

## 2. 複層林の施業技術に関する研究

松尾健次 \*

### 1. はじめに

複層林施業の利点は、一斉皆伐による地力や水源涵養機能の低下を防止し、植え付けや下刈作業の省力化が図れるとされている<sup>1)</sup>。しかし、実際に個々の現実林分において、複層林を仕立てていくには、下木の成長を促すために林内の明るさをコントロールする必要があり、受光伐が必要となる場合においては、上木の伐採量との関係で皆伐に比べて伐出コストが高むことや、下木の損傷等が問題となる。

さらに、受光伐の時期を見極めることも実際には難しいことである。受光伐を実施する指標としては、林内照度の変化や下層植生の衰退や種類の変化があげられているが<sup>2)</sup>、実際の林分においては、下木の成長に関係する林内照度が下木の梢端部分であることから、下木が成長するにつれ測定が困難となる。また、下層植生に関しては、林内へのいわば木漏れ日等によるバラツキ等から、林内の平均的な植生分布や量から林内の明るさを把握することは容易ではない。

これらのことから、林内に植栽した下木の樹高が、下刈が抜ける高さになるまでの間複層林を維持し、その後、上木を全伐して単純林に移行する短期の複層林が施業し易いと考ええる。特に急峻な本都の林地においては、伐出コストの増大が明らかであることから、受光伐を繰り返し実施していく事は困難と思われる。したがってここでは、上木がスギの場合の短期二段林の形式になる複層林について、その施業方法を検討する。

### 2. 林内相対照度と下木の成長について

林内の明るさが下木の成長に及ぼす影響については、すでに表-1のように明らかにされている<sup>3)</sup>。当林試の日の出試験林内複層林試験地（上木スギ、下木スギ）の下木での樹高成長を見た結果でも、図-1のように8~10年生の平均で対象木に比較して41%に止まっていた。この時の林内相対照度（R I）は約10%であることから、ほぼ表-1と同様の傾向を示していると思われる<sup>4)</sup>。

これらのことをもとに、強度の間伐を実施して下木を植栽した複層林において、下木が10~15年生になった段階でR Iが10%まで低下していると仮定すると、表-1から、下木がスギの場合39%、ヒノキの場合47%成長が抑制されることになるから、この割合をもとに、東京都林務課作成の『林分密度管理図及び収穫予想表の手引き』にあるスギ人工林収穫予想表の植栽本数 3,000本の一覧表から地位別に見たのが表-2である。成長の劣る地位級5の場合でも10~15年生のスギで1.9~2.7m、ヒノキが1.7~2.6mとなり、下刈の抜ける樹高をどの程度と考えるかにもよるが、上木を全伐することが可能な林分に達していると考えられる。言い換えるなら、上木を全伐する時点でも、R Iが10%以上であるように、複層林造成時の上木の本数や枝張り等を設定することが必要となる。

---

\* Kenji MATSUO (元都林試)

表-1 相対照度別の成長割合

相対照度 (%)	スギ		ヒノキ	
	樹高(%)	直径(%)	樹高(%)	直径(%)
10	39	27	47	34
20	59	43	67	53
30	71	54	78	66
40	79	62	84	75
50	84	67	89	82
60	89	72	92	87
70	92	76	95	91

藤森隆郎: わかりやすい林業研究解説シリーズNo.93  
「複層林の生態と取り扱い」P71~72より引用

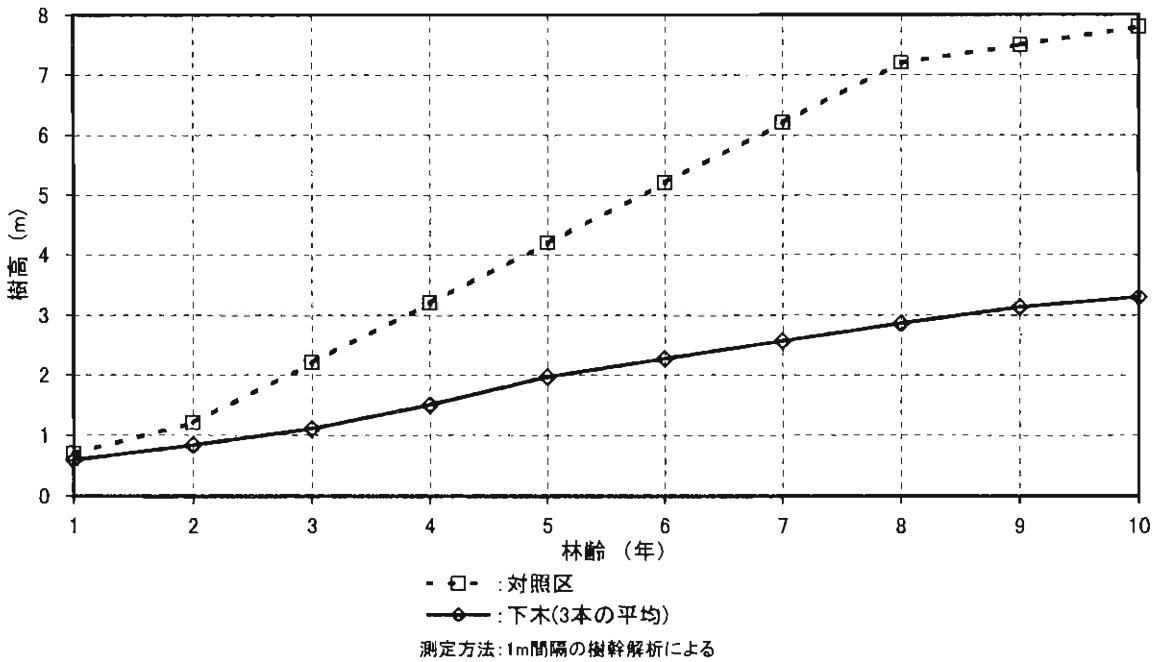


図-1 複層林下木の樹高成長

表-2 林内相対照度10%での下木の樹高成長

スギ

林齢 (年)	相対照度10%の場合の地位級別の樹高(m)									
	1		2		3		4		5	
	対照木	下木	対照木	下木	対照木	下木	対照木	下木	対照木	下木
10	7.4	2.9	6.8	2.7	6.1	2.4	5.5	2.1	4.8	1.9
15	10.8	4.2	9.8	3.8	8.8	3.4	7.9	3.1	6.9	2.7

ヒノキ

林齢 (年)	相対照度10%の場合の地位級別の樹高(m)									
	1		2		3		4		5	
	対照木	下木	対照木	下木	対照木	下木	対照木	下木	対照木	下木
10	6.3	3.0	5.6	2.6	5.0	2.4	4.4	2.1	3.7	1.7
15	9.5	4.5	8.5	4.0	7.5	3.5	6.6	3.1	5.6	2.6

### 3. 上木の成長とR Iの変化について

林内の明るさを制御するために考えられる上木の管理手法として、『林分密度管理図』から導き出される収量比数(Ry)とR Iの関係を用いる方法と、樹冠の底面積とR Iの関係を用いる方法が考えられる。

#### ① RyとR Iの関係

表-4は、Ryに対するR Iについて、すでに明らかにされている表-1の値と、表-3の16林分の測定結果をもとに作成した図-2の関係式から得た値とを比較したものである。なお、Ryが同じ林分でもR Iは、林令の違いや過去の施業内容の違いによって、枝張りや樹冠長が異なってくると考えられ、図-2においてもR Iのバラツキが見られる。このため、上木の管理モデルを検討する際にはこの関係のみではなく、次の樹冠底面積(S)を用いる方法と併用していくことが必要と考える。

#### ② SとR Iの関係

林内の立木が均一に配置している場合は、Sが10,000㎡前後の林分は閉鎖状態となり、R Iは低下しているはずである。しかし現実の林分においては、立木の配置が均一でないことから、隣接木が遠い部分では空隙が生じることとなり、逆に近い部分では枝が相互に交差する状態となる。このため、1本ごとのSをもとに林分の合計面積を求めた場合は、交差している部分について重複している。表-3の測定結果から作成した図-3の関係式①では、10,000㎡前後でもR Iが25%となっているが、これらのことが影響しているものとする。したがってここでは、図-3から求めた①式を、16林分のSに対応するR Iの最も低い林分まで包括するよう左へ平行移動し係数や常数を若干変化させて新たな式②を求めた。その結果が表-5であり、10,000㎡でR Iが13.4%となっている。この式で算出されるR Iは、現実の林分でのR Iに比較して低すぎる場合が多いと思われるが、全伐の時期が早まることであり、遅くなって手遅れになるよりも良いと考える。

なおSは、上木の成長に伴って枝も四方へ伸びていくことにより増大していくため、複層林造成後から全伐に至るまでの、Sの増加傾向を推定する必要がある。ha当たりのSは、ha当たりの本数(N)と枝張長(r)から求められる。複層林造成後のNは減少しないと想定すると、Sの増加量はrで決まることから、樹高成長とrの関係を知る必要がある。そこで、複層林造成後の枝下高は、閉鎖するまで枝打を実施せず変化しないと考えると、樹高成長は樹高から枝下高を差し引いた樹冠長の増大で置き換えられる。したがって、樹冠長(H)とrの相関、言わば樹冠形を把握すれば、複層林造成後のHから林分の成長にともなう樹冠底面積の増加傾向を推定することができることになる。樹冠形についてはすでに日光の当たる陽樹冠部分と、その下に円筒形にモデル化される陰樹冠に区分されることが示されており<sup>9)</sup>、さらに、陽樹冠部分に関してであるが、H, N, rについての関係式が、すでに次のように試算されている<sup>9)</sup>。

$$r = 1.2899 - 0.0003 \times N + 0.1243 \times H$$

図-4は、上記の式からNごとにH別のrを求めてSを算出し、これをもとに表-5の式からR Iを求めた結果である。この図からR Iは、例えば上木が600本の場合でH=6mでは34.6%となり、樹高の成長にともなってH=8mになると21%に低下すると予想できる。これらをもとに、表-6のスギ人工林収穫予想表の植栽本数3,000本の地位級3を用いて施業のモデルを検討した。

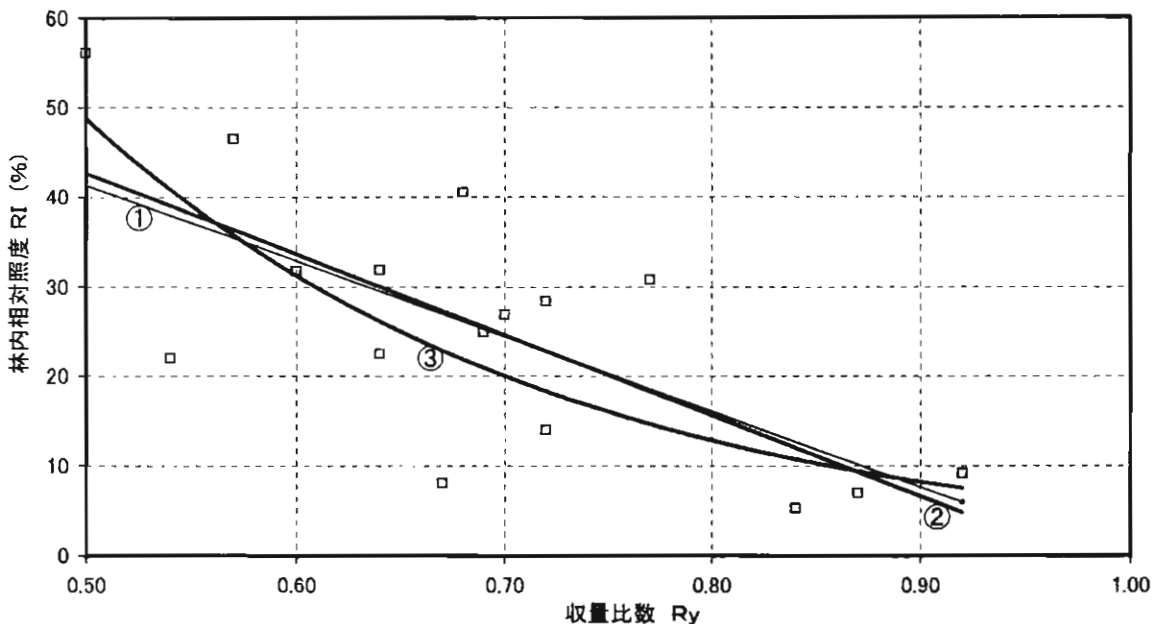
表-3 調査林分の一覧

調査地	相対照度 (%)	本数 (本)	樹高 (m)	枝下高 (m)	胸高直径 (cm)	樹冠長 (m)	枝張り (m)	Ry
奥多摩(栢寄)	26.9	895	17.9	14.4	24.0	3.5	1.93	0.70
奥多摩(海沢)	25.0	496	25.5	14.7	28.5	10.8	2.45	0.69
奥多摩(水根)	56.1	407	18.9	14.0	26.2	4.9	2.20	0.50
奥多摩(小菅)	31.8	557	19.7	8.3	25.8	11.4	2.35	0.60
日の出(試験林No1)	7.0	5,821	7.7	2.5	7.3	5.2	0.95	0.87
日の出(試験林No2)	9.2	5,877	8.5	4.2	8.8	4.3	1.00	0.92
日の出(試験林No3)	28.4	2,870	8.7	4.8	9.7	3.9	1.15	0.72
五日市(黒山)	14.0	3,885	7.1	3.6	8.7	3.5	1.05	0.72
五日市(小机左)	31.9	865	17.0	11.8	21.3	5.2	1.85	0.64
五日市(小机右)	40.5	862	17.5	10.3	20.3	7.2	1.75	0.68
日の出(試験林90)	22.5	1,000	14.3	7.0	16.9	7.3	1.70	0.64
日の出(試験林92)	8.1	1,000	15.4	7.1	18.2	8.3	2.00	0.67
日の出(試験林93)	22.0	643	15.4	7.4	19.2	8.0	2.00	0.54
五日市(深沢)	30.8	1,061	19.3	12.5	21.4	6.8	1.83	0.77
奥多摩(公社)	5.3	1,585	22.5	10.8	21.3	11.7	1.73	0.84
奥多摩(公社2)	46.5	400	22.5	13.7	29.4	8.8	2.09	0.57
平均	25.4	1,764	16.1	9.2	19.2	6.9	1.75	0.69

表-4 収量比数と林内相対照度

収量比数	相対照度 (%)		
	A	B	C
0.75	20	20	16
0.70	24	25	20
0.65	29	29	25
0.60	33	34	31
0.55	37	38	39
0.50	41	43	49
0.45	46	47	61

A:  $y = -84.3x + 83.5$   
 (「複層林の生態と取扱い」P49より引用)  
 B:  $y = -90.174x + 87.76$   
 C:  $y = \text{EXP}(-4.4514x + 6.1138)$



①:  $y = -84.3x + 83.5$   
 (「複層林の生態と取扱い」P49より引用)  
 ②:  $y = -90.174x + 87.764$   $r=0.718$   
 ③:  $y = \text{EXP}(-4.4514x + 6.1138)$   $r=0.728$

図-2 収量比数と林内相対照度

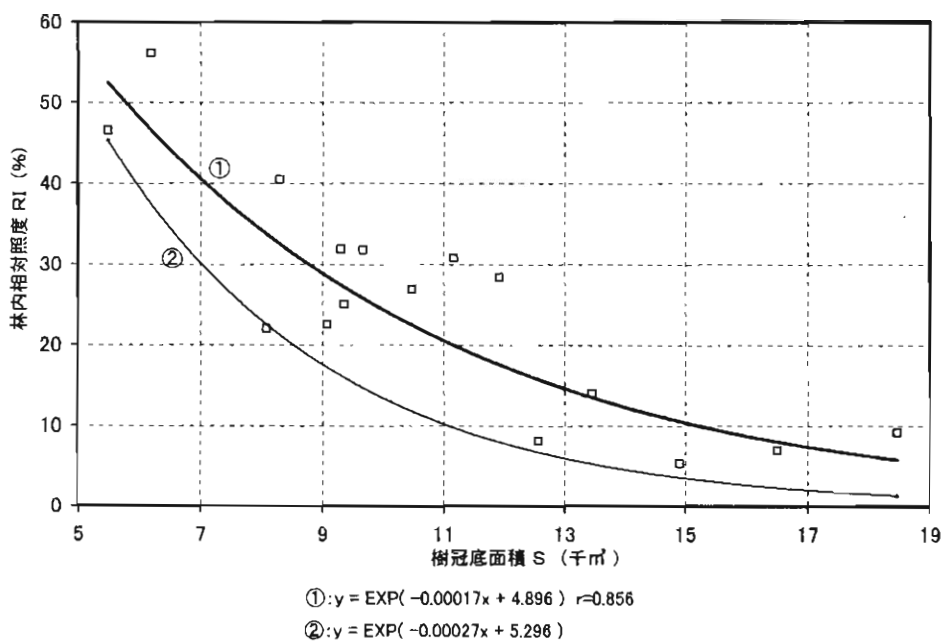


図-3 ha当たり樹冠底面積と林内相対照度

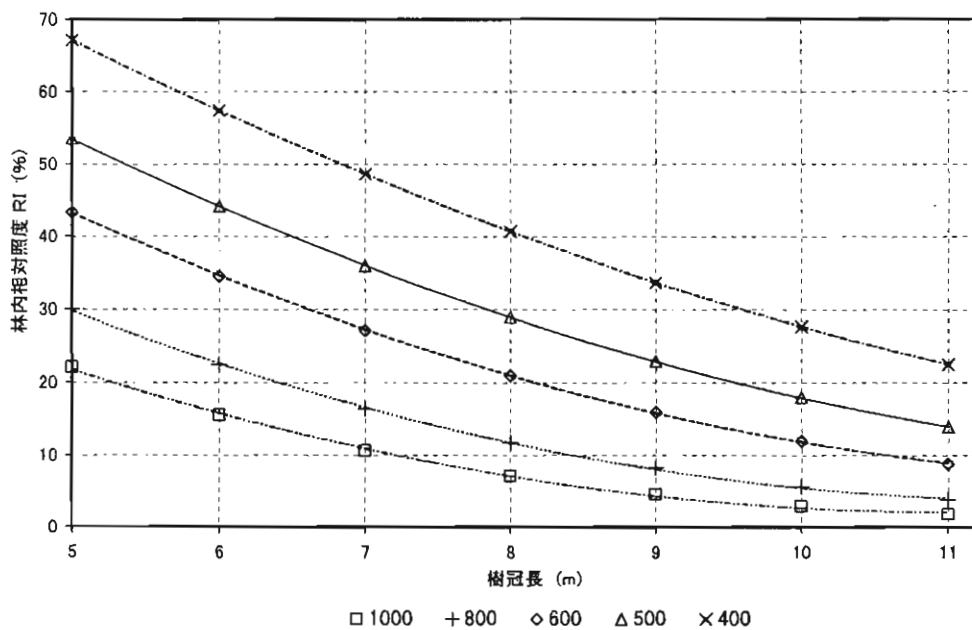


図-4 ha当たり本数別の樹冠長と林内相対照度

表-5 ha当たりの樹冠底面積と林内相対照度

樹冠底面積 S (㎡)	林内相対照度 RI (%)
4,000	67.8
5,000	51.7
6,000	39.5
7,000	30.1
8,000	23.0
9,000	17.6
10,000	13.4
11,000	10.2
12,000	7.8
13,000	6.0
14,000	4.6

表-6 スギ人工林収穫予想表の植栽本数 3,000本の地位級3

林齡	間伐回数		樹高		本数	直径	断面積	材積	収量 比数	間伐率(%)	
			上層高	平均高						本数	材積
10			6.1	6.1	2,911	8.7	18.2	65.7	0.564		
15			8.8	8.8	2,800	11.3	29.6	147.9	0.729		
19	1	間伐前	10.8	10.7	2,708	12.7	36.4	216.4	0.803		
		間伐木			643	8.4	2.7	19.6			
		間伐後			2,065	14.0	33.7	196.8	0.730	23.7	9.1
20			11.3	11.3	2,053	14.3	35.2	213.0	0.746		
25	2	間伐前	13.4	13.2	1,994	15.8	41.5	291.2	0.806		
		間伐木			493	10.6	3.3	27.5			
		間伐後			1,501	17.5	38.2	263.7	0.730	24.7	9.4
30			15.1	15.0	1,473	18.8	43.1	332.9	0.776		
34	3	間伐前	16.4	16.2	1,453	19.6	46.3	383.3	0.803		
		間伐木			345	13.2	3.6	34.8			
		間伐後			1,108	21.6	42.7	348.6	0.730	23.7	9.1
35			16.6	16.6	1,105	21.8	43.4	360.0	0.736		
40			17.9	17.8	1,093	22.7	46.7	413.4	0.764		
45			19.0	18.8	1,083	23.4	49.3	460.4	0.785		
50	4	間伐前	19.9	19.7	1,073	24.1	51.4	501.4	0.801		
		間伐木			248	16.3	4.0	44.3			
		間伐後			825	26.4	47.4	457.0	0.730	23.1	8.8
55			20.7	20.6	821	27.0	49.2	491.3	0.744		
60			21.4	21.2	817	27.4	50.7	521.0	0.756		
65			21.9	21.7	813	27.8	52.0	546.6	0.765		
70			22.4	22.2	811	28.1	53.0	568.6	0.723		
75			22.8	22.6	808	28.4	53.9	587.4	0.779		
80			23.2	22.9	806	28.6	54.6	603.5	0.785		

#### 4. 地位級別の施業のモデル化

施業のモデル化を考えていく条件として、ここでは、複層林での下木の生育期間を10～15年として、上木を全伐する時点でのR Iを10%以上とした。またHについては、表-4の平均値では7mであるが、樹高19m以上の5林分の平均では9.9mとなった。図-5, 6は、地位級3の50～70年生について、それぞれHとNを変化させてR Iを算出したものである。複層林造成時のNが825本の場合では、Hは7m以上あると10年以内にR Iが10%以下になる。また、造成時においてHが9mの場合のNは、間伐後の本数を間伐前の本数の5割に当たる540本よりも少なくなるように間伐しないと、15年後のR Iを10%以上にすることが難しいことになる。

このように、HとNはR Iに大きく影響することから、各地位級ごとに収穫予想表に基づいて、HとNを変化させながら繰り返し試算を繰り返した結果が表-7である。各地位級とも複層林造成のための間伐直後のR Iが、実際の林分の間伐直後に比べて低くすぎると思われるが、これは、図-3での数式②を使用しているためであり、数式①から試算すると、地位級1～3の間伐直後のR Iは31～32%、地位級4, 5は25%となった。ここでは、造成後10年目のR Iが10%以上であることが前提となることから、安全策を取って低めの値を示す数式②で10%以上になるよう試算している。

表-7の諸数値について地位級3で説明すると、林令50年までは表-6にもとづいて施業を行い、4回目の間伐時に、複層林造成のために5割の本数間伐を実施する。その時の樹冠長は、9m以下(枝下高10.9m以上)である必要があり、場合によっては枝打が伴ってくることになる。上木の全伐は、15年後の65年生でのR Iが11.4%であることから、60～65年生で実施することになる。なお、この時の下木の樹高は、表-1からスギでは3.3～4.2mヒノキが2.8～3.8mと推定され、全伐後においての下刈を省略できる高さに達していると考えられる。また、樹高成長は、壮令期には増加が著しいが、その後老令期に移行するにしたがって低下してくることから、Hの増加も同様の傾向を示すこととなる。従って、表-7での林令よりも高林令の林分について複層林造成を実施する場合でも、Hが9m前後であればR Iは十分確保できると考える。

#### 5. おわりに

表-7の諸数値は、あくまでも人工林収穫予想表の植栽本数3,000本の各地位級の施業経過に基づき、途中の段階で複層林造成を実施することを想定している。したがって、複層林造成時以前の施業が、該当する収穫予想表の本数管理と異なっている場合には、誤差を生じることが十分予想される。このことも考慮して、複層林造成のためには、各地位級とも以下の全てに当てはまるよう施業を行っていくことが必要と考える。

- ① 複層林造成時の上木となるスギの林令は、50年以上とする。しかし、成長の劣る地位級4以下については60年以上とする。
- ② 造成直後の上木の本数は、最多でもha当たり550本とする。
- ③ 造成直後の上木の樹冠長は、少なくとも9m以下にする。
- ④ 造成後10～15年で上木を全伐し、下木で構成される単純林に移行する。ただし、林内相対照度が低下すると、樹高以上に胸高直径の成長が抑制されることから<sup>3)</sup>、形状比が高くなり冠雪害を受けやすくなる。このため、生育の良好な地位級1, 2においては、造成後10年前後で全伐し単純林に移行することが望ましいと考える。

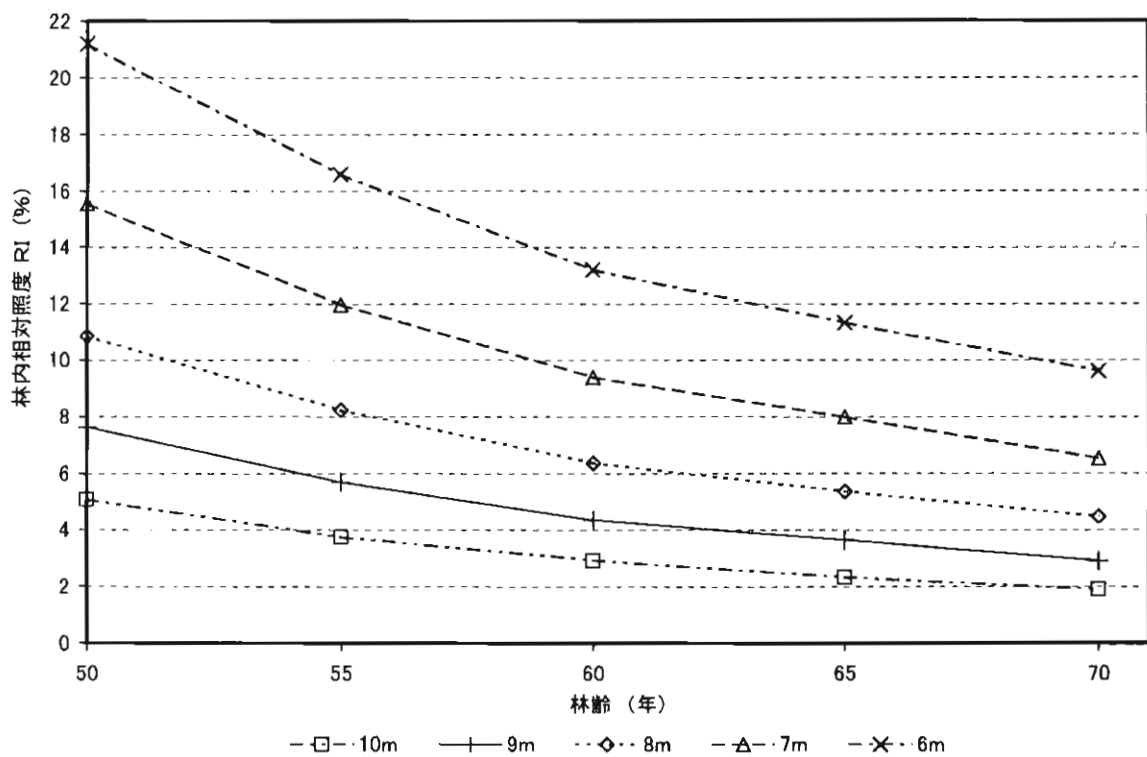


図-5 樹冠長別の林齢と林内相対照度

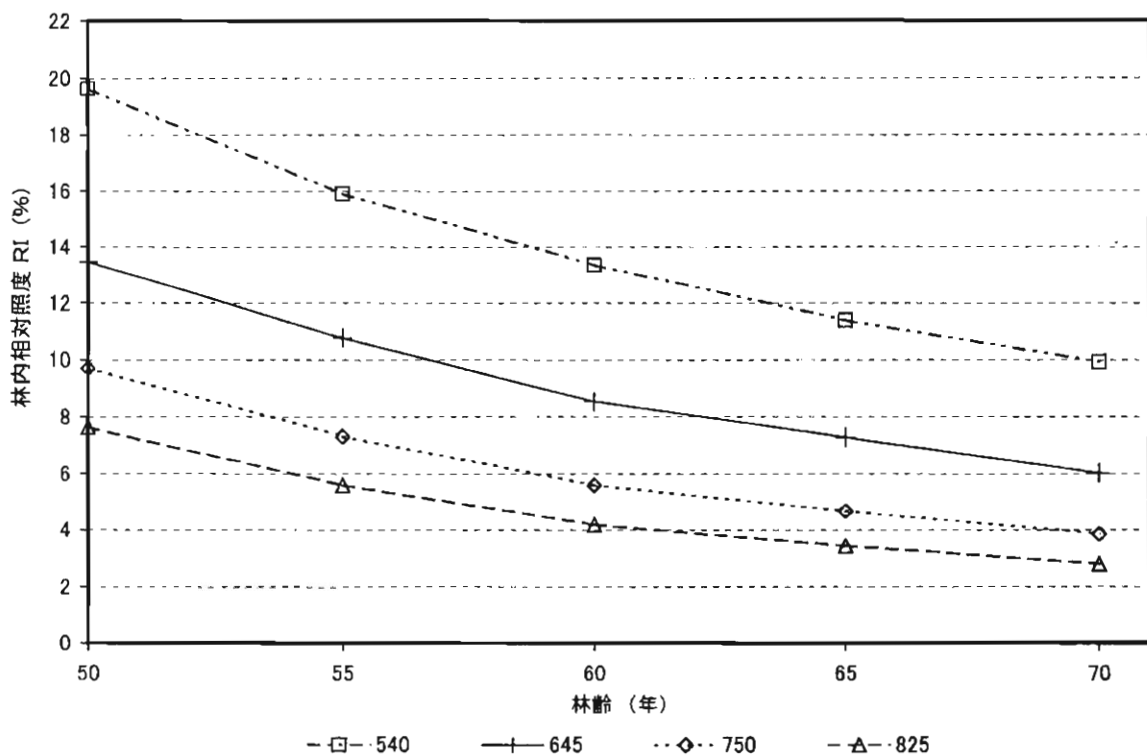


図-6 ha当たり本数別の林齢と林内相対照度



表一七 地位級別の複層林造成のモデル

3000本植栽

地位級1 50年生の間伐前本数778本・枝下高15.7m

林齢(年)	樹高(m)	樹冠長(m)	本数(本)	枝張長(m)	S(m <sup>2</sup> )	RI(%)	本数間伐率
50	24.7	9.0	545	2.25	8667.76	19.2	3割間伐後
55	25.7	10.0	545	2.37	9616.98	14.9	
60	26.5	10.8	545	2.47	10445.66	11.9	
65	27.2	11.5	545	2.56	11220.75	9.6	

地位級2 41年生の間伐前本数1,051本・枝下高11.3m

林齢(年)	樹高(m)	樹冠長(m)	本数(本)	枝張長(m)	S(m <sup>2</sup> )	RI(%)	本数間伐率
41	20.3	9.0	530	2.25	8429.20	20.5	5割間伐後
45	21.3	10.0	530	2.37	9352.29	16.0	
50	22.3	11.0	530	2.50	10406.42	12.0	
55	23.2	11.9	530	2.61	11342.33	9.3	

地位級3 50年生の間伐前本数1,073本・枝下高10.9m

林齢(年)	樹高(m)	樹冠長(m)	本数(本)	枝張長(m)	S(m <sup>2</sup> )	RI(%)	本数間伐率
50	19.9	9.0	540	2.25	8588.24	19.6	5割間伐後
55	20.7	9.8	540	2.35	9368.60	15.9	
60	21.4	10.5	540	2.43	10017.32	13.4	
65	21.9	11.0	540	2.50	10602.77	11.4	

地位級4 60年生の間伐前本数1,068本・枝下高9.8m

林齢(年)	樹高(m)	樹冠長(m)	本数(本)	枝張長(m)	S(m <sup>2</sup> )	RI(%)	本数間伐率
60	18.8	9.0	640	2.22	9909.03	13.7	4割間伐後
65	19.3	9.5	640	2.28	10451.89	11.9	
70	19.7	9.9	640	2.33	10915.34	10.5	
75	20.1	10.3	640	2.38	11388.83	9.2	

地位級5 57年生の間伐前本数1,503本・枝下高8.0m

林齢(年)	樹高(m)	樹冠長(m)	本数(本)	枝張長(m)	S(m <sup>2</sup> )	RI(%)	本数間伐率
57	16.0	8.0	750	2.06	9998.64	13.4	5割間伐後
60	16.2	8.2	750	2.08	10193.73	12.7	
65	16.7	8.7	750	2.15	10891.40	10.5	
70	17.0	9.0	750	2.18	11197.46	9.7	

なお、複層林造成にあたっては、該当する林分の上木の樹高から地位級を把握する必要があり、そのために使用する地位級別の曲線式がすでに作成されている<sup>7)</sup>。例えば、地位級3の曲線式は以下のとおりである。

$$H = 25.069 - 19.2157 \times 0.8479^{(T/5-2)}$$

しかし、この曲線式は各地位級別に常数と係数が異なるため、実際に測定した樹高から地位級を算出するには手間を要する。このため、各曲線式をもとに簡略的な算出方法を考案した。表一八の常数と各林令別の係数を用いて、

- ・該知の林令と樹高から地位級を求める場合

$$\text{地位級} = \text{常数} - (\text{樹高} \div \text{同一林令の係数})$$

- ・該知の地位級から任意の林令の樹高を求める場合

$$\text{樹高} = \text{求める林令の地位級3の樹高} + (3 - \text{該知の地位級}) \times \text{求める林令の係数}$$

この方法を利用すれば、複層林を造成するための毎木調査時に、現地で地位級を把握することが可能になり、間伐割合の検討に活用できると考える。

表-8 スギ林分の地位級算出のための常数と林齢別の係数

常数=11.333		
林齢 (年)	地位級3の樹高 (m)	係数
50	19.936	2.392
51	20.103	2.412
52	20.264	2.432
53	20.420	2.450
54	20.571	2.469
55	20.717	2.486
56	20.858	2.503
57	20.995	2.519
58	21.127	2.535
59	21.255	2.551
60	21.379	2.566
61	21.499	2.580
62	21.615	2.594
63	21.727	2.607
64	21.835	2.620

常数=11.333		
林齢 (年)	地位級3の樹高 (m)	係数
65	21.940	2.633
66	22.042	2.645
67	22.140	2.657
68	22.235	2.668
69	22.327	2.679
70	22.416	2.690
71	22.502	2.700
72	22.586	2.710
73	22.666	2.720
74	22.744	2.729
75	22.820	2.738
76	22.893	2.747
77	22.964	2.756
78	23.032	2.764
79	23.098	2.772
80	23.162	2.779

## 6. 引用文献

- (1) 藤森隆郎：わかりやすい林業研究解説シリーズN○93「複層林の生態と取り扱い」：  
P 71～72：林業科学技術振興所：1989
- (2) 藤森隆郎：複層林マニュアル施業と経営：P 34～38：全国林業改良普及協会：1992
- (3) 安藤 貴：わかりやすい林業研究解説シリーズN○79「複層林施業の要点」：P 52：  
林業科学技術振興所：1989
- (4) 松尾健次：東京都林試H 4 年度年報：P9～10：1993
- (5) 梶原幹弘：スギ同齢林における樹冠の形態と量に関する研究（I）：日林誌第57巻：  
P425～431：1975
- (6) 松尾健次：東京都林試H 9 年度年報：P3～8：1998
- (7) 都林務課：林分密度管理図及び収穫予想表の利用の手引き：P15：1990