

スギ精英樹クローンにおける材質変異

丹原 哲夫

Variation of Wood Properties in Plus-Tree

Clones of Sugi (*Cryptomeria japonica*)

TANBARA Tetsuo

要旨：岡山県での「精英樹材質評価手法に関する調査」の結果を使用し、各形質の遺伝性や立地環境などに対する反応性、スギ精英樹クローンの特性などについて検討した。容積密度数、心材色、ヤング係数などの年輪特性や力学的特性は、成長や形態的特性に比較して遺伝的支配の割合が比較的高く、立地環境や施業の影響が小さかった。特に、心材色でアカジン系とクロジン系のクローンは明確に区分できた。また、諸形質間の相関は概して小さく、単一指標での材質評価は難しい。そして、クローンによって様々な遺伝的特性が認められ、今後、どのような形質をどの程度改良するのか、材質改良の目標を明確にする必要がある。

キーワード

スギ 精英樹 材質育種

I. はじめに

林木育種事業が開始されて30年が経過し、精英樹種苗の造林が拡大するとともに、次代検定林も間伐期を迎え、生育性等の特性も明らかになって来ている。

一方、近年の優良材生産指向にともない、精英樹に対し材質面からの評価が求められるようになって来た。林野庁では1988～1990年に「精英樹材質評価手法に関する調査」を委託事業（林木育種協会および12県）として実施した。そして、各形質の遺伝性や必要サンプリング数、さらに選抜効果等について解析、試算が行われた¹⁾。

岡山県でも1988年にスギさし木次代検定林（以下検定林）を使用して、同委託調査を実施した。本報告は、岡山県での調査資料の一部を使用し、各形質の立地環境などによる変動やクローン特性などについて検討したものである。

本調査を実施するにあたり間伐木の提供を頂いた、岡山県林業公社および赤木和夫氏にお礼申し上げます。また、測定機器の使用に便宜を図って頂いた、林木育種センター関西育種場に謝意を表す。

なお、本報告の一部は第41回日本林学会関西支部大会（1990年）において発表した。

II. 材料および方法

1. 検定林と調査クローン、調査本数

検定林の環境条件を表-1に、施業の状況を表-2に示す。

表-1 次代検定林の環境条件

検定林No.	設定地	調査林齢	標高	地質	土壌型	年平均気温	年降水量
1	苫田郡富村	19年	530m	花崗岩	BD-BD(d)	10℃	2,200mm
3	英田郡西粟倉村	18	540	花崗岩	同	11	2,000
13	川上郡備中町	15	400	古生層	同	12	1,500

表-2 次代検定林の施業の状況

検定林No.	植栽密度	現在密度	除間伐歴	枝打ち歴
1	3300/ha	2500/ha	8.12年生	-
3	3300	2000	12.14.16	17年生
13	5000	4000	-	-

No.1, 3検定林は県中部および東部の中国山地地域に, No.13検定林は県西部の吉備高原地域に位置し, これらの検定林では地質, 年降水量, あるいは密度管理などの施業条件も異なった。検定林は乱塊法3反復による設計で, 反復区はNo.1, 3検定林では谷沿いに列状に, No.13検定林では同一斜面に団地的に設定している。

調査クローンは, 真庭2号 (No.1), 真庭5号 (No.2), 真庭10号 (No.3), 真庭13号 (No.4), 真庭14号 (No.5), 真庭21号 (No.6), 真庭31号 (No.7), 真庭34号 (No.8), 苫田4号 (No.9), 後月1号 (No.10), 阿哲3号 (No.11), 新見2号 (No.12)であった。クローンNo.2は, No.1, 3検定林から, No.11はNo.1, 13検定林から, その他の10クローンは3検定林から共通に資料を供試した。1クローンあたりの供試本数は, 原則として1反復区あたり3本とした。

2. 調査方法

調査は原則として「精英樹の材質評価手法に関する調査実施要領」⁹⁾によった。その概要を表-3に示す。

表-3 調査形質と測定方法

形質	計測方法
①樹高	巻尺により0.1m単位で計測。
②胸高直径	輪尺により1cm単位に計測。
③枝張り	2方向を巻尺により, 0.1m単位で計測。
④枝下高	力枝までの高さを0.1m単位で計測。
⑤年輪幅	円盤の2方向をノギスにより0.1mm単位で年輪毎に計測し, 平均値を算出。
⑥晩材率	円盤の2方向をノギスにより0.1mm単位で各年輪の晩材部を計測し, 年輪幅に対する比率の平均値を算出。
⑦心材率	円盤の4方向をノギスにより0.1mm単位に計測し, 平均値を算出。
⑧偏心度	円盤の髓を中心に, 最大半径とその反対方向の半径の比率。
⑨真円率	円盤の長径と単径の比率。
⑩容積密度数	心材部, 移行材部, 辺材部から資料をとり, 浮力法により計測して平均値を算出。
⑪心材色	測色計により計測し, $L, b/a, \sqrt{a^2 + b^2}$ 値を算出。
⑫ヤング係数	2mの丸太に荷重をかけ, そのたわみ量を計測して, 所定の計算式にて算出。

ここで、①②は伐倒木、③④は立木、⑤～⑩は根元から1.2m部分の厚さ10cmの円盤、そして、⑪はその上部2.3mの丸太を使用して調査した。なお、心材色は8カ月間自然乾燥後、柃目面をナイフで切削し、資料毎に心材色の代表と考えられる任意の位置1箇所、測色計（日本電色工業kk、スリット幅1.0mmφ）によって測定した。色の表示はHunterのL, a, b表色系を使用した。

Ⅲ. 結果と考察

1. 調査結果の概要

検定林別調査結果の概要を表-4に示す。

表-4 調査結果の概要

形 質	No.1 検定 (富村)			No.3 検定 (西栗倉村)			No.13 検定 (備中町)		
	平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数
樹 高 (m)	9.28	2.08	22.5	8.07	1.52	18.8	9.29	1.93	20.8
胸高直径 (cm)	11.56	2.43	21.0	10.91	1.86	17.1	10.68	1.91	17.9
形状比	80.5	9.54	11.8	74.1	8.18	11.0	87.3	11.65	13.3
枝張り (cm)	246	46.1	18.7	236	41.5	17.6	198	31.7	16.0
枝下高 (m)	3.12	1.27	40.6	2.94	0.75	25.5	3.63	1.17	36.7
年平均樹高 (m)	0.49	0.11	22.5	0.45	0.09	19.0	0.62	0.13	20.8
平均年輪幅 (mm)	3.71	0.63	16.9	3.68	0.65	17.6	4.21	0.71	16.8
枝張り度	10.4	1.41	13.5	10.3	1.47	14.3	8.7	1.36	15.6
枝下高率 (%)	33.2	9.02	27.2	36.7	7.05	19.2	38.9	8.46	21.7
ヤング係数	58.9	13.58	23.0	64.7	12.63	19.5	66.4	13.71	20.6
容積密度数 (kg/m ³)	304.9	24.73	8.1	319.2	28.45	8.9	293.8	36.14	12.3
晩材率 (%)	22.0	4.24	19.3	20.6	4.77	23.1	24.8	4.53	18.2
心材率 (%)	29.8	11.32	38.0	34.1	10.75	31.5	31.8	8.31	26.2
偏心度 (%)	124.6	17.36	13.9	124.6	16.43	13.2	119.5	13.19	11.0
真円率 (%)	92.6	3.81	4.1	93.4	3.29	3.5	93.8	4.95	5.2
L (明度)	62.2	6.01	9.6	59.9	4.8	8.0	60.7	4.93	8.1
b/a (色相)	0.64	0.09	13.3	0.63	0.07	11.5	0.61	0.06	10.1
√a+b (彩度)	22.67	1.78	7.8	23.1	1.85	8.0	23.7	1.57	6.6

調査個体数: No.1 検定林 89本 No.3 検定林 89本 No.13 検定林 97本

年平均樹高: 樹高/林齢 枝張り度: 枝張り/(胸高直径+12) 枝下高率: 枝下高×100/樹高

調査木の生育状況は検定林によって大きく異なった。調査林齢が最も小さいNo.13検定林での年平均樹高、平均年輪幅が、No.1, 3検定林に比較して大きく、樹高、胸高直径では検定林間に大きな違いは見られなかった。また、形状比、枝張り度も主に密度管理との関係で検定林によって異なった。形状比はNo.13>No.1>No.3検定林、枝張り度はNo.13<No.3=No.1検定林であった。

心材率、枝下高率は個体間の変動が最も大きかった。これは、前者は調査時期が心材形成の初期段階に当たっており、個体によってほとんど形成されていない場合もあったことが主な原因であり、後者は調査木と周囲木との競争関係が、個体位置などによって大きく異なっていることが原因であろう。

真円率および心材色の明度、彩度は、最も個体間の変動が小さい形質であった。

2. 遺伝と環境などの影響の度合い

各形質について、共通クローンを使用した分散分析の結果から、クローンと検定林の主効果、それらの交互作用および誤差変動による分散の寄与率を図-1に示す。

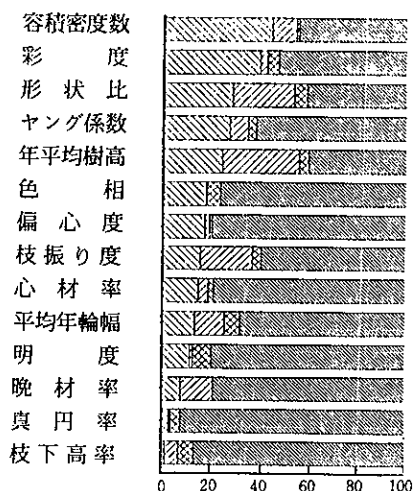


図-1 分散分析での分散の寄与率

クローンの主効果
 検定林の主効果
 交互作用
 誤差

形状比、年平均樹高は、クローンと検定林の寄与率が同程度で、ともに高く、両主効果での寄与率は約50%であった。そして、交互作用も認められた。また、枝張り度、平均年輪幅および晩材率は、形状比などと同様にクローンと検定林の寄与率はほぼ同程度であったが、誤差変動が大きく、両主効果での寄与率は25~35%であった。

容積密度数、心材色の彩度およびヤング係数は、クローンの寄与率が25~40%で最も高いグループに属し、しかも検定林の寄与率は10%以下であった。交互作用は、容積密度数、ヤング係数には認められなかったが、心材色の彩度では検定林の主効果より高かった。また、心材色の色相、明度、偏心率および心材率は、誤差変動が大きく、クローンの寄与率は10~20%であったが、検定林の寄与率はきわめて低く、主効果の寄与率のパターンは容積密度数などと同様の傾向であった。交互作用は偏心率、心材率には認められなかった。しかし、色相、明度では10%程度認められ、彩度と同様に検定林の主効果より高かった。

真円率、枝下高率でのクローンの寄与率は10%以下であり、しかも枝下高率にはクローン間の有意差が認められなかった。また、これらの形質は誤差変動がきわめて大きかった。

すなわち、成長や樹幹の形態などは、遺伝的支配とともに立地環境や密度管理などの施業の影響を同程度に強く受ける形質である。それに対し、容積密度数、心材率、偏心率、ヤング係数などの年輪特性や強度的特性は、立地環境や施業の影響に比較して遺伝的支配の度合いが高い形質である。また、心材色も遺伝的支配の度合いが高いが、検定林のようなマクロな立地環境より、プロットの設定位置などのミクロの立地環境によって変動する形質と言える。真円率、枝下高率などでは大きな誤差変動がみられた。その主要な要因は、単なる測定誤差の他に、①ミクロな立地環境による変動。②測定者の主観的要素の混入（晩材率、枝下高率など）。③節の存在や形質の発現初期のためなどによる形質の不安定性（ヤング係数、心材率など）。④変異の小さい形質（真円率など）。などであろう。

3. 形質相互間の関係

農林規格には構造用材として年輪幅による規制とともに、構造用製材品の等級区分には、強度的特性としてヤング係数が導入されている。また、容積密度数、晩材率なども重要な特性とされている²⁰。そこで、主な形質間の相関係数を表-5に、ヤング係数と6形質との関係を図-2に示す。

表-5 主な形質間の相関行列 (N=286)

形 質	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8
ヤング係数 X1	-	0.200	-0.129	0.435	0.228	-0.273	0.166	0.343
年平均樹高 X2	**	-	0.717	0.589	0.154	0.286	0.005	-0.113
平均年齢幅 X3	*	**	-	0.012	0.152	0.539	-0.189	-0.286
形 状 比 X4	**	**	N.S	-	0.082	-0.297	0.192	0.117
枝下高率 X5	**	**	*	N.S	-	0.170	0.159	-0.013
心 材 率 X6	**	**	**	**	**	-	-0.170	-0.198
晩 材 率 X7	**	N.S	**	**	**	**	-	0.192
容積密度数 X8	**	N.S	**	*	N.S	**	**	-

*: 5%水準で有意 **: 1%水準で有意
N.S: 5%水準以上で有意でなし

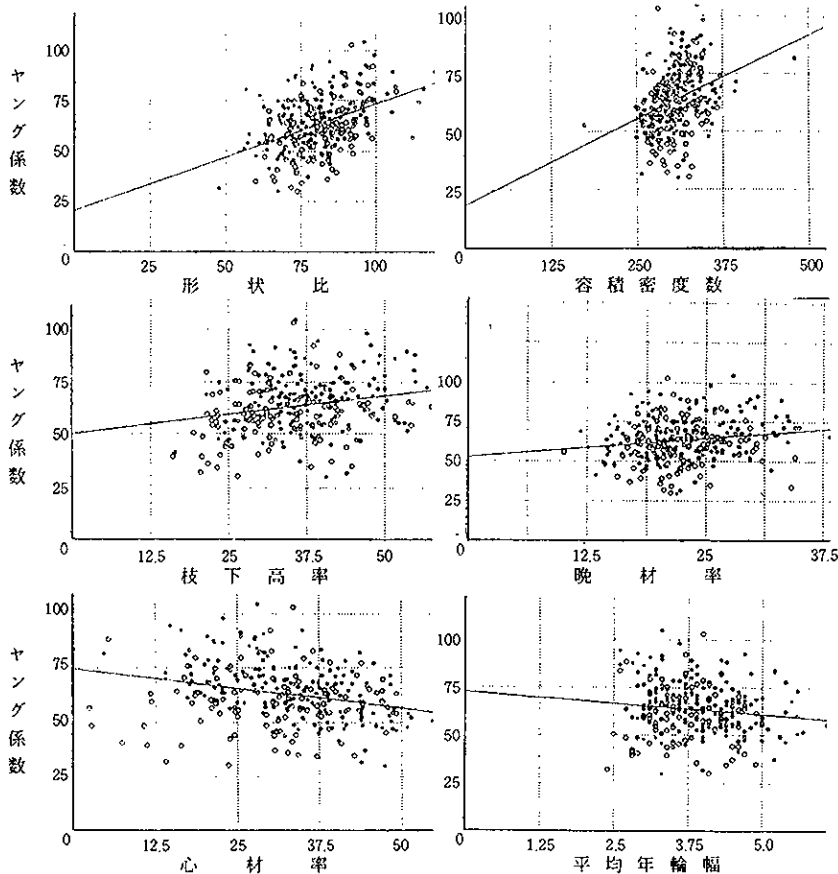


図-2 ヤング係数と諸形質との関係

○ Na.1 検定林 ● Na.3 検定林 ○ Na.13 検定林

ヤング係数との関係で見れば、形状比、容積密度数、枝下高率、晩材率および年平均樹高には正の、心材率、平均年輪幅には負の相関が認められた。しかし、形状比および容積密度数との相関は比較的高いが、その他の形質との相関は概して小さかった。また、その他の形質間では、年平均樹高と平均年輪幅・形状比、平均年輪幅と心材率には比較的高い相関が認められたが、その他の形質間の相関は概して小さかった。

既往の研究においても、ヤング係数、年輪幅、容積密度数、晩材率などに判然とした関係は認められていない¹⁰。その原因として、①ヤング係数と枝下高率に正の、心材率とに負の相関が認められたように、試験材料が、樹冠材と枝下材あるいは未成熟材と成熟材と言われる年輪組成や力学的特性を異にする複合体であること。②次項で検討するように、クローンによって様々な形質特性を示す材料をこみにして解析したこと。③前項での誤差要因の検討の中で、晩材率などは主観的誤差が混入する形質であること。などが関与していると推察した。しかし、いずれにしても単一指標での材質評価は困難であり、特にヤング係数はそれらの複合形質と考えられる。また、①の関係から、本調査での調査林齢あるいは個体サイズ、また、節の存在もヤング係数などに関与していると考えられ、本来の遺伝的特性を把握するためには、今後の追跡調査による検証が重要であろう。

ヤング係数との関係では形状比と最も高い相関が認められた。本調査でのヤング係数は、丸太を中央部直径の円柱体と仮定して算出した。元口と末口直径の差を考慮すれば、その差が大きいほど真のヤング係数は算出値の上方修正が必要となり、ここで算出した相関係数は過大値になっていることになる。しかし、丸太での測定例からその誤差は小さいとされており¹¹、前述したように、成熟材と未成熟材の構成割合や、節の出現状況も関与していると推察した。

次に、ヤング係数と成長形質の相関は概して小さく、これまで精英樹選抜育種は成長に重点が置かれており、材質的特性に背反すると言われてきたが、必ずしも妥当でないと言える。したがって、成長、材質ともに優良な個体の選抜も可能であることが示唆された。

4. 成長、ヤング係数などの検定林間、クローン間の比較

(1) 検定林間の比較

分散分析での検討から、検定林の主効果が比較的大きい形質について、検定林間の比較を行った(表-3参照)。検定林ごとの特徴は次のとおりであった。

Na1: 成長、形状比、枝張り、晩材率は中位で、枝下高率は低く、ヤング係数も低かった。

Na3: 成長はやや低位で、形状比、晩材率も低かった。しかし、枝下高率、容積密度数、ヤング係数は高かった。

Na13: 成長は上位で、ヤング係数、形状比、枝下高率、晩材率も高かった。しかし、容積密度数は低かった。

以上の結果から、検定林間の違いを施業などとの関係で考察した。成長の良好なNa13検定林は、容積密度数は低位だが、高密度の密度管理によって晩材率、ヤング係数は上位であった。一方、枝打ちを実施しているNa3検定林は、成長、晩材率は低位であったが、容積密度数、ヤング係数は上位であった。したがって、判然とした考察は困難であるが、立地環境や密度管理、枝打ちなどの施業条件が、年輪組成や強度的特性に関与していると推察した。

(2) クローン間の比較

分散分析においてクローン間に有意差が認められた形質について、各個体の調査結果を図-3に示す。

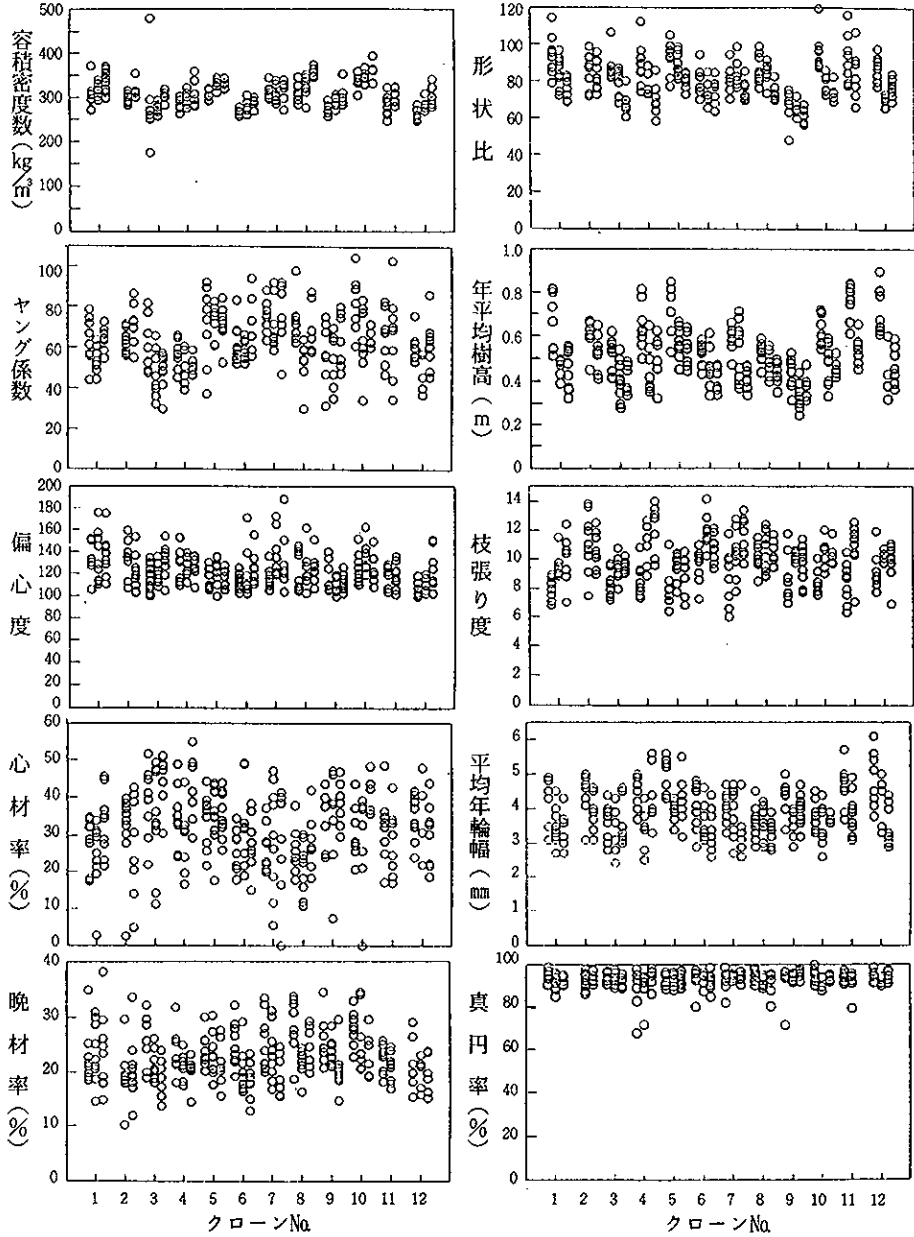


図-3 10形質での各個体の調査結果

左側値：No.13検定林 中央値：No.1検定林 右側値：No.3検定林

クローンごとの特徴は次のとおりであった。

№1：偏心性はやや低位。枝張りが小さい。

№2：成長は上位。枝張りが大きい。

№3：成長、ヤング係数はともに低位。心材率は大きく、枝張りは小さい。

№4：ヤング係数は低位。枝張りが大きい。

№5：成長、ヤング係数は上位。形状比は高く、枝張りは小さい。

№6：容積密度数は低位。枝張りが大きい。

№7：ヤング係数は上位。心材率が小さい。

№8：容積密度数、晩材率は上位。成長は下位で、心材率は小さい。

№9：成長は下位。形状比は小さく、心材率は高い。

№10：容積密度数、晩材率、ヤング係数はともに上位。

№11：成長は上位。形状比は高く、枝張りは大きい。

№12：成長、偏心性は上位。容積密度数、晩材率、ヤング係数はともに下位。

なお、クローン№2、11は染色体が三倍体であることが確認されている。三倍体クローンについては、成長が良好なことが一般に認められているが、材質的にも特に不良な点は認められなかった。

このように、ほとんどの形質が良好なクローン(№5)、成長は上位だが材質は下位のクローン(№12)、成長は中位だが材質は上位のクローン(№10)、成長は下位だが材質は中～上位のクローン(№8)、成長、材質ともに下～中位のクローン(№3)、さらに材質形質の中でも容積密度数は低位だが、ヤング係数は中位であるクローン(№6)などのように、クローンによって様々な特性が認められた。今後、材の利用上あるいは市場価格の面で、許容できる形質と積極的に改良を図る必要がある形質を区分し、どのような形質をどの程度改良するのか、材質改良の目標を明確することが課題となろう。

5. 心材色

(1) 検定林間の違い

分散分析の結果、彩度には検定林間に有意差が認められたが、明度、色相には認められなかった。彩度は№13検定林がやや高い傾向であった(表-3参照)。視覚的観察の結果でも検定林間の差はきわめて小さいが、№13検定林がやや鮮やかな傾向であった。

(2) クローン間の違い

心材色の3属性値の調査結果を図-4に示す。

彩度と色相にクローン間に有意差が認められた。クローン№8は彩度が安定的に22以下で、色相も比較的高い特異なクローンであった。視覚的にも薄い茶褐色を呈し、いわゆるクロジン系と判定した。そして、その他のクローンはアカジン系と判定した。アカジン系の中でのクローン間の差は小さいが、クローン№7は彩度が高く、色相は低い傾向であった。また、視覚的にもやや赤味が強く、鮮やかな傾向であった。

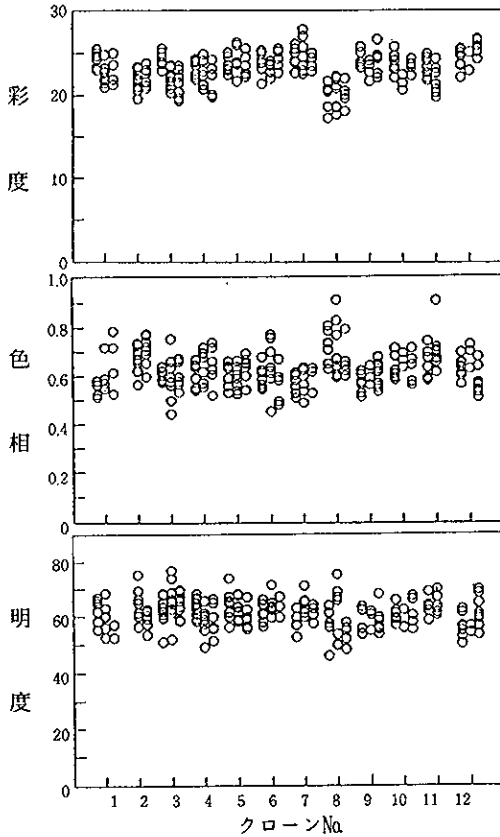


図-4 各個体の心材色調査結果

左側値：No.13検定林 中央値：No.1検定林
 右側値：No.3検定林

(3) ラメート（同一クローンでの個体）間の変動

三属性値のいずれもクローンと検定林の交互作用に有意差が認められ、しかも、その寄与率も検定林の主効果に比較して大きかった。このことはクローンの特性を把握する上で障害となる。そこで各クローンの検定林平均値を使用して検定林間の変動を図-5に示す。

10クローンの中で、6クローンは安定的な値であったが、クローンNo.1, 3, 10, 12の4クローンは、検定林間に比較的大きな変動が見られた。また、ここでも(1)項で指摘したように、No.13検定林で彩度が高く、色相は低い傾向であった。

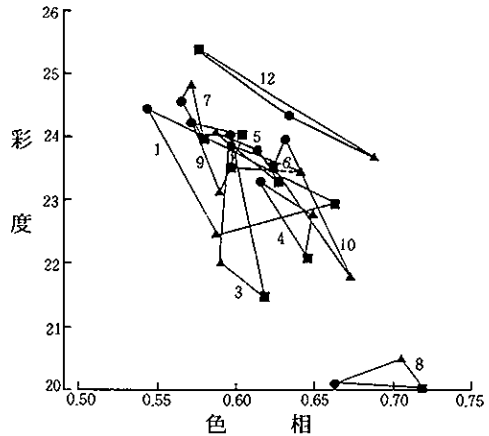


図-5 10クローンの心材色の検定林間の変動

▲：No.1 検定林 ■：No.3 検定林 ●：No.13 検定林
 No.：クローンNo.

次に、反復区を団地的に設定しているNo.13検定林において、斜面上の位置が大きく異なっている3クローンの個体間の変動を図-6に示す。

斜面上部では下部よりも彩度が高い傾向にあるとともに、その変動が検定林間の変動に比較しても比較的大きい傾向にあった。

斜面上の位置と心材色の関係は経験的にも認められ¹⁹⁾、土壌の水分環境との関係も指摘されている²⁰⁾。このことがプロットや個体位置によってラメート間の変動が見られた原因であろう。また、検定林間の比較においてNo.13検定林の彩度がやや高い傾向がみられたのも、No.13検定林の降水量がNo.1、3検定林に比較して寡雨地帯であったことから、同様に土壌の水分環境の違いが原因であろう。

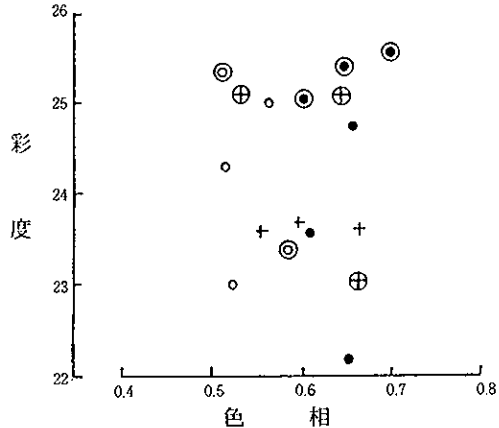


図-6 3クローンの心材色の斜面位置による変動
 ○クローンNo.1 ⊙クローンNo.1
 +クローンNo.5 ⊕クローンNo.5
 ●クローンNo.12 ⊗クローンNo.12
 斜面上部 斜面下部

すなわち、このようにアカジン系での心材色は、検定林や個体の植栽場所などによって変動する場合もあるが、アカジン系とクロジン系のクローンは検定林が異なっても明確に区分でき、また、視覚的にも明瞭に判別できた。したがって、まずアカジン・クロジンレベルでの育種を進めることは、育種効果を早期に上げる上できわめて有効であろう。

IV. 結 論

15~19年の3箇所のスギさし木次代検定林において、12の共通クローンを調査し、次のことが明らかになった。

成長特性や形状比などの形態的特性は、遺伝的支配の度合いが高いが、それと同程度に立地環境や施業の影響も大きい。それに対し、容積密度数、ヤング係数、あるいは偏心度、心材率などの年輪組成や力学的特性は、遺伝的支配の度合いが高く、しかも立地環境や施業などの影響が比較的小さい。特に容積密度数およびヤング係数はその傾向が顕著であった。ただし、晩材率は遺伝的支配の度合いと同程度以上に立地環境や施業の影響が認められ、真円率は個体間の変異が小さかった。

ヤング係数と形状比・容積密度数、平均年輪幅と心材率には比較的相関が見られたが、その他の諸形質間の相関は概して小さく、単一指標での材質評価は困難である。また、成長形質と材質形質は必ずしも相反する形質ではなく、成長、材質ともに良好なクローンも存在することが示唆された。

12クローンを調査した結果、ほとんどの形質が良好なクローン、成長は良好だが材質的には下位であるクローン、成長は下位だが材質的には良好なクローン、成長、材質ともに下位であるクローン、材質形質の中で容積密度数は低位だがヤング係数は中位であるクローンなどのように、クローンによって様々な特徴が見られた。今後、どのような形質をどの程度改良するのか、材質改良の目標を明確することが重要である。それとともに、15~19年頃での材質調査においては、未成熟材あるいは樹冠材

の関与などが推察され、今後の追跡調査による検証が必要である。

心材色は、他の形質に比較しても遺伝的支配の度合いが高い形質である。それとともに、主に土壌の水分環境によって、乾燥状態ほどやや赤味が強くなる傾向にある。しかし、環境条件が変わっても、アカジン系とクロジン系のクローンは明確に区分できた。また、アカジン系でのクローン間の違いは小さく、アカジン・クロジンレベルでの育種の推進は、育種効果を早期に上げる上で有効である。

V. おわりに

多くの材質的特性が遺伝的特性であるとともに、遺伝的支配の度合いも明らかになった。また、今後の育種を推進するにあたって、如何なる形質をどの程度改良するのか、材質改良の目標を明確にし、多くの精英樹の特性を早急に把握することが育種を推進する上で重要である。それとともに、現在の検定林での特性はあくまで20年生頃での特性であり、将来の追跡調査によって検証を行う必要がある。

今後、効率的に調査を実施するためには、ヤング係数や心材色、容積密度数などの調査にあたって、立木での調査⁷⁾や小試験片での調査など、試験材料、試験方法の小型化、簡易化などの技術について検討を行う必要がある。また、現在、岡山県木材加工技術センターにおいて、本試験での丸太を使用し、小試験片での強度特性についての試験を実施しており、それらも合わせて検討する予定である。

引用文献

- (1) 林野庁(1992) 精英樹の材質評価手法に関する調査報告書 -平成3年度-
- (2) 林野庁(1988) 精英樹材質評価手法に関する調査実施要領(林野庁長官通達)
- (3) 加納孟(1973) 林木の材質. 39PP, 日本林業技術協会, 東京
- (4) 小泉章夫・上田恒司(1986) 立木の曲げ試験による材質評価(第一報) 樹幹曲げ剛性の測定. 木材学会誌, 32(9): 669-676
- (5) 関西林木育種場(1977) スギの心材色に関する調査. 林木の育種, 105: 17-18
- (6) 植田幸秀(1981) スギの心材色について(1)心材色の環境変動. 鳥取県林業試験場研究報告, 23: 8-21
- (7) 高田克彦(1994) 樹幹ヤング係数によるカラマツ林木の評価. 北海道大学演習林研究報告, 51(1): 115-116