



はじめに

最近、木材に防腐剤を塗布したり注入したりして腐朽を防止することは、ごく一般的な知識として知られるようになりました。しかし、木材が腐朽するのはなぜか、木材中でどのような変化が起きるのかについては余り知られていません。そこでここでは、腐朽によって生じる木材の変化を主として組織構造の面から述べてみます。

木材が腐朽するのはなぜか？

木材が腐朽するのは、水や空気との化学的な反応によるものではありません。すべての腐朽は、微生物（一部のキノコ、カビ、細菌）が木材を養分として分解代謝した結果起こることなのです。したがって、腐朽の生ずる条件はすなわち微生物が生育しうる条件なのです。微生物も生物ですから我々人間と同様に食物である木材の外に空気、水分、適当な温度がなければ生育することはできません。このうちどれか一つでも欠ければ腐朽もストップするわけです。前述の防腐剤による処理は木材を食物として摂取できなくすることですし、住宅床下の換気をはかることなどは水分をできるだけ供給しないようにするということなのです。

四つの条件が整うとキノコなどが木材中で繁殖を始め、糸状の菌糸を侵入させて、その表面から酵素を分泌して木材の細胞を分解します。その後この分解物を水に溶ける状態にして菌糸の中に取り入れ、キノコの生育に必要なエネルギーを得ているのです。その結果が木材の腐朽ということな

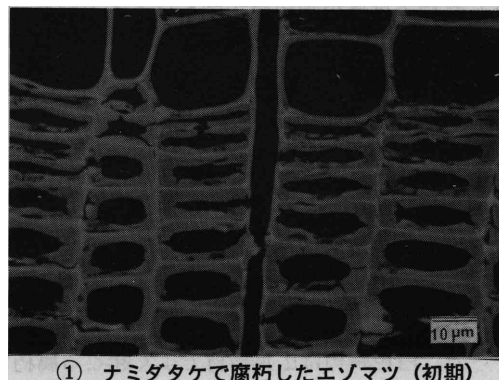
のです。したがって、これから述べる組織構造の変化はこうした現象の結果なのですが、これは同時に木材の成分的な変化も意味しています。このことにも若干触れながら、以下に腐朽の木材組織におよぼす影響について、今日明らかにされていることを述べてみましょう。

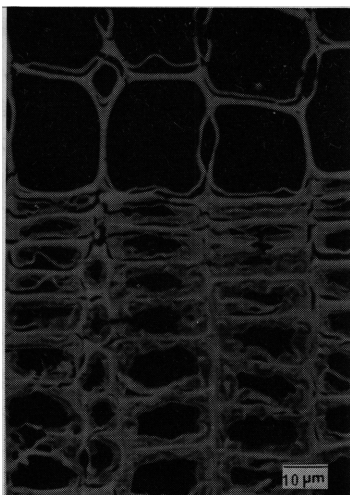
キノコの仲間による腐朽

担子菌による腐朽は、褐色腐朽（赤ぐされ）と白色腐朽（白ぐされ）とに大別されます。

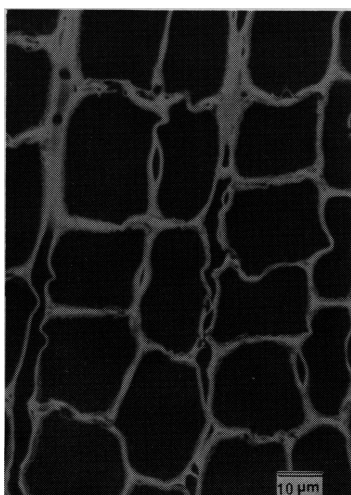
褐色腐朽とは、木材中の化学成分のうち主としてセルロース、ヘミセルロースを分解・消費し、リグニンのほとんどを残すタイプの腐朽です。これは針葉樹材に多い腐朽で、最近話題になっているナミダタケがその良い例です。

針葉樹の組織は、ほとんどが仮道管という組織からなっていて、その他に放射柔細胞などが若干ある程度です。褐色腐朽を起こす担子菌は仮道管中で菌糸をのばしていき、その菌糸から出る酵素の作用で細胞壁を薄くします。その経過をナミダタケを例にあげて写真～に示します。これらの写真から明らかなように、褐色腐朽では、細胞の内側つまり内腔側から順番に壁が薄くなるというのではなく、どちらかといえば細胞壁の真ん中の部分つまり S_2 層（細胞壁は、おおまかに見れば三層に分かれていて、それぞれ S_1 、 S_2 、 S_3 層と呼ばれます。15頁図1参照）が最も早く分解されることが分かります。そして最終的にはリグニン濃度が最大の細胞間層が残されます。こ

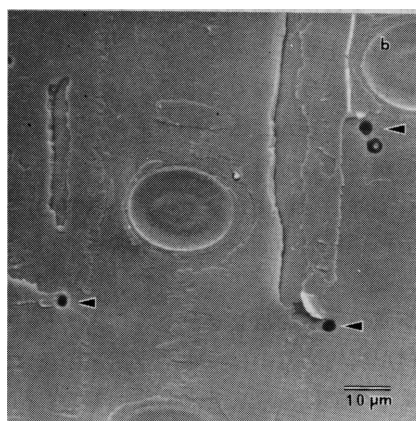
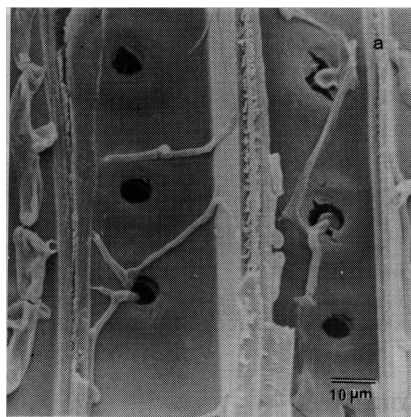




ナミダタケで腐朽したエゾマツ(中期)



ナミダタケで腐朽したエゾマツ(終期)

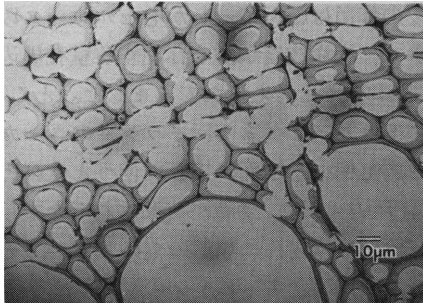


ナミダタケ腐朽材(a)とオオウズラタケ腐朽材(b)のSEM写真 後者(b)では貫通孔()が見られる

うした様子は外の褐色腐朽でもほとんど同様に起こるようです。ただしナミダタケと、防腐効力試験によく使われるオオウズラタケとを比較すると、その様子は若干異なります。走査型電子顕微鏡(SEM)で、その様子を比較したのが写真です。すなわち、前者では細胞から細胞への菌糸生長は壁孔(水分通導のための開口部)を介して行われるのに対し、後者では同時に壁に貫通孔をあけて隣接細胞へと侵入していきます。

一方、白色腐朽は広葉樹材でよく起こる腐朽で

す。この場合は、成分的に見るとセルロース、ヘミセルロースと同時にリグニンを分解・消費するタイプと、リグニンをより多く分解・消費するタイプとがあります。例えば、前者にはカワラタケ、後者にはカタウロコタケなどが該当します。白色腐朽の場合も細胞壁が薄くなることで褐色腐朽と同じですが、その様子はかなり異なります。カワラタケでの例を写真に示しておきましょう。広葉樹の組織は針葉樹のそれより多様で、木繊維、道管が木口面で見られます。もちろん、放射方向の細胞も存在しますが、白色腐朽を生ずる担子菌は主として内腔の大きい道管中で菌糸を生長させ、木繊維を比較的早く分解します。そして、その分解の過程は褐色腐朽とは異なり、細胞の内側から



カワラタケで腐朽したブナ

表1 野外杭試験における各腐朽型の出現頻度 (%)

土の性状	腐朽型	軟腐朽	白色腐朽	褐色腐朽
腐植土		70.6	25.9	3.5
砂地		83.7	11.6	4.7

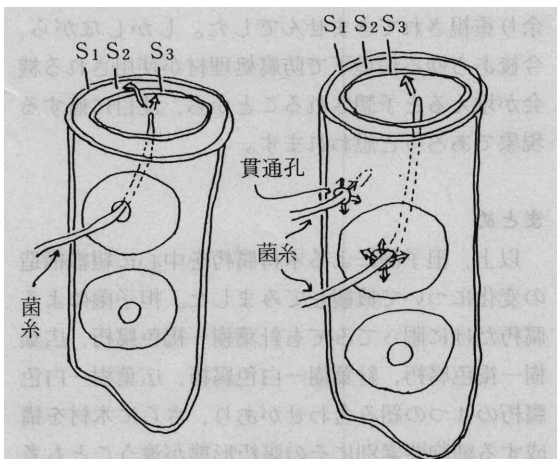


図1 針葉樹仮道管への褐色腐朽菌(左)と白色腐朽菌(右)の侵入模式図(原口隆英原図)

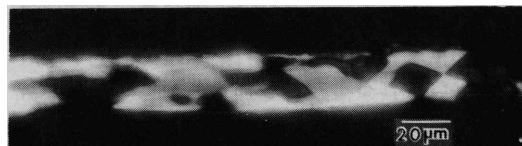
壁を薄化すると同時に隣接細胞へ貫通孔をあけ、それを大きく拡大していくようにして破壊していきます。もちろん、もともとの開口部である壁孔の拡大も含まれます。白色腐朽は土木用材など接地して使われる木材で生じやすく、また土壌中でもかなりの頻度で起こることが考えられます。実際、野外で杭の腐朽試験をした結果を見ると、表1に示すように褐色腐朽より高頻度で認められます。ちなみに、建築物で褐色腐朽が多いのは針葉樹を多用していることと関連しているように思わ

れます。

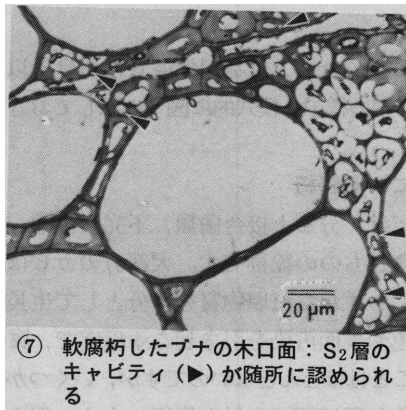
なお念のため、針葉樹仮道管における以上二つの腐朽型の様子を模式的に図1に示しておきます。

カビによる腐朽

カビは、分類上接合菌類、不完全菌類、子嚢菌類を含むものの総称です。大部分のカビは木材中のごくわずかな充填物質を養分として生長し、内部変色や表面汚染を引き起こす程度で、腐朽を生ずることはほとんどないのですが、いくつかのカビは特殊な環境下で木材を腐朽します。例えば土の中の様に水分が常に十分供給される場合とか、冷却塔の内部にあるスラットという放冷用の板のように水と空気が十分に供給される場合です。こうした所では、ケトミウム、トリコデルマなどといったカビが木材を腐朽させることができます。もともと、カビの多くはセルロースを分解する酵素を持っているのですが、木材中ではリグニンなどの強固な結合に阻まれて、その力を発揮できないのです。ところが、上述したような条件では木材の水による膨潤など都合の良い環境が出来上がって一部のカビでは木材の分解が可能になるのです。この場合、担子菌による腐朽とは区別して軟腐朽と呼んでいます。これは、腐朽材が表面からスポンジ状に変化し、ソフトになるところから名付けられたものです。その様子を偏光顕微鏡で見たところを写真に示します。この特徴は、 S_2 層にキャビティと呼ばれる菱形の空洞を連続的に形成することです。この空洞は、 S_2 層のマイクロフィブリル(セルロースが束になった繊維状のものと考えて下さい)の傾斜に沿って形成されます。軟腐朽の起きたブナ材を横断面で見ると、写真のように S_2 層中でキャビティの拡大が進行し、それが連結して最終的には細胞間層と S_3 層が残さ



土壌中で軟腐朽を生じたブナの木繊維



れるのがよく分かると思います。この外に、細胞内腔の側で菌糸に沿って溝（エロージョン）を形成するものもあり、また、キャビティの形態は菌種あるいは材種によっても異なるようです。

軟腐朽はヨーロッパ、オーストラリア、ニュージーランドなどではCCA処理をした広葉樹材の杭、電柱などで生ずるため、大きな問題となり現在でも国際的な研究が続けられています。この腐朽は、S₂層内部で菌糸が生長するため、細胞内腔を中心に分布するCCAの影響を受けにくく阻止しえないものと考えられます。我が国では広葉樹材をこうした状態で使うことがほとんどないので、大問題とはなっていませんが、針葉樹でも被害を多少受けるため、電柱、牧柵、杭などでは今後注意を喚起すべきものであると思います。なお、成分的に見ると、軟腐朽の被害を受けた材は褐色腐朽と白色腐朽との中間的な変化をしており、リグニンも多少変質することが知られています。ただし、あらかじめ人工的にリグニンの一部を取り去っておくと、軟腐朽の進行がきわめて早くなることから、リグニン分解能は小さいものであると言えます。

細菌による腐朽

細菌は、これまで述べた菌と異なり、通常は菌糸状態ではないので木材中への侵入は、水の移動によって行われると考えられます。したがって、水中貯木材や散水貯木材などでよく認められます

が、その作用は緩慢で、しかもセルロース以外のペクチン、充填物質が多く存在する壁孔周辺や放射線細胞に限ると考えられてきました。ところが、オーストラリアやニュージーランドのユーカリ電柱など広葉樹材を地面に接して使うと軟腐朽と同様に腐朽を生ずることが明らかにされてきました。この腐朽型は軟腐朽に類似のものですが、その細胞壁破壊様式は、キャビティの形態がマイクロフィブリルに平行なもの、直交しているもの、溝を形成するものに大別されるようです。

細菌による腐朽に関する研究は、20年程前から行われてきました。ただし、この腐朽は軟腐朽と同様に土壌中、海水中など特殊な環境下に置かれたCCA処理材で、針・広葉樹を問わず生じることが明らかにされつつも、我が国では軟腐朽同様余り重視されてきませんでした。しかしながら、今後あらゆる環境下で防腐処理材が使用される機会が増えると予想されることから、注目に値する現象であろうと思われます。

まとめ

以上、担子菌による木材腐朽を中心に組織構造の変化について概観してみました。担子菌による腐朽だけに限ってみても針葉樹 - 褐色腐朽、広葉樹 - 褐色腐朽、針葉樹 - 白色腐朽、広葉樹 - 白色腐朽の4つの組み合わせがあり、さらに木材を構成する細胞要素別にその腐朽形態が違っても考えられます。また、菌種、材種によっても材の変化の仕方は微妙に異なるでしょう。したがって、ここで述べたものは、これまで明らかにされたものの一部であって、特に貫通孔の形成能力やS₁～S₃層への攻撃順序などの点では異なるものがあると思います。こうしたことは、今後も次第に明らかにされなければなりません。また、実用的には、担子菌に限らずカビ、細菌などを含めた微生物トータルでの木材の劣化状態を明らかにし、それらを考慮に入れて防腐処理を発展させる必要があります。

(林産試験場 木材保存科)