

## スギ同齢林における樹幹表面積の測定とその結果

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
巻/号	608
掲載ページ	p. 308-312
発行年月	1978年8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



## 短 報

## スギ同齢林における樹幹表面積の測定とその結果\*

梶原 幹 弘\*\*

## I はじめに

樹幹表面積には二つの意味づけがなされている。一つは、森林計測学の分野(1, 3, 4, 14~16)におけるもので、樹幹表面積を形成層の面積としてとらえ、これと年輪幅との積として幹材積生長量を与えようというものである。もう一つは、森林生態学の分野(2, 17, 20)におけるもので、幹の呼吸量はその体積や重量ではなく表面積に比例するという立場から、幹の呼吸量推定における基礎量としてこれを用いようというものである。ところが、現在のところこれといった樹幹表面積の測定方法はなく、またわが国では林分樹幹表面積の調査結果(2, 15, 17~21)も少ないために、その実態はまだほとんど明らかになされていない。

立木のままで樹幹表面積を測定する一つの方法を考え、その方法によって多くのスギ同齢林の林分樹幹表面積を求めた結果、林分樹幹表面積の生育段階による変化を中心に若干の知見を得たので、これらについて報告する。なお、その意味づけからいって、厳密には皮内の樹幹表面積が対象となるべきであるが、ここではさしあたり皮外のものをとりあげていることを断わっておく。

## II 測定方法

樹幹表面積の求め方として、HUSCH ほか(4)は、(i) 幹曲線の回転体表面積として求める方法、(ii) 各地上高での幹の周囲の長さをもとに求める方法、(iii) 樹幹表面積表を用意しておきこれを利用する方法、(iv) Polyareal plot sampling による方法、の四つをあげているが、この分類によればここで考えた方法は (i) に属する。しかし、これまでのように樹幹に近似する幾何学的立体のものとしてではなしに、より現実に近いものとして推定した幹曲線をもとにしている点が異なっている。幹曲線の一つの表現として、樹高  $h$  と梢端から樹高の  $9/10$  の位置の基準直径  $d_{0.9}$  とをそれぞれ 1 とおくことによって得られる相対幹曲線がある。先に報告(5)したように、同齢林では、相対幹曲線は樹幹の大きさにかかわらず類似性を示す。そこで、このような相対幹曲

線の性質を利用して、林分の平均相対幹曲線から各樹幹の現実の幹曲線を推定し、それをもとに表面積を算定するのがこの方法の特徴である。なお、これと似た手法で作成する林分構造図(13)に示された各地上高における樹幹直径の頻度分布をもとに、その樹幹周囲を求めれば、前記の(ii)の方法で林分樹幹表面積を推定することもできるが、この方法は実行が煩雑であるので、ここではこれとはまた違った方法をとった。

相対幹曲線式として式(1)のパーレ型の式を採用した。この式は正確でないにしても、古くから幹曲線式としての実績をもっており、筆者の実験的検討結果(6)でもかなりの適合を示しているので、結果的に大きな誤差は生じないであろう。定義によれば、相対幹曲線は必ず(0.9, 0.5)を通るので、この条件を式(1)に入れると式(2)の関係が得られる。

$$y = \frac{x}{a+bx} \quad (1)$$

$$b = 2 - \frac{10}{9}a \quad (2)$$

梢端からの距離  $X$  とその相対距離  $x$ 、幹の半径  $Y$  とその相対半径  $y$  との間には、それぞれ式(3)、(4)の関係があるので、これらを式(1)に代入すれば、式(5)の現実の幹曲線が得られる。

$$x = X/h \quad (3)$$

$$y = Y/d_{0.9} \quad (4)$$

$$Y = \frac{d_{0.9}X}{ah+bX} \quad (5)$$

式(5)に式(2)を代入して  $b$  を消去した幹曲線式の回転体表面積として樹幹表面積  $s_s$  を求めると式(6)のようになる。

$$s_s = \int_0^h \frac{18\pi d_{0.9}X}{\{9ah + (18-10a)X\}^3} \cdot \sqrt{\{9ah + (18-10a)X\}^4 + 9^4 a^2 d_{0.9}^2 h^2} \cdot dX \quad (6)$$

式(6)のままでの積分は無理であるので、幹長を4等分した場合のシンプソンの公式によってこれの近似値を求めると、 $s_s$  は式(7)のようになる。

$$s_s \doteq \frac{\pi}{4} d_{0.9}^2 \left\{ \frac{12}{(13a+9)^3} \sqrt{\left(\frac{h}{d_{0.9}}\right)^2 (13a+9)^4 + 18^4 a^2} \right.$$

\* Mikihiro KAJIHARA: Measurement of stem surface area and the results in even-aged stands of *Cryptomeria japonica*

\*\* 京都府立大学農学部 Fac. of Agr., Kyoto Prefectural Univ., Kyoto 606

$$\begin{aligned}
 & + \frac{6}{(4a+9)^3} \sqrt{\left(\frac{h}{d_{0.9}}\right)^2 (4a+9)^4 + 9^4 a^2} \\
 & + \frac{12}{(a+9)^3} \sqrt{\left(\frac{h}{d_{0.9}}\right)^2 (a+9)^4 + 6^4 a^2} \\
 & + \frac{6}{(18-a)^3} \sqrt{\left(\frac{h}{d_{0.9}}\right)^2 (18-a)^4 + 9^4 a^2} \quad (7)
 \end{aligned}$$

相対幹曲線の膨らみの指標として、ふつうは  $d_{0.9}$  に対する樹幹中央の直径  $d_{0.5}$  の比  $\eta_{0.5}$  が用いられるが、 $a$  と  $\eta_{0.5}$  の間には式 (8) の関係がある。これは、式 (1) に式 (2) を代入して  $b$  を消去し、それに  $\eta_{0.5}$  の相対幹曲線上での座標  $(0.5, (1/2)\eta_{0.5})$  を代入して求めたものである。

$$a = \frac{9}{4} \left( \frac{1}{\eta_{0.5}} - 1 \right) \quad (8)$$

式 (7) で基準断面積  $(\pi/4)d_{0.9}^2$  をもとにすると、{ } 内が樹幹表面積係数に当たり、これは形状比  $h/d_{0.9}$  と相対幹曲線の膨らみ  $a$  とによって定まる。 $(\pi/4)d_{0.9}^2$  や  $h/d_{0.9}$  が大きくなるにつれて  $s_s$  が増大するのはとうぜんの結果であるが、式 (7) では  $a$  の変化に対応しての動きが明らかではない。しかし、式 (8) が示すように、 $a$  と  $\eta_{0.5}$  とではその増減関係は逆である。すなわち、 $\eta_{0.5}$

が大きくなって相対幹曲線の膨らみが増すにつれて  $a$  は小さくなるという関係にあるため、円錐体から円柱体という一般的な幹形の変化域に対応する  $1.8 \geq a \geq 0$  の範囲について、式 (8) により計算してみると、 $a$  が小さくなるにつれて、いいかえれば  $\eta_{0.5}$  が大きくなるにつれて、 $s_s$  は増大する結果になっていた。式 (7)、(8) によって  $s_s$  を求めるには、 $d_{0.9}$ 、 $d_{0.5}$  および  $h$  を知る必要がある。筆者は、 $h$  ならびに  $d_{0.9}$  と  $d_{0.5}$  の位置をシュピーゲル・レラスコープで測定した後、 $d_{0.9}$  や  $d_{0.5}$  の位置が手のとどく範囲であれば輪尺で、そうでない場合にはペンタプリズム・ツリー・キャリパーで、それらの大きさを測っている。同齢林を対象とする場合には、前述したように林分内の木の相対幹曲線はほぼ同じであると考えられるので、 $d_{0.5}$  は毎木測定を行なわないで標本木について測定し、これより求めた  $\eta_{0.5}$  の平均値を用いることができる。このようにすれば、最もわずらわしい  $d_{0.5}$  の測定の手間を著しく軽減することができる。なお、式 (7) の { } 内の樹幹表面積係数の計算にあたっては、あらかじめ  $h/d_{0.9}$  と  $a$  のそれぞれの値に対応する数値を算定して樹幹表面積係数表を作り、これを利

表-1. 資料 (大分のスギ人工林)  
Material (*Cryptomeria japonica* plantations in Ōita)

Stand	Age	$N$ (No./ha)	$\bar{d}_b$ (cm)	$\bar{h}$ (m)	$\bar{h}/\bar{d}_{0.9}$	$\bar{\eta}_{0.5}$	$G_{0.9}$ (m <sup>2</sup> /ha)	$G_b$ (m <sup>2</sup> /ha)	$S_s$ (ha/ha)
I-3	12	3,333	6.6	4.5	53	0.521	19.3	11.8	0.2196
I-4	14	3,175	12.2	8.5	66	0.611	42.3	37.5	0.6496
I-5	20	2,130	15.9	10.0	61	0.612	47.4	43.2	0.6530
I-6	30	1,639	18.6	14.5	81	0.727	42.6	45.3	0.9042
I-7	39	1,131	26.9	19.4	79	0.678	54.8	62.4	1.0339
I-12	20	3,226	11.0	8.2	64	0.652	43.2	33.4	0.6395
I-13	20	3,188	13.5	9.1	65	0.651	50.0	47.1	0.7736
I-14	21	2,085	15.3	8.9	55	0.598	47.0	40.0	0.5840
I-15	22	2,328	14.3	10.8	72	0.598	40.1	39.6	0.6466
I-16	36	1,416	20.5	15.8	78	0.648	44.9	47.4	0.8518
I-17	36	1,961	17.9	13.8	77	0.617	49.6	50.7	0.8819
I-18	36	1,606	18.1	12.9	74	0.651	40.3	42.6	0.7034
I-19	40	1,159	24.2	18.3	78	0.645	50.3	54.2	0.9275
I-20	40	1,318	25.8	19.4	83	0.681	64.4	70.2	1.3275
I-21	40	1,450	24.8	18.9	84	0.652	64.7	71.7	1.3023
I-22	42	798	35.4	22.0	66	0.630	68.9	80.5	1.0438
I-23	42	1,114	24.3	18.5	83	0.641	45.5	52.6	0.9124
I-24	42	1,171	25.2	18.8	80	0.659	53.4	59.6	1.0267
I-25	47	919	29.5	22.5	86	0.694	54.2	64.2	1.1653
I-26	47	895	28.0	19.4	75	0.699	49.9	56.2	0.9459
I-27	47	1,031	28.3	20.5	80	0.692	61.0	66.8	1.2022
I-28	47	709	32.6	23.8	77	0.659	54.3	60.1	1.0157
I-29	47	1,092	25.1	18.6	83	0.676	47.9	56.1	0.9605

- $N$ : Stand density
- $d_b$ : Stem diameter at breast height
- $h$ : Tree height
- $d_{0.9}$ : Stem diameter at nine-tenths of tree height from the top
- $\eta_{0.5}$ : Ratio of the stem diameter at the midpoint of tree height to  $d_{0.9}$
- $G_{0.9}$ : Stem cross-sectional area of a stand at nine-tenths of tree height from the top
- $G_b$ : Stem cross-sectional area of a stand at breast height
- $S_s$ : Stem surface area of a stand

用すると便利で、筆者はそのようにしている。

### III 林分樹幹表面積

大分県下のヤブクグリを主体とするスギ同齢林を対象に、前述した方法で求めた各樹幹の表面積の和として林分樹幹表面積を推定した結果は表-1 のとおりである。資料林分のなかで I-3~7, 12~24 は先の樹冠に関する一連の報告(8~12)でも資料とした林分で、その林分記号は同じにしてある。林分 I-25~29 はここで追加したものである。

林分基準断面積  $G_{0.9}$  をもとに林分樹幹表面積  $S_S$  を考えた場合、 $S_S/G_{0.9}$  が林分樹幹表面積係数となり、前述の単木における関係から推して、 $S_S/G_{0.9}$  は平均的な樹幹の形状比と相対幹曲線の膨らみとに関係して定まるとみられる。そして、これらの関係因子が大きくなるにつれて  $S_S$  は増大をする。 $S_S$  の生育段階による変化を関係因子のそれとの関連において明らかにするために、理論的には問題があるかもしれないが、平均的な樹幹の形状比と相対幹曲線の膨らみの簡便な指標という意味で  $\bar{h}/\bar{d}_{0.9}$  と  $\bar{\eta}_{0.5}$  をとりあげ、平均樹高  $\bar{h}$  に対するこれらの変化を示したのが図-1 である。また、 $S_S/G_{0.9}$ 、 $G_{0.9}$ 、 $S_S$  の変化は図-2 のようになる。なお、生育段階の指標として平均樹高を用いたが、これは、地位による林木の生長の差異を考慮すると、年齢よりもこのほうが適当であると判断したからである。図-1, 2 に見られるように、 $\bar{h}/\bar{d}_{0.9}$  と  $\bar{\eta}_{0.5}$  は、したがって  $S_S/G_{0.9}$  も、初めは

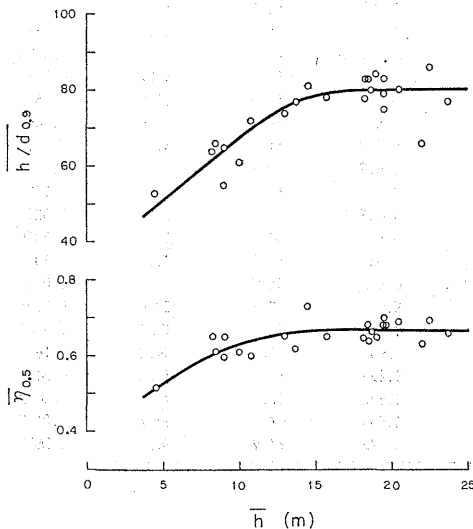


図-1  $\bar{h}/\bar{d}_{0.9}$  と  $\bar{\eta}_{0.5}$  の生育段階による変化 (大分のスギ人工林)  
Changes of  $\bar{h}/\bar{d}_{0.9}$  and  $\bar{\eta}_{0.5}$  with growing stage (*Cryptomeria japonica* plantations in Ōita)

増大を示すがある生育段階以降ではほぼ一定の値になっている。これに対し、 $G_{0.9}$  は生育段階が進んでもまだ増加する傾向にある。したがって、 $S_S$  の変化のパターンはこれらが総合され、増加を継続するような形となっている。

カラマツ林での調査(2) では、年齢に対する  $S_S$  の変化として、初め増大して最大に達した後減少に転ずる傾向があるとしているが、これを平均樹高と対応させる形に整理し直してみると、その変化のパターンは異なり、大分のスギ林と同じく、図-2 のように増大を継続する結果になる。また、幹に枝も含めた全非同化器官の林分表面積の経年変化の推論(17)によると、スギ林の場合、そのパターンはある上限値をもつ飽和曲線になるとされている。大分のスギ林では、年齢に対する  $S_S$  の変化をとってみてもそのパターンは平均樹高に対するものと同じで、減少傾向はもちろん、一定になる傾向さえもまだ現われていない。もっとも、 $\bar{h}/\bar{d}_{0.9}$  や  $\bar{\eta}_{0.5}$  は、したがって  $S_S/G_{0.9}$  はすでに一定の傾向を示しているから、今後  $G_{0.9}$  が一定になる傾向を示せば  $S_S$  は一定値に漸近するわけで、現在までの変化の傾向から推して、さらに生育段階が進めばこのようになる可能性はあると予測

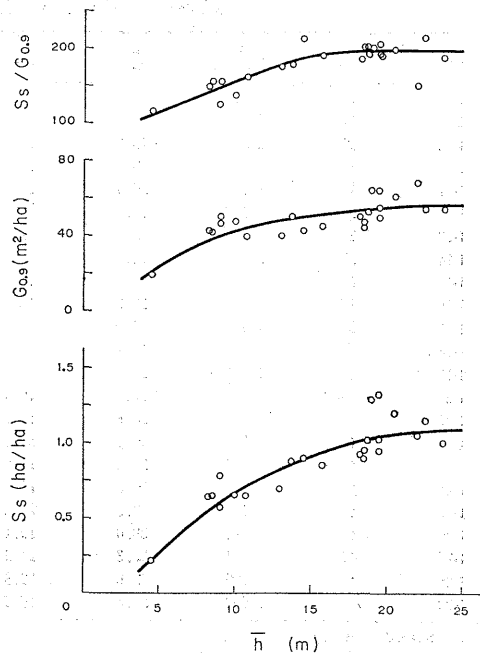


図-2.  $S_S/G_{0.9}$ 、 $G_{0.9}$  および  $S_S$  の生育段階による変化 (大分のスギ人工林)  
Changes of  $S_S/G_{0.9}$ 、 $G_{0.9}$  and  $S_S$  with growing stage (*Cryptomeria japonica* plantations in Ōita)

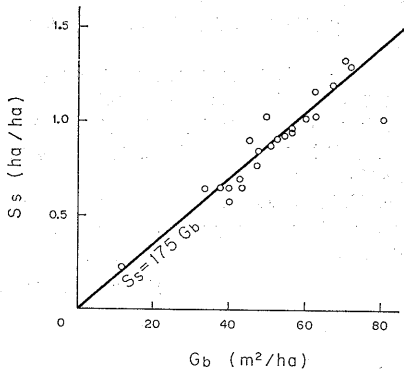


図-3.  $S_s$  と  $G_b$  との関係 (大分のスギ人工林)  
Relation between  $S_s$  and  $G_b$  (*Cryptomeria japonica* plantations in Oita)

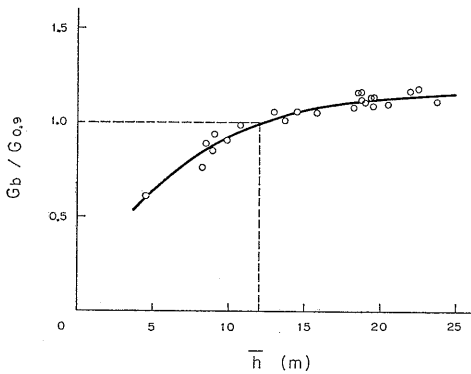


図-4.  $G_b/G_{0.9}$  と  $\bar{h}$  との関係 (大分のスギ人工林)  
Relation between  $G_b/G_{0.9}$  and  $\bar{h}$  (*Cryptomeria japonica* plantations in Oita)

される。しかし、さしあたって  $S_s$  が減少に転ずることは考えられない。

これは大分のスギ林における結果的な一つの事実であるが、図-3 に示すように林分胸高断面積  $G_b$  と  $S_s$  との間にはほぼ  $S_s = 175 G_b$  という関係が成立する。いいかえれば、 $G_b$  の大きさが変わっても、すなわち生育段階が移っても、それとは無関係に  $S_s/G_b$  は一定である。これに対し、 $S_s/G_{0.9}$  は前述のように生育段階によって変化する。定義からいって、基準断面と胸高断面の高さが平均して同じになる  $\bar{h} \approx 12m$  の段階では  $G_{0.9}$  と  $G_b$  は等しいが、それ以前では  $G_{0.9} > G_b$ 、それ以後では逆に  $G_{0.9} < G_b$  という関係にある。いまこれを、大分のスギ林について、 $\bar{h}$  に対する  $G_b/G_{0.9}$  の変化として示したのが図-4 である。このような  $G_{0.9}$  と  $G_b$  の現実の大小関係の生育段階を追っての変化がうまく作用して生じた現象であろうが、 $S_s/G_b = 175$  という関係は  $S_s$  のお

よその値を簡単に知るうえでは役に立つ。

$S_s$  の生育段階による変化を考慮して、平均樹高に対応させながら、他の樹種の人工林における  $S_s$  の調査結果(2, 15)と比較してみると、大分のスギ林のそれはトドマツ林、エゾマツ林、ヨーロッパトウヒ林とほぼ同じで、ストロブマツ林、グイマツ林、カラマツ林よりは大きくなっている。

#### IV おわりに

皮内の樹幹表面積を求めるには、前述の測定方法において無皮の  $d_{0.9}$ ,  $d_{0.5}$  を用いればよい。その場合、幹足寄りとは別として、樹幹の下部から中央部にかけての樹皮厚率はほぼ等しい(7) ので、この範囲の適当な一つの位置で樹皮厚率を測定し、これをもとに皮付の  $d_{0.9}$ ,  $d_{0.5}$  から無皮のそれらを推定することができる。表-1 の資料林分では樹皮厚率に関する測定がいっさいされていないので、皮内の樹幹表面積の確かな算定はできない。ただ、他の大分のスギ林での調査(7)によると、樹皮厚率は5%に満たない。この値に見合う皮内を対象とする場合の  $S_s$  の減少量を見積もると、その値はおよそ10%以下となる。樹幹の大きさによる樹皮厚率の多少の差異はあろうが、この数値は一つの目安になろう。

最後に、この報告の資料収集にあたって格別の便宜をはかっていただいた九州林産株式会社に対して、心から謝意を表する。

#### 引用文献

- (1) ANUCHIN, N.P.: Forest mensuration. 454 pp, Israel Program for Scientific Translations Ltd., Jerusalem, 1970
- (2) 浅田節夫・菅 誠・島崎洋路・湯浅保雄: 浅間山麓のカラマツ人工一斉林の物質生産. 人工林における一次生産力の研究班中間報告(佐藤大七郎編): 35~39, 1968
- (3) CARRON, L. T.: An outline of forest mensuration with special reference to Australia. 224 pp, Australian National University Press, Canberra, 1968
- (4) HUSCH, B., MILLER, C. I. & BEERS, T. W.: Forest mensuration. 410 pp, Ronald, New York, 1972
- (5) 梶原幹弘: スギ同齢林における相対幹曲線の変動について. 日林誌 54: 340~345, 1972
- (6) ———: スギの相対幹曲線について. 日林誌 55: 63~70, 1973
- (7) ———: 相対幹曲線と関連しての樹皮厚率について. 日林誌 55: 132~139, 1973
- (8) ———: 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
- (9) ———: 同上 (II) 林分内での樹冠の形態. 日林誌 58: 97~103, 1976
- (10) ———: 同上 (III) 樹冠の形態の生育段階的变化. 日林誌 58: 313~320, 1976

- (11) 梶原幹弘: 同上 (IV) 樹冠基底断面積. 日林誌 58: 433~440, 1976
- (12) ———: 同上 (V) 樹冠表面積と樹冠体積. 日林誌 59: 233~240, 1977
- (13) ———: 林分構造図について. 日林誌 59: 393~399, 1977
- (14) LEXEN, B.: Bole area as an expression of growing stock. J.For. 41: 883~885, 1943
- (15) 松井善喜: 野幌試験林における各種人工林の構造と成長に関する研究. 林試研報 207: 69~163, 1967
- (16) 西沢正久: 森林測定. 348 pp, 農林出版, 東京, 1972
- (17) 大島誠一・四手井綱英: 森林の純生産量の経年推移に関する検討. 京大演報 46: 40~50, 1974
- (18) 斎藤秀樹・山田 勇・四手井綱英: 高立木密度のスギ幼齢林の物質生産量に関する若干の検討. 京大演報 44: 121~139, 1972
- (19) ———: 四手井綱英: スギ幼齢林の一次生産力とその推定法の検討. 日林誌 55: 52~62, 1973
- (20) 佐藤大七郎・扇田正二: 林分生長論資料 4 わかいヒノキの人工林における葉の量と生長量の関係. 東大演報 54: 71~100, 1958
- (21) YIM, Y. J., OGAWA, H. & KIRA, T.: Light interception by stems in plant communities. Jap. J.Ecol. 19: 233~238, 1969

(1977年12月16日受理)