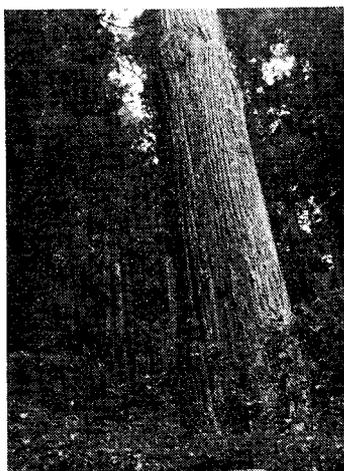


木の化学と木の利用



善 本 知 孝

木材には重いのも軽いものもあるが、これは細胞壁の厚みが樹種により大変違うことによる。70%が空隙というのが普通であるが、そんな穴だらけの材料が建物の柱になるのは木材の細胞壁が特別な強さを持つせいである。ここでは細胞壁主化学成分の話題に始まり、木材の構造と化学成分との係わりについて話が展開する。主化学成分は木の強度を生む成分としても、これは樹種、部位に関係の薄い成分である。しかし5%余の抽出成分は内容が樹種により大きく違う。抽出成分が木材利用と大きく係わることをヒノキオールなどの例で示す。

木の文化が我が国で育ったわけは、我が国に格別に多くの種類の木があるためと考える。木の多様性はどのような化学構造に負っているのであろうか。現在の木の化学の知識で木の利用と化学成分との関係を説明してみる。

木が石や鉄とともに人の歴史が始まってからずっと愛用されてきたのには様々なわけが考えられるが、軽い割に強いというのが格別に大切なことであつたと思う。多くの木材の比重は0.4—0.6にすぎないのに、強さは建物の柱になるほどである。これは木の幹、つまり木材を作り上げる細胞の壁が独特の化学成分でできていることと、細胞の内部がほぼ空洞になっていることのせいである。細胞壁の割合が大きい時には強いが重い木材となり、空隙の割合が大きい時には弱い軽い木材となる。ちなみに空隙は重いケヤキでは62%、軽いキリでは83%であり、ケヤキの曲げ強さは700 kg/cm²、キリのそれは300 kg/cm²となる。多種の樹種があれば多様な壁と空隙との組み合わせが生まれ、目的に合った強さの軽い樹種の実現が可能になる。木は大きくは針葉樹と広葉樹に分けられ、大まかに言えば前者は軽く後者は重い。

木材は構造を持つ。そこで木材の化学成分の特徴を見るのにも構造への考慮が必要である。ここでは構造を反映するもの

として三つのレベル（細胞壁のレベル、細胞の種類レベル、そして細胞腔のレベル）を選び化学成分の特徴を考察する。

1 細胞壁成分

木材の細胞壁では普通の植物の細胞膜に相当するもの（1次壁）の割合が少なく、そのほとんどが2次壁と呼ばれるものである。2次壁は性状の違う三層、S₁、S₂、S₃からなるが、中心はS₂層である。

1.1 セルロース

セルロースはグルコースが1位と4位でβ型結合をした高分子化合物である（図1）。重合度は測定法で異なり、硝化セルロースを粘度法によったときには4000—5000となる。同じ方法で木綿のセルロースは6700、麻のセルロースは8000である。セルロースは分子間で配位して結晶性のマイクロフィブリルと呼ぶものを作る。マイクロフィブリルの大きさは2.5—3 nmで、結晶にならない領域を経て次のマイクロフィブリルにつながる。ミクロ



Chemistry and Utilization of Wood.

Tomotaka YOSHIMOTO 東京大学教授（農学部林産学科）農学博士

筆者紹介〔経歴〕昭和31年東京大学農学部林産学科（林産学専修）卒業、42年東京大学農学部助教授、53年から現職。〔専門〕林産物化学。〔おもな著書〕“木のはなし”，大月書店，“木材利用の化学”，共立出版。〔趣味〕クラシック音楽鑑賞。〔連絡先〕204 東京都清瀬市旭が丘 2-2-1-204（自宅）。

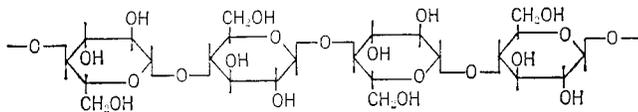


図1 セルロースの分子構造

繊維の方向は S_1 , S_2 , S_3 層で違い, S_2 では幹の長軸方向と一致し, S_1 , S_3 ではそれと直角の方向である。 S_2 が2次壁の中心であるから木の強さも長軸方向に強い。一つ一つの細胞を繊維と呼ぶと, セルロースが木綿繊維では9割, 麻繊維では7割であるのに対し, 木材繊維では5割である。これは木材繊維を特異なものとする。

1.2 リグニン

木材繊維の特異性を生むのがリグニンである。リグニンは高分子化合物で, 基礎となる単量体はフェニルプロパン C_6-C_3 体と呼ばれる (図2)。 C_6-C_3 体は針葉樹で

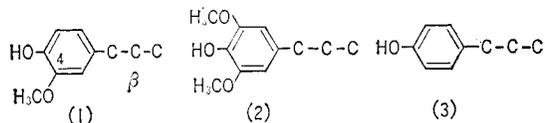


図2 リグニンの基本単位: フェニルプロパンのいろいろ
(1): グアイアシルプロパン, (2): シリングルプロパン,
(3): 4-ヒドロキシフェニルプロパン

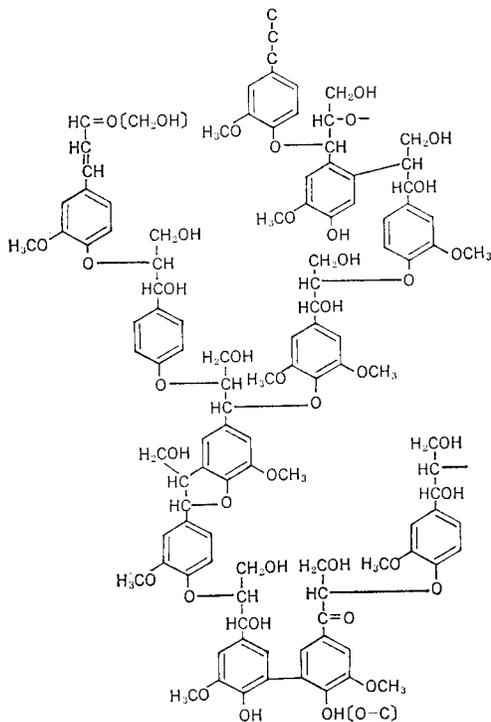


図3 針葉樹リグニンの化学構造

はグアイアシルプロパンであるが, 広葉樹ではグアイアシルプロパンとシリングルプロパンである。草本類にある4-ヒドロキシフェニルプロパンは木材にはない。

C_6-C_3 体間の結合では, 一方の側鎖 β 位が他方の4位水酸基とエーテル結合した $\beta-O-4$ と呼ばれるものが5割を占めるが, 2か所で結合していることも多い。リグニンの構造は平面的で, セルロースの線的とは対称的である (図3)。細胞壁形成時にはセルロースの柱が立ち, その隙間をリグニンが埋めていくとされている。

リグニンは木材の細胞に剛さ, 脆さを与えている。幹が曲がった所の下側, つまり圧縮力がかかるところに, 針葉樹ではリグニンが多くできることからその役割が推し計れる。針葉樹にはリグニン含量が25—30%の木が多く広葉樹では20—25%の木が多い。

1.3 ヘミセルロース

ヘミセルロースは細胞壁多糖のうち, セルロース, ペクチン以外の物の総称である。木は多種のヘミセルロースを作るが, ガラクトグルコマンナン (図4) が針葉樹材の主なヘミセルロースで, グルクロノキシランが広葉樹のそれである。重合度は前者が100以上, 後者が約200で, 水かアルカリに溶ける。2次壁の S_1 , S_2 , S_3 層で中心となるヘミセルロースは異なる。ヘミセルロースはセルロースを取り囲むマトリックスで, セルロースとリグニンとの結合性を強めるのに役立っている。針葉樹には20—25%, 広葉樹には25—30%の木が多い。

2 細胞の種類

2.1 細胞間層

木の強さは細胞壁だけでなく細胞のつなぎめの作りにも現れている。ここは単なる接着以上の役割を担う物からできており, 主剤はペクチンではなくリグニンである。リグニンは細胞の隅が付き合う角を埋めるのにも使われている。角でのリグニン濃度は高く, 60—90%にもなるが, 木材全体からみると角の割合は小さいので, そこにあるリグニンは全体の2—3割にすぎない。細胞間層にあるリグニンの構造は細胞壁のものと同じではない。カバの例だと, 細胞壁にはシリングルプロパン型だけがあるのに細胞間層にはほぼ同量のグアイアシルプロパン型もある。

2.2 細胞種

幹の一つの役が水を根から葉へ吸い上げることにあるのに, 人間が木材を使うときには強度保持のみを考えがちである。もちろん木材には通水路がある。針葉樹では仮導管が強度保持と通水の仕事両方をやるが, 広葉樹で

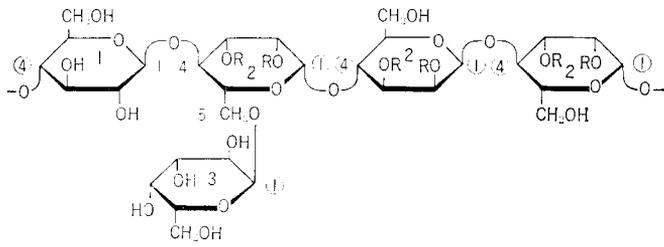


図4 針葉樹ヘミセルロースの代表：ガラクトグルコマンナン構造

はそれを別々の細胞、真正木繊維と導管とがやる。そこで真正木繊維と導管では化学組成も違っているはずであるが、違いについてわかっていることは少ない。カバでガラクトグルコマンナンが真正木繊維だけに見ついているということがある。またリグニンについては真正木繊維ではシリングル型のみであるのに、導管ではグアイアシル型のみということがある。リグニン含量は導管の方が少し大きい、通水という目的には親油性のリグニンが好ましいことからこれは合目的と言えよう。

2.3 樹種

木の種類の違いは細胞壁のレベルでは明確には現れないが、細胞の種類レベルでは明確に現れる。細胞の主な種類は針葉樹では仮導管と柔細胞、広葉樹では導管、真正木繊維、柔細胞であり、これらの存在割合が樹種により大きく違う。例えばスギでは仮導管と柔細胞の割合が 97 : 3 なのが、イヌマキでは 89 : 11 になる。主化学成分は細胞種により少し違うから木材の主化学成分も樹種により違ってくるはずであるが、現状の分析方法では差が現れない。

3 細胞腔成分

木部の細胞は樹皮の内側にある形成層で生まれ中心に向かって押し出されていく。それらの9割をしめる導管、仮導管、真正木繊維は数か月以内にリグニンを作って死ぬ。死んだ後リグニンの構造は大きくは変わらない。しかし残りの1割の柔細胞では様子が違っている。柔細胞

は外部からの障害に対して樹脂を作るなどの役割を 10—20 年の間果たす。つまり外から 10—20 年輪数えた所で死ぬ。生きていた柔細胞にはデンプン、脂肪などの貯蔵物質があり、死ぬ時にテルペン、フラボンなどの抽出成分ができる。死ぬ前の部分は辺材、死んだ後の部分は心材と呼ばれる。抽出成分は細胞腔の成分である。

3.1 ヒノキオール

抽出成分の内容は木の種類で違う。格別に著名なものにヒノキのヒノキオールがある。これはトロポロンの一つで強い生理作用がありヒノキ材を腐り難くしている。またチークからのデヒドロラバコン、ローズウッドからのダルバージオンも生理活性を持つ著名な成分である(図5)。

木材の抽出成分の多くは木材から単離してみると木材のイメージほどには強い生理活性を示さない。これは成分が木材中で細胞と細胞のつなぎ目など、いわば腐朽菌の通り道にあることと関係がありそうに思う。

3.2 心材と辺材

木材の利用では木材が腐るのはもっとも困ることであるから、テルペンやフラボンを多く含む心材が選ばれる。辺材は切り落とされる。これが木材利用の多くの場合であるが、辺材が特に好んで使われることもある。シイタケ生産の場合である。原木には樹皮のついたナラ、クスギが使われる。シイタケ菌がデンプン、脂肪を好みテルペン、フラボンを嫌うためである。

心材の色が産地や個体間で微妙に違うことが産業上巧みに使われることも多い。秋田スギの天井板利用がその例で、樹木の生育中にさえ材色(セキリンC関係)の制御がなされている。

木の化学と木の利用を試びつけるのは難しい。木の化学が紙パルプの生産と関係して発達したためであろう。一方、木の利用には極めて豊かな経験の世界がある。

小文が寸足らずの物となったのをお詫びする。

文 献

- 1) 善本知孝, "木のはなし", 大月書店 (1983).
- 2) 浅野猪久夫編, "木材の事典", 朝倉書店 (1983).
- 3) 中野ら編, "木材化学", ユニ出版 (1983).
- 4) 善本ら編, "木材利用の化学", 共立出版 (1983).

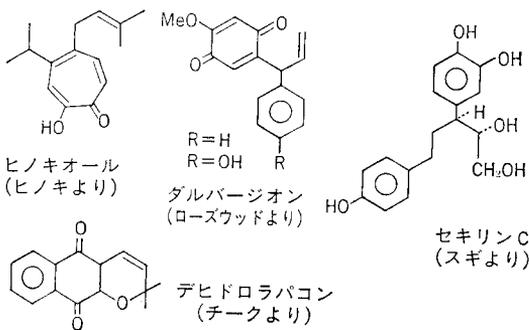


図5 生理活性をもつ抽出成分

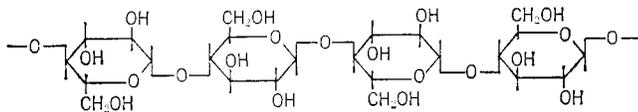


図1 セルロースの分子構造

繊維の方向は S_1 , S_2 , S_3 層で違い, S_2 では幹の長軸方向と一致し, S_1 , S_3 ではそれと直角の方向である。 S_2 が2次壁の中心であるから木の強さも長軸方向に強い。一つ一つの細胞を繊維と呼ぶと, セルロースが木綿繊維では9割, 麻繊維では7割であるのに対し, 木材繊維では5割である。これは木材繊維を特異なものとする。

1.2 リグニン

木材繊維の特異性を生むのがリグニンである。リグニンは高分子化合物で, 基礎となる単量体はフェニルプロパン C_6-C_3 体と呼ばれる (図2)。 C_6-C_3 体は針葉樹で

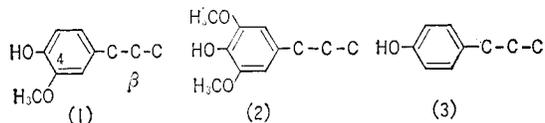


図2 リグニンの基本単位: フェニルプロパンのいろいろ
(1): グアイアシルプロパン, (2): シリングルプロパン,
(3): 4-ヒドロキシフェニルプロパン

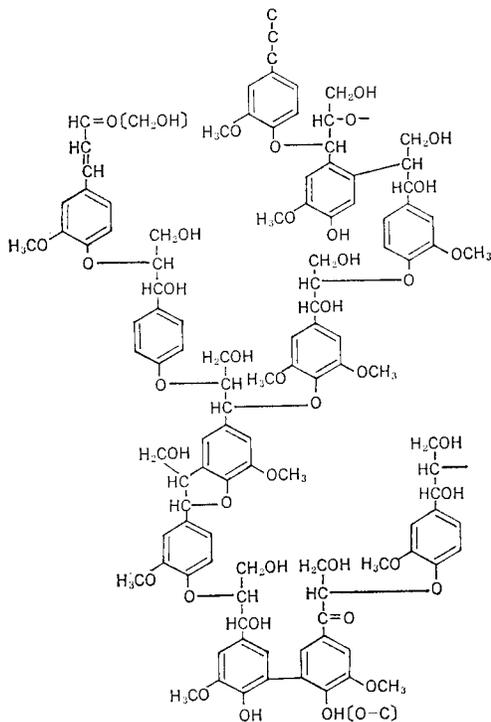


図3 針葉樹リグニンの化学構造

はグアイアシルプロパンであるが, 広葉樹ではグアイアシルプロパンとシリングルプロパンである。草本類にある 4-ヒドロキシフェニルプロパンは木材にはない。

C_6-C_3 体間の結合では, 一方の側鎖 β 位が他方の4位水酸基とエーテル結合した $\beta-O-4$ と呼ばれるものが5割を占めるが, 2か所で結合していることも多い。リグニンの構造は平面的で, セルロースの線的とは対称的である (図3)。細胞壁形成時にはセルロースの柱が立ち, その隙間をリグニンが埋めていくとされている。

リグニンは木材の細胞に剛さ, 脆さを与えている。幹が曲がった所の下側, つまり圧縮力がかかるところに, 針葉樹ではリグニンが多くできることからその役割が推し計れる。針葉樹にはリグニン含量が 25—30% の木が多く広葉樹では 20—25% の木が多い。

1.3 ヘミセルロース

ヘミセルロースは細胞壁多糖のうち, セルロース, ペクチン以外の物の総称である。木は多種のヘミセルロースを作るが, ガラクトグルコマンナン (図4) が針葉樹材の主なヘミセルロースで, グルクロノキシランが広葉樹のそれである。重合度は前者が 100 以上, 後者が約 200 で, 水かアルカリに溶ける。2次壁の S_1 , S_2 , S_3 層で中心となるヘミセルロースは異なる。ヘミセルロースはセルロースを取り囲むマトリックスで, セルロースとリグニンとの結合性を強めるのに役立っている。針葉樹には 20—25%, 広葉樹には 25—30% の木が多い。

2 細胞の種類

2.1 細胞間層

木の強さは細胞壁だけでなく細胞のつなぎめの作りにも現れている。ここは単なる接着以上の役割を担う物からできており, 主剤はペクチンではなくリグニンである。リグニンは細胞の隅が付き合う角を埋めるのにも使われている。角でのリグニン濃度は高く, 60—90% にもなるが, 木材全体からみると角の割合は小さいので, そこにあるリグニンは全体の2—3割にすぎない。細胞間層にあるリグニンの構造は細胞壁のものと同じではない。カバの例だと, 細胞壁にはシリングルプロパン型だけがあるのに細胞間層にはほぼ同量のグアイアシルプロパン型もある。

2.2 細胞種

幹の一つの役が水を根から葉へ吸い上げることにあるのに, 人間が木材を使うときには強度保持のみを考えがちである。もちろん木材には通水路がある。針葉樹では仮導管が強度保持と通水の仕事両方をやるが, 広葉樹で

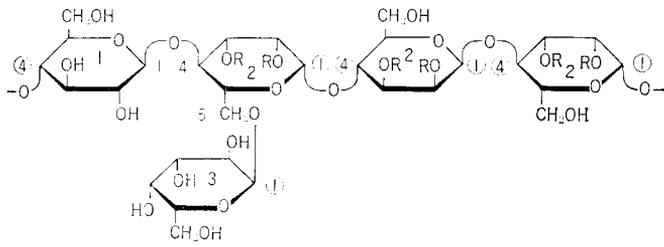


図4 針葉樹ヘミセルロースの代表：ガラクトグルコマンナン構造

はそれを別々の細胞、真正木繊維と導管とがやる。そこで真正木繊維と導管では化学組成も違っているはずであるが、違いについてわかっていることは少ない。カバでガラクトグルコマンナンが真正木繊維だけに見ついているということがある。またリグニンについては真正木繊維ではシリングル型のみであるのに、導管ではグアイアシル型のみということがある。リグニン含量は導管の方が少し大きい、通水という目的には親油性のリグニンが好ましいことからこれは合目的と言えよう。

2.3 樹種

木の種類の違いは細胞壁のレベルでは明確には現れないが、細胞の種類レベルでは明確に現れる。細胞の主な種類は針葉樹では仮導管と柔細胞、広葉樹では導管、真正木繊維、柔細胞であり、これらの存在割合が樹種により大きく違う。例えばスギでは仮導管と柔細胞の割合が 97 : 3 なのが、イヌマキでは 89 : 11 になる。主化学成分は細胞種により少し違うから木材の主化学成分も樹種により違ってくるはずであるが、現状の分析方法では差が現れない。

3 細胞腔成分

木部の細胞は樹皮の内側にある形成層で生まれ中心に向かって押し出されていく。それらの9割をしめる導管、仮導管、真正木繊維は数か月以内にリグニンを作って死ぬ。死んだ後リグニンの構造は大きくは変わらない。しかし残りの1割の柔細胞では様子が違っている。柔細胞

は外部からの障害に対して樹脂を作るなどの役割を 10—20 年の間果たす。つまり外から 10—20 年輪数えた所で死ぬ。生きていた柔細胞にはデンプン、脂肪などの貯蔵物質があり、死ぬ時にテルペン、フラボンなどの抽出成分ができる。死ぬ前の部分は辺材、死んだ後の部分は心材と呼ばれる。抽出成分は細胞腔の成分である。

3.1 ヒノキオール

抽出成分の内容は木の種類で違う。格別に著名なものにヒノキのヒノキオールがある。これはトロポロンの一つで強い生理作用がありヒノキ材を腐り難くしている。またチークからのデヒドロラバコン、ローズウッドからのダルバージオンも生理活性を持つ著名な成分である(図5)。

木材の抽出成分の多くは木材から単離してみると木材のイメージほどには強い生理活性を示さない。これは成分が木材中で細胞と細胞のつなぎ目など、いわば腐朽菌の通り道にあることと関係がありそうに思う。

3.2 心材と辺材

木材の利用では木材が腐るのはもっとも困ることであるから、テルペンやフラボンを多く含む心材が選ばれる。辺材は切り落とされる。これが木材利用の多くの場合であるが、辺材が特に好んで使われることもある。シイタケ生産の場合である。原木には樹皮のついたナラ、クスギが使われる。シイタケ菌がデンプン、脂肪を好みテルペン、フラボンを嫌うためである。

心材の色が産地や個体間で微妙に違うことが産業上巧みに使われることも多い。秋田スギの天井板利用がその例で、樹木の生育中にさえ材色(セキリンC関係)の制御がなされている。

木の化学と木の利用を試びつけるのは難しい。木の化学が紙パルプの生産と関係して発達したためであろう。一方、木の利用には極めて豊かな経験の世界がある。

小文が寸足らずの物となったのをお詫びする。

文 献

- 1) 善本知孝, "木のはなし", 大月書店(1983).
- 2) 浅野猪久夫編, "木材の事典", 朝倉書店(1983).
- 3) 中野ら編, "木材化学", ユニ出版(1983).
- 4) 善本ら編, "木材利用の化学", 共立出版(1983).

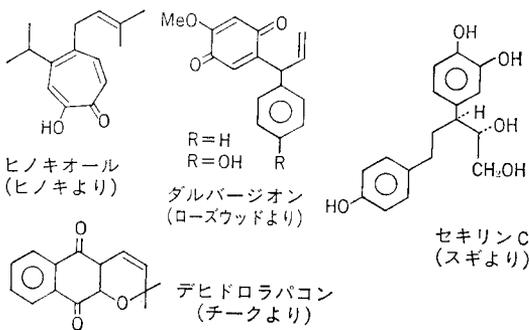


図5 生理活性をもつ抽出成分