

## 論 文

## スギ人工林の間伐と光環境 (III)

## 種々の間伐による林冠構造と平均葉面相対照度の変化\*

橋 本 良 二\*\*

橋本良二: スギ人工林の間伐と光環境 (III) 種々の間伐による林冠構造と平均葉面相対照度の変化 日林誌 68: 261~270, 1986 22年生林分を対象として, 下層, 上層, 中層および機械的の4種類の間伐法にそって間伐案を立て, 間伐による林冠構造と立木の受光状態の変化を比較検討した。(1) 間伐率を樹冠の全器官表面積あるいは幹材積によって表わした場合, 林分の樹冠体積  $V_{\text{crown}}$ , 林冠孔隙体積  $V_{\text{gap}}$  および樹冠競合体積  $V_{\text{com}}$  などの林冠構造諸量の間伐による変化は, 次のようになる。同一間伐率における  $V_{\text{crown}}$  の減少,  $V_{\text{gap}}$  の増大および  $V_{\text{com}}$  の減少は, 下層間伐で大きく, 上層間伐で小さい。中層間伐と機械的間伐では, 両者の中間的な変化を示す。一方, 間伐率を立木本数によって表わした場合, 同一間伐率における林冠構造諸量の変化は, 反対に, 下層間伐で小さく, 上層間伐で大きい。(2) 間伐による平均葉面相対照度  $R_{\text{surface}}$  の上昇も, 間伐法で異なる。間伐率を樹冠の全器官表面積, 幹材積, 立木本数のいずれによって表わしても, 同一間伐率における  $R_{\text{surface}}$  の上昇は, 下層間伐で小さく, 上層間伐で大きい。中層間伐や機械的間伐では, 両者の中間的な変化を示す。

HASHIMOTO, Ryoji: **Thinnings and light conditions in a sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation (III) Changes of the canopy structure and of the mean relative light intensity on leaf surfaces by various thinnings** J. Jpn. For. Soc. 68: 261~270, 1986 The effects of thinning on the canopy structure and on the light environment within the canopy are estimated by simulating four different types (lower-story, upper-story, middle-story, and mechanical) of thinnings in a 22-year-old stand. Simulations of lower- and upper-story thinnings which remove the same surface area of crown-components or the same stem volumes, indicate that lower-story thinnings reduce the total volume of crowns ( $V_{\text{crown}}$ ) more than upper-story thinnings. As a result, the canopy-gap volume ( $V_{\text{gap}}$ ) is increased more, and the crown-competition volume ( $V_{\text{com}}$ ) is decreased more through lower-story thinnings. The effects of middle-story and mechanical thinnings upon  $V_{\text{crown}}$ ,  $V_{\text{gap}}$ , and  $V_{\text{com}}$  are similar and are intermediate between lower- and upper-story thinnings. Comparison of lower- and upper-story thinnings which remove the same number of trees, indicates that  $V_{\text{crown}}$  and  $V_{\text{com}}$  are reduced more and the  $V_{\text{gap}}$  is increased more through upper-story thinnings. The increase of the mean relative light intensity on the leaf surface ( $R_{\text{surface}}$ ) due to thinning varies with the thinning type. When the surface area of the crown-components, or the stem volume, or the number of trees removed by thinning is the same, the increase of  $R_{\text{surface}}$  is larger for upper-story thinnings and smaller for lower-story thinnings.

## I. はじめに

林分閉鎖ののち, 林木が健全で旺盛に生長するには, 間伐を実施する必要がある。間伐により, 隣接する林木個体間の樹冠の重なりあいが部分的に除去され, 林冠に新たな孔隙が生じる。このような林冠構造の変化にとも

なって, 立木の受光状態が改善される。間伐法には, 基本的に, 劣勢木を切る下層間伐と優勢木を切る上層間伐とがある。しかし, これらのほかに, 伐採する木の大きさにはこだわらず立木の配置だけを考慮する機械的間伐があるし, 劣勢木と優勢木を残し両者の中間の準優勢木を対象とするような間伐も考えられる。

\* 本論文の一部は, IUFRO, S1. 06-02 研究集会 (1985年10月, 筑波) で発表した。

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

本研究では、まず林冠構造を解析する方法について述べ、種々の間伐法が林冠構造の変化にどのように作用するかを検討した。また、種々の間伐による立木の受光状態の変化を、林分における平均葉面相対照度を通して検討した。

II. 調査および間伐案

1. 林分および樹冠の調査

岩手県滝沢村岩手大学農学部附属滝沢演習林の22年生のスギ林分を研究の対象とした。林分の概要を表-1に示す。この地方のスギ林としては生長の良いほうで、収量比数は一般林分密度管理図で0.9ある。約35m×40mの調査区を設け、各立木の位置を測量し、胸高直径、樹高、枝下高、樹冠半径を調査した。その後、20本の立木について、樹冠形や枝葉の量などを調べた(1,2)。

スギ樹冠は、幹を軸とする回転体とみなすことができ(4)、林分閉鎖後では円すい体もしくは放物体状の上部樹冠と円柱体状の下部樹冠とからなる(3,5)。一般に、上部は陽樹冠、下部は陰樹冠とよばれる。本林分では、放物体状の陽樹冠の下に円柱体状の陰樹冠が発達していた。各立木の樹冠形は、幹の中心から樹冠の表面までの

水平距離を  $r$  (m)、地上高を  $h$  (m) とおき、以下のよう

$$\left. \begin{aligned} r &= \{\alpha_i(h-H_i)\}^{1/2} \text{ (m)} \\ &\text{(} HM_i \leq h \leq H_i \text{)} \\ r &= R_i \text{ (m)} \\ &\text{(} HB_i \leq h < HM_i \text{)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし、

$$\alpha_i = -2.8713 + 2.1516 R_i - 0.3512 (H_i - HB_i)$$

$$HM_i = \frac{R_i^2}{\alpha_i} + H_i \text{ (m)}$$

ここで、 $H_i$ ,  $HB_i$ ,  $R_i$  はそれぞれ各立木の樹高 (m)、枝下高 (m)、陰樹冠半径 (m)、 $HM_i$  は陽樹冠と陰樹冠の境目 (陽樹冠底部) の地上高 (m)、 $\alpha_i$  は陽樹冠の形状を表わす係数である。

樹冠を構成する全器官の表面積 ( $m^2$ ) を樹冠の体積 ( $m^3$ ) で除したものを、樹冠の全器官表面積密度 ( $m^2 m^{-3}$ ) とよぶ。樹冠体積は、(1)式に従って、陽樹冠は放物体として、陰樹冠は円柱体として、それぞれ求まる。各立木の陽樹冠および陰樹冠の全器官表面積密度  $DH_i$ ,  $DC_i$  は、それぞれ次式で与えられる(2)。

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

Stand age (yr)	Plot area (ha)	Exposure	Inclination (°)	Average d. b. h. (cm)	Average tree height (m)	Average clear length (m)	Stand density (No. ha <sup>-1</sup> )	Stand stem volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	A (ha ha <sup>-1</sup> )
22	0.137	ESE	10	13.7	12.7	6.9	2,700	295	19.3

d. b. h., the stem diameter at breast height; A, the total surface area of crown-components (foliage, branches, and stems)

表-2. 間伐案  
Thinning plans

Thinning method	Thinning criterion	Thinning ratio (%)	Thinning method	Thinning criterion	Thinning ratio (%)
Lower-story thinning	$DBH_i < 15$	11.4	Middle-story thinning	$12 \leq DBH_i < 16$	11.4
	$DBH_i < 15$	22.7		$12 \leq DBH_i < 16$	22.7
	$DBH_i < 15$	34.0		$12 \leq DBH_i < 16$	34.0
	$DBH_i < 15$	45.4		$12 \leq DBH_i < 16$	45.4
	$H_i < 14$	11.4		$12 \leq H_i < 14$	11.4
	$H_i < 14$	22.7		$12 \leq H_i < 14$	22.7
	$H_i < 14$	34.0		$12 \leq H_i < 14$	34.0
	$H_i < 14$	45.4		$12 \leq H_i < 14$	45.4
Upper-story thinning	$DBH_i \geq 15$	11.4	Mechanical thinning		11.4
	$DBH_i \geq 15$	22.7			22.7
	$DBH_i \geq 15$	34.0			34.0
	$DBH_i \geq 15$	45.4			45.4
	$H_i \geq 14$	11.4			11.4
	$H_i \geq 14$	22.7			22.7
	$H_i \geq 14$	34.0		34.0	
	$H_i \geq 14$	45.4		45.4	

The symbols  $DBH_i$  (cm) and  $H_i$  (m) represent the stem diameter at breast height (d. b. h.) and the height of a tree  $i$ , respectively.

$$DH_i = 6.3141 + 0.4862 DBH_i - 6.5667 R_i \quad (\text{m}^2 \text{m}^{-3}) \quad (2)$$

$$DC_i = 2.1266 + 0.2297 DBH_i - 2.4069 R_i \quad (\text{m}^2 \text{m}^{-3}) \quad (3)$$

ここで、 $DBH_i$  は各立木の胸高直径 (cm) である。

### 2. 間伐案

間伐法として、下層間伐、上層間伐、中層間伐および機械的間伐の4種類を取り上げた(表-2)。ここでは、準優勢木を対象とする間伐を中層間伐とよぶ。下・上・中層間伐では、胸高直径もしくは樹高を基準にして間伐案を作った。胸高直径を基準とする場合では、下層間伐で15 cm未満、上層間伐で15 cm以上、中層間伐では12~16 cmの木を対象とした。樹高を基準とする場合では、下層間伐で14 m未満、上層間伐で14 m以上、中層間伐で12~14 mの木を対象とした。なお、これらの間伐案では、立木の均等配置を配慮した関係で、各間

伐基準にそわない木が一部含まれている。それぞれの間伐にともなう胸高直径階別本数分布の変化を示すと、図-1 のようになる。

間伐率は、11.4、22.7、34.0 および 45.4% の4段階とした。これらの間伐率は、林分における樹冠の全器官表面積を用いて表わしたものである(以下、全器官表面積間伐率とよぶ)。間伐率を全器官表面積で表わすのは、間伐にともなう林冠構造や林分の光環境の変化に樹冠の全器官表面積が直接的に関係しているためである。

一般に、間伐率は、間伐木の本数の比率(本数間伐率)あるいは間伐木の幹材積の比率(材積間伐率)で表わされる。表-2の各間伐案の間伐率(全器官表面積間伐率)を本数間伐率で表わすと異なった値を示し、下層間伐では大きな値を、上層間伐では小さな値を示す(図-2)。中層間伐や機械的間伐では、全器官表面積間伐率と本数間伐率との差は、比較的小さい。一方、全器官表

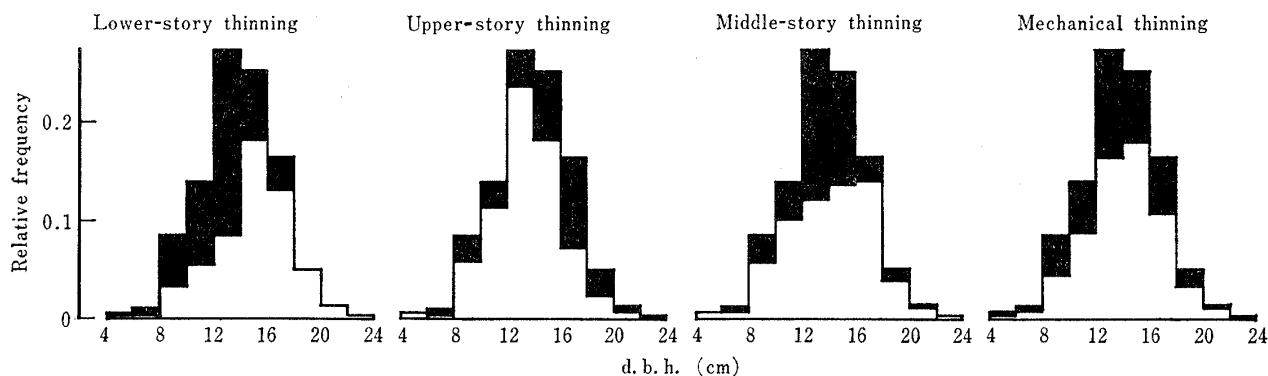


図-1. 間伐前後の胸高直径階別本数分布

Frequency distributions of the stem diameter at breast height (d. b. h.) before and after thinnings

d. b. h. は幹の胸高直径。黒塗りの部分は間伐木。間伐(下層、上層および中層)の基準は胸高直径、間伐率は34% (表-2)。Solid areas refer to thinned trees. Criterion of thinning (lower-story, upper-story, and middle-story) is d. b. h. and thinning ratio is 34.0% (Table 2).

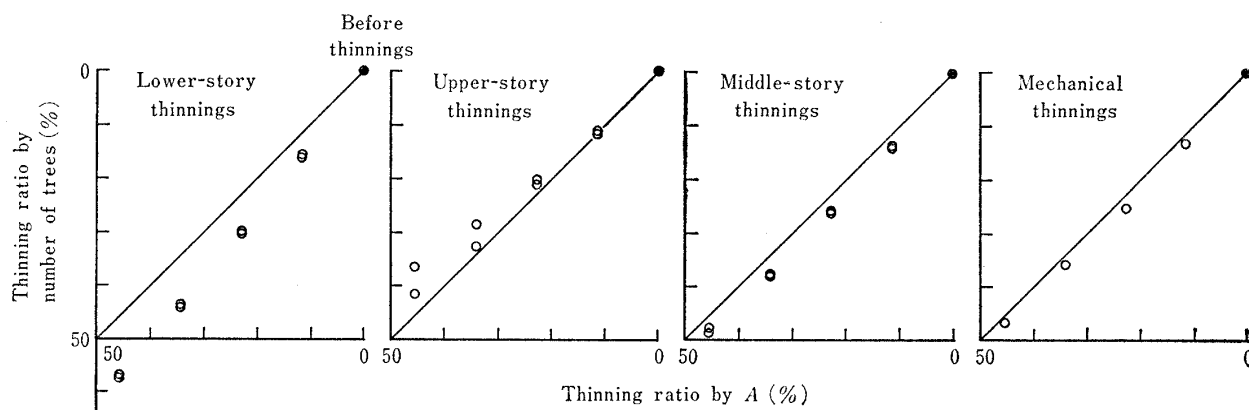


図-2. 本数間伐率と全器官表面積間伐率との関係

Relationship between thinning ratios expressed in terms of surface area of the crown-components ( $A$ ,  $\text{ha ha}^{-1}$ ) and number of trees

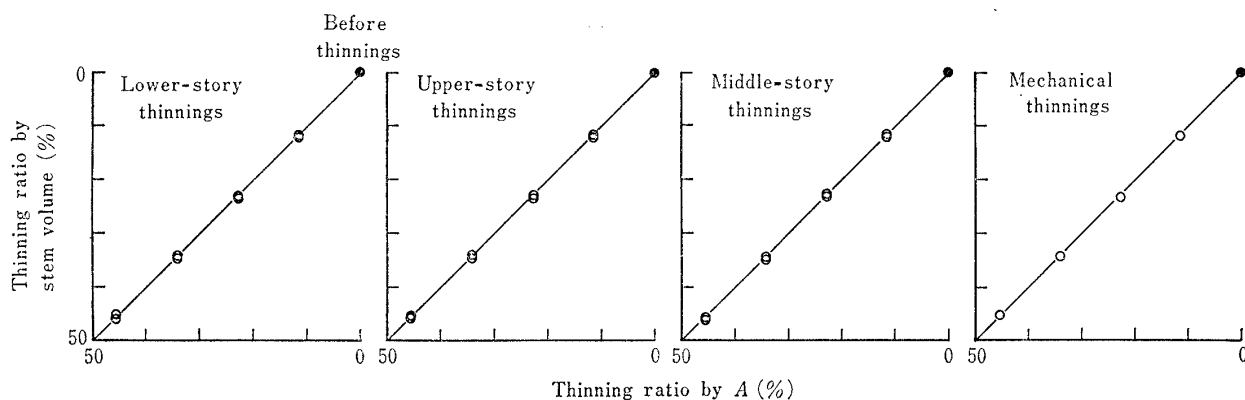


図-3. 材積間伐率と全器官表面積間伐率との関係

Relationship between thinning ratios expressed in terms of surface area of the crown-components and stand stem-volume

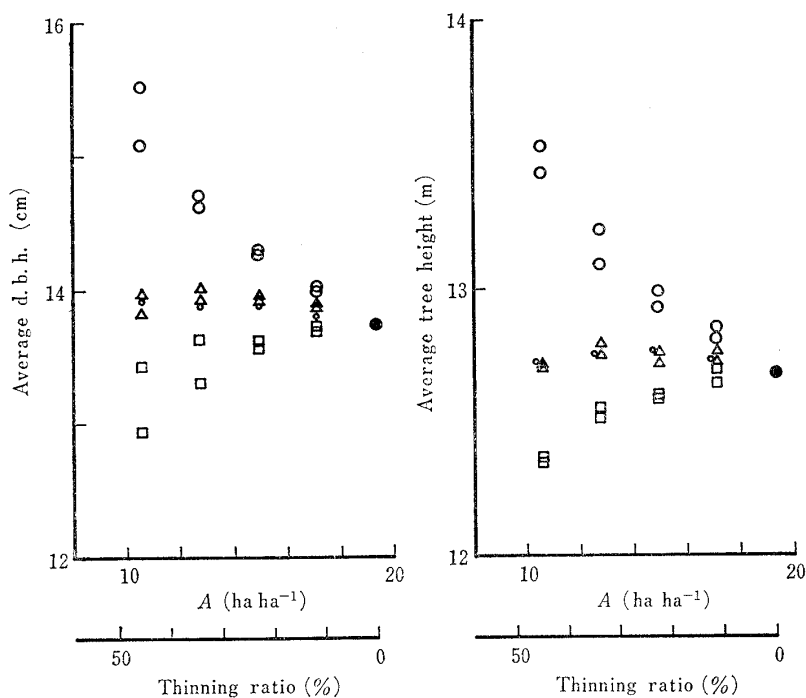


図-4. 間伐にともなう林分平均胸高直径および平均樹高の変化

Changes of the average d. b. h. and the average tree height by thinnings

● Before thinnings; ○ lower-story thinnings; □ upper-story thinnings; △ middle-story thinnings; ◊ mechanical thinnings

面積間伐率を材積間伐率に直した場合は、どの間伐でもほとんど変化はない(図-3)。なお、立木の幹材積は、胸高直径と樹高を変数とする計算式(幹材積式)で求めた(7)。

間伐による林分の平均胸高直径と平均樹高の変化を図-4に示す。平均胸高直径、平均樹高とも、下層間伐で大きくなり、上層間伐で小さくなる。中層間伐と機械的間伐では、あまり変化しない。

### III. 林冠構造の変化

#### 1. 解析方法

樹冠が放物体の陽樹冠と円柱体の陰樹冠からなるとすると、それぞれの曲面の方程式は、空間の座標系を使って、(4)、(5)式のように表わされる(9)。

$$\frac{(x-a_i)^2}{p^2} + \frac{(y-b_i)^2}{p^2} = 2q(z-c_i) \quad (ZM_i \leq z \leq c_i) \quad (4)$$

$$(x-a_i)^2 + (y-b_i)^2 = R_i^2 \quad (ZB_i \leq z < ZM_i) \quad (5)$$

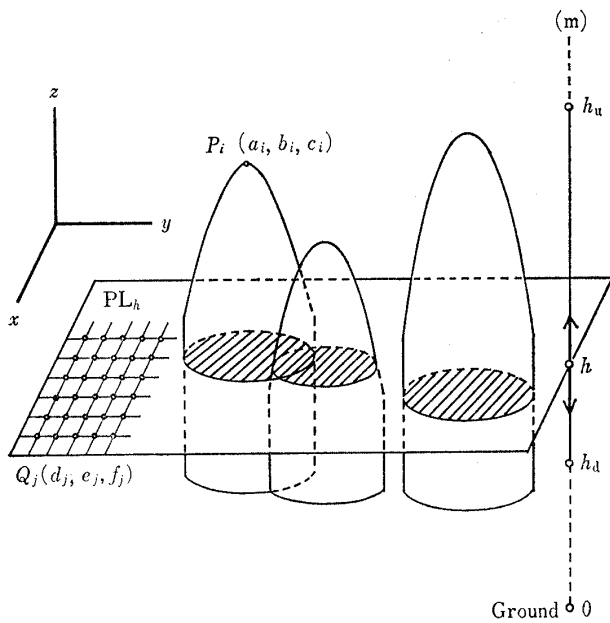


図-5. 林冠構造の解析

Analysis of the canopy structure

斜線の箇所は  $PL_h$  が各立木の樹冠と交わる部分を示す。The symbol  $PL_h$  represents the plane parallel to the ground surface and located at a height of  $h$ .  $PL_h$  intersects the canopy for values of  $h$  between the lower boundary  $h_d$  and the upper boundary  $h_u$ . Shaded portions show intersectional areas between  $PL_h$  and the crowns.  $a_i, b_i,$  and  $c_i$  represent the  $x, y,$  and  $z$ -coordinates of the top of a tree  $i$ , respectively. Consider an array of points  $Q_j$  ( $j=1$  to  $N_b$ ) located on a uniform grid on the plane  $PL_h$ . Let  $d_j, e_j,$  and  $f_j$  represent the  $x, y,$  and  $z$ -coordinates of  $Q_j$ , respectively.

ここで、 $a_i, b_i, c_i$  は各立木の樹冠頂端  $P_i$  の  $x, y, z$  座標、 $ZM_i, ZB_i$  は陽樹冠底部、樹冠底部の  $z$  座標である。 $2p^2q$  は、放物体の形状を表わす係数であり、(1) 式の  $\alpha_i$  がこれに相当する ( $2p^2q = \alpha_i$ )。  $R_i$  は、陰樹冠半径である。

林地面と平行で林地面からの高さが  $h$  (m) である一定面積の面を  $PL_h$  とすると、 $PL_h$  は  $h$  のある範囲内で樹冠と交わる (図-5)。  $PL_h$  が樹冠と交わる上限を  $h_u$  (m)、下限を  $h_d$  (m) とする。  $PL_{h_u}$  と  $PL_{h_d}$  ではさまれる空間を林冠とし、林冠は  $N_a$  本の立木 ( $i=1 \sim N_a$ ) の樹冠を含むとする。

$PL_h$  上で点  $Q_j$  ( $j=1 \sim N_b$ ) が格子状に均一に分布するとし、 $Q_j$  の  $x, y, z$  座標を  $d_j, e_j, f_j$  で表わす。 $Q_j$  の各点については、どの立木の樹冠にも含まれない点と1本あるいはそれ以上の立木の樹冠に含まれる点とがある。 $Q_j$  のある点がある立木の樹冠内に含まれるか否かは、(4)、(5) 式を使って判別される。 $PL_h$  上の点  $Q_j$  ( $j=1 \sim N_b$ ) のうち、どの立木の樹冠にも含まれない点の数を  $N_0(h)$ 、1本の立木の樹冠に含まれる点の数を

$N_1(h)$ 、2本の立木の樹冠に含まれる点の数を  $N_2(h)$  とおき、3本以上の立木の樹冠に含まれる点についても、 $N_3(h), N_4(h)$  のように表わす。

$$N_b = N_0(h) + N_1(h) + N_2(h) + N_3(h) + \dots \quad (6)$$

$PL_h$  が各立木 ( $i=1 \sim N_a$ ) の樹冠と交わる部分の水平面積を合計したものを、 $a_c(h)$  とおく。 $PL_h$  上の点  $Q_j$  の総数  $N_b$  を十分大きくとると、 $a_c(h)$  は次式で表わされる。

$$a_c(h) = \frac{s}{N_b} \{N_1(h) + 2N_2(h) + 3N_3(h) + \dots\} \quad (m^2) \quad (7)$$

ここで、 $s$  は、 $PL_h$  の水平面積 ( $m^2$ ) である。

$PL_h$  は、二つの部分に分けられる。一つは少なくとも1本の立木の樹冠と交わる部分であり、他の一つはどの立木の樹冠とも交わらない部分である。前者の水平面積を  $a_o(h)$  とおく。 $PL_h$  上の点  $Q_j$  の総数  $N_b$  を十分大きくとると、 $a_o(h)$  は次式で表わされる。

$$a_o(h) = \frac{s}{N_b} \{N_1(h) + N_2(h) + N_3(h) + \dots\} \quad (m^2) \quad (8)$$

各立木 ( $i=1 \sim N_a$ ) の樹冠体積を合計したものを  $v_{crown}$  とおく。 $v_{crown}$  は、次式で表わされる。

$$v_{crown} = \int_{h_d}^{h_u} a_c(h) dh \quad (m^3) \quad (9)$$

林冠は、二つの部分からなる。一つは樹冠が占める部分であり、他の一つは樹冠どうしの隙間の部分である。前者の体積を樹冠占有体積、後者のそれを林冠孔隙体積とよび、それぞれを  $v_{occu}, v_{gap}$  で表わす。 $v_{occu}$  および  $v_{gap}$  は、以下のように表わされる。

$$v_{occu} = \int_{h_d}^{h_u} a_o(h) dh \quad (m^3) \quad (10)$$

$$v_{gap} = s(h_u - h_d) - v_{occu} \quad (m^3) \quad (11)$$

(11) 式の  $s(h_u - h_d)$  は、林冠体積 ( $m^3$ ) である。

1本1本の木ごとに隣接木の樹冠と重なりあう部分の体積を小計し、全立木 ( $i=1 \sim N_a$ ) について合計したものを樹冠競合体積とよび、 $v_{com}$  で表わす。 $v_{com}$  は、次式で表わされる。

$$v_{com} = \int_{h_d}^{h_u} \frac{s}{N_b} \{2N_2(h) + 3N_3(h) + \dots\} dh = \int_{h_d}^{h_u} \left\{ a_c(h) - \frac{s}{N_b} N_1(h) \right\} dh \quad (m^3) \quad (12)$$

$v_{crown}, v_{gap}$  および  $v_{com}$  ( $m^3$ ) は、対象区域の林地面積 (水平面積) が  $s$  ( $m^2$ ) のときの値である。それぞれを1haの林地面積あたりに換算したものを、 $V_{crown}, V_{gap}, V_{com}$  ( $m^3 ha^{-1}$ ) で表わす。

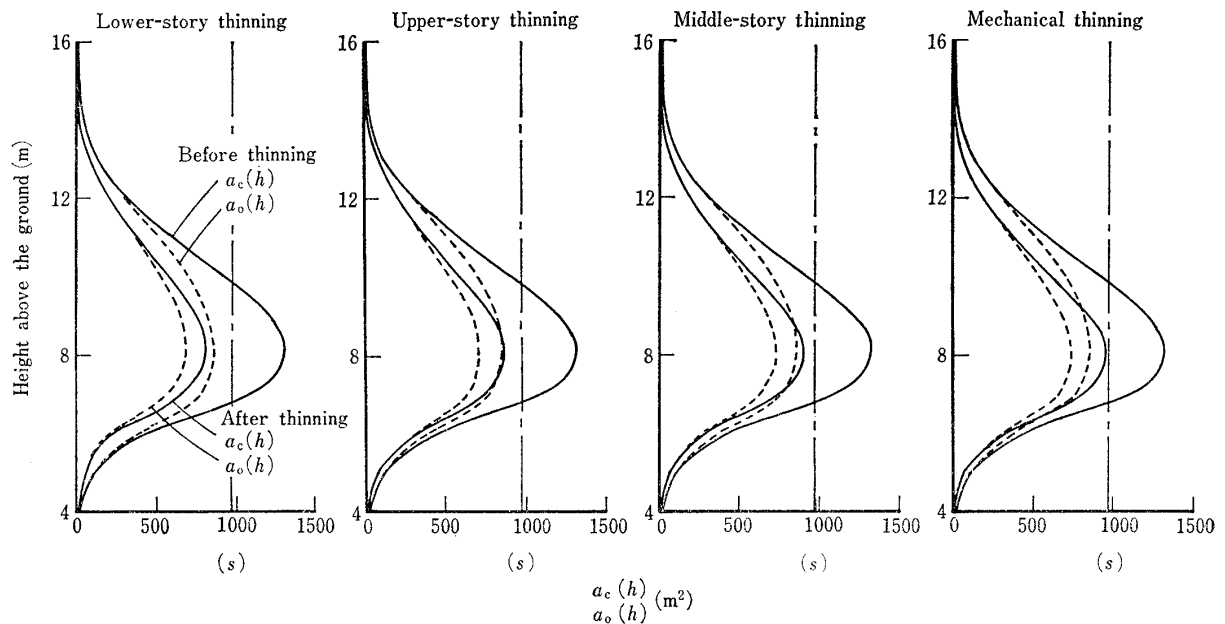


図-6. 間伐前後における林冠構造諸量の垂直分布

Vertical distributions for various elements of the canopy structure before and after thinnings

間伐（下層，上層および中層）の基準は胸高直径，間伐率は34.0%（表-2）。 $h_u$ は17.5m， $h_d$ は2.5m。Criterion of thinning (lower-story, upper-story, and middle-story) is d.b.h., and thinning ratio is 34% (Table 2).  $h_u$  and  $h_d$  (Fig. 5) are 17.5 m and 2.5 m, respectively. The symbol  $s$  represents the horizontal area of  $PL_h$  ( $s=980\text{m}^2$ ).  $a_c(h)$  indicates the vertical distribution of the total volume of crowns and  $a_o(h)$  the vertical distribution of the part occupied by crowns in the canopy. The dashed line expresses horizontal area of  $PL_h$ . The area bounded by the dashed line and the  $a_o(h)$  curve indicates the canopy-gap volume. The area bounded by two  $a_c(h)$  curves of before and after thinning indicates the total volume of crowns removed by thinning, and the area bounded by two  $a_o(h)$  curves of before and after thinning, the total volume of new canopy gaps produced by thinning. The area bounded by  $a_c(h)$  and  $a_o(h)$  curves of before or after thinning shows the extent of overlap among the crowns.

## 2. 林冠構造諸量の垂直分布

間伐による  $a_c(h)$  および  $a_o(h)$  の変化の例を，図-6に示す。調査区中央部の約  $30\text{m} \times 30\text{m}$  の区域を対象とした ( $s=980\text{m}^2$ )。  $PL_h$  上の  $Q_j$  の間隔（格子幅）を水平距離で  $0.25\text{m}$ ， $h$  の間隔を  $1\text{m}$  として計算した。 $a_c(h)$  の曲線は，林分における樹冠体積  $v_{\text{crown}}$  の垂直分布を示す。間伐の前後の二つの  $a_c(h)$  曲線ではさまれる部分は，間伐木の樹冠体積  $\Delta v_{\text{crown}}$  の垂直分布を示す。 $a_o(h)$  の曲線は，林冠における樹冠占有体積  $v_{\text{occu}}$  の垂直分布を示す。 $a_o(h)$  曲線と対象区域の林地面積 ( $s$ ) を表わす縦線との間の部分は，林冠空隙体積  $v_{\text{gap}}$  に相当する。間伐の前後の二つの  $a_o(h)$  曲線ではさまれる部分は，間伐で新たに生じる林冠空隙体積  $\Delta v_{\text{gap}}$  を示す。 $a_c(h)$  曲線と  $a_o(h)$  曲線ではさまれる部分は，隣りあう樹冠どうしの競合が強いときには大きく，弱いときには小さくなる。よって， $a_c(h)$  曲線と  $a_o(h)$  曲線ではさまれる部分を，間伐の前と後とでくらべると，間伐により樹冠競合が各地上高でどのように緩和されるかわかる。

$v_{\text{crown}}$  および  $v_{\text{occu}}$  は，やや下方に偏った分布を示し，地上高  $8\text{m}$  付近にピークがあり， $6\sim 11\text{m}$  の間を林冠の主要部とみることができる。 $\Delta v_{\text{crown}}$  の垂直分布は，下層間伐では比較的林冠の全層に及ぶのに対し，上層間伐では上層から中層に偏る。このため， $\Delta v_{\text{gap}}$  の垂直分布は，下層間伐では林冠主要部でほぼ一定であるのに対し，上層間伐では中層から下層にかけて少ない。中層間伐と機械的間伐では， $\Delta v_{\text{crown}}$ ， $\Delta v_{\text{gap}}$  の垂直変化は，やや上層間伐に似ている。樹冠の競合状態を表わす  $a_c(h) - a_o(h)$  は，間伐の前後とも， $7\sim 9\text{m}$  の間で大きく，垂直変化については，間伐法による明らかなちがいは認められない。

## 3. 林冠構造諸量と間伐率との関係

図-7は，間伐にともなう  $V_{\text{crown}}$ ， $V_{\text{gap}}$  および  $V_{\text{com}}$  ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) の変化を，全器官表面積間伐率との関係でみたものである。樹冠の全器官表面積密度は，劣勢木で低く，優勢木で高い。そのため，全器官表面積間伐率が同じ場合，間伐による  $V_{\text{crown}}$  の減少は，下層間伐で大きく，上層間伐で小さい。ところで，間伐率がある程度以

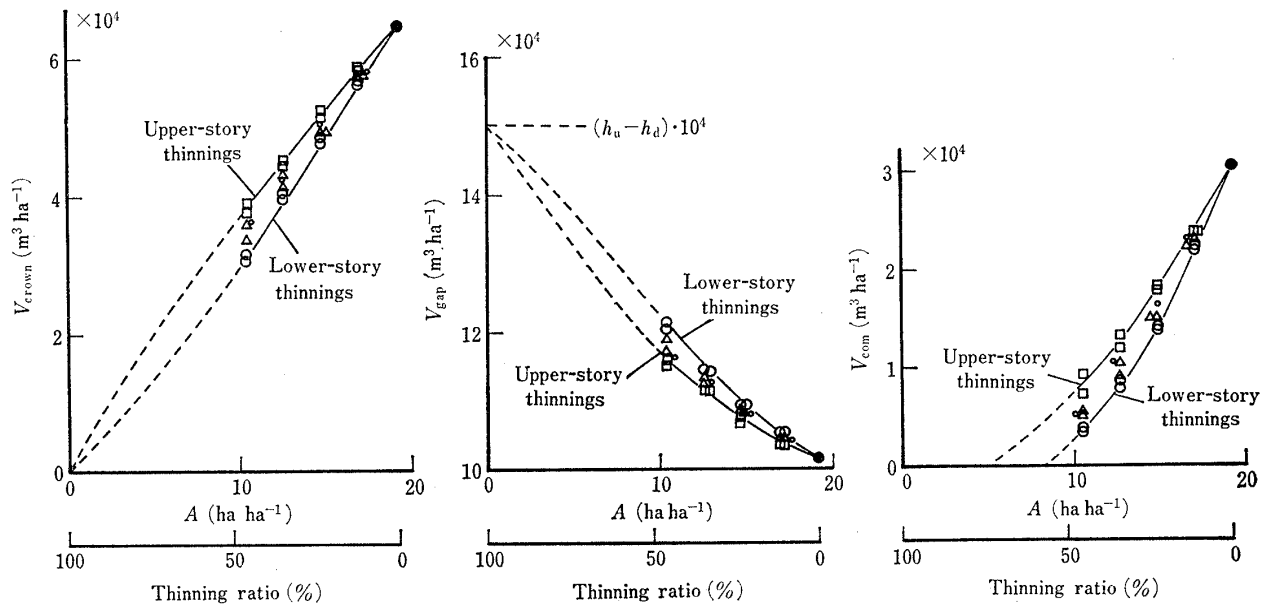


図-7. 間伐による  $V_{crown}$ ,  $V_{gap}$  および  $V_{com}$  の変化

Changes of  $V_{crown}$ ,  $V_{gap}$ , and  $V_{com}$  by thinnings

間伐率は全器官表面積間伐率。記号は図-4 と同じ。

Thinning ratios are expressed in terms of the surface area of the crown-components.  $V_{crown}$ , the total volume of crowns;  $V_{gap}$ , the canopy-gap volume;  $V_{com}$ , the crown-competition volume. Symbols are the same as in Fig. 4.

上になると、下層間伐でも対象木のなかで優勢木の占める割合がふえ始める。上層間伐では、反対に、劣勢木の占める割合がふえ始める。これらのことから、 $V_{crown}$  の減少曲線は、下層間伐では急な減少から緩やかな減少に、上層間伐では緩やかな減少から急な減少に変わる。中層間伐と機械の間伐では、 $V_{crown}$  の減少はほぼ同じ1本の直線で示される。

間伐による  $V_{gap}$  の増大および  $V_{com}$  の減少も、下層間伐で大きく、上層間伐で小さい。 $V_{gap}$  と  $V_{com}$  が間伐によりどの程度増大あるいは減少するかは、主として  $V_{crown}$  の減少に左右される。 $V_{gap}$  は、間伐率が50% 付近までは、どの間伐でも指数関数的な増大を示す。前述のように、間伐による  $V_{crown}$  の減少は、間伐率がある程度以上になると、下層間伐では減少しにくくなり、上層間伐では減少しやすくなる。このため、 $V_{gap}$  は、上層間伐では引き続き指数関数的に増大するのに対し、下層間伐では緩やかな増大に変わる。 $V_{com}$  は、間伐率が大きくなるにつれ、0 に近づく。下層間伐では間伐率 50~60% 付近で、上層間伐では 70~80% 付近で、中層間伐と機械の間伐では両者のほぼ中間で競合がなくなると推定される。

間伐にともなう  $V_{crown}$ ,  $V_{gap}$  および  $V_{com}$  の変化を、本数間伐率との関係でみたのが図-8 である。立木の樹冠体積は、下層間伐の対象木である劣勢木で小さく、上層間伐の対象木である優勢木で大きい。そのた

め、本数間伐率が同じ場合、間伐による  $V_{crown}$  の減少は、下層間伐で小さく、上層間伐で大きい。この結果、間伐による  $V_{gap}$  の増大および  $V_{com}$  の減少は、下層間伐で小さく、上層間伐で大きい。以上の変化は、間伐率を全器官表面積間伐率とした場合の変化とまったく反対である。

図-3 で明らかなように、全器官表面積間伐率を材積間伐率に直してもほとんど変わらない。そのため、間伐による  $V_{crown}$ ,  $V_{gap}$  および  $V_{com}$  の変化を材積間伐率との関係で表わしても、全器官表面積間伐率との関係で表わした図-7 とほとんど同じになる。

間伐にともなう  $V_{gap}$  と  $V_{com}$  の変化を、 $V_{crown}$  との関係でプロットしたのが、図-9 である。 $V_{crown}$  の減少にともなう  $V_{gap}$  の増加は、わずかなちがいはあるが、上層間伐で大きく、下層間伐で小さい。 $V_{gap}$  の増加曲線は、傾きが -1 で (0, 林冠体積値) を通る直線に収斂し、 $V_{com}$  が0 になると、その直線上を進む。 $V_{com}$  の減少は、下層間伐で大きく、上層間伐で小さい。間伐木の樹冠体積が同じ場合、隣接木の樹冠と強く競合している木を対象とする間伐では、 $V_{gap}$  の増大は小さく、 $V_{com}$  の減少は大きいと考えられる。よって、図-9 は、下層間伐では隣接木と強く競合している木が除去され、上層間伐ではあまり競合していない木が除去されることを示唆している。

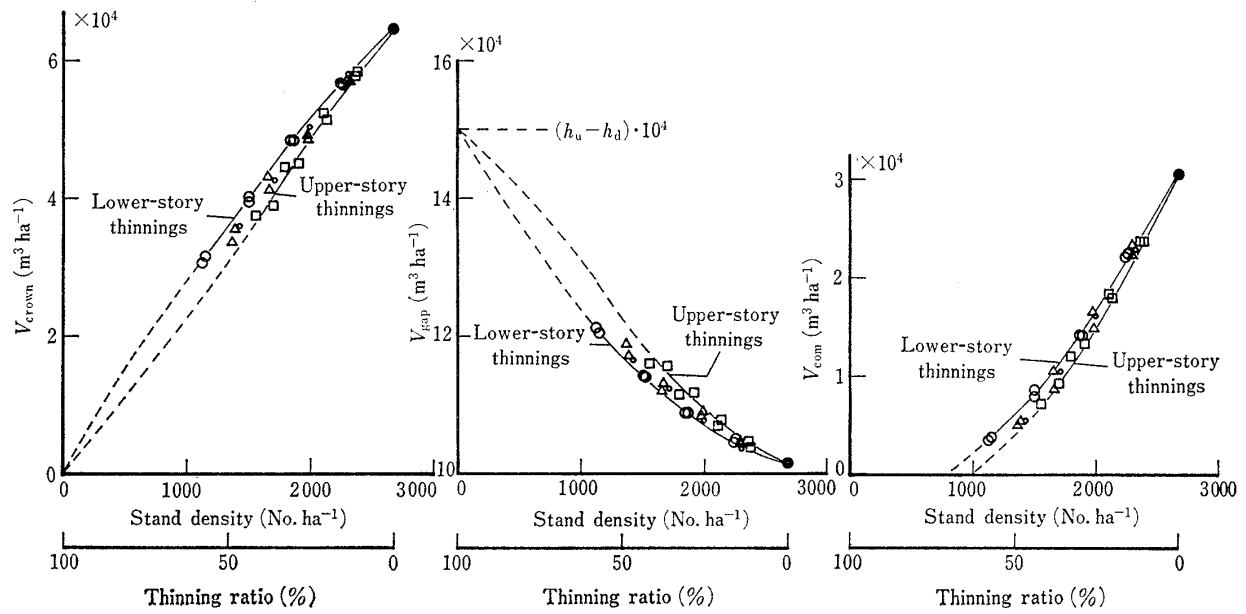


図-8. 間伐による  $V_{crown}$ ,  $V_{gap}$  および  $V_{com}$  の変化  
Changes of  $V_{crown}$ ,  $V_{gap}$ , and  $V_{com}$  by thinnings

間伐率は本数間伐率。記号は図-4 と同じ。

Thinning ratios are expressed in terms of the number of trees. Symbols are the same as in Fig. 4.

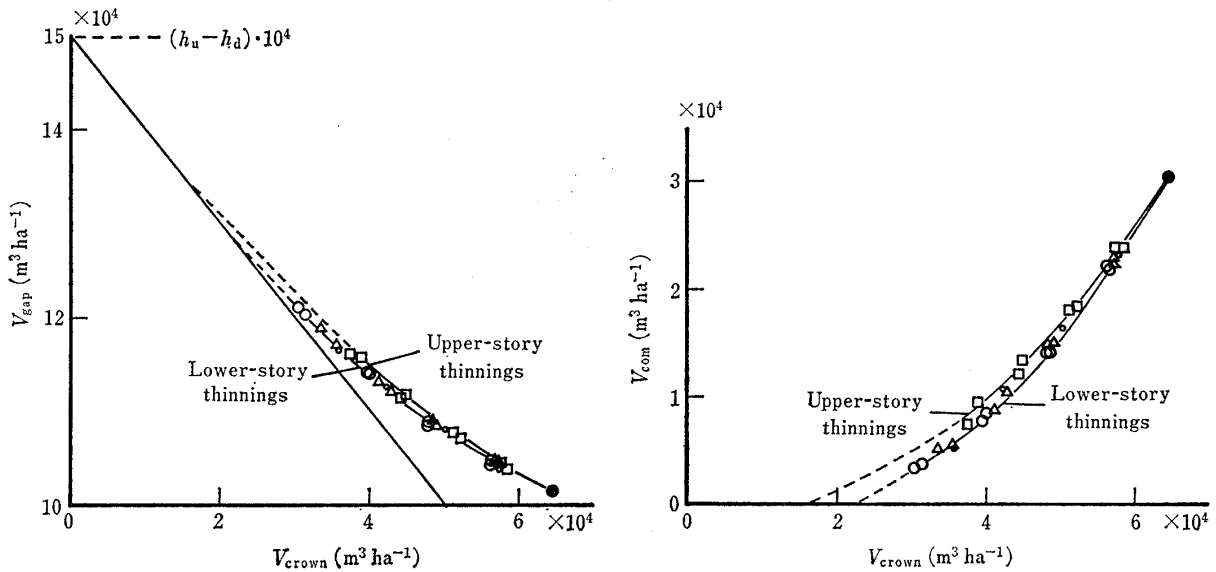


図-9.  $V_{gap}$ - $V_{crown}$  関係および  $V_{com}$ - $V_{crown}$  関係  
 $V_{gap}$  and  $V_{com}$  as a function of  $V_{crown}$

記号は図-4 と同じ。

Symbols are the same as in Fig. 4.

IV. 立木の受光状態

散光下における林分上照度を  $I_0$ , 林分上に達した光が林冠のみに遮られる場合の林床の平均相対照度を  $RC_{floor}$  とおくと,  $I_0 - I_0 RC_{floor}$  は, 林冠の遮光による照度の減少量を示す。各器官の表面が受ける平均照度  $I_{surface}$  は, SAEKI (8) にならひ, 次式で表わされ

る。

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

ここで,  $A$  は, 樹冠の全器官表面積 ( $ha\ ha^{-1}$ ),  $m$  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 (6)。樹冠の全器官についての平均表面相対照度  $R_{surface}$  は,



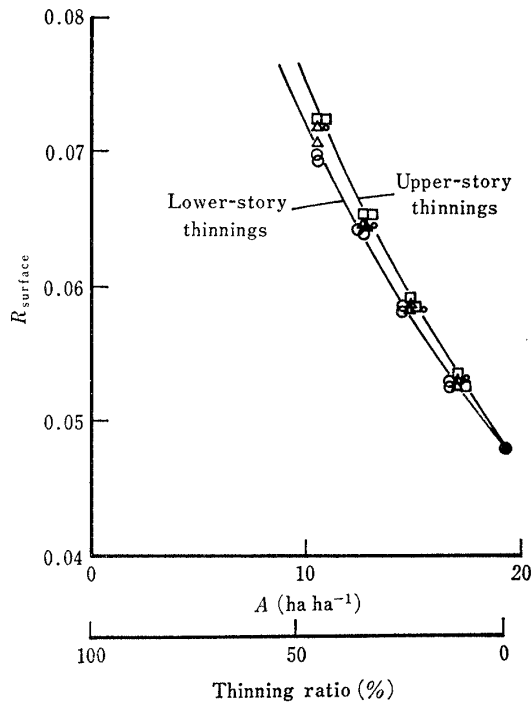


図-10. 間伐による  $R_{surface}$  の上昇

Increases of  $R_{surface}$  by thinnings

間伐率は全器官表面積間伐率。記号は図-4 と同じ。  
Thinning ratios are expressed in terms of the surface area of the crown-components. The symbol  $R_{surface}$  shows the mean relative light intensity on the surfaces of the crown-components. Symbols are the same as in Fig. 4.

$$R_{surface} = \frac{I_{surface}}{I_0} = \frac{1 - RC_{floor}}{A} \cdot \frac{1}{1 - m} \quad (14)$$

となる。 $R_{surface}$  は、林分の平均的なものではあるが、樹冠の受ける光の強さをよく表わすので、間伐による立木の受光状態の変化を知る目安になる ( $I$ )。樹冠の全器官表面積の約 90% は、葉で占められ ( $2$ )、立木の生長にとって葉の受光状態がとくに重要である。そこで、 $R_{surface}$  を林分の平均葉面相対照度ともよぶ。

(14) 式の  $RC_{floor}$  は、林分における樹冠配置、樹冠形、樹冠の全器官表面積密度などより推定される ( $2$ )。  $m$  については、スギ葉では確かな資料はないが、多くの広葉樹葉などにくらべ透過光は少ないと思われるので、あまり大きな値はとらないと考えられる。ここでは、種の間伐にともなう  $R_{surface}$  の相対的变化を比較できればよいので、 $m=0$  として  $R_{surface}$  を求めた。図-10 は、間伐による  $R_{surface}$  の上昇を全器官表面積間伐率との関係でみたものである。間伐による  $R_{surface}$  の上昇は、下層間伐で小さく、上層間伐で大きい。中層間伐と機械の間伐では、両者の中間の上昇を示す。

(14) 式から、次のことがいえる。間伐木の樹冠の全器官表面積が同じ場合、樹冠が効率良く光を遮り、林冠

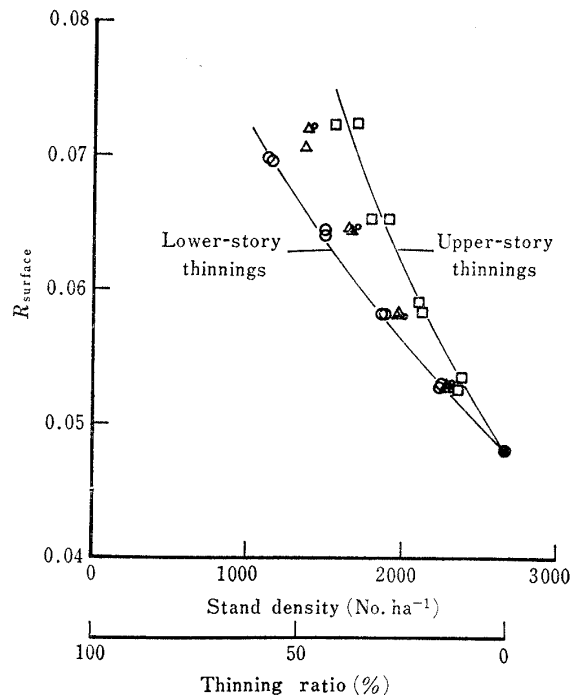


図-11. 間伐による  $R_{surface}$  の上昇

Increases of  $R_{surface}$  by thinnings

間伐率は本数間伐率。記号は図-4 と同じ。  
Thinning ratios are expressed in terms of the number of trees. Symbols are the same as in Fig. 4.

下に逃しにくい林になるように間伐するなら、 $RC_{floor}$  の上昇は抑えられ、 $R_{surface}$  の上昇は大きくなる。図-7 より、下層間伐後の林は、他の間伐後の林にくらべ、樹冠体積  $V_{crown}$  が小さく、林冠空隙体積  $V_{gap}$  が大きい。これに対し、上層間伐では、 $V_{crown}$  の減少や  $V_{gap}$  の増大は抑えられる。したがって、下層間伐後の林では光を林冠下に比較的逃しやすく、上層間伐後の林では逃しにくいと考えられる。この結果、間伐による  $R_{surface}$  の上昇は、下層間伐で小さく、上層間伐で大きくなる。間伐による  $R_{surface}$  の上昇は、間伐率 (全器官表面積間伐率) が 30% 以下では間伐法によるちがいはわずかであるが、30% を越すとちがいは明らかになる。上層間伐による  $R_{surface}$  の上昇は、下層間伐のそれにくらべ、間伐率 30% では約 5%、間伐率 45% では約 15% 大きい。

図-11 は、間伐による  $R_{surface}$  の上昇を本数間伐率との関係でみたものである。間伐による  $R_{surface}$  の上昇は、下層間伐で小さく、上層間伐で大きい。これは、間伐率を全器官表面積間伐率とした場合 (図-10) と同じ傾向である。劣勢木は、樹冠が小さく、樹冠を構成する全器官の表面積が小さい。優勢木は、反対に、樹冠が大きく、樹冠を構成する全器官の表面積が大きい。そのため、林分における樹冠の全器官表面積  $A$  ( $ha\ ha^{-1}$ ) の間

伐による減少は、同一本数間伐率では、下層間伐で小さく、上層間伐で大きい。 $R_{\text{surface}}$  は、 $A$  の減少にともない指数関数的に増大する(1)。また、図-10 で明らかのように、 $A$  の減少にともなう  $R_{\text{surface}}$  の上昇は、下層間伐で小さく、上層間伐で大きい。これらのことから、同一本数間伐率での  $R_{\text{surface}}$  の上昇は、下層間伐で小さく、上層間伐で大きい。そして、間伐率を全器官表面積間伐率で表わした場合に比べ、間伐法による  $R_{\text{surface}}$  の上昇のちがいは顕著である。

全器官表面積間伐率を材積間伐率に直した場合、ほとんど変化はない(図-3)。そのため、間伐による  $R_{\text{surface}}$  の変化を材積間伐率との関係でプロットしても、全器官表面積間伐率との関係でプロットした図-10 と同じになる。

## V. ま と め

間伐の保育上のねらいは、樹冠競合の緩和と立木の受光状態の改善である。種々の間伐が樹冠競合の緩和にどのように作用するかをみたい場合、間伐による  $V_{\text{crown}}$  の減少を同じにして  $V_{\text{com}}$  の減少を比較するのが、一つの適当な方法と思われる。 $V_{\text{crown}}$  の減少にともなう  $V_{\text{com}}$  の減少は、下層間伐で最も大きいので、下層間伐は、樹冠競合をよく緩和する点に特徴があるといえる。これに対し、上層間伐は、立木の受光状態の改善の面で

優れている。中層間伐と機械的間伐は、樹冠競合の緩和の面でも立木の受光状態の改善の面でも、互いによく似ており、下層間伐と上層間伐の中間的性質をもつ。

おわりに、林冠構造諸量の計算にあたっては、東北大学大型計算機センターの ACOS-1000 を使用した。

## 引用文献

- (1) 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
- (2) ————: 同上 (II) 林床相対照度の推定法. 日林誌 68: 66~70, 1986
- (3) ————・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
- (4) 梶原幹弘：スギ同齢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
- (5) ————: 同上 (III) 樹冠の形態の生育段階的变化. 日林誌 58: 313~320, 1976
- (6) 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
- (7) 林野庁計画課編：立木幹材積表一東日本編一. 333 pp, 日本林業調査会, 東京, 1973
- (8) SAEKI, T.: Interrelationships between leaf amount, light distribution and total photosynthesis in a plant community. Bot. Mag. Tokyo 73: 55~63, 1960
- (9) 矢野健太郎：立体解析幾何学. 202 pp, 裳華房, 東京, 1970

(1985年6月17日受理)