

カラマツ・ヒノキ二段林における ヒノキの成長モデル構築と検討

菅原 泉*・寺田 学**・河原輝彦**

(平成 14 年 5 月 31 日受付/平成 14 年 9 月 25 日受理)

要約：近年、長伐期林施業とともに複層林施業が重要視されている。しかし、複層林に関する情報が不足している。そのなかでも複層林の収穫予測については、上木・下木の生育条件、施業方法が一様でないことに加えてデータ不足から手探り状態にある。本研究では、カラマツ・ヒノキ二段林の成長予測をするために密度管理図、収量比数、相対照度、成長抑制率を取り入れた成長予測モデルを提案した。そのモデルによっていくつかのタイプのモデル林を想定して上木と樹下植栽木（下木）の成長を予測した。それらの推定された値の信頼度をみるために、東京都水源林で調査したカラマツ・ヒノキ二段林の実測値と比較した。その結果、推定値は実測値と大きな差はなく、提案したモデルは信頼でき、下木の成長過程を求めることに有効であることが示唆された。

キーワード：カラマツ・ヒノキ二段林、複層林、樹下植栽木、林内相対照度、成長予測モデル

はじめに

わが国における人工林の面積はスギ林、ヒノキ林、カラマツ林など 1,000 万ヘクタールあり、これらの人工林の中には伐期齢に達しているものもある。しかし、①現在の林分でも皆伐が可能であるが、再造林が困難なため見合わせたい、②環境保全など社会的・自然的要因、とくに水源かん養機能の重視により皆伐を見合わせたい、などの理由から伐期を延ばした長伐期林施業の導入とともに、強度の間伐を行って林内にヒノキ、スギ、トドマツなどの苗木を植える複層林施業も実施されている¹⁾。

このうちカラマツ人工林は、スギ林、ヒノキ林について大きな面積を占め、その面積は全国で約 3 万 1 千ヘクタール、その多くは北海道、岩手県、群馬県、山梨県、長野県に存在する。カラマツ人工林の多くは、40 年生前後の林分であり、これらの大部分のカラマツ林は伐期齢に達している。しかし、上記のような理由でカラマツ林を間伐し、その林内にヒノキを下木として植栽する二段林施業の導入が計画されている林分も多い。現在、造成されたカラマツ・ヒノキ二段林は約 1,600 ha ほどある。施業体系について一般的な手引き書はあるが²⁾、調査資料の不足などからその施業体系はまだ確立はされていない。そのもっとも大きな理由としては、上木の取り扱いの違いによって樹下植栽木がどのような成長経過をたどるのがはっきりしていないことが挙げられる。下木の成長予測についての研究報告はいくつかあるが^{3,4)}、理論的な解析が中心であり、簡単に下木の成長を予測することは困難である。複層林の導入を進

めるためには簡便に下木の成長予測ができるモデルを作る必要がある。

調査地および調査方法

1. 樹下植栽木の成長予測

カラマツ・ヒノキ二段林の施業体系を確立するための基礎資料を得るために、まず下木ヒノキの成長予測モデルを作成し、次いでそのモデルを利用して予測した値と現実林分の値との関係について、東京都水源林（山梨県落合管内）のカラマツ・ヒノキ二段林の基礎資料を基に比較検討した。

(1) 上木カラマツ林内の照度の変化

カラマツ林内に植栽されたヒノキの成長は、林内の明るさに大きく影響されるため、まず林内照度の違いによる成長量について検討した。

樹下植栽する前に間伐や枝打ちによって林内を明るくするが、それらの強度の違いによる林内照度の変化を把握する必要がある。すなわち、カラマツ林の林内照度の調節は、主として間伐で行うため、カラマツ林の密度管理によって林内照度を調節することになる。間伐による林内照度の推定には、林冠の閉鎖度と林内照度、材積間伐率と林内照度、収量比数 R_y と林内照度との関係などの方法がある^{5,6)}。幹の量の指標である R_y は、精度的には劣るところもあるが目標を示して解析するには優れているので、上木の成長予測には R_y と林内照度との関係を用いるのがよい。

長野県においてカラマツ林の間伐直後の林内照度と R_y とが調査されているので、この結果を用いて林内照度と

* 東京農業大学地域環境科学部奥多摩演習林

** 東京農業大学地域環境科学部森林総合科学科

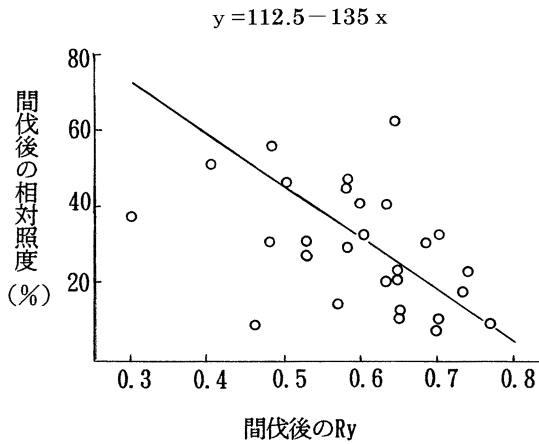


図1 間伐後のRyと相対照度

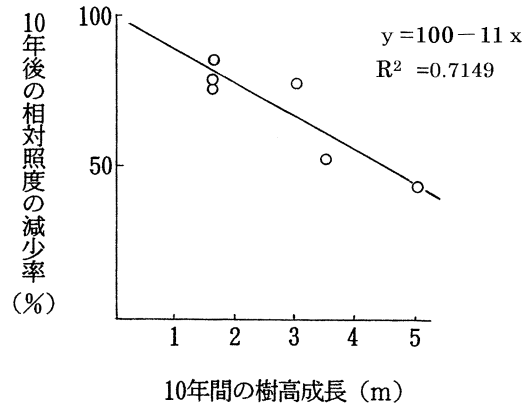


図2 10年間の樹高成長と相対照度の変化

Ry との関係を図示した (図1)。パラツキが大きいため、フリーハンドで両者の相関関係を導きだし、

$$I/I_0 = 112.5 - 135Ry \dots\dots\dots (I)$$

I/I₀: 林内相対照度 (%), Ry: 収量比数

の式で表すことができた。上記の関係式を用いると、間伐後のRyから林内照度が求められ、たとえば、Ry 0.4のときの相対照度は59%、Ry 0.5では45%となる。

しかし、残した上木の林冠は年々葉量を増加し、閉鎖が進むにつれて下木に供給される光の量は減少していく⁷⁾。林内相対照度の低下にともなって下木の成長も低下し、極端な光不足になると枯死する。したがって、下木の成長予測を行うためには間伐後の林内照度の減衰変化を知っておく必要がある。

そこで、カラマツ林を間伐し、ヒノキが樹下植栽されてから10年近く林内照度が測定されているいくつかのデータ^{8,9)}を用いて、林内照度の減少率と上木の平均樹高成長量から間伐10年後の林内照度を推定した。

両者の関係を図示すると図2のようになり、近似した一次式では、

$$y = 100 - 11x \dots\dots\dots (II)$$

y: 10年間の相対照度の減少率 (%)

x: 10年間のカラマツ林の平均樹高成長量 (m)

が得られ、この式を用いて樹高成長別に10年間の林内照度の減少率が求められる。上式で推定した相対照度と実測値とを比較した結果では、両者の間にそれほど大きな違いはみられなかった。

(2) 下木の成長予測

下木ヒノキの成長は林内照度に大きく影響され、その両者の関係には下記のような式が求められる¹⁰⁾。

$$1/H = 0.123/(I/I_0) + 1/114 \dots\dots\dots (III)$$

$$1/D = 0.219/(I/I_0) + 1/128 \dots\dots\dots (IV)$$

H: 相対樹高 (%); D: 相対直径 (%); I/I₀: 相対照度 (%)

すなわち、皆伐跡地の植栽木の成長抑制率として表された下木の樹高及び直径成長(相対樹高・直径)が、相対照度との関係から求められ、表1のようになった。

まず、間伐後から10年間の相対照度の変化を、収穫予想

表1 林内相対照度と下木の樹高、地際直径の成長割合

相対照度 (%)	スギ		ヒノキ	
	樹高 (%)	直径 (%)	樹高 (%)	直径 (%)
5	24	16	30	19
10	39	28	47	34
15	51	37	59	45
20	59	47	67	53
25	66	54	73	60
30	71	60	78	66
35	75	65	81	71
40	79	70	84	75
45	82	74	87	79
50	84	77	89	82
55	87	81	91	85
60	89	83	92	87
65	90	86	94	89
70	92	88	95	91

河原の式より計算 (長野県,1995, "森林資源予測表,,)

表から推定した10年間の樹高成長(図2)から求め、間伐直後と10年後の値から、その期間の平均相対照度を推定する。

樹下植栽された下木の樹高成長は、まず下木を皆伐地に植栽されたものとして、収穫予想表から林齢別に樹高を求め、各林齢の期間における皆伐跡地植栽木の成長率に求めようとする樹高の林齢以前の樹高を乗じ、さらに相対照度別の成長抑制率を乗じて、林齢ごとに積み上げていく。

すなわち、以下のように表される。

$$H_1 = h_1 \times r_1$$

$$H_2 = H_1 + (h_2 - h_1)/h_1 \times H_1 \times r_2$$

:

$$H_n = H_{n-t} + (h_n - h_{n-t})/h_{n-t} \times H_{n-t} \times r_n \dots\dots (V)$$

H_n: 下木植栽後N年目の下木の樹高; h_n: 皆伐跡地植栽木のN年目の樹高(収穫予想表から求めた樹高); r_n: N年から(n-t)年までのT年間の平均林内照度に対応した成長抑制率

下木の平均直径も同様の方法で求めることができる。

(3) 成長予測モデル

① 成長予測モデルの条件設定

図 3 上木と下木の成長予測をするための調査様式

上木のカラマツを間伐してヒノキを樹下植栽した二段林の成長を予測するにあたって、上木と下木に以下の前提条件を設けた。

—上木—

i) 樹下植栽する前のカラマツ林は $R_y 0.7$ で管理された林で、収穫予想表に沿って成長している。また、カラマツ林の R_y や材積を求めるための密度管理図や林分収穫予想表は信州地方のものを用いる。

ii) 間伐後の相対照度の経年変化を求めるために 10 年間のカラマツの樹高成長量を収穫予想表から求める。

iii) 再間伐による相対照度の調節は、間伐時の R_y より 0.1 以上大きくなったときに行う。

—下木—

i) 下木の植栽本数を 2,000 本/ha とし、林内照度に対応した下木の成長割合は (Ⅲ) 式と (Ⅳ) 式による。

ii) 下木の地位は上木の地位と同等の関係にある。

iii) 上木の再間伐による下木の被害率を下木本数の 10% とする。

iv) 下木の ha 当たりの材積は、平均樹高と平均胸高直径を用いて単木材積表から求めた単木材積に本数を乗じる。なお、立木の地際直径と胸高直径に違いは無いものとして扱う。

②上木・下木の成長予測するための調査様式

成長予測のために、上記の前提条件と (Ⅰ)～(Ⅳ) 式を組み込んだ計算プログラムを作成し、図 3 に示すような調査様式で表した。

この調査様式の使い方は、以下の通りである。

i) 二段林造成時のカラマツの本数密度と樹高を、地

位別に収穫予想表から読み取り、初期値を入力する。

ii) ヒノキ 0 年生時のヒノキの植栽本数 2,000 本/ha を入力する。

iii) 調査様式の下部にあるヒノキの地位を選択し、上木を何年生で皆伐するかを選択する。

入力の結果、設定時の上木の本数密度、直径、材積、 R_y 、林内相対照度及び下木の本数密度、樹高、直径、材積、 R_y が求められる。

iv) 上木の間伐率 (ここでは R_y) を入力する。 R_y の値は施業目標に応じてあらかじめ決めておく。

v) 以下同様に各林齢ごとに求める。

vi) 上木の R_y が前もって決めた値を 0.1 以上超えた場合、再間伐を行い設定時の R_y に戻す。以下、順次繰り返す。

vii) 下木ヒノキの R_y が 0.7 に近似した時点で間伐を行い、 R_y を 0.5 にする。

viii) 結果を Excel の csv 形式に保存する。

調査様式の作成には、Microsoft 社の VB5.0 を使用した。

(4) 実測調査場所と調査方法

調査対象とした東京都水源林 (山梨県落合管内) は、他の地域におけるカラマツ・ヒノキ二段林の造成方法とは多少異なっていた。すなわち、1,200 m 以上の高地にあるため、ヒノキ植栽木の寒害を防ぐためにカラマツを先行造林し、ある程度林冠の閉鎖した 5～10 年後にヒノキを樹下植栽した林分が全体の半分程度であった。今回の調査ではカラマツとヒノキの林齢差が大きな 14 林分を選んだが、上木と下木との林齢差は 20 年前後と小さなものとなった。

表 2 カラマツⅡ等地の 20 年生林分より Ry 0.3~0.4 で移行した密度管理と上木・下木の成長

林齢	カラマツ					照度 RI	ヒノキ				
	密度 本/ha	樹高 m	直径 cm	材積 m ³	収量比数 RY		林齢	密度 本/ha	樹高 m	直径 cm	材積 m ³
20	1300	12.2	14.2	139	0.7	18					
20	331	12.2	18.6	60	0.3	72	0	2000			
30	331	16.3	23.6	125	0.43	40	10	2000	3.9	4.3	6
30 間伐後	198	16.3	25.4	86	0.3	72	10	1800	3.9	4.3	6
40	198	19.3	29.3	134	0.37	48	20	1800	7.4	8.4	36
40	198	19.3	29.3	134	0.37	48	20	1800	7.4	8.4	36
50	198	21.5	31.8	175	0.43	37	30	1800	9.3	10.7	76
50 間伐後	121	21.5	34.2	123	0.3	72	30	1620	9.3	10.7	76
60	121	22.8	35.9	143	0.32	62	40	1620	11.1	13.1	121
60	121	22.8	35.9	143	0.32	62	40	1620	11.1	13.1	121
70	121	24	37.5	164	0.35	54	50	1620	12.6	15.3	188
70	121	24	37.5	164	0.35	54	50	1620	12.6	15.3	188
80	121	24.5	38.1	173	0.36	51	60	1620	14.0	17.4	268
80 皆伐後	—	—	—	—	—	100	60	700	14.0	19.4	197

表 3 カラマツⅡ等地の 20 年生林分より Ry 0.5~0.6 で移行した密度管理と上木・下木の成長

林齢	カラマツ					照度 RI	ヒノキ				
	密度 本/ha	樹高 m	直径 cm	材積 m ³	収量比数 RY		林齢	密度 本/ha	樹高 m	直径 cm	材積 m ³
20	1300	209	14.2	139	0.7	18					
20	695	12.2	16.5	99.5	0.5	45	0	2000			
30	695	16.3	20	190.5	0.66	24.7	10	2000	3.5	3.55	3.5
30 間伐後	415	16.3	22.6	144	0.5	45	10	1800			3.5
40	415	19.3	25.4	211.9	0.59	30.2	20	1800	6.27	6.41	18.2
40	308	19.3	27.1	178.6	0.5	45	20	1620			18.2
50	308	21.5	29.2	229.5	0.56	34.1	30	1620	7.9	8.19	33.7
50	308	21.5	29.2	229.5	0.56	34.1	30	1620			33.7
60	308	22.8	30.3	261.9	0.59	29.2	40	1620	9.15	9.54	53
60	308	22.8	30.3	261.9	0.59	29.2	40	1620			53
70	308	24	31.3	293.2	0.62	25.3	50	1620	10.19	10.72	74.5
70 間伐後	308	24	28.1	235.8	0.5	45	50	1458	10.19	10.72	74.5
80	308	24.5	31.7	306.7	0.63	42.5	60	1458	11.23	12.09	94
80 皆伐後	—	—	—	—	—	100	60	1458	11.23	12.09	94

調査対象林分内に 20 m×20 m の調査プロットを設定し、そのプロット内の全てのカラマツとヒノキについて樹高、胸高直径および枝下高を測定した。なお、下木のヒノキと同程度の樹高を有する広葉樹が生育している場合にも同様の測定を行った。

結 果

1. 長期二段林の成長モデル

カラマツの地位を「Ⅱ」、ヒノキの地位を「中」とし、カラマツの Ry を 0.3~0.4 の範囲内、あるいは 0.5~0.6 の範囲で管理し、80 年生で上木を皆伐するモデル林での上木と下木の成長を、上記の調査様式を使って予測した。ここではカラマツの林齢が 20 年生と 40 年生時から二段林を造成する場合の 4 例を示す。

i) カラマツ 20 年生から Ry 0.3~0.4 で管理した場合
上木と下木の成長過程を表 2 に示した。

—上木—

信州地方における 20 年生のカラマツ収穫予想表の地位「Ⅱ」から、上木は Ry 0.7 で本数密度 1,300 本/ha、平均樹高 12.2 m、平均胸高直径 14.2 cm、材積 139 m³/ha となる。この林分を Ry 0.3 に設定して間伐すれば、本数が 331 本/ha、林内相対照度 I/I₀ が 72% となる。30 年生では、Ry が 0.43 となり 0.4 を超えているために、Ry 0.3 に戻す間伐を

行う。40 年生では Ry 0.37 で 0.4 以下にあるので間伐はしない。50 年生では Ry 0.43 となるので、間伐を行う。60 年生以降は 0.4 を越えることがないので間伐は行わない。つまり 20 年生で Ry 0.3 の強度の間伐をし、その後、Ry が 0.3~0.4 の範囲にあるうちは、10 年間で単位として間伐を繰り返す。

上木の本数は 20 年生時の間伐後 331 本/ha で材積 60 m³/ha あった状態が 80 年生時には、121 本/ha で材積 173 m³/ha となる。

—下木—

材積は林齢が進むに伴って増加し 50 年を過ぎるとカラマツの材積よりも大きくなる。また、60 年生時では下木の Ry は 0.68 と高くなるので、これより伐期を延長するのであれば間伐をして Ry を 0.5 まで下げる。すなわち、本数 1,620 本/ha を 700 本/ha まで減らすことになる。

ii) カラマツ 20 年生から Ry 0.5~0.6 で管理した場合
上木と下木の成長経過を表 3 に示した。

—上木—

20 年生時に Ry 0.5 まで間伐すると、本数は 1,300 本/ha から 695 本/ha に、また、林内相対照度は 18% から 45% に増加する。30 年生になると Ry が 0.66 となるので間伐をして Ry を 0.5 まで戻す。その後 60 年生まで Ry は 0.6 を超えることはないが、70 年生では 0.62 になるので、再度

表 4 カラマツⅡ等地の40年生林分より Ry 0.3~0.4 で移行した密度管理と上木・下木の成長

林齢	カラマツ					照度 RI	林齢	ヒノキ				
	密度 本/ha	樹高 m	直径 cm	材積 m ³	収量比数 RY			密度 本/ha	樹高 m	直径 cm	材積 m ³	収量比数 RY
40	580	19.3	23.3	250	0.7	18						
40 間伐後	147	19.3	30.5	107	0.3	72	0	2000				
50	147	21.5	33.4	142	0.35	65.3	10	2000	4.1	4.5	6.6	
50	147	21.5	33.4	142	0.35	65.3	10	2000			6.6	
60	147	22.8	35	165	0.37	62.6	20	2000	7.7	9.0	48.8	
60 皆伐後	—	—	—	—	—	100	20	1400			48.8	
						100	30	1400	10.1	12.3	84	0.4
						100	30	1400			84	
						100	40	1400	12.1	15.3	156	0.52
						100	40	1400			156	
						100	50	1400	13.9	18.3	257	0.64
						100	50	1400	13.9	18.3	257	0.64
						100	60	1400	15.6	21.3	388	0.77
						100	60	572	15.6	25.3	222	0.5

表 5 カラマツⅡ等地の40年生林分より Ry 0.5~0.6 で移行した密度管理と上木・下木の成長

林齢	カラマツ					照度 RI	林齢	ヒノキ				
	密度 本/ha	樹高 m	直径 cm	材積 m ³	収量比数 RY			密度 本/ha	樹高 m	直径 cm	材積 m ³	収量比数 RY
40	580	19.3	23.3	250	0.7	18						
40 間伐後	308	19.3	27.1	179	0.5	45	0	2000				
50	308	21.5	29.2	230	0.56	36.9	10	2000	3.7	3.8	4.1	
50	308	21.5	29.2	230	0.56	36.9	10	2000			4.1	
60	308	22.8	30.3	262	0.59	32.9	20	2000	6.5	6.8	23.3	
60 皆伐後	—	—	—	—	—	100	20	1400			23.3	
						100	30	1400	8.5	9.3	40	0.29
						100	30	1400			40	
						100	40	1400	10.2	11.5	75	0.38
						100	40	1400			75	
						100	50	1400	11.7	13.8	123	0.47
						100	50	1400	11.7	13.8	123	0.47
						100	60	1400	13.1	16.1	186	0.56
						100	60	1400	13.1	16.1	186	0.56

間伐をして Ry を 0.5 まで戻す。80 年生時の材積は 306 m³/ha となる。

—下木—

下木の成長は抑えられ、60 年生でも材積は 94 m³/ha で Ry は 0.42 にとどまる。

iii) カラマツ 40 年生から Ry 0.3~0.4 で管理した場合
上木と下木の成長過程を表 4 に示す。

—上木—

信州地方における 40 年生のカラマツ林収穫予想表の地位「Ⅱ」から、上木は Ry 0.7 で本数密度 580 本/ha、平均樹高 19.3 m、平均胸高直径 23.3 cm、材積 250 m³/ha となる。これを Ry 0.3 まで下げる下層間伐をすると、本数密度 147 本/ha、平均胸高直径 30.5 cm、材積 107 m³/ha となる。その後、80 年生まで Ry が 0.4 を越えることはなく、再間伐の必要性はない。

—下木—

ヒノキ 60 年生時で、平均樹高 15.1 m、平均胸高直径 20 cm、材積 333 m³/ha となる。Ry が 0.7 を超えているために、収穫せずに伐期を延長するのであれば、間伐をして Ry を 0.5 まで下げる必要がある。

しかし、実際に事業として進められるカラマツ・ヒノキ

二段林は 40 年生時ころから Ry を調節する機会が多くなると予想される。

iv) カラマツ 40 年生から Ry 0.5~0.6 で管理した場合
上木と下木の成長過程を表 5 に示した。

—上木—

40 年生時に Ry 0.5 まで間伐すると、本数は 580 本/ha から 308 本/ha になり、林内相対照度も 18% から 45% に増加する。その後、70 年生時で Ry が 0.6 を超えるため、この時点で再度の間伐をして Ry を 0.5 まで戻す。80 年生の皆伐時では 248 m³/ha となり、収穫予想表の地位「Ⅱ」よりも大きい。

—下木—

ヒノキの成長は上木の影響を受け、上木を皆伐する 40 年生でもわずか 55 m³/ha にすぎない。その後の成長も良好ではなく、60 年生時では 96 m³/ha、Ry 0.39 と推定された。

2. カラマツ・ヒノキ二段林の実測調査

前述したモデルを用いて推定した下木の成長予測値と現実林分の下木の成長との整合性をみるためにカラマツ・ヒノキ二段林の調査を行った。調査した 14 林分の上木と下

表 6 東京都水源林落合管内のカラマツ・ヒノキ二段林

プロット	カラマツ								開空度 %	ヒノキ						総材積 m ³ /ha	林齢差 年
	樹齢	密度	樹高	枝下高	直径	材積	収量比数	樹齢		密度	樹高	胸高直径	材積	収量比数			
	年	本/ha	m	m	cm	m ³ /ha	Ry	年		本/ha	m	cm	m ³ /ha	Ry			
15-リ	26	267	15.0	4.9	22.6	88	0.34	20.8	19	1156	5.0	6.2	9.2	0.1	97	7	
19-ろ	26	167	17.5	7.1	27.9	92	0.28	37.1	19	722	9.5	15.2	58	0.32	150	7	
19-ね	26	333	13.6	8.1	23.5	80	0.34	36.1	26	806	10.1	14.7	73	0.36	153	0	
21-つ 上	28	200	16.1	3.4	25.8	83	0.3	26.1	10	1275	3.4	4.8	2.6	0.1	86	18	
21-つ 下	28	300	14.4	2.4	29.0	84	0.34	15.5	10	1200	2.9	4.3	-	0.1	84	18	
22-ろ 下	30	200	15.2	4.7	26.3	72	0.28	32.6	13	1000	4.3	6.8	7.0	0.1	79	17	
22-ろ 上	30	350	15.5	5.5	24.2	113	0.43	30.1	13	1025	4.3	7.2	6.5	0.1	120	17	
14-ろ 下	32	267	17.1	4.9	26.3	120	0.39	38.6	24	933	5.1	7.7	9.5	0.1	130	8	
14-ろ 上	32	250	15.9	5.3	23.5	99	0.34	48.9	24	1050	7.2	12.4	42	0.28	141	8	
23-へ	32	50	15.8	5.0	27.5	32	0.1	81.4	22	925	7.5	12.6	46	0.24	78	10	
15-ら	32	167	16.3	6.2	28.5	74	0.26	27.1	22	1000	6.8	11.0	35	0.22	109	10	
19-は	35	325	14.9	6.5	25.8	100	0.39	26.8	26	1000	6.5	10.7	35	0.19	135	9	
18-へ	86	311	17.4	13.9	34.3	135	0.44	41.3	81	756	12.7	20.4	185	0.49	320	5	
13-は	89	225	18.6	12.1	33.8	135	0.38	58.0	81	1100	14.6	20.3	264	0.69	399	8	
*18-りわ	55	288	23.0		26.0	171	0.57		55	507	14	20	125	0.4	296	0	
*34-ほ	55	544	22.0		23.0	240	0.75		55	855	15	21	223	0.6	463	0	
*20-に	55	217	22.0		27.0	134	0.46		55	555	13	19	103	0.4	237	0	
*20-へ	55	248	22.0		28.0	161	0.5		55	634	14	20	148	0.46	309	0	
*60-に	55	487	21.0		26.0	259	0.69		55	573	13	18	91	0.41	350	0	
*34-い	55	417	20.0		26.0	204	0.61		55	937	13	19	170	0.55	374	0	
*14-よ	55	249	20.0		26.0	153	0.45		55	380	15	20	87	0.37	240	0	
*40-へ	55	337	20.0		22.0	126	0.55		55	818	15	21	212	0.59	338	0	
*41-を	55	461	19.0		24.0	200	0.61		55	294	11	14	25	0.14	225	0	
*40-と	55	367	17.0		27.0	168	0.49		55	582	13	18	92	0.41	260	0	
*33-1	67	490	24.0		28.0	382	0.76		52	571	15	20	176	0.46	558	15	
*33-2	67	269	26.0		29.0	230	0.61		52	731	15	20	245	0.55	475	15	
*33-3	67	500	23.0		25.0	302	0.69		52	1000	14	17	228	0.61	530	15	
*33-4	67	115	29.0		43.0	215	0.42		52	846	19	28	428	0.74	643	15	

* 日本林業技術協会, 1982, "複層林の施業技術,"

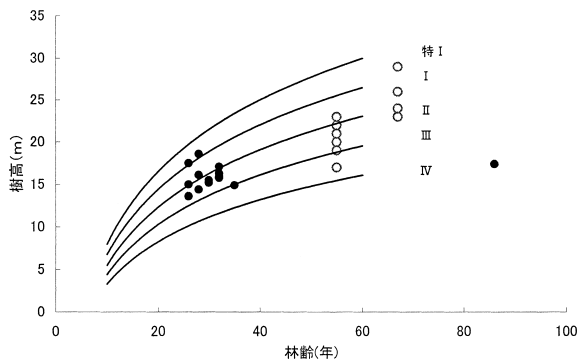


図 4 カラマツの林齢と樹高
○資料値 (引用文献 11)
●実測値

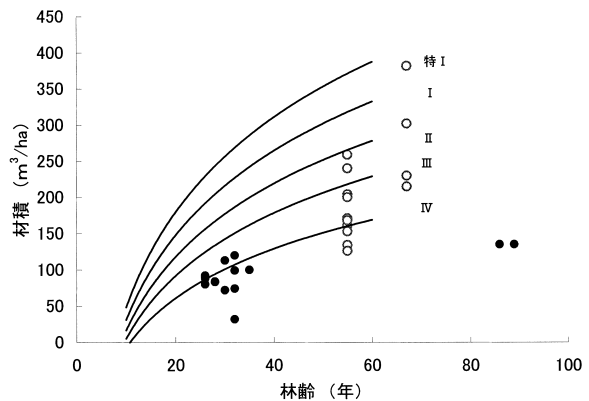


図 5 カラマツの林齢と材積
○資料値 (引用文献 11)
●実測値

木の本数密度, 平均樹高, 平均枝下高, 平均胸高直径, 収量比数, 閉鎖度などを表 6 に示した。

なお, 解析するにあたって既存の資料も加えている¹¹⁾。

(1) 上木カラマツとヒノキの成長

1) 上木カラマツの成長

① 本数密度: 今回調査した林分の林齢は 2 林分 (プロット 18-へ の 86 年生とプロット 13-は の 89 年生) を除き 30 年前後と比較的若い二段林であったが, それらの本数密度は 200~350 本/ha と小さかった。特にプロット 23-へ では 50 本/ha と小さかった。このように全体的に上木の本数が少なく, 収量比数 Ry でみると 0.3~0.45 と小さかった。これはカラマツを強度に間伐し林内を明るくして下木ヒノキの成長を優先させると同時に, カラマツ

の直径成長を促進させるためであろう。

② 平均樹高: 各プロットの平均樹高を信州地方におけるカラマツ収穫予想表の樹高成長とともに図 4 に示した。30 年前後で約 16m となることから, 水源林のカラマツ林の地位はおよそ「II」と判定される。なお, 樹高が著しく低い高齢林分は, 急斜面の尾根筋に位置していた。今回のデータに比べて, 表 6 に示した引用データでは低い地位 (地位 II と III の間) を示す林分や高い林分 (地位 I と II の間) が多かった。

③ 平均胸高直径: 林齢との関係を見ると, 収穫予想表の地位「特 I」よりも大きな値を示す林分が多かった。これは本数密度が収穫予想表 (地位 II の 30 年生林分で約

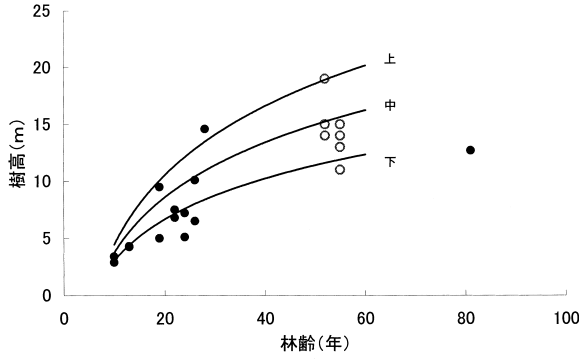


図 6-1 ヒノキの林齢と樹高
○資料値 (引用文献 11)
●実測値

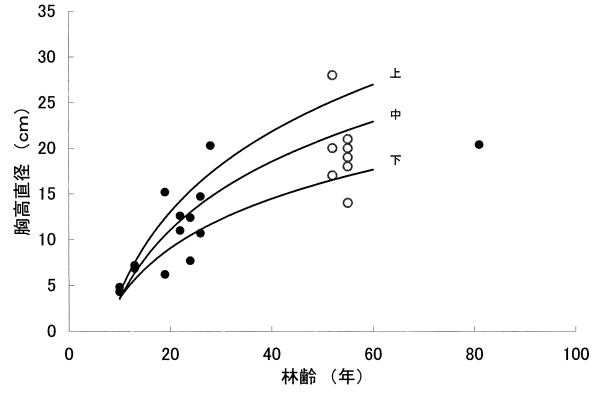


図 6-2 ヒノキの林齢と胸高直径
○資料値 (引用文献 11)
●実測値

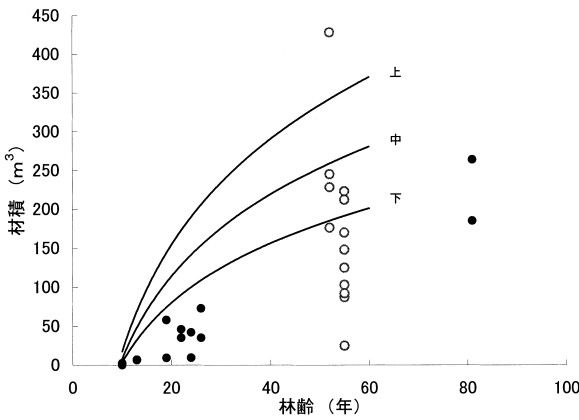


図 7 ヒノキの林齢と材積
○資料値 (引用文献 11)
●実測値

1,000 本/ha) に比べて極端に小さいために、直径成長が促進されたためと考えられる。

④ 材積：林齢との関係を、収穫予想表の地位「Ⅱ」の値と併せて図 5 に示した。今回の調査結果では、いずれの林分も収穫予想表より下方にあり、75~130 m³/ha の範囲に値を示した。これは林内照度を確保するために本数密度が収穫予想表の本数の 1/3~1/4 であったことに起因する。すなわち、ヒノキの良好な成長を維持するためにカラマツの材積を過分に落としたことにある。

2) 下木ヒノキ

① 平均樹高：林齢との関係を、関東地方のヒノキ林収穫予想表の値とともに図 6-1 に示した。水源林のヒノキの樹高は収穫予想表の「下」の線よりも下方に位置するものが多かった。これは上木のカラマツの影響を受けているためである。したがって、下木ヒノキの地位は、収穫表から決めることは難しい。しかし、この地域で測定された既存のヒノキ林のデータから推定すると、水源林でのヒノキの地位はおよそ「中」の範囲を示す。

② 平均胸高直径：図 6-2 に示した平均胸高直径は、上木があるにもかかわらず収穫予想表の地位「中」の値を示

すものが多かった。これは上木の本数密度が小さい上に、下木ヒノキの密度が 1,000 本/ha 以下の林分も含まれていたためと考えられる。

③ 材積：関東地域のヒノキ収穫予想表の地位「中」と調査した林分との関係を見ると図 7 のようになり、いずれの林分も地位「中」より小さく、収穫予想表の半分程度の林分が多かった。これはカラマツの樹下にあり被圧されていたためであり、また初期の植栽本数が少なかったためである。下木の植栽本数は、木材生産を目的とした複層林施業の視点からすると、初期植栽時にカラマツを 2,000 本、下木のヒノキを 3,000 本とした混植にし、除伐時にカラマツを強度に本数低下させる施業が望ましい。

考 察

山梨県落合管内の調査林分は、ほぼ Ry 0.3~0.4 の範囲で管理された林分が多く、上木と下木との林齢差は 0~20 年となっていた。そこで、20 年生のカラマツ林を間伐してヒノキを樹下植栽し、Ry を 0.3~0.4 で管理したモデル林(表 2) と調査林分とを比較した。

1. 上木カラマツの材積

カラマツ 20 年生林分から Ry 0.3~0.4 で移行していく場合について作成したモデル林と調査林分のカラマツの林齢と材積との関係を図 8 に示した。

30 年生前後では、予測値よりも下方にあり、55 年生では Ry 0.4~0.5 を挟み多く分布していた。67 年生では、予測値よりも上方にあり、上木の Ry が 0.5 以上あったことも影響していると思われる。また、87 年生では予測値よりもやや下方にあったが、これは間伐が行われていることを示唆しており、上木の材積はほぼ予測値と一致した。なお、既存のデータではバラツキが大きく予測値と大きな差がみられたが、その理由については分からなかった。

2. 下木ヒノキの平均樹高と平均胸高直径

モデル林分と調査林分の林齢と樹高との関係を図 9 に示した。20 年生前後の平均樹高は予測値を挟むように分散し

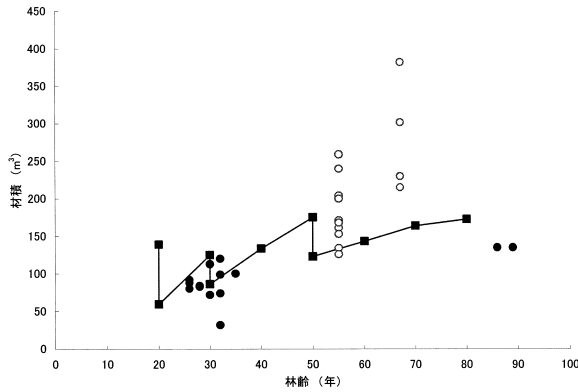


図 8 カラマツⅡ等地の 20 年生林分より $R_y 0.3 \sim 0.4$ で移行したモデル林と調査林分のカラマツ材積
○ 資料値 (引用文献 11)
● 実測値
■ 予測値

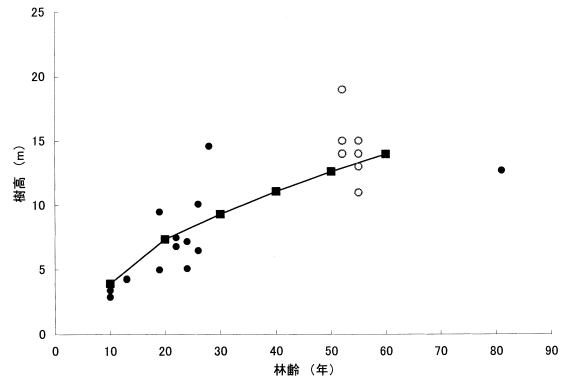


図 9 カラマツⅡ等地の 20 年生林分より $R_y 0.3 \sim 0.4$ で移行したモデル林と調査林分のヒノキの樹高
○ 資料値 (引用文献 11)
● 実測値
■ 予測値

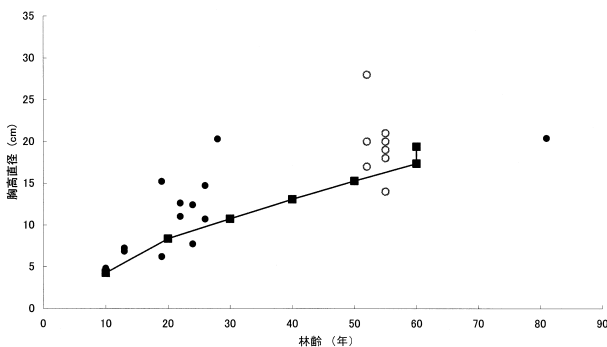


図 10 カラマツⅡ等地の 20 年生林分より $R_y 0.3 \sim 0.4$ で移行したモデル林と調査林分のヒノキの胸高直径
○ 資料値 (引用文献 11)
● 実測値
■ 予測値

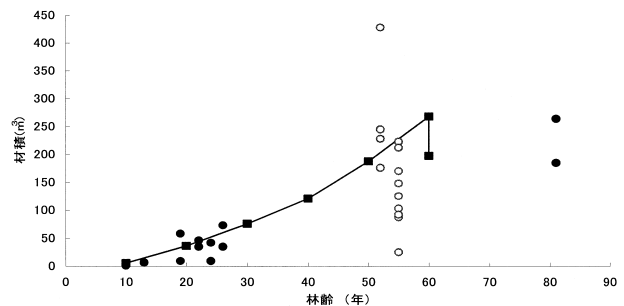


図 11 カラマツⅡ等地の 20 年生林分より $R_y 0.3 \sim 0.4$ で移行したモデル林と調査林分のヒノキの材積
○ 資料値 (引用文献 11)
● 実測値
■ 予測値

た。また、55 年生前後では上木が $R_y 0.4$ 以上と高いにもかかわらず、 $R_y 0.3 \sim 0.4$ で管理されている場合に近い値を示した。しかし、調査林分の実測値は、全体的にほぼ予測値と一致しているものとする。一方、胸高直径については (図 10) 予測値よりも調査林分の方で大きな値を示すものが多かった。これはヒノキの本数が少ない事に起因しているものとする。

3. 下木の材積

20 年生前後の材積はほぼ予測値と大きな違いはなかった (図 11)。しかし、55 年生前後では大きな違いがみられ、 $R_y 0.3 \sim 0.4$ で管理された場合の予測値を挟み大きく分散した。これはモデル林分の下木の本数密度が 60 年生で 1,400 本/ha であったのに対し、調査林分では 1,000 本/ha と少ない林分が多かったために下木の材積が小さくなったものと思われる。

おわりに

本論文で示した成長予測モデルには多くの前提条件を付

けているが、上木及び下木の成長量を推定する場合に、この成長予測モデルを使うことは有効であることが明らかとなった。しかし、今後は下記の問題点などを解明する必要がある。

(1) 上木と下木の地位：上木と下木の地位の関係が明確ではないので、下木の成長を予測する場合は、地位が大きく影響してくるので、今後は上木と下木の地位を何らかの方法で明示する必要がある。

(2) 下木の成長予測：下木の成長を予測する場合、収穫予測表の皆伐跡地に植栽されたものを基準にした成長率で推定している。樹高では予測値と実測値において大差がなく、それほど問題にはならない。しかし、直径では $R_y 0.7$ で管理された収穫予想表を使うため、予測値が実測値より小さくなる恐れが多分にあるので、今後検討する重要項目のひとつである。

引用文献

- 1) 林野庁, 1997. “複層林の造成管理技術の開発”, (大プロ研究成果), 156.
- 2) 長野県, 1989. “複層林造成の手引き”, 40.

- 3) 龍原 哲, 1996. “人工林複層林の成長に関する理論的研究, スギ二段林の成長モデル”. 東大農演報, 94, 49-113.
- 4) 森林総研, 1991. “複層林の収穫予測手法の開発に関する研究”. (平成2年度技発報告書), 129-204.
- 5) 河原輝彦, 1990. “複層林を仕立てるための林内照度の管理”. 林業技術, 584, 17-20.
- 6) 長野県, 1995. “カラマツ・ヒノキ複層林資源予測表”. 55.
- 7) 河原輝彦, 1988. “複層林誘導のための林内照度のコントロール”, 森林立地, 30 (1), 10-13.
- 8) 清瀬城宏, 1987. “非皆伐施業に適応条件に関する研究”. 山梨県林業技術センター業務報告 (61年度), 15-21.
- 9) 片倉正幸, 1992. “カラマツ人工林に林内相対照度”. 日林中支論, 83-84.
- 10) 河原輝彦, 1983. “人工被陰の植栽木と樹下植栽木の成長比較”. 林試研報, 323, 133-134.
- 11) 日本林業技術協会, 1982. “複層林の施業技術”. 163.

The Growth Model in *Larix leptolepis-Chamaecyparis obtusa* multiple-layered stand

By

Izumi SUGAWARA*, Manabu TERADA** and Teruhiko KAWAHARA**

(Received May 31, 2002/Accepted September 25, 2002)

Summary : It is difficult to predict the yield of multiple-layered stands, because there are differences in the growth process between under-storied trees and over-storied trees. The purpose of this study is to clarify the amount of growth in *Larix leptolepis-Chamaecyparis obtusa* multiple-layered stand by the simulation of growth prediction model. The simulation models were made under the control of four elements; the yield-density diagram, yield index, relative illumination and the rate of growth. The actual growth was measured in the water conservation forests of Tokyo Metropolis. Approximately, the growth prediction model agreed with result of the actual stands. Therefore, the model was considered to be effective for estimating the growth of under-storied trees with multiple-layered stands.

Key Words : *Larix leptolepis-Chamaecyparis obtusa* multiple layered stand, under-storied trees, relative illumination, growth prediction model

* Okutama experimental Forest, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

** Department of Forest Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture