

ヒノキ高齡林の間伐に関する研究*1

—間伐後の林分構造の変化—

河原雄一郎*2 · 下元経寛*3 · 吉田茂二郎*4 · 村上拓彦*4

河原雄一郎・下元経寛・吉田茂二郎・村上拓彦：ヒノキ高齡林の間伐に関する研究 九州森林研究 57：306-310, 2004 これまでの間伐に関する研究は、ほとんど若・壮齡林に限られていたため、高齡林における育林プロセスが確立されていない。そこで、本研究では、ヒノキ高齡林における育林プロセスの指針を示す基礎資料の収集を目的とした。対象地は、九州大学福岡演習林内において1998年に設定されたヒノキ高齡林間伐試験地である。間伐は相対幹距比を用いて、弱度、中度および強度をそれぞれ17.5%、20.2%、24.7%として1998年に実施された。1998年と2003年の測定結果をもとに樹冠を含む林分構造の変化について分析を行った。その結果、定期断面積成長率の平均値について無間伐区と中度間伐区との間以外のすべてに有意差が認められた。また、樹冠直径については無間伐区以外のすべての処理区において1998年と2003年との間で有意差は認められなかった。

キーワード：ヒノキ高齡林，間伐，相対幹距比

Kawahara, Y., Shimomoto, M., Yoshida, S. and Murakami, T.: Studies on thinning in old *Chamaecyparis obtusa* plantation forest Kyushu J. For. Res. 57 : 306-310, 2004 Previous studies on thinning were rarely conducted in old plantation forest. Therefore, silvicultural process in such forest has never been established. The primary objective of the present study was to research to suggest the process. This study was carried out in the old *Chamaecyparis obtusa* plantation forest in Kyushu university forest, Fukuoka pref., Japan. The thinning intensity was decided by relative spacing. In 1998, the four thinning intensities, that is control (unthinned), weak (17.5%), medium (20.2%) and heavy (24.7%), were conducted in the experimental plot. The stand structure including crown shape measured in 1998 and 2003 were analyzed. As a result, significant differences in the mean percentage of basal area increment due to the effect of thinning between control and medium were not observed. Significant differences in the crown diameter between 1998 and 2003 were not observed in weak, medium and heavy.

Key words : old *Chamaecyparis obtusa* stand, thinning, relative spacing

I. はじめに

近年、労働力の省力化、優良大径木の生産ならびに水土保持機能を高める上で、長伐期施業への注目が高まりつつある。このような状況から、九州大学福岡演習林（以下、福岡演習林）では150年伐期が採用されている。しかし、現在高齡林に関する資料が不足しているため、その目標林分および育林プロセス（今田，1998）は確立されていない。

1998年に、育林プロセスの指針を示す基礎資料の収集を目的として、福岡演習林内にヒノキ高齡林の間伐試験地が設定された。間伐から5年後にあたる2003年の測定結果をもとに、ヒノキ高齡林の間伐後の林分構造の変化について報告する。

II. 対象地

対象地は、福岡演習林19林班ろ小班と19林班に小班である。2003年時点での林齢は、それぞれ91年、89年である。1998年に、

19林班ろ小班内に3つ（0.09ha, 0.14ha, 0.14ha）および19林班に小班内に1つ（0.102ha）の方形区の間伐試験地が設定された。以下、それぞれを無間伐区、弱度間伐区、中度間伐区および強度間伐区と記す。

III. 資料と方法

1. 調査方法

調査はこれまでに2回行い、1回目は設定時の1998年に、2回目は設定後5年後の2003年である。

1998年の調査では、胸高直径については直径テープを用いて0.1cm括約で全生立木（広葉樹については胸高直径が20cm以上）を測定し、ヒノキの樹高と枝下高についてはブルーメリス測高器を用いて0.1m括約で胸高直径階ごとに2本ずつ測定した。広葉樹の樹高と枝下高については19林班ろ小班内でおおよそ10本測定した。樹冠直径は、樹高と枝下高を測定したものについてレラスコープを用いて0.1m括約で測定した。

*1 Kawahara, Y., Shimomoto, M., Yoshida, S. and Murakami, T.: Studies on thinning in old *Chamaecyparis obtusa* plantation forest 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Biores. Bioenvir. Sci., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

*2 徳島県庁 Dep. Agric., For. Fishery Tokushima Pref., Tokushima 770-8570

*4 九州大学大学院農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

2003年の調査では、胸高直径については1998年と同様に全生立木について測定し、樹高については全生立木についてVertexを用いて0.1m活約で測定した。枝下高と樹冠直径については、1998年に測定されたものについて測定した。

2. 間伐方法

本試験地の間伐強度は、試験地設定当初に相対幹距比によって決定された。相対幹距比 (Sr) は次式によって表される (西澤, 1972)

$$Sr = \frac{S}{h_i} \times 100 \quad (1) \quad S = \frac{100}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

Sr : 相対幹距比 (%)

S : 平均樹幹距離 (m)

N : haあたり立木本数

h_i : 上層木平均樹高 (m)

間伐は相対幹距比を用いて、弱度、中度および強度をそれぞれ17.5%, 20.2%, 24.7%として1998年に実施された。間伐処理区ごとの林分構造の推移を表-1, 2に示す。なお、1998年における樹高については、樹高測定木にネズルンド式の樹高曲線をあてはめて樹高未測定木の樹高を推定した。上層木平均樹高については、強度間伐区と無間伐区を9つのブロックに、中度間伐区と弱度間伐区を12のブロックにそれぞれ均等に分割し、各ブロックにおいて最も樹高の高いものを上層木とし、平均化した。

3. 成長曲線

樹幹解析とリチャーズ成長関数によって、間伐後における各処理区のヒノキ平均樹高とヒノキ上層木平均樹高を予測した。

$$h_t = A \left\{ 1 - b \exp(-kt) \right\} \frac{1}{1-m}$$

h_t : 樹齢 t における樹高 (m)

A : 平均樹高の最終到達量のパラメータ (m)

b : 樹高の初期値に関するパラメータ

k : 成長速度のパラメータ

m : 成長曲線の型のパラメータ

t : 樹齢 (年)

b については $b = 1$, k , m については1998年の樹幹解析結果に基づいて、 $k = 0.0298$, $m = 0.3049$ とし、 A については1998年時の各処理区における林齢とヒノキ平均樹高を代入してそれぞれ求めた。予測したヒノキ平均樹高およびヒノキ上層木平均樹高と2003年におけるヒノキ平均樹高およびヒノキ上層木平均樹高との間でそれぞれ t 検定を行った。

4. 林冠表面積の推定

樹冠表面積は、パラボラ樹冠形モデル (竹下, 1985) を用いて求めた。ヒノキの樹冠形状はパラボラ状に近似できる (林ら, 1997) ことから、梢端を原点とする梢端からの長さ (樹冠長) を Cl (m), 樹冠半径を Cr (m) とすると、ヒノキの樹冠形状は式 (3) によって示される。

$$Cr = a \sqrt{Cl} \quad (3)$$

Cr : 樹冠半径 (m)

Cl : 樹冠長 (m)

a : 樹冠拡張係数

表-1. 林分構造の推移 1

	立木本数 (本/ha)											
	ヒノキ			広葉樹			スギ			全立木		
	1998 間伐前	1998 間伐後	2003	1998 間伐前	1998 間伐後	2003	1998 間伐前	1998 間伐後	2003	1998 間伐前	1998 間伐後	2003
無間伐	756	756	733	0	0	0	0	0	0	756	755	733
弱度区	907	671	650	329	193	193	71	43	43	1307	907	856
中度区	664	450	450	136	50	43	0	0	0	800	500	493
強度区	971	412	412	29	0	0	0	0	0	1000	412	412

	胸高直径 (cm)											
	ヒノキ			広葉樹			スギ			全立木		
	1998 間伐前	1998 間伐後	2003	1998 間伐前	1998 間伐後	2003	1998 間伐前	1998 間伐後	2003	1998 間伐前	1998 間伐後	2003
無間伐	34.9	34.9	35.9	0	0	0	0	0	0	34.9	34.9	35.9
弱度区	25.4	27.2	28.6	26.9	28.1	30.1	20.6	22.9	23.8	25.5	27.2	28.7
中度区	34.4	35.9	37.1	29.3	30.4	33.8	0	0	0	33.5	35.4	36.8
強度区	28.2	30.9	32.9	32.4	0	0	0	0	0	28.3	30.9	32.9

面積 (ha)	ヒノキ樹高 (m)			上層木樹高 (m)			相対幹距比 (%)			林冠表面積 (m ² /ha)		
	1998 間伐前	1998 間伐後	2003	1998	2003	1998	1998	2003	1998	1998	2003	
	間伐前	間伐後				間伐前	間伐後		間伐前	間伐後		
無間伐	0.090	20.8	20.8	21.9	21.9	22.9	16.6	16.6	16.2	25116.8	25116.8	23950.6
弱度区	0.140	16.8	17.3	17.7	19.0	20.0	14.6	17.5	16.8	26884.8	21510.8	22162.9
中度区	0.140	21.5	21.6	21.9	22.2	23.1	16.0	20.2	19.5	24322.7	16400.4	19185.2
強度区	0.102	18.9	19.6	20.3	20.0	20.5	15.8	24.7	24.0	24827.3	12041.7	13115.5

表-2. 林分構造の推移 2

	平均樹冠長*1(m)		樹冠直径*2(m)		樹冠拡張係数*2	
	1998	2003	1998*3	2003	1998*3	2003
無間伐	4.19	4.57	3.40	3.03	0.84	0.71
弱度区	3.07	3.72	2.61	2.95	0.77	0.76
中度区	4.61	4.73	3.72	3.83	0.88	0.87
強度区	3.44	4.20	3.40	3.18	0.92	0.78

*1ヒノキ樹冠測定木の樹高と樹冠長の比により求めた

*2ヒノキ樹冠測定木の平均値

*3間伐木のデータを含む

測定した樹冠長と樹冠半径を式(3)に代入して、測定木ごとに樹冠拡張係数を求めた。求めた樹冠拡張係数を用いて樹冠表面積Csを式(4)により求めた。広葉樹についても樹冠形がパラボラ状と仮定した。

$$C_s = 2 \pi \int_0^a a \sqrt{x} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$= \frac{4}{3} \pi a \left\{ \left(Cl + \frac{a^2}{4} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{a^2}{4} \right)^{\frac{3}{2}} \right\} \quad (4)$$

式(4)により求めた樹冠表面積と胸高直径を処理区ごとのヒノキ樹冠測定木と広葉樹樹冠測定木のそれぞれについて直線で回帰した。スギについてはヒノキの関係式を利用した。処理区ごとのスギとヒノキを合わせた針葉樹平均胸高直径と広葉樹平均胸高直径をそれぞれ回帰して求めた関係式に代入して平均樹冠表面積をそれぞれ求めた。求めた平均樹冠表面積を式(5)に代入して処理区ごとの林冠表面積を求めた。

$$\Sigma C_s = N \overline{C_s} \quad (5)$$

ΣC_s : 林冠表面積 (m²/ha)

$\overline{C_s}$: 平均樹冠表面積 (m²)

N: haあたり立木本数

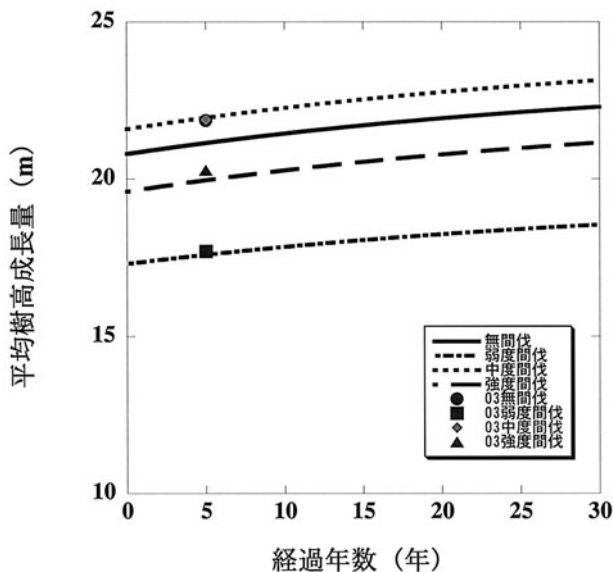


図-1. ヒノキ平均樹高成長量の予測と2003年のヒノキ平均樹高

表-3. 定期断面積成長率の平均値の多重比較

処理区	平均値の差	標準誤差	p 値	
				(I)
無間伐	弱度区**	-3.59	0.901	<0.001
	中度区	-1.28	0.982	0.193
	強度区**	-8.21	1.100	<0.001
弱度区	中度区*	2.30	0.913	0.012
	強度区**	-4.63	1.040	<0.001
中度区	強度区**	-6.93	1.110	<0.001

平均値の差は、*危険率5%で有意、**危険率1%で有意

5. 林冠閉鎖時の林冠表面積予測

1998年の測定結果をもとに、林冠閉鎖年数と林冠閉鎖時の林冠表面積を予測した。予測においては、間伐後の樹冠拡張係数が一定であると仮定した。また、間伐後、残存木の樹冠直径の平均値が平均樹幹距離に達する(式(6))と林冠が閉鎖すると仮定した。この仮定に従うと無間伐区では林冠が閉鎖していないことになるので、これを補正するために、平均樹冠直径と平均樹幹距離の比(以下、樹冠閉鎖率)を式(7)より求めた。以下、弱度、中度および強度間伐区について、求めた樹冠閉鎖率を用いて林冠閉鎖時までの樹高成長量を式(8)によりそれぞれ求めた。求めた樹高成長量を用いて、林冠閉鎖までに要する年数を式(9)から、林冠閉鎖時の平均樹冠表面積を式(10)からそれぞれ求めた。式(5)より、林冠閉鎖時の林冠表面積を求めた。

$$2Cr = S \quad (6)$$

$$\beta = \frac{2Cr}{S} \quad (7) \quad \beta: \text{樹冠閉鎖率}$$

$$\Delta h_i = \left(\frac{BS}{2a} \right)^2 - Cl \quad (8)$$

$$\Delta t = -\frac{1}{k} \ln \left\{ 1 - \left(\frac{h_i + \Delta h_i}{A} \right)^{1-m} \right\} - t \quad (9)$$

$$C_s + \Delta C_s = \frac{4}{3} \pi a \left\{ \left(Cl + \Delta h_i + \frac{a^2}{4} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{a^2}{4} \right)^{\frac{3}{2}} \right\} \quad (10)$$

Δh_i : 林冠閉鎖時までの樹高成長量 (m)

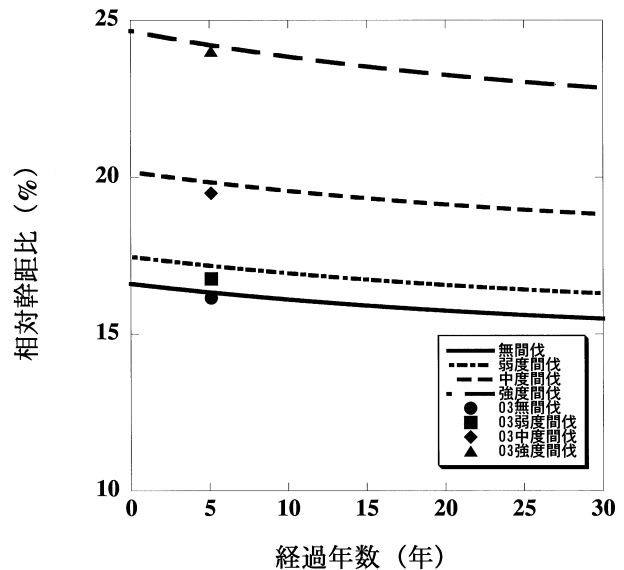


図-2. 相对幹距比の予測と2003年の相对幹距比

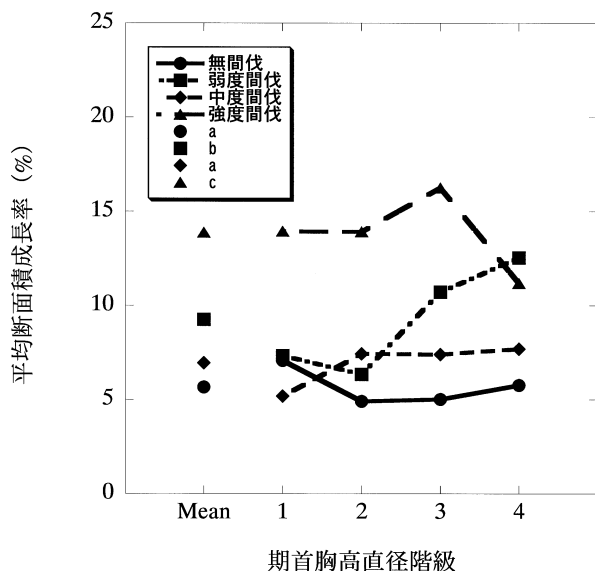


図-3. 定期断面積成長率の平均値

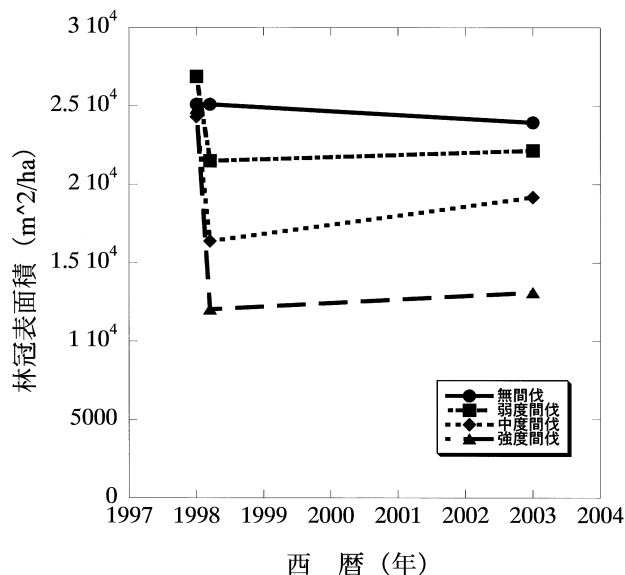


図-4. 相林冠表面積の推移

Δt : 林冠閉鎖時までの年数 (年)

ΔCs : 林冠閉鎖時までの平均樹冠表面積増加量 (m^2)

6. 解析方法

間伐による影響を評価するために、定期断面積成長率の平均値を処理区の間で比較した。なお、平均値の差の検定には、最小有意差法による多重比較を用いた。

IV. 結果と考察

1. 樹高成長と相対幹距比の推移

樹幹解析とリチャーズ成長関数から予測したヒノキ平均樹高と2003年におけるヒノキ平均樹高を図-1に示す。予測したヒノキ平均樹高が、2003年の実測値より t 分布を用いて求めた平均値に収まるかどうかを検定した。その結果、無間伐区以外はすべてに危険率5%で有意差は認められなかった(無間伐区: $p = 0.001$, 弱度間伐区: $p = 0.632$, 中度間伐区: $p = 0.839$, 強度間伐区: $p = 0.251$)。このことより、無間伐区以外ではヒノキ平均樹高が予測できる可能性が示唆された。無間伐区における樹高成長量は、間伐後5年間の平均で1.1mであった。

同様に予測したヒノキ上層木平均樹高を用いて求めた相対幹距比の予測と2003年のヒノキ上層木平均樹高を用いて求めた相対幹距比を図-2に示す。予測したヒノキ上層木平均樹高と2003年における上層木平均樹高との間で t 検定を行った結果、すべての処理区について危険率5%で有意差は認められなかった(無間伐区: $p = 0.419$, 弱度間伐区: $p = 0.228$, 中度間伐区: $p = 0.451$, 強度間伐区: $p = 0.788$)。本対象地は高齢であることから、相対幹距比の予測に際して枯死による平均樹幹距離の変化は考慮されていないが、すべての処理区で上層木平均樹高の予測値との間で有意差が認められなかったことから、相対幹距比についても予測値との間で大きな差はないと考えられる。

2. 処理区ごとの定期断面積成長率

各処理区の全平均を用いた検定の結果を表-3に示す。検定の結果、無間伐区と中度間伐区との間以外はすべてに危険率5%で有意差が認められた。1998-2003年における定期断面積成長率の平均値を図-3に示す。本対象地では期首直径階級が異なるため、図中の期首直径階級は、各処理区において胸高直径が小さいものから順にそれぞれ4等分したものをを用いた。この期間において、相対幹距比の大きい順位と断面積成長率の平均値の順位は一致しなかった。相対幹距比の順位と成長率の順位が一致しなかった要因については特定できなかった。

3. 樹冠直径の変化

樹冠直径については、処理区ごとに1998年の間伐後に残存している樹冠測定木の樹冠直径と2003年の樹冠測定木の樹冠直径との間で対応のある t 検定を行った結果、両者のそれぞれの平均値間で無間伐区以外はすべてに危険率5%で有意差は認められなかった(無間伐区: $p < 0.001$, 弱度間伐区: $p = 0.508$, 中度間伐区: $p = 0.586$, 強度間伐区: $p = 0.079$)。無間伐区では、2003年の樹冠直径の方が有意に低い値を示し、その差は平均で-0.22(m)であった。水平方向への成長が認められなかったことにより、垂直方向への成長分が樹冠拡張係数の低下を招く結果となった。このことは、この期間で、水平方向への樹冠直径成長が実際になかったことによるものか、あるいは、レラスコーブによる樹冠直径の測定誤差によるものかの両面から今後検討する必要がある。

4. 林冠表面積の推移

林冠表面積の推移を図-4に示す。無間伐区、弱度間伐区、中度間伐区および強度間伐区における1998年の間伐後から2003年の間での林冠表面積の変化率はそれぞれ-4.64%、+3.03%、+16.98%および+8.92%であった。無間伐区では、ヒノキ2本の枯死と2003年の樹冠直径の平均値が有意に小さい値になっていることにより林冠表面積が減少した可能性が高い。この点について

は今後の推移を考慮した上で、減少傾向であるのか、あるいは、一時的な減少であるのかを判断したい。

1998年の樹幹解析とリチャーズ成長関数による林冠閉鎖時までの予測年数は、弱度と中強度伐区でそれぞれ、23.6年、18.7年であり、閉鎖時の予測林冠表面積は、弱度と中強度でそれぞれ、25,839, 26,542 (m²/ha)であった。強度伐区では閉鎖しないと予測された。平均胸高直径と平均樹冠表面積から推定した1998～2003年の林冠表面積の推移と比較すると、林冠閉鎖時の林冠表面積とその閉鎖年数の予測について、現時点では、大きな問題はないと考えられる。

V. おわりに

本研究では、相対幹距比を用いて間伐強度が決定されたが、相

対幹距比のみでは間伐効果を正確に評価できない可能性もあり、他の要因についてもさらに検討する必要があると思われる。

今後は、林冠表面積の動態をより詳細にとらえ、正確な樹冠測定方法の確立を含め、間伐効果を評価できるシステムの構築が望まれる。

引用文献

林拙郎ら (1997) 日林誌 79 (4) : 222-228.

今田盛生 (1998) 森林計画学会誌 31 : 85-89.

西澤正久 (1972) 森林測定, 348pp, 林業教育研究会編, 農林出版, 東京.

竹下啓司 (1985) 九大演報 55 : 55-104.

(2003年10月31日 受付 ; 2003年12月12日 受理)