

アカマツ林における“マツ枯れ”被害の進展様式

誌名	森林研究
ISSN	13444174
著者名	二井,一禎
発行元	京都大学大学院農学研究科附属演習林
巻/号	71号
巻号補足	
掲載ページ	p. 9-18
発行年月	1999年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



論 文

アカマツ林における“マツ枯れ”被害の進展様式

二井一禎*

The epidemic manner of pine wilt spread in a Japanese red pine stand

Kazuyoshi FUTAI*

京都大学大学院農学研究科附属演習林上賀茂試験地に自生するアカマツ林は1960年代末に侵入した“マツ枯れ”により壊滅状態にある。試験地内に設定した調査区1.8 ha内の現存アカマツ178本の分布図を作成し、さらに、その区域内で過去10年間に枯死した個体をその分布図にプロットすると、10年前には同調査区域内に810本のアカマツが生存していたこと、従って過去10年間に約80%が枯死したことが明らかになった。この10年間の枯死経過を明らかにするとともに、続く二つの年度の枯死木の分布の間の重なりを調べたところ特定の年度間に明瞭な重なりが発見された。毎年徹底して実施される枯死木の駆除にもかかわらず、前年の被害木の周辺から枯死木が再発する原因として潜在感染木の役割が想定されたので、経時的に樹脂調査を実施しその実態を明らかにした。

キーワード：アカマツ、マツ枯れ、マツノザイセンチュウ、潜在感染木、被害分布

Japanese red pine trees naturally grown at Kamigamo Experimental Station of Kyoto University Forests have been devastated by pine wilt disease since the end of the 1960s. To reconstruct the original tree density, 178 red pine trees survived at a small area of 1.8 ha were mapped, then the distribution of dead pine trees killed during preceding ten years at the same area was overlaid. The map thus prepared shows that 810 Japanese red pines distributed at the same area in 1985, suggesting almost 80% of them have been killed by this disease. The epidemic manner of pine wilt spread was examined by analyzing the spatial distribution pattern of the pine trees. Correlation between distributions of dead pine trees in successive two years was analyzed and significant overlapping was found between some successive two years. This suggests that latent infectious trees might play an important role in recurring wilt disease at the same place though all dead pine trees were cleaned out to remove the source of infection in following years.

Key words: Japanese red pine (*Pinus densiflora*), Pine wilt, Pinewood nematode, latent infectious tree, damage distribution

はじめに

日本各地のマツ林に激甚な被害を与えてきた“マツ枯れ”は、その病原体であるマツノザイセンチュウと、媒介昆虫であるマツノマダラカミキリの発見により（清原・徳重, 1971, Mamiya and Enda, 1972）、疫病的な被害発生のメカニズム、すなわち、流行病の生活環（感染鎖）が明らかにされた。このようにして“マツ枯れ”の感染鎖の全貌が明らかになると、より効果的にこの感染鎖を絶つよう防除法が工夫され、さしもの流行病も解決に向かうものと期待された。しかし、現実には被害は鎮静化に向かうことなく、さらにその分布を広げ、当初、温暖条件などから、被害は及ばぬと考えられた本州内陸部や、東北各県にまで“マツ枯れ”の被害が発生するようになっている。

では、どうして病原体とその媒介昆虫の生活史を踏まえた合理的であるはずの防除法が効を奏さなかったのか。

あろうか。一部の研究者はこの点を踏まえて、防除の前提になっている“マツノザイセンチュウーマダラカミキリ”による“マツ枯れ”病因に関する定説自体に疑問を投げかけている（中根, 1992）。しかし、防除が効を奏さないからといって、その病因そのものを否定するのは短絡的に過ぎるといわざるを得ない。なぜなら、多くの研究者による長年にわたる研究の成果はほとんど例外無く、この定説を支持しているし、なによりも野外で発生している本病の発生の様相はこの定説が実にうまく説明するからである。繰り返しになるが、では、どうして定説を踏まえた合理的であるはずの防除法が効を奏さなかったのか。この点を明らかにするには、まず、現行の防除法の問題点を慎重に検討しなおす必要がある。この問題を考えるとき、京都大学大学院農学研究科附属演習林上賀茂試験地で観察された興味深い事実を見逃すわけには行かない。

上賀茂試験地では多数の貴重な外国産マツ属樹種を育

* 地域環境科学専攻 微生物環境制御学分野

* Division of Environmental Science and Technology, Laboratory of Environmental Mycoscience

成しているが、この試験地に発生したマツ枯れが、これら外国産マツ属樹種に及ばぬよう、これまで多くの努力が重ねられてきた。しかし、被害は鎮静化せず、林内の天然生アカマツは絶滅の危機に瀕している。ここで、ある年に被害木が発生すると、たとえ、被害木を駆除処理のため、その林内から徹底して搬出しても、翌年その近傍にあるマツが発病し、枯死することが多いという。これが事実なら、これまでの駆除法では被害発生の防止が出来ないということを示唆しており、この現象には既往の防除法の不成功の一因が秘められているかもしれない。本研究では、まずマツ枯れ被害分布の経年変化を追跡し、さらに、その発生様式をいくつかの面から解析することにより、被害木の発生様式に潜む本病の流行メカニズムの一端を解明したい。

1. 調査方法

マツ枯れが一つの林内でどのように拡がり、林分を壊滅状態に迫りやるのか、その被害分布の拡大様式を調べるには、同一のアカマツ林を対象に、被害発生の初期からその終息に至るまで、連続して調査を続行する必要がある。しかし、近畿圏でこのようなことが可能な、被害のいまだ及ばないアカマツ林はほとんど無く、このような調査を現時点で始めるのはほとんど不可能であろう。このような調査に代わる方法として、過去の被害歴を洗いなおし、それに基づき、現存の林分の今後の変化を追跡するという方法が考えられる。しかし、被害分布の拡大様式を解析するためには、被害木一本一本の位置が正確に記録に残されていなくてはならない。幸い、上賀茂試験地では、1982年以降に発生した被害木の位置を、処理木の資料として比較的正確に記録にとどめている。この資料を有効に用いれば、被害分布の拡大様式を検討することが可能であると考えられた。これまでも同様の視点から、上賀茂試験地のマツ枯れ被害木処理データを整理して2つの報告が行われている(二井・岡本、1989、岡本ら、1990)。そこでは、マツ枯れの被害の進展様式が、各年度の枯損木の分布状態の解析を通して明らかにされている。しかし、ここで特にとりあげる、「防除努力を無効にするような同一地点における被害再発」の実態を明らかにするには、続く2年間の被害木の分布の間に重なりがあるかどうかを検討する必要があるが、この点についてはこれまでの報告では触れられていない。

(1) 調査対象林分の設定と被害発生位置図の作成

上賀茂試験地では毎年繰り返されるマツ枯れの発生のため、天然生のアカマツ林は消滅の危機に瀕している。

そのため、十分なアカマツ個体からなる林分は、調査を開始した1995年の時点ではほとんど存在しなかった。そこで、試験地内で比較的アカマツ個体が残存している地域として、1林班、2林班、22林班が隣接する約1.8haの林分を調査区に選び、林道を挟むこの調査区域内の生存アカマツ全個体178本の位置図を作成した。さらに、このようにして作成した現存アカマツ分布図の上に、この調査区に発生した過去のマツ枯れ被害木の発生位置を、1985年までさかのぼってプロットした。

なお、この目的のためには、同試験地で作成された“マツ枯れ”被害木処理資料を利用させていただいた。資料の公開をはじめとして多くの面で協力を頂いた同試験地の職員各位に深く感謝する。

(2) 被害進展の経時調査

マツ枯れは典型的な萎凋病と考えられているが、その最も早期の病徴としては樹脂分泌機能の異常・低下が知られている(小田、1967)。そこで、調査対象区内のアカマツ個体の発病を出来るだけ早く把握するため、1995年4月以降、1996年の11月まで、計15回にわたって、調査区内の全個体を対象に樹脂分泌調査を実施すると共に、外見的病徴の有無についても観察を続けた。樹脂分泌の調査は、径6mmの刃をつけた木工用ドリルで材に到達する程度まで穴をあけ、翌日その穴から浸出している樹脂量を観察することによりおこなった。また、マツ枯れに感染し、枯死に向かう個体からはエタノールやテルペン類のような揮発性のガスが放出されることが知られており、病原線虫の媒介者、マツノマダラカミキリはこれらガスを手がかりに発病マツ個体を発見し、これに産卵するといわれている(池田ほか、1980)。これは、健全なマツ個体が分泌する樹脂にはこれら穿孔性甲虫類の卵を殺す作用があるため、産卵に適さぬそのような健全木を避け、樹脂分泌が停止した発病木を識別して産卵するための適応的な行動と考えられている。そこで、樹脂分泌が異常になった個体については、樹幹へのカミキリによる産卵痕の有無についても注意して観察をした。

(3) 潜在感染木の実態調査

発病枯死したマツ個体を除去しても、翌年以降にその近辺の生存個体の中から被害が再発するのが事実なら、そのメカニズムとして、どのような説明が可能であろうか。ひとつには、林内で隣接するマツ個体間では根の癒合が生じていて、この癒合部を介して病原線虫が感染個体から周辺健全個体に侵入し、時間を経て発病させるという考え方があり。事実、人工的に根を癒合させた2本のマツ苗のうち、一方に病原線虫を接種した場合、他方

の苗に病原線虫が移行し、この苗も枯死したという (Mamiya and Shoji, 1989)。しかし、野外で根の癒合がどれほど起こっているかを調べた調査では、その頻度はきわめて少なく無視できる程度であるという。

また、マダラカミキリは後食するとき、近くにマツの個体がある場合には遠隔飛行することなく、近隣の個体間を移動しながら後食を続ける傾向がある (Togashi, 1990)。後食を受けたマツ個体のうち、あるものは年内に発病して枯死するかもしれないが、これに近接する他のものは翌年以降に発病が遅延するかもしれない。現象としては、被害木を除去しても、同じ場所に被害木が次年度以降に再発する事になる。

さらに、ある個体がシーズンの早い時期に発病すると、産卵期を迎えた雌雄カミキリを誘引することになり、それらのカミキリによる周辺健全マツへの二次的感染が起こる可能性もある。この場合も、二次感染を受けたマツ個体では感染時期の遅れにより、発病の遅延が予想されるから、翌年以降の発病につながるだろう。

このような、いくつかの説明に共通しているのは、病原線虫に感染しながらその年のうちに発病せず、翌年のシーズンにずれ込んで発病する個体を想定している点である。これまでも、感染しながら、発病が翌春以降にずれ込む個体を“年越し枯れ”と呼んで、防除戦略上、留意すべき現象として捉えられてきた。そして、このような“年越し枯れ”木は内陸部や、本州北部の寒冷地で多発することが知られている (在原, 1988)。しかし、ここではそれら“年越し枯れ”木のうち、翌年のシーズン以降にずれ込んで発病する個体を“潜在感染木”として別扱いすることを提言したい。なぜなら、これらの木は防除の網をくぐり抜けて翌年の被害発生の開始因となる可能性があるため、現行の防除法の盲点として特に重要であるからである。また、感染時期が前年以前のものであることを証明することが困難である点も、翌春に発病する“年越し枯れ”木とは大きな違いである。つまり、“潜在感染木”の存在を確認するには、外見が健全なマツ個体から病原線虫を分離し、線虫が確認された個体については翌春以降の病徴発現を追跡調査する必要がある。

そこで、本調査では1996年の2月28日に調査区域内の生存個体のうちからランダムに20本の個体を選び、それらから木工用ドリルを用いて材辺を採取し、シール付きのポリエチレンバッグに密閉したまま約40日間室温条件下で保存し、その後バールマンロート法によって線虫の分離、検鏡を行った。これは、1995年に病原線虫に感染しながら発病しない個体が存在することを確認するためであり、潜在感染木となる可能性のある個体を

特定するためであった。

2. 調査結果とその考察

(1) 枯死木の直径分布

1995年には調査区域内の32本が“マツ枯れ”が原因で枯死し、生残木は146本となった。さらに、1996年には20本が枯死し、生残木は126本となった。一般に“マツ枯れ”で林内のマツが枯れていく場合、林分構成個体のうち大きな樹から枯れる傾向があるといわれている。このことを確かめるために1996年の4月に生残木146本と、枯死木32本に分けてそれらの胸高直径の分布を調査した。なお、枯死木については伐根の直径から胸高直径を推定した。また、1996年にも同様の調査を実施した。それらの結果を図1に示すが、両年とも明らかに枯死木の直径分布は生残木のそれに比して太い側に偏っていることが分かる。つまり、大径木の方が枯れやすかったことになる。ただ、この林分はこれから明らかにするように、“マツ枯れ”のため、壊滅寸前の状態にある。このように、“マツ枯れ”終末期に至っても、生残木のうち大きい樹の方から枯れる傾向があるとすると、

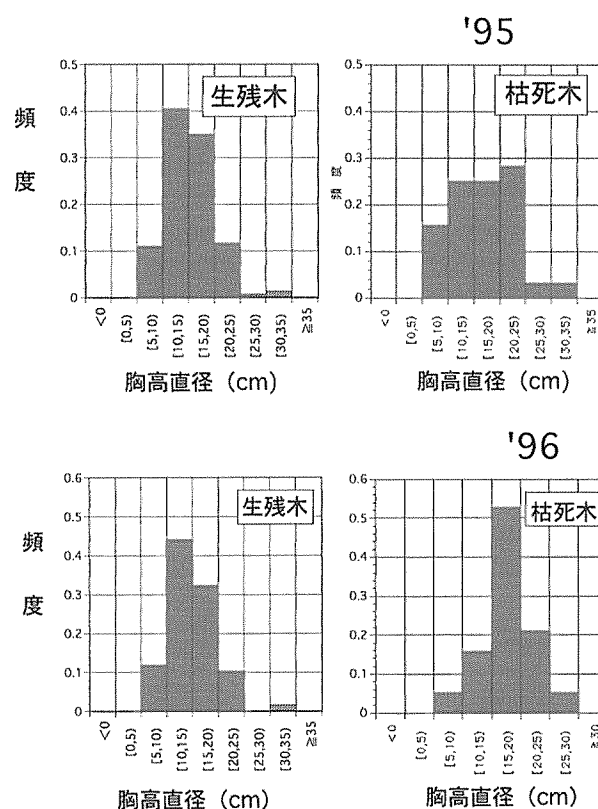


図1：生残木と枯死木の直径分布

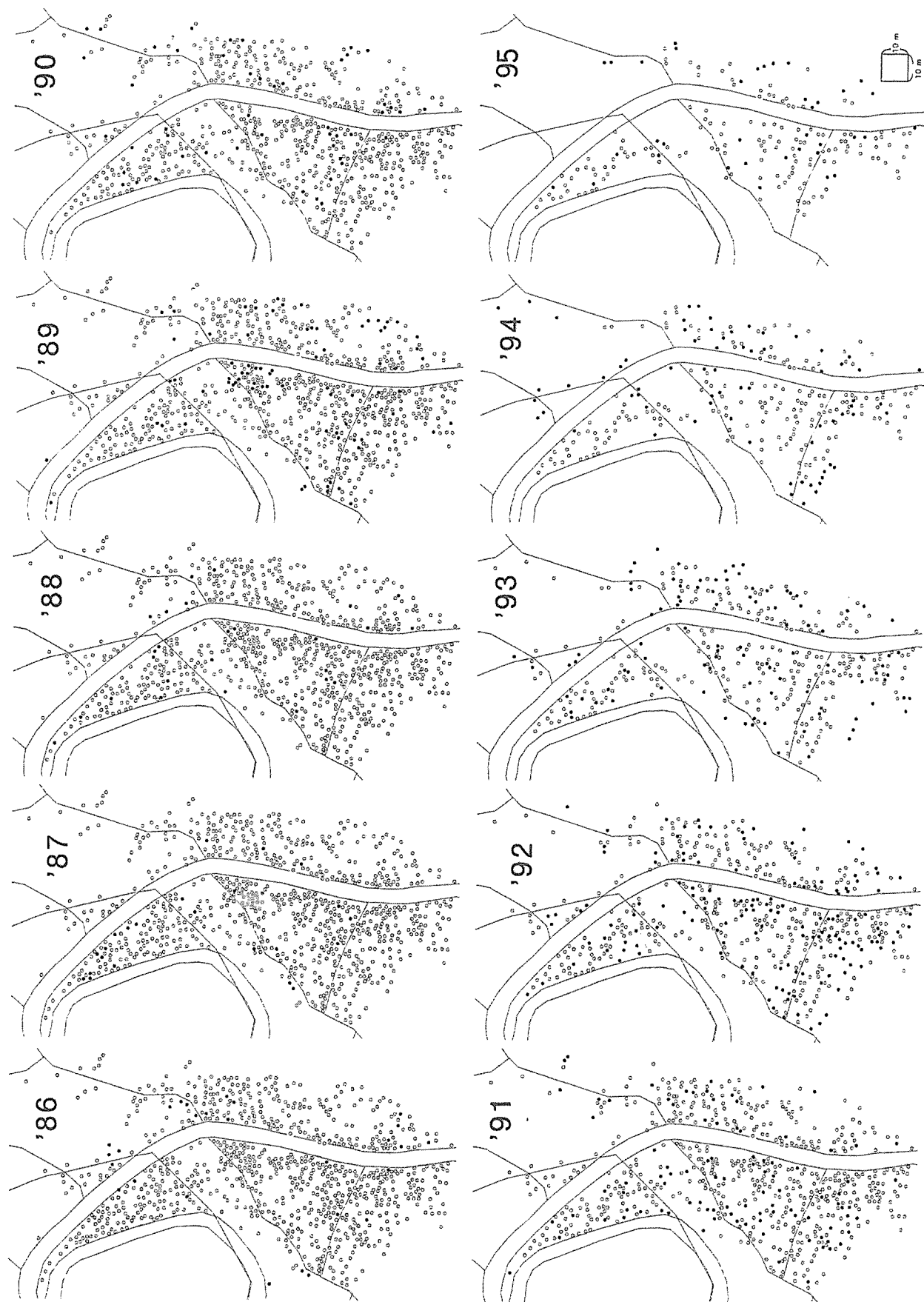


図3：“マツ枯れ”被害分布の進展経過

この病気のなんらかの特性を示唆しているに違いない。

(2) 被害発生初期から10年間の被害進展様式

“マツ枯れ”被害の進展様式を、被害発生初期から調査開始年である1995年までの長期的経過と、年度内に起こる季節的被害発生動向の2つの視点から整理してみる。

調査区域を設定して、毎木調査を実施したところ、調査区域内に178本の生残木が確認された。次に、この図の上に、過去10年間にわたって“マツ枯れ”により枯死し、この調査区から伐倒駆除処理された個体を書き込んでいくと、1985年には同調査区域内に810本のアカマツが生育していたことが明らかになった(図2)。つまり、過去10年の間に林内の78%のアカマツが枯れてしまったことになる。この間の被害進展経過を図3にあらわす。また生存木数の減少過程と、当該年に生残木数のうち何本が枯死したかを表す“枯死率”の変動を併せて図4に示す。この二つの図は被害初期には枯死率は比較的低いまま推移するが、やがて枯死率が上昇しはじめ、年間の枯死率が25%という激害期を迎え、生残木の減少にともなって、枯死率も低下傾向をたどることを示している。25%の枯死率とは、その年の“マツ枯れ”シーズンが始まる前に生残していた個体の4分の1が消滅してしまうことを意味するから、このような激害期が3年も続くと、それ以前の4割近くまで個体数が減少してしまうことになる。そして、事実この調査区では1992年から3年間にこのような激害が続いた。

このような、被害進展の様式を解析するために枯死木の分布に着目して、その分布様式の変化を調べてみた。ここで用いたのは、Iwao, S. (1972)の「区画サイズの変化に対応した $m^* - m$ 関係に基づく解析法」である。詳

しい説明は原著にゆずるが、その考え方を簡略に述べると、 m^* は平均込み合い度という指数で、区画当たり個体当たり平均他個体数を示し、 m は平均密度である。もし、いくつかの個体群に関して、 m と m^* に関する情報が得られれば、この2つの指数の間には $m^* = \alpha + \beta m$ という直線関係が成り立ち、さらに、 α や β の値から、その生物種の分布特性に関する情報が得られる。しかし、今回の調査では上賀茂試験地の一つの林分だけを対象としているため、 α や β に基づく、本来の分布解析はできない。ただ、分布単位を1本の枯死木と想定すると、 α の値は0となり、 m^* と m の関係は、 $m^* = \beta m$ という直線式であらわせることになり、各区画サイズ毎に求めた m^* と m の値から、その区画サイズ毎の β の値をきめることができる。ところで、この β の値が1より大きいときは、その分布単位が集中分布すること、1の時にはランダム分布し、1と0の間の値を取るとき、一様分布をすることをあらわす。1985年度から10年間の枯死木の分布状態の変化を m^* と m の関係から解析したのが、図5である。また、今回の方法では、アカマツの一つの個体群に対して、区画サイズを変えながら、 m と m^* を計算したので、区画サイズに応じて変化する指数 ρ を次式からもとめることにより、コロニーのおおよそのサイズについての情報が得られた。

$$\rho_i = (m^*_i - m^*_{i-1}) / (m_i - m_{i-1})$$

ここで、設定した区画サイズがコロニーサイズより小さいうちは ρ_i の値は、0と1の間の値をとるが、コロニーサイズより大きくなると ρ_i の値が1より大きくなる。図6に'86年から10年間の調査区域内の枯れ松の分布様式に基づいて計算した ρ_i の値を示す。これらの図から、枯死木の分布状態の年次変化をたどると、被害初期の'86年には400m²から900m²の区画サイズで集中分



図2：調査林分における10年間のアカマツの立木密度の変化

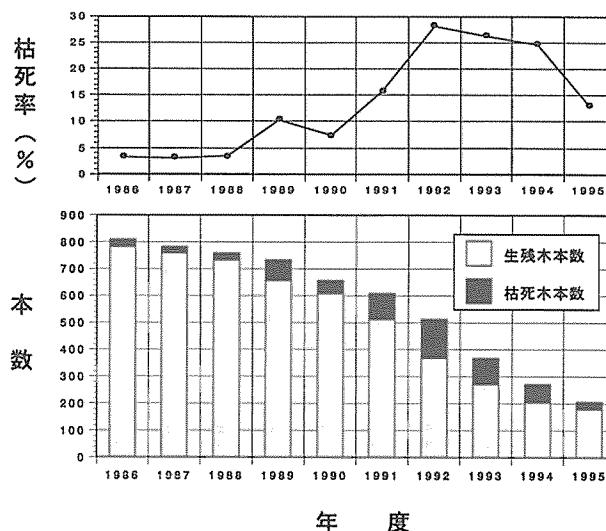
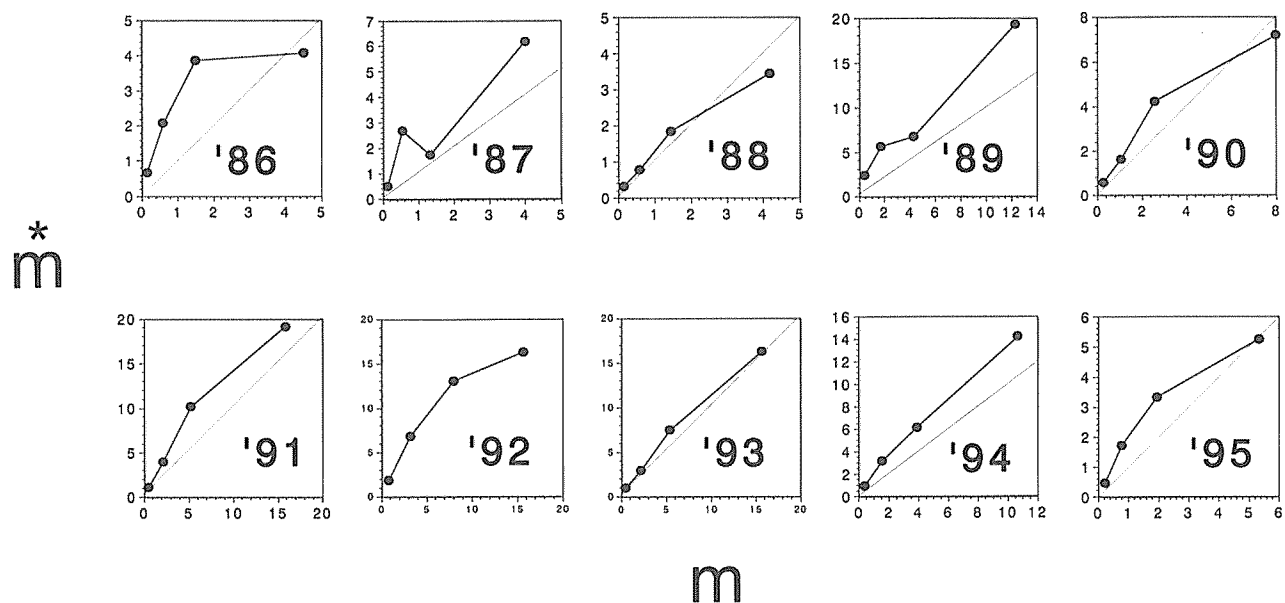
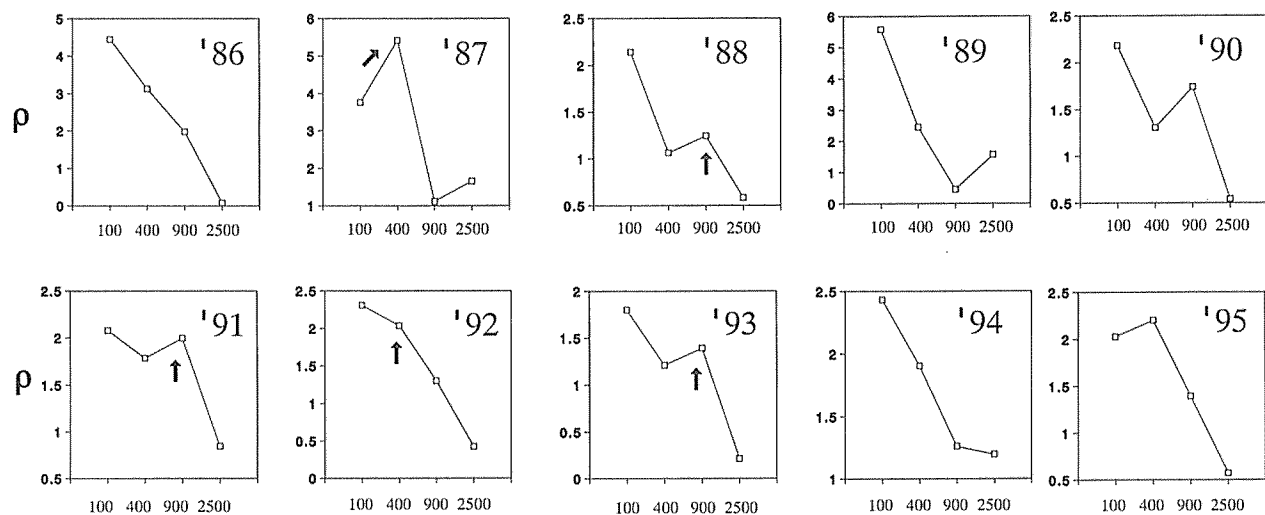
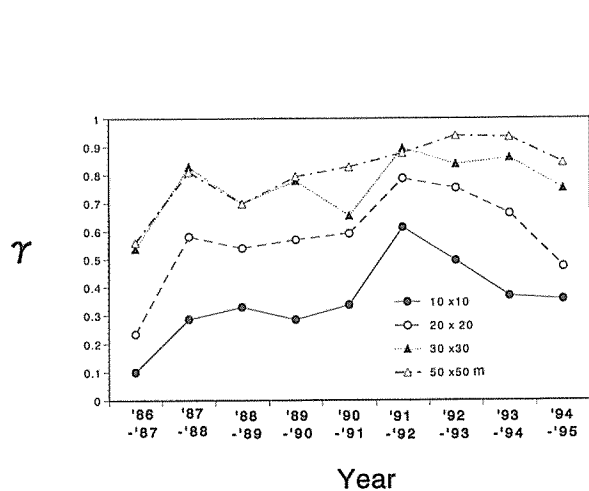
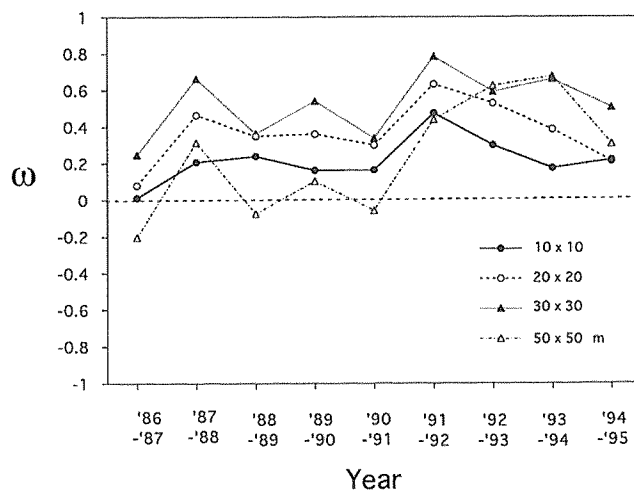


図4：“マツ枯れ”による枯死本数と枯死率の年次変化

図5：“マツ枯れ”被害木の空間分布の m^* — m 関係図6：“マツ枯れ”被害木の分布構造の年次変化（ ρ 指数による解析）図7：続く2年間の枯死木分布の重なり（ γ 指数による解析）図8：続く2年間の枯死木分布の重なり（ ω 指数による解析）

布を示すが、2500m²まで区画サイズを上げると、その集中性は失われてしまうことがわかる。'87年の図からは、400m²の区画サイズで、枯死木に明瞭な集中分布が見られる。つまり、枯死木は400m²程度の広さに集団状に分布する。しかし、'88年になると、900m²の区画サイズでだけ軽度の集中性が見られるが、全般に集中性は低い。翌'89年になると、400m²と2500m²の区画サイズで、さらに、'90年と'91年には、900m²の区画サイズで集中分布が見られ、'92年には400m²と900m²の区画サイズで、枯死木の集中が見られた。'93年には900m²の区画サイズで軽度の集中が見られたが、全般に枯死木の分布はランダム化していた。残存生存木が少なくなるのにもない、'94～'95年度には再び枯死木の分布に集中性が見られるようになった。

さて、枯死木の分布を明らかにするもう一つの目的は、「発病枯死したマツ個体を除去しても、翌年以降にその近辺の生存個体の中から被害が再発する」ことを確認することにある。その目的のためには、“ $m^* - m$ 関係に基づく解析法”を種間関係の解析のために応用させたIwao, S. (1977)の方法が利用できる。二つの種の関係をその分布の重なり具合から解析したその方法を、続く二つの年度の枯死木の分布関係に適用すれば、二つの年度の枯死木の分布の間の重なりについての情報が得られる。そこでは、分布の重なり度の指数として二つの指数、 γ と ω を用いることにした（これらの指数の計算式は煩雑であるので、ここでは省略する）。連続した2年間に對して求めた γ と ω が'86年から'95年にわたる10年間にどのように変化したかをそれぞれ図7と図8に示す。なお、これらの図では、連続した2年の枯死木の分布が完全に重なった場合は、 γ と ω の値はともに1になる。逆に、連続した2年の枯死木の分布が互いに完全に排他的な場合は、 γ の値は0に、 ω の値は-1となる。さらに、これら2年間の枯死木の分布が互いに独立の關係にあれば ω の値は0となる。この前提にそって、図7と8を検討していくが、特にここでは、分布の重なりがどのぐらいの広さで起こるのかを調べるため、区画サイズごとにこれら二つの指数をもとめた。これら2つの図を見てまず気がつくのは、'87年と'88年の分布の重なりである。それは、400m²以上の区画サイズの γ と ω 両指数にあらわれており、被害進展の初期の段階ですでに、枯死木が処理されたにもかかわらず、翌年その近隣のアカマツに被害が発生するという事態が起こっていたことが分かる。 γ の値は全般に区画サイズを大きく取るほど大きくなる、つまり分布の重なりが大きくなる傾向が強いが、 ω 指数の方は、むしろ400m²～900m²の区画サイズで年度間の重なりがあることを示している。そして、

この10年間で最も顕著な現象は、'91年と'92年の被害分布の重なりであろう。この二つの年度の被害分布は最小区画、100m²で既に顕著な重なりが見られる。そして、このことは、'92年から'94年にかけて被害が激増することになったことと深い関係があるように思える。'95年以降、生残木が少なくなるに従って、年度間の被害木分布の重なりは少なくなる。このように、この10年間の被害分布の資料は、連続する2年間の被害分布が一定の重なりをもつ年度があることを明らかにした。しかも、そのような分布の重なり程度は、年度間で変動し、特異な年度に顕著な重なりを示すことが明らかになった。

(3) 潜在感染木の実態調査

ある年にマツノザイセンチュウに感染しながら、発病せず翌年の“マツ枯れ”シーズン以降に遅れて発病する“潜在感染木”は、当該年の駆除の対象からもれてしまう。それだけなら、翌年の枯死木の数にその分を加えればすむ話である（そして、事実、これまではそのように処理されてきた）が、このような個体は本病を防除するうえでさらに深刻な問題をはらんでいる。“マツ枯れ”で枯死した木を処理しなくてはならないのは、その中に病原線虫とその運び屋であるマツノマダラカミキリが棲息するからで、放置すれば確実に翌年の発生源となるからである。そこで、各地の被害林では枯損木の駆除に多大の努力が払われてきた。しかし、ここで述べたような潜在感染木が残されておれば、たとえ他の枯死木を林内から一掃したとしても、このような個体が翌年のシーズン中に発病する時、樹体から大量のアルコールやテルペン類を揮散させることにより周辺からマツノマダラカミキリを誘引することになる。いわば、潜在感染木は超大型の誘引器として作用することによって、せっかく、発生源が一掃された林内に新たな病気の発生をもたらす可能性がある。この点を確かめるために、1995年と1996年に行った樹脂分泌調査の結果を整理してみた。整理にあたっては、それぞれの年の6月と7月に行った二回の調査で樹脂分泌が停止していた個体を前年以前の感染木、つまりここでいう潜在感染木とみなし、その位置を記録した。たとえば、1995年を例にとると、この年のマツノマダラカミキリの最初の羽化は6月20日頃であった。最初に羽化したカミキリによって感染が成立したとしても初期症状として樹脂分泌異常が現れるのには1カ月以上の時間が必要であるから、6月から7月初旬に既に樹脂分泌を停止していた個体は前年以前に感染していた可能性が強い。このような潜在感染木の位置と、それぞれの年に新たに発生した枯死木の位置を比較する

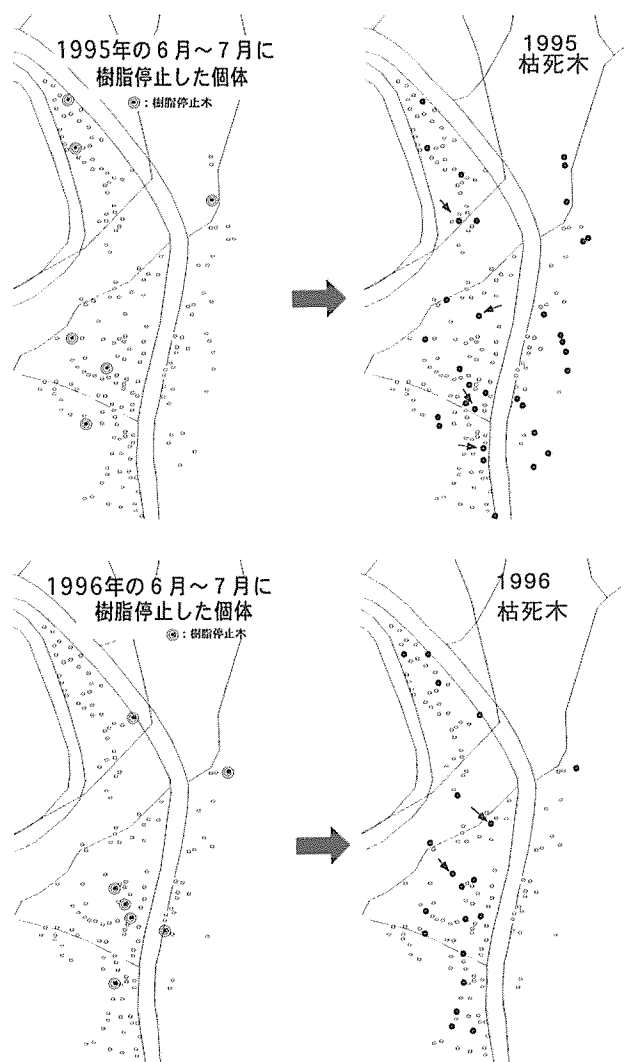


図9：樹脂分泌停止木の分布とその後に発生する枯死木の分布の関係
(図中小さな矢印で指し示した個体にはマツノマダラカミキリの産卵が確認された)

ため、図9に1995年と1996年の調査結果を示した。これらの比較から、前年以前に感染しながら発病が遅れた潜在感染木が、翌年以降のシーズンに発病し、枯死することがあることが明らかになった。一方、一時的に樹脂分泌に異常をきたした個体がすべて枯死するわけではなく、生き残ることがあることも明らかになった。さらに、6月から7月に樹脂分泌を停止し、その後枯死した個体の周囲に新たな発病個体が発生したり、マツノマダラカミキリの産卵が行われたりすることが確認された。潜在感染木を介した経年的な被害発生メカニズムを模式的に表すと図10のようになる。この図で訴えたいもっとも重要な点は枯死木を除去しても被害が再発することが十分可能な点である。なお、1996年の2月に調査区域内の生存木のうちから任意に20本の個体を選

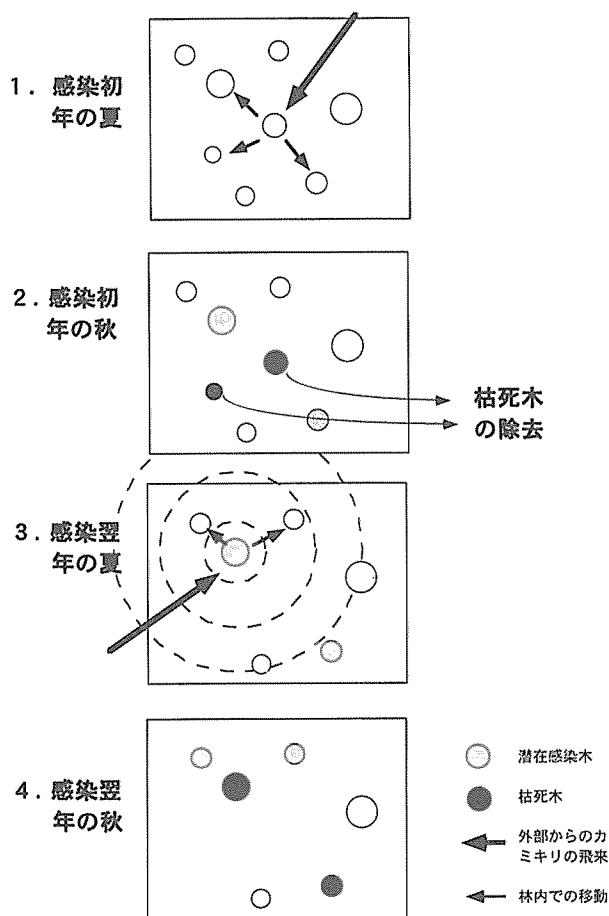


図10：“マツ枯れ”被害進展における潜在感染木の役割（潜在感染木モデル）

び、その樹幹部より径9ミリの刃を付けた木工用ドリルで材片を集め、ポリ袋に入れて室温条件下で2カ月間保存した。その後バールマンロート法で線虫の分離・検出を行ったところ、5本の樹からマツノザイセンチュウが分離された。これらの個体のうち1996年の秋までに発病・枯死した個体は1本だけで、他の個体は発病することなく生き残った。合衆国のバーモント州で20年生のヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*) に人工的にマツノザイセンチュウを接種したハリクラは接種後、6年を経ても寄主を発病させることなく寄主樹体内でマツノザイセンチュウ個体群が生存していることを見いだしている (Halik and Bergdahl, 1995)。このように、温度や、土壤水分、寄主の抵抗性などの条件が発病を抑制するような範囲にあればマツノザイセンチュウは寄主に病徴を引き起こすことなく生存し続ける可能性がある。

おわりに

“マツ枯れ”の感染鎖が明らかにされて以来、この森

林流行病を防除するために採られてきた方策は、病原線虫のマツ樹への伝播・侵入を阻止することをねらった方法で、伝播者カミキリを標的として殺虫剤をマツ樹体へ散布し、その若枝摂食（後食）行動を防止しようというものであった。というのも、病原線虫は媒介者カミキリが健全マツの若枝を摂食（後食）する時に出来る傷口（後食痕）からマツ樹体内に侵入するからである。ところで、このような若枝は樹冠の表層に分布する。そのため、殺虫剤でカミキリの後食を阻止するには樹冠の下から殺虫剤を散布するより、若枝が分布する上方から散布する方が効率的である。また、大面積に広がるマツ林を防除対象とするためには、単木的な処理では対応できない。ヘリコプターなどによる殺虫剤の空中散布法がとられた理由はここにある。しかし、当然のことながら、環境に対する殺虫剤の影響が心配され、散布反対の運動もあちこちで展開された。そのため、防除は場所と時期・回数を限定して実施せざるを得なかった。しかし、カミキリの飛翔距離は場合によっては数キロに及ぶ。防除対象を限定して実施した場合、対象とした林分は一時的には守れても、周辺の未処理林分から飛来したマツノマダラカミキリにより、絶えず“マツ枯れ”の潜在的脅威にさらされる結果となる。一方、殺虫剤の散布時期・回数の限定は、カミキリの活動期間をカバーしきれず、“散布しても枯れる”という結果をもたらす一因となった。薬剤散布という防除法の効果だけを考えるなら、その散布は例外を設けることなく、広面積に、一斉にというのが原則であろう。しかし、このような実施法が不可能なところに既往の防除法の限界がある。

それでは、薬剤の空中散布に代わる防除法はあり得るのか。かつて、第二次大戦終末期から戦後の混乱期にかけてマツ枯れが大量に発生した時期がある。その被害量は材積にして百万立方メートルを超え、近年のそれに匹敵する。当時占領軍により招へいされたアメリカ農務省の昆虫学者ファーニス（Furniss, 1950, 1951）は日本各地の現地視察を踏まえて、被害材の伐倒、剥皮、焼却という処方箋を出し、その徹底化により被害の鎮静化に成功している（Furniss, 1950, 1951）。成功の原因として、このような処理法を可能にした豊かな林業労働力や、燃料として被害材が積極的に利用された社会的背景が挙げられる。占領軍を背景にした被害材処理の徹底化も、成功の重要な要因であったと考えられている（伊藤一雄, 1975）。近年における林業労働力の劇的な減少と高齢化は、このような処理を不可能なものにし、さらには枯死木の燃料としての価値の逸失は被害材の林内放置を常態化させ、マツ枯れの流行に拍車をかける結果を産み出している。したがって、枯損マツ材の伐倒、剥皮、焼却という方法はあまり

省みられないことがないが、この方法の効果を評価するには、ひとまず労働力不足や燃料としての価値の逸失といった事実を離れて、再考してみる必要がある。

京都大学大学院農学研究科附属演習林上賀茂試験地では、多数の貴重な外国産マツ属樹種が育成されている。この試験地に発生したマツ枯れが、これら外国産マツ属樹種に及ばぬよう、これまで多くの努力が重ねられてきた。この試験地におけるマツ枯れと、その防除の歴史は岡本ら（1990）の論文に詳しい。上賀茂試験地はその面積50haの約60%が本来天然生の二次林であった。その主要樹種はアカマツで、ヒノキと広葉樹がそれに混交していたという。このアカマツ林に1965年以降マツ枯れが発生するようになり、1969年以降、被害材の伐倒、薬剤散布による駆除が実施され、1976年まで被害は次第に鎮静化に向かった。しかし、1977年の低い降水量により、被害量は再び増加に転じ、さらに、試験地に隣接する周辺アカマツ林分に発生したマツ枯れ被害木が駆除をされぬまま、放置されたため、これらが翌年以降の試験地内でのマツ枯れ発生の温床となり、以後、被害量は増大の一途をたどり、現在では試験地内にアカマツを見いだすのが困難な状況になりつつある。この試験地における比較的最近の“マツ枯れ”発生と防除の歴史の中に、本病に対する対策を講じる上で忘れてはならないいくつかのヒントが潜んでいる。まず、被害発生初期に徹底した伐倒、駆除を行えば被害鎮静化が可能となる点である。しかし、夏期の高温や、少雨のような環境ストレスは防除努力を超えて被害発生をもたらす可能性がある点には注意を要する。さらに、最も重要なのは、いかに試験地内で被害木を徹底的に駆除しても、周辺にマツ枯れ被害木が無処理のまま放置されれば、駆除努力は無効になる点である。これは、薬剤の空中散布による既往の防除方法が、限定的な実施条件下で、被害沈静化に失敗してきたのと共通の原因による。

あるシーズンにマツノマダラカミキリの後食行動を通じてマツノザイセンチュウの侵入を受けた個体がすべて、その年の秋までに発病するわけではなく、翌春以降に遅れて発病する個体があることは良く知られている。これまでこのような遅発性の発病を“年越し枯れ”と総称してきたが、翌年のマツ枯れシーズン以前に発病するなら、それは前年の感染によるものと判断できるし、また駆除の対象として処理することも可能である。しかし、翌年のシーズン以降に発病する個体についてはそれが、前年の感染によるものか、当年の新たな感染によるものか判断は難しい。さらに問題は、翌シーズンにまでずれ込んで発病するこのような潜在感染木が林内にあると、その枯死過程を通じてマダラカミキリを誘引するガ

スを発散するため、せっかく“マツ枯れ”シーズンまでに発生源を林内から完全に駆除しておいても、周辺からのマツノマダラカミキリの飛来を促し、新たな病気発生が繰り返される点である。今後、被害が内陸部や北方の地域に拡大して行くにしたがい、発病が遅延して起こる潜在感染木が発生しやすくなるであろう。そのことは、本病の防除をますます困難にし、病気の恒常化をもたらす原因となる恐れがある。

引用文献

- 在原登志男 (1988) 寒冷地方におけるマツ材線虫病発生の特徴
Ⅱ 林分調査による年越し枯れの実態. 森林防疫 37:84-87
- Furniss, R. L. (1950) Recommendations for forest insect control in Japan. GHQ, SCAP, Natural Resources Section, 8pp.
- Furniss, R. L. (1951) Forest insect control in Japan. GHQ, SCAP, Natural Resources Section Preliminary Study 45, 23pp.
- 二井一禎・岡本憲和 (1989) マツの材線虫病の感染源に関する生態学的研究 (Ⅲ) マツの材線虫病被害分布の拡大の様式 100 回日林論 : 549-550
- Halik, S. and Bergdahl, D. R. (1995) Long-term survival of *Bursaphelenchus xylophilus* in living *Pinus sylvestris* in an established plantation. Proceeding of International Symposium on pine wilt disease caused by pine wood nematode (Beijing, China) 95-102.
- 池田俊弥、遠田暢男、山根昭臣 (1980) Attractants for the Japanese Pine Sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). Appl. Ent. Zool. 15:358-400.
- 伊藤一雄 (1975) 松くい虫の謎を解く. 農林出版株式会社、東京、162pp.
- Iwao, S. (1972) Application of the m^*-m method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size. Res. Popul. Ecol., 14:97-128
- Iwao, S. (1977) Analysis of spatial association between two species based on the interspecies mean crowding. Res. Popul. Ecol., 18:243-260
- 清原友也・徳重陽山 (1971) マツ生立木に対する線虫 *Bursaphelenchus* sp. の接種試験. 日林誌 53:210-218
- Mamiya, Y. And Shoji, T. 1989) Capability of *Bursaphelenchus xylophilus* to inhabit soil and cause wilt of pine seedlings. J. Jpn. Nematology 18:1-5
- Mamiya, Y. and Enda, N. (1972) Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoidae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Nematologica 18:159-162.
- 中根周歩 (1992) 酸性雨等による植物衰退現象の実態/広島のマツ. 資源環境対策 28:1340-1343
- 小田久五 (1967) 松くい虫の加害対象木とその判定法について. 森林防疫ニュース 16:263-266
- 岡本憲和・渡辺政俊・中井 勇・古野東洲 (1990) 上賀茂試験地におけるマツ枯れについて. 京大演習報 20:26-43
- Togashi, K. (1990) A field experiment on dispersal of newly emerged adults of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) Res. Pop. Ecol. 32:1-13