ISSN 1883－311X

林木育種情報

No.25
2017.7

中長期計画１年目の優良品種の開発等の成果

育種部長　　星　比呂志

平成 28 年度から始まった第４期中長期計画において、品種開発等の分野については、ニーズに対応した優良品種等の開発、育種期間短縮のための高速育種技術の開発、優良品種等の普及のための技術開発を行う計画です。ここでは、１年目である平成 28 年度の成果の概要を説明します。

平成 28 年度においては、エリートツリーを 53 系統、優良品種を 47 品種開発しました（24 号参照）。今後、基準を満たすエリートツリーは、特定母樹に申請していきます。また、優良品種のうち、８品種がスギの花粉症対策品種で、このうちの１品種は爽春を改良して開発した成長に優れた無花粉スギ品種「林育不稔１号」です（24 号参照）。また、33 品種がマツノザイセンチュウ抵抗性品種で、うち 17 品種は抵抗性品種同士を交配して開発した第２世代の抵抗性アカマツ品種、12 品種が第２世代の抵抗性クロマツ品種です。今後も引き続き、エリートツリーや成長が優れた少花粉品種、無花粉品種さらには第２世代のマツノザイセンチュウ抵抗性品種等の開発を進めていきます。

また、技術開発の分野では、爽春の無花粉遺伝子を高い精度で判定できる遺伝子マーカーを開発し、これにより、今後の無花粉スギの品種開発の大幅なスピードアップが期待できるなど、大きな進展が見られました。今後は、少花粉品種の開発の加速化が期待できる、「スギ雄花着花特性検査の高度化事業」に多くの都県と連携して取組むなど、引き続き、高速育種技術、普及技術の開発を進めていきます。

また、エリートツリーと優良品種の普及については、エリートツリー（主として特定母樹に指定されたもの）、花粉症対策品種、マツノザイセンチュウ抵抗性品種等について、39 都道府県等に向けて、平成 27 年度を上回るおよそ１万５千本以上の原種苗木等を配布するとともに 200 件以上の技術指導を実施しました。今後も都道府県等の要請に基づき優良品種の原種苗木等の計画的な配布や技術指導を進めて行きます。

以上のように、昨年度は５カ年の中長期期間の１年目としておおむね順調なスタートを切ることが出来ました。今年度以降も、地域のニーズに対応した優良品種等の開発と各種の技術開発を進めていきます。皆様のご理解、ご協力をお願いする次第です。

【紙面紹介】

第２世代抵抗性アカマツの開発…… 2
東北育種場におけるカラマツ特定母樹に対する取組み…… 3
「爽春」の無花粉遺伝子を高い精度で判定できるDNA マーカーの開発…… 4
次世代シーケンサーを用いたSNP ジェノタイピング …… 5
海外林木育種事情調査
イギリス王立キュー植物園ミレニアムシードバンク …… 6～7
スギ雄花着花特性検査の高度化事業の開始…… 8

国立研究開発法人　森林研究・整備機構
森林総合研究所　林木育種センター
Forest Tree Breeding Center,　Forestry and Forest Products Research Institute

第２世代抵抗性アカマツの開発

1. はじめに

林木育種センターではマツ材線虫病被害の対応策として、西南日本地域において昭和 53 年度より「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」を実施しました。その結果、昭和 60 年度までに 92 品種の抵抗性アカマツが開発され、採種園等からの抵抗性種苗の普及が進んでいます。しかし開発された抵抗性アカマツは、品種により抵抗性の程度に幅があり、抵抗性採種園産種苗に由来する抵抗性マツ林の中にも被害がみられることから、アカマツ林再生を望む地域ではより強い抵抗性を有する品種の開発が期待されてきました。そのような状況の下、関西育種基本区では、平成 15 年度に当時の関西地区林試協育種部会（現在の育林・育種部会）において検討を開始したのを始まりとして、県と関西育種場が共同で、より強い抵抗性を有する第２世代抵抗性アカマツの作出に取組んできました。そして、13 年の年月を経て、平成 28 年度には初の第２世代抵抗性アカマツ品種が開発されました。ここでは、本取組みについて紹介します。

2. 第２世代抵抗性アカマツの開発

本取組みは関西育種場と、和歌山県、岡山県、広島県、徳島県、香川県、愛媛県の６県の参画により行われました。92 品種の抵抗性アカマツの中から抵抗性が比較的上位の品種を交配親に用い、各機関で人工交配を分担して行い、各県でそれぞれ種子採取から予備選抜（一次検定）まで進めました。

一次検定合格木は関西育種場および四国増殖保存園に集約し、それらのつぎ木苗を対象に二次検定に着手しました。平成 28 年に実施した二次検定では、大半の系統で検定対照とした第１世代抵抗性アカマツ苗を大幅に上回る健全率が示されました（図 1）。この中で特に抵抗性の高かった 27 系統を合格木として選出し、うち 17 系統について林木育種センターの平成 28 年度優良品種・技術評価委員会において審査した結果、評価基準を満たすと判断され、初めての第２世代抵抗性アカマツ品種が誕生しました。

写真１　定植した第２世代抵抗性アカマツ品種
（四国増殖保存園）

3. 第２世代抵抗性アカマツの今後

第２世代抵抗性アカマツ品種の開発により、今後は各府県の採種園等への導入と第２世代抵抗性種苗の普及を通じて、アカマツ林の再生に向けた取組みの促進が期待されます。これらの品種の普及の促進のためには、苗木生産者や林業経営者、森林所有者等のユーザーに知っていただくための広報活動を進めるとともに、第２世代抵抗性種苗が実際に現地の植栽場所でどれだけ抵抗性を発揮するのかという実証試験等の取組みが必要です。今後とも、関係府県や森林管理局と連携して、アカマツ林再生に向けた取組みを進めていく考えです。

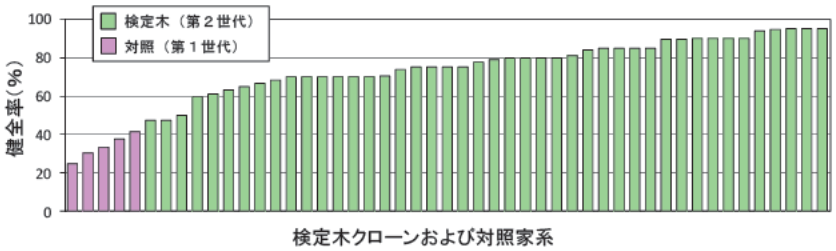

図１　平成 28 年度に四国増殖保存園で２年生つぎ木苗を対象に実施した二次検定での健全率

（関西育種場　育種課　岩泉　正和）

東北育種場におけるカラマツ特定母樹に対する取組み

1. 東北地方におけるカラマツの造林

カラマツは、寒冷な気候に耐え成長が早いことから、東北地方においては岩手県を中心に昭和 30 年代に盛んに造林されました。しかしながら、材には乾燥にともなってねじれ・狂いが生じる欠点があり、さらに先枯れ病の被害が多く発生したことから、造林面積は昭和 40 年代以降減少しました。

近年、製品の性能・品質に対する消費者の要望が高まり、強度性能が明確で寸法安定性が高い木質製品が求められています。乾燥技術の改良によって欠点であった材のねじれ・狂いが克服されたことから、もともと強度が高いカラマツ材の集成材としての利用が注目され、カラマツの造林面積も増加しています。

2. エリートツリー選抜による低コスト林業への貢献

国産材の丸太価格が昭和 55 年を頂点に数分の 1 以下に下落したことや販売収入に対する育林経費の上昇などから、林業経営ではさらなる低コスト化が重要視されています。

カラマツの造林用育種種子は、成長が優れ、幹がまっすぐで健全な個体として選ばれた精英樹（第 1 世代）のつぎ木苗で造成されている採種園で生産されていますが、今後さらに低コスト林業に貢献するため、精英樹同士の交配家系の中からさらに成長や材質の優れた次世代の精英樹（エリートツリー）を選抜し、その精英樹によって採種園を造成していくことが重要です。これらのエリートツリー採種園により生産された種子の苗木は初期成長が早いことが期待されることから、下刈り期間の短縮による育林コスト・作業の軽減に役立つと考えられます。

検定林の定期調査の結果から成長の優れた個体を選び、ファコップで応力波伝播速度、ピロディンで材密度を調査し材質が優れ、幹の通直性に問題がないなどの基準を満たしたものがエリートツリーとして認定されます。当場では平成 26 年度からエリートツリーの選抜に着手し、平成 27 年度末までに 20 系統を開発しました。

3. カラマツ特定母樹の指定によるエリートツリーの普及

平成 25 年度に「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」が改正され、成長量については材積で在来系統よりもおおむね 1.5 倍以上優れるなどの基準を満たす個体を、農林水産大臣が特定母樹として指定し、その普及促進が図られていくこととされました。平成 28 年度に、これまでに当場で選抜されたカラマツエリートツリーの中から 9系統が東北で初めて特定母樹として指定されました。これらの特定母樹の普及によって優良なカラマツのエリートツリー種苗の生産が進み、林木育種の成果が林業の現場に波及することが期待されます。今後もエリートツリーの選抜を進め、さらに多くの特定母樹が指定されるように取組んでいきます。

カラマツでは、造林面積の増加に伴い全国的に種苗不足が問題になっています。林木育種センターでは、平成 28 年度から革新的技術開発・緊急展開事業（事業実施主体：生研支援センター）としてカラマツ種苗を安定供給するための技術開発に産学官共同で取り組んでいます。このプロジェクトの成果としてカラマツ種苗の生産性が向上することが期待されています。

写真 1　特定母樹として指定されたカラマツエリートツリー

カラマツ東育 2 1（左）とカラマツ東育 2 10（右）、ともに撮影時の樹齢は 28 年生

（東北育種場　育種課　那須　仁弥）

「爽春」の無花粉遺伝子を高い精度で判定できるDNAマーカーの開発

1. 無花粉スギを用いた取組み

スギ花粉症は、国民の約３割が罹患していると言われるなど、大きな社会問題となっています。林木育種センターでは、花粉症対策の一環として、平成20年３月に無花粉スギ品種として「爽春」を開発し、その後「爽春」との交配によって、無花粉でかつ成長や材質等の形質が優れた品種の改良を進め、平成28年度には成長に優れた無花粉スギ品種「林育不稔１号」を開発しました。また一方で、品種改良のより早い段階で無花粉の個体を効率的に選抜するための「爽春」の無花粉遺伝子を判定できるDNAマーカーの開発の研究も進めてきました。

2. DNAマーカーの開発

「爽春」の持つ無花粉遺伝子を判定できるDNAマーカーを開発するために、連鎖解析（特定の交配集団において、表現型［不稔かどうか］とDNAマーカーの相関関係を調べること）という手法を用いました。具体的には「爽春」を種子親とした交配を行うことでF_1世代を作出し、さらに得られたF_1世代同士を交配したF_2世代まで展開し、その子供群で得られる花粉の形質（花粉の有無）と遺伝子型（遺伝子の組み合わせ）について、約７万個のDNAマーカーを用いて検証しました。その結果、無花粉形質と強く関連するDNAマーカーが検出できました。このDNAマーカーは、共優性（例えばAA、Aa、aaといった３タイプの遺伝子型を識別できる）で、今のところ42個体の無花粉個体（aa、劣性ホモ個体）を100%の精度で識別できる結果となっており、高い精度のマーカーであると考えられます。さらに、このDNAマーカーを関東育種基本区のスギ精英樹に適用したところ、無花粉遺伝子を潜在的に保有するヘテロ個体（本マーカーでAaを示すもの）を３個体見つけることができました。

3. 無花粉マーカーの今後の活用

今後は、開発したDNAマーカーを全国で選抜されたスギ精英樹に適用し、無花粉遺伝子を保有する精英樹の候補をより広範囲に探索していく計画です。精英樹は、林業的な性質が優れているので、無花粉遺伝子をヘテロで保有する精英樹は、今後の育種素材として有望であり、ヘテロの精英樹同士の交配により、林業上の性質が優れ、かつ無花粉である子孫が得られると考えられます。また、林木育種センターが開発を進めているエリートツリーや特定母樹についても今回開発したDNAマーカーで分析することにより、ヘテロの個体の候補の探索を行っていく考えです。これにより、無花粉スギのヘテロリソースの構築を進め、無花粉スギ品種の開発を効率化、高速化するとともに多様な無花粉スギの開発を進めて行きたいと考えています。

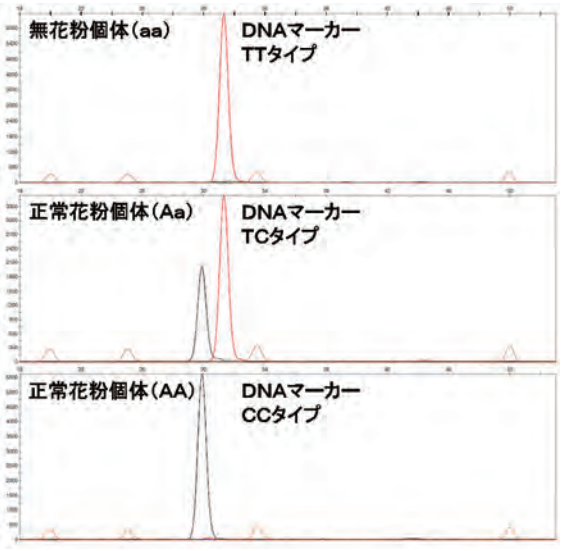

図１　DNAマーカーによる分析図

シーケンサーと呼ばれるDNA分析機器を用いてDNAマーカーのタイプを分析した時に得られる分析結果。

（育種部　育種第一課　三嶋　賢太郎）

次世代シーケンサーを用いたSNPジェノタイピング

1. はじめに

各個体のゲノムDNA上の変異を検出し、個体識別を行うジェノタイピング（遺伝子型決定）には様々な方法があります。現在、当センターでは、スギを代表とする林業用樹種に対して、マイクロサテライトマーカー（ゲノムDNA中に散在する2～8塩基を単位とする繰り返しの変異を目印にしたDNAマーカー）を使ったジェノタイピングの他に、1塩基の変異（Single Nucleotide Polymorphism; SNP）を目印にしたSNPジェノタイピングも行っています。SNPジェノタイピングには、大きく2種類の方法があり、マイクロアレイと呼ばれる基盤上でSNPを検出する方法と次世代シーケンサーで塩基配列を読むことでSNPを検出する方法があります。今回は、次世代シーケンサーを用いたSNPジェノタイピングについて紹介します。

2. 次世代シーケンサーを用いたジェノタイピングシステム

現在､次世代シーケンサーを用いたSNPジェノタイピングには大きく2種類の方法があります。1つはゲノムDNAを制限酵素（特定の配列を認識してDNAを切断する酵素）で切断し、切断した部位から数百塩基程度の配列を調べ、SNPを探索する方法です。この方法はGBS（Genotyping-by-sequencing）やRADシーケンス（Restriction Site Associated DNA Sequence; RAD-seq）と呼ばれており、新規のSNPをゲノムDNA上の全体から高密度に検出するために利用されています。2つ目の方法は、既知のSNPに対して、周辺の配列情報をもとに複数領域を一度にPCR（Polymerase Chain Reaction）法で増幅し、増幅した領域に対して200～300塩基程度の配列を調べ、SNPを検出します。この方法は、アンプリコンシーケンスやターゲットシーケンスと呼ばれており、すでに表現形質との関連が明らかになっている複数のSNPマーカーのセットを構築することで（パネル化して）利用することで、より迅速かつ効率的にジェノタイピングすることができます。

3. 林木のゲノム研究への利用について

前段で説明したように次世代シーケンサーを使ったSNPジェノタピングは、研究目的や規模に応じて使い分けをする必要があります。当センターでも、GBSやRAD-seqといった大規模かつゲノムワイドなSNPジェノタイピングは、個体識別はもとよりゲノムDNA上の遺伝子（座）間の距離を推定する連鎖地図の作成や育種上有用な形質との関連解析（Quantitative trait locus; QTLマッピングやGenome Wide Association Study; GWAS）の研究に利用しています。それらの大規模な研究から検出されてきた有望なSNPについては、アンプリコンシーケンスのためのSNPのパネル化に向けて、育種の現場で優良な個体を迅速かつ効率的に選抜できるようなSNPマーカーの開発を進めているところです。

写真1　当センター所有の次世代シーケンサーIonS5

（森林バイオ研究センター　平尾　知士）

海外林木育種事情調査
イギリス王立キュー植物園ミレニアムシードバンク

1. はじめに

イギリスにあるキュー植物園（the Royal Botanic Gardens, Kew）は、ミレニアムシードバンク（the Millennium Seed Bank。以下、MSB）という種子保存事業を行っています。この事業は2000年に本格的に始まり、2017年2月現在、全世界の種子植物種の約13%（約3万7千種）の種子が保存されています。MSBでは2020年までにこの数値を25%にすることを目標に、種子の収集と保存、それに関連する研究、さらに広報普及や支援などを行っています。本稿ではその先進的な取り組みを紹介します。

写真1　朝焼けのMSB外観
写真左端が展示ホール。右2つのアーチ屋根が研究棟。写真外左にも2つのアーチ屋根がならび事務・研究棟となっている。種子貯蔵庫はこの地下にある。

2. 施設

MSBの主要施設はロンドンから南へ約50km、ウェイクハースト（Wakehurst）にあります。キュー植物園のある首都ロンドンとは対照的に、なだらかな丘陵に牧場が広がる地域です。MSBの主な施設は地下1階、地上1階建の建物から構成されています（写真1）。地上階は展示ホールをはさむ形で研究棟と事務棟が並び、地下には巨大な種子貯蔵庫と宿泊研修施設等が併設されています。

3. 研究

現在、種子貯蔵庫には、乾燥しても生きている比較的取り扱いが容易な種子が主に保存されていますが、種子の乾燥耐性の程度や保存に適した温度、寿命などは植物の種類により様々です。MSBではこれらの特性調査をルーチン化して実行し、結果をデータベースとして公開しています（http://data.kew.org/sid/）。これを利用して世界中の植物種子の保存可能性を類推することができます。また、発芽に特別な条件を必要とする種子や、乾燥すると死んでしまう取り扱いの難しい種子の特性も研究しています。さらに、これら先端的な研究だけなく、種子をより簡便に取り扱う手法の研究開発も行っており、その成果を学術論文としてだけでなく、マニュアルやリーフレットなどにして公開しています（http://www.kew.org/science/collections/seed-collection/millennium-seed-bank-resources）。

写真2　博物館文化の深さが香る展示ホール
写真左奥の暗くなっているところがガラス張りの作業室や実験室。

4. 広報普及

展示ホールでは、MSB の概略や各種プロジェクトが紹介されています（写真 2）。ホールの両側にはガラス張りの作業室と実験室が並び、種子の受入から精選、貯蔵、発芽試験までの工程を見学することができます。MSB では正規職員だけなくボランティアスタッフや世界各地から来た研修生が種子保存作業に従事しています。

5. 支援

MSB では様々な国や地域と連携して種子を集めるとともに様々な支援も行っています。研究者を派遣するだけでなく、技術講習プログラムや大学院生等を対象とした教育コースなどを開催しており、世界各地から研修生を受け入れています。私達が訪問したときはケニアとフランスから来た研修生がトレーニングコースを受講していました。また、機材の不足しがちな国や地域には種子の収集・保存に必要な機材一式をブルーボトルキット（写真 3）として提供しています。

写真 3　出荷を待つブルーボトルキット
中には簡易含水率測定器、収集袋、乾燥剤などの機材一式が入っており、種子の収集・保存の一連の作業ができるようになっている。

6. パートナーシップ

MSB のコレクションが世界規模に及んでいる理由は、その卓越した体制や施設だけでなく、これまでに 31 の国や地域と結んできたパートナーシップにもあります。パートナーシップは共同研究や技術協力の枠にとどまらず、お互いの機能を補い合う関係にまで及んでいます。例えば、不慮の事故に備えて、コレクションは複数個所に保存すると安全であることから、パートナーシップを結ぶことで MSB は予備の貯蔵庫として（場合によっては MSB がメインとして）機能し、リスク分散を実現しています。また、発芽率などの調査データを MSB のデータベースに登録することや、蓄積されているデータを利用することもできます。データベースは専属のスペシャリストが管理しており、安全かつ高度なデータ活用ができるようになっています。

パートナーシップの代表的なものとして、ヨーロッパ諸国との ENSCONET やオーストラリアの植物園との Australian Seedbank Partnership があり、コレクションとデータの共有が行われています。

こうして、MSB は世界各地から種子を受け入れ、コレクションを充実させ、データの集積・共有を行っています。

7. おわりに

世界の様々な植物を対象とする MSB の取組みを林木ジーンバンク事業にも活用することで、希少種などを含めた種子保存技術を改善していく予定です。また、温暖化対策や生物多様性保全など多くの問題がグローバル化し、一つの国だけでは対処しえない現在、パートナーシップによって双方が利益を得るという MSB の方法は、世界規模での遺伝資源保全のモデルケースとなるでしょう。こうした協働へ参加することも、国際協力の一つの形なのかもしれません。

今回の事情調査では、キュー植物園の Kate Hardwick 博士にはたいへんお世話になりました。この場を借りてお礼を申し上げます。

（西表熱帯林育種技術園　古本　良、
遺伝資源部　保存評価課　木村　恵・
遠藤　圭太）

スギ雄花着花特性検査の高度化事業の開始

1. はじめに

スギ花粉発生源対策として、林木育種センターではこれまで全国の都府県と連携・協力して、スギ第１世代の精英樹の中から「花粉の少ないスギ品種」142 品種を開発しており、現在、これらの品種による採種園・採穂園の整備と苗木生産が進められています。

少花粉品種を開発する際には、林野庁が定めた「スギ花粉発生源対策推進方針」の中の「雄花着花性に関する特性調査要領（スギ）」（以下、「要領」という。）に基づいて調査・評価を行っていますが、この要領では実際の自然着花を成木（15 年生以上）を用いて豊凶も考慮した期間（5 年間以上）を要しており、より短期間で雄花着花量を検査する手法が求められています。このため、平成 29 年度から「スギ雄花着花特性検査の高度化事業」を林野庁から受託し事業を進めることになりました。

2. この事業について

この事業は、大きく３つの項目から構成されています。まず実施項目 1)「自然状態に最も近い雄花着花特性をもたらすジベレリン処理濃度の調査」では、夏期にジベレリン水溶液を針葉に付着させる（以下、「ジベレリン処理」という）ことで着花を促進させるための最適なジベレリン処理濃度を明らかにします。次に、実施項目 2)「樹齢と雄花着花特性との関係の調査」では、様々な苗齢・樹齢のさし木個体においてジベレリン処理を行い、検査が有効な齢級の下限を明らかにするとともに、着花状況の年次変動を分析することで調査期間として妥当な年数を把握します。

最後に、実施項目 3)「雄花着花特性と実際の雄花着花量との関係の調査」では、太平洋側及び日本海側の実生またはさし木個体において様々な段階の雄花着花量を示している個体を伐倒し、要領に記載されている雄花着花量を表す指数と実際の雄花着花量との関係を調査し、指数から実際の花粉生産量を推定する精度を上げることを目的としています。

3. 事業に向けた取組み状況

今回の事業は、林業種苗法におけるスギの種苗配布区域のうち第一区から第六区までの、実際にスギの人工造林が行われ人工林が成立している区域を調査対象としてデータを得ることを目的としています。それぞれの区域において、正確な調査データを取得するため、林木育種センター各育種場と 17 の都県に協力をお願いし、全国を網羅したデータを得る予定です。

本年６月から事業を開始し、林木育種センターでは、詳細な研究計画を参加機関の協力を得て作成するとともに、既存の植栽木からの供試個体の選定、新たな供試個体の育苗など、本格的な調査の準備を進めています。

写真１　実施項目 1）で利用する供試木（左）と実施項目 2）で利用する１～２年生のさし木供試木（右）

（育種部　育種第二課　加藤　一隆）

表紙タイトル写真は、ヒノキ特定母樹の原種苗木等の増殖状況。今年度から関東育種基本区においてヒノキ特定母樹の原種苗木を配布します。（林木育種センター構内）

※紙へリサイクル可

林木育種情報　No. 25　　平成29年７月26日発行
国立研究開発法人　森林研究・整備機構　森林総合研究所　林木育種センター
〒 319－1301　茨城県日立市十王町伊師 3809-1
ＴＥＬ：0294-39-7000（代）
ＦＡＸ：0294-39-7306
ホームページ　http://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/index.html