

森林防疫

FOREST PESTS
VOL. 25 No. 11 (No. 296)

■編集・発行 全国森林病虫獣害防除協会/東京都千代田区内神田 1-1-12 コープビル内

■1976. 11. 1 (月刊)



松くい虫特別研究特集号〈その1〉

マツノマダラカミキリの蛹室壁に形成された青変菌の子のう果群と孢子粘塊

遠 田 暢 男
農林省林業試験場昆虫第2研究室

カミキリの羽化時期になると蛹室壁面が黒色状となり、実体顕微鏡でみると長い首をもったフラスコ状の子実体がびっしり形成され、その頂部に飴色で粘質物の子のう孢子塊がみられる。これは青変菌の1種 *Ceratocystis* で長い首の先端からカミキリ虫体へのマツノザイセンチュウ移行の有効な足場となる。またカミキリ成虫体表面に付着する粘質の孢子は線虫とともにマツ樹冠の後食痕へ運ばれ定着しマツの枯れをまち、また蛹の時期からカミキリ体表面に繁殖して羽化時に奇形をおこし死亡率を高める。

(1976年6月, 約50倍)

目 次

特別研究「マツ類の材線虫防除に関する研究」を終えて	伊藤 一雄.....	2
マツノザイセンチュウの地理的分布	(とりまとめ 小林 享夫).....	7
マツノザイセンチュウの生活史と行動	(とりまとめ 田村 弘忠).....	9
マツノザイセンチュウの寄生性及び萎凋枯死機構	(とりまとめ 真宮 靖治).....	12
マツノザイセンチュウの寄生性発現に関与する環境条件	(とりまとめ 橋本 平一).....	15
〈被害速報〉昭和51年9~10月の森林病虫害等被害発生状況		18

特別研究「マツ類の材線虫防除に関する研究」を終えて



伊藤 一雄

前農林省林業試験場保護部長：農博

はじめに

穿孔虫類の直接の食害によるものと長年信じられてきたマツ類の枯損に大きな疑問がもたれ、真の枯死原因を解明する目的で、昭和43～46年度に実施された、特別研究「まつくい虫によるマツ類の枯損防止に関する研究」の成果は、いわゆる「松くい虫」問題に大きな転換期をもたらした。

この一は従来東北地方の海岸林に生ずる松くい虫の激害型被害とされていたものは、ツチクラゲという菌類の1種による根腐性病害にはかならず、これによってマツが衰弱してから穿孔虫の侵入をうけることが知られ、その二は関東地方南部以西、広域にわたり急性枯死をもたらして世人の注目を集めている激害型被害は材線虫の1種による萎凋性病害とすべきもので、松くい虫の特定種が病原体材線虫の媒介・伝播にひと役買っているにすぎないことが明らかにされ、ここに本研究着手当初予想もなかった驚くべき新事実が白日のもとにさらされたことである。

この新事態に即応、農林水産技術会議及び林野庁の理解と協力によって、昭和48～50年度の3か年計画で、行政対策関連特別研究「マツ類の材線虫防除に関する研究」が予算措置され、林業界から広く要望されている有効的確な防除対策の樹立を目的とした一大プロジェクト研究が展開された。

爾来満3年、いくたの重要な新事実が発見されて学術上貴重な貢献をしたのみならず、本研究の成果から導かれた新しい枯損防止法は、その効果の卓抜なことが広く実証されてはなはだ見るべき成績を収め、ここに本特別

研究は一応完結の運びとなった。この光栄ある研究のプロジェクト・リーダーとして終始微力をつくし、その終了とともに、長い研究者生活に終止符を打った筆者が、いささかの感慨をこめて、本研究の顛末を略記することをお許しいただきたい。

研究の目的

関東地方南部以西、東海、近畿、中国、四国及び九州各地方の広域にわたり、老・壮齡樹のみならず幼齡樹をも急速かつ大量に枯死させる激害型被害は従来松くい虫の直接の加害によるものとされていたのであるが、これは本邦で発見・記載されたマツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus lignicolus* MAMIYA et KIYOHARA) を病原体とし、松くい虫の1種マツノマダラカミキリによって伝播される萎凋性病害であることが実証された。

これまでの松くい虫被害防除対策は、いうまでもなく穿孔虫類の直接加害がマツ類の枯損をもたらすとの前提にたったもので、その効果において的確性を欠くとの強い批判のあったことは否定することのできない事実である。それで、マツ類の急性枯損現象は病原体マツノザイセンチュウを中心にして萎凋・枯死機構を解明、その媒介・伝播者としてのマツノマダラカミキリの行動を正確に把握し、従来の防除法に根本的再検討を加え、以って有効的確な枯損防止法を早急に樹立するのが本研究の目的である。

研究の内容

本研究の試験研究項目は途中若干追加されて最終的には表のとおりである。

試験研究項目	試験研究小項目
1. マツノザイセンチュウの生態及び寄生性	(1) マツノザイセンチュウの地理的分布 (2) マツノザイセンチュウの生活史と行動 (3) マツノザイセンチュウの寄生性及び萎凋・枯死機構 (4) マツノザイセンチュウの寄生性発現に関する環境条件
2. 媒介昆虫マツノマダラカミキリの生理・生態	(1) マツノマダラカミキリの地域別経過習性(生活史) (2) マツノマダラカミキリの材線虫伝播様式 (3) マツノマダラカミキリの行動 (4) マツノマダラカミキリの密度推定法の確立 (5) マツノマダラカミキリの個体数変動要因の解析
3. マツノザイセンチュウによるマツ類の枯損防止	(1) 薬剤防除法 1) 防除薬剤のスクリーニング 2) 生立木に対する予防散布 3) 被害木の薬剤処理 4) 樹幹注入・土壌施用による枯損予防 5) 防除薬剤の残留・毒性 (2) マツ類の材線虫抵抗性育種及び抵抗性要因の解析 1) 抵抗性選抜育種 2) 抵抗性要因の解析

本研究の内容は表に示すとおり、枯損原因であるマツノザイセンチュウとその媒介・伝播者マツノマダラカミキリの生理・生態的諸性質の解明及び枯損防止法確立の3本立てになっており、なお防除法は薬剤による直接的防除と育種的予防の二つをねらいとしている。

本研究着手後間もなく、自然保護運動の一環として農薬の残留及び毒性に対する世人の関心がにわかに高まったことから、この分野の研究も重点的にとりあげることにし、毒性は野鳥類を主たる対象とし、あわせて昆虫相に及ぼす影響についても調査を行なうこととした。

研究の担当場所

林業試験場(本場) 保護部

樹病科 樹病研究室, 林業薬剤第一研究室, 同第二研究室

昆虫科 昆虫第二研究室

鳥獣科 鳥獣第一研究室

林業試験場林産化学部

林産化学第二科 木材化学研究室

東北支場

保護部 樹病研究室, 昆虫研究室

関西支場

保護部 樹病研究室, 昆虫研究室

四国支場 保護研究室

九州支場

保護部 樹病研究室, 昆虫研究室

育林部 育林第一研究室

(委託)

千葉県林業試験場, 和歌山県林業試験場, 鹿児島県林業試験場

九州支場育林第一研究室は主として抵抗性選抜育種に関連する研究項目を担当し、また委託3県林業試験場には薬剤防除及びこれと密接不離の関係にあるマツノマダラカミキリの経過習性調査を煩わした。

研究遂行と外部の協力

本研究のような一大プロジェクト、それもわずか3年間で一応の成果を期待されるものにあつては、国立林業試験場の関係部門を結集してもなお力の及ばない点が多々あり、従つて部外者の協力を仰がざるを得なかった。

これはとくに薬剤防除試験において痛感されたことで、委託3県林業試験場で鋭意担当しているとはいえず、もっと数多くの府県における試験例の集積が望ましいことであるし、また空中散布防除試験にいたつては、本特別研究の予算内ではとてもその実行はおぼつかないことであつた。

幸いにも、本研究発足と同時に農林水産航空協会の新分野開発試験として予防薬剤空中散布がとりあげられ、兵庫及び福岡両県林業試験場の努力によってすぐれた成果が得られ、なお林野庁の事業化試験として行なわれた多くの実施例からも、これは枯損防止上きわめて効果のあることが知られ、本法はその後遅滞なく広く適用される運びになつたことは記録にとどめておく必要がある。

予防の薬剤地上散布及び被害木の伐倒薬剤処理の場合も同様、本研究と平行して行なわれた多くの公立林業試験研究機関の成績から、これまた実用化までに長い年月を必要としなかった。

こういふと、いかにも坦々として何の障害も苦心もなく試験研究が遂行されたようにみえるが、真相はそんな単純なものではない。由来研究者というものはその業績の発表にあたっては慎重の上にも慎重であらねばなら

ず、従って研究途中の公表をさらに習性をもっているのである。それに、全部の人がそうであるとはいわないが、研究者の多くの興味は基礎的、学術的事項にそそがれて、防除試験などという、いわば俗っぽいことには、ともすれば関心がうすい傾向があるものなのである。

ところで本特別研究の至上命令は一日も早く有効的確な枯損防止法の確立にあることに鑑み、取りあげる基礎研究は防除法に直接つながりのあるものに限定、また得られた研究成果は不確定要素があるものであっても、部内検討資料として提供、研究者間で広く討議することをあらかじめ申し合わせた。これは研究者各位にとってまことに不本意であり、また不満の点も多々あったであろうが、大局の見地にたって欣然として同意されたことに対して深く敬意を表さねばならない。

本特別研究は基礎研究から防除法まで含まれておるとはいえ、これが終了してから実用化試験、現地適用試験の順序を踏むとすれば、防除法の確立、その一般適用までにはさらに数年間を要することはいうまでもない。年々おびただしい枯損被害に悩まされている現状からして、防除法の実用化は本研究を終わってから、などと悠長なことをいっておられる場合ではない。それで、本問題に重大な関心を持つ各県林業試験研究機関に対しては、未発表データをも提供し、その防除試験遂行に積極的な助言と協力を惜まないようにした。

この間林野庁においては、いやしくも試験研究の進展を阻害するような、「行政独走」を一切控えて、研究の円滑な運営に終始協力をいただいたことに謝意を表さねばならない。何故ならば、筆者はかつて北海道と東北地方に大発生したカラマツ先枯病の防除対策研究のさい、肝心の試験研究よりは「行政独走」の対応に追われて奔命に疲れた苦い経験をもっているからである。

研究の成果と残された問題

本特別研究でとりあげた研究項目はきわめて多岐にわたっており、得られた成果の詳細は別途公表されるはずであるから、ここでは多く述べるつもりはなく、またその必要もないであろう。ただ3か年にわたる本研究を顧みて、筆者が感じたいくつかの事項について率直に書きしるしてご参考に供したいと思う。

1. マツ類の激害型枯損は関東地方以西の温暖な地域にははなはだしい被害を与えていることは明らかで、従って気温と枯損との間には密接な関連のあることが予想されていた。事実、マツノザイセンチュウの発育適温及びその人工接種による試験結果も、低温ではマツの枯死は起こりがたいことが実証された。一方、マツノマダラカ

ミキリの発育有効温度や材線虫の発育温度から一応15°Cをベースにとった月平均気温から算出した暖さの指数(MB又はMD)と激害型被害発生との間には密接な関連性があり、「MB40以下の地域では過去、現在ともに激害型被害は現われていない」と報じられた。

ところが、最近石川県能登半島や宮城県石巻海岸に、小規模ながら激害型被害が現われ、マツノザイセンチュウの存在も確認された。そもそもこれらの地域はMB40以下であるから、そのような被害は出るはずがない……と意外の感をいだく人々も少なからずいるやに聞く。これはMB指数と被害発生に関する報文の見方の不十分なことによるもので、あくまでも被害地域全体をマクロにみた場合にそのような傾向があるといっているまでで、MB40以下では材線虫被害が発生しないと決して述べていないのである。

巨視的にはMB指数が本被害発生の一応の目安になることは明らかで、ただ局所的にはMB説にあてはまらない事例の生ずることは宮城県下でその好例を見る。いずれ、MD40以下の地域における本被害発生の理由が明らかにされるであろう。東北6県におけるマツノザイセンチュウ分布調査は、本特別研究の終了間近の昭和50年秋になってやっと宮城県と福島県の一部でそれが発見されたのはいささか皮肉である。

2. マツノザイセンチュウがマツ樹体内に侵入すれば、マツが枯死することは確実で、従って本材線虫が枯死原因であることには疑問の余地がない。しかし、この線虫の侵入後、マツが萎凋を起し死の転機をたどるメカニズムの詳細についてはまだ十分に明らかにされたとはいえない。これは学術的にきわめて重要な、そしてはなはだ興味ある問題であるから、今後おちついてじっくりと掘りさげてほしい研究課題の一つである。

3. ヒノキが混生するマツ林にMEP剤(スミチオン)を空中散布したところ、全散布地域から見ればごく一部に過ぎないが、ヒノキが点々と枯死する現象が認められ、近接するマツ、スギ、サクラなどにはこのような障害は全く起こらなかった。

従来の苗木についての知見によれば、マツ、スギ、サクラなどにくらべてヒノキはこの種の薬剤に強い樹種とされ、薬害が起こるはずがないと見られていたのに、一体これはどうした訳なのか、全く予期せぬ奇妙な現象が現われたものである。苗畑のヒノキ幼齢木に空中散布の2倍以上の高濃度の薬剤を散布しても、薬害はほとんど全く現われず、問題のヒノキ造林木の枯死経過は単純な薬害によるものとは、はなはだしく異質である。

それで、この現象を確認する目的でMEP剤を空中散

布してその再現試験を行なったところ、散布区には点々と枯死木が生じたのに対して、無散布区には現われないことから、やはり薬剤散布とヒノキの枯損との間の因果関係は否定できない結果が得られた。枯損は本数にして10%以下であるが、個体差がはなはだしく、同一樹齢でごく近接するヒノキでも枯死するものと正常を保つものとの差がきわめて判然としており、その枯死経過は単純薬害によるものとはきわめて趣きを異にし、何かの原因で生理的異状におちいていたヒノキが、微量の薬剤の附着が引き金の役目をして、あたかもショック死におちいったように見られる。

枯死の原因の多くがヒノキの側にあるとはいえ、薬剤散布が死をもたらすことは否定できない事実であるから、やはり1種の薬害と認めざるを得ないであろう。この薬剤過敏性のヒノキ個体間差違は遺伝的なものか、又は特定の原因による生理異状によるものなのか不明であるが、その真相究明はきわめてむずかしい問題だと思われる。ともあれ、ヒノキという樹種は何と変わった、そしてこの種の薬剤にだらしのない木であろうか。

4. 防除薬剤の空中散布に対する地元住民、とくに自然保護団体の反対はきわめてし烈で、用いる薬剤は何であれ、空中散布そのものを目の仇にする風潮すらうかがわれる。これは故レーチェル・カーソン女史の「沈黙の春（サイレント・スプリング）」以来急速にたかまった、農薬散布の自然生態系破壊に対する強烈な批判として当然うけとめなければならない重要な問題である。

本特別研究においてもこの点に留意し、できるだけ速分解性、低毒性の薬剤を用い、必要最小限度の薬量で所期の効果をあげるべく努力し、従来用いられたBHCなど有機塩素系薬剤におけるような長期的残効性に期待しないやり方を指向した。そのため、当初は一般林業技術者の考え方にいささか混乱が起こったようであるが、今日ではもはやこれが定着したと見てよいようである。

一方、使用薬剤について野鳥を対象として急性及び亜急性毒性の検討を行ない、また昆虫相に及ぼす影響についても調査し、自然生態系を破壊しない、たとえ一時的に悪影響を及ぼしたとしても、自然復元力の及ぶ範囲内で、低毒性、速分解性薬剤による防除体系を一応提示することができたと考えている。

「薬剤を使わずに天敵利用によってマツの枯損を防止せよ」との声が一部自然保護団体から出ていると聞く。もしもそのような強力な効果的な天敵があれば、われわれとてもとかく批判の多い薬剤防除に頼ろうとはしない。今後ともこの分野の基礎研究にはいっそうの努力を注がねばならないが、現在の科学水準をもってしては、

マツの激害型枯損を防止するには、どうしてもここ当分の間薬剤の力を借りなければならないであろう。

それにしても、マツを枯損から守るために行なう薬剤散布によって、一部のトンボやチョウチョウが死ぬからといって、薬剤の使用を全面的に拒否する一部自然保護団体の言い分は理解しがたい。材線虫によるマツの枯死は自然破壊の最たるものではないとでもいうのであろうか。

ともあれ、本特別研究は終了したが、防除薬剤の残留性及び毒性の研究は今後もいっそう強化し、組織的研究体制をとって世人の不安解消に答えなければならない重要問題であることには異論はない。

5. 抵抗性育種による枯損予防は最も望ましい対策であることはいうまでもない。本研究でも重要研究項目としてこれをとりあげたのであるが、問題の性質上、わずか3か年間で大きな成果の出るはずがない。しかし、この分野での今後の仕事の方向づけはなされたものと考えている。

抵抗性選抜のみならず、交雑育種にもいっそうの努力を望みたい。長年月を要する問題ではあるから、途中で放棄することのないよう万全の体制を確立し、人が変わっても継続できるよう格別の配慮を願いたい。

6. 数十年の間「松くい虫」の名でよびなれてきたマツの枯損は、病原体マツノザイセンチュウの発見によって、その内容は一変した。従来松くい虫の激害型被害とされてきたものは、マツノザイセンチュウを病原とし、松くい虫の特定種マツノマダラカミキリによって媒介・伝播される萎凋性病害であるから、これを松くい虫の被害とするのは不当で、「マツの材線虫病」と呼ぶべきだとの提案がすでに出されている。

古い時代のことはいたしかたないとして、今後は「松くい虫」の名の使用はやめて、「材線虫病」と「穿孔虫」（厳密には穿孔虫のみによるマツ類の枯損について、再検討が必要であろうが）をさい然と区別しないと、いろいろな面で混乱が起こってくることは明らかである。長年なじんできた「松くい虫」ではあり、法令規則等の問題もあって困難な面も多々あることは理解できるが、行政面の速かな決断を強く望みたい。

おわりに

本特別研究実施の3か年間、プロジェクト・チームの各位には昼夜をわかつたぬ懸命の研鑽によって量・質ともに誇るに足る数々の成果をあげられ、所期の目的を十分に達して世の要望と期待に答えたものと確信する。不敏な筆者のもと、不満もあったと思われるが、研究目的を

有効的確な枯損防止法の確立にしばり、一致協力してこれに邁進、いくたの困難を排してこれを達成したことに深く敬意と謝意を表す。

本研究は一応終了したこととはいえ、今後に残された問題も少なくない。さらに能率的な枯損防止法を見い出すためにも、基礎的研究のいっそうの進展を望みたい。

この特別研究の推進にあたっては、農林省農林水産技術会議及び林野庁の深い理解と強い支持をいただき、これが研究者一同の士気を鼓舞して所期の成果をあげ得たことを明記しなければならない。なお、本研究の実施にあたり直接あるいは間接に協力をいただいた千葉、和歌山、鹿児島、兵庫、福岡、茨城、静岡各県林業試験場その他の公立林業試験研究機関及び農林水産航空協会のご配慮に対して心からお礼を申しあげる。

本研究の成果に対して藤岡光長賞(昭48)、日本林学会賞(昭49)、日本農学会賞並びに読売農学賞(昭49)、日本応用動物昆虫学会賞(昭49)及び農林大臣賞(昭51)と数々の栄誉が授けられた。筆者はこの研究のプロジェクト・リーダーとして受賞者とともに喜びを分かちたい

と思う。

筆者の長い研究生活を通じ、とくに第二次世界大戦後直接手がけた主要研究にスギ赤枯病・溝腐病、カラマツ先枯病及びマツ材線虫病(松くい虫)の三つがある。ともに、基礎研究から防除対策まで一連の成果をあげてわが国の林業界にいくばくかの貢献をなし得たものと自負している。そして、「国立林業試験場はこむずかしい研究ばかりやって、実際の林業に役立つことはさっぱりやってくれない」との、かつての行政面からの強い不満と批判の解消に、研究者の一人として微力ながら身をもって答えることができたことをひそかに喜びとしている。

ともあれ、36年有余の長きにわたった筆者の公務員生活は、奇しくも本特別研究の終了と時を同じくして、終えんの期を迎えることになった。理解ある上司とすぐれた多くの協力研究者に恵まれて「せいっぱい、やるだけやった」満足感と、いささかの感慨にひたりつつ現役を去ることができた筆者は無上の幸せ者というべきであろう。心からの感謝の念をささげて筆をおく。

マツノザイセンチュウの地理的分布

担当研究室：本場保護部樹病・昆虫第2，東北支場樹病・昆虫，関西支場樹病・昆虫，四国支場保護，九州支場樹病・昆虫

(とりまとめ 小林 享 夫：農博)

マツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus lignicolus* MAMIYA et KIYOHARA) がマツの激害枯損をおこす病原線虫であることが確認された1970年以降，九州から東北にいたる本州・四国・九州において，国・公立林業試験場の密接な連けいのもとに，改めて病原であるマツノザイセンチュウとその媒介者マツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus* HOPF) の分布調査が行われた。またマツノザイセンチュウの寄生性が確認されてまもなく，寄生性はさきわめて微弱であるが形態的にこれとよく似た同属近縁の線虫ニセマツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus* sp.) が，やはりマツノマダラカミキリに依存して存在することが明らかとなり，マツノザイセンチュウの水平・垂直分布調査に併せて，このニセマツノザイセンチュウの検出調査も行われた。すでに一部の府県を除いてはほぼ調査を終わり，その分布の実態が明らかにされた。図-1は今までの国・公立林業試験場の調査結果をもとにおおよその点を落したものである。現在までの調査結果から以下の4つの事項が特徴あるいは問題点として指摘されよう。

(1) マツノザイセンチュウの分布とマツの激害枯損地域の分布とはよく一致し，マツノザイセンチュウの存在がマツの枯損発生に結びつくという多くの人工接種実験の結果を裏づけている。その分布は房総半島から西へ太平洋沿岸及び瀬戸内海沿岸の低地帯においては連続的であり，激甚な流行病的様相をはっきり示している。これに反して，山陰から北陸にかけての日本海沿岸地帯では，マツノザイセンチュウによる激害型の集団枯損が認められるものの，その分布は不連続，局所的であって，年により被害発生程度にもかなり波のあることが特徴的である。

(2) 上記の既知分布地域の外において，飛火的に新しい感染中心が突発し，そこに病原線虫が定着して被害を広げつつある事例が，とくに従来未分布の離島及びやや寒冷な地域に相次いで発生した。これらの飛火的局所的発生は，いずれも枯損被害材の移動持込み，すなわち伝

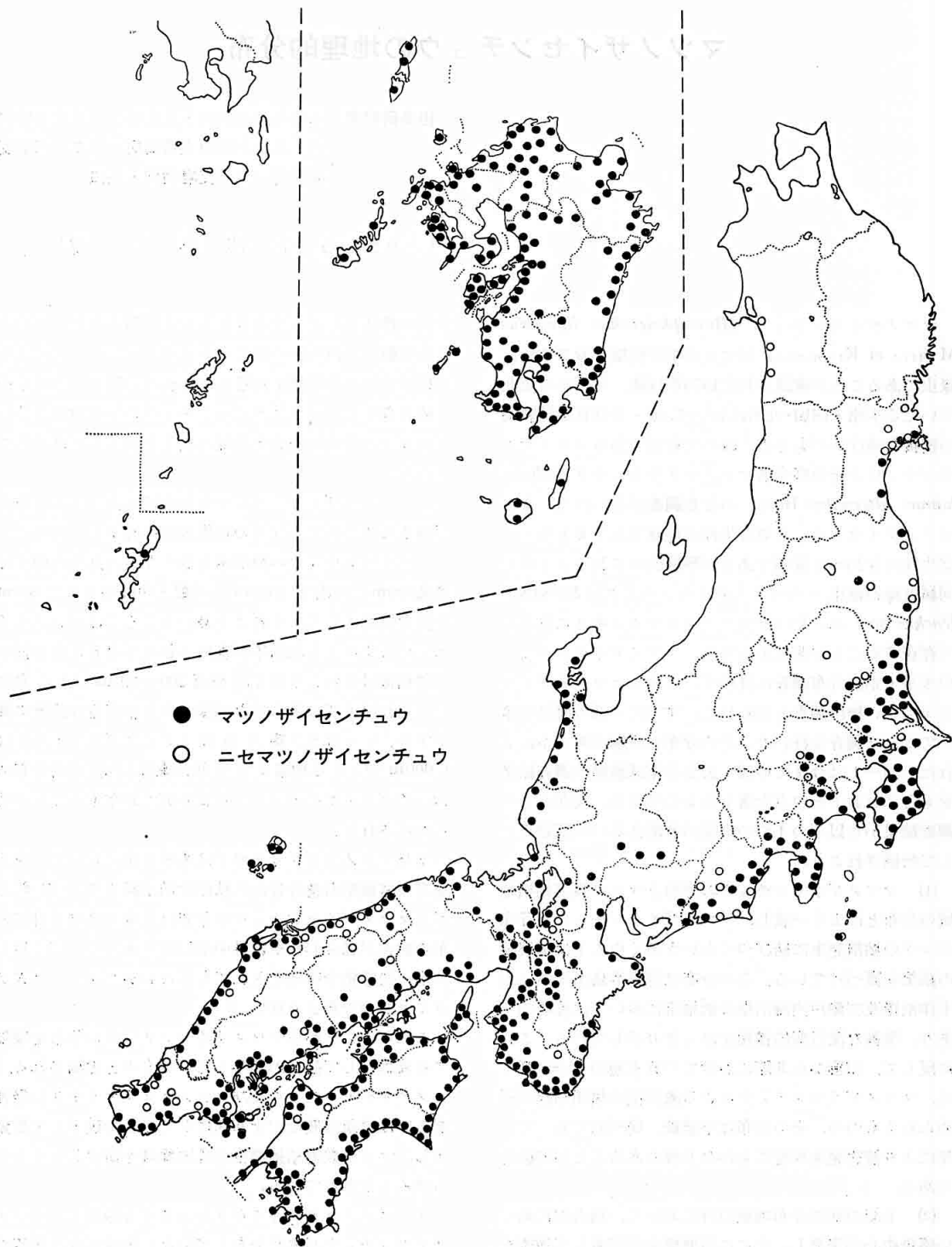
染源の持込みによっておきたものと推測された。このような事態は，何らかの形でマツノザイセンチュウによる枯損被害材の移動禁止措置がとられない限り，今後も引き続き発生し，マツノザイセンチュウの分布地域，ひいてはマツの激害枯損発生地域の拡大を招くことは必然であろう。

(3) マツノザイセンチュウ分布地域にあっても，標高が高まるにつれて，マツの枯損被害は減少し，同時にマツノザイセンチュウの検出率も低くなる。九州の例では標高700m，四国では500m，近畿・中国地方では600m付近を境界にして，それより高いところではマツノザイセンチュウによる枯損木が検出されなくなる。激害型の集団枯損はそれより低く，標高300~400m以下に発生し，それ以上では単木的な枯損となり被害量は急激に減少する。いっぽう，媒介昆虫マツノマダラカミキリは1,000mをこえる地域まで分布が確認され，垂直分布においてマツノザイセンチュウより広く分布することが明らかにされた。

またマツノマダラカミキリは水平分布において，東北地方の宮城県石巻付近から秋田を結ぶ線まで分布するが，マツノザイセンチュウの分布は，飛火感染と自然分布の拡大が融合した茨城県中部以南であって，ごく新しい飛火的感染分布地を入れても，なおかつマツノマダラカミキリの分布より狭い。

これらのことからマツノザイセンチュウの分布を制限する要因として温度が関与しているものと推測される。マツノザイセンチュウ及びマツノマダラカミキリの発育あるいは増殖温度などを基礎にして温量指数として数量化し，マツの激害枯損発生の危険地域を指定しようとする試みもなされている。

(4) マツノマダラカミキリが分布する地域で，マツノザイセンチュウがまだ分布していない地域には，病原性の微弱なニセマツノザイセンチュウが分布し，境界地帯には両者が混在する。



図一1 マツノザイセンチュウ及びニセマツノザイセンチュウの分布 (国・公立林業試験場の資料より)

マツノザイセンチュウの生活史と行動

担当研究室：本場保護部樹病，林産化学部木材化学，
四国支場保護，九州支場樹病

(とりまとめ 田村 弘 忠：農博)

マツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus lignicolus*) はマツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus*) の体内に潜入して新しい寄主である健全なマツに伝播され、カミキリの後食部から樹体に侵入してすみやかに分散し発病させる。樹体の異常から枯死にかけて線虫数は急激に増え、枯死後線虫個体群の齢構成が次第に変わり

特定のステージである分散型第3期幼虫の占める割合が大きくなる。翌年のシーズンにこれらの幼虫が脱皮して分散型第4期幼虫(耐久型幼虫)になり、カミキリの蛹室の壁から蛹室内に出て羽化したカミキリの腹部気門に潜入し、脱出とともに外界に運び出される(図-2)。

分散型幼虫の形態と行動

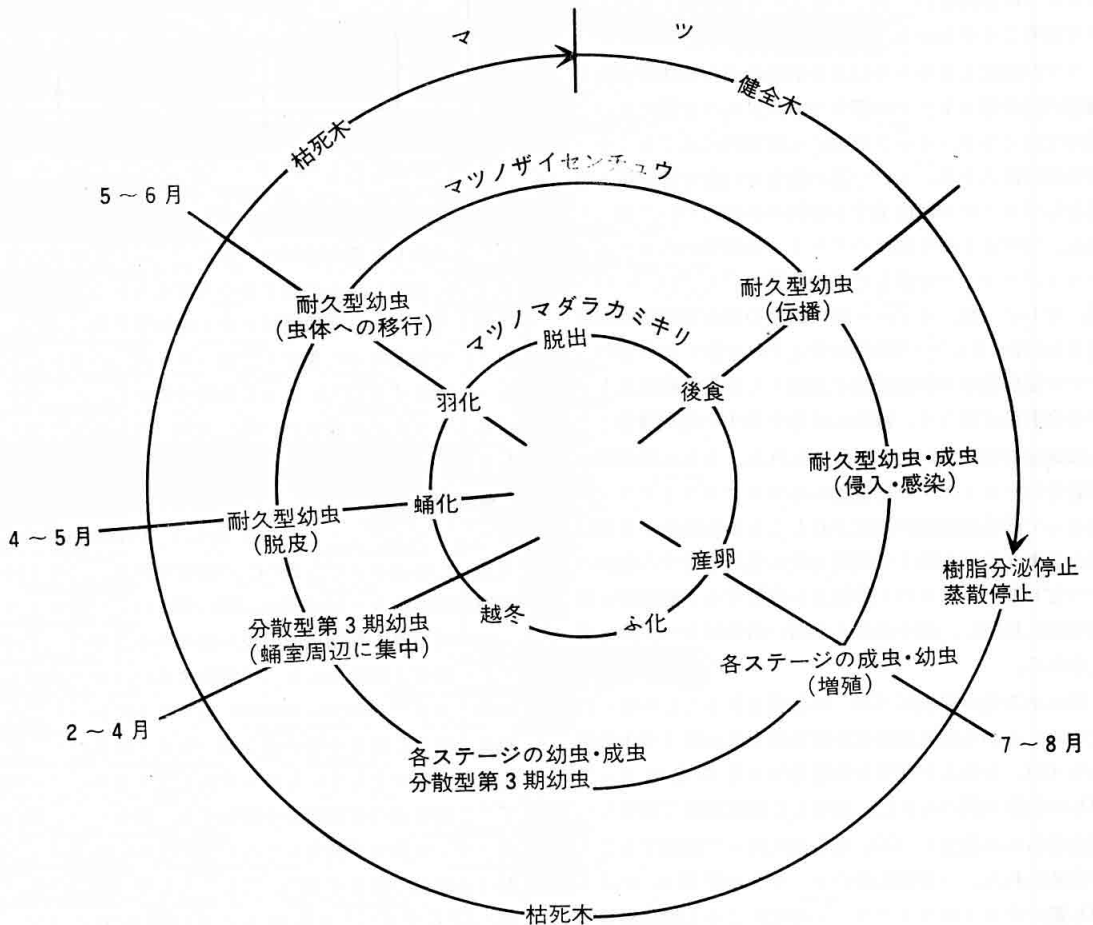


図-2 マツノザイセンチュウとマツノマダラカミキリのマツをめぐる生活環(真宮原図)

分散型第3期幼虫の唇部骨格、口針、中部食道球の発達程度、形状は増殖期の幼虫や成虫と変わらないが、顆粒状の貯蔵物質が体内に密に満たされ濃い体色を呈し、尾端は半円状である。また分散型第4期幼虫は唇部の形成が十分でなく高いドーム状をなし、口針はみられない。さらに中部食道球の発達は不十分であり食道、食道腺も退行し、尾部は円錐状で先端は細く突起がある。腸管に相当する部位には顆粒が密につまって濃色を呈し、動きは活発で体表に粘質物をもちガラス面などに付着しやすい。

分散型第3期幼虫を水中で脱皮させた場合分散型第4期幼虫と増殖型第4期幼虫のいずれへもすすむことが観察されている。

このような形態的特徴から分散型第3期幼虫は環境の不適化にもなって出現する耐性を備えたステージとして、また分散型第4期幼虫にすすむ前駆的ステージとして生活環の中に位置づけられ、次の分散型第4期幼虫はカミキリに保持されて新しい寄主に分散移動するステージであることがわかる。

マツが枯死した年の冬以降分散型幼虫の個体数密度が蛹室の壁の厚さ1~2mm部分でそれ以外の材部に比べて極めて高くなり、6~7月頃には蛹室内に出てカミキリの気管に潜入する。この一連の線虫の行動を誘発する要因としてカミキリに由来する物質の活性について調べられた。まずカミキリ虫体のアセトン抽出物からカラムクロマトグラフィで分画した不飽和酸のバルミトレン酸、オレイン酸、リノール酸に線虫の集合定着活性が確認され(図-3)、一方蛹室の壁とそれを除いた材部のヘキサン抽出物中の脂肪酸量を比較した結果材絶乾重1g中の含有量は異なり、線虫に活性を示す不飽和酸量とともに蛹室の壁に多いことが認められた。さらに脱脂綿に付着させたカミキリの排泄物からガスクロマトグラフィによって活性脂肪酸が検出されたことから線虫が冬期以降カミキリの羽化時まで蛹室の壁に集合定着する要因の一つとしてカミキリの4齢幼虫が排泄する不飽和酸が蛹室の壁に集積し、他の部分より強い活性域をつくると考えられる。

次にある種の線虫がCO₂に誘引されることが知られていることから耐久型幼虫を寒天板上に分散させ中央部からCO₂を含んだ空気を微量送気することによってCO₂の活性が調べられた。採用した濃度範囲で送気した場合明らかに線虫がCO₂発生源に向かって移動することが認められた。一方蛹化後のカミキリの呼吸におけるCO₂量はガスクロマトグラフィ測定によると蛹化直後で一個体当たり0.02ml/時、羽化時で0.09ml/時であり、こ

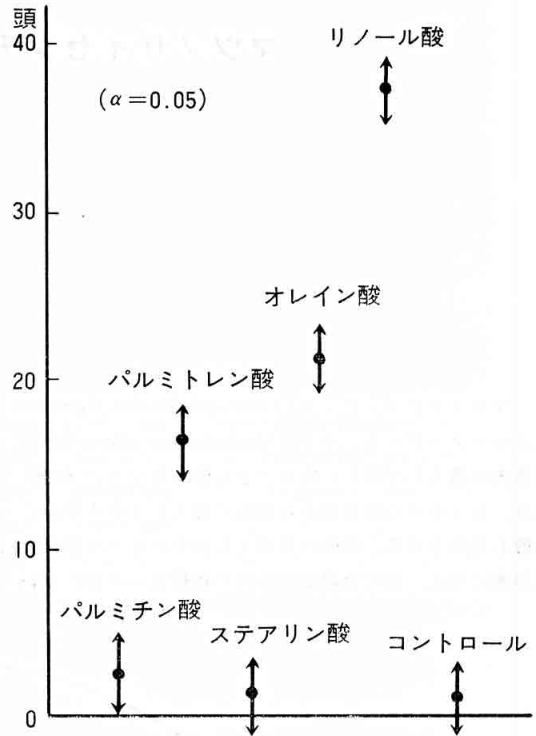


図-3 脂肪酸に対する耐久型マツノザイセンチュウの反応 (0.01mg/cm²) (宮崎原図)

れらは試験した濃度範囲内にあることから、線虫の集合を十分に刺激しうる濃度であると考えられる。

以上のことから分散型幼虫は不飽和脂肪酸によって誘引されて蛹室周辺に集合し、蛹のステージの進行にもなって増加するCO₂にある段階で反応してその発生源であるカミキリに線虫の行動が方向づけられると考えられる。

生活史

マツノザイセンチュウの胚発生は Tylenchoidea に共通した経過を示し、25°Cの温度条件下では産下時の単細胞期から9~12時間後に蛹期にはいり、産下後15~22時間で第1期幼虫の出現が認められる。卵内で1回脱皮した後第2期幼虫になって孵化するのは産下後26~32時間である。Botrytis cinerea 菌そう上においたこれら幼虫は直ちに摂食を始め、3回の脱皮と体長の増大、生殖腺の発達をともないながら成長し、4日後には成虫になって雌成虫は産卵活動を開始する。食餌がない場合幼虫は全く成長せず脱皮もしない。B. cinerea 菌そうにおける線虫の成長は30°Cでもっとも早く、一世代は3日、25°Cで4~5日、20°Cで6日、15°Cでは12日で完了するが、30°Cを越えると生育障害が生ずる。理論

的数値として得られた発育限界温度は9.5°Cである。この線虫の産卵には交尾受精が不可欠であり、雌成虫は25°Cで約20日間の産卵期間をもち、平均100個産卵する。産卵活動を終った雌成虫はまもなく死ぬが雄成虫はこれよりやや長く生存し、寿命は平均35日位とみられる。脱皮は20°C以上では容易におこなわれるが15°Cではほとんどみられない。

食性

マツノザイセンチュウの発見当初、この線虫が数種の糸状菌で増殖することが明らかにされていることから種々の植物病原菌や木材腐朽菌について線虫の増殖が調べられた。

担子菌類では *Poria cocos*, *Amylostereum* sp., 不完全菌類では *Botrytis cinerea*, *Pestalotia* sp., 子のう菌類では *Lophodermium pinastri*, *Hyphoxylon annulatum* などで線虫はよく増殖する一方、同じ綱に属す糸状菌でも増殖が認められないものがあるなど食餌としての適性に幅がみられている。

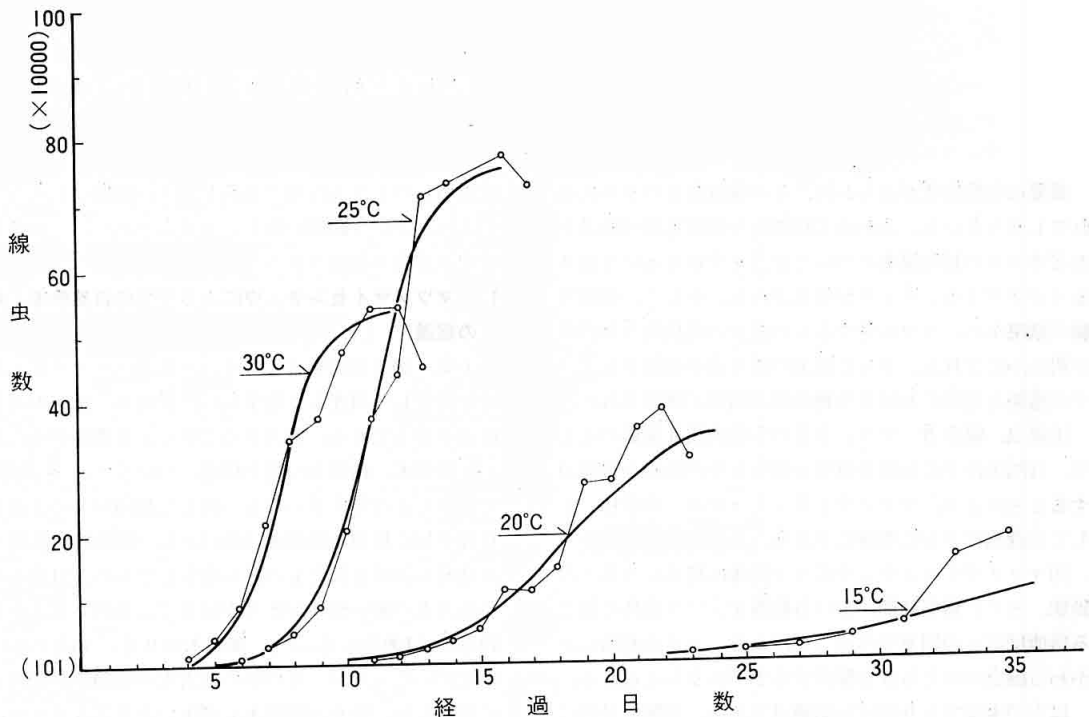
マツ樹体内における線虫の食餌源の一つとして糸状菌が役立っていることが考えられ、マツの健全木、線虫による枯損木やマツノマダラカミキリから分離した糸状菌について線虫の増殖が調べられた。線虫の加害から枯死にいたる約1か月の間に材内の糸状菌相は大きく変化

し、健全材中でみられた *Pestalotia*, *Phizosphaera*, *Papularia* などに代わって *Ceratocystis*, *Verticicladiella* や *Diplodia-Macrophoma* 菌群のような材を変色させる糸状菌が優占してくる。冬を越した枯損木の材内にカミキリの蛹室が形成され、その壁面に *Ceratocystis* は黒色子のう果を一面に形成する。子のう果の先端に多数形成される粘質な子のう胞子塊は羽化成虫の体表に附着して線虫とともに健全なマツの樹冠に運ばれ、カミキリの後食部位から他の糸状菌に加えて *Ceratocystis* が一定の割合で検出されるようになる。その後 *Ceratocystis* と *Diplodia-Macrophoma* は枝から幹の上部、ついで下部へ広がり、この時期に線虫が急激に増加することから、これらの糸状菌が線虫の食餌源として役立っていると考えられた。

一方枯損木の組織解剖所見でエピセリウム細胞の破壊が認められていることから、この線虫の高等植物細胞に対する摂食能力をカルス組織による増殖によって調べた結果、アルファルファ、アカマツ、クロマツ、スギのカルス組織で増殖することが確認され、その際カルス組織は全体が褐変死している。

増殖

Botrytis cinerea の菌そうに約100個体の線虫を接種し数段階の温度下に保って増殖パターンと温度の影響が



図一四 *Botrytis cinerea* によるマツノザイセンチュウの増殖曲線 (堂園・吉田原図)

調べられた。実測値をロジスティック曲線 $N = \frac{K}{1 + e^{a-rt}}$ (N : 時間 t における個体数, K : 飽和密度, r : 内的自然増加率, a : 定数) に当てはめた結果各温度でロジスティック曲線に初期ではかなりよく適合し, この線虫はほぼロジスティック曲線型の増殖パターンをもつと考えられた (図-4)。またこの線虫の r 値は15~30°Cの範囲で温度にはほぼ比例し, K に達する所要時間は温度が高いほど短縮されている。この結果は温度は線虫の増殖にかなり影響をおよぼし, 25~30°C でよく増殖するが20°C以下では緩慢になることを示している。

次にマツ材組織中に含有される脂肪酸の種類と含有量に基づいて, これらが線虫の増殖や分散型第3期幼虫 (L_{III}) の出現に及ぼす影響を調べた。

オレイン酸, リノール酸, ステアリン酸, パルミチン酸の各脂肪酸を材の単位重量当りの検出量と同じ濃度, 絶乾重1g当り3.49, 3.42, 0.04, 0.16mgをPDA培地に

に添加し, 各脂肪酸別の培地, 全脂肪酸を加えた培地, 無添加培地で生育させた *Botrytis cinerea* の菌そうに線虫を接種して増殖経過を調べた。

オレイン酸区と混合区では接種1か月後でもなお線虫数は増加し続け, また他の区に比べて生存線虫の持続性も際立ってよい結果が得られている。3か月後における L_{III} の比率はオレイン酸区, 混合区, リノール酸区では約15%になり, 他の区に比べて明らかに高かった。次にオレイン酸の濃度の効果を検討した結果ではオレイン酸10mg/ℓ区で顕著な効果が認められ, 接種2か月後でもなお多数の活発な線虫が生存し, 無添加区の透明化した生存線虫と異なった濃い体色を呈していることがみられている。また10mg添加区では接種3か月後の L_{III} の出現率は25%であった。以上の結果はオレイン酸はこの線虫の増殖促進, 活力維持, L_{III} の出現に効果のあることを示している。

マツノザイセンチュウの寄生性及び萎凋枯死機構

担当研究室: 本場保護部樹病, 四国支場保護, 九州支場樹病

(とりまとめ 真宮靖治: 農博)

盛夏に突然症状があらわれ, その後短時日のうちに枯れてしまうという, きわめて特徴的な病状進展の経過をたどるマツの枯死現象については, まず枯死木に生息するマツノザイセンチュウが発見された。そして, 接種実験の結果から, マツに対するこの線虫の直接的な加害性が明らかにされた。さらに線虫の媒介者が確認され, マツの感染と発病における生物的相互関係が解明された。

(1)線虫, 媒介者, マツ, 3者の生物的相互関係のもとで, 自然条件下における病気の発生とその経過を再検討することにより, マツノザイセンチュウの「病原体」としての役割はさらに明確にされる。

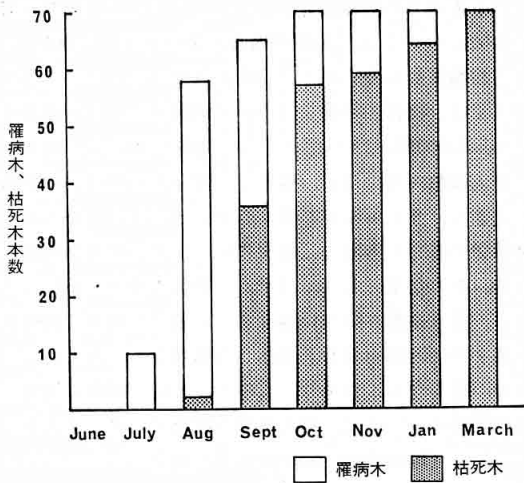
(2)マツノザイセンチュウがマツ樹体に侵入したあとの動態, とくに感染初期における動態を, マツ樹体に起こる病態反応との関連でみることにより, マツの発病にかかわる線虫のはたらきを解析する手がかりがえられる。

以上が本項でとりあげた問題点である。表題の目的においては, まだ「手がかりをえる」という段階にある。

線虫のどのような作用で発病し, その機構はどうなっているのかという問題の核心にせまるために, なお今後の研究の進展が期待される。

1. マツノザイセンチュウによるマツの自然感染, 発病の経過

千葉, 神奈川両県下でアカマツ林, クロマツ林に試験地を設定して調査した結果から, 罹病木, 枯死木の発生経過をおとしてみる。被害率には年による変動がみられたが, 罹病木, 枯死木の発生経過については, 各試験地で, またどの年においても一致した傾向がしめされた。6月中旬に最初の罹病木(傷口からの樹脂滲出状況でその発病が診断されたもの)が発生してから, 以後その年の被害木の60~85%が8月中旬までに発病した。そして10月には100%に達した。罹病木は9月, 10月にかけて枯死にいたったが, その年の被害木の約80%が10月までに枯死した。残りの罹病木も翌年の2月, 3月までにはすべて枯死した。マツノマダラカミキリの羽化脱出は5



図一五 千葉県伊田試験地における罹病木、枯死木の発生経過 (1972年)
調査対象木：25年生アカマツ322本 各月中旬における調査

月下旬から7月中旬にかけてであり、それにつづく後食期間幅が線虫の感染期となる。接種実験によって確かめられた線虫侵入から、樹脂滲出の停止を目安とした発病までの期間（1，2週間）などを考慮すると、マツノマダラカミキリの羽化脱出、後食活動と、マツの感染、発病の時間的なつながりが明らかである。7月，8月において、罹病木に対してはマツノマダラカミキリの選択的な産卵が観察されており、しかも9月以降の罹病木には産卵がみられなかったことから、マツノマダラカミキリの産卵活動期間と、産卵対象としての罹病木発生の時期との一致が指摘できる。9月以降に発生した罹病木については、いずれもマツノザイセンチュウの感染によることが確認されていて、これらは発病の経過が遅れたものである。

マツの感染、発病、主として枯死にいたる経過は、媒介者マツノマダラカミキリの生活史との一致において、マツノザイセンチュウの「病原体」としての役割を明らかにしている。

2. マツノザイセンチュウのマツ樹体内での動態

マツノザイセンチュウの感染後、マツ樹体には早い時期に樹脂滲出機能の消失という発病の徴候があらわれる。一方、樹体に侵入した線虫は、樹体の発病後に顕著な個体数の増加をしめす。樹体侵入後の線虫の動態は、発病をさかいとして、その前後で異なった様相にあることが推測される。発病前では樹体の発病機構に直接関連した役割、また発病後においては線虫の個体数増加をもたらす増殖活動、のそれぞれである。とくに、発病機構

解明のためには、発病前の動態に研究の焦点があわされている。

(1) 感染初期における線虫の動態

マツノマダラカミキリの後食部分が線虫の樹体侵入の門戸であるが、いま、人工的な接種による線虫の樹体侵入についてその経過をたどってみる。苗木の枝、あるいは幹の先端部分を切り落として、その断面に線虫を接種すると、ただちに樹体組織内へ侵入をはじめめる。3時間後には接種点から10cm以上も離れたところにすすんでいくことが観察された。この場合、接種点附近では、断面全域にわたっての侵入で、皮層、そして木部ともに多くの線虫がみられているが、接種点から離れた部分では、皮層により多くの線虫が侵入していることがしめされた。なお、樹体へは耐久型幼虫のまま侵入することも明らかにされている。

樹体侵入後の線虫の動態について、樹体組織に起こる反応との関連で、組織解剖学的に追求されている。苗木を用いてその枝に対する接種実験でしめされたところによると、接種24時間後で線虫は接種点附近の木部の樹脂道へ侵入しており、断面全域にわたる樹脂道のエピセリウム細胞が破壊されている。接種点をはなれると、上述のように線虫の侵入は主として皮層の樹脂道に限られ、木部にはほとんど認められない。その後時間がたつと、接種枝では線虫が木部の樹脂道に広く生息していて、エピセリウム細胞の破壊もすすむ。また、接種枝全域にわたって放射組織柔細胞、エピセリウム細胞の変性（細胞の変色や、核の変形、崩壊）が随所で起こっていて、これは線虫による組織の直接的破壊にかかわらない樹体の反応をしめすものとして注目される。やがて樹体には全身的な樹脂滲出異常があらわれる。この時期において、接種枝以外の樹体では、まだ組織中に線虫の生息を直接確認できない。すなわち、樹脂滲出異常は、線虫の生息、そしてエピセリウム細胞の破壊に先行する現象としてあらわれている。樹脂滲出に異常が起こってからは、樹体各部で樹脂道における線虫の生息が普通にみられるようになり、これらの樹脂道では線虫の盛んな増殖活動が進行している。

線虫接種の結果として樹体が発病し、症状が進行していくうえで、その経過が遅れることがある。接種実験において、病状進行のはやい場合と、遅い場合のそれぞれについて、感染初期の線虫の動態を比較した例をここでみてみよう。接種直後、接種枝から他の部分への線虫のすみやかな移行は両者において同様に行われている。発病のはやい方では樹脂滲出の異常が接種後3～10日で行き、それとともに樹体各部で線虫個体数の急激な増加

がみられている。一方、発病が遅れる場合については、接種枝の線虫個体数が時間経過とともに減少している。また、接種枝以外の樹体に移行した線虫も同様な減少をさせたことから、線虫の接種枝から樹体各部への継続的な移行はないことがわかる。樹体に侵入した線虫の一部はいちはやく樹体内に広く移動するが、他の接種実験の結果でもしめされていることだが、個体数のうえでは移行した線虫のめだった増加はなく、樹体内での線虫の生息はほとんどが接種点附近に限られているといえる。接種後、かなりの時間を経過してから、樹脂滲出の異常が起こっても、それ以後線虫の個体数は増加する。樹脂滲出異常発現後線虫個体数が増加するというパターンは、このように発病が遅れた場合についてみるとより明らかである。

媒介者により伝播された線虫は、まず樹体に侵入後、ごく一部はすみやかに樹体内に広く分散、移動するが、大部分は侵入部位近辺にとどまっていることが、上に述べてきたところから推測される。樹体の全身的な発病にいたるまでの間、この部分での線虫の動態をいま一度考えてみる。この場合、耐久型幼虫を接種源として行われたいくつかの接種実験の結果が手がかりを与える。接種後4～5日たつと、接種部位附近の材組織中にふ化幼虫がみられるようになって、この部分での増殖活動がしめされる（耐久型幼虫は脱皮して成虫となり、雌雄交尾後、雌成虫は産卵をはじめ）。しかし、めだった個体数の増加にはいたらないようである。線虫侵入部位、あるいは接種部位は、後食や人工的な手段によって作られた傷口であり、当然樹体組織にとっては機械的な損傷となり、局所的な異常が起こっているはずで、その環境条件が線虫の定着、生息を可能にしているものと考えられる。ここを樹体侵入の橋頭堡として行われる線虫の能動的な生活が、樹体組織に作用をおよぼし、病的状態をひき起こす。先にみた柔細胞の変性がその一つの具体的徴候とするなら、線虫の侵入後比較的是やい時期にこのような反応が起こり、その反応は線虫の生息分布に先行して樹体全身へとおよぶ。これは、さらにはっきりした病徴としての樹脂滲出異常の発現と前後する現象としてとらえられている。本病に対する抵抗性が知られているテータマツに対する接種実験の結果などから明らかにされているように、侵入部位での定着はあっても、発病しないことがあり、この場合は線虫の作用が樹体の反応をひき起こすにいたらないためと考えられる。侵入、定着した線虫もやがて消滅してしまう。

樹体に侵入した線虫の数と発病との関係を考えるのに、線虫の接種頭数を変えた接種実験の結果をみてみよ

う。1本当りの接種頭数30頭、300頭、3,000頭、3万頭の各区については、30頭の場合に発病せず、3,000、3万と接種頭数が多いほど、発病がはやくなっている。30頭区では、樹体内の線虫はやがて消滅する。300頭接種では、3,000頭、3万頭にくらべ発病が遅れる。樹体への侵入頭数が多いほど、侵入した部分での樹体への影響が大きくなり、またおよぶ範囲も広まる。つまり、侵入後の橋頭堡の確立が容易で、線虫のいちはやい定着が可能となる。その結果として、はやくに樹体の発病がもたらされる。侵入頭数が少ない場合は、定着した場所で個体数を増すのに時間を要し、樹体への影響をあらわすにいたるのが遅くなる。つまり、このような侵入頭数と発病経過の関係については、侵入線虫の数をイノキュラムポテンシャル (Inoculum potential) の概念でとらえることができることをしめしている。

苗木を使った枝からの接種で、接種直後から時間をおいて接種枝を切り落とす実験が行われている。それによると、24時間後の切除でもその苗木は発病している。切除した時点では、接種枝以外の部分から検出される線虫個体数は非常に少ない（10頭以下、接種頭数は1万頭）。このことは、この少ない個体数でも発病するということをしめしている。なお、接種枝を切り落とさない対照区とくらべると、発病はかなり遅れている。一方、3日後切除の苗木についてみると、接種枝以外の線虫個体数は24時間後切除と変わらないのに、発病は無切除の場合と同様な経過をさせた。接種枝の組織解剖学的観察結果によると、接種3日後においてはすでに組織全域にわたる柔細胞の変性があらわれている。これを最初の病徴とするなら、接種3日後の切除の時にはすでに樹体は発病していたのであり、無切除区と変わらないその後の病状進展についての説明を与える。つまりこの場合、高い初期密度で Inoculum potential が大きく、はやく発病したが、これに対し24時間後切除では、Inoculum potential としては樹体内に移動した少数の線虫であり、発病が遅れたと考えられる。24時間後切除で発病したことについては、樹体内に分散した線虫が発病に関与するという点で、検討すべき問題を含んでいる。病気の拡大進展が接種枝といった線虫侵入部位からだけでもないらしいことを示唆している。いままで度々ふれてきたように、樹体に侵入した線虫は、樹体内をすみやかに、そして広く移動する。一般に、侵入部位から分散移動する線虫の数はあまり多くないようであり、また、樹体に異常があらわれるまではその数が増えることもない。樹体発病との関連では、侵入部位における線虫の動態により重要性を認めるかたちで論をすすめてきたが、侵入初期における線

虫の分散移動のもつ意味についても今後さらに検討を加える必要がある。

線虫の樹体内移動に関して、冬期に接種した場合には、まったく移動がみられないことが明らかにされている。このことは、侵入初期における線虫の樹体内移動がマツの生理的活動と関連しているらしいことをしめして興味深い。組織解剖学的観察によると、発育初期の小さな幼虫に限るとはいえ、窓状膜孔を通過して放射組織から仮道管へ、また仮道管から放射組織への移動が認められ、移動経路としての仮道管利用の可能性がしめされている。

(2) 発病の経過と線虫個体数の変動

樹体内の線虫個体数の増加は、樹体の発病後、つまりその目安としての樹脂滲出異常が起こってからのちはじまることをいままですめしてきた。苗木に対する接種実験の結果でいえば、樹脂滲出の異常があらわれてから、樹体全体にわたっての個体数増加が明らかとなり、その後の増加は顕著である。この時期、樹脂道内に多数の卵、ふ化幼虫が観察され、樹体各部での旺盛な増殖活動がしめされている。

線虫感染後発病までの時間的経過は、苗木と成木の間に大きな差のないことが明らかにされており、樹体内での線虫個体数の増加についても両者で同じように推移するものと考えられる。ただ生息空間の大きさの違いで、

密度においては大きな差がでる。成木についての線虫個体数調査結果では、樹体に樹脂滲出の異常があらわれてのち、しばらくは苗木の場合にくらべ線虫密度が非常に低い。しかし、増殖活動は着実に進行しているのであり、結果的には病状がさらにすすんだ段階で、樹体のどの部分からも線虫が検出される状況にいたって爆発的な線虫個体数の増加が観察される。肉眼的には針葉の変色が認められるころから、枯死までがその時期にあたる。多くの試料について調べた結果では、平均的にみて線虫密度は材絶乾重1g当り1,000頭で、1万頭に達する場合もあった。この時期を個体数変動のピークとして、以後、樹体枯死後の時間的経過とともに線虫個体数は漸減する。

以上とりまとめたところは、多くの人々の多数の報告にもとづいているのだが、それらにしめされた結果に対してかなり恣意的に考察を加えたので、独断にすぎるきらいがあるかもしれない。このことについては、本文を一つの試論としてうけとめていただきたいと思う。正直いってデータに多くの不備のあることを痛感しながらの作業だった。それらの点については、今後さらに補うようにして、一層正確な理論のとりまとめをめざしたい。

マツノザイセンチュウの寄生性発現に關与する 環境条件

担当研究室：本場保護部樹病，関西支場樹病，四国支場保護，九州支場樹病・育林第1

(とりまとめ 橋本平一)

はじめに

今日、材線虫病が流行病であることに疑いを抱く人は少いであろうが、本病が発病するためにはマツノマダラカミキリ（以下カミキリという）によるマツノザイセンチュウ（以下線虫という）の伝播、及び感染後の線虫とマツの相互関係、これを取りまく環境条件が満たされることが発病の前提と考えられる。

発病環境の解析は本病の萎凋枯死機構、環境抵抗性、あるいは疫学的研究の基礎的な課題として明らかにして

おく必要がある。

本稿はこれまで手掛けられた実験結果に基づいて研究の現状を紹介する。

1. 標高と材線虫病の分布

雲仙、霧島両山系における本病の分布を標高別に調べた結果、両山系ともに低山帯から標高を増すごとに被害木の発生は減少している。即ち、標高約400m地点までには典型的な激害型枯損が見られるが、標高を増すにつれて単木的な枯損となり、被害木は減少する。被害分布

の限界は700m台で、これ以上になると長い年月をへて衰弱した、いわゆる慢性型の被害木が分布するが、これらの被害木からはマツノザイセンチュウは検出されず別の原因で衰弱、枯損したものと推察される。

標高別の被害分布に対応して線虫及びカミキリの生息を確かめるために、標高別に調査林分を設け、6～9月にかけて定期的に調査林分内のカミキリと線虫の存在を確かめた。

その結果、雲仙と霧島ではカミキリの生息に差違が認められる、雲仙では低山帯の激害地から山頂に近い1,050mまでほぼ全域から線虫を保持したカミキリが採取されたが、霧島ではカミキリ数や線虫の保持率も低く、800m以上ではカミキリが生息する形跡は全くみられなかった。

このように、雲仙の場合には山頂まで線虫を保持したカミキリの生息が認められながら被害木の分布は700m台にとどまっていたが、霧島の場合には被害木の分布とカミキリの生息地域は標高約700m台でほぼ一致していた。

両山系でのカミキリの分布には違いが見られるけれども共通的に標高約700mまでに被害がみられる。この地点以上では雲仙のように線虫が持ち込まれても発病をみない。このことは単に被害が周囲に少いということのみでなく発病を抑制する環境因子が働いているものと考えられる。一方、700m以下では標高が低下するごとに発病環境条件が満されるものと考えられる。

発病を助長、抑制する環境因子としては感染期から発病期までの気温と降雨量がまず考えられる。

この調査期間中の6月23日～8月31日にかけての両調査地の標高別平均気温を示すと1,200m地点では約20°C、被害木の分布限界附近の700mでは23°C、100m以下では27～28°Cを示した。

次に、降雨量について考えてみたい。両山系の調査期間中の降雨量を示すと雲仙では標高670m地点で降雨量788mmを示し、標高75m地点では581mmとなる。霧島山系の標高1,150mでは1,004mmで鹿児島市(4m)では346mmであった。つまり、標高が増すにつれて降雨量が増すものと考えられる。

降雨量は空中湿度、土壤水分に直接反映するが、とくに後者は地形、地質、立地条件により複雑な変化が予想され、現地での土壤水分の影響は直接には判断が難しい。

この項ではとくに被害木の分布とカミキリの生息との関係について述べ、気温や土壤水分の直接的な影響については実験的な裏付けに基いて2項以後で述べることにす

る。

2. 発病に及ぼす温度の影響

温度条件と発病の関係を明らかにするために温度を15, 20, 25, 30°C一定に制御した条件下に線虫を接種したマツ苗を置き、発病経過を見ると25°C以上で発病し20°C以下では発病しない。これに対応して苗木中の線虫の増殖を調べると発病がおこった25°C以上で線虫の増殖がみられ、20°C以下では増殖はおこらなかった。この実験の結果から発病温度が線虫の増殖温度とほぼ一致することが判った。

掘り取った根付きのマツ苗を水槽中の流水につけた状態で18°C、28°C、35°Cの条件下におき線虫を接種すると18°C以上の全ての条件で線虫の増殖が見られマツの針葉の変色も全てに現われた。

一方、鉢植の正常なマツ苗の場合には18°C条件では線虫の増殖は認められず発病を見なかった。また、高温条件35°Cでは線虫の増殖適温及びマツの発育適温をはるかに越えているが、発病は最も速やかであった。このような結果から低温条件では寄主と寄生者の力関係が寄主側に有利となり、18°C条件の正常苗では発病がおこらなかったものと考えられるが、高温条件ではマツ側の抵抗力を著しく減退させることが考えられる。

また、季節ごとに線虫を接種すると、春から夏にかけての接種では線虫の樹体内の移動が速やかとなり発病するが、晩夏から冬にかけての接種では線虫の樹体内の移動は不活発で発病は見られない。つまり、この実験からは発病は季節に支配されているが、単に気温による影響のみでなく、マツの生理作用との関係をも示唆している。

これら、2, 3の実験結果から気温は線虫の活動に影響を及ぼしているばかりでなく、マツの生理にも影響を及ぼしていると考えられる。

3. 発病に及ぼす土壤水分の影響

土壤水分の状態が材線虫病の発病に如何に影響するかは興味深い問題である。

鉢植の苗木を用いた実験で土壤の乾燥と発病との関係を明らかにした、2, 3の報告がある。これらの結果、全て土壤の乾燥が発病を助長することで一致している。さらに、灌水条件の違ったマツ苗間では苗木中の線虫の個体数にあまり影響は見られなかったが、土壤が乾燥するとマツの水ストレスが生じマツ側の感受性を高める要因として働くことが明らかになった。

一方、土壤水分が豊富であれば病状の進行が遅れることや、25°Cの温度制御装置内で素焼鉢に植えたマツに毎日灌水をするとほとんど発病を見ずに終わった実験例が

ある。

また、線虫を接種して樹脂滲出に異常が現われたマツでも、異常初期段階では雨が降ると樹脂滲出が回復する現象がしばしば見られる。このように、水分の供給が潤沢な場合にはマツに水ストレスがおこらず、マツは抵抗力を強める結果となる。

以上のように、土壌水分の多少はマツの水分生理に直接関与して発病を左右する主要因子であることが判る。

4. 発病に及ぼす SO_2 の影響

本病の発生が東海、山陽、北九州の工業地帯の沿線などに激害地が分布していることから、工業地帯の出現と本病の発病とが問題にされている。田中(1975)は低濃度(0.2 ppm)の SO_2 のくん煙とマツノザイセンチュウ及びニセマツノザイセンチュウの加害性との関係を実験的にとらえた。

その結果、加害性の強いマツノザイセンチュウでは、 SO_2 のくん煙に関係なく発病を見たが、病徴の発現は SO_2 くん煙がやや早いことを示した。

一方、加害性がほとんどないとされているニセマツノザイセンチュウでは1万頭接種した場合に SO_2 のくん煙が無処理区に比べて加害性が認められた。この結果から、 SO_2 は発病の誘因として働くものと考えられる。

5. その他の要因

丘陵地の尾根筋から山脚部にかけて連なる20数年生のアカマツ林(天然下種)において山脚部のすでにうっ閉した林分と尾根筋の未うっ閉の林分とで同一条件による線虫の接種実験を行った。

それによると、山脚部では優勢木に比べて被圧された小径木に異常及び枯損木の発生が多い傾向がみられた。

尾根筋ではマツの成長が極めてわるく矮性であるにもかかわらず異常、枯損木の発生は少なかった。このことから受光量が豊富な条件では小径木ながら耐病性が強い傾向が見られた。

これらの結果からマツが林分として生い立つ過程での立地条件及び環境条件が影響することを示唆している。

しかしながら、現実の被害林に林縁や孤立木の枯損も目立つが、これはカミキリの行動や環境変化(土壌乾燥)など多くの要因が関連していることが予想される。また、被害が進行して、年々林分が疎開されると林分内は受光量が増し気温や地温の上昇をまねき、土壌乾燥が激しくなる。このような林分でマツは感受性が高まり加速的に異常木が増加して激害地化することが充分に考えられる。

その他、マツの抵抗性に影響する因子としては土壌養分や理学的の問題などがあるが、現在ほとんど手掛けら

れていない。しかし、今後この問題の検討も必要であろう。

考 察

材線虫病の地理的分布をマクロに眺めれば緯度や標高により被害分布に差違が見られる。また激害地帯においては被害の進展が速やかな林分と被害があまり進行しない林分とがある。あるいは、成木に対する接種実験の結果では場所や接種時期により発病に差違がみられる。これらの事例から本病発現には何らかの環境因子が作用して発病を助長または抑制しているものと考えられる。

標高別の調査や実験の結果から標高が高い地域では被害量が減少するのは伝染源となる被害木の量及び被害地からの巨離などの問題の他に発病抑制因子として温度の降下や降雨量の増加など総合的な作用が基底に存在するものと解される。

一方、標高が低い地域では山地より高温で降雨量が少いなど、発病を促す条件が備っているためとみなされる。これらの実態は雲仙や霧島のみでなく、九州では阿蘇、九重山系においてもその後の調査で一致した結果が得られ、ほぼ平年では被害木の分布は700~800mを限界として認められる。

発病に及ぼす環境因子を実験により検討した結果、気温と土壌水分は主要な因子であることが証明された。その他 SO_2 もまた発病を誘う因子と考えられる。さらに、マツの感受性に微妙に影響する因子として光線や立地条件などがあげられよう。

現実にはこれらの因子は寄生、病原体、運搬者に対して総合的に関与しているものと思われる。

竹下ら(1975)は広範囲な被害分布調査により、これらの気象因子(主に気温と降雨量)とマツの被害度との関係を重相関解析により総合的にとらえた。その結果、気象要因の関与はカミキリの行動及びマツ側の抵抗力に影響することを示唆している。

このように環境因子を考慮しながら地理的分布を眺めると現在でもかなり立派なアカマツの美林が存在することに気がつく、これらの場所では発病を抑制する因子が強いことを物語るものと思われる。

一方、現在ますます被害が進行している西南日本の太平洋及び瀬戸内沿岸では発病環境因子が備っているためと考えられる。

最後に発病に及ぼす環境条件はかなり明らかになったが、マツを枯らすのはあくまでもマツノザイセンチュウであることを忘れてはならない。

被害速報

昭和51年9～10月の森林病虫害等被害発生状況

昭和51(1976)年9月16日～10月15日までの1か月間に受理した速報カードは186枚(民有林145枚, 国有林41枚)でした。

松くい虫 110件 33,968 m² の被害。北海道雨竜郡北竜町(旭川局深川署) ヨツボシヒゲナガカミキリによりエゾマツ 500 m² に, 白糠郡白糠町(帯広局白糠署) ヤツバキクイムシによりエゾマツ 200 年生 610 m², 阿寒郡阿寒町(同局阿寒署) トドマツ 1 年生 70ha のうち 37,000 本にカラマツコキクイムシが加害。石川県加賀市(大阪局金沢署) クロマツ 60 年生 14 本被害。岐阜県土岐市, 瑞浪市 クロマツ, アカマツ 30～68 年生計 291 m² がマツノマダラカミキリによる被害。愛知県豊橋市(名古屋局岡崎署), 新城市アカマツ, クロマツ 10～60 年生 1,553 m² に被害。奈良県奈良市(大阪局奈良署), 御所市アカマツ計 324 m² に被害。和歌山県和歌山市(大阪局高野署), 田辺市, 御坊市, 有田郡金屋町, 吉備町, 湯浅町, 広川町, 有田市, 日高郡美浜町, 由良町, 日高町, 南部川村, 川辺町, 南部町, 中津村, 印南町, 那賀郡岩出町, 桃山町, 貴志川町, 那賀町, 打田町, 粉河町, 西牟婁郡串本町, 上富田町, 白浜町, 大塔村, 日置川町, すさみ町アカマツ, クロマツ 10～80 年生計 71,794 本 12,734 m² に被害。鳥取県米子市クロマツ, アカマツ 42 本 26 m²。島根県大田市, 益田市, 邇摩郡温泉津町アカマツ, クロマツ 15～90 年生計 215 m²。広島県佐伯郡宮島町(大阪局広島署), 賀茂郡河内町(同局西条署) アカマツ 77～100 年生計 365 本 201 m² 被害。山口県下関市, 萩市, 岩国市, 美禰郡美東町, 阿武郡むつみ村, 豊浦郡豊北町, 菊川町アカマツ, クロマツ 10～80 年生計 12,321 本 2,441 m² の被害。徳島県三好郡池田町, 井川町, 三野町アカマツ, クロマツ計 11 m² 被害。愛媛県伊予三島市, 宇摩郡土居町, 川之江市, 伊予郡中山町アカマツ, クロマツ 15～80 年生計 5,329 m², 中山町では昨年より被害拡大。高知県土佐清水市(高知局清水署), 安芸県安田町, 田野町, 東洋町, 香美郡土佐山田町, 幡多郡大月町, 高岡郡中土佐町, 南国市, 室戸市, 須崎市アカマツ, クロマツ 10～180 年生計 4,274 本 1,109 m²。福岡県北九州市, 遠賀郡岡垣町(以上熊本局直方署), 福岡市, 粕屋郡古賀町, 新宮町, 宗像郡玄海町, 津屋崎町, 福岡町(以上同局福岡署) アカ

マツ, クロマツ 30～158 年生計 822 本 485 m²。長崎県南松浦郡富江町, 岐宿町(以上熊本局五島署), 南高来郡深江町クロマツ 10～35 年生計 29,400 本 2,448 m² 中害。熊本県熊本市(熊本局熊本署), 山鹿市(同局菊池署), 八代市, 八代郡東陽村, 坂本村, 泉村, 天草郡倉岳町, 栖本町, 御所浦町, 新和町, 苓北町, 天草町, 河浦町, 牛深市, 有明町, 五和町, 竜ヶ岳町, 松島町, 姫戸町, 大矢野町, 本渡市アカマツ, クロマツ 5～60 年生計 48,950 本 1,505 m² の被害。宮崎県えびの市(熊本局えびの署), 串間市(同局串間署) クロマツ 24～55 年生計 2,419 本 133 m²。鹿児島県揖宿郡喜入町, 開聞町, 日置郡東市来町, 市来町, 日吉町, 金峰町, 吹上町, 加世田市(以上熊本局鹿児島署), 西之表市, 熊毛郡中種子町, 南種子町, 上屋久町, 屋久町, 肝属郡大根占町クロマツ 10～150 年生計 4,053 m²。

松毛虫 1 件で山梨県東八代郡石和町クロマツ, アカマツ 30 年生 1 ha。

スギタマバエ 3 件で 86ha の被害。富山県氷見市 15ha 被害。長崎県下県郡敵原町(熊本局対馬署), 南高来郡小浜町計 71ha 中害。

スギハダニ 3 件 613ha の被害。熊本県八代市, 八代郡坂本村計 368ha 中害。鹿児島県西之表市, 熊毛郡中種子町, 南種子町, 上屋久町, 屋久町計 245ha。

野ネズミ 14 件 1,363ha。青森県東津軽郡今別町(青森局今別署) スギ 5～6 年生 0.2ha 被害。福島県河沼郡柳津町, 大沼郡金山町, 三島町, 耶麻郡猪苗代町スギ, キリ 2～30 年生 1,110ha, 2～3 月の積雪下で加害されたものと思われる(報告者)。栃木県安蘇郡葛生町スギ, ヒノキ 5～10 年生 13ha。長野県木曾郡大桑村(長野局野尻署) ヒノキ 5～6 年生 72ha 中害。岐阜県大野郡清見村(名古屋局高山署), 恵那郡付知町(同局付知署) ヒノキ 3～8 年生計 19ha。静岡県磐田郡佐久間町スギ, ヒノキ 2～5 年生 5ha 中害。高知県室戸市, 安芸郡北川村, 土佐郡土佐町スギ, ヒノキ 2～7 年生計 131ha。熊本県阿蘇郡久木野村ヒノキ 2～12 年生 13ha。

9～10月の森林病虫害等被害発生状況 (昭和51年9月16日から10月15日までに受理した速報カードの集計表)

	松くい虫	松毛虫	スギタマエ	スギノダニ	野ネズミ	法定外の病	法定外の虫	法定外の獣
北海道	(2 1 1,110 0)							
青森					(1 0)			(2 33)
秋田						3	13	
福島					4 1,110	2	140	250
栃木					1 13			
群馬						(1 75)	(1 2)	
新潟						1	200	
富山			1 15		1 0			
石川	(1 0)							
山梨		1 1				1 500	1 8	
長野					(1 72)	(2 191)	(1 23)	
岐阜	2 291				(2 19)	2 109		
静岡					1 5	3 818	201	
愛知	(1 1,508 1 45)							
滋賀								1 21
京都						2 11	0	
奈良	(1 24 1 300)							
和歌山	(1 0 26 12,734)							1 5
鳥取	1 26							
島根	3 215							
岡山						1 0		
広島	(3 201)					2 10		
山口	7 2,441				2 32	1		
徳島	1 11							
愛媛	4 5,329							
高知	(1 1 12 1,108)				3 131			
福岡	(4 485)					1 30		
長崎	(2 48 1 2,400)		(1 1 1 70)			1 1		
熊本	(3 122 19 1,415)			2 368	1 13			
宮崎	(3 133)							
鹿児島	(7 671 2 3,350)			1 245				1 30
国有林計	29 4,303		1 1	4 91	3 266	4 58		
民有林計	81 29,665	1 12 85	3 613	10 1,272	3 21 1,013	24 515		
合計	110 33,968	1 13 86	3 613	14 1,363	3 24 1,279	28 573		

注：1 各欄の左はカード枚数。右は被害数量。数量の単位は、松くい虫のみm³，その他はすべてhaである。
 2 () 書は国有林，その他は民有林。
 3 報告のない県名は省略してある。

■**法定外の病害** 3件3haの被害。クロマツにつちくらげ病が富山県高岡市0.5ha。ヒノキの病害(稚苗立枯病)が山口県豊浦郡菊川町1,000本中害。スギ黒点枝枯病が山口県美禰郡美東町33年生スギ3ha中害。

■**法定外の虫害** 24件1,279ha。ハンノキハムシが新潟県南魚沼郡湯沢町20年生ハンノキ200ha激害。マツのしんくいむしが福岡県遠賀郡岡垣町(熊本局直方署)クロマツ4~12年生30ha中害。アブラムシが広島県比婆郡東城町クリ0.2ha。カツラマルカイガラムシが広島県双三郡作木村クスギ, ナラ, アベマキ, カシ25~30年生10ha。オオスジコガネが静岡県磐田郡龍山村, 榛原郡川根町, 本川根町スギ, ヒノキ1年生8ha。スジコガネが山口県岩国市ヒノキ2~3年生0.2ha。ヒメコガネが山口県下関市のヒノキ苗畑0.4haに。マツノクロホシハバチが福島県西白河郡西郷村, 田村郡一円, 山梨県東山梨郡三富村, 岐阜県郡上郡大和村カラマツ, アカマツ5~30年生計640ha。カラマツハラアカハバチが長野県木曾郡日義村, 木曾福島町(以上長野局福島署)カラマツ9~24年生計191ha中害。カラマツアカハバチが群馬県吾妻郡嬬

恋村(前橋局草津署), 岐阜県郡上郡明方町計184㎡。モンクロシヤチホコが京都府舞鶴市, 長崎県島原市サクラ17~25年生1ha中害。カラマツマダラメイガが秋田県平鹿郡平鹿町, 十文字町カラマツ13~16年生13ha中害。アメリカシロヒトリが秋田県鹿角市プラタナス等8本に被害。根切虫が岡山県英田郡美作町の苗畑でヒノキ40,000本中35,000本に被害。

■**法定外の獣害** 28件573haの被害。野ウサギが青森県東津軽郡三厩村(青森局増川署), 福島県耶麻郡西会津町, 長野県木曾郡開田村(長野局福島署), 静岡県榛原郡金谷町, 中川根町, 本川根町, 川根町, 田方郡天城湯ケ島町, 修善寺町, 函南町, 土肥町, 大仁町, 戸田村, 中伊豆町, 島田市, 裾野市, 沼津市, 三島市, 伊東市, 掛川市, 滋賀県甲賀郡信楽町, 鹿児島県肝属郡田代町スギ, ヒノキ1~7年生計558ha。カモンカが群馬県勢多郡東村(前橋局大間々署), 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町ヒノキ5年生7ha。サルが山梨県南巨摩郡 鉾沢町ヒノキ, カラマツ3年生8ha。イノシシが京都府熊野郡久美浜町ヒノキ2年生2,000本。

松を守って自然を守る!

(林野庁補助対象薬剤)

まつくい虫生立木の予防に

パインテックス乳剤10
パインテックス乳剤40

まつくい虫被害伐倒木
駆除に

パインポート油剤C
パインポート油剤D

マツノマダラカミキリ成虫防除に

サンケイスイチオン乳剤



サンケイ化学株式会社 <説明書進呈>

本社	〒890 鹿児島市郡元町880	TEL (0992) 54-1161
東京営業所	〒101 東京都千代田区神田司町2-1神田中央ビル	TEL (03) 294-6981
大阪営業所	〒555 大阪市西淀川区柏里2丁目4番33号中島ビル	TEL (06) 473-2010
福岡営業所	〒810 福岡市中央区西中洲2番20号	TEL (092) 771-8988