研究者が取り組んだマツ枯れ防除 ——マツ材線虫病防除戦略の提案とその適用事例——

吉田成章^{*,1}

吉田成章：研究者が取り組んだマツ枯れ防除—マツ材線虫病防除戦略の提案とその適用事例— 日林誌 88：422~428, 2006 マツ材線虫病は外来の病原体マツノザイセンチュウと高い増殖率と分散能力をもつ在来マツノマダラカミキリが結びつくことで蔓延しており、在来の病害虫と同様の防除戦略は通用しない。すなわち、日本のほとんどの地域に適用可能なマツ材線虫病に対する防除戦略とは、防除によりマツ林が崩壊しない低水準に被害量を維持することであり、これを実現するには、守るべきマツ林を選定し、被害量を微害レベルに誘導することにより、微害を維持する、という一連の手順が必要である。ここで、被害量を微害レベルに誘導するには、(1) 周辺感染源の排除、(2) 守るべきマツ林内に発生する枯損木の伐倒駆除、(3) 守るべきマツ林内の生立木に対する予防措置、の三つの方策を着実に実行しなければならない。これらの方策に関し、実行する際の各種防除手法の適切な使用と現場での阻害要因について論じた上、筆者が実際に関わった防除の現場への適用事例について報告した。

キーワード：実効性、防除事業、防除戦略、防除論、マツ材線虫病

Yoshida, N.: A Strategy for Controlling Pine Wilt Disease and Its Application On-site. J. Jpn. For. Soc. 88: 422~428, 2006 The severe epidemic of pine wilt disease (PWD) in Japan is caused by the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, an alien pest allied with the endemic vector insect, *Monochamus alternatus*, originally having remarkable reproductive potential and dispersal ability. In the Japanese pine forest ecosystem, strategies and methods effective for some endemic pest insects are not applicable for control of PWD. The only strategy for disease control is to keep the damage at a sub-epidemic level and this will be embodied in a series of procedures: first, designation of the pine forest to be reserved, second, suppression of the PWD damage to a sub-epidemic level, and third, maintenance of the damage at a sub-epidemic level. To suppress the damage level in an affected pine forest, we must carry out the following measures precisely: removing the surrounding source of infection, eradicating of the dead pine trees infested with *M. alternatus*, and conducting preventive measures against infection for the living trees. Suitable measures for the above three procedures and prevention factors on-site are discussed, and an example of the application of these measures on-site is shown.

Key words: control measures, control operations, feasible and practical solution, pine wilt disease, PWD management strategy

I. はじめに

筆者は役職上、マツ材線虫病（松くい虫）防除の立案あるいは現場の防除指導に数多く携わってきた。激害型マツ枯損の原因としてマツノザイセンチュウが「発見」（清原・徳重，1971）されてからすでに35年を経過しているにもかかわらず、そこには現在もマツ材線虫病の発生機構を半信半疑のまま防除が実行されている世界がある。防除の立案と実行に携わる行政担当者は、研究者のいうマツ材線虫病の発生機構に即した防除を行っているはずなのに枯れが止まらないことから、暗黙のうちにマツノザイセンチュウ原因説に不信感を抱いている。研究者の中にすら、防除事業が実行されているのに毎年枯れが発生しているのは、マツノザイセンチュウ原因説のどこかに間違いがあるのでは、と疑っている者がある。一般の人には、マツ材線虫病ほどわかりやすく防除しやすい森林被害はないようにみえるらしい。なぜなら、被害木は“真っ赤”になり、そ

こに防除しなければならない木があることを示していて、その木を処分すれば被害はなくなると単純に考えるからである。ところが、毎年、目を見張るような予算を投入して防除が実施されているにも拘わらず、被害が収まらない現実をみると、マツノザイセンチュウ原因説に疑いを抱くようになる。これらの疑念はいずれも、防除現場の厳しさを知らなかったり、マツ材線虫病を正確に理解していない、もしくは理解が浅いことから生じている。

マツ材線虫病は複雑な生物間相互作用系であり、その全体像を理解することは容易ではない。しかしながら、上に述べたような疑念を解消するには、まず、一般の人や防除の現場に携わる人に理解してもらえらる明快な説明が必要である。この際、研究者が多用する枝葉末節の説明はかえって理解の妨げとなることに注意すべきである。また、その説明を信頼してもらうには、指示通り実施すれば必ず効くマツ材線虫病への対処方法を示す必要がある。

本稿では、筆者が防除現場での経験をもとに構築・改良

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: qqsy899a9@wing.ocn.ne.jp

¹ 833-0035 筑後市古島 5-1

5-1 Kojima, Chikugo 833-0035, Japan.

(2006年7月24日受付; 2006年8月25日受理)

し、実証してきた、マツ材線虫病防除論を防除成功の事例とともに報告する。

II. マツ材線虫病に対する防除戦略

マツ材線虫病の病原体マツノザイセンチュウ（清原・徳重, 1971）が北米原産の外来生物であることは、多くの研究により支持されている（de Guiran and Burguier, 1989；Tares *et al.*, 1992；岩堀・二井, 1995）。すなわち、材線虫病は明治初期に我が国にもたらされた侵入病害である。侵入病害が共存の歴史をもたない現地の寄主生物に壊滅的な被害を与える場合があることはよく知られている（重定, 1992）。マツ材線虫病もこれに相当し、北米東部産のストロブマツ、テーダマツなどは抵抗性であるのに対し、日本産のアカマツ、クロマツ、リュウキュウマツ、ヒメコマツなどはすべて感受性である（古野ら, 1993）。したがって、一旦マツ材線虫病が侵入・定着したマツ林（本稿では、特に断らない限り、マツとはアカマツ、クロマツ、リュウキュウマツを指す）では、防除をしなければ枯損被害が拡大し、マツ林としての景観が崩壊するのは自明であり、実際、このことは多数の実例が示しているところである。ただし、高標高地等では周囲のマツ林が崩壊した後も無防除のマツ林が維持されることがある。これは、変温動物であるマツノザイセンチュウやマツノマダラカミキリの行動や増殖が低温で抑制されるために生じる現象と考えられる（竹谷ら, 1975；Ruthford *et al.*, 1990）。

一方、マツノザイセンチュウの媒介者であるマツノマダラカミキリ（Mamiya and Enda, 1972；森本・岩崎, 1972）は日本の在来種である。マツノザイセンチュウ侵入以前のマツノマダラカミキリは台風、降雪等による折損木や被圧枯死木等を資源に細々と個体群を維持していたと考えられる。このような、時間的・空間的に不規則に発生する資源を利用してマツノマダラカミキリは、高い増殖能力や分散能力をもつようになっていたはずである（富樫, 1991b）。また、本来希少種であったマツノマダラカミキリをおもな餌とするような天敵は出てこなかったであろう。自らの餌資源である枯死木を発生させてくれるマツノザイセンチュウというパートナーを得て国内に蔓延するに至った今日でも、マツノマダラカミキリは元来の高い増殖・分散能力を維持しており、防除はきわめて困難である。

以上の状況の下で、マツ材線虫病が侵入・定着した地域でマツ林を存続させるためにとりうる戦略としては次の四つが考えられる。

戦略Ⅰ：病原体マツノザイセンチュウを絶滅させ、再侵入しない状態を維持する。

戦略Ⅱ：媒介昆虫マツノマダラカミキリを絶滅させる、ないしは強力に増殖を抑制する。

戦略Ⅲ：マツ材線虫病に対し強い抵抗性をもつマツを創出し導入する。

戦略Ⅳ：防除によりマツ林が崩壊しない低水準に被害量を維持する。

戦略Ⅰは、マツ林をマツノザイセンチュウ侵入以前の本来の状態に戻そうとすることであり、外来生物に対する対処法としてもっとも正当な方法である。しかし、すでに侵入から100年を経過し、全国に蔓延してしまったマツ材線虫病を国内から完全に排除するのはほぼ不可能である。孤立した小規模なマツ林を対象とするのであればマツノザイセンチュウの根絶は可能と考えられるが、周囲に感染源がある状況下で再侵入を完全に防ぐことは難しい。ただし、感染源から十分な距離を海で隔てた島嶼なら、この戦略に従った対応も可能である。たとえば、鹿児島県沖永良部島では、伐倒駆除や予防散布という通常の防除法により、一旦島内に侵入したマツ材線虫病を根絶することに成功している（Muramoto, 1998；田實ら, 2000）。

戦略Ⅱは、先に述べたマツノマダラカミキリの増殖、分散能力の高さや有効な天敵がないこと、あるいは殺虫剤の無制限な使用が不可能であることなどを考えると、実現可能性は低い。ただし、天敵の有効利用については、戦略Ⅳの中で用いられる手法の一つとして、研究開発に努力してゆく必要があるだろう。

戦略Ⅲは、マツノザイセンチュウの原産地で在来マツが抵抗性であるためマツ材線虫病の被害がみられない北米と同様の状態を作り出そうとするものである。アカマツやクロマツのマツ材線虫病抵抗性育種はマツノザイセンチュウが病原体と判明した直後から精力的に推進され、すでに抵抗性苗が供給されるに至っている（戸田, 1997）。また、リュウキュウマツについても抵抗性育種が進められている（中平, 2004）。しかし、抵抗性品種が開発、生産されるようになって、それをただちに今あるマツ林の成木とすべて置き換えることはできないので、この方法で現在あるマツ林を守ることはできない。戦略Ⅳに従ってマツ林を崩壊させないように維持しつつ、その一部分を順次抵抗性マツ品種と置き換えていくことにより、長期的な展望をもって達成を目指すべきものである。

戦略Ⅳは、日本の大部分の地域で現存するマツ林を守るためにとりうる唯一の方策である。この戦略では、マツノザイセンチュウやマツノマダラカミキリの根絶（戦略Ⅰ、戦略Ⅱ）が不可能であることが前提であり、そのような条件下で防除の手を緩めればマツ林は急速に崩壊に至る。したがって、十分な強度の防除を実行可能なマツ林を特定し、その範囲内でほぼマツノマダラカミキリを根絶するとともに、周辺感染源からのマツ材線虫病の侵入を徹底して防止するという方策をとる。周辺感染源からの侵入の確率がゼロにならない限り、低水準な被害の発生は容認せざるをえず、また防除努力は常に維持されねばならない。筆者は、おもにこの戦略に沿って、実際の防除の現場に生かされる防除論を構築し、改良を重ねてきた。

III. 戦略Ⅳに従ったマツ材線虫病防除論

マツ材線虫病の発見以降、さまざまな防除手法が研究され、開発されてきた（岸, 1988；田畑ら, 1997）。それら

の内、防除効果、現地適用性、経済性等の基準を満たし、現在広く実行されている手法は、(1) マツノマダラカミキリ成虫がマツの枝を後食する際に、枝に付着させた薬剤によって殺虫し、マツノザイセンチュウの媒介を防ぐ方法(予防散布)、(2) マツ枯死木の中に生息しているマツノマダラカミキリの幼虫等を殺虫する方法(伐倒駆除)、(3) マツの樹体内にあらかじめ殺線虫剤を注入しておき侵入してきたマツノザイセンチュウを殺す方法(樹幹注入)の三つである。伐倒駆除には、伐倒した被害木を浸透性の殺虫剤や燻蒸剤で処理する方法や、焼却やチップ化により物理的に殺虫する方法がある(後者は特に、行政用語で「特別伐倒駆除」と呼ばれる)。これらの少ない方法を駆使して、被害を微害の状態まで抑制し、またその状態を維持する手順を以下に示す。

1. 手順1

守るべきマツ林を選定する。選定されたマツ林では、継続的に予算を投入して防除が実施されることになるので、その投資に見合うものであるかどうかについて関係者の間で合意がなされることが重要である。マツ林の防災機能や、景観的・経済的な価値、あるいは森林生態系保全上の意義などが議論されるべきであろう。また、その面積は、防除事業を完遂するのに必要な予算を継続して投入できる範囲内としなければならない。新たに被害が発生した地域など、社会的な注目度が高いときには、一時的に大きな予算を投入できるかもしれない。しかし、このような状況は長くは続かないので、予算がきれいと防除の継続が不可能となり、せっかくの投資が無に帰してしまうことになる。さらに、手順2以降で必須となる枯損木の伐倒駆除作業を着実に実施できるよう、地域の労働環境、さらには地形や林道網等について条件が整っている必要がある。

2. 手順2

現在の被害量を微害レベルに誘導する。微害の目標値は、当該マツ林の現在の成長量に見合う量とするのが合理的である。しかし、実際上は、将来に渡って十分に継続可能な防除費用をもって確実に処理することができ、かつ景観の激変をもたらさない程度の被害量として、それぞれのマツ林について設定されるのがよいであろう。

相当量の被害が発生しているマツ林を微害に誘導するには、具体的には以下の三つの方策を講じる必要がある。すなわち、(1) 周辺感染源の排除、(2) 守るべきマツ林内に発生する枯損木の伐倒駆除、(3) 守るべきマツ林内の生立木に対する予防措置、である。

周辺感染源の排除とは、端的には、守るべきマツ林の周辺に存在するマツ林の樹種転換である。守るべきマツ林の周囲に防除しないマツ林があれば、そこにはマツ材線虫病被害木が発生して感染源となる。守るべきマツ林内で枯損木の駆除を徹底しても、近接するマツ林からマツノザイセンチュウをもったマツノマダラカミキリ成虫が容易に飛来するような状況では防除効果は上がらない。守るべきマツ林の近傍にマツ材線虫の感染源が存在しない状態を将来

図-1. 感染源となるマツ林からの距離と発生する枯損木数の関係

小河・萩原 (1980) のデータから作図。

に渡って確保するには、守るべきマツ林周辺から、生立木を含めてすべてのマツを排除する必要がある。この際、周辺マツ林からのマツノマダラカミキリ成虫の飛来を防ぐために、周辺マツ林自体を駆除対象とするという発想がとられることがあるが、これに従うと守るべきマツ林を中心に無限に駆除対象地域を広げることになってしまう。手順1で示したとおり、厳密な駆除対象地域の絞り込みが必要である。また、周辺マツ林がマツ材線虫病によって壊滅するのを待つという方法もあるが、その過程で発生する莫大な数のマツノマダラカミキリが飛来することによって、守るべきマツ林にも相当量の被害が発生するという問題がある。守るべきマツ林に含めないと決まれば、生立木も含めて早期に伐採し樹種転換を図った方が、守るべきマツ林に残る立木数は多くなり、駆除事業に要する予算も少なくすることができる。しかし、周辺マツ林におけるマツ生立木の伐採は、森林所有者や住民の心情的な抵抗が強く、実施は容易ではない。行政のリーダーシップが問われるところである。

なお、マツ林の樹種転換に際しては、不完全な施業により伐採跡地にマツ林が再生するようなことがないように注意する必要がある。マツ材線虫の被害統計では、後述の二つの適用事例のように15年から20年程度の間隔で被害量の増大がみられる場合がある。これは激害により崩壊したマツ林の跡地にマツの二次林が出現し、再度のマツ材線虫病被害を誘発したことによるものと推測される。

守るべきマツ林の感染源からの隔離を図るには、感染源の影響が十分に小さくなる距離を設定する必要がある。感染源の影響は距離が離れるほど小さくなるが、被害発生確率をほぼゼロにするには非常に長い距離が必要となる。福岡県での調査事例(小河・萩原, 1980)の回帰式から試算を行ったところ、感染源からの距離とマツ材線虫の発生確率は1 kmで11.7%, 2 kmで1.4%, 3 kmになると0.16%まで減少した(図-1)。数%のレベルの被害量であれば防除事業により制御可能と考え、ここでは守るべきマ

ツ林を感染源から隔離する距離の目安として、2~3 km の値を提示する。

守るべきマツ林内にあっては、感染源となるマツ材線虫病被害木は徹底して駆除されなければならない。伐倒駆除は被害木から発生するマツノマダラカミキリの密度抑制を目的に行われるが、一般の農業害虫による被害とは異なり、マツ材線虫病の被害はマツノマダラカミキリの密度に比例して減少はしない。これは、マツノマダラカミキリによる加害の本質が食害ではなく病原体の媒介であることによる。つまり、マツノマダラカミキリの密度抑制によりマツ枝に対する成虫の後食量は減少するが、多数のマツノザイセンチュウを保持した小数のマツノマダラカミキリ成虫が生き残ってしまうと、その他大部分の成虫を駆除できいても病気は伝播され、防除効果はあがらない。

伐倒駆除によりマツ材線虫病被害を抑制するためのマツノマダラカミキリの殺虫率として、富樫 (1991a) はマツ枯損動態モデルにおけるシミュレーションから 80%以上という値を示した。ただし、数年の内に被害抑制を達成するにはより高い殺虫率が必要であった。吉田 (2005) はマツノマダラカミキリの産卵を受けたマツ枯損木から発生する成虫数を世代間で増加させない殺虫率として、93%という値を示した。現実には、見落としなどにより処理しきれない枯損木が発生することを考えると、伐倒駆除においては発見した枯損木の 100%処理を目標とすべきである。

伐倒駆除の現場でマツノマダラカミキリの殺虫効率を低下させる要因として、枯損木の見落とし、駆除残し、殺虫率の低い駆除方法の使用、がある。

駆除の対象となる枯損木の探査は通常、限られた人数の人間による地上からの目視調査によるが、林内の見通しや太陽の位置、天候などにより精度は大きく変動する。対策として、ヘリコプター等を活用した枯損木の空中探査 (吉田ら, 1997) の実施はきわめて有効であるが、経費がかかるので導入は容易でない。林内道路や遊歩道を整備することは、地上からの樹冠の観察を容易にするので探査効率の向上に資する。地元の住民等の協力を得て、多数の人の目を枯損木探査に利用することも有効である。また、マツノマダラカミキリは直径 3 cm の小径木からも発生することがあるので、このような小径木も探査・防除の対象とすべきである。

駆除残しは、枯損木の伐倒と駆除作業の間に時間差があり、駆除班が伐倒木を発見できないために発生する。作業手順を伐倒から駆除の一貫作業とするようにすれば、このような事態を防ぐことができる。

殺虫率向上のためには、まず、葉と小枝を除いた枯損木のすべての部位を駆除対象にする。伐倒駆除作業の発注が材積ベースで行われる場合には、作業者の目は効率的に材積を稼ぐことができる樹幹下部に向きがちである。しかし、枯損木中でのマツノマダラカミキリの生息数は、樹幹下部より樹幹上部や枝条部に多く (藤下, 1984a), この部分の処理を完璧にすることが重要である。予算や時間の

都合で全量駆除が不可能となったときには、マツノマダラカミキリの生息数の少ない幹の大径部の処理を後回しにしたり、マツノマダラカミキリに産卵された可能性の低い 10 月以降に発生した枯損木の処理を後回しにするなど、駆除の優先順位を工夫する必要がある。殺虫率の変動の大きい薬剤散布 (伐倒木の浸透性薬剤による処理) (中根, 1977; 在原・常田, 1980; 松原, 1982; 藤下, 1984a) を高効率な焼却やくん蒸処理 (藤下, 1984b; 斉藤ら, 2001) に変更することは有効である。

守るべきマツ林内の生立木に対する予防措置は、林分単位であれば予防散布、単木的には樹幹注入 (松浦, 1980) によって達成される。予防散布は効果が高く、他の手法に比べて安価であることから、現行の防除事業はこの方法に大きく依存している。しかし、予防散布ではマツノマダラカミキリ成虫が薬剤の付着したマツ枝を後食してから死亡するまでの時間にもマツノザイセンチュウが媒介されることがあるので (岸, 1979), この方法だけで枯損被害を完全に抑制することは原理的に不可能である。また、予防散布の効果は薬剤散布時の気象条件の影響を受けやすいと考えられる。実際、予防散布と“効果に変動のある伐倒駆除” (薬剤散布) を併用した組み合わせでは、被害量は増大しないまでも横ばいで推移するケースが多い。予防散布と“効果の高い伐倒駆除” (くん蒸・焼却など) との併用で、被害は着実に減少する (吉田, 1997)。

3. 手順 3

微害を維持する。この状態でマツ林を維持してゆくには、予防散布の継続が有効と考えられる。しかしながら、守るべきマツ林内でのマツ材線虫病の発生がなく、周辺感染源からの隔離も十分な状態となったなら、予防散布を継続する必然性は失われる。予防散布を何時の時点で中止できるかという問題は、現場からも回答を求められているところであるが、現在のところその具体的な判断基準は示されておらず、今後の研究が待たれる。微害を維持するには、被害木発生の継続的な監視と発生した被害木の確実な駆除が必要不可欠である。行政には、防除予算の維持、マツ材線虫病防除担当者の経験や知的資産の継続性を確保する責任が強く求められるものと考えている。

IV. 適用事例

1. 虹の松原

佐賀県唐津市の唐津湾に面した面積約 230 ha のクロマツ林である (図-2)。従来地上散布と伐倒駆除を主体とする防除が行われていた。1971 年から被害が増大したが、1973 年に空中散布が導入され、駆除の徹底化がなされたことから急速に減少した (図-3)。この当時、周辺林分として鏡山山腹に広範囲なマツ林が存在した。両者の林縁間の距離は 1 km 弱であることから、影響を受けていることが推測されるが、鏡山における枯損経過等のデータが存在しないことから、影響の度合いは明らかではない。1975 年以降低水準を維持していたが、1991 年に被害量が急増

図-2. 鏡山からみた虹の松原マツ林

図-3. 虹の松原におけるマツ枯損被害量の推移

し、1996年までの枯損本数は1,200本～2,300本で推移し、1990年以前の水準には戻らなかった(図-3)。そこで、上記手順2の三つの方策に照らし合わせて、1996年よりいくつかの新しい施策をとった。

1) 周辺感染源の排除

虹の松原近傍(林縁から2kmの範囲)のマツ林は過去のマツ材線虫病被害によりほぼ消失し、1996年時点で残っていたまとまったマツ林としては、南側約1.5kmの鏡山頂部の100本程度のクロマツだけであった。周辺マツ林の影響をなくすためにこれらのクロマツの伐倒・除去を提案したが、景観上の理由から実現しなかった。しかし、本数も少なく、松原まで一定の距離があったことから、このマツ林の存在は、虹の松原を維持する上での大きな障害にはならないと判断した。

2) 守るべきマツ林内に発生する枯損木の伐倒駆除

明らかに被圧木とみられる小径の枯損木まで防除対象木に含めた。伐倒駆除の方法を薬剤散布から焼却に変更した。伐倒から焼却までを一貫作業とした。すなわち、枯損木一本を伐倒すると、その都度枝と小径部を集め、その場で焼却をするようにした(図-4)(枯損木が少なくなった現在では、林内の1カ所に集めて焼却する方法が採られている)。大径の幹部分は林外搬出した。なお、焼却の実施に際しては、東北地方などでマツ林内のたき火後に特異的に被害が発生することが知られているツチクラゲ病(陳野ら、1987)がこの地域では発生しないことを確かめた。1996年、1997年には一旦地上からの枯損木の探査が終

図-4. 虹の松原における林内での被害木の焼却
伐倒した場所で焼却している。

わったのちにヘリコプターによる空中探査を行い、枯損木の見落としをなくす方策を採った。1996年の調査では空中探査により新たに86本の枯損木が発見された(吉田ら、1997)。

3) 守るべきマツ林内の生立木に対する予防措置

予防散布を継続した。散布時期を最適化するため、林内にマツノマダラカミキリの羽化脱出調査用の網室を設けて成虫発生時期を調査し、このデータをもとに可能な範囲で散布日を調整した。また、調査された成虫発生時期と散布タイミングを照合し、毎年の予防散布の効果を検証した。

以上のように防除計画や手法を改めた結果、1997年以降被害量は激減し(図-3)、現在は毎年100本程度の枯損木が報告されるにとどまっている。枯損木からマツノザイセンチュウを検出する調査の結果、これらの枯損木の多くは被圧枯死木であり、マツ材線虫病による枯損木は年間数本程度とみられている(中村、2004)。

2. 煙樹ヶ浜海岸マツ林

和歌山県中西部の日高郡美浜町に位置し、太平洋に面した面積約84haのアカマツ・クロマツ混交林で、立木数は約64,000本であった(図-5)。まず、1977年から被害が増大し1984年に沈静化している(図-6)。この間、煙樹ヶ浜マツ林の防除方法として、空中散布と伐倒駆除が継続して行われており、変更されていない。したがって、この被害の増減は、隣接する西山山腹を中心とする周辺マツ林の枯損木の増減に影響を受けたものと考えられる。西山のマツ林はマツ材線虫病と山火事によりほぼ消失したことから、1986年には西山の一部で実施されていた空中散布は中止されている。1984年から1993年まで、毎年の被害本数は概ね100本以下で推移していた。伐倒駆除の方法は1989年にそれまでの薬剤散布から焼却に切り替えられた。予防散布は地上散布と空中散布が併用されていたが、1996年から地上散布のみとなった。1994年に被害本数は約500本となり、1999年には約2,000本が枯死した(図-6)。さらに被害の増加が予測されたことから、1999年以降、上記手順2の三つの方策に基づいて施策を提言し、実行し

図-5. 西山からみた煙樹ヶ浜マツ林

図-6. 煙樹ヶ浜におけるマツ枯損被害量の推移

図-7. 煙樹ヶ浜における被害木駆除

上はチップ化のために林道沿いに積まれた幹部分、下は焼却のために海岸に積まれた枝と小径部分。

た。なお、この場所では、被害量の統計を年度区切りから8月～翌年7月を単位とする集計方法を採用した。これにより、年越し枯れ等も含めた毎年の被害量を評価できるようになり、防除の効果を的確に把握できるようになった。

1) 周辺感染源の排除

煙樹ヶ浜マツ林の西側に位置する西山の中腹から山頂にかけて点在するマツ林が重要な周辺感染源となっていた。そこで、このマツ林で2年間に渡って約4,200本のマツ生立木を除伐・除去し、将来に渡って感染源とならないようにした。なお、西山のマツ林は、1980年初期に成立していたマツ林が一旦マツ材線虫病によって壊滅し、その後に再生した二次林であった。すでに広葉樹林化が進んでおり、再度のマツ林成立の可能性は非常に小さいものと判断した。

2) 守るべきマツ林内に発生する枯損木の伐倒駆除

小径木の伐倒駆除がなされていなかったため、被圧木とみられる場合も含めてすべて枯損木探査・伐倒駆除の対象とした。町が任命した要員によって、徹底した枯損木探査が実施されるようにした。また、地域住民にも枯損木をみつけたら通報してもらうようにした。さらに、空中からの探査も併用した。伐倒後の駆除方法は焼却とし、伐倒した日のうちに枝と小径部分は海岸に出し、幹部分は道路際まで搬出した(図-7)。海岸に出した枝と小径部分は定期的

に焼却された。幹部分はチップ工場に運び、処理された。これに先立ち、駆除にあたる作業員に対し、研修会等を通してマツノマダラカミキリ幼虫は枝部分や小径部分に多数生息するので、この部分がおもな駆除の対象であること等、周知を図った。林帯幅が広い部分には林道を開設し、枯損木探査、伐倒駆除作業が容易になるようにした。

3) 守るべきマツ林内の生立木に対する予防措置

地上散布をそれまでの年2回から年3回とし、対象となるマツの樹高等を考慮してスパウターと動力噴霧器を使い分けた。林内網室でマツノマダラカミキリの成虫羽化脱出調査を行い、最適な散布時期を決定した。

以上のような取り組みにより、煙樹ヶ浜マツ林の被害量は2001年には約500本に減少し、2003年以後は100本強の被害水準を保っている(図-6)。これらの被害木の中には、被圧枯死木などマツ材線虫病によらないものも含まれているとみられるが、詳細は調査されていない。

V. おわりに

以上のように、マツ材線虫病被害を抑制し、微害に導くには、基本的には上に示した三つの方策、すなわち、(1) 周辺感染源の排除、(2) 守るべきマツ林内に発生する枯損木の徹底駆除、(3) 守るべきマツ林内の生立木に対する予防措置、を適切に実施すればよい。ただし、具体的にとりう

る手法は、個々のマツ林の林相、被害履歴、地形、社会環境により変化しうる。個々のマツ林についてマツ材線虫病対策の処方箋を立てる上で、そのマツ林の過去の被害量や防除履歴が是非必要である。松くい虫被害統計は市町村等の行政区分が単位となっている場合が多いが、個別の守るべきマツ林について防除計画を立てようとするときには当該するマツ林について枯損量（本数、材積）、防除方法、駆除量等のデータが残っていることが重要である。林野庁は1992年から「保全すべきマツ林」を限定し集中的に保護する政策をとっている（志知ら，1999）。最低限、これらの限定された「保全すべきマツ林」については、防除計画とその実施に関する基礎資料を収集、維持することが望まれる。

マツ材線虫防除の現場では科学的な判断が求められる場面が多い。研究者の役割が問われるところである。ところが、研究者の説明は往々にして専門知識の開陳や「Aの可能性がある、しかしBの可能性も捨てられない」といった可能性の羅列に陥りがちである。これらは、科学的には間違っていないとしても、現場の役には立たない。あるいは、研究者には「御用学者」とみられるのを恐れるあまり行政との積極的な関わりを避ける傾向があるように思われる。特にマツ材線虫病防除にかかわる場合には「農薬メーカーの回し者」といったステレオタイプな非難の対象にされがちである。しかし、非難されればいつでもいい逃れ得るような逃げの姿勢の研究者は防除現場の信頼を得ることはない。マツ材線虫病に限らず、森林保護に関わる研究者は、基礎研究を粛々と進めることが必要なことはいうまでもないが、現実の森林被害の現場を前にしたときには象牙の塔の理屈から離れ、責任ある助言者としての役割を果たす勇気をもっていただきたいと願っている。

適用事例をまとめるにあたり、九州森林管理局、佐賀森林管理署および和歌山県農林水産部緑雇用推進室森林整備課に虹の松原と煙樹ヶ浜におけるマツ枯損被害量のデータを提供いただいた。また、森林総合研究所東北支所の中村克典博士には、細部にわたる懇切丁寧な助言をいただいた。ここに深く感謝申しあげる。

引用文献

- 在原登志男・常田邦彦（1980）松喰虫被害木駆除効果のばらつき（I）蛹室形成状態。91 回日林論：347-350。
- 藤下章男（1984a）松くい虫枯損木の駆除技術に関する二、三の考察（I）マツノマダラカミキリの寄生部位と薬剤処理技術。森林防疫 33：197-202。
- 藤下章男（1984b）松くい虫枯損木の駆除技術に関する二、三の考察（II）マツ枯損材におけるマツノマダラカミキリの完全駆除。森林防疫 33：217-222。
- 古野東州・中井 勇・上中孝治・羽谷啓造（1993）上賀茂および白浜試験地における外国産マツのマツ枯れ被害：マツ属のマツ材線虫病に対する抵抗性。京大演報 25：20-34。
- Guiran, G. de and Bruguier, N. (1989) Hybridization and phylogeny of the pine wood nematode (*Bursaphelenchus* spp.). *Nematologica* 35：321-330。
- 岩堀英晶・二井一禎（1995）線虫の分類における DNA 分析技術の利用：マツノザイセンチュウの場合。日本線虫学会誌 25：1-10。
- 陳野好之・滝沢幸雄・佐藤平典（1987）寒冷・高地地方におけるマツ材線虫病の特徴と防除法。75 pp, 林業科学技術振興所, 東京。
- 岸 洋一（1979）薬剤散布されたマツ枝へのマツノザイセンチュウの侵入。90 回日林論：367-368。
- 岸 洋一（1988）マツ材線虫病—松くい虫—精説。292 pp, トーマス・カンパニー, 東京。
- 清原友也・徳重陽山（1971）マツの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 Enda, N. (1972) Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Nematologica* 18：159-162。
- 松原 功（1982）MEP 系農薬による松くい虫被害木伐倒駆除の効果。34 回日林関東支論：155-156。
- 松浦邦昭（1980）樹幹注入法によるマツ材線虫の防除。植物防疫 38：27-31。
- 森本 桂・岩崎 厚（1972）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。日林誌 54：177-183。
- Muramoto, M. (1998) Ending of pine wilt disease in Okinoerabu island, Kagoshima Prefecture. In Sustainability of pine forests in relation to pine wilt and decline: Proceedings of International Symposium Tokyo, 27-28, Oct, 1998. Futai, K., Togashi, K., and Ikeda, T. (eds.), Shokado, Tokyo, 193-195。
- 中平康子（2004）リュウキュウマツ成木へのマツノザイセンチュウ接種試験：嵐山における 2003 年～2005 年までの試験接種結果。沖縄県林試研報 47：8-14。
- 中村克典（2004）材線虫病被害発生が抑制された海岸マツ林におけるクロマツの枯損動態。日林学術講 115：729。
- 中根 勲（1977）松くい虫被害丸太の防除薬剤効果試験。広島県林試研報 12：49-83。
- 小河誠司・萩原幸弘（1980）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 339：14-17。
- Rutherford, T.A., Mamiya, Y., and Webster J.M. (1990) Nematode-induced pine wilt disease: Factors influencing its occurrence and distribution. *Forest Sci.* 36：145-155。
- 斉藤正一・佐藤豊治・高橋孝治（2001）環境保全のための生分解性シートを用いたマツ材線虫病丸太のくん蒸処理。林業と薬剤 158：1-10。
- 志知雄一・春原武志（1999）森林病虫害等防除関係法令の変遷。（森林病虫害等防除制度の解説。林野庁監修，全国森林病虫害防除協会，東京）。215-216。
- 重定南奈子（1992）侵入と伝播の数理生態学。155 pp, 東京大学出版会，東京。
- 田畑勝洋・島津光明・埤田 宏（1997）防除対策。（松くい虫（マツ材線虫病）沿革と最近の研究。全国森林病虫害防除協会編，全国森林病虫害防除協会，東京）。122-167。
- 田實秀信・吉本英毅・大迫康弘（2000）奄美におけるマツ材線虫病（松くい虫）の防除に関する研究。鹿児島県林試研報 5：32-38。
- 竹谷昭彦・奥田素男・細田隆治（1975）マツの激害型枯損木の発生環境：温量からの解析。日林誌 57：169-175。
- Tares, S., Lemontey, J.M., Guiran, G. de, and Abad, P. (1992) Use of species-specific satellite DNA from *Bursaphelenchus xylophilus* as a diagnostic probe. *Phytopathology* 84：294-298。
- 戸田忠雄（1997）マツノザイセンチュウ抵抗性マツの育成。（松くい虫（マツ材線虫病）沿革と最近の研究。全国森林病虫害防除協会編，全国森林病虫害防除協会，東京）。168-274。
- 富樫一巳（1991a）シミュレーションによるマツ材線虫病防除技術の評価。林業と薬剤 116：1-10。
- 富樫一巳（1991b）マツノマダラカミキリの個体群動態。遺伝 45（12）：51-56。
- 吉田成章（1997）各防除法の適用結果の実際。（松くい虫（マツ材線虫病）沿革と最近の研究。全国森林病虫害防除協会編，全国森林病虫害防除協会，東京）。100-102。
- 吉田成章（2005）マツ材線虫の防除にあたって必要な防除率の提案。森林防疫 54：111-115。
- 吉田成章・田畑勝洋・中村克典（1997）松くい虫枯損木のヘリコプター調査システム。森林防疫 46：8-13。