

# ナミダタケによる木造建築物の 腐朽に関する研究

土 居 修 一

## 目 次

1. 諸 言	1
2. 旭川市におけるナミダタケ被害	2
2.1 代表的な被害例	2
2.1.1 新築後の被害発生例	2
2.1.2 増築後の被害発生例	12
2.2 旭川市内でのナミダタケ被害分布	15
2.3 被害と家屋（特に床下）構造との関係	16
2.3.1 調査の概要	16
2.3.2 調査結果と考察	17
2.4 ナミダタケ以外の腐朽菌による被害との比較	20
2.4.1 イドタケによる被害	20
2.4.2 アナタケ属（ <i>Poria</i> sp.）腐朽菌による被害	21
2.4.3 三者の相違点と共通点	22
2.5 要 約	23
3. ナミダタケ被害発生条件の実験的検討	24
3.1 ナミダタケの分離と保存	24
3.1.1 分離方法	24
3.1.2 同定法	24
3.1.3 分離菌の同定結果	25
3.2 ナミダタケ生育条件の実験的検討	25
3.2.1 培地成分と菌糸生長	25
3.2.2 培地初発 pH と菌糸生長	29
3.2.3 温度と菌糸生長及び木材腐朽力	30
3.2.4 相対湿度（RH）と菌糸生長及び木材腐朽力	33
3.3 被害家屋の温湿度変動とナミダタケの生長	35
3.3.1 測定対象家屋の概要と測定経過	35
3.3.2 温湿度センサーの設置	35
3.3.3 測定結果と考察	35
3.4 要 約	41

4. ナミダタケ腐朽による木材諸性質の変化 .....	42
4.1 樹種と腐朽力との関係 .....	42
4.2 腐朽による木材の組織構造的変化 .....	45
4.3 腐朽による木材の強度的変化 .....	50
4.4 腐朽による木材の化学的变化 .....	54
4.5 要 約 .....	55
5. ナミダタケの薬剤に対する挙動 .....	57
5.1 クレオソート油及び CCA 処理土台のナミダタケ被害 .....	57
5.1.1 クレオソート油塗布材について .....	57
5.1.2 CCA 加圧注入土台について .....	59
5.2 木材防腐剤に対するナミダタケの感受性 .....	60
5.2.1 実験室的に検討したナミダタケの感受性 .....	60
5.2.2 実大土台の一部を用いた防腐性能の検討 .....	64
5.3 土壌処理の菌糸生長への影響 .....	66
5.3.1 寒天平板希釈法による実験 .....	67
5.3.2 土壌ならびに木材試片による実験 .....	68
5.3.3 土壌の相違による処理効果への影響 .....	70
5.4 要 約 .....	73
6. 結 言 .....	74
謝 辞 .....	76
文 献 .....	77
Resume .....	80

## 1. 緒言

ナミダタケ [ *Serpula lacrymans* (Fr.) Gray, *Gyrophana lacrymans* (Wulf. ex Fr.) Pat. ] は、家屋害菌として北欧、英国などでは古くから知られている。記録<sup>1)</sup>によれば、1803年に Johnson が *Boletus lacrymans* つまりナミダタケが腐朽 (Dry Rot) に関与するということを指摘したが、原因であると断定しえなかったらしい。しかしながら、このころの概念としてこの菌が家屋、船舶の被害に重大な関係を持つことは認識されていたようである。そして、1902年には Falck<sup>2)</sup> 及び Hartig<sup>3)</sup> はナミダタケが家屋腐朽の一大原因であることを明らかにし、かつその菌糸、孢子、子実体の形、大きさ、生理、生態を細かく研究し、それぞれ “Hauschwammforschungen” と “Der echte Hauschwamm” にその成果を集大成した。今日でも英国では家屋害菌の重要なもののひとつでイドタケ [ *Coniophora puteana* (Schum. ex Fr.) Karst ]、ワタグサレタケ [ *Spongiporus uaporarius* (Fr. non Pers.) Cooke ] 等の被害と並んでペストコントロールの重要な対象となっている。Rentokil<sup>4)</sup> 社で 1972 年の半年間に扱ったナミダタケ被害は約 6,000 件に達したと報告されており、また、Thornton<sup>5)</sup> はオーストラリア、メルボルンで 1960年から 80年にかけて数十件の被害があったことを示している。さらに、Walchli<sup>6)</sup> によればスイスのアルプス山中でも家屋の被害が出ていることが明らかにされており、ヨーロッパでは今日でも相当広範囲にこの菌による被害が出ていることを示唆している。こうした実状から、東欧<sup>7)</sup>、北欧 4ヶ国<sup>8)</sup> などでは針葉樹材を使う木材防腐剤の効力試験にイドタケ、ワタグサレタケなどと共に、ナミダタケも供試菌として採用されている。我が国でも古くからナミダタケによる家屋の腐朽害が知られており、記録に残されているだけでも以下の例がある。すなわち、1888年<sup>9)</sup> (明治 20年) に新築して、1910年に一部改築した長野県の小学校校舎がその3年後に被害を受け、同じ頃建築 5年目の上田蚕糸学校校舎も被害に会っている。1917年<sup>10)</sup> (大正 6年) には仙台、神奈川などの被害、1930年<sup>11)</sup> (昭和 5年) 頃には九大校舎、1950年<sup>12)</sup> (昭和 25年) 頃には北大農学部建造物が被害にあったことも記録に残されている。しかしながら一般木造住宅の被害に関する報告が公にされたのは、その後の事であり、札幌市で 1958年<sup>13)</sup> (昭和 33年)、1970年<sup>14)</sup> (昭和 45年)、1971年<sup>15)</sup> (昭和 46年) と断片的に認められた記録が残されているが、多発傾向ではなかったようである。

その後、ペストコントロール業者などが被害発生をいくつか報告していたが、被害の顕在化、出現頻度はそれほど高くはなく、むしろ特殊な例として考えられていた。ところが、1978年から 1979年にかけてマスコミがこの問題を取りあげたところ、札幌市を中心に 100 件以上の被害が顕在化した。同時に東京周辺でも少数ながら被害が確認<sup>16)</sup> され、それ以来林産試験場でも旭川市を中心として数年間にわたり被害調査を実施することができた。また、これまで本邦産、特に北海道産のナミダタケではほとんど調査されていなかった生育条件の検討、木材へ与える影響などを被害防止、駆除の観点から研究することができた。本論文は、これらの研究をとりまとめたものである。

もとより木材防腐に関する研究、木材防腐工業は木造家屋の耐久性を高めるための処理技術の確立を一つの目的として発展してきたが、この目的を成功裡に達成するためには腐朽害に関する実態の把握及びその結果に基づく処理法の検討が必要である。本論文がそのために多少とも役立つものとなれば幸いである。なお、本稿の構成は以下の様になっている。すなわち 2では旭川市における家屋のナミダタケによる腐朽の被害調査結果について、3ではそれらの被害現場から分離された菌株をもちいて被害発生条件の実験的検討結果、また、4ではナミダタケの木材諸性質に与える影響について、そして最後に 5でナミダタケの薬剤に対する挙動に関する検討結果について論じた。

## 2. 旭川市におけるナミダタケ被害

昭和 49 年以来林産試験場への家屋腐朽害に関する技術相談は 59 年までの 10 年間で 100 件を優に越えているが、そのうちの 90% 以上がナミダタケに関する相談であった。しかも、そのうちの大部分が新築あるいは増改築後まもなく生じているケースである。本章ではこれらの被害のうちからいくつかの典型的な被害調査例をできるだけ詳細に報告し、その後旭川市内での被害分布及び家屋とくに床下構造と被害との関係について検討した。なお、腐朽の原因となる菌がナミダタケであるか他の菌であるかの判断は、主として現場で採取された子実体の肉眼的観察によって行った。この際、子実体の同定は日本菌類誌<sup>17)</sup>、Cooke<sup>18)</sup>の Serpula 属検索表などに依拠した。

### 2.1 代表的な被害例<sup>19)</sup>

ここでは、いくつかのケース別に調査結果とそれに対する所見を述べるが、調査項目とその内容は以下の通りである。

- 1) 調査年月
- 2) 建物概要：建物の基礎伏図とそれに対応する区画の用途を調査した。
- 3) 周辺環境：目視及び実測による調査を行った。
- 4) 被害経過：居住者からの聞き取り及び目視による調査を行った。
- 5) 被害発生箇所の詳細：目視及び実測による調査を行った。

被害発生箇所とは、調査の際に木材の腐朽状態や菌系の新旧などを判断して、被害家屋の中で菌系が最初に生長しはじめたと思われる部分を示す。また、この箇所では以下の項目についていくつかの例を調査した。これらの調査を行ったのは、これらの項目が木材腐朽菌の生育条件の一つである水分に関わりを持つことが考えられるからである。

イ) 床高：床下土壌表面から床上端までの高さを実測した。

ロ) 木材含水率：健全部については木材表面の空中菌系の先端から 1m 以上離れた所に位置する根太を 2~3ヶ所 5cm 程度に切断して測定用試料とした。被害部については、木材表面での菌系生長先端付近で同様に採取、試料とした。これらの試料を 105℃ で 48 時間乾燥した後次式により、木材含水率を求めた。

$$\text{含水率} = [ (\text{乾燥前の材重量} - \text{乾燥後の材重量}) / \text{乾燥後の材重量} ] \times 100 (\%)$$

ハ) 土水分：被害発生部直下の表土を 2~3ヶ所採取し、105℃ で 48 時間乾燥し、その前後の重量差で水分を算出した。水分の算出は次式<sup>20)</sup>によった。

$$\text{水分} = [ (\text{乾燥前の土重量} - \text{乾燥後の土重量}) / \text{乾燥前の土重量} ] \times 100 (\%)$$

- 6) 被害量：土台の全長を実測により求めた。また、表面に菌系が被覆している土台部分の最大長さを実測により求め、これを被害量とした。
- 7) 補修面積：被害の駆除、補修のために工事をした床面積を実測及び聞き取りにより求めた。

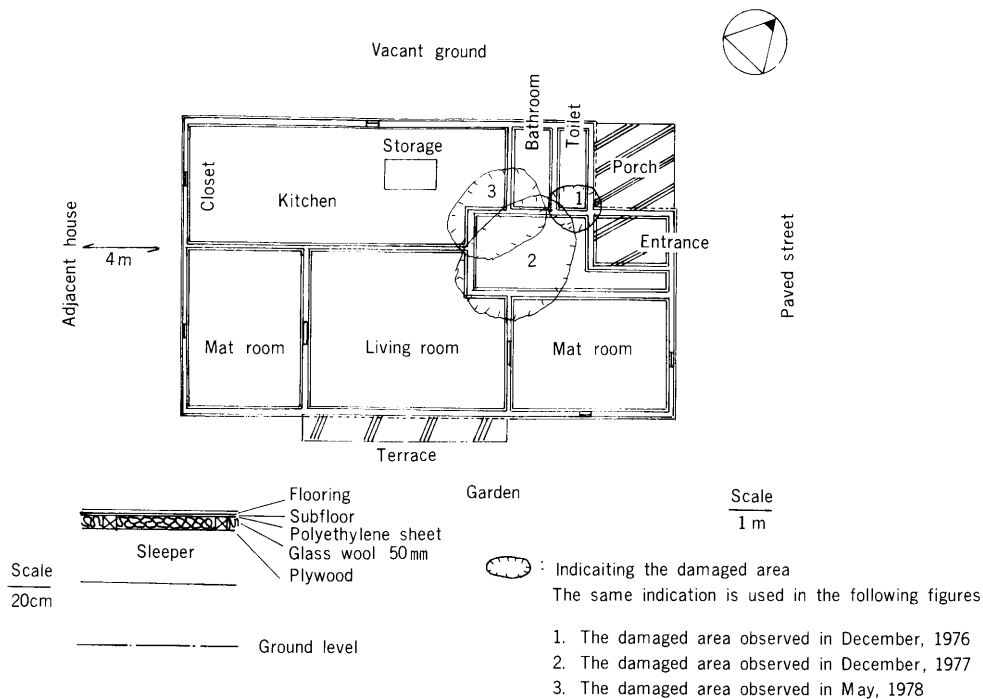
#### 2.1.1 新築後の被害発生例

##### 2.1.1.1 水廻りからの被害発生例

[ ケース 1 ] 1977 年 12 月及び 1978 年 5 月調査

建物概要：

木造軸組 2 階建、モルタル外壁。比較的隣棟間隔の広い新興住宅地に位置している。住宅地になる以前は水田地帯であった。基礎伏図及び各区画の用途などを被害範囲と共に第 1 図



第 1 図 [ ケース 1 ] の家屋の基礎伏図及び床下構造詳細  
 Fig. 1. The foundation plan and the details of floor constitution (Case 1) .

に示す。

被害経過：

1974年11月 新築。

1976年12月 トイレ床落ち，補修。

1977年12月 トイレから玄関ホールにかけて被害再発，補修。

1978年 5月 玄関ホールから台所にかけて被害再発。

新築 2年目に床が落ちるほどの被害を受けたにも拘わらず，被害材のうち明らかに褐色化して強度低下を引き起している部分だけを切断して無処理材と交換した。表面に菌糸があっても建築業者が使用可能と判断した部分を残しておいたため 1年後に被害再発。調査時点（1977年12月）での著者のコメントを無視して前回同様の補修を行い，翌年 5月に再再発を余儀なくされた。

被害発生箇所の詳細：

再発時点での被害はトイレ床下で始まり，菌糸生長は床下土壌表面（写真 1）をはじめ土台から床下地板に至るまで（写真 2，3）拡大していた。この部分の床高は約 60cmで，建築基準法施行令（以下基準法）第22条に規定する45cm以上ではあったが床下換気口は設置されていなかった。また，土台の全面をクレオソート油で塗布処理していたが他の部材は全て無処理であった。なお，この被害箇所の床構成を第 1 図 に示す。再再発時に浴室入口付近に出来たブラケット型子実体を写真 4 に示す。

被害量：

2回目の調査までに，菌糸に被覆された土台の全長は 10.8m であったが，これは土台全長の約 1/6 にあたり補修面積は 16m<sup>2</sup> に及んだ。



写真1 床下土壌面の菌糸生長(▶)と大引上の菌糸(○)  
Photo.1. Hyphal growth on the ground (▶) under the floor (○ hyphae on a sleeper) .

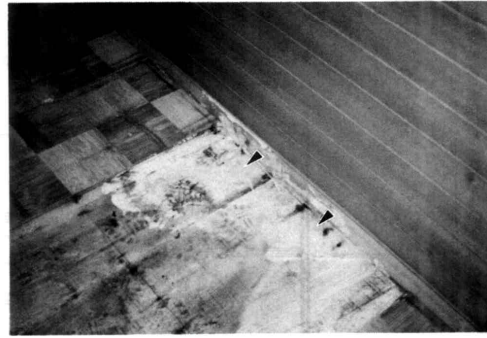


写真3 床下地板に生長した菌糸(▶)  
Photo.3. Hyphal growth (▶) on the floor foundation .



写真2 床下土壌面から布基礎を介して土台(○)へ生長した菌糸、菌糸束(▶)  
Photo.2. Hyphae and hyphal strand (▶) from the ground to the sill (○) via concrete foundation .

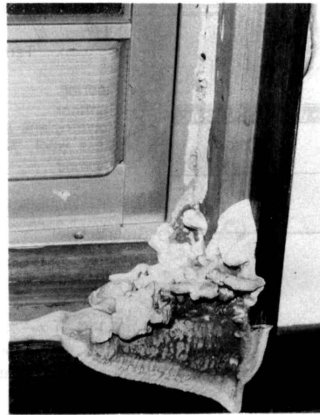


写真4 浴室入口付近のブラケット型子実体  
Photo.4. Bracket type fruitbodies beside the door of the bathroom .

#### 推察される被害原因：

再発，再再発の原因は，被害発生時に残された菌糸の内在する木材である。最初の発生は床下換気の不足とそれに伴う床下湿気の滞留あるいは結露によるものと考えられる。

[ケース 2] 1979年 6月調査

#### 建物概要：

木造軸組 2 階建，モルタル外壁 (写真 5)。旭川市内では比較的古い住宅地に建てられており，隣棟間隔は狭い。また，新築ではあるが既存の住宅と連結して二世帯住宅としたため，第 2 図に示すように東南側はほとんど換気口を設置していない状態であった。さらに，庭の植栽なども写真 5 に見られるように相当密になされ換気・排水条件は良好とは言えない状態であった。

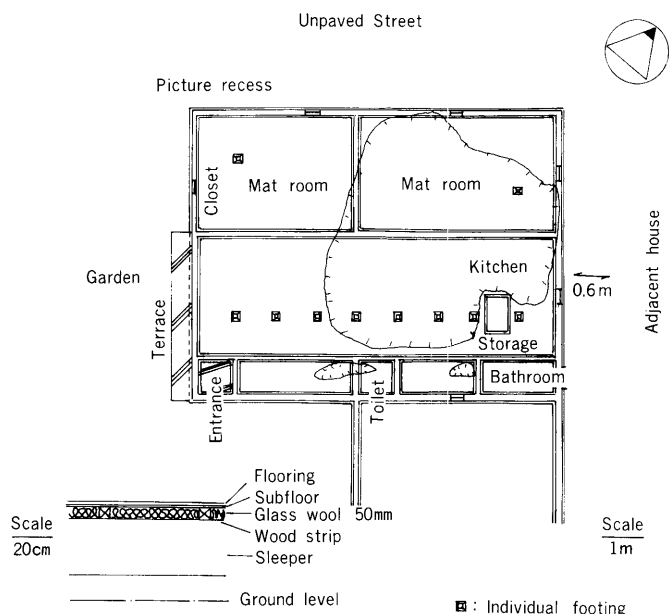
#### 被害経過：

1974年11月 新築。

1978年12月 北側和室床上で菌糸を認める。床振動激しくなる。



写真5 調査家屋 [ケース 2] 外観  
Photo.5. The outside appearance of the house surveyed , case 2 .



第2図 [ケース2] の家屋の基礎伏図と床下構造詳細  
 Fig.2. The foundation plan and the details of the floor constitution (Case 2) .

1979年6月 台所の家具直下で床落ち。被害発見。

新築 4年後に北側和室と居間の境界部で菌糸を発見，同時に床の振動が激しくなったのを家人が認めたと，何ら処理されずに放置されていた。その後 家具の移動に伴って翌年 6月に台所の一部で床が 5cm程度沈んだため床下を調査したところ，写真 6のように床組材と床下土壌面での菌糸生長を発見した。ここでは，菌糸の生長は畳芯にまで認められる（写真 7）ほど旺盛であった。その後の補修工事に伴って第 2図に示したように他の 2箇所でも菌糸生長が認められ，結局床のほぼ全面を修復することになった。なお，被害発見後全容を観察するために床板の一部をとり外しておいたが，乾燥あるいは温度の変化の影響のためか押入直下の土台に子実体が形成された（写真 8）。

被害発生箇所の詳細：

床組材の腐朽状態から判断して，主たる被害は台所と和室境界の床下で始まったと推定される。この部分では新築後間もなく排水管の故障が見つけられている。居間の床高は40～45 cm と基準法の最低レベルにあり，かつ大引には梁せい 24cmの部材を使用していたため下部は地表から10～15cmしか離れておらず，材の含水率も高く保たれて菌糸の材中での生育を容易にしたと思われる。

防腐処理は，外周土台の布基礎と接する面にのみクレオソート油を塗布していたにとどまり，被害防止上有効なものではなかった。この部分の床断熱はグラスウール（以下 GW）50 mm（10kg/m<sup>3</sup>）を小幅板で支えたものであるが（第 2 図），この板も腐朽末期の状態であった。また，ナミダタケの菌糸以外にいくつかの他の腐朽菌と思われる菌糸も付着していた。被害発生部付近での土水分は約 30%と特に高くはなかったが，木材含水率は健全部で 22%，被害部では45%であった。ただし，菌体表面での“涙”形成は著しく床下の相対湿度はほぼ 100%であったことがうかがえる。

被害量：

土台全長約 50mに対し，被害土台の量は 10.2mと比較的少ないが補修面積は 30m<sup>2</sup>に及んだ。



写真 6 床下熱断材受け (▶) と土壌面 ( ) の菌糸生長  
 Photo .6 . Hyphal growth on the ground ( ) and the supporting lumber (▶) for glass wool via a concrete foundation under the floor .

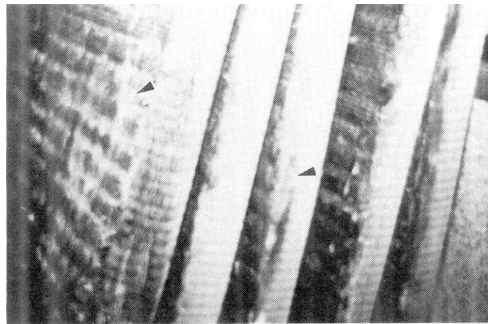


写真 7 畳芯 (床下側) 上の菌糸生長 (▶)  
 Photo .7 . Hyphae (▶) on the reverse surface of Tatami (mat) .

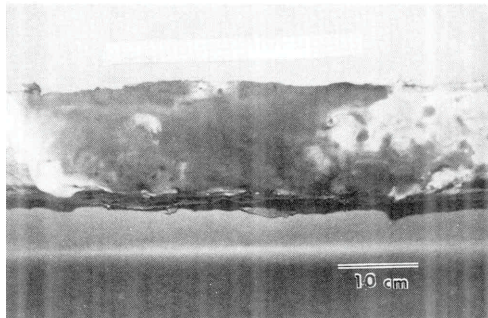


写真 8 土台上の子実体  
 Photo .8 . Sporophore of *S. lacrymans* on the sill .

推察される被害原因：

居間床下における結露水、及び台所排水管の故障にともなう漏水によるものと考えられる。

[ ケース 3 ] 1981年7月調査

建物概要：

木造軸組 2 階建，モルタル外壁(写真 9)。比較的隣棟間隔の広い新興住宅地に位置する住宅で通風状態は良好である。基礎伏図及び各区画の用途などを被害範囲と共に第 3 図に示す。

被害経過：

- 1978年11月 新築。
- 1980年10月 床振動激しくなる。
- 1981年 7月 被害発見。

新築 2年後，台所付近の床のたわみが激しくなり，幅木とフローリングとの間に約 2cm の隙間ができたが，乾燥による狂いと判断してそのまま放置しておいた。81年に孢子と菌糸を床上に認めたため，床下を点検して被害を発見した。

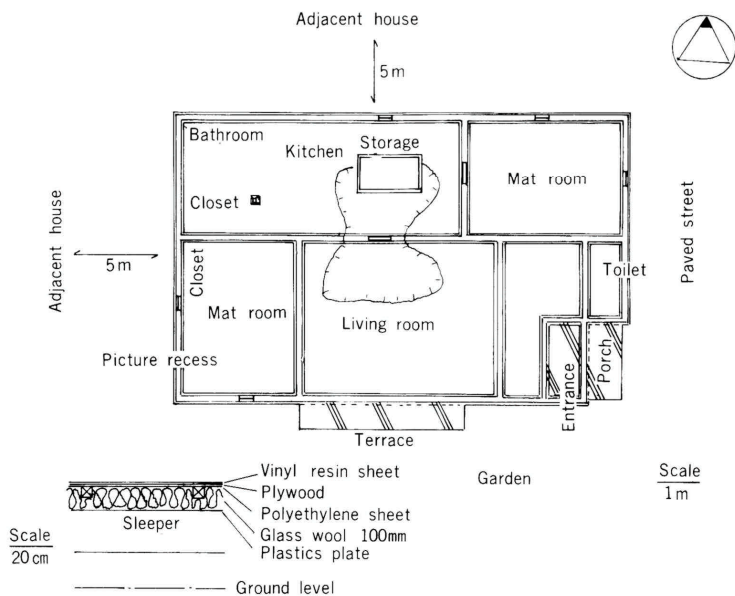
被害発生箇所の詳細：

菌糸は物入 (ム口) 付近から台所と居間との間仕切基礎にある貫通孔を通じて居間床下におよび，大引と土台との接合部を中心に生育していた。また，ム口周辺には子実体，根状菌糸束形成が認められた (写真 10)。大引に



写真 9 調査家屋 [ ケース 3 ] 外観  
 Photo .9 . The outside appearance of the house surveyed , case 3 .





第3図 [ケース3] の家屋の基礎伏図と床下構造詳細  
 Fig. 3. The foundation plan and the details of the floor constitution (Case 3).

は全面にクレオソート油を塗布してあったが、表面での菌糸生長及び腐朽を阻止するにはいたらなかった。土台はすべてクロム・銅・ひ素系木材防腐剤（以下 CCA）加圧注入材であったが、これらの表面の一部と床下地板にまで菌糸生長が認められた。

台所の床高は、47cm と基準法を満足するものであったが、GW100mm (10kg/m<sup>3</sup>) の断熱施工（第3図）で、梁せい 20cmの大引を使用していたため床下空間はきわめてせまかった。

台所床下での木材含水率は、健全部で20%、被害部で35%であり、土水分は19%であった。被害量：

土台の全長約 52mに対し、被害土台は3.5mときわめて少なかった。これは CCA処理土台の効果と考えられる。ただし、大引への菌糸生長範囲が広く補修面積は22.7m<sup>2</sup>におよんだ。推察される被害原因：

台所のム口を作る際に、使用した型枠を地面に接して残したことが原因と考えられる。したがって、水廻りからの被害発生ではあるが使用水が直接の原因ではない。

#### 2.1.1.2 水廻り以外からの被害発生例

[ケース4] 1979年 8月調査

建物概要：

木造軸組 2階建、モルタル外壁。ケース3と同様の住宅地に位置する住宅である。基礎伏図と各区画の用途などを被害範囲と共に第4図に示す。外観を写真11に示す。

被害経過：

1973年10月 新築。

1978年 8月 タンス周辺床落ち、孢子飛散、被害部材取り換え。

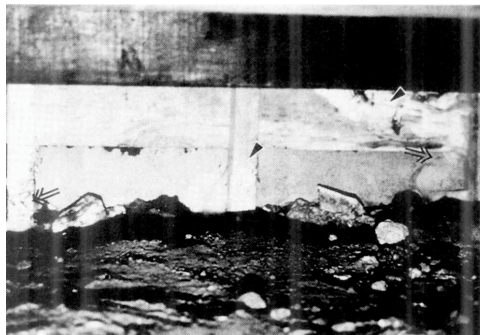
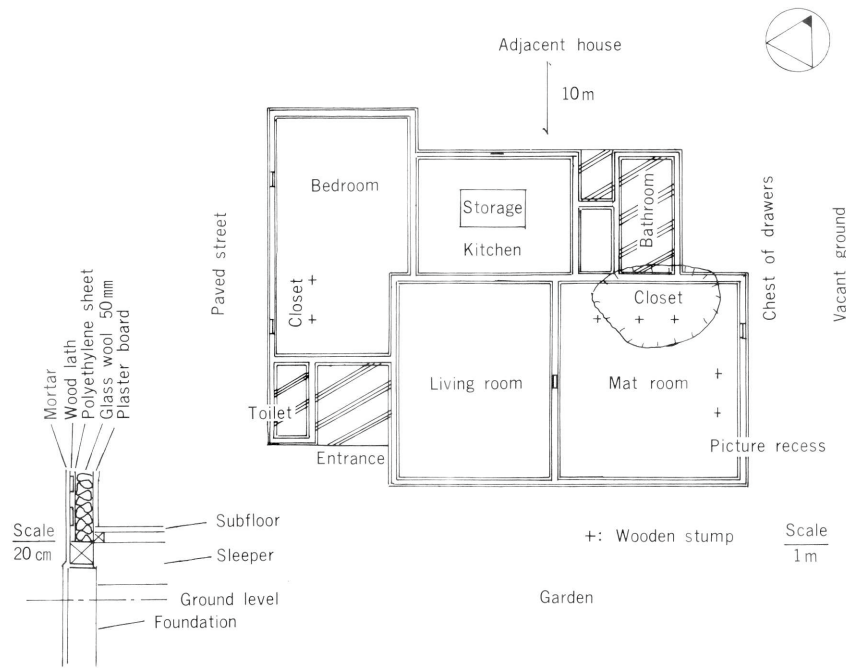


写真 10 ム口殺し枠上の菌糸 ( )、菌糸束 ( )  
 Photo. 10. Hyphae ( ) and hyphal strand ( ) on the wooden frame left at the construction of a concrete storage.



第4図 [ケース4] の家屋の基礎伏図と床下構造詳細  
 Fig.4. The foundation plan and the details of the floor constitution (Case 4) .

1979年 8月 浴室 - 和室境界部付近で被害再発。

新築後 5年目に北東面に位置する作りつけのタンス周辺に孢子が散乱, 同時に床落ちにより最初の被害を発見した。この際の処置がケース 1 と同様に不十分であったため, 1年後に被害が再発した。再発後も十分な処置ができず, その後も度々再発を繰り返しているが, このことについては次章で (温湿度測定の対象家屋としたため) 詳しく述べる。

被害発生箇所の詳細:

この家屋は全体として床高が低く, タンスのある和室は30cm以下であり, 大引下端は地

面から5cmしか離れていない状態であった。大引と土台にはクレオソート油が塗布されていたが丁寧な塗り方ではなかった。断熱施工は GW 50 mm (10kg/m<sup>3</sup>) であったが, その構成は第 4図に示すように壁内結露を生じやすいものとなっていた。すなわち, 室内側の水蒸気が壁内に侵入するのを防ぐために GW の室内側に設置すべきポリエチレンシートが, 室外側に設置されていた。実際結露による壁のしみ, 汚染が特に北側で顕著であり, 壁内へのナミダタケ菌系生長が認められた (写真 12, 13)。床下換気口は被害箇所近くにも設置されていたが, その部分に新築当初から建築残材を山積してあったため有効に働いていなかったと思われる。間仕切基礎の貫通孔も小さいものが一つしかなく, 換気条件はきわめて劣悪であったと考えられる。



写真 11 調査家屋 [ケース4] 外観  
 Photo . 11 . The outside appearance of the house surveyed , case 4 .

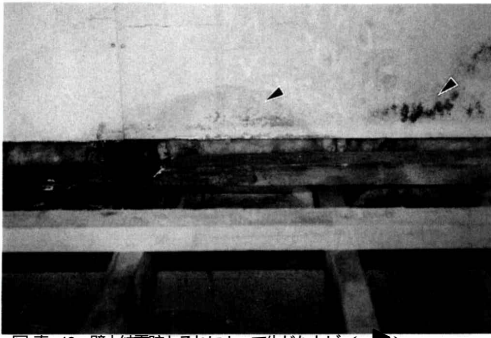


写真 12 壁内結露跡とそれによって生じたカビ (▶)  
Photo . 12 . Trace of condensation and mould (▶) in the closet .



写真 13 壁内結露を生じた部分での菌糸生長 (▶)  
Photo . 13 . Hyphal growth (▶) inside the wall in which the condensation moisture occurred .

**被害量：**

土台全長約 50m に対し、被害土台の全長は 5 m であり、2 回目の補修面積は 5 m<sup>2</sup>であった。ただし、本格的な補修工事はしていない。

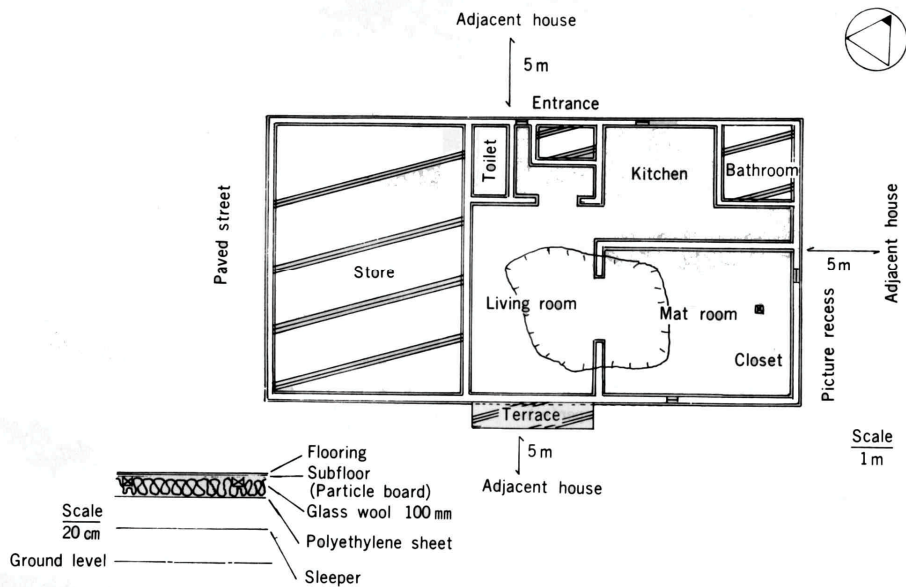
**推察される被害原因：**

最初の被害原因は壁内結露と換気不足のためと推察できるが、2 回目以降の再発には浴室の水分も関与していたものと考えられる。

[ ケース 5 ] 1980年 9月調査

**建物概要：**

木造軸組 2階建、モルタル外壁。店舗兼用住宅であり、農地に隣接する新興住宅地に位置する。店舗前道路の中央に小河川があり、過去たびたび溢水している。基礎伏図及び各区画の用途を被害範囲とともに第 5 図に示す。外観は写真 14 に示す。



第 5 図 [ ケース 5 ] の家屋の基礎伏図と床下構造詳細  
Fig. 5 . The foundation plan and the details of the floor constitution (Case 5) .

被害経過：

1978年8月 新築。

1980年6月 居間 - 和室境界付近で床落ち。

新築後 1 年目に多少の床振動を感じたが、乾燥による狂いと判断して放置しておいたため、2 年目に家具の移動に伴い床が落ちて被害を発見した。

被害発生箇所の詳細：

この住宅の床高は45cmであり基準法を満たしてはいたが、壁・床断熱のために GW100mm (10kg/m<sup>3</sup>) を使い、梁せい 20cm の大引を使用していたので床下空間は無いに等しい状態であった。さらに、床構成は第 5 図に示すようにポリエチレンシートを室外側に施工したため結露水の滞留を許していた。その結果、木材含水率は健全部でも 22%、被害部では 28%となっていた。

土水分は21.5%と比較的乾燥状態であったためか、顕著な根状菌糸束は形成されていなかったが、写真 15 に示すように大引下端と地表は菌糸で連絡されていた。

店舗はコンクリートタキとなっており、居間のテラスもあって床下換気口は南面には一箇所しか設けられていなかったため、台所及び玄関横の換気口は全く機能していなかったと考えられる。ただし、土台には CCA 加圧注入材を使用し、大引にはクレオソート油が全面に塗布されていたので、材上での菌糸生長範囲は土壌表面でのそれより狭く、防腐剤の菌糸生長抑制効果が示唆された。なお、CCA 土台の腐朽状態を写真 16 に示したが、表面つまり処理層の部分が腐朽していないことが明らかであり、内部の腐朽は大引との接合部からの菌糸侵入によるものと判断できた。このことについては、5 で詳細に述べる。



写真 14 調査家屋 [ケース 5] 外観  
Photo . 14 . The outside appearance of the house surveyed, case 5 .

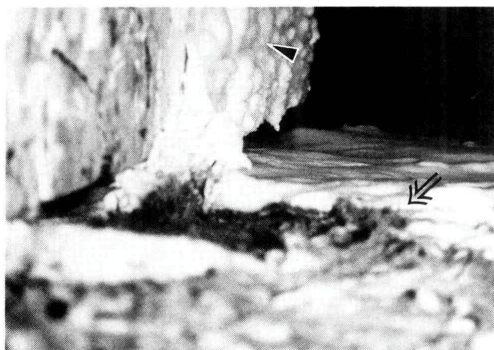


写真 15 大引 ( ) と地表 ( ) との間の菌糸生長  
Photo . 15 . Hyphal growth between the sleeper ( ) and the ground ( ) under the floor .



写真 16 CCA 土台の腐朽 ( ) 状態  
Photo . 16 . A decayed wooden sill (CCA-treated) .

被害量：

土台全長約 60m に対し被害土台の全長は 3 m であったが、大引端部の被害が大きく補修面積は 20m<sup>2</sup> におよんだ。

推察される被害原因：

居間床下での結露水滞留によると考えられる。

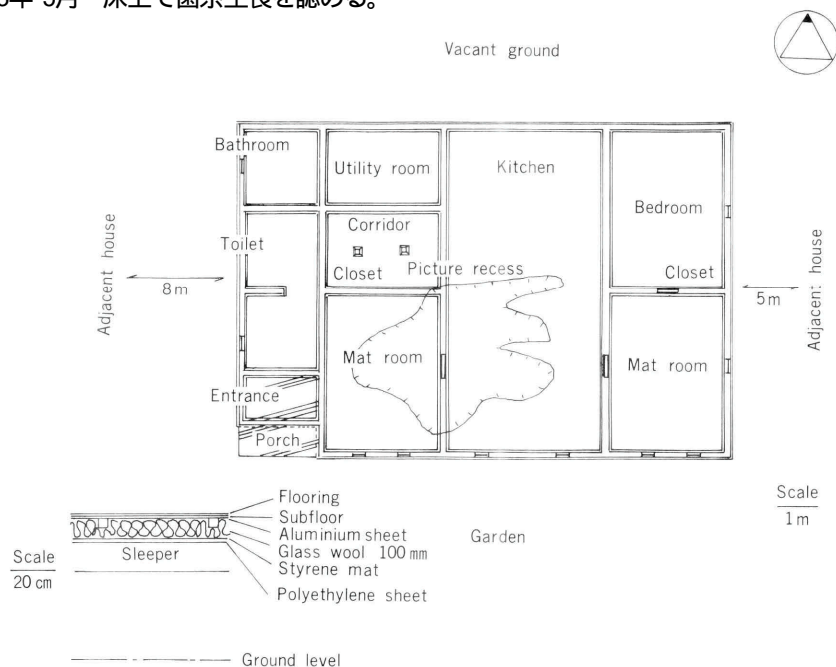
[ ケース 6 ] 1983年 5月調査

建物概要：

木造軸組 2階建，モルタル外壁。ケース 4と同様の住宅地に位置する住宅である。基礎伏図などを第 6 図に，外観を写真 17 に示す。

被害経過：

- 1978年11月 新築。
- 1980年11月 床振動，たわみを認める。
- 1983年 5月 床上で菌糸生長を認める。



第 6 図 [ ケース 6 ] の家屋の基礎伏図及び床下構造詳細  
 Fig . 6 . The foundation plan and the details of the floor constitution ( Case 6 ) .

この住宅の居住者は，ナミダタケ被害に関する情報を熟知していたが，床の振動は他の例にもあるように乾燥によるものと考え放置しておいた。3 年後に床上で菌糸を認めて被害を発見した。

被害発生箇所の詳細：

被害発生箇所は居間と西側和室との境界部と思われる。この部分は床高が67cmあり，被害家屋の中でも床下空間が比較的大きく確保されているほうであるが，全体としては床下換気条件は良好ではない。すなわち，北側は

冬季間の寒さを理由に換気口を全く設けておらず，床構成が第 6 図に示すように発泡スチロールとポリエチレンシートで GW を包んだ状態であったため結露水が停滞したと考えられる。また，床下土壌水分は27%で，健全部根太の含水率は20%，被害部のそれは30%と腐朽進行が可能な状態にあった。床組材には土台を含めてクレオソート油を塗布してあったが，材表



写真 17 調査家屋 [ ケース 6 ] 外観  
 Photo . 17 . The outside appearance of the house surveyed , case 6 .

面での菌糸生長は全く抑制されておらず（写真18），根状菌糸束と子実体の数度にわたる形成を許していた。壁内への菌糸生長も著しかった。



写真18 クレオソート塗布材上の菌糸、子実体 (▶)  
Photo.18. Hyphae and sporophore (▶) on the creosote-treated sleeper.

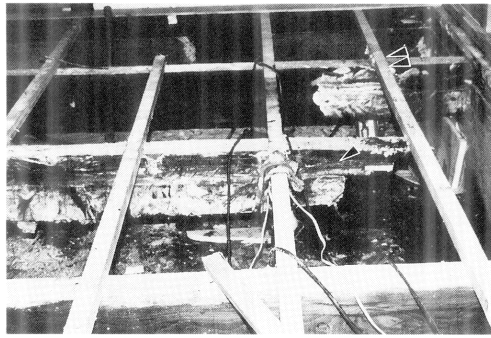


写真19 根太 (▶)、大引 (▶)の腐朽状況  
Photo.19. Decay of the joist (▶) and the beam (▶).

被害量：

土台全長約69mに対し、被害土台は3.6mと少ないが大引、根太への菌糸生長は写真19に示すように広範囲にわたり補修面積は23m<sup>2</sup>に及んだ。

推察される被害原因：

居間 - 和室境界部の床下結露によると考えられる。

### 2.1.2 増築後の被害発生例

[ケース7] 1980年12月調査

建物概要：

木造軸組平家建，モルタル外壁。比較的昔からの住宅地で，住宅密集地域に位置している住宅。この住宅の基礎伏図などを第7図に，外観を写真20に示す。

被害経過：

1962年 新築。

1975年 4月 東側に居間を増築。

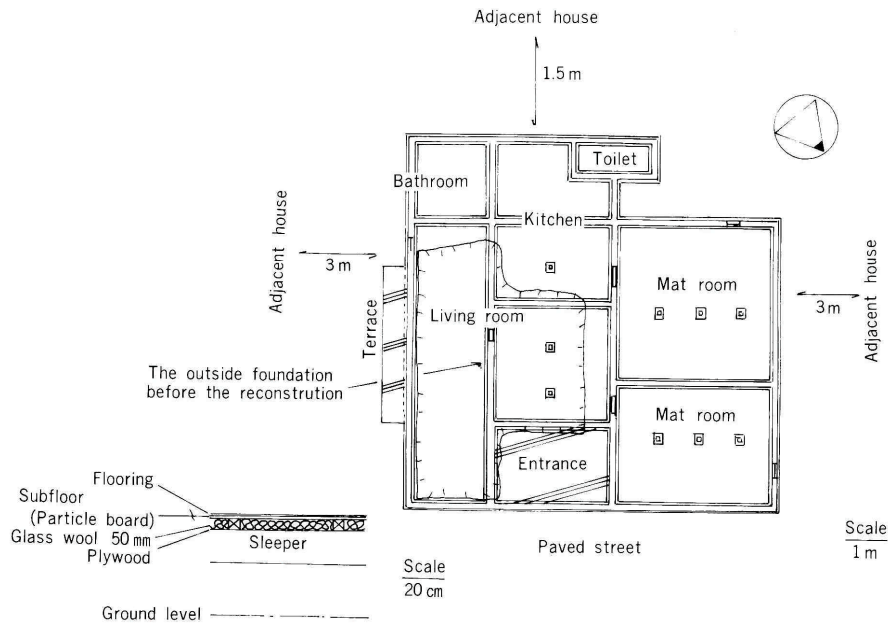
1980年12月 床上で子実体発生，孢子飛散。

新築後から増築までの間，ナミダタケによる腐朽害の徴候は認めていない。増築後3年目に居間中央部の床落込みが顕著になったが，そのまま放置しておいたため，さらに2年後に子実体及び孢子を床上で認めた。この時の調査で床下での菌糸生長を発見した。

被害発生箇所の詳細：

この住宅は増築後しばらくして居住者が変わり，その時点で床振動に気づいていたが長期にわたり放置された。

居間中央部には写真21及び第7図に示すように増築前の布基礎と土台が残されており，束代りに使用されていた。また，床高が40～50cmと基準法の最低レベルに近く，増築後の床下換気口新設が適切になされていなかったため，床下換気が抑制され床及び壁内での結露が観察された。この周辺での菌糸束，子実体形成及び褐色の孢子飛散（写真22）は著しかった。防腐処理としては，クレオソート油で外周土台を塗布処理した程度であり被害拡大を阻止し



第7図 [ケース7] の家屋の基礎伏図と床下構造詳細  
 Fig.7. The foundation plan and the details of the floor constitution (Case 7) .

得なかったと思われる。根太の含水率は健全全部で20%，被害部では25%であり，土水分は27%であったが，玄関付近では雨水の壁内，床下への浸入跡が顕著に認められ，水分条件の点では極めて腐朽の発生しやすい状態で推移していたと考えられる。

被害量：

土台全長約 62mに対し，被害土台の全長は20m となっており極めて大きな被害である。補修面積は，増築面積以上の28m<sup>2</sup> となった。



写真20 調査家屋 [ケース7] 外観  
 Photo.20. The outside appearance of the house surveyed, case 7 .



写真21 居間中央部に残された布基礎( )と土台( )  
 Photo.21. Hyphae and spores around the foundation ( ) and the sill ( ) left at the reconstruction .



写真22 床下土壤表面に散乱した孢子( )  
 Photo.22. Spores ( ) on the ground below the floor .



推察される被害原因：

床下結露及び雨水浸入によると考えられる。

[ ケース 8 ] 1978年12月調査

建物概要：

木造軸組平家建，モルタル外壁一部下見板貼り。比較的古い住宅密集地に立地し，道路及び北側に面した部分には十分な空間があるが，他の面の隣棟間隔は狭い。基礎伏図などを第8 図に，外観を写真 23 に示す。

被害経過：

1962年 新築。

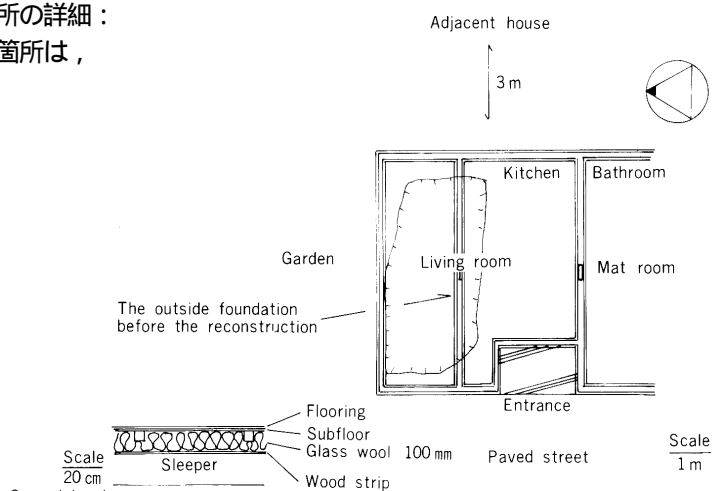
1976年 4月 居間を北側へ拡張，増築。

1978年12月 床落ちで被害発見。

増築後 1年目にわずかな床たわみに気づいたが，そのまま放置された。増築部には植木類を定置しており，ひんぱんに行なう給水の際の溢水はそのまま床下へ流していた。床上への菌糸生長もカビと間違えて，しばらく放置された。

被害発生箇所の詳細：

被害発生箇所は，



第8 図 [ ケース 8 ] の家屋の基礎伏図と床下構造詳細  
Fig. 8. The foundation plan and the details of the floor constitution (Case 8)

写真24に見られるように増築部の北側外周土台付近のようである。増築の際古い布基礎はそのまま残していた。また，床断熱を GW100 mm としたため床下空間が 20 cm と極端に低くなり，結露が著しかったと思われる。実際，被害調査時には写真25に示すように菌糸先端の“ 涙 ” 発生の条件が十分に整っており，菌糸生長は壁内にも認められた (写真26)。既存部分の防腐処理は全くなされておらず，増築部でも土台のみをクレオソート油で塗布処理した程度であった。なお，根状菌糸束の例を写真 27 ， 28 に示す。



写真 23 調査家屋 [ ケース 8 ] 外観  
Photo.23. The outside appearance of the house surveyed, case 8 .



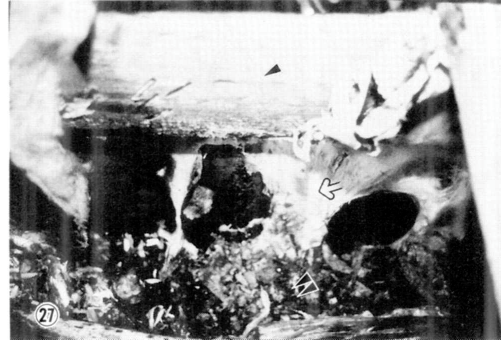
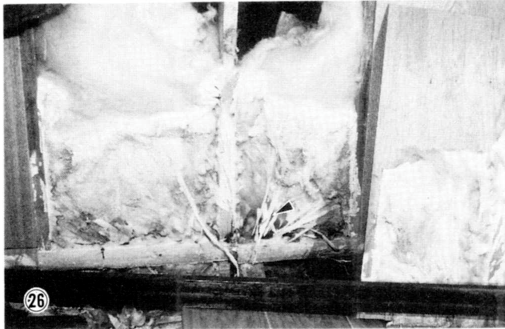
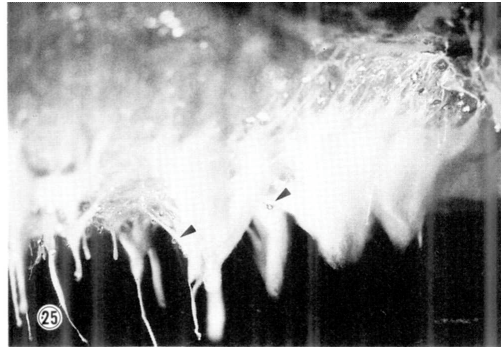
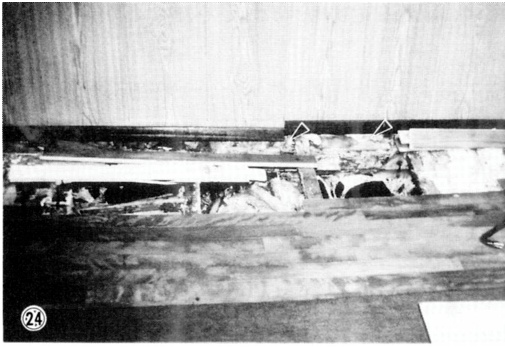


写真 24 外局土台 ( ) 付近の菌糸生長

Photo.24. Hyphal growth ( ) on the outside sill .

写真 25 床下グラスウール上の菌糸と“涙” ( )

Photo.25. Hyphae and the “weeping” ( ) on the glass wool under the floor .

写真 26 壁内に生長した菌糸と菌糸束 ( )

Photo.26. Hyphae and hyphal strand ( ) in the wall .

写真 27 土台 ( ) と床下土壌面 ( ) との間の根状菌糸束 ( )

Photo.27. Hyphal strand ( ) from the sill ( ) to the ground ( ) .

写真 28 取りだした根状菌糸束の形状

Photo.28. Hyphal strand .

#### 被害量：

土台全長は増築部のみで 14m で、そのうち 10m が被害土台であった。床の補修面積は 10m<sup>2</sup> であったが壁の補修をともなったため、事実上増築工事のやりなおしに等しい状態となった。推察される被害原因：

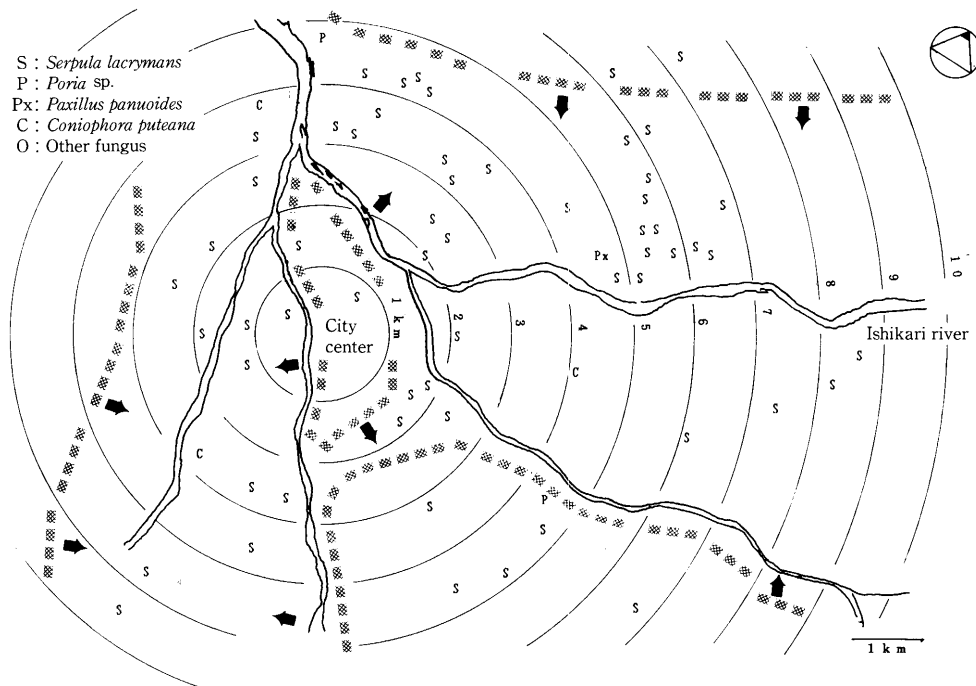
換気口閉塞，床下結露及び使用水によると思われる。

#### 2.2 旭川市内でのナミダタケ被害分布<sup>21)</sup>

ナミダタケによる腐朽害は，アンケート調査<sup>22)</sup>によればほぼ全道的に認められているものの，被害の実数や分布の特徴は明らかにされていない。そこで，著者が直接被害現場を調査し，あるいは持ちこまれた子実体，根状菌糸束，菌糸の特徴などから明らかにナミダタケによる被害であると判断できたものについて，旭川市における分布状態を調査した。その分布図を主要河川及び他の家屋害菌による被害分布とともに示した(第 9 図)。なお，河川の周辺の現

在の住宅地にあたる地域はほぼまんべんなく旧河川，湿地などが分布していたことが明らか<sup>23)</sup>になっており，これが整地されて使用されている。

分布の特徴として，旧河川，湿地など地下水位の高い場所（図中 ☒ の ◀ 内側部分）での発生頻度が高いことが窺える。ただし，これに反する例もいくつか認められているし，実際



第9図 旭川市内でのナミダタケなどによる被害分布  
 Fig. 9. The distribution diagram of the damage from *S. lacrymans* with those from the other fungi found in Asahikawa.

の住宅建築においては客土を行なうのが通常であるので，その地域の地下水位が直接に発生要因と成り得るか否かは，さらに検討する必要がある。

なお，被害発生は従来の一般的な腐朽害のようにそれぞれの住宅の工法と密接な関係を持たず，むしろ家屋の中の微気象的な温湿度及び住い方が関連していると考えられている<sup>24)</sup>が，この点については以上の調査からは明確な証左を得ることができなかった。今後の検討が必要である。

## 2.3 被害と家屋（特に床下）構造との関係<sup>25)</sup>

### 2.3.1 調査の概要

旭川市を中心とした 28例の被害と家屋床下構造との関係を1982年に報告<sup>26)</sup>したが，ここではその後追加調査したものも含めて旭川市内の被害について整理し検討した。調査は 1975年7月から1982年11月の間に行い，調査戸数46戸となった。これらの家屋の用途別内訳をみると，一般住宅38戸，店舗兼用住宅 5戸，事務所 1戸，物置 2戸となっており全て木造家屋である。なお，同一建物内で同時に 2箇所以上のそれぞれ独立した部分で被害が発生している場合は，被害の最も激しい部分について調査した。調査はできるだけ状況を正確に把握するよう

こなつたが、解体調査と異なり被害全容を部材別には明らかにできないので、推定によつた部分も多い。

以下で用いた被害規模の定義は次の通りである。

小：菌糸生長範囲が床下部材のごく一部に限られる場合、或いは床下残材上に菌糸が著しく生長している場合。

中：菌糸生長範囲が土台、大引、根太にまで及んでいる場合。

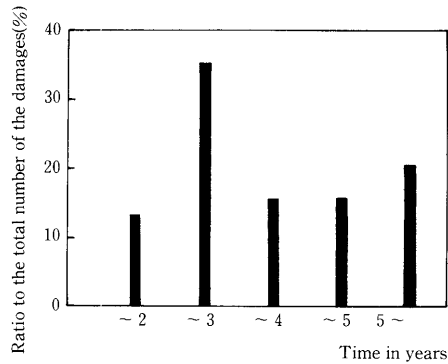
大：菌糸生長範囲が土台、大引、根太、床下地板にまで及んでいる場合。

甚大：菌糸生長範囲が床下部材に留まらず、壁内部材にまで及んでいる場合。

### 2.3.2 調査結果と考察

#### 2.3.2.1 被害発見時の家屋の経過年数

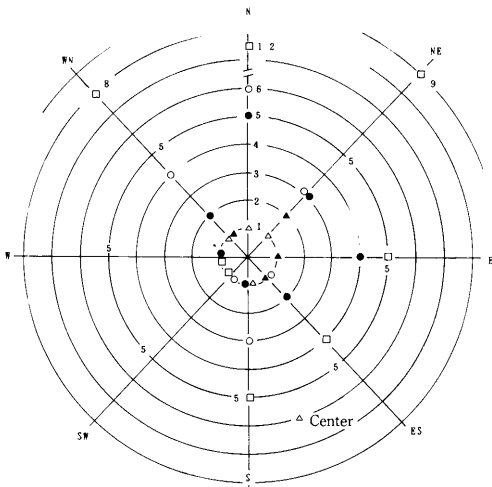
被害を発見した時に、その建物が新築あるいは増築後何年経過していたかを示したのが第10図である。この図によれば5年以内で被害を発見したのが全体の約80%に達しており、発見時の状態から推察すれば、発生は発見時よりさらに半年～1年前にさかのぼった時期である。したがって、新築あるいは増改築後2～3年で大半の被害が発生していたことになる。これは、建築当初は木材含水率が比較的高いこと、増改築によって家屋の構造が変り、床下換気の条件が悪化したことだけでなく、建築作業中に床下土壤中に投棄された残材などが被害発生に寄与していたことを示唆している。



第10図 建築あるいは増改築後の経過年数と被害との関係  
Fig.10. The age of the house when damage was detected in it.

#### 2.3.2.2 被害発生箇所の方角

被害発生箇所が、その家屋のどの方位の床



第11図 被害発生箇所の方角と被害規模との関係  
Fig.11. Orientation of the damaged position in the house.

1 unit = A case of the damage.

The extent of the damage.

- : Very seriously - the sphere of hyphal growth located on the wooden members not only below the floor but also in the wall.
- : Seriously - the sphere of hyphal growth located on sills, beams, joists and floor foundation.
- : Commonly - the hyphal growth located on sills, beams and joists.
- : Lightly - slight hyphal growth located on wooden members under the floor, or hyphal growth on timber debris.

: Number of the damages on each direction.

下にかたよっていたかを被害規模毎に示すと第11図のようになる。被害は北から東に偏在しており、しかも被害規模を見ると北側に大きなものが偏っている。この結果は、北側に日射量が少なく湿度が高いという理由の他に、冬期間の屋根からの落雪を北側に集中させる傾向があること、台所、浴室などの水廻りを北側に配置する機会が多いこととも関連している。水廻り部分、北側部分で腐朽害が多いの木造住宅では一般的な傾向<sup>27) - 29)</sup>であるが、被害の規模や拡大範囲の点ではナミダタケの場合特異的である。この点については本章第4節で述べる。

### 2.3.2.3 被害発生箇所の床高

被害家屋の床高と被害規模の関係を図示すると、第12図のようになる。図によれば床高が高いと被害が少ないように示されているが、そうした相関関係は単純には成立しないと考えられる。なぜならば、被害のでなかった家屋も含めての調査ができなかったので、母集団における床高の分布が明らかでないからである。このことは、例えば被害甚大のものの中に基準法第22条に規定されている床高45cm未満のものは4例、大のもののもので7例と25～30%以下しかないことから明らかである。

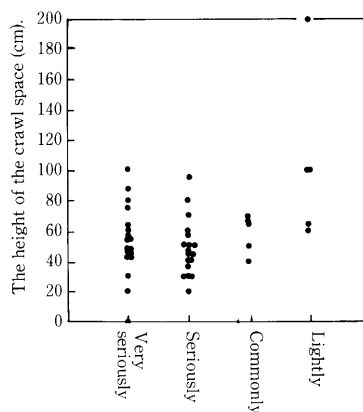
ただし、床高の高い場合は被害が小さいうちに発見される可能性が大きく、これは床下を観察しやすいということと関係がありそうである。また、換気条件も良好に保たれたものと推察される。

### 2.3.2.4 床下換気口と被害規模

床下換気口は、布基礎工法が束石工法に代って採用された時点から経験的に設けられたものであるが、基準法では「布基礎長さ5m以下ごとに300cm<sup>2</sup>以上のものを一個以上取り付ける」ことを規定している。換気口自体の性能は、建物周辺の積雪その他の気象的条件や環境、取付け位置などによって大きく影響を受ける<sup>30)</sup>ので、理想的には換気量を測定すべきであるが、床下換気量を測定する簡易な測定手段がなかった。そこで、第1表に示すように換気口の設置状況を便宜的に三区別して集計した。ここから明らかなように、換気口の数が少なく、あっても明らかに少ないケースが多い。また、換気口の取付け位置は通常布基礎の最上部であるが、大引下端が土台より10～15cm低いので、この部分で十分な通風をさえぎられることも考えられる。さらに、水廻り部分では、浴室コンクリートタタキ、台所のム口、トイレの便槽、密度の高い配管などによって換気口の設置が困難であったり、有効な換気が行なわれないこともある。こうしたことも被害発生の一要因になっていると考えられる。

### 2.3.2.5 床下断熱と被害

調査された家屋は、GWで50mm程度の断熱施工をすることが主流の時期



The extent of the damage. (See Fig. 11)

第12図 床高と被害規模との関係  
Fig.12. Relationship between the extent of the damages and the height of the crawl space.

第1表 被害発生箇所における換気口の適否と被害規模の関係  
Table 1. Relationship between the extent of the damage and suitability of ventilation at the damaged position.

Category <sup>a)</sup>	Unsuitable	Suitable	More suitable	Total
Very seriously	17	1	0	18
Seriously	13	4	1	18
Commonly	3	0	2	5
Lightly	2	0	3	5
Total	35	5	6	46

a) See Fig. 11.

Note: Suitability is defined as follows:

or unsuitable, suitable,

More suitable

のものが多く、第2表で明らかなように床下断熱材も GW 50 mm が主体である。ただし、この表からは断熱施工、断熱材厚さと被害の関係は明確にならない。

ところで、断熱材に GW のような保水性のあるものを使用すると、内部結露を生じた時水が停滞して断熱性を失うだけでなく、この水が木部に供給されて腐朽害の発生・拡大につながる。そこで、特に壁については防湿層を室内側に設けて内部結露を防止する工法が北海道の高断熱基準などで指針として示されている。床下については、壁内ほど定式化された施工法はない。そこで、床下での断熱施工の有無、防湿層の設置状況を調査した結果を第3、4表に示す。床下空間に対する考え方は基本的に2つあるが、それらは、床下を外とみなして床断熱をはかる考え方と、室内とみなして床断熱をせず、基礎断熱（原則として布基礎コンクリートの外側に断熱施工をする方法）をはかる考え方である。ここに示したように、床断熱をしていなかった例は約1/3あったが、これらはいずれも基礎断熱もしていないので、きわめて中途半端な床下空間ということになっている。その上、本来であればそれぞれの考え方に応じて防湿層の取付け方も異なってくるはずである。前者では断熱材の室内側へ防湿層を

第2表 被害発生箇所の床下断熱材厚さと被害規模の関係  
Table 2. Relationship between the extent of the damage and the thickness of insulation for the floor at the damaged position.

Category	Glass wool (Thickness in mm)			Others a <sup>1</sup>	None b <sup>1</sup>	Total
	50	100	200			
Very seriously	9	3	0	1	5	18
Seriously	6	3	1	0	8	18
Commonly	2	3	0	0	0	5
Lightly	2	1	0	0	2	5
	19	10	1	1	15	46

a) Saw dust of 50mm thick.  
b) Insulation was not used.

第3表 被害発生箇所の床下防湿層設置状況  
Table 3. Use of the vapour barrier at the damaged position in the crawl space.

Category	Number of case
The inside a <sup>1</sup>	7
The outside b <sup>1</sup>	10
None	26
Unknown	3
Total	46

a) The vapour barrier put on inside of the floor.  
b) The vapour barrier put on outside of the floor.

第4表 被害発生箇所の断熱施工の有無  
Table 4. Use of the insulation of the damaged position.

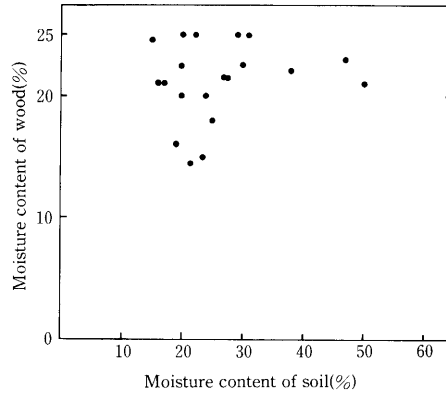
Category	Number of case
Floor	6
Wall	5
Floor and wall	25
None	10
Total	46

設置して、室内側の水蒸気を床下へ逃がさずに結露を防止するが、後者では室内からの熱伝導によって床下土壌が暖められ、発生する水蒸気をソイルカバーなどで防湿することになる。しかしながら、実際には断熱施工をしたケースのうち防湿層の全くないものが約半数あり、防湿層を設けているものでも設置位置が室内側と室外側とに分れており、前述の前提を考慮するとほとんどのケースで床下結露を防ぐ手だてがなされていなかったといえる。また、枠組壁工法で使われている床下土壌面のソイルカバーは全く採用されておらず、こうした条件が換気口の不足と相まって発生要因を形成したものと考えられる。

### 2.3.2.6 木材含水率と土水分

被害発生箇所付近の健全部根太の含水率と、直下の表面土壌水分を測定した結果を第13図に示す。調査件数が他の項目より少ないのは、被害調査を始めた当初手順が整理されておらず項目としていなかったこと、あるいは家主の都合で調査家屋からの試料採取が出来ない場合があったからである。土水分と木材含水率との間に相関はないが、含水率はほとんどのケ

ースで20%以上になっている。ただし、測定時にはナミダタケによる腐朽に伴って木材含水率が高くなっていた事も考えられ、発生条件とは断定出来ない。しかしながら、一般に木材腐朽菌の生育可能な木材含水率は20%以上と言われているので、一応生育条件が整っていたと考えられる。なお、この点の実験的検討は次章で行なう。



第13図 被害部直下の土水分と健全部木材含水率との関係  
Fig.13. The moisture content of wood and soil near the damaged position .

## 2.4 ナミダタケ以外の腐朽菌による被害との比較<sup>31)</sup>

ナミダタケ被害の調査を進めるうちに、従来から知られていた<sup>32)</sup>イドタケなど他の腐朽菌による被害も少数ではあるが明らかとなった。

本節ではそれらの調査結果を示し、ナミダタケ被害との共通点、相違点について検討した。

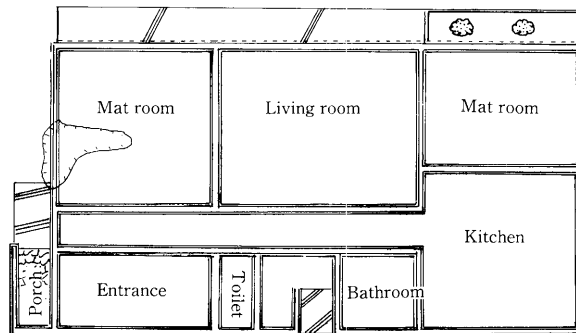
### 2.4.1 イドタケによる被害


イドタケによる被害は、道内でこれまで数件調査されたが、いずれも孢子が褐色であることからナミダタケ被害と混同して報告された。以下に旭川市内で調査した一例を示す。なお、調査内容はナミダタケの場合と同様である。

調査年月：1980年 5月

建物概要：

ブロック 2階建住宅、比較的隣棟間隔のある新興住宅地に立地し、周辺には田畑が散在する。この建物の基礎伏図及び各区画の用途を被害範囲と共に第14図に示す。



 : Indicating the damaged area

Scale  
1m

第14図 イドタケ被害を受けた家屋の基礎伏図  
Fig.14. The foundation plan and the details of the floor constitution of the house damaged by *C. puteana* .

被害経過：

1974年 新築。

1980年 5月 床落ちにより被害発見。

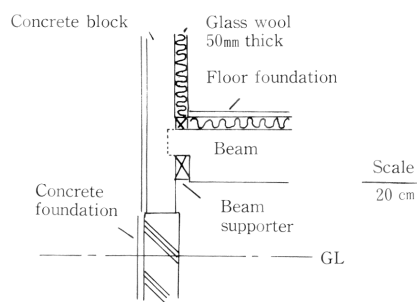
南面和室のポーチ側に面して窓があったが、これは新築時からタンスを置いてあったので開閉できない状態であった。そのため、冬季の窓面での表面結露も放置されていた。また、この部屋は寝室として使用していたため、年間を通じて閉めきったままで使う状態であった。タンス直下の床落ちによって被害を発見した（写真29）。

被害発生箇所の詳細：

この家屋はブロック造なので、外壁ブロックに大引受けを設け（第15図）梁せい124cm幅10.5cmの大引を支える構造になっていた。この際、大引の端部はブロック内に多少食い込んだ形になっており、この部分を中心に腐朽が進行していた。床落ちは大引受け自体が腐朽によって基礎から脱落したために生じたものである。



写真 29 イドタケによる大引(▶)の被害状況  
Photo.29. The damage of the beam (▶)  
by C. puteana.



第15図 イドタケ被害家屋の大引と壁との取合い  
Fig.15. The connection of the floor beam and the wall  
on the damaged house by C. puteana.

床、壁共に GW 50 mm (10kg/m<sup>3</sup>) が施工されていたが防湿層は全く用いられておらず、結露が著しく生じていたものと推察され、実際 GW には結露跡が認められた。大引にはクレオソート油が塗布されていたが、菌糸生長はもちろん腐朽も全く阻止されていなかった。床高は比較的高く約 60cmあり、また、間仕切り基礎には木製の束が約 20cm立ち上がる構造となっていて、換気口 (30×12cm) の働きも十分考慮されていた。床下土壌水分は18.5%ときわめて乾燥していたが、根太健全部の含水率は22%と腐朽菌の生育が可能な条件にあった。また、床下一面にカビ発生が認められた。

被害量：

補修面積として 8m<sup>2</sup> であり、比較的狭い範囲の補修である。

推察される被害原因：

窓及び壁表面の結露水が畳に保水され、これが根太、大引への給水源となり被害発生の端緒となった。

#### 2.4.2 アナタケ属 (Poria sp.) 腐朽菌による被害

アナタケ属腐朽菌による被害を数件調査したが、いずれもイドタケ同様かあるいは極めて狭い範囲の被害にとどまっている。これらの被害はナミダタケと誤認されることが少なく、いずれもナミダタケ被害に関するマスコミ報道に触発された床下点検により発見されたケースである。腐朽による床歩行の障害はほとんど認められない。以下その一例を示す。

調査年月：1980年 2月

建物概要：

木造軸組 2階建，モルタル外壁。周辺は田畑に囲まれた住宅地に立地している住宅である。隣棟間隔は比較的広い。基礎伏図及び各区画の用途を被害範囲とともに第16図に示す。

被害経過：

1970年10月 新築。

1980年 2月 床下点検で被害発見。

新築後10年間床の異常は全く感じていない。ただし，春季に融雪水が床下に流入するのを避けるために家屋周辺の雪をできるだけ排除する配慮がなされていた。

被害発生箇所の詳細：

被害は浴室の第16図に示す土台に限定されていた。この浴室はコンクリート製の作り付けのものであり，浴室使用水及び融雪水の土台への浸入跡が認められた。土台に接する根太の被害も全く認められなかった。

この部分の床高は80cmあり，土台全面にクレオソート油が塗布されていた。換気口は30×15cm のものが第16図にしめすように基礎長さ 3~5m に一個の割合で取付けられていたが，貫通孔は全く設けられておらず換気条件も極めて悪いと考えられる。土台の含水率は，健全全部で21%，被害部で32%となっており，土水分は36%であった。これらの条件はナミダタケ被害の場合とは特に異なるものではない。

推察される被害原因：

浴室使用水の浸入及び換気不良によると思われる。

### 2.4.3 三者の相違点と共通点

ナミダタケの被害例を水廻りか否かで分類すると第5表のようになる。約2/3が水廻りに属しており，水廻り以外でも打ち水結露などによる水分源の恐れがあるところである。したがって，被害発生には水分源が重要なかわりをもっている。イドタケ（5件），アナタケ属（4件）についても，例はすくないが同様に何らかの水分源が容易に推測できる部分で発生している。また，換気不良箇所での発生が多いのも共通している。

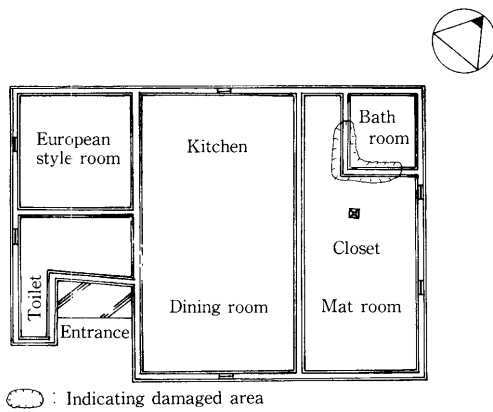
以下に三者それぞれの特徴を列挙する。

ナミダタケ：被害面積が狭い範囲ではあっても菌糸は土台にとどまらず大引，根太，床下地，畳，壁下地にまで及ぶ。また，被害範囲は空中菌糸の生長が旺盛なため広範囲に及ぶ例が多い。さらに，被害に土壌が深くかかわっている。すなわち，ほとんどの被害で土壌中あ

るいは土壌表面での菌糸生長が認められる。

イドタケ：被害はナミダタケ同様に壁下地板等にも及ぶが，被害面積は狭い場合が多く腐朽深度は浅い。つまり材表面から徐々に腐朽が進行し，空中菌糸の繁茂もナミダタケよりはるかに少ない。土壌中及び土壌表面での菌糸生長は認められない。

アナタケ属：被害は，土台表面に形成され



Scale  
1m

第16図 アナタケ属腐朽菌の被害を受けた家屋の基礎伏図  
Fig.16. The foundation plan of the house damaged by *Poria* sp.

第5表 ナミダタケ被害発生箇所の用途別分類  
Table 5. Purpose of the position damaged by *S. lacrymans*

Category connected with water	No. of case	Category unconnected with water	No. of case
Bathroom	14	Dining room	5
Kitchen	10	Mat room	2
Toilet	5	Entrance	6
		Store room	3
		Corridor	1
Total	29		17



る子実体やわずかに認められる白色菌糸の表面生長によって、発見されることが多い。高含水率を保ちやすい材内部や布基礎との接触面で腐朽が進行する傾向がある。被害範囲は、水分が直接供給された土台やモルタル外壁下地などに限られており、根太、床下地板等が腐朽している例は認められていない。土壌とのかかわりも全く認められない。

以上から明らかなように、ナミダタケ被害の他二者との相違点は、ア) 土壌中もしくは土壌表面での菌糸生長が極めて旺盛、イ) 被害範囲が広い、ウ) 空中菌糸の生長が著しいことである。また、共通点としては、ア) 換気不良箇所での発生が多い、イ) 何らかの水分源が関与するなどがあげられる。ナミダタケによる腐朽を Dry rot というが、この言葉から乾燥材が腐朽するという誤解を生じたり、腐朽末期には材が乾燥状態になるので褐色腐朽一般にまで対象をひろげてこの言葉が使われてきた<sup>33)</sup>が、以上の調査からも明らかなように被害発生には何らかの水分源が関与(必ずしも材中に存在しなくてもよい)し、拡大する範囲が他のいわゆる Wet rot と異なり Water conducting rot<sup>34)</sup>(水を運ぶ能力を持つ菌による腐朽)とした方が妥当であろう。

## 2.5 要約

旭川市内におけるナミダタケ被害に関して種々の調査を行い、その結果から被害発生の特徴を明らかにした。以下にその要約を示す。

- 1) 腐朽一般同様に、北側でしかも水廻りのある床下で多く発生するが、水分源があればそれ以外でも発生することがある。
- 2) 北側水廻りはまた換気口の設置しにくい部位であり、換気口のないケースが多い。
- 3) 根状菌糸束、菌糸の土壌中及び土壌表面での生長がほとんど全てのケースで認められる。
- 4) 新築あるいは増改築直後に発生するケースが多く、被害発生には微妙な温湿度及び生態系の変化が関与していると推定される。なお、生態系の変化は建築工事の際木材質が土壌中に投棄され、そこから通常の土壌表面では認められない菌糸が生長している例(写真30)によって示唆されている。
- 5) 防腐処理は、クレオソート油を土台に塗布する程度のもが多く、被害の発生・拡大を阻止する処理とはなっていない。
- 6) 被害発生は床高とは密接な関係をもたないが、高ければ被害を小さいうちに発見されることが多い。

これらのうち、ナミダタケ特有の現象として特筆すべきものは、土壌中あるいは土壌表面での菌糸生長である。

なお、ナミダタケの被害が水廻りと関係なく発生する点で、従来の腐朽と全く異なるとする報告<sup>35)</sup>があるが、その場合には被害全体に関する現象について記述しているため、発生箇所に関する検討はなされていない。本章では被害発生箇所を推定し、得られた調査結果に関する検討をおこなった。



写真30 床下に放置された残材からの菌糸生長 (▶)  
Photo.30. Hyphal growth (▶) from the wood debris  
below the floor.

### 3. ナミダタケ被害発生条件の実験的検討

前章で、ナミダタケによる木造家屋の腐朽害について例をあげて実状を示し、床下の構造などと被害との因果関係について述べた。そして、被害発生箇所が北側に多いことや土壌との関係が深いことを明らかにしたが、結局、被害発生は住い方とも関連して微気象的要素によるところが多いと考えられる。もちろん、土壌成分などとの関係も検討<sup>24)</sup>されているが、建築残材などが投棄されることによって生態系に変化<sup>39)</sup>が生じ、そこからナミダタケが発生した可能性が大きい。これを示唆する例もいくつか認められた(写真30)。そこで本章では、ナミダタケの生育条件を実験室的手法などで検討し、被害発生・拡大防止のための基礎的知見を得ることとした。

#### 3.1 ナミダタケの分離と保存

木材腐朽菌によく使われる分離方法として、イ)子実体からの組織分離、ロ)孢子による分離、ハ)腐朽材からの分離、などがある。当初、ナミダタケの被害現場では現場保存が不完全であり、子実体があっても古くて雑菌汚染が顕著なためイ)、ロ)の方法はほとんど適用出来なかった。したがって、本章で用いた菌株は全てハ)の方法で得られたものである。

##### 3.1.1 分離方法

分離用の培地としてはいろいろなものが提案<sup>40)</sup>されているが、ここでは基本培地として PDA (馬鈴薯 250gを500mlの水道水で加熱抽出したものにグルコース10g、寒天末20gを加え、水道水で全量1,000mlとした)培地を用いた。この培地を120℃、20分間オートクレーブで滅菌後、塩酸テトラサイクリンおよびペノミル[メチル-1-(ブチルカルバモイル)-2-ベンゾイミダゾールカーバメート]50%水和剤を無菌的に、それぞれ細菌及びカビ類による雑菌汚染防止のため添加した。添加量は、分離源の汚染状態に応じて製剤として250~500ppmとしたが、この状態での初発 pH は4~4.5 となった。

この分離用培地に腐朽材小片をのせて20℃で培養し、生長してくる空中菌糸を植え継ぐ操作を繰り返し、純粋分離を行った。この際腐朽材小片の採取位置は、二次侵入菌による雑菌汚染を防ぐためできるだけ腐朽の余り進んでいない材内部とした。この方法でも雑菌汚染を防止出来ない場合は、腐朽材にわずかにしめる程度の無菌水を吸収させ、ポリエチレン袋の中に入れて20℃で1~2週間放置し、材表面に新たに生長してくる菌糸の一部を前記分離用培地に接種して分離操作を行った。

分離は、分離用培地で20℃、1週間培養しても肉眼的に雑菌汚染が認められない場合に完了とした。分離を完了したナミダタケ菌糸は、殺菌剤無添加の PDA培地に植え継ぎ20℃でさらに1~2週間培養して、顕微鏡で雑菌汚染のないことを再確認した。この菌糸を PDA 斜面培地で継代培養し、20℃で十分生長させた後10℃で保存し各種試験に供した。

##### 3.1.2 同定法

Cooke<sup>18)</sup>の *Serpula* 属検索表にしたがって被害現場で採取された子実体による同定を行い、その分類結果を同一被害現場から分離した菌糸に適用した。また、子実体の認められなかった場合には、分離された菌糸の観察において逸見 赤井<sup>41)</sup>の記述、Segmüller, Walchli<sup>42)</sup>の報告及び Harmsen<sup>43)</sup>の報告に述べられているように、菌糸色の変化、菌糸束の形成、根状菌糸束の有無を同定の根拠として採用した。また、顕微鏡による観察で、クランプからの分枝、輪生クランプの存在、孢子の形状、大きさ(写真31, 32)なども同定の参考にした。

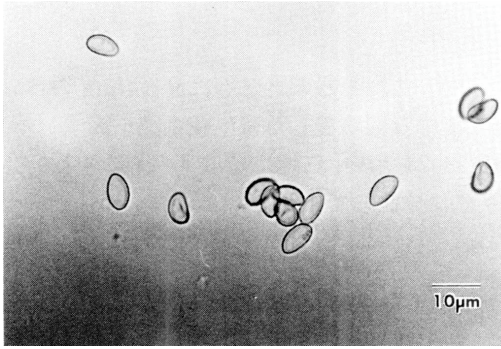


写真 31 ナミダタケ HFP7802 の孢子  
Photo.31. Spores of *S. lacrymans* HFP7802 .

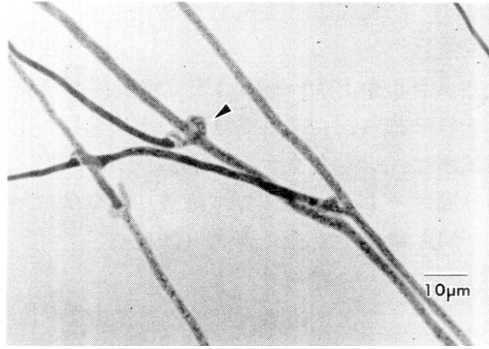


写真 32 ナミダタケ HFP7802 の菌糸、クランプからの分枝 (▶) が認められる  
Photo.32. Hyphae of *S. lacrymans* HFP7802 .  
Shows a branch (▶) from the clamp connection .

### 3.1.3 分離菌の同定結果

分離された菌株及び比較のため用いたオオウズラタケなどの菌糸の特徴、分離菌採取場所などを第6表に示す。ここに示した HFPシリーズの菌株は全て腐朽材から分離されたものであるが、著者が被害現場で子実体の確認が出来なかったものは HFP7806, 7901, 8015, 8104である。したがって、これらの菌株は培養菌糸の特徴を FPRI0739 と比較することによってもナミダタケと同定した。菌糸は、初期には白色綿状であるが、Davidson, Lombard<sup>44)</sup> が指摘しているように、遅くとも培養 1ヶ月を経るとスポット状に黄色化する部分が認められるようになった。菌糸束の培地上での形成はきわめて早く、肉眼的にも認められるようになり、オオウズラタケとはこの点で容易に区別できた。また、雑菌汚染によって生長が阻

止されない場合でも、菌糸や培地が異常に黄色化したり、生長が著しく遅れることもナミダタケの特徴の一つであった。同じ褐色の孢子を持つイドタケの菌糸の色は、初期から黄色ないし褐色であって、この点の相違も同定の根拠となった。

## 3.2 ナミダタケ生育条件の実験的検討

### 3.2.1 培地成分と菌糸生長

Falck<sup>2)</sup> はナミダタケの培地として麦芽エキス培地を用いていたので、筆者も IF08697を培養する際この培地を用いてみたが、オオウズラタケと比較すると生長が1/2程度遅く、他の培地との比較のしなおいの必要性を認めた。そこで本菌種以外に旭川市で採取、分離された 3 菌株を含めて培地の種類による生長量比較を行った。

第6表 採取、分離されたナミダタケ及び比較のため用いた担子菌類の特徴

Table 6. Characteristics of isolated *S. lacrymans* .

Strain	Sampling location	Hyphal strand <sup>e)</sup>	Color of mycelium	Branch from clamp <sup>e)</sup>
<i>S. lacrymans</i>				
HFP <sup>a)</sup> 7701	Asahikawa	+		+
HFP 7702	Asahikawa	+		+
HFP 7802	Asahikawa	+		+
HFP 7803	Sapporo	+		+
HFP 7805	Sapporo	+		+
HFP 7806	Biei	+		+
HFP 7901	Mikasa	+		+
HFP 7904	Asahikawa	+		+
HFP 8016	Nayoro	+		-
HFP 8015	Kushiro	+		-
HFP <sup>b)</sup> 8104	Akikawa (Tokyo)	+		-
IFO <sup>c)</sup> 8697		+		+
<i>T. palustris</i>				
FPRI <sup>d)</sup> 0507		-	White	-
<i>C. puteana</i>				
IFO 6275		+	Brown	+

a) HFP : Hokkaido Forest Products Research Institute, Asahikawa .

b) This strain is isolated by Mr. Nagano, Sanyo wood Preserving Co. .

c) IFO : Institute for Fermentation, Osaka .

d) FPRI : Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba .

e) + : observed ; - : not observed .

実験(1) 培地による生長量比較

実験法

あらかじめ PDA 平板培地で供試菌を培養しておき、これを寒天とともに直径 4mm のペレット状に打ち抜いて供試培地の中央に接種し、20℃ で7日間培養した後生長半径を測定した。供試菌にはナミダタケ IF08697, HFP7701, 7702, 7802を用い、培地には以下のものを120 ml、20分間オートクレーブで滅菌後、無菌的にペトリ皿に分注して用いた。

MA 培地：麦芽エキス (Difco)	25g
寒天末	20g
水道水	1l
PGA 培地：ペプトン (極東製薬)	3g
ブドウ糖 (試薬特級)	40g
麦芽エキス (Difco)	15g
寒天末	20g
水道水	1l
PDA 培地：馬鈴薯エキス	250g 分
ブドウ糖 (試薬特級)	10g
寒天末	20g
水道水	1l

以上の培地は 0.1NH<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 及び 0.1N KOH で pH 5~6 に調整して用いた。繰り返しは 6 回である。

結果と考察

供試した培地は通常よく使われる担子菌用の培地であるが、これらの炭素、窒素含量を高橋<sup>45)</sup>の示した分析値をもとに計算すると第7表のようになる。

第7表 供試培地の炭素、窒素含有量  
Table 7. Carbon and nitrogen contents of media.

Category	Carbon (g/ℓ)	Nitrogen (g/ℓ)	C/N
MA	10.06	0.20	50.3
PGA	23.24	0.47	49.4
PDA	5.22	0.12	43.5

この計算の根拠は次の様である。

高橋によれば、下表の結果が得られている。

各元素割合 (%)	C	H	N
ペプトン	39.96	6.32	11.56
麦芽エキス	40.25	6.68	0.78

これをもとに各培地の炭素量を計算する。

MA 培地：麦芽エキス由来のもの (g/l, 以下同じ)

$$25g \times 0.4025 = 10.06 \text{ (炭素, 以下 C)}$$

$$25g \times 0.0078 = 0.195 \text{ 0.20 (窒素, 以下 N)}$$

$$\text{それ故, } C = 10.06g/l, N = 0.20g/l, C/N = 50.3$$

PGA 培地：ペプトン由来のもの

$$3g \times 0.3996 = 1.199 \text{ 1.20 (C)}$$

$$3g \times 0.1156 = 0.347 \text{ 0.35 (N)}$$

グルコース由来のもの

$$40g \times 0.4000 = 16.00 \text{ (C)}$$

ここでグルコースは、C=40%, H=7%, O=53%である。

麦芽エキス由来のもの

$$15g \times 0.4025 = 6.038 \text{ 6.04 (C)}$$

$$15\text{g} \times 0.0078 = 0.117 \quad 0.12 \text{ (N)}$$

$$\text{それ故, } C = 1.20 + 16.00 + 6.04 = 23.24 \text{ (g/l)},$$

$$N = 0.35 + 0.12 = 0.42 \text{ (g/l)}, C/N = 49.4$$

PDA 培地: グルコース由来のもの

$$10\text{g} \times 0.4000 = 4.00 \text{ (C)}$$

馬鈴薯由来のもの(注)

$$2.0\text{g} \times 0.4186 = 0.837 \quad 0.84 \text{ (C)}$$

$$0.75\text{g} \times 0.50 = 0.375 \quad 0.38 \text{ (C)}$$

$$0.75\text{g} \times 0.16 = 0.12 \text{ (N)}$$

$$\text{それ故, } C = 4.00 + 0.84 + 0.38 = 5.22 \text{ (g/l)},$$

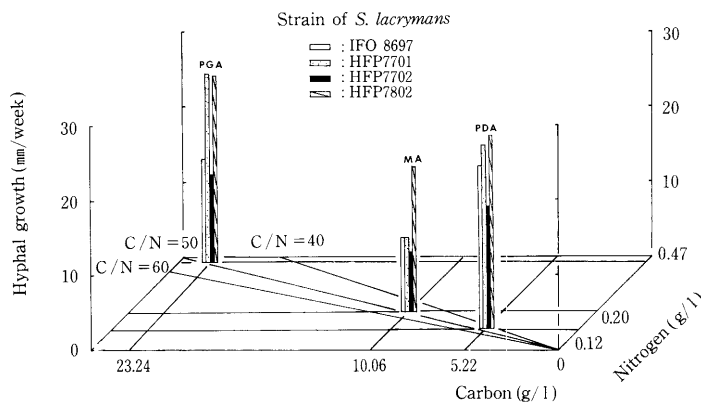
$$N = 0.12 \text{ (g/l)}, C/N = 43.5$$

(注) 250gの馬鈴薯からの熱水抽出物は約 4gであるが、これらの成分比は食品分析表<sup>46)</sup>によれば、蛋白質 0.75g, 糖2.0g, 灰分1.0g, その他0.25gとなる。

糖はデンプンとすると, C=41.86%, H=5.81%, O=52.23%である。

また, 蛋白質は, C=50%, H=7%, O=23%, N=16%<sup>47)</sup>とする。

この表と第17図から明らかなように, C/N比をほぼ一定(50)とした実験では生長量と炭素, 窒素源の量とは必ずしも比例的ではない。MA培地は Falck<sup>2)</sup> がナミダタケ用の培地として用いているものであるが, いずれの菌株でも PDA培地のほうが生長量が大きく, IFO8697, HFP7702 では三者間で有意差が認められた。また, HFP7701でも PDA, PGA 両培地と MA培地との間に有意差が認められた。C/N比と生長量との間には顕著な相関はなく, MA培地だけが生長量が少ない傾向にある。炭素源, 窒素源ともPDA培地が最も少ないが, 菌糸生長量が大きいのは他の要因, 例えばチアミン(ビタミンB<sub>1</sub>), 無機成分などの含有量の違いに起因しているのかもしれない。これらのことから, 以下の実験では主として PGA, PDA培地を使用することにした。



第17図 培地中の炭素・窒素量及びC/N比の菌糸生長との関係

Fig.17. Relationship between the carbon/nitrogen ratio and the hyphal growth of *S. lacrymans*.

## 実験(2) 炭素源の検討

### 実験法

実験(1)と同一の供試菌を用いて, 同様の方法で 4mm径に打ち抜いた菌糸ペレットを試験管内の斜面培地最深部に接種し, 20℃で21日間培養した。

基本培地としては以下のものを用いた。

NaNO <sub>3</sub>	2.0 g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1.0 g
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.5 g
KCl	0.5 g
FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.01 g
寒天末	20 g
蒸留水	1 l
pH	5.6

供試した炭素源は、D - グルコース、D - シュークロース、D - キシロース、D - マンノース、D - ガラクトース、L - アラビノース、可溶性デンプン（以上試薬特級）、CMC - Na（セロゲンBS，DS0.6~1.0，DP700~730）であり、各 3g/l 添加した。繰り返しは 6回である。

結果と考察：

結果を第 18 図に示す（ - - は信頼度95%の信頼区間を示す、以下の図でも同様の表示法を採用した）。各培地に含まれる炭素源を計算すると、以下のようになる。

グルコース、ガラクトース、マンノース添加培地では C = 40% であるので、

$$C = 1.2 \text{ (g/l)}, C/N = 3.03$$

キシロース、アラビノースでも C = 1.2 (g/l) , C/N = 3.03

また、シュークロースでは C = 42.11% であるので、

$$C = 1.26 \text{ (g/l)}, C/N = 3.82$$

CMC - NaはDS = 0.8として、C<sub>8</sub>H<sub>11</sub>O<sub>7</sub>Na = 27% , 0.8g

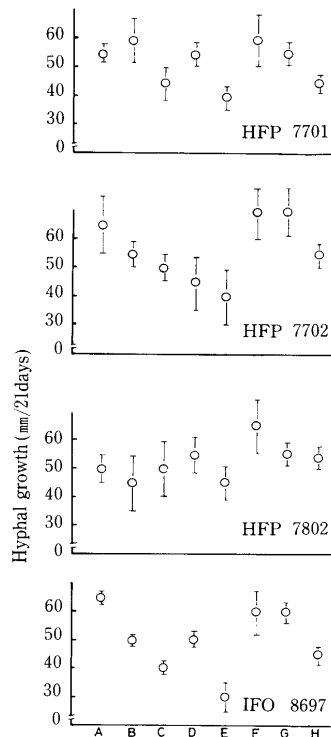
$$C_6H_{10}O_5 = 73% , 2.2g$$

したがって、0.8g × 0.3967 = 0.3174 0.32 , 2.2g × 0.4444 = 0.9777 0.98 , C = 1.30 (g/l) , C/N = 3.94となる。

なお、C/N は NaNO<sub>3</sub>中の窒素が 14/85 = 0.1647 = 16.47 % であり、N = 0.33 (g/l) となることをもとに算出した。

これによれば、各培地とも約 1.2~1.3g/lの炭素源を含むことになり、比較上炭素の絶対量を問題にする必要はない。また、C/N も 3~4 と大差ない。各糖間の有意差の有無は菌株毎に異なり一概に生長と糖との関係を決定することは出来ないが、傾向としてはキシロースが最も生長量大きい。グルコース、アラビノースがこれに続く。そして、CMC - Na が最も生長量小さい。

針葉樹のヘミセルロースの主要な部分は、0 - アセチルガラクトグルコマンナンであり、次に、アラビノ - 4 - 0 - メチルデルクロノキシランである。また、広葉樹の場合は 0 - アセチル - 4 - 0 - メチルグルクロノキシランであり、グルコマンナンがこれに続く。以上のこととセルロースの構成単位としてのグルコースが木材中の40~50%を占めることを考えると、グルコース、キシロースでの生長量大きいのは当然のことと言えよう。またアラビノースでの生長量が比較的大きいのは、後述するように針葉



第18図 炭素源を異にする培地上での菌糸生長比較  
Fig.18. The comparison of hyphal growth on the variations of carbon source.

Carbon source  
A : Arabinose                      E : CMC - Na  
B : Starch                            F : Xylose  
C : Sucrose                          G : Glucose  
D : Galactose                        H : Mannose

樹材への大きな腐朽力と関連しているのかもしれない。

### 3.2.2 培地初発 pH と菌糸生長

#### 実験法

あらかじめ PDA ( pH5.5 ) 平板培地上に供試菌を生長させ、直径約 4mm に寒天培地とともにペレット状に打ち抜いたものを、0.1NH<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 及び 0.1NKOH で所定 pH に調整した PDA 平板上へ接種した。接種後、20 °C で7~10日間培養し菌糸生長量を測定した。ただし、オオウズラタケの場合は 28 °C で7日間培養した。用いた供試菌はできるだけ多くの分離菌株で、しかも採取場所が道内のいくつかの地域にわたるように選択したナミダタケHFP7701, 7702, 7802, 7803, 7805, 7806, 8015, 8016, ナミダタケIF08697及びオオウズラタケFPR10507である。繰り返しは6回である。

また、エゾマツ心材小片 [ 2 ( t ) × 2 ( r ) × 1 ( 1 ) cm ] を緩衝液 ( M/5 NaOH - M/5 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> · KCl系, pH5 ~ 10 ) に浸漬後風乾し、これを pH 調整試片として、約 2cmの厚さに無殺菌土壌をいれたガラス槽 ( 15 × 18 × 深さ17cm ) 中に柱目面を土壌に接する様に設置し、この対面にあらかじめナミダタケ ( IF08697 ) を十分繁殖させたエゾマツ心材 [ 2 ( t ) × 3 ( r ) × 10 ( 1 ) cm ] 及びエゾマツエサ片 [ 2 ( t ) × 2 ( r ) × 1 ( 1 ) cm ] を併置し、20 °C で培養して pH調整試片上への菌糸生長の様子を観察した。

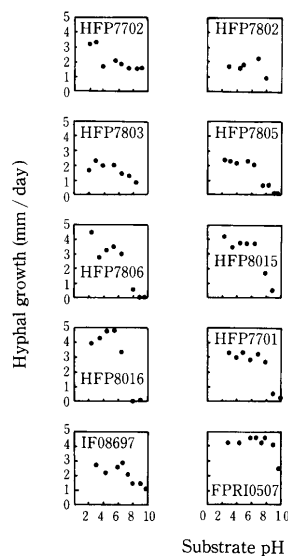
#### 結果と考察

PDA培地における生育試験結果を第19図に示す。生長の絶対量に差はあるものの全菌株ともほぼ pH8までは生長するが、そのピークは pH3から 6の間にあり菌株間での差があることがわかる。Coggins<sup>48)</sup> によればpH11近辺まで生長可能な菌株も示されているが、本実験で供試した菌株のうち HFP7702, IF08697 の 2菌株がそれに類似している。ただし、ほとんどの菌株で pH8よりアルカリ側での生長は極めて小さくなるか全く抑制されてしまう。一方、比較のため供試したオオウズラタケでは、pH9まで安定した菌糸生長が示された。

さらに、緩衝液で表面のpHを調整した木材上への菌糸生長の観察結果では、試片投入後  
 30日目：pH5 の材表面にのみ菌糸生長  
 50日目：pH8 の材表面約 50% までに菌糸生長  
 120日目：pH5 及び 8 の材表面は菌糸に被覆されるが pH9, 10 の材表面には菌糸の生長認められずとなり、PDA 培地上での試験結果を裏づけている。しかしながら、pH9以上の試片への菌糸生長が認められないことから、寒天培地上におけるより、生長のためのpH条件は酸性側にあることを要求されているといえる。これは、木材と寒天培地とでは用いた緩衝液の各成分の解離度がことなるためかも知れない。参考までに50日目の様子を写真33に示す。

なお、寒天培地による結果では、IF08697がアルカリ側での生長が最も大きい。したがって、他の菌株は木材上のアルカリ側での生長が IF08697よりさらに抑制されることが容易に想像される。そのため、HFP シリーズによる試験は実施しなかった。

前章で示したように被害現場において、コンクリート



第19図 培地初発 pH と菌糸生長との関係  
 Fig.19. Growth of *S. lacrymans* on PDA medium at different pH levels.  
 a) FPR10507 : *T. palustris*

布基礎表面を生長していく菌糸あるいは菌糸束が認められることがある。コンクリート布基礎の表面は、初期には pH9以上のアルカリ側にあるのが空気中の二酸化炭素等によって早期に中性化され、生長上での障害にはならないと考えられる。また、被害現場でよく認められる土壌中に生長した菌糸等を駆除する場合、アルカリ性物質が効果を持つことが予想出来る。なお、写真33から明らかのようにこの実験における試片設定位置の影響はない。

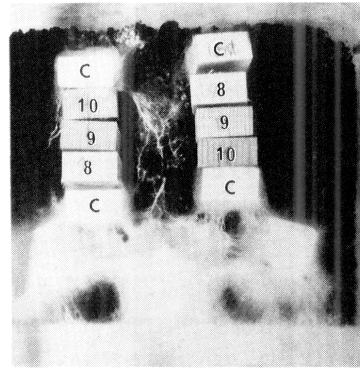


写真 33 pH 調整木材試片による菌糸生長試験の結果、数値は pH を示す、C はコントロール  
Photo.33. Hyphal growth on wood samples adjusted of pH.  
Note : Numbers are pH values and C means control sample .

### 3.2.3 温度と菌糸生長及び木材腐朽力

#### 実験法

3.2.2と同様にあらかじめ PDA 培地上で培養しておいた供試菌を試験管中の PGA 斜面培地に接種し、20（オオウズラタケの場合は 28）で 2～3日間培養して活着後、0～30 に設定した温度勾配培養機（TOYO - TN - 3）

で 7～14日間培養し生長量を測定した。生長の測定は、培地上での生長最大長さを測定することによって行った。また、各温度域の生長を測定した後、全試験管を 20 に戻し1週間培養した時の生長量も測定した。

高温及び低温の菌糸生長に及ぼす影響を調べる実験では、活着後さらに1週間 20 で培養し、40～60 に 10～180分、あるいは -20 ～ -1 に24時間暴露後再び20 に戻し、1週間培養後にその生長量を測定した。また、エゾマツ心材小片 [0.5(t) × 0.5(r) × 7(l) cm] 全面にあらかじめ供試菌を蔓延させ、表面の菌糸をできるだけ無菌的に除去して再び新しい PGA 斜面培地へのせ、所定温度に暴露後 20 へ戻して1週間培養し、材小片からの菌糸生長量を測定した。

培養温度と木材腐朽力との関係を調べる実験は、次のように行った。すなわち、PGA 斜面培地へあらかじめ菌糸を蔓延させ、その上へエゾマツ心材小片 [0.5(t) × 0.5(r) × 7(l) cm] をのせて、20 で約2週間培養して材表面が菌糸で被覆されてから温度勾配培養機で0～30 における腐朽操作を行い、重量減少を測定した。

#### 結果と考察

培養温度と菌糸生長との関係を第20図に示す。ここでも培地初発pH検討の場合と同様、多くの分離菌株を用いた。この図では、各培養温度における一日あたりの菌糸生長量を示してあるが、本実験に供試した異なった菌株のナミダタケは 3～5 付近で生長が始まる。そして、生長のピークは菌株によって差はあるが、18～26 の範囲にある。この温度以上の高温側では生長は急激に抑制されるようになり、30 では全菌株とも生長が全く認められなかった。すなわち、ナミダタケの生長適温についてはFalck<sup>2)</sup>が *M. domesticus* で22、北島<sup>4)</sup>も *S. lacrymans* で20～25、阿部<sup>2)</sup>が同じく22 という結果を得ており、これらの値とほぼ一致したが、生長可能な温度範囲は 3～29 と従来の知見よりさらに幅広いものであることが明らかとなった。なお、オオウズラタケでは、30 でも生長が抑制されることなく、この図では示していないが、35 でも生長量が下降しなかった。福田ら<sup>5)</sup>も、オオウズラタケの生育適温が32 という結果を報告している。

次に、各温度域での生長実験を終了した菌株をそのまま全て20 に戻して培養した結果を第21図に示す。図では、20 に戻した時点からの生長量を測定している。また、一部の菌株では、20 前後の測定値を示していないが、これは前述の試験の際すでに菌糸生長がほぼ培

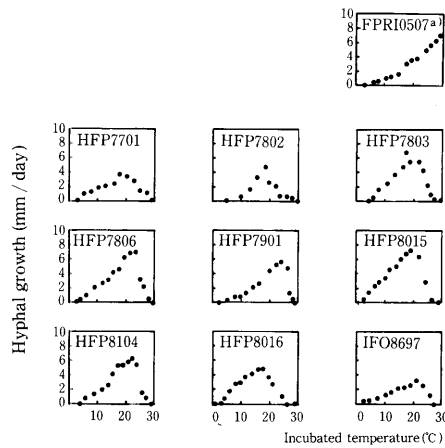


地全面に広がっていて、測定できなかったためである。この結果を見ると、生長量は菌株毎にそれぞれの温度で違いが認められるが、これは元になる菌糸の量が異なっていたためと思われる。20 前後に暴露されていた菌糸の生長は良好であった。一方、29~30 に1週間暴露された菌糸は、20 に戻しても全く生長が認められず、ほぼ死滅するということでは全菌株で共通している。

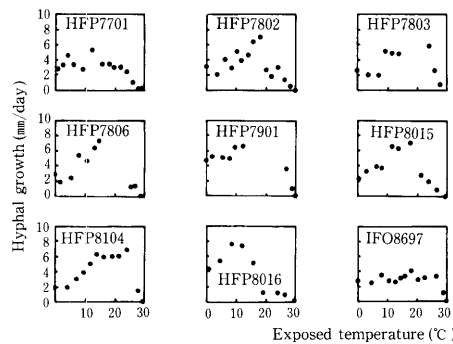
福田<sup>50)</sup>は、カワラタケ、ウスバタケ、マツオオジ、ヒイロタケ等の野外で使用される土木用材等に生育する木材腐朽菌とナミダタケ3菌株を用いて、菌糸生長に及ぼす温度との関係を調べた。その結果、上述したナミダタケ以外の腐朽菌は30 以上でも菌糸を生長させ

ることを明らかにした。ナミダタケに関する本実験結果は、30 以上でのナミダタケの生存を否定するものであり、供試全菌株で福田らの結果と同一のものとなっている。第8表には高温の生存への影響を調べた結果を示したが、40 ではさらに短時間の180分で死滅することが明らかである。これらの事実は、ナミダタケが他の腐朽菌のように野外で認められることがほとんどないことを裏付けるものである。すなわち、北海道であっても夏季には野外で30 以上の高温がある程度持続するので、それに耐えられないからであろう。北島<sup>49)</sup>も寒天培地上でナミダタケのほか、カワラタケ、ヒイロタケ、ワタグサレタケ、イチユウタケなどの土木、建築用材を腐朽する菌の耐熱性を調べ、他の菌は全て40 あるいはそれ以上の温度で120分暴露しても十分生存できるのに対し、ナミダタケは40 で20分以上暴露すると死滅することを明らかにした。

一方、北海道の住宅は、断熱効率を高めるため床下にも断熱材を用いる事が多いので、室内側の熱は逃げにくくなり、冬季の床下は0 以下の低温になることもある。したがって、どの程度の低温に耐えられるかを調べておく必要があった。まず、寒天培地上での結果を第9表に示す。ここでは、旭川市で採取、分離された HFP7701, 7802, 7904を中心として、比較のため IFO8697と札幌市で採取、分離された HFP7803を供試したが、その理由は、旭川市のほうが札幌市より冬季温度が低く(例えば1月の日最低気温の平均値は旭川市で-13.4 に対し、札幌市では-8.9 である<sup>51)</sup>)、低温耐性に違いがあるかもしれないと考えたからである。HFP7701, HFP7803が



第20図 培養温度と菌糸生長との関係  
Fig.20. Variation of growth rate with temperature of *S. lacrymans* on PG medium.  
a) FPR10507 : *T. palustris*



第21図 0~30 暴露処理と処理後の菌糸生長との関係 (20 に戻した時の値)  
Fig.21. Variation of growth rate with temperature of *S. lacrymans* on PG medium (the hyphal growth returned to incubate at 20 ).

第8表 ナミダタケの高温に対する抵抗力 a)  
Table 8. Resistance of *S. lacrymans* to high temperature. a)

Temperature (°C)	Exposed time (min.)		
	10	30	180
40	—	—	* <sup>b)</sup>
50	—	* <sup>b)</sup>	—
60	* <sup>b)</sup>	—	—

a) Tested strains : HFP 7701, 7802, 7803, 7904, 7805, IFO 8697 .  
b) No growth of hyphae incubated at 20 for 7 day after exposure .

-20 に24時間暴露された場合、菌糸の一部が死滅するためか生長量が小さくなっているが、他の菌株では24時間暴露に十分耐えていた。したがって、分離地域による違いは明白にならず、いずれのナミダタケ菌株でも -20 , 24時間暴露で完全には死滅しないことが明らかとなった。これは福田ら<sup>51)</sup>の結果と異なっているが、暴露時間がきわめて短いためであると考えられる。ただし、HFP7701 や HFP7803 のように24時間で一部でも菌糸が死滅するというのであれば、暴露時間を延長すれば完全に死滅することが予想される。

木材上あるいは木材中の菌糸が、どの程度の低温に耐えられるかを示したのが第10表である。ナミダタケの菌糸は、木材上で旺盛に生長することによって木材を腐朽するので、この結果はより実際的な意味がある。ここでは寒天培地上で比較的低温に弱かったHFP7701と、低温耐性が十分にあったHFP7904、IF08697だけを供試菌とし、また、-1の測定は寒天培地上での結果から不必要

と判断して -3 ~ -20 での実験を行った。表から明らかのように、寒天培地での場合と異なり3菌株とも -9 での生長抑制率が最大となっている。暴露時間は寒天培地の時と同様24時間であるが、菌糸の存在する担体(この場合は木材)が相違するため菌糸周辺の水分条件が異なること、あるいは菌糸内の凍結速度が異なることや凍結による水の容積変化が異なること、すなわち水分あるいは菌糸細胞内容物の凍結による損傷率に相違があったためなどが理由として考えられる。いずれにせよ、時間的な問題はあるが木材中では -5 付近までは生存できる可能性が示された。また -20 における生長抑制率が -9 より小さくなっているが、これは材中及び菌糸中の水分の凍結速度が相違するため、菌糸への損傷程度に差があったのであろうと考えられる。

以上の実験結果から、本実験に供試した範囲のナミダタケ菌株間の生長温度条件には若干の相違があることが確認された。しかしながら、東京(HFP8104)及び奈良(IF08697)で採取、分離された菌株も含めて、いわゆる欧州型<sup>52)</sup>の好高温株でないことは共通しており、現在までに採取、分離された我が国のナミダタケ菌株は好低温菌に属するものと判断できる。

次にナミダタケの木材腐朽力に与える温度の影響について検討した結果を第22図に示す。ここでは、旭川市、札幌市、三笠市と異なった地域から採取、分離された菌株を供試した。菌株毎に腐朽操作期間が異なっているが、腐朽による最大重量減少率はほぼ15~20%となっていて、比較上支障はないと思われる。HFP7701は、福田ら<sup>50)</sup>が供試したSME株と同一のものであるが、この結果は福田らの結果と若干異なり、腐朽適温は生長適温より少し高温側にずれている。これには供試材、培地の違い等が影響しているように思われるが、理由は明らかではない。ただし、同様の結果は札幌市の被害現場から分離されたHFP7803でも認められ、HFP7901と比較してみると菌株間で多少の差があることも推察できる。

Walchli<sup>53)</sup>は、ナミダタケ、カワラタケなど8種の菌によって菌糸生長適温と腐朽適温を調

第9表 ナミダタケの低温に対する抵抗力 a) (寒天培地による)  
Table 9. Resistance of *S. lacrymans* to low temperature a)  
(Agar-slant method).

Temperature (°C)	Strain				
	HFP 7701	HFP 7802	HFP 7803	HFP 7904	IFO 8697
-20	52 <sup>b)</sup>	100	25	124	100
-9	52	100	100	100	100
-5	76	100	100	124	100
-3	100	100	100	100	100
-1	100	100	100	100	100

a) Exposed time: 24 hours.

b) Growth percentage to the growth of hyphae exposed at -1.

第10表 ナミダタケの低温に対する抵抗力 a) (材上での)  
Table 10. Resistance of *S. lacrymans* to low temperature a)  
(Agar-block method).

Temperature (°C)	Strain		
	HFP 7701	HFP 7904	IFO 8697
-20	45 <sup>b)</sup>	60	100
-9	0	30	20
-5	100	100	100
-1	100	100	188

a) Exposed time: 24 hours.

b) Growth percentage to the hyphal growth on wood block exposed at -3.

べたが、この2つの温度間に若干の違いがあることを示しており、ナミダタケの場合は本実験の HFP7701及び7803での結果と同様の結果を得ている。また、一種の菌を除いて全供試菌がこれと同様の傾向を示すことを明らかにした。一方、水本<sup>54)</sup>は、腐朽適温と生長適温とが同じ例を報告している。

本実験では、温度勾配培養機の制約からくりかえし数が4回と少なく、福田ら<sup>50)</sup>も指摘しているように培地条件など種々の要因による腐朽試験でのバラツキを考えると、腐朽適温

と生長適温とが明らかに異なっていると結論づけることはできない。また、供試した3菌株の木材腐朽能力は、いずれも生長温度と同様適温以上では急速に低下することが明らかであり、結局、腐朽適温は生長適温付近にあって、腐朽 - 温度の関係は生長 - 温度の関係と同様の傾向を持っていると考えたほうが妥当である。

### 3.2.4 相対湿度 (RH) と菌糸生長及び木材腐朽力

#### 実験法

3.2.3と同様にエゾマツ心材小片 [2 (t) × 2 (r) × 1 (l) cm] にナミダタケ HFP7701, 7802, IF08697の菌糸を生長させた後、表面の菌糸をできるだけ無菌的に除去後、所定RH下 (20 ) に40日間放置し、空中菌糸発生の程度と材小片の重量減少率を測定した。繰り返しは6回である。

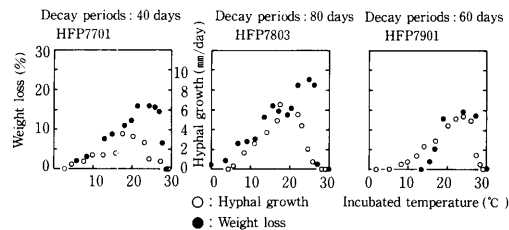
また、健全エゾマツ心材を所定 RH 下で十分調湿した後、上記同様にナミダタケ HFP7803, 7806, 7901菌糸の生長した材小片と共に、RHを調整した同一チャンバー内にできるだけ無菌的に入れた。これらの試片をエゾマツ心材 [0.5 (t) × 0.5 (r) × 7 (l) cm] で架橋して20 で90日間培養し、菌糸生長の様子と材小片の重量減少率を測定した。繰り返しは3回である。なお、RH調整のために用いた塩類飽和溶液<sup>55)</sup>を第11表に示す。

#### 結果と考察

木材の含水率や大気中の湿度は、温度と共に木材腐朽菌にとって重要な外的条件である。

最初に行った実験では、木材中に侵入した菌糸が生長を続け、且つ木材腐朽能力を維持するにはどの程度の RH が必要かを検討した。その結果を第12表に示す。供試菌としては旭川市で採取、分離された2菌株と、比較としてIF08697を用いた。

ここで供試したいずれの菌株でも、93.5%以上の RH であれば菌糸はどうか生長できる。腐朽力も RH の増加と共に大きくなる傾向にある。そして、80.6%以下の RH では材表面での菌糸生長は全く認められず、重量減少もほとんどない。HFP7701, HFP7802の75.5%, 80.6%で若干の重量減少が認められたのは、材中の水分が比較的長い間残されており、それによって内部での腐朽がわずかに進行したためと思われる。もちろん、材表面の菌糸生長は全く認められなかったので、含水率が RH と平衡に達した時にこの腐朽が停止したことが明らかである。Brownら<sup>56)</sup>は、ナミダタケの木材中からの生長はRH90%以下ではほとんどないことを明らかにしたが、本実験結果もこれ



第22図 培養温度と菌糸生長及び木材腐朽力との関係  
Fig.22. Variation of growth rate and decay capacity with temperature of three isolates of *S. lacrymans* on PG medium.  
Notes: Black dots; weight loss, white dots; hyphal growth

第11表 調湿用塩類飽和溶液

Table 11. Saturated solution with salt for adjustment of relative humidity (RH).

Salt	RH at 20 °C
MgSO <sub>4</sub>	33.6
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	55.2
NaCl	75.5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	80.6
KNO <sub>3</sub>	93.5
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97.2

と一致する。

ただし、この方法による結果は、既に菌糸の侵入した後の材が一定 RH 下におかれた場合の菌糸生長について述べたものである。したがって、実際の被害が健全材への菌糸侵入によって生ずることを考慮した実験が必要である。そこで、木材の初期含水率が菌糸生長に与える影響は次の実験で明らかにした。

すなわち、菌糸の侵入した材から菌糸が生長して、健全材へ生長していくためにどの程度の RH が必要かを調べた結果を第13表に示す。ここで用いた供試菌は第12表に示したものは異なり、地域間の差があるかをみるため札幌市、美瑛町、三笠市で採取したものとした。

この表では、それぞれの RH 下での 90日間暴露による重量減少率を、あらかじめ菌糸が侵入していた試片の場合（上段）と、健全材が攻撃を受けて腐朽した場合（下段）とに分けて示した。3 菌株間で腐朽による重量減少率に差はあるものの、傾向は全く同じになった。すなわち、97.2%では、いずれの菌株も十分生長でき、且つ新たに健全材への攻撃を進めることができる。この時の木材含水率は約26%と考えられる。また、93.5%（木材含水率で約22%）では菌糸が既に侵入した材中での菌糸生長は可能であるが、腐朽力は小さく、しかも菌糸の健全材への生長はほとんど認められない。もちろん75.5%では菌糸は全く生長しないうえ、90日間経過後再び PDA培地上へ置いて20 で10日間培養しても、菌糸生長は全く認められず、本試験に用いた試片の大きさでは死滅に至ったと推定される。これらの結果は、前半の実験結果と合せ考えると他の分離菌株に対しても通用できると思われる。

Findlay<sup>57)</sup> は、ナミダタケ、マツオオジ、カワラタケなどの菌糸が繁殖している木材試片を 45~90% RH, 25 の恒温恒湿室内に放置して、材中での菌糸の生存期間を調べた。その結果いずれの RH 下でも、供試菌のうちナミダタケの生存期間は最も短いことを明らかにした。この場合試片の大きさが約 3.8×3.8×12.7cm で、本実験と比較すると大きいので木材中の含水率が RH と平衡に達するまでに長時間を要し、それが生存期間の長短に関係したと考えられる。それでも、4ヵ月間が最大生存期間であり、他の供試菌では 10~64

ヵ月以上と非常に長期の生存が可能であったことを示している。本実験の結果を合せ考えると、ナミダタケは腐朽菌の中で乾燥に対する抵抗性が比較的弱いものと言えよう。

木材へ湿気が供給されやすく、温度も比較的高温になりにくいのは家屋床下である。前章で示したように、実際のナミダタケ被害家屋で測定した床下部材の含水率は、健全部でも20%を維持しているものが多く、これが平衡含水率であったとすると、20 でも RHは約 90% となり、調査家屋の床下は湿度の点でナミダタケの生存条件内にあったと考えられる。ただ

第12表 異なった相対湿度下でのナミダタケの菌糸生長と材小片の重量減少率（あらかじめ菌糸の存在する場合）  
Table 12. Growth of *S. lacrymans* and the weight loss (%) of wood at different relative humidities (RH) .

RH <sup>a)</sup> (%)	Strain				
	HFP 7701	HFP 7802	IFO 8697		
33.6	- <sup>b)</sup> 0 <sup>c)</sup>	-	0	-	0
55.2	-	0	-	0	0
75.5	-	2.3	-	0.2	0
80.6	-	2.0	-	1.4	0
93.5	+	6.3	++	3.3	+++ 19.0
97.2	++	11.0	++	7.0	+++ 24.5

- a) Values of RH at 20 .  
b) Hyphal growth on the outside of wood samples .  
- : no growth ; + : slight growth ; ++ : growth ;  
+++ : full growth .  
c) Weight loss (%) of wood samples .

第13表 異なった相対湿度下でのナミダタケの菌糸生長と材小片の重量減少率（新たに菌糸生長がある場合）  
Table 13. Growth of *S. lacrymans* and the weight loss (%) of wood at different relative humidities (RH)<sup>a)</sup>

RH (%)	Strain				
	HFP 7803	HFP 7806	HFP 7901		
75.5	- <sup>b)</sup> 0 <sup>d)</sup>	-	0	-	0
	- <sup>c)</sup> 0 <sup>e)</sup>	-	0	-	0
93.5	+	2.5	+	3.4	+ 4.9
	-	0	-	0	0
97.2	++	32.5	++	22.0	++ 19.1
	++	4.9	++	5.6	++ 8.8

- a) Ninety days incubation .  
b) Hyphal growth : - : no growth ; + : growth ;  
++ : full growth .  
c) Hyphal growth on the sound wood samples .  
d) Weight loss (%) of wood sample infected by  
*S. lacrymans* .  
e) Weight loss (%) of the sound wood sample  
attacked by *S. lacrymans* .

し、含水率20%という条件は第12表からも明らかなように、ナミダタケの健全材への生長という点では厳しい条件である。したがって、RHが90%であっても菌糸が材中で生長するために、土壌中の根状菌糸束や腐朽部分に蓄積される水分の助けが必要である。

### 3.3 ナミダタケ被害家屋の温湿度変動とナミダタケの生長

前節において、実験室的にはナミダタケ生育条件がある程度明らかとなったが、実際の被害家屋では温湿度変動とナミダタケの生長が如何なる関係にあるのかを本節で検討した。

#### 3.3.1 測定対象家屋の概要と測定経過

測定対象とした家屋は、前章で被害例ケース 4として報告したものである。旭川市忠和地区に位置する木造軸組 2階建、モルタル外壁住宅で、供用中のものである。壁内には50mmGWが施工され、外周土台にはクレオソート油が塗布されていた。その平面図及び基礎伏図を第23図に示す。床上端から床下土壌面までの高さは当初45cmであったが、最初のナミダタケ被害を受けた後、南向和室（以下和室）の床下のみ60cmまで掘り下げられていた。その他の事柄を含め第14表に測定経過を、ナミダタケ被害箇所、改修方法などを第23図に示す。

#### 3.3.2 温湿度センサーの設置

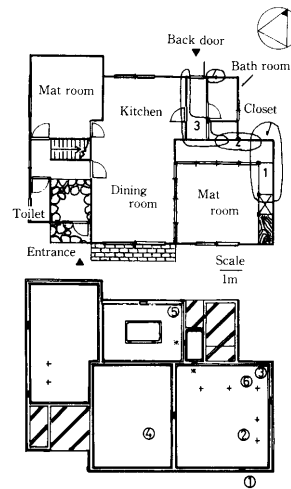
温湿度測定には、エース温湿度記録計を用いた。この記録計のセンサーは、温湿度受感部がペンダント型の保護管に入れられたものである。センサーの取付け位置は、第23図に示すようにナミダタケ被害部を中心とした。その位置は、1) 和室外壁で土台から立ち上がり約 30 cm の部分であり、GW とモルタル下地板との間、2) 同じく、やや東寄りの大引側面、3) 和室と浴室横ボイラー設置部との境界部分にある土台側面で、コーナー部分、4) 居間の中央やや南寄りの大引側面、5) 台所の外周土台から約90cm内側にある大引側面、6) 和室押入内、東側の壁表面である。

#### 3.3.3 測定結果と考察

測定は、家主の了承が当初は得られず、また 2年以内に測定を終了してほしいという要請があったため、実質的には80年10月から82年 6月に限定して行った。測定中のナミダタケ被害再発に伴い、いくつかの状況変化が生じたのでその変化にあわせて温湿度変化を検討することとした。

##### 3.3.3.1 分離したナミダタケの菌糸生長と温度との関係

温湿度変化を検討する前に、この現場から 3.1.1で述べた培地を使って子実体から分離したナミダタケ菌糸の生長と温度との関係を調べた結果を第24図に示す。なお、この現場の最初の被害時には菌を分離できず、温湿度測定終了直後の82年 7月に発生した子実体からの分離菌を供試した。この図で明らかなように生長可能範囲は他の菌株同様に 3~28 にあり、生長適温はほぼ20 となっている。また、湿度に関する検討はなされなかったが、他菌株同様93.5



1~4 : Damaged area by *S. lacrymans*.  
 ①~⑥ : Sensor for measurement of temperature and relative humidity.  
 \* : Ventilator made newly.

第23図 温湿度測定に供した家屋の基礎伏図、平面図と被害状況及び新設設置通孔の位置  
 Fig.23. The foundation plan, the situation of damages and ventilator newly-opened of the house for the measurement of temperature and relative humidity.

第14表 測定対象家屋の履歴と補修経過及びナミダタケ発生箇所の変移  
 Table 14. History of the house measured for temperature and relative humidity, and the transition of damaged position by *S. lacrymans*.

Month / Year	Maintenance history
2/73	Built
8/78	Outbreaks of the damage by <i>S. lacrymans</i> (area 1 in Fig. 23) The decayed wood were changed to the creosoted one.
8/79	Recurrence of the damage by <i>S. lacrymans</i> (area 2 in Fig. 23) PCP laurate were brushed on the decayed wood sills. Soil was removed in depth of 15 cm with the hyphae. Soil was not treated with chemicals.
9/80	Measurements of temperature and relative humidity were started. (Measurement point : See Fig. 23)
11/80	0.05 mm thick polyethylene sheet (vapour resistance properties $269 \text{ m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{mm Hg} / \text{g}$ ) was put as the soil-cover.
1/81	The soil-cover was covered with 5 mm thick of sand
8/81	Re - recurrence of the damage by <i>S. lacrymans</i> (area 3 in Fig. 3). PCP laurate was brushed on sills between the bathroom and the mat room.
10/81	The sill between the bathroom and the mat room was changed to the sound one, which was brushed with PCP laurate. Pass - way (20 × 20 cm wide) below the floor was made between the kitchen and the mat room. 100 mm thick of glass wool (10 kg/m <sup>3</sup> ) was laid under the floor of the closet in the mat room.
7/82	Sporophores of <i>S. lacrymans</i> fruited on the outside wall of the bathroom (area 4 in Fig. 23).

%以上が生長に必要な湿度と考えられるので、被害拡大あるいは発生条件として 90% RH以上を目安とした。

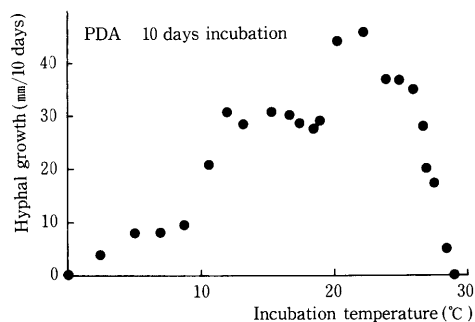
### 3.3.3.2 各測定点の温湿度変動

測定各点の温湿度の変動幅及び日最大値の月平均値を第15表に示す。この表から、温度条件に関しては、和室外壁を除きいずれの測定点でも年間を通じて -5 ~ 30 の範囲にあり、また変動幅も湿度変動幅より小さくナミダタケの生長あるいは生存温度内になっていたことが明らかである。したがって、以下では湿度条件に関してのみ検討することとした。なお、和室外壁は日射の関係もあって夏季には 40 以上になる時がある。先の実験で 40 , 180分でも死滅することが明らかなので、この部分への菌糸生長が認められないのは温度による影響が大きいものと思われる。

### 3.3.3.3 RHと改修工事との関係

第15表の結果のうち RH に関して検討してみると、いずれの測定点でも 80年 10月の RHが 100%近くになっており、冬季にはさらに低温となり RH が上昇、結露を生じてセンサーが故障すると考えられたので、和室床下にソイルカバーを敷設することとした。ソイルカバーは幅 2m のものであったため重ね合せの部分ができた。また布基礎との接触部は接着することができなかつたため、これらの部分は仮り押えをし、翌年 1月にはソイルカバー上全面に厚さ約 5cmの乾燥砂を敷き詰めた。

ソイルカバー敷設後には、和室床下を中心に 10%程度の RH低減が認められた。この時点で、押入床は木製のスノコによって仮りに



第24図 培養温度と分離菌の生長との関係  
 Fig.24. The relationship between the incubation temperature and the hyphal growth of the isolate.

第15表 各測定点の温湿度変動

Table 15 . The fluctuation of temperature and relative humidity on measurement point .

Month / year	10/80	2/80	7/81	11/81	2/82	6/82
Situation	Start	Soil-cover under	Re - recurrence	After	After	After the repair
Location		the mat room	of the damage by <i>S. lacrymans</i>	the repair	the repair	before the outbreaks of the damage of the bathroom
Outside wall of the matroom	25~32 <sup>a)</sup> 42~100 <sup>b)</sup> (19.3 94.9) <sup>c)</sup>	測定不能	14~40 <sup>d)</sup> 18~94 (32.6 87.1)	-3~25 43~98 (11.7 97.6)	-1~4 54~74 (2.3 66.9)	9~40 <sup>d)</sup> 20~76 (30.3 72.7)
Crawl space of the mat room	8~16 84~96 (11.8 92.2)	-1~4.5 68~79 (3.1 78.4)	15.5~23.5 78~95 (20.0 91.9)	3.5~12 64~79 (8.0 75.5)	-3~4 52~73 (1.5 65.7)	12~20 63~88 (17.1 78.3)
Boundary of the crawl space between the mat room and the bathroom	6~15 40~99 (11.9 96.8)	-2~4 71~90 (2.0 84.4)	15~25.5 80~91 (21.3 90.0)	1.5~12 71~93 (6.7 82.8)	-5~-1.5 58~91 (-0.2 80.9)	10~29 62~91 (16.9 82.7)
Crawl space of the living room	10~17 91~94 (14.2 92.5)	3~5 79~93 (4.3 91.3)	16~23.5 90~93 (20 91.7)	7.5~12 90~96 (9.2 94.2)	1.5~6 79~93 (4.0 90.2)	12~29 69~93 (16.3 88.0)
Crawl space of the kitchen	7~16 73~92 (11.7 91.9)	-2~2 56~84 (0.6 77.3)	15~23 82~96 (18.7 94.2)	5~10 76~90 (6.4 89.8)	-5.5~2 70~87 (0.1 80.5)	17~28 68~95 (24.9 87.3)
In the closet	7~18 82~92 (14.5 87.2)	0~9 74~88 (6.4 82.7)	16~30 68~86 (24.1 81.1)	4~10.5 64~88 (9.4 74.8)	-3.5~11 60~84 (5.2 71.9)	12~25 49~77 (20.0 69.0)
Open air <sup>e)</sup>	8.2 79	-7.5 83	21.2 79	-0.4 82	9.0 80	15.6 68

a) Temperature range ( )

b) RH range ( % )

c) Average of the maximum value a day in month .

d) Maximum temperature was over 40 .

e) Average value of month [ temperature ( ) . RH ( % ) ]

仕切られていたので、床下と同様の RH 低減が認められた。一方、居間床下は和室床下との間に貫通孔はあるものの、RH 低減は全く認められなかった。台所床下も RH 低減が認められたが、この理由は和室床下とは関係なさそうである。

81年7月のデータと比較すると、和室を中心とした RH 低減はソイルカバーのためだけでなく、換気口の働きと砂による吸湿にもよるのであろう。

ソイルカバーを敷設してから7ヵ月後に、和室と浴室との境界部土台、壁内で再びナミダタケ菌糸が生長をはじめた。この直前の7月には、砂の湿度吸着能が飽和したためか、あるいは換気口の働きで冬と逆の現象が生じ、床下各部のRHは80年10月の状況に戻ってしまったと考えられる。そのためにナミダタケ被害が再発したと推定した。

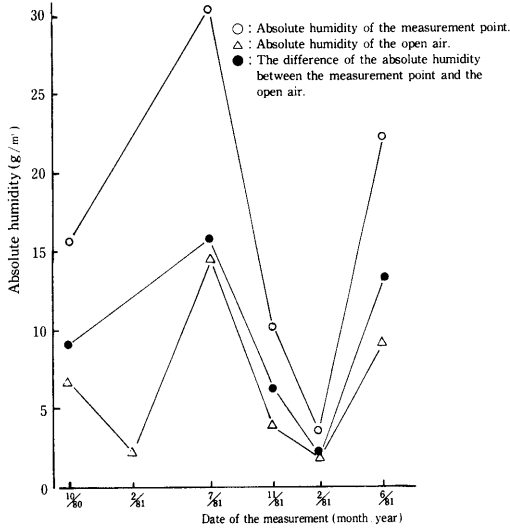
したがって、この部分の RH 低減をさらに進めるために第23図に示すように、台所床下を経て外へ連絡する貫通孔を設けるなどの改修を行った。その前後の RH を7月と11月で比較した。この改修の際、和室押入は床下と区画されたので RH 低減が認められる。和室床下2箇所の RH は81年2月と同程度となったが、台所床下では大きく低減していない。これは、ソイルカバーの有無と関係しているかもしれない。また居間床下については、この改修の影響を全く受けずに、依然として高く安定的に推移していた。

なお、住宅各部の温湿度変化は外気のそれらと連動している<sup>58)</sup>ことを考慮すると、RHの比較だけでなく、絶対湿度変化と改修との関連を検討する必要がある。そこで念のため第15表をもとに外気絶対湿度と各測定点における絶対湿度との差を調査した。その結果が第25~30図である。これらの図では各測定点の絶対湿度と外気のそれとの差を示した。改修による湿度低減効果があるとすれば、この差は小さくなっていくはずであるが、その傾向は、測定点2), 3), 4), 6)で示された。

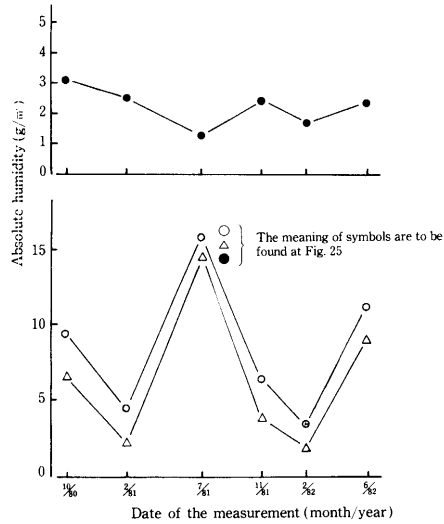
結局、以上のことを考慮しても RH の低減は改修工事と関連していると結論づけられる。

### 3.3.3.4 RH変動とナミダタケ菌系生長との関係

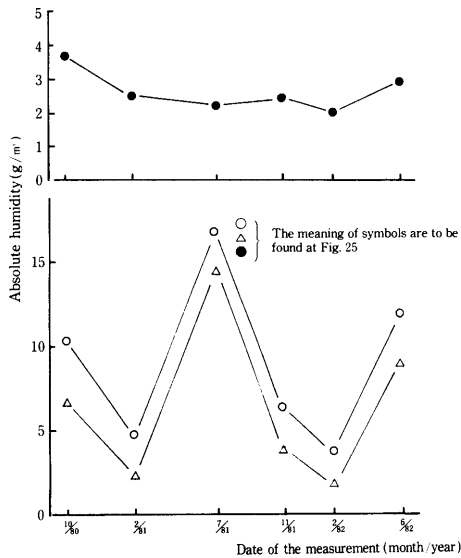
ナミダタケの被害は、第23図に示すように3度にわたり再発しているが、その範囲は異なっている。すなわち、81年8月の被害は、和室-浴室境界部の土台に浴室床下コンクリート中に残されていた菌系が生長してきて受けたものである。この時には、同時に台所の外周土台に菌系生長が認められた。そして82年7月には、予実体が浴室の外壁部に形成されており、菌系は浴室壁内で生長していた可能性が大きい。78年8月に発見された被害は、和室東側の換気口近くで発生したものである。この時には、ナミダタケ菌系はまだ浴室には生長してお



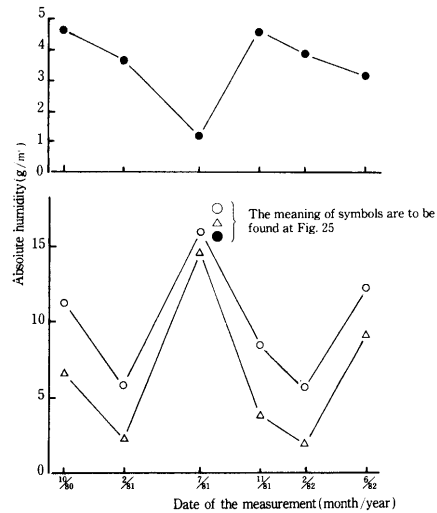
第25図 測定点（外壁）の湿度変動と外気湿度との関係  
Fig.25. The relationship between the change of the relative humidity on the measurement point and the relative humidity of the open air.



第26図 測定点（和室床下）の湿度変動と外気湿度との関係  
Fig.26. The relationship between the change of the relative humidity on the measurement point and the relative humidity of the open air.

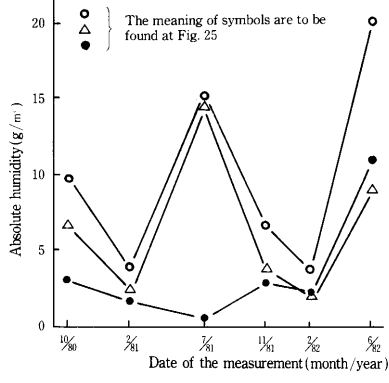


第27図 測定点（和室-浴室境界部）の湿度変動と外気湿度との関係  
Fig.27. The relationship between the change of the relative humidity on the measurement point and the relative humidity of the open air.

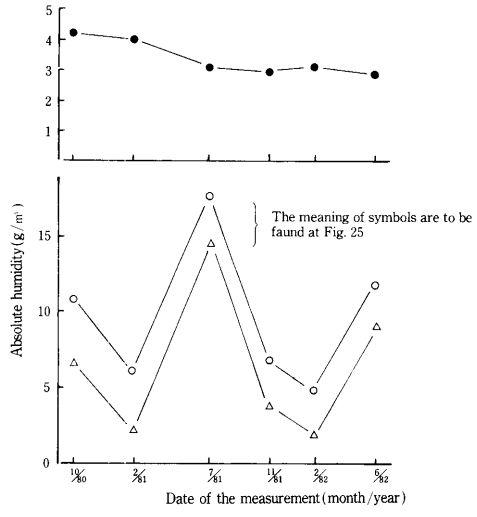


第28図 測定点（居間床下）の湿度変動と外気湿度との関係  
Fig.28. The relationship between the change of the relative humidity on the measurement point and the relative humidity of the open air.





第29図 測定点（台所床下）の湿度変動と外気湿度との関係  
 Fig.29. The relationship between the change of the relative humidity on the measurement point and the relative humidity of the open air.



第30図 測定点（押入内側）の湿度変動と外気湿度との関係  
 Fig.30. The relationship between the change of the relative humidity on the measurement point and the relative humidity of the open air.

らず、この後の処置に誤りがあったため3度にわたる再発の源を浴室床下に作ってしまったと考えられる。

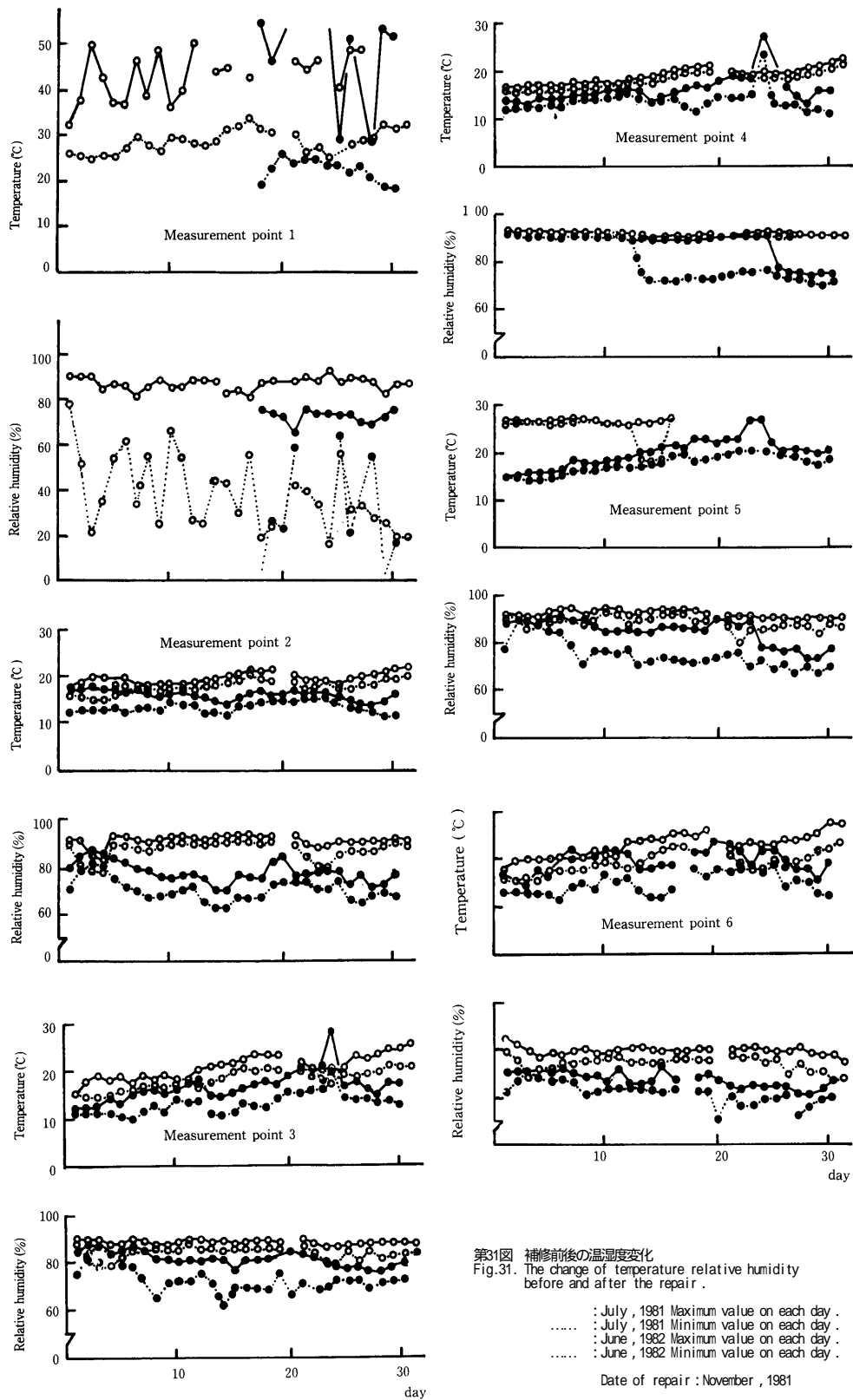
第31図には81年7月と82年6月の各測定点の温湿度変化を詳しく示した。これは、床下構造の改変時期に相当するが、同時にナミダタケ生長部位の相違があった時期の直前でもある。これらのデータを比較すると、いずれの測定点でもRH低減が認められる。つまり82年6月には、81年7月とは異なり和室周辺ではナミダタケが生長するRH条件に達していなかったことが明らかである。したがって、浴室床下で生長していたナミダタケは、RH条件の満たされている北側の浴室外壁中へ生長していったものと思われる。

なお、第14表で明らかのように、改修工事に伴う防腐処理が菌糸生長範囲の変化と関連していることも考えられるが、これは79年8月、81年8月の改修の際に2%ペンタクロルフェノール（以下PCP）ラウレートで処理した土台へ顕著な菌糸生長が認められたことによって否定される。

Findlay<sup>59)</sup>はタイプの異なった実験構築物の床組材にナミダタケを接種し、その腐朽進行の様子を観察した。その結果、換気条件が悪く木材含水率が26.8%~31.1%にまで増加している場合には菌糸生長が旺盛であるが、換気条件が良く含水率が17.1%~20.5%にまで減少している場合にはナミダタケの生長は全くみられないことを示した。また、Thornton<sup>60)</sup>はオーストラリアの代表的な3つのタイプの建物の温湿度とナミダタケ生長との関係を調べ、我が国のモルタル外壁と同様なアスベスト外壁を持つ床下換気の悪い建物では、外気温度の変動を遮断する効果があり、ナミダタケを安定的に生長せしめることを明らかにした。本測定結果は、これらの報告とほぼ一致し、湿度条件、温度条件が先に示した実験値の範囲にあれば実際の建物でもナミダタケが生長しうることを示している。

なお、前章での被害調査結果、以上の実験結果及び測定結果を考慮すると、水廻り以外のところでは次のようなプロセスでナミダタケ被害が発生、拡大するものと思われる。

- 1) 住宅床下で秋~冬にかけて結露が発生し、水分が断熱材や土台などの木材中に蓄積する。



第31図 補修前後の温湿度変化  
 Fig.31. The change of temperature, relative humidity  
 before and after the repair.

—○— : July, 1981 Maximum value on each day .  
 ..... : July, 1981 Minimum value on each day .  
 —●— : June, 1982 Maximum value on each day .  
 ..... : June, 1982 Minimum value on each day .

Date of repair : November, 1981

- 2) 春～夏にかけて温度がナミダタケ生長可能範囲になると、床下の建築残材などを養分として生長が始まる。
- 3) 生長した菌糸は、まだ水分の高い土台材などへ菌糸を生長させ、木材の腐朽を開始する。
- 4) 腐朽が始まれば、菌糸自身の分泌する水や土壌中の水を利用して水分の少ない木材部へも菌糸を生長させ、腐朽範囲を広げる。
- 5) 再び冬になって、低温になれば菌糸生長、腐朽は停止するが、木材や土壌の内部で菌糸のまま生存するか子実体を形成し胞子を広範囲に散乱する。
- 6) 越冬中には、また結露水が蓄積されて、翌年春からの菌糸生長条件が整えられる。以上のプロセスは水廻りでも当然起り得るが、その場合には結露水以外に配管故障による漏水なども水分源として利用されよう。

### 3.4 要約

道内で採取・分離されたナミダタケを主たる供試菌としてpH、温度、湿度などと菌糸生長及び木材腐朽力との関係を実験室的に検討した。また、被害家屋における温湿度変動とナミダタケ菌糸生長との関連を調査した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) PDA 培地におけるナミダタケの菌糸生長は、麦芽エキスをを用いた培地におけるより大きい。
- 2) いくつかの糖類を唯一の炭素源とした培地における検討では、キシロース、グルコースを用いた場合に菌糸の生長量が大きくなる傾向にある。
- 3) PDA 培地上でのナミダタケの生長のピークは、初発 pH で 3 ~ 6 と菌株間で異なるが、いずれの菌株でも pH9 をすぎると生長は極端に抑制される。
- 4) ナミダタケ菌糸の生長は、3 ~ 5 で始まり、生長のピークは 18 ~ 26 の範囲にあって、菌株による差が認められた。しかしながら、この温度より高温側ではいずれの菌株も生長は著しく抑制され、文献<sup>(49), (50)</sup>による他の木材腐朽菌の生長可能あるいは生長適温は、これらより高いことから、本論文で供試した全てのナミダタケは好低温菌ということが出来る。また、40 以上では 180 分以下で死滅するが、低温には強く -5℃、48 時間暴露後でも生存していた。
- 5) 木材腐朽力は、生長適温前後で最大となる。
- 6) 木材中での菌糸生長及び腐朽力発現のために必要な 20℃ での相対湿度は、93.5% 以上(木材含水率で約 22% 以上)であるが、さらに 97.2% 以上(同じく含水率で約 26% 以上)になると健全材への生長も旺盛になる。
- 7) ナミダタケの生育条件を実際の被害家屋で調査した結果は、実験室的に得た結果とほぼ一致した。北海道の家屋は断熱施工をしたものが多く、外気気象条件の影響を受けにくいため、これらの条件が容易に保たれる。

#### 4. ナミダタケ腐朽による木材諸性質の変化<sup>(61)-63)</sup>

木材の腐朽にともなう変化は、巨視的には材の軟化、変色、強度低減などの現象としてあらわれるが、これは細胞レベルでは細胞壁の崩壊<sup>(64), (65)</sup>として認められ、化学成分上ではそれぞれの成分の増減として認識できる。ナミダタケに関する被害の実状及び生育条件面などでの検討を前章まで行ってきたが、道内で分離された菌株による木材そのものの変化、すなわちこの菌に対する樹種別の腐朽力、木材強度、化学成分、組織構造への影響などに関する研究は殆どなされてこなかった。これらの研究は以下の観点からきわめて重要なことである。

- 1) 樹種別の耐朽性がわかれば、被害を最少限に抑制するための構造部材選択、防腐処理による対応が確実に行える。
- 2) 強度と腐朽期間あるいは腐朽率（重量減少率）との関連が明らかになれば、被害程度をおおよそ推定でき、修復に関する情報が的確に把握できる。
- 3) 組織構造面での変化を詳細に知ることによって、木材の効果的防腐処理法を開発するための基礎資料となる。

そこで本章では、いくつかの樹種に対する腐朽力の比較、顕微鏡的観察における組織の変化及び腐朽の曲げ強度に及ぼす影響と木材分析における変化などについて、代表的な褐色腐朽菌オオウズラタケによる腐朽と比較検討した結果を報告する。

#### 4.1 樹種と腐朽との関係

##### 実験法

腐朽試験は、JIS Z 2119<sup>(66)</sup>に準じて行ったが、供試したナミダタケ菌株のうち HFP シリーズは全て旭川市で採取されたものである。

腐朽試験(1)から(3)の条件は第16表、17表の通りである。なお、腐朽期間を短縮するため試験片は 2(t) × 2(r) × 1(1)cmとした。各試験とも 500mlポット中に培地を入れてあらかじめナミダタケを蔓延させておき、その上へ直接試験片の木口が接するように置いた。腐朽による重量減少率は、試片の腐朽前後の重量を60 で48時間以上乾燥して恒量となし、その差から算出した。

##### 結果と考察

第32図に腐朽試験(1)の結果を示す。この図から各腐朽期間を通じてブナの重量減少率はスギより小さいのが明らかであり、期間毎に危険率1%で有意差が認められた。松岡、庄司<sup>(67)</sup>によるとオオウズラタケでは、60日腐朽でブナ約40%、スギ約30%の重量減少率を示しているが、ナミダタケではこの傾向と逆の関係が示された。

第16表 腐朽試験(1)～(3)の実験条件  
Table 16. Experimental conditions for decay test(1) - (3)

Test No.	Wood species <sup>a)</sup>	Medium	Decay period (days)	Test fungus	Decay temp (°C)
(1)	Sugi (S) Buna (S)	PD agar	30, 60, 90	<i>S. lacrymans</i> HFP 7701	2 0
(2)	See Table 17.	MP sand	60	<i>S. lacrymans</i> HFP 7701 I FO 8697 <i>T. palustris</i> FPRI 0507	2 0 2 8
(3)	Buna (S) Sugi (H) Karamatsu (H) Dafurika karamatsu (H) Todomatsu (H) Ezomatsu (H)	MP sand	60	<i>S. lacrymans</i> I FO 8697 HFP 7701 HFP 7702 HFP 7802 <i>T. palustris</i> FPRI 0507	2 0 2 8

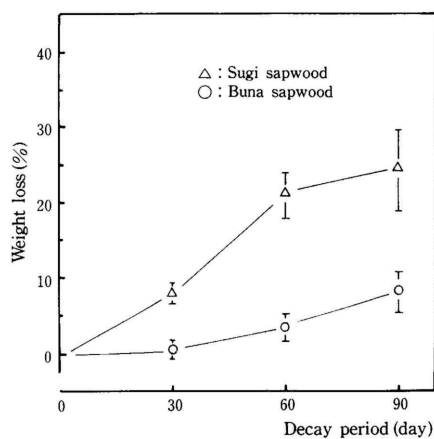
a) S : sapwood. H : heartwood

第17表 腐朽試験(2)における供試樹種  
Table 17. Wood species for the decay test (2)

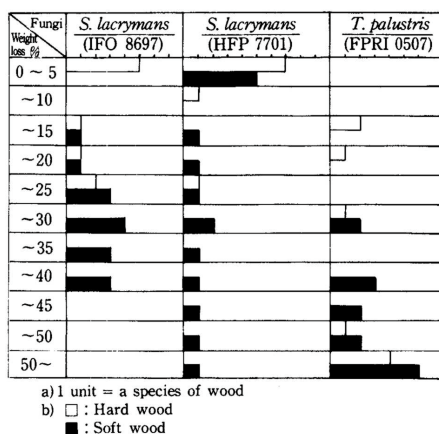
Botanical name	Japanese name	Sap - or heartwood <sup>a)</sup>
<i>Cryptomeria japonica</i>	Sugi	S
<i>Picea jezoensis</i>	Ezomatsu	S and H
<i>Abies sachalinensis</i>	Todomatsu	H
<i>Larix leptorepis</i>	Karamatsu <sup>b)</sup>	S and H
"	" (1)	H
"	" (2)	S and H
"	" (3)	H
<i>Larix dahurica</i>	Dafurika - karamatsu	H
<i>Larix gmelinii</i>	Guimatsu <sup>c)</sup>	H
"	" (1)	S and H
"	" (2)	H
<i>Picea abies</i>	Doitsutouhi	H
<i>Tsuga heterophylla</i>	Beituga	H
<i>Fagus crenata</i>	Buna	S
<i>Betula maximowicziana</i>	Udaikamuba	S and H
<i>Kalopanax septemlobus</i>	Harigiri (Sen)	H
<i>Tilia Japonica</i>	Shinanoki	H
<i>Fraxinus mandshurica</i> var. <i>japonica</i>	Yachidamo	H
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	Harunire	H
<i>Acer mono</i>	Ezoitaya	H
<i>Quercus mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>	Mizunara	S

- a) S : sapwood, H : heartwood  
 b) (1) : from Horobetsu, Hokkaido Prefecture.  
 (2) : from Asahikawa, Hokkaido prefecture.  
 (3) : from Nagano Prefecture.  
 c) Age of tree : (1) 30 years old.  
 (2) 15 years old.

また、松岡<sup>68)</sup>はJIS Z 2119によってスギ辺材をオオウズラタケ、カワラタケで腐朽させた時、カワラタケによる重量減少率はオオウズラタケの1/4程度しかなく、カラマツ、エゾマツの心材においても同様の傾向がみられることを報告しており、針葉樹に対する腐朽力は一般に褐色腐朽菌の方が大きいことが示唆されている。以上のことから、ナミダタケの針葉樹に対する腐朽力が広葉樹のそれに対して大きいかどうかをさらに明確にするために、他の広葉樹をも供試した比較実験が必要と考え実験(2)を行った。なお、第32図によれば、ブナとスギとの重量減少率比は 1 : 9 1 : 5 1 : 3 と次第に接近し、腐朽期間を延長すれば同じ重量減少率を示すことも予想できるが、この点については検討せず、以下では60日の腐朽期間のみでの検討を行った。



第32図 ナミダタケ HFP7701によるスギ及びブナの腐朽  
Fig. 32. Decay of Sugi (*Cryptomeria japonica*) sapwood and Buna (*Fagus crenata*) sapwood by *S. lacrymans*.



第33図 針葉樹、広葉樹別の重量減少率分布  
Fig. 33. Weight loss % of various soft woods and hard woods by some fungi.

第18表は腐朽試験(2)の結果であるが、この結果をもとに重量減少率を5%ごとに区分して、それぞれの供試菌別に分布を示すと第33図ようになる。オオウズラタケの結果では供試した全樹種が10%以上の重量減少率を示している。セン、ヤチダモ、シナノキの重量減少率は針葉樹より10~15%程小さいが、その他の広葉樹は針葉樹と大差ない重量減少率を示し、これらの間にオオウズラタケに対する耐朽性に明確な差のないことが示された。一方、ナミダタケIFO8697では供試材の重量減少率がおおよそ0~40%の範囲にわたっているが、0%に近いグループには広葉樹のみが分布しており、これらの重量減少率と針葉樹のそれとは有意差が認められる。もちろん、エゾイタヤ、シナノキ、ハリギリのように15~25%の重量減少率を示したものもあるが、これらでも供試針葉樹の重量減少率最小のものと同程度である。結局、ナミダタケIFO8697は針葉樹と広葉樹への攻撃力の差をオオウズラタケより鮮明に示したといえる。さらに、ナミダタケHFP7701の腐朽試験結果では、針葉樹では0~50%程度、広葉樹のそれはシナノキを除き0~7%に分布している。この分布のパターンは、IFO8697の場合と異なり針葉樹の一部に対する腐朽力も小さいが、広葉樹への攻撃力がさらに弱いことを示している。

第18表 腐朽試験(2)における各樹種の重量減少率(%)  
Table 18. Weight loss % of samples on the decay test (2).

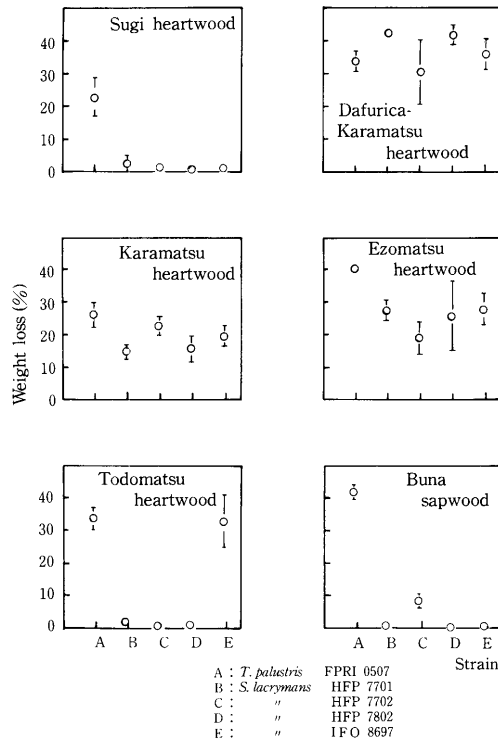
Wood species <sup>a)</sup>	Test fungus and strain No.		
	<i>S. lacrymans</i>		<i>T. palustris</i>
	IFO 8697	HFP 7701	FPRI 0507
Sugi (S)	19.8 (6.3) <sup>b)</sup>	0	39.9 (10.0)
Ezomatsu (S)	39.1 (4.0)	47.6 (8.1)	60.0 (4.4)
Ezomatsu (H)	35.6 (2.5)	43.1 (7.3)	58.3 (3.8)
Todomatsu (H)	31.5 (4.6)	20.0 (10.0)	28.8 (5.3)
Karamatsu (1) (S)	21.5 (6.7)	23.1 (1.5)	49.8 (4.0)
Karamatsu (1) (S)	15.0 (2.6)	52.0 (7.3)	27.6 (3.3)
Karamatsu (2) (H)	29.2 (2.8)	4.2 (1.9)	37.6 (4.5)
Karamatsu (3) (S)	23.1 (1.2)	29.9 (9.8)	40.9 (4.5)
" (H)	33.0 (2.6)	1.9 (0.7)	51.6 (10.0)
Dafurika karamatsu (H)	32.1 (2.7)	34.6 (0.5)	43.1 (5.0)
Guimatsu (1) (H)	29.6 (4.8)	27.3 (4.8)	52.6 (3.9)
Guimatsu (2) (S)	25.4 (4.3)	1.5 (0.4)	49.4 (9.6)
" (H)	23.5 (2.9)	35.9 (9.6)	35.9 (2.6)
Diotsutouhi (H)	39.7 (9.3)	11.8 (2.2)	63.8 (3.7)
Beitsuga (H)	29.6 (3.2)	2.6 (1.4)	54.2 (6.2)
Buna (S)	2.7 (0.4)	3.4 (0.4)	71.9 (0.9)
Udaikamuba (S)	1.1 (0.6)	1.4 (0.3)	65.1 (2.8)
" (H)	12.9 (1.0)	1.4 (0.6)	25.2 (2.0)
Harigiri (H)	16.8 (2.7)	4.8 (1.8)	16.0 (0.6)
Shinanoki (H)	21.0 (10.6)	24.5 (8.5)	11.4 (1.2)
Yachidamo (H)	1.5 (0.8)	0	12.8 (0.3)
Harunire (H)	0.7 (0.2)	0	49.3 (4.5)
Ezoitaya (H)	23.3 (7.9)	1.0 (1.2)	50.5 (5.9)
Mizunara (H)	2.8 (0.7)	6.8 (2.9)	53.0 (6.7)

a) S: sapwood, H: heartwood  
b) Values in parenthesis are standard deviations.

Walchi<sup>(69)</sup>は、針葉樹3種、広葉樹19種を供試材として同様の腐朽試験を行い、供試した広葉樹の約半数が暴露後12週間までは針葉樹より重量減少率が小さいことを示した。また、福田<sup>(70)</sup>はIFO8697株で同様の傾向を明らかにした。以上のことから、ナミダタケはオオウズラタケの針・広葉樹に対する腐朽力とは異なる傾向を示し、相対的に針葉樹に対する腐朽力がより強い傾向にあると結論できる。

腐朽試験(2)の結果から、ナミダタケでも菌株が異なれば樹種毎への攻撃力には多少とも差があることが予想される。そこで、実際に道内で建築用に多用される樹種をも用いナミダタケ4菌株の腐朽力を比較した。その結果が第34図である。ブナに対する腐朽力は腐朽試験(1)と同様ナミダタケ全菌株でオオウズラタケに比べて極端に小さい。カラマツ心材ではオオウズラタケと同様の腐朽力が示された。また、スギ心材についてはいずれのナミダタケ菌株で

もほとんど腐朽しなかった。トドマツはIFO8697以外のナミダタケでは腐朽しにくく、これは阿部<sup>12)</sup>の使用した菌株の場合と一致する。すなわち、道産針葉樹の腐朽のしやすさはアカエゾマツ>エゾマツ>カラマツ>トドマツとなっている。以上のことから、トドマツ心材の場合を除きいずれの菌株ともおおよそ同程度の腐朽力を持ち、本試験の範囲ではナミダタケの菌株間での腐朽力の差は小さいといえる。また、腐朽試験(1)から(3)の結果を総合してみると、ナミダタケに対してはエゾマツが菌株による差も小さく最も腐朽しやすい材であるといえる。なお、ナミダタケに限らず一般にトドマツがエゾマツより耐朽性大であることは道内の建築業者によく知られており、以前には土台にエゾマツを使用しないという教えがあった。本実験でもその裏付けとなるデータが得られたことになるが、このことは矢沢<sup>7)</sup>が風倒後4年目の木材の腐朽率(ナミダタケによるものではないが)を調べた結果、トドマツで30.0%に対し、エゾマツでは57.1%となっていることを示したことも合致した。また、腐朽試験(1)~(3)を通じて



第34図 分離菌株の腐朽力比較  
 Fig.34. The decay capacities of strains of *S. lacrymans* isolated.

スギなどの腐朽率が同一菌株を用いた場合でもかなり異なっているが、これは試験片がそれぞれ異なった原木からとられているためであると考えられる。しかしながら、腐朽力の相対的な比較上からは矛盾のない結果となっている。

以上で明らかにされたように、エゾマツはナミダタケに対して耐朽性が小さいにも拘わらず、現状では土台材として使用せざるを得ないことから、次章で示すように防腐処理がなされなければならない。これは、従来耐朽性が中程度<sup>72)</sup>とされたカラマツについても同様である。しかしながら、これらの樹種の浸透性はベイツガなどとくらべると極端に悪く、CCA 処理材の材表面で乾燥割れなどを生ずると菌糸侵入を阻止できなくなるので、インサイジングなど浸透性を向上させる方法が検討され、製材の日本農林規格においてもその適用が認められている。ナミダタケに対しては、こうした処理によって製造された加圧注入土台の必要性がますます高まっていくものと考えられる。

#### 4.2 腐朽による木材の組織構造的変化

##### 実験法

試料としてエゾマツ辺材 [ 5 (t) × 20 (r) × 40 (l) mm ] を用い、これを麦芽エキス ペプトン (20g : 10g / 水道水 1l) 石英砂培地上でナミダタケ HFP7802 及びオオウズラタケ FPRI0507 により 20~60 日間腐朽させた。培養温度はナミダタケで 20℃、オオウズラタケで 28℃ である。腐朽終了後、材表面の菌糸を取り去り、木口から繊維方向に沿って内側に約 5mm ずつの立方体のブロックを切出し、FAAII (ホルマリン : 酢酸 : エタノール : 水 = 6.5 : 2.5 : 70 : 30) により固定後、水洗しエタノールシリーズで脱水した。脱水した試料は無水エタノール中に

室温保管し、以下の方法で検鏡した。

試片の取りかた：腐朽期間は20, 30, 60日間としたが、いずれも木口から内部に向かって腐朽が進行し、その様子は外観の色の変化によって観察できる。すなわち、腐朽初期は材がわずかに白色化し、次にわずかに褐色化し、しだいに濃色化していくように変化した。本実験では、試片の乾燥過程におけるartifactの発生を極力避けるために腐朽による重量減少率を求めなかったため、期間ごとに試片をとるのではなく20日あるいは60日間腐朽のものの中中央部で、木口に近い部分から順次内部にむかって小ブロックをとり検鏡用切片作成に用いた。腐朽は木口から繊維方向に沿って進行するので、木口に近い方から腐朽の進んだものが、また、内部になるにしたがって腐朽初期のものがとれることになる。

光学顕微鏡 (OM) 観察：5 mm 角のブロックから 0.5~1 mm 角程度のブロックをとり、常法によりEpon812で包埋しダイヤモンドナイフで1 μm の切片を調製した。調製した試片は水酸化カリウム - エタノール飽和溶液で脱包埋し、1%サフラン溶液で染色後封入、観察した。蛍光顕微鏡 (FL) 観察：OM 用切片同様のものを、0.2 %アクリジンオレンジ (以下 A0) 溶液をもちいて 10分間室温で染色し観察した。FL には Olympus BH2 - RfK 落射蛍光装置を B 励起で用いた。

走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察：5 mm 角のブロックをさらに 1-2mm 角のブロックとし、常法により臨界点乾燥して金蒸着を施したものを日本電子 JSM25 - II で観察した。印加電圧は主として 12.5KVである。

## 結果と考察

### 光学顕微鏡による観察：

OM (通常光及び直交ニコル下観察) によってナミダタケ腐朽材の木口切片を観察した結果を写真34に示す。この写真は腐朽中期の状態を示すもので、S<sub>2</sub>層でのクラック形成という特徴が認められる。また、接線壁でのクラック形成は半径壁のそれより早くあらわれる。OM観察では bore holeは認められず、細胞壁の形態がほとんど変化しないうちにS<sub>3</sub>層での複屈折が消失する。この際、半径壁での消失が早く進むようである。こうした状態の変化は、オオ

ウズラタケとナミダタケとの両菌間で共通している。したがって、この段階では両菌間にセルロース結晶領域への腐朽様式の相違はほとんどないと考えられる。

### 蛍光顕微鏡による観察：

FLによる A0 染色切片の発色に関する考察は深沢ら<sup>73)</sup>によって述べられているが、完全には解明されていない。ただし、腐朽材ではほぼ次のような現象によって A0 による蛍光発色の変化が示されるものと考えられる。すなわち、健全材では、S<sub>2</sub>層が黄緑色で示されるが、これは主としてセルロース、リグニンのスタッキング\*に支配されて生じた発色である。

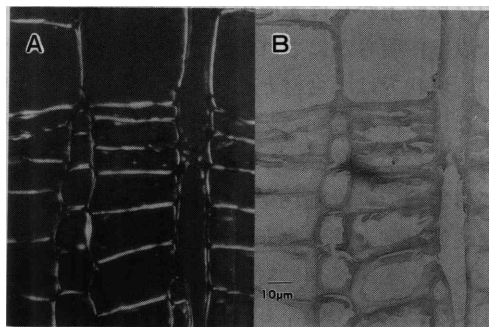


写真 34 ナミダタケ腐朽材の光学顕微鏡写真、通常光及び直交ニコル下

Photo.34. Optical micrographs of wood decayed by *S. lacrymans*. A: Polarized-light micrographs. B: Shows the collapse in many tracheids.

Note: Birefringence was absent in the S<sub>3</sub> layer.

腐朽菌の酵素によって多糖類が非晶化されたり、LCC 部分でのリグニンの遊離が起こるとスタッキングが急激に増大し、そのために蛍光発色が黄～赤色へと変色するのであろう。今回使用したFLの吸収・励起フィルターの波長は既報と若干の違いがあり、赤変もやや黄色がかった色調であらわされた。既報ではオオウズラタケで腐朽したエゾマツ材の細胞壁の赤変化が腐朽のごく初期から認められることを報告したが、本実験ではこのような変化は認められ



なかった。この原因として、イ) 脱包埋過程における水酸化カリウム - エタノールによる腐朽分解産物の抽出あるいは化学的変性、ロ) A0 染色時間の長短によるスタッキングの相違、ハ) 腐朽操作における培地などの相違と、それに基づく誘導酵素あるいは構成酵素の違いが考えられる。切片調製過程で包埋剤の部分にartifactが多数できるため、脱包埋を行なうこととしたのであるが、この脱包埋操作の有無に拘わらず、赤変化の範囲は腐朽初期に細胞壁全体には広がらなかった。また、既報ではペプトン - グルコース培地を使用しており炭素源、窒素源の量、質ともに本報とは異なっている。さらに、既報同様の染色を行った試片との比較検討の結果、蛍光発色の差は全く認められなかった。したがって、イ)、ロ)の前提は消去され、以下ではハ)を前提として考察する。なお、この考え方は、例えばオオウズラタケを種々の培地で培養して得たセルラーゼ、ヘミセルラーゼの活性が炭素源によって異なる<sup>74)</sup>ということからも支持される。

写真35では低倍率で観察した木口面を示す。一部に切片作成時のartifactも認められるが、腐朽の進行状態は不均一であり、細胞壁が赤変しcollapseを形成した部分(◀)からほぼ健全状態の部分までが含まれている。これは、菌糸の存在状態と関連しており、内こうに菌糸(▶)が多い細胞ほど腐朽が進行しているが、クラックがあらわれる前に内こう側が赤変する。

高倍率で腐朽の初期から終期までを見ると(写真35-B~D)、初期に接線壁のS<sub>3</sub>層側から小さいクラックが入り、半径壁では複合細胞間層とS<sub>2</sub>層との間で剥離が生じている。これらのクラックと剥離はやがて連結していき、主として内こう側から赤変化が進行する。

その過程でS<sub>2</sub>層の内部でもスポット状の赤変化(▶)が起り、これらは互いに拡大(写真35-C)して終期には細胞間層だけを残した状態(写真35-D)となる。なお、S<sub>3</sub>層の複屈折が早く消失することは、腐朽初期における内こう側の赤変がきわめて早くあらわれることによって支持される。腐朽中期の柱目面切片(写真35-E)を見ると、赤変は繊維方向に対して不均一に現われ、しかも変化している部分の深度に違いが認められる。これは、菌糸からの酵素拡散範囲が不均一で、しかも限定された部分でなされることを暗示している。以上の変化は、オオウズラタケでもおおよそ同様に進行する。ただし、腐朽初期の状態を比較すると、オオウズラタケでは内こう側からのクラック形成が主としてコーナー部分に認められる(写真36)。

走査型電子顕微鏡(以下SEM)による観察:

#### イ) ナミダタケ腐朽菌材

SEMによる広範囲の観察(写真37-A)で、ナミダタケ菌糸は仮道管内こうに腐朽初期から優先的に分布しているが、Wilcox<sup>75)</sup>が報告したのと同様に、放射組織には菌糸の存在があまり認められなかった。また、腐朽材中に存在する菌糸の直径は大きいもので3.6~4.5μm、小さいもので1.8μm程度と多岐にわたっていた。菌糸は全て壁孔を介して細胞から細胞へと移動しているが、この際壁孔周辺の壁にクラックを生じさせる。仮道管と放射組織との間の分野壁孔では写真37-B,Cに見られるようにS<sub>2</sub>層マイクロフィブリルの配向方向にそってクラックが拡大していく。これは最終的には連結して細胞壁の大きなクラックとなり、これが木口切片で見られた内こうからのクラックとなる。仮道管同士の間にある有縁壁孔では(写真37-D)、壁孔縁からクラックを生じてこれが拡大し、最終的には壁のクラックへと発展する。また、壁孔とはべつに存在する壁のクラック(写真37-E)が認められた。

#### ロ) オオウズラタケ腐朽材

\*: 色素分子が高分子と結合する時、互いとなりあう結合サイトを色素分子が占めることを言う。スタッキングによって、色素分子は相互作用でダイマーとなり吸収波長が変ることになる。

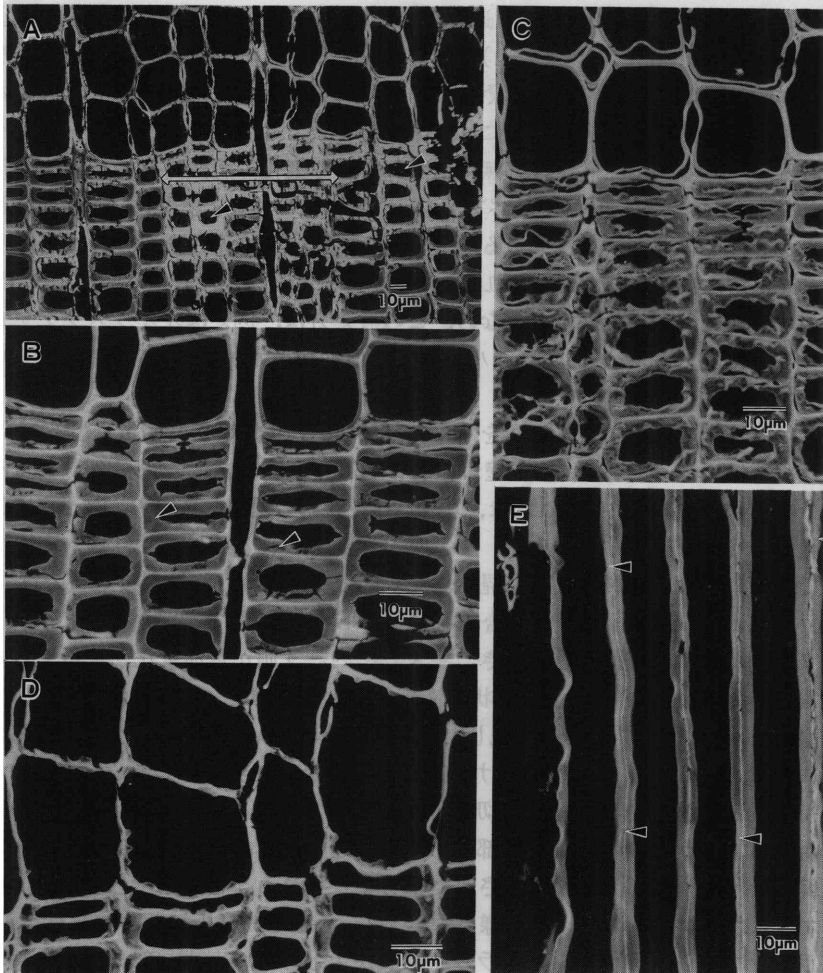


写真 35 ナミダタケ腐朽材の蛍光顕微鏡写真 A: 腐朽程度は不均一である B: 腐朽初期に S<sub>2</sub> 層の赤変 (▶) が認められる C: 腐朽中期の S<sub>2</sub> 層全体の赤変と collapse の形成 D: 腐朽末期の細胞壁の赤変 E: 柁目切片での赤変 (▶) 状態、スポット状の赤変が認められる

Photo.35. Fluorescent micrographs of wood decayed by *S. lacrymans*. A: Extensive observation showing the irregular degradation of cell walls (the region of ( )) with many hyphae in cell lumina (▶). B: The early stage of decay showing collapse in many tracheids and red discoloration spots in the S<sub>2</sub> layer (▶). C: Advanced stage of decay. D: Later stage of decay showing a retained compound middle-lamella. E: Tangential section of tracheids showing red discoloration zones in cell walls (▶).

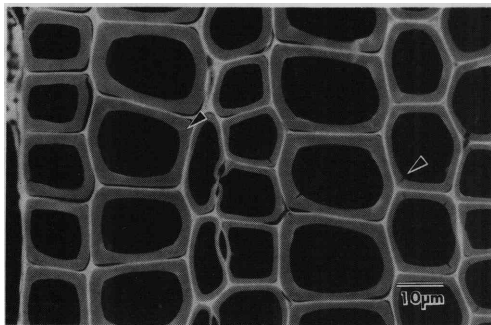


写真 36 オオウズラタケ腐朽材の蛍光顕微鏡写真、腐朽初期の状態、コーナー部分のクラック (▶) が認められる

Photo.36. Fluorescent micrographs of wood decayed by *T. palustris* showing cracks in cell corners (▶)

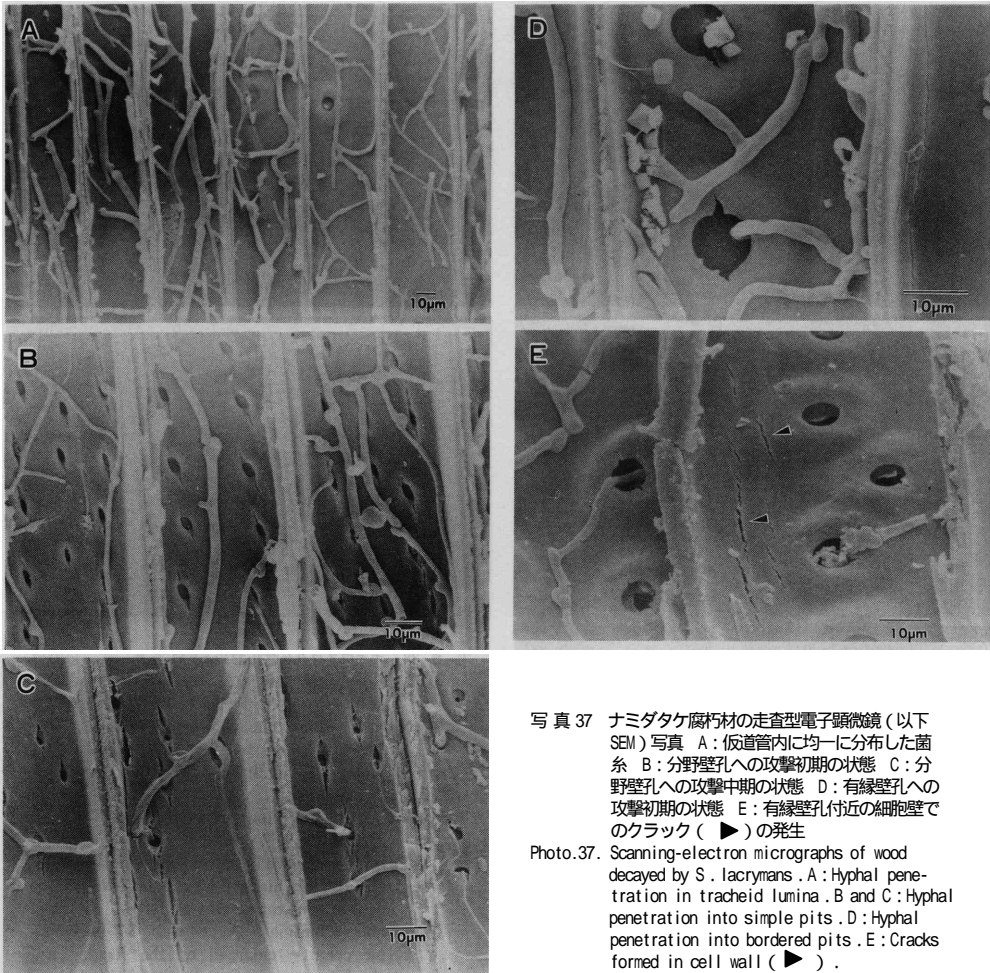


写真 37 ナミダケ腐朽材の走査型電子顕微鏡（以下 SEM）写真 A：仮道管内に均一に分布した菌糸 B：分野壁孔への攻撃初期の状態 C：分野壁孔への攻撃中期の状態 D：有縁壁孔への攻撃初期の状態 E：有縁壁孔付近の細胞壁でのクラック（▶）の発生

Photo.37. Scanning-electron micrographs of wood decayed by *S. lacrymans*. A: Hyphal penetration in tracheid lumina. B and C: Hyphal penetration into simple pits. D: Hyphal penetration into bordered pits. E: Cracks formed in cell wall (▶).

オオウズラタケでの観察の結果を写真 38 A - E に示す。ナミダケ腐朽材同様に分野壁孔の変化の状態を示したが、違いは明瞭である。すなわち、仮道管側での壁孔も、放射組織側の壁孔も共に同心円状に孔口が拡大されている。そして、OM 的には認められなかった微少な bore hole が存在し、しかも bore hole は壁孔のすぐ近くや壁孔縁にまで認められる。また、有縁壁孔の孔口はごく一部にナミダケと同様のクラック拡大様式をとる部分もあるが、トールの分解から壁孔縁の拡大へとやはり同心円状に進行する。こうした点はナミダケと全く異なるものである。木口切片で内こう側からのクラックがあまり認められなかったのは、こうした bore hole 形成能力や壁孔の同心円状の分解能力によるためであり、酵素作用が  $S_2$  層のマイクロフィブリル配向方向等に拘束されないためであると推察できる。今川ら<sup>76)</sup>が観察した広葉樹材での erosion 現象は認められなかった。

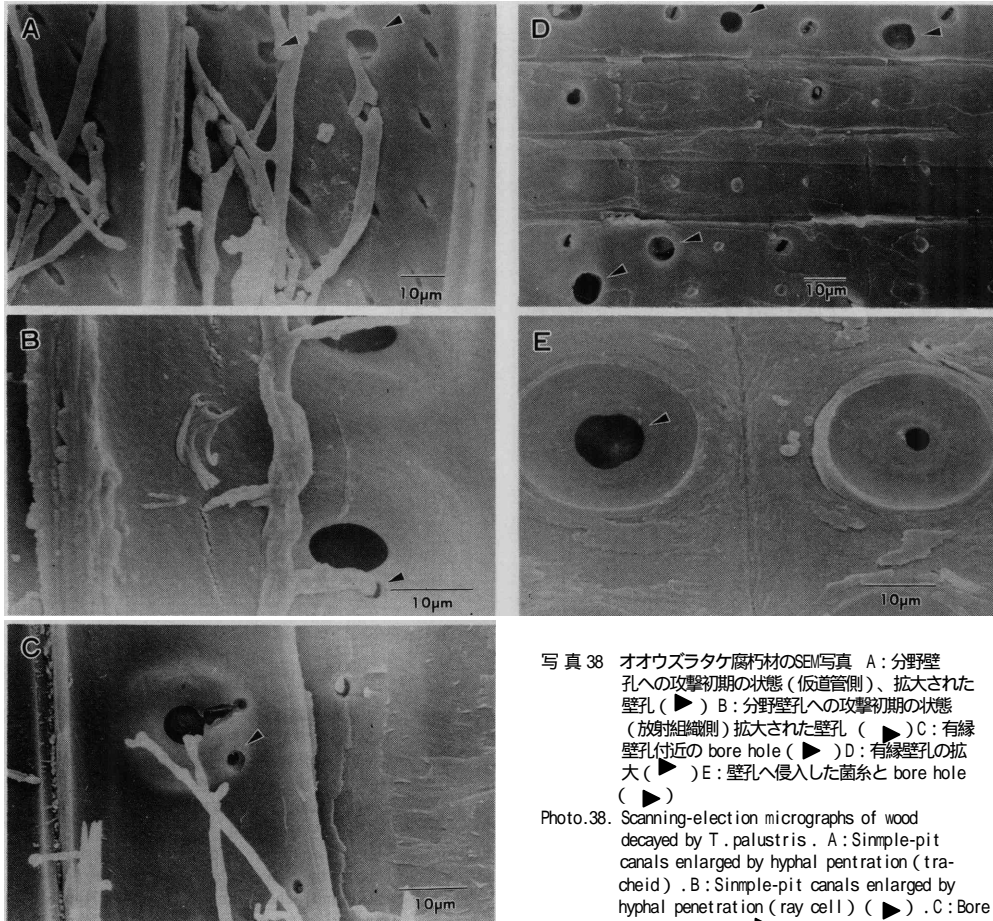


写真 38 オオウズラタケ腐朽材のSEM写真 A: 分野壁孔への攻撃初期の状態(仮道管側)、拡大された壁孔(▶) B: 分野壁孔への攻撃初期の状態(放射組織側)拡大された壁孔(▶) C: 有縁壁孔付近の bore hole(▶) D: 有縁壁孔の拡大(▶) E: 壁孔へ侵入した菌糸と bore hole(▶)

Photo.38. Scanning-electron micrographs of wood decayed by *T. palustris*. A: Simple-pit canals enlarged by hyphal penetration (tracheid). B: Simple-pit canals enlarged by hyphal penetration (ray cell) (▶). C: Bore hole formation (▶) in cell wall. D: Bordered-pit canal (▶) enlarged by the fungi. E: Hyphal penetration into bordered pit and bore hole (▶).

#### 4.3 腐朽による木材の強度的変化

##### 実験法

供試材: エゾマツ心材 [5 (t) × 5 (r) × 70 (l) mm] を用いた。これらは目切れがなく、年輪幅は 1.20 ~ 1.30 の範囲にある二方桁試片で無欠点のものであり、絶乾比重は約 0.4、健全時の曲げ強度は約 1,000 kg/cm<sup>2</sup> 程度のものであった。60 °C で 48 時間以上乾燥して恒量を求め、ただちに断面寸法を測定し、雑菌汚染を防ぐため、120 °C、20 分間のオートクレーブにかけたのち無菌的に室温で保管しておいたものである。腐朽操作に供試しないコントロールも、同様の方法で調製した。

供試菌: ナミダタケ HFP7701 及び IF08697 を用い、比較のためオオウズラタケ FPR10507 も供試した。

腐朽操作: 第35図に示すように、ルーフラスコにグルコース: ペプトン: 麦芽エキス (40g : 3g : 15g / 水道水 1l, 寒天末 20g) 培地を 30g ずつ分注してオートクレーブにかけ、斜面培地を調製した。この培地の中央に、あらかじめ PDA 平板培地に培養しておいた供試菌菌糸を寒天とともに直径約 4mm に打ち抜いて接種し、ナミダタケは 20 日、オオウズラタケは 28 日で培養し、菌そうが培地の半分の面積にのびた時、接種時の寒天をとり去り上記供試材を無菌的に暴露した。暴露は、フラスコあたり 5 個の試片を柁目面を、直接菌叢に接しておく方法である。同一条件 10 本とし、腐朽期間は 10 ~ 70 日間とした。

静的曲げ強度測定：所定期間の腐朽操作を終了した供試材は、フラスコからとりだして表面の菌糸を取り去った後、2日間室温で、続けて60℃で48時間以上乾燥して恒量を測定した。その後、乾燥状態のまま島津オートグラフIS-5000で曲げ強度を測定した。測定条件は以下の通りである。

荷重負荷；柁目面に対して中央集中荷重  
(菌叢に接した面が引張側になるように負荷した)

スパン：5 cm

荷重速度：1.5mm/min

ロードセル；100 kg使用

破壊係数の算出は次式によったが、腐朽材の b, hは健全時の寸法をそのまま用いた。

$$b = 3PI / 2bh^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

ここに、

b；破壊係数

P；破壊荷重 (kg)

l；スパン (cm)

b；試片の幅 (cm)

h；試片の高さ (cm) である。

#### 結果と考察

腐朽期間と重量減少率：

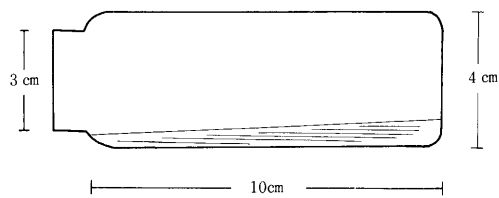
第36図に各腐朽期間と重量減少率との関係を示す。オオウズラタケとナミダタケ2菌株を

比較すると、10日目を除き各期間ごとにいずれも危険率1%で有意差が認められ、いずれもオオウズラタケの重量減少率のほうが大きい値を示していた。ナミダタケの2菌株間の重量減少率にはほとんど全ての腐朽期間を通じて有意差が認められず、本実験の範囲ではナミダタケ菌株間の重量減少であらわされる腐朽力の差はない。

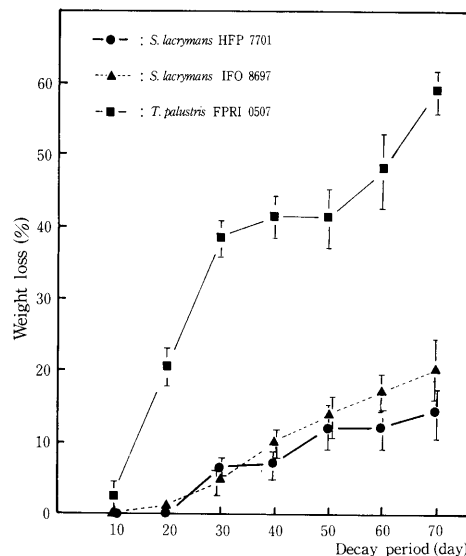
重量減少率と曲げ強度との関係：

JIS Z 2113<sup>7)</sup>によれば、曲げ試験に用いる試験片は梁たけ(h)が2~4cm、スパン(l)は梁たけの14倍以上なければならず、l/hがこれ以下であるとせん断破壊が生じるとされている。本試験で用いたルーフラスコの大きさ、形状では試験片全体の長さが7cmに制約された。また、hがこれ以上小さい木取りは困難であった。

しかしながら、曲げ強度試験では全ての試



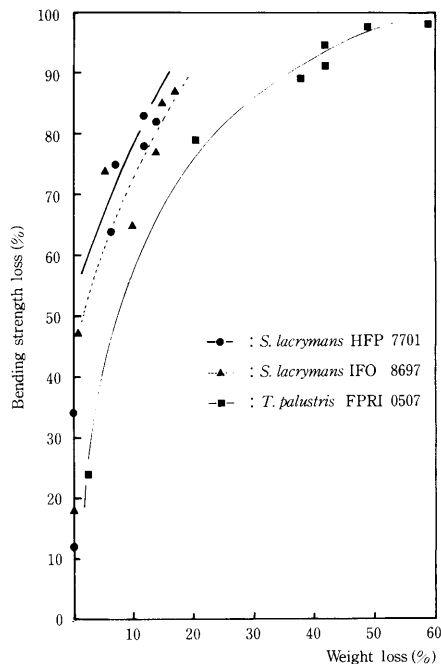
第35図 曲げ試験片の腐朽に用いたルーフラスコの形状  
Fig.35. Roux flask for the decay test of the bending test sample.



第36図 腐朽期間と重量減少率の関係  
Fig.36. Relationship between decay period and weight loss % of ezonatsu wood decayed by the fungi.

片がほぼ荷重点付近で破壊しており、しかもせん断破壊の形状は認められなかった。そこで、本試験データは曲げ強度の比較ということで検討することとした。

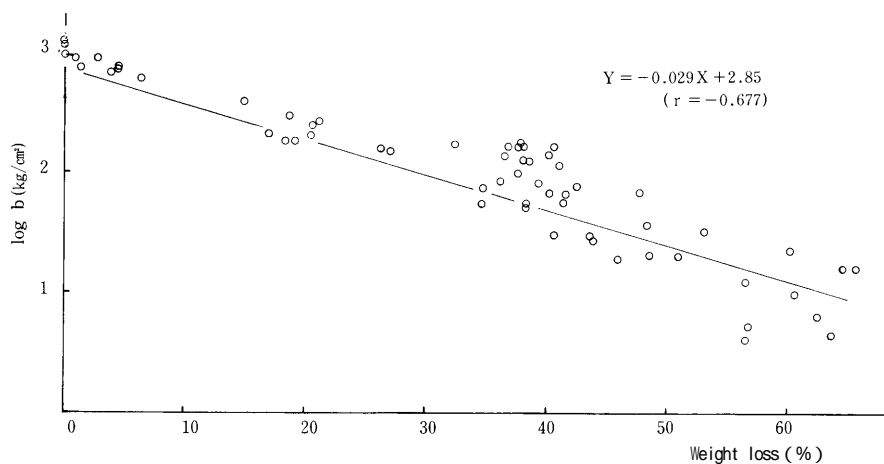
腐朽期間ごとに重量減少率を算出して、曲げ強度との関係を求めた(第37図)。Wazny<sup>78)</sup>が、ポーランドで採取されたナミダタケでドイツウヒを1ヵ月間腐朽させた時、曲げ強度が70%低下することを示したが、本実験でも腐朽期間が40~50日で重量減少率約10%となり、曲げ強度も70%低下することが示され大略一致する結果となった。また、重量減少率0%でもナミダタケによる曲げ強度の低減は20%以上となり、しかもオオズラタケより低減速度が大きい。白色腐朽材の強度低下は、褐色腐朽材のそれより遅れてあらわれると言われるが、この差は重量減少率が0%に近い時には区別できないほど小さい<sup>79)</sup>。ただし、重量減少率が10%近くなると白色腐朽材の曲げ強度残存率が褐色腐朽材より20%程度高く、その差は明確になることがある<sup>80)</sup>。第37図で重量減少率10%に対応するそれぞれの供試菌に



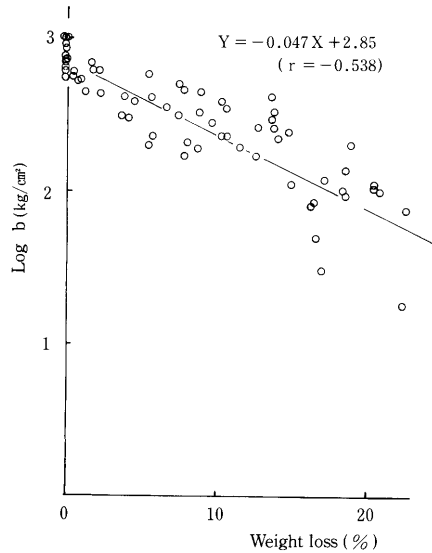
第37図 重量減少率と曲げ破壊係数低下率との関係  
Fig.37. Relationship between bending strength loss and weight loss of ezomatsu wood decayed by the fungi.

よる曲げ強度低下率をみると、オオズラタケとナミダタケとの差は、せいぜい10%程度で、白色腐朽材と褐色腐朽材との関係ほど明確な差を示していない。

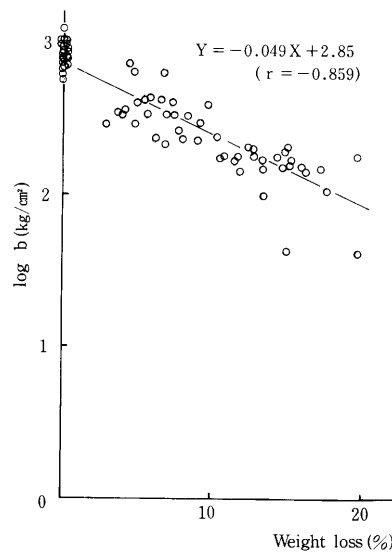
そこで、この傾向をさらに明確にするため、重量減少率と曲げ強度との関係を全試片についてプロットし、相関を求めた結果を図38~40図に示す。それぞれの相関係数は危険率1%で有意であり、しかもナミダタケの方が曲げ強度の低下速度はオオズラタケの1.6~1.7倍大きいことが明らかとなった。ただし、この場合にもナミダタケ菌株間の差はほとんどない。



第38図 オオズラタケ (FPR10507) による腐朽と曲げ破壊係数との関係  
Fig.38. Relationship between bending strength ( b) and weight loss of ezomatsu wood decayed by T. palustris FPR10507.



第39図 ナミダタケ (HFP7701) による腐朽と曲げ破壊係数との関係  
Fig. 39. Relationship between bending strength ( b ) and weight loss of ezomatsu wood decayed by *S. lacrymans* HFP7701



第40図 ナミダタケ (IF08697) による腐朽と曲げ破壊係数との関係  
Fig. 40. Relationship between bending strength ( b ) and weight loss of ezomatsu wood decayed by *S. lacrymans* IF08697 .

これは、前節で示したように細胞壁の腐朽初期から中期における破壊形態と密接な関係を持つものと見られる。つまり、ナミダタケの場合には細胞壁にクラックを生じやすいような壁孔の破壊形態をとり、腐朽初期から細胞の曲げ強度を維持できなくするのに対し、オオズラタケでは、腐朽初期のこの部分での破壊が同心円状の拡大という様式で進む。木材の強度は、細胞壁レベルで考えれば、 $S_2$  層に依存すると推定されるが、この部分がナミダタケによって軸方向に長く破壊されるので、オオズラタケより若干早い曲げ強度低下が認められたのであろう。

なお、Wazny<sup>78)</sup>によれば、腐朽による強度低下は、静的曲げ強度の方が圧縮強度より敏感にあらわれるとしている。阿部<sup>(2)</sup>が行ったナミダタケ腐朽エゾマツ材の縦圧縮強度試験の結果と本実験の結果を比較しても、この傾向が明らかに認められた。すなわち、重量減少率10%程度で、曲げ強度は60~80%の低下率なのに対し、縦圧縮強度のそれは23%でしかないのである。このことも細胞の繊維方向に沿ったクラック形成と関連していると考えられる。

ところで、木材が腐朽していく時に内部から外側へ向かう場合と、外側から内部へ向かう場合がある。ナミダタケの場合は、空中菌糸の繁茂が旺盛であることもあって後者によることが多い。したがって、曲げ強度への影響は大きくあらわれることになるが、本実験の結果を実際の被害にあてはめると次のようになろう。

例えば2で示した[ケース5]のように家具の移動で床落ちしたことをとり上げる。家具は約50kg程度のものと思われるが、これは床根太3~4本の上にまたがったのせられていた。根太が等分布荷重を受けるとすれば、床そのものの荷重の他には根太一本あたり10~15kgという小さい荷重しか受けていなかったことになるが、それでも支えきれなかったことになる。本実験では断面5×5mmの試片が約30日で強度低下70~80%以上となっているが、これを50×50mm断面の根太に機械的にあてはめると、 $30 \times 10 = 300$ 日間かかって起ったことになる。年間の腐朽進行旺盛な期間を温度の制約から約半年とすれば、約2年間で強度が0近くなり上述の現象と良く一致することになる。

#### 4.4 腐朽による木材の化学的变化

##### 実験法

概ね常法<sup>81)</sup>に準じたが、試料量などは以下の通りである。

曲げ強度を測定した後、腐朽材を一定重量減少率ごとに区分し、ウイリーミルで全量を60メッシュパスの木粉とした。この木粉を以下の方法で木材分析に供した。

エタノール・ベンゼン抽出物：木粉 4gを 6時間ソックスレー抽出器で連続抽出して求めた。

1% NaOH 抽出物：木粉 0.5g を 50 ml の 1% NaOH 溶液で 1 時間湯浴中で加熱抽出した。

ホロセルロース：脱脂木粉 0.5gを過酢酸（含量 0.1174g/ml）25ml中に分散し、90 で 1時間加熱後 50 の水25mlで洗浄した。さらに、1G3ガラスフィルターでろ別し温水及びエタノール、アセトンで洗浄後、五酸化リン上で真空乾燥し最後に 60 で乾燥して秤量した。

クラースンリグニン：脱脂木粉 0.3gを 72%硫酸 4 mlに分散し、4時間室温で反応させた後水 150 mlを加えて 2時間 100 で加熱し、水洗、乾燥して収量を求めた。

##### 結果と考察

分析に用いた腐朽材の重量減少率区分とその本数を第19表に示す。オオウズラタケの場合は重量減少率 0%のものがほとんどなかったため、10%未満を一括して分析用試料とした。

結果を、健全材を基準にした収率として第20表に示す。クラースンリグニン収率は、各供試菌でいずれも殆ど変化していない。川上<sup>82)</sup>がナミダタケ FPRI0739で同様の分析をした結果を健全材基準に換算してみると、重量減少率28.3%での収率は78%と明らかに減少しているが、重量減少率56.8%でもその収率は71%までしか低下していない。これは、重量減少率約30%付近までにリグニンの約20%が減少し、それ以降の減少は、わずかずつであることを示している。本実験で供試したナミダタケの場合は重量減少率が20%未満のため、リグニンの変化が認められなかったのかもしれない。

クラースンリグニン以外の成分変化と重量減少率との関係を第41、42図に示す。ここでは、オオウズラタケの重量減少率が50.6%に及んでいるので、各成分の変化をナミダタケと比較できるのは約20%の重量減少率に対応する部分までである。エタノール・ベンゼン抽出物はナミダタケ HFP7701で特に多く、次いでナミダタケ IFO8697、オオウズラタケの順となっている。1% NaOH抽出物についても同様の傾向が認められる。これに反し、ホロセルロ

第19表 木材分析に用いた供試材の配分  
Table 19. The division of decayed wood for chemical analysis.

weight loss (%)	Number of subjected sample (average of weight loss %)		
	<i>S. lacrymans</i> (HFP 7701)	<i>S. lacrymans</i> (IFO 8697)	<i>T. palustris</i> (FPRI 0507)
Control <sup>a)</sup>		30 <sup>b)</sup>	
0 <sup>c)</sup>	20	12	3
~10	23 (6.3)	28 (5.0)	10 (2.4)
~15	19 (12.9)	14 (12.7)	—
~20	8 (17.1)	16 (18.0)	—
~30	—	—	10 (20.5)
~40	—	—	18 (37.1)
40~	—	—	29 (50.6)

a) Sound wood sample.

b) Ten of this number were subjected to bending tests.

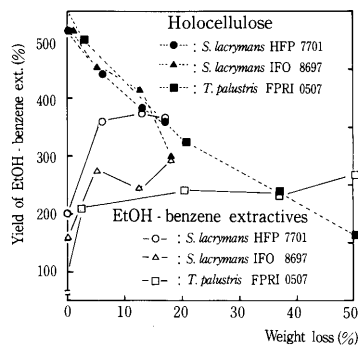
c) This value means 0% of weight loss after the decay procedure.

第20表 健全材を基準とした各成分の収率 (%)  
Table 20. Analysis of ezomatsu decayed by *S. lacrymans* and *T. palustris*.

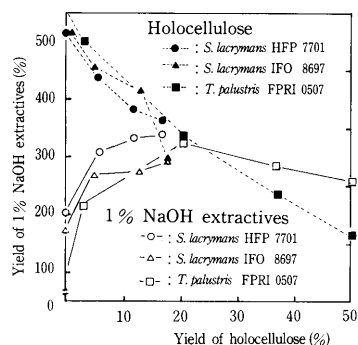
Sample	Weight loss (%)	Et OH - benzene ext.	1% NaOH ext.	Holo - cellulose	Klason lignin
Control		1.9(100)	12.4(100)	69.6(100)	28.2(100)
Wood decayed by <i>S. lacrymans</i> HFP 7701	0 6.3 12.9 17.1	3.8(200) 6.9(363) 7.1(374) 7.0(368)	25.9(209) 38.6(311) 41.9(338) 42.0(339)	64.9 (93) 54.9 (78) 46.3 (67) 43.8 (63)	29.0(103) 29.3(104) 29.2(104) 28.9(102)
Wood decayed by <i>S. lacrymans</i> IFO 8697	0 5.0 12.7 18.0	3.1(163) 5.2(274) 4.7(247) 5.6(295)	22.1(178) 33.2(268) 34.3(277) 36.7(296)	65.3 (94) 56.7 (81) 50.8 (73) 35.0 (50)	28.7(102) 28.7(102) 26.8(102) 27.5( 98)
Wood decayed by <i>T. palustris</i> FPRI 0507	2.4 20.5 37.1 50.6	4.0(211) 4.6(242) 4.5(237) 5.1(268)	29.3(236) 40.6(327) 35.2(284) 32.2(260)	62.4 (90) 40.2 (58) 26.1 (38) 16.2 (23)	28.1(100) 27.0( 96) 27.1( 96) —

\* : Results are percentages based on the dry weight of original undecayed wood .  
Values in parenthesis are yields to 100 in control .





第41図 重量減少率とホロセルロース収率及びエタノール・ベンゼン抽出物収率との関係  
Fig. 41. Relationship between yield of holocellulose and EtOH-benzene extractives and weight loss of decayed ezomatsu wood.



第42図 重量減少率とホロセルロース収率及び1%NaOH抽出物収率との関係  
Fig. 42. Relationship between yield of holocellulose and 1% NaOH extractives and weight loss of decayed ezomatsu wood.

ースの収率は、いずれもほぼ同程度の値を示しており、大きな差はない。

抽出物が腐朽に伴って多くなるのは、イ) 菌が木材を腐朽し、その主成分を低分子化する速さが、その低分子化物を分解、消費する速さより速いこと、ロ) 菌により木材の構造的変化が生じた結果、溶媒による抽出効率が大きくなることなどに依拠すると考えられる。これらのことと関連させて本実験の結果を考えると次のようになる。

イ) の現象が起きているとすれば、ナミダタケのほうがオオズラタケより低分子化物の蓄積速度が大きいことになり、ナミダタケの場合、前節で述べたように重量減少率のわりには強度低下の大きいことがよく説明できる。また、第37図から各重量減少率に対応する曲げ強度低下率を求めてみると、ナミダタケでは重量減少率20%弱で90%の曲げ強度低下率を示すのに対し、オオズラタケでは20%の重量減少率でも75%程度の曲げ強度低下率しか示していない。これは、腐朽材中のホロセルロースの低分子化あるいは非晶化が、オオズラタケよりナミダタケで速いことを示しているのかもしれない。実際、福田、原口<sup>(8)</sup>はオオズラタケで腐朽させたエゾマツ材では、重量減少率20%程度までは残存セルロースの結晶化度の低下がほとんどないことを報告している。

ロ) の推定は顕微鏡的観察の結果から説明できる。すなわち、腐朽初期においてナミダタケによる場合では、壁孔を中心にクラックが拡大し細胞壁の崩壊へと発展していくが、これはオオズラタケの場合のように壁孔を同心円状に分解していくのと比較すると、壁内成分の抽出効率を間接的に高めるものと推定できる。

#### 4.5 要約

ナミダタケの木材諸材質に及ぼす影響を検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) ナミダタケの木材腐朽力は、特に針葉樹で強く発現され、しかもエゾマツ材に対する腐朽力は極めて大きく、菌株間での腐朽力の差も小さい。最近では住宅の土台にもエゾマツ材を使うことが多く、これがナミダタケ被害多発の一因にもなっていると考えられる。
- 2) エゾマツのナミダタケ腐朽材を顕微鏡的に観察した結果では、光学顕微鏡レベルでオオズラタケと同様 S<sub>2</sub>層の先行的分解に始まる細胞壁の崩壊が顕著に認められた。ただし、電子顕微鏡的にオオズラタケで認められる微少な bore holeは形成されず、また壁孔への攻撃様式もオオズラタケと異なることが明らかとなった。
- 3) ナミダタケによる腐朽では、重量減少率が0%でも曲げ強度低下率が20%以上となり、オオズラタケ腐朽の場合と比較しても重量減少率のわりには曲げ強度低下率が大きいこ

とが明らかとなった。

- 4) 腐朽材の化学分析の結果でもホロセルロースの減少, アルカリ抽出物の増大など腐朽によるセルロース, ヘミセルロースの分解が激しいことをうらづけている。このことは, 顕微鏡的観察の結果と共に, 3) を裏付けるものとなった。
- 5) なお, 2) で用いたナミダタケ菌株と3), 4) の菌株はエゾマツに対する腐朽力に有意差がなく, 生長適温も同じなので, 相互の結果を照らし合わせることは可能かつ妥当であると思われる。

## 5. ナミダタケの薬剤に対する挙動

一般に、木材の腐朽を防ぐためには、木材腐朽菌に必要な空気、温度、水分、養分のうちいずれかを制御する必要がある。これをナミダタケの被害と関連させて考えると次のようになる。

すなわち、空気を遮断することは住宅であるかぎり困難である。3.でも明らかなように、北海道の最近のような高断熱住宅では床下での温度は年間を通じてナミダタケの生長あるいは生存可能な範囲であり、これも制御するのは布基礎工法をとるかぎり困難である。さらに、積雪期における床下での高湿度の滞留、施工上不完全になりがちな結露防止策など、水分条件は木材の腐朽防止にとってきわめて厳しい状況にある。もちろん、床下換気をはかる構造はある程度とることができるが、水廻り部分での貫通孔設置などはかなり難しく、水分をコントロールすることで防腐をはかるのには限界がある。したがって、養分である木材及びナミダタケの利用し得る養分、水分を含むと思われる土壌の薬剤処理が被害防止上不可欠なものとなる。そこで本章では、木材防腐剤などの薬剤に対するナミダタケの挙動を検討し、被害防止対策に資することとした。

### 5.1 クレオソート油及びCCA処理土台のナミダタケ被害<sup>31)</sup>

2で示したように、ナミダタケ被害を受けた家屋のうち土台あるいは大引にクレオソート油を塗布してあったケースが約60%、CCA土台を使用していたものが約10%であった。クレオソート油塗布材の場合には、材の一部にしか処理をしていないものがあり、これが被害を

受けるのは当然であるが、全面塗布材でも無処理材同様に腐朽しているケースも認められた。また、CCA加圧注入土台については表面での菌系生長が認められ、かつ内部だけで腐朽の進行しているものがあった。別のケースでは写真39に示すように大引との継ぎ口からの菌系侵入が認められた。

そこで、以下ではこれらの防腐処理材の性能と被害との関係について、いくつかの面から検討した。結果について報告する。



写真39 CCA加圧注入土台上の菌系生長 (▲) と腐朽状況、中央のほぞ穴付近 (▲)  
Photo.39. Hyphal growth (▲) on the surface and decay beside the tenon (▲) of the CCA-treated sill.

#### 5.1.1 クレオソート油塗布材について 実験法

採取されたクレオソート油塗布材は、写真40に示すように表面に菌系生長が著しく、肉眼的に腐朽の認められるものである。この材の表面菌系を除去した後、クレオソート油の浸透している部分を薄く削りとり、小型のボールミルで200メッシュパスの木粉とした。この約5mgを試料として、加熱温度を300℃、加熱時間3分の条件でクレオソート油成分を揮散させた。これを日立063型ガスクロマトグラフィーに導入してクロマトグラムを得た。用いた熱分解装置は日立

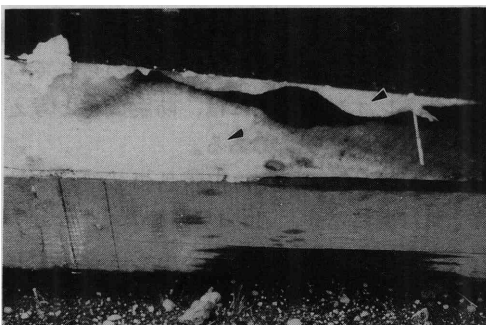


写真40 クレオソート塗布材上の菌系生長 (▲)  
Photo.40. Hyphal growth (▲) on the creosoted sill.

KP - 1であり、分析条件は次によった。

固定相：Silicone SE - 30 10%

固定相担体：Chromosorb PAW

カラム温度：25～290（昇温速度 3 /分）

注入口温度：300

キャリアーガス：窒素（流速 30ml/分）

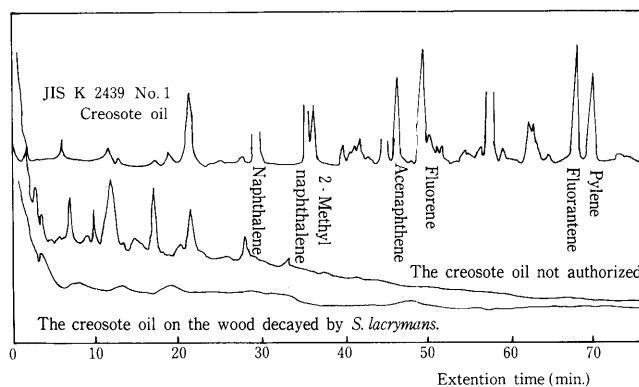
検出器：FID

カラム：ステンレスカラム I.D. 3 ×200mm

なお、比較のため用いたクレオソート油は、クロロホルムで希釈して同様のガスクロマトグラフ分析にかけた。同時に、JIS K 2524.5.1 クレオソート油の蒸留試験方法<sup>84)</sup>に準拠して分留試験を行った。

#### 結果と考察

ガスクロマトグラフ分析によって、得られたガスクロマトグラムパターンを第43図に示す。この図に示した JIS外クレオソート油とは、その成分について全くチェックされずに道内に広く市販<sup>85)</sup>されているものである。JIS 1号油のパターンと比較すれば明らかなように、防腐



第43図 クレオソート油のガスクロマトグラム  
Fig.43. Gaschromatogram of the creosote oil .

効力成分と考えられている中・高沸点部分<sup>86)</sup>がほとんど含まれていない。ナミダタケ被害材上のクレオソート油のクロマトグラムでも同様に、JIS 1号油のパターンと異なって中・高沸点部分が認められない。もちろん使用中の揮散も考えられるが、マツ枕木中のクレオソート油の経年変化を調べた結果<sup>87)</sup>、ナフタリン、メチルナフタリンなどは消失するが、アセナフテン、フルオレンなどは木材中に残留することが指摘されている。さらに、長期間使用したクレオソート油電柱の成分変化を調べた結果<sup>88)</sup>、高沸点部分が多く残留しているのに反し、低沸点部分の揮散が顕著であったことが認められている。したがって、ナミダタケ被害材に使用されていたクレオソート油には、防腐成分と考えられる中・高沸点部分は元々含まれていなかった

たと考えるのが妥当である。

JIS 1号油と JIS 外の市販品の分留試験結果を第21表に示す。この結果はガスクロマトグラフ分析の結果を裏づけるものとなっており、有効成分が最も含まれていると考えられる235～315の留分が JIS 1号油の1/2以下であった。結局、クレオソート油塗布材は防

第21表 クレオソート油分留試験における各留分の収率  
Table 21 .Yields of each distillate from creosote oils in distillation .

Sample	Temperature of distillation (°C)			
	～235	235～315	～315	315～
JIS No. 1	15	40 <sup>a)</sup>	55	45
Commercial product not authorized	36	15	51	49

a) Specific gravity :1.05

腐効力の点で疑問視されるものであり、さらに塗布の仕方が不完全であったためにナミダタケ被害を全く阻止できなかったものと考えられる。なお、JIS外クレオソート油に対するナミダタケの感受性については次節でも実験的に検討した。

### 5.1.2 CCA加圧注入土台について

#### 実験法

材表面がほとんどナミダタケ菌糸に被覆されたカラマツ CCA ( JIS K 1554 1号 ) 処理土台 ( 写真41 ) , 及び菌糸生長は顕著でないが、内部腐朽の認められるエゾマツCCA ( JIS K 1554 2号 ) 処理土台 ( 写真42 ) を供試した。これらの試料は、それぞれ第44図に示す形状のものである。すなわち、CCA加圧注入処理時の木口は左端の継手部分であり、大引との継手部分

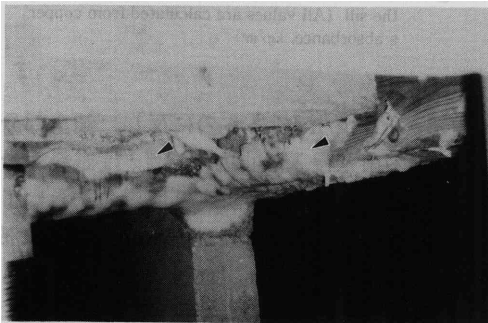


写真 41 CCA加圧注入カラマツ土台上的菌糸生長 ( 黒い矢印 )  
Photo.41. Hyphal growth ( 黒い矢印 ) on the CCA-treated sill  
made from Karamatsu .

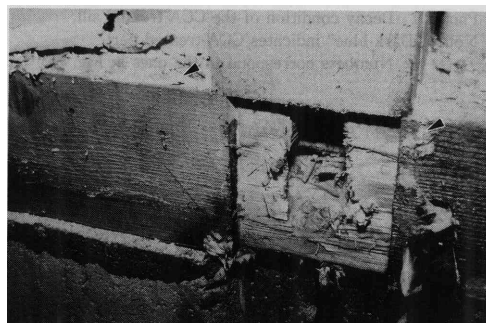


写真 42 CCA加圧注入エゾマツ土台上的菌糸生長 ( 黒い矢印 )  
Photo.42. Hyphal growth ( 黒い矢印 ) on the CCA-treated sill  
made from Ezomatsu

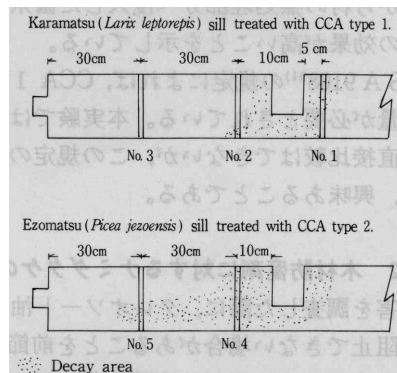
は右側に位置する切込み部分である。これらの試料から第44図に示したように 1~5 の位置で木口試片を切りとり、その CCA浸潤状態をクロマゾール0.2%溶液で呈色して観察した。さらに、表面のいくつかの部分で腐朽している部分と健全部とを選び、ごく薄く切りとって硫酸法で湿式分解し原子吸光法<sup>89)</sup>によって CCA含有量を測定した。なお、以下 CCAの定量値に関しては、JIS K 1554 ( 1975 ) 及び JIS A 9108 ( 1972 ) によって検討した。

#### 結果と考察

供試した土台の腐朽状況を第44図に示す。また、呈色反応に供した木口試片の呈色状態を写真43に示す。これらから、腐朽の大部分

は大引との継手部分からの侵入菌糸によるものであることが明らかである。ただし、カラマツ土台については材表面がほとんど菌糸に被覆されているため、表面からの菌糸侵入もあったことを想定して以下のように考察した。

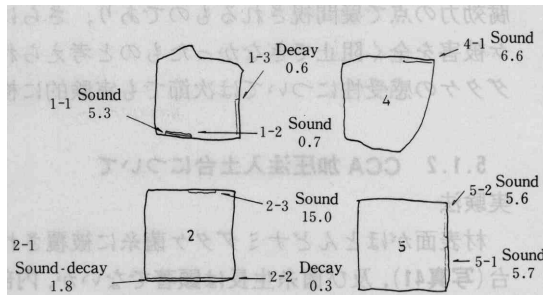
まず、表面のCCA含有量測定結果と腐朽との関係を第45図に示す。試料No. 3は腐朽部分が認められなかったため測定していない。図中の数値は銅化合物の定量値から木材中の CCA防腐剤としての含有量を算出した値であるが、この値を採用したのは CCA防腐剤成分中、これが防腐効力に大きく寄与すると考えられる<sup>90)</sup>からである。CCA 1号処理カラマツ材の場合、



第44図 ナミダタケ被害を受けたCCA土台の内部腐朽状況  
と分析用試片採取位置  
Fig.44. The inner decay area of the wooden sill treated  
with CCA type preservative and the sampling  
position for CCA analysis .



写真43 CCA加压注入土台の腐朽状態(クロマソロールS呈色で濃青色の部分がCCA浸潤部)、番号は図44に示した試片採取位置を示す  
Photo.43. Decay condition of the CCA-treated sill.  
Note: "Dark-blue" indicates CCA-treated part.  
Numbers correspond to the ones in Fig. 44.



第45図 土台のCCA吸収量分析結果(数値は全て銅化合物の分析値から換算した値、kg/m<sup>3</sup>である)  
Fig.45. The result of analysis for absorbance of CCA in the sill. (All values are calculated from copper's absorbance, kg/m<sup>3</sup>)

表面まで腐朽した部分(1-3, 2-2)の含有量は0.3~0.6kg/m<sup>3</sup>であるのに反し、健全部分ではほぼ5~15kg/m<sup>3</sup>と高い値を示した。また、表面での菌糸侵入阻止力は、例えば試料番号1-2の部分で含有量が0.7kg/m<sup>3</sup>と低いにも拘わらず、1-1の部分の防腐処理層の働きによってこの部分が健全状態で残されていることから確認された。ただし、1-3, 2-2の部分では表面からの腐朽が否か判然としないので、この部分では内外いずれからの菌糸侵入も阻止し得なかったと考えられる。

CCA 2号処理エゾマツ材の場合では、試料番号4-1の場合の様に内部での腐朽が激しい場合であっても、表面での含有量が6.6kg/m<sup>3</sup>の部分には健全状態で残されている。これは、切込部分から材の無処理部分へ侵入した菌糸の材表面への生長を阻止したためと考えられるので、処理の効果が高いことを示している。

JIS A 9108<sup>91)</sup>の規定によれば、CCA 1号処理では6.0kg/m<sup>3</sup>、CCA 2号処理で4.5kg/m<sup>3</sup>の吸収量が必要とされている。本実験では、樹種、吸収量測定用試料の採取方法が全く異なるので直接比較はできないが、この規定の1~2倍程度の含有量で菌糸侵入を阻止していることは、興味あることである。

## 5.2 木材防腐剤に対するナミダタケの感受性<sup>92) - 94)</sup>

実害を調査した際に、クレオソート油塗布材、CCA処理材上への菌糸生長が認められ、腐朽も阻止できない場合があることを前節で示した。そこで、ここではこれらの事実を実験的に検証するために以下の実験を行った。なお、本節で供試した分離ナミダタケ菌株は、旭川市で採取したものに限定した。

### 5.2.1 実験室的に検討したナミダタケの感受性

#### 実験法

#### 1) 寒天平板希釈法(ADT)による菌糸生長阻止試験

ADTにより、菌糸生長とCCA 2号(JIS K 1554)の濃度との関係について検討した。供試菌はナミダタケ HFP7701及び IF08697と、比較としてのオオウズラタケ FPR10507である。CCA 2号1.6%溶液は120、20分間オートクレープで滅菌後、PDA中に無菌的に混入したが、その濃度は0.016~0.16%にした。これらの培地上へ、あらかじめPDA培地で培養した供試菌菌糸を寒天培地とともに直径約4mmのペレット状として接種し、ナミダタケは20±2、オオウズラタケは26±2で10日間培養し、生長半径からCCAの菌糸生長阻止力を測

走した。

## 2) 各種木材防腐剤の JIS A 9302 による効力試験

供試薬剤として CCA 1号 B, 2号 (以上 JIS K 1554), フェノール類無機フッ化物系木材防腐剤 (以下 PF) 1 種 1 号 (JIS K 1550), クレオソート油 (JIS K 2439) 1号油及び JIS 外市販品, クロルナフタリン系油剤市販品 (クロルナフタリン60%を含む), Tributyltin oxide (以下 TBTO) 原体, 4 - Bromo - 2, 5 - dichloropheno195%製剤市販品, フッ化ナトリウム (以下 NaF), Tribromophenol (以下 TBP) 30%乳剤 (クロルデン40%を含む), 有機スズ系市販防腐剤 (TBTO 2 %を含む) を用いた。これらは, それぞれ製剤あるいは原体を所定濃度になるように燈油あるいは水に溶解して供試した。なお JIS外クレオソート油は前節でガスクロマトグラフ分析を行ったものと同一ロットである。

防腐効力試験は, JIS A 9302 に準じて行い, 供試菌としてナミダタケ IF08697, HFP7802, 及びオオウズラタケ FPRI0507 を用いた。これらの培養条件は 1) と同様である。なお, 供試材にはスギ辺材あるいはエゾマツ心材を用いたが, 抗菌操作期間は2ヵ月とした。

## 3) CCA系木材防腐剤の吸収量別防腐効力試験

CCA 1号 B 1%, 1.5%及び2%水溶液, CCA 2号1.6%, 1.2%及び0.8%水溶液をエゾマツ心材に減圧注入後, 風乾して耐候操作はせずに供試材とした。他の試験法は 2) と同様である。

## 結果と考察

### 1) ADT による CCA 2号の菌系生長阻止効果

ADT で行った CCA 2号の菌系生長阻止試験の結果を第22表に示す。この表では, CCA 無

添加培地上での菌系生長に対する CCA 含有培地上での菌系生長の割合を生長係数として示した。この結果によれば, 0.016%ではいずれの菌株でも生長が可能であり, 0.064%以上で全菌株とも完全に生長が阻止されるが, 各菌株には CCAに対する感受性に差が認められる。すなわち, 感受性はナミダタケHFP7701 > ナミダタケIF08697 > オオウズラタケFPRI0507となっており, これまで報告<sup>95,96)</sup>されてきたようにナミダタケが薬剤に比較的弱いことが示された。

Gersonde<sup>97)</sup>は, DIN 52176によって木片を使

用しての防腐効力試験を行ない, 分離源の異なるナミダタケ間の PCP, NaF などに対する感受性の差が明白であることを示している。本実験で用いた CCAでも菌株間の感受性の違いは明白である。なお, 寒天培地上での菌系生長に及ぼす防腐剤の効果は, 木材中での効果と異なるが, これは薬剤の解離状態や水の関与の程度などによって決定される。したがって, この場合のように通常の使用濃度である 1.6%の 1/25 で効力が発現しているのは, JIS A 9302のように木材を供試する試験結果と矛盾するものではない。実際を考慮すると, このような低濃度の試験で感受性の差があっても, それがそのまま木材上で表れるとは限らないので, 木材を使った実験で評価する必要がある。

### 2) 各種木材防腐剤の防腐効力

JIS A 9302に準じて行った防腐効力試験の結果, 耐候操作0回の場合は全て効力値が100となったので省略して, 耐候操作 10回の場合の結果を第23表に示した。この表では, 3回に分

第22表 CCA 2号含有培地上での菌系生長  
Table 22 . Growth of fungi on PDA media containing CCA 2 .

Fungi	Concentration of CCA (%)		
	0.016	0.064	0.16
<i>S. lacrymans</i> (HFP 7701) T <sup>a)</sup>	0	0	0
<i>S. lacrymans</i> (IFO 8697) 18.5 <sup>b)</sup>	0	0	0
<i>T. palustris</i> (FPRI 0507) 38.0	0	0	0

Six replicates were made for each of the media containing CCA and growth diameter of fungi were observed.

a) T; Trace

b) Growth Index

$$= \frac{\text{Growth diameter of the fungus in media containing CCA}}{\text{Growth diameter of the fungus in blank media}} \times 100$$

第23表 各種防腐剤のJIS A 9302による防腐効力試験の結果(耐候操作10回の場合)

Table 23. The effectiveness of wood preservative against the fungi (preliminary weathering 10 rounds).

Preservative (Retention) kg/m <sup>3</sup>	Fungi	Loss in weight %	Hyphal growth on samples <sup>a)</sup>	Effective value <sup>b)</sup>
Control	(1) <i>S. lacrymans</i> (HFP 7802)	19.1	++	
	(2) <i>S. lacrymans</i> (IFO 8697)	22.2	++	
	(3) <i>T. palustris</i> (FPRI 0507)	52.3	++	
CCA 2 1.6 % (14.4)	(1)	0	±	100
	(2)	0	±	100
	(3)	0	±	100
Creosote oil out of JIS (220)	(1)	2.8	+	85
	(2)	2.9	+	87
	(3)	20.8	+	60
Chlornaphthalene type (180)	(1)	0	-	100
	(2)	0	-	100
	(3)	0	-	100
Control	(1) <i>S. lacrymans</i> (HFP 7802)	11.9	++	
	(2) <i>S. lacrymans</i> (IFO 8697)	22.7	++	
CCA 1-B 2% (21.5)	(1)	0	+	100
	(2)	0	+	100
PF 1-1 2% (0.7)	(1)	0	+	100
	(2)	0	+	100
Control	(1) <i>S. lacrymans</i> (HFP 7802)	26.2	++	
	(2) <i>S. lacrymans</i> (IFO 8697)	39.1	++	
	(3) <i>T. palustris</i> (FPRI 0507)	7.7	++	
Sodium fluoride 1% (0.7)	(1)	0	+	100
	(2)	0	+	100
	(3)	0	+	100
TBP 1% (4.9)	(1)	0	±	100
	(2)	0	±	100
	(3)	0	±	100
TBTO 0.5% (2.0)	(1)	0	-	100
	(2)	0	-	100
	(3)	0	-	100
Creosote oil (JIS 1) (418.9)	(1)	0	±	100
	(2)	0	-	100
	(3)	0	-	100
4-Bromo-2,5-dichlorphenol 0.5% (6.5)	(1)	0	±	100
	(2)	0	±	100
	(3)	0	±	100
Commercial product <sup>c)</sup> (275.8)	(1)	0	-	100
	(2)	0	±	100
	(3)	0	-	100

a) ++; good growth, +; growth, ±; slight growth, -; no growth

b) Footnote is to be found at the end of Table 22.

c) Organic solvent preservative (organic tin type)

けてそれぞれ独立した試験の結果を示しており、また、表23-3ではエゾマツ心材を使っているので全体を一括して直接比較することはできない。なお、エゾマツを使ったのは、これが北海道では土台材として多用されており、実際上有益な結果が得られたと考えたからである。

耐候操作後の防腐剤吸収量をクレオソート油では薬液として、水溶性防腐剤 (CCA 1号 B, CCA 2号, PF 1種1号, NaF) 及び油性防腐剤 [TBP, TBTO, 4-Bromo-2,5-dichlorphenol, クロルナフタリン系市販防腐剤 (クロルナフタリン60%), 有機スズ系市販防腐剤 (TBTO 2%) ] では有効成分薬剤固形分量として示した。また、表には示していないが、試片上への菌糸の生長は耐候操作 0 回の場合に CCA 2号, CCA 1号 B, TBP 1% 溶液処理及び JIS 外クレオソート油処理で認められた。もちろん、耐候操作10回の場合は表に示したように多くの処理材表面に菌糸生長が認められたが、JIS 外クレオソート油を除きいずれの薬剤でも効力値が 100となっており、いずれの供試菌に対しても十分な防腐効力を持つことが明らかとなった。JIS外のクレオソート油の結果 (第23表-1) をみると、オオウズラタケではもちろん、ナミダタケでもJIS A 9201<sup>98)</sup> に規定される効力値以上にはなっていない。この結果は、前章で示したようにナミダタケのスギに対する腐朽力がエゾマツに対するそれと比較して弱いこと、及びナミダタケ菌株間でのエゾマツに対する腐朽力の差は殆どないことを考慮するとエゾマツにも通用でき、しかも他菌株への通用も可能と思われる。クレオソート油による土台材への処理は実際には塗布によって行われることが多く、注入処理をした本試験の結果は、JIS外のクレオソート油の防腐剤としての効力がないという 5.1.1で示した疑問を、さらに強調する



ものとなった。

クレオソート油， - クロルナフタリン， NaFなどを供試した Gersonde<sup>99)</sup>の結果では，ナミダタケに対する効力限界値がクレオソート油で最も高い。このことと，第23表 - 1および3で示した結果から，JIS 1号油による処理では，NaF，クロルナフタリンなどによる場合により大量の薬液を必要とすることが推定できる。TBTO に関しては，Savory, Carey<sup>100)</sup> が BS 838 による試験でイドタケ，マツオオジなどと効力限界値を比較しているが，この結果でもナミダタケに対する効力が高いことが示されており（効力限界値 0.02~0.06kg/m<sup>3</sup>），本試験のように2.0kg/m<sup>3</sup>では十分な効力を持つことが明らかである。

なお，薬剤で処理した木材への菌系生長は，培地中から継続的に送りこまれる養分によって行われており，処理材表面は単なる菌系のほふく場所に過ぎないと思われる。しかしながら，処理材が無処理材部への菌系生長を阻止できないことにつながることからして，実際の被害防止上では極めて重要な問題である。この点については，CCA 系防腐処理材を使ってさらに大きな規模で行った試験の結果を5.2.2で示す。

### 3) CCA系防腐剤の吸収量別防腐効力

第23表で明らかのように，CCA 1号 B 2%，CCA 2号1.6%の処理液を供試した JIS A 9302の試験では，これらの薬剤は全て効力値 100を保持している。そこで，さらに処理液濃度を下げて吸収量を少なくし，効力限界値を求めようとした。これは，前節で報告したように実際のナミダタケ被害でも，土台表面から 1 mm 程度の部分までに 5~7kg/m<sup>3</sup>の CCA が存在すれば，菌系の材内部への侵入を阻止していることの実験的検討である。

実験の結果を第24表に示す。薬液濃度を変化させると吸収量もそれに対応して比例的に変化し，CCA 1号 Bで 7~15kg/m<sup>3</sup>，CCA 2号で 6~12kg/m<sup>3</sup>程度の吸収量となった。これらの防腐効力を見ると，CCA 2号では効力値が全て100となり，実際に使用している薬液濃度 1.6%の1/2の濃度であっても，結果的に 7kg/m<sup>3</sup>近くの吸収量があれば防腐性能は十分付与できるとと思われる。一方，CCA 1号 B の場合にはオオウズラタケ及びナミダタケ IF08697で重量減少が認められ，特に効力値で 90を下回ることがオオウズラタケ-吸収量11kg/m<sup>3</sup>以下で示された。この結果はナミダタケの被害を受けた木材中の CCA分析結果とは異なるが，これは以

下の理由によって説明できる。すなわち，第 1に菌種，樹種の異なることである。これは，Savory<sup>101)</sup>が CCA 1号（セルキュア A）の効力限界値をナミダタケ - スプルーで 0.84~2.12kg/m<sup>3</sup>，ナミダタケ - オウシュウアカマツ辺材で 0.38~0.89kg/m<sup>3</sup>，イドタケスプルーで0.81~2.03kg/m<sup>3</sup>，イドタケ - オウシュウアカマツ辺材で 0.86~ 2.16kg/m<sup>3</sup>であることを示していることから推定できる。第 2に栄養条件の違いである。本試験においては，実際の被害と異なり培地中から十分な養分を接取できると考えられる。第3に，CCAの材中での存在様式の違いが考え

第24表 CCA系防腐剤による吸収量別防腐効力  
Table 24. The effectiveness of CCA retentions on decay durability of wood.

Fungi		CCA 1 - B			CCA - 2		
		2 %	1.5%	1 %	1.6%	1.2%	0.8%
<i>S. lacrymans</i> (HFP 7802)	Retention <sup>b)</sup>	14.2	10.5	7.6	11.9	7.1	6.9
	W. l. % <sup>c)</sup>	0	0	0	0	0	0
	E. value <sup>d)</sup>	100	100	100	100	100	100
<i>S. lacrymans</i> (FPRI 0739)	Retention	15.0	10.2	7.4	9.8	8.7	6.6
	W. l. %	0	0	0	0	0	0
	E. value	100	100	100	100	100	100
<i>S. lacrymans</i> (IFO 8697)	Retention	15.1	9.9	7.7	11.8	8.6	6.6
	W. l. %	1.7	2.8	4.9	0	0	0
	E. value	97	95	91	100	100	100
<i>T. palustris</i> (FPRI 0507)	Retention	14.3	11.0	7.8	12.0	8.4	6.8
	W. l. %	2.3	5.2	4.7	0	0	0
	E. value	94	85	87	100	100	100

a) Weight loss of the control samples

b) Retention of assay, kg/m<sup>3</sup>

c) Loss in weight

d) Effective value: Footnote is to be found at the end of Table 22.

られる。つまり、実際に被害にあった土台材では板目あるいは柁目面のごく表面に5~7kg/m<sup>3</sup>のCCAが存在しているが、本試験では木口試片で、しかも材中心にまで薬剤が注入された時の値が示されている。

### 5.2.2 実大土台材の一部を用いた防腐性能の検討

#### 実験法

試験材：前排気 - 720mmHg, 40分間, 加圧 - 15kg/m<sup>2</sup>, 8時間, 後排気 - 720mmHg, 30分間の条件で, CCA 2号 B (JIS K 1554) 1.7%溶液を加圧注入したエゾマツ土台材 (10.5×10.5×365cm) を用いた。これらの処理材の半数は, インサイジングを 4,500個/m<sup>2</sup>施したものである。この土台材を処理後 3ヵ月以上室内で養生してから, 中央部と木口部とから約 60cmの試験材を採取し (第46図), 第25表に示した暴露面以外をエポキシ系樹脂接着剤でシールして試験材とした。コントロールは, 無処理の土台材を同様にシールしたものである。

供試菌：ナミダタケ HFP7802 及び HFP7701 を用いた。これらの供試菌はあらかじめ10.5×5×30cmのエゾマツ材上で十分繁殖させておき, それをそのまま接種用木片とした。

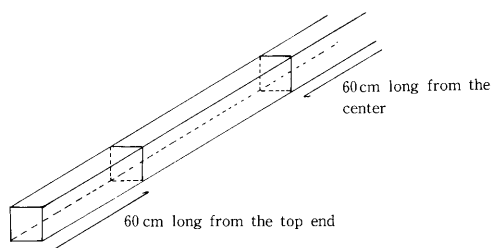
暴露法：幅 45cm, 深さ 45cm, 長さ90cmの合板製の箱の中にポリエチレンシートを敷き, この中に砂及び畑土をそれぞれ約 5cm深さに入れて (これを暴露槽とする), 第47図に示すように試験材を暴露し, アクリル板とビニールテープで蓋をし, 槽の側面に小孔をあけて空気流通をはかった。試験材は, 暴露槽中央にコントロール材を, 左右に CCA処理材を暴露面を土壌表面に向けて平行に設置した。したがって, 板目, 柁目面暴露のものは上下面に暴露面があり, 木口面を暴露したものは土壌表面に対し, 垂直に暴露面があることになる。また, 試験材設定時に, 接種用木片及びこれと同じ寸法のエゾマツ材をエサ片として, 同時に設置した。用いた畑土の初発水分は約 30%, pH5.5である。暴露は 20, 85% RHの恒温恒湿室で1~1.5年行ったが, 期間中特に水分の調整はしていない。

CCAの吸収量, 浸潤長の測定：板目, 柁目の各面を暴露した試験材は, 第48図に示すように

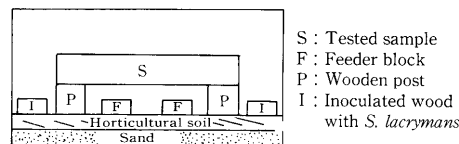
第25表 CCA処理材表面での菌系生長 (%)  
Table 25 . Hyphal growth of the surface of CCA-treated wood (%)

Sample No.	Surface exposed	Incising	
		Yes	No
1	Radial	33	83
5	Transverse	100	100
6	Tangential	33	33
2	Radial	67	67
3	Transverse	0	100

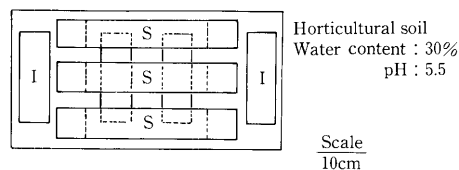
\* : Hyphal growth on the control surface is 100% each .



第46図 暴露用試験材の採取位置  
Fig.46. The sampling location of the tested wood for exposure process against *S. lacrymans* .



Test fungi : *S. lacrymans* HFP 7702  
*S. lacrymans* HFP 7802



第47図 CCA処理材のナミダタケへの暴露方法  
Fig.47. The exposure method against *S. lacrymans* for the CCA-treated wood sill .

一端の木口部分、木口から 10cm、20cm の部分から 2cm 厚の分析用試片を採取した。また、木口面を暴露したものは暴露面から同様に試片を採取した。採取した試片は、木表部分から常法通り浸潤長を測定した。また、表面から約 1 mm の厚さの分析用試料をとって、原子吸光法<sup>89)</sup>により吸収量を測定した。

結果と考察

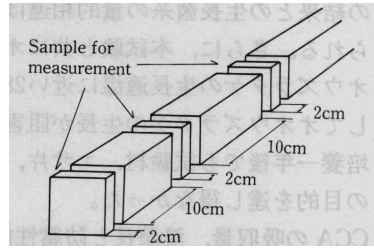
暴露の経過：

接種片から菌糸が暴露槽全体に蔓延するのに要する期間は 6 ヶ月であった。その後 6 ヶ月間の菌糸生長は極めて旺盛であり、エサ片、コントロール材表面は全面が菌糸に被覆された。一年を経過すると菌糸は徐々に褐色に

変化した。1.5 年後でも暴露槽内 RH は 90% 以上であったが、土水分は 12.1 ~ 15.7% にまで低下しており、菌糸生長が殆ど認められなかったため、この時点で暴露を終了した。なお、無殺菌土壌を使っているので土壌中のカビなどによる腐朽も考えられるが、試験材が接地していないことと、培養温度が比較的低いため肉眼的にはカビの発生は認められず、ナミダタケによる腐朽が進行したのは明らかである。

CCA 処理面の菌糸生長：

CCA 処理面での菌糸生長量を第 25 表に示す。この表では暴露対象とした面積に対して菌糸生長の認められた面積割合を示したが、処理面でもほとんどの場合菌糸生長が認められる(写真 44, 45)。特に土壌表面に近い部分での生長がコントロールと大差ない。ただし、暴露面全体で見ると若干の菌糸生長抑制効果が見られる。CCA 成分のうち、銅化合物は SH 基阻害効果<sup>102)</sup>によって防腐効力を発揮すると考えられており、菌体の呼吸阻害を起すので、菌糸の生存を不可能にする。ところが酸性培地でシュウ酸を蓄積する褐色腐朽菌<sup>103)</sup>では、菌糸への銅化合物の取込みがないと考えられている。ナミダタケでもこうしたことが十分考えられ、本試験のように pH 5.5 の土壌を培地として用いた場合 CCA 処理材上での菌糸生長が可能であ



第 48 図 CCA 吸収量、浸潤長測定用試片の採取方法  
Fig.48. The sampling method of test piece for the measurement of CCA absorbance and penetration.

ったことの説明がつく。

なお、先に小試験片を使った JIS A 9302 に準ずる効力試験で CCA 処理面がわずかに菌糸で被覆される場合があることを示したが、こ

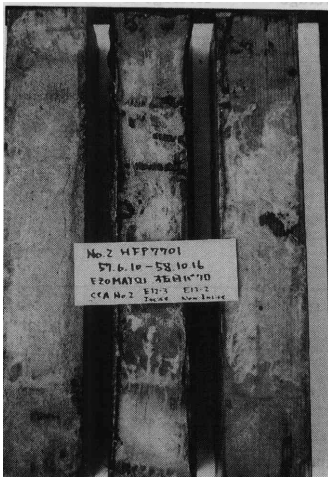


写真 44 ナミダタケへの板目面暴露土台、中央が無処理、両側が CCA 処理  
Photo.44. The sill exposed to *S. lacrymans* on the tangential surface.  
Note : Center ; control , both side ; CCA-treated ones .

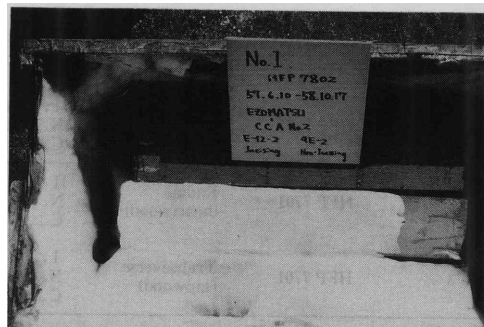


写真 45 ナミダタケへの柁目面暴露土台、中央が無処理、上下が CCA 処理  
Photo.45. The sill exposed to *S. lacrymans* on the radial surface.  
Note : center ; control , the upper and the lower ; CCA-treated ones .

の結果との生長菌系の量的相違は、試験片の大きさや培地条件等に依拠しているものと考えられる。さらに、本試験と共にオオウズラタケを供試菌とした同様の試験を実施したが、オオウズラタケの生長適温に近い28℃では試験材、エサ片に *Tricoderma* sp. などのカビが生育してオオウズラタケの生長が阻害される。また、20℃ではカビによる汚染は認められないが、培養一年後でも試験材、エサ片、土壌への接種木片からの菌糸生長が全く認められず、試験の目的を達し得なかった。

CCAの吸収量、浸潤長と防腐性能：

吸収量 浸潤長の測定結果を第26表に示す。この表で「腐朽」は肉眼的に判断した結果を示したが、処理材の場合は全て内部の腐朽である。これに対して、コントロールの場合は材表面からの腐朽が著しい。その様子を写真46に示す。浸潤長はインサイジング材で大となる傾向にあるが、吸収量は必ずしもこの値とは比例的にならない。ただし、一部の木口面暴露の場合を除き、いずれの場合でも表面から深さ1mmまでの吸収量は約9kg/m<sup>3</sup>以上であり、これらが板目、柁目面からの菌糸侵入を防いだことが明らかである。これはインサイジングの有無とは関連していない。木口部分では、内部への菌糸侵入が明らかであり、腐朽も認められた。この腐朽は木口割れからのものであることが容易に推定できるので、木口部分への処理は割れ深さを考慮して行なわねばならないことが示唆された。もちろん、このような場合でも腐朽による比重の減少はコントロールと比較して極めて小さく、十分な防腐性能が付与されていることが明らかである。

### 5.3 土壌処理の菌糸生長への影響<sup>104) - 106)</sup>

ナミダタケの被害は、土壌と密接な関連性を持つ。これは2でも述べたように、土壌中への根状菌糸束の形成や土壌表面での菌糸生長が、ほとんどのケースで認められることから明らかである。また、孢子の散乱範囲も極めて広く、家屋床下全体に及ぶこともある。こうし

第26表 ナミダタケへ暴露した土台のCCA浸潤長、吸収量と比重の変化  
Table 26. CCA penetration and absorbance of sills exposed to *S. lacrymans* and the change of specific gravity for them after exposure.

Sample No.	Strain of <i>S. lacrymans</i>	Surface exposed	Average in <sup>a)</sup> length of penetration (mm)		Average <sup>b)</sup> absorbance (kg/m <sup>3</sup> )	Average of <sup>c)</sup> specific gravity	Decay <sup>d)</sup>
			I.	N.			
1	HFP 7802	Radial (heartwood)	I.	9.3	8.8	0.40	-
			N.	1.5	14.0	0.45	-
			C.	-	-	0.31	++
5	HFP 7802	Transverse (sapwood)	I.	10	8.3	0.41	+
			N.	4.0	9.3	0.42	+
			C.	-	-	0.25	++
6	HFP 7802	Tangential (heartwood)	I. (心)	8.7	12.2	0.38	-
			N. (辺)	10	8.8	0.34	-
			C.	-	-	0.25	++
2	HFP 7701	Radial (heartwood)	I.	9.3	11.1	0.42	-
			N.	1.8	8.3	0.32	-
			C.	-	-	0.28	++
3	HFP 7701	Transverse (sapwood)	I.	10	10.8	0.39	-
			N.	10	6.2	0.34	+
			C.	-	-	0.20	++

a) Average value measured in three points (right, left, center) of sectioning sample showed in Fig. 48.

I : Insised, N : Not insised, C : Control

b) Average value measured in the center of surface (width 10 mm, thickness ca 1 mm, length ca 20 mm) of treated sample in Fig. 48.

c) Average value of three samples of 2 cm thick transverse section. in Fig. 48. In case of the exposure of transverse surface, this value is obtained this surface.

d) - : Sound, + : Slight decay, ++ : Obvious decay.

たことから、被害の駆除、再発防止のためには土壌の交換、殺菌が必要とされるが、木材防腐剤を含む各種薬剤が土壌処理剤として適当かどうか、種々の面から検討する必要がある。そこで、本節では薬剤による土壌処理効果を検討するために、第一に寒天平板希釈法でいくつかの薬剤のナミダタケ菌糸生長阻止力を測定し、第二に木材を媒介として行った土壌処理試験の結果を報告する。

### 5.3.1 寒天平板希釈法による実験

#### 実験法

あらかじめ PDA 平板培地上で培養しておいた供試菌を寒天培地とともに打ち抜いて、供試剤が所定濃度含まれている MPA (麦芽エキス: 20g, ペプトン: 10g, 寒天未: 20g / 水道水: 1l) 培地で 1~2 週間培養し、生長半径をコントロールと比較して菌糸生長抑制率を算出した。供試剤には第 27 表に示すものを用い、供試菌としてナミダタケ HFP7802, IF08697 及びオオウズラタケ FPR10507 を用いた。繰り返しは 6 回である。

#### 結果と考察

結果を第 28 表に示す。マンネブは担子菌由来のさび病に対して効力を持つことから供試した。300ppm では、ナミダタケの完全な生長抑制力を持たないが、さらに高濃度になれば生長抑制率は 100% になることが予想できる。ベノミルは本来ナミダタケの分離の際、雑菌汚染を防ぐ目的で 250ppm まで培地に添加して使っていたが、これ以上の濃度ではナミダタケの生長が抑制されることがわかっていたので、500ppm 以上で供試してみた。本実験においては、1,500ppm であればナミダタケの生長をほぼ 100% 抑制できることが明らかとなった。また、OPP - Na は英国でナミダタケに対するしゅくいの処理に使われているので供試したが、200ppm まではナミダタケ菌株間で抑制率に大きな差が認められた。300ppm 以上であれば、ナミダタケの完全な生長抑制が期待できる。フルトラニルは、担子菌由来のイネ紋枯病に効力を持つことが知られていたため供試してみた。これが、供試剤中最も低濃度でナミダタケの生長を抑制することが明らかとなった。なお、いずれの供試剤においてもオオウズラタケに対する生

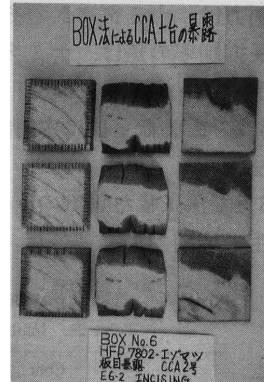


写真 46 暴露された土台の腐朽状態 (左側: インサイジング-CCA 処理 中央: 無処理 右側: CCA 処理)  
Photo.46. Decay condition of the sill exposed to *S. lacrymans*.  
Note: center; control, left; incised-CCA-treated, right; CCA-treated.

第 27 表 寒天平板希釈法に用いた供試薬剤  
Table 27. Fungicides tested on agar dilution technique.

Fungicide	Active ingredient	Type (conc. of active ingredient)
A, maneb	manganese ethylene-bisdithiocarbamate	Powder (75%)
B, Benomyl	methyl-1-(buthylcarbomoyl)-2-benzimidazole carbamate	Powder (50%)
C, OPP - Na	o - phenyl phenol sodium salt	Reagent 1 class (100%)
D. flutolanil	$\alpha, \alpha, \alpha$ -trifluoro-3'-isopropoxy-o-toluanilide	Dust (1.5%)

長抑制力は、ナミダタケのそれと比較すると明らかに小さい。また、ナミダタケ菌株相互間の生長抑制率の差は、ナミダタケとオオウズラタケとの差より小さい。

### 5.3.2 土壌ならびに木材試片による実験 実験法

5.3.1で供試した薬剤のうちマンネブとフルトラニルを用いて、土壌を処理することにより菌糸生長抑制効果を調べた。

第28表 寒天平板希釈法によるナミダタケの菌糸生長抑制率  
Table 28. Inhibition of fungal growth by some fungicides diluted into agar media.

Fungicide <sup>a)</sup>	Conc. of active ingredient (ppm)	Percentage inhibition <sup>b)</sup> (%)		
		<i>T. palustris</i>	<i>S. lacrymans</i>	
		FPRI 0507	HFP 7802	IFO 8697
A	100	31	60	52
	200	46	85	89
	300	69	84	91
B	500	26	68	56
	1000	57	82	71
	1500	89	100	95
C	100	0	75	31
	200	11	96	77
	300	80	100	100
D	10	74	100	100
	50	80	100	100
	100	80	100	100

a) See Table 27.

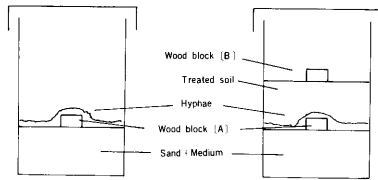
b) Percentage of the growth inhibition =  $[(G_c - G_t) / C_c] \times 100$  (%)  
where G<sub>c</sub>: average diameter of fungal mycelium on control medium.  
G<sub>t</sub>: average diameter of fungal mycelium on tested medium.

実験(1): あらかじめ11客ビン中のMP石英砂培地上でエゾマツ心材 [0.5 (t) × 1 (r) × 1 (l) cm] にナミダタケ HFP7802を十分繁殖させ、これを30日あるいは40日後に取り出して材表面の菌糸を取り去った。別にあらかじめ畑土 (pH 5.5, 水分25.2%) に供試剤を所定濃度混入しておき、処理直後および10 で77日間保存後シャーレ中に30gずつ入れ、その上に直接前記のエゾマツ試片を置いた。これを20 で20日間培養後、菌糸生長の状態を観察し、エゾマツ試片の重量減少率を測定した。繰り返しは5回である。

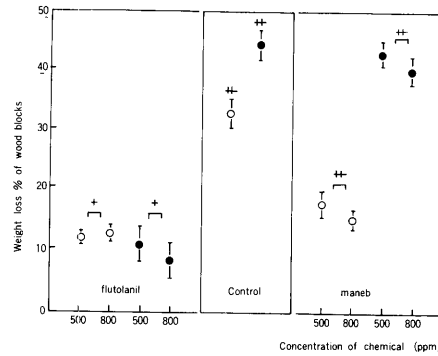
実験(2): あらかじめエゾマツ心材(試片A) [2 (t) × 2 (r) × 5 (l) cm] へナミダタケHFP7802を繁殖させておき、これを新しいMP 石英砂培地へ菌糸の付着したまま移して20 で2週間培養した。菌糸が砂培地上へ十分生長しているのを確認した後、供試剤(マンネブ800ppmまたはフルトラニル500ppm)を混入した実験(1)同様の処理直後の土壌を200gずつ投入し、その上へ新しいエゾマツ心材(試片B)を置き、20 で40日間培養した(第49図)。培養後、菌糸生長の様子を観察し、新たに投入したエゾマツ心材(試片B)の重量減少率を測定した。また、接種片として土に埋没した試片Aからの寒天培地上における菌糸生長の有無を、20 , 20日間培養して検討した。繰り返しは4回である。

#### 結果と考察

実験(1)の結果を第50図に示す。処理直後に供試した土壌のデータを見ると、フルトラニル500ppm, 800ppm 処理では試片上でのみ菌糸生長が認められ、試片の重量減少も抑制されて処理効果の大きいことが明らかである。これに対して、マンネブではいずれの濃度でも土壌表面への菌糸生長が認められ、試片の重量減少も大きい。しかしながら、コントロールと比較すると菌糸生長抑制効果はあらわれている。処理後77日間10 に保存しておいた土壌での試験では、フルトラニルのみいずれの濃度でも処理直後と同様の効果を示していたが、マンネブでは試片の重量減少においてコントロールとの有意差がなかった。土壌表面での菌糸生



第49図 土壌処理試験(2)の試験方法  
Fig.49. The method for soil treatment test (2) with maneb and flutolanil .



第50図 シャーレを用いた土壌処理試験(1)における処理土壌へのナミダタケ菌糸生長及び木材腐朽力  
Fig.50. Inhibition of hyphal growth of *S. lacrymans* by flutolanil and maneb in soil .

長状態は処理直後の場合と同様である。このことは、77日間、10 に保存されている間にマンネブのナミダタケ生長抑制力が失われたことを意味していると思われる。これは保存中の土壌微生物による分解、土壌中の水分による加水分解などによるものと推定される。なお、この方法では、材の大きさが小さくエサ片がないため、菌糸生長にとっては好条件ではない。

そこでさらに菌糸生長の条件が良い実験(2)の結果を第29表に示す。菌糸生長の様子を見るとマンネブ800ppmで多少の菌糸生長抑制効果が示されているが、試片の重量減少率を比較するとコントロールとの間に有意差がなく、効果のないことが明らかである。この結果は、実験(1)の結果とは対照的に、処理直後もナミダタケにとって栄養条件がよければ、マンネブ800ppmではほとんど効果を示さないことを意味している。一方、フルトラニルは500ppmでも菌糸生長を完全に抑制している。したがって、処理土壌表面に設定された試片Bの腐朽は完全に阻止された。

処理土壌中に埋没していた接種片(試片A)を20 で20日間PDA培地上で培養すると、そ

第29表 11容ピンを用いた土壌処理試験(2)における処理土壌へのナミダタケ菌糸生長及び木材腐朽力  
Table 29. Effectiveness of flutolanil and maneb against *S. lacrymans* by soil treatment

Chemicals tested (Concentration)	Percentage weight loss of wood blocks	Hyphal growth <sup>a)</sup>	
		on wood blocks	on treated soil
maneb <sup>b)</sup> (300 ppm)	31.2	++	+
flutolanil (500 ppm)	0	--	--
Control	33.9	++	++

a) - : no growth, + : poor growth, ++ : normal growth  
b) manganese ethylene-bis (dithiocarbamate)

こからの菌糸生長はコントロールのみでしか認められず、いずれの薬剤による処理土壌でもこの試片中の菌糸は死滅したと考えられる。フルトラニルの場合には、生長阻止力が明確に示されたので当然の結果であると判断できるが、マンネブの場合には次のようなことが想像される。すなわち、土壌中に分散していたマンネブは、処理直後には木材表面で希釈されずに作用し、木材中の菌糸を死滅させることが可能であった。ところが、砂培地中へ分散して

いったマンネブは、培地中の栄養液に希釈されてしまうので、その濃度の不足からナミダタケに対して効力を発揮できない。したがって、砂培地中で生存していた菌系はその後処理土壌を貫通して試片 Bへ到達し、腐朽を生ぜしめたのであろうと考えられる。

### 5.3.3 土壌の相違による処理効果への影響

最近、商橋、西本<sup>107)</sup>は、鹿沼土を用いて行なう土壌処理試験法を提案した。この方法は、鹿沼土の入手しやすさと品質の安定性から、標準的な試験法になりうるとして提案されたものであるが、前述した無殺菌土壌による方法と比較すると、供試土中の微生物や土壌団粒構造の影響などは考慮されていない。そこで、こうした土壌の相違が処理効果に如何なる影響を与えるかを比較検討することとした。

#### 実験法

供試菌：供試したナミダタケは、HFP7802 である。この菌を麦芽エキス - ペプトン寒天平板培地上で 20 にて十分生育させた後、寒天とともに直径約 5 mm のペレット状に打抜き後述する試験用の培地上に接種した。

供試薬剤：供試薬剤には、マンネブ、フルトラニル、TBT0、トルクロフォスメチル及び IF - 1000 (第30表参照)を用いた。

鹿沼土を使う試験法：4~20メッシュの鹿沼土(水分約 30%) 250gと同メッシュのエゾマツ木粉20gをよ(混合して1,500ml ガラスビン(内径11.5cm)に入れ、そこへ 80mlの栄養液(1%ペプトン+2%麦芽エキス)をできるだけ均一に加え、120 , 20分間蒸気滅菌後、供試菌を接種し20 で50日間培養した。処理層は、8~20メッシュの鹿沼土絶乾重量100g当たり7.5 gのエゾマツ木粉(4~20メッシュ)を混合したものである。この120gに、蒸留水で所定濃度に調整した供試薬剤を約42ml混入、かくはんしてバット上で21日間風乾後、減少した分だけの水分を滅菌蒸留水で補充した。この状態での処理層の水分は約26%となった。これを上述した培地の菌叢上に約3cmの厚さに均一に入れ、20 で2週間培養した。この上に2.5(t) × 2.5(r) × 1(l) cmのエゾマツ辺材をプラスチックネットを介して1ピン当たり3ヶのせ、さらに80日間培養して処理の効果を観察した。

畑土を使う試験法：900ml(内径 9cm)のガラスビンに20~30メッシュの石英砂150gを入れ、ここに上記同様の栄養液40mlを加えて、供試菌を接種し20 で30日間培養した。この菌叢上に2(t) × 2(r) × 5(l) cmのエゾマツ辺材をネットを介してのせ、さらに2週間培養した。この材は、菌系の付着したまま取り出し、新たに調製した上記同様の石英砂培地上へ移してから、3週間培養した。処理層は8~20メッシュの畑土(水分25.2%, pH5.5)を乾燥せずにそのまま上記同様に処理した後、最終的に水分が鹿沼土と同じ26%になるように滅菌蒸留水

第30表 土壌処理試験に用いた供試薬剤  
Table 30. Fungicides tested on soil treatment test.

Fungicides	Active ingredient	Type (Conc. of active ingredient)
F. TBT0	tributhyltin oxide	Emulsion (10%)
G. Tolclofos methyl	<i>o</i> -2, 6-dichloro- <i>p</i> -tolyl <i>o, o</i> -dimethyl phosphorothioate	Emulsion (20%)
H. IF - 1000	4-chlorophenyl-3'-iodopropagylformal	Emulsion (10%)

で調整し前述の石英砂培地上に投入した。処理層の厚さは、あらかじめ設定されていたエゾマツ辺材の上端から約 3cmとした。その後の試験方法は鹿沼土を用いた場合と同様である。



結果と考察

培地と前培養における菌糸生長：使用した鹿沼土培地は、高橋、西本<sup>(107)</sup>によって詳細な検討が行なわれた結果、最良のものと判断されたものであるが、この培地では表面に菌糸が十分に生育するのに50日間を要する。これに反し、石英砂培地では21日間で十分な菌糸生長が認められた。もちろん、前者の表面積は後者の約 1.6倍であるので、そのことを考慮すればこの差は多少短縮されることになるが、それでも後者での生長のほうが若干速いことになる。これは、栄養液が、鹿沼土の場合には土壤粒子中に完全にに取り込まれているのに反し、石英砂では完全に遊離していて養分を利用しやすいためのものかもしれない。菌糸束の形成は、石英砂培地でも認められるが、その形成量は鹿沼土の場合より少ないように思われた。これも、養分の存在状態と関連しているのであろう。

無処理層での菌糸生長：試験の結果を第31, 32表に示す。コントロールつまり薬剤処理をしていない土壤が処理層の場合は、いずれの方法でも培養開始後約 1週間で菌糸が処理層上面に到達するが、これは主として処理層と培養ビンとの接解部からであった。そして、その後処理層を貫通しての菌糸生長が認められた。畑土が処理層の場合には、この処理層に風乾後再び約26%の水分を含水させた時に土壤の粒度分布が不均一になり、空隙が大きくなった。この状態は、実際の被害現場の土壤で客土や埋め戻しによってできる状態とよくにている。一方、鹿沼土の場合は、水分調整後も粒度分布がほとんど変わらず、実際の被害とは若干様相を異にする。また、処理層上面に設置したエゾマツ辺材の重量減少率は、鹿沼土における方が畑土におけるよりバラツキが小さくなっている。ただし、有意差はなく、また、木材が栄養源の一部という点でにている状況でもある。試験法の標準となる培地を選択する時、実際の土壤に近いもので入手のしやすさということを考えれば、鹿沼土による試験法は妥当なものといえよう。なお、菌糸生長速度にも大きな差があるとは言えない。

第31表 鹿沼土を用いたの土壤処理薬剤によるナミダタケの生長抑制効果  
Table 31. Effects of fungicides by soil treatment on Kanuma-soil against *S. lacrymans*

Fungicide*	Retention <sup>a)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Mycelial growth at 80 days after setting <sup>b)</sup>						Hyphal colonization of wood blocks <sup>c)</sup>		Weight loss % of wood blocks <sup>f)</sup>		
		the side wall of jar in contact with treated layer			the surface of treated layer			0	-1/3		-2/3	-3/3 <sup>e)</sup>
		bottom	middle	top	0-1/3	1/3-2/3	2/3-3/3 <sup>d)</sup>					
A	0.019			3					9	26.6 (10.2)		
	0.038			3 <sup>p</sup>	3			2	5	1.2 (2.5)		
	0.076		—					9		—		
B	0.019	1 <sup>p</sup>		2 <sup>p</sup>		1	2	2	1	6	22.7 (15.8)	
	0.038		—			—	—	9			—	
	0.076		—			—	—	9			—	
C	0.091	1 <sup>p</sup>	2 <sup>p</sup>			—	—	9			—	
	0.181		—			—	—	9			—	
	0.362		—			—	—	9			—	
D	0.019	1		3			3		2	7	28.6 (19.2)	
	0.038		1	1		—	—	8	1		—	
	0.076		—			—	—	9			—	
E	0.450			3			3			9	44.2 (5.7)	
	0.907			3		1	2			9	48.8 (6.7)	
	1.361			3 <sup>p</sup>		1	2			9	41.4 (14.4)	
Control			3			3			9	38.4 (2.5)		

\*: See Table 27. and 30.

a) kg/m<sup>3</sup>: Active ingredient in fungicide / m<sup>3</sup> of treated soil

b) Number of jar in which arrival of mycelium was observed (number of jar used were 3)

"p" means slight growth of hyphal strand

c) Number of wood blocks on which arrival of mycelium was observed (number of wood blocks used were 9)

d) Area covered with mycelium / area of the surface of treated layer

e) Area of mycelium growth on the wood block

f) Average weight loss % of wood blocks covered with myclium (standard deviation)

第32表 畑土を用いての土壌処理薬剤によるナミダタケの生長抑制効果  
Table 32. Effects of fungicides by soil treatment on horticultural-soil against *S. lacrymans*

Fungicide*	Retention <sup>a)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Mycelial growth at 80 days after setting <sup>b)</sup>					Hyphal colonization of wood blocks <sup>c)</sup>		Weight loss % of wood block <sup>d)</sup>
		the side wall of jar in contact with treated layer			the surface of treated layer		0	-1/3 -2/3 -3/3 <sup>e)</sup>	
		bottom	middle	top	0-1/3	1/3-2/3 2/3-3/3 <sup>d)</sup>			
A	0.019 0.038 0.076			2 1	2 1	1	3 6 9	6 3	43.7 ( 4.7 ) 50.1 ( 1.1 ) -
B	0.019 0.038 0.076			1 <sup>p)</sup> 1 1 <sup>p)</sup>		1 1	6 6 6	3 3 3	50.6 ( 2.9 ) 47.6 ( 1.1 ) 46.6 ( 1.4 )
C	0.091 0.181 0.362		-			-	9 9 9		- - -
D	0.019 0.038 0.076		-			-	9 9 9		- - -
E	0.450 0.907 1.361			1 <sup>p)</sup> 3 1 <sup>p)</sup>	1	3	6 6	3 9 3	58.7 ( 0.8 ) 51.6 ( 4.5 ) 56.2 ( 1.9 )
Control				3		3	1	8	25.3 ( 15.0 )

\* : See Table 27 . and 30 .  
a) ~ f) Footnotes are to be found at the end of Table 31 .

薬剤処理の効果：薬剤処理層の効果を両法について比較すると以下ようになる。ここで、効力の基準は「処理層中あるいは処理層と培養ピンとの接解部で全く菌糸生長がない場合を効力有り」とする。この理由は、後述するように同じ鹿沼土を使った同一薬剤の試験結果が培養期間の延長によって異なることもあり、少しでも菌糸生長が認められれば処理効果がないと判断したほうが実用上安全と考えられるからである。

IF - 1000 では、0.076a. i. ( active ingredient , 有効成分 ) kg/m<sup>3</sup> 以上の処理が必要であることが両法で示され、また、フルトラニルでは、0.091a. i. kg/m<sup>3</sup> の結果がわずかにことなるのみで、全体としてはほぼ同様の効力が示された。マンネブについては両法で1.361a. i. kg/m<sup>3</sup> でも全く効力がなく、5.3.2 の結果を裏付けるものとなった。一方、両法で結果が異なったものは、TBT0 とトルクロフォスメチルである。前者は、鹿沼土法の場合 0.038a. i. kg/m<sup>3</sup> 以上で効力を示し、畑土では0.076a. i. kg/m<sup>3</sup> を必要としている。これは土壌の粒度、微生物数の影響とも考えられる。ところが、トルクロフォスメチルについては効力を示す濃度の大小関係が逆になっており、この考え方を薬剤全てに適用できないことが示されている。剤型の相違やそれと関連する界面活性剤の影響も考えられるが、本実験においては、その原因は不明であり今後検討を必要とする。

鹿沼土の結果だけについて、ナミダタケFPRI0739で行なった既報<sup>108)</sup>のデータと比較すると、IF - 1000, TBT0はより高濃度の処理を必要としていることが明らかである。すなわち、FPRI0739を供試菌とした場合は IF - 1000で0.038a. i. kg/m<sup>3</sup>, TBT0では0.019a. i. kg/m<sup>3</sup>で十分な効力を示しているのである。これには、菌株の違いだけでなく培養期間の延長なども寄与しているかもしれない。

以上から総合的に判断すると、次のようになる。鹿沼土と畑土のコントロール間には有意差がないが、処理薬剤の種類によっては両法間で差を認める場合がある。したがって、鹿沼土を標準的な試験法にするとすれば、実際の処理は菌株の違い、土壌団粒構造の違いを考慮して、スタリーニングの結果より数倍高い濃度で処理を行なうことが要求される。また、可

能であれば実際の被害現場における実用的な試験を経て、土壌処理の効果を確認することが理想である。

イギリスにおいては、ナミダタケ菌糸のしっくい壁上での生長を阻止する目的で、ZnOClを含むしっくいを使用したり、OPP-NaやPCPナトリウムの5%液を塗布する方法をとっている。この方法の目的は、ナミダタケの生長を阻止するバリアーを作ることによって、菌糸を封じ込めることにあるが、土壌処理に関してもこの考え方は適用できる。すなわち、土壌処理によって地中深く生長している菌糸束を完全に処理するのは、薬剤の浸透性、必要薬剤量が膨大になるなどの点から困難であり、処理目的は土壌表面でのバリアー形成にあると考えた方が妥当である。さらに、培養ビンと処理層との接触部での菌糸生長は、実際には布基礎と土との境界における菌糸生長を意味するので、コンクリート布基礎面での薬剤処理も検討の余地がある。

なお、処理土壌上に暴露された木材の重量減少率が、コントロールにおけるより大きい場合が認められるが、これは薬剤による土壌処理によって、土壌中でのナミダタケの生長を抑制する微生物などの要因を変化させたためと考えられる。

#### 5.4 要約

道内で採取、分離されたナミダタケを供試菌とし、ナミダタケ被害の予防、駆除のために必要なデータとして、各種薬剤に対する感受性をいくつかの方法で検討した。それらの結果を列挙すると次のようになる。

- 1) 薬剤に対する感受性はオオウズラタケより高く、被害防止上防腐処理が極めて有効であることが推察された。ただし、道内で大量に流通しているJIS外クレオソート油は、防腐効力が小さいことも明らかとなり、これを塗布する程度の処理では被害発生、拡大を阻止し得ない。
- 2) 薬剤に対するナミダタケの挙動のうち、注目すべきものとして「防腐効力を持つ薬剤処理材上でも菌糸生長が可能な場合がある」ことがあげられる。このことは実際の被害防止上きわめて重要なことである。基準法や金融公庫の融資基準などで、床下や腐朽の恐れのある部分への防腐処理が義務付けられているが、現状では土台、大引の一部への防腐処理しか普及していない。したがって、土壌表面、無処理材部などで発生した被害の拡大を阻止できないことになるからである。それ故、木材防腐剤には防腐効力と材表面での菌糸生長抑制力とが要求される。
- 3) CCA系防腐剤で加圧注入処理をした場合でも、処理面で菌糸生長が認められるが、防腐効力の点では、JIS A 9108に規定する薬剤吸収量が表面から深さ1 mmまでのところで得られれば十分であり、菌糸の材内部への侵入を阻止できる。
- 4) 2で述べたように、土壌と被害発生、拡大は密接に関連していることから、各種薬剤による土壌処理試験を実施した。その結果、いくつかの防腐剤、農薬等の処理効果があることが明らかとなった。今後、要求される実用濃度、残効性、実用化に向けての処理法などを検討する必要がある。

## 6. 結 言

10年程前から、北海道の木造建築、主として木造住宅でナミダタケによる被害が多発している。しかもこれらの被害は、比較的新しい建物で発生するため社会的影響が著しい。本論文は主として旭川市におけるナミダタケによる住宅の被害の状況の調査をもとに、ナミダタケによる木材腐朽の特徴を把握するとともに、実験的にその特徴を実証し、腐朽材の顕微鏡観察、化学成分及び物性の変化の測定などの結果からその腐朽機構を明らかにし、さらに、その防除処理の方法について論じたもので、その内容は次の4章からなっている。

まず2.で被害の実態を調査した。その結果、被害発生部位は床下に限られているが、腐朽一般同様に北側で換気条件の悪い水廻りに多く、水分源があればそれ以外の所でも発生すること、被害範囲は極めて広く、水分源のない所にまで広がること、被害発生、拡大には土壌が密接に関連していることなどが明らかとなった。また、被害は新築あるいは増改築後遅くとも数年間のうちに発生するものが殆どであるが、これは床下換気不良、建築残材の床下への放置、比較的高い木材含水率など、被害発生の条件が具備されていたためと思われる。

3 では、前章での実態調査を通じて採取、分離されたナミダタケ菌株を使って生育条件の検討を実験室的に行い、被害発生環境がどのようなものであったかを推定しようとした。その結果、生長可能な温度は3~28℃、同じく湿度は93.5%以上であり、こうした条件は実際にナミダタケ被害をうけている住宅床下などを使っての測定でも整っていることを示していた。特に北海道のような寒冷地では、高断熱高気密化が要求されること、長年の習慣から、北側に集中的に水廻り部分を設け、しかもこの部分の床下換気は構造上極めてとりにくく、ナミダタケにとっては好適な条件が整えられていたものと思われる。したがって、被害対策は構造上だけでなく防腐処理及び土壌処理の面からも検討されねばならない。

4 では、ナミダタケが木材の諸性質にいかなる変化を与えるかを検討した。樹種による耐朽性を知ることによって、材料の適切な使い方を確立し、また防腐処理の必要性を明らかにすること、腐朽が木材にいかなる強度的損傷をあたえるかを明らかにすることによって、修復作業上必要な基礎的知識を与えること、そして強度的損傷が化学的、組織構造的にはどのような変化に基づくものであるかを明らかにして、その損傷がいかに早く進むかを証明することを目的とした。北海道の建築に多用される針葉樹材と広葉樹材の腐朽のされやすさを検討して、前者が腐朽されやすい傾向にあり、特に土台材として最近多用されているエゾマツは、ナミダタケに対して極めて耐朽性が低いことを明らかにした。エゾマツ腐朽材の曲げ強度低下は、重量減少がわずかであっても大きく、これは組織構造的変化、化学成分的变化の様子ともよく符号した。すなわち、細胞壁にはクラックがしやすい壁孔の破壊形態が観察され、低分子分解産物の蓄積が著しかった。

5 では、各種薬剤に対するナミダタケの挙動を木材及び土壌を用いて検討した。その結果、道内で多量に流通している JIS 1号油に該当しないクレオソート油は塗布の様に処理量が少ないと全く防腐効果を持たないこと、また、防腐効力を持つ薬剤でも処理木材上での菌糸生長を阻止できない場合があることが明らかにされた。これは、土台以外の床下部材を殆ど防腐処理しないという現状からみて大きな問題であり、今後検討を要することであろう。さらに土壌処理の効果をいくつかの薬剤で検討し、適用の可能性が示唆されたが、残効性など検討すべき問題が残されている。

以上のように、本論文の内容はこれまで不明の点の多かったナミダタケによる木材の腐朽機構、住宅被害の特徴などに関し、多くの新知見を得たものであり、また、被害防除に有効な処理法を明らかにしたものである。しかしながら、これに関する問題に根ざすところはなお深く、またその応用面は広範囲にわたっており、今後の研究がまたれる。これら残された

問題のうち重要なものを挙げると次のようなものである。

北海道における初期の住宅は、本州のものをそのまま移行してきたもので、基本的には開放型で断熱性に欠けるが、耐久性上は極めて有利な状態におかれたものであった。すなわち、外壁を板貼りとすることに代表されるような、きわめて通風のよいものであって、こうしたものは昭和 30 年（1958）代でもまだ主流<sup>(9)</sup>を占めていたとみられる。ところが、基準法による布基礎工法の義務付け、また石油ショック以来急速に高まった省エネルギー政策による高断熱住宅への志向が、現在のような高断熱高气密の住宅を作りあげた。そして、断熱材料は GW25mm GW50mm GW100mm (10kg/m<sup>3</sup>) GW100mm (16kg/m<sup>3</sup>) GW100mm (24kg/m<sup>3</sup>) というようにますます高密度なものになりつつある。また、布基礎は今日100%普及しているが、工事の簡略化や凍上による床のあばれ防止を考慮しての間仕切基礎も、一般的なものとなっている。さらに、梁せいの高い大引（20～40cm）を床梁として使う工法も、ほぼ 100%普及している。これが、換気条件を悪化させる一つの要因になったものと考えられる。その上、このような大断面の部材は、大径材の少ない現在では必然的に辺材を含むものとなっており、辺材＝丸身を床下端に向ける構造となっている。しかもトドマツより耐朽性の劣るエゾマツが多用されるようになっており、床下では土壌表面に近いほど相対湿度が高い<sup>(10)</sup>こともあって、ナミダタケの被害発生を助長したものと思われる。したがって、これら材料面及び工法面での検討がなされるべきである。

断熱施工については、気密化に伴う結露が問題である。北海道の高断熱基準では、室内側の蒸気圧が高いことを前提として、壁では室内側に防湿層を設置することを規定している。また、床下では特に防湿層を設けることを規定していないが、透湿抵抗の大きい材料を室内側へ施工するようになっている。しかしながら、床下部材の腐朽が土壌中の水分に大きく依存すると考えられるデータ<sup>(11)</sup>もあることから、防湿層を室内側へ設置するだけでなく枠組壁工法のように土壌面のソイルカバーの設置も考慮すべきであろう。ただし、この場合は夏季におけるソイルカバー上面での結露に対する注意も必要となる。なお、壁内における防湿層の施工上避けることのできない継目、釘穴などからの水蒸気の侵入を考えると、通気層を設けて内部の水蒸気滞留を防ぐことなども検討する必要がある。

ナミダタケ被害が他の腐朽菌による被害と際立って異なる点は、土壌と密接な関係を持つこと、被害範囲が水分源の周辺に限らず広範囲に及ぶことである。したがって、土壌処理も含む防腐処理なども十分検討されるべきである。シロアリ被害に対する土壌処理に関しては、これまでデータの蓄積、実用上の経験も多くあるが、ナミダタケに対しての土壌処理には未知の部分が多い。薬剤のスターリング法や効力に関するデータは本研究を含めてある程度蓄積されつつあるが、実用上の効果などについてはさらに検討すべきである。

一方、基準法では地上 1 m までの部分の防腐処理が義務付けられているが、防腐土台を使用するだけが一般的であり、大引への防腐処理はほとんどなされていないし、加工後に暴露される部分も無処理のままのことが多い。また、防腐処理材上での菌糸生長を阻止できない場合もある。したがって防腐処理に関しては、より安全で効力が高く、菌糸生長阻止力をも持つ防腐剤の開発と共に、防腐剤や防腐処理材の適切な使用方法を含めた施工業者、消費者への啓蒙活動が重要なことである。本論文が、これら残された問題の解明に有効な手掛りとして貢献するところあれば幸甚である。

## 謝 辞

本研究の遂行ならびに論文の作成にあたり、終始懇切な御指導を賜った京都大学木材研究所教授、西本孝一博士に衷心より感謝の意を表します。また、本論文のとりまとめに際し、多くの御教示と御指導を賜った京都大学木材研究所教授、佐々木光博士、京都大学木材研究所教授、樋口隆昌博士に深謝致します。さらに、京都大学木材研究所助教授、高橋旨象博士には本論文のとりまとめに際し、詳細にわたる御指導を賜ったことを深謝致します。

本研究の遂行にあたり、暖かい御配慮と御援助をいただいた北海道立林産試験場の関係各位に感謝致します。なお、顕微鏡観察にかんしては、北海道大学農学部教授、深沢和三博士、同助教授、大谷諄博士、同助手、今川一志博士（現在・農水省林試東北支場）に多々御指導いただきましたことを感謝致します。

## 文 献

- 1) W. P. K. Findlay : "Fungi, folklore and fact" , The Richmond Publishing Co. 1982, p43
- 2) R. Falck : Die Meruliusfaule des Holzes, "Hausschwammforschungen, Vol. 6" , Gustav Fisher, Jena (1912)
- 3) R. Hartig : "Der echte Hausschwamm", Julius Springer (1902)
- 4) C. R. Coggins : "Decay of Timber in Buildings", The Rentokil Library, 1980, p68
- 5) J. D. Thornton : Trans. Brit. Mycol. Soc., 79, 26(1982)
- 6) O. Wälchli : Material und Technik, 8, 2, 91(1980)
- 7) J. Wazny : Int. Biodeter. Bull., 14(2), 51(1978)
- 8) Nordic Wood Preservation Council : No.1. 4. 1. 1./70(1970)
- 9) 川村清一 : "原色版日本菌類図説", 大地書院, 1929, p218
- 10) 広江 勇 : "最新応用菌じん学", 有明書房, 1976, p1014
- 11) 西田屹二, 仲 寛 : 林学会雑誌, 13, No.1, 34(1931)
- 12) 阿部 豊 : 北海道林試集報, 第68号, 23(1948)
- 13) 小野 馨, 横田俊一 : 北方林業, 11, No.2, 60(1959)
- 14) 横田俊一, 遠藤克昭, 松崎清一 : 北方林業, 23, No.2, 59(1971)
- 15) 横田俊一, 魚住 正, 松崎清一 : 北方林業, 24, No.2, 85(1979)
- 16) 長野征広, 石田英生, 遠藤 醇 : 第29回木材学会大会要旨, 228(1979)
- 17) 伊藤誠哉 : "日本菌類誌 第2巻, 第4号", 養賢堂, 1955
- 18) B. Cooke : Mycologia, 49, 197(1957)
- 19) 土居修一, 西本孝一 : 木材研究・資料, No22, 78(1986)
- 20) 京大農学部農芸化学教室編 : "農芸化学実験書, 第1巻", 産業図書, 1967, p234
- 21) 土居修一 : 第32回生物劣化研究会資料, 東京, 6(1982)
- 22) 川治正則, 木下敬三, 木村輝美, 福島 明, 柴田 実, 上野 栄 : 調査研究報告集, 北海道立寒地建築研究所, 169(1979)
- 23) 北海道開発建設部 : 石狩川治水地形分類図(5-1)(1981)
- 24) 神山幸弘 : 木材保存, No21, 48(1982)
- 25) S. Doi : The International Research Group on Wood Preservation, Document No. IRG/WP 1179(1983)
- 26) 土居修一, 斉藤光雄 : 木材工業, 36, 10, 26(1982)
- 27) 肱黒弘三 : 木材保存, No.9, 25(1977)
- 28) 田中俊成, 鈴木憲太郎, 中井 孝, 海老原徹 : 木材保存, No20, 32(1982)
- 29) 高橋旨象, 西本孝一, 赤田友則, 柏崎清作 : 木材保存, No18, 13(1981)
- 30) 斉藤平蔵 : 建築学会論文集, 54, 457(1956)
- 31) 土居修一, 斉藤光雄 : 木材学会道支講, No12, 51(1980)
- 32) 原口隆英 : 防菌防霉, 4, 5, 209(1976)
- 33) G. M. Hunt and G. A. Garratt : "Wood Preservation" , Mcgrawhill Book. Co., 1967, p29
- 34) A. Mallis : "Handbook of Pest Control" , Mac-Nair-Dorland Co., 1969, p330
- 35) 青山修三 : 建築界, 2月号, 32(1980)
- 36) 土居修一, 斉藤光雄 : 木材学会誌, 28, 11, 733(1982)
- 37) 土居修一 : 木材学会道支部第12回研究会資料, 1(1980)

- 38) 土居修一, 佐藤雅俊, 有馬孝礼 : 木材学会道支講, No.14, 69(1982)
- 39) 古坂澄石編 : “土壤微生物入門”, 共立出版, 1972, p103
- 40) M. D. C. Hale and J. G. Savory : Int. Bio. Deterior. Bull., 12(4), 112(1976)
- 41) 逸見武雄, 赤井重恭 : “木材腐朽菌学”, 朝倉書店, 1945, p69
- 42) J. Segmüller and O. Wälchli : The International Research Group on Wood Preservation, A revision of Document No. IRG/WP 108&133(1978)
- 43) L. Harmsen : Friesia, 5, 257(1956)
- 44) R. W. Davidson and F. F. Lombard : ibid, 45, 88(1953)
- 45) 高橋旨象 : 京大博士論文, 9(1977)
- 46) 細谷憲政監修 : “最新食品標準分析表”, 全国調理師養成施設協会, 1983, p68
- 47) レーニンジャー (監訳 中尾真) : “生化学(上) 第2版”, 共立出版, 1978, p48
- 48) C. R. Coggin : B. W. P. A. Annual Convention, 73(1976)
- 49) 北島君三 : 林試報告, 28, 1(1928)
- 50) 福田清春, 岡安裕司, 原口隆英 : 東農工大演報, 17, 49(1981)
- 51) 東京天文台編 : “理科年表, 昭和58年”, 丸善, 1980, p202
- 52) C. J. Humphrey and P. V. Siggers : Jour. Agri. Res., 47(12), 997(1933)
- 53) O. Wälchli : Holz als Roh-und Werkstoff, 35, 45(1922)
- 54) 水本 晋 : 林学会誌, 38, 437(1956)
- 55) 高分子学会編 : “材料と水分ハンドブック”, 共立出版, 1968, p239
- 56) J. Brown, M. M. Fahim and S. A. Hutchinson : Trans. Br. mycol. Soc., 51( 3 and 4), 507(1968)
- 57) W. P. K. Findlay : Forestry, 23, 112(1950)
- 58) 有馬孝礼 : 第34回木材学会大会要旨, 31(1984)
- 59) W. P. K. Findlay : FPR Records, No.14(Mycology Series No. 1)(1937)
- 60) J. D. Thornton : Mater. und Org., 19(2), 161(1984)
- 61) 土居修一, 齊藤光雄 : 木材学会道支講, 10, 65(1978)
- 62) 土居修一, 西本孝一 : 木材学会誌, 31, 10, 843(1985)
- 63) 土居修一, 西本孝一 : 木材学会誌, 32, 9, 724(1986)
- 64) W. W. Wilcox : Bot. Rev., 36, 1(1976)
- 65) W. Liese : Ann. Rev. Phytopath., 8, 23(1970)
- 66) JIS Z 2119 : 木材の耐朽性試験方法 (1974確認)
- 67) 松岡昭四郎, 庄司要作 : 林試研報, No.123, 137(1960)
- 68) 松岡昭四郎 : 木材工業, 29, 11, 28(1974)
- 69) O. Wälchli : Holz als Roh-und Werkstoff, 31, 96(1973)
- 70) 福田清春 : 第27回生物劣化研究会資料(1977)
- 71) 矢沢亀吉 : 樺太庁中央試験所報告, 第二類(林業), No.14, 37(1943)
- 72) 日本木材保存協会編 : “木材保存学”, 文教出版, 1982, p65
- 73) 深沢和三, 今川一志, 土居修一 : 北大演報, 33, 1, 101(1976)
- 74) 石原光朗, 志水一允 : 林試研報, 330号, 153(1984)
- 75) W. W. Wilcox : U. S. Forest Service Research Paper FPL-70, 45(1968)
- 76) 今川一志, 大谷 諄, 深沢和三, 布村昭夫, 土居修一 : 木材学会道支講, No. 5, 1(1973)
- 77) JIS Z 2113 : 木材の曲げ試験方法 (1977)
- 78) J. Wazny : Holz als Roh-und Werkstoff, 16, 285(1958)



- 79) W. W. Wilcox : Wood & Fiber, 9(4), 252(1978)
- 80) 文献72)の53ページ
- 81) 東大農学部林産化学教室編 : “林産化学実験書”, 産業図書, 1967, p91
- 82) 川上日出国 : 防菌防黴, 10, 465(1982)
- 83) 福田清春, 原口隆英 : 木材工業, 28, 11, 17(1973)
- 84) JIS K 2524 : クレオソート油・加工タール・タールピッチの試験方法(1970)
- 85) 北海道消費者センター : 昭和52年度商品テスト報告書, 142(1978)
- 86) 井上嘉幸 : “木材の劣化と防止法”, 森北出版, 1972, p106
- 87) 井上嘉幸 : “木材保護化学”, 内田老鶴圃新社, 1969, p238
- 88) 駒沢克己, 伊東英武 : 木材学会道支講, No.12, 55(1980)
- 89) 日本木材防腐工業組合格格 : 原子吸光法による CCA 防腐剤及び CCA 処理木材の吸収量の分析方法 (1978)
- 90) 文献86)の98ページ
- 91) JIS A 9108 : 土台用加圧式防腐処理木材 (1972)
- 92) 土居修一, 斉藤光雄, 伊東英武, 布村昭夫 : 木材学会誌, 28, 3, 179(1982)
- 93) S. Doi : The International Research Group on Wood Preservation, Document No. IRG/WP 2222(1984)
- 94) 土居修一, 斉藤光雄 : 北林産試月報, No.369, 15(1982)
- 95) K. St. G. Cartwright and W. P. K. Findlay : “Decay of Timber and its prevention” Chemical publishing Co., 1950, p288
- 96) R. Cockcroft : Jour. Inst. Wood Sci., 6(6), 2(1974)
- 97) M. Gersonde : Holz als Roh-und Werkstoff, 16, 221(1958)
- 98) JIS A 9201 : 木材防腐剤の性能基準 (1974確認)
- 99) M. Gersonde : Holz als Roh-und Werkstoff, 12, 167(1958)
- 100) J. G. Savory and J. K. Carey : Brit. Wood Preserv. Assoc. Proc. Ann. Conv., 3(1976)
- 101) J. G. Savory : 私信 (unpublished PRL report of experiment 726&748) (1980)
- 102) 文献87)の258ページ
- 103) 島園平雄, 田窪健次郎 : 林試研報, No.53, 117(1952)
- 104) 土居修一, 上山伸一, 西本孝一 : 木材研究・資料, No.22, 151(1986)
- 105) 土居修一 : 木材の研究と普及, 320, 6A(1980)
- 106) 土居修一, 西本孝一 : 防菌防黴, 14(2), 65(1986)
- 107) 高橋旨象, 西本孝一 : 木材研究・資料, No.20, 31(1985)
- 108) M. Takahashi and K. Nishimoto : The International Research Group on Wood Preservation, Document No. IRG/WP 2238(1985)
- 109) 日本建築学会北海道支部編 : “寒地建築教材, 概論編”, 彰国社, 1982, p14
- 110) 山田 誠 : 木材保存, No.20, 25(1982)
- 111) 建設省建築研究所 : 昭和57年度総合技術開発プロジェクト報告書, 建築物の耐久性向上技術の開発 (木造建築物), 207(1982)