

(論 文)

岩手県に設定されたスギ精英樹クローン検定林の 1～20年次までの成長形質の解析

蓬田英俊

Analysis of growth traits measured for 1 to 20 year-old
sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) plus tree clone tests in Iwate Prefecture.

Hidetoshi YOMOGIDA

要 旨

岩手県内8カ所に設定したスギ精英樹クローン検定林の樹高、胸高直径、生存率、樹幹形の調査結果を用いてクローン特性の評価と年次相関の解析を試みた。すべての検定林をこみにした分散分析を実施したところ、各測定形質のクローン間に有意差が認められた。一方、樹高、胸高直径においてクローン×検定林交互作用分散成分の占める割合は年次とともに減少することから、配布区域を区分する必要性は今回の解析範囲では認められなかった。成長量について評価値を求めクローンの順位付けをおこなったところ、5クローンが特に良好な成長をしていることが判った。20年次までの調査データが全て得られた5検定林の結果から年次相関を求め、対数年次比(LAR)と表現形年次相関との関係を一次関数で近似した。この関係に基づき一年あたりの遺伝獲得量が最大となる年次を推定したところ、50年伐期を想定した場合12年目に選抜することによって最大の育種効果が得られるという結果が得られた。

Evaluation of clones and analysis of age-age correlation were conducted for sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) plus trees based on the data of tree height, diameter at breast height (DBH), survival ratio and stem form measured in 8 clonal tests in Iwate Prefecture, Japan. Analysis of variance using the data of all tests proved that there were significant clonal differences for each traits. The decreasing tendency with age in the proportion of clone x test interaction of tree height and DBH indicates that subdivision of the breeding area is not needed. Five superior clones were picked up based on the stem volume per unit land area estimated from tree height, DBH, and survival ratio. Age-age correlation was calculated from the tree height data of 5 tests where tree height was measured in every census from 1 to 20 year-old. The age-age correlation was approximated by a linear function of LAR (logarithm of age ratio). Selection efficiency, genetic gain per year, was estimated assuming the rotation age of 50 year-old. The selection efficiency reached its maximum at age 12 and decreased thereafter.

キーワード：スギ，クローン，成長評価，検定林，早期検定

目 次

はじめに	16	2. 1. 2 複数検定林の解析	19
1 方 法	16	2. 1. 3 最小2乗推定値による クローン評価	20
1. 1 調査地と調査概要	16	2. 2 年次間相関	21
1. 2 解析方法	18	2. 2. 1 遺伝率の年次変動	21
1. 2. 1 精英樹クローン評価	18	2. 2. 2 年次間相関の推定と 最適選抜年次の推定	22
1. 2. 2 年次相関	18	引用文献	24
2 結果と考察	18	付 表	
2. 1 精英樹クローン評価	18		
2. 1. 1 検定林ごとの解析	18		

はじめに

岩手県の精英樹選抜育種事業は、1955年の精英樹の選抜にはじまり、それら精英樹を用いた採種穂園の造成、さらには採種穂園種苗を用いた検定林の造成を1969年から実施してきた。

初期に造成された検定林は、現在20年次の調査を終了し、多くのデータが蓄積されている。これらの検定林の調査結果は、採種穂園の改良や人工交配、今後の育種計画を進めるための重要な資料になる。しかし、これまで岩手県内の検定林を20年次まで総合的に解析した例はなく、家系あるいはクローンの評価は、林木育種センター東北育種場で行ったスギ10年次の評価結果⁹⁾が公表されているに過ぎない。

近年、岩手県が管理している採種園が高齢化してきたことにもない、採種木の枯損、採種効率の低下が見られるようになってきており、採種園の植え替えに際して、構成クローンの見直しの必要が生じ、さしき検定林の解析評価は急務となった。また、多くの特性品種を早期に育成する必要性が高まっており、育種年限を短縮し早期に成果を普及するために、早期検定が必要となっている。

本論文では、岩手県民有林に設定したスギさしき検定林8カ所の成長形質に関する調査結果から、さしきクローンを評価するとともに、調査年次間の相関に基づいて最適な選抜時期の推定を行った。

なお本論文をまとめるにあたって林木育種センター東北育種場育種第一研究室長の宮浦富保博士に多くの御指導をいただいた。この場をかりて深くお礼申し上げます。

1 方法

1.1 調査地と調査概要

本論文では、岩手県内の民有林に設定された8カ所のクローン検定林を解析の対象とした(図-1, 表-1)。

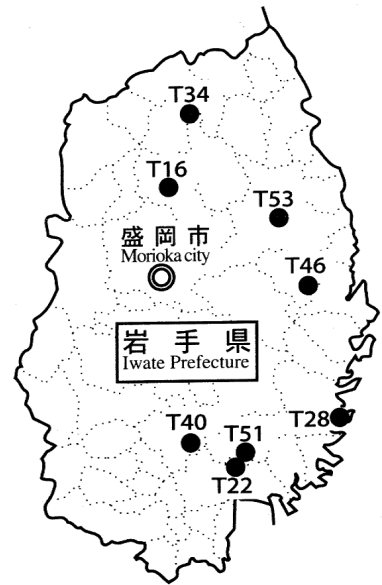


図-1 解析の対象とした検定林の位置

Fig.1 Distributions of clonal test plantations of sugi plus trees.

注) 図中のアルファベット数字は検定林の番号を示す(表-1)

Note : Alphabet numbers show plantation number(Table.1)

それぞれの検定林では、20から33クローンの精英樹と対照在来系統を植栽しており、1プロット45から60本植栽、3反復の乱塊法で設計されている。

東岩県51号検定林(T51)は、プロット当たりの植栽本数が60本と15本の2つの区域で構成されているが、15本植栽の区域は枯損が多かったため今回の解析から除外した。

この8カ所の検定林には精英樹86クローンが植栽されているが、検定林内の反復が不完全な11クローンと在来対照4クローンを除いた71クローンで解析を行った。これら71クローンの各検定林での使用状況を表-2に示した。

年次相関の解析では、15年次の調査が行われていない東岩県34~36号検定林(T34)と20年次に達していない

表-1 スギ精英樹クローン検定林の所在地と環境

Table 1 Clonal test plantations of sugi plus trees analyzed

検定林番号	検定林名	所在地	育種区	設定年	試供クローン数	反復	標高
Test Code	Name of test site	Location	Breeding district	Year established	Number of clones tested	Number of replication	Altitude (m)
T16	東岩県16号~18号	岩手県岩手郡岩手町川口字芦田内	北上川上流	1973	30	3	350
T22	東岩県22号~24号	岩手県陸前高田市矢作町字の場	岩手南部	1974	30	3	580
T28	東岩県28号~30号	岩手県釜石市平田第7地割	北上川中流	1975	30	3	200
T34	東岩県34号~36号	岩手県二戸郡一戸町面岸	岩手北部	1976	30	3	500
T40	東岩県40号~42号	岩手県江刺市伊手字阿原山	北上川中部	1977	35	3	480
T46	東岩県46号~48号	岩手県下閉伊郡新里村刈屋第9の場	下閉伊	1978	33	3	500
T51	東岩県51号	岩手県気仙郡住田町世田米字下大股	岩手南部	1981	20	3	550
T53	東岩県53号	岩手県下閉伊郡岩泉町門第5救沢	下閉伊	1982	33	3	550

表一 2 解析に用いたスギ精英樹71クローンの8検定林での使用状況

Table 2 Plus tree clone tested at each plantation

クローン番号 Clone number	精 英 樹 名 Plus tree name	試供回数 Number of locations tested	検定林番号 Test code							クローン番号 Clone number	精 英 樹 名 Plus tree name	試供回数 Number of locations tested	検定林番号 Test code							
			T16	T22	T28	T34	T40	T46	T51				T53	T16	T22	T28	T34	T40	T46	T51
312	乙 供	2				○				363	下 閉 伊	2							○	○
314	三 本 木	1			○	○				365	下 閉 伊	4								○
320	岩手(県)	1		○		○		○	○	367	下 閉 伊	6							○	
322	岩手(県)	3			○	○		○	○	368	下 閉 伊	7								○
324	岩手(県)	5				○				376	二 戸	1						○		
325	岩手(県)	6				○				377	二 戸	2								○
326	岩手(県)	7		○	○	○			○	378	田 山	1		○	○		○			○
328	岩手(県)	11						○	○	379	岩手(局)	1		○	○	○	○		○	○
329	岩手(県)	12				○				382	盛 岡	5		○					○	○
330	稗 貫	1				○	○			383	盛 岡	6		○						○
331	稗 貫	2				○	○			388	盛 岡	11							○	○
332	稗 貫	3				○				392	花 卷	4		○						○
335	西 磐 井	1		○	○			○	○	393	花 卷	5		○						○
337	東 磐 井	1			○			○	○	394	花 卷	6			○	○	○			
338	東 磐 井	2		○	○			○		414	一 関	3		○	○				○	○
339	気 仙	1			○					418	岩 泉	1		○			○		○	○
340	気 仙	4			○	○				420	宮 古	1		○	○	○	○	○	○	○
341	気 仙	5			○	○			○	422	宮 古	2		○					○	
342	気 仙	6			○	○			○	426	大 槌	2		○					○	○
343	気 仙	7			○					428	大 船 渡	2		○					○	
344	気 仙	8			○	○			○	429	大 船 渡	3		○		○	○	○		
345	気 仙	9				○				431	大 船 渡	4		○					○	
346	上 閉 伊	1		○	○			○	○	438	栗 原	1		○						
347	上 閉 伊	2						○		442	栗 原	5		○	○	○		○	○	○
348	上 閉 伊	3		○	○			○	○	448	玉 造	3		○						○
349	上 閉 伊	4			○	○		○	○	450	玉 造	5		○						
350	上 閉 伊	5		○	○	○		○	○	453	加 美	1		○						
351	上 閉 伊	6			○	○		○	○	454	遠 田	2		○	○	○	○	○		
352	上 閉 伊	7			○	○		○	○	456	宮 城	1		○						
353	上 閉 伊	8			○	○		○	○	465	白 石(県)	1								○
354	上 閉 伊	9			○			○		466	白 石(県)	2		○						○
356	上 閉 伊	11		○	○	○		○	○	468	刈 田	2		○						
357	上 閉 伊	12		○	○	○		○	○	484	仙 台	5			○	○	○	○	○	
359	上 閉 伊	14		○	○	○		○	○	494	白 石(局)	8			○	○	○	○		
361	上 閉 伊	16			○			○	○	501	紫 波	1								○
362	下 閉 伊	1		○	○	○		○	○				(8)	○	○	○	○	○	○	○

○は供試ヶ所を示す
○ show the plus-tree clone tested at the location

東岩県51号検定林 (T51), 東岩県53号検定林 (T53) のデータは除外した。

各検定林では, 設定年と設定後5成長期ごとに定期的な調査を実施している。本論文では, 設定年(1年次)と5年次の定期調査によって得られた樹高, 10年次調査と15年次調査で得られた生存率, 樹高, 胸高直径, 20年次調査で得られた生存率, 樹高, 胸高直径, 根元曲がり,

幹曲がりについて解析を行った(表-3)。

設定年次と5年次, 10年次の調査では, 検定林内の全個体について測定を行い, 15年次と20年次の調査ではプロットあたり15本の個体を抽出し測定した。

樹高は0.1m単位, 胸高直径は1cm単位で計測を行い, プロット平均値を求めて, 解析に用いた。

生存率は, 植栽本数に対する調査時の生存本数の割合

表一 3 検定林で調査した形質
Table 3 A list of traits measured for each test site

検定林番号 Test code	調査年次 Age of assessmet(year)												樹幹形 Stem forme			
	1			5			10			15					20	
	樹高 Height	樹高 Height	樹高 Height	直径 Diameter	生存率 Survival ratio	樹高 Height	直径 Diameter	生存率 Survival ratio	樹高 Height	直径 Diameter	生存率 Survival ratio	樹高 Height	直径 Diameter	生存率 Survival ratio	根元 Stem butt	樹幹 Stem
T16	○			○			○			○			○			
T22	○			○			○			○			○			
T28	○			○			○			○			○			
T34	○			○			○			○			○			
T40	○			○			○			○			○			
T46	○			○			○			○			○			
T51	○			○			○			○			○			
T53	○			○			○			○			○			

注) 直径は胸高直径(地上高1.2m)
Note: Diameter is measured at the breast height (1.2m above the ground)

とし、プロットごとに算出した。このとき生存率の散らばりが0または1に大きく片寄ることがないと判断し、生存率データについて多く用いられるアークサイン変換は行わなかった。

1. 2 解析方法

解析にあたっては、各形質とも各検定林のクローンごとに得られたプロット平均値を用いた。

ここで実施した計算のうち、分散分析と分散成分の推定、最小2乗推定値の計算には林木育種センターの栗延博士によって開発された精英樹評価プログラムを宮浦⁴⁾がマイクロソフトVisualBasic用にコンバートしたものをを用いた。

1. 2. 1 精英樹クローン評価

プロット平均値を用いて、各検定林ごとにクローンと反復を要因とする分散分析を行い、クローン間差の有無を確認した。仮定した線形モデルは、

$$y_{jk} = \mu + \beta_j + \gamma_k + \epsilon_{jk} \quad (1)$$

である。ここで、 y_{jk} は、j番目のブロックのk番目のクローンのプロット平均値、 μ は全体の平均値、 β_j はj番目のブロックの効果、 γ_k はk番目のクローンの効果、 ϵ_{jk} は誤差である。

岩手県内全体での成長特性を把握するため、すべての検定林をこみにした分散分析を実施した。

仮定した線形モデルは、

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \alpha_j \beta_{ij} + \gamma_k + \alpha \gamma_{ik} + \epsilon_{ijk} \quad (2)$$

である。ここで、 y_{ijk} は、i番目の検定林のj番目のブロックのk番目のクローンのプロット平均値、 μ は全体の平均値、 α_i はi番目の検定林の効果、 $\alpha_j \beta_{ij}$ はi番目の検定林のj番目のブロックの効果、 γ_k はk番目のクローンの効果、 $\alpha \gamma_{ik}$ はi番目の検定林とk番目のクローンとの交互作用、 ϵ_{ijk} は誤差である。この分散分析結果から分散成分を推定した。

複数の形質を総合的に用いてクローン評価を行う方法の一つとして、樹高と胸高直径、生存率の最小2乗推定値を用いて単位面積あたりの材積 ($V, m^3/ha$) をクローンごとに算出した。

このとき用いた材積式は、

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 h f s n \quad (3)$$

ここで d [cm] は胸高直径、 h [m] は樹高、 s は生存率、 f [m^2/cm^2] は樹幹胸高係数、 n [本/ha] は植栽時の立木密度である。計算にあたっては、 $f=0.5$ [m^2/cm^2] とし、 $n=3,000$ [本/ha] とした。なお、各クローンの胸高直径、樹高、生存率としては、(2)式の線形モデルに基づく複数検定林の分散分析の過程で計算される最小2乗推定値を用いた。またこの計算には、10年次、15

年次および20年次の測定値のみを使用した。

1. 2. 2 年次相関

年次相関の解析には、樹高では1年次から20年次まで、胸高直径と生存率では10年次から20年次までの測定データが揃った5検定林の結果を用いた。

5検定林をこみにした分散分析を実施し、分散成分を推定した。このときの線形モデルには、(2)式を仮定した。この分散成分の推定値から広義の遺伝率を求めた。

広義の遺伝率は、

$$H^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_c^2 + \sigma_{sc}^2 + \sigma_e^2} \quad (4)$$

ここで σ_c^2 はクローン分散の推定値、 σ_{sc}^2 は検定林とクローンの交互作用分散の推定値、 σ_e^2 は誤差分散の推定値である。

各測定形質ごとに年次間の表現形相関を求めた。ここで求めた表現形相関をもとに、年次比の対数 (LAR) を説明変数とする表現形相関の推定回帰式を求めた。

$$LAR = \log_e \left(\frac{\text{age}_{\text{young}}}{\text{age}_{\text{old}}} \right) \quad (5)$$

とし、表現形相関 r の推定回帰式は、

$$r = a + b \times LAR \quad (6)$$

を仮定した。

さらにこの回帰式から伐期と各調査年次との表現形相関から、LAMBETHの式¹⁾により1年あたりの遺伝獲得量すなわち選抜効率求め最適選抜時期の推定を行った。

$$E = \frac{r \times (\text{想定伐期} + 5)}{(\text{選抜年次} + 3)} \quad (7)$$

この式の導出にあたっては、選抜強度と遺伝率が年次によらず一定であることが仮定されている。

2 結果と考察

2. 1 精英樹クローン評価

2. 1. 1 検定林ごとの解析

検定林ごとの生育状況を把握するため、各クローンのプロット平均値に基づいて各検定林の平均値と標準偏差を算出し表-4に示した。

樹高と胸高直径の検定林平均値をみると、検定林間で値に大きな差が認められる。これを立地条件と照らしてみたところ、地域による差は認められないが、標高の高いところで成長が悪い傾向が見られる。標高との直接的な因果関係はデータが少ないため評価できないが、現地を観察から斜面上部に設定されていたり、急傾斜であるといった検定林の立地条件が総合的に影響しているためと考えられる。

プロット平均値を用いて検定林ごとに分散分析した結果を表-5に示した。

樹高の1年次では、8カ所すべての検定林でクローン間に有意差が認められたが、5年次では8カ所中2カ所で、10年次では8カ所中3カ所、15年次では7カ所中2カ所、20年次では6カ所中3カ所で有意差がなくなった。胸高直径では10年次で8カ所中3カ所で有意差がなかったものが、15年次では7カ所中2カ所、20年次では6カ所中1カ所で有意差がない。年次の増加とともに樹高では有意差が認められない検定林が多くなるのに対し、胸高直径では逆に有意差が認められる検定林が多くなった。生存率については10年次と15年次で1カ所づつ以外は、クローン間に有意差が認められ、年次による傾向は認められなかった。

1年次以降クローン間差がなくなるのは、ブロック内の微地形による環境条件の変動や測定誤差の存在を示しているものと考えられる。

2. 1. 2 複数検定林の解析

8検定林のデータを用い、全ての検定林をこみにした分散分析を実施した(表-6)。

樹高では、クローン間に1年次から20年次まで高い水

準(1%)で有意差が認められた。さらにクローン×検定林交互作用は、設定当初では認められたが、15、20年次は有意でなかった。胸高直径でも同様の結果が認められた。生存率では、クローン間とクローン×検定林交互作用について10~20年次まで高い水準で有意差が認められた。根元曲がり、幹曲がりについても、クローン間に高い水準で有意差がみとめられたが、クローン×検定林交互作用は認められなかった。

分散分析から分散成分を推定し図-2に示した。

樹高についてのクローン分散は、1年次には比較的小さな値となっているが、5年次から15年次までの間はほぼ一定で、25%程度の割合となり、その後若干減少した。クローンと検定林の交互作用は設定当初は認められたが、年次とともに減少し、20年次にはほとんど見られなくなった。

胸高直径については、10年次から20年次までの間は、クローンの分散成分は増加傾向にあり、クローンと検定林の交互作用は減少傾向にある。生存率については、交互作用の減少傾向は見られなかった。

総合すれば樹高および胸高直径については、年次の増加と共にクローン分散が増加または安定傾向にあり、ク

表-4 各測定形質の検定林平均値と標準偏差

Table 4 Test mean and standard deviation for each trait

検定林番号 Test code	樹高 (Height)					胸高直径 (Diameter)			生存率 (Survival ratio)			樹幹形 (Stem form)	
	年次 (Age)					年次 (Age)			年次 (Age)			根元 Stem butt	幹 Stem
	1	5	10	15	20	10	15	20	10	15	20	20	20
T16	0.4 (0.06)	1.1 (0.22)	3.0 (0.77)	5.1 (1.28)	7.9 (1.71)	3.8 (1.13)	5.8 (1.80)	10.0 (2.02)	0.8 (0.15)	0.8 (0.16)	0.6 (0.17)	4.8 (0.35)	
T22	0.4 (0.05)	1.2 (0.18)	2.4 (0.50)	3.6 (0.68)	4.9 (0.99)	2.8 (1.01)	4.3 (1.26)	7.9 (1.54)	0.5 (0.14)	0.5 (0.15)	0.4 (0.11)	3.9 (0.41)	3.9 (0.54)
T28	0.3 (0.05)	1.4 (0.30)	3.3 (0.66)	5.3 (1.02)	6.6 (1.46)	4.5 (1.42)	7.8 (1.57)	10.4 (1.99)	0.7 (0.16)	0.7 (0.16)	0.6 (0.16)	4.6 (0.28)	4.5 (0.34)
T34	0.4 (0.03)	1.2 (0.25)	2.2 (0.51)		4.6 (1.32)	2.5 (0.80)		7.2 (1.87)	0.6 (0.14)		0.4 (0.12)	4.3 (0.39)	4.3 (0.54)
T40	0.3 (0.04)	1.6 (0.29)	3.5 (0.57)	5.4 (0.81)	6.9 (1.04)	4.5 (1.10)	8.1 (1.52)	11.0 (1.37)	0.8 (0.12)	0.6 (0.12)	0.5 (0.10)	4.4 (0.38)	4.6 (0.41)
T46	0.3 (0.04)	1.1 (0.28)	2.5 (0.82)	4.5 (1.40)	6.4 (2.31)	2.2 (1.08)	6.1 (2.24)	9.4 (3.19)	0.7 (0.19)	0.5 (0.14)	0.5 (0.15)	4.3 (0.51)	3.8 (0.87)
T51	0.4 (0.04)	1.3 (0.26)	3.3 (0.75)	5.5 (1.06)		5.1 (1.67)	10.2 (2.06)		0.4 (0.14)	0.4 (0.13)			
T53	0.4 (0.04)	0.9 (0.18)	2.2 (0.48)	3.9 (1.04)		2.9 (0.72)	5.3 (1.47)		0.4 (0.15)	0.4 (0.11)			

注) 括弧内は標準偏差
Note: Value in parenthesis stands for standard deviation

表-5 検定林ごとの分散分析におけるクローン間差の有無

Table 5 Significancies in clonal differences tested by ANOVA for the data in each test site

検定林番号 Site code	自由度 d.f.	樹高 (Height)					胸高直径 (Diameter)			生存率 (Survival ratio)			
		年次 (Age)					年次 (Age)			年次 (Age)			
		1	5	10	15	20	10	15	20	10	15	20	
T16	28	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
T22	28	**	NS	NS	NS	*	NS	*	**	**	**	*	
T28	28	**	**	**	**	NS	**	**	*	**	**	**	
T34	28	**	**	**	**	**	**	**	**	NS	**	**	
T40	25	**	**	NS	NS	NS	NS	NS	*	**	*	**	
T46	26	**	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	
T51	19	**	**	NS	*		*	**		**	**	**	
T53	27	**	**	**	**		*	*		**	**	**	

** : 1%水準で有意差あり * : 5%水準で有意差あり NS : 有意差なし
** : Significant at 1% level. * : Significant at 5% level. NS : No significant

表一 6 8 検定林を込みにした形質、年次ごとのプロット平均値による分散分析表
Table 6 Combined analysis of variance for each traits and five assrssment age

変動因 Source	樹高 (Height)					胸高直径 (Diameter)		
	年次 (Age)					年次 (Age)		
	1	5	10	15	20	10	15	20
検定林 Site	0.232 (7)	3.144 (7)	21.102 (7)	45.271 (6)	72.822 (5)	79.22 (7)	254.76 (6)	128.19 (5)
検定林内反復 Rep./Site	0.002 (16)	0.297 (16)	2.025 (16)	5.929 (14)	12.814 (12)	7.52 (16)	9.32 (14)	19.98 (12)
クローン Clone	0.007 (70) **	0.186 (70) **	1.228 (70) **	3.050 (63) **	5.095 (64) **	2.70 (70) **	7.56 (63) **	10.40 (64) **
検定林×クローン Site x Clone	0.004 (139) **	0.061 (139) **	0.379 (139) *	0.888 (118) NS	1.831 (99) NS	1.25 (139) **	2.41 (118) NS	3.52 (99) NS
誤差 Error	0.001 (418)	0.032 (418)	0.270 (418)	0.697 (362)	1.558 (325)	0.80 (415)	2.05 (362)	2.73 (325)

注) 括弧内は自由度
Note: Value in parenthesis stands for degree of freedom
**: 1%水準で有意差あり * : 5%水準で有意差あり NS: 有意差なし
** : Significant at 1% level. * : Significant at 5% level. NS: No significant

クローンと検定林の交互作用は減少する傾向にあった。
クローンと検定林の交互作用が次第に認められなくなることから、成長形質（樹高と胸高直径）については岩手県内の地域による交互作用、つまりさしき苗の配付区域は特に考慮する必要がないと考えられる。ただし、宮浦⁵⁾は、東北育種基本区の西部育種区（秋田県、山形県、新潟県）の解析で、最大積雪深による地域区分が重要であることを示している。今回の解析には岩手県内の多雪地帯のデータが含まれていないことから、多雪地帯のさしきクローン導入には注意が必要である。さらに生存率については、クローン×検定林の交互作用に減少傾向が認められなかったことから今後検討する必要がある。

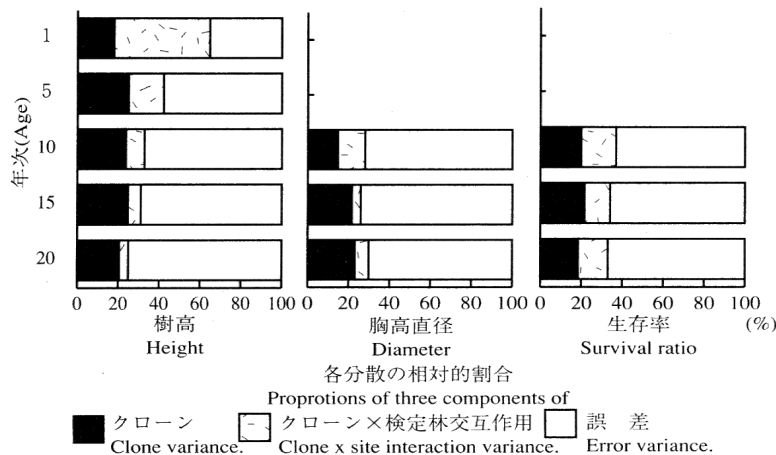
2. 1. 3 最小2乗推定値によるクローン評価

(2)式の線形モデルに基づいて、複数検定林の分散分析過程で、最小2乗推定値が計算される。これをもとに、

測定年次ごとに各形質の最小2乗推定値どうしの相関係数を求め、表一7に示した。これによると樹高と胸高直径の間に一般に高い相関が認められた。また樹高あるいは胸高直径と生存率の間では10年次で最も高い相関があり、その後年次を経るにしたがって減少している。初期成長に優れていることは生存率の増大に関係があることも考えられる。

樹幹形は、根元曲がりでは樹高および胸高直径とわずかながら正の相関、幹曲がりでは負の相関の傾向が見られた。しかし相関係数が低いため明確な傾向があるとは言えない。

樹高、胸高直径、生存率の最小2乗推定値に基づいて推定した、10年次、15年次、20年次のクローンごとの単位面積あたりの材積の値を、各年次ごとの上位20クローンについて表一8に示した。なお、今回解析対象とした



図一 2 各形質、年次の分散成分の相対的割合

Fig.2 Proportions of variance components to the total variance.

注) 検定林および検定林内反復の効果に基づく分散は全分散に含めていない

Variance due to site and replication effects are exclude from the total variance.

生存率 (Survival ratio)			樹幹形 (Stem form)	
年次 (Age)			根元 (Stem butt)	幹 (Stem)
10	15	20	年次 (Age) 20	年次 (Age) 20
1.178 (7)	1.085 (6)	0.529 (5)	6.570 (5)	6.623 (4)
0.102 (16)	0.057 (14)	0.059 (12)	0.521 (12)	0.965 (10)
0.060 (70) **	0.055 (63) **	0.045 (64) **	0.285 (64) **	0.820 (52) **
0.024 (139) **	0.020 (118) **	0.020 (99) **	0.131 (99) NS	0.206 (83) NS
0.013 (415)	0.013 (362)	0.012 (325)	0.119 (325)	0.236 (269)

すべてのクローンについての、各形質、各年次の最小2乗推定値と10年次、15年次、20年次の単位面積あたりの材積推定値を付表に掲載した。

今回得られた樹高、胸高直径、生存率の最小2乗推定値のうち10年次の値と、宮浦ら⁶⁾が東北育種基本区東部育種区(青森県、岩手県、宮城県)の全ての検定林を解析した際得られた、10年次の最小2乗推定値を比較すると、各形質とも相関係数が0.8程度の値が得られた(ただし盛岡6の値は除いた)。本論文では岩手県内の民有林に設定した検定林分を解析したものであり、同じデータが宮浦⁶⁾のデータに含まれる。各測定形質の相関係数が0.8程度得られたことは、今回の結果が信頼性の高いものであると言える。

2. 2 年次間相関

2. 2. 1 遺伝率の年次変動

年次間の解析には、樹高については1年次から20年次までのデータが揃っており、胸高直径と生存率について

は、10年次から20年次までのデータが揃っている5つの検定林のデータのみを用いた。この5つの検定林をこみにした分散分析の結果(表-9)は、8カ所を込みにした場合の分散分析結果(表-6)とほぼ同様であった。

この5つの検定林についての分散分析に基づいて分散成分の期待値を求め、広義の遺伝率を推定した。この年次変化を図-3に示した。樹高の遺伝率は、1年次で低いのが5年次で高くなり、その後ほぼ安定している。生存率も同じ様な値と推移を示した。しかし、胸高直径の遺伝率は、10年次では低いのが、15年次、20年次と増大している。

樹高1年次で遺伝率が小さいのは、苗木の育苗条件や発根特性により苗木育苗段階で生じていた検定林単位のばらつきから、交互作用が大きく生じているためと考えられる。

G.R.JOHNSON 他²⁾は、ダグラスファーで年次とともに遺伝率が上昇している多くの事例を示している。P.P.

表-7 各測定形質の最小2乗推定値間の相関係数

Table 7 Correlation coefficients among traits based on least square estimate

形質番号 Trait number	形質 Trait	年次 Age	形質番号 (Trait number)												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	樹高 (Height)	1		0.32 **	0.29 *	0.30 *	0.25 NS	0.26 *	0.23 NS	0.17 NS	0.02 NS	0.04 NS	0.14 NS	0.02 NS	-0.15 NS
2		5		0.89 **	0.77 **	0.74 **	0.85 **	0.75 **	0.70 **	0.54 **	0.47 **	0.49 **	0.26 *	-0.21 NS	
3		10			0.91 **	0.88 **	0.90 **	0.88 **	0.82 **	0.50 **	0.41 **	0.45 **	0.33 **	-0.21 NS	
4		15				0.90 **	0.85 **	0.91 **	0.81 **	0.38 **	0.32 *	0.32 *	0.39 **	-0.08 NS	
5		20					0.83 **	0.88 **	0.90 **	0.36 **	0.24 NS	0.33 **	0.34 **	-0.13 NS	
6	胸高直径 (Diameter)	10						0.89 **	0.84 **	0.53 **	0.45 **	0.42 **	0.34 **	-0.18 NS	
7		15							0.91 **	0.47 **	0.45 **	0.36 **	0.33 **	-0.08 NS	
8		20									0.39 **	0.25 *	0.28 *	0.24 NS	-0.21 NS
9	生存率 (Survival ratio)	10									0.89 **	0.85 **	0.17 NS	-0.04 NS	
10		15										0.84 **	0.11 NS	0.08 NS	
11		20											0.15 NS	0.00 NS	
12	樹幹形 (Stem form)	根元 (Stem butt)	20											0.30 NS	
13		幹 (Stem)	20												

** : 1%水準で有意差あり * : 5%水準で有意差あり NS : 有意差なし

** : Significant at 1% level. * : Significant at 5% level. NS : No significant

表一 8 各年次における評価値 (単位面積当たりの材積推定値) による上位20クローン

Table 8 Top 20 ranking of plus tree clones concerning to the estimated value of stem volume on a unit land area

年次 (Age)															
10					15					20					
順位	精英樹名	精英樹コード	検定回数	評価値*	順位	精英樹名	精英樹コード	検定回数	評価値*	順位	精英樹名	精英樹コード	検定回数	評価値*	
Ranking	Plus tree name	Plus tree code	Number of locations tested	Estimated value	Ranking	Plus tree name	Plus tree code	Number of locations tested	Estimated value	Ranking	Plus tree name	Plus tree code	Number of locations tested	Estimated value	
1	宮古	2	422	2	6.71	1	花巻	5	393	1	岩泉	1	418	5	82.18
2	岩泉	1	418	5	6.68	2	宮城	1	456	1	花巻	5	393	1	81.91
3	大槌	2	426	3	5.80	3	岩泉	1	418	5	大槌	2	426	3	74.73
4	宮城	1	456	1	5.60	4	大槌	2	426	3	宮城	1	456	1	72.26
5	花巻	5	393	1	5.59	5	宮古	2	422	2	宮古	2	422	2	69.76
6	宮古	1	420	8	5.04	6	田山	1	378	4	白石(県)	2	466	2	57.13
7	気仙	5	341	5	4.83	7	宮古	1	420	8	気仙	5	341	5	54.13
8	花巻	6	394	3	4.57	8	気仙	8	344	4	上閉伊	16	361	3	53.44
9	気仙	8	344	4	4.19	9	下閉伊	2	363	2	下閉伊	2	363	2	50.88
10	上閉伊	16	361	3	4.08	10	玉造	5	450	1	宮古	1	420	8	50.44
11	下閉伊	7	368	1	4.06	11	東磐井	2	338	3	玉造	5	450	1	47.77
12	栗原	5	442	6	4.03	12	花巻	6	394	3	上閉伊	8	353	7	47.50
13	盛岡	6	383	1	3.99	13	岩手(県)	3	322	2	花巻	6	394	3	46.51
14	玉造	5	450	1	3.98	14	気仙	5	341	5	栗原	5	442	6	46.41
15	岩手(県)	3	322	2	3.54	15	栗原	5	442	6	東磐井	2	338	3	44.74
16	東磐井	2	338	3	3.53	16	下閉伊	7	368	1	気仙	8	344	4	42.10
17	白石(県)	2	466	2	3.50	17	盛岡	6	383	1	岩手(県)	3	322	2	40.74
18	遠田	2	454	5	3.39	18	上閉伊	2	347	1	白石(局)	8	494	4	39.77
19	下閉伊	1	362	6	3.33	19	遠田	2	454	5	田山	1	378	4	38.36
20	下閉伊	2	363	2	3.26	20	上閉伊	8	353	7	遠田	2	454	5	38.16

*: 単位面積あたりの材積推定値 [m³/ha]
 *: Estimated stem volume on a unit land area [m³/ha]

COTTERILL 他⁶⁾は、ラジアータパインの16年次までの調査で、林冠の閉鎖とともに樹高の遺伝率の増加は止まるが、胸高断面積の遺伝率は増加し続けたとしている。

スギの遺伝率について増田他³⁾は、樹高では5年次を最大に次第に減少するが、胸高直径では5年次が低く、10年次、15年次、20年次では5年次より高い値をとったとし、樹高で遺伝率が低下する理由として、林冠の閉鎖による密度効果と測定精度の低下をあげている。また宮浦他⁷⁾は、交配実生苗の樹高を7年間調査することにより、遺伝率の変動に特に傾向が見られないとしている。

2. 2. 2 年次間相関の推定と最適選抜年次の推定

5年次から20年次まで樹高データが揃っている5検定林 (T16, T22, T28, T40, T46) の樹高データを用いて年次間の相関 (r) を求め、年次比 (LAR) との関係を示したのが図-4である。両者の関係は(6)式の一次関数で近似された。このとき、a=0.99, b=0.35, 決定

係数=0.84であった。これらの係数 a, b の値を(6)式に代入し、さらに(7)式を用いることにより、選抜効率Eの推定を行った。ここでは、想定伐期を50年および80年とした。

樹高について推定された選抜効率の年次変化を図-5に示す。50年伐期を想定した場合には12年次での選抜効率が最大となり、80年伐期を想定した場合には17年次での選抜効率が最大となった。このことは、12年あるいは17年という比較的早い時期に選抜を行うことが育種戦略上有効であることを示している。育種目標の多様化や、緊急な育種ニーズに応えるためには、検定期間をできる限り短縮する必要があるが、今回の結果は、このような要求に合理的に対応していくための基準を与えるものであろう。

今回の選抜効率の推定にあたっては、(6)式で与えられる r-LAR 関係が不変であることと、遺伝率が年次によ

表一 9 5検定林(T16,T22,T28,T40,T46)を込みにした形質、年次ごとのプロット平均値による分散分析表

Table 9 Analysis of variance for each traits each age, based on the plot mean values of 5 test sites (T16,T22,T28,T40,T46)

変動因 Source	自由度 d.f.	樹高 (Height)					胸高直径 (Diameter)			生存率 (Survival ratio)		
		年次 (Age)					年次 (Age)			年次 (Age)		
		1	5	10	15	20	10	15	20	10	15	20
検定林 Site	4	0.350	3.383	19.472	44.256	62.266	75.671	170.664	93.759	0.759	1.064	0.568
検定林内反復 Rep./Site	10	0.002	0.195	1.594	5.492	14.890	4.990	10.431	22.489	0.056	0.036	0.049
クローン Clone	57	0.007 NS	0.182 **	1.143 **	2.624 **	5.058 **	2.636 **	6.395 **	10.214 **	0.060 **	0.053 **	0.049 **
検定林×クローン Site x Clone	78	0.005 **	0.070 **	0.436 *	1.021 *	1.740 NS	1.444 **	2.356 NS	3.238 NS	0.026 **	0.023 **	0.021 **
誤差 Error	269	0.001	0.037	0.296	0.689	1.655	0.899	2.035	2.902	0.014	0.014	0.012

** : 1%水準で有意差あり * : 5%水準で有意差あり NS: 有意差なし
 **: Significant at 1% level. *: Significant at 5% level. NS: No significant

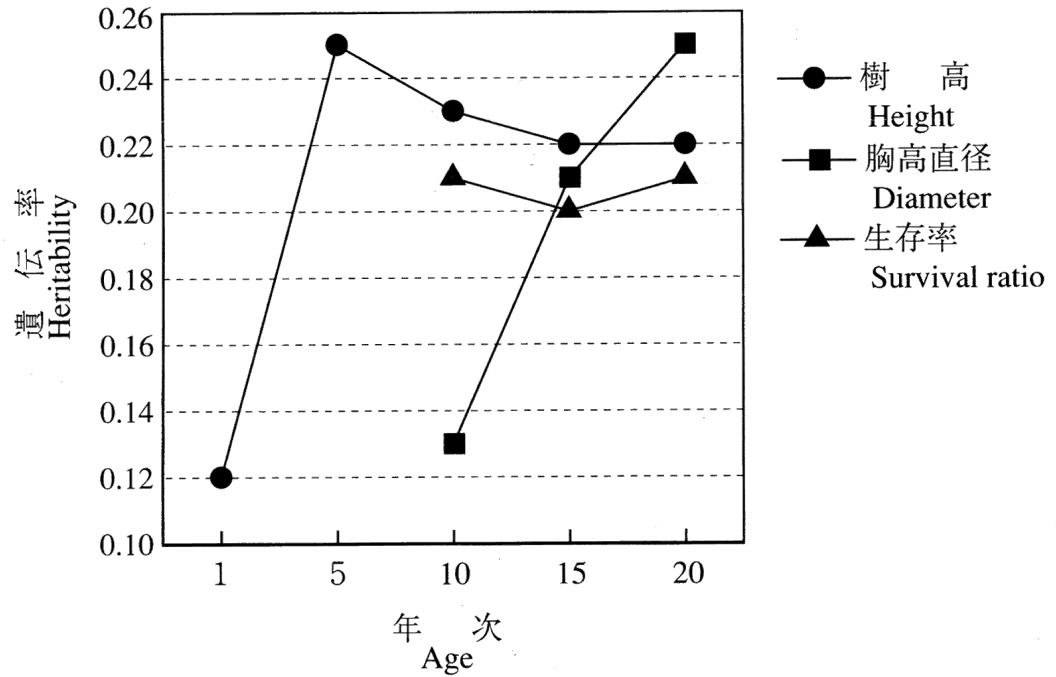


図-3 5つの検定林を込みにした分散分析で推定された広義の遺伝率の年次変化
 Fig.3 Age trends in broad sense heritabilities of tree height, diameter at breast height, and survival ratio.

らず一定であることを仮定している。これらの仮定の妥当性についてはさらに吟味が必要ではあるが、今回の方法は合理的な選抜時期の決定方法として有用であると思われる。

精英樹クローンの中には、比較的若い時期により成長を示すが、壮年期以降の成長はそれほど旺盛でない“ワセ”と呼ばれるクローンと、若い時期の成長はそれほど

旺盛でないものの、壮年期以降の成長が旺盛な“オクテ”と呼ばれるクローンがあると指摘されている¹⁰⁾。今回の解析では、個々の精英樹クローンの成長特性を区別して扱うことはしなかった。今後は、このような精英樹クローンごとの成長特性についても考慮していく必要がある。

今年年次相関が高い回帰係数によって推定できること

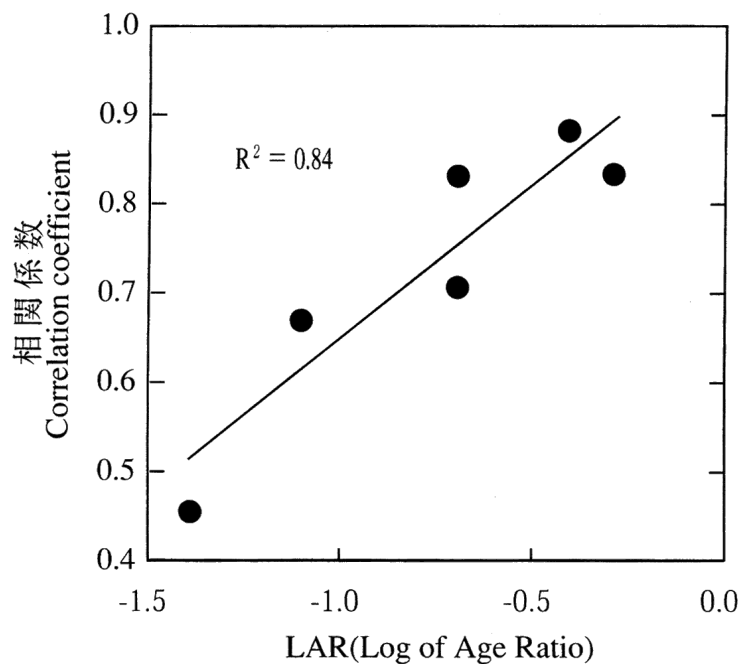


図-4 樹高の年次相関と年次対数比 (LAR) との関係
 Fig.4 Relationship between age-age correlation of tree height and log of age ratio(LAR).

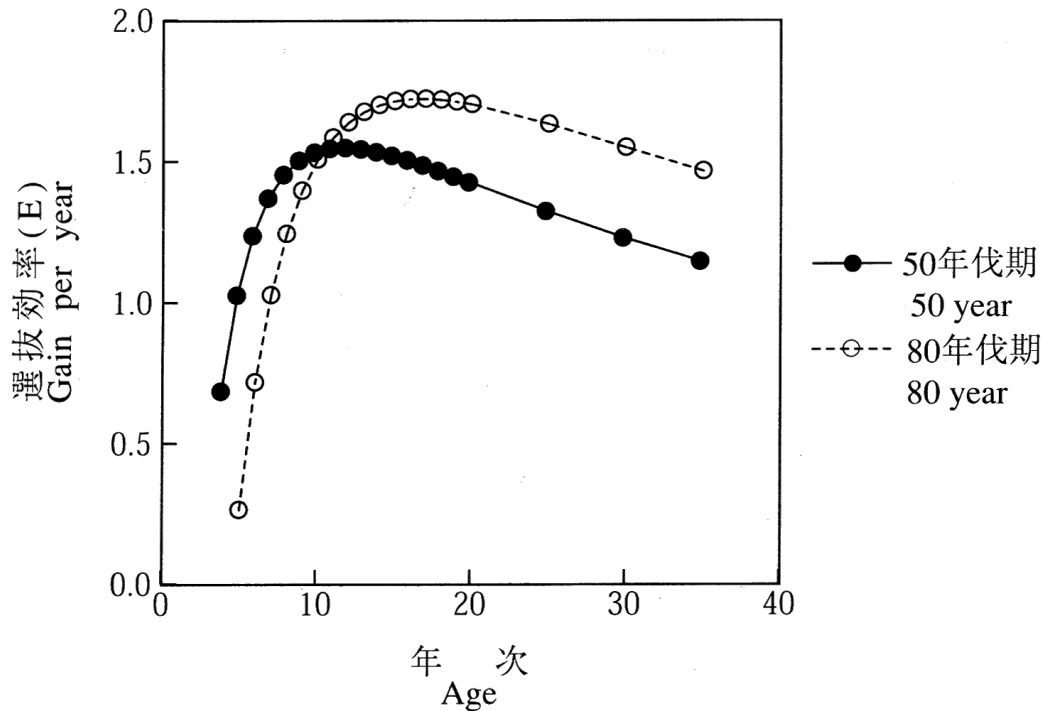


図-5 樹高について推定された選抜効率の年次変化

Fig.5 Age trend of gain per year on tree height .

注) 50年伐期と80年伐期を想定して推定した

note : Supposed rotation age 50 year and 80 year

と、地域差が認められなかったという結果は、さしきクローンについては少数の検定林で10年程度の簡易検定により評価を実施できる可能性を肯定している。しかし現在設定されている検定林は、“オクテ”や“ワセ”の系統の存在の指摘¹⁰⁾や今回表現形相関を推定した回帰式の20年次以降での適合性や遺伝率の変化を観察するために、今後も調査を継続し長期にわたる検証を続ける必要がある。

引用文献

- 1) CLEM C. LAMBETH (1980) Juvenile-Mature Correlations in Pinaceae and Implications for Early Selection. *Forest Sci.* **26** : 571-580
- 2) G. R. JOHNSON, R. A. SNIETKO and N. L. MANDEL (1997) Age Trends in Douglas-fir Genetic Parameters and Implications for Optimum Selection Age. *Silvae Genetica* **46** : 349-358
- 3) 増田勝巳・小平哲夫・明石孝輝 (1993) スギクロンの成長順位と遺伝率の経年変化. 44日林関東支論 : 97-998
- 4) 宮浦富保 (1998) 検定林データの分散分析プログラム. *林育研報* **15** : 251-258
- 5) 宮浦富保 (1998) スギ10年次検定林データに基づく西部育種区の地域区分の検討. 東北森林科学会第3回大会公演要旨集 : 24
- 6) 宮浦富保・織田春紀 (1998) 東北育種基本区における次代検定林10年次データの解析による精英樹成長形質の検定—東部育種区のスギ次代検定林データの解析—. *林木育種センター東北育種場年報* **28** : 47-58
- 7) 宮浦富保・栗延 晋・蓬田英俊 (1992) スギモデル実生採種林における樹高の遺伝分散の経年変化. 103日林論 : 299-300
- 8) P. P. COTTERILL and C. A. DEAN (1988) Changes in the Genetic Control of Growth of Radiata pine to 16 Years and Efficiencies of early Selection. *Silvae Genetica* **37** : 138-146
- 9) 林木育種センター東北育種場 (1998) 東北育種基本区精英樹特性表 (スギ).
- 10) 外山三朗 (1992) スギ101家系50年間の成長分析 (I). 103日林論 : 283-284

(附表) 最小 2 乘推定値一覽

Table with columns for tree ID, name, inspection count, tree height, diameter, survival rate, stem form, and estimated value. It lists 501 individual trees with their respective measurements and calculated values.