

## カラマツ人工林の林分側断面積と林分構造の関係

長, 正道  
鹿児島大学農学部附属演習林

馬淵, 哲也  
九州大学農学部附属北海道演習林

<https://doi.org/10.15017/10907>

---

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 72, pp.125-134, 1995-03-30. 九州大学農学部附属演習林  
バージョン :  
権利関係 :

## カラマツ人工林の林分側断面積と林分構造の関係\*

長 正道\*\*・馬 淵 哲 也\*\*\*

### 抄 録

森林の蓄積(材積)はそこに成立し成育する林木の本数や胸高直径, 樹高等の要因の集大成として表現される形態の一つであり, また林業における評価の対象の一つでもある。その蓄積に対する推定法の一つとして SPURR, S. H. は林分側断面積 (Stand profile areas) の測定による方法を提唱している。

林分側断面積は林分内に任意の計測線を入れ, その計測線(切断面)に面する林木の樹高や樹冠形を測定することによって求めることができる。そこでこの林分側断面積による方法を用いて九州のスギ・ヒノキ人工林に対し予備的にテストを試みたところ材積および胸高直径, 樹高, ha 当り胸高断面積等との間に高い相関関係があることが確かめられた。

これにもとづいて九州大学北海道演習林における主要造林樹種の一つであるカラマツ人工林を対象にプロット調査を実施し分析と検討を行った。その結果, 林分側断面積と平均胸高直径, 平均樹高, 平均樹冠直径, ha 当り本数, および ha 当り材積との間に高い相関関係が認められた。したがってこの方法によれば林分構造が簡易に測定され, また林分材積の推定も可能であることが明らかになった。

キーワード: カラマツ人工林, 林分側断面積, 林分構造, 林分材積

### 1. はじめに

林分内に任意の計測線を設定し, その計測線に面した林木(立木)を対象にして林分側断面積を計測すれば, その林分側断面積と林分材積の間には一定の関係が成り立つことを SPURR, S. H. が発表した (SPURR, 1948)。これにもとづいて空中写真の濃度計測による濃度波形と林分材積の関係についてテストを試みたところ, 両者の間には高い相関関係が認められた (長, 1974)。また林分側断面積と林分材積の間に相関があれば, 林分材積の基本的構成要因である胸高直径や樹高, 樹冠直径, ha 当り胸高断面積, ha 当り本数等との間にも何らかの関係を有するのではないかという考えから, 九州におけるスギ, ヒノキ人工林について予備的にチェックを行ってみた。その結果, 林分側断面積と平均胸高直径, 平均樹高, ha 当り胸高断面積, および ha 当り材積の 4 要因の間には高い相関により

---

\* CHYO, M. and MABUCHI, T. : Relationship between Stand Profile Areas and Stand Structure of Japanese larch (*Larix Kaempferi*) Plantation.

\*\* 鹿児島大学農学部附属演習林

Research Institution of University Forests, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima 890

\*\*\* 九州大学農学部附属北海道演習林

Hokkaido Branch of University Forests, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Ashoro, Hokkaido 089-37

対応していることが確められた (長, 1989)。

これらの結果を受けて九州大学北海道演習林における主要造林樹種の一つであるカラマツ人工林を対象に予備的に検討を行い (長ら, 1993), これにもとづいて林分側断面積と主要林分構成要因との関係について調査と分析を行った。その結果, 一応の成果がえられたのでここに報告する。

## 2. 調査林分および調査方法

### 2.1. 調査林分の概要

林分側断面積と林分材積の関係に対する分析検討のための調査は九州大学北海道演習林のカラマツ人工林を対象にして行った。本演習林は北海道の道東部に位置し, 面積 3713ha を有するが, その中でカラマツ人工林は 1053ha (全体のおよそ 28%) に及んでいる (1994年)。

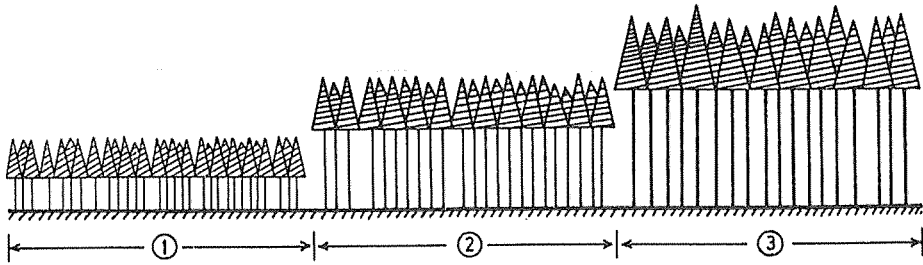
カラマツは本演習林では 1950 年以降毎年造林が行われている。したがって林齢は現在最高 44 年に達しており, その成長は概ね良好である。これらのカラマツは当初 ha 当たり 2000 本を植栽し, その後, 林齢 5 年生時までには下刈り 3 回, 蔓切り・除伐 1 回を行ったあと, 9 年生時に 2 m まで, 15 年生時 4 m まで, 次いで 26 年生時に主伐候補木について 8 m までの枝打ちを実施している。またこれらと併行して保育間伐を 9 年生時と 15 年生時の 2 回, および 24 年生時・31 年生時・38 年生時の 3 回生産間伐も行っている。そして主伐期 (50 年生時) には ha 当たり本数 400 本, ha 当たり材積  $350\text{m}^3\sim 400\text{m}^3$  の長伐期大径構造材生産を目標としている。しかし中には枝打ちや間伐等の保育が遅れている林分も若干見受けられる。

### 2.2. 調査方法

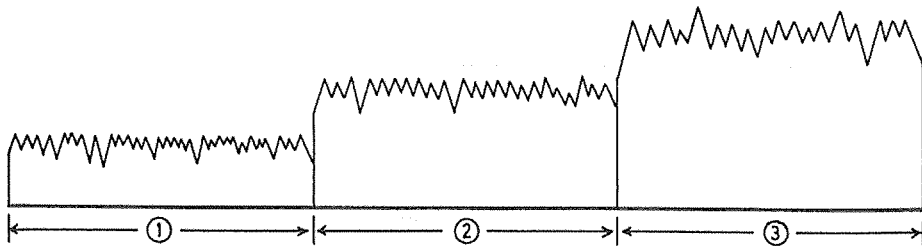
林分側断面積は林分内の任意の地点を縦に切断したと仮定したとき, その切断面を側方からみたときの切断面の面積である。したがって林分側断面積は設定された計測線に面する林木の高さ (樹高) と樹冠の形状 (樹冠の幅, 樹冠長) を測定することによって求められる。図 1 はこれを模式図として示したものである。

なお, 林分はミクロ (部分的, 局部的) にみた場合, 大小の無立木地 (空隙地) を有するのが常であるが, マクロ (林分全体) についてみればほぼ均一性が保たれているとみることができる。したがってその計測に当ってはマクロな視点に立って林木の測定を行うという基本的考え方にもとづき, 林分内に設定された計測線に面する林木は計測線からの位置 (距離) に関わりなく, すべてを計測の対象とした。

林分側断面積の計測は, まず  $20\text{m}\times 20\text{m}$ , または  $25\text{m}\times 25\text{m}$ ,  $25\text{m}\times 30\text{m}$  等の方形プロットを林内に設定し, プロット内の全立木の毎木調査を行った。次いでプロット内の中央部分で傾斜面に対し直角方向つまり等高線に沿ってほぼ水平になるように計測線を設定した。そして計測線 (長さ  $20\text{m}\sim 30\text{m}$ ) に面する林木に対し, 胸高直径, 樹高, 樹冠直径, および樹冠長を計測線の上側 ( $A_1$ ) と下側 ( $A_2$ ) について測定を行った。計測線の上側 ( $A_1$ ) と下側 ( $A_2$ ) に対する測定は同一プロット内で計測線の上側と下側に差異を有するかどうかについてチェックを行うために試みたものである。



(1) Cross section of juvenile age, middle age and old age stand.  
 (1) 幼齡林, 中齡林および壯齡林別林分の切断面



(2) Stand profile areas of juvenile age, middle age and old age.  
 (2) 幼齡林, 中齡林および壯齡林別林分側断面積

Fig. 1 Model of stand profile areas.  
 図1 林分側断面積の模式図

これによりプロット調査は、林齢15年生(15林班8い小班, および同4い小班), 20年生(7林班へ小班), 25年生(21林班皆い小班), 30年生(23林班ち小班), 35年生(28林班ほ小班), および39年生(1林班い小班)のカラマツ林7林分-7プロット(14計測線)に対して、1992年7月および1993年2月に行った。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. 林分側断面積に対する検討

##### 3.1.1. 平均樹高による場合と樹冠形による場合の林分側断面積の関係

林分側断面積の計算に先立ち、調査プロットの面積(サイズ)をここではすべて30m×30m=0.09haに換算して同一サイズとした。これにより林分側断面積はプロット内に設定した計測線に面する林木の樹高と樹冠形の測定結果にもとづき計算で求めることになる。従来、その計算は簡易に行うことを目的として、測定された林木の平均樹高( $\bar{H}$ )と計測線の長さ(L)から $\bar{H} \times L$ により求めてきた。しかしこれでは正確な林分側断面積とはいえないのではという疑問があった。そこで今回は樹高と樹冠幅および樹冠長による正確な樹冠形をもとにして林分側断面積を求めた。表1は計測線の上側( $A_1$ )および下側

表1 林分側断面積の計測結果一覧  
Table 1 Measurement of stand profile areas.

Plot No.	林 齢 Age	樹冠形による場合 Case by crown form		平均樹高による場合 Case by mean tree height	
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )
1	15	210.9	239.1	348.5	348.0
2	15	316.7	301.3	387.3	425.7
3	20	302.7	356.9	423.3	474.0
4	25	382.1	393.4	526.8	532.6
5	30	379.0	367.8	529.5	502.5
6	35	512.8	536.4	664.2	670.0
7	39	541.7	541.0	635.2	648.0

(A<sub>2</sub>) の両方について、その計算結果を今までの方法と対比させて一覧表に示したものである。

表1より樹冠形による場合と平均樹高による場合では林分側断面積の値に若干の差異を示している。そしてその差異は樹冠形による場合に比し平均樹高による場合の方がやや大きくあらわれている傾向が窺われる。そこで双方の関係について、樹冠形の場合を $x$ 、平均樹高の場合を $y$ とおき回帰式を計算したところ

$$Y=154.9775+0.8995x \quad (r=0.954)$$

となった。

またその差異の有無とその割合に対する $t$ -検定を、回帰係数 $b_0$ が原点を通るかどうかを $\alpha=0$ とおいて検定-1により、また回帰係数 $b_1$ が45°の傾斜に対してどの程度対応しているかについて $\beta=1$ とおいて検定-2により試みた。その結果は下記に示すとおりとなった。

$$\text{検定-1: } t_1 = \frac{|b_0 - \alpha|}{\sqrt{V(b_0)}} = \frac{|154.9775 - 0|}{\sqrt{1118.6141}} = 4.634^{**}$$

$$\text{検定-2: } t_2 = \frac{|b_1 - \beta|}{\sqrt{V(b_1)}} = \frac{|0.8995 - 1|}{\sqrt{0.006695}} = 1.228$$

$$(df=12 \text{ のときの } t_{.05}=2.179, t_{.01}=3.055)$$

すなわち平均樹高による場合の林分側断面積は樹冠形による場合の林分側断面積よりも常に一定の傾向で高い値を示しており、かつ検定-1において99%レベルで有意差を示す結果となった。したがってここでは樹冠形による林分側断面積の値を用いることとした。図2はこれらの関係をグラフに示したものである。

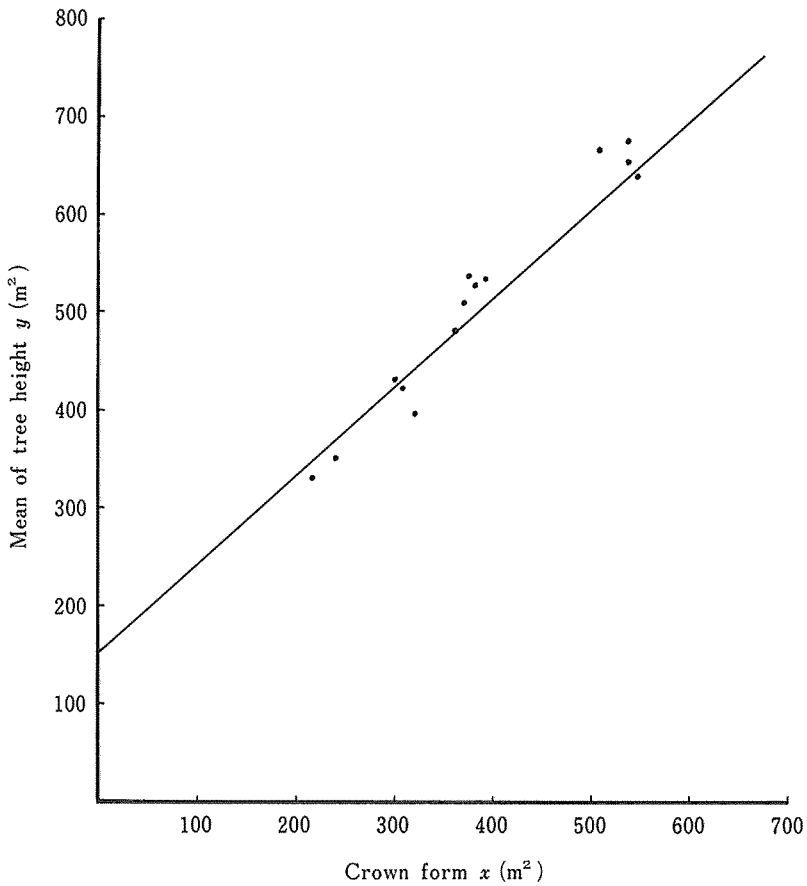


Fig. 2 Relationship between stand profile areas of case by crown form ( $x$ ) and case by mean of tree height ( $y$ ).

図2 樹冠形による場合 ( $x$ ) と平均樹高による場合 ( $y$ ) の林分側断面積の関係

### 3.1.2. 林分側断面積における $A_1$ と $A_2$ の近似性の関係

次に各プロットにおける計測線の上側 ( $A_1$ ) と下側 ( $A_2$ ) のそれぞれの場合の林分側断面積の間にはどの程度の近似性 (対応性) があるかについてチェックを試みるため、 $A_1$  を  $x$ 、 $A_2$  を  $y$  とおいて回帰式を求めてみた。その結果は

$$Y = 34.6464 + 0.9424x \quad (r = 0.978)$$

となった。

またその差異の有無に対する  $t$ -検定の結果は、検定-1、検定-2の何れの場合も差異はなく、 $A_1$ 、 $A_2$  共によく対応していた。したがって  $A_1$ 、 $A_2$  のどちらの林分側断面積を用いても差支えないことが確められた。これにより林分はマクロにみた場合、一応の均一性が保たれているということが立証されたといえよう。なお、ここでは  $A_1$ 、 $A_2$  の両方の林分側断面積を対象にして以下の計算と検討を行った。図3はこの関係をグラフに示したものである。

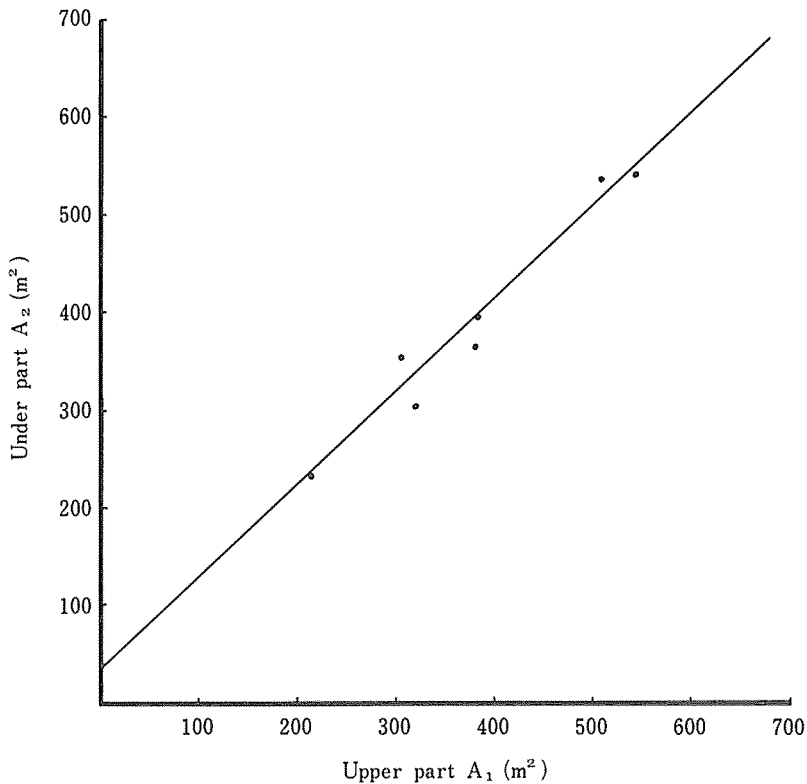


Fig. 3 Relationship between stand profile areas of the upper part ( $A_1$ ) and the under part ( $A_2$ ) of measuring line.

図3 計測線の上側 ( $A_1$ ) と下側 ( $A_2$ ) の林分側断面積の関係

### 3.2. 林分側断面積と主要林分構成要因の関係に対する検討

#### 3.2.1. 林齢と林分構成要因の関係

プロット調査にもとづく7プロットのそれぞれにおける平均胸高直径 ( $\bar{D}$ ), 平均樹高 ( $\bar{H}$ ), 平均樹冠直径 ( $\bar{CD}$ ), 平均樹冠長 ( $\bar{CL}$ ), ha 当り本数  $N$  (本/ha), ha 当り胸高断面積  $G$  ( $m^2/ha$ ), ha 当り材積  $V$  ( $m^3/ha$ ), および相対幹距 ( $Sr$ ) 等の主要林分構成要因の測定結果は表2に示すとおりとなった。

表2にもとづく林分側断面積と主要林分構成要因との対応関係の検討に先立ち, 予備的検討として, 林齢 (Age) と各要因との間にどの程度の対応性を有するかについて, 林齢 (Age) を  $x$ , 対応する各要因を  $y$  とおいて回帰係数 ( $b_0, b_1$ ) とその相関係数 ( $r$ ) の計算を行った。表3はその結果を示したものである。

表3の結果から, 平均胸高直径 ( $\bar{D}$ ), 平均樹高 ( $\bar{H}$ ), 平均樹冠直径 ( $\bar{CD}$ ), ha 当り本数  $N$  (本/ha), および ha 当り材積  $V$  ( $m^3/ha$ ) の5要因については高い相関係数 ( $r$ ) がえられ, 林齢 (Age) との間に対応関係が認められた。しかし平均樹冠長 ( $\bar{CL}$ ), ha 当り胸高断面積  $G$  ( $m^2/ha$ ), 相対幹距 ( $Sr$ ) の3要因は相関係数 ( $r$ ) は低く, その対応性は殆ど認められなかった。したがって, ここでは上記の5要因を検討の主対象とした。

表2 プロットにおける林分構成要因の測定結果一覧  
Table 2 Measurement of factors of stand structure in plot.

Plot No.	$\bar{D}$ (cm)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{CD}$ (m)	$\bar{CL}$ (m)	N/ha	G/ha ( $m^2$ )	V/ha ( $m^3$ )	Sr (%)
1	14.2	11.2	3.62	7.35	1248	20.4	107.3	25.3
2	14.6	12.9	3.76	8.51	1275	21.9	133.9	21.7
3	16.4	16.9	3.60	11.87	1200	25.3	206.5	18.2
4	21.7	17.7	4.83	13.68	640	23.7	209.6	22.3
5	19.7	16.9	4.47	6.45	667	20.3	174.9	22.9
6	26.3	22.3	5.95	14.00	400	21.7	232.0	22.4
7	23.0	21.2	4.90	10.78	656	27.3	287.8	18.4

表3 林齢と主要林分構成要因の対応関係  
Table 3 Relationship between age and factors of stand structure.

要因 Factors	回帰直線 Regression coefficient		相関係数 Correlation coefficient ( $r$ )
	$b_0$	$b_1$	
Age : $\bar{D}$	8.3224	0.4338	0.905
〃 : $\bar{H}$	6.6980	0.3798	0.938
〃 : $\bar{CD}$	2.5254	0.0752	0.827
〃 : $\bar{CL}$	7.3807	0.1172	0.370
〃 : N/ha	1724.8621	-33.4527	-0.885
〃 : G/ha	20.1479	0.1093	0.397
〃 : V/ha	51.7381	5.5298	0.867
〃 : Sr	24.0127	-0.0944	-0.355

### 3.2.2. 林分側断面積と林分構成要因の関係

林分側断面積と主要林分構成要因との対応関係に対する検討のための資料は表1における樹冠形による場合の林分側断面積 ( $A_1, A_2$ ) と表2のプロット調査結果一覧表のうち、前項で高い相関係数 ( $r$ ) がえられた  $\bar{D}$ ,  $\bar{H}$ ,  $\bar{CD}$ , N (本/ha), および V ( $m^3$ /ha) の5要因とした。

これにもとづき、計測線の上側 ( $A_1$ ) および下側 ( $A_2$ ) の林分側断面積を独立変数 ( $x$ ) とし、プロット調査による林木の各測定値を従属変数 ( $y$ ) として取り扱った。そしてそれぞれの間にどの程度の対応性つまり相関を有するかについての指標をうるため、換言すれば林分側断面積の計測によって林分構成要因の推定が可能かどうかに対するチェックを行うため、回帰係数 ( $b_0, b_1$ ) および相関係数 ( $r$ ) を計算した。表4はその結果を一覧表として示したものである。

なお、前述したように低い相関係数 ( $r$ ) を示し対応性が認められなかった平均樹冠長 ( $\bar{CL}$ ), ha 当り胸高断面積 G ( $m^2$ /ha), および相対幹距 (Sr) の3要因についても参考のため上記の計算を行い、表4の最下欄 (No. 11-No. 16) に掲げた。



表4 林分側断面積と各要因との対応関係  
 Table 4 Relationship between stand profile areas and factors of stand structure.

No.	要因 Factors	回帰直線 Regression coefficient		相関係数 Correlation coefficient ( <i>r</i> )
		$b_0$	$b_1$	
1	A <sub>1</sub> : $\bar{D}$	6.0169	0.0354	0.909
2	// : $\bar{H}$	4.4384	0.0320	0.954
3	// : $\bar{CD}$	2.0485	0.0063	0.860
4	// : N/ha	1844.3676	-2.5791	-0.840
5	// : V/ha	19.8202	0.4585	0.884
6	A <sub>2</sub> : $\bar{D}$	4.7728	0.0375	0.926
7	// : $\bar{H}$	3.1182	0.0352	0.984
8	// : $\bar{CD}$	1.8762	0.0066	0.859
9	// : N/ha	1898.2204	-2.6322	-0.826
10	// : V/ha	2.1534	0.4997	0.929
11	A <sub>1</sub> : $\bar{CL}$	5.4567	0.0130	0.506
12	// : G/ha	19.0056	0.0104	0.466
13	// : Sr	25.1830	-0.0095	-0.439
14	A <sub>2</sub> : $\bar{CL}$	3.9236	0.0165	0.619
15	// : G/ha	18.1617	0.0122	0.527
16	// : Sr	25.9303	-0.0111	-0.495

### 3.3. 考察

林分側断面積と主要林分構成要因の関係に対する検討に先立って試みた、平均樹高による場合と樹冠形による場合の両者の林分側断面積は、平均樹高による場合の方が高い値を示し、検定の結果でも検定-1に高度の有意差を示した。つまり平均樹高による場合が樹冠形による場合よりも一定の傾向で高い値を示すことが分った。したがって林分側断面積は樹高と樹冠形の計測による方法が必要であることが明らかになった。また計測線の上側(A<sub>1</sub>)と下側(A<sub>2</sub>)の両者の近似性については検定-1、検定-2共に有意差はなく、よく対応していた。つまり林分はマクロにみた場合、人工林では特殊のケースを除き、多くの場合ほぼ均一性が保たれているといえることができるといえよう。したがって林分側断面積はA<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>の何れを計測の対象としても差支えないことになる。ここでの検討はA<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>の両方をその対象として行った。

次いで試みた林齢(Age)と主要林分構成要因の対応関係に対する検討では、平均胸高直径( $\bar{D}$ )、平均樹高( $\bar{H}$ )、平均樹冠直径( $\bar{CD}$ )、ha当り本数N(本/ha)、およびha当り材積V(m<sup>3</sup>/ha)の5要因は高い相関係数(*r*)の値を示し、よく対応していた。しかし平均樹冠長( $\bar{CL}$ )、ha当り胸高断面積G(m<sup>2</sup>/ha)、相対幹距(Sr)の3要因は林齢(Age)との対応は認められなかった。この中で、とくに $\bar{CL}$ はカラマツ人工林の場合、9年生時に2mまで、15年生時に4mまで、更に26年生時に主伐候補木に対して8mまでの枝打ちを行っており、人為的要素が影響しているものと考えられる。

以上の検討結果等をふまえて行った、林分側断面積 ( $A_1, A_2$ ) と  $\bar{D}$ ,  $\bar{H}$ ,  $\bar{CD}$ ,  $N$  (本/ha), および  $V$  ( $m^3/ha$ ) の5要因との間では表4に示すように何れの場合も高い相関係数 ( $r$ ) を示し、よく対応している。したがって蓄積(材積)を含むこれらの主要林分構成要因は、林分内に任意の計測線を設定し、その計測線(切断面)に面する林木の樹高と樹冠直径、樹冠長等の樹冠形を測定することによって簡易に推定することの可能性が確かめられた。

ただし林分はそれぞれの樹種が有する特性やそれらの林木が成育する地質・土壌・地形等の土地条件、地域性、ならびに林分に対する除伐・間伐・枝打ち等の保育条件が異なっているのが常である。したがってそれらの諸条件のもとに成林する林分は多様な林分構造を呈することになる。そのため対象とする林分側断面積も林分としての多様性を有することになる。これらのことを考慮に入れた林分側断面積の計測とそれにもとづいた林分構造の推定が図られるべきであろう。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、現地調査にご協力いただいた九州大学北海道演習林の古賀信也教官、中井武司・新妻二郎の両技官、高橋陽一事務官の各氏、および九州大学林学科3年生(1992年7月当時)の諸氏に対し感謝の意を表する。

## 引用文献

- SPURR, S. H. (1948): Aerial Photographs in Forestry. Ronald press, New York, pp.306-307  
 長 正道 (1974): 空中写真濃度計測による森林蓄積の推定に関する研究. 九大演報 48: 242-270  
 長 正道 (1989): Stand profiles の計測による林分構造の解析. 日林論 100: 121-122  
 長 正道・古賀信也・中井武司・馬淵哲也・新妻二郎・高橋陽一 (1993): カラマツ林の林分側断面積と林分構造の関係. 日林北支論 41: 24-26  
 長 正道・馬淵哲也 (1993): 林分側断面積と林分構造の関係—九州大学北海道演習林におけるカラマツ人工林のケース—. 日林論 104: 239-240

(1994年10月31日受付; 1994年12月21日受理)

## Summary

The growing stock of forest is one of the forms expressed by the factors such as number of trees, diameter at breast height, tree height, etc. of stumpage planted and grown there. This is also one of objects of evaluation in forestry. As one estimation method, S. H. SPURR proposed the method of measurement of stand profile areas.

Stand profile areas can be obtained by drawing any measuring line (cross section) within a stand and measuring tree height and crown form of forest trees, which stand along the section. Therefore we carried out preliminary tests on the plantation of Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) in Kyushu, using the method of stand profile areas. As a result, it was confirmed that there is close correlation between volume and diameter at breast height, tree height as well as basal area per ha.

Based on these results, we carried out a survey on the plantation of Japanese larch (*Larix kaempferi*), the main afforestation species in the Hokkaido Branch of Kyushu University Forests, and the relations were analyzed. It was found that there is a close correlation between stand profile areas and mean diameter at breast height, mean tree height, mean crown diameter, number of tree per ha as well as volume per ha. Consequently, it became clear that stand structure can be estimated easily by this method and stand volume estimation is also possible.

**Key words** : Japanese larch (*Larix kaempferi*) plantation ; stand profile areas ; stand structure ; stand volume.