

複層林造成管理技術の開発

誌名	愛媛県林業試験場研究報告
ISSN	03892875
著者名	金本,知久 三好,誠治 豊田,信行
発行元	愛媛県林業試験場
巻/号	16号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-18
発行年月	1995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



複層林造成管理技術の開発

金 本 知 久
三 好 誠 治
豊 田 信 行

要 旨

県内の複層林における林内相対照度と上層木及び下層木成長量について検討し、また林内相対照度の推定法について検討した。その他天然更新及び風害を受けた複層林について調査を実施した。

1. スギ・ヒノキ林分において林内相対照度と林分密度（R Y）には相関関係が認められた。また、同一林内相対照度ではスギ林分よりヒノキ林分の密度が高い。
2. 林内相対照度の測定は全光多点瞬間値測定より積算照度測定の方が精度が高いが、両測定法とも基準照度測定のための裸地が必要である。全天空写真の画像解析による開空度と林内相対照度には高い相関が認められたことから、開空度測定は林内照度環境の管理に有効である。
3. スギ・ヒノキとも林内相対照度と下層植栽木の成長量（樹高・根元径）には関係が認められた。またその関係は根元径より樹高成長量の方が高い。
4. 樹高成長量は林内相対照度20%で区分すると、20%以下では両者に関係が認められたが、20%以上では認められなかったことから、複層林は林内相対照度20%以上で管理することが適当である。
5. 天然更新稚樹はほとんどがヒノキであり、低い林内相対照度林分で発生密度が高いが成長量は低い。
6. 今回の風害調査地では、無被害木はやや形状比の低い胸高直径の大きい樹高・風芯の高い木であり、樹皮剝離は胸高直径の小さい風芯の低い木で、幹折れは形状比の高い木であった。また地形的には峠から吹き下ろした風による被害地であった。

I はじめに

生活様式や価値観等の変化と多様化に伴い近年、森林に対しては従来の木材生産機能と併せて公益的機能の発揮が期待されている。こうしたことから林地を裸地化すること無く高い公益的機能を維持し、かつ木材生産機能を発揮できる森林施業技術として複層林施業に対する期待が高まってきている。

しかしながらその期待に対しての技術的裏付けが伴っていないことから、現在の複層林施業は高い森林管理技術を持つ林業経営者によって行われており、必ずしも一般的な施業技術でないために一部においては混乱や不良林分の発生をみている。

そのため今後複層林施業技術体系確立が必要となることから、国の大規模プロジェクト「複層林造成管理技術の開発」に参画し、複層林施業技術体系の確立のために県内の複層林において林内照度・成長量等について調査・研究したので報告する。

Ⅱ 研究期間

平成元年度～平成5年度

Ⅲ 調査方法及び結果

1. 調査方法

(1) 試験地設定

平成元年度に県内各地で造成されている複層林地内において面積344から951㎡の「本試験地」12箇所並びに久万町内において間伐率を3段階に変えた面積400㎡の「固定試験地」3箇所を設置した。

平成3年度には新たに県内各地で本試験地より調査面積の小さい102㎡～200㎡の「追加試験地」を設定した。

しかしながら平成2年度の台風14号のために本試験地の内1箇所が、平成3年度の台風19号のために固定試験地3箇所が大きな被害を受けたために被害地での調査を断念した。なお、台風14号による被害状況については本報告に記載する。

(2) 調査内容

ア 上層木調査

設定した試験地で設定年度・最終年度および「固定試験地」では平成2年度に林分調査（本数・樹高・枝下高・胸高直径・傾斜等）を実施した。

イ 下層植栽木調査

設定したすべての試験地において毎年成長休止期における樹高及び根元直径または胸高直径を測定した。

ウ 林内環境調査

林内環境として、すべての調査地において毎年成長期における林内相対照度調査を実施するとともに平成3年度から開空度について調査した。

(ア) 林内相対照度測定

平成元年度から平成3年度は、成長期における晴天時に林内の下層植栽木の梢端付近と基準照度測定として調査地に近い裸地においてデジタル照度計（ミノルタ製T-1）により照度を測定して相対照度を求める全光多点瞬間値測定法を用いた。

平成3年度から平成5年度は、同じく成長期において日射積算計（旭光通商製サンステーション）を林内及び調査地に近い裸地に設置し、約2週間～4週間の積算照度を測定して林内相対照度を求めた。

(イ) 開空度測定

平成3年度から林内の日射積算計設置箇所でカメラの上側を北にして対角魚眼レンズ（ペンタックス17mm）を上方に向けて設置し、水準器で水平を確保して撮影した。撮影したフィルムをA4サイズ程度に拡大コピーした後にイメージスキャナによってデジタルデータに変換した。変換したデジタルデータから連続的な変化の敷居値（データを1と0に区別するための基準値）に対応する開空度データ作成プログラムを開発し、それから得られた開空度データから開空度の変化率を求め、変化率の少ない地点を真の開空度とした。（図1）（参考文献1）なお、平成3年度には葉面積計により併せて開空度を計測した。

エ 林内光環境と下層植物調査

設定した試験地の内、日射積算計設置地点近辺にスギ・ヒノキの天然更新稚樹の発生が認められる試験地において設置地点を中心に半径2.5mの調査地を設定し、樹高20cm以上の天然更新稚樹を対象に、その発生密度・樹高・根元径を測定した。

2. 林内光環境の推定法とその検討

複層林内の光環境を推定するために林内相対照度と上層木密度及び全天空写真解析による開空度との関係について検討した。

(1) 林内相対照度と上層木林分密度

林分調査の結果は表1のとおりである。これによりスギ・ヒノキの林分密度（RY）と林内相対照度の関係を検討した結果、図2、図3に示すようにスギ・ヒノキとも林分密度と相対照度の間には相関が認められたが、斜面方位による差は認められなかった。また

図2と図3を比較すると、同一相対照度ではヒノキ林分の密度が高いことから、スギ林分での複層林造成、維持のためにはヒノキ林分より低い密度での管理が必要であると考えられる。

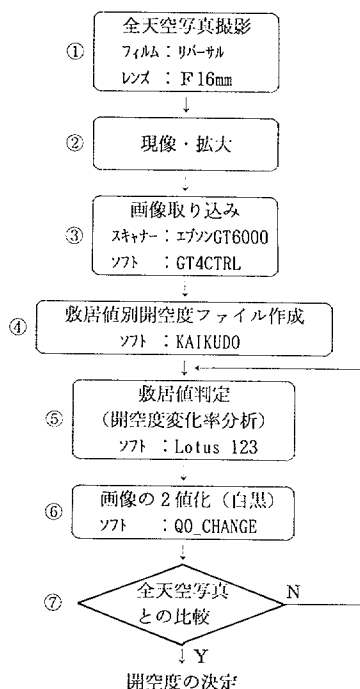


図1 開空度決定フローチャート

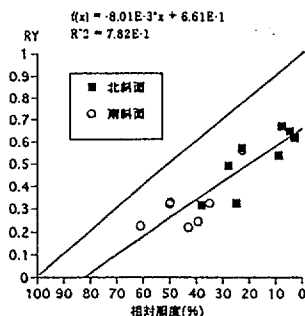


図2 スギ相対照度RY

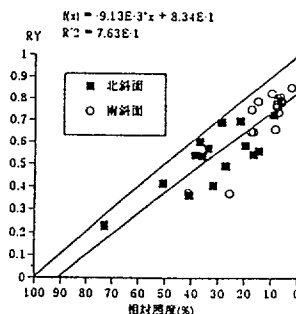


図3 ヒノキ相対照度RY

表1 複層林上層木成長調査一覧
本試験地 愛媛県林業試験場（平成元年度設定 平成5年4月現在林齢）

試験地概要	区 分		試 験 地									
	Na		MK 1	MK 2	MK 3	MK 4	MT 1	MT 2	MT 3	MT 4		
	面 積 (㎡)		344	380	407	385	382	1001	966	951		
	方 位		NE	SE	E	E	NW	NE	SE	NW		
	標 高 (m)		480	660	750	780	450	675	610	230		
	傾 斜 (度)		35	35	20	16	33	5	26	15		
	林 齢 (年)		40	67	68	97	42	59	59	82		
	樹 種		スギ マツ	スギ ヒノキ	スギ	スギ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ		
平成元年度	試験地内本数		28	1	4	3	8	3	31	30	43	22
	ha 当り本数		843		184		197	78	812	300	445	231
	胸高直径 (cm)		19.1	28.0	32.2		36.8	66.9	22.1	30.3	30.5	40.3
	樹 高 (m)		16.6	19.9	38.9	23.1	23.3	31.8	16.0	20.1	20.0	25.5
	枝下高 (m)		7.3	13.8	25.4	16.6	10.9	10.7	7.1	10.1	9.4	14.8
平成2年度	取 量 比 数		0.54		8.33	7.40	0.32	0.23	0.69	0.54	0.65	0.60
	相対照度 (%)		9		47		35	61	29	39	17	37
	試験地内本数		28	1	7		8	3	31	30	43	22
	ha 当り本数		843		184		197	78	812	300	445	231
	胸高直径 (cm)		19.8	28.7	39.5	24.3	37.5	68.3	22.7	31.1	30.9	41.4
平成3年度	樹 高 (m)		17.3	19.3	23.8	16.3	23.0	31.1	16.2	20.0	20.0	24.2
	枝下高 (m)		7.5	10.0	8.9	7.2	10.7	10.4	7.6	10.2	9.5	14.8
	取 量 比 数		0.62		0.33		0.32	0.22	0.70	0.54	0.65	0.57
	相対照度 (%)		3		48		50	43	22	36	18	34
	試験地内本数		28	1	7		8	3	31	30	43	22
平成4年度	ha 当り本数		843		184		197	78	812	300	445	231
	胸高直径 (cm)		21.2		42.1	27.3	39.8	70.7	23.8	33.6	33.2	43.2
	樹 高 (m)		18.5		24.8	16.7	23.6	34.0	17.1	20.9	20.4	24.7
	枝下高 (m)		8.0		9.0	7.2	11.0	11.6	7.5	9.8	9.1	15.9
	取 量 比 数		0.65		0.35		0.33	0.25	0.73	0.56	0.66	0.59
平成5年度	相対照度 (%)		5		35		50	39	10	15	9	20
	試験地内本数		28	1	7		8	3	31	30	43	22
	ha 当り本数		843		184		197	78	812	300	445	231
	胸高直径 (cm)		21.2		42.1	27.3	39.8	70.7	23.8	33.6	33.2	43.2
	樹 高 (m)		18.5		24.8	16.7	23.6	34.0	17.1	20.9	20.4	24.7

追加試験地

試験地概要	区 分		玉 川 町 試 験 地								久万町試験地	
	Na		ST a	ST bア	ST bヒ	ST cケ	ST シキ	ST 柱ア	ST 柱ヒ		SK 1	SK 2
	面 積 (㎡)		200	177	200	200	200	200	200		107.4	106
	方 位		NE	E	SE	SW	NE	N	NE		S	S
	標 高 (m)		280	340	330	470	280	430	460		630	630
	傾 斜 (度)		28	34	22	30	42	36	40		36	37
	林 齢 (年)		43	33	33	33	40	30	30		50	50
	樹 種		スギ	ヒノキ	スギ	スギ	ヒノキ	ヒノキ	ザ ツ	ザ ツ	ヒノキ	ヒノキ
平成2年度	試験地内本数		5	2	12	12	10	7	11	18	15	12
	ha 当り本数		250	791	600	500	350	550	900	1397	1132	
	胸高直径 (cm)						26.4					
	樹 高 (m)						17.6					
	枝下高 (m)											
平成3年度	取 量 比 数											
	試験地内本数		5	2	12	12	10	7	11	18	15	12
	ha 当り本数		250	791	600	500	350	550	900	1397	1132	
	胸高直径 (cm)		28.3	19.9	24.9	25.8	20.7	26.7	13.7	13.2	18.2	19.9
	樹 高 (m)		19.4	12.4	18.0	18.8	11.5	17.1	10.7	10.1	15.9	16.1
平成5年度	枝下高 (m)											
	取 量 比 数		0.32	0.60	0.55	0.37	0.49				0.83	0.78
	相対照度 (%)		33	28	31	43	22	37		32	10	12
	試験地内本数		5	2	12	12	10	7	11	18	15	12
	ha 当り本数		250	791	600	500	350	550	900	1397	1132	
平成5年度	胸高直径 (cm)		30.7	21.8	27.2	27.3	22.5	28.8	15.6	14.6	19.5	21.4
	樹 高 (m)		19.9	13.5	19.3	19.3	11.4	18.8	11.9	11.6	16.9	16.5
	枝下高 (m)		9.1	5.2	8.7	8.7	6.0	7.5			9.9	8.5
	取 量 比 数		0.32	0.64	0.56	0.37	0.55				0.86	0.80
	相対照度 (%)		25	16	23	26	17		27	26	3	7

本試験地

区 分		試 験 地						固定試験地		
試験地概要	No	MO 1	MU 1		MU 2		MU 3	M 1	M 2	M 3
	面積 (㎡)	399	403		407		752	400	400	400
	方位	N	NE		NW		SE	N	N	N
	標高 (m)	350	250		280			1000	1000	1000
	傾斜 (度)	25	28		24		30	9	13	5
	林齢 (年)	44	29		44		84	41	41	41
	樹種	マ ツ	ヒノキ	マ ツ	ス ギ	ヒノキ	ヒノキ	ス ギ	ス ギ	ス ギ
平成元年度	試験地内本数	20	46	3	7	9	16	18	21	21
	ha 当り本数	501	1216		393		213	450	525	525
	胸高直径 (cm)	16.0	10.2	10.5	25.5	19.0	19.4			
	樹高 (m)	13.5	8.0	7.7	18.0	15.1	12.7			
	枝下高 (m)	9.6	3.7	3.8	9.6	8.7	6.8			
	収量比数		0.42		0.44		0.23			
	相対照度 (%)	49	51		58		73			
平成2年度	試験地内本数	20	41	2	7	9	台風被害	18	21	21
	ha 当り本数	501	1067		393		被 害	450	525	525
	胸高直径 (cm)	17.0	11.5		24.7		19.9	32.3	20.2	32.3
	樹高 (m)	13.1	8.4		18.1		15.7	20.1	21.7	22.3
	枝下高 (m)	9.2	3.7		9.6		8.5	8.0	11.2	7.6
	収量比数		0.41		0.45			0.49	0.57	0.67
	相対照度 (%)	68	32		58			28	23	8
平成3年度	試験地内本数		41	2						
	ha 当り本数		1067							
	胸高直径 (cm)		12.0	16.1						
	樹高 (m)									
	枝下高 (m)		3.7	4.4						
	収量比数									
	相対照度 (%)									
平成4年度	試験地内本数									
	ha 当り本数									
	胸高直径 (cm)									
	樹高 (m)									
	枝下高 (m)									
	収量比数									
	相対照度 (%)									
平成5年度	試験地内本数	20	26	2	7	9				
	ha 当り本数	501	695		393					
	胸高直径 (cm)	19.2	14.8	19.1	28.2	21.2				
	樹高 (m)	13.2	9.5	9.9	19.0	15.4				
	枝下高 (m)	9.2	4.7	4.6	9.8	8.5				
	収量比数		0.36		0.46					
	相対照度 (%)	68	41		41					

追加試験地

区 分		久 万 町 試 験 地					
試験地概要	No	SK 3	SK 4	SK 5	SK 6	SK 7	SK 8
	面積 (㎡)	111.3	110	114.9	111.3	105	101.7
	方位	S	S	S	S	S	S
	標高 (m)	640	650	650	660	670	670
	傾斜 (度)	33	34	29	33	38	40
	林齢 (年)	50	50	50	50	50	50
	樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
平成2年度	試験地内本数	11	11	10	13	12	11
	ha 当り本数	988	1000	870	1168	1147	1087
	胸高直径 (cm)						
	樹高 (m)						
	枝下高 (m)						
	収量比数						
	相対照度 (%)						
平成3年度	試験地内本数	11	11	10	13	12	11
	ha 当り本数	988	1000	870	1168	1147	1082
	胸高直径 (cm)	21.3	20.0	21.7	20.1	22.9	23.9
	樹高 (m)	17.5	16.1	16.9	15.6	16.9	15.9
	枝下高 (m)						
	収量比数	0.79	0.75	0.74	0.78	0.81	0.76
	相対照度 (%)	9	18	9	9	9	9
平成5年度	試験地内本数	11	11	10	13	12	11
	ha 当り本数	988	1000	870	1168	1147	1082
	胸高直径 (cm)	23.0	21.6	23.4	21.4	21.1	22.5
	樹高 (m)	18.2	17.3	17.6	16.2	15.8	16.8
	枝下高 (m)	9.6	10.3	9.4	8.7	8.2	8.2
	収量比数	0.81	0.79	0.76	0.79	0.78	0.79
	相対照度 (%)	7	15	9	8	9	7

(2) 相対照度と開空度

葉面積計イメージスキャナを用いた全天空写真解析による開空度と日射積算計により測定した林内相対照度との関係について検討した。葉面積計による開空度と林内相対照度との相関係数0.89に対してイメージスキャナによる開空度との相関係数は0.98であり、図4に示すようにイメージスキャナによる開空度と林内相対照度の間にはほぼ1対1の関係が認められた。

なお、開空度＝林内相対照度とした場合やや開空度が小さくなる傾向がみられたが、樹冠部分に開いた小さな開空部が今回の方法では閉鎖部分となる傾向があったためと考えられる。この点については今後の検討を要する。

(3) 林内光環境の推定法の検討

林分密度(RY)と林内相対照度の間に関係が見られたことから、複層林造成のための間伐等の実施に当たって、間伐量の決定等の参考指標としてRYを用いることも可能と思われる。

また、従来林内相対照度の測定には、照度計を用いた全光多点瞬間値測定や、日射積算計を用いた測定法などがある。それぞれの長所

と短所を述べると、照度計による測定は比較的短時間に測定でき、林分の平均的な数値が得られるが、林内と林外に測定者が必要であるとともに測定者間でのリアルタイムな通信手段の確保が必要であることと、測定時間、測定時の天候などにより誤差が生じる可能性が高い。

一方日射積算計による測定は、測定者が1名で可能であり、天候、測定時間の制約が少なく、長期間にわたる測定が必要なために測定時間が長くなるが瞬間的な相対照度でないために照度計による方法に対して測定地点における精度は高い方法と考えられる。しかし、林分全体の平均的相対照度の測定のためには、林分に均等に測定器を設置する必要があること、機器の値段が高いことから一般的な相対照度測定法にはなりにくい。

また両測定方法に共通する欠点として、測定対象林分の近辺に基準照度測定のための裸地の確保が必須であり、そうした場所が確保できない林分の相対照度は測定できない。

今回イメージスキャナを用いた開空度と日射積算計による林内相対照度に高い関係が認められたことから、開空度から林内相対照度を推定できると考えられる。開空度測定法の長所として、基準照度測定のための裸地の確保が不用であり、測定者は1名で可能であり、天候、測定時間等の制約が少なく、撮影枚数を多くすれば林分の平均的相対照度の測定が可能となる。しかし欠点として魚眼レンズ、イメージスキャナ等測定機材が高価なことと、写真から開空度を解析するための技術が必要である。

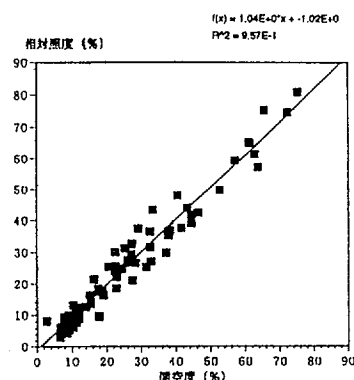


図4 相対照度－開空度

表2 複層林下層木成長調査一覧
本試験地 愛媛県林業試験場（平成元年度設定 平成5年4月現在林齢）

区	分	試験地											
下層木概要	Na	MK 1		MK 2		MK 3		MK 4		MT 1	MT 2	MT 3	MT 4
	面積 (㎡)	344		380		407		385		382	1001	966	951
	林 齢	7		10		6		7		5	7	7	7
	樹 種	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	スギ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
	試験地内本数	22	117	23	146	208	22	128	87	144	138	150	150
平成元年度	ha 当り本数	640		605		5111		571		2277	1439	1429	1577
	地際直径 (cm)	1.01	0.98	2.24	3.35	0.90	1.40	1.58	0.50	1.10	1.10	1.10	1.10
	樹 高 (cm)	88.0	101.5	266.2	367.7	68.0	106.0	157.5	64.0	109.0	105.0	117.0	117.0
	相対照度 (%)	9		47		35		61		29	39	17	37
	成長量												
平成2年度	地際直径 (cm)	1.14	1.29	2.88	4.07	1.30	1.88	2.37	1.00	1.70	1.50	2.00	2.00
	樹 高 (cm)	95.4	121.8	314.0	424.3	92.0	145.0	218.0	101.0	144.0	133.0	161.0	161.0
	相対照度 (%)	3		48		50		43		22	36	18	34
	成長量												
	成長量												
平成3年度	地際直径 (cm)	0.13	0.31	0.64	0.72	0.40	0.47	0.79	0.50	0.60	0.40	0.90	0.90
	樹 高 (cm)	7.5	20.3	47.8	56.6	24.0	39.0	60.5	37.0	35.0	28.0	44.0	44.0
	地際直径 (cm)	1.37	1.59	3.39	4.55	1.83	2.74	3.46	1.53	2.24	1.87	2.88	2.88
	樹 高 (cm)	105.4	140.9	350.9	459.0	114.3	203.0	271.0	136.4	177.0	155.9	201.1	201.1
	相対照度 (%)	14		53		58		46		13	29	20	30
平成4年度	相対照度 (%)	6		44		45		39		19	22	13	20
	成長量												
	成長量												
	成長量												
	成長量												
平成5年度	地際直径 (cm)	0.23	0.30	0.51	0.48	0.53	0.86	1.09	0.53	0.54	0.37	0.88	0.88
	樹 高 (cm)	10.0	19.1	36.9	34.7	22.3	58.0	53.0	35.4	33.0	22.9	40.1	40.1
	地際直径 (cm)	1.53	1.91	3.98	5.14	2.41	3.61	4.52	2.17	2.87	2.42	3.85	3.85
	樹 高 (cm)	123.5	160.7	406.0	509.0	147.6	282.6	350.2	174.0	217.2	184.9	254.0	254.0
	相対照度 (%)	8		28		28		32		14	20	12	21
平成5年度	成長量												
	成長量												
	成長量												
	成長量												
	成長量												
平成5年度	地際直径 (cm)	0.17	0.33	0.59	0.58	0.58	0.88	1.05	0.64	0.63	0.55	0.97	0.97
	樹 高 (cm)	18.1	19.8	55.1	50.0	33.3			37.6	40.2	29.0	52.9	52.9
	地際直径 (cm)	1.73	2.24	4.26	5.43	3.10	4.48	5.54	2.70	3.57	2.66	4.96	4.96
	樹 高 (cm)	134.2	181.7	417.7	543.5	185.8	333.0	398.3	205.0	248.3	202.0	298.9	298.9
	相対照度 (%)	5		35		50		39		10	15	9	20
平成5年度	成長量												
	成長量												
	成長量												
	成長量												
	成長量												
平成5年度	地際直径 (cm)	0.20	0.33	0.29	0.30	0.69	0.87	1.03	0.53	0.70	0.24	1.11	1.11
	樹 高 (cm)	10.7	21.0	11.7	34.5	38.2	65.0	63.7	31.0	31.1	17.1	44.9	44.9

(注 調査番号MK 4の平成4年度樹高は調査データ不良のため削除した。
そのため、平成5年度の樹高成長量は4年度及び5年度の2カ年とした。)
追加試験地

区	分	玉川町試験地										久万町試験地	
下層木概要	Na	STa		STb		STc		STシキ		ST柱ア	ST柱ヒ	SK1	
	面積 (㎡)	50		50.4		50.2		48.9		50	50.1	51.1	15.88
	林 齢	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	14	14
	樹 種	ケヤキ	スギ	アテ	ヒノキ	ケヤキ	スギ	ヒノキ	アテ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	ヒノキ
	試験地内本数	4	7	12	9	3	9	14	14	6	3	3	3
平成2年度	ha 当り本数	800	1400	2381	1793	613	1840	2800	2794	1174	1889	1889	1889
	地際直径 (cm)	0.75	0.93					0.81					
	樹 高 (cm)	113.0	70.6					71.3					
	相対照度 (%)												
	成長量												
平成3年度	地際直径 (cm)	0.83	1.56	0.83	0.74	0.63	0.99	0.97	0.59	0.82	3.00	2.17	2.17
	樹 高 (cm)	143.8	116.0	43.1	70.2	88.7	65.1	99.4	30.4	61.7	186.3	164.0	164.0
	相対照度 (%)	38	38	33		41	41	27	43	44	10		
	成長量												
	成長量												
平成4年度	地際直径 (cm)	0.08	0.63					0.16					
	樹 高 (cm)	30.8	45.4					28.1					
	地際直径 (cm)	1.13	2.43	1.00	1.29	0.82	1.84	1.39	0.74	1.34	3.27	2.46	2.46
	樹 高 (cm)	173.5	164.4	51.6	116.3	118.0	115.7	124.7	34.1	110.3	206.7	183.0	183.0
	相対照度 (%)	33	33	28	31	43	43	22	37	32	10		
平成5年度	成長量												
	成長量												
	成長量												
	成長量												
	成長量												
平成5年度	地際直径 (cm)	0.30	0.87	0.17	0.55	0.19	0.85	0.42	0.15	0.52	0.27	0.29	0.29
	樹 高 (cm)	29.7	48.4	8.5	46.1	29.3	50.6	25.3	3.7	48.6	20.4	19.0	19.0
	地際直径 (cm)	1.39	3.35	1.15	1.97	0.99	2.78	1.89	1.02	2.17	3.64	2.69	2.69
	樹 高 (cm)	240.0	225.9	60.0	155.0	168.3	163.0	161.7	45.8	165.7	225.3	202.3	202.3
	相対照度 (%)	25		16	23	26		17	27	26	3		
平成5年度	成長量												
	成長量												
	成長量												
	成長量												
	成長量												
平成5年度	地際直径 (cm)	0.26	0.92	0.15	0.68	0.17	0.94	0.50	0.28	0.83	0.38	0.23	0.23
	樹 高 (cm)	66.5	61.5	8.4	38.7	50.3	47.3	37.0	11.7	55.4	18.6	19.3	19.3

試 験 地				固 定 試 験 地			
MO1	MU1	MU2	MU3	M1	M2	M3-1	M3-2
399	403	407	752	400	400	400	400
5	6	7	7	4	4	4	3
ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	スギ	スギ	スギ	ヒノキ
137	196	144	306	121	121	121	104
3434	4864	3538	4069	3025	3025	3025	2600
1.00	1.20	1.90	1.50	0.70	0.70	0.80	
83.0	112.0	159.0	106.0	49.0	50.0	59.0	
49	51	58	73				
1.50	1.50	2.70	2.20	0.80	0.70	0.80	
127.0	137.0	213.0	145.0	60.0	63.0	62.0	
68	32	58		28	23	8	
0.50	0.30	0.80	0.70	0.10	0.00	0.00	
44.0	25.0	54.0	39.0	11.0	13.0	3.0	
2.30	1.99	3.66		1.12	1.10	0.95	0.59
169.0	165.0	268.0		90.9	104.1	82.5	41.2
63	43	43		27	30	14	14
64	46	40		24	22	10	10
0.80	0.49	0.96		0.32	0.40	0.15	
42.0	28.0	55.0		30.9	41.1	20.5	
2.96	2.58	4.74		台 風	台 風	1.20	0.62
209.1	197.6	325.9		被 害	被 害	103.8	56.8
68	53	44		24	28	14	14
0.66	0.59	1.08				0.25	0.03
40.1	32.6	57.9				21.3	15.6
3.76	3.20	5.71				台 風	台 風
257.2	234.3	381.4				被 害	被 害
68	41	41				41	23
0.80	0.62	0.97					
48.1	36.7	55.5					

久 万 町 試 験 地													
SK 2		SK 3		SK 4		SK 5		SK 6		SK 7		SK 8	
15.68		16.47		16.28		17.17		16.47		15.47		15.04	
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ
4	1	3	2	3	3	3	1	3	2	2	2	3	4
2551	638	1821	1214	1843	1843	1747	582	1821	1214	1293	1293	1995	2660
2.63	2.50	3.00	1.80	3.30	2.07	4.75	2.60	4.30	2.05	3.90	3.25	3.73	2.28
173.8	175.0	219.3	123.0	264.0	156.3	344.3	183.0	295.0	180.0	275.5	254.5	253.3	181.8
7		8		18		8		9		8		8	
2.73	3.03	3.17	1.93	3.72	2.23	5.44	3.31	4.98	2.44	4.65	3.64	4.08	2.57
193.5	194.0	236.0	144.5	279.7	165.3	378.0	198.0	314.3	204.5	304.5	263.5	280.7	189.0
12		9		18		9		9		9		9	
0.10	0.53	0.17	0.13	0.42	0.16	0.69	0.71	0.68	0.39	0.75	0.39	0.35	0.29
19.7	19.0	16.7	21.5	15.7	9.0	33.0	15.0	19.3	24.5	29.0	9.0	27.4	7.2
2.90	3.40	3.49	2.09	3.97	2.54	5.70	3.68	5.29	2.64	4.75	3.76	4.33	2.79
206.8	215.0	250.7	161.0	300.3	179.0	393.3	219.0	327.7	213.0	321.0	289.5	284.7	206.8
7		7		15		9		8		9		7	
0.17	0.37	0.33	0.15	0.25	0.30	0.25	0.37	0.30	0.20	0.10	0.13	0.25	0.22
13.3	21.0	14.7	16.5	20.6	13.7	15.3	21.0	13.4	8.5	16.5	26.0	4.0	17.8

3. 林内光環境と下層植栽木の成長

下層木の成長と林内相対照度調査結果は表2のとおりである。林内相対照度とスギ・ヒノキの年間樹高成長量の関係を図5・図6に、地際直径成長量との関係を図7・図8に示した。スギ・ヒノキとも林内相対照度と樹高成長量及び地際直径成長量について相関関係が認められたことから、林内相対照度の上昇に伴って樹高成長量及び直径成長も良くなる傾向にある。樹高成長と直径成長を比較すると照度との相関は樹高成長量の方が高いことから、照度の成長への影響は樹高成長により影響を与えると考えられる。

しかし樹高成長についてみると、相対照度20%～30%付近を境に林内相対照度と樹高成長量の関係が異なるように見られることから、林内相対照度20%を基準に2群に分けて相関関係を検討した結果、スギ・ヒノキとも20%までは相関が認められたが、20%以上では相関が認められなかった。

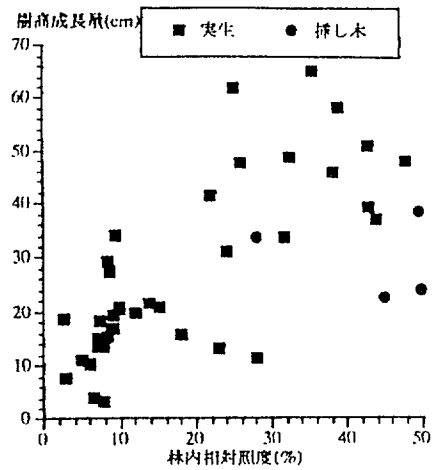


図5 スギ照度樹高成長量

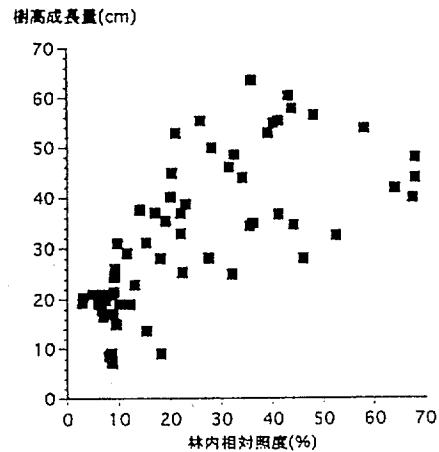


図6 ヒノキ照度樹高成長量

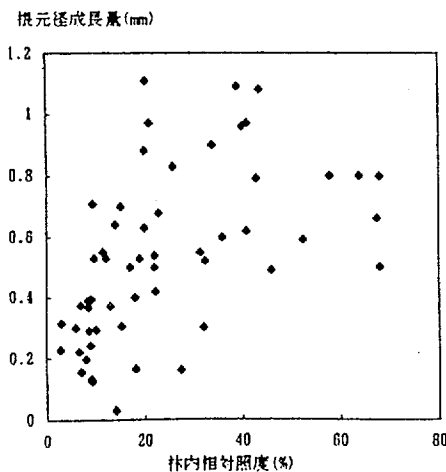


図7 ヒノキ照度根元径成長量

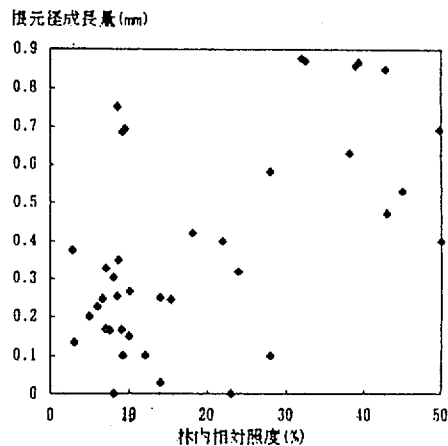


図8 スギ照度根元径成長量

この原因として20%までは林内光環境が下木の主たる成長制限因子となっているが、20%以上では林内光環境以外の因子（例えば水分環境や養分環境）が下木の主たる成長制限因子となっている可能性がある。

図9・図10はスギ・ヒノキについて個々の林分の林内相対照度と樹高成長量の年々の変化について矢印で示したものである。間伐や隣接林分の伐採等がなければ樹冠は樹木の成長に伴って閉鎖することから林内相対照度は年々低下すると考えられる。また、林内相対照度と樹高成長量に関係があれば相対照度の低下に伴って樹高成長量も低下すると考えられる。以上のことから図9・図10における矢印の向きは左下になると考えられるが、必ずしもそうではない。

このことについて間伐が実施されなかった林分の矢印の向きを図11・図12に示した。林内相対照度が低下すれば左向きの矢印になるはずである。左向きの矢印はスギで26データ中18データ、ヒノキは40データ中31データである。右向きのデータが少なくないことは測定による誤差が測定方法自体の問題であり、今後検討する必要がある。

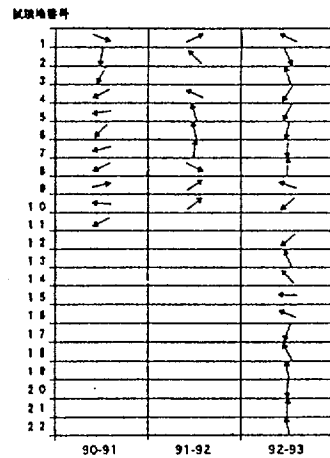


図11 杉照度樹高成長量の変化方向

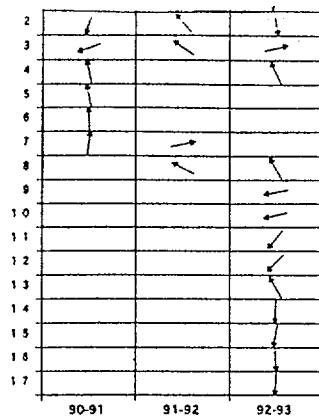


図12 桧照度樹高成長量の変化方向

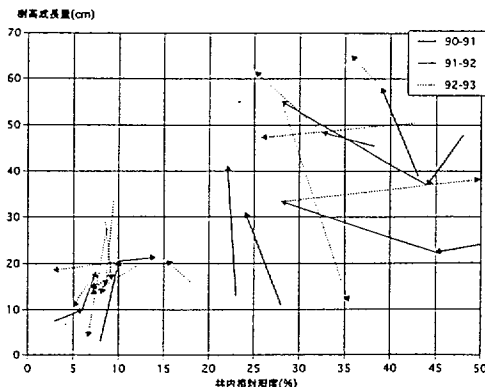


図9 スギ照度樹高成長量

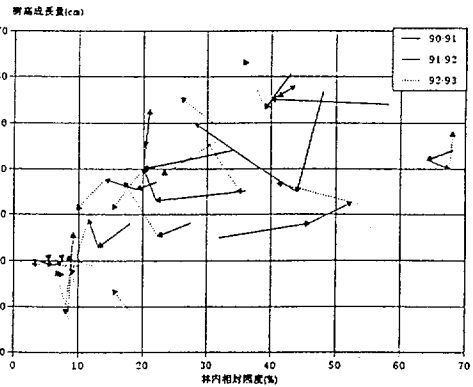


図10 ヒノキ照度樹高成長量の変化

また成長量の増減を示す矢印の上下の向きでは、下向きの矢印はスギで26データ中12データでヒノキは40データ中18データであり、上向きの矢印が多い結果となっている。この原因として樹高成長量の測定方法上の誤差や問題とは考え難いことから、林内の低い照度環境に樹木が適応した結果ではないかと考えられるが、この点については今後検討する必要がある。

以上のことから、相対照度20%以下と以上では樹高成長量との相関は異なるが全体としては照度の上昇に伴って樹高成長量は増加する。しかし、個々の林分については必ずしも当てはまらないことから、施業体系作成のためには樹木生理等を含め更に研究する必要がある。

4. 下層植物による林内光環境の推定法

複層林の林床には様々な植物の発生が認められる。今回調査した複層林の一部においてそうした植物の中にスギ・ヒノキの天然性稚樹の発生が認められる林分が存在することから、林内相対照度との関係について調査検討を行った。

調査の基準地とした日射積算計設置地点のうち、天然更新の認められた箇所は全設置箇所数38箇所の内14箇所であり、調査対象天然更新稚樹の本数は239本である。そのうちスギは8本、ヒノキは231本であり天然更新稚樹のほとんどはヒノキであった。また、発生の認められた調査地の upper 層木の林齢は平成5年度現在で50年以上であり、樹種は全てヒノキであった。また上層木の林齢が50年以上で稚樹の発生の認められなかったのは6箇所であるが、樹種は全てスギであった。残り18箇所の林齢50年未満の林分では発生が認められなかった。

図13で平成3年度における林内相対照度と発生密度の関係を示したが、低照度の林分において発生密度が高いことがわかる。特に10,000本/ha以上の発生密度は相対照度10%以下の林分である。

図14・図15で林内相対照度と樹高及び根元径の年間成長量の関係を示した。照度が高くなるに従って成長量も増加する傾向がみられる。相対照度10%以下のデータをみると、樹高成長量は8cm以下、根元径の成長量は1mm以下である。

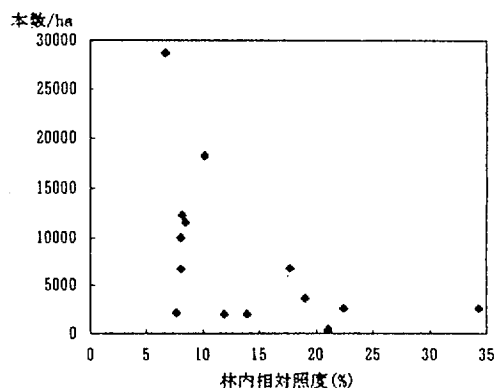


図13 天然更新稚樹の発生密度

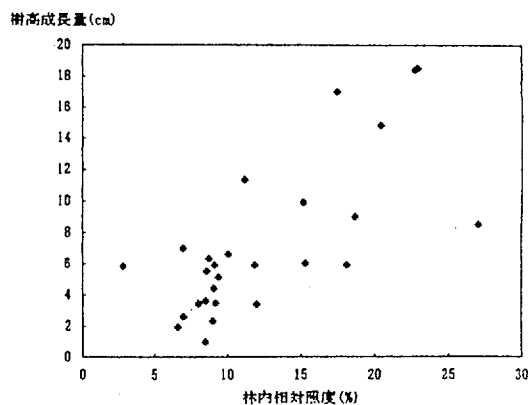


図14 樹高の年間成長量

以上のことから、愛媛県においてヒノキ天然更新稚樹は、上層木がヒノキで林齢が50年以上の林分であることが、発生する一つの条件である可能性が高いと考えられる。

そうしたスギ・ヒノキの天然更新稚樹の発生林分において樹高20cm以上の稚樹の発生密度が1万本/ha以上の林分は林内相対照度10%以下である可能性が高いと考えられる。また、複層林造成の一つの目安とされる林内相対照度20%以上の林分は、発生密度5千本以下で年間樹高成長量が10cm以上であると考えられるが、調査資料が少ないためなお今後の検討課題である。

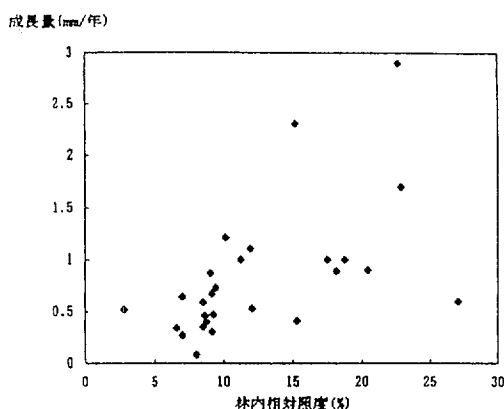


図15 地際直径の年間成長量

5. 複層林形成の阻害要因（風害）

県内に設置した複層林の固定試験地の内、平成2年度の台風によって災害（風害）を受けた試験地及び隣接林分の被害調査を実施した。

(1) 台風の概要

平成2年8月22日、台風14号は四国九州間の豊後水道を北上し、愛媛県に上陸後、15時過ぎには日本海へ抜けた。降り始めの21日15時から22日の19時までの総雨量は、宇和町において195mmであった。風は22日6時頃より強まり、10時から11時にかけてピークを迎えた。10分間の平均風速の最大値は15m、最大瞬間風速は32mであった。風向は主に東南東であった。

(2) 調査内容

- ア. 調査地（被害地） 愛媛県東宇和郡宇和町大字久枝甲1263
- イ. 調査日 平成2年10月9日・10月16日
- ウ. 調査面積 6,643㎡（内 固定試験地 752㎡）
- エ. 調査樹種・本数 ヒノキ 135本（内 固定試験地 15本）
アカマツ 8本

(3) 調査項目

- 樹高・胸高直径・枝下高
- 幹折れ （地上から切断部分までの距離）
- 倒伏・樹皮剥離 （剥離した樹皮の長さ）
- 幹曲り・方向 （固定試験地では幹折れ、倒伏方向）

(4) 調査結果及び考察

ア. 固定試験地調査

表3に固定試験地752㎡の被害調査結果を示した。固定試験地には15本のヒノキがある。ヘクタール当たりの本数は199本、平均胸高直径は19.40cm、平均樹高は12.65m等となっている。被害本数は12本で被害率80%である。被害の内訳は、幹折れ4本・倒伏3本・樹皮剥離5本で、

幹曲りはない。被害別の平均形状比を比較すると、無被害及び樹皮剥離は固定試験地の平均形状比の66.9とほぼ等しい。それに対し、幹折れの形状比はやや高く、倒伏のそれはやや低い傾向にある。

図16に固定試験地の被害状況を示した。幹折れ・倒伏の状況から被害をもたらした風向を推測すると、東北東及び北であり、そのうち主な被害をもたらしたのは東北東の風と思われる。

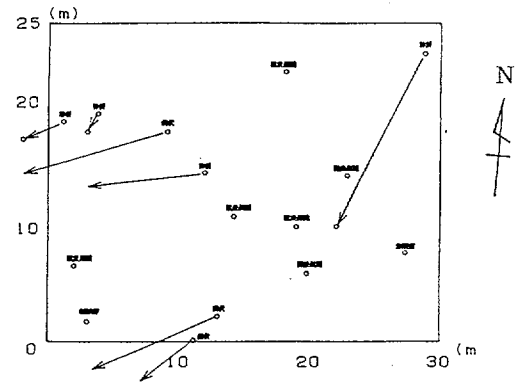


図16 固定試験地風害状況

表3 複層林固定試験地台風14号風害調査

1. 固定試験地 725㎡内 被害調査
2. 平成2年10月16日調査
3. 樹種 ヒノキ
4. 調査本数 15本

	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	形状比	被害形態				
					無被害	幹折れ (m)	倒伏	樹皮剥離 (m)	幹曲り
本数					3	2	3	5	0
本数割合%					20%	27%	20%	33%	0%
平均値	19.4	12.7	6.7	66.9		1.75		6.34	
平均形状比					67	71.4	58.5	68.6	

イ. 被害地調査

表4・表5に固定試験地を含む6,643㎡の被害調査結果を示した。調査地にはアカマツ8本、ヒノキ135本がある。アカマツ、ヒノキを含めたヘクタール当たりの本数は215本である。被害割合を比較すると、アカマツ37%・ヒノキ62%であり、ヒノキの方が被害が大きい。これは材質の違いの他にアカマツの方がヒノキに比べて樹高・枝下高・形状比とも下回っていることも影響しているとも考えられる。表5でヒノキの被害形態別に検討を加

えると、形状比においては幹折れ・樹皮剝離がそれ以外のものより高い傾向にある。胸高直径では無被害のものが他のものより大きく、樹皮剝離が最も小さい。樹高は無被害木が最も高く、樹皮剝離・幹曲りが低くなっている。また、樹冠の1/3の位置の高さを風芯とした場合、その平均値は8.36となるが、樹高と同様に無被害木が最も高く、樹皮剝離・幹曲りは低くなっている。これらのことから今回の調査地においては、(ア)無被害木はやや形状比が低く、胸高直径の大きい、樹高・風芯の高い木である。(イ)樹皮剝離は胸高直径が小さく、風芯の低い木である。(ウ)幹折れは倒伏より形状比の高い木である。以上の様な傾向がみられた。また、被害地を図17の地形図で検討すると、図16の固定試験地風害状況調査から試験地東側の谷が風を集め、峠から被害地に向けて吹きだしたものと考えられる。

表 4 複層林台風14号風害調査（アカマツ）

1. 調査面積 6,643㎡
2. 平成2年10月16日調査
3. 樹 種 アカマツ
4. 調査本数 8本

	胸高直径 (cm)	樹 高 (m)	枝下高 (m)	形状比	被 害 形 態				
					無被害	幹折れ (m)	倒 伏	樹皮剝離 (m)	幹曲り
本数					5	2	1	0	0
本数割合%					63%	25%	13%	0%	0%
平均値	18.5	10.1	5.4	59.9		1.75		6.34	

表 5 複層林台風14号風害調査（ヒノキ）

1. 調査面積 6643㎡
2. 平成2年10月16日調査
3. 樹 種 ヒノキ
4. 調査本数 135本

	胸高直径 (cm)	樹 高 (m)	枝下高 (m)	形状比	被 害 形 態				
					無被害	幹折れ (m)	倒 伏	樹皮剝離 (m)	幹曲り
本数					51	28	20	34	3
本数割合%					38%	21%	15%	25%	2%
平均値	21	12.3	6.4	64.5					
標準誤差	0.54	0.27	0.19	0.91					
形状比					62.2	65.5	62.6	65.7	61.4
標準誤差					2.25	1.89	1.65	1.33	2.46
胸高直径					25.5	18.8	19.8	17.2	18
標準誤差					0.95	0.72	0.88	0.6	0.81
樹高					13.9	12.2	12.3	11.2	11
標準誤差					0.47	0.49	0.51	0.38	0.08
風芯					9.6	8.2	8.2	7.6	7.2
標準誤差					0.37	0.42	0.38	0.3	0.03

（注1）樹皮剝離と幹曲りは1本重なっているため調査本数と被害本数は一致しない

（注2）無被害木51本の内、22本は樹高・枝下高・形状比は未測定である

(5) ま と め

ア．今回の調査地ではアカマツよりヒノキの被害が大きい。またヒノキの内、被害を比較的受けにくいものは樹高・胸高直径が大きく、形状比もやや低めの、いわゆる健全木と思われる。こうしたことから、風害に対してはこうした健全木の育成のためのきめ細かな間伐等が必要であると思われる。

イ．今回調査した宇和町の他の被害地においても峠の風下の事例がみられることから、そうした地形において複層林を造成する場合は注意を払う必要があるとともに、宇和町において今回の被害地が過去においても被害を受けていることからそうした箇所での造成には特に注意を払う必要があると思われる。

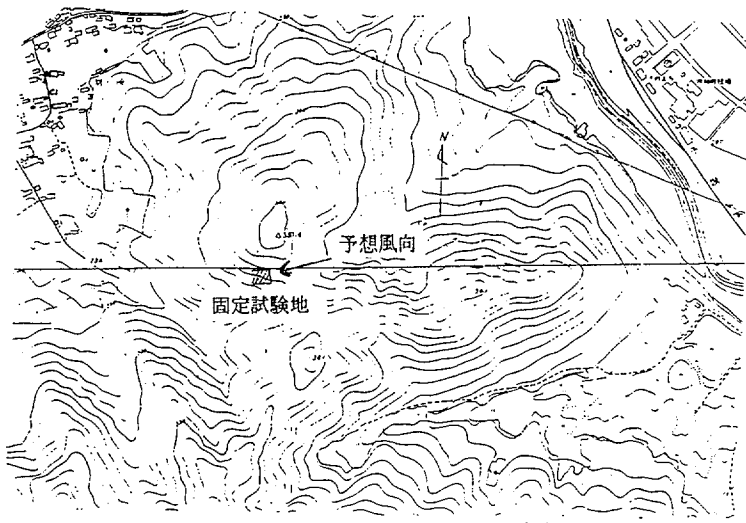


図17 風害調査試験地周辺地形図

6．長期二段林の維持管理法

(1) はじめに

長期二段林の維持管理法について、「林内光環境推定法」及び「林内光環境と下層木の成長」調査の結果ならびに複層林経営者の聞き取り調査をもとに検討した。(参考文献4)

(2) 検討方向

複層林の維持管理法の指標として次の3タイプが考えられる。

(タイプ1) 上層木の健全性を重視し、下層木は枯れない程度で管理する。

(タイプ2) 下層木の健全性と成長性を重視して管理する。

(タイプ3) 上記2者の中間として、上層木と下層木の健全性が保たれるよう管理する。

上記3者の主な問題点として次のようなことが考えられる。

「タイプ1」では下層木の成長が著しく劣ることから更新期間が長くなるとともに、下層木の形状等に悪い影響の発生が考えられるため、更新後の林分の健全性が懸念される。

「タイプ2」では下層木の成長を促すために上層木を過伐するため、林分材積成長量の低下による収益性の低下と、風害等による健全性低下等が考えられる。

「タイプ3」では両者の欠点を最小限度にしてバランスをとった管理が要求されるため、高度な管理技術が必要となる。

今回愛媛県内での複層林を調査した範囲ではタイプ2の管理が多く見られ、タイプ1及びタイプ3のタイプは少ない。(管理が十分でないため、1のタイプに近い複層林は多い) ここではタイプ3の複層林管理として、過伐にならないよう上層木をなるべく多く残しつつ下層木の成長を確保することを目標として、管理法について検討する。

(3) 検討結果

林分の状況を表すための指標として林分密度指数は通常用いられるものであるが、林分密度指数は同一であるが林齢・樹高・枝下高・枝張り等の異なる林分において下層木の成長に影響を与える林内照度が同一とは考えにくいことから、林分密度指数を二段林管理指標として用いることは一つの参考指標としては利用できるが不適切である。こうしたことから下層木の管理のためには相対照度測定による管理又は樹高成長量の測定による管理等が適当であると思われる。

ア. 下層木管理

林内相対照度と樹高成長について検討した結果、スギ・ヒノキとも相対照度と樹高成長に関係が認められるとともに低照度林分においては樹冠型の異常な下層木も認められることから、下層木の健全性を維持できる照度を下限として管理することが適当であると考えられる。

その下限照度は本研究では明らかに出来なかったが、相対照度と樹高成長の関係について検討してみると、

ヒノキにおいては相対照度20%付近を境に照度と成長の関係に変化が見られ、それより高い照度では成長量との関係が認められないことから、ヒノキの管理照度の下限は20%が適当と考えられる。スギではヒノキのような変化は見られないが、同様に20%以上では関係が見られないことからスギ・ヒノキとも管理の下限照度は20%付近が適当ではないかと思われる。

イ. 上層木管理

管理の下限照度を20%とした場合の上層木の林分密度指数(RY)についてみると、スギでは0.5、ヒノキでは0.65付近である。相対照度20%に達した場合に間伐によって林内照度の回復を図ることとし、林分密度指数を間伐する場合に許容される0.15まで変化させた場合には、スギ・ヒノキとも相対照度35%程度となる。

以上の仮定の下に二段林を維持管理するためには、林内相対照度を20%～35%の範囲で管理することが適当と思われる。

(4) ま と め

林内相対照度を基準に管理する場合、その測定法が問題になると思われる。通常用いられていると思われる照度計を使用した場合、ごく短時間における照度を天候・測定時刻等様々に異なる条件下で測定するための誤差が大きいと考えられる。日射積算計は長時間にわたる日射量を測定するため照度計によるものよりも精度が高いと考えられるが、両者とも相対照度の測定であるため、測定対象林分の近辺の裸地における基準値の測定が不可欠であるため、基準値測定のための裸地がない林分での測定は不可能である。

このため、写真を用いた開空度の測定による相対照度の推定等、立地条件を問わない相対照度推定法の開発が必要である。

また、計画的に二段林を管理していくための間伐周期を決定するために、林分条件に応じた相対照度の減少量の推定法についても今後検討する必要がある。

IV おわりに

今回の研究でスギ・ヒノキ1齢級の樹高及び直径成長と林内相対照度の関係が明らかになったが、2齢級以上の成長については今後の研究課題と考えられる。

また、林内相対照度の管理が複層林管理の指針として有効であることから、今後林内相対照度の計測方法の検討が必要である。

複層林施業指針を作成するためには、先の2齢級以上の成長と併せて下層木成長と関係の深い林内相対照度に影響を与える上層木の成長、特に樹冠閉鎖速度の検討が必要であり、これらについては現在研究中である。

最後に今回の研究に当たり、試験地の提供を始め複層林管理の貴重な助言をいただいた今治市・玉川町及び朝倉村共有山組合、久万町役場、久万町 石丸亨氏、久万町 岡信一氏、新谷公益会、宇和町 本多照昌氏に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- (1) 金本知久・豊田信行：複層林の光環境測定法の検討例（Ⅱ）、日林関西支論3、
113～114, 1994
- (2) 兼平文憲：イメージスキャナと全天空写真を利用した開空度の測定、
青森県林試研報3, 1～9, 1992
- (3) 豊田信行・三好誠治・松本博行：複層林の光環境測定法の一検討例、
日林関西支論1、121～123, 1992

- (4) 三好誠治・金本知久：複層林施業の推進と林業地域形成、平成 5 年 3 月林野庁森林整備事業計画推進調査報告書、32～65
- (5) 林野庁：スギ人工林分密度管理図説明書、南近畿・四国地方、33～58、1990
- (6) 林野庁：ヒノキ人工林分密度管理図説明書、南近畿・四国地方、1～、1991
- (7) 早稲田収：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, 1983