

スギ・ヒノキ複層林造成後の成長と光環境

誌名	愛媛県林業試験場研究報告
ISSN	03892875
著者名	中岡,圭一 豊田,信行 金本,知久
発行元	愛媛県林業試験場
巻/号	21号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-9
発行年月	2001年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



スギ・ヒノキ複層林造成後の成長と光環境

中 岡 圭 一 ・ 豊 田 信 行 ・ 金 本 知 久*

Growth of Sugi(*Cryptomeria japonica*) and Hinoki(*Chamaecyparis obtusa*) seedlings with reference to light regime of the multi-layered plantation

Keiichi NAKAOKA, Nobuyuki TOYOTA, and Tomohisa KANAMOTO*

上木スギ・ヒノキ下木スギ・ヒノキ複層林造成後初期は、下木が十分に成長できる光環境の管理が大切である。当场では、複層林造成後の管理方法を検討するため、県下の複層林を10年間調査した。複層林の造成初期の下木は、上木間伐後直ちに成長が良くなるのではなく、約3成長期間以降を経てから良くなると考えられた。また上木ヒノキ林は、上木スギ林と比較し林内が暗くなりやすい傾向があることが予想された。

キーワード — 下木成長、経年変化、全天空写真、複層林、林内相対日射量

1. 緒 言

多様化・高度化する森林に対するニーズに応えるためには多様な森林の造成が必要である。愛媛県内においても上木がスギ又はヒノキで下木がスギ又はヒノキの複層林が各地に導入され、木材生産の多様化と効率化、下刈り労力の軽減、森林の公益的機能の高度発揮が期待される施業としてあつかわれてきた。

そこで当场では、国の大型プロジェクト「複層林造成管理技術の開発」(1989年度～1993年度)に参画し、複層林造成時における問題点について調査・研究を行った。

しかしながら林内の光環境をコントロールする上木の管理方法の解明など、複層林造成後初期の調査・研究により、解明すべき点が多々あることが明らかとなった。

そこで1994年度から1998年度に県単独試験として、複層林施業技術確立のため調査を継続し、更に新たな調査地も加え、上木と下木の成長量と林内光環境から複層林造成後初期の管理方法を検討

したので1989年度から2000年度までのデータも含めこれを報告する。

2. 調査地と調査方法

2.1 調査地概要

1989年から本試験地として測定を開始した15林分のうち、2000年まで試験地が存続し、今回の報告で比較検討に供した林分は10林分であった(表-1)。なお本試験地は上木・下木共に試験地面積が同じであり、340m²以上の試験地である。

1991年から追加試験地として測定を開始した15林分のうち上木スギ・ヒノキ下木スギ・ヒノキの林分で今回比較検討に用いた林分は5林分であった(表-2)。なお追加試験地は上木と下木の試験地面積が異なり上木の面積はおおよそ100～200m²、下木の面積は15～50m²である。

1994年から新規試験地として測定を開始した10箇所45林分のうち、今回の報告では林内相対日射量と上木測定データを用いた(表-3)。なお新規試験地の上木の試験地面積は100～450m²である。

* 現農林水産部林業振興課

表-1 本試験地一覧(1989年設置)

試験地名	試験地 面積 m ²	標高 m	斜面 方位	傾斜 °	位 置 上段：緯度 下段：経度	上 木 概 要						下 木 概 要				
						林齢	樹 種	混交率 %	樹高 m	本数 本/ha	間伐 有無	林齢	樹 種	混交率 %	樹高 m	本数 本/ha
久万OM	344	480	NE	35	33° 37' 24″ 132° 55' 55″	47	ス ギ アカマツ	97 3	19 20	843 26		14	ヒノキ ス ギ	84 16	2.8 1.9	3,223 614
久万OT	380	660	SE	35	33° 39' 48″ 132° 55' 25″	74	ス ギ ヒノキ	66 34	25 21	53 26	有	17	ヒノキ ス ギ	86 14	7.1 5.7	3,485 568
久万IS	407	750	E	20	33° 42' 04″ 132° 54' 43″	75	ス ギ	100	24	197		13	ス ギ	100	4.3	5,111
久万IU	385	780	E	16	33° 42' 04″ 132° 54' 40″	104	ス ギ	100	32	78		13 14	ヒノキ ス ギ	85 15	7.2 5.8	2,230 393
玉川S	382	450	NW	33	33° 59' 16″ 132° 53' 30″	49	ス ギ ヒノキ	90 10	18 17	733 79		12	ヒノキ	100	3.9	2,173
玉川G	1,001	675	NE	5	33° 57' 00″ 132° 53' 48″	66	ヒノキ	100	22	300		14	ヒノキ	100	5.1	1,429
玉川M	966	610	SE	26	33° 57' 17″ 132° 54' 05″	66	ヒノキ	100	23	445		14	ヒノキ	100	3.3	1,366
玉川T	951	230	NW	15	33° 58' 15″ 132° 58' 25″	89	ヒノキ	100	26	231		14	ヒノキ	100	5.9	1,567
宇和T	403	250	NE	28	33° 22' 32″ 132° 30' 00″	36	ヒノキ アカマツ	94 6	12 13	397 25	有	13	ヒノキ	100	5.4	4,839
宇和O	407	280	NW	24	33° 22' 29″ 132° 30' 00″	51	ス ギ ヒノキ	50 50	16 19	123 123	有	14	ヒノキ	100	7.1	2,383

注) 林齢は2000年4月時点、樹高は1999年時点、間伐有無は1989年から1999年の調査期間内において

表-2 追加試験地一覧(1991年設置)

試験地名	標高 m	斜面 方位	傾斜 °	位 置 上段：緯度 下段：経度	上 木 概 要							下 木 概 要					
					試験地 面積 ㎡	林 齢	樹 種	混交率 %	樹高 m	本数 本/ha	間伐 有無	試験地 面積 ㎡	林 齢	樹 種	混交率 %	樹高 m	本数 本/ha
玉川SA	280	NE	28	33° 59′ 16″ 132° 54′ 05″	200	50	ス ギ ヒノキ	80 20	20 18	250 63		50	11	ス ギ	100	4.6	1,400
玉川SB	330	SE	22	33° 59′ 32″ 132° 53′ 40″	200	40	ス ギ	100	19	600		50	10	ヒノキ	100	3.5	1,793
玉川SC	470	SW	30	33° 59′ 24″ 132° 53′ 20″	200	40	ヒノキ	100	11	500		49	10	ス ギ	100	3.8	1,840
玉川SM	280	NE	42	33° 58′ 07″ 132° 58′ 21″	200	47	ヒノキ	100	19	350		50	11	ヒノキ	100	3.3	2,800
久万M	660	S	33	33° 39′ 10″ 132° 53′ 39″	111	57	ヒノキ	100	17	881	有	15	21	ス ギ ヒノキ	50 50	5.6 4.3	1,293 1,293

注) 林齢は2000年4月時点、樹高は1999年時点、間伐有無は1989年から1999年の調査期間内において

表-3 新規試験地一覧(1994年以降設置)

試験地名	標高 m	位置 上段:緯度 下段:経度	上 木 概 要				
			調査地面積 m ²	樹 種	混 交 率 %	樹 高 m	本 数 本/ha
新 宮 1	680	33° 52' 54" 133° 37' 56"	452	ヒノキ	100	27	287
新 宮 2			452	ヒノキ	100	27	265
新 宮 3			452	ヒノキ	100	27	176
新 宮 4	470	33° 53' 20" 133° 37' 45"	452	ヒノキ	100	29	154
黒 谷 1			380	スギ	100	27	184
黒 谷 2			346	スギ	100	26	231
黒 谷 3	600	33° 56' 22" 132° 59' 08"	380	スギ	100	27	132
黒 谷 4			380	スギ	100	24	368
黒 谷 5			254	スギ	100	21	314
中 村 1	400	33° 58' 08" 132° 55' 15"	314	スギ	100	19	350
中 村 2			314	スギ	100	24	223
中 村 3			314	ヒノキ スギ	67 33	18 15	127 64
中 村 4			314	ヒノキ スギ	63 37	19 21	159 95
中 村 5			314	スギ	100	18	286
井 内 1	1,030	33° 43' 36" 132° 56' 45"	380	ヒノキ スギ	65 35	16 20	289 158
井 内 2			452	ヒノキ	100	16	531
井 内 3			452	ヒノキ	100	15	442
井 内 4			452	スギ	100	23	265
井 内 5			452	スギ	100	21	221
井 内 6			452	スギ ヒノキ	70 30	17 15	354 155
古 岩 屋 開 1	500	33° 38' 52" 132° 58' 40"	113	スギ ヒノキ	82 18	16 10	796 177
古 岩 屋 開 2			201	スギ	100	18	846
面 河 手 前 下	670	33° 41' 51" 133° 01' 21"	314	スギ	100	30	223
面 河 手 前 上			314	スギ ヒノキ	63 37	28 24	159 95
面 河 奥 下	700	33° 42' 00" 133° 01' 15"	314	スギ ヒノキ	89 11	28 —	255 32
面 河 奥 中			314	ヒノキ スギ	77 23	18 25	318 95
面 河 奥 上			314	ヒノキ スギ	93 7	16 —	446 32
ツユミネ天更1	980	33° 35' 30" 132° 53' 50"	452	ヒノキ	100	22	177
ツユミネ天更2			452	ヒノキ	100	21	243
ツユミネ天更3			452	ヒノキ	100	21	287
ツユミネ天更4			452	ヒノキ	100	22	177
ツユミネ天更5			452	ヒノキ	100	21	198
深 山 1	700	33° 19' 30" 132° 39' 10"	201	ヒノキ	100	12	1,094
深 山 2			201	スギ	100	22	846
深 山 3			314	スギ	100	18	541
深 山 4			314	ヒノキ スギ	95 5	16 —	573 32
深 山 5			314	スギ	100	20	382
深 山 6			314	ヒノキ	100	17	350
深 山 8			314	ヒノキ	100	16	477
深 山 9			314	スギ	100	22	605
城 川 1	700	33° 21' 00" 132° 43' 50"	314	ヒノキ	100	18	573
城 川 2			314	ヒノキ	100	16	573
城 川 3			314	ヒノキ	100	14	796
城 川 4			314	ヒノキ	100	17	764
城 川 5			314	ヒノキ	100	16	764

注) 上木樹高、上木本数は1994年時点

2.2 調査内容

2.2.1 上木成長調査

調査開始年次と調査終了年次に本数・樹高・枝下高・胸高直径を測定した。

2.2.2 下木成長調査

毎年、成長休止期に樹高及び胸高直径（地際高直径）を測定した。

2.2.3 林内光環境測定法の検討

1) 林内相対日射量と林内相対照度

林内の光環境測定する機器には照度計、日射計、光量子計があり、本研究では照度計と日射計を使用した(表-4)。

表-4 林内光環境の測定法

	照 度 計		日 射 計	
	多点瞬間	積 算	多点瞬間	積 算
方 法	1試験地当たり移動しながら100～200点測定	—	—	定点で7～30日間設置し測定
期 間	1989～1991年	—	—	1991～1998年

注) 照度計はミノルタT-1を使用、日射計は旭光通商サンステーションを使用

照度計と日射計では波長毎の重みづけが異なり、値を単純に比較することはできない(齋藤, 1999)と言われているが、本研究では予備試験の結果(豊田, 1991未発表)、林内の相対照度と相対日射量はほぼ1対1の関係であったことより、1991年より太陽エネルギー量を直接測定する日射計を用いることとした。なお光合成測定によく用いられるのは光量子計であるが今回は測定に用いなかった。

また測定法には多点の瞬間値を測定する方法と積算値を測定する方法(表-4)があり積算値の方が、より自然状態に近いと言われている(豊田・三好・松本, 1992)。

いずれの方法も樹木の成長期に測定機器を林内

下木の梢端付近と調査林分に近い裸地に設置し測定を実施した。

2) 測定する季節の検討

林内相対日射量は季節変動する(藤本, 1984)ことが知られているため、下木の成長が旺盛な5～8月に実施した。

3) 全天空写真撮影法の検討

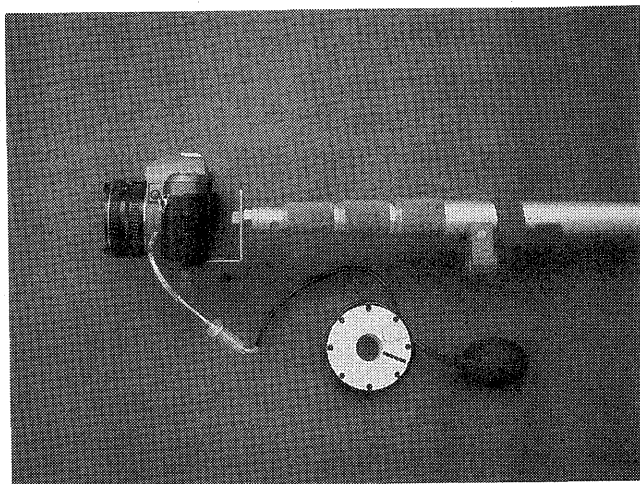
積算日射計による林内相対日射量の測定とは別に、林内の光環境を間接的に測定する方法として全天空写真による開空度を測定した。

全天空写真は、画角が180°の方形画像が得られる魚眼レンズ(ペンタックス製F17mm, 1:4)を用いた。露光量は、天頂部(又は最も明るい部分)の雲をハイライト基準露光で決定(現像後雲の色がわずかに認められる程度、概略ISO100のポジフィルムで、1/250、F=8～16)した(豊田・森, 1991)。この理由は、林外の明るさの多少にかかわらず、葉や枝を同じ暗さで撮影するためである。

撮影は林内相対日射量を測定した場所を含む定点で、なるべく曇天時にカメラの位置を下木が写り込まないように下木の梢端付近に設置し、レンズ光軸を垂直にしてフィルム短辺を南北方向に合わせて撮影した。なお撮影方法等について図-1に示した。

4) 開空度と林内相対日射量の関係

全天空写真を撮影したフィルムはフィルムスキャナ(キャノン製)で0～255階調の輝度デジタルデータとして取り込み、特定の輝度(敷居値)により高輝度(空)・低輝度部分(樹冠)に2値化し、それぞれのデータ数をカウントすることによって開空度を計算した。この場合「開空度=高輝度データ数÷全データ数」となり、敷居値の設定が重要となる。曇天時には開空度の変化量が最小となる部分を敷居値として測定するが、晴天時の場合は青空の影響により変化量の谷が2つ現れるため、フィルム画像と2値化画像を比較しながら最適な敷居値を設定した。2値化したデータを北斜面、南斜面で分けた上に画面を全面と東西南北別に分けて



カメラとボールの固定方法

(L型金具によりカメラと自動枝打機用ボールを固定、
エアー式リリースにより高さ約6mまで撮影可能:金本考案)



全天空写真撮影風景

図一1 全天空写真撮影方法

求めた開空度と林内相対日射量を比較検討したが、画面全面そのままの開空度との相関が一番高かった(金本・豊田,1994)。

また、開空度の天頂角別の重み付けをすることにより、林内相対日射量との関係が高くなることは予想されたが、開空度の測定にプログラム等の作成が必要となることから実施しなかった。

このことから本研究では、天空写真の方位と天頂角による開空度の重み付けは行わず全画面をそのまま解析したものを開空度とした。

1991年から1993年の開空度と林内相対日射量で、同時期に同じ測定場所の2つのデータ70個を比較したところ高い相関関係を持つ(金本・三好・豊田, 1995)ことから、1991年から1998年の本試験地10林分と追加試験地5林分のデータ130個の2つを検討してみたものが図-2である。ほぼ1対1の関係がみられる。

このことから、積算日射計の測定結果のないものについては次式により開空度から林内相対日射量を推定した。

$$Y = 1.04X - 1.10$$

Y : 林内相対日射量(%)

X : 開空度(%)

なお、下木の平均樹高が7mを超える林分も現れ、重量のあるカメラを持ち上げる現在の方法では測定が困難な場合が生じつつある。

以上のことから全天空写真による光環境測定方法の限界が示唆され、新たな方法による測定が望まれる。

3. 結果と考察

3.1 下木樹高成長量と林内相対日射量

下木の樹高成長量と林内相対日射量の1990年から2000年の推移を検討するため、1989年からの本試験地10林分で上木樹種別、林内光環境別に区分

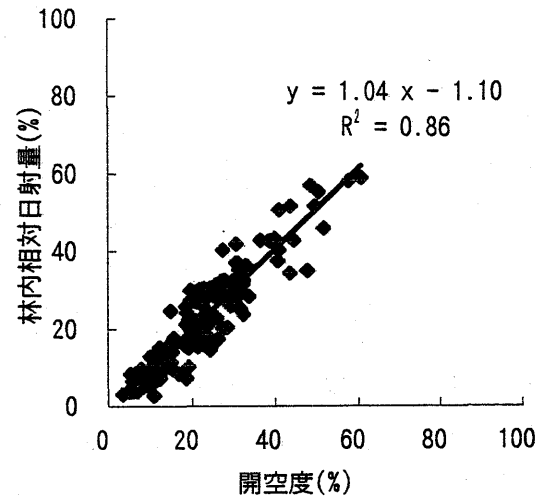


図-2 開空度と林内相対日射量

したうえで代表的な6林分を図-3に示した。

下木の樹高成長量は、スギ・ヒノキ共に比較的明るい林分である玉川T、久万ISが30~50cm/年で推移したのに対し、暗い林分の玉川M、玉川Sでは10~35cm/年で推移した(図-3)。調査期間中に上木が無間伐の林分の玉川T、玉川M、久万IS、玉川Sは林内相対日射量と下木の樹高成長量は、ほぼ一致して推移した。しかし間伐のあった林分の宇和T、久万OTは、林内相対日射量が間伐後直ちに増加する(宇和Tは91~92年、久万OTは95~96年)のに対して、下木樹高成長量はゆるやかに増加傾向を示し推移のずれをみせた(図-3)。宇和Tでは間伐のあった約3年後の95年に下木樹高成長量が最大となったが、林内相対日射量は間伐前の暗さに戻っており、翌年の96年から減少傾向となった(図-3)。

そのことから、調査期間の長い本試験地10林分と追加試験地5林分のデータで下木の葉の光環境への適応過程を考慮して3年前の相対日射量と当年の下木樹高成長量を検討するとこの2つは関係が深いと思われる(図-4)。このことは、被陰解除後の成長の良否は、被陰解除後に出葉する葉の光合成生産量の大小による(丹下・鈴木・糟谷・粕谷, 1991)考えを支持するものとなった。

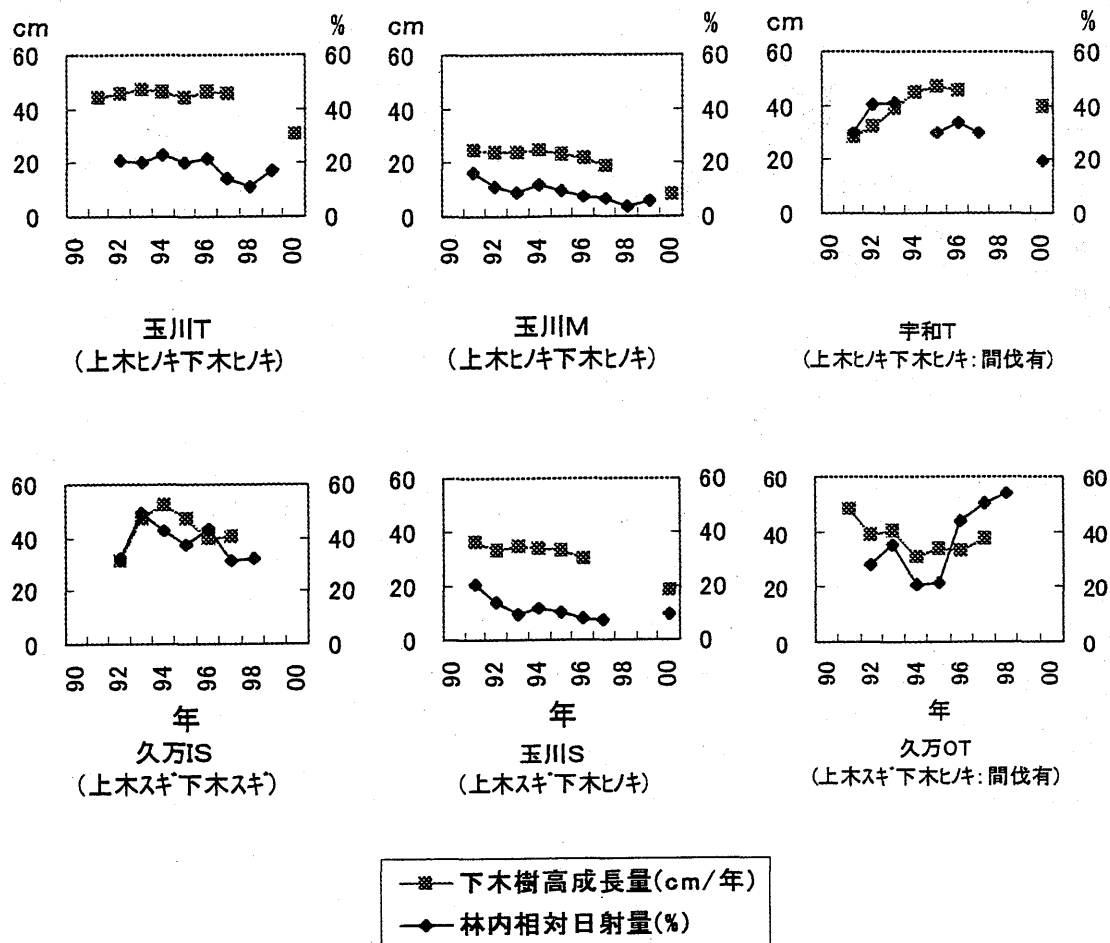


図-3 下木樹高成長量と林内相対日射量の推移

- 注1) 玉川T、玉川M、宇和Tは上木がヒノキのもの
 注2) 久万IS、玉川S、久万OTは上木がスギのもの
 注3) 宇和T、久万OTは調査期間内で間伐があったもの
 注4) 玉川T、久万ISは比較的明るい林分(林内相対日射量がおおよそ20%より大きい)のもの
 注5) 玉川M、玉川Sは暗い林分(林内相対日射量がおおよそ20%より小さい)のもの

つまり、下木の光合成生産量は葉の光合成特性と葉量によって決まる。上木の間伐により明るい光環境になってもいままでの暗い光環境に対応した葉では光合成生産量はあまり大きくならない。そして、その後出てくる明るい光環境に対応した葉が光合成生産量を増大させ始める葉量となるのに約3成長期間かかるのではないと思われる。

林内相対日射量が20%より低い時は、光環境が強く影響しそれ以上明るいとの立地要因がきいてくる(金本・三好・豊田,1995)という指摘がある

が、今回の報告ではこれを再確認できなかった。

3.2 上木胸高断面積合計と林内相対日射量

調査期間の長い本試験地10林分と追加試験地5林分で調査期間中に上木の間伐が無く、欠測値が少ない代表的な上木スギ6林分と上木ヒノキ5林分の上木胸高断面積合計と林内相対日射量の経年変化の関係をみたものが図-5である。

上木がヒノキの場合は上木胸高断面積合計の増加に対して林内相対日射量が減少傾向を示す林分が多かったが、上木がスギの場合はこの傾向を示

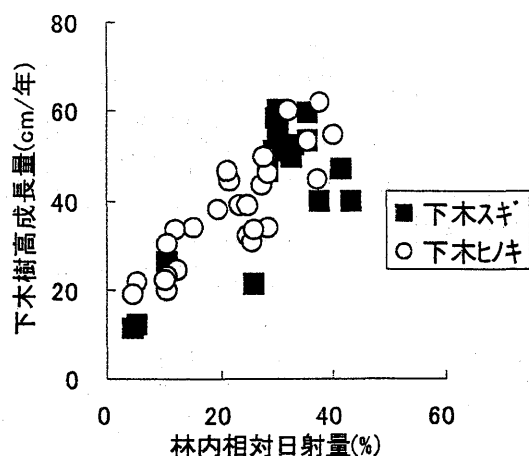


図-4 3年前の林内相対日射量と
当年の下木樹高成長量

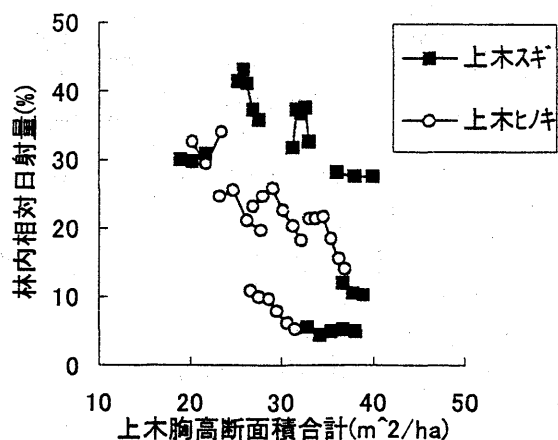


図-5 上木胸高断面面積合計と林内相対日射量
(1993年～1999年)

す林分は少なかった。(図-5)。このことから、上木ヒノキ林分は上木スギ林分と比較し、上木の成長にともなう林内相対日射量の減少が大きいと予想される。

3.3 複層林造成後の初期施業の検討

3.3.1 上木林齢が低い場合

上木スギ・ヒノキ・下木スギ・ヒノキ複層林の下木は、林内の光環境に適合した形態に発達するまでに約3成長期間必要なのではないかと考えられる。上木林齢が低い場合は成長旺盛なため3年経過後には間伐前の暗い環境となっていることが考えられ下木のための光環境管理(上木の間伐等)を頻繁に実施する必要がある。

3.3.2 上木スギと上木ヒノキの違い

3.2によると上木ヒノキ複層林は上木スギ複層林と比較し暗くなりやすいことから、間伐の遅れによる下木の成長鈍化に注意を要すると思われる。

3.3.3 複層林の上木密度管理

下木スギ・ヒノキ共に林内相対日射量の管理の下限は約20%と言われている(金本・三好・豊田, 1995、堤, 1994)。目的の林内相対日射量が維持できているのか確認するうえで、本研究において使用した機器と方法をうい林家が実施することは困難であると思われる。

そこで、本試験地、追加試験地及び新規試験地の上木の本数・樹高・胸高直径のデータから収量比数を求め、林内相対日射量を推定できないか検討したものが図-6である。

上木の収量比数と林内相対日射量の関係を見ると上木スギ・ヒノキの違いはみられず、収量比数が大きくなると林内相対日射量が減少する負の相関がみられたが、同じ収量比数でも林内相対日射量の変動は大きく、相関係数は0.5であった(図-6)。

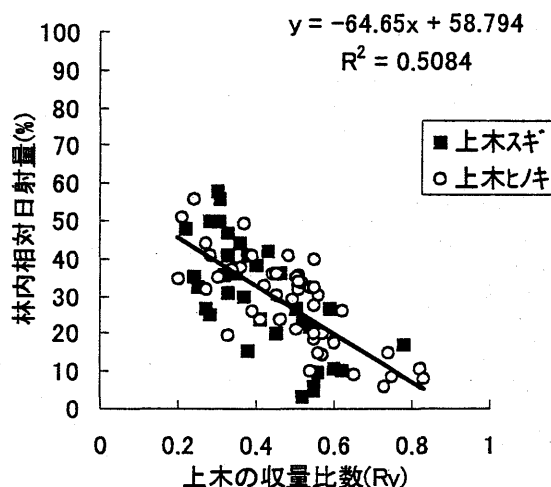


図-6 上木の収量比数と林内相対日射量

これは林内相対日射量が林分の地況(地形、斜面方位等)及び上木の施業前歴(林齢、樹高、枝下高、枝張り等)による影響を大きく受けるということが上げられる。このことは上木の収量比数で林内相対日射量は推定出来るものの、参考程度としてしか使用できないことを示す。

4. 結 言

上木スギ・ヒノキ下木スギ・ヒノキ複層林の造成初期の管理は下木については、上木間伐後速やかに成長が良くなるのではなく、約3成長期間以降を経てから良くなると考えられた。

また上木の樹種による光環境の経年変化の違いを上木胸高断面面積合計の増加で比較すると、ヒノキはスギに比べ林内が暗くなりやすい傾向があることが予想される。

上木スギ・ヒノキ下木ヒノキ複層林の調査林分のなかで、下木の成長により下木の樹冠が閉鎖し、林床植生が乏しくなった林分をみかけた。複層林造成中期以降は、上木だけでなく下木を含めた密度管理の重要性が高まってくる。

今後は従来の調査に加え下層植生調査を充実し下木の密度管理を考えていかなければならないと考える。

長期間にわたり快く試験地をお貸しいただき、さらに試験地の維持管理にご配慮いただいた、愛媛森林管理署、久万町、今治市玉川町及び朝倉村共有山林組合、住友林業(株)、清水産業(株)、岡信一氏、石丸亨氏、本多照昌氏、愛媛県営林担当者、また現地調査などでご協力いただいた関係者の方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 藤本幸司(1984) スギ人工同齡林への群状択抜作業導入に関する研究. 愛媛大学農学部紀要第29巻第1号: 1-114.
- 金本知久・豊田信行(1994) 複層林の光環境測定

法の検討例(Ⅱ)ーイメージスキャナによる全天空写真解析ー. 日林関西支論 3: 113-114.

金本知久・三好誠治・豊田信行(1995) 複層林造成管理技術の開発. 愛媛県林試研報16: 1-18.

齋藤武史(1999) 森林立地調査法, 森の環境を測る(有光一登ら監修), pp.147-150. 博友社, 東京

丹下健・鈴木 誠・糟谷重夫・粕谷伊佐義(1991) 被陰条件下で育てたスギ, ヒノキ苗木の被陰解除前後の光合成特性と成長. 日林誌73: 288-292.

豊田信行・三好誠治・松本博行(1992) 複層林の光環境測定法の一検討例. 日林関西支論 1: 121-123.

豊田信行・森格良(1991) スギ・ヒノキ人工林を利用した適正なほだ場管理技術の確立Ⅰー全天空写真濃度法による光環境の推定ー. 愛媛県林試研報 12: 76-84

堤 利夫(1991) 造林学(上飯坂實ら監修), pp. 40-48. 文永堂出版, 東京