

【特集】 今後の種苗供給における林木育種の課題

海外植林地での林木育種の実践と課題

河岡 明義^{*1}

はじめに

我が国の製紙会社の海外産業植林プロジェクトは古くは1973年のブラジルでの日伯紙プロジェクトに始まり、1990年代には各社が活発に南半球の国々で植林プロジェクトを開始している。2012年末の海外植林面積は、合計730千ヘクタールを超えている（日本製紙連合会2013）。海外で植林を行う利点は、一定の広さの土地を確保しやすいことや平坦な土地を選択することで作業の効率化が図れること、その土地に合った樹種を育種・選抜することでコスト的に有利なことが挙げられる。日本製紙（株）も、南アフリカ、オーストラリア、チリ、ブラジルの4カ国で植林事業を行っている。持続的に生産性の高い植林事業を継続するためには、様々な技術課題がある。本稿では、西オーストラリアでのクローン苗生産とブラジル北東部の植林地における林木育種について解説する。

西オーストラリアでのクローン苗生産

日本製紙の西オーストラリアでの植林は、Bunbury Treefarm Projectとして1996年から植栽が始まった。樹種は*Eucalyptus globulus*で、クラフトパルプの収率が高いという特徴がある。西オーストラリアの植林地は近年、低降水量による乾燥害や塩害による成長不良に悩まされている。そのため、耐乾燥性や耐塩性を持つ系統が強く望まれている。

実際、種子から育てた実生苗の5年生ユーカリの植林地から、成長性に優れた個体または厳しい乾燥地でも生存していた個体を選抜し、その枝を取得して接木苗を作成した。その接木苗から再生させた芽を組織培養系に取り込み、後述の独自開発した増殖方法でクローン苗を作成した。さらに、詳細な生理学的解析から、耐塩性のある系統間にも、耐性の仕組みが異なることが明らかにな

った（藤井ら2009）。このように、塩害への耐性度も精英樹選抜の指標として検討している。これらのクローン苗を再び植栽し、成長量を調査している（次代検定）。また、選抜した精英樹候補木は10年目で伐採し、チップングした後、パルプ化適性を調査した。

*E. globulus*は挿し木による発根が困難であり、通常種子を発芽させて植栽用の苗が作成される。種子由来の苗は成長のバラツキが大きいとため、成長性に優れた精英樹のクローン苗による性質が均一な植林が生産性を増加させる。そこで、発根率を上昇させるために、「光独立栄養培養による容器内挿し木技術」を開発した（Nagae et al 1996）。この光独立栄養培養法とは温度、湿度、光と炭酸ガス濃度の条件を制御し、植物体が持つ光合成能力を十分に発揮させる環境を作り出して、発根させる技術である（図-1）。

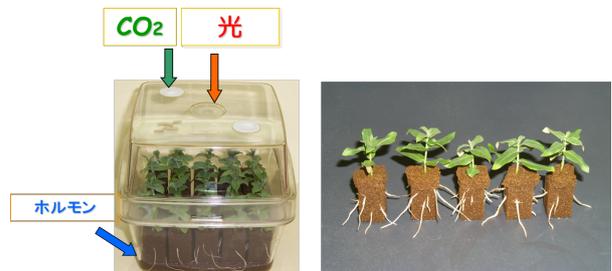


図-1 光独立栄養培養による容器内挿し木技術

これにより、効率的に*E. globulus*のクローン苗の生産が可能となり、6年生の精英樹クローン林は実生林と比較して、1.4倍の成長性を示した。試験植林では良好な結果が得られたが、今後は大量生産技術の開発が鍵となる。

この発根技術はユーカリのみならず、果樹などの難発根性の植物にも応用可能であり、当社ではアグリ事業へ展開している。しかしながら、「発根技術」に関してはま

*E-mail: akawaoka@nipponpapergroup.com

¹ かわおか あきよし 日本製紙株式会社アグリ・バイオ研究所

だまだ未解明な課題も多い。そのため、生理学的或いは分子生物学的なアプローチからメカニズムの解析を進めている。発根、すなわち「不定根形成」は一般的に植物ホルモンであるオーキシンの作用が重要と考えられ、容器内挿し木を行なう際も、培地にインドール酪酸を添加する。*E. globulus* の発根しやすい系統と困難な系統の植物ホルモン濃度の比較 (理化学研究所との共同研究) から、内生のオーキシン量とその極性輸送が重要であることが分かった (図-2)。オーキシンは芽や葉の先端部で合成され、発根処理した茎の基部に極性輸送されて、不定根の形成が始まると考えられている。また、サイトカニン類も不定根形成に影響を与えているようであった。さらに、東京大学大学院農学研究科の浅見忠男教授と共同で「ケミカルバイオロジー」的なアプローチからも、発根メカニズムの解明を進めている。ある種類のチトクローム P450 酵素の阻害剤が、*E. globulus* の不定根形成を促進するデータが得られている (Negishi et al 2011a)。このような解析を通して、どのような種類の植物にでも応用可能な普遍的な発根方法を開発したいと考えている。

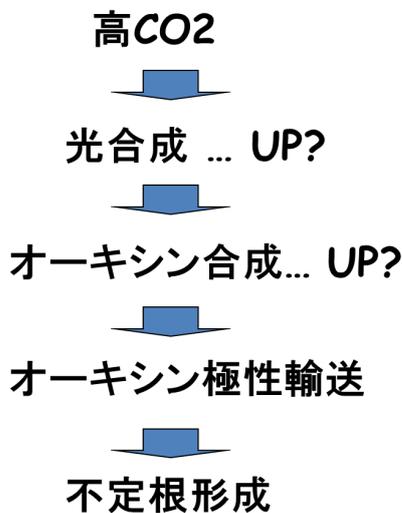


図-2 不定根形成メカニズム

ブラジル北部における林木育種

Amapa Florestal e Celulose S.A. (以下、AMCEL) は、赤道直下のブラジル北部アマパ州において、植林と木材チップの生産を行っている。この地域は年間降水量が 2,000 mm 以上で平均気温が 27℃ であり、雨期と乾期がある熱

帯サバンナ地帯である。世界的にも、このような気候帯での植林事業は稀有である。同社は、平坦でまとまった植林地、チップ工場 (= 積み出し港) の距離など、高いポテンシャルを持ちながら、植林木の生育性が低く、これらの好条件を十分に活かせずにいた。しかし、2006 年 12 月以降、継続的に行われてきた林木育種の成果により、生育性が大幅に向上してきた。

AMCEL でのユーカリ植林はブラジルの中では後発であり、本格的には 1990 年代後半から開始された。ユーカリ植林開始当初からクローンによる植林が行われたが、その多くが中・南部の他の植林会社から譲渡されたものであった。しかし、AMCEL の植林地は、これらのクローンが開発された地域に比べ、環境条件が大きく異なるため、これまでの生育は必ずしも芳しくなかった。そこで、AMCEL では 2002 年頃から独自の育種プログラムを立ち上げ、この植林地に適したユーカリクローンの開発を開始した。そして、2006 年から、この育種プログラムにより開発された新規クローンに全面的に切り替えた。その結果、2007 年以降の植林地では成長量が大幅に向上した。

AMCEL の苗はおよそ 98% が挿し木によるクローンであることから、多様な母集団から優れた個体を選ぶ育種が行われている。選抜の母集団は大きく 2 つのグループから構成される。1 つは、他の植林会社などの外部機関から取得し優良品が確認されたグループである。他は自ら手掛けた交雑育種による実生林を母集団とし、優良品が確認されたグループである。この 2 種類の母集団を対象に、必要な数の苗を生産し、クローン適性試験に供する。この試験に供するクローンの数は、年によって異なるが、おおよそ 300-350 クローン/年である。

上記クローン適性試験において、植え付け後 4 年目の成長を基準にして、優良な生育を示した系統を次の段階であるクローン試験植林に供する。クローン試験植林においても、4 年目の成長を基準にして、優良クローン (ポテンシャルクローン) を選抜し、事業用クローンとしての適否を検定している。このように、2 つの過程を経て、毎年数クローンが優良クローンとして選抜される (図-3)。最近では、これらクローンのパルプ収率や容積重を、簡易測定法を用いて調査している。容積重やクラフトパルプ収率は対象木を伐採してチップを作成しないと測定できなかったが、簡易測定できる方法を取り入れた。幹に針を突き刺して容積重を推定するピロディン貫入計と、少量の木粉を用いてパルプ収率を測定する近赤外分光光度計による測定技術を導入したことで、最初の選抜段階でこれらの評価が実施できるようになり、選抜の効率化に繋がった。

以上述べたように、選抜は 3 段階あり、各選抜期間は通常 4-6 年で試験される。従って、精英樹を得るためには、12 年以上の長い年月が必要となる。この選抜期間を短縮化するために、新たな取組みを行なっている。例えば、DNA マーカーの育種への応用にも取り組んでいる。

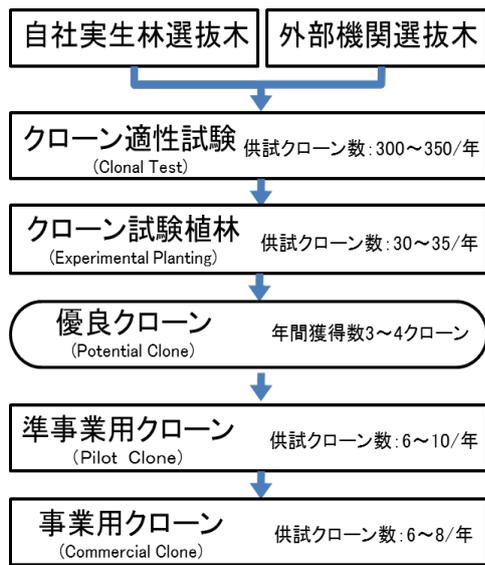


図-3 AMCEL 社における選抜育種の流れ

E.grandis は2011年にゲノム情報が公表され、400種類以上 SSR (Simple Sequence Repeats) マーカーも報告されている。個体を識別するために、この情報を元に20種類以上の有効な SSR マーカーを選び、DNA シークエンサで各個体の SSR マーカーの差異を見出し、育種の効率化に役立っている。現在、育種期間の更なる短縮化と効率化を目指して、SNP (Single Nucleotide Polymorphism) マーカーの育種への応用を進めている。ブラジル農牧研究公社 (EMBRAPA) が主催する“EuChip60K”プロジェクトに参画し、SNP 情報と形質との相関を調査している。さらに DNA 配列のみならず、セルロースやリグニンの生合成に関わる遺伝子の転写レベルと個体の形質との関連性についても解析を進めている (Negishi et al 2011b)。

終わりに

西オーストラリアでのクローン苗の生産技術、続いてブラジル AMCEL 社における選抜育種について述べてきた。日本の製紙会社は原料である木材チップの多くを海外植林地で調達しているため、バイオ技術を応用した生産性の高い植林事業を目指している。最近では、地球温暖化対策や石油代替のバイオマスエネルギー生産の原料としても、森林資源は注目を浴びている。今後、ユーカリなどの早生樹はゲノム情報の活用によって、育種がより加速化されると予想される。精英樹の育種と苗の大量増

殖技術が植林地の高い生産性に繋がり、森林資源の効率的な確保のみならず、炭酸ガスの固定化を通して環境保全にも貢献できると考えている。

引用文献

- Nagae S, Takamura T, Tanabe T, Murakami A, Murakami K, Tanaka M (1996) *In vitro* shoot development of *Eucalyptus citriodora* on rockwool in the film culture vessel under CO₂ enrichment. *Journal of Forest Research* 1: 227-230
- Negishi N, Oishi M, Kawaoka A (2011a) Chemical screening for promotion of adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*. *BMC Proceedings* 5 (Suppl 7): P139
- Negishi N, Nanto K, Hayashi K, Onogi S, Kawaoka A (2011b) Transcript abundances of LIM transcription factor, 4CL, CALD5H and CesAs affect wood properties in *Eucalyptus globulus*. *Silvae Genetica* 60: 288-296
- 日本製紙連合会 (2013) 植林について. <http://www.jpca.gr.jp/env/proc/planting/index.html>
- 藤井裕二・河岡明義 (2009) 第76回紙パルプ研究発表会講演要旨集: 54-57