

論文

20年生時と30年生時のスギクローン地域差検定林データの 解析結果に基づく九州育種基本区におけるスギ精英樹の 成長特性に関する考察

倉本 哲嗣⁽¹⁾・平岡 裕一郎⁽²⁾・中島 久美子⁽¹⁾
井上 祐二郎⁽³⁾・柏木 学⁽²⁾・藤澤 義武⁽²⁾

Noritsugu Kuramoto⁽¹⁾, Yuichiro Hiraoka⁽²⁾, Kumiko Nakajima⁽¹⁾
Yujiro Inoue⁽³⁾, Manabu Kashiwagi⁽²⁾ and Yoshitake Fujisawa⁽²⁾

The analysis of growth traits of sugi plus tree, *Cryptomeria japonica*, based on gain from the
clonal tests in Kyushu Breeding Region

要旨: 推奨品種選抜の基礎情報を得る目的で、スギの20年生時および30年生時の樹高および胸高直径について、地域差検定林の調査結果を用いて解析を行った。その結果、精英樹間差および検定林と精英樹の交互作用で統計的な有意差が見られた。しかし、交互作用の影響は少なく、また地域差検定林に植栽されている12精英樹の樹高と胸高直径それぞれの地域間および検定林間の相関は、気象害が発生している特殊な地域を除いて統計的に有意な相関関係が見られた。また、樹高と胸高直径の反復率は20年生時でそれぞれ0.979と0.982、30年生時でそれぞれ0.978と0.985であり、非常に高い反復率であった。よって、九州育種基本区でのスギ精英樹は各地でほぼ同じ成長を示す結果となった。

-
- (1) 林木育種センター九州育種場
〒861-1102 熊本県合志市須屋2320-5
Kyushu Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center
2320-5 Suya, Koshi, Kumamoto 861-1102 Japan
- (2) 林木育種センター
〒319-1301 茨城県日立市十王町伊師3809-1
Forest Tree Breeding Center
3809-1 Ishi, Juo, Hitachi, Ibaraki 319-1301 Japan
- (3) 九州森林管理局
〒860-0081 熊本県熊本市京町本丁2-7
Kyushu Forest Administration Bureau
2-7, Honcho, Kyomachi, Kumamoto, Kumamoto 860-0081 Japan

Abstract : In order to obtain the basic information for selecting a recommended cultivar of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), the height and the diameter of 12 plus tree clones at 20 and 30 years old in the test plantations were measured and analyzed. The degree of genotype and the environment interactions of the height and the diameter at breast-height were statistically significant in Kyushu Breeding Region, although their values were not large. Moreover, except the climatic damaged plantations, almost all pairs of the areas or test plantations were also statistically significant in the correlation analysis to the height and the diameter. At 20 years old, the repeatabilities of height and diameter were 0.979 and 0.982, and at 30 years old were 0.978 and 0.985, respectively. Therefore, it was indicated that the clones of sugi grow similarly in the entire Kyushu Breeding Region.

1 はじめに

九州地域では古くからスギのさし木在来品種が普及していることや、造林者が特性の明らかなさし木在来品種を志向していることから、林木育種センター九州育種場ではこれまでさし木品種としての精英樹のクローン検定林を造成し、特性評価を行ってきた。九州育種場ではこの特性評価をもとに、平成17年度に20年生時におけるスギの推奨品種16品種を公表した。その公表に先立ち、九州育種基本区内でのスギの成長特性について調査を行った。これは、必ずしもスギ精英樹が選抜された育種区内に複数箇所の検定林として植栽されていないことがあり、育種区単位での検定では十分なスギ精英樹の特性を把握できない可能性があること、さらには推奨品種として選ばれたスギ精英樹が、調査が行われた検定林と異なる環境でも優れた成績を示すことを間接的に保証するためである。推奨品種選定の基準の一つである成長形質に関しては、これまでに西村と田島²⁾が、九州育種基本区内に設定された15年生時の地域差検定林樹高調査の結果を解析したところ、環境反応性が過敏な一部のスギ精英樹は植栽地の環境により交互作用が存在するが、マクロ的にみた場合には成育特性に影響を及ぼすほどの環境差が九州育種基本区内にはないと報告している。この結果は、一部の精英樹を除き、九州育種基本区全体では育種区を超えてスギ精英樹のさし木による植栽が可能で、精英樹全体での樹高の順位は大きく変動しない可能性を示唆するものである。しかし20年生を超えて成長形質に関する解析を行った例がほとんど無い。よって、まず九州育種基本区内のスギ地域差検定林20年生時の調査結果を基に、スギ精英樹は地域を越えて同様の成長特性を示すか検討した。さらに、品種として植栽される精英樹の20年以降の成長についても確認することは、林業経営や品種の成績を保証する上で重要である。そこで、30年生時調査が終了している21箇所の地域差検定林についても、同時に検討した。

2 材料と方法

2.1 解析対象検定林について

地域差検定林は、同じ12精英樹クローンが植栽されていることから、地域内、地域間での成長等の比較を行うに適した検定林である。今回、樹高および胸高直径の解析には地域差検定林26箇所の20年生時の調査データおよび21箇所の30年生時の調査データを使用した(表-1)。表-1に九州育種基本区内の各育種区での検定林数を示す。また、今回の報告で行った解析では、各精英樹クローンで各プロットあたり最低10ラメートのある検定林を対象とした。これらの検定林について解析対象として適した検定林かどうかを判定するため、すなわちクローン間差の有無を確認するため、20年生時で26箇所、30年生時で21箇所の地域差検定林それぞれに対して、クローンを要因とした樹高および胸高直径の分散分析を行った。

2.2 九州育種基本区での地域差検定林調査データを用いたスギの成長形質に関する解析

まず九州育種基本区内の全育種区を込みにして、精英樹クローン(以後クローンとする)と検定林を要因、ブロックを検定林内の繰り返しとし、検定林間差、精英樹間差、精英樹と検定林間差(以後交互作用とする)について分散分析を行った。なお、この分散分析はクローンごとの、ブロックあたりの平均値をデータとして用い、宮浦²⁾の最小二乗法による分散分析プログラムを用いた。なお、このプログラムは以下の線形モデルに基づいて分析を行うプログラムである。

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \alpha_j \beta_{ij} + \gamma_k + \alpha_j \gamma_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

ここで y_{ijk} はi番目の検定林j番目のブロックのk番目の系統のプロット平均値、 μ は全体の平均値、 α_i はi番目の検定林の効果、 $\alpha\beta_{ij}$ はi番目の検定林のj番目のブロックの効果、 γ_k はk番目の系統の効果、 $\alpha\gamma_{ik}$ はi番目の検定林とk番目の系統の交互作用、 ε_{ijk} は誤差を意味する。また、このプログラムは、分散分析の他に、クローンの分散成分と検定林とクローンの交互作用の分散成分、および誤差の分散成分を求めることができる。その値から20年生時および30年生時の樹高および胸高直径のクローン平均値の反復率を以下の式で求めた。

$$R = \sigma^2_t / (\sigma^2_t + \sigma_{GE} / S + \sigma^2_e / rS)$$

なお、Rはクローン平均値の反復率、 σ^2_t はクローンの分散成分、 σ_{GE} はクローンと検定林の交互作用の分散成分、sは検定林数、rは検定林あたりの反復数である。

九州育種基本区内に設定された地域差検定林の15年生時調査結果の解析では²⁾、地域間および検定林間の樹高の相関が低い組合せがあった。その原因は気象害や局所的な地位の影響によるもので、そのような立地条件の試験地を除けば九州育種基本区内のスギクローンの生育特性に差がないと判断している。そこで、20年および30年生時の樹高および胸高直径の平均値について地域間、検定林間で相関係数を算出し、成長形質の傾向が各地で同じであるか検討した。なお、地域区分については、西村・田島²⁾の報告と同様、検定林の設定箇所の検定区によって20年生時には9箇所、30年生時7カ所に区分した(表-2)。この際、20年生時に同じ検定区内で複数箇所調査が行われている検定林を同一地域とした。

3 結 果

3.1 各検定林における精英樹クローン間の樹高及び胸高直径の有意差の有無

まず、解析対象として適した検定林が判定するため、すなわちクローン間差の有無を確認するため、20年生時で26箇所、30年生時で21箇所の地域差検定林それぞれに対して、クローンを要因とした樹高および胸高直径の分散分析を行った。その結果、30年生時の調査では1箇所の検定林以外、全ての検定林で樹高および胸高直径の両形質で、家系間差がみられた(表-2)。よっておおむね全ての検定林で家系間差がみられたことから、以後の解析では、全ての検定林のデータを使用することにした。

3.2 樹高と胸高直径の分散分析の結果

胸高直径と樹高について、検定林、クローン、ブロックおよび交互作用を要因とした分散分析を行った。その結果、20年生時、30年生時ともにすべての要因で有意差がみられた(表-3、4)。また、樹高と胸高直径の反復率は20年生時でそれぞれ0.979と0.982、30年生時でそれぞれ0.978と0.985であった。

3.3 地域間の相関

各検定林が設定されている地域別に(表-2)、12精英樹クローンの胸高直径と樹高平均値をもとめ、地域間で相関係数を算出し、有意差検定を行った。表-5に20年生時の、表-6に30年生時の胸高直径での結果を示す。その結果、20年生時には樹高の菊池と飢肥の1組合せ、胸高直径の菊池と長崎、菊池と西諸、菊池と飢肥、菊池と鹿児島、菊池と北薩の合計5組合せを除き、全ての地域間の組合せで相関係数が統計的に有意であった。一方、30年生時の調査結果からは、樹高の菊池と長崎、菊池と西諸、菊池と飢肥の3組合せ、胸高直径の菊池と長崎、菊池と飢肥、菊池と肝属、の3組合せを除き、20年生時と同様菊池地域を除くと全ての地域間の組合せで相関係

数が統計的に有意であった。なお、30年生時における樹高および胸高直径の地域間の相関係数を求める際のデータでは菊池地域および日田地域は1検定林の調査結果のみであった。

3.4 検定林間の相関

まず、同じ地域内の検定林間の相関係数を求めたが、20年生時の樹高および胸高直径は、それぞれ西諸地域の1検定林を除き、すべての検定林の組合せで統計的に有意な相関であった。30年生時の樹高および胸高直径では鹿児島地域の1検定林を除き、すべての検定林の組合せで統計的に有意な相関であった。なお、30年生時の菊池地域および日田地域では1検定林のみ調査されていたため、相関係数を求めなかった。

つぎに、すべての検定林間で樹高および胸高直径間の相関係数を求めた。その結果、20年生時の合計325組合せ中、胸高直径平均値で53、樹高平均値で73の統計的に有意な相関が見られない組合せがあった。また、胸高直径では、西諸地域の1箇所、菊池地域の検定林3箇所が関係する組合せを除くと、全ての組合せで統計的に有意な相関が見られた。樹高では、統計的に有意な相関の見られなかった73組合せ中、80%にあたる53組合せが、西諸地域1箇所、菊池地域3箇所の合計4箇所の検定林が組合せとして関係していた。さらに、30年生時の合計210組合せ中、樹高平均値で40、胸高直径平均値で32の相関がない検定林の組合せがあったが、鹿児島地域の検定林1箇所、菊池地域の検定林1箇所、玖珠地域の検定林1箇所が関係する組合せを除けば、樹高では1組合せを除き、胸高直径では全ての組合せで統計的に有意な相関であった。

4 考 察

地域差検定林の20年生時および30年生時の樹高と胸高直径を九州育種基本区全体で、検定林、クローン、ブロックおよび交互作用を要因とした分散分析を行ったが、全ての要因で有意差がみられた。そこで、分散分析の結果より得られる分散成分より、樹高と胸高直径における精英樹クローン、交互作用および誤差の各要因の分散成分の相対的な割合を求めることにした（表-7）その結果、20年生時では樹高と胸高直径でクロンの要因がそれぞれ46%と54%と最も大きく、ついで誤差の要因がそれぞれ40%と31%、交互作用がそれぞれ12%と14%となった。この傾向は30年生時でも同じであった（表-7）。さらに、クロンの分散成分に対する交互作用の分散成分の比（ σ_{GE}/σ_G ）の値が0.5を超えた場合、その地域での検定等が危険であるといわれている³⁾ことから、樹高と胸高直径について、全地域差検定林のデータすべてを込みに σ_{GE}/σ_G を求めた。その結果、20年生時では樹高で0.27、胸高直径で0.26であった。30年生時でも樹高で0.25、胸高直径で0.15と、0.5を越えることはなかった。また、分散分析の結果より得られる分散成分から、樹高と胸高直径の反復率は20年生時でそれぞれ0.979と0.982、30年生時でそれぞれ0.978と0.985であり、非常に高い反復率で、樹高と胸高直径の2形質は強く遺伝的に支配されている可能性を示す結果となった。これらの結果から、九州育種基本区でのスギ地域差検定林20年生時および30年生時の胸高直径と樹高は、植栽地の環境により生長量は変動し、また、交互作用が存在しているが各地域で精英樹が成長する際にはそれほど影響は小さくなく、九州育種基本区全域で検定を行ってもおおむね問題はないことが示唆される結果となった。

つぎに、地域間および検定林間でスギの生育特性が同じ傾向であるかを検討するため、地域間ならびに検定林間で樹高と胸高直径の平均値の相関を求めた。検定林が廃止あるいは未調査であった箇所があったため、相関係数を求めるために使用した検定林数が30年生時と20年生時で異なるが、20年生時と30年生時ともに、特定の地

域および検定林を除けば統計的に有意な相関が見られた。よって、そのような特殊な地域・検定林を除けば、九州育種基本区内でスギはおおむね同じ成長特性を示していると考えられた。特に、20年生時および30年生時ともに菊地地域は他の地域との相関が低かったが、その原因として、菊地地域は15年生時の解析結果²⁾で報告されているように気象害が15年時までであり、その影響が20年生時以降もあるのではないかと推測される。なお、菊地地域以外で他地域との相関が低かった地域は、20年生時と30年生時で異なっていたが、現段階では原因が不明である。このことについて今後検討する必要がある。

以上のように、地域差検定林の調査結果を解析したところ、西村と田島²⁾の報告と同様、何らかの原因で他の検定林と異なる生育特性を示す地域や検定林を除けば、20年生時および30年生時も九州育種基本区単位で検定を行ってもおおむね問題はないことを示唆する結果となった。しかし地域差検定林は12精英樹のクローンが植栽されているのみであり、他のスギ精英樹でも同様であるか検討する必要がある。そこで今回用いた地域差検定林26箇所以外に、52箇所の次代検定林（計319精英樹クローン）のデータを込みにして、クローンと検定林を要因とし、ブロックを検定林内の繰返しとする分散分析を行い、分散成分の期待値から σ_{GE}/σ_G を求め、概略的ではあるが九州育種基本区全域で検定が可能か検討した。その結果、胸高直径では0.46と0.5を越えなかったが、樹高では0.66と0.5を越えていた。地域差検定林のように配置されているクローンがそろった検定林を用いた結果ではないため、厳密な議論はできないが、樹高に関しては九州育種基本区内全体をひとくくりとして検定を行う際には、各検定林での現況を調査しながら評価する必要があるものと考えられた。

5 おわりに

以上の結果を参考に、複数の検定林に植栽されているスギ精英樹を対象に、樹高、胸高直径、根元曲がりおよび幹曲がりの平均値を求め、これにヤング率、さし木発根性の特性評価、そしてDNAマーカーによる精英樹間の類縁関係を考慮し、かつ現況を検討しながら、成長と材質に優れた品種、成長に優れた品種、材質に優れた品種の合計16品種を選定した（表-8）。

最後に、今回の解析に使用した試験地の設定と調査は九州森林管理局および九州各県の関係機関ならびに九州育種場職員のこれまでの多大な努力によって実行され、膨大な量の情報を得てきたものである。ここに、これまで関係されてきた各機関ならびに皆様に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 宮浦富保：検定林データの分散分析プログラム，林育研報15，251-258（1998）
- 2) 西村慶二，田島正啓：九州地域におけるスギ精英樹の育成状況から見た育種区分分，日林誌75，493-500（1993）
- 3) Shelbourne, C.J.A: Genotype-environment interaction : its study and its implications in forest tree improvement. IUFRO Genetics SABRAO joint symposia B-1, Tokyo, 1-8(1972)

表-1 解析に使用した育種区毎の地域差検定林数

調査年時	北九州育種区	中九州育種区	南九州育種区	計
20年	5	7	14	26
30年	4	4	13	21

表-2 地域差検定林毎に解析した場合の分散分析の結果

検定林コード	育種区	地域 ¹⁾	20年生時		30年生時	
			樹 高	胸高直径	樹 高	胸高直径
1083	中九州	菊地	3.00 *	2.93 *	—	—
1085	中九州	菊地	3.32 **	5.78 **	—	—
1088	北九州	長崎	11.01 **	9.50 **	13.34 **	18.26 **
1102	南九州	肝属	4.08 **	7.84 **	—	—
1103	北九州	長崎	10.28 **	14.69 **	13.41 **	11.17 **
1104	北九州	日田	5.88 **	13.06 **	—	—
1114	南九州	鹿児島	12.84 **	14.97 **	18.59 **	14.06 **
1119	南九州	西諸	7.88 **	12.84 **	8.00 **	34.10 **
1121	南九州	北薩	11.63 **	9.21 **	6.72 **	11.05 **
1308	中九州	菊地	2.96 **	6.22 **	5.21 **	10.23 **
1309	中九州	玖珠	11.85 **	8.85 **	4.01 **	15.74 **
1310	中九州	玖珠	3.76 **	4.89 **	0.56 N.S	1.08 N.S
1311	南九州	肝属	10.15 **	10.64 **	8.79 **	10.71 **
1312	南九州	肝属	20.68 **	21.25 **	13.10 **	14.16 **
1314	北九州	日田	10.40 **	20.68 **	—	—
1317	南九州	鹿児島	17.01 **	18.03 **	16.89 **	23.97 **
1318	南九州	鹿児島	2.66 *	6.32 **	2.59 *	2.51 *
1319	南九州	西諸	11.23 **	31.13 **	13.87 **	10.26 **
1320	南九州	西諸	8.16 **	6.61 **	27.96 **	6.34 **
1321	南九州	飫肥	11.75 **	16.98 **	22.89 **	27.09 **
1322	南九州	飫肥	27.89 **	22.64 **	6.06 **	9.11 **
1323	南九州	北薩	3.55 **	6.73 **	3.26 **	7.92 **
1324	南九州	北薩	2.71 *	4.04 **	2.05 NS	4.06 **
1325	中九州	—	3.71 **	4.90 **	7.78 **	4.14 **
1327	北九州	—	2.91 **	9.60 **	5.18 **	14.47 **
1328	北九州	日田	3.88 **	3.76 **	5.35 **	5.52 **

数値はクロン平均値の分散を誤差分散で除した分散比

1) 検定区をもとにした地域区分

** : 1%有意水準

* : 5%有意水準

N.S. : 有意差なし

— : 地域区分せず

— : 30年生時までには廃止または未調査

表-3 地域差検定林の20年時樹高および胸高直径に関する分散分析の結果

形質	変動因	自由度	平均平方	分散比
樹高	検定林 ¹⁾	25	196.42	85.53 **
	ブロック ²⁾	52	10.76	4.68 **
	クローン ³⁾	11	313.17	136.37 **
	検定林×クローン ²⁾	273	5.45	2.37 **
	誤差	567	2.30	
胸高直径	検定林 ¹⁾	25	131.32	112.48 **
	ブロック ²⁾	52	5.86	5.02 **
	クローン ³⁾	11	107.55	92.12 **
	検定林×クローン ²⁾	273	2.27	1.94 **
	誤差	567	1.17	

** : 1%有意水準

N.S. : 有意差なし

1) : ブロックの平均平方で検定

2) : 誤差の平均平方で検定

3) : 検定林×クロンの平均平方で検定

表-4 地域差検定林の30年時樹高および胸高直径に関する分散分析の結果

形質	変動因	自由度	平均平方	分散比
樹高	検定林 ¹⁾	20	214.22	33.05 **
	ブロック ²⁾	42	6.48	4.12 **
	クローン ³⁾	11	157.88	46.56 **
	検定林×クローン ²⁾	220	3.39	2.15 **
	誤差	459	1.57	
胸高直径	検定林 ¹⁾	20	330.80	26.00 **
	ブロック ²⁾	42	12.72	3.93 **
	クローン ³⁾	11	449.84	71.02 **
	検定林×クローン ²⁾	220	6.33	1.96 **
	誤差	459	3.24	

** : 1%有意水準

N.S. : 有意差なし

1) : ブロックの平均平方で検定

2) : 誤差の平均平方で検定

3) : 検定林×クロンの平均平方で検定

表-5 地域差検定林調査結果の地域間における20年生時胸高直径の相関係数

育種区	地域	1	2	3	4	5	6	7	8	9
北九州	長崎	1	1.00							
	菊地	2	0.53 N.S	1.00						
中九州	玖珠	3	0.83 **	0.71 **	1.00					
	日田	4	0.80 **	0.64 *	0.83 **	1.00				
	西諸	5	0.87 **	0.40 N.S	0.66 *	0.75 **	1.00			
	飫肥	6	0.94 **	0.45 N.S	0.75 **	0.69 *	0.90 **	1.00		
南九州	鹿児島	7	0.97 **	0.43 N.S	0.80 **	0.67 *	0.83 **	0.94 **	1.00	
	北薩	8	0.96 **	0.57 N.S	0.87 **	0.80 **	0.85 **	0.92 **	0.94 **	1.00
	肝属	9	0.94 **	0.66 *	0.94 **	0.88 **	0.83 **	0.88 **	0.90 **	0.98 **

** : 1%有意水準

* : 5%有意水準

N.S. : 有意差なし

表-6 地域差検定林調査結果の地域間における30年生時胸高直径の相関係数

育種区	地域	1	2	3	4	5	6	7	8
北九州	長崎	1	1.00						
	菊地	2	0.58 ^{NS}	1.00					
中九州	玖珠	3	0.84 **	0.81 **	1.00				
	西諸	4	0.96 **	0.64 *	0.80 **	1.00			
	飫肥	5	0.95 **	0.55 ^{NS}	0.75 *	0.96 **	1.00		
南九州	鹿児島	6	0.93 **	0.74 *	0.86 **	0.95 **	0.90 **	1.00	
	北薩	7	0.96 **	0.72 *	0.90 **	0.96 **	0.92 **	0.94 **	1.00
	肝属	8	0.97 **	0.59 ^{NS}	0.80 **	0.97 **	0.98 **	0.94 **	0.94 ** 1.00

** : 1%有意水準
* : 5%有意水準
N.S. : 有意差なし

表-7 樹高と胸高直径のクロン, 交互作用, 誤差の分散成分の相対的な割合

年時	要因	樹高	胸高直径
20年生時	クロン	0.47	0.54
	交互作用	0.13	0.14
	誤差	0.40	0.31
30年生時	クロン	0.51	0.59
	交互作用	0.11	0.08
	誤差	0.39	0.33

表-8 平成17年度に公表した九州育種基本区20年生時スギ推奨品種一覧表

品種	品種名	育種区
成長と材質	県八女12	北九州
	県竹田10	中九州
	県日田15	中九州
	県児湯2	南九州
成長	県大分5	中九州
	県佐伯13	中九州
	県始良4	南九州
	県始良20	南九州
	県始良34	南九州
材質	県藤津16	北九州
	県藤津25	北九州
	県唐津7	北九州
	県臼杵7	中九州
	水俣署5	南九州
	県東臼杵8	南九州
	日向署2	南九州