

スギ精英樹の材質特性に関する研究

丹原 哲夫・小玉 泰義*

Studies on Wood Property Characteristics of Sugi
(*Cryptomeria japonica*) Plus Tree Clones.

Tetsuo TANBARA, Yasuyoshi KODAMA.*

要 旨

丹原哲夫・小玉泰義：スギ精英樹の材質特性に関する研究 岡山県林試研報18：67～81, 2002 1996～1999年に8か所のスギ精英樹さし木次代検定林（24～27年生）において、全体で71クローンについて、ヤング係数、心材含水率、容積密度数、心材色（L・a・b値）、年輪幅、偏心率、樹高、胸高直径、根曲り、幹曲りなどを調査した。これらの形質（材質）についてクローンによる違いと立地環境や施業による影響について検討した結果、ヤング係数、容積密度数は密度管理など施業との関係がややみられたが、ヤング係数、心材含水率、容積密度数および心材色はいずれも立地環境や施業の影響が小さく、クローンの遺伝的特性が発現しやすい形質であった。しかも、ヤング係数と心材含水率にはクローン間にきわめて大きい遺伝的変異が存在した。それに続いて樹高、形状比、胸高直径、偏心率などが遺伝的特性が発現しやすく、樹冠幅、幹曲り、根曲りなどは立地環境や施業の影響を受けやすい形質であった。つぎに、各形質のクローン間の変異に関連し形質相互間の相関についてみると、ヤング係数・容積密度数と他形質、およびヤング係数と容積密度数の相関は概して小さく、ともに他形質とほぼ独立した形質と考えられた。幹曲りは調査した形質のなかで最も立地環境などの影響を受けやすい形質であったが、幹曲りと偏心率は遺伝的に比較的密接に関係しているとみられた。心材色については、L値がほぼ60以下、a値が10以下のとき、立地環境などとの関係でクロジソとなるクローンと、比較的普遍的にクロジソとなるクローンが存在した。木材を利用する側と林木を育成する側からみた形質の重要性、および形質の遺伝的特性の発現の度合いを考慮し、71クローンのヤング係数、心材含水率、容積密度数、心材色（クロジソ）、根曲りおよび偏心率を評価した。そして、材質優良クローンとしてヤング係数を重点に、他の5形質を勘案して14クローンを選定した。14クローンを集団として利用することによって期待できる育種効果は、ヤング係数104%、心材含水率33%、容積密度数49%であった。

キーワード：スギ，精英樹，次代検定林，材質

I はじめに

1956年に林木育種事業指針（林野庁 1956）が制定され、おもに生産量の増大、通直性、枝性の向上などを育種目標として精英樹選抜育種事業に着手した。この育種は集団選抜育種理論に基づき実施しており、すでに採種園、採穂園からの種苗が一般造林用として供給されている。また、1969年からは精英樹の遺伝的特性、立地環境に対する適応性などを把握するために次代検定林を設定し（林野庁 1969）、現在までも成長調査が実施されてきた（丹原 1985,1991；丹藤ら 1989等）。

次代検定林も現在では設定後20年以上を経過し、材質の特性の発現時期に達してきた（林野庁 1992）。木材の性質には生物的（年輪幅、幹の完満性、枝節性など）、物理的（密度、含水率、強度など）あるいは化学的（色調、耐久性など）特

性がある（加納 1973）。木材を利用する立場から、また、林木を育成する立場からどのような形質（材質）の向上が求められているか、あるいは、将来求められるか。密度管理や枝打ちなどの施業によってどの程度向上するか。精英樹がどのような遺伝的特性を有しており、さらに、精英樹を選択的に利用する（1.5世代の育種）ことによってどの程度改良できるかなどの検討が重要である。木材の材質は林業と林産業を結合させるものであり（堤 1984）、造林材料の選択や森林施業などのいわゆる林業技術にフィードバックされなければならない。

スギは今まで多くの場合柱材生産を目標とし、成長の早さ、通直性、柱表面の節の有無などが重要視されてきた（見尾 1990）。現在、用材の最大の需要者は住宅産業であり、建築方法も在来軸組工法から枠組壁工法（2×4工法など）へ、

* 岡山県木材加工技術センター

在来軸組工法でもプレカット加工への転換などが急速に進んでおり、木材には工業用原材料としての利用に適した材質が要請されている。今後は柱材生産に加え、幅広い用途を考慮した木材生産が必要である（見尾 1990）。しかし、スギの材質上の問題として、材質の変動が著しい、早晚材の密度差が大きい、ヤング係数が低い、材が柔らかい、乾燥が難しい、クロジンの存在などが指摘されている（西村 1990；藤澤 1992）。一方これらの特性に関連し、ヤング係数・容積密度数（見尾 1985；藤澤 1992；丹原 1994等）、心材含水率・心材色（丹原 1990；西村ら 1992；藤澤ら 1995等）などについては品種や精英樹クローンによって異なることが報告されている。

次代検定林には複数の精英樹クローンを植栽し、しかも、クローンによっては複数の次代検定林に重複して植栽しているため、精英樹の遺伝的特性、立地環境や施業の影響、1.5世代の育種による改良効果などを把握する上できわめて有効である。また、林木においては、一つの形質の育種に長年月を要することから、複数の形質について同時に進める必要があり、ある形質の改良にともない、他の形質がどのように変動するのか（田村 1999）、また、複数形質の中で何を重点に改良を図るかなどの検討が必要である。しかし、複数形質について複数の次代検定林を対象とした解析例は比較的少ない。本報告は、岡山県に設定している8か所のスギ精英樹さし木次代検定林（24～27年生）において、1996～1999年に樹高、胸高直径、根曲り、動的ヤング係数（以下ヤング係数という）、容積密度数、含水率、心材色などを調査し、それらの遺伝的特性の発現の度合い、立地環境や施業による影響、また、形質相互間の関係などについて検討するとともに、材質的特性によって精英樹を評価したものである。

本試験は試験研究課題「地域に適合した複層林誘導技術の開発－材質等適応品種の選定－」、および優良種苗確保事業における「次代検定林材質調査事業」（林木育種センター 1996）により実施した。試験を実施するにあたっては、岡山県林業公社および赤木和雄氏に試験木を提供して頂いた。また、解析にあたっては、（独）林木育種センター九州育種場栗延育種課長の作成した次代検定林解析ソフトを使用させて頂き、同センター関西育種場久保田研究室長には解析上の御助言を賜った。そして、岡山県木材加工技術センター見尾特別研究員には、御校閲と貴重な御助言を賜った。ここに記して深甚なる謝意を表する。

なお、本成果の一部は第52回日本林学会関西支部大会（丹原 2001）において発表した。

II 材料と方法

1. 次代検定林の概要

次代検定林設定地と立地環境の概要を表-1に示し、次代検定林の林況・施業の状況などを表-2に示す。

No.13・18次代検定林（以下検定林という）は比較的寡雪地帯、その他の6検定林は比較的多雪地帯に設定されている。また、No.13検定林は比較的高密度植栽が実施され、しかも、その後除間伐施業などが実施されなかったが、その他の7検

表-1 次代検定林の設定地と立地環境

検定林名 (検定林番号)	所在地	標高 m	おもな 方位	斜面傾 斜度°	土壌型	年平均 気温℃	年平均 降水量mm	最大積雪 深cm	
西岡精第1号	吉田郡富村	花崗岩	530	S-W	30	BD・BD(d)	10	2100	50-100
西岡精第3号	英田郡西栗倉村	花崗岩	500	E-W	30	BD・BD(d)	11	2100	50-100
西岡精第5号	吉田郡鏡野町	花崗岩	700	N	35	BD・BD(d)	10	2100	100-150
西岡精第8号	真庭郡新庄村	安山岩	720	S	30	BD	9	2300	100-150
西岡精第9号	真庭郡八束村	安山岩	450	NE	20	BD・BD(d)	11	2100	50-100
西岡精第13号	川上郡備中町	古生層	400	SE	40	BD(d)	12	1700	20-50
西岡精第14号	真庭郡湯原町	花崗岩	590	N	30	BD・BD(d)	10	2100	50-100
西岡精第18号	阿哲郡哲西町	流紋岩	540	NW	20	BD	11	1700	20-50

年平均気温・年平均降水量：岡山県(1988)による

最大積雪深：関西地区林業試験研究機関連絡協議会立地部会(1981)による

表-2 次代検定林の林況・施業の状況など

検定林 番号	設定 年次	調査 年次	調査 林齢 (本/ha)	本数密度 うっ 閉度	除・間伐年	枝打ち年	
1	1969	1996	27	2,400	中	1977・81・83・89・95	1985
3	1970	1997	26	1,800	中	1982・86・93	1988
5	1971	1997	25	2,600	中	1980・94	1994
8	1972	1997	25	1,700	中	1983・88・91	1988・91
9	1972	1997	25	1,800	中	1985・89・94	1986・93
13	1973	1999	25	3,000	密	-	-
14	1973	1998	25	1,500	中	1982・86・93・98	1986・93
18	1974	1998	24	1,800	密	1984・92・98	1984・93

本数密度：20年生時の定期成長調査による

うっ閉度：「疎」上層木の樹冠占有割合40%未満 「中」同割合40～70%

「密」同割合71%以上

定林においては岡山県のほぼ標準的施業が実施された。

つきに、各検定林で調査した精英樹等を表-3に示す。

検定林は乱塊法3反復による設計で、検定林に植栽している精英樹等は検定林によって異なった。また、一部の検定林では雪害や間伐履歴などとの関係で、1反復区のみクローンも存在した（以下アンバランスデータという）。苗木はさし木苗を使用し、クローンコード1735～2734の64クローンは精英樹（2034～2116は岡山県選抜、その他は他県選抜）で、9993～9997の5クローンは岡山県吉田郡加茂町の天然林から選抜したものである。そして、9998および9999は在来品種（遠藤スギ）であるが、「遠藤さし木」はさし木苗によるもので外見形態からクローンに近いと判断した。また、「遠藤実生」は実生苗によるもので、種子を採取した母樹は年次によって異なった。

2. 調査方法

調査は原則として「次代検定林の材質調査要領」（林木育種センター 1996）に準じて実施した。調査本数はプロットあたり原則として3本とし、調査木はプロットで平均的な成長を示している個体を選定した。調査項目と調査方法を次に示す。

1) 伐倒前調査

胸高直径：地上1.2m位置で直径巻尺により測定（1mm単位）した。

樹冠幅：等高線方向とその直角方向をメジャーで測定（0.1m単位）し、その平均値を樹冠幅とした。

根曲り：根元から1.5mの範囲を次の指数によって観察調査した。

「5」ほとんど曲りがなく、採材に影響がない。「3」採材に幾分影響がある。「1」採材に大きな影響がある。

幹曲り：根曲り部分を除いた1番玉のとれる4mの範囲を次の指数によって観察調査した。

「5」採材に影響がない。「3」採材に幾分影響がある。「1」大きい曲りまたは重曲りがある。

2) 伐倒後調査

樹高：メジャーにより測定（0.1m単位）した。

枝下高：力枝までの高さをメジャーにより測定（0.1m単位）した。

3) 試料の採取と保存

ヤング係数を測定するため、地上1.2mから上方に3mの丸太を採取した。そして、丸太密度の代用値とするため、丸太両端部から厚さ約5cmの円盤を採取した。また、容積密度数、含水率、心材色および年輪幅を測定するため、地上1.2mから下方に厚さ約5cmの円盤3枚を採取した。採取した円盤はラップで覆い、持ち帰って測定時（伐倒後ほぼ1週間以内）まで冷蔵庫（5℃）に保存した。なお、心材色は日陰で約3か月風乾し、測定に供した。

4) 試料の調査

ヤング係数：現地において、FFTアナライザ（小野測器 K.K CF-1200）によって固有振動数を測定した。

円盤密度：丸太両端部円盤の生重量、水中重量を測定（0.01g単位）して円盤密度（生重量／水中重量）を算出した。そして、平均円盤密度を丸太密度の代用値とし、ヤング係数の算出に使用した。

丸太細り度：丸太両端部の直径（直径巻尺、1mm単位）を測定し、3mあたりの丸太細り度（末口直径／元口直径）を算出した。

年輪幅：円盤を自動かんなで平滑にした後、複写機でコピーし、円盤の髓の中心をとる長径方向とその90度方向について、デジタイザによって各年輪幅を測定（0.1mm単位）し、その平均値を年輪幅とした。

心材率：前項の4方向について、デジタイザによって心材の長さおよび半径を測定（0.1mm単位）し、4方向の平均値によって心材率を算出した。

偏心度：4方向の半径の最大・最小値によって偏心度（最大値／最小値）を算出した。

含水率：節等の欠点のない部分で、髓を頂点に円板最外層の弧長4～5cmの扇形試験片を作成し、のみで心材、移行材、辺材の各部分に割裂し、それぞれ生材重量、絶乾重量を測定（0.01g単位）して含水率（（生材重量－絶乾重量）×100／絶乾重量）を算出した。

容積密度数：含水率調査用と同様に作成した扇形試験片を髓から5年輪ごとにのみで割裂し、絶乾重量、水中重量を測定（0.01g単位）し、容積密度数（絶乾重量／水中重量）を算出した。

心材色：約3ヶ月日陰で風乾し、調査直前に自動かんなで平滑にした板目面を測色色差計（日本電色工業K.K SQ-300H スリット直径5.0mm）を使用して無作為に5点測定した。心材色はHunterの表色系L値（値が高いほど明るい）・a値（正值で値が大きいほど赤みの度合いが大きく、負値で大きいほど緑色の度合いが大きく、負値で大きいほど青の度合いが大きく）で表し、解析には5点の平均値を使用した。また、クロジンの抽出を目的として、目視によって「アカジン」と「クロジン」に区分した。

表-3 各検定林で調査した精英樹等

クローンコード	クローン名	検定林番号										クローンコード	クローン名	検定林番号															
		1	3	5	8	9	13	14	18			1	3	5	8	9	13	14	18			1	3	5	8	9	13	14	18
1735	桑名1				○					2088	真庭34	○	○	○	○	○	○	○	○	2089	真庭35	○	○						
1839	南河内8				○					2091	真庭37	○	○							2092	真庭38				○				
1848	飾磨5				○		○	○	○	2093	阿哲1	○	○	○	○	○				2095	阿哲3	○	○	○	○	○	○	○	
2034	英田7	○								2096	阿哲4			○	○	○				2097	阿哲5								
2040	苫田2				○	○	○	○	○	2099	阿哲7									2100	新見1				○				
2041	苫田3									2101	新見2	○	○	○	○	○	○	○	○	2102	新見3				○				
2042	苫田4	○	○	○	○	○	○	○	○	2103	新見4									2107	新見8			○	○	○	○	○	
2044	苫田8	○	○	○	○	○	○	○	○	2109	新見10	○	○							2110	新見11								
2045	苫田9	○								2112	御津1									2113	川上1			○	○	○	○	○	
2046	苫田10	○	○							2114	川上2	○	○							2115	和気1			○		○			
2048	苫田12						○	○		2116	後月1	○	○							2139	山県3								
2054	苫田19	○	○			○				2245	豊浦4									2354	上市2			○					
2055	苫田20			○	○		○	○	○	2392	河北1									2616	日野11					○	○		
2057	真庭1				○	○				2646	大田3									2734	上浮穴2			○					
2058	真庭2	○	○	○	○	○	○	○	○	9993	遠藤40									9994	遠藤149							○	
2059	真庭3						○			9995	遠藤355									9996	遠藤375					○	○	○	
2061	真庭5	○	○	○	○	○		○	○	9997	遠藤493									9998	遠藤さし木	○	○	○	○	○	○	○	
2062	真庭7	○								9999	遠藤実生	○	○	○	○	○	○	○	○										
2064	真庭9	○	○	○																									
2065	真庭10	○	○	○			○	○	○																				
2067	真庭13	○	○	○			○	○	○																				
2068	真庭14	○	○	○	○			○	○																				
2070	真庭16						○	○	○																				
2072	真庭18			○																									
2073	真庭19							○	○																				
2074	真庭20							○	○																				
2075	真庭21	○	○	○	○	○	○	○	○																				
2076	真庭22						○																						
2078	真庭24	○	○			○	○		○																			○	
2079	真庭25																											○	
2080	真庭26	○	○			○	○		○																	○	○	○	
2081	真庭27	○	○	○				○	○																	○	○	○	
2082	真庭28							○	○																	○	○	○	
2083	真庭29				○	○	○		○																	○	○	○	
2085	真庭31	○	○	○	○			○	○																			○	
2087	真庭33	○	○				○	○	○																			○	

3. 解析方法

1) 解析の対象とした形質

①ヤング係数、②容積密度数1（10年輪までの試料の平均）、③容積密度数2（11年輪以降の試料の平均）、④平均容積密度数（全試料の平均）、⑤心材率、⑥心材含水率、⑦移行材含水率、⑧辺材含水率、⑨年輪幅1（10年輪までの平均）⑩年輪幅2（11年輪以降の平均）、⑪平均年輪幅（全年輪の平均）、⑫丸太細り度、⑬偏心度、⑭樹高、⑮胸高直径、⑯形状比、⑰枝下高、⑱樹冠幅、⑲根曲り、⑳幹曲りおよび心材色㉑L値、㉒a値、㉓b値の23形質について解析した。ここで、年輪幅、容積密度数を10年輪までと11年輪以降に区分したのは、おもに未成熟材が形成される時期と、おもに成熟材が形成される時期（太田 1991）に区分したためである。また、⑲根曲り、⑳幹曲りは順序尺度で測定し、ともに指数「5」が圧倒的に多いポアソン分布型とみられたため、√X変換値を解析に使用した。

2) 解析の方法

(1) 共通クローンによる解析

クローンと検定林による変動の大きさを把握するために、8検定林で共通に調査した7クローン(クローンコード2042, 2058, 2075, 2088, 2095, 2101, 9998)を使用し、2元分散分析(クローン・検定林)を行った。なお、クローンによってはプロットの欠測値が存在するアンバランスデータであったため、栗延(1987)が複数検定林のアンバランスデータを解析するために示した線形モデルを準用し、検定林ごとにプロット平均値を下式の線形モデルで表し、各検定林における各クローンの最小2乗推定値($\mu + \alpha_i$)を計算し、分散分析に供した。

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

ここで、 Y_{ij} は*i*クローンの*j*反復のプロット平均値、 μ は全体の平均、 α_i , β_j , ε_{ij} は、それぞれ*i*クローンの効果、*j*反復の効果および誤差を表す。計算にあたっては、栗延(1987)のプログラムをデータ入力部分を変更して使用した。

つぎに、ヤング係数の検定林間の変動に関連し、7クローンの検定林平均値を使用して年輪幅1・2および形状比を説明変数とした重回帰式を適用した。

(2) 全クローン、全検定林をこみにした解析

クローンコード1735~9998のさし木クローンと、比較のために「遠藤実生」も含めた71クローン等(以下クローンという)を解析の対象とした。各形質の遺伝的支配の度合い、各クローンの特性値および形質相互間の関係などを明らかにするために、各検定林のプロット平均値を下式の線形モデルで表し、各クローンの最小2乗推定値($\mu + \alpha_i$)を計算するとともに、各形質および形質組み合わせごとに分散共分散分析(栗延 1984)を行った。

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{jk} + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

ここで、 Y_{ijk} は*i*クローンの*j*検定林における*k*反復のプロット平均値、 μ は全体の平均、 α_i , β_j , γ_{jk} は、それぞれ*i*クローンの効果、*j*検定林の効果および*j*検定林における*k*反復の効果を表す。そして、 $\alpha\beta_{ij}$, ε_{ijk} は、それぞれ*i*クローンと*j*検定林の交互作用効果および誤差を表す。計算にあたっては検定林解析ソフトAN-OVA21(1997)を使用した。

つぎに、ヤング係数のクローン間の変動に関連し、各クローンの最小2乗推定値を使用して形状比、心材含水率、平均容積密度数および胸高直径を説明変数とした重回帰式を適用した。

なお、心材色についてはL・a値とクロジンの関係、および心材含水率、L値とクロジンの関係について検討した。

(3) 材質特性による精英樹の評価

71クローンについてヤング係数、心材含水率、容積密度数、心材色(クロジン)、根曲りおよび偏心率を評価した。

ヤング係数については、日本農林規格(JAS)での機械的等級区分を考慮して次に示す基準によって5段階に区分した。

$$\begin{aligned} & \text{「5」} \geq 70, 70 > \text{「4」} \geq 60, 60 > \text{「3」} \geq 50, 50 > \text{「2」} \\ & > 40, \text{「1」} \leq 40 \end{aligned}$$

また、心材含水率、平均容積密度数、根曲りおよび偏心率については、次に示す5段階評点法(石川 1983)によった。

$$\begin{aligned} & \text{「5」} \geq Av + 1.5Sd, Av + 1.5Sd > \text{「4」} \geq Av + 0.5Sd, \\ & Av + 0.5Sd > \text{「3」} \geq Av - 0.5Sd, Av - 0.5Sd > \text{「2」} > Av - \\ & 1.5Sd, \text{「1」} \leq Av - 1.5Sd \end{aligned}$$

ここで、 Av は平均値、 Sd は標準偏差を表す。ただし、心材含水率、偏心率については数値が小さいほど高い評点とした。

そして心材色については、アカジン系クローンと立地環境などとの関係でクロジンが出現することがあるクロジン系クローン、および普遍的にクロジンとなるクロジクローンに区分した。

つぎに、ヤング係数を重点に、心材含水率、容積密度数、根曲りおよび偏心率を考慮して材質優良クローンを選定した。そして、材質優良クローンを集団として利用することによって期待できる育種効果を形質ごとに次式(林野庁 1992)によって算出した。

$$\text{育種効果(\%)} = (Av_1 - Av_2) \times 100 / Sd$$

ここで、 Av_1 は材質優良クローン平均値、 Av_2 は71クローンの平均値、 Sd は同標準偏差を表す。ただし、心材含水率の育種効果は負値を正值として表示した。

III 結果と考察

1. 共通クローンによる解析

1) 分散分析の結果

検定林とクローンの2元分散分析の結果(分散の寄与率)を図-1に示す。

クローンによる分散の寄与率が検定林の寄与率に比較して

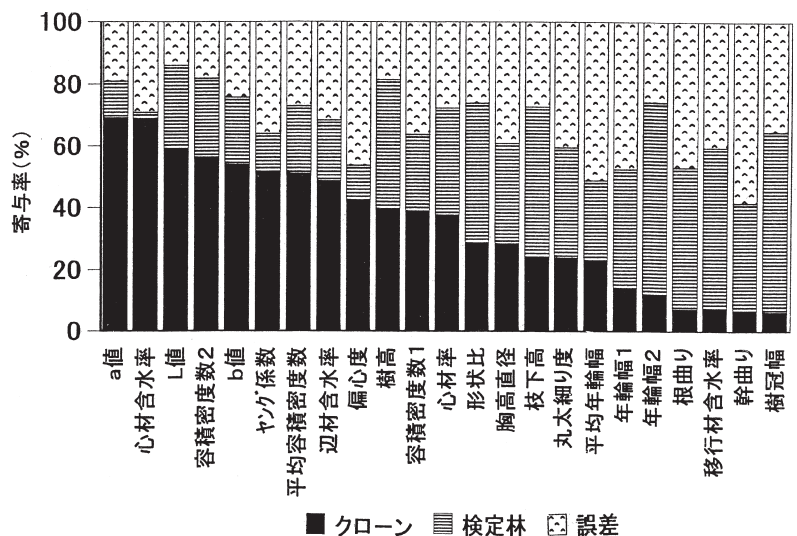


図-1 共通クローンによる分散分析結果(分散の寄与率)

明確に高かった形質は、a 値、心材含水率、L 値、容積密度数 2、b 値、ヤング係数、平均容積密度数、辺材含水率、偏心度および容積密度数 1 で、クローンの寄与率は 39~69%、検定林の寄与率は 2~27% であった。そのなかで、容積密度数 1 のクローンの寄与率は 39%、偏心度では 42% であったが、その他の形質ではいずれも 49% 以上であった。そして、クローンと検定林の寄与率がほぼ同等の値であった形質は、樹高、心材率、胸高直径および平均年輪幅で、クローンの寄与率は 23~39%、検定林の寄与率は 26~42% であった。一方、検定林の寄与率がクローンの寄与率に比較して高かった形質は、樹冠幅、幹曲り、移行材含水率、根曲り、年輪幅 1・2、丸太細り度、枝下高および形状比で、クローンの寄与率は 6~29%、検定林の寄与率は 35~63% であった。また、幹曲り、根曲り、偏心度、平均年輪幅および年輪幅 1 は誤差の寄与率が比較的高かった (47~58%)。なお F 検定の結果では、幹曲りはクローン間に有意差が認められなかったが、移行材含水率、根曲り、樹冠幅は 5% 水準、その他の 19 形質はいずれも 1% 水準で有意差が認められた。また、検定林間においては心材含水率は有意差が認められなかったが、偏心度は 5% 水準、その他の 21 形質は 1% 水準で有意差が認められた。

すなわち、ヤング係数、心材・辺材含水率および容積密度数のような物理的性質や心材色のような化学的性質は、立地環境や施業の影響が小さく、クローンの遺伝的特性が発現しやすい形質であると言える。換言すれば、本地域 (岡山県) に造林を行うにあたって、どのクローンを選択して使用するかによって伐採時 (25 年生頃) の特性のほぼ 50% 以上が決定されると言える。また、樹高、胸高直径のような成長形質は、クローンの遺伝的特性と林地環境などの双方の影響を受けやすい形質である。そして、形状比、根曲り、幹曲り、枝下高、樹冠幅などの樹幹形態や枝性に関する形質や年輪幅 1・2 のいわゆる年輪構造に関する形質は、立地環境や施業などの影響が大きく、クローンの遺伝的特性が比較的发現しにくい形質であると言える。

小 2 乗推定値を表-4 に示す。

8 検定林のなかで特徴的な検定林についてみると次のとおりであった。

成長・樹幹形態・枝性等 : No.18 検定林は樹高 (15.6m)、胸高直径 (17.8cm)、枝下高 (9.6m)、心材率 (55.4%) がともに大きく、形状比 (87)、丸太細り度 (0.83) も高かった。逆に、No.5・14 検定林は樹高 (10.2~10.3m)、胸高直径 (14.3 cm)、枝下高 (5.2~5.4m)、心材率 (42~45%) がともに小さく、形状比 (72)、丸太細り度 (0.75) も低かった。樹高

表-4 共通クローンの検定林別平均最小 2 乗推定値

形質	次 代 検 定 林 No.								最小 有意差
	1	3	5	8	9	13	14	18	
1 ヤング係数 (tf/cm ²)	63.4	59.6	58.3	53.7	59.6	60.1	57.9	59.1	4.3
2 容積密度数 1 (kg/m ³)	4.2	2.3	7.2	5.0	4.5	8.7	3.3	5.1	18.6
3 容積密度数 2 (kg/m ³)	346	359	339	314	349	324	352	322	10.9
4 平均容積密度数 (kg/m ³)	27	29	20	29	27	15	22	16	13.1
5 心材率 (%)	273	298	294	271	294	310	297	282	4.1
6 心材含水率 (%)	19	19	19	26	23	7	18	21	-
7 移行材含水率 (%)	310	329	318	293	321	315	324	300	15.3
8 辺材含水率 (%)	23	23	16	26	19	10	19	17	18.2
9 年輪幅 1 (mm)	49.1	47.8	42.0	55.6	50.6	49.8	44.8	55.4	0.7
10 年輪幅 2 (mm)	4.6	5.5	8.2	3.6	5.7	5.8	4.9	5.5	0.4
11 平均年輪幅 (mm)	160	149	149	149	144	143	142	134	0.1
12 丸太細り度	32	33	28	17	33	30	28	18	0.04
13 偏心度	137	103	76	108	96	115	92	103	0.1
14 樹高 (m)	18	19	12	16	13	14	7	11	1.3
15 胸高直径 (cm)	280	255	246	237	255	231	241	261	1.7
16 形状比	34	24	25	25	26	23	23	24	5.4
17 枝下高 (m)	3.7	4.1	4.1	5.2	4.3	4.4	3.9	5.2	1.3
18 樹冠幅 (m)	0.6	0.2	1.0	0.5	0.5	0.5	0.3	0.7	0.3
19 根曲り指数	4.3	3.2	2.5	2.7	2.8	2.5	2.3	2.8	0.13
20 幹曲り指数	0.5	0.4	0.3	0.5	0.3	0.4	0.4	0.6	0.11
21 L 値	4.0	3.6	3.3	3.8	3.4	3.4	3.3	3.9	0.00
22 a 値	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.6	0.00
23 b 値	0.83	0.79	0.75	0.83	0.82	0.84	0.75	0.83	0.00
	0.04	0.03	0.08	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.00
	1.21	1.23	1.19	1.31	1.25	1.22	1.35	1.21	0.00
	0.07	0.08	0.08	0.19	0.09	0.08	0.12	0.13	0.00
	13.9	12.0	10.3	13.5	12.5	14.5	10.2	15.6	0.00
	2.0	1.2	2.7	1.8	1.7	2.2	1.2	2.6	0.00
	18.8	16.1	14.4	17.8	16.3	16.0	14.3	17.8	0.00
	2.1	1.5	2.5	2.1	1.5	2.0	0.6	2.5	0.00
	74.3	75.6	71.6	76.7	77.1	91.2	72.0	87.4	0.00
	6.5	6.1	9.2	6.5	6.6	6.6	7.4	5.7	0.00
	7.5	6.6	5.4	8.2	6.7	9.4	5.2	9.6	0.00
	0.9	0.7	1.8	1.0	1.3	2.0	1.0	2.3	0.00
	2.9	2.8	2.5	2.1	2.5	1.9	2.4	2.5	0.00
	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.00
	4.72	4.67	4.70	4.55	4.81	5.02	3.38	5.02	0.00
	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00
	4.91	4.80	4.91	4.57	4.79	5.03	3.85	4.82	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00
	61.2	59.9	61.4	61.1	63.0	66.5	56.7	57.9	0.00
	5.0	6.1	5.8	3.5	3.6	4.0	2.4	3.1	0.00
	8.7	8.7	9.6	10.1	9.2	8.5	9.3	8.9	0.00
	1.2	1.3	1.7	1.2	1.2	0.9	0.8	1.2	0.00
	14.9	15.4	15.9	16.2	15.8	15.5	16.6	16.4	0.00
	0.8	1.4	0.9	0.6	0.8	0.6	0.7	1.0	0.00

上段: 平均値 下段: 標準偏差

根曲り・幹曲り指数: \sqrt{X} 変換値の再変換値

最小有意差: L.S.D 法による検定林間の最小有意差 (5% 水準)

2) 検定林間の比較

7 共通クローンの検定林別平均最

で比較すると、No.18検定林はNo.5・14検定林の152%、胸高直径では124%であった。また、No.13検定林は樹高(14.5m)、枝下高(9.4m)は大きかったが、胸高直径は中位(16.0cm)、樹冠幅は小さく(1.9m)、形状比(92)、丸太細り度(0.84)は高かった。これらの形質が検定林間で大きく異なったのは、検定林によって調査林齢は異なったが、おもに立地環境や密度管理など施業の影響と考えられる。特にNo.13検定林においては調査期まで除間伐が実施されなかったことにより、直径成長が抑制され形状比などが高くなったと考えられる。なお、心材率は胸高直径が大きくなるほど大きくなる傾向が認められている(山内 1928)。

根曲り・幹曲り・偏心度：No.13検定林は根曲り・幹曲り指数ともに高く(いずれも5.0)、No.18検定林は根曲り指数が高かった(5.0)。それに対し、No.8・14検定林は根曲り・幹曲り指数がともに小さかった(根曲り指数：3.4~4.6、幹曲り指数：3.9~4.6)。一方偏心度は、根曲り・幹曲り指数がともに小さかったNo.8・14検定林で最も大きかった(1.3~1.4)。根曲り、幹曲りはおもに雪圧害が誘因となると考えられたが、これらの形質は偏心度と比較的密接な関係にあることが示唆された。

年輪幅・容積密度数：平均年輪幅と平均容積密度の関係を図-2に示す。

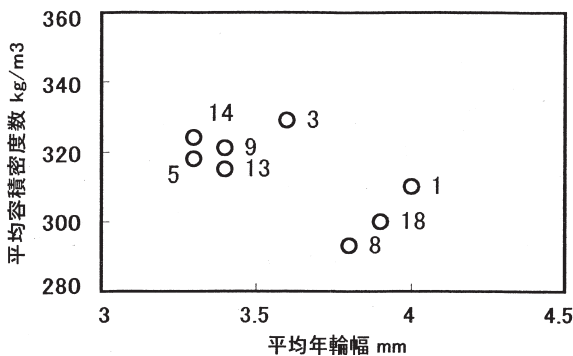


図-2 平均年輪幅と平均容積密度数の関係
No. : 検定林番号

平均年輪幅が比較的大きいNo.1・18・8検定林(3.8~4.0mm)と比較的小さいその他の5検定林(3.3~3.6mm)を比較したら、前者の平均容積密度数は293~310kg/m³、後者では315~329kg/m³であり、平均年輪幅の大きい検定林では平均容積密度数は小さい傾向であったが、相関は認められなかった($r = -0.66^{NS}$)。一般に年輪幅は材質指標としてとりあげられ、平均年輪幅と容積密度数には負の相関が認められている(加納 1973)が、本試験において相関が認められなかったのは平均年輪幅の検定林間の変動が比較的小さかった(3.3~4.0mm)ことがおもな原因であると推察した。

つぎに、容積密度数1と2の関係を図-3に示す。

いずれの検定林においても容積密度数1に比較して容積密度数2は低下したが、No.1検定林では最も大きく低下し(346→273kg/m³)、No.13検定林では低下の程度が最も小さかった(324→310kg/m³)。ここで年輪幅1と2を比較すると、No.1

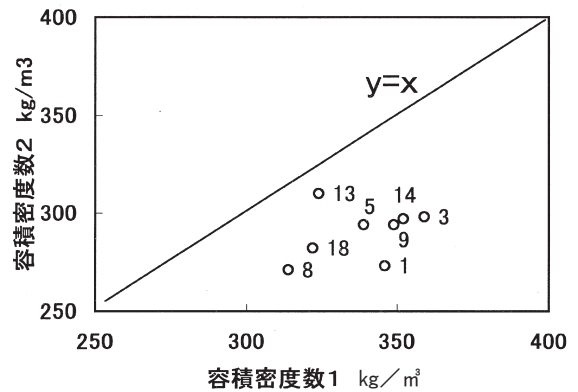


図-3 容積密度数1と2の関係
No. : 検定林番号

検定林においては特異的に年輪幅2で増大した(3.7→4.3mm)が、その他の検定林においてはいずれも年輪幅2で低下した。ちなみに、No.13検定林での年輪幅1は4.4mm、年輪幅2は2.5mmであった。このような10年輪までの平均年輪幅と11年輪以降の平均年輪幅、すなわち年輪構造の違いが容積密度数1と2の変動に関与していると言える。一般に人工林においては、生育中・後期の年輪幅は生育初期の年輪幅に比較して小さくなることが認められている(木材活用辞典編集委員会 1994)が、No.1検定林において、11年輪以降の年輪幅が特異的に増大する年輪構造であったのは、表-2にみるようにNo.1検定林は最も早期(8年生)から、しかも比較的短い周期(2~6年)で除・間伐が実施されたことが関係していると推察した。

ヤング係数：ヤング係数はNo.1検定林(63.4tf/cm²)で最も高く、No.8検定林(53.7tf/cm²)で低い傾向であった。容積密度数との関係でみると、No.1検定林の平均容積密度数は中位(310kg/m³)であったが、前述したように容積密度数1に比較して2では大きく低下した。また、No.8検定林の平均容積密度数は8検定林のなかで最も小さかった(293kg/m³)。ここで、ヤング係数を目的変数、年輪幅1・2および形状比を説明変数として重回帰式を適用した結果を表-5に示し、検定林平均最小2乗推定値と重回帰式による推定値との比較を図-4に示す。

ヤング係数は年輪幅1・2および形状比によってほぼ推定できた($r^2 = 0.88$)。回帰に対する寄与を標準偏回帰係数でみると、年輪幅1および形状比が比較的高く(絶対値)、また、年輪幅1が負値であったのに対し、年輪幅2は正値であった。形状比は材軸方向に対する繊維の傾斜程度に関係し、年輪幅1と年輪幅2の大きさの程度は未成熟材と成熟材の構成割合に関係する形質であると考えられる。すなわち、繊維の傾斜が小さく、成熟材の割合が高いほどヤング係数が高い傾向を示すと推察した。したがってヤング係数は施業との関係でみると、樹下植栽や密度管理などによる生育初期における直径成長の抑制によって、また、適切な密度管理等による完満材の育成などによって、ある程度制御可能であることが示唆された。

表-5 ヤング係数の重回帰分析結果

	年輪幅1	年輪幅2	形状比	定数項
偏回帰係数	-3.852	2.023	0.242	50.899
標準偏回帰係数	-0.805	0.472	0.643	
標準誤差	1.055	0.795	0.078	
偏相関	-0.877	0.786	0.839	
単相関	-0.616	0.658	0.116	
回帰の精度				
決定係数	0.881			
重相関係数	0.939			
回帰の分散分析	*			

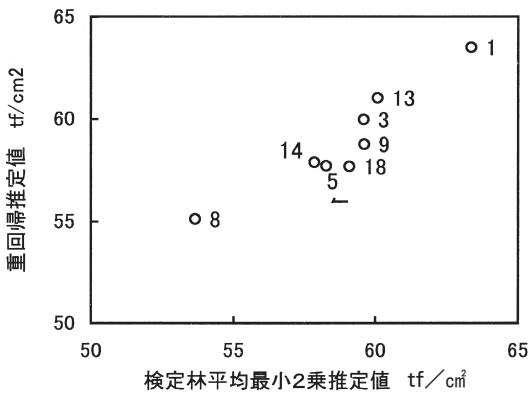


図-4 各検定林における平均ヤング係数と重回帰式による推定値との比較
No.: 検定林番号

含水率: 部材別に含水率を比較すると、いずれの検定林においても辺材>心材>移行材であった。心材含水率では検定林間に有意差が認められなかった。移行材・辺材含水率についてみると、No.1 検定林ではともに他の検定林に比較して含水率が高く(移行材:137%, 辺材:280%), No.5・14 検定林ではともに小さい傾向であった(移行材:76~92%, 辺材:241~246%)。しかし、気象要因などの立地環境との関係については明らかにすることはできなかった。

心材色: L 値はNo.13 検定林で高く(66.5), No.14・18 検定林で低い傾向であった(56.7~57.9)。a 値はNo.5・8 検定林で高く(9.6~10.1), No.13・1・3 検定林で低い傾向であった(8.5~8.7)。また、b 値はNo.8・14 検定林で高く(16.2~16.6), No.1 検定林で低い傾向であった(14.9)。しかし、L・a・b 値の検定林間の変動について、気象要因などの立地環境との関係については明らかにすることはできなかった。

各形質の検定林間の変動に関連し、立地環境や施業との関係について検討した結果、成長、枝性、幹の通直性、年輪構造などは立地環境や密度管理など施業の影響を直接的に大きく受ける形質であると言える。また、容積密度数は年輪幅、ヤング係数は年輪構造と形状比との関係がやまみられた。それに対し、含水率、心材色(L・a・b 値)については立地環境などとの関係を明らかにすることはできなかった。

2. 全クローン, 全検定林をこみにした解析

1) 各クローンの最小2乗推定値と分散分析の結果

71クローンの平均最小2乗推定値(標準偏差・変動係数)を表-6に示す。なお、各クローンの最小2乗推定値は別表-1に示す。

クローン間の変動の大きさを変動係数でみると、心材含水率、ヤング係数、枝下高および移行材含水率は最も高く15~22%, 続いて、年輪幅2, 樹高, 心材率, 根曲り, 容積密度数2, 幹曲り, 辺材含水率および年輪幅1は10~12%であった。そして、胸高直径, 平均年輪幅, 平均容積密度数, 樹冠幅, a 値, 容積密度数1, 偏心度および形状比は7~9%, L 値, 丸太細り度, b 値は4~5%であった。

つぎに分散分析の結果(分散の寄与率と反復率)を図-5に示す。ここで、反復率はクローンの遺伝的支配の度合いを表す目安とされている。

反復率についてみると、ヤング係数, 心材含水率, 容積密度数2および平均容積密度数の反復率はきわめて高く0.89~0.93であった。それに続いて、樹高, L 値, 辺材含水率, 容

表-6 71クローンの平均最小2乗推定値(標準偏差・変動係数)

ヤング係数	容積密度数1	容積密度数2	平均容積密度数	心材率	心材含水率	移行材含水率	辺材含水率
56.6	334.4	291.0	312.3	50.8	155.0	106.2	251.8
9.7	26.9	31.1	27.0	5.5	34.4	15.7	26.3
17.2	8.0	10.7	8.7	10.9	22.2	14.8	10.4
年輪幅1	年輪幅2	平均年輪幅	丸太細り度	偏心度	樹高	胸高直径	形状比
4.3	2.9	3.6	0.8	1.3	13.1	16.2	80.9
0.4	0.3	0.3	0.0	0.1	1.5	1.4	5.8
10.1	11.8	8.8	4.0	7.5	11.2	8.9	7.2
枝下高	樹冠幅	幹曲り	根曲り	L値	a値	b値	
7.4	2.4	4.4	4.6	60.7	9.4	15.8	
1.2	0.2	0.5	0.5	3.2	0.8	0.6	
15.8	8.6	11.1	11.1	5.3	8.3	3.9	

1段:平均値 2段:標準偏差 3段:変動係数
単位は表-4に同じ
根曲り・幹曲り:√X変換値の再変換値

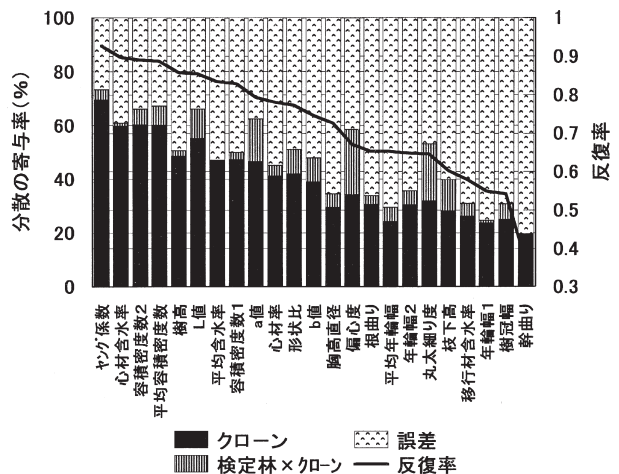


図-5 全クローン・全検定林をこみにした分散分析結果(分散の寄与率と反復率)

積密度数 1, a 値, 心材率, 形状比, b 値および胸高直径では0.73~0.86であった。そして, 偏心率, 根曲り, 平均年輪幅, 年輪幅 2, 丸太細り度, 枝下高, 移行材含水率, 年輪幅 1 および樹冠幅では0.54~0.67, 幹曲りでは0.37であった。なお F 検定の結果では, 幹曲りはクローン間に有意差が認められなかったが, その他の形質ではいずれも 1%水準で有意差が認められた。

1. 項での共通クローンによる分散分析において, 物理的・化学的性質はクローンの寄与率が検定林の寄与率に比較して高く, 成長形質はクローンと検定林の寄与率がほぼ同等で, 樹幹形態や枝性に関する形質および年輪構造に関する形質は検定林の寄与率がクローンの寄与率に比較して高い傾向であった。ここでの反復率においても, 全体的には物理的・化学的形質>成長形質>樹幹形態・枝性・年輪構造に関する形質の傾向であった。しかし, 共通クローンによる解析において, L・a・b 値はきわめてクローンの寄与率が高く, 検定林の寄与率が低かったが, ここでの反復率はヤング係数や容積密度数に比較してやや低位であった。また, 偏心率はクローンの寄与率が比較的高く, 検定林の寄与率が比較的低かったが, 反復率は成長形質とほぼ同等であった。逆に, 形状比は共通クローンによる解析においては検定林の寄与率が比較的高かったが, 反復率は成長形質とほぼ同等であった。このような解析方法による違いは, 共通クローンによる解析においては少数クローンを用いたことによる誤差が存在したこと, およびここでの解析においては, クローンと検定林の交互作用も解析の対象としたことがおもな原因であると推察した。

クローン間の変動の大きさと反復率について特徴的な形質は次のとおりであった。ヤング係数および心材含水率は最も大きい変動係数を示し (17~22%), しかも反復率も最も上位 (0.90~0.93) であった。それに対し, 枝下高, 移行材含水率および年輪幅 2 の変動係数は比較的大きかった (12~16%) が, 反復率は比較的低位 (0.58~0.65) であった。また, L・a・b 値の変動係数は比較的小さかった (3.9~8.3%) が反復率は比較的上位 (0.75~0.86) であった。すなわち, ヤング係数と心材含水率にはクローン間にきわめて大きい遺伝的変異が存在することが明らかになった。そこで, ヤング係数と心材含水率 (最小 2 乗推定値) のクローン頻度を図 6・7 に示す。

このようにクローン間にきわめて大きい遺伝的変異が存在しているにもかかわらず, 一般に木材 (素材) の流通段階においては, おもに径級を主体に仕分けされ, この素材が誰の山のもので, 品種は何であるかなど遺伝的特性に配慮されていない。このことが, I 項で述べたスギの材質上の問題として指摘している材質変動の大きな要因になっていると考えられる。したがって, これらの形質について個体間の変動を小さくするためには, 苗木生産, 造林, 素材生産, 流通の各段階における一貫した系統管理が重要になってくると言える。

2) 形質間の相関

形質間の表現型相関 (立地環境などとの交互作用を含む相関) と遺伝相関 (遺伝的な関係だけの相関) を表 7 に示す。おもな形質間の相関についてみると次のとおりであった。

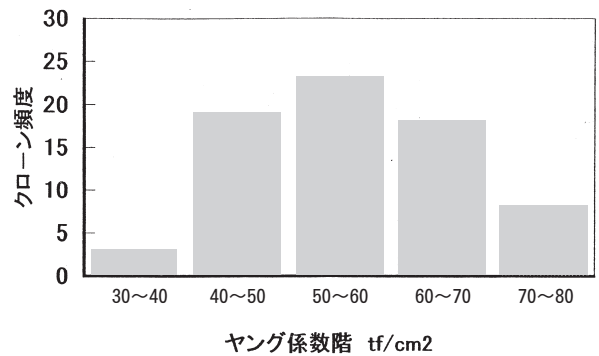


図-6 ヤング係数のクローン頻度

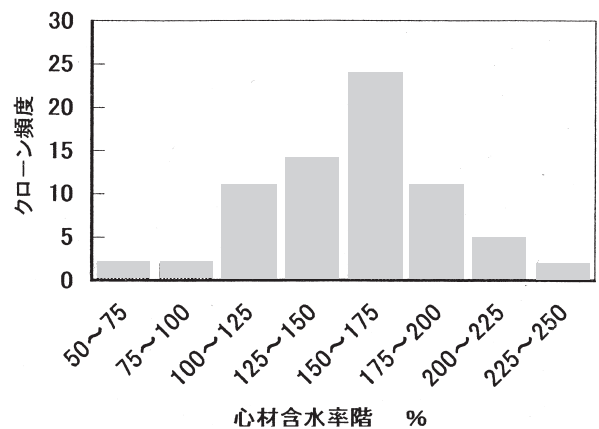


図-7 心材含水率のクローン頻度

ヤング係数と他形質: ヤング係数と比較的高い相関がみられたのは, 表現型相関では形状比 (0.64), 含水率 (辺材含水率で検討: -0.45), 樹高 (0.45), 容積密度数 (平均容積密度数で検討: 0.40) などであった。そして, 遺伝相関では容積密度数 (0.64), 形状比 (0.61), 含水率 (-0.56), 樹冠幅 (0.51), 心材率 (-0.49) などであった。ここで容積密度数が正値を示し, 含水率が負値を示したのは, 容積密度数と含水率に比較的高い負の相関がみられた (表現型: -0.79, 遺伝: -0.95) ことが原因である。このことに関し, 三輪 (1991) は木材組織中の空隙はほとんど水で飽和状態であることを指摘している。鈴木 (1991) はヤング係数と基本的材質指標との関係について既往の研究成果を総括し, 曲げヤング係数と密度 (=容積密度数) との相関は0.36, 平均年輪幅とは-0.54, 仮道管長とは0.77であったとしている。またこれらのことに関連し, 見尾 (1985) は 6 品種間で比較し, 年輪幅が広い品種ほど容積密度数は小さく, 材積成長量の大きい品種ほど仮道管長が長く, ヤング係数も高かったとしている。そして, 山下ら (2000) は品種間でヤング係数が異なる大きな要因として, 容積密度数とマイクロフィブリル傾角をあげている。本試験におけるヤング係数と容積密度数との相関は表現型相関では鈴木 (1991) のとりまとめた結果に近似した値であったが, 遺伝相関では0.64であったことから, ヤング係数と容積密度数に比較的高い相関があることが示唆さ

表-7 形質間の相関行列

ヤング	容積密	容積密	平均容積	心材	移行材	辺材	平均			丸太		胸高											
係数	度数1	度数2	密度数	心材率	含水率	含水率	含水率	年輪幅1	年輪幅2	年輪幅	細り度	偏心度	樹高	直径	形状比	枝下高	樹冠幅	根曲り	幹曲り	L値	a値	b値	
ヤング係数	0.626	0.627	0.641	-0.491	0.211	-0.452	-0.562	-0.101	0.137	-0.032	0.445	-0.002	0.442	0.175	0.609	0.281	0.512	0.206	0.166	-0.076	-0.021	-0.092	
容積密度数1	0.343		0.843	0.949	-0.367	-0.226	-0.744	-0.819	-0.181	-0.264	-0.298	0.213	-0.081	0.204	-0.147	0.592	0.025	0.165	-0.406	-0.074	-0.198	-0.134	-0.234
容積密度数2	0.390	0.719		0.970	-0.275	-0.162	-0.744	-0.973	-0.128	-0.152	-0.192	0.300	0.051	0.252	-0.032	0.431	-0.039	0.060	-0.388	-0.083	-0.158	0.023	-0.188
平均容積密度数	0.395	0.910	0.940		-0.316	-0.193	-0.774	-0.947	-0.153	-0.203	-0.269	0.293	0.062	0.181	-0.088	0.508	-0.024	0.107	-0.413	-0.067	-0.148	0.002	-0.153
心材率	-0.223	-0.332	-0.285	-0.317		-0.175	0.224	0.229	0.412	0.109	0.376	-0.055	-0.057	-0.077	0.189	-0.412	0.038	-0.175	-0.020	0.051	-0.330	-0.006	0.308
心材含水率	0.382	-0.111	-0.061	-0.092	-0.171		0.333	0.268	-0.287	0.042	-0.182	-0.054	0.279	-0.041	-0.166	0.144	0.102	-0.212	0.375	-0.161	-0.368	0.294	-0.317
移行材含水率	-0.271	-0.409	-0.415	-0.442	0.194	0.083		0.767	-0.196	-0.053	-0.134	-0.484	0.102	-0.434	-0.220	-0.504	-0.312	-0.301	0.296	-0.233	0.087	0.250	-0.065
辺材含水率	-0.449	-0.627	-0.817	-0.789	0.313	0.047	0.530		0.008	0.434	0.281	-0.268	0.164	-0.148	0.143	-0.442	0.014	0.004	0.241	-0.207	0.145	-0.037	0.102
年輪幅1	-0.021	-0.478	-0.325	-0.411	0.587	-0.096	0.115	0.262		0.401	0.764	0.421	0.002	0.522	0.648	-0.027	0.715	0.173	-0.159	-0.224	0.385	-0.084	0.286
年輪幅2	-0.035	-0.259	-0.523	-0.435	0.295	0.049	0.148	0.519	0.322		0.779	0.267	0.565	0.639	0.762	0.212	0.748	0.725	0.076	-0.307	0.439	-0.524	0.535
平均年輪幅	-0.075	-0.458	-0.513	-0.515	0.575	-0.070	0.197	0.473	0.829	0.785		0.442	0.255	0.688	0.928	0.056	0.877	0.523	-0.086	-0.316	0.524	-0.378	0.518
丸太細り度	0.378	-0.085	-0.079	-0.082	0.248	0.100	-0.176	-0.052	0.438	0.251	0.392		0.140	0.844	0.576	0.665	0.755	0.432	0.064	-0.263	0.332	-0.018	0.311
偏心度	-0.078	-0.063	-0.081	-0.085	0.118	0.058	0.182	0.153	0.019	0.333	0.203	0.085		0.183	0.238	0.051	0.252	0.481	-0.087	-0.773	-0.111	-0.082	-0.102
樹高	0.449	-0.136	-0.098	-0.126	0.248	0.152	-0.154	-0.018	0.622	0.444	0.615	0.751	0.149		0.857	0.736	0.999	0.634	-0.043	-0.249	0.410	-0.286	0.389
胸高直径	0.080	-0.377	-0.356	-0.401	0.488	0.019	0.086	0.307	0.759	0.670	0.853	0.454	0.227	0.785		0.280	0.993	0.648	-0.049	-0.313	0.510	-0.413	0.480
形状比	0.642	0.258	0.258	0.282	-0.218	0.249	-0.335	-0.392	0.025	-0.102	-0.081	0.669	-0.043	0.618	0.007		0.549	0.346	-0.002	-0.105	0.097	0.016	0.111
枝下高	0.283	-0.335	-0.267	-0.321	0.331	0.193	0.044	0.155	0.663	0.451	0.671	0.673	0.205	0.838	0.717	0.447		0.604	0.024	-0.423	0.380	-0.225	0.366
樹冠幅	0.101	0.059	-0.060	-0.016	0.172	-0.026	-0.054	0.079	0.036	0.469	0.276	0.212	0.325	0.294	0.450	-0.074	0.092		-0.029	-0.493	0.302	-0.342	0.292
根曲り	0.238	-0.462	-0.379	-0.445	0.108	0.366	0.195	0.270	0.192	0.182	0.192	0.374	-0.027	0.296	0.247	0.191	0.293	0.124		0.790	-0.098	0.250	0.007
幹曲り	0.258	-0.244	-0.033	-0.126	0.055	0.091	-0.040	-0.105	0.192	-0.062	0.072	0.254	-0.328	0.206	0.094	0.204	0.114	-0.031	0.657		0.116	0.002	0.259
L値	-0.178	-0.148	-0.093	-0.129	0.085	-0.532	0.019	0.162	0.213	0.099	0.213	0.022	-0.058	0.063	0.135	-0.088	0.011	-0.011	-0.275	-0.102		-0.113	0.985
a値	0.046	0.091	0.089	0.094	-0.191	0.088	0.124	-0.047	-0.251	-0.348	-0.359	-0.039	-0.005	-0.280	-0.367	0.073	-0.190	-0.233	0.176	-0.055	-0.134		-0.198
b値	-0.025	0.162	0.047	0.096	-0.140	-0.439	-0.181	-0.009	-0.045	0.044	0.001	0.023	-0.092	-0.007	-0.020	0.013	-0.022	-0.126	-0.307	-0.189	0.711	0.039	

右上: 遺伝相関 左下: 表現型相関
 5%水準: r=0.233 1%水準: r=0.304 0.1%水準=0.384

れた。ここで、ヤング係数と他形質との相関に関連し、ヤング係数を目的変数、形状比、心材含水率、平均容積密度数および胸高直径を説明変数（説明変数は各形質の反復率を考慮し、変数増減法によって検討した）として重回帰式を適用した結果を表-8に示し、各クローンの最小2乗推定値と重回帰式による推定値との比較を図-8に示す。

表-8 ヤング係数の重回帰分析結果

	形状比	心材含水率	平均容積密度数	胸高直径	定数項
偏重回帰係数	0.770	0.085	0.138	1.506	-86.337
標準偏重回帰係数	0.458	0.299	0.384	0.224	
標準誤差	0.148	0.024	0.034	0.592	17.813
偏相関	0.539	0.401	0.451	0.299	
単相関	0.642	0.382	0.395	0.080	
回帰の精度					
決定係数	0.578				
重相関係数	0.760				
回帰の分散分析	**				

** : 1%水準で有意

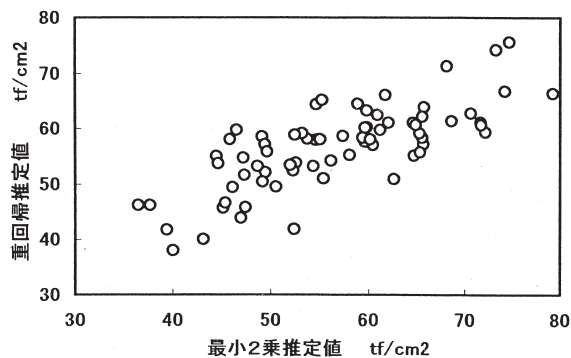


図-8 各クローンにおけるヤング係数最小2乗推定値と重回帰式による推定値との比較

回帰の有意性は認められたが（1%水準）、決定係数は概して高くなかった（0.58）。回帰に対する寄与を標準偏回帰係数でみると、形状比が最も高く0.46、そして、平均容積密度数、心材含水率、胸高直径は0.22~0.38であった。また、胸高直径は正值を示し、誤差分散も比較的大きかった。1.項での共通クローンによる解析において検定林間を比較したとき、ヤング係数は形状比と年輪構造、すなわち、密度管理など施業との関係が示唆された。しかし、クローン間の比較においては、ヤング係数と形状比、平均容積密度数などとの関係がやや認められたが、ヤング係数は、他形質とほぼ独立した形質であると考えられた。したがって、ヤング係数が高く、しかも成長等も良好なクローンの存在が示唆された。

容積密度数と他形質：含水率との関係は前述したように、表現型・遺伝相関ともに高い負の相関が認められた。その他の形質間で比較的高い相関がみられたのは、平均年輪幅（表現型：-0.52、遺伝：-0.27）、形状比（表現型：0.28、遺伝：0.51）、根曲り（表現型：-0.45、遺伝：-0.41）であった。前述したように一般に年輪幅が大きいほど容積密度数は小さくなるとされており（加納 1973）、本試験においても表現型相関は比較的高かったが遺伝相関は概して小さかった。遺伝相関が小さかったのは、おもに平均年輪幅は誤差分散が大きく反復率がやや低位（0.65）であったことがおもな原因であると推察した。つぎに、容積密度数と形状比には遺伝相関において比較的高い相関が認められ、ヤング係数に対してと同様に容積密度数に対しても形状比が関与していることが推察された。また、容積密度数と根曲りに負の相関がみられたのは、試料の採取位置が地上ほぼ1.0~1.2mであったことから、アテ材の関与（島地ほか 1978）が推察された。

木材強度と高い相関が認められている（鈴木 1991）ヤング係数、容積密度数と他形質の関係について検討した。ヤング係数は容積密度数と遺伝的に比較的近接な関係があることが明らかになったが、表現型相関でみたときヤング係数、容積密度数と他形質およびヤング係数と容積密度数の相関は概

して小さく、ともに他形質とほぼ独立した形質とみられた。このことに関連し見尾(1987)は、スギ在来品種間で年輪幅と強度特性との関係を検討し、従来、広い年輪幅の材は比重が小さく、強度的に劣るとされ、年輪幅を材質評価の根拠に位置づけてきた材質評価のあり方に疑問を呈した。

根曲り・幹曲りと他形質：根曲りと容積密度数の関係は前述した。根曲りと幹曲りには比較的高い相関が認められ(表現型：0.66, 遺伝：0.79), 根曲りが幹曲りの誘因になっていることが推察された。つぎに偏心度と幹曲りには比較的高い遺伝相関がみられた(-0.77)。分散分析において偏心度はクローン間に有意差(1%水準)が認められたが、幹曲りでは認められなかった。また共通クローンによる分散分析においても、偏心度は検定林間の変動に比較してクローン間の変動が大きい形質であったのに対し、幹曲りはクローン間の変動が著しく小さかった。そして、幹曲り指数の低い検定林で偏心度が高い値を示した。これらのことから、偏心度と幹曲りは遺伝的に比較密接な関係にあると言えるが、クローンの遺伝的特性は偏心度において顕著に発現し、幹曲りは立地環境などの影響を大きく受ける形質であると推察した。

枝下高と樹高・胸高直径：枝下高と樹高(表現型：0.84, 遺伝：1.00)および枝下高と胸高直径(表現型：0.72, 遺伝：0.99)にはきわめて高い相関が認められた。樹高と枝下高の関係について、金沢ら(1985)は密接な関係を認めて、枝下高を樹高と立木密度の関数として表し、パラメータは品種や立地条件によって異なるとした。しかし、枝下高は分散分析において誤差分散が比較的大きく、クローンの反復率は比較的低位(0.60)であった。

L値とb値：L値とb値には高い相関がみられた(表現型：0.71, 遺伝：0.99)。L値とb値の測定値に関連し、色測色差計の測定値は測定面の処理状態、測定面積などによっても異なるとされている(近藤ら1992)が、本試験におけるL値とb値はきわめて近似した表色系であることが示唆された。なお、L値とb値のクローン間の相関に関し、近藤ら(1992)の試験においては相関係数は0.85、西村ら(1992)の試験においては0.39であった。

3. 心材色

L・a値の最小2乗推定値とクロジンの関係を図-9に示す。ここでクロジン率とは、目視調査の結果からクローンあたりの全調査本数に対するクロジン個体の割合を示す。また、図中のクロジン率の区分は5段階評点法(石川1983)による評点区分に準じて決定した。

71クローンの中で15クローン(21%)がクロジン率10%以上であった。L・a値との関係でみると、クロジン率が10%以上であったクローンは、L値がほぼ60以下、a値が10以下であったことから、クロジンの出現はL値とa値でほぼ表せると言える。しかも、L・a値はともに遺伝的支配の度合いが比較的高い形質であった。一方、目視による調査は、経験的な感覚による調査であり、調査時の照度条件や調査者の恣意的誤差をとまなう。したがって、目視調査の結果を考慮して、L・a値を基準にクロジンが出現することがあるクローンを分類するのが適当と考えた。そこで、最小2乗推定値の

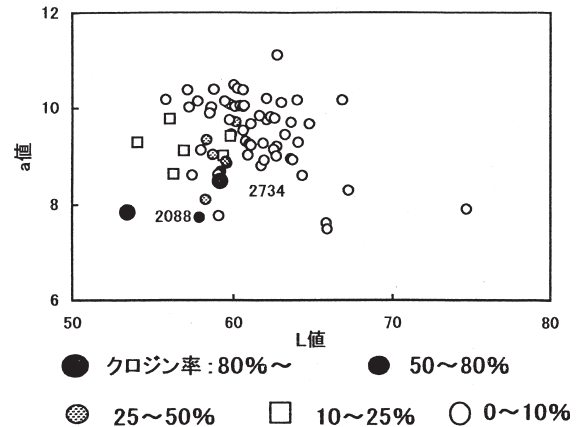


図-9 L・a値とクロジンの出現率

L値が60以下でa値が10以下のクローンを、立地環境などとの関係でクロジンが出現することがあるクロジン系クローンとし、L値が60、a値が10より大きいクローンをほとんどクロジンが出現しないアカジン系クローンとして分類した。それとともに、クロジン系クローンであってもクロジンの出現率はクローンによって大きく異なった。個体ごとのL・a値ではなく最小2乗推定値で評価するときは、その出現率にも配慮が必要であると考えられる。そこで、80%以上の個体がクロジンと判定されたクローンコード2088, 2734をクロジクローンとして区分した。

なお、色測色差計の測定値と目視調査の関係について、L値との相関が高い(林野庁1992)、a値との相関が高い(西村ら1992)、あるいはb値との相関が高い(近藤ら1992)と3様の報告がある。このように報告者によって異なっているのは、前述したように、色測色差計の測定値は測定面の処理状態、測定面積などによって異なる(近藤ら1992)ことが考えられる。また、本試験における目視調査は、心材色の変異を均等に分類したものではなく、クロジンの抽出を目的として分類したことも関係していると推察した。

つぎにクロジンの出現に関連し、心材含水率とL値の関係が指摘されている(藤原1989:農林水産技術会議事務局1997など)。そこで、心材含水率・L値とクロジン率の関係を図-10に示す。

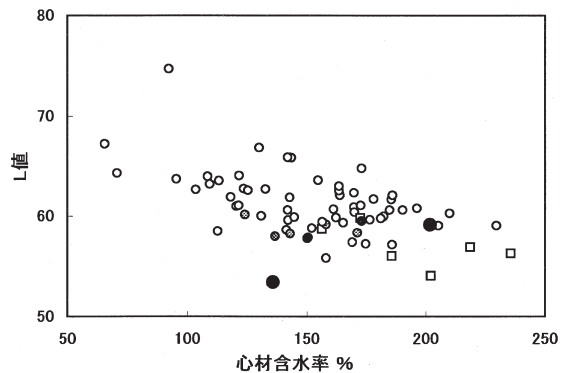


図-10 心材含水率・L値とクロジン率の関係
クロジン率の区分は図-9に同じ

心材含水率が高いほどL値が低下する傾向が認められ ($r = -0.53^{***}$), クロジン系クロンの心材含水率はほぼ125%以上であった。しかし, 心材含水率が200%以上であってもアカジン系クロンが存在した。また, クロジンクロンとみられたクロンコード2734の含水率は202%であったが, 2088の含水率は136%であった。したがって, 心材含水率がほぼ125%以上のときクロジン系クロンが出現することがあると言えるが, 心材含水率だけでクロジンの出現を予測することは困難であり, 心材含水率が高いアカジン系クロンも存在すると言える。

農林水産技術会議事務局 (1997) は200クロンについて調査し, 心材含水率とL値に負の相関を確認した ($r = -0.58$)。しかし, 心材含水率が高い (170%以上) クロンであってもアカジンであったクロン (10クロン) の存在を指摘している。

4. 材質特性による精英樹等の評価と利用

1) 対象とする形質の検討

精英樹等を材質の特性によって評価するにあたっては, 木材を利用する側から問題とされている形質であるとともに, 林木を育成する側からの要請にも配慮する必要がある。また, 対象とする形質は遺伝的支配の度合いが高く, しかも, 互いに独立した形質であることが望ましい。

I項で述べた木材利用面から指摘されている材質上の問題点に関連し, 本試験において調査した形質は, ①材質の変動, ②心材含水率, ③ヤング係数, ④容積密度数, ⑤クロジンがあげられる。材質の変動に関しては, 反復率の高い形質について近似した特性を有するクロンを造林に使用し, クロン特性に配慮した集材・利用を行うことによって, すなわち, 前述したように苗木生産から利用までの一貫した系統管理によって個体間の変動は小さくなると考えられる。心材含水率は, おもに製材製品の製造過程における乾燥コストに関わる問題である。ヤング係数, 容積密度数は, 前述したようにともに木材強度との間に高い相関が認められており (鈴木 1991), また, 容積密度数は材表面の硬さ, 磨耗性とも関係し, これらの形質はおもに材を構造材として使用するときの問題である。それに対し, 心材色は材をおもに造作材として使用するとき, 利用する人間の嗜好に関わる問題である。したがって, ヤング係数・容積密度数と心材色のどちらを重点に考えるかは, 材の生産目標, 利用の仕方によって異なってくる。しかし, スギ材の需要の全体的傾向としては, I項で述べたように今後一層工業原材料としての利用が進むものと考えられる。材質形質の中で何を重点に改良を図るべきかに関連し, 藤澤 (1992) はヤング係数のように木材利用面からの要求水準 (JAS等級区分) が明確な場合は, 等級区分を1ランク上に押し上げてはじめて改良効果が認められることを指摘している。一方, 林木を育成する側からみると, 根曲り, 幹曲りは採材歩留りにきわめて大きな影響を与える形質である。また, 岡山県の県北地域においては突発的に冠雪害が発生し, 激甚被害をもたらすことがあるが, 一般に強度的性質が高い品種は被害が小さいことが認められており (片岡ら 1983: 嘉戸ら 1986: 中谷 1991), 強度的特性は健全な林木 (森林) を

育成する上からも重要である。

つぎに, これらの形質について遺伝的支配の度合いについてみると, ヤング係数, 心材含水率および平均容積密度数はいずれもきわめて高い反復率 (ヤング係数: 0.93, 心材含水率: 0.90, 平均容積密度数: 0.89) を示し, 立地環境や施業による影響が比較的小さい形質であった。また, クロジンが出現したクロンはL値とa値でほぼ表すことができ, L・a値は比較高い反復率 (L値: 0.86, a値: 0.79) であった。そして, アカジン系クロンと立地環境などとの関係でクロジンが出現することがあるクロジン系クロン, および比較的普遍的にクロジンが出現するクロジンクロンが存在した。これらの形質に比較し, 根曲りの反復率はやや低位 (0.65) であった。また, 幹曲りの反復率は最も低位 (0.37) であったが, 偏心度と幹曲りは遺伝的に比較的密接な関係にあり (遺伝相関0.77), 偏心度の反復率は根曲りと同等 (0.65) であった。

以上の検討から, ヤング係数, 心材含水率, 平均容積密度数, 心材色 (クロジン), 根曲りおよび偏心度の6形質によって精英樹クロンを評価した。

2) 精英樹等の評価と利用

材質特性による精英樹等の評価を表-9に示す。ここで, ヤング係数, 心材含水率, 平均容積密度数については最小2乗推定値とそれの5段階評価を示し, 根曲り, 偏心度については最小2乗推定値の5段階評価において「1」にランクされたクロンについて, また, 心材色についてはクロジン系クロンとクロジンクロンについてマーキングした。根曲り, 偏心度について評価「1」のみ表示したのは, これら2形質の反復率がヤング係数などと比較して低位であったためである。また, 遺伝的支配の度合いが比較的高く (反復率0.86), 林木の育成面から重要な形質と考えられる樹高も参考として表示した。

つぎに, ヤング係数を重点とし, 心材含水率, 平均容積密度数, 心材色 (クロジン), 根曲りおよび偏心度を勘案して材質優良クロンを選定した。選定基準は次によった。

- ①ヤング係数が評価「4」 ($60\text{tf}/\text{cm}^2$ 以上) 以上である。
- ②心材含水率が評価「3」 (172%未満) 以上である。
- ③平均容積密度数が評価「3」 ($299\text{kg}/\text{m}^3$) 以上である。
- ④根曲り, 偏心度にマークがない (根曲り: 3.82以上, 偏心度: 1.40未満)。
- ⑤クロジンクロンでない。

選定基準に適合したのは, クロンコード9993, 2068, 2114, 2085, 9997, 2046, 2103, 2110, 2112, 1735, 9995, 2061, 2095および2041の14クロンであった。

遠藤系選抜5クロン (9993~9997) のなかで3クロン (9993, 9997, 9995) が優良クロンに該当した。このことから, 材質育種を推進するうえで苫田郡加茂町の天然スギ集団が貴重な遺伝子資源であることが示唆された。また, クロンコード2061および2095はいずれの形質も近似した特性値であったが, これら2クロンはともに染色体が三倍体であることが確認されている (佐々木 1982)。しかも, これら2クロンはアイソザイム解析によって同一クロンでないこと

表-9 材質特性による精英樹等の評価

クローン コード	クローン 名	ヤング 係数	心材 含水率	平均容積 密度数	心材 色	根 偏曲度	樹高	クローン コード	クローン 名	ヤング 係数	心材 含水率	平均容積 密度数	心材 色	根 偏曲度	樹高
○9993	遠藤40	5 74.7	3 161	5 367			4 15.2	2042	苫田4	3 52.4	3 141	3 305			1 10.0
○2068	真庭14	5 74.2	3 164	4 336			4 14.7	2101	新見2	3 59.4	3 164	2 296			4 13.9
○2114	川上2	5 72.2	3 152	4 333			2 12.3	2075	真庭21	3 55.4	3 164	2 293			2 12.0
○2085	真庭31	5 71.7	3 170	4 328			3 13.3	2058	真庭2	3 59.8	2 177	4 329	*		3 13.7
2116	後月1	5 79.3	2 173	5 355	*		4 14.7	2616	日野11	3 55.2	2 173	4 338	*	*	3 13.6
9994	遠藤149	5 73.3	2 181	4 349	*		4 14.9	2073	真庭19	3 59.6	2 183	3 316		*	2 11.7
2072	真庭18	5 70.6	2 175	4 327			2 12.2	2109	新見10	3 57.4	2 186	3 303			3 13.5
2734	上浮穴2	5 71.7	2 202	3 321	**		3 12.7	2092	真庭38	3 54.7	2 205	3 299	*		4 14.4
○9997	遠藤493	4 62.6	5 71	4 330			3 12.5	2245	豊浦4	3 59.7	2 173	2 295			4 14.0
9999	遠藤実生	4 60.2	5 103	4 328		*	4 14.3	2055	苫田20	3 56.2	2 196	2 299			2 11.8
○2046	苫田10	4 65.7	4 130	4 330			3 12.8	2080	真庭26	3 53.8	2 178	2 294			3 13.8
2088	真庭34	4 65.6	4 136	4 337	**		3 12.5	2097	阿哲5	3 55.1	1 236	2 276	*		4 13.9
○2103	新見4	4 64.9	4 131	4 331			3 13.6	2096	阿哲4	3 52.6	1 219	2 280	*		3 12.5
○2110	新見11	4 60.9	4 125	3 315			4 15.2	2034	英田7	2 40.0	5 92	1 227			3 13.6
○2112	御津1	4 65.6	3 151	4 337	*		3 13.5	2076	真庭22	2 46.5	4 113	4 351	*	*	3 13.0
○1735	桑名1	4 68.7	3 169	3 317	*		4 13.9	9996	遠藤375	2 47.2	4 121	3 299			4 14.3
○9995	遠藤355	4 65.4	3 143	3 320			3 12.5	2070	真庭16	2 47.4	4 133	2 274		*	4 14.4
○2061	真庭5	4 64.6	3 144	3 305			5 15.8	2115	和気1	2 47.0	4 113	2 275			3 13.3
○2095	阿哲3	4 62.0	3 142	3 307			5 16.0	2079	真庭25	2 46.1	4 137	2 296	*		3 12.6
○2041	苫田3	4 60.4	3 156	3 301	*		4 14.2	1848	飾磨5	2 45.2	4 124	2 282		*	3 12.9
2102	新見3	4 65.3	2 190	4 327			2 11.4	2091	真庭37	2 43.2	4 124	1 271			2 11.1
2064	真庭9	4 61.7	2 185	4 329		*	4 14.1	2062	真庭7	2 44.5	3 162	5 368			1 10.1
2083	真庭29	4 65.8	2 173	3 325		*	4 14.3	2087	真庭33	2 49.7	3 158	3 312	*		3 12.7
2054	苫田19	4 61.2	2 186	3 308			3 13.3	2059	真庭3	2 49.1	3 165	3 308	*		3 13.4
2646	大田3	4 68.1	1 230	3 311	*		5 16.0	2067	真庭13	2 48.7	3 142	3 299	*		3 13.7
2139	山県3	4 64.7	1 210	2 288			3 13.0	2392	河北1	2 44.6	3 142	3 321			2 11.5
9998	遠藤さし木	3 52.0	5 95	4 333			3 13.0	2065	真庭10	2 49.5	3 170	2 287			2 12.3
2089	真庭35	3 53.3	4 118	3 320			4 15.0	2093	阿哲1	2 47.5	3 145	2 298	*		1 9.5
2081	真庭27	3 54.4	4 122	2 297			3 13.6	2099	阿哲7	2 45.4	3 143	2 278	*	*	3 12.8
2045	苫田9	3 50.6	4 108	2 289			3 13.1	2078	真庭24	2 49.4	2 186	3 310			2 11.9
2107	新見8	3 59.8	3 155	4 332			3 13.0	2113	川上1	2 49.2	2 202	3 299	*		1 10.4
2354	上市2	3 52.3	3 157	4 331			2 11.5	2044	苫田8	2 45.9	2 186	2 278	*		4 14.8
2082	真庭28	3 58.9	3 158	3 322			4 14.3	1839	南河内8	1 36.5	5 66	5 412		*	1 8.5
2057	真庭1	3 58.1	3 150	3 303			3 13.0	2074	真庭20	1 37.7	4 120	3 306			2 12.2
2040	苫田2	3 54.6	3 171	3 315	*		3 13.1	2048	苫田12	1 39.4	4 109	2 274			2 11.9
2100	新見1	3 52.5	3 170	3 321			2 11.1	平均		56.6	155	312			13.1

ヤング係数・心材含水率・平均容積密度数:5段階評価と最小2乗推定値を表示

最小2乗推定値の単位は表-4に同じ

心材色*:クロジンが出現することがあるクローン 同**:普遍的にクロジンとなるクローン

根曲り・偏曲度*:5段階評価「1」のクローン

クローンの配列:ヤング係数、心材含水率および平均容積密度数の5段階評価で降順配列

○:材質優良クローン

も確認されている(丹原 未公表)ことから、今後多くの三倍体クローンについての検討が必要であるが、クローンコード2061, 2095でみられた特性は三倍体クローン特有の特性であることが示唆された。

在来品種についてみると、「遠藤さし木」はヤング係数は中位であったが、心材含水率、平均容積密度数は上位で、心材含水率がきわめて小さいのが特徴的であった。一方、「遠藤実生」はヤング係数、心材含水率および平均容積密度数とともに上位にランクされたが、根曲りしやすい傾向であった。このことに関連し、丹原(1991)は多雪地帯に設定した検定林において精英樹さし木クローンと同一母樹の自然交雑実生家系の根元移動長を調査し、実生家系はさし木クローンに比較して根曲りしやすい傾向を認めた(さし木クローン平均:6.0

cm, 実生家系平均:20.0cm)。また、向田ら(1999)はヤング係数、心材色について同様の比較を行い、ヤング係数は実生家系でやや高く(さし木クローン平均:50.6tf/cm³, 実生家系平均:54.6tf/cm³)、心材色は実生家系で赤みが強くなる傾向を認めた(5を赤, 1を黒とする5段階指数においてさし木クローン平均:3.8, 実生家系平均:4.3)。本試験において「遠藤実生」でみられたヤング係数、心材含水率、容積密度数とともに良好で、根曲りしやすい特性は、母樹等の遺伝的特性のほかにも実生増殖に起因する特性が関与していると推察した。

材質優良クローンとして選定した14クローンの平均ヤング係数は67tf/cm³, 平均心材含水率は144%, 平均容積密度数は326kg/m³, 平均樹高は14.0mであった。つぎに材質優良

クローンを集団として利用することによる育種効果を図-11に示す。

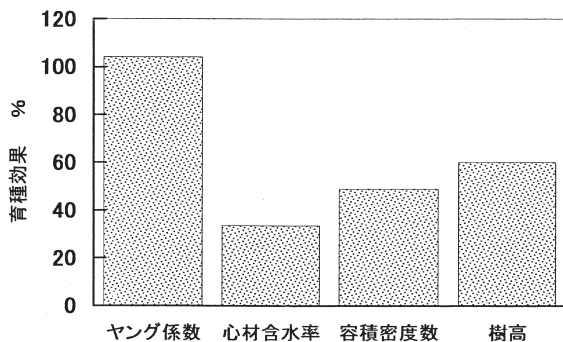


図-11 優良クローン利用による4形質の育種効果

育種効果はヤング係数において最も高く104%であった。そして、心材含水率は33%、容積密度数は49%であった。また、樹高においても比較的高く60%の育種効果が期待できた。それとともに、根曲り、幹曲り木の減少とクロジン出現率の低下が期待できた。この育種効果は選抜強度（選定クローン数）によって、また、対象とする形質（数）によって異なり、少数クローンを選定すれば育種効果はさらに向上し、材質も均一化する。しかし、そのためには病虫害・気象害などに対する安全性が確保され、健全な森林が育成されることが前提条件となる。そこで、ここではヤング係数については比較的強い選抜強度を適用し、その他の形質については消極的選抜法によって選定クローン数ある程度確保した。植栽にあたっては、比較的近似した材質特性を有するクローンを混合して植栽したり、単一クローンを小面積にモザイク状に配置するなどの措置が必要がある（藤澤 1997）。それとともに、ここでの評価においてはJAS等級区分あるいはクローン特性値の分布状況から各クローンの最小2乗推定値を機械的に5段階に区分した。しかし、容積密度数やヤング係数は密度管理などの施業方法や施業体系などによっても変動することも明らかになったことから、造林材料の選択とともに品質管理を意識した施業に留意する必要がある。

引用文献

藤原新二・岩神正朗（1989） スギおよびヒノキ材の生材含水率と心材色の関係について. 高知大学演林報16 : 19-23.
 藤澤義武（1992） 育種による材質改良の可能性—スギの材質に関するクローン特性—. 林木の育種164 : 12-16.
 藤澤義武・太田貞明・西村慶二・戸田忠雄・田島正啓（1995） スギ心材含水率のクローンと林分による変異. 木材学会誌41(3) : 249-255.
 藤澤義武（1997） スギの材質と遺伝変異に関する研究. 林木の育種184 : 4-8.
 石川栄助（1983） 新統計学. 426pp, 槇書店, 東京.
 嘉戸昭夫・平秀彰・中谷浩（1986） スギ3品種の冠雪害の差異と立木強度. 富山県林試研報11 : 7-15.
 金沢洋一・清野嘉之・藤森隆郎（1985） 一斉単純林におけ

る密度と樹冠構造および幹の生長の関係（Ⅱ）—スギ林における枝下高のモデル化—. 日林誌67（10） : 391-397.
 加納孟（1973） 林木の材質. 168pp, 日林協, 東京.
 関西地区林業試験研究機関連絡協議会立地部会（1981） 立地区区分—北陸・近畿, 中国・四国—.
 片岡健次郎・村井正文・栗田稔美（1983） スギ在来品種の冠雪量と樹冠形態（予報）. 日林論94, 721-722.
 近藤晃・山本茂弘（1992） 静岡県内で選抜されたスギ精英樹クローンの心材色—目視と色差計との関係—. 日林論103 : 303-304.
 栗延晋・金子富吉・新谷安則・大庭喜八郎（1984） 次代検定林間で共通して植栽されていない家系データを含めた地域区分の試み. 日林誌66(3) : 109-112.
 栗延晋（1987） 最小2乗推定値を用いた選抜指数による精英樹評価プログラム. 林木育種場研報5 : 33-58.
 見尾貞治・松本昂・堤壽一（1985） スギ品種の木材性質について—九州産在来スギ6品種による予備実験—. 九州大学演報55 : 187-199.
 見尾貞治（1987） スギの材質と造林—スギ造林木の材質指標について—. 日林九支論40 : 311-314.
 見尾貞治（1990） スギの品種と木材性質, 木材学会秋期シンポジウム「活かそう！スギ—大いなるスギ材の利用を目指して—」. 講演集 : 5-10.
 三輪雄四郎（1991） 組織的・物理的特性—生材含水率—. (木材の科学と利用技術, 5スギ. 日本木材学会研究分科会編, 129pp) : 10-13.
 木材活用辞典編集委員会（1994） 木材活用辞典. 736pp, 産業調査会辞典出版センター, 東京.
 向田稔・宮浦富保・高橋誠（1999） 東北育種基本区におけるスギ精英樹クローン等の理学的・力学的木材性質の評価—さし木クローンと自然交雑家系間のヤング率及び心材色の関係と変異について—. 林木育種センター東北育種場年報29 : 58-63.
 中谷浩（1991） 林木の冠雪害に関する樹木力学的研究. 富山県林技研報4 : 1-54.
 西村勝美（1990） 加工技術面からのスギ並材需要拡大の課題. 山林90(8) : 21-27.
 西村慶二・竹内寛興・田島正啓・戸田忠雄・藤澤義武（1992） スギ心材色の精英樹クローン間変動. 日林論103 : 305-306.
 農林水産技術会議事務局（1997） 品質管理型林業のためのスギ黒心対策技術の開発. 研究成果316 : 1-93.
 岡山県（1988） 岡山県メッシュ気候図.
 太田貞明（1991） 組織的・物理的特性—未成熟材—. (木材の科学と利用技術, 5スギ. 日本木材学会研究分科会編, 129pp) : 22-24.
 小田一幸・渡辺洋徳・堤壽一（1990） 構造材を意識したスギ12品種の木材性質—スギ材材質評価法確立を目指して—. 九州大学演報62 : 115-126.
 林木育種センター（1996） 次代検定林の材質調査要領.
 林野庁（1956） 林木育種事業指針.
 林野庁（1969） 林木次代検定事業実施要領.
 林野庁（1992） 精英樹の材質評価手法に関する調査報告書.

115pp.

- 佐々木義則 (1982) 有用樹種の細胞遺伝学的研究Ⅶースギおよびヒノキの精英樹にみられる三倍体ー. 大分県研時報 5 : 5-13.
- 島地謙・須藤彰司・原田浩 (1978) 木材の組織. 291pp, 森北出版, 東京.
- 鈴木滋彦 (1991) 強度的特性ー標準試験体ー. (木材の科学と利用技術, 5 スギ. 日本木材学会研究分科会編, 129 pp) : 68-74.
- 田村明 (1999) 九州育種基本区における15年生スギ精英樹クローンの主要形質での選抜と選抜効果の予測. 日林関東支論50 : 81-82.
- 丹原哲夫 (1985) スギ精英樹の生長と形態的特性. 岡山県林試研報 6 : 1-32.
- 丹原哲夫 (1991) ヒノキ精英樹選抜育種の検証. 岡山県林試研報10 : 1-15.
- 丹原哲夫 (1991) 平成6年度関西地区林業試験研究機関連絡協議会育種部会資料.
- 丹原哲夫 (1994) スギ精英樹クローンにおける材質変異. 岡山県林試研報11 : 20-30.
- 丹原哲夫 (2001) 成長・材質特性によるスギ精英樹の分類ー複数次代検定林の解析例ー. 日林関西支要旨集(52) : 62.
- 丹藤修・池上遊亀夫・片山重俊・岡田滋・河村嘉一郎・佐々木研 (1989) 最小2乗推定値を用いた大阪営林局次代検定林成果の解析ー瀬戸内海育種区スギサシキ10年次の解析事例ー. 日林関西支講40 : 320-323.
- 堤壽一 (1984) 木材性質ということーその果たす役割ー. 木材工業39(5) : 3-8.
- 山下香菜ら (2000) スギ18品種の丸太ヤング率の品種間差に及ぼすマイクロフィブリル傾角と密度の影響. 木材学会誌46 : 510-522.
- 山内俊枝 (1928) スギの心材率に就いて. 日林誌10, 621-630.

