

### Ⅲ 業務レポート



# 北海道育種場におけるスギおよびアカマツの広域産地試験の予備試験結果

北海道育種場 育種課 中田了五\*

## 1 はじめに

林木育種センターおよび各育種場が連携して、スギおよびアカマツを対象として、共通系統を用いた試験地を全国各地に設定して、成長等の各種形質について、産地あるいは系統間の差、また産地あるいは系統と試験地の遺伝と環境の交互作用を検討する研究「広域産地試験」を進めている。この研究から得られる成果は、種苗配布区域の見直しや、気候変動適応策としての遺伝資源の生息域外保存に活かされると期待できる。この広域産地試験の設定にあたり、対象樹種の天然分布がない北海道育種基本区においても試験地を設定することにより、対象樹種の成育限界付近での情報を得ることができると期待される。

スギは北海道渡島総合振興局および檜山振興局管内に相当する「道南」地域には古くから導入され、造林成績に優れており、現在も一定の造林量がある。道南地域より寒冷的な札幌市には、明治期に「円山養樹園」が設置され、本州および海外からの導入種を含む多様な樹種が育成された。その中にスギもあり、養樹園の跡に作られた円山公園内には現在でも立派なスギ個体が多数成育している。札幌よりさらに北方の月形町や羽幌町、さらに利尻島にもスギ造林地が存在し、道南地域より寒冷的な道央地域や道北地域でもスギの成林が可能ではあるといえるものの、通常は道南以外の地域ではスギの造林成績は悪いとされている。北海道育種場が位置する江別市は札幌市より年間を通して2-3度気温が低い。育種場内にはスギの交配園（台風被害により現在は廃止）や遺伝資源保存園が設定されたが、気温の低さなどからその定植には相当な苦労があったと伝え聞いている。スギ遺伝資源保存園は現在設定後60年以上経過しているが、寒害に起因すると考えられる二又木が非常に多い。このように北海道育種場は通

常スギの成育適地ではないと言える。

アカマツは前述の円山公園付近に巨木が並木状になっている場所があったり、全道各地に庭木としてまた公園に植栽されているのが見受けられる（非常に寒冷的な道北・道東地域でも散見される）。北海道育種場内の育種素材保存園や遺伝資源保存園にも保存されていて、スギと異なり樹形は本州などで成育する通常のアカマツと大差ない。しかし、木材生産目的での造林はほとんどない。なお、外見がアカマツとよく似たヨーロッパアカマツも昭和30年代に北海道に積極的に導入されており、アカマツと同じような成績を示している。

以上述べたような北海道における両種の導入実績や、また北海道育種場では近年両種の養苗がほとんど行われてこなかったことなどから、広域産地試験地設定にあたって、まず少数系統での予備試験を行うことになった。予備試験としての試験地の設定から10年が経過したが、後述する成績不良により試験地を廃止することとなった。試験地の廃止に合わせこれまでの経緯と試験結果についてとりまとめた。

## 2 材料と方法

スギ広域産地試験の全体計画では、まずさし木試験地を設定することとなっていた。全国から選ばれた精英樹クローンが林木育種センターでさし木増殖され、1成長期経過後北海道育種場に送付され、苗畑に床替された。試験地設定のための苗木のさし木は2012年と2013年の2回にわたって行われた。以下、前者を大苗、後者を小苗とよぶ。大苗は2013年春に北海道育種場に送付され苗畑に床替し、2014年春にも床替した。小苗は2013年秋に送付され苗畑に仮植して、2014年春に床替した。2015年4月23日に北海道育種場内に試験地を設定した。よって、養苗期間はそれぞれ3年

\*現在 東北育種場 育種課

あるいは2年となる。

アカマツは、全国のアカマツ天然林から採取した種子を養苗して広域産地試験地を設定しているが、このうち2産地5家系の種子を北海道育種場苗畑にまきつけて養苗した。まきつけは2012年春、2回床替（養苗期間は3年）ののちスギと同時に試験地を設定した。

スギは1ブロックにつきクローンあたり2個体を基本として、単木混交4ブロック構成で、計261個体で設定した。2012年さし木大苗9クローンと2013年さし木小苗26クローンで設定したが、大苗と小苗で8クローンが共通している。アカマツはまきつけおよび養苗数が少なかったことから、スギの周囲1列に計71個体で設定した。この際、スギ周囲を6個のブロックにわけ、ブロック内に家系あたり2または3個体をランダムに配置した。試験地を設定したのは、北海道育種場第3広葉樹育種素材保存園の一角で、同箇所は保存木の枯損が多く一部廃止した箇所、本試験地設定ののちはスギ・アカマツ広域産地試験園として管理した。試験地は平坦地で、他の北海道育種場内の試験園や育種素材保存園同様、土壌は浅く、地下20cm程度に粘土質の難透水層があり、特に雪解け直後や大雨直後には試験地内に水たまりが出現する。試験木は1.8m×1.8m（haあたり3000本）で定植したが、極端な水たまりの存在により、スギ3箇所アカマツ1箇所の植え穴は用いなかった。

### 3 結果と考察

#### 3.1 スギおよびアカマツの生存率の推移

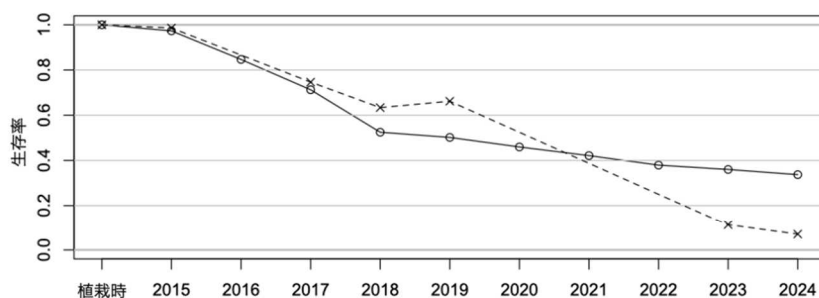


図1 スギ（○実線）とアカマツ（×点線）の生存率の年次経過

植栽時は2015年春調査、残りは秋季の成長調査結果によるが、アカマツ2019年は春の生存調査結果  
アカマツで2018年から2019年にかけて生存率が増加しているが、枯死とした個体が復活したもの

図1にスギおよびアカマツの生存率の年次推移を示す。スギは試験地設定後徐々に枯損が増え、10年次調査では88個体（生存率34%）が残っていたのみであった。アカマツは、5年次以降急激に生存率が低下し、10年次調査ではわずか5個体（生存率7%）となった。4年次調査の前の2018年9月に北海道育種場付近を襲った台風により北海道育種場の場内は激甚な被害を被った。この台風により本試験地の供試木も隣接地からの倒木の下敷きになる被害を受けた。被害率はスギで11%、アカマツで20%であった。台風被害に引き続き、後述する野鼠被害により数年でアカマツの生存率は激減した。

#### 3.2 スギの樹高成長の推移

図2にスギの樹高の年次変動を示す。このくらいの林齢の林木個体群の樹高の変動を箱ひげ図で示すと、通常の林分ではグラフの下に外れ値（図中の○）が増えることが普通であるのに対し、図2ではグラフの上の外れ値が年々増加している。このことは、この試験地の多くの個体がほとんど樹高成長していないのに対し、特定の少数個体は（この試験地内では比較的）旺盛な樹高成長を行ったことを示す。このことは、2024年調査で生存していた全88個体について植栽からの樹高変化を示した図3でも確認できた。

2024年秋の10年次調査結果では、生存率34%で樹高は $2.24 \pm 1.14$  m（平均±標準偏差）、最大5.2 mであった。クローン別樹高と生存率を図4に示す。小苗は2-27のクローン番号で、大苗は小苗と共通の下2桁

に 100 を加えたクローン番号として示した。10 年次成績には樹高および生存率にクローンにより大きな違いが見られたものの、クローンの出身育種基本区間の差はあきらかではなかった。大苗と小苗で共通クローンが供試されているものが 8 クローンあるが、10 年次成績では共通性は明らかではなかった。

10 年次の成績は極めて不良であるということができるが、この原因は苗木まで遡ることができる。前述のとおり、本試験地は送付されたさし木苗を北海道育種場苗畑で養苗してから定植したものである。養苗中に多数の寒害によると考えられる先枯れが認められた。定植にあたっては選苗してクローン内でもっとも優れた個体を植栽しているが、植栽直後の測定では 8 個体が先枯れまたは二又と判定されている。植栽後 1 成長期経過した 1 年次調査では 43 個体が先枯れ・芯枯れ等の寒害の影響と考えられる被害を受けていた。また、定植のための掘り取りおよび植栽時の観察では、多くの苗木の発根が十分ではなかった。1 年次調査において、倒れと判定される供試木が 51 個体あり、この数は獣害 2 個体、枯損 7 個体、様々な原因による半枯れ 10

個体、水たまりによる成育不良 10 個体に比べて遥かに多い。倒れは根系の発達が不十分であることが主要因であると考えられ、倒れ個体は踏み締めや植え直しでも回復したものはほとんどなかった。このように、寒害や発根不良の影響が本試験地の成績に大きく影響したと考えられる。

さし木発根性の向上に加温が効果的であることは広く知られているが、逆に考えると本試験地の成績不良は低温による発根不良が主要因であると考えられることができる。本試験地以外でも北海道育種場におけるスギさし木苗の植栽後の成績はつぎ木苗や実生苗に比べてはるかに不良である場合が多い。本試験地では徐々に枯損が増えたが、枯損木を引き抜いてみると発根が著しく不良なものが多かった。

一方、個体によっては比較的成長のよいものも散見された(図 2-4)。これらは苗畑での養苗中もしくは植栽後の根系発達が良好であったため順調に成育できたものと考えられる。さらに、根系が良好に発達した個体は雪害にも強く、このことも良好な成長の原因となっていると考えられる。さし木発根性に大きなクロー

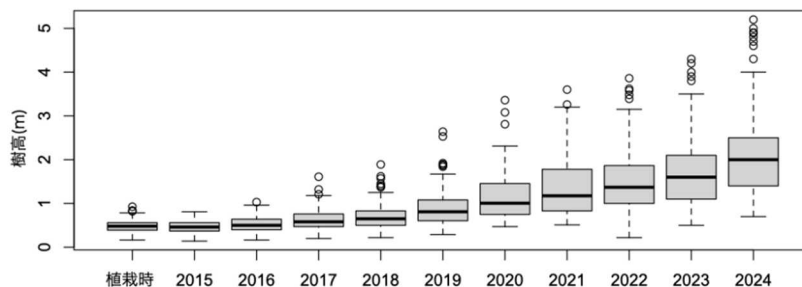


図 2 スギの樹高の年次経過

箱ひげ図は、太線は中央値、箱は第 1 と第 3 四分位、ヒゲは  $1.5 \times$  四分位の範囲に入る最大値と最低値、丸は外れ値

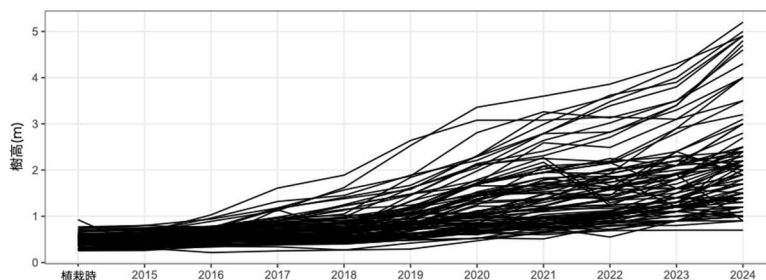


図 3 2024 年調査時の生存木 88 個体の樹高の年次経過

年次が進むと樹高が低くなっているものは主に雪害によるもの

ン間差が存在することは広く知られているが、成長および生存率にクローン間の大きな違いが観察される（図 4）ことも、根系発達による個体ごとの差が成長および生存の差が生じた原因になったという考察を支持するものであろう。本試験地の結果からは、北海道育種場の環境ではスギさし木苗の育成やさし木苗による試験地造成が難しいと考えるべきであろう。

### 3.3 アカマツの樹高成長の推移

アカマツは 2 床 3 年の養苗後試験地を設定したが、植栽直後の測定では、樹高  $27.2 \pm 4.4$  cm、根元径  $10.2 \pm 1.8$  mm であった。この平均値は当時の北海道山林種苗協同組合のアカマツ 1 号苗規格を満たしていた。このことから北海道育種場においてもアカマツ養苗は可能であったと結論できる。ただし、植栽個体も含め一部の苗木には寒害と考えられる先枯れが生じていた。1 年次調査では、枯損が 1 個体、半枯れが 2 個体であるのに対し、寒害に起因すると考えられる芯変わりなどが生存木の 20% に認められた。苗高が本州等での成長にくらべだいぶ劣ることとあわせ、北海道育種場はアカマツ苗木生産の適地とは言えないと考えられる。

試験地設定当初の育成は順調で、本州・四国・九州

での通常の成長に比べると劣るものの、2017 年 10 月の 3 年次調査時は生存率 75%、樹高  $68.7 \pm 26.5$  cm（最大 132 cm）、2018 年 10 月の 4 年次調査時は、生存率 63%、樹高は  $86.4 \pm 39.9$  cm（最大 165 cm）であった。本試験地は滞水面が高く、水たまりがしやすい立地で、設定当初からアカマツには適さないと考えていた。しかし、実際はアカマツの成績はスギよりも良好であった。

2018-2019 年冬季にそれまでは見られなかった野鼠害が始まり（スギにはそれ以前にも小規模の野鼠害が発生していた）、2019 年春の調査時には生存木 47 個体中 10 個体（21%）への被害が確認された。その後も引き続き主に野鼠害による枯損が増加した。10 年次調査時には植栽 71 個体中生存木はわずか 5 個体であった（生存率 7%）。

周辺林地にはアカマツはほとんど存在せず、それまでにない樹種であったため野鼠の食害がなかったところ、5 年次以降は味を覚えさらにスギよりも好んで食害したのではないかと考えられる。

2024 年秋の 10 年次調査では、生存 5 個体のうち 2 個体はそれぞれ樹高 1.1 m と 2.3 m の芯変わり個体であった。残りの 3 個体は、すべて大きな根曲および幹

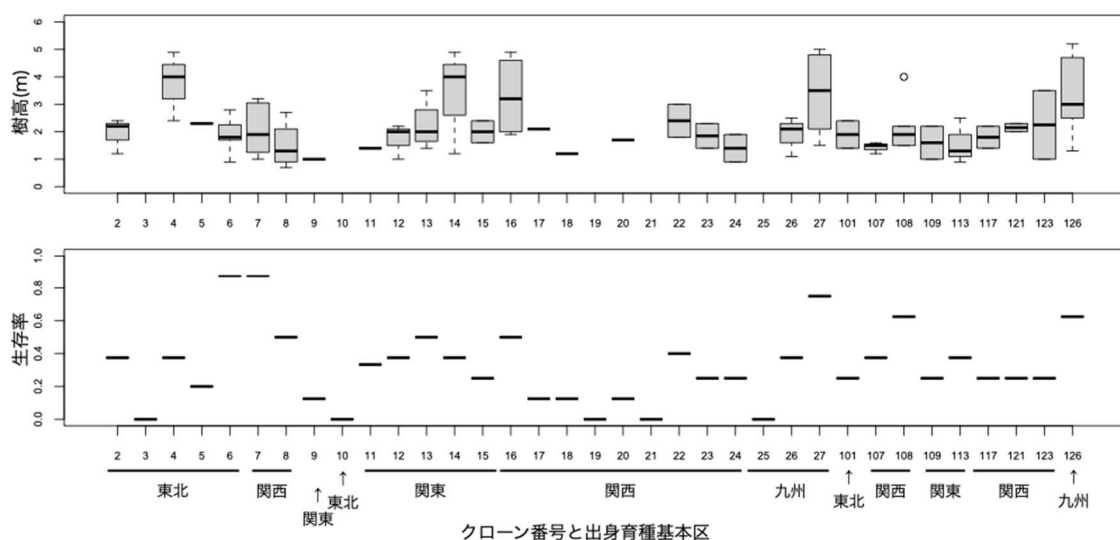


図 4 スギの樹高および生存率のクローン別 2024 年調査結果

箱ひげ図は図 2 と同様

曲があるが、平均樹高は 4m、平均胸高直径は 8cm であり、本州等でのアカマツの成長に比べると劣るものの、順調な成育であったといえる。

### 3.4 スギさし木およびアカマツ広域産地試験地の今後の取り扱い

以上のとおり、スギもアカマツも生存率が低い。スギの成長は著しく悪い。アカマツの生存個体は比較的良好な成長を示しているものの、野鼠害が激甚である。このような現状からは、本試験地の設定目的である広域産地試験の達成は難しいと考えられる。よって、本試験地は成績不良のため廃止とし、別途有効利用することとなった。

本試験は失敗したと結論付けることができるが、アカマツは野鼠の嗜好性が高いという知見を得られたことは本試験の成果ということが可能であろう。アカマツの耐鼠性が低いことはあまり知られていないが、これは北海道において造林実績がほとんどないことが理由かもしれない。東京大学北海道演習林で行われた大規模な針葉樹樹種間差の研究結果（高橋・西口 1966）では、6 段階で評価されたエゾヤチネズミの嗜好性で、アカマツは最も嗜好性の高い I とされている。この I 評価はカラマツと同等でドイツトウヒより高い嗜好性である。

## 4 おわりに

全国で展開しているスギ広域産地試験では、さし木に引き続き実生の試験地が設定されてきた。北海道育種基本区においても実生試験地を設定することとなり、まず、少数家系を用いた実生苗養苗試験を実施し、小規模な試験地を 2021 年春に場内に設定した。実生養苗は特に大きな問題はなく、3 年生裸苗で試験地を設定できた。このスギ広域産地試験園（実生）は、2024 年秋の 4 年次調査結果では、生存率 96%、樹高 2.35 ±

0.71m（平均±標準偏差）と良好な成績を示している。設定場所が異なるため単純に比較できないとはいえ、本報告のさし木試験地の 10 年次の平均樹高を上回る成長をとげた。しかし、2022-2023 冬季に被害率 29%の寒害、2023-2024 冬季にほぼ全ての個体が降雪によって 2 ヶ月近く埋雪被害（冠雪害）を被った。後者の雪害は、平均樹高 1.8m に達していたにもかかわらず、1 個体を除き全ての個体が埋雪状態となり、2024 年春調査では被害率 66%で顕著な幹曲あるいは幹折れが認められた。今後のデータ蓄積により興味深い産地試験が達成できると期待される。これに加え、今後さらに大規模な試験地を設定すべく現在養苗を行っているところである。

アカマツについては、本報告の予備試験結果のとおり、本州・九州・四国に比べ、寒害などの影響もあって成長は大きく劣るものの、養苗には大きな問題が認められなかったことから、本格的な産地試験地を設定した。2021 年春まきつけで、2024 年春に場内に 3 年生裸苗でアカマツ広域産地試験園を設定した。2024 年降雪前の段階では順調な成育であった。北海道育種場場内には広くエゾヤチネズミが生息しており、カラマツ等はしばしば野鼠被害を被る。本報告のとおりアカマツはエゾヤチネズミの嗜好性が高いと考えられることから、2024 年設定のアカマツ広域産地試験園では野鼠防除を行なっていく計画である。

## 5 謝辞

北海道育種場における本試験歴代担当者、山田浩雄博士（現関西育種場長）、大谷雅人博士（故人）、花岡創博士（現静岡大学）に謝意を表す。

## 6 引用文献

高橋延清・西口親雄(1966)平成 12 年度における新品種の開発について. 東大演報, 62, 153-188

# 東北育種基本区におけるスギおよびカラマツの特定母樹への申請の取組と 指定された系統の特性 —令和6年度の取組—

林木育種センター東北育種場 育種課 那須仁弥  
山形県森林研究研修センター 森林資源利用部 宮下智弘・村川直美子<sup>\*1</sup>  
山形県森林研究研修センター 副所長 渡部公一  
新潟県森林研究所 森林・林業技術課 伊藤 由紀子  
新潟県 農林水産部 治山課 番場 由紀子  
東北育種場 育種課 矢野慶介<sup>\*2</sup>・三嶋賢太郎<sup>\*3</sup>・井城泰一

## 1 はじめに

「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法（平成20年法律第32号、最終改正：令和3年法律第15号）」では、特に優良な種苗を生産するための種穂の採取に適し、成長に係る特性の特に優れた樹木を農林水産大臣が特定母樹として指定し、同法の特定間伐等及び特定母樹の増殖の実施の促進に関する基本方針では、特定母樹による造林種苗の生産体制の整備を図ることとされている。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・整備機構の第5期中長期計画（令和3～7年度）の戦略課題「林木育種基盤の充実による多様な優良品種の開発」において、特定母樹の申請を進めている。東北育種場では平成25年以降スギ・カラマツを対象に検定林から特定母樹の申請基準に合致する系統を申請してきた。令和2年度からは東北育種基本区内の県と共同でスギ特定母樹の申請を行っている。本報告では、令和6年度に指定された特定母樹6系統（スギ4系統、カラマツ2系統）について申請の取組経過とそれらの系統の成長等の特性を報告する。

## 2 申請候補個体の選抜方法と指定された個体の特性

申請候補個体の選抜を実施した検定林は、スギについては山形県が設置した東山県17号検定林（山形県西置賜郡小国町）、新潟県が設置した東新県35号検定林（新潟県東蒲原郡阿賀町）、カラマツについては国有林内に設置された東青局34号検定林（岩手県宮古市）である。いずれの検定林にも第1世代精英樹の自然交配苗が植栽されている。

各検定林の設定は東山県17号検定林が1980年、東新県35号検定林が1976年、東青局34号検定林が1977年である。植栽密度は東山県17号検定林が3,500本/ha、

表-1.申請候補個体を選抜した検定林における調査した形質と林齢

樹種	検定林名称	調査林齢			
		成長量	剛性	幹の通直性	雄花着花性
スギ	東山県17号	42	42	44	42,43
スギ	東新県35号	41	47	48	47,48
カラマツ	東青局34号	10	45	47	—

東新県35号検定林が3,000本/ha、東青局34号検定林は4,000本/haとなっている。これらの検定林において申請個体の選抜にかかる調査を行った林齢と対象形質を表-1に示す。

カラマツでは現地調査に先立ち机上で調査個体の選定を行っている。東青局34号検定林の20年次と30年次の定期調査結果からそれぞれの年次において樹高、胸高直径、材積の個体育種価を求め、それぞれの年次で材積の個体育種価の偏差値が55以上かつ樹高、胸高直径、材積の育種価が平均以上の個体に絞り込み、さらに、東北育種基本区カラマツ検定林の20年次における材積の個体育種価が平均以上の個体とした。個体の材積は森林総合研究所「幹材積計算プログラム」（細田ら2010）で、個体育種価はBreedRパッケージ（Muñoz and Sanchez 2025）により算出した。本報告ではBreedR version0.12-4を使用している。

特定母樹の指定基準（林野庁2020）では、スギ、カラマツ共通の調査対象形質は、成長量、剛性、幹の通直性となっている。成長量は、樹高と胸高直径より算出された単木材積が、在来の系統（基準材積）と比較して概ね1.5倍以上であることが基準である。対照個体は、植付け位置が同一ブロック内で申請個体の斜面の上下約5m以内の個体とした。材積は、森林総合研究所「幹材積計算プログラム」を用いて算出した。今回の検定林では、対照個体が精英樹であったことから、精英樹の在来系統に対する材積比率(r)を算出し、対照個体の材積の平均値をrで除し

<sup>\*1</sup> 現在、山形県村山総合支庁森林整備課、<sup>\*2</sup> 現在、北海道育種場育種課、<sup>\*3</sup> 現在、九州育種場育種課



た値を基準材積とした。

剛性は、適切な測定器具を用いて申請個体等の剛性の指標となる値を測定し、10 個体以上の対照個体の平均値より優れていることが基準である。指標には TreeSonic Timer (FAKOPP 社、ハンガリー)を用いて測定された応力波伝播速度を用いた。幹の通直性は、曲がりがないか、曲がりがあっても採材に支障がないことが基準である。現地において曲がりがないことを確認し、写真の撮影を行った。

スギの特定母樹の指定には、上記 3 形質に加えて花粉量一般的なスギのおおむね半分以下であることも指定基準に定められている。着花調査は、申請個体を対象に、自然に着花した雄花着生量を 5 段階で評価した。申請個体の総合指数が 2 以下、かつ対照個体の平均指数よりも低いことが申請基準である。

3 特定母樹の個体特性と保存場所

現地調査の結果から特定母樹の選抜基準を全て満たした個体をスギでは 4 個体、カラマツでは 2 個体選抜し、これらの個体を特定母樹として林野庁に申請した。なお、スギ東育山県 2-548 および 2-549 は東北育種場と山形県森林研究研修センターが共同で、スギ東育新県 2-550 および 2-551 は東北育種場と新潟県森林研究所が共同で、カラマツ東育 2-66 および 2-72 は東北育種場が申請した。申請の結果、これらの個体は農林水産大臣によって全てが特定母樹に指定された。特定母樹に指定された個体の、雄花着花性を除く各特性を表-2 に示す。今回指定された特定母樹は、材積については、スギでは対照

個体に対して 1.62～2.48、カラマツは 2.38～3.82 であり、樹高についてスギの選抜された検定林での対照個体に対する比は 1.15～1.40、カラマツは 1.33～1.50 である。今回指定された特定母樹は、成長、剛性、幹の通直性に優れ、スギについては雄花着花性が低い個体であり、優良な種苗の生産に資することが期待される。

特定母樹に指定されたスギはさし木によりクローン増殖し、山形県内で選抜された 2 個体は、東北育種場奥羽増殖保存園（山形県東根市）と山形県森林研究研修センター（山形県鶴岡市）に、新潟県内で選抜された 2 個体は、東北育種場奥羽増殖保存園と新潟県森林研究所（新潟県村上市）に保存した。カラマツ 2 個体は接ぎ木により増殖し、東北育種場（岩手県滝沢市）に保存した。今後はこれらの個体の増殖を図り、採種園への植栽等を進める予定である。

4 引用文献

細田和男・光田 靖・家原敏郎(2010) 現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法. 森林計画学会誌, 44(2), 23-39

Muñoz F, Sanchez L (2025) breedR: Statistical Methods for Forest Genetic Resources Analysts. R package version 0.12-7. <https://github.com/famuvie/breedR> (2025 年 8 月 14 日アクセス)

林 野 庁 (2020) 別 紙 1 特 定 母 樹 指 定 基 準 . <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/kanbatu/attach/pdf/boju-9.pdf> (2025 年 8 月 14 日アクセス)

表-2.令和6年度に指定された特定母樹の特性

指定番号	樹木の名前	成長量				剛性		幹の通直性	調査を行った検定林
		材積(m <sup>3</sup> )	対象個体に 対する比率	樹高(m)	対象個体に 対する比率	特定母樹 (m/s)	対照個体 (m/s)		
特定6-26	スギ東育山県2-548	0.985	2.09	21.6	1.26	3358	3278	良	東山県17号
特定6-27	スギ東育山県2-549	1.175	2.48	24.0	1.40	3317	3278	良	東山県17号
特定6-28	スギ東育新県2-550	0.750	2.40	22.0	1.29	3789	3672	良	東新県35号
特定6-29	スギ東育新県2-551	0.985	1.62	20.0	1.15	3953	3672	良	東新県35号
特定6-16	カラマツ東育2-66	0.042	3.82	7.5	1.50	4583	4221	良	東青局34号
特定6-17	カラマツ東育2-72	0.019	2.38	6.0	1.33	4290	4221	良	東青局34号

# 関東育種基本区におけるスギ第三世代精英樹候補木の選抜 — 関東 88 号、関共公 5 号での実行結果 —

林木育種センター育種部育種第二課 松下通也・田村明・坪村美代子・土居龍成・高橋優介・  
林木育種センター遺伝資源部探索収集課 武津英太郎・静岡県立農林環境専門職大学 平岡裕一郎・  
静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター 袴田哲司

## 1 はじめに

森林総合研究所林木育種センターでは、森林研究・整備機構第5期中長期計画（令和3～7年度）に基づき、育種対象樹種の次世代精英樹候補木の選抜を進めている。関東育種基本区では、スギ、ヒノキ、カラマツの人工交配等による実生個体の検定林を設定し、育種集団の創出・検定に取り組んできた。検定林の地域的な配置や林齢、交配親である精英樹系統の多様性等を勘案して戦略的に次世代選抜を進め、スギでは令和5年度までに第二世代精英樹候補木 691 個体を選抜している。また第三世代精英樹候補木の選抜も開始し、令和5年度までに 107 個体を選抜している。本稿では、関東育種基本区におけるスギ第三世代精英樹候補木の選抜について、静岡県内の育種試験地・検定林における選抜結果を報告する。

## 2 材料と方法

選抜対象とした育種試験地・検定林の概要を表1に示す。2024 年秋の時点で林齢 10 年であり、これらの試験地には、第一世代精英樹や第二世代精英樹等の優良系統を親とした人工交配（変則ハーフダイヤレル交配）または自然交配に由来する複数家系の実生個体が植栽されている。試験地の設計にあたっては単木混交植栽としている。植栽間隔は、ボサや岩等を避け、概ね 1.8 m～2.0 m である。選抜実施の際に改良対象とした形質は、材積、樹高、胸高直径、幹曲り、根元曲り、応力波伝播速度、ピロディン貫入量、雄花着花性である。幹曲り及び根元曲り、雄花着花性については、目視での5段階の指数評価により実施した。なお樹高および胸高直径等の成長形質は、10 年次以降も 5 年間隔での定期調査（毎木調査）を継続的に実施予定である。材質形質の測定に関しては、各検定林における成長形質の調査結果において、重度の変形木や被圧木を除いて全数個体を対象として実施した。応力波伝播速度は TreeSonic（FAKOPP 社、ハンガリー）を用いて、また材密度指標についてはピロディン（PROCEQ 社、スイス）を

用いて、各個体の地上高 1.2 m 付近で 2 方向より測定した。

樹高および胸高直径の測定データに基づいて、森林総合研究所「幹材積計算プログラム」より各個体の幹材積を算出した。成長形質および材質形質について、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（Dutkowski et al. 2006、Fukatsu et al 2018）を用い、REML 法により分散成分を推定するとともに BLUP 法により各個体の育種価を算出した。本稿の統計解析には R 4.4.1（R Core Team 2024）の breedR パッケージ（Munoz and Sanchez 2019）を用いた。

次世代候補木選抜における優先順位および基準は以下の通りである。1) 成長性：材積育種価が各検定林の家系平均 +0.5×標準偏差の値以上、2) 通直性：根元曲り・幹曲りが各家系の平均相当以上、3) 材質形質：応力波伝播速度の育種価が各家系の平均相当以上、4) 材密度指標：ピロディンに基づく育種価が各家系の平均相当以上、5) 自然着花性：自然着花での雄花着花指数の観察値が各家系の平均相当以下、6) 血縁による制限：各家系（交配組合せ）のうち全兄弟内選抜数は最大 3 個体程度、半兄弟内選抜数は最大 5 個体程度とし、特定の第二世代精英樹（両親）および第一世代精英樹（祖父母）に由来する家系からの選抜に偏らないよう配慮する。これら基準を満たす個体を机上選抜にて候補とし、現地確認をして障害・病虫害等の特段の欠点のない個体を第三世代精英樹候補木として選抜した。

## 3 結果と考察

解析の結果、2 つの育種試験地より 38 個体を第三世代精英樹候補木として選抜した（表 1、表 2）。また本選抜の結果、各検定林母集団の幹材積の平均偏差値を 50 とした際の、選抜した候補木における幹材積の平均偏差値は、それぞれ 63（関東 88 号）、61（関共公 5 号）であった（表 2）。候補木として選抜した個体より 2025 年に荒穂を採取し、さし木増殖を行った。今後、増殖したさし木個体は定植してクローン保存する。

## 4 まとめ

本報告による選抜により、関東育種基本区におけるスギ第三世代精英樹候補木の選抜数は145 個体となった。今回の選抜は、従来の日本の林木育種における選抜年次に比べて若い樹齢での早期選抜であり、高速育種を推進するための取組である。今後、これら第三世代精英樹候補木について、10 年次以降の定期調査における原木の成長成績を確認するとともに、さし木クローンとしての成長や材質、着花性等の評価も進め、優れたものを第三世代精英樹（エリートツリー）として選抜する予定である。着花性等も含めて総合的に特段優れていると判断されるものは優良品種としての開発や特定母樹への申請を目指す。また、これらのスギ第三世代精英樹候補木を交配親とした交配により、さらに第四世代精英樹選抜に向けた育種集団林造成を進めていく計画である。

## 5 謝辞

国有林内に設定させていただいた育種試験地（検定林）である関東88 号の造成・管理において多大なご理解、ご協力いただいた関東森林管理局ならびに天竜森林管理署の皆様には厚く御礼申し上げます。また、関共公5 号は富士市有林に設定させていただいており、その造成・管理において多大なご理解、ご協力いただいた富士市産業交流部林政課の皆さまに厚く御礼申し上げます。本報告の次世代スギ系統を植栽した育種試験地は、静岡県農林技術研究所森林・林業研究センターと林木育種センターとの共同研究課題を通じて共同試験地として設定されたものである。これら試験地は、令和6 年度関東育種基本区特定母樹等普及促進会議での現地検討会や、各種研修会等でも活用されてきており、優良種苗の普及促進活動への貢献における役割も期待される。これまで試験地調査等にご尽力いただいた林木育種センター 高橋誠博士、栗田学博士、三浦真弘博士や、富士市産業交流部林政課 秋山上席主事らをはじめ各機関の関係者らに重ねて厚く御礼申し上げます。

## 6 引用文献

- Dutkowski G, Costa e Silva J, Gilmour A, Wellendorf H, Aguiar A (2006): Spatial analysis enhances modelling of a wide variety of traits in forest genetic trials. Canadian Journal of Forest Research, 36, 1851-1870.
- Fukatsu E, Hiraoka Y, Kuramoto N, Yamada H, Takahashi M (2018): 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.
- Munoz F, Sanchez L (2019) breedR: Statistical Methods for Forest Genetic Resources Analysts. R package version 0.12-4. <https://github.com/famuvie/breedR>.
- R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

表1 第三世代候補木選抜を実施した検定林の概況

試験地名	選抜した第三世代候補木	設定年	所在地	系統数	植栽本数	選抜本数
関東88号	スギ林育3-108~125	2015	静岡県浜松市天竜区 瀬尻国有林839へ	52	552	18
関共公5号	スギ林育3-126~145	2015	静岡県富士市大淵 富士市有林	71	817	20

表2 関東育種基本区において新たに選抜したスギ第三世代候補木

試験地名	候補木名	樹高(m)	直径(cm)	幹曲り	根元曲り	応力波伝搬速度 (m/s)	試験地名	候補木名	樹高(m)	直径(cm)	幹曲り	根元曲り	応力波伝搬速度 (m/s)
関東88号 (10年次)	スギ林育3-108	10.8	13.2	5	5	3401	関共公5号 (10年次)	スギ林育3-126	8.5	15.9	3	4	2513
	スギ林育3-109	9.2	15.0	5	4	2959		スギ林育3-127	8.2	13.0	4	4	2567
	スギ林育3-110	10.1	13.8	5	5	3515		スギ林育3-128	8.7	11.2	4	4	2497
	スギ林育3-111	10.2	16.4	5	5	3017		スギ林育3-129	8.0	12.3	5	5	3231
	スギ林育3-112	11.7	15.2	4	5	3130		スギ林育3-130	8.0	12.8	5	4	2554
	スギ林育3-113	11.3	13.3	5	5	3263		スギ林育3-131	9.1	15.3	4	4	2677
	スギ林育3-114	11.2	15.9	5	4	2903		スギ林育3-132	8.7	13.0	5	5	2577
	スギ林育3-115	11.7	15.6	5	4	3101		スギ林育3-133	8.9	12.9	5	5	2688
	スギ林育3-116	11.3	15.8	5	4	2985		スギ林育3-134	8.7	12.9	5	5	2894
	スギ林育3-117	11.0	13.7	4	3	3072		スギ林育3-135	7.8	11.9	5	5	2729
	スギ林育3-118	10.9	15.8	4	3	3082		スギ林育3-136	8.2	13.0	5	4	2667
	スギ林育3-119	10.1	14.0	4	3	3165		スギ林育3-137	8.9	12.8	5	4	2387
	スギ林育3-120	11.7	15.3	5	5	3328		スギ林育3-138	7.9	10.7	5	4	2706
	スギ林育3-121	12.0	16.8	5	5	3241		スギ林育3-139	8.8	13.8	5	4	2725
	スギ林育3-122	11.6	17.8	5	4	2990		スギ林育3-140	7.8	12.3	5	4	2699
	スギ林育3-123	10.9	15.9	4	5	2907		スギ林育3-141	8.1	11.4	5	3	2494
	スギ林育3-124	11.5	14.2	4	4	2890		スギ林育3-142	8.6	11.5	5	4	2774
	スギ林育3-125	11.1	17.5	5	5	3175		スギ林育3-143	9.3	13.0	4	4	2714
	候補木の平均	11.0	15.3	4.7	4.3	3118		スギ林育3-144	9.3	12.4	5	3	2911
	母集団の平均	10.1	13.4	4.0	3.7	2867		スギ林育3-145	7.8	11.9	5	5	3008
							候補木の平均						
							母集団の平均						
							7.6						

注) 検定林名下の括弧内の年次は選抜に用いた成長形質データの調査年次

# 関西育種基本区におけるスギ第二世代精英樹候補木の選抜 —スギ検定林22号における実行結果—

関西育種場 岩泉正和・高島有哉・宮下久哉<sup>※</sup>・山野遼太郎・小森直哉・村田蒔生<sup>※※</sup>  
・千野怜・河合貴之・竹中拓馬・林田修

## 1 はじめに

関西育種場では、国立研究開発法人森林研究・整備機構第5期中長期計画（令和3年度～令和7年度）に基づき、第二世代精英樹候補木（以下、「候補木」という。）の選抜を進めている。これまでに関西育種基本区のスギについては、一般次代検定林、遺伝試験林等の計20箇所から413個体の候補木を選抜している。候補木の選抜は、成長量の定期調査の結果と立木状態での材質調査の結果等により総合的に評価して行っている。本報告では、令和6年度に実施した新たな候補木の選抜の過程と選抜個体の特性の概要について報告する。

## 2 材料と方法

### (1) 選抜の概要

選抜対象としたスギの検定林は、和歌山県（近畿育種区）に設定されている一般次代検定林のスギ検定林22号である。表1に選抜対象検定林の概要を示す。この検定林には、第一世代精英樹等を親とした人工交配や自然交配に由来する計25家系の実生個体が植栽されている。選抜は、30年次定期調査データを用いて、材積推定値に基づき机上選抜を行った。続いて、現地において机上選抜個体を対象に、根元曲りおよび幹曲りと、ヤング係数の非破壊指標である応力波伝播速度を立木状態で測定し、その結果から候補木を選抜した。机上選抜と現地調査の方法について、以下に詳細を述べる。

### (2) 成長量による机上選抜

評価対象の成長形質として、平成13年度に実施された30年次定期調査データの樹高および胸高直径の個体毎の測定値を用いた。立地環境の違いによる個体の遺伝

的評価への影響を除くため、空間自己相関およびランダム誤差を仮定した線形混合モデルを用いて空間補正樹高および胸高直径を算出した<sup>2)</sup>。当該検定林(3ブロック)は1ブロックと2、3ブロックが離れており、2、3ブロックも植栽角度や行列方向が異なるため、上記の空間補正はブロック別に行うこととし、補正後のデータを全ブロック統合した。そのデータから、ブロックを固定効果に考慮した線形混合モデルに基づき、REML法により個体と家系の分散成分を推定するとともに、BLUP法により各個体とそれらの交配親の育種価を算出した<sup>3)、6)、7)</sup>。以上の空間自己相関解析とBLUP法による育種価解析はRのASReml-Rパッケージを使用した<sup>1)、8)</sup>。

机上選抜では、全体または家系内での材積育種価が高く、定期調査において病虫獣害や気象害等その他の欠点の記録がない個体を選び、材質調査の対象とした。材質調査の対象個体数は、家系による偏りが大きくならないよう、家系あたり各ブロック6個体までとした。

なお、材積育種価は、樹高および胸高直径の育種価を用いて、森林総合研究所「幹材積計算プログラム」により算出した<sup>4)</sup>。

### (3) 曲りおよび材質調査

54年次となる令和6年12月に、現地調査として机上選抜個体について根元曲りと幹曲りをそれぞれ5段階で指数評価した。また、材質調査として、立木の胸高部位における応力波伝播速度を、ツリーソニック(TreeSonic、FAKOPP社、ハンガリー)を用いて測定した。測定にあたり、センサー間の距離は胸高部位を中心に1mとり、斜面方向に対して直角となる2方向で行った。材質の評価は、応力波伝播速度の表現型値を用いた。

表1 選抜した検定林の概要

検定林	設定年月	所在地	家系数	反復数	植栽本数
スギ検定林22号	1971年10月	和歌山県伊都郡高野町 高野山国有林	25	3	4,500*

\*各家系5列×12行=60本プロット。定期成長調査ではそのうち真中の3列×12行(計2,700本)を対象に実施。

※ 故人（令和7年4月逝去）

※※ 現在 林木育種センター 指導普及・海外協力部 海外協力課

加えて各個体について、30 年次定期調査での被害および欠点等の記録に不備がないことを確認した。

#### (4) 候補木の選抜

以上の調査結果に基づき、候補木は基本的には、1) 成長性：材積育種価の検定林内全解析個体における偏差値が 55 以上、2) 通直性：根元曲り・幹曲りが 5 段階指数でともに 3 以上、3) 材質：応力波伝播速度が机上選抜集団の平均値以上、4) 血縁による制限：過去に選抜された候補木も含め、全兄弟および半兄弟内の選抜数を確認し、特定の第一世代精英樹に由来する家系からの選抜に偏らないよう配慮、といった基準により選抜した。その他、病虫獣害・気象害等の特段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。しかし、次世代育種集団に関与していない第一世代精英樹に由来する一部の個体については、育種集団における選抜母集団の多様性拡充の観点から、上記基準に達していない家系内上位の個体についても候補木として選抜することとした。

### 3 結果と考察

机上選抜時の解析対象個体数は、調査対象個体における植栽時 2,700 個体（表 1 を参照）のうち 30 年次調査の際に生存していた 2,180 個体である。30 年次の樹高および胸高直径の平均値±標準偏差は、10.7±3.2m および

12.2±3.7cm であった。机上選抜により選ばれたのは、25 家系 206 個体である。机上選抜個体について、材質調査に先立ち現地で曲りの評価を実施した結果、179 個体が根元曲りおよび幹曲りの指数評価値がともに 3 以上であり、これらについて材質調査を実施することとした。

30 年次の生存個体数に対する材質調査実施個体の選抜強度は 8.2% であった。材質調査の結果、応力波伝播速度の平均値±標準偏差は、3,736±268m/s であり、机上選抜個体 179 個体のうち 93 個体が平均値以上であった。

以上の調査・解析結果を総合的に評価して、今回、当該検定林では 17 家系から計 28 個体の候補木を選抜した。表 2 に選抜したスギ第二世代精英樹候補木の一覧を示す。これら選抜木の樹高、胸高直径、応力波伝播速度の平均値±標準偏差は、16.0±3.0m、19.6±3.7cm、3,932±161m/s である。

今回選抜した候補木の平均値は、選抜対象とした母集団と比較して、樹高が約 1.50 倍、胸高直径が約 1.61 倍となっており、また応力波伝播速度についても選抜木は調査した机上選抜全個体と比較して約 1.05 倍であり、成長と材質に優れた個体を選抜することができた。

今回選抜したスギ第二世代精英樹候補木については、令和 7 年 4 月に採穂を実施し、現在場内保存のためのさし木増殖個体を育成中である。

表 2 選抜した候補木の一覧

系統名	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	幹曲 り	根元曲 り	AR補正材積 偏差値	応力波伝播速 度 (m/s)
スギ西育2-414	12.5	18.0	5	4	55.2	4,110
スギ西育2-415	14.0	19.0	3	3	51.5	3,866
スギ西育2-416	13.0	16.0	4	5	56.4	4,107
スギ西育2-417	14.0	17.0	5	5	58.5	3,877
スギ西育2-418	15.0	17.0	4	4	55.2	4,073
スギ西育2-419	18.5	23.0	3	4	51.6	3,795
スギ西育2-420	14.5	19.0	4	4	53.0	3,914
スギ西育2-421	15.5	19.0	5	5	68.0	4,237
スギ西育2-422	19.0	28.0	3	5	73.8	3,854
スギ西育2-423	20.0	22.0	4	5	52.3	3,937
スギ西育2-424	19.0	20.0	3	4	53.7	4,329
スギ西育2-425	21.0	17.0	5	3	56.1	3,992
スギ西育2-426	17.0	20.0	4	5	52.3	4,158
スギ西育2-427	17.0	20.0	4	4	58.7	3,891
スギ西育2-428	12.5	18.0	4	5	51.7	3,828
スギ西育2-429	14.0	16.0	4	4	63.5	3,952
スギ西育2-430	15.0	16.0	3	4	63.3	4,038
スギ西育2-431	14.0	17.0	4	4	57.3	3,868
スギ西育2-432	17.0	21.0	3	4	58.4	3,945
スギ西育2-433	15.0	18.0	4	5	53.3	3,630
スギ西育2-434	8.0	15.0	4	4	45.7	3,738
スギ西育2-435	13.5	17.0	4	4	50.8	3,914
スギ西育2-436	17.5	20.0	3	4	52.5	3,810
スギ西育2-437	17.5	20.0	5	3	50.6	3,976
スギ西育2-438	21.0	30.0	5	4	56.2	3,704
スギ西育2-439	17.0	23.0	5	4	55.4	3,810
スギ西育2-440	16.0	17.0	4	5	52.4	3,752
スギ西育2-441	20.0	26.0	5	3	64.4	4,008
候補木の平均	16.0	19.6				3,933
母集団の平均	10.7	12.2				3,736

表 3 関西育種基本区のスギ次世代育種分集団の構造と第二世代精英樹候補木の選抜状況（令和 6 年度末時点）

分集団	選抜検定林		第二世代精英樹候補木	
	コード	設定年度	選抜年度	番号
1	1001	1975	2006	1-81
	6958	1974	2008	139-143
	F51, F53, F68, F71	1970~1974	2007	82-138
2	1002	1976	2008	144-149
	2286	1990	2020	334-343
	2289	1991	2021	354-365
4	2285	1990	2019	319-333
	2287	1990	2020	344-353
	2269	1987	2013	150-166
5	2259 <sup>*1</sup>	1975	2014	186-204 <sup>*1</sup>
	6179	1993	2017	298-318
	2256 <sup>*1</sup>	1972	2014	167-185 <sup>*1</sup>
7	2261 <sup>*1</sup>	1976	2015	205-219 <sup>*1</sup>
	2262 <sup>*1</sup>	1976	2015	220-239 <sup>*1</sup>
	2254 <sup>*1,*2</sup>	1971	2024	414-427
8	1804 <sup>*1</sup>	1985	(2025予定)	
	W0001	2001~2003	(2025予定)	
	2256, 2259, 2261, 2262 <sup>*1</sup>	1972~1976	2014~2015	167-239 <sup>*1</sup>
10	2254 <sup>*1,*2</sup>	1971	2024	428-441
	1804 <sup>*1</sup>	1985	(2025予定)	
	0886	1977	2016	240-258
12	0887	1977	2021	379-389
	1694	1981	2017	284-297
	1598	1980	2021	366-378
13	1692	1981	2016	259-283
	1828	1983	2022	390-413
	6226	2009	(2025予定)	

\*1 複数の分集団用に分けて選抜（予定）

\*2 今回選抜を報告したスギ検定林22号

#### 4 まとめ

本報告による選抜により、関西育種基本区のスギ第二世代精英樹候補木の個体数は計 441 個体となった。著者らは令和 6 年度、関西育種基本区のスギについて、種苗配布区域や育種区、血縁管理や今後の育種スケジュール等を考慮して、体系的に次世代育種を進めるために育種集団を 18 の分集団に再編成した<sup>5)</sup>。今回の選抜では第 8、11 分集団において第二世代精英樹候補木を選抜したこととなり(表 3)、今後、残る分集団についても選抜を実施するとともに、育種集団の拡充のため第一世代の実生後代検定林等から追加選抜も進めていく予定である。これらの第二世代精英樹候補木は形質評価を進め、優れたものについては第二世代精英樹(エリートツリー)として開発し、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こととしている。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、第三世代選抜に向けた準備を進める計画である。

最後に、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近畿中国森林管理局、和歌山森林管理署の皆様、および林木育種センターの関係者に深く御礼申し上げます。

#### 5 引用文献

- 1) Butler DG, Cullis BR, Gilmour AR, Gogel BG, Thompson R (2017) : ASReml-R Reference Manual Version 4. VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK. <https://www.vsnl.co.uk>
- 2) Costae Silva J, Dutkowski GW, Gilmour AR (2001) : Analysis of early tree height in forest genetic trials is enhanced by including a spatially correlated residual. Can J For Res 31: 1887-1893
- 3) 武津英太郎 (2021) : 森林遺伝育種のデータ解析方法 (実践編 3) BLUP 法. 森林遺伝育種 10 : 49-53
- 4) 細田和男・光田靖・家原敏郎 (2010) : 現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法. 森林計画学会誌 44 : 23-39
- 5) 岩泉正和・宮下久哉・高島有哉・河合慶恵・山野邊太郎 (2024) : 関西育種基本区におけるスギの次世代育種の検討. 森林遺伝育種学会大会講演要旨集 13 : 22

- 6) 栗延晋 (2009) : 林木育種のための統計解析 (13) — BLUP 法を用いた系統評価:Sire モデルの適用事例 —. 林木の育種 232 : 64-67
- 7) 栗延晋 (2009) : 林木育種のための統計解析 (14) — BLUP 法を用いた個体評価:Animal モデルの適用事例 —. 林木の育種 233 : 47-51
- 8) R Core Team (2019) : R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

# 関西育種基本区におけるヒノキ第二世代精英樹候補木の選抜 —四高局7号および西大阪局16号における実行結果—

関西育種場 岩泉正和・高島有哉・宮下久哉<sup>※</sup>・山野邊太郎・小森直哉・竹中拓馬

## 1 はじめに

関西育種場では、国立研究開発法人森林研究・整備機構第5期中長期計画（令和3年度～令和7年度）に基づき、第二世代精英樹候補木（以下、「候補木」という。）の選抜を進めている。これまでに関西育種基本区のヒノキについては、一般次代検定林、遺伝試験林、育種集団林等の計18箇所から284個体の候補木を選抜している。候補木の選抜は、成長量の定期調査の結果と立木状態での材質調査の結果等により総合的に評価して行っている。本報告では、令和6年度に実施した新たな候補木の選抜の過程と選抜個体の特性の概要について報告する。

## 2 材料と方法

### (1) 選抜の概要

選抜対象としたヒノキの検定林は、高知県（四国南部育種区）に設定されている一般次代検定林の四高局7号と広島県（瀬戸内海育種区）に設定されている一般次代検定林の西大阪局16号である。表1に選抜対象検定林の概要を示す。この検定林には、第一世代精英樹等を親とした人工交配や自然交配に由来するそれぞれ計23家系、24家系の実生個体が植栽されている。選抜は、30年次定期調査データを用いて、材積推定値と根元曲り・幹曲りの評価値に基づき机上選抜を行った。続いて、現地において机上選抜個体を対象に、ヤング係数の非破壊指標である応力波伝播速度を立木状態で測定し、その結果から候補木を選抜した。机上選抜と現地調査の方法について、以下に詳細を述べる。

### (2) 成長量による机上選抜

評価対象の成長形質として、2検定林でそれぞれ平成12年度、平成19年度に実施された30年次定期調査データの樹高および胸高直径の個体毎の測定値を用いた。各検定林において、立地環境の違いによる個体の遺伝的評価への影響を除くため、空間自己相関およびランダム誤差を仮定した線形混合モデルを用いて空間補正樹高および胸高直径を算出した<sup>2)</sup>。西大阪局16号（全6ブロック）は空間的に1ブロック、2ブロック、3～6ブロックに分かれており、空間補正は上記の3箇所別に行うこととし、補正後のデータを全ブロック統合した。そのデータから、各検定林について、ブロックを固定効果に考慮した線形混合モデルに基づき、REML法により個体と家系の分散成分を推定するとともに、BLUP法により各個体とそれらの交配親の育種価を算出した<sup>3)、5)、6)</sup>。以上の空間自己相関解析とBLUP法による育種価解析はRのASRem1-Rパッケージを使用した<sup>1)、7)</sup>。

机上選抜では、全体または家系内での材積育種価が高く、定期調査において根元曲りや幹曲り、病虫害や気象害等その他の欠点の記録がない個体を選び、材質調査の対象とした。材質調査の対象個体数は、家系による偏りが大きくなるように、家系あたり各ブロック5個体までとした。

なお、材積育種価は、樹高および胸高直径の育種価を用いて、森林総合研究所「幹材積計算プログラム」により算出した<sup>4)</sup>。

表1 選抜した検定林の概要

検定林	設定年月	所在地	家系数	反復数	植栽本数
四高局7号	1971年3月	高知県高岡郡四十万町森ヶ内山国有林	23	3	4,350*
西大阪局16号	1977年11月	広島県廿日市市篠ヶ原山国有林	24	6	3,360

\*各家系50～100本プロット。定期成長調査ではそのうち30本（計1,880本）を対象に実施。

<sup>※</sup> 故人（令和7年4月逝去）



### (3) 材質調査

2 検定林でそれぞれ 54 年次、47 年次となる令和 7 年 1 月および令和 6 年 12 月に、机上選抜個体を対象に、現地で材質調査として、立木の胸高部位における応力波伝播速度を、ツリーソニック（TreeSonic、FAKOPP 社、ハンガリー）を用いて測定した。測定にあたり、センサー間の距離は胸高部位を中心に 1m とり、斜面方向に対して直角となる 2 方向で行った。材質の評価は、応力波伝播速度の表現型値を用いた。加えて各個体について、30 年次定期調査での曲りの評価や被害、欠点等の記録に不備がないことを確認した。

### (4) 候補木の選抜

以上の調査結果に基づき、今回の 2 検定林では特に、次世代育種集団に関与が少ない第一世代精英樹に由来する家系に着目して候補木の選抜を行った。候補木は基本的には、1) 成長性：材積育種値の検定林内全解析個体における偏差値が 55 以上、2) 通直性：根元曲り・幹曲りが 5 段階指数とともに 3 以上、3) 材質：応力波伝播速度が机上選抜集団の平均値以上、4) 血縁による制限：過去に選抜された候補木も含め、全兄弟および半兄弟内の選抜数を確認し、特定の第一世代精英樹に由来する家系からの選抜に偏らないよう配慮、といった基準により

表 2 選抜した候補木の一覧

四高局7号						
系統名	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	幹曲 り	根元曲 り	AR補正材積 偏差値	応力波伝播速 度 (m/s)
ヒノキ西育2-301	16.3	22.2	5	4	46.4	4.640
ヒノキ西育2-302	15.2	22.6	3	4	49.1	4.474
ヒノキ西育2-303	15.5	23.2	5	5	49.4	4.751
ヒノキ西育2-304	16.8	23.0	5	3	49.6	4.640
候補木の平均	16.0	22.8				4.626
母集団の平均	13.4	18.1				4.545

西大阪局16号						
系統名	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	幹曲 り	根元曲 り	AR補正材積 偏差値	応力波伝播速 度 (m/s)
ヒノキ西育2-305	14.0	19.0	5	4	55.1	4.707
ヒノキ西育2-306	17.4	23.0	4	4	56.0	4.640
ヒノキ西育2-307	14.3	16.0	4	4	74.8	4.673
ヒノキ西育2-308	14.9	18.0	4	4	57.3	4.629
ヒノキ西育2-309	12.7	17.0	4	4	62.5	4.718
ヒノキ西育2-310	11.9	25.0	5	4	58.3	4.491
ヒノキ西育2-311	12.1	20.0	4	5	58.9	4.564
ヒノキ西育2-312	14.0	22.0	4	5	65.2	4.651
ヒノキ西育2-313	13.5	19.0	4	4	57.9	4.396
ヒノキ西育2-314	15.8	19.0	4	3	68.3	4.515
ヒノキ西育2-315	12.0	20.0	5	4	64.5	4.673
ヒノキ西育2-316	15.0	21.0	3	3	67.7	4.785
ヒノキ西育2-317	16.7	22.0	4	4	56.9	4.410
ヒノキ西育2-318	17.1	21.0	4	3	65.5	4.607
ヒノキ西育2-319	15.9	25.0	4	3	60.6	4.773
ヒノキ西育2-320	13.7	21.0	3	3	40.1	4.556
ヒノキ西育2-321	14.9	24.0	4	3	68.8	4.474
候補木の平均	14.5	20.7				4.604
母集団の平均	11.8	15.3				4.505

選抜した。その他、病虫獣害・気象害等の特段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。しかし今回、育種集団における選抜母集団の多様性拡充（これまで寄与のない（少ない）第一世代親の取り込み）の観点から、上記基準に達していない家系内上位の個体についても候補木として選抜することとした。

## 3 結果と考察

机上選抜時の解析対象個体数は、四高局 7 号については調査対象個体における植栽時 1,880 個体（表 1 を参照）のうち 30 年次調査の際に生存していた 1,037 個体、西大阪局 16 号については植栽時 3,360 個体のうち 30 年次調査の際に生存していた 1,714 個体である。30 年次の樹高および胸高直径の平均値±標準偏差は、2 検定林でそれぞれ  $13.4 \pm 2.3$  m および  $18.1 \pm 4.4$  cm、 $11.8 \pm 2.4$  m および  $15.3 \pm 3.8$  cm であった。机上選抜により選ばれたのは、2 検定林でそれぞれ 8 家系 26 個体、24 家系 165 個体である。机上選抜個体について、材質調査を実施した結果、応力波伝播速度の平均値±標準偏差は、2 検定林でそれぞれ  $4,545 \pm 218$  m/s、 $4,505 \pm 191$  m/s であり、それぞれ机上選抜 26 個体のうち 13 個体、165 個体のうち 82 個体が平均値以上であった。

以上の調査・解析結果を総合的に評価して、今回、当該 2 検定林のうち四高局 7 号では 2 家系から計 4 個体、西大阪局 16 号では 9 家系から計 17 個体の候補木をそれぞれ選抜した。表 2 に選抜したヒノキ第二世代精英樹候補木の一覧を示す。これら選抜木の樹高、胸高直径、応力波伝播速度の平均値±標準偏差は、四高局 7 号では  $16.0 \pm 0.7$  m、 $22.8 \pm 0.4$  cm、 $4,626 \pm 114$  m/s、西大阪局 16 号では  $14.5 \pm 1.7$  m、 $20.7 \pm 2.6$  cm、 $4,603 \pm 118$  m/s である。

今回選抜した候補木の平均値は、解析対象とした母集団または机上選抜全個体と比較して、四高局 7 号では樹高が約 1.19 倍、胸高直径が約 1.25 倍、応力波伝播速度が約 1.02 倍、また西四国局 16 号では樹高が約 1.23 倍、胸高直径が約 1.35 倍、応力波伝播速度が約 1.02 倍となっており、成長と材質に優れた個体を選抜することができた。

今回選抜したヒノキ第二世代精英樹候補木については、それぞれ令和 7 年 1 月および 4 月に採穂を実施し、現在

場内保存のためのさし木増殖個体を育成中である。

[project.org/](https://project.org/)

#### 4 まとめ

本報告による選抜により、関西育種基本区のヒノキ第二世代精英樹候補木の個体数は計 305 個体となった。これらの第二世代精英樹候補木は形質評価を進め、優れたものについては第二世代精英樹（エリートツリー）として開発し、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こととしている。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、第三世代選抜に向けた準備を進める計画である。

最後に、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四国森林管理局、近畿中国森林管理局および四万十森林管理署、広島森林管理署の皆様、および林木育種センターの関係者に深く御礼申し上げます。

#### 5 引用文献

- 1) Butler DG, Cullis BR, Gilmour AR, Gogel BG, Thompson R (2017) : ASReml-R Reference Manual Version 4. VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK. <https://www.vsnl.co.uk>
- 2) Costae Silva J, Dutkowski GW, Gilmour AR (2001) : Analysis of early tree height in forest genetic trials is enhanced by including a spatially correlated residual. Can J For Res 31: 1887-1893
- 3) 武津英太郎 (2021) : 森林遺伝育種のデータ解析方法 (実践編 3) BLUP 法. 森林遺伝育種 10 : 49-53
- 4) 細田和男・光田靖・家原敏郎 (2010) : 現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法. 森林計画学会誌 44 : 23-39
- 5) 栗延晋 (2009) : 林木育種のための統計解析 (13) — BLUP 法を用いた系統評価:Sire モデルの適用事例一. 林木の育種 232 : 64-67
- 6) 栗延晋 (2009) : 林木育種のための統計解析 (14) — BLUP 法を用いた個体評価:Animal モデルの適用事例一. 林木の育種 233 : 47-51
- 7) R Core Team (2019) : R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

# クヌギ精英樹実生採種園における第4世代選抜までの改良効果の推移

関西育種場 山田浩雄・山口秀太郎・河合貴之 遺伝資源部 磯田圭哉 九州育種場 久保田正裕

## 1 はじめに

クヌギ (*Quercus acutissima* Carruth.) は東北地方以南の暖温帯に広く分布し、古くからしいたけ原木や薪炭材などとして利用され、造林用種苗の生産が行われてきた。林木育種の分野では、1979年から「しいたけ原木育種事業」が実施され、多くの精英樹（優良個体）が選抜されたが（大庭・勝田 1991）、クヌギはつぎ木台木と穂木との間に生じる不親和性のため、つぎ木増殖の難度が高く、精英樹によるクローン採種園の造成や優良種子の生産は滞っている。このようなクローン増殖が困難な樹種や着果の早い早生樹種では、実生採種園の家系内選抜による改良方法（実生採種園方式）が有効である（山田ほか 2011）。本研究では、クローン増殖が困難なクヌギを対象に、実生採種園の造成と家系内選抜の繰り返しによる改良効果の推移を検討した。なお、本研究は第5期中長期計画の次世代育種集団の構築及びエリートツリー等の選抜・評価の一環として取りまとめた。

## 2 実生採種園の造成と遺伝獲得量の推定方法

実生採種園による改良は、①優良個体（第n世代）からのオープン種子の採取、②Fn実生採種園の造成、③家系内選抜と優良個体（第n+1世代）を残した間伐、④優良個体（第n+1世代）からのオープン種子の採取を繰り返す。本研究では、1994年から2024年にかけて、しいたけ原木精英樹として選抜された優良個体を第1世代とし、F1、F2、F3実生採種園を経て第4世代優良個体の選抜とF4実生採種園造成のためのオープン種子の採取まで行った。オープン種子の採取にあたっては、第1世代の由来がなるべく異なる家系からの採取に努めた。

実生採種園での次世代選抜により期待される遺伝獲得量は、優良個体（次世代）を家系内選抜した時の成長データを用いて分散分析を行い、次式により推定した（栗延 2007）。

$$G = S_w \times h_w^2 = i_w \times \delta_w \times \frac{(3/4)\delta_A^2}{\delta_w^2}$$

$G$ ：遺伝獲得量、 $S_w$ ：プロット内選抜差、 $h_w^2$ ：家系の遺伝率、 $i_w$ ：プロット内選抜強度、 $\delta_w$ ：プロット内変異の標準偏差、 $\delta_A^2$ ：相加的遺伝分散をそれぞれ示す。

## 3 結果

### 3.1 F1実生採種園の造成と第2世代の選抜効果

林木育種センター関西育種場四国増殖保存園（高知県香美市）のクヌギ第1世代優良個体（精英樹、P）のクローン集植所（12地番、精英樹51クローンを保存）から得られたオープン種子22家系を用いて、同保存園内にF1実生採種園を造成した（18-2地番、表1）。このF1実生採種園は、播種後1成長期経過した苗木を用いて、2回反復の乱塊法（4~9個体/1プロット）で設定した。播種後4成長期経過時点における樹高成長データを基に、幹の通直性等を加味して各プロットから第2世代優良個体を1~2個体選抜し（上位25%の家系内選抜）、その他の個体は間伐・淘汰した（図1）。

樹高の改良効果について、F1実生採種園の播種後4成長期経過時点における平均樹高は3.35mであり、分散分析の結果、有意な家系間差が認められた（表5）。家系の遺伝率は0.321で、第2世代優良個体（61個体）を残し、その他の個体を間伐・淘汰することによる選抜差は0.55m、次世代での遺伝獲得量の期待値は0.18mと計算され、樹高成長については5.3%の改良効果が期待された（表5）。なお、胸高直径の測定は行われていない。

### 3.2 F2実生採種園2か所の造成と第3世代の選抜効果

#### 3.2.a F2(a)実生採種園

間伐が終了したF1実生採種園（18-2地番）から得られたオープン種子22家系を用いて、四国増殖保存園内にF2(a)実生採種園を2006年に造成した（13地番、表2）。このF2(a)実生採種園は、播種後2成長期経過した苗木を用いて、3回反復の単木混交（7個体/1家系・1ブロック）で設定した。播種後6成長期経過時点における樹高成長データを基に、幹の通直性等を加味して各ブロックの各家系から第3世代優良個体を1個体選抜し

表1 F1実生採種園の造成と施業経過

年	月	施業
1994年	10月	採種(クローン集植所)←第1世代
1995年	4月	播種
1996年	3月	設定(播種後1成長期後)
1998年	11月	調査(播種後4成長期後)
1999年	6月	間伐(家系内選抜)
第2世代優良個体の選抜		
位置:	四国増殖保存園(高知県香美市)	
系統:	第1世代しいたけ原木精英樹オープン22家系	
設計:	2回反復乱塊法(4~9本/プロット)	
本数:	植栽258本→間伐後61本	

表2 F2(a)実生採種園の造成と施業経過

年	月	施業
2003年	10月	採種(F1実生採種園)←第2世代
2004年	4月	播種
2006年	3月	設定(播種後2成長期後)
2009年	10月	調査(播種後6成長期後)
2010年	1月	間伐(家系内選抜)
第3世代優良個体の選抜		
位置:	四国増殖保存園(高知県香美市)	
系統:	第2世代優良個体オープン22家系	
設計:	3回反復単木混交(7本/家系・ブロック)	
本数:	植栽462本→間伐後66本	

表3 F2(b)実生採種園の造成と施業経過

年	月	施業
2007年	10月	採種(F1実生採種園)←第2世代
2008年	4月	播種
2009年	2月	設定(播種後1成長期後)
2013年	11月	調査(播種後6成長期後)
2014年	3月	間伐(家系内選抜)
第3世代優良個体の選抜		
位置:	四国増殖保存園(高知県香美市)	
系統:	第2世代優良個体ほかオープン28家系	
設計:	1~4回反復乱塊法(4本/プロット)	
本数:	植栽288本→間伐後69本	

表4 F3実生採種園の造成と施業経過

年	月	施業
2014年	10月	採種(F2(a)実生採種園)←第3世代
2014年	12月	播種
2015年	12月	設定(播種後1成長期後)
2020年	2月	調査(播種後5成長期後)
2020年	11月	間伐(家系内選抜)
第4世代優良個体の選抜		
位置:	四国増殖保存園(高知県香美市)	
系統:	第3世代優良個体ほかオープン22家系	
設計:	3回反復乱塊法(5本/プロット)	
本数:	植栽330本→間伐後65本	

(上位 14%の家系内選抜)、その他の個体は間伐・淘汰した(図2)。

樹高の改良効果について、F2(a)実生採種園の播種後6成長期経過時点における平均樹高は7.22mであり、有意な家系間差が認められた(表6(1))。家系の遺伝率は0.122で、第3世代優良個体(66個体)を残し、その他の個体を間伐・淘汰することによる選抜差は1.29m、次

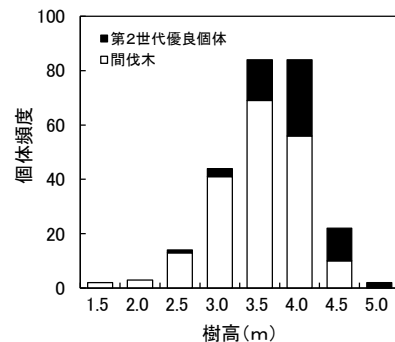


図1 F1実生採種園の樹高階別頻度分布と第2世代優良個体の選抜

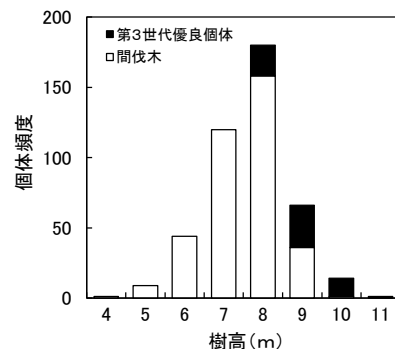


図2 F2(a)実生採種園の樹高階別頻度分布と第3世代優良個体の選抜

世代での遺伝獲得量の期待値は0.16mと計算され、樹高成長については2.2%の改良効果が期待された(表6(1))。

胸高直径の改良効果について、播種後6成長期経過時点における平均直径は6.89cmであったが、家系間差は有意ではなかった(表6(2))。家系の遺伝率は0.092で、第3世代優良個体(66個体)の選抜差は1.84cm、次世代での遺伝獲得量の期待値は0.17cmと計算され、直径成長については2.5%の改良効果が期待された(表6(2))。

### 3.2.b F2(b) 実生採種園

間伐が終了したF1実生採種園(18-2地番)から得られたオープン種子23家系と対照として第1世代優良個体(精英樹、P)のクローン集植所(不寒冬事業地、50地番)から得られたオープン種子3家系及び高知県と鳥取県の山林種苗組合から購入した種子2系統の合わせて28家系(系統)を用いて、四国増殖保存園内にF2(b)実生採種園を2009年に造成した(35-2地番、表3)。このF2(b)実生採種園は、播種後1成長期経過した苗木を用いて、1~4回反復の乱塊法(4個体/1プロット)で設定した。播種後6成長期経過時点における樹高成長デ

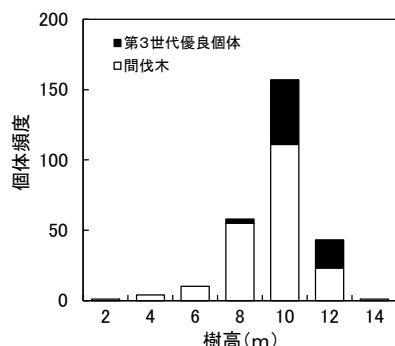


図3 F2(b) 実生採種園の樹高階別頻度分布と第3世代優良個体の選抜

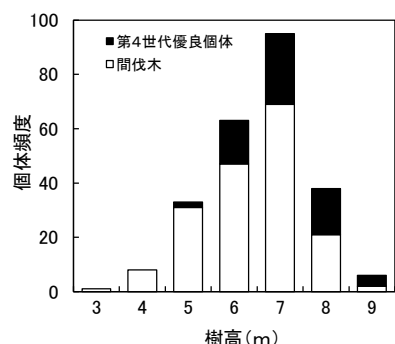


図4 F3 実生採種園の樹高階別頻度分布と第4世代優良個体の選抜

ータを基に、幹の通直性等を加味して各ブロックの各家系から第3世代優良個体を1個体選抜し(上位25%の家系内選抜、対照からも同様に選抜)、その他の個体は間伐・淘汰した(図3)。

樹高の改良効果について、F2(b) 実生採種園の播種後6成長期経過時点における平均樹高は8.64mであり、有意な家系間差が認められた(表7(1)、図5)。家系の遺伝率は0.514で、第3世代優良個体(69個体)を残し、その他の個体を間伐・淘汰することによる選抜差は1.39m、次世代での遺伝獲得量の期待値は0.71mと計算され、樹高成長については8.3%の改良効果が期待された(表7(1))。

胸高直径の改良効果について、播種後6成長期経過時点における平均直径は6.37cmであり、有意な家系間差が認められた(表7(2)、図6)。家系の遺伝率は0.450で、第3世代優良個体(69個体)の選抜差は1.58cm、次世代での遺伝獲得量の期待値は0.71cmと計算され、直径成長については11.1%の改良効果が期待された(表7(2))。

### 3.3 F3 実生採種園の造成と第4世代の選抜効果

表5 F1 実生採種園の分散分析結果と遺伝的パラメータ  
樹高

	自由度	平均平方	有意確率	分散成分
反復	1	2.903	0.001	
家系	21	0.728	0.000	0.027
反復×家系	21	0.442	0.025	0.036
誤差	211	0.252		0.252
間伐前の平均樹高=3.35m				家系の遺伝率=0.321
第2世代選抜の選抜差=0.55m				遺伝獲得量=0.18m
選抜差の割合(選抜差/平均)=0.164				改良効果=5.3%

表6 F2(a) 実生採種園の分散分析結果と遺伝的パラメータ  
(1) 樹高

	自由度	平均平方	有意確率	分散成分
反復	2	17.976	0.000	
家系	21	1.731	0.010	0.037
反復×家系	42	1.001	0.312	0.014
誤差	366	0.908		0.908
間伐前の平均樹高=7.22m				家系の遺伝率=0.122
第3世代選抜の選抜差=1.29m				遺伝獲得量=0.16m
選抜差の割合(選抜差/平均)=0.179				改良効果=2.2%

(2) 胸高直径

	自由度	平均平方	有意確率	分散成分
反復	2	10.430	0.004	
家系	21	2.810	0.069	0.057
反復×家系	42	1.700	0.625	0.000
誤差	366	1.850		1.853
間伐前の平均直径=6.89cm				家系の遺伝率=0.092
第3世代選抜の選抜差=1.84cm				遺伝獲得量=0.17cm
選抜差の割合(選抜差/平均)=0.267				改良効果=2.5%

間伐が終了したF2(a) 実生採種園(13地番)から得られたオープン種子20家系と対照としてF1 実生採種園(18-2地番)から得られたオープン種子2家系の合わせて22家系を用いて、四国増殖保存園内にF3 実生採種園を2015年に造成した(14地番、表4)。このF3 実生採種園の造成のため、オープン種子を採取したF2(a) 実生採種園(13地番)は伐採し、F3 実生採種園はその跡地の一部と隣接するヒノキ集植所跡地に、播種後1成長期経過した苗木を用いて、3回反復の乱塊法(5個体/1プロット)で設定した。播種後5成長期経過時点における樹高成長データを基に、幹の通直性等を加味して各プロットから第4世代優良個体を1個体選抜し(上位20%の家系内選抜、対照からも同様に選抜)、その他の個体は間伐・淘汰した(図4)。

樹高の改良効果について、F3 実生採種園の播種後5成長期経過時点における平均樹高は6.04mであったが、家系間差は有意ではなかった(表8(1))。家系の遺伝率は0と計算された。第4世代優良個体(65個体)を残し、その他の個体を間伐・淘汰することによる選抜差は0.98mであったが、遺伝率が0と計算されたため、次世

表7 F2(b)実生採種園の分散分析結果と遺伝的パラメータ  
(1) 樹高

	自由度	平均平方	有意確率	分散成分
反復	3	4.810	0.051	
家系	27	4.920	0.000	0.313
反復×家系	41	1.960	0.359	0.037
誤差	202	1.820		1.824
間伐前の平均樹高=8.64m		家系の遺伝率=0.514		
第3世代選抜の選抜差=1.39m		遺伝獲得量=0.71m		
選抜差の割合(選抜差/平均)=0.161		改良効果=8.3%		

(2) 胸高直径

	自由度	平均平方	有意確率	分散成分
反復	3	6.430	0.044	
家系	27	4.934	0.002	0.351
反復×家系	41	1.589	0.930	0.000
誤差	202	2.343		2.343
間伐前の平均直径=6.37cm		家系の遺伝率=0.450		
第3世代選抜の選抜差=1.58cm		遺伝獲得量=0.71cm		
選抜差の割合(選抜差/平均)=0.247		改良効果=11.1%		

表8 F3実生採種園の分散分析結果と遺伝的パラメータ  
(1) 樹高

	自由度	平均平方	有意確率	分散成分
反復	2	9.678	0.000	
家系	21	1.098	0.070	0.000
反復×家系	41	2.266	0.000	0.427
誤差	179	0.714		0.714
間伐前の平均樹高=6.04m		家系の遺伝率=0		
第4世代選抜の選抜差=0.98m		遺伝獲得量=0m		
選抜差の割合(選抜差/平均)=0.163		改良効果=0%		

(2) 胸高直径

	自由度	平均平方	有意確率	分散成分
反復	2	6.848	0.026	
家系	21	4.410	0.001	0.052
反復×家系	41	3.957	0.000	0.583
誤差	179	1.836		1.836
間伐前の平均直径=6.00cm		家系の遺伝率=0.085		
第4世代選抜の選抜差=1.58cm		遺伝獲得量=0.13cm		
選抜差の割合(選抜差/平均)=0.263		改良効果=2.2%		

代での遺伝獲得量の期待値は0m、樹高成長の改良効果は0%であった(表8(1))。

胸高直径の改良効果について、播種後5成長期経過時点における平均直径は6.00cmであり、有意な家系間差が認められた(表8(2))。家系の遺伝率は0.085で、第4世代優良個体(65個体)の選抜差は1.58cm、次世代での遺伝獲得量の期待値は0.13cmと計算され、直径成長については2.2%の改良効果が期待された(表8(2))。

## 4 考察

### 4.1 改良効果の推移

しいたけ原木育種事業で選抜された精英樹(優良個体)を第1世代とし、F1、F2(a)、F3実生採種園を経て第4世代の優良個体選抜まで行った。樹高の遺伝率はF1か

らF3実生採種園にかけて、0.321、0.122、0と低下し、それに伴い、第2世代から第4世代選抜における改良効果の期待値も5.3%、2.2%、0%と低下した(表5、6(1)、8(1))。F3実生採種園では樹高の家系間差は有意ではなかった(表8(1))。同様に、胸高直径の遺伝率はF2(a)実生採種園で0.092、F3実生採種園で0.085と共に低く、第3世代と第4世代選抜における改良効果は2.5%と2.2%であった(表6(2)、8(2))。F2(a)実生採種園では胸高直径の家系間差は有意ではなかった(表6(2))。

今回の第1世代、F1実生採種園で選抜した第2世代、F2

(a)実生採種園で選抜した第3世代の優良個体を対象に行ったSSR分析の結果では、ヘテロ接合体率の期待値は0.678から0.662に、アレリックリッチネスの値は10.38から7.83にそれぞれ低下し、近交係数の値は0.025から0.083に上昇していた(山田ほか2013)。これらの結果は、F1、F2(a)、F3と実生採種園の造成と優良個体の選抜を繰り返すことにより遺伝的多様性が低下してきていることを示唆している。原因として、今回のF1実生採種園は精英樹51クローンのうち22クローンのオープン種子で造成したこと、最初の母集団のサイズがあまり大きくなかったこと、オープン種子のため花粉親に偏りが生じている可能性があることなど、次世代選抜や遺伝的浮動以外の要因が考えられる。F3実生採種園ではヒノキ集植所跡地部分の成長が悪かったことから交互作用(反復×家系)の分散成分の値が大きく、試験精度が悪かった可能性があること(表8)、家系内選抜における選抜差の割合(選抜差/平均値)は、樹高ではF1からF3実生採種園にかけて0.164、0.179、0.163(表5、6(1)、8(1))、胸高直径ではF2(a)、F3実生採種園にかけて0.267、0.263(表6(2)、8(2))と世代を経ても同程度であったことから、第1世代の未使用家系の導入を図りながら、さらに実生採種園の改良効果の推移を検討する必要がある。

一方、F2(b)実生採種園では、樹高の遺伝率は0.514、第3世代選抜の改良効果は8.3%、胸高直径の遺伝率は0.450、改良効果は11.1%であった(表7)。F1実生採種園(表5)と比べて樹高の遺伝率と改良効果は上昇し、F2(a)実生採種園(表6)と比べても樹高と胸高直径において大きな改良効果が期待された。これは実生採種園の世代を進めても必ずしも遺伝率や改良効果が低下す

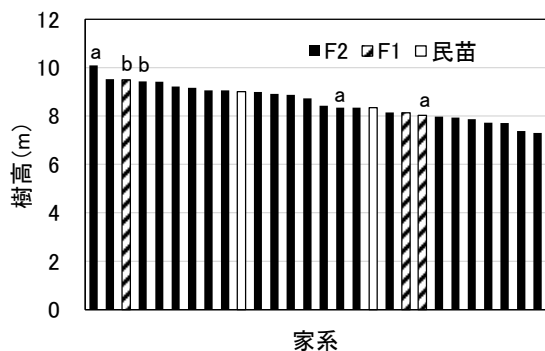


図5 F2(b)実生採種園における樹高の家系間差  
同じアルファベットは同一精英樹（第1世代）由来

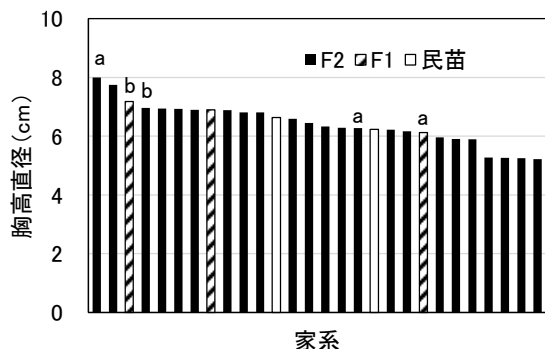


図6 F2(b)実生採種園における胸高直径の家系間差  
同じアルファベットは同一精英樹（第1世代）由来

るわけではないことを示している。F2 (b) 実生採種園は F2 (a) と比べて家系間差が顕著であり（表 6、7）、供試家系の違いや年による着花量の違い等が影響した可能性がある。F2 (a) と F2 (b) 実生採種園において、家系内選抜における選抜差の割合は、樹高で 0.179 と 0.161（表 6(1)、7(1)）、胸高直径で 0.267 と 0.247（表 6(2)、7(2)）と同程度であったことから、改良効果の違いは主に遺伝率の違いに起因している。今後、F2 (b) 実生採種園においても F3 実生採種園の造成を進めて改良効果の推移を検討することが重要である。

#### 4.2 実現された改良効果

播種後 6 成長期後の樹高と胸高直径に有意な家系間差が認められた F2 (b) 実生採種園について、F2 の 23 家系の樹高は 10.10m～7.30m の範囲に、F1 の 3 家系の樹高は 9.50m～8.03m の範囲に、購入種子（民苗）の 2 系統の樹高は 9.01m と 8.34m であった（図 5）。同様に、F2 の 23 家系の胸高直径は 8.00cm～5.21cm の範囲に、F1 の 3 家系の胸高直径は 7.18cm～6.13cm の範囲に、購入種子（民苗）の 2 系統の胸高直径は 6.63cm と 6.23cm であ

た（図 6）。F2 家系の家系間差は大きく、F1 家系や購入種子（民苗）系統より劣る F2 家系を淘汰することにより、さらなる改良効果が期待できる。

また、第 1 世代が同じ精英樹由来の F2 家系と F1 家系を比較すると、F2 家系の平均樹高は 9.30m、F1 家系の平均樹高は 8.77m であり（図 5）、第 2 世代選抜の樹高の実現改良効果は 6.0% と計算された。同様に、F2 家系の平均胸高直径は 7.08cm、F1 家系の平均胸高直径は 6.66cm であり（図 6）、第 2 世代選抜の胸高直径の実現改良効果は 6.3% と計算された。F1 実生採種園における第 2 世代選抜の樹高の改良効果の期待値は 5.3% と計算されており（表 5）、改良効果の期待値と実現値はほぼ一致し、これは既報（山田ほか 2011）と同様の結果であった。

#### 5 F4 実生採種園の造成に向けた取り組み

F4 実生採種園の造成に向けて、間伐が終了した F3 実生採種園（14 地番）からオープン種子 18 家系を 2024 年 10 月に採取し、愛媛県農林水産研究所林業研究センターと四国苗販売株式会社にて 2025 年 3 月に播種・養苗中である。今後、F4 実生採種園における表現型変異の確認、間伐・淘汰による第 5 世代優良個体の選抜と改良効果の検討、種子生産性の調査等を実施する予定である。

本研究を行うにあたり、関西育種場と四国増殖保存園の歴代の職員の方々にご指導とご協力をいただいた。ここに感謝の意を表します。

#### 6 引用文献

- 栗延晋（2007）林木育種のための統計解析（6）1 形質の選抜効果の予測．林木の育種 225、36-40．
- 大庭喜八郎・勝田 粧（1991）林木育種学、文永堂出版、337pp．
- 山田浩雄・磯田圭哉・久保田正裕（2013）クスギ実生採種園における家系内選抜の繰り返しと遺伝的多様性の変化．日本森林学会大会学術講演集 124、CD-ROM．  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsc/124/0/124\\_635/\\_article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsc/124/0/124_635/_article/-char/ja)（2025/8/14 閲覧）
- 山田浩雄・久保田正裕・磯田圭哉（2011）クスギ精英樹 F1 実生採種園の家系内選抜により実現された初期成長の改良効果．日本森林学会誌 93、139-142．

## 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 158 号 (ヒノキ) における実行結果-

九州育種場 育種課 松永孝治・倉原雄二・濱口絵里奈・久保田正裕・千吉良治

### 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 5 期中長期計画 (2021-2025 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、集団林調査の進捗状況等を踏まえて計画的に選抜を進めており、2023 年度までにスギ 1,032 個体、ヒノキ 394 個体の第二世代精英樹候補木を選抜している。2024 年度はヒノキ育種集団林 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、九熊本第 158 号の概要を表 1 に示した。この集団林は 2010 年に設定したもので、選抜時の林齢は 15 年生であった。本集団林には通直性と枝密度を改良目標として、第一世代精英樹間の人工交配から得られた実生個体等が植栽されており、その他に初期に選抜されていた第二世代精英樹候補木ヒノキ九育 2-33、ヒノキ九育 2-93、ヒノキ九育 2-94 の自然受粉家系の実生苗も植栽されている。試験地は 2 反復の方形プロットで設計されており、約 3,000 本/ha の植栽密度で検定木が植栽されていた。

第二世代精英樹候補木の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、根元曲りは 15 年次の定期調査データを用いた。樹高は Vertex (Haglof 社、スウェーデン) を用いて 0.1m 単位で、胸高直径は輪尺を用いて 0.1cm 単位で測定し、幹曲りと根元曲りは目視による 5 段階評価を行った。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形混合モデルを用い<sup>1), 2)</sup>、REML 法により分散成分を推定し、BLUP 法により各個体の育種価を求めた<sup>3)</sup>。また、得られた相加的遺伝分散と誤差分散より個体測定値に基づく遺伝率を算出した。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。求め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>4)</sup>を用いて各個体の材積の推定値を求めた。この材積推定値に基づき、各家系の材積推定値上位個体と試験地全体での材積推定値上位個体の合計 121 個体について、TreeSonic (FAKOPP 社、ハンガリー) を用いて個体あたり 2 方向より応力波伝播速度を測定した。各個体の応力波伝播速度の平均値を算出し、調査した集団内での偏差値を算出した。応力波伝播速度の測定は、15 年次の定期調査と同じ年度内に行った。また、参考として、応力波伝播速度を基に立木ヤング係数の推定値を池田ら<sup>5)</sup>に基づいて算出した。有効密度は池田ら<sup>6)</sup>に従い  $0.80\text{g/cm}^3$  を用いた。

これらの測定値に基づき、原則として以下の基準により机上選抜を行った。(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 3 以上、(2) 材積による選抜: 材積の育種価が育種集団林の平均  $+0.5 \times$  標準偏差以上、(3) 応力波伝播速度による選抜: 応力波伝播速度の育種価が当該育種集団林の平均以上、(4) 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、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。最終的に、現地で選抜対象候補木を目視で確認し、樹勢や真円・完満性の良好な個体でかつ病虫害等の欠点のない 14 個体を総合的に判断して第二世代精英樹候補木として選抜した。上述の 4 つの基準の内、(2) の材積が基準をわずかに満たしていなかったが (偏差値 54.8、54.6、53.8)、当該家系内で最も材積が大きく、総合的に優れていた 3 家系各 1 個体 (ヒノキ九育 2-404、ヒノキ九育 2-407、ヒノキ九育 2-408) も候補木として選抜した。また、同様の手法と基準によって、総合的に優れていると判断された第二世代精英樹候補木の実生後代の 3 個体を第三世代精英樹候補木として選抜した。結果的に第二世代精英樹候補木 17 個体と第三世代精英樹候補木 3 個体の合計 20 個



体を本集団林から選抜した。

本集団林における第二世代精英樹候補木等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・第三世代精英樹候補木の材積育種価平均値の当該育種集団林平均値からの偏差を、当該育種集団林平均値に対する百分率として算出した。

### 3 結果と考察

本集団林の 15 年次の検定林平均樹高と検定林平均胸高直径は 10.1m と 15.1cm であった。2020 年度および 2023 年度にヒノキの第二世代精英樹候補木を選抜した九熊本 152 号、九熊本第 153 号及び九熊本第 157 号の 15 年次の検定林平均樹高は 7.4~8.9m、検定林平均胸高直径は 11.1~12.1cm であり<sup>7),8)</sup>、本集団林は他の試験地より全体として成長がよい傾向であった。その一方で、本集団林で机上選抜した 121 個体の平均立木ヤング係数の平均値は 96.8tonf/cm<sup>2</sup> で、九熊本第 152、九熊本第 153 及び九熊本第 157 号の 114~154 tonf/cm<sup>2</sup> より低い値であった。また、本集団林の 15 年次樹高の遺伝率は 0.64、胸高直径の遺伝率は 0.19 であった。本集団林では 19 家系から 20 個体を第二・第三世代精英樹候補木として選抜したが、その平均樹高と平均胸高直径は 12.2m と 18.1cm となり、材積の相対遺伝獲得量は 16.2% であった(表 2、表 3)。

2025 年 1 月に今回選抜した個体からつぎ木増殖用の穂を採取し、候補木あたり 8 本をつぎ木増殖した。苗畑で一年間、養苗したのち、2026 年 3 月に九州育種場内に定植する予定である。

### 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 1,032 個体、ヒノキで 411 個体となった。また、ヒノキ第三世代精英樹候補木を 3 個体選抜した。著者らは九州育種基本区のヒノキについて、血縁管理等を考慮して、体系的に次世代育種を進めるために育種集団を 9 つの分集団に再編成している<sup>9)</sup>。今回の選抜では第 9 分集団において第二世代精英樹候補木を選抜したこととなり(表 4)、今後、残る第 9 分集団の九熊本第 161 号において選抜を実施する予定である。

なお今回選抜した第三世代精英樹候補木について、ヒノキ九育 3-001 はヒノキ九育 2-33 を、ヒノキ九育 3-002 はヒノキ九育 2-93 を、ヒノキ九育 3-003 はヒノキ九育 2-94 をそれぞれ種子親としている。ヒノキ九育 2-33 は九州のヒノキの第一分集団に、ヒノキ九育 2-93 とヒノキ九育 2-94 は第二分集団に属する。これら 3 個体は自然受粉家系に由来するため花粉親はまだ不明であるが、花粉親の確認を行い、適切な分集団に割り当てて、今後の育種事業に活用していく予定である。

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

### 5 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) 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](http://www.vsnl.co.uk) (2009)
- 4) 林野庁: 熊本営林局 立木材積表 (1970)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 福田有樹, 倉原雄二, 松永孝治, 後藤誠也, 栗田学, 久保田正裕: 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152号、九熊本第153号(ヒノ

- キ)における実行結果- 令和3年版林木育種センター年報, 119-122 (2021)
- 8) 岩泉正和, 福田有樹, 倉原雄二, 松永順, 松永孝治, 久保田正裕: 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157号(ヒノキ)における実行結果- 令和6年度版林木育種センター年報 (2024)
- 9) 岩泉正和, 久保田正裕, 福田有樹, 倉原雄二, 松永孝治, 武津英太郎: 九州育種基本区におけるヒノキ次世代育種の検討. 森林遺伝育種学会第12回大会講演要旨集, 30 (2023)

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 *1	植栽 系統数 *2	第一世代 精英樹数 *3	樹高		胸高直径		応力波伝播速度		立木ヤング係数	
							調査 個体数	平均値*4 (m)	調査 個体数	平均値*4 (cm)	調査 個体数	平均値*4 (m/s)	調査 個体数	平均値*4 (tonf/cm <sup>2</sup> )
ヒノキ	九熊本 第158号 (7042)	熊本 森林管理署 向原国有林 1142林班 ほ6小班	2009	1440	34	10	1152	10.1 (1.5)	1152	15.1 (3.4)	121*5	3425 (342)	121*5	96.8 (18.5)

\*1 交配家系(21)と自然受粉家系(第一世代精英樹8, 第二世代精英樹候補木3)および対照のさし木2系統の合計苗数。

\*2 交配家系(21)と自然受粉家系(第一世代精英樹8, 第二世代精英樹候補木3)および対照のさし木2系統を含めた系統数。

\*3 交配親として関与した第一世代精英樹数。

\*4 括弧内の数値は標準偏差。

\*5 応力波伝播速度は机上選抜した個体について測定したため、樹高および直径の測定個体数と異なる。

表2 選抜された第二世代精英樹候補木等の基本情報

樹種	検定林名	選抜 本数	選抜率(%) *1	選抜 家系数*2	第一世代 精英樹数*3	形質平均値(15年次)				材積 相対遺伝 獲得量 (%) *4
						樹高 (m)	胸高直径 (cm)	応力波 伝播速度 (m/s)	立木 ヤング係数 (tonf/cm <sup>2</sup> )	
ヒノキ	九熊本 第158号 (7042)	20	1.7	19	10	12.2	18.1	3610.9	106.4	16.2

\*1 15年次における生存個体数(測定数)に対する選抜本数の割合。

\*2 選抜された個体が属する交配組合せ(全兄弟家系)の総数。

\*3 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。

\*4 15年次の調査結果に基づく材積相対遺伝獲得量。

表3 選抜された第二世代精英樹候補木等一覧

系統名	系統コード	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	幹曲り* <sup>1</sup>	根元曲り* <sup>1</sup>	材積 偏差値* <sup>2</sup>	応力波 伝播速度 偏差値
ヒノキ九育2-395	GFB33588	12.5	14.5	3	4	60.6	59.9
ヒノキ九育2-396	GFB33608	11.3	17.2	4	3	55.8	52.6
ヒノキ九育2-397	GFB33610	13.4	20.5	3	3	72.1	56.2
ヒノキ九育2-398	GFB33613	12	18.6	3	4	66.3	55.7
ヒノキ九育2-399	GFB33614	12.3	17.8	5	4	66.5	51.0
ヒノキ九育2-400	GFB33615	12	18.9	3	4	63.2	53.1
ヒノキ九育2-401	GFB33616	12	18	3	3	60.5	53.9
ヒノキ九育2-402	GFB33617	12	19.3	4	4	57.2	54.9
ヒノキ九育2-403	GFB33618	13.2	20.4	3	3	65.3	54.4
ヒノキ九育2-404	GFB33619	11.8	14.8	3	3	54.8	55.6
ヒノキ九育2-405	GFB33620	13.4	17.8	3	3	58.4	56.7
ヒノキ九育2-406	GFB33621	10.8	18	3	3	65.9	54.4
ヒノキ九育2-407	GFB33622	10.9	20	3	3	54.6	51.0
ヒノキ九育2-408	GFB33623	12.9	18.8	3	3	53.8	60.8
ヒノキ九育2-409	GFB33624	12.2	19.4	4	3	71.6	58.1
ヒノキ九育2-410	GFB33625	10.9	16.4	3	3	57.3	56.0
ヒノキ九育2-411	GFB33626	12.2	20.4	3	3	71.8	53.7
ヒノキ九育3-001* <sup>3</sup>	GFB33611	13.1	16.4	3	3	56.6	54.0
ヒノキ九育3-002* <sup>3</sup>	GFB33612	12.6	15.8	3	3	57.8	56.8
ヒノキ九育3-003* <sup>3</sup>	GFB33609	13	18.2	3	4	71.5	60.5

\*<sup>1</sup> 幹曲り・根元曲りは5段階指数評価値（九州育種基本区精英樹特性表参照）\*<sup>2</sup> 空間自己相関を組み込んだモデルで推定した個体の樹高と胸高直径から算出した材積に基づく。\*<sup>3</sup> 第二世代精英樹候補木の自然受粉家系に由来する個体。

表4 九州育種基本区におけるヒノキ分集団の構造と選抜状況

分集団	選抜検定林		第二世代精英樹候補木	
	名称	設定年	選抜状況	番号
1	九熊本第26号	1973	済み	1-50
	九熊本第2号	1970	済み	102-151
2	九熊本第32号	1974	済み	51-101
3	九熊本第11号	1971	済み	152-201
	九熊本第47号	1976	済み	202-251
4	九熊本第116号	1992	済み	252-278
	九熊本第118号	1993	済み	290-297
5	九熊本第112号	1991	済み	279-289
	九熊本第121-2号	1989	済み	327-334
6	九熊本第131号	1997	済み	298-316
	九熊本第134号	1997	済み	317-326
7	九熊本第152号	2006	済み	335-347
	九熊本第157号	2009	済み	375-394
8	九熊本第153号	2006	済み	348-374
9	九熊本第158号 <sup>*1</sup>	2010	済み	375-411
	九熊本第161号	2011	2025年度予定	

<sup>\*1</sup> 今回選抜を報告した検定林

# 湯滝ミズナラ遺伝資源希少個体群保護林における モニタリング調査（15年目）の結果

遺伝資源部 保存評価課 玉城聡・大串叔弘・遠藤圭太※・倉本哲嗣  
遺伝資源部 堂菌理一郎・磯田圭哉

## 1 はじめに

森林等の生態系の現状や変化を把握するためには長期のモニタリング調査が有効である（環境省自然環境局生物多様性センター 2019）。特に、温暖化等の気候変動の影響が顕在化している現在では、その重要性が高まっている（蒔田ら 2021）。林木育種センターでは林木ジーンバンク事業の一環として、有用樹を対象とする保護林内においてモニタリング調査を行い、生息域内保全の有効性を検証する取り組みを平成 13 年に開始した。森林研究・整備機構第 5 期中期計画（令和 3～7 年度）に基づき、林木育種センターでは 7 樹種（アカマツ、カラマツ、モミ、ブナ、ミズナラ、シラカバ、ケヤキ）を対象としたモニタリング試験地の調査を 5 年ごとに進めている。令和 6 年度（2024 年）は、

ミズナラを対象とした保護林に設定した試験地において 15 年目のモニタリング調査を実施した。

ミズナラはブナと並んで日本の落葉広葉樹林を代表する樹種である。材は重厚かつ緻密で強度が高い上、柾目に特有の縞模様が現れて意匠性が高いことから、家具材や床材として利用されている（伊東ら 2011）。国内の多くのミズナラ林が伐採により消失した中で、奥日光にはまとまった天然のミズナラ林が所在しており、注目に値するものである（舘脇ら 1966）。これまでに、林分構造や更新動態に関する先行研究があり、当地域のミズナラは一斉更新型の更新パターンを示すこと及び落下種子の多くは光不足と動物による持ち去りによる影響を受け、定着率は 0.5%未満であることが報告されている（Kanazawa 1982, Kanazawa



図ー1 湯滝ミズナラ遺伝資源希少個体群保護林（栃木県日光市）内に設定したモニタリング試験地の位置図 電子地形図 25000（国土地理院）を加工して作成

※ 現在 北海道育種場 育種課

1983)。当地域のミズナラ林の学術的価値を考慮し、林野庁は 1992 年に湯滝と戦場ヶ原の中間に位置する高樹齢のミズナラ林を「湯滝ミズナラ林木遺伝資源保存林」(2018 年に「湯滝ミズナラ遺伝資源希少個体群保護林」に名称変更)に指定した。林木育種センターでは本保護林内にモニタリング試験地を設定し、定期調査の結果から林分構造の推移等を報告してきた(木村ら 2020)。本報告では、設定時から 15 年間にわたるモニタリング調査で得られた結果について報告する。

## 2 材料と方法

栃木県日光市の奥日光国有林 1076 林班い小班(日光森林管理署管内)の湯滝ミズナラ遺伝資源希少個体群保護林(旧湯滝ミズナラ林木遺伝資源保存林)内に 2009 年にモニタリング試験地を設定した(図-1、写真-1)。保護林の

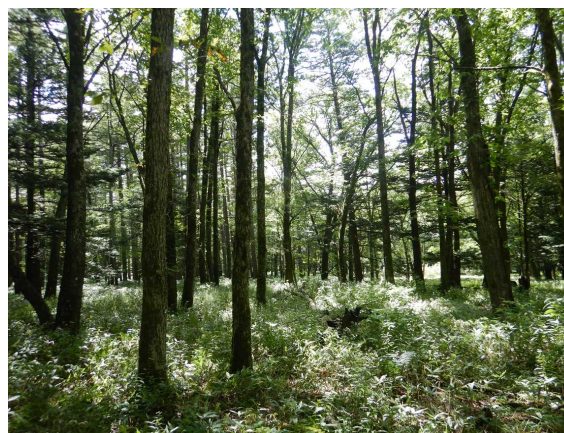


写真-1 モニタリング試験地内の林況

設定台帳の記録から、当保護林は林齢が 100 年生以上とされている(木村ら 2020)。試験地はほぼ平坦であり、標高 1430~1450m である。試験地の設計として、ミズナラを対象とする 2.24ha の方形区の内部に、全樹種を対象とする

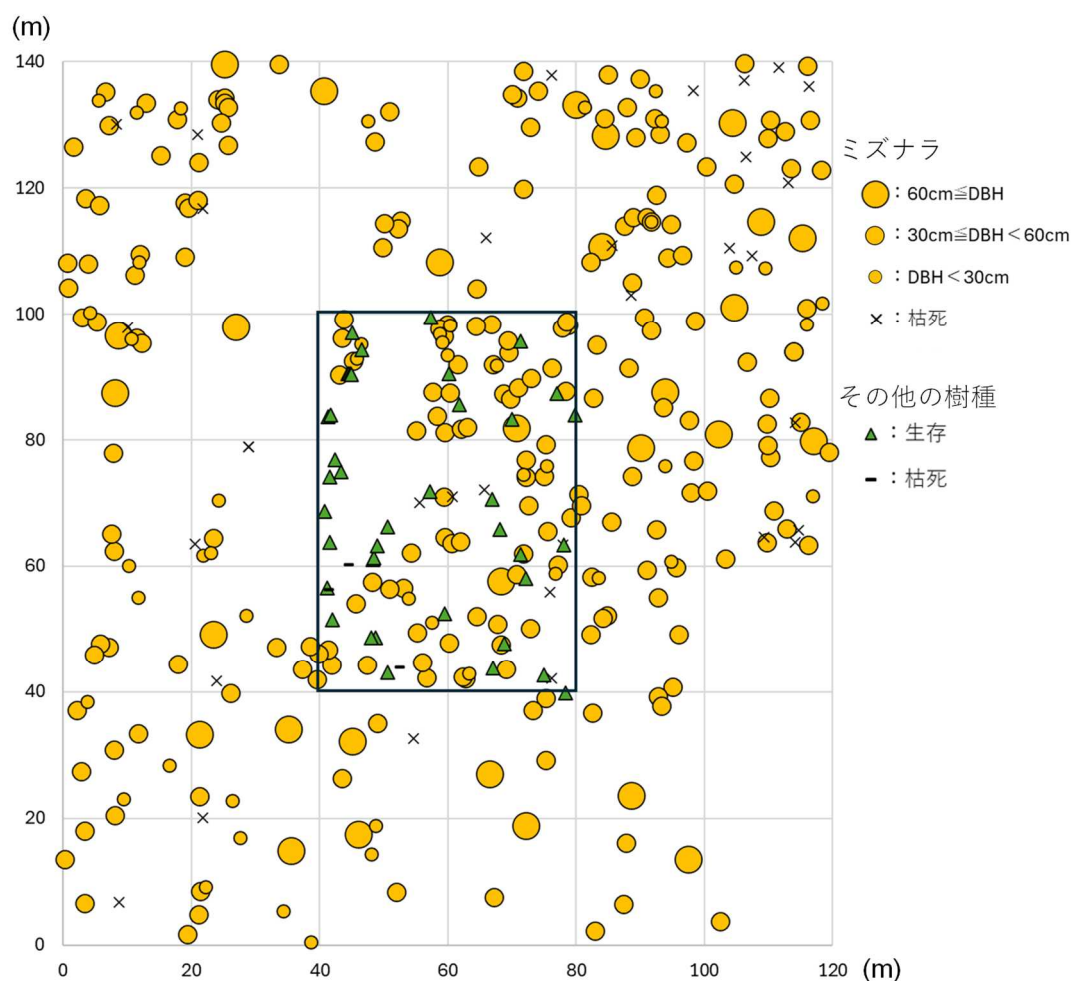


図-2 調査区内における樹木位置図(2024年調査分)。中央の実線で囲まれた箇所がコアプロットである。



0.24ha の方形区を設けた。以後は、ミズナラのみを対象とする区画を「ミズナラ調査プロット」、全樹種を対象とする区画を「コアプロット」と称する。試験地設定時の調査として、区画内に出現した胸高直径 5cm 以上のすべての個体について、多幹の株立ち個体も含めて個体位置を測量した（図-2、木村ら 2020）。さらに区画内の全個体の胸高周囲長を測定した。試験地の設定後は 5 年ごとに定期調査を行い、2024 年までに 3 回の調査を実施した。調査項目は生存調査、新規加入個体（胸高直径 5cm 以上）の探索と記録及びすべての生存個体の胸高周囲長の計測である。樹高については正確に測定することが困難であったため、被圧状態にあるかどうかの判断等の参考情報として測定した。直径の大きさによって成長の優劣にどのような傾向があるか確認するため、設定時の胸高直径と 15 年間の肥大成長量との相関分析を行った。

### 3 結果と考察

試験地設定時（2009 年）と 15 年後（2024 年）の樹種ごとの本数及び新規加入個体の本数を表-1 に、胸高断面積合計を表-2 に示す。全樹種を対象とするコアプロットの樹種別の本数割合は 15 年間で大きな変動は無く、ミズナラの占める割合が 2/3 程度と最も多く、次いでハルニレの割合が 1/4 程度であり、両樹種で全体のおよそ 9 割を占めていた。胸高断面積合計は、ミズナラは全体の 8 割程度を占めており、ミズナラの優占度が顕著に高かった。時系列

表-1 設定時（2009 年）と 15 年後（2024 年）の樹種ごとの出現本数と全体に占める割合および調査期間内に出現した新規加入個体数

樹種	2009年		2024年		新規加入
	本数/ha	(%)	本数/ha	(%)	個体数/ha
ミズナラ調査プロット					
ミズナラ	180		149		0
コアプロット					
ミズナラ	371	(66.9)	325	(65.0)	0
ハルニレ	133	(24.1)	117	(23.3)	0
モミ	21	(3.8)	21	(4.2)	0
カラマツ	4	(0.8)	4	(0.8)	0
ハリギリ	4	(0.8)	4	(0.8)	0
ヤマザクラ	4	(0.8)	4	(0.8)	0
ヤマモミジ	4	(0.8)	4	(0.8)	0
イワガラミ	4	(0.8)	13	(2.5)	8
ツルウメモドキ	4	(0.8)	8	(1.7)	4
ヤマフジ	4	(0.8)	0	(0)	0

変化に着目すると、ミズナラ、ハルニレともに本数が減少しており、調査開始時からミズナラは 16%、ハルニレは 13% 枯死した。15 年間に新規加入した個体はつる性のイワガラミとツルウメモドキのみであった。胸高断面積合計については、枯死により消失したヤマフジを除いたすべての樹種で緩やかに増加傾向であった。

ミズナラの試験地設定時（2009 年）の胸高直径の頻度分布を図-3 に、2024 年の調査時の頻度分布を図-4 に示す。分布型は 15 年間で大きな変化は無く一山型の分布型であり、一斉更新によって成立した林分であると考えられる。一方、この分布から外れた 80 cm を超える大径木も少数ではあるが存在しており、これらは一斉更新以前から生育していたのではないかと考えられる。図-3 では 2024 年の調査時に生存していた個体と枯死個体を色分けして表示した。枯死木はグラフの左側、つまり相対的に小さい個体に偏っており、樹高も周囲の個体と比べ低かった。したがって、枯死個体の多くは周囲木からの被圧による光環境の悪化が影響していると考えられる。図-4 では 15 年間で胸高直径階が上のクラスに移行した個体と変更の無かった個体を色分けして表示した。個体数が最も多かった 40~50cm のクラスへの移行とその上のクラスへの移行が多く、50 cm 前後のサイズの個体の成長が旺盛であることが示された。

表-2 設定時（2009 年）と 15 年後（2024 年）の樹種ごとの胸高断面積合計 (BA) と全体に占める割合

樹種	2009年		2024年	
	BA (m <sup>2</sup> /ha)	(%)	BA (m <sup>2</sup> /ha)	(%)
ミズナラ調査プロット				
ミズナラ	26.10		27.37	
コアプロット				
ミズナラ	42.17	(92.6)	44.24	(78.7)
ハルニレ	6.79*	(13)	7.54	(13.4)
モミ	1.23	(2.7)	1.91	(3.4)
カラマツ	1.27	(2.8)	1.48	(2.6)
ハリギリ	0.63	(1.4)	0.71	(1.3)
ヤマザクラ	0.10	(0.2)	0.13	(0.2)
ヤマモミジ	0.05	(0.1)	0.09	(0.2)
イワガラミ	0.01	(0)	0.03	(0.1)
ツルウメモドキ	0.04	(0.1)	0.07	(0.1)
ヤマフジ	0.04	(0.1)	0	(0)

※2009 年の調査で調査区内のハルニレ 1 個体は未測であったため、胸高断面積合計の値に含まれていない。

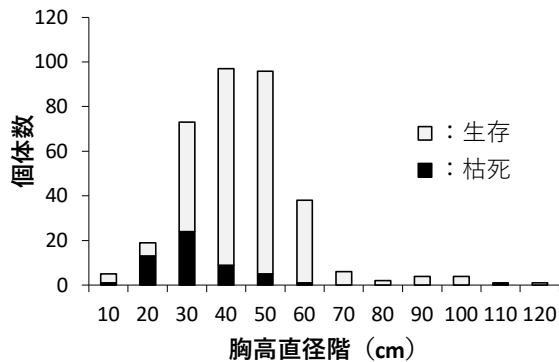


図-3 2009 年の試験地設定時におけるミズナラの胸高直径階の頻度分布  
2024 年調査時において生存していた個体を灰色で、枯損していた個体を黒色で表記した。

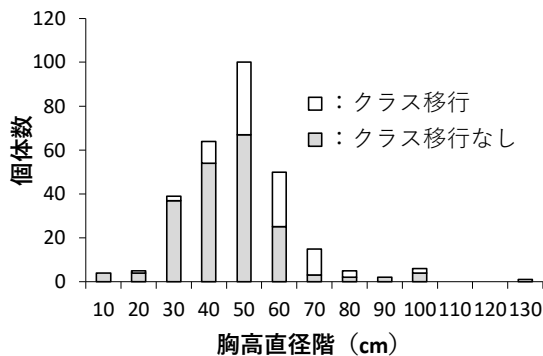


図-4 2024 年の調査時におけるミズナラの胸高直径階の頻度分布  
2009 年調査時から胸高直径階が上のクラスに移行した個体を白色で、それ以外の個体を灰色で表記した。

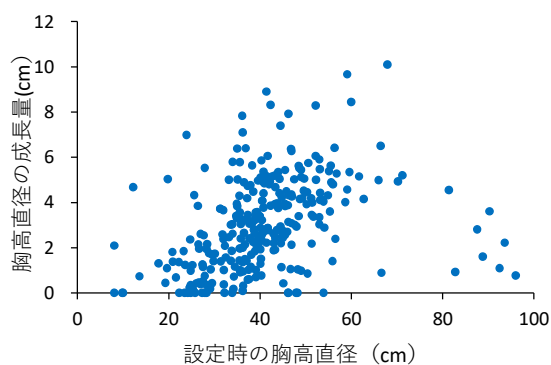


図-5 ミズナラにおける設定時の胸高直径と 15 年間の肥大成長量との関係

樹体サイズと肥大成長の良否との関係を視覚化するため、胸高直径を横軸に、15 年間の肥大成長量を縦軸に散布図を作成した (図-5)。胸高直径と成長量との相関係数は、

0.36 ( $p < 0.01$ ) であった。胸高直径 70cm 程度までは、直径が大きい個体ほど成長量が大きくなる正の相関関係が認められ (この範囲のデータでは  $r = 0.51$ )、80cm 以上では成長量は低下する傾向であった。一般的に天然林では樹齢と胸高直径との間に相関があることが知られており、特に広葉樹では 0.8~0.9 程度の高い相関があることが複数の皆伐地の伐根の木口面を測定した事例から報告されている (石橋ら 1987)。また、胸高直径の最大サイズと寿命は樹種ごとにある程度決まっていることが知られており、ミズナラの胸高直径は最大で 120cm 程度であり、寿命については 700 年程度であることが報告されている (Osuni and Masaki 2023)。本試験地の胸高直径が 80 cm を超え一斉更新以前から生育していると推察される個体は、成長量が非常に少ないことから、寿命に達しつつある老齢の個体の可能性が推測される。実際に一部の個体では幹の空洞化や腐朽が観察され、本試験地で 2 番目に胸高直径が大きかった個体 (2019 年調査時で 111cm) が 2024 年の調査時に枯死している。

#### 4 おわりに

本試験地における 15 年間に渡る定期モニタリング調査の結果から、新規加入個体は認められず、光をめぐる個体間競争により小径木の淘汰が進みつつあること、胸高直径 80 cm 未満の壮齢の個体を中心としてミズナラの肥大成長が継続している一方で、大径木は成長が減退していることが明らかとなった。ミズナラの更新には、林床の光環境の改善と動物による堅果の捕食圧を上回る供給量が必要なが指摘されている (Kanazawa1982)。本試験地の林床にはササ類が広く生育しており (写真-1)、実生の定着や成長を阻害する要因となっていると考えられる。林床の光環境の改善には、ササ類の一斉開花枯死など、数十年周期で生じる事象が必要なのかもしれない。また、本試験地の近隣のミズナラとハルニレが優占する溪畔林で年輪パターンを解析した先行研究によると、人命や家屋に被害が出るほどの稀に見る大規模な河川の氾濫による攪乱時に更新した可能性が高いことが報告されている (Sakai et al. 1999)。本試験地も河床からの比高が比較的低く、河川の氾濫によって更新された林分である可能性がある (木村ら 2020)。更新時のかく乱においても生存した個体が現在の大径木であり、これらは寿命に近づきつつある老齢個体で



衰弱に向かっているのではないかと推測された。今後もモニタリング調査を長期的に継続することで、ミズナラ天然林の林分動態の知見を蓄積することが必要と考えられる。

近年ではカシノナガキクイムシが媒介する菌によるナラ枯れ被害が国内のミズナラ林に広がっている。近年では高標高域でも被害が報告されているため、本保護林内や近隣地域の被害の進行を注視していくことが必要と考える。

#### 4 引用文献

石橋整司・芝野伸策・柴田前 (1987) 天然林における樹齢と直径成長について. 日本林学会大会発表論文集 98, 129-130

伊東隆夫・佐野雄三・安部 久・内海泰弘・山口和穂 (2011) 日本有用樹木誌. 海青社

Osumi K., Masaki T. (2023) Longevity of tall tree species in temperate forests of the northern Japanese Archipelago. Journal of Forest Research, 28(5), 333-344

環境省自然環境局生物多様性センター (2019) 日本の自然で何が起きている? モニタリングサイト 1000 第3期とりまとめ報告書概要版. 生物多様性センター, 富士吉田

木村恵・福山友博・磯田圭哉・平尾知士・稲永路子 (2020) 湯滝ミズナラ遺伝資源希少個体群保護林 (栃木県日光市) におけるモニタリング調査 (10 年目) の結果. 令和2年版林木育種センター年報, 131-136

Kanazawa Y. (1982) Some analyses of the reproduction

process of a *Quercus crispula* Blume population in Nikko: I. A record of acorn dispersal and seedling establishment for several years at three natural stands. Japanese Journal of Ecology, 32, 325-331

Kanazawa Y. (1983) Some analysis of the reproduction process of a *Quercus crispula* Blume population in Nikko III. Population distribution and stand succession of *Q. crispula* in an area of 270 ha. Japanese Journal of Ecology, 33, 79-87

Sakai T., Tanaka H., Shibata M., Suzuki W., Nomiya H., Kanazashi T., Shibata M., Suzuki W., Nomiya H., Kanazashi T., Iida S., Nakashizuka T. (1999) Riparian disturbance and community structure of a *Quercus-Ulmus* forest in central Japan. Plant Ecology, 140(1), 99-109

館脇操・伊藤浩司・遠山三樹夫・横溝康志 (1966) 奥日光の森林植生: 館脇操編著: 日本森林植生図譜 (X). 北海道大学農学部 演習林研究報告, 24(2), 291-497

蒔田明史・石田清・赤田辰治・松井淳・坂田ゆず・石橋史朗・板橋朋洋・大野美涼・渡辺陽平・齋藤宗勝・中静透 (2021) みんなで見守る白神山地へブナモニタリング調査会の目指すもの. 日本生態学会誌, 71, 123-131

# ケニア国半乾燥地におけるメリア (*Melia volkensii*) の材質調査 —系統別材質の年次比較—

林木育種センター指導普及・海外協力部 海外協力課 山下正輝  
関西育種場 育種課 宮下久哉※・連絡調整課 村田蒔生※※  
ケニア森林研究所 James K. Ndufa

## 1 はじめに

林木育種センターでは、2012 年よりケニアにおいて、同国の郷土樹種であるセンダン科の *Melia volkensii* (以後「メリア」という。)の育種に関する共同研究をケニア森林研究所と JICA 技術協力プロジェクト「ケニア国持続的森林管理・景観回復による森林セクター強化及びコミュニティの気候変動レジリエンス」の一環として行っている。メリアは、乾燥地および半乾燥地におけるアグロフォレストリーにおいて、その速い成長と高品質な木材の供給により、農民の生計向上に重要な役割を果たしている。

今回、2025 年 3 月に仙台で開催された International Symposium on Wood Science and Technology 2025 (ISWST2025)で発表した、材密度の年次間比較に関する調査結果 (Miyashita and Ndufa 2025) の内容を紹介する。

## 2 材料と方法

標高 60~1,200m のメリアの天然分布域において優良候補木 100 本を選定しつぎ木増殖を行い、2012 年に第 1 世代採種園を半乾燥地域のティバ (キツイ県) とキブエジ (マクエニ県) に造成した。各採種園は 6 ブロックで構成され、ブロック当たり各優良候補木 (系統) 5 本、計 500 本、採種園全体で各系統 30 本、計 3,000 本植栽した。植栽間隔は 6m×6m である。

各採種園において 2014 年 (植栽後 2 年目) と 2024 年 (植栽後 12 年目) に植栽木の材密度を簡易測定法により調査した。測定方法は、スイス Proceq 社製の Pilodyn を用い、胸高部位にピンを打ち込み、ピンの貫入量を記録した。Pilodyn による測定では、貫入値

が小さいほど材密度が高いことが知られている (Cown 1978)。調査本数はティバ採種園で 1,578 本 (2014 年) と 2,080 本 (2024 年)、キブエジ採種園で 1,052 本 (2014 年) と 2,369 本 (2024 年) である。

表 1. 調査本数と貫入値

site	year	count	mean	median	max	min.	std.	c.v.	r
Tiva	2014	1,578	20	20	28	8	3	0.13	0.16**
	2024	2,080	21	21	31	8	3	0.13	
Kibwezi	2014	1,052	17	18	23	11	2	0.12	0.17**
	2024	2,369	20	20	31	8	3	0.15	

## 3 結果と考察

調査により得られた Pilodyn 貫入値の概要を表 1 に示した。貫入値は個体により 8 mm から 31 mm と大きな差が見られ、2014 年と 2024 年の相関係数はティバ採種園で 0.16 ( $p < 0.01$ )、キブエジ採種園で 0.17 ( $p < 0.01$ ) であった。系統平均値の年次相関はティバ採種園で 0.37 ( $p < 0.01$ )、キブエジ採種園で 0.47 ( $p < 0.01$ ) となり、有意な年次間相関があることが示された (図 1)。

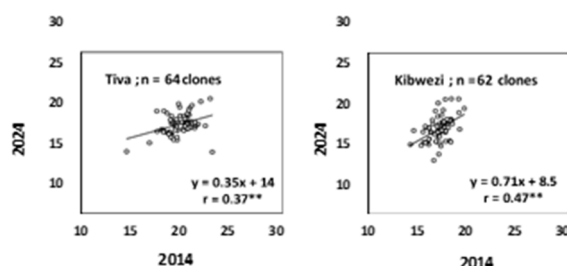


図 1. Pilodyn 貫入値系統平均の測定年次間の関係

左：ティバ採種園  
右：キブエジ採種園 (値は 2014 年および 2024 年の系統平均値 (mm) を示す。)

※ 故人 (令和 7 年 4 月逝去)

※※ 現在 林木育種センター 指導普及・海外協力部 海外協力課

各系統の Pilodyn 貫入値について 2014 年と 2024 年の順位を比較したところ、いずれの採種園においても大きな年次変動は見られなかった。また、2024 年の順位を採種園間で比較したところ、相関係数は 0.7 ( $p < 0.01$ ) となり、採種園間でも変動が少ないことが明らかとなった (図 2)。これらのことから、メリアの材密度について改良の可能性があることが示された。

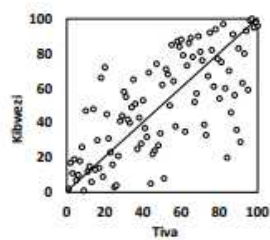


図 2. Pilodyn 貫入値系統順位の採種園間の関係

横軸: ティバ採種園, 縦軸: キブエジ採種園, 値は系統順位を示す。  
実線は  $x=y$  の直線を示す。

#### 4 おわりに

ケニア森林研究所と進めているメリアの育種プロジェクトで選抜した、100 系統の優良候補木の材密度の評価を 2 箇所の採種園において行った。その結果、有意な年次相関と試験地間相関がみられ、材密度の高い系統の選抜の可能性が示された。本研究により、これまでに選抜された優良候補木から、高品質な材質を有する系統を選抜することが可能となり、半乾燥地域における主要造林樹種であるメリアのさらなる高価値化につなげることができると思われる。

#### 5 引用文献

- Cown D. J. (1978) Comparison of the pilodyn and torsionmeter methods for the rapid assessment of wood density in living trees. New Zealand J For Sci 8(3):384-91.
- Miyashita H. and Ndafa J. (2025) Variation of wood density in the plus trees of *Melia volkensii* selected from drylands of Kenya International Symposium on Wood Science and Technology 2025 Sendai Japan.