

論文

スギ大径並材生産を目指した強度間伐の多角的評価：
徳島県における選木育林・早期仕上げ間伐を例として

大塚 和美*・長谷川尚史**・野瀬 正***

A study on the multiple evaluation of heavy thinning
for production of large-diameter medium-quality logs of *Cryptomeria japonica*
in Tokushima

Kazumi OTSUKA*, Hisashi HASEGAWA**, and Tadashi NOBUCHI***

選木育林・早期仕上げ間伐は、スギ大径並材の早期生産を目指し徳島県西部で30年程前に普及が図られた育林体系で、約15年生時の選木と、約25年生時の強度間伐を特徴としている。本研究では、強度間伐から長時間経過した林分と通常の間伐が行われてきた林分との比較を通じ、強度間伐が林木および林分の成長、森林生態系、間伐の採算性に与える影響を検討した。植生調査からは、低木・亜高木層の種多様性が通常間伐林分に比べて選木育林林分で高いことが示され、これは選木育林林分で下層植生が連続的に維持され、遷移が進んだ結果と考えられた。また毎木調査より、選木育林林分のほうが通常間伐林分よりも林分蓄積は小さいが単木材積は大きいことが示され、より多くの大径材を早期に生産するという目的はおおむね達成されたことがわかった。さらに樹幹解析と間伐材の売上額予測では、強度間伐実施林齢を少し上げると、残存木の肥大成長はやや劣るものの、間伐材をより有利に販売できる可能性が示された。本施業体系の現代における応用を考えるにあたっては、本研究の結果を踏まえ、強度間伐の実施時期、最終伐期、伐出システム等について再度検討する必要があるだろう。

キーワード：大径材生産、強度間伐、多様性指数、樹幹解析、相対幹曲線

“Senboku-ikurin” is a local silvicultural system which was proposed more than 30 years ago in western part of Tokushima prefecture. The noteworthy features are early selection of trees left for the future at stand age of ca. 15 years, and heavy thinning at ca. 25 years. Its goal is early production of large-diameter logs. In this study, we tried to evaluate effects of the heavy thinning on the growth of *Cryptomeria japonica*, forest ecosystem, and the profitability of thinning. The evaluation was made by comparing characteristics of stands that experienced heavy thinning and those that were treated by normal thinning. The results of vegetation survey showed that the heavy thinning enhanced species-diversity of woody plants. Additionally, stem analysis and estimation of income from heavy thinning suggested that early practice of heavy thinning is superior in tree growth to late practice, but inferior in its profitability. We concluded that the heavy thinning of “Senboku-ikurin” had positive effects for planted trees, forest ecosystems, and forest management. However when we try to put this system to practical use at the present time, we should introduce some operational flexibility by making changes in the timings of heavy thinning and final cutting, and innovate more appropriate logging systems.

Key words: production of large-diameter logs, heavy thinning, diversity index, stem analysis, relative stem curve

1. はじめに

間伐の実行が経済的側面からも労働力確保の側面からも困難となるなかで、「間伐はなぜ必要なのか」という根源的な問いに対する答えはおおむね、(1) 目標とする

量および質の木材を生産するため、(2) 森林生態系を健全な状態に保ち広く環境を保全するため、の二点に集約されてきた(藤森, 2005)。すなわち明確な生産目標を定めた上で、間伐後に残される林木および森林生態系の量的・質的向上を図ることこそが、間伐の主たる目的で

* 京都大学大学院農学研究科森林科学専攻

** 京都大学フィールド科学教育研究センター

*** マレーシアプトラ大学林学部

* Division of Forest and Biomaterials Science, Graduate School of Agriculture, Kyoto University

** Field Science Education and Research Center, Kyoto University

*** Faculty of Forestry, Universiti Putra Malaysia

あるという認識が強かった。しかしながら近年、日本国内における人工林資源の成熟と高性能林業機械および高密度路網の普及、発展途上国の木材需要拡大による外材価格の上昇等を背景に、間伐の目的は(3)間伐材を搬出・利用し中間収入を得るため、へと重点を移しつつある。

持続的な林業経営を考えると、長い育林サイクルの中でいかに安定的に収入を得ていくかは重要な問題である。一回の間伐の採算性が高いほど、森林所有者は間伐を実行しやすくなるが、目前の間伐の採算性を優先して伐採量が過剰になれば、結果的に主伐における収益が減少し、再造林費用が捻出できなくなる可能性がある。持続可能な林業経営を実現するためには、最終的な生産目標を明示した上で、常に伐る木と残す木のバランスを考えながら伐採計画を立てる必要がある。

これまでの間伐手法の評価に関する研究の多くは、間伐後の林木あるいは林分の成長、間伐前後の林内環境の変化、間伐事業の採算性を個々に論じてきたが、間伐手法の妥当性とは本来、これら3つの観点から総合的に議論されるべきものである。そこで本研究では、徳島県で過去に普及が図られた、大径並材の早期生産を目標とする「選木育林・早期仕上げ間伐」という施業体系を取り上げ、その施業体系に含まれる強度間伐の効果を、林木および林分の成長、林内環境の変化、間伐事業の採算性の3つの側面から調査、分析するとともに、「選木育林・早期仕上げ間伐」の今後の発展性について検討した。

2. 「選木育林・早期仕上げ間伐」の概要

選木育林は、1970年代中頃に徳島県三好・美馬地域において、当時徳島県林業専門技術員であった杉山幸氏によって考案された施業体系である(表1)。同地域は、

スギ・ヒノキの実生苗3,000本/ha植栽を基本とする戦後の新興林業地であり、温暖湿潤な気候からスギの成長が旺盛で、とりわけ幼齢期の年輪幅が広い(杉山, 1996)。そこでスギの選木育林では、大径並材の早期生産を育林目標として掲げている。

スギの選木育林の特徴を端的に述べると、実生苗3,000本/ha植栽林分において、林齢約15年生時に、将来的に育てていく優勢良木約620本/haを選木・印付けする、というものである(杉山, 1987)。620本/haという数字は、徳島県のスギ中庸仕立ての標準的な密度管理における50年生時の立木密度の目安が620本/haであること(徳島県, 1977)と、約15年生時にはおおよそ4m間隔に優勢良木が存立しているという杉山氏の経験に基づいている。

選木育林において「残す木に」印を付けて選木していく最大の理由は、残す木の成長を第一に考えることによって積極的な間伐を促すためである。間伐木(形質の悪い木)から選木すると、一本一本の林木に愛着を持っている所有者には、目立って欠点のない木に対して「伐るのはもったいない」という心理が働き、結果的に弱度の間伐となり、すぐに林分が鬱閉してしまうことが多い。しかし、残す木を中心に選木すれば、その木の成長にとって邪魔な木を除去することになるので、木を伐ることに對しての抵抗感が和らぎ、間伐効果がより長期間持続する強度の間伐をおこなうことができる。さらに、残す木を選木・印付けしておくことにより、施業の委託が容易になるほか、近い時期に除・間伐する林木に枝打ち等の手間をかけないという選択も可能になり、育林コストの削減に繋がる。

選木育林は、間伐方針によって選木育林・普通間伐と選木育林・早期仕上げ間伐に大別され、選木育林・普通

表1. スギの選木育林の施業指針
Table 1. Guidelines of Senboku-ikurin method for *Cryptomeria japonica* plantation

施業体系	選木育林		三好・美馬地域の標準的な施業体系
	普通間伐	早期仕上げ間伐	
植栽密度	3,000本/ha(実生苗)		3,000本/ha(実生苗)
選木を行う時期	約15年生時		間伐実施時
選木基準	間伐後に残す優勢良木620本/haを選木		間伐する劣勢不良木を選木
立木密度が約620本/haとなるまでの間伐回数	2~3回	1回	3回以上
立木密度が約620本/haとなる林齢	約40年生	約25年生	約50年生
間伐一回あたりの本数間伐率	30%強	50%以上	20~30%前後
実施条件	・比較的林道に近い林地	・搬出の不便な林地 ・間伐実施前に1,400~1,600本/ha程度まで立木密度を落としておく ・形状比80以下の健全林	

(杉山(1987; 1996)を元に作成)

間伐が「印付けされた林木以外を 40 年生頃までに数回に分けて間伐する」のに対し、選木育林・早期仕上げ間伐はそれらを「25 年生頃に一回で間伐する」という違いがある。選木育林・普通間伐は、間伐木を予め決めておくということを除けば、やや間伐率は高いものの通常の多間伐方式とそれほど大きな違いはないが、選木育林・早期仕上げ間伐は、林齢 25 年生前後に本数間伐率にして 50% を越える強度の間伐をおこなうことになる。

選木育林・早期仕上げ間伐は、特に搬出の不便な林地を対象に考案された手法である。間伐を一度で終わらせてしまうことにより、良材を多く含むまとまった量の間伐材を生産し、かつ架線の架設・撤去等にかかる経費も最小限に抑え、間伐の採算性を高めることをねらいとする。加えて、残存木が少ないために間伐木の本寄せ・搬出が容易になり、作業効率が向上するとともに、残存木の損傷も減らすことができる、といった効果も期待されている。

一方、強度間伐の実施によって最も懸念されるのが風雪害の発生である。選木育林・早期仕上げ間伐の施業指針では、その実施対象を形状比 80 以下の健全な林分に限定しており、25 年生時の強度間伐に備え予め立木密度を 1,400 ~ 1,600 本/ha 程度まで落とす除伐の実施を義務づけている。杉山 (1987) によると、過去にこの施業方針にしたがって強度間伐を実施した林分において、目立った風雪害は発生していない。

強度間伐の実施によって期待される効果の一つに、下層植生の発達促進が挙げられる。下層植生が維持される

ことにより、表土流出防止機能や動物の多様性が高まることなどが既往の研究によって報告されている (渡辺, 2004; 山田・諫本, 2001)。森林の持つ多面的機能に対する国民の期待が高まるなか、日本の総森林面積の約四割を占める人工林においてもその一端を担うことが求められており、選木育林・早期仕上げ間伐は森林生態系の保全に寄与する育林技術としても注目される。

上記のように、選木育林は明確な目標と多面的な効果を有する施業体系である。しかし、これらの効果はあくまで現場の経験に依拠して語られており、実際に期待通りの効果が得られているのかについての科学的な検証は十分にされていない。そこで本研究では、対象をスギの選木育林・早期仕上げ間伐林分に絞り、残存木の樹幹解析、植生調査、過去の間伐における間伐材積の推定と 2003-2004 年度の材価を当てはめた場合の売上額予想をおこなった。これらの結果を基に、残存木の成長、森林生態系の保全、間伐の採算性の 3 つの観点から、選木育林・早期仕上げ間伐における強度間伐の効果について総合的に考察をおこない、現代における実用可能性を検討した。

3. 調査地

徳島県美馬市、および美馬郡に、選木育林・早期仕上げ間伐林分 3 箇所 (A, B, E) と、この地域で標準的な施業がなされている通常間伐林分 3 箇所 (C, D, F) の、合計 6 箇所の調査地を設定した (表 2)。通常間伐区 C

表 2. 調査地の概況
Table 2. General description of the surveyed stands

調査区	選木育林区 A	選木育林区 B	通常間伐区 C	無間伐区 D	選木育林区 E	通常間伐区 F
調査内容 (調査年)	樹幹解析(2004) 植生調査(2004)	樹幹解析(2005) 毎木調査(2006)	樹幹解析(2005) 植生調査(2004)	樹幹解析 (2005)	毎木調査(2006)	毎木調査 (2006)
林齢(2007 年現在)	49	46	39 および 52	46	45	43
立木密度(本/ha)	540	550	775	1,200	477	1,094
標高(m)	800	900	800	900	1,100	1,000
斜面の向き	SE	S	SW	S	S	NW
平均傾斜(°)	38	30	36	40	25	26
相対照度(%)	8.15	5.39	15.49	1.65	-	-
施業履歴 (林齢)	1973(15) 除伐 1988(30) 強度間伐 本数間伐率 49.0% 1,060 本/ha →540 本/ha 同時に 8m 枝打ち	1971-1976(10-12) 全木枝打ち(3~4m) 1973-1976(12-15) 除伐 1978(17) 除伐 1977-1982(16-21) 残存木のみ 8m 枝打ち 1983(22) 強度間伐 本数間伐率 45.6% 1,360 本/ha →740 本/ha 2004(43) 中庸間伐 本数間伐率 25.6% 740 本/ha →550 本/ha	1985 中庸間伐 1996 中庸間伐	施業なし	除伐 1 回 1986(24) 強度間伐 本数間伐率 64.4% 1,940 本/ha →690 本/ha	除・間伐二回

は選木育林区 A と、通常間伐区 F は選木育林区 E とそれぞれ場所が近く、林齢、標高、平均傾斜、斜面の向きがほぼ同じであり、選木育林区の対照区として扱った。ただし通常間伐区 C では樹齢の異なる林木が混植されており、結果の一部については選木育林区 A の対照区として不適切と判断し比較をおこなっていない。調査林分は全て民有林であり、スギ実生苗 3,000 本 /ha 植栽林分である。いずれも研究を前提として施業されてきた林分ではないため、詳細な施業履歴が残されていない箇所もあるが、選木育林区 A では 1988 年 (30 年生時)、選木育林区 B では 1983 年 (22 年生時)、選木育林区 E では 1986 年 (24 年生時) に強度間伐を、通常間伐区 C では 1985 年と 1996 年に中庸間伐をおこなったことが分かっている。また選木育林区 B では 2004 年 (43 年生時) に二度目の利用間伐をおこなっている。通常間伐区 F では除伐または間伐が合わせて二回実施されている。無間伐区 D は選木育林区 B に隣接しており、一度も除間伐がおこなわれていない。選木育林区の間伐率や間伐前後の立木密度、強度間伐実施林齢は、表 1 に示した基準値と多少のズレが生じているが、実際の現場では厳密に本数を数えながら選木をおこなうわけではなく、表 1 の数字はあくまで目安値である。

調査地から近い 3 箇所の気象観測所 (池田、穴吹、半田) の統計によると、1979 年から 2000 年の間の年平均降水量は 1,265 ~ 1,479mm、年平均気温は 13.9 ~ 14.9℃であった。

4. 調査方法

4. 1. 樹幹解析

樹幹解析の試料木として、選木育林区 A (2004 年伐倒) より 3 本 (A-1 ~ 3)、選木育林区 B (2005 年伐倒) より 3 本 (B-1 ~ 3)、通常間伐区 C (2005 年伐倒) より 3 本 (C-1 ~ 3)、無間伐区 D (2005 年伐倒) より 2 本 (D-1 ~ 2)、合計 11 本を選定した。試料木は伐倒後、樹高および枝下高を測定し、地上高 0.3m、1.3m と、1.3m から 2m おきに樹幹の円盤を採取した (表 3)。円盤は髓から

各年輪界までの距離を 2004 年調査分はノギスで、2005 年調査分は円盤表面の画像をイメージスキャナでコンピュータに取り込み画面上で、4 方向測定した。幹材積算出にあたっては区分求積法を用いた (南雲・箕輪、1990)。

4. 2. 毎木調査

毎木調査は 6 箇所の調査地全てにおいて 0.04 ~ 0.06ha の標準地を設けて実施した。また施業面積が十分に広い選木育林区 B、E および通常間伐区 F では、林分内の立木サイズ分布をより正確に把握するため、より大面積 (0.31ha) の標準地を追加設定して毎木調査をおこなった。測定項目は樹高、胸高直径、枝下高である。

4. 3. 植生調査

選木育林区 A および通常間伐区 C を調査対象とし、2004 年 9 月 ~ 10 月に草本層の調査を実施した。まず毎木調査の標準地 20m × 20m を縦横にそれぞれ 5 等分した 5m × 5m のサブプロット 25 個を設定し、斜面に向かって左上のサブプロットから隣接するサブプロットを除いて市松模様状に 13 のサブプロットを選定した。次に、選ばれた各サブプロット内に 1m × 1m のコドラートを 1 個ずつ、計 13 個を設置し、コドラート内の草本層の植物 (シダ植物および種子植物) の種を同定した後、各種について BRAUN-BLANQUET の総合判定法および群度 (BRAUN-BLANQUET, 1964) に基づき優占度および群度を判定した。低木および亜高木層の調査は、2004 年 9 月に 20m × 20m の調査区内すべての樹高 20cm 以上の木本について樹種の同定と樹高、地際直径の測定をおこなった。調査時点で選木育林区 A は強度間伐から 16 年、通常間伐区 C は最後の間伐から 8 年が経過していた。

草本層の各出現種の優占度の平均百分率は、森林立地調査法編集委員会 (1999) に基づき優占度 5 を 87.5%、4 を 62.5%、3 を 37.5%、2 を 17.5%、1 を 5.0%、r と + を 0.1% として換算した。

低木・亜高木層の種多様性を調査区間で比較する尺度として、多様度指数を用いた。現在、様々な多様度指数が提案されているが、本研究では伊藤ら (2002)、森下 (1996) の報告を参考に、群集中の稀な種の数の変化に敏感に反応する指数として $S_{\text{HANNON}}-W_{\text{IENER}}$ 多様度指数 H' (式 1) および P_{IELOU} の一様度指数 (均衡度指数) J (式 2)、優占種の個体数の変化に敏感に反応する指数として逆 S_{IMPSON} 指数 $1/D$ (式 3) および $B_{\text{ERGER}}-P_{\text{ARKER}}$ 指数 d (式 4) の合計四つの多様度指数を用いて比較した。

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i \quad (\text{式 1})$$

表 3. 樹幹解析試料木の概要
Table 3. Characteristics of sample trees for stem analysis

Tree No.	DBH(cm)	Height(m)	Crown height (m)	備考
A-1	38.0	21.8	10.5	ボタン材
A-2	33.7	19.8	9.6	
A-3	34.3	24.2	10.5	
B-1	41.3	28.0	9.3	
B-2	44.8	28.2	9.0	
B-3	40.7	25.1	6.8	
C-1	32.9	24.4	4.2	
C-2	30.5	22.3	8.9	
C-3	34.6	23.6	8.0	
D-1	32.2	21.4	4.8	
D-2	25.8	20.8	5.5	

$$J' = H' / H'_{\max} \quad (\text{式 2})$$

$$D = \sum p_i^2 \quad (\text{式 3})$$

$$d = N_i / N \quad (\text{式 4})$$

ただし、 N は総個体数、 N_i は i 番目の種の個体数、 N_1 は最多出現種の個体数、 p_i は総個体数に占める i 番目の種の比率 ($p_i = N_i / N$)、 $H'_{\max} = \log_2 S$ 、 S は総種数である。

4. 4. 市場価格に基づいた間伐材売上額予測

選木育林区 A および B で強度間伐時におこなわれた毎木調査の記録と、樹幹解析結果から求めた正常相対幹曲線（梶原，1989）を基に、各間伐木の径級および樹幹形の違いを考慮して、間伐材利用材積を推定した。ここでは幹の断面は円形として扱い、幹の中心である幹軸を通る縦断面を幹形、幹軸を含む平面が幹の表面と交わる曲線を幹曲線と呼ぶ（樋渡，1986）。正常相対幹曲線とは、梢端からの距離が樹高の 10 分の 9 となる高さの樹幹直径を $d_{0.9}$ とすると、幹曲線を樹高方向に樹高分の 1、直径方向に $d_{0.9}$ 分の 1 に縮めたものを指す。ある一時点で同一林分内には共通する正常相対幹曲線が存在するという前提（梶原，1972；1974）の下に、強度間伐によって生産された間伐木の幹曲線を推定し、一定のルールにしたがって採材したときの利用材積および各丸太の末口径級を求め、さらに 2003-2004 年度の市場単価を当てはめて間伐材売上額を算出した。ただし、樹幹解析から推定した強度間伐当時の幹曲線が樹皮を含めないのに対し、強度間伐時におこなわれた毎木調査のデータは樹皮付き直径であった。そこで梶原（1985）の提案にしたがひ、間伐木の樹皮厚率（樹皮付き直径に対する樹皮厚の 2 倍の値の百分率）を一律 3.5% であったと仮定し、樹皮付き直径を樹皮無し直径に換算した。

採材時のルールは以下のように定めた。

- ① 根元 30cm は使わない
- ② 材長は基本を 4m、採れなければ 3m とし、3m 未満は採材しない
- ③ 末口径 6cm 未満は採材しない
- ④ 材長 +10cm で採材する
- ⑤ 連続的に採材し、材と材の間をあけない
- ⑥ 傷や曲がりはないものと仮定する

市場価格には、三好・美馬地域の 3 つの木材市場（三好木材センター事業協同組合、美馬郡木材協同組合、株式会社ゲンボク）の 2003 年度、2004 年度販売実績の単

純平均値を用い、表 4 のように設定した。市場での材積換算には末口二乗法を用いた。

表 4. 売上額予測に使用した末口径級・材長別の単価
Table 4. Prices per cubic meter of three-meter- and four-meter-long round wood

末口径級 (cm)	3m 材 (Yen/m ³)	4m 材 (Yen/m ³)
～12	9,942	9,605
14～16	12,461	12,232
18～22	13,196	17,685
24～28	11,917	15,826
30～	10,834	13,704

（三好・美馬地域の 3 つの木材市場（三好木材センター事業協同組合、美馬郡木材協同組合、株式会社ゲンボク）の 2003 年度、2004 年度販売実績の単純平均値を使用）

5. 結果

5. 1. 樹幹解析

各林分の平均胸高直径、幹材積連年成長量、胸高部における年輪幅、形状比の経年変化を図 1～4 に示す。図 1 には参考として徳島県の林分収穫表（徳島県，1977）よりスギ人工林の地位上のグラフを示した（2005 年時点で 45 年生と仮定）。選木育林区 A および B の初期の直径、幹材積の成長過程は非常に類似していた（図 1, 2）。しかし、選木育林区 B で強度間伐がおこなわれた 1983 年前後を境に、選木育林区 A と B の差が広がっていた。施業方法別に比較すると、選木育林区 A、B は通常間伐区 C および無間伐区 D と比べて各成長量が大きかった。また両選木育林区では間伐直後の二年間に 1mm 程度の年輪幅の拡大が認められたものの、毎年起こりうる変動の範囲内であり、際立った変化は認められなかった（図 3）。施業方法の違いによらず 1990 年頃まではどの林分も年輪幅が広がった。

強度間伐時の試料木の平均形状比は、両選木育林区とも 70 前後であった（図 4）。一般的に、風雪害の起こりやすい形状比の目安は 70 以上といわれており（岡山林試，2005）、強度間伐実施時点で残存木はある程度の気象害に対する耐性を備えていたと考えられる。形状比は強度間伐後数年間低下傾向を示したが、ここ 10 年以上は 65 前後で安定した値をとっていた。一方、通常間伐区 C および無間伐区 D の平均形状比は増加傾向にあり、近年は 70 以上を推移していた。

一方、施業方法に関わらず 1995 年付近をピークに全調査区において成長量の落ち込みが認められた（図 2, 3）。これは、この時期に雨の少ない年が 3 年ほど続いたことと関連していると推測された。

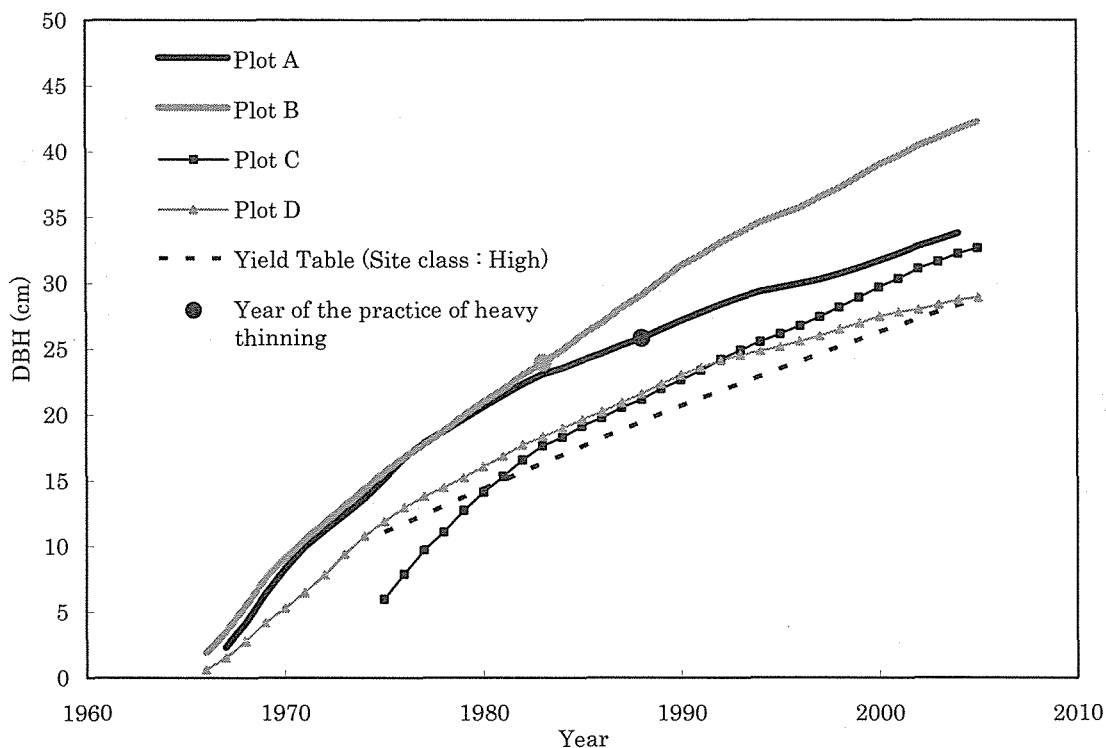


図 1. 試料木平均胸高直径の経年変化
Figure 1. Growth of DBH (Average of sample trees)

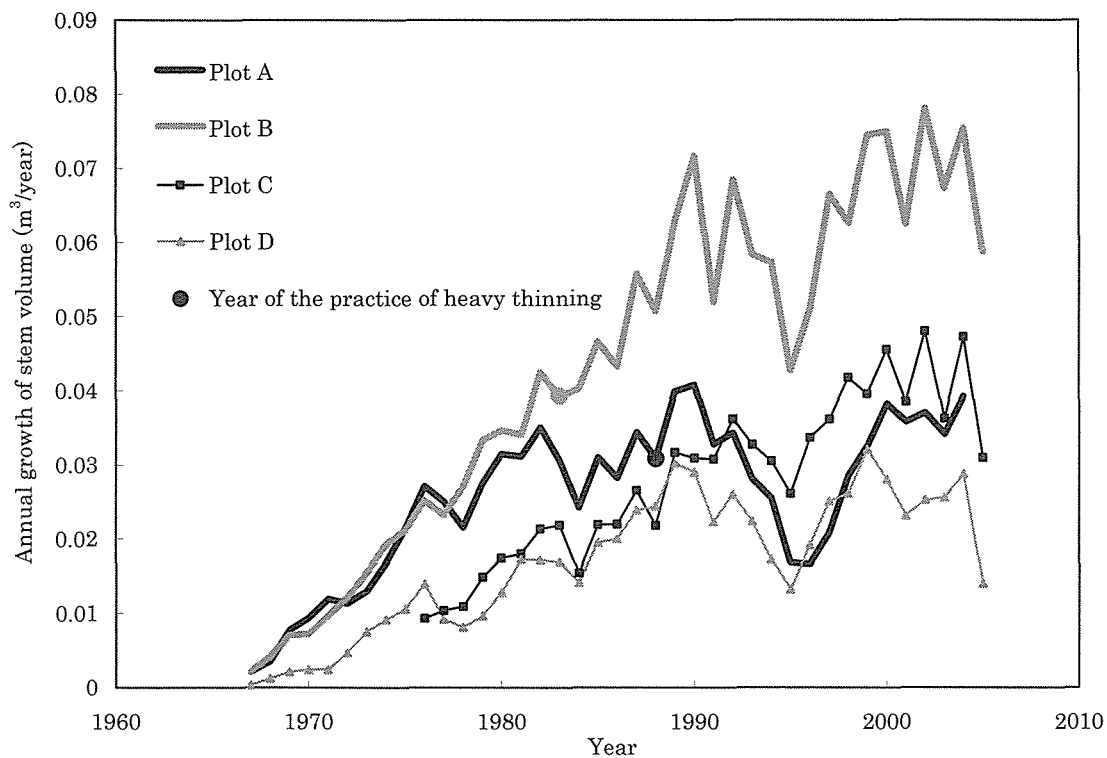


図 2. 試料木平均幹材積連年成長量の経年変化
Figure 2. Changes in annual growth of stem volume (Average of sample trees)

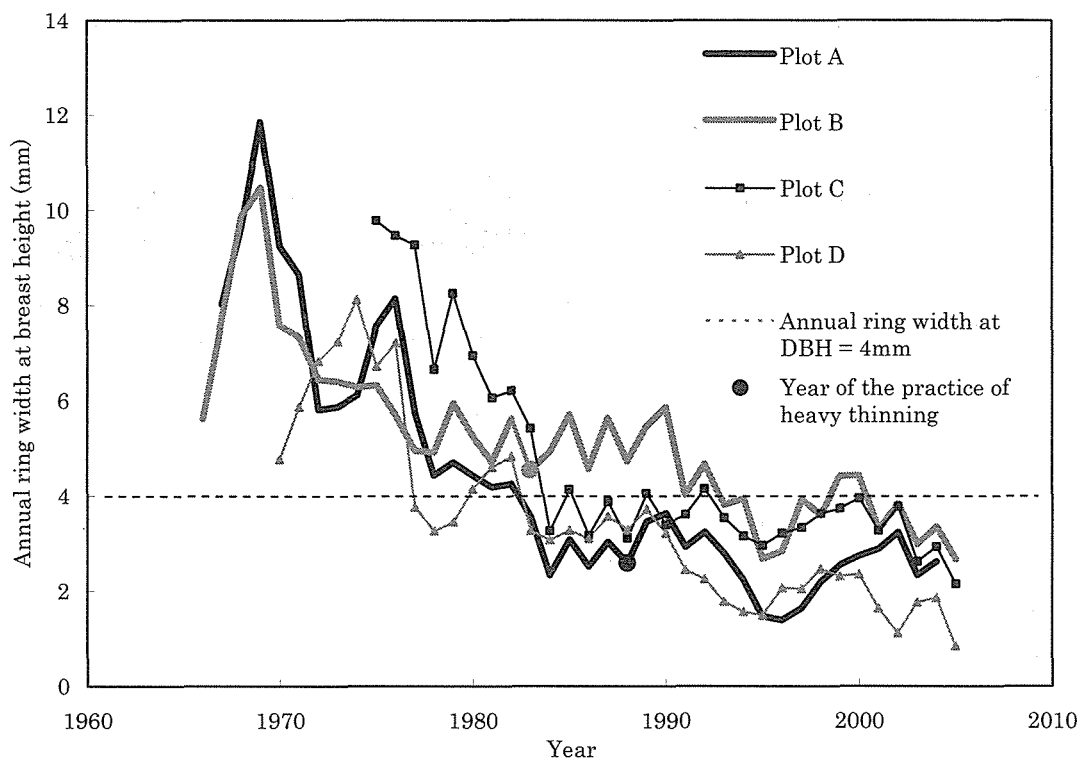


図 3. 試料木平均胸高部年輪幅の経年変化
Figure 3. Changes in annual ring width at breast height (Average of sample trees)

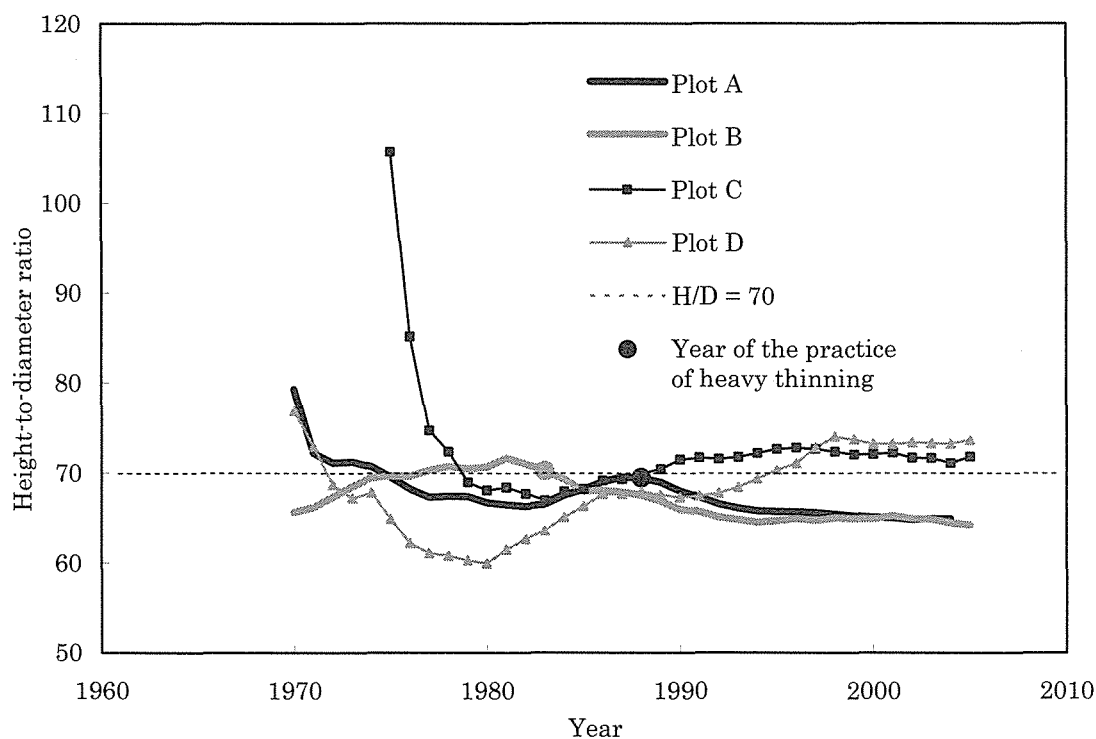


図 4. 試料木平均形状比の経年変化
Figure 4. Changes in height-to-diameter ratio (Average of sample trees)

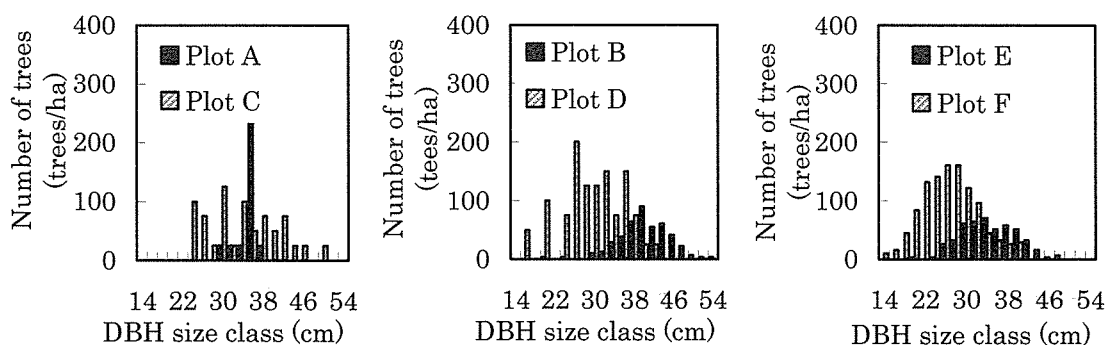


図5. 各調査区の林木の直径階分布
Figure 5. DBH distribution in each plot

5. 2. 毎木調査

各調査区の直径階分布を図5に示す。選木育林区A、通常間伐区Cは2004年時点、無間伐区Dは2005年時点、それ以外は2006年時点の調査結果である。選木育林区BおよびEでは対照区DおよびFよりも分布のピークが大径側であった。通常間伐区Cは異齢林のため特殊な分布形を示していた。

毎木調査の結果と式5の材積式（徳島県，1986）を用いて推定した調査区A～Fの調査時点での平均単木材積と林分蓄積を図6に示す。

$$v = xh + yd^2 + zd^2h - w \quad (\text{式5})$$

ただし、 v は幹材積（ m^3 ）、 d は胸高直径（m）、 h は樹高（m）、 x, y, z, w は胸高直径階毎の係数である。

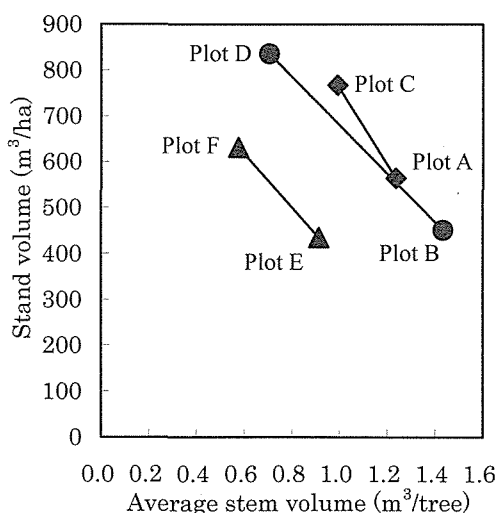


図6. 各調査区の平均単木材積と林分蓄積
Figure 6. Relationships between average stem volume and Stand volume in each plot

選木育林区は対照区よりも平均単木材積は大きいが林分蓄積は小さいという結果になった。t検定の結果、選木育林区と対照区の単木材積間、および林分蓄積間には5%水準で有意差が認められた。

5. 3. 植生調査

草本層の調査結果を表5に示す。全出現種数およびサブプロットの平均出現種数は両調査区ともほぼ等しく、最多出現種もイノコズチが共通していた。草本層の種構成に関しては、選木育林区Aと通常間伐区Cとの間に明瞭な違いはなかった。一方、草本層の植生の量については、優占度の平均百分率、群度ともにその累積値が選木育林区Aの方が大きく、草本層の現存量では選木育林区Aが通常間伐区Cを上回っていた。

指標植物に注目すると、両調査区に見られたイノコズチは適度な光環境の林内に見られる種である（埴田，1992）ことから、これらが分布している林床には現在も適度な光が届いていると考えられた。

低木・亜高木層の調査結果を表6に示す。選木育林区Aが全ての項目において通常間伐区Cを上回る結果となった。選木育林区Aでは上位出現種にミズキ、カナクギノキ、ヤマグワといった高木性の樹種が多いのに対し、通常間伐区Cではチャノキやコアカソといった低木性の樹種が多く見られた。両調査区共通にみられた種は草本層で10種、低木・亜高木層も含めると21種あった。

多様度指数の計算結果を表7に示す。 $S_{\text{HANNON-WIENER}}$ 多様度指数 H' 、 P_{IELOU} の一様度指数（均衡度指数） J' 、逆 S_{IMPSON} 指数 $(1/D)$ は大きい方が多様であることを示し、 $B_{\text{ERGER-PARKER}}$ 指数 d は小さい方が多様であることを示す。全ての多様度指数について、選木育林区Aのほうが通常間伐区Cよりも種多様性が高かった。

5. 4. 間伐材の売上額予測

選木育林区A、Bの強度間伐時における間伐木および

表 5. 草本層の植生調査結果
Table 5. Results of vegetation survey (herbaceous layer)

	選木育林区 A	通常間伐区 C
全出現種数	30	31
小プロットの平均出現種数	5.2	5.1
最多出現種	イノコズチ (<i>Achyranthes japonica</i>)	イノコズチ(<i>Achyranthes japonica</i>), チャノキ(<i>Camellia sinensis</i>)
最大優占度	3	1
優占度の平均百分率の累積値(%)	202.8	36.0
最大群度	3	2
累積群度	30	6

表 6. 低木・亜高木層の植生調査結果
Table 6. Results of vegetation survey (bush / sub-canopy layer)

	選木育林区 A	通常間伐区 C
総個体数	111	72
種数	34	16
上位出現種 (個体数)	ノリウツギ (<i>Hydrangea paniculata</i>) (11) ミズキ (<i>Swida controversa</i>) (11) カナクギノキ(<i>Lindera erythrocarpa</i>) (9) ヤマグワ (<i>Morus bombycis</i>) (9)	チャノキ (<i>Camellia sinensis</i>) (28) コアカソ (<i>Boehmeria spicata</i>) (13) ケヤキ(<i>Zelkova serrata</i>) (6)
最大樹高(cm)	780 (アカメガシワ, <i>Mallotus japonicus</i>)	500.9 (ミズキ, <i>Swida controversa</i>)
最大胸高直径(cm)	10.2 (カナクギノキ, <i>Lindera erythrocarpa</i>)	4.0 (ミズキ, <i>Swida controversa</i>)
最大地際直径(cm)	11.2 (カナクギノキ, <i>Lindera erythrocarpa</i>)	7.4 (ミズキ, <i>Swida controversa</i>)
平均樹高(cm)	315.8	114.4
平均胸高直径(cm)	4.26	1.51
平均地際直径(cm)	4.42	1.99

表 7. 各多様度指数の計算結果
Table 7. Values of four species diversity indices

Species diversity index	選木育林区 A	通常間伐区 C
SHANNON-WIENER の多様度指数 H'	4.60	3.00
PIELOU の一様度指数 J'	0.90	0.75
逆 SIMPSON 指数 $1/D$	18.8	4.9
BERGER-PARKER 指数 d	0.099	0.389

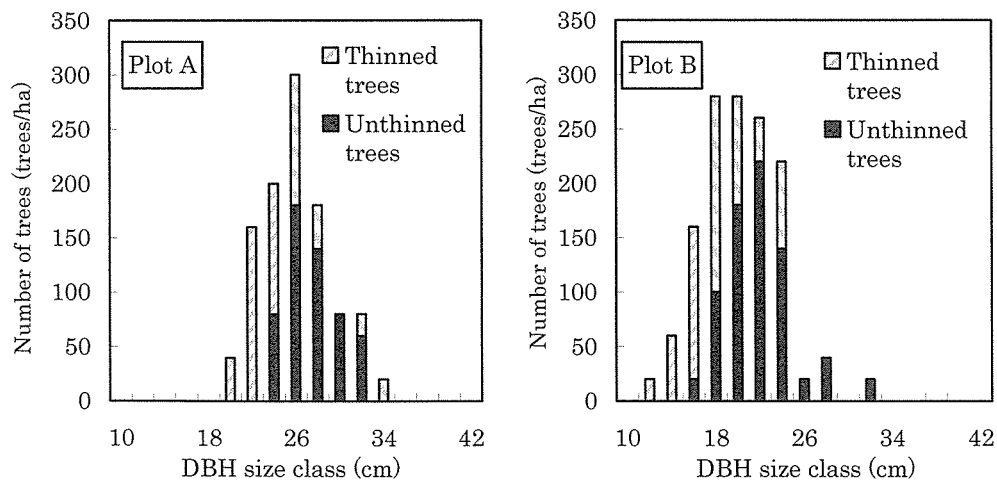


図 7. 選木育林区 A および B における強度間伐時の間伐木および残存木の直径階分布

Figure 7. Diameter size class distribution of thinned and unthinned trees at the time of heavy thinning treatment in plot A and B

残存木の直径階分布を図7に示す。選木育林の選木基準は「小径木や劣勢木を伐る」のではなく「形質の良い優勢木を残す」ことであるため、必ずしも下層間伐にはなっていない。相対幹曲線を用いて算出した選木育林区AおよびBの材積間伐率はそれぞれ42.6%, 35.9%であった。また間伐材積は選木育林区Aで165.9m³/ha, 選木育林区Bで95.5m³/haであった。利用材積は選木育林区Aで124.8m³/ha, 選木育林区Bで60.6m³/haとなり、歩留まりはそれぞれ75.2%, 63.5%であった。推定された間伐材の4m材の末口径級構成を図8に示す。選木育林区Aは12cm径級と18cm径級に分布のピークがあり、14cm径級にピークのある選木育林区Bに比べてより大径側まで分布していた。2003-2004年度の市場単価を用いた間伐材の売上額は、選木育林区Aで2,565,591円/ha, 選木育林区Bで1,057,120円/haとなり、両選木育林区間で二倍以上の差が生じた。推定された売上額を販売材積(市場での換算材積)で割った値、すなわち間伐材の平均単価は、選木育林区Aで15,459円/m³, 選木育林区Bで12,360円/m³であった。

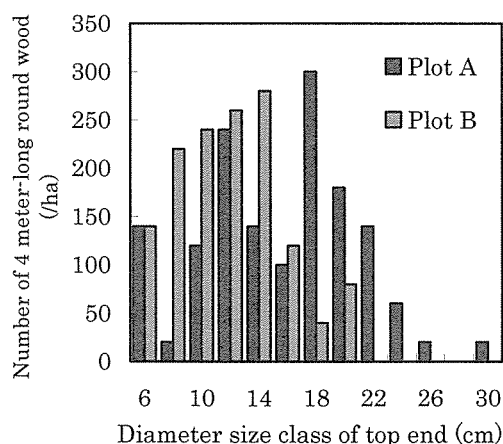


図8. 選木育林区AおよびBの間伐材4m材の推定末口径級分布
Figure 8. Diameter size class distribution patterns of top end of four-meter-long logs produced by heavy thinning in plot A and B

6. 考察

6. 1. 選木育林・早期仕上げ間伐と林木および林分の成長

強度間伐後に残存木の顕著な年輪幅の拡大は認められず、幹材積の連年成長量にも間伐前後で大きな変化はみられなかった。また選木育林区は通常間伐区よりも単木材積は大きい、立木密度が低いために林分蓄積としては小さいという傾向が得られた。ここで、間伐効果とは何であるかを考えると、一般的には、鬱閉した林冠を開

放することにより林木同士の競争状態を緩和し、抑制されていた成長を回復させ、将来の収穫材積の増加を促すこととされている。しかし選木育林・早期仕上げ間伐に関しては、残存木はほとんどが優勢木であり、さらに事前に除伐が施されていることから、間伐前からそれほど成長を抑制されておらず、一般的な意味での間伐効果はあまり期待できないと考えられる。選木育林・早期仕上げ間伐に第一に期待される間伐効果とは、残存木一本一本の確実な肥大成長であり、林分蓄積の最大化ではなく単木材積の最大化である。菊沢(1981)は間伐効果を「間伐により目標径級に達した木を多く生産すること」と定義しており、間伐効果を分析するにあたっては林分の平均直径に関する比較のみでは不十分であることを指摘している。選木育林・早期仕上げ間伐のような劣勢木を中心とした強度間伐の場合、間伐効果の有無に関わらず、小径木が間伐されることによって林分の平均直径は必ず大きくなることから、特にこの指摘を考慮しなければならないであろう。よって、本研究の結果から選木育林区の方が対照区よりも平均胸高直径が大きい、あるいは全体的に木が太い、というだけで間伐効果を論ずるのは不十分である。

そこで、胸高直径の大きいものから順に残存木の本数を積算していき、選木育林区が対照区に追い越される直前の積算本数を選木育林区の全残存木本数で割ったものの百分率を「目標達成度」と定義し、選木育林のねらいである「大径木生産」がどの程度達成されたのかについて定量化を試みた。横軸に胸高直径(cm)、縦軸にその胸高直径よりも大きい林木のhaあたりの積算本数(本/ha)をとったグラフを図9に示す。選木育林区Bと無間伐区Dでは、胸高直径が33.0cmのところ選木育林区Bが422本/haに対し、無間伐区Dは425本/haとなり、無間伐区Dが逆転した。選木育林区Bの無間伐区Dに対する調査時点の目標達成度は94.2%となった。一方、選木育林区Eと通常間伐区Fでは、胸高直径が28.4cmのところ選木育林区Eが437本/haに対し、通常間伐区Fは460本/haとなり、通常間伐区Fが逆転した。選木育林区Eの通常間伐区Fに対する調査時点の目標達成度は91.3%となった。以上の結果から、選木育林・早期仕上げ間伐の実施によって残存木の約9割は通常間伐施業や無間伐施業よりも太くなる、すなわち、それだけ多くの大径材が生産できることが示された。

強度間伐後の風雪害のリスクについては、選木育林区AおよびBの残存木の形状比が強度間伐実施時点で70前後であり、単木的には安定した樹形であったことが確かめられたが、強度間伐で林分が大きく疎開し風が林内を吹き抜けやすくなること、林木同士の支え合いがなく

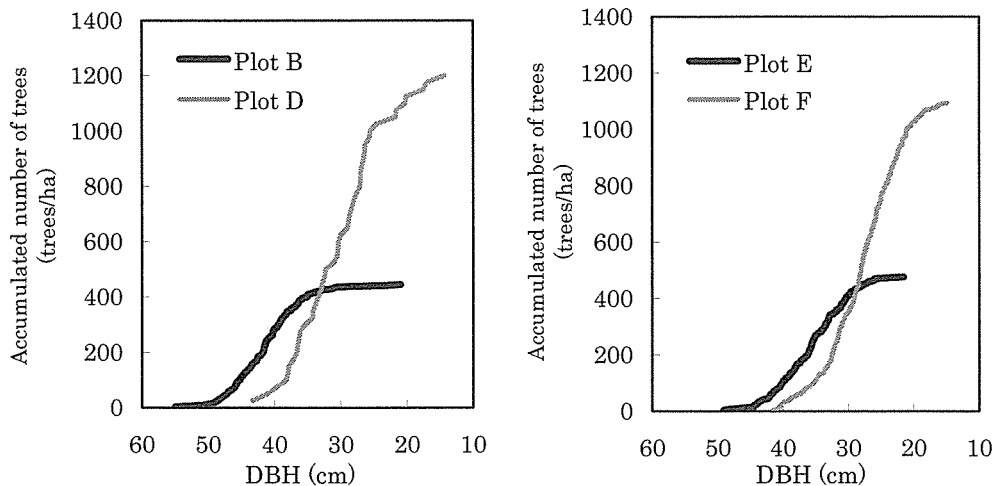


図9. 林木の胸高直径とその胸高直径より太い林木の積算本数
Figure 9. Relationship between DBH and accumulated number of trees which are larger than the DBH

なること等がどの程度風雪害の発生リスクを高めるのか、また、林木が風によって大きく振られることによるモメ発生等の材質低下がどの程度生じるのかなどについては、今後詳細な調査が必要である。

6. 2. 選木育林・早期仕上げ間伐と下層植生の発達

草本層では量的に、低木・亜高木層では量・質ともに、選木育林区 A の方が通常間伐区 C に比べて植生が豊かであった。渡辺ら (2002) はトドマツ人工林において、ある一定強度以上の間伐をおこなっても、間伐 3 年後の下層植生の多様性に大きな違いは見られなかったとしている。本研究で草本層の種多様性に調査区間で差がなかったこと、選木育林区で高木性の木本が多く認められたことを考え合わせると、間伐強度が強いことが低木・亜高木層の種多様性を高めたわけではなく、下層植生の生育できる光環境が長期間持続し、なおかつ人為的攪乱の頻度が低かったことによって遷移が進み、低木・亜高木層の種多様性が高まったと推測される。すなわち、低木・亜高木層の種多様性の高さは、下層植生が連続的に維持されてきた時間の長さを反映しており、その間には多少なりとも下層植生が土砂流出防止等の公益的機能を発揮してきたものと考えられることから、低木・亜高木層の種多様性は人工林の持つ公益的機能の持続期間の尺度として有用であると推察された。しかし、下層植生の遷移段階と公益的機能の大小との関係については未解明の点が多いため、継続的な調査が必要である。

6. 3. 選木育林・早期仕上げ間伐と林業経営

30 年生で強度間伐をおこなった選木育林区 A の方が、

22 年生で強度間伐をおこなった選木育林区 B よりも間伐材の売上額が二倍以上高かった。これは、選木育林区 A の方が中目材の材価のピークがある 18 ~ 22 径級の間伐材を多く含んでいたためと考えられる。4m 材の全利用材積に占める末口 18 ~ 22 径級の占める割合は選木育林区 A で 57.9%、選木育林区 B で 21.3% であった。このことから、強度間伐の採算性を高めるためには、間伐材が有利に販売できる径級になるまで成長するのを待って実施することが有効であろう。しかしながら清和 (1994) は 15 年生のカラマツ人工林における強度間伐試験の考察の中で、強度間伐にはより直径の大きな個体へより多くの材積成長を配分する効果が期待できるものの、その効果が顕著に現れるのは樹高成長旺盛な若齢林分に限られるだろう、と述べている。また明石 (2000) は、32 年生の間伐遅れカラマツ人工林で材積間伐率 45% の強度間伐をおこなったが、弱度間伐を繰り返した場合と間伐効果に違いがあるとはいえなかったと結論づけており、これらの報告は強度間伐の実施時期を遅らせると間伐効果が弱まる可能性もあることを示唆している。本研究の樹幹解析の結果でも、選木育林区 A, B は幼齢期にはほぼ同等の成長を示していたが、選木育林区 B で 22 年生時に強度間伐が実施されて以降徐々に両区の成長に差が生じ、選木育林区 A で 30 年生時に強度間伐が実施されてからもその差は縮まらなかった。したがって、強度間伐自体の採算性をより重視するか、大径木の早期生産を重視するかによって、強度間伐の実施時期をよく検討すべきである。

予測された間伐材の平均単価は、間伐のコストをどの程度に抑えれば利益が出るかという一つの目安になる。

間伐材の推定売上額から間伐にかけられるコストを前もって算出し、それに応じて搬出方法を選択するというのも、持続可能な林業経営にとって有効な手段であろう。今回の間伐材売上額の推定には市場単価を用いたが、現在、全国各地で大規模な国産材加工施設が整備されてきており、これから並材の流通形態として「工場直送」が一つの大きな流れを成すようになるものと予想される。工場と直接契約を結ぶ際に、一度の間伐でまとまった量の間伐材を生産できることは有利に働くと考えられ、比較的小規模な山林所有者でも並材の間伐材をより高く販売できるようになると期待される。

本研究では、過去の間伐の伐採・搬出コストまでは再現できなかったが、間伐の採算性を議論するに当たっては収益とともにコストの分析が不可欠であり、今後の課題である。さらには、一回の強度間伐についてだけでなく、林業経営全体での採算性まで発展させて初めて、持続可能な「育林体系」として確立されたといえるだろう。

7. おわりに

本研究より、選木育林・早期仕上げ間伐の「大径並材の早期生産」という生産目標は地域の風土に合致した妥当なものであり、選木育林・早期仕上げ間伐の強度間伐はその目標に合った効果の得られる技術であることが多角的に示された。また、強度間伐の実施時期については、川下の動向を踏まえ、より柔軟に変動させることで、間伐の採算性のさらなる向上が期待できると考えられた。

30年前と現在とでは林業を取り巻く情勢も大きく変化していることから、選木育林も現代のニーズに合わせて改良を加えていく必要がある。その一つが高性能林業機械を用いた搬出システムへの適用である。選木育林は単線循環式架線による搬出を前提として考案されたもので、近年急速に普及している高密路網・高性能林業機械を用いた作業システムとの組み合わせは想定していない。材価が上昇傾向にあるとはいえ、架線集材による間伐で、しかも並材の間伐材の販売によって採算を合わせるのには依然として難しい状況であり、搬出作業においてもコスト削減は不可欠である。今後、列状間伐と選木育林を組み合わせた場合の間伐の採算性を検討していく予定である。

選木育林のもう一つの重要な検討項目として、最終伐期をどこに設定するか、という問題がある。選木育林ではもともと40～50年伐期が想定されており、選木育林・早期仕上げ間伐では、強度間伐実施後は主伐まで施業をおこなわないという方針であった。しかし、再造林費が育林コスト全体に占めるウエイトの大きさを考えると、

いくら成長が旺盛といっても短伐期施業では経営が立ち行かないのは明らかである。逆に、あまりに長い伐期を設定しても、もともとの生産目標が並材であるだけに、かけた時間と労力に見合うだけの収益を期待することは難しい。大径並材生産の最適伐期はいつなのか、林木の成長という観点からだけでなく、再造林費用や主伐の収益も考え合わせて検討する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、杉山幸氏には、調査地・試料木・過去の調査資料を提供していただいたばかりでなく、現地調査や検討会にも足を運んでいただき、貴重なご助言をいただきました。杉山氏の林業にける情熱に敬意を表するとともに、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。数々の現地調査にご協力いただいた徳島県職員の皆様、多大なるご指導、ご支援をいただいた京都大学大学院農学研究科森林科学専攻森林利用学分野の大澤晃教授、岡田直紀准教授、学生の皆様には、ここに謹んで感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 明石信廣 (2000) カラマツ長伐期施業のための間伐方法。北海道林業試験場研究報告. 37. 59-66
- 2) BRAUN-BLANQUET, J. (1964) Pflanzensoziologie : Grundzüge der Vegetationskunde Pflanzensoziologie. 865 pp, Springer-Verlag. Wien and New York.
- 3) 藤森隆郎 (2005) 間伐問題を考える 間伐はなぜ必要か。森林科学. 44. 4-8
- 4) 樋渡ミヨ子 (1986) 幹曲線式による利用可能材積の推定方法。林試研報. 337. 26-67
- 5) 伊藤嘉昭・佐藤一憲 (2002) 種の多様性比較のための指数の問題点 - 不適当な指数の使用例も多い -。生物科学. 53 (4). 204-220
- 6) 梶原幹弘 (1972) スギ同齢林における相対幹曲線の変動について。日林誌. 54 (10). 340-345
- 7) 梶原幹弘 (1974) 相対幹曲線による林分の全幹材積ならびに利用材積の推定について。日林誌. 56 (10). 353-360
- 8) 梶原幹弘 (1985) スギ同齢林における樹皮厚率とその推定について。京府大学術報 農学. 37. 189-194
- 9) 梶原幹弘 (1989) 新しい完満度の定義と表現を用いた同齢林における完満度の変化。日林誌. 71 (2). 50-55
- 10) 菊沢喜八郎 (1981) 間伐効果に関する定量的研究 (I) 収量 - 密度図を用いた分析。日林誌. 63. 51-59
- 11) 森下正明 (1996) 種多様性指数値に対するサンプルの大きさの影響。日生態誌. 46. 269-289
- 12) 南雲秀次郎・箕輪光博 (1990) 現代林学講義 10 測樹学. 243pp. 地球社. 東京.
- 13) 岡山県林業試験場 (2005) 平成 16 年台風 23 号による森林災害について。場報. 8-9

- 14) 清和研二(1994) カラマツ人工林における強度間伐の有用性.
日林東北支誌. 46. 87-88
- 15) 森林立地調査法編集委員会編 (1999) 森林立地調査法: 森の
環境を測る. 284pp. 博友社, 東京.
- 16) 杉山宰 (1987) 選木育林と早期仕上げ間伐. 山林. 1235.
19-25
- 17) 杉山宰 (1996) 三好地域における選木育林. 52pp. 吉野川
流域木材供給圏対策協議会, 徳島.
- 18) 埴田宏 (1992) 複層林施業の基礎条件. (複層林マニュアル:
施業と経営, 藤森隆郎編, 119pp, 全国林業改良普及協会,
東京). 32-40
- 19) 徳島県 (1977) 主要樹種林分簡易収穫表 地位指数判定基
準表. 4-5
- 20) 徳島県 (1986) 材積表. 83pp
- 21) 渡辺一郎・八坂通泰・小山浩正・滝谷美香・大野泰之 (2002)
トドマツ人工林の間伐と下層植生多様性. 日林北支論. 50
(2). 65-67
- 22) 渡辺一郎 (2004) トドマツ人工林の保育と林床の生物多様性.
光珠内季報. 134. 12-15
- 23) 山田康裕・諫本信義 (2001) 間伐が下層植生および表層土
壌の流出に与える影響. 日林九支研論. 54. 79-80

(2008 年 8 月 10 日受理)