



Title	腐朽材の利用に関する基礎研究
Author(s)	川瀬, 清; KAWASE, Kiyoshi; 五十嵐, 恒夫 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 30(1), 205-232
Issue Date	1973-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20923
Type	departmental bulletin paper
File Information	30(1)_P205-232.pdf



腐朽材の利用に関する基礎研究

川瀬 清* 五十嵐恒夫**

Fundamental study on utilization of decayed wood

By

Kiyoshi KAWASE* and Tsuneo IGARASHI**

目 次

序 言	205
1. 試 料	206
2. 実験方法	214
3. 実験結果	215
結 言	230
参考文献	230
Summary	231

序 言

腐朽材の利用方法には、森林の中で生産される天然腐朽材を利用する方法と、もう一つは木材腐朽菌の木材分解作用を利用して、目的とする性質をもった腐朽材を生産し利用する方法があると考えられる。北海道の森林において、菌害木の占める割合はきわめて高く⁷⁾森林の育成のためにも腐朽材の利用が考えられてよい。ドイツの林学者 M. PRODAN 教授はその講演の中で「ドイツにおける集約林業の発達を助けたのは、第一にドイツのいたる所で比較的早期に林産工業が発展し、すべての樹種に対して需要が起ったことである」と言っている。林業と林産業の関係がかくあるべきことは、筆者等の長い間主張してきたところである。しかるに日本における林業と林産業の結びつきはどうであろうか。深く反省すべき点があるのではなからうか。

腐朽材を合理的に利用するためには腐朽材の性質を知る必要がある。筆者等は今日まで 55 種類の木材腐朽菌による腐朽材の分析を行ってきた^{13,14)}。そして腐朽材はリグニン残存型 (Lignin-rich)、セルロース残存型 (Cellulose-rich) と健全材類似型 (“Normal-like”) の 3 型に

* 北海道大学演習林 林産加工学研究室
Forest Products Laboratory of the Experiment Forests, Hokkaido University.

** 北海道大学演習林 森林生産学研究室
Silviculture and Protection Laboratory of the Experiment Forests, Hokkaido University.

分けることができることを明らかにしてきた^{13,14)}。今回は新たにエゾヒズメタケによるカツラ腐朽材、カボチャタケによるトドマツ腐朽材など、今日まで成分組成の明らかになっていない腐朽材7種類の成分分析の結果と、4種類のセルロース残存型腐朽材から得られた天然繊維を用いて手抄紙葉を調製し、パルプの基礎試験を行なった結果について報告する。

この実験を行なうに当たり、終始熱心に協力された宮坂かな子氏と実験補助としての役割を果たしてくれた宮島統一君に心から感謝する。

1. 試 料

試料丸太はいずれも林内の立木で、子実体の着生の状態や伐倒後の丸太の腐朽状態からして、1種類の菌によって腐朽したものであると判断できるものを選んだ。

A. 分析用試料

a. エゾヒズメタケ *Cryptoderma cercidiphyllum* IMAZ. によって腐朽したカツラ材 *Cercidiphyllum japonicum* SIEB. et ZUCC.: 昭和42年11月、北大苫小牧地方演習林熊の沢事業区

の山土場を集積してあった丸太の中から採取。直径は60×70cmで現在の苫小牧地方演習林においてはまれにみる大径木(写真1)である。腐朽は心材部の全面にわたり、ほぼ均一にかなり進んでおり、腐朽材の色は帯黄褐色で固有の心材色よりは明るく、容積重は0.15であった。指間でつぶすことのできる軟かい完全腐朽材である。腐朽は辺材部の一部にも進んでいるが、辺材の大部分は変色ないしは健全の状態に残存していた。材の色は腐朽心材部よりもカツラの固有心材色に近いものであ



写真1. エゾヒズメタケによって腐朽したカツラ材の横断面

Fig. 1. Cross section of *Cercidiphyllum japonicum* wood decayed by *Cryptoderma cercidiphyllum*.

た。容積重は0.35ときわめて低い値である。エゾヒズメタケはカツラの生立木にのみ着生し、おもに心材を腐朽させる。文献⁵⁾には白色腐朽をおこすと記載されている。腐朽材の分析結果についての報告は見当たらない。

b. ヤニタケ *Ischnoderma resinosum* (SCHARD. ex Fr.) KARST. によって腐朽したイタヤカエデ材 *Acer mono* MAXIM.: 昭和42年9月、北大苫小牧地方演習林熊の沢事業区の傾斜した枯損木(写真2・a)から採取した。子実体の着生状態は写真2・bのようである。この枯損木から採取した丸太の木口は写真2・cのようであり、腐朽は辺心材の別なく材のほぼ全面にわた

り均一に進んでいた。腐朽材は淡色で容積重は0.18であった。ヤニタケによって腐朽したド
ロノキ材およびエゾマツ材の分析についてはすでに報告した¹³⁾が、イタヤカエデ材についての
報告はまだない。

c. ツリガネタケ *Fomes fomentarius* (L. ex Fr.) Kickx によって腐朽したブナ材 *Fagus*
crenata Bl.: 昭和42年8月、北海道有林松前林務署管内松前経営区169林班の折損木(写真

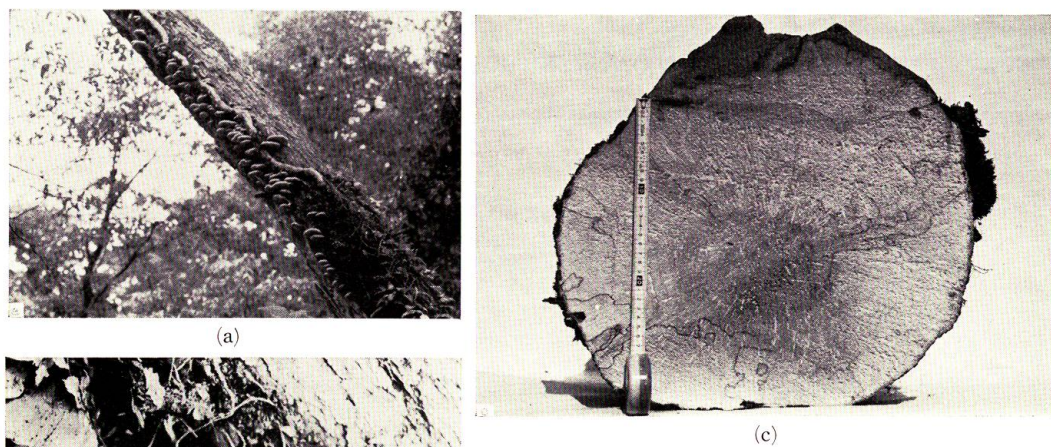


写真2. ヤニタケによって腐朽したイタヤカエデ材

Fig. 2. *Acer mono* wood decayed by *Ischnoderma resinosa*.

- a: 枯損木上の子実体 Sporophores on a dead tree.
- b: 子実体の上面 Upper surface of sporophore.
- c: 腐朽材の横断面 Cross section of the decayed wood.

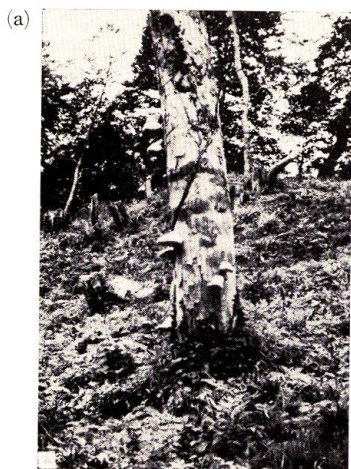
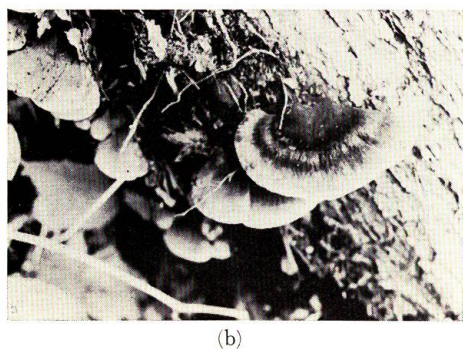


写真3. ツリガネタケによって腐朽したブナ材

Fig. 3. *Fagus crenata* wood decayed by *Fomes fomentarius*.

- a: 枯損木上の子実体 Sporophores on a dead tree.
- b: 腐朽材の横断面 Cross section of the decayed wood.

3・a) から採取した腐朽材で、材の腐朽状態は写真3・bのようである。腐朽材には帯線がみられ、かなり腐朽しているが、指間でつぶすことができるほど完全には腐朽しておらず、比重0.36の中期段階の腐朽材と考えられる。ツリガネタケによって腐朽したヤマモミジ材についての分析結果は報告されている¹³⁾が、ブナ材についての報告はない。

d. ネンドタケ *Phellinus gilvus* (SCHW. ex FR.) PAT. によって腐朽したケヤマハンノキ材 *Alnus hirsuta* TURCZ.: 昭和41年10月、北大雨竜地方演習林母子里事業区第16林班の枯損木から採取。腐朽は辺心材の別なく、ほぼ均一に進んでいる(写真4)。この丸太から辺心材を別けることなく、完全に腐朽した材を採取して試料とした。色は肌色から淡褐色で容積重は0.24であった。ネンドタケによって腐朽したケヤマハンノキ材の分析値はまだ報告されていない。

e. キコブタケ *Phellinus igniarius* (L. ex FR.) QUÉL. によって腐朽したケヤマハンノキ材 *Alnus hirsuta* TURCZ.: 昭和41年10月、北大雨竜地方演習林母子里事業区第16林班の枯損木から採取。腐朽は辺心材の別なくほぼ均一に進んでいる(写真5)。この中から均一に腐朽した完全腐朽材をとって試料とした。色は淡褐色で容積重は0.21であった。キコブタケ(ニセホクチタ)によって腐朽したヤマモミジおよびシラカンバ材の分析結果についての報告はある¹³⁾がケヤマハンノキ材の分析値はまだ報告されていない。

f. アラゲカワラタケ *Coriolus hirsutus* (WULF. ex FR.) QUÉL. によって腐朽したケヤマハンノキ材 *Alnus hirsuta* TURCZ.: 昭和41年10月、北大雨竜地方演習林母子里事業区第16林班の枯損木から採取。辺材部がより腐朽され、心材の中心部が変色状態で残存している(写真6)。この中から指間で容易につぶせ

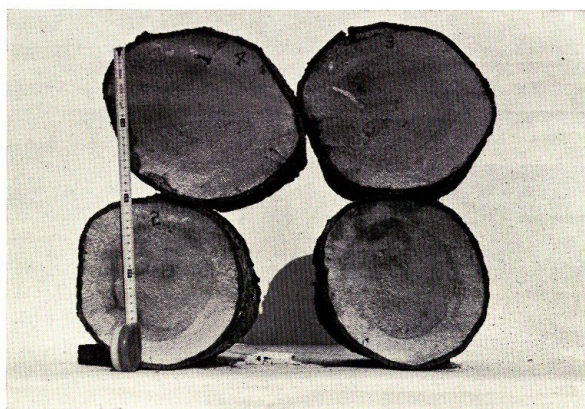


写真4. ネンドタケによって腐朽したケヤマハンノキ材の横断面

Fig. 4. Cross section of *Alnus hirsuta* wood decayed by *Phellinus gilvus*.

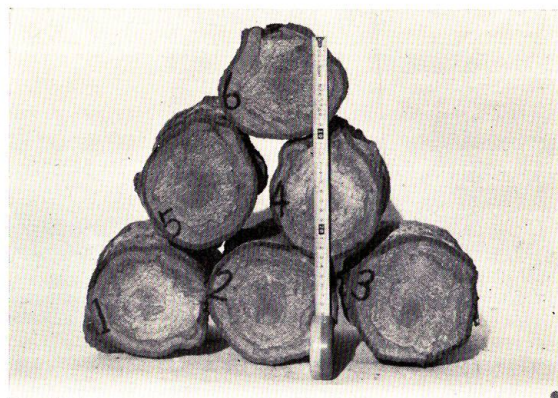


写真5. キコブタケによって腐朽したケヤマハンノキ材の横断面

Fig. 5. Cross section of *Alnus hirsuta* wood decayed by *Phellinus igniarius*.

る均一な完全腐朽材をとって試料とした。色は肌色で淡く容積重は0.13であった。アラゲカワラタケによって腐朽したヤマモミジ、ブナ、アズキナシおよびシロザクラ材についての分析値は報告されている¹³⁾が、ケヤマハンノキ材についての報告はない。

g. カボチャタケ *Hapalopilus fibrillosus* (KARST.) BOND. et SING. によって腐朽したトドマツ材 *Abies sachalinensis* MAST.: 昭和41年11

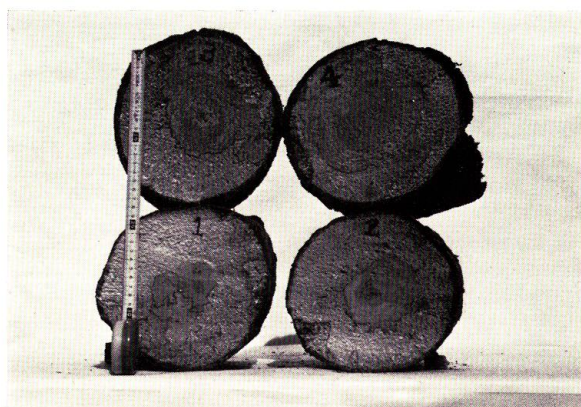


写真6. アラゲカワラタケによって腐朽したケヤマハンノキ材の横断面

Fig. 6. Cross section of *Alnus hirsuta* wood decayed by *Coriolus hirsutus*.



写真7. カボチャタケによって腐朽したトドマツ材

Fig. 7. *Abies sachalinensis* wood decayed by *Hapalopilus fibrillosus*.

- a: 枯損木上の子実体 Sporophores on a dead tree.
- b: 樹皮上の子実体 Sporophores on a bark.
- c: 腐 朽 材 Decayed wood.

月、北大雨竜地方演習林添牛内事業区第18林班の枯損木(写真7-a)から採取。この枯損木には局部的に多数の子実体が着生しており(写真7-b)、これらの部分からカボチヤタケによる腐朽材と考えられる部分(写真7-c)を採取して試料とした。この材は完全に腐朽しており、リグニン残存型を思わせる褐色の腐朽材で、容積重は0.22であった。この腐朽菌はトドマツに着生することは記載されている⁵⁾が、腐朽型や材の分析値についての報告はない。

B. パルプ試験用試料

この試験は木材腐朽菌の脱リグニン作用をパルプ製造に応用しようとするものであるので腐朽材はすべてセルロース残存型に限られた。針葉樹ではマツノカタワケによって腐朽したカラマツ材とエゾサルノコシカケによって腐朽したアカエゾマツ材の2種類。また広葉樹では、マイタケによって腐朽したミズナラ材とニレサルノコシカケによって腐朽したハルニレ材の2種類。合計4種類の腐朽材を試料として用いた。

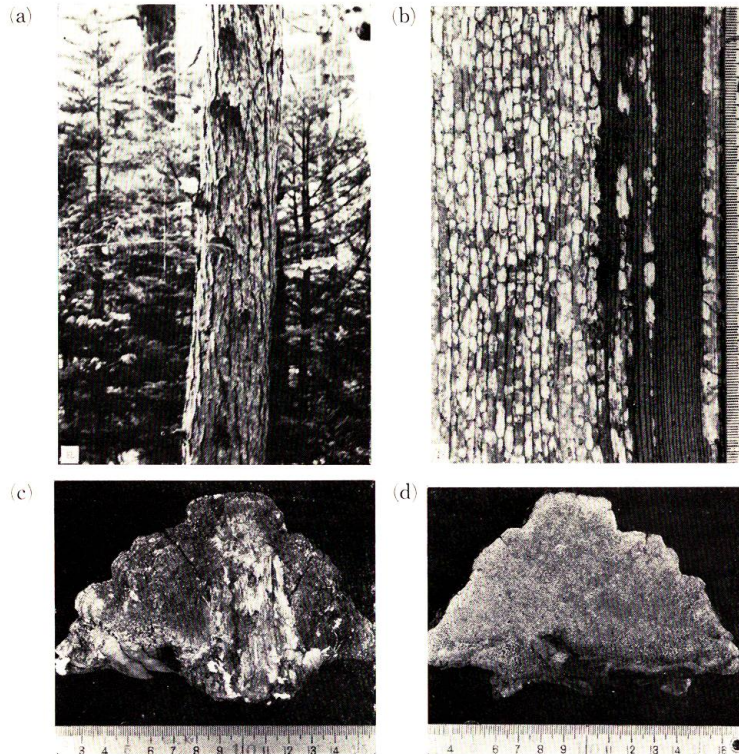


写真8. マツノカタワケによって腐朽したカラマツ材と子実体

Fig. 8. *Larix leptolepis* wood decayed by *Cryptoderma fini* and its sporophore.

- | | |
|-------------|---|
| a: 生林木上の子実体 | Sporophores on a living tree. |
| b: 腐朽材の縦断面 | Longitudinal section of the decayed wood. |
| c: 子実体の上面 | Upper surface of sporophore. |
| d: 子実体の下面 | Lower surface of sporophore. |

a. マツノカタワタケ *Cryptoderma pini* (THORE ex FR.) IMAZ. によって腐朽したカラマツ材 *Larix leptolepis* GORDON: 昭和41年11月, 長野営林局松本営林署管内上高地田代池畔の菌害生立木(写真8・a)から採取。これは写真8・cのような子実体が多数着生しており, 腐朽材の縦断面は写真8・bのようである。このようにポケット状あるいは, レンズ状の孔の中には, 腐朽菌によって分離された天然繊維がつまっているのので, これをピンセットではさみ出して試料とした。純白の繊維で完全に脱リグニンされている。なお参考のためにポケット状に完全腐朽した材を粉碎して分析した結果は第1表のようである。

第1表 マツノカタワタケによって腐朽したカラマツ材の成分組成
Table 1. Chemical composition of larch wood (*Larix leptolepis*) decayed by *Cryptoderma pini* (%)

腐朽段階 Stage of decay	変色辺材 Discolored sap wood	末期心材 Most rotted heart wood
容積重 Density	0.53	0.15
水分 Moisture	10.6	12.1
灰分 Ash	0.21	0.32
抽出物 Solubility in		
アルコール・ベンゼン Alcohol-benzene	6.1	5.3
冷水 Cold water	18.4	7.2
温水 Hot water	22.0	13.9
1% NaOH	40.6	56.6
ホロセルロース Holocellulose	51.0	47.0
全ペントサン Total pentosan	10.3	10.3
メチル・ペントサン Methyl pentosan	3.5	3.2
リグニン Lignin	27.0	29.3

b. エゾサルノコシカケ *Cryptoderma yamanoi* IMAZ. によって腐朽したアカエゾマツ材 *Picea glehnii* MAST.: 昭和45年3月, 北大中川地方演習林第154林班で採取。マツノカタワタケと同様の孔状腐朽を示すが, 腐朽段階は末期に達していない(写真9・a)。この孔の中からカラマツの場合と同様ピンセットで天然繊維を取り出して試料とした。

c. マイタケ *Grifola frondosa* (DICKS. ex FR.) S.F. GRAY によって腐朽したミズナラ材 *Quercus mongolica* FISCHER var. *grosseserrata* (BLUME) REHD. et WILD.: 昭和41年11月, 北大雨竜地方演習林母子里事業区第22林班の大径生立木(写真10・a)を伐倒して試料を採取

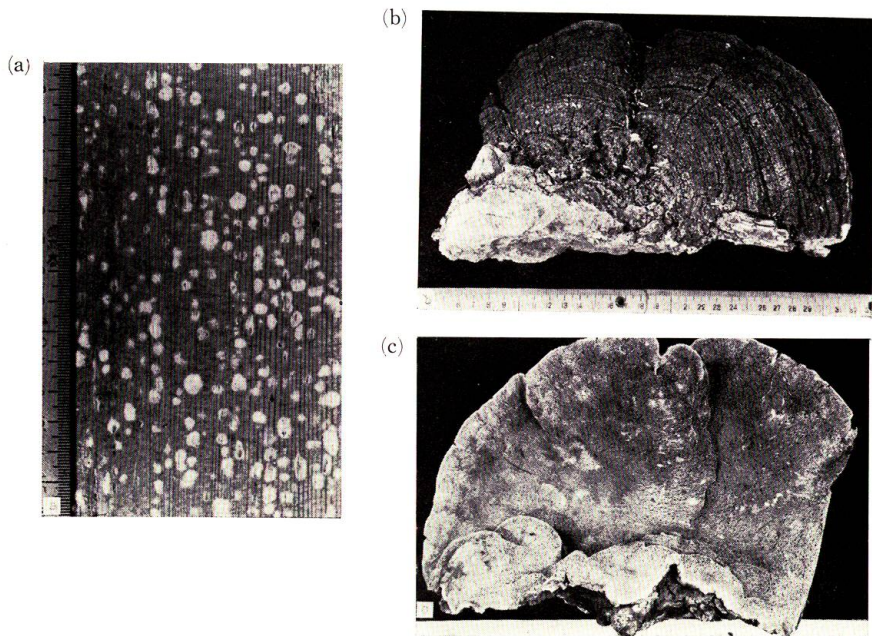


写真9. エゾサルノコシカケによって腐朽したアカエゾマツ材と子実体

Fig. 9. *Picea glehnii* wood decayed by *Cryptoderma yamanoi* and its sporophore.

- a: 腐朽材の縦断面 Longitudinal section of the decayed wood.
 b: 子実体の上面 Upper surface of sporophore.
 c: 子実体の下面 Lower surface of sporophore.

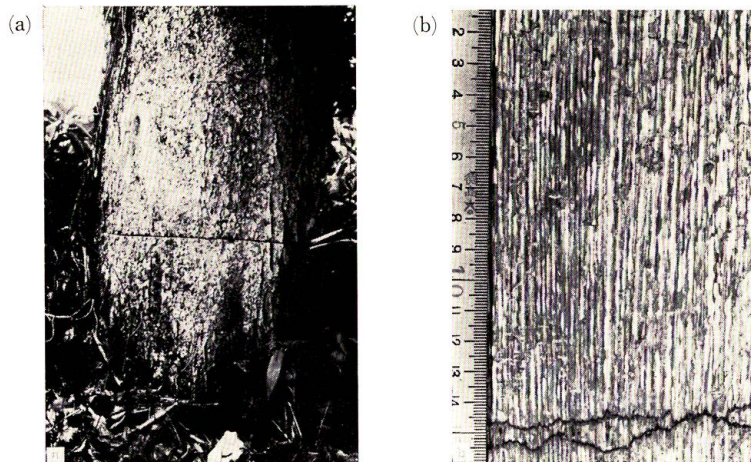


写真10. マイタケによって腐朽したミズナラ材

Fig. 10. *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* wood decayed by *Grifola frondosa*.

- a: 腐朽したミズナラの樹幹 A trunk of the diseased oak.
 b: 腐朽材の縦断面 Longitudinal section of the decayed wood.

した。この伐根から翌年子実体が発生し、マイタケであることが確認された。マイタケの場合は天然繊維が結束した紐状(写真10・b)に分離されるので、これを集めて試料とした。ほとんど完全に脱リグニンされている。なお、参考のため完全腐朽した材全体を粉碎して分析した結果は第2表のようである。

第2表 マイタケによって腐朽したミズナラ材の成分組成

Table 2. Chemical composition of oak wood (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*) decayed by *Grifola frondosa*

腐朽段階 Stage of decay	健全 Sound	末期 Most rotted
容積重 Density	0.60	0.18
水分 Moisture	10.8	11.5
灰分 Ash	0.43	1.64
抽出分 Solubility in		
アルコール・ベンゼン Alcohol-benzene	4.7	4.2
冷水 Cold water	5.5	8.1
温水 Hot water	9.7	17.2
1% NaOH	26.8	45.7
ホロセルロース Holocellulose	66.2	58.1
全ペントサン Total pentosan	19.4	19.9
メチルペントサン Methyl pentosan	1.6	1.1
リグニン Lignin	30.3	26.2

d. ニレサルノコシカケ *Rigidoporus ulmarius* (SOW. ex FR.) IMAZ. によって腐朽したハルニレ材 *Ulmus davidiana* PLANCH var. *japonica* NAKAI: 昭和31年1月, 北大苫小牧地方演習林上幌内事業区第18林班の被害木(写真11・a)から採取。伐倒した横断面は写真11・bのようであって、心材中央部にかなりの体積にわたってほとんど完全に脱リグニンされた腐朽部がつまっていた。成分分析の結果はすでに報告してある¹³⁾。この腐朽部にはハルニレの組織がはつきりみられる。分析試料として用いた残部で約15年間保存しておいたものをパルプ試験に用いた。

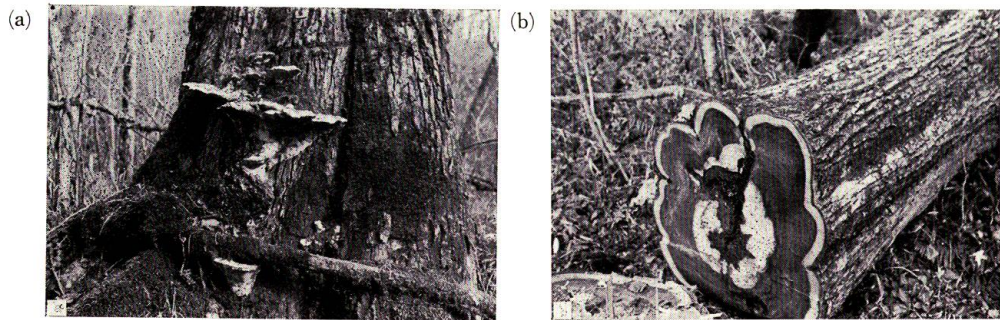


写真 11. ニレサルノコシカケによって腐朽したハルニレ材
 Fig. 11. *Ulmus davidiana* var. *japonica* wood decayed
 by *Rigidoporus ulmarius*.

a: 生立木上の子実体 Sporophores on a living tree.
 b: 腐朽材の横断面 Cross section of the decayed wood.

2. 実験方法

A. 成分分析

山から採取した丸太は実験室に運び、試料調製までの間数年経っているのですべて風乾状態になっていた。その丸太を約 30 cm の長さで鋸断して、木口を観察してから、小割りしてさらに縦断面も観察した。この観察によって試料を健全、変色、腐朽中期、腐朽末期の段階別に分類し、その中から代表的な部分を数個えらんで直方体に整形して、体積を測定してから 105°C で乾燥して重量を測定した。これからそれぞれの容積重を算定した。その後腐朽材は Wiley mill で粉碎し、一方健全材または変色材は試料調製用の丸鋸機にかけて木粉を調製した。木粉はそれぞれふるいにかけ、ホロセロス分析用に 40~60 メッシュ、その他の成分分析用に 80~100 メッシュの部分を用いた。分析方法は大部分林産化学実験書²⁴⁾に従った。

B. パルプ試験

実験に用いた試料はいわば天然繊維であり、天然に得られたホロセルロースでもある。しかし完全に離解された繊維ではないので、離解するために亜塩素酸ソーダで処理し、さらに 1ℓ 容三角フラスコ中の水にサスペンドさせよく振盪した。亜塩素酸による処理条件は、木材分析法に従い、針葉樹(マツノカタワタによって腐朽したカラマツ、エゾサルノコシカケによって腐朽したアカエゾアツ)は 4 回、広葉樹(マイタケによって腐朽したミズナラ、ニレサルコシカケによって腐朽したハルニレ)は 3 回処理した。こうして得られた繊維は顕微鏡による観察に供するとともに、パルプ試験用の手抄紙葉を作製し、紙力試験に供した。紙力試験は引張り強さを島津オートグラフ IS-5,000 を速度 5 mm/min にして行ない、その他はエルメンドルフ引裂試験機、ミュレン型破裂試験機および MIT 型耐折試験機を用いて行なった。

3. 実験結果

A. 成分組成

a. エゾヒズメタケによって腐朽したカツラ材: 分析結果は第3表のようである。これによると、別の健全材²²⁾と比較して、試料の採取部位や個体間の差からある程度のちがいは考えられるがほとんど健全材の成分組成と変わっていない。ただ末期腐朽材の1% NaOH抽出物が29.0%と高い値を示しており、またホロセルロースとリグニンの和が変色材では100.3%であるのに、腐朽材では94.7%と低く、ホロセルロースやリグニンの可溶性への変質がみられ、腐朽の進んでいることがわかる。またホロセルロース対リグニンの比も完全腐朽材で3.2であって、健全材の3.2と同じであり(変色材では2.9)、健全材類似型腐朽材(“Normal-like” decayed wood)ということができる。

第3表 エゾヒズメタケによって腐朽したカツラ材の成分組成

Table 3. Chemical composition of hardwood (*Cercidiphyllum japonicum*) decayed by *Cryptoderma cercidiphyllum*. (%)

試料番号 Sample No.	I ₁	I ₃
腐朽段階 Stage of decay	変色 Discolored	末期 Most rotted
容積重 Density	0.35	0.15
水分 Moisture	11.2	12.3
灰分 Ash	0.37	0.11
抽出物 Solubility in		
アルコール・ベンゼン Alcohol-benzene	1.9	0.9
冷水 Cold water	2.3	2.7
温水 Hot water	3.4	4.6
1% NaOH	14.7	29.0
ホロセルロース Holocellulose	74.7	72.3
全ペントサン Total pentosan	21.6	19.5
メチル・ペントサン Methyl pentosan	0.6	0.8
リグニン Lignin	25.6	22.4

b. ヤニタケによって腐朽したイタヤカエデ材: 分析の結果は第4表のようである。ここに示した健全材は、ヤニタケによって腐朽した丸太の健全部ではなく、比較参考のために腐朽材と平行して分析した別丸太の健全材である。この健全材の分析値は既往の分析値^{13,22)}とき

第4表 ヤニタケによって腐朽したイタヤカエデ材の成分組成
 Table 4. Chemical composition of maple wood (*Acer mono*)
 decayed by *Ischnoderma resinosum*. (%)

試料番号 Sample No.	(II ₀ *)	II ₃
腐朽段階 Stage of decay	健全 Sound	末期 Most rotted
容積重 Density	0.61	0.18
水分 Moisture	10.2	12.0
灰分 Ash	0.39	1.18
抽出物 Solubility in		
アルコール・ベンゼン Alcohol-benzene	0.9	2.1
冷水 Cold water	1.3	6.9
温水 Hot water	2.3	9.9
1% NaOH	16.1	33.1
ホロセルロース Holocellulose	78.9	69.7
全ペントサン Total pentosan	22.6	24.1
メチル・ペントサン Methyl pentosan	1.5	2.7
リグニン Lignin	22.4	23.9

わめてよく似ており、代表的な健全材とみることができる。腐朽材を健全材と比較すると、抽出物は冷水、温水、アルコール・ベンゼンとも高く、またホロセルロースとリグニンの和が健全材では101.3%であるのに、腐朽材では93.6%と低い値を示し、腐朽の進んでいることがわかる。ホロセルロース対リグニンの比をみると2.9で、健全材の3.5よりも低いが、この値は広葉樹健全材の示す値の範囲内にあり、この腐朽材は健全材類似型といえることができる。この結果はすでに発表したドロノキ腐朽材の場合¹³⁾と一致している。なおエゾマツ材の場合¹³⁾はセルロース残存型 (Cellulose-rich decayed wood) となっているので検討を要する。

c. ツリガネタケによって腐朽したブナ材：分析の結果は第5表のようである。これを別の健全材²²⁾と比較すると、灰分および抽出物がやや多いが、健全材とほとんど変りない。ホロセルロース対リグニンの比は3.6で健全材の範囲内であり、健全材類似型の性質を示しているが、容積重が0.36と比較的高く、またホロセルロースとリグニンの和が99.7%と高い値を示していることから末期腐朽材ではないと考えられるので断定はできない。この傾向はすでに報告したヤマモミジ腐朽材¹³⁾と同じである。

第5表 ブナおよびケヤマハンノキ腐朽材の成分組成
 Table 5. Chemical composition of decayed beech and alder woods. (%)

試料番号 Sample No.	III ₂	IV ₃	V ₃	VI ₃
樹種 Wood species	ブナ <i>Fagus crenata</i>	ケヤマハンノキ <i>Alnus hirsuta</i>	ケヤマハンノキ <i>Alnus hirsuta</i>	ケヤマハンノキ <i>Alnus hirsuta</i>
菌種 Fungus species	ツリガネタケ <i>Fomes fomentarius</i>	ネンドタケ <i>Phellinus gilvus</i>	キコブタケ <i>Phellinus igniarius</i>	アラゲカワラタケ <i>Coriolus hirsutus</i>
腐朽段階 Stage of decay	中期 More rotted	末期 Most rotted	末期 Most rotted	末期 Most rotted
容積重 Density	0.36	0.24	0.21	0.13
水分 Moisture	10.9	10.6	10.8	13.1
灰分 Ash	1.02	0.71	1.42	1.66
抽出物 Solubility in				
アルコール・ベンゼン Alcohol-benzene	1.6	2.3	3.4	1.8
冷水 Cold water	3.8	4.8	4.2	4.4
温水 Hot water	5.6	8.1	10.4	7.2
1% NaOH	24.3	30.3	37.6	30.5
ホロセルロース Holocellulose	78.0	68.8	59.5	66.0
全ペントサン Total pentosan	24.6	21.5	23.2	23.8
メチル・ペントサン Methyl pentosan	1.4	1.4	1.7	1.6
リグニン Lignin	21.7	21.1	32.0	26.7

d. ネンドタケによって腐朽したケヤマハンノキ材: 分析の結果は第5表のようである。これを別の健全材²²⁾と比較すると、灰分および抽出物がやや多く、ホロセルロースとリグニンの和が89.9%と低く、両成分が可溶性に変化していることから腐朽は進んでいることがわかる。ホロセルロース対リグニンの比は3.3で健全材の範囲内にあり、健全材類似型といえることができる。

e. キコブタケによって腐朽したケヤマハンノキ材: 分析の結果は第5表のようである。これによると灰分は1.42%とかなり高い値を示し、また抽出物とくに1% NaOH抽出物の値がかなり高く、ホロセルロースとリグニンの和が91.5%と低い値を示していることから、かなり腐朽が進んでいることがわかる。つぎにリグニンは32.0%と広葉樹健全材ではみられない高い値を示しており、したがってホロセルロース対リグニンの比は1.9と比較的低い値を示し

ている。この傾向は同じ菌によつて腐朽したヤマモミジ材の場合が、灰分が2.56%、リグニンが28.1%とかなり高い値を示し、ホロセルロース対リグニンの比が2.4と比較的低い値を示しているのと同じ傾向を示している。このようにやや特異な性質を示しているが、腐朽型としては健全材類似型とみることができる。

f. アラゲカワラタケによつて腐朽したケヤマハンノキ材： 分析の結果を第5表に示す。この腐朽材は容積重が0.13ともつとも低く、腐朽の進んだ材である。また灰分がとくに多い特色があり、抽出物がやや多く、ホロセルロースとリグニンの和が92.7%と低いことからかなり腐朽していることがわかる。ホロセルロース対リグニンの比は2.5であつて、やや低い傾向を示すが、健全材類似型である。この傾向は同じ菌によつて腐朽したヤマモミジ材¹³⁾の傾向と似ている。

g. カボチャタケによつて腐朽したトドマツ材： 分析の結果を第6表に示す。トドマツ健全材の分析値は数多く発表されているが^{13,22)}、そのいずれと比較しても特色あることは、抽出物とくに1% NaOH抽出物の多いことである。この傾向はリグニン残存型腐朽材の特色でもある。さらにホロセルロースは43.3%と低く、リグニンは38.7%と高く、またその合計は82.0%であつて、両成分が可溶性に変質しているがよくわかり腐朽の進んでいることを示している。ホロセルロース対リグニンの比は1.1であつて、健全材の1.7~2.4にくらべてきわめて小さい値である。この値はリグニン残存型腐朽材を1以下ときめた¹³⁾範囲外であるけれども、各種性質を総合するとリグニン残存型 ((Lignin-rich decayed wood) と考えざるを得ない。

第6表 カボチャタケによつて腐朽したトドマツ材の成分組成
Table 6. Chemical composition of fir wood (*Abies sachalinensis*)
decayed by *Hapalopilus fibrillosus*. (%)

試料番号 Sample No.	I ₃		
腐朽段階 Stage of decay	末期 Most rotted		
容積重 Density	0.22	温水 Hot water	17.7
水分 Moisture	11.4	1% NaOH	48.6
灰分 Ash	0.52	ホロセルロース Holocellulose	43.3
抽出分 Solubility in		全ペントサン Total pentosan	11.4
アルコール・ベンゼン Alcohol-benzene	8.5	メチル・ペントサン Methyl pentosan	5.2
冷水 Cold water	7.8	リグニン Lignin	38.7

h. マツノカタワタケによつて腐朽したカラマツ材： この腐朽材は末期において、完全に脱リグニンされてリグニンの呈色反応を示さない繊維を分離するので、セルロース残存型で

ある。ポケット状に腐朽した材(写真8・b左半分)を粉碎して分析した結果は第1表のようである。比較のためにとつた変色辺材は赤味をおびた容積0.53の材で、一方ポケット状に腐朽した材の容積重は0.15とかなり低い値である。水分は末期腐朽材が高く、腐朽材の吸湿性の高い特性を示している。アルコール・ベンゼンおよび温、冷水抽出物は変色辺材が高いが、1% NaOH抽出物は末期心材が56.6%ときわめて高い値を示し、腐朽の進んでいることを示している。しかし変色辺材の40.6%も健全材²²⁾にくらべてかなり高い値で、変質していることがわかる。この傾向はホロセルロースとリグニンの和が変色辺材で78.0%、腐朽心材で76.3%であることにもあらわれ、ガラクトランを考慮に入れたとしても低く、両成分がかなり可溶性に変質していることがわかる。この性質はピンセットで摘出した白色繊維のホロセルロース収率が71%ときわめて低く、単離処理によって29%が溶出していることから理解でき、一方リグニンも可溶性に変質していることがうかがわれる。ホロセルロース対リグニンの比は変色辺材が1.9、腐朽心材が1.6とほぼ健全材類似型の値を示している。

i. マイタケによって腐朽したミズナラ材: この腐朽材の紐状に分離された結束繊維は、フロログルシン塩酸溶液によるリグニンの呈色反応がみられない天然のホロセルロースであって、明らかにセルロース残存型腐朽材である。しかし写真10・bにみられるように、リグニンを含有する部分も残存しているので、腐朽材全体を粉碎して分析した。分析の結果は第2表のようである。これによると容積重は健全材の0.60にくらべて末期腐朽材は0.18ときわめて低い。水分は腐朽材がやや高く、腐朽材の吸湿性をあらわしている。灰分は健全材の0.43%にくらべて1.64%とかなり高く、すでに述べた他の広葉樹腐朽材の場合と共通の傾向を示している。抽出物は腐朽材がやや多い傾向を示しているが、1% NaOHは45.7%とかなり高い値を示している。ホロセルロースは58.1%と低く、ピンセットで摘出した紐状結束繊維の場合、完全に脱リグニンされているはもかかわらず、亜塩素酸ソーダによる単離処理によって18%が溶出して可溶性に変質していることがわかる。ホロセルロース対リグニンの比は健全材の2.2に対し、腐朽材も2.2と同じ値を示し、腐朽材全体としては健全材類似型の性質を示している。なおリグニンの含有率が健全材、腐朽材ともに高い値を示しているが、この傾向はすでに報告した他のミズナラ腐朽材¹²⁾の傾向と一致している。

B. パルプ試験

試料は天然の繊維状ホロセルロースと考えられるが、亜塩素酸処理後の収量は91~72%で、9~28%がこの処理によって溶出されている。したがって腐朽菌の分解作用によって、かなり変質していることがわかる。このことは繊維の顕微鏡写真によっても伺うことができる。

まず手抄紙葉の性質についてみると、針葉樹については第7表、広葉樹については第8表に示してある。エゾサルノコシカケによって分離されたアカエゾマツ材繊維は、ホロセルロースの収量が91%と高いが、裂断長が3.2 km、比破裂強さが1.1といずれも低い。またその紙葉には白く輝くような結束繊維が多量に含まれている。一方マツノカワタケによって分離されたカ

ラマツ材繊維は、ホロセルロースの収量が71%ときわめて低く、裂断長が2.6 km、比破裂強さが0.4と前者にくらべてさらに低い値を示している。この繊維から作った紙葉は均質できめがこまやかであるが、折り曲げると容易に折断し、耐折強さは0回である。これらの繊維を顕微鏡写真によってみると、エゾサルノコシカケによる繊維はすでに報告¹⁵⁾されているが、未叩解でありながら、かなり叩解されたような変質がみられ(写真12)、仮道管の中には菌による傷と思われる痕跡がみられ(写真13・a)、菌糸の残存するものもある(写真13・b)。またマツノカタワタケによる繊維は、前者よりもさらに分解が進み、繊維の破壊が目立ち(写真14)、繊維の中に菌糸がみられることもある(写真14・a)。また写真15には菌糸ならびに菌糸による侵食状況がみられる。このように紙葉の物理的性質と顕微鏡による観察の結果は一致して分解を示しており、この状態まで腐朽した材(分離繊維)は、製紙用には適当でないことがわかる。

一方マイタケによるミズナラ材繊維は、ホロセルロースの収量が82%で、エゾサルノコシカケによるアカエゾマツ材繊維よりも低いが、裂断長が5.5 km、比破裂強さが2.0となり高く、

第7表 針葉樹から白色腐朽菌によって単離された繊維紙の性質

Table 7. Properties of hand sheets made from fibers isolated from softwoods by white-rot fungi

試料番号 Sample No.	P ₃	L ₃
樹種 Wood species	アカエゾマツ <i>Picea glehnii</i>	カラマツ <i>Larix leptolepis</i>
菌種 Fungus species	エゾサルノコシカケ <i>Cryptoderma yamanoi</i>	マツノカタワタケ <i>Cryptoderma pini</i>
繊維状ホロセルロースの収量 Yield of fibrous holocellulose (%)	91	71
水分 Moisture (%)	8.7	9.1
緊度 Density	0.53	0.65
坪量 Basic weight (g/m ²)	61	46
裂断長 Breaking length (km)	3.2	2.6
比破裂強さ Burst factor	1.1	0.4
比引裂き強さ Tear factor	63	18
耐折強さ Folding endurance (time)	4	0

紙葉の外見も均質良好であり、製紙用パルプとして充分使用することのできるものである。またニレサルノコシカケによるハルニレ材繊維は、ホロセルロースの収量が76%と前者よりやや低く、裂断長が3.6 km、比破裂強さが1.3と低く、かなりの数の微小爽雜物がみられ分解の進んでいることを伺わせる。これらの繊維を顕微鏡によってみると、マイタケによるミズナラ材繊維は、パルプとして優良なあまり変質していないものが多く(写真16)、中には分解切断したもの(写真17・a)や菌による侵害の跡のみられるもの(写真17・b)もみられる。しかし全体的にみて変質変形しない繊維が多いということが出来る。一方ニレサルノコシカケによる繊維は、前者よりも分解が進んでおり(写真18・a)結束繊維とそれに伴う髓線細胞の存在(写真18・b)が目立っていた。この繊維の中には叩解すると生ずる微細繊維屑のようなものがみられ(写真19・a)、中には細胞壁に菌糸による穿孔らしいもの(写真19・b)がみられる。

以上針葉樹2種類、広葉樹2種類合計4種類の中で、マイタケによって分離されたミズナラ材の繊維がもっとも良質であることがわかった。

第8表 広葉樹から白色腐朽菌によって単離された繊維紙の性質
Table 8. Properties of hand sheets made from fibers isolated from hardwood by white-rot fungi

試料番号 Sample No.	Q ₃	U ₃
樹種 Wood species	ミズナラ <i>Quercus mongolica</i> var. <i>grossoserrata</i>	ハルニレ <i>Ulmns</i> <i>dauidiana</i>
菌種 Fungus species	マイタケ <i>Grifola frondosa</i>	ニレサルノコシカケ <i>Rigidoporus ulmarius</i>
繊維状ホロセルロースの収量 Yield of fibrous holocellulose (%)	82	76
水分 Moisture (%)	8.1	9.0
緊度 Density	0.60	0.57
坪量 Basic weight (g/m ²)	46	60
裂断長 Breaking length (km)	5.5	3.6
比破裂強さ Burst factor	2.0	1.3
比引裂き強さ Tear factor	45	12
耐折強さ Folding endurance (time)	4	0

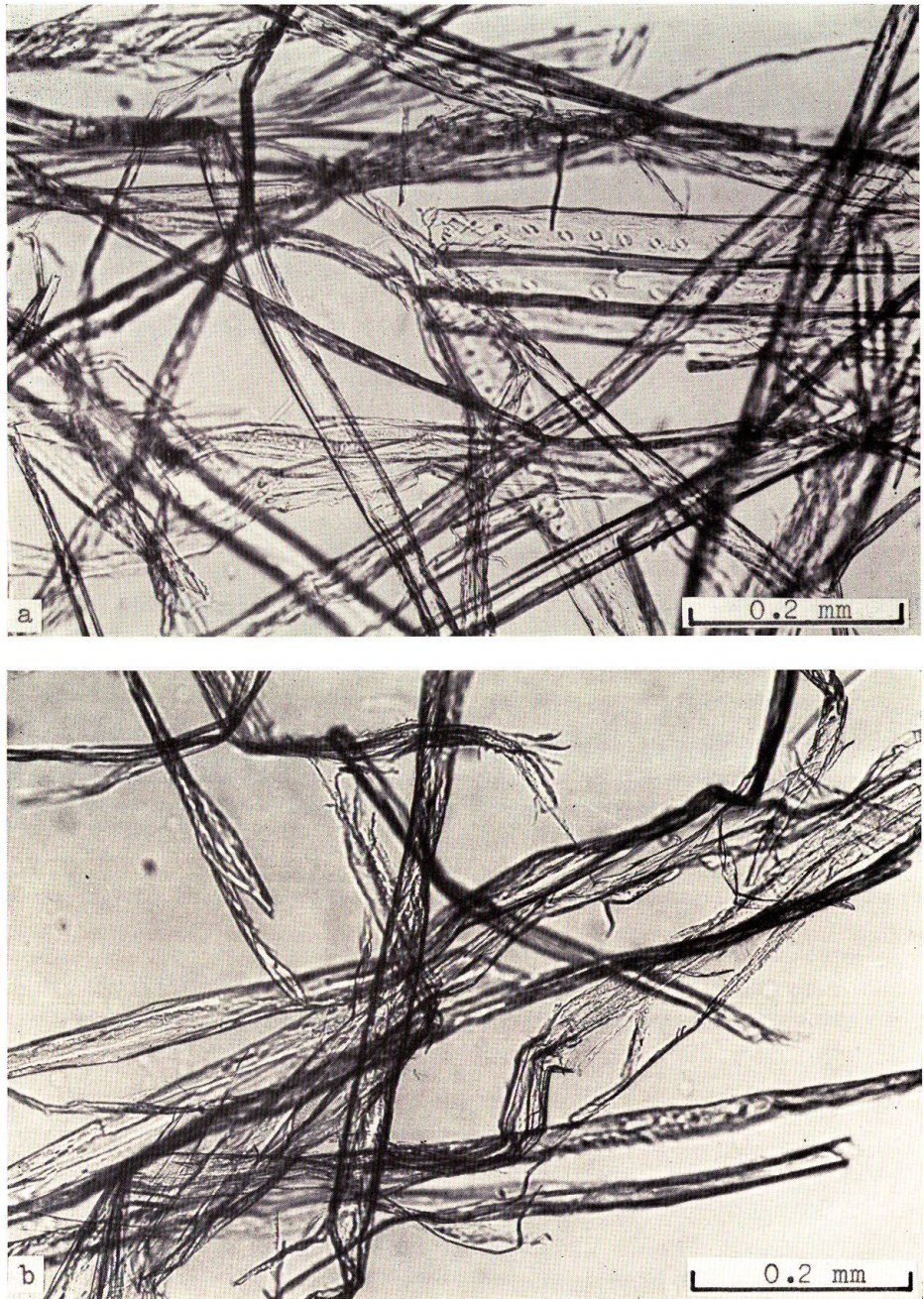


写真12. エゾサルノコシカケによって分離された
アカエゾマツ材の繊維

Fig. 12. Fibers of *Picea glehnii* wood isolated by
Cryptoderma yamanoi.

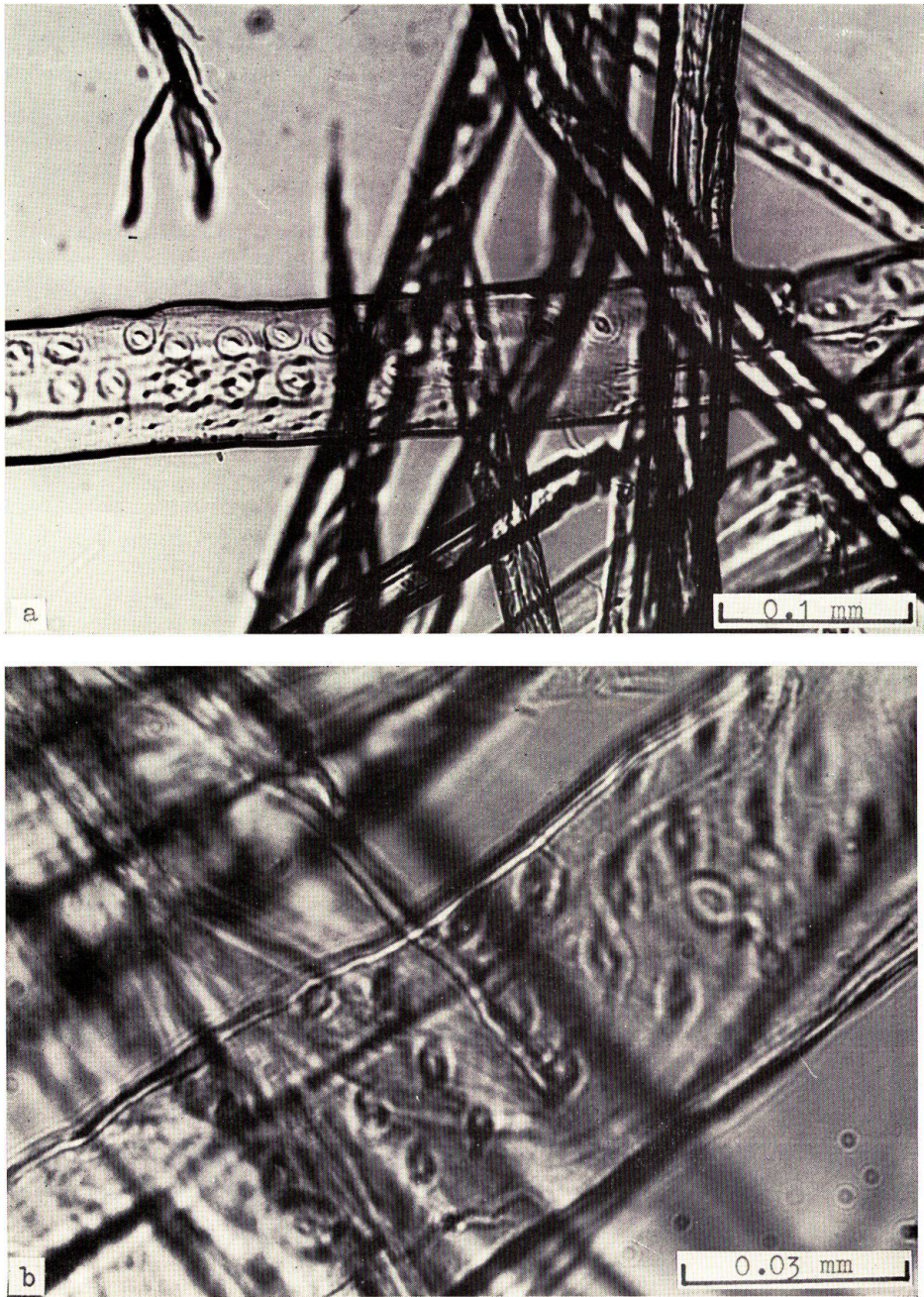


写真 13. エゾサルノコシカケによって分離された
アカエゾマツ材の繊維

Fig. 13. Fibers of *Picea glehnii* wood isolated by
Cryptoderma yamanoi.

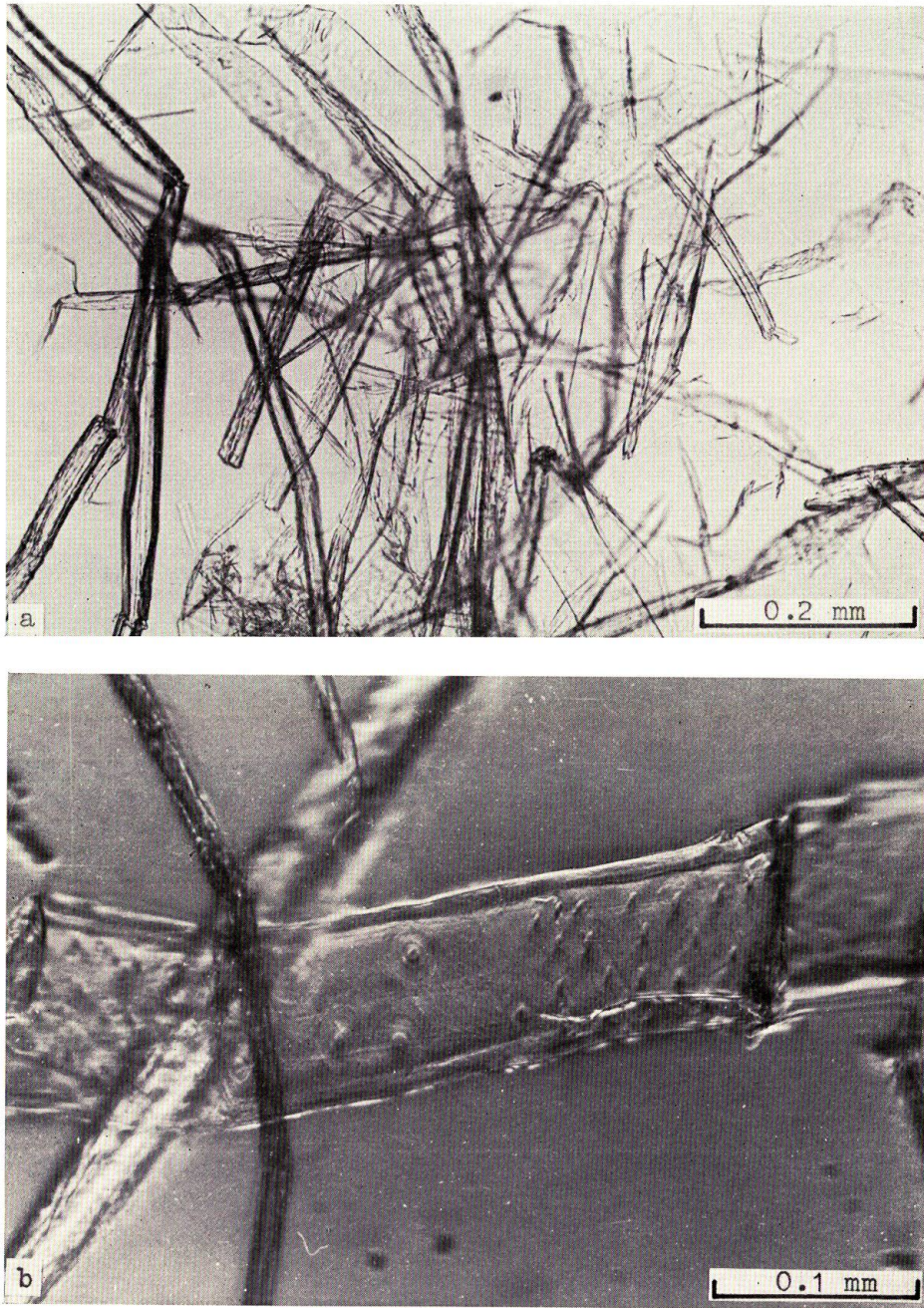


写真14. マツノカタワタケによって分離されたカラマツ材の繊維

Fig. 14. Fibers of *Larix leptolepis* wood isolated by *Cryptoderma pini*.

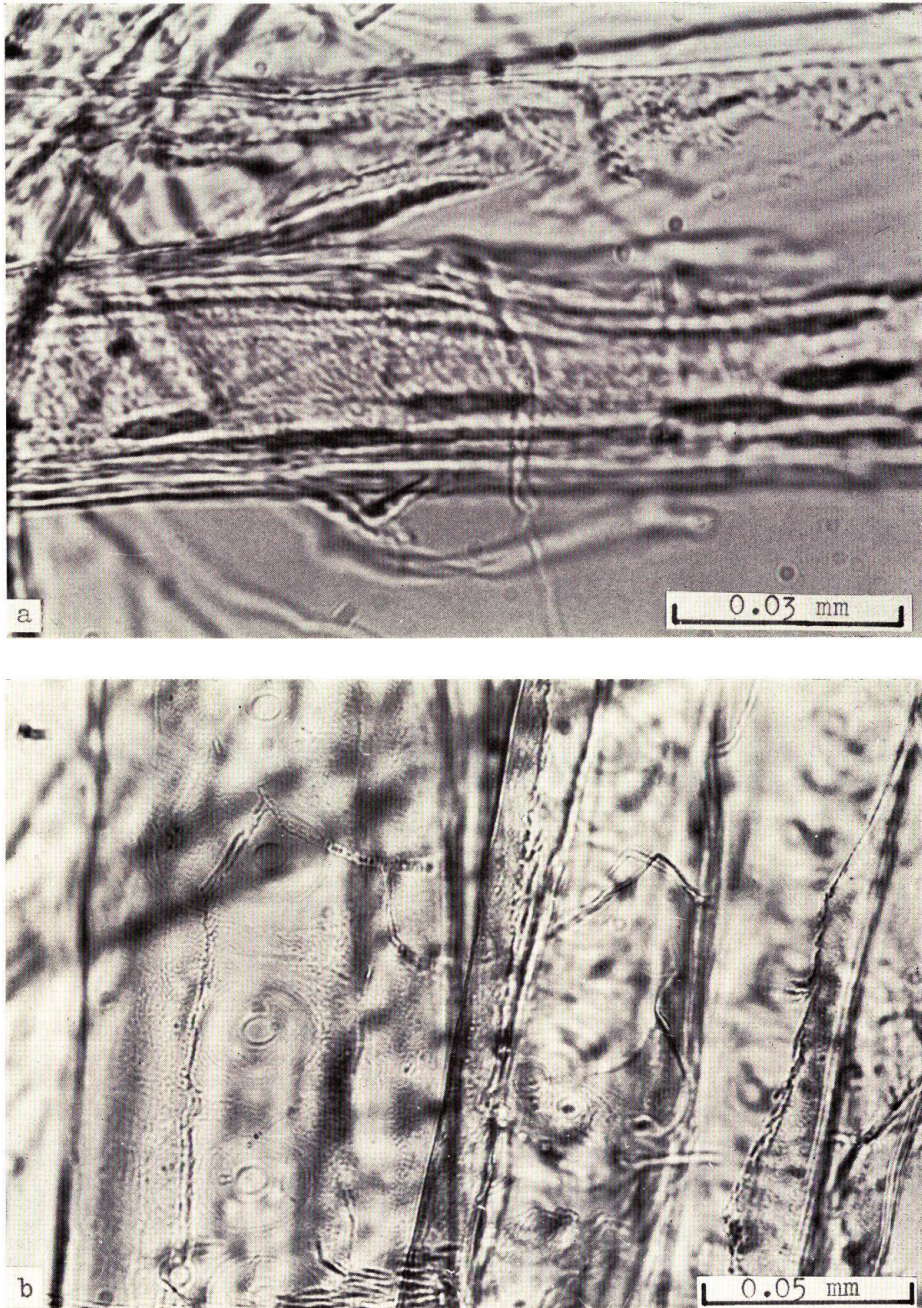


写真15. マツノカワタケによって分離されたカラマツ材の繊維
Fig. 15. Fibers of *Larix leptolepis* wood isolated by *Cryptoderma pini*.

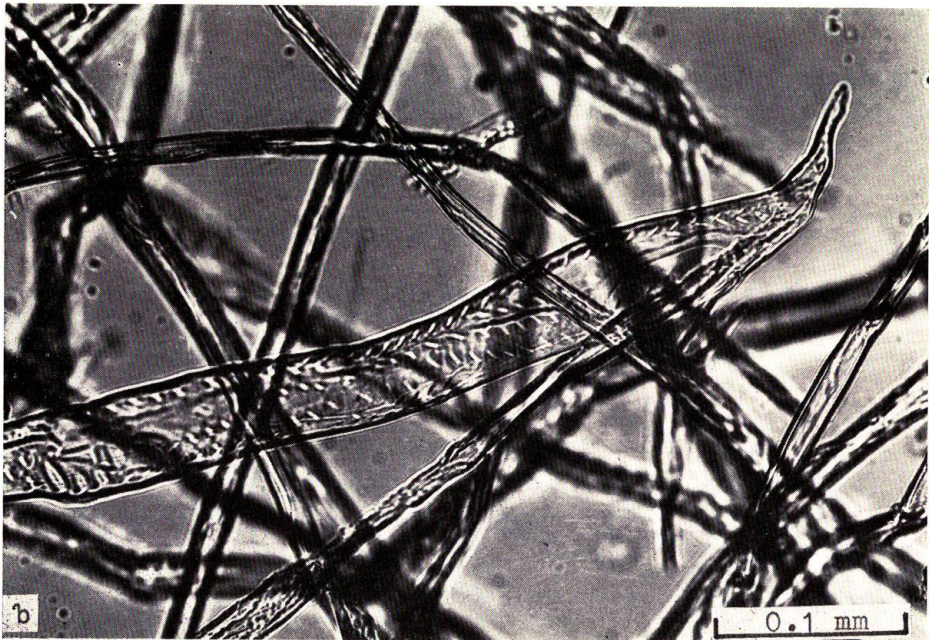
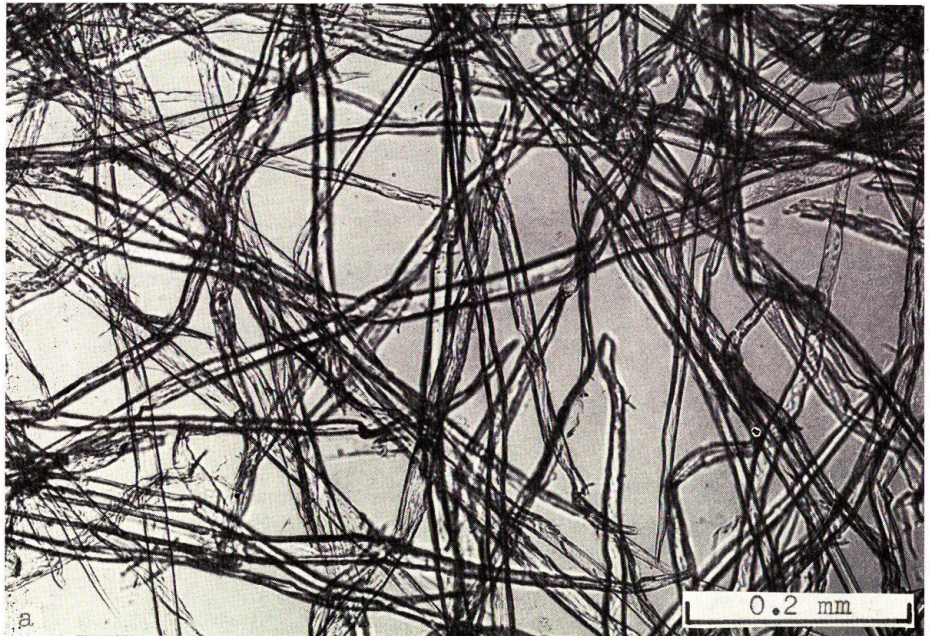


写真16. マイタケによって分離されたミズナラ材の繊維

Fig. 16. Fibers of *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* wood isolated by *Grifola frondosa*.

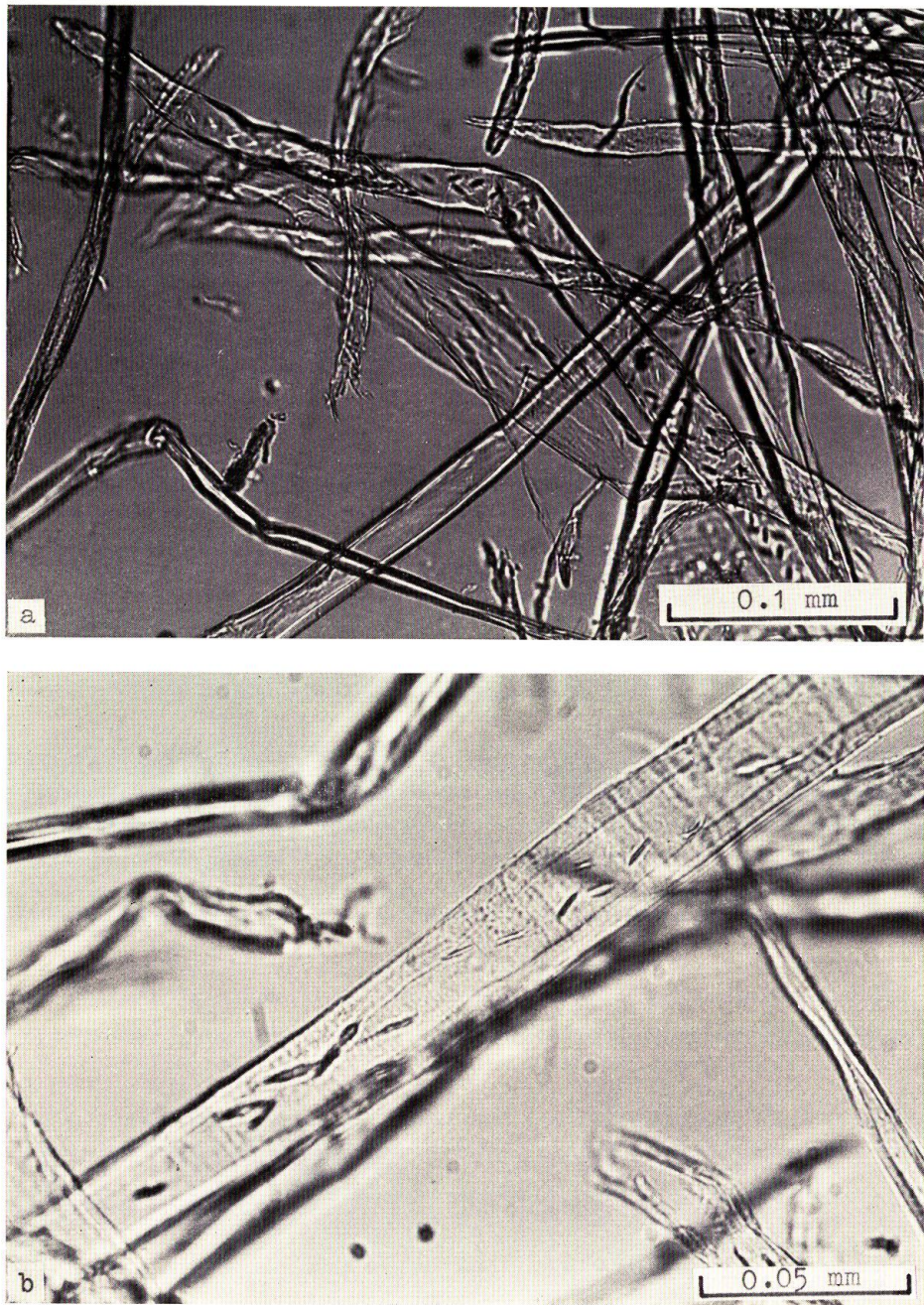


写真17. マイタケによって分離されたミズナラ材の繊維

Fig. 17. Fibers of *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* wood isolated by *Grifola frondosa*.

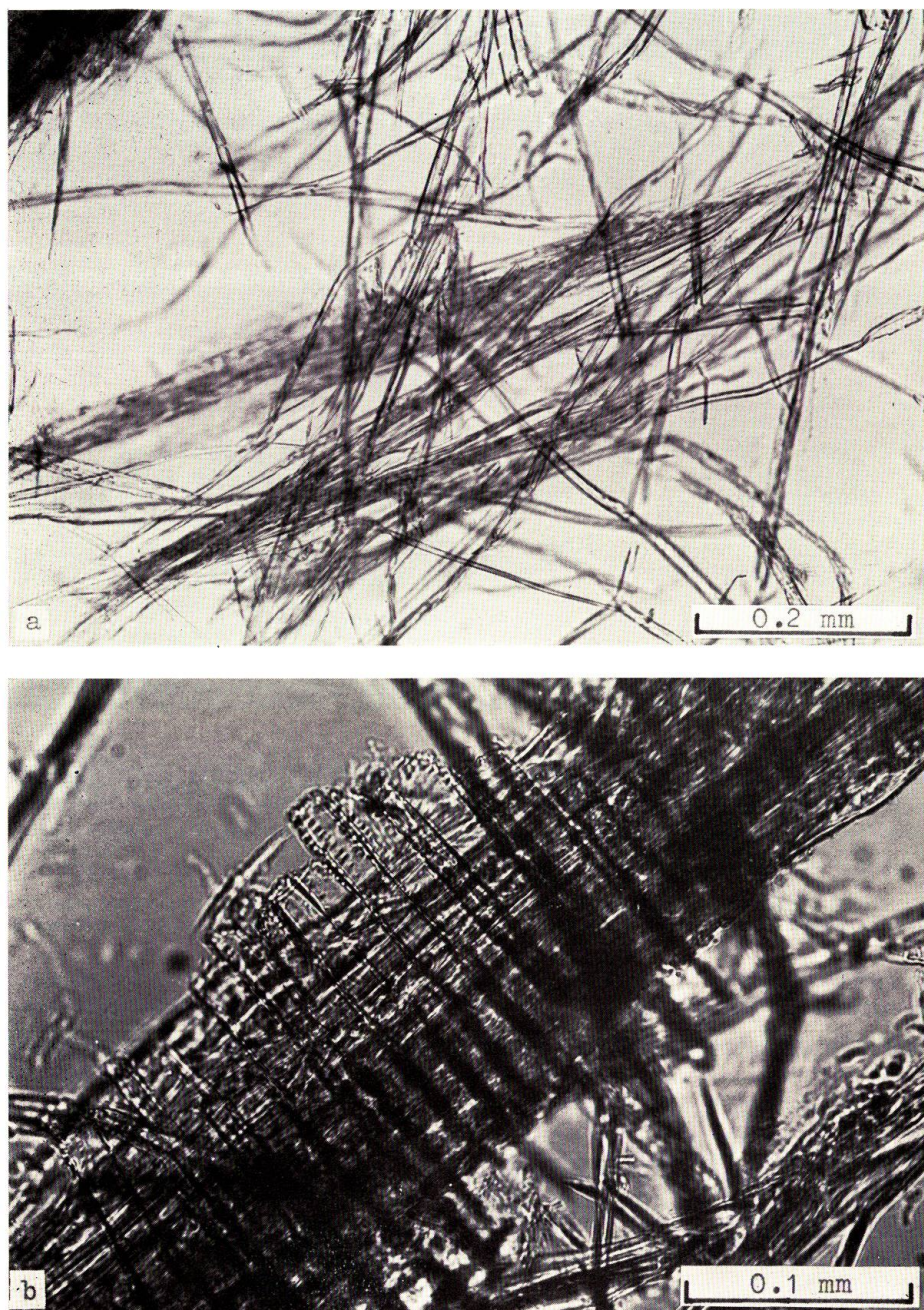


写真18. ニレサルノコシカケによって分離されたハルニレ材の繊維

Fig. 18. Fibers of *Ulmus davidiana* var. *japonica* wood isolated by *Rigidoporus ulmarius*.

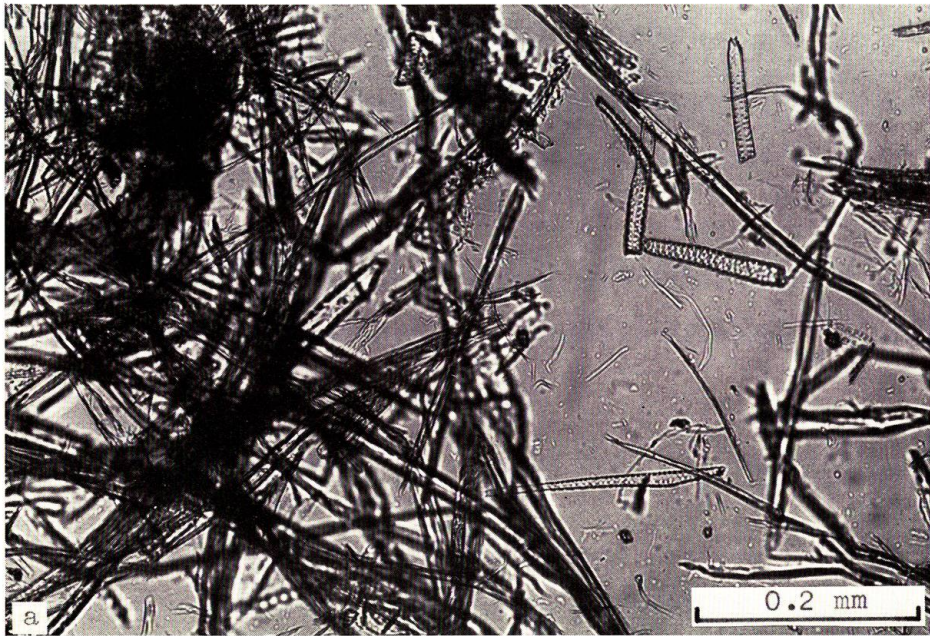


写真19. ニレサルノコシカケによって分離されたハルニレ材の繊維
Fig. 19. Fibers of *Ulmus davidiana* var. *japonica* wood
isolated by *Rigidoporus ulmarius*.

4. 結 言

今回の報告は、分析用試料としたもの5種類、別の目的のための試料ではあるが今回の報告が初めてのもの2種類、結果的には合計7種類の腐朽材について成分分析した結果を報告した。このうち新たな菌種としては、エゾヒズメタケ、ネンドタケ、カボチャタケ、マツノカタワタケの4種類で、かつて疑問をもたれたマイタケ¹³⁾は、今回の実験を通して腐朽状態がまったく一致しており、マイタケに間違いがないことが確認された。

成分分析の目的は腐朽材の合理的利用の確立にあることはすでに述べたが、一方においては木材腐朽のメカニズム解明の手がかりにもできるものである。腐朽材の特色として、抽出成分の増加とホロセルロースの減少がすべてに共通しているが、その他に今回の分析によって注目をひいたのは、灰分の増加である。灰分のいちじるしい増加のみられるものは、マイタケによって腐朽したミズナラ材、ヤニタケによって腐朽したイタヤカエデ材、ツリガネタケによって腐朽したブナ材、キコブタケおよびアラゲカワラタケによって腐朽したケヤマハンノキ材である。いずれも1%以上の灰分含有率をもっている。

パルプ試験に用いたホロセルロースは、樹種と菌種が異なるので単純に比較できないが、紙力試験の結果と顕微鏡による繊維の観察によって、アカエゾマツよりカラマツが、またミズナラよりハルニレの繊維の方がより分解していることがわかる。また水分含有率をみてもアカエゾマツよりカラマツが、またミズナラよりハルニレの方が高い値を示しており、菌による分解のために親水基の増加することが想定できる。

木材腐朽菌のリグニン分解作用をパルプ化に応用する基礎試験として行ったセルロース残存型腐朽材は、ポケットを形成するもの(エゾサルノコシカケ、マツノカタワタケ)や全体をほぼ均一に脱リグニンするもの(ニレサルノコシカケ)、あるいは紐状に繊維を分離するもの(マイタケ)などがある、それぞれの特色を示している。これらセルロース残存型腐朽材は特定の樹種にのみ着生する菌によって生産されたものばかりである。これら木材腐朽菌によって天然に生産された繊維の中では、マイタケによるミズナラ材の繊維が、ついで比較的初期腐朽のエゾサルノコシカケによるアカエゾマツ材の繊維が製紙用パルプとして利用の可能性をもっていたが、これら特色ある腐朽菌の作用を木材のパルプ化に応用できるかどうかは今後の試験に待たなければならない。

参 考 文 献

- 1) 青島清雄: タウヒの白斑性心材腐朽菌. 演習林, 8, 89 (1951).
- 2) BIER, J. E.: Some common tree disease of British Columbia (1949), Can. Dept. of Agr. Ottawa.
- 3) BIER, J. E.: Forest pathology (1961), McGraw-Hill Book Company, New York.
- 4) Browne, F. G.: Pests and disease of forest plantation trees (1968), Clarendon Press, Oxford.
- 5) 千葉 修・寺本敏雄: 北海道演習林産材質腐朽菌類について. 東大演習林報告, 43, 19 (1952).

- 6) 逸見武雄・赤井重恭: 木材腐朽菌学 (1945), 東京.
- 7) 五十嵐恒夫: 北海道における森林病害の問題点. 北海道林業の諸問題 (日本林業調査会), 189 (1968), 東京.
- 8) 今関六也: 東亜菌類考 (一). 林業試験場研究報告, 42, 1 (1949).
- 9) 今関六也: *Cryptoderma Pini* (BROT, ex FR.) IMAZEKI and C. Yamanoi IMAZEKI. 植物病害研究, 4, 174 (1941).
- 10) 伊藤一雄: 「マヒタケ」に関する二, 三の研究. 林学会雑誌, 23, 562 (1941).
- 11) 伊藤一雄: 「マヒタケ」に関する二, 三の研究. 林学会雑誌, 23, 593 (1941).
- 12) 伊藤誠哉: 日本菌類誌, 第2巻, 第4号 (養賢堂 1955), 東京.
- 13) 川瀬 清: 腐朽材の活用に関する化学的基礎研究. 北大演習林研究報告 19, No. 2, 1 (1958).
- 14) KAWASE, K.: Chemical compositions of wood decayed under natural condition and their properties. J. Faculty Agriculture Hokkaido University, 52, Pt2, 186 (1962).
- 15) 川瀬 清・五十嵐恒夫: 腐朽材チップとそのパルプ. 北大演習林研究報告, 27, 161 (1970).
- 16) 北島君三: 建築土木用材腐朽菌ノ形態並之カ發育ニ及ホス温度ノ影響. 林業試験場報告 28, 1 (1917).
- 17) NOBLES, M. K.: Studies in forest pathology. VI. Identification of cultures of wood-rotting fungi. Canadian J. of Research, 26, Sec. C, 281 (1948).
- 18) NORDIN, V. J.: Studies of forest pathology XIII. Decay in sugar maple in the Ottawa-Huron and Algoma Extension Forest region of Ontario. Canadian J. of Botany 32, 221 (1954).
- 19) OVERHOLTS, L. O.: The Polyporaceae of the United States, Alaska, and Canada (1967), The University of Michigan Press, Michigan.
- 20) PRODAN, M.: これからの森林施業・東と西. 林業技術, No. 12, 11 (1972).
- 21) RILEY, C. G.: Studies in forest pathology IX. *Fomes ignarius* decay of poplar. Canadian J. of Botany 30, 710 (1952).
- 22) 里中聖一: 木材炭化の基礎的研究. 北大演習林研究報告, 22, No. 2, 609 (1963).
- 23) 柄内吉彦・亀井専次: エゾマツ心材腐朽病に関する研究, 予報. 日本植物病理学会誌, 2, 568 (1933).
- 24) 東大林産化学教室編: 林産化学実験書 (1965), 東京.
- 25) 山野義雄: 北海道えぞまつ心材腐朽菌の二新種に就いて. 北海道林業会報, 28, 292 (1930).
- 26) 山野義雄: エゾマツ心材白斑病細菌侵入の経路とその予防について. 札幌農林学会報, 23, 135 (1931).

Summary

As a fundamental study on utilization of decayed wood, analysis of the woods decayed under natural condition and the test of the sheet prepared from natural fibers of cellulose-rich decayed wood were done.

Seven kinds of unknown decayed wood were able to be classified into following types.

1. "Normal-like" decayed wood type
 - a. *Crepidiphyllum japonicum* SIEB. et ZUCC. decayed by *Cryptoderma cercidiphyllum* IMAZ. (Table 3-Fig. 1).
 - b. *Acer mono* MAXIM. decayed by *Ischnoderma resinosum* (SCHRAD. ex FR.) KARST. (Table 4-Fig 2).
 - c. *Fagus crenata* BL. decayed by *Fomes fomentarius* (L. ex FR.) KICKX (Table 5-Fig 3).
 - d. *Alnus hirsuta* TURCZ. decayed by *Phellinus gilvus* (SCHW. ex FR.) PAT. (Table 5-Fig. 4).

- e. *Alnus hirsuta* TURCZ. decayed by *Phellinus igniarius* (L. ex FR.) QUÉL. (Table 5-Fig. 5).
- f. *Alnus hirsuta* TURCZ. decayed by *Coriolus hirsutus* (WULF. ex FR.) QUÉL. (Table 5-Fig. 6).
- 2. Lignin-rich decayed wood type
 - g. *Abies sachalinensis* MAST. decayed by *Hapalopilus fibrillosus* (KARST.) BOND. et SING. (Table 6-Fig. 7).

Natural fibrous holocellulose isolated from Cellulose-rich decayed woods was treated by analytical method with sodium chlorite to defiberize and handsheets were prepared for paper test. The samples for test were:

- a. Fibrous holocellulose in the pockets of *Larix leptolepis* GORDON wood decayed by *Cryptoderma pini* (THORE ex FR.) IMAZ. (Fig. 9·a).
- b. Fibrous holocellulose in the pockets of *Picea glehnii* MASTERS wood decayed by *Cryptoderma yamanoi* IMAZ. (Fig. 10·b).
- c. Filamentous holocellulose in *Quercus mongolica* FISCHER var. *grosseserrata* MIQ. wood decayed by *Grifola frondosa* (DICKS. ex FR.) S. F. GRAY (Fig. 10·b).
- d. White soft holocellulose in *Ulmus davidiana* PLANCH. var. *japonica* NAKAI heartwood decayed by *Rigidoporus ulmarius* (SOW. ex FR.) IMAZ. (Fig. 11·b).

The results of the test were shown in Table 7 (softwood) and Table 8 (hardwood). Fig. 12 to Fig. 19 illustrated the properties of fibers isolated by the fungi from the woods under natural condition.

In the properties of the handsheets, that prepared from filamentous holocellulose in *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* wood decayed by *Grifola frondosa* was the most strong and next to the *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* fibrous holocellulose from the pockets of *Picea glehnii* wood decayed by *Cryptoderma yamanoi* was good.