

第3章

林木育種に関わる研究・事業での 個別成果





3-1 開発品種*の紹介

田村明²・星比呂志¹・高橋誠¹・加藤一隆¹・中田了五²・織部雄一郎³・久保田正裕⁴・倉本哲嗣⁵

1: 林木育種センター育種部、2: 北海道育種場、3: 東北育種場、4: 関西育種場、5: 九州育種場

林木の優良な種苗を早期に確保するためには、林業の再生と国土・環境保全に資する品種を開発する必要があります。林木育種センターは国有林、各都道府県と協力し、今中期計画(2011年度から2015年度)の間に250品種を開発することを目指してきました。2014年度までに201品種を開発しましたので、その品種の特徴と活用の主な目的を説明します。

1

幹重量の大きい品種 33品種



草津6号 (カラマツ) 県山田2号 (ヒノキ)

特徴
幹重量大
=CO₂吸収量大

・地球温暖化防止
・林産業再生

カラマツ	関東	10品種
ヒノキ	関東	10品種
	関西	12品種
	九州	11品種

2

マツノザイセンチュウ抵抗性品種 70品種



宮城(石巻) クロマツ259号 京都(和知) アカマツ36号

特徴
ザイセンチュウ抵抗性大

・日本のマツ林景観保全
・震災による海岸林復興

アカマツ	東北	3品種	クロマツ	東北	28品種
	関東	2品種		関東	4品種
	関西	9品種		関西	19品種
				九州	5品種

3

花粉症対策品種(少花粉)2品種



三好6号 (スギ) スギ 関西 2品種

特徴
花粉生産量が一般的スギに比べ、約1%以下

・スギ花粉症低減

4

材質優良品種37品種



白老8号 (トドマツ)

特徴
ヤング率大(スギ)
=建築構造材等利用
心材含水率少(トドマツ)
=低質材からの脱却

・林産業再生

スギ	東北15品種
	関西17品種
トドマツ	北海道5品種

5

初期成長に優れた品種 59品種



県八女8号 (スギ)

特徴
初期成長大
=下刈りコスト削減

・林業再生

スギ	東北	8品種
	関東	14品種
	関西	15品種
	九州	22品種

表1 2011年度から2014年度の間に開発された品種

品種名	樹種	開発品種数
幹重量の大きい品種	カラマツ	10
	ヒノキ	23
マツノザイセンチュウ抵抗性品種	アカマツ	14
	クロマツ	56
花粉症対策品種(少花粉)	スギ	2
材質優良品種	スギ	32
	トドマツ	5
初期成長に優れた品種	スギ	59

6

今後に向けて

今後は、複数形質が優れた品種(例えば、無花粉で初期成長が優れたスギ)の開発や、萌芽が旺盛で初期成長が優れるヤナギの中から、バイオマス生産量の大きい品種を開発するなど、社会情勢やニーズの多様化に応じた品種の開発を進めていきます。

* については、巻末の用語集をご覧ください。

3-2 エリートツリー*の紹介

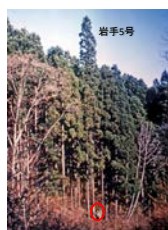
星比呂志¹・加藤一隆¹・中田了五²・織部雄一朗³・久保田正裕⁴・倉本哲嗣⁵・
小野雅子¹・西岡直樹²・辻山善洋³・篠崎夕子⁴・福山友博⁵

1: 林木育種センター育種部、2: 北海道育種場、3: 東北育種場、4: 関西育種場、5: 九州育種場

エリートツリーとは、第二世代以降の精英樹のことをいい、第二世代の精英樹は、第一世代の精英樹のうち成長等が優れたもの同士を交配し、その子供群から特に成長等が優れたものを選んだものです。なお、現在開発しているエリートツリーは第二世代の精英樹です。これらは、第三世代育成のための育種集団であるとともに、一部は特定母樹⁵として都道府県等の採種園・採穂園用の原種として配布され生産集団として活用されます。配布に際しては、確実な系統管理が重要であり、そのための技術開発も進めています。

1 精英樹の選抜からエリートツリーの開発まで

第一世代精英樹の選抜(1954年～)



○ 比較の対照として立つ調査員

スギ精英樹岩手5号



スギ精英樹の選抜地の分布

全国でスギ、ヒノキ、カラマツ等約9,100本を選抜

採種園・採穂園の造成と種苗生産(1957年～) 検定林による第一世代精英樹の評価(1964年～)



スギ採穂園



次代検定林

※成長の違いがモザイク模様になっている

普及しながら検定・評価を実施

優良第一世代精英樹同士の交配・F₁の育成(1980年～)、育種集団林の造成(1984年～)、エリートツリーの開発(2012年～)



人工交配



育種集団林



エリートツリー候補木

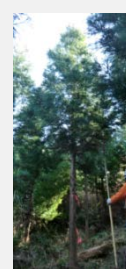
優良精英樹F₁による育種集団林からエリートツリーを選抜

2 エリートツリーの特性と開発状況



スギ西育2-1

(関西育種基本区)



スギ九育2-136

(九州育種基本区)

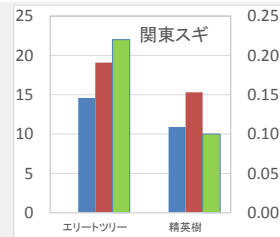


図1 エリートツリーと精英樹の特性比較(20年次)

青バーは樹高(m)
赤バーは胸高直径(cm)
緑バーは材積(m³)

表1 エリートツリーの開発状況

2015年3月末日現在

基本区	スギ	ヒノキ	カラマツ	トドマツ
北海道				(347)
東北	9			
関東	81	11	60	
関西	76	87		
九州	124	78		
計	290	176	60	(347)

数値はエリートツリー本数

() 内の数値はエリートツリー候補木の本数

全国でスギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツについて開発を推進

3 系統管理技術の開発



図2 二次元バーコードを利用したサンプル管理システム

DNA遺伝子型に基づいたICタグ^{*}・ラベルシステムによる高度な系統管理技術の開発を推進

4 今後に向けて

全国でエリートツリーの開発をさらに進めるとともに、育種期間の短縮技術の開発を進めながら、第二世代同士の交配による第三世代の育成を進めていきます。

* については、巻末の用語集をご覧ください。

3-3 特定母樹*の紹介

星比呂志¹・高屋敷元木¹・塚本徹¹・高橋誠¹・加藤一隆¹・田村明²・中田了五²・織部雄一朗³・久保田正裕⁴・倉本哲嗣⁵
・植田守²・細川齊³・大江博⁴・佐藤省治⁵・佐藤亜樹彦²・長谷部辰高³・笹島芳信⁴・大城浩司⁵・高倉良紀³・藤原優理¹・
弓野奨¹・林田修¹・村上丈典⁴・屋森修一⁴・河合貴之⁴・澤村高至⁵・松永順⁵

1: 林木育種センター育種部、2: 北海道育種場、3: 東北育種場、4: 関西育種場、5: 九州育種場

森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法(間伐等特措法)の改正に伴い、森林吸収源対策として、成長に優れた種苗の母樹である「特定母樹」の増殖を支援する措置が新設されました。林木育種センターでは、第一世代以降の精英樹同士の交配で、特に成長が優れた第二世代以降の精英樹をエリートツリー*とし、この中で特に成長や剛性が優れ、花粉の発生量が少ない系統が特定母樹に指定されました。また第一世代の精英樹等からも成長が優れ、花粉の少ない系統も特定母樹が指定されました。これらから生産される種苗は、成長が大変優れているため、下刈り回数が少なく済むことによる育林経費の削減、伐期的大幅な短縮等、低コスト林業への貢献が期待されています。特定母樹から生産される優良種苗の普及拡大を、国や都道府県等と連携して進めていきます。

1

背景と目的

2013年5月に、森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法(間伐等特措法)の改正に伴い、森林吸収源対策として、従来の間伐に加え、成長に優れた種苗の母樹である「特定母樹」の増殖を支援する措置が新設されました。都道府県に加え、認定を受けた民間事業者も特定母樹の原種苗木等の配布を受け、採種圃園を造成できるようになったため、より成長等が優れた種苗の生産を早期に拡大できる仕組みができました。



特定26-41 スギ東育2-15号 特定25-49 スギ九育2-162号 特定26-58 カラマツ林育2-62号 特定26-65 ヒノキ西育2-3号
(東北育種基本区) (九州育種基本区) (関東育種基本区) (関西育種基本区)
2.1倍 2.0倍 2.4倍 1.9倍

注) 赤字の数値は在来の系統に対する幹材積の倍率を表します。

2

特定母樹の指定

森林所有者、都道府県、林木育種センター等

申請

林木育種センター等からは主に

エリートツリーが申請されています。

林野庁の審査

特定母樹の指定基準

- 単木材積が在来系統の **1.5倍** 以上(全樹種)
- 剛性が同様の林分の **平均以上** (全樹種)
- 幹の通直性が **良い** (全樹種)
- 雄花着生性が一般的なスギの **半分以下** (スギ・ヒノキ)

選定

農林水産大臣が特定母樹指定

4

成果の活用と今後

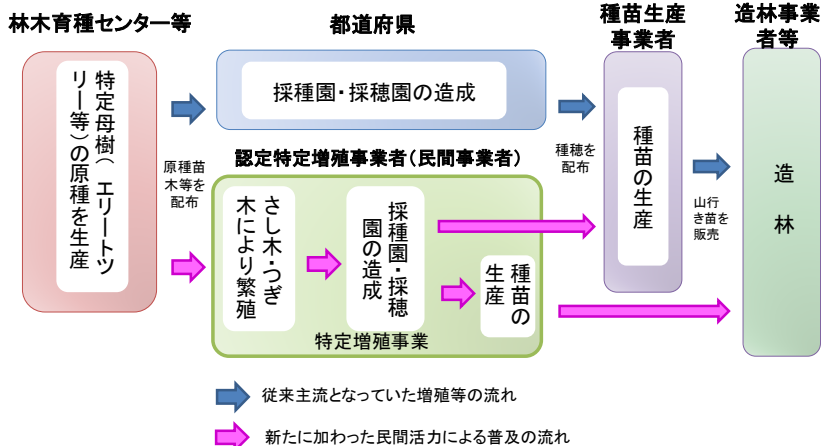


図1 特定母樹の普及体制

3

得られた成果

2015年3月でスギ85系統、ヒノキ16系統、カラマツ15系統のエリートツリーが特定母樹に指定されています。また第一世代精英樹等の中からも2樹種18系統が特定母樹に指定されました。

2015年春には、全国で6県及び9認定特定増殖事業者に対して、特定母樹の原種配布と要望に応じ増殖に関する技術指導を行いました。林木育種センターでは、今後も特定母樹の申請を進めるとともに、特定母樹に指定されたエリートツリー等について、その原種苗木等を都道府県等の要望に応じて配布して普及を進め、林業の低コスト化に貢献していきます。

* については、巻末の用語集をご覧ください。



3-4 系統管理の精度を高めるためのトレーサビリティ・システム

高橋誠¹・宮本尚子²・小野雅子¹・栗田祐子²・平尾知士³・山野遼太郎⁴・松永孝治⁵・竹田宣明⁵・渡辺敦史⁶

1: 林木育種センター育種部、2: 林木育種センター遺伝資源部、3: 森林バイオ研究センター、4: 東北育種場、5: 九州育種場、6: 九州大学

品種改良において系統を正確に管理することが重要です。その重要性は林木育種においても同様で、育種事業開始当初から系統管理が行われてきましたが、従来はラベルによる系統管理でした。近年、系統管理にDNAタイピング*技術が適用できるようになり、従来の系統管理におけるヒューマンエラーをチェックできるようになりました。また、ヒューマンエラーを未然に防止するためのツールとして、バーコードやICタグ*の利用やそれらの読み取りによるラベル自動再発行などのシステムを開発しました。これらのシステムを効果的に運用することにより、系統管理の制度を飛躍的に高めることができます。

1

背景と目的

林木の品種改良の推進には
正確な系統管理が重要



従来、ラベルによる系統管理が中心

ヒューマンエラー
のリスク

2

取り組み内容

① DNAタイピングによる系統の確認



試料採取



DNA分析



DNAタイプにより系統管理の状態をチェック

② ヒューマンエラー防止策ツールの開発

- ・ ICタグやバーコードの利用
- ・ モバイルPC搭載型システムの構築
- ・ ラベルの自動発行

3

得られた成果

① DNAタイピングによる系統管理の状況をチェック

- ・ 精英樹のDNAタイプを分析
- ・ DNAタイプ情報のデータベース化

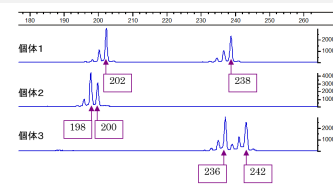
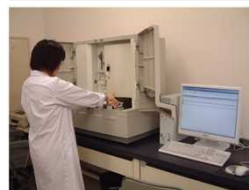


図1 DNA分析機器(左)と得られたDNAバンドパターンデータ(右)

② ICタグやバーコードを利用した系統管理情報のハンドリング・ツールの開発

- ・ 増殖現場等で利用可能な携帯型のバーコード発行システム
- ・ 画面タッチ型の端末を利用した電子野帳



図2 幹に取り付けたICタグと読み取り・書き込み用のモバイル端末



図3 二次元バーコードを利用したサンプル管理システム

4

成果の活用と今後

- ・ DNAタイピングによる系統管理や多様な利用場面への対応を考慮したICタグやバーコードを使用したシステムの活用による正確性の高い系統管理の実現に向けて取り組みを進めていきます。
- ・ 特定母樹*等の育種系統の増殖・配布等の精度を高めます。

* については、巻末の用語集をご覧ください。

3-5 エリートツリー*等の優良種苗の普及に向けて —コンテナ苗*の育苗条件の検討—

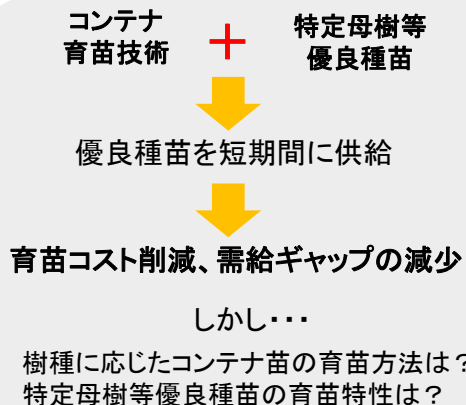
加藤一隆¹・田村明²・大平峰子¹

1: 林木育種センター育種部、2: 北海道育種場

林木育種センターではエリートツリーの開発を進め、その一部は間伐等特別措置法の改正によって新たに定められた特定母樹*の指定を受けています。今後、特定母樹等から育成される優良な種苗が広く普及していくと予想されます。一方、北欧・北米を中心にコンテナ*で適切な方法で育成された苗木は、成長量や生存率等が優れるため、大量に生産・造林されています。このコンテナで遺伝的に成長が優れる特定母樹等の優良種苗を育成することによって、育苗コストを削減できる可能性があります。スギでは、基本培地と施肥条件によって苗長が大きく変わり、エリートツリー産のコンテナ苗は、在来系統より大きくなることを確認できました。エゾマツでは、成長期に長日処理で育成したコンテナ苗は、自然日長で育成した苗よりも大きくなることを明らかにしました。

1

背景と目的



2

取り組み内容

① エゾマツにおける育苗期間短縮技術の開発

材料: エゾマツ

方法: 長日処理による成長促進効果の検証

② スギにおける育苗期間短縮技術開発の開発

材料: スギエリートツリー等

方法: 基本培土の種類(コナツハスク、黒土)・緩効性肥料濃度(0~4倍量)の組み合わせによる成長量の比較

③ スギエリートツリーの育苗特性の把握

材料: スギエリートツリー等

方法: 成長量の比較

4

成果の活用と今後

- 上記の育成条件は、コンテナ苗の育苗期間を短縮できる方法の一つとして活用できる可能性があります。さらに、他の要因について条件を検討することで、より成長を促進できる可能性があります。
- 今後は、樹種ごとに特定母樹等の優良種苗の特性に合わせたコンテナ苗の育苗条件を検討します。

エゾマツに関する研究は、農林水産業・食糧産業科学技術研究推進事業(北海道固有の森林資源再生を目指したエゾマツの早出し健全苗生産システムの確立)の中で実施しました。

* については、巻末の用語集をご覧ください。

3

得られた成果

① エゾマツにおける育苗期間短縮技術の開発

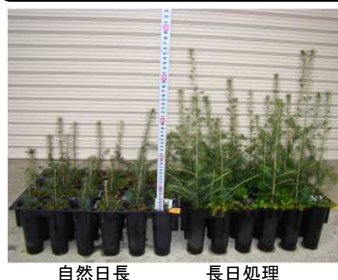


写真1 異なる日長処理で育成したエゾマツ2年生コンテナ苗

長日処理によって成長が促進

苗畑にある裸苗では人工光照射による長日処理が難しいですが、コンテナは移動が簡単のため、施設内での長日処理が容易にできます。

② スギにおける育苗期間短縮技術開発の開発

黒土: コナツハスクの割合 0:10 ■ 3:7 ■ 7:3

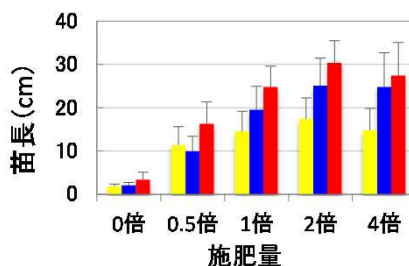


図2 基本培土と肥料濃度の組み合わせによる成長量の比較

基本培土・肥料濃度の組み合わせによって苗長が変わります。

③ スギエリートツリーの育苗特性の把握

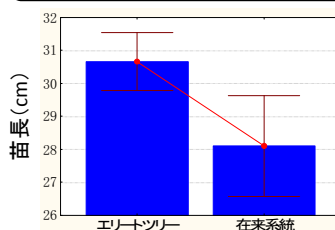


図3 育苗9か月の苗長の比較
縦線は95%信頼区間を示します。

エリートツリーの苗木は在来系統に比べて成長量大きい。



3-6 精英樹の次世代化に向けた取り組み

平岡裕一郎¹・高橋誠¹・栗田学¹・井城泰一¹・田村明²・福田陽子²・
三浦真弘³・玉城聡³・久保田正裕⁴・磯田圭哉⁴・武津英太郎⁵

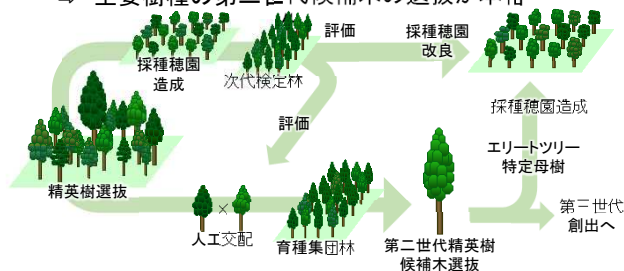
1: 林木育種センター育種部、2: 北海道育種場、3: 東北育種場、4: 関西育種場、5: 九州育種場

精英樹選抜育種事業が開始されてから50年以上が経過し、主要樹種については、第二世代精英樹候補木の選抜が本格化しつつあります。これらは今後、次の育種の母材となる「育種集団」を構成することになるため、その選抜や利用の方法について議論が必要です。本課題では、世代を超えた評価を可能にする手法として「育種価^{*}」を導入し、第二世代候補木の選抜効果を明らかにしました。また選抜効果と遺伝的多様性を両立する育種集団の形成について、実データを用いた解析を行うとともに、シミュレーションモデルを構築し、適切な選抜および分集団^{*}形成の方法を検討しました。本成果を活用し、今後の林木育種事業を推進していきます。

1

背景と目的

精英樹選抜育種事業から50年以上が経過
⇒ 主要樹種の第二世代候補木の選抜が本格



次世代の精英樹候補木集団 = 育種集団 における...

選抜効果の継続性

遺伝的多様性の維持

育種集団としての次世代の精英樹候補
選抜とその利用をいかに進めるか？

2

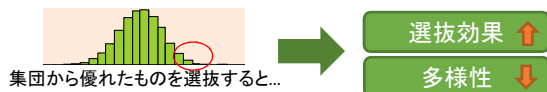
取り組み内容

① 系統・個体評価における統計手法の導入



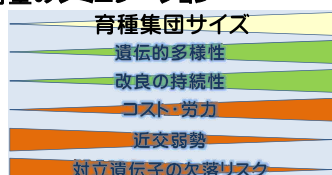
これまでに選抜した第二世代候補木は
どれだけの遺伝的獲得量^{*}を実現したか？

② 候補木の選抜方法と次世代化の構想



遺伝的獲得量と多様性をどう両立するか？

③ 遺伝的獲得量のシミュレーション



多世代を経たとき育種集団はどうなるのか？
適切な分集団サイズは？

3

得られた成果

① 系統・個体評価における統計手法の導入

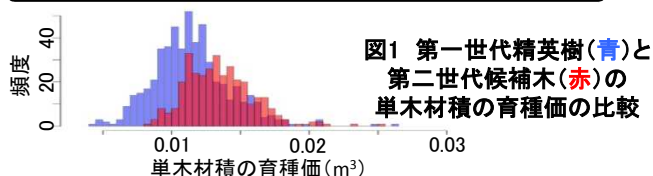


図1 第一世代精英樹(青)と
第二世代候補木(赤)の
単木材積の育種価の比較

スギ10年次の遺伝的獲得量(関東の例):
樹高:4.7%、胸高直径:4.9%、単木材積:13.3%

第二世代候補木の獲得量が明らかに

② 候補木の選抜方法と次世代化の構想

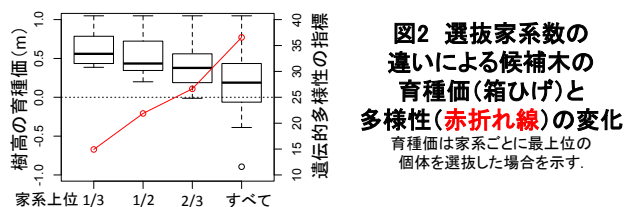


図2 選抜家系統の
違いによる候補木の
育種価(箱ひげ)と
多様性(赤折れ線)の変化
育種価は家系ごとに最上位の
個体を選抜した場合を示す。

獲得量と多様性を両立する選抜方法を検討

③ 遺伝的獲得量のシミュレーション

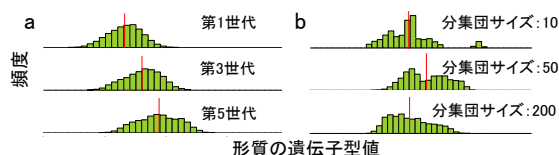


図3 世代推移および分集団サイズの違いによる
遺伝子型値の変化のシミュレーション結果

赤線は平均値を示す。(a) 分集団サイズを50として世代を推移させた結果、(b) 世代数を10として分集団サイズを変化させた結果

分集団サイズや世代ごとに将来の獲得量が推定可能に

4

成果の活用と今後

- 本課題で得られた知見は、効果的かつ効率的な育種事業の推進に貢献します。
- 本成果を活用して、精英樹の次世代化を進めていきます。

^{*} については、巻末の用語集をご覧ください。

3-7 系統評価の統計解析手法の高度化

武津英太郎¹・平岡裕一郎²

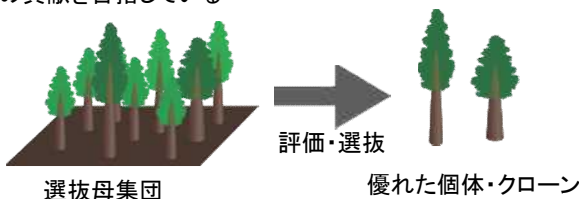
1:九州育種場、2:林木育種センター育種部

林木育種センターでは、精英樹同士の交配などにより育成された選抜母集団から、従来のものより高い遺伝的能力を持った個体やクローンの選抜を進めています。しかしながら、日本の複雑な地形や気象環境の影響により、遺伝的能力の正確な評価は難しく、その能力の検証に長い時間が必要でした。本研究では、より多くの情報を遺伝的能力の予測モデルに組み入れることにより、遺伝的能力の評価精度の向上を目指しました。個体の位置情報をや複数年次・複数試験地の測定データを利用することにより、遺伝的能力の予測精度が向上し、また任意の年次の遺伝的能力が予測できることが示されました。本成果は、今後の次世代精英樹の選抜・評価に大きく貢献します。

1

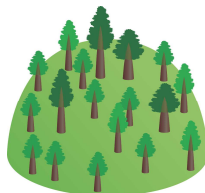
背景と目的

林木育種では、遺伝的に優れた能力を持つ個体・クローンを選抜し、それを林業の現場に普及することにより林業への貢献を目指している



遺伝的能力の正確な評価は難しい

- ・試験地内の微小な環境の影響
- ・試験地間のマクロな環境の影響
- ・評価年次の影響
- ・利用できるデータが不揃い
- etc



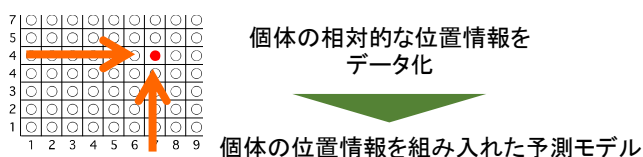
より多くの情報 → 予測モデル $y = X\beta + Zu + e$

遺伝的能力の評価の精度を向上を目指す

2

取り組み内容

① 個体の位置情報の利用



② 複数年次・複数検定林の調査データの利用

	5年	10年	15年	20年	35年	...
試験地A	○	○		○		
試験地B		○	○	○	○	
試験地C		○		○		
...						

従来は5～10年間隔の測定年次毎に評価

すべての年次・試験地のデータを同時に解析できる予測モデル

3

得られた成果

① 個体の位置情報の利用

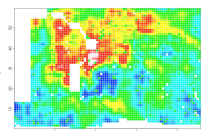
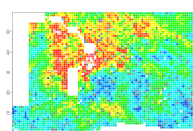


図1 試験地内の微小環境の影響と、その調整の様子

微小環境の効果を調整したデータ

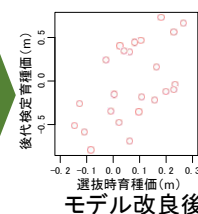
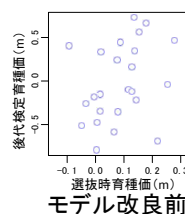


図2 モデル改良による予測精度の向上

選抜時の評価値と、その後後代検定による評価値との関係

個体の位置情報の利用により遺伝的能力の予測精度が向上

② 複数年次・複数検定林の調査データの利用

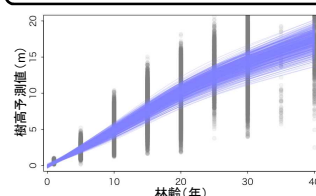


図3 クローン毎の樹高の予測値
九州育種基本区の約450クローンについての推定例。各青線が各クローンを表す。

複数年次・試験地のデータの利用により
任意の年次の遺伝的能力が予測可能に

4

成果の活用と今後

- ・林木育種センターで進めている次世代精英樹選抜の取り組みにこの成果を適用して、次世代精英樹選抜の精度・効率を向上させていきます。
- ・今後、土地の土壌条件やマクロの気象環境などを予測モデルに組み入れていくことにより、遺伝的能力の評価精度のさらなる改良や、植栽環境に適合した品種の予測などを目指していきます。



3-8 スギの遺伝子発現情報の蓄積と統合

高橋誠¹・栗田学¹・平岡裕一郎¹・井城泰一¹・三嶋賢太郎¹・能勢美峰¹・坪村美代子¹・大平峰子¹・近藤禎二¹・星比呂志¹・
花岡創²・平尾知士³・武津英太郎⁴・渡辺敦史⁵・田村美帆⁵・藤澤義武⁶

1: 林木育種センター育種部、2: 林木育種センター海外協力部、3: 森林バイオ研究センター、4: 九州育種場、
5: 九州大学、6: 鹿児島大学

スギの品種開発には、これまで30年以上の年月を要しました。ゲノム情報を活用した新たな選抜技術を開発することにより、育種に要する期間を短縮することが必要です。そのために、基盤となる遺伝子情報の蓄積が重要です。本研究では、遺伝子情報の蓄積、得られた塩基配列からの1塩基多型の同定とマーカー化、各遺伝子の発現パターンの解析を行いました。研究を進めた結果、約3万5千の遺伝子の配列情報が得られ、それらの配列情報から7万を超えるマーカーを開発しました。また、木部とシュート（針葉）における遺伝子の発現パターンについても明らかにしました。今後、これらの成果を、長い年月を要してきた林木の品種開発の高速化に活用します。

1

背景と目的

従来のスギの育種では新たな品種開発に
30年以上の年月が必要



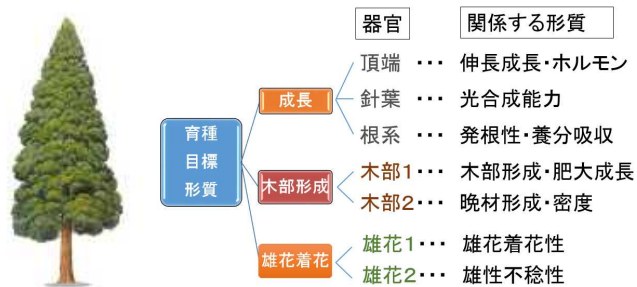
ゲノム情報を活用した新たな選抜技術により
育種に要する期間を短縮する必要性

基盤となる遺伝子情報の蓄積が重要

2

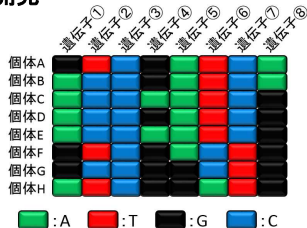
取り組み内容

①有用形質に関する遺伝子の塩基配列の収集



育種目標形質に関する器官から網羅的に
発現している遺伝子の塩基配列情報を収集

②1塩基多型(SNP*)の検出とマーカー ③器官別の遺伝子の発現パターンの解析



3

得られた成果

① 発現遺伝子の塩基配列情報を取得

- 各器官から収集した約52万の発現遺伝子の部分配列を約3万5千の遺伝子(Isotig*)に統合

② 1塩基多型(SNP)の検出とSNPマーカー*の開発

- 7万を超えるSNP(一塩基多型)マーカーの開発

③ 器官別の遺伝子発現パターンを解析

- 器官別の遺伝子発現パターンを解析

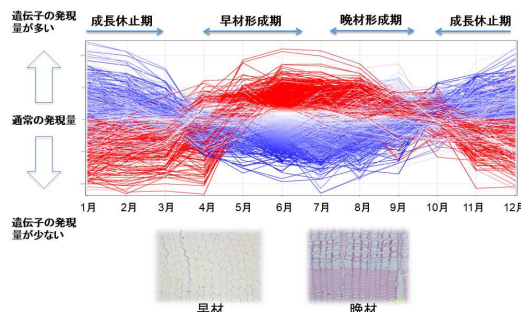


図1 スギ木部組織における遺伝子発現の年間変化

(出典: 森林総合研究所主要成果選集2014)

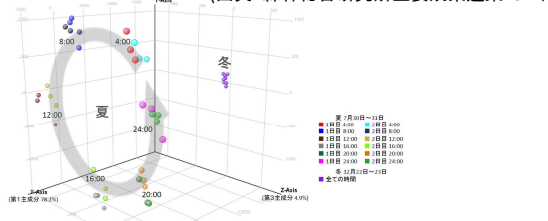


図2 夏と冬のスギのシュートにおける遺伝子発現の日周性

(出典: 森林総合研究所主要成果選集2014)

4

成果の活用と今後

- ゲノム情報を活用したスギの新しい育種の基盤となる遺伝子の情報を集積・統合をさらに進めます。
- 有用形質の変異を生み出すメカニズム解明につながる研究を推進していきます。
- 長い年月を要してきた林木の品種開発の高速化に向けて成果を活用していきます。

本研究の一部は、農林水産技術会議委託プロジェクト研究「新世代林業種苗を短期間で作出する技術の開発」による成果です。

* については、巻末の用語集をご覧ください。

3-9 ゲノム情報を活用した新たなスギ育種

高橋誠¹・星比呂志¹・栗田学¹・平岡裕一郎¹・井城泰一¹・三嶋賢太郎¹・能勢美峰¹・坪村美代子¹・大平峰子¹・
近藤禎二¹・花岡創²・平尾知士³・武津英太郎⁴・渡辺敦史⁵・田村美帆⁵・藤澤義武⁶

1: 林木育種センター育種部、2: 林木育種センター海外協力部、3: 森林バイオ研究センター、4: 九州育種場、5: 九州大学、6: 鹿児島大学

スギの遺伝的改良において、林業上重要な成長や材質といった特性の把握に、これまで30年以上の年月が必要でした。本研究では、スギゲノム基盤を整備し、従来よりも大幅に期限を短縮する分子育種手法の開発を目指しました。複数の器官から遺伝子情報を網羅的に取得し、約3万5千の塩基配列に統合しました。この情報をもとに遺伝子マーカーを開発し、スギの精英樹およびその後代の遺伝子型を決定しました。有用形質の評価値を整理し、遺伝子型と統合することで、形質に関連する遺伝子マーカーの検出と、遺伝子型から形質を予測するモデルの構築を行いました。本成果は、今後のスギの育種事業や遺伝子研究に大きく貢献します。

1

背景と目的

従来の方法では新たな林業用種苗の作出には
30年以上の年月が必要



ゲノム情報を活用した新たな選抜技術により
スギ育種に必要な期間を短縮

2

取り組み内容

① SNPマーカー*の開発



育種目標形質に関連する器官のEST*情報から
DNAマーカーを開発

② 有用形質の詳細な計測と評価



ゲノム育種に資する
成長、材質、雄花着花性等の評価

③ 遺伝子情報と形質評価値との統合



本研究の一部は、農林水産技術会議委託プロジェクト研究「新世代林業種苗を短期間で作出する技術の開発」による成果です。

* については、巻末の用語集をご覧ください。

3

得られた成果

① SNPマーカーの開発

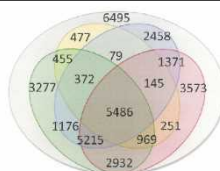


図1 Isotig*の器官特異性を示したベン図
精円は各器官を、数字はそれぞれの位置におけるIsotig数を示す

7万を超えるSNPマーカーを開発

② 有用形質の詳細な計測と評価

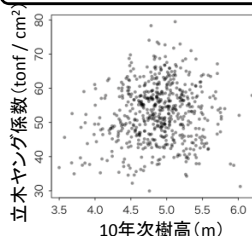


図2 第一世代精英樹の
樹高とヤング係数の
評価値の関係

第一世代精英樹およびその後代の
網羅的な有用形質評価を推進

③ 遺伝子情報と形質評価値との統合

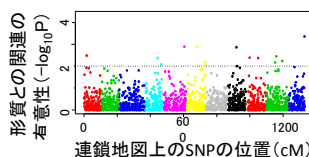


図3 GWASによる形質関連
マーカーの検出

プロットはマーカー毎の値を、
色の違いは連鎖群を示す

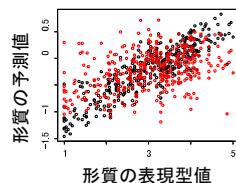


図4 構築した形質値予測
モデルの精度検証

黒はモデルの説明力の大きさを、
赤はモデルによる予測精度を示す

形質に関連したSNPを検出

モデルによる
形質値予測の可能性

4

成果の活用と今後

- 育種基本区を超えて、第一世代精英樹の評価を行います。
- 第二世代以降の精英樹の、ゲノム情報を利用した分子育種の事業化に向けて、さらに取り組みを進めていきます。
- ゲノムや遺伝子発現情報を利用した、形質の変異を生み出すメカニズムの解明に関する研究の発展が期待されます。



3-10 地上3次元レーザ計測によるフェノタイピング*技術の高度化

平岡裕一郎¹・高橋 誠¹・渡辺敦史²

1: 林木育種センター育種部、2: 九州大学

これまで、林木育種事業の一環として、次代検定林の成長量等の調査が進められてきました。これら調査は人の手により行われ、多大な労力を必要とします。本研究では、試験林の地上レーザスキャンで得た3次元点群データを基に、専用ソフトウェアによる樹幹モデリングを行い、個体ごとに幹の3次元情報を取得しました。樹幹モデルから、個体ごとの樹高、胸高直径が高精度で推定できました。また、完満性、材積や幹の通直性といった形質値も推定し、得られた形質値の遺伝性を確認しました。本手法の林木育種における有用性は高く、今後は検定林調査の効率化・高精度化や、分子育種*に資する表現型計測手法としても期待されます。

1

背景と目的

樹体が大きい
植栽面積が広大 → 測定に労力がかかる
測定精度の低下



地上型3次元レーザスキャナによる
広範囲における高精度・高効率な計測の実現

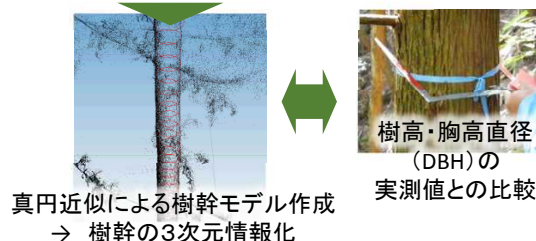
2

取り組み内容

① 点群データに基づく樹幹モデルの作成



試験林の3次元情報を網羅的に取得



真円近似による樹幹モデル作成
→ 樹幹の3次元情報化

樹高・胸高直径
(DBH)の
実測値との比較

② 樹木モデルに基づく様々な樹幹形状の把握



林木育種において重要な諸形質値の推定

材積
完満性
幹の通直性

③ 諸形質の狭義の遺伝率の算出

数値化した樹幹の諸形質の遺伝性の確認

3

得られた成果

① 点群データに基づく樹幹モデルの作成

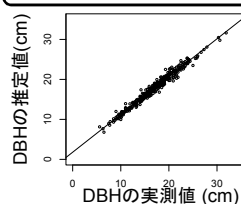


図1 DBHにおける
実測値と推定値の比較

樹高・DBHとも高精度な推定が可能に

② 樹木モデルに基づく様々な樹幹形状の把握

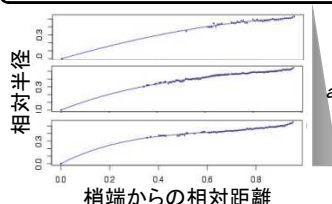


図2 相対幹曲線*による
完満性の数値化
図中の回帰曲線は、
式: $y = ax^2 + bx^2 + cx$ にあてはめたもの。
下の図ほど完満で係数aが大きい

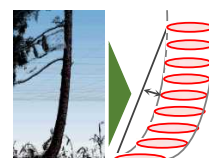


図3 樹幹モデルからの矢高
推定のイメージ

地上高1mと5mの近似真円を結んだ線から最も離れた真円までの距離を矢高とした

幹の完満性や曲がりの程度の数値化が可能に

③ 諸形質の狭義の遺伝率の算出

- 成長形質(樹高・DBH・材積): 0.1~0.2
- 完満性(幹曲線の係数): 0.05~0.1
- 幹の通直性(幹曲がり): 0.4

推定した形質の遺伝性が明らかに

4

成果の活用と今後

- これまでの試験地調査の効率化や高精度化のために活用することができます。
- 新たな育種技術である分子育種では、多数の形質情報を網羅的かつ高精度に取得することが必要であるため、本手法の活用が期待されます。

本研究の一部は、農林水産技術会議委託プロジェクト研究「新世代林業種苗を短期間で作出する技術の開発」による成果です。

* については、巻末の用語集をご覧ください。

3-11 花粉症対策スギ・ヒノキの育種と普及

坪村美代子¹・高橋 誠¹・平岡裕一郎¹・栗田 学¹・渡辺敦史²

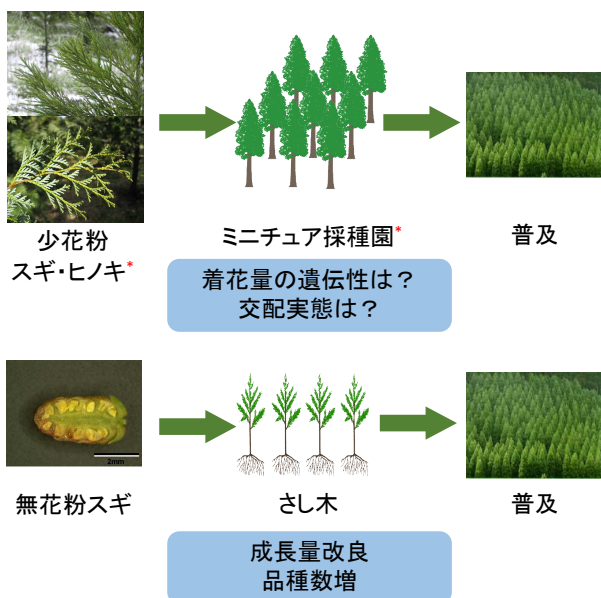
1: 林木育種センター育種部、2: 九州大学

花粉症対策品種の普及をより効率的に行うために、スギの雄花着花性の遺伝性の調査、採種園での交配実態の調査を行いました。その結果、雄花の着花性の遺伝性は高く、子供の着花性も低くなることが分かりました。また、採種園の交配実態では、外部の花粉と交配しても採種母樹の効果で花粉量は少なくなることが分かりました。今後はさらに着花量が少なく成長も改良されたスギの開発を目指して次世代化を行っていく予定です。

無花粉スギ^{*}については、様々な精英樹(成長の良い品種)との人工交配を行い、無花粉スグリソース^{*}を整備しました。今後は成長が良好な新たな無花粉スギの開発を行っていく予定です。

1

背景と目的



2

取り組み内容

① 人工交配家系の雄花着花量調査



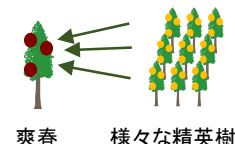
少花粉スギの子供の着花性は？

② DNA分析による採種園内交配実態調査



どの木から花粉がかかっているのか？

③ 無花粉スギ「爽春」^{*}と精英樹との人工交配



爽春×精英樹の
リソース整備

3

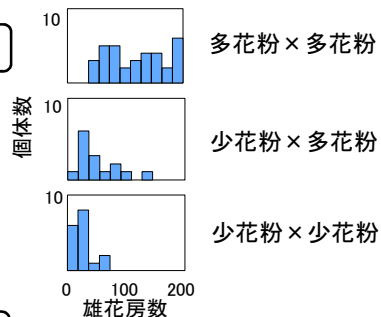
得られた成果

① 雄花着花量の遺伝率

0.78~1.00

雄花着花性は
遺伝性が高い

図1 交配区分ごとの子供の雄花着花量



② 採種園内の交配実態

採種園外部からの花粉率: 55~63%

花粉の多い個体、近隣の個体が採種園内交配に寄与
対策: 簡易な覆い、採種母樹の選定、花粉散布

→ミニチュア採種園から品質良好な種子生産可能

③ 無花粉スグリソースの整備

爽春と精英樹とのF₁(雑種第一代)、F₂(雑種第二代) 家系整備

F₁: 117系統作出

F₂: 戻し交雑^{*}家系: 53系統1700本以上を作出 (不稔484本)

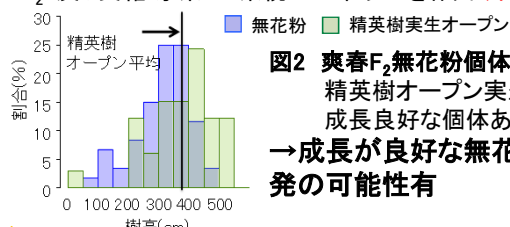


図2 爽春F₂無花粉個体4年目樹高

精英樹オープン実生^{*}平均よりも
成長良好な個体あり

→成長が良好な無花粉スギの開発の可能性有

4

成果の活用と今後

- 雄花着花量の遺伝性が高いことから、少花粉スギの次世代化を進め、成長が良好で花粉の少ない品種の開発を進めます。
- 今後のより良い採種園経営のために、得られた成果を普及していきます。
- 成長が良好な無花粉スギの開発を進めます。

本研究の一部は林野庁委託 花粉症対策品種開発促進事業および 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業 花粉症対策ヒノキ・スギ品種の普及拡大技術開発と雄性不稔品種開発によって実施されました。

^{*} については、巻末の用語集をご覧ください。



3-12 マツノザイセンチュウ抵抗性品種の次世代化に向けた基盤技術の開発

平尾知士¹・高橋誠²・井城泰一²・大平峰子²・山野邊太郎³・磯田圭哉⁴・岩泉正和⁴・松永孝治⁵・渡辺敦史⁶

1: 森林バイオ研究センター、2: 林木育種センター育種部、3: 東北育種場、4: 関西育種場、5: 九州育種場、6: 九州大学

現在、クロマツでは154品種、アカマツでは221品種がマツノザイセンチュウ抵抗性品種として開発されています。近年、マツ林を取り巻く環境は大きく変化しつつあり、線虫の病原力の多様化や環境ストレスの影響などを考慮した、これまで以上に多角的な視点に基づいた取組が必要です。また、より強い抵抗性を有する品種・種苗を従来の方法よりも効率的に開発・普及するためには基盤となる材料・技術・情報を取得し、集積する必要があります。そこで、①日本各地から新たな線虫系統を収集、②抵抗性形質に影響を与える環境要因の抽出、③効率的な抵抗性判定手法の開発を行うための遺伝子情報の収集を行いました。

1

背景と目的

- マツ材線虫病による松枯れは、依然として我が国最大級の森林病虫害です。我々は、マツ林の健全化を目指し、マツノザイセンチュウ抵抗性候補木の選抜並びに抵抗性品種の開発を進めてきました。
- 近年、マツ林を取り巻く環境は大きく変化しつつあり、線虫の病原力の変異や環境ストレスが抵抗性に及ぼす影響を考慮し、これまで以上に多角的な視点に基づいた取組が必要です。
- また、より強い抵抗性品種を効率的に開発するため、基盤となる材料・技術・情報を充実させる必要があります。それらの課題に対応するため、以下の研究を進めてきました。

①日本各地から新たな線虫系統を収集

②抵抗性形質に影響を与える環境要因の抽出

③クロマツの遺伝子情報の収集

2

得られた成果

① 日本各地から新たな線虫系統の収集

日本全国320本の被害木から材片を収集し、線虫を分離しています。

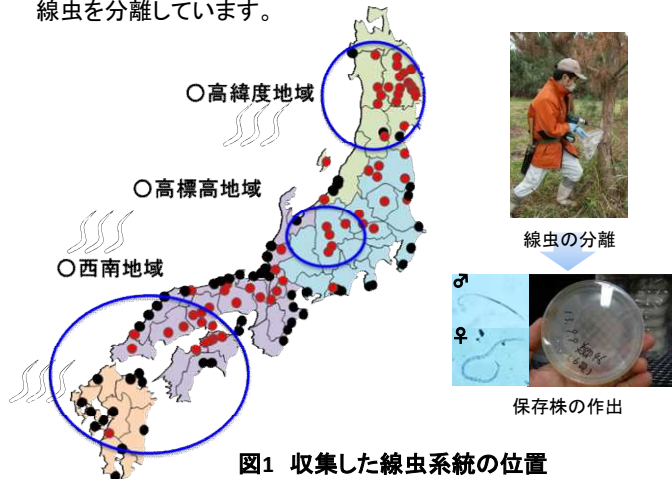


図1 収集した線虫系統の位置

赤丸と黒丸はそれぞれアカマツとクロマツから材片を収集した位置を示します。分離した線虫は保存株として、今後の育種事業・研究に用います。

② 抵抗性形質に与える環境要因の抽出

抵抗性家系を利用して、環境との相互作用を検証しています。

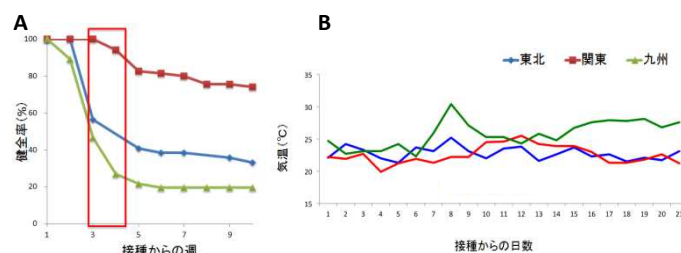


図2 抵抗性形質と温度との関連性

抵抗性家系の健全率(A)と感染時の気温(B)に関連性が示唆されます。

③ クロマツの遺伝子情報の収集

DNAマーカーを作成し、クロマツの連鎖地図*を構築しました。

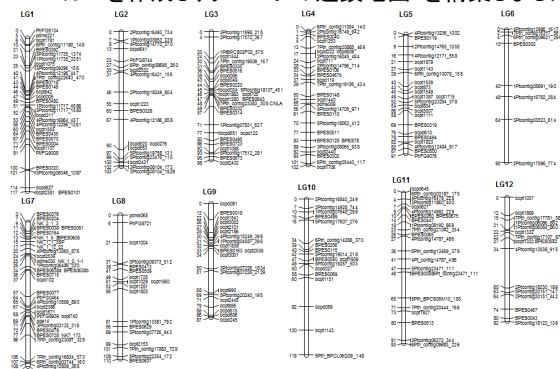
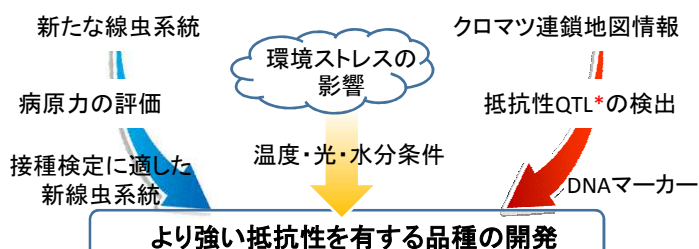


図3 クロマツの連鎖地図情報

3

成果の活用と今後



本課題の一部は林野庁委託 マツノザイセンチュウ抵抗性品種開発技術高度化事業によって実施されました。

*については、巻末の用語集をご覧ください。

3-13 ケニア乾燥地耐性育種プロジェクト —JICA技術協力—

生方正俊¹・宮下久哉²・花岡創³

1: 林木育種センター遺伝資源部、2: 林木育種センター育種部、3: 林木育種センター海外協力部

アフリカのケニア共和国においては、気候変動に伴う乾燥地の拡大や森林の減少が懸念されています。そのため、ケニア政府からの要請により、ケニアの郷土樹種であるセンダン属のメリア・ヴォルケンシー (*Melia volkensii*) およびアカシア属のアカシア・トルティリス (*Acacia tortilis*) を対象として、成長量および乾燥地耐性を目的とした林木育種に関するJICA技術協力プロジェクトを実施しています。このプロジェクトでは、対象樹種についてケニア国内での母集団の遺伝変異を解析し、遺伝的多様性や地域的な遺伝的分化等に配慮した遺伝的多様性保全ガイドラインの作成を計画しています。これらの取り組みを通して、林木育種に関する研究開発能力をケニアに移転させ、遺伝的多様性の維持に配慮した優良な育種種苗による植林体制をケニアに構築することを目指しています。

1

背景と目的

乾燥地の拡大

気候変動の影響を受けやすい国とされ、早魃等の異常気象が強度を増し、さらに頻繁に起こる可能性が高い

国土の80%が乾燥地および半乾燥地
森林面積は国土の7%(KFS 2010)
農地転換による森林資源の荒廃

乏しい森林資源

国際協力機構(JICA)の技術協力プロジェクトとして、ケニアの郷土樹種を対象に成長および乾燥地耐性を目的とした林木育種事業を実施する。

2

取り組み内容

遺伝変異の解析

林木育種事業

耐乾燥性の解明

共同研究機関：九州大学

優良種苗の普及体制の構築

郷土樹種による植林



Melia volkensii
センダン科センダン属
半乾燥地に分布
用途:家具や内装材



Acacia tortilis
マメ科ネムノキ亜科アカシア属
乾燥地に分布
用途:薪炭や家畜の餌

3

得られた成果

遺伝変異の解析

DNAマーカーを開発し、遺伝的多様性や遺伝的分化を解析しました。
→ *M. volkensii* では、ケニア北部、中部、南部における明瞭な遺伝的分化を明らかにし、これらの情報は検定林設計等にも活用されました。



写真1 DNA分析の指導



写真2 研修生による解析

林木育種事業

M. Volkensii および *A. tortilis* について、精英樹をそれぞれ100個体選抜しました。
M. Volkensii の採種園を2カ所造成し(1箇所あたり100系統3,000本)、*M. Volkensii* の検定林を8カ所造成しました。
A. Tortilis の実生採種林を2箇所造成しました。



写真3 *M. Volkensii* の採種園



写真4 採種を開始します

4

成果の活用と今後

遺伝的多様性や地域的な遺伝的分化等に配慮した遺伝的多様性保全ガイドラインの作成に着手しました。さらに、これら科学的知見に基づいた優良種苗普及ガイドラインの作成に取り組み、ケニアにおける育種種苗による植林体制の構築を目指します。



3-14 防風・防潮効果に優れたテリハボクの育種研究

花岡創¹・加藤一隆²・松下通也²・板鼻直榮³・楠城時彦³・千吉良治⁴

1: 林木育種センター海外協力部、2: 林木育種センター育種部、3: 西表熱帯林育種技術園、4: 九州育種場

テリハボク(*Calophyllum inophyllum*)は亜熱帯の海岸域に広く分布し、防風林としての有効性や津波等の被害軽減に役立った事例が報告されています。林木育種センターでは、海外の研究機関とも連携して、防災林として活用するにあたって優良な系統(耐風性、耐塩性等に優れる系統)の選抜を開始しました。日本、台湾、南太平洋諸国からの育種素材および遺伝資源の収集を実現するとともに、その形質評価を行うための試験地を設定しました。現在までに初期成長や樹形等をはじめとする複数の形質を評価して家系間差があることを明らかにするとともに、台湾および日本のテリハボク天然集団の遺伝的多様性や分化の状況なども明らかにしました。

1

背景と目的

① テリハボクの活用実態

- 沖縄の主要造林樹種の一つ
- 防風林用樹木として有用
- 家具材等としての需要
- 海外では種子オイルの需要



② 研究の目的

- 防風林に資する優良品種開発
 - ・耐風性に関わる成長、形態等の形質
 - ・耐塩性
- 共同研究を通じた育種技術の海外への波及

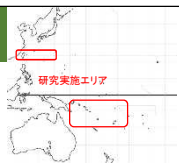


2

取り組み内容

育種素材・遺伝資源の収集

- ・沖縄(八重山諸島、宮古諸島、大東諸島の各島)
- ・台湾
- ・南太平洋(フィジー、バヌアツ、ソロモン、トンガ)



各種形質評価



- ・試験地設定
- ・各種形質評価
 - 成長形質
 - 形態形質
 - 耐塩性

遺伝的多様性等評価

- ・DNAマーカーの開発
- ・集団遺伝学的解析
 - 遺伝的多様性
 - 遺伝的分化
 - 系統地理

台湾、日本における遺伝的多様性や分化を評価
各種形質評価とその遺伝性(家系間差)を評価

3

得られた成果

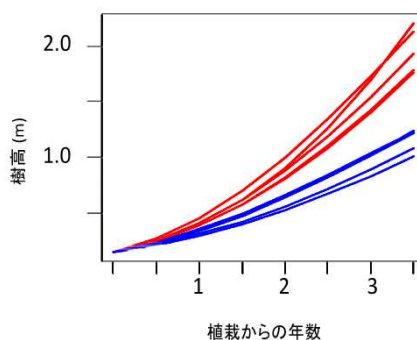


図1 テリハボク55系統の樹高成長の傾向の例
(上位、下位それぞれ5系統の結果を图示)

各種形質の家系間差を明らかに: 育種改良の可能性を導きました。

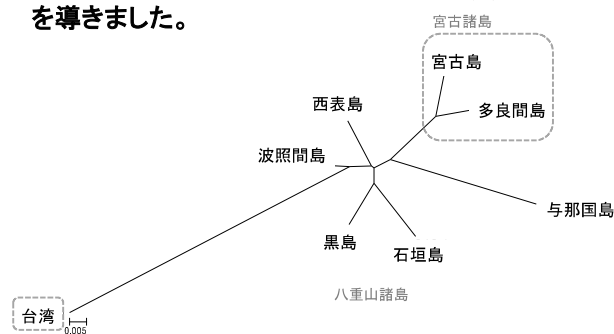


図2 台湾および日本におけるテリハボク島集団間の系統樹*

諸島間の遺伝的分化を明らかに: 遺伝資源保存や開発品種の普及の参考にします。

4

成果の活用と今後

- ・気候変動等を見据え、遺伝的に多様な優良系統の選抜及び育種技術開発に取り組みます。

本課題の一部はJSPS科研費25871088の助成を受けました

* については、巻末の用語集をご覧ください。



3-15 ベトナムでアカシア属人工交配の実証試験 —アカシアハイブリッドの育種—

板鼻直栄¹・加藤一隆²・千吉良治³・古本良¹

1: 西表熱帯林育種技術園、2: 林木育種センター育種部、3: 九州育種場

アカシアハイブリッド(*Acacia hybrid*)は、オーストラリア北部やニューギニアなどに分布するアカシヤマンガウム(*A. mangium*)とアカシヤアウリカリフォルミス(*A. auriculiformis*)の雑種です。植林地の中で成長が良い個体が発見され、それらのさし木苗が東南アジアで植林されています。より優れた*A. hybrid*を創出するためには人工交配が必要なことから、林木育種センターでは前中期計画期間に効率的な人工交配技術を開発しました。2013年から王子グリーンリソース社と共同でこの技術を応用して成長や材質の優れた品種の開発に取り組んでします。

1

背景と目的

アカシアハイブリッド(*Acacia hybrid*)とは・・・

A. mangium *A. auriculiformis*

成長: 良、幹: 通直、病気: 弱 成長: 遅、幹: 曲り、材質: 良

↓

A. hybrid

成長は良、他は優れている方の親と同等以上
植林されている系統は自然にできた雑種個体に由来

人工的に*A. Hybrid*を創出するため
チューブ法による効率的な人工交配技術を開発



写真1 チューブ法による人工交配

チューブ法の実用化に向けた検証

2

取り組み内容

2013年にベトナムにおける共同研究を開始



目的: 優良品種の開発
期間: 2013年～2022年
サイト: ビンディン省クイニョン市

2014年までの取り組み

- ① 交配母樹の選定
- ② チューブ法による人工交配
- ③ 交配種子の採種、育苗
- ④ 検定林造成
- ⑤ 交配材料のクローン増殖と保存

図1 研究サイトの位置

3

得られた成果

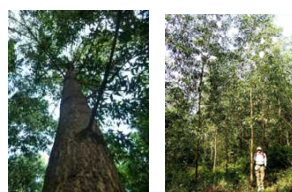


写真2 交配材料の例

A. mangium(左)、
A. auriculiformis(右)



写真3 人工交配果実の採取と種子の精選

果実採取(左)、果実を入れて
吊した袋(右)、割れた果
実から取出した種子(右上)

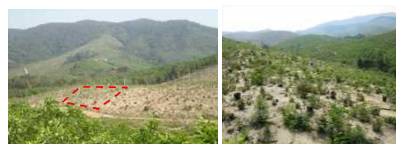


写真4 試験地の造成

交配種子から育苗し、2014
年に造成した試験地の遠景
(左)と検定林内(右)



写真5 交配材料のクローン増殖と保存

とり木の発根状況(左)と鉢
に移植した交配材料(右)

4

成果の活用と今後

アカシアハイブリッドの育種は、人工交配種子から育てた苗木で試験地を造成し、生育状況を調査している段階です。今後調査データを基に優良個体を選出し、それらのさし木苗の生育状況の調査を行い、優良品種の開発を目指します。

本研究は、王子グリーンリソース社との共同研究です。



3-16 フィンランド自然資源研究所との共同研究 ーハイブリッドトウヒの育種ー

田村明¹・生方正俊²・山田浩雄²・福田陽子¹・矢野慶介¹

1: 北海道育種場・2: 林木育種センター遺伝資源部

アカエゾマツ (*Picea glehnii*) は、北海道の代表的造林樹種の一つです。広域で生育可能という長所がありますが、その一方で初期成長が遅いという性質があります。このため、下刈り期間で10年を要する場合があります。そこで、ヨーロッパトウヒ (*P. abies*) との雑種 (ハイブリッドトウヒ) により初期生長が優れ、材の剛性 (生材丸太のヤング係数) もアカエゾマツと同等以上のものが開発可能かについて検討しました。その結果、ハイブリッドトウヒは初期成長と材質に優れていることが分かりました。また、将来の普及のため、増殖性についても検討し、3年生実生苗を台木に用いたさし木の発根率は88%と高く、効率的にハイブリッドトウヒの苗木を生産できることが分かりました。初期成長の優れたハイブリッドトウヒは、下刈り期間の短縮による低コスト化に貢献できると期待されます。

1

背景と目的

アカエゾマツ



(長所) 広い地域でも生育可能
晩霜害に強い (開葉時期が遅いため)
(短所) 初期成長が遅い

ヨーロッパトウヒ



(長所) 初期成長が早い
(短所) 場所によって成長が悪い

ハイブリッドトウヒ (アカエゾマツ × ヨーロッパトウヒ)



ハイブリッドトウヒは、両親種の優れた特性をもつ可能性がある

両親種の優れた特性をあわせ持つ系統の開発は可能か？

3

得られた成果

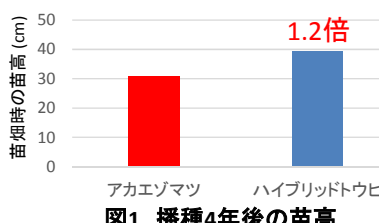


図1 播種4年後の苗高

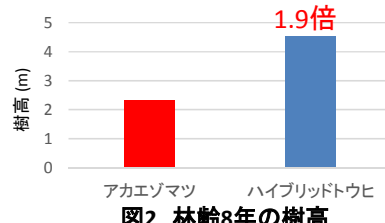


図2 林齢8年の樹高

育苗および下刈り等の初期コストを削減できる可能性あり

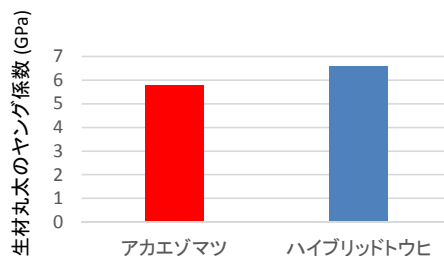


図3 生材丸太のヤング係数

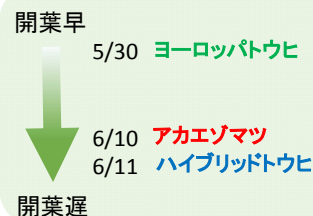


図4 樹種別の平均開葉時期

材質はアカエゾマツ同等以上、開葉時期がアカエゾマツと同様に遅いため、晩霜害に強い可能性あり

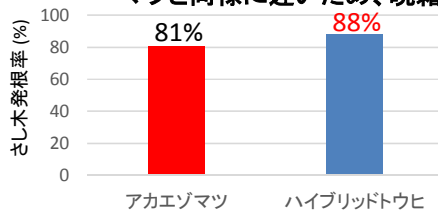


図5 さし木発根率

3年生ハイブリッド実生苗を台木にしたさし木では、発根率88%でした。

さし木増殖が容易

2

取り組み内容

ハイブリッドトウヒの特性調査



① 苗高調査 (4年生時)



② 初期成長調査 (林齢: 8年次)



③ 材質調査 (林齢20年次)



⑤ さし木発根調査 (左がアカエゾマツ、右がハイブリッドトウヒ)



④ 開葉調査 (開葉が遅いと晩霜害を受けにくい)

4

成果の活用と今後

ハイブリッドトウヒは下刈り等の造林コストを低減できる北海道における有望樹種であることが分かりました。また、材質もアカエゾマツと同等以上で、利用面でも期待できます。一方、ハイブリッドトウヒを介したヨーロッパトウヒの遺伝子のアカエゾマツへの移入の可能性があるため、今後、遺伝子移入の可能性評価もした上で品種開発を進めていきます。

本研究はフィンランド共和国自然資源研究所との共同研究の成果です。