

# 同一林地内に植栽されたボカスギとマスヤマスギの 生産力と葉層の垂直分布

松浦 崇遠

## Comparison of Productivities and Vertical Foliage Distributions of Sugi Cultivars, for Boka-Sugi and Masuyama-Sugi Planted in the Same Forest Site

Takatoh MATSUURA

同一林地内において、ボカスギ・マスヤマスギ若齢林の現存量と成長量を比較した。単位面積当たりの現存量・成長量は、両品種ともに全国各地の同齢級の林分に比べて大きかったが、その特徴は立木密度が高く、葉量が豊富であることに起因すると考えられた。幹や枝の現存量はボカスギがマスヤマスギを上回ったが、葉現存量はほぼ等しかった。また、最近1年間の林分成長量はボカスギの方が大きかった。ボカスギの葉の生産能率はマスヤマスギよりも高い値を示した。ボカスギの葉層は垂直方向に細長く分布していることから、水平方向への枝張りは小さいと推定され、このような樹冠の形状が隣接木との密度効果を低減し、葉の生産能率を高めている可能性が示唆された。

### 1. はじめに

ボカスギとマスヤマスギは富山県を代表するスギの挿し木品種である。ボカスギは小矢部市・氷見市・高岡市を中心とした地域に、マスヤマスギは砺波市とその周辺に分布し、ともに標高300m以下、最大積雪深1.5m以下の、積雪量の比較的少ない低山地に植栽されている<sup>12)</sup>。一方、両品種の幼若齢期の成長は、ボカスギは上位、マスヤマスギは下位と対照的である<sup>7)</sup>。

スギ人工林を対象とした既往の研究では、林分を構成する幹・枝・葉の現存量や成長量を調査し、地域や地域固有の品種によって森林の生産力に大きなばらつきがあることが報告されているが<sup>1~3, 15)</sup>、個々の品種の林分現存量や成長量を、林齢や立地環境が等しい条件の下で比較した事例は少ない。本報告では、同一林地内に植栽されたボカスギ・マスヤマスギの若齢林を対象に、各林分の生産力を推定するとともに、葉層の垂直分布に着目し、成長特性の相違について検討した。

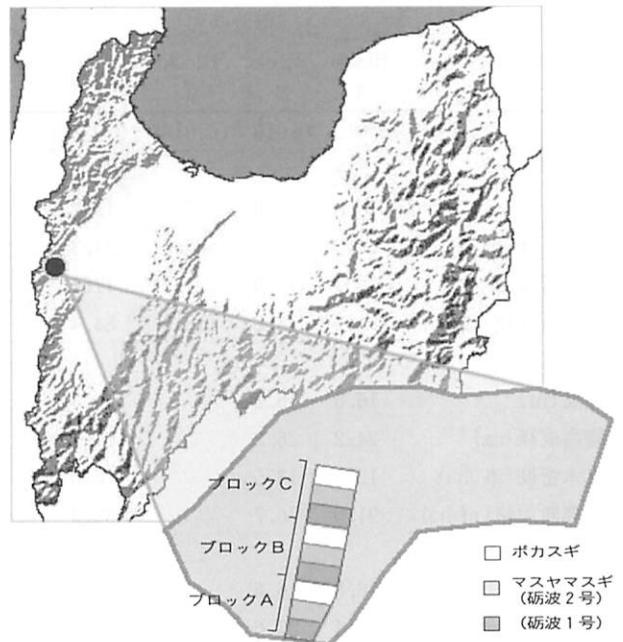


図-1 調査地の位置図とプロットの配置

※同図は国土地理院発行の数値地図 [1 : 25000, 250m メッシュ] (標高) を用いて作成した。

## 2. 材料及び方法

### 2.1 調査地の概況

調査地は富山県の西端、小矢部市北一地内に位置し、その経緯は北緯36度38分17秒、東経136度49分47秒である(図-1)。現地の標高は約100m、斜面方位はE、平均傾斜角は18度である。また、年平均気温は12.9℃、温量指数は102.3℃・月、年間降水量は2,590mm、最大積雪深は82cmと推定された<sup>5)</sup>。調査地の周囲にはボカスギを主体とした30~50年生の人工林が分布している。

調査地は次代検定林として設計されており、植栽年は1970年、植栽密度は2,500本/haである。現地の施業歴は定かではないが、調査実施時の過去数年間において植栽木の除間伐や枝打ちが行われた形跡は認められなかった。

調査林分はボカスギ・マスヤマスギとその他の1品種のプロットが平衡斜面に沿って反復して配置されたブロックに設定した(図-1)。

なお、アイソザイムを用いた遺伝子型の同定によって、ボカスギは単一クローンであり、マスヤマスギには複数のクローンが混在していることが確かめられている<sup>11)</sup>。本報告では、純粋マスヤマスギの系統とされる精英樹「砺波2号」を同品種の代表的な

クローンとして取り扱った。

### 2.2 調査方法

1996年5月(25年生)、1999年4~5月(28年生)にそれぞれ、調査林分の全個体の胸高直径、および2/3の個体の樹高を測定した。また、1997年8月(27年生)に胸高直径のみ毎木調査した。

1997年9月下旬~10月上旬と11月中旬(27年生)の2回に分けて、調査林分から各品種8本の標準木を直径階別に抽出し、地際から伐倒して、樹高・枝下高・当年伸長量を測定した。幹・枝・葉の重量の測定は層別刈取法に準じ、ただし層厚1mを単位として行った。緑枝や新鮮な球果は同化部として葉に含めた。枯れ枝や古い球果は対象から除去した。葉はさらに新葉と旧葉に分別した。また、連年の成長量や幹形の変化を調査するため、樹幹各層の最下部から円板を採取して樹幹解析を行った。さらに、層ごとに得られた幹・枝・葉の試料を105℃・48時間の条件下で乾燥し、その含水率を測定した。なお、本報告中の重量は全て、含水率を用いて絶乾重量に換算した値である。

得られた相対成長関係式を調査林分の全個体に当てはめ、林分および林分内の各構成要素の現存量・成長量を推定した。

表-1 調査林分の概況

	ボカスギ				マスヤマスギ (砺波2号)				(砺波1号)			
	Block A	Block B	Block C	Total	Block A	Block B	Block C	Total	Block A	Block B	Block C	Total
面積 (ha)	0.012	0.016	(0.018)	0.028	0.011	0.016	0.018	0.045	0.008	0.018	0.014	0.040
[25年生]												
樹高(m)	15.4	15.0	(17.4)	15.2	13.1	13.5	13.8	13.4	13.8	14.1	13.3	13.8
胸高直径(cm)	23.3	25.4	(37.0)	24.3	19.2	20.2	22.8	20.9	21.4	19.4	20.5	20.1
立木密度(本/ha)	2097	1500	(167)	1761	2037	2188	1833	2009	2125	2222	1786	2030
胸高断面積(m <sup>2</sup> /ha)	91.5	78.8	(18.0)	84.4	61.0	73.1	77.9	72.1	80.4	68.2	62.9	68.1
[27年生]												
樹高(m)	16.5	16.2		16.3	14.0	14.6	15.1	14.6				
胸高直径(cm)	24.2	26.2		25.1	19.7	21.5	23.3	21.7				
立木密度(本/ha)	1935	1375		1620	2037	2125	1833	1987				
胸高断面積(m <sup>2</sup> /ha)	91.0	76.7		82.9	64.8	78.8	82.4	76.9				
[28年生]												
樹高(m)	16.8	16.6		16.7	14.5	15.0	15.7	15.1				
胸高直径(cm)	25.4	27.6		26.4	20.2	22.1	24.3	22.5				
立木密度(本/ha)	1613	1125		1338	1852	1875	1667	1786				
胸高断面積(m <sup>2</sup> /ha)	84.0	69.3		75.7	62.3	73.4	81.0	73.8				

※ ( ) は欠測値であることを示す。

### 3. 結果

#### 3.1 林分の概況

各調査年次におけるプロットの概況を表-1に示す。

27年生時の各個体の樹高 ( $H$ :m) は、25年生の樹高 ( $H_{25yr}$ ) と28年生の樹高 ( $H_{28yr}$ ) から、その間の連年成長量が一定であったとみなして、以下の式により求めた。

$$H = H_{25yr} + (H_{28yr} - H_{25yr}) \times 2 / 3$$

また、一部の欠測値は、胸高直径 ( $D$ :cm) との相関が最も高かった NÄSLUND の曲線式にあてはめ、次式によって算出した。

[ボカスギ]

$$H = 1.3 + \frac{D^2}{(0.872 + 0.223D)^2} \quad (r^2 = 0.275) \quad \dots\dots\text{Eq. (1.1)}$$

[マスマスギ]

$$H = 1.3 + \frac{D^2}{(1.488 + 0.204D)^2} \quad (r^2 = 0.654) \quad \dots\dots\text{Eq. (1.2)}$$

表-2 各プロットの分散分析の結果 (25年生)

[樹高 (m)]				
要因	自由度	平方和	平均平方	F - 値
品種間	2	3.473	1.736	9.565*
ブロック間	2	0.012	0.006	0.034
誤差	3	0.545	0.182	
*危険率5%水準で有意				
[胸高直径 (cm)]				
要因	自由度	平方和	平均平方	F - 値
品種間	2	24.860	12.430	4.973
ブロック間	2	3.549	1.775	0.710
誤差	3	7.498	2.499	
[立木密度 (本/ha)]				
要因	自由度	平方和	平均平方	F - 値
品種間	2	159232	79616	1.344
ブロック間	2	168536	84268	1.422
誤差	3	177760	59253	

品種間・ブロック間の差を検定するため、ボカスギ・マスマスギ、および他の1品種の25年生時の測定値による分散分析を行った(表-2)。なお、ブロックCにおけるボカスギの立木密度は極めて低かったことから、このプロットを欠測として解析から除外した。ボカスギの樹高はマスマスギよりも大きかったが、胸高直径や立木密度に有意な差は認められなかった。一方、立木のサイズや密度に対してブロックによる効果は検出されなかった。このことから、本報告では、ブロックA・Bのボカスギ2プロットとブロックA~Cのマスマスギ3プロットを、それぞれ合わせて1個の林分として比較した。

27年生時における各品種の直径階別本数分布を図-2に示す。胸高直径の母集団が正規分布にしたがうとしてその標準偏差を求めると、ボカスギは4.561、マスマスギは4.481となり、そのばらつきに大きな違いは認められなかった。標準木は、ボカスギがブロックA・Bから各4本を、マスマスギがブロックA・Cから各2本、ブロックBから4本を抽出した。

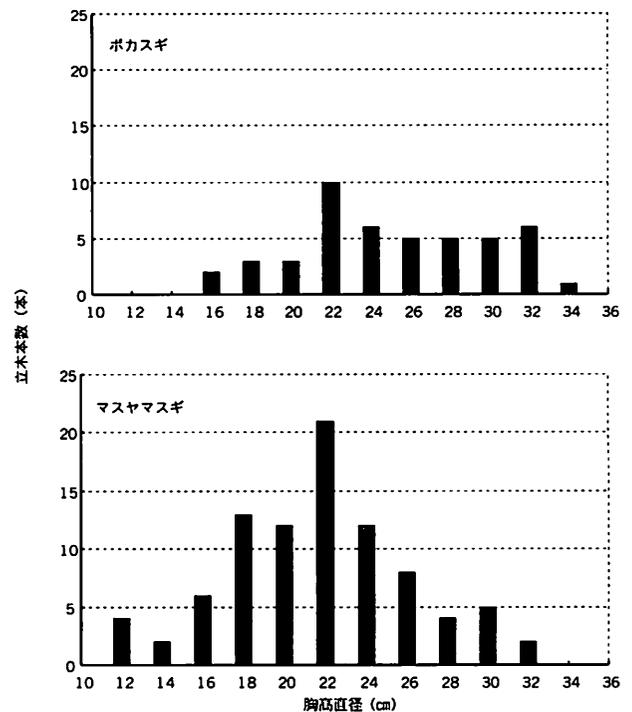


図-2 調査林分の直径階別本数分布 (27年生)

#### 3.2 標準木の樹高と胸高直径の推移

各標準木の樹高と胸高直径の推移を、それぞれ図-3と図-4に示す。樹高は調査時までほぼ直線的に増加しており、依然として良好な成長を示してい

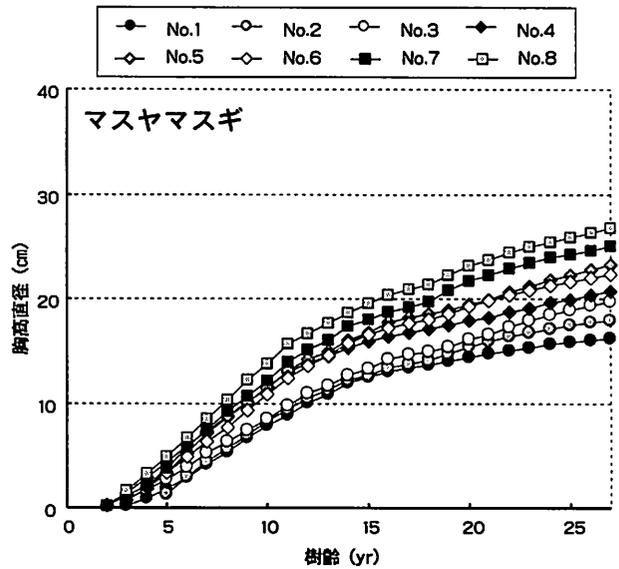
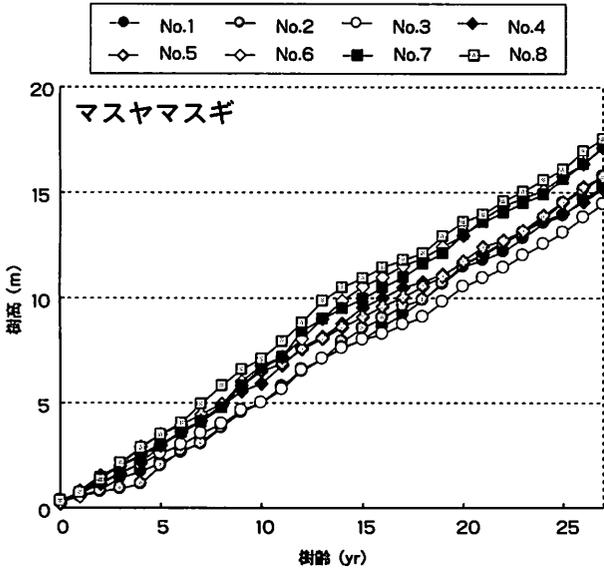
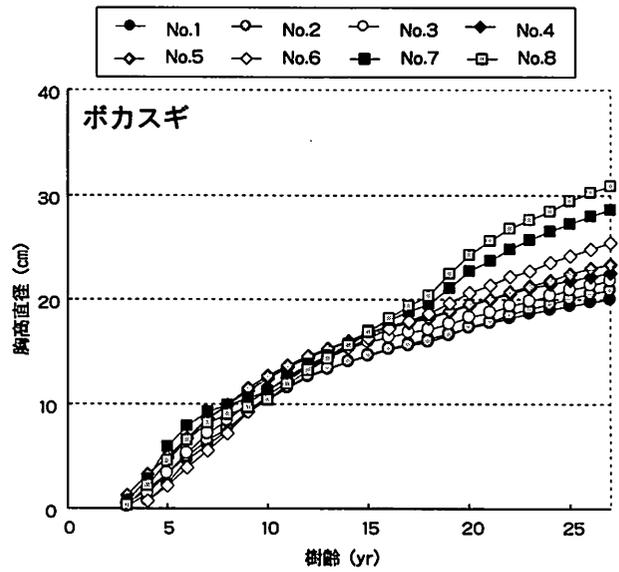
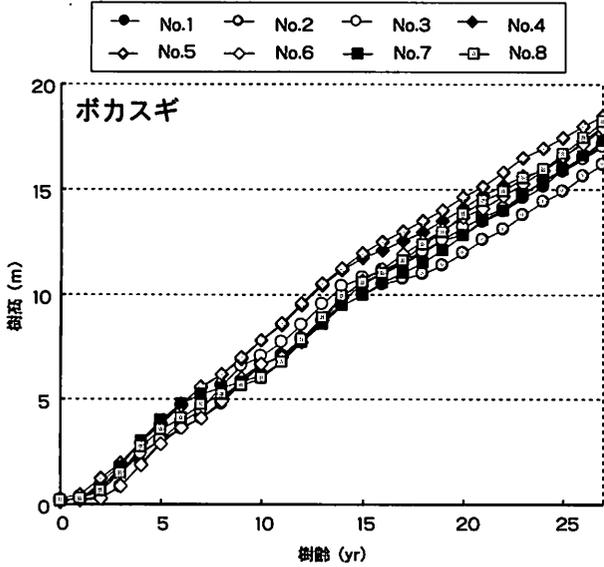


図-3 標準木の樹高の推移

※各標準木のNoは幹乾重が小さい順に付されている。

図-4 標準木の胸高直径の推移

※各標準木のNoは幹乾重が小さい順に付されている。

る。最近5年間の樹高成長量はポカスギが0.61m/yr、マシヤマスギが0.59m/yr とほぼ同値であった。胸高直径の成長は12~13年生以降に幾分鈍化しているが、その後も頭打ちの傾向は認められなかった。最近5年間の直径成長量はポカスギが0.56cm/yr と大きく、マシヤマスギの0.41cm/yr を上回った。

### 3.3 林分現存量

胸高直径の二乗値×樹高 ( $D^2H$ ) と幹材積 ( $V_s$ :  $\text{dm}^3$ ) との相対成長関係は、

[ポカスギ]

$$\log V_s = 0.866 \log D^2H - 0.897 \quad (r^2=0.989) \quad \dots \text{Eq. (2.1)}$$

[マシヤマスギ]

$$\log V_s = 0.926 \log D^2H - 1.132 \quad (r^2=0.996) \quad \dots \text{Eq. (2.2)}$$

で表され、両対数上で直線回帰する。共分散分析の結果、Eq. (2.1) と Eq. (2.2) との間に有意な差は認められなかった ( $F = 0.116$ ;  $d.f. = 1, 14$ ;  $p = 0.739$ )。

$D^2H$  と幹乾重 ( $W_s$ : kg) との相対成長関係は、

[ポカスギ]

$$\log W_s = 0.838 \log D^2H - 1.265 \quad (r^2=0.992) \quad \dots \text{Eq. (3.1)}$$

[マシヤマスギ]

$$\log W_s = 0.898 \log D^2 H - 1.539 \quad (r^2=0.990) \quad \dots\dots \text{Eq. (3.2)}$$

で表され、両式には有意な差が認められた ( $F = 8.503; d.f. = 1, 14; p = 0.011$ )。

幹材積 ( $V_s$ ) と幹乾重 ( $W_s$ ) を、原点を通る一次式で回帰すると、以下の関係式が得られる (図-5)。

[ボカスギ]

$$W_s = 0.330 V_s \quad (r^2=0.996) \quad \dots\dots \text{Eq. (4.1)}$$

[マシヤマスギ]

$$W_s = 0.304 V_s \quad (r^2=0.997) \quad \dots\dots \text{Eq. (4.2)}$$

Eq. (4.1)・(4.2) の傾きは幹比重を表しており、両式の間には有意な差が認められた ( $F = 10.918; d.f. = 1, 14; p = 0.005$ )。

幹乾重 ( $W_s$ ) と枝乾重 ( $W_B : \text{kg}$ ) との相対成長関係は、

[ボカスギ]

$$\log W_B = 1.990 \log W_s - 3.252 \quad (r^2=0.860) \quad \dots\dots \text{Eq. (5.1)}$$

[マシヤマスギ]

$$\log W_B = 1.396 \log W_s - 1.882 \quad (r^2=0.902) \quad \dots\dots \text{Eq. (5.2)}$$

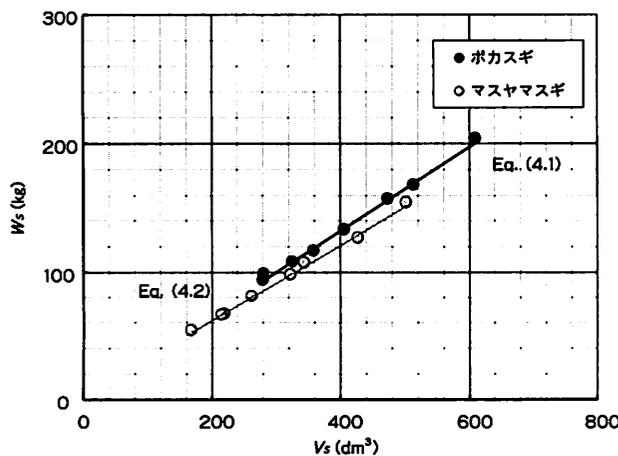


図-5 幹材積 ( $V_s$ ) と幹乾重 ( $W_s$ ) との関係

で表される (図-6)。幹乾重当たりの枝乾重は、優勢木ではほぼ等しいが、劣勢木ではボカスギがマシヤマスギより小さく、それぞれの関係式には有意な差が認められた ( $F = 4.833; d.f. = 1, 14; p = 0.045$ )。両式の傾きはともに1を超えていることから、優勢木ほど幹乾重に対する枝乾重の割合が大きいことがわかる。

幹乾重 ( $W_s$ ) と葉乾重 ( $W_L : \text{kg}$ ) との相対成長関係は、

[ボカスギ]

$$\log W_L = 1.228 \log W_s - 1.262 \quad (r^2=0.858) \quad \dots\dots \text{Eq. (6.1)}$$

[マシヤマスギ]

$$\log W_L = 0.860 \log W_s - 0.399 \quad (r^2=0.827) \quad \dots\dots \text{Eq. (6.2)}$$

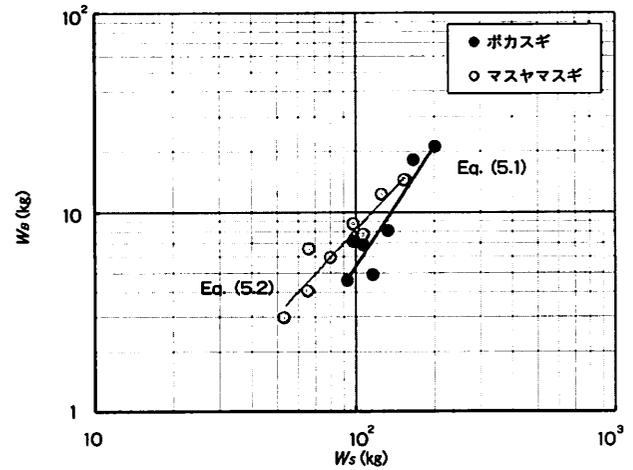


図-6 幹乾重 ( $W_s$ ) と枝乾重 ( $W_B$ ) との関係

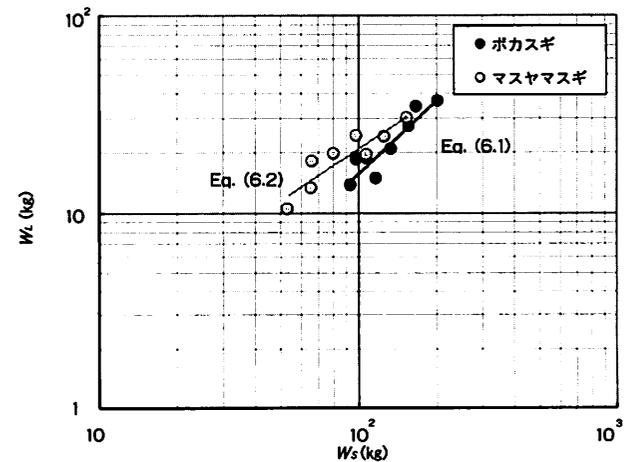


図-7 幹乾重 ( $W_s$ ) と葉乾重 ( $W_L$ ) との関係

で表され (図-7), 両式に有意な差が認められた ( $F = 4.918$ ;  $d.f. = 1, 14$ ;  $p = 0.044$ )。幹乾重当たりの葉乾重は, 枝乾重との関係と同様に, 優勢木では大差ないが, 劣勢木ではボカスギの方が明らかに小さかった。Eq. (6.1) の傾きは1を上回ったが, 逆に Eq. (6.2) の傾きは1より小さく, 優勢木ほど幹乾重に対する葉乾重の割合は減少している。

枝重量当たりの葉量が品種によって異なるかどうかを明らかにするため, 枝乾重 ( $W_B$ ) と葉乾重 ( $W_L$ ) との相対成長関係を求めた。

[ボカスギ]

$$\log W_L = 0.616 \log W_B + 0.747 \quad (r^2=0.992) \quad \dots\dots\text{Eq. (7.1)}$$

[マスヤマスギ]

$$\log W_L = 0.624 \log W_B + 0.754 \quad (r^2=0.940) \quad \dots\dots\text{Eq. (7.2)}$$

Eq. (7.1)・(7.2) の定数はほとんど同値であり, ボカスギとマスヤマスギとの差は見出されなかった ( $F = 0.914$ ;  $d.f. = 1, 14$ ;  $p = 0.355$ )。

Eq. (2.1) ~ (3.2), および Eq. (5.1) ~ (6.2) の各式に, 調査林分の個体の樹高・胸高直径を当てはめて得られた林分現存量を表-3に示す。

幹現存量 ( $Y_S$ ) はボカスギが210.49t/ha (材積 635.97 m<sup>3</sup>/ha), マスヤマスギが170.37t/ha (材積 558.86 m<sup>3</sup>/ha) であった。単木当たりの平均幹乾重 ( $\bar{W}_S$ ) はボカスギが129.96kg/本, マスヤマスギが85.76kg/本であり, 平均幹材積 ( $\bar{V}_S$ ) はボカスギが0.393 m<sup>3</sup>/本, マスヤマスギが0.281 m<sup>3</sup>/本であった。立木密度はボカスギよりもマスヤマスギの方が高いため, 単木当たりの値は単位面積当たりに比べて品種間の差が増大している。

枝現存量 ( $Y_B$ ) はボカスギが16.18t/ha, マスヤマスギが13.72t/ha であり, 幹現存量と同じくボカスギの方が大きかった。平均枝乾重 ( $\bar{W}_B$ ) はボカスギが9.99kg/本, マスヤマスギが6.90kg/本となった。

一方, 葉現存量 ( $Y_L$ ) はボカスギが35.57t/ha, マスヤマスギが36.06t/ha とほぼ等しかった。また, 平均葉乾重 ( $\bar{W}_L$ ) はボカスギが21.96kg/本, マスヤマスギが18.15kg/本であった。両品種の葉量の差は幹や枝と比べて小さく, マスヤマスギは幹に対してより多くの葉を付けていることがわかる。

表-3 調査林分の現存量 (27年生)

		ボカスギ	マスヤマスギ
幹材積	(m <sup>3</sup> /ha)	635.97	558.86
幹重量	(t/ha)	210.49	170.37
枝重量	(t/ha)	16.18	13.72
葉重量	(t/ha)	35.57	36.06
地上部 合計	(t/ha)	262.24	220.15

幹・枝・葉現存量を合計した地上部現存量 ( $Y_T$ ) はボカスギが262.24t/ha, マスヤマスギが220.15t/ha となった。幹・枝・葉への重量配分率は, ボカスギが80.3%・6.2%・13.6%, マスヤマスギでは77.4%・6.2%・16.4%であった。両品種を比較すると, マスヤマスギは幹への配分率が低く, 葉への配分率が高かった。

### 3.4 林分成長量

標準木の  $D^2H$  と樹幹解析によって求めた最近1年間の幹材積成長量 ( $\Delta V_S$ : dm<sup>3</sup>/yr) との相対成長関係は,

[ボカスギ]

$$\log \Delta V_S = 1.133 \log D^2H - 3.179 \quad (r^2=0.928) \quad \dots\dots\text{Eq. (8.1)}$$

[マスヤマスギ]

$$\log \Delta V_S = 0.955 \log D^2H - 2.457 \quad (r^2=0.941) \quad \dots\dots\text{Eq. (8.2)}$$

で表される。

幹乾重成長量 ( $\Delta W_S$ : kg/yr.) は幹材積 ( $V_S$ ) と幹材積成長量 ( $\Delta V_S$ ) から推定した。

$$\Delta W_S = W_S \times (\Delta V_S / V_S')$$

ただし, 上式の  $V_S'$  は樹皮を除いた材積である。調査林分における幹乾重 ( $W_S$ ) と幹乾重成長量 ( $\Delta W_S$ ) との関係は, 次式

[ボカスギ]

$$\log \Delta W_S = 1.319 \log W_S - 1.855 \quad (r^2=0.905) \quad \dots\dots\text{Eq. (9.1)}$$

[マスヤマスギ]

$$\log \Delta W_S = 1.006 \log W_S - 1.201 \quad (r^2=0.910) \quad \dots\dots\text{Eq. (9.2)}$$

によって表される。Eq. (8.1)・(9.1)の傾きは1より大きく、ボカスギの幹の成長率は個体が優勢であるほど大きくなることを示している。一方、Eq. (8.2)・(9.2)のマスヤマスギの傾きは1に近く、個体の大小による相違はほとんど認められなかった。 $D^2H$ と幹材積成長量との関係を表すEq. (8.1)・(8.2)から品種間の差は検出されず( $F = 0.116; d.f. = 1, 14; p = 0.739$ )、幹乾重と幹乾重成長量との関係式Eq. (9.1)・(9.2)についても同様であった( $F = 0.147; d.f. = 1, 14; p = 0.707$ )。

枝乾重成長量 ( $\Delta WB$ : kg/yr) は測定しなかったため、最近1年間に幹と枝の比率が変化していないと仮定して、Eq. (5.1)・(5.2)それぞれを時間tで微分することによって得られた関係式

[ボカスギ]

$$\Delta WB = 1.114 \times 10^{-3} W_S^{0.9898} \cdot \Delta W_S \quad \dots \text{Eq. (10.1)}$$

[マスヤマスギ]

$$\Delta WB = 1.834 \times 10^{-2} W_S^{0.3959} \cdot \Delta W_S \quad \dots \text{Eq. (10.2)}$$

から算出した<sup>8)</sup>。

葉乾重成長量 ( $\Delta WL$ : kg/yr) は、新葉の乾重量に等しいとし、また全葉量と新葉の量との間に比例関係が成立すると仮定して、以下の式

[ボカスギ]

$$\Delta WL = 0.259 WL \quad (r^2=0.887) \quad \dots \text{Eq. (11.1)}$$

[マスヤマスギ]

$$\Delta WL = 0.244 WL \quad (r^2=0.880) \quad \dots \text{Eq. (11.2)}$$

から求めた。Eq. (11.1)・(11.2)に分離は認められず( $F = 0.458; d.f. = 1, 14; p = 0.509$ )、全葉量に占める新葉の割合においても、品種による差異は見出されなかった。

Eq. (8.1) ~ (11.2)の各式から得られた林分成長量を表一4に示す。ただし、表中の成長量は最近1年間の増分であり、落枝葉や枯死体の量、動物による被食量は含めていない。

林分の幹乾重成長量 ( $\Delta Y_S$ ) は、ボカスギが40.52

表一4 調査林分の成長量 (27年生)

		ボカスギ	マスヤマスギ
幹材積成長量	( $\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{yr}$ )	40.52	34.49
幹重量成長量	( $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ )	14.07	11.00
枝重量成長量	( $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ )	2.20	1.24
葉重量成長量	( $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ )	9.21	8.80
地上部 合計	( $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ )	25.49	21.04
葉の純同化率	( $\text{t}/\text{t}\cdot\text{yr}$ )	0.825	0.695
葉の幹生産能力	( $\text{t}/\text{t}\cdot\text{yr}$ )	0.396	0.305

$\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{yr}$ , 14.07 $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ であり、マスヤマスギは34.49 $\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{yr}$ , 11.00 $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ であった。また、それぞれの枝乾重成長量 ( $\Delta Y_B$ ) は2.21 $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ , 1.24 $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ 、葉乾重成長量 ( $\Delta Y_L$ ) は9.22 $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ , 8.81 $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ と推定された。地上部の成長量に占める幹・枝・葉への配分率は、ボカスギが55.2%・8.6%・36.2%、マスヤマスギが52.3%・5.9%・41.8%となった。マスヤマスギの林分成長量は現存量と同様に、ボカスギに比べて葉への配分率が高くなっている。

地上部と地下部の現存量の比は林齢や密度による影響が小さくおよそ一定であることから、T/R率を3.5として根の現存量を求め<sup>14)</sup>、さらに幹と根の成長率がともに等しいとして根の成長量を推定した<sup>4)</sup>。地上部と地下部を合わせた最近1年間の総成長量 ( $\Delta Y_T$ ) は、ボカスギが29.35 $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ 、マスヤマスギが25.08 $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ と算出された。

### 3.5 葉の生産能力

個々の標準木について、葉乾重 ( $WL$ ) と最近1年間の総成長量 ( $\Delta WT$ ) との関係性を求めると、

[ボカスギ]

$$\log \Delta WT = 1.102 \log WL - 0.225 \quad (r^2=0.964) \quad \dots \text{Eq. (12.1)}$$

[マスヤマスギ]

$$\log \Delta WT = 1.137 \log WL - 0.352 \quad (r^2=0.960) \quad \dots \text{Eq. (12.2)}$$

によって表される (図一8)。Eq. (12.1) と Eq. (12.2) の傾きはほとんど変わらず、切片の差によって平行移動した配置となった ( $F = 8.546; d.f. = 1, 14; p = 0.011$ )。また、葉乾重 ( $WL$ ) と最近1年間の幹乾重成長量 ( $\Delta W_S$ ) との関係は、

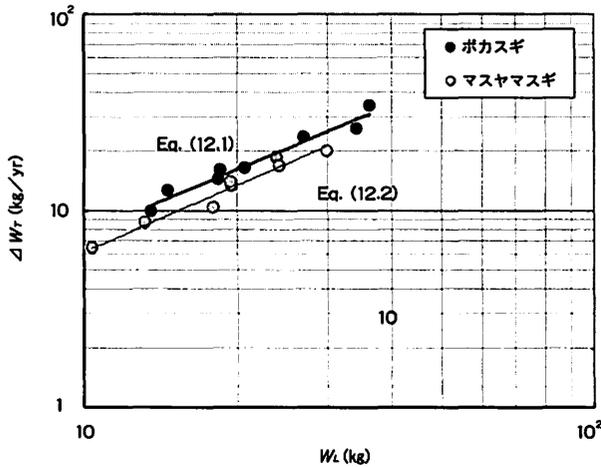


図-8 葉乾重 ( $W_L$ ) と総乾重成長量 ( $\Delta W_T$ ) との関係

[ボカスギ]

$$\log \Delta W_T = 1.036 \log W_L - 0.449 \quad (r^2=0.981) \quad \dots\dots \text{Eq. (13.1)}$$

[マサヤマスギ]

$$\log \Delta W_T = 1.094 \log W_L - 0.636 \quad (r^2=0.961) \quad \dots\dots \text{Eq. (13.2)}$$

によって表され、両式には Eq. (12.1)・(12.2) と同じような傾向が認められた ( $F = 11.330$ ;  $d.f. = 1, 14$ ;  $p = 0.005$ )。両式の相対成長関係は、葉量の増加率とほぼ等しい割合で成長量も増加していることを示すとともに、葉量当たりの成長量はボカスギの方が大きいことを表している。

最近1年間の総成長量 ( $\Delta Y_T$ ) を葉乾重現存量 ( $Y_L$ ) で除することによって得られる葉の純同化率は、ボカスギが  $0.825 \text{ t} \cdot \text{yr}$ 、マサヤマスギが  $0.695 \text{ t} \cdot \text{yr}$  であった。また、最近1年間の幹乾重成長量 ( $\Delta Y_S$ ) を葉乾重現存量 ( $Y_L$ ) で除して葉の幹生産能率を求めると、ボカスギは  $0.396 \text{ t} \cdot \text{yr}$ 、マサヤマスギは  $0.305 \text{ t} \cdot \text{yr}$  であった。マサヤマスギは、幹・葉・枝の全ての成長量がボカスギより小さいにもかかわらず、葉現存量ではほぼ等しかったため、葉の純同化率や幹の生産能率はボカスギに比べて低い値となった。

### 3.6 葉層の垂直分布

各標準木の枝下高から求められた樹冠長の平均値はボカスギが  $10.3 \text{ m}$ 、マサヤマスギが  $7.9 \text{ m}$  であり、樹冠長率はそれぞれ  $58.4\%$ 、 $48.8\%$  を示した。ボカスギの樹冠長は絶対値・相対値ともに大きかった。樹冠長 ( $L_c$ : m) と葉乾重 ( $W_L$ ) との関係を求め

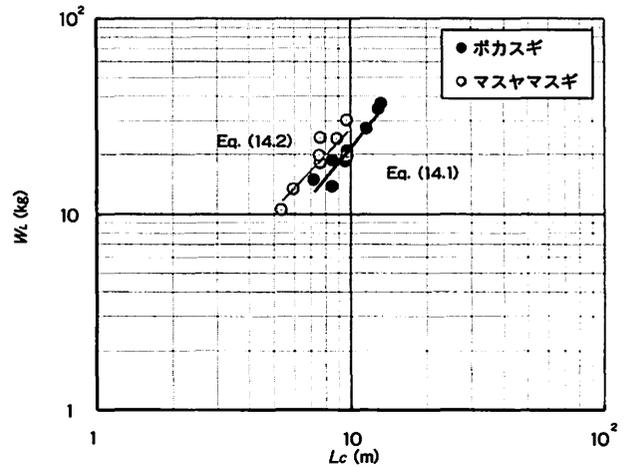


図-9 樹冠長 ( $L_c$ ) と葉乾重 ( $W_T$ ) との関係

たところ、以下の式が得られた (図-9)。

[ボカスギ]

$$\log W_L = 1.581 \log L_c - 0.247 \quad (r^2=0.904) \quad \dots\dots \text{Eq. (14.1)}$$

[マサヤマスギ]

$$\log W_L = 1.374 \log L_c - 0.058 \quad (r^2=0.764) \quad \dots\dots \text{Eq. (14.2)}$$

Eq. (14.1) と Eq. (14.2) には有意な差が認められた ( $F = 5.426$ ;  $d.f. = 1, 14$ ;  $p = 0.035$ )。それぞれの品種において、樹冠長の増加にともなって葉量も大きくなる傾向が見出されたが、樹冠長当たりの葉乾重はボカスギがマサヤマスギよりも小さかった。

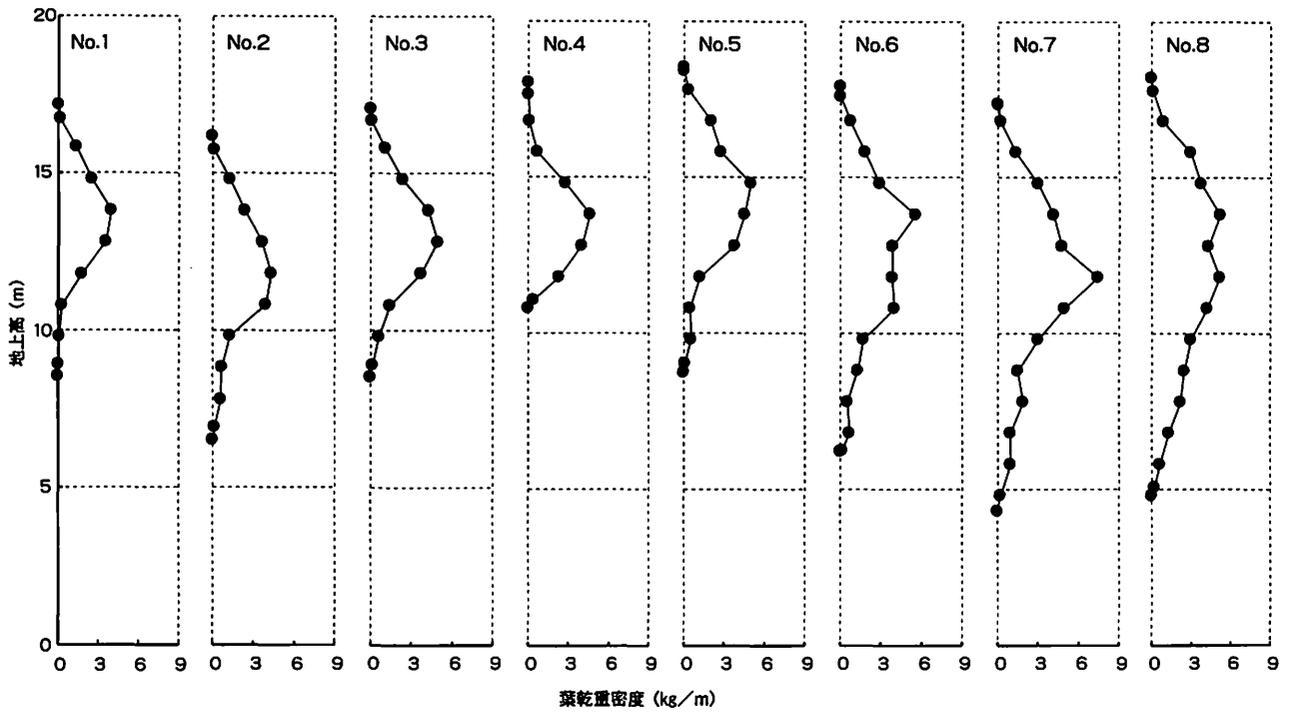
各標準木の葉の垂直分布を図-10に示す。マサヤマスギの葉層は優勢木と劣勢木との間に明瞭な差がないが、ボカスギの葉層は優勢木ではかなり深くなっている。

葉の分布の相違を明らかにするために、各層の葉量の相対値を求め、正規分布の確率密度関数

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left\{\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}} \quad \dots\dots \text{Eq. (15)}$$

により近似したところ、定数の値と相関係数は表-5のようになった。Eq. (15) の定数はそれぞれ葉分布の垂直方向の平均値 ( $\mu$ : m)、および標準偏差 ( $\sigma$ ) を表している。樹高はボカスギの方が  $1.5 \text{ m}$

ボカスギ



マスマスギ

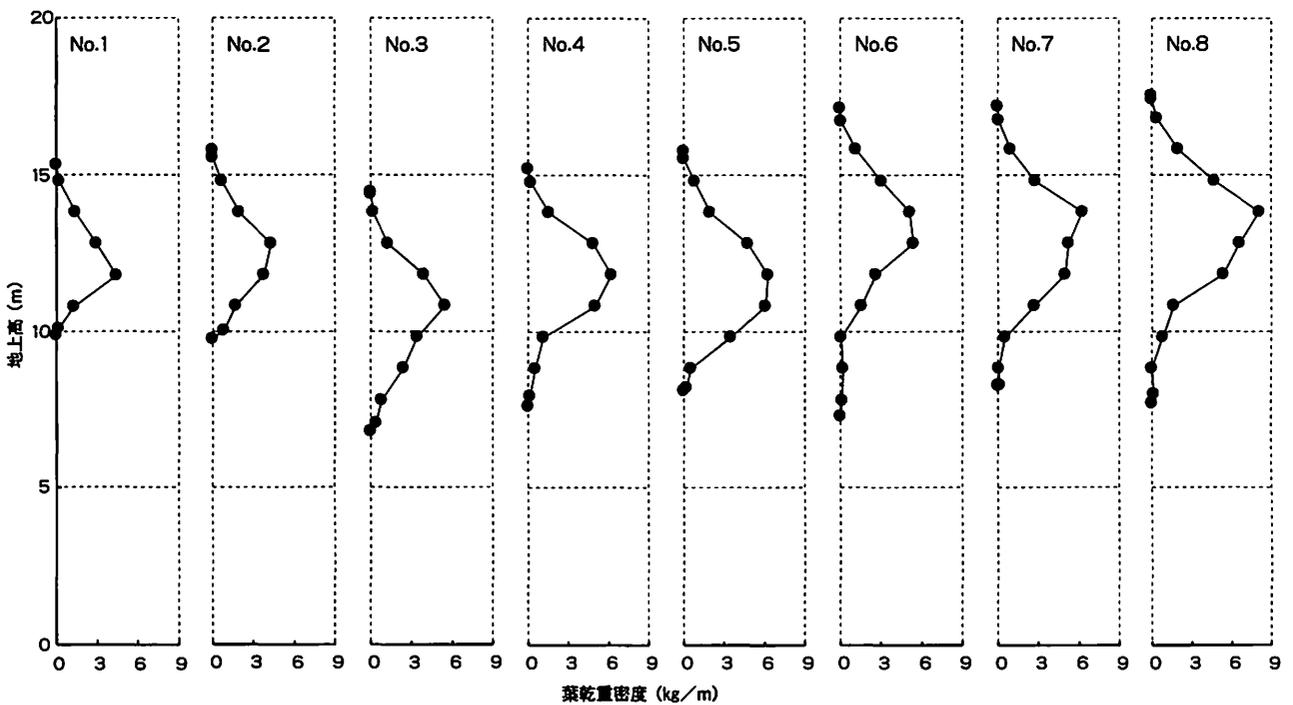


図-10 葉の垂直分布

※各標準木のNoは幹乾重が小さい順に付されている。

ほど大きいにもかかわらず、両品種の葉層はボカスギが12.9m、マスマスギが12.7mとほぼ同じ高さに分布の中心がある。また、標準偏差はボカスギが平均して1.843、マスマスギが1.317であり、ボカスギの葉層は垂直方向に対して分散し、マスマス

ギは集中的な分布を示している。

4. 考察

本報告ではブロックごとに分割された複数のプロットを一括して評価しているが、調査林分の各プロ

表一五 正規分布の確率密度関数の定数と相関係数

	幹乾重 (kg)	葉乾重 (kg)	$\mu$	$\sigma$	$r^2$
ボカスギ					
No.1	93.6	13.7	13.6	1.358	0.990
No.2	98.7	18.5	12.0	1.656	0.969
No.3	108.1	18.6	13.0	1.491	0.994
No.4	116.7	14.8	13.5	1.222	0.984
No.5	133.4	20.8	14.3	1.645	0.971
No.6	156.9	27.0	12.7	2.276	0.908
No.7	167.5	34.2	12.0	2.213	0.916
No.8	203.2	36.3	12.3	2.884	0.929
マスヤマスギ					
No.1	53.6	10.4	12.1	0.926	0.959
No.2	66.1	13.3	12.4	1.170	0.984
No.3	66.7	18.1	13.9	1.388	0.968
No.4	80.7	19.6	11.8	1.189	0.987
No.5	98.0	24.2	11.6	1.426	0.986
No.6	107.4	19.5	13.3	1.388	0.986
No.7	126.4	23.9	12.9	1.542	0.966
No.8	153.8	29.9	13.3	1.508	0.982

ツクの成長や立木密度に差は認められなかったことから、林分内の立地環境は一様であると見なされる。なお、ボカスギの一部のプロットにおいて個体の多くが消失したことは、同プロットが凹地形の底部に位置しており、土壌の過湿や雪圧害の発生が顕著であったためと考えられる。

25年生時におけるボカスギの平均樹高は、同品種の収穫表の一等地13.6~15.3m<sup>13)</sup>の範囲にあった。ボカスギに比べて成長に劣るマスヤマスギの樹高は、ボカスギの一等地のほぼ下限値に相当した。また、各標準木の樹高や胸高直径の推移から、27年生時においても林分の成長が持続していることが示唆された。したがって、調査地は両品種の生育にとって好適な環境であったといえる。

調査林分の平均樹高 ( $\bar{H}$ ) と立木密度 ( $\rho$ ) から得られた収量比数<sup>9)</sup> ( $Ry$ ) は、ボカスギが0.81、マスヤマスギが0.82に達していたが、両品種の差は小さかった。胸高直径の平均値 ( $\bar{D}$ ) を坂口が求めた最多密度曲線<sup>10)</sup> に適用すると、それぞれの最多密度

はボカスギが1,652本/ha、マスヤマスギが2,091本/haとなり、調査林分にはほぼ等しい値が得られた。このことから、調査地は過密な林分であったといえる。

両品種の幹現存量は、全国各地のスギ人工林を調査した、同齢級での平均的な数値100t/ha 前後<sup>4)</sup>よりはるかに大きく、良好な成長を示しているボカスギの25年生時における166t/ha や209t/ha<sup>1)</sup>に匹敵する。

幹現存量密度 ( $Y_s/\bar{H}$ ) はボカスギが12.88t/ha・m、マスヤマスギが11.66t/ha・mとなった。一般的なスギ人工林の幹現存量密度は最大で11t/ha・m、高度にクローン化したアヤスギ林分では13t/ha・mであることから<sup>15)</sup>、調査林分の蓄積は樹高に対しても非常に大きいことがわかる。

以上の結果から、調査林分は樹高・胸高直径の成長が良好であることに加えて、立木密度が非常に高く、したがって単位面積当たりの幹現存量も極めて大きいと結論される。

品種間の幹現存量を比較すると、ボカスギの幹材積はマスヤマスギの1.14倍、幹乾重は1.24倍であった。また、単木当たりの幹材積はマスヤマスギの1.40倍、幹乾重は1.52倍となった。ボカスギは林分としても単木としても、マスヤマスギよりも成長が旺盛であった。

幹材積に対して幹乾重による差が相対的に大きいのは、これは Eq. (4.1)・(4.2) から得られた幹比重の違いを反映している。調査林分のボカスギの幹比重0.33は、各地のスギ人工林の平均値0.35<sup>15)</sup>と比較すると小さいが、既報のボカスギ林分の値0.30~0.34<sup>1)</sup>の範囲に含まれることから、品種の特性によるものと考えられる。マスヤマスギの幹比重はかなり小さく、成長の良いボカスギに等しかった<sup>1)</sup>。同品種に関する報告はほとんどないが、幹比重は成長量が大きいくほど減少する傾向が認められ<sup>15)</sup>、調査林分の値もまた良好な成長の影響を受けていると推定される。

なお、幹比重と強度との間には正の相関が見出されている。マスヤマスギはボカスギに比べて幹の強度が高く<sup>6)</sup>、調査林分におけるマスヤマスギの幹比重がボカスギよりもさらに小さかったことは、想定された結果と異なっていた。

既報によれば、葉現存量の最大値は26~30t/haに達するが<sup>15)</sup>、林分が閉鎖して密度がある程度増加す

ると、林齢や地位に関係なく20t/ha前後となる<sup>3)</sup>。調査林分は密度の高い状態でありながら、葉現存量はこれらの値より大きく、25年生の成長の良いボカスギの29.0~32.0t/ha<sup>1)</sup>に相当した。また、地上部現存量が200~300t/haの範囲にある林分の幹・枝・葉への配分率は、それぞれ86%・5%・9%であった<sup>15)</sup>。調査林分は葉の割合が大きく、特にマヤマスギでは著しく高い値を示した。

調査林分の幹乾重成長量を全国各地の20~35年生林分から得られた平均値10.4t/ha・yr<sup>15)</sup>と比較すると、ボカスギの成長量は非常に大きい、マヤマスギは平均をやや上回る程度であった。

全国各地の若齢林分の葉乾重成長量は、平均値が4.9t/ha・yrと調査林分よりかなり小さく、地上部の成長量に対する葉への配分率もその多くが30%以下であったことから<sup>15)</sup>、調査林分では葉生産が盛んに行われていたことがわかる。一方、現存量と成長量はそれぞれよく対応しており、ボカスギとマヤマスギの葉乾重成長量は現存量と同様にほぼ等しかった。

同化器官である葉の現存量が大きければ大きいほど、林分の生産力は増加する傾向が認められ<sup>4)</sup>、ボカスギの旺盛な成長もまた豊富な葉量が寄与しているとの指摘がある<sup>1)</sup>。マヤマスギの成長は富山県のスギ品種の中でも最下位に位置しており、調査林分においてもその成長量はボカスギを下回っていたことから、マヤマスギの葉量はボカスギに比べて小さいと推定された。しかしながら、両品種の葉現存量には差が認められなかった。

25年生のボカスギ林の純同化率0.74~0.86や幹生産能率0.31~0.45<sup>1)</sup>と比較すると、調査林分のボカスギの値は平均的であった。これに対して、マヤマスギは、幹・枝・葉の全ての成長量がボカスギより小さいにもかかわらず、葉現存量ではほぼ等しかったため、葉の純同化率や幹生産能率はかなり低い値となっている。

純同化率は林分の密度が高まるとともに低下する傾向が認められるが、その原因として、隣接木との樹冠の重なりが大きくなり、光条件の悪化によって葉の同化量が減少することが指摘されている<sup>4)</sup>。調査林分の葉現存量には品種による違いがほとんど認められなかったが、葉量が等しくとも、枝張りが大きく、隣接木に被陰される葉の割合が高ければ、純

同化率は低い値をとりうる。Eq. (8.1)・(8.2)に差が認められなかったことから、両品種の枝の大きさと葉量との関係に違いはなく、各層の葉密度は樹冠幅の大小を反映していると考えられる。図-10に示された葉層の分布から、ボカスギの樹冠は垂直方向に細長く伸びた形となり、マヤマスギの樹冠はボカスギに比べて水平方向への張り出しが大きいと推定された。このことは、ボカスギは枝の枯れ上がりが小さく、樹冠は長楕円形を呈することや、マヤマスギの枝が長大であることなど、それぞれの形態的特徴<sup>12)</sup>と一致する。ボカスギの細く長い樹冠形は、隣接木との密度効果が小さく、葉の生産能率を高める上で有利に作用すると考えられる。

本報告では樹冠の形状を直接測定していないため、葉の生産能率との関係を明らかにするには不十分な点が多く、より詳細な検討が必要である。また、ボカスギの成長は一般に、林冠が閉鎖していない幼齢期においてもマヤマスギより旺盛であることから<sup>7)</sup>、両品種の生産性の相違は樹冠形以外の要因、例えば樹冠内の葉の分布や葉の光合成能力そのものに起因する可能性も指摘される。

## 謝 辞

本稿の執筆に当たり、調査の実施に御協力いただいた富山県林業技術センター林業試験場、ならびに県農地林務事務所の各位に対して、ここに深く感謝の意を表する。

## 引用文献

- 1) 相浦英春：ボカスギ人工林の生産力、富山林技七研報1, 11-19 (1988)。
- 2) 相浦英春：氷見市針木地内に成立するカワイダニスギ若齢林の生産力と成育経過、富山林技七研報10, 59-68 (1997)。
- 3) 安藤貴：同齢単純林の密度管理に関する生態学的研究、林試研報210, 1-153 (1968)。
- 4) 安藤貴・蜂屋欣二・土井恭二・片岡寛純・加藤善忠・坂口勝美：スギ林の保育形式に関する研究、林試研報209, 1-76 (1968)。
- 5) 石田仁：富山県における気候値メッシュファイル(気温、降水、積雪深)の特性、雪氷53, 45-51 (1991)。
- 6) 嘉戸昭夫・平英彰・中谷浩：スギ3品種の冠雪

- 害の差異と立木強度, 富山林試研報11, 7-17 (1986).
- 7) 松浦崇遠: 富山県における主要なスギ挿し木品種の成長特性と耐雪性: 富山林技セ研報11, 7-19 (1998).
- 8) OGAWA, H.: Principles and methods estimating primary production in forest, JIBP Synthesis 16, 29-37, University of Tokyo, Tokyo, (1977).
- 9) 林野庁: 人工林林分密度管理図解説書一 東北・北陸地方スギ林分密度管理図一, 日林協 (1999).
- 10) 坂口勝美: 間伐の本質に関する研究, 林試研報 131, 1-95 (1961).
- 11) 平英彰: 富山県のスギ挿し木品種—パーオキシダーゼ・アイソザイムによるスギ挿し木品種の分類と同定—, 富山林試研報 5, 1-66 (1979).
- 12) 富山県農地林務部・富山県緑化推進委員会: 富山のスギ林業 (1966).
- 13) 富山県林業試験場: 富山県主要樹種林分収穫表 (1965).
- 14) 山田勇・四手井綱英: スギ林の根の現存量について, 京大演報40, 67-80 (1968).
- 15) 四大学 (北大, 東大, 京大, 大阪市大) および信大合同調査班: 森林の生産力に関する研究第Ⅲ報—スギ人工林の物質生産について—, 1-40, 日林協, (1966).

### Summary

Biomass and increments of young stands were compared between two cutting cultivars, Boka-sugi and Masuyama-sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) in the same forest site. The surveyed stands were characterized by biomass and increments per area of both cultivars were larger than averages of each stand in various districts at even age, and this was caused by high stand density and abundance of leaf. The biomass of Boka-sugi stand was larger than that of Masuyama-sugi stand for stem and branch, but equal for leaf. Last annual increment of Boka-sugi stand was larger. Consequently, production efficiency per leaf weight of Boka-sugi stand was higher than that of Masuyama-sugi stand. Vertical foliage distribution of Boka-sugi was long and narrow shaped, so it was estimated its branch spread was small horizontally. These results suggested that crown form such as Boka-sugi had an advantage of decreasing density effect and enhanced production efficiency with leaf.