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 146 号 (スギ) および九熊本第 118 号・九熊本第 131 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・栗田学・倉本哲嗣*
連絡調整課 村上丈典

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 28~32 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、2016 年度までにスギで 936 個体、ヒノキで 289 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、2017 年度はスギ育種集団林 1 箇所およびヒノキ育種集団林 2 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 118 号 (ヒノキ) では凍害抵抗性ヒノキ品種および耐凍性候補木 (竹内ら⁸⁾) も交配親として使われている。スギでは 2003 年度、ヒノキでは 1992 年度および 1996 年度に設定され、選抜時の林齢はスギでは 14 年、ヒノキでは 25 年および 21 年である。試験地の設計はスギでは 6 反復の単木混交植栽、ヒノキでは 3 反復の方型プロット植栽および 6 反復の単木混交植栽であり、植栽間隔は 1.8m である。

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。スギでは樹高・胸高直径に 13 年次、幹曲り・根元曲りに 14 年次の調査データを用いた。ヒノキでは九熊本第 118 号においては樹高・直径に 15 年次の定期調査データを用い、幹曲り・根元曲りについては後述の応力波伝播速度の測定木についてのみ 25 年次に測定した。九熊本第 131 号においては樹高・胸高直径・幹曲り・根元曲りに 20 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⁾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²⁾。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⁷⁾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、スギでは 14 年次、ヒノキでは 25 年次および 21 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、試験地毎にスギでは 124 個体、ヒノキでは 123 個体および 152 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³⁾に基づいて下記により算出した。

$$E_v = (V_p)^2 \times \rho_{eff} / g / 10^6$$

ここで E_v は立木ヤング係数 (tonf/cm²)、 V_p は応力波伝播速度 (cm/sec)、 ρ_{eff} は有効密度 (g/cm³)、 g は重力加速度 (980cm/sec²) である。有効密度にはスギでは池田ら³⁾に従い 0.83g/cm³ を、ヒノキでは池田ら⁴⁾に従い 0.80g/cm³ 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、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スギでは各育種集団林の平均以上 (0 以上)、ヒノキでは -10 tonf/cm² 以上もしくは表現型値で 100 tonf/cm² 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 5 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 × 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。ヒノキは樹種特性としてヤング係数が大きく、また成長と立

*現在 林木育種センター 育種部 育種第一課

木ヤング係数との間に負の相関が見られることから、成長に重点をおいて選抜を行うために立木ヤング係数の選抜基準は低く設定している。

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林内平均値からの偏差を、各育種集団林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⁵⁾により提唱されたStatus Numberを算出した。Status Numberは個体間の血縁関係を基準に計算する値であり、個体間に血縁関係が全くない場合には個体数と同値となり、血縁関係が高くなるにつれて減少していく。その算出方法はLindgrenら⁶⁾に従った。

3 結果と考察

選抜対象育種集団林の平均樹高・平均直径を表1に示した。年次が不揃いであるために比較は難しいが、九熊本第118号(ヒノキ)は15年次で平均樹高が5.1mであり成長は良好ではなかった。この育種集団林は山頂近くで尾根に隣接しており、生育環境が不適であったと考えられる。各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。立木ヤング係数の遺伝率はスギは高い値を示したが、ヒノキにおいては成長よりも低い値を示した林分もあった。机上選抜・目視による現地確認の結果、スギで計20個体、ヒノキで27個体を第二世代精英樹候補木として選抜した。このうちヒノキの2個体は、九熊本第118号において現地における表現型の確認に基づき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。選抜本数と比較してStatus Numberは大幅に減少しており、選抜された上位集団は特定の親への偏りがあることをしめた。材積の遺伝的獲得量はスギで15.7%、ヒノキで11.3~24.5%であった。選抜個体の一覧を表3に示した。

今回選抜した個体より2018年2~3月につき木増殖用の穂を採取し、2018年3月に候補木あたり8本をつぎ木増殖した。2019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956個体、ヒノキで316個体となった。今後、引き続きこれらの第二世代精英樹候補木の成長や挿し木発根性等の形質評価を進め、成長等に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とともに、これらの交配による第3世代精英樹の選抜に向けた育種集団林の造成を進めていく計画である。

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、熊本森林管理署、熊本南部森林管理署、長崎森林管理署、および林木育種センターの関係者の皆様に深く感謝する。

5 引用文献

- 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) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) Lindgren D, Gea L, Jefferson P: Loss of genetic diversity monitored by status number. *Silvae Genetica* 45, 52-58 (1996)
- 6) Lindgren D, Gea L, Jefferson P: Status number for measuring genetic diversity. *Forest Genetics* 2, 69-76 (1997)
- 7) 林野庁: 熊本営林局 立木材積表 (1970)

- 8) 竹内寛興, 戸田忠雄, 宮田増男: 九州育種基本区における気象害抵抗性育種事業実施経過. 林育研報 15, 165-172 (1998)

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}	最新調査年次平均		
							年次	樹高(m)	直径(cm)
スギ	九熊本第146号 (7030)	熊本森林管理署 熊野岳国有林159と2林小班	2003	575	21	11	13	11.3	15.1
ヒノキ	九熊本第118号 (2222)	熊本南部森林管理署 木折平国有林1426わ6林小班	1992	860	26	15	15	5.1	9.3
ヒノキ	九熊本第131号 (7008)	長崎森林管理署 遠目国有林25い林小班	1996	1344	48	39	20	10.4	15.1

*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。九熊本第118号においては凍害抵抗性ヒノキ品種および耐凍性候補木を含む。

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 組合せ数 ^{*1}	第一世代 精英樹数 ^{*2}	Status Number	材積 相対遺伝 獲得量 ^{*3}
		樹高	胸高直径	立木 ヤング率						
スギ	九熊本第146号 (7030)	0.172 (0.144)	0.288 (0.022)	0.563 (0.304)	20	2.1%	6	10	9.75	15.7%
ヒノキ	九熊本第118号 (2222)	0.301 (0.156)	0.070 (0.060)	0.205 (0.322)	8 ^{*4}	0.8%	4	6	3.76	11.3%
ヒノキ	九熊本第131号 (7008)	0.159 (0.077)	0.213 (0.082)	0.299 (0.238)	19	1.0%	8	11	6.27	24.5%

*1: 選抜組合せ数は、選抜された個体が属する交配組合せの総数を示す。

*2: 第一世代精英樹数は、選抜された個体集団の交配親として関与した第一世代精英樹数を示す。九熊本第118号においては凍害抵抗性ヒノキ品種および耐凍性候補木を含む。

*3: 材積相対遺伝的獲得量は、スギは13年次、ヒノキは15年次(九熊本第118号)および20年次(九熊本第131号)の調査結果に基づく。

*4: 現地での表現型の確認に基づき選ばれた、候補木に準ずる2個体を含む。

表3 選抜されたスギ第二世代精英樹候補木一覧

a) 九熊本第146号

系統名	系統コード	樹高 (m)	直径 (cm)	幹曲 ^{*1}	根元曲 ^{*1}	育種価偏差値	
						材積	立木ヤング係数
スギ九育 2-937	GFA36453	12.3	17.5	4	3	59.9	57.0
スギ九育 2-938	GFA36454	12.7	19.8	4	4	74.4	68.3
スギ九育 2-939	GFA36455	13.3	20.0	4	3	70.6	66.5
スギ九育 2-940	GFA36456	12.5	20.3	5	3	62.5	68.3
スギ九育 2-941	GFA36457	13.4	21.9	4	4	72.3	71.2
スギ九育 2-942	GFA36458	12.0	17.4	5	5	77.9	52.8
スギ九育 2-943	GFA36459	13.0	24.5	5	5	71.1	51.7
スギ九育 2-944	GFA36460	12.3	17.7	4	3	60.0	66.3
スギ九育 2-945	GFA36461	11.8	18.3	5	5	61.5	50.5
スギ九育 2-946	GFA36462	13.3	19.3	4	3	63.2	77.7
スギ九育 2-947	GFA36463	11.3	20.0	5	4	62.9	61.8
スギ九育 2-948	GFA36464	12.0	22.3	5	4	68.1	71.1
スギ九育 2-949	GFA36465	12.4	18.8	5	3	82.3	59.9
スギ九育 2-950	GFA36466	12.1	18.2	5	3	79.5	58.9
スギ九育 2-951	GFA36467	11.6	20.2	4	4	70.7	76.4
スギ九育 2-952	GFA36468	11.8	18.1	4	3	69.0	71.4
スギ九育 2-953	GFA36469	12.3	18.2	5	5	60.1	57.0
スギ九育 2-954	GFA36470	12.9	16.3	4	4	58.4	66.6
スギ九育 2-955	GFA36471	12.2	19.9	5	4	85.8	51.5
スギ九育 2-956	GFA36472	11.5	19.8	5	3	63.2	56.1

樹高・直径は13年次、幹曲・根元曲は14年次の測定値に基づく。立木ヤング係数の集団平均値(14年次)は64.6 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118号

系統名	系統コード	樹高 (m)	直径 (cm)	幹曲 ^{*1}	根元曲 ^{*1}	育種価偏差値	
						材積	立木ヤング係数 ^{*2}
ヒノキ九育 2-291	GFB33290	7.0	13	4	4	63.7	76.4
ヒノキ九育 2-292	GFB33291	7.0	15	4	3	66.9	73.9
ヒノキ九育 2-293	GFB33292	6.5	13	4	3	63.5	70.8
ヒノキ九育 2-294	GFB33293	5.5	11	4	4	64.5	28.9
ヒノキ九育 2-296	GFB33295	5.5	11	4	4	61.4	39.6
ヒノキ九育 2-297	GFB33296	6.0	11	4	4	64.7	43.3

各形質値は15年次の測定値に基づく。立木ヤング係数の集団平均値は111.1 tonf/cm²であった。

これ以外に2個体を現地での表現型の確認に基いて候補木に準ずる個体として選抜した。

*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: 立木ヤング係数の選抜基準を、育種価が-10 tonf/cm²以上もしくは表現型値で100 tonf/cm²以上としたため、立木ヤング係数の育種価の偏差値は低いものも含まれる。

c) 九熊本第131号

系統名	系統コード	樹高 (m)	直径 (cm)	幹曲 ^{*1}	根元曲 ^{*1}	育種価偏差値	
						材積	立木ヤング係数 ^{*2}
ヒノキ九育 2-298	GFB33297	12.2	21.0	4	3	88.8	41.6
ヒノキ九育 2-299	GFB33298	12.2	21.8	4	3	89.0	46.1
ヒノキ九育 2-300	GFB33299	11.1	17.8	5	4	82.8	56.0
ヒノキ九育 2-301	GFB33300	13.1	17.8	4	3	82.9	54.1
ヒノキ九育 2-302	GFB33301	12.3	21.7	5	4	89.1	40.3
ヒノキ九育 2-303	GFB33302	10.9	21.3	4	4	56.7	70.1
ヒノキ九育 2-304	GFB33303	11.2	19.8	4	4	58.2	75.9
ヒノキ九育 2-305	GFB33304	11.4	17.9	5	4	58.2	79.4
ヒノキ九育 2-306	GFB33305	11.3	20.9	4	4	59.4	77.5
ヒノキ九育 2-307	GFB33306	11.2	17.6	5	4	58.6	75.4
ヒノキ九育 2-308	GFB33307	11.4	18.4	5	4	57.4	75.9
ヒノキ九育 2-309	GFB33308	12.3	20.8	4	4	65.1	56.8
ヒノキ九育 2-310	GFB33309	10.6	19.6	4	3	56.4	77.4
ヒノキ九育 2-311	GFB33310	10.7	19.5	5	4	66.9	49.9
ヒノキ九育 2-312	GFB33311	11.2	19.8	4	4	69.5	49.8
ヒノキ九育 2-313	GFB33312	10.8	20.3	4	4	62.7	57.2
ヒノキ九育 2-314	GFB33313	10.2	22.3	4	4	80.4	25.4
ヒノキ九育 2-315	GFB33314	11.4	19.3	4	3	78.8	25.4
ヒノキ九育 2-316	GFB33315	10.9	19.0	4	4	79.9	25.4

各形質値は15年次の測定値に基づく。立木ヤング係数の集団平均値は104.5 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: 立木ヤング係数の選抜基準を、育種価が-10 tonf/cm²以上もしくは表現型値で100 tonf/cm²以上としたため、立木ヤング係数の育種価の偏差値は低いものも含まれる。