

土壌中での木材の腐朽（1）

土 居 修 一 布 村 昭 夫
今 川 一 志* 大 谷 諄*

まえがき

これまで、木材の腐朽形態あるいは推移についての研究は、担子菌によって腐朽した材を主な対象として進められてきた。しかし、近年では自然界での腐朽現象が担子菌によってのみ生ずるのではなく、各種の微生物の作用の結果であるということを考慮して、細菌不完全菌、子囊菌などを対象とした研究も進められている。

例えば、Greaves¹⁾は、長期間屋外暴露した材の変化について微細構造を中心に研究し、オウシュウアカマツで軟腐朽的な腐朽形態が認められることを報告した。また、Levy²⁾は野外で腐朽した杭を観察し、いくつもの異なった腐朽形態があることを指摘した。し

かしながら、これら自然界での腐朽材の腐朽形態を研究した例は多くない。

そこで、本報では、鈴木ら³⁾の行った実験を一つの基礎として、特に複数の菌の作用が考えられる土壌中での腐朽材の構造的、化学的变化を調査した。

なお、本報告の概要は、第24回木材学会大会で「土壌中での木材の劣化」として発表した。

1. 実験

1.1 供試土壌

用いた土壌は、当場野外杭試験地で採取した腐植土で、深さ20~30cm部分のものである。これは、PH、水分を測定後、3l フラスコに2.5kgづつ分取した。

なお補正用培地は120, 5時間蒸気滅菌したものである。

1.2 供試材

ブナ心材及びエゾマツ心材 2×2×0.5cm 柱目木取りのものを供試した。これらは、培地へ投入する前にあらかじめ、120 20分蒸気滅菌した。また、比較として分析、観察されたオオウズラタケ、カワラタケ各腐朽材は、石英砂-グルコース・ペプトン培地で実験室的に腐朽させたものである。

1.3 腐朽試験

第1表の条件で腐朽試験を行った。

要因	水	準
腐朽温度	35°C	20°C
腐朽期間	2, 4, 6ヶ月	
土壌性状	腐植土	
試片設置位置	地	中
試片数	18コ	

1.4 土壌pH, 水分の測定

土壌pH, 水分の測定は常法⁴⁾によった。

1.5 赤外線吸収(IR)スペクトルと化学分析

腐朽材を40メッシュ以下の木粉とし、一部をIRスペクトル測定に、残りを化学分析に供した。IRスペクトルは臭化カリ錠剤法で測定し、化学分析では、アルベン抽出物、アルカリ抽出物、粗ホロセルロースを常法⁵⁾で定量した。

1.6 顕微鏡的観察

腐朽材の一部を顕微鏡的観察に供した。使用した横器は、倒立顕微鏡(ニコンM型)、紫外顕微鏡(カールツァイス社製)、走査型電子顕微鏡(日本電子JSM-型)である。前二者で観察した試料は、常法によりエボン処理法で調製した。

2. 結果と考察

2.1 腐朽試験

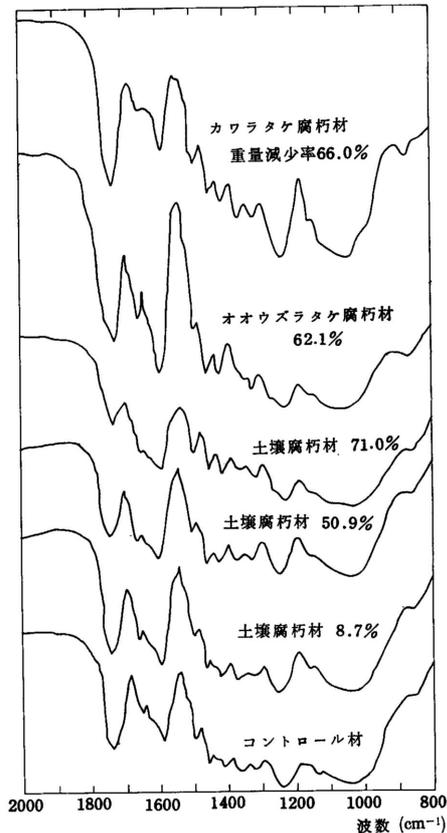
供試した腐植土のpHは6.3, 水分は28.9%(全乾基準)であった。この条件は、一般的に微生物にとってほぼ適正な状態であると考えられる。

第2表 腐朽試験結果

腐朽条件	ブナ	エゾマツ
2ヶ月 20°C	3.85%	1.81
35°C	38.18	1.67
4ヶ月 20°C	18.01	1.39
35°C	66.18	1.21
6ヶ月 20°C	24.81	4.09
35°C	71.05	4.77

数値は、18コの試片の平均重量減少率を示す。

補正した腐朽試験の結果を第2表に示す。ブナの場合20と35の腐朽率の差が著しく、微生物フローラの作用に量的、質的相違があるものと思われる。35下での腐朽は、4カ月目まで急速で、その後緩やかな重量減少傾向を示している。この残存部分は、大略リグニン量に匹敵することから、炭水化物部分の優先的な分解が考えられるが、IRスペクトル、化学分析の結果もこの推論をうらづけている。エゾマツでは、本試験の期間内で温度による明確な腐朽率の差



第1図 腐朽材のIRスペクトル

は明らかとならず、むしろ6ヶ月間の腐朽操作を行っても通常の担子菌腐朽に比較して極端に低い重量減少率を示したことが特徴的である。この現象は、樹種の違いに基づく微生物作用の相違によるものと考えられる。なお、メタノールによって前抽出を行うとわずかなではあるが腐朽率が大幅となり(3%)、また脱リグニンによってかなりの腐朽促進効果(20%)が現われているがこれらの前処理によって木材は微生物の作用を受けやすくなることが明らかとなった。

2.2 IRスペクトルと化学分析

IRスペクトルの結果を第1図に示す。この結果で

土壌腐朽材では、1,730cm⁻¹の炭水化物中-C=Oに基づく吸収と1,595cm⁻¹のベンゼン環C=C伸縮に基づく吸収との比率が逆転している。また、重量減少71%の時、1,380cm⁻¹のCH変角に基づく吸収の減少が認められる。この状態は、オオウズラタケ, Chaetomium属による腐朽材とよく似ており、カワラタケなどの白色腐朽材スペクトルとはパターンが明らかに異なっている。結局、IRスペクトルの結果から、土壌腐朽材が成分変化の上では軟腐朽材に近い状態であると考えられたので、次にいくつかの化学分析を行った。

土壌腐朽材の化学分析の結果第3表で特徴的なこと

第3表 化学分析の結果

試料 (数値は重量減少率)	抽出物			粗ホロセルロース	α-セルロース	リグニン (72%硫酸不溶物)
	1%アルカリ	エタノール・ベンゼン				
土壌腐朽材	1.4%	18.2% (100)	2.0% (100)	80.4% (100)	44.7% (100)	25.8% (100)
	18.8	17.9 (98)	2.2 (110)	66.1 (76)	32.6 (73)	23.8 (92)
	37.3	15.3 (84)	2.1 (105)	49.6 (57)	24.2 (54)	19.6 (76)
	65.1	12.3 (68)	1.0 (50)	19.4 (23)	8.1 (18)	16.4 (64)
カワラタケ腐朽材	49.2	12.4 (68)	1.8 (90)	43.8 (51)	20.2 (45)	12.6 (49)
オオウズラタケ腐朽材	39.9	43.4 (239)	7.6 (380)	32.3 (37)	5.0 (11)	19.0 (74)
C. globosum 腐朽材	29.9	17.8	—	—	26.5	19.4
	40.6	15.1	—	—	19.9	17.7
	65.7	10.9	—	—	8.1	14.4

数値は、健全材に対する比率である。()内は相対値を示す。

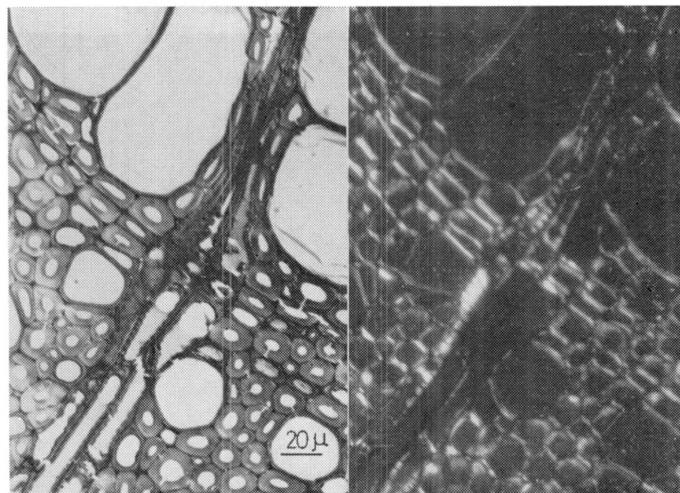
は、1%アルカリ(水酸化ナトリウム)可溶部の減少、-セルロースの減少である。これらの傾向は、

併記したJ.G.Savory⁶⁾の文献値とも非常によく一致しており、軟腐朽現象が確認された。リグニン減少傾向は、カワラタケ腐朽材ほど激しくはなく、オオウズラタケ腐朽材との中間的傾向となっている。このことは、リグニンに対する攻撃力も軟腐朽的であつことを意味し、エゾマツに対する腐朽が小さいことを裏付ける結果となっている。

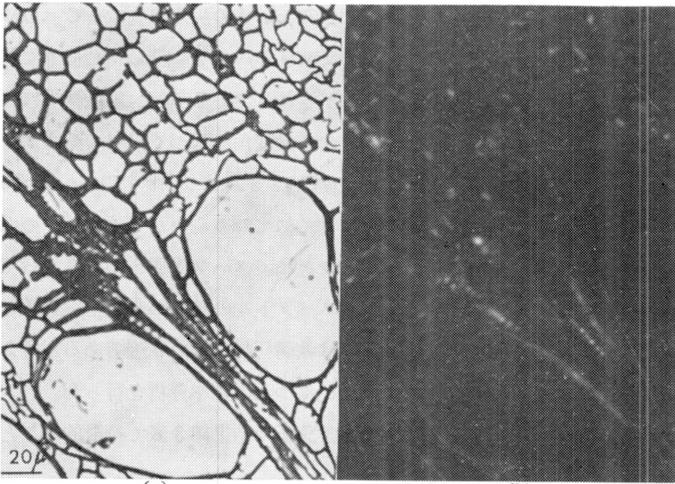
2.3 顕微鏡的考察

本実験では、エゾマツの検鏡の結果からは、顕著な変化は認められなかった。したがって、主としてブナ

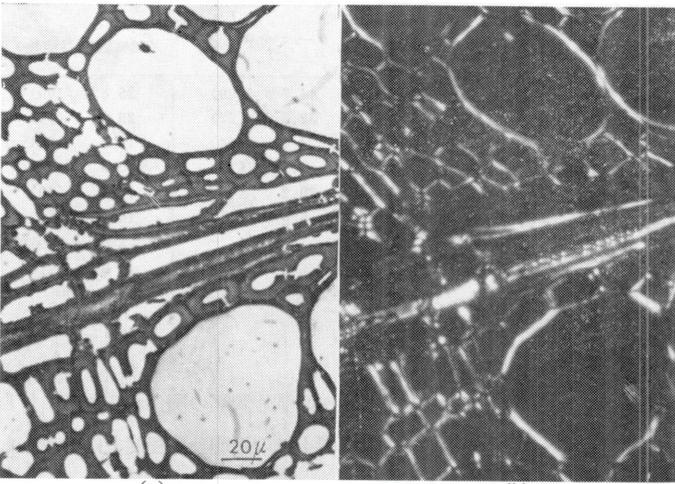
について記述するが、試片調製の関係から写真に付した重量減少率は写真上での細胞分解程度とは必ずしも



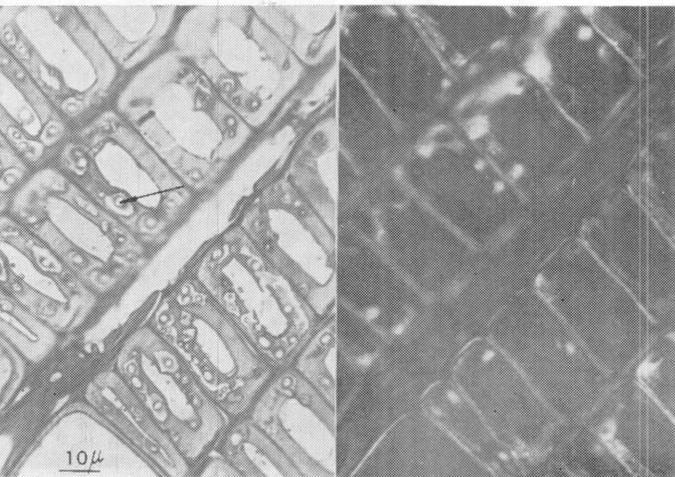
(a) (b)
写真1 ブナ・健全材(偏光顕微鏡写真)



(a) (b)
写真2 ブナ・オオウズラタケ腐朽材(重量減少62.0%)



(a) (b)
写真3 ブナ・カワラタケ腐朽材(重量減少58.8%)



(a) (b)
写真4 エゾマツ・土壌腐朽材(重量減少5%)

相関関係にはないことを考慮する必要がある。

2.3.1 オオウズラタケ腐朽材

写真2aでは、細胞間層が残されていることがわかるが、この部分の偏光顕微鏡像(写真2b)によれば、全体として複屈折性の減少は著しく、セルロースの結晶部分が脱落していると言える。さらに、この部分ではリグニンが殆ど残されていることが化学分析の結果からも明らかとなっている。この段階で、道管以外の細胞要素が大部分崩壊していると思われるが、細胞による分解程度の差が何に起因するかは、今後の課題となろう。なお、穿孔(bore bole)は形成されていないことがSEM(走査型電子顕微鏡)写真(写真7)で確認されている。菌糸は導管に集中しているようであるが、これは他の腐朽型でも同様である。

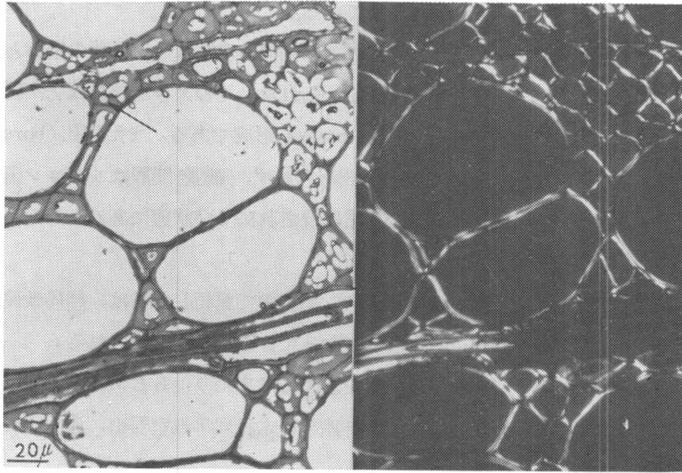
2.3.2 カワラタケ腐朽材

写真3aでは、Wilcox⁷⁾の報告と同様に全体として細胞内腔側からの分解が認められたが、セルロースの結晶性に対する変質作用はオオウズラタケ腐朽の場合ほど顕著ではないと思われる。細胞間層への攻撃は写真3aとbで穿孔形成という形で示されている。これが進展していくと、穿孔の拡大や膜孔の拡大が行われるようである。これらの腐朽様式から、この場合は細胞への攻撃がリグニン密度にはほとんど影響を受けていないと考えられる。

2.3.3 土壌腐朽材

エゾマツ心材(写真4a)は殆ん

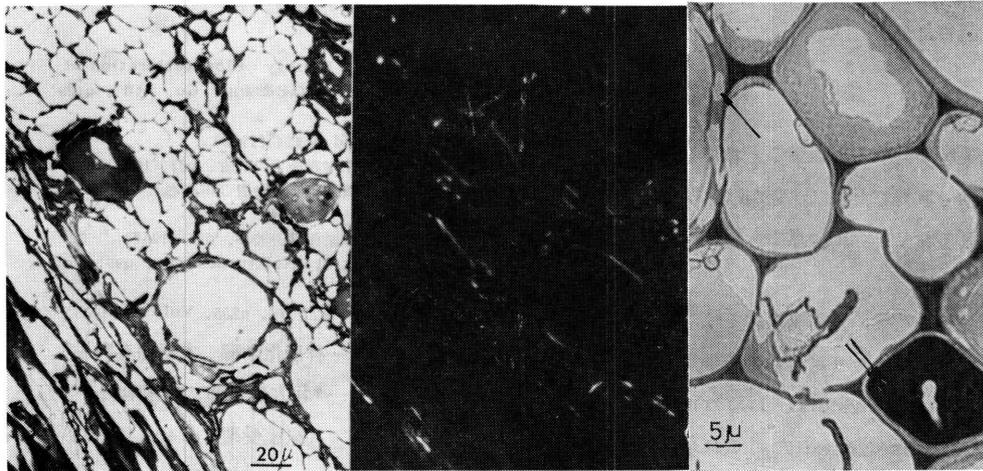
土壤中での木材の腐朽(1)



(a) (b)

写真5 ブナ・土壌腐朽材(重量減少23.6)

ど健全状態に近いことが示されたが、晩材部の一部にS2層への攻撃が認められた。この攻撃は、最初空洞(Cavity)の形成(矢印)として示されており、軟腐朽とくにObaetomiulre globosumによる分解過程とよく一致している。偏光下(写真4b)での二次膜S₁, S₂層残存部の復屈折性は健全材のそれと殆んど変わっていない。このことは、セルロ-ス部分に対する分解が比較的小範囲で起るか、その作用が弱いことを示し



(a) (b)

写真6 ブナ・土壌腐朽材(重量減少65.5%)

(c)
(UV 顕写真)

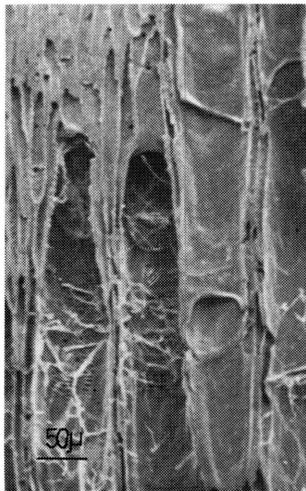


写真7 ブナ・ウズラタケ腐朽材

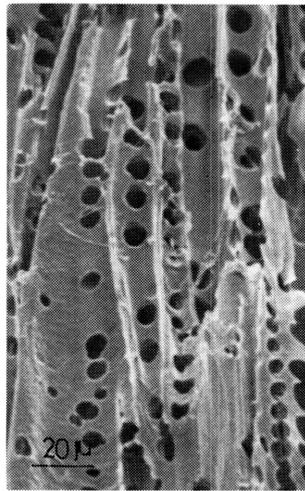


写真8 ブナ・カワラタケ腐朽材

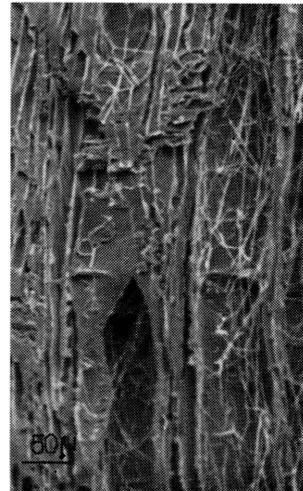


写真9 ブナ・土壌腐朽材

ていると考えられる。

ブナ心材 (写真5a) でも、S₂層で軟腐朽的な形態変化が認められる (矢印)。この場合、偏光下 (5b) では一次膜から S₁層残存部にかけて複屈折性の消失が認められたが、この部分のセルロース結晶性の物理的变化がうかがえる。腐朽が非常に進んだと思われる部分 (写真6a, 6b) では、S₂, S₃層の消失は顕著となり、分解の著しい部分では道管の S₂層も攻撃されている (写真6C矢印)。さらに、土壌腐朽材の場合、UV (280m μ) 吸収を持つ充てん物が細胞内腔に多く見られた (6C二重矢印) ことが特徴的である。しかしながら、この段階に達しても明確な穿孔 (bore hole) の形成は認められず、このことはSEM (写真9) でも確認された。

3. まとめ

以上の結果を要約すると以下のとおりである。

- 1) 土壌中で腐朽した材は、見かけ上軟腐朽材と同様の变化をしており、詳細な点でも類似した傾向を示した。
- 2) 化学分析の結果、土壌腐朽材では、褐色腐朽、白色腐朽とは逆にアルカリ可溶部の減少傾向が認められ、かつIRスペクトルでは、1,730 cm⁻¹と1,595 cm⁻¹の吸収の逆転が認められた。これらは軟腐朽材

の場合と類似している。

3) 土壌腐朽材の細胞構造変化は、担子菌の場合とは異なることが認められた。その大きな特徴は二次膜 S₂層での空洞 (cavity) 形成である。また穿孔 (bore hole) の形成は認められず、細胞間層はリグニン密度が高いため非常に侵されにくい状態にあると考えられる。

以上のことから、土壌中で腐朽した材は、結局軟腐朽材に近い状態になっていると結論づけられる。

なお、本研究を進めるにあたり、SEM観察に助言いただいた北大林産学科木材理学教室石田、深沢両氏に深謝致します。

文 献

- 1) H. Greaves & J.F. Levy: *Biodeterioration of Materials.*, ELSEVIER Pub. Co. Ltd., p429 (1968)
- 2) J.F. Levy: *ibid.* p424 (1968)
- 3) 鈴木ら: 第23回木材学会大会要旨, p83 (1973)
- 4) 京大農学部編: 農芸化学実験書 (第一巻), p234, 247 (1967)
- 5) 東大農学部編: 林産化学実験書, p96 (1967)
- 6) J.G. Savory et al: *Holzforchnng.*, p99, Vol.12 (1958)
- 7) W.W. Wilcox: *F.P.J.*, p255, Vol. 15 (1965)

—林産化学部 木材保存科—

—*北大農学部 林産学科—

(原稿受理 S49. 10. 24)