カラマツトドマツ二段林成長予測フローチャート

- a. 予測に用いる主要な計算式について関数定義を行う。
- b. カラマツ及びトドマツの地位指数，林齢，本数を初期値として入力する。
- c. カラマツ及びトドマツについて，樹高，直径，材積など林分の初期状態を計算し，次いで初期状態を印刷する。
- d. 林分成長を開始する（1年ごと）。
- e. 1年後のカラマツの上層樹高，平均樹高，平均直径，枝下高，材積を計算する。
- f. 収量比数を計算し，この値をもとに，相対照度を計算する。ついで，相対照度からトドマツの樹高の相対成長率を計算し，この値からトドマツの樹高成長量及び樹高を算出する。
- g. トドマツの直径，材積を計算する。
- h. カラマツ林分の収量比数の値をみながら，間伐が必要か否かを判断し，間伐を行う場合は，目標とする収量比数を入力する。この場合，下げる値は 0.1以下とする。間伐が不要のときは次のステップに進む。
- i. 下木トドマツの混み具合をみて，除伐の有無を判断する。除伐を実行する場合は除伐本数を入力する。しない場合は次のステップへ進む。
- j. 1年間の結果を印刷する。
- k. 目標とする成長年数に達しない場合は，翌年の成長へ進む。達した場合は計算を終了する。

このようにして，上木であるカラマツの地位指数，林齢，本数に応じたトドマツの樹高，直径，材積についての成長予測が可能になる。

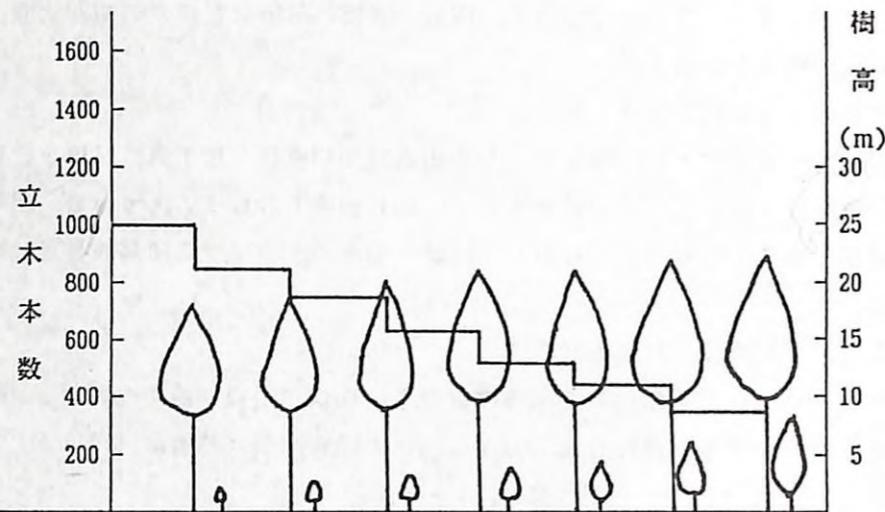
④計算例

カラマツの地位指数（30年生時の上層樹高）18，林齢30年，本数1000本，トドマツの地位指数（50年生時の上層樹高）20，林齢10年，本数1500本を初期状態として，5年ごとに，弱度の間伐を繰り返す，カラマツの林齢が60年になるまでの成長予測を行った。

その結果を示したのが，図 2-5である。また，カラマツの初期本数を 600本とし，そのほかを同じ条件にして計算した結果を示したのが図 2-6である。

二つの図を比較してみると，上木カラマツの成立本数によって，下木トドマツの樹高成長が大きく左右されることが分かる。カラマツ林分の収量比数についてみると，密度管理基準でいえば，0.5が疎仕立て，0.6が中庸仕立て，0.7が密仕立てと考えることができる。この基準から考えると，図 2-5に示される林分では，トドマツを育成するには上木の本数が多いといえる。また，図 2-6では，カラマツが30年生時の立木本数は 600本であり，光環境がやや改善され，下木トドマツは比較的良好な成育状況を示している。

このように，作成されたカラマツトドマツ二段林の計算プログラムを利用することによって，上木カラマツ，下木トドマツの地位指数，林齢，立木本数に応じたその後の本数管理を通して，二段林の施業目的に合致した施業体系を予測できることが分かった。



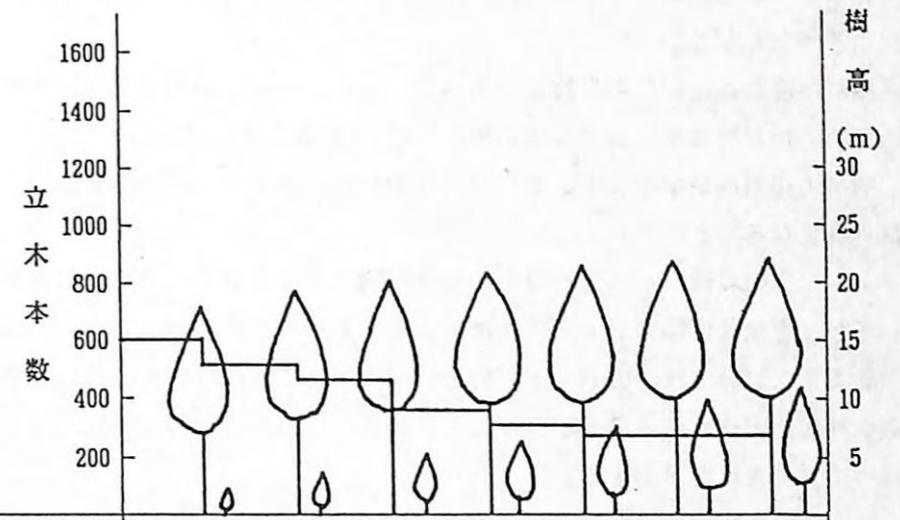
上カラマツ	林 齢	30	35	40	45	50	55	60
	本数 (ha)	852	749	623	514	440	358	358
	施 業	間伐	間伐	間伐	間伐	間伐	間伐	
	胸高直径	20.3	21.7	23.3	24.8	26.0	27.3	28.6
下トドマツ	林内照度	9.3	9.7	11.1	13.4	15.7	20.3	19.7
	林 齢	10	15	20	25	30	35	40
	本数 (ha)	1500	1300	1200	1100	1000	900	900
	胸高直径	1.3	1.9	2.7	3.7	4.9	6.2	7.3
カラマツ	Ry	0.71	0.7	0.65	0.60	0.56	0.50	0.51

図2-5. カラマツトドマツ二段林成長予測 計算例 1

地位指数
カラマツ 18
トドマツ 20

(3) 考察・問題点

カラマツ及びトドマツの成長法則をもとに、カラマツトドマツ二段林の成長予測プログラムを作成した。これを用いて、上木カラマツの林齢30年、トドマツの林齢10年を出発点として、その後30年間の毎年の上木及び下木の成長をシミュレートした。その結果、上



上カラマツ	林 齢	30	35	40	45	50	55	60
	本数 (ha)	521	443	375	312	270	270	270
	施 業	間伐	間伐	間伐	間伐	間伐		
	胸高直径	22.5	24.2	25.6	27.0	28.1	28.5	30.0
下トドマツ	林内照度	18.1	19.9	23.1	28.4	33.5	31.5	30.5
	林 齢	10	15	20	25	30	35	40
	本数 (ha)	1400	1300	1200	1100	1000	1000	1000
	胸高直径	1.6	2.6	4.2	7.1	8.5	11.8	13.1
カラマツ	Ry	0.53	0.51	0.47	0.44	0.40	0.41	0.42

図2-6. カラマツトドマツ二段林成長予測 計算例 2

地位指数
カラマツ 18
トドマツ 20

木カラマツの本数密度を調整することによって、下木トドマツの成長がほぼ予測できることが分かった。従って、このプログラムを利用することによって、カラマツトドマツ二段林について、施業目的に合致した本数管理の目安が得られることが分かった。

しかし、今回作成されたカラマツトドマツ二段林成長予測プログラムは、以下の理由から、暫定的なものであることを付記しておく。

主要な問題点は以下に示すとおりである。

- a. カラマツ林分の枝下高の推定には比較的若齢林分のデータが多いため、高齢部分は外挿による予測となる。
- b. 相対照度の推定には収量比数を用いているが、予測に利用したデータが不足している。このため、相対照度が0.25より低い値は100%で計算している。
- c. 樹高の相対成長率は下木トドマツの林齢が10年までのものであるため、それ以後の予測は外挿になること。
- d. トドマツの直径は、密度管理図の成育段階と収量比数から求められる形状比を利用しているが、今後は実際のデータの利用による予測が必要である。
- e. 北海道においては、カラマツの第1回間伐が列状間伐で行われることが多く、下木の植栽も列状に実施される場合がほとんどである。このため、列状間伐、列状植栽に伴う光環境や成長の変化を予測する必要がある。

今後、これらの問題点を解決してカラマツトドマツ二段林の成長予測の信頼性を高めることが必要である。

引用文献

- (1) 梅津 武：カラマツ列状間伐試験10年の成果について（養老牛試験地），帯広営林支局業研集，昭和52年度
- (2) 帯広営林支局：カラマツ列状間伐10年の成果（養老牛試験地），北方林業，31(2)，(1979)
- (3) 帯広営林支局：固定試験地の間伐事例と二・三の考察（II）－樹下植栽したトドマツの光環境について－，帯広営林支局業研集，昭和54年度
- (4) 梅津 武：パイロットフォレストのカラマツ施業試験，日林北支講28(1979)
- (5) 福地 稔ほか：カラマツ林内に植栽したトドマツの10年間の成長，日林北支論34(1985)
- (6) 武井富喜雄：複層林施業における林内人工更新技術に関する研究，長野県林業指導所業務報告(1981)
- (7) カラマツ人工林林分密度管理図説明書－北海道地方－，林野庁(1982)
- (8) 伊藤達夫：SSFITR/86 Version 1.0 for MS-DOS RICHARD（成長関数のあてはめのためのコンピュータープログラム），J・Pc-For. 3，41～42(1985)

（北海道支所天然林管理研究室 猪瀬光雄，小木和彦，佐野 真）

2) 下木の樹高成長にミッチャーリッヒ式の拡張式を導入した成長モデル ～ スギスギ二段林を対象として ～

(1) 背景・目的

九州地方の複層林に関しては、近年になって試験地として設定された林分がほとんどであり、その成長についてはいまだ十分な資料がそろっていないのが現状である。特に上木の状態によって敏感に変化する下木の成長については、複層林成長予測の要でありながらデータ収集途中の段階である。

そこで、本研究では理論的成長曲線の一つであるミッチャーリッヒ曲線の検討から、光環境を考慮した下木の樹高成長曲線式を導き、既往の研究成果を用いながらモデルの検討を行った。

(2) 方法・結果

複層林においては、上木の成長及び樹冠の閉鎖に伴い林内の照度低下が生じ、その結果として下木の成長が抑制される。安藤はスギ林の間伐後の収量比数と林内相対照度の関係を示し、両者にはばらつきが大きいものの相関関係が認められることを示した（安藤，1983）。また、藤森はいくつかの研究報告からスギ林の間伐後の収量比数と林内相対照度の関係を示した（藤森，1989）。これらの結果は収量比数が林内相対照度と深い関係をもち、相対照度を収量比数から推定することが可能であることを意味している。

相対照度は測定に手間がかかる上に値が不安定であり、林分の成長に伴った変化も捕らえにくい。それに対し、収量比数は上層樹高と本数密度から容易に算出できる相対的な林分閉鎖の尺度であり、密度の変化や林分の成長に伴う閉鎖度の変化を比較的容易に示すことができるという特徴を持つ。このように、相対照度の代用として収量比数を利用することは、成長の予測を行う上で非常に都合がよい。

さて、松本は針葉樹混牧林の研究において、混牧林内の草生産量が林内の相対照度のみならず収量比数と高い相関を持つことを示した（松本，1990）。特に、すでにうっ閉したカラマツ林を強度間伐して行った実験においても、収量比数と下層植生量は同様に高い相関を示した。このことから林内の植物生産量を収量比数から推定する手法が開発されている。混牧林における林内生産物とはササ、ススキ、シバといった野草、あるいは人工的に導入された牧草といった草本が主体であり、複層林における下木となるスギあるいはヒノキといった木本とは異なる。しかしながら、林内における光環境と植物の反応という関係においては根本的には大きな差はないと考え、本研究では複層林における下木の樹高成長を予測する手法として、上木の収量比数を用いた方法を開発することとした。

樹高成長を表現する成長式としてはミッチャーリッヒ式が最もしばしば利用される。林

分収穫表では一般的に樹高成長式として修正指数曲線が用いられているが、修正指数曲線は、簡単な変形によりミッチャーリッヒ式に変換される。ミッチャーリッヒ式は、成長速度が成長の上限と現在量の差に比例するという考え方に立つ理論的成長曲線である。そこで、(1)式で表されるミッチャーリッヒ式の基礎方程式において、右辺に林内照度の低下による成長の抑制を表す抑制係数を乗じた成長式を考案した。

$$\text{ミッチャーリッヒ式} \quad dh/dt=k(m-h) \quad (1)$$

$$\text{拡張式} \quad dh/dt=k(m-h)F \quad (2)$$

ここで、h:下木の樹高、m:成長の上限値、k:係数、F:抑制係数。

ここで抑制係数Fは0~1をとる。上木による成長抑制がない場合、つまり上木がない場合にはF=1となり、基礎となるミッチャーリッヒ式そのものとなる。(2)式の解は逐次近似法による近似解として(3)式のような漸化式の形で得られる。さらに収穫表と同様に1分期を5年として(4)式が得られる。

$$h(t)=h(t-1)+k(m-h(t-1)) \cdot F(t) \quad (t=1,2,3,\dots) \quad (3)$$

$$h(t)=h(t-5)+5k(m-h(t-5)) \cdot F(t) \quad (t=5,10,15,\dots) \quad (4)$$

ちなみに、熊本営林局林分収穫表より熊本地方スギ、地位中について係数を求めたところ、(5)式が得られた。

$$h(t)=h(t-5)+5 \cdot 0.01131 \cdot (35.947-h(t-5)) \cdot F(t-5) \quad (t=5,10,15,\dots) \quad (5)$$

抑制係数Fは上木の状態によって変化するが、試験地調査からは今のところ十分な資料を得るに至っていない。そこで、河原によって求められた樹下植栽木の成長量に関する相対照度と相対樹高の関係(6)式(河原, 1983)、及び藤森によって求められた収量比数と相対照度の関係(7)式(藤森, 1989)を用いた。

$$\text{河原の式(スギ樹高)} \quad 1/RH=0.169/RI+1/118 \quad (6)$$

$$\text{藤森の式} \quad RI=-84.3 \cdot RY+83.5 \quad (7)$$

ここで、RH:相対樹高(%), RI:相対照度, RY:収量比数。

河原は一般の林内庇陰下とサラネットによる人工庇陰下による相対照度と成長量との関係を報告しているが、ここではより現実に近い一般の林内庇陰下における結果を使用した。また、藤森の式は既報の研究報告からスギ林の間伐後の収量比数と林内相対照度の関係を

求めたものである。

(6)、(7)の2式の相対照度RIに注目して収量比数と相対樹高の関係式を求めると(8)式が得られる。

$$1/RH=0.169/(-84.3 \cdot RY+83.5)+1/118 \quad (8)$$

(8)式の相対樹高Hの100分の1をとれば、それは(5)式の抑制係数Fと考えることができる。

$$F=RH/100 \quad (9)$$

さて、もともと密度管理図の収量比数RYは次のように定義されている。

$$RY=V/V_{Rr} \quad (10)$$

$$V=(aH^{-b}+a'H^{-b'})/N \quad (11)$$

$$V_{Rr}=(aH^b+a'H^{-b'})/N_{Rr} \quad (12)$$

$$N_{Rr}=a''H^{-b''} \quad (13)$$

ここで、

$$V : \text{上木材積 (m}^3/\text{ha)} \quad V_{Rr} : \text{上木最多材積 (m}^3/\text{ha)}$$

$$H : \text{上木上層木樹高 (m)} \quad N : \text{上木本数密度 (本/ha)}$$

$$N_{Rr} : \text{上木最多密度 (本/ha)}$$

(10)~(13)の関係式を整理することにより、(10)式のRYは上木本数密度と上木上層木樹高の関数として次のように導かれる。

$$RY=(aH^b+a'H^b' / a''H^{-b''}) / (aH^b+a'H^b' / N) \quad (14)$$

このように、(8)式のRYは密度管理図に示されているいくつかの関係式の係数を用い、上木の本数密度と上層樹高から求められることが分かる。従って、上木の樹高成長と密度管理計画が定められれば、前述の式を連立させて下木の成長を推定することができる。時間に注意しながら関連する関係式をまとめると以下のようになる。

$$h(t)=h(t-5)+5k(m-h(t-5)) \cdot F(t) \quad (15)$$

$$F(t)=RH(t-5)/100 \quad (16)$$

$$1/RH(t-5)=0.169/(-84.3 \cdot RY(t-5)+83.5)+1/118 \quad (17)$$

$$RY(t-5) = (aH(t-5)^b + a'H(t-5)^{b'} / a''H(t-5)^{-b''}) / (aH(t-5)^b + a'H(t-5)^{b'} / N) \quad (18)$$

ここで、

- t:年 (5,10,15,...) h(t):下木の樹高 m:成長の上限值
 F(t):抑制係数 H(t):上木上層木樹高 N(t):上木本数密度
 RH(t):相対樹高 RY(t):収量比数
 k, a, a', a'', b, b', b'', b''':係数

この方法では図 2-7に示した手順で下木の樹高成長を推定する。まず、あらかじめ対象地の地位から林分収獲表などを用い上木の樹高成長を把握し、密度管理様式も設定しておく。次に、一分期ごとに上木の上層樹高及び本数密度から抑制係数を求め、下木の成長量を算出し、前期の樹高に加算する。これを分期ごとに繰り返す。この計算にはパーソナルコンピュータ上でロータス1-2-3, エクセルといった表計算ソフトを利用すると非常に容易に行うことができる。表計算ソフトの使用は計算の簡易化のみならず、密度管理計画の変更や下木植栽時期などを変更するといったシミュレーションを可能にする。試行錯誤で適当な管理計画を設計することができるなど非常に都合がよい。表 2-3に表計算ソフトでの計算例を示した。

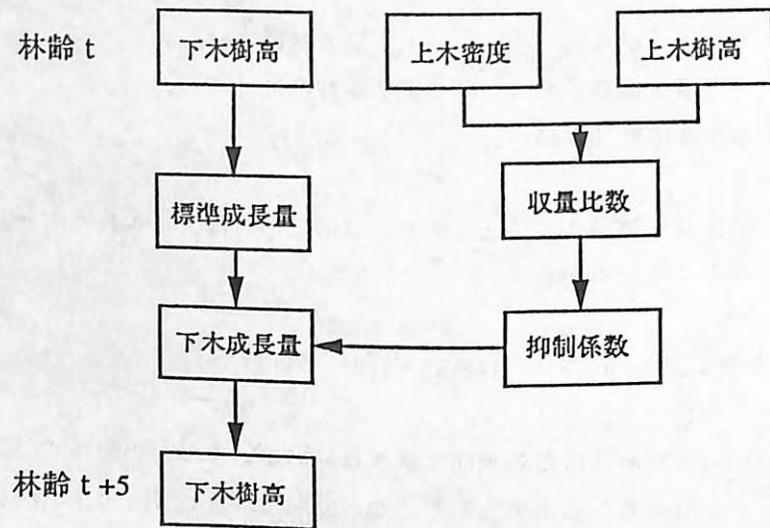


図2-7. 下木の樹高成長を推定する手順

表2-3. 複層林下木樹高成長の計算例

- 1、熊本営林局複層林施業大系図(スギ)の密度管理計画による
- 2、熊本地方スギ林分収獲表の樹高(2等地)
- 3、九州地方国有林スギ林分密度管理図
- 4、 $H(t) = H(t-5) + 5 \cdot 0.0110036 \cdot (40.3985 - H(t-5)) \cdot F$

林齢	樹高	上木						下木樹高
		本数密度		Ry		樹高係数(F)		
		間伐前	間伐後	間伐前	間伐後	間伐前	間伐後	
0	0.30	3000	3000	0.01835		0.94906	0.94906	
5	2.50	2880	2880	0.30371		0.87769	0.87769	
10	5.20	2760	2760	0.5805		0.74827	0.74827	
15	7.20	2640	2640	0.70464		0.64569	0.64569	
20	9.00	2520	2520	0.77979		0.55592	0.55592	
25	10.80	2400	2000	0.83353	0.7895	0.4707	0.54207	0.54207
30	12.40	2000	2000	0.83862		0.46141		0.46141
35	13.90	2000	1500	0.87597	0.81056	0.38495	0.50981	0.50981
40	15.30	1500	1500	0.84391		0.45147		0.45147
45	16.70	1500	1500	0.87251		0.39271		0.39271
50	17.90	1500	1000	0.89388	0.80291	0.34221	0.5219	0.5219
55	19.10	1000	1000	0.82599		0.48404		0.48404
60	20.20	1000	500	0.84515	0.66612	0.4491	0.68238	0.68238
65	21.30	500	500	0.68811		0.66208		0.66208
70	22.30	500	300	0.70687	0.56148	0.64339	0.76061	0.76061
75	23.20	300	300	0.57838		0.74968		0.74968
80	24.10	300	200	0.59465	0.47849	0.73862	0.80711	0.80711
85	25.00	200	200	0.49376		0.79934		0.79934
90	25.80	200	100	0.50698	0.3247	0.79235	0.87066	0.87066
95	26.60	100	100	0.33535		0.86696		0.86696
100	27.30	100	100	0.34457		0.86369		0.86369
105							1	13.45
110							1	14.93
115							1	16.33
120							1	17.65
125							1	18.91
130							1	20.09
135							1	21.21
140							1	22.26
145							1	23.26
150							1	24.20
155							1	25.09
160							1	25.94

(3) 考察・問題点

残念ながら、現在においては、本モデルの妥当性を検証するための資料は十分にはそろわない。従って、本モデルが妥当であるのか否かを示す方法はないというのが正直なところである。しかしながら、いくつかのシミュレーションを行ってこのモデルの特徴を知ることができる。

本モデルを利用し、熊本地方のスギについて通常の林分収獲表に従った密度管理を行う場合、そして熊本営林局が作成した複層林施業体系図に従った密度管理を行う場合の2種類の密度管理方式で下木の樹高成長を想定した。いずれの場合も樹高成長は林分収獲表2等地の値を使用し、九州地方国有林スギ林分密度管理図を使用した。また、下木の植栽は上木が60年生のときとし、上木を100年生時に主伐することとして推定を行った。推定結果は複層林密度管理を行った場合を図 2-8に、標準的な密度管理を行った場合を図 2-9に示した。

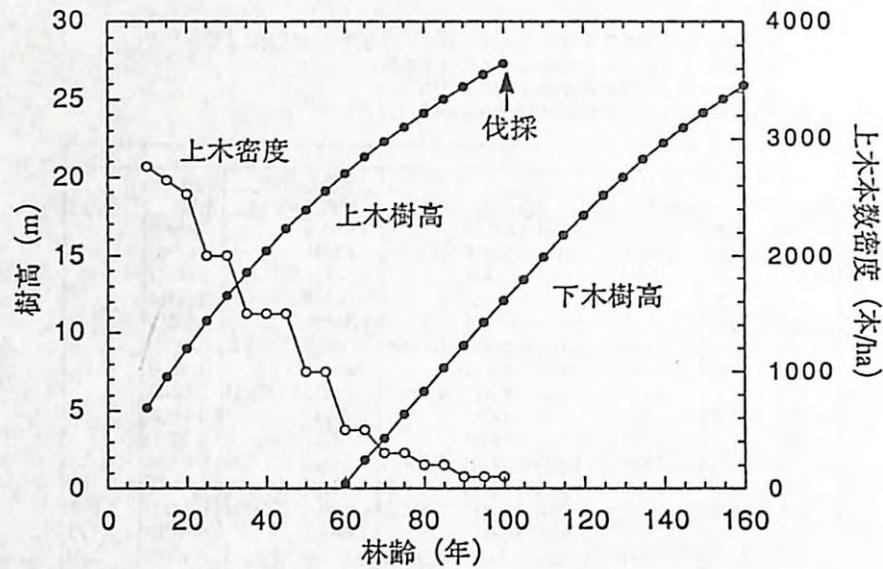


図2-8. 複層林密度管理を行った場合の下木の樹高成長

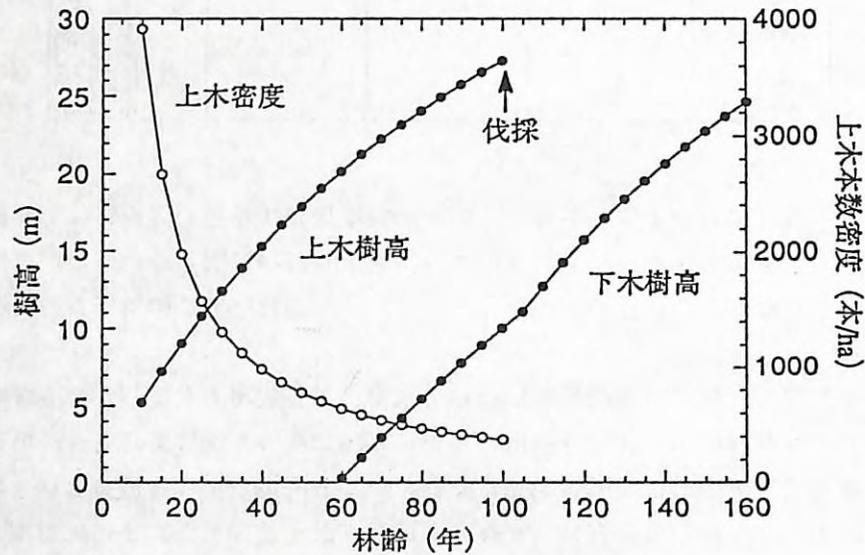


図2-9. 一般的な密度管理を行った場合の下木の樹高成長

複層林密度管理を行った場合、早くから上木の密度を低く管理するため、木の成長速度の抑制比率は14~34%であった。一方、一般的な密度管理方法では下木の成長速度の抑制比率は36~39%と高く、通常の密度管理では下木の成長速度は通常の6割程度にとどまることが推定された。下木の40年生時の樹高は一般的な密度管理の場合では10.1m、複層林密度管理の場合では12.1mと推定された。ちなみに、一斉林の場合の樹高は15.3mなので、一般的な密度管理では5.2m、複層林密度管理では3.2mが上木の影響のため抑制されたものと考えてよい。この樹高成長の差は一般密度管理では約17年分の成長の遅れであり、複層林密度管理の場合では約10年分の成長の遅れである。

上木の主伐後は光環境が改善され、下木の樹高成長に関する抑制はなくなる。このモデルにおいても上木伐採後に急激な下木の成長が見られた。下木の100年生時には一般的な密度管理の場合では24.6m、複層林密度管理の場合では25.9mと推定された。一斉林の場合では27.3mであるから、一般密度管理の場合では2.7m、複層林密度管理の場合では1.4mの成長の遅れが推定されたことになる。

以上の手法は複層林における下木の動態として一般的な知見に反するものではない。しかしながら、推定値の精度に関しては判断の基準はなく、これからの複層林実験の結果を待たざるを得ないであろう。

このように、本モデルの最大の問題点はモデルの基礎を支えるデータの不足である。特に、相対照度あるいは収量比数と成長量の関係を把握することは重要である。これらの資料の収集が本研究のみならず複層林研究全体の問題と考える。

また、本モデルは上層樹高と本数密度から一意的に相対照度が定まることを前提としたが、密度が疎になるにつれて枝張りによる照度変化が重要になってくる。従って、本モデルとしてはさらに枝打ち効果を加味する余地があると考えられる。

引用文献

- (1) 安藤 貴: スギ林間伐後の林内相対照度, 林試研報, 323, 58~59(1983)
- (2) 藤森隆郎: 複層林の生態と取扱い, わかりやすい林業研究解説シリーズ, 93, 林業科学技術振興所, 96pp(1989)
- (3) 河原輝彦: 人工庇陰下の植栽木と樹下植栽木の成長比較, 林試研報, 323, 133~134(1983)
- (4) 松本光朗: 針葉樹混牧林に関する研究(Ⅰ) 適正放牧強度の推定, 日林誌, 72(4), 286~291(1990)

(九州支所経営研究室 松本 光朗)

3) 安藤・竹内～河原モデルを適用した成長予測

～ アカマツ-ヒノキ二段林を対象にして ～

(1) 背景・目的

近畿・中国地方の低山、丘陵地帯には、アカマツを上木、ヒノキを下木とする二段林が広範囲に、そして複層林としては最も多く存在し、国有林にも多く見られる。特に広島県の東部、兵庫県氷上郡、滋賀県の琵琶湖周辺に多く、京都府北桑田郡、大阪府の箕面国有林、鳥取県倉吉市周辺、島根県の川本営林署艾山国有林などにもみられる。その成因としてヒノキ人工林内に天然更新したアカマツが、ヒノキの樹高を超越して自然に二段林状態になった場合と、アカマツ林内にヒノキを樹下植栽して育成したことがある。

前者は広く普遍的に存在し、アカマツが容易に天然更新するアカマツの適地に、ヒノキが造林された場合にみられる。植生的には、アカマツの天然生二次林のうち、暖帯中南部のコシダ型、ヒサカキ型、ウラジロ型、及びネザサ型など人為作用の加わりの度合の大きいアカマツ群落の出現する地域にみられる。一方、人為化の少ないアカマツ林では広葉樹が多くなりヒノキの生育を阻害するため、また、ハゲ山、瘠悪林に相当するネズミサシ-ヒサカキ型の諸群落型ではヒノキ植栽が不適であるためともに二段林とはならない¹⁾。アカマツの樹齢がヒノキとほぼ等しく混交林と呼ぶべき林分で、その収穫量についてはアカマツとヒノキの本数混交率と材積の関係を中心に、河原・山本²⁾によって報告されている。

後者の事例は少なく、関東平野の平地林での事例や、気象害回避を目的にしたもの¹⁾、風致を重視したもの(奈良営林署地獄谷国有林)などが報告されているにすぎない。アカマツ-ヒノキ二段林は、アカマツが日光をよく透過するので下木の成長が良好で仕立てやすく、また、ヒノキ単純林にくらべ土壌をよく保全する¹⁾。近年マツクイムシによるマツ枯れが進行し、アカマツ適地へのヒノキ造林が進行していることも考えあわせると、土地生産力の低い林地での複層林として大変有望であり、また、アカマツ林からヒノキ林への林種転換の1方法となるものと思われる。

しかし、樹下植栽によるアカマツ-ヒノキ二段林の林分構造や収穫量については、あまり研究されていない。そこで、このタイプの二段林の成長について、固定試験地の測定資料をもとに検討した。また、下木(ヒノキ)の成長を予測する計算プログラムを作成し、プログラムを用いて、固定試験地とほぼ同様な施業を行った場合の下木の成長をシミュレートし、試験地の実測値と比較検討を試みた。

(2) 材料・方法・結果

ア. アカマツ-ヒノキ固定試験地の成長

大阪営林局は、1940年2月、奈良市高畑町の地獄谷国有林内に、地獄谷アカマツ択伐林収穫試験地を設け、アカマツ-ヒノキ・スギ複層林の収穫に関する研究を始めた。試験地

の調査は戦後、林業試験場関西支場、及び森林総合研究所関西支所にひきつがれ、以後52年間継続して調査されている。

試験地は海拔高200~240m、傾斜約20度の南東斜面で土壌型はB_{D(d)}~B_E型である^{3,4)}。アカマツ-スギ複層林をアカマツ、ヒノキ、スギの混交する複層林に仕立てるために、1923年12月当時46年生のアカマツを択伐し、その跡地にヒノキ・スギを植栽した。試験地は3箇分地に分かれ、それぞれ以下のような施業を行ってきた。

1分地 ヒノキ択伐誘導区 0.2648ha

上木アカマツ、下木ヒノキの二段林作業

2分地 スギ択伐誘導区 0.3446ha

アカマツ、スギ、ヒノキの択伐作業

3分地 自由施業区 0.3556ha

アカマツ皆伐作業とスギ・ヒノキ補植

なお、試験地設定時のアカマツの平均樹高は、1分地では21.3m、2分地は20.1m、3分地は16.2mで1、2分地は近畿地方アカマツ林収穫表の3等地、3分地は3等地以下に相当する。

1986年までに計8回調査を行い、択伐はアカマツを主に、1923、1940、1965年に行い、ほかの調査時点では枯損木を伐採する程度にとどめた(表2-4)。

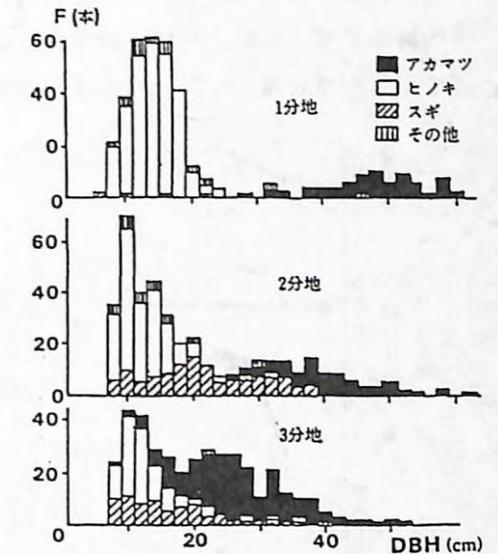


図2-10. 下木が42年生時の直径分布

表2-4. 地獄谷試験地の施業の経過

年度:	1923	'39	'49	'54	'59	'64	'69	'75	'86
林齢(上木)	46	63	73	78	83	88	93	99	110
(下木)	0	17	27	32	37	42	47	53	64
調査:		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
施業:	W WW WW								・マツクイムシ被害木伐採
		VVVV							
(1分地)	SR	J S	D	D	D	S	D	D R DR	
(2分地)	SR	J S	D	D	D	S	D	D R DR	
(3分地)	SR	J S	D	D	D	S	D	D R DR	

S:上木伐採 D:アカマツ枯損木伐採 R:樹下植栽 J:下木除伐 W:下刈り V:蔓切り

択伐率は材積で1、2、3分地それぞれ1940年が8.2%、14.2%、15.3%、1965年が48.4%、37.2%、31.5%であった。樹下植栽は1923、1940、1977、1979年に行った。なお、1923年

の択伐率及び樹下植栽本数は、記録が残っていないため不明である。1979年ごろよりマツクイムシの被害があらわれ、枯損木を順次伐採し、アカマツの本数が減少してきている。測定は胸高直径、樹高、幹級区分、枝下高について行ったが、欠測したときがある。材積は大阪営林局で使用されている幹材積表から算出した。

図 2-10 に上木が88年生、下木が42年生であった1965年時点での樹種別直径分布を示す。1分地は双峰型分布を示し、二段林型を呈している。2, 3分地は双曲線型を示し、かなり択伐林に近い林型⁵⁾となっていると思われる。

平均胸高直径、本数、材積、収穫量及び材積成長率の経年変化を図 2-11 に示す。ここで平均胸高直径、本数、材積は択伐または枯損木の伐採を行ったあとの値である。

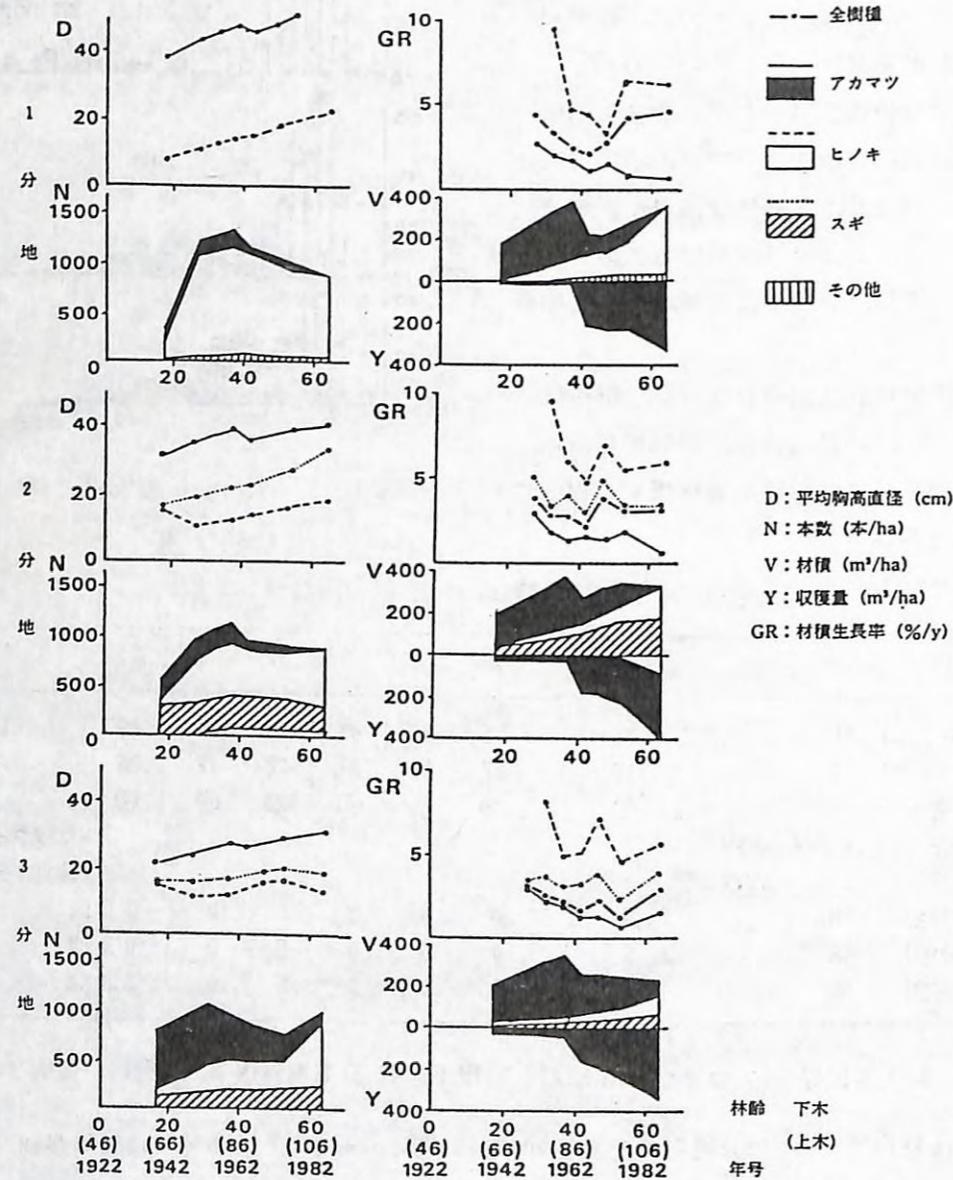


図2-11. 地獄谷試験地の林分構造の経年変化と成長率

第1分地は下木が64年生のときに材積が352.0m³/haあり、1940年から1986年までに370.3m³/ha収穫した。アカマツは181~49本/haと比較的少なく、ヒノキの本数は約500本/haでほぼ一定で、スギは約300本/haと少なかった。現在アカマツがすべて枯死したためヒノキの単純林となっており、ヒノキの胸高直径は22.1cmに達している。

第2分地は1986年に材積が339.5m³/haで、収穫量は403.4m³/haであった。アカマツは択伐や枯損によって229本/haから97本/haに減少し、スギは約300本/ha、ヒノキは約500本/haでほぼ一定であった。また、ヒノキに比べスギの直径成長が大きかった。

第3分地は材積、収穫量とも最も少なくそれぞれ227.4m³/ha、353.6m³/haであり、スギ、ヒノキとも直径成長が小さかった。アカマツが604~112本/haと多く、スギは約200本/ha、ヒノキは約250本/haでほぼ一定であった。それぞれの樹種の材積成長率はスギが6.0~2.3%、ヒノキが9.5~4.7%であり、高齢であるにもかかわらず著しく高い値を示し、特に1965年の択伐以後高い成長を維持した^{6,7)}。

イ. 予測モデルによる収穫予測

樹下植栽されたヒノキの成長については、野外試験で成長と相対照度の関係が論じられている¹⁾。また、人工庇陰実験での照度とヒノキの樹高成長の関係についても報告されている⁸⁾。河原⁹⁾は上木の伐採率(間伐率)と、林内の相対照度の伐採直後及びその後数年間の変化の関係から、複層林を仕立てるための林内照度の管理について検討している。また、安藤・竹内¹⁰⁾は、上木の伐採による相対照度の変化によって下木の樹高成長を推定し、また、下木の樹高・林分密度と材積・平均直径などの林分因子との関係に林分密度管理図の諸式が適用できると仮定して、両者を組み合わせて、スギ、ヒノキ二段林の成長予測方法を検討している。

二段林の下木の成長法則に関する理論は、いまだ確立したものをみないので、二段林に適用できる理論的な成長モデルを作成し、実用に耐えうる収穫予測を行うのは現状では困難だと思われる。そこでここでは、河原^{8,9)}に従い上木であるアカマツの伐採率から相対照度、下木の成長を予測し、安藤・竹内¹⁰⁾に従い林分密度管理図を援用して下木の成長を予測することにした。アカマツ-ヒノキ複層林において下木(ヒノキ)の成長を予測する計算プログラムを作成し、それを用いて、二段林である地獄谷試験地の1分地とほぼ同様な施業を行った場合の下木の成長をシミュレートし、試験地の実測値と比較検討した。

まず、アカマツ林に対し、材積でx(%)の上木伐採を行ったあとの相対照度RI(%)は式(1)で求められる。アカマツの林内は伐採前でも明るいことから、伐採前の林内相対照度を25%とした⁹⁾。また、50年生以上の林分では、伐採後の樹冠の再閉鎖による相対照度の変化は非常に小さいことから⁹⁾、伐採後の相対照度の低下はないと仮定した。皆伐地に植栽されたヒノキに対する樹下植栽されたヒノキの相対樹高(RH)、相対直径(RD)、相対材積(R

V)は、相対照度に対しそれぞれ式(2)~(4)のような関係をもつ。これらの式より相対照度別に、樹下植栽されたヒノキの成長割合を求めると、表 2-5のようになる。

表2-5. 林内相対照度と下木(ヒノキ)の樹高、地際直径、材積の成長割合

相対照度 (%)	樹高	直径	材積
5	.30	.19	.01
10	.47	.34	.05
15	.59	.45	.12
20	.67	.53	.19
25	.73	.60	.26
30	.78	.66	.34
35	.81	.71	.41
40	.84	.75	.47
45	.87	.79	.54
50	.89	.82	.60
55	.91	.85	.66
60	.92	.87	.70
65	.94	.89	.74
70	.95	.91	.79

$$RI = 0.0394 \cdot x^{1.667} + 25 \quad \dots\dots (1)$$

$$1/RH = \{(0.123/RI) + 1/114\} / 100 \quad \dots\dots (2)$$

$$1/RD = \{(0.219/RI) + 1/128\} / 100 \quad \dots\dots (3)$$

$$RV = RD^2 RH \quad \dots\dots (4)$$

ある時点 t_0 にヒノキが植栽されたとすると、皆伐地に植栽された場合の林齢 (t_1, t_2, \dots, t_n) に対する樹高が (h_1, h_2, \dots, h_n) のときの、各期間での下木の成長率 (RH_{1-2}, \dots) を式(2)から求める。すると、下木の樹高 (H_1, H_2, \dots, H_n) は式(5)のように求められる。

$$H_2 = H_1 + (h_2 - h_1) \times RH_{1-2} \quad \dots\dots (5)$$

(ただし、 $H_1 = h_1 \times RH_{0-1}$)

安藤・竹内¹⁰⁾より一部改変して引用

下木の施業を考えてヒノキの本数の変化を決め、樹高と本数から密度管理図の諸式を利用して管理図上の胸高直径 d_2, d_1 を求め、直径の相対成長率($RD_{0-1}, RD_{1-2}, \dots$)をかけ、下木の胸高直径 D_2, D_1 を求める (式(6))。

下木の間伐を行った場合は式(7)より間伐後の胸高直径 D_{2T} を求める。

$$D_2 = D_1 + (d_2 - d_1) \times RD_{1-2} \quad \dots\dots (6)$$

(ただし、 $D_1 = d_1 \times RD_{0-1}$)

$$D_{2T} = D_2 \times (d_{2T} / d_2) \quad \dots\dots (7)$$

材積についても材積の相対成長率($RV_{0-1}, RV_{1-2}, \dots$)より、直径と同様な手法で求める (式(8), (9))。

$$V_2 = V_1 + (v_2 - v_1) \times RV_{1-2} \quad \dots\dots (8)$$

(ただし、 $V_1 = v_1 \times RV_{0-1}$)

$$V_{2T} = V_2 \times (v_{2T} / v_2) \quad \dots\dots (9)$$

なお、安藤・竹内¹⁰⁾では、上木の伐採による下木の被害を見込んでいるが、ここでは計算プログラムに組み込まず、下木の被害による本数減少は、間伐による本数の減少に等しい

表2-6. アカマツ-ヒノキ二段林の施業モデルと下木の成長予測

下木 樹齢 (年)	モデルの仮定		モデルによる推定値				下木実測値				上木の林分構造					
	伐採率** (%)	本数	樹高 (m)	平均直径 (cm)	材積 (m ³)	相対照度 (%)	樹高 (m)	本数	平均直径 (cm)	材積 (m ³)	樹高 (m)	本数	伐採率** (%)	平均直径 (cm)	材積 (m ³)	林齢 (年)
0	50	1500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46
10		1500	3.2	4.0	3.1	51.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14		1500	5.0	7.2	13.3	51.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60
		1000	5.0	7.4	9.2	51.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17		1000	6.0	9.3	18.0	51.8	6.3	151	7.6	2.2	21.3	200		37.3	198.9	63
	8	1000	6.0	9.3	18.0	55.4	6.3	151	7.6	2.2	21.3	181	8.4	37.5	182.1	
27		1000	8.8	13.6	57.8	55.4	8.7	1009	10.9	44.2	22.2	181		42.5	239.2	73
		1000	8.8	13.6	57.8	55.4	8.7	1005	10.9	44.1	22.3	173	1.8	43.1	234.8	
32		1000	9.9	15.2	82.8	55.4	10.1	1046	12.5	69.7	22.6	173		45.1	259.0	78
37		1000	10.8	16.5	108.7	55.4	11.1	1076	13.4	88.5	22.8	173		47.0	281.3	83
		1000	10.8	16.5	108.7	55.4	11.1	1065	13.4	88.3	22.8	170	0.8	47.3	279.0	
42		1000	11.6	17.6	134.1	55.4	11.8	1065	14.7	109.7	22.9	170		48.7	297.7	88
	67	1000	11.6	17.6	134.1	89.6	11.8	1005	14.7	106.8	22.7	64	67.1	45.6	98.0	
47		1000	12.4	18.6	170.3	89.6	12.4	1005	16.6	122.7	22.8	64		-	105.8	93
	17	950	12.4	18.8	164.8	92.9	12.4	956	16.6	121.6	22.8	53	17.4	47.1	87.4	
53		950	13.2	19.7	193.2	92.9	13.4	956	19.0	178.4	22.8	53		49.0	91.8	99
		900	13.2	19.9	186.8	92.9	13.4	884	19.0	166.3	22.8	49	3.0	50.3	88.9	
57		900	13.6	20.4	203.3	92.9	-	884	-	-	-	49		-	94.8	99
	100	850	13.6	20.6	196.2	100.0	-	873	-	-	-	0	100.0	-	0.0	
64		850	14.3	21.4	221.4	100.0	16.1	895	21.5	323.5	-	-	-	-	-	110
		850	14.3	21.4	221.4	100.0	16.5	850	22.1	320.8	-	-	-	-	-	

注) *: 下段は上木ないし下木の伐採後の値 ** : 材積伐採率

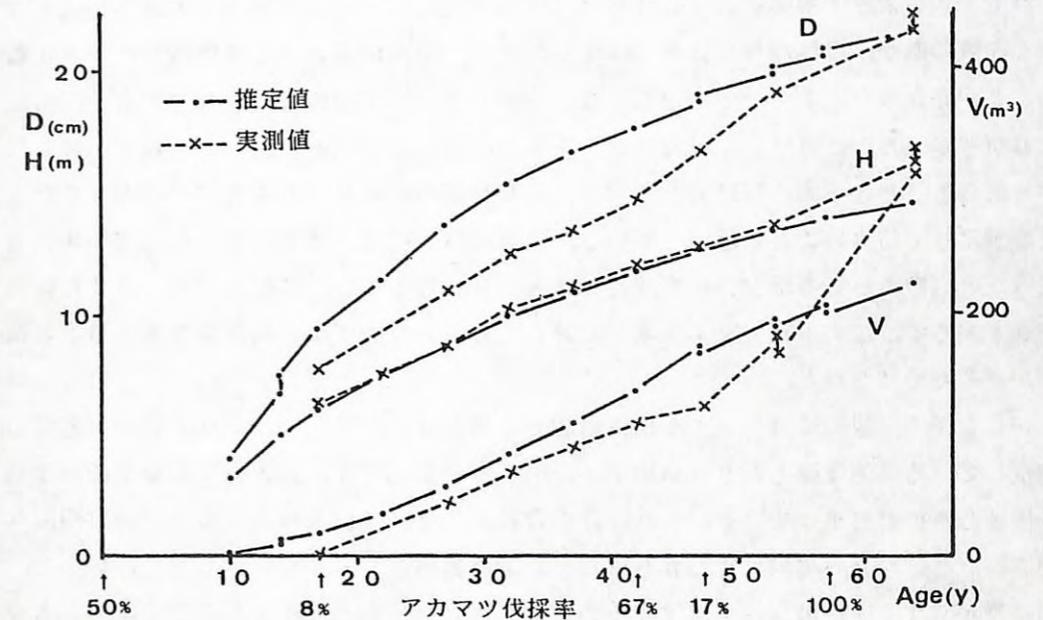


図2-12. モデルによる下木(ヒノキ)の成長

として処理することにした。

以上のモデルによって、下木がほぼヒノキだけである地獄谷試験地1分地とほぼ同じ施業を行った場合の下木の成長を推定した。下木植栽時のアカマツの材積伐採率は50%、ヒノキの植栽本数は1500本/haと仮定した。その後は試験地の施業にあわせ、表2-6に示したように、下木が17年生、42年生、47年生、及び57年生の時に上木が伐採され、57年生の時には上木がすべて除かれるとした。また、下木は14年生のときに除伐され立木本数は1000本/haに減少し、以後42年生まで本数の変化はなく、その後徐々に本数が減少するとした。皆伐地に植栽されたヒノキの樹高成長は、周囲のヒノキ一斉林の樹高から、中国地方ヒノキ林分収穫表の3等地に相当するとした(表2-6)。ここで収穫表にない林齢の樹高は、ミッチャーリッヒ式によってあてはめて求めた。

図2-12及び表2-6に、以上の条件での下木の成長の推定値を、試験地での実測値とあわせて示す。モデルによる樹高の推定値は、上木が残存している間は実測値とよく一致したが、上木がなくなったあとでは試験地のヒノキの樹高が急激に大きくなったため、過小に推定された。直径は下木が17~47年生にかけて推定値のほうが大きかったが、上木が53年生以降は実測値と差が小さくなり、64年生では実測値よりやや小さく推定された。材積は樹高と直径の差が相乗されたため、実測値と推定値の差が大きく、47年生までは過大に推定され、上木がなくなった64年生では実測値の約70%にすぎず、かなり過小に推定された。

(3) 考察・問題点

予測モデルによる下木のヒノキの成長は、樹高成長については試験地での測定結果と大変よく一致したが、直径成長ではあてはまりが悪く、樹高成長よりも直径成長の予測が難しいことが分かった。また、上木がなくなったあとでの下木の成長がかなり大きく、あてはまりが悪かった。これは、この方法が一斉林の樹高成長に照度によって1以下の値の成長率を乗じることを予測の基礎としており、同じ林齢の一斉林より樹高成長が大きくなることを想定していないことに起因している。現実の林分では、植栽木がいわば何十年か若返ったとも考えられるほどの樹高成長の増大が見られるのに、このモデルではそれに対応できておらず、この手法で上木をすべて除去したあとでの下木の成長を予測することは問題があると感じられた。

しかしながら、現実にはヒノキを樹下植栽した林分は少なく、下木の成長経過を継続して測定している事例はほとんどないので、この報告でもモデルの良否を1試験地の測定結果で検証したにとどまっている。また、この資料も、ヒノキ植栽時のアカマツの材積間伐率が不明なことなど、実際に行われた施業の経過を厳密にシミュレートしていないので、この結果からすぐ手法の良否を断定することはできないであろう。またここでは、アカマツの皆伐跡地に植栽したヒノキの樹高成長を収穫表の3等地に従うと仮定したが、本来は

複層林造成前のアカマツの樹高から、ヒノキを植栽したときの地位指数を推定すべきである。

従って、予測モデルをより精度が高く、良好な予測が可能なものにするには、下木-上木の成長に関する継続的な測定資料を多く蓄積して手法を改良する必要がある。特に、上木を完全に除去したあとの成長を予測する方法の確立が望まれる。また、アカマツの樹高から、ヒノキの地位指数を推定する手法の開発も必要である。

この収穫予測モデルにはまだ問題点が多くあるが、下木の成長についておよその検討をつけるには十分だと思われるので、いろいろな強度の間伐を行ったアカマツ-ヒノキ複層林の収穫量のおおよその基準を与えたり、また、上木の本数調整など施業の基準を提供するのに有効に活用することができると思われる。

引用文献

- (1) 日林協編：複層林の施業技術，日林協，東京，89~107(1982)
- (2) 河原輝彦・山本久仁雄：ヒノキ・アカマツ混交林に関する研究(Ⅲ)，混交林の材積について，日林誌，68(8)，327~332(1986)
- (3) 上野賢爾・長谷川敬一：地獄谷アカマツ，ヒノキ，スギ択伐用材林作業収穫試験地，林試関西支場年報，17，39~47(1976)
- (4) 上野賢爾・山崎安久：地獄谷アカマツ天然林択伐用材林作業収穫試験地調査報告，林試関西支場年報，6，31~35(1966)
- (5) 大金永治ほか：日本の択伐，日本林業調査会，東京，370pp.(1981)
- (6) 家原敏郎：収穫試験地の生長経過と林分構造の推移(Ⅰ)，林試関西支場年報，28，45~48(1987)
- (7) 家原敏郎：アカマツ-スギ・ヒノキ複層林の成長について，一地獄谷固定試験地の成長の概要一，第99回日林論，127~128(1988)
- (8) 河原輝彦：人工庇陰下の植栽木と樹下植栽木の成長比較，林試研報，323，133~134(1983)
- (9) 河原輝彦：複層林を仕立てるための林内照度管理，林業技術，584，17~20(1990)
- (10) 安藤 貴・竹内郁雄：スギ，ヒノキ二段林の密度管理指針の作成と成長予測方法の検討，森林計画研究会報，331，1~11(1990)

(関西支所経営研究室 家原 敏郎)

4) 二段林の施業事例における成長・収穫の解析
 ～上木の配置による下木の生育空間及び成長～

(1) 背景・目的

東北地方における二段林施業の林分は、「上木スギー下木スギ」の樹種の組み合わせが多く、ほかの樹種の組み合わせの過半数を占める。その林齢構成は、上木が30年生以上、下木が10年生以下の林分が大部分である。従って、その林分形態は二段林を造成した直後の林分で、複層林の成長特性を把握分析できる状況にはない。

そこで、東北地方、特に秋田地方の国有林において、先駆的に行ってきた既往のスギ二段林施業林分を対象に、林分の施業実態の特徴を明らかにすると同時に、成長解析を行う中から、複層林の収穫予測に結びつく手法の端緒を見い出そうとするものである。

(2) 分析方法

ア. 複層林(二段林)試験地として継時的に調査を行い、林分成績の把握を行ってきた2林分の事例を基に、林齢の推移に伴う成長・収穫などの解析を行う。

対象林分は、つぎの2林分である。

事例1: 相内沢スギ人工林収穫試験地(秋田局十和田署12・は)

事例2: 務沢スギ天然林施業試験地(秋田局秋田署18・ぬ)

イ. 前項の林分実態を基に、複層林の成長法則の特性について解析を行う。

ここでの解析の視点は、上木の配置によって異なる生育空間を与えられたときに、下木はどのような成長経過をたどるかを把握することにある。

このため、二段林施業を行ってきた林分を対象に、上木の環境条件を表す尺度を設定する。この一つは、上木の樹木配置を基に、相隣接する上木で囲まれる面積を「孔状生育空間A」とする場合²⁾と、二つには、「孔状生育空間A」とその空間に関与する4本以上の上木の材積合計を局所材積Vとし、前者の孔状生育空間Aを後者の局所材積Vで除した値を求め、これを「局所材積密度D₀」とする場合²⁾の二つの尺度を用いて、下木の成長との関係を明らかにする(図2-13)。

これらの尺度を用いた解析には、局所的生育空間の大きさにおける下木の成長、局所生育空間と相対照度の関係、相対照度と下木の成長などについて検討を行う。

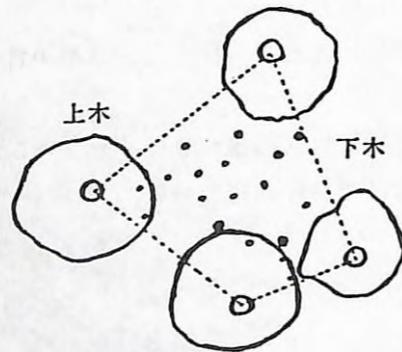


図2-13. 孔状生育空間の決め方

(3) 結果と考察

ア. 二段林施業事例による成長収穫の実態

① 相内沢スギ人工林試験地の事例

1) 試験地の取り扱い経過と概況

当該試験地は、秋田営林局十和田営林署12林班は小班にあって、林分状況は試験地面積0.20ha、南斜面、平均傾斜7℃、土壌型B₆型の林分である。

1935年の林齢31年生のときに人工林収穫試験地として設定された。1956年、上木の林齢が51年生のときに、林床面にスギ伏条性更新稚幼樹が多数認められたため、これまでのB種間伐を主とする施業から、この稚幼樹を育成するための施業、すなわち、「上木スギー下木スギ」の二段林施業に転換を図った。以来、1986年の林齢81年生までの30年間、二段林施業を継続してきた。さらに、1958年には間伐前の材積360m³/haから間伐木130m³/ha(間伐率36%)の強度の上層間伐を行い、1987年には施業後2回目の上層間伐による強度の間伐を行った。

2) 上木の林分構造と成長の推移

本試験地上木の林分推移を秋田地方スギ林分密度管理図に描くと、図2-14のとおりになる。上層間伐の終わったあとの収量比数R_yは、0.33~0.35の範囲になる²⁾。

また、林齢51年生の間伐後と林齢81年生について、樹高階ごとの本数分配率による上木と下木の垂直的構造を表すと、図2-15にみられる分布の変化になる。最近、林齢81年生における下木の樹高の上限は、上木樹冠の枝下高と重なる状態までになっていて複層林らしい林分状態になっている。

3) 下木の更新と成長の推移

上木の林齢51→63→81年までの3回の調査による稚幼樹の本数の推移をみると、ha当たり本数4,024→3,903→3,766本になり、過去

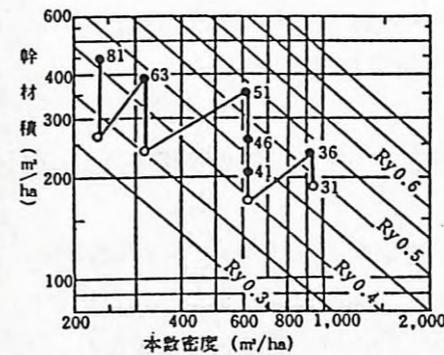


図2-14. 相内沢試験地上木の施業経過

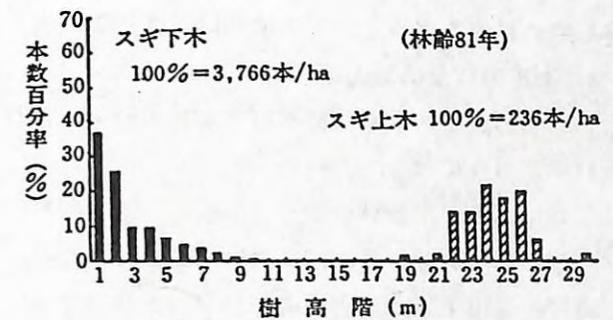
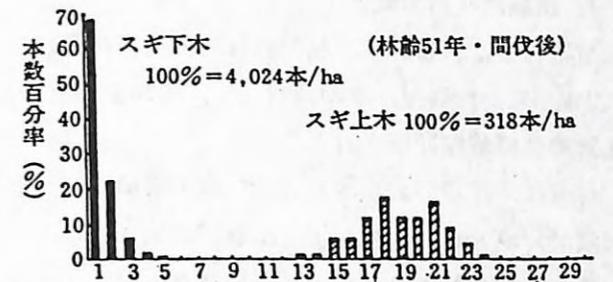


図2-15. 樹高階別本数による分布の推移

30年間で6.4%の本数減少になる。この値は、意外に小さい。この原因は、高さ 10~20cm ほどの稚樹でも伏条性のため、なかなか枯死に至らないからである。

また、下木の本数を樹高階別本数占有率で整理し、林齢による樹高階ごとの本数の推移と樹高成長の経年変化をみると、図2-16のとおりになる。

この結果から見ると、林分中に生育するスギ下木の稚樹本数は、例えば、林齢51年では総本数4,024本/haになるが、この樹高階の範囲は最高 5mの範囲に分布している。この下木の樹高階に対する本数分布の状態は、①式の回帰式で表されL字型の分布になる。そして本数占有率は、樹高階 1mで約65%、5mでは0.8%である。

同様に、30年を経過した林齢81年生での最大樹高は 11mであり、このときの本数占有率は 0.4%である。

これらの林齢の推移による関係式を表すと、つぎの 3式になる。

$$\text{林齢51年: } N_{51} (\%) = 217.4273 \cdot e^{-0.5058} \dots\dots\dots \text{①}$$

$$\text{林齢63年: } N_{63} (\%) = 92.8208 \cdot e^{-0.2973} \dots\dots\dots \text{②}$$

$$\text{林齢81年: } N_{81} (\%) = 52.1074 \cdot e^{-0.1834} \dots\dots\dots \text{③}$$

ここに、 N_i : 本数率 (%), e : 自然対数

② 務沢スギ天然林施業試験地の事例

1) 試験地経過の概要

当該林分は、1928年、秋田営林局秋田営林署18林班ぬ小班に設定され、その林況は面積 1.0ha、東向き斜面、平均傾斜 5°、土壌型Bd型である。スギ天然生林（推定 250年前後）を対象に試験が開始された。

林分は、設定前成立本数191本/ha、材積908m³/haの天然林に択伐を行い、本数46本/ha、材積331m³となった林分で、試験が開始された。

この状態の林床にスギの下木植栽を行い、「上木スギ天然林-下木スギ人工林」の二段林形態に誘導を図った。下木植栽は、スギをha当たり1,500本植栽した¹⁾。

2) 上木の林分構造の推移

1928年の設定時から1987年現在までの59年間にわたる上木の平均形態の推移を表すと図2-17のとおりになる。

これによると、各林分因子の成長は、平均胸高直径が設定時の80cmから59年間に115cmになり、この間の連年平均成長量は約0.58cmになる。また、平均樹高は36mから39mになり、同様に、材積では、設定時の331m³/haが697m³/haになり、設定時の約2倍の蓄積になった。この間の連年平均成長量は、約6.1m³/haである。

また、上木の樹冠面積の拡張状態の推移をみると、設定時0.18haの樹冠面積は、設定後22年目で0.22ha、59年目では0.41haに拡張している。

3) 下木の林分構造の推移

スギ下木について、設定時から林齢59年生までの成長経過をみると、図2-18のとおりになる。

林齢59年生の林分成績に限ると、平均直径は、24.8cmになる。これを秋田地方スギ林分収穫表2等地と比較すると、収穫表の値は33cmであり、当該下木は約 8cm小さい。平均樹高は14m、これに対して収穫表は23.6mで、約10mの差になる。また、材積は239m³/ha、この連年成長量は 5m³/haである。

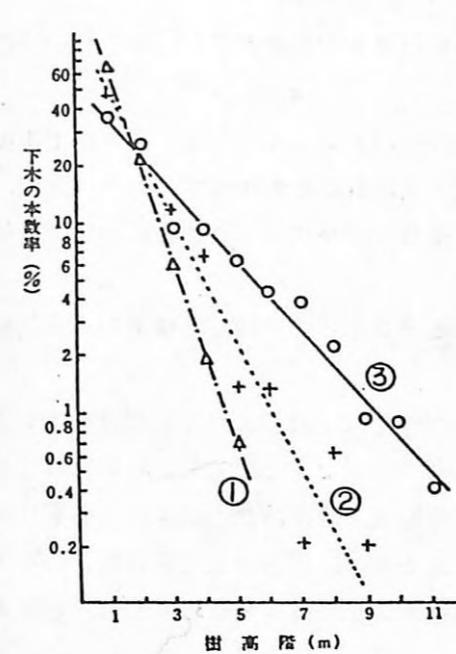


図2-16. スギ下木の樹高階別本数の推移

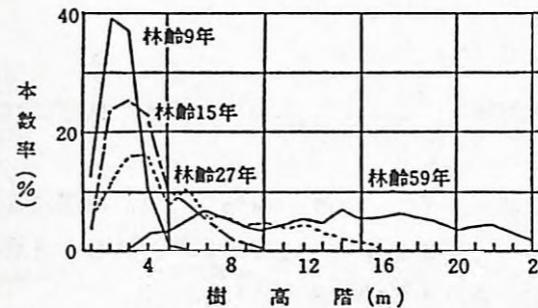


図2-19. 下木の樹高階別本数分布曲線の推移

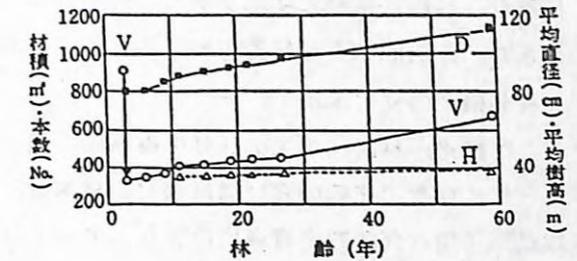


図2-17. 上木の成長の推移

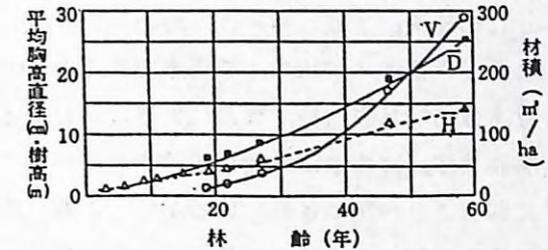


図2-18. 下木の成長の推移

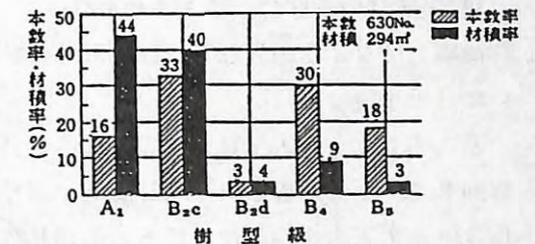


図2-20. 寺崎式樹径級区別による本数・材積占有率

一方、林齢59年生のときの林分総材積は、上木の697m³/haに下木の293m³/haを加えた990m³/haになり、この連年成長量は11.2m³/haになる。これを収穫表2等地の連年成長量12.3m³/haと比較すると、ほぼ同等の値になる。

さらに、下木の材積成長の推移では、59年間のうち前半の30年間は50m³/ha、後半の約30年間で240m³/haの材積生産になり、後半の材積増加の著しいことが分かる。

さらに、下木の成立本数の推移をみると、設定時の1,500本/haは、植栽後9年目までに急激な減少を示し、残存率約60%であった。これ以降は徐々に一定の割合で減少する傾向に変わり、林齢59年時では成立本数630本/ha、残存率42%である。

また、この間の主な林齢における下木の樹高階別本数分布曲線を表すと、図2-19のような林分構造の変化を示す。

この結果、林齢59年生の林分の樹高階の範囲は、3~28mに及んでいる。これは上木の樹冠下や局所の庇蔭の強い箇所などの林木は、枯死・先折れなどの被害木になり、反面、成長が可能な局所的生育環境に置かれている林木は優勢な成長になるため、このような幅広い分布型を形成する原因になっている。

この林齢59年生時の下木について、寺崎式樹型級区分を用いて分類した結果を、本数率・材積率によって表すと、図2-20のようになる。

この結果、本数占有率は、B_{2c} = 33%、B₄ = 30%となり、この2タイプで大部分を占める。これを不良木・被圧木・被害木であるB_{2d}・B₄・B₅の3タイプにまとめると、この三者で成立本数の52%を占め、異常に大きな値になる。この原因は、設定時から59年間、除間伐を実施せず、被害木が林地に蓄積されていたことが一因である。複層林は冠雪害などの被害に弱いことが指摘されているが⁶⁾、これと同様の被害傾向が当該林分にもみられ、冠雪害による梢頭部の折損木が多く認められる。

また、樹型級区分を基に、各樹型級の材積占有率をみると、A₁ = 44%、B_{2c} = 40%になり、この両者で下木の材積の大部分を占める。

イ. 局所生育空間における下木の成長について

1) 局所材積密度による下木の成長

前項ではタイプの異なる二段林形態の林分を対象に、上木と下木の林分状態の推移について分析を行った。

ところで、一斉人工林から二段林への誘導を想定すると、上木の樹高や林冠の構成はほぼ同じで、樹木配置もほぼ均等配置に調整されて、林床面に均一の陽光量が射込む生育環境を与えて下木を均質に育成するのが林分の取り扱いの条件と考えられる。

こうした林分施業の条件が得られるならば、複層林、特に二段林の収穫予測を単相林に準じた形で可能にする基本的条件が成立すると思われる。

しかし、林分内を上木・下木を含めて均一な生育環境に調整する育林技術は極めて難し

い。先駆的な二段林への誘導を目的とした前掲の林分においても、上木の配置の不均一性のために、現実の下木の成長は局所的な成長差となって明確に現れており、均質な下木の成長管理を期待することの難しさを示している。

従って、ここでは、そうした上木の配置の不均一性が、下木の成長に与える影響について、林分内の上木の局所的密度の違いを基にした成長状態を把握することとした。

その上木の局所的密度の考え方は、すでに前掲、図2-13に表した。

① ここでは相内沢人工林試験地を対象に、局所材積密度D₀を用いたときの下木の成長との関連性について検討した(図2-21)。

相内沢試験地上木の樹木配置の状態を基に、4本以上の立木を結んで囲われる局所的な生育空間(=孔状生育空間面積)で林内を分割すると、最低10m²から最大370m²の範囲の生育空間に分けられる。この生育空間ごとの局所材積密度D₀を求めると、1.5~18.0の範囲の値が得られる。この数値は、小さい値ほど上木の局所的密度が大きく、庇蔭の影響の大きい局所環境であることを表している。

相内沢試験地での局所材積密度D₀に対して、そこでの孔状生育空間から最大胸高直径・最大樹高をもつ下木を抽出し、両者をプロットすると両対数式の関係で表され、④⑤式が得られる(図2-22)。

$$H_{max} = 1.40239 \cdot D_0^{0.7623} \quad (r=0.870) \dots\dots\dots ④$$

$$D_{max} = 0.84257 \cdot D_0^{1.1346} \quad (r=0.891) \dots\dots\dots ⑤$$

これによると、下木の成長は、局所材積密度の値の大きい、すなわち、孔状生育空間の大きい生育環境の林木が良好な成長を示している。この関係式は林内の局所材積密度を把握することによって、どの値のとき、どのような下木の成長が期待されるかを、おおよそ予測することが可能になることを示している。

② つぎに、上木が天然林である務沢試験地を対象にして、局所面積Aと局所材積Vの2因子からなる局所材積密度D₀を簡略化して、局所面積としての孔状生育空間面積Aのみを用い、この尺度による下木の成長との関係について検討を行った。

まず、当該試験地上木で構成される孔状生育空間の箇所を抽出すると、局所面積の最小は126m²から最大1,095m²までの範囲にわたり、21箇所の生育空間面積に分けられる³⁾。

これを基に、その孔状生育空間内に成立する下木の平均直径・平均樹高・材積(ha換算)を求め、孔状生育空間面積Aとの対比でこの関係をプロットした(図2-23)。

この結果、当然のことながら、広い生育空間が与えられた環境下での下木の成長は良好である。この関係式を表すと、つぎの⑥⑦⑧式になる。

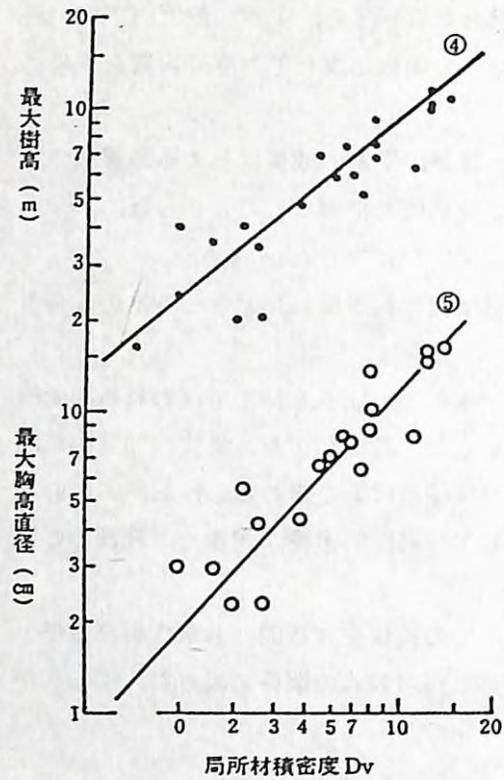


図2-21. 上木の局所材積密度と下木の最大木の成長

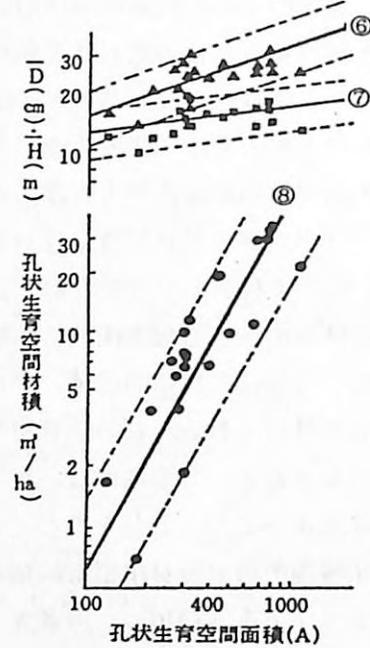


図2-22. 孔状生育空間面積と下木の各因子との関係 (林齢59年生)

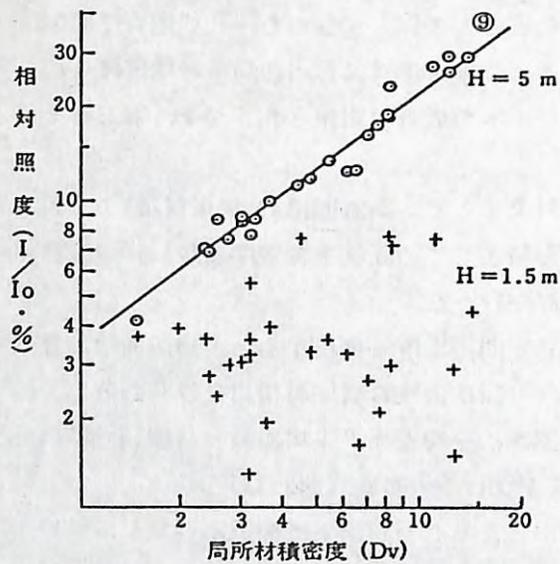


図2-23. 局所材積密度と相対照度との関係

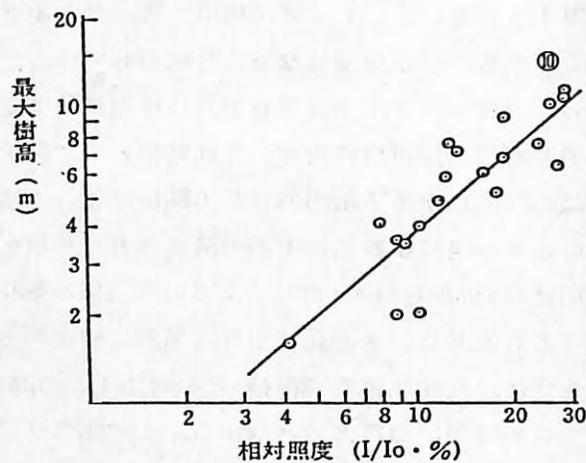


図2-24. 相対照度と最大樹高の関係

$$\log D = 0.4398 + 0.3646 \cdot \log A \dots\dots\dots ⑥$$

$$\log H = 0.8183 + 0.1356 \cdot \log A \dots\dots\dots ⑦$$

$$\log V = -4.0808 + 1.9256 \cdot \log A \dots\dots\dots ⑧$$

ここに、D：平均胸高直径、H：平均樹高、V：材積、A：孔状生育空間面積である。

2) 局所材積密度と相対照度との関係

前項では、上木の配置から得られる局所材積密度ないしは孔状生育空間面積を基にした生育環境条件を表す尺度が、下木の成長を左右していることが明確になった。

こうした尺度と、複層林の生育環境などの目安を表すときの尺度である相対照度との間には、相互に関係があるものと思われ、また、それが提案した尺度のどの値に対応するか、その関連性について明らかにする必要がある。

ここでは、相内沢試験地において、前項の局所材積密度 D_0 の値を得た箇所を対象に、そこでの相対照度を測定した。測定点は、地上高1.5mと下層木のほぼ梢端と見なされる5mの高さの2点にした。また、一つの生育空間で5点の相対照度を測定し、これを平均して局所の相対照度の値にした。

この局所材積密度 D_0 に対応する相対照度 I/I_0 (%)との関係を表すと、図2-24のとおりになる。

これによると、下木の梢端である地上高5mでは、局所材積密度と相対照度との間には高い相関が認められる。この関係式を両対数式で表すと⑨式になる。

$$I/I_0(\%) = 3.5511 \cdot DV^{0.79827} \quad (r = 0.961) \dots\dots\dots ⑨$$

ここに、 I/I_0 (%)：相対照度、DV：局所材積密度

一方、この地上高1.5mでの高さの林内の相対照度の測定は、複層林造成の初期段階で相対照度の測定を必要とするとき、一般的に行われている高さである⁵⁾。ここでの地上高1.5mの局所生育空間における相対照度は、1.4~8.0%になる。この高さは、林内の上木と下木の樹冠の双方の下になるため、局所材積密度との間には何の関係も見出し得ない。

また、庇蔭下のスギの生存限界の相対照度は、2~3%とされるが¹⁾、この値と比較すると林内の局所の一部は生存限界の生育環境におかれていることを示している。さらに、1.5mの高さの相対照度で下木の成長への目安を得て調整を図ろうとするのは、下木が1.5mに達するまでの複層林造成の初期的段階に限定されよう。その理由は、下木の樹高が3~4m以上になると、梢端での相対照度の測定は極めて困難な作業を伴うからにほかならず、また、生育環境の多様性を考慮すると、相対照度による技術指針を与えることには非常に難しい側面があるものと推察されるからである。

3) 相対照度と下木の成長の関係

ここでは、局所の相対照度の値を用いて、下木の成長との関連性について検討を行った。

相内沢試験地における局所環境の相対照度と、そこでの下木の最大樹高を有する林木とを対比させると、その関係は図2-25のとおりである。

この結果、両者の関係は両対数式の⑩式で表される。

$$H_{max} = 0.4390 \cdot (I/I_0 \cdot 100)^{0.931} \quad (r=0.870) \dots\dots⑩$$

同様に、務沢試験地の林齢59年生の下木を対象に、局所の孔状生育空間面積の中に成立する林木の材積V (ha換算)と、その箇所での相対照度(I/I₀)との関係をプロットすると、両者は両対数式の⑪式で表される(図2-25)。

$$\log V = 0.0939 + 1.7862 \cdot \log(I/I_0 \cdot 100) \dots\dots⑪$$

この結果、孔状生育空間の面積が大きければ、相対照度の値も大きくなり、局所に成立する下木の材積も多い。

なお、務沢試験地の場合の相対照度の測定は、下木の樹冠の下に位置する地上高1.5 mである。この場合、局所の相対照度は相内沢試験地とは異なり、孔状生育空間の有効な尺度としての使用が可能になっている。

この原因を推測すると、上木の樹冠が相隣接しており、その樹冠で囲まれる孔状の生育空間を下木の樹冠が覆う状態にあり、上木と下木の樹冠長・樹冠幅などの構成には差があるものの、樹冠層は一層をなしている。従って、こうした林相での林内照度は比較的安定した値として林床面で捉えることができるからと思われる。

このように相対照度と下木の成長には関係が認められるものの、それがどの状態の林相であれば有効な相対照度の値として成長分析の情報に組み込めるかが不明である。それだけ尺度としての相対照度は、不安定なものといえよう。

(4) 残された問題点

複層林の形態として、「上木スギ人工林+下木スギ伏状更新」、「上木スギ天然林+下木スギ人工林」のタイプの異なる二段林を対象に、林分構造の推移と二段林の成長解析を行い、上木と下木の関係から成長予測に結び付く二・三の分析を試みた。

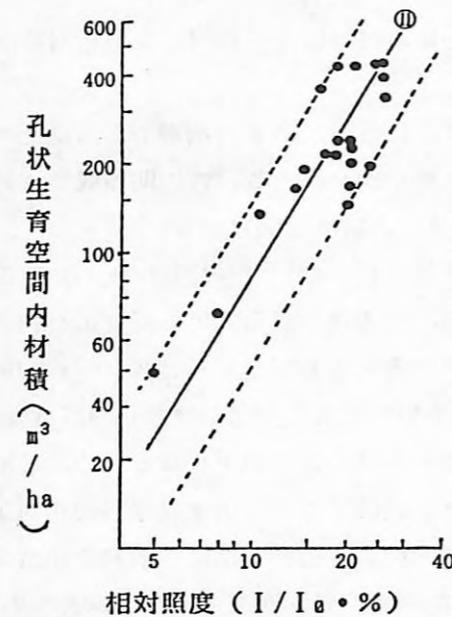


図2-25. 相対照度と材積との関係(林齢59年生)

この結果、上木の樹高、本数密度、材積、樹冠拡張の程度、樹木配置の関係から生じる孔状の生育空間の大小など、下木の成長に与える因子の多いことが分かる。

このようなあい関連する諸因子をみると、上木の樹幹の大きさ、クローネの拡張に応じた本数密度の調整、枝打ちによるクローネ長の調節、配置関係の均一性などが、二段林施業などの取り扱いに必要な情報であり、かつ、投入されなければならない技術である。しかし、この取り扱い技術と、それに伴う成長予測は困難を極めるものになりそうである。

複層林の取り扱いは、下木の生育よりも、価値のある上木の管理を重視するべきであるとの見地⁵⁾に立てば、下木の成長予測は必要不可欠のものであっても、必ずしも性急に解決しなければならない性格のものではないと思われる。

従って、今後とも、複層林の成長予測を必要とするならば、上木重視の見地に立った成長予測法の構築を行う必要があるように思われる。

引用文献

- (1) 小坂淳一・金 豊太郎：スギの複層林誘導試験と成績，東北支場年報 17, 95~103 (1976)
- (2) 金 豊太郎・小坂淳一：スギ複層林施業試験の成長と収穫(Ⅰ) - 相内沢人工林試験地の事例 -，日林東北支誌 39, 143~145(1987)
- (3) 金 豊太郎・小坂淳一：スギ複層林における成長と収穫(Ⅱ) - 務沢スギ天然林施業試験地の事例 -，日林東北支誌 40, 157~159(1988)
- (4) 日本林業技術協会：複層林の施業技術 52~55, 84~86(1982)
- (5) 早稲田 収：複層林の仕立て方，林業改良普及双書77, 77~80(1981)
- (6) 藤森 隆郎：複層林施業の体系的な位置づけ(その2) - スギ，ヒノキの場合 -，林業技術, 557, 20, 1988

(東北支所広葉樹管理研究室〔現 企画調整部〕 金 豊太郎)

5) ミッチャーリッヒ式によるスギ・ヒノキ複層林の成長予測

(1) はじめに

高知営林局管内では、昭和48年度技術開発課題「林内人工更新法」以来、試験地を設定しながら、成長量・照度などの調査を継続している。主として、上木スギ・ヒノキ、下木スギまたはヒノキの試験地であり、これまで約10年間の資料が蓄積されてきている。これらの資料をもとに、ミッチャーリッヒ式を基礎にして下木の樹高成長、直径成長の予測を行った。その際、上木の本数密度をパラメータとして含むモデルと陽関数的には含まないモデルとを仮定した。

本研究の実施にあたり、貴重な測定資料を提供していただいた高知営林局・技術開発室の各位に厚く御礼申し上げる。

(2) 過去10年間の下木の成長

下木がスギまたはヒノキである試験地の概要とこれまでの施業内容を表 2-7、及び 2-8 に示す。また、スギ試験地とヒノキ試験地とにおける下木と対照区（皆伐区）の平均値を表 2-9、2-10 及び図 2-26 に示す。

下木の樹高成長は、スギで対照区に比べ約 2年（伸長高78%）遅れており、ヒノキにおいても約 1年半（同84%）遅れている¹⁾。根元直径については、樹高に比べ対照区との差が大きくスギで 3年半（64%）、ヒノキで 3年（61%）程度の遅れがでている¹⁾。

表 2-7. スギ・ヒノキ試験地の概要

試験地名	設定年度	林班	面積 (ha)	上木伐採前・更新伐後の林況		(ha当たり本数)	伐採前	伐採後
				植栽・伐採年度	樹種			
奈半利	S 4 8	29	1.89	T 1 4	S 4 8	スギ・ヒノキ	708	330
松山	〃	65	5.11	M 3 2	S 4 6	スギ	不明	538
宇和島	S 5 0	38, 39	6.79	M 3 8 ~ T 4	S 5 0	スギ・ヒノキ	860	400-600
窪川	〃	36	2.61	M 4 0	〃	ヒノキ	427	248
宿毛	〃	73	0.92	M 4 2	〃	ヒノキ	949	508
奈半利 2号	〃	29	1.86	T 1 4	〃	スギ・ヒノキ	732	320

(平成元年度技術開発課題完了報告書¹⁾ から抜粋)

表 2-8. スギ・ヒノキ試験地の施業内容

試験地名	下木の更新		植付本数/ha	受光伐
	更新年月	更新樹種		
奈半利	S 49.03	スギ・ヒノキ	3100	61年度
松山	S 48.04	スギ	3000	53年度 (強度区を除く) 58年度
宇和島	S 52.03	スギ・ヒノキ	1500-2500	53年度, 61年度
窪川	S 51.03	ヒノキ	1533	57年度 (30%区), 62年度 (50%区)
宿毛	S 51.11	ヒノキ	1535-1633	59年度
奈半利 2号	S 51.03	スギ・ヒノキ	2300-2500	61年度

(平成元年度技術開発課題完了報告書¹⁾ から抜粋)

表 2-9. スギ下層木の生育状況

成長年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
複層平均	樹高 (m)	0.42	0.55	0.76	1.02	1.32	1.65	2.02	2.30	2.83	3.27
	根元直径 (cm)	0.84	0.99	1.30	1.84	2.57	3.29	4.45	5.35	5.83	6.52
対照平均	樹高 (m)	0.43	0.65	1.10	1.49	2.02	2.51	2.96	3.25	3.67	4.18
	根元直径 (cm)	0.72	1.00	1.92	3.31	4.70	6.02	7.88	8.17	9.50	10.1

(平成元年度技術開発課題完了報告書¹⁾ から抜粋)

表 2-10. ヒノキ下層木の生育状況

成長年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
複層平均	樹高 (m)	0.54	0.64	0.83	1.02	1.30	1.56	1.82	2.09	2.49	3.08
	根元直径 (cm)	0.70	0.78	1.05	1.53	1.86	2.34	2.98	3.67	3.94	4.91
対照平均	樹高 (m)	0.49	0.63	0.93	1.18	1.51	1.87	2.36	2.84	3.20	3.70
	根元直径 (cm)	0.67	0.88	1.30	1.92	2.65	3.57	4.48	6.02	6.62	8.05

(平成元年度技術開発課題完了報告書¹⁾ から抜粋)

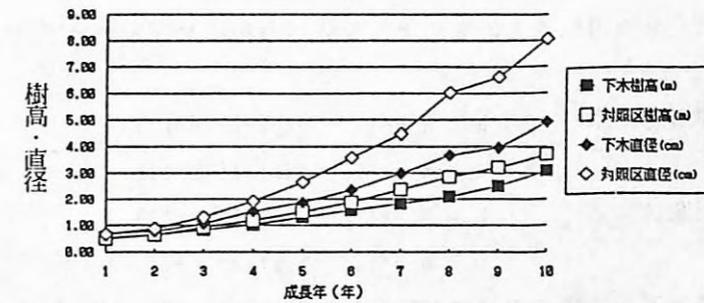
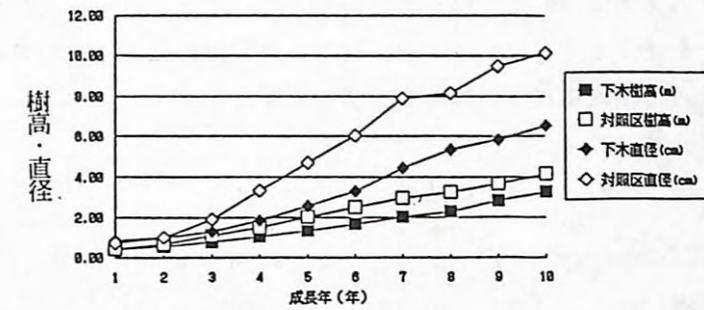


図 2-26. スギ (上)・ヒノキ (下) 下木の成長資料

(3) 成長予測モデルの作成と成長シミュレーション

前述の過去10年間の資料だけでは、長期にわたる下木の成長予測は困難であるので、まず収穫表資料によって四国地方における平均的な成長を把握することにした。土佐地方スギ林²⁾・ヒノキ林³⁾地位中の平均樹高、平均直径の資料にミッチャーリッヒの成長式、

$$h = M_h * (1 - \exp(-k_h * t))$$

$$d = M_d * (1 - \exp(-k_d * t))$$

をデミングの最小2乗法によってあてはめた(表 2-11)。h, dは平均樹高、平均直径、tは林齢、パラメータMは成長の上限値、kは成長速度に関するパラメータである。

表 2-11. 収穫表値へのあてはめ結果

	平均樹高		平均直径	
	M _h	k _h	M _d	k _d
スギ	28.62	0.025	79.56	0.010
ヒノキ	23.88	0.019	73.13	0.008

成長の上限値は複層林でも対照区(皆伐区)でも等しいと仮定し、成長速度のパラメータkを前述の資料の最終測定値(ほとんどの場合10年目の値)を初期値として求めた。これは10年程度で林分としても安定したと思えるためである。また、そのときの根元直径の測定値を胸高直径値と仮定することにした。その結果を表2-12に示す。添え字のf, cは複層林と対照区, h, dは平均樹高、平均胸高直径を表す。

表 2-12. 試験地の成長パラメータk

	平均樹高		平均直径	
	k ^f _h	k ^c _h	k ^f _d	k ^c _d
スギ	0.012	0.016	0.009	0.014
ヒノキ	0.014	0.017	0.007	0.012

これらのパラメータM, kを用いると以下のような成長方程式が仮定できる。

- ・ 複層林下木 $h = M_h * (1 - \exp(-k^f_h * t))$
 $d = M_d * (1 - \exp(-k^f_d * t))$
- ・ 対照区 $h = M_h * (1 - \exp(-k^c_h * t))$
 $d = M_d * (1 - \exp(-k^c_d * t))$

このモデルによる成長予測の結果を表2-13と図2-27に示す。この成長式には明らかな形では密度に関するパラメータが含まれていない。下木の成長を対照区と比較すると、スギの場合、樹高で50年で82%、100年で88%、胸高直径で72%、79%、ヒノキで樹高88%、92%、胸高直径66%、72%の成長であった。

表 2-13. 複層林の成長予測

林齢		10	20	30	40	50	100
スギ	下木樹高	3.2	6.1	8.7	10.9	12.9	20.0
	対照区樹高	4.2	7.8	10.9	13.5	15.8	22.8
	下木直径	6.8	13.1	18.8	24.1	28.8	47.2
	対照区直径	10.4	19.4	27.3	34.1	40.1	59.9
ヒノキ	下木樹高	3.1	5.8	8.2	10.2	12.0	18.0
	対照区樹高	3.7	6.9	9.5	11.8	13.7	19.5
	下木直径	4.9	9.6	13.9	17.9	21.6	36.8
	対照区直径	8.3	15.6	22.1	27.9	33.0	51.1

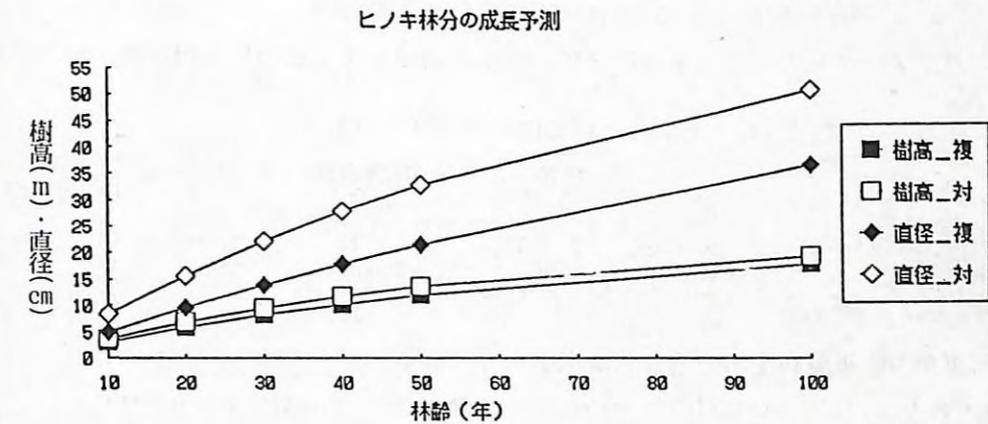
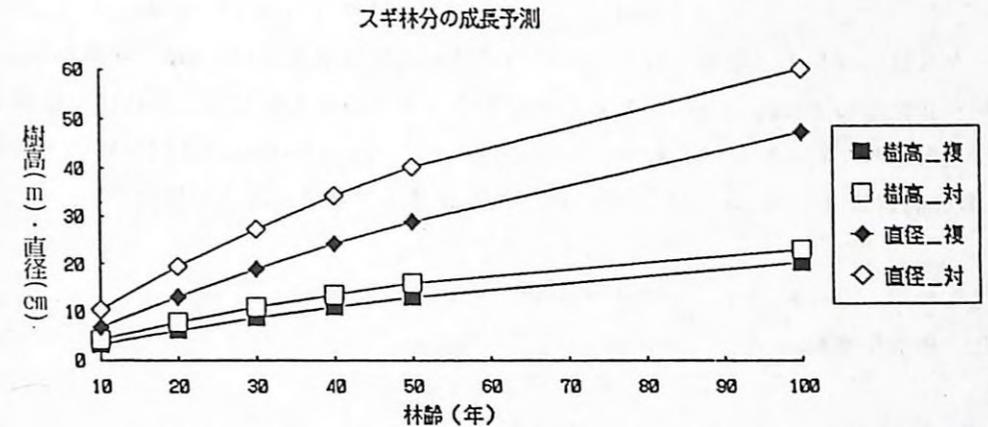


図 2-27. スギ下木(上)・ヒノキ下木(下)の成長予測

次に上木の本数密度をパラメータとして含む成長式,

$$y = M * (1 - \exp(-h*s)) * (1 - \exp(-k*t))$$

を仮定する。sを上木の平均占有面積(10000/ha当たり上木本数、[m**2])として、ミッチャーリッヒ式を拡張した型になっている。この式では、林齢と占有面積という2つの成長要因に対してミッチャーリッヒ式に従う成長を仮定している。単純林における林分密度管理のための直径成長方程式として、この型の成長式が利用されている⁴⁾。本研究では、下木の成長予測のために、上木のha当たり平均占有面積を密度のパラメータとして含むミッチャーリッヒ式を以下のように仮定する。

・複層林下木

$$h = M_h * (1 - \exp(-h_h*s)) * (1 - \exp(-k_h*t))$$

$$d = M_d * (1 - \exp(-h_d*s)) * (1 - \exp(-k_d*t))$$

パラメータMは、成長の上限値として、前述の成長式と同様収穫表値M_h, M_dを用いる。パラメータkについては、s→∞のとき、すなわち上木を皆伐したときに皆伐区の成長に復帰すると仮定し、k_h = k^c_h, k_d = k^c_dを用いる。パラメータhは各試験地の上木本数nⁱと最終測定値(tⁱ_0, yⁱ_0)から、次のような最小2乗法によって推定する。

$$y^i_0 / (M * (1 - \exp(-k*t^i_0))) \equiv f^i$$

と置くと、残差平方和,

$$S = \sum (h*s^i + \ln(1 - f^i))^2$$

を最小にするように,

$$\delta S / \delta h = 0$$

とする。ここでsⁱ=10000/nⁱ。パラメータhの推定値h[^]は,

$$h^{\wedge} = - \sum s^i * \ln(1 - f^i) / \sum s^{i^2}$$

となる。パラメータhの推定値を表2-14に、また実測値と推定値の散布図を図2-28に示す。

表 2-14. 上木の占有面積のパラメータ h

	樹高 h_h	胸高直径 h_d
スギ	0.069	0.043
ヒノキ	0.062	0.024

以上の結果から、複層林下木の成長式は次のようになる。

・スギ

$$h = 28.62 * (1 - \exp(-0.069*s)) * (1 - \exp(-0.016*t))$$

$$d = 79.56 * (1 - \exp(-0.043*s)) * (1 - \exp(-0.014*t))$$

・ヒノキ

$$h = 23.88 * (1 - \exp(-0.062*s)) * (1 - \exp(-0.017*t))$$

$$d = 73.13 * (1 - \exp(-0.024*s)) * (1 - \exp(-0.012*t))$$

この式を用いて、上木の本数管理を含めた成長予測を行う。例えば、下木樹高hについて、

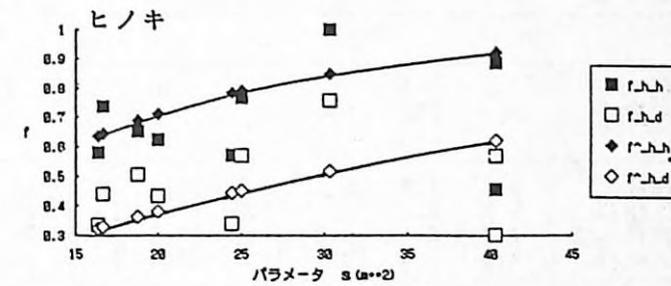
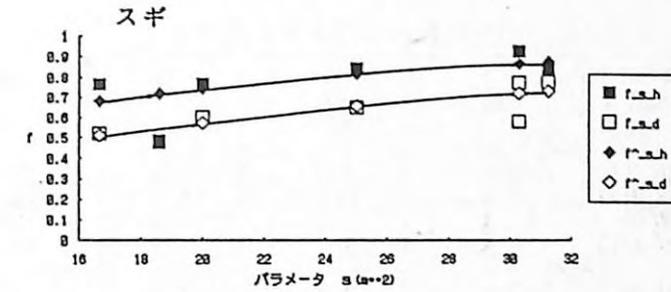


図 2-28. fⁱとsⁱの散布図

上木のha当たり本数を、n₁→n₂と管理するとき、成長曲線がh(s₁)から、h(s₂)に乗り換えるものと仮定することになる。それ以降は乗り移った成長式から成長量を算出し、次々と加算していく。

今回はモデルケースとして、上木を700→500→300→0と管理する例(Case I)と500→300→0の例(Case II)とを考える。シミュレーション結果を表2-15に示す。一例として、Case Iのスギ下木樹高と胸高直径の成長を図2-29に示す。

(4) おわりに

四国地方の地位中の林分において、スギ・ヒノキの複層林施業を行った場合の樹高・胸高直径の成長を試算した。非常に簡単な仮定に基づく推定であるが、成長予測の一例として、モデル計算を試みたものである。複層林の成長には、各成長要因が非常に複雑に関与すると思われる。現実には、個々の複層林ごとに成長が異なっているといえよう。今回の例では、上木密度のパラメータを含む場合と含まない場合とを考えた。上木が残っていたときの初期値と成長パラメータkが成長を決定する最初のモデルと、後半の上木が皆伐されたときに、皆伐区の成長量に復帰すると仮定したモデルとの間が、四国地方の平均値としては適当であろうと推測される。なお、胸高直径については10年生時の根元直径値を胸高直径値と仮定したため、若干過大に推定されていると思われる。

表 2-15. 上木本数の管理と成長予測

Case I	林齢	2	10	15	20	30	40	50	100
	上木本数	700	700	500	300				
	上木本数	1	2	500	300				
	2		500	300	-				
スギ	下木樹高	0.6	2.7	4.1	5.6	8.7	11.3	13.5	20.6
	対照区樹高	0.9	4.2	6.1	7.8	10.9	13.5	15.8	22.8
	下木直径	1.0	4.8	7.5	10.8	18.6	25.5	31.4	51.3
	対照区直径	2.2	10.4	15.1	19.4	27.3	34.1	40.1	59.9
ヒノキ	下木樹高	0.5	2.2	3.4	4.7	7.3	9.6	11.5	17.3
	対照区樹高	0.8	3.7	5.4	6.9	9.5	11.8	13.7	19.5
	下木直径	0.5	2.4	3.8	5.8	12.3	18.1	23.2	41.3
	対照区直径	1.7	8.3	12.1	15.6	22.1	27.9	33.0	51.1

Case II	林齢	2	5	10	20	30	40	50	100
	上木本数	500	500	300					
	上木本数	1	2	300					
	2		300	-					
スギ	下木樹高	0.7	1.8	3.9	7.5	10.6	13.2	15.4	22.5
	対照区樹高	0.9	2.2	4.2	7.8	10.9	13.5	15.8	22.8
	下木直径	1.3	3.1	6.9	16.0	23.8	30.6	36.6	56.5
	対照区直径	2.2	5.4	10.4	19.4	27.3	34.1	40.1	59.9
ヒノキ	下木樹高	0.6	1.4	2.9	6.1	8.8	11.0	12.9	18.7
	対照区樹高	0.8	2.0	3.7	6.9	9.5	11.8	13.7	19.5
	下木直径	0.7	1.6	3.8	11.2	17.7	23.4	28.6	46.7
	対照区直径	1.7	4.3	8.3	15.6	22.1	27.9	33.0	51.1

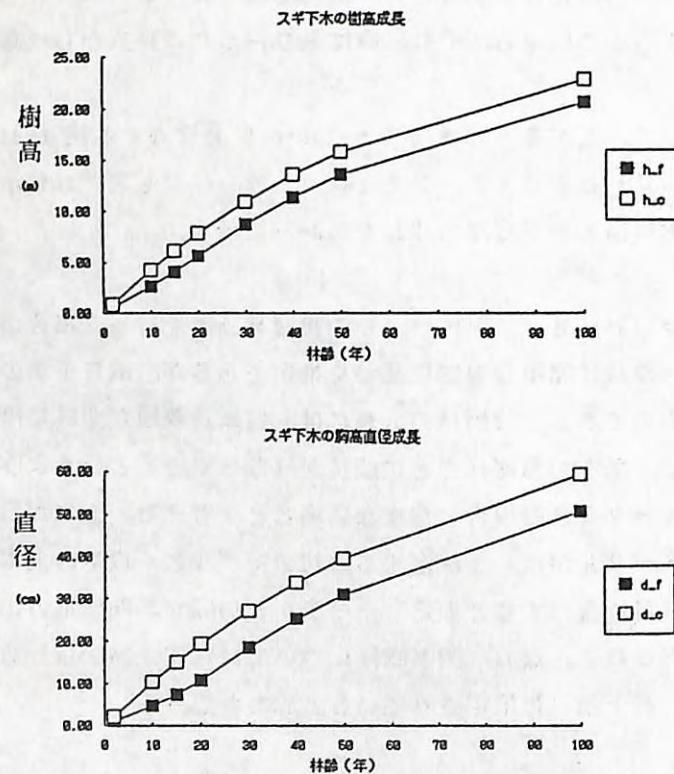


図 2-29. 上木本数の管理と成長予測の一例

引用文献

- (1) 高知営林局：平成元年度技術開発課題完了報告書，印刷中
- (2) 津田清隆：土佐地方スギ林分収穫表，1952（本多静六原著：森林家必携68版，林野弘済会，1982）
- (3) 西谷和雄：土佐地方ヒノキ林分収穫表，1957（同上書所収）
- (4) 松村直人・鈴木太七：新しい密度管理図の提案（予報），95回日林論，111~112，1984

（四国支所経営研究室 松村直人）

V まとめ

国有林における複層林（二段林）施業について実態把握を試み，あわせて複層林の成長予測について検討した。

これまで，データとして把握できていなかった国有林内の複層林の箇所数は1,097箇所，面積6,321haであった。また，なんらかの形でデータが収集されているプロットは164箇所であった。

今回のアンケート調査の実施に当たっては，各営林局計画課，技術開発室はじめ複層林の所在する営林署の協力を得た。これは，複層林の所在情報が森林簿に登録されていないために，局レベルでの把握が困難であったことを意味する。今後，これまでの林内更新試験・施業試験レベルでの複層林造成に加えて，事業レベルでの複層林造成が予定されており，かなりの箇所，面積の複層林が造成されるので，森林簿への記載・格納方式について早急に検討する必要がある。

さらに，複層林の収穫予測については，今後とも継続的なデータの集積が必要であるが，データの保管については長期間を要するので，一元的に実施されることが望ましい。

これら複層林の下木の齢級は3齢級以下のものがほとんどであり，収穫予測を行うためにはデータ不足であった。これは，これまで複層林の成長資料については，林内更新の試験データの収集の段階であったことに起因している。今回開発した収穫予測モデルの検証をするためにも継続的に下木の成長データを収集するほか，上木についてもデータを収集して行くことが必要である。

複層林の収穫予測については，上木の配置が均一でないため下木の生育条件も同一林分内でもかなりの幅を持つことが予想されている。精密な収穫予測については，上木の配置によって形成される様々な生育空間別のデータの組み合わせ，さらには生産される材の品質（価格）などへの配慮も絡んでくる。こうした考えを押し進めて行くと，林分ごとの予想表が必要になる。

本報告での収穫予測のモデルは，下木の生育空間の光環境が上木による照度低下をもた

らし、それによって成長が低下するとの仮定をおいて作成している。予測式は成長の低下率（割引率）を、上木の残存本数，上木の伐採率，収量比数，上木のha当たり平均占有面積などを用いて表現した式によって示している。これらの収穫予測の式は，資源計画の支援ソフトとしての性格上，ha当たりの平均値で表わすようになっている。また，現段階においては，データ不足の問題もあり，上木の年齢別など，各種の条件別の予測は無理であった。

(資源解析研究室 高橋文敏，資源計画科長 西川匡英)

付表1. 国有林に所在する複層林(二段林)………営林局別一覧

No.	営林局	上木	下木	年齢	面積	箇所数	実面積	営林署	備考
1	北海道	カラマツ	トドマツ	6	1	1	1.62	日高	孔状
2	北海道	カラマツ	トドマツ	7	1	2	3.73	上戸別	散点的金城
3	北海道	カラマツ	トドマツ	8	1	1	1.36	苫小牧	帯状
4	北海道	カラマツ	トドマツ	8	5	1	2.54	札幌	帯状
5	北海道	カラマツ	トドマツ	17	1	1	0.43	札幌	孔状
6	北海道	カラマツ	トドマツ	12	1	3	9.96	札幌	孔状
7	北海道	カラマツ	トドマツ	13	1	1	5.29	札幌	孔状
8	北海道	カラマツ	トドマツ	12	1	1	2.58	札幌	孔状
9	北海道	カラマツ	トドマツ	12	1	1	2.72	札幌	孔状
10	北海道	カラマツ	トドマツ	13	1	1	8.80	苫小牧	孔状
11	北海道	カラマツ	トドマツ	15	1	1	1.00	苫小牧	孔状
12	北海道	カラマツ	トドマツ	17	1	1	2.50	苫小牧	孔状
13	北海道	カラマツ	トドマツ	13	1	1	0.54	苫小牧	孔状
14	北海道	カラマツ	トドマツ	14	1	1	5.50	苫小牧	孔状
15	北海道	カラマツ	トドマツ	14	1	5	1.42	室蘭	孔状
16	函館	カラマツ	トドマツ	6	1	1	0.27	乙部	孔状
17	函館	カラマツ	トドマツ	6	1	1	6.26	乙部	孔状
18	函館	カラマツ	トドマツ	7	1	3	37.10	乙部	孔状
19	函館	カラマツ	トドマツ	8	1	1	11.63	東瀬川	孔状
20	函館	カラマツ	トドマツ	8	1	11	1.75	東瀬川	孔状
21	函館	カラマツ	トドマツ	10	1	2	1.77	東瀬川	孔状
22	函館	カラマツ	トドマツ	11	1	1	1.92	森	孔状
23	函館	カラマツ	トドマツ	11	1	1	7.74	森	孔状
24	函館	カラマツ	トドマツ	13	1	1	13.42	森	孔状
25	函館	カラマツ	トドマツ	13	1	10	5.50	森	孔状
26	函館	カラマツ	トドマツ	13	1	1	1.12	森	孔状
27	函館	カラマツ	トドマツ	8	1	1	2.65	江差	孔状
28	函館	カラマツ	トドマツ	9	1	1	1.00	木古内	孔状
29	函館	カラマツ	トドマツ	10	1	1	1.00	木古内	孔状
30	函館	カラマツ	トドマツ	11	1	1	9.12	木古内	孔状
31	函館	カラマツ	トドマツ	12	1	4	33.01	木古内	孔状
32	函館	カラマツ	トドマツ	12	1	19	10.81	木古内	孔状
33	函館	カラマツ	トドマツ	12	1	6	17.09	木古内	孔状
34	函館	カラマツ	トドマツ	13	1	2	3.02	木古内	孔状
35	函館	カラマツ	トドマツ	13	1	1	2.33	乙部	孔状
36	函館	カラマツ	トドマツ	14	1	1	5.05	乙部	孔状
37	函館	カラマツ	トドマツ	14	1	1	1.15	木古内	孔状
38	函館	カラマツ	トドマツ	15	1	3	4.59	木古内	孔状
39	函館	カラマツ	トドマツ	13	1	1	1.38	乙部	孔状
40	函館	カラマツ	トドマツ	13	1	1	0.35	乙部	孔状
41	函館	カラマツ	トドマツ	15	1	1	0.30	江差	孔状
42	函館	カラマツ	トドマツ	13	1	1	1.45	乙部	孔状
43	函館	カラマツ	トドマツ	12	1	2	18.00	富良野	孔状
44	旭川	カラマツ	トドマツ	12	1	2	8.00	富良野	孔状
45	旭川	カラマツ	トドマツ	14	1	2	12.00	幾野	孔状
46	旭川	カラマツ	トドマツ	14	1	1	22.00	幾野	孔状
47	旭川	カラマツ	トドマツ	16	1	1	36.00	幾野	孔状
48	旭川	カラマツ	トドマツ	13	1	1	28.00	幾野	孔状
49	帯広	カラマツ	トドマツ	6	1	1	371.00	新得	孔状
50	帯広	カラマツ	トドマツ	6	1	17	103.00	清水	孔状
51	帯広	カラマツ	トドマツ	6	1	23	20.00	網走	孔状
52	帯広	カラマツ	トドマツ	6	1	1	718.00	新得	孔状
53	帯広	カラマツ	トドマツ	7	1	2	683.00	清水	孔状

54	帯広	カラマツ	7	トドマツ	4	93.00	細路・中標津
55	帯広	カラマツ	8	トドマツ	1	162.00	新得・清水・上士幌・阿寒・弟子屈・中標津
56	帯広	カラマツ	8	トドマツ	2	422.00	新得・細路・中標津・根室
57	帯広	カラマツ	3	トドマツ	3	27.00	中標津
58	帯広	カラマツ	8	トドマツ	4	296.00	中標津・根室
59	帯広	カラマツ	8	トドマツ	5	214.00	中標津
60	帯広	カラマツ	1	トドマツ	1	1.00	中標津
61	帯広	カラマツ	4	トドマツ	2	17.00	根室
62	帯広	カラマツ	4	トドマツ	1	2.00	中標津・根室
63	帯広	カラマツ	2	トドマツ	2	23.00	中標津
64	帯広	カラマツ	4	トドマツ	1	6.00	中標津
65	帯広	カラマツ	1	エゾマツ	1	5.00	細路
66	帯広	カラマツ	1	エゾマツ	1	52.00	中標津・根室
67	帯広	カラマツ	9	アカエゾマツ	1	10.00	根室
68	帯広	カラマツ	6	アカエゾマツ	2	363.00	細路・中標津・根室
69	帯広	カラマツ	7	アカエゾマツ	1	109.00	細路・中標津・根室
70	帯広	カラマツ	2	アカエゾマツ	2	2.00	中標津・根室
71	帯広	カラマツ	4	アカエゾマツ	4	79.00	中標津・根室
72	帯広	カラマツ	2	アカエゾマツ	2	36.00	中標津・根室
73	帯広	カラマツ	2	アカエゾマツ	1	11.00	中標津
74	帯広	カラマツ	4	アカエゾマツ	4	3.00	中標津
75	帯広	カラマツ	5	アカエゾマツ	1	34.00	中標津・根室
76	帯広	カラマツ	8	アカエゾマツ	3	6.00	中標津
77	帯広	カラマツ	2	アカエゾマツ	2	11.00	中標津
78	帯広	カラマツ	2	アカエゾマツ	1	1.00	中標津
79	帯広	カラマツ	10	アカエゾマツ	2	18.38	中標津
80	帯広	カラマツ	11	アカエゾマツ	1	4.50	雷辺
81	北見	カラマツ	5	トドマツ	7	12.40	生田原
82	北見	カラマツ	7	アカエゾマツ	4	1.67	遊軒
83	北見	カラマツ	13	エゾマツ	1	7.11	釧路
84	北見	カラマツ	8	トドマツ	5	1.53	釧路
85	青森	スギ	9	スギ	1	2.23	石巻
86	青森	スギ	11	スギ	1	0.12	石巻
87	青森	スギ	12	スギ	1	2.04	石巻
88	青森	スギ	13	スギ	1	2.12	石巻
89	青森	スギ	13	スギ	2	2.40	石巻
90	青森	スギ	14	スギ	2	0.06	石巻
91	青森	スギ	15	スギ	2	5.01	石巻
92	青森	スギ	16	スギ	3	3.78	石巻
93	青森	スギ	16	スギ	3	3.02	石巻
94	青森	スギ	17	スギ	2	0.11	石巻
95	青森	スギ	18	スギ	2	0.43	石巻
96	青森	スギ	18	スギ	1	3.10	石巻
97	青森	スギ	13	スギ	4	8.27	石巻
98	青森	スギ	15	スギ	1	1.83	石巻
99	青森	スギ	17	スギ	2	2.20	石巻
100	青森	スギ	14	スギ	1	0.17	石巻
101	青森	スギ	15	スギ	2	0.23	石巻
102	青森	スギ	13	スギ	3	0.40	石巻
103	青森	スギ	14	スギ	2	2.17	石巻
104	青森	スギ	17	スギ	2	1.15	石巻
105	青森	スギ	13	スギ	1	0.60	石巻
106	青森	スギ	14	スギ	1	0.40	石巻
107	青森	スギ	15	スギ	1	0.60	石巻
108	青森	スギ	8	スギ	1	0.40	石巻
109	青森	スギ	7	スギ	1	0.58	石巻
110	秋田	スギ	7	スギ	1		石巻

111	秋田	スギ	8	スギ	1	14.11	米内沢・秋田・角館
112	秋田	スギ	9	スギ	1	12.35	大館・五城目・秋田・角館
113	秋田	スギ	11	スギ	1	39.35	大館・阿仁・二ツ井・秋田他(3)
114	秋田	スギ	12	スギ	1	91.32	大館・阿仁・二ツ井・秋田他(3)
115	秋田	スギ	13	スギ	1	57.74	十和田・扇田・秋田・田代湖他(4)
116	秋田	スギ	14	スギ	2	3.29	大曲・本荘
117	秋田	スギ	14	スギ	4	22.37	大曲・本荘
118	秋田	スギ	14	スギ	1	12.19	大曲・本荘
119	秋田	スギ	14	スギ	2	0.72	大館・上小阿仁・真室川
120	秋田	スギ	15	スギ	1	14.51	大館・上小阿仁・真室川
121	秋田	スギ	16	スギ	3	29.18	大館・上小阿仁・真室川
122	秋田	スギ	16	スギ	1	12.46	大館・上小阿仁・真室川
123	秋田	スギ	16	スギ	2	0.28	大館・上小阿仁・真室川
124	秋田	スギ	17	スギ	4	9.24	大館・上小阿仁・真室川
125	秋田	スギ	17	スギ	1	15.46	大館・上小阿仁・真室川
126	秋田	スギ	18	スギ	2	2.02	大館・上小阿仁・真室川
127	秋田	スギ	18	スギ	1	2.19	大館・上小阿仁・真室川
128	秋田	スギ	19	スギ	2	1.98	大館・上小阿仁・真室川
129	秋田	スギ	20	スギ	2	2.03	大館・上小阿仁・真室川
130	秋田	スギ	20	スギ	1	6.01	大館・上小阿仁・真室川
131	秋田	スギ	20	スギ	1	3.34	大館・上小阿仁・真室川
132	秋田	スギ	33	スギ	2	4.95	大館・上小阿仁・真室川
133	秋田	スギ	14	スギ	1	3.14	大館・上小阿仁・真室川
134	秋田	スギ	12	スギ	1	4.46	大館・上小阿仁・真室川
135	秋田	スギ	13	スギ	3	1.83	大館・上小阿仁・真室川
136	秋田	スギ	18	スギ	2	5.46	大館・上小阿仁・真室川
137	秋田	スギ	8	スギ	1	0.24	大館・上小阿仁・真室川
138	秋田	スギ	11	スギ	1	1.78	大館・上小阿仁・真室川
139	秋田	スギ	15	スギ	1	7.29	大館・上小阿仁・真室川
140	秋田	スギ	15	スギ	2	10.18	大館・上小阿仁・真室川
141	秋田	スギ	16	スギ	3	3.15	大館・上小阿仁・真室川
142	秋田	スギ	16	スギ	1	7.73	大館・上小阿仁・真室川
143	秋田	スギ	16	スギ	2	23.95	大館・上小阿仁・真室川
144	秋田	スギ	16	スギ	7	15.05	大館・上小阿仁・真室川
145	秋田	スギ	16	スギ	3	1.92	大館・上小阿仁・真室川
146	秋田	スギ	18	スギ	4	1.87	大館・上小阿仁・真室川
147	秋田	スギ	18	スギ	1	4.13	大館・上小阿仁・真室川
148	秋田	スギ	15	スギ	2	0.88	大館・上小阿仁・真室川
149	秋田	スギ	15	スギ	1	2.90	大館・上小阿仁・真室川
150	秋田	スギ	16	スギ	2	6.33	大館・上小阿仁・真室川
151	秋田	スギ	18	スギ	1	0.63	大館・上小阿仁・真室川
152	秋田	スギ	18	スギ	3	1.73	大館・上小阿仁・真室川
153	秋田	スギ	15	スギ	4	2.00	大館・上小阿仁・真室川
154	秋田	スギ	13	スギ	2	2.75	大館・上小阿仁・真室川
155	秋田	スギ	8	スギ	2	1.05	大館・上小阿仁・真室川
156	秋田	スギ	10	スギ	1	0.07	大館・上小阿仁・真室川
157	秋田	スギ	12	スギ	1	0.40	大館・上小阿仁・真室川
158	秋田	スギ	18	スギ	1	0.07	大館・上小阿仁・真室川
159	秋田	スギ	21	スギ	3	2.91	大館・上小阿仁・真室川
160	秋田	スギ	12	スギ	4	4.72	大館・上小阿仁・真室川
161	秋田	スギ	13	スギ	1	0.89	大館・上小阿仁・真室川
162	秋田	スギ	16	スギ	1	2.10	大館・上小阿仁・真室川
163	秋田	スギ	17	スギ	2	1.64	大館・上小阿仁・真室川
164	秋田	スギ	20	スギ	1	2.40	大館・上小阿仁・真室川
165	秋田	スギ	17	スギ	2	3.10	大館・上小阿仁・真室川
166	秋田	スギ	21	スギ	1	1.28	大館・上小阿仁・真室川
167	秋田	スギ	12	スギ	2	1.15	大館・上小阿仁・真室川

付表2. 国有林に所在する複層林(二段林)……上木・下木・樹種構成別一覽

No.	営林局	上木	下木	齡級	面積	面積	面積	面積	面積	備考
350	熊本	アカマツ	アカマツ	18	6	1	11.23	加治木		
351	熊本	アカマツ	アカマツ	18	7	2	12.84	加治木		
105	青森	アカマツ	スギ	13	2	1	0.40	石巻		
106	青森	アカマツ	スギ	14	2	1	2.17	石巻		
107	青森	アカマツ	スギ	14	2	1	1.15	石巻		
108	青森	アカマツ	スギ	15	2	1	0.60	仙台		
200	長野	アカマツ	スギ	6	7	1	5.00	飯田		
201	長野	アカマツ	スギ	7	1	1	8.00	飯田		
202	長野	アカマツ	スギ	9	1	1	14.00	飯田		
203	長野	アカマツ	スギ	10	5	1	42.00	飯田		
204	長野	アカマツ	スギ	11	1	1	1.00	飯田		
205	長野	アカマツ	スギ	12	1	1	59.00	飯田		
206	長野	アカマツ	スギ	13	1	1	1.00	飯田		
207	長野	アカマツ	スギ	14	3	1	20.00	飯田		
208	長野	アカマツ	スギ	15	2	1	7.00	飯田		
209	長野	アカマツ	スギ	17	1	1	8.00	飯田		
210	長野	アカマツ	スギ	17	1	1	1.00	飯田		
261	大阪	アカマツ	スギ	6	6	1	1.31	神戸		
262	大阪	アカマツ	スギ	7	8	1	2.89	神戸		
263	大阪	アカマツ	スギ	8	1	1	0.81	神戸		
352	熊本	アカマツ	スギ	6	6	1	1.41	加治木		
353	熊本	アカマツ	スギ	17	6	2	28.73	加治木		
354	熊本	アカマツ	スギ	6	6	1	1.73	加治木		
355	熊本	アカマツ	スギ	1	1	1	1.08	加治木		
10	北海道	アカマツ	スギ	1	1	1	1.21	大分		
11	北海道	アカマツ	スギ	1	1	1	2.50	大分		
12	北海道	アカマツ	スギ	1	1	1	8.80	大分		
14	北海道	アカマツ	スギ	1	1	1	4.50	大分		
17	北海道	アカマツ	スギ	1	1	1	1.00	大分		
14	旭川	アカマツ	スギ	1	1	1	0.54	日高		
48	帯広	アカマツ	スギ	2	1	1	26.00	日高		
67	帯広	アカマツ	スギ	1	1	1	52.00	日高		
68	帯広	アカマツ	スギ	1	1	1	10.00	日高		
69	帯広	アカマツ	スギ	2	1	1	363.00	日高		
70	帯広	アカマツ	スギ	1	9	1	2.00	日高		
71	帯広	アカマツ	スギ	2	13	1	109.00	日高		
72	帯広	アカマツ	スギ	4	2	1	2.00	日高		
73	帯広	アカマツ	スギ	8	8	1	79.00	日高		
74	帯広	アカマツ	スギ	2	5	1	36.00	日高		
75	帯広	アカマツ	スギ	4	2	1	11.00	日高		
76	帯広	アカマツ	スギ	2	5	1	3.00	日高		
77	帯広	アカマツ	スギ	8	5	1	34.00	日高		
78	帯広	アカマツ	スギ	1	2	1	6.00	日高		
79	帯広	アカマツ	スギ	2	3	1	11.00	日高		
82	帯広	アカマツ	スギ	2	2	1	1.00	日高		
5	北海道	アカマツ	スギ	1	4	1	12.40	日高		
66	帯広	アカマツ	スギ	1	1	1	0.43	日高		
83	帯広	アカマツ	スギ	1	1	1	6.00	日高		
47	函館	アカマツ	スギ	1	1	1	5.00	日高		
21	函館	アカマツ	スギ	13	1	1	1.67	日高		
16	函館	アカマツ	スギ	2	2	1	36.00	日高		
17	函館	アカマツ	スギ	6	1	1	1.75	日高		
17	函館	アカマツ	スギ	6	2	1	1.42	日高		
17	函館	アカマツ	スギ	6	2	1	0.27	日高		

No.	営林局	上木	下木	齡級	面積	面積	面積	面積	面積	備考
18	函館	カラマツ	スギ	7	1	1	6.26	乙部		
19	函館	カラマツ	スギ	8	1	1	37.10	東瀬朝		
20	函館	カラマツ	スギ	9	1	1	11.63	東瀬朝		
132	秋田	カラマツ	スギ	14	1	1	4.95	鶴岡		
1	北海道	カラマツ	スギ	1	1	1	1.62	上戸別		
2	北海道	カラマツ	スギ	2	2	1	3.73	上戸別		
3	北海道	カラマツ	スギ	1	1	1	1.36	上戸別		
4	北海道	カラマツ	スギ	1	1	1	2.54	上戸別		
15	函館	カラマツ	スギ	5	1	1	5.50	札保		
44	旭川	カラマツ	スギ	1	4	1	8.00	札保		
49	帯広	カラマツ	スギ	2	1	1	371.00	新得		
50	帯広	カラマツ	スギ	1	17	1	103.00	新得		
51	帯広	カラマツ	スギ	2	23	1	20.00	新得		
52	帯広	カラマツ	スギ	3	3	1	718.00	新得		
53	帯広	カラマツ	スギ	1	41	1	689.00	新得		
54	帯広	カラマツ	スギ	2	23	1	93.00	新得		
55	帯広	カラマツ	スギ	5	18	1	162.00	新得		
56	帯広	カラマツ	スギ	2	20	1	422.00	新得		
57	帯広	カラマツ	スギ	2	2	1	27.00	新得		
58	帯広	カラマツ	スギ	12	2	1	296.00	新得		
59	帯広	カラマツ	スギ	5	5	1	214.00	新得		
60	帯広	カラマツ	スギ	1	1	1	1.00	新得		
61	帯広	カラマツ	スギ	2	4	1	17.00	新得		
62	帯広	カラマツ	スギ	4	1	1	2.00	新得		
63	帯広	カラマツ	スギ	1	1	1	23.00	新得		
64	帯広	カラマツ	スギ	2	1	1	5.00	新得		
81	北見	カラマツ	スギ	1	1	1	4.50	生田原		
84	北見	カラマツ	スギ	5	1	1	7.11	生田原		
45	旭川	カラマツ	スギ	4	4	1	12.00	生田原		
154	前橋	カラマツ	スギ	2	2	1	2.75	生田原		
211	長野	カラマツ	スギ	3	3	1	10.00	生田原		
212	長野	カラマツ	スギ	2	2	1	13.00	生田原		
213	長野	カラマツ	スギ	8	7	1	27.00	生田原		
214	長野	カラマツ	スギ	2	2	1	12.00	生田原		
215	長野	カラマツ	スギ	7	7	1	2.75	生田原		
216	長野	カラマツ	スギ	3	3	1	10.00	生田原		
217	長野	カラマツ	スギ	2	2	1	13.00	生田原		
218	長野	カラマツ	スギ	8	8	1	241.00	生田原		
219	長野	カラマツ	スギ	2	2	1	15.00	生田原		
220	長野	カラマツ	スギ	3	3	1	29.00	生田原		
221	長野	カラマツ	スギ	7	7	1	44.00	生田原		
222	長野	カラマツ	スギ	4	4	1	52.00	生田原		
223	長野	カラマツ	スギ	5	5	1	35.00	生田原		
240	青森	カラマツ	スギ	7	7	1	74.00	生田原		
109	青森	カラマツ	スギ	3	3	1	17.00	生田原		
46	旭川	カラマツ	スギ	10	10	1	27.00	生田原		
356	熊本	カラマツ	スギ	4	4	1	17.00	生田原		
291	高知	カラマツ	スギ	2	2	1	16.00	生田原		
133	高知	カラマツ	スギ	1	1	1	3.39	生田原		
292	高知	カラマツ	スギ	1	1	1	0.40	生田原		
301	熊本	カラマツ	スギ	4	4	1	22.00	生田原		
131	熊本	カラマツ	スギ	1	1	1	1.60	生田原		
307	熊本	カラマツ	スギ	1	1	1	1.00	生田原		
308	熊本	カラマツ	スギ	2	2	1	3.14	生田原		
27	函館	カラマツ	スギ	1	1	1	3.89	生田原		
28	函館	カラマツ	スギ	1	1	1	0.52	生田原		

29	函館	ス	1	1	1.00	木古内・乙部
30	函館	ス	1	4	9.12	木古内・乙部
31	函館	ス	19	33.01	木古内・乙部	
32	函館	ス	5	17.09	木古内・乙部	
33	函館	ス	6	10.81	木古内・乙部	
34	函館	ス	2	3.33	乙部	
35	函館	ス	1	5.05	乙部	
36	函館	ス	1	1.15	木古内	
37	函館	ス	3	4.59	木古内	
85	青森	ス	1	1.53	石巻	
87	青森	ス	2	2.23	石巻	
88	青森	ス	1	0.12	石巻	
89	青森	ス	2	2.04	石巻	
90	青森	ス	3	2.12	石巻	
91	青森	ス	2	2.40	石巻	
92	青森	ス	2	0.06	仙台	
93	青森	ス	3	5.01	仙台	
94	青森	ス	3	3.10	石巻	
110	秋田	ス	3	3.78	石巻	
111	秋田	ス	1	0.58	厚田	
112	秋田	ス	1	14.11	米内沢	
113	秋田	ス	6	12.35	秋田・角館	
114	秋田	ス	4	39.35	秋田・角館	
115	秋田	ス	19	91.32	秋田・角館	
116	秋田	ス	26	57.74	秋田・角館	
117	秋田	ス	19	3.29	秋田・角館	
118	秋田	ス	4	22.37	秋田・角館	
119	秋田	ス	10	12.19	秋田・角館	
120	秋田	ス	7	0.72	秋田・角館	
121	秋田	ス	1	14.51	秋田・角館	
122	秋田	ス	3	29.18	秋田・角館	
123	秋田	ス	14	12.46	秋田・角館	
124	秋田	ス	8	0.28	秋田	
125	秋田	ス	1	9.24	秋田	
126	秋田	ス	5	15.46	秋田	
127	秋田	ス	2	2.02	秋田	
128	秋田	ス	1	2.19	秋田	
129	秋田	ス	2	1.98	秋田	
130	秋田	ス	2	2.03	秋田	
134	秋田	ス	1	6.01	秋田	
135	秋田	ス	1	4.46	秋田	
155	東京	ス	3	1.83	秋田	
156	東京	ス	2	4.46	秋田	
157	東京	ス	1	5.46	秋田	
158	東京	ス	1	1.05	秋田	
159	東京	ス	1	0.07	秋田	
224	名古屋	ス	1	0.40	秋田	
225	名古屋	ス	1	2.91	秋田	
226	名古屋	ス	3	1.42	秋田	
241	大阪	ス	1	1.00	秋田	
242	大阪	ス	1	5.64	秋田	
243	大阪	ス	1	0.85	秋田	
244	大阪	ス	1	1.28	秋田	
265	高知	ス	1	0.20	秋田	
		ス	1	0.88	秋田	
		ス	1	2.06	秋田	

266	高知	ス	4	4.14	松山
293	熊本	ス	1	4.01	水原
294	熊本	ス	2	0.29	水原
295	熊本	ス	1	2.29	宮崎
296	熊本	ス	1	1.00	宮崎
302	熊本	ス	1	1.69	長崎
305	熊本	ス	1	1.38	加治木
306	熊本	ス	1	0.40	加治木
300	熊本	ス	1	1.00	加治木
95	青森	ス	1	0.83	加治木
96	青森	ス	1	3.02	加治木
97	青森	ス	2	0.11	加治木
98	青森	ス	1	0.43	加治木
99	青森	ス	2	3.10	加治木
100	青森	ス	4	8.27	加治木
137	青森	ス	1	0.41	加治木
138	青森	ス	1	0.24	加治木
227	青森	ス	1	1.78	加治木
297	熊本	ス	1	7.20	加治木
298	熊本	ス	1	0.73	加治木
299	熊本	ス	1	0.79	加治木
304	熊本	ス	1	1.15	加治木
303	熊本	ス	1	0.42	加治木
167	熊本	ス	1	2.42	加治木
168	熊本	ス	1	0.42	加治木
169	熊本	ス	2	1.15	加治木
170	熊本	ス	1	2.55	加治木
267	高知	ス	3	3.90	加治木
268	高知	ス	7	2.20	加治木
161	東京	ス	1	1.31	加治木
162	東京	ス	1	1.40	加治木
163	東京	ス	4	4.72	加治木
164	東京	ス	1	0.69	加治木
165	東京	ス	1	2.10	加治木
166	東京	ス	2	1.64	加治木
248	大阪	ス	1	2.40	加治木
249	大阪	ス	1	3.10	加治木
250	大阪	ス	1	1.28	加治木
251	大阪	ス	1	2.99	加治木
252	大阪	ス	1	0.14	加治木
272	高知	ス	1	7.75	加治木
273	高知	ス	1	0.14	加治木
274	高知	ス	1	6.08	加治木
275	高知	ス	1	5.96	加治木
276	高知	ス	1	0.44	加治木
277	高知	ス	1	4.00	加治木
278	高知	ス	1	1.89	加治木
310	熊本	ス	2	4.77	加治木
311	熊本	ス	2	5.48	加治木
312	熊本	ス	1	0.51	加治木
313	熊本	ス	3	28.51	加治木
319	熊本	ス	1	0.57	加治木
320	熊本	ス	1	1.10	加治木
171	東京	ス	1	3.37	加治木
172	東京	ス	1	7.60	加治木
		ス	1	1.56	加治木
		ス	1	0.62	加治木
		ス	2	2.30	加治木

経済環境の変化に対応した木材価格の変動予測モデル

I 試験担当者

関西支所育林部風致林管理研究室

天野 正博

野田 巖

II 要旨

国産材丸太の価格指数を推定するため、為替レート、全国銀行貸出約定平均金利、木造建築着工戸数、外材輸入量、製材用素材需要量、米材丸太産地価格など、木材価格の形成に関連する因子の時系列情報を収集した。そして、収集した各因子と木材価格の関係を分析し、モデルに取り込むべき因子を抽出した。また、各因子の動きを時系列解析するなかで、住宅着工戸数に四半期ごとの季節変動がみられたことから、季節を表すダミー変数を導入した。つぎに、収集した因子を用いて、計量経済分析手法により向こう2年間の国産材丸太の価格指数を推定するモデルを作成した。モデルにより国産丸太価格と各変数の関係を分析するなかで、木造住宅着工戸数の動きが国産丸太価格の変動に大きな影響を与えていることが分かった。また、北米の大規模木材輸出業者がわが国建築用材のプライスリーダーとして、国産丸太価格に強い影響を与えていることもモデルで示すことができた。

研究期間中に林野庁において業務レベルで当モデルの試用を進めながら、モデル構造の修正を行った。最終的に外生変数として総合卸売り物価指数、円レート、銀行貸出約定金利、木造住宅着工戸数、米材丸太産地価格の5つを外生変数とし、国産丸太価格指数、米材丸太の日本での価格、米材輸入量を内生変数とする短期の国産丸太価格指数予測モデルを開発した。

III 試験目的

近年の経済環境はかつてないほどドラスティックに変化している。木材市場に関連する分野も同様であり、木材価格は常にコンクリートや鉄骨、化学合成品といった代替材価格の動きに影響を受けてきた。また、寡占状態にある外材の価格は為替レートや米材丸太の産地価格に大きく左右され、これら外材の動きも国産材の価格に大きな影響を与えている。国有林のように大きな林業生産組織では、こうした素材価格の動きを十分に考慮しながら、生産戦略、販売政策を展開する必要がある。

素材価格の将来動向を知るため林野庁が利用してきた木材価格予測モデルは、林業をとりまく環境が安定していることを前提として作成されたものであり、近年の経済事情にはうまく適合しないものになっていた。一方、森林総合研究所ではかねてから林産物の需給構造の解明という研究課題のもとで、木材需給均衡モデルの開発等の研究を進めている。

この研究の推進に当たって集積してきた林産物需給に関連した情報や分析手法を活用し、近年の林業をとりまく経済環境の変動に対応できる国産丸太価格予測モデルを開発することがこの研究の目的である。

IV 試験の方法と結果

1. 木材価格予測の必要性和モデルの役割

1) 国有林経営における木材価格予測

国有林経営に関する計画の中には、造林計画、保育計画、林道計画といった、資金の裏付けを必要とするものが幾つかある。こうした計画に対しては単なる木材生産計画だけでなく、計画の裏付けとなる資金計画も必要になってくる。木材供給の立場から資金計画として貢献できる部分は、伐採収入を予測し資金的な裏付けを必要としている各種計画の担保を明らかにすることである。そのためには、国産丸太価格の予測が重要な役割を果たす。

現在、林野庁では2つの形で木材価格の予測を行っている。1つは長期的に木材価格の推移を見ようというもので、「林産物の需要及び供給に関する長期見通し」を行う場合に作成する。他方は国有林経営において予算編成時に行う、短期的な国産丸太価格予測である。前者はシステム・ダイナミクスと計量経済モデルを組み合わせた手法をもとに、後者は計量経済分析により予測モデルを作成している。前者については、すでにその概要が「重要な林産物の需要及び供給に関する長期の見通し」の解説書等（例えば安井ら1987、野田ら1987）に述べられているので、ここでは後者について報告する。

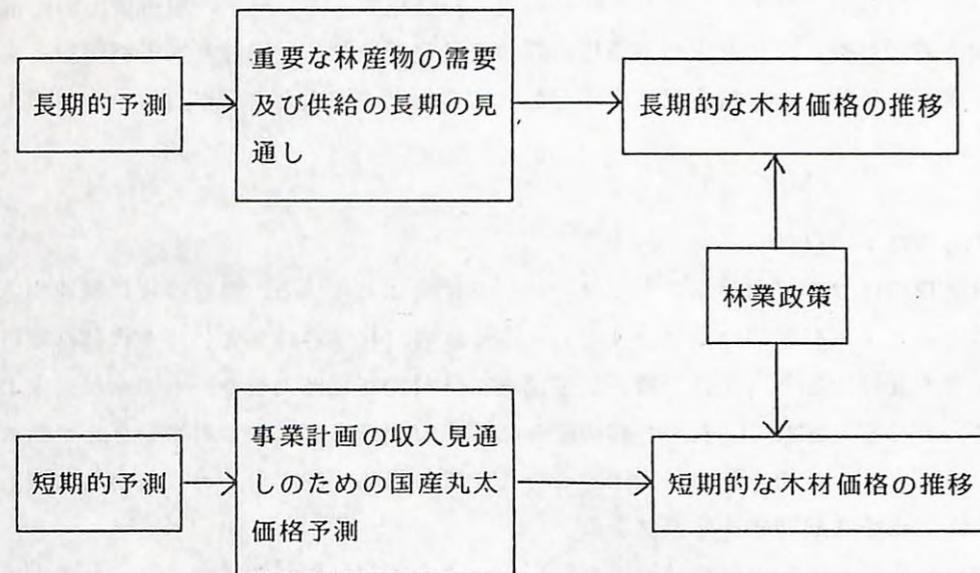


図1. 国有林経営における木材価格予測

2) 計量経済分析による価格予測

計量経済分析が近代経済学的手法の一つとして確立されたのは、1930年代である。しかし、実際に経済の現場で応用されだしたのは、コンピュータが利用可能になった1960年代に入ってからである。その後、計量経済分析は過去の経済構造の分析だけでなく、政策の意志決定や予測のための有力な道具として使われてきている。

計量経済モデルは経済事象の相互依存関係を線形の方程式で近似し、それによって経済事象の因果関係を説明したり、将来の経済動向を予測していくものである。単純な場合には1本の方程式で近似し、複雑な場合には複数の方程式を連立させてモデルとする。

単一の線形回帰式によるモデルは

$$Y = a + bX + \varepsilon$$

と表現される。木材価格Y（従属変数）に影響を与える要因X（説明変数）を経済事象の中から選択し、もっとも当てはまりのよいa、bを最小2乗法によって求める。ここでεは誤差項であり、モデル作成上省略した説明変数や、究明されていない因果関係、データ計測の際の誤差、人間活動の不合理性から生ずる不規則な変動などを含んでいる。

モデルの良否を決定する基準はつぎの6つである。

(1) 係数の符号条件

例えば予測式において外材価格の変数が負であれば、外材の価格が上昇するときに、国産材の価格が減少するような矛盾した関係が生まれる。このように常識的にみておかしいと思われるような符号関係がモデル式の係数に現れないようにする。

(2) 自由度修正済相関係数

計量経済分析では因子間の関係を表す各構造モデルを、重回帰式として表現する。このとき、説明変数を増加させていけば必ず重相関係数R²の値は増加する。しかし、このようにして重相関係数を増加させても、モデル式誘導に用いたデータに対して当てはまりをよくするだけで、母集団構造の推定、再現性等の点からはかえって精度が悪くなる。従って、統計的には説明変数を増やすことがそのままモデルの作成によいとはいえない。それよりは少ない説明変数でいかにうまく被説明変数を表現するかが重要である。そこで、計量経済分析ではデータ数がn個で説明変数がk個の場合は、次式でもとの重相関係数R²を修正したものを重相関係数として用いる。

$$R'^2 = 1 - (1 - R^2) * (n - 1) / (n - k)$$

なお、重相関が多少低いからといって、モデルが不相当と頭から決めつけることはできない。ときには理論的に決めたモデル式を優先することもある。ただ、重相関係数が0.9より小さい場合には、改善の努力をする必要はある。

(3) t-値

その係数が0であってもよいかどうか、つまり、その変数があってもなくてもモデル式

に有意な影響を与えない場合は、当然、その変数は削除される。それを判断するのがt-値であり、一般には|t|が1.0以上であればよいとされる。もし、t-値が小さい場合は、その因子をほかの因子と入れ換えるか、モデル式の構造を変更してみる。

(4) ダービーワトソン比

予測モデルは最小自乗法で求められるため、系列相関があると(過去の国産丸太価格指数の値によって現在の価格指数が決まってしまうような構造)、モデルの意味がなくなってしまう。この系列相関があるかないかをチェックする指標である。推定式を

$$u_t = \rho u_{t-1} + \varepsilon_t$$

として系列相関ρを表したとき、計算可能な残差eについて

$$DW = \sum (e_t - e_{t-1})^2 / \sum e_t^2$$

とした統計量がダービーワトソン比であるが、経験則として

$$1.5 \leq DW \leq 2.5$$

であれば、系列相関はないと考える。

(5) 外生変数として望ましいもの

貢献度があまり変わらない変数同士で、どちらかを選択する場合は、時系列的に安定した動きをし、予測しやすいものを採用する。例えば、後述するように「米材丸太の日本での価格」と「米材丸太の産地価格」では、産地価格の方が安定した動きをしているので、外生変数としては産地価格を採用する。全外材輸入量と米材輸入量についても、米材輸入量の方が安定した動きをしている。

(6) 適切なダミー変数の導入

経済事象では季節変動がある場合、その部分を調整する必要がある。また、異常な攪乱時期があったりして、長期的な予測からは除きたい期間があったりもする。そうした場合、計量経済分析ではダミー変数をモデルの中に導入する。ここでは季節ダミー変数について説明しておく。

後述するように木造住宅着工戸数は強い季節変動がある。このため、普通にモデルを作成したのでは季節変動が平滑化されてしまって、将来予測において季節ごとの違いを再現できなくなる。そこで、季節ごとの変動をモデルで表現するため、季節ごとに一定量を加算あるいは除算する変数を導入する。時間単位が四半期であれば、春を表すダミー変数は(1, 0, 0, 0)、夏を表すダミー変数は(0, 1, 1, 1)となる。

計量経済学による木材価格予測モデルの開発は、林業経済の計量的な分析の研究を目的として岸根卓郎、赤井英夫、野村勇らによって行われており、その後も唯是康彦、行武潔らによっていくつかの価格予測のための計量モデルが出されている。こうした既存モデルは数多くの方程式から構成された大規模なものである。しかし、行政が様々なシナリオをもとに価格予測するとき、余りに複雑なモデルでは因子間の動きを明確には把握できない。

林野庁のような経済官庁が計量経済モデルを用いるのは、将来の経済事象を予測するためだけでなく、シナリオを設定して政策の効果を事前に評価するために利用することも多い。そうした場合、複雑なモデルでは政策効果がモデルの中でどのように反映されているのか判断が難しくなる。そこで、なるべく簡単な構造で、かつ、林業分野の行政担当者が予想しやすいトレンドをもつ外生変数からなるモデルが望ましい。ただし、単純なモデルは現実の社会の動きを忠実に反映するものではなく、大部分の現象を省略したモデルになってしまうことも否めない。従って、本質的な部分については省略しないよう注意する必要がある。

3) 従来の木材価格予測モデル

木材価格を予測するためのモデルはすでいくつか発表されているが、ここでは唯是らによって作成されたモデルについて紹介する。

(1) 唯是・行武のモデル

唯是、行武によるモデルでは、外生変数、内生変数として表1を考えている。外生変数は伐採労賃、国民所得の2変数であり、昭和35年から44年の間のデータを用いて、モデル式を算出している。

表1. 唯是・行武のモデルの変数一覧

記号	外生変数名	記号	内生変数名
① W	伐採労賃	⑩ D _r	外材製材品需要量
② Y	国民所得	⑪ Y _r	林業所得
		⑫ P _r	外材製材品価格
		⑬ P _m	外材輸入価格
		⑭ M _t	外材輸入量
		⑮ S _r	外材製材品供給量
③ O _d	国産針葉樹素材生産量		
④ B _w	木造建築着工面積		
⑤ B _u	非木造建築着工面積		
⑥ S _d	国産材製材品供給量		
⑦ P _d	国産材製材品価格		
⑧ P _i	国産材素材価格		
⑨ D _d	国産材製材品需要量		

・国産針葉樹素材生産式

$$O_d = 11869.300 - 6.3098284(W - W_{-1}) - 16.371001Y_{r-1} + 0.87133998 O_{d-1}$$

$$R = 0.99564, S = 357.78406$$

・木造建築着工面積式

$$B_w = 19819.898 + 1.2286278Y$$

$$R = 0.98951, S = 2173.1044$$

・非木造建築着工面積式

$$B_u = -327.85072 + 2.1679818Y$$

$$R = 0.98880, S = 3964.5621$$

・国産材建築用製材品供給式

$$S_d = -1835.6531 + 0.18447947 O_d - 2196.7488(M_t - 1 - M_t - 2) / M_t - 2 + 0.77289529S_{d-1}$$

$$R = 0.99543, S = 112.38032$$

・国産材製材品価格式

$$P_d = 68.19968 - 0.0004414(S_d - (B_w + B_u))$$

$$R = 0.96337, S = 5.16249$$

・国産素材価格式

$$P_1 = -32.68798 + 1.3105428P_d$$

$$R = 0.99370, S = 2.84498$$

・外材建築用製材品需要式

$$D_r = -12524.015 + 85.975944P_d + 0.09202661(B_w + B_u + (B_w + B_u)_{-1}) / 2$$

$$R = 0.99870, S = 262.42969$$

・林業所得式

$$Y_r = -344.85082 + 0.01110984 O_d + 3.8811113P_1$$

$$R = 0.99083, S = 9.74400$$

・外材製材品価格式

$$P_r = 85.897953 + 0.00300682D_r$$

$$R = 0.97796, S = 3.83717$$

・外材輸入平均価格式

$$P_m = 3077.9860 - 545.53136(D_r - D_{r-1}) / D_{r-1} + 76.275105P_r$$

$$R = 0.98999, S = 177.23477$$

・外材輸入式

$$M_t = -88630.954 + 10.006818P_m$$

$$R = 0.99123, S = 1592.4966$$

R: 重相関係数

S: 方程式の標準誤差

このモデルでは外生変数として用いるのは伐採労賃と国民所得だけである。このため、前もって予測しておくシナリオは単純である。さらに、これらの変数は時系列的に安定し

たトレンドを示すので、外生変数として扱いやすいといえる。

(2) 林野庁が使用してきたモデル

林野庁の国産材丸太の価格指数は次のモデル式群によって算出されていた。なお、ここで取り上げる丸太価格指数はせいぜい2年間という短期を予測するモデルであるため、計算はほかの経済分野の予測モデルと同じく、四半期の時間単位で行っている。

- (国産材丸太価格 P / 卸売り物価総平均 X) = f_1 (前四半期の P/X , 前四半期の製材用素材需要量 HW , 木造建築着工量 BA_1 , 季節ダミー)
- 木造建築着工量 = 木造率 \times 建築着工面積 BA_0
- 建築着工面積 $BA_0 = f_2$ (前四半期の BA_0 , 全国銀行貸出約定金利, 季節ダミー)
- 製材用素材需要量 $HW = f_3$ (P/X , 前四半期の HW , BA_1 , 季節ダミー)

このモデルが設定された時期には、現在のように大きく為替が変動することもなく、わが国の木材価格が海外の木材市況に影響されることも考慮する必要はなかった。建築着工面積や金利に注目すれば木材価格の予測が可能であった。しかし、近年は先に述べたように為替変動が激しく、ドルに対する円レートがわずか3年で半分になったり、金利も同じ3年で55%変動し、米材の産地価格も3年で77%上昇した時期があるなど、林業をとりまく経済環境の変動が激しくなった。そのため、こうした環境変化に対応できるモデルの開発が要請された。

4) モデルの役割

国有林が生産する素材の総生産額を算出するため、立方メートル当たりの国産丸太価格を推定するのが目的である。ただし、高付加価値材についてはこうした価格からは相当かけ離れるので、行政担当者は生産割合を考慮しながら、モデルから算出された国産丸太価格の修正を行う。また、短期での木材価格予測を行うため、時間の単位を四半期としている。

当モデルは国産丸太の価格形成機構を理論的に明らかにするのが目的ではなく、予測が比較的容易にできる因子を用いて、複雑な挙動を呈する国産丸太価格を推定することを目的としている。このため取り上げる因子間の関係を理論的に分析することはせず、統計的な推定精度の高いものを捜すという Fact Finding な方法で、モデルを作成した。

円レート、銀行貸出約定金利など木材の価格形成に関連した経済環境の変動を表す外生変数について、将来の動きを様々な角度から検討し、いくつかのシナリオを設定する。そして、モデルを用いてシナリオで想定した経済環境の変化に対応させた国産丸太価格の将来予測を行い、価格変動に応じた国有林経営方策を事前に検討することも、モデル活用の

狙いの一つである。

2. 各変数の時系列的な動き

モデルを作成するに当たっては国産丸太価格に関連があると思われる因子を取り上げ、時系列的にデータを収集することが可能かどうか、あるいはデータの信頼性はどうかといったことを検討する。そして、実際に収集した各因子を用いて、価格形成に関連する構造のモデルを作成し、当てはまりのよさを調べる。本節ではこうした手順で最終的にモデル式に組み込んだ因子について、その時系列的な動きを説明する。

(1) 国産丸太価格指数の動き

日本銀行が調べて公表している「卸売り物価指数」の中の国内丸太類価格指数で、国有林が生産する丸太価格の動きを代表させる。まず、この丸太価格指数の長期的な動きをみると(図2)、1980年まで価格は一貫して上昇し、その後は1987年に小さなピークがあるものの、低迷した状態が続いている。木材価格予測モデルの作成に当たっては85年から91年にかけての四半期データを用いたので、その期間の四半期ごとの丸太価格指数の動きを示したのが図3である。長期的には過去10年間の価格は低迷しているが、短期的には87年を別として第1四半期に価格が下がるという季節変動を示しながら、木材価格は漸増している。87年のパターンがほかの年度と異なるのは、あとで述べるように木造住宅着工戸数が急増したこと、日本の丸太価格に大きな影響を与えるとされている北米材丸太の産地価格や入荷量が、この時期に異常な動きを示したことによると思われる。

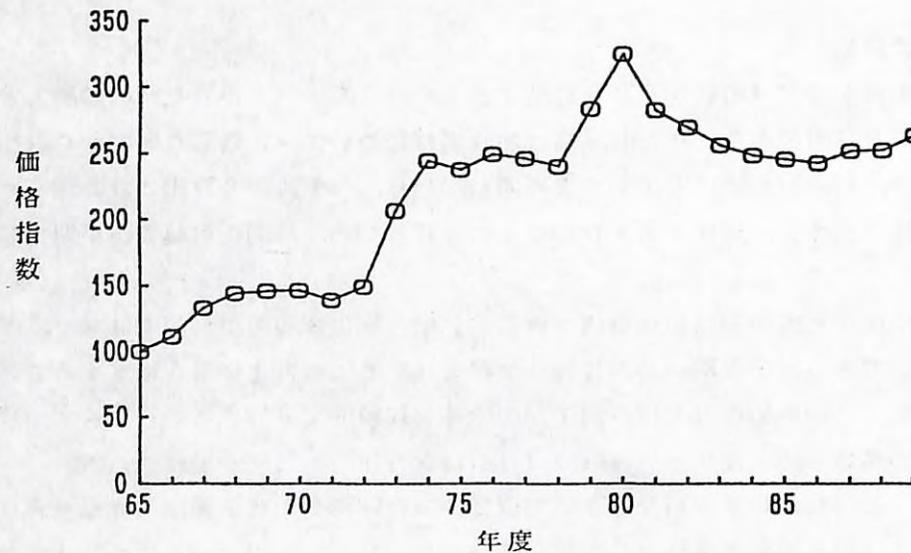


図2. 木材価格の長期的な動き

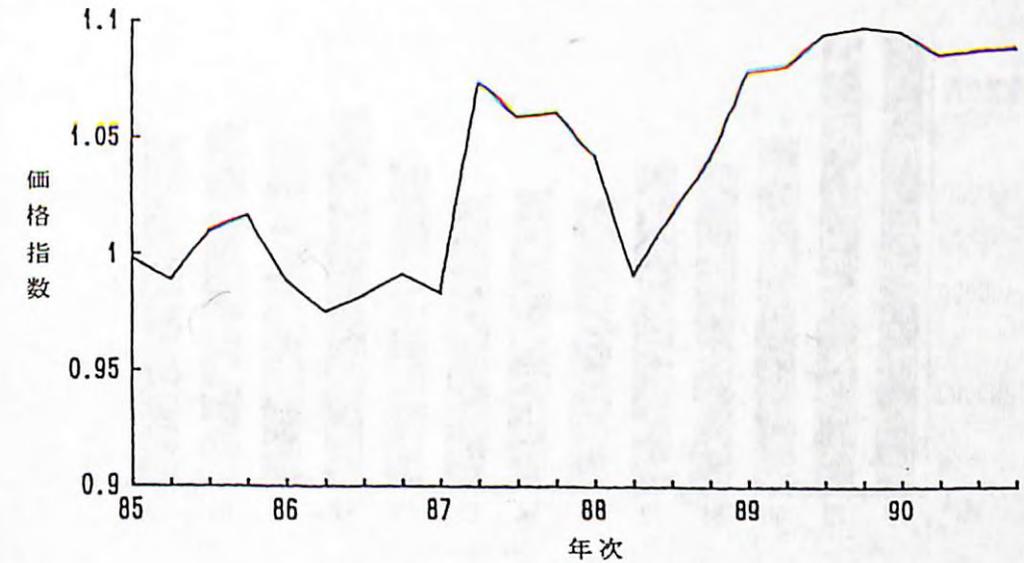


図3. 四半期ごとの国産丸太価格指数

(2) 木造住宅着工戸数

丸太の需要量のうちもっとも大きな比率を占めるのが、木造住宅の着工戸数である。1978年以降のわが国の住宅着工戸数を図4に示す。80年には20万戸近く着工戸数が減少し、その後80年代半ばまでこの減少傾向は続き、87年に戦後のベビーブーム世代の持ち家需要があつて、70年代終わりほどではないが一つのピークを迎える。前に示した木材価格指数の動きと住宅着工数のそれがよく連動しているのが分かる。

予測モデルの作成に当たってデータを使用する部分の四半期ごとの木造住宅着工数を示したのが、図5である。着工戸数は各年度とも冬季に落ち込む季節変動が強く出ている。この変動を表すため、モデルには季節ダミー変数を導入している。なお、木造住宅着工戸数は建設省が公表している住宅着工戸数に木造率を乗じて算出している。

(3) 米材丸太の産地価格

階段状ではあるが米材丸太の産地価格は一貫して上昇を続けている(図6. 米材丸太の産地価格)。この中で1987年前半の大幅な価格上昇が特徴的である。これは、それまで価格より数量を優先してきた輸出業者が、生産調整による米材丸太価格の維持に方針を変換したことによる。ウェアハウザー社を中心とした輸出業者は日本での木材需要の堅調さを睨みながら、伐採抑制をするなどして産地価格の維持に努めたため、日本国内での米材丸太価格には反落があつたにもかかわらず、米材丸太産地価格は一定して上昇を続けた。

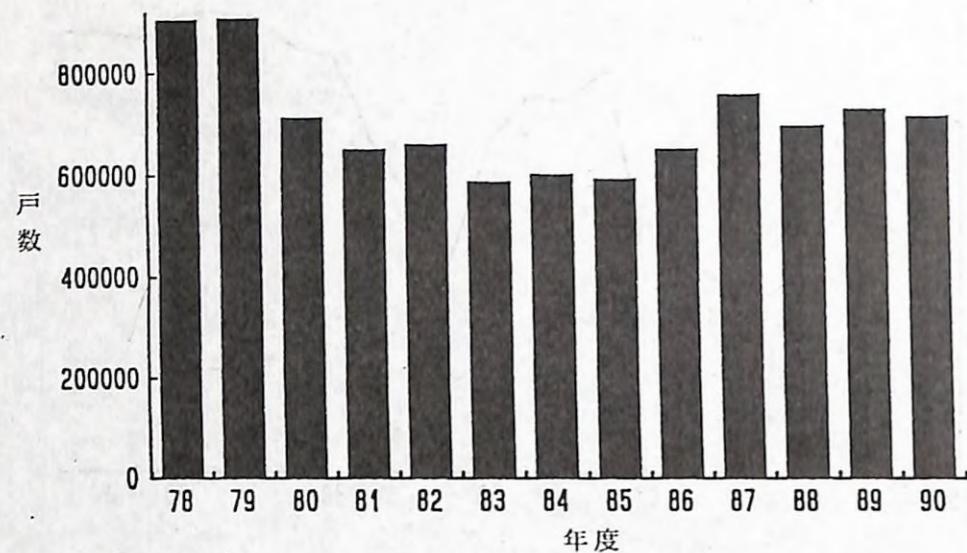


図4. 木造住宅着工戸数の長期的な動き

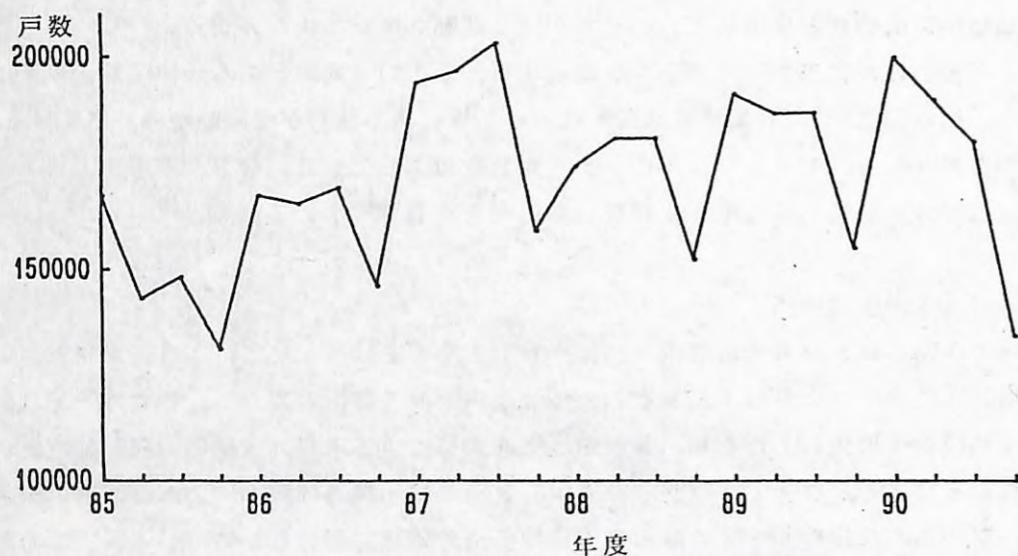


図5. 四半期ごとの木造住宅着工戸数

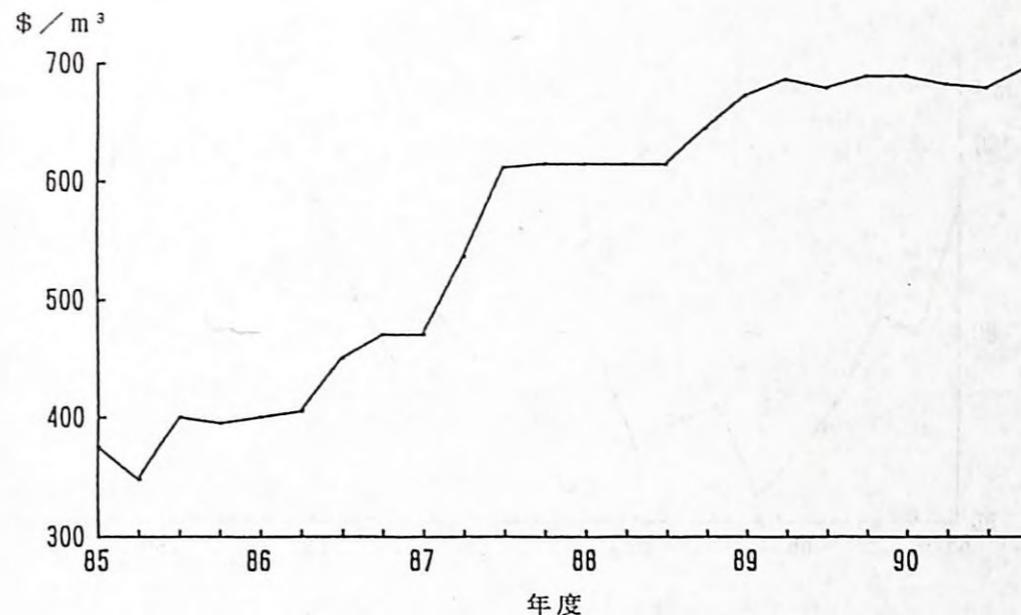


図6. 米材丸太の産地価格

このため、ときには米材丸太の産地価格と日本での米材丸太価格との間に逆ざや現象が生じることもあった。また、米材丸太の産地価格上昇の背景には、わが国と同様に米国内での住宅着工戸数の伸びや、中国からの大量買い付け、韓国への好調な輸出、トルコへの新規輸出などが重なったこともあって、西海岸からの丸太輸出量が記録を更新し、丸太が供給不足気味だったこともある。こうした好条件が重なり、米材丸太の産地価格はこの時期に急上昇した。日本の木材価格も米材丸太に引き吊られて上昇したものの、85年平均と90年平均の比でみると、米材丸太産地価格の上昇率は81.2%であるのに対し、国産丸太価格の上昇率は8.6%でしかない。なお、米材丸太産地価格は日刊木材新聞社の「米材ウィークリー」による。

(4) 米材丸太の日本での価格

米材丸太の日本での価格は円がUSドルに対し高くなった時期に、米材丸太の産地価格も上昇したため円高の効果は表れず、1986年から1990年にかけて米材丸太の日本での価格は上昇している(図7. 米材丸太の日本での価格)。用いた米材丸太の日本価格は林野庁調べによる。

(5) 米材(丸太+製材品)輸入量

わが国の近年の木材供給は図8(木材供給量)をみれば明らかなように、輸入材の比率が年々上昇している。ここ数年の需要量の増加に対応しているのも輸入材であり、国産材

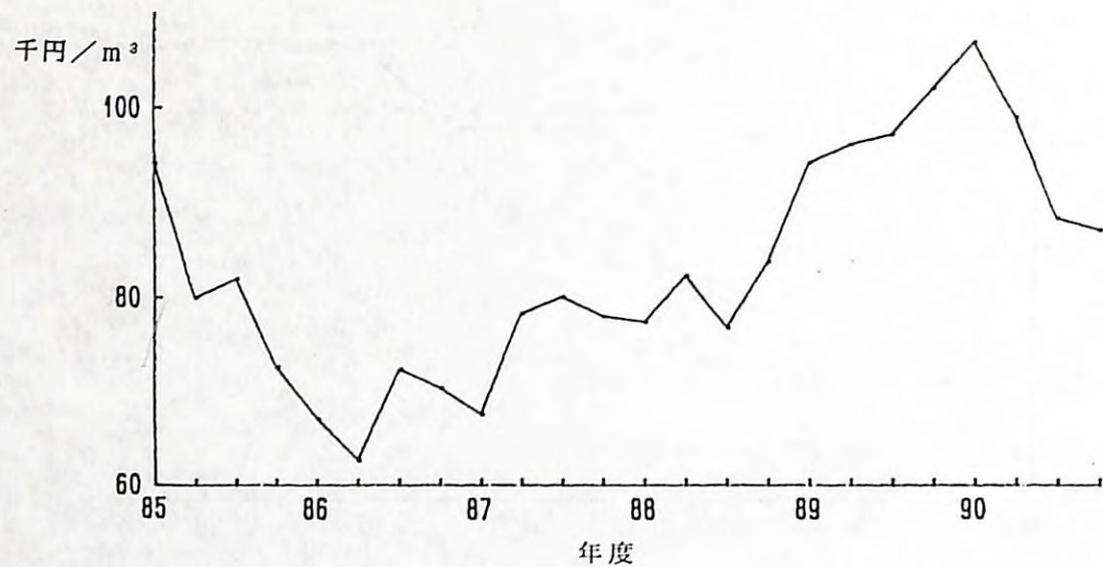


図7. 四半期ごとの米材丸太の日本での価格

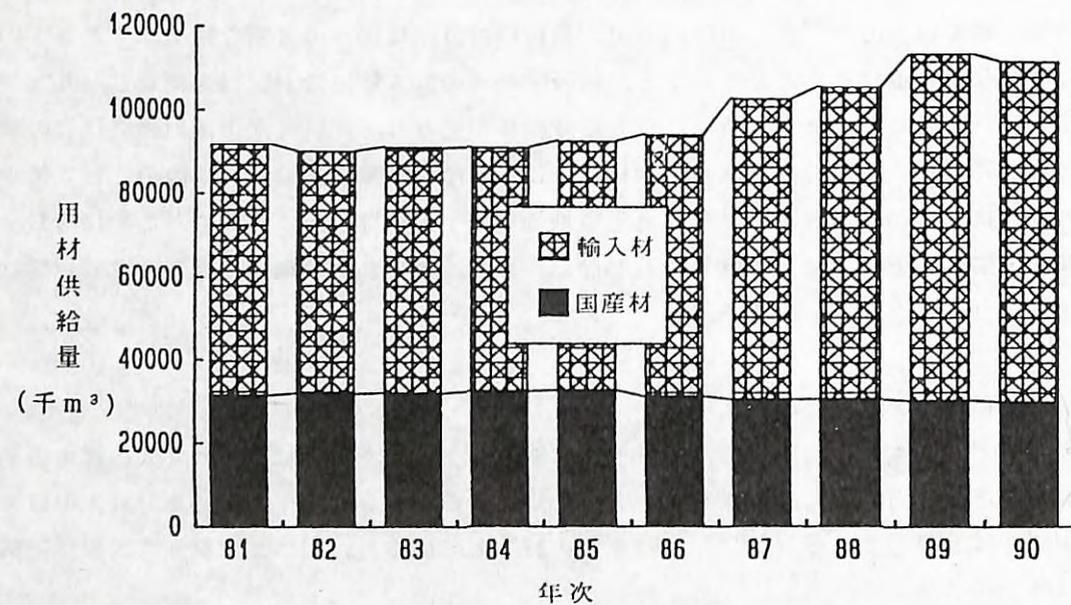


図8. 日本の木材供給量 (外材・国産材別)

は木材の需要が増加する中で逆に供給量を減らしてきているのが現状である。こうした外材寡占下にあっては輸入材の量が国産丸太価格にも大きな影響を与えると予想される。輸入量としてはすべての外材を説明変数とするか、米材に絞るかについて検討したが、振幅の度合いが少なくトレンドを取りやすいこともさることながら、一般に国産のスギ丸太が米ツガと価格的に競合するといわれているなど、国産材市場と競争関係にある米材の方が国産丸太価格を推定するモデルの構造としては望ましいと考えられたこと、外材の中では米材に関する情報量がもっとも多く収集も容易であること、予測のための前提となるシナリオ設定も米国の情勢を分析しながらできるという利点を考慮し、米材輸入量を説明変数として取り上げた。

米材の輸入量は大きな振幅はあるものの、傾向としては年々増加をしてきている(図9 米材輸入量)。ここで、特に振幅が大きい1987年から1988年にかけての現象について、その背景を説明しておく。1987年度前半は米材丸太価格の急速な上昇があり、それに呼応するようにして米材の輸入量も急速に増加した。このため、消費が好調であったにもかかわらず、日本国内における在庫が大幅に増えた。これによる値崩れを防ぐため輸出業者が生産調整を行ったのに加え、1987年夏以降に米国、カナダでは異常乾燥が続き、山火事防止のための入山禁止措置が取られた。さらに、冬季には大規模な寒波が到来したため、産地である北米西海岸の伐採量が数か月に渡って滞った。このように在庫調整と生産現場の気象条件が悪かったことの相乗効果で、1987年度の第4四半期には大

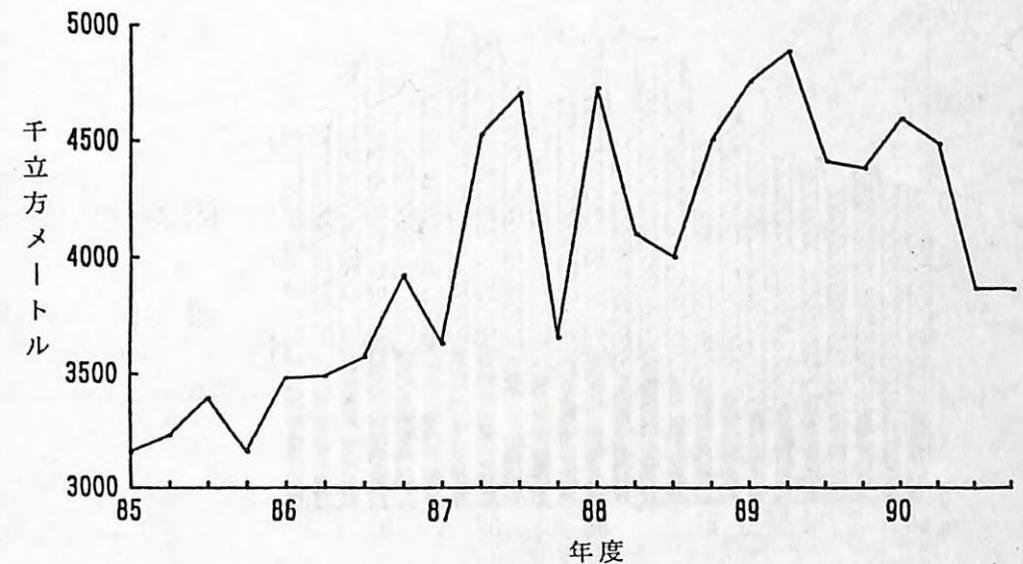


図9. 四半期ごとの米材輸入量

幅に入荷量が減少した。88年も前年ほどではなかったがほぼ同様な経過をたどった。なお、1987年、88年を除けば、米材輸入量は増加傾向にあり、日本における木材市場でのシェアを着実に拡大してきている。

米材輸入量は丸太と製材品を足し合わせたものを用いた。丸太と製材品の内訳を図で示したが(図10)、製材品についてはそれほど大きな変動はなく、米材輸入量の振幅の原因の多くは、丸太輸入量にあることが分かる。なお、データは大蔵省「貿易統計」によった。

(6) 円レート

当初、この予測モデルを開発するきっかけになったのが、円高による為替差益を木材価格予測においても組み込むべきであるとの指摘があったためである。特に、円が1ドル150円より高くなれば安い外材が大量に流入し、日本の林業は大きな痛手を被るのではないともいわれていた。そして、実際に円レートは1986年に150円を切った(図11)。しかし、円高が進む頃に住宅着工戸数が増加に転じたことと、北米材輸出業者が日本の木材需給状況を睨みながら輸出価格を高値に誘導したこと、さらにわが国の木材流通経路が複雑であるため、その流過程で円高差益が吸収されてしまったことなどから、結果的にはわが国での丸太価格が暴落するといったような、ストレートな形での影響は表れなかった。逆に、円がドルに対し高くなるにつれ国産丸太価格も上昇するという、負の相関が表れた。

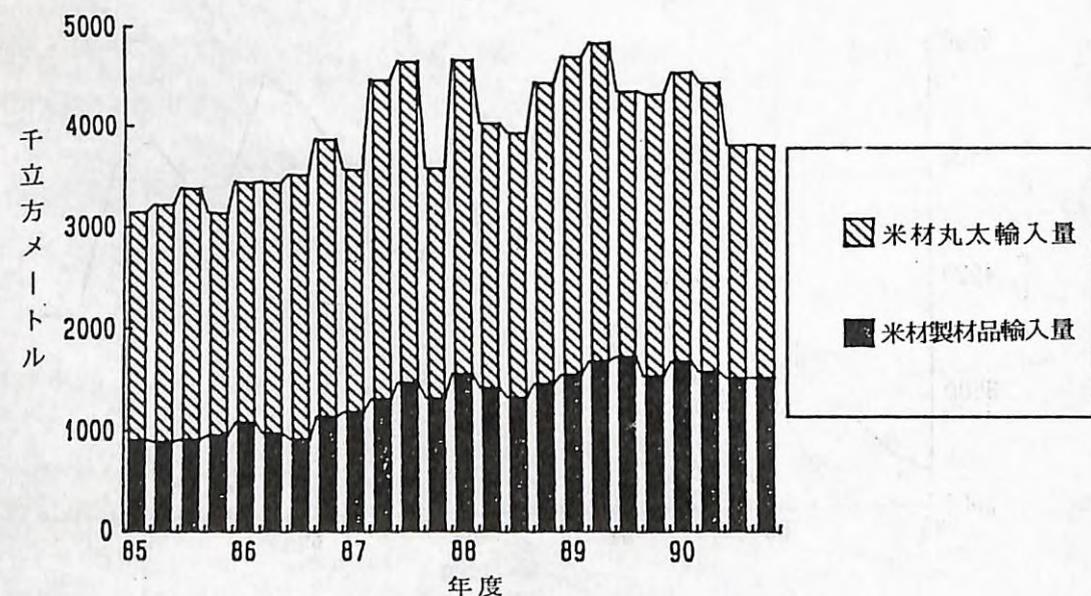


図10. 四半期ごとの米材の丸太・製材品別輸入量

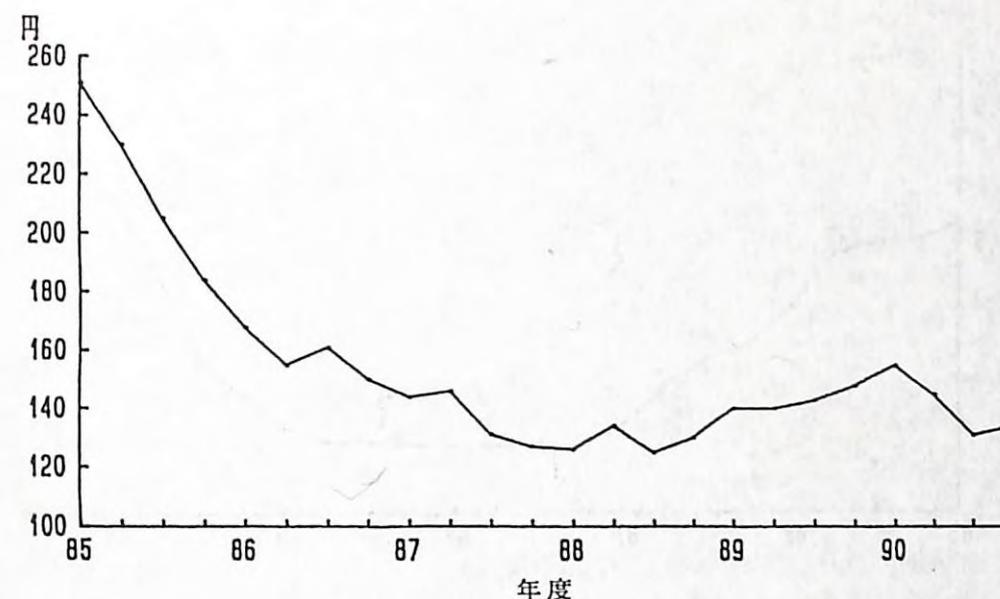


図11. 円レートの動き

(7) 銀行貸出約定金利

銀行貸出約定金利は87年、88年が底であったが(図12)、この影響が住宅建築資金の手当てのしやすさとして、同時期の住宅着工戸数の増加につながっていると思われる。このため、今後の金利の動向が将来の住宅着工戸数を予測するときのポイントになる。また、木材関連商社の資金の手当てのしやすさから金利は丸太輸入量と負の相関をもち、木材価格の動きに間接的な影響を与えていると推定される。

(8) 総合卸売り物価指数

総合卸売り物価指数はここ5年ほど安定した動きをしている(図13)。モデルが予測しようとしている丸太価格指数は総合卸売り物価と丸太価格との相対値であるので、モデルの中に説明変数の一つとして組み込まれている。また、卸売り物価が下がれば建築コストの低下も期待される。データは日本銀行調べである。

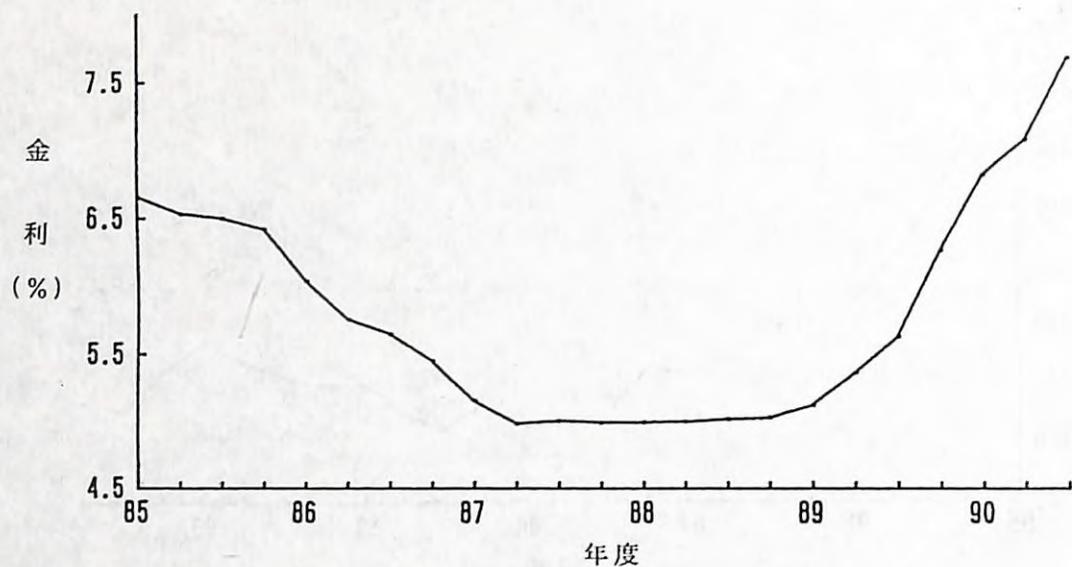


図 1 2. 銀行貸出約定金利

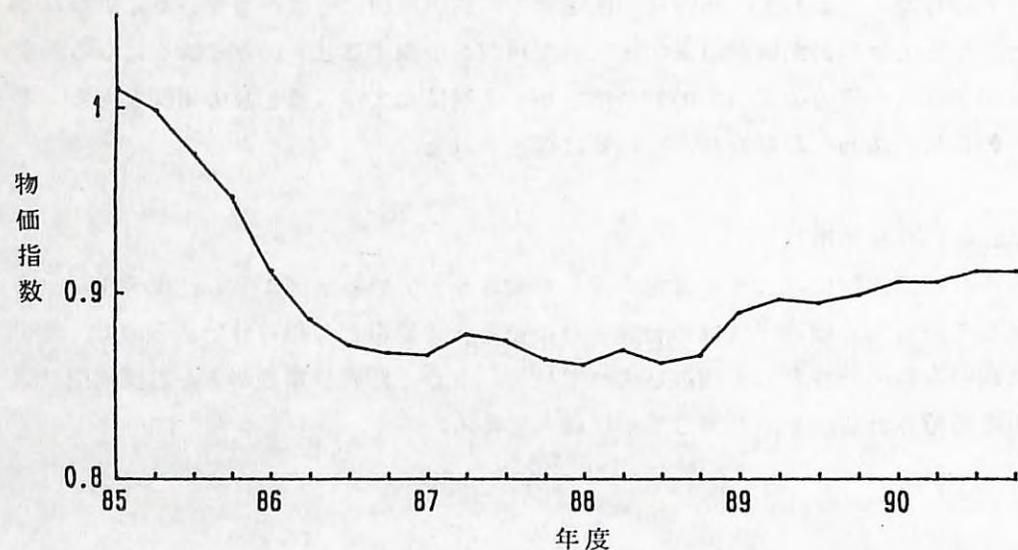


図 1 3. 総合卸売り物価指数

3. 国産丸太価格指数予測モデル

1) モデル式の構造

計量経済モデルには逐次決定型方程式と同時方程式の2つがあるが、同時方程式体系では説明変数と誤差項の間に相関が生じるなどモデルの統計的推定の作業が複雑になる。また、モデル式の係数を求めるのに2段階最小自乗法を用いる必要があり、情報が不完全な場合、かえって推定精度が不満足なものになる(唯是ら, 1977)。そこで、ここでは逐次決定法を用いることにした。国産丸太価格指数の動きを短期的に予測するために誘導されたモデルは、最終的には以下ようになった。

・国産丸太価格推定式

$$(1) P_t = 1.91795E-06 * P_j + 2.352E-06 * H_{-1} + 0.600798 * P_0 - 1.74801E-05 * M_{t-1} \\ + 0.0622551 * D_1 - 0.0159887 * D_2$$

	t-値
R ² = 0.923191	P _j 5.92520
SD = 0.0122849	H ₋₁ 10.32260
DW比 = 1.94023	P ₀ 19.76500
	M _{t-1} -1.92315
	D ₁ 7.30821
	D ₂ -2.39208

・米材丸太の日本での価格推定式

$$(2) P_j = -105416 + 124.486 * P_{t-1} + 532.79 * E_{xc} + 0.265349 * H - 9359.81 * D_1 - 7376.42 * D_2 \\ - 6620.58 * D_3$$

	t-値
R ² = 0.943165	定数 -7.04452
SD = 2913.07	P _{t-1} 16.60130
DW比 = 2.34282	E _{xc} 10.85290
	H 4.21548
	D ₁ -3.07157
	D ₂ -2.52027
	D ₃ -2.44656

・米材輸入量推定式

$$(3) M_{t-1} = 5042.65 + 6.64257E-03 * H_{-1} + 0.0400812 * P_j - 289.501 * R_{-1} - 0.573685 * M_{t-1} \\ - 11.0583 * E_{xc} + 395.197 * D_1 + 322.318 * D_2 + 143.891 * D_3$$

		t-値
R^2	= 0.815165	定数 2.78004
SD	= 225.208	H_{-1} 0.95301
DW比	= 2.7003	P_j 5.47879
		R_{-1} -3.97629
		M_{us-1} -2.98110
		Exc -2.06311
		D_1 1.62489
		D_2 2.21500
		D_3 1.07160

表2. 変数名一覧表

Pd	: 国産丸太価格指数
Pus	: 米材丸太の産地価格
Exc	: 円レート
Pj	: 米材丸太の日本での価格
H	: 木造住宅着工戸数
H-1	: 1期前の木造住宅着工戸数
Pg	: 総合卸売り物価指数
R	: 銀行貸出約定金利
R-1	: 1期前の銀行貸出約定金利
MUS	: 米材輸入量合計
MUS-1	: 1期前の米材輸入量
D1	: 第1四半期季節ダミー
D2	: 第2四半期季節ダミー
D3	: 第3四半期季節ダミー

R^2 : 自由度修正決定係数
SD : 標準偏差
DW比 : ダービンワトソン比

なお、各モデル式のパーシャルテストの結果は図14～図16のようである。

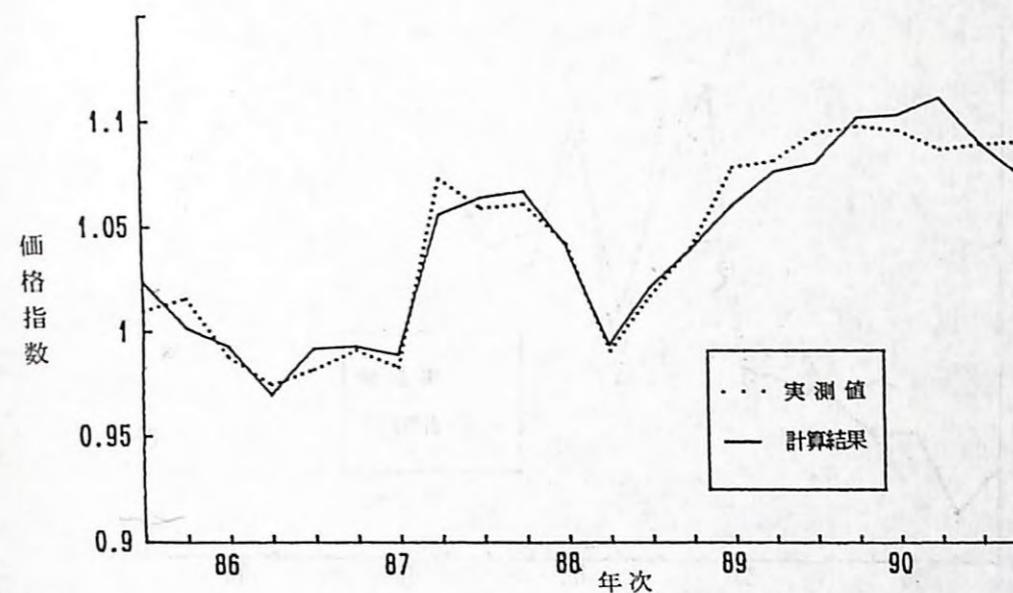


図14. 国産丸太価格のパーシャルテストの結果

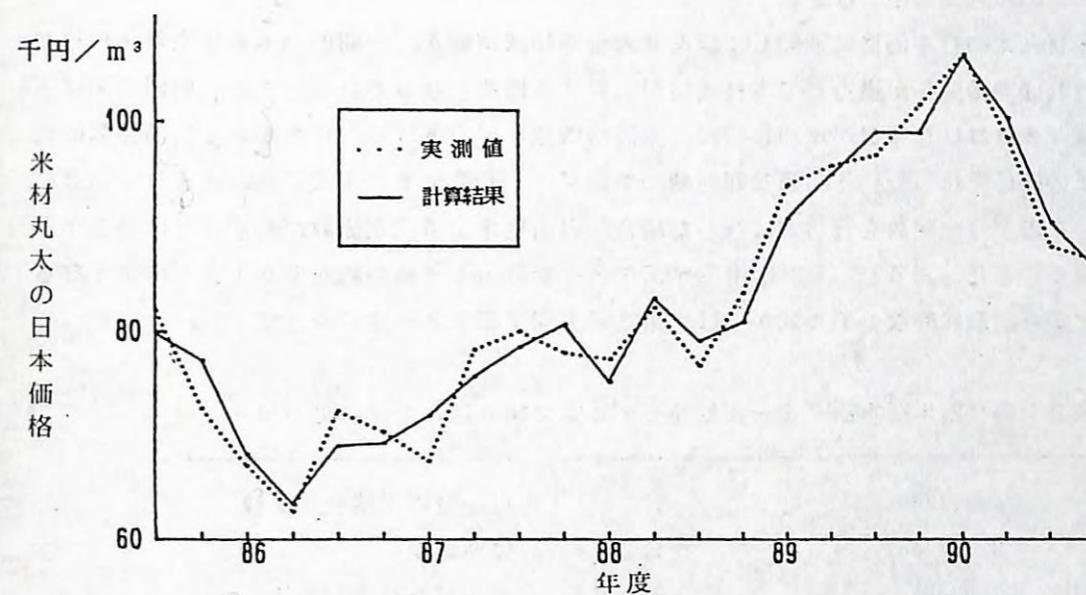


図15. 米材丸太の日本価格のパーシャルテストの結果

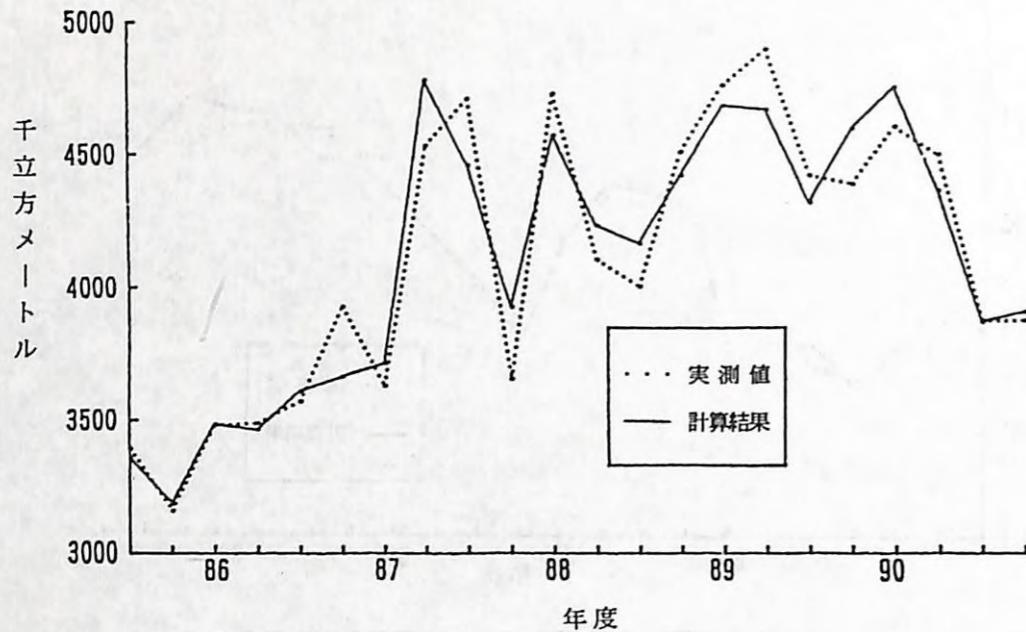


図16. 米材輸入量のパーシャルテストの結果

(1) 国産丸太価格の推定式

米材丸太の日本価格に連動して国産丸太価格指数が動き、一期前の木造住宅着工戸数が多ければ需給関係が逼迫して木材価格が上昇する構造になっている。また、前期の米材入荷量が多ければ在庫量が増加し国産丸太価格指数を押し下げる。総合卸売り物価指数は逆に正の関係を持っている。第3四半期の季節ダミー変数はモデル式に組み込まれていないが、このダミー変数を(1)式に残した場合、自由度修正済決定係数がわずかではあるが低くなることと(表3)、第3四半期季節ダミー変数のt-値の絶対値が1より小さくなることから、最終的なモデル式からは、第3四半期季節ダミー変数をはずした。

表3. 第3四半期季節ダミー変数をモデル式に組み込んだ場合のパラメータ

R^2	= 0.92239	R^2	: 自由度修正済決定係数
SD	= 0.0123461	SD	: 標準偏差
DW比	= 1.97609	DW比	: ダービンワトソン比

さて、国産丸太価格指数と米材輸入量の相関は表4のようである。

表4. 国産丸太価格指数と米材輸入量の相関

	P_d	P_d	: 国産丸太価格指数
M_{us}	0.6498	M_{us}	: 米材輸入量合計
M_{us-1}	0.6394	M_{us-1}	: 1期前の米材輸入量
M_{us-2}	0.7664	M_{us-2}	: 2期前の米材輸入量

ここで2期前の米材輸入量 M_{us-2} と国産丸太価格指数 P_d との相関が高いので、(1)式の M_{us} を M_{us-2} に置き換えた場合、計算されたモデル式のパラメータは

R^2	= 0.909804	M_{us-2} のt-値	= 0.88834
SD	= 0.0133069		
DW比	= 2.13519		

となり、モデルとしての予測精度が下がったので、 M_{us-2} は採用しなかった。同様に M_{us-1} を M_{us} に置き換えた場合も試みたが、 $R^2 = 0.921203$ と自由度修正済決定係数がわずかではあるが低くなった。このため、 M_{us-1} がモデルに組み込む米材輸入量としてはもっとも望ましいといえる。同様の手続きで木造住宅着工戸数 H などほかの変数についてもタイムラグを与えた場合、どのような影響がでているか調べたが、予測精度が向上するような組み合わせはなかった。

国産丸太価格指数と米材丸太の日本価格、米材丸太産地価格との間の相関をみると、ほぼ似かよっている。その中でタイムラグを与えたときの国産丸太価格指数に対する相関関係を調べると、1四半期のタイムラグがある場合、米材丸太産地価格の方が米材丸太の日本価格よりも国産丸太価格指数に対する相関が高い(表5.)。そこで、(1)式の米材丸太の日本価格 P_j を米材丸太産地価格 P_{us} 及び P_{us-1} に置き変えて予測モデルを作成してみたが、ともに予測精度が下がった。

表5. 国産丸太価格指数と米材丸太価格指数の相関

	P_d	P_d	
P_j	0.8539	P_{us}	0.8344
P_{j-1}	0.7866	P_{us-1}	0.7927

P_j : 米材丸太の日本での価格
 P_{us} : 米材丸太の産地価格

表6. 米材丸太の日本価格を米材丸太産地価格に置き換えたときのモデル式のパラメータ

$P_j \rightarrow P_{us}$	$P_j \rightarrow P_{us-1}$
$R^2 = 0.90398$	$R^2 = 0.872083$
$SD = 0.013733$	$SD = 0.0158476$
$DW比 = 1.6893$	$DW比 = 1.67188$

なお、為替変動の影響を予測モデルの中に取り込むことが目的の一つであったため、(1)式に直接米材丸太産地価格を取り込むよりは、米材丸太産地価格と円レートから米材丸太の日本価格を推定し、そこで求められた米材丸太の日本価格を用いて国産丸太価格指数を予測の方が望ましい。そうすれば、当初の狙いどおり予測モデル中に為替変動を組み込むことができる。ここでは、結果的に米材丸太産地価格から直接に国産丸太価格指数を推定することなく、上記のように望ましい形で国産丸太価格指数を推定する(1)式が構成できた。在庫量を表す変数としては米材輸入量と全外材の輸入量という2つを説明変数の候補とした。全外材輸入量と米材輸入量を比べると、変動の傾向はほとんど変わらない(図17)。ただし、全外材輸入量と米材輸入量について、将来の動きを推定するための情報を収集することを考えると、米材に関しては資料がよく整備されているのに対し、すべての外材を対象とした場合は、例えばチリのように新規に開拓された木材輸出国については、予測式を作成するのに十分な資料が整備されていない。また、(1)式の米材輸入量を全外材の輸入量と置き換えてモデル式を作成してみても、モデル式のパラメータは

$R^2 = 0.914753$
 $SD = 0.0129403$
 $DW比 = 2.18026$

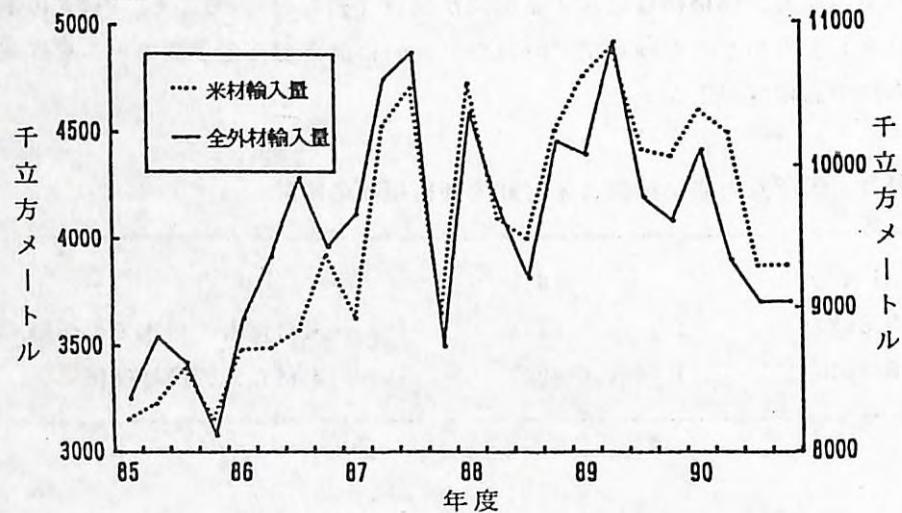


図17. 米材輸入量と全外材輸入量の時系列的な動き

となり、米材輸入量を説明因子としたモデル式に比べ、予測精度も低かった。こうしたことから、理論的には全外材の輸入量から在庫量を考えた方が望ましいと思われるが、本モデルでは便宜的に米材輸入量を用いた。

(2) 米材丸太の日本での価格推定式

国産丸太価格指数を推定するために収集した説明変数のうち、国産丸太価格指数との相関がもっとも高いのは米材丸太の日本価格であった(図18)。これは外材算占下にあるわが国では、米材が木材価格を決める上で強い影響力を発揮していることを示している。そこで、直接に米材丸太の日本価格をシナリオ化して将来の国産丸太価格を推定するのが、もっとも理解しやすい予測モデルの構造であろう。しかし、米材丸太の日本価格と米材丸太産地価格を比較してみると、図19で示したように米材丸太の日本価格は変動が大きく、将来の価格予測に対する予測は難しい。これに対し、米材丸太産地価格は階段状ではあるが単調増加の傾向にあり、比較的シナリオが立てやすい動きをしている。なお、先に述べたように国産丸太価格指数と米材丸太産地価格の動きには相関があるので、重ね合わせてみると86年度から89年度にかけては、ほぼ平行な関係になっていることが分かる(図20)。

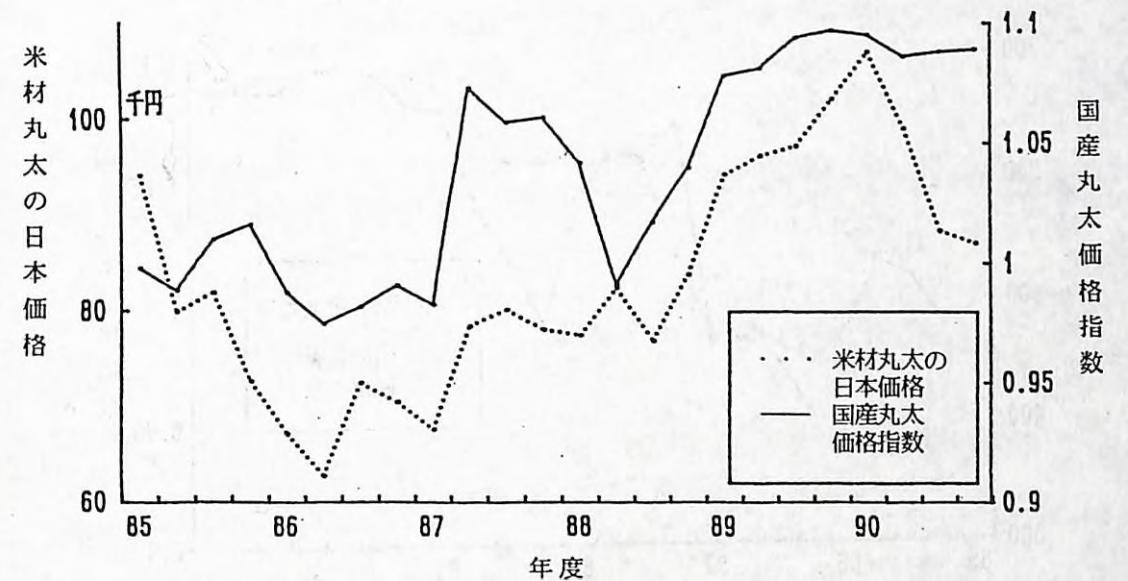


図18. 国産丸太価格指数と米材日本価格の動き

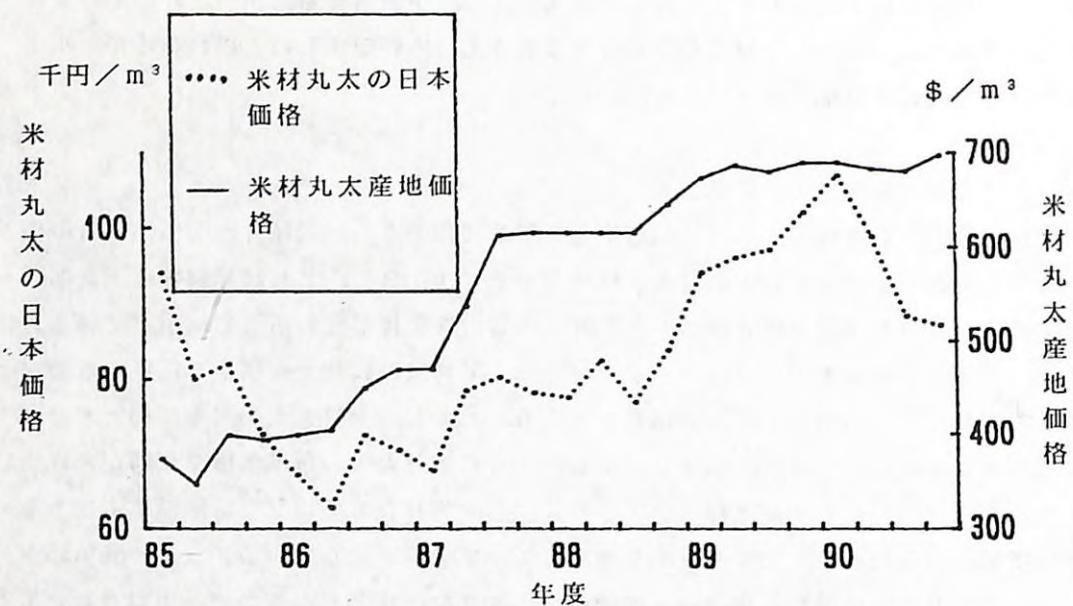


図19. 米材丸太の日本価格と米材丸太産地価格の比較

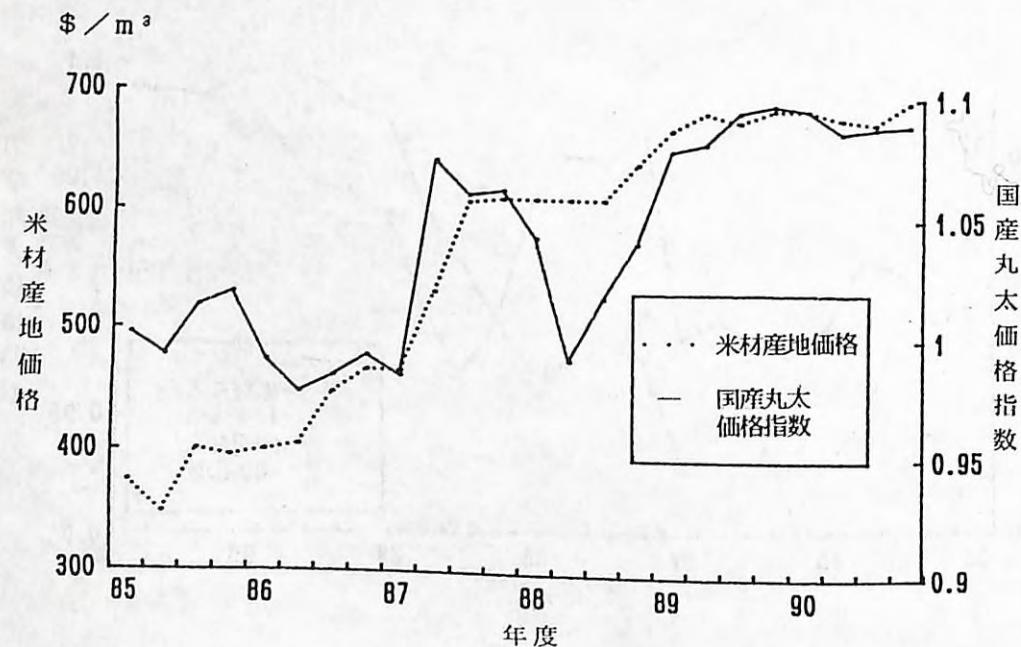


図20. 国産丸太価格指数と米材産地価格の動き

つぎに、近年の為替変動は、需要量の70%を外材に依存しているわが国の木材市場としては無視できず、先に述べたように国産丸太価格指数の予測モデルでも、為替変動を組み込む必要がある。そこで、(2)式は米材丸太の産地価格と円レートから、米材丸太の日本での価格を推定することを目的としたモデルとなっている。

(2)式では一期前の米材丸太産地価格が日本での米材丸太価格に影響を与えることになっている。さらに、円レートがドルに対し安くなれば日本での米材丸太価格も上昇し、木材需要量を表す木造住宅着工戸数が増加すれば、やはり米材丸太の日本価格も上昇する。こうした傾向はほぼ期待したとおりであり、符号条件、t-値、DW比も問題ない。

米材丸太の日本価格と米材丸太産地価格で四半期分のタイムラグが生じるのは、米材丸太の産地価格が単純な市場メカニズムで決まるのではなく、米材輸出業者の価格提示とそれに対する買い方である日本の木材輸入商社の交渉で決まるため、1か月先の輸出価格が予め決まってしまうことと、船積みから輸送、日本への到着までの日数を考慮すると、この程度の時間のズレは当然であろう。

円レートと国産丸太価格との単相関は表7のように負の関係がある。この関係は、図21で見ても判然としており、円レートが下がってくるにつれ、逆に国産丸太価格指数が上昇している。つまり、円高差益が国産丸太には表れていないことになる。

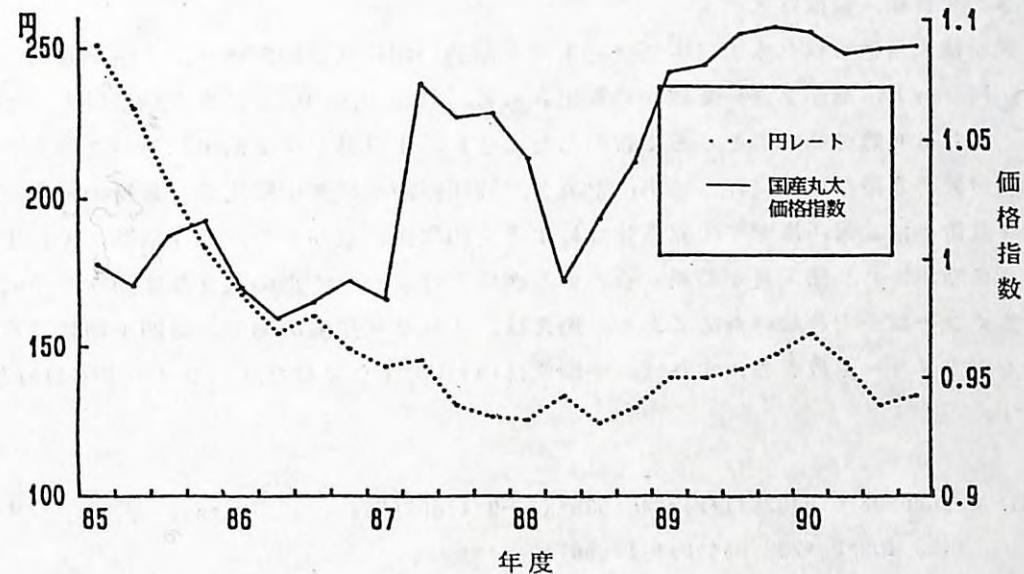


図21. 円レートと国産丸太価格指数の動き

表7. 円レートと国産丸太価格指数の相関

	Pd	
Exc	-0.3516	Exc-1 : 1四半期前の円レート
Exc-1	-0.4036	Exc-2 : 2四半期前の円レート
Exc-2	-0.4565	

以上のことから、モデル作成以前は円レートの係数は負の符号がついた係数で表現されるのではないかと懸念されたが、最小自乗法による計算で得られたモデル式で、円レートの係数は通常の常識的な解釈が可能で、正の符号関係を示した。需要の大きさも米材丸太の日本価格に影響を与えるが、これについては木造住宅着工戸数で表現した。1四半期前、2四半期前とのタイムラグを持った関係についても(1)式の場合と同様に検討し、もっとも予測精度がよい当四半期の木造住宅着工戸数を採用した。

なお、米材丸太の日本での価格は米材丸太の産地価格と円レートを乗じた形の式で表現すべきであるが、これを線形にするためには対数変換を施す必要がある。その場合、木造住宅着工戸数との関係について整合性がとれなくなるので、すべて線形関係を前提にモデル式を設定した。

(3) 米材輸入量推定式

米材輸入量は米材丸太の日本価格と1四半期前の銀行貸出約定金利、1四半期前の輸入量、円レート、季節ダミー変数から算出される。3つの式の中では推定精度はもっとも悪い。これは変数の動きのところで説明したように、1987年度前半にあった日本の住宅着工戸数の急激な増加に伴う価格の上昇と、同年度前半の集中豪雨的な米材の輸入、続く同年度後半は北米西海岸での異常乾燥による入山禁止措置があり、伐採活動が停止するという事態が生じ、輸入量が激減するという例年とはまったく別の大きな変動を、予測式がうまくフォローできないためである。例えば、1987年度の第2、3四半期に異常な変動を表すダミー変数を導入すれば、予測式は(4)式のようになり、パラメータも良好な値を示す。

$$(4) M_{0.5} = 5695.03 + 0.0402611 * P_j - 245.538 * R_{-1} - 0.43802 * M_{0.5-1} - 12.791 * E_{x0} + 193.409 * D_1 + 232.034 * D_2 + 417.961 * D_{87}$$

R² = 0.869775

SD = 189.025

DW比 = 2.63688

D₈₇ : 87年の異常時期を表すダミー変数

(4)式のパーシャルテストの結果を図示してみると(図2.2)、確かにあてはまりがよい。ただし、このような激しい変動は現在の北米西海岸での価格決定手続きをみれば、再度生じる可能性は高い。(3)式でも推定精度は多少悪いが、輸入量の振幅のある程度は表現しているので(図2.2. 米材輸入量のパーシャルテストの結果)、1987年の異常な動きを避けるためのダミー変数を採用しないで、米材輸入量を推定することとした。

つぎに符号条件をしてみる。前期の木造住宅着工戸数が多ければ在庫量が減少するので、輸入量は増加する。また、日本での米材価格が高ければ日本市場の魅力が高まるので輸入量は増加し、安くなれば減少する。銀行貸出約定金利が低くなれば商社は運転資金を調達しやすくなるので輸入量は増加し、金利が高くなればその逆の現象が生ずる。前期の米材輸入量が多ければ在庫調整のためその後の入荷量は減らされる。円レートについては円が安くなれば輸入業者にとって買い付け価格が高くなるので、米材輸入量が減り、円がドルに対し高くなれば買い付け価格は安くなるので輸入量は増加する。

なお、木造住宅着工戸数のt-値の絶対値は1より小さく、モデル式からははずせば自由度修正済決定係数は表8に示したように改善される。しかし、改善される程度が僅少であることと、木造住宅着工戸数をモデル式から除くと需要量を表す因子がなくなってしまうため、(3)式には木造住宅着工戸数を残したままにした。

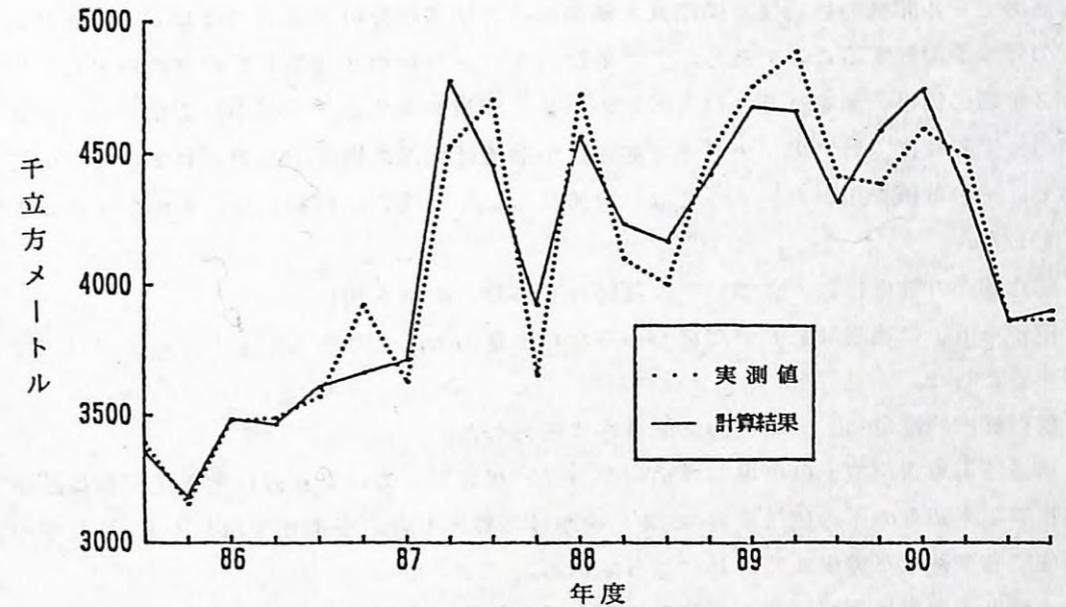


図2.2. 1987年にダミー変数を設定したときのパーシャルテストの結果

表8. 米材輸入量の予測モデルから木造住宅着工戸数を除去した場合

$$(5)M_{us} = 6498.79 + 0.0425565 * P_j - 290.606 * R_{-1} - 0.556112 * M_{us-1} - 14.7535 * Exc + 205.171 * D_1 + 356.588 * D_2 + 147.567 * D_3$$

		t-値
R ²	= 0.816356	定数 6.67021
SD	= 224.468	P _j 6.24303
DW比	= 2.37013	R ₋₁ -4.00514
		M _{us-1} -2.91271
		Exc -3.99982
		D ₁ 2.58988
		D ₂ 1.25470
		D ₃ 1.07160

5. 国産丸太価格指数の将来予測

1) シナリオの数値

今回のモデル開発の目的は、国産丸太価格の決定構造を分析するのではなく、国産丸太価格の将来予測をすることである。ここでは、1990年第4四半期を現在時点とし、向こう2年間の価格予測を行うという仮定のもとに作業を進めた。予測のために必要なのは5つの外生変数についてのシナリオである。予測値は外部の機関で公表されているものについてはその数値を用いた。そうでない数値については現在の数値に近いものがそのまま続くとした。

- ①「総合卸売り物価指数」については日経NEEDSの値を用いた。
- ②「円レート」は適当な公表値が見つからなかったため、とりあえず1ドル=130円で推移するとした。
- ③「銀行貸出約定金利」は現在のまま推移するとした。
- ④「木造住宅着工戸数」は市場開発情報センターが公表している新設住宅着工戸数に、過去4年間の木造率の平均値(43.6%)をかけて算出した。予測値では年々8.5%ずつ新設住宅着工戸数が減少することになっている。
- ⑤「米材丸太の産地価格」は1990年度の産地価格の平均値で推移するとした。

以上の仮定に基づいて作成したシナリオは表9のようである。

表9. 外生変数の時系列的な推移とシナリオ設定値

年	四半期	米材丸太 産地価格 (＄)	円レート (円)	木造住宅 着工戸数 (戸)	総合卸売り 物価指数	銀行貸出 約定金利 (%)
1985	1	375	251	167301	1.010	6.659
	2	348	230	143210	0.999	6.535
	3	400	205	148333	0.976	6.505
	4	395	184	131362	0.953	6.425
1986	1	400	168	167495	0.913	6.046
	2	405	155	165548	0.887	5.762
	3	450	161	169453	0.873	5.652
	4	470	150	146470	0.869	5.456
1987	1	470	144	194347	0.868	5.158
	2	537	146	197040	0.879	4.985
	3	612	131	203695	0.876	5.004
	4	615	127	159687	0.866	4.992
1988	1	615	126	174748	0.863	4.993
	2	615	134	181381	0.871	4.999
	3	615	125	181451	0.864	5.017
	4	645	130	153299	0.868	5.026
1989	1	673	140	191722	0.891	5.117
	2	687	140	187272	0.898	5.363
	3	680	143	187577	0.896	5.631
	4	690	148	155811	0.900	6.268
1990	1	690	155	200480	0.907	6.831
	2	683	145	190629	0.907	7.088
	3	680	131	180845	0.913	7.692
	4	697	134	134813	0.913	7.692
1991	1	688	132	170273	0.910	6.268
	2	688	130	169108	0.909	6.268
	3	688	130	169496	0.911	5.631
	4	688	130	138055	0.910	5.631
1992	1	688	130	156431	0.914	5.631
	2	688	130	155363	0.917	5.631
	3	688	130	155719	0.921	5.631
	4	688	130	123356	0.921	5.631

↑ 実測値
↓ シナリオ設定値

2) ファイナルテストの結果と価格指数の予測

作成したモデルを用いて各内生変数を予測したファイナルテストの結果と、その予測値について、図23～図25に示す。ファイナルテストで国産丸太価格指数を予測する場合、米材丸太の日本での価格や米材輸入量といった外生変数については、実測値でなくモデルで算出された数値を用いるため、その推定精度は当然下がる。特に米材輸入量については1987年、1988年といった異常時の動きをパーシャルテストではフォローできたが、ファイナルテストではこの2年間をうまく推定できていない。こうした異常な米材輸入量の動きを予測するには、気象条件や北米西海岸の米材輸出業者の行動をモニターできるような因子も取り入れた幅の広いモデルを開発する必要があるだろう。

さて、設定したシナリオでの国産丸太価格指数の将来予測を見ると、1991年度は1990年度の95%、1992年度は92%と価格指数は急速に下がることが予測された。米材丸太の日本での価格は1990年度後半に急落したが、1991年度は低落傾向は止まり、今後はやや下がり気味ながらも、おおむね横這い状態になると予測された。米材輸入量は1990年度後半は減少するものの、1991年度に入れば、再度水準をあげ400万立方以上の輸入量で推移すると予測された。

3) 乗数分析

外生変数の値を変更したとき、それが内生変数に与える影響が乗数効果である。

ここでは各外生変数に設定したシナリオの値を一定割合だけ上下させたときの国産丸太価格指数の変動について検討する。なお、外生変数のうち総合卸売り物価指数については乗数分析は行わなかった。これは、総合卸売り物価指数が変化すれば、建築コストや建築資金、銀行貸出約定金利なども大きな影響を受け、木造住宅着工戸数やほかの外生変数も相当変動してしまい、乗数分析を行っても意味がないためである。なお、乗数分析を行う場合、対象とする外生変数以外は最初のシナリオ設定値のままに固定してある。

乗数分析を行うため、各外生変数を1991年度と1992年度の2年間、上下に10%ずつ変化させたときの国産丸太価格指数の変動について調べた。乗数効果が最も大きいのは木造住宅着工戸数が変化したときであり、平均変動率は3.76%であった。続いて円レート(平均変化率1.18%)、米材丸太の産地価格(平均変化率1.12%)であり、銀行貸出約定金利では平均変化率が0.15%とほとんど変化が見られなかった。なお、図26～図29に乗数効果の結果を図示しておく。変化率は1991年度の方が1992年度に比べ高く、四半期ごとの変動も1991年度には振幅があるが、1992年度になれば一定の変化率に落ち着いてくる。

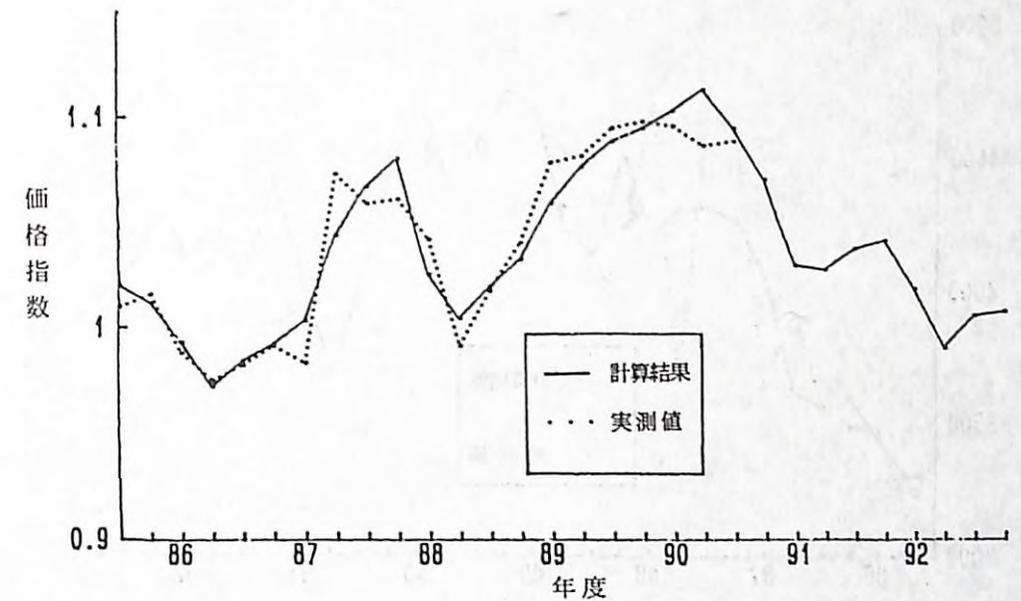


図23. ファイナルテストにおける国産丸太価格指数の動き

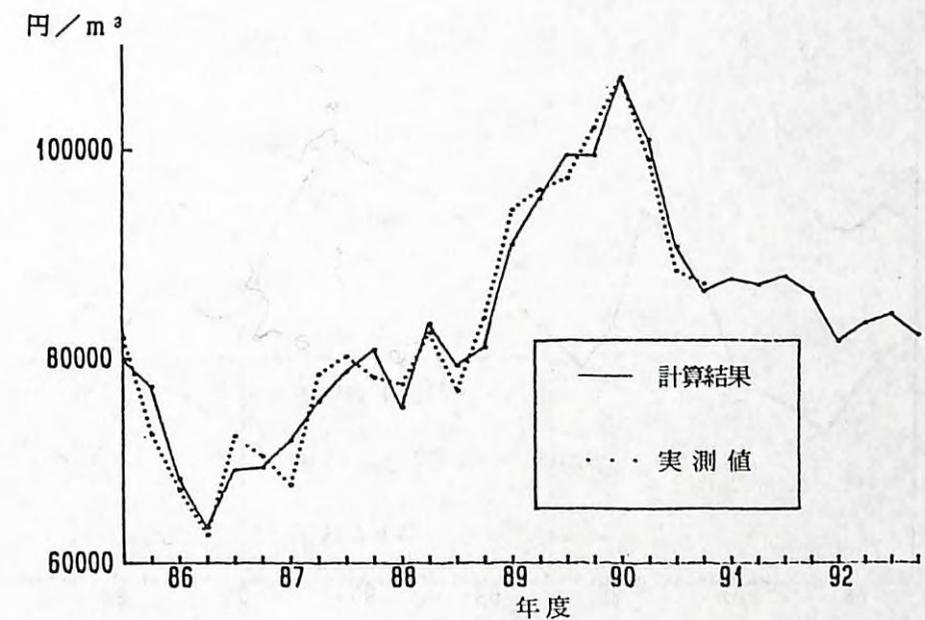


図24. ファイナルテストにおける米材丸太の日本での価格の動き

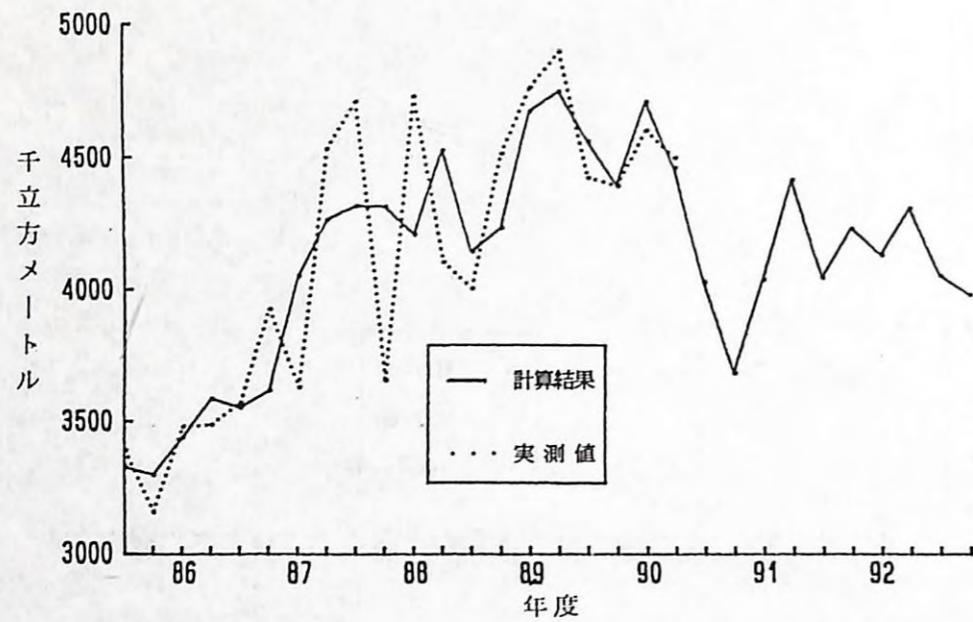


図25. ファイナルテストにおける米材輸入量の動き

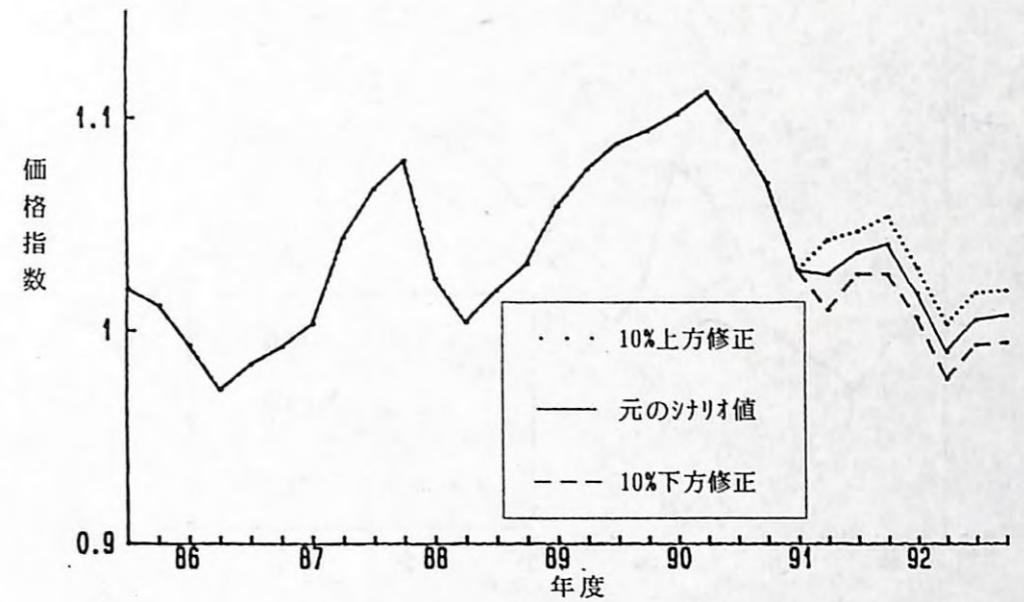


図27. 米材丸太の産地価格が変化した場合

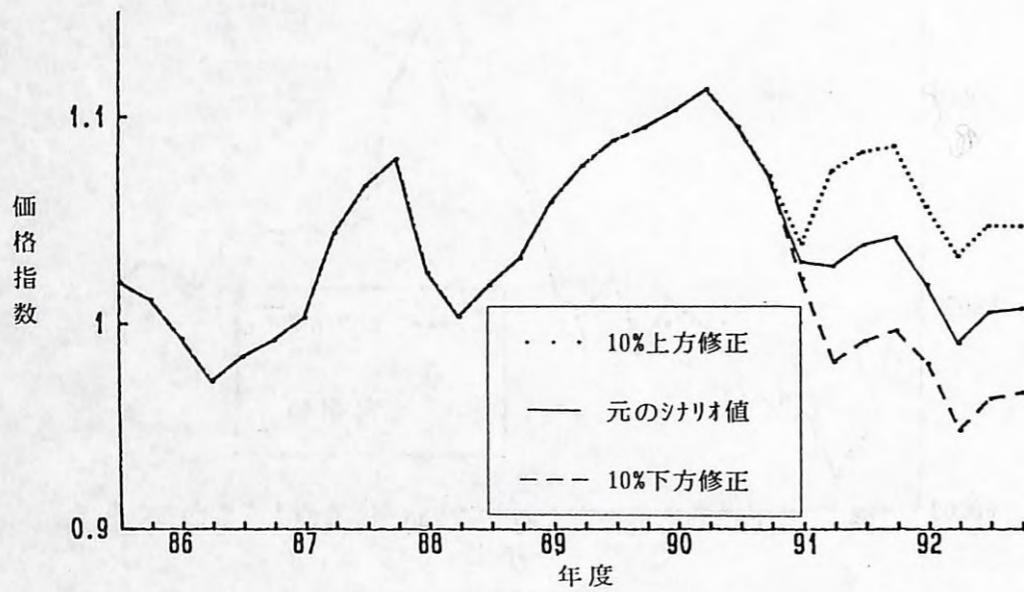


図26. 木造住宅着工戸数が増加した場合

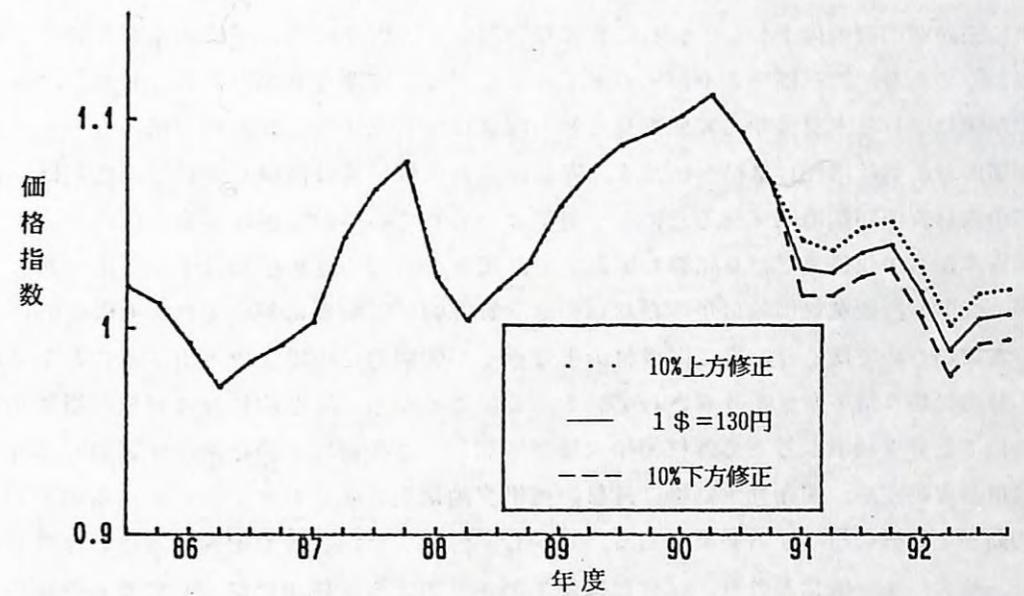


図28. 円レートが増加した場合

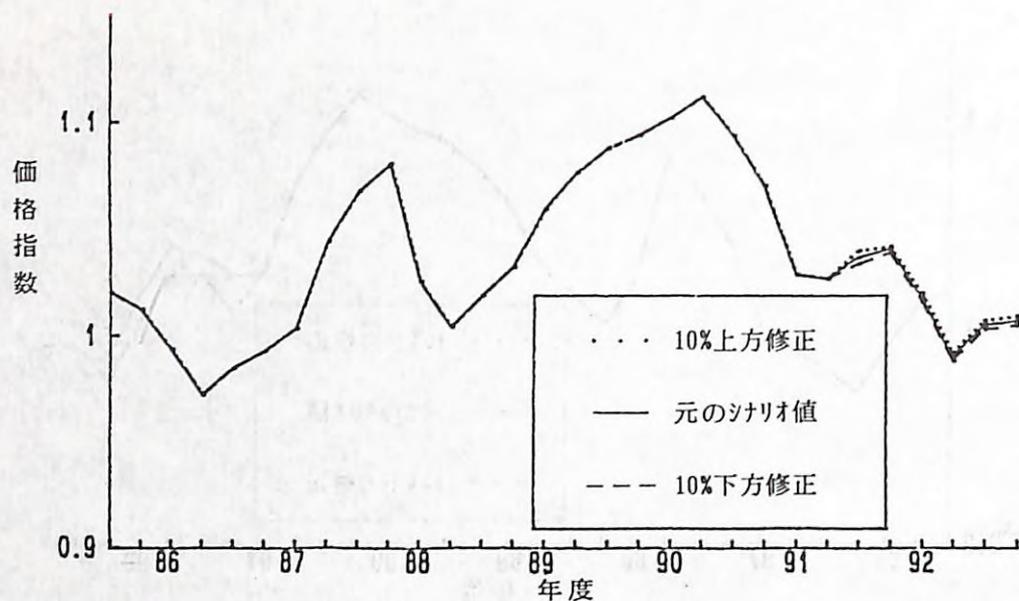


図29. 銀行貸出約定金利が変化した場合

V まとめ

目的が短期予測であるためと、供給材積の不足分は容易に外材で補完される現状から、供給側の伐採可能材積の量などはここでは問題にしていない。せいぜい、米材の産地価格を供給面からの説明因子としているにすぎない。あとの因子は需要面に焦点を合わせたものばかりであり、素材価格を予測するモデルとしては不完全なものである。しかし、現在のわが国における木材供給の実態を見ると、図2に示したように需要量が増加しても、それが国産材の供給増加には結びつかず、逆に国産材の供給量は減少している。これは、わが国の森林資源が端境期にあるためと一般にはいわれているが、保続生産を前提として人工林資源からの伐採量だけを試算してみても、現在の2倍程度の供給は十分可能である(天野, 1991)。国産材供給量が伸びないのは、資源的には需要に対応できても価格的に出荷できないためであろう。現に間伐材の半分近くが価格的に市場まで搬出することができず、林内に切り捨てたまま放置されている。このことから、短期的には需要量が増加すると供給不足分を補填するため外材の輸入量が増加し、この過程で需給関係が逼迫して外材の価格が変動する。国産丸太価格は外材の価格変動に引きずられて上昇しているため、外材の動きを的確に予測する必要がある。しかし、外材の資源状況を把握することは難しく、また、輸入先も多岐にわたり、ときには南米のチリのように新規に参入してくる供給先もあるので、供給側の因子を特定することは難しい。このため、モデルでは短期的な価格変動に関連が深いと予想された米材価格、木造住宅着工戸数、円レート、貸出約定金利とい

った因子を取り上げ、資源量のような供給側の制約を説明する因子は取り上げなかった。

つぎに本モデルの問題点を整理すると、以下のようである。

①マクロ経済に関する予測は天気予報のように予測そのものの対象である天候を人為的に変えてしまうことができないものと違い、経済成長率や総合卸売り物価指数、円レートなど、行政担当部局の政策変数的なものが含まれてくる。このため、まったくの予測ではなく、一種の条件付き予測といえる。今回のモデルにおいても木造住宅着工戸数が伸びれば、供給を増加させるような政策が取られ、結果的にモデルで予測するほどの価格上昇が生じなくなるし、政策目標としての木材価格より実際の木材価格が低迷していれば、何らかのテコ入れ策が取られる。このようにマクロ経済モデルでは純粋な予測モデルとは異なり、多少のフィードバック的な行動をとることから、政策当局が取るべき行動についても政策変数としてモデル内に組み込む方が、予測精度は向上するであろう。

開発されたモデルは木材価格の形成に絡んだ経済因子のみを取り上げて構築しており、政策因子を取り込んでいない。このため、林野庁の主産地形成、木材の流通機構整備といった木材価格の形成に関係が深い政策の影響をこのモデルでは評価できない。今後は単なる価格の予測だけでなく、木材価格に対する政策インパクトを評価できるようなモデルに拡充すべきである。

②わが国の木材価格は樹種や品等によって大きく異なる。従って、国有林にとって合理的な販売戦略を展開するためには、樹種別、素材の規格別に価格を予測できるモデルの構築が必要である。しかし、当モデルはそのような機能を有しない。このため、本来なら丸太価格の予測値を販売戦略にも役立てる必要があるため、今後はそうした働きができるようなモデルの開発が望まれる。

③米材輸入量が1987年、1988年と異常な動きをしたが、この現象を説明できる変数がモデルに組み込まれていない。今後もわが国の木材市場は米国西海岸の森林資源に強く依存すると思われる。また、米材は現在と同様にわが国での丸太価格に大きな影響を与え続けるであろう。このため、日本の国内事情と同程度に米材産地の状態を表現できるモデルにする必要がある。

以上のように、開発されたモデルは今後解決しなければならない問題点をいくつか抱えてはいるが、短期的な国産丸太価格の予測値を算出し、国有林経営の業務に利用するのに十分な精度は有している。

最後にデータの収集・シナリオ設定などについては、林野庁業務部販売推進室の片岡辰幸、熊谷富雄両氏にお世話になった。ここに記して深謝する。

引用文献

- (1)天野正博, RESOURCE ALLOCATION CONCEPTS IN MULTI-PURPOSE FOREST MANAGEMENT, Proceedings of the S4.04 Meetings of 19th IUFRO World Congress, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1991.
- (2)森 義昭, 木材価格変動分析, 日林誌 Vol.52,P227-237,1970
野田 巖, 天野正博, 均衡モデルによる木材需給予測, 昭和61年度成果選集, 林業試験場, 1986
- (3)尾崎タイヨ, 計量モデル分析と数値計算法, ホルト・サウンダース, 1985
- (4)安井正美, 日々野義光, 天野正博, 山口正三, 山本哲也, 佐藤隆幸, 新たな森林・林業の長期ビジョン, 地球社, 1987
- (5)唯是康彦, 行武潔, 製材・合板・紙パルプの計量経済分析, 黄帆社, 1977

人工造林地に更新した
有用広葉樹の育成技術

人工造林地に更新した有用広葉樹の育成技術

I 試験担当者

関西支所育林部造林研究室

清野 嘉之

II 要旨

北陸・山陰の国有林で広葉樹を混成するスギ人工林16林分の構造を調べた。林齢は10～19年生、標高は320～1340m、最深積雪は1.0～3.8mの範囲内にある。よく見られたのはカエデ属やコナラ属、クマシデ属の種、ホオノキなどで、全体に占める広葉樹の胸高断面積合計(BA)比は7～76%であった。広葉樹が多いのはスギの樹高成長の悪い林で、斜面位置が上部で、傾斜のきつい場合であった。方位はほとんど影響を及ぼしていなかった。家具材として用いられる(従って材価の高い)広葉樹が全広葉樹に占める本数比は、広葉樹のBA比とほぼ反比例の関係にあった。広葉樹の少し混じった林では、その広葉樹が材価の高いものである可能性が高く、一方、広葉樹のたくさん混じった林では、材価の高い広葉樹は必ずしも多くないことになる。立地が悪くなりスギ造林木の成長が衰えるに従って広葉樹が増え、しかし、材価の高い広葉樹は増えないという傾向に基づいて、広葉樹を混生するスギ人工林をタイプ分けし、除伐期の広葉樹の取り扱いについて考察した。

III 試験目的

多雪地のスギ人工林には天然生の広葉樹がしばしば混生しているが、その育成方針は必ずしも定まっていない。原因の第一は広葉樹の組成や立地との関係が分かっていないことにあると考えられるので、まず、若い人工林で広葉樹の実態を調べ、除伐期の林の取り扱いについて考察した。

なお、本試験は河原輝彦・関西支所造林研究室長(現:企画調整部海外森林環境変動チーム長)が企画したもので、著者は調査とデータの取りまとめを担当した。また、成果の概要は102回日本林学会大会で発表した(清野,投稿中)。

IV 試験の方法と結果

1. 方法

北陸・山陰の国有林で広葉樹が混じるスギ人工林16林分(図1)を選び、構造と環境を

表1. 調査林分の概況

No.	標高 (m)	土壤型	最深積雪 (m)	斜面傾斜角 (°)	斜面位置	方位	BA (m ² /ha)	林齢 (y)	スギ樹高最大 (m)	平均 (m)	広葉樹BA比 (%)	家具用広葉樹本数比 (%)	a×b	広葉樹の齢 (y)	調査面積 (m ²)
10	485	B ₀ (d)	2.5	0	中	東	12.7	12	6	4.0	9	100	900	-	100
13	740	B ₀ (d)~B ₀	3.5	11	中	西	10.7	12	7	4.8	6	67	402	7~5	144
8	1040	B ₈ ~B ₀	3.8	(10)	中	南	13.8	16	6	4.6	9	71	639	9~3	144
101	1060	-	2.8	9	上	南	30.8	-	7	-	38	44	1672	-	210
102	1030	-	2.6	2	上	南	30.7	-	6	-	34	54	1836	-	144
1	730	B ₀ (d)	2.5	15	下	南	14.0	12	7	3.9	7	71	497	15~4	144
14	750	B ₀	2.5	15	中	西	3.4	10	3	2.0	17	55	935	8~3	49
12	680	B ₈ ~B ₀ (d)	3.5	19	中	東	7.1	14	6	3.6	32	27	864	7	168
106	1340	-	2.4	21	上	北	23.1	-	5	-	40	3	120	-	80
103	1020	-	1.8	21	上	南	22.2	-	5	-	50	42	2100	-	100
7	810	B ₈ ~B _ε	2.0	30	中	東	6.4	10	6	4.0	18	65	1170	-	100
15	560	B ₀	2.0	32	中	南	19.3	13	4	2.8	41	42	1722	10~3	64
4	320	B ₈ ~B ₀	1.0	35	下	南	5.8	10	4	2.6	41	18	738	13~6	80
201	800	-	3.3	40	中	南	-	14	4	4.0	60	17	1020	-	-
16	900	B ₀	2.5	31	上	南	11.2	14	4	2.8	40	46	1840	9~4	55
104	1020	-	2.7	37	上	南	25.1	-	4	-	76	9	684	-	50

調べた。うち10林分は金沢、福井、大津、京都、鳥取、松江の各営林署が調べた。調査林分の概況を表1に示した。林齢は10~19年、標高は320~1340m、最深積雪は1.0~3.8mの範囲内にある。調査プロットの大きさは木の高さにあわせて7×7m~12×14mとし、胸高直径1~4cm以上の木の種を判別し、大きさを調べた(資料参照)。4林分では調査の2~3年前に除伐が行われていたが、伐り口の下で幹直径を測るなど、除伐の影響を除くように努めた。

ただし、萌芽能力などには種間差があるので、除伐の影響がすべて取り除かれたわけではない。



図1. 調査地

2. 結果

1) 広葉樹の組成と立地の影響

林全体の胸高断面積合計(BA)に占める広葉樹の割合(以下、広葉樹のBA比)は林分によって異なり、7~76%の範囲内であった。幹はスギよりも若いものがほとんどで、下刈期間中かその後に発生したものであった。よく出現したのはカエデ属やコナラ属、クマシデ属の種、ホオノキ、ミズキ、クリなどであった。

広葉樹の多寡にどのような要因が関係しているかを調べるために、広葉樹のBA比について斜面の傾斜角と位置、方位の3要因を取り上げ、分散分析を行った(表2)。傾斜角は3

表2. 分散分析表

	f	S	V	F _e	S'	ρ (%)
斜面傾斜角	2	944.6	472.3	2.47	561.8	12.2
斜面位置	1	2241.3	2241.3	11.71	2049.9	44.4
斜面方位	1	280.3	280.3	1.46	88.9	1.9
(e)	6	1148.5	191.4		1914.2	41.5
T	10	4614.7				100.0

水準とし、0~15°未満、15~30°未満、30~40°に分けた。位置は2水準で上部と中下部、方位も2水準で南向きとその他に分けた。その結果、斜面位置の主効果が統計的に有意(危険率5%)となり、斜面位置が上部であると広葉樹の割合が増えることが明らかとなった。寄与率は44%と大きかった。斜面の傾斜角は統計的には有意とはならなかったが、F値は2.47と比較的大きく、関係がないとはいえなかった。寄与率も12%で無視できない。一方、方位はほとんど影響を及ぼしていなかった。図2に斜面の位置、傾斜角と広葉樹のBA比の関係を示した。この図を見ると、傾斜角の影響もかなり大きく、急傾斜になるにつれて広葉樹のBA比は大きくなっている。なお、最大積雪深も広葉樹の多寡に関係する可能性が大きい、調査プロットの正確な積雪深は調べられていないので、今回はその影響を求められなかった。

広葉樹による被圧の影響を除くために、スギの最大樹高が広葉樹よりも高い林を選び、広葉樹の多寡とスギの最大樹高、林齢の関係を求めた(図3)。広葉樹が多いのは最大樹高の成長の悪い林であった。スギの樹高成長が悪く成林が遅れた結果、広葉樹が侵入したと考えられる。

家具材として用いられる(従って材価の高い)広葉樹(表3)の全広葉樹に占める本数比は、広葉樹のBA比とほぼ反比例の関係にあった(図4)。すなわち、広葉樹の少し混じった林ではその広葉樹が材価の高いものである可能性が高く、一方、広葉樹のたくさん混

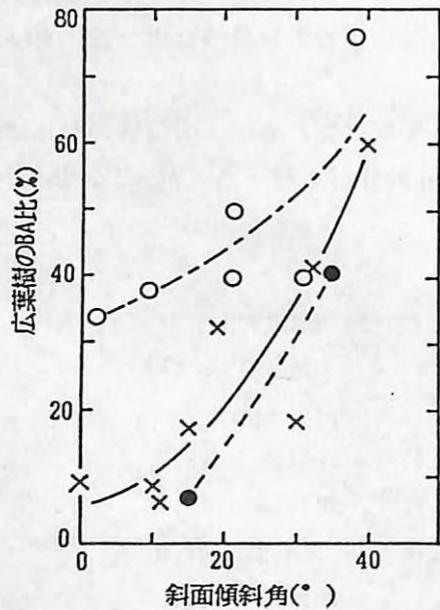


図2. 斜面の位置、傾斜角と広葉樹のBA比
斜面位置:○上部、×中部、●下部

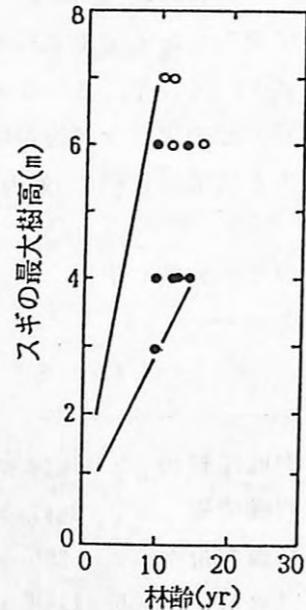


図3. 林齢とスギの最大樹高
広葉樹のBA比:○<10%≤ ●

表3. 家具として用いられる広葉樹で多雪地のスギ人工林に出現するもの(2)より作成)

オニグルミ、アサダ、ウダイカンバ、ミズメ、ダケカンバ、ミズナラ、クリ、ケヤキ、エノキ、ムクノキ、ヤマグワ、カツラ、ホオノキ、ヤマザクラ、オオヤマザクラ、カスミザクラ、シウリザクラ、ウワミズザクラ、アズキナシ、イヌエンジュ、ハネミイヌエンジュ、キハダ、ヤマモミジ、アサノハカエデ、ハウチワカエデ、イタヤカエデ、ウリハダカエデ、トチノキ、ケンボナシ、ハリギリ、シオジ、ヤチダモ

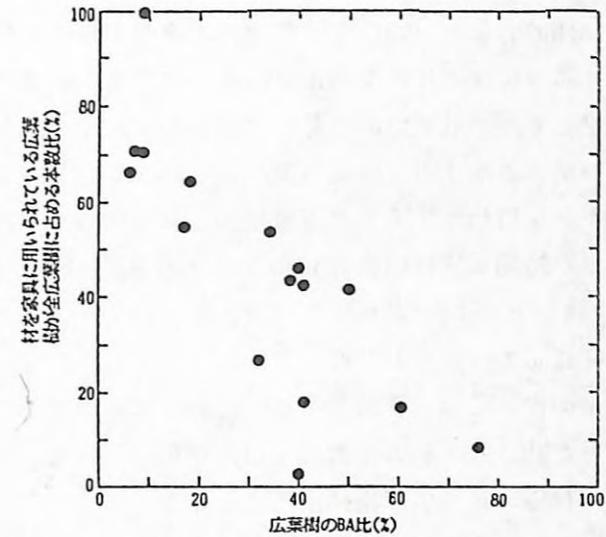


図4 広葉樹のBA比と材を家具に用いられている広葉樹が全広葉樹に占める本数比

じった林では材価の高い広葉樹は必ずしも多くないことになる。

立地が悪くなりスギの成長が衰えるに従って広葉樹が増え、しかし、材価の高い広葉樹は増えないという上記の傾向は、大阪営林局計画課³⁾が鳥取営林署管内で行った一連の斜面のトランセクト調査の結果からも読み取れるが、今回の解析によって広く一般化できる可能性が開かれた。こうした関係にもとづいて、広葉樹を混生するスギ人工林をタイプ分けすることができよう。

なお、広葉樹の組成には前植生や下刈り方法などの影響も及んでいると考えられる。赤井ら⁴⁾、小谷・矢田⁵⁾は、それぞれ滋賀県マキノ町、石川県白峰村の事例を調べて、潔癖な下刈りが有用樹を失わせることを報告している。また、大原・小野寺⁶⁾は鳥海山麓の事例を調べ、人工林の広葉樹に比べて天然林の皆伐再生林に有用樹が少なかったことから、

赤井らとは反対に、適度な下刈りがむしろ必要であると述べている。下刈りの評価が逆になっているのは、恐らく下刈り条件以外の要因の影響が強く現れているためであろう。ここでは、これらの成果の当否を直接云々することはできないが、さきに述べたとおり、除伐期の林の広葉樹の量や組成には立地の影響が強く及んでおり、下刈りの影響評価に当たっては立地の影響も十分に考慮する必要があると考えられる。今後、多くの事例を集める必要がある。

2) 除伐期の広葉樹の取り扱いについて

図4の傾向をもとに考えると、広葉樹が少数(BA比でおよそ10%以下)混生する林では、広葉樹を残してもよく、伐ってスギの純林としてもよいであろう。広葉樹は局所的にまとまっていることが多いので、除伐に当たっては配置を考え、形質の良いものを優先して残す。

一方、広葉樹の多い(BA比でおよそ40%以上)林では、まともな木材生産は期待できそうにないので、広葉樹には環境保全の役割を期待すべきであろう。樹高成長が悪いなど自然条件はスギにとっては厳しく、これまでの方針にこだわってスギの純林化を目指すのはよくない。兵庫・鳥取県境にある氷ノ山(標高1510m)で観察したところ、天然スギ林中の若い小林分も、天然スギ林を皆伐して造った不成績人工林も相観や種組成に大差はなく、不成績人工林であっても長い時間(尾根の直径40cmクラスの天然スギの伐根の齢は約250年、同じく山腹斜面の60cmクラスは約200年であった)をかけて、スギの天然林とさして変わらない構造や機能が発達していくものと考えられる。

広葉樹の混生が中庸の林の扱いには迷うが、そうした林で家具材として用いられる広葉樹とその他の広葉樹を比べたところ、前者は概して樹高が低く、後者に被圧され気味であった。除伐を行わないと、材価の高い広葉樹は減ることになりそうである。

3) 残された問題点

「林のタイプ分けに利用できる法則性」

育成方針を作る手順には、①林をタイプ分けし、②タイプ別に育成目標を設け、③目標達成に効果的な施業を示すの三つがある。図4のような関係は、①や②に役立つ可能性がある。もっと多くの事例を集めて傾向を確かなものにする必要がある。広葉樹の種組成や林の環境が異なれば、得られる関係も変わる可能性がある。

「大きく健全に育つか」

②に関連しては、除伐期以降の問題、例えば、有望な種が多雪条件下で大きく健全に育つかどうかについて知識を集める必要がある。金沢営林署で聞いたところによると、カエデの仲間は雪圧で倒伏しやすく、大きく育たないという。寡雪地では亜高木～高木となるリョウブやミズキも氷ノ山(前出)の豪雪地では雪で倒れて高木階に達することができず、低木階で開花、結実して生活環を完結させていた。また、氷ノ山の天然林の広葉樹やスギの大径木には心腐れや、雪圧が原因と推定されるピス付近の心材の割れが高い頻度で見ら

れた。こうした広葉樹各種の形質の実態を高齢の人工林や天然スギ林で広く調べる必要がある。

「目標は動くのである」

広葉樹の伐期は一般に長く、また、スギも根曲がりを起こしたものでは伐期を長くせざるを得ないであろう。林分構造の予測が重要ではあるが、あまり長期の予測は困難である。今日では除伐、雪起こしなどの保育の集約度がかつてとは大きく異なるため、古い林を調べても若い林の将来を占うことにはならない場合が多い。遠い将来の目標を無理に立てることは可能ではあっても意味は薄い。施業指標林のような林で種々の施業を試み、実態に即して近い将来(10~20年先)の目標をたてつつ、気長に林を育てていくことが望ましい。

「造林学の立場からは」

今回は研究旅費と時間の制約から、対象を多雪地のスギ人工林に限ったが、広葉樹の混生した人工造林地にはこのほかにも様々なものがある。広葉樹の活用は、例えば、ヒノキの単純林など針葉樹の単作が種々の理由で好ましくない場合にも望まれることである。ただし、一口に広葉樹といっても性質の異なった様々なものがあり、自然の植生から離れて特定の目的種だけを増やそうとするのは、森林の健康上も林業技術的にも好ましくない。多種の広葉樹が混生した状態をある程度は保ちつつ、生産をあげていくことが望ましい。この意味で、未・低利用広葉樹の利用法を開拓すること、その更新と施業法との関係を明らかにすることがともに重要である。造林学の立場からは、後者の基礎となる広葉樹各種の生態的性質の解明に、まずは、取り組まなければならないと考えられる。

謝辞

金沢、福井、大津、京都、山崎、鳥取、倉吉、松江の各営林署の皆様には、林分調査をお願いし、貴重なデータを集めていただいた大阪営林局技術開発室の皆様には調査依頼にご協力を賜った。お世話になった方々に、心よりお礼を申し上げます。

引用文献

- (1) 清野嘉之: 多雪地のスギ人工林に混生する広葉樹の実態と取り扱い, 102回日林論(投稿中)
- (2) 林業科学技術振興所: 有用広葉樹の知識, 514pp., 東京(1985)
- (3) 大阪営林局計画課: 鳥取事業区の高寒多雪地における既往造林地の生育状況とその取扱いについて(昭和55年度地域施業計画樹立のための検討資料), 86pp., 大阪(1981)
- (4) 赤井龍男, 吉村健治郎, 青木 隆: 下刈を省いた若い造林木の生長について(I) - 多雪地帯の広葉樹繁茂地におけるスギの生長 -, 98回日林論, 285~286(1987)
- (5) 小谷二郎, 矢田 豊: 多雪地帯における不成績造林地の改良に関する研究(II) - 放置されたスギ造林地の林分構造及び広葉樹の生育状況 -, 100回日林論, 257~258(1989)

(6)大原偉樹,小野寺弘道:豪雪地帯の造林地における広葉樹の侵入実態,99回日林論,299~300(1988)

(7)家原敏郎,河原輝彦:豪多雪地帯における雪圧害の要因分析,大阪営林局技術開発報告書 16,11~40(1987)

資料

No.10 京都営林署迎山国有林1015㊦ 調査面積100m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	樹形	SP.	DBH (cm)	H (m)	樹形
スギ	4	4	A	スギ	6	4	A
スギ	6	3	A	スギ	8	4	A
スギ	6	3	A	スギ	10	4	A
スギ	6	4	A	スギ	12	5	A
スギ	10	5	A	スギ	10	5	A
スギ	8	4	A	スギ	8	5	B
スギ	10	5	A	スギ	8	4	B
スギ	4	2	B	クリ	4	4	A
スギ	6	4	A	クリ	4	4	A
スギ	8	4	A	クリ	4	3	B
スギ	10	5	A	クリ	4	4	A
スギ	4	3	A	ホオノキ	4	3	B
スギ	8	4	B	ナラ類	4	2	A
スギ	6	3	A	ナラ類	4	3	A
スギ	12	6	A	ナラ類	4	2	A
スギ	6	4	A	ナラ類	4	3	B

・家原・河原⁷⁾による。以下,同様。

No.13 金沢営林署花立1096㊦2 調査面積144m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	SP.	DBH (cm)	H (m)
スギ	4	3	スギ	10	6
スギ	6	3	スギ	10	6
スギ	6	3	スギ	10	7
スギ	6	3	スギ	12	7
スギ	6	4	ウリハダ ⁺ 加 ⁺	2	3
スギ	6	4	ウリハダ ⁺ 加 ⁺	2	3
スギ	8	3	ウリハダ ⁺ 加 ⁺	2	3
スギ	8	4	ヒメヤブ	2	3
スギ	8	4	ヒメヤブ	4	3
スギ	8	5	ヒメヤブ	4	3
スギ	8	5	ヒメヤブ	4	3
スギ	8	5	ミズキ	2	2
スギ	8	5	ミズキ	2	3
スギ	8	6	ミズキ	2	3
スギ	10	5	ミズキ	2	3
スギ	10	5	ミズナラ	2	2
スギ	10	5	ミズナラ	2	3
スギ	10	5	ホオノキ	2	3
スギ	10	6	ホオノキ	2	3
スギ	10	6	ホオノキ	3	3
スギ	10	6			

No.8 鳥取営林署小船山国有林 32り 調査面積144m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	樹形	SP.	DBH (cm)	H (m)	樹形
スギ	4	3	B	スギ	7	4	B
スギ	8	5	B	スギ	8	5	B
スギ	6	4	C	スギ	8	4	B
スギ	8	5	B	スギ	7	5	B
スギ	5	4	B	スギ	8	5	B
スギ	7	5	B	スギ	5	4	B
スギ	9	5	B	スギ	7	5	B
スギ	8	6	B	スギ	7	4	B
スギ	9	5	B	スギ	5	3	B
スギ	8	5	B	スギ	10	6	B
スギ	4	3	B	スギ	8	4	B
スギ	10	6	B	スギ	6	4	B
スギ	8	5	B	スギ	5	4	B
スギ	5	3	B	トチノキ	4	3	B
スギ	7	4	B	ブナ	2	2	B
スギ	9	5	B	ブナ	4	3	B
スギ	9	6	B	カエデ属	4	4	C
スギ	3	2	B	カエデ属	5	4	C
スギ	11	6	B	カエデ属	4	4	C
スギ	6	5	B	ホオノキ	1	1	B
スギ	7	5	B	ホオノキ	1	2	B
スギ	11	6	B	ホオノキ	2	2	B
スギ	9	5	B	ホオノキ	4	3	B
スギ	6	4	B	ホオノキ	1	2	B
スギ	8	5	B	ホオノキ	2	1	B
スギ	10	6	B	ホオノキ	3	2	B
スギ	8	4	B	ホオノキ	2	2	B
スギ	8	5	B	ホオノキ	4	3	B

No.101① 山崎営林署 調査面積210m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	SP.	DBH (cm)	H (m)
スギ	11		コシアブラ	5	4
スギ	12		コシアブラ	5	5
スギ	10		コシアブラ	6	5
スギ	16		コシアブラ	4	5
スギ	11		キハダ	7	6
スギ	13		コシアブラ	6	
スギ	15		コシアブラ	6	
スギ	10		コシアブラ	2	
スギ	12		コシアブラ	3	
スギ	12		ホオノキ	7	
スギ	4		ホオノキ	6	
スギ	6		ミズナラ	2	3
スギ	12		アズキナラ	2	3
スギ	12		コシアブラ	4	5
スギ	13		ホオノキ	2	3
スギ	11		ミズナラ	4	3
スギ	12		コシアブラ	6	5
スギ	11		ミズキ	6	5
スギ	20	8	ホオノキ	3	4
スギ	13		ホオノキ	6	6
スギ	4		リョウブ	2	4
スギ	5		コシアブラ	3	5
スギ	11		ミズキ	8	5
スギ	9	5	ミズメ	7	6
スギ	148		ホオノキ	2	4
スギ	95		リョウブ	3	3
スギ	105		コシアブラ	8	6
スギ	178		ナカマツ	3	4
スギ	126		リョウブ	3	
スギ	12		コシアブラ	2	3
スギ	64		キハダ	6	
スギ	157		ナカマツ	4	
スギ	85		ナカマツ	3	
スギ	166		ナカマツ	3	
スギ	13	7	ナカマツ	2	
スギ	10	5	ナカマツ	2	
スギ	12	7	リョウブ	7	
ナカマツ	5	5	コシアブラ	6	
ナカマツ	4		コシアブラ	5	
ナカマツ	4		タラノキ	4	
ナカマツ	5		キハダ	4	
ナカマツ	2		ウミズサクラ	3	
コシアブラ	4	4	リョウブ	4	
コシアブラ	5	4	ハリギリ	3	
コシアブラ	2		コシアブラ	4	
コシアブラ	4		クロモジ	1	
コシアブラ	6		ホオノキ	5	

No.101②

SP.	DBH (cm)	H (m)	SP.	DBH (cm)	H (m)
タラノキ	3		ミズナラ	4	
ホオノキ	7		ムシカリ	1	
リウヅキ	5		ホオノキ	5	
コシアブラ	6		リョウブ	2	
キハダ	5		キハダ	3	
ウミズサクラ	3		ナカマツ	2	
ウミズサクラ	3		アズキナラ	1	
ウミズサクラ	4		ミズメ	1	
ウミズサクラ	4		ホオノキ	5	
コシアブラ	4		ホオノキ	4	
コシアブラ	2		コシアブラ	2	
コシアブラ	3		リウヅキ	1	
ホオノキ	5		リウヅキ	1	
ウツクサ	2	3	リウヅキ	1	
ホオノキ	2		リョウブ	5	
キハダ	6		ホオノキ	9	
コシアブラ	3		クロモジ	5	
ホオノキ	2		ウツクサ	2	
ナカマツ	3		アズキナラ	2	
アズキナラ	1		リョウブ	1	
ホオノキ	7		ミズメ	1	
キハダ	7		キハダ	6	
ホオノキ	1		キハダ	4	
ナカマツ	4		ヤマウルシ	4	
ナカマツ	4		ホオノキ	3	
ミズナラ	4		キハダ	7	
ホオノキ	7		キハダ	6	
ホオノキ	3		キハダ	3	
ホオノキ	7		スギ(天然)	2	
ホオノキ	7		ナカマツ	5	
ホオノキ	4		キハダ	6	
ナカマツ	2		ウミズサクラ	3	
ブナ	1		ミズキ	4	
ミズメ	2		ミズキ	5	
ミズメ	4	5	ミズキ	2	
コシアブラ	5		ナカマツ	5	
コシアブラ	4		ナカマツ	5	
ミズメ	6		コシアブラ	6	
ミズナラ	3		コシアブラ	7	
コシアブラ	8		コシアブラ	5	
ナカマツ	2		ウツクサ	8	
リョウブ	2		ナカマツ	5	
クロモジ	2		ナカマツ	3	
キハダ	5		コシアブラ	6	
クロモジ	2		コシアブラ	6	
リョウブ	2		キハダ	6	
ミズナラ	2		ミズメ	1	

No.14 福井営林署前坂国有林 32は 調査面積49m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	樹形	SP.	DBH (cm)	H (m)
スギ	4	2	B	ミズナラ	1	2
スギ	4	2	B	マンサク	1	1
スギ	4	2	B	ホオノキ	1	2
スギ	4	2	B	マンサク	1	2
スギ	4	2	B	シナノキ	1	2
スギ	3	1	C	ミズナラ	1	1
スギ	5	3	A	ミズナラ	1	2
スギ	5	2	B	クマヅク属	1	2
スギ	3	1	C	ツハシバミ	1	1
スギ	3	2	B	クマヅク属	1	2
スギ	3	2	C	ツハシバミ	1	1
スギ	4	2	B	ミズナラ	1	1
ムクノキ	1	2		ミズナラ	1	2
ムクノキ	1	2		キハダ	1	2
ムクノキ	1	2		ホオノキ	1	2
マンサク	1	2		ウミズサクラ	1	1
マンサク	1	2		コシアブラ	1	2
ミズナラ	1	2		ミズナラ	1	1
マンサク	1	2		ヤマウルシ	1	1
マンサク	1	2		ウミズサクラ	1	2
マンサク	1	2		ミズナラ	1	2
ウミズサクラ	1	2		ミズナラ	1	2
ホオノキ	1	2		マンサク	1	2
マンサク	1	2		ヤマウルシ	1	2
マンサク	1	2		ヤマウルシ	1	1
マンサク	1	2		ヤマウルシ	1	1
ミズナラ	1	2		マンサク	1	2
ウミズサクラ	1	2		ミズナラ	1	2
ウミズサクラ	1	2		マンサク	1	2
ウミズサクラ	1	2		クロモジ	1	2
ウミズサクラ	1	2		ミズナラ	1	1
ミズナラ	1	2		ヤマウルシ	1	1
タラノキ	1	1		ミズキ	1	2
ミズナラ	1	2		マンサク	1	2
ミズナラ	1	2		ミズナラ	1	1
ミズナラ	1	2		ミズナラ	1	2

No.12 金沢営林署大日山国有林1084た 調査面積168m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	SP.	DBH (cm)	H (m)
スギ	4	2	ウミズサクラ	2	2
スギ	4	2	ウミズサクラ	2	2
スギ	4	2	ウミズサクラ	4	2
スギ	6	2	オグルミ	6	2
スギ	6	3	ミズキ	2	2
スギ	6	3	ミズキ	2	3
スギ	6	3	ミズキ	2	3
スギ	6	3	ミズキ	2	4
スギ	8	3	ミズキ	2	4
スギ	8	3	ミズキ	4	2
スギ	8	4	ミズキ	4	3
スギ	8	5	ミズキ	4	4
スギ	10	5	ミズキ	4	4
スギ	10	6	ミズキ	6	4
スギ	10	6	ミズキ	14	7
スギ	10	6	ミズキ	4	4

No.106 山崎営林署 調査面積80m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	SP.	DBH (cm)	H (m)
スギ	8	3	ブナ	1	2
スギ	11	4	ウリハダカエデ	4	2
スギ	8	5	ウリハダカエデ	5	2
スギ	12	6	ウリハダカエデ	6	2
スギ	10	5	コミナカエデ	3	3
スギ	16	6	コミナカエデ	4	4
スギ	13	6	コミナカエデ	5	4
スギ	5	3	コミナカエデ	5	4
スギ	12	4	コミナカエデ	5	4
スギ	14	4	コミナカエデ	5	4
スギ	11	4	コミナカエデ	9	5
スギ	4	2	ミズメ	5	3
クロモジ	3	2	ヤマウルシ	6	3
クロモジ	2	2	ヤマウルシ	3	3
クロモジ	2	2	ムシカリ	2	2
クロモジ	3	2	ムシカリ	3	2
コシアブラ	4	3	ムシカリ	3	2
コシアブラ	1	2	ミズキ	2	3
リョウブ	3	2	ミズキ	7	4
リョウブ	3	2	ミズキ	6	4
リョウブ	4	3	ミズキ	5	3
リョウブ	3	3	ミズキ	8	4
リョウブ	4	3	ミズキ	4	3
リョウブ	6	4	ミズキ	6	4
トナリ	10	5	ミズキ	6	4
トナリ	6	5	ミズキ	4	3

No.103① 山崎営林署 調査面積100m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	SP.	DBH (cm)	H (m)
スギ	7	3	リョウブ	2	
スギ	13	4	アズキナ	2	
スギ	5	3	アズキナ	2	
スギ	14	5	コシアブラ	4	
スギ	6	3	コシアブラ	3	
スギ	6	3	ミズナラ	3	
スギ	7	3	ミズナラ	3	
スギ	5	3	ミズナラ	3	2
スギ	11	5	ムシカリ	2	2
スギ	14	5	ミズナラ	2	2
スギ	11	4	ミズナラ	2	2
スギ	10	5	ミズナラ	2	2
スギ	6	3	ミズナラ	2	2
スギ	7	4	ミズナラ	2	2
スギ	13	6	クロモジ	1	2
スギ	2	2	ミズメ	3	3
スギ	6	3	ミズナラ	1	2
スギ	4	3	ミズメ	3	3
スギ	12	4	ミズメ	2	3
スギ	5	3	コシアブラ	6	
スギ	5	3	ホオノキ	4	
スギ	9	4	コシアブラ	6	
クロモジ	1	2	コシアブラ	5	
ムラサキ	1	2	コシアブラ	2	3
ムラサキ	1	2	コシアブラ	2	3
コシアブラ	2	3	ナカマツ	2	3
ミズナラ	1	2	ミズナラ	3	2
ミズナラ	2	3	ヤマウルシ	1	2
ミズナラ	2	3	ヤマウルシ	1	2
ミズナラ	3	3	ヤマウルシ	1	2
ミズナラ	3	2	ヤマウルシ	1	2
リョウブ	1	2	ヤマウルシ	1	2
ミズナラ	4	3	ヤマウルシ	1	2
ミズナラ	6	4	クロモジ	1	2
ミズナラ	5	4	ハウヅキ	1	2
コシアブラ	1	2	クロモジ	2	2
リョウブ	1	2	ハウヅキ	3	2
ナカマツ	3		ハウヅキ	3	2
ナカマツ	3		コシアブラ	4	
ナカマツ	3		ナカマツ	6	
コシアブラ	4		ミズナラ	1	2
コシアブラ	2	3	ムシカリ	3	2
リョウブ	1	2	リョウブ	2	2
リョウブ	1	2	クロモジ	1	2
コシアブラ	4		クロモジ	1	2
コシアブラ	4		アズキナ	3	2
ミズナラ	3		ミズナラ	3	3

No.103②

SP.	DBH (cm)	H (m)	SP.	DBH (cm)	H (m)
ハウヅキ	2	2	コシアブラ	3	3
ハウヅキ	2	2	ナカマツ	4	
ハウヅキ	2	2	ミズナラ	2	2
クロモジ	1	2	ミズメ	2	3
クロモジ	1	2	ミズメ	7	
クロモジ	1	2	ミズメ	6	
コシアブラ	5		ミズメ	3	3
リョウブ	1	2	コシアブラ	3	3
リョウブ	1	2	コシアブラ	6	5
リョウブ	1	2	コシアブラ	4	
ハウヅキ	2	2	コシアブラ	4	
コシアブラ	3	4	ブナ	6	
ブナ	1	2	ミズナラ	2	
コシアブラ	1	2	ミズナラ	2	
リョウブ	2	2	ミズナラ	3	
リョウブ	2	2	ミズナラ	6	
ハウヅキ	2	2	ミズナラ	3	
ミズナラ	2	3	ミズナラ	2	
リョウブ	2	3	ミズナラ	3	3
ハウヅキ	2	3	リョウブ	1	2
アオハダ	4	3	ミズメ	7	4
ミズナラ	3	2	リョウブ	1	2
ナカマツ	3		ミズナラ	6	
ナカマツ	3		ミズナラ	5	
コシアブラ	3	3	ヒノキ	1	2

No.7 松江営林署船通山国有林1003ち2 調査面積100m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	樹形	SP.	DBH (cm)	H (m)
スギ	4	2	B	ミズキ	1	2
スギ	6	4	A	クリ	4	4
スギ	6	5	A	クリ	3	4
スギ	6	4	B	クリ	2	4
スギ	8	5	A	クマシラ属	3	4
スギ	6	4	A	クマシラ属	2	3
スギ	4	3	A	クマシラ属	1	3
スギ	4	2	C	ミズメ	2	3
スギ	6	4	C	ミズキ	2	2
スギ	6	4	A	クリ	4	4
スギ	4	3	A	クリ	3	4
スギ	8	5	A	クリ	3	3
スギ	8	6	A	クマシラ属	2	3
スギ	6	4	A	クマシラ属	1	3
スギ	6	5	A	ホオノキ	2	2
スギ	4	4	A	クリ	3	2
スギ	8	5	B	ホオノキ	1	2
スギ	6	4	A	クリ	3	3
クリ	3	4		クリ	2	2
クリ	2	4		ミズメ	4	4
ミズキ	1	2				

No.4 松江営林署三谷国有林1051る 調査面積80m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	樹形	SP.	DBH (cm)	H (m)
スギ	5	3		スギ	3	3
スギ	6	3		スギ	6	3
スギ	5	3		スギ	2	2
スギ	4	3		スギ	1	1
スギ	1	1		スギ	6	3
スギ	2	2		スギ	5	3
スギ	6	3		サカサマ	12	7
スギ	3	2		サカサマ	2	3
スギ	5	3		サカサマ	7	7
スギ	2	2		サカサマ	6	6
スギ	7	4		エノキ	2	2
スギ	2	2		広葉樹	5	4
スギ	5	3		広葉樹	2	3

No.201 鳥取営林署 調査面積不定
スギのDBH5~8cm, H2.5~4m。広葉樹の胸高断面積比は60%。

樹種	幹数	樹種	幹数
ミズメ	11	コシアブラ	2
ヤマホウ	3	ミズナラ	3
キブシ	6	リョウブ	3
ヌルデ	4	タムシバ	11
マンサク	18	ブナ	4
クロモジ	3	アカシデ	2
クマツグ	5	アオハダ	1
ホオノキ	2	ハチカサ	3
ミズキ	6	ナツハキ	1
クマシデ	1	ナカマ	2
コシホ	2	キハダ	1
ソヨゴ	1	イタヤ	1
ムシカリ	2	アズキ	2
ウリハダ	1		

No.16① 福井営林署龍掛国有林1202に2 調査面積55m²

SP.	DBH (cm)	H (m)	樹形	SP.	DBH (cm)	H (m)
スギ	6	4	B	クロモジ	1	2
スギ	4	2	B	ウリハダ	1	2
スギ	5	2	C	ミズナラ	3	3
スギ	5	2	B	クロモジ	2	2
スギ	6	3	B	ミズメ	5	3
スギ	4	3	B	ウミズグサ	1	2
スギ	7	4	B	クロモジ	1	3
スギ	3	3	B	クロモジ	1	2
スギ	3	2	B	ミズメ	1	1
スギ	7	2	C	ウリハダ	1	2
スギ	4	3	B	ミズキ	1	2
スギ	5	3	A	ミズキ	2	3
スギ	3	2	B	ガマズミ	1	3
スギ	6	3	B	ウツギ	1	2
スギ	6	4	B	ウツギ	1	2
スギ	5	3	B	ウツギ	1	2
スギ	4	3	B	ヤマザクラ	3	4
スギ	7	3	C	ガマズミ	1	2
イロハダ	1	2		キハダ	2	2
キハダ	1	2		ガマズミ	2	2
ブナ	1	2		フジキ	1	2
フジキ	1	2		ツバキ	3	2
リョウブ	1	2		ツバキ	2	2
ヤマハシ	1	2		ガマズミ	1	2
ウツギ	2	3		キハダ	2	2
ウミズグサ	2	2		ウリハダ	2	3
ミズナラ	1	2		ウリハダ	2	3
ウミズグサ	2	3		キハダ	1	2
ミズナラ	1	2		クロモジ	2	2
シデ属	2	3		ウツギ	1	2
イロハダ	1	3		ウリハダ	1	2
イロハダ	1	2		ウリハダ	1	2
ウリハダ	1	2		クロモジ	2	3
ミズナラ	2	2		クロモジ	1	2
ミズナラ	1	2		リョウブ	1	2
ブナ	1	2		リョウブ	1	2
ブナ	1	2		ウリハダ	1	2
ウミズグサ	1	2		ウリハダ	1	2
ウリハダ	2	3		リョウブ	1	2
ウリハダ	2	3		ミズナラ	3	3
ウリハダ	1	2		リョウブ	1	2
ウリハダ	1	2		キハダ	1	2
タラノキ	2	2		フジキ	1	2
キハダ	1	2		イタヤ	2	3
クロモジ	1	2		リョウブ	1	2
ミズキ	1	2		クロモジ	1	2
ヤマハシ	1	2		クロモジ	1	2
イロハダ	1	2		フジキ	1	2

No.16②

SP.	DBH (cm)	H (m)	樹形	SP.	DBH (cm)	H (m)
タムシバ	1	2		リョウブ	1	2
ウミズグサ	2	3		ミズキ	1	2
リョウブ	1	2		ミズキ	1	2
クロモジ	1	2		ミズキ	1	2
クロモジ	1	2		クロモジ	1	2
クロモジ	2	3		クロモジ	1	2
リョウブ	1	2		クロモジ	1	2
ミズメ	3	4		ミズキ	1	2
ミズキ	1	2		ウリハダ	1	2
ミズキ	1	2		ウリハダ	1	2
ブナ	1	2		リョウブ	1	2
ウミズグサ	1	2		リョウブ	1	2
ウミズグサ	1	2		クロモジ	1	2
イロハダ	1	2		クロモジ	1	2
ウリハダ	1	2		リョウブ	1	2
リョウブ	1	2		リョウブ	1	2
リョウブ	1	2		サクラ属	2	3
キハダ	1	3		サクラ属	1	2
ウリハダ	1	1		サクラ属	1	2
ウリハダ	1	2		サクラ属	1	2
クロモジ	1	2		サクラ属	1	2
ウリハダ	1	2		サクラ属	1	2
リョウブ	1	2		サクラ属	1	2
クロモジ	1	2		リョウブ	1	2
マンサク	2	2		リョウブ	1	2
ミズナラ	1	3		リョウブ	1	2
ウリハダ	1	2		リョウブ	1	2
ウリハダ	1	2		イタヤ	1	2
ウリハダ	1	2		サクラ属	1	2
ツバキ	1	2		クロモジ	2	2
リョウブ	1	2		クロモジ	1	2
ブナ	2	3		リョウブ	1	2
ブナ	1	2		クロモジ	1	2
クロモジ	1	2		マンサク	1	3
ミズメ	3	3		マンサク	1	2
キハダ	1	2		サクラ属	1	2
ウリハダ	1	2		ミズナラ	1	2
ウリハダ	1	2		クロモジ	1	2
フジキ	1	2		フジキ	1	2
フジキ	1	2		ミズキ	1	2
リョウブ	1	2		リョウブ	1	2

カシ林の分布，立地特性
及び天然更新技術

カシ林の分布，立地特性及び天然更新技術

—カシ類の育成適地判定—

—カシ類の生理・生態的特徴とその天然更新への応用—

I 試験担当者

九州支所育林部長	藤田 桂治 (昭63～平元年度)
	柴田 順一 (平成2年度)
土壤研究室	河室 公康 長友 忠行
	森貞 和仁
暖帯林研究室	田内 裕之 西山 嘉彦
	竹下 慶子 上中作次郎
	佐藤 保

II 要旨

水俣，大口，出水，川内の各営林署管内国有林において，アカガシ，ウラジログシの分布を調べ，分布地の立地特性を明らかにした。アカガシの分布は標高400 m～800 mであり，ウラジログシは標高600 m以下であった。地形及び土壤環境としては，アカガシは稜線部緩斜面の乾性～弱乾性土壤に優占し，土壤の理学的性質は保水性が悪く，乾きやすい特徴を示した。ウラジログシは山腹中～下部の適潤性土壤に成立し，その理学的性質は透水性がよく，保水性が大きい特徴を示した。また，アカガシ林は，その土壤及び地形の環境特性から，皆伐により土壤が劣化しやすいことを示した。

常緑広葉樹林の主要構成種であるカシ類には，イチイガシ，アカガシ，ウラジログシなどがある。これらの樹種の間には，発芽特性，空間分布に差があることが認められた。一方，耐陰性，初期成長量，DBH分布型は同じで，いわゆる極相種の特徴が認められた。特に初期成長が遅く耐陰性が強いのがこれらの種に共通していた。

極相（成熟林）の閉鎖林冠下には，カシ類の埋土種子，実生・稚樹は少なく，ギャップ内にもこれらの存在は少なかった。これらより現体制のギャップ攪乱では，カシ類の更新はスムーズに行われないうちにみえた。しかし，カシ類の小径木は大規模なギャップ跡に多く存在すること認められ，更新には大規模ギャップ（攪乱）が必要でないかと考えられた。以上の特徴より，カシ類の更新施業は，母樹保残・後更作業より，前更・強度の択伐方式がよいと考えられた。

III 試験目的

自然環境の保全と有用広葉樹林育成などを目的とした育成天然林施業が注目されるようになり、特に九州では、激減した有用カシ類の育成技術体系化の中で、個々の樹種の適地の解明が期待されている。カシ類の中でイチイガシの適地については、前の調査でほぼ明らかにすることができた¹⁾。しかし、標高ではその上部に分布するウラジログシ、アカガシの適地については、岡野・須崎^{2,3)}、熊本営林局⁴⁾などの報告があるものの、いまだ不明な点が多い。

九州本島内の水俣、大口、出水、川内の各営林署管内では、現在でも比較的大きな面積でアカガシ、ウラジログシを含む常緑広葉樹天然生林が残されている。そこで、この地域内における両樹種の分布の概況を調べるとともに、両樹種が立地環境を特徴的に反映して分布する水俣営林署管内上山国有林について、樹種の分布を特徴づける地形的及び土壌的環境特性の解析を行い、育成に好適な地形、土壌条件の抽出を行った。

日本の照葉樹林帯は、東北南部から関東以西の低山帯に広がり、一般にシイ・カシ林と呼ばれている。しかし、残念なことに、これらの多くは伐採され、耕作地、スギ・ヒノキなど人工林となり、「見渡す限りの照葉樹林」という風景に出会うことはまず不可能に近い。また、現在里山に残っている照葉樹林は、かつて薪炭林として繰り返し伐採されたもので、燃料革命以後は「雑山」と称され放置された若い2次林である。カシ類、特に有用樹とされているイチイガシ、アカガシ、ウラジログシ、ツクバネガシなどは、齢級の高い（成熟した）天然林でないと、十分な価値を持った木材（大径高品質材）が確保できない。ところが、近年、天然林施業・広葉樹造林が木材資源確保・公益的機能の発揮などの観点からクローズアップされ、これらの施業技術の早急な確立が求められるようになった。本研究では、カシ類の生育するさまざまな林分で、分布・成長様式・更新過程などを調査し、さらに実験的に発芽特性・耐陰性を把握し、天然林内でカシ類がどのように生存しているのかを明らかにしようとした。また、これらの結果が、カシ類を中心とした有用広葉樹を多く含む森林の更新方法・誘導法の開発に、どれだけ寄与できるかを考察した。

IV 試験の方法と結果

1. カシ類の育成適地判定

1) 調査地及び調査方法

調査地域内で最も標高が高いのは、出水市と宮之城町界にある紫尾山（1086 m）である。紫尾山から北東に向けて、大口市と川内市界、大口市と水俣市界をなす標高400~800 mの分水嶺が続くが、カシ類を含む常緑広葉樹天然生林はその稜線部分に多く残されている（図1）。この中で水俣営林署管内上山国有林20林班は、自然環境保全地域に指定され、地域の常緑広葉樹天然生林の状況をよく表している。この広葉樹林については地形測量による微

地形解析、アカガシ、ウラジログシの分布状況調査及び土壌調査による土壌図作成を行った。また、山頂から山脚まで東西方向の測線を設け、測線に沿った樹種分布、密度を調査するとともに、土壌条件については、測線に沿った土壌層厚分布調査、アカガシ、ウラジログシ優占地の代表土壌断面調査を行った。代表土壌断面については、400 ml土壌円筒による理化学分析を行った。土壌理化学性及び化学性の分析は、国有林林野土壌調査方法書⁵⁾によった。

2) 調査結果

(1) アカガシの分布

九州地域におけるアカガシの分布について、岡野・須崎⁶⁾は標高260~1010 mまでの分布を調べ、それらの林の種構成は多様で、より暖温帯性の組成種を有する林からブナ林に近い冷温帯性の林まで幅広く存在するとしている。

調査区域は九州本島でも南西に位置するが比較的標高の高い山地であるため、その分布の最も低い所で上山国有林の400 m、最高所で紫尾山の800 m地点であった。ウラジログシの最高所は紫尾山の600 mであった。

(2) アカガシ林の地形、土壌の特徴

地形的にはアカガシは山地の山頂部緩斜面に優占し、ウラジログシは丘陵性地形の緩傾斜地から山地の山腹斜面に多くみられた（図2）。また、土壌条件としては、アカガシは主に全土層の深い乾性褐色森林土（BB型）~弱乾性褐色森林土（BC型）に分布し（図3）、その土壌の断面形態はA0層の発達と表層部分の堅果状構造によって特徴づけられる（図4）。土壌の理学的性質として、排水性の指標値である透水性は中庸（50~90 ml/min）であるが、最大容水量は小さく、最小容気量が大きいため保水性が悪く、乾きやすい特徴を示した（表1）。また、アカガシ林の土壌 pH(H₂O)の分布を詳細に調べてみると、その値は4.2~5.2の範囲を示し、山脚部のコジイ林とほぼ同じであった（図5）。



図1. 調査区域位置図

表1. カシ林土壌の理学的性質

断面 番号	層位	深さ cm	容積重 g/100ml	三相組成%			最大容 水量%	最小容 水量%	細孔隙 %	粗孔隙 %	透水性 ml/min	
				固体	水	空気						
1	A	0-5	49.5	22	22	56	46	32	34	44	89.0	
	アカ	B2	20-50	72.4	26	24	50	57	17	29	45	83.5
	ガシ	B3	50-90	90.8	33	27	40	65	2	34	33	54.5
2	A1	0-5	68.4	24	27	49	53	23	26	50	882.5	
	ウラ	A2	5-40	82.2	31	35	34	62	7	33	180.0	
	ジロ他	B	40-90	84.3	30	38	32	59	11	38	32	136.5
3	A	0-10	62.4	23	37	40	61	15	37	40	264.5	
	コジイ	B1	10-50	68.7	25	35	40	67	8	35	40	101.5
4	A1	0-12	44.0	18	41	41	65	17	32	50	204.0	
	皆伐跡	B	35-50	66.7	25	50	25	67	8	43	32	77.0

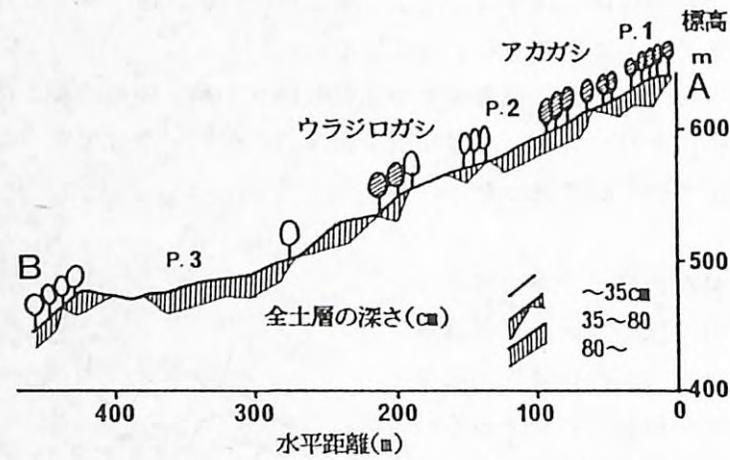


図2. 地形断面, 土壌層厚及びカシの分布

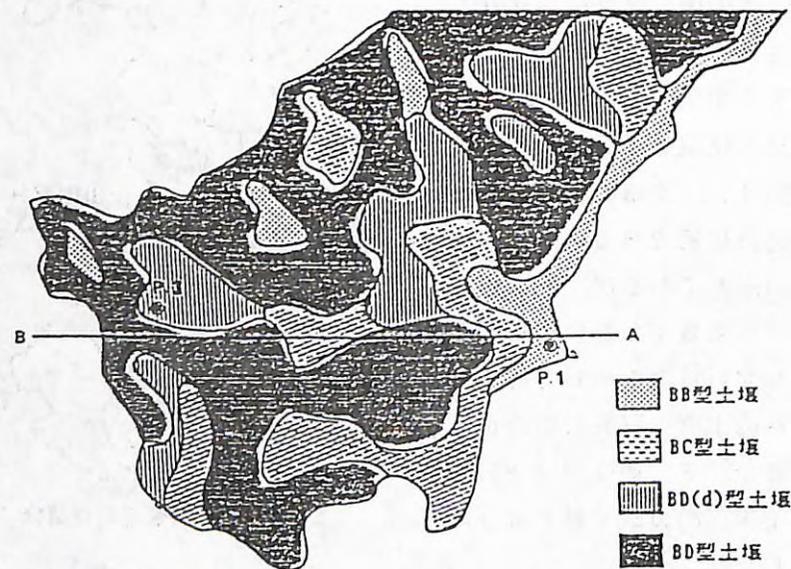


図3. 上山20林班の土壌分布

アカガシ林の立地環境特性として、岡野・須崎²⁾は土壌の有効水分量が小さい特徴をあげている。有効水分量は、地形的位置、土壌層厚及び土壌母材などに支配されるので、稜線部に位置し、土壌層厚が薄く、水はけのよい土壌母材のような条件下で小さい値を示す。すなわち、土壌型としては乾性~弱乾性の土壌型であることを示し、理学的性質としては保水性が悪く、乾きやすい特徴を有することを意味する。これらの結果は、筆者らの調査結果とほぼ同じであったが、土壌層厚については異なる結果が示された。筆者らの調査した水俣、大口、出水の国有林では、アカガシ林は土壌層厚の厚い稜線部緩斜面に発達する。稜線部に層厚の厚い土壌が分布する地形的特徴は、火山灰の堆積層厚との関連が深く、アカホヤ火山灰が厚く堆積する南九州で特に顕著である。岡野・須崎²⁾の例が示した土壌層厚の薄い特徴は、火山灰堆積の少ない北九州を中心としたためであり、アカガシの立地特性も火山灰堆積の有無などの地域性を考慮しなければならないことを示すものと考えられる。

また、一般には常緑広葉樹林では堆積有機物層の分解が速く⁷⁾、厚いA0層は形成されないと考えられるが、アカガシ林におけるA0層の発達の特徴的であり、樹種特性の一つとも考えられる。

(3) ウラジロガシの地形, 土壌の特徴

ウラジロガシは山腹斜面の適潤性褐色森林土(BD型)にみられる。この土壌は表層に移動小礫が層状に堆積している圃行土である(図4)。透水性が大きく(137~883ml/min.)

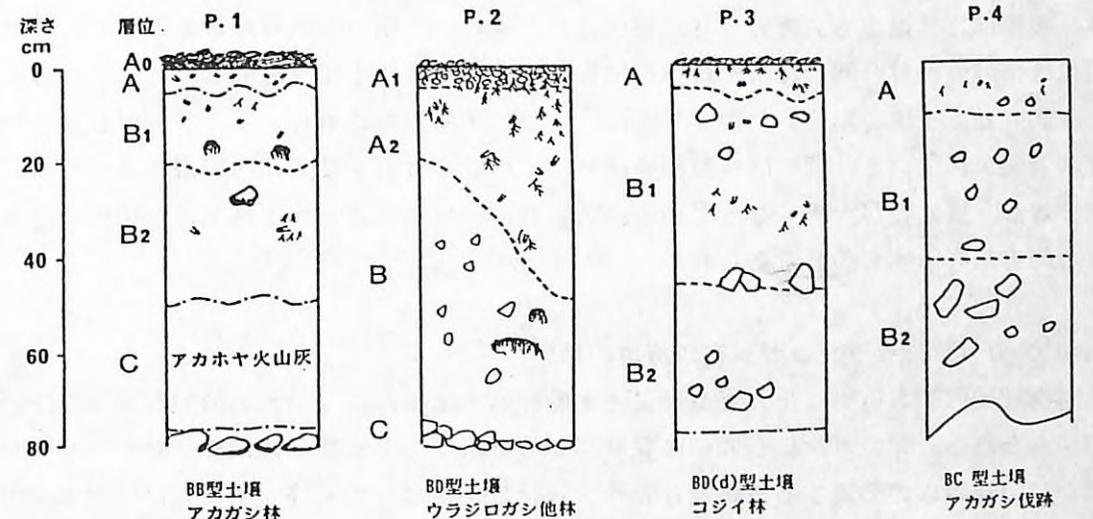


図4. カシ林土壌断面の形態的特徴

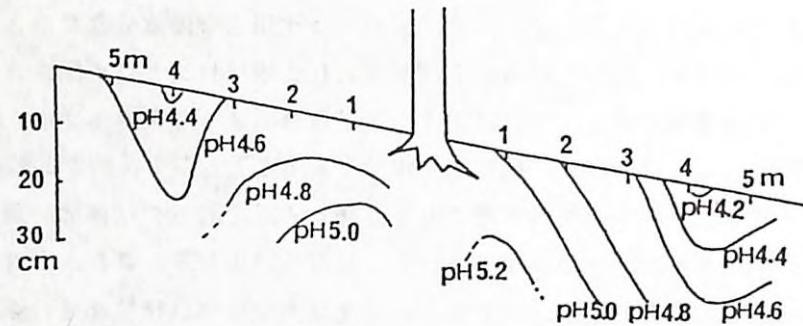


図5. アカガシ樹幹周辺土壌のPHの垂直分布(上山国有林)

排水はよいが、容水量が大きいので乾きにくい特徴を有する。

これらのカシ類に対して、コジイは山麓の緩傾斜地に群生する傾向がみられる。土壌条件としては、崩積性の適潤性褐色森林土偏乾亜型(BD(d)型)が優占し、その理学的性質は表層土の透水性が大きい(260ml/min.~)特徴がみられる。

(4) アカガシ皆伐跡地の土壌

アカガシ林は稜線部の乾性~弱乾性土壌に発達する。ところで、スギ林の場合でも皆伐による土壌変化(劣化)は地形的には稜線部で最も早く顕著に現れることが知られている⁹⁾。稜線部に発達するアカガシ林が皆伐された場合の土壌への影響を把握するため、地形的にはアカガシ林と同じ稜線部緩斜面で皆伐後2年を経た土壌を採取し、理学的性質の変化を調べた。土壌の形態的特徴としては、土壌の表面侵蝕の進行によりアカガシ林に特有なA0層が欠いている。理学的性質の変化としては、アカガシ林と比べ表層において粗孔隙が発達し、透水性が大きくなっている。これらは、皆伐による表土攪乱流亡に伴う土壌の総合的劣化を示すものと考えられる。

2) アカガシ, ウラジロガシ育成適地の摘出

調査区域内において、アカガシが優占する林は土壌条件のほかに地形的な環境条件に特徴がみられる。アカガシの育成に必要な基本的な条件である標高の条件(400~800 m)のほかに、緩斜面の発達する稜線及び乾性~弱乾性土壌などの条件を満たした適地を摘出する方法としては、等高線の入った地形図、地形区分図及び土壌図が必要であり、これらを重ね合わせることによって適地を摘出できる。上山国有林について、森林基本図(縮尺 1:5000)を基図として25 mメッシュ図を作成し、アカガシ林育成適地の摘出を試みた。

一方、ウラジロガシについては、標高600 m以下であること、適潤性土壌であること、

山腹斜面であることなどが育成に必要な基本的条件とみられるが、今回の調査では、アカガシのように優占度の高い林分ではなかったため、適地の摘出までには至らなかった。

(河室 公康・長友 忠行・森貞 和仁)

2. カシ類の生理・生体的特徴と天然更新施業への応用

1) カシ類堅果の発芽特性

カシ類の堅果は成熟時に休眠状態にあるといわれている⁸⁾。カシ類の休眠性、発芽特性の把握は、更新施業のスタート段階で重要なキーとなる。しかし、カシ類の堅果の発芽に関する研究は少なく、その休眠性は明らかにされていない。そこで、カシ類堅果の休眠性を検討するために、低温処理に対する堅果の発芽反応を調べた。

(1) 材料と方法

試験を行った樹種はアラカシ、イチイガシ、シラカシ及びアカガシの4樹種である。堅果はアラカシが熊本県熊本市、イチイガシが大分県宇佐市、シラカシが福岡県大牟田市、アカガシが大分県別府市の母樹から1988年10月から12月に採取した。アラカシ、イチイガシは単一母樹より、シラカシは2個体の母樹より採取した。アカガシの母樹数は不明であるが、形状と果皮の色が類似した堅果を選んだ。採取した堅果は水選し、沈下した堅果を供試した。

低温処理は堅果をポリエチレン袋に密封して4℃の低温室に貯蔵して行った。発芽試験は脱脂綿を敷いたスチロール容器に水道水を加えて発芽床とし、25℃暗所で行った。供試粒数は一処理区50粒である。

(2) 結果と考察

① 採取時期と発芽

図6に採取日の異なる堅果の発芽率を示す。アラカシは樹上に着生している堅果を採取し、イチイガシ、アカガシは落下した堅果を採取した。

アラカシの堅果の落下は10月25日以前より始まり、12月2日以降まで続いた。10月30日及び11月5日採取の堅果の発芽率は比較的低く、11月5日採取の堅果は果皮を除去しても30日目の発芽率は82%にとどまった。また、この堅果は正の屈地性を示さないものが多く見られたが、幼根が屈曲した段階で発芽とみなした。しかし、11月12日以降に採取した堅果は高い発芽率を示し、果皮を除去すると100%発芽した。また、10月25日に採取した落下堅果も高い発芽率を示すことから、アラカシの休眠性は弱いと考えられる。

イチイガシは11月2日には堅果の落下はみられず、12月4日にはほぼ終了した。採取した堅果は前採取日から採取日の間に落下した堅果で、堅果落下期間の前半に採取した堅果の発芽率は低いが、後半採取した堅果は比較的高い値を示した。果皮を除去した堅果の発芽率は採取日に関係なく30日目でほぼ100%を示した。

アカガシは11月25日以前に落下が終了していた。アカガシはアラカシ、イチイガシと異なり果皮を除去しても発芽率が低い。果皮を除去した堅果の発芽率は採取日が遅れるにしたがい高くなり、12月15日採取の堅果では88%に達したが、発芽には60日を必要とした。

②堅果の発芽に及ぼす低温処理の影響

供試した堅果はアラカシが11月24日、イチイガシが11月25日、シラカシが12月1日、アカガシが12月4日に採取した落下堅果である。アラカシは低温処理なしでも60日目の発芽率は78%と高いが30日目では発芽はみられず、低温処理を行うことにより発芽速度が速くなった。イチイガシ、シラカシ、アカガシは低温処理により発芽率が高くなるが、シラカシ、アカガシはアラカシ、イチイガシに比較して発芽に長時間を要し、低温処理日数も多くを必要とした(図7)。果皮を除去することにより発芽が促進され、アラカシ、イチイガシ、シラカシは低温処理無しで30日目の発芽率がほぼ100%に達し、さらに低温処理により発芽速度が速くなった(図8)。一方、アカガシは果皮除去のみでは60日目の発芽率でも46%と低く(図6)、休眠性が強いと考えられる。果皮を除去することにより堅果の発芽が促進され、果皮が堅果の休眠に関与していることは明らかである。しかし、果皮を除去した堅果も低温処理により発芽速度が速くなった。さらに、アカガシ(12月15日採取)について、果皮を除去して低温処理を行った結果においても低温処理の影響が見られた(図9)。従って、休眠の原因は果皮にのみあるとは考えられず、ナラ類などで知られている休眠を制御するホルモンシステムのような胚の生理的要因を含む可能性がある。

低温処理をすると発芽可能温度はさらに引き下げられ(図10)、発芽温度10°Cでは果皮を除去しても発芽しないが、低温処理を行うことにより発芽が起こった。アラカシは30日の低温処理で発芽率60%に達したが、イチイガシは45日の低温処理でも44%にとどまり、発芽日数を長くしても発芽率は高くならなかった。アカガシの発芽には60日の低温処理を必要とし、発芽率は10%にとどまった。果皮を除去しない堅果でもアカガシはアラカシに比べて発芽温度の幅が狭いことが認められており⁹⁾、休眠性が弱い樹種ほどより低温でも発芽が起こると考えられる。

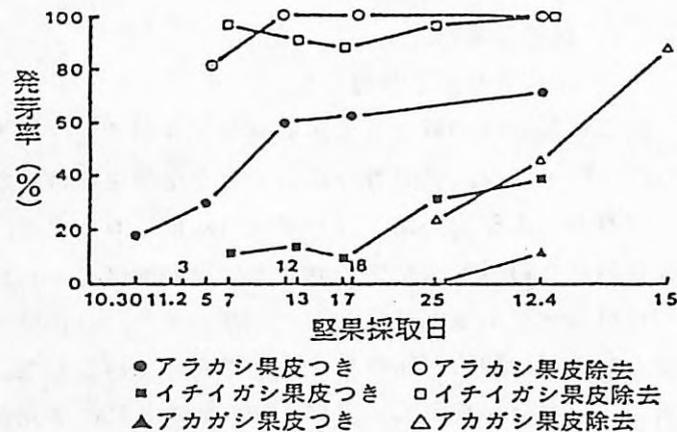


図6. 堅果採取日と発芽率の変化
果皮つきは60日目、果皮除去は30日目、
アカガシ果皮除去は60日目の発芽率

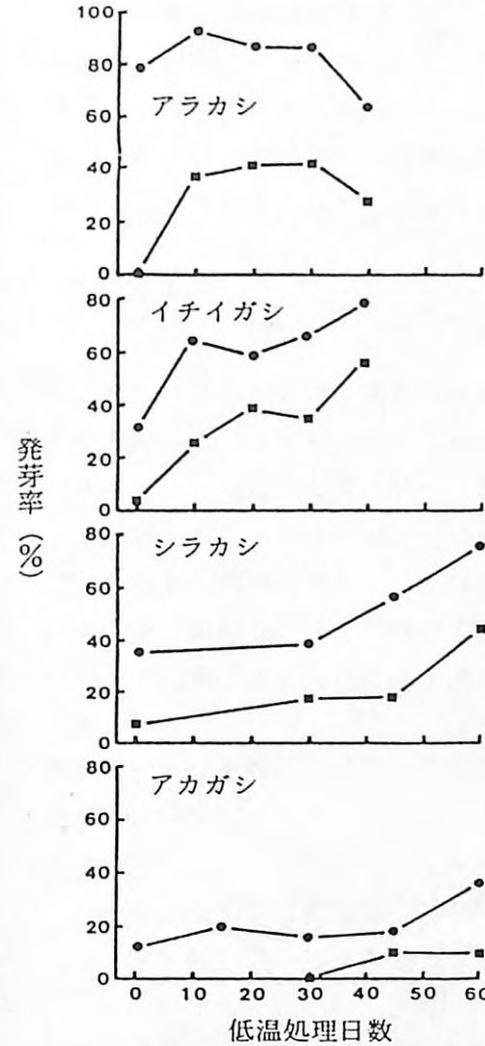


図7. 低温処理による発芽率の変化
■は30日目、●は60日目の発芽率

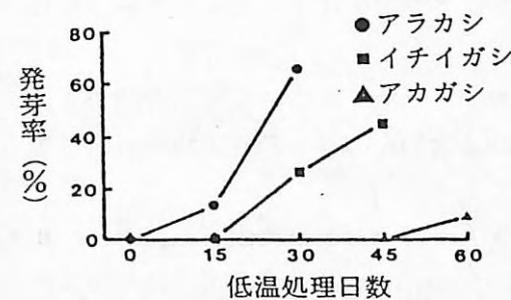


図10. 10°Cにおける発芽
果皮除去堅果, 60日目の発芽

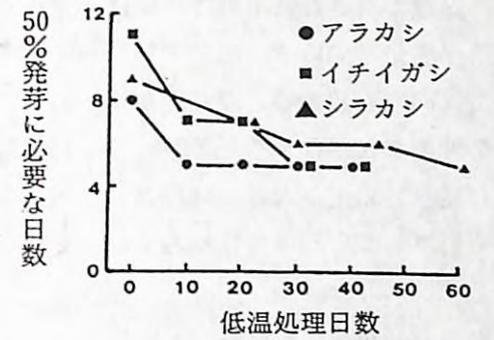


図8. 果皮除去堅果の発芽速度の変化

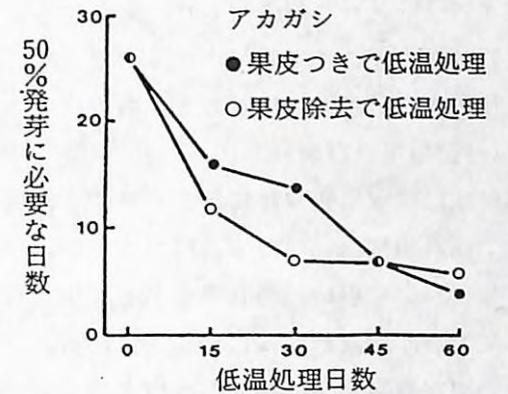


図9. 果皮除去堅果の発芽速度の変化

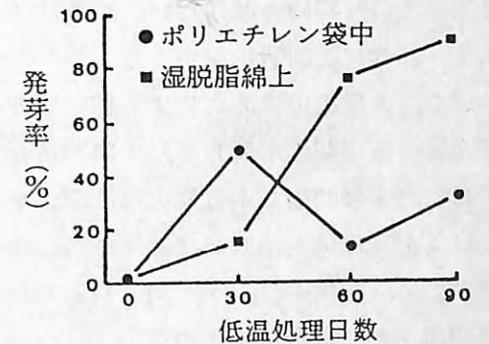


図11. 低温処理法によるアラカシ発芽率(30日目)の違い

この試験で用いた低温処理法では、堅果をポリエチレン袋に密封しているため内部のガス環境が変化している。図7, 11に示すように、アラカシではポリエチレン袋による低温処理では30日を超えると発芽率が低下した。この原因として、炭酸ガス濃度の増加、酸素濃度の低下などが考えられる。一方、低温処理期間が短い場合には、湿脱脂綿上での低温処理に比べて効果が大きく(図11)、ガス環境の変化あるいはエチレンの発生などが休眠覚醒に影響している可能性がある。

2) カシ類稚樹の耐陰性

九州内陸部の低山地帯に分布する常緑広葉樹林には、人為攪乱(薪炭林施業)によって成立したコジイやアラカシが優占するぼう芽林と、自然植生もしくはそれに近い状態でイチイガシ、ウラジロガシなどのカシ類が優占する成熟林とが存在する。コジイ、アラカシは初期成長が速く陽樹的、イチイガシは陰樹的¹⁰⁾で、コジイ林はやがてイチイガシ林へ遷移する¹¹⁾という報告があり、耐陰性を明らかにすることが、更新技術の確立にとって重要である。ここでは、コジイの優占する林内に稚樹を植栽し、その光環境とその後の成長様式から耐陰性を検討して、各樹種の生態的地位を明らかにしようとした。

(1) 試験地及び研究方法

試験地は熊本県熊本市にある森林総合研究所九州支所内の実験林で、標高65m、南南西向きで傾斜角度約18°の山腹斜面である。試験地は過去の伐採によりぼう芽更新した林齢35年生(1987年当時)の林分である。樹高は14.0~15.5mで、林冠構成木ではコジイが優占しており、胸高断面積の86%を占める。ほかの林冠構成種には、落葉樹であるコナラ、ヤマハゼが存在する。亜高木~低木層にはアラカシが多く、個体数では第1位であった。

① 光環境の測定

1987年4月から1988年11月にかけて、試験地内の5箇所(地上高:1.0m)にサンステーション(旭光通商K.K.製)を設置し、2~6か月間の積算日射量を測定した。1989年には林分内の照度分布のばらつきを調べるため、植栽木の成長点上の照度測定を行った。調査は曇天日の11~14時の間に行い、照度計(トプコン製デジタル照度計IM-3)を用いて対照区(林外)と同時に測定した。

一方、太陽の位置変化による林内照度の変化を検討するため、球状の受光面を持つ立体照度計(飯尾製作所製)で、太陽高度がほぼ同一となる1989年2月と10月の快晴日及び曇天日に、1分間隔で1日間の照度測定を行った。

以上の光環境を相対値で表すため、全天光の対照区を付近の苗畑に設定した。なお、比較のため、各地のコジイ林内(林齢20~45年生, 6林分, 地上高:1.2m)で、相対照度の瞬間値を上述の方法で求めた。

② 林内植栽試験

1982年秋に採取し土中に保存したアラカシ、イチイガシ、コジイ種子を1983年3月に植木

鉢へ播種し、4年間育苗したものを1987年5月に鉢土ごと、コジイ林内に植栽した。植栽本数は各樹種25本ずつで、1.5m間隔で植栽した。活着した稚樹73本については、毎年成長終了期に樹高(H)、根元直径(D)及び樹型を1989年まで3年間測定した。

なお、一定条件で育苗した稚樹を確保することができなかつたため、異なる光環境下で育苗したものを使用した。その内訳(活着した本数)は、全期間(4年間)相対照度約40%で育苗したもの(アラカシ、イチイガシ、コジイの順に6, 8, 6本)、約60%で育苗したもの(7, 8, 6本)、全天光下(100%)で育苗したもの(6, 4, 7本)、最初の2年間は約5%で、その後2年間は全天光下で育苗したもの(5, 4, 6本)である。これらを4つの前処理区とした。

(2) 結果及び考察

① 林内の光環境

試験地の相対積算日射量と相対照度を表2に示す。1987年の結果を見ると、相対積算日射量は4~6月が1.7%, 6~9月が2.1%, 9~12月は2.5%であった。コジイの成長期は4~11月で、4月下旬に展葉し、9月以降に2度目の展葉・伸長を行う。また、コジイは4~5月に落葉のピークをむかえ、年間落葉量の40%もしくはそれ以上がこの期間に集中する¹²⁾¹³⁾。コナラ、ヤマハゼの着葉期は、例年4月上旬~11月中・下旬(以降この期間を着葉期、

表2. 試験地における林内の光環境

調査日(期間)	天候	調査項目	相対値(%)
87/04/20-06/25		日射量	1.7
87/06/25-09/20		日射量	2.1
87/09/21-12/18		日射量	2.5
87/05/18-11/01		日射量	1.9
88/12/04	曇	照度 I	2.4
89/02/14	快晴	照度 II	4.5
89/02/17	曇	照度 II	2.8

調査項目

日射量: サンステーションシステムを林内に5か所設置。値は積算日射量

照度 I: 携帯用積算照度計で1分間の積算値を20か所で繰り返し測定

照度 II: 立体照度計を1か所に設置し、1分間隔で1日間測定

それ以外を落葉期とする)である。つまり、9~12月の日射量が高くなるのは、落葉期に入るためと考えられる。一方、コジイの成長期(1988年5~11月)における相対日射量は1.9%であった。

植栽した個所の相対照度のばらつきを求めると、最大値は2.0%、最小値は1.0%、平均1.6%、変動係数0.14であった。ほかの6林分での相対照度は、林分間の平均値が2.1%、変動係数は0.30であり、これに比べると試験地内の値はやや低いが、コジイ林の一般的な値の範疇であるといえる。

一方、一日における相対照度の変化は図12のようになった。落葉期(1989年2月)における照度の変化を見ると、曇天日で林外の照度が雲の移動に伴って短い間隔で大きく変動したが、それに対応した林内の照度変化率は若干小さかった。例えば、南中時をさきむ12:00~13:00の照度の変動係数は林外で0.22、林内で0.17であった。快晴日には、林外の照度が明確な円弧状を示すのに対して、林内ではサンフレックによる鋭いピークが生じた。

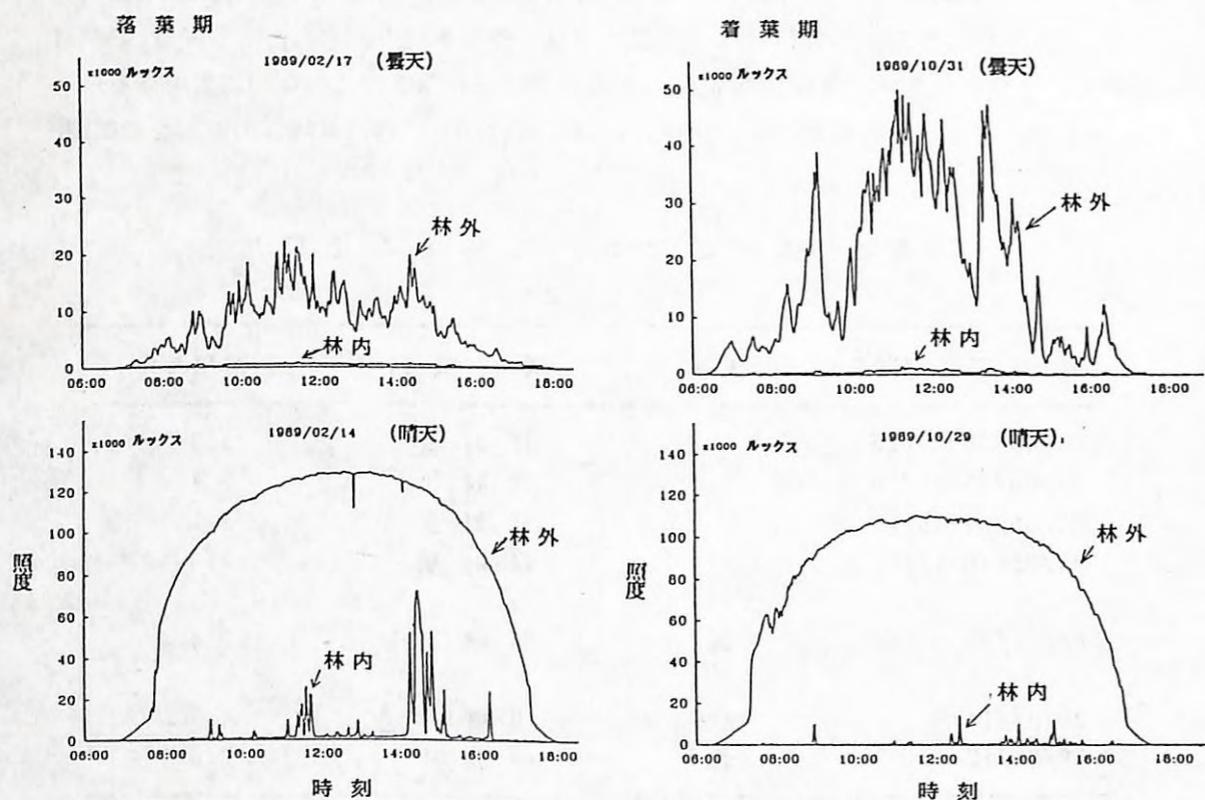


図12. 落葉期(左)と着葉期(右)における1日間の照度変化

最大時には相対照度59.8%となり、71,000 luxの照度を得られた。一方、着葉期(1989年10月)を見ると、曇天日には落葉期同様、林内の照度はほぼ一定していたが、快晴日には、林内照度のピーク発生頻度が少なく、その強度も落葉期に比べて弱かった。

②植栽木の成長量の変化

このような光環境のもとで、植栽木がどのように成長したかを検討した。生存個体の樹高の変化を図13に示す。イチイガシは植栽当時平均樹高が0.59mであったが、1~3年目までの間に0.57, 0.55, 0.61mと、ほとんど樹高成長をしなかった。アラカシも同様の成長パターンを示した。両種ともに1ないし2年目に樹高の低下が見られるが、これは先枯れを起こし、成長点が低くなった個体が多いためである。一方、コジイの場合は1年目から枯死する個体が生じ、先枯れ率も高かった。また、樹高は連続的に低下したが、これは先枯れ率の上昇によるものである。

根元直径の変化(図14)をみると、イチイガシとアラカシでは同様のパターンをとり、樹高成長に比べると直径成長量の増加が明瞭であった。これは樹高成長はあまりしないものの横方向に分枝し、葉群を水平方向へ発達させている個体が多いためである。コジイに直径成長が認められないのは、水平方向への分枝の伸長を行わず、先枯れ・枯死へと推移したためである。

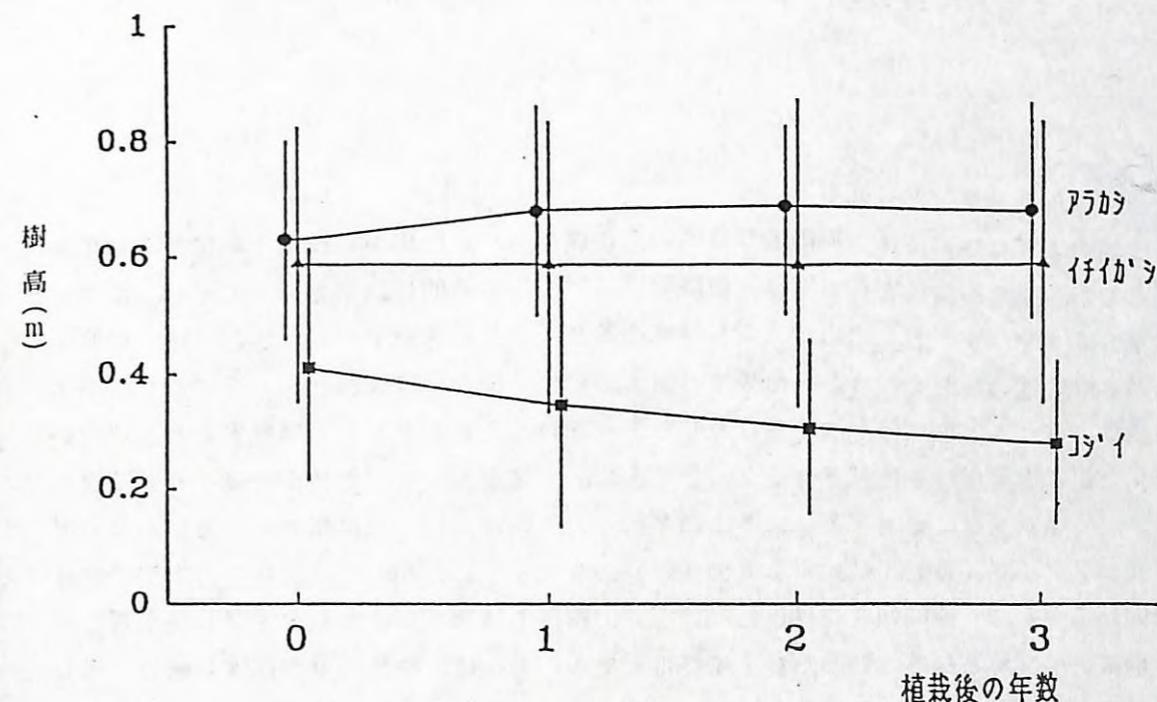


図13. 植栽木の樹高変化

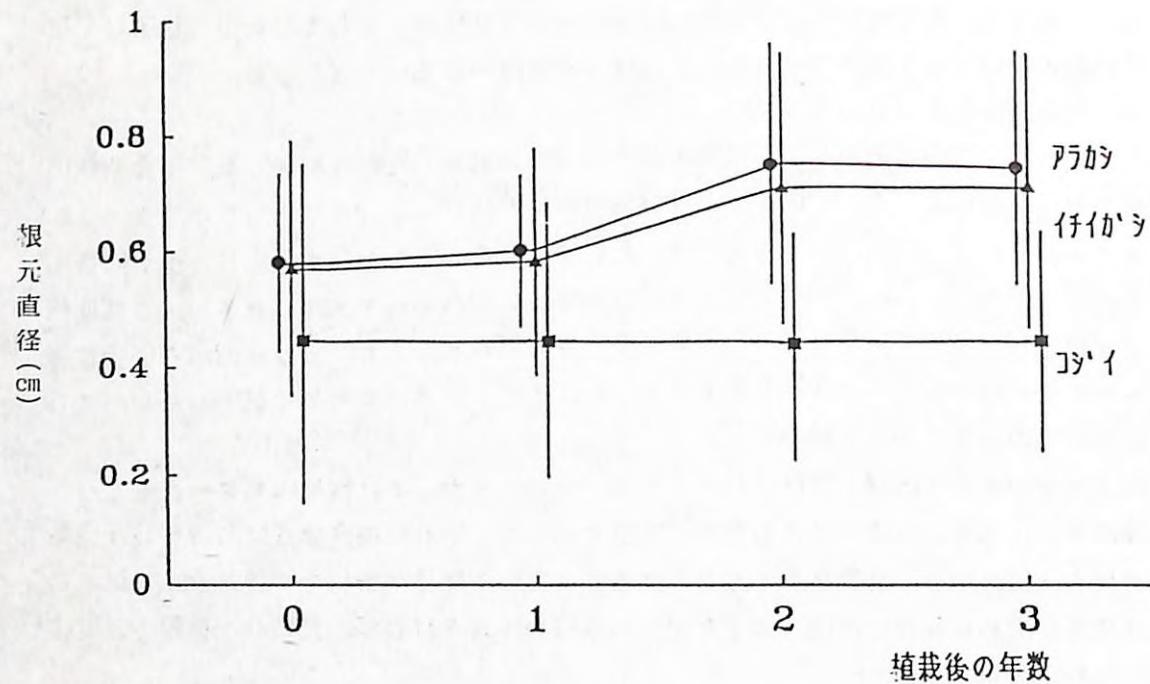


図14. 植栽木の根元直径変化

③樹型の変化と枯死率

上述のように生存個体の樹高及び直径の変化は少ないが、樹型は植栽1年目から変化を起こした。通常耐陰性を持つ種は、被陰環境に対し、形態的には葉を薄く広くし、葉身を水平方向へ伸ばすことで適応し、成長速度を落とすことが可能である。ここでは、形態変化から耐陰性の検討を行った。植栽後の樹型の変化を図15に模式図として示す。育苗中の稚樹は、ほとんどの個体のはっきりとした主軸を持っていたが林内に植栽すると、樹型の変化を起こさず主軸を伸長させるタイプ (I)、主軸を伸ばさず側枝が発達するタイプ (II)、先枯れを起こし (すでにある主軸が枯死)、側枝も徐々に枯死し始めるいわゆるダイバックタイプ (III)、枯死するもの (IV) の4タイプに分かれた。これらの樹型の変化を図16に示す。一般的傾向を見ると、いずれの樹種も植栽初年度からタイプIIが出現し、一部はタイプIIIとなる。ひとたびタイプIIIとなったものは、枯死部分が拡大し続け、再び主軸を上方成長させることはなかった。アラカシは植栽して75%が樹型の変化を起こし、8%が枯死した。イチイガシも同様の樹型変化を起こすが、アラカシに比べてタイプII、

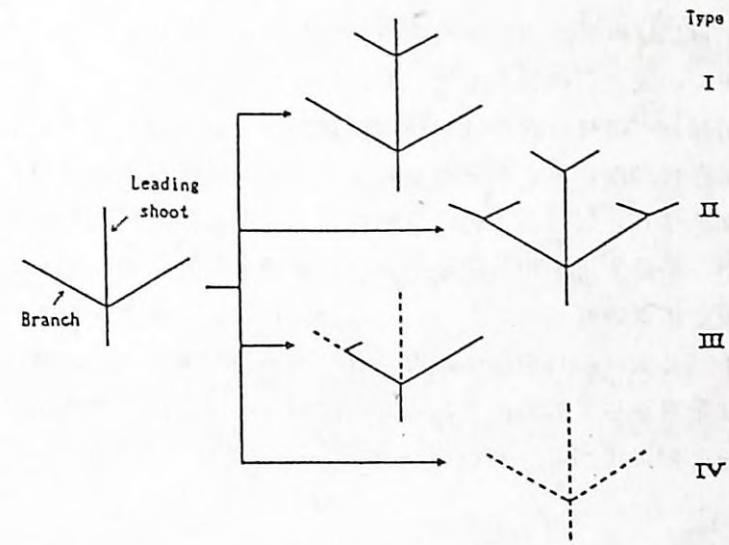


図15. 植栽後の樹型変化を示す模式図

I, II, III, IVのタイプ区分については本文を参照のこと

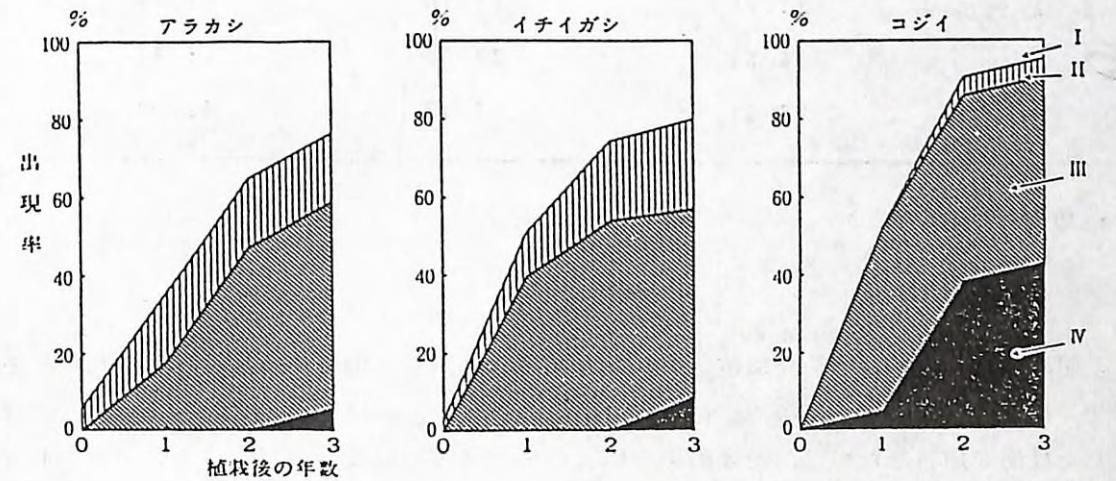


図16. コジイ林内に植栽した各樹種の樹型変化率

I: 主軸が伸長, II: 側枝が発達, III: 先枯れ, IV: 枯死

IIIへの変化率が一年目でより高く、2、3年目と変化率は減少した。コジイはこれらの変化率が最も高く、3年目には96%が樹型の変化を起こし、40%が枯死した。つまり、コジイは被陰下ですぐに樹型の変化（障害）を起こし、枯死にいたった。

タイプIIIからIV（枯死）への移行速度は樹種間に差がみられ、コジイが最も速い。イチイガシはタイプIIIへの移行率が年とともに減少しており、植栽後林内の環境に順化してきたとも考えられる。タイプIIとなったものは葉群を横方向に広げ直径成長を行う。

これらの樹型変化が、各個体上の相対照度の違いに影響されたものか否かの検討を行った。各樹種ごとに樹型と相対照度の効果についてKruskal-Wallis検定を行うと、植栽後3年間いずれの樹種にも5%未満の有意確率が得られなかった（表3）。本来、光強度の違いは成長様式に大きな影響を与えるものであるが、試験地の光環境（平均相対照度1.6%、変動係数0.14）ではその効果差がみられなかった。

表3. 相対照度が樹型変化に及ぼす効果の有意確率（%）

年	種名	アラカシ	イチイガシ	コジイ
1		33.99	12.10	54.78
2		34.69	23.68	65.87
3		22.91	9.13	82.01

* 植栽後の年数

上記の結果から、林内の光環境はそれぞれの個体に対して均一であると考えられた。そこで、樹種間の樹型変化率の違いについて検討を行った。本研究では異なる光環境下で育苗した稚樹を用いたために、前歴の違いによって植栽後の成長に差が生じたのかも知れない。育苗時の光環境と先枯れ・枯死率（III+IV）との関係を見ると、全体的に被陰下で育苗した個体ほど先枯れ・枯死率は低いようであった。しかし、育苗時の光管理が必ずしも厳密でなく、育苗途中で光環境が急変した前処理区もあるため、本報では前処理の効果差については考察しない。ただし、前処理の違いを無視することはできないため、前処理区別に樹種ごとの先枯れ・枯死率を求め、樹型変化率について樹種間の多重比較を行った。

それによると、植栽1、2、3年目の検定統計量（T）はそれぞれ3.000、4.933、6.250となり、 χ^2 検定を行うと3年目に5%水準で有意となる。樹種間の有意確率（2年目、3年目）は表3に示すとおりで、2年目は樹種間に有意水準5%での差が認められないが、3年目ではコジイとイチイガシの間に有意差が認められる。つまり、枯死に至る樹型変化率をもって耐陰性とした場合、コジイ、アラカシ、イチイガシの順に耐陰性が強く（図16）、コジイとイチイガシとは明らかに耐陰性に差がある（表4）ことが分かった。

表4. 多重比較による樹種間の先枯れ・枯死率の有意確率

樹種	アラカシ	イチイガシ	コジイ
アラカシ	*	63.21	31.01
イチイガシ	49.31	*	4.64
コジイ	20.48	83.77	*

単位は%

④各樹種の耐陰性と遷移上における位置づけ

最後に各樹種の耐陰性からみた遷移上の地位について考察した。一般に、うっ閉した常緑広葉樹林の林床の植生量は貧弱で、林冠構成種の稚樹がほとんど存在しない。カシ類の実生稚樹の生存最低相対照度が2~5%という指摘¹⁴⁾からみても、コジイ林のように、成長期に相対照度が2%以下となるような林床での成長は困難と考えられる。一方、遷移過程を考えると、コジイ林内に3樹種の稚樹が存在した場合、イチイガシが最も長期間生存することができるため、やがてコジイと交代し優占種となる可能性を持つ。つまり、イチイガシはコジイ林内では樹高成長や直径成長がほとんどできない（図13、14）が、林冠が開き光環境が好転するチャンスを待っている。

3) 二次林内でのカシ類の成長

比較的高齢級のコジイ林内には亜高木~低木層にイチイガシ、ウラジロガシ、イスノキ、タブノキなどの極相樹種が高い頻度で存在している。一般にコジイの寿命は短く、樹齢40年を超すと腐朽菌や風害などによって枯死率が高くなる。台風によって一瞬にして優占種

がコジイからカシ類に移行した例も知られており、上述のカシ類がコジイよりも耐陰性が強いという事実からも、コジイ林はやがてカシ類を主体とした森林へと遷移していくものと考えられる。しかし、これらの種がコジイ林内にいつ定着し、どのように生育するかは不明である。ここでは伐採後放置された若いコジイ-カシ類混交林の主要樹種のサイズや成長過程を調査し、その成長パターンや年齢構成を明らかにし、これを解明しようと試みた。

(1) 調査地及び方法

鹿児島県大口市にある林齢24年生のコジイ-カシ類混交林を調査した。過去に薪炭林施業が行われており、ぼう芽主体の若い林分である。調査は 250 m²のプロットを設定し、毎木調査を行い、そのうち約半分の面積を伐採して一部を樹幹解析し、残りの切株は年輪を測定した。

(2) 結果及び考察

林冠構成木はコジイ、シラカシ、クマノミズキ、ウラジロガシ、タブノキ、イチイガシの6種であった。さらに、高木性樹種であるアカガシ、ツクバネガシ、イスノキが亜高木~低木層に生育していた。

なお、以下ではコジイ、シラカシ、クマノミズキを2次林種、それ以外を極相種と区分した。

① 胸高直径分布

分布型を調べるために樹種ごとの変動係数、歪度、尖度を立木数の多い6樹種について算出した(表5)。いずれの樹種も歪度がマイナスで、分布の山が平均値より小さい方にあり極相種ほど値が大きかった。また、変動係数も大きく、分布の幅が広がった。尖りの形はコジイ、シラカシでは中央が扁平で両側の広がり大きい形(尖度: 1.8付近)を取り、イスノキ、タブノキでは正規分布形を取り(3.0付近)、イチイガシ、ウラジロガシはピークが高くかつ広がり大きい形(3.0より大)を取った。

② 樹高成長

林冠構成木は 22-24年生であった。各種の林冠構成木の樹高成長を図17に示した。成長曲線に大きな差は認められないが、2次林種の成長量が極相種のそれを上回った。被陰木は成長が頭打ちになる傾向がみられた。これらからコジイ、クマノミズキ、シラカシなどの2次林種の成長量が、極相となるアカガシ、イチイガシのそれを上回ることが分かった。

③ 樹高分布

このうち2次林種であるコジイと極相種であるイチイガシとの樹高分布図を図18に示した。これによると、コジイは林冠層に多く優占種となっていたが、イチイガシは亜高木~低木層に多く分布していた。樹高分布を統計的にみると、2次林種は平均樹高が高く、歪度が小さい。極相種は平均樹高が低く、歪度がマイナスであり、尖度が3を超えるものが多いのが特徴であった。

表5. 主な高木性樹種の統計量

胸高直径					
樹種	立木数	平均	変動係数	歪度	尖度
コジイ	109	7.50	0.656	-0.136	2.245
シラカシ	47	5.12	0.799	-0.706	2.218
イスノキ	48	1.32	0.519	-0.782	3.332
イチイガシ	39	2.08	0.988	-1.840	5.103
ウラジロガシ	33	3.28	0.656	-1.707	5.791
タブノキ	16	3.61	0.922	-1.233	3.406

樹高					
樹種	立木数	平均	変動係数	歪度	尖度
コジイ	109	8.88	0.497	0.647	2.026
シラカシ	47	6.87	0.584	-0.290	1.640
イスノキ	48	2.51	0.365	-1.202	4.799
イチイガシ	39	3.60	0.804	-1.720	4.806
ウラジロガシ	33	5.49	0.501	-1.118	3.384
タブノキ	16	5.13	0.627	-0.551	2.188

注) 調査面積250 m², 樹高1.2m以上の立木についての値である

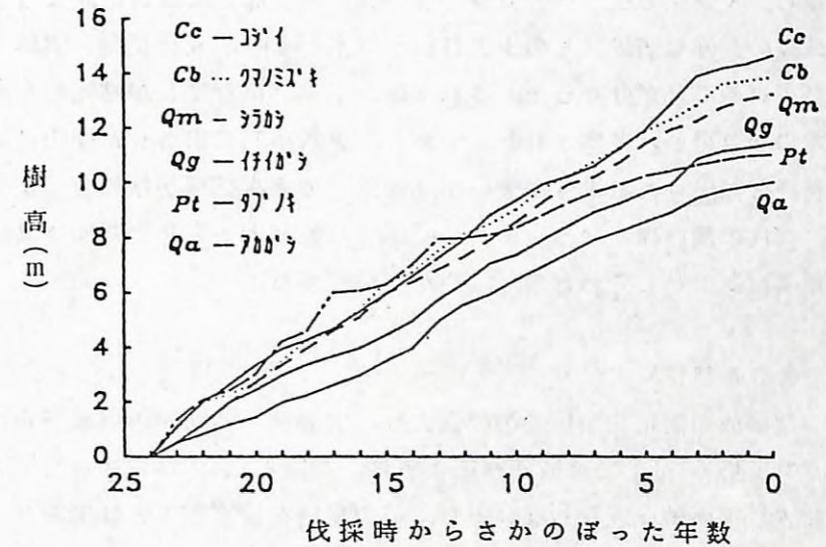


図17. 林冠構成木の樹高変化

④ 齢構成

齢は林床にある実生，ぼう芽枝を除くといずれの種もほぼ同じで伐採後同時に生育を始めたことが分かった。被陰木には齢が読み取れない個体があったが，ダイバックの形状や，節間の幅，数などより同齢であると推定された。さらに，イチイガシ人工林では同齢でDBH分布の変動係数が0.5以上という幅広い分布を取ることが知られており，これも推定を支持する根拠となった。これらより，コジイの初期成長は早く，イチイガシの初期成長は遅いことが分かった。しかし，イチイガシの耐陰性はコジイよりも高いことが分かった。耐陰性については，上述の稚樹の植栽実験でも，同じ結果となった。

⑤ 遷移について

以上のことから，イチイガシ，アカガシ，ウラジロガシなどは更新初期よりコジイとともに定着し，成長の良好な個体はそのまま林冠構成木となり，成長が悪い個体でも被陰下で長期間生存していることが分かった。これらは，上木（コジイ）が枯死したあとに優占し，林冠構成木になり得ると推察された。つまり，更新初期に定着した極相種は初期成長が遅く，2次林種に被圧される場合が多いが，被陰下で2次林種が枯死するまで生存できる確立が高く，次代の優占種となる。また，閉鎖した林分内で発芽した個体は成長ができず，林床に数年間バンクとしてとどまり，やがて枯死する。

4) 成熟林での分布特性

森林の構造や種組成の変化についての研究には，大面積・長期間の継続調査が必要であることが指摘されている¹⁵⁾。特に成熟林のように，林冠木1個体が占める空間の大きな森林では，十分に大きな面積を調査しない限り，その動態を論ずることはできないと考えられる。ここでは，ほぼ原生状態を保ち，数百ヘクタールの規模でまともに残存している照葉樹林に，大面積プロットを設定し，カシ類を主体とした各種の分布特性を調査した。

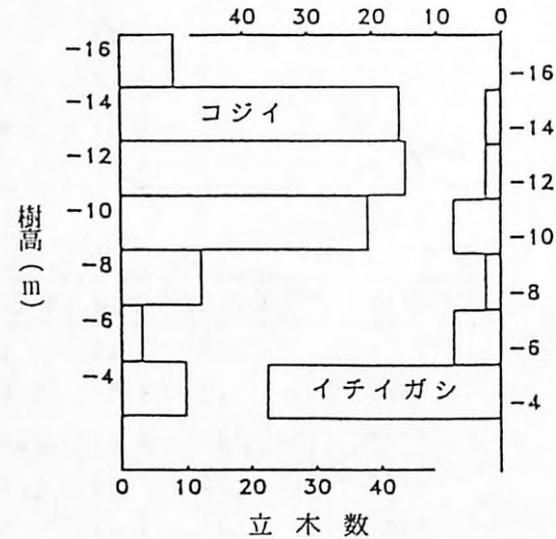


図18. 2次林における樹高分布 (H>2.0mの個体)

(1) 調査方法

調査地は宮崎県東諸県郡綾町大森岳付近の綾営林署管内竹野国有林93林班である。プロットは標高約400m，北向き斜面の中腹部（傾斜角 15-35°）に設定した。プロットサイズは200m×200mである。プロット内では，DBHが5cm以上の個体についての毎木調査を行い，DBH，樹高階層，位置を測定した。ぼう芽幹か否かについての記録も行った。また，シイ類（シイ・マテバシイ属），カシ類（コナラ属）については，DBH<5cm，H>=1.3mの個体についても同様な調査を行った。

(2) 結果と考察

① 種組成

毎木調査の結果，構成種数は50で，立木密度は3,904本・4.0ha⁻¹，胸高断面面積合計は193.2m²・4.0ha⁻¹であった。構成樹種を，林冠を形成していた樹種（林冠構成種），林冠は形成していなかったが樹高が10m以上に達していた樹種（亜高木種），樹高がそれ以下の樹種（低木種）に区分すると，林冠構成種は21種であった。立木密度・胸高断面面積ともにイスノキが第1位で，胸高断面面積では，タブノキ，アカガシ，ウラジロガシがこれに続いた（表6）。

表6. 構成樹種の立木密度及び胸高断面面積

種名 (種数)	立木密度		種名 (種数)	立木密度		種名 (種数)	立木密度	
	4.0ha ⁻¹	m ² ・4.0ha ⁻¹		4.0ha ⁻¹	m ² ・4.0ha ⁻¹		4.0ha ⁻¹	m ² ・4.0ha ⁻¹
林冠構成種			亜高木種			低木種		
イヌギ	1,274	40.34	サカキ	877	11.19	ヒメギ	100	0.34
ホウソウ	272	7.76	マツノキ	302	5.93	シイ	8	0.06
タブノキ	149	33.66	マツノキ	107	1.88	シメ	7	0.05
マテバシイ	137	5.12	バリバリノキ	101	2.61	イビリ	7	0.04
ウラジロガシ	128	25.06	イカシ	67	1.25	バクバク	5	0.03
アカガシ	86	31.63	イビリ	19	0.36	アノキ	4	0.03
シイ	63	8.61	カシ	14	0.66	イノキ	3	0.01
イチイガシ	33	5.70	マツノキ	12	0.30	クハク	2	0.01
ユズリハ	22	1.43	シメ	9	0.26	ホウソウ	2	0.01
クヌギ	16	2.00	ヒメギ	6	0.12	ミズバネ	2	0.00
その他	56	6.50	その他	12	0.29	その他	2	0.00
計 (21)	2,236	167.81	計 (17)	1,526	24.85	計 (12)	142	0.58

② 林分構造

DBHの分布型は，逆J字型を示すもの（A），なだらかな丘型を示すもの（B），分布幅の狭い凸型を示すもの（C）に区分できた（表7）。A型にはイスノキ，タブノキ，マテバシイ，サカキ，ヤブツバキ，バリバリノキなどが含まれ，亜高木・低木種のほとんど

がこれに属した。B型にはシイノキ、ウラジログシ、アカガシ、イチイガシなどが属し、多くはカシ類であった。C型には、イヌシデ、イイギリ、リュウキュウマメガキなどが属し、落葉性高木種の多くがこれに含まれた。

表7. 主な種のDBH分布型

分布型	タイプ	種名
	A	イヌキ, タブノキ, 赤ハコ, マテバシイ, 物ナ, ヲノハキ, ヲノニツガイ, ハリハリノキ, 奴カシ, ヤビツ, モリクヒガシ
	B	ウラジログシ, アカガシ, 仔カシ, シイノキ, 奴マキ, 加ノキ
	C	ヌノハ, クマノミキ, トクガキ, 奴シデ, リュウキュウマメガキ, 仔イリ

林冠構成種の小サイズ個体（ここではDBH<5cm H>=1.3mを幼樹, H<1.3mを稚樹とする）は、C型の樹種では、ほとんど存在しなかった。B型に属する種は稚樹・幼樹ともかなりの密度を有した。しかし、カシ類はどの種もDBH>=2cmの個体数が幼樹中5%未満であり、DBHの分布型からみても5-15cmクラスの小径木の比率が低く、稚樹から大径木へと立木密度が連続していなかった。カシ類3種のDBH分布型は図19に示した。A型の種であるイスノキ、タブノキは幼樹の個体数が多く、稚樹数は上位を占めた。マテバシイはぼう芽個体が高い割合を示した。

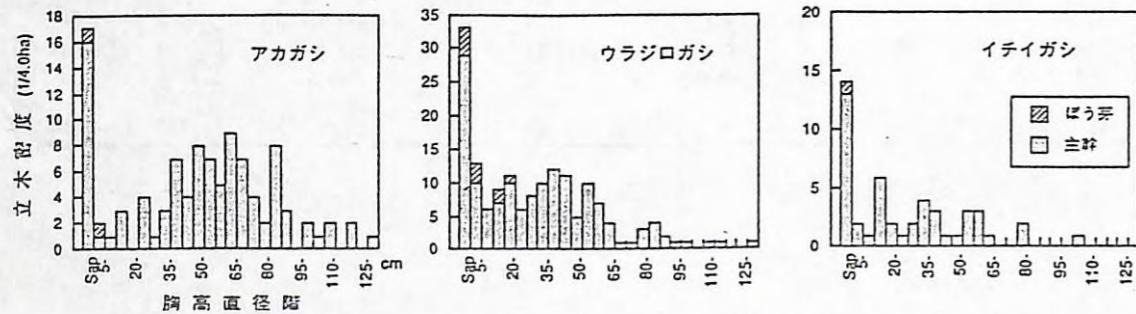


図19. 成熟林におけるカシ類の直径分布

一方、カシ類の立地特性を求めるために空間分布の解析を行った。表8は3種のカシが、互いにどのような関係で分布しているかを求めたものである。これによると、アカガシとイチイガシの林冠木で排他的な分布を示した。アカガシは斜面上部に多く、イチイガシは斜面下部に多く分布することが、統計解析によっても有意な差となってあらわれた。また、ウラジログシとイチイガシにおいては、それらの林冠木と下層木が同所的に分布することが分かった。

表8. 成熟林におけるカシ類の空間分布相関

種名	アカガシ	ウラジログシ	イチイガシ
アカガシ	(0)	0	-
ウラジログシ	0	(+)	0
イチイガシ	0	0	(+)

注) 表の右上部分は林冠木、左下は下層木、()内は林冠木対下層木についての関係を示す。+は同所的、-は排他的、0は独立を示す。

5) カシ類の埋土種子及び実生

天然更新の成否を握る大切な項目に埋土種子量が上げられる。従来より天然更新の可能性を探るため森林型の違いによる埋土種子の調査を行っており、これまでにコジイ林、コジイ林皆伐跡地及びヒノキ林などと比較を行ってきた。ここでは、極相もしくはそれに近いタブノキ林と数種のカシ類が混交する林分において、埋土種子及び毎木調査を行って、両者の比較をしたので報告する。

(1) 調査地及び調査方法

調査地は、宮崎県えびの市川添国有林71林班い小班（タブノキ林）及び鹿児島県大口市五女木荒平国有林39林班い小班（カシ類混交林）である。なお、調査日は、1988年10月と1989年2月である。調査方法は、毎木調査（タブノキ林面積311㎡、カシ類混交林面積500㎡）と埋土種子数の調査を行った。特にカシ類混交林では連続した5プロットを設定して調査を行った。さらに、林冠構成種については実生調査も行った。

(2) 結果と考察

両調査地における林冠構成樹種の立木、実生及び埋土種子数は表9に示すとおりである。タブノキ林では埋土種子が存在する種はわずかに4種で、イイギリが最も多かった。しかし、現存木にはない樹種が多かった。これらの樹種は毎木調査プロット外に存在しており、

表9. 林冠構成種の立木数, 実生数及び埋土種子数

(タブノキ林)			
林冠構成樹種	現存	実生	埋土
イナリ		350	
イナキ		30	
ウツノガシ	20	20	
ユズリハ	20	5	
タブノキ	1.0	150	
スズジイ		15	
ツバノガシ		10	

(カシ類混交林)																		
林冠構成樹種	プロット 1			プロット 2			プロット 3			プロット 4			プロット 5			合計		
	現存	実生	埋土	現存	実生	埋土	現存	実生	埋土	現存	実生	埋土	現存	実生	埋土	現存	実生	埋土
クマノミズキ			160	1		255							1	0	415			
イナキ	3	75		3	175		5	225	35	5	25	10	1	150	15	17	650	60
ツバノガシ						5										0	0	5
タブノキ	1				600		1	125							100	2	825	0
イナガシ	1				25				50		25				75	1	175	0
イナリ				1												1	0	0
ウツノガシ						1										1	0	0

現存：調査プロット内に出現した林冠木の立木本数（単位：本/100㎡）
 実生：" " 実生数（単位：本/100㎡）
 埋土：調査プロット内に生存していた埋土種子数（単位：粒/㎡）

その種子が落下してきたためと思われる。タブノキは実生数が最も多かったが、埋土種子は存在しなかった。タブノキの結実は7~8月で、結実後は短期間に落下し、すぐに発芽することから、調査時期には埋土種子としてカウントされない。カシ類混交林でも埋土種子存在種数はわずかに3種で、クマノミズキが圧倒的に多いが、プロット1, 2のみに出現し、ほかのプロットには存在しなかった。これは、現存木がプロット2に存在することによるものであろう。実生が存在するのは3種で、ここでもタブノキが最も多かった。カシ類は、豊凶の波が5~7年といわれ、その波の差は激しい。この調査では、ウラジロガシが豊作であったタブノキ林では、その埋土種子量が多かったが、カシ類混交林ではアカガシがわずかに埋土種子として存在するだけであった。なお、カシ類の堅果は落下後、動物による摂食、貯蔵行動による移動がみられる。そのためサンプリングする季節によっても、その量に差が現れると考えられた。林内に出現した種についてとりまとめたものが表10である。タブノキ林の場合、現存種19種中、埋土種子の存在する種はわずかに4種と少なかった。カシ林の場合でも現存24種中6種と少なく、共通していた。両林分で埋土種子数が最も多いのはヒサカキであった。ヒサカキはマテバシイ林、タブ林でも非常に埋土種子数が多い

表10. 調査プロット林内に出現した種の立木本数と埋土種子数

(タブノキ林)			(カシ類混交林)											
林内種	現存	埋土	Plot 1		Plot 2		Plot 3		Plot 4		Plot 5		合計	
			現存	埋土	現存	埋土	現存	埋土	現存	埋土	現存	埋土	現存	埋土
ヒサカキ	2.3	405	1	95	3	75	3	105	1	115	2	60	10	450
クマノミズキ	0.3	35				15		10	1	20	9	380	10	425
ヒサカキ	10.0	30			5			5					0	10
クマノミズキ	2.6	5			5				5				0	10
イナガシ	9.6		3		2			2		7	5	14	5	
ツバノガシ	8.0				5	2							2	5
アカガシ	6.8		6		12	5	8	9					40	0
ツバノガシ	5.5		4		5	6	2	3					20	0
ツバノガシ	3.5		1		5	2	4	6					18	0
ツバノガシ	3.2		8			1	2	2		2			13	0
ツバノガシ	3.2				1	3	4	5					13	0
ツバノガシ	2.9		6			1	4						11	0
クマノミズキ	1.0		1		2		4	1					8	0
ツバノガシ	0.3		3		2		2						7	0
ヒサカキ	0.3						5	1					6	0
クマノミズキ	0.3						2	4					6	0
ツバノガシ	0.3							1					3	0
クマノミズキ	0.3		2										2	0
ツバノガシ	0.3						2						2	0
ツバノガシ	0.3							1					2	0
ツバノガシ	0.3								1				1	0
ツバノガシ	0.3												1	0
ツバノガシ	0.3												1	0
ツバノガシ	0.3												1	0
ツバノガシ	0.3												1	0
ツバノガシ	0.3												1	0
ツバノガシ	0.3												1	0

現存：調査プロット内に出現した種の立木本数（単位：本/100㎡）
 埋土：調査プロット内に生存していた埋土種子数（単位：100粒/100㎡）

種である。ほかの立木と埋土種子との関係は不明であるが、鳥による種子散布の結果からこの林分でもこれらの多くは、鳥によって移入されたものと考えられた。表11には調査林分に存在しない種の埋土種子数について示した。タブノキ林では26種が確認できた。なかでもカラスザンショウ、クマノミズキ、アカメガシワ、ツルコウゾの4種は特に多い。カシ類混交林の場合22種が確認でき、アカメガシワ、フユイチゴ、クサイチゴ、カラスザンショウ、ピロウドイチゴが特に多い。両林分とも多く確認できたのは、カラスザンショウとアカメガシワであり、これらはいずれも鳥による持込みであろう。草本種は、両林分とも4ないし5種であったが、共通種は、ダンドボロギク、ベニバナボロギクで、種子数はほかの種に比べ非常に多かった。ほかの種には共通種がない。これは、両林分周辺地域の植生の特性を現したものであろう。図20に散布型ごとの埋土種子数を示した。散布型は、重力散布、動物散布、風散布型の3つに区分した。両林分とも重力散布型は、ウラジロガシ、

については、稚樹数を記録した。

(2)結果

空中写真より、この地域の過去30年間に生じたギャップの大きさを調べると、ほとんどが単木が倒れた程度のサイズで、0.05ha以上のものは認められなかった。単木が倒れた程度のギャップ内の更新は、写真判読の限りでは、ギャップ内もしくは周囲に存在する亜高木層の樹種（主にイスノキ）によってうっ閉されている。また、数10年以上前に生じたと考えられる大規模なギャップには、コジイが優占している。ギャップの分布及びサイズを表12、図21に示した。林分全体に対してギャップの占める面積割合は9.8%（1986年）で、単木~数本が倒壊したサイズ（200~400㎡）のものが多数を占めていた。現地調査では、空中写真で拾い出せなかった小さなサイズのギャップが多く確認でき、平均ギャップサイズは100㎡以下となり、その占める面積割合は10~15%であった。この結果は、ほかのブナ林などで報告されている数値とほぼ同様であった。また、ギャップは過去20年間にha当たり4.2か所、面積率で11.5%が新たに形成された。さらに安定した極相林の林冠構成木の年齢構造は、90-280年と大きなバラツキがあり、カシ類の優占する成熟林は異齢モザイク集団であることが分かった。

天然林の更新・維持にはギャップが重要な働きをしている¹⁶⁾ため、閉鎖林冠下とギャップ内との林床植生の比較を量的に行ってみた。つまり、通常優占度の計算で用いられる比数を使わず、絶対値によって優占度（ $\Sigma(H \times C) / \text{株数}$ ）を求めた。それによると閉鎖林冠下、ギャップ内ともにホソバカナワラビ、イズセンリョウの

優占度が高かった。閉鎖林冠下のみに出現した種は18種で、ルリミノキ、ミヤマシキミ、オオキジノオシダの優占度が高かった。ギャップ内のみに出現した種は13種であった。このうち特に優占度の高い種はなかったが、カラスザンショウ、アカメガシワ、クサギなどの先駆性落葉樹種が出現した。いずれにも出現する種のうち、タブノキ、ホソバタブは閉鎖林冠下での、ヒメユズリハはギャップ内での優占度が高かった。なお、優占度の総計は、

表12. ギャップのサイズ分布（綾93林班）

面積 (㎡) \ 年	1966	1986	1966-86*
- 82	-	-	-
- 141	16	18	17
- 255	41	38	27
- 394	47	37	23
- 578	18	20	13
- 857	3	7	1
-1157	2	3	0
1157-	1	1	0

* 20年間に新たに生じたギャップ数



図21. ギャップの分布と経年変化（綾93林班）

閉鎖林冠下とギャップ内とにほとんど差がなかった。ただし、林冠構成種はギャップ内の優占度が少なく、低木種はギャップ内で高い値を示した(表13)。また、林冠構成木の稚樹数について、閉鎖林冠下とギャップ内を比較するとカシ類では、イチイガシを除いては場所による差があまりなかった。カラスザンショウ、イヌシデのような落葉性高木種は、閉鎖林冠下にはまったく存在せず、ギャップ内のみに出現した(表14)。

(3)まとめ

林冠構成種について、上述(4)を参照)のDBH分布型別に更新様式を考えてみると、A型のイスノキ、タブノキは、特にギャップに依存せずに林内で更新を行っていると考えられた。B型に属するカシ類は、閉鎖した常緑広葉樹林内で長期間生存できるが樹高・肥

表13. 林床植生における各種の優占度

種名 (種数)	閉鎖林冠下	ギャップ内	種名 (種数)	閉鎖林冠下	ギャップ内
林冠構成種			低木種		
クノキ	250.5	12.8	イシノキ	754.4	2471.1
ホハク	247.4	2.3	ルミキ	318.4	
イノキ	36.6	20.7	ヒメキ	142.9	17.1
ウツノキ	28.4	8.4	ミヤマキ	93.8	
その他	35.3	17.5	アトキ	19.0	21.1
			その他	9.0	8.4
計 (14)	598.3	61.7	計 (9)	1337.5	2517.7
亜高木種			草本種		
ツノキ	185.2	8.1	ホハク	875.6	705.0
クノキ	178.1	68.0	ハク	73.3	9.9
ハク	140.7	50.0	クノキ	61.5	
イノキ	116.0	42.7	クノキ	34.5	30.5
クノキ	24.9		クノキ	21.5	
クノキ	20.7	18.3	クノキ		45.0
クノキ	2.4	125.0	クノキ	10.8	15.3
その他	8.4	28.0	その他		
計 (17)	676.5	340.1	計 (15)	1077.1	805.7
			つる性種		
			クノキ	14.7	32.5
			その他	19.2	25.4
			計 (10)	33.9	57.9

大成長をほとんどしない。そのため、閉鎖林冠下に存在するカシ類の稚幼樹は、満足な成長ができず、上木となり得ないであろう。また、ギャップ内でも密度・優占度の上昇が認められず、更新がスムーズに行われていないように見えた。C型の種はギャップ内のみ稚樹が存在するが、それ以上の小径木が存在しないため、更新は困難であると思われる。

まとめると、調査地内の大きなギャップ内では、低木種の発達が著しく、ギャップに依存して更新すると考えられた林冠構成種の割合が少なかった。立木密度・サイズ分布から見れば、現ギャップ体制が続くと仮定した場合、林冠構成種の一部(特にカシ類)はうまく更新できないと考えられた。

7)カシ林の遷移過程と天然更新技術

上述の結果やこれまでの知見をもとに、カシ林(常緑広葉樹林)の遷移を推論し、効率のよい収穫を目的とした更新、施業技術を考えてみる。

伐採や山崩れなどによって、新たにできた裸地は、放置しておけば緑に覆われ、やがて低木林から高木林へと変化していく。特に伐採跡地には前植生の種子、地下茎、根株などが残存しているため、伐採直後からかなりのスピードで植生の発達がみられる。まず最初にダンドボロギクやベニバナボロギクのような一年生草本類が一斉に繁茂し(図22のステージI)、その次に寿命(20年程度)は短いものの、1年間に樹高が1m以上も成長する先駆性樹種群(アカメガシワ、カラスザンショウなど)が低木林を形成する(ステージII)。やがて常緑広葉樹で成長の速い樹種(コジイ(ツブラジイとも言う))が優占種となり(ステージIII)、樹高10m以上の高木林を形成する。現在、里山に広く分布する照葉樹林

表14. 閉鎖林冠下及びギャップ内の稚樹数

種名	(単位: 100m ² -1)	
	閉鎖林冠下	ギャップ内
クノキ	100.00	60.00
イノキ	30.21	30.00
ウツノキ	25.00	20.00
イノキ	17.71	2.50
クノキ	9.38	10.00
クノキ	8.33	7.50
クノキ	2.08	2.50
クノキ	2.08	
クノキ	2.08	
クノキ		15.00
クノキ		12.50
クノキ		12.50
クノキ		2.50

は、昭和30年代以降放置されたこのコジイ林が多くを占めている。コジイは材質が柔らかく、40年生を超えると腐朽などによって枯死率が高くなる。そのため、コジイが枯れ、倒壊したあとには、すでに林内で生育していたカシ類が林冠層を形成し、樹高30m以上に達する極相林（ステージIV）へと遷移する。

天然林施業のタイプを大きく分けると、

a. 量を目的とする短伐期施業

b. 材質を目的とする長伐期施業

が考えられる。

これらを樹種による林種で分けると、コジイ林とカシ林に区別できる。

つまり、コジイを目的とする場合は20~30年伐期の施業が可能であり（図22のステージI~IIIの繰り返し）、カシ類の収穫を目的とする場合には70~80年以上の長伐期を要することになる（ステージI~IV）。

天然林施業を行うからには、当然天然力を上手に生かした施業を行う必

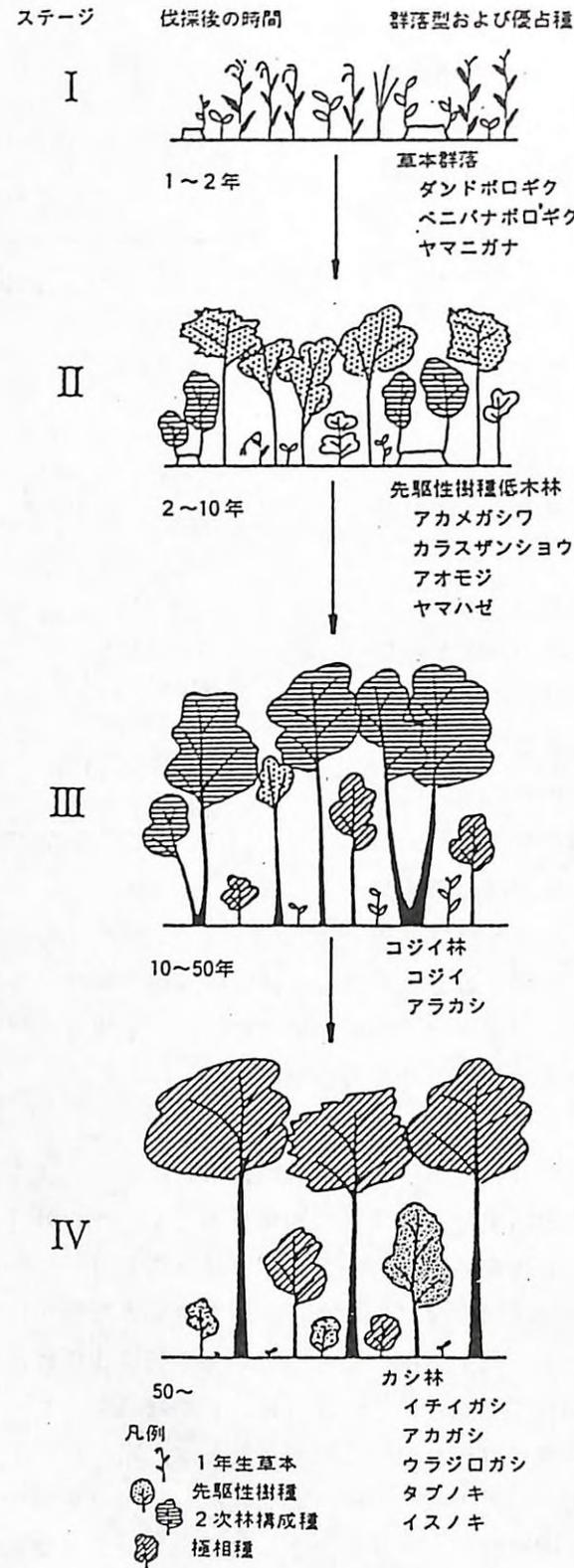


図22. 九州のカシ林域における伐採跡地の遷移模式図

要があり、そのためには目的樹種の特徴を十分に知る必要がある。例えば、同じ林分でブナとイチイガシを育てようとしても不可能で、それは両種の生育する森林帯（気候帯）が異なるからである。また、コジイとイチイガシを同時に収穫することも困難で、それは両種の生育する遷移のステージが異なるからである（図22参照）。

更新（収穫）のタイミングも重要な問題となる。特にカシ類のような極相種の大径材生産を目的とする場合、一斉皆伐は、遷移の段階をステージIまで引き戻すことになり、再び収穫期を迎えるまで100年以上を要することになる。目的樹種の実生や稚樹の発育状況を見ながら的確な択伐を行うと、択伐地の遷移段階は、ステージIIIないしはIVの初期までにしか後退せず、継続的な収穫が期待でき、林地の荒廃を引き起こすこともない。さらに下刈り、除間伐などの時期、方法なども遷移の動きを理解していれば、時期を逸することなく、より省力的な施業が可能となるだろう。これは、作業種でいうと、前更・択伐作業となり、基本的には比較的大きな穴をあけて、光環境を改善し、実生の成育を積極的に早めることである。従来、天然林更新作業で行われている母樹保残・後更作業はカシ類の定着が遅れ、その成長が他種に阻害されるので、あまり有効でないと考えられた。

（田内 裕之・西山 嘉彦・竹下 慶子・上中作次郎・佐藤 保）

V まとめ

（IV-1のまとめ） 水俣、大口、出水、川内の各営林署管内国有林において、アカガシ、ウラジログシの分布を調べ、分布地の立地特性を明らかにした。アカガシの分布は標高400m~800mであり、ウラジログシは標高600m以下であった。地形及び土壌環境としては、アカガシは稜線部緩斜面の乾性~弱乾性土壌に優占し、土壌の理学的性質は保水性が悪く、乾きやすい特徴を示した。ウラジログシは山腹中~下部の適潤性土壌に成立し、その理学的性質は透水性がよく、容水量の大きい特徴を示した。また、アカガシ林はその土壌及び地形の環境特性から、皆伐により土壌が劣化しやすいことを示した。

アカガシ林の生育環境に関しては、火山灰堆積の少ない九州北部では土壌層厚が薄く、堆積の多い南部山地では厚い特徴があることが明らかになり、適地の条件に地域性のあることが示唆された。また、ウラジログシの育成適地については、地形的にアカガシの下部に位置することが明らかになったにとどまり、適地の抽出にはさらに多くの林分を調査する必要があると考えられる。

（IV-2のまとめ） カシ類が成育する照葉樹林の動態・天然林施業についての研究は、ブナ林に代表される落葉樹林と比較すると非常に少ないのが現状である。なぜかという、そもそも照葉樹林での用材林施業がほとんどなかったこと、ササのような更新を阻害するやっかい者が少ないため、放置しておいてもそこそこに更新がうまくいったなどの理由が

考えられる。ともあれ、天然林施業という名のとおりに、天然の森林を相手にするわけで、従来の人工林施業のような下刈り、除伐などに多量の人力をかけることを考えるよりも、まず自然の仕組みを知ることが、天然林施業を組み立てる最短の道であると考えられる。

本研究では、カシ類の育成、施業技術の向上を目的として、カシ類が成育する天然林での調査を中心としてきた。しかしながら、研究期間の制約などから、同じ場所での長期間にわたる調査はできなかった。そのため、本報告は、いろいろな発育段階の天然林を多点調査し、実験データを加味して、推論を加えながら更新様式などを検討している。確かな実証データを得るためには、大規模な長期間にわたる研究が必要とされており、今後はこのような試験研究が行われるべきであると考えられる。

引用文献

- (1) 藤田桂治ほか：暖温帯域における広葉樹人工林の育成技術。昭和62年度国有林野事業特会技発試験成績報告書。156-161。1989
- (2) 岡野哲朗・須崎民雄：暖温帯上部域広葉樹林に関する研究（Ⅱ）。日林九支研論。38.113-114。1985
- (3) 岡野哲朗・須崎民雄：暖温帯上部域広葉樹林に関する研究（Ⅲ）。96回日林論。393-394。1985
- (4) 熊本営林局：森林施業の手引 50-51。1990
- (5) 林野庁・林業試験場：国有林林野土壌調査方法書。47p。1955
- (6) 岡野哲朗・須崎民雄：暖温帯上部域広葉樹林に関する研究（Ⅰ）。日林九支研論。37.119-120。1984
- (7) 塘隆男：広葉樹林とその施業。地球社 81-83。1981
- (8) 川添強・森貞和仁・河室公康・長友忠行：スギ壮齢林の皆伐後2年目における土壌溶液中の溶存成分濃度の比較。日林九支研論。43.185-186。1990
- (9) 橋詰隼人・相川敏郎：ブナ科4樹種のタネの発芽特性。鳥大農研報30。128-133。1978
- (10) 三善正市：カシ・シイの中心郷土地帯における常緑広葉樹の林分構成・生長・更新ならびに施業に関する研究。宮崎大演報 3。4-145。1959
- (11) 埴田宏：コジイ林の天然更新と保育技術。山林 1229。25-31。1986
- (12) 只木良也・香川照雄：森林の生産構造に関する研究（ⅩⅢ）コジイほか 2,3の常緑広葉樹林における落葉枝量の季節変化。日林誌 50。7-13。1968
- (13) 上中作次郎：コジイ壮齢林の落枝葉量、種子生産量の年変動。日林九支研論。43。93。1990
- (14) 中尾登志雄・中倉博之・黒木嘉久：人工庇陰下におけるカシ類実生稚樹の生長。99回日林論。337-338。1988
- (15) 中静透・山本進一：自然攪乱と森林群集の安定性。日生態誌 37。19-30。1987
- (16) 山本進一：極相林の維持機構—ギャップダイナミクスの観点から—。生物科学 33。8-16。1981