

九州育種基本区における第二世代精英樹候補木の選抜 -九熊本第 148 号、149 号（スギ）および九熊本第 121-2 号（ヒノキ）における実行結果-

九州育種場 育種課 武津英太郎*・倉原雄二・松永孝治・後藤誠也・栗田学・久保田正裕
遺伝資源管理課 村上丈典**・飯田啓達・大久保典久

1 はじめに

森林総合研究所林木育種センターでは、国立研究開発法人森林研究・整備機構第 4 期中期計画（平成 28～令和 2 年度）に基づき、第二世代精英樹候補木を選抜している。九州育種基本区においては、2018 年度までにスギで 973 個体、ヒノキで 326 個体の第二世代精英樹候補木が選抜されている。集団林の林齢や、交配親である精英樹の種類等を勘案して計画的に選抜を進めているところであり、2019 年度はスギ育種集団林 2 箇所およびヒノキ育種集団林 1 箇所より第二世代精英樹候補木の選抜を行ったので、その選抜過程と結果を報告する。

2 材料と方法

選抜対象とした育種集団林の概要を表 1 に示した。これらの育種集団林の内、九熊本第 148 号は、第一世代精英樹とスギザイノタマバエ抵抗性品種および候補木との人工交配、九熊本第 149 号および九熊本第 121-2 号は第一世代精英樹同士の人工交配から得られた実生個体が植栽されている。九熊本第 148 号・第 149 号（スギ）は 2004 年度、九熊本第 121-2 号（ヒノキ）は 1988 年度に設定され、選抜時の林齢はスギでは 15 年、ヒノキで 30 年である。試験地の設計はスギが 3 反復の単木混交植栽、ヒノキが反復なしの家系ごとの方形プロット植栽であり、植栽間隔は 1.8m である。

スギの 2 育種集団林において、選抜に用いた測定形質は樹高、胸高直径、幹曲り、根元曲りおよび応力波伝播速度である。樹高、胸高直径、幹曲り、根元曲りについて、15 年次の定期調査データを用いた。樹高と胸高直径について、誤差に空間自己相関とランダム誤差を仮定した線型混合モデル^{1),2)}を用い、REML 法により分散成分を推定し、遺伝性の指標として個体の狭義の遺伝率を求めた。また、BLUP 法により各個体の育種価を求めた³⁾。求められた樹高および胸高直径の育種価と検定林平均値の和より材積式⁸⁾を用いて各個体の材積の育種価を求めた。応力波伝播速度の測定は、TreeSonic (FAKOPP 社、ハンガリー)を用い 15 年次に行った。応力波伝播速度の測定対

象個体は家系あたり材積育種価上位個体と試験地全体での材積育種価上位個体であり、九熊本第 148 号では 136 個体、九熊本第 149 号では 91 個体について、個体あたり 2 方向より測定した。応力波伝播速度をもとに立木ヤング係数の推定値を池田ら⁴⁾に基づいて算出した。有効密度には池田ら⁴⁾に従い $0.83\text{g}/\text{cm}^3$ を用いた。得られた立木ヤング係数についてランダム誤差を仮定した線型混合モデルを用い、REML 法により分散成分を求め、BLUP 法により各個体の立木ヤング係数の育種価を求めた。REML 法および BLUP 法による計算は、市販のソフトウェア ASReml (VNI international 社、イギリス)を用いて行った。

机上選抜は、以下の基準により行った。1) 曲りによる選抜：根元曲りの表現型値が 3 以上・幹曲りの表現型値が 4 以上、2) 応力波伝播速度による選抜：立木ヤング係数の育種価が各育種集団林の平均以上（0 以上）、3) 家系内個体数による制限：各家系（交配組合せ）内の選抜数は最大 3 個体、4) 材積表現型値による選抜：材積の表現型値が各育種集団林の平均 $+0.5 \times$ 標準偏差以上、以上の基準で選抜された個体群から材積育種価上位個体を選抜対象候補木とした。なお、九熊本第 149 号では、基準 2) を満たす個体がほぼ特定の花粉親の家系のみであったことから、基準 2) を、立木ヤング係数の表現型値が $50\text{tonf}/\text{cm}^2$ 以上とし、異なる花粉親の個体も選抜対象に加えた。

九熊本第 121-2 号（ヒノキ）は、反復がない方形プロットで設計され、各プロットは九熊本第 121-1 号（スギ）の周囲に設置されており、また、20 年次の定期調査が 8 家系・300 個体のみで行われていた。そのため、九熊本第 121-2 号においては、20 年次に調査が行われた家系を対象に、両親の効果とプロットの効果からなる線型変量モデルを仮定し、樹高と胸高直径の育種価を求めた。応力波伝播速度の測定は、TreeSonic (FAKOPP 社、ハンガリー)を用い 30 年次に行った。応力波伝播速度の測定対象個体は家系毎の材積育種価上位個体とし、計 52 個体について、個体あたり 2 方向より測定した。応力波伝播

※現在 林木育種センター 海外協力部 海外協力課, ※※現在 林木育種センター 育種部 指導課

速度をもとに、池田ら⁵⁾に従い、有効密度を0.80g/cm³として立木ヤング係数の推定値を求めた。立木ヤング係数については、試験設計の問題から育種価を求めることが困難であったこと、また個体値が十分に高い値であったことから、以下の選抜の基準には含めなかった。

九熊本第121-2号（ヒノキ）からの選抜は、以下の基準により行った。1) 曲りによる選抜：根元曲りの表現型値が3以上・幹曲りの表現型値が4以上、2) 家系内個体数による制限：各家系（交配組合せ）内の選抜数は最大3個体、3) 材積表現型値による選抜：材積の表現型値が各育種集団内の平均+0.5×標準偏差以上、以上の基準で選抜された個体群から材積育種価上位個体を選抜対象候補木とした。

スギとヒノキについて、机上選抜の結果を基に、現地で選抜対象候補木を目視で確認し病虫害等の欠点のない個体を第二世代精英樹候補木として選抜した。

第二世代精英樹候補木の選抜による改良の指標として相対遺伝的獲得量を算出した。相対遺伝的獲得量は、選抜された第二世代精英樹候補木の材積育種価平均値の育種集団内平均値からの偏差を、各育種集団内の材積平均値に対する百分率として算出した。選抜された第二世代候補木集団の遺伝的多様性の指標として、Lindgrenら⁶⁾に従ってStatus Numberを算出した。

3 結果と考察

選抜対象育種集団林における個体の狭義の遺伝率を表2に示した。九熊本第149号は特に胸高直径の遺伝率が低く、この結果として選抜集団の材積の相対遺伝獲得量が低い値となった。机上選抜・目視による現地確認の結果、スギで計23個体、ヒノキで8個体を第二世代精英樹候補木として選抜した。なお、九熊本第148号では、第二世代精英樹候補木8個体のほかに、材積は特別には優れていないものの、立木ヤング係数が特に優れていた1個体を候補木に準ずる個体として選抜した。育種集団林ごとの選抜に関連する遺伝的指標を表2に示した。特にヒノキでは選抜母集団が小さく、さらにその中で選抜された家系に偏りがあったため、Status Numberは小さい値を示した。これらは、他の集団林で選抜された個体群と合わせて今後利用を進めていく必要がある。選抜個体の一覧を表3に示した。ヒノキについては、立木ヤン

グ係数の個体値が131.0～158.4 tonf/cm²と高い値を示した。本研究で得られた応力波伝播速度は池田ら⁵⁾が静岡県内で測定した70年生のヒノキの上限値に近い値であり、ヒノキとしては非常に高い値と言える。今後後代やクローンでその遺伝性を確認する必要がある。

今回選抜した個体より2020年2月につぎ木増殖用の穂を採取し、2020年3月に候補木あたり8本をつぎ木増殖した。2021年3月に九州育種場内に定植し、その後利用を進める予定である。

4 まとめ

本報告による選抜により、九州育種基本区の第二世代精英樹候補木の本数はスギで996個体、ヒノキで334個体となった。今後、これらの第二世代精英樹候補木のクローンとしての成長や挿し木発根性等の形質評価を進め、優れたものについては第二世代精英樹として選抜し、雄花着花性等も含めて総合的に優れていると判断されるものは特定母樹の指定を受けて普及を目指す。また、これら候補木間の交配による育種集団林の造成を行い、第三世代精英樹の選抜に向けた準備を進める計画である。

貴重な試験地の設定・管理・測定にこれまでに関わっていただいた九州森林管理局、熊本南部森林管理署、宮崎森林管理署の皆様、および林木育種センターの関係者に深く感謝する。

5 参考文献

- 1) Dutkowski G, Costa e Silva J, Gilmour A, Wellendorf H, Aguiar A: Spatial analysis enhances modelling of a wide variety of traits in forest genetic trials. *Canadian Journal of Forest Research* 36, 1851-1870 (2006)
- 2) Fukatsu E, Hiraoka Y, Kuramoto N, Yamada H, Takahashi M: Effectiveness of spatial analysis in *Cryptomeria japonica* D. Don (sugi) forward selection revealed by validation using progeny and clonal tests. *Annals of Forest Science*, 75, 96 (2018)
- 3) Gilmour A, Gogel B, Cullis B, Thompson R: ASReml User Guide Release 3.0. VSN

International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES,
UK www.vsnl.co.uk (2009)

- 4) 池田潔彦, 大森昭壽, 有馬孝禮: 応力波伝播速度による立木材質の評価と適用(第3報). 木材学会誌 46, 558-565(2000)
- 5) 池田潔彦, 金森富士雄, 有馬孝禮: 応力波伝播速度による立木材質の評価と適用(第4報) ヒノキ林分立木材質の評価. 木材学会誌 46, 602-608 (2000)
- 6) Lindgren D, Gea L, Jefferson P: Status number for measuring genetic diversity. Forest Genetics 2, 69-76 (1997)
- 7) 佐々木峰子, 岡村政則, 藤澤義武, 西村慶二: スギザイノタマバエ抵抗性育種事業実施経過. 林育研報 19, 1-12 (2003)
- 8) 林野庁: 熊本営林局 立木材積表 (1970)

表1 選抜対象とした育種集団林の基本情報

樹種	検定林名 (コード)	所在地	設定年度	植栽本数	植栽 家系数 ^{*1}	第一世代 精英樹数 ^{*2}	最新調査年次の形質平均値		
							年次	樹高 (m)	直径 (cm)
スギ	九熊本第148号 (7032)	熊本南部森林管理署 黒石国有林1017ぬ林小班	2004	1134	47	21	15	10.7	15.8
スギ	九熊本第149号 (7033)	宮崎森林管理署 本田野国有林わ1林小班	2004	240	11	10	15	9.6	15.6
ヒノキ	九熊本第121-2号 (7047)	熊本南部森林管理署 山川内国有林1045か6林小班	1988	800	28	12	20	9.2	13.0

*1: 植栽家系数は交配組合せ数（対照家系を除く）を示す。

*2: 第一世代精英樹数は交配親として関与した第一世代精英樹数（対照として植栽された個体の親となった精英樹は除く）を示す。148号については、スギザイノタマバエ抵抗性候補木を含む。

表2 育種集団林毎の遺伝率と選抜された第二世代精英樹候補木の情報

樹種	検定林名 (コード)	個体の狭義の遺伝率（標準誤差）			選抜 本数	選抜率	選抜 家系数 ^{*1}	第一世代 精英樹数 ^{*2}	Status Number	材積 相対遺伝 獲得量 ^{*3}
		立木 ヤング係								
		樹高	胸高直径	数						
スギ	九熊本第148号 (7032)	0.618 (0.164)	0.475 (0.147)	0.303 (0.212)	11	0.8%	7	9	5.38	39.3%
スギ	九熊本第149号 (7033)	0.181 (0.269)	0.034 (0.174)	0.253 (0.263)	12	3.0%	8	11	8.23	4.2%
ヒノキ	九熊本第121-2 号(7047)	0.389 (0.427)	0.156 (0.121)	— ^{*4}	8	2.6%	3	4	2.84	20.7%

*1: 選抜家系数は、選抜された個体が属する交配組合せ（家系）の総数を示す。

*2: 第一世代精英樹数は、選抜された候補木の交配親として関与した第一世代精英樹数を示す。

*3: 材積相対遺伝的獲得量は、スギは15年次、ヒノキは20年次の調査結果に基づく。

*4: 遺伝率が推定されなかったことを示す。

表3 選抜された第二世代精英樹候補木一覧

a) 九熊本第148号

系統名	系統コード	樹高 (m)	直径 (cm)	幹曲り ^{*1}	根元曲り ^{*1}	育種価偏差値	
						材積	立木ヤング係数
スギ九育 2-974	GFA36846	13.3	25.2	4	4	77.5	58.0
スギ九育 2-975	GFA36847	12.8	22.5	4	3	72.9	78.4
スギ九育 2-976	GFA36848	13.6	25.5	4	3	83.7	56.8
スギ九育 2-977	GFA36849	14.1	23.4	4	3	81.5	69.2
スギ九育 2-978	GFA36850	13.2	21.9	4	3	69.4	50.4
スギ九育 2-979	GFA36851	12.3	22.5	4	4	66.6	50.1
スギ九育 2-980	GFA36852	8.9	9.3	4	3	39.7	103.1
スギ九育 2-981	GFA36853	11.3	14.9	4	3	44.9	80.1
スギ九育 2-982	GFA36854	11.0	18.4	4	4	63.0	52.2
スギ九育 2-983	GFA36855	12.8	20.9	4	4	81.4	70.4
スギ九育 2-984	GFA36856	11.8	22.1	4	3	70.6	50.0

樹高・直径・幹曲・根元曲は15年次の測定値に基づく。立木ヤング係数の集団平均値（15年次）は67.1 tonf/cm²であった。

*1: 幹曲・根元曲は5段階指数評価値（九州育種基本区精英樹特性表参照）。

b) 九熊本第149号

系統名	系統コード	樹高 (m)	直径 (cm)	幹曲り ^{*1}	根元曲り ^{*1}	育種価偏差値	
						材積	立木ヤング係数 ^{*2}
スギ九育 2-985	GFA36857	10.3	19.3	4	4	58.3	34.4
スギ九育 2-986	GFA36858	10.3	18.0	4	3	57.5	45.9
スギ九育 2-987	GFA36859	11.0	17.2	4	4	58.3	68.1
スギ九育 2-988	GFA36860	11.2	16.2	4	3	75.8	84.5
スギ九育 2-989	GFA36861	10.5	18.3	4	3	72.4	45.2
スギ九育 2-990	GFA36862	10.4	20.9	4	4	76.5	59.5
スギ九育 2-991	GFA36863	11.1	20.2	4	3	71.8	62.2
スギ九育 2-992	GFA36864	11.5	18.0	4	4	83.5	93.9
スギ九育 2-993	GFA36865	10.8	20.8	4	4	70.3	39.5
スギ九育 2-994	GFA36866	11.0	22.2	4	5	60.8	46.6
スギ九育 2-995	GFA36867	11.7	20.7	4	3	60.6	66.1
スギ九育 2-996	GFA36868	10.6	17.0	4	3	71.9	63.4

樹高・直径・幹曲・根元曲は15年次の測定値に基づく。立木ヤング係数の集団平均値（15年次）は58.3 tonf/cm²であった。

*1: 幹曲・根元曲は5段階指数評価値（九州育種基本区精英樹特性表参照）。

*2: 選抜基準を立木ヤング係数の表現型値で50 tonf/cm²以上としたため、偏差値が50を下回る個体も含まれる。

c) 九熊本第121-2号

系統名	系統コード	樹高 (m)	直径 (cm)	幹曲り ^{*1}	根元曲り ^{*1}	立木ヤング係数 (tonf /cm ²)	育種価偏差値
							材積
ヒノキ九育 2-327	GFB33331	11.0	15	5	3	158.4	59.4
ヒノキ九育 2-328	GFB33332	10.5	15	4	3	157.7	58.1
ヒノキ九育 2-329	GFB33333	11.0	15	5	3	153.0	59.4
ヒノキ九育 2-330	GFB33334	10.5	16	4	3	139.2	65.4
ヒノキ九育 2-331	GFB33335	10.5	17	5	3	152.5	66.4
ヒノキ九育 2-332	GFB33336	11.0	17	4	3	139.0	67.7
ヒノキ九育 2-333	GFB33337	12.5	17	5	3	141.1	75.5
ヒノキ九育 2-334	GFB33338	10.0	15	4	3	131.0	66.4

樹高・直径・幹曲・根元曲は20年次の測定値に基づく。立木ヤング係数は個体値（30年次）を示し、集団平均値は142.2 tonf/cm²であった。

*1: 幹曲・根元曲は5段階指数評価値（九州育種基本区精英樹特性表参照）。