

微小菌類による木材の腐朽*

高 橋 旨 象**

Wood Decay by Microfungi

Munezoh TAKAHASHI

は じ め に

菌類の中で、俗にキノコと呼ばれる大型の子実体を作るものを除いたグループを便宜的に微小菌類 (microfungi) と称しており、鞭毛菌類、接合菌類、不完全菌類および大部分の子のう菌類がこれに含まれる。一般に木材腐朽菌といえば、ヒダナシタケ目をはじめとする多数の担子菌類を指す場合が多い。しかし、木材腐朽菌を「木材組織に侵入し、細胞壁を構成するセルロース、ヘミセルロースおよびリグニンを酵素的に分解して生活する菌類」と定義すれば、子のう菌や不完全菌の中にもそう呼ぶべきものは多く、現在までに約 200 種が報告されている。この木材腐朽性の微小菌類は軟腐朽菌 (soft rot fungi, Moderfäulepilze) と称され、褐色腐朽菌や白色腐朽菌とともに木材保存分野では重要な研究対象となっている。

1954年に、それまで何らかの非生物的要因によるてされていた木造クーリングタワーの劣化が、子のう菌や不完全菌による事が確認されて以来¹⁾、軟腐朽は淡水および海水中で使用されている木材 (栈橋、ボート、水車、橋脚)、土壌に接触している木材 (建築物の下部、電柱、杭、枕木)、湿度の高い環境で使用されている木材 (温室、キノコ栽培室)、野積みされているパルプ用チップなど、いたる所で発見され、担子菌が侵入できない程度に防腐剤を注入した木材からもしばしば分離されている。

1965年以降に出版された木材科学の入門書には、軟腐朽菌の一般的な特徴が木材腐朽担子菌との比較の下に記述されている。木材組織中の菌糸の行動に重点を置いたすぐれた総説は LEVY により書かれており²⁾、著者も 1975年に軟腐朽全般の研究の現状を紹介したが³⁾、リグニンに対する作用をはじめとして、軟腐朽の生化学についてはデータの蓄積がきわめて少ない。ここでは、軟腐朽菌の木材腐朽力を中心に、最近の研究の動向を紹介したい。

I. 木材腐朽性微小菌類の種類

LEVY²⁾、DUNCAN and ESLYN⁴⁾ および NILSEN⁵⁾ により記載された軟腐朽菌を第1表にまとめた。セルロース分解力のある微小菌類の中から、リストに追加されるものは今後も多数でてくるであろう。軟腐朽菌同様微小菌類に属するが、木材に含まれるでんぷんや低分子の糖類を栄養源として生活し、木材の変色や汚染を起すものがある事は以前から知られていたが、この中にも条件が良ければ腐朽力を示すものがあり、これら変色菌 (staining fungi) および汚染菌 (discoloring fungi) と軟腐朽菌との区別は判然としなくなっている。

* 第33回木研公開講演会 (大阪, 1978. 5.19) において講演

** 木材生物部門 (Division of Wood Biology)

第1表 木材腐性微小菌類(軟腐朽菌) リスト

<i>Acremoniella</i> spp.	<i>Doratomyces microsporus</i>	<i>Phialophora cyclaminis</i>
<i>Acremonium atro-griseum</i>	<i>Drechslera sorokiniana</i>	<i>Phialophora fastigiata</i>
<i>Acremonium furcatum</i>	<i>Epicoccum purpurascens</i>	<i>Phialophora gregata</i>
<i>Acremonium murorum</i>	<i>Fusarium solani</i>	<i>Phialophora hoffmannii</i>
<i>Acrostaphyllus</i> sp.	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Phialophora lignicola</i>
<i>Allescheria terrestris</i>	<i>Gilmaniella humicola</i>	<i>Phialophora luteo-viridis</i>
<i>Alternaria humicola</i>	<i>Glenospora graphii</i>	<i>Phialophora mutabilis</i>
<i>Alternaria</i> spp.	<i>Gliocladium catenulatum</i>	<i>Phialophora richardsiae</i>
<i>Arthrotrichum superba</i>	<i>Gliocladium penicillioides</i>	<i>Phialophora</i> spp.
<i>Arthrotrichum</i> sp.	<i>Gliocladium roseum</i>	<i>Piricularia</i> spp.
<i>Ascobolus</i> sp.	<i>Gliocladium viride</i>	<i>Phoma eupyrena</i>
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Gonatobotrys</i> sp.	<i>Phoma fimeti</i>
<i>Aspergillus terreus</i>	<i>Graphium fragrans</i>	<i>Phoma glomerata</i>
<i>Bispora betulina</i>	<i>Graphium rigidum</i>	<i>Phoma macrostoma</i>
<i>Bispora effusa</i>	<i>Graphium</i> sp.	<i>Phoma pigmentivora</i>
<i>Bispora pusilla</i>	<i>Haplochalara</i> sp.	<i>Phoma</i> spp.
<i>Bisporomyces</i> sp.	<i>Helicoma maritimum</i>	<i>Pseudoeurotium zonatum</i>
<i>Bobordeniella</i> sp.	<i>Helicosporium aureum</i>	<i>Pseudogymnosus roseus</i>
<i>Botryotrichum</i> sp.	<i>Helminthosporium spiciferum</i>	<i>Pullularia</i> sp.
<i>Camarosporium ambiens</i>	<i>Hormischium</i> sp.	<i>Rhinocladia compacta</i>
<i>Catenularia</i> sp.	<i>Humicola alopallonella</i>	<i>Rhinocladia mansonii</i>
<i>Cephalosporium</i> spp.	<i>Humicola brevis</i>	<i>Rhinocladia</i> sp.
<i>Ceratocystis albida</i>	<i>Humicola grisea</i>	<i>Sclerotium</i> sp.
<i>Ceratocystis piceae</i>	<i>Humicola grisea</i> v. <i>thermoidea</i>	<i>Scytalidium album</i>
<i>Ceratocystis pilifera</i>	<i>Humicola nigrescens</i>	<i>Scytalidium lignicola</i>
<i>Ceratocystis</i> sp.	<i>Humicola</i> sp.	<i>Scytalidium</i> sp.
<i>Chaetomium cochlioides</i>	<i>Hyalodendron ignicola</i>	<i>Sordaria</i> sp.
<i>Chaetomium elatum</i>	<i>Margarinomyces microsperma</i>	<i>Sperocybe</i> sp.
<i>Chaetomium funicola</i>	<i>Mollisia</i> sp.	<i>Sphaetonema</i> sp.
<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Monosporium olivaceum</i>	<i>Sporotrichum thermophilum</i>
<i>Chaetomium indicum</i>	<i>Morschella</i> sp.	<i>Stachybotrys atra</i>
<i>Chaetomium spirale</i>	<i>Mycelium radices-astrovirens</i>	<i>Stachybotrys chartarum</i>
<i>Chaetomium thermophilum</i>	<i>Myrothecium verrucaria</i>	<i>Stemphylium</i> sp.
<i>Chaetomium velutinum</i>	<i>Naemospora</i> sp.	<i>Stilbella thermophila</i>
<i>Chalara</i> sp.	<i>Nematogenium</i> sp.	<i>Stilbella</i> sp.
<i>Chalaropsis</i> sp.	<i>Oidiodendron griseum</i>	<i>Stysanus stemonitis</i>
<i>Chlorosporium</i> sp.	<i>Oidiodendron tenuissimum</i>	<i>Stysanus</i> sp.
<i>Chloridium chalydosporum</i>	<i>Ophiostoma coerulescens</i>	<i>Talaromyces bacillisporus</i>
<i>Cirsosporium pannorum</i>	<i>Ophiostoma piceae</i>	<i>Talaromyces helicus</i>
<i>Cladorrhinum</i> sp.	<i>Ophiostoma pini</i>	<i>Thermoascus aurantiacus</i>
<i>Cladosporium herdarum</i>	<i>Orbicula parietina</i>	<i>Thielavia thermophila</i>
<i>Coniothyrium fuckelii</i>	<i>Orbicula</i> sp.	<i>Thielaviopsis</i> sp.
<i>Coniothyrium miniatus</i>	<i>Paecilomyces elegans</i>	<i>Torula ligniperda</i>
<i>Coniothyrium</i> spp.	<i>Papularia arundis</i>	<i>Torula</i> sp.
<i>Cordana pauciseptata</i>	<i>Penicillium funiculosum</i>	<i>Trichocladium opacum</i>
<i>Corethrospis</i> sp.	<i>Penicillium</i> spp.	<i>Trichoderma polysporum</i>
<i>Coryne sarcoides</i>	<i>Periconia</i> sp.	<i>Trichoderma viride</i>
<i>Cylindrocarpon didymum</i>	<i>Pestalotia funerea</i>	<i>Trichosporiella cerebriiformis</i>
<i>Cylindrocarpon gracile</i>	<i>Pestalotia</i> spp.	<i>Trichosporium heteromorphum</i>
<i>Cylindrocarpon lucidum</i>	<i>Petriella sordida</i>	<i>Trichurus spiralis</i>
<i>Cylindrocarpon magnusianum</i>	<i>Petriellidium boydii</i>	<i>Trichurus terrophilus</i>
<i>Cytospora</i> sp.	<i>Peziza</i> sp.	<i>Unocladium consortiale</i>
<i>Cytosporella</i> spp.	<i>Phaeoisaria</i> sp.	<i>Verticillium falcatum</i>
<i>Dendryphium</i> sp.	<i>Phialocephala bactrospora</i>	<i>Verticillium nigrescens</i>
<i>Dictyosporium elegans</i>	<i>Phialocephala dimorphospora</i>	<i>Wardomyces inflatus</i>
<i>Diplococcium</i> sp.	<i>Phialocephala</i> spp.	<i>Xylogone sphaerospora</i>
<i>Diplodia</i> sp.	<i>Phialophora bubakii</i>	
<i>Discula pinicola</i> v. <i>mammosa</i>	<i>Phialophora cinerescens</i>	

高橋：微小菌類による木材の腐朽

第2表 *Chaetomium globosum* および *Coriolus versicolor* による針葉樹材の重量減少 (28°C, 8 週間)⁶⁾

No.	学名	和名	重量減少率 (%)	
			CG	CV
1	<i>Ginkgo biloba</i> L.	イ チ ヨ ウ	0.7	12.9
2	<i>Taxus cuspidata</i> Sieb. et Zucc.	イ チ イ	0.5	0.0
3	<i>Torreya nucifera</i> Sieb. et Zucc.	カ ヤ	1.9	0.5
4	<i>Podocarpus macrophylla</i> D. Don	イ ス マ キ	0.0	4.9
5	<i>Podocarpus nagi</i> Zoll. et Moritz.	ナ ギ	1.1	9.5
6	<i>Cephalotaxus harringtonia</i> K. Koch	イ ス ガ ヤ	0.7	3.5
7	<i>Abies firma</i> Sieb. et Zucc.	モ ミ	0.9	13.8
8	<i>Abies mariesii</i> Mast.	ア オ モ リ ト ド マ ツ	4.4	6.8
9	<i>Abies sachalinensis</i> Fr. Schm.	ト ド マ ツ	0.6	2.1
10	<i>Abies sachalinensis</i> Fr. Schm. var. <i>mysitsns</i> Miyabe et Kudo	ア オ ト ド マ ツ	2.6	15.8
11	<i>Pseudotsuga japonica</i> Beissn.	ト ガ サ ワ ラ	1.5	11.5
12	<i>Tsuga sieboldii</i> Carr.	ツ ガ	2.9	6.8
13	<i>Picea glehnii</i> Mast.	ア カ エ ゾ マ ツ	4.1	24.9
14	<i>Picea jezoensis</i> Carr.	エ ゾ マ ツ	11.0	25.1
15	<i>Picea abies</i> Karst.	ド イ ツ ト ウ ヒ	2.8	22.9
16	<i>Larix leptolepis</i> Cord.	カ ラ マ ツ	0.8	7.1
17	<i>Larix gmelini</i> Ledeb.	グ イ マ ツ	10.5	12.2
18	<i>Keteleeria davidiana</i> Beissn.	ユ サ ン	0.2	7.2
19	<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	ア カ マ ツ	0.0	0.0
20	<i>Pinus pentaphylla</i> Mayr.	ヒ メ コ マ ツ	1.6	2.9
21	<i>Pinus thunbergii</i> Parl.	ク ロ マ ツ	2.0	2.8
22	<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.	マンシュウクロマツ	2.3	8.6
23	<i>Pinus radiata</i> D. Don	ラ ジ ア タ マ ツ	7.3	50.5
24	<i>Pinus rigida</i> Mill.	リ ギ ダ マ ツ	9.0	19.2
25	<i>Pinus taeda</i> L.	テ ー ダ マ ツ	2.4	12.6
26	<i>Pinus sylvestris</i> L.	オウシュウアカマツ	1.2	15.0
27	<i>Pinus nigra</i> Arn.	オウシュウクロマツ	10.2	22.4
28	<i>Pinus strobus</i> L.	ストローブマツ	7.3	28.4
29	<i>Pinus virginiana</i> Mill.	バー ジ ニ ア マ ツ	7.9	12.9
30	<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	エ リ オ ッ ティ マ ツ	7.4	17.0
31	<i>Sciadopitys verticillata</i> Sieb. et Zucc.	コ ウ ヤ マ キ	2.4	1.4
32	<i>Sequoia sempervirens</i> Endl.	セ コ イ ア	0.1	1.2
33	<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et Cheng	メ タ セ コ イ ア	0.0	14.4
34	<i>Glyptostrobuspensilis</i> K. Koch	ス イ シ ヨ ウ	0.2	10.9
35	<i>Taxodium distichum</i> Rich.	ヌ マ ス ギ	4.9	15.4
36	<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don	ス ギ	0.0	9.5
37	<i>Cunninghamia konisii</i> Hayata	ラ ン ダ イ ス ギ	1.2	1.6
38	<i>Taiwania cryptonerioides</i> Hayata	タ イ ワ ン ス ギ	1.8	9.7
39	<i>Chamaecyparis Obtusa</i> Endl.	ヒ ノ キ	0.3	6.1
40	<i>Chamaecyparis pisifera</i> Endl.	サ ワ ラ	0.9	12.1
41	<i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsum.	ベ ニ ヒ	1.6	5.9
42	<i>Thuja standishii</i> Carr.	ネ ズ コ	3.1	1.1
43	<i>Thujopsis dolabrata</i> Sieb. Sieb. et Zucc.	ア ス ナ ロ	0.0	9.9
44	<i>Juniperus virginiana</i> L.	エンビツビャクシン	0.0	8.6
45	<i>Fagus crenata</i> Blume	ブ ナ	36.6	45.6

CG=*Chaetomium globosum* CV=*Coriolus versicolor* (白色腐朽菌)

II. 軟腐朽菌の木材腐朽力

軟腐朽菌の針葉樹材に対する腐朽力が著しく小さい事は、後で述べる木材細胞壁の特殊な侵害様式とともに、興味ある研究課題として注目を集めてきた。第2表⁶⁾と第3表⁷⁾にその例を示した。広葉樹材と針葉樹材に対する腐朽力の相違は、褐色腐朽菌や白色腐朽菌でも認められ、前者には針葉樹材を、後者には広葉樹材を好んで侵すものが多いが^{8),9)}、その相違は軟腐朽菌ほど顕著ではない。

自然条件下で使用されている針葉樹材からは軟腐朽菌が数多く分離され、とくに長年地中深く埋没され、

第3表 軟腐朽菌による birch, pine および spruce 材の重量減少⁷⁾

供 試 菌	腐朽期間 (月)	温 度 (°C)	重 量 減 少 率 (%)		
			Birch	Pine	Spruce
<i>Allesheria terrestris</i>	2	45	11.4	1.5	0.3
<i>Aspergillus fumigatus</i>	3	40	13.8	3.5	2.9
<i>Ceratocystis piceae</i>	3	RT	2.0	0	0
<i>Chaetomium funicola</i>	3	RT	27.6	6.0	1.3
<i>Chaetomium globosum</i>	3	RT	25.2	2.7	0.6
<i>Chrysosporium pannorum</i>	3	RT	8.3	2.6	0
<i>Coniothyrium</i> sp.	3	RT	21.3	—	0
<i>Cordana pauciseptata</i>	3	RT	12.4	—	—
<i>Gliocladium deliquescens</i>	3	RT	7.1	1.8	—
<i>Margarinomyces microsperma</i>	3	RT	4.5	1.0	—
<i>Oidiodendron tenuissimum</i>	3	RT	17.9	2.0	—
<i>Phialophora fastigiata</i>	3	RT	10.0	7.3	5.6
<i>Phialophora richardsiae</i>	3	RT	15.8	1.7	0.5
<i>Sporotrichum thermophile</i>	3	45	15.4	3.1	1.2
<i>Thermoascus aurantiacus</i>	3	50	8.1	—	—
<i>Trichoderma lignorum</i>	3	RT	5.9	0.7	—
<i>Xylogone sphaerospora</i>	3	30	6.2	1.1	—

RT=room temperature (23-25°C)

細胞壁が著しく破壊されている材では、細菌と軟腐朽菌の共存がしばしば認められている¹⁰⁾。このような事実は、多種の微生物の存在下では、純粋培養下で弱められる針葉樹材の軟腐朽抵抗性が弱められる事を示唆しているが、室内試験ではまだ確認されていない。

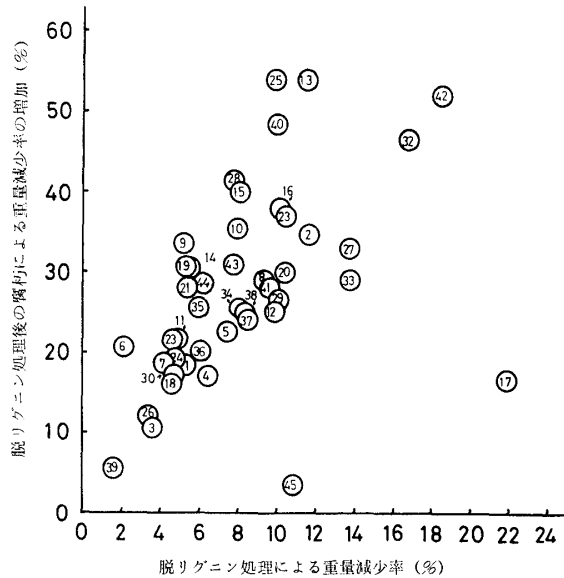
針葉樹材が軽度の脱リグニン処理により著しく侵されやすくなり(第4表および第1,2図)¹¹⁾、処理により変性したリグニンは軟腐朽菌にかなり分解されるが(第3図～第6図)¹²⁾、もともと侵されやすいブナのような広葉樹材では、脱リグニン処理をしてもさらに腐朽が促進される事はなく、処理の有無にかかわらず、リグニンは常にセルロースやヘミセルロースよりはるかに低い比率でしか分解されない(第7図および第8図)¹²⁾。このような腐朽促進効果は、本来リグニン分解力のある白色腐朽菌でも認められたが(第9図)¹¹⁾、リグニン分解力のない褐色腐朽菌では全く認められなかった^{12),13)}。これらの事実は、各腐朽型に対する針葉樹材の抵抗性の相違は、木材のリグニン含有率(針葉樹の方が高い)や、各腐朽菌のリグニン分解力とは直接の関連がない事を示唆している。各腐朽型の材選択性の相違は、針葉樹材と広葉樹材間の、リグニンおよび多糖類(とくにヘミセルロース)の化学的性質、その細胞壁内での局所的分布、両者の木材中での結合状態などの相違に、各腐朽菌の酵素系の相違がからみ合って生ずる複雑な現象としてとらえるべきであり、その解明にはなお多くの研究が必要である。

高橋：微小菌類による木材の腐朽

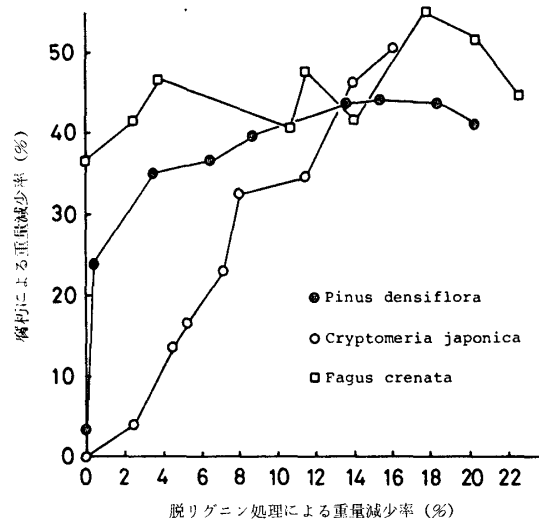
第4表 部分的脱リグニン処理（亜塩素酸法，40°C，6時間）による
Chaetomium globosum の針葉樹材腐朽力の変化¹⁾

No.*	脱リグニン処理による重量減少率（%）	腐朽による重量減少率（%）	
		脱リグニン処理試片	無処理試片
1	5.34	19.44	0.68
2	11.72	35.17	0.51
3	3.63	12.56	1.94
4	6.44	16.83	0.00
5	7.37	23.70	1.10
6	2.10	21.34	0.68
7	4.24	19.16	0.94
8	9.30	33.39	4.37
9	5.17	34.21	0.59
10	8.04	38.09	2.61
11	4.86	22.84	1.46
12	9.94	27.92	2.87
13	11.57	58.18	4.12
14	5.48	41.38	10.95
15	8.06	43.04	2.83
16	10.08	38.66	0.82
17	21.92	27.24	10.54
18	4.57	16.39	0.19
19	5.26	30.83	0.00
20	10.38	31.70	1.64
21	5.27	29.84	2.02
22	4.62	23.65	2.27
23	10.32	44.30	7.30
24	4.81	28.24	9.00
25	9.92	56.19	2.37
26	3.38	13.42	1.22
27	13.89	43.29	10.20
28	7.81	48.93	7.34
29	10.13	34.27	7.94
30	4.67	24.21	7.39
31	7.47	28.94	2.41
32	16.82	43.90	0.06
33	13.84	29.10	0.03
34	8.08	25.73	0.21
35	6.04	30.60	4.92
36	6.08	19.86	0.00
37	8.53	25.28	1.24
38	8.37	26.82	1.84
39	1.58	6.24	0.31
40	9.98	49.29	0.87
41	9.62	29.42	1.59
42	18.47	55.04	3.14
43	7.80	31.11	0.00
44	6.18	28.69	0.00
45	10.93	40.27	36.63

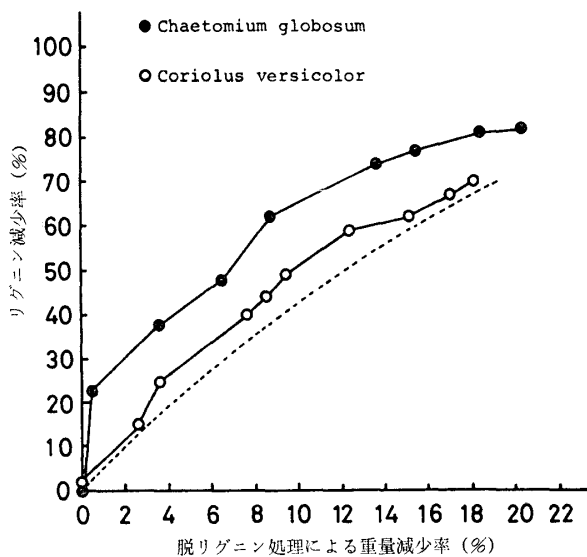
*第2表参照



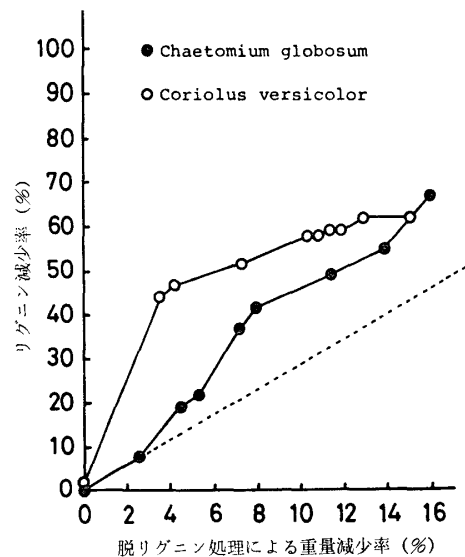
第1図 部分的脱リグニン処理による *Chaetomium globosum* の針葉樹材腐朽力の増加¹¹⁾
(図中の番号は第1表に示した樹種名を表わす)



第2図 種々の程度に脱リグニン処理した木材(アカマツ, スギ, ブナ)に対する *Chaetomium globosum* の腐朽力の変化¹¹⁾



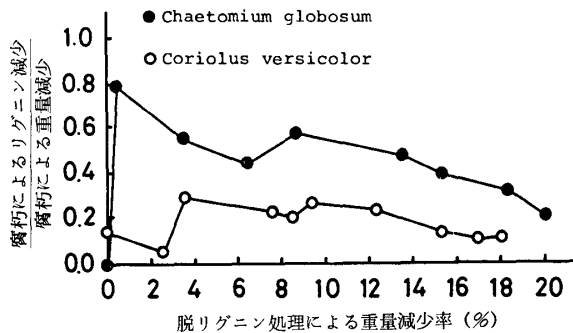
第3図 脱リグニン処理後腐朽させたアカマツ材のリグニンの減少(点線は脱リグニン処理無腐朽材のリグニン減少を示す)¹²⁾



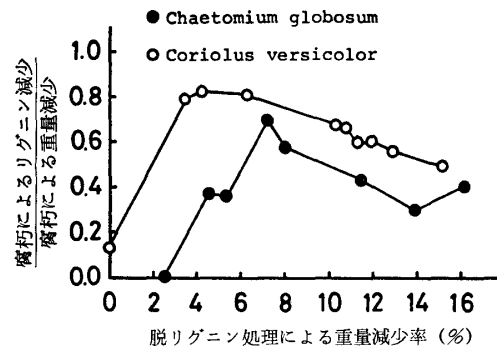
第4図 脱リグニン処理後腐朽させたスギ材のリグニンの減少(点線は脱リグニン処理無腐朽材のリグニン減少を示す)¹²⁾

Ⅲ. 軟腐朽菌の木材細胞壁侵害様式

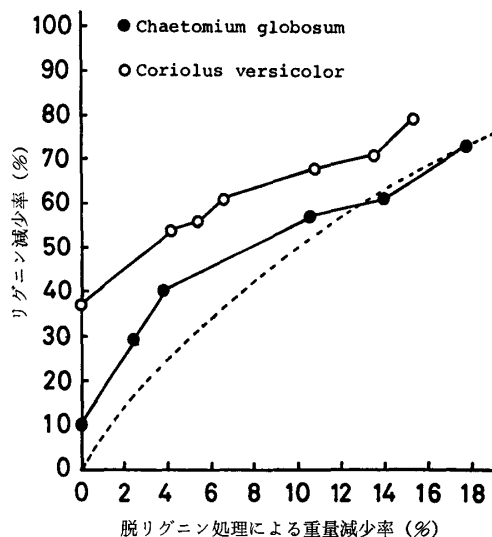
腐朽菌が木材を侵害する場合、放射柔細胞、道管、木繊維などで増殖した菌糸が、壁孔通過や細胞壁穿孔により細胞内腔に到達するまでの過程には、腐朽型による相違がほとんどないが、その後の細胞壁に対する本格的な攻撃の様式には明瞭な相違がある¹⁵⁾。褐色腐朽では細胞壁の破壊部分が菌糸からやや離れた二次壁S₂層にまず不連続に出現し、白色腐朽では内腔から外側へと均一に破壊され、細胞壁は徐々にうすくなって



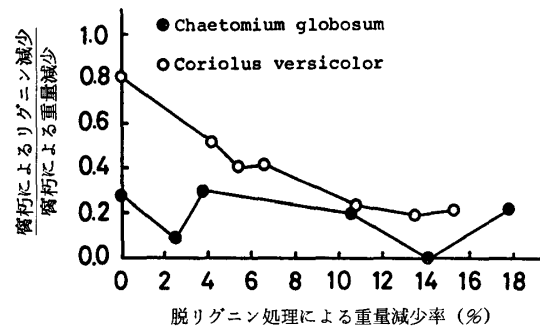
第5図 脱リグニン処理腐朽アカマツ材における重量減少に対するリグニン減少の比¹²⁾



第6図 リグニン処理腐朽スギ材における重量減少に対するリグニン減少の比¹²⁾

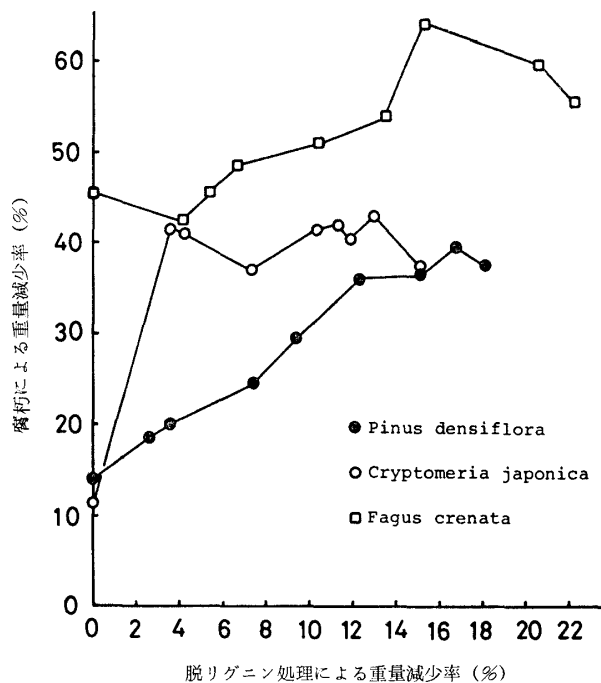


第7図 脱リグニン処理後腐朽させたブナ材のリグニンの減少 (点線は脱リグニン処理無腐朽材のリグニンの減少を示す)¹²⁾

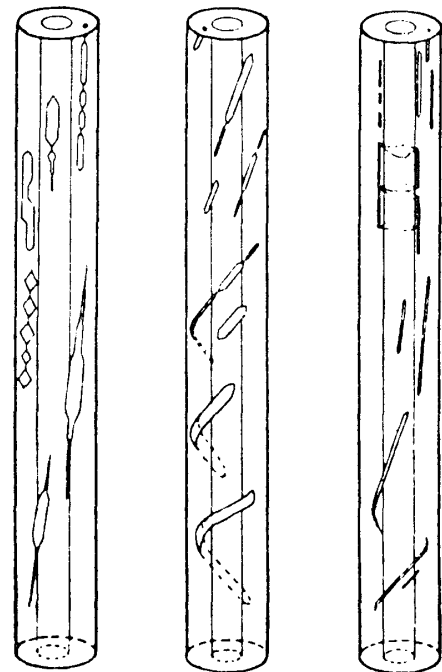


第8図 脱リグニン処理腐朽ブナ材における重量減少に対するリグニン減少の比¹²⁾

行くが¹⁶⁾、いずれも内腔にとどまった菌糸から分泌される酵素の拡散により破壊が進行する点で共通している。一方、軟腐朽では内腔に到達した菌糸がさらに二次壁 S_2 層に侵入し、そこで T 字型に分岐して、それぞれマイクロフィブリルの配列方向にそってらせん状に伸びて行き、時々停止して菌糸先端周辺の物質を分解するので、菱形または両端のとがった円筒状の空洞 (cavity) の列が作られて行く場合 (第10図)¹⁷⁾ と、内腔からえぐり取るように直接細胞壁を侵害する (erosion) 場合¹⁸⁾ がある。前者の cavity 形成は、軟腐朽にのみ見られる特有の現象であると考えられていた事もあるが、褐色腐朽や白色腐朽でも認められる場合もあり¹⁹⁾、軟腐朽菌の多くは cavity と erosion の両様式を併用するが、常に erosion のみで決して cavity を形成しないものも知られている (*Scytalidium lignicola*, *Xylogone sphaerospora* など)¹⁸⁾。この侵害様式は木材以外の植物繊維や、ワタのようにリグニンとヘミセルロースを全く含まない純粋のセルロース試料でも認められ (第5表)¹⁸⁾、cavity の形状には試料による相違がほとんどないので、その形状とセルロース結晶構造との密接な関連が示唆されている^{19~22)}。NILSSON¹⁸⁾ によれば、cavity の形成はリグニン含有率の高い試料ほど多く、リグニンの少ない試料では erosion 形成が多いという。このことから、cavity 形成は攻撃にくい試料、erosion は攻撃しやすい試料に対する侵害様式であると考えられるが、この点については、細胞壁の局所的な化学成分分布との関連をもとに検討する必要がある。



第9図 種々の程度に脱リグニン処理した木材（アカマツ、スギ、ブナ）に対する *Coriolus versicolor* の腐朽力の変化¹¹⁾



第10図 仮道管二次壁に形成された cavity の形状と配列¹⁷⁾

IV. 軟腐朽の重要性とその防止対策

実用的見地からの軟腐朽の重要性は、軟腐朽菌が褐色腐朽菌や白色腐朽菌よりも環境適応性が高く、地上、地中、水上、水中（淡水、汽水、海水）のあらゆる所で使用されている木材を侵害できる事である。海洋菌としての軟腐朽菌についての研究は比較的新しいが、貯木材の穿孔食害生物（海虫）の木材への侵入に軟腐朽菌が関与しているという報告は多い^{23~26)}。この環境適応性の高さは、木材の含水率と防腐剤に対する耐性においてとくに顕著である。たとえば、*Chaetomium globosum* と *Poecilomyces* sp. は木材含水率が240%になっても腐朽力が低下せず、その腐朽限界最低含水率は30~35%であるが、それ以下になっても死滅しない²⁷⁾。一方、木材腐朽担子菌では、*Hypholoma fasciculare*, *Lenzites abietinus*, *Polyporus stipticus* のように腐朽最適含水率が100%を越えるものもあるが²⁸⁾、多くは30~60%の範囲にあり、100%以上になると腐朽力は低下するのが普通である²⁹⁾。また、土中に打込んだ杭に侵入する微生物相の遷移についての報告^{30~32)}で共通して認められる傾向は、木材腐朽担子菌の木材への侵入が含水率に大きく影響されるのに対し、軟腐朽菌を含めた微小菌類は含水率のもっとも高い地下部から、もっとも低い地上部に至るあらゆる部分に定着している事である。

クレオソート、PCP または種々の水溶性防腐剤で処理され、木材腐朽担子菌による劣化が認められない電柱、杭、その他の木造構造物に軟腐朽菌が侵入し、軽微ではあるが劣化を起している事実は早くから報告されており^{33~37)}、総じて木材腐朽担子菌より防腐剤耐性が高い事も知られている（第6、7表）^{38,39)}。この時点では、軟腐朽菌の重要性は、その木材腐朽力よりも防腐剤を不活性化し、より腐朽力の強い担子菌の侵入を助ける点に向けられていたが、オーストラリアのクイーンズランド州のような亜熱帯性気候下では、防腐処理した広葉樹材電柱に軟腐朽そのものによる被害が多発したため、C.S.I.R.O が中心になってプロジェクトチームを結成して対策を講じており^{40~42)}、国際的な研究協力の機運が高まりつつある。

高橋：微小菌類による木材の腐朽

第5表 種々の植物繊維に対する軟腐朽菌の侵害様式¹⁸⁾

供試菌	試料 (リグニン%)		カバ材		オウシュウアカマツパルプ		スプルースホロセルローズ		ジュート		シサル		カボック		ワタ	
	侵害様式		19.6		10.8		0.9		11		7.5		12		0	
	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E
<i>Acremonium atro-griseum</i>	+	-	+	+	+	+	+	+			+		+		+	+
<i>Bispora betulina</i>	+	+	+	+	+	+	+	+			+		+		+	+
<i>Ceratocystis albida</i>	+	+	+	-	+	-	+	+			+		+		+	+
<i>Chaetomium globosum</i>	+	+	+	+	-	+	+	+			+		-	+	+	+
<i>Cordan pauciseptata</i>	+	+	-	+	-	+	+	+			+		-	+	-	+
<i>Dictyosporium elegans</i>	+	+	+	+	+	+	+	+			+		-	+	+	+
<i>Gonatobotrys</i> sp.	+	-	+	-	+	-	+	+			+		+		+	-
<i>Graphium</i> sp.	+	-	+	+	+	+	+	+			+		-	-	-	+
<i>Humicola alopallonella</i>			+	+	+	+	+	+			+		+		+	+
<i>Humicola grisea</i>	+	+	+	+	+	+	+	+			+		+		+	+
<i>Petriellidium boydii</i>	+	-	+	+	+	+	+	+			+		+		+	+
<i>Phialocephala</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+			+		+		+	+
<i>Phislophora fastigiata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+			+		-	+	+	+
<i>Phialophora hoffmannii</i>	+	+	-	+	-	+	+	+			+		-	+	-	+
<i>Phialophora</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+			+		+		+	+
<i>Rhinocladiaella</i> sp.	+	-	+	-	+	-	+	+			+		+		+	-
<i>Scytalidium lignicola</i>	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+
<i>Wardomyces infl inflatus</i>	+	+	-	+	-	+	+	+			+		+		+	+
<i>Xylogone sphaerospora</i>	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+
Fungus A	+	+	+	+	+	+	+	+			+		+		+	+

C: Cavity E: Erosion

第6表 軟腐朽菌および木材腐朽担子菌に対する種々の防腐薬剤の生育阻止濃度³⁸⁾

薬 剤	生育阻止濃度 %	供試菌の種類数		生育阻止濃度の比較 S 対 B
		S	B	
Sodium arsenate	0.1 以下	8	4	S がかなり高い
	0.1~2.5	5	4	
	2.5 以上	19	0	
Sodium borate	0.5 以下	29	9	明らかでない
	0.5~2.0	3	0	
Sodium chromate	0.2 以下	14	8	S がかなり高い
	0.2~1.0	6	1	
	1.2 以上	12	0	
Sodium fluoride	0.05 以下	0	1	S がかなり高い
	0.1~0.7	28	4	
	0.7 以上	4	0	
Sodium pentachlorophenate	0.002 以下	22	7	同 じ
	0.002~0.04	10	2	
Copper sulphate	0.01 以下	0	1	同 じ
	0.01~0.3	31	8	
	0.5 以上	1	0	
Coal tar creosote	0.05 以下	24	9	S がやや高い
	0.05 以上	8	0	

S: 軟腐朽菌 B: 木材腐朽担子菌

第7表 杭 (*Pinus radiata* 材) より分離した糸球菌に対する種々の防腐薬剤の生育阻止濃度³⁹⁾

供 試 菌	濃 度 (ppm)				
	CuSO ₄	Na ₂ Cr ₂ O ₇	As ₂ O ₅	Na ₄ As ₂ O ₇	Cu-Cr-As 防 腐 剤
<i>Cephalosporium</i> sp.	2000~3200	0~40	0~325	20000 以上	500~1000
<i>Penicillium frequentens</i>	4000~4400	200~400	22000~32000	20000 以上	1500~2000
<i>Cladosporium elatum</i>	6000~6600	40~100	10000~13000	20000 以上	2500~3000
<i>Penicillium</i> sp.	1200~1600	400~600	3250~6500	20000 以上	3000 以上
<i>Fusarium</i> sp.	400~600	100~200	1300~1600	20000 以上	500~1000
<i>Moeszia</i> sp.	400~600	100~200	1000~1300	20000 以上	500~1000
<i>Trichiderma viride</i>	200~400	40~100	650~1000	12000~20000	500~1000
<i>Verticillium</i> sp.	40~100	200~400	1000~1300	20000 以上	250~500
<i>Cladosporium herbarum</i>	600~800	40~100	325~650	2000~2500	500~1250
<i>Aspergillus fumigatus</i>	400~600	0~40	1000~1300	20000 以上	250~500
<i>Alternaria tenuis</i>	200~400	0~40	1000~1300	20000 以上	500~1250
<i>Mucor spinescens</i>	200~400	40~100	650~1000	20000 以上	500~1250
<i>Stemphylium ilias</i>	200~400	0~40	325~650	20000 以上	250~500
<i>Chaetomium globosum</i>	100~200	0~40	160~325	20000 以上	250~500
<i>Epicoccum nigrum</i>	40~100	100~200	0~65	40~100	0~250
<i>Coniothyrium</i> sp.	100~200	0~40	0~65	200~400	0~250
<i>Paecilomyces</i> sp.	40~100	0~40	1000~1300	20000 以上	0~250
<i>Zygorhynchus moelleri</i>	0~40	0~40	1000~1300	400~600	0~250
<i>Trametes cinnabarina</i>	0~40	0~40	0~65	40~400	0~250
<i>Trechispora brinkmanni</i>	0~40	0~40	160~325	100~200	0~250
担子菌 (未同定)	0~40	0~40	65~160	100~200	0~250
担子菌 (未同定)	40~100	0~40	0~65	0~40	0~250
担子菌 (未同定)	0~40	0~40	160~325	100~250	0~250

前述したように、軟腐朽菌の菌糸は細胞の内腔にだけとどまらず、細胞壁中にも伸長して行くので、軟腐朽防止には細胞壁内への十分な薬剤の浸透が必要である。CCA 処理した広葉樹材の軟腐朽防止が困難なのは、細胞の種類により浸透量に差があったり、細胞壁内への浸透性が針葉樹材より悪いためであるという考えが有力であるが、HULME and Butcher は^{43~45)}、これらの相違はそれほど顕著ではなく、無処理材で認められる両材間の軟腐朽抵抗性の差が処理材にも及んでいると考える方が妥当であり、注入量を十分多くしたり、より殺菌性の高い薬剤を開発すれば、広葉樹材の軟腐朽防止と針葉樹材の耐用年数の延長が可能であると述べている。彼等の研究によれば、素材の耐朽性が低い樹種ほど、軟腐朽阻止に要する防腐剤中の Cu 濃度が高く、一般に広葉樹材の10~20倍以上の注入が必要であるという。

糸状菌の薬剤耐性は、基質の栄養濃度が高くなると増大する事が認められており^{46~47)}、栄養源の多い土壌に接触して使用されている木材にはより多くの防腐剤の注入が必要である。

お わ り に

以上、軟腐朽の特徴と重要性について簡単に述べたが、広葉樹材と針葉樹材に対する腐朽力の顕著な相違は、褐色腐朽菌や白色腐朽菌でも認められる材選択性を含めて、樹木と木材腐朽菌の進化との関連性を探る研究や、腐朽菌を利用したいわゆるバイオロジカルパルプの製造や、残廃材の早期分解対策技術の開発研究

へと発展させて行くべきであろう。また, cavity と erosion という二つの様式で軟腐朽菌が木材細胞壁を侵害して行く事実は, 逆に細胞壁の微細構造や局所的な化学成分分布の様相を明らかにするための研究手段としての軟腐朽菌の有用性を示唆しているといえよう。

引用文献

- 1) J. G. SAVORY, *Ann. Applied Biology*, **41**, 336 (1954).
- 2) J. F. LEVY, *Advances in Botanical Research*, **2**, 323 (1965).
- 3) 高橋旨象, 木材の軟腐朽について, *防菌防黴学会誌*, **3**, 217 (1975).
- 4) C. G. DUNCAN and W. E. ESLYN, *Mycologia*, **58**, 642 (1966).
- 5) T. NILSSON, *Studia Forestalia Suecica*, No. 104, 40pp (1973).
- 6) M. TAKAHASHI and K. NISHIMOTO, *Wood Research*, No. 55, 9 (1973).
- 7) O. BERGMAN and T. NILSSON, *Dep. For. Prod. Royal College For. Stockholm Res. Notes*, **71**, 54pp (1971).
- 8) E. B. COWLING, *U. S. Dep. Agr. For. Serv. Tech. Bull.*, 1258, 79pp (1961).
- 9) K. SEIFERT, *Holz als Roh- und Werkstoff*, **26**, 208 (1968).
- 10) H. GREAVES and J. F. LEVY, *Biodeterioration of Materials*, ed. A. H. WALTERS and J. J. ELPHICK, Elsevier, Amsterdam, London and New York, 429 (1968).
- 11) M. TAKAHASHI and K. NISHIMOTO, *Wood Research*, No. 59/60, 19 (1976).
- 12) M. TAKAHASHI, *Wood Research*, No. 61, 1 (1976).
- 13) P. J. BAILEY, W. LIESE and R. RÖSCH, *Biodeterioration of Materials* (前出), 546 (1968).
- 14) M. TAKAHASHI, *Wood Research*, No. 63, 11 (1978).
- 15) J. F. LEVY, *International Pest Control*, **9**, 28 (1968).
- 16) A. A. KÄÄRIK, *Biology of Plant Litter Decomposition*, ed. C. H. DICKINSON and G. J. F. PUGH, Academic, London and New York, I, 129 (1974).
- 17) H. COURTOIS, *Holzforschung und Holzverwertung*, **15**, 88 (1963).
- 18) T. NILSSON, *Studia Forestalia Suecica*, No. 117, 32pp (1974).
- 19) W. LIESE, *Annual Review of Phytopathology*, **8**, 231 (1970).
- 20) A. FREY-WYSSLING, *Holz als Roh- und Werkstoff*, **14**, 210 (1956).
- 21) A. B. WARDROP and S. M. JUTTE, *Wood Science and Technology*, **2**, 105 (1968).
- 22) S. M. JUTTE and A. B. WARDROP, *Acta Botanica Neederland*, **19**, 906 (1970).
- 23) G. BECKER and J. KOHLMAYER, *J. Timber Dryers' and Preservers'*, India, **4**, 1 (1958).
- 24) S. P. MEYERS, S. M. CHUNG and D. G. AHEARN, *Biodeterioration of Materials*, ed. A. H. WALTERS and E. H. HUECK, Applied Science Publishers, London, II, 121 (1972).
- 25) E. B. G. JONES, R. D. TURNER, S. E. J. FURTADO and H. KUHNE, *International Biodeterioration Bulletin*, **12**, 120 (1976).
- 26) L. E. LEIGHTLEY and R. A. EATON, *B. W. P. A. Annual Convention*, 1977, 1 (1977).
- 27) W. LIESE and U. AMMER, *Holzforschung*, **18**, 97 (1964).
- 28) U. AMMER, *Forstwissenschaft Centralblatt*, **82**, 360 (1963).
- 29) 井上嘉幸, 木材保護化学, 内田老鶴圃新社, 東京, 27 (1969).
- 30) W. MERRILL and D. W. FRENCH, *Phytopathology*, **56**, 301 (1966).
- 31) A. A. KÄÄRIK, *Material und Organismen*, **2**, 97 (1967).
- 32) J. A. BUTCHER, *Canadian J. Botany*, **46**, 1577 (1968).
- 33) J. G. SAVORY, *Ann. Applied Biology*, **41**, 336 (1954).
- 34) M. GERSONDE and R. MEYER, *Holz als Roh- und Werkstoff*, **22**, 42 (1964).
- 35) H. L. MORTON, J. L. STEWART and G. P. B. BRUNEAN, *Forest Products J.*, **19**(1), 38 (1969).
- 36) J. IRVINE, R. A. EATON and E. B. G. JONES, *Material und Organismen*, **7**, 45 (1972).
- 37) F. SHARP and J. F. LEVY, *Material und Organismen*, **9**, 199 (1974).
- 38) C. G. DUNCAN, *U. S. Dept. Agriculture, Forest Service Report*, No. 2173, 60pp (1960).
- 39) J. A. BUTCHER, *Biodeterioration of Materials*, ed. A. H. WALTERS and J. J. ELPHICK, Elsevier, Amsterdam, I, 444 (1968).

- 40) H. GREAVES, Material und Organismen, **12**, 1 (1977).
- 41) H. GREAVES, Material und Organismen, **12**, 201 (1977).
- 42) H. GREAVES, Material und Organismen, **12**, 287 (1977).
- 43) M. A. HULME and J. A. BUTCHER, Material und Organismen, **12**, 81 (1977).
- 44) M. A. HULME and J. A. BUTCHER, Material und Organismen, **12**, 185 (1977).
- 45) M. A. HULME and J. A. BUTCHER, Material und Organismen, **12**, 233 (1977).
- 46) O. SCHMILT and B. ZIEMER, Material und Organismen, **11**, 215 (1976).
- 47) B. HENNINGSSON, Material und Organismen, Beih. **3**, 175 (1976).