

論 文

スギ人工林の光合成生産機構に関する研究 (III)

樹冠内相対照度

橋本良二*・須崎民雄**

橋本良二・須崎民雄：スギ人工林の光合成生産機構に関する研究 (III) 樹冠内相対照度 日林誌 65: 327~334, 1983 立木の樹冠形，樹冠における全器官面積密度および樹冠配置などの林分資料をもとに樹冠内相対照度を推定する方法を示した。樹冠底部における相対照度の推定値が，実際の測定で得られた林床相対照度にはほぼ一致していたことから，この方法によりスギ人工林の光環境を十分に把握できると考えた。6年生から68年生までの5林分における樹冠内相対照度の垂直変化を推定し，林齢による推移をみたところ以下のとおりであった。(1) 林冠が閉鎖する以前の段階から，樹冠内相対照度(対数値)は地上高が下がるにつれほぼ直線的に低下するが，閉鎖に近づくにつれ，より急な低下を示した。(2) 閉鎖以後は，相対照度の垂直変化は陽樹冠での急な低下と陰樹冠での緩やかな低下とで構成され，林齢が進むにつれ陰樹冠での緩やかな低下がより目立った。(3) 40年生以上の林では，樹冠内相対照度は同一地上高でも個体により大きく異なり，とくに収穫期に達した林では各個体ごとに樹高によって垂直変化のパターンが決まるようであった。

HASHIMOTO, Ryoji & SUZAKI, Tamio: Studies on the photosynthetic production processes in a sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) plantation (III) Relative light intensity in the tree crown J. Jap. For. Soc. 65: 327~334, 1983 A method of estimating relative light intensity in tree crowns using stand data, such as the three-dimensional arrangement of each crown and the spatial density of all components forming the crown as inputs, is shown. Here the coordinate system in space is introduced. This method is considered to be useful because the estimated values at the bottom of the crowns almost agreed with the measured ones on the stand floor. Estimations at various heights in the crowns were made for five different-aged stands ranging from 6 to 68 years old in order to see the changes with stand age. (1) At the stage before canopy closure the relative light intensity (logarithms) in the crown almost linearly decreased with decreases in the height above ground. The decrease became steeper as closure was approached. (2) At the stage after closure the vertical decrease in relative light intensity was composed of steep and gradual slopes, the former being in the upper part of the crown exposed to sunlight, and the latter being in the lower part shaded. The gradual slope became more apparent as the stand aged. (3) After 40 years the relative light intensity at the same height varied remarkably with the individual trees. The patterns of the vertical changes seemed to depend on tree heights, especially in the stand approaching yield age.

I. はじめに

樹冠内の光環境は，葉での光合成作用への影響を通じて林木の生長に密接に関係する。しかし，樹冠内あるいは樹冠群である林冠内の光環境を詳細に測定した例はそれほど多くはない(9, 12)。これは，高所での光測定が必要となるためと思われる。

筆者らは，樹冠配置や樹冠における全器官面積密度

(樹冠を構成する全器官の表面積を樹冠体積で割った値)などの林分資料と林床照度の測定結果とを結びつけ，光減衰係数を算定した(3, 4)。光減衰係数は，光が樹冠内を通過する際に起こる減衰の程度を表わすが，本報ではこの係数を用いて樹冠内の相対照度を推定する方法を示した。そして，樹冠の生長発達や立木密度の面で生育段階が異なるとみられる5林分を対象として，樹冠内相対照度の垂直的な変化について考察した。

* 岩手大学農学部 Fac. of Agr., Iwate Univ., Morioka 020

** 九州大学農学部 Fac. of Agr., Kyushu Univ., Fukuoka 812

表-1. 調査林分の概要
General description of the sample plots

Stand age	Slope exposure	Slope inclination (degree)	Plot area (ha)	Average d. b. h. (cm)	Average tree height (m)	Stand density (No./ha)
6	E	3	0.078	5.5	3.8	2,600
11	SW	2	0.012	7.9	6.5	4,300
20	N	3	0.045	12.6	11.0	2,400
43	E	11	0.380	24.3	19.5	940
68	SE	2	0.339	27.5	20.8	690

II. 調査林分および調査方法

岩手県滝沢村岩手大学農学部附属滝沢演習林の6, 20, 43年生の3林分, 同じく滝沢村小岩井農牧(株)社有林の11年生と68年生の2林分を研究の対象とした。5林分の概要を表-1に示した。どの林分も, この地方では中程度の生長状態の林であった。なお, 小岩井の2林分は, 前報(3, 4)でも対象とした林である。

6年生林分は, 植栽して間もない閉鎖前の林で, 各立木の樹冠は重なり合うことがなく孤立した状態にあった。11年生林分は, 閉鎖してまだ間もない林であった。20年生林分は, 除伐が行われた林であり, 11年生林分にくらべ各立木の樹冠はかなり余裕をもって配置されていた。また, 43年生林分は, 定期的な間伐が行われるようになった林であり, 68年生林分は, 数度の間伐が行われ, 収穫期に達した林であった。

各調査林分において, まず立木の胸高直径, 樹高, 枝下高, 樹冠径を毎木調査した。次に, トランシットまたはコンパスを用いて立木位置を調べ, 幹は垂直に立っているとして頂端の空間座標を求めた。以上の調査を終えた後, 6, 11, 20, 43, 68年生林分でそれぞれ4, 5, 9, 5, 8本の木を伐倒し, 樹冠に関する調査を行った。

伐倒木の樹冠部分を1mごとに玉切りし, 地面に垂直に立てて幹から分岐する一次枝の諸寸法を測定した。これらの測定結果を用いて各地上高での枝の広がりを作図し, 樹冠形を明らかにした。また, 一次枝は, 主軸部(B_1), 通導組織に明らかな木化が認められる枝部(B_2), やや木化が認められる枝部(B_3), 葉部(L)の4部分に分け, 玉切りした部分ごとにこれら4部分の乾重と表面積を調べた。幹の表面積についても調べた。以上の樹冠調査の方法については前報(3)に詳しく述べた。樹冠を構成する全器官の表面積を樹冠体積で割り, 全器官表面積密度を計算した。その際, 樹冠を回転体とみなして体積を求めた。

III. 樹冠内相対照度の推定

直達光成分と散光成分とからなる全光下の相対照度

は, 太陽高度で変動する(1, 8, 10)。前報(3)によれば, 全光下の相対照度は太陽高度が低いときには曇天に得られる散光下相対照度より低く, 太陽高度が十分に高いとそれを上回る傾向がある。このことから, 全光下の各時刻の相対照度を平均すると, とくに太陽高度が高くなる生長期では散光下相対照度に近づくと考えられるので, ある位置の相対照度を表わす場合, 散光下相対照度で示すのが適当と思われる。

雲が厚くおった空では, 天空のある位置の明るさ(放射量) B は, 天頂方向からの角度 θ で異なり次式でよく示される(7)。

$$B = \frac{1}{3} B_0 (1 + 2 \cos \theta) \quad (\text{W m}^{-2} \text{steradian}^{-1}) \quad (1)$$

ここで, B_0 は天頂の明るさである。このような放射条件の下で遮光物がない場合の水平面での放射フラックス密度 FL_0 は, 次のように表わされる(2)。

$$\begin{aligned} FL_0 &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} B \cos \theta \sin \theta d\theta d\delta \\ &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{1}{3} B_0 (1 + 2 \cos \theta) \cos \theta \sin \theta d\theta d\delta \\ & \quad (\text{W m}^{-2}) \quad (2) \end{aligned}$$

ここで, δ と θ は, 天空からの光線の方位角と入射角を表わす。 FL_0 は, $7\pi B_0/9$ となる。

光線 (δ, θ) が林分上から林床のある位置に向かうとして, 林分上照度を i_0 林床の照度を i と置けば, i/i_0 は次のように示されることを前報(3)で述べた。

$$\frac{i}{i_0} = \exp\{-K(\theta)F^*(\delta, \theta)\} \quad (3)$$

$K(\theta)$ は光減衰係数であり双曲線式で与えられ, $F^*(\delta, \theta)$ は光線の樹冠通過距離の鉛直成分に樹冠における全器官表面積密度を乗じたものである。(2)式の FL_0 を林分上の放射フラックス密度と考えれば, 樹冠内の任意の位置の放射フラックス密度 FL_c は, (3)式より次のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} FL_c &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{1}{3} B_0 (1 + 2 \cos \theta) \\ & \quad \times \exp\{-K(\theta)F^*(\delta, \theta)\} \cos \theta \sin \theta d\theta d\delta \\ & \quad (\text{W m}^{-2}) \quad (4) \end{aligned}$$

FL_0 と FL_c は、それぞれ現地地で測定される林分上照度 I_0 と樹冠内照度 I_c に相当すると考えられるので、樹冠内相対照度 I_c/I_0 は次式で表わされる。

$$\frac{I_c}{I_0} = \frac{FL_c}{FL_0} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{3}{7\pi} (1+2 \cos \theta) \times \exp\{-K(\theta)F^*(\delta, \theta)\} \cos \theta \sin \theta d\theta d\delta \quad (5)$$

この I_c/I_0 を数値積分で求めるとすれば、次のように書き直される。

$$\frac{I_c}{I_0} = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \frac{3}{7\pi} (1+2 \cos \theta_j) \times \exp\{-K(\theta_j)F^*(\delta_i, \theta_j)\} \cos \theta_j \sin \theta_j \Delta\theta \Delta\delta \quad (6)$$

$$\begin{cases} n_1 = \frac{2\pi}{\Delta\delta}, & n_2 = \frac{\pi}{2\Delta\theta} \\ \delta_i = \Delta\delta(i-1), & \theta_j = \Delta\theta(j-1) + \frac{\Delta\theta}{2} \end{cases}$$

梶原(5,6)がスギ同齢林で行った研究によれば、スギ樹冠は、ある生育段階に達すると形態上二つの回転体に分けられ、上部は放物体もしくは円錐体、下部は円柱体の形態をとる。一般に、上部を陽樹冠、下部を陰樹冠とよんでいる。そこで、光線 (δ_i, θ_j) が仮に N 本の個体の樹冠を通過するとして、 k 番目の立木の陽樹冠あるいは陰樹冠を通過する距離を SU_k, SD_k と置けば、(6)式の $F^*(\delta_i, \theta_j)$ は次のように表わされる。なお、ここで陽樹冠と陰樹冠の全器官面積密度をそれぞれ DU, DD と置く。

$$F^*(\delta_i, \theta_j) = \sum_{k=1}^N (SU_k \cos \theta_j \cdot DU + SD_k \cos \theta_j \cdot DD) \quad (7)$$

光線の樹冠通過距離は、林分空間における各立木の樹冠曲面式と光線式(直線)が定まれば、両者の方程式を解いて得られる。その際、樹冠が放物体の陽樹冠と円柱体の陰樹冠からなるとすれば、それぞれの樹冠曲面は次のように表わされる(11)。

$$\frac{(x-a)^2}{p^2} + \frac{(y-b)^2}{p^2} = 2q(z-c) \quad ZU \leq z \leq c \quad (8)$$

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r_0^2 \quad ZD \leq z < ZU \quad (9)$$

ここで、 a, b, c は樹冠頂端の x, y, z 座標、 ZU と ZD は陽樹冠底部と樹冠底部の z 座標、 r_0 は陰樹冠半径である。(8)式の $2p^2q$ は、放物体の形状を表わす係数となる。陽樹冠が円錐体の場合は、次式で定められる。

$$\frac{(x-a)^2}{p^2} + \frac{(y-b)^2}{p^2} = \frac{(z-c)^2}{q^2} \quad ZU \leq z \leq c \quad (10)$$

ここで、 $|p/q|$ は、円錐体の形状を表わす係数となる。一方、樹冠内のある位置 (d, e, f) に向かう光線 $(\delta,$

$\theta)$ は、次式で示される。

$$\frac{x-d}{\sin \delta \sin \theta} = \frac{y-e}{\cos \delta \sin \theta} = \frac{z-f}{\cos \theta} \quad (11)$$

方位角 δ は y 軸の正方向からの角度、入射角 θ は z 軸の正方向からの角度である。

次に、本研究の対象林分の一つである 43 年生林分を取り上げ、樹冠内相対照度の計算例を示すこととする。表-2 は、調査区における一部の立木の樹冠頂端の座標、陰樹冠半径などを示している。これらの林分資料は、計算を進める際のものとなる。樹冠調査の結果については後でも述べるが、樹冠は放物体の陽樹冠と円柱体の陰樹冠からなっており、陽樹冠の形状を表わす係数 $2p^2q$ は -0.61 であった。また、陽樹冠および陰樹冠の全器官面積密度 (DU, DD) は、それぞれ 2.50, 1.01 であった。

図-1 は、No. 261 の立木の樹冠の縦断面と横断面を示している。この立木の樹冠底部の相対照度の計算結果をみてみよう。図中の P_t は樹冠の頂端、 P_b は樹冠底部の中心である。底部において一定の間隔で格子状に分布する 57 個の点 Q_i ($i=1 \sim 57$) を定めたが、 P_b からみて、 P_t, Q_{56}, Q_{33} の方向がそれぞれ z, y, x 軸の正方向である。 Q_{25} を選び、そこでの $F^*(\delta_i, \theta_j)$ を示したのが表-3 である。計算にあたっては、 $\Delta\delta$ と $\Delta\theta$ をそれぞれ $\pi/4, \pi/12$ とした。また、光減衰係数は、後でも述べるが $K(\theta) = 0.0732 + 0.1786/(\pi/2 - \theta)$ で与え

表-2. 43 年生林分における樹冠資料の一部
A part of the data of the tree crowns in the 43-year-old stand

No.	a	b	c	ZD	r ₀ (m)	
261	49.30	11.56	27.2	17.4	2.1	
262	48.81	10.53	17.0	15.0	1.4	
263	48.07	6.90	24.5	14.0	2.1	
264	47.01	0.80	21.9	13.8	1.75	$2p^2q = -0.61$
265	46.87	-0.52	23.2	15.0	1.75	
266	46.41	-2.88	22.2	12.7	1.75	$DU = 2.50 \text{ (m}^2/\text{m}^3)$
267	45.89	-5.32	12.1	8.6	1.4	$DD = 1.01 \text{ (m}^2/\text{m}^3)$
268	45.78	-7.09	20.6	10.5	1.75	
269	45.50	-8.92	22.9	5.1	2.1	
270	47.45	-9.05	20.2	5.2	2.1	

No. は毎木調査の際の通し番号、 a, b, c は樹冠頂端の x, y, z 座標、 ZD は樹冠底部の z 座標、 r_0 は陰樹冠の半径。 $2p^2q$ は陽樹冠の形状を表わす係数、(8)式を参照。 DU と DD はそれぞれ陽樹冠と陰樹冠における全器官面積密度。

No. represents the number assigned to each tree. $a, b,$ and c show $x, y,$ and z coordinates of the tree top, respectively. ZD : z coordinates of the bottom of the crown, r_0 : The radius of the lower part of the crown shaded, $2p^2q$: The coefficient of Eq. (8), DU : The spatial density of the area of all components forming the upper part of the crown exposed to sunlight, DD : The spatial density of the area of all components forming the lower part of the crown shaded

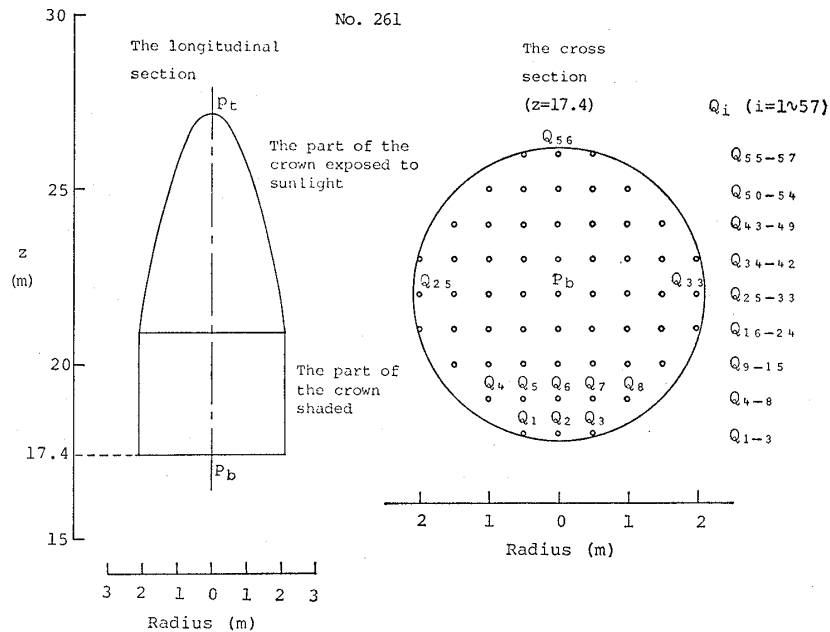


図-1. 樹冠断面図 (No. 261)

The longitudinal and cross sections of the tree crown (No. 261)

P_t は樹冠頂端, P_b は樹冠底部の中心

P_t: The tree top, P_b: The center of the bottom of the tree crown

The estimations of relative light intensities were made for Q_i (i=1~57).

表-3. Q₂₅ における F*(δ_i, θ_j) 算定値
Calculated values of F*(δ_i, θ_j) on Q₂₅ shown in Fig. 1

Azimuth θ _i (Rad.)	Angle of incidence θ _j (Rad.)	N (No.)	$\sum_{k=1}^N SU_k$ (m)	$\sum_{k=1}^N SD_k$ (m)	F*(δ _i , θ _j) (m ³ /m ²)
0	0.1309	1	0.24	3.53	3.51
0	0.3927	2	0.40	5.03	5.41
0	0.6545	2	0.00	2.57	1.95
0	0.9163	2	1.01	0.80	1.96
0	1.1781	7	10.23	3.62	11.13
0	1.4399	2	0.00	4.88	0.63
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5.4978	0.1309	1	0.00	1.05	0.91
5.4978	0.3927	3	3.38	6.33	13.65
5.4978	0.6545	5	6.20	6.86	17.75
5.4978	0.9163	6	2.38	7.22	8.05
5.4978	1.1781	8	9.38	9.79	12.73
5.4978	1.4399	11	4.06	22.87	4.34

N は光線が通過する樹冠数 (立木本数)。SU_k, SD_k はそれぞれ陽樹冠, 陰樹冠を通過する距離。

N: The number of tree crowns in which light traverses, SU_k: The passlength of light traversing in the upper part of the crown exposed to sunlight, SD_k: The passlength of light traversing in the lower part of the crown shaded

た。Q₂₅ に向かう光線は, たいてい数本の木の樹冠を通過するが, θ が大きいと 10 本以上に達する場合もある。(6) 式より求めた Q₂₅ の I_c/I₀ は, 0.217 であった。このようにして樹冠底部の 57 点で I_c/I₀ を計算し, それらの一部を表-4 にまとめて示した。各点での I_c/I₀ はかなりの幅で変動しているが, これは周囲の樹

表-4. Q_i (i=1~57) における I_c/I₀ 算定値
Calculated values of I_c/I₀ on Q_i (i=1~57)

i	I _c /I ₀	i	I _c /I ₀
1	0.117	51	0.186
2	0.059	52	0.197
3	0.048	53	0.217
4	0.172	54	0.235
5	0.113	55	0.214
6	0.064	56	0.207
7	0.044	57	0.201
8	0.047		
9	0.214		
10	0.184		
		$\overline{I_c/I_0}$: 0.155	

冠配置の影響によると思われる。樹冠底部の平均相対照度は, 0.155 であった。以上の手順で各地上高での樹冠内平均相対照度を求めれば, 樹冠内相対照度の垂直変化について知ることができる。

樹冠内相対照度の計算を 5 林分で行うにあたり, 小岩井の 11 年生と 68 年生林分で調べた光減衰係数(4)を滝沢の 3 林分にも適用することとした。光減衰係数が生育段階で異なると考えられるので, 11 年生林分で得たものを 6 年生と 20 年生林分に, 68 年生林分のものを 43 年生林分に適用した。(6) 式に従って I_c/I₀ を計算する際, Δδ と Δθ はさきの計算例と同様それぞれ π/4, π/12 とした。また, 図-1 に示したように樹冠横断面上において, 格子状に分布するように各点を定めるが, その際の格子の幅は, 0.25~1.05m の範囲で横断面の半径に応じて適宜定めた。1 立木につき 5~9 か所の高さの平均相対照度を求め, 垂直変化をみた。

表-5. 樹冠調査の結果
The crown form and the spatial density of the area of all components forming the crown

Stand age	Number of sample trees (No.)	Average							
		L (m)	LU (m)	LD (m)	r ₀ (m)	LU/r ₀	2p ² q	DU (m ² /m ³)	DD (m ² /m ³)
6	4	3.30	3.30	—	1.13	2.90	-0.35	1.37	—
11	5	4.71	3.68	1.04	1.09	3.38	-0.33	1.34	1.19
20	9	5.87	4.31	1.56	1.18	3.52	-0.30	2.34	1.39
43	5	8.27	4.81	3.47	1.64	2.90	-0.61	2.50	1.01
68	8	8.89	4.91	3.96	1.88	2.63	0.44	3.58	1.06

r₀, 2p²q, DU, DD については表-2 の注を参照。6年生林分では陰樹冠の発達が認められなかったので r₀ は樹冠底部の半径を示す。Lは樹冠長, LUとLDは陽樹冠長と陰樹冠長。|p/q| は陽樹冠の形状を表わす係数, (10) 式を参照。See the explanations of r₀, 2p²q, DU, and DD in Table 2. The cylindrical-shaped part of the crown shaded was not noticed in the 6-year-old stand, and r₀ in this stand represents the radius of the bottom of the crown. L: The crown length, LU: The length of the upper part of the crown exposed to sunlight, LD: The length of the lower part of the crown shaded, |p/q|: The coefficient of Eq. (10)

ところで、樹冠底部の相対照度は、林床の相対照度とほぼ一致すると考えられる。11, 43, 68 年生林分の林床相対照度の実測値は、0.094, 0.097, 0.119 であった。これらの林分における樹冠底部の相対照度の計算値は表-7 に示されているが、各林分において両者はほぼ一致している。このことから、スギ人工林の樹冠内相対照度は、以上の推定方法で十分に把握できると考えられる。

IV. 結果と考察

1. 樹冠調査の結果

本研究で対象となった5林分のうち、閉鎖前の6年生林分では樹冠全体が放物体状の形態であったが、閉鎖以後の林である他の4林分では樹冠は形態の異なる上部樹冠(陽樹冠)と下部樹冠(陰樹冠)からなっていた。陽樹冠は11, 20, 43年生林分で放物体状, 68年生林分で円錐体状の形態を示し、陰樹冠は4林分とも円柱体状であった。

樹冠形、樹冠における全器官面積密度など、樹冠調査の結果をまとめて示したのが表-5である。林齢が進むにつれて樹冠は大きくなり、樹冠長や樹冠の径が増していくのがうかがえる。陽樹冠長を陰樹冠径で割った値(LU/r₀)は、陽樹冠の全体的な形状を表わし、大きいほど尖った形態、小さいほど丸味をもった形態であることを示すが、林齢が6~20年生の間では増大、20年生以降では減少の傾向を示した。一方、2p²qと|p/q|は、陽樹冠が放物体あるいは円錐体の形態をとる場合の形状を表わす係数であるが、(8), (10)式からわかるように|2p²q|と|p/q|が小さいほど尖った形態の陽樹冠であることを示す。林齢による陽樹冠の形状の推移を2p²qを通してみると(6~43年生林分)、それはLU/r₀でみた場

表-6. 対象木の胸高直径(D_b), 樹高(H_t), 枝下高(H_u)および陽樹冠底部の高さ(H_d)
General description of the sample trees

Stand age	No.	D _b (cm)	H _t (m)	H _u (m)	H _d (m)
6	107	6.0	4.7	—	0.16
	122	4.1	3.5	—	0.16
	123	4.7	4.0	—	0.16
11	37	7.1	5.7	1.97	1.35
	42	8.0	7.0	3.49	1.34
	43	9.2	6.5	2.93	1.44
20	48	15.0	13.5	9.0	6.6
	58	12.0	11.8	7.2	6.5
	63	12.0	10.5	6.0	5.1
	64	13.0	11.5	7.0	6.1
	101	11.0	12.0	7.5	5.9
	103	9.0	9.0	4.5	4.4
43	205	27.6	21.0	16.0	13.0
	236	22.2	22.4	17.4	13.1
	349	28.4	22.8	16.5	13.0
	350	25.6	21.9	15.5	11.0
	351	29.5	23.7	17.8	14.0
	352	15.4	19.3	16.5	13.0
68	73	35.2	25.6	20.2	15.4
	74	29.2	22.6	17.2	12.9
	86	48.4	27.9	21.9	7.9
	88	26.6	19.4	13.4	11.4
	99	22.3	18.3	12.3	11.4
	100	27.6	21.3	15.3	9.0
	102	20.3	16.8	12.8	10.8
	117	44.6	25.4	19.4	10.1

D_b: The diameter at breast height, H_t: The tree height, H_u: The height to the bottom of the upper part of the crown exposed to sunlight, H_d: The height to the bottom of the crown

合とよく一致している。これらのことから、陽樹冠の形状は、植栽して間もない林では比較的丸味をもっており、しだいに尖った形態をとるようになるが、林齢がさらに進むと再び丸味をもつようになる。次に、全器官面積密度についてであるが、これも林齢で異なり、陽樹冠で

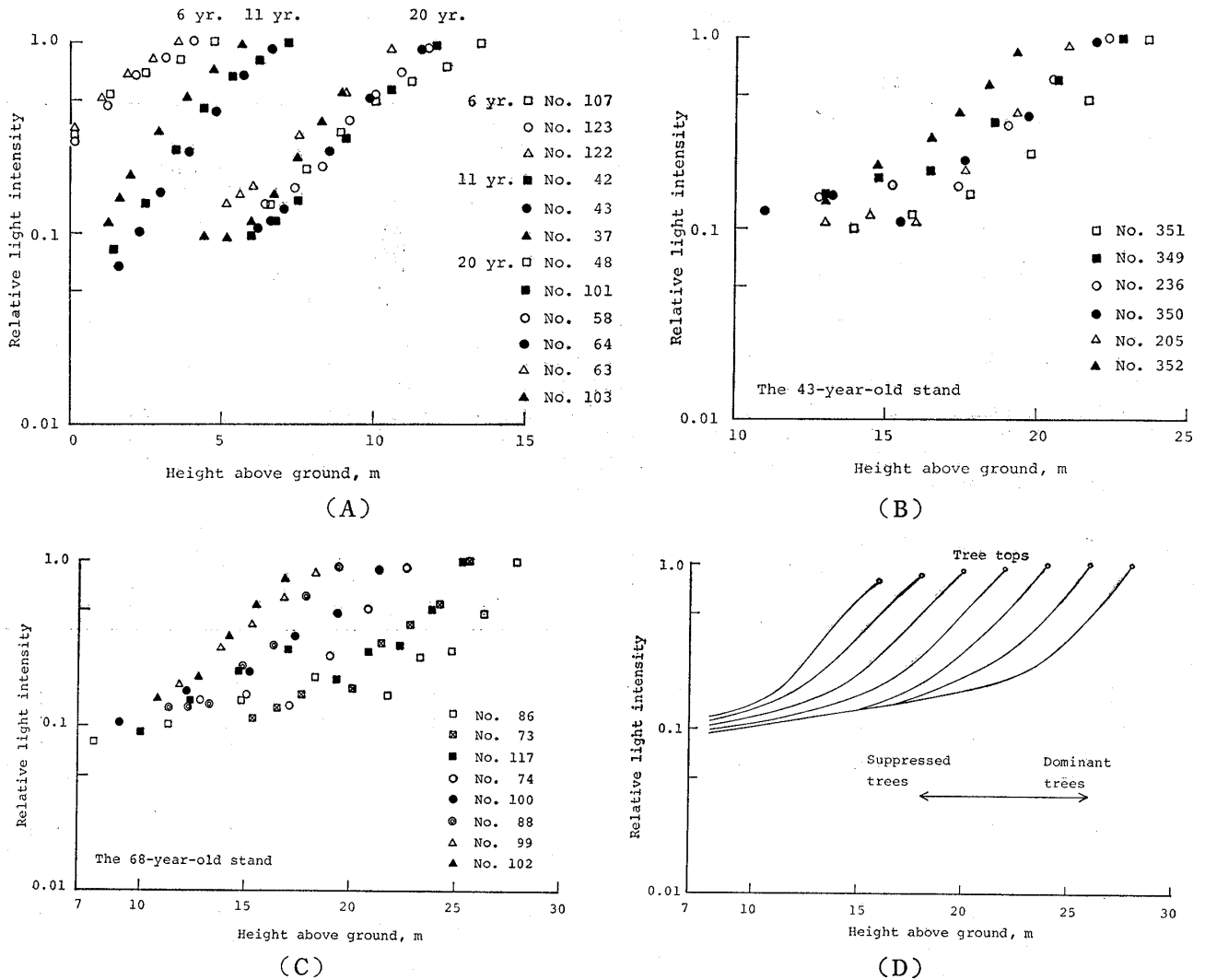


図-2. 5 林分における樹冠内相対照度
 Relative light intensities in the tree crowns of five different aged stands
 (D) は (C) を模式的に示したもの
 (D) Illustrated, (C) Schematic

は林齢が進むにつれ増大する傾向が認められた。しかし、陰樹冠ではあまり変化せず一定の値を示すようであった。

ところで、樹冠内相対照度を決定するには、調査区における各立木の樹冠形と樹冠における全器官面積密度を定めておかねばならない。本研究では樹冠長（樹高から枝下高を引いた長さ）と陰樹冠半径を毎木調査したので、各立木の樹冠形については、 $2p^2q$ あるいは $|p/q|$ を与えることで定まる。6~43 年生林分では、同一林分において伐倒木で調べた $2p^2q$ とその伐倒木の大きさ（胸高直径あるいは樹高）との間に一定の傾向が認められなかったため、伐倒木の平均値を各立木に与えた。これらの林分では、樹冠における全器官面積密度についても、同じ理由から伐倒木で得た平均値を各立木に与えた。一方、68 年生林分では、 $|p/q|$ は樹高の高い木で小さく、

全器官面積密度も胸高直径の大きい木で高い値をとる傾向があったので、これらのことを考慮して各立木の樹冠形と全器官面積密度を決めた(3)。

2. 樹冠内相対照度

樹冠内相対照度を計算するにあたっては、調査区の中央部に位置する立木のなかから樹高の異なるものを 3~8 本選んだが、これら対象となった立木の胸高直径、樹高などを表-6 に示した。

図-2 は、樹冠内相対照度の垂直変化をみたものである。(A) は 6, 11, 20 年生林分、(B) は 43 年生林分、(C) と (D) は 68 年生林分について示している。6 年生および 11 年生林分では、地上高が下がるにつれて樹冠内相対照度は頂端部でやや緩やかに低下するが、全体に直線的な低下を示した。相対照度の低下は、6 年生林分で緩やかであり、11 年生林分で急であった。こ

れは、6年生林分では樹冠が孤立した状態に置かれていることから周囲の立木による遮光の影響を受けにくく、11年生林分では樹冠どうしが接近あるいは重なり合うことで互いに強く遮光するためと考えられる。

20年生林分では、相対照度の低下が樹冠下部でいくぶん緩やかになる傾向がうかがえる。これは、表-5で明らかなようにこの時期になると陰樹冠の全器官面積密度が陽樹冠にくらべ相対的に低くなり、樹冠下部では光が比較的減衰しにくくなるためと考えられる。また、この林分では、相対照度の低下が全体に11年生林分にくらべかなり緩やかであるが、これは除伐が十分に行われ樹冠相互の遮光が弱くなったことによると思われる。

43年生林分では、相対照度は陽樹冠でやや急に低下し、陰樹冠で緩やかな低下を示した。さきの林分とくらべると、同一地上高でも個体により相対照度が大きく異なっていた。これらの特徴は、68年生林分においていっそう顕著となり、陽樹冠での急な低下に対しとくに優勢木の陰樹冠では緩やかな低下がかなりの長さ及びようになる。また、この林分では樹冠内相対照度の垂直変化は立木の樹高で特徴づけられるようであった。No. 117の個体のようにやや特異な垂直変化を示すものもあるが、図-2(C)を模式的に表わすとすれば、図-2(D)のようになるとと思われる。各立木の樹冠頂端部の相対照度は樹高の小さい木で低い値を示し、優勢木で目立つ陰樹冠における相対照度の緩やかな低下は樹高の低い劣勢木ではほとんどみられなくなる。

5林分の結果をまとめたのが、表-7である。表中の M_u は、樹冠頂端の相対照度(対数値)から陽樹冠底部の相対照度(対数値)を引いたものを陽樹冠長で割った値であり、図-2に示した相対照度の低下の陽樹冠における平均的な傾きを表わす。 M_d は、同じく陰樹冠における傾きを示す。 M_u は、さきに述べた理由から6年生林分で小さく11年生林分で大きくなるが、その後は林齢が進むにつれて徐々に減少し、一定の値に達するようであった。20年生以降、陽樹冠における全器官面積密度が増大するにもかかわらず(表-5)、 M_u があまり変化しないのは、間伐が行われることにより樹冠相互の遮光が弱まるためと考えられる。 M_d は、11年生林分できわめて大きい、その後は M_u とだいたい同じような推移を示した。しかし、20年生以降の林では、 M_d は M_u の1/5~2/5程度になり、陰樹冠での相対照度の低下がきわめて緩やかになることがよくわかる。11~68年生の4林分では、樹冠底部の相対照度は0.1付近、また陽樹冠底部の相対照度は約0.2であり、閉鎖後はあまり大きな変動はないように思われた。

表-7. 樹冠内相対照度の垂直変化
The vertical decrease in relative light intensity in the tree crowns

Stand age	Average			
	Relative light intensity			
	RLI_u	RLI_d	M_u	M_d
6	0.319	—	0.129	—
11	0.207	0.096	0.187	0.241
20	0.174	0.122	0.160	0.084
43	0.171	0.128	0.149	0.030
68	0.178	0.123	0.130	0.034
	$M_u = (\log RLI_t - \log RLI_u) / LU$			
	$M_d = (\log RLI_u - \log RLI_d) / LD$			

RLI_u , RLI_d , RLI_t はそれぞれ樹冠頂端, 陽樹冠底部, 樹冠底部の相対照度

LU と LD はそれぞれ陽樹冠長と陰樹冠長

RLI_u : Relative light intensity at the bottom of the upper part of the crown exposed to sunlight, RLI_d : Relative light intensity at the bottom of the crown, RLI_t : Relative light intensity at the tree top, LU : The length of the upper part of the crown exposed to sunlight, LD : The length of the lower part of the crown shaded

樹冠内相対照度の垂直変化は、樹冠の生長発達と密接に関連して推移していくが、上述の結果より林齢による推移を林分閉鎖の前と後とに大きく分けて考えることができる。閉鎖に達するまでの段階では、樹冠内相対照度は地上高が下がるにつれてほぼ直線的に低下し、閉鎖が近づくと急な低下を示すようになる。この段階では、前述のように樹冠生長にともなう互いの樹冠の接近が大きく影響している。閉鎖以降では、相対照度の垂直変化は、林齢が進むにつれて陽樹冠での急な低下と陰樹冠での緩やかな低下とで構成されるようになり、陰樹冠での緩やかな低下がしだいに目立ってくる。したがって、この段階では陰樹冠の形成発達が重要な役割を果たしている。以上、本研究では、樹冠内相対照度の推定方法を示すとともに、スギ人工林における樹冠内相対照度の概要を明らかにすることができた。

おわりに、この研究の遂行に終始適切なるご助言をいただいた岩手大学農学部千葉宗男教授に厚くお礼申し上げます。また、この研究は昭和54年度および55年度の文部省科学研究費補助金奨励研究(A)で行われ、樹冠内相対照度の計算にあたっては東北大学大型計算機センターのACOS-900を使用したことを付記しておく。

引用文献

- (1) 安藤 貴: 林内の光環境—非皆伐法の基礎として—。林業技術 393: 10~13, 1974
- (2) C. EDWARDS, D. A. & THORNLEY, J. H. M.: Light interception by an isolated plant—A simple model. Ann. Bot. 37: 919~928, 1973

- (3) 橋本良二・須崎民雄: スギ人工林の光合成生産機構に関する研究 (I) 林分における光減衰の解析. 日林誌 64: 18~26, 1982 a
- (4) ————: 同上 (II) 樹冠を構成する枝や葉の着生状態と光減衰係数. 日林誌 64: 266~274, 1982 b
- (5) 梶原幹弘: 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, 1975
- (6) ————: 同上 (III) 樹冠の形態の生育段階的变化. 日林誌 58: 313~320, 1976
- (7) MONTEITH, J. L.: Principles of environmental physics (佐伯敏郎監訳). 222 pp, 共立出版, 東京, 1975
- (8) MUKAMMAL, E. I.: Some aspects of radiant energy in a pine forest. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B. 19: 29~52, 1971
- (9) NORMAN, J. M. & JARVIS, P. G.: Photosynthesis in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (BONG.) CARR.) (III) Measurements of canopy structure and interception of radiation. J. Appl. Ecol. 11: 375~398, 1974
- (10) REIFSNYDER, W. E., FURNIVAL, G. M. & HOROWITZ, J. L.: Spatial and temporal distribution of solar radiation beneath forest canopies. Agr. Meteorol. 9: 21~37, 1971
- (11) 矢野健太郎: 立体解析幾何学. 202 pp, 裳華房, 東京, 1970
- (12) YODA, K.: Three-dimensional distribution of light intensity in a tropical rain forest of West Malaysia. Jap. J. Ecol. 24: 247~254, 1974

(1982年5月31日受理)

学会記事

○第263回理事会の記録

日時: 昭和58年5月16日(月) 14:00~17:00

場所: 日本林業技術協会別館3階会議室

出席者: 千葉会長。上飯坂, 土井両副会長。小林, 勝田, 立花の各常任理事。川名, 小島, 難波, 蜂屋の各理事。(委任状: 小関, 鈴木, 西沢, 半田, 広江の各理事)。服部, 宮林, 長坂, 石垣, 川辺の各主事。事務局から清水。

協議事項:

- 第94回日本林学会大会報告
船越運営委員長から大会参加者数, 研究発表者数など運営状況および会計収支について報告された。
- 第95回日本林学会大会の開催
上飯坂運営委員長から大会で予定されているシンポジウムの開催について, 趣意書の説明を含め準備状況が報告され, 協議の結果, シンポジウムは公開とすること, 評議員から意見を聞くことなどが承認された。
- 第94回大会発表論文集原稿審査状況
提出原稿318編について現在審査が進行している旨の報告があった。
- 会計内規の改正
第94回大会での承認にもとづき, 会計内規の改正が承認された。

5. 昭和58年度事業予定

第94回大会での承認をふまえて, 本年度の事業内容について協議された。

6. その他

- 学術会議
川名理事より学術会議の改革に関する動向と林学研連の在り方, 取り組み方について報告された。
- 第12回国際計量生物学会議について
標記会議の協賛学会として, その開催に協力することが承認された。
- 森林経営に関するユフロ国際研究集会について
標記集会の後援機関として, その開催に協力することが承認された。

○第358回編集委員会の記録

とき: 昭和58年8月1日(月) 14:00~15:30

ところ: 林業試験場第2会議室

出席者: 立花委員長, 岡, 片岡, 小谷, 大角, 野淵, 新田, 小林(洋)の各委員, 石垣, 川辺の両主事, 清水(事務局)

- 議事: 1) 論文などの審査状況
2) 論文などの審査者の決定
3) 65巻8号, 9号, 10号掲載論文の承認および決定
4) その他