

林業試験場時報

第35号

昭和63年3月

The Bulletin of Fukuoka-ken Forest
Experiment Station

No. 35

March 1988

福岡県林業試験場

福岡県八女郡黒木町

Fukuoka-ken Forest Experiment Station

Kuroki, Yame, Fukuoka, 834-12 Japan

目 次

マツの材線虫病に関する研究

まえがき

- I. マツノザイセンチュウを接種されたマツの水分動態……………佐々木 重 行…… 1
- II. 福岡県の海岸防風林におけるマツ立ち枯れ被害と
繁殖期および冬期の鳥類群集……………池 田 浩 一…… 17
- III. マツの材線虫病の拡大様相と被害量の推定……………小 河 誠 司…… 24
- IV. マツの材線虫病の生物的・物理的防除……………小 河 誠 司…… 56

マツの材線虫病に関する研究

まえがき

まつくい虫問題が当场で取り扱われるようになったのは、1966年“まつくいむしによるマツ類の枯損防止に関する特別研究”のプロジェクトチームが農林水産省林業試験場に設置され、その2年目の1969年、徳重・清原により被害木から材線虫が発見され、1970年同氏らによって材線虫のマツ類に対する強い病原性が明らかにされて以降のことである。材線虫は、1971年にマツノザイセンチュウと命名され、1972年には、マツノザイセンチュウの媒介者がマツノマダラカミキリであることが明らかにされた。その後、マツノマダラカミキリによって健全なマツに運ばれたマツノザイセンチュウが、どのようにして材内に侵入し、健全なマツを衰弱枯死させるのかというマツの材線虫病発病の仕組みが解明され、それをもとにした材線虫病の総合防除法が検討された。さらに、近年には、マツの材線虫病により急激な姿凋現象を起こすマツ側の生理に目が向けられ、“まつくい虫”の研究は新たな局面を迎えている。

当场における研究はこのような流れに沿って進められ、1973年(研究資料No.2)、1974年(研究資料No.3)、1975年(時報24号)、1978年(研究資料No.4)には、それぞれの成果をとりまとめ報告している。その後も大型プロジェクト研究「松の枯損防止新技術に関する総合研究(1978~1982年度実施)」、林業普及情報システム化事業「松の枯損被害パターンをもとにした新たな防除技術の実用化に関する調査(1983~1986年度実施)」を中心に、マツの材線虫病に関する調査研究を行ない、数多くの調査資料が蓄積した。この資料の一部は、日本林学会大会や同九州支部大会等で報告したが、未公表の資料を整理する必要にせまられていた。前述のように、マツの材線虫病に関する研究が進んでいることを考えると報告の時期を失した感はあるが、2~3の新しい知見も得られたので、福岡県における1978年以降の資料を整理し報告する次第である。

本報告をまとめるに当たり有益な御助言や御指導をいただいた九州大学森本桂博士、同須崎民雄博士、福岡県林業試験場中島康博場長に厚くお礼申し上げます。マツ立枯れの発生環境解析に道を開かれた九州大学竹下敬司博士には、西日本各地のマツの枯損状況を観察する機会を与えていただいた。佐賀大学石橋信義博士には、昆虫寄生性線虫のマツノマダラカミキリ防除への糸口を与えていただいた。青木尊重九州大学名誉教授には、薬剤による材線虫病防除を大径木を使って実施できる環境を作っていただいた。さらに、農林水産省林業試験場九州支場橋本平一保護部長、高木哲夫育林第一研究室長には、実験に際し便宜を計っていただいた。厚くお礼申し上げます。また、調査や実験に協力された蓮尾久光技師、大嶋保補技師、島晃技師はじめ当场の技術員の方々、資料を提供された福岡市森林公社、福岡県水産林務部緑化推進課、試験地を提供された福岡営林署、九州大学早良演習林、供試剤を提供された各社に対し心から感謝の意を表します。とりまとめに当たり、大嶋保補技師による図化や北島豊子、佐藤都、河野由紀子、田中粧子、堤るり、末畚裕子各嬢の精力的な応援を得た。合わせて感謝したい。

最後になったが、福岡県における“まつくい虫”研究を最初に手がけられ、多くの業績を残された萩原幸弘氏(後に大分県へ転出)は、1985年に早世された。その御研究に対し心から敬意を表すとともに、故人の御冥福をお祈り申し上げます。

I. マツノザイセンチュウを接種されたマツの水分動態

佐々木 重 行

Shigeyuki SASAKI

Water status in pine inoculated with pine wilt nematodes

Water status in pine inoculated with pine wood nematodes

Water status in seedlings of Japanese black pine (*Pinus thunbergii* PARL.) and about 9 meters high Japanese red pine (*Pinus densiflora*) which were inoculated with pine wood nematodes (*Bursaphelenchus xylophilus* (STEINER et BUHRER) NICKKE) were studied. Measurements were made on diurnal trend of xylem pressure potential and heat pulse velocity (HPV).

In the seedlings, xylem pressure potential and HPV decreased gradually after inoculation of nematodes. At last xylem pressure potential in the seedlings decreased below -3.0 Mpa. and seedlings wilted. Steady reduction of xylem pressure potential and HPV mean that the resistance to water flow in the seedlings increased. The difference in xylem pressure potential and HPV between inoculated seedlings and control seedlings appeared when density of nematodes was over 100 nematodes/g.

In the adult trees, HPV and xylem pressure potential also decreased.

After precipitation, in the control tree HPV and xylem pressure potential recovered. But in the inoculated tree HPV and xylem pressure potential did not recover except roots and two branches (B-1, B-2). At last HPV could not be measured because its speed was too slow. And xylem pressure potential showed below -4.0 Mpa. Reduction of HPV occurred in all measurement points. Especially in the root, reduction of HPV occurred in early stage and the amount of reduction was large. If HPV indicates the sap flow in xylem, it seemed that resistance to water flow increased in the root at first.

Key words :

はじめに

現在、樹木あるいは森林の水の動きを考える場合、土壌-植物-大気といった系として考えられている。そしてこの場合水の移動は FITTER (1987) によれば、おなじようにその系の個々の場での水の自由エネルギー、すなわち仕事をなす能力の差に基づいて行なわれる。例えば、十分な水分の供給を受けながら蒸散している植物では、土壌から根、そして木部を通じて葉、さらに大気へと進むにつれて徐々に水の自由エネルギーが減少する。その結果、自由エネルギーの勾配に従って土から植物を通じて大気中へという水の流れを生じる。植物生理学では普通、この水の自由エネルギー量を水ポテンシャル(ψ)という形で表している。標準状態(通常の周囲の温度と大気圧)の純水の場合をゼロと仮定したときの単位体積当りの水の自由エネルギー量を水ポテンシャルの概念とされる。単位体積当りのエネルギーは圧力と同じ単位であるので、植物と土壌の水ポテンシャルは圧力の単位すなわちバールもしくはパスカルで表される。なお、1バール(bar) = 0.1メガパスカル(MPa)である。ここで水ポテンシャルは浸透ポテンシャルと圧ポテンシャルの合計されたものとして考えられる。この浸透ポテンシャルは従来の浸透圧、圧ポテンシャルは従来の膨圧に負の符号を付けたものと同じである。実際には浸透ポテンシャルは小さく殆ど0に近いので圧ポテンシャルを水ポテンシャルの代用として用いられることが多い。そしてこの圧ポテンシャルはプレッシャー・チャンバー法(SCHOLANDERら1965)によって測ることができる。

プレッシャー・チャンバー法の原理は森ら(1972)によると次のように説明されている。プレッシャー・チャンバー法は材部中の樹液が受けている張力を測定して、林木の水分状態を推定しようとするものである。林木は葉から蒸散によって絶えず水分を消失している。このため樹液は常に葉から引っ張りの力(負圧)を受けている。幹または枝が切断されると、水の凝集力が断たれるために樹液は張力により先端側(葉の方)に引き込まれる。このことは林木では先端側の切口から樹液が浸出することは殆どないし、水切りを行なうことから推察される。切断された直後の枝葉部に圧力を加えれば樹液は再び切口に浸出して来る。この浸出

が開始された時点の圧力は切断前に樹液が受けていた張力と等しいはずである。この張力は林木の水分状態によって変り、林木が乾燥すれば張力は大きくなり、水分が十分に供給された状態であれば張力は小さくなるので、この張力を測定することによって林木の水分状態を推定することが可能である。このプレッシャー・チャンバーで測定された値が圧ポテンシャルあるいは木部圧ポテンシャルとされている。

一方、樹木の根から葉への水の供給は樹液の流れとして現れる。この樹液の流れを測定する方法として色素や放射性同位元素やヒート・パルスを用いる方法がある。この中で取り扱やすく、樹木にわずかな傷しか残さず、連続測定が可能という点でヒート・パルス法がよく用いられる。このヒート・パルス法はある点に熱を与え、その熱が樹液の流れにのってある一定の距離を伝わる速さ(ヒート・パルスの移動速度)を測る方法で、このヒート・パルスの移動速度(HPV)は樹液の流れる速度と比例関係にあるとされている(森川1972, 1974)。

これまで述べてきたプレッシャー・チャンバー法で樹木の木部圧ポテンシャルを測定し、樹木の水分状態との関係を求めることにより、樹木の耐陰性、耐凍性、耐干性、樹木の移植後の活着、病気の進行といったことの的確な把握が期待される。またヒート・パルスの移動速度を測ることによって林分からの蒸散を推定したり、樹病の進行、特に萎凋病の進行についてその病状をとらえるのに有効な方法であると思われる。そこで今回はマツノザイセンチュウを接種したマツについて、木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度の変化について測定し検討することにした。

マツノザイセンチュウ(以下材線虫)に加害されたマツは萎凋症状を起こして枯死に至る。材線虫の接種によって萎凋症状を起こし、枯死に至る過程の水分状態の変化といった現象面についてはこれまでにいくつか調べられてきた(鈴木1984, 池田1984, 高木1981)。ここで明らかになったことは樹体の水分通導抵抗が増大し、その結果水分の供給が止まり枯死に至るということである。この水分通導抵抗が増大する原因として仮導管の有縁膜孔の閉塞(池田1984)や材線虫の移動路としての樹脂道から仮導管への樹脂の拡散、あるいは材線虫自身が分泌するセルラーゼによる仮導管の閉塞が考えられている(ODANI1985, ——1985b,

YAMAMOTO1986, 森1986)。しかし、最終的に枯死に至るのはこの仮導管の閉塞だけでなく、柔細胞の破壊や形成層の変質枯死による新たな仮導管の形成ができないためと考えられる(SASAKI1984)。このように材線虫によって枯死にいたる経過とその原因については、現在徐々に明かにされつつある。ここでは、苗木と成木を用い、葉の木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度を測定し、材線虫を接種されたマツが水分通導抵抗を増大させながら枯死していく過程を検討した。なお、本報告の一部は日本林学会九州支部大会で発表した(佐々木1981, ——1984)。

1. 材線虫を接種された苗木の水分状態

材料及び方法

素焼の鉢に植えた健全な3年生クロマツを用いた。実験は1980年8月から10月上旬の間に、3本と4本の2回に分けて行なった。測定したもののうち各1本は対照木とした。木部圧ポテンシャルはプレッシャー・チャンパーを用いて当年葉を測定した。蒸散流速計(林電工)によるヒート・パルスの移動速度(以下HPVという)は主幹の地際から約10cmの高さにセンサーをセットして測定した。測定は材線虫接種前と接種後約5日おきにほぼ一昼夜行なった。測定は野外で行ったが、測定しないときは温室に置いた。しかし、9月に入り気温が低下したので気温29~30度、湿度約60パーセントの恒温室に置いた。測定する前に灌水し土壌水分が十分な状態で測定を行なった。材線虫はS-61を用いた。接種は枝の樹皮を剥皮して木部に傷を付け、約1万頭に調整された線虫懸濁液を滴下した。接種後剥皮した樹皮で覆い、ビニールテープで固定した。材線虫の分離は地上部を切り取り、葉を除いて重量を計った後ベールマン法により行った。

結果及び考察

供試した苗木の接種前の木部圧ポテンシャルとHPVの日変化を図-1に示す。これを見ても、対照としたNo.1と接種したNo.2,3ともに、木部圧ポテンシャルは午前中から日中にかけて低下していき、午後最も低くなる。最低の木部圧ポテンシャルは-1.30~-1.04Mpaを示した。夕方から日中にかけて苗木が水ストレスから回復していくにつれて木部圧ポテンシャルは上昇し明け方に最大となる。明け方の木部

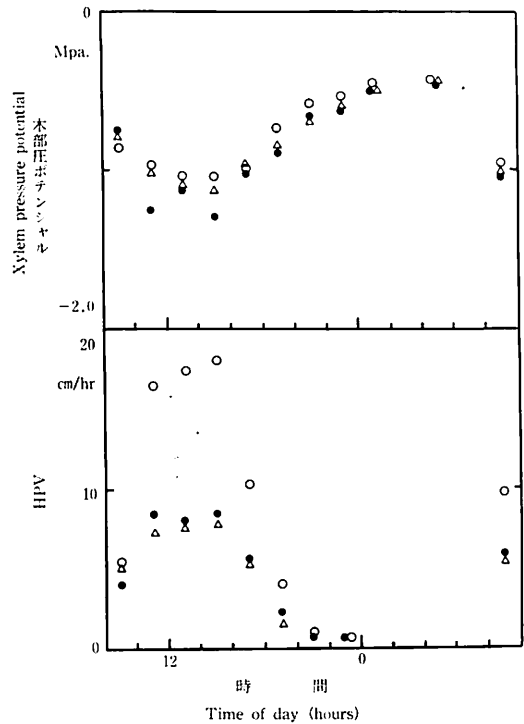


図-1 接種前の木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度(HPV)の日変化
 ● No.1 対照 ○ No.2 接種 △ No.3 接種
 Diurnal trend of xylem pressure potential and heat puls velocity (HPV) before inoculation.
 ● No.1 cont. ○ No.2 inoc. △ No.3 inoc.

圧ポテンシャル(以下BPという)は-0.50~0.45Mpaを示した。HPVは日中は速く、その最高値は18~8 cm/hrで夕方から低下し始め明け方には0となった。そして日の出と共にまた上昇し始めた。測定したときの気象状態は、ほぼ晴れであった。接種後6日目、11日目と測定したが木部圧ポテンシャルは対照木との違いは見られなかった。HPVについても対照木との違いは明確でなかった。接種後16日目に測定した木部圧ポテンシャルを見ても(図-2)、曇であったためか対照木、接種木共に日中も-1.0Mpa以上で推移したが、No.2の苗木で17時に測定した1回だけは-1.4Mpaと低い値を示した。一方、HPVは(図-2)16日目以前はNo.2が対照やNo.3より速い速度を示していたが、16日目になると低下してきて、他の2つの苗木と変わらない速さになってきた。そして17~18日目にかけてNo.

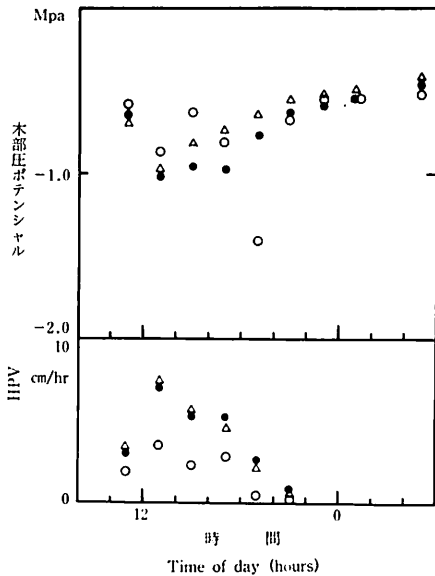


図-2 接種後16日目の木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度 (HPV) の日変化
● No. 1 対照 ○ No. 2 接種 △ No. 3 接種
Diurnal trend of xylem pressure potential and heat puls velocity (HPV) at sixteen days after inoculation.

● No. 1 cont. ○ No. 2 inoc. △ No. 3 inoc.

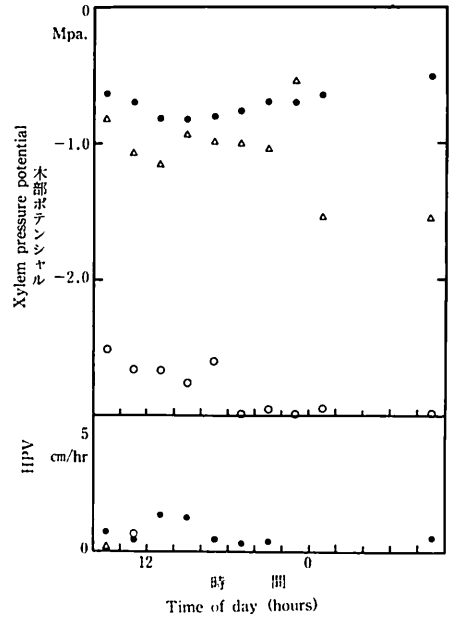


図-4 接種後22日目の木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度 (HPV) の日変化
● No. 1 対照 ○ No. 2 接種 △ No. 3 接種
Diurnal trend of xylem pressure potential and heat puls velocity (HPV) at twenty-two days after inoculation.

● No. 1 cont. ○ No. 2 inoc. △ No. 3 inoc.

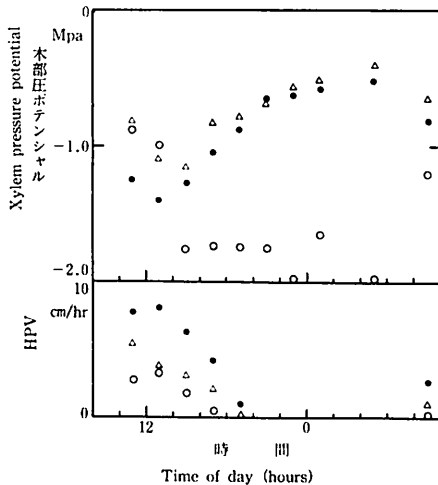


図-3 接種後17日目の木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度 (HPV) の日変化 ● No. 1 対照 ○ No. 2 接種 △ No. 3 接種
Diurnal trend of xylem pressure potential and heat puls velocity (HPV) at seventeen days after inoculation. ● No. 1 cont. ○ No. 2 inoc. △ No. 3 inoc.

2 は日中は他の 2 つの苗木と同じ様に推移したが、日没後も水ストレスから回復せず、測定値はばらついて -2.0Mpa 付近を示した (図-3)。そして22日目 (図-4) になると、この日は曇りがちであったにもかかわらず、No. 2 は木部圧ポテンシャルが -3.0Mpa 付近に下がったままとなった。また No. 3 も対照である No. 1 より低い値を示し、測定値もばらつき、夜にはいつでも木部圧ポテンシャルは回復せず、-1.0~-1.5Mpa 付近で推移した。HPV は17~18日目には対照とした No. 1 より No. 2, 3 は遅かった (図-3)。22日目になると、この日はさきに述べたように、曇りであったためか No. 1 の HPV も遅かったが No. 2, 3 はほとんど 0 に近かった (図-4)。

9月には行って行った第2回目の接種前の木部圧ポテンシャルと HPV は、第1回目の接種前の日変化と同様なうごきを示し、またその値もほぼ同じであった。接種後6日目に測定した木部圧ポテンシャルと HPV の日変化を図-5に示すが、材線虫を接種した No. 5, 6 は

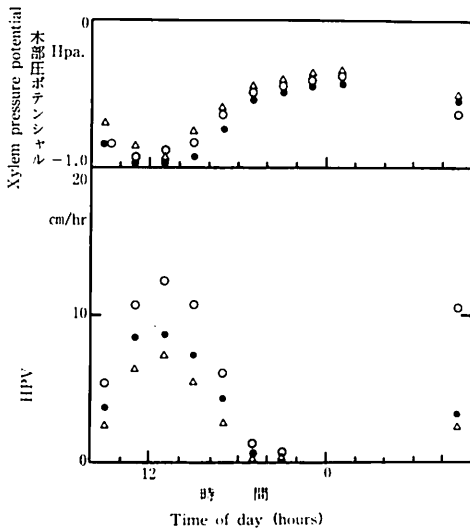


図-5 2回目の接種後6日目の木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度 (HPV) の日変化

● No. 4 対照 ○ No. 5 接種 △ No. 6 接種
 Diurnal trend of xylem pressure potential and heat puls velocity (HPV) at six days after inoculation of secondary experiment.
 ● No. 4 cont. ○ No. 5 inoc. △ No. 6 inoc.

接種前と変わり無く、また対照とした No. 4 とも違いは見られなかった。そして No. 6 はここで測定を打ち切つて材線虫を計測した。そして新たに No. 7 を設け蒸散流速計をセットし材線虫を接種した。No. 4, 5 の16日目, No. 7 の8日目に当る日に測定した木部圧ポテンシャルと HPV を図-6 に示す。No. 4 の木部圧ポテンシャルは-1.86Mpa 以下で、HPV も最高で2.25cm/hr でありその速度も遅くなっていた。No. 7 は木部圧ポテンシャル、HPV ともに接種前と変わりは見られなかった。

一般的に、水の流れる量は2点間の圧力の勾配(差)に比例し、その間の抵抗に反比例する。そこで2点間を流れる水の量Vは

$$V = P / R \quad (1)$$

ただし P: 2点間の圧力差 R: 2点間の抵抗
 このことは樹対内の水の移動にもあてはめられ、樹対内での水の移動は水ポテンシャルの勾配に沿って行なわれ、その間の抵抗に反比例する。このことから、木部圧ポテンシャル (P) と、HPV から土壌と樹体の水分通導抵抗 (Rs-l) を求めた (池田1984)。

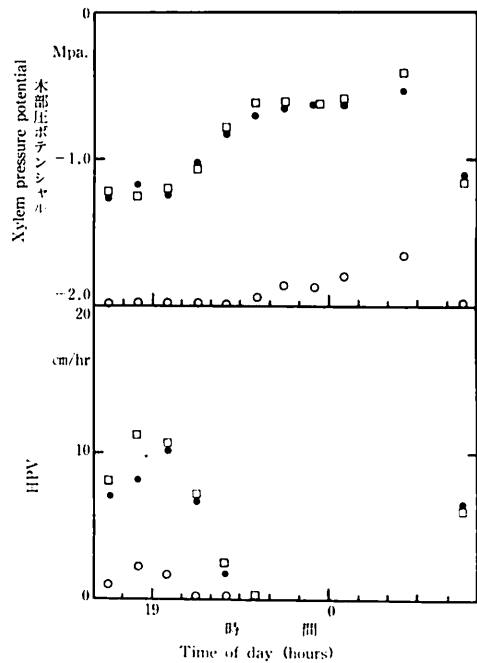


図-6 接種後16日 (○, ●) 及び8日目 (□) の木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度 (HPV) の日変化

● No. 4 対照 ○ No. 5 接種 △ No. 6 接種
 Diurnal trend of xylem pressure potential and heat puls velocity (HPV) at sixteen days (○, ●) and eight days (□) after inoculation of secondary experiment.
 ● No. 4 cont. ○ No. 5 inoc. △ No. 6 inoc.

$$HPV = (BP - P) / Rs-l \quad (2)$$

この(2)式を変形し

$$P = BP - Rs-l \times HPV \quad (3)$$

ただし

- P: 木部圧ポテンシャル
- BP: 夜明け前の木部圧ポテンシャル
- Rs-l: 土壌と樹体をあわせた水分通導抵抗
- HPV: ヒート・パルスの移動速度

として計算した Rs-l の値を表-1 に、P と HPV の関係を図-7 に示す。No. 2, 3 は最終測定日の22日日には HPV は測定不能なほどに遅くなった為に、Rs-l が計算できなかった。17日目までは Rs-l は0.0255~0.0883で対照とした No. 1 と違いは見られなかった。第2回目に行なった No. 5 は16日目に HPV が上昇せず Rs-l が計算できなかったが、第1回目の No. 2, 3 ほどではなか

表-1 ヒート・パルスの移動速度 (HPV) と木部圧ポテンシャル (P) の関係
Table-1 Relationships between heat puls velocity (HPV) and xylem pressure potential

	接種前 Before inoculation	接種後日数 (日) Day after inoculation (days)					
		5	6	11	16	17	22
BP	-0.6093	-0.6767	-0.5933	-0.2690	-0.5100	-0.6459	-0.6542
No. 1 Rs-l	0.0711	0.0648	0.0594	0.0524	0.0781	0.0879	0.0096
r	0.9513	0.9088	0.9522	0.4465	0.9474	0.9536	0.3222
BP	-0.9166	-0.5531	-0.5353	-0.4846	-0.5453	-0.8495	-
No. 2 Rs-l	0.0255	0.0237	0.0247	0.0163	0.0729	0.0218	-
r	0.9104	0.9262	0.9125	0.4260	0.8003	0.1590	-
BP	-0.5493	-0.5376	-0.6317	-0.4948	-0.5243	-0.5998	-
No. 3 Rs-l	0.0732	0.0666	0.0743	0.0696	0.0556	0.0883	-
r	0.9360	0.9436	0.9217	0.7289	0.9746	0.6924	-
BP	-0.3802	-0.3953		-0.4822	-		
No. 4 Rs-l	0.0495	0.0530		0.0529	-		
r	0.9806	0.9492		0.9095	-		
BP	-0.3618	-0.4065					
No. 5 Rs-l	0.0841	0.0707					
r	0.9699	0.9551					
BP	-0.4701	-0.4589	-0.6792	-0.4319	-0.5522		
No. 6 bRs-l	0.0496	0.6112	0.0596	0.0671	0.0885		
r	0.9053	0.9475	0.9496	0.9505	0.9842		
BP	-0.5204		-0.5644				
No. 7 Rs-l	0.0808		0.0695				
r	0.9119		0.9471				

$$P = BP - Rs-l \times HPV$$

った。6日目と8日目まで測定したNo. 6, 7は接種前と違いは見られなかった。

それぞれの最終測定日に分離した材線虫の頭数を表-2に示す。この材線虫密度と材線虫を分離する直前の苗木の病状および水分状態についてみると、材線虫密度が1246.2頭/生重gと最も高かったNo. 2は、ほとんど枯れた状態を示していて木部圧ポテンシャルも-2.5Mpa以下であった。続いて373.1頭/生重gと2番目に密度の高かったNo. 3では接種枝が枯れ主

軸の当年葉は黄変していた。木部圧ポテンシャルは低く、測定値もばらつき、健全な苗木の日変化とは異なっていたうごきを示していた。また HPV もほとんど0に近い状態であった。195.1頭/生重gの密度であったNo. 5の接種枝は黄変し、当年葉は水平となり萎凋症状を示し始めていた。このときの木部圧ポテンシャルは日中には-2 Mpa以下で強い水ストレス下にあることを示していたが、夜間は対照よりも低いものの、一応は水ストレスから回復する傾向を見せていた。また HPV も

若干ではあるが測定できた。No. 6, 7については外見上異常は見られず、また木部圧ポテンシャル、HPVも接種前と変わり無く、計算したRs-1も増大したとは見えなかった。この2本については材線虫は密度も低く、その分布も接種枝のみに限られていた。このように、材線虫密度が数百頭/生重g以上になって木部圧ポテンシャルやHPVに変化が見られた。これは鈴木ら(1981, 1984)の報告でも同じ様な結果であったが、測定は土壌水分が十分な状態で行なったためか、対照としたNo. 1の木部圧ポテンシャルの変化をみてみると

大きな水ストレスを受けたとは思われなかった。この試験からは、鈴木(1984)がいうような水ストレスを受けた後に病状が進行するといった経過は見られなかった。この試験から見る限りは、接種した苗木は徐々に樹体内部の水の通動に対する抵抗が増大していき、水分の供給が低下し、それがHPVの減少として現れ、その結果木部圧ポテンシャルが低下していくという現象が見られ枯死に至るものと思われる。

2. 材線虫を接種された成木の水分状態

材料及び方法

九州大学早良演習林内にあるアカマツ3本をそれぞれをA, B, Cとして実験に供した。供試木の概要は表-3のとうりであった。蒸散流速計(林電工)のセンサーをAについては、3.6m, 2.5mの高さにある枝の基部と、主幹の高さ1.2m付近と、側根2ヶ所の計5ヶ所に、Bについては7.6m, 6.6m, 5.4mの高さにある枝の基部と、主幹の高さ1.2m付近と側根2ヶ所の計6ヶ所に、Cについては主幹の高さ1.2m付近のみにセットした。葉の木部圧ポテンシャルはA, Bについて

表-3 供試木の概要

Table-3 Diameter at breast height and height of experimented tree

供試木 trees	A	B	C
樹高(m) hight	6.4	9.4	9.4
胸高直径(cm) diameter at breast hight	16.8	23.2	25.2

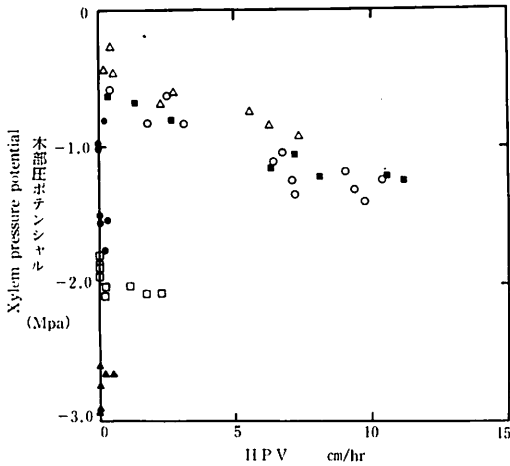


図-7 最終測定日の木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度(HPV)の関係
 対照 ○ No.4 接種 △ No.2 ● No.3
 □ No.5 △ No.6 ▲ No.7
 Relationships between the xylem pressure potential and heat puls velocity (HPV) at last measurement.
 cont. ○ No.4 inoc. △ No.2 ● No.3
 □ No.5 △ No.6 ▲ No.7

表-2 苗木の地上部の重さと材線虫数

Table-2 Seedling weight and number of nematodes

No.	苗木の地上部重(g) fresh weight of seedling (g)	材線虫数(頭) number of nematodes (nematodes)	材線虫密度(頭/g) density of nematodes (nematodes/g)
1	22.1	27,542	1,246.2
2	30.3	11,304	373.1
4	26.1	4,999	191.5
5	30.9	47	1.5
7	29.5	122	4.1

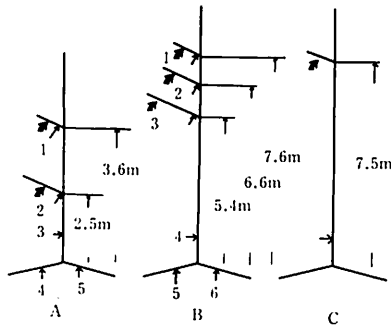


図-8 測定位置と測定番号
 Measurement position and Number.
 →蒸散流速計のセンサー sensor of sap flow meter
 →木部圧ポテンシャル測定葉採葉位置 xylem pressure potential measured

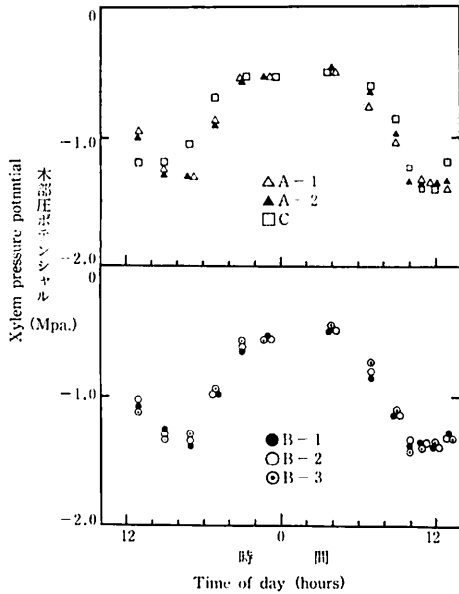


図-9 接種前の木部圧ポテンシャルの日変化
 Diurnal trend of xylem pressure potential before inoculation.

は蒸散流速計のセンサーをセットした枝にある葉を、Cについては高さ7.5mのところにある枝についている葉を取り、直ちにプレッシャー・チャンバー測定した。測定位置、測定番号は図-8に示す。測定は1983年7月18日から同年8月19日までの間に2~4日毎に一昼夜行い、全部で9回測定を行った。蒸散流速計によるヒートパルスの移動速度(以下 HPV)と葉の木部圧ポ

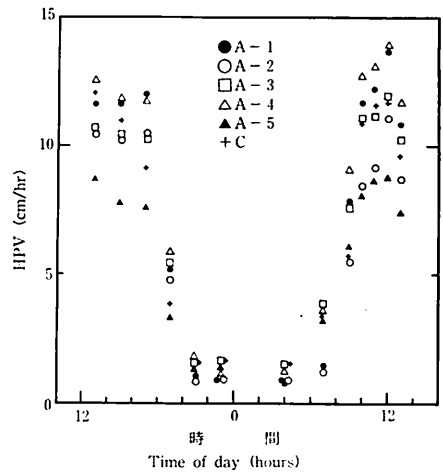


図-10 接種前のAとCのヒート・パルスの移動速度(HPV)の日変化
 Diurnal trend of heat puls velocity (HPV) in tree A and C before inoculation.

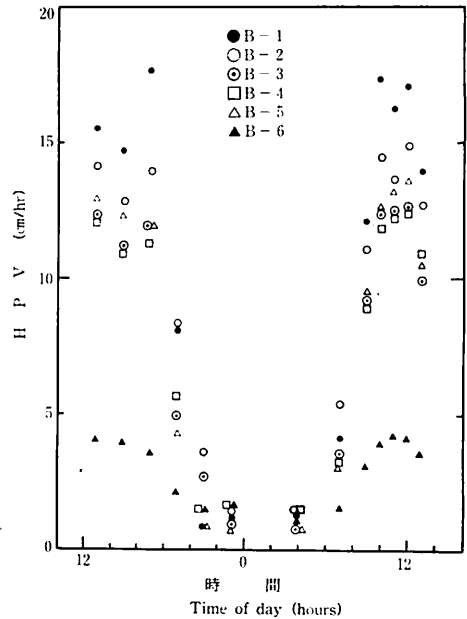


図-11 接種前のBのヒート・パルスの移動速度(HPV)の日変化
 Diurnal trend of heat puls velocity (HPV) in tree B before inoculation.

テンシャルの測定は、ほぼ同時に行うようにした。材線虫の接種は第一回目の測定を行った後の7月19日に行った。用いた材線虫の系統はS-61である。接種は、

表-5 各測定点の夜明け前の水ポテンシャル (Mpa) の変化
Table-5 Xylem pressure potential Mpa before sunrise

	接 種 前 before inoculation	接 種 後 日 数 (日) Days after inoculation (days)							
		3	6	9	13	17	20	25	30
A-1	-0.49	-0.62	-0.66	-0.72	-1.00	-1.18	-1.00	-1.39	-1.80
A-2	-0.49	-0.57	-0.66	-0.73	-1.00	-1.16	-0.99	-1.24	-1.39
B-1	-0.49	-0.64	-0.69	-0.92	-1.13	-1.43	-0.87	-2.02	-2.42
B-2	-0.49	-0.65	-0.66	-0.91	-1.12	-1.31	-0.86	-0.93	-1.80
B-3	-0.48	-0.60	-0.65	-0.77	-1.08	-1.31	-0.86	-0.93	-0.80
C	-0.50	-0.56	-0.62	-0.68	-0.95	-1.14	-0.66	-0.87	-0.94

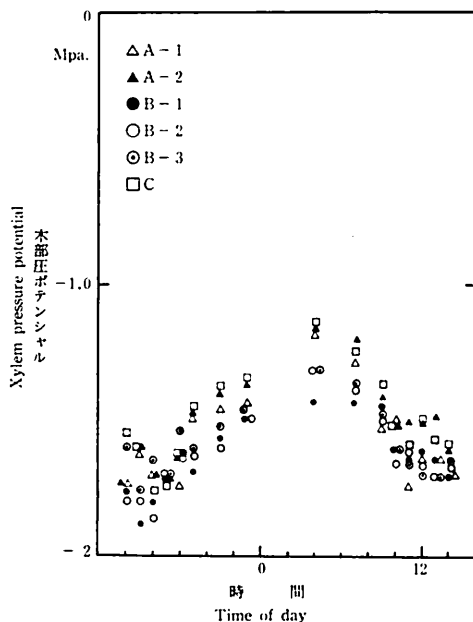


図-13 接種後17日目の木部圧ポテンシャルの日変化
Diurnal trend of xylem pressure potential at seventeen days after inoculation.

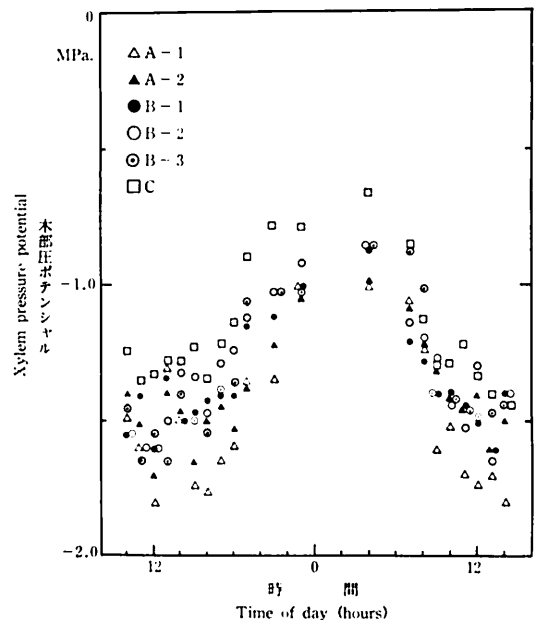


図-14 接種後20日目の木部圧ポテンシャルの日変化
Diurnal trend of xylem pressure potential at twenty days after inoculation.

日中の最も低下したときの値は、A-1, 2は-1.74 Mpa, B-1は-1.88Mpa, B-2は-1.86Mpa, B-3は-1.70Mpa, Cでは-1.76Mpaであった。各測定木共に接種前に比べて、0.2~0.5Mpaほど低い値で日変化をしていた。これは、降水がなく土壌が乾燥し土壌水分が少なくなったので、葉の木部圧ポテンシャルを低くして吸水力を高め、水分の供給を維持しようとする樹体の反応と考えられる。またCに比べて接種木A, Bは若干低い値で推移していた。この時点での針

葉はBの1, 2の枝についている針葉が若干黄変している程度であった。接種後19日目に35mmの降水(表-4)があった。この降水の後の接種後20日目の木部圧ポテンシャルの日変化を図-14に示す。対照木であるCは降雨前よりも日中0.2~0.3Mpa高い値で推移し、夜間の回復期にはいつても0.5Mpaほど高くなり、BPは-0.66Mpaであった。一方、A-1は日中-1.8~-1.3Mpaで、夜間にはいつても-1.0Mpa以上にはならなかった。A-2についてもCに比べて0.2~0.1

Mpa 程度低い値で推移した。B-1, 2 についても日中は-1.5~-2.2Mpa で変化し、夜になっても-1.5 Mpa 以上には回復しなかった。B-3 は 1, 2 に比べて高い木部圧ポテンシャルで推移した。最終測定日である接種後30日目のAの1, 2の木部圧ポテンシャルは-1.8~-1.9Mpa 付近で日変化し、夜にはいってもあまり高くならなかった。B-1, 2 については2の明け方に測定したもの以外は-2.0Mpa 以下であった。B-3 についてはB-1, 2 より高い値で変化したがCに比べるとやはり低かった。

蒸散流速計による HPV は日中早く、夕方から日没にかけて低下して行き夜間のスピードは遅いかほとんど見られない。そして朝から日中にかけて上昇していく

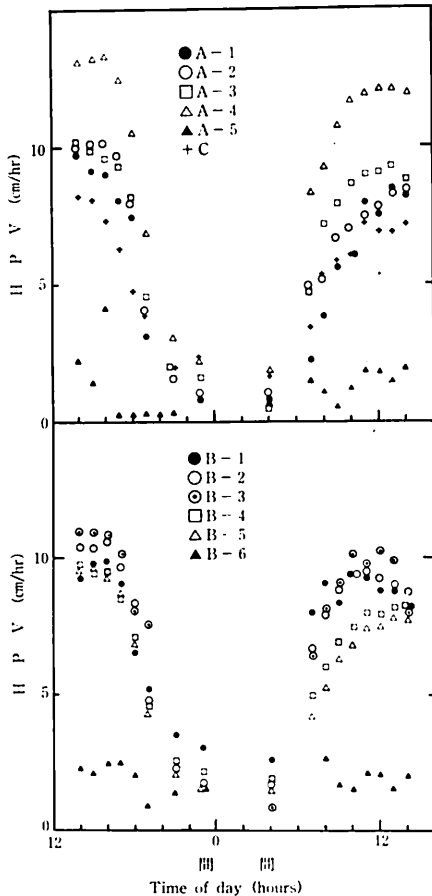


図-15 接種後9日目のヒート・パルスの移動速度の日変化
Diurnal trend of heat puls velocity at nine days after inoculation.

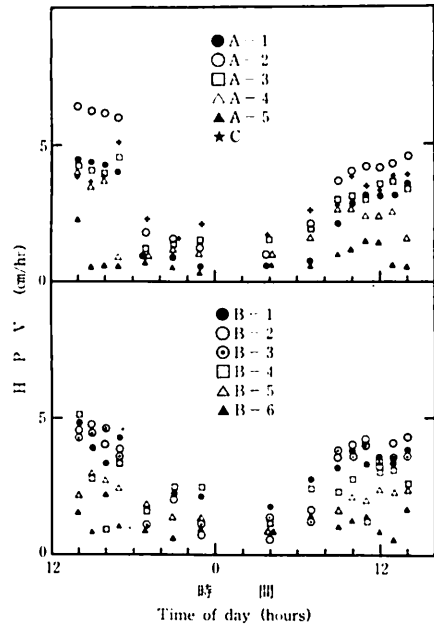


図-16 接種後17日目のヒート・パルスの移動速度 (HPV) の日変化
Diurnal trend of heat puls velocity (HPV) at seventeen days after inoculation.

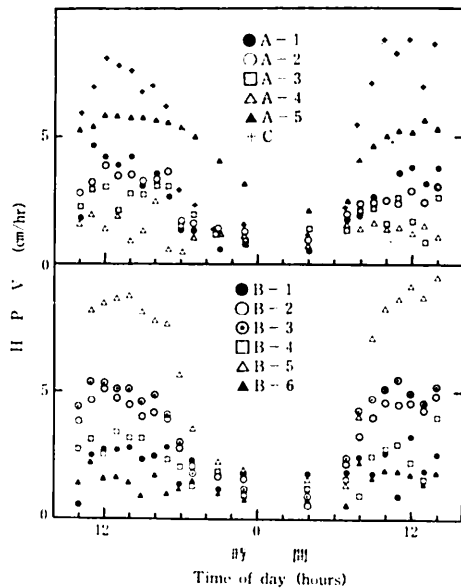


図-17 接種後20日目のヒート・パルスの移動速度 (HPV) の日変化
Diurnal trend of heat puls velocity (HPV) at twenty days after inoculation.

パターンをとる。接種前の HPV を見てみると、A では A-4, A-2, A-3, A-1, A-5 の順で速かった。日中の HPV は 8~15cm/hr であった。B では、B-2, B-1, B-5 の順で速く、B-3 と B-4 はほぼ同じであった。B-6 は一番遅く 4 cm/hr 以下であった。その後 HPV は対照木を含む各測定点とも日中のスピードは徐々に低下していった。接種後 9 日目の日変化を図-15に示す。この時点で、他の測定点では接種前と変りないような値と日変化のパターンを示していたが、接種木それぞれ 1本の根(A-5, B-6)で値が小さくなったり、正常な日変化が見られないようになってきた。接種後17日目の HPV の日変化を

見てみると(図-16)、他の部位では日中速く、夜間に遅いといったパターンがまだ見られたが、A, B それぞれ 1本ずつの根においては、日中速く夜間に遅いといった日変化のパターンが見られず測定値がばらついた。接種後19日目に35mmの降水があり土壤の乾燥はかなり緩和されたと思われる。この降雨の次の日にあたる接種後20日目の HPV 日変化を見てみると(図-17)、A では最初に大幅に低下した根が大幅な回復を示した他は相変わらず低下していく傾向を示していた。B では根はいずれも回復する傾向を示し、また幹においても回復していたが、枝で測定したものはあまり回復する傾向を示していなかった。接種後25日目にはい

表-6 木部圧ポテンシャル(P)とHPVの関係
Table-6 Relationships between heat puls velocity (HPV) and xylem pressure potential (P)

		接 種 前 Before inoculation	接 種 後 日 数 (日) Days after inoculation							
			3	6	9	13	17	20	25	30
A 1	BP	-0.5094	-0.5320	-0.7205	-0.8662	-1.0809	-1.3266	-1.1192	-1.4826	-1.7812
	Rs-l	0.0791	0.0754	0.0580	0.0738	0.0799	0.0915	0.1425	0.3002	0.1509
	r	0.9304	0.9089	0.9076	0.8786	0.8295	0.8546	0.7019	0.1581	0.3823
A 2	BP	-0.5239	-0.4727	-0.6785	-0.8115	-1.0599	-1.1916	-0.9872	-1.4145	-1.6136
	Rs-l	0.0649	0.0636	0.0528	0.0747	0.0516	0.0779	0.1586	0.1461	0.3785
	r	0.9268	0.9246	0.8478	0.9211	0.5193	0.8778	0.7171	0.3264	0.4556
B 1	BP	-0.4588	-0.4748	-0.6444	-0.8247	-1.2121	-1.4121	-1.2338	-2.3667	-3.9079
	Rs-l	0.0611	0.0540	0.0513	0.0709	0.0542	0.0693	0.0545	0.5507	0.0522
	r	0.9688	0.8172	0.8026	0.8695	0.5338	0.5170	0.2104	0.3182	0.5323
B 2	BP	-0.5366	-0.4679	-0.6092	-0.8256	-1.2221	-1.3091	-0.7506	-1.7419	-3.8646
	Rs-l	0.0474	0.0476	0.0535	0.0696	0.0569	0.0751	0.1612	0.0445	0.0109
	r	0.9622	0.8527	0.9294	0.9165	0.7187	0.7422	0.9074	0.0731	0.0140
B 3	BP	-0.4770	-0.4464	-0.5968	-0.7978	-1.2631	-1.4023	-0.7942	-1.1267	-1.6741
	Rs-l	0.0701	0.0590	0.060	0.0712	0.0527	0.0558	0.1366	0.2155	0.1382
	r	0.9611	0.9238	0.9707	0.9410	0.4796	0.6390	0.8665	0.5795	0.1093
C	BP	-0.4226	-0.4028	-0.5644	-0.7439	-1.0489	-1.0347	-0.7103	-0.8077	-0.7497
	Rs-l	0.0751	0.0741	0.0754	1.047	0.1201	0.1430	0.0790	0.1119	0.2294
	r	0.9848	0.9662	0.8984	0.8589	0.7931	0.8497	0.9269	0.9229	0.8216

$$P = BP - Rs-l \times HPV$$

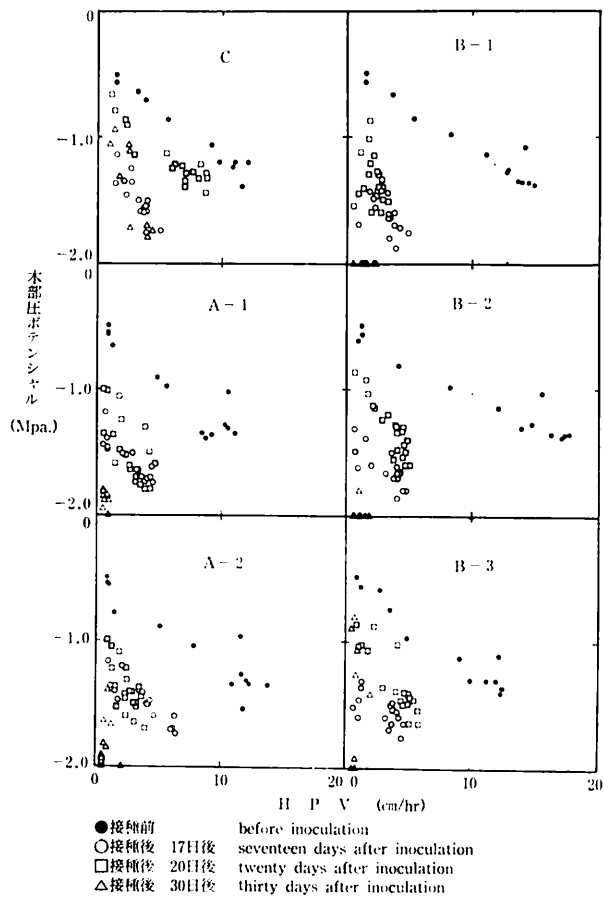


図-18 接種前、接種後、17日、20日、30日後の HPV と木部圧ポテンシャルの関係
 Relationships between heat puls velocity (HPV) and xylem pressure potential before inoculation and seventeen, twenty, thirty days after inoculation.

ずれの測定点でも低下していった。最終測定日に当たる30日目には全ての測定点でばらつきがみられ、またその測定値も測定不可能なくらいに小さかった。

ここで樹体の水の通導に対する抵抗の高まりを見るために、HPV と木部圧ポテンシャルの関係を1. で求めた式(3) (IKEDA1984)により計算した。結果を表-6に示す。また接種前、接種後17、20、30日後の木部圧ポテンシャルと HPV の関係を図-18に示す。Rs-1は接種前はどれも0.06~0.08の範囲にあった。これは前章の苗木でおこなった例でも似た様な値であったし、また IKEDA (1984) らの値もほぼ同じであった。そして Rs-1は接種後17日目まで増大していった。BPが土壌の水分状態を指標するものとする(玉泉1983)、この時点での Rs-1の増大は対照木の BPも低下していく

こと(表-5)からみて、必ずしも樹体だけの水分通導抵抗が増大したためだけではなく、土壌水分が少なくなったために土壌の通導抵抗も大きくなり、この二つを複合した抵抗の増大と考えられる。18日目に降水があった後、対照としたCのBPはかなり回復した。この時に対照木であるCのRs-1は接種前の値近く回復していたが、接種したA、Bでは共にRs-1は高くなっていた。またBPは接種したものではCに比べて低下していた。このことから考えて、土壌から樹体の葉までの抵抗Rs-1のうちこの20日目の測定した時点では接種木では樹体内の水分通導抵抗が増大したものと思われた。そしてその後、25日目、30日目の測定でもこのことは同様であった。また図-18を見てみると接種後17日目に降雨があった後の接種後20日目の HPV と木部

表-7 日積算 HPV (cm/日)
Table-7 Integrated HPV for a day (cm/day)

測定部位 Measured point	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	C
接種前 before inoculation	116.04	138.04	138.78	127.93	86.30	181.99	195.20	125.74	147.26	132.52	32.52	132.89
3	125.22	152.46	148.58	180.74	98.90	200.73	228.07	180.35	174.66	197.47	61.78	147.85
6	109.41	125.72	137.99	174.53	49.30	186.30	197.81	157.64	152.19	178.99	47.58	141.31
9	98.58	114.43	127.24	174.95	24.53	143.10	137.85	143.70	123.16	114.18	40.01	104.48
13	69.87	89.09	92.60	110.97	27.90	93.62	74.47	54.94	62.06	43.14	43.92	54.93
17	45.49	70.87	58.95	41.48	17.23	65.04	53.83	53.37	49.44	40.48	24.83	66.66
20	45.83	50.55	45.64	29.16	102.33	46.75	64.68	67.17	45.71	106.50	28.76	92.89
25	21.20	29.84	35.30	31.11	50.54	28.60	32.84	28.64	33.74	41.83	21.76	78.41
30	9.20	12.74	21.52	8.58	9.40	9.24	12.80	9.18	11.79	12.12	13.20	56.75

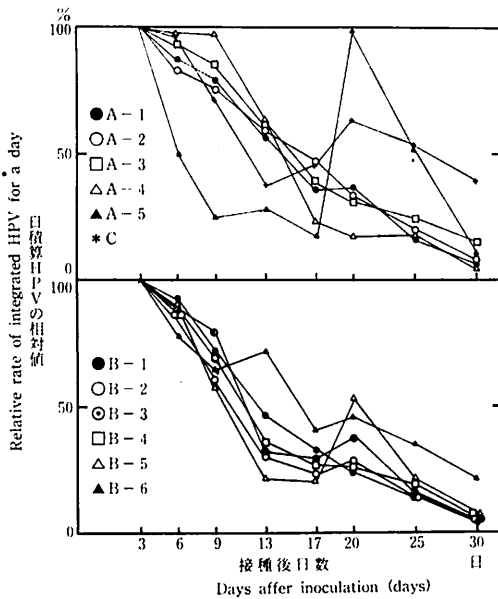


図-19 日積算 HPV の変化(接種後3日目を100とした場合)

Change of integrated HPV for a day (Base on integrated HPV for a day at three days after inoculation)

圧ポテンシャルの関係を見てみると、A、Bともに接種点に近い1の枝は回復していない。そしてBでは2、3の順で回復の程度が小さいように思われた。

蒸散流速計をセットしたどの部分から HPV が低下していくのを見るために、測定した HPV に次の測定までの時間を掛けて日積算 HPV (矢幡1981) を求めた(表-7)。これから一番日積算 HPV が大きかった接種後2日目の日積算 HPV を100としたときの各測定日毎の割合を図-19に示す。Aでは根の内の1本が急激に低下していった。そのほかの部分は徐々に低下していった。この傾向は対照であるCでも同じであった。これは18日目まで続いた。その後19日目に降雨があり、対照木は60パーセント以上までに回復していた。Aでは最初大幅に低下していた根が100パーセント以上に回復したほかは低下を続けていた。Bでも一番に低下していた根が50パーセント以上に回復していたほかもう1本の根、B-3、B-2の枝で回復する様子を見せていた。しかし幹と枝-1は回復しなかった。その後最終的にCを除いて全て低下していった。図-18の枝での HPV と木部圧ポテンシャルの関係を見ると、枝では接種点に近いほど水分通導抵抗は高いように思われたがこれは接種後20日目であり、この日積算 HPV の変化と接種後9日目の HPV の動き(図-15)とから見る限りにおいては、水分通導抵抗は根がまづ増大して行くように思える。ODANIら(1985・1985b)や森ら(1986)やYAMAMOTOら(1986)が言うように材線虫によって分泌されるセルラーゼが木部の仮導管を閉塞させる物質であるとするならば、それ自体生体内

移動が少ない性質をもつものであるので材線虫の移動、増殖と共に水分通導抵抗の増大は進むものと思われる。根で水分通導抵抗が増大するとするならば、材線虫が多数根の部分に存在しなければならない。今回は根の部分での水分通導抵抗が高まったと思われる時点で材線虫の存在を確認していない。しかし、橋本（1981）によると材線虫を接種されたマツではまず根の組織的異常が解剖学的に観察されるというし、IKEDAら（1984）は水分通導抵抗の増大をもたらす、有縁壁孔の閉塞は材線虫に直接侵された部分を越えて起こっていたという。また病状が進み通常の水の通導が阻害された後、樹脂道やその他の異常な部分での水の通導が認められるという（SASAKI1984）。AやBの根が一旦低下した後大幅な回復を示したことはこのような異常な部分での水の通導が始まったためとも考えられる。これらのことから、今回の実験からは、まづ根の部分での水分通導抵抗の増大という現象が現れ、その後針葉に萎凋症状が現れ枯死していくのではないかと考えられた。しかし、今回の実験からだけではまだ結論付けることはできない。そしてこのように、木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度を測定することによって、萎凋症状を伴う樹病の進行をある程度とらえることができるのではないかと考えられた。

摘 要

1. マツノザイセンチュウを接種した苗木と成木で木部圧ポテンシャルとヒート・パルスの移動速度（HPV）を測定し、材線虫に侵されたマツの水分状態の変化を調べた。
2. 苗木で行なった試験では HPV が低下していき、その結果葉の木部圧ポテンシャルが低下していくという現象が見られた。これは樹体内の水分通導抵抗が増大したためと思われた。
3. 苗木の中の材線虫密度が100頭/g以上になって、HPV や木部圧ポテンシャルに異常が見られた。
4. 成木では接種後、対照木も含めて HPV、木部圧ポテンシャル共に低下していった。降雨があった後、対照木は HPV、木部圧ポテンシャル共に回復したが、接種木では根と、枝の一部では HPV は一旦回復する様子が見られたものの、その後再び低下して行った。最終的に、HPV は殆ど 0 になり、木部圧ポテンシャルも測定不可能な -4.0Mpa 以下になった。

5. HPV の低下は全体的に起こったが、根で測定した HPV は早くから低下し始め、その程度も大きかった。HPV が樹液の流れと比例関係にあるものとする、まず、根での水分通導抵抗が増大するのではないかと考えられた。

引用文献

- FITTER, A. H. and HAY, R. K. M.: 大田安定・森下豊昭・橋 泰憲・岩橋 誠共訳：植物の環境と生理, pp.381, 学会出版センター, 1987.
- 玉泉幸一郎・須崎民雄：土壌水分環境が植物の群落に及ぼす影響について(VII) - 斜面位置による水分状態の比較 - , 日林九支研論集, 36: 81-82, 1983.
- 橋本平一：マツの材線虫病に罹病したクロマツ苗の生理反応の変化 - 特に根系の機能について - , 日林九支研論集, 34: 187-188, 1981.
- IKEDA, T. and SUZAKI, T.: Influence of pine-wood nematodes on hydraulic conductivity and water status in *Pinus thunbergii*, J. Jpn. For. Soc. 66: 412-420, 1984.
- 森川 靖：樹液流速測定装置と測定法, 日林誌, 54: 166-171, 1972.
- ：ヒノキの樹液の流れ - 林木の水分収支と関連して - , 東大演報, 66: 251-297, 1974.
- ・佐藤 明：幹の樹液流速と樹幹部の木部圧ポテンシャル, 日林誌, 58 (1): 11-14, 1976.
- 森 徳典・坂上幸雄：Pressure chamber による林木の水分状態の推定, 日林誌, 54: 388-391, 1972.
- ・井上敏雄：マツノザイセンチュウによるマツ樹幹のエチレン生成とその誘導因子としてのセルラーゼ, 日林誌, 68: 43-50, 1986.
- ODANI, K., SASAKI, S., NISHIYAMA, Y. and YAMAMOTO, N.: Early symptom development of the pine wilt disease by hydrolytic enzymes produced by the pine wood nematodes. J. Jpn. For. Soc. 67: 366-372, 1985.
- ・———・YAMAMOTO, N., NI-

- SHIYAMA, Y. and TAMURA, H. : Differences and multiplication of two associated nematodes, *Bursaphelenchus xylophilus* and *Bursaphelenchus mucronatus* in pine seedlings in relation to pine wilt disease development. J. Jpn. For. Soc. 67 : 398-403, 1985b.
- SCHOOLANDER, P. F., HAMMEL, H. T., BRADSTREET, E. D. and HEMMINGSEN, E. A. : Sap pressure in vascular plants. Science. 148 : 339-346, 1965.
- 佐々木重行 : マツ苗における材線虫の密度と水分状態. 日林九支研論集. 34 : 179-180, 1981.
- ・小河誠司・宮原文彦・橋本平一 : ザイセンチュウ接種アカマツの水分動態の変化. 日林九支研論集. 37, 1984.
- SASAKI, S., ODANI, K., NISHIYAMA, Y. and HAYASHI, Y. : Development and recovery of pine wilt disease studies by tracing ascending sap flow marked with water soluble stains. J. Jpn. For. Soc. 66 (4) : 141-148, 1984.
- 佐藤 明・森川 靖 : 二つの斜面に生育するスギ林分における木部圧ポテンシャルの日変化. 日林誌. 59 (9) : 321-327, 1976.
- 鈴木和夫・清原友也 : クロマツの水分状態と材線虫病発現の機作. 日林九支研論集. 29 : 221-222, 1976.
- 鈴木和夫 : マツの材線虫病の発現機作. 森林防疫. 28 : 90-94, 1979.
- : マツの水分生理状態と材線虫病の進展. 林試研報. 325 : 97-124, 1984.
- : マツの材線虫病の発現機作. 森林防疫. 28 : 90-94, 1979.
- 高木哲夫・大山浪雄 : マツノザイセンチュウ接種木の蒸散流速の変化について. 日林九支研論集. 34 : 117-118, 1981.
- 矢幡 久・須崎民雄 : 海岸クロマツ林の蒸発散 (III) - 日積算ヒート・パルス速度と各気象要員との関係 -. 第92回日林論, 1981.
- YAMAMOTO, N., ODANI, K., SASAKI, S. and NISHIYAMA, Y. : Cellulase exudation by the pine wood nematode-Detection of activity in its crawling track. J. Jpn. For. Soc. 68 : 237-240, 1986.

II. 福岡県の海岸防風林におけるマツ立ち枯れ被害と 繁殖期および冬期の鳥類群集

池田 浩一

Koichi IKEDA

Breeding and Winter Bird Communities in a Damaged and a Non-Damaged Seashore Wind Breakage by Pine Wilt Disease in the Northern Coast of Fukuoka Prefecture

SUMMARY

Bird communities were studied in relation to damaged and non-damaged seashore wind breakage by pine wilt disease, situated the northern coast of Fukuoka prefecture, from January to February and in May 1982. Trees infected by pine wilt disease were treated sanitation felling. Therefore, the damage study area (9.0 ha) consists of a sparse tree about 12 m height and a dense young plantation about 3-5 m height of *Pinus Thunbergii* with cultivated fields in patches. The non-damage study area (12.5 ha) is a dominance of *Pinus Thunbergii* about 13-15 m height with a mixture of *Myrica rubra*, *Symplocos lucida*, *Pittosporum Tobira* and other evergreen broad-leaved trees about 7 m height and a dense undergrowth of *P. Thunbergii* seedlings in places.

In the breeding season, a total of 20 species of birds was recorded throughout the present study, of which 17 were observed in the non-damage study area and 15 in the damage study area. Ten species occupied territories within the study areas; 9 species and 20.5 pairs in the non-damage study area, and 3 species and 12.5 pairs in the damage study area. *Emberiza cioides* was most dominant species both study areas, whereas *Aegithalos caudatus* and *Parus major* were common species in the non-damage study area. On the other hand, these birds had home ranges in the damage study area within having a nest in an adjoining broadleaved wood. The diversity of the bird community (H'), as calculated by the SHANNON-WEAVER formula, was 2.997 in the non-damage and 1.021 in the damage study area. The similarity index (I_a), as calculated by WHITTAKER formula, between the birds community of both areas was 0.38.

In winter, a total of 25 species of birds was recorded throughout the present study, of which all were observed in the non-damage study area and 17 in the damage study area. The dominant species in the non-damage study area was *Aegithalos caudatus*, and next to it, *Parus major*. In addition to these, *Hypsipetes amaurotis*, *Carduelis sinica*, *Emberiza cioides* were common. In the damage study area, on the other hand, the dominant species was *E. cioides*, and *H. amaurotis*, *Turdus naumanni*, *Cettia diphone* were common. *A. caudatus*, *P. major*, *P. varius* and *Dendrocoptes kizuki* were scarcely observed in this area. The species diversity index (H') was 3.270 in the non-damage and 2.983 in the damage study area. The similarity index (I_a) between the birds community of both study area was 0.28.

Key words:

1. はじめに

福岡県の海岸防風林はクロマツの一斉林が多く、激害型のマツ立ち枯れ被害によって急激に高木層を失い、林相は単純になる。林相が単純になると、そこに生息する鳥類群集も単純になることが知られている。鳥類は森林の保護あるいは育成上有害な昆虫類の密度調整機能として重要な役割を果たしており(由井1975;古田1981)、鳥類群集の単純化は森林の保護にとって重要な問題である。特に、公益的機能の立場から早急に成林が求められる海岸防風林においてこのような問題を明らかにすることは、今後のマツ林の育成や保護、あるいは既存のマツ林の改良を行う上で重要である。今回、マツ立ち枯れによって高木層のほとんどを消失した激害林とまだ少数の単木的な被害に留まっている微害林で、繁殖期と冬期の鳥類群集がどのように異なるか調査したので報告する。

なお、本研究は、国の大型プロジェクト研究「松の枯損防止新技術に関する総合研究」(昭和53~57年度実施)の一部門として実施されたもので、研究の一部は日本林学会九州支部大会で報告した(池田1983, 1984)。

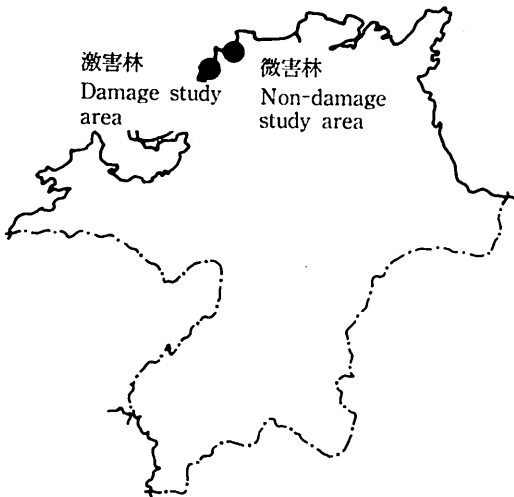


図-1 調査地
Study areas, Fukuoka prefecture, Kyusyu.

2. 調査地

調査地は、玄海灘の海岸線に発達した玄海町の上浜山国有林(以下、本文中では微害林と略)と津屋崎町の池尻国有林(以下、本文中では激害林と略)のクロマツ林である(図-1)。調査地の概要は次の通りである。

微害林: マツ立ち枯れは微害で、被害木(伐倒)は点状に散在する。高木層は樹高13~15mのクロマツが優占する。凹部を中心にヤマモモ、クロキ、トベラなどの常緑広葉樹が局地的に繁茂し、亜高木層を形成する。ヤマモモの一部は高木層に達するものもある。低木層は貧弱であるが、被害木の伐倒によって林冠が開けた所では樹高1~2mのクロマツ幼樹が密生する(図-2)。面積は12.5ha、標高は10~40mである。

激害林: 激しいマツ立ち枯れが発生し、被害木の伐倒駆除によって高木層はほとんど消失し、わずかに樹高12m前後のクロマツが点在する。低木層は植栽された樹高3~5mのクロマツ幼樹が密生する(図-2)が、一部には樹高1~2mのトベラやシャリンバイを主とした海浜性の照葉樹林がみられる。面積は9ha、標高は5~10mである。なお、調査地内には畑地や荒地がパッチ状に散在し、後背地には常落混交の広葉樹林が接している。

3. 調査方法

調査は冬期と繁殖期に行い、冬期は1982年1~2月、繁殖期は5月に行った。調査回数は冬期が各々3回、繁殖期が各々8回である。観察時刻は、繁殖期には午前中に行ったが、冬期は特に時刻は定めなかった。

観察は、調査路を時速1.5km~2.0kmの速度で歩きながら、観察半径25mの範囲に出現する全ての種類と個体数を記録するラインセンサス法による。繁殖期には、確認できた鳥類を地図上に記入するマッピング法を併用した。この方法で調査する場合、10回以上の調査が必要とされている(由井, 1977)が、行動圏が不明瞭なつがいについては、そのつがいを追跡することで補足した。なお、観察帯には入らなくても、調査地内で生息が確認された種類は全て記録した。

生息密度は、ラインセンサス法による場合は相対密度(1時間当たりの記録個体数)で、マッピング法ではつがい数で示した。つがい数の算定は、行動圏が調

査地内にある場合は1つがい、行動圏が調査地外にもかかる場合には0.5つがいとした。なお、明らかに一時的に飛来したと考えられる鳥類は種のみ記録した。

由井(1977)によればラインセンサス法による記録効率は、天候、観察時刻、観察者の能力などの諸条件によって左右されるが、記録された種類別の優占度(各

種の相対密度の合計値に占める割合)は、そのような諸条件でもあまり変化しないという。そこで、群集構造の指標の一つとして優占度を用いた。

各調査地の群集構造を比較するために、Shannon-Weaverの多様度指数、Whittakerの類似度指数を用いた。両指数の算定式は、

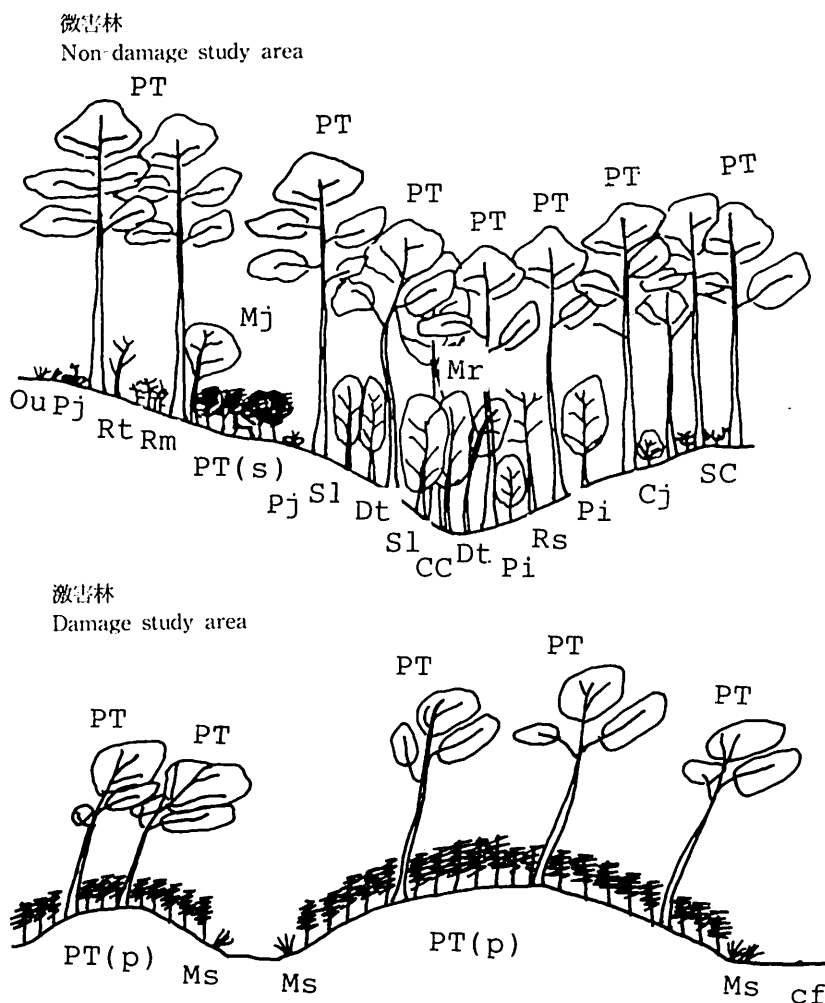


図-2 群落断面図

Profile diagram of damage and non-damage study area.

PT: クロマツ, *Pinus Thunbergii*, PT (S): クロマツ 実生, *P. Thunbergii* Seedling PT (p): クロマツ 苗木, *P. Thunbergii* Plantation, Sl: クロキ, *Symplocos lucida*, Pi: トベラ, *Pittosporum Tobirta*, CC: クスノキ, *Cinnamomum Camphora*, Cj: ヤブニッケイ, *C. japonicum*, Mr: ヤマモモ, *Myrica rubra*, Dt: カクレミノ, *Dendropanax trifidus*, Rs: ハゼノキ, *Rhus succedanea*, Rt: ヤマウルシ, *R. trichocarpa*, Mj: アカメガシワ, *Mallotus japonicus*, Rm: ノイバラ, *Rosa multiflora*, SC: サルトリイバラ, *Smilax China*, Ou: チヂミザサ, *Oplismenus undulatifolius*, Pj: イチヤクソウ, *Pyrola japonica*, Ms: ススキ, *Miscanthus sinensis*, cf: 畑地, *cultivation field*

Shannon-Weaver の多様度指数 $H' = -\sum p_i \log_2 p_i$

ただし、 p_i は第 i 番目の種の優占度

Whittaker の類似度指数 $I_a = \sum \min(A_i, B_i)$

ただし、 A_i, B_i は A, B の 2 つの群集における

i 番目の共通種の優占度で、 I_a は、共通種の優

占度の低い方の値を積算したもの

である。

4. 結 果

(1) 繁殖期の鳥類群集

微害林で観察された鳥類は17種で、このうち、調査

地内で繁殖が確認された鳥類は、9種、20.5つがいであった(表-1)。微害林では15種の生息が確認されたが、マツ林で繁殖していたのは、ウグイス、ホオジロ、カワラヒワの3種、12.5つがい、キジバト、コゲラ、エナガ、シジュウカラは全て後背地の広葉樹林内に営巣していた(表-1)。

繁殖つがいについて種別にみると、微害林ではホオジロが5つがいと多く、このうち3.5つがいは林冠が開け、下層にクロマツ稚樹が密生した所に営巣していた。次に、ヒヨドリ3.5つがい、エナガの2.5つがい、シジュウカラの2.5つがいの順であった。微害林ではホオ

表-1 繁殖期の鳥類と個体数

The number of species and pairs of birds in the non-damage and the damage study areas in the breeding season.

+ marks indicates presence in the plot without having a territory.

++ marks indicate that the species had home ranges within having a nest in an adjoining broad-leaved wood.

種 名	species	微 害 林 non-damage area (12.5ha)	微 害 林 damage area (9.0ha)
ト ビ	<i>Milvus migrans</i>	+	+
ツ ミ	<i>Accipiter gularis</i>	0.5	
キ ジ バ ト	<i>Streptopelia orientalis</i>	0.5	++
ホ ト ト ギ ス	<i>Cuculus poliocephalus</i>	+	
コ ゲ ラ	<i>Dendrocopos kizuki</i>	1.5	++
ツ バ メ	<i>Hirundo rustica</i>		+
ヒ ヨ ド リ	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	3.5	++
モ ズ	<i>Lanius bucephalus</i>	+	
ウ グ イ ス	<i>Cettia diphone</i>	1.0	0.5
オ オ ヨ シ キ リ	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>		+
メ ボ ソ ム シ ク イ	<i>Phylloscopus borealis</i>	+	+
エ ナ ガ	<i>Aegithalos caudatus</i>	3.0	++
ヤ マ ガ ラ	<i>Parus varius</i>	1.0	
シ ジ ユ ウ カ ラ	<i>Parus major</i>	2.5	++
メ ジ ロ	<i>Zosterops japonica</i>	+	
ホ オ ジ ロ	<i>Emberiza cioides</i>	5.0	9.0
カ ワ ラ ヒ ワ	<i>Carduelis sinica</i>	2.0	3.0
ス ズ メ	<i>Passer montanus</i>	+	+
ハ シ ボ ソ ガ ラ ス	<i>Corvus corone</i>		+
ハ シ プ ト ガ ラ ス	<i>Corvus macrorhynchos</i>	+	+
計	Number of species	10	3
	Number of total pairs	20.5	12.5

ジロが9つがいと繁殖つがい数の約70%を占め、次にカワラヒワの3つがい、ウグイスの0.5つがいであった。

Shannon-Weaverの多様度指数 H' は、微害林が2.997、激害林が1.021、両調査地の類似度指数は0.38であった。

(2) 冬期の鳥類群集

各調査地でのセンサス結果を表-1に示す。表中の+印は観察帯には入らなかったが、調査地での生息は確認された種類である。

観察された鳥類は、微害林が25種、激害林が18種、相対密度は微害林が49.5羽/時、激害林が29.8羽/時で、種数、相対密度とも微害林が多かった。

次に、優占度を用いて種別にみると、微害林ではエ

表-2 冬期の鳥類と個体数（1時間当たり）および優占度

The number of species and the relative abundance of birds in non-damage and damage study areas in the winter season. Plus marks indicate that the species were present in the study area but was not observed in a strip plot of 25m wide on either of the trail.

種名	species	微害林 non-damage area		激害林 damage area	
		相対密度 No./h	優占度 dom.	相対密度 No./h	優占度 dom.
トビ	<i>Milvus migrans</i>	+		+	
ノスリ	<i>Buteo buteo</i>	+			
コジュケイ	<i>Bambusicola thoracica</i>	+			
キジバト	<i>Streptopelia orientalis</i>	0.3	0.7	0.4	1.2
コゲラ	<i>Dendrocopos kizuki</i>	1.4	2.8		
ビンズイ	<i>Anthus hodgsoni</i>	1.7	3.5		
ヒヨドリ	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	4.5	9.1	6.4	21.4
モズ	<i>Lanius bucephalus</i>	+		1.4	4.8
ジョウビタキ	<i>Phoenicurus aureoreus</i>	+		0.7	2.4
シロハラ	<i>Turdus pallidus</i>	1.0	2.1	+	
ツグミ	<i>Turdus naumanni</i>	2.1	4.2	3.5	11.9
ウグイス	<i>Cettia diphone</i>	0.3	0.7	3.5	11.9
エナガ	<i>Aegithalos caudatus</i>	13.6	27.3	+	
ヤマガラ	<i>Parus varius</i>	1.0	2.1		
シジュウカラ	<i>Parus major</i>	10.5	21.0		
メジロ	<i>Zosterops japonica</i>	0.7	1.4	1.4	4.8
ホオジロ	<i>Emberiza cioides</i>	3.8	7.7	7.8	26.2
ミヤマホオジロ	<i>Emberiza elegans</i>	2.1	4.2		
アオジ	<i>Emberiza spodocephala</i>	0.3	0.7	2.5	8.3
アトリ	<i>Fringilla montifringilla</i>	1.0	2.1	+	
カワラヒワ	<i>Carduelis sinica</i>	4.5	9.1	1.1	3.6
イカル	<i>Eophona personata</i>	+			
スズメ	<i>Passer montanus</i>	0.7	1.4	+	
ハシボソガラス	<i>Corvus corone</i>	+		1.1	3.6
ハシブトガラス	<i>Corvus macrorhynchos</i>	+		+	
計	Number of species		25		17
	Number of total relative dominance		49.5		29.8

ナガが27.3%、シジュウカラが21.0%を占め、これに次いでヒヨドリ、カワラヒワが9.1%を占めた。激害林ではホオジロが26.2%、ヒヨドリが21.4%を占め、これに次いでツグミ、ウグイスが多かった。

Shannon-Weaver の多様度指数 H' は、微害林が3.270、激害林が2.983であった。両調査地間の類似度指数は0.28で著しく低かった。

(3) 考察

繁殖期の鳥類を比べると、マツ立ち枯れの被害が少なく林層構造が多様に維持されている微害林では、繁殖種数9種、繁殖つがい数18.4つがいに対して、激害によって高木層のほとんどを消失した激害林ではそれぞれ3種、12.9つがいと種数、つがい数とも少なかった。特に、微害林で見られたコゲラ、エナガ、シジュウカラ、ヤマガラなどの樹上営巣性の鳥は、激害林ではカワラヒワの1種だけである。種数の減少に比べるとつがい数の減少は大きくない。これは、激害林のホオジロのつがい数が9.6つがいと高いためである。激害林では密なマツ幼樹林の間に畑地や荒地が混在し、ホオジロの繁殖に適した環境を豊富に提供していることによると考えられる。このように、森林の構造がそこに繁殖する鳥類の種数やつがい数に影響していることは明らかであり、両調査地の鳥類群集の類似度は著しく低かった。

ところで、激害林では繁殖した種、つがい数は少なかったが、周辺で繁殖し行動圏の範囲が調査地のマツ林にまで及ぶ種が多かった。由井(1970)によれば、カラ類は営巣場所さえあれば各種林齢のカラマツ林で定住可能であると述べている。また、石城・松岡(1972)も周囲に営巣可能な場所があれば、カラ類にとってトドマツ、カラマツ人工林でも採食場所としての利用価値があると述べている。激害のマツ林の後背地には広葉樹林があり、そこではコゲラやカラ類などの樹洞営巣性の鳥やエナガ、ヒヨドリといった樹林営巣性の鳥たちの繁殖が可能であったために、高木層を失った激害のマツ林でも生息が見られたのであろう。

次に、冬期の鳥類群集は、種数、個体数とも微害林で多く、群集の多様度も微害林が高い。種構成についてみると、微害林ではエナガ、シジュウカラが優占するのに対して、激害林ではホオジロ、ヒヨドリ、ウグイス、ツグミが優占しており、両調査地の鳥類群集の

類似度は著しく低い。特に、激害林ではコゲラ、カラ類といった樹上採食者がほとんど観察されなかった。井上(1982)は鳥取県でのマツ立ち枯れによる被害林、無被害林での鳥類群集を調査した結果、繁殖期には無被害林での密度が高いが、冬期は差がみられなかったと報告しており、今回の結果と異なる。鳥取の被害林の場合、今回の激害林のように激しい被害ではなかったことや、調査地の立地環境の違いによるのではないかと考えられる。

以上のことから、マツ立ち枯れによる高木層の消失は、コゲラやカラ類といった樹上採餌種の減少を招き、鳥類群集の多様性を著しく低下させる。その結果、マツ林の多くの害虫に対する鳥類による密度調整機能を弱め、被害後の健全なマツ林育成に支障をきたすと考えられる。従って、より抵抗力のある海岸保安林にするためには、マツの単純林ではなく、異なる樹種を混植したり林相構造を複雑にしておくことが必要であろう。また、後背地に存在する広葉樹林は、マツ林の鳥相を豊かにしていることが明らかになった。これらの広葉樹林の保護・管理も今後の重要な課題であろう。

要約

(1) 福岡県北部の玄界灘に面した海岸防風林(クロマツ林)で、1982年にマツ立ち枯れ微害林(玄海町上浜山, 12.5ha)と激害林(津屋崎町池尻, 9.0ha)の繁殖期と冬期の鳥類群集を調べた。

(2) 被害木は伐倒駆除され、激害林は樹高約12mのクロマツが点在する以外は、植栽された樹高約3~5mの密なクロマツ幼齢林となっている。

(3) 繁殖期の鳥類は、微害林では9種、20.5つがいで、多様度指数(H')は2.997であったが、激害林では、それぞれ3種、12.5つがい、1.021であった。

(4) つがい数が多かった種は、微害林ではホオジロ、エナガ、シジュウカラ、激害林ではホオジロ、カワラヒワで、両調査地の鳥類群集の類似度指数(I_a)は0.38であった。

(5) 激害林では繁殖する鳥類が著しく少なかったが、広葉樹林が隣接することによって、生息していた種類数は微害林と大差なかった。

(6) 冬期の鳥類は、微害林では25種、49.5羽/時で、多様度指数(H')は3.270であったが、激害林では、それぞれ17種、29.8羽/時、2.983であった。

(7) 優占上位種は、微害林ではエナガ、シジュウカラ、カワラヒワ、ヒヨドリ、激害林ではホオジロ、ヒヨドリ、ツグミ、ウグイスで、両調査地の鳥類群集の類似度指数 (Ia) は0.28であった。

引用文献

池田浩一：1983. マツノマダラカミキリの天敵野鳥に関する研究 (I) マツ林の冬期の鳥相について. 日林九支研論集 No. 36 : 205-206.

池田浩一：1984. マツノマダラカミキリの天敵野鳥に関する研究 (II) マツ林の繁殖期の鳥相について. 日林九支研論集 No. 37 : 213-217.

井上牧雄：1982. 松くい虫被害林と無被害林の鳥類群

集比較. 鳥取県林試研報, 25 : 31-70.

石城謙吉・松岡 茂：1972. 北海道大学苫小牧地方演習林の鳥類相その1. 広葉樹天然林と針葉樹人工林における夏期の種構成と生息密度. 北大演習林研報, 29(1) : 43-54.

古田公人：1981. 森林害虫の管理と鳥類の役割. 植物防疫, 35(8) : 357-362.

由井正敏：1970. 標茶パイロットフォレストの鳥類相. 北方林業, 22(11) : 13-18.

由井正敏：1975. 鳥類によるマツカレハの捕食実験. 日林講86 : 349-350.

由井正敏：1977. 野鳥の数のしらべ方. 日本林業技術協会.

III. マツの材線虫病の拡大様相と被害量の推定

小 河 誠 司

Seiji OGAWA

Epidemic aspect of the pine wilt disease in Fukuoka Prefecture and estimation of the amount of its damage.

SUMMARY

1. Epidemic aspect of the pine wilt disease in Fukuoka Prefecture.

(1) Trend of the damage in a pine stand.

Observations made in Watauchi experiment forest from 1978 to 1981 reveal the following facts on the epidemic aspect of the pine wilt disease that (1) the disease begins at the periphery of the pine stand, and then expands internally in the succeeding years; (2) the disease tends to expand concentric circularly in the succeeding years around the source dead trees.

(2) Epidemic expansion of the pine wilt disease in a pine forest area.

Incidence of the dead trees (y) decreases in relation to the distance from the source of the pine sawyer (x) expressible in an equation of:

$$\log y = 2.3749 - 0.9303x. (r=0.96)$$

Expansion of the disease is strongly influenced by the temperature and the incidence of the dead trees decreases markedly above altitude of 400 m and nil above 700 m in Fukuoka.

The pine wilt disease occurs continuously in any extent in the land area below the altitude of 500-600 m (12-13°C in annual mean temperature) in Fukuoka Prefecture since 1971.

(3) Effect of the control operation on the epidemics of the pine wilt disease.

The control operations both by aerial spraying of insecticide and prompt cutting of the dead trees are very effective. The damage usually decreases markedly in the controlled area two years after the start of the operation, and extermination of the disease may be possible within 4-5 years in the area into where the immigration of the pine sawyer is negligible.

But the control operation is taken place in the limited areas at present in Fukuoka Prefecture and the damage has continued around the uncontrolled areas in fact.

2. Environmental factors affecting the epidemics of the pine wilt disease.

1) Temperature.

The severe damage caused by the pine wilt disease occurs in the areas of 13-14°C of the annual temperature and below 400 m of the altitude, and the damage does not occur in the areas below 11-12°C of the annual mean temperature and above 700-800 m of the altitude.

2) Wind.

The direction of the epidemics is related to that of the main wind from April to September in Fukuoka.

3) Precipitation.

The precipitation and the days of rainfall in summer affect the initiation and amount of the damage in Fukuoka owing to their effects on the feeding activity of the pine sawyers and the water-stress of the pine trees.

The damages were much more conspicuous in 1978 (small rainfall) and less so in 1980 (plentiful

rainfall in summer).

3. Estimation of the amount of the damage.

Amount of the damage in a year (y) is expressible by the following equation.

$$y = \text{pathogenicity (x)} \times (\text{required number of the nematode to kill a tree}) \times (\text{climatic factors}) \times (\text{history and degree of the damage in a stand})$$

$$x = \text{Pathogenicity of the nematode} \times \text{average number of the toading nematodes per a pine sawyer} \times \text{number of the emerged pine sawyers}$$

1) Pathogenicity of the nematode.

This ability is not clarified in Fukuoka Prefecture.

2) Average number of the loading nematodes per a pine sawyer. About 6,000 nematodes are loaded in a pine sawyer when emerged in Fukuoka.

3) Minimum number of the nematodes to kill a tree.

By our experiments minimum dose of the nematodes sufficient to kill a tree is 1,500 cultured nematodes. Kiyohara (1973) claimed that 30 nematodes in the stage of the dauerlarvae is sufficient to kill a tree.

4) Number of the emerged pine sawyers.

Number of the emerged pine sawyers in a stand (y) can be estimated by the following equation.

$$y = \sum x_i \div n_i \times a \times n$$

where :

x_i = number of the mature larvae in the samples taken around the bough of the dead trees.

n_i = Number of the samples.

a = constant (probably between 0.8 to 0.9)

n = Number of trees with abnormal resin exudation at the end of Sept. or beginning of Oct., or (visibly abnormal trees at the end of Oct.) $\times 1.1$

5) Climatic factors and history of the damage in a stand.

These factors are difficult to express numerically, and only used supplementaly to have recourse to infer the difference from the estimated amount of the damage.

マツ立枯れの発生環境については、竹谷ら(1975)、竹下ら(1975)、小林(-)(1978, 1979)等の温度に着目した研究や降水量・風向を加味した竹下ら(1975, 1980)、小林(-)(1978, 1979)、小河ら(1981)の報告他、数多くの研究がなされている。また、地質と被害の関係では、西沢(1981)横堀(1986)、岸(1980)等の報告がある。次に、被害の拡大様相では、小地域における小河ら(1980)の報告が、大きな地域を対象にしたものに、熊本県芦北地方の被害拡大を見た森本ら(1975, 1980)茨城県での岸(1980)、横堀(1986)、鳥取県での竹下(1975, 1976)の報告が見られる。また、マツノマダラカミキリ(以後マダラカミキリ)の羽化脱出後の分散行動では、山根(1976)、西村(1973)、森本ら(1974)、川畑(1972, 1975)等の報告が見られる。被害量の推定では、日本自然保護協会(竹下ら, 1987)、小林(-)(1975)、森本(1979)、富樫(1980)等がある。

ところが、前述のように県全域を対象に被害の拡大様相を詳述した事例は少なく、被害と発生環境について単年度を対象とした解析や定量的な被害量推定事例も少ない。また、福岡県を対象にこれらを詳述した報告も見られない。そこで、1978年以降に収集した資料をもとに福岡県におけるマツ立枯れと気象要因、被害の拡大様相及び林分での被害量の推定について検討する。

1. 調査方法

1) 固定林分調査

1978年、福岡県の激・中・微害地(設定時)の各1か所に調査林分を設定し、1978年から1982年にかけて、樹脂量と外観及びマダラカミキリの産卵の有無を時期毎に調査するとともに、立木位置図内に枯損木の位置を記入した。枯損木は、翌年マダラカミキリの羽化脱出が終了した後に、樹幹表面積、力枝下1m範囲と力枝上部2節内の穿入孔数、全脱出孔数を調査した。また、薬剤の空中散布と枯損木の伐倒駆除が行なわれている松林群内に1haの調査区を設定して、調査区内の枯損本数と材積を調べた。

2) 地域調査

1978年から1982年にかけて、福岡県下の激・中・微害及び被害分布制限地域と考えられる地区に設定された

221の調査林分(1978年設定時)について、各年毎に枯損本数を調査した。

生立本数、枯損本数は、林分が良く見える固定した位置から双眼鏡を使って計測した。

3) 全県調査

1978年から1986年にかけて、福岡県内の主な道路を通過して車窓(重要な部分は車外に出て双眼鏡で観察)から、松林分の被害状況を程度別(A:0%, B:1%以下, C:2~5%, D:6~10%, E:11~20%, F:20%以上)に調査し、5万分の1の地形図に記入した。とりまとめは、20万分の1の地形図に1km²(1km×1km)または4km²(2km×2km)のメッシュを切り、メッシュ毎の被害程度を前記5万分の1の地形図から推定して記入した。また県内の被害量・駆除量は、福岡県の統計資料を使用した。

4) 気象要因調査

福岡県内各気象観測所毎の気温、降水量は、福岡管区気象台発行の気象月報から調査した。1966年から1987年にかけては、気温、降水量の年毎の観測値をもとに、ある特定期間内の平均値・積算量など、ある目的を持った指標値を算出した。各気象指標値については、各項目の中で記述する。

2. 福岡県における材線虫病の拡大様相

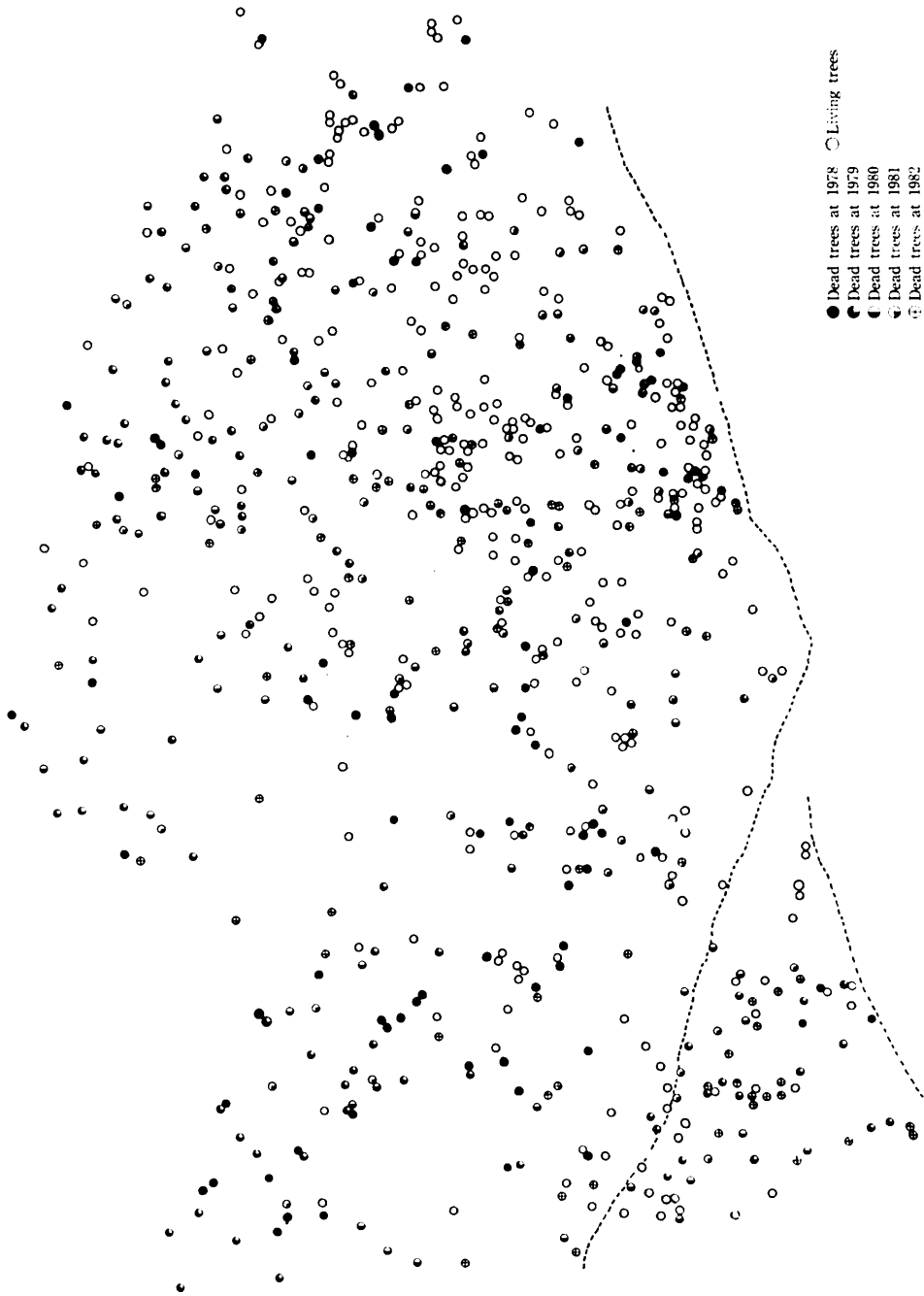
1) 単一林分での拡大様相

図-1は、福岡県八女郡黒木町の当場渡内実験林のアカマツと広葉樹(シイ、カシ、クス、コナラ等)の混交林におけるマツの立木位置と年度毎の枯損木の分布状況を示したもので、図-2は、年度別枯損木の発生状況を模式化したものである。

材線虫によるマツ立枯れは、解放された林縁部に始まり、そこを中心に徐々に林分全体に拡大し、林内に枯損木の核ができた場合には、その木を中心にほぼ同心円状に拡大している。枯損木周辺での次年度の被害木発生は、竹下(晴)(1978, 未発表)によると被害木から半径10m以内に集中するという。

2) 松林群内での拡大様相

福岡県南部の田園地帯におけるマダラカミキリ千数百頭の発生源を中心とした当該年度(1974年)の被害



図一 各年度における被害木の分布状況 (昭和53年～57年：黒木町渡内)
Distribution of dead trees in a pine stand in Watauchi, Kuroki, 1978～1982.

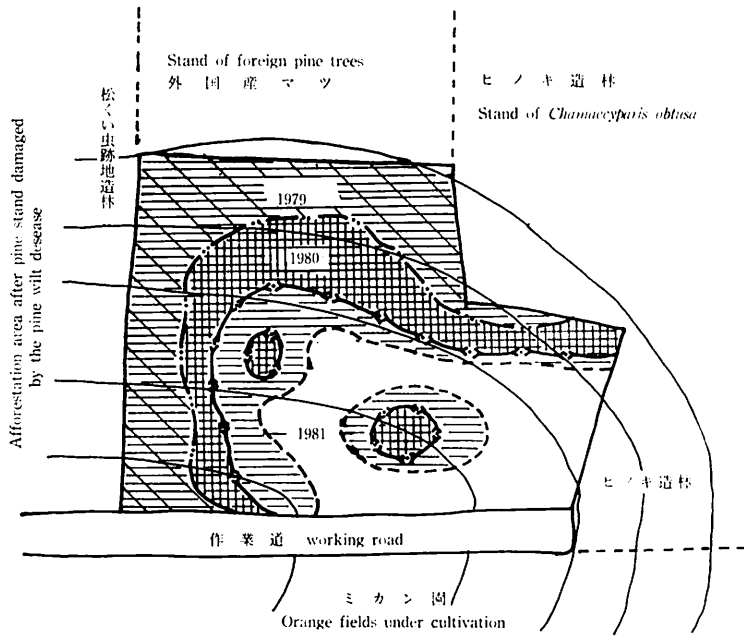


図-2 被害拡大模式図 (黒木町)
Expansion of the pine wilt disease in Kuroki, schematic (1979~1981).

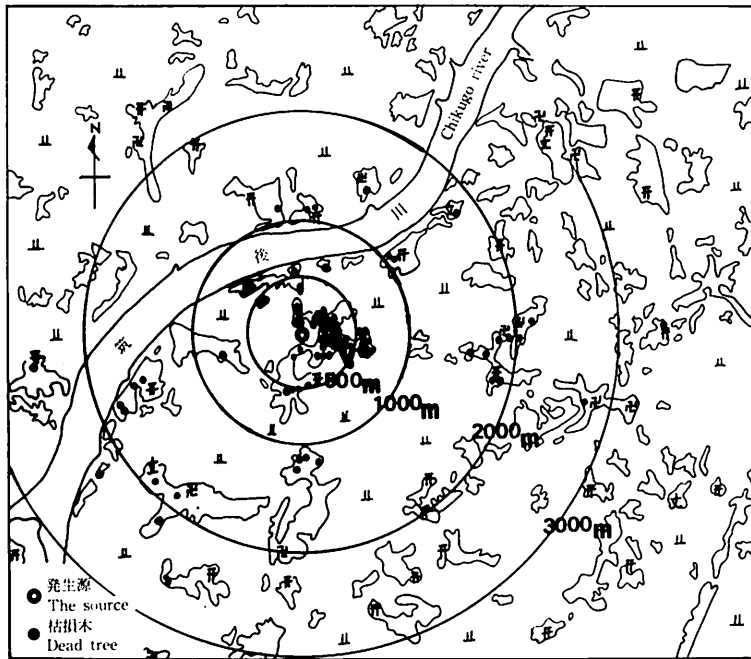


図-3 マツの材線虫病の拡大様相
Epidemic aspect of the pine wilt disease from the source of the pine Sawyer

拡大様相を図化したのが、図-3である。九州等の被害先進地では、各被害核からの拡大が錯綜して単一核からの被害拡大様相が把握できにくくなっている中で、田園地帯に点在する小規模な松群（集落内のマツ）の状況とは言え、貴重な資料となっている。図-5は、1978年から1982年にかけて県内各地に設定した221(設

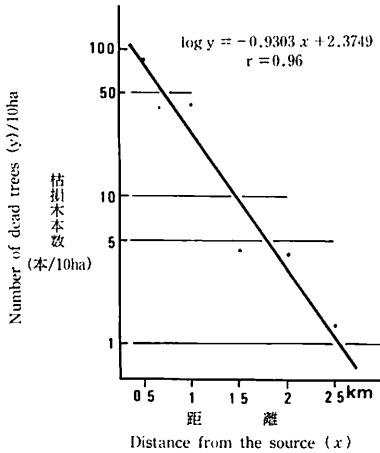


図-4 発生源からの距離と単位面積当りの被害本数の関係
Incidence of dead trees relative to the distance from the source of the pine sawyer.

定時) 林分の被害推移から、標高毎の被害推移、激害化が予想される標高(変換点)、激化程度(間隔)を見るため、標高毎に累積被害率をプロットし、各標高位置における最高点をフリーハンドで描いたものであり、表-2は全調査林分について前年度被害率に対する当該年度被害率を一次回帰 ($y=ax+b$) で求めたものである。また、被害程度を階層区分し、当該年度被害程度が前年度被害程度を上廻った林分の割合を標高別に示したのが表-3である。

図-3については、小河・萩原(1980)が詳述しているため、ここでは結論のみを述べる。マダラカミキリの発生頭数が数千頭の核を中心とする材線虫病の単年度拡大距離は、単木的に20kmを越えることがあるとしても、被害面積として確認できる範囲は半径2~3kmで500~800m内外で被害が激しく、特に100m以内に被害は集中する。また、図-4からも明らかなように、マダラカミキリの発生頭数が増大すると各地域(距離毎)の被害量の増加と拡大最遠地が遠くなるとしても、その集中傾向は同じであると考えられる。仮定を踏まえながらではあるけれども、この被害が2~3kmに限定される理由について、竹下(西沢, 1981)は、西沢(1981)は、マダラカミキリの移動と到達地の密度およびマダラカミキリの羽化脱出後の経過日数の違いによる材線虫保持数との関係から理論的な説明を試みている。

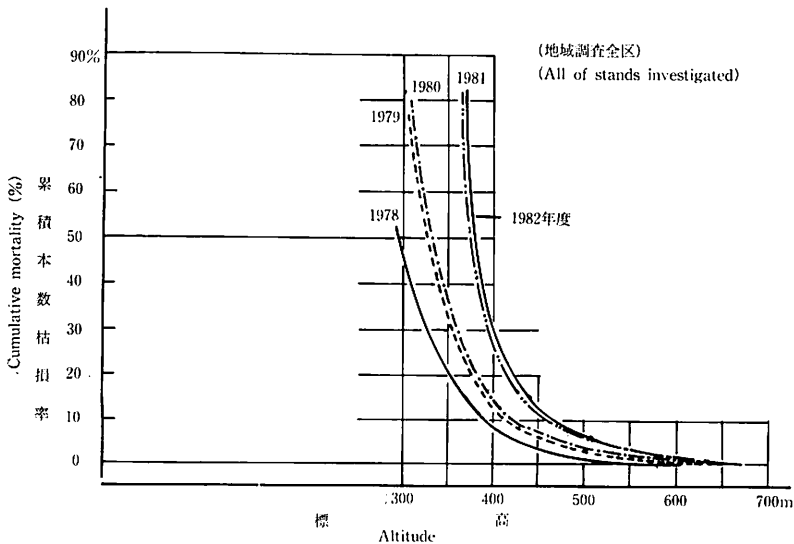


図-5 標高別累積本数枯損率の年度別変化
Cumulative mortality relative to the altitude in each year (1978~1982).

表-2 地域調査における前年度累積被害率と当該年度累積被害率の相関 (直線回帰)
Correlation of the cumulative mortalities between two successive years ($y=ax+b$)

被害木処理 Treatment of dead trees	年 度 Year	資 数 数 No. of data	a	b	r correlatiome coefficient
放 置*	1979	221	1.62	4.02	0.924
	1980	186	1.19	3.06	0.961
	1981	170	1.15	2.27	0.960
	1982	150	1.08	0.63	0.990
空 散 +** 伐 倒 駆 除	1980	6	1.26	1.57	0.986

*** 途中で皆伐, 被害率 100%の林分は除去してある。

* : Stand untreated.

** : Stands treated with insecticide by aerial spray plus sanitation felling.

*** : Clear cutting or annihilated stands were not investigated.

表-3 標高別の被害区分による被害が増加した林分の割合 (地域調査: 放置林分)
Advanced rate of the mortality-grades in pine stands at different altitudes.

標 高 区 分 Altitude	各 年 度 の 被 害 区 分 別 被 害 増 加 林 分 の 割 合 Advanced rate (%) of the mortality-grades							
	1979		1980		1981		1982	
~ 200	88	(76)	54	(57)	45	(51)	14	(42)
201 ~ 400	72	(109)	50	(94)	29	(85)	27	(75)
401 ~ 600	36	(11)	15	(13)	17	(12)	9	(11)
601 ~	0	(2)	2	(2)	0	(2)	0	(2)

* 被害区分: 0, 0.1~1.0, 1.1~5.0, 5.1~10, 10.1~20, 20.1~30, 30.1~50, 50.1%以上
Mortality-grades

** () 内数字は資料数

Figures in (): Number of stands investigated.

図-5から県下の標高, 年度毎の被害推移を見ると, 標高400mを境にして被害の進展度合が急減し, 700mを越えるところで収斂(収束)する傾向が認められ, 被害進行は, 1980年に急激に低下し, 1981年に若干増加傾向を見せているものの, 1982年には再び鈍化している。しかし, 600~700以下の地域では, 年度間差異はあっても, 年々被害が増加することには変わり無く, 累積被害率は高くなっていく。また, 隣接地点被害量の増大による押し上げ圧力によって, 700m以上地域へも被害は進展するが, 1980年次のような夏期低温多雨年に被害が終息し, 進展と終息を繰り返すものと考えている。次に表-2から, 1978年から1982年の全調査林分の被害率を見ると, 被害は1980年に急激に低下

し, 1982年まで低下傾向が続いている。この表-2と図-5から得られた年度毎の被害進展状況の相違は, 被害が定着した被害進行最盛期の林分では, 被害発生環境が少々悪化しても, 他林分への感染度合は低下するとしても, 同一林分での被害は低下しないことから来ているものと考えられる。

3) 全県での拡大様相

福岡県での材線虫病の被害推移を被害程度別に見たのが, 図-6・1~図-6・6, 図-7, 表-4である。また, 図-8は1978年から1981年の4か年間の被害発生頻度を記載したものである。

これら調査結果を見ると, 被害の継続を左右する標

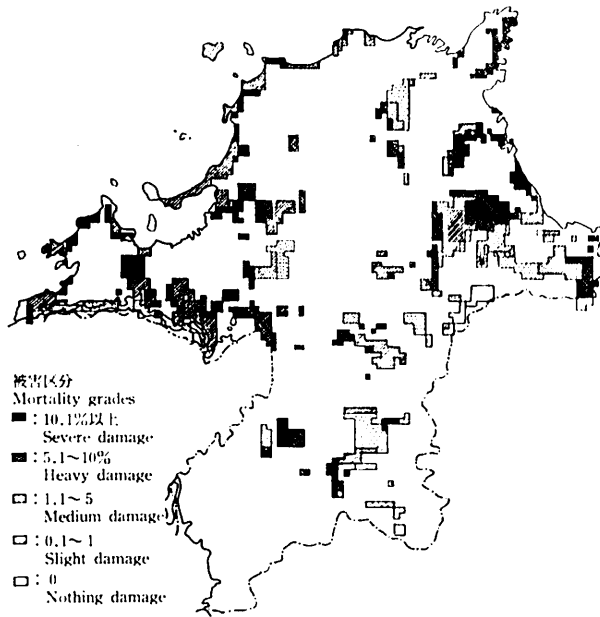


図-6.1 各地域におけるマツ立枯れの程度（昭和53年度）

Distribution of the degrees of pine stand damage caused by *Bursaphelenchus xylophilus* expressed by the mesh method (1 km×1 km) for the year 1978.

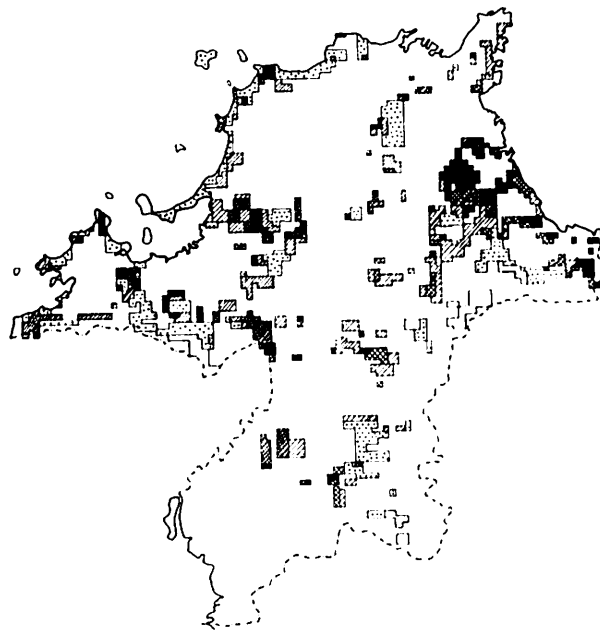


図-6.2 各区域におけるマツ立枯れの程度（昭和54年度）

Distribution of the degrees of pine stand damage caused by *Bursaphelenchus xylophilus* expressed by the mesh method (1 km×1 km) for the year 1979.

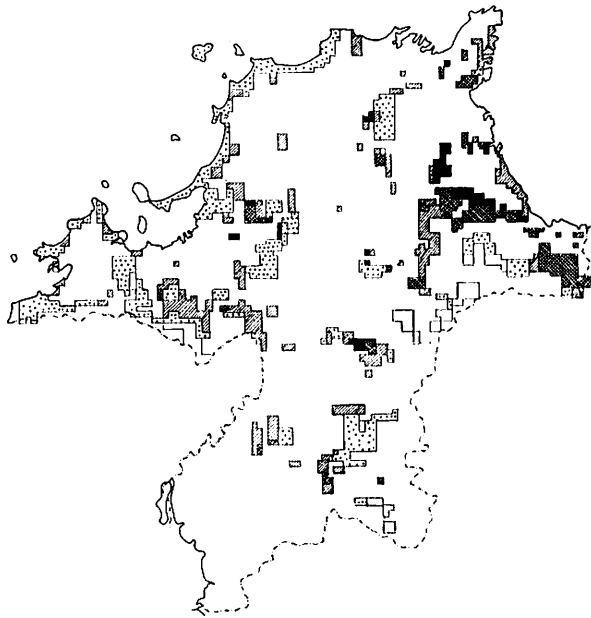


図-6.3 各区域におけるマツ立枯れの程度（昭和55年度）

Distribution of the degrees of pine stand damage caused by *Bursaphelenchus xylophilus* expressed by the mesh method (1 km×1 km) for the year 1980.

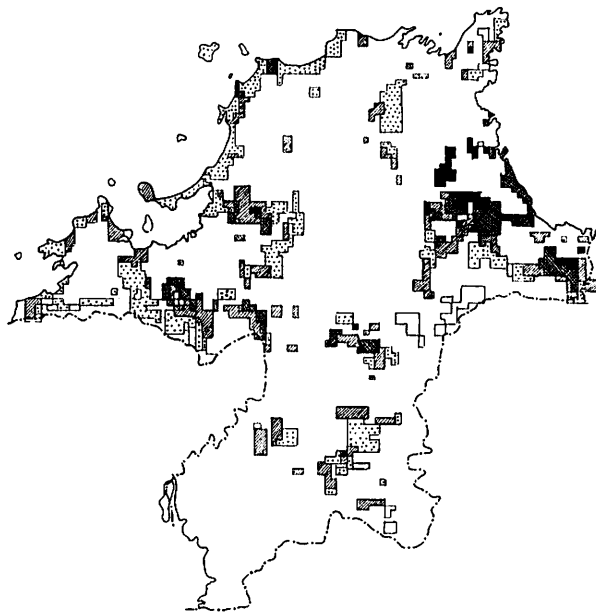


図-6.4 各区域におけるマツ立枯れの程度（昭和56年度）

Distribution of the degrees of pine stand damage caused by *Bursaphelenchus xylophilus* expressed by the mesh method (1 km×1 km) for the year 1981.

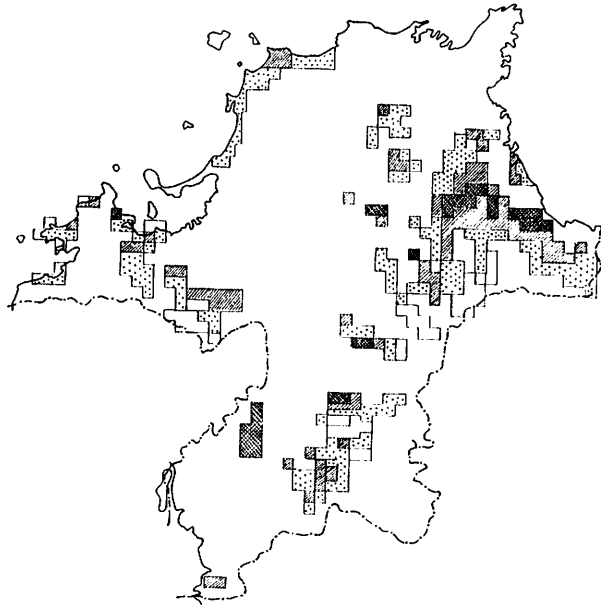


図-6.5 各区域におけるマツ立枯れの程度（昭和57年度）
Distribution of the degrees of pine stand damage caused by *Bursaphelenchus xylophilus* expressed by the mesh method (2 km×2 km) for the year 1982.

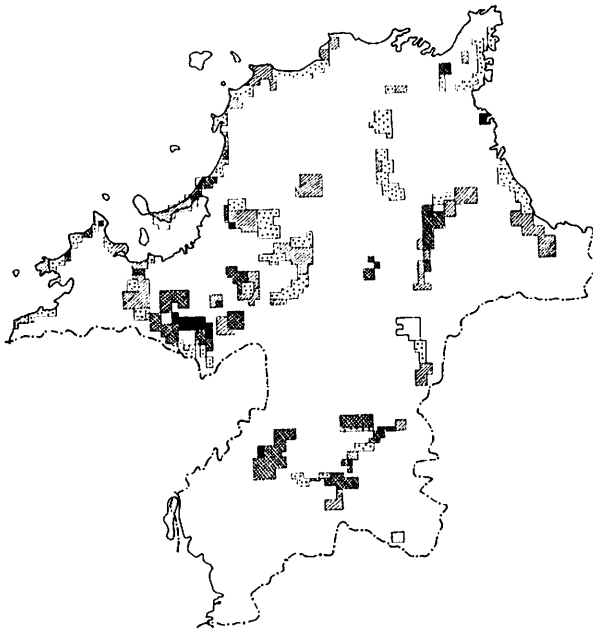


図-6.5 各区域におけるマツ立枯れの程度（昭和61年度）
Distribution of the degrees of pine stand damage caused by *Bursaphelenchus xylophilus* expressed by the mesh method (1 km×1 km) for the year 1986.

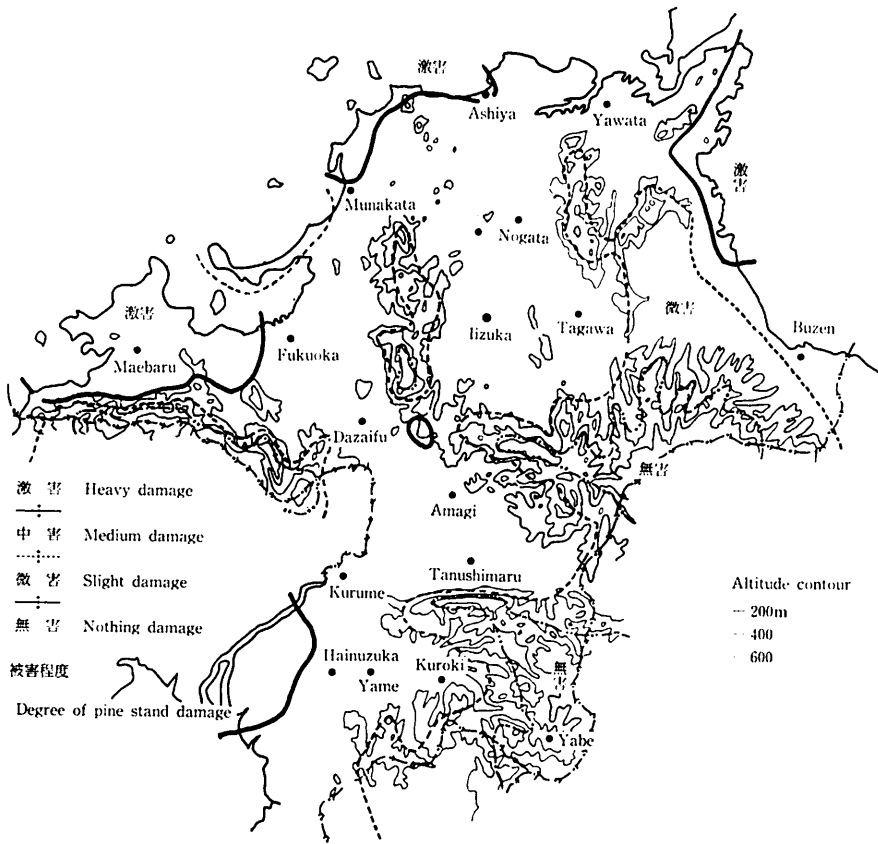


図-7 1971年当時の福岡県マツ立枯れ被害分布
Distribution of the degrees of pine stand damage in Fukuoka Prefecture (1971).

表-4 年度別・被害区分別区域数の変動(全県調査)
Mesh counts of the areas classified by the mortality-grades.

年度 Year	調査区数 Total mesh counts	A		B		C		D		E		F	
		区数 Mesh counts	率 Rate (%)	区数 Mesh counts	率 Rate (%)	区数 Mesh counts	率 Rate (%)	区数 Mesh counts	率 Rate (%)	区数 Mesh counts	率 Rate (%)	区数 Mesh counts	率 Rate (%)
1978	455	16	3.5	63	13.8	161	35.4	145	31.9	47	10.3	23	5.1
1979	〃	27	5.9	115	25.3	160	35.2	96	21.1	22	4.8	35	7.7
1980	〃	30	6.6	177	38.9	152	33.4	61	13.4	18	4.0	17	3.7
1981	〃	29	6.4	164	36.1	159	34.9	71	15.6	17	3.7	15	3.3
1982	〃	48	10.5	222	48.9	158	34.7	27	5.9	0	0.0	0	0.0

・被害区分：A-0%，B-～1%，C-2～5%，D-6～10%，E-11～20%，F-20%以上
Mortality-grades

・区画面積：2 km×2 km=4km²
Mesh-area

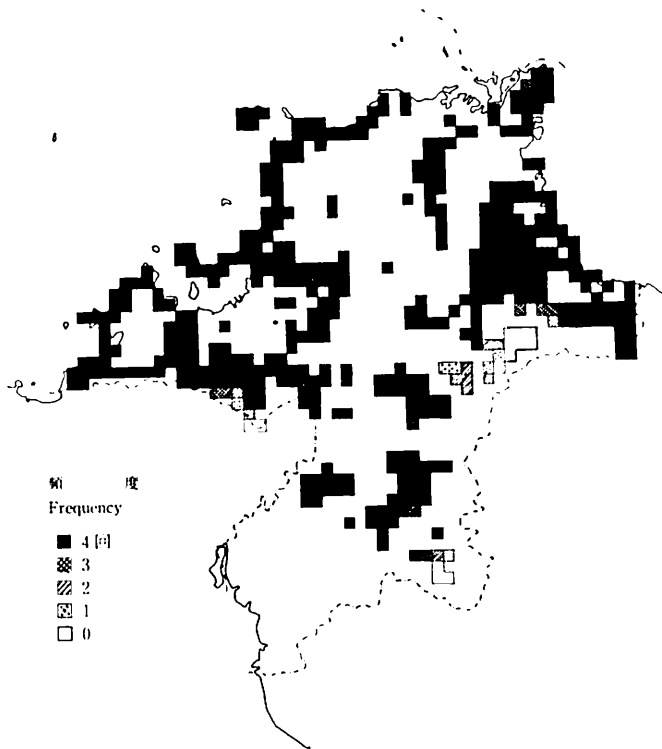


図-8 各区域におけるマツ立枯れの発生頻度（昭和53～56年度）
Occurrence frequency of pine stand damage in each mesh-area (2 km×2 km) (1978～1981).

高として500～600m,被害発生限界線として,700～800mが考えられる。標高500～600mの等高線は,年平均気温(平年値)12～13℃の等温線に,700～800mは,11～12℃の等温線に類似している。この被害発生限界と被害継続を左右する年平均気温は,全国(宮城,栃木,福井,鳥取,愛媛,熊本,佐賀,鹿児島)の傾向とも一致する(林野庁,1984)。このように福岡県の場合,標高700m以下の地域では,被害の程度や進展度合は別として,宿主としての条件を持ったマツが存在する限り,被害の定着と継続は避けられない地域と言える。また,700～800m以上の地域は,低山部の被害増大による押し上げや気象的变化により,年度によっては被害を認めたとしても,材線虫増殖やマダラカミキリ飛翔条件の悪化によって自然に被害が終息すると考えられる。

次に,県下の被害程度別区域数の年次による変動を見ると,被害程度2～5%(C)の区域数は変動が少なく,これより被害程度が高い区域数が減少して,低

い区域数が増大している。この要因として,激害区域では,1978年から1979年にかけて壮～老令林が壊滅的被害を受け,マダラカミキリの加害対象となりにくい幼令林や材線虫に抵抗性を有するマツが残存した結果,区域内の被害が軽減されたこと,1980年の夏期低温多雨によって全体的に被害程度が軽減されたこと,林種転換が進んでいることや伐倒駆除率が高くなったこと等が考えられる。

以下,1971年以降の県内の被害状況の概略を記述する。1971年当時の被害状況は,糸島半島,津屋崎～芦屋町にかけた玄海灘に面した砂丘や低山地帯及び北九州市～行橋市の周防灘に面した低山地帯に激害林が目立ち,他の地域は中害～微害で,特に標高400m以上の地域の多くは微害であった。また,周防灘に面した京都郡～築上郡の被害は,行橋市東部の海岸林や海岸近くの台地で激害林が認められる程度で,丘陵部松林の大半は微害で推移していた。

県西部の被害は,1971年以降内陸部へ進行し,高標

高地の松林を除き防除を行なわなかった松林分は壊滅的被害を受け、糸島半島の大部分は照葉樹林に変わっている。1987年現在も、海岸保安林（吉井浜～福井浜、大入海岸、深江海岸、芥屋、幣の松原）に松の美林が認められるが、これは1973年以降徹底した防除がなされてきたことによる。

福岡湾岸の長浜海岸、生の松原、大岳海岸、奈多松原などの海岸保安林は、薬剤の空中散布と伐倒駆除の導入によって被害が鎮静化していたが、薬剤の空中散布がなされなくなってから、大径木を中心に保安林としての機能を果たしているものの徐々に被害が激化し、1987年現在もその傾向が認められている。この福岡湾東部の被害の進行は、防除効果も考慮すべきであろうが、内陸部への進行よりも遅く、マダラカミキリ行動時の風の影響が関与しているのではないかと考えている。また、福岡市西部～南部内陸部は、1977～1978年頃から被害が激しくなり背振山地の標高700m近くまで被害が進行している。

粕屋・宗像の玄海灘に面した地域を見ると1971年当時には激害化の様相を呈し、1975～1976年次にはほとんどの松林が壊滅的被害をこうむっている。この被害は、内陸部へ進行し、新宮、古賀、津屋崎、宗像等の丘陵地～低山地の松林を破壊し、福岡市東部から久山町、篠栗町へと拡大して、1978～1979年には、標高400～500m級に位置する松林も激化の様相を呈していた。一方、海岸保安林は防除が徹底されたためか、防除が間に合わなかった勝浦海岸（1970～1975年で大径木はほとんど枯損）と防除が不十分であったさつき松原、古賀松原、深浜の一部を除き、1987年現在も美林が認められる。勝浦海岸は、現在天然下種更新木及び造林木が健全に育っている。

遠賀郡、北九州市の響灘に面した地域に発生した被害は、海岸林を含め、内陸部の台地の松林を壊滅状態にし、400～500m級の山地の松林も皿倉山～尺岳の高標高地を除きほとんど壊滅している。三里松原の西部は1973年以前に大被害を受けたが、その後薬剤の空中散布等の防除手段により、植栽木、下層木、残存大径木による防風林が形成され、被害は小康状態にある。

1970年当時の京都郡では、長井海岸とその周辺台地の松林で激害林が認められたにすぎなかったが、徐々に内陸に被害が進行して、1977～1978年の夏期高温少雨を契機に一気に被害が拡大した。被害は台地の松林

を一息に壊滅させ、平尾台南面の標高500m位にあった松林をも1977～1982年にかけてほぼ壊滅させた。この被害は、今川沿いに南下したが東西に伸びる大坂山～御所ヶ岳～馬ヶ岳を越えることは無く、今川沿いに迂回して拡大した。その後被害は谷沿いに南下し、1987年現在も徐々に被害は進行している。

築上郡の初期の被害状況は把握していないが、1978年当時には被害がかなり進んでおり、佐井川、山国川沿いの丘陵地や低山地は激化の様相を呈していた。1982年次には、標高200m以下の地域はほぼ壊滅状態であったが、佐井川上流域の標高400～500m地域には、1987年現在も松林が存在し、微害で推移したものと考えられる。

筑豊地区の1970年以前の材線虫病被害の状況は把握していないが、1970年当時には、鞍手郡、田川郡北部を中心に中害松林が各地に認められた。本格的に調査を始めた1978年には、八木山川上流域、彦山川中流域、穂波川中流域の台地及び低山地の被害は激しく、1982年には壊滅的状态になっていた。1987年現在は、上記地域での二次林や上流域で被害が継続しているが、壊滅的な被害松林は少ない。

筑後川北部地域の被害は、1971年当時宝満川中流域の低山地に発生していた激害林が東進し、石原川上流域、佐田川流域へ拡大し、標高400m以下の低山地の松林を激害林分へと移行させている。

筑後川南部松林の被害激化は巨瀬川上流、隈上川流域に始まり、耳納山系の北面低山地へと移行しているが、耳納山地北面の被害進行は遅く、現在も徐々に被害域を拡大している状況である。

矢部川を中心とする被害は、耳納山系西部、矢部川南西部低山地に始まり、東部へ移行して、低山地松林は壊滅的状況を呈している。矢部川中流域（黒木町～立花町）は、1978～1982年にかけて標高200～300m以下の地域の松林が壊滅的被害を受けたが、その後の被害進行は遅い。しかし、標高400～500mにある松林でも被害が定着し、徐々に激化している。星野川中流域は、1978年当時は大径木を中心とした被害であったが、1987年現在では幼令林を含めて、激化の様相を呈している。

4) 防除と被害拡大様相

マツの材線虫病の終息要因の1つに防除の徹底がある。そこで、防除が被害拡大に与える影響について記

述する。

図-9は、薬剤の空中散布と伐倒駆除を併用した松

林での被害本数と材積の年度別変化を、図-10は、薬剤の空中散布継続地域と空中散布休止地域の単位面積

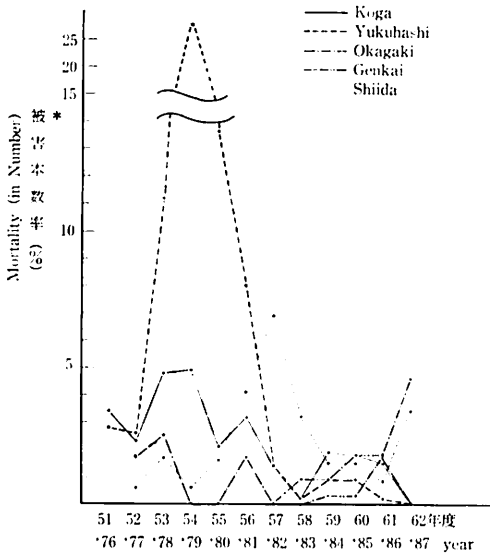


図-9 年度毎の被害本数率 (昭和51年~62年度)
Mortality in each year (1976~1987).

*Mortality (%)=(Dead pine trees/total pine trees)×100
(in number)

**Each forest is treated both with insecticides by aerial application and sanitation felling

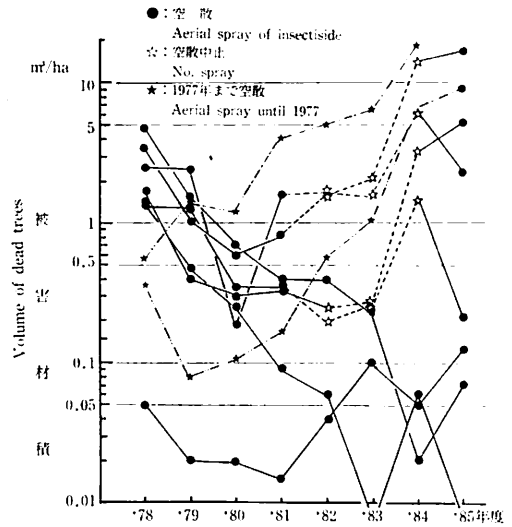


図-10 空散継続地域と空散休止地域の単位面積当り被害量の推移

(松林群ではなく、空散地域を対象として計算した)

Trands of the volume loss per hectometer in the pine forests of the different treatments by aerial spraying.

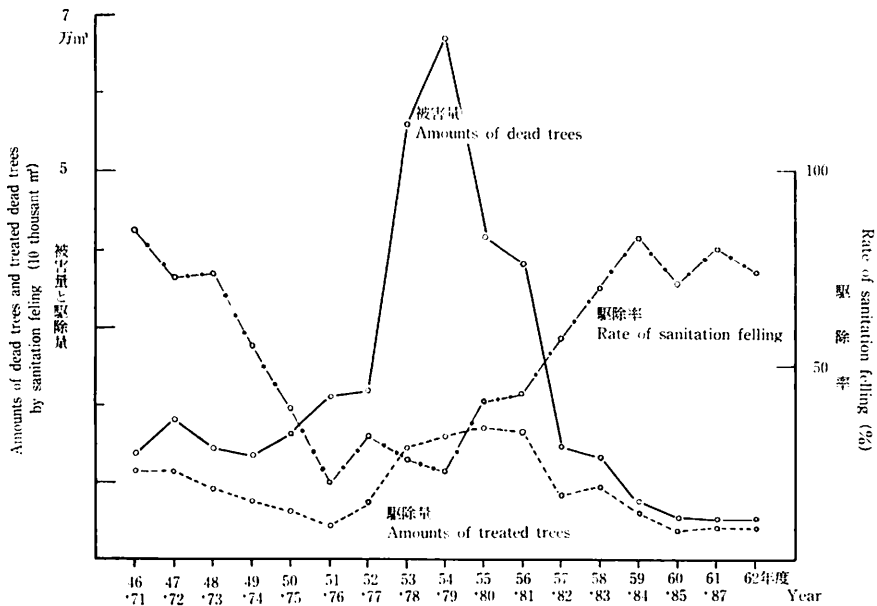


図-11 福岡県における年度毎の被害量、駆除量及び駆除率 (1971~1987)

Amounts of dead pine trees and treated dead trees by sanitation felling in Fukuoka Prefecture.

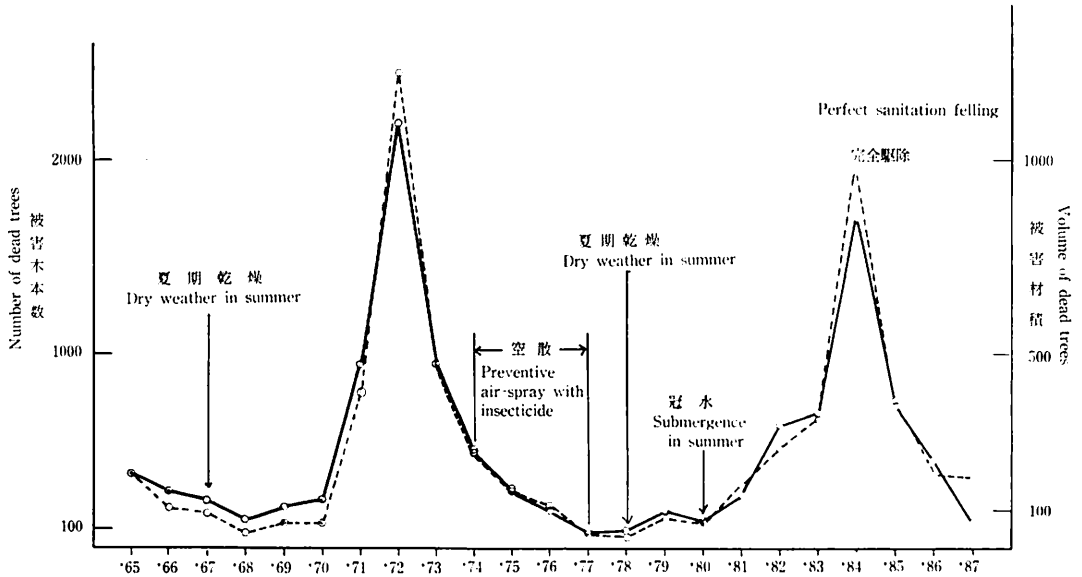


図-12 九州大学早良演習林におけるマツ立枯れ被害の状況 (1965~1987)
Damage changes in a pine stand of the Sawara forest of Kyushu university.

(ha) 当りの被害量の推移を、図-11は全県下の被害量と駆除量の推移を見たものである。図-12は、ある海岸防風林の被害の変化と環境および防除技術導入の関係を示したものである。また、小面積での伐倒駆除効果は、表-1 (古賀町) に記載している。

薬剤の空中散布と伐倒駆除を併用した防除効果は、周辺部の被害状況に左右されるとは言え、十分に認められる。被害は、防除2年目位から急激に減少し、周辺部からのマダラカミキリの飛び込みによる感染が無くなれば、その後2~3年の防除で被害は終息するものとする。しかし、周辺部に被害林がある林分では、空中散布を停止すると、2年目位から被害が目立ち始め、枯損木が放置されれば3年目には被害は激化する。

県全域での被害量は、1979年をピークに1980年以降減少傾向にあり、被害量の減少につれて駆除率も高くなって、被害の軽減割合が強くなっている。また、枯損木の伐倒駆除効果は、表-1の古賀町の事例でも判るように小面積でも認められる。しかし、図-12から約50haを対象にした完全伐倒駆除(枯損木の搬出と焼却)効果を見ると、確実に被害は減少しているものの、ここでは大径木が対象となるため、部分枯れの除去や年越し枯れの発生があり、単年度で急激に被害を軽減できていない。さらに、伐倒駆除による材線虫防除は、

周辺松林からのマダラカミキリの飛び込みによる感染に対しては無抵抗で、周辺地域で被害が継続する限り、完全な被害終息は期待できない。このような目で、県での伐倒駆除効果を見ると、県での伐倒駆除対象地が林地に限られ、行政からの指導はあるものの雑地等に生育するマツの枯損木が放置されることや、対象地域林分でも全林分で駆除が実施できないことから、伐倒駆除松林が分散する欠点を有し、さらに事業的な枯損木の伐倒薬剤散布では100%の殺虫効果を期待できないことから、県全域での伐倒駆除による防除は十分な効果を発揮できないでいる。

3. 気象要因とマツ立枯れの発生動向

マダラカミキリの発育零点について、遠田 (1976 a, 1976 b) は、11.9°Cとしている。また、マダラカミキリの発育積算温量(卵から羽化までの積算温量)は、1,400度日程度であるとされている。

これらの条件を満たす地域はマダラカミキリ生存可能地域である。次に、材線虫について見ると、材線虫がマツを枯死させ得る最低の温度を清原(1973)、堀田ら(1975)は20°Cであるとする。堂岡ら(1972)は、糸状菌を使用した実験で、10°C以上で材線虫は増殖し、15°C以上で急激な増殖を行うと述べている。この

表－1 固定林分における枯損状況
Mortality of pine trees in the frest stands studied

試験地 Locality	古賀町花見 (激)* Hanami Koga (Heavy damage)					久山町池ノ端 (中)* Ikenohata Hisayama (Medium damage)					黒木町渡内 (微)* Watauchi Kuroki (Slight damage)				
調査年度 Year	1978	1979	1980	1981	1982	1978	1979	1980	1981	1982	1978	1979	1980	1981	1982
調査本数(本) No. exsermined	333	191	173	(79)	—	1107	932	821	763	741	617	509	446	393	297
枯損木数(本) No. of dead trees	142	18	6	(4)	—	175	111	58	22	10	108	63	53	96	52
枯損率(%) Mortality	42.6	9.4**	3.5**	5.1	—	15.8	11.9	7.1	2.9	1.3	17.5	12.4	11.9	24.4	17.5
累積枯損率(%) Cumulative motality	42.6	48.0	49.8	—	—	15.8	25.8	31.1	33.1	34.0	17.5	29.9	36.3	51.9	60.3
多数寄生木の出現期***	7～9月 (July～September)					7～9月 (July～September)					7～9月 (July～September)				
調査林分の概況 Condition of stands examined	海拔高 Altitude	10～15m				海拔高 Altitude	90～100m				海拔高 Altitude	180～220m			
	年平均気温 Mean temperature (year)	15.8°C				年平均気温 Mean temperature (year)	15.8°C				年平均気温 Mean temperature (year)	15.7°C			
	樹種 Kind of tree	クロマツ <i>Pinus Thunbergii</i>				樹種 Kind of tree	アカマツ <i>Pinus densiflora</i>				樹種 Kind of tree	アカマツ <i>Pinus densiflora</i>			
	樹令 Age	20～30年				樹令 Age	15～25年				樹令 Age	15～25年			
	立木密度 Tree density	1,600本/ha				立木密度 Tree density	1,100本/ha				立木密度 Tree density	3,600本/ha			

* 試験地設定前の被害程度

** 伐倒駆除が行われた (1978年枯損木の89%, 1979年の枯損木の56%)

* The degrees of pine stand damage before 1978.

** Rate of sanitation felling was 89% in the dead trees of 1978 and 56% of 1979.

*** Occurring times of abnormal pine trees infested by *monochamus alternatus*.

清原、堀田らと堂園らの温度隔差は、マツ樹体内の水分が材線虫増殖に関与したことによると考える。

小河ら (1973) はマツ丸太を使用した実験で、材の含水率の違いにより材線虫の増殖割合が異なることを指摘し、徳重ら (1978) は、含水率100%の材内では材線虫が増殖できないことを確認している。このように、材線虫がマツを枯死させ得る温度は、マツ (宿主) の水分生理によって異なるものと考えたい。また、マツの水分状態と枯損の関係では、鈴木ら (1976) の報告があり、マツの水分状態を左右する降水量 (土壌水分) についても多くの報告があるが、それは後述する。

次に、材線虫病が定着し得る条件について若干触れておきたい。材線虫病定着には、マツが材線虫により

衰弱枯死する時期が、マダラカミキリの産卵可能な時期に一致する必要がある。現在問題にされている年越し枯れ木についても、衰弱時期が産卵可能な時期であり、当該年内にふ化し、ふ化幼虫が越冬可能な状態まで生育できているか、あるいは次年度のマダラカミキリの産卵対象木になる状態で保持されていなければならない。これらの関係が変化することで、材線虫病発生も変化することになる。以上のような観点から気象要因について検討する。

1) 温度

福岡県内の各観測所の資料をもとに、海面修正を行った年平均気温 (平年値) の等温図を示したのが図一

13である。また、図-5は、前項でも述べたように、各標高値における最大の累積被害率を図化し、各年度1978年から1982年にかけて、県内各地に設定した林分の被害推移と被害終息を見たものである。これによる

表-5 標高別材線虫接種試験
Inoculation tests of pine-wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* at different altitude

試験地 Locality (標高) (altitude)	年度 Year	接種日 Date of inoculation	接種* 数 No. of nematodes inoculated	接種 木 数 No. of trees inoculated	枯損 木 数 No. of dead trees	枯損 率 Mortality (%)	樹脂異常 木 数 No. of trees with abnormal resin exudation
玄海 (40~45m) Genkai	1975	6.9	21,000	5	5	100	5
		"	15,000	5	5	100	5
黒木 (200 m) Kuroki	1972	6.5	10,000	6	3	50	3
			1,000	5	0	0	0
			~ 1,200	5	1	20	1
			500	5	1	20	1
	1975	6.26	45,000	10	3	30	5
			~ 48,000	10	3	30	5
添田 (340~360 m) Soeda	1972	7.9	20,000	2	0	0	0
			~ 22,000	2	0	0	0
			5,000	5	0	0	1
			~ 6,000	5	0	0	1
			1,000	5	0	0	1
			~ 1,500	5	0	0	1
	1975	7.1	60,000	5	4	80	4
			30,000	5	4	80	5
			6,000	5	1	20	2
			Cont.	5	0	0	0
星野 (500 m) Hoshino	1975	6.30	30,000	10	3	30	5
			5,000	5	2	40	2
矢部 (680~700 m) Yabe	1975	6.27	60,000	5	0	0	0
			30,000	5	0	0	1
			5,000	5	0	0	1
添田 (680~700 m) Soeda	1975	7.1	60,000	5	0	0	1
			30,000	5	0	0	3
(800 m)	1972	7.9	20,000	3	0	0	0
			~ 22,000	3	0	0	0
			5,000	5	0	0	0
			~ 6,000	5	0	0	0
			1,000	5	0	0	0
			~ 1,500	5	0	0	0

* nematodes/tree

と、標高400mで被害進展の変換点が認められ、700mを越えるところで取斂する傾向が認められる。この結果は、小河ら²²⁾が1972年と1975年に県内の各標高地に生立するマツを対象に行なった材線虫の接種実験の結果(表-5)とも一致する。

地形の違いで多少異なるものの、等高線の400mは年平均気温13~14°C、700~800mは11~12°Cの等温線に類似している(図-13、14)。

次に、年度毎の被害量と気温の関係を見る(表-6、7)。1971年以降、被害が急増した1978年と急減した1980年の材線虫病の発病可能温度と設定した日平均気温21°C以上の日数と、平年値との間には大きな差が認められず、その積算温量に大きな差がある。また、材線虫病の発病が活発になる日平均気温25°C以上の日数は、21°C以上の積算温量の変化に一致している。この様に、日平均気温21°C以上の積算温量と25°C以上の日数が材線虫病発病に大きく関与していることが判る。しかし、被害発生限界を示すこれらの気象指標値の絶対値を求めることはできなかったが、背振山での観測値が1つの目安になるものと考えている。

2) 風

マダラカミキリが羽化脱出し、後食・産卵活動を行う時期の主風方向を示したのが図-15(竹下ら、1966)である。また、1971年から1982年にかけて、県内の材線虫病被害がどのように拡大、激化していったかを模式的に表わしたのが図-16である。

図-15、16を見ると、被害拡大・激化方向が主風方向に沿っていることが良く判る。また、被害激化の度合は、松林の置かれている温度条件、マツの遺伝的要素、マツの水分生理に関する降水量の年次的変化によっても異なるが、主風下側にマダラカミキリの供給源があり、常にマダラカミキリの飛来・定着が可能な松林で激しかった。この傾向は、西日本を対象にした竹下ら(1980)の調査結果と同じである。

3) 降水量

竹下ら(1971、1974)は、1967年度夏期の九州地方の高温少雨が、スギ・ヒノキに与えた影響(枯損と生育減衰)を調査した際のスギ・ヒノキの枯損分布と、1969年に調査したマツの枯損分布の類似性に着目した。



図-13 年平均気温(°C)(年平均)
Annual mean temperature(°C).

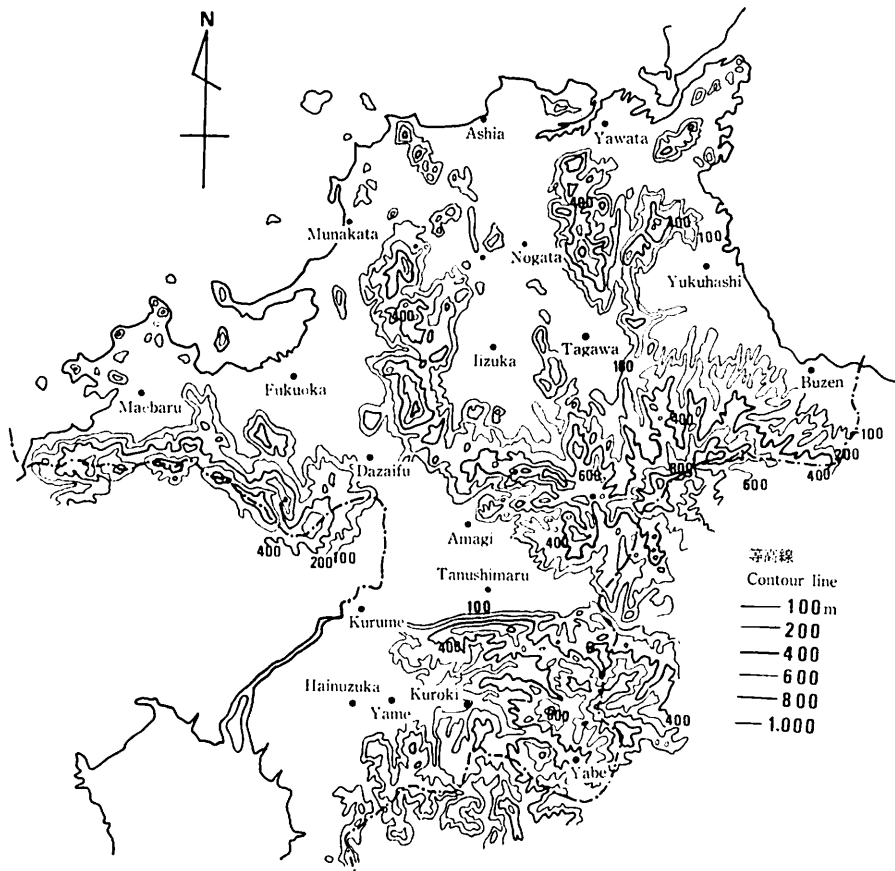


図-14 福岡県における標高と各気象観測所

Altitude and locations of the meteorological observatories.

それは、元来生育旺盛な地域、地形のところに多かった点である。生育の良い場所は、水分環境が良く、通水性の良い土壌を有するところが多く、短期間の降水量にも敏感に反応する。マツは、湿地、乾燥地にも適応して生育するが、根系は、生育地の環境に順応して発達するので、環境が急変すると、それに適応できずに強く水ストレスを受けることになる。この現象は、乾燥と過湿の両面で発生する。乾燥による水ストレスが材線虫病被害に関与することは、前述のとおりであるが、このことは橋本（1976）、峰尾（1976）、大山ら（1975, 1976）、増田ら（1977）、西村ら（1979）の実験でも明らかである。

次に過湿による影響を検討する。筆者は、1969年と1970年の4月にマツの3年生苗木を使って停滞水による根の腐敗状況を調査した。その結果、マツの根の腐

敗は10日目には発生した。マツは停滞水に対し、ヒノキよりも弱く、スギと違って地際部との境に不定根（白根）も発生しなかった。また、福岡市西区生の松原の老令松林内の前砂丘背部の凹地形の一部が、1980年夏期の多雨（7～8月の総雨量1,732mm、降雨日数41日：福岡管区気象台）により数日間冠水した。生の松原では、冠水した部分を中心にして1981年から1982年にかけて被害が激化している（図-12）。このように、地形的・土壌的に水が停滞するような場所では、根系が傷み樹勢が弱まるので、地上部と根系のバランスが整うまでの数年間は、夏期に水ストレスを強く受けているマツが出現しているものと思われる。以上のようにマツの枯損に関与する降水量は平年値では無く、年較差である。この年較差と被害の関係を示した図-17、18、19、20、21は、西日本における夏期降水量の変動

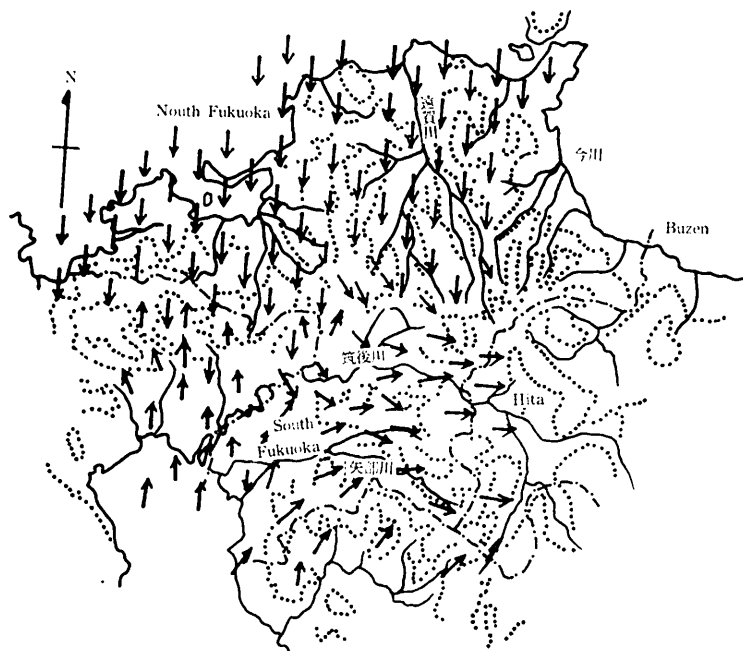


図-15 春～夏期の主風の方向 (竹下ら, 1966)
Main wind-directions from April to September (Takeshita and et al, 1966).

がマツの枯損に及ぼす影響を大雑把に表現している。

次に、福岡県内の被害の変動と降水量の関係(表-6, 7)について記述する。1978年は夏期少雨(高温)の年で、マツが水ストレスを強く受け被害が増大している。1979年は平年並みの降水量になっているが、前年の被害の影響から被害は増大している。1980年のマダラカミキリの羽化脱出期の降雨は平年並みであり、材線虫伝播は平年並みに行なわれたと考えられるが、マツが水ストレスを受ける7～8月の降雨量(日数)が多く、マツの水ストレスが緩和され被害が軽減したと思われる(高橋ら, 1979)。1982年は、被害発生の遅れと量的減少が認められている。この年は、6～7月上旬の降雨が少なく、7月下旬～8月上旬に降雨が集中した年である。マダラカミキリによる材線虫の伝播は活発であったと考えられるが、7月下旬から8月上旬の降雨がマツの水ストレス緩和に強く作用し、被害の遅れと減少をもたらしたものと推察できる。逆に1985年は、マダラカミキリの羽化脱出期の降雨が多く、マツが水ストレスを受ける盛夏期の雨量が少なかった年である(6～7月:833mm, 20日, 7月20日～8月20日:22mm, 5日, 福岡管区気象台)。この年は、被

害の面的拡大は少なかったものの、被害木が残存している林分では被害が激化していた。

以上のように、6月～7月上旬の雨は、マダラカミキリの材線虫伝播行動を、7月中旬から8月上・中旬の降雨は、マツの水ストレスとマダラカミキリの産卵行動(3項)に影響している。これは、竹下ら(1975)がマダラカミキリの行動と材線虫の活動を左右する気象指標値であるマツのマダラカミキリの行動可能日数の変動では表現できにくい被害状況を良く説明している。

3. 被害量の推定

ある一定林分の当該年度の被害量(y)は、前年度枯損木をもとに下記のように求めるものとする。この中の各要因について、当场で現在までに把握できた資料をもとに検討を加える。

$$y = \text{加害力}(x) \times (\text{単木を枯死させる材線虫量})^{-1} \times \text{気象要因} \times \text{被害歴}$$

ここで

$$x = \text{材線虫の単位加害力} \times \text{マダラカミキリの平均保持材線虫数} \times \text{マダラカミキリの発生頭数}$$

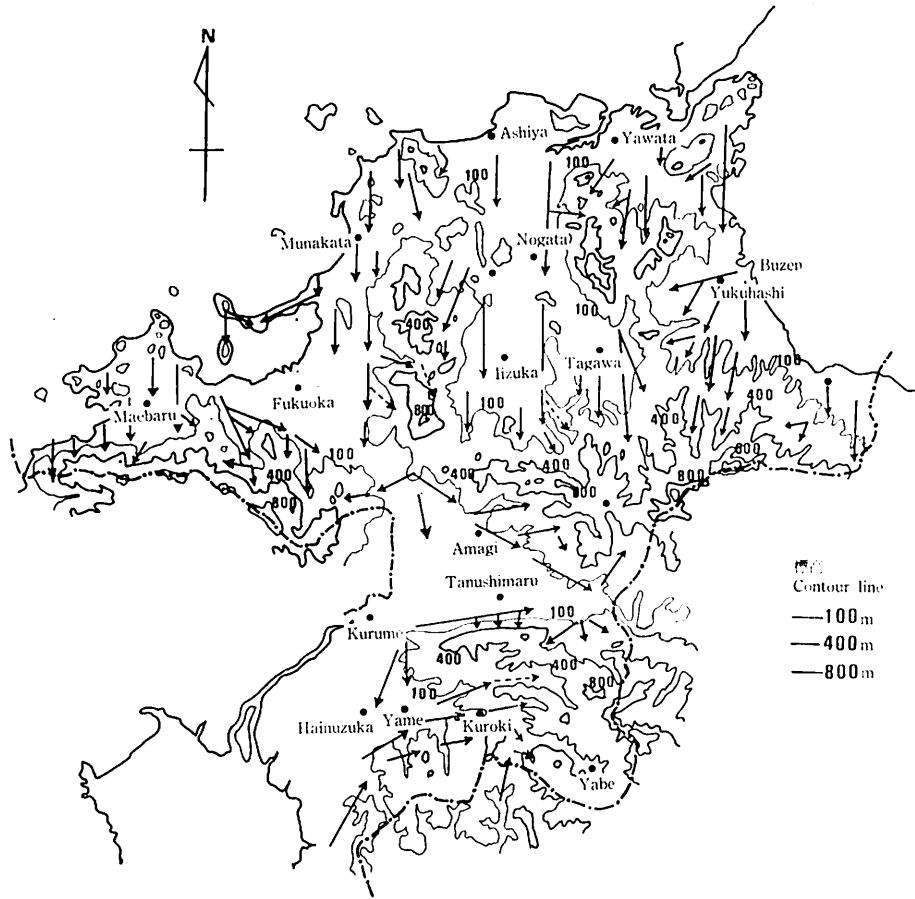


図-16 1971~1987年にかけての主な被害の進展方向

Principal expanding directions of the pine stand damage in Fukuoka Prefecture (1971~1987).

- ※ 単木を枯死させる材線虫量は最低頭数とする。
- ※ 気象要因=樹体内材線虫に関与する温度、マダラカミキリの行動に関与する温度、降水量、風向等、マツのストレスに関与する温度と降水量
- ※ 被害歴=林分内の材線虫病抵抗性木の割合

1) 材線虫の単位加害力

1980年から1981年にかけて宮城県以南の松枯損状況を観察する中で、枯損の進行状態が地域によって異なることに着目し、材線虫の加害力に差があると仮定して被害進行状況を解析すると各地の被害状況を良く説明できた。筆者は、この調査時に各地の被害材を収集し、その中の材線虫に加害力の差があるかどうか検討したことがある。その結果、採取地点によって加害

力に差があることを確認した(未発表)。これより以前に、清原(1977)、茨木ら(1978)も材線虫の系統によって加害力に差があることを確認している。しかし、清原ら(1984)によると、同一地域の枯損木から脱出して来るマダラカミキリの保持材線虫について加害力を検討すると、各枯損木から羽化脱出するマダラカミキリの保持材線虫間で加害力に差を生じ、林分や地域全体を説明するような差を見出すのは困難であるという。

地域毎の材線虫の加害力に差を認めるとすれば、それは材線虫病処女地に新たに運び込まれた材線虫が拡大蔓延する過程で、その環境に適応した材線虫密度が高まることによって生ずるものであり、既被害地では加害力に差のある種々雑多な材線虫が混在するもの

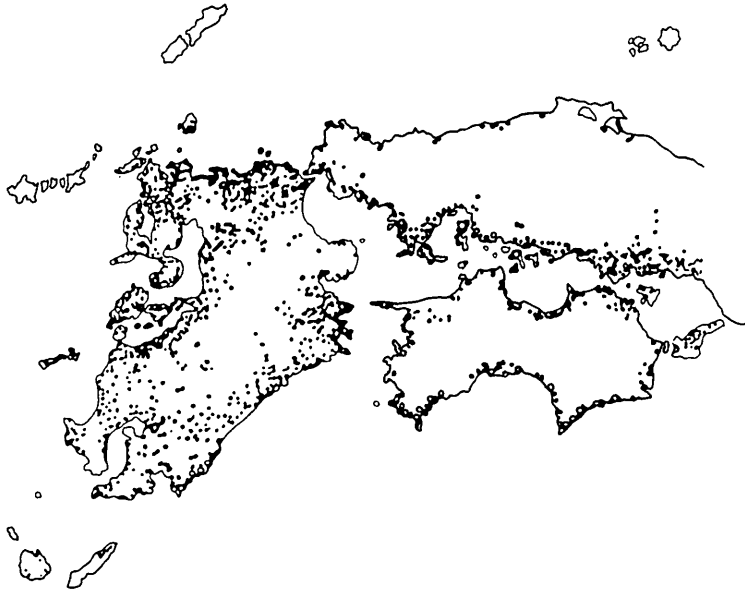


図-17 昭和44年より49年までの間のマツの立枯れ分布（軽微害～激害）（竹下ら，1975）
Distribution of pine stand damaged in western Japan (1969~1975) (Takeshita and et all. 1975).

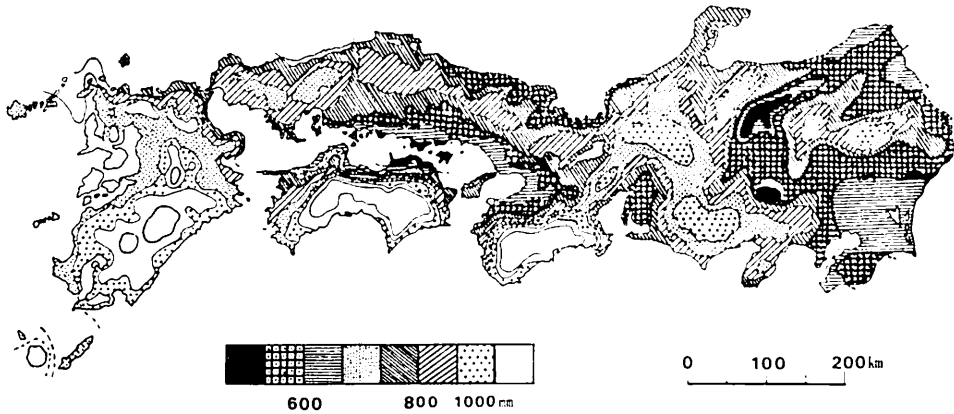


図-18 夏期（6，7，8，9）4ヵ月降水量（平均値）（竹下ら，1975）
Summer precipitation (June-September) in average (Takeshita and et all. 1975).

と考える。このように見てくると、材線虫病発生
の歴史がある福岡県各地域間の材線虫の加害力差を求め
ることは不可能に近く、材線虫病の発生が困難な環境
での被害進展など、特異的な被害が認められた場合に
のみ検討したい。

2) マツノマダラカミキリの平均保持材線虫数
マダラカミキリの保持材線虫数は、各マダラカミキ

リが羽化脱出する枯損木の状態や、同一枯損木でも羽
化脱出する部位で異なる（小林ら，1976，寺下，1975）
が、過去調査してきた各羽化脱出時期毎の材線虫数の
平均値（表-8）から、マダラカミキリ1頭あたり6,000
頭をもって県内のマダラカミキリの平均保持材線虫数
としたい。

また、羽化脱出後のマダラカミキリからの材線虫落
下と材内への侵入の状態は、森本ら（1972，1974）、岸

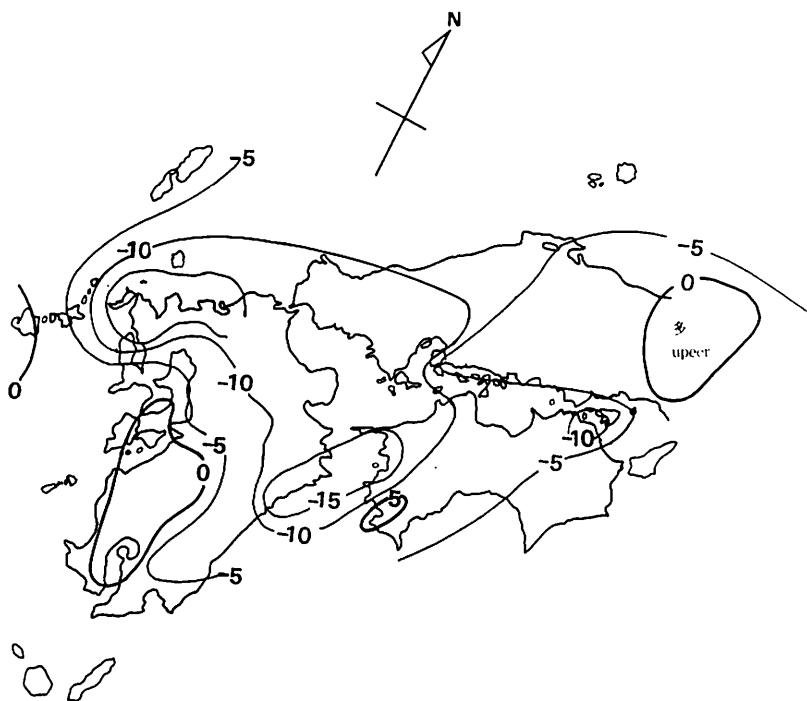


図-19 4ヵ月(6, 7, 8, 9)降雨の平年値との較差(%) (1967~1973): 竹下ら (1975)

Difference of the summer precipitation (June-September) for the years 1967~1973 from the average. (Takeshita and et al. 1975).

(1978) 等が明らかにしている。岸⁵⁰⁾によると材内に侵入する材線虫は落下材線虫の10%にすぎず、多くは材外に落下して死亡しているという。材線虫のマダラカミキリからの落下初発日は、羽化脱出後2日目(中根, 1976), 3日目(岸, 1978), 6日目(遠田, 1972), 8日目(森本ら, 1972)となっている。落下材内侵入の最盛期は、マダラカミキリ個体で偏りがあるものの、羽化脱出後1~2週間の間(森本ら, 1972, 岩崎ら, 1974, 岸, 1978, 1980), と考えられる。落下材内侵入の最終日は、岸(1978, 1980)の報告では、100日程度になっているが、マダラカミキリの平均生存日数等を考慮すると、羽化脱出後1ヵ月程度と考えるとさしつかえないであろう。

福岡県における野外でのマダラカミキリの保持材線虫数の動向を知るものに、誘引剤(産卵誘引)に集まったマダラカミキリの保持材線虫を調査した萩原ら(1973)の報告がある。それによると、産卵時のマダラカミキリの保持材線虫数は、調査時に羽化脱出してきたマダラカミキリの保持材線虫数の11~12%である。

各調査時の平均保持材線虫数は、6月17~30日で1,487頭(0~17,025頭)、7月5~27日で583頭(0~40664頭)、8月2~29日で104頭(0~1387頭)となっている。また、小河(1973)が1971年7月9日に現地で採集した14頭のマダラカミキリでは、材線虫を持ったものが50%で、平均保持材線虫数は17頭(0~150頭)であった。このように、野外での7月中旬以降のマダラカミキリが保持している材線虫数は少なく、この時期のマダラカミキリの材線虫病発病への影響力はかなり低いと考える。

3) マツを枯損させ得る材線虫数

小河ら(1973, 1978)が、1971年度に現地のアカマツ(DBH=6.4~14.2cm, H=4.6~6.1m, 標高200m, 黒木町)で行った実験によると、培養材線虫5,000頭の枝部1点接種で100%の枯損が、1,500頭で40%の枯損が生じているが、1972年の実験では、1,000~1,200頭の幹部接種で枯損木が発生していない。清原(1973)の1972年に熊本県湯浦と植木のアカマツ林(13~19年

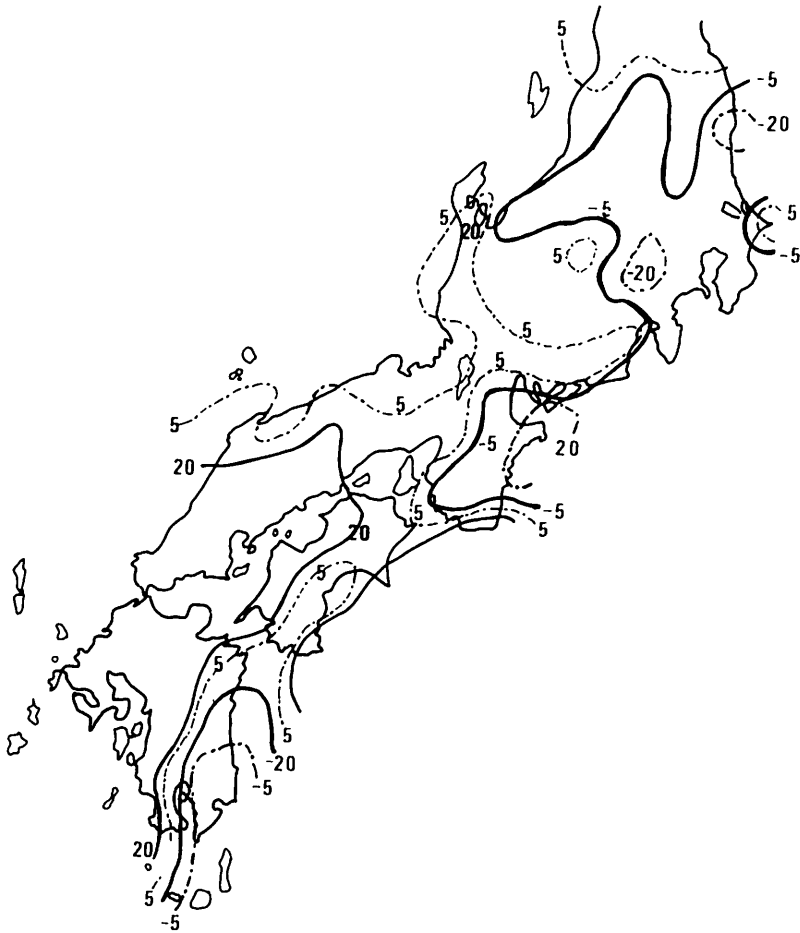


図-20 1980年6～9月の降水量の平均値との較差 (%)
 Difference of summer precipitation (June~September) in 1980 from the average.

生)での実験結果では、耐久型幼虫30頭の幹部1点接種で30～50%の枯損が生じている。ただし、1,000頭以下になると枯損率にバラツキが認められることと、現地での実験では自然感染(湯浦で認められる)の可能性があるので、確実にマツを枯損させる頭数は、耐久型幼虫1,000頭以上必要であると考えられる。

しかし、自然状態では1頭のマダラカミキリが各樹木に均一に材線虫を落下するとは考えられず、樹木の配置によっても分散の割合が異なるし、さらに枯死量以上の材線虫が落下侵入したマツ個体にもかさねて材線虫の落下侵入があるだろうことなど、マダラカミキリ1頭の持つ材線虫数を基準にマダラカミキリ1頭が枯損させるマツの数を推定するのは難しい。松林分に

おけるマダラカミキリの材線虫落下の様相を把握するのは、今後の課題であろう。

4) マツノマダラカミキリの羽化脱出数の推定

単位林分当りの全脱出成虫数(脱出孔数)を求めるためには、9月末または10月上旬における樹脂異常木数(表-9、図-22から推定)を把握して、その木の全産卵痕数が穿入孔数を求めるのが理想であるが、簡便には表-10からもわかるように力枝付近(力枝下1m+力枝上部2節)の穿入孔数を求めれば良い。前年度のその林分における力枝付近における穿入孔実数に対する全脱出孔数の一次回帰式が求めてあれば、その係数を使用して当該年度の全脱出孔数が推定できる。た

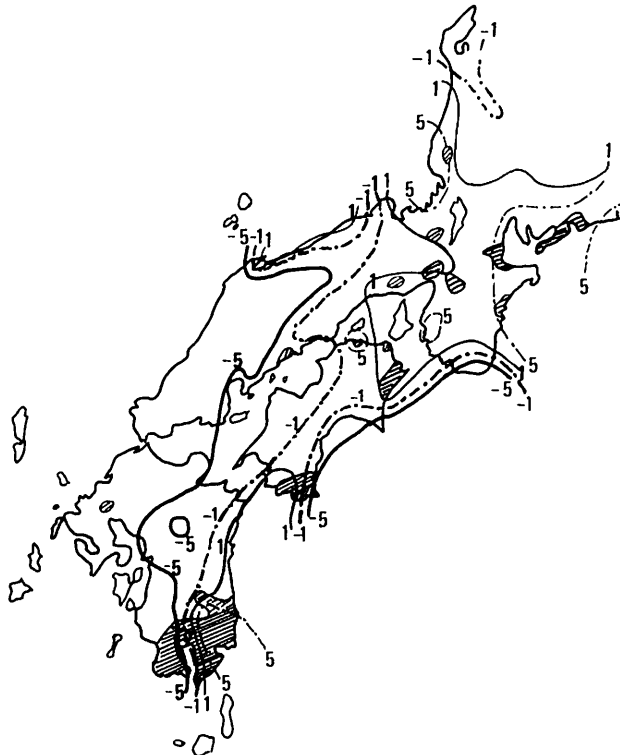


図-21 1980年の被害進行・拡大地域と行動可能日数(5~9月)の平均値との較差

Expanding area of pine stand damage, and difference of number of the flying active days (A) (May ~September) in *Mono chamus alternatus* in 1980. from the average.

だし、一次回帰式の係数は、年度(枯損木発生状況と環境)によって変化するので誤差が大きくなるのは避けられない。

県内のおおまかな数値を求めるには、1978年から1981年にかけて求めた黒木町、久山町の回帰式(表-10)から次式を使用すると良いのではないかと考えている。

$$y = \sum_{i=1}^n x_i \div n_i \times a \times n$$

y = 単位林分の全脱出孔数

x_i = 任意に抽出された調査木の力枝付近の穿入孔実数

n_i = 任意に抽出した穿入孔調査木数

a = 定数(約0.8~0.9)

n = 9月末または10月上旬の樹脂異常木数

上記推定式では9月末または10月上旬の樹脂異常木数を用いているが、9月時の外観異常木から脱出したマダラカミキリ成虫数と総脱出成虫数の比を見た表-11から当該年度のマダラカミキリの81~98%、場所や

年度を総合的に見ると92%弱が9月時に外観異常を起こしたもから発生することが判る。また、図-22から9月末あるいは10月上旬までに樹脂異常を起こしていない樹が年度末までに枯死する割合は極く僅かである。このことから、上記推定式の樹脂異常木本数の項に、9月末枯損木(安全を見て10月末枯損木)の約1.1倍の数字をあてはめると、対象とする林分内から発生する次年度のマダラカミキリ数を大雑把に把握できると考えている。

5) 気象要因と被害歴

材線虫病発生に関与する気象要因については、III項でその定性的な分析を行なっているが定量的把握はできていない。竹下ら(1975)は、共軸座標系により被害度と各気象要因間の関係を求めているが、数年間の累積値からの把握であり、単年度の数値を求めることは難しい。

表-6 気象因子調査表
Climatival value in locations of the meteorological observatories

項目 Item	年度 Year	標高 Hm	年平均 気温 °C	日平均気温 12.5°C以上 の積算温量 300の月日	同左の 気温 °C	日平均気温 12.5°C以上 の積算温量 470の月日	同左の 気温 °C	日平均気温 21°C以上の 積算温量	日平均気温 21°C以上の 日数	マダラカミ キリの行動 可能日数	日平均気温 25°C以上の 日数	6. 7. 8 9月の 降水量 mm	4. 5. 6 月の平均 気温	7. 8月の 降水量 mm
地点 Locality		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
行橋	1978	7	15.1	6, 15	21.4	6, 30	24.6	484.0	106	109.5	71	477.0	17.5	128.0
Ikuhashi	1980		14.0	6, 16	24.7	7, 2	21.2	(209.1)	(92)	73.5	12	2,093.0	17.1	1,724.0
	平年値		15.0	6, 13	22.2	6, 30	23.9	(390.5)	(103)	88.6	(49)	1,012.0	17.3	535.0
飯塚	1978	37	15.9	6, 7	20.5	6, 21	22.9	598.0	116	119.0	83	523.5	18.7	123.0
Iizuka	1980		14.7	6, 9	23.3	6, 25	24.1	324.5	115	87.0	53	1,917.0	18.0	1,563.5
	平年値		15.3	6, 7	22.3	6, 24	23.5	486.1	112.4	93.0	65	938.1	17.5	451.1
添田	1978	120	15.2	6, 11	23.0	6, 27	27.3	483.5	107	93.5	68	635.0	17.9	209.0
Soeda	1980		14.0	6, 13	23.0	6, 29	22.2	247.5	105	72.5	17	2,247.0	17.4	1,795.0
	平年値		14.9	6, 12	21.8	6, 30	23.5	365.1	101	79.8	47	1,144.5	17.5	620.9
宗像	1978	6	15.5	6, 13	22.0	6, 27	26.6	532.5	107	112.5	79	465.0	17.8	77.0
Munakata	1980		14.3	6, 14	22.0	6, 30	22.2	256.5	107	83.5	19	1,734.0	17.3	1,442.0
	平年値		15.1	6, 12	21.2	6, 30	23.6	425.3	104.3	92.9	60.1	819.9	17.5	385.7
福岡	1978	3	16.7	6, 3	18.4	6, 19	26.8	669.1	126	124.5	85	622.5	19.1	144.0
Hukuoka	1980		15.6	6, 6	23.3	6, 21	21.8	360.7	121	96.0	33	2,094.0	18.6	1,732.0
	平年値		16.4	6, 3	21.9	6, 20	23.2	558.2	121.8	108.2	69.7	857.9	18.7	427.7
甘木	1978	36	15.4	6, 9	23.6	6, 24	22.7	550.3	112	117.0	71	455.0	18.3	112.0
Amagi	1980		14.3	6, 10	19.8	6, 27	25.5	302.0	113	89.0	20	1,976.0	17.8	1,551.0
	平年値		15.3	6, 10	22.1	6, 25	23.5	435.9	111.2	92.8	53.4	1,094.3	18.1	591.5
黒木	1978	105	15.4	6, 9	23.5	6, 24	22.7	520.0	114	90.5	75	657.0	18.3	210.0
Kuroki	1980		14.4	6, 9	23.7	6, 26	25.0	431.3	115	67.5	29	2,244.0	17.9	1,880.0
	平年値		15.4	6, 4	21.7	6, 21	23.0	480.3	114.3	(76.8)	63.5	1,141.6	18.5	577.7
脊振	1978	960	11.0	7, 3	29.3	7, 14	27.5	102.9	57	70.0	0	770.0	14.1	177.0
Seburi	1980		9.7	7, 13	19.7	8, 6	19.3	5.5	8	25.5	0	2,571.0	13.3	2,017.0
	平年値		10.2	7, 13	21.1	8, 1	22.5	50.7	35	39.7	0.4	1,465.0	13.6	782.0

① Altitude (m) ② Annual mean temperature (°C) ③ Date exceeded 300 day-degrees of the integrated mean temperatures above 12.5 °C ④ Temperature at ③
 ⑤ Date exceeded 470 day-degrees of the integrated mean temperatures above 12.5 °C ⑥ Temperature at ⑤ ⑦ Integrated mean temperatures above 21°C
 ⑧ Number of days above 21°C in mean temperature ⑨ Number of days capable of flight in *Monochamus alternatus* ⑩ Number of days above 25°C in mean temperature
 ⑪ Summer precipitation (June-September) ⑫ Mean three-months temperature (April ~July) (°C) ⑬ Precipitation (July~August)

小河誠司：マツの材蠹虫病の拡大様相と被害量の推定

表-7 各観測所の気候値と県下の被害量
Climatival value and volume of damaged trees in each year.

気象観測所名 Locality	年 度 Year	年平均 気 温 °C ①	日平均気温 21°C以上の 日 数 ②	同 左 の 積 算 温 量 ③	日平均気温 25°C以上の 日 数 ④	行 能 動 日 数 ⑤	6. 7. 8 9月の降水 量 mm ⑥	7. 8月の 降水 量 mm ⑦	県下の 被害量 千m ³ ⑧
福 岡 Fukuoka	1977	15.4	118	499.6	63	124.0	524.5	208.0	22.3
	78	15.9	126	669.1	85	124.5	622.5	144.0	56.0
	79	15.8	129	584.8	64	123.5	918.5	263.0	67.2
	80	14.7	121	360.7	33	96.0	2,094.0	1,732.0	41.6
	81	15.0	116	575.1	64	114.0	940.0	398.0	38.4
	82	15.4	125	428.4	49	102.0	1,096.0	634.0	14.6
	83	15.3	135	584.1	65	113.0	967.0	546.0	13.4
	84	14.7	127	621.8	75	109.5	577.0	192.0	7.4
	85	15.3	118	649.1	83	99.5	1,184.0	272.0	5.3
	86	14.8	116	510.7	68	88.0	881.0	470.0	5.2
飯 塚 Iizuka	1977	15.4	108	434.4	59	108.0	664.0	330.0	
	78	15.9	116	598.0	83	119.0	523.5	123.0	
	79	15.8	118	490.0	53	103.5	1,296.0	477.0	
	80	14.7	115	324.5	53	87.0	1,917.0	1,563.5	
	81	15.0	102	482.3	62	102.5	907.0	384.0	
	82	15.4	111	362.6	42	85.5	942.5	375.9	
	83	15.3	125	458.7	52	89.5	1,167.0	631.0	
	84	14.7	118	494.0	69	89.5	770.0	268.0	
	85	15.3	106	492.1	74	81.0	1,449.0	448.0	
	86	14.8	97	421.7	54	77.5	1,030.0	554.0	
脊 振 Sefuri	1977	9.1	40	59.9	0	53.5	880.0	401.0	
	78	11.0	57	102.9	0	70.0	770.0	177.0	
	79	11.1	40	63.8	0	51.0	1,205.0	582.0	
	80	9.7	8	5.5	0	25.5	2,571.0	2,017.0	
	81	9.9	38	57.6	0	45.5	1,583.0	635.0	
	82	10.8	18	18.6	0	19.2	1,521.0	1,140.0	
	83	10.3	37	48.0	2	28.0	1,553.0	816.0	
	84	9.8	48	70.5	2	45.5	1,186.0	358.0	
	85	10.2	46	78.5	0	50.0	1,619.0	506.0	
	86	9.7	34	41.0	0	31.5	1,482.0	803.0	
87	10.4	20	11.4	0	17.5	1,745.0	1,172.0		

① Annual mean temperature (°C) ② Number of days above 21°C in mean temperature

③ Integrated mean temperature above 21 °C ④ Number of days above 25°C in mean temperature

⑤ Number of days capable of fight in *monochamus alternatus*

⑥ Summer precipitation (June ~September) ⑦ Summer precipitation (July ~August)

⑧ Volume of damaged trees in Fukuoka Prefecture

表-8 マツノマダラカミキリ*の保持線虫数
Number of carrying *Bursaphelenchus xylophilus*
per *Monochamus alternatus**

羽化脱出時期 Date emerged	調査頭数 No. examined	線虫数 No. of nematodes			調査月日 Date examined
		最小 Minimum	最大 Maximum	平均 Average	
5 月 May					
中 旬 Second third	4	2	92,620	29,083	1,971~1,972
下 旬 Last third	9	2,124	15,321	7,903	〃
6 月 June					
上 旬 First third	38	0	29,640	4,003	〃
中 旬 Second third	15	2	64,620	7,207	〃
下 旬 Last third	9	42	24,280	5,099	〃
7 月 July	6	17	17,100	5,005	1,974
平 均 Average	81	0	92,620	6,410	

* New adults soon after emergence from dead log

このように、各要因毎の定数を求めることはできず、現段階では平年時における推定被害量に対して多いか少ないかという判断材料としてしか利用できないと考えている。

被害歴は、そこに生立するマツの材線虫病に対する抵抗性・耐病性の程度を表現するものと考えられる。被害歴は、対象林分毎に把握できるとしても、そこに生立する抵抗性木数を量的に把握する作業はなされていない。被害歴が古い場合には、残存木の抵抗性は強いと考えられ、次世代、次々世代のマツも抵抗性を持った割合が多いことは想像されても適確にその量を把握するのは難しく、気象要因と同様の扱いをせざるを得ないのが現状であろう。

表-9 枯損木の樹脂異常時期別産卵本数率(黒木町)
Rate (%) of the oviposited trees and times of the abnormal resin exudation

樹脂異常時期 times of Abnormal resin exudation	産卵本数率*(%) Rate of abnormal trees oviposited		
	1980	1981	1982
8 月 末 以 前 Before the end of Aug.	82	73	79
10 月 上 旬 以 前 Before the first third of Oct.	66	23	20
10 月 上 旬 以 後 After the first third of Oct.	0	10	0

摘 要

1. 福岡県におけるマツの材線虫病の拡大様相

(1) 単一林分の拡大様相

福岡県林業試験場渡内実験林で1978~1981年の4年

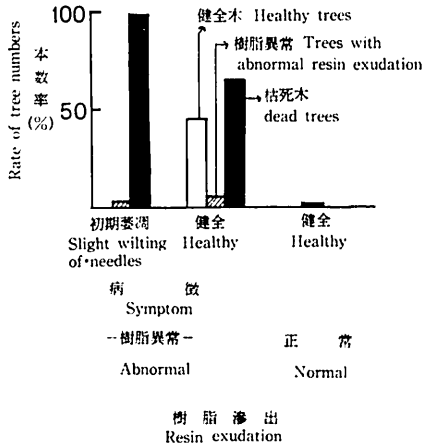


図-10 秋期の樹脂量と年度末の枯損率の関係 (1943年調査)
Relation ship between the mortality at the end of fiscal year and tree conditions in autumn season (Trees investigated : 1943)

間調査した。材線虫病は、解放された林縁部から始まり、そこから林内に拡大する。林内に枯損木の核ができると、そこを中心に同心円状に拡大する。

(2) 松林群内での拡大様相

あるマツノマダラカミキリの発生源 (千数百頭を中心とした被害の拡大範囲は2~3 kmで、500~800m内で被害が激しく、100m以内に集中する。単位面積当りの被害本数 (y) を発生源からの距離 (x) 毎に求めると、

$$\log y = -0.9303x + 2.3749 \quad (y = 0.96)$$

の関係が求められた。

福岡県下の松林では、標高400mを境にして、被害の進展度合が急減し、700mを越えるところで収斂する傾向が認められた。福岡県では、標高500~600m以下の地域 (年平均気温12~13°C以上) は、被害程度を別にして被害が継続する地域である。

(3) 防除と被害の拡大様相

薬剤の空中散布と伐倒駆除を併用した防除によって、被害は2年目位から急減し、周辺からの感染が無くなれば、その後2~3年で終息する。しかし、実際には県全域で完全な防除が行えないため、被害は継続している。

表-10 穿入孔実数に対する全脱出孔数実数の一次回帰式と相関係数
Coefficient correlation and primary regression between number of entrance holes of the larvae and the emergence holes of the adults

年 度 Year	久 山 町 Hisayama		黒 木 町 Kuroki	
1978	A	Y = 1.81x - 1.06 (r = 0.58)	Y = 1.62x + 11.82 (r = 0.67)	
	B	Y = 1.05x - 5.19 (r = 0.77)	Y = 0.95x + 7.41 (r = 0.77)	
1979	A	Y = 1.82x - 2.19 (r = 0.76)	Y = 0.58x + 0.95 (r = 0.72)	
	B	Y = 0.97x - 1.71 (r = 0.80)	Y = 0.28x + 0.86 (r = 0.75)	
1980	A	Y = 1.31x - 0.86 (r = 0.80)	Y = 0.30x + 0.77 (r = 0.43)	
	B	Y = 0.75x - 0.62 (r = 0.82)	Y = 0.23x + 0.35 (r = 0.54)	
1981	A	Y = 0.81x + 5.22 (r = 0.52)	Y = 1.11x + 0.24 (r = 0.67)	
	B	Y = 0.71x + 2.35 (r = 0.64)	Y = 0.69x - 0.39 (r = 0.78)	
全 Total	A	Y = 1.43x + 0.32 (r = 0.66)	Y = 1.44x - 0.26 (r = 0.68)	
	B	Y = 0.90x - 1.77 (r = 0.77)	Y = 0.82x - 1.08 (r = 0.76)	

* A : 力枝下 1m の穿入孔実数

B : 力枝下 1m + 上部 2 節の穿入孔実数

A : No. of the entrance holes of the larvae on the stem extended within 1m below the bough

B : No. of the entrance. holes on the stem extended within 1m below the bough + two knots above the bough

表-11 9月枯損木と総枯損木の関係 (a, b, c の値)
Relationship between the dead trees in the end of September and total dead trees

場所 Locality examined	枯損年度 Year of death	a	b	c
古賀 Koga	1978	4.73	1.16	0.37
久山 Hisayama	1978	1.56	—	—
	1979	1.34	—	—
	1980	1.32	1.04	1.23
	1981	1.29	1.02	1.07
黒木 Kuroki	1979	1.93	1.23	0.81
	1980	2.06	1.06	0.55
	1981	1.57	1.04	1.16

a = 総枯損本数 / 9月末までの枯損本数

b = 総脱出成虫数 / 9月末までの枯損木からの脱出成虫数

c = 調査木の全脱出成虫数 / 力枝下部 1m 部位の穿入孔数

a = Total number of dead trees / number of dead trees until the end of September

b = Total number of adults emerged / number of adults emerged dead trees until the end of September

c = Number of adults emerged from trees examined / number of entrance holes of

larvae on the stem extended within 1m below the bough

2. 気象要因とマツ立枯れの発生動向

(1) 温度

福岡県で被害激化が懸念される地域は、年平均気温(平年値) 13~14°C 以上(標高400m 以下)の地域であり、被害発生限界地域は、11~12°C 以下(標高700~800 m 以上)の地域である。

(2) 風

福岡県での被害進行は、夏期の主風方向に類似している。

(3) 降水量

マツノマダラカミキリの後食活動期及びマツが水ストレスを受ける時期(8月上旬)の降雨量と降雨日数は、マツ立枯れの発生時期と量を左右する。福岡県でも、1978年(夏期少雨:被害激化)と1980年(夏期多雨:被害拡大範囲縮小、被害量減少)夏期の降雨が、被害量と被害進行に大きく関与していた。

3. 被害量の推定

当該年度の被害量(Y)は次のように求めるものとした。

$Y = \text{加害力}(x) \times (\text{単木を枯死させる材線虫量})^{-1} \times \text{気象要因} \times \text{被害歴}$

$x = \text{材線虫の単位加害力} \times \text{マツノマダラカミキリの平均保持線虫数} \times \text{マツノマダラカミキリの発生頭数}$

(1) 材線虫の単位加害力

福岡県各地域の単位加害力は特定できていない。

(2) マツノマダラカミキリの平均保持線虫数

福岡県におけるマツノマダラカミキリ 1 頭当りの平均保持線虫数は、約6,000頭である。

(3) マツを枯損させる材線虫数

現地のアカマツ(DBH=6.4~14.2cm, H=4.6~6.1 m, 黒木町)では、培養線虫で1,500頭であった。清原ら(1973)は、耐久型幼虫30頭の接種(現地松林)でマツは枯死するとしている。

(4) マツノマダラカミキリの発生頭数

福岡県の各被害林分におけるマツノマダラカミキリの脱出頭数は次式で求められるのではないかと考えている。

$$Y = \sum_i x_i \div n_i \times a \times n$$

$$Y = \text{脱出頭数} / \text{調査林分}$$

$x_i = \text{任意に抽出された調査木の力枝付近の穿入孔実数}$

$n_i = \text{任意に抽出された穿入孔調査本数}$

$a = \text{定数 (0.8~0.9と推定)}$

n = 9月末または10月上旬の樹脂異常本数または、
10月末の外観異常本数の1.1倍

(5) 気象要因と被害歴

これらの因子は、数値化できていないので、被害量が推定値よりも多いか少ないかの判断材料にしかならないのが現状であろう。

引用文献

- 堂園安生・清原友也：菌糸培養法におけるマツノザイセンチュウの増殖温度，日林九支研論，25：160-161，1972。
- 遠田鶴男：マツノザイセンチュウ媒介昆虫と保持数，日林関西支講，24：31，1972。
- 遠田鶴男：マツノマダラカミキリの発育に関する研究（III）地域別個体群の発育零点と有効積算温量，87回日林論，1976。
- 遠田鶴男：マツノマダラカミキリの生活史（とりまとめ）森林防疫，25：182-185，1976。
- 秋原幸弘・小河誠司・中島康博：マダラカミキリ誘引剤への飛来経過と保持線虫数，日林九支研論，26：147-148，1973。
- 橋本平一：灌水条件の異なるクロマツ苗におけるマツノザイセンチュウの動態とマツ苗の病態反応，87回日林論，233-235，1976。
- 堀田 隆・橋本平一・増田隆哉：温度条件の変化とマツノザイセンチュウの動態及び加害性との関係，86回日林講，303-304，1975。
- 茨木親義・大庭喜八郎・他3名：マツノザイセンチュウ23系統のクロマツ苗木に対する病原性のちがひ，日林九支研論，31：67-68，1978。
- 岩崎 厚・森本 桂：マツノマダラカミキリの後食予防によるマツ類枯損防止試験III，マツノマダラカミキリの保線虫数からみた後食予防必要時間の推定，日林九支研論，27：193，1974。
- 川畑克己・古城元夫：松くい虫被害の伝播について，日林九支研論，25：198-200，1972。
- 川畑克己・古城元夫・勝 善鋼：マツノマダラカミキリの誘引剤試験，日林九支研論，28：161-162，1975。
- 岸 洋一：マツノザイセンチュウのマツノマダラカミキリからマツ樹体への侵入経過，日林誌，60：179-182，1978。
- 岸 洋一：茨城県におけるマツノザイセンチュウによるマツ枯損と防除に関する研究，茨城県林試研報，11：4-72，1980。
- 清原友也：マツノザイセンチュウを接種したクロマツ苗の発病に及ぼす温度の影響，84回日林講，334-335，1973。
- 清原友也・堂園安生・橋本平一・小野 馨：マツノザイセンチュウの接種密度と加害力，日林九支研論，26：191-192，1973。
- 清原友也：マツノザイセンチュウ系統間の増殖および病原性の比較，日林九支研論，30：241-242，1977。
- 清原友也・河辺祐嗣：マツノザイセンチュウの病原力の変異，日林九支研論，37：169-170，1984。
- 小林一三：マツの枯損とマツノマダラカミキリの数，森林防疫，24：206-208，1975。
- 小林一三・奥田素夫・細田隆治：マツ枯損木の乾燥程度，太さとマツノマダラカミキリの脱出・線虫保持数，87回日林論，239-240，1976。
- 小林一三：関西地方における昭和52年夏の異常気象と松くい虫被害，森林防疫，27：75-78，1978。
- 小林一三：関西地方における2年連続の異常気象と松くい虫被害，森林防疫，28：80-84，1979。
- 増田隆哉・大山浪雄：温度と土壤乾燥がマツノザイセンチュウ接種クロマツに及ぼす影響，日林九支研論，30：103-104，1977。
- 峰尾一彦：マツノザイセンチュウ寄生性発現に関する土壤の乾燥条件，87回日林論，241-242，1976。
- 森本 桂・岩崎 厚：マツノザイセンチュウ伝播者としてのマツノマダラカミキリの役割，日林誌，54（6）：177-183，1972。
- 森本 桂・岩崎 厚：マツノマダラカミキリ羽化直後及び餌木反応個体の後食木停留率，日林九支研論，27：177-178，1974。
- 森本 桂・岩崎 厚・倉永善太郎・吉田成章：マツノマダラカミキリの生態と防除，林試九支年報，18：4-5，1975。
- 森本 桂・岩崎 厚・田呂丸一太・滝下国利：マツノマダラカミキリに関する研究（XXV），88回日林論，281-282，1977。
- 森本 桂：マツの枯損量とマツノマダラカミキリの密

- 度, 森林防疫, 28 (5): 2-5, 1979.
- 中根 勲: マツノザイセンチュウ耐久型幼虫の虫体からの離脱経過, 日林関西支講, 27: 252-254, 1976.
- 日本自然保護協会: 松くい虫被害対策として実施される特別防除が自然生態系に与える影響評価に関する研究——松くい虫等被害に伴うマツ林生態系の攪乱とその動態について——, 179-195, 1987.
- 西村慶二・栗延 普・金光隆義: マツノザイセンチュウ人工接種の用土別, 灌水方法別試験, 日林九支研論, 32: 205-206, 1979.
- 西村正史: マツノマダラカミキリ成虫の行動の連続観察, 日本林学会会誌, 55 (3): 100-104, 1973.
- 西澤正久編: まつくい虫の総合防除システム化に関する研究, 科学研究費(総合研究)報告書, 1-149, 1981.
- 小河誠司・中島康博・萩原幸弘: マツ枯損防止に関する研究資料, 福岡林試研究資料, No. 2: 1-69, 1973.
- 小河誠司・中島康博: マツ枯損防止に関する研究資料(続), 福岡林試研究資料, 4: 2-31, 1978.
- 小河誠司・萩原幸弘: 材線虫病によるマツ枯損被害拡大の様相について, 森林防疫, 29: 115-117, 1980.
- 小河誠司・竹下敬司: マツの材線虫病によるマツ林の枯損分布の地理的パターンと気象因子との関係, 92回日林論, 383-384, 1981.
- 大山浪雄・川述公弘・斉藤 明: マツノザイセンチュウ接種クロマツ苗の発病に及ぼす土壤乾燥の影響, 日林九支研論, 28: 107-108, 1975.
- 大山浪雄・川述公弘・鈴木和夫・末吉幸満: アカマツとクロマツのマツノザイセンチュウ感受性に及ぼす土壤乾燥の影響, 日林九支研論, 29: 219-220, 1976.
- 林野 庁: 松の枯損防止新技術に関する総合研究, 大型プロ研究成果, 2: 1-164, 1984.
- 鈴木和夫・清原友也: クロマツの水分状態と材線虫病発現の機作, 日林九支研論, 29: 221-222, 1976.
- 高橋和博・堀田 隆: マツノザイセンチュウ病防除試験(I)—灌水による治療効果—, 日林九支研論, 32: 265-266, 1979.
- 竹谷昭彦・奥田幸男・細田隆治: マツの激害型枯損木の発生環境, 日林誌, 57: 169-175, 1975.
- 竹下敬司・福島敏彦・野中重之: 地形による福岡県周辺の年降水量分布の推定, 福岡林試時報, 18: 13, 1966.
- 竹下敬司・萩原幸弘・小河誠司: 松の立枯れ林調査, 日林九支研論, 25: 152-153, 1971.
- 竹下敬司: マツ立枯れ林の分布概況と気候, 日林九支研論, 27: 153-154, 1974.
- 竹下敬司・萩原幸弘・小河誠司: 西日本におけるマツの立枯れと環境, 福岡林試時報, 24: 1-43, 1975.
- 竹下敬司・小河誠司: マツ林の枯損分布の地理的パターンと風向との関係, 91回日林論, 381-382, 1980.
- 竹下 努: 鳥取県におけるマツノザイセンチュウの分布と被害, 86回日林講, 283-384, 1975.
- 竹下 努: 材線虫によるマツ枯損防止の研究(I)—鳥取県の材線虫分布と被害, 鳥取県林試研報, 19, 37-49, 1976.
- 寺下隆喜代: 松くい虫被害材の含水率, その材中のマツノザイセンチュウ数及びその材から羽化したマツノマダラカミキリの保線虫数の関係, 日林関西支講, 26, 279-281, 1975.
- 富樫一己: マツ枯損予防のための殺虫剤散布時期に関わるモデルとその一適用例, 日林誌, 62(10): 381-387, 1980.
- 徳重陽山・藤崎正博・橋本平一: マツ生立木における材線虫の急激増殖を抑制する一要因, 日林九支研論, 31: 213-214, 1978.
- 山根明臣(とりまとめ): マツノマダラカミキリの行動, 森林防疫, 25: 188-191, 1976.
- 横堀 誠: 茨城県におけるマツ枯損発生の環境要因, 茨城林試研報, 15: 3-23, 1986.

IV. マツの材線虫病の生物的・物理的防除

小河 誠 司

Seiji OGAWA

Biological and physical control of the pine wilt disease.

SUMMARY

1. Preventive effect of the nematicides by trunk injection method.

Preventive effects of the nematicides by the trunk injection method were tested at eight pine forests on three nematicides. Results obtained are as follows:

Kind of nematicides	Effective years	Highly effective year after injection
Mesulfenfos (50%)	1-2	First year
Levermyzol (4%)	2-3	Second year
Morantel (12.5%)	2-3	Second year

Preventive effects are more than 90% in the highly effective year and thence gradually decreased in the succeeding years.

2. Application of the natural enemies to the pine sawyer.

(1) Biological control of the pine sawyer by *Beauveria bassiana*.

Direct application of the *Beauveria bassiana* to the larvae, pupae and adults of the pine sawyer are as highly effective as to 100% killing, but the effect is varied when applied to the dead trees.

(2) Biological control of the pine sawyer by the Entomogenous nematode.

The cultured Entomogenous nematode, *Steinernema feltiae* were experimentally sprayed on the dead tree trunk indwelling the larvae of the sawyer in the pupal chambers in April or September and got the results of the 70-80% mortality of the larvae.

3. Control of the larvae of the sawyer in the pupal chamber by covering the dead tree trunks with vinyl sheet.

The vinyl sheet covering of the dead tree trunks is highly effective owing to rise the temperature above the lethal limit, and/or prevent the escape from the covering. Minimum thickness of the vinyl sheet for the complete prevention of the escape is 0.2 mm according to our experiments.

マツ類の材線虫病防除の主流をなしているものは、媒介虫であるマツノマダラカミキリを対象としたものである。薬剤の空中散布、地上散布、生理活性物質によるマダラカミキリの誘殺等の後食産卵予防、被害木からマダラカミキリの羽化脱出を阻止する被害木駆除（被害木伐倒薬剤散布、ヘリコプターによる薬剤散布、被害木伐倒後の焼却や破砕などの物理的処理）などは、これまでに多くの調査研究がなされ、その成果をもとに現在の総合的な防除対策が作られている。ここでは、これらに関する記述はできる限り少なくして、①1973年から現場でも実験調査を行ってきた薬剤の単木処理による材線虫病防除、②カミキリの密度制限要因となる天敵微生物の利用方法、③被害材のビニール被覆によるマダラカミキリの駆除について述べたい。

1. 薬剤の単木処理によるマツの材線虫病防除

マツ樹幹にあらかじめ薬剤を注入しておいて、カミ

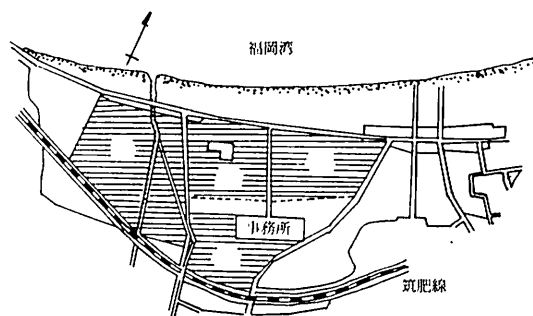


図-1 試験区の配置
Arrangement of the test stands.

キリの後食痕から侵入した材内の材線虫を殺虫してマツの材線虫病を防除する現場における試みは、1973年の7年生クロマツによるHBL油剤(α-terthienyl)施用(小河, 1975)に始まる。その後も、種々の単木処理薬剤の施用効果を検討しているが、ここでは福岡市西部防風保安林内の大径木を使用し、1983年から1985年にかけて実施した試験内容を中心に記述する。本内容の一部は、第41回日本林学会九州支部大会(小河ら, 1986)で報告している。

1) 試験地の配置および試験要領

試験地の配置を図-1で、試験要領を表-1で示めた。使用薬剤は、塩酸レバミゾール(Levermisol hydrochloride, 4%:MTS)、酒石酸モランテル(Morantel-rartrate, 12.5%:GG)、メスルフェンホス(Mesulfenfos, 50%:NN)である。材線虫の接種は行わず、自然感染による効果を見た。樹脂量は、5段階(卍, 卍, +, ±, 0)とし、樹脂異常木は、±, 0を含むか、2個以上+を含むものとした。試験区内は原則的に伐倒駆除が行なわれているが、特に1984年度以降の枯損木は完全に駆除されている。また、1984年2~3月の薬剤処理は、樹脂異常木を中心に行なった。

2) 結果

NNの注入量は、1983年2月処理がm³当り300~900cc, 1984年2~3月処理が400~800ccの間にある。NN処理の1年目の効果は、無処理木の枯損率が高い場合

表-1 各殺虫剤の試験本数および処理月日
Number of the trees injected with nematicides and date of treatment

処 理 月 Date of treatment 薬 剤 名*	昭和58年2月 Feb. 1983		昭和59年2~3月 Feb. or Mar. 1984		昭和60年3月 Mar. 1985	
	処理本数 Treated	無処理本数 Control	処理本数 Treated	無処理本数 Control	処理本数 Treated	無処理本数 Control
MTS (4%)	50	200	87	②	62	566 ②
NN (50%)	32	217	30	960 +		+
	32	214	22		③	③
GG (12.5%)			85	455 ⑤		

*MIS : Levermisol hydrochloride (4%), NN : Mesulfenfos (50%)

GG : Morantel-rartrate (12.5%)

**①~⑤ : 試験区 Test stand (Fig. 23)

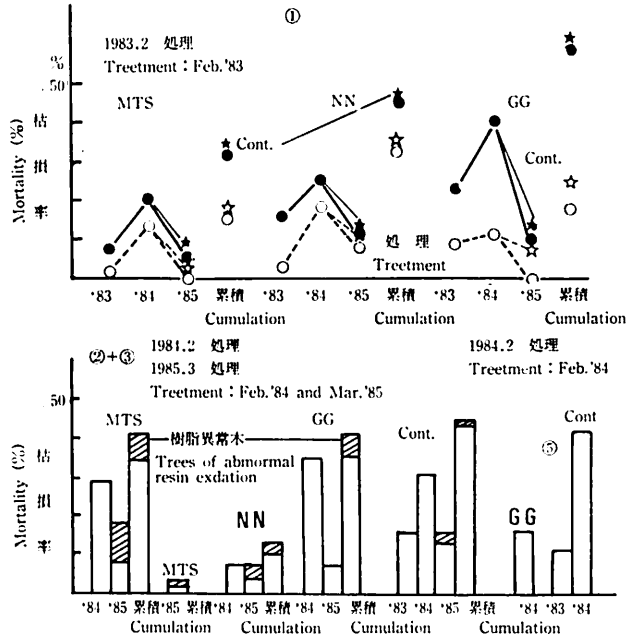


図-2 各試験区の年度別枯損率の推移
Mortality of pine trees in each tested stand.

* ☆☆：樹脂異常木を含んだ枯損率
Mortality including trees with abnormal resin exudation
** ——：無処理木 - - - -：処理木
Untreated trees Treated trees

でも良好であるが、処理2年目には、600cc以下の処理木で効果が低下し、3年目には、MTS, GGよりも薬剤が落ちている。MTSの m^3 当り注入量は、1983年2月が3 l、1984年2月が3 lと10 l、1985年3月が約2 lであるが、②+③区(1984年)の3 l区の吸収量は0.8~3 lと分散している。GGの場合は、1983年2月が0.4~1.3 l、1984年2月は、0.6~1.3 lおよび⑤区で1 lとなっている。MTS, GGは、周辺木の枯損率が高い場合には、処理1年目の効果は落ちるが、処理2年目になると効果が安定するようである。薬剤の m^3 当りの吸収量と処理1年目、2年目の枯損との関係を見ると、NNはある一定の傾向が認められるものの、MTS, GGでは、はっきりした傾向が認められない。

②+③と⑤区の薬剤処理時(1984年2月)の樹脂量と処理1年目の枯損率を見たのが図-4であるが、処理時の樹脂量によって枯損率に明らかな差が認められる。また、薬剤処理時の樹脂量別、直径階別の処理1年目の枯損率(図-5)を見ると、直径が大きくなる

ほど枯損率が高くなる傾向があり、この傾向は、樹脂正常木で顕著である。一方、②+③区の無処理木では、異常木の直径階別本数が直径30cm以下に多かったためか、1984年2月時点での樹脂量間でその年の枯損率に差が認められなかった。

以上の点を考慮すると、樹脂異常木を中心に薬剤処理を行った1984年2月の薬剤処理効果は、結果値より若干高いものと思われる。

3) 考察

NN, MTS, GGの施用効果は、十分に認められる。NNは施用1年目の効果が高く3年目で効果が減退するが、MTS, GGは2年目で効果が安定し、3年目も効果が持続する。表-2は、当場で1980年以降実施した単木処理薬剤のスクリーニング結果である。

MTSの場合対象木の m^3 当り3 lの施用で2年目までは十分効果が認められ、3年目に薬剤が減少している。これは、大径木の試験結果とも合致している。

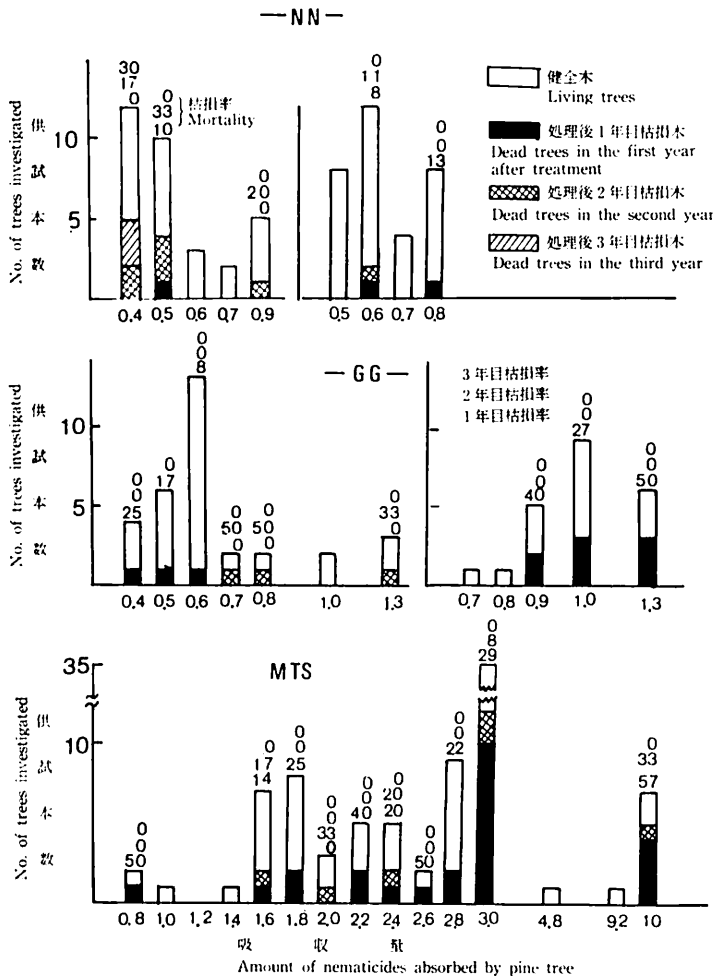


図-3 吸収量別本数と年度別枯損本数及び枯損率
Effect of nematocides in three successive years against the pine wilt disease by injection method.

表-3.1, 3.2は、福岡市が事業的に行なった薬剤の処理効果をまとめたものである。使用された薬剤は、メスルフェンホス剤（50%）で、注入初年度の効果が高く、次年度には若干薬効が落ちている。処理された地区は、いずれも激害松林群内にあり、特に海岸防風保安林の東区奈多地区、大岳地区、西区生の松原、今津は特に被害が激しい部分を中心に薬剤注入が行なわれている。これらの地域には薬剤注入時期以降～その年の6月までに枯死する、いわゆる年越し枯れがかなりあることが表-3からも読みとれる。表-3は、薬剤注入木での結果であり、実際には年越し枯れは、もっと多いものとする。また、年越し枯れ防止を目的

とした治療とも言うべき薬剤使用は、10月時点で樹脂量を把握し、その時点での樹脂異常、外観健全木に対して当該年内の早目に処理すべきであるとする。

以上、薬剤の単木処理による材線虫病防除について述べたが、以下薬剤の単木処理技術導入に際し、感じた点を記述する。

- ①対象樹木は松林分全体の立木配置を考慮して決定する。
- ②対象松林内の枯損木は完全駆除する。
- ③周辺松林でマツ以外の樹種導入が可能な場合には、その促進を図り、周辺からマダラカミキリの飛び込みを防止する。

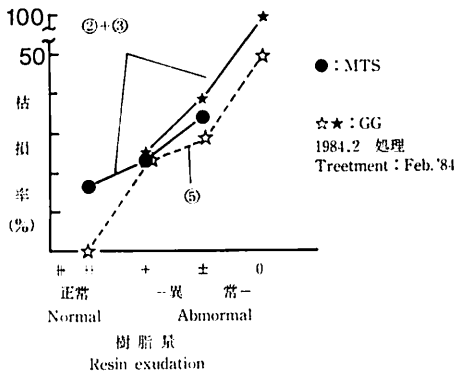


図-4 薬剤処理時の樹脂量別の枯損率
 -薬剤処理1年目の枯損率-
 Mortality of pine trees and tree conditions
 at the time of treatment with chemicals.
 -Mortality of the first year after treat-
 ment-

④対象松林内の空地（上層木の疎な場所）には、天然下種更新または造林を行なって、将来的には、多段林相形成を目指す。

⑤他の予防処置がとれる場合には、併用する。

上記の様に、薬剤の単木処理は、材線虫病の総合防除の中の一環として採り入れるべきで、継時的に使用できるものではないと考えている。

2. 天敵の応用技術

樹木の病虫害を薬剤以外で防除しようと考えた時、誰しも天敵類の利用を思い浮かべる。材線虫病についても例外ではない。材線虫病の媒介虫であるマダラカミキリの密度制限要因について注目されたのは、天敵糸状菌、細菌、昆虫、野鳥等である。密度を左右する最大のものは、対象害虫の餌量による密度効果であろうと考えられるが、材内に定着できる最大量のマダラカミキリ数を、さらに低下させるのは天敵類であると考えられる。天敵野鳥については、II項で記載したので、ここでは応用の可能性がある天敵糸状菌 (*Beauveria bassiana*) と、最近注目されている昆虫寄生性線虫 (Entomogenous nematode, *Steinernema feltiae*) に関する実験結果について述べたい。

1) 天敵糸状菌によるマツノマダラカミキリの殺虫試験

(1) 試験方法

試験①：1980年の8月4、5日（餌木）と9月18日（枯損木丸太）に *Beauveria bassiana* 菌の孢子混濁液（濃度 10^7 /ml）を、材表面積 1 m^2 当り $1,000\text{ ml}$ 散布した。散布した丸太は、シイタケほど場内に立てかけた。調査は、1981年3月11日に行ない、マダラカミキリの死亡状況を確認した。

試験②：1982年8月にSDY培地で培養された *B. bassiana* 菌の孢子を約 5°C の冷蔵庫に保存しておき、これを同年10月26日に蒸留水とツイン80とで懸濁液（濃度 10^7 /ml）とし、表-4の条件下に保存した。接種は、マダラカミキリの幼虫を1頭づつ入れたガラス管に保存混濁液を 0.5 ml あて注入する方法をとった。また、接種後の幼虫は 20°C の恒温室内に保管し、死亡日や菌そう形成状況を観察した。

試験③：表-5、図-6に示めした要領で、*B. bassiana* 菌の孢子を濡れた松枝に散布し、各飼育容器にその松枝を入れた。フードバックは個体飼育を、腰高シャーレは集団飼育（5頭づつ）した。

(2) 結果および考察

大長光（1984）の実験（試験2、表-4）から、*B. bassiana* 菌はカミキリ幼虫に対して有効な菌と言えるが、材線虫病被害丸太を利用した実験では産卵後（直後）散布で4.7%、幼虫穿入前散布で18.8%の殺虫率（林野庁、1984）で、十分な成果をあげておらず、いかにして材内幼虫に病原菌の孢子を到達させるかが、今後の課題であろう。

また、後食期成虫に対する *B. bassiana* 菌の孢子散布試験結果（表-5、図-6）を見ると、後食期成虫に対する効果は、 ha 当り 20 kg 程度の孢子の散布で十分に認められる。後食期成虫を対象にした時でも、現実林分の場合には、散布された孢子が後食中のカミキリにどの程度付着するのか、マツの枝葉に散布量の何割位が付着し、付着した孢子の活性がどの程度保持されるのか（久保園（1982：未発表）によるとマツノマダラカミキリ成虫の活動期における *Beauveria bassiana* 菌孢子の活性はかなり早く減衰する。）を確認すること及び効果確認後には、林内に散布された病原菌の環境に与える影響をも調査する必要がある。

表-2 殺線虫剤の樹幹注入によるマツの材線虫病の予防効果
Preventive effects of nematicides by trunk-injection against the pine wilt disease

薬剤名 Kind of nematicides	場所* Test place	施用日 Date of treated	接種 年月 Year inoculated	吸収量/本 cc Amount of nematicides /tree	樹の大きさ Size of tree				供試 本数 No. tested	枯損 本数 No. of dead trees	枯損率 (%) Mortality
					DBH cm Diameter at breast height		H cm Height				
					最小~最大 Min~Max.	平均 Average	最小~最大 Min~Max.	平均 Average			
MTS**	3/区 (a)	1982 3/28	1982.7	72~207	9~15	12	7.0~9.0	7.7	20	1	5
	10/区 (a)	"	"	340~1000	10~17	13	7.0~11.0	8.6	10	2	10
	3l/m ³ (a)	"	1983.7	84~207	10~14	12	7.0~8.0	7.7	19	0	0
	10l/m ³ (a)	"	"	300~1000	10~17	13	7.0~11.0	8.6	10	0	0
	3l/m ³ (b)	1983 3/23	"	351~753	18~23	21	8.0~13.0	9.8	10	0	0
	5l/m ³ (b)	"	"	345~920	15~21	17	8.0~12.0	8.9	10	0	0
	10l/m ³ (b)	"	"	460~800	12~16	14	7.0~11.0	8.1	10	0	0
	3l/m ³ (b)	"	1984.7	351~753	18~23	21	8.0~13.0	9.8	10	1	10
	5l/m ³ (b)	"	"	345~920	15~21	17	8.0~12.0	8.9	10	0	0
	10l/m ³ (b)	"	"	460~800	12~16	14	7.0~11.0	8.1	10	0	0
	3l/m ³ (b)	"	1985.7	351~546	18~23	20	8.0~12.0	9.5	8	3	38
	5l/m ³ (b)	"	"	345~920	15~21	17	8.0~12.0	8.9	10	3	30
	10l/m ³ (b)	"	"		12~16	14	8.0~12.0	8.1	9	3	33
	3l/m ³ (b)	1984 2/25	1984.7	540~1350	20~32	23	10.0~12.0	10.9	15	1	7
	5l/m ³ (b)	"	"	225~600	12~18	15	6.0~10.0	8.5	13	1	8

* a : Watauchi, kuroki (Altitude : 150~200 m, *Pinus densiflora*)

b : Funaki, Jyōyō (Altitude : 250~300 m, *Pinus densiflora*)

**MTS : Levamisole hydrochloride (4%)

表-3.1 殺線虫剤の樹幹注入による予防効果 (昭和60年と61年の注入)
Preventive effect of nematicide by trunk-injection against the pine wilt disease (Injected in 1985 and 1986)

直径階 Diameter class cm	注入量 (m/l) Amount of nemat- icides	注 入 本 数 No. of trees injected	市 民 の 森 (1985.2注入) Abrayama			注 入 本 数 No. of trees injected	東 区 奈 多 (1986.1注入) Nata			注 入 本 数 No. of trees injected	西 区 生 の 松 原 (1986.2注入) Ikinomatsubara		
			枯 損 本 数* (率) No. of dead trees (Mortality)				枯 損 本 数* (率) No. of dead trees (Mortality)				枯 損 本 数* (率) No. of dead trees (Mortality)		
			1986.3 Mar. '86	1986.7 July '86	1986.10 Oct. '86		1986.6 Mar. '86	1987.6 July '87	1987.10 Oct. '87		1986.6 Mar. '86	1987.6 July '87	1987.10 Oct. '87
22	100	7	0	4(57.1)					147	0	1(0.7)	0	
26	150	77	0	2(2.6)	1(1.3)				218	"	3(1.4)	"	
30	200	163	1(0.6)	3(0.9)	1(0.6)	744	13(1.7)	11(1.5)	16(2.2)	212	"	0	"
32	250	92	0	1(1.1)		289	5(1.7)	13(4.6)	7(2.6)	81	"	0	"
34	300	58	0	0		290	3(1.0)	10(3.5)	2(0.7)	58	"	2(0.6)	"
40	350	191	2(1.0)	3(1.6)		477	5(1.0)	16(3.4)	6(1.3)	118	"	1(0.8)	"
44	400	99	1(1.0)	1(1.0)		165	6(3.6)	12(7.5)	2(1.4)	22	"	0	"
50	450	87	2(2.3)	2(2.4)		107	2(1.9)	6(5.7)	3(3.0)	16	"	1(6.3)	"
56	500	33	0	1(3.0)		28	1(3.6)	2(7.4)	2(8.0)	8	"	0	"
62	550	14	0	1(7.1)		15	0	2(13.3)	0	0	-	-	-
68	600	1	0	1(100)		4	0	0	0	1	0	0	0
計 Total		822	6(0.7)	19(2.3)	2(0.3)	2,069	35(1.7)	80(3.9)	38(1.9)	881	0(0)	8(0.9)	0(0)
累 計 Total dead trees				25(3.0)	27(3.3)			115(5.6)	153(7.4)			8(0.9)	8(0.9)

* Number of dead trees by natural infection **Nematicide : Mesulphenphos (50%)

表-3.2 殺線虫剤の樹幹注入による予防効果 (昭和62年の注入)
Preventive effect of nematocide by trunk-injection against the pine wilt disease (Injected in 1987)

直径階 Diameter class cm	注入量 (m/) Amount of nemat- icides	注本 No. of trees injected	東区奈多 (1987.2注入) Nata		注本 No. of trees injected	東区大岳 (1987.2注入) Ôdake		注本 No. of trees injected	西区今津 (1987.2注入) Imazu	
			枯損本数* (率) No. of dead trees (Mortality)			枯損本数* (率) No. of dead trees (Mortality)			枯損本数* (率) No. of dead trees (Mortality)	
			1987.6 June '87	1987.10 Oct. '87		1987.6 June '87	1987.10 Oct. '87		1987.6 June '87	1987.10 Oct. '87
22	100	920	1(0.1)	16(1.7)	39	0	0	646	0	6(0.9)
26	150	536	5(0.9)	4(0.8)	60	0	〃	404	0	5(1.2)
30	200	315	2(0.6)	7(2.2)	53	1(1.9)	〃	266	1(0.4)	1(0.6)
32	250	104	0	5(4.8)	21	0	〃	86	1(1.2)	3(1.2)
34	300	69	1(1.4)	1(1.5)	17	〃	〃	69	0	0
40	350	100	4(4.0)	2(2.1)	42	〃	〃	99	〃	〃
44	400	22	0	0	11	〃	〃	21	〃	〃
50	450	27	1(3.7)	3(11.5)	8	〃	〃	13	〃	1(7.7)
56	500	6	0	0	5	〃	〃	7	〃	0
62	550	5	0	0	1	〃	〃	0	〃	〃
68	600	1	0	0	0	〃	〃	0	〃	〃
計 Total		2,105	14(0.7)	38(1.8)	257	1(0.4)	0(0)	1,611	2(0.1)	16(1.0)
累 計 Total dead trees				52(2.5)			1(0.4)			18(1.1)

* Number of dead trees by natural infection

**Nematicide : Mesulphenphos (50%)

表-4 カミキリムシ成虫に対する *B. bassiana* の保存
 条件別接種試験-1982年12月7日接種-
 Inoculation tests of *Beauveria bassiana* preserved at different
 conditions to *Monochamus alternatus* adults (Date of inoculation : 7/12/'82)

接種菌の状態 Condition of <i>B. bassiana</i>	供試頭数 No. examined	死亡頭数 No. of dead insects	菌そう形成頭数 No. germinated	生存日数 Living days	菌そう形成日数 Days for germination
I	3	3	3	7	13
II	3	3	3	7.3	11.3
III	3	3	3	17.7	21.7
control	5	2	1	53.5	54

- 1) 死亡虫のみの接種日からの平均日数
Average living days from inoculation (dead adult)
- 2) 菌そう形成虫のみの接種日からの平均日数
Average days from inoculation to germination in the germinating adults
- 3) 試験条件 (温度は1982年10月26日~12月7日)

Conditions of examination (Temperature from 26/10/'82 to 7/12/'82)

I	約5°C Constant condition at 5°C	通常暗黒 Darkness
II	約20°C一定 Constant condition at 20°C	Darkness
III	Room condition 平均 12.6°C Average 最高 25.9°C Max. 最低 0.2°C Min.	日光下 Under sunlight

2) 昆虫寄生性線虫のマツノマダラカミキリに対する施用法

佐賀大学の石橋信義博士に、マツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus*) 駆除に昆虫寄生性線虫 (Entomogenous nematodes: *Steinernema feltiae*) が利用できるかということ伺ったのは、1980年10月のことである。そこで、さっそく1980年の11月から簡単な室内実験を行なった。11月12日、シャーレに口紙を敷き、マダラカミキリの終令~老熟幼虫を1頭あて放飼したものに *S. feltiae* の DD-136 系線虫を1,500頭接種すると確実に殺虫できることが確認された。そこで12月1日には被害丸太を使用し、1穿孔孔に1,400~4,200頭接種した場合、表-6のように25°C条件下であれば100%殺虫できることを確認したが、12月の室温では効果が無かったことと、当時昆虫寄生性線虫を野外で使用することが出来なかったために、実験

を中断していた。その後、石橋を中心に文部省科学研究費による「昆虫寄生性線虫による生物的防除法の開発」という課題が1984年から取り組まれ、国立林業試験場の(片桐ら; 1984, 石橋; 1987)によってマダラカミキリに対する本格的な実験が行なわれた。それにより、材内のマダラカミキリに対する昆虫寄生性線虫の施用効果が実証された。それをもとに、過去を経緯をも踏まえて、1986~1987年に亘り、材線虫病被害材内のマダラカミキリに対する昆虫寄生性線虫の施用効果を検討した。また、本試験の一部は、1986年の日本林業学会九州支部大会で発表している。

(1) 実験方法

使用線虫は、*Steinernema feltiae* の Mexican 系の感染態第III期幼虫 (SDS バイオテックス社提供) で、接種月日、接種量及び供試被害丸太の状況は、表-7の

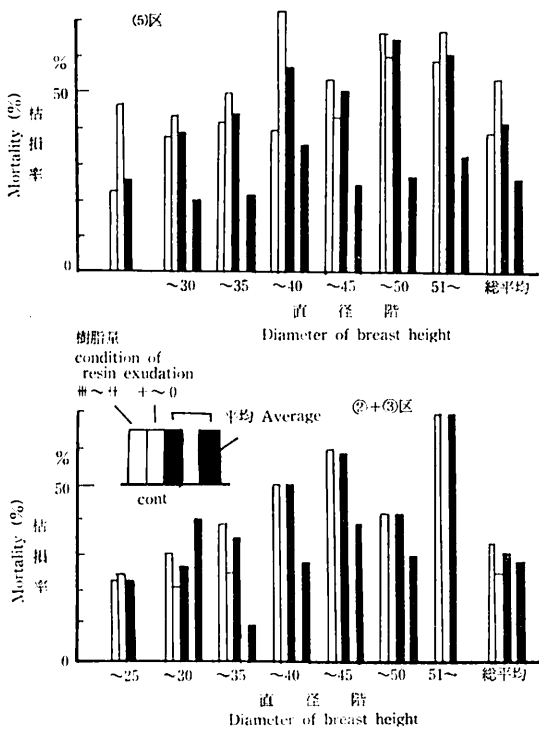


図-5 薬剤処理時の樹脂量別・直径階別枯損率
 (1984.2処理：1年目：⑤区注入木はGG，
 ②+③区注入木はMTS)
 Mortality of pine trees and tree conditions
 at the time of treatment with chemicals.
 (Mortality of the first year after treatment
 in Feb. 1984).

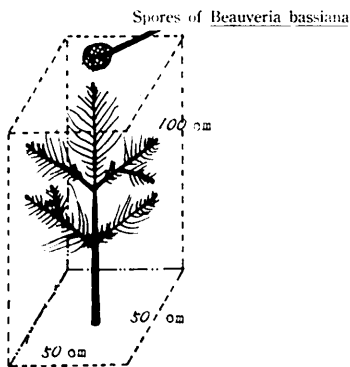


図-6 *B. b.*の散布要領
 Spraying method of *Beauveria bassiana*

とおりである。線虫施用は、地面に並べられた供試丸太に、所定量の線虫混濁液を手動式の噴霧器でむらなく散布する方法を採った。調査は剥皮しながら樹皮下

幼虫の生死を確かめ、それから穿入孔数を調べた後に割材して、材内幼虫の生死を確認する方法を採った。また、死亡虫は昆虫寄生性線虫の寄生を確認した。

(2) 結果及び考察

結果を表-7と図-7に示めた。前述の片桐らによる *S. feltiae* の被害マツ丸太への施用とマツノマダラカミキリに対する殺虫効果は次の様である。4月以降の施用、そして25°C恒温条件下の施用で50~80%の殺虫効果が得られ、15°Cでの効果が少なく、野外での1月施用で効果が認められなかったとしている。25°C恒温条件下の施用結果と1月施用結果は、表-6の予備実験結果に類似している。今回の実験でも温室での施用効果が高く、*S. feltiae* の施用効果は温度に左右されることが多い。野外での気温では、図-8に示めた黒木観測所における10~11月の気温が参考になると考えている。また、散布後の材の湿度を保つ意味でビニール被覆を行なったが、ビニール被覆区と野外区で効果に差を生じなかった。ビニール被覆区は、雨水の材への浸透を妨げ、逆に材を乾燥させる可能性もある。いずれにせよ、被害マツ丸太材内が *S. feltiae* の活動に影響が無いように湿っていたれば、空中湿度はあまり効果に関与しないと考える。*S. feltiae* の施用によるマダラカミキリの殺虫効果をマダラカミキリの平均死亡率でみると、3月下旬~4月下旬と10月上旬に、樹幹表面積1 m² 当り500万頭~1,200万頭施用することによる死亡率は、70~80% (野外) となっている。

以上のように、*S. feltiae* により被害丸太内のマダラカミキリを70~80%の確立で殺虫できることは実証できた。しかし、一般に使用されている駆除農薬より殺虫効果が落ちることと、図-7からも判るように各丸太によって殺虫効果にバラツキを生じるなど、改善すべき点が認められる。しかし、農薬等の使用が困難な地域や場所での施用には適しているのも、より効果的で効率的な施用方法を検討したい。

3. マツノマダラカミキリ防除のためのビニール被覆の応用

材線虫病被害材の移動による材線虫病の拡散については、西口 (1972)、武田ら、我如古 (1974)、庄司ら、早坂ら (1976)、遠田、岸ら、山崎ら (1978)、山口ら、伊藤ら、渡瀬 (1979) 等の報告でも明らかであり、筆

表-5 *Beauveria bassiana*のマガラカミキリ成虫に対する殺虫効果 1985年
Insecticidal effect of *Beauveria bassiana* against *Monochamus alternatus* adults by spraying spores

試験区 Utensils for breeding	培養月日 Date of culture	採取月日 Date gathered spores	散布月日 Date of spray	散布量g/m ² Amount of spraying spores (g/m ²)	羽化脱出月日 Date of emergence	頭数 No. examined	生存日数 Days of living	発菌率 % Rate of germination (%)
フードパック* food package	4.17	6.19	6.27	0.02	6.27	10	$\frac{6.2}{4\sim 8}$	40
〃	4.17	6.19	6.27	0.04	6.18 6.19	10	$\frac{6.5}{4\sim 14}$	70
腰高シャーレ** Laboratory dish	4.17	6.19	6.27	1	6.17	10	$\frac{8.1}{4\sim 14}$	80
	4.17	6.19	6.27	2	6.20	10	$\frac{9.0}{4\sim 14}$	90
	6.10	7.1	7.1	0.25	6.10	8(10)	—	25
Control (フードパック)*	—	—	—	—	6.10 6.27	222	$\frac{35.6}{1\sim 97}$	0

*フードパック容積：10.5×17.5×5=920 cm³

Volume of food package : 10.5cm×17.5cm×5cm=920cm³

**腰高シャーレの大きさ：径24cm, 高さ50cm

Size of laboratory dish : Diameter : 24cm, High : 50cm

表-6 マツノマガラカミキリの加害した松丸太に対する *Steinernema feltiae* の色々の施用法
Different applications of *Steinernema feltiae* to pine logs infested by *Monochamus alternatus*

接種月日 Date of inoculation	接種頭数 No. inoculated (JIII)	丸太の処理 Treatment of pine log		接種後** の温度	供試頭数 No. of tested insects	死亡虫数 No. of dead insects	死亡率 Mortality %		
		接種前 Befor inoculation	接種後 After inoculation						
1/11/80	1,400	水に浸漬*** Dissected	ビニール被覆 Vinyl covering	25°C	2	1	50		
				室内 Rooms	2	0	0		
		〜4,200 穿入孔	—	—	25°C	2	2	100	
					室内 Rooms	3	0	0	
	—	水に浸漬 Dissected	—	—	室内 Rooms	1	0	0	
					25°C	4	4	100	
		—	—	—	—	室内 Rooms	2	0	0
						—	—	—	—

* : 1,400~4,200 nematodes/an entrance hole

** : Temperatuer condition after inoculation

*** : Logs were dissected in water befor inoculation

表-7 昆虫寄生性線虫によるマツノマダラカミキリの防除
Application method of *Steinernema feltiae* for control of *Monochamus alternatus*

場所 Condition	年度 Year	接種日 Date of treatment	接種数 No. of inoculated JIII	本数 No. of logs	樹皮厚 mm Thickness of bark	中央径 cm Central diameter of log	樹皮の状態 % State of bark	穿入数 No. of entrance holes	全虫数 No. of tested insects	死亡率*** Mortality %
温室 Hothouse	1986	4. 3	1,200万	10	1.5-2.0	9.6/7.3-13.9**	73/20- 95**	178	99	90.9
		3.28	600万	10	1.5-4.0	10.7/8.3-13.9	85/10-100	73	48	79.2
			Cont.	8	2.0-9.0	11.4/11.6-15.4	91/60-100	57	44	2.3
		4. 3	1,200万	10	1.5-3.0	10.7/9.1-13.4	80/35-100	131	68	80.9
		3.28	600万	10	1.5-3.0	10.7/7.3-15.1	80/30- 95	152	86	74.4
			Cont.	8	2.0-6.0	10.3/6.2-15.6	60/ 5-100	68	47	14.9
野外 Field	1986	4. 3	1,200万	10	1.5-5.0	11.1/7.2-12.6	85/70- 90	164	97	75.3
		3.28	600万	10	1.0-4.0	10.9/6.8-12.6	73/10- 90	210	95	82.1
			Cont.	8	1.0-4.0	11.0/7.3-15.9	78/70- 95	104	67	10.4
網室 Cultivating yard	1986	10.2	1,000万	10	1.5-3.0	12.0/7.3-17.5	96/90-100	167	126	83.3
		10.2	500万	10	1.5-4.0	12.1/7.8-17.5	93/80-100	181	155	64.5
			Cont.	10	1.5-3.0	12.5/8.0-16.4	94/90-100	213	164	3.0
ビニール Vinyl covering	1987	4.20		10	1.5-6.0	13.8/ 6 -24	84/60-100	149	126	73.0
		4.20		10	1.5-7.0	12.8/ 6 -21	85/70-100	119	116	75.9
			Cont.	10	1.5-6.0	14.1/ 5 -25	90/80-100	121	101	7.9
		4.20		10	1.5-4.0	10.9/ 7 -15	71/20- 90	197	142	71.8
		4.20		10	1.5-5.0	12.2/10 -16	77/10-100	143	117	69.2
			Cont.	10	1.5-4.0	10.8/ 8 -15	80/10- 90	138	98	9.2

*No. of inoculate JIII/m² (the surface area of pine logs)

**Mean/Min.~Max.

***Average mortality per log.

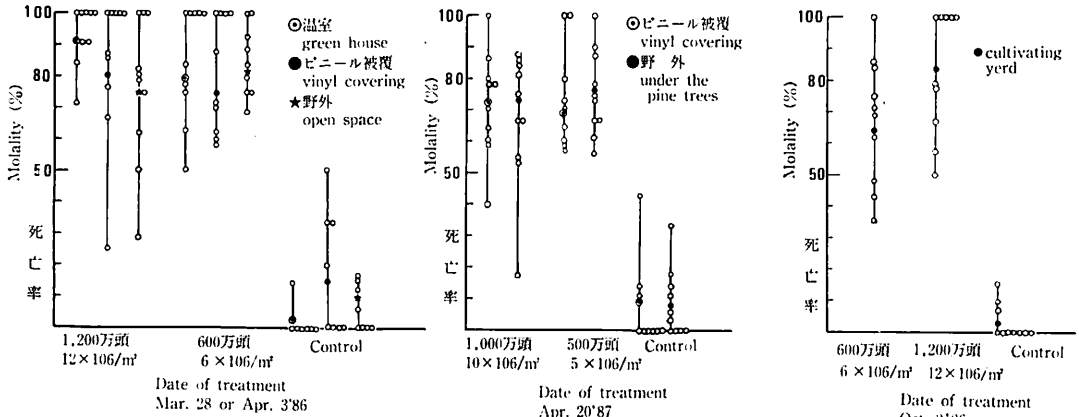


図-7 昆虫寄生性線虫によるマツノマダラカミキリの駆除
Mortality of *monochamus alternatus* by *Steinernema feltiae*.
*接種量: No. of inoculated JIII/m² (surface area of pine logs)

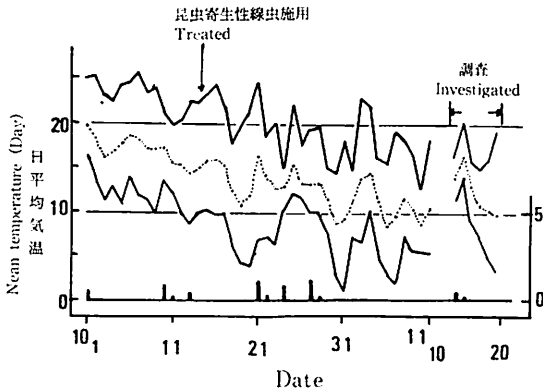


図-8 昆虫寄生性線虫の秋期施用時の気象
Temperature and precipitation in autumn season (1986).

者も1979年～1985年にかけて西日本のマツ枯損分布調査を行った際に数多く観察している。

被害材移動後の処置として、その材の完全な処理終了時がマダラカミキリの羽化脱出期にかかり、しかも薬剤使用が不可能な場合や、伐倒駆除時に放置され易い端材の処理に、ビニール被覆法を使用できないかと考えた。

そこで、1980年に当場で実施された結果と、在原ら(1981, 1982)の報告を参考にして、1983年と1984年に大径木の枝部、梢頭部を大量に使用したビニール被覆による駆除試験を実施した。

(1) 試験方法

試験①: 福岡県北西部の海岸防風林(生の松原)内

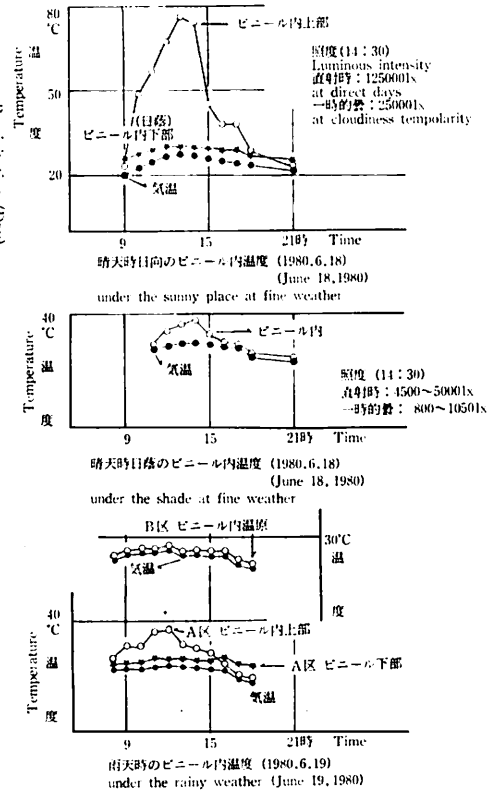


図-9 ビニール被覆内の温度と気温
Temperature in vinyl covering and field condition.

- : The upper part in vinyl covering ビニール内上部
- ★: The under part in vinyl covering ビニール内下部
- : Temperature of field condition 気温

に、大径被害木の枝部、梢頭部を野積みし、その上を0.15mm厚のビニールで被覆した。被覆期間は1983年5月30日～8月31日である。調査は、羽化脱出後、全被害材の中央径と長さを測定後、脱出孔数を調べ、その後被害丸太10本を適宜に抽出し、割材調査した。割材調査では、穿入孔数、蛹室数、脱出孔数と虫態別死亡虫数を調査した。

試験②：同上海岸保安林内に、高さ1m、幅4m、長さ8mに被害木の枝条部と端材を積み上げ、それを0.2mm厚のビニールで被覆した。被覆期間は、1984年4月～1985年1月である。調査は、山積みした被害丸

太を27区画に区分して、材の大きさ、本数、脱出孔数を調査した後、各区画から数本ずつ脱出孔のある材を適宜取り出し、割材し、穿入孔数、脱出孔数、虫態別死亡虫数を調査した。

(2) 結果及び考察

結果は、表-8、9、10のとおりである。1983年の被害丸太のm²当り脱出孔数は1.2個、1984年は上段で1.4個、中段で2.3個、下段で2.8個、全体で2.2個となっている。また、穿入孔数に対する脱出孔数は、1983年で11%、1984年の上段で21%、中段で53%、下段で

表-8 ビニール被覆によるマツノマダラカミキリ駆除試験結果
Effect of the vinyl covering for control of the pine sawyer,
Monochamus alternatus.

項 目 Item		内 容 Contents
材 表 面 積 surface area of pine logs		44.26m ² (159本)
脱 出 孔 数 No. of flight holes		55 個
m ² 当り脱出孔数 No. of flight holes/m ²		1.2 個
割 材 表 面 積 Surface area of cut pine logs		3.33m ² (10本)
穿 入 孔 数 (a) No. of entrance holes		103 個
脱 出 孔 数 (b) No. of flight holes		11 個
(b/a)		11 %
m ² 当り脱出孔数 No. of flight/m ² (Surface area of pine logs)		3.3個
No. of dead insects 死亡虫数	幼 虫 Larva	27
	蛹 Pupa	6
	成 虫 Adult	11
	計 Total	44

表-9 ビニール被覆された被害材のマツノマダラカミキリの羽化脱出孔数 (1984年)
Numbers of emergence holes on the pine dead logs in vinyl covering

Position in layer	供試本数 No. of tested logs	平均中央直径 (cm) Average central diameter	脱出孔数 No. of emergence holes	表面積 (m ²) Surface area of logs	m ² 当り 脱出孔数 No. of emergence holes/m ²
上 Upper	664	7.4	231	169	1.36
中 Middle	511	8.6	349	150.0	2.33
下 Lower	567	10.5	511	179.7	2.84
計 Total	1,742	8.9	1,091	499	2.19

表-10 ビニール被覆による駆除試験割材結果 (1984年)
Result of wood-cutting of the dead logs in vinyl covering

Position in layer	供試本数 ①	平均中央直径 ②	表面積 ③	穿入孔数 ④	脱出孔数 ⑤	m ² 当り 脱出孔数 ⑥	死亡虫数 No. of dead insects				生存幼虫数 ⑦	b/a Mortality rate %
							幼虫 Larva	蛹 Pupa	成虫 Adult	計 Total		
上 Upper	44	8.0	12.9	701	149	11.6	304	61	51	416	1	21.3
中 Middle	39	9.2	13.5	490	262	19.4	112	11	36	159	6	53.5
下 Lower	34	10.5	11.2	542	249	22.2	168	18	32	218	2	45.9
計 Total	117	9.2	37.4	1,733	660	17.6	584	90	119	793	9	38.1
林試* Net house	32	8.3	14.82	347	200	13.5					58.0	

* The net house in Fukuoka pref. Forest Exp.Stn.

① Number of test logs

② Average diameter at center

③ Surface area of logs (m²)

④ Number of entrance holes

⑤ Number of emergence holes

⑥ Number of emergence holes/m² (surface area of logs)

⑦ Number of living larvae

表-11 温度別カミキリの死亡状況
Mortality of *Monochamus alternatus* adults exposed in different temperature conditions

試験日 (1980) Date of test	温度 Temperature (°C)	時間 Times of exposure	供試 頭数 No. of tested insects	死亡虫 No. of dead insects	死亡率 Mortality (%)
6/19	50	1	30	27	90
//	45	1	20	2	10
7/ 4	50	1~3	40	40	100
7/18	45	6	40	37	93

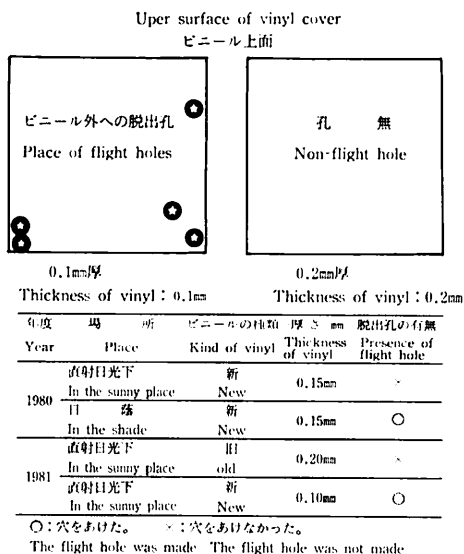


図-10 ビニール外への脱出孔の位置とビニール厚の差による脱出の有無
Effect of vinyl thickness in the prevention of the adult escape from the vinyl covering.

46%、全体で38%であり、ビニール被覆上段での脱出率が低下している。また、同一材の林試網室内での穿孔孔数に対する脱出孔数率は58%であった。次に、虫態別死亡虫数を見ると、1983年で幼虫78%、蛹と成虫11%、1984年で幼虫74%、蛹11%、成虫15%の比率となっており、幼虫の割合が多くなっている。ビニール被覆により材内虫の全てを死亡させることは出来ないけれども、ビニールの破損は認められず、ビニール外へのマダラカミキリの脱出は無いと考えられ、駆除効果は100%と認められた。

大長光ら（未発表）によると、表-22でも明らかな

ように、カミキリ成虫は50°C 1時間保温でほとんど死亡する。図-9は、ビニール被覆後のビニール内部の温度変化を示めたものである。カミキリ羽化脱出期の晴天時には、ビニール内上部の温度が50°C以上の時間が4時間以上続き、羽化脱出成虫はほとんど死亡すると考えられる。ビニール厚であるが、0.15mmでも使用可能である。しかし、日陰地におけるビニール被覆試験（1980年、大長光ら：表-12、図-10）でビニールに数箇所、孔が開けられたこと、雨天時のビニール内の気温上昇が低いこと、在原ら（1981、1982）の結果でも0.1mm厚のビニールでは破損を生じたり、マダラカミキリのビニール外への脱出があることなどから、ビニール厚は0.2mm以上あることが望ましい。

以上、述べたように裸地および林内空地において薬剤使用や焼却等が行なえない場合に、被害材を山積みし、カミキリの羽化脱出期間中ビニールで被覆することによって、被害材から羽化脱出するマダラカミキリを100%駆除できることが確認された。また、ビニールは施設園芸等の透光性を失ったビニールを使用することも可能である。

摘要

1. 殺線虫剤の樹幹注入によるマツの材線虫病の防除

自然感染による殺線虫剤の材線虫病予防効果を検討した。その結果、使用した各殺線虫剤の予防効果のある年数および予防効果の高い施用後の年度は次のとおりである。

薬剤名	有効年数	効果の高い年
メスルフェンホス (50%)	1~2年	施用後1年目
塩酸レバミゾール (4%)	2~3年	// 2年目
酒石酸モランテル(12.5%)	2~3年	// 2年目

表-12 処理木の割材結果 (Ōnagamithu, 1981)
Effect of vinyl covering in the larvae in dead pine trees.

年度 Year tested	ビニール厚 mm Thickness of vinyl	処理木* 位置 Position	処理 本数 No. of logs tested	穿入 孔数(A) No. of entrance holes	脱出 孔数(B) No. of emergence holes	B/A (%) Survival rate	設置 場所 Tested place
1980	0.15	上層 Upper	31	329	6	1.8	日向 in Sunny place
"	"	中層 Middle	31	386	29	7.5	"
"	"	下層 Lower	34	355	38	10.7	"
		計 Totla	96	1,070	73	6.8	
1980	"	上層 Upper	22	357	105	29.4	日蔭 in Shade
"	"	中層 Middle	27	398	113	28.4	"
"	"	下層 Lower	38	382	88	23.0	"
		計 Totla	87	1,137	306	26.9	
1981	0.20	上層 Upper	20	89	4	4.5	日向 in Sunny place
"	"	中層 Middle	"	74	5	6.8	"
"	"	下層 Lower	"	126	24	19.0	"
		計 Totla	60	289	33	11.4	
1981	0.10	上層 Upper	20	64	0	0	日向 in Sunny place
"	"	中層 Middle	"	132	20	15.2	"
"	"	下層 Lower	"	117	23	19.7	"
		計 Totla	60	313	43	13.7	

2. 天敵の応用技術

(1) 天敵糸状菌によるマツノマダラカミキリの殺虫試験

Beauveria bassiana の胞子をマツノマダラカミキリの幼虫、蛹、成虫に直接散布することによって、100%殺虫できる。材内幼虫に対する施用法の開発と散布された病原菌の活性持続期間の検討が、今後に残された課題である。

(2) 昆虫寄生性線虫のマツノマダラカミキリに対する施用法

マツノマダラカミキリの材内幼虫に対して、春（4月）か秋（10月）に材表面積 1 m² に当り500~1,200万頭の昆虫寄生性線虫を施用することで、70~80%殺虫できる。

3. マツノマダラカミキリ防除のためのビニール被覆の応用

マツノマダラカミキリ羽化脱出前に被害材をビニールで被覆することで、マツノマダラカミキリを100%殺虫できる。それは、羽化脱出成虫も、ビニール被覆内の温度上昇により死亡するからである。但し、日陰では、0.15mmのビニールで被覆をすると、羽化脱出成虫がビニール被覆外へ脱出したので、ビニールの厚さは0.2mmが望ましい。

引用文献

- 在原登志男・三瓶俊明・佐藤栄二郎・永山肇一・遠藤恒久：被覆法によるマツノマダラカミキリの駆除，森林防疫，30（8）：130-132，1981。
- 在原登志男・永山肇一：被覆法によるマツノマダラカミキリの駆除，森林防疫，31（8）：143-146，1982。
- 石橋信義編：昆虫寄生性線虫による生物的防除法の開発：科学研究費（試験研究1），31-42，1987。
- 片桐一正・真宮靖治・島津光明・田村弘忠・串田 保：昆虫寄生性線虫 *Steinernema feltiae* のマツ被害丸太への施用とマツノマダラカミキリ幼虫に対する致死効果，95回日林論，479-480，1984。
- 小河誠司：マツノザイセンチュウに関する試験（2）——HBL油剤の樹体内拡散と殺線虫力——日林九支研論，28：151-152，1975。
- 小河誠司・中島康博・青木尊重：薬剤の単木処理によるマツノザイセンチュウ病予防試験（II），日林九支研論，39：161-162，1986。
- 大長光純・金子周平・小河誠司：天敵微生物によるカミキリムシ類の殺虫試験，日林九支研論，37：211-212，1984。

Contents
(Article)

Shigeyuki SASAKI

I. Water status in pine inoculated with pine wilt nematodes. 1

Koichi IKEDA

II. Breeding and winter bird communities in a damaged and a non-damaged seashore
wind breakage by pine wilt disease in the northern coast of Fukuoka prefec-
ture. 17

Seiji OGAWA

III. Epidemic aspect of the pine wilt disease in Fukuoka prefecture and estimation of
the amount of its damage. 24

Seiji OGAWA

IV. Biological and physical control of the pine wilt disease. 56

林 業 試 験 場 時 報
第 35 号

昭和63年3月25日 印刷

昭和63年3月30日 発行

発 行 所 福岡県林業試験場
〒 834-12 福岡県八女郡黒木町今1314-1
電話 09434(2)0078

印 刷 麻生園印刷部
福岡県八女郡星野村麻生
電話 094352-3162

福岡県行政資料

分類記号	所属コード
PF	0803104
登録年度	登録番号
63	0004