論 文

吉野林業地における長伐期高品質大径材生産林の陽樹冠管理

高橋絵里奈^{*1,3}・竹内典之²

高橋絵里奈・竹内典之：吉野林業地における長伐期高品質大径材生産林の陽樹冠管理 日林誌 89:107~112, 2007

長伐期林における陽樹冠管理のための定量的な基準を提示する目的で、吉野林業地の38~210年生の林分において、個体の陽樹冠量（陽樹冠直径、陽樹冠長、陽樹冠表面積）と年平均胸高直径成長量（ ΔDBH ）の関係を解析した。陽樹冠直径および陽樹冠表面積と ΔDBH との間には良好な回帰直線式が得られた。得られた式の信頼性および測定の手間等を検討した結果、特に陽樹冠直径（ Dsc ）が残存木選木の指標として有用であると結論できた。また、 Dsc と ΔDBH との関係は林齢の増加にともなって変化しており、この結果は、単位陽樹冠量当たりの直径の成長効率が林齢に沿って変化することを示していた。したがって幅広い範囲の林齢や個体サイズを対象とする長伐期施業においては、林齢等の違いによる Dsc と ΔDBH との関係の変化を考慮することが重要であることが明らかとなった。さらに、 Dsc と ΔDBH の回帰直線式から ΔDBH が0.25~0.54 cm/年（年輪幅が2 mm前後）となる Dsc の推定範囲を求めることができ、74~88%の精度で Dsc から年輪幅が2 mm前後であるか否かを判定できた。これらの結果から、これまで定性的に行われてきた残存木選木に対して、一定の精度を有する定量的な基準を林齢別に提示したといえる。

キーワード：長伐期、年輪幅、陽樹冠、吉野林業地

Takahashi, E. and Takeuchi, M.: Managing Sun-exposed Crowns to Produce High-quality Large Timber under Long-term Forest Management in the Yoshino Forestry Area. J. Jpn. For. Soc. 89: 107~112, 2007 We analyzed the relationships between the annual growth rate of the diameter at breast height (ΔDBH) and the sun-exposed crown size (sun-exposed crown diameter, length, and surface area) of trees in 38 to 210 year-old stands in the Yoshino Forestry area to propose quantitative criteria for sun-exposed crown management for the production of high-quality timber under long-rotation forestry. We obtained significant regressions of ΔDBH against the sun-exposed crown diameter and surface area. The reliability of the regression and convenience of field measurements suggest that sun-exposed crown diameter (Dsc) can be used as a useful criterion for sun-exposed crown management. The ΔDBH - Dsc relationship varied with stand age, indicating a decline in the efficiency of stem diameter growth per unit of sun-exposed crown diameter. This suggests that differences in the ΔDBH - Dsc relationship should be considered in long-term forest management, which includes a wide range of stand ages and tree sizes. We used the ΔDBH - Dsc relationship to estimate the Dsc ranges that corresponded to ΔDBH of 0.25~0.54 cm/year (approximately 2-mm annual growth ring widths) for each stand age. The estimated Dsc ranges predicted annual ring widths within approximately 2 mm with 74~88% accuracy. We conclude that this approach provides accurate quantitative criteria for a given stand age for the selection of which trees to leave for the production of high-quality timber with evenly spaced annual rings.

Key words: annual ring width, long-term forest management, sun-exposed crown, Yoshino Forestry

I. はじめに

近年、公益的機能の発揮や高品質大径材生産を目指して、長伐期施業によって人工林を管理していこうとする動きが全国各地でみられる。長伐期施業のためには、生産目標に応じた間伐の基準が必要である。間伐の量を示す密度管理の基準には、収穫表や密度管理図があり、密度管理図を長伐期施業に利用するための基礎研究が進められてきている（福本・藤平，1992；竹内，2003，2005）。しかし、伐採木や残存木の選抜方法を示す選木の基準については、十分な研究が行われてきていない。

平成15年度の森林・林業白書では、長伐期施業とは標準伐期齢のおおむね2倍に相当する林齢を超えて主伐を行う施業としている。一般的なスギ人工林の伐期齢は30年生から40年生であるので、60年生から80年生であれば長伐期施業であるといえる。従来から100年生前後を伐期としてきた吉野林業地は、他地域と比較して長伐期であるが、近年さらに伐期が延長される動きが出てきており、200年を超える長伐期施業の指針が必要になってきている（高橋・竹内，1999c）。

吉野林業地では、年輪幅の揃った高品質大径材の生産を目指して独自の管理技術を発展させてきた。その管理技術

* 連絡・別刷請求先（Corresponding author）E-mail: erina@kais.kyoto-u.ac.jp

¹ 京都大学大学院農学研究科（606-8502 京都市左京区北白川追分町）
Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Oiwake-cho, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan.

² 京都大学フィールド科学教育研究センター（606-8502 京都市左京区北白川追分町）
Field Science Education and Research Center, Kyoto University, Oiwake-cho, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan.

³ 現所属：京都大学フィールド科学教育研究センター（606-8502 京都市左京区北白川追分町）
Present address: Field Science Education and Research Center, Kyoto University, Oiwake-cho Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan.

（2005年6月24日受付；2006年12月1日受理）

は「山守(やまもり)」と呼ばれる技術者が先祖代々受け継いで発展させてきたものであり、特に選木は現場で培われた熟練技術者の経験と勘に頼るところが大きい。熟練技術者の技術を質的量的に評価し、科学的な根拠をもった基準や指針および指標としてとりまとめることは、長伐期で高品質大径材の生産を目指す上で重要である。また、吉野林業地では、永代木と呼ばれる良い形質をもった樹勢のある個体を守り育てることに重点が置かれる(高橋・竹内, 1999a)。著者らが東吉野村で調査した例では林齢30年生前後で永代木候補木が選抜されている(高橋・竹内, 1999a)。川上村では林齢35年生で永代木を選抜すると報告されており(前田, 2000), 若干のずれはあるが6~7齢級の林で永代木が選抜される。吉野林業地の間伐の間隔は、50年生前後までは5年ごと、100年生前後までは10年ごとであり、100年生以上では20年ごととなる(高橋・竹内, 1999a, 1999b, 2001)。

吉野林業地における密度管理の指針としては、これまでに日本主要樹種林分収穫表(早尾, 1933)や、吉野林業全書(森, 1898)などがあげられ、量的質的な管理の基準や指標がすでに確立されていると思われるがちである。しかし、選木に関する基準や指標、また、150年生を超える林分に関する密度管理の指針については明確にされていない。

著者らはこれまでに東吉野村の熟練技術者からの聞き取り調査およびスギ人工林における毎木調査をもとにして、吉野林業地における選木の基準を以下の三つにまとめた(高橋・竹内, 1999a)。それらは、①足数をそろえること、②枝張りに注目すること、③「上の木」を伐ること、の三つである。①は、選木の際に残存木の大きさとともに配置を揃えることが重要であり、林冠の鬱閉を大きく破らないように配慮しつつ個体の配置を揃えることを意味している。②は、樹冠の状態によって個体の成長を判断することを意味している。③は、永代木の成長を害しやすい斜面上側にある個体(「上の木」)を積極的に伐ることを意味している。つまり、①から③に共通している熟練技術者の選木基準は、伐採木ではなく残存木の配置や形質を見極めるも

のであり、残存木の樹冠をどのように管理するかに焦点があてられている。この三つの基準は、残存木選木の重要なポイントを示してはいるが、実際の林分で利用するためには個々の基準の定量化が必要である。藤森(2000)は、20世紀における日本の間伐・枝打ちの流れを総括し、生育段階ごとの樹冠量と幹の成長量の関係から間伐技術体系を構築することの重要性を指摘している。吉野林業地でも、残存木選木の基準②が示すように、個体の成長を見極めるために枝張り、すなわち樹冠量を指標として残存木の成長を見極め、年輪幅が揃うように残存木選木を行っている。したがって、このような選木方法に対して定量的な基準を提示するためには、年輪幅に大きく影響すると考えられる樹冠量をどのようなパラメータで捉えることが有効かを検討する必要がある。

そこで、本研究では、吉野林業地で高品質大径材の生産を目指して適切に管理されている林分における個体の陽樹冠量と幹の成長量の関係に着目し、1. 残存木選木の指標となる陽樹冠量、2. 残存木の陽樹冠量と胸高直径成長量の関係、3. 高品質大径材生産のために有用な陽樹冠量の範囲、について考察することによって、200年を超える長伐期施業における残存木選木の指標について検討した。

II. 方 法

1. 調査地概要

吉野林業地の中核である奈良県吉野郡東吉野村および同郡川上村にあるスギ人工林9カ所を対象として、定期的の間伐が行われてきた林分に調査区を設定した。調査区の概況を表-1に示す。各調査区の林齢は38年生から210年生であり、これは永代木候補木が見極められる林齢の林分から、吉野林業地で現存する高齢の林分までの範囲に相当する。調査区の大きさは、20本以上の立木を含むように林齢が高くなるほど大きくし、0.04 ha から 0.25 ha とした。

各調査区における最近の間伐年は、表-1に示したとおり1992年から2002年であり、胸高直径(DBH1)を測定した5年前から1年後であった。上層木を強度に間伐すると、

表-1. 調査区の概況

General description of the surveyed stands.

調査区 Plot	林齢 Stand age	面積 Plot size	林分密度 Stand density	相対幹距 Relative spacing	間伐年 Thinning year	DBH 測定年		調査木本数 No. of sample trees	各測定項目の平均 Mean value of each measurement data						各測定項目の変動係数 Coefficient of variation of each measurement data					
						DBH1	DBH2		DBH2	H	Hsb	Dsc	Lsc	Lsc/Dsc	DBH2	H	Hsb	Dsc	Lsc	Lsc/Dsc
	(year)	(ha)	(no./ha)	(%)	(year)	(year)	(year)	(no.)	(cm)	(m)	(m)	(m)	(m)							
A	38	0.04	1100	13	2000	2000	2004	35	25.0	23.1	17.1	3.1	6.0	2.0	11	6	5	16	21	13
B	52	0.05	700	15	1995	2000	2004	34	31.8	24.5	17.6	3.8	6.9	1.9	14	5	6	20	15	17
C	106	0.20	205	22	1998	2000	2004	38	54.0	31.9	22.7	5.7	9.2	1.6	14	5	6	13	19	14
D	210	0.25	104	22	1998	1999	2000	21	93.8	45.5	27.5	9.3	18.0	1.9	15	8	12	13	14	13
E	44	0.10	980	14	1996	1995	1999	9	27.5	22.3	16.4	3.3	5.9	1.8						
F	64	0.20	515	16	1995	1997	2001	7	39.9	28.4	17.8	5.0	10.6	2.2						
G	101	0.25	224	22	1999	1999	2002	10	50.9	30.3	18.2	6.0	12.2	2.0						
H	109	0.25	260	18	1992	1997	2000	6	50.5	34.1	23.0	5.7	11.1	1.9						
I	153	0.25	164	21	2002		2003	34	68.8	36.8	23.0	7.0	13.8	2.0	9	6	12	13	23	25

Hsb, Dsc, Lsc, Lsc/Dsc はそれぞれ陽樹冠基部高, 陽樹冠直径, 陽樹冠長, 陽樹冠形状比を表す。

Hsb, Lsc, Dsc, and Lsc/Dsc indicate the height of the base, length, diameter, and length/diameter ratio of the sun-exposed crown, respectively.

ほとんどの残存木で間伐後に成長量が増加し、目標とする年輪幅の範囲内からはみ出す可能性が考えられる。しかし、調査対象林分では、比較的短期間で間伐を繰り返し、林冠を強度に疎開することはないため(高橋・竹内, 1999a 他), 間伐後に成長量が目標とする年輪幅を大きく超えることはなかった。

2. 調査および解析方法

樹冠は、光合成を活発に行い上部に位置する陽樹冠と、光合成が活発ではなく下部に位置する陰樹冠に区分される。陰樹冠は、個体の成長に大きな影響を及ぼさないといわれているが(Sprugel *et al.*, 1991), 陽樹冠は、光合成を活発に行って個体の成長に大きな影響を及ぼす。そのため、林木の成長の指標として陽樹冠量が用いられることが多い(梶原, 1975)。本研究においても、陽樹冠量を解析の対象とした。樹冠の陰陽区分は梶原(1975)に準じて、地面から樹冠直径が最大になる高さを陽樹冠基部高(Hsb)とし、樹高と陽樹冠基部高との差を陽樹冠長(Lsc)とした。また、斜面下方向を軸として8方向の水平枝張り長を巻き尺によってcm単位で測定し、8点を頂点とする八角形の面積を算出し、それと同じ面積となる円の直径を陽樹冠直径(Dsc)とした。また、陽樹冠の形状を円錐形であると仮定し、陽樹冠直径と陽樹冠長から陽樹冠表面積(Ssc)を算出した。

調査は、1996年3月から2005年4月にかけて行った。調査区A~Dではすべての個体を対象に、成長休止期に1~4年において2度胸高直径を測定し、樹高、陽樹冠基部高、陽樹冠直径および陽樹冠長を1度測定した。調査区E~Hでは、地位判定のために各調査区10本以上の個体を選定して樹高を測定し、すべての個体の胸高直径を成長休止期に3~4年において2度測定し、2度の測定間の平均年輪幅が2mm前後であると判断された個体を選別し、その中から胸高直径に偏りがないように6~10本の試料木を選定して、陽樹冠基部高(Hsb)、陽樹冠直径(Dsc)および陽樹冠長(Lsc)を測定した。調査区Iでは、胸高直径の測定は1度であったが、それ以外の項目については調査区A~Dと同様の測定を行った。胸高直径は直径巻き尺を用いてmm単位で、樹高はコンパスを用いて10cm単位で測定した。なお、年平均胸高直径成長量が0.25~0.54cm/年(100分の1cmの位を四捨五入して0.3~0.5cm/年)の個体を年輪幅が2mm前後の個体とした。

これらの測定値から相対幹距、陽樹冠形状比(Lsc/Dsc)を算出した。また、各陽樹冠量(Dsc , Lsc , Ssc)と年平均胸高直径成長量(ΔDBH)の回帰直線式をそれぞれ $\Delta DBH = a_1(Dsc - b_1)$, $\Delta DBH = a_2(Lsc - b_2)$, $\Delta DBH = a_3(Ssc - b_3)$ の形で求めた。これらの式におけるパラメータ a_1 , a_2 および a_3 はそれぞれの陽樹冠量あたりの生産効率を表し、 b_1 , b_2 および b_3 はそれぞれ年平均胸高直径成長量がゼロとなるときの、すなわち枯死限界の陽樹冠量を意味すると考えられる。なお、これらの解析はすべての項目を測定した調査区A~Dの測定値を対象に行った。

III. 結 果

1. 調査林分の特徴

各調査区における林齢と平均樹高の関係を図-1に示す。また、図-1には奈良県吉野地方すぎ林主伐収穫表(北村, 1913a, 1913b, 1913c, 1913d)(以下主伐収穫表とする)の地位1, 2, および3における林齢と樹高の関係を併せて示す。調査区Aの平均樹高は主伐収穫表の地位1に、調査区B, E, F, HおよびIの平均樹高は地位2にほぼ相当し、調査区CとGの平均樹高は主伐収穫表の地位2よりやや低かった。主伐収穫表では、150年生以上の高齢林分の値

図-1. 各調査区における林齢と平均樹高の関係
Relationship between the mean height and stand age for each plot.

点線、実線、破線はそれぞれ奈良県吉野地方すぎ林主伐収穫表(北村, 1913a, b, c, d)の地位1, 2, 3を示す。Dotted, solid, and broken lines indicate site quality of 1, 2, and 3, respectively, from the Yoshino Forestry yield table (Kitamura, 1913a, b, c, d).

図-2. 平均樹高と平均胸高直径 (a), 平均陽樹冠直径 (b) および平均陽樹冠基部高 (c) との関係
Relationship between the mean height and mean diameter at breast height (a), mean sun-exposed crown diameter (b), and mean height of the base of the sun-exposed crown (c).

記号は表-1を参照。(c)中の直線は平均樹高を示す。
See Table 1 for symbol definitions. The solid line in (c) indicates the mean height of the stand.

は外挿するしかないが、210年生の林分に設定した調査区Dの平均樹高は地位1に近い値であると推定された。各調査区とも、吉野地方のスギ人工林の成長状態としては、ほぼ中庸からやや高めの樹高であると推定された。

表-1に示すように、各調査区のhaあたりの立木本数は1,100~104本であり、相対幹距は13~22%であった。また、調査区A~Dにおける胸高直径の変動係数は、11~15%であった。各調査区の樹高の変動係数は5~8%で、胸高直径の変動係数と比較して小さかった。陽樹冠形状比は調査区Cで小さかったものの1.6~2.2の範囲にあり、その変動係数は胸高直径の変動係数と同程度であった。

各調査区の平均樹高と平均胸高直径、平均陽樹冠直径および平均陽樹冠基部高の関係を図-2(a)(b)(c)にそれぞれ示す。各調査区の平均胸高直径、平均陽樹冠直径および平均陽樹冠基部高は、平均樹高が高いほど（すなわち林齢が高いほど）直線的に増加する傾向がみられた。陽樹冠長についても陽樹冠直径や陽樹冠基部高と同様の傾向がみられた。

2. 残存木の陽樹冠量と胸高直径成長量の関係

陽樹冠量（陽樹冠直径・陽樹冠長・陽樹冠表面積）と年平均胸高直径成長量との関係について回帰直線を求めた結果を、表-2に示す。調査区Dにおける陽樹冠長と年平均胸高直径成長量との間を除く、調査区A~Dにおける他のすべての陽樹冠量と年平均胸高直径成長量との間で有意な式が得られた。陽樹冠直径による回帰式は、調査区A、Bお

よびDで、他の陽樹冠量を用いた回帰式よりも決定係数が大きい傾向にあった。図-3に陽樹冠直径（ D_{sc} ）と年平均胸高直径成長量（ ΔDBH ）の関係を示す。林齢が高くなるにしたがって、回帰直線式の傾き（ a_1 ）は減少し、逆に係数 b_1 は増加した（表-2）。ただし両変数とも正の値を示し

図-3. 各調査区における個体の陽樹冠直径と年平均胸高直径成長量の関係

Relationship between the mean annual growth rate of diameter at breast height (ΔDBH) and sun-exposed crown diameter (D_{sc}) for trees in each plot.

回帰係数は表-2を参照。

See Table 2 for regression coefficients.

表-2. 陽樹冠直径、陽樹冠長および陽樹冠表面積に対する年平均胸高直径成長量の回帰分析結果

Summary of the regression analyses for the relationships between the annual growth rate of the diameter at breast height (ΔDBH) and the sun-exposed crown diameter (D_{sc}), sun-exposed crown length (L_{sc}), and sun-exposed crown surface area (S_{sc}).

調査区 Plot	調査木本数 No. of sample trees	$\Delta DBH = a_1(D_{sc} - b_1)$			$\Delta DBH = a_2(D_{sc} - b_2)$			$\Delta DBH = a_3(D_{sc} - b_3)$		
		a_1	b_1	R^2	a_2	b_2	R^2	a_3	b_3	R^2
A	35	0.2095	1.0147	0.48**	0.0666	-0.4423	0.31**	0.0095	-14.49	0.45**
B	34	0.1152	1.0123	0.59**	0.0622	1.8060	0.34**	0.0059	-10.54	0.57**
C	38	0.0982	1.9310	0.34**	0.0417	0.2560	0.32**	0.0031	-31.81	0.41**
D	21	0.0408	1.5464	0.24*	—	—	0.15 ^{ns}	0.0007	-154.14	0.23*

記号は表-1と図-3参照。 R^2 , 決定係数; **, 1%で有意; *, 5%で有意; ns, 相関なし。

See Table 1 and Fig. 3 for symbol definitions. R^2 , correlation coefficient; * p <0.05; ** p <0.01; ns, not significant.

表-3. 年輪幅を2 mm前後に制御するための推定陽樹冠直径とその判別精度

The estimated range of the sun-exposed crown diameter for controlling ΔDBH within 0.25 to 0.54 cm/year, and the validation of its distinction capability.

調査区 Plot	推定陽樹冠直径 Estimated sun-exposed crown diameter		個体数割合 Proportion of trees				有意水準 Prob
			推定陽樹冠範囲内 Within the estimated <i>Dsc</i> range		推定陽樹冠範囲外 Out of the estimated <i>Dsc</i> range		
	<i>EDsc1</i>	<i>EDsc2</i>	$0.25 \leq \Delta DBH \leq 0.54$	$\Delta DBH < 0.25,$ $0.54 < \Delta DBH$	$0.25 \leq \Delta DBH \leq 0.54$	$\Delta DBH < 0.25,$ $0.54 < \Delta DBH$	
	(m)	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	
A	2.2	3.6	74	9	3	14	<0.0001
B	3.2	5.7	64	12	12	12	0.0013
C	4.5	7.4	71	23	3	3	0.1795
D	7.7	14.8	76	14	5	5	0.0201

ED_{sc1} , $\Delta DBH=0.25$ cm/year の推定陽樹冠直径; ED_{sc2} , $\Delta DBH=0.54$ cm/year の推定陽樹冠直径。有意水準: Fisher 正確確率検定。

ED_{sc1} , D_{sc} with $\Delta DBH=0.25$ cm/year; ED_{sc2} , D_{sc} with $\Delta DBH=0.54$ cm/year. Prob, Fisher's exact test.

た。

3. 高品質大径材生産のために有用な陽樹冠量の範囲

調査区A~Dについて、表-2に示した D_{sc} と ΔDBH の関係を適用して、年平均胸高直径成長量が0.25 cm/年と0.54 cm/年の場合における陽樹冠直径の推定値を求めた。陽樹冠直径の推定値はそれぞれ表-3に示したとおりであり、陽樹冠直径の推定範囲は林分の成長にともなって広がる傾向を示した。調査区A~D内の全木のうち、陽樹冠直径の推定範囲内にあって、かつ年輪幅が2 mm前後である個体の割合は、表-3に示すように、調査区A, B, Cでそれぞれ74, 64および71%であった。調査区Dについては、1年間の胸高直径成長量の測定値で、他の調査区と直接比較はできないが76%であった。また、陽樹冠直径の推定範囲外で年輪幅が2 mm前後ではない個体の本数割合は調査区A~Dでそれぞれ、14, 12, 3および5%であった。このことから、調査区A~Dではそれぞれ88, 76, 74および81%の精度で陽樹冠直径から年輪幅が2 mm前後であるか否かを判定できた。なお、陽樹冠直径の推定範囲の内外における、年輪幅が2 mm前後である個体($0.25 \text{ mm} \leq \Delta DBH \leq 0.54 \text{ mm}$)とこれ以外の個体の割合には、調査区Cでは統計的に有意な差はみられなかったものの、調査区A, B, およびDでは有意な差が認められた。

IV. 考 察

1. 残存木選木の指標となる陽樹冠量

本研究では陽樹冠量として陽樹冠直径、陽樹冠長および陽樹冠表面積を用いた解析を行った。これらの変量のうち、陽樹冠長については、年平均胸高直径成長量との間の相関が低く、残存木選木の基準に利用することは困難であると考える。

陽樹冠表面積は物質生産に関わる葉量・あるいは材積成長量の直接的な指標として有効であることが指摘されている(梶原, 1980)。また陽樹冠表面積は陽樹冠直径・陽樹冠長の二つの測定値を含む樹冠量であり、より物質生産量に関連が深い樹冠量と予想できる。しかしながら、本研究では、陽樹冠表面積と年輪幅の相関は陽樹冠直径と年輪幅の相関とほぼ同程度であり、しかも枯死限界の陽樹冠量を表すパラメータ b_3 は林分A~Dのいずれにおいても負の値を示し矛盾を生じた。この理由として、解析の対象とした年輪幅は1次元の変量であり材積成長量とは次元が異なり単純な線形での式で示すことに問題があったこと、陽樹冠長と年輪幅の相関が低くさらに陽樹冠形状比の林分内変異が小さかったため陽樹冠直径と陽樹冠長の両者を含むことの効果が小さかったことなどがあげられる。

これに対して、年平均胸高直径成長量と同じ1次元の変量である陽樹冠直径を用いた場合では、年輪幅との相関が陽樹冠表面積を用いた場合と同程度に高く、さらに、パラメータ b_1 は正の値を示した。陽樹冠直径は葉量を直接指標できる変量ではないものの、目的とする年輪幅の指標として実用に耐える経験式が得られたと判断できる。さらに、

林内において陽樹冠長を測定することは困難であることを考慮すると、陽樹冠直径を高齡林分にまで適用できる残存木選木の指標に用いることは実用的である。

2. 加齢にともなう残存木の陽樹冠量と胸高直径成長量の変化

陽樹冠直径と年平均胸高直径成長量の回帰直線式の傾き(a_1)は、林分内における個体の陽樹冠直径の増大にともなう胸高直径の成長効率を示している。傾き a_1 は正の値であり、林分の成長にともなってその値が低下する(表-2, 図-3)ことから、1林分内では陽樹冠直径が大きいくほど年平均胸高直径成長量が大きく、高齡林分ほど陽樹冠直径あたりの胸高直径の成長効率が下がるといえる。このような傾向は、陽樹冠量に陽樹冠長や陽樹冠表面積を用いた場合にも共通してみられ、その理由は以下のように解釈できる。すなわち、高齡林分におけるサイズの大きな個体ほど樹幹の表面積が大きいために、幹表面に一定の年輪幅を実現するためには、若齡林分の小径木より多くの材積成長量が必要となる。したがって、より高齡林分ほど、見かけ上は陽樹冠直径あたりの直径成長の効率が低下することになる。また、樹木個体の老化により単位樹冠量あたりの物質生産効率が低下すること(Vanselow, 1951; 佐藤, 1973)も、今回得られた胸高直径の成長効率の低下と関連しているであろう。このような加齢にともなう胸高直径の成長効率の低下は、ある一定の胸高直径成長量を確保するために必要な陽樹冠量の範囲を大きくしていた(表-3)。

係数 b_1 についても、4林分という少ないサンプル間の比較ではあるが、サイズの大きな高齡林分ほど数値が大きいく傾向にあった(表-2)。係数 b_1 は年平均胸高直径成長量がゼロになるときの陽樹冠直径の値、すなわち、当該林分における枯死限界の陽樹冠直径の大きさを意味しており、今回の結果は直径成長を維持するための陽樹冠直径が高齡林分ほど大きくなることを示していた。

以上のように、高齡林分を含む今回の解析結果は、陽樹冠直径と胸高直径成長量との関係が林齢を通して一定ではなく、林齢や個体サイズによって変化することを明瞭に示していた。したがって、幅広い範囲の林齢および個体サイズを対象とする長伐期施業において残存木選木の基準を定める上では、陽樹冠直径と胸高直径成長量との関係を一律に扱うのではなく、林齢の違いによる両変量の関係の変化を考慮することがきわめて重要であるといえる。

3. 高品質大径材生産のために有用な陽樹冠量の範囲

年輪幅が2 mm前後(年平均胸高直径成長量が0.25 cm/年から0.54 cm/年)となる個体の比率を高めるための残存木選木の基準について考察を試みた。本研究では、陽樹冠直径と年平均胸高直径成長量の関係から年輪幅が2 mm前後になる陽樹冠直径を推定した結果、これを適用することによって、74~88%の精度で年輪幅が2 mm前後になるか否かを判定することができた。したがって、今回のアプローチは、これまで定性的に行われてきた残存木選木に対して、ある程度の精度を有する定量的な基準を林齢別に提示でき

たといえる。今回の詳細な解析に用いた林分は4林分であるが、胸高直径の成長効率を表す係数 a_1 および b_1 に、林齢に沿った一定の変化傾向がみられた。したがって、今後さらに調査事例を加え、林齢や個体サイズの影響を考慮してこれらの係数の挙動を定量化することにより、林分の生育段階に応じた残存木選木の基準をより普遍的に提供できる可能性がある。また同時に、年輪幅が2mm前後を実現するための陽樹冠直径の推定範囲が高齢林分ほど広くなることが示されたことにより、年輪幅制御における陽樹冠管理の重要性が林齢によって異なることも明らかになった。このことも、長伐期施業を行う上で重要な知見を提供できたといえよう。

一方、今回の解析結果では、わずかではあるが陽樹冠直径の推定範囲内にも年輪幅が2mm前後より過大または過小な個体が含まれていた。この結果は、同じ林分内でも単位陽樹冠直径あたりの胸高直径成長効率に個体差があることを示している。この原因の一つとして、調査時に目視で葉の分布の疎密に個体差が認められており、これが単位陽樹冠直径あたりの幹生産能力に差が生じる要因であった可能性がある。したがって、今回提示したモデルを実際の管理現場で運用する上では、樹冠内の葉の疎密度といった定性的な情報もある程度付加することで、予測の精度を向上させることも検討する必要があるだろう。

本研究で示した管理基準は、幹の個体差がきわめて小さく管理されてきている(Takahashi and Takeuchi, 2002)吉野林業地における結果である。したがって、本研究の成果を今後個体差の大きい林分へ応用する上では、その適用可能性について十分に検討する必要がある。吉野林業地では、永代木候補木が選抜される30年生前後から年輪幅が揃うように個体の成長を管理していくが、拡大造林期に植栽されたスギ人工林はすでにこの林齢を越えており、特に間伐遅れの人工林においては、林齢の割に陽樹冠量が著しく小さく、そのため胸高直径の成長量も小さい個体が多い。本研究の結果は、このような密度や樹形の範囲までをカバーしておらず、また個体サイズによって直径成長の効率が変化することも示している。したがって、このようなケースへの適用については、さらにケースに応じた詳細なデータにより、モデルの適用可能性を検証する必要があるだろう。また、このような林分を今後長伐期施業に誘導し、高品質大径材を生産していくことが可能であるかは、目標とする陽樹冠量が回復できるかどうかにかかっており、今後の重要な検討課題である。

本研究をすすめるにあたり、調査を許可してくださった、清光林業株式会社の岡橋清元氏および財団法人阪本奨学会に感謝の意を表す。埴忠一氏および前田剛氏には吉野林業地における施業や間伐指針について貴重なご意見をいただいた。藤森隆郎博士、酒井徹朗博士、柴田昌三博士、長

谷川尚史博士には本論文をとりまとめるにあたり貴重なご助言をいただいた。現地調査においては、埴忠一、上西昭二、谷口誠一、松井弘幸、上西雅彦各氏に大変お世話になった。本論文の審査者の皆様には貴重なご指摘をいただいた。また、編集委員の伊藤哲氏の熱意がなければ、本論文は掲載には至らなかった。ここに記して謝意を表する。なお、本研究の一部は21世紀COE「昆虫科学が拓く未来型食料環境学の創生」の支援をうけて行ったものである。

引用文献

- 藤森隆郎(2000)特集20世紀の森林・林業 V 保育 20世紀におけるわが国の「間伐・枝打ち」の流れ。林業技術 699:7-12.
 早尾丑麿(1933)日本主要樹種林分収獲表。208pp, 帝國森林會, 東京。
 福本通治・藤平拓志(1992)スギ高齢林分の林分密度管理図へのあてはめ。奈良県林試林業資料 7:21-24。
 梶原幹弘(1975)スギ同齡林における樹冠の形態と量に関する研究(I) 樹冠形。日林誌 57:425-431。
 梶原幹弘(1980)スギ樹冠の構造ならびに樹冠量と葉生重量との関係。京府大演報 24:49-63。
 北村清治(1913a)吉野杉林の生長調査(一)。大日本山林會報 369:1-6。
 北村清治(1913b)吉野杉林の収獲調査(承前)。大日本山林會報 370:1-2。
 北村清治(1913c)吉野杉林の収獲調査(承前)。大日本山林會報 371:31-36。
 北村清治(1913d)吉野杉林の収獲調査(承前)。大日本山林會報 372:7-20。
 前田 剛(2000)岡橋式(吉野式)間伐(印付)。(調和 明日の林業に向けて。清光林業創立50周年記念事業推進委員会(2000), 清光林業株式会社, 奈良)。72-80。
 森庄一郎(1998)吉野林業全書。(完全復刻 吉野林業全書。原文・原画対照現代語訳付。土倉梅造(1983)。247pp, 日本林業調査會, 東京)。
 佐藤大七郎(1973)生態学講座9巻5-a 陸上植物群落の物質生産 Ia。95pp, 共立出版, 東京。
 Sprugel, D.G., Hinckley, T.M., and Schaap, W. (1991) The theory and practice of branch autonomy. Annu. Rev. Ecol. Syst. 22:309-334。
 高橋絵里奈・竹内典之(1999a)東吉野村におけるスギ人工林の密度管理(I)―間伐基準 埴忠一氏聞き取りを中心に―。森林応用研究 8:117-120。
 高橋絵里奈・竹内典之(1999b)東吉野村におけるスギ人工林の密度管理(II)―東吉野村における除間伐の特徴―。森林応用研究 8:121-124。
 高橋絵里奈・竹内典之(1999c)東吉野村人工林の沿革, 現状と今後の施業指針。森林研究 71:71-76。
 高橋絵里奈・竹内典之(2001)奈良県川上村上多古及び高原における高齢スギ人工林の現状と今後の施業指針。森林研究 73:59-66。
 Takahashi, E. and Takeuchi, M. (2002) Coefficient of variation of the diameter distribution in sugi (*Cryptomeria japonica*) plantations in Yoshino. In Proceedings of the international seminar on new roles of plantation forestry requiring appropriate tending and harvesting operations IUFRO Tokyo 2002 seminar. Yoshimura, T. (ed.), The Japan Forest Engineering Society, Tokyo, 429-437。
 竹内郁雄(2005)スギ高齢人工林における胸高直径成長と林分材積成長。日林誌 87:394-401。
 竹内郁雄・伊東宏樹(2003)スギ高齢人工林の樹高成長。日林誌 85:121-126。
 Vanselow, Von K. (1951) Krone und Zuwachs der Fichte in gleichaltrigen Reinbeständen. Forstw. Cbl. 70:705-719。