

落葉広葉樹林およびアカマツ林を利用したヒノキの育成 —— 生育初期の結果 ——

丹原 哲夫

Growth of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) seedlings in deciduous broad-leaved and Japanese red pine (*Pinus densiflora*) forests: Growth in early developmental stage.

Tetsuo TANBARA

丹原哲夫：落葉広葉樹林およびアカマツ林を利用したヒノキの育成—生育初期の結果— 岡山県林試研報14：51～62, 1998 1991年から1995年に落葉広葉樹—ヒノキ、アカマツ—ヒノキ二段林施業について実証的な試験を実施した。散光条件下の相対照度は、比較的再現性が高く、しかも植物の成長に関する光環境の指標として有効であった。

相対照度が低下するとヒノキの成長も低下したが、その低下の程度は比較的小さく、平均相対照度約45%のとき5年生ヒノキのD²Hは対照に比較し約85%、平均相対照度約15%のとき約65%であった。しかし、相対照度が約15%以下では形状比が高くなり、約7%以下では成長が著しく低下した。また、相対照度5%程度以下では植栽時の枯損率が高くなる傾向であった。これらのことに関連し、試験地においてヒノキの光—光合成特性を調査した結果、ヒノキの光飽和点は太陽高度が高い時期の全光条件での相対照度約50%、光補償点は約10%とみられた。また、光飽和点以上の照度条件においてヒノキの光合成速度は比較的大きく低下する傾向であった。一方、林内の下層植生量は相対照度の低下に対応してパラレルに減少する傾向を示し、相対照度50%程度の条件においては、画一的な毎年の下刈りは必要でないと考えられた。

落葉広葉樹林内の相対照度の季節変化は大きく、ヒノキは落葉広葉樹の開葉時期に主たる成長をすることから、時間的に光を有効に利用していた。しかし、うっ閉した落葉広葉樹林における相対照度は5%程度であり、ヒノキを育成するためには適宜受光伐が必要である。相対照度は年とともに低下したが、相対照度が高いほど低下の程度は大きく、7月期の相対照度が30、20、10%のとき5年後の相対照度はそれぞれ14、10、6%(低下割合：55、51、39%)に低下した。一方、アカマツの樹冠は光を透過しやすく、アカマツ林内の相対照度は30～60%であり、しかも季節変化、経年変化も小さく、雑草木の繁茂を抑制してヒノキを育成する上で好適な光環境であった。なお、アカマツとヤマザクラ、コナラ等落葉広葉樹が混交した林における相対照度はほぼ10～20%であった。

受光伐を実施するにあたって、薬剤による立木処理は施業方法が簡便であり、通常の伐採のように萌芽が発生しないことから下層植生量が制限され、省力的施業技術として有効であった。

キーワード：二段林、ヒノキ、落葉広葉樹林、アカマツ林

1. はじめに

落葉広葉樹林などを伐採してスギ、ヒノキなどへの林種転換を図る、いわゆる拡大造林の推進によって、岡山県においても人工林面積は約17万haに達し、貴重な森林資源の基礎が出来上がった。このような拡大造林施業は山間部に豊富に労働力が存在し、比較的安価に供給された時代を背景に確立された技術であり、地拵や下刈りに多大の労務を必要とする。今後このような労働力の確保は困難であり、生産基盤の整備、機械化の促進、薬剤の適正利用などによって大幅な低コスト化を図る必要がある。とりわけ、森林の造成にあたっては、地形等の関係から機械化等による大幅な省力化を期待するのは難しく、新たな造林技術の構築が望まれる。さらに、地力保全や水土保全、および生物害や気象災害等の面から樹種の多様化、林相の多様化を図り、針葉樹単一林がもつ生態的不安定さを克服する技術開発が望まれている(蜂谷 1989)。

県内にはヒノキ植栽後にアカマツが進入しアカマツ—ヒノキ二段林となっている事例や、ケヤキを残してその下層にスギを植栽したり、あるいはアカマツを残し、その下層

でヒノキを育成する施業も一部の地域で経験的に実施されている。このような事例や慣行的施業も、その構成樹種や林分構造の生理的生態的特性を明らかにすることによってはじめて林業技術となり得る。しかし、上木がアカマツや広葉樹の複層林についての報告は比較的少ない(林野庁 1997)。そこで、県内に広範囲に分布している落葉広葉樹林およびアカマツ林の下層でヒノキを育成する二段林施業について1991年に試験地を設定して5年間調査を実施するとともに、それに関連してヒノキの時期別成長パターンやヒノキの光合成特性等を調査した。本報告は、おもに林内の光環境の特性、光環境とヒノキの生育性および雑草木繁茂との関係について検討した結果について報告する。

本試験は単県試験研究「地域に適合した複層林誘導技術の確立」(1991～1995年)において実施した。なお、本成果の一部は第44回および第47回日本林学会関西支部大会(丹原 1994, 1997)において発表した。この試験を実施するにあたり竜門正志氏には快く試験地の提供を頂いた。また、水永博己博士(現：鹿児島大学 元：岡山県林業試験場)には試験を推進するにあたって貴重なご助言を賜るとともにご校閲を賜った。ここに記して謝意を表する。

II. 材料と方法

1. 試験地の設定

1) 広葉樹試験地 (岡山県勝央町大字植月中)

試験地は岡山県北東部に位置し、岡山県林業試験場の構内である。年平均気温は13.5℃、年平均降水量は1,300mmである。地形は丘陵地形、標高約120m、斜面傾斜度約5°、斜面方位W、基岩第三紀層、土壌型B_B~B_{D(t)}である。当試験地は1989年に広葉樹の間伐試験地として一部に間伐を実施している。1991年5月初旬に胸高直径約5cm以下の灌木および下草を伐採(以下整理伐)し、5月13日に3年生ヒノキ(育種苗木、精英樹混合)を方形植栽した。面積は1,188m²、ヒノキ植栽本数(植栽密度)は444本(3,737本/ha)であった。下刈りは植栽翌年の1991年11月に1回実施した。

2) アカマツ試験地 (岡山県勝央町大字畑屋)

試験地の位置および気象条件は、広葉樹試験地とほぼ同条件である。地形は丘陵地形、標高約140m、斜面傾斜度5~20°、斜面方位SW、基岩安山岩、土壌型B_B~B_{D(t)}である。1991年5月初旬にアカマツのみを残して他樹種を全て伐採したアカマツ区、整理伐のみを実施してアカマツと広葉樹を残したアカマツ・広葉樹区、そして対照として皆伐区の3区を設定し、5月24日に3年生ヒノキを方形植栽した。アカマツ区、アカマツ・広葉樹区および皆伐区的面積と植栽本数(植栽密度)は、それぞれ573m²、180本(3,141本/ha)、410m²、154本(3,756本/ha)、296m²、100本(3,378本/ha)であった。皆伐区は1991年11月および1992~1995年の毎年9月に下刈りを実施し、アカマツ区は1991年11月に萌芽の整理を実施した。

なお、アカマツ・広葉樹区では1成長期後にヒノキ植栽木の40%に枯損または梢端枯れの被害がみられた。そのため、1992年2月13日に主に中層に分布しているソヨゴ(全樹種本数率45%、54本)に対して薬剤(グリホサート3倍液10cc程度を鋤で切れ目を付けた樹幹2~3ヵ所に注入)による立木処理(吉田 1990)を行うとともに、4月24日にヒノキの全面改植を実施した。

2. 試験地の調査

1) 上層木調査

広葉樹試験地で1991年10月15日、アカマツ試験地で1991年9月12日に、上層木の胸高直径(直径巻尺)、枝下高および樹高(測桿)を測定した。

2) 相対照度調査

広葉樹試験地で1991年9月25日、1992年2月24日、4月30日、5月8日、7月2日、9月24日、1993年9月29日、1995年6月16日および1997年6月25日、アカマツ試験地で1991年9月25日、1992年1月31日、4月30日、7月10日、9月10日、1993年9月29日および1995年6月16日(いずれも曇天日)の10:00~14:00に相対照度を測定した。林内照度(I)は植栽した各ヒノキの梢端部で、林外照度(I₀)はそれと同時に最寄りの比較的周辺の開けた定点において照度計(竹村電機製作所 DX-100)を用いて測定し、相対照度(I/I₀)を算出した。

また、広葉樹試験地において、方形植栽した隣接するヒ

ノキ4本の方形区(2×1.25m)を調査単位とし、1994年7月4日に上層樹冠による被覆率を0~5%、5~30%、30~70%、70~100%の4段階に調査し、相対照度との関係について検討した。

3) ヒノキの成長調査

広葉樹試験地とアカマツ試験地において、植栽時および1~5年生時のヒノキの根元直径(地上5~10cm部位、ノギス)および樹高(測桿)を測定した。調査は、1991年6月1日、1991年9月25日、1992年4月24日(改植区の植栽時調査)、1992年12月25日、1993年12月6日、1994年12月14日および1995年12月6日に行った。そして、個体ごとの樹高(H)と根元直径(D)からD²Hおよび形状比(H/D)を計算した。

4) 下層植生量調査

広葉樹試験地で、1992年9月3日と1995年9月1日に林内の下層植生量を調査した。林内に無作為に1×1mのコドロードを1992年42ヵ所、1995年28ヵ所設定した。そして、このコドロード内に生えている全ての下層植生を地際から刈り取り、絶乾重量を測定した。また、アカマツ試験地でそれぞれの試験区において、1991年9月3日に3×3mのコドロード1ヵ所、1992年9月3日、1993年8月23日、1994年8月30日、1995年9月1日は2×2mのコドロード2ヵ所を設定し、下層植生量を広葉樹試験地と同様な方法で測定した。

3. 関連調査

1) ヒノキの時期別成長

広葉樹試験地において無作為に20個体のヒノキを選定し、1992年3月1日~12月2日の期間に2~4週間おきにヒノキ梢端部の伸長量(3月1日調査を0値とした)を測定した。

2) 落葉広葉樹の開葉時期

林業試験場構内に植栽(1987年3月)しているヤマザクラ、コナラ、クリ、クヌギについて、枝先端部新葉の開葉時期を調査した。調査は1994年4月1日~8月14日の期間に10回実施した。各樹種3個体について、それぞれ陽光の十分当たっている南側の1枝を調査対象とし、開葉数量(C)、開葉指数(X:下記により4段階に調査)を調査し、開葉度(L=C×(0.1X))を算出した。

開葉指数(X)

10:葉の大きさがほぼ成葉とみられる。 7:成葉にやや達していない。 5:成葉の約半分の大きさである。 3:展開初期である。

3) ヒノキの光合成速度

広葉樹試験地において、1993年5月7日(晴天日)に無作為に10個体のヒノキを選定(ただし、1個体は隣接の解放地に1年遅れで植栽(92年3月3日)したヒノキを対象とした)し、14:00~17:00に4~7回携帯式光合成測定装置(島津製作所 SPB-H3)を用いてヒノキ当年葉の光合成速度を測定した。

4) 樹冠の梢端からの距離と相対照度

1994年6月28日にアカマツ林、6月30日にアラカシ、ヤマザクラ、ケヤキ、コナラ林において(いずれも曇天日)、樹

冠の梢端からの垂直距離と相対照度の関係を調査した。樹冠の中の照度は測桿の先端に照度計を水平に付けて測定した。アカマツは岡山県林業試験場構内、その他の樹種は岡山県立運動公園（岡山市）内で調査した。調査林はいずれの樹種もほぼ閉鎖状況であり、樹高は9～14mであった。

III. 結果と考察

1. 広葉樹試験地

1) 上層木の状況

樹種別構成割合は、本数率ではリョウブ46%、コナラ11%、クリ9%、アオハダ10%、コシアブラ7%、そして、エゴノキ、ネジキ、ソヨゴ等が17%であった。また、胸高断面積合計率ではリョウブ32%、コナラ15%、クリ13%、アオハダ13%、コシアブラ10%、そしてその他の樹種が17%であった。

なお、当試験地は試験地設定前に広葉樹の間伐試験地として使用していたため、上木の分布状況は均一でなく、場所によって大きく異なった。そこで、次項図-3において示すように試験地を相対照度の分布状況から4ブロック（1～4）に区分した。ブロック別上木の状況を表-1に示す。

表-1 各ブロックでの上木の状況

ブロック	樹高 m	胸高直径 cm	本数密度 /ha	胸高断面積合計 m ² /ha
1	8.86	9.20	2,182	18.70
2	8.98	10.59	1,119	10.90
3	8.16	7.90	2,294	12.92
4	9.51	10.66	951	11.01

ブロック1および3とブロック2および4では大きく異なり、ブロック2、4の樹高、胸高直径はブロック1、3に比較してやや大きく、本数密度はブロック1、3の約50%、胸高断面積合計は平均約75%であった。ブロック2、4は1989年に間伐を実施しており、ブロック1、3は整理伐のみを行い間伐を実施していない。間伐前の状況がほぼ均一だったと仮定すれば、本数率で約50%、胸高断面積率で約30%の下層間伐を実施したことになる。

つぎに、樹高および枝下高の頻度から求めた各ブロックの樹冠深度図（田川 1977）を図-1に示す。樹冠深度図において、樹高曲線は樹高の累積頻度を示し、樹冠曲線はある高さにおいて樹冠を有する木の頻度を示す。ブロック1では約10～13mにコシアブラ、ソヨゴ、エゴノキ、クリ、約5～11mにリョウブ、クリ等が分布していた。ブロック2は約5～11mにリョウブ、アオハダ、コナラが分布していた。ブロック3は約5～10mにリョウブが分布し、ブロック4は約12～15mにアカマツが単木で分布し、約5～10mに上層よりクリ、コシアブラ、リョウブが分布していた。

2) 相対照度

相対照度の再現性：相対照度の測定時期間の相関行列を表-2に示す。1992年2月および1995年6月は他の測定時期に比較してやや相関が低い傾向であったが、全体的に高い相関（全体平均 $r = 0.781$ ）が認められた。2月期の相関が

やや低いのは落葉期であることが原因である。また、1995年6月の相関が1997年6月よりも全体的に相関が低かった。これは、1995年6月の測定は、測定時の光（曇りの状態あるいは風の影響）条件が陽斑の活動を助長し、誤差が増大したものと推察した。

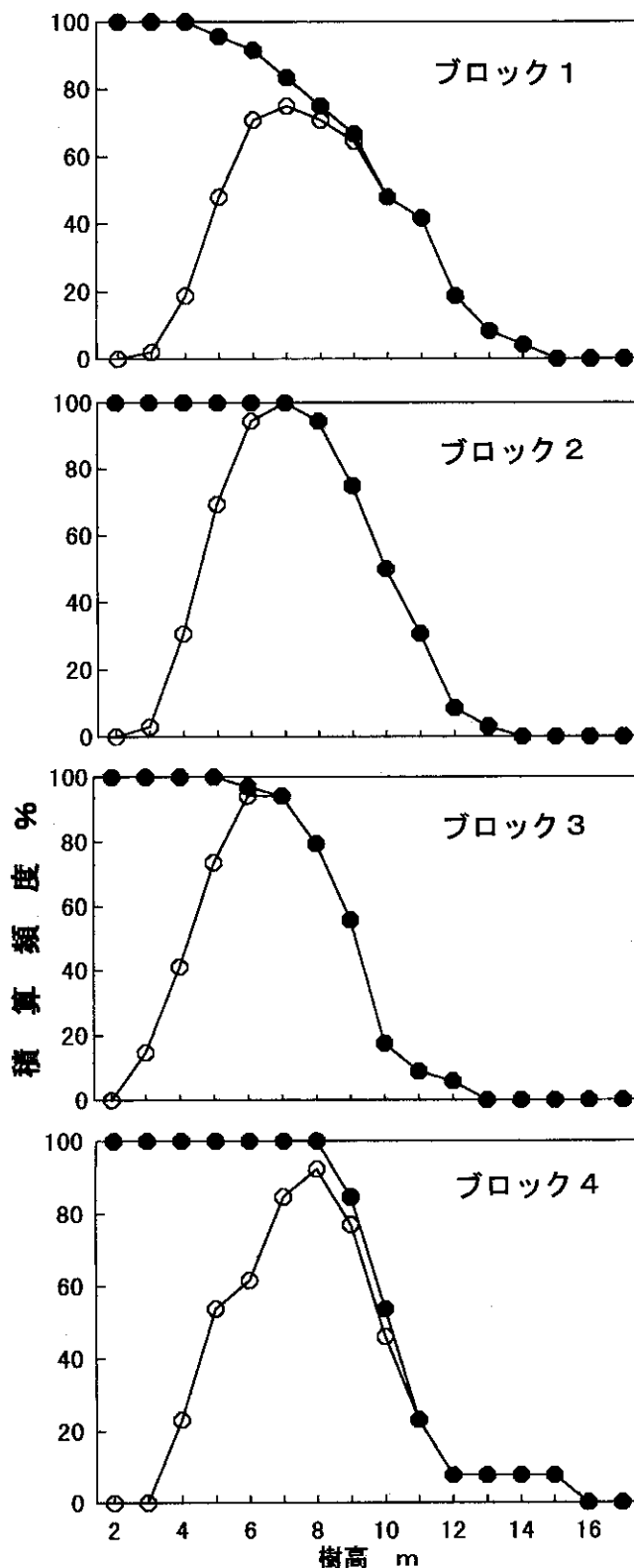


図-1 4ブロックでの樹冠深度図

●樹高曲線 ○樹冠曲線

表-2 相対照度の測定時期間の相関行列

	'91.9	'92.2	'92.4	'92.5	'92.7	'92.9	'93.9	'95.6	'97.6
1991.9		0.745	0.797	0.934	0.937	0.913	0.931	0.661	0.818
1992.2	**		0.743	0.782	0.745	0.721	0.682	0.647	0.613
1992.4	**	**		0.874	0.807	0.761	0.730	0.637	0.657
1992.5	**	**	**		0.937	0.889	0.871	0.671	0.781
1992.7	**	**	**	**		0.942	0.924	0.659	0.789
1992.9	**	**	**	**	**		0.917	0.633	0.787
1993.9	**	**	**	**	**	**		0.670	0.872
1995.6	**	**	**	**	**	**	**		0.649
1997.6	**	**	**	**	**	**	**	**	
平均相対照度%	16.92	50.64	32.51	17.43	10.78	14.30	13.89	8.97	8.06

** : 1%水準で有意

なお、散光条件での相対照度は、安定性と再現性が Washitani etc (1991) によって確認されている。測定方法が簡便であり、面的な調査あるいは任意の地点での光環境の測定に有効であると言える。

季節変化：1992年の調査結果から相対照度の季節変化を図-2に示す。2月の平均相対照度は約50%であったが、4月から6月にかけて急激に低下し、7月は約10%であった。そして、9月頃からまた高くなる傾向を示した。全光条件下の相対照度は太陽高度の変化に伴って大きく季節変化するのに対し、散光条件下の相対照度は季節変化は認められず、林冠のギャップの大きさにほぼ比例する（安藤ら

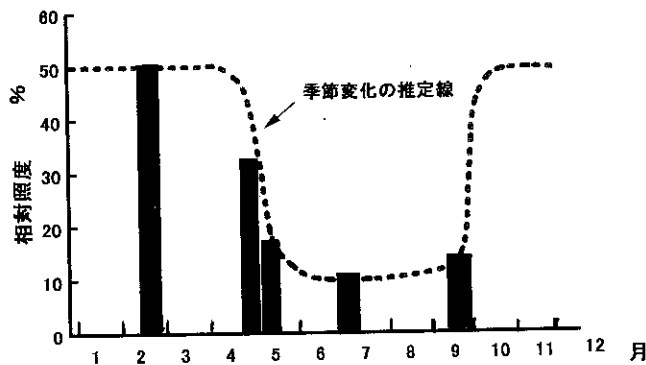


図-2 相対照度の季節変化

1983) とされている。したがって、この広葉樹試験地でみられた季節変化は太陽高度に伴うものであるとは考えにくく、落葉広葉樹の葉量の変化によるものと考えられ、このような季節変化は落葉広葉樹林の大きな特性と言える。なお、齊藤(1973)はミズナラ林内で相対照度を測定し、本調査結果ときわめて類似した季節変化カーブを得ている。

相対照度の分布とブロック区分：1992年7月の測定値を0~5, 5~10, 10~15, 15~20, 20~30, 30~40%の6段階に区分して図-3に分布図を示す。当試験地は保残木の分布状況あるいは分布密度によって、相対照度は場所によって大きく異なった。そこで、試験地を図に示すように4ブロック(1~4)に区分した。

試験地設定前に間伐を実施しているブロック2と4の平均相対照度はそれぞれ15.0, 17.0%であった。一方、間伐を実施していないブロック1と3の平均相対照度はそれぞれ6.9, 4.2%であった。この試験地の事例では、うっ閉した落葉広葉樹林に対し、主に下層木に対し本数率で約50%の受光伐を実施したとき7月期の平均相対照度は5.5%から16%に向上した。

経年変化：ほぼ同一時期に(6月中旬から7月初旬)測定した、1992, 1995, 1997年のブロック別平均相対照度を図-4に示す。ブロック2と4は1992年の平均相対照度が約15%で、5年後の1997年の相対照度は約10%に低下した。一方、ブロック1は約7%, ブロック3は約5%であった

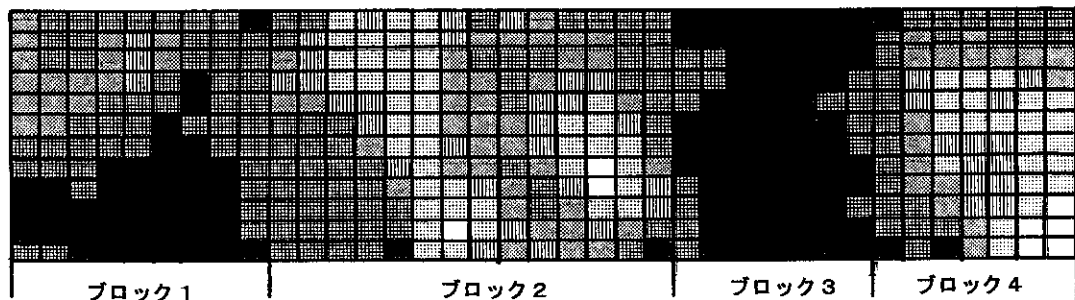
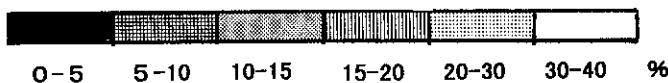


図-3 相対照度(1992.7)の分布



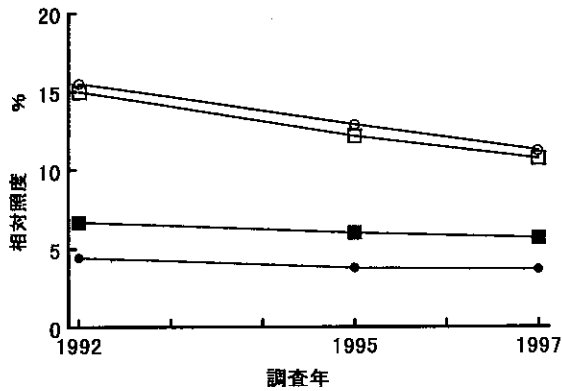


図-4 1992, 1995, 1997年のブロック別平均相対照度

■:ブロック1 □:ブロック2 ●:ブロック3 ○:ブロック4

が、これらのブロックでは5年経過してもほとんど低下しなかった。

つぎに、1992年と1997年の測定値の関係を図-5(ブロック1, 3とブロック2, 4別に表示)に示す。平均相対照度が約7%以下であったブロック1, 3($r=0.751$)は、平均相対照度が約15%であったブロック2, 4($r=0.704$)に比較して測定年次間の相関が高く、しかも、5年後の相対照度はやや大きく低下する傾向であった。すなわち、比較的大きいギャップが存在したとき、照度測定時の光(雲の状態あるいは風の影響)条件の影響を大きく受けるため、相対照度の測定年次間の相関がやや低下するものと考えられ、また、同一の相対照度であってもギャップの大きさによって経年変化の程度が異なることが示唆された。これらに関しては今後さらに究明しなければならないが、複層林を育成するにあたって重要なのは低照度条件における照度管理であると考えられる。そこで、1, 3ブロックの調査結果を使用し、回帰直線($y=0.37x+2.45$)と1:1直線との偏差によって、任意の相対照度からの5年間での相対照度の低下を推定した。相対照度が高いほど低下の程度は大きく、相対照度が30, 20, 10%のとき5年後の相対照度はそれぞれ14, 10, 6%に低下し、低下割合は55, 51, 39%であった。また、相対照度5%程度ではほとんど低下しなかった。

相対照度の経年変化の程度は、対象林の林齢や生育状況等によっても異なると考えられる。広葉樹を対象とした調査事例は比較的少ないが、本調査結果は比較的幼齡林を対

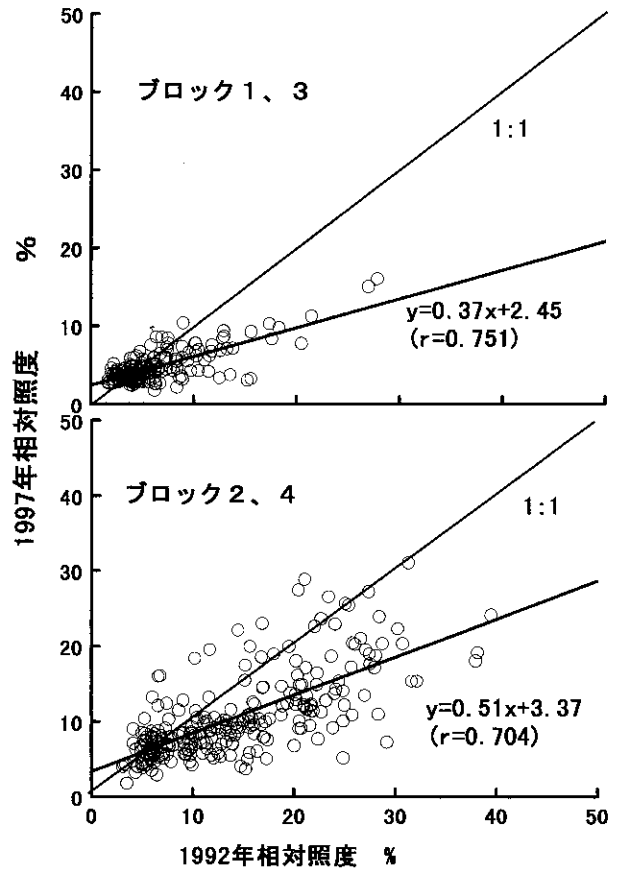


図-5 1992年と1997年の相対照度の関係

象とし、しかも、平均相対照度7%程度以下の林分を対象とした調査事例である。

樹冠による被覆率と相対照度：上層樹冠による被覆率の分布を図-6に示す。樹冠の被覆率と相対照度の分布(図-3)パターンは比較的類似している。そこで、つぎに本試験地は37列17行で植栽されていることから、列平均相対照度(1992年7月調査)と列平均被覆率(平均被覆率は調査レンジの中央値を使用)との関係を図-7に示す。被覆率と相対照度には高い相関($r=0.837$)が認められた。被覆率が50%程度では相対照度は約20%, 75%程度では約10%, そして、85%以上では約5%であった。本調査は、限られた空間を目測によって調査したものであり、任意の位置における相対照度の簡易な予測方法として実用価値は高い

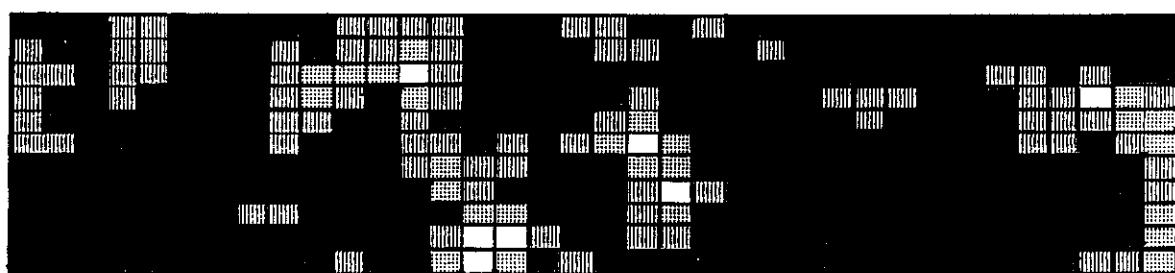
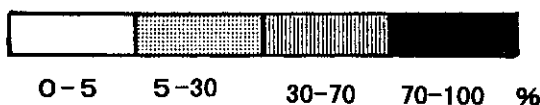


図-6 被覆率の分布



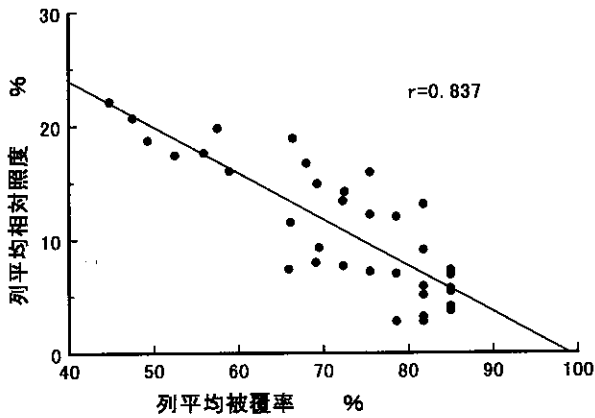


図-7 被覆率と相対照度 (列平均値による)

と考える。

上層樹冠の構造、特に被覆率あるいは開空度と林内相対照度の関係について一般的に高い相関が認められている(林野庁 1997等)。早稲田(1983)の全天空写真の解析による落葉広葉樹壮齢林での調査では、被覆率70%のとき相対照度は約30%, 80%のとき約20%, 90%のとき約3%であった。当試験地の結果と早稲田の結果を比較したら、当試験地の結果は同一被覆率では早稲田の結果に比較して相対照度が低い傾向であった。これはおもに、調査対象とした林分が比較的成立密度が高い幼齢林であり、早稲田の調査対象とした壮齢林と樹冠構造が異なるためであると推察した。

3) ヒノキの生育性

ヒノキの成長経過：ブロック別ヒノキの成長経過(D²H, 形状比)を図-8に示す。D²Hはブロック間の違いは林齢とともに拡大し、5年生で最も高い成長量を示したブロック4に対して、ブロック2は76%, ブロック1は50%, ブロ

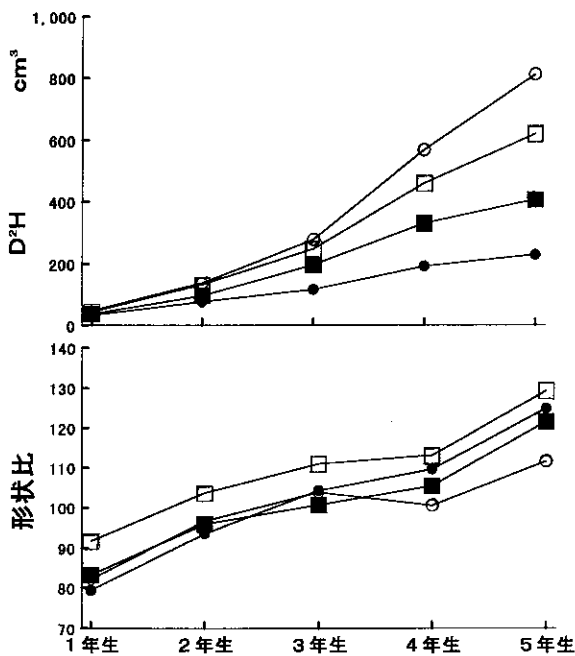


図-8 ブロック別ヒノキの成長経過

■: ブロック1 □: ブロック2 ●: ブロック3 ○: ブロック4

ック3は28%であった。すなわち、平均相対照度15%程度以下の条件においては、わずかな相対照度の違い(図-4)が林齢とともに累積的にヒノキの成長に大きな影響を与えていると考えられる。一方、形状比はブロック間に大きな違いがみられず、いずれのブロックでも林齢とともに漸増する傾向で、5年生では約120であった。この形状比は、後述のアカマツ試験地の皆伐区(図-16)に比較して著しく高い傾向であった。

相対照度と5年生ヒノキの大きさ：個体ごとの相対照度(1992年7月調査)と5年生ヒノキの樹高、根元直径、D²Hの関係を図-9に示す。いずれの形質も相対照度の増大に伴って成長量は増大したが、ガイドラインとして対数曲線が比較的適合した(樹高: $r=0.746$, 根元直径: $r=0.725$, D²H: $r=0.690$)。すなわち、相対照度とヒノキの成長の関係には変曲点が存在し、相対照度7%程度までは相対照度が高くなれば、ヒノキの成長量は急激に増大し、

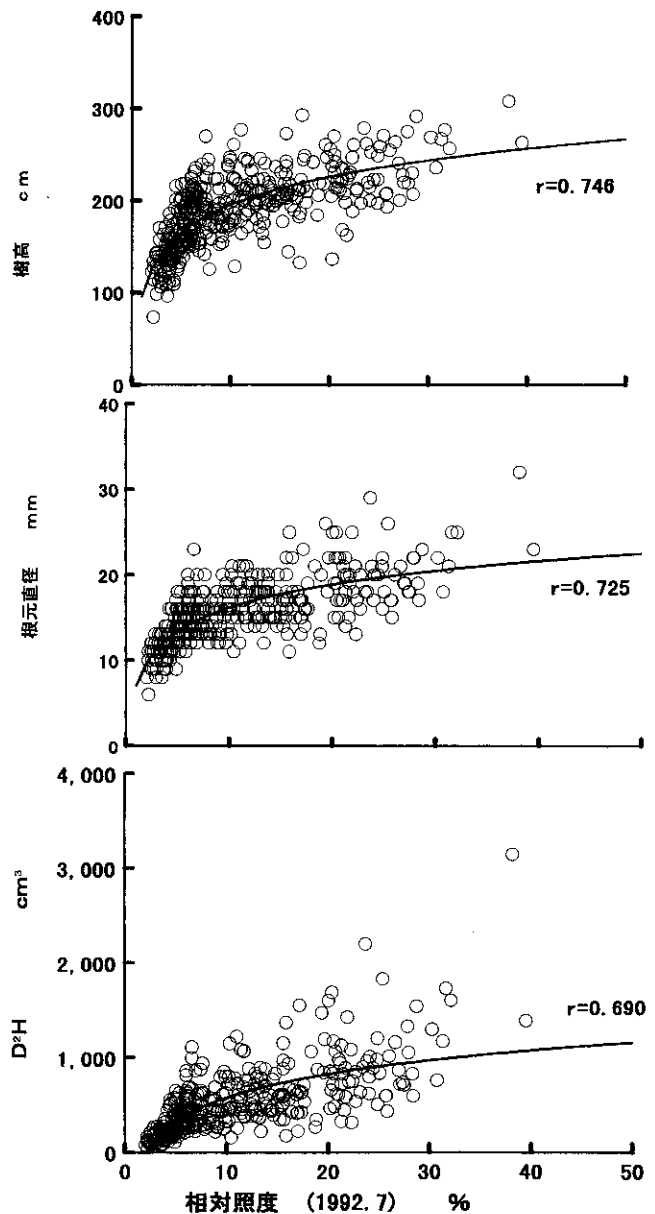


図-9 相対照度と5年生ヒノキの樹高、根元直径、D²H

そしてそれ以上に相対照度が高くなったとき成長の増大は次第に低下する傾向であった。また、相対照度10%程度以上では個体間の変動が大きくなる傾向であった。

これらのことに関連し、早稲田(1983)は多くの林分を調査し、相対照度15~20%以下の条件では相対照度との相関が高くなり、それ以上の条件では土壌条件等のミクロな立地環境の影響が大きくなるとしている。また、Washitani et al (1991)は相対照度約13%以下の林分のコナラについて試験を行い、散光条件の相対照度は陽斑活動(陽斑が森林下層の光子束密度や植物の光合成量におよそ半分以上寄与しているという報告(Pearcy and Calkin 1983等)もある)と関連するものを含めた物質生産に関する光環境の指標としてきわめて有効であることを指摘している。

また、枯死限界の照度条件(大場ら 1983)に近いと考えられる相対照度5%程度であってもヒノキの樹高は約100cm以上であった。これは、3.(1)(2)項の関連調査において示すように、落葉広葉樹林下のヒノキは落葉広葉樹の開葉や落葉時期の光を有効に利用しているためであろう。

ヒノキの枯損: 1成長期後における全体の枯損率は12%であった。列平均相対照度と列ごとの枯損率(1成長期後)の関係を図-10に示す。同程度の照度条件でも枯損率に大きな変動があったが、相対照度5%前後において枯損率が急速に高くなり20~30%に達した。

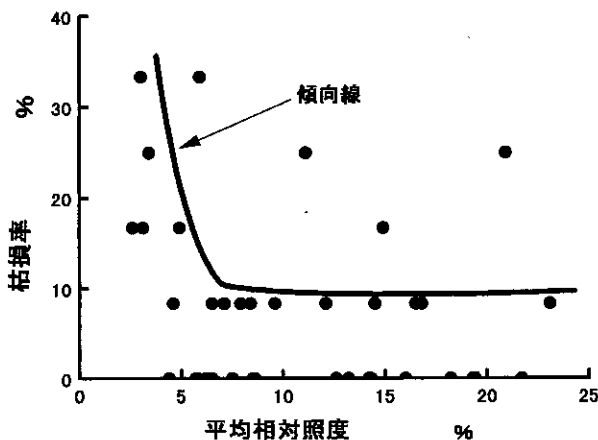


図-10 列平均相対照度と列枯損率

前項において、相対照度5%程度であっても、落葉広葉樹林下の相対照度は大きく季節変化することからヒノキの成長がある程度期待できることを指摘した。しかし、ここで同様の条件において枯損率が高くなる傾向がみられたのは、当試験地は5月13日に植栽し、その時期相対照度は急激に低下した時期であり(図-2)、植栽時のダメージが大きく影響したものと推察した。したがって、季節変化をする落葉広葉樹林であっても、特に植栽時の光環境に配慮が必要である。

4) 下層植生量

植生量調査コドラードの周囲4点に最も近い4相対照度測定値(1992年7月調査)の平均相対照度と植生量(1992, 1995年)の関係を図-11に示す。植生はケネザサが圧倒的に多く、イヌツゲ、ヒサカキ、およびコナラ等の萌芽が混在

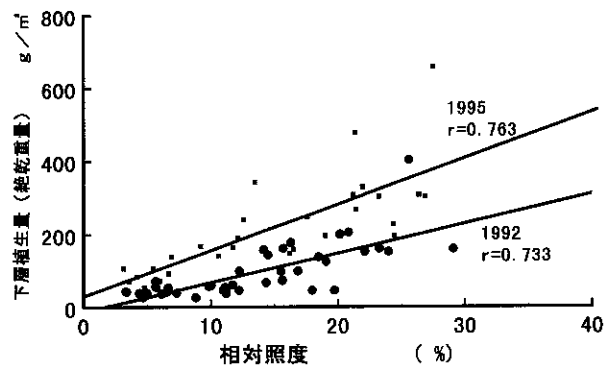


図-11 相対照度(1992)と下層植生量(1992, 1995)の関係(絶乾重量)

●: 1992年調査 ■: 1995年調査

していた。いずれの調査年でも相対照度と下層植生量には高い相関が認められ、相対照度が30%程度以下の条件においては、植生の再生量は相対照度に対応して平行に変動した。なお、本試験地は下草の再生量を調査するために、1成長期に下刈りを実施したが、ヒノキの生育との関係のみならず画一的な全面下刈りは必要でなかった。

2. アカマツ試験地

1) 上層木の状況

アカマツ区: アカマツの樹高は9.6(4.9~13.0)m、胸高直径12.1(5.7~22.3)cm、本数密度1,205本/ha、収量比数0.6であった。アカマツの樹冠は図-12に示すようにほぼ7~11mに分布していた。

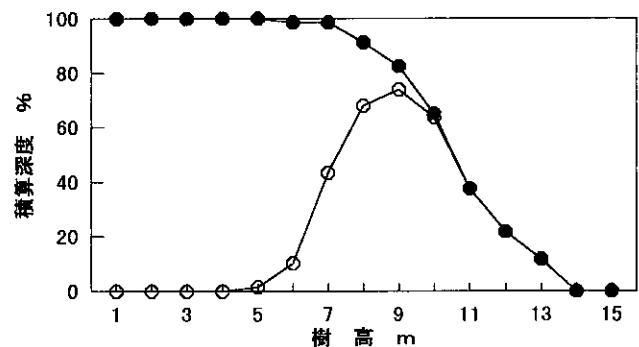


図-12 アカマツ区の樹冠深度図

●樹高曲線 ○樹冠曲線

アカマツ・広葉樹区: 本数密度は4,031本/haで、樹種別構成割合は本数率ではアカマツ25%、ソヨゴ45%、そして、ヤマザクラ、ネジキ、ネムノキ等が30%であった。また、胸高断面積合計率ではアカマツ59%、ソヨゴ24%、ヤマザクラ7%、そしてその他の樹種が10%であった。樹冠構造は図-13に示すようにほぼ9~16mにアカマツ(平均樹高13.1m、平均胸高直径15.7)およびヤマザクラ(平均樹高11.4m、平均胸高直径12.7cm)が分布し、その下層5~8mにソヨゴ(平均樹高8.0m、平均胸高直径7.3cm)あるいはネジキ(平均樹高5.9m、平均胸高直径4.7cm)等の広葉樹が分布する二段構造であった。

なお、アカマツ・広葉樹区において1992年2月にソヨゴに対し照度調節のために薬剤による立木処理を実施したが、

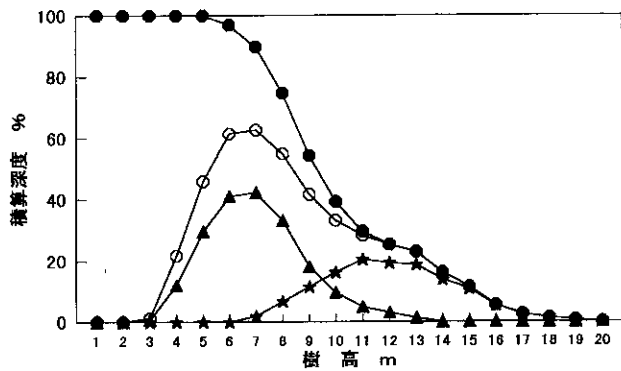


図-13 アカマツ・広葉樹区の樹冠深度図

●樹高曲線 ○全体樹冠曲線 ★アカマツ樹冠曲線 ▲ソヨゴ樹冠曲線

処理木は1992年4月から5月にかけてほとんど落葉し、1993~1994年に倒伏した

2) 相対照度

相対照度の再現性：相対照度の測定時期間の相関行列を表-3に示す。アカマツ区においては測定時期間に比較的高い相関(全体平均 $r=0.639$)が認められた。アカマツ・広葉樹区においては、落葉広葉樹の開葉前で、しかも立木処理の影響が小さく、常緑広葉樹の影響が大きいと考えられる1992年1月と1992年4月には高い相関($r=0.815$)が認められたが、その後、処理木の倒伏によってマイナス相関を示し、そして1992年7月以降はそれほど高くないがプラスの相関(1992年9月以降平均 $r=0.399$)が認められた。

表-3 相対照度の測定時期間の相関行列

測定時期	'92.1 (48.7)	'92.4 (44.0)	'92.7 (46.2)	'92.9 (39.1)	'93.9 (44.7)	'95.6 (40.8)
1992.1 (18.3)		** 0.868	** 0.740	** 0.584	** 0.781	** 0.529
1992.4 (18.2)	** 0.815		** 0.793	** 0.595	** 0.813	** 0.516
1992.7 (12.3)	** 0.043	** 0.298		** 0.453	** 0.693	** 0.466
1992.9 (10.8)	** -0.341	** -0.223	** 0.422		** 0.628	** 0.436
1993.9 (14.6)	** -0.521	** -0.397	** 0.261	** 0.567		** 0.697
1995.6 (12.5)	** -0.551	** -0.431	** 0.244	** 0.477	** 0.425	

右側上段：アカマツ区 左側下段：アカマツ・広葉樹区
()：平均相対照度 %
**：1%水準で有意 *：5%水準で有意

アカマツ区は広葉樹試験地(全体平均 $r=0.781$)に比較して測定時期間の相関がやや低い傾向であった。アカマツの樹冠は3.(4)項の関連調査において示すように直射光線を透過する程度が落葉広葉樹等に比較して高く、しかも、樹冠を構成する針葉は風の影響を受けやすいことが考えられ、相対照度の安定性あるいは再現性が落葉広葉樹林に比較してやや低いのはおもにアカマツの樹種特性であると推察した。

各試験区の相対照度：アカマツ区およびアカマツ・広葉

樹区の相対照度を図-14に示す。アカマツ区の相対照度は測定季節や測定年次による大きな変動がみられず、平均相対照度は約45%で、測定位置による変動幅はほぼ30~60%であった。アカマツ林の樹冠は直射光線を透過しやすいことは前述した。また、アカマツ林はスギ、ヒノキ等に比較して収量比数が高くなっても相対照度の低下は小さいとされている(外館等 1991, 林野庁 1997)。

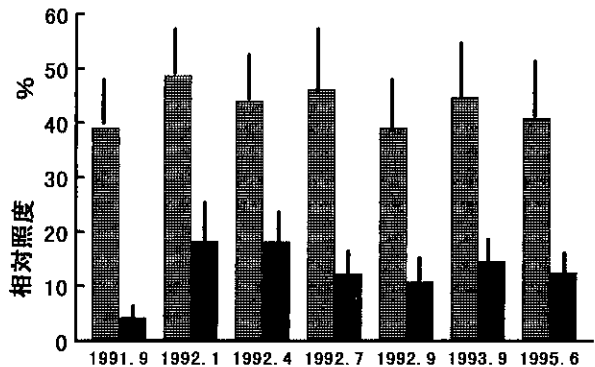


図-14 アカマツ区とアカマツ・広葉樹区の相対照度
縦線は標準偏差を示す ■■■：アカマツ区 ■■■：アカマツ・広葉樹区

一方、アカマツ・広葉樹区は1991年9月には約5%以下であったが、1992年2月に照度調節のための立木処理を実施し、1992年7月、1995年6月の平均相対照度は約13%、測定位置による変動幅はほぼ8~20%であった。また、アカマツ・広葉樹区では広葉樹試験地で認められたほど変動幅は大きくないが、1992年7月、1995年6月にやや低下する季節変化がわずかに認められた。一般にアカマツ林はコナラ、ヤマザクラ、リョウブ等広葉樹と混交していることが多く、このとき、林内の光環境はアカマツのみの場合と大きく異なることに注意が必要である。

3) ヒノキの生育性

ヒノキの成長経過：試験区別ヒノキの成長経過(樹高、根元直径、 D^2H)を図-15に示す。アカマツ区と皆伐区はほとんど同様の成長経過を示し、樹高はアカマツ区が、直径は皆伐区がやや良好な傾向で、 D^2H は皆伐区がやや良好であった。5年生で D^2H を比較するとアカマツ区は皆伐区の86%であった。一方、アカマツ・広葉樹区は植栽年度が異なるため4年生で比較すると、樹高は皆伐区、アカマツ区とはほぼ同等で、根元直径は皆伐区の82%、 D^2H は64%であった。すなわち、アカマツ区、アカマツ・広葉樹区を皆伐区と比較したとき、相対照度の低下割合に比較してヒノキの成長の低下割合が比較的小さいことが明らかになった。

つぎに、試験区別ヒノキの形状比の経過を図-16に示す。形状比はいずれの試験区もほぼ3年生までは林齢とともに高くなる傾向であったが、皆伐区ではその後ほぼ一定(約80)となった。それに対し、アカマツ区とアカマツ・広葉樹区はその後も連続的に高くなる傾向がみられ、アカマツ区は5年生で約95、アカマツ・広葉樹区は4年生で約100となった。特に、アカマツ・広葉樹区の形状比が著しく高い傾向を示したが、前述の広葉樹試験地の結果においても4年生のブロック平均値は101~113であった(図-8)。すな

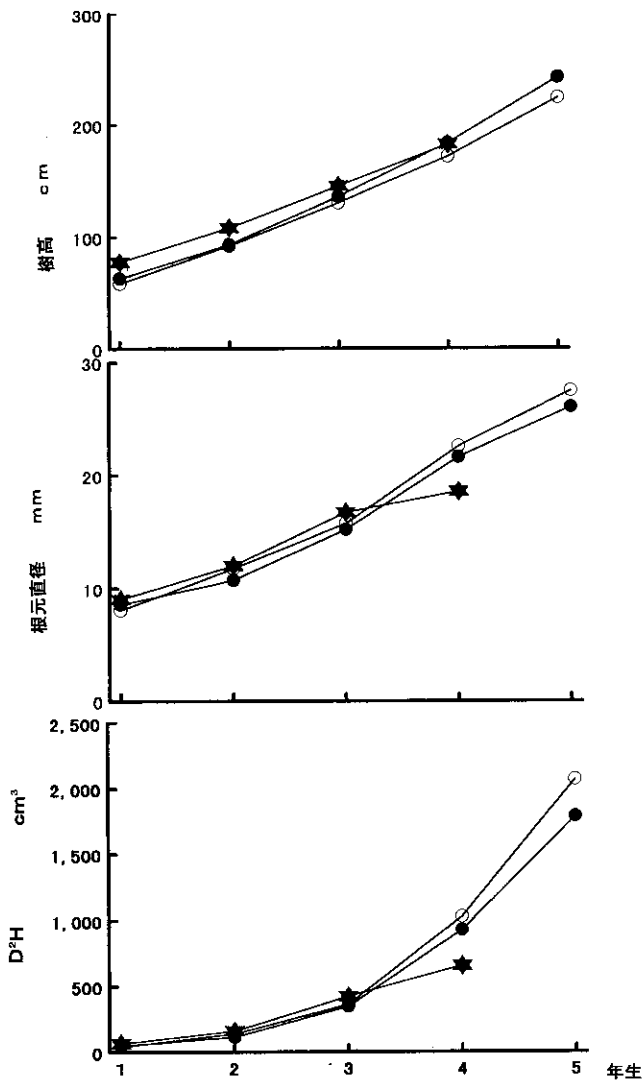


図-15 試験区別ヒノキの成長経過

●：アカマツ区 ★：アカマツ・広葉樹区 ○：皆伐区

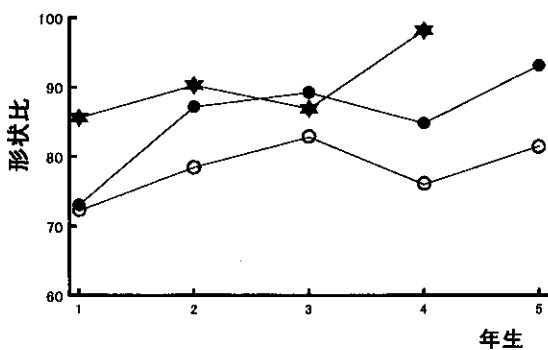


図-16 試験区別形状比の経過

●○★：図-15に同じ

わち、平均相対照度が15%程度以下の条件においては形状比が著しく高くなると言える。また、アカマツ区の形状比も5年生でなお高くなる傾向であった。それは、次項において示すようにアカマツ区は2成長期以降下刈りを実施しなかったため、4、5成長期にはおもにソヨゴの萌芽が伸長し、密生状態となっていることが関与していると推察し

た。すなわち、平均相対照度が50%程度の条件においては形状比がわずかに高くなる程度であるが、平均相対照度が15%程度以下に低下すれば著しく高くなると言える。これは、散光の割合が高いほど樹高成長に比較して直径成長が抑制されると考えられ、ヒノキの生き残り戦略としては、低照度条件では光合成生産物が光合成能力を拡大するために樹高成長に分配される割合が高くなり、光飽和点に近くなるほど光合成生産物を蓄積するために直径成長に分配される割合が高くなると言えよう。

相対照度と5年生ヒノキのD²H：アカマツ区における相対照度(1992年7月調査)と5年生ヒノキのD²Hの関係を図-17に示す。相対照度とヒノキの成長の相関は小さく($r=0.265$)、ほぼ30~65%の範囲での相対照度の違いはヒノキの成長を大きく左右するほどの影響が認められなかった。この原因として、①アカマツ林内の相対照度の測定時期の相関が広葉樹試験地に比較してやや小さかった。②植物の光に対する反応は、いずれの照度条件においても一様な直線的関係ではなく、樹種固有の特性を示すものと考えられる。相対照度約30~60%の範囲での相対照度の変動はヒノキの成長に大きな影響を与えない。③また、そのような条件においてはミクロの立地環境の影響も受けやすく、ヒノキの成長はそれらの相乗作用として現れること等が示唆される。これらのことが前述のように相対照度の低下割合に比較してヒノキの成長の低下割合が比較的小さかった原因である。

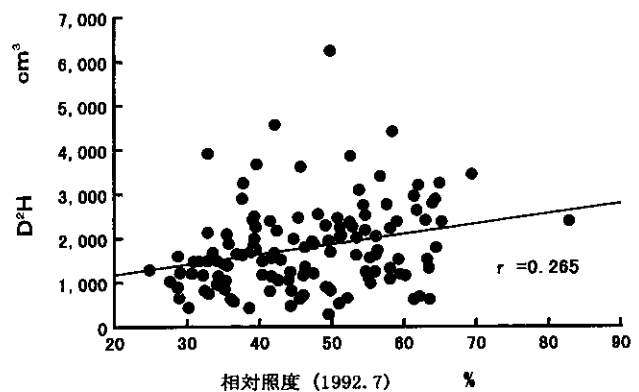


図-17 相対照度と5年生ヒノキの樹高(アカマツ区)

ヒノキの枯損：1成長期後のアカマツ区の枯損率は約10%、皆伐区は約19%であった。一方、アカマツ・広葉樹区では前述のとおり枯損と先端枯れの被害が40%に達した。しかし、改植して1成長期後の枯損は認められなかった。また、アカマツ・広葉樹区において、5年生時に調査した薬剤処理木の倒伏によるヒノキの被害率は8%であった。

4) 下層植生量

試験区別下層植生量の調査結果を表-4に示す。試験地設定時に通常の地拵え(皆伐区)または整理伐(アカマツ区)を実施した1成長期、および調査前年に全面下刈り(皆伐区)または萌芽の整理(アカマツ区)を実施した2成長期について、皆伐区とアカマツ区を比較すると、1成長期ではアカマツ区は皆伐区の62%、2成長期では46%であった。

しかし、2成長期以降下刈りを実施しなかったアカマツ区では図-18に示すように、おもに伐採株からのソヨゴ等の萌芽が伸長し、4、5成長期の植生量は皆伐区に比較して約2倍に増大した。また、アカマツ・広葉樹区では1成長期は皆伐区の約5%、2成長期は約10%であったがその後漸増し、3成長期には約30%、5成長期には約50%であった。

表-4 試験区別下層植生量 (絶乾重量) g/m²

試験区	調査年				
	1成長期	2成長期	3成長期	4成長期	5成長期
アカマツ区	63.3	123.0	206.0	775.4	928.5
アカマツ・広葉樹区	5.1	26.4	92.5	99.2	276.0
皆伐区	102.3	268.9	265.5	431.5	475.5

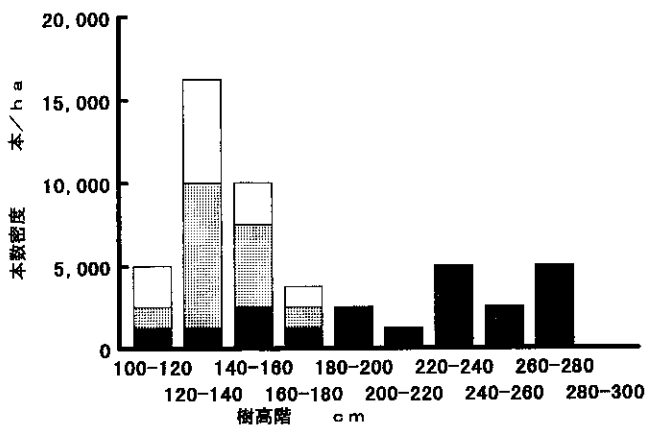


図-18 アカマツ区下層の樹高階別樹種構成 (4成長期, 100cm以上)

■ : ソヨゴ ▨ : コバノミツバツツジ □ : その他

6、7月期の相対照度が30%程度以下であった広葉樹試験地において、植生量は相対照度の低下に対応して平行に減少する傾向を認めた。また、アカマツ試験地の結果から平均相対照度約45%のとき、前年に下刈り等を実施したときの植生の再生量は、皆伐区の約50%であった。そして、相対照度5%程度以下であったアカマツ・広葉樹区の植生量は、1成長期には約5%、その後受光伐によって相対照度が約13%になったとき約10%であった。植生量はその組成種や立地環境によって異なるであろうが、多くの試験地の調査事例においても相対照度と植生量にはほぼ直線関係が認められている(林野庁 1997)ことから、下層植生量は相対照度の低下に対応してほぼ平行に減少すると言えよう。

植生の状況と下刈りとの関係について考察すると、アカマツ・広葉樹区は全く必要でなかった。また、アカマツ区においては下刈り等を3~4年放置したとき植生量が皆伐区の約2倍に増大したが、そこでのソヨゴ等の枝張りは小さく、ヒノキの生育の障害にはなりにくかった。毎年の下刈りは必要でなく、従来の慣行的施業を見直し、雑草木の繁茂の状況に応じて数年おきに実施したり、あるいは障害木についてだけ枝払いを行う等についての検討が重要と考える。また、下層植生量の中で伐採株からの萌芽が大きな

割合を占めていたが、アカマツ・広葉樹区の受光伐にあたって実施した薬剤による立木処理は、処理方法が簡便であり、通常の伐倒のように伐採株からの萌芽が発生しないことから、省力的施業として有効であろう。

3. 関連調査

1) ヒノキの時期別成長

各測定時期15日当りの平均成長量(当該調査と前回調査期間における15日当りの平均伸長量)と時期別平均累積成長割合(時期別伸長量×100/12月1日伸長量)を図-19に示す。ほぼ4月中旬頃から成長を開始し、10月頃まで成長がみられた。なかでも5月初旬から成長量は急激に増大し、6月初旬に最も旺盛な成長を示した。成長割合で見ると、5月期に約10%、6月期に約50%、7~8月に約30%、9月以降に約10%の成長を示した。

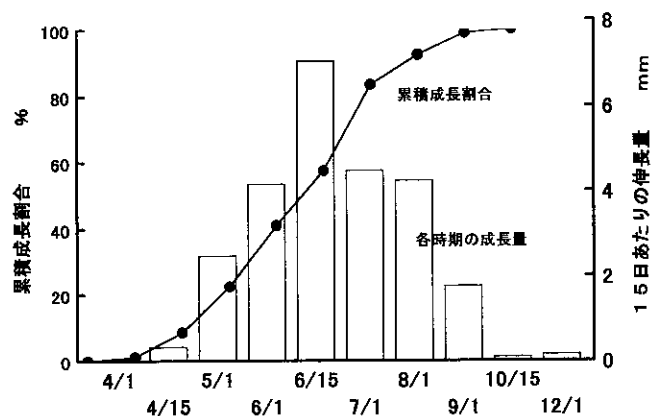


図-19 ヒノキの時期別成長量(伸長量) —累積成長割合と各時期15日あたりの成長量—

このヒノキの時期別成長特性は、光環境が大きく季節変化する落葉広葉樹林の下層でヒノキを育成する上で重要な特性であり、次項において考察する。

2) 落葉広葉樹の開葉時期

8月14日の開葉度を100%としたときの樹種別時期別の平均開葉率を図-20に示す。ヤマザクラは4月中旬頃から6月初旬にかけて連続的に急激に開葉し、コナラ、クリ、クヌギは5月初旬から中旬頃に急激に開葉し、そして、その後一時休止して6月から8月にかけて継続的に開葉した。5月中旬での開葉率は、ヤマザクラで約70%、コナラ、ク

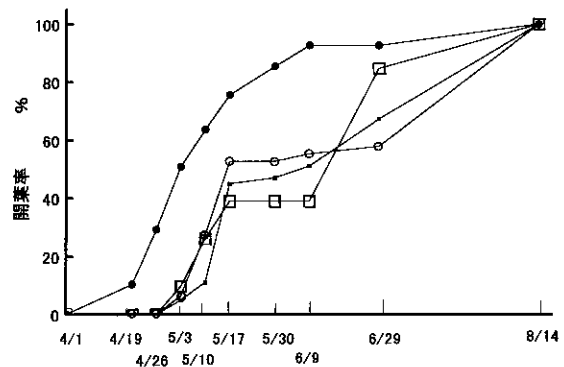


図-20 4樹種の時期別開葉率

● : ヤマザクラ ○ : コナラ ■ : クリ □ : クヌギ

り、クヌギで約40%であった。また、6月下旬での開葉率はヤマザクラで約90%、コナラ、クリ、クヌギで約70%であった。これらの開葉時期は広葉樹試験地の相対照度が4月頃から6月にかけて急激に低下する季節変化の時期(図-2)とほぼ一致している。

前項での調査で明らかになったように、5月期に下層のヒノキは既に旺盛な成長期に入っており、その時期に上層の落葉広葉樹も開葉するが、開葉は樹種によってパターンが異なるものの6~7月頃まで続くため、5、6月期は林内の相対照度は7、8月期に比較して高い相対照度である。このことは、下層のヒノキは上層落葉広葉樹の開葉時期を有効に利用して成長を確保していると言える。

3) ヒノキの光—光合成特性

相対照度と見かけの光合成速度との関係を図-21に示す。ここで、測定時の最も高い光強度は約1,800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{sec}$ であった。光補償点は約200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{sec}$ とみられ、光飽和点は約1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{sec}$ であるとみられた。すなわち、ヒノキの光補償点は、太陽高度の高い時期(5月8日調査)の全光条件での相対照度約10%、光飽和点は相対照度約50%とみられた。また、光飽和点以上の光条件において光合成速度は比較的大きく低下する傾向であった。

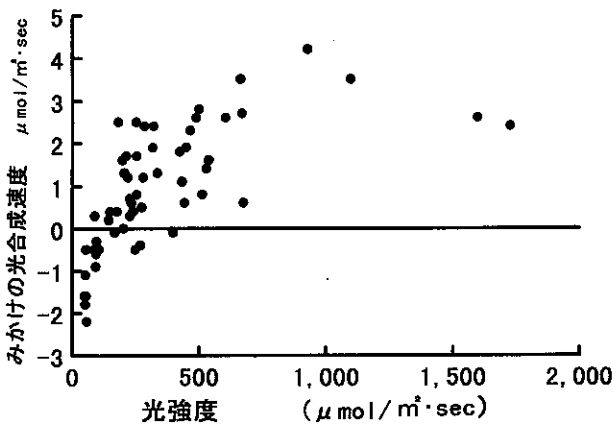


図-21 光強度とヒノキの光合成速度の関係

光合成速度は光量以外に温度、CO₂濃度、水分等の影響を受ける(根岸 1985)が、根岸(1985)の実験で得られたスギ、ヒノキ、アカマツの光—光合成曲線において、アカマツの光飽和点が約30klxであったのに対し、スギ、ヒノキはその約65%である20klxであり、しかも、ヒノキはスギ、アカマツに比較し強光条件において光合成速度が著しく低下している。このような光—光合成特性は、光強度に対する成長反応の理論的根拠となるものであり、ヒノキは複層林の下層に植栽する樹種として有利な生理的特性を保持していると言える。

つぎに、広葉樹試験地とアカマツ試験地での結果、および、苗畑で実施した相対照度20%の人工被陰試験(2成長期の調査結果、丹原 1995)、そしてヒノキの光—光合成特性を勘案して推定した相対照度とヒノキの成長(D²H)モデルを図-22に示す。相対照度7%程度までは相対照度が高くなればヒノキの成長は急激に増大し、それ以上の照度条

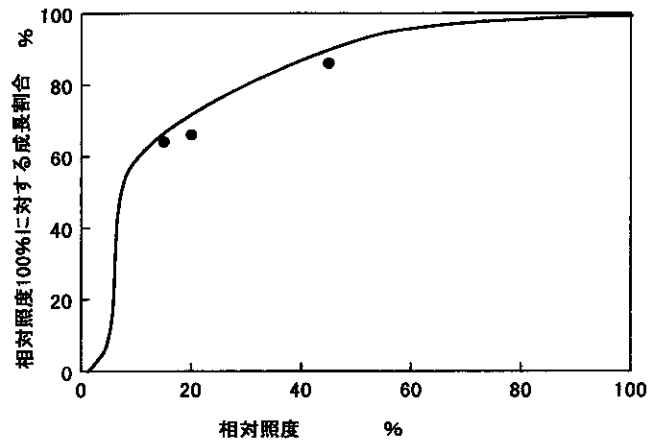


図-22 相対照度とヒノキの成長モデル

件においては成長量の増大割合を低下させながらほぼ直線的に増大し(相対照度13%で64%、相対照度20%で66%、相対照度45%で86%)、相対照度約50%以上ではその増大量は小さくなる。ただし、相対照度10%程度以下の条件では相対照度がヒノキの成長の制限要因として大きく寄与するが、30%程度以上の条件では相対照度の影響は小さくなり、ミクロな立地環境の影響が大きくなる。

4) 樹冠の梢端からの距離と相対照度

4 樹種の樹冠の梢端からの距離(樹冠深度)と相対照度の関係を図-23に示す。樹冠深度に伴う相対照度の減衰線の傾きを比較すると、アカマツが最も緩慢で、アラカシが最も急激であり、ケヤキ、コナラ、クヌギはそれらの中間に位置した。そして、アカマツは約40%、ケヤキ、コナラ、クヌギは約20%、アラカシは約3%ではほぼ安定に達し、それ以下には低下しにくい傾向であった。

葉層を透過する過程における光の減衰は、Beer-Lambertの法則として $I/I_0 = e^{-KF}$ (I/I_0 : 樹冠層のある高さの相対照度, F : その高さより上部の葉面積指数, K : 葉の吸光係数)によって近似できることが知られているが、パラメータとしての葉面積指数あるいは吸光係数が明らかでない。しかし、先に得られたデータは、アカマツおよび数種の広葉樹の樹種特性についての実質的な値を示しており、それらの下層でヒノキを育成する上で参考になると考える。

この相対照度の減衰曲線は、単層状態の樹冠内での各樹

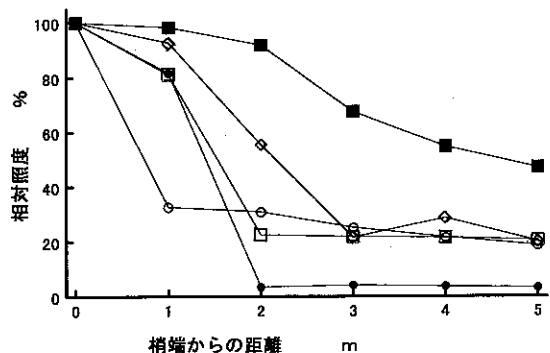


図-23 樹冠の梢端からの距離(深度)と相対照度

■: アカマツ ●: アラカシ □: ヤマザクラ ◇: コナラ ○: ケヤキ

種の減衰特性を示しており、将来下層のヒノキが成長し、上層樹冠に到達したときの相対照度を示すと考える。アカマツは約40%以上、コナラ等落葉広葉樹は20%以上に相対照度は高くなると言える。また、アカマツ試験地のアカマツ・広葉樹区において40%のヒノキが枯損したように、アラカシ等常緑広葉樹の下層でのヒノキの育成は困難である。

4. 実用技術としての検討

林内の相対照度が低下したとき、ヒノキの成長の低下は比較的小さかったのに対し、下層植生量はパラレルに減少する傾向を示し、相対照度50%程度以下では画一的な全面下刈りは必要でなかった。とりわけ、落葉広葉樹林の下層のヒノキは、落葉広葉樹の開葉時期に主たる成長をし、しかも、落葉広葉樹林内の相対照度は5%程度以下には低下しにくい特性がある。すなわち、下層のヒノキは時間的に光を有効に利用できることとなり、また、光環境が悪化しても枯損等の被害が発生しにくいと言える。したがって、落葉広葉樹—ヒノキ二段林施業は、適宜受光伐を実施することによってヒノキへの更新技術として、あるいは、近年の多様な森林造成の面から形質優良な広葉樹を残し広葉樹との混交林への誘導技術として期待できると考える。一方、アカマツの樹冠は光を透過しやすく、林内の相対照度は30~60%と比較的明るい。しかも、経年変化も小さい。このことは、雑草木の繁茂を抑制しつつヒノキを育成する上できわめて有利であり、一部の地域ですでに経験的に実施されているように省力的施業として期待できる。ただし、アカマツ林には通常コナラ、リョウブ等の広葉樹が混交していることが多い。全ての広葉樹を受光伐の対照とすれば、アカマツ—ヒノキ二段林となるが、岡山県においては松くい虫被害の拡大も予測され、形質良好な広葉樹は積極的に残すべきであろう。そのとき、前述の落葉広葉樹—ヒノキ二段林施業が参考となろう。

落葉広葉樹—ヒノキあるいはアカマツ—ヒノキ二段林の施業モデルをつぎに示す。

【ステップ1】アカマツおよび樹幹形質の良好な広葉樹を残し、整理伐および受光伐を実施してギャップを作る。林内光環境において留意するポイントは、相対照度約15%と約7%であり、前者以下では形状比が著しく高くなり、後者以下では成長が著しく低下する。したがって、受光伐は相対照度15%以上を目標に実施する。そのとき、幼齢落葉広葉樹林では樹冠被覆率は約60%以下、壮齢落葉広葉樹林では85%以下が目安となる。整理伐や受光伐にあたって薬剤による立木処理は萌芽が発生しないことから有効である。

【ステップ2】ヒノキを植栽する。ただし、広葉樹の樹冠が将来ヒノキの障害となることが予測され、根元近くには植栽しない。また、ソヨゴ等常緑広葉樹は受光伐の対象とするか、その下層には植栽しない。

【ステップ3】ヒノキの成長、雑草木の状況を観察して適宜受光伐、部分的下刈り、あるいは蔓切りを実施する。

IV. おわりに

県下に広範囲に分布するアカマツ二次林においては、し

ばしば中層にコナラ等の比較的陽樹が分布し、さらにその下層にはヒサカキ、シラカシのような陰樹が分布して、上層から下層に光を有効に利用して遷移系列を異にする種が共存し、安定した生態系を形成しているのがみられる。本試験で検討した落葉広葉樹—ヒノキあるいはアカマツ—ヒノキ二段林施業は、従来の皆伐—斉造林施業がいわば農業的手法によって森林を造成するのと対称的に、このような自然の生態的安定性を尊重し、森林施業の省力化と環境保全機能等の高度化、安定化を希求するものである。

ただし、本施業は上層木の樹冠の状況、ヒノキの生育状況、あるいは雑草木繁茂の状況等を観察しながらの森林施業と言えるものであり、画一的な施業、あるいは、技術の普遍化、マニュアル化は難しく、対象林分ごとに最適施業を検討することとなる。したがって、現在までの造林において大きな推進母体となった機関造林等においては実施が難しい面もあろうが、比較的小規模の森林管理においては、自然の摂理を尊重した森林管理技術として普及可能なものと考えられる。

なお、それとともに本試験はヒノキを植栽して5年間の結果であり、今後とも上木の管理等を含めた継続試験による検証が重要である。

引用文献

- 安藤 貴・宮本倫仁・桜井尚武・竹内郁雄・谷本丈夫 (1983) : 二段林の光環境の経年変化. 林業試験場研究報告323 : 65~73.
 蜂谷欣二 (1989) : これからの森林施業—研究への期待—. 22回林業技術シンポジウム—複層林施業技術の現状と問題点—. 全国林業試験研究機関連絡協議会 : 1~2.
 根岸賢一郎 (1985) : 炭水化合物 (樹木—形態と機能—, 佐藤大七郎・堤利夫編, 309pp, 文永堂, 東京) : 113~143.
 大場貞夫・浅沼展吾・早稲田収 (1983) : 人工比陰における最小陽光量. 林業試験場研究報告323 : 139~142.
 Pearcy, R.W. and Calkin, H. (1983) : Carbon dioxide exchange of C₃ and C₄ tree species in the understory of a Hawaiian forest. *Oecologia* 58 : 26~32.
 斉藤秀樹 (1973) : 林内の照度 (ヒノキ林—その生態と天然更新—, 四出井綱英・赤井龍男・斉藤秀樹・河原輝彦, 375pp, 地球社, 東京) : 55~70.
 外館聖八朗・野呂忠幸 (1991) : アカマツ林における林分構造と林内相対照度. 102回日本林学会論文集 : 561~562.
 田川日出夫 (1997) : 群落の構造 (群落の組成と構造, 伊藤秀三編, 332pp, 朝倉書店, 東京) : 112~192.
 丹原哲夫 (1994) : 落葉広葉樹林などを利用したヒノキの育成 (I) 生育初期の結果. 日本林学会関西支部論文集3 : 109~112.
 丹原哲夫 (1995) : 人工被陰施設によるスギ・ヒノキ精英樹などの耐陰性検定. 岡山県林業試験場研究報告12 : 1~20.
 丹原哲夫 (1998) : 落葉広葉樹およびアカマツ林を利用したヒノキの育成 (II) 生育初期の結果. 森林応用研究7 : 投稿中.
 早稲田収 (1983) : 開空度の測定とその光環境指標としての応用. 林業試験場研究報告323 : 9~13.
 早稲田収 (1983) : 林内光環境とスギ稚樹の生長. 林業試験場研究報告323 : 105~107.
 Washitani, I. and Tang, Y. (1991) : Microsite variation in light availability and seedling growth of *Quercus serrata* in a temperate pine forest. *Ecol. Res.* 6 : 305~316.
 吉田和弘 (1990) : ラウンドアップの立木注入処理効果. 41回日本林学会関西支部講演集 : 175~178.
 林野庁 (1997) : 複層林の造成管理技術の開発. 大型プロ研究成果9 : 1~156.