

フィンランド

林木育種事情調査

(調査期間：平成 22 年 8 月 1 日～8 月 8 日)

独立行政法人 森林総合研究所林木育種センター
北海道育種場育種課長 生方正俊
北海道育種場主任研究員 田村明

1. 採種園の実態

フィンランドの林木育種事業は 1947 年に開始した。現在までに 13,800 本の精英樹が選抜され、3,300ha の第 1 世代採種園が造成された。1990 年代後半からは、1.5 世代採種園の設定が行われている。1.5 世代採種園とは、第 1 世代採種園から不良クローンを除いたものではなく、検定済みの優良な 20～30 クローンを使って新設された採種園である。これらの 1.5 世代採種園は、早い時期に種子を生産させるため、従来の採種園よりも肥沃な場所に設定されている。最近ではヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*) で 1.5 世代採種園産種子の生産が増加してきている。

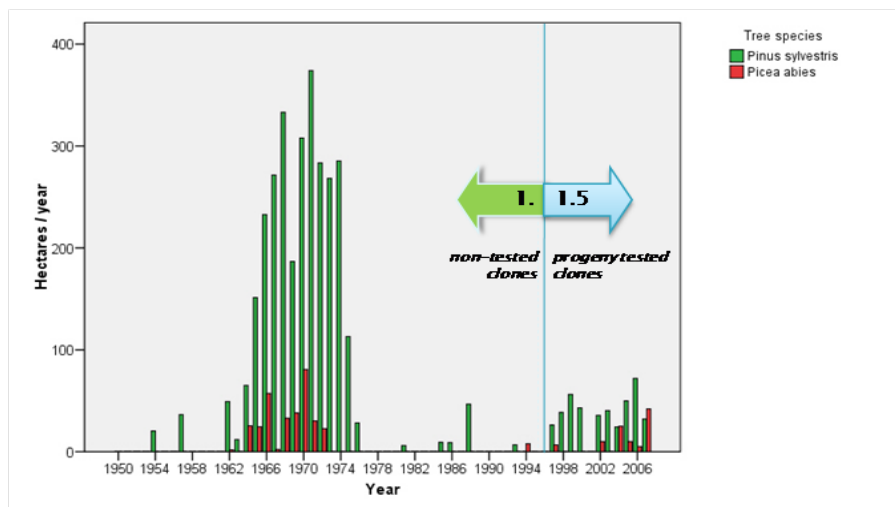
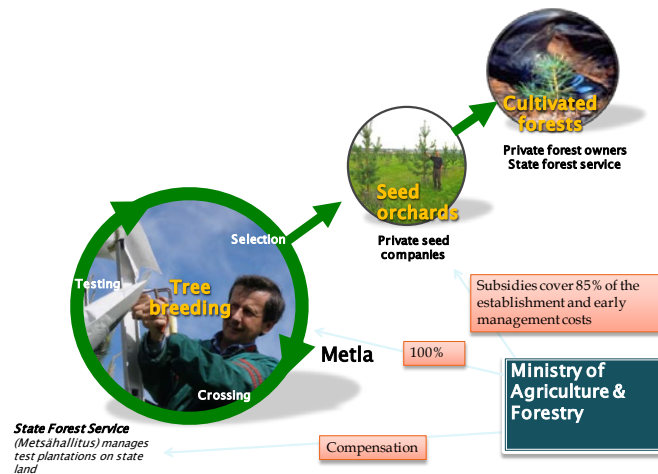


図. フィンランドにおける採種園造成の推移

2. 育種種苗の普及方法

フィンランド森林研究所 (METLA) では、公共サービスの一環として人工交配、検定、精英樹選抜のいわゆる育種事業を行う。これらの事業は農林水産省から 100%補助される。精英樹由来のクローン苗木 (原種) は採種園造成用として種子生産会社に販売される。また、METLA は、公共サービスの一環として、採種園の設計や育成に関するコンサルタントを行う。種子生産会社の採種園の設定費用および採種園の育成管理費についても農林水産省から補助がある。種子生産会社から苗木生産会社に種子が販売されるが、改良種子と未改良種子の価格差はない。なお、森林総合研究所 (FFPRI)

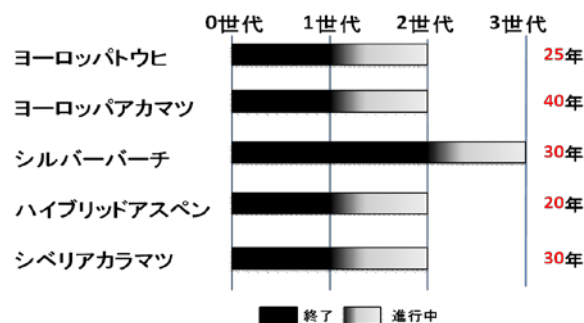
は 2007 年 10 月 18 日に METLA との間に MoU を結び、気候変動に対応するトウヒ属種間雑種を作るための育種技術の共同開発と、マツノザイセンチュウ抵抗性育種等に関する情報交換を行っている。



図．育種種苗の普及の流れと補助金の関係

3. 育種戦略

フィンランドでは世代更新を早め、単位時間あたりの改良効率を高める戦略をとっている。育種年限はヨーロッパトウヒ (*Picea abies*) で 25～30 年、ヨーロッパアカマツで 40 年としている。伐期が 80 年近いにも関わらず、育種年限が短い理由は、次世代精英樹の早期選抜方法にある。検定林を地力の高い場所に高密度植栽で複数箇所に設定することによって、系統間の遺伝的な違いを早期かつ高精度で検出し、単位時間当たりの遺伝獲得量が最も高い時期に選抜を実施している。北海道には、40 年以上経過する次代検定林が複数ある。これらの経時データを使って、単位時間あたりの改良効率（早期の改良効果を一定期間の改良効果で除した値）が最大を示す樹齢に、次世代精英樹の確定と次世代精英樹候補木の選抜を実施している。改良効率が高い時期を明らかにし、早期検定の可能性を検討することも重要だと思われた。



図．フィンランドにおける次世代化の程度

育種年限の短い別の理由として、着花促進技術がほぼ確立していることが挙げられる。例えばヨーロッパトウヒでは温室内で育成した根本径 3cm 以上のつぎ木苗に植物ホル

モン処理を行うことによって着花させている。シルバーバーチ (*Betula pendula*) では温室内の CO₂ 濃度を高めることによって 4 年生のつぎ木苗に沢山着花させている。このような着花促進技術は、北海道の育種対象樹種であるアカエゾマツ (*Pinus glehnii*) やシラカンバ (*Betula platyphylla*) の次世代化に応用できる可能性がある。



写真. シルバーバーチの温室内交配施設の様子

4. 苗木生産の実態

フィンランドではヨーロッパトウヒの苗木をわずか 1 年数か月で山出ししている。低価格で生産するには十分な理由があった。一つは生産工程における徹底的なオートメーション化である。トレイへの土の充填や播種が機械化されている。そして、もう一つの大きな理由はコンテナ苗生産にある。トレイはサイドスリットトレイを使用していた。このトレイで育成された苗木は、沢山の細根が底面だけでなく側面にも形成されていた。そのため、山出し後の成長は、裸苗よりも格段に優れる。アカエゾマツでは約 6 年の育苗期間が必要であるが、フィンランドで行われている育苗生産技術を導入することによって、育苗期間を短縮できる可能性がある。



写真. サイドスリットトレイで育成されたヨーロッパトウヒのコンテナ苗

5. ヨーロッパトウヒ (*Picea abies*) の育種

ヨーロッパトウヒはフィンランドの森林蓄積量の約 3 割を占める樹種である。強度

が強く、通直で加工がしやすいため、建築材、パルプ、家具、楽器、合板などに利用されている。現在、第二世代精英樹の候補木を選抜中である。第二世代候補木は、6～7年生次に開葉フェノロジーを重視して選抜される。これは、今後、温暖化した場合の霜害を回避するためである。その後、これらの候補木からさし木苗を作り、クローン検定される。クローン検定試験地は肥沃で平坦な場所に約4箇所設定され、約10～15年生次の成長量等を指標にして第二世代精英樹が確定される。

6. ヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*) の育種

ヨーロッパアカマツはフィンランドの森林蓄積量の約5割を占める樹種である。建築材、家具、造作材等に利用されている。約7000の精英樹が選抜され、その内、約4700の精英樹が検定林で検定されている。1975年頃から、Test Orchard 式の検定林が設定され始める。この検定林は、ha 当たり5000～10000本の高密度植栽である。通常の検定林よりも均一な場所（以前は農地のような場所）で、植林前に丁寧な地拵えと、下層植生を制御するために、除草剤等がまかれる。また、ムース（ヘラジカ）による被害を無くするために、検定林の周辺をフェンスで囲んでいる。この検定林は、通常の検定林と比べて、成長を促進できるとともに、試験誤差を小さくし、遺伝的な差異が早期に検出できる方法であるため、今日では約1/3の検定林がこのTest Orchard 式検定林である。さし木増殖によるクローン検定が可能なヨーロッパトウヒとことなり、ヨーロッパアカマツにおいては、第二世代精英樹の選抜の方法は、半兄弟および全兄弟の検定林からフェノロジー等を重視して候補木を選抜し、つぎ木増殖した候補木間で人工交配を行い、6箇所の検定林に植栽する。Test Orchard 式検定林の場合、5～7年生次に第二世代精英樹が確定されることになる。



写真. Test Orchard 式検定林

7. シルバーバーチ (*Betula pendula*) の育種

シルバーバーチは食器、パルプ、合板、高級製材、木工細工等に利用されるフィンランド自生の樹種である。1990年代の初めには、成長休止期の腋芽を使ったマイクロプロパゲーション法で大量のクローン苗が商業生産されたが、コスト高のため終了した経緯がある。早期着花促進技術が確立しているため、他の樹種よりも次世代化が進んでおり、現在第二世代と第三世代の精英樹で構成された採種園から育種種苗が生産されている。

8. ハイブリッドアスペン (*Populus tremula* x *P. tremuloides*) の育種

ハイブリッドアスペンは、フィンランドで最も成功した交雑育種である。フィンランドに生育しているヨーロッパアスペン (*P. tremula*) を♀親とし、アメリカアスペン (*P. tremuloides*) を♂親とした交雑種である。雑種強勢により成長に優れ、繊維特性も優れているため、高級印刷紙用として利用されている。現在は、1つの苗木生産会社がマイクロプロパゲーション法でクローン苗を生産しており、フィンランドとエストニアで年間 200ha を造林している。第二世代精英樹は、クローン検定で確定されており、これらの材料はマイクロプロパゲーション法または根ざしで増殖されている。育種年限はわずか 20 年であり、繊維特性と成長量を重視して選抜される。

9. シベリアカラムツ (*Larix sibirica*) の育種

シベリアカラムツは、フィンランドで最も成功した導入育種である。肥沃な場所では、ヨーロッパトウヒやヨーロッパアカマツよりも成長が良い。加えて、材の耐朽性が高いため、建築材や屋外建造物、船の建造材等に利用される。国内に 7 箇所の採種園が造成され、余剰種子はアイスランドやスウェーデンに販売されている。

10. プベッセンスカンバ (*Betula pubescens*) の育種

材は器具材や家具の副材、フローリング、合板などに用いられる。採種園は 4 箇所あり、全て 1 世代精英樹から構成される。南部の採種園産種苗の幹材積の改良効果は、対照に比べて 29%増で、幹の素性も良くなったとされている。

11. 育種に関するバイオテクノロジー

フィンランドでは、ヨーロッパアカマツの無性繁殖技術の開発に取り組んでいる。目的は 3 つある。1 つは、ヨーロッパトウヒのように次世代の候補木をクローン検定が行えれば、育種年限を短縮できる可能性があること。2 つ目は、不定胚からの無性繁殖技術ができれば、苗木の大量生産が可能になること。3 つ目は、遺伝資源保存である。通常のさし木増殖では、2~3 年生の実生苗をさし穂採取用の台木にしても、その発根率は 0~30%である。そのため、不定胚による大量無性繁殖技術の開発を行っているが、現段階では実用段階にない。その理由の 1 つが不定胚の誘導が 20~30%で、かつ個体間差があり、非効率的であること。2 つ目が不定胚から植物体に変換する率が低いことである。また、不定胚からの再生は、コスト高のため、培養段階での各ステップのオートメーション化が必要だと考えている。ただし、不定胚の低温保存技術は確立しており、冷温保存後でもその胚は健全であり、融解後の再成長も通常の胚と変わらないことを明らかにしている。また、シルバーバーチでも低温保存技術が確立されており、実用段階に至っている。

12. 気候変動に関する研究

フィンランドでは、2100 年の年平均気温が 2~6℃上昇、特に冬の気温で 3~9℃上昇、降水量で 10~40%増加することが予測されている。このことによって、夏の乾燥

害、冬の風害や雪害、春や秋の霜害が多く発生することが予測されている。2030 年と 2100 年の気象環境を想定した温室内でヨーロッパアカマツの産地別苗木を育成し、晩霜害を想定した冷凍試験を行い、枯損率を調査していた。この試験の結果では、夏の気温が高いほど、枯損率が高く、土壌水分が少ないと枯損率が高く、かつ有効積算温度が高い産地の苗木は枯損率が高い傾向があった。南部産の種苗を使うと、晩霜害によってかえって被害が増大する可能性があり、母樹や産地の選択が重要であることを明らかにしている。

13. 林木遺伝資源

A National Plant Genetic Resources Program に従い、METLA が中心になって林木遺伝資源の保存・保全を行っている。国内に広く自生している樹種は主に生息地を覆うように遺伝資源保存林を設定して保全している。1 箇所あたり最低 100ha 必要としている。遺伝資源保存林の所有者には、国有林や METLA、会社及び個人がある。森林所有者は森林の管理を適切に行う必要があり、人工更新が必要な場合は、種子採取や苗木養成のための費用が政府から補償されている。ヨーロッパナラ (*Quercus robur*) やノルウェーマープル (*Acer platanoides*) などの主に小さく分断化された集団の保全は、生息域外保存が基本になる。収集の目安としては 20～90 箇所の林分、各林分 5～10 個体から収集することとしている。

14. 木質バイオマスエネルギーの消費量

フィンランドはバイオエネルギーの技術開発に対して多額の公的資金を拠出しており、EU の中でもスウェーデンと並び、バイオエネルギー研究の先駆的役割を担っている。既に再生可能なエネルギー（水力、風力、太陽、バイオエタノールなど）の割合が 28%を超え、そのうち 21%が木質系燃料由来である。最近では木材チップを利用した発電および温熱の供給が盛んになってきており、地元経済の経費節減に貢献している。日本とフィンランドを直接比較はできないものの、フィンランドでは林地残材の利用がかなり進んでいる。特に、木材チップの原料の多くは林地にある枝条や根株、間伐木を利用している。また伐採・搬出はハーベスター等による高性能機械によってコスト削減が図られている。

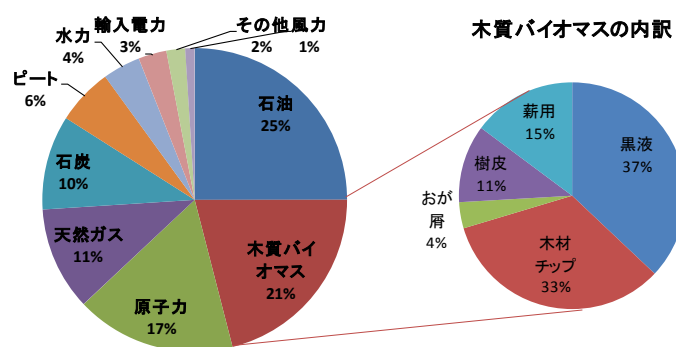


図. フィンランドにおけるエネルギー消費量の内訳