

草にはなく木にあるもの*

—樹幹とバイオサイエンスの戦略—

黒 田 宏 之**

Things Involved in Trees but Not in Grasses*

—Bioscientific Strategies for Utilization of a Tree Trunk—

Hiroyuki KURODA**

(昭和62年8月3日受理)

1. 木と草の境

「木」や「草」という言葉は通称であり、学術上の用語ではない。しかしマツやサクラが木で、タンポポやススキが草であることに異議を唱える人はまずいない。両者の一番大きな違いは次のような点であろう。木では茎が著しく発達して、冬季に地上部が枯れることもなくまた長年月にわたり肥大成長（二次成長）を続ける（便宜上狭義の木とする）。これに対して草は茎の肥大よりも伸長成長（一次成長）が優先し、普通地上部の命は一年である。では、センリョウ、ソテツ類、ヤシ類、さらには科学万博で有名になったトマトの木、また種子植物ではないがヘゴのような木性シダなどは、どちらに属するだろうか。

日本植物図鑑¹⁾の木本編と草本編によって、これらを検索してみよう。図鑑では冬季に地上部が枯れない多年生植物を木本として扱っているので、ここには狭義の木よりも広範囲の植物群が含まれる（便宜上広義の木とする）。従ってソテツ類（科）やヤシ類（科）のみならず、二次成長をしないタケ類（亜科）も木本となる。センリョウは草本編に載っているが解説では草本様の低木としている。一方この図鑑に載っていないトマトの木やヘゴの場合もこの様な基準で振り分けることができるかもしれない。しかし実際には両者の境界はそれほど明確ではない。また温帯で見られる生活形（木と草）を基準にして、熱帯から寒帯に及ぶ全植物を機械的に木と草に二分しても意味がない。

では植物進化のどの段階で木が出現したかを考えてみよう。現生の植物から考えるとシダ植物群（ヒカゲノカズラ、トクサ、シダ類）の進化段階までは草であったかのように錯覚する。しかし古生代のシダ植物群が木本であることや、草本という生活形が気候の寒冷化に伴い出現したことを考えれば、植物は水中から陸上に進出してまもなく木としての性質を獲得したことが理解される^{2a)}。種子植物では、裸子段階までは木本であり、被子植物（双子葉類）になってはじめて草が登場する。またもう一つの生活形であるつる植物でも、裸子植物では木本で、草本性つる植物は被子植物になって初めて現われる^{2~4)}。

次に進化の過程で起こる木から草へ、あるいは草から木へという生活形の変化は、植物系統分類学上どの様に位置づけられているのであろうか。たとえば Hutchinson⁵⁾ は、双子葉綱には木本群 (Lignosae) と

* 第42回木研公開講演会（昭和62年5月15日、大阪）において講演

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

草本群 (Herbaceae) の二系統が存在し、単子葉類は後者から派生したとしている。被子植物中の分類集団は、植物系統分類学上の判断に加え、どちらの生活形がその集団に多いかによって両群に振り分けられた。この説は被子植物には木と草の二系統があるという立場をとる。またドリアン説⁴⁾では木本が厚軸類 (Pachycaule tree) と細軸類 (Leptocaule tree) に大別される。前者はソテツのように葉が大きく茎は比較的低くて太い、また分枝が乏しく髓や皮層が発達して材が軟木質である。後者は針葉樹のように葉は相対的に小さく茎は高く細い、また分枝が多く髓や皮層が少なく材は硬木質である^{2b)}。被子段階ではドリアンのように種衣の発達した、しかも厚軸類の木が原始的と見なされ、木とも草とも区別しがたい仮想植物から被子段階の木本と草本が分化したとするが、被子植物の起源は一元的である (図1)。狭義の木という通称はこの細軸類にかなり近い。

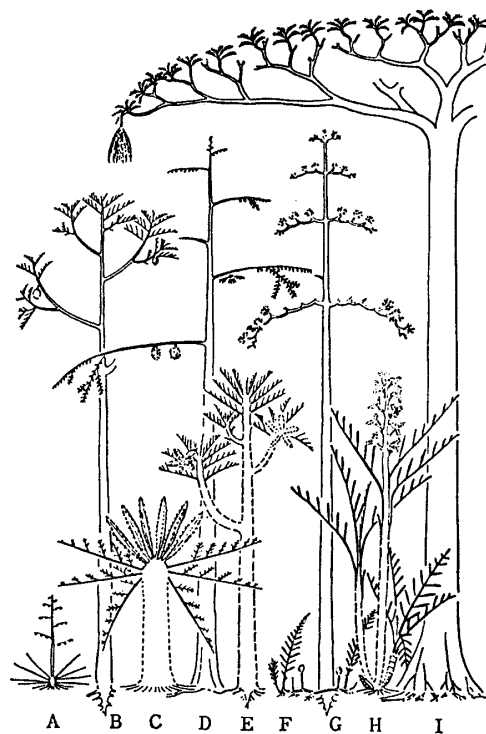


図1 ドリアン説にもとづくおもな樹木型

C (仮想的ソテツ類似の祖先型) がもとになり草本型が分かれた。樹木ではE (パパイヤ型の厚軸型樹木) or D 乾生花を有するドリアン類似の細軸型樹木) or G (ロゼット状に枝に単葉をつけ、果実に種衣を有する樹木) を経てB (果実の大きい、細軸型の樹木、らせん状に複葉を配列) やI (果実の大きいマメ科の祖先的樹木) に至ると考えた。草本ではCからA (アガーベ、直接Cから退化した草本) になる系統と、CからH (単子葉植物の原型、芽苗を生じる) を経てF (ショウガ科のように地下茎と乾生花を有する単子葉) になる系統を考える⁴⁾。

ドリアン説や Hutchinson の考え方は広く受け入れられているとはいえないが、木と草の違いを考える上で示唆に富んでいる。すなわち進化段階の同じ分類集団中で、組み合わせによって木と草は同じ系統の組合せもできれば、異なる場合もできる (図2)³⁾。木であるモクレンと草であるキンポウゲのように多心皮植物という同じ進化段階にありながら系統分類学的にとらえると異なる組合せがある。また一方で木であるエ

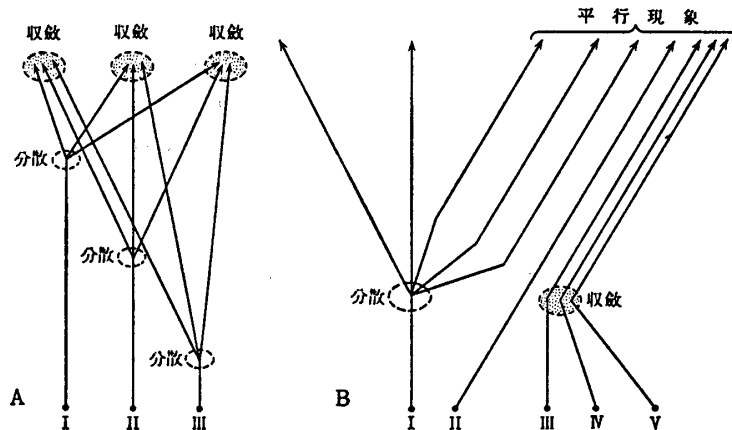


図2 進化の過程における収れんと分散

縦軸は時間軸，横方向は変異の広がり，矢印は進化の方向を示す²⁾。たとえばAのIが草本の系統でIIIの系統が木本であれば破線で囲んだ植物集団には木本と草本が存在する。これとは別にBのIに見られるように分散によって木本と草本が分かれる場合も考えられる。

ソジュと草のクララのように，同じ *Sophora* 属ゆえに進化段階もまた系統的にも同一と考えられる木と草が存在する。さらに言えば木や草の遺伝情報というものがあるのならば，同じ系統の木と草の遺伝子を比べることによって，木や草に特徴的な遺伝子を明らかにすることも可能であろう。

2. 草にはない木の特徴

前節で述べたように木と草という言葉は通称であり，学術用語としての定義を持っていない。また植物分類群とも一致しない。そこでこれから扱う木の範囲と視点をはっきりさせておく必要がある。ここでは木や草を植物学的観点から詳細に記述をするのではなく，木や草を人が利用する場合，問題となりそうな生物学的特徴について述べたい。したがって木とは林業や林産業の対象となる木材利用の可能な種子植物群を指す。また草としては農業の対象となる野菜や穀類で代表される多くの栽培種子植物を思い浮かべていただきたい。

我国における植物のバイオブームは，マスコミによるポマトなどの報道や国の資源・食料政策が企業戦略とも合致して始まった。植物培養細胞を利用した有用物質の産生や細胞融合による品種改良の可能性が高まったこと⁶⁾，遺伝子工学的手法が確立されつつあること⁷⁾など，技術的な進歩はめざましい。植物が企業の先行投資の対象となり，バイオ技術の開発は国際競争の一つの焦点となりつつある⁸⁾。一方樹木の場合を考えてみると草を対象としたバイオ技術だけでは御しきれない特殊性が存在するように思えるので以下に述べたい。

木の中で起こっている生命現象を眺めた場合，草と異なる特徴とは一体何であろうか。それには草本性植物と同じような育種やバイオ技術で，木の生命現象を理解し，材質制御などの応用上の手がかりを得ることが可能か否かを考えてみるとよい。まず第一に木材が利用できるようになるまでに普通数十年から数十年以上かかるため，品質の良否を草のように一年以内に判断できない⁹⁻¹²⁾。第二に木は樹幹が大きいため，草よりも仕事の能率や経済上の制約を受け，多数の個体の統計遺伝学的（材質）評価が難しい。第三に樹幹の体積に対する生活細胞の割合が少なく，かつ硬い木化細胞壁が発達しているため，樹幹形成に参与する生体物質の研究が草より困難である。第四に栽培作物と異なり樹木は野生に近いヘテロな集団であることが多く，またマツやスギなどの有用樹種は自家受粉では種子を形成し難い¹³⁾。さらに木は草より一世代が長い。従っ

て品種改良に必要な遺伝的交雑や純系を得ることが草よりはるかに困難である。第五に林業・林産業の産業構造に由来する問題などを思い浮かべることが出来る。以上の特性は最後の産業構造の問題を除けば、草ではほとんど問題とならない木に特有の生命現象と密接に関連していることが理解される。

草本植物で発展した組織培養技術の導入は、木本植物にもある程度有効である。たとえば草本と同様に、木でも播種や挿し木による育苗の代わりに多数の幼苗を無菌的に誘導したり、細胞融合によって新品種を作る試みが報告されつつある⁹⁻¹²⁾。しかし残念なことにこれらの幼苗がどのような材質の木に育つのかという、木を利用する立場からは最も重要な事柄を予測するための方法論はまだ定まっていない。一方すでに単離された草本遺伝子を利用して、樹木遺伝子の研究を行なう提案がなされている¹⁴⁾。しかし木にも草にも存在する遺伝子では、木に特徴的な遺伝情報を研究することにはならない。微生物、動物、草本植物で発達した新しいバイオ技術を単に導入するだけでは木の本質になかなか近づき得ない。では樹幹の形成過程はどの程度解明されているのか、以下にその一端を眺めてみたい。

3. 形成層と樹幹の活動

植物が大きくなる過程では、茎や根の伸長と肥大が起こる。草で終わるか木になるのかの分岐点は、植物が後者の肥大成長を維持できるか否かにかかっている。草にはない木の特徴は、このような肥大成長の維持にあるといっても過言ではない。肥大成長に関与する細胞群は形成層と呼ばれる側生分裂組織から生じる。形成層はコルク形成層と維管束形成層から成り、前者は樹皮のコルク組織形成に、後者は二次木部・二次師部形成に関与する。維管束形成層は単に形成層とも呼ばれ、理論上樹幹を取り巻く一層の細胞群として捉えられている¹⁵⁾。この層は通常外部に師部を内側に木部をつくり、樹幹径増大に伴って自分自身の周囲径をも増大させる（二次成長）。図3に維管束形成層帯の概念図を示す。樹幹の肥大はこの図中の形成層始原細胞や母細胞群による分裂と、その結果生じた細胞群の拡大によって起こる。

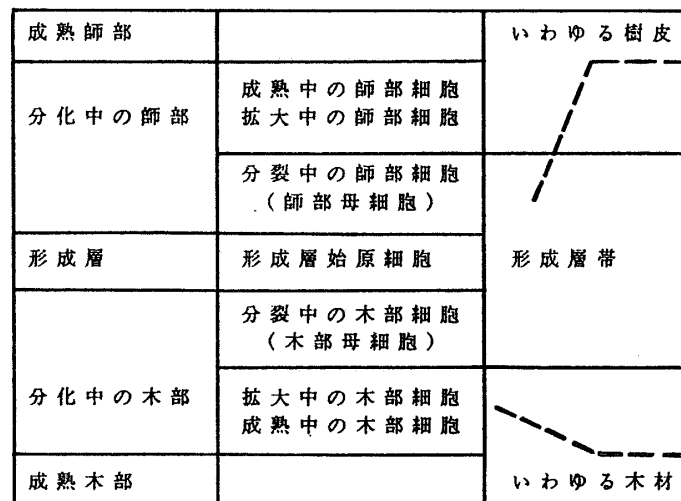


図3 樹幹肥大生長（二次生長）の概念図

図中の形成層は維管束形成層を指す。

形成層の活動は材質に直接影響するため古くから研究の対象となり、特に形成層活動の制御因子についての関心は高い。たとえば春先の形成層活動開始や早晚材（年輪）形成にはオーキシンの必要とされている。この結論は春先に形成層活動が枝や幹を下方へと伝播されることに加え、摘葉、摘芽、環状剥皮などの外科手術実験やオーキシン類の塗布実験の結果などから導かれた¹⁶⁻¹⁸⁾。

しかし近年形成層活動におけるオーキシンの直接関与を疑問視する指摘もある：インドール酢酸（IAA）

を GC-MS によって正確に定量すると、1) このホルモンは冬季においても針葉樹¹⁹⁻²¹⁾や広葉樹^{20b)}樹幹に存在し、また 2) IAA レベルの季節変動と早晚材形成との間には明確な相関が認められない^{19,20)}。3) IAA-¹⁴C 移動速度は形成層が活発に活動している時期と活動停止期(冬季前の不完全休眠期、分化中の仮道管は存在しない)で同じである²²⁾。4) オーキシンの樹幹における求基的輸送速度が 9~10 mm/hr と言われるのに対し形成層の活動再開の求基的伝播速度は 42 mm/hr と早い²³⁾。5) 形成層が早春に活動を始める頃木の皮を剥ぐと、普通師部細胞や拡大中の師部細胞付近で剥がれ^{20a)}、樹幹が春先に目覚めるときはまず師部から起こることを示唆する。

このような状況下で過去のオーキシン仮説の矛盾を補ういくつかの仮説が提案されている²³⁾。春先の形成層活動開始に関しては a) 樹幹のオーキシンに対する感受性が季節により変化する¹⁹⁾。b) もっと早く流れるシグナルによって形成層はオーキシンを作るか、オーキシンを遊離状態にする。c) オーキシンの極性輸送は実際よりもっと早い。d) オーキシンは木部分化帯に多い^{20a,24)}が、求基的輸送は師部輸送流に乗って起こる^{20b)}。早晚材の形成に関してはオーキシン仮説以外に a) の樹幹の感受性に関係づけたり、第二第三の因子を予想しているが実証されていない^{16-18,25-28)}。

確かに植物ホルモンが正確に定量されはじめたことや²¹⁾、形成層活動を説明する際オーキシン一辺倒の仮説から脱却しつつある点などは評価すべき進歩であろう。また樹幹中のアブジン酸量の季節変動を GC-MS で追跡した結果、このホルモンが形成層の季節変動に直接関与する可能性はやや薄まった¹⁹⁾。しかし形成層活動の制御因子に関しては依然実体がはっきりしない。たとえばシベリン酸の関与が示唆されながら²⁵⁾その季節変動についての報告はない。サイトカイニン類については草本での結果から類推したものが多く、樹幹でははっきりした役割が実証されていない^{17,18,20c,25-28)}。針葉中に仮道管分化因子^{20c)}などの存在が予想されているが、形成層活動の制御因子が物質として同定されていない。

一方、植物ホルモンを正確に定量できても結果を解釈する際に問題がありそうである。植物ホルモンの季節変動パターンは、単位新鮮重当り、単位絶乾重当り、単位樹幹表面積当りのどの表現を採用するかによって結果の解釈を逆転させるほど影響を受ける^{20a)}。樹幹の形成層域では連続的に分化段階が異なるので、目的の分化段階の細胞について細胞内ホルモン濃度を実測しなければ本当の季節変動の姿を捉えることにはならない。しかしこれは技術的に難しい。

4. 組織培養と樹幹形成

試験管内で培養した無菌組織片や細胞は環境を制御することが容易であるため、時に有益な知見が得られる。しかし草本で得られたこのような知見を、安易に木本に適用することには慎重でなければならない。たとえばヒヤクニチソウ葉肉細胞から分裂することなく直接形成される通導要素 (tracheary element)²⁹⁾は、樹木の形成層活動や二次木部分化が培養系で再現されることを意味しない。なぜなら樹幹の傷害治癒過程を組織学的に追跡すると、草本の通導要素に類似の細胞は形成層の活動とは独立に放射柔細胞などから分化する³⁰⁾。またエチレン処理や樹幹組織片の培養でも通導要素や傷害道管要素 (wound vessel member) 類似の細胞が形成されるが正常な二次木部細胞は形成されない³¹⁾。従って形成層細胞はこの培養細胞とは異なる分化段階にあると考えざるを得ない。

試験管内で形成層を再現させる試みは、とりもなおさず形成層活動を支配する因子を探ることにもなる。ところで試験管内で形成層活動の再現を試みる場合、従来一般に用いられてきた培養条件は適切であろうか。ここで樹幹内の環境と、従来草本でよく用いられる培養方法を対比してみよう。残念ながら樹幹環境に関する情報はまだ十分とはいえないが少なくとも次のような対比は着目すべきであろう。1) 従来の組織培養では養分の供給は単純で、一般に植物片を寒天培地上か液体培地中におく。これに対して、樹幹では活動中の細胞に養分や水分を供給するために何種類もの特殊な用水路(道管、師管、柔細胞列など)を縦横に張

り巡らせている。たとえば前節で述べたオーキシンは形成層帯という用水路を脈流となって下降する²⁵⁾。木が長生きできる秘訣の一つはこの様な細胞レベルでの養分や老廃物の供給・除去系（二次組織）が発達していることと無関係ではない。2) 従来の組織培養の培地組成としては高濃度の無機窒素塩がしばしば用いられている。これに対して樹液中の窒素は無機塩としてではなくペプチドやアミノ酸の形で大部分存在する²⁶⁾。また樹幹を構成する主要な元素は炭素、水素、酸素で窒素の割合が少ない。これは樹幹を構成する細胞壁の割合が多いことを示すと同時に、窒素源は樹幹内で循環再利用されていることを示唆する。3) 従来の組織培養系では、培地組成に濃度勾配をつけたたり、異なる培地を同時に用いることはほとんどない。しかし樹幹では木部と師部を比べた場合構成細胞の種類が異なるばかりでなく、表1に示すように樹液のpHや存在する無機成分にも大きな差がみられる³²⁾。根と樹冠では、吸収あるいは合成される物質が異なる。この

表1 師部及び木部における樹液の比較

樹 液	木 部 mg/ml	師 部 mg/ml
乾 固 物	1.4	220
シ ョ 糖	0.128	140
カ リ	0.177	2.1
マグネシウム	0.0115	0.077
ナトリウム	0.004	0.037
カルシウム	0.018	0.049
リン酸塩	0.005	0.052
pH	4.9~5.0	7.5

Red Ash 樹液を十月に採取分析
(van Die & Willemse 1975)

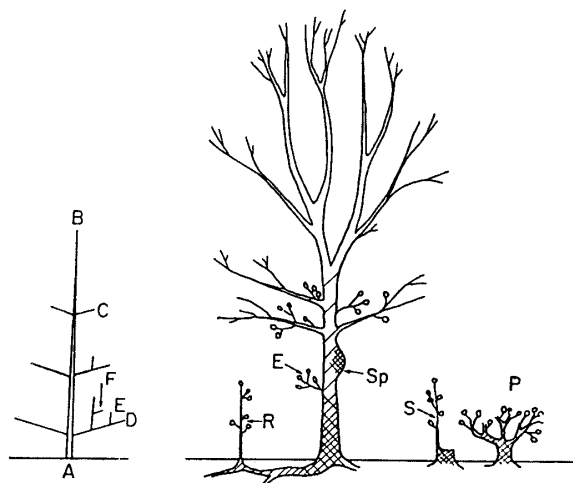


図4 樹木の部位と再分化能の関係

左の針葉樹では、頂芽（B）と幹の基部（A）の間の距離が違いほど、「幼若」で栄養繁殖が容易な傾向にある。右側の広葉樹でも基本的に同じであるが、切株（S）や根からの萌芽（R）、幹のコブ（SP）、主幹から直接出た小枝（E）、強く刈り込んだ木（P）などにもこの傾向がある（ハッチ部分）³⁵⁾。

意味で植物ホルモンもまた木部・師部間で濃度勾配を持っているかもしれない。4) 草本の培養系では力学的な因子が問題となることは少ない。これに対して樹幹ではアテ材形成や生長応力などの現象に見られるように力学的な場を考慮する必要性が感じられる³³⁾。5) 草本では培養に用いる植物体の再分化能が採取部位によって異なる。この違いは内生ホルモンレベルやオリゴサッカリンのような細胞壁情報物質などに起因すると推定されている³⁴⁾。樹木でも一般に根に近い部位は挿し木などの栄養繁殖が容易な傾向にある。図4に示すように広葉樹では切株や根からの萌芽、幹のコブ、主幹から直接出た小枝などの栄養繁殖が容易であると言われている³⁵⁾。

1)～4)で述べた点は樹木の生理環境の特殊性を物語っている。この様な環境を満足する試験管内実験系を、形成層活動再現のために構築する試みはまだ暗中模索の状態にある。過去に試験管内で形成層を作ろうと試みた中で、形成層活動が永続するという報告はない。カルスの中に形成される図5Bのような細胞小塊(nodules)の研究から、ショ糖とオーキシンの量比が木部や師部形成に影響するとした報告がある³⁶⁾。その後オーキシンの関与は確かめられたが、ショ糖は単にカロース量を増加させるだけで師部形成の促進に著しい影響を及ぼさないらしい³⁷⁾。図5ではこの細胞小塊形成にサイトカイニン類の関与することが示されている。この細胞小塊の組織は細胞軸が揃っていないこと、維管束組織のようにパイプが連続していないこと、一次組織と二次組織の中間的な細胞形態が認められること、形成層活動が維持されずカルス内でやがて成長を停止することなどの点で樹幹活動が再現されたとはいえない。図6に形成層活動の環境を考慮して試験管培養したポプラ樹幹の例を挙げる。この培養系では形成層活動が培養後一ヶ月以上続き道管も形成されていることが判る。しかし道管要素長は短くなっており、正常な材が形成されているとはいえない。

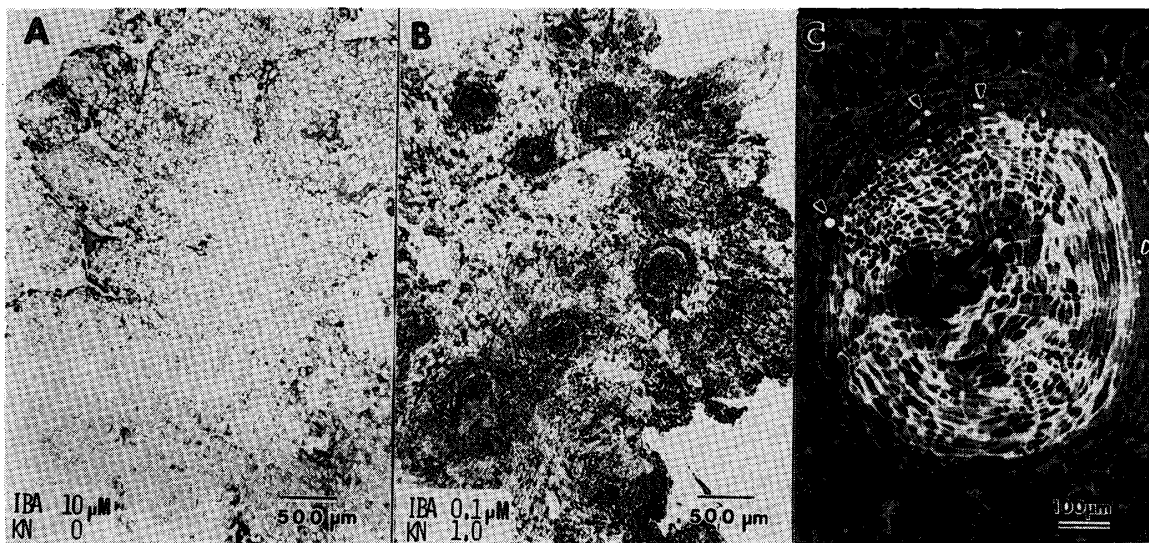


図5 ポプラカルスの形態形成

Populus euroamericana 若枝から誘導したカルスの顕微鏡写真像。

A : kinetin (KN) の無い条件下で indolebutyric acid (IBA) を与えたもの。カルスは均一によく増殖する。B : IBA 濃度を下げ、KN 濃度を上げたもの。カルス中に細胞塊 (nodules) が散在する。また右上には幼芽の形成がみられる。C : B の nodule を、蛍光顕微鏡下で拡大したもの。中央の明るい部分は木部で、リグニンの自己蛍光が見られる。師管中のカロースが、その周辺に明るく光る点として観察される (矢印)。一見樹木の二次組織に似るが、細胞軸はそろっておらず、nodule は、不定形の楕円球で、維管束系とは異なりパイプは連続していない³¹⁾。

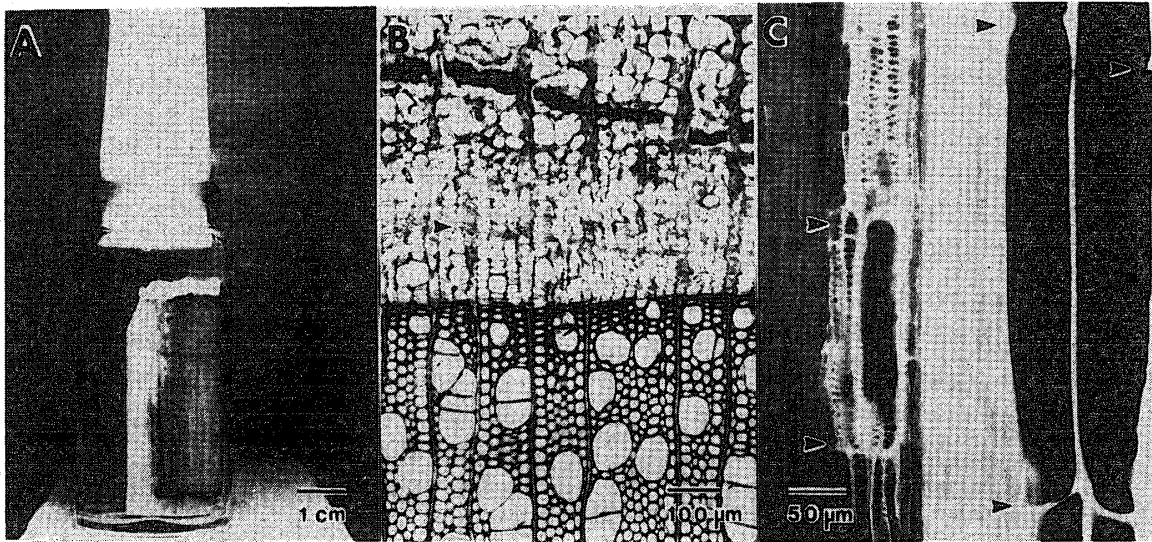


図6 ポプラ樹幹の培養

Populus euroamericana 樹幹片（11月採取）を無菌処理後、樹幹片の上側は木部が、下側は師部が培地とできるだけ接触しないように除いた。Aのようにして30日培養した。上側からはショ糖とオーキシンを、下側からは無機塩とサイトカイニンを与えた。Bは木口面の光学顕微鏡写真像、矢印部分は形成層近辺、生長輪界から形成層までが培養によって形成された木部である。道管の形成と規則的な並層分裂がみられる。Cは柢目面の蛍光顕微鏡写真像で、左側の暗い部分とそこにある道管要素が培養によって形成された木部。この細胞はすでに形成されていた正常な道管要素より短い（矢印）³¹⁾。

5. 樹幹成分と形成層活動

これまでの節では問題点を強調したために、研究の展開に対して悲観的な印象を与えたかも知れない。しかし木に固有の生命現象を解明し材質や木材成分の制御調節をめざすために、何とか問題解決の糸口をつかめないものであろうか。過去の研究の路線を踏襲してともかく前進を試みることも大事であろう。しかし発想を転換して異なる観点から眺めてみることも、時には戦略として必要である。この意味で樹幹に存在する「レクチン」はよい問題解決の糸口となる条件を備えている。まず簡単にレクチンがどんな物質であるのか触れておきたい。

定義によれば、レクチンとは糖と相互作用する(糖)タンパク質で、細胞を凝集し、あるいは多糖や糖複合体を沈降させるが、免疫学的産物ではないものを指す³⁸⁾。血球などを凝集できるということは、レクチンが2つ以上の糖結合部位を持っていることを示している(図7)。またレクチンは免疫学的産物でないことから、糖と共沈する抗炭水化物抗体と区別される。レクチンはこのような性質を持つタンパク質群の総称であり、動物のみならずイムノグロブリンを産生しないバクテリアや植物にも広くみられる。歴史的には植物の種子、特にマメから単離され研究が進んできた^{39~42)}。現に臨床試薬や生化学試薬として販売されているものの多くは植物種子由来である。

さて一見樹木とは何の関係もなさそうなレクチンであるが、偶然にも筆者は針葉樹、広葉樹を問わず血球を強く凝集する活性が樹幹にあることを見出した。過去の文献^{43~46)}を当たってみると、広葉樹の樹幹でレクチン活性の記載例があった。しかしニセアカシアとニワトコ属の場合^{45,46)}を除いて、精製したレクチン

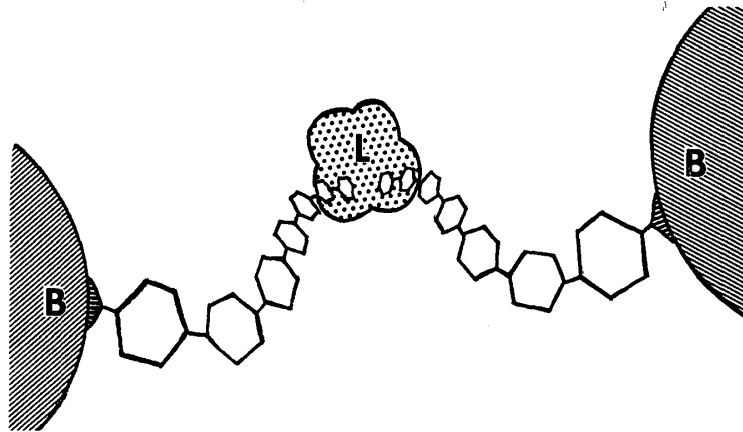


図7 レクチンによる血球凝集の概念図

図の左右両側の斜線部分は赤血球（B）を示す。血球表面に存在する糖鎖はレクチン分子（中央L）と結合する。レクチン分子は糖鎖結合部位が二個以上あるので、赤血球を架橋・凝集させることができる。

でその特性を検討した報告は皆無であった。まして樹幹レクチンが従来の種子レクチンと異なるものであるかどうかについては情報が無かった。そこで筆者らはエンジュ種子と樹幹からレクチンを超遠心的に均一になるまで精製し、レクチンであることを糖の阻害実験で確認後、両者の性質を比較した。結果は種子と樹幹のレクチンは異なる分子種であった⁴⁷⁾。エンジュという広葉樹としては特殊な樹木を選んだ理由は、エンジュ種子レクチンが試薬として市販されているので、大量に存在する樹幹レクチンもこの様な利用法がないかという単純な発想であった。

最近ニワトコ属の樹幹レクチンが精製されその特性が調べられた⁴⁸⁾。またこのレクチン量は季節により変動し^{49,50)}、冬季には師部柔細胞のプロテインボデーに集積されるらしいことが判ってきた^{50,51)}。図8は樹幹が年齢とともにレクチン含量を増加させることも示している⁴⁹⁾。樹幹レクチンのように樹液中に多量に存在

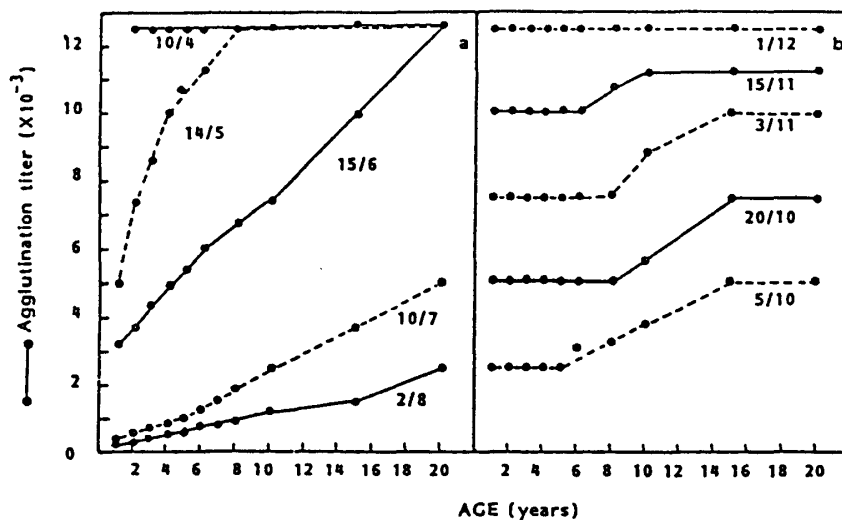


図8 *Sambucus nigra* 樹幹レクチンの季節変動

横軸は樹齢、縦軸はレクチン活性、グラフ中の数字は試料採取日（日／月）。レクチン活性は冬に高く、また樹齢の大きい方が高い⁴⁹⁾。

する標的タンパク質が定まれば、電気泳動による分析などを導入しやすくなるので、3節で述べた形成層活動の研究にも新たな展開が期待できる。ジベレリン酸とでんぷん粒の関係が明らかになってきたように⁵²⁾、あいまいであった植物ホルモンと形成層活動の関係をレクチンを通して解明することが可能であろう。この意味では、レクチンの疎水性部位と、オーキシシンやサイトカイニンの相互作用⁵³⁾は興味深い。またレクチンは貯蔵糖タンパク質をコンパクトにパッキングすることにも役だっているかも知れない⁵⁴⁾。レクチン自身が形態形成となんらかの相互作用を持つ可能性もないわけではない。発根阻害するフコースの作用を抑えることで発根促進に寄与するレクチンはその例であろう⁵⁵⁾。なぜレクチンが植物体中に存在するかは、合成される部位での役割を強調するものと、レクチンあるいはその誘導体が標的細胞や組織に輸送されて起こるとする立場に大別される^{39-42,54,56)}。植物体内での役割が存在するとは限らないが、今後の進展が期待される。

これまでの樹幹成分は主として紙パルプ原料として捉えられてきた。いかに効率よく脱リグニンするか、いかに抽出成分の影響を除くか、いかにパルプ収率を上げるかという生産工程上の問題は克服されてきた。しかし木材が地球上のセルロース資源としていっそう重要な位置を占めるためにはさらに効率のよい、クリーンで省資源、省エネルギー型の脱リグニン法の開発が望まれる。この様な観点からはリグニン含量の少ない木といった発想も生まれる。量的形質を制御するためにはリグニン生合成に関与する何段階もの遺伝子群を扱ったり、代謝経路の二ヶ所を欠損させて代謝中間体を何らかのバイパスに流すなどの操作が必要である。しかし現在の技術ではある遺伝子を単発的に狙わざるを得ない。量的形質の制御は長期目標として大変重要なことであると考えているが、もう少し時間が必要であろう。

この様に考えてくると木をかたちづくる一番の源になるもの、即ち草にはない木に特徴的な遺伝子に関して、我々は全く知識を持っていないことに気付く。一方レクチンというタンパク質群は分布する器官にそれ

		123	130	140
	Diocteleae	Con A	Thr-Asn-Ala-Leu-His-Phe-Met-Phe-Asn-Gln-Phe-Ser-Lys-Asp-Gln-Lys-Asp-Leu-Ile-Leu-Gln-Gly-Asp-Ala-Thr-	
		1	10	20
	Genisteae	Crot. j.	Ala-Glu-Gln-Gln-Ser-Phe-Ser-Ser-Thr-Lys-Phe-Ser-Thr-Asp-Gln-Pro-Asn-Leu-Ile-Leu-Gln-Gly-Asp-Ala-Thr-	
		Ulex e.	Ser-Asp-Asp-Leu-Lys-Lys-Asn-Gln-Asn-Gly-Lys-Asp-Ser-Phe-Ser-	()
	Sophoreae	Sophora j.	Ile-Leu-Phe-Pro-Ala-Ser-Asn-Glu-Thr-Asp-Leu-	Leu-
	Carageae	Caragana a.	Thr-Ser-Leu-Phe-Asn-Val-Pro-Asn-Asp-His-Glu-Leu-	
	Loteae	Lotus t.	Val-Tyr-Glu-[]-Lys-Asp-Gly-Ser-Arg-Lys-	
	Trifolieae	Medicago s.	Ser-Glu-Phe-Ser-	()
	Hedysareae	Sainfoin i	Ala-Glu-Asn-Thr-Val-Asp-Phe-Ser-Leu-Ser-Gly-Glu-Asp-Thr-Val-	
		PNA	Thr-Val-Asn-Phe-Asn-Ser-Glu-Gly-Asn-Ala-Ile-Asn-Phe-Val-	
		SBA	Thr-Val-Trp-Asn-Val-Pro-Lys-Glu-Asp-Met-Glu-Ile-	
	Phaseoleae	Phas. R.	Ser-Thr-Phe-Glu-Arg-Asn-Glu-Thr-[]-Arg-Ser-	
		Pinto III	Ser-Gln-Thr-Phe-Phe-Asp-Arg-Asn-Glu-Thr-[]-Gly-Ser-	
		Phas. E.	Ser-Asn-Asp-Ile-Tyr-Asn-Phe-Glu-Arg-Asn-Glu-Thr-[]-Arg-Ser-	
		Dolichos b.	Asn-Ile-Phe-Lys-Asn-Asn-Ser-[]-Ser-Phe-	
		Lentil β	Thr-Thr-Thr-Ile-Pro-Gln-Phe-Gly-Tyr-	
		Pea β	Thr-Thr-Thr-Leu-Ile-Pro-Gln-Phe-Asn-Gly-Tyr-	
		V. cracca β	Thr-Thr-Thr-Leu-Ile-Pro-Gln-Phe-Gly-Tyr-	
		V. cracca	Thr-Ser-Thr-Phe-Glu-Asn-Gln-Asn-Gln-Glu-	
	Vicieae	Favin β	Thr-Asp-Ile-Thr-Ile-Pro-Arg-Pro-Phe-Gly-Gly-Tyr-	
		V. sativa β	Thr-Thr-Thr-Leu-Ile-Pro-Glu-Tyr-Gly-Tyr-	
		V. gram		Ser-Gly-Ile-Phe-Ser-
		Lath. o. β	Thr-Thr-Thr-Leu-Ile-Pro-Gln-Phe-Gly-Tyr-	
		Lath. s. β	Thr-Thr-Thr-Leu-Leu-Gly-Pro-Gln-Phe-Gly-Tyr-	
	CAESALPINOIDEAE	Bauhinia p.	Thr-Ser-Ser-Thr-Leu-Thr-Thr-Phe-Pro-Asn-Trp-Ser-Asn-Thr-Gln-Glu-Gly-Thr-Ser-Ile-Ile-Phe-Gln-	
		Griffonia sIA	[Gln-Ser-Asp-Ser-Val-Asn-Leu-Pro-Asn-Trp-Ser-Val-Lys-Asp-Asn-Ile-Phe-Gln-Gly-Asp-Ala-	
		Griffonia sIB	[Gln-Ser-Asp-Ser-Val-Thr-Phe-Pro-Asn-Trp-Ser-Val-Glu-Asp-Ser-Ile-Phe-Gln-Gly-Asp-Ala-	

図9 マメ科レクチンのアミノ酸配列の相同性

25種のマメ科植物のN末端アミノ酸配列を Con A の123番から147番のアミノ酸配列と比べた。*Crotalaria juncea* のアミノ酸配列を基準として、これと相同な配列は実線で表わした。() は相同性を最大にするためには、欠損していると考えなければならない部分である⁵⁸⁾。

ぞれ特異的な分子種が存在するらしい。すなわち樹幹に存在するレクチンは樹幹にしかないと考えられる。たとえば同一樹木中の樹幹と種子レクチンに違いが認められ^{45,47)}、また葉と花のレクチンでも分子種が異なること⁵⁷⁾はこれを支持している。従ってレクチンを手がかりに木に特徴的な遺伝子を研究することも不可能ではないように思われる。都合のよいことにレクチンのアミノ酸配列には図9に示すように強い相同性が認められるので⁵⁸⁾、草本や種子のレクチン遺伝子をプローブとして利用できよう。さらに1節で述べたように同じ属に、草と木が同居している場合は遺伝子を扱ううえでよい材料といえよう。高木であるエンジュと同じ *Sophora* 属の草木クララには種子にも茎にも血球凝集活性は認められない。

いずれにせよ木に特徴的なタンパク質に着目することが出来れば現在の技術でも十分にその遺伝子を解析できよう。またその遺伝子からイモズル式に木の特徴を担う遺伝子群を捕まえることも夢ではない。このような段階を経ることによってはじめてリグニンや有用二次代謝産物の遺伝子による量的制御が現実味を帯びてくるであろう。また研究対象となるタンパク質が市販レクチンのように付加価値の高い性質を備えていれば、遺伝子工学で言われる“DNA makes RNA makes Protein makes Money”(DNAはRNAをつくり、RNAはタンパク質をつくり、タンパク質はお金持ちをつくる)の言葉どおり、新しい林産資源としての樹幹が浮び上がる。特にわが国では間伐材その他未利用材の効率的利用法が問題となっているにもかかわらず、生きている部分を有効に利用しようという発想が生まれていない。

6. ま と め

木と草はどう違うのだろうか、植物は水中生活をやめ、陸上に上がってまもなく木という生活形を獲得した(1節)。木は草と違って図体が大きくて堅く、また長生きするという生物学的特性ゆえに、バイオサイエンスのメスを入れることが難しい(2節, 3節)。しかし木から目をそらすことなく新しい発想と手段を導入開発することによって草では実現できないサイエンスとテクノロジーの流れを生み出す可能性を秘めている(4節, 5節)。ここではレクチン(5節)に焦点を当てた。また網羅的な記述よりも、樹木を研究する上でどうしても考えなければならない戦略に重点を置いた。そのために、樹木の生物学全体からみればややバランスを欠く点もあろう。しかしそれでもレクチンは木のサイエンスとテクノロジーを進展させる上で戦略的に重要な物質であること、さらにレクチンに限らず樹木の生物学的視点をもった研究方向が今日の林産学には必要であるということ、もう一度強調してまとめに代えたい。

文 献

- 1) a) 北村四郎, 村田 源, 堀 勝, 小山鐵夫: “原色日本植物図鑑” 草本編 上(1976) 中(1976) 下(1976) 保育社; b) 北村四郎, 村田 源: 同 木本編 I (1977), II (1979) 保育社
- 2) a) 浅間一男: “植物の進化生物学Ⅳ 被子植物の起源” 三省堂(1975); b) 田村道夫, 堀田 満: “植物系統分類の基礎” 山岸高旺編 pp194~196, 215~217, 北隆館(1974)
- 3) 田村道夫: 植物の進化生物学Ⅰ 被子植物の系統, 三省堂(1974)
- 4) 堀田 満: 植物の進化生物学Ⅲ 植物の分布と分化, 三省堂(1974); E.J.H. CORNER: Ann. Bot. N. S., 13, 368~414 (1949)
- 5) HUTCHINSON: “THE FAMILIES OF FLOWERING PLANTS” 3rd edition OXFORD UNIVERSITY PRESS (1973)
- 6) たとえば I.K. VASIL, W.R. SCOWCROFT and K.J. FREY: “Plant Improvement and Somatic Cell Genetics” Academic Press (1982); 細胞工学 1, 220~297 (1982) (植物の細胞工学); 同 3, 485~542 (1984) (植物の細胞融合と組み換え DNA); 同 4, 364~411 (1985) (植物細胞による有用物質の生産)
- 7) たとえば T. MANIATIS, E.F. FRITSCH, J. SAMBROCK: “Molecular Cloning A LABORATORY MANUAL”, Cold Spring Harbor Laboratory (1982); 細胞工学 5, 463~533 (1986) (植物の遺伝子工学); 松本省吾, 町田泰則: 蛋白質・核酸・酵素, 別冊30, 191~200 (1987)

- 8) たとえば 情報企画研究所編：バイオテクノロジー—主要各社計画の全貌— 情報企画研究所 (1987)
- 9) 齊藤 明：細胞工学, **3**, 251~267 (1984)
- 10) Y.P.S. BAJAJ ed.: "Biotechnology in Agriculture and Forestry 1 Trees I" Springer-Verlag (1985)
- 11) J.H. DODDS: "Tissue Culture of Trees" AVI PUBLISHING COMPANY, INC. (1983)
- 12) J.M. BONGA and D.J. DURZAN: "Tissue Culture in Forestry" Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers (1982)
- 13) 戸田良吉: "育種ハンドブック", 松尾孝嶺監修 pp.948~953, 養賢堂 (1974); 山田 実, 日向康吉: 同ハンドブック pp.46~56; 鶴飼保雄, 藤巻 宏: 植物改良の原理, 上 pp.33~40, 培風館 (1984); 横山敏孝: 日林誌, **59**, 389~390 (1977)
- 14) P.C. TROTTER: Tappi J. **69**, 22~27 (1986)
- 15) たとえば 島地 謙, 須藤彰司, 原田 浩: 木材の組織, pp.17~46 森北出版 (1976); K. ESAU: "Anatomy of Seed Plants" 2nd ed. pp.295~319, John Wiley & Sons, Inc. (1977)
- 16) 小谷圭司: 材料, **24**, 816~821 (1975)
- 17) M.H. ZIMMERMAN and C.L. BROWN: "Trees Structure and Function" Springer-Verlag (1971)
- 18) P.J. KRAMER and T.T. KOZLOWSKI: in "Physiology of Woody Plants" pp.561~581, Academic Press (1979)
- 19) C.H.A. LITTLE and P.F. WAREING: Can. J. Bot. **59**, 1480~1493 (1981)
- 20) a) R.A. SAVIDGE, J.K. HEALD and P.F. WAREING: Planta **155**, 89~92 (1982); b) Can. J. Bot. **60**, 681~691 (1982); c) Planta **153**, 395~404 (1981)
- 21) T.J. WODZICKI, H. ABE, A.B. WODZICKI, R.P. PHARIS and J.D. COHEN: Plant Physiol. **84**, 135~143 (1987); S. ZAJACZKOWSKI, T.J. WODZICKI and J.A. ROMBERGER: in "Encyclopedia of Plant Physiol. New Ser.", Vol. 10, T.K. SCOTT ed., pp.244~262, Springer-Verlag (1984)
- 22) C.H.A. LITTLE: Can. J. Bot. **59**, 342~348 (1981)
- 23) G.P. BERLYN: in "New Perspectives in Wood Anatomy" P. BAAS ed., p140, Martinus Nijhoff/Dr W. JUNK Publisher (1982); B. HUBER: Jorstwiss. Centralbl. **67**, 129~164 (1948)
- 24) A.R. SHELDRAKE: J. Exp. Bot. **22**, 735~740 (1971)
- 25) P.F. WAREING, C.E. HANNEY and J. DIGBY: in "The Formation of Wood in Forest Trees", M.H. ZIMMERMANN ed. pp.323~344, Academic Press (1964)
- 26) P.J. KRAMER and T.T. KOZLOWKI: in "Physiology of Woody Plants" p316, Academic Press (1979)
- 27) R.A. SAVIDGE and P.F. WAREING: in "Xylem Cell Development", J.R. BARNETT ed., pp.192~235 Castle House Publications Ltd. (1981)
- 28) L.W. ROBERTS: "Cytodifferentiation in Plants", pp.54~69, Cambridge University Press (1976)
- 29) H. FUKUDA and A. KOMAMINE: Plant Physiol. **65**, 57~60, 61~64 (1980)
- 30) K. KURODA and K. SHIMAJI: IAWA Bull. n.s. **5**, 295~305 (1984); IAWA Bull. n.s. **6**, 107~118 (1985)
- 31) H. KURODA: 投稿準備中
- 32) たとえば J.S. PATE: in "Encyclopedia of Plant Physiology New Series", Vol. 1, pp.451~473, M.H. ZIMMERMANN and J.A. MILBURN eds., Springer-Verlag, 1975.
- 33) C.L. BROWN and K. SAX: Am. J. Bot. **49**, 683~691 (1962); L.W. ROBERTS: in ref. (11), pp.88~102.; R. MAKINO, H. KURODA and K. SHIMAJI: Wood Res. No. **69**, 1~11 (1983)
- 34) K.T. THANH VAN, P. TOUBART, A. COUSSON, A.G. DARVILL, D.J. GOLLIN, P. CHELF and P. ALBERSHEIM: Nature **314**: 615~617 (1985)
- 35) J.M. BONGA: in "Tissue Culture in Forestry", J.M. BONGA and D.J. DURZAN eds. pp.388~402, Martinus Nijhoff/Dr W. JUNK Publishers (1982)
- 36) R.H. WETMORE and J.P. RIER: Am. J. Bot., **50**, 418~430 (1963)
- 37) R. ALONI: Planta, **150**, 255~263 (1980)
- 38) I.J. GOLDSTEIN, R.C. HUGHES, M. MONSIGNY, T. OSAWA and N. SHARON: Nature, **285**, 66 (1980); H.B.F. DIXON: Nature, **292**, 192 (1981)
- 39) 大沢利昭, 森 良一編: "レクチン" 講談社 (1976); 大沢利昭編: "レクチンと細胞生物学" 講談社 (1985)

- 40) H. LIS and N. SHARON: *Ann. Rev. Biochem.*, **42**, 541~574 (1973)
- 41) I.J. GOLDSTEIN: in "Recent Advances in Phytochemistry" Vol. 15, F.A. LOEWUS and C.A. RYAN eds., pp.28~35, Plenum Press (1981)
- 42) M.E. ETZLER: *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **36**, 209~234 (1985)
- 43) V. HOREJISI, C. HASKOVEC and J. KOCUREK: *Biochim. Biophys. Acta.*, **532**, 98~104 (1978)
- 44) C. GIETL, H. KAUSS and H. ZIEGLER: *Planta*, **144**, 367~371 (1979)
- 45) C. GIETL and H. ZIEGLER: *Biochem. Physiol. Pflanzen.*, **175**, 50~57, 58~66 (1980)
- 46) W.F. BROEKAERT, M. NSIMBA-LUBAKI, B. PEETERS and W.J. PEUMANS: *Biochem. J.*, **221**, 163~169 (1984)
- 47) H. KURODA and K. BABA: 投稿準備中 (第26回日本植物生理学会 仙台 年会講演要旨集 3Bp-10 1986)
- 48) M. NSIMBA-LUBAKI, W.J. PEUMANS and A.K. ALLEN: *Planta*, **168**, 113~118 (1986)
- 49) M. NSIMBA-LUBAKI and W.J. PEUMANS: *Plant Physiol.* **80**, 747~751 (1986)
- 50) J.S. GREENWOOD, H.M. STINISSEN, W.J. PEUMANS and M.J. CHRISPEELS: *Planta*, **167**, 275~278 (1986)
- 51) K. BABA, H. KURODA and K. SUMIYA: 投稿準備中 (第37回日本木材学会大会 京都 研究発表要旨集8303 1987)
- 52) T. AKAZAWA and I. HARA-NISHIMURA: *Ann. Rev. Plant Physiol.* **36**, 441~472 (1985)
- 53) G.M. EDELMAN and J.L. WANG: *J. Biol. Chem.*, **253**, 3016~3022 (1978); D.D. ROBERTS and I.J. GOLDSTEIN: *J. Biol. Chem.* **258**, 13820~13824 (1983)
- 54) W. EINHOFF, G. FLEISCHMANN, T. FREIER, H. KUMMER and H. RUDIGER: in "Lectins" T.C. BOG-HAMSEN and E. van DRIESCHE eds., pp.45~52, Walter de Gruyter (1986)
- 55) 山口隆司, 小山文裕, 狩集慶文, 佐分義正: 第10回植物組織培養シンポジウム 仙台 講演要旨集 2Ca-1 (1987)
- 56) I.E. LIENER, N. SHARON and I.J. GOLDSTEIN: "The Lectins", Academic Press (1986)
- 57) Y. ITO: *Plant Science*, **47**, 77~82 (1986); C.N. HANKINS, J. KINDINGER and L.M. SHANNON: *Plant Physiol.* **83**, 825~829 (1987)
- 58) A.D. STROSBURG, D. BUFFARD, M. LAUWEREYS and A. FORIERS: in "The Lectins", I.E. LIENER, N. SHARON and I.J. GOLDSTEIN eds. pp.249~264, Academic Press (1986)