

論 文

スギ人工林の間伐と光環境 (I)

林床相対照度の変化の検討

橋 本 良 二*

橋本良二: スギ人工林の間伐と光環境 (I) 林床相対照度の変化の検討 日林誌 67: 253~260, 1985 22年生林分において, 本数率34%の機械的間伐を行った。林床相対照度の変化を調べ, 林分構成因子と結びつけ, 三つの検討を行った。1) 樹冠下の幹による遮光率を推定する方法を示した。本林分における推定値は, 間伐前で15%, 間伐後で9%であった。また, 樹冠下の幹の吸光係数は0.2から0.3の範囲にあった。2) 林冠のみに遮光される場合の林床相対照度 RC_{floor} を算定した。間伐にともなう RC_{floor} の変化は, 樹冠間隙面積率 R_{gap} のそれとよく似ており, $RC_{\text{floor}} \approx R_{\text{gap}}$ であった。3) 樹冠を構成する全器官の表面積 A (ha ha^{-1}) との関係で RC_{floor} をプロットしたところ, 各点は吸光係数0.1の光減衰を表わす線と0.15のそれとの間に落ち, 間伐により0.15に近づく傾向が認められた。4) RC_{floor} と A をもとにして, 樹冠を構成する全器官の平均表面相対照度 R_{surface} を定義した。 R_{surface} は, 間伐により約30%高くなり, A の減少にともない指数関数的に上昇した。間伐による立木の受光状態の変化を把握するうえで, $R_{\text{surface}}-A$ 関係が役に立つと考えた。

HASHIMOTO, Ryoji: Thinnings and light conditions in a sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation (I) Changes in relative light-intensities on the forest floor J. Jap. For. Soc. 67: 253~260, 1985 The changes in relative light-intensities on the forest floor after thinning were examined under diffused-light conditions in relationship to the stand characteristics. 1) A method was developed for estimating the ratio of light interception by the trunks under the tree crowns. The light-extinction coefficients of the trunks fell within a range of 0.2 to 0.3. 2) Calculations were made of relative light-intensities on the forest floor intercepted only by the canopy, RC_{floor} . RC_{floor} was proportional to the ratio of the crown gap created by thinning to the plot area, R_{gap} . 3) RC_{floor} values against the total surface area of all components forming the tree crowns A (ha ha^{-1}) were distributed within a range between two curves of 0.1 and 0.15 of the light-extinction coefficient. The curve came close to 0.15 after thinning. 4) R_{surface} was defined as the mean relative light-intensity on surfaces of all components forming the tree crowns. The increase of R_{surface} after thinning was about 30%. R_{surface} increased exponentially with a decrease of A . The relationship between R_{surface} and A was considered to be useful in evaluating the thinning effects on light conditions.

I. はじめに

造林木の生長が進むと, 個体間で光に対する競合が生じる。他の生長因子に対する競合もあるが, 光因子が最も顕著と考えられる。したがって, 健全で旺盛な生長には, 光競合を緩和し光を十分に与える必要がある。間伐は, 収穫を兼ねながら, 保育上は主としてこのような理由で行われる。

間伐による立木の受光状態の変化を明らかにする方法

としては, 樹冠各部の相対照度を調べるのが一番望ましい。しかし, 間伐が行われる林分の樹高は10m前後から20m以上にも及ぶ。高い位置の照度の測定は可能だが(13, 22), 容易ではない。簡単に実行でき, 高い精度が期待できるのは, 林床照度の測定に限られる。したがって, 間伐にともなう林床相対照度の変化の検討から, 立木の受光状態を推定することが, 間伐の議論を深めるうえで重要と考えられる。

間伐の研究で林床相対照度を論じたものは多い(1, 7,

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

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

Stand age (yr)	Plot area (ha)	Exposure	Inclination (°)	Average DBH (cm)	Average tree height (m)	Average clear length (m)	Stand density (No. ha ⁻¹)
22	0.137	ESE	10	13.7	12.7	6.9	2,700

16, 19)。本研究では、機械的な間伐を行った幼齢林で、散光下の林床相対照度の変化を林分構成因子と結びつけて検討した。まず、林分上から林床にいたる垂直方向の光減衰を林冠内と林冠下に分けるため、各立木の樹冠下の幹による遮光について検討を行った。次に、林冠のみに遮光される場合の林床相対照度を算定し、その間伐にともなう変化を樹冠投影図における樹冠間隙面積の割合や樹冠を構成する全器官の表面積との関係で明らかにした。さらに、間伐による立木の受光状態の変化を定量的に把握する方法について考察した。

II. 研究方法

1. 林分調査と間伐

実験林は岩手県滝沢村岩手大学農学部附属滝沢演習林のスギ 22 年生林分である。この地方のスギ林としては生長の良いほうであり、これまで間伐は行われておらず、一般林分密度管理図で収量比数が 0.9 であった。約 35 m × 40 m の調査区を設け、立木位置を明らかにし各立木の胸高直径、樹高、樹冠半径を測定した。また、間伐木については枝下高も調べた (表-1)。なお、間伐は 1983 年 8 月に実施した。

樹冠を構成する枝葉や幹の表面積を 20 本の木を対象に調べた。幹から分岐する一次枝は、主軸部 (B₁)、通導組織が明らかに木化している枝部 (B₂)、いくらか木化している枝部 (B₃)、葉部 (L) の 4 部分に分けた。B₁ 部分では元のほうから 20 cm 間隔に直径を測り、B₂ 部分では両端の直径を測り、それぞれ円すい台近似し表面積を算定した。針葉からなる L 部分の表面積は、17 年生林分で調べた針葉の乾重あたりの表面積値 (5) を用いて求めた。B₃ 部分では、針葉が多数着いているので、乾重あたりの表面積値を B₂ と L の平均値とした。幹については、地際から 0.3, 1, 2, … m の直径を測り、幹曲線を明らかにするとともに、樹冠内の部分 (枝下高より上の部分) を円すい台近似し表面積を算定した。相対幹曲線は、 $y=2.2785x-2.0753x^2+0.8647x^3$ でよく表わされた。x は梢端からの相対距離、y は相対半径 (x=0.9 の位置の半径を 1) である。

実行した間伐は本数率で 34% であった。間伐は 4 回に分けて行い (表-2)、そのつど林床相対照度を調べた。

表-2. 間伐の実行
Details of the thinning

Condition	Thinned trees		Residual trees	
	(No.)	Integration (No.)	(No.)	Stand density (No. ha ⁻¹)
Before thinning	0 (0)	0 (0)	365 (100)	2,668
After thinning	I	31 (8.5)	31 (91.5)	2,442
	II	30 (8.2)	61 (16.7)	2,222
	III	30 (8.2)	91 (24.9)	2,003
	IV	32 (8.8)	123 (33.7)	1,769

The thinning was made four times (I, II, III, and IV). Numerals in parentheses show percentages.

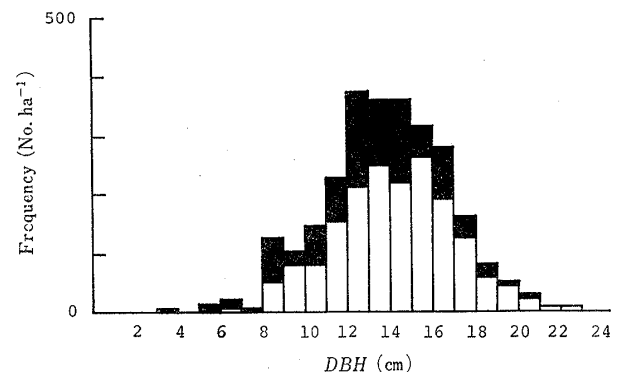


図-1. 胸高直径 (DBH) 階別立木本数
Numbers of trees with respect to the diameter at breast height (DBH)

黒く塗りつぶした部分は間伐木
Solid area refers to thinned trees.

1 回目から 4 回目のどの場合でも、樹型級にこだわらず均一な立木配置となるように選木した。図-1 は、間伐前後の胸高直径階別立木本数である。間伐木は本数、比率ともに小中径木でやや多いが、著しく偏ってはいない。

2. 林床相対照度の測定

林床の 12 か所に 1.8 m × 3.6 m の光測定区を設けた。光測定には、9 個の照度計 (測定部) を 20 cm 間隔に取りつけた長さ 1.8 m の測定棒を使用した。地表から約 80 cm の高さで 20 cm ずつ水平に平行移動させ、各点の照度を測った (1 測定区最大 162 点)。なお、照度計は広田ら (6) の方法にならって製作したもので、前

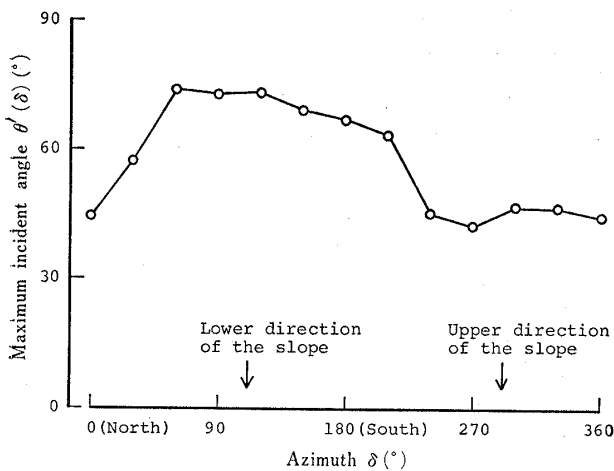


図-2. 天空光の最大入射角 $\theta'(\delta)$

Maximum incident angles of the skylight $\theta'(\delta)$
 角度は 12 か所の光測定区の平均
 The angles are mean values of 12 plots for light measurements.

報(4)に入・出力関係と入射角特性が示されている。同じ照度計で同時に林分上照度を測定した。林床相対照度は全光下では太陽高度で異なるので(4), 散光条件下で調べることにし, 晴天日を避けた。

天空光が地上のある水平面に入射する際, その入射角は $0\sim 90^\circ$ の範囲にあるが, 山地の森林では入射角の大きいものは周囲の山に遮られることが多い。樹冠下の幹による遮光を検討するうえで天空光の入射角のデータが必要なため, 各光測定区の中央に立ち, 周囲の山の稜線や隣接する林の上端など, 空との境目を見定め仰角を測定した(12方位)。仰角の余角を天空光の最大入射角とよぶこととする。図-2は, 本林分における天空光の入射状況である。各方位 δ の最大入射角 $\theta'(\delta)$ の平均は 58° であった。

3. 樹冠下の幹による遮光率の計算方法

人工林では, 各立木の枝下高はだいたいそろっているので, 林分における垂直方向の光減衰は, 林冠内と林冠下とに分けて考えることができる。林冠下では, 光は各立木の幹によって遮られる。方位角 δ , 入射角 θ の平行光線が林床の光測定区(光測定面)に向かうとしよう。光が, 樹冠下の幹のみに遮られるとすれば, 光測定面上に幹の影が生じる。なお, 反射光は考えないことにする。この影面積は, 光測定面に向かう光のうちで幹による遮光量がどれぐらいかを示すので, 影面積の割合を遮光率とよぶことができる。この遮光率を $r_{shade}(\delta, \theta)$ と書き表わすことにする。以下, 散光下における遮光率について考えてみよう。

雲で厚くおおわれた空では, 天空のある位置の明るさ(放射量) $B(\theta)$ は, 次式で近似される(12)。

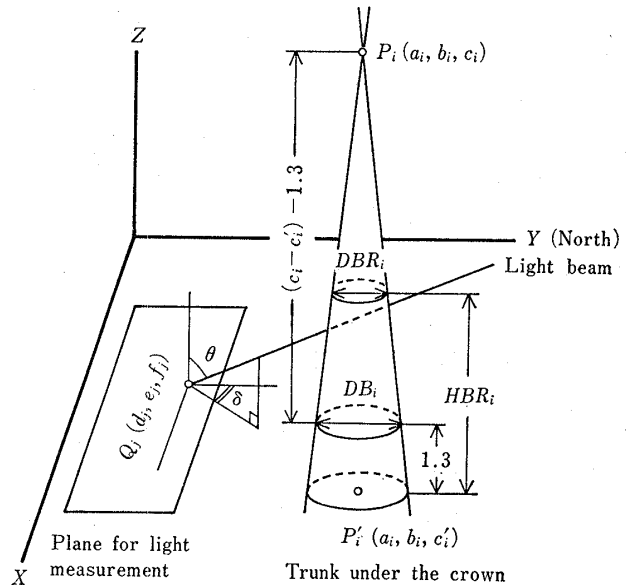


図-3. 空間の座標系における樹冠下の幹, 光測定面および光線

Plane for light measurement, trunk under the crown, and a light beam in a coordinate system in space

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

B_0 は天頂の明るさである。 θ は天空のある位置の方向と天頂方向とのなす角度である。林分上のある水平面における放射フラックス密度 FL_0' は, 天空光の最大入射角 $\theta'(\delta)$ を考慮して次式で与えられる(2)。

$$FL_0' = \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta'(\delta)} B(\theta) \cos \theta \sin \theta d\theta d\delta \quad (Wm^{-2}) \quad (2)$$

また, 樹冠下の幹の遮光量 FL_s' は, $r_{shade}(\delta, \theta)$ を用いて次のようになる。

$$FL_s' = \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta'(\delta)} B(\theta) r_{shade}(\delta, \theta) \cos \theta \sin \theta d\theta d\delta \quad (Wm^{-2}) \quad (3)$$

したがって, 樹冠下の幹の遮光率 R'_{shade} は,

$$R'_{shade} = \frac{FL_s'}{FL_0'} \quad (4)$$

となる。 FL_0' と FL_s' の値は, 数値積分して求まる。実際の計算にあたっては, δ と θ のきざみ幅は $\pi/6$, $\pi/18$ とした。

以下, $r_{shade}(\delta, \theta)$ の計算方法について述べる。各立木の樹冠下の幹の配置, 光測定面の位置, 入射する光線などを三次元座標系 (xyz -直交座標系) で表わすことにする(図-3)。木が立っている林地上の位置を $P_i'(a_i, b_i, c_i')$ とおく。樹冠下の幹は円すい台で真っすぐに立っているとみなし, 頂端 P_i の z 座標を c_i とおくと, 円

すい曲面式は次のようになる(20)。

$$\frac{(x-a_i)^2}{p_i^2} + \frac{(y-b_i)^2}{p_i^2} = \frac{(z-c_i)^2}{q_i^2} \quad (5)$$

これは、 $x=a_i$ の平面上の直線 $(z-c_i)=|q_i/p_i|(y-b_i)$ を、 $x=a_i, y=b_i$ で定まる直線を軸として1回転して得られる曲面である。胸高(地上高 1.3m)と枝下高における幹の直径を $DB_i(m), DBR_i(m)$, そして枝下高を $HBR_i(m)$ とおくと、 c_i は次式で与えられる。

$$c_i = c_i' + HBR_i + \frac{DBR_i(HBR_i - 1.3)}{DB_i - DBR_i} \quad (6)$$

なお、枝下高における直径は林分の相対幹曲線式から得られる。 $|q_i/p_i|$ は次式で求まる。

$$|q_i/p_i| = \frac{(c_i - c_i') - 1.3}{\frac{DB_i}{2}} \quad (7)$$

一方、光測定面上の任意の点 Q_j の座標を (d_j, e_j, f_j) とおくと、林分上からその点に向かう光線(方位角 δ , 入射角 θ) は、次の直線式で表わされる(20)。

$$\frac{x-d_j}{\sin \delta \sin \theta} = \frac{y-e_j}{\cos \delta \sin \theta} = \frac{z-f_j}{\cos \theta} \quad (8)$$

ここで δ は y 軸の正方向となす角度、 θ は z 軸の正方向となす角度である。(5), (8) 式より z についての2次式が得られるが、これは $\sin \delta \sin \theta / \cos \theta$ を M , $\cos \delta \times \sin \theta / \cos \theta$ を N とおいて、

$$\begin{aligned} & A_{ij}z^2 + B_{ij}z + C_{ij} = 0 \quad (9) \\ & \left\{ \begin{aligned} A_{ij} &= \frac{q_i^2}{p_i^2} (M^2 + N^2) - 1 \\ B_{ij} &= \frac{q_i^2}{p_i^2} (-2M^2 f_j + 2Md_j - 2Ma_i \\ & \quad - 2N^2 f_j + 2Ne_j - 2Nb_i) + 2c_i \\ C_{ij} &= \frac{q_i^2}{p_i^2} \{M^2 f_j^2 - 2Md_j f_j + 2Ma_i f_j \\ & \quad + (d_j - a_i)^2 + N^2 f_j^2 - 2Ne_j f_j \\ & \quad + 2Nb_i f_j + (e_j - b_i)^2\} - c_i^2 \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

となる。光線が樹冠下の幹に遮られるかどうかは、この2次方程式の2根の有無を調べ、2根があるならば少なくとも1根が $c_i' < z < c_i' + HBR_i$ の範囲にあるかどうかを調べることでわかる。なお、実際の計算にあたっては、光測定面上に 10 cm 間隔で 648 個 (18×36) の点 $Q_j(j=1\sim 648)$ を定めた。 Q_j に向かう光線のうちで少なくとも1本の木に遮られる光線の割合が $r_{shade}(\delta, \theta)$ である。 $r_{shade}(\delta, \theta)$ の計算は、調査区の中央部に位置する4か所の光測定区について行った。

散光下におけるある光測定区の林床相対照度(実測値) R_{floor} は、次式で表わされる。

$$R_{floor} = RC_{floor} \cdot RT_{floor} \quad (10)$$

ここで、 RC_{floor} は天空光が林冠のみに遮られる場合の

林床相対照度、 RT_{floor} は天空光が各立木の樹冠下の幹のみに遮られる場合の林床相対照度である。なお、 RT_{floor} は、 $1 - R'_{shade}$ であるので、(10) 式の RC_{floor} は、

$$RC_{floor} = \frac{R_{floor}}{1 - R'_{shade}} \quad (11)$$

となる。

III. 結果と考察

林床相対照度 R_{floor} は、12か所の光測定区の平均で間伐前が 4.3%、1回目の間伐後が 6.7%、2、3、4回目の間伐後がそれぞれ 9.7、10.7、20.4% であった(表-3)。間伐による R_{floor} の上昇は、3回目までは比較的緩やかで4回目で急な上昇を示した。

この研究では、立木密度 ρ (No. ha⁻¹)、樹冠間隙面積率 R_{gap} 、樹冠下の幹の表面積 A_{trunk} (ha ha⁻¹)、樹冠を構成する全器官の表面積 A (ha ha⁻¹) など、林分構成因子との関係で林床相対照度を検討するため、これらの因子については光測定区ごとに数値を定めることにした。これは、光測定区あるいはその付近の立木がその相対照度に強く影響すると考えられるからである。光測定区の中を中心にして一定半径の円を想定し、たとえば円内の立木本数を数え円面積で除したものを立木密度に採用した。円の半径を便宜的に林分の平均樹高(12.7m)とその1/2にして各因子の数値を定め、林床相対照度との関係をみたところ、どの因子についても円の半径による明らかながいはいなかった。そこで、円の半径を平均樹高の1/2とすることにした。

図-4 は、林床相対照度 R_{floor} と立木密度 ρ との関係である。間伐にともなう R_{floor} の上昇は、2,000 本付近を境にして緩やかな上昇から急な上昇へと変化してい

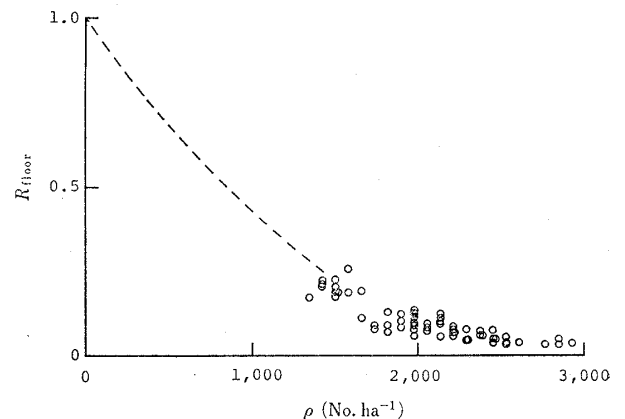


図-4. 林床相対照度 R_{floor} と立木密度 ρ との関係
Relative light-intensities on the forest floor
 R_{floor} as a function of the stand density ρ

ることがわかる。

1. 樹冠下の幹による遮光

散光下における樹冠下の幹のみの遮光率 R'_{shade} は、4か所の光測定区の平均で間伐前が 15.2%、間伐後が 8.9% であった (表-3)。樹冠下の幹による光減衰を LAMBERT-BEER の法則にそって検討するため、天空光が各立木の樹冠下の幹のみに遮られる場合の林床相対照度 RT_{floor} と樹冠下の幹の表面積 A_{trunk} (ha ha⁻¹) との関係を見た (図-5)。草本群落では、葉がランダムに分布しているとみられる場合、散光下における吸光係数は水平葉のもので約 1.0、直立葉で約 0.4 である (11)。樹冠下では傾斜角 90° の平面的な葉が隙間なく重ならず並んで幹と同じ表面を形成しているとみれば、草本群落と比較することもまったく意味のないことではない。図中に吸光係数が 0.2 と 0.3 の光減衰が示されているが、各点はそれらの中間に落ちている。したがって、樹冠下の幹の吸光係数は、直立葉群落よりかなり小さいと理解される。

MONSI & SAEKI (11) の理論的考察によると、散光下では相対照度 (対数值) と葉面積指数 (m² m⁻²) との関係は、直線にはならず、葉面積指数の増大にともない相対照度の減少率は小さくなっている。この傾向は、葉の傾斜角の大きい群落で顕著である。このようなことから、図に示したように、 RT_{floor} (対数值) と A_{trunk} との関係直線ではなく 2 次曲線で近似した。 $r_{shade}(\delta, \theta)$ の計算を行わなかった 8 か所の光測定区については、こ

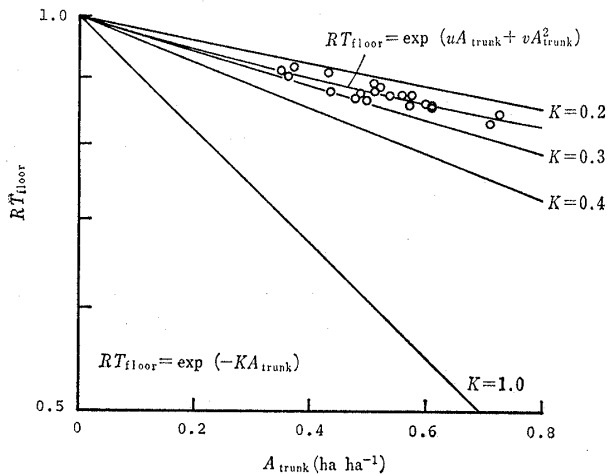


図-5. RT_{floor} - A_{trunk} 関係

RT_{floor} as a function of A_{trunk}

RT_{floor} : 天空光が樹冠下の幹のみに遮光される場合の林床相対照度, A_{trunk} : 樹冠下の幹の表面積 (ha ha⁻¹)

RT_{floor} , relative light-intensity on the forest floor intercepted only by the trunks under the tree crowns; A_{trunk} , the total surface area of the trunks under the tree crowns in the stand

$u = -2.8209 \times 10^{-1}$, $v = 5.3067 \times 10^{-2}$

の近似式を使って RT_{floor} を求めることにした。

2. 林床相対照度と樹冠間隙面積率との関係

間伐により林冠に孔隙が生じると、光はその孔隙を通過して直接林床に達するようになる。また、樹冠内を通過して進む光も林床に到達しやすくなる。一般に、林冠の孔隙状況は、樹冠投影図を描いて樹冠間隙面積で把握される。その面積の林地面積に対する割合をここでは樹冠間隙面積率とよび R_{gap} で表わす。 R_{gap} は、12か所の平均で間伐前が 8.7%、1, 2, 3, 4 回目の間伐後がそれぞれ 10.6, 12.5, 14.8, 22.5% であった (表-3)。図-6 は、 R_{gap} の変化を立木密度 ρ との関係でみたものである。立木密度の低下にともなう R_{gap} の変化は、2,000 本を割ると急な上昇となり R_{floor} の変化とよく似ている。

図-7 は、林冠のみに遮光される場合の林床相対照度

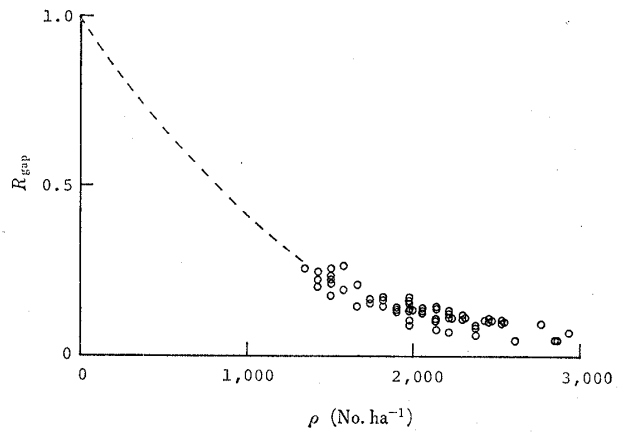


図-6. 樹冠間隙面積率 R_{gap} と立木密度 ρ との関係
Ratios of crown gap to plot area R_{gap} as a function of the stand density ρ

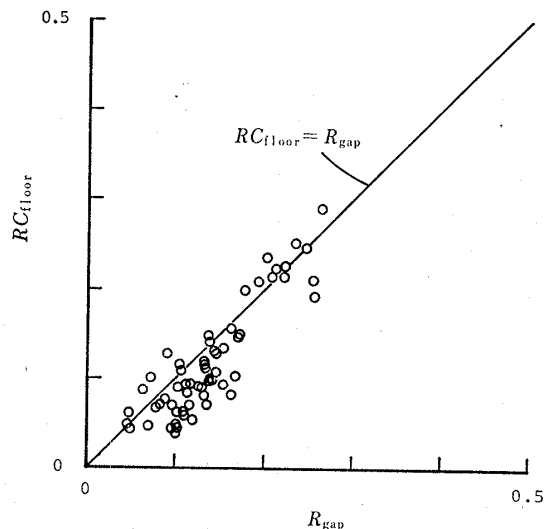


図-7. RC_{floor} - R_{gap} 関係

RC_{floor} as a function of R_{gap}

RC_{floor} : 天空光が林冠のみに遮られる場合の林床相対照度
 RC_{floor} , relative light-intensity on the forest floor intercepted only by the canopy

RC_{floor} を R_{gap} との関係でみたものである。なお、 RC_{floor} の間伐にともなう変化は表-3 に示す。両者の関係は、 $RC_{floor} \doteq R_{gap}$ であった。

仮に、入射する光はすべて鉛直光線とし、樹冠内にはいった光は完全に消滅するとしよう。樹冠表面で反射し林床に達する光はわずかと考えて無視するなら、光があたる林床の面積は樹冠間隙面積に等しいので、 $RC_{floor} = R_{gap}$ となる。しかし、現実の散光下では、光はほとんど斜めからはいる。斜めからの光は、真上からのものにくらべ樹冠に遮られやすく林床に到達しにくい。このことは、 RC_{floor} を小さくする。斜めからくる光が直接林床に到達するかしなないかは、 R_{gap} が同じでも樹冠形や樹冠長、立木の配置状態などで異なる。すなわち、林分構造が RC_{floor} の減少量に密接に関係する。一方、光は樹冠内で完全に消滅せず一部は林床に到達する。これは、反対に RC_{floor} を大きくする。樹冠内で光がどの程度まで消滅するかは、枝葉の量や着き方、葉の光透過率など、樹冠の内部的性質に左右される。以上のように考えると、 $RC_{floor} \doteq R_{gap}$ の関係は、スギ幼齢林の一つの林分特性とみることができるといえる。

3. 林床相対照度と樹冠を構成する全器官の表面積 ($ha\ ha^{-1}$) との関係

図-8 は、樹冠調査した 20 本の立木について、樹冠を構成する幹、枝、葉などの全器官の表面積 a_{crown} と胸高直径 DBH の 2 乗との相対変異関係をみたものである。各点は直線状に並び、変異係数(17)は約 1.0 であった。 ha あたりの a_{crown} の合計 $A(ha\ ha^{-1})$ を求めるにあたっては、両者の関係式を用いた。

林冠における光減衰を LAMBERT-BEER の法則にそって検討するため、 RC_{floor} と A との関係を見た(図-9)。図中に吸光係数が 0.1, 0.15, 0.2 の光減衰が示されているが、各点は 0.1 と 0.15 の間に落ちている。スギの針葉は四角すい体状の形をしているので、ここではその面積を幹や枝と同様に表面積で表わしている。一般に、広葉樹などの葉では片側の面積(表面積の半分)をもって葉面積としている。そこで、スギ葉の面積を表面積の半分とするなら、樹冠を構成する全器官の表面積のうち葉が大部分を占めるので、吸光係数は 0.2 から 0.3 の範囲になる。ちなみに、森林の吸光係数は、広葉樹林で 0.35~0.7(8,9)、針葉樹林ではヒノキで 0.63(3)、他の針葉樹については 0.3 前後と考えられている(21)。

プロットした各点は、間伐前 (A が 19~24) では吸光係数 0.15 の線に近く、間伐後 (A が 12~15) では 0.1 に近づいている。そのため、両者の関係は LAMBERT-BEER の式よりはむしろ図中に示した式でよく近似され

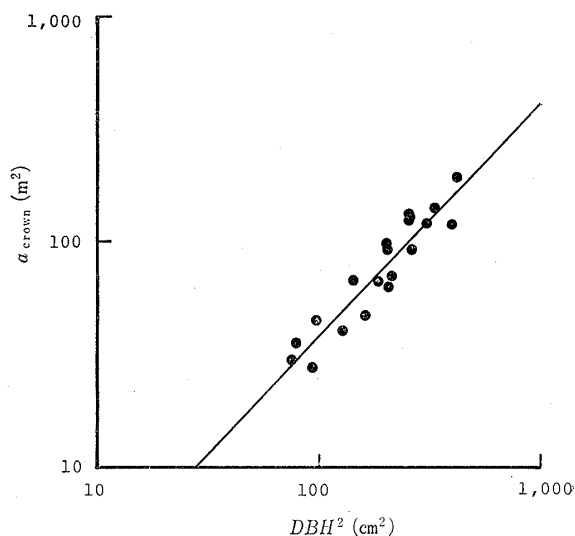


図-8. 樹冠を構成する全器官の表面積 a_{crown} と DBH^2 との相対変異関係

Total surface area of all components forming the tree crown a_{crown} as a function of DBH^2
 $\ln a_{crown} = -1.1108 + 1.0321 \ln DBH^2$

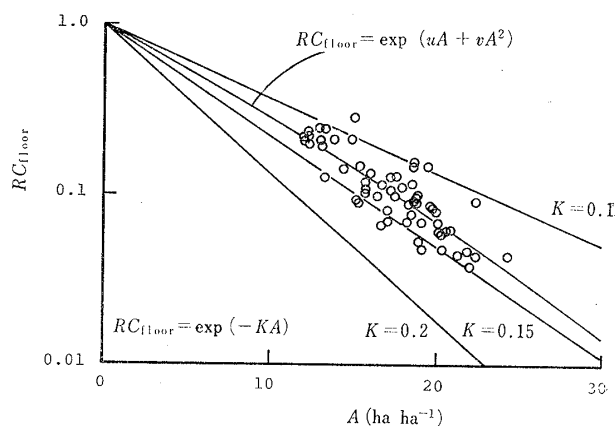


図-9. RC_{floor} - A 関係

RC_{floor} as a function of A

A : 樹冠を構成する全器官の表面積の林分合計 ($ha\ ha^{-1}$)
 A , the total surface area of all components forming the tree crowns in the stand
 $u = -0.1152$, $v = -8.5534 \times 10^{-4}$

た。間伐により林冠に孔隙が生じた林では、遮光物となる枝葉は各立木の樹冠ごとに集中した分布を示す。それに対し、間伐前の十分に閉鎖した林では、枝葉が樹冠ごとにまとまるのは同じだが、全体としてはむしろランダムあるいは均一な分布に近い。集中分布では、ランダム分布や均一分布にくらべ遮光の効率性は悪い(14, 18)。間伐により 0.15 から 0.1 の線に近づくのは、以上のように説明される。

4. 立木の受光状態

散光下において林冠のみに遮光される場合の林床照度は、林分上の照度を $I_0(klx)$ とおくと、 $I_0 RC_{floor}$ と書

表-3. 間伐にともなう諸数値の変化
Changes in the various values before and after thinning

	R_{floor}	R'_{shade}	RT_{floor}	RC_{floor}	R_{gap}	$R_{surface}$
Equations	Measured	(4)	$1-R'_{shade}$	(11)	*	(13)
Number of plots**	12	4	4	12	12	12
	Average of the plots (%)					
Before thinning	4.3	15.2	84.8	5.1	8.7	4.5
After thinning	I	6.7	13.5	86.5	7.8	4.8
	II	9.7	12.4	87.6	11.2	5.1
	III	10.7	11.7	88.3	12.1	5.4
	IV	20.4	8.9	91.1	22.6	5.9

* R_{gap} represents the proportion of crown gap of plot (radius: 6.35 m) area.

** Plots, 1.8 m × 3.6 m, were established on the forest floor.

ける。ここで、 $I_0 - I_0 RC_{floor}$ は林冠の遮光による照度の減少量を表わす。各器官の表面が受ける平均照度 $I_{surface}$ は、SAEKI(15) にならい次式で表わされる。

$$I_{surface} = \frac{I_0 - I_0 RC_{floor}}{A} \cdot \frac{1}{1-m} \quad (klx) \quad (12)$$

m は、各器官が光を受けたときの反射光と透過光の下向き成分の合計値を受けた光の強さで割った値である(10)。ここでは、全器官についての平均値である。林分上の照度 I_0 に対する樹冠の全器官についての平均表面相対照度 $R_{surface}$ は、

$$R_{surface} = \frac{I_{surface}}{I_0} = \frac{1 - RC_{floor}}{A} \cdot \frac{1}{1-m} \quad (13)$$

となる。 RC_{floor} は $\exp(uA + vA^2)$ の形で表わされるので(図-9)、(13)式は、

$$R_{surface} = \frac{\exp(u_0 + v_0 A^2) - \exp(uA + vA^2)}{A} \cdot \frac{1}{1-m}$$

とも書ける。このように、 $R_{surface}$ は、 A の関数である RC_{floor} の 0 から A の間の平均変化率の絶対値をもととして与えられる。

m についての確かな資料がないので、厳密には $R_{surface}$ を計算することはできないが、スギでは広葉樹などくらべ、そうとう小さいと思われる。また、本研究では、 $R_{surface}$ の値そのものより間伐にともなう変化を重視している。このようなことから、 $m=0$ として計算してみた。図-10 は、 $R_{surface}-A$ 関係である。 $R_{surface}$ は、間伐前で 4.5%、間伐後で 5.9% であった(表-3)。したがって、間伐により約 30% 上昇したことになる。図中には RC_{floor} を $\exp(uA + vA^2)$ で与えた場合の曲線が示されているが、 A の減少にともない $R_{surface}$ は指数関数的に上昇することがわかる。間伐の保育上のねらいの一つは、冒頭で述べたように、林木個体間の光競合を緩和し受光条件の改善を図る点にある。 $R_{surface}$ は、

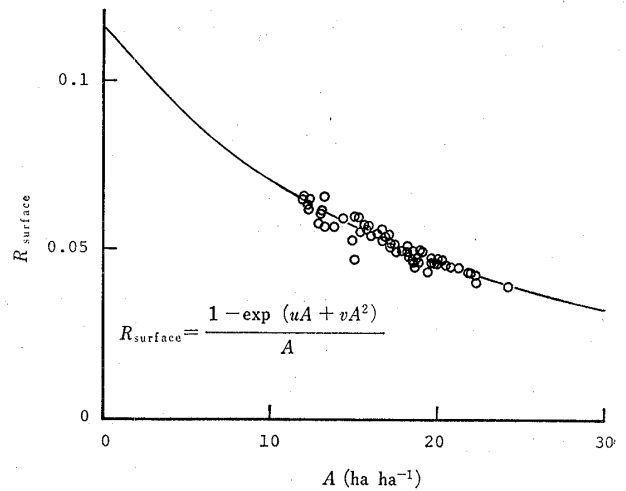


図-10. $R_{surface}-A$ 関係

$R_{surface}$ as a function of A

$R_{surface}$: 樹冠を構成する全器官についての平均表面相対照度
 $R_{surface}$, mean relative light-intensity on the surfaces of all components forming the tree crowns
 $u = -0.1152$, $v = -8.5534 \times 10^{-4}$

林分の平均的なものではあるが樹冠を構成する葉などの受光状態を表わすので、間伐による受光状態の変化を把握する一つの目安になると考えられる。

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林学科千葉宗男教授に厚くお礼申しあげる。また、岩手大学付属演習林教育研究部長戸澤俊治助教授はじめ滝沢演習林の方々には、数々の便宜をはかっていただいた。野外作業と資料整理には、造林学研究室学生熊谷 操君が協力してくれた。皆様に深く感謝申しあげる。なお、 R'_{shade} 、 R_{gap} の計算は、東北大学大型計算機センターの ACOS-1000 を使用して行った。

引用文献

- (1) 安藤 貴: 若齢林分の保育問題—その多面的な検討 (V) 間伐と非皆伐施業—二段林移行を考えた間伐—。林業技術

- 401: 35~39, 1975
- (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) HAGIHARA, A., NINOMIYA, I. & HOZUMI, K.: Evaluation of the light climate in a *Chamaecyparis obtusa* plantation by a chemical light-meter. *J. Jap. For. Soc.* **64**: 220~228, 1982
- (4) 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
- (5) HASHIMOTO, R. & SUZAKI, T.: Studies on the response of photosynthesis to light intensity in leaves attached at various positions in tree crowns of a *Cryptomeria japonica* even-aged stand—Effect of shading and leaf aging. *J. Jap. For. Soc.* **61**: 193~201, 1979
- (6) 広田 修・武田友四郎・斎藤吉満: 数種作物の太陽光利用率に関する研究 (I) 群落内光合成有効放射計の試作. *日作紀* **44**: 357~363, 1975
- (7) 川那辺三郎・玉井重信・堤 利夫: ヒノキ人工林の間伐前後の現存量と林内の光環境について. *京大演報* **47**: 26~33, 1975
- (8) KIRA, T. & SHIDEI, T.: Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific. *Jap. J. Ecol.* **17**: 70~87, 1967
- (9) ———, SHINOZAKI, K. & HOZUMI, K.: Structure of forest canopies as related to their primary productivity. *Plant & Cell Physiol.* **10**: 129~142, 1969
- (10) 黒岩澄雄: 群落光合成 (岩城英夫編: 群落の機能と生産. 277 pp). 84~149, 朝倉書店, 東京, 1979
- (11) MONSI, M. & SAEKI, T.: Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* **14**: 22~52, 1953
- (12) MONTEITH, J. L.: Principles of environmental physics. 241 pp, Arnold, London, 1973 (佐伯敏郎監訳: 生物環境物理学. 222 pp, 共立出版, 東京, 1975)
- (13) 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
- (14) 小川房人: 個体群の構造と機能. 217 pp, 朝倉書店, 東京, 1980
- (15) SAEKI, T.: Interrelationships between leaf amount, light distribution and total photosynthesis in a plant community. *Bot. Mag. Tokyo* **73**: 55~63, 1960
- (16) 斎藤秀樹・菅 誠・四手井綱英: 小径木間伐に関する研究 (I) 第1回間伐前後の林況の変化について. *京大演報* **38**: 50~67, 1966
- (17) 清水三雄: 相対生長. 269 pp, 協同医書出版社, 東京, 1959
- (18) 玉井重信・四手井綱英: 林内の照度 (I). *京大演報* **43**: 53~62, 1972
- (19) ———・大久保泰志・堤 利夫: 小径木間伐に関する研究 (VI) 間伐後 12 年間のスギ林の林況および現存量の変化について. *日林誌* **65**: 372~381, 1983
- (20) 矢野健太郎: 立体解析幾何学. 202 pp, 裳華房, 東京, 1970
- (21) 依田恭二: 森林の生態学. 331 pp, 築地書館, 東京, 1971
- (22) YODA, K.: Three-dimensional distribution of light intensity in a tropical rain forest of West Malaysia. *Jap. J. Ecol.* **24**: 247~254, 1974

(1984年7月2日受理)