

【解説】

講座： 林木育種の現場のABC (1)

クローン苗の養成技術 —つぎ木—

藤澤 義武^{*1}・植田守²

講座の開始にあたって

「精英樹選抜育種事業」に始まった我が国の林木育種は、これまでに60年に近い年月が経過した。この間に次代検定等による精英樹の成長等の特性の評価、その成果に基づいた採種園・採穂園の改良、さらには成長等に優れた精英樹同士の交雑によって育種集団林が育成され、現在は育種集団林から第2世代精英樹の選抜が始まった。また、分子育種、家畜分野の進んだ解析技術の導入などにより、次代検定に要する長い年月を画的に短縮することをねらった研究も始まっている。

その一方で、我が国の林木育種を黎明期から担ってきた研究者や現場の担当者は一線を退き、次世代との入れ替わりが進んだ。分子育種などの技術によって新たな局面をつくりつつある新世代に期待するものは大きい。しかしながら、採穂、つぎ木、人工交配等の林木育種の基礎となる技術の重要性が失われることはない。また、ひとつひとつの技術には長年にわたるそれぞれの工夫が集積されたものでもある。そこで、これらを次の世代に受け渡すとともに、こうした林木育種の基盤となる技術を維持し、継続的に向上させていくための情報交換・議論の場を提供する必要があると考え、本講座を企画するものである。

本講座は林木育種の基盤となるクローン、実生などの材料の育成から始まる。それは基本的なクローン化技術であるつぎ木及びさし木、特徴的な後代を創り出すための交雑技術、さらには山出し苗として実用するための苗畑管理等苗木の育成技術を含む。また、林木育種の成果を山行き苗の生産に実用するための採種園、採穂園の造成と管理に必要な技術を紹介するとともに、優良個体、系統を選抜するための検定技術についても、試験地の造

成・調査から、材質、抵抗性に至るまで、可能な限り広く紹介する。

なお、各記事に関連した追加情報、あるいは技術紹介などの企画提案などについても随時寄せていただき、林木育種を各所で支える周辺技術の情報・知識の拡充を図ることとする。

なぜクローン増殖か？

成長に優れ、しかも通直な林木は林業的に優れた特性を発揮することが期待される。また、特異な針葉色を呈するオウゴンスギや斑入りの葉を持つマサキ、針葉がよじれるようにして育つヨレスギや正常なサイズに成長できない矮性個体等、突然変異、枝変わりその他の特徴的な形質を示す個体は、林木育種学・森林遺伝学の研究材料として、あるいは育種素材や遺伝資源として重要である。しかしながら、成育の現場では交雑などに利用できない状態にあるのが一般的であり、何よりもそれらの個体の特性が遺伝的なものなのか、環境あるいは傷害なのか、明らかではない。そこで、個体を保存・増殖し、利用できる状態にするとともに、このような特性が遺伝的なものかを確認する必要がある。幸い、植物では幾つかの方法で個体もしくは個体の一部をクローン化することができるので、対象とする個体あるいは枝変わりなどを保存するとともに、対象個体の特性が遺伝によるのかあるいはそれ以外の要因、例えば環境の影響であるのかを評価できる。これによって、山で一番成長が優れた個体が、たまたま環境が良かったためだったのか、あるいは遺伝的に成長が優れているかを知ることができる。さらには、突然変異個体、枝変わりを研究材料や育種素材として利

*E-mail: fujisawa@affrc.go.jp

¹ ふじさわ よしたけ 森林総合研究所林木育種センター² うえた まもる 森林総合研究所林木育種センター北海道育種場

用することが可能となり、このような変異個体が果樹や花卉、庭木の分野では重要な育種素材となっている。

つぎ木の重要性

樹木のクローン増殖技術としてはつぎ木(写真-1)、取り木、さし木、株分け、組織培養などいくつかあるものの、つぎ木とさし木が最も一般的である。特にさし木は我が国で古くから利用されており、九州における社寺の古木、鳥取県智頭地方の赤ざし造林など歴史的な数多くの例がある。さし木は自根を発生させて完全な個体に再生することができるうえ、作業も比較的容易である。しかしながら、発根させなければならないことが、さし木増殖を簡単に選択できない一因となっている。すなわち、発根が容易な樹種を対象とせざるを得ないうえに、さし木が容易だとされる樹種であっても個体によって発根に大きな差異があるからである。九州や中国地方でさし木林業が盛んであることもあり、一般的にスギはさし木が容易であると理解されている。しかし、関東林木育種場(現林木育種センター)で精英樹の発根率を10年間にわたって調査したところ、発根に優れ、さし木増殖に適するA級(平均発根率61%以上)とされたのは供試総数793クローンの28%にしか過ぎず、21%は発根不良のC級(平均発根率30%以下)であった。これはつぎ木等でクローン増殖した採種園から穂木を採取した結果であり、高齢の精英樹本体から穂木を採取した場合にはさらに低くなる。一方、つぎ木では技術者の巧拙による影響が大きいが、成功率は概ね60%~100%であった。このよ



写真-1 クロマツとスギのつぎ木

うに、発根が比較的容易であるとされるスギであっても、つぎ木はクローン増殖に不可欠な技術であり、林木のクローン増殖の最も基本となる技術である。

ところで、精英樹選抜育種事業は開始当初、さし木増殖を主体とする予定であった。しかしながら、さし木増殖で山行き苗を大量生産できる程に発根率の高い個体は少なかった。そこで、つぎ木苗増殖と採種園方式による増殖へ主体を移したことから、それまでは庭木、果樹などに限られていたつぎ木が、林木でも一般的な技術となった。

つぎ木の原理と特徴

つぎ木は、全ての器官を備え完全な個体である台木につぎ木増殖の対象とする個体の一部(つぎ穂)を接合させるものであり、それは台木の上部を切断する、あるいは一部に切れ込みを入れるなどして実施する(写真-2)。



写真-2 台木へつぎ穂をつぐ(スギ、カツラ)

この接合部分で癒傷組織（カルス）を台木、つぎ穂の双方に形成させ、最終的に一体化するのがつぎ木である。台木の根が吸い上げた水分を穂木へ通道し、また、双方の維管束の癒合によってつぎ穂部分で光合成された同化物質の台木への転流が可能となり、個体としての機能が完成する。さらに癒合が進み、つぎ穂と台木が完全に一体化することでつぎ木が完成する（写真-3）。



写真-3 つぎ木部分の切断面（スギつぎ木）

カルスは形成層、師部、木部の柔細胞、生細胞が存在する器官であればいずれの部分からも形成されるが、生細胞がより多く存在する形成層や師部が発生の主体である。ところで、カルスは植物体にできた傷口を塞ぎ、病原菌の侵入、樹液の漏出を防ぐしくみであり、傷ができるとオーキシンによってカルス形成を開始し、これに続いて受傷部位周辺で生成されたサイトカイニンの働きで増殖を継続する。このことから、オーキシン処理によってカルス発生を促すことも行われていた。

このように、つぎ木では増殖の対象となる個体と同じ遺伝子を持つのはつぎ穂に由来する部分のみであり、台木に由来する部分は全く別の個体である。このことは、つぎ木苗を試験・研究に用いる際に十分に留意しておく必要がある。台木は特性のそろったものを利用する方がよいことは容易に理解できるであろう。また、台木部分の成長が旺盛でつぎ穂部分を凌駕し、いつの間にか台木そのものになってしまうこともめずらしいことではない。そのため、台木とつぎ穂が一体化した後も、台木の立ち上がりについては当分の間継続して注視する必要がある。

一方、果樹、作物の分野では台木が別の個体であることを積極的に利用して、①結果の促進、②果実品質の向上、③樹勢・樹形の調節、④環境適応性の付与、⑤病虫害の

強耐性の付与などの利点を得ている。林木でもつぎ木によって開花結実の促進が認められ、成熟個体につぎ木する「高つぎ」を行うとより早期に開花・結実させることができる。このことは、開花結実が難しい樹種の交雑で試みる価値があろう。なお、果樹では、高つぎによる交雑・検定期間の短縮はごく一般的な手法である。

また、つぎ木の不利な点として、①適期の制約が強い、②比較的熟練を要する、③一本あたりの投下労力が大きい、④台木を用意しなければならないなどがあり、大量増殖を行うには労力・コストの面でさし木よりも劣る。

つぎ木の実際

生理：樹種や穂木、台木、環境の条件によって差異はあるが、つぎ木後3~4日でつぎ穂、台木いずれもつぎ木部分の細胞分裂を開始し始め、8~10日後には柔細胞が癒合し、18日目ごろには肉眼で識別できる程にカルスが形成され、つぎ穂と台木は軽く癒合し、剥がしにくくなる。25~40日目頃にはカルスはつぎ木部の隙間をほぼ埋めつくし、2ヶ月程度で外見的にはつぎ穂と台木の癒合し、早いものは完全に木化するのが確認できる。

一方、四手井らはリンの放射性同位体 P^{32} を使い、クロマツの台木とつぎ穂の間の水分の移動を観察した結果、つぎ木後18日目まではほとんど水分の移動は無く、その後、漸次増加したとしている。また、矢幡らはスギ、ヒノキで P^{32} や血管造影剤をトレーサーとして水分の動態を観察した結果、つぎ木直後から4日目までかなりの水分量の移動があることを見いだした。これは維管束が密に接触しているからではなく、つぎ木部分に台木から溢泌的に存在する水分をつぎ穂が吸収したことによって起こることを確認している。

つぎ穂の光合成による同化物質の動きについては、矢幡らがヒノキでの観察結果を示している。それによると、つぎ木直後から台木への微量の転流があり、これは以後も継続する。18日目以降から漸次増大し、39日目ごろにはほぼ正常な転入力となったとしている。これは、師部の癒合・形成が18日目頃から始まり、39日目頃には完成することを示唆するとともに、師部の癒合が無くとも、同化物質の転流があることを示唆する。

このようなつぎ木の生理の理解は、つぎ木技術の効果的・効率的なマスターにつながる。経験則も含めたデータの再整理が必要であろう。

つぎ木作業：つぎ穂、台木それぞれの状態などによる区分で、我が国では約30、フランスでは119種のつぎ木法

が紹介されている。しかしながら、台木に切断面を作り、これにクローン増殖の対象個体の芽、枝など樹体の一部を切り取って継ぎ合わせ、相互にカルスを形成させて癒合、一体化させることに変わりはない。

継ぎ合わせる際の留意点として、指導書などは「つぎ穂と台木の形成層部分を正確に合わせる」ことを挙げる。しかし、基本的に形成層は木部細胞などのひな形となる「始原細胞」で形成される1層であり、始原細胞から分裂したばかりで分裂機能を保持する木部母細胞、師部母細胞を含む「形成層帯」としても、数層程度である(写真-4)。したがって、一般的には識別は難しいので、木部の最外周と師部との間の透明で見えないくらいに薄い層が形成層であると認識しておけばよい。樹皮内側の白くみえる生きた部分:「内樹皮」、すなわち「二次師部」を形成層として理解している向きもあるが、形成層は前述のとおりである。しかしながら、師部もカルスの発生源なので、師部を形成層と理解しても特に障害はないが、師部と木部の間にある形成層帯を中心に位置あわせを心がけることが肝要である。なお、穂木と台木の直径が異なる場合は、台木のいずれかのサイドであわせる。

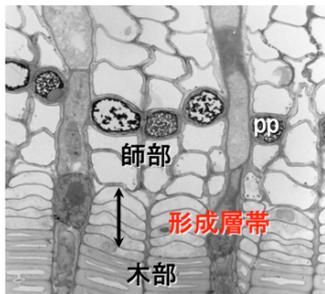


写真-4 3月初旬のスギの形成層
織部雄一郎氏の原図を改変。

このように、穂木、台木両者の形成層帯がピッタリと合うのが理想的とされる。これには熟練を要するので、穂木、台木双方の形成層に少し角度をつけて接合するという考え方もある。これは、どこかの一点で両者の形成層が必ず交差するはずであり、そこを中心に癒合が進行すると期待する考え方である。また、穂木、台木のつぎ木部分をぴったりとあわせるために、両者の接合面はできるだけ平滑にする必要がある。このため、直線で、刃こぼれなどが一切無く、良く切れるように研ぎ込まれた刃物でまっすぐに切削するのが基本である(写真-5)。刃の幅は接合面よりも広いものを使用することは言うまでもない。

養生: つぎ木後は順調にカルスを形成させ、できるだけ短期間でかつ確実に癒着・癒合させる必要がある。これ



写真-5 つぎ木面の切り出し

は、我々が受傷した場合の対処、すなわち、受傷部分を消毒、固定して傷の回復を待つと同じである。まずは、つぎ木部分がずれたり剥がれたりしないように固定しなければならない。ここでは絆創膏のようなつぎ木テープ、ゴムバンド、めがねクリップなどが用いられる(写真-6)。固定具の選定にはつぎ木部分の組織を壊すことなく、しかも確実に固定できることはもちろんのこと、作業効率も考えておかなければならない。例えばマツのつぎ木でめがねクリップを使うことがある。この場合、固定時は極めて効率的であるが、癒合完了後は必ず取り外さなければならない。この点において、紙などのつぎ木テープ、ゴムバンドは固定時の手間はかかるが、時間が経過すると腐朽するために取り外す必要が無い。総合的な得失を考慮すべきであろう。ところで、野菜などでは瞬間接着剤を利用する例がある。シアノアクリレート系の瞬間接着剤(アロンアルファなど)は水分で硬化するので、つぎ木には最適である。しかし、樹木では水分の通道を妨げないように木部の全面に塗らないように注意する必要がある。



写真-6 つぎ穂の固定(つぎ木テープとメガネクリップ)

台木に穂木を継いだ後は、台木、穂木、それぞれの傷口の露出部を癒合剤、保護材などの類（例えば商品名でカルスメートなど）を塗布し、乾燥、雑菌の侵入などを防ぐ。これはかつてロウを加熱して溶かしたうえで塗布することが行われていたことから、現在でもつぎ木ロウと呼称されることがある。

同様に留意しなければならないのは、つぎ木部分の乾燥と雨水侵入の防止である。乾燥によって細胞が萎凋すると水分の移動の阻害、枯死に至ることとなる。また、後者は雑菌汚染の原因となる。そこで、つぎ木部分をポリエチレンの袋などで覆って、乾燥、雨水の流入を防ぐ。この場合も、密封状態を続けると過湿になって雑菌が繁殖したりするので、適当な時期に袋の一部を切り取ってある程度の換気を可能にするか、取り外してしまう。また、ベンレート剤、ダコニール剤などの殺菌剤を袋の中にスプレーすることも行われる。カバーをかぶせる期間について、宮島は少なくとも2ヶ月は必要としている。

つぎ木直後からつぎ木部が完全に癒合するまでの期間は、苗木を適切に養生する必要がある。すなわち、つぎ木として完全な状態になるまでの少なくとも2ヶ月間程度は、寒冷紗などである程度の遮光と通風を制限し、湿度を適度に保つとともに、穂木部には適度に光合成・蒸散を行わせることで、癒合を促進できる状態にする（写真-7）。これは、完全な露天ではつぎ木の成功率が30%程度であったものが、寒冷紗で遮光することによって70%以上となるなどつぎ木のポイントの一つである。その一方で、雨天が続く、寒冷紗内の湿度が高まりすぎる場合には、寒冷紗を開いて乾燥させることも必要となる。これらの管理作業では、経験と勘が重要であるが、近年は高い精度で温度・湿度・日照量などの環境を測定し、パソコンにも簡単にリンクできる機器が比較的廉価に入手できるようになっている。これらをうまく使うことで、ベテランの経験を誰でもが適切に管理できる手順に移すことも必要であろう。

つぎ木の適期：順調にカルスを形成させ、できるだけ短期間でかつ確実に癒着・癒合させることを考慮し、つぎ穂は成長休止期に採取して冷蔵などによって適切に保存しておき、台木が成長を開始した直後につぎのが最適であるとされている。また、穂木の貯蔵を好まない場合には、台木を温室内で育成することによって、穂木の採取時期に合わせて台木の成長の開始を早め、採取と同時につぎ木も行われる。

いずれにしても、先述した事項を念頭におき、対象木、台木の状態を継続的に観察しておけば、年ごとに気象条件などが異なることで発生する適期のずれに対しても、

適切に対応していくことができよう。なお、つぎ穂等の採取については、別途、項を設けることとしている。



写真-7 マツつぎ木苗の寒冷紗による養生

参考文献

- 荒井実他 (2005) 一わかりやすい育種技術シリーズ— 林木育種におけるつぎ木の役割. 林木育種技術ニュース 24
- 藤井利重編著 (1967) 園芸植物の栄養繁殖. 誠文堂新光社, 東京
- 宮島寛 (1962) ヒノキ栄養系の育成に関する基礎研究. 九州大学演習林報告 34: 75-79
- 宮田増男他 (2005) 一わかりやすい育種技術シリーズ— 多様な樹種でのつぎ木増殖. 林木育種技術ニュース 25
- 宮崎紳・佐藤亨 (1959) 苗木の育て方. 地球出版社, 東京
- 砂川茂吉 (1994) 樹木のつぎ木 —育種現場におけるつぎ木の実際—. 北方林業叢書第62. 北方林業会, 札幌
- 四手井綱英・岡田滋 (1957) クロマツの接木の水分生理について. 第67回日本林学会大会講演集: 178-179
- 渡辺資伸 (1975) 林業種苗, 実践林業大学 IX. 農林出版, 東京
- 矢幡久・須崎民雄 (1972) つぎ木個体における物質異動に関する研究 (I): ヒノキの接木における水分の上昇及び光合成物質の転流について. 九州大学農学部学芸雑誌 26: 145-153