

木材生物学の歩むべき方向

島 地 謙*

Wood Biology —Today and Tomorrow—

Ken SHIMAJI*

未来の方向は現在を基礎にしたものでなければならない。現在の基礎を踏まえずに未来を語っても、それは単なる夢物語りにすぎず、意味のないものとなる。

そこで、本稿では現在我々の木材生物部門で進行中ないし計画中の研究課題と、その狙っている方向や考え方を紹介して責を果たしたいと思う。

ところで、言い古されたことではあるが、“木材は再生産により永続供給可能な資源であり、将来は木材資源依存の時代になる”ということ、鉱物資源や化石資源と対比して語られることが流行っている。しかし、これはあくまでも“人間が努力すれば”の話であって、現実には人間の努力が余りなされていないために、現在地球上の木材資源は明らかに減少の方向に向っている。これは発展途上国における焼畑農業など、いろいろな原因をあげることができると思うが、自分のところで木材が足りなくなれば、次から次へと他所の地域の資源をあさるという状況が工業先進国の一部にあることが拍車をかけていることも事実である。

1981年 IUFRO 京都大会の席上で、マジソン林産試験場長の R.L. Youngs 氏がいみじくも“Thinking Globally—Acting Locally”といているが、まことにもっともなことで人類は地球上のそれぞれの地域で木材資源の自給自足に少しでも近づけるように、それぞれ木材資源の積極的育成とそれにバランスのとれた木材利用の合理化に努め、来るべき木材資源依存の時代に備えることが急がれる。

そのためには、木を育てる側の林業・林学と木材を利用する側の木材工業・林産学ないしは木材科学との間に緊密な相互理解と連携が必要である。元来、林学と林産学は一つのものであった筈であるが、我国の林産学の研究・教育は今世紀中葉以来、経済の発展に伴って林学から次第に分化・細分されてきた。それはそれで、それなりのメリットをもって目ざましい発展をしてきたのであるが、その間に「樹を見て山を見ない」どころか、「木材を見て樹を見ない」、あるいは極端に言えば「木材成分を見て木材すら見ない」という状況が生れる恐れがあるほど、次第に林学からの距離が開いてしまったことは否めない。これからの林学と林産学の研究・教育においては、両者の相互理解の深化、境界領域の強化、相互のフィードバックなど緊密な連携を取りもどす必要がある。近年の木材学会の研究会にもその方向の模索が見られるようになったし、昨年度からは両分野が共同しての文部省科学研究費による特定研究も発足して、共通の土俵で議論しようという動きが始まっている。こういう動きは、おそまきながらまことに結構であるが、これだけ離れてしまった林学と林産学両者の考え方や研究がしっかりと噛み合うまでには、まだ多少の時間が必要かと思われる。

さて、このような情勢のなかで、我々の木材生物部門においては、研究の主な柱の一つとして、一言でい

*木材生物部門 (Research Section of Wood Biology)

例えば「林木による木材形成の過程で、木材の質的あるいは量的生産に対して作用する因子、およびその影響を、木材組織学を基盤において解明する」という目標を掲げて、林業における林木保育技術が生産される木材の材質におよぼす影響や、材質の発現・量的な生産の基礎単位である木材の細胞や組織の分化・形成に関する生理解剖学的な問題から、さらにミクロなオーダーである細胞壁の構築に関する問題に至るまで、木材の形成に関する問題について広範にわたって研究を進めている。これらの極めてミクロな基礎的研究から林木保育技術への応用を目指したかなりマクロな研究まで、それぞれの段階において、木材形成の過程で何がおこっているのかを明らかにしてゆくことは、まず木材科学の基礎として、将来とも変わらない（むしろ変わってはならない）方向であり、極言すればこれだけで十分といっても過言ではない。これを確りやっておきさえすれば、将来これらのミクロからマクロまでの研究の積重ねによって、木材形成にあたっての材質の発現を望ましい方向にコントロールする方策を探り、林学へのフィードバックを通して、木材の量的生産はもとより、利用目的にかなった性質の木材の育成や木材資源の有効利用に資することも可能になろうし、また林産物生産を目指したバイオテクノロジーの開発に資することも可能になろう。

近年のバイオテクノロジーの急速な発達を見ていると、樹木のような高等植物に関しても案外早く林業的手段を経ずに木材類似の有機質材料や有用成分を生産できるようになるかも知れないが、かりにそうなったとしても木材生産が林業と無縁のものになってしまうとは思えないし、そのようなバイオテクノロジーも森林資源を少しでも温存しようとする立場に立ってのもでなければならず、それには森林や樹木に対する理解が欠けてはならない。

一方、現在の木材生物学が基盤としている木材組織学に対しては、植物学、考古学など林学・林産学以外の分野からの期待と協力の要請も極めて大きく、我々は林学・林産学の枠の中だけに止まらず、そのような枠をこえた他分野への寄与も将来とも続く重大な使命と考えている。そして、これとても木のなかで何がおこっているのかを明らかにしてゆくことによって道がひらけてゆくのである。しかし、本稿では後者の問題に触れる余裕はないので、木材形成に関する課題を中心に紹介したい。

我々が木材形成に関連して現在とり上げている課題の一つは木材の材質におよぼす林木保育技術の影響に関する問題である。そもそも、樹木による木材の形成過程には年齢的变化と季節的变化があり、前者は未成熟材と成熟材、および辺材と心材の違い、後者は早材と晩材の違いとして現われ、これらの量的・質的組合せが材質に大きく影響する。さらに、このようにして形成される材質は遺伝的要因や環境条件のみならず、林木の保育技術によっても大きく影響を受ける。従来は主として林分の材積生長や、無節、通直、完満など幹の外観的形質の改善を考慮の対象としてきたのであるが、我々は研究の一方向として各種の保育技術、すなわち植栽密度、枝打ち、間伐などが幹の外観的形質のみならず、木材の材質におよぼす影響を明らかにしたいと考えている。この方向は将来バイオテクノロジーの発達によって試験管の中でいろいろな長所を持った新品種が作られたとしても、その苗を森林にもどして育てる際には避けて通れない問題なのである。

たとえば、年齢的变化の現われである未成熟材の問題であるが、未成熟材は材質の変動が大きく不安定なため、木材の利用上好ましくないことはいうまでもないが、未成熟材の形成は生物的特性として年齢に支配される面がさけられず、樹木の生育初期における未成熟材形成を全く阻止することは不可能である。しかしながら、未成熟材形成期間をできるだけ短縮させる方策が解明できれば育林技術への応用が期待される訳である。我々は針葉樹未成熟材の材質指標として最も一般的な仮道管長の変動をとりあげ、材質の安定と植栽密度との関係を調査してきたが、現在までのところ明白な結論とまではいえないにしても、少なくとも植栽密度の違いが木材内部の材質安定にどのような影響をおよぼすかについての基礎的な結果は得られたと考えている¹⁾。すなわち、植栽密度が高ければ樹冠率は低くなること；そのような樹冠率の低い状態が保たれ

ば、(1)仮道管長はやや短かいけれど若い年齢で安定期に入ること；(2)肥大生長は劣るが年輪幅はやはり若い年齢で安定すること；(3)晩材率は比較的高くなることなどがわかってきている。

一方、森林生態学や造林学の分野の研究から、立木密度の疎密にかかわらず、うっ閉した林分全体としては総樹幹材積はほぼ同一であるとされている²⁾。したがって、収穫される材積が同じであるとすれば、植栽密度を疎にして材質の安定よりも一本一本の木の太さを優先させるか、植栽密度を密にして直径は細くても材質の安定した木を数多く育てるかは、ひとえに木材の使用目的によることになる。また、材質が早く安定するのはよいが仮道管長が短かいのは困るのであれば、育種によって仮道管長の長い品種を選抜することと組み合わせるといふ解決の方向もあろう。

未成熟材に限らず、樹幹材の材質の形成は樹冠で作られる光合成物質やオーキシンが、いつでもだけ幹の形成層に送られているかにかかっているといっても過言ではない。したがって、林木保育技術による材質のコントロールはとりまなおさず、植栽密度、枝打ち、間伐などによる樹冠量の調節ということになる。そういう意味で、樹冠と材質形成の関係を明らかにしてゆくことは、今後とも重要な課題であり、我々はその課題を支えるための基礎として、木材形成に関する生理解剖学的な研究を進めている。

例えば、木材形成の季節変化が、早材・晩材の違いとして現われることは前述したが、早・晩材における仮道管タイプの相違や、これら木部細胞の蓄積の具体的な現われである年輪幅や晩材率は、基本的には形成層や分化発達段階にある木部細胞層に運ばれてくるオーキシンや光合成物質の量や刺戟の相互作用効果の現われと考えられる。このことについては我々の研究成果も含めて、以前³⁾に紹介したことがあるので省略するが、このような効果についての従来の研究の大部分は、樹冠とのへだたりがないためにこれらの物質が直接的に効果をおよぼすような、苗木を用いた実験室的研究の域を出ていない。我々は今までの成果から得られた仮説をもとに、実際の林木を用いて、オーキシン合成や光合成の場である樹冠の季節的な構造変化、すなわちシュートの伸生長や、新葉の伸びあるいは葉量などの季節的变化が、樹冠から距離的にへだたりを持った枝下の幹の各部それぞれにおける早・晩材形成の立体的配分におよぼす影響を明らかにしようとして実験を進めている。このようにして、比較的単純な、苗木を用いた実験室的研究で得られる仮説と、より複雑な実際の林木を用いた実験結果との間のフィードバックを繰返すことによって、材質形成（特に肥大生長、晩材形成などの樹幹内における立体的配分）と樹冠量調整、すなわち保育技術との関係の理論化を目指している。

ところで、針葉樹の場合木材を構成する細胞のうち90%以上は仮道管であるが、その仮道管には上述の早材タイプ、晩材タイプの他にあて材を構成する仮道管がある。あて材の存在は木材の材質に対していろいろな悪影響を与えるので利用上大きな欠点となるが、このようなあて材に関する研究は木材研究所にとって非常に歴史の古い由緒あるテーマである。というのは木研の創立当時に在職された故尾中文彦教授が当時この問題について精力的に研究をおこなっておられ、その成果の一部だけでも、木材研究（Wood Researchの前身）第1号の全ページを占めている⁴⁾。尾中教授の業績は、あての成因を調べるための実験手段として、人工的に合成したオーキシンを外生的に幹に塗布する実験とか、枝軸の角度や枝軸の回施と、あて材形成の方向あるいは形成量に関して、枝の背腹性を考慮に入れた新説の提唱など、世界にさきがけた業績が多く、世界的に極めて評価の高いものとなっている。

尾中教授の後、しばらく我々の研究室でのあての研究はとどえていたのであるが、最近尾中教授の伝統にあやかってあての成因に関する研究を復活させている。一例をあげれば、我々はオーキシン輸送阻害剤を幹の回りに塗布することによって、樹木自身がつくる内生オーキシンの流れをせき止め、塗布部上方では全周にわたってあて材を形成させると同時に、塗布部下方では幹が傾いていてもあて材形成を全面的に阻止することに成功した^{5),6)}。これについては、前号⁷⁾で触れたので詳細は省略するが、このことにより、我々は形成層帯におけるオーキシンの異常な高濃度化が針葉樹のあて材形成誘導の必要かつ十分な条件であることを証

明したのであるが、これも世界で初めての実験成果であり、内外の注目を集めている。今後は広葉樹の引張あて材の成因についての研究も主要課題となるであろう。

さて、以上述べてきたような木材形成に関する生理解剖的な手段は、いずれも材料として樹木を Whole Plant の形で用いるものであるが、樹木は生育に長年月を要する上に、さまざまな器管・組織相互間の物理的・生理的要因の影響が複雑に絡み合うため、実験材料として扱いにくい面がある。だからこそ条件が設定し易い苗木による比較的単純な実験室的研究が先行し、それを踏まえて林木を対象にしたより条件の複雑な

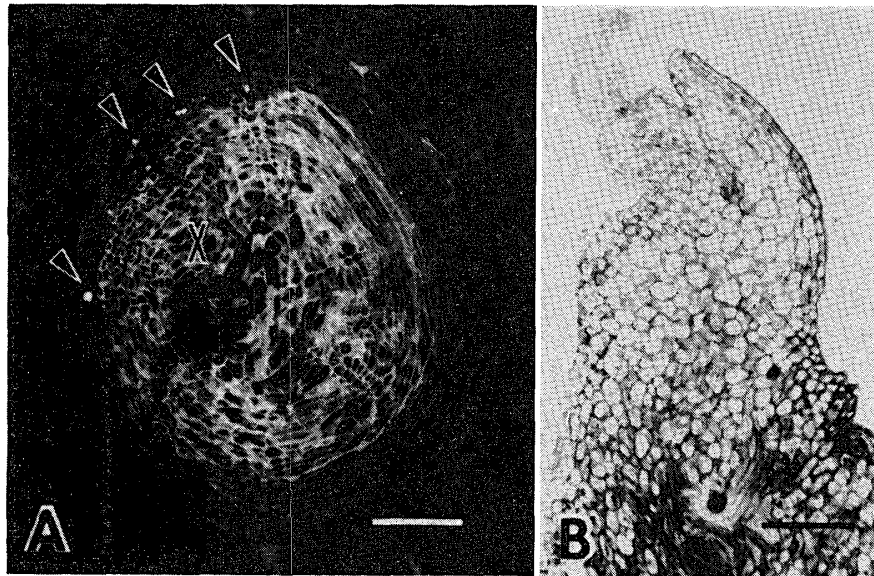


図1. ポプラカルス中に誘導された形態形成の例

(A. 蛍光顕微鏡像；B. 光学顕微鏡像；スケールは共に200 μm)

A. ノジュールの形成：木化した木部(X)と、カロースの沈着(矢印の蛍光)した篩部に分化する。オーキシンの濃度が低く、カイネチン濃度の高いときに、カルス中に多数誘導される。

B. 不定芽の形成：胚誘導と並んで、体細胞から植物体を得るための方法。1年継代後、ある継代株のみが不定芽を形成した。

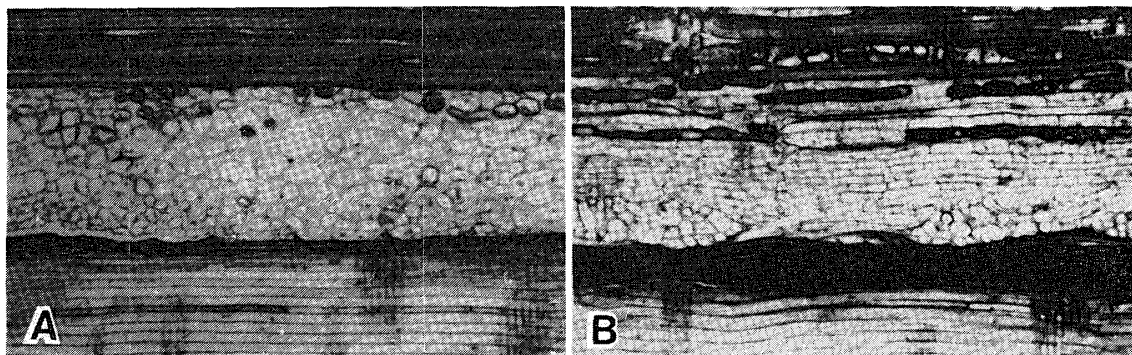


図2. 組織の配列の維持には圧力のような物理的内部環境も影響することを示した培養実験例

器官培養したスギ形成層の放射断面(A. 無加圧, B. 加圧培養：両者とも上が篩部側, 下が木部側)

通常形成層を培養すると無配向のカルス組織になるが(A), 篩部側から圧力を加えながら培養すると軸方向の配列が保たれる(B)。

研究が続くわけであるが、それとは逆に、一つの組織あるいは器官を他の組織や器官から切り離して試験管内で扱うことができれば、苗木よりもはるかに単純な条件で細胞や組織の分化・形成の基本にメスを入れることが可能になるわけで、このような研究手段は今後益々盛んになるであろう。我々も現在、二次分裂組織である形成層のブロックや、茎頂、葉柄など細胞分裂の盛んな一次組織から誘導したカルスを用い、組織や器官の再分化、維管束細胞の分化に関する実験に着手しており、図1 a, b⁸⁾はその1例であるが、現在のところは、このような木部・節部類似の組織分化や不定芽形成など、組織分化、器官分化を誘導する培養条件の検討をおこなっている段階である。また、図2 a, bに示すようにカルス細胞の配列、したがって細胞分裂にあたっての分裂面の決定や細胞の形態形成に物理的な力が関与することを示唆するような結果も得られている⁹⁾。

これらの組織培養、細胞培養に関する基礎実験は、上述のように細胞や組織の分化・形成の基本にメスを入れるという方向と同時に、まだまだ夢であるにしても、将来細胞融合や遺伝子操作を含めて“林産物の試験管内生産”に向うための基礎実験にもなるものである。

さて、木材を構成する細胞の実質は細胞壁である。したがって、細胞壁の形成という課題も木材生物学の重要な課題である。そもそも木材が他に替え難い資源として利用されるゆえんは、木材中にその約50%を占める程の多量のセルロースが含まれていることによるところが大きいのであるが、そのセルロースは細胞壁中でマイクロフィブリルという形をとって存在し、そのマイクロフィブリルが方向性をもって配列することにより、強靱な壁層を構成している。我々はこのようなセルロースのマイクロフィブリルが、細胞壁の形成にあたって、どこであるいはどのような過程を経て重合ならびに結晶化するのかということについて、樹木の木部分化帯細胞におけるマイクロフィブリル形成は勿論のこと、樹木の培養細胞から調整したプロトプラストにおける細胞壁の再生などについての電子顕微鏡的、細胞学的研究や、さらにはモデル系としてバロニア等の海藻およびセルロース合成をおこなう菌類を用いてのセルロースマイクロフィブリル生合成の研究を進め、セルロースの合成機構の解明を目指している。特に緑藻類の一種であるバロニアのセルロースマイクロフィブリル

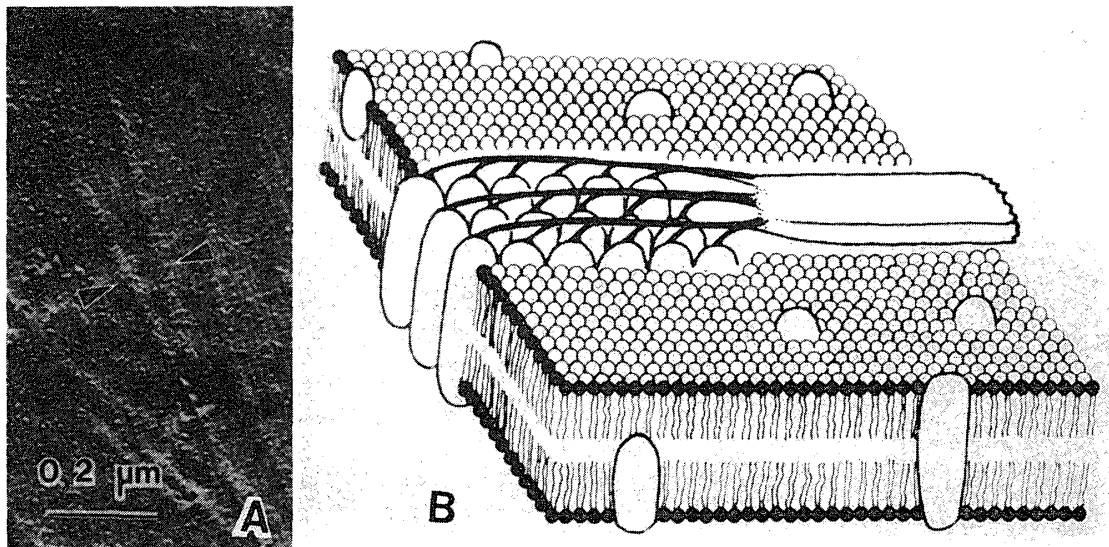


図3. タマゴバロニアのセルロースマイクロフィブリル合成。

A. フリーズエッチング法によるプロトプラスト(3日経過)の原形質膜 EF 面の観察。セルロース合成顆粒群(矢印)が原形質膜上に印されたマイクロフィブリル鑄型の末端にみられる。

B. セルロース合成顆粒群によるマイクロフィブリル形成様式の想像図。規則正しく並んだ個々の顆粒が1本以上のグルカン鎖の重合にかかわっており、重合および結晶化の進行にとまって、流動性の原形質膜中にある顆粒群は前方に押し進められる。

は、樹木の細胞壁を構成するマイクロフィブリルに比べて4～5倍も太いため、セルロースマイクロフィブリルの生合成の機構を調べる上で、都合のよいモデル材料とされているのであるが、図3はそのバロニアを用いて得られた成果の一例である¹⁰⁾。これらの、細胞壁形成に関する研究、特にセルロースの合成機構の解明を目指す研究は、究極的にはバイオテクノロジーによる人工的なセルロースの工場生産に結びつく可能性をも秘めていると思われる。

以上、ザッと駆け足で木材形成に関連して現在進行中の研究と、その狙っている方向を紹介してきたのであるが、このような現状を背景として、木材生物学の今後の方向を考えてみると、木材形成に関する研究は今まで紹介してきたようなマイクロからマクロまでの研究の積重ねによって樹木による木材形成のからくりを明らかにしながら、林学へのフィードバックを試み、林学との提携を強めてゆく方向の他に、特に培養系を用いた基礎研究の中からは、生化学、遺伝子工学、分子生物学などとの提携を強め、バイオテクノロジーによる林産物の工場生産を指向する方向、いってみれば一見林学から離れてゆくように見える方向が生れてくるかも知れない。しかし、後者の場合であっても、どうしても森林の樹木につくってもらわなくてはならない林産物以外は森林に頼らずに生産し、森林資源を人類のために温存しようとする立場をとる以上、森林や樹林、ひいては林学に対する理解なしにはやって行けないことは前に述べた通りである。要は森林や樹木に対する理解をしっかりと持ちながら、これまた冒頭で述べたように、木材形成の過程で何がおこっているのかを、マクロからマイクロの段階それぞれで明らかにしてゆくこと、——それに撒することが木材生物学の現在は勿論、将来に向っても変らない基本的な考え方であるべきであろう。これに撒することによってこそ、どのような時代においても社会からの要請に自在に対応する道がひらけるものと考えられる。

引用文献

- 1) 伊東隆夫, 山口和穂, 黒田宏之, 島地 謙, 角谷和男: 木材研究・資料, No. 15, 45 (1980)
- 2) たとえば相場芳憲: 日林誌, 57, 39 (1975)
- 3) 島地 謙: 木材研究資料, No. 13, 35 (1979)
- 4) 尾中文彦: 木材研究, No. 1, 1 (1950)
- 5) K. YAMAGUCHI, T. ITOH and K. SHIMAJI: Wood Sci. Tech., 14, 181 (1980)
- 6) K. YAMAGUCHI, K. SHIMAJI and T. ITOH: Wood Sci. Tech., 17, 81 (1983)
- 7) 島地 謙: 木材研究・資料, No. 18, 1 (1983)
- 8) 黒田宏之, 牧野良平, 島地 謙: 第33回日本木材学会大会研究発表要旨集, P108 (1983)
- 9) R. MAKINO, H. KURODA and K. SHIMAJI: Wood Research, No. 69, 1 (1983)
- 10) T. ITOH and R.M. BROWN, Jr.: Planta, 160, 372 (1984)