

六演習林スギ品種試験地の精英樹のクローンの樹幹 形の変異

矢幡, 久

宮島, 寛

児玉, 貴

汰木, 達郎

他

<https://doi.org/10.15017/10826>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 57, pp.127-147, 1987-03-30. 九州大学農学部附属演習林
バージョン :
権利関係 :

六演習林スギ品種試験地の精英樹 クローンの樹幹形の変異

矢幡 久・宮島 寛・児玉 貴
 汰木 達郎・山本 福寿・久保田 茂
 渡部 桂・野上寛五郎・黒木 晴輝

Stem form variations of the clones of plus trees in the
 experimental areas of cultivars of
Cryptomeria japonica in Kyushu

Hisashi YAHATA, Hiroshi MIYAJIMA, Takashi KODAMA,
 Tatsuro YURUKI, Hukuju YAMAMOTO, Shigeru KUBOTA,
 Katsura WATANABE, Kangoro NOGAMI, and Haruteru KUROKI

要 旨

九州で選抜されたスギ精英樹クローンについて、幹の形状の変異を明らかにするために、6地方の演習林において同一条件で設定されたスギ品種試験地から、精英樹25クローンについて、各試験地、各クローン毎にその平均胸高直径に相当する標準木を選定し、計150本の標準木の樹幹解析をおこない樹幹形について解析した。樹幹形の解析には相対幹形曲線をもちい、完満度の指標として、相対材積ならびに相対直径列をとりあげ検討した結果、前者は完満度をほぼ代表しうることが認められた。クローンと試験地との二元配置の分散分析を行った結果、相対材積は、クローン間ならびに試験地間に有意な差が認められた。一方、相対材積に影響する樹木内部の形態的要因として樹高および相対枝高(力枝高/樹高)においても、クローン間に有意な差があり、前者では試験地間にも有意差が認められた。そこで、樹高や相対枝高の影響を除外してもなお相対材積は、クローンや試験地間に違いがあるかを調べるため共分散分析をおこなった結果、相対材積の修正平均値は、依然としてクローンや試験地の影響があると判断された。九州産のこれらの25クローンの中の15クローンは、それぞれ外部形態やアイソザイム分析によって7種の在来品種に同定されている。そこで、在来品種と対応させると、同一品種に同定されるクローンの相対材積の大きさは、当然ながら類似した値を示し、その順序において大きな矛盾はないことも明らかとなった。この事実から、樹幹形は、遺伝的に大きく決定されることがさらに確認され、オビアカやトサアカなどの品種に同定されるクローンは、ヤブクグリ、アヤスギなどの系統のクローンに比べて樹幹は完満であることが明らかとなった。また、樹高との共分散分析による相対材積の修正平均値を試験地間で比較すると、鹿児島大高限演習林の場合は、九州大宮崎演習林の場合より大きく、これらの試験地間の差異をもたらす原因は、気温などとの関係の深い標高との間で有意な負の相関がみられたことから、これらの環境要因が影響していると推量された。さらに、樹幹の容積密度(年輪幅との共分散分析による修正

平均値)と相対材積の修正平均値との間には、高い負の相関が得られた。

以上のことから、スギの樹幹形は幼齡時から、環境要因と同様に遺伝的要因に強く影響を受けていることが明らかにされた。

1. はじめに

幹材の品質に関与する林木の特性として、形態的特性と材質の特性に区分できるが、形態的特性の1つである幹の形状は、幹材部の利用率(製材歩留り)を高めるうえで、幹曲がりや幹断面の正円性などとともに重要な特性である。

幹の形状は、一般に完満あるいは梢殺と称され、その数量的な把握として、測定の容易な形状比(樹高/胸高直径)を用いる報告が多かったが、材の利用からみれば形状比では不十分な情報しか得られない。このために、幹の形状を表わすために、種々の数量化の方法が提案されているが、幹の大きさと形を分離して純粋に幹形の完満度を比較できることが望ましい(大隅, 1959)。

このような幹の完満度には、同一樹種でも、樹齡、生育立地、密度管理、樹高に対する樹冠長割合などの要因が関与することが考えられている(梶原, 1972)が、さらに、スギの場合でみれば品種やクローンなどの違い、すなわち、個体の遺伝的要因もある程度が関与していると想像され、品種間の比較も試みられている(長浜, 1975)(南雲ら, 1983)(宮島ら, 1985)。しかし、品種やクローンの違いを調べる場合には、同一の植栽条件で、その後の施業も均質である林分、例えば品種試験地に植栽された材料で比較することが望ましい。

昭和43年から4年間にわたって設置された六演習林共同スギ品種試験地は、それぞれ鹿児島大学、宮崎大学、愛媛大学、および日田林工高等学校の各演習林ならびに九州大学の2演習林のあわせて6演習林に及び、5種類の試験地が設けられている。この試験地は、現在まだ林齡が若いのが難点であるが、共通の実験計画のもとに設置されたために、樹幹形の比較を行うのに好都合であると考えられる。そこで、この品種試験地の中で、九州で選抜された精英樹25クローンからなる第V試験地の材料を用いて、クローン間の樹幹形の比較を試みた。

2. 材料と方法

2.1. 供試材料

材料は、六演習林共同スギ品種試験地の一つとして昭和46年3月に設定された第V試験地から採取した。試験地の配置は、図1に示すとおりで、愛媛大学(米野々演習林)、九州大学(粕屋演習林)、日田林工高等学校(三花演習林)、九州大学(宮崎演習林)、宮崎大学(田野演習林)、鹿児島大学(高隈演習林)の各演習林に設定されている。第V試験地は、表1に示す九州林木育種場産の25クローンを二重格子法として設定したもので、X群、Y群それぞれ2回の反復とし、X1、X2、Y1、Y2の4群からなり、各群は、5クローンを含む擬似ブロック5個(5×5=25クローン)で構成され、1プロットに同一クローン12本が、縦、横2m間隔で植栽されている。試験地は六演習林ともに全く同一規模配置である。

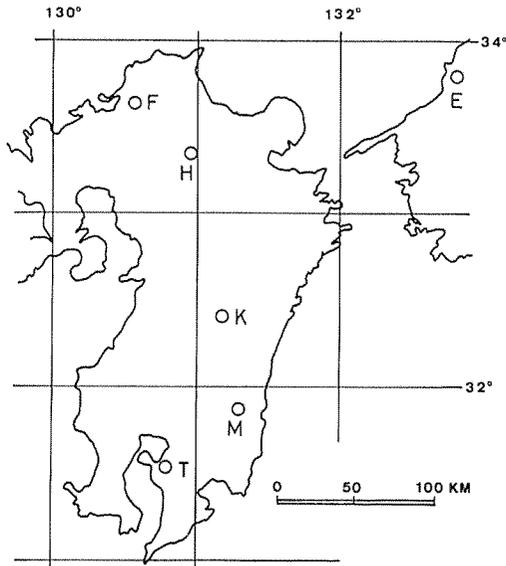


Fig. 1 Location of experimental plots in Kyushu and Shikoku

- F : Kyushu Univ., Kasuya Experimental Forest
- H : Hita-rinko High School, Mihana Exp. For.
- K : Kyushu Univ., Miyazaki Exp. For.
- M : Miyazaki Univ., Tano Exp. For.
- T : Kagoshima Univ., Takakuma Exp. For.
- E : Ehime Univ., Komenono Exp. For.

図1 六演習林スギ品種試験地の位置図

(木梨ら, 1973) (宮島ら, 1982). 設定後 10 年目に生長量の測定を終えて 2 年目になる昭和 58 年 12 月に, 場所によって差があるものの第一回目の間伐の時期に達したために, この間伐をかねて材料を採取することにした. したがって, 供試木は, 設定後 13 年目の生育期を過ぎている. 供試木の選定については, 10 年目の測定資料 (宮島ら, 1982) をもとに各演習林毎のクローン別の胸高直径平均値に最も近い個体の番号を調べて候補木とし, 現地の状況に応じて候補木の中から 1 個体を標準木として選定した. 昭和 58 年 12 月に地上高 0.2 m より 1 m 間隔の樹幹解析用の円板を採取した. 採取に際しては, 太枝などのために幹形の歪みが著しく影響する場合は, 採取位置を上下にずらし, その採取位置を記録した. 同時に生枝高ならびに力枝高の測定を行った. 樹幹解析用円板は, 各年輪が判読できるようにコピーをとり, このコピーをもとにその後の解析は, 九州大学造林学教室においてパーソナルコンピュータ (ソード M232 マーク II) に接続したデジタイザーをもちいて樹幹解析円板の読み取り処理などを実施した (矢幡, 1983). このようにして得た総計 150 本の樹幹解析資料から, 13 年生時の皮無径についての樹幹形を求めた.

2.2. 完満度の表示

幹形の数量的な表示方法は種々提案されているが, 大隅 (1959) は, 絶対的樹幹形と相

表1 供試クローン名とその供試木の平均形状
Table 1 Name list of clones and average sizes of sample trees

番号 記号 No	クローン名 Clone name	平均樹高* Average height* (m)	平均胸高直径* Average D.B.H.* (cm)
1 A	東白杵 12号 Higashiusuki No12	6.2	9.7
2 B	大分 5号 Oita No 5	6.0	9.1
3 C	薩摩 5号 Satsuma No 5	6.6	10.0
4 D	福岡署 1号 Fukuokasho No 1	6.7	9.1
5 E	始良 6号 Aira No 6	7.5	11.2
6 F	始良 26号 Aira No26	4.3	6.0
7 G	東白杵 4号 Higashiusuki No 4	6.7	9.3
8 H	始良 25号 Aira No25	5.3	7.9
9 I	鹿児島 1号 Kagoshima No 1	4.7	7.3
10 J	竹田 4号 Takeda No 4	5.9	8.6
11 K	竹田 6号 Takeda No 6	5.6	7.9
12 L	長崎 1号 Nagasaki No 1	7.0	8.6
13 M	藤津 14号 Fujitsu No 1	5.1	7.7
14 N	都城署 5号 Miyakonojoshō No 5	6.7	10.2
15 O	竹田 9号 Takeda No 9	5.7	7.7
16 P	始良 15号 Aira No15	6.6	9.5
17 Q	竹田 12号 Takeda No12	7.3	10.8
18 R	阿蘇 1号 Aso No 1	5.0	7.4
19 S	始良 21号 Aira No21	6.8	10.1
20 T	佐賀 3号 Saga No 3	8.0	11.2
21 U	綾署 1号 Ayasho No 1	4.5	7.1
22 V	大根占署 1号 Oonejimesho No 1	6.2	9.1
23 W	宮崎署 4号 Miyazakisho No 4	7.3	10.4
24 X	浮羽 11号 Ukiha No12	7.3	8.8
25 Y	大口署 2号 Ookuchisho No 2	5.7	7.6

* : 六演習林の平均値で示す

* : The mean of 6 different forests.

対的樹幹形に区分し、幹の大きさと形とを分離して、純粋に形のみで比較する必要性を強調し、Hohendal, Krenn, Prodan らの示した相対直径列 ($\eta_{0.9}, \eta_{0.7}, \eta_{0.5}, \eta_{0.3}, \eta_{0.1}$) および正形数 $\lambda_{0.9}$ を高く評価するとともに、新たに相対材積 $\theta_{0.9}$ を正形数にかわる相対幹形の一指標として提案した。相対幹形は、樹高 h の梢端から距離 $x=0.9h$ の位置における幹直径を $d_{0.9}$ として、樹高および直径 $d_{0.9}$ をそれぞれ 1 とした相対値で幹形を表わしたものである。相対直径 η_x は、 $\eta_x = d_x/d_{0.9}$ で表わされるものであり、相対材積は、相対幹曲線を 3 次の多項式で近似させ、その回転体の体積を指している。一般に、相対幹曲線 $f(x)$ は、(1) 式で示す多項式で表わすことができ、しかも、個体毎には次数 n の大きい方が適合性がよくなるので、ここでは最大限 $n=8$ 次の多項式にあてはめて、相対幹曲線式を求めた。

$$f(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_n \cdot x^n \quad (1)$$

ただし、梢端では直径が 0 となるので、 $a_0=0$ であるべきであるが、ここではプログラムの都合上 a_0 も計算した。しかし、その値はいずれの場合でも 0 に近似できた。相対材積 $\theta_{0.9}$ は、(1) 式を利用し次式で与えられる。

$$\theta_{0.9} = \frac{\pi}{4} \int_0^1 \{f(x)\}^2 dx \quad (2)$$

相対材積の具体的な計算については、相対樹高を 100 等分して (1) 式を利用して相対直径を求め、区分布積法によって算出した。

なお、 $d_{0.9}$ は、相対高 0.9 の上下二つの実測した直径から比例配分で推定し、また、相対高 $x=0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ における幹直径 d_x は、(1) 式から計算で求め、相対直径列 $\eta_x = (d_x/d_{0.9})$ を算出した。

3. 結果と考察

3.1. 相対直径列と相対材積の関係

相対直径列 ($\eta_{0.9}, \eta_{0.7}, \eta_{0.5}, \eta_{0.3}, \eta_{0.1}$) の中で、相対直径 $\eta_{0.9}$ は常に 1 であるので、残りの相対直径列と相対材積との関係を検討してみた。図 2 は、相対直径列と相対材積との関係を打点したもので、いずれも、有意な正の高い相関を示すが、 $\eta_{0.5}$ が最も相関が高く、ついで $\eta_{0.7}, \eta_{0.3}$ となる。 $\eta_{0.1}$ は梢端に近くてパラッキが大きく相対材積との相関は低くなることがわかる。

クローン毎に層化して、相対直径列と相対材積との共分散分析を行うと、各相対直径は、クローンによって違いがあることが認められ、このことは、同一の相対材積であっても、クローンによって樹幹の膨らむ高さが異なっていることを示していた(図、表略)。しかしながら、後述のような同一品種に同定されると思われるクローン間に一定の傾向がみられなかったことと、相対材積は、図 2 のとおり樹幹の各高さでの相対直径をほぼ代表しており、樹幹の完満度を反映したものと考えることができるので、以下には、相対材積のみで完満度の検討を行うことにした。

3.2. 相対材積、樹高、および相対枝高の分散分析

完満度には、クローンの違いによる遺伝的な影響と、生育環境条件の影響がこん然となつ

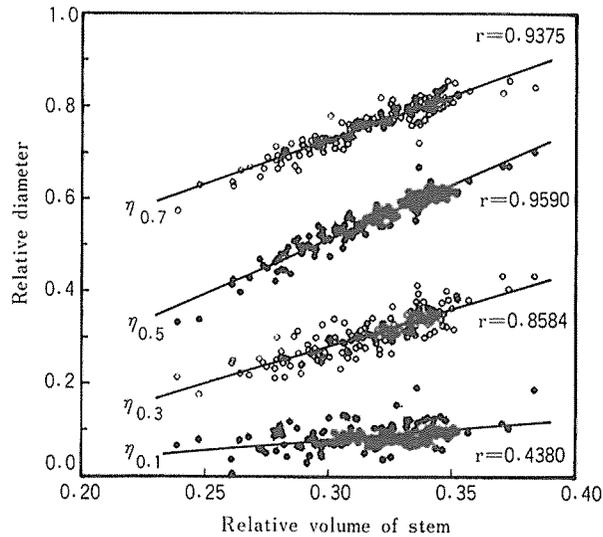


Fig. 2 Relationship between the relative volume and the relative radius of stem at the relative height of 0.1, 0.3, 0.5, and 0.7 ($\eta_{0.1}$, $\eta_{0.3}$, $\eta_{0.5}$ and $\eta_{0.7}$)

図2 相対直径列 ($\eta_{0.1}$, $\eta_{0.3}$, $\eta_{0.5}$, $\eta_{0.7}$) と相対材積との関係

表2 相対材積についての二元配置による分散分析表
Table 2 Analysis of variance for two-way layout data on the relative volume of stem.

Factor	SS	df	V	F ratio
Clone	0.04408	24	0.001837	7.73**
Plot	0.02499	5	0.004997	21.03**
Error	0.02852	120	0.000238	
Total	0.09758	149		

** : significant at 1% level.

ており、これらの影響によって相対材積が決定されていると考えられる。まず、クローンおよび試験地（生育立地、すなわち演習林）によって相対材積に違いがあるかどうかを調べることにした。そこで、材料を採取した演習林を6試験地として、25クロンの精英樹からなる二元配置実験計画と読みかえて、相対材積について分散分析を実施したところ、試験地間ならびにクローン間ともに1%レベルの危険率で有意差を認められた（表2）。

完満度に影響する要因は、樹齢、生育立地、密度管理、樹高に対する樹冠長割合などが考えられている（梶原、1972）が、本試験地の場合には、樹齢、密度管理は一定である。ただし、密度の影響は、同一密度であっても林分の樹高によって変わり、このためにも、さらに、品種やクロンの違いによっても樹冠長割合に差が生じてくるので、この違いも考慮に入れる必要がある。そこで、樹高と樹冠長割合に代わる相対枝高（力枝高/樹高）について、同様の分散分析を行った。分散分析の結果、表3、表4に示すように、樹高は、クローンによっても、試験地によっても1%レベルの危険率で有意な差が認められること

表3 樹高についての二元配置による分散分析表
Table 3 Analysis of variance for two way layout data on the tree height.

Factor	SS	df	V	F ratio
Clone	144.27838	24	6.011599	13.90**
Plot	260.11184	5	52.022368	120.32**
Error	51.88316	120	0.432360	
Total	456.27338	149		

** : significant at 1% level.

表4 相対枝高についての二元配置による分散分析表
Table 4 Analysis of variance for two way layout data on the relative branch height.

Factor	SS	df	V	F ratio
Clone	0.07882	24	0.003284	1.07NS
Plot	0.62217	3	0.207390	67.66**
Error	0.22070	72	0.003065	
Total	0.92169	99		

NS : not significant
** : significant at 1% level

が明らかとなった。また、相対枝高は、クローン間では有意差はないが、試験地によって有意な差があることが認められた。

このことは、相対材積は、分散分析の結果クローンや試験地の影響を受けていることが明確になっても、それは、クローンや試験地の違いが、樹高生長に影響し、あるいは、樹高生長の違いが相対枝高に影響した結果、樹幹形にもたらされる間接的な影響に過ぎないのかもしれない。この点を確認するためには、樹高や相対枝高の影響を除外した相対材積を比較する必要がある。

3.3. 相対材積と樹高の共分散分析

樹高の影響を除外しても相対材積には、なおクローン間や試験地の違いが十分に認められるかを確認するために、相対材積と樹高との共分散分析をおこなった。この場合に、クローン間の違いを調べるためには、試験地の違う6本の同一クローンを1グループとして、また、試験地間の違いを調べる場合には、25クローンを1グループとして、それぞれ相対材積と樹高との共分散分析をおこなった。

表5は、クローン間の比較のためにおこなった共分散分析表を示し、図3は、クローン毎の相対材積と樹高との関係を図示した。図から明らかなように、樹高の増加に伴い、相対材積は大きくなる傾向が見られ、樹幹は完満になっていることが認められる。共分散分析の結果、各クローン毎の回帰係数、すなわち、直線の勾配はクローン間で有意な差があるとは認められず、各クローンで共通とみなしうることが明らかになった。また、そのy軸上の切片の値は、クローン間には1%レベルの危険率で有意な差があることが明らかとなった。このことは、樹高の影響を回帰によって除外してもなおクローン間には相対材積に有意な差が存在することを示している。図3では、同一の勾配をもった25クローンのそれぞれの回帰直線をひくことも可能であるが、煩雑な図となるので省略し、ここでは、相

表5 クローンを層化した場合の相対材積と樹高との共分散分析表

Table 5 Analysis of covariance between the relative volume and tree height by grouping according to clone.

Item	f	S_{xx}	S_{xy}	S_{yy}	b	f	S_r
級内 Within						100	0.036251
共通 Common	125	311.995000	1.727511	0.054045	0.005537	24	0.008229
	24	144.279400	1.576352	0.044085		124	0.044479
合計 Total	149	456.274400	3.303864	0.098129		24	0.029727
						148	0.074206

回帰係数の有意差検定 $F = (0.008229/24) / (0.036251/100) = 0.9458NS$

Test of significance of regression coefficient

Y方向の高さの差の有意差検定 $F = (0.029727/22) / (0.044479/124) = 3.4530^{**}$

Significant difference among level

共通の回帰係数 $b = 0.0055370$

Common regression coefficient

クローン 記号 Clone symbol	相対材積 平均値 Mean of relative volume	相対材積 修正平均値 Corrected mean	95%レベル 信頼区間 Confidence limit of 95% level
A	0.3148	0.3146 ± 0.0153	
B	0.3218	0.3227 ± 0.0153	
C	0.3251	0.3227 ± 0.0153	
D	0.3071	0.3043 ± 0.0153	
E	0.3341	0.3268 ± 0.0156	
F	0.3018	0.3124 ± 0.0158	
G	0.3270	0.3244 ± 0.0153	
H	0.2997	0.3044 ± 0.0154	
I	0.2943	0.3023 ± 0.0156	
J	0.2921	0.2938 ± 0.0153	
K	0.2964	0.2997 ± 0.0154	
L	0.3484	0.3436 ± 0.0154	
M	0.2972	0.3032 ± 0.0155	
N	0.3259	0.3231 ± 0.0153	
O	0.2961	0.2990 ± 0.0153	
P	0.3333	0.3310 ± 0.0153	
Q	0.3339	0.3278 ± 0.0155	
R	0.2871	0.2938 ± 0.0155	
S	0.3281	0.3246 ± 0.0154	
T	0.3224	0.3123 ± 0.0158	
U	0.3385	0.3480 ± 0.0157	
V	0.3248	0.3246 ± 0.0153	
W	0.3231	0.3168 ± 0.0155	
X	0.3353	0.3293 ± 0.0155	
Y	0.2995	0.3024 ± 0.0153	

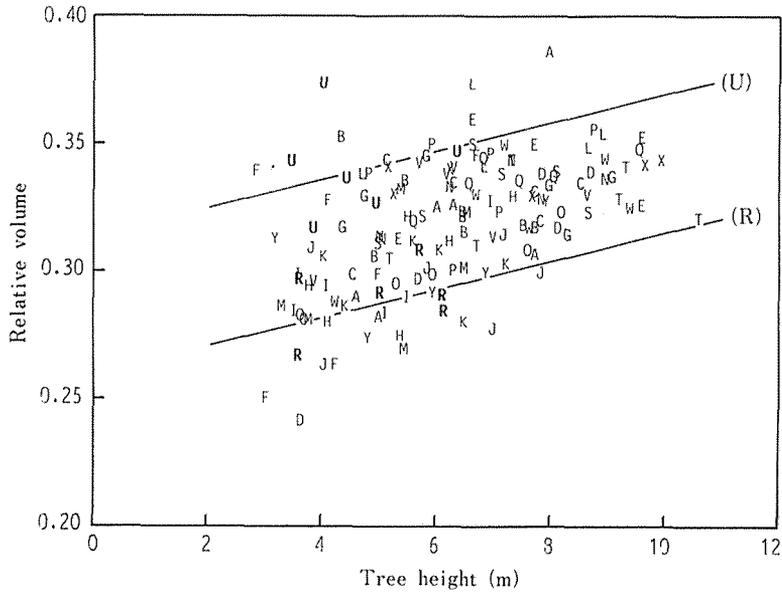


Fig. 3 Comparison of the relative volume among 25 clones in the correlation with the tree height. Alphabet denotes the clone shown in Table 1. Linear regression lines are shown only for the clones which had the maximum and minimum values of the corrected mean of the relative volume.

図3 樹高との共分散分析による25クローンの相対材積の比較
アルファベットは表1のクローンを示す。直線回帰線は、
相対材積の最大および最小の修正平均値を示したクローン
の場合のみ示す。

対材積の最も大きい傾向を示したクローンである綾署1号(記号でU)と逆に最小のクローンである阿蘇1号(記号でR)についてのみ回帰直線を示した。この2つのクローンを比較すると、同一程度の樹高範囲であるにもかかわらず、相対材積は明瞭に分離していることが読み取れる。そこで、各クローン毎の回帰式から、全個体の平均樹高におけるクローン毎の相対材積がそれぞれ計算できる。この値は修正平均値と呼ばれるが、表6は、この修正平均値の大きさ順にクローンを並べており、さらに、相対材積の最上位のクローンから、*t*検定で有意差(危険率5%)のないクローンは同一のグループとして、それ以下のグループと区分するために、横線で区切っている。さらに、2番目のグループの最上位のクローンから同様の方法で、有意差をもとに区分していくと大局的には3グループに分けられる。勿論、線の前後付近にある2つのクローン間では相対材積に差があるわけではないが、およそ3グループに分けられる程度に、樹幹の完満度にクローン間差があることがわかった。また、最大の相対材積を示した綾署1号は、最小値を示した阿蘇1号ならびに竹田4号の18.5%も大きい値を示し、完満度の大きいことがわかった。

同様に、表7および図4は、試験地間の比較を行うためにおこなった共分散分析の結果を示す。この場合も同様に、試験地毎の回帰係数には有意な差が認められず、試験地毎に同一の勾配をもつ回帰式が成り立つこと、また、試験地間の相対材積の修正平均値には、1%レベルの危険率で有意な差があることが認められた。試験地間では、鹿児島大学高

表6 供試クローン名と樹高修正平均した相対材積および在来品種との関係
 Table 6 Name list of clones, the relative volume, and the identified cultivar name.

番号 記号 No	クローン名 Clone name	相対材積* Relative* volume	在来品種** Cultivar** name
21 U	綾署 1号 Ayasho No 1	0.3480	—
12 L	長崎 1号 Nagasaki No 1	0.3436	実生 Seedling
16 P	始良 15号 Aira No15	0.3310	メアサ? Measa?
24 X	浮羽 11号 Ukiha No12	0.3293	—
17 Q	竹田 12号 Takeda No12	0.3278	—
5 E	始良 6号 Aira No 6	0.3267	トサアカ Tosaaka
22 V	大根占署 1号 Oonejimesho No 1	0.3246	オビアカ Obiaka
19 S	始良 21号 Aira No21	0.3246	—
7 G	東臼杵 4号 Higashiusuki No 4	0.3244	トサアカ Tosaaka
14 N	都城署 5号 Miyakonojiosho No 5	0.3231	オビアカ Obiaka
2 B	大分 5号 Oita No 5	0.3227	—
3 C	薩摩 5号 Satsuma No 5	0.3227	ハアラ Haara
23 W	宮崎署 4号 Miyazakisho No 4	0.3168	オビアカ Obiaka
1 A	東臼杵 12号 Higashiusuki No12	0.3146	トサアカ Tosaaka
6 F	始良 26号 Aira No26	0.3124	メアサ Measa
20 T	佐賀 3号 Saga No 3	0.3123	イワオ Iwao
8 H	始良 25号 Aira No25	0.3044	メアサ Measa
4 D	福岡署 1号 Fukuokasho No 1	0.3043	アヤスギ Ayasugi
13 M	藤津 14号 Fujitsu No 1	0.3032	—
25 Y	大口署 2号 Ookuchisho No 2	0.3024	—
9 I	鹿児島 1号 Kagoshima No 1	0.3023	—
11 K	竹田 6号 Takeda No 6	0.2997	ヤブクグリ Yabukuguri
15 O	竹田 9号 Takeda No 9	0.2990	ヤブクグリ Yabukuguri
10 J	竹田 4号 Takeda No 4	0.2938	ヤブクグリ Yabukuguri
18 R	阿蘇 1号 Aso No 1	0.2983	アヤスギ Ayasugi

* : 相対材積は修正平均値で示す。

** : 在来品種はスギ精英樹特性一覧表 (九州林木育種場, 1976) による。

*** : 太い横線は、群内の最大値より有意差のある境界を示す。

— : 由来未確認。 ? : アイソザイムパターンが類似しない。

* : The corrected mean of relative volume.

** : Identified cultivar name is after the report of the characteristics of Sugi elite trees (Kyushu Tree Breed, Inst., 1976).

*** : Thick bar indicates the boundary to distinguish the next group statistically different from the top of the group.

— : Not identified ? : Different pattern of isozyme of the identified cultivar.

表7 試験地を層化した場合の相対材積と樹高との共分散分析表

Table 7 Analysis of covariance between the relative volume and tree height by grouping according to plot.

Item	<i>f</i>	<i>S_{xx}</i>	<i>S_{xy}</i>	<i>S_{yy}</i>	<i>b</i>	<i>f</i>	<i>S_e</i>
級内 Within						138	0.051075
共通 Common	144	196.161800	1.943531	0.072850	0.009908	143	0.002518 0.053594
合計 Total	5	260.112600	1.360333	0.025282		5	0.020615
	149	456.274400	3.303864	0.098132		148	0.074209

回帰係数の有意差検定 $F = (0.002518/5)/(0.051075/138) = 1.3609NS$
 Test of significance of regression coefficient
 Y方向の高さの差の有意差検定 $F = (0.020615/5)/(0.053594/143) = 11.0013^{**}$
 Significant difference among level
 共通の回帰係数 $b = 0.0099078$
 Common regression coefficient

試験地の場所 Location of plot	記号 Symbol	相対材積平均値 Mean of relative volume	修正平均値 Corrected mean	95%レベル信頼区間 Confidence limit of 95% level
Ehime Univ.	E	0.3220	0.3155 ± 0.0079	
Kyushu U. Kasuya	F	0.3292	0.3105 ± 0.0092	
Hita-rinko H. S.	H	0.2940	0.3121 ± 0.0091	
Kyushu U. Miyazaki	K	0.3062	0.2961 ± 0.0081	
Miyazaki Univ.	M	0.3158	0.3295 ± 0.0085	
Kagoshima Univ.	T	0.3308	0.3341 ± 0.0077	

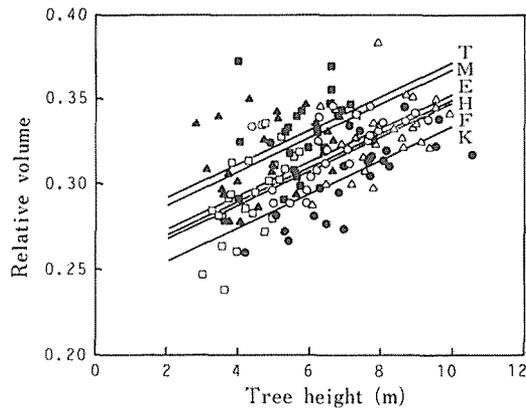


Fig. 4 Comparison of the relative volume among 6 plots in the correlation with the tree height.

- , E : Ehime Univ.,
- △, F : Kyushu Univ., Kasuya,
- , H : Hita-rinko High School,
- , K : Kyushu Univ., Miyazaki
- ▲, M : Miyazaki Univ.,
- , T : Kagoshima Univ.

図4 樹高との共分散分析による6試験地間の相対材積の比較

限演習林 (T) に植栽されたスギの相対材積が最も大きく、その修正平均値は、0.3341 となり、宮崎大学田野演習林 (M) はこれと有意な差はなく、ついで、愛媛大学米野々演習林 (E)、日田林工高校三花演習林 (H)、九州大学粕屋演習林 (F) がほぼ変わらず、九州大学宮崎演習林 (K) のスギが最も小さい相対材積 0.2961 を示した。前述のように t 検定によって有意差を計算し、同様の方法で試験地をグループ化すれば、3 グループに区分することが可能である。

このような試験地によってスギの相対材積に違いが生じる原因は何であるか、ここで決めてしまうことは困難であるが、これまでに報告されている試験地の気象条件、土壌条件 (木梨ら, 1973) から若干の検討を行うことができる。

まず、試験地間には、平均樹高においても有意な差があることから、生育立地の肥沃性が影響していると考えられるが、肥沃性の指標として平均樹高を取り上げても樹高の影響を除外して求められる相対材積の修正平均値に対して、樹高の差が依然として影響するとは考えられない。確認の意味で、各試験地毎の全スギ個体の平均樹高と相対材積の修正平均値との関係を図 5 に示したが、両者には一定の関係は認められない。すなわち、生育地の肥沃性とは無関係に完満度を決定する別の要因が考えられる。

次に、各演習林で観測されている年降水量と年平均気温について相対材積との関係を検討したが、両者とも一定の有意な関係は認められなかった。しかし、各演習林の気象観測データは、現地のもものと異なるうえに、観測の年度も異なっていてそのまま利用できない (木梨ら, 1973)。そこで、気温の代わりに試験地の標高をとり、相対材積との関係を調べると、図 6 に示すような、比較的高い負の相関 ($r=0.871$, 5% レベルで有意) が認められた。このことは、樹幹の完満度には、標高に関係して変化する気象要因と何らかの関係があると考えられ、それは、気温が高いことが樹幹上部の相対的な肥大をもたらし、樹幹の完満度を大きくするなどの作用が想像されるが、いずれにしても、この点は今後さらに確実な資料で検討すべきであると思われる。

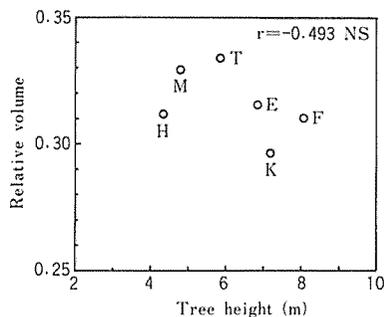


Fig. 5 Relationship between the corrected mean of relative volume and the mean tree height of each plot, respectively.

図 5 各試験地の相対材積の修正平均値と平均樹高との関係

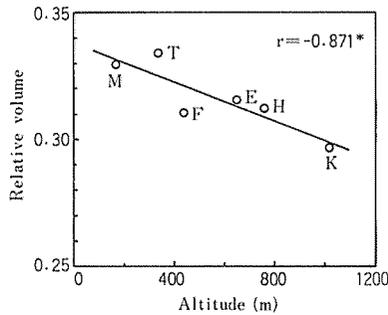


Fig. 6 Relationship between the corrected mean of relative volume and the altitude of each plot.

図6 各試験地の相対材積の修正平均値と標高との関係

3.4. 相対材積と相対枝高との共分散分析

相対材積に影響すると思われる樹木個体内の要因として、相対枝高の違いは、幹への光合成産物の配分に直接影響すると考えられるので、樹高とくらべて密接に相対材積に関与していると想像され、しかも、クローン間に有意な違いがあったことから、クローン間の違いは、相対枝高のクローン間差の反映した結果にすぎない可能性もある。そこで、このことを確認するために、樹高と同様な共分散分析をおこなった。なお、相対枝高は、宮崎大学および九州大学宮崎演習林では欠測となったので、他の4演習林のデータを用いた。

表8および図7は、相対材積と相対枝高との関係を、クローンに層化しておこなった共分散分析の結果を示した。樹高の場合と同様に、相対枝高の増加に伴い、相対材積は増大する傾向が認められた。すなわち、樹冠長割合の減少によって、樹幹が完満になることを示しており、これは、樹幹への光合成産物の配分割合が樹幹の上方に相対的に多くなるためであろうと考えられる。

このように、相対材積に対して、相対枝高の影響は認められながら、一方で、同じ程度の相対枝高をもちながら、クローン間には明らかに相対材積の大きさに差があることが確認された。この場合の修正平均値の最大および最小のクローンは、それぞれ長崎1号(L)と竹田4号(J)であり、樹高による修正平均値と比べると若干順位に変動があるが、統計的には有意差のない範囲であり、大きな違いは認められなかった。このことから、樹高の場合と同様に相対材積に関与する相対枝高の影響を除いても、なおクローン間には相対材積に有意な違いがあることが明らかとなった。

表9および図8は、相対材積と相対枝高との関係を、試験地毎に層化しておこなった共分散分析の結果を示した。この場合は、相対材積の平均修正値には試験地間に有意差が認められ、九州大学粕屋演習林(F)は、鹿児島大学高隈演習林(T)や愛媛大学米野々演習林(E)との間には有意差はなく、1つのグループにまとめられるが、日田林工高等学校三花演習林(H)と比べて有意に大きい値を示した。

ところで、樹高との共分散分析による相対材積の修正平均値の場合には、九州大学(粕屋) (F)は、相対枝高の場合と同様に、愛媛大学(E)との間に有意差はないが、一方では相対枝高の場合と異なって、鹿児島大学(T)との間では有意差がみられ、日田林工高等学校(H)との間では有意差はなかった。このことは、相対材積は、樹高と相対枝高にそれぞれ独立的に影響を受けている面があると考えられる。すなわち、鹿児島大学(T)は、樹高

表8 クローンを層化した場合の相対材積と相対枝高との共分散分析表
 Table 8 Analysis of covariance between the relative volume and relative branch height by grouping according to clone.

Item	f	S_{xx}	S_{xy}	S_{yy}	b	f	S_e
級内 Within						50	0.021268
共通 Common	75	0.842182	0.098642	0.037676	0.117127	74	0.004855 0.026123
合計 Total	24 99	0.075671 0.917852	0.012219 0.110861	0.030553 0.068230		24 98	0.028717 0.054840

回帰係数の有意差検定 $F = (0.004855/24) / (0.021268/50) = 0.4756NS$
 Test of significance of regression coefficient
 Y方向の高さの差の有意差検定 $F = (0.028717/24) / (0.026123/74) = 3.3896^{**}$
 Significant difference among level
 共通の回帰係数 $b = 0.1171269$
 Common regression coefficient

クローン記号 Clone symbol	相対材積平均値 Mean of relative volume	修正平均値 Corrected mean	95%レベル信頼区間 Confidence limit
A	0.3277	0.3227	± 0.0188
B	0.3161	0.3116	± 0.0188
C	0.3225	0.3236	± 0.0187
D	0.3083	0.3081	± 0.0187
E	0.3405	0.3415	± 0.0187
F	0.3035	0.3051	± 0.0187
G	0.3309	0.3316	± 0.0187
H	0.3116	0.3117	± 0.0187
I	0.2965	0.2954	± 0.0187
J	0.2929	0.2880	± 0.0188
K	0.2995	0.3035	± 0.0188
L	0.3508	0.3489	± 0.0187
M	0.3092	0.3113	± 0.0187
N	0.3294	0.3307	± 0.0187
O	0.2943	0.2994	± 0.0188
P	0.3384	0.3360	± 0.0187
Q	0.3348	0.3338	± 0.0187
R	0.2865	0.2890	± 0.0187
S	0.3315	0.3262	± 0.0188
T	0.3270	0.3250	± 0.0187
U	0.3414	0.3391	± 0.0187
V	0.3253	0.3320	± 0.0189
W	0.3244	0.3221	± 0.0187
X	0.3334	0.3385	± 0.0188
Y	0.2979	0.2996	± 0.0187

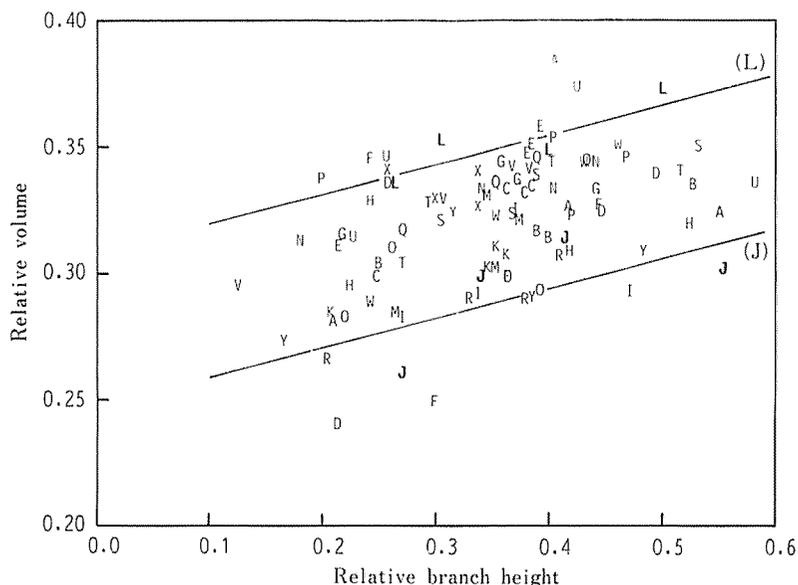


Fig. 7 Comparison of the relative volume among 25 clones in the correlation with the relative branch height.

Alphabet denotes the clone shown in Table 1. Linear regression lines are shown only for the clones which had the maximum and minimum values of the corrected mean of the relative volume.

図7 相対枝高との共分散分析による25クローンの相対材積の比較

アルファベットは表1のクローンを示す。直線回帰線は、相対材積の最大および最小の修正平均値を示したクローンの場合のみ示す。

が低い割に相対材積の修正平均値が大きかったが、これは、相対枝高が大きいことが原因であると考えられる。一方、日田林工高等学校(H)の場合は、相対枝高が小さいが、それ以上に相対材積修正平均値が小さい傾向にあるために、樹高による修正平均値の場合より有意に小さい結果が得たとみられる。

3.5. 25 精英樹クローンとスギ在来品種との関係

九州で選抜された696本のスギ精英樹クローンの中で、さし木発根率60%以上の精英樹は180クローンであるが、その中で母樹がさし木に由来しているとみられるものは、約90%にも達するために、外部形態調査やパーオキシダーゼ・アイソザイムによるクローン判定の結果、在来品種と同一とみられるクローンが113クローンも含まれている(九州林木育種場, 1976)(宮島, 1985)。そこで、表6では、九州林木育種場(1976)が公表した精英樹特性一覧表の中でみられる在来品種系統名を併記してみると、実生や系統の不明なものがあるが、25クローンのうち、15クローンは在来品種のヤブクグリ、アヤスギ、メアサ、イワオ、オビアカ、トサアカ、ハアラの7品種のいずれかに属している。なお、始良15号は、外部形態ではメアサと同定されながらもアイソザイムによる解析では、問題視されたクローンである。表1に示したように、相対材積の修正平均値の大きい順にクローンを並べると、トサアカとオビアカは、ハアラと共に、相対材積の修正平均値の大きいほう

表9 試験地を層化した場合の相対材積と相対枝高との共分散分析表

Table 9 Analysis of covariance between the relative volume and relative branch height by grouping according to plot.

Item	<i>f</i>	<i>S_{xx}</i>	<i>S_{xy}</i>	<i>S_{yy}</i>	<i>b</i>	<i>f</i>	<i>S_e</i>
級内 Within						92	0.044318
共通 Common	96	0.295178	0.013137	0.046241	0.044507	3	0.001338
合計 Total	99	0.917852	0.110863	0.068229		95	0.045656
						3	0.009182
						98	0.054838

回帰係数の有意差検定 $F = (0.001338/3) / (0.044318/92) = 0.9258NS$
 Test of significance of regression coefficient
 Y方向の高さの差の有意差検定 $F = (0.009182/3) / (0.045656/95) = 6.3686^{**}$
 Significant difference among level
 共通の回帰係数 $b = 0.0445065$
 Common regression coefficient

試験地の場所 Location of plot	記号 Symb.	相対材積平均値 Mean of relative volume	修正平均値 Corrected mean	95%レベル信頼区間 Confidence limit of 95% level
Ehime Univ.	E	0.3220	0.3195 ± 0.0097	
Kyushu U. Kasuya	F	0.3292	0.3302 ± 0.0089	
Hita-rinko H.S.	H	0.2940	0.2992 ± 0.0129	
Kagoshima Univ.	T	0.3308	0.3270 ± 0.0111	

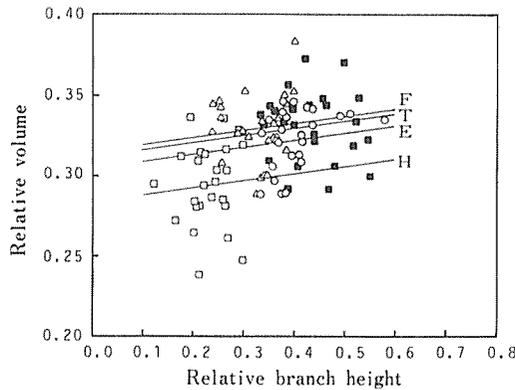


Fig. 8 Comparison of the relative volume among 4 plots in the correlation with the relative branch height.

○, E: Ehime Univ., △, F: Kyushu Univ., Kasuya,
 □, H: Hita-rinko High School, ■, T: Kagoshima Univ.

図8 相対枝高との共分散分析による4試験地間の相対材積の比較

から第2番目のグループに所属しており、第3番目の完満度の劣るグループに所属するアヤスギおよびヤブクグリとは明確に区別されることが明らかになった。また、メアサは、イワオとともに在来品種の中では中間的な完満度を示す系統であると考えられる。なお、メアサは、第2と第3のグループに別れているが、このグループは便宜的なもので、メアサに同定された始良25号と26号の間には有意な差はない。さらに、明らかに有意差のあった始良15号は、アイソザイムによるクローン分析の結果ではメアサに同定できないと考えられていたが、樹幹の完満度という外部形態上にも違いが生じていることが明らかになった。

以上のことから、共分散分析をとおしてクローン間に幹の完満度に明確な違いがあることが、さらに在来品種との関係でも矛盾なく証明されたと判断される。

南雲ら(1983)は、50年目のスギ品種試験地の10品種とヒノキについて樹幹形の差異について検討し、試験地に生育している品種毎の順位は明確ではないが、完満度に有意な差を見出している。10品種の名前は、いずれも六演習林のクローン品種系統と異なるが、この中でインスギはヤブクグリと同一品種と考えられ(佐藤ら, 1968)、インスギは、10品種を大局的に分けた場合に最も完満度の小さい品種群に入ることが述べられている。さらに、南雲らは、同じ試験地の15品種をもちいた解析では、相対幹形は年齢とともに大きくなる傾向にあるが、その大小関係は品種によってかなり幼齢時に決まっているとし、相対幹形の小さい品種にヤブクグリをあげている(金光ら, 1985)。ヤブクグリが幹の細りが大きいことは長浜(1975)も報告している。これらの報告と本研究とから、スギ品種の中ではヤブクグリ系統の品種は、若い時期から梢殺の傾向を示し、樹齢が50年程度までは年齢の増加によって完満となるが、依然としての梢殺の傾向は変わらないと考えることができる。

3.6. 相対材積と幹の容積密度との関係

筆者らは本報告で用いた供試木の胸高部位の材について、4方向の最外周を除く外周3年輪の容積密度、晩材率などの特性を計測し、別途報告している(矢幡ら, 1987)。その中では、容積密度は年輪幅の増加に伴い減少する傾向が見られるので、年輪幅の影響を除くために共分散分析によって修正平均値を求めているが、この修正した容積密度の大きいクローンは、相対材積が小さいという傾向が伺える。そこで、これらの相対材積と容積密度との関係を示すと図9のようになり、両者には有意な負の相関関係($r = -0.722$, 1%レベルで有意)が認められた。胸高部位の容積密度は、樹幹上部の容積密度とも高い相関がある(矢幡ら, 1987)ことから考えると、樹幹が完満な個体は、容積密度が小さくなり、しかも、この傾向は全てのクローンを含んで成り立つことを示している。

このことは、あたかも樹幹を構成する物質量がクローン間で差がない場合に、この一定の物質量に対して、幹の密度を大きくすると、容積を減少せざるを得ず、樹幹は梢殺になると考えることができる。一方、相対材積と晩材率との関係においても負の相関を示すことから、完満な樹幹をもつクローンは、晩材部より早材部の比率を大きくすることによって完満となったと考えることができる。スギの容積密度や晩材率は遺伝的に決定されていると考えられるが、この容積密度や晩材率の大きい形質の個体では、樹幹が梢殺になることは、必然的で避けられないのかもしれない。

しかし、以上のような高い負の相関があっても、なおその中でバラツキが認められるこ

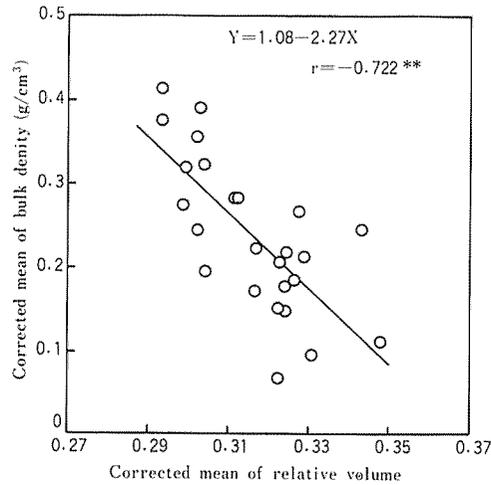


Fig. 9 Relationship between the corrected means of relative volume with tree height and the corrected means of stem bulk density with annual ring width for 25 clones.

The data of stem bulk density were derived from the report (YAHATA *et al.*, 1987)

図9 樹幹の相対材積の樹高修正平均値と幹材容積密度の年輪幅修正平均値との関係
年輪幅修正平均値は、矢幡ら(1987)による。

とから、樹幹が完満でなおかつ容積密度の大きい個体が選抜できる可能性は残されているとみられる。ただし、その選抜の効果は低減し、容易なことでないように思われるが、その結論は今後の研究に待ちたい。

4. お わ り に

6 演習林の各試験地に植栽した 25 精英樹クローンについて、樹幹の完満度を示す相対材積を調べた結果、試験地間ならびにクローン間に有意な差がみられた。このことを幹形図として視覚的に認識するために、樹高による相対材積の修正平均値の最大、最小の値を示した試験地とクローンのそれぞれについて、相対高、すなわち、梢端から根元までの相対距離に対する幹の相対直径を打点し図化すると、図 10 のとおりとなる。なお、図に示す相対樹幹曲線は、表 10 に示すように 3 次の多項式で表わしたものを図化したものである。

図から明らかなように、鹿児島大学のスギは、九州大学宮崎演習林のものよりやや幹が完満であること、また、6 試験地のデータが混在しているにもかかわらず、綾署 1 号は、阿蘇 1 号とくらべて明瞭に完満度が大きいことが読み取れる。

以上のように、供試木の樹齢は若く、このために平均相対材積は、0.316 と小さく、いずれも樹幹形は尖形であったが、若い段階においても、立地やクローンの影響が現われていることが明らかになった。また、樹幹形には、標高に関係して変化すると考えられる環境条件が影響するとともに、個体内の容積密度や晩材率の違いが影響していることも明らかとなった。

今後の生長とともに、相対材積は大きくなることが予想されるので、各生育段階において同様の比較研究が必要と思われる。

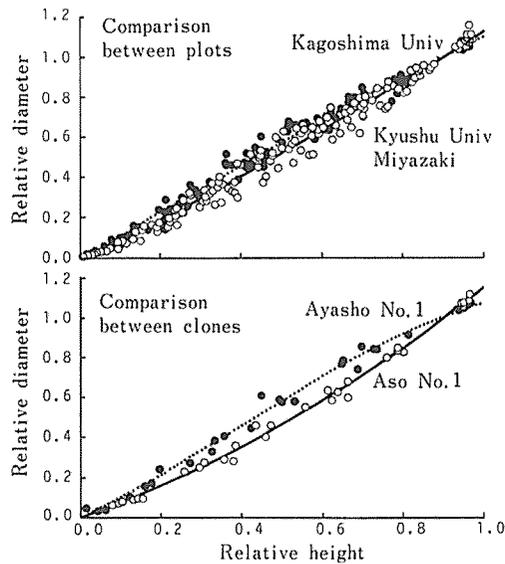


Fig. 10 Illustration of stem forms which showed the greatest and the least relative volume among plots and clones.

Stem form curves are drawn by the equations listed in the Table 9.

図10 最大および最小の相対材積を示した試験地およびクローンの相対幹曲線

表10 相対材積の修正平均値が最大および最小を示した試験地とクローンの幹曲線式の係数
Table 10 The coefficient of stem form curve equation for the stems of the plots and the clones which showed the maximum and minimum values of the corrected mean of the relative volume.

Group Names	Symb.	a_0	a_1	a_2	a_3	r^*	$\eta_{0.5}$
Location of plot							
Kagoshima Univ.	T	-0.0089	1.1432	0.1043	-0.1382	0.9927	0.5715
Kyushu Univ.(Miyazaki)	K	-0.0091	0.9107	0.3766	-0.1533	0.9914	0.5212
Name of clone							
Ayasho No 1	21	-0.0001	0.9299	0.8053	-0.6637	0.9963	0.5832
Aso No 1	18	-0.0024	0.7519	0.3712	0.0316	0.9972	0.4703

* : the coefficient of determination.

引用文献

大隅真一 (1959) : 幹形に関する研究 (1) 相対幹形について, 日林誌 41 : 471~479
 梶原幹弘 (1972) : スギ同齡林における相対幹曲線の変動について, 日林誌 54 : 340~345
 金光桂二・南雲秀次郎・石原 猛・鈴木 誠・田中和博・松本陽介・白石則彦・石橋整司・丹下 健
 (1985) : 千葉演習林相の沢スギ品種試験地 50 年の生長経過, 演習林 24 : 65~110
 木梨謙吉・宮島 寛・吉良今朝芳・常岡雅美・宮崎安貞・加藤退介・汰木達郎・荒上和利・首藤三吾・
 辻本克己・黒木晴輝・林 重佐・黒木嘉久・中村徳孫・緒方吉箕・金丸勇二・渡部 桂・江崎次
 夫・山畑一善・佐藤義明・神川建彦・溝田実雄 (1973) : 九州産スギ品種の特性に関する実験統計

- 学的研究. 九大演報 47: 21~76
- 九州林木育種場 (1976): スギ精英樹特性一覽表
- 長浜三千治 (1975): スギにおける幹の細り. 86 回日林講: 212~213
- 南雲秀次郎・石橋整司 (1983): 東京大学千葉演習林・相の沢スギ品種試験地の解析 (IV)―品種毎の樹幹形の差異について―. 94 回日林論: 169~170
- 宮島 寛・木梨謙吉ほか六演習林共同研究班 (1982): 六演習林スギ品種試験地の 10 年目の結果について (IX)―二重格子法による 25 クロウンの成績―. 93 回日林論: 209~210
- 宮島 寛・矢幡 久・児玉 貴・渡部 桂・久保田茂・汰木達郎・山本福寿・野上寛五郎・黒木晴輝 (1985): スギ精英樹の樹幹形. 日林九支研論 38: 97~98
- 矢幡 久 (1983): デジタルタイザ利用によるアナログ記録データの処理―幹材容積密度の計測などへの適用―. 日林九支研論集 36: 121~122
- 矢幡 久・宮島 寛・西林寺隆・古家宏俊・児玉 貴・汰木達郎・山本福寿・久保田茂・渡部 桂・野上寛五郎・黒木晴輝 (1987): 六演習林スギ品種試験地のスギ在来品種および精英樹クロウン間の材質変動. 九大演報 57: 149~173

Summary

In order to clarify the stem form variations of clones of *Cryptomeria japonica* plus trees which had been selected in Kyushu, one sample tree from 25 clones was collected, respectively, from the experimental forests which had been settled 13 years before as the progeny tests (clonal test) in 6 different experimental forests in the islands of Kyushu and Shikoku (Fig. 1, Table 1). The total of 150 sample trees with the diameter equal to the average of each clone in each plot were used for the stem curve investigation. The relative stem curve was obtained by plotting the relative radius based on the diameter at nine-tenths of the total height from tip over the relative height. By using the relative stem curve, the relative volume and the relative radius at the relative height of 0.1, 0.3, 0.5, and 0.7 of tree ($\eta_{0.1}$, $\eta_{0.3}$, $\eta_{0.5}$, $\eta_{0.7}$) were used as a measure for the relative stem form. The results obtained were as follows.

The relative volume could be used alone to represent the stem form tapering of a ramet (Fig. 2). As a result of the analysis of variance on the relative volume, there were significant differences both among the clones and the forests (Table 2). On the other hand, there were also significant differences in tree height both among the clones and the plots, and in the relative branch height (branch height/tree height) among the plots (Table 3, Table 4). Therefore, the significant differences of the relative volume might result from the difference of the height and/or the relative branch height. Hence, in order to ascertain whether there are still differences of relative volume among clones and plots even when the effect of tree height and the relative branch height are eliminated, the analysis of covariance between tree height and relative volume was made, and showed the significant difference in corrected mean of relative volume among clones and plots (Table 5, Table 7, Fig. 3, Fig. 4).

According to the report on the morphological aspect and the isozyme analysis, 15 out of 25 clones were identified as 7 native cultivars, respectively, which are already widely planted in Kyushu. The relative volumes of the clones, possibly same clone of a cultivar, were similar as a matter of course (Table 6). This facts certified furthermore the genetic variation of stem form of *Cryptomeria japonica* is great. The clones identified as Obiaka and Tosaka have a greater relative volume than the ones identified as Yabukuguri and Ayasugi.

The corrected mean of the relative volume obtained by the covariance analysis based on the tree

height also differ significantly among plots which has a different environment (Table 8, Table 9, Fig. 7, Fig. 8). The corrected mean of relative volume of Kagoshima University forest was greater than the one of Kyushu University forest in Miyazaki. As a result of a brief examination, a highly negative correlation was found between the corrected mean of relative volume and the altitude which might be related with air temperature or some other environmental factors related to the altitude (Fig. 5, 6).

There was negatively high and significant correlation between the corrected mean of relative volume and the corrected mean of bulk density with annual ring width which were reported in the other paper for the same clones (YAHATA *et al.*, 1986) (Fig. 9). This result indicates that trees with a greater bulk density could not have a full bole as if the total mass seemed constant.

Although the age of sample trees was very young, the relative stem volume was significantly influenced by the hereditary elements as well as the environmental factors (Fig. 10).