

森林・林業分野における遺伝子組換え技術に関する研究開発の 今後の展開方向について

はじめに

森林・林業分野における樹木の遺伝子組換え技術の開発(以下「遺伝子組換え技術の開発」という。)は、地球温暖化軽減対策、木質バイオマスの効率的利用、花粉発生源対策等を通じて、国内外の環境・資源問題の解決に大きく貢献すると考えられ、飛躍的な発展が期待される分野である。また、2025年までを視野に入れた成長に貢献するイノベーションの創造のための長期戦略指針「イノベーション25」(平成19年6月1日閣議決定)でも、「環境保全に貢献するスーパー樹木の開発」の重要性が指摘されている。

しかしながら、世界的な情勢を見ると、ポプラやユーカリを中心としたゲノム構造解析や発現遺伝子の単離、機能解析等が進められている段階で、未だ遺伝子組換え樹木が商業栽培された事例はない状況にある。

一方、我が国では、独立行政法人等がポプラ等で発現遺伝子の大規模収集、塩基配列の解読と機能解析等を行うとともに、独立行政法人や大学、民間企業において耐塩性ユーカリや高セルロースポプラ(ギンドロ)について、「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」(以下「カルタヘナ法」という。)に基づく、第一種使用等による試験(隔離ほ場試験)が行われている段階にあるが、機関毎にそれぞれ異なる目標・対象等の対応がなされているところである。

このため、今後の我が国の遺伝子組換え技術の開発については、その研究開発成果が国内外の環境保全や森林資源の充実等に活用されるよう、将来の展開方向を的確に見据えた上で、独立行政法人、公立試験研究機関、大学、民間等の関係機関が連携協力し、体系的に取り組むことが重要であることから、今後の展開の方向性を明らかにするものである。

1 遺伝子組換え技術の開発の現状

遺伝子組換え技術の開発は、①生物種(樹種)のゲノム塩基配列を解読するゲノム構造解析、②遺伝子の発現等ゲノムに書かれた情報の意味を理解するための機能解析、③遺伝子組換え樹木の開発というステップから構成されており、日本、アメリカをはじめ各国は、開発経費や研究態勢を考慮しつつ、研究開発を推進している。

(1) ゲノム構造解析

植物のゲノム構造解析は、シロイヌナズナやイネに次いでポプラについて行われており、ポプラゲノムの約90%はアメリカで解読されている一方、ユーカリについても日本とアメリカでゲノム解析が進められているところである。

しかしながら、このようにポプラやユーカリのゲノム解析が飛躍的に進捗しているにもかかわらず、その他の樹種について大規模なゲノム構造解析を行う動きは、今のところ見られない。

これは、林業上主要な樹木のゲノムサイズが草本植物と比較して著しく大きく、スギゲノムの大きさは、遺伝子組換えのモデル植物であるシロイヌナズナの約90倍、イネの約27倍、ポプラの約20倍、ユーカリの約15倍に相当する大きな情報量を有しており、その量はポプラで約4.8億個、ユーカリで約6.5億個、スギでは約100億個と言われていることに起因しているものと考えられる。

このため、近年、各国では遺伝子の全体構造を対象とするゲノム構造解析を行わずに、EST解析等を用いて、樹種別に発現する遺伝子のみを解析し、有用な遺伝子を単離・活用する傾向にある。

- * EST : Expressed Sequence Tag の略で、cDNA の部分塩基配列のこと。(cDNA とは、ゲノム DNA の中から不要な配列を除き、タンパク質をコードする配列のみに整理された遺伝情報物質である mRNA (メッセンジャー RNA) を鋳型にして作られた DNA である。EST を手がかりに RNA 全体の配列を得ることが可能になり、樹種別に発現する遺伝子のみを部分的にかつ効率的に解析するのに有効である。)

(2) 機能解析

国外の遺伝子の機能解析については、ニュージーランドのラジアータパインのように、各国の主要樹種を対象に cDNA ライブラリーを作製し、EST 情報の収集が行われている。

我が国では、これまでに、独立行政法人や民間企業において、ポプラゲノムの概要解読から推定された発現遺伝子数の約40%に当たる完全長 cDNA を約2万個収集し、その情報を国際ポプラゲノムコンソーシアムに提供した。さらに、スギについては雄花由来の完全長 cDNA を約1万個収集するとともに、ユーカリについては完全長 cDNA を約7千個収集している。

(3) 遺伝子組換え樹木の開発

世界的にみれば、遺伝子組換え樹木を作出し、実用化が行われたケースはどの樹木についてもこれまでに例がなく、研究開発段階に留まっているところである。

しかしながら、国外の研究開発については、ポプラ、ユーカリ、マツ、トウヒ

等に低リグニン、除草剤耐性、虫害耐性等の特性を付与する研究開発を中心に行われるとともに、開発された遺伝子組換え樹木の隔離ほ場試験は約20年前から活発に進められている。

一方、我が国においては、大学と民間企業による耐塩性ユーカリ、独立行政法人と大学による高セルロースポプラ（ギンドロ）について、カルタヘナ法に基づく第一種使用等による試験を実施している段階である。

また、カルタヘナ法に基づく第一種使用等による試験を行うためには、関係省庁の許認可とともに、地域住民等の関係者の理解を得る必要がある。独立行政法人森林総合研究所は、高セルロースポプラ（ギンドロ）の開発において、平成18年度に以下のとおり周辺住民への現地説明会等を開催し、地域住民等の理解を得たところである。さらに、こうした諸手続を行った後、平成19年3月には関係省の承認を得て、遺伝子組換えポプラの隔離ほ場試験を開始したところである。【独立行政法人森林総合研究所（独立行政法人林木育種センター：当時）が実施した地元との調整経緯】

- 隔離ほ場の建設に当たり、茨城県と日立市を対象に施設建設の概要及び遺伝子組換え樹木の開発のための説明を実施（平成17年1月、8月）
- 隔離ほ場における遺伝子組換え樹木の栽培試験の概要と、試験に伴う現地説明会開催について、関係機関（茨城県、日立市、高萩市、茨城森林管理署、日立市森林組合、高萩市森林組合）を対象に説明を実施（平成18年12月～平成19年1月）
- 現地説明会開催についてプレスリリースするとともに、ホームページに掲載（平成19年1月）
- 現地説明会の案内状を関係機関に送付（平成19年1月）
- 現地説明会の案内状を近隣（128世帯）に配布（平成19年1月）
- 現地説明会を実施（平成19年2月3日）、地域住民等の参加を得て、試験目的、概要、隔離ほ場施設等について説明
- 遺伝子組換えポプラの隔離ほ場試験を開始（平成19年3月）

2 活用が期待される分野と実現可能性

遺伝子組換え技術の開発は、地球的規模での環境問題の解決や木質資源の安定的な確保、花粉発生の抑制による遺伝子攪乱の防止及び花粉症対策等に貢献することが期待される場所である。

具体的には、地球温暖化を軽減するための二酸化炭素固定能が高い樹木や環境ストレス耐性樹木の開発、木質バイオマスを効率的にエネルギー化するためのバイオマス生産性を向上させた高セルロースや低リグニンという特性を付与した樹木の開発、花粉を着けない樹木の開発、病虫害に対する抵抗性が高い樹木の開発

等である。

地球温暖化の軽減対策に貢献可能な樹木と木質バイオマス利用に適した樹木の開発については、目的とする形質に共通する部分が多く、乾燥や塩害等に対するストレスへの耐性を付与した樹木や、二酸化炭素固定能に優れた高生産性樹木の開発が期待される。特に、高セルロースや低リグニンなどの特性を付与した樹木の開発が、ポプラやユーカリ等の成長の早い樹種で可能となれば、プラントにおける実用化生産と組み合わせて高収量のバイオエタノール生産が行われることとなる。また、このような技術は、熱帯地域等においては、資源の充実、収入の増加につながるものであり、途上国等の経済安定に貢献すると考えられる。

加えて、遺伝子組換え樹木を産業利用する場合には、木質バイオマス生産や地球温暖化の軽減対策等に資するいずれの樹木についても、森林生態系の攪乱を招かないよう花粉発生制御技術の開発が緊急に解決すべき課題であり、花粉発生を制御することは、すなわち花粉発生源対策にもつながるものとして期待されている。この分野については、これまでに独立行政法人やアメリカ、スウェーデンの研究機関において、遺伝子組換えによるポプラ等の早期開花技術の開発に成功しているが、花粉形成に関わる遺伝子は多数存在すると考えられており、関係する有効な遺伝子を特定することが必要となっている。

また、我が国におけるスギ花粉発生源対策の場合には、ポプラ等の成果をスギに応用する必要があるが、これまでに解明されたスギの遺伝子のみでは花粉を制御できる段階には至っていない。平成13年に独立行政法人が「スギ雄花の形態形成を支配する遺伝子」について報告しているが、その遺伝子を用いても形態異常は期待できるが、完全に雄花形成を止めるためには、個々の研究の積み上げが必要と考えられている。

病虫害抵抗性については、農作物同様のBT遺伝子を導入する手法が考えられるが、これまでの農作物の例をみても、事前に国民のコンセンサスを得ることが特に重要な要件となる。

さらに、育種年限を短縮できる樹木の育種法開発や生育している樹木の特性を解明するには、遺伝子組換え技術やDNAマーカー等によって発現する表現型を早期に特定することが前提であり、本技術が開発されれば、多様化する社会ニーズに対応した樹木の新品種の早期開発等が可能となることが期待されている。

* BT 遺伝子：微生物 (*Bacillus thuringiensis*) が生産する殺虫性タンパク質の遺伝子で、カイコの病気の原因として古くから研究されている。種特異性が強く、ほ乳類や鳥類等の脊椎動物には毒性を発揮しない。現在最も普及しているものは、チョウやガの仲間に特異的とされているもので、トウモロコシやワタ、ナタネ、ジャガイモ等で虫害抵抗性作物が作出されている。

3 今後の展開方向

(1) 研究対象の優先順位の必要性

前述のとおり、樹木の場合、ゲノムサイズが他の生物と比較すると著しく膨大であること、我が国の遺伝子組換え技術の開発に携わる研究者数が少ないこと、隔離ほ場等カルタヘナ法に基づく承認に必要な試験を行う施設が国内には少ないことから、優先順位を設定して、必要な技術について重点化した研究開発を効率的に推進する必要がある。

(2) 考えられる具体的な研究内容

今後の遺伝子組換え技術の開発においては、その成果が地球環境の保全や森林資源の充実等に早期に活用されるよう、これまでの研究開発の成果及び我が国の研究態勢を踏まえ、技術開発を支える基礎・基盤研究としてのゲノム情報の収集、有用な遺伝子の単離・機能解析等を充実させつつ、花粉発生抑制技術の開発、地球温暖化軽減に貢献する組換え樹木やバイオマス生産性を向上した組換え樹木等の開発を総合的に進める必要がある。

遺伝子組換え技術は、新たな形質を付与したり、不要な形質を抑制することが効率的に行える技術としての価値が高く、その優先順位は①地球温暖化軽減、②木質バイオマス生産性の向上、③病虫害に対する抵抗性の付与、④育種年限の短縮である。

一方、遺伝子組換え樹木が単なる研究の成果として留まることなく、自然条件下において、その有効性が発揮されるためには、花粉発生制御を行う技術が極めて重要である。

このことから、各研究分野で想定される研究テーマとしては、以下のような内容が例として掲げられる。

①地球温暖化軽減

- ・ 乾燥・塩害・高温耐性付与技術の開発
- ・ 酸性土壌等の不良土壌に対する耐性付与技術の開発
- ・ 大気汚染耐性付与技術の開発
- ・ 二酸化炭素固定能に優れた高生産性樹木の開発

②木質バイオマス生産性向上技術の開発

- ・ バイオマス生産性向上技術の開発
- ・ バイオエタノール生産のための組換え樹木の開発

③病虫害に対する抵抗性付与技術の開発

- ・ マツノザイセンチュウ抵抗性等病虫害抵抗性付与技術の開発

④育種年限の短縮

- ・ 早期開花技術の開発
- ・ DNA マーカーを用いた有用形質の早期検定技術の開発

【共通する重要な課題】

○花粉発生制御技術の開発

- ・ 組換え樹木の開発に必要なゲノム情報の基盤整備
- ・ 花成制御技術の開発
- ・ 花粉形成抑制技術の開発

(3) 国民の理解増進のための情報発信

現在我が国では、カルタヘナ法に基づく隔離ほ場試験が2例行われているに過ぎないが、その際に行った周辺住民への理解の醸成は、十分な成果を上げている。

しかしながら、これまでの遺伝子組換え生物の作出において見られたように、実用化の段階においては新しい技術を受け容れるために安全性に関する十分な情報が、国民にはなかなか伝わらないところがあり、情報不足等から大きな不安を生むことが危惧される。

このため、遺伝子組換え技術の開発を開始する時から、その成果が利用される現場が森林生態系であることを想定し、生物多様性への配慮に加え、環境や生活に対する安全・安心を確保した上で実行することが必要不可欠である。また、パブリック・アクセプタンスの重要性については開発を推進する側が十分認識し、国民にわかりやすい形で研究成果情報を公開する等時宜を失することなく対応していかなければならない。

(4) その他

樹木の遺伝子組換えに携わる研究者数は、他分野の研究者数と比べて極めて少ないことから、モデル植物や農作物を材料とする研究分野との連携・協力を深め、研究を推進することが、研究者の裾野を広げるためにも重要である。

さらに、遺伝子組換え樹木のカルタヘナ法に基づく第一種使用等による試験が実施されている隔離ほ場は、現在国内には2箇所であり、研究開発の基盤整備が急がれるところである。

また、我が国の遺伝子組換え樹木に関する技術開発について、地球環境保全等の観点から、諸外国に対して情報発信や技術協力することも検討する必要がある。