

樹木形成研究とバイオテクノロジーの接点*

角 谷 和 男**

Junction of Wood Formation and Biotechnology*

Kazuo SUMIYA**

は じ め に

ここ数年、バイオテクノロジーあるいは遺伝子工学という言葉が新聞紙上などでもよく喧伝されている。バイオテクノロジーは生物体または生物体の構成要素（酵素など）を工業的に利用すること（遺伝子操作した微生物を種々の工程に導入することを含む）といわれ¹⁾、遺伝子工学は上記括弧内にあたる生物体の遺伝子を人為的に組換え操作して、人間に有用な物質生産の能力を高めるか、付与するかして、有用物質を安定して多量にすなわち工業的に生産する技術であるから、前者は後者より範囲は広いが、バイオテクノロジーといえば遺伝子工学そのもののように入れられ勝ちである。現在実用化されている遺伝子工学は上の定義に表現されているように微生物（主として大腸菌）を用いたものである。一方、木材利用は樹木という生物体のつくりだす樹幹のもつ人間に有用な品質を利用することがあるから、林産工業自身広い意味のバイオテクノロジーといってもよい。

現在林産工業の利用している樹木（主に樹幹）の品質は、遺伝によって制御され、生育環境によってその発現形態が異なると考えられる。そこで、前回²⁾は、樹木の利用を考え、生産物の品質と結びつけるためには、樹幹の品質が樹木の生育環境によりどのような影響をうけるかを系統的に研究することが重要であることおよびその研究過程での人工気象室（ファイトロン）の有用性についてふれた。

今回は、林産研究の将来の問題として、樹木の品質をより利用価値の高いものに根本的に変える方法である遺伝的改変について考え、その問題点についてふれてみたい。したがって、表題にいうバイオテクノロジーは遺伝子工学の意味に近いものとなっていることを最初におことわりしておく。

1. 遺伝子工学と高等植物での問題点

1960年代の初め、遺伝的性質が細菌から細菌へとウイルスによりまた細胞接合によりうつることが発見され、この本体は染色体とは別に自律的に増殖するプラスミドと呼ばれる遺伝子であり、さらに細菌は制限酵素によって自己保護機能をもつことなどが明らかとなった³⁾。この制限酵素を用いて、プラスミドのDNAを人工的につなぎ変える技術が開発され、その応用として遺伝子工学へと発展してきた。

遺伝子操作技術を多細胞生物さらには葉、幹（茎）、根など高度に発達した器官をもち、その内部もそれぞれに分化した各種細胞で構成される樹木をはじめとする高等植物に応用しようとする場合、いろいろの問題にぶつかる。まず、細菌は原核生物と呼ばれ、原則として形態的な細胞核がなく、DNAからたん白質へ

* 第37回木研公開講演（1982・5・14 大阪）において講演

** 木材物理部門（Research Section of Wood Physics）

の情報の伝達がたん白質合成と同じ場所で行われるのに反して、真核生物と呼ばれる多細胞生物のすべては細胞核をもち、細胞のDNAは核膜に包まれているため、細菌に用いた方法が核膜に隔てられ、遺伝情報の伝達とたん白質合成が異なる場所で行われると考えられる多細胞生物の品質変換にそのまま利用できるという保証はまだないことであろう。つぎに、高等植物の染色体地図が食糧として重要なオオムギ、イネ、トウモロコシなどの少数⁴⁾を除いてはほとんど明らかにされていないことも問題である。このことは染色体上のDNAのどれがどの品質に関連するかが不明ということであり、たとえ細菌等で見つかった有用DNAを導入しようとしても、どの部位のDNAを組換えればよいかが不明ということにもなる。

したがって、高等植物では、遺伝子組換えを考える以外の方法として、細胞質のみの細胞すなわちプロトプラストを作り、プロトプラスト同志を融合させ、融合したプロトプラストに細胞壁を再生させる細胞融合技術が考えられている。融合再生させた細胞は融合する前の個々の細胞が持っていた性質をあわせ持つようになるであろうことは容易に理解できる。その際花粉などの生殖細胞を用いない限り2倍体となることは予想される。

細胞融合が有効であるためには、かくして得られた細胞を増殖、分化させ、全器官を完成させてやる技術が確立されなければならない。この技術は茎頂、形成層、根端、葯などの分裂組織や脱分化した細胞であるカルスを培養するいわゆる組織培養技術の一環をなすものであり、遺伝子を改変あるいは融合させる遺伝子組換えや細胞融合技術と組合せなくとも、本来優良な品質をもつ母体の一部から無性的に多数の植物体を生育させるための技術として、遺伝子工学が喧伝される以前から、植物育種学の分野の一部として発展してきたものである。

植物細胞を培養すれば、一般に1個体中のどこから取ったものであれ、同じようなカルスを形成し⁵⁾、そこから後にのべるポプラなどのように再び全個体を再生する能力をひめているということは、培養によっても生殖細胞以外からの全個体発生は不可能に近い動物より、バイオテクノロジー的観点に立てば、植物は有利な材料であると考えている。

2. 遺伝子工学の樹木への応用と問題点

遺伝子工学を将来樹木に応用した一つのモデル⁶⁾としてつぎのような過程が考えられる。

- (1) 遺伝子源銀行から遺伝子の選択、
- (2) プロトプラストへ選択した遺伝子を入れ込む、
- (3) プロトプラストから細胞の再生と細胞クローンの増殖、
- (4) 細胞から胚の大量生産、
- (5) 種子となるための種子膜作り、
- (6) 種子の圃場での発芽、
- (7) 新しい樹木の森林

この過程中(4)で細胞より無性的に植物体を生育させる技術が用いられれば(7)へ飛ぶことができる。この過程の概略を図示したものが図1の実線部である。

胚を生産し種子を作るか、細胞クローンから直接植物体までもってゆくかは、主に、後にふれる技術的容易さによって決定されるが、必要に応じて使用するまで、どの形——細胞クローンとしてか、種子としてか——で新しい樹木を保存するかに関連し、種子の過程の方が有利であることは予想される。

つぎに、このモデルを完結させるためには現在どのような点が問題となるかを、米国議会特別調査報告に従って上記(1)～(7)の過程をつぎの3段階に分類し⁷⁾、検討してみよう。各段階を図1中に示した。

〔段階Ⅰ〕クローン植物を得るための組織培養

この段階の研究は、前にもふれたように、遺伝子工学が喧伝される以前から行われ、データが蓄積されて

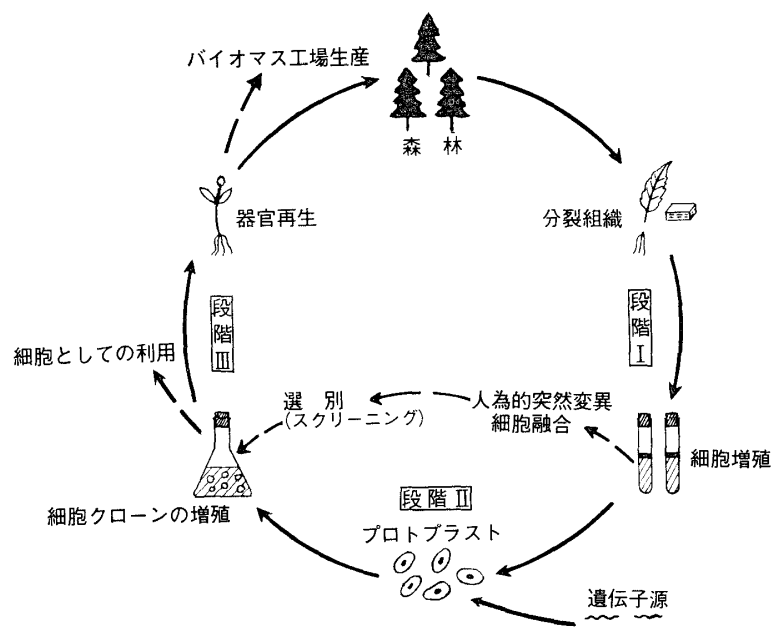


図1. 樹木に応用した遺伝子工学モデル⁶⁾
注) 段階Ⅰ, Ⅱ, Ⅲは本文参照

いる。樹木の組織培養は一般植物の組織培養より30年近い遅れの後、針葉樹類の胚を用いた1924年の SCHMIDT の研究に始まり、体細胞の培養は針、広葉樹を用いた1934年の GAUTHERET に始まるが、木本植物である樹木は草本植物にくらべて、褐変枯死しやすく、それぞれの種に適した培地組成の探索が必要である⁸⁾。

農林水産省林業試験場の佐藤、斎藤は、石川の器官培養研究⁹⁻¹¹⁾ にひきつづき、各種針葉樹、広葉樹の体細胞培養に取組み¹²⁻²⁰⁾、スギ、ヒノキなど針葉樹7種、キリ、ポプラなど広葉樹22種の継代カルスの植継ぎに成功し、ポプラの8種についてはシュートが、さらにその中2種は植物体まで形成され、またベニバナトチノキは胚形成を経て植物体の誘導に成功している²¹⁾。

〔段階Ⅱ〕 遺伝子構成の改変と目的とする品質の選択

この段階の研究は、前節でふれたように、染色体上どのDNAにいかなる情報が存在するかを解明することが基本であるが、樹木に関する報告は不幸にしてほとんど知られていない。したがって、同じく先にふれた細胞融合法が林業試験場において試みられ、ポプラの1交雑種、タイワンギリの若い葉から単離したプロトプラストより、ポプラ異系統間、タイワンギリ個体間の融合には成功しているが、異種間の細胞膜はいつまでも合体されないで取残され、その融合には成功していない^{22,23)}。

遺伝子工学の樹木への適用過程で最も遅れているのはこの段階であるから、思い通りの遺伝子改変は少し先にのばさなければならない。この場合、そのつなぎの一つの方法として、植物育種の分野で1920年代後半より試みられている放射線、化学薬品による人為的突然変異法²⁴⁾も大いに利用すべきであろう。樹木に対する放射線の影響については、メタセコイアの黄色葉の出現²⁵⁾、スギの白色あるいは淡緑色葉、冬期変色、形態奇形の出現²⁶⁾などの観察およびスギ白子苗の劣性遺伝子の検出²⁷⁾などが試みられている。今後、人為的突然変異株の利用面から見た価値の検討が望まれ、有用株のみを全変異体から選別するいわゆるスクリーニング操作が重要となる。

遺伝子構成の改変段階で遺伝子組換えによらない場合、図1中の段階Ⅱは破線部を通ることになる。

〔段階Ⅲ〕 組織培養細胞からの完全な植物体の再生

遺伝子改変段階を経ない培養細胞からの完全な植物体の再生は、段階Ⅰで林業試験場のポプラ、ベニバナ

トチノキの例に示したようにすでに成功例が報告されている。経済的に重要な樹木類での他の例としては、ハコヤナギ属の3種、オウシュウカンパ¹⁷⁾のほかユーカリ属の2種、サクラ属の1種、マツ属の2種、アブラヤシ²⁸⁾などが挙げられている。遺伝子改変をうけた細胞が同じ条件で同じように完全な植物体まで生育する保証はいまのところないので、遺伝子改変をうけた細胞の培地探索は遺伝子改変をうけない細胞の場合と同様重要となる。

培養細胞から植物体を再生させる過程で、前に示した林業試験場のポプラとベニバナトチノキの経過は興味がある。すなわち、前者はつねに胚をつくらずに植物体に達し、後者はつねに胚形成を経て植物体となる。このことはこの節の始めにふれた遺伝子工学の将来モデルで細胞クローンから胚を経て種子で保存するか、細胞クローンの継代培養により新種を保存するかを決定する因子となるものであり、いまのところ種により選択の余地がないように思われる。上記以外に培養細胞より胚形成を行なうものとして、ミカン属の1種、コーヒーノキ、ムラサキハシバミ、パラゴムノキ、セイヨウヒイラギ、ブドウの1雑種、モミデバフウが挙げられている²⁹⁾。

3. 林木育種・林産工業へのかかわり

林産工業の対象資源である林木も、天然林のものをを用いる場合は別にして、人工造林の盛んなわが国（造林樹種を2、3の針葉樹に限定しすぎているきらいはあるにしても）においては、林木の育成は森林の育成とからんで育林技術と呼ばれるようになって久しい。育林技術は林木育種に始まるといってよく、今世紀はじめのメンデルの法則の再発見に端を発した交雑法につづいて、先にのべた人為的突然変異法、組織培養法へと研究面では発展してきた。しかし、林木育種の実践面ではメンデルの法則云々より先に経験的に知られている、現場における器官培養の一種といえる育種法すなわち優良木を選抜し、苗畑でさし木などでふやしてゆく方法が取られている。山地は農地と異なって開拓によって自然植生を完全に剥ぎとり、除草、肥料などの管理が十分ゆきとどかない面があるため、林木は野生的に育つものでなければならないという制約が大きく¹¹⁾、今後もこの方法は有効である。

林木は野生的という面から、遺伝子組換え、突然変異、細胞融合などの方法により遺伝子を改変した樹木が得られても、それらが在来の自然生態の中で森林として生き続けるには、生育環境、生存競争の面で困難に直面することが予想される。また逆に、これらの新しい樹木が従来の植生を荒らし、在来種を駆逐する場合も考えておかねばならない。森林には水源かん養などの水利機能、土砂流出・崩壊防止などの治水機能のほか、鳥獣保護、大気浄化、騒音防止、保健休養などといった多くの公益機能がある³⁰⁾が、新しい樹木によるこれらへの波及効果は十分に検討されなければならない問題であろう。

せっかく遺伝子改変した新しい樹木が生存競争などの面で生き続けられない場合は木材利用の立場からいえば大きな問題である。この解決法の一つとして、自然界に出さず、育成管理のゆきとどく工場生産を行なう方法が考えられる。しかしこの場合は経済性より考えて短期収穫を考え、木材を建築材などの大きな容積を必要とする材料と考えず、バイオマス化学原料として考える必要が生じるであろう。

樹木の工場生産の一つの試みとして、工場での既存優良木の組織（器官）培養計画が考えられ、アメリカ・ウェアハウザー社のダグラスファー大量増殖計画や同シンプソン社のセンペルセコイアの大量生産システム開発がすでに試みられていること³¹⁾を付記しておく。

林木とくに樹幹のこれまでの利用形態を分類すれば、材料として板などに加工するか、それを細分化しパーティクルとして用いるか、最終的にはファイバーやセルロース繊維として用いるかである。さらに最近では、上にふれたように、バイオマス化学工業における有力な原料として注目をあびつつある。ある程度の大きさが必要なものや板などに用いられない低品質材の現実的利用問題は別にして、パルプなど木材繊維を利用する工業分野やバイオマス化学工業分野ではそれに適した物性をもつ細胞あるいは幼樹が多量、安価に培

養できれば、あえて森林の樹木を用いなくてもよいといえる。また、自然界で生き残れないあるいは自然界の植生を荒らす、人間にとって有用な樹木が得られた場合、自然界より隔離し、工場生産方式を考えることは人類にとって利益をもたらすことにもなるであろう。これら細胞や幼樹の利用方向を示したのが図1段階Ⅲの破線方向である。

このような将来の姿がもし許されるとすれば、培養細胞を分化させる技術やさらに遺伝子を改変してたとえばリグニンの少ない細胞などに分化させる技術を確立することが研究面で要求されるであろう。最近、トウモロコシの種子をアルカリ処理すれば、遺伝的に主葉脈の黄変した種が得られ、この種は普通4%程度あるリグニンが3%以下になることが示されている³²⁻³⁴⁾。前節でのべた放射線処理によるスギ、メタセコイアの葉の白変あるいは黄変現象とこのトウモロコシの化学処理による遺伝的变化とは葉緑素異常という点で共通点をもつと考えられ、トウモロコシの構成成分に変化がおこっているとすれば、上記樹木の成分変化などを検討しておく必要がある。

したがって、遺伝子改変にともなう樹木内部の成分変化やそれにとりもなう物性変化など利用面を考えた分析をしておくことは林産研究としても重要な問題となってくるであろうし、たとえ遺伝子組換えまで早急に行けなくても、バイオテクノロジーに結びつく研究の一環である各種育種技術や組織培養技術およびそれらによって作られる新しい樹木の成分、物性面での研究はわれわれの夢を広げてくれるであろう。

文 献

- 1) アメリカ合衆国特別調査, “遺伝子工学の現状と未来”, 家の光協会, p. 33 (1982)
- 2) 角谷和男, 木材研究資料, No. 12, 20 (1977)
- 3) 文献 1), p. 11
- 4) 山口彦之編, “植物遺伝学Ⅳ・形態形成と突然変異”, 裳華房, p. 345 (1977)
- 5) 谷田沢道彦, 化学と生物, 6, 73 (1968)
- 6) 文献 1), p. 237
- 7) 文献 1), p. 197
- 8) 佐藤 亨, 斎藤 明: 農林水産技術研究ジャーナル, 4, No. 7, 23 (1981)
- 9) 石川広隆: 日林誌, 49, 391 (1967)
- 10) 石川広隆: 材料, 24, 806 (1975)
- 11) 石川広隆: 化学と生物, 16, 776 (1978)
- 12) 斎藤 明: 日林誌, 61, 457 (1979)
- 13) 斎藤 明: 同 上, 62, 17 (1980)
- 14) 斎藤 明: 同 上, 62, 147 (1980)
- 15) 斎藤 明: 同 上, 62, 270 (1980)
- 16) 斎藤 明: 同 上, 62, 308 (1980)
- 17) 佐藤 亨: 同 上, 56, 55 (1974)
- 18) 佐藤 亨: 同 上, 60, 81 (1978)
- 19) 佐藤 亨: 同 上, 63, 46 (1981)
- 20) SATO, T., “Long Term Preservation of Favourable Germ Plasm in Arboreal Crops” (ed. by AKIHARA, NAKAJIMA), Fruit Tree Research Station, M.A.F., p. 130 (1978)
- 21) 佐藤 亨, 斎藤 明: 私信による
- 22) 斎藤 明: 林試研報, No. 309, 1 (1980)
- 23) 斎藤 明: 同 上, No. 309, 7 (1980)
- 24) 文献 4), p. 161
- 25) 吉川勝好: 京大農演習林集報, No. 14, 1 (1971)
- 26) 大庭喜八郎, 村井正文: 日林誌, 53, 170 (1971)
- 27) 大庭喜八郎, 村井正文: 同 上, 53, 177 (1971)
- 28) 原田 宏, 駒嶺 穆編, “植物細胞組織培養”, 理工学社, p. 395 (1980)
- 29) SOMMER, H. E. AND C. L. BROWN, Forest Sci., 26, 257 (1980)

- 30) 屋久島災害調査団, 国土問題, No. 22, 62 (1981)
- 31) 文献 1), p. 496
- 32) PORTER, K. S., T. D. AXTELL, V. L. LECHTENBERG and V. F. COLENBRANDER, Crop Sci., **18**, 205 (1978)
- 33) BUCHHOLTZ, D. L., R. P. CANTRELL, J. D. AXTELL and V. L. LECHTENBERG, J. Agric. Food Chem., **28**, 1239 (1980)
- 34) HANNA, W. W., W. G. MONSON and T. P. GAINES, Agronomy J., **73**, 1050 (1981)