



## 「新しい林業」と林木育種

林木育種センター所長 今泉 裕治

このほど、新たな「森林・林業基本計画」がとりまとめられ、6月15日に閣議決定されました。新たな基本計画では、地球温暖化に伴う気候変動の影響など環境リスクが顕在化し、脱炭素（カーボンニュートラル）社会の実現に向けた気運（危機意識）が高まったことや、森林・林業を支える山村で、林業の採算性の低下に加え山地災害・森林被害の頻発化や少子高齢化・人口減少の加速化等を背景に森林管理に困難を来す状況が深刻化していることなどを踏まえる一方、近年、林業におけるリモートセンシングやICTの活用、耐火木質部材の開発等の技術革新が着実に進んだこと、「森林経営管理制度」「森林環境譲与税」などの制度的枠組みが整えられてきたことも踏まえ、そうした新たな技術や制度を活用して林業の生産性・安全性の抜本的な向上と収支のプラス転換を図る「新しい林業」の展開と木材・木質バイオマスの利用拡大を推し進め、効率的で持続的な林業の確立と森林の適正な管理の実現を目指すとともにカーボンニュートラルの実現にも貢献していくとの方向性が示されました。

この中で、「新しい林業」の具体的な姿として、「エリートツリー」や早生樹等のコンテナ苗を用い、低密度植栽、下刈り回数の低減、保育間伐の省略、短伐期収穫といった施業体系の転換とド

ローンによる苗木運搬や自動化機械の導入等を組み合わせ、大幅な生産性向上と造林作業の省力化を図っていくことが打ち出されたほか、再造林に不可欠な優良種苗を確保するため、林木遺伝資源の収集・保存、第3世代精英樹等の開発、採種園・採穂園の整備などに取り組むことも明記されました。

このように、「新しい林業」をはじめ、これからの森林・林業を支える基盤（縁の下の力持ち）としての林木育種への期待はかつてないほど高まっており、当センターはもとより、全国で林木育種に携わる関係者の総力を結集してこれに応えていく必要があります。

他方、成果が現れるまでに多大な手間と時間を要する林木育種にあって、期待される役割を確実に果たしていくためには、技術の進展や社会情勢の変化に的確に対応しつつ、異分野を含む関係者間の一層の連携と情報共有の下、予算やマンパワーを最大限効率的・効果的に投入していく必要があります。

当センターとしても、今後、様々な機会を捉え、将来の森林・林業像とその実現のための林木育種のあり方・戦略について、関係者の皆様と議論を深め、認識・理解の共有を図っていきたいと考えています。

### 【紙面紹介】

第5期中長期計画における森林総合研究所林木育種センターと  
森林バイオ研究センターの取組 ..... 2～5  
炭素貯留能力の高い造林樹種の効率的育種プロジェクト ..... 6

都道府県等への技術指導について ..... 7  
スギ細胞へのタンパク質直接導入法の確立  
ーゲノム編集技術の効率化に向けてー ..... 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5期中長期計画における森林総合研究所林木育種センターと 森林バイオ研究センターの取組

令和3年4月から、国立研究開発法人森林研究・整備機構の第5期中長期計画の5年間(令和3年度～令和7年度)が始まりました。

本計画では研究開発業務として3つの重点課題を設定しており、林木育種センターと森林バイオ研究センターが取り組む技術開発は重点課題「多様な森林の造成・保全と持続的資源利用に貢献する林木育種」に位置づけられています。この重点課題には「林木育種基盤の充実による多様な優良品種の開発」と「林木育種技術の高度化・拡張と特定母樹等の普及強化」という2つの戦略課題があり、下刈りの省略や伐期の短縮による低コスト化等が期待されるエリートツリーや多様な優良品種の開発、育種技術の高度化や開発した品種の普及等の林木育種にかかる事業・研究を推進することとなりました。

本稿では、上記計画に基づき、林木育種センターの各部と森林バイオ研究センターが取り組む内容について説明します。なお、中長期計画の全文は、当研究所のホームページに掲載されていますので、そちらをご覧ください。

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/aboutfrmo/midtermplannews.html>

### 育 種 部

育種部では、育種の基盤となるエリートツリーの開発、無花粉スギを含む花粉症対策品種やマツノザイセンチュウ抵抗性品種の開発、これらの育種を早期に実現するための高速育種技術の開発等に取り組んできました。今年度からスタートしました第5期中長期計画においては、これまでの育種事業・研究を引き続き推進するとともに、ゲノム情報を活用した高速育種技術のスギ以外の育種対象樹種への拡張、特定母樹の普及を促進するための取組の強化に力をいれていきます。ここでは、

第5期中長期計画において重点的に実施する内容について紹介します。

①育種の基盤となるエリートツリーの開発を引き続き進め、スギ、トドマツ等で新たに250系統を開発します。また、特定母樹の指定基準を満たすものについては、積極的に特定母樹への申請を進めます。

②再造林の低コスト化、花粉発生源対策、気候変動適応等の経済的・社会的ニーズに対応するため、初期成長に優れた品種や無花粉スギ品種、マツノザイセンチュウ抵抗性品種等の優良品種、150品種を開発します。

③特定母樹の普及を促進するために、初期成長や種子生産性等の特性を調査して、特定母樹等の特性表の作成・公表を進めます。

④特定母樹や開発された優良品種等の原種苗木等を採種園等に導入するため、都道府県等の要望する原種苗木等の計画的な生産と適期配布に努めます。

⑤育種に要する期間を短縮するための高速育種技術の開発を効率的に進めるため、スギ、ヒノキ、カラマツ等を対象にゲノム育種に必要な情報の整備等を進めます。

⑥スギにおいて先進的に進めてきたゲノム情報を活用した高速育種技術をヒノキ、カラマツ等の他の育種対象樹種に拡張していきます。

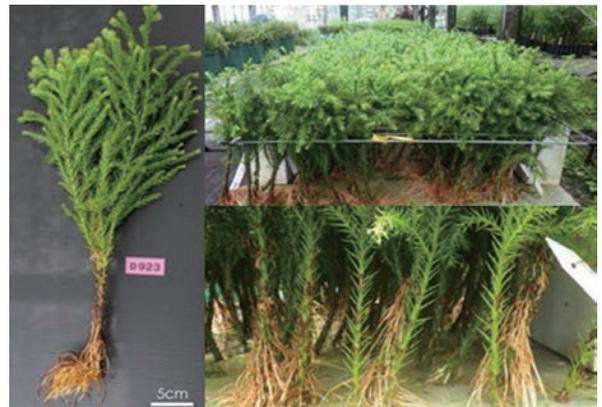


写真1 新たなクローン増殖方法「エアざし」

⑦育種による改良効果を高めるためには、精度の高い表現型情報の取得が重要です。このため、UAVの活用等、効率的で精度の高い新たな表現型評価技術の開発に取り組みます。

⑧原種苗木の都道府県等の要望に著実に応えるため、早期に多量に増殖が可能な原種苗木の増産技術等の開発を進めます(写真1)。

昨年、政府がカーボンニュートラルを2050年に実現すると宣言しました。また、6月には新たな森林・林業基本計画が策定されました。これらの新たな社会情勢も踏まえながら、林野庁や都道府県等と連携を図りつつ、林木育種事業・研究にかかる取組を推進していきます。

(育種部 高橋 誠)

## 遺伝資源部

遺伝資源部では、林木育種基盤の充実を図るため、林野庁の林木ジーンバンク事業を通して、主要な造林樹種や新たな需要の創出が期待される早生樹及び有用広葉樹等の育種素材、絶滅が危惧される希少種等を対象に、多様な遺伝資源の収集、保存、特性評価、配布及びそれらに関する技術開発を行っています。

これまでに約4万5千点の林木遺伝資源を収集・保存するとともに、第4期中長期計画(平成28年度～令和2年度)では、コウヨウザン等の早生樹の収集と特性評価、有用広葉樹ブナの堅果の凍結



写真2 早生樹コウヨウザンのさし木特性を調べる試験

保存技術の開発等を行ってきました。ここでは、林木遺伝資源の利用促進に資するため、第5期中長期計画において重点的に実施する課題について説明します。

①新たなニーズに対応する育種素材の収集及び作出と形質評価:早生樹やキハダ等の薬用樹木、伝統的産業を支えてきた樹木について、新たなニーズや資源量に基づく収集方針の検討、収集・保存された遺伝資源を用いた人工交配による遺伝資源評価集団の作出及びそれぞれの樹種のニーズに対応した特性評価を行います(写真2)。

②早生樹等のゲノム基盤の構築:早生樹等の遺伝資源を対象に、全ゲノム情報の収集をはじめとしたゲノム基盤の構築とゲノム情報を活用した遺伝的多様性の評価や有用遺伝子の探索を行います。また、スギやヒノキ等の造林樹種については、特性情報に加え、ゲノム情報を利用した遺伝的評価を行うことでコアコレクションの充実を図ります。

③気候変動適応のための遺伝資源の特性評価技術の開発:国有林内の保護林等に設定したアカマツやミズナラ等の長期モニタリング試験地における遺伝資源の動態調査(写真3)と、これまでに設定した広域産地試験地における原産地と植栽地の環境の違いへの適応性の解析により、気候変動下における特性評価技術を開発するとともに、施設内保存に向けた種子の耐乾燥性等の特性評価を行います。



写真3 長期モニタリング試験地におけるシードトラップの設置

④林木遺伝資源の長期保存技術の開発:造林樹種、有用広葉樹、オガサワラグワ等の絶滅危惧種等の

樹木について、冬芽等の栄養体や種子の耐凍性メカニズムを解明して、多様な遺伝資源の長期保存技術を開発します。

⑤林木遺伝資源の収集、保存、特性評価と配布：林木育種事業と連携して、スギ、ヒノキ等のエリートツリーや開発品種等を受け入れるとともに、潜在的な利用が期待される有用広葉樹の種子を対象に、それぞれの樹種に適した保存条件を基に、探索・収集と保存を進めます。また、天然記念物や巨樹・名木等の収集・保存と併せて、これらと全く同じ遺伝子をもつクローン苗を増殖し、後継樹として現地に里帰りさせるサービス「林木遺伝子銀行110番」や、大学や研究機関等からの要望に応じて、試験研究用林木遺伝資源の配布を行います。

(遺伝資源部 山田 浩雄)

## ▶ 指導普及・海外協力部 ◀

指導普及・海外協力部では、都道府県等への増殖技術等の普及指導と、海外研究機関等との共同研究・技術協力を進めます。

指導普及分野では、国内における林木育種技術の普及を推進するため、都道府県や種苗事業者等に対する採種園・採穂園の造成や育種技術の指導を、オンラインによるものも含め、期間中に計300回以上行うこととしています。

原種の増殖の現場では、より早期に種穂を生産するための育成・着花促進技術や継続的な生産を行うための採種園・採穂園の管理など様々な課題があり、特に都道府県において需要の多い無花粉・少花粉系統を効率的に増殖する技術や、着花が不安定なカラマツの採種園管理技術はなお開発・改善の途上にあります。

こうした課題に向き合い、種穂生産の現場から苗木の効率的・安定的な供給に資するため、担当者の悩みやつまづきに対する助言・指導(写真4)、問合せに対する文書指導などを行っていきます。また、制度／政策などの講習に対応するとともに、今後、種苗事業者での活用が見込まれるさし穂の空中発根技術等の普及にも取り組みます。



写真4 現地指導（採種木の剪定管理）

海外協力分野では、当センターが有する林木育種の能力を生かし、JICA等の国際援助機関による技術協力プロジェクトや外国研究機関等との共同研究を通じて、海外の樹種に関する育種技術の開発を推進します。

今期は、ケニアにおける郷土樹種メリア・アカシアの育種を引き続き進めるとともに、ベトナムにおける進出企業とのアカシア人工交配雑種のクローン選抜共同研究、台湾の林業研究機関との海岸防災等を想定したテリハボクの育種研究等を継続します。

とりわけケニアのように前中長期計画における育種成果が現地で高く評価され(写真5)、今計画でJICA次期プロジェクトにより林業を通じた森林回復・気候変動対策に取り組むことが期待されるものもあり、これまでの実績や海外相手方との関係を生かしつつ、新規も模索するなどコロナ後を見据えた案件形成に努めます。



写真5 ケニアプロジェクト関係者（当センター職員2名含む）

指導普及も海外協力も当センターが育種場時代から培ってきた林木の育種技術を広めていく意味で共通しています。森林の膨大な林木個体群から望ましい形質の個体を選抜する育種は、トライと検証の連続=やってみなければわからない=やってみた者だけが創り出せる技術体系として外部普及の意義は大きいと考えており、今計画でも取組を進めていきます。

(指導普及・海外協力部 稲本 龍生)

## ▶ 森林バイオ研究センター ◀

森林バイオ研究センターでは、遺伝子組換えやゲノム編集技術の開発及び高度化、組織培養技術の開発並びに遺伝子の連鎖解析や発現解析を通じた有用形質の発現メカニズムの解明等を通じ、バイオテクノロジーによる育種技術の高度化・拡張を行うことを目指しています。具体的には、①ゲノム編集による林木の育種技術の高度化、②有用形質発現の分子メカニズムの解明、③バイオテクノロジーによる機能性樹木等の組織培養技術の開発、の3つを軸に課題を構成しています。課題①においては、遺伝子組換えやゲノム編集等により遺伝子の導入や編集による形質改良技術の高度化に取り組んでいます。また、課題②においては、DNAマーカーと形質との関連性から形質に影響する遺伝子の特定や、前述の遺伝子組換えやゲノム編集を用いた遺伝子の変異導入による遺伝子機能の解明に取り組んでいます。さらに、課題③においては、前述の2つの課題の基盤となる組織培養技術の開発と組織培養による薬用系機能性樹木の効率的増殖技術の開発に取り組んでいます。遺伝子組換えやゲノム編集技術による無花粉スギの開発については、林木育種情報No.36において紹介していますので、本稿では薬用系樹木の増殖技術の開発について紹介します。

組織培養技術は、組織片等を適当な培地で培養し、増殖・再生させる技術であり、バイオテクノロジーの基盤的技術です。樹木においても増殖や個体再生技術の開発が進んできています。ゲノム編

集等の新育種技術を林木に適用することや優良系統をクローン増殖するために組織培養技術の拡張は重要です。後者の目的では、薬用樹木であるカギカズラを対象に研究を進めています。カギカズラはアカネ科のつる性樹木で、国内でも温暖な地域に自生しています。生薬としての名称はチョウトウコウで漢方薬に処方されており、近年消費量が増えてきている生薬ですが、そのほとんどを中国からの輸入に依存しています。森林バイオ研究センターでは、薬効成分を多く含む優良系統をクローン増殖するために組織培養技術の開発に取り組んできました(写真6)。また、組織培養苗の効率的順化技術の開発を進めており(写真7)、組織培養苗の植栽試験も行っています。

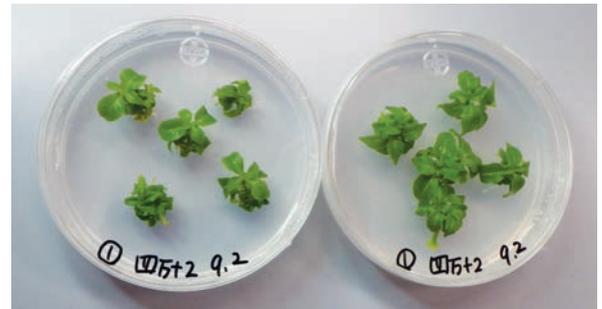


写真6 カギカズラの培養個体



写真7 順化中のカギカズラ組織培養苗

カギカズラの利用技術については、農林水産省イノベーション創出強化研究推進事業により、大学、国立研究開発法人、県及び民間事業者と共同で、増殖、系統管理、非薬用部位の利用、栽培・収穫等の技術開発を進めています。

(森林バイオ研究センター 藤原 健)

# 炭素貯留能力の高い造林樹種の効率的育種プロジェクト

## 1. はじめに

国連気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書において、「気候システムの温暖化は疑う余地はない」とされており、地球温暖化は世界中の自然と社会に深刻な影響を与え、我が国の農林水産物の生産にも重大な影響を及ぼすことが懸念されています。このため、気候変動に対処するために、国際的にはIPCCを中心にカーボンニュートラルの達成を目指す等の方向性が示されており、我が国においても政府は2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを2020年10月に宣言しました。カーボンニュートラルを達成するためには、省エネルギー・エネルギー効率の向上などとならび、森林等の二酸化炭素吸収の最大化と木材のカスケード利用の実現が重要となっています。

## 2. 求められる炭素貯留能力に優れた系統の開発

森林による二酸化炭素の吸収・貯留能力の最大化を図る上で、森林の開発・転用の抑制、適切な施業による健全性の確保、主伐後の着実な再造林、優良種苗の確保・植栽、森林面積の増大等が必要であると考えられます。一方、人工林の高齢級化が進んでおり、このまま高齢級化が進行した場合、森林による二酸化炭素吸収・貯留能力は低下すると予測されています。このため、革新的環境イノベーション戦略では、二酸化炭素の吸収・貯留能力や、木材としての性能に優れ、さらに地域に適した特性を併せ持ったエリートツリー(スギ等の成長に優れた優良系統)等や成長に優れた樹種である早生樹に転換し、森林による二酸化炭素の貯留を促進することの必要性が位置づけられました。これらのニーズに対応するためには、遺伝的に炭素貯留に優れる系統を早期に選抜可能な育種技術の開発を行うことにより、数十年の期

間を要してきた林木の品種改良を大幅に短縮し、炭素貯留能力に優れた系統の作出を促進することが重要となっています。

## 3. 炭素貯留能力の高い造林樹種の効率的育種に向けた技術の開発

炭素貯留能力の高い優れた系統の効率的な開発推進に向けて、今年度から、森林研究・整備機構が代表機関となり、かずさDNA研究所や京都大学、静岡県立農林環境専門職大学、静岡県森林・林業研究センターとコンソーシアムを形成し、農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究「炭素貯留能力に優れた造林樹種の効率的育種プロジェクト」において必要な技術の開発を進めることとなりました。

今後このプロジェクトを通じて炭素貯留能力に関連する成長や材質といった形質の評価技術の高度化、スギ等の遺伝子情報の収集・基盤整備と形質を予測するためのDNAマーカーの開発、ゲノム編集技術を活用したスギの炭素貯留能力を増減可能にするための基盤技術の創出を行います。

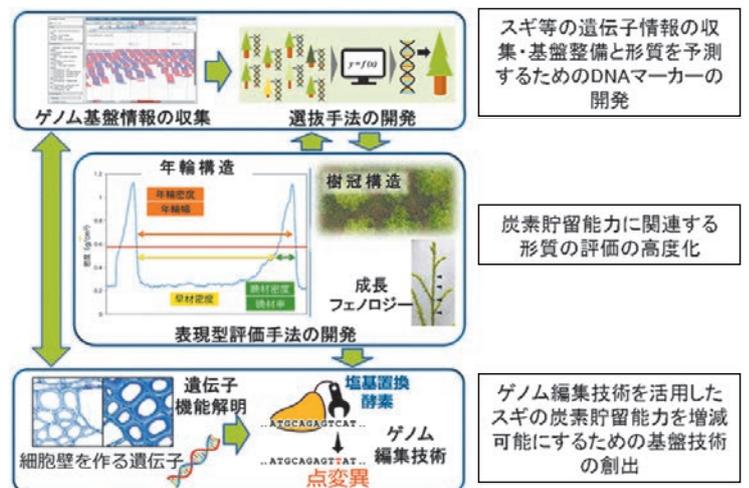


図 プロジェクトの課題構成の概要

(育種部 育種第一課 倉本 哲嗣)

## 都道府県等への技術指導について

林木育種センターでは、都道府県からの要請等に応じて、種苗の増殖や採種園等の造成改良に関する技術指導を行っています。令和2年度に実施した技術指導について紹介します。

### 1. カラマツ採種園管理の技術指導

カラマツは、材の人工乾燥や集成材加工等の技術が向上してきたことに加え、比較的成長や木材の強度に優れていることから、近年苗木の需要量は高まっていますが、苗木生産に必要な種子量が不足している状況です。スギとヒノキは、ジベレリンを使用することによって比較的簡易に着花を向上させ、安定的に種子を確保できます。カラマツについては、ジベレリンのような着花効果の高い薬剤はなく、幹を剥皮したり(写真1)、枝に切り込みなどを入れて着花促進させますが、豊凶の影響で着花量は変化し、安定的に種子を確保することが課題となっています。そこで、吾妻森林管理署、群馬県林業試験場、林木育種センターの3機関共同で吾妻森林管理署管内のカラマツ田代第1採種園を活用して安定的な種子を確保する取組を平成27年度から進めています。これまでに着花に有効とされる陽光が採種園内の下層まで届くようにするための受光伐や断幹整枝剪定などの現地検討会や着果調査を行い、令和2年度は環状剥皮処理方法の技術指導を行いました。環状剥皮は毎年着花が期待できるように採種園内を区域分けし、順次処理を進めています。今後は、施肥や断幹整枝剪定など着花枝の充実を図るような施業を計画しています。



写真1 環状剥皮作業

### 2. ヒノキ採種園管理の技術指導

岐阜県東濃松採種園において、岐阜県の担当者と採種園管理者を対象に講習会を開催しました。室内において採種園設計の考え方や採種木の樹形誘導、ジベレリンによる着花促進方法などのヒノキ採種園の管理、また、エリートツリーと特定母樹の選抜基準や選抜数などについて説明を行いました。屋外では、雌花と雄花の着き方や採種木の断幹整枝剪定方法を実際に見てもらいながら説明しました(写真2)。実技を交えたことにより、さらに理解しやすくなったと好評をいただいたものの、新型コロナウイルス感染防止によるマスクの着用や室内で密にならないように座席の間隔を空けたことにより声が小さい、聞き取れないなどの意見もありました。



写真2 ヒノキの雌花と雄花の着き方

### 3. 優良な苗木の安定供給に向けて

戦後造林された人工林を中心に利用期を迎え、伐採量の増加が見込まれる中、再生林に必要な苗木の安定的な供給、また、利用する苗木は二酸化炭素の吸収・固定等に寄与する優良な品種が求められています。森林が有する多面的機能を将来にわたって発揮させ、SDGs達成への貢献に資するためには、「伐って、使って、植えて、育てる」人工林資源の循環利用を促進することが重要です。そのため、採種園・採種園産種苗が安定的に供給されるよう技術指導に努めていきたいと思っております。

(指導普及・海外協力部 指導課 千葉 信隆)

# スギ細胞へのタンパク質直接導入方法の確立 — ゲノム編集技術の効率化に向けて —

## 1. はじめに

人工DNA切断酵素を用いて狙ったDNA領域を任意に改変する「ゲノム編集技術」は、2012年に発表されたCRISPR/Cas9システムにより瞬く間に広まり、その革命的なインパクトの大きさは、発表からわずか8年後の2020年に、開発者のエマニュエル・シャルパンティエとジェニファー・ダウドナ両氏にノーベル化学賞が授与されるという形で示されました。現在では高精度・高効率・制御可能な改良型ゲノム編集技術の開発が国内外で猛烈なスピードで進められています。また、日本では、ゲノム編集トマトが筑波大学発のベンチャー企業により上市されるなど、ゲノム編集技術は我々にとってより身近なものとなっています。

## 2. 樹木におけるゲノム編集技術の課題

植物にゲノム編集をする際は、遺伝子組換え技術により、ゲノム編集遺伝子発現カセットをゲノムDNAに一旦挿入する手法が一般的で、スギのゲノム編集においても同じです。挿入された外来遺伝子は交配により除去可能です。しかし、樹木において交配作業は数年単位の長い期間が必要です。さらに、遺伝子組換え技術が確立していない有用樹木は数多くあり、遺伝子組換え技術を利用しないゲノム編集の手法が求められてきました。

## 3. 「直接導入」によるゲノム編集の利点

近年注目されているのが、DNA切断酵素を細胞内に送達する「直接導入」という手法でゲノム編集する方法です(図)。導入したDNA切断酵素は一定期間の後、細胞内で分解されます。また、得られた植物体に外来の核酸が含まれていないことが確認されれば「遺伝子組換え生物」には該当しません。すなわち、本手法は交配による外来遺伝子除去という工程を省けるという、大きな利点があるのです。動物細胞において直接導入によるゲノム編集技術はすでに確立しており、広く行われています。しかし、強固な細胞壁に覆われた植物細胞において、効率的な直接導入方法は確立していませんでした。

## 4. スギ細胞へのタンパク質直接導入方法の確立

そこで、我々は新規の膜透過性ペプチド「ポリヒスチジン」<sup>1)</sup>を利用することで、スギ細胞へのタンパク質直接導入を試みました。様々なポリヒスチジン分子を検討することで、赤色蛍光タンパク質や酵素タンパク質をスギ細胞へ効率良く直接導入することに成功しました<sup>2)</sup>。さらに、ポリヒスチジンによるタンパク質直接導入はスギ細胞以外にもイネやタバコの培養細胞においても成功したことから、スギ以外の樹種への利用も期待されます。

## 5. 今後の展開

現在我々は本技術を応用した、直接導入によるゲノム編集技術の確立を目指しています。本技術は樹木におけるゲノム編集技術の完成形ともいえるもので、広い範囲の樹種に適用できるよう研究を進めてまいります。

- 1) アミノ酸の一種ヒスチジンが連続して8~20個連なるポリペプチドの総称。
- 2) Tanaka Y, Nanasato Y, et al. Direct protein delivery into intact plant cells using polyhistidine peptides. Biosci Biotechnol Biochem 2021;85:1405-1414.

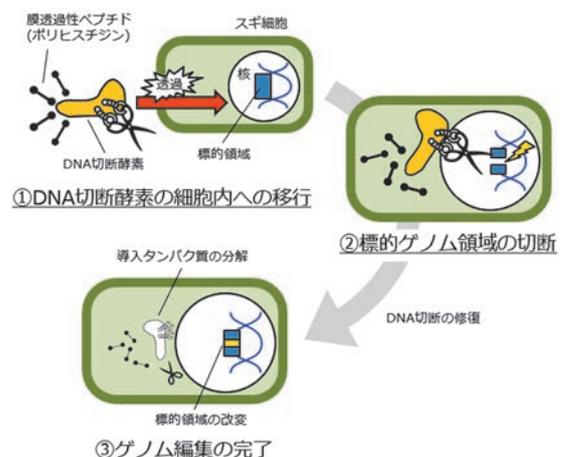


図 直接導入によるゲノム編集の概要

(森林バイオ研究センター 七里 吉彦)

表紙タイトル写真

特定母樹の採種園産種子によるスギ実生  
コンテナ苗の育成。

リサイクル適性 (A)  
この印刷物は、印刷用の紙へ  
リサイクルできます。

林木育種情報 No.37

令和3年7月30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 <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/index.html>