

カラマツ及びアカマツを上木とする二段林の 管理技術に関する研究

(複層林の造成管理技術の開発)

片 倉 正 行
遊 橋 洪 基
大 木 正 夫*
古 川 仁

要 旨

- ① カラマツ人工林とアカマツ人工林の林内光環境を、林分の収量比数および胸高断面積により表現した。
- ② 収量比数を指標として、カラマツ林の林内相対照度とアカマツ林のそれを比較するとアカマツ林の方が明るい傾向を示した。
- ③ ヒノキなどの下木の成長を大きく阻害しない条件といえる林内相対照度25%は、カラマツ林では収量比数0.52で、アカマツ林は0.64で補償されるといった。
- ④ 胸高断面積を指標として、間伐後の林内相対照度の推定を行った。
- ⑤ カラマツ-ヒノキ帯状二段林において、カラマツ（上木）直近列のヒノキの樹高成長は中央列より7%ほど劣っていた。
- ⑥ カラマツ-ヒノキ二段林の林床植生が、10年間で50種から10種に減少する例を認めた。

1. はじめに

本県民有林677,000haには人工林が325,000ha存在し、そのうちカラマツ林が172,000ha、アカマツ林が47,000haを占め、これらで人工林の67%を構成している(17)。これらの多くは県土緑化、木材資源増強を目標として1950～1960年代にかけて、短伐期一斉林施業を前提として造成されたものである。しかし木材市場が国外に開放されたことなどから国産材市況は低迷し、特にカラマツ、アカマツ中径木の市況の低迷が著しく、主伐期の延伸とともに長伐期大径材生産施業が指向され始め、間伐後の林内に発生する大きな林床空間の高度利用法の一つとして樹下植栽が行われ始めた。

また大面積皆伐が自然環境に与えるインパクトの大きさが問題視されるようになり、林地を裸出させない「非皆伐施業」に関する施業技術の確立が要求され始めた。

非皆伐施業の一種である二段林施業は県内ですでに、諏訪市角間沢の諏訪市有林（カラマツ-ヒノキ・サワラ）(4)(13)(15)(19)、南安曇郡三郷村小倉の北沢山林組合林（カラマツ-ヒノキ）(15)(19)、北佐久郡望月町布施の大井氏私有林（カラマツ-ヒノキ）(13)(15)、上伊那郡南箕輪村大芝原の南箕輪村有林（アカマツ-ヒノキ）(8)などが存在し、諏訪市有林、北沢山林では上木の伐採が完了し下木による一斉林をみる場所も多い。

こうした二段林施業は、それぞれの現地において管理者が林分の成長状況を確認しながら間伐、枝打ちなどを行い成功してきたが、一部には上木の間伐の遅れにより下木の成長が低下したり、上木の伐採が困難になっている林地も発生している。また二段林施業を他地域において実行するには、これまでの各地における施業経験則のみでは普遍性に乏しく対応できないことも多い。このためここではカラマツあるいはアカマツを上木とする二段林における上木林分構造と林内の光環境の関係

* 元長野県林業総合センター専門研究員

を明らかにし二段林を維持管理するための施業技術の開発を目標とした。

なお本研究は、国庫補助大型プロジェクト研究「複層林の造成管理技術の開発（平成元年～5年）」により行ったものである。

2. カラマツ林およびアカマツ林の林内光環境と林分構造

1) 研究の目的

二段林施業において重要なことの一つに適切な林内光環境の維持がある。これは下木の成長に最も大きな影響を与える(2)ものであり、基本的には上層林冠層を形成する上木の存在量より左右される。カラマツ林の林内相対照度と林分構造の関係については、梅津(3)が相対幹距比により、武井(12,13)、清藤(10)、猪瀬ら(9)が収量比数により説明し、またアカマツ林については、外館ら(11)が収量比数により林内相対照度を説明している。

ここではこれらを踏まえながら、本県のカラマツ林、アカマツ林の林内光環境と相関する林分構造因子を明らかにし、また現場で利用しやすい因子を抽出することで林内光環境調整の具体的指標を提示することを目的とした。

2) 調査対象と調査方法

(1) 対象樹種と林分

調査対象樹種はカラマツおよびアカマツとし、その林型は一斉林および二段林とした。調査林分の広さは、平均樹高の3倍程度以上の直径を有し、林分外からの側光の影響を排除できる広さとした。林齢は、二段林において最も光環境の調節を要する時期と考えられる40年生前後を対象とした。

また山腹に傾斜があると、その斜面方位により林内相対照度にも差が発生することが知られている(2)ので、調査林分はできるだけ平坦な林分を選定することとした。

なお調査地の抽出は各地の地方事務所に依頼し、これらの林分をあらかじめ現地で確認し、成長状況などに異常がない林分を調査対象とした。

(2) 調査の方法

①林況調査

林分の平均的林相を示す場所に20×20mの方形区を設定し、毎木調査により立木密度(N)、上層木平均樹高(H_T)、平均胸高直径(DBH)、枝下高(h)などを測定し、また枯れ枝着生状況、山腹傾斜および方位などを調査した。

②林内相対照度の測定

デジタル照度計(ミノルタT-1H)の積算照度モードにより、機器を1.3m高で水平に保ち方形区内を3分間ゆっくりと移動しながら測定した照度(I)と、同時に林外の裸地で測定した照度(I_0)から林内相対照度($RLI=I/I_0 \times 100$)を求めた。

なお調査林分が二段林の場合には、測量用ポール(2m)を利用して測光部が下木梢端部より上部に位置するように配慮して測定を行った。測定した季節は8～9月、測定時刻は10:00～14:00頃、天候は晴天～薄曇りとした。

3) 結果と考察

(1) 林況

①カラマツ林

表-1に示した16林分で調査を行い、林分密度150～1,625本/ha、収量比数(以下RY

表-1 カラマツ林の林分構造と林内相対照度

場 所	林分密度		胸高直径		形状比 H/DBH	胸高断面積		材積 V	収量比数 RY	相対照度 RLI (%)	山腹傾斜 (°)	山腹方位	林齡 T (年)	地位級 SI	備 考
	N (本/ha)	Hr (m)	DBH±SD (cm)	h (m)		G (㎡/ha)	V (㎡/ha)								
檜川	1625	20.3	17.1±4.4	119	12.5	37.3	384	1.00	9.0	35	WSW	33	Ⅲ	高密度一斉林、自然枯死木425本/ha(外数)	
居谷里02	1500	18.3	16.3±3.4	112	14.0	32.8	289	0.92	16.2	0		29	Ⅲ	高密度一斉林	
居谷里03	1175	17.8	18.0±3.1	99	13.0	30.9	268	0.85	14.2	0		29	Ⅲ	"	
三郷	975	15.7	17.9±5.3	88	5.8	24.6	193	0.74	16.7	25	WSW	44	V	二段林	
美麻	675	22.5	23.5±2.8	96	16.3	29.3	332	0.81	12.3	5	SE	33	Ⅲ	一斉林	
角間沢	600	15.8	20.8±3.2	76	7.7	20.4	160	0.58	15.2	5	SE	30	Ⅵ	二段林	
望月	475	16.6	21.1±2.3	79	9.1	16.6	137	0.54	20.9	3	WSW	28	Ⅱ	"	
塩尻	450	18.6	27.3±3.2	68	9.6	26.4	243	0.59	19.2	25	SW	38	Ⅵ	"	
大町	450	22.5	24.4±5.6	92	14.2	22.1	241	0.68	19.0			28	Ⅲ	"	
丸子	425	23.2	28.0±5.4	83	9.9	26.2	304	0.69	19.8	23	W	41	Ⅲ	一斉林	
北真志野	325	18.0	21.8±6.3	83	8.0	12.1	109	0.48	23.7	5	WSW	38	Ⅵ	二段林	
松川04	300	26.2	35.3±4.6	74	9.3	29.4	376	0.66	17.3	5	S	50	Ⅱ	"	
松川03	150	21.8	25.7±3.2	85	13.0	7.9	85	0.37	43.3	5	SW	34	Ⅲ	一斉林	
松川02	625	18.5	19.1±3.4	97	12.9	18.5	167	0.70	28.5	10	SW	27	Ⅲ	間伐2年後一斉林分(樹冠狭小)	
松川01	200	22.2	26.4±2.9	84	13.6	10.9	122	0.44	50.3	5	SW	37	Ⅲ	間伐1年後一斉林(〃)	
佐久	225	22.4	26.4±4.8	85	14.0	12.8	139	0.48	47.9			38	Ⅲ	間伐2年後一斉林(〃)	

- 注) 1 幹材積は、立木幹材積表-東日本編-(日本林業調査会、昭和48年)による。
 2 収量比数は、本州地方カラマツ人工林密度管理図(林野庁、昭和56年)による。
 3 地位級は、長野県民有林カラマツ人工林分材積表(長野県、昭和58年)による。

表-2 アカマツ林の林分構造と林内相対照度

場 所	林分密度		胸高直径		形状比 H/DBH	胸高断面積		材積 V	収量比数 RY	相対照度 RLI (%)	山腹傾斜 (°)	山腹方位	林齡 T (年)	地位級 SI	備 考
	N (本/ha)	Hr (m)	DBH±SD (cm)	h (m)		G (㎡/ha)	V (㎡/ha)								
松本03	1375	20.7	18.0±3.9	115	14.6	36.5	379	0.97	6.4	0	-	-	-	-	枯れ枝極多、自然枯死木あり
岡谷02	900	13.6	22.4±4.9	61	9.6	37.1	228	0.84	4.6	0	-	-	-	-	枯れ枝極多
伊那05	850	19.6	23.8±5.7	82	12.1	40.0	362	0.87	9.7	10	SSE	41	Ⅱ		
伊那07	827	22.9	27.4±5.4	84	13.8	50.6	548	0.93	22.4	17	S	46	Ⅰ		
大町	825	13.7	21.2±3.6	65	8.8	29.8	191	0.70	21.5	0	-	-	-	-	
伊那04	625	25.1	32.2±6.8	78	17.3	53.2	619	0.95	9.4	3	S	36	Ⅰ		
伊那03	600	15.7	24.9±3.2	63	8.7	29.7	216	0.70	7.8	3	S	43	Ⅳ	枯れ枝極多	
塩尻01	550	16.9	29.8±3.4	57	9.8	38.9	296	0.70	37.4	10	W	37	Ⅲ		
岡谷01	550	15.6	22.8±4.0	68	9.6	23.2	168	0.67	21.0	10	S	31	Ⅱ	枯れ枝多	
伊那01	525	12.9	22.7±3.5	57	5.7	21.8	128	0.55	14.9	3	S	32	Ⅳ	枯れ枝多	
伊那06	500	18.4	27.4±3.3	67	12.2	29.9	255	0.68	33.9	0	-	-	-	-	
塩尻04	425	20.8	33.3±5.2	62	13.4	39.1	353	0.74	12.0	5	N	46	Ⅱ		
塩尻03	400	17.6	21.1±2.4	83	9.5	14.1	122	0.64	39.0	5	N	35	Ⅱ		
松本01	225	18.6	31.3±3.3	59	10.5	9.9	147	0.40	68.2	3	S	-	-	-	
岡谷03	225	16.4	26.9±3.1	61	11.3	13.0	98	0.45	44.2	10	S	-	-	-	
塩尻02	200	23.3	45.6±5.0	51	14.6	33.1	353	0.68	20.1	15	SE	40	Ⅰ	成長良好優良林分	
伊那02	200	12.9	25.5±1.7	51	5.7	10.3	60	0.30	55.3	3	S	32	Ⅳ		
松本02	150	25.0	35.4±5.4	71	18.0	5.7	177	0.35	48.3	2	S	-	-	-	

- 注) 1 幹材積は、立木幹材積表-東日本編-(日本林業調査会、昭和48年)による。
 2 収量比数は、関東・中部地方アカマツ人工林密度管理図(林野庁、昭和58年)による。
 3 地位級は、長野県民有林アカマツ人工林分材積表(長野県、昭和59年)による。

とする) (24) 0.37~1.00と、疎林から最多密度に近い高密度林までの資料を得た。また、各林分の上層樹高は、15.7~26.2m (平均樹高約20m)、林齢は27~50年生の範囲にあり、最も多かったのは35年生前後である。

なお、16林分の60%が地位級Ⅲ(17)に該当し本県において中庸な生産力をもつカラマツ林が調査対象となったといえる。

調査林分の林分密度、樹高、胸高直径、形状比の分布を図-1、2、3、4に示した。林分形状比は85と100にピークをもち、100以上を示したのは「檜川」、「居谷里2」の2林分で、これらは間伐が遅れ高密度林分 (RY=1.00、0.92) を形成していた。

「檜川」は山腹傾斜35°と急傾斜であり、調査地の山腹傾斜条件に適合していないが、比量比数1.00と最多密度に近い調査林分として重要と判断したので調査地とした。

②アカマツ林

表-2に示したように18林分で調査を行い、林分密度150~1,375本/ha、RY(25)は0.30~0.97と、著しい疎林から最多密度に近い高密度林までの資料を得た。また、上層樹高は、12.6~25.1m (平均樹高約18m)、林齢は31~46年生で、最も多かったのは35年生前後で

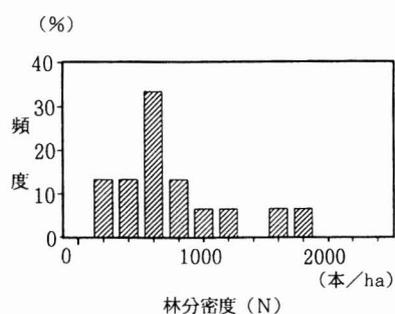


図-1 調査林分の林分密度分布 (カラマツ)

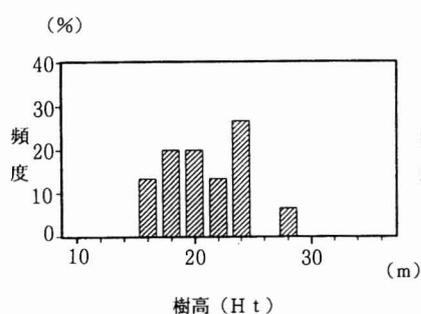


図-2 調査林分の樹高分布 (カラマツ)

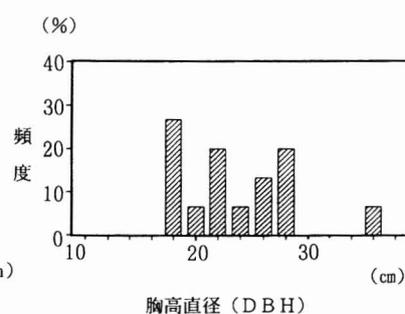


図-3 調査林分の胸高直径分布 (カラマツ)

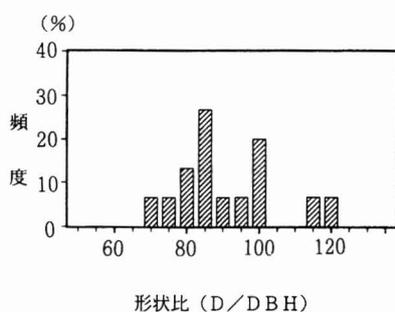


図-4 調査林分の形状比分布 (カラマツ)

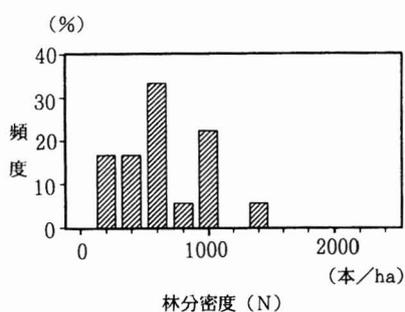


図-5 調査林分の樹高分布 (アカマツ)

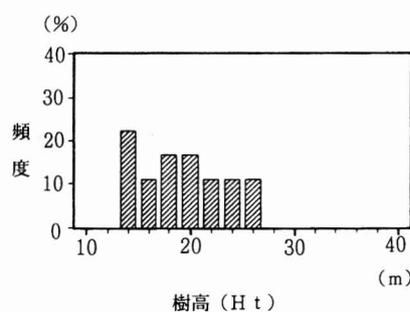


図-6 調査林分の樹高分布 (アカマツ)

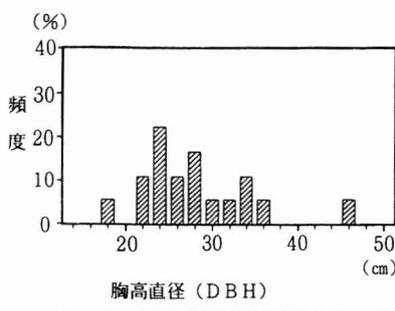


図-7 調査林分の胸高直径分布 (アカマツ)

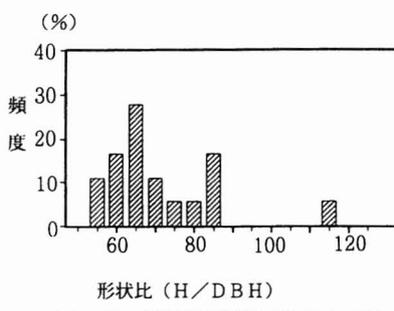


図-8 調査林分の形状比分布 (アカマツ)

ある。なお、地位級はI~IV(18)の範囲に分散した。

調査林分の林分密度、樹高、胸高直径、形状比の分布を図-5、6、7、8に示した。林分形状比の最多出現階は65前後で、100以上を示した「松本03」は、間伐が遅れ高密度林分($RY=0.97$)を形成していた。

(2) 林内相対照度

①カラマツ林

測定結果を表-1に示した。最も低い測定値は「榑川」の $RLI=9.0\%$ で、林分内には被圧に起因すると判断される自然枯損木が発生しており、林分の混み合い程度は $RY=1.00$ である。なおこの林分は山腹傾斜が 35° と急傾斜で斜面方位もWSWであるため、他林分に比べて RLI が多少過大に表現された可能性がある。 $RLI=50.3\%$ が得られたのは「松川01」で、この林分は本数間伐率50%程度の間伐が実施された直後であり樹冠の発達が不良だった。こうした樹冠発達の不良な林分は他に、「松川02」、「佐久」の2カ所がある。

なお、調査結果から $RLI=30\sim40\%$ の範囲に該当する林分が欠落してしまったが、これはカラマツ林の多くが30~40年生頃に高密度林分となりがちで、樹冠が小さな状態から強度の間伐をうけることが多いために生じたものと考えた。

②アカマツ林

測定結果を表-2に示した。最も低い測定値は「岡谷02」の $RLI=4.6\%$ で、この林分は $RY=0.84$ で枯れ枝の着生量が多かった。なお「松本03」は $RY=0.97$ で、枯れ枝着生量が多く自然枯死木も発生していたが $RLI=6.4\%$ と「岡谷02」よりもわずかに大きな数値を示した。この原因は明かでないが「松本03」の方が樹高が高いため、側方よりの散光侵入量が大きかった可能性がある。

なおアカマツ林は林分により枯れ枝の着生量にかなりの差異があり、着生量が著しく多い場合は RLI を低下させていると判断された。

(3) 相対照度と各種林分因子の関係

①カラマツ林

林内相対照度に相関を示す上木の林況因子としては、胸高断面積(G)、またこれに樹冠長(Hk)を乗じたもの($G \cdot Hk$)、あるいは RY などがあるとされている(2)。

ここでもこれらについて検討したところ、 G あるいは RY などと RLI の間には前2者が大きくなると相対照度が低くなる一定の関係が認められた。

しかし、スギ、ヒノキでいわれるような $G \cdot Hk$ と RLI の関係(2)(1)は認められなかった。これはカラマツの樹冠がスギ、ヒノキの樹冠のように形状が明瞭な円錐体あるいは放物線体をとることが少ない上に、間伐後の経過年数などによりその形状がかなり変化することに原因があるのではないかと考えられた。

RLI と RY 、 G 、林分材積(V)および相対幹距比(Sr)との間に相関を求めた結果を表-3に示した。なお、回帰式計算では間伐直後の3林分は除外して行った。この結果、 RLI と最も高い相関を示したのは G で、 Sr 、 RY 、 V の順でこれに続いた。

これらのうち、 RLI と G 、 RLI と RY の関係を図-9、10に示した。なお図中の白丸は強度間伐直後で、樹冠が異常に小さい林分でありそれぞれの回帰計算からは除外した。

ヒノキなどの下木の成長は $RLI=10\%$ より低くなるときわめて不良となり、25%程度が

表-3 カラマツ林の林内相対照度と林分構造因子の関係式

X 項	回 帰 式	相 関 係 数
収量比数 (RY)	$RLI=8.4278-25.6678 \cdot \ln(RY)$	0.8578
胸高断面積 (G m ² /ha)	$RLI=71.6410-16.8930 \cdot \ln(G)$	0.8925
材積 (V m ³ /ha)	$RLI=90.7414-13.3190 \cdot \ln(V)$	0.7714
相対幹距比 (Sr%)	$RLI=-3.6370+1.0098 \cdot Sr$	0.8594

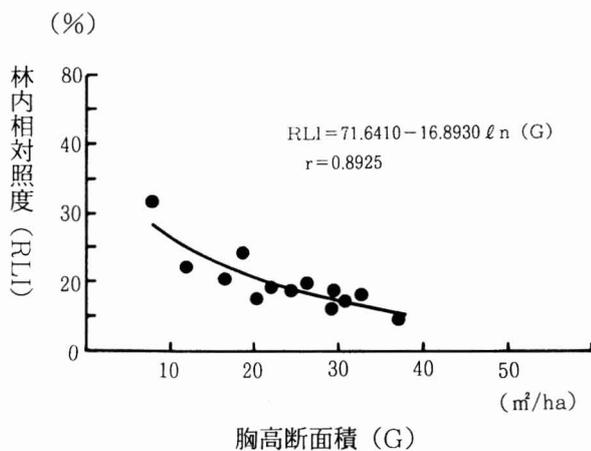


図-9 カラマツ林の胸高断面積と林内相対照度の関係

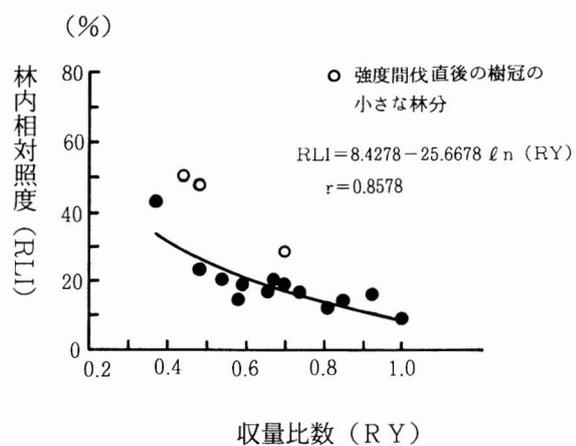


図-10 カラマツ林の収量比数と林内相対照度の関係

確保されれば成長の著しい低下はない(2)とされている。これらのRLIは、先の関係式からそれぞれRY=0.94、RY=0.52と推定された。

なお、上木のRLI管理は主に間伐によりなされる。このため間伐によるRLIの変化が重要な意味をもつ。しかし今回の調査ではこれを調査する機会を得なかったのでここでは、胸高断面積間伐率を指標としRLIの変化を表現する次式(5)を導入して、間伐直後のRLIを推定することとした。

$$1 / (I/I_0) = (1.82/X) - 0.0082$$

なおここで、I=林内照度、I₀=全天照度、X=胸高断面積間伐率である。

これにより得られたのが表-4、5、6、7であり、林分密度と上層樹高別に対する現在のRLI、そしてある状況の林分に対して下層間伐を行った場合に得られるRLIを断面積間伐率別に示した。なおここでは林分密度は600、500、400、300本/haの4段階で代表し、また上層樹高は二段林上木として適当と判断される長野県カラマツ民有林の地位級Ⅲ以上、林齢30年生以上の樹高範囲である15~30m(17)について示してある。

間伐率については断面積間伐率で、10、15、20、30%を示したがこれは本数間伐率で約14%、21%、28%、42%に該当すると既往資料(17)から判断された。

表-4 カラマツ林の林内相対照度と、間伐により確保される相対照度

林分密度=600本/ha

樹高 H _r (m)	胸高 断面 積 G (m ² /ha)	高 収量 比 数 RY	推定 林内 相対 照度 RLI (%)	断面積間伐率 (%)			
				10	15	20	30
20	27.8	0.73	17	22	25	29	36
21	29.3	0.76	16	21	24	28	35
22	30.8	0.78	15	20	24	27	34
23	32.2	0.81	14	20	23	26	33
24	33.5	0.83	13	19	22	25	32
25	34.8	0.85	13	18	21	25	32
26	36.1	0.87	12	18	21	24	31
27	37.3	0.89	12	17	20	24	31
28	38.5	0.90	11	17	20	23	30
29	39.6	0.92	11	16	19	23	30
30	40.7	0.93	10	16	19	22	29

備考：下層間伐における本数間伐率は、断面積間伐率のおよそ1.4倍になる。

表-5 カラマツ林の林内相対照度と、間伐により確保される相対照度

林分密度=500本/ha

樹高 H _r (m)	胸高 断面 積 G (m ² /ha)	高 収量 比 数 RY	推定 林内 相対 照度 RLI (%)	断面積間伐率 (%)			
				10	15	20	30
20	25.7	0.67	19	24	27	31	38
21	27.1	0.70	18	23	26	30	37
22	28.6	0.73	17	22	25	29	36
23	30.0	0.75	16	22	25	28	35
24	31.3	0.77	15	21	24	27	34
25	32.7	0.80	14	20	23	26	33
26	33.9	0.82	14	19	22	26	33
27	35.2	0.84	13	19	22	25	32
28	36.3	0.85	12	18	21	25	32
29	37.5	0.87	12	18	21	24	31
30	38.6	0.89	11	17	20	24	31

備考：下層間伐における本数間伐率は、断面積間伐率のおよそ1.4倍になる。

表-6 カラマツ林の林内相対照度と、間伐により確保される相対照度

林分密度=400本/ha

樹高 H _r (m)	胸高 断面 積 G (m ² /ha)	高 収量 比 数 RY	推定 林内 相対 照度 RLI (%)	断面積間伐率 (%)			
				10	15	20	30
20	23.0	0.60	21	27	30	34	41
21	24.4	0.63	20	26	29	32	39
22	25.8	0.66	19	25	28	31	38
23	27.2	0.68	18	24	27	30	37
24	28.5	0.70	17	23	26	29	36
25	29.9	0.73	17	22	25	29	36
26	31.1	0.75	16	22	25	28	35
27	32.4	0.77	15	21	24	27	34
28	33.6	0.79	15	20	23	27	34
29	34.8	0.81	14	20	23	26	33
30	35.9	0.83	13	19	22	25	32

備考：下層間伐における本数間伐率は、断面積間伐率のおよそ1.4倍になる。

表-7 カラマツ林の林内相対照度と、間伐により確保される相対照度

林分密度=300本/ha

樹高 H _r (m)	胸高 断面 積 G (m ² /ha)	高 収量 比 数 RY	推定 林内 相対 照度 RLI (%)	断面積間伐率 (%)			
				10	15	20	30
20	9.5	0.51	26	31	34	38	45
21	20.9	0.54	24	30	33	36	43
22	22.2	0.56	23	29	32	35	42
23	23.5	0.59	22	28	31	34	41
24	24.8	0.61	21	27	30	33	40
25	26.1	0.64	20	26	29	32	39
26	27.4	0.66	19	25	28	31	38
27	28.6	0.68	18	24	27	30	37
28	29.8	0.70	18	23	26	30	37
29	31.0	0.72	17	23	26	29	36
30	32.1	0.74	16	22	25	28	35

備考：下層間伐における本数間伐率は、断面積間伐率のおよそ1.4倍になる。

②アカマツ林

アカマツ林のRLIと林況因子についてもカラマツ林と同様の傾向が認められたので、関係解析を行い表-8の結果を得た。アカマツ林においてRLIと最も高い相関を示したのはRYで、G、Sr、Vの順でこれに続いた。なお、RLIとGおよびRYの関係を図-11、12に示した。

カラマツ林と同様にRLI=10%と25%に該当するRYをみると、これらはそれぞれRY=0.93、RY=0.64と推定された。

また間伐によるRLIの変化についてカラマツ林の場合と同様の推定を行い、表-9、10、11、12の結果を得た。樹高範囲はカラマツと同様の因子で設定した。

表-8 アカマツ林の林内相対照度と林分構造因子の関係式

X 項	回 帰 式	相 関 係 数
収量比数 (RY)	$RLI = 6.3110 - 45.1796 \cdot \ln(RY)$	0.8277
胸高断面積 (G m ² /ha)	$RLI = 101.7439 - 23.5362 \cdot \ln(G)$	0.7947
材積 (V m ³ /ha)	$RLI = 128.3777 - 18.8744 \cdot \ln(V)$	0.6138
相対幹距比 (Sr%)	$RLI = -9.3138 + 1.3023 \cdot Sr$	0.6975

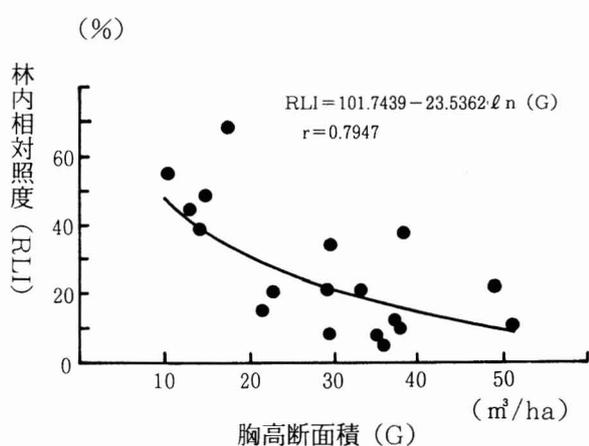


図-11 アカマツ林の胸高断面積と林内相対照度の関係

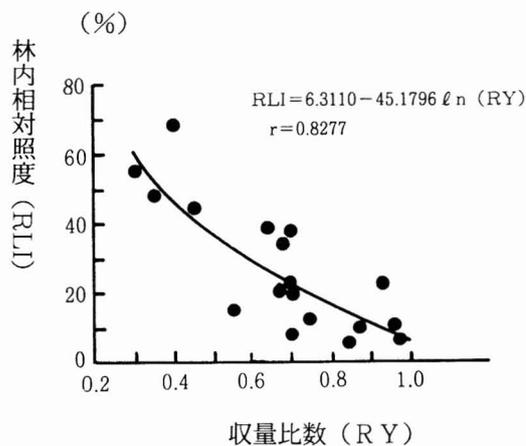


図-12 アカマツ林の収量比数と林内相対照度の関係

表-9 アカマツ林の林内相対照度と、間伐により確保される相対照度

林分密度 = 600本/ha

樹高 H _r (m)	胸高断面積 G (m ² /ha)	収量比数 RY	推定 林内相対照度 RLI (%)	断面積間伐率 (%)			
				10	15	20	30
15	30.7	0.66	25	31	34	37	44
16	33.0	0.70	23	28	31	35	42
17	35.2	0.73	21	26	29	33	40
18	37.3	0.76	19	25	28	31	38
19	39.2	0.78	17	23	26	29	36
20	41.0	0.81	16	22	25	28	35
21	42.7	0.83	15	21	24	27	34
22	44.4	0.85	14	20	23	26	33
23	45.9	0.86	13	19	22	25	32
24	47.3	0.88	12	18	21	24	31
25	48.6	0.89	11	17	20	23	30
26	49.9	0.91	11	16	20	23	30
27	51.1	0.92	10	16	19	22	29
28	52.2	0.93	10	15	18	22	29
29	53.3	0.94	9	15	18	21	28
30	54.3	0.95	9	14	18	21	28

備考：下層間伐における本数間伐率は、断面積間伐率のおよそ1.4倍になる。

表-10 カラマツ林の林内相対照度と、間伐により確保される相対照度

林分密度 = 500本/ha

樹高 H _r (m)	胸高断面積 G (m ² /ha)	収量比数 RY	推定 林内相対照度 RLI (%)	断面積間伐率 (%)			
				10	15	20	30
15	28.5	0.61	28	34	37	40	47
16	30.8	0.65	26	31	35	38	45
17	33.1	0.68	23	29	32	36	43
18	35.2	0.71	21	27	30	34	41
19	37.2	0.74	20	26	29	32	39
20	39.0	0.77	18	24	27	30	37
21	40.8	0.79	17	23	26	29	36
22	42.5	0.81	16	21	25	28	35
23	44.1	0.83	15	20	24	27	34
24	45.6	0.85	14	20	23	26	33
25	47.0	0.86	13	19	22	25	32
26	48.3	0.88	12	18	21	24	31
27	49.6	0.89	12	17	20	24	31
28	50.8	0.90	11	17	20	23	30
29	51.9	0.91	10	16	19	22	29
30	53.0	0.92	10	16	19	22	29

備考：下層間伐における本数間伐率は、断面積間伐率のおよそ1.4倍になる。

表-11 アカマツ林の林内相対照度と、間伐により確保される相対照度

林分密度=400本/ha

樹高 H _r (m)	胸高断面 G (m ² /ha)	収量比 RY	推定 林内 相対 照度 R.L.I. (%)	断面積間伐率 (%)			
				10	15	20	30
				間伐率別林内相対照度 (%)			
15	25.7	0.55	33	39	42	45	52
16	28.0	0.59	30	36	39	42	49
17	30.3	0.63	27	33	36	40	47
18	32.4	0.66	25	31	34	37	44
19	34.5	0.69	23	29	32	35	42
20	36.4	0.72	21	27	30	34	41
21	38.2	0.74	20	26	29	32	39
22	40.0	0.76	19	24	27	31	38
23	41.6	0.78	17	23	26	29	36
24	43.2	0.80	16	22	25	28	35
25	44.7	0.82	15	21	24	27	34
26	46.1	0.84	14	20	23	26	33
27	47.5	0.85	13	19	22	26	33
28	48.7	0.87	13	19	22	25	32
29	49.9	0.88	12	18	21	24	31
30	51.1	0.89	11	17	20	24	31

備考：下層間伐における本数間伐率は、断面積間伐率のおよそ1.4倍になる。

4) まとめ

カラマツあるいはアカマツを上木とする二段林の林内光環境と、上木の込み合い具合の関係をも明らかにするため林分調査を行い次の結果を得た。

(1) 30~50年生のカラマツあるいはアカマツ

林内の光環境を相対照度で表現し、林内相対照度と比量比数、胸高断面積また相対幹距離比の間の関係を明らかにした。なおスギ林、ヒノキ林でいわれる、林内相対照度と胸高断面積×樹冠長の関係は成立しなかった。この原因としては、スギ、ヒノキとカラマツ、アカマツの樹冠の吸光・反射構造などに差があるためか、資料数が不足しているためと考えられたが明らかにできなかった。

(2) 同等収量比数の場合、図-14に示したようにアカマツ林の林内はカラマツ林のそれより明るい傾向が認められた。

(3) 胸高断面積を指標として、間伐後に与えられる林内相対照度の推定を行った。

(4) 間伐後の樹冠の発達、特に過密状態から強度間伐がなされた場合の狭小な樹冠がどのように発達し林内光環境に変化を与えるかについては解析できなかった。

表-12 アカマツ林の林内相対照度と、間伐により確保される相対照度

林分密度=300本/ha

樹高 H _r (m)	胸高断面 G (m ² /ha)	収量比 RY	推定 林内 相対 照度 R.L.I. (%)	断面積間伐率 (%)			
				10	15	20	30
				間伐率別林内相対照度 (%)			
15	22.1	0.48	40	46	49	52	59
16	24.4	0.51	36	42	45	48	55
17	26.5	0.55	33	39	42	45	52
18	28.7	0.58	31	37	40	43	50
19	30.7	0.61	28	34	37	40	47
20	32.7	0.64	26	32	35	38	45
21	34.6	0.67	24	30	33	37	44
22	36.4	0.69	23	29	32	35	42
23	38.1	0.72	21	27	30	33	40
24	39.8	0.74	20	26	29	32	39
25	41.4	0.76	19	24	28	31	38
26	42.9	0.78	18	23	26	30	37
27	44.3	0.80	17	22	25	29	36
28	45.7	0.81	16	21	25	28	35
29	47.0	0.83	15	21	24	27	34
30	48.2	0.84	14	20	23	26	33

備考：下層間伐における本数間伐率は、断面積間伐率のおよそ1.4倍になる。

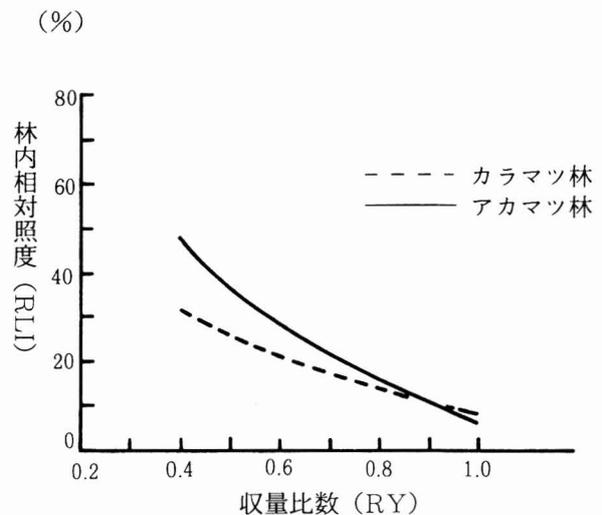


図-13 アカマツ林とアカマツ林の林内相対照度の関係

3 帯状二段林

1) 調査目的

一般的な二段林施業では上木の間伐は点状間伐によって密度管理される。しかしこうした点状間伐においては伐採時に下木が損傷を受けることも多い。これに対して帯状二段林では上木帯と下木帯が分離して存在するためこうした危険がきわめて少なくなる。また帯状二段林では伐採木の搬出が容易であり、機械力も利用しやすく施業上有利なことが多い(23)。ここでは帯状二段林における上木の側方被陰と下木の成長の関係を明らかにすることを目的として調査を行った。

2) 調査地と調査方法

調査地は松本市入山辺の標高1,250m、山腹傾斜30°、傾斜方位SW、適潤性黒色土の山腹に成立するカラマツ-ヒノキ帯状二段林で、林齢はそれぞれ34年生、8年生である。この林分は、8年前にカラマツ林を傾斜方向に列状間伐(4列:8~10m)し、その伐採跡地にヒノキを植栽して造成したもので、残存カラマツ帯においては同時に点状間伐が実施されており、現在は胸高直径40cm前後の大径木を交えたカラマツ壮齢林と、密植されたヒノキ幼齢林が図-14のように帯状交互に配置され特有の林型を呈している。

調査はカラマツとヒノキについてそれぞれ約0.02haの方形区を設定し毎木調査を行った。なおヒノキについては植栽列別に測定を行った。

3) 結果と考察

調査結果は表-12に示したとおりで、上木のカラマツは傾斜方向に10m前後の幅をもって帯状に存在し、帯内の立木密度は520本/ha、収量比数0.85とやや込み合った状態にあった。なお樹高、胸高直径とも良好な成長を示し地位級はI(17)に該当した。下木のヒノキはその帯内で3,880本/haが存在し林冠閉鎖が著しく林内を移動するのに困難を伴うほどとなっていた。

表-13 帯状二段林のカラマツとヒノキの成長状況

樹種別	カラマツ	ヒノキ						カラマツ
		外部列	内 部 列				外部列	
項目	(西側)	(西側)	1	2	3	4	(東側)	(東側)
胸高直径 (cm)	31.8±6.5	4.6±1.3	6.2±1.1	6.1±0.8	6.0±0.9	5.3±0.5	5.0±0.9	31.1±4.9
樹 高 (m)	25.1±2.7	3.6±0.6	4.3±0.3	4.4±0.3	4.5±0.5	4.3±0.4	4.0±0.6	25.2±2.2

注) 1 樹種別の帯幅:各10m(傾斜方向配列)

2 カラマツ収量比数:RY=0.85

また、ヒノキの梢上部とヒノキ林床の相対照度はそれぞれ約60%と4%と測定された。

ヒノキの樹高成長に側方のカラマツ帯が及ぼす被陰の影響を明らかにしようと、植栽列(中央部列:カラマツ直近列)間で樹高差を検討したところ(表-13、図15)、樹高は中央部列がカラマツ直近列に比べて7%ほど、また胸高直径も同様に12%ほど大きく、このあいだではそれぞれ統計的有意差(5%有意水準)を認めた。なお付近に同一斜面で全天条件のヒノキ造林地がなかったため側方被陰下における成長と全天下の成長の比較はできなかった。なお形状比などからみて一般的な二段林形態の下木ヒノキに比べると直径成長が良好と判断され、樹冠発達、幹形などに偏寄成長も見られなかった。

カラマツはその帯内密度が $RY=0.85$ と高密度であるにも係わらず、林床植生は多様でその量も多かった。これはカラマツ帯とヒノキ帯が交互に存在し、ヒノキの樹高がまだ低いためカラマツ帯への側方侵入光が多く、林床植生の成長が極度に抑制されないためと考えられた。なおヒノキ帯内における林床植生は皆無に近かったがこれは光環境が著しく不良なことに主因があると判断された。なおヒノキ帯の地表の土壤流亡発生などの形跡は認められなかった。

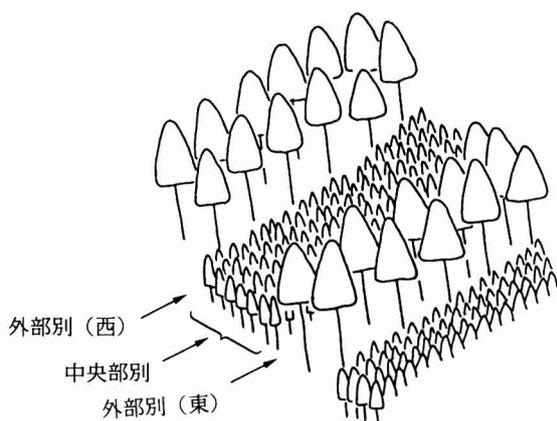


図-14 带状複層林概念図

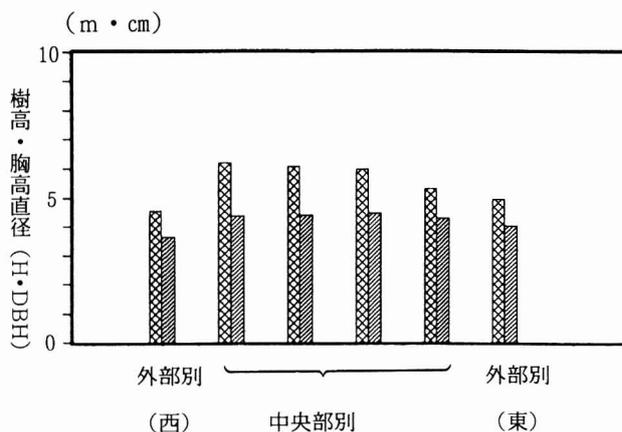


図-15 带状複層林の下木ヒノキの列別成長

4) まとめ

一林分のみでの調査結果であるが、带状二段林は多様な複層林形態のなかで次のようなことから、重要な位置を占める可能性が認められた。

- (1) 一般的な二段林と比較して最も異なることは、上木の間伐・主伐時とその搬出時に下木の損傷がほとんど発生しないことで、またそれは下木の間伐についても同様と考えられる。
- (2) 調査地は標高1,250mと寒冷な気象条件下にありヒノキ一斉造林が実施されていれば寒風害など気象被害の発生危険地であるが、そうした被害の発生は認められない。また下木ヒノキの成長は被陰による著しい抑制を受けているとは判断できず、側方のカラマツ立木に起因すると考えられる偏寄成長も特に発生していない。

上木帯に隣接するヒノキの樹高成長は、隣接しないものと比較して7%程度の低下を示したが、収穫量に大きな影響を与えるほどの成長低下とは考えられなかった。

- (3) カラマツ林の施業において過去に二代目不成績造林地の問題が発生し、その主因は磷酸欠乏症、ナラタケ病、あるいは忌地現象などとされている(1)。しかしその原因はいまだ確定されず、対応策も十分に示されているとはいえない。またヒノキは高密度施業を行うと林床植生の喪失ならびに表層土壌の流亡を招きやすいことが知られている。

カラマツ-ヒノキ带状二段林では植栽地を交互に使用することでこうした危険性を回避できる可能性がある。また植栽樹種を他の針葉樹あるいは広葉樹に置き換えることも可能と考えられ、森林施業の多様化の上で重要な意味をもつと判断された。

4 二段林造成後の林床植生の変化

1) 調査目的

二段林施業は森林の多様化を一つの目標ともしているが、下木の成長に伴い林床照度が著しく低下し造林木以外の林床植生がきわめて乏しくなる場合が多く、これは特に下木がヒノキの

場合に著しいと観察される。このためここではカラマツ-ヒノキ二段林の造成による林床植生の変化について検討した。

2) 調査地と調査方法

調査地は諏訪市角間沢の諏訪市有林で、標高1,375m、山腹傾斜5～10°、傾斜方位W、土壌は適潤性黒色土である。なお調査林分は1979年に国庫補助メニュー研究「複層林における林内人工更新技術に関する研究（昭和54～56年）」の試験地として設定され、20年生カラマツ人工林0.60haに相対照度別試験区3種（RLI=40、30、20%）が設けられたものである(13)。

植生調査は設定した照度別試験区毎に、出現する植生をすべて記載することとし、調査時期は夏期とした。

3) 結果

1979～1981の調査結果(14)と、今回の調査結果を併せて表-14に示した。

1979年には林内相対照度を40%、30%、20%に変えて設定されたカラマツ20年生林分内に、約70種（木本類18種）の植物が存在していた。

その後10年間でRLIは11～15%に低下し、またヒノキの樹冠下ではRLI=5%以下となりこうした場所の林床ではヒカゲスゲが点在するのみになった。

しかし6年ほど前に一部のヒノキにナラタケ病が発生し点状枯損地が出現したため、これらのスポットには林内植生が萌芽更新などにより再生し現在約16種が生育していた。生育種のうちで主なものは、木本類はレンゲツツジ、サワフタギの2種、草本種はヒカゲスゲである。

表-14 カラマツ-ヒノキ二段林の10年経過に伴う林床植生の変化

調査年 林相対照度(%) 種名 優占状態	1979	1980	1989	1979	1980	1989	1979	1980	1989
	40 SDR	13 SDR	13 被度	30 SDR	11 SDR	11 被度	20 SDR	15 SDR	15 被度
1 ヒカゲスゲ	83	49	+	82	71	+	92	11	+
2 ススキ	65	100		54	54		53	16	+
3 ハシバミ	56	6		18			56	35	
4 アブラススキ	49	35	+	31	47		16		
5 キツネガヤ	35	28		21	7		15		
6 キスゲ	34	23		28	46		43	25	
7 スズラン	32	36	+	18	20		22	26	
8 レンゲツツジ	30	12	2	40	24	2	36	16	3
9 サワフタギ	25	51	3	28	67	3	27	55	1
10 ツリガネニンジン	15								
11 ヒョウタンボク	13	9		22	58		54	50	
12 ウラボシ	12			9			31		
13 サルマメ	11	25		15	23	+	27	23	
14 クリ	10								
15 ヤマウルシ	9						7		
16 カスミザクラ	7		1	9		2	13		2
17 スミレ	7		10	6		8	7	19	
18 タチツボスミレ	6	25	+	8	12	+	19	14	
19 アキノキリンソウ	6		+				1		+
20 キハダ	6								
21 コスミレ	4			6			9		
22 シンウド	4								
23 ミズナラ	4	2		24			4		
24 ミヤマニガイチゴ	4	21	+		27				
25 ミツバツチグリ	4			7					
26 シハイスミレ	4			3			2		
27 オオヤマフスマ	3	10		6	16		6	19	+
28 ツルリンドウ	3								
29 マユミ	3			3			1		
30 ミヤマウグイスカヅラ	2								+
31 イタドリ	2	3	+	4			7		
32 ミヤマスミレ	2	17		13				5	
33 アオイスミレ	2								
34 ツルウメモドキ		11	+	20	35		10	20	
35 ヨモギ		29	+	18	39		32		
36 オカトラノオ		14	+	16	+				
37 カリヤス				16					
38 ノコギリソウ				16					
39 ノイバラ				14			9		
40 ノアザミ				13					
41 ツノハシバミ				12					
42 ノコンギク				12			7		
43 リンドウ				9					
44 クサボケ				9			2		
45 ナンブアザミ				7			19		
46 コオノリナ				5					
47 ヤエムグラ				5					
48 ニガナ		31		5	6				+
49 コメガヤ				5					
50 オトギリソウ		21		3	9			7	
51 イスタデ				2			2		
52 ヒカゲノカズラ				2		1			
53 ヒカゲスミレ				2					
54 コナスビ				2					
55 ヤブハギ				2					
56 モリアザミ				2					
57 チゴユリ				1			25		3
58 ノハナショウブ							22		
59 ベニバナイチヤクソウ							18		
60 ツバメオモト							14		
61 ウド							12		
62 ヨツバヒヨドリ		17					11	13	
63 カシワ							7		
64 ヤマトウバナ							7		
65 ダンコウバイ		10			8		6	19	
66 ヒトリシズカ							4		
67 クマヤナギ							4		
68 ミヤマザクラ							4		
69 ヤマドコロ							4		
70 ヤブマメ							2		
71 ニワトコ							2		
72 シラカンバ		4							
73 キジムシロ		3			6				
74 ミズナラ		2							+
75 ワレモコウ		2			15				
76 ヒノキ			2						
77 ヘビノネゴザ									+

注) 1 SDR: (平均群落高比数+被度比数) / 2
 2 調査地: 諏訪市角間沢 (カラマツ=30年生、ヒノキ=10年生)

引用文献

- (1) 浅田節夫：カラマツ造林学、農林出版、昭和56年
- (2) 安藤 貴：複層林施業の要点（わかりやすい林業解説シリーズ79）、林業科学技術振興所、昭和60年
- (3) 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、昭和54年
- (4) 片倉正行：諏訪地区の高海拔地でのヒノキ林の成長、長野県林指業務報告、昭和54年
- (5) 河原輝彦：複層林誘導のための林内照度のコントロール、森林立地XXX(1)、1988
- (6) “ ”：複層林を仕立てるための林内照度の管理、林業技術NO.584、1990. 11.
- (7) 小山浩正ら：複層型林分の更新と保育技術、北海道林試年報、平成5年度（1993）
- (8) 四手井綱英：アカマツ林造成の基礎、地球出版、1963
- (9) 森林総合研究所：複層林の収穫予測手法の開発に関する研究、平成3年
- (10) 清藤城宏：山梨県林技セ事業報告、昭和63年
- (11) 外館聖八郎ら：アカマツ林における林分構造と林内相対照度、102回日林論、1991
- (12) 武井富喜雄：複層林施業における林内更新技術に関する研究、長野県林指業務報告、昭和56年
- (13) “ ”： “ ”、長野県林指業務報告、1983
- (14) “ ”：カラマツーヒノキ二段林内の林床植生の種と現存量の変化（未発表）、1981
- (15) 長野県林務部：複層林造成の手引、1989
- (16) “ ”：長野県民有林の現況、平成5年
- (17) “ ”：長野県民有林カラマツ人工林・長伐期施業の手引き、平成3年
- (18) “ ”：長野県民有林ヒノキ、アカマツ、人工林林分材積表・収穫予想表、昭和59年
- (19) 日本林業調査会：天然林施業と複層林施業——その考え方と実際——、日本林業調査会、昭和61年
- (20) 日本治山治水協会：水土保持のための複層林施業技術事例調査、日本治山治水協会、平成3年
- (21) 野々田三郎：間伐枝打ちによる林内照度調節、森林立地XXXIV(1)、1985
- (22) 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、平成元年
- (23) “ ”：複層林マニュアル 施業と経営、全国林業改良普及協会、平成4年
- (24) 林野庁：本州地域カラマツ林分密度管理図、昭和56年
- (25) “ ”：関東・中部地域アカマツ林分密度管理図、昭和58年