

複層林施業における将来林況の予想*

森 田 栄 一**

I はじめに

近年の林業を取り巻く諸情勢は、先の林政審議会の答申にも見られるように、戦後の量的生産を最優先とする施策から大きく転換しつつあることは周知のとおりである。

その中の一つとして、複層林施業はこれまでの約 1000 万 ha に及ぶ拡大造林地(針葉樹人工林)の一斉皆伐方式を見直す非皆伐施業(特に、国有林にあっては第一種林地の地種区分に属する水源かん養・国立公園などの制限林地内の維持管理上の対策)から発展した施業として、大きくクローズアップされつつある。

しかし、九州地域においては、その歴史も浅く、広範な林地にこの施業を取り入れるためには、研究上の多くの問題点が残されているが、社会の要請、特に、行政サイドのニーズは極めて性急である。そこで、良識ある研究者・学者の眼から見れば、現実に複層林を成林させていない現状にあって、事前にその状態を予想することは極めて無謀との批判も免れないところであろう。また一方では、「それでは、これまでの林学の研究の蓄積とは何か」との見解もあろうことから、あえて、これまでの研究成果を基に「複層林の将来像」を予想することを試みた。したがって、以下の内容に対しては多くの異論があることは、当然、予想されるけれども、他方から見れば問題点の提起にもつながることから、本報告では、特に、予測と予想を区別し、今後と研究成果に期待する点については、すべて「予想」と表示した。

II 個々の問題点の解析

これまでの著者の研究(人工林間伐モデル、量的な成長予測)においては、当支所が継続調査中の固定収穫試験地を活用して、異なる地位・林齢・本数密度における間伐前後の成長関係を明らかにするために、1972年以降、熊本営林局・署にも協力いただいて積極的に試験地の間伐を実施してきた。その件数は、1987年までの16年間にスギ林20件、ヒノキ林24件にも及んだ。その結果、九州地域のスギ・ヒノキ人工林の成長予測は、特に、間伐木と残存木に分割された推定値において、林分密度管理図よりもはるかに良い精度で予測できるところまでに達した¹⁾。また、その成果を応用して、複層林施業の上木の成長予測²⁾も試みた。しかし、完全に成林した複層林のな

*Projection of Future Stand Characteristics for Artificial Multi-storied Forest

**Eiichi MORITA, Kyushu Res. Center, For. and Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860 森林総合研究所九州支所

い現状にあって、最も問題となる諸点として、つぎのものが考えられる。本章では、これらの点について既存の資料を活用して、試みの解析を行った。

- 1) 間伐によって疎開された上木樹冠の拡張速度と樹冠容積
- 2) 上木樹冠層の拡張にともなう相対照度の変化
- 3) 下木の成長

1. 間伐によって疎開された上木樹冠の拡張速度と樹冠容積

まず、複層林において、林内照度を明るくするための間伐後に、残存する上木樹冠の拡張速度を明確にすることは、後述の林内照度にかかわりのある重要な問題点である。

これまでの樹冠に関する研究として、MITCHELL³⁻⁵⁾は樹冠の拡張を活用した林分シミュレーションを試み、また、樹冠形に関しては、梶原の多くの研究⁶⁻¹¹⁾が見られるが、その中に用いられた樹冠形は、既存の幾何学的な形の組み合わせであった。これに対して筆者は、1970～1972年にわたる成木林施肥の研究において、施肥効果による樹冠量の変化や単位樹冠容積あたり材積成長量の解析を試みたが、その中では後述するように全く独自の方法を用いた¹²⁾。

ここでは、間伐によって疎開された林分における樹冠の拡張速度の予想と樹冠量の推定方法についてのべる。用いた試験区は、当支所実験林内9に、林小班のヒノキ林に設定されているPlot 4, 5, 6である。これらの試験区は、前述の人工間伐モデルの研究に際して、去る1973年2月の間伐後、数年にわたって間伐木の伐根から天空に向かってその樹冠を撮影した。これらの写真から、間伐によって疎開された空間の大きさ(以下、間伐空間と呼ぶ)とその変化を求め、立木配置図から計算した占有面積との関係について考察した。

(1) 上木樹冠の拡張速度

写真-1左には、前述したヒノキ林におけるPlot 4-No. 58の無間伐のままの樹冠層を、写真-1右には、Plot 5-No. 57の間伐後4年間の樹冠の拡張の例を示した。この写真から樹冠の拡張速度は間伐直後(1973. 2)の空間と4成長期を経た(1977. 5)の空間の面積から減少率として求めた(注₁)。また、その立木配置¹³⁾を図-1に示す(注₂)。ついで、写真の樹冠と図の立木配置から間伐空間に隣接する立木番号を選び、これらの隣接木と間伐木との樹間距離をそれぞれの直径比により配分した^{14,15)}(注₃)。その値は間伐木ごとに間伐直後と4成長期後について求め、それぞれの平均を半径とする占有面積からその減少率を算出した。その計算例を表-1に示す。

写真-1の例と同様の写真は、全部で34組あったが、十分に隣接木に囲まれていないもの、隣接木に広葉樹が混入したもの、さらには複数の間伐木が接して面積の測定が困難なものを除いて、残る16組を資料とした。なお、これらの試験区の管理履歴を表-2に示す。

表-1 間伐木の占有距離・占有面積の計算例
Plat 5 tree No. 57

林齡(年)	1972.12	1977.5	樹間距離 (m)	間伐木の占有距離(m)	
	49	54		49	54
tree No.	直径 cm	直径 cm			
57	16.6				
35	19.1	20.4	3.00	1.395	1.346
56	24.6	26.0	1.80	0.725	0.701
59	22.7	24.4	3.14	1.326	1.271
100	29.3	31.5	4.00	1.447	1.380
101	25.9	28.0	2.20	0.859	0.819
計				5.752	5.517
平均				1.150	1.103
πr^2 (m ²)				4.155	3.822 (92.0%)

Plot 4
tree No. 58
無間伐

Plot 5
tree No. 57
間伐

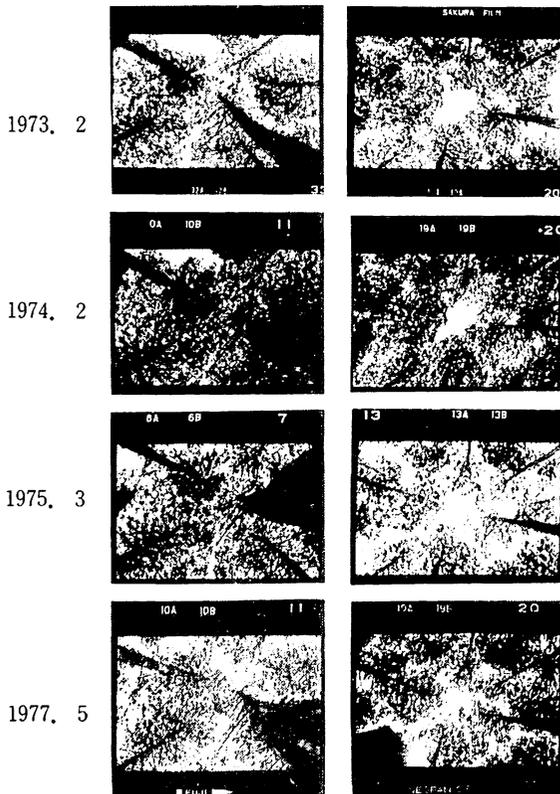


写真-1 間伐空間の経年変化

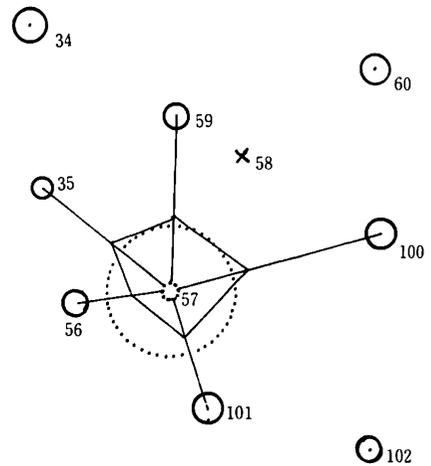


図-1 間伐木と隣接木の配置図

Plot 5 tree No. 57

×: 枯損木

表-2 当支所実験林内ヒノキ収穫試験地(9に₁林小班)の経緯

Plot No.			4				5				6			
年	林齢	区分	D _{cm}	H _m	N [*] /ha	V _m ³	D _{cm}	H _m	N [*] /ha	V _m ³	D _{cm}	H _m	N [*] /ha	V _m ³
1969	46	残存	21.0	15.3	870	249.6	20.6	16.0	960	273.4	21.0	16.5	1095	339.1
1974	51	全体	22.4	16.6	870	309.0	21.8	17.5	960	336.8	22.0	17.6	1095	400.1
		枯損	11.0	11.3	8	0.5	13.3	14.0	17	1.7	10.2	12.2	16	1.0
		間伐	16.1	14.6	160	26.3	16.4	15.9	153	27.6	16.4	16.2	254	46.0
		(%)			(18.4	8.5)			(15.9	8.2)			(23.2	11.5)
1979	56	残存	23.9	17.1	702	282.3	23.0	17.9	790	307.0	23.9	18.1	825	353.2
		枯損	15.7	15.2	30	4.9								
1984	61	残存	26.2	18.7	672	348.3	24.8	19.4	790	382.9	25.5	19.5	825	430.4
		全体	27.2	20.1	672	400.0	25.6	20.4	790	430.3	25.5	19.5	825	495.4
		枯損	13.5	14.0	15	1.6					17.9	15.3	8	1.6
		間伐	21.5	18.8	100	35.3	19.6	18.9	161	47.5	20.2	19.5	135	44.2
(%)			(14.9	8.8)				(20.4	11.1)			(16.4	8.9)	
		残存	28.6	20.4	557	363.1	27.2	20.8	629	382.7	27.9	21.1	682	449.6

ついで、写真から求めた間伐空間の減少率(Y)に対して、以下の各項を変量(X_i)として、その相関をしらべた。

X₁: 間伐時(林齢49年)における間伐木の占有面積

X₂: 占有面積の減少率

X₃: 間伐時の隣接木の断面積合計

X₄: 間伐後5年(林齢54年)における隣接木の断面積合計の増加率

X₅: 断面積合計の増加率で補正した占有面積の減少率

$$X_5 = X_2 / X_4$$

その結果、表-3に示すように、立木配置図から求めた間伐木の占有面積とその減少率も、間伐木に關与する隣接木の断面積合計とその増加率も、さらには隣接木の断面積合計の増加率で補正した占有面積の減少率のいずれも低い相関係数に止どまり、上木樹冠の拡張速度は実際に間伐された林分での樹冠幅の変化と相対照度の変化を実測する必要があると考えられた。その際特に注意すべきことは、

1) 時期・時間ごとの太陽の方位と高度および散光との関係

2) 残存木の樹型級・直径および間伐直後の樹冠量と樹冠幅(拡張した長さ)との関係

などが解析できる資料の収集が必要と思われる。

このことに関して、鈴木ら¹⁶⁾は樹冠投影面積を用いているが、林内の照度に対しては樹種の着葉特性、たとえば、ケヤキ林のような広葉樹では葉形や葉色の季節変化、さらには落葉による林内照度の変化など考えられるが、濃緑な葉色のスギ・ヒノキ人工林では樹冠層の厚さの影響は無視できないことから樹冠面積よりも樹冠層(樹冠容積)とすべきであろう。

(注₁): 写真上の実面積を求める一方法

写真上の長さは、図-2 A に示すように、35 mm フィルムの片側の角度は焦点深度 52 mm では 19.09°であるが、中心部の 3' の長さ 2.74 mm に対して、15~18°間は 2.96 mm と中心ほど短い。したがって、図-2 B のように、角度補正されたメッシュの写真像を作り、これをスケールとして樹冠の写真と重ねてカウントし、実際の樹冠幅や樹冠面積はその値を写真上の枝下高(樹冠面)で換算して求める必要がある。ちなみに、枝下高 10 m の写真上で 10 mm (実長 1.93 m) に見える樹冠半径は、枝下高 15 m の写真上では 6.7 mm となる。

(注₂): 写真も図もその上面が北にあたるが、写真は図の立木配置と左右逆となる。

(注₃): 間伐木の直径はすべて 1972 年により、隣接木の直径には 1972.12 は実測値を、1977.5 は定期的に調査された 1974 年と 1979 年の直径から比例によって求めた直径を用いた。

表-3 写真から求めた間伐空間の減少率に関与すると思われる変量との相関

○: 用いた変量

変 量					相 関 係 数	
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	真数式	対数式
○	○	○	○	○	0.7136	0.7449
○	○				0.4622	0.4242
		○	○		0.3900	0.4633
	○		○	○	0.7068	
				○	0.3295	

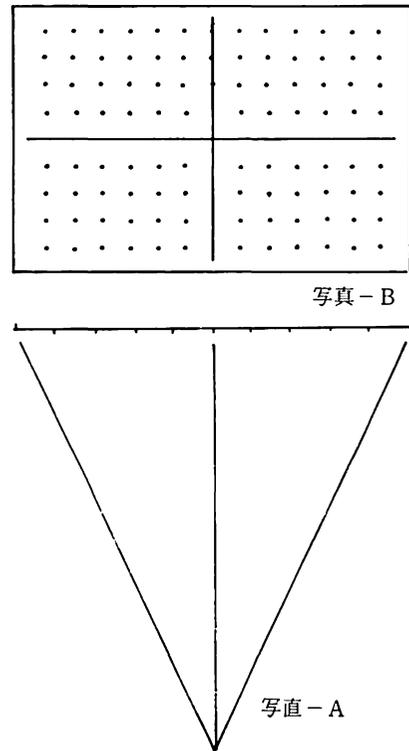


図-2 写真上のひずみ

(2) 樹冠容積

単木の樹冠容積の計算には、筆者が成木林施肥の研究で提唱¹²⁾したモデル形を用いた。すなわち、図-3 A に示すように、樹冠の基部から梢頭に至る樹冠半径(CR: Crown Radius)の変化を 0 から 1 の範囲とする(1)式と仮定し、樹冠幅 1 m、樹冠長 9 m を基本型として、シンプソンの公式によりその値を求めた。その結果、任意の樹冠基部の半径(CR)・樹冠長(CL: Crown Length)

に対する樹冠容積 C (Capacity) は(2)式により求まる。

$$l = 1 - (\log_{10} x)^x \quad 1 < x < 10 \quad \dots\dots (1)$$

$$C = 1.76 \cdot (CR)^2 \cdot CL \quad CR: \text{樹冠基部の } l \quad \dots\dots (2)$$

この(2)式は極めて簡便であり、しかも図-3のB、Cに示したように、樹冠基部の半径と樹冠長の変化に対してもかなり現実林の樹冠形に類似した変化を示すモデル形と認められよう。さらに、この(2)式の樹冠半径を樹冠直径(CW: Crown Width)に改めると(3)式となる。

$$\begin{aligned} C &= 1.76 \cdot (CW/2)^2 \cdot CL \\ &= 0.44 \cdot CW^2 \cdot CL \quad \dots\dots (3) \end{aligned}$$

つまり、図-4に示すように、完全にうっ閉した林分におけるこの樹冠の最大容積は、1 haの樹冠長の全容積(CL×1 ha)の44%となること意味する(注₄)。したがって、複層林施業において完全に閉鎖した状態の上木の予備伐(注₅)においては、この最大樹冠容積率44%に本数間伐率を乗ずれば、間伐後の推定樹冠容積率が求まる。たとえば、本数間伐率40%における樹冠容積率は、26.4%(44×0.6)となる。

(注₄): 一般の数学において、円錐形の容積は円筒形の1/3となるが、図-4に示すように直径と同じ長さの長方体に対しては26.18%(1/3×π/4)となることから、上記の44%の容積はかなりのふくらみである。

(注₅): 熊本営林局では、下木植栽10年前(林齢50年)の間伐は上木の孤立化(風等)に対する対策としての予備伐、下木植栽直前(林齢60年)を更新伐、その後の間伐を林内照度の調整のための受光伐・整理伐と称している。

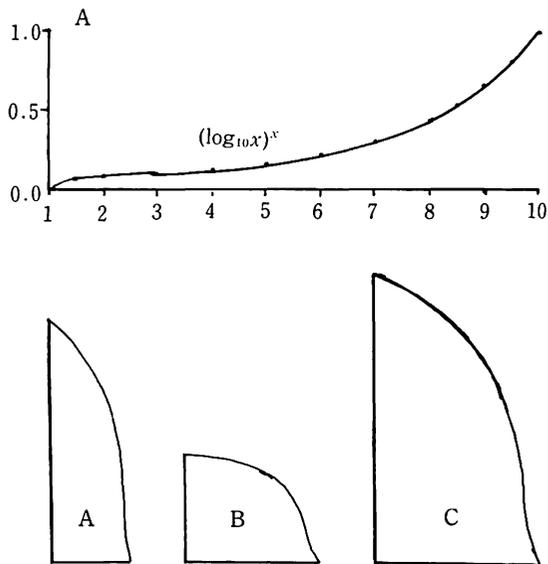


図-3 樹冠形のモデリング

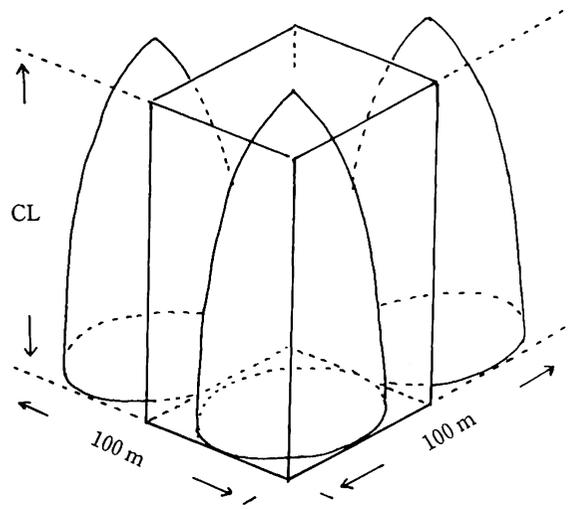


図-4 うっ閉した樹冠の模式図

2. 上木の樹冠層と林内の相対照度

前1-(1)では、下木植栽を目的とした間伐における間伐後の上木樹冠の拡張について、人工林間伐モデルの研究内容を例としてのべ、前1-(2)ではその樹冠容積の測定方法についてのべた。ここでは、これらの上木の樹冠層と林内の相対照度の関係について検討する。

これまでの相対照度の測定方法は、極めて枚挙的と言わざるを得ない。すなわち、つぎのことが提唱されている。

- 1) 照度の測定には、日射量が最大の真夏の快晴日の南中時前後を選ぶ。
- 2) 林内の照度は、約100点程度を林外と同時に測定する。
- 3) 両者の比による相対照度の平均値を用いる。

しかし、林内に入って実測してみると、常時変化する照度計の値は信頼性に乏しく、しかも林内のその変動係数は極めて大きく($CV > 100\%$)、このような実測値では問題である。そこで、筆者はこの相対照度を求めるためのモデル実験を行い、前述の樹冠形モデルおよび現実林での実測値の三つ(A, B, Cと呼ぶ)を組み合わせて、上木の樹冠容積率と相対照度の関係図を試作した¹⁷⁾。以下、その要点をのべる。

この報告¹⁷⁾において、モデル実験Aは、図-5に示すように、144穴(12×12)をもつアクリル板製の照度測定装置を試作し、これに樹冠に見立てた緑色の鉛筆を4穴に対して0～4本の5水準として立て、5～7月の快晴日と曇天日のそれぞれの時期別・時間別に測定した。ついで、実験Bでは、これまでの研究結果から任意の林況(林齢・樹高・本数密度)に対する樹冠長比の推定式^{18,19)}と前述の(2)式による推定樹冠容積から間伐率のちがいに対する樹冠容積率を求める方法を組み立て、現地実験Cの実測値からは林内照度の変動を確かめた。これらを総合して樹冠容積率の変化に対する相対照度の推定図を提示すると共に、以下のことをのべた。

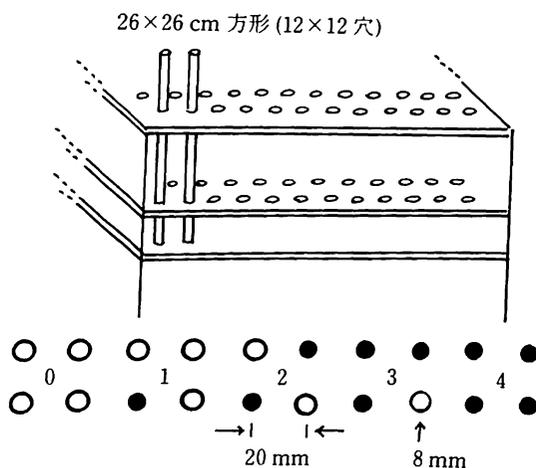


図-5 モデル実験Aの照度測定装置

- 1) 林内の相対照度のちらばりは、著しいL型分布を示した。
- 2) モデル実験 A の分散分析の結果、相対照度は測定の時期・時間および天候に左右されない。
- 3) 間伐後のおおよその相対照度は、樹冠容積率から推定できるので実測しなくともよい。

このように、間伐後の樹冠の拡張と照度の低下速度との関係は、複層林とのかかわりが大きいので、この関係を明らかにすることが急務であろう。

3. 下木の成長

複層林の下木は、上木の被陰下において若齢期の成長を抑制されるが、その相対照度に対する成長の実測値は少なく、予想の域を出ない(注6)。九州地域においては非皆伐施業の先行造林として植栽された下木も高々20年生以下であり、うっ閉後の林分の成長を研究対象としてきた森林経理学系にとっては全くの初期林分に過ぎない。

その一例として、熊本営林局・長崎営林署 104 ろ林小班(ヒノキーヒノキ)の複層林を表-4に示す。この林分において、上中ら²⁰⁾は下木(林齢14年時)の調査を行い、筆者もまた、この林分の上木が皆伐された後の下木(林齢16年時)を調査した。この林分の地位を(4)、(5)式により査定してみると、上木の地位指標が、2.6等地に相当するのに対して、下木の地位指標は3.1等地とかなり劣った。また、このことを確かめるために、近接する複層林同署 103 わ林小班(ヒノキースギ・ヒノキ)および99む林小班(ヒノキースギ)についても調査したが、表-4下段に示すように、下木スギを除き、103 わ林小班の上木と下木の地位指標の差も104 ろ林小班とほとんど差がなかった。

表-4 複層林における上木と下木の地位指標(SI)の差
(上木・下木ともヒノキ、樹高は平均樹高m)

林小班	上 木				下 木				差
	林齢	樹高(4)式	SI	林齢	樹高(4)式	SI			
104 ろ	46	13.03	11.67	2.67	14	4.1	4.18	3.05	
	52	14.30	12.69	2.64	16	4.61	4.76	3.09	
	57	16.00	13.47	2.46					
	推定地位指標			2.6				3.1	-0.5
103 わ	72	18.7	15.45	2.40	12	3.64	3.68	2.95	
		推定地位指標		2.4				3.0	-0.6

$$Hg(\text{ヒノキ}) = 22.6444 - 18.1621 \times 0.921968^{t'} \quad \dots (4)$$

$$SI = 3.0 - (H/Hg - 1.0) / 0.35 \quad \dots (5)$$

ただし、 $t' = (\text{林齢 } t - 15) / 5$ [基準齢40年]

Hg：地位指数曲線のガイドカーブ(3等地)

SI：地位指標(地位の1/10表示)

(注。)：筆者らは、去る1966～1969年に、NPK 3要素(3水準)と受光量(2水準)の礫耕実験を実施した²¹⁾。写真-2は、その中のNPKを222水準(適量)としたスギ苗とNPKを213水準としたヒノキ苗の全光区と遮光区の成長のちがいを示している。特に、受光量の少ない遮光区では着葉が疎となっており、その傾向はスギにおいて顕著である。なお、これらの光合成能については、共同研究者の一人塚原が詳述した。

全光区 左 1968. 7. 8 右 1968. 10. 15

遮光区 左 1968. 7. 8 右 1968. 10. 15



スギ NPK 水準 222



ヒノキ NPK 水準 213

写真-2 受光量のちがいによる成長のちがい

III 複層林の将来の予想

1. 予想の条件

熊本営林局では、複層林の施業体系図として、図-6(実線)に示す標準タイプを計画している。しかし、実際に複層林が成林したといえる時期は、2代目の下木の成林の見込みが立った(同図の点線内)150年以降と考えられる。

ここでは、前II-3でのべた実在の下木の初期成長が現行の一斉皆伐方式の上木の成長よりも地位指標にして約0.5等地程度低下していることから以下の条件により既報²⁾のA方式のプログラムを用いて、その将来を予想した。

- 1) 下木の樹高成長は、その実績がないことから従来の成長曲線(4)式に従うものと仮定する。
- 2) 下木の直径成長は、既報¹⁾における80年生以下の固定収穫試験地の資料における間伐前後の直径成長の関係から求めた将来直径(FD)の推定式(6)式を利用する。

$$FD(\text{ヒノキ}) = 4.04763 - 0.02629 \cdot t + 0.99944 \cdot D - 0.004487 \cdot H - 0.66498(N/1000) + 0.06066 \cdot PN \quad \dots\dots (6)$$

t : 林齢 D : 平均直径 H : 平均樹高 N : 本数密度 PN : 本数間伐率

- 3) 既報²⁾では、スギ・ヒノキとも地位指標2.5等地の上木について予想したが、ここでは比較のために、ヒノキのみについて3.0等地の上木も予想する。

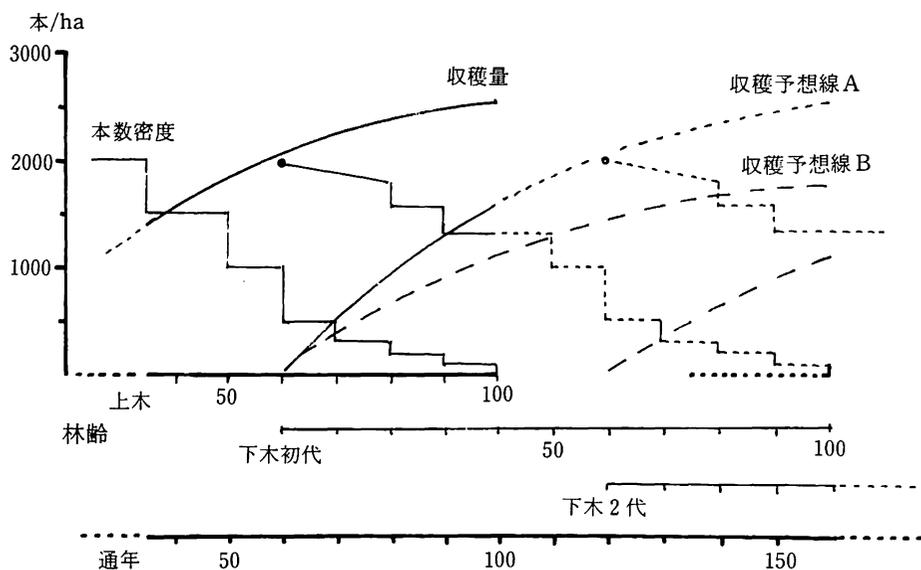


図-6 ヒノキ複層林施業体系図(標準タイプ)
(実線の部分が熊本営林局の体系図に示された範囲)

2. 直径成長

上述の1-1)の条件により樹高成長には当然差はないが、複層林の本数管理は九州地方ヒノキ林分収穫表の林齢別の本数の推移とは著しく異なる。

林齢	50	60	70	80	90	100
地位2等地	852	723	648	598	560	529
地位3等地	1,086	921	821	750	697	655
複層林間伐後	1,000	500	300	200	100	100

このために、図-7に示した直径成長の予想は、本数密度が急速に減少し始めた林齢60年以降から急速に増加し、その大小関係は上木の2.5等地・3.0等地・下木の順であり、しかも、その成長傾向はかなり類似していた。しかし、植栽時から林齢40年までは被陰下の苛酷な条件で成育する下木は、写真-2に示したように、被陰下での陰葉的な組成が考えられることから果たしてその将来が図-7ほどの成長を示すかどうかは断定できない。したがって、この直径成長の予想は幾分過大推定と考えられ、その理由として、つぎのことが指摘できる。

- 1) 図-6に示した下木が林齢40年に達するまでの期間に残存する上木の遮蔽の条件は全く組み込まれていない。
- 2) 複層林施業の間伐では、その間伐率から見ても一般の間伐よりも優勢木・上層木が間伐される度合は遙かに高い。特に、500本/ha以下となる林齢60年以降では、さらにその傾向が強くなり、既報¹⁾の(6)式による通常の間伐ほどの間伐木と残存木との直径の差は考えられない。

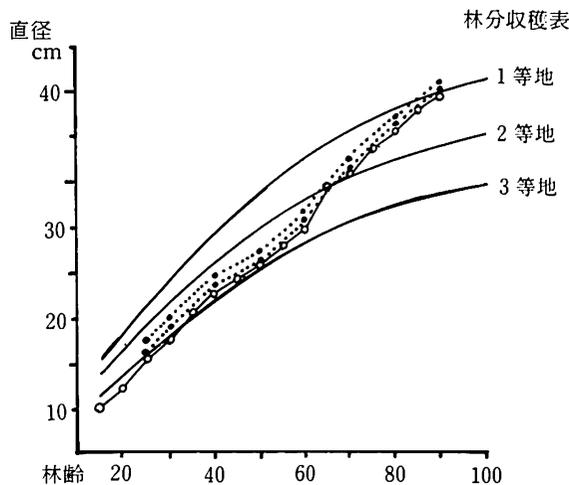


図-7 複層林施業における直径成長の予想
 ●: 上2.5等地 下3.0等地
 ○: 複層林 下木の予想

3. 収穫予想量

既報²⁾では、一応林齢100年までの予想を示したが、今回、改めて詳細にOutputの内容を見ると、前III-2でものべたように、林齢80年以下の間伐の予測^{1,22)}では、かなりの精度であったにもかかわらず、特に、実測値のない高齢・低密度の間伐条件での直径成長の推定に疑問があり、100年まで外挿することには無理があるように感じられた。そこで、下木の収穫量の予想は上木2.5, 3.0等地と共に、林齢90年までについて比較した。

区分	2.5等地	3.0等地	下木	林分収穫表(3等地)
間伐量 (m ³ /ha)	408.5	337.4	249.1	
残存量(90年)	244.9	208.7	190.9	
総収穫量 (比率)	653.5 (100)	546.2 (83.6)	440.0 (67.3)	658.9 (100.8)

この結果から長崎署 104 ろ林小班の実測値を基として予想した下木 90 年の総収穫量は、現行施業法に基づく一斉皆伐方式の林分に強度な間伐を実施した上木 90 年(地位指標 2.5 等地)よりもかなり劣り、おおよそ、その 70%と予想され、図-6 に示した収穫予想線 B に近かった。

IV おわりに

以上、長期にわたる十分な資料のない複層林施業に関して、既存の研究資料の中から活用可能と思われる幾つかの例を選び、特に、下木の成長にかかわりのある問題点について考察した。さらに、既存のプログラムを活用して下木 90 年までの将来を予想したが、その成長量・収穫量から見れば、果たして、現在考えられている複層林施業が、つぎの時代を担うにたる望ましい施業かどうか極めて疑わしい。

しかし、これまでのべられてきた複層林に関する多くの記述では(文献省略)、今回のような長期の予想が試みられた例はあるまい。その点、冒頭でも「予測でなく予想」と断ったように、本当の答が求まるのは少なくとも初代の下木が 100 年に達する 70~80 年後である。また、皆伐方式と異なり林地の地表を裸地化することなく、長期に育林した場合の地力の維持・向上についてもまた、その証明には実測値をとまなうものである。したがって、あまりにも性急な行政のニーズは、実行官庁である営林局署や研究者に対して過酷であり、150 年後の成林の見込みを論述することは、推定・予測の域を免脱した試みとして林業・林学にあってはタブーな行為と批判されよう。

それ故に、今回、試みた予想が的中するしないは別としても、これらの考え方のいずれかが、これからスタートしようとする複層林施業の研究に少しでも役立つところがあれば幸いである。

引用文献(引用順)

- 1) 森田栄一：同齡単純林における蓄積推定の一方法。林統研誌 11, 48~57, 1986
- 2) ——：複層林施業の上木 100 年を予想する。暖帯林 426, 18~23, 1987
- 3) K. J., MITCHELL : Simulation of the growth of even-aged stands of White Spruce. YALE Un., Bulletin No. 75, 48pp, 1969
- 4) —— : Dynamics and simulation yield of Douglas-fir. For. Shi., Monograph 17, 39pp, 1975
- 5) —— : Description and growth simulation of Douglas-fir stands. PAC. For. Res. Con. CANADIAN For. Ser. VICTORIA, Inter., Report BC-25, 4pp, 1971
- 6) 梶原幹弘：モデル樹冠による林冠の投影面積、表面積および体積の計算。日林誌 55(10), 316~319, 1973
- 7) ——：シュビーゲルレラスコープによる樹冠の測定について。日林誌 56(3), 105~107, 1974
- 8) ——：スギ同齡林における樹冠の形態と量に関する研究(I)一樹冠形一。日林誌 57(12), 425~431, 1975

- 9) ———— : ———— (II). 日林誌 58 (3), 97~103, 1976
- 10) ———— : ———— (III). 日林誌 58 (9), 313~320, 1976
- 11) ———— : ———— (IV). 日林誌 58 (12), 433~440, 1976
- 12) 森田栄一 : 成木林施肥の量的効果の推定方法 (第2報). みどり印刷, 16~35, 1984
- 13) ———— : XYプロッタによる立木位置図の作成. 林試研報 296, 41~76, 1977
- 14) ———— : 間伐率の変化にともなう生長予測 (I). 日林九支研論 25, 16~17, 1971
- 15) ———— : ———— (II). 日林九支研論 26, 33~34, 1973
- 16) 鈴木誠・高浜静子 : 非皆伐施業地における2段林造成に関する研究 (VI). 96回日林論, 435~436, 1985
- 17) 森田栄一 : 複層林施業の収穫予測 (I) — 林内照度の推定法 —. 14回日林九支大会 (印刷中 1989)
- 18) ———— : 林況診断表の作成 (VI). 日林九支研論 35, 31~32, 1982
- 19) ———— : ———— (VIII). 日林九支研論 36, 53~54, 1983
- 20) 上中作次郎ほか : 受光伐の程度と更新樹の生長特性. 日林九支研論 41, 117-118, 1988
- 21) 林試九州支場林木栄養研究班 : スギ・ヒノキ苗の成長におよぼす NPK 濃度および受光量の影響. 林試研報 287, 1-76, 1976
- 22) 森田栄一 : 林分シミュレーション (単木モデル) による列状間伐・成木摘伐・通常間伐の林分構造・収穫量の比較. 日林九支研論 41, 25~26, 1988