

# 九州育種基本区におけるスギ第2世代精英樹候補木の選抜

-九熊本第120号・126号・128号・137号における実行結果-

九州育種場 育種課 武津英太郎・松永孝治・倉原雄二・湯浅真・千吉良治・高橋誠※  
育種調査役 柏木学  
遺伝資源管理課 福山友博・松永順・一高一任

## 1 はじめに

林木育種センターでは、成長等の実用形質に優れた第1世代精英樹間の人工交配家系により造成された育種集団からの第2世代精英樹候補木の選抜を進めている。九州育種基本区においては、2011年度までにスギで535個体、ヒノキで251個体の第2世代精英樹候補木が選抜されている。一方、第2世代精英樹候補木の選抜母集団となる育種集団林の内、第2世代精英樹候補木が未選抜の育種集団林は2011年度末時点で26箇所存在する。2012年度は育種集団林4箇所より第2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1992～1998年に設定され、選抜時の林齢は15年から20年であった。九熊本第126号、128号および137号は第1世代精英樹間の人工交配、九熊本第120号は第1世代精英樹と耐凍性候補木<sup>7)</sup>間の人工交配から得られた実生個体が植栽されている。交配設計は、九熊本第126号、128号および137号は3セットの要因交配、九熊本第120号はフルダイアレルと要因交配が組み合わさった1セットである。また、126号・128号交配設計は共通である。試験地の設計は、九熊本第120号では、交配組み合わせ毎の方形プロットで3反復、九熊本第126号、128号および137号では、単木混交で6反復であり、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。九熊本第126号、128号および137号では樹高、胸高直径、幹曲りおよび根元曲りは15年次の定期調査データを用いた。九熊本第120号では樹高と胸高直径は17年次の調査データを用い、幹曲りと根元曲りについては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<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>。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<sup>6)</sup>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)もしくはFakopp (Fakopp社、ハンガリー)を用い、九熊本第120号では20年次、九熊本第126号では17年次、128号では18年次、137号では15年次に行った。応力波伝播速度は九熊本第120号ではプロットあたり材積育種価上位2個体、九熊本第126号、128号および137号では家系あたり材積育種価上位3個体と試験地全体での材積育種価上位50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ヤング率の推定値を池田ら<sup>3)</sup>に基づいて算出した。

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

ここで $E_v$ は立木ヤング係数 (tonf/cm<sup>2</sup>、以下ヤング率)、 $V_p$ は応力波伝播速度 (m/sec)、 $\rho_{eff}$ は有効密度 (g/cm<sup>3</sup>)、 $g$ は重力加速度 (980cm/sec<sup>2</sup>)である。有効密度には池田ら<sup>3)</sup>に従い0.83g/cm<sup>3</sup>を用いた。得られたヤング率より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法により各個体のヤング率の育種価を求めた。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)曲りによる足切り選抜：幹曲り・根元曲りの表現型値が3以上、2)応力波伝播速度による足切り選抜：応力波伝播速度の育種価が各育種集団林の平均以上、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足切り選抜：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、5) その他の制限:DNAタイピングにより混在が認められている第1世代精英樹を親に持つ個体は選ばない、および過去に選抜された第2世代精英樹候補木の上位評価個体と同じ親をもつ個体は選ばない。以上の条件を満たすように材積育種価上位個体を選抜対象候補木とした。

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害虫等の欠点のない個体を第2世代精英樹候補木として選抜した。また、机上選抜の基準に漏れた個体についても、目視で明らかに成長や通直性等の形質が優れていると判断された個体も第2世代精英樹候補木として選抜した。

第2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、第2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2世代候補木集団の遺伝的多様性の指標として、Lindgrenら<sup>4)</sup>により提唱されたStatus Numberを算出した。Status Numberは集団の平均近縁度の逆数の1/2で定義され、集団内個体間の血縁度の上昇に合わせて減少する。集団内の個体間に血縁が全くない場合には最大値をとり、その値は集団内個体数と等しくなる。家系情報を基に算出が可能であり、候補木集団の遺伝的多様性のモニタリングに適していると考えられる。Status Numberの算出方法はLindgrenら<sup>5)</sup>に従った。

### 3 結果と考察

育種集団林の平均樹高は15年次で8.1m~10.4m、平均直径は12.9~15.5cmであった(表1)。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。九熊本第120号ではヤング率の遺伝率が0となり、樹高と胸高直径の遺伝率も非常に低い値を示した。それ以外の育種集団林ではヤング率は高い遺伝率を示し、胸高直径は低い遺伝率を示した。

九熊本第120号ではヤング率の遺伝率が0と推定され育種価が推定できなかったため、ヤング率を選抜条件に含めずに机上選抜を行った。また、九熊本第120号は不成績造林地のような状態であり、選抜に適した育種集団林とは言い難い状態であった。

机上選抜・目視による現地確認の結果、4育種集団林で、計110個体を第2世代精英樹候補木として選抜した。育種集団林ごとの候補木の集約情報を表2に示した。九熊本第120号は遺伝率が低く林分の状態も良くないことから、選抜強度を高くした。候補木の交配親として関与した第1世代精英樹数は、選抜元である育種集団林と比較して半数以下に減少していた。多様性の指標としての候補木集団のStatus Numberは2.84~5.81となり、候補木の交配親として関与した第1世代精英樹集団のStatus Number(11~24、クローン数と同値)の11.8%~30.7%に減少した。一方、材積の遺伝的獲得量は、遺伝率が非常に低かった九熊本第120号では0.72%と低かったが、それ以外の集団林では14.1%~28.2%となった。今回、選抜条件を満たす個体は特定の家系に偏る傾向があり、Status Numberは大きく減少した。第2世代集団の多様性を考える上では選抜基準を下げる必要性も考えられるが、遺伝的獲得量と遺伝的多様性との関係性については検討が必要である。選抜個体の一覧を表3に示した。九熊本第120号の選抜個体の親は耐凍性候補木が多く含まれ、親の形質評価があまりなされていないことから、その扱いは今後検討の必要がある。

今回選抜した個体より2013年2~3月につき木増殖用の穂を採取した。採穂は一本梯子と測竿鎌により行った。選抜個体の根元には丹頂L杭を設置した。2013年3月下旬に接ぎ木増殖を行った。接ぎ木本数は候補木あたり8本とした。また、一部の家系については挿し木増殖も行った。今後九州育種場内に定植し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2世代精英樹候補木の本数は645個体となった。今後は第2世代精英樹候補木が未選抜の育種集団林22箇所において選抜を進めるとともに、選抜された第2世代精英樹候補木の成長や挿し木発根性等の形質の評価を進めていく必要がある。

貴重な試験地の設定・管理・測定にこれまでに関わった林野庁・九州森林管理局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。

表1 選抜対象としたスギ育種集団林の基本情報

検定林名	所在地	設定 年度	植栽 本数	植栽 家系数	第1世代 精英樹数	15年次平均		15年次残 存本数
						樹高(m)	直径(cm)	
九熊本第120号 (2224)	宮崎北部森林管理署 第一日之影森林事 務所 水無平国有林2046ほ10林小班	1992	3000	39	11 *	8.1**	13.74**	1353**
九熊本第126号 (2411)	長崎森林管理署 雲仙千々石森林事務所 千々石温泉岳国有林112む林小班	1994	1380	50	24	10.4	15.5	1158
九熊本第128号 (2413)	大隅森林管理署 鹿屋森林事務所 大平国有林148ち1林小班	1994	1380	48	24	9.2	12.9	1175
九熊本第137号 (7014)	宮崎森林管理署 田野・屋敷森林事務所 本田野国有林63い林小班	1997	1620	42	24	10.2	12.9	1287

植栽家系数は交配組合せ数（対照家系を除く）、第1世代精英樹数は交配親として関与した第1世代精英樹数（対照の植栽個体の親となった精英樹は除く）を示す。

\*: 耐凍性候補木を含む。

\*\*：17年次の値を示す。

表2 検定林毎の遺伝率と選抜されたスギ第2世代精英樹候補木の情報

検定林名	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	第1世代 精英樹数	Status Number	材積 相対遺伝 獲得量
	樹高	胸高直径	ヤング率						
九熊本第120号 (2224)	0.048 (0.076)	0.014 (0.050)	0.000 (0.000)	17	0.5%	15	5*	3.38	0.72%
九熊本第126号 (2411)	0.386 (0.146)	0.271 (0.109)	0.590 (0.286)	30	2.1%	16	9	4.35	28.2%
九熊本第128号 (2413)	0.394 (0.135)	0.297 (0.0812)	0.799 (0.329)	33	2.3%	18	11	5.81	28.5%
九熊本第137号 (7014)	0.141 (0.074)	0.128 (0.071)	0.604 (0.264)	30	1.8%	12	6	2.84	14.1%

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、第1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1世代精英樹数を示す。

\*: 耐凍性候補木を含む。

表3 選抜されたスギ第2世代精英樹候補木一覧

a) 九熊本第120号

系統名	系統コード	反復	樹高	直径	幹曲	根元曲	育種価偏差値	
							材積	ヤング率
スギ九育 2-569	GFA04659	1	12.5	19	4	5	46.5	27.9
スギ九育 2-570	GFA04660	2	9.0	16			21.7	58.2
スギ九育 2-571	GFA04661	1	10.5	17	3	4	58.4	53.8
スギ九育 2-572	GFA04662	2	10.0	17	4	4	57.8	55.6
スギ九育 2-573	GFA04663	1	14.0	23	4	4	53.4	61.5
スギ九育 2-574	GFA04664	2	12.5	23	4	5	55.2	49.6
スギ九育 2-575	GFA04665	2	10.0	19	3	3	60.7	49.3
スギ九育 2-576	GFA04666	2	12.0	23	4	3	54.1	60.3
スギ九育 2-577	GFA04667	2	9.0	13	3	3	65.0	57.0
スギ九育 2-578	GFA04668	2	8.5	16	4	4	65.1	52.1
スギ九育 2-579	GFA04669	2	12.0	17	4	4	34.0	53.5
スギ九育 2-580	GFA04670	2	9.5	18	5	5	41.6	66.1
スギ九育 2-581	GFA04671	2	9.5	20	5	5	48.2	50.1
スギ九育 2-582	GFA04672	2	10.0	21	5	5	64.0	57.6
スギ九育 2-583	GFA04673	2	9.0	20	4	3	61.4	47.8
スギ九育 2-584	GFA04674	3	11.0	18	4	4	55.8	79.9

## b) 九熊本第126号

系統名	系統コード	反復	樹高	直径	幹曲	根元曲	育種価偏差値	
							材積	ヤング率
スギ九育 2-586	GFA04676	1	15.0	21	5	4	72.9	72.0
スギ九育 2-587	GFA04677	1	13.5	24	4	5	73.9	78.0
スギ九育 2-588	GFA04678	1	14.0	24	3	3	70.7	52.7
スギ九育 2-589	GFA04679	1	13.0	22	3	4	64.3	61.4
スギ九育 2-590	GFA04680	1	12.0	19	5	5	69.4	66.3
スギ九育 2-591	GFA04681	2	12.0	20	4	4	58.6	67.4
スギ九育 2-592	GFA04682	2	11.5	18	4	4	72.9	85.8
スギ九育 2-593	GFA04683	2	12.5	19	4	3	65.2	70.4
スギ九育 2-594	GFA04684	2	12.0	16	4	5	78.8	69.7
スギ九育 2-595	GFA04685	2	11.5	18	3	4	56.2	53.4
スギ九育 2-596	GFA04686	3	12.5	21	4	3	72.9	52.7
スギ九育 2-597	GFA04687	3	12.0	20	4	4	70.2	57.7
スギ九育 2-598	GFA04688	3	11.5	21	4	4	58.0	62.6
スギ九育 2-599	GFA04689	3	12.0	21	5	3	71.6	60.0
スギ九育 2-600	GFA04690	3	12.5	21	4	3	78.7	72.5
スギ九育 2-601	GFA04691	3	11.5	22	5	3	72.4	62.2
スギ九育 2-602	GFA04692	3	12.0	23	4	3	60.9	59.1
スギ九育 2-603	GFA04693	3	11.5	20	5	4	59.4	64.0
スギ九育 2-604	GFA04694	4	14.0	20	4	3	78.3	72.0
スギ九育 2-605	GFA04695	4	13.5	19	4	3	71.0	78.5
スギ九育 2-606	GFA04696	4	14.0	22	3	3	69.5	52.7
スギ九育 2-607	GFA04697	4	11.5	18	4	4	62.2	57.2
スギ九育 2-608	GFA04698	5	12.0	19	3	4	58.2	65.1
スギ九育 2-609	GFA04699	5	12.0	19	4	3	69.6	90.4
スギ九育 2-610	GFA04700	5	12.0	18	4	4	62.2	55.4
スギ九育 2-611	GFA04701	6	12.5	21	4	4	57.9	57.5
スギ九育 2-612	GFA04702	6	13.0	24	3	3	73.8	64.6
スギ九育 2-613	GFA04703	6	13.0	21	4	4	82.4	65.1
スギ九育 2-614	GFA04704	6	13.0	22	5	3	73.9	65.1
スギ九育 2-615	GFA04705	6	12.5	20	4	4	66.2	56.2

## c) 九熊本第128号

系統名	系統コード	反復	樹高	直径	幹曲	根元曲	育種価偏差値	
							材積	ヤング率
スギ九育 2-536	GFA04621	1	12.0	15	5	4	53.7	74.5
スギ九育 2-537	GFA04622	1	12.5	19	4	4	74.6	62.7
スギ九育 2-538	GFA04623	1	14.0	22	5	4	68.2	62.4
スギ九育 2-539	GFA04624	1	13.5	19	5	5	60.6	67.5
スギ九育 2-540	GFA04625	1	11.0	18	3	3	57.8	51.0
スギ九育 2-541	GFA04626	1	10.0	18	3	4	51.3	53.2
スギ九育 2-542	GFA04627	1	15.5	19	3	4	82.2	99.9
スギ九育 2-543	GFA04628	1	12.0	19	3	4	85.7	96.4
スギ九育 2-544	GFA04629	2	14.5	19	4	5	59.9	68.0
スギ九育 2-545	GFA04630	2	12.0	18	5	4	66.0	64.9
スギ九育 2-546	GFA04631	2	10.5	16	4	4	66.1	97.3
スギ九育 2-547	GFA04632	2	15.0	20	3	4	65.3	60.9
スギ九育 2-548	GFA04633	2	14.5	22	3	4	64.4	82.2
スギ九育 2-549	GFA04634	3	12.0	17	5	4	56.4	53.4
スギ九育 2-550	GFA04635	3	12.0	19	4	3	72.3	69.4
スギ九育 2-551	GFA04636	4	13.5	20	5	4	82.5	58.0
スギ九育 2-552	GFA04637	4	12.5	19	5	4	89.1	86.4
スギ九育 2-553	GFA04638	4	13.0	20	4	4	53.9	78.1
スギ九育 2-554	GFA04639	5	12.5	18	5	4	85.8	104.2
スギ九育 2-555	GFA04640	5	10.5	18	3	4	65.8	52.7
スギ九育 2-556	GFA04641	5	9.5	15	3	3	54.7	54.3
スギ九育 2-557	GFA04642	5	11.0	17	5	5	63.4	57.9
スギ九育 2-558	GFA04643	5	10.5	18	3	4	59.3	72.6
スギ九育 2-559	GFA04644	5	12.0	19	4	4	66.2	50.7
スギ九育 2-560	GFA04645	5	11.0	16	3	4	51.9	67.4
スギ九育 2-561	GFA04646	6	12.5	17	5	4	65.8	63.8
スギ九育 2-562	GFA04647	6	12.5	17	4	4	59.7	75.9
スギ九育 2-563	GFA04648	6	12.5	18	4	5	77.7	64.0
スギ九育 2-564	GFA04649	6	10.0	19	4	4	64.6	80.7
スギ九育 2-565	GFA04650	6	13.0	19	4	4	91.7	80.6
スギ九育 2-566	GFA04651	6	10.5	20	3	3	67.0	51.0
スギ九育 2-567	GFA04652	6	13.5	19	3	4	62.1	76.5
スギ九育 2-568	GFA04653	6	12.5	18	3	4	88.0	82.1

## d) 九熊本第137号

系統名	系統コード	反復	樹高	直径	幹曲	根元曲	育種価偏差値	
							材積	ヤング率
スギ九育 2-622	GFA04716	1	11.1	15	4	3	63.4	59.7
スギ九育 2-617	GFA04711	1	12.9	16	3	4	78.9	59.2
スギ九育 2-620	GFA04714	1	12.8	18	4	4	64.3	80.1
スギ九育 2-621	GFA04715	1	12.4	15	5	4	76.1	98.9
スギ九育 2-616	GFA04710	1	12.3	19	5	4	61.0	58.4
スギ九育 2-619	GFA04713	1	11.8	16	4	3	60.8	51.9
スギ九育 2-618	GFA04712	1	13.3	17	4	4	68.0	53.6
スギ九育 2-625	GFA04719	2	10.7	18	4	3	80.5	65.1
スギ九育 2-623	GFA04717	2	12.9	21	4	4	60.9	57.2
スギ九育 2-624	GFA04718	2	12.0	18	4	4	66.9	51.9
スギ九育 2-627	GFA04721	3	11.2	17	4	3	63.5	63.1
スギ九育 2-628	GFA04722	3	12.4	20	5	4	53.5	84.3
スギ九育 2-626	GFA04720	3	11.2	17	4	3	76.5	90.8
スギ九育 2-634	GFA04728	4	11.6	18	5	3	67.1	56.3
スギ九育 2-629	GFA04723	4	13.5	18	5	4	67.3	59.2
スギ九育 2-632	GFA04726	4	14.0	20	5	4	84.7	71.7
スギ九育 2-637	GFA04731	4	11.4	15	5	4	52.7	65.2
スギ九育 2-636	GFA04730	4	11.1	14	4	4	50.8	71.9
スギ九育 2-638	GFA04732	4	11.5	15	5	4	79.8	98.4
スギ九育 2-633	GFA04727	4	11.3	13	4	4	75.9	101.4
スギ九育 2-635	GFA04729	4	12.2	20	5	3	56.4	55.7
スギ九育 2-630	GFA04724	4	13.5	20	5	3	71.7	58.6
スギ九育 2-631	GFA04725	4	11.6	15	4	3	64.9	53.6
スギ九育 2-639	GFA04733	5	12.2	15	4	3	78.5	81.9
スギ九育 2-640	GFA04734	5	11.5	15	4	4	63.6	63.1
スギ九育 2-641	GFA04735	5	12.9	17	4	3	56.3	54.8
スギ九育 2-642	GFA04736	5	14.6	18	3	3	62.0	54.2
スギ九育 2-644	GFA04738	6	13.3	19	4	3	64.8	60.0
スギ九育 2-643	GFA04737	6	14.7	18	4	3	53.1	80.7
スギ九育 2-645	GFA04739	6	13.2	24	4	4	63.8	53.1

(樹高・直径は15年次の測定値, 幹曲・根元曲は20年次の測定値を示す。)

## 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) Ikeda K: 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) Lindgren D, Gea L, Jefferson P: Loss of genetic diversity monitored by status number. Silvae Genetica 45, 52-58 (1996)
- 5) Lindgren D, Gea L, Jefferson P: Status number for measuring genetic diversity. Forest Genetics 2, 69-76 (1997)

- 6) 林野庁: 熊本営林局 立木材積表(1970)
- 7) 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)