

# 気軽に読める「微生物の小話講座」

## (その9 脱ケミカルニーズに応える木材保存技術・前編)

旭川工業高等専門学校 物質化学工学科 富 樫 巖



### はじめに

私事ですが、2005年4月から旭川高専の勤務となつて折り返し点の7年間が経過しました。もしも小生の心身が健康で、定年の63歳まで勤務ができるならば残り7年となります。そして、これまでの7年間に渡り、高専生の卒業研究などのテーマとして継続してきたものに「微生物機能を利用した、木製土木資材のための木材保存技術」の取り組みがあります。データの研究室レベルものですが、かなりのところまで到達しており、特許申請や学会誌への論文掲載に至っています。そこでウッディエイジの紙面を拝借しまして、木材腐朽のメカニズムの解説とその研究成果を2回に分けて紹介したいと考えました。

もちろん小生の下心としては、木材業界の方々にこの研究に興味を持って頂くことも願っています。

### なぜ木製土木資材なのか

10年ほど前になりますが、林産試験場の普及課長職を務めていた際、たまたま道立公園の整備の業務に関わりました。林産試験場としては、木材利用の推進とそれまでに蓄積した研究成果を売り込む狙いがありました。また、その公園整備事業では将来の公園利用者（地域住民）からの要望を収集・活用するノルマがあり、小生も何度かそうした会合に参加しました。その情報交換の中で、子供たちの手足が接触する木製遊具などの防腐処理方法の議論となり、「可能な限り脱ケミカルで対応できないだろうか」との要望が出されました（写真1）。

将来を生きる子供たちが、低毒性であっても、化学薬剤で防腐処理された木製遊具に繰り返し接することの影響が心配との危惧です。当時は、化学物質過敏症やシックハウスが社会問題化していましたから理解で

きる提案でした。その対策としては、木製土木資材の木酢液処理や燻煙処理に注目が集まったと思います。十中八九、天然物への安心感からですね。しかし残念ながら、そうした処理では5～10年間程度のメンテナンスフリーを無条件で保障できないのです。頻繁に保守費用が掛かるようでは、税金の効率的利用に課題を残すことになります…



写真1 公園で活躍する木製遊具  
(道立公園ではありません)

一方、木製土木資材の腐朽部位としては、地際（土壌から水分などが供給される）や非接地の横材（横使いの木部に水分が溜まる）が中心になっていることが知られています。特に地際には、土壌から木材への水分やミネラルの供給に加えて、土壌微生物が生産した各種ビタミン類が供給され、木材腐朽菌の活動が非常に活発になると考えられています。木製土木資材のメンテナンス・ポイントは地際でありとほぼ結論づけてもいいでしょう。

### 木材腐朽はなぜ起こるのか - 腐朽のメカニズム -

一般的に木材が朽ち果てる原因は、木材を餌として生きているキノコの仲間の「木材腐朽菌」、さらには昆虫の仲間のシロアリが木材に取り付くからです。ここでは、木材腐朽菌による腐朽、そしてその

対策に限定したお話になります。ご了承ください。

木材腐朽菌の本体は菌糸です。その菌糸の1本1本は肉眼で確認できない細さです。この細かい糸が木材中を走り回って木材を分解し、自身の餌として食するのです（イラスト1）。そのために木材はやせ衰え、強度（強さ、硬さ）を失っていくことになります。木材中で食欲を満たした木材腐朽菌は、子孫を残すためにキノコを作ることがあります。



イラスト1 木材中で活動する木材腐朽菌の菌糸（木材組織を食する）

俗世間には、「腐った木材からキノコが発生する」との捕らえ方と、「木材が腐るのはキノコが取り付いたから」との捕らえ方の二つが存在します。なんとなく、鶏が先か、卵が先かの論争と似ていますね。このすれ違いは「キノコ」と「木材腐朽菌」の解釈の違いが原因であろう、と小生は考えています。すなわちキノコとは、木材腐朽菌という微生物の「子実体」のみを意味する場合、また木材腐朽菌の「子実体」と「菌糸」の両者を意味する場合がありますからです。

スーパーに行くと、一年中シイタケなどのキノコ（子実体のみ）を販売しています。原木シイタケの生産者であれば、木材腐朽菌であるシイタケの種（種駒：木片中にシイタケ菌糸を侵入させたもの）を原木に打ち込んで原木をホダ木化し、そのホダ木中にシイタケ菌糸を蔓延させた後にキノコ（子実体）を発生させます。ホダ木に発生した子実体の石突はホダ木の中の菌糸とつながっていますが、食用に適した子実体のみ収穫してスーパーに卸します。そしてホダ木は徐々に痩せて行き、その重さも減少していきます…その結果ホダ木は3～6年後に朽ち果てることになります。

## 木材腐朽菌はどうやって木材（土木資材、建築資材）に辿り着くのか

読者の皆さんは、土木資材または建築資材に木材腐朽菌の孢子や菌糸が辿り着くルートを想像できるでしょうか。土木資材であれば、木材腐朽菌の菌糸が土壌中から地際を経由して到達するイメージを描けますが、上述のように地上部も腐朽することを説明できません。その答えとしては、子実体のヒダから放たれた「孢子」、および菌糸が変形して孢子化した「厚膜孢子」が空中散歩し、木製土木資材、そして木造住宅などの建築資材に辿り着くことになります（写真2）。

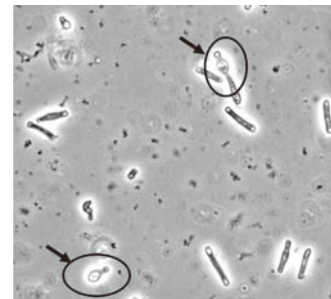


写真2 菌糸が孢子様に変身した…「厚膜孢子」

たまたま着地した木材に十分な水分があれば（湿った木材）、孢子は発芽して菌糸へと成長して木材中へ突き進んで行きます。菌糸は木材内部を縦横無尽に走り回り、木材成分を食べまわり、木材そのものを腐朽させるのです。木材腐朽菌は低温～中温菌微生物ですから、15～25℃前後で活発に活動します。木材腐朽菌が木材を腐朽させるために必要な条件としては、水分、温度、空気（木材腐朽菌は酸素を必要とする好気性微生物です）、そして栄養となる木材の四つが揃う必要があります（イラスト2）。

木造建造物の法隆寺が時代を越えて存続する一方で、水回りトラブルが発生した新築住宅の床が1年程度で抜け落ちるのは、木材の湿り具合の差です。この木材腐朽の4条件の一つでも欠ければ、木材腐朽菌の活動が抑えられることになります。突然に話題の場面が変わりますが、空気（酸素）のない宇宙空間では木材腐朽が生じないことになります。その前に、宇宙には木材腐朽菌が存在しないですね…たぶん。

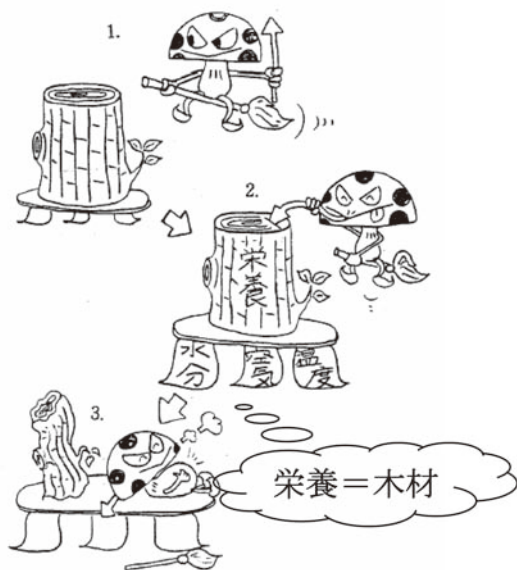


イラスト2 木材腐朽菌が活躍するための4条件  
(水分, 温度, 空気, 栄養)

### 木材腐朽には三つのタイプがある

木材には「赤腐れ（褐色腐朽）」と「白腐れ（白色腐朽）」が生じる、と聞いたことはありませんか？一方で、木材の95%程度は、セルロース、ヘミセルロース、およびリグニンの三つの主要成分から構成されています。そして木材腐朽菌には、セルロースやヘミセルロースを選んで食べる偏食型タイプ、目の前にある3成分を選ばずに食べる非偏食型タイプがあります。突き詰めると、リグニンを残すか食べるかの違いといってもいいですね。実は、リグニンには手を出さずにセルロース系を選んで食べる木材腐朽菌を「褐色腐朽菌」と呼び、褐色腐朽菌にかじられた木材は褐色（赤っぽく）に変色すると共に繊維方向に直角にひび割れが生じ、急激に強度が低下します。建築資材、例えば住宅の床下などで生じ易い木材腐朽です。

一方、セルロースもリグニンも食べる木材腐朽菌は「白色腐朽菌」と呼ばれ、同菌にかじられた木材は白色（白っぽく）に変色し、褐色腐朽の場合と比べて強度は緩慢に低下します。シイタケのホダ木が5~6年も持つのは、白色腐朽だからです。土木資材では白色腐朽と褐色腐朽の両者が発生します。そして、第3の木材腐朽は「軟腐朽」と呼ばれるタイプです。四六時中、若しくはそれに近い状態で水に濡れている木材…河川

中での杭・各種型枠、さらには風呂用の木桶・木製腰掛・木製スノコなどは、その表面が柔らかく変化します。この軟腐朽を引き起こす微生物は、キノコ（担子菌）よりはカビに近いタイプ（子のう菌）で、3成分のいずれもやや遠慮がちに食べます（イラスト3）。

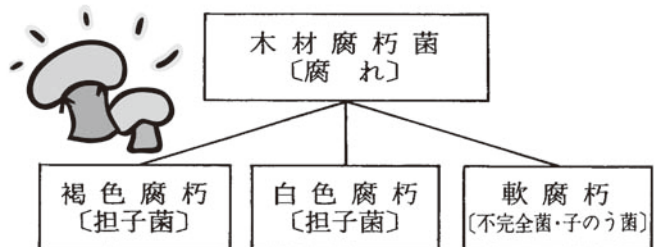


イラスト3 木材腐朽には3タイプあり

### 木材保存技術の主役は薬剤処理？

木材を健全な状態で使い続けるためには、上述のように木材腐朽菌に対して水分、温度、空気、栄養の4点セットを与えないことです。しかし、現実的な対応としては、水分を提供しない、または栄養を提供しないの2点になります。法隆寺では、水分を提供しない方法で木材保存を行っています。しかし土木資材となると、木材がアウトドア生活することになりますので、水分のシャットダウンは不可能です。すると、栄養をシャットアウトするしかありません。

木材が木材腐朽菌の栄養にならなくするには、「白雪姫のリンゴ」と同じ方法を取ることにになります。木材腐朽菌が木材をひとくち齧り、「これは食えん」と悟ればいいのです。木材に防腐剤を塗る、または染み込ませておけば、防腐剤が存在している部分または期間において木材腐朽菌が手を出せないことになります。雨や太陽光線を受ける土木資材となる木材では、防腐剤が雨に徐々に洗い流され、そして防腐剤が紫外線で徐々に分解されることになります。そのため永遠に保存することにはなりません、10年程度またはそれ以上の期間、それなりの強度を維持することになります。

防腐剤は、ある意味毒の一つです。ただし、木材を襲う木材腐朽菌から守る「専守防衛」を任務とするものであり、木材に近づこうとする木材腐朽菌を「先制

攻撃」するものではありません。しかし、時代の流れは環境に優しく、人に優しく、安全・安心なものが求められます。最近の低毒性防腐剤としては、「第4アンモニウム塩と銅化合物を組み合わせたもの」などが主流です。急性毒性的には低毒性薬剤でも、慢性毒性的には100%安心できないとの考え方があり、上述の「なぜ木製土木資材なのか」の発端になった訳です。

木製土木資材に対し、防腐性能があるとされる木酢液を天然系防腐剤として利用しにくいのは、雨に洗い流され易いことが挙げられます。薫煙処理でもほぼ同様の理由から長期間に渡る保障ができません。薫煙処理食品の日持ち状況を考えれば、読者の皆さまにもご理解いただけるものと察します。

木材防腐剤の代わりに菌寄生菌のトリコデルマを用いる

そこで小生は考えました。土木資材に侵入しようとする木材腐朽菌を襲う微生物（ただし、人には無毒）を地際に配置しておけばよいのではないかと…すなわちガードマンを配備するのです（イラスト4）。では、そのガードマンに任命する微生物は何が望ましいのでしょうか。微生物を襲う微生物ですから、「菌寄生菌」と呼ばれるもので、かつ身近なものが人に影響を与えにくいはずで、注目したのがツチアオカビ（土の中に住んでいるアオカビ）とよばれるトリコデルマ属菌（以下、トリコデルマ）です。彼らには足がある訳ではありませんので、風に乗って、または昆虫に乗って、木材腐朽菌であるシイタケを食べるためにその栽培舎に集まってきます。シイタケ栽培者から見れば、最大の敵となりますが、その能力を活用することにしました。

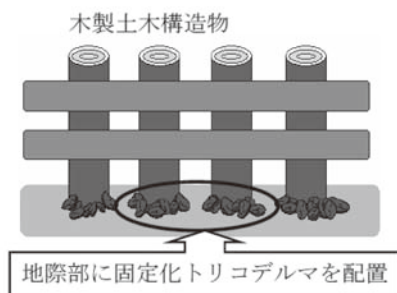


イラスト4 土木資材の地際にガードマンを配備する！

トリコデルマはキノコの菌糸に巻きついて締め上げ、やがてはその菌糸中に入り込んで中身を吸い取る、抗生物質や揮発性物質を生産・放出して木材腐朽菌を弱らせるなどの方法で寄生します（写真3）。実は、トリコデルマの能力を利用して建築物や土木資材などの木材保存に活用する試みは、過去に林産試験場で研究されたことがあります。その際の成果としては、トリコデルマの攻撃力が木材腐朽菌の代表格であるカワラタケ（写真4）に弱いことを明らかにしたものの、実用化に至らずに中断状態でした。小生がトリコデルマに再注目したのは、以下に述べる「固定化トリコデルマ」のアイデアがあったからです。

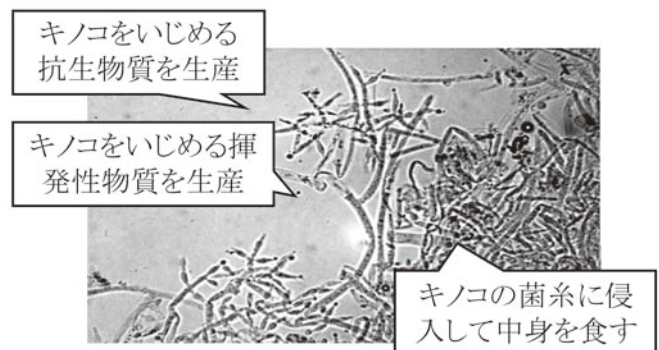


写真3 トリコデルマの武器とその顕微鏡写真

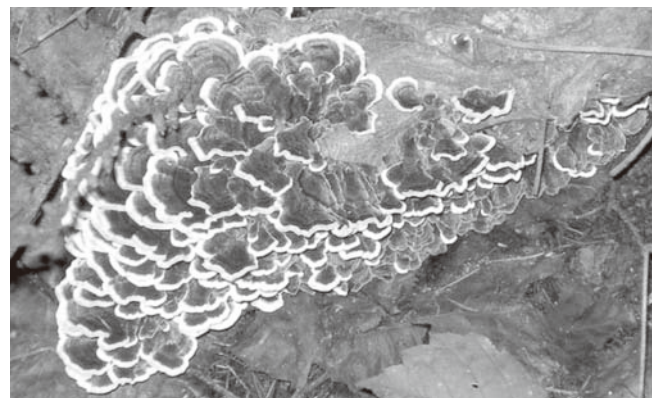


写真4 森の中で倒木を食するカワラタケの子実体

### 攻撃性の強いトリコデルマ選ぶ

人の性格・体力にも色々あるように、菌寄生菌のトリコデルマにもキノコとの喧嘩に強いものと弱いものがあります。固定化トリコデルマという新たな方法を使うにしても、やはり攻撃性により長けたものが望ましいはずと考えました。そこで、1枚の栄養寒天平板培

地に木材腐朽菌とトリコデルマを一对一で植え付け、両者の戦いを観察しました。通常、このような培養を対峙培養、または二員培養と呼びます。直径9cmの栄養寒天平板培地の土俵上で相撲を取るようなものです。力関係により、木材腐朽菌が優勢、トリコデルマ優勢、両者拮抗（引き分け）に大別することができます（イラスト5）。

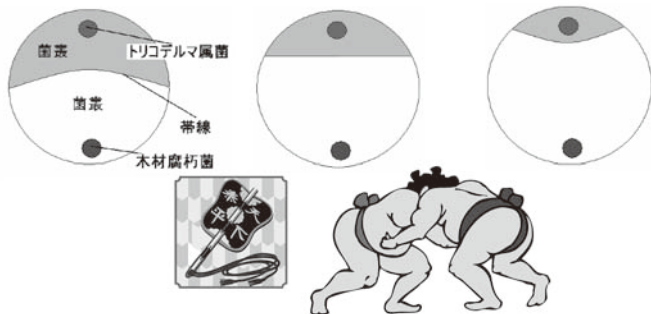


イラスト5 トリコデルマと木材腐朽菌の力関係を直径9cmの「寒天平板培地の土俵」で評価する（対峙培養、二員培養）

なおここで対峙培養に用いた木材腐朽菌は、褐色腐朽代表としてオオウズラタケ、そして白色腐朽代表としてカワラタケの2菌株、トリコデルマには、主には原木シイタケ栽培舎の落下菌として採取した59菌株を用いました。詳細な説明を避けませんが、両木材腐朽菌に対して攻撃性が強いタイプ（トリコデルマ優勢）としてANCT-05083、拮抗タイプ（引き分け）として同05013、攻撃性が弱いタイプ（木材腐朽優勢）として同05082を選抜しました。

### トリコデルマから固定化トリコデルマへ

固定化トリコデルマとは、何らかの材料（担持材料）にトリコデルマを植えたものを意味します。いわば、マイホームを持ったトリコデルマです。担持材料としては、可能な限り無菌的なもの（100℃以上で加熱処理されたもの）で、かつトリコデルマが好む酸性のpHを持つものが望ましいと考えました。加熱処理された材料としては木炭が主な候補となりますがそのpHはアルカリ性です。酸性の木炭はないのかと考えて探したところ、林産試験場が開発したバイクウッド（写真5）に辿り着きました。

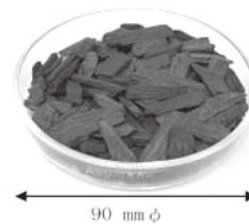


写真5 バイクウッドの外観（粉砕物）

ANCT-05083、同05013、同05082をそれぞれバイクウッドに固定化し、カワラタケとオオウズラタケの菌糸の上に載せました。そして、温度25℃で20日間培養した後に固定化トリコデルマを取り除き、木材腐朽菌の菌糸の生死を観察しました（イラスト6）。その結果、ANCT-05083と同05013の固定化トリコデルマを載せられた木材腐朽菌の菌糸が死んでいました。上述の「攻撃性の強いトリコデルマ選ぶ」では、トリコデルマそのものの攻撃性が固定化トリコデルマに相当するはずと考えましたが、少し異なる結果となり、マイホームを持つことで拮抗タイプのトリコデルマも大きな力を発揮する可能性があることが分かりました。

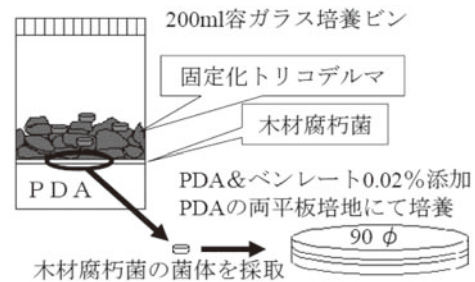


イラスト6 固定化トリコデルマの攻撃性を評価する（注：PDAは、栄養寒天培地を意味する）

いよいよ、固定化トリコデルマの木材保存能力を評価する段階にきました。栄養寒天培地上で生育させたオオウズラタケとカワラタケの上に殺菌処理したシラカンバの小木片を載せ、さらにその上を固定化トリコデルマで覆いました。この状態で12週間（25℃）培養を行った後に、小木片を取り出して質量（重量）減少率を算出します。コントロールとしては、木材腐朽菌の菌糸の上に小木片のみを載せます。その結果が気になるのですが、頂いた紙面が限界になりましたので次回にて紹介します。

（つづく）