

エリートツリーの普及に向けて

-高速育種と新たな原種・種苗供給体制-

中間報告

平成 2 3 年 3 月

次世代育種促進研究会

目 次

I.	求められる高速育種	
1.	背景と視点 1
2.	我が国の現状と海外との比較 1
	(我が国の林木育種の経過と現状)	
	(海外との比較)	
	(林業を取り巻く状況)	
3.	高速育種の導入 5
	(初期成長の優れた品種の開発)	
	(第2世代の選抜と改良効果)	
	(育種期間の短縮化-待たれる第3世代-)	
	(育種技術の進展)	
II.	原種・種苗供給体制の基本的方向	
1.	我が国の現状と海外との比較 7
	(種苗供給体制の弱体化)	
	(種子の生産と価格)	
	(苗木の生産と価格)	
2.	求められる供給体制の基本的方向10
	(第2世代採種園・採穂園の早期造成)	
	(採種園における種子の安定生産技術・システムの確立)	
	(第2世代種苗を用いた実証試験)	
	(第2世代種苗を用いたコンテナ苗の育苗技術の開発)	
	(第2世代種苗を用いた施業体系、収穫予想表の検討)	
	(原種価格の見直し)	

III. エリートツリーの原種・種苗供給体制

1. 第2世代の原種・種苗供給体制11

(ロードマップ)

(第2世代精英樹普及の必要性)

(高速育種運営会議及び技術戦略委員会)

(原種の配布方法)

2. 第3世代育成に向けた連携体制14

(「高速育種運営会議」及び「技術戦略委員会」の概要)

(研究会の構成メンバー)

(活動経過)

(用語の解説)

I. 求められる高速育種

成長等に優れた精英樹同士の交配で得たF₁を対象に成長等が格段に優れた第2世代精英樹の選抜が進んでいるが、欧米等では次世代化がさらに進んでいる。我が国も第2世代の成果を活用しつつ、第3世代へ早急に進める必要がある。

1. 背景と視点

国内においては、戦後の造林地が主伐期を迎えるとともに、農林水産省が策定した「森林・林業再生プラン(平成21年12月)」において木材自給率50%の目標が設定されており、林業用種苗の生産についてもこれに対応できる体制づくりをしておく必要がある。しかしながら、種苗生産業事業体の減少、採種園を管理・運営している都道府県の育種部間の縮小によって、今後の供給能力の低下が懸念される。

一方、我が国の林木育種は、精英樹の選抜育種を開始以来50年以上が経過し、現在では育種種苗が山行苗の主体を占めるに至ったものの、国外においては、北米・オセアニア諸国では林木育種の成果を林業経営に大きく反映するとともに、次世代化による改良を進めており、我が国は遅れている状況にある。

そこで、育種及び原種・種苗供給体制の現状を分析することで課題を摘出し、解決方策を見出すとともに、総合的なロードマップを策定することで、現在選抜が進んでいる性能が格段に向上した第2世代精英樹の選抜、採種園・採穂園の造成、苗木生産体制の確立及び第3世代精英樹開発の推進を図る必要がある。

2. 我が国の現状と海外との比較

(我が国の林木育種の経過と現状)

我が国の林木育種は、優良な種苗の確保を通じて林木の成長量の増大と品質の改良を図ることを目的として、昭和29年に精英樹選抜育種を開始した(「林木育種の実施について(31林野第11236号)」)。成長の早いこと、単位面積当たりの収穫量が多いこと、幹が通直であること、病気や虫の害がないこと等を基準に「精英樹」(第1世代精英樹)を約9,100本選抜した(スギ3567本、ヒノキ943本、カラマツ574本他)。その精英樹を林木育種場(当時)がつぎ木で増殖した苗(原種苗)をもとに、都道府県が採種園・採穂園を昭和32年から造成し、山行苗となる種穂を種苗生産者へ供給してきた。現在、スギ・ヒノキの山行苗の70%をこうした育種種苗が占める。



スギ精英樹の選抜地の分布



比較の対照として立つ調査員

スギ精英樹岩手5号

同時に、精英樹を評価するための検定林を各地に約2千箇所造成した。検定林は、植栽した立地差の影響を除いて評価するため、統計学に基づいて設定された試験地であり、定期的に調査を行い、成長等の特性を評価している。この評価結果に基づき、成長等に優れた品種293品種、少花粉品種190品種等多様な品種を開発するとともに、採種園の原種の入替、第2世代精英樹の母集団を育成するための交配親を選択した。



ヒノキ採種園



スギ採穂園



スギの次代検定林

※成長の違いがモザイク模様になっている



人工交配の様子

昭和55年から、第2世代の精英樹を選抜していくための母集団として、成長、材質等に優れた精英樹間の人工交配によるF1の創出を開始し（昭和55年～平成19年）、約9,100組合せ、21万個体のF1を植栽した検定林を造成してきたところである（88箇所、58ha）。

（海外との比較）

我が国には「苗木半作」という言葉があるが、オーストラリア種子センターでは、育種の有用性を示す“Good seed does not cost? It pays.”（優良種子は高くつかない。



出典：Dr. Tony McRae（オーストラリア南部林木育種協会）

改良効果を経済効果で示した例（ラジアータマツ）

儲かる)”という 標語が使われている。

北米・オセアニア諸国では、林業の大規模経営の割合が多く、経営意欲・投資意欲が強く、経営のコスト意識が高い。造林者は経営コストの低減に有効な育種種苗を求め、種苗生産業者はより育種の進んだ効果的な原種を求めている。育種の効果に対する認識も広く行き渡っており、最小のコストで最大の利益をもたらすのが育種であり、コスト低減に見合った苗木向け対価を払うのが当然であるとの認識がある。

このようなことから、欧米・オセアニア諸国では成長形質を重視し、検定結果の精度を高めることよりも世代を重ねることで育種効果を上げることに成功している。また、我が国よりも林木育種の開始が遅かった北米（1960年代～）では、既に第3世代の精英樹選抜を進めている。このように、伐期の長い北欧と比べても我が国は次世代化が遅れている状況にある。

日本と欧米諸国の林木育種の進捗状況

国(樹種)	伐期	選抜世代	実用世代
アメリカ南東部（テーダマツ）	25-40	4 世代	2 世代
アメリカ南部（スラッシュマツ）	25-40	3 世代	2 世代
アメリカ北西部（ダグラスファー）	40-60	3 世代	2 世代
ニュージーランド（ラジアータマツ）	30-40	3 世代	1.5 世代
スウェーデン（ヨーロッパアカマツ）	80-100	3 世代	1.5-2 世代
日本（スギ）	40-100	2 世代	1.5 世代

日本と欧米諸国の林木育種の状況

日本	欧米諸国
木材生産業としての林業は衰退 (木材自給率24%)	林業は重要産業 (内需も輸出も多い)
零細経営、投資意欲衰退（造林未済地など）	大規模経営、積極的投資（林業ファンドなど）
育種の有効性の森林所有者の認識が低い	育種の大きな有効性を森林所有者が認識
育種投資は公共のみ	育種に対する積極的な公共・民間投資
多様な形質についての優良品種の開発 (多様な需要に答える)	成長形質を重視した集団の改良 (材積増加の効果に重点)
多様な形質についての高精度の情報を指向 ＝検定を終了した「品種」の開発を重視	特定形質について精度よりも改良回数を要求 ＝早期の繰り返し選抜による「集団」の改良

(林業を取り巻く状況)

10年後には50年生以上の高齢級の人工林の割合が6割を占め、我が国の人工林は資源の造成期から主伐等による資源の利用期へと移行することから、伐採後の更新を確実に推進するため、優良な苗木の供給体制の整備が必要とされる。

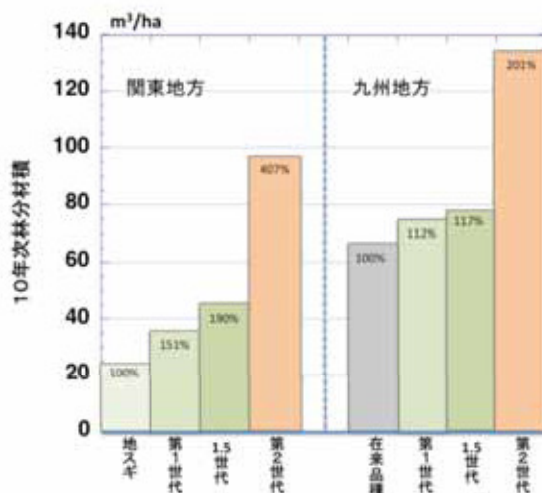
林業収益性の悪化から伐採されても再造林が行われない造林未済地が問題化しており、林業採算性向上のためには、地拵えから植林・保育に係る初期投資の縮減が重要であり、特に初期成長の優れた苗木の開発が期待されている。

3. 高速育種の導入

低コスト 林業・林業再生に資するためには初期成長に優れた品種の早期開発が必要不可欠であり、育種については従来の手法を繰り返すのではなく、育種そのものを高速化していくことが極めて重要である。課題はその手法が我が国では確立していないことである。

(初期成長の優れた品種の開発)

第2世代の改良効果を検定林の10年次の平均材積で比較すると、第1世代に比べ



第2世代：優良な第1世代を交配して生まれた F_1 の上位種

10年次林分材積の比較



満4年で樹高7mの第2世代
候補木（茨城県城里町）

て2倍以上となる候補木が現れている。初期成長の優れた第2世代品種の開発によって、下刈り等の省力化に寄与していくことが期待できる。伐採から造林のサイクルを確立するためには、初期投資の縮減に寄与する種苗の確保が必要である。

（第2世代の選抜と改良効果）

第2代～第3世代の改良を進めるにあたり、近交弱勢を回避しつつ、改良効果を上げるためには、第2世代について一定数以上の母数が必要とされる。そこで、全国に成育している第2世代の候補木群（ F_1 検定林）の21万個体（88箇所）について、その成長量、諸適性を評価し、第2世代たるスギ500クローン、同ヒノキ200クローンを早急に絞り込んでいく必要がある（全数達成は平成28年度）。

（育種期間の短縮化一待たれる第3世代）

スギの樹高では、10年次と20年次との間に高い相関関係（0.8以上）が示されることが実証され、早期の選抜（育種期間の短縮）が可能となった。このため、これまで40年かけて検定・選抜していたものを、10年次の成果で選抜することが可能となった。そこで、第2世代開発プロセスを利用しつつ、早急に第3世代の活用へと進めていく必要がある。

（育種技術の進展）

立木状態のまま迅速かつ簡便に材質を測定し、選抜できる技術開発をしたほか、トレーサビリティを保証・達成しうる新たな系統管理技術も一部開発済みである。これらは、成長・材質に優れた品種の開発、原種一本一本の品質の保証を可能にするも



立木状態で材質の測定

のである。高速育種を実現するためには、これらの技術の実用化及び開発のための研究インフラを整備していく必要がある。

II. 原種・種苗供給の基本的な方向

我が国林業は小規模経営であり、海外で見られるような共同組織作りよりも、都道府県の広域連携を含めた体制作りがまずは急務。また、第2世代の普及促進を図るため、展示効果をねらった実証試験、コンテナ苗等の技術開発も必要。

1. 我が国の現状と海外との比較

(種苗供給体制の弱体化)

①造林面積の減少による苗木需要の減少とそれに伴う苗木生産業者の減少、②採種園・採穂園を管理している都道府県の予算・要員の減少による採種園・採穂園の管理水準の低下等が林木育種に係るアンケート調査(都道府県)から窺えた。

(種子の生産と価格)

我が国の採種園は都道府県が造成し、1箇所当たりの面積はスギで2.2haと小規模であるのに対し、北米では30ha前後、オーストラリアでは100haを超え、大規模な種子精選施設を保有している。

種子価格は我が国のものよりも高く、改良度合いのグレードによって異なっている。協同組合方式の場合には、組合員以外への種子の販売にはロイヤルティーを上乗せている。



広く平坦な採種園

アメリカ、GTC社の採種園(ダグラスファー)、面積は28ha



大規模な種子精選施設

カナダBC州立種子センターでは州内種子の90%を精選・貯蔵・管理



広大なダグラスファーの苗畑

年間 2,500 万本を生産するアメリカ、W 社の苗畑

(苗木の生産と価格)

海外では交配を繰り返し、育種世代の進んだ種穂を活用した苗木生産が進んでいる。苗木の生産規模は、我が国の苗木生産者あたり平均生産本数が約5 万本であるのに対し、アメリカでは年間1 千万本以上を生産する大規模生産者も存在する。

コンテナ苗の普及も進んでおり、カナダBC 州では苗木の大半はコンテナ苗で、大規模生産者ではコンテナに自動播種する装置を導入している。

2. 求められる供給体制の基本的方向

林業生産活動が停滞し、種苗供給体制が弱体化する中で、次世代種苗の早期普及とそのための種苗供給体制の確立が求められる。このため、次の方策を講じていくことが必要である。

(第2 世代採種園・採穂園の早期造成)

第2 世代精英樹を早期に普及するためには、その基となる第2 世代で構成された採種園・採穂園が必要となる。そこで、第2 世代による採種園・採穂園の早期造成を図るため、林木育種センターにおいては原種の配布計画を立てるとともに、各都道府県においては、広域連携を含めた受入体制の整備が必要である。

(採種園における種子の安定生産技術・システムの確立)

品質の高い次世代種子を早期に提供するため、外来花粉の影響の排除、ヒノキ採種園のミニチュア化等のための技術開発を行う必要がある。

(第2 世代種苗を用いた実証試験)

第2 世代精英樹の優れた成長等を実証するとともに、植栽方法等を検証するため、植え付け本数を変えて植栽するなどの展示効果を狙った試験を実施する必要がある。

(第2 世代種苗を用いたコンテナ苗の育苗技術の開発)

コンテナ苗は山出し時期を調整しやすく、伐採直後に植栽することにより、地拵えを不要とする。また、植え付け工程もアップするなど、苗畑で育苗する裸苗より

も造林経費の削減に大きく寄与することが期待できる。このコンテナにさらに初期成長の良い次世代種苗を用いることでさらにその効果の高まりが期待できる。このため、次世代種苗にあった育苗期間の短縮化による先進的なコンテナ苗の育苗技術を開発する必要がある。

(第2 世代種苗を用いた施業体系、収穫予想表の検討)

苗木規格にはじまり、植栽本数、下刈り回数から収穫表の作成等まで、施業技術の体系化を行う必要がある。

(林木原種価格の見直し)

海外の苗畑業者等はグレードを反映させた価格で種子を購入し、苗木を生産している。我が国では、地域ごとに若干異なるが、スギで 100 円前後である。

なお、今般の「独立行政法人の主要な事務及び事業の改廃に関する勧告の方向性について(平成22年11月26日:政策評価独立行政法人評価委員会)」及び「独立行政法人の事務事業の見直しの基本方針(同年12月7日:閣議決定)」において「優良種苗の普及及び都道府県のニーズに配慮しつつ、生産コストの検証も行った上で価格の設定を行い、林木原種の配布収入の拡大を図るものとする」旨の指摘がなされたところである。



苗木袋による持ち運び



コンテナによる持ち運び



山嶽による植え付け



植栽チューブによる植え付け

コンテナ苗による効率的な植付け（アメリカ）

スギ裸苗の植付けは 200 本～300 本/人日程度、通常のコンテナ苗の場合 400～600 本/人日、小型のコンテナ苗を用いた場合は 600～800 本/人日。

（出典：The Container tree nursery manual（1989-2010））

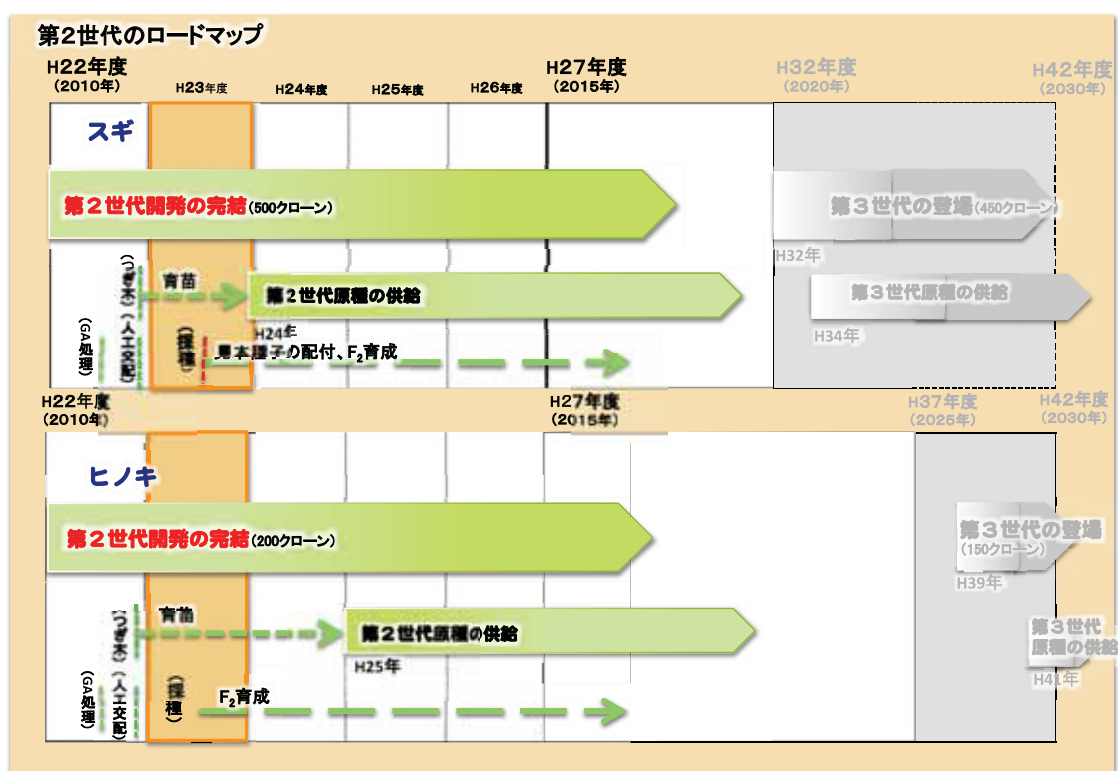
III. エリートツリーの原種・種苗供給体制

種苗供給体制の強化を図り、第2世代精英樹の早期普及を図るため、新たに設置するプラットホーム（高速育種運営会議：仮称）の中で関係機関が緩やかに連携し、広域的な協調を図る必要がある。

1. 第2世代の原種・種苗供給体制

（ロードマップ）

格段に優れた第2世代精英樹を活用し、さらに第3世代の開発を加速化するため、第2世代の原種の普及と採種園の造成を促進するとともに、高速化育種技術を取り入れた第2世代開発・普及のロードマップを示す。



（第2世代精英樹普及の必要性）

採種（穂）園の改良等が難しくなっている状況を踏まえ複数都道府県が広域連携しつつ運営をしていくべきとの意見もある中で、林業再生に資するよう、林業用種苗の需要増加に対応できる供給体制を強化するとともに、現在選抜が進んでいる成長

が格段に優れた第2 世代精英樹等の早期普及を図るためには、新たな原種・ 種苗の供給体制を構築することが重要である。

(高速育種運営会議及び技術戦略委員会)

原種、種苗の供給体制について、我が国においては、森林総合研究所林木育種センターと都道府県が連携・ 協力して精英樹選抜等を行ってきた経緯があることを踏まえ、次世代精英樹等の普及促進に意欲のある様々な関係組織が、新たに設置するプラットフォーム「 高速育種運営会議」の中で連携しつつ、広域的な協調を図っていくことが必要である。

また、第2 世代精英樹の早期普及を図るためには、採種園における 早期の種子採種技術、コンテナ苗による 育苗期間の短縮化技術等の開発、植栽本数・ 植栽方法下刈回数等の施業方法の確立、収穫予想表等の作成が必要であり、学識経験者等からなる「 技術戦略委員会」の意見を踏まえつつ、高速育種運営会議において共同研究・ 連携についても連絡・ 協議調整を行っていくことが必要である。

同時に第3 世代精英樹についても、育種技術の高度化による 育種期間の短縮化を図り、早期の開発が必要である。

なお、「 高速育種運営会議」は種子の配布区域等を考慮し、育種基本区毎に設置すべきである。

(原種の配布方法)

一方、第2 世代精英樹の原種については平成24 年度から供給可能であるが、当初は供給量が少ないことから、多数に分散配布し 優良種苗の確保に向けた採種(穂) 園の造成に支障が生じることがないように、ある程度集中して配布することが必要である。

このため、第2 世代精英樹の普及PR 等を図る観点から、原種配布を希望する都道府県を公募し、採種(穂)園造成、種子生産・ 配布、植栽及び植栽後の調査の計画、普及・ 宣伝方策等の提案書の提出を受けた上で決定するほか、複数の都道府県による共同提案(採種(穂) 園造成は1つの都道府県)を導入していくことも必要と考えられる。

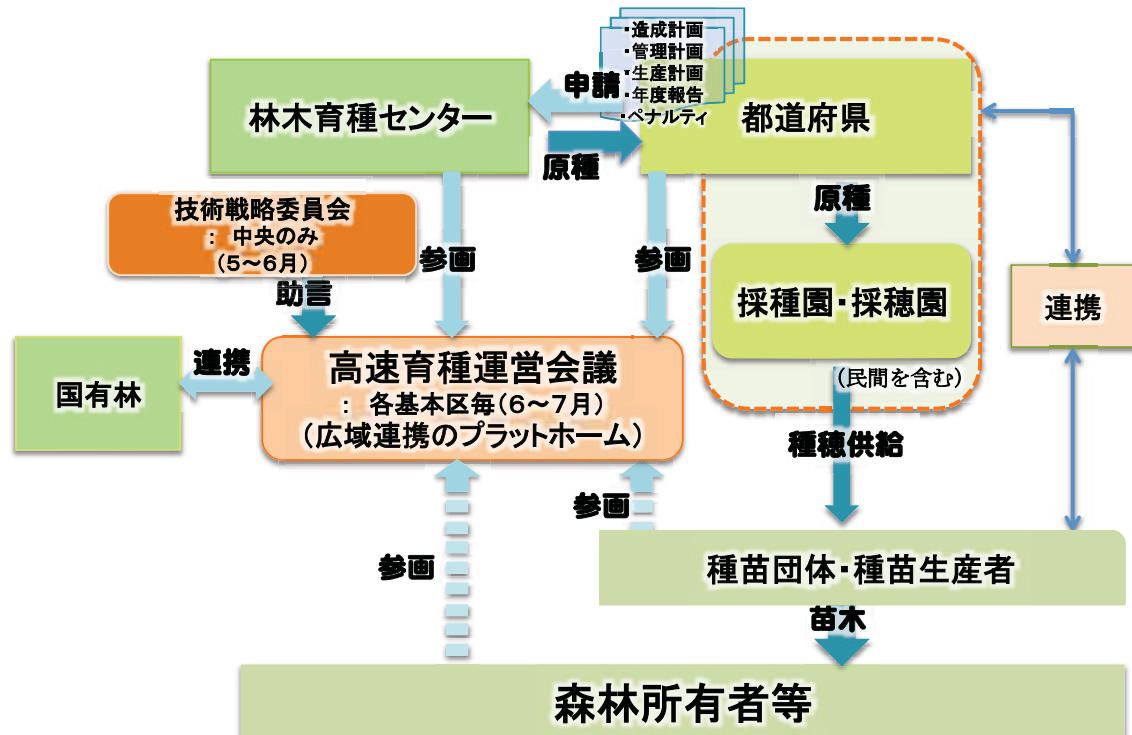
なお、民間からの配布希望については、都道府県を通じた申請とすることも必要と考えられる。

(第2 世代の原種・ 種苗供給体制)

林業再生に資するよう、林業用種苗の需要増加に対応できる供給体制を強化するとともに、成長が格段に優れた第2 世代精英樹等の早期普及を図るため、次世代精英樹

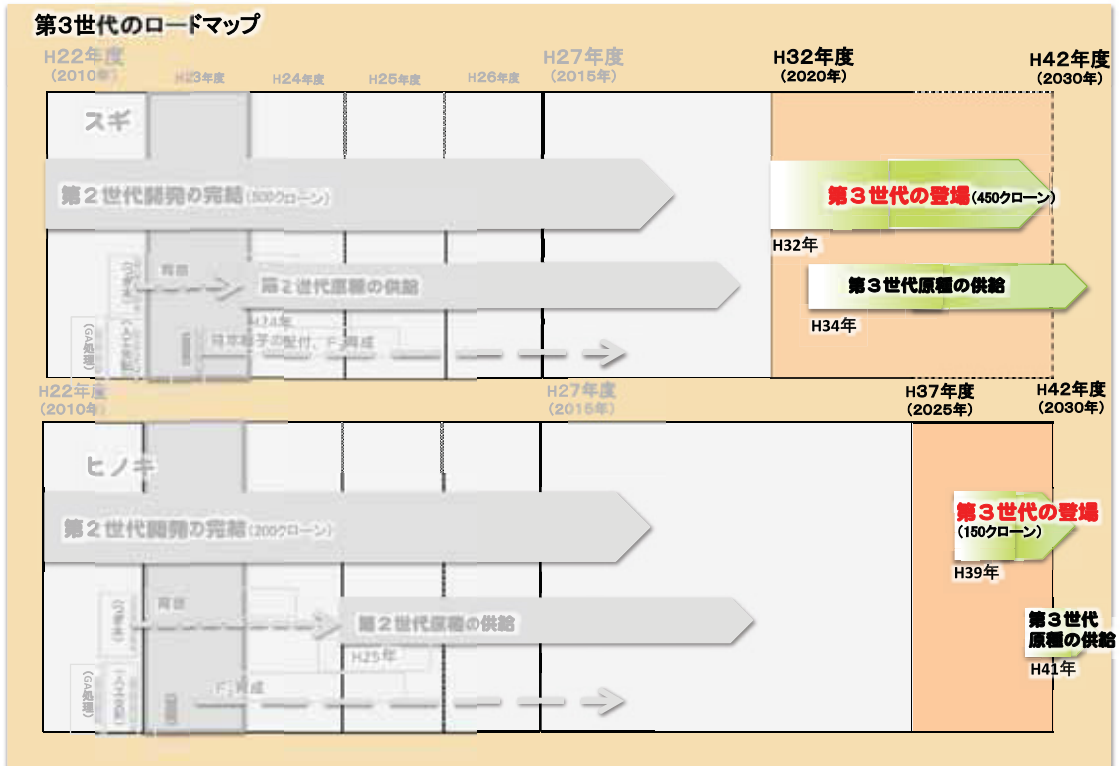
等の普及促進に意欲のある関係機関が連携し、広域的な協調を図っていくためのプラットフォーム（高速育種運営会議）を中核とした新たな原種・種苗供給体制のモデルを示す。

第2世代の原種・種苗供給体制モデル

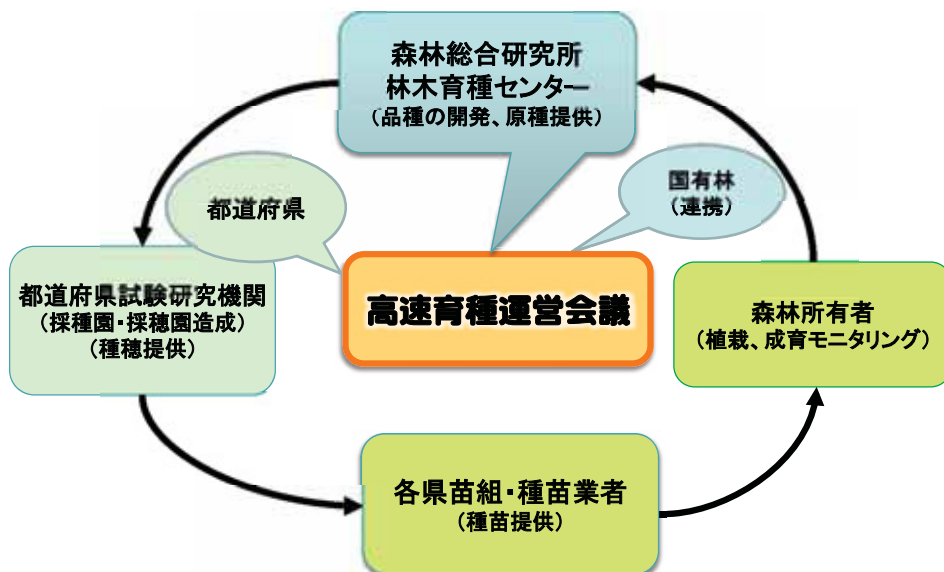


4. 第3世代育成に向けた連携体制の強化

第2世代精英樹の早期普及を図るための採種園における早期の種子採種技術、育苗期間の短縮化技術等の開発及び第3世代の開発を促進するため、高速育種運営会議において共同研究・連携の強化を図る。第3世代開発のロードマップを示す。



第3世代育成に向けた連携体制の強化 ～関係機関の連携～



（「高速育種運営会議」及び「技術戦略委員会」の概要）

当研究会で提案する「高速育種運営会議」及び「技術戦略委員会」は次のとおりである。

1) 高速育種運営会議

① 目的

- ・次世代種苗の早期普及等を地域において図るとともに、林業用種苗の需要に対応した供給体制の強化を図るため

② 活動内容

- ・次世代育種の普及促進等に係る基本的事項の協議調整、関係機関相互間の連絡調整、実証・普及に係る共同研究の推進

③ メンバー

- ・次世代育種の普及促進等を行う意欲のある、独立行政法人森林総合研究所、都道府県、林業関係団体、種苗業者・企業等（賛助会員）、国有林（オブザーバー）等

④ 設置単位

- ・育種基本区毎に高速育種運営会議を設置

⑤ 事務局

- ・林木育種センター、各育種場

2) 技術戦略委員会

① 目的

- ・学識経験者等第三者によって構成される技術戦略委員会を設け次世代育種技術の向上、開発、普及のテンポアップを図るため

② 活動内容

- ・次世代育種の開発に係る技術指導、採種園等の造成、改良、管理等への技術提案、種苗普及のアドバイス等

③ メンバー

- ・学識経験者等

④ 設置単位

- ・全国で1つ（森林総合研究所林木育種センター）

⑤ 事務局

- ・林木育種センター

(研究会の構成メンバー)

委員:

飯塚和也 (宇都宮大学准教授)

伊藤一弥 (王子製紙株式会社森林資源研究所長)

太田清蔵 (全国山林種苗協同組合連合会長)

川端康樹 (速水林業管理責任者)

合原眞知子 ((社) 日本林業経営者協会副会長)

佐藤 明 (東京農業大学教授)

戸丸信弘 (名古屋大学教授)

福田栄子 (栃木県林業振興協会女性部会副会長)

[敬称略、五十音順]

事務局:

森林総合研究所林木育種センター

オブザーバー:

林野庁

都道府県

(活動経過)

▪ 第 1 回研究会

日時:平成 22 年 7 月 5 日(月)15:00～17:00

場所:日林協会館 3F 大会議室 (東京都千代田六番町)

議題:(1)「次世代育種」促進研究会の主旨について
(2)精英樹選抜育種に関する現状と課題について

▪ 現地視察会

日時:平成 22 年 10 月 5 日(火)13:30～17:00

場所:①スギ F1 検定林 : 5 年生で樹高 7 m の個体 (茨城県城里町)

②スギミニチュア採種園 : 茨城県林業技術センター (茨城県那珂市)

③民間苗畑 (茨城県那珂市)

▪ 第 2 回研究会

日時:平成 22 年 10 月 6 日(水)13:00～15:00

場所:日林協会館 3F 大会議室 (東京都千代田六番町)

議題:(1)新たな原種・種苗供給体制について
(2)次世代育種に期待すること(茨城県、福岡県)

▪ 第 3 回研究会

日時:平成 23 年 1 月 19 日(水)14:00～16:00

場所:日林協会館 3F 大会議室

議題:(1)中間報告について

用語の解説

精英樹：

森林の中で成長や幹の形状等が特に優れることから、優良な種苗の素材として選抜の対象となる個体をいう。第1世代の精英樹は「林木育種の実施について（31 林野第 11236 号）」に基づき、成長の早いこと、単位面積当たりの収穫量が多いこと、幹が通直であること、病気や虫の害がないこと等を基準に全国の森林から選抜したもの。

F_1 ：

雑種第一代（first filial generation）の省略形で、遺伝的に異なる両親間の交雑によって生じた最初の子孫。

エリートツリー：

第1世代精英樹の中の優良なもの同士をかけ合わせて F_1 を育成し、その中からさらに優れた個体を選抜・検定したものを第2世代精英樹、また、優れた第2世代精英樹同士をかけあわせた F_2 （雑種第二代）からさらに優れた個体を選抜・検定したものを第3世代精英樹という。エリートツリーは、これら第2世代及び第3世代以降の精英樹をいう。

高速育種：

林木育種は長期（第1世代は50年）を要するが、これまでの調査データの蓄積を活かし、成長予測、立木状態での材強度の測定技術の活用等、育種期間を大幅に短縮する。第2～第3世代は10年程度に圧縮する計画。

採種園：

山行き用苗木となる種子を増殖するために果樹園形式に仕立てた園。球果採種等の作業を容易にするために整枝剪定し、スギやヒノキでは着花促進のために植物ホルモンの一種であるジベレリンを散布する。

採穂園：

山行き用さし木苗の穂を増殖するために仕立てた園。採穂する木は毎年剪定し、そこから出た枝を用いる。

原種：

採種園や採穂園に植栽する苗木や穂木。山行き用の苗木となる種子や穂木を増殖するための母樹となる。

種苗：

山行き用苗木となる種子や苗木。

検定林：

系統ごとの特性を評価するための試験林で、実験計画法に基づいて植栽することで植栽場所による影響を最小限にして評価している。

候補木：

検定林等で特に成績がよいものを候補木として選抜し、その後さらに検定を加えエリートツリー等の優良木としている。

系統：

遺伝的に同質な集団を指す単位で、林木育種ではさし木等によって増殖したクローンあるいは1本の母樹からの実生家系のこと。

近交弱勢：

近親交配によって成育が減退すること。