

森林防疫

FOREST PESTS

VOL.45 No.6 (No. 531)

1996

昭和53年11月8日第三種郵便物認可

平成8年6月25日発行(毎月1回25日発行)第45巻第6号



新潟県海岸マツ林の松くい虫(材線虫病)による枯損・消失

吉田 成章

森林総合研究所九州支所保護部長

新潟県出雲崎から寺泊にかけての海岸林で写真のようなマツ林の枯損・消失風景が連続して見られた。特別防除はなされていない地帯であるが、枯損木の樹皮の剥げ具合から、過去2年間の急激な進行により枯損したものと思われる。緯度の高い地方では枯損速度は緩やかであると聞いていたが、この光景を見た時、防除をせずに放置すれば、九州や山陽・東海地域と同様の枯れの進行により、急速にマツ林が消失していくことを知った。

写真は新潟県寺泊町にて1993年8月撮影。松くい虫(材線虫病)によるマツ林消失の最後の様相である。

目 次

特集：松枯れの研究はどうなっているか—歴史・現状とまとめ(2)

第II章 線虫とカミキリの生物学的特性と材線虫病の疫学的解析

1. 病原線虫マツノザイセンチュウの生物学的特性	清原 友也	108
2. 媒介昆虫マツノマダラカミキリ類の分類と分布	楨原 寛	111
3. マツ枯損の拡散についての一考	竹谷 昭彦	115
4. マツ樹の枯損機構—樹体内で起きていること	田畑 勝洋	121
《新刊紹介：マツノザイセンチュウとマツノマダラカミキリ》	小久保 醇	126
《林野庁だより，都道府県だより—高知県・佐賀県》		127, 128

1. 病原線虫マツノザイセンチュウの生物学的特性

清原 友也*

森林総合研究所森林生物部線虫研究室長

我が国には8種のマツが知られるが、その中でもアカマツ及びクロマツは代表的な樹種で、九州から東北まで広く分布している。本文では両種を含めマツと総称する。マツは経済的にも風致的にもまた環境保全の面からも重要な役割を果たし、私たちの生活と文化に密着した重要な樹木である。この重要なマツが永年にわたって大量に枯れ続けている。このマツ枯損は、マツノザイセンチュウを病原体とし、マツノマダラカミキリ等の甲虫類を伝搬者とする伝染病の一種であることが明らかにされている^{3,6,9}。本稿では、病原体であるマツノザイセンチュウのマツに対する病原性や甲虫類との相互関係など、その生物学的特性を概観してみたい。

1. 分類学的位置

マツノザイセンチュウは分類学的には、Tylenchida目、Aphelenchoididae科の*Bursaphelenchus*属に所属する。学名は、*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner) Nickleである。1932年にアメリカで、*Aphelenchoides xylophilus*として記載されていたが¹¹、後年*Bursaphelenchus*属に移された¹⁰。本属の線虫としてこれまでに、40種以上が記載されているが、植物に寄生し、これを枯死させるとする報告はほかになく、マツノザイセンチュウがはじめての例である。この属の線虫は昆虫嗜好性線虫類を構成する一員で、昆虫類とphoretic(運搬的)な関係にある種群である。昆虫の虫体やフラスから検出、記載された例が多い。

農作物の有害線虫として知られるイネシソグレンセンチュウやキクハガレセンチュウも、本線虫と同科の線虫であり、植物の地上部に寄生、加害する性質をもっている。マツノザイセンチュウも例外ではなく、主としてマツの地上部に寄生し、甲虫類と共生関係をもつ生活環を形成している。

2. 形態的特徴

マツノザイセンチュウの形態図を図-1及び図-2に示す。成虫で体長1mm内外、最大体巾30 μ mあまりの細長い線虫である。唇部は体よりくびれ、丸く突出している

(図-2A)。体表は体環でぎざまれている(図-2A)。口針は細長く節球は小さい。食道腺は長く腸と重なる。

雌：卵巣はよく発達し、食道腺の末端まで伸びていることが多いが、先端は反転しない。陰門は大きく陰門蓋によって覆われている。尾端は丸いが、個体によって尾端突起をもつ(図-1:7)。

雄：温湯で殺すと腹側に弓状に湾曲する。精巣は長い先端は反転しない。交接刺はよく発達し弓状を呈し一対ある。先端は融合しない。交接刺末端はくびれている。尾部は腹側に湾曲し、尾端側面図は鳥の嘴状を呈する。尾翼があり尾端を越えてのびている(図-2B)。7個の尾乳頭が認められる。

3. 生理・生態的特徴

*Bursaphelenchus*属の線虫は一般に菌食性であるが、マツノザイセンチュウもまた菌食性であり様々な糸状菌上でよく増殖する¹⁾。なかでも、*Botrytis cinerea*(灰色かび病菌)は線虫の増殖に好適で、本線虫の生理的な研究やマツへの接種源を得るための線虫培養に利用されている。*B. cinerea*上での本線虫の産卵活動、発育と生活史、個体群の増殖などが温度制御下で調べられた⁵⁾。本線虫は両性生殖を営んでおり、性比はほぼ1:1で繁殖には交尾が不可欠である。25℃下での雌の産卵期間は約一ヶ月で、期間中の雌一頭当たりの産卵数はほぼ80個であった。産卵を終えた雌はやがて死亡する。

産下された卵は30時間後には孵化する。孵化した2期幼虫はすぐに摂食行動をおこし、生長しながらさらに3回脱皮し成虫になる。一世代の期間は25℃で4~5日、30℃で3日である⁷⁾。発育限界温度は9.5℃と推定されている。性誘引試験⁴⁾から、本線虫の配偶行動には性フェロモンが介在していることが示された。

直径9cmのペトリ皿内PDA上で*B. cinerea*を用いて行われた線虫の増殖試験では、個体群はロジスチック型の増殖曲線を示し、30℃で最も早く飽和密度に達した。25℃がこれにつき、20℃以下では緩慢な増殖を示す。飽和密度は25℃で最も高くなった²⁾。

4. マツ類に対する病原性

本線虫の最も顕著で重要な生理的性質は、マツに対す

* Tomoya KIYOHARA

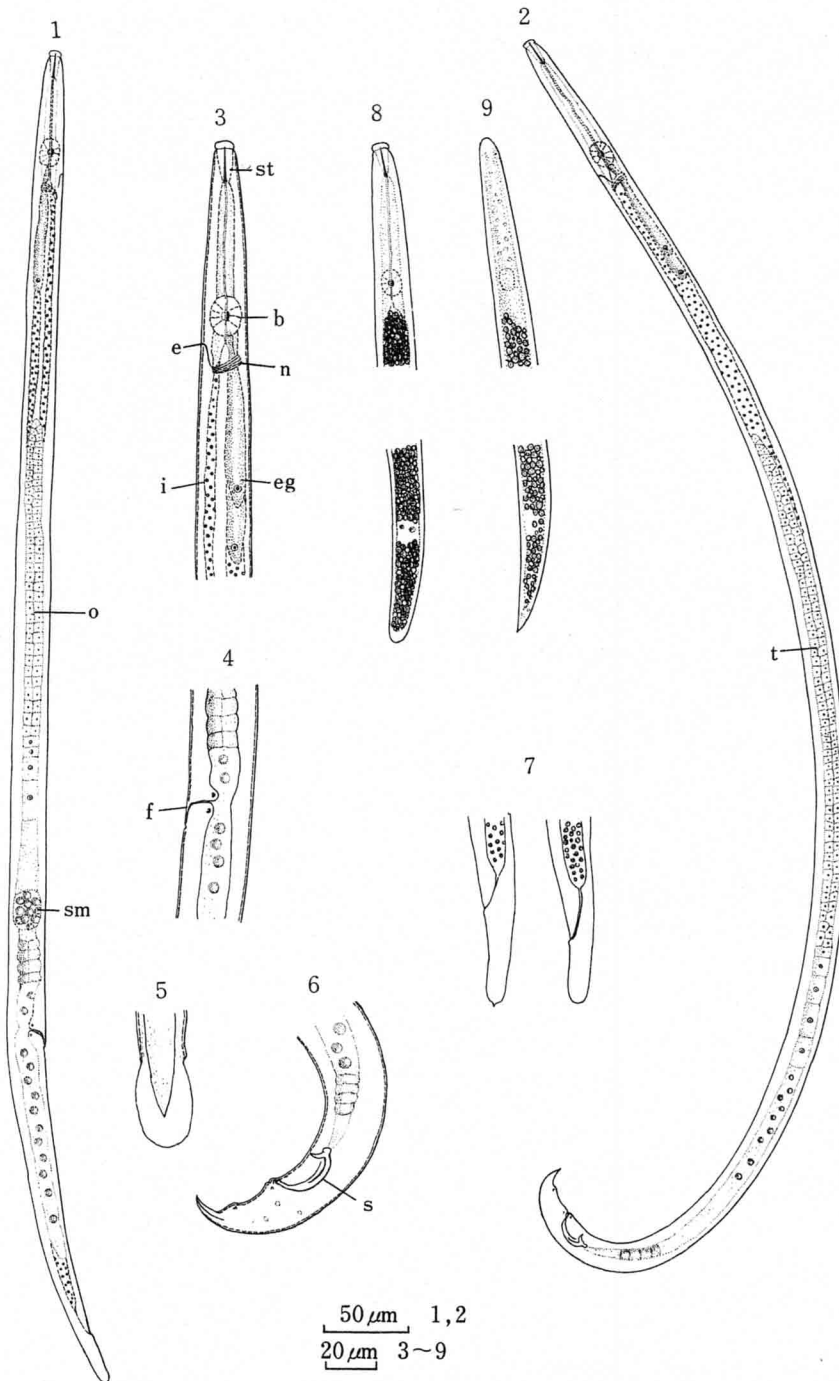


図-1 マツノザイセンチュウの形態図

- 1) 雌: o: 卵巣 sm: 受精嚢 2) 雄 t: 精巣 3) 体前方部
 st: 口針 b: 中部食道球 n: 神経環 e: 排泄孔 eg: 食道腺 i: 腸
 4) 陰門部 f: 陰門蓋 5) 雄尾翼(背面図) 6) 雄尾部 s: 交接刺
 7) 雌尾部 8) 分散型第3期幼虫 9) 分散型第4期幼虫(耐久型幼虫)

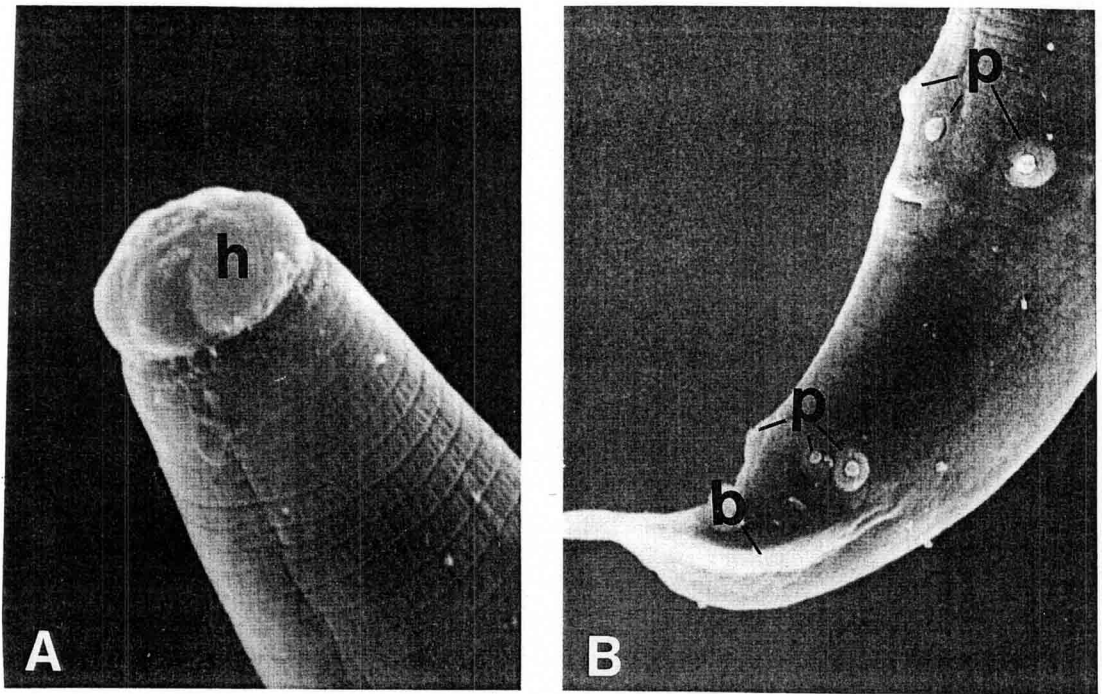


図-2 マツノザイセンチュウの走査電顕像(×3,500)
A) 体前方部 h: 唇部 B) 雄尾部 b: 尾翼 p: 尾乳頭

る強い病原性である。線虫の接種を受けたマツは、7～10日間で樹脂の滲出量が著しく低下する。樹脂滲出量の低下は、線虫の接種位置に関係なく全身におこる。この時点での樹体内での線虫数はまだきわめて少ないが、それにも関わらず、全身的な樹脂異常が起こるのは不思議な現象である。樹脂滲出能力の停止後30～40日経つとマツは赤褐色を呈して枯死する³⁾。この病徴の推移は自然下で発生しているマツ枯れの病徴とよく一致する。接種によって枯死したマツから同線虫が再分離され、本種がマツ枯れの病原体であることが確認されている²⁾。

上述したように、*Bursaphelenchus*属の線虫の中で、高等植物に病原性を示し、しかも短期間のうちに寄主を枯死させるとする報告はほかになく、マツノザイセンチュウが初めての例である。この線虫がいかんにしてマツへの病原性を獲得したのかは非常に興味ある問題である。

5. 甲虫類との関係

寄生者は寄主を殺さないのが原則である。マツノザイセンチュウはこの原則を破って寄主であるマツを殺している。寄主を殺しても新たな寄主へ移動できる手段を得たからであろう。すなわち、枯死した寄主からマツノマダラカミキリをはじめとする甲虫類によって新たなマツ

へ運んでもらえる関係を作り出した。新たなマツへ運ばれる時、分散型第4期幼虫(耐久型幼虫)(図-1:9)という特異な形態に変身するのも心憎いばかりである。マツノザイセンチュウは侵入病原体だと推定されているので^{5,8)}、日本土着のマツノマダラカミキリとうまく親和関係が結べたものだと感心する。

むすび

マツノザイセンチュウはマツ、菌、マツノマダラカミキリをうまく利用し、自らの生活環を成り立たせている。線虫が生活を全うするためには、マツを枯らすことが不可欠であり、マツノマダラカミキリとの共生関係が成立するための大前提でもある。マツ材線虫病防除のため、この共生関係の鎖を断ち切ろうと様々な試験が多くの研究者によって鋭意、続けられている。

引用文献

- 1) 堂園安生・清原友也(1974) 各種糸状菌類におけるマツノザイセンチュウの増殖 日林九支研論 27: 161.
- 2) 堂園安生・吉田成章(1974) *Botrytis cinerea*菌上におけるマツノザイセンチュウの増殖に対するロジス

- チック曲線の適用. 日林誌 56: 146-148.
- 3) 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.
- 4) 清原友也 (1982) Sexual attraction in *Bursaphelenchus xylophilus*. Jpn. J. Nematol. 11: 7-11.
- 5) 小林富士雄(1979) 森林防疫の問題点. 林業技術 448: 2-5
- 6) 真宮靖治・遠田暢男 (1972) Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoidea) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Nematologica 25: 353-36.
- 7) 真宮靖治(1975) マツノザイセンチュウの発育と生活史. 日線虫研誌 5: 16-25.
- 8) 真宮靖治(1981) マツノザイセンチュウの起源をめぐって—アメリカ・フランスでの見聞から. 林業技術468: 7-10.
- 9) 森本 桂・岩崎 厚(1972) マツノマダラカミキリによるマツノザイセンチュウの伝播者としてのマツノマダラカミキリの役割. 日林誌 54: 177-183
- 10) Nickle, W. R. (1970) A taxonomic review of the genera of the Aphlenchoidea (Fuchus, 1937) Thorne, 1949 (Nematoda: Tylenchida). J. Nematol. 2: 375-392
- 11) Steiner, G. & E. M. Buhrer (1934) *Aphelenchoides xylophilus* n. sp. a nematode associated with blue-stain fungi in timber. J. Agr. Res. 48: 949-951

2. 媒介昆虫マツノマダラカミキリ類の分類と分布

楨原 寛*

森林総合研究所森林生物部昆虫生態研究室長

マツノマダラカミキリ(以下マダラカミキリ) *Monochamus alternatus* Hopeはマツノザイセンチュウの媒介昆虫として知らない人はいないくらいによく知られている。しかし、マダラカミキリとその近縁種の分類と分布については、あまり知られていない。マダラカミキリとマツノザイセンチュウとの関係を理解するにあたっては、この点について知っておく必要がある。そこで本文ではマダラカミキリとその近縁種について紹介する。

1. マツノマダラカミキリの分類および自然分布

マツノマダラカミキリは1942年に中国東部の舟山列島を原産地としてHopeにより記載された。その後、1858年に香港から *tesserula* の種名でWhiteが記載報告し、かなり長くこの学名が使用されてきたが、これは分類学上、シノニム(同種異名)として整理された。日本産のマダラカミキリについては1944年に中国産と比較して、上翅の灰色の斑紋がより青みが強いとして異常型(*ab. coeruleogriseus*)としてBreuningが記載発表している。

マダラカミキリは日本以外にも南はラオス、ベトナム、北は中国のチベット、北京まで広く自然分布している。朝鮮半島には自然分布していないが済州島からは古

くから分布が知られている。

日本では沖縄本島から本州北端の青森県まで分布が確認されている。

青森県では1995年に初めて成虫が捕獲された。現場は秋田県境から数十メートル入った岩崎村のクロマツ林で、その周辺の枯枝から、マダラカミキリの古い脱出孔と認められるものも、ごくわずかながら見つかり、この地域では低密度ながらもともと生息していたと推定される。

しかし、沖縄から本州全域に分布しているという表現だと、ついに北海道を除く全域に分布しているという誤解が生ずる。この虫は終齢幼虫から蛹化・羽化までの発育限界温度(発育零点)は11~12℃であるし、幼虫が羽化脱出するまでの有効積算温度との関係で分布は限定される。すなわち、寒冷地では生息できない。また、成虫の活動時期に当たる夏期に山背気候の著しい北東北でも生息は不可能である。日本海側では対馬海流の影響で太平洋側に比べてかなり温暖なため、より高緯度まで自然分布していると推定される。

2. マツノマダラカミキリの人為的分布拡大

小笠原諸島はマツノザイセンチュウによる大規模なマツ枯れが母島で1970年代、父島で1980年代(正確には1979年から)におこり、現在も進行中である。この地域に

* Hiroshi MAKIHARA

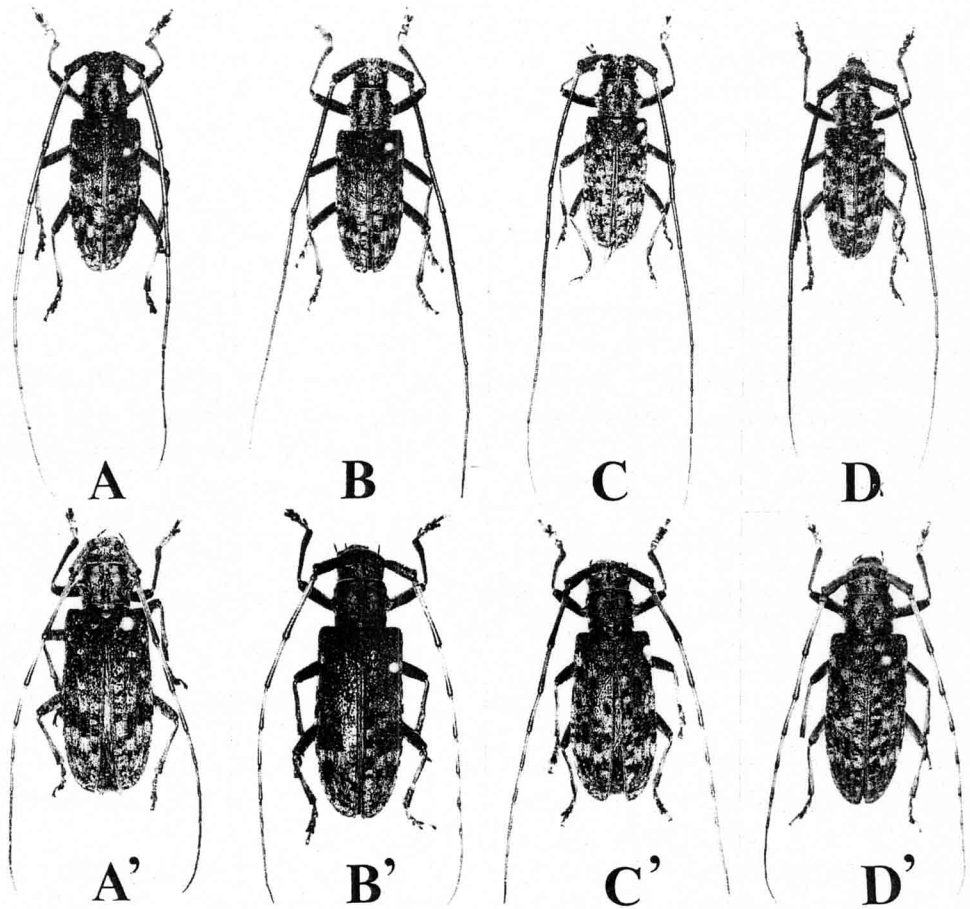


写真1 アジア東部地域のマツノマダラカミキリ

A, A': 台湾産, B, B': 中国産, C, C': 濟州島産, D, D': 韓国釜山市産. A, B, C, D: ♂, A', B', C', D': ♀.

はマツ類の自然分布はなく、1899年にリュウキュウマツが沖縄から導入された。そのため、マツ類を特異的に加害する昆虫は小笠原諸島には分布していなかったはずである。しかし、マツ類加害のカミキリムシは現在、マダラカミキリ以外に小笠原諸島からはサビカミキリ、ツシマムナクボカミキリ、アカハナカミキリが知られている。興味深いのは、最初に発見された年がすべて異なっている。マダラカミキリは1935年父島、サビカミキリ1991年母島、ツシマムナクボカミキリは1972年父島、アカハナカミキリ1982年父島である。そして、父島、母島どちらにも分布しているのはマダラカミキリだけである。

マツ材は建築材や坑木としてよく利用されるため、このようにマダラカミキリのみならず、他のカミキリ類もマツ材の移動により分布を人為的に拡大している。小笠

原諸島だけでもこのような現状なので、日本全体では計り知れないくらいの人為的分布拡大が過去にあり、現在も進行中であることは想像に難くない。最近では1992年に沖縄本島から宮古島に、マダラカミキリの穿孔しているリュウキュウマツ丸太が工事に伴って持ち込まれたらしく、日本における本種の南限となった。当地は台風による新鮮な枯枝があるため、定着できたようである。幸いなことにマツノザイセンチュウは侵入していない。

海外でのマダラカミキリの人為的な侵入は韓国釜山市の例が有名である。前述のように韓国では済州島のみがマダラカミキリの自然分布地であった。しかし、1988年に釜山市でアカマツ、クロマツ併せて約350本が材線虫病により枯損した。突然のマダラカミキリの侵入では、このように大量の枯損は出ないと思われるため、この年よ

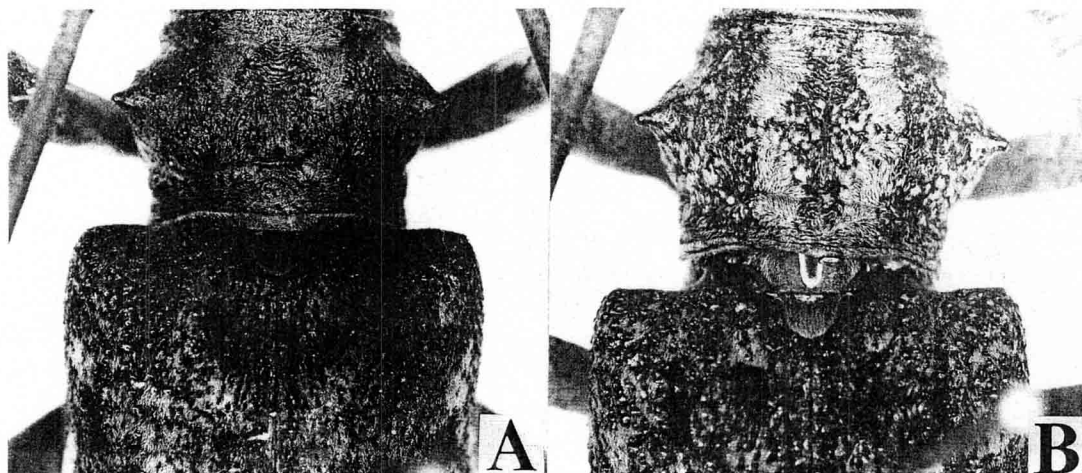


写真2 日本(A)と台湾(B)産のマツノマダラカミキリの前胸背と上翅肩部の比較

り数年前にすでにマダラカミキリとマツノザイセンチュウの侵入があったと推定される。なお、後述するか外部形態の比較から、釜山地域へは日本からの侵入とみて間違いないようである。

この他、中国の南京で1982年、香港、台湾では1985年にマツノザイセンチュウによるマツ類の枯死被害が出ている。

また1984年北米からスカンジナビアへ輸出されたマツ材チップにマツノザイセンチュウが検出され、梱包材などによりカミキリともども侵入する可能性から、北米から一切のマツ材料の輸入禁止措置がとられ、政治問題化したことは、まだ耳新しいことである。

3. マツノマダラカミキリ, アジア東部各地域の形態的比較

検視標本は台湾(写真1A, 1A'), 中国(写真1B, 1B'), 済州島(写真1C, 1C'), 韓国釜山(写真1D, 1D'), 日本各地のものである。比較した結果、次のような形態的相異が認められた。

台湾・中国産：前胸背の1対の縦の赤色紋は鮮明である(写真2B)；上翅肩部の瘤状の点刻は大きく、肩部中央の隆起も大きい(写真2B)；上翅は黒色紋を有する。

日本・韓国産：前胸背の1対の縦の赤色紋は不鮮明で長く伸びることはない(写真2A)；上翅肩部の瘤状の点刻は小さく、肩部中央の隆起も小さい(写真2A)；上翅は褐色紋を有する。なお、済州島産は基本的には日本・韓国産と同様であるが上翅肩部の瘤状点刻はやや大きい。

上記の特徴の中で最も安定しているものは上翅肩部中央の隆起である。これらの特徴からみて、韓国釜山市に現在、生息している個体は日本産のものと全く一致し、

日本から持ち込まれ、定着したと推定されたのである。

4. マツノマダラカミキリの近縁種とその分布

マダラカミキリの含まれるヒゲナガカミキリ属は世界に約150種が知られている。しかし、マダラカミキリのように針葉樹を食害し、特徴ある体色をした種は少ない。マダラカミキリに近縁だと考えられている種はカナダ、アメリカ東部に分布する *Monochamus notatus* (Drury) (写真3A, 3A'), カナダ東部～フロリダにかけ分布する *Monochamus titillator* (Fabricius) (写真3B, 3B') とアメリカ東半分に広く生息する *Monochamus carolinensis* (Olivier) (写真3C, 3C') である。

この分布から考えてマツノマダラカミキリの仲間は東アジアに元々分布しており、それがベーリング海峡をこえて、北米大陸に侵入し、種分化を起こしたと推定される。

これら3種のうち、*Monochamus notatus* はマツノザイセンチュウの運び屋とはなっていない。アメリカではこの他に *Monochamus mutator* LeConte と *Monochamus scutellatus* (Say) (写真4A) の2種がマツノザイセンチュウの運び屋として知られている。後者は日本のカラフトヒゲナガカミキリ *Monochamus saltuarius* Gebler (写真4B) に近縁である。

5. 海外からの日本への侵入

日本のマツクイムシの歴史は明治38年(1905)の長崎県でのマツ集団枯損までさかのぼる。これ以前にもマツ集団枯損はあったが枯損の状態からみて、長崎県の場合、現在のマツノザイセンチュウによる枯れとほぼ一致する。

このときにマツノザイセンチュウがどこから持ち込ま

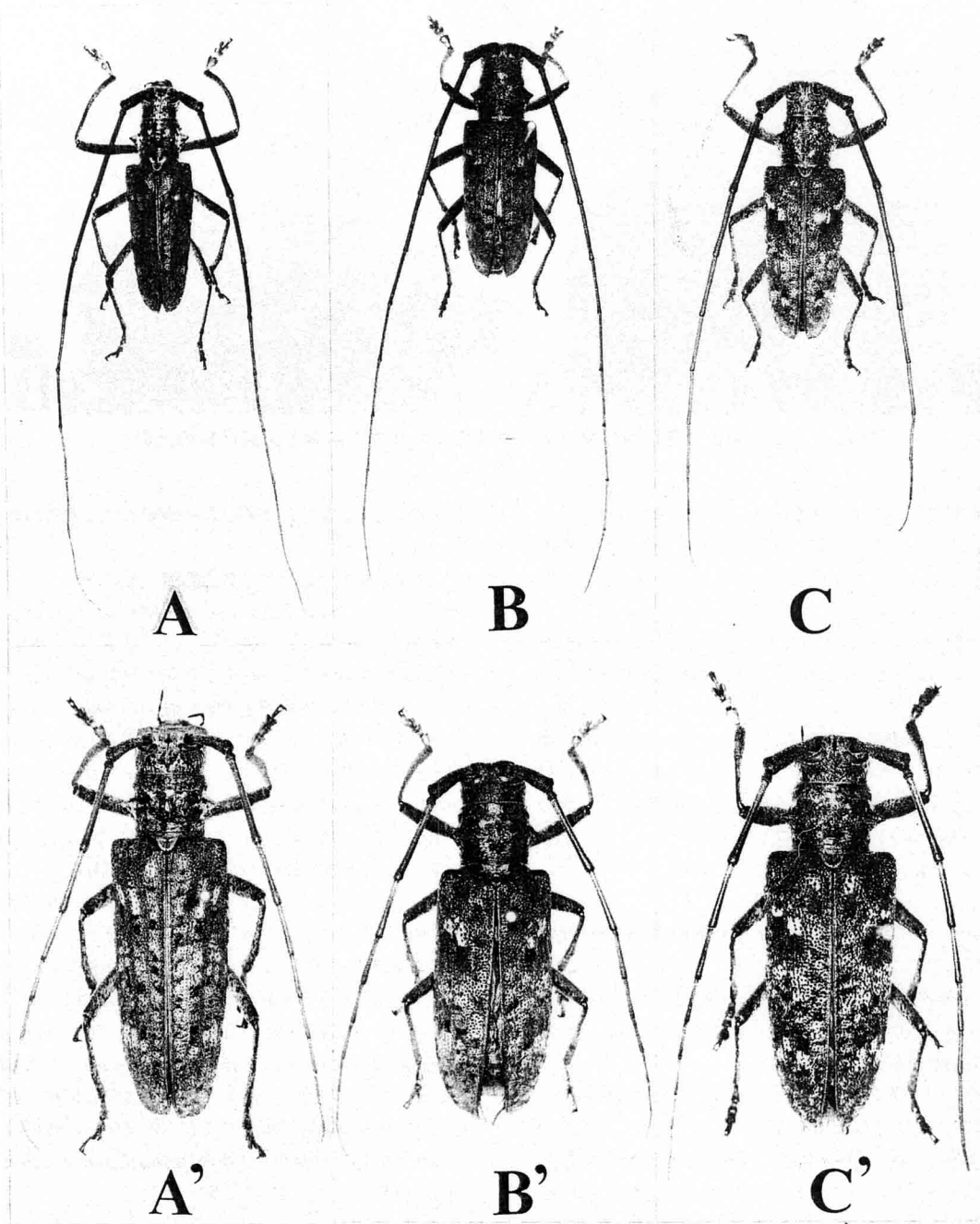


写真3 北米のマツノマダラカミキリ類

A, A' : *Monochamus notatus* (体長 ♂ : 30mm, ♀ : 25mm),
B, B' : *Monochamus titillator* (体長 ♂ : 19mm, ♀ : 22mm),
C, C' : *Monochamus carolinensis*, (体長 ♂ : 20mm, ♀ : 20mm). A, B, C : ♂, A', B', C' : ♀.

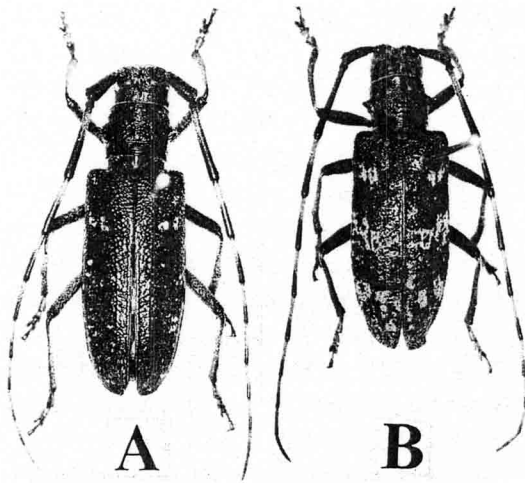


写真4 マツノザイセンチュウの運び屋である *Monochamus scutellatus*(A)とその近縁種カラフトヒゲナガカミキリ(B)の雌個体。
A: 18mm, B: 18mm.

れたかは明らかにされていない。ただ、1回の侵入で今日のように北海道を除く広い地域で、集団枯損を起こしていったとは考えにくい。北米でマツノザイセンチュウの運び屋として知られている *Monochamus scutellatus*は植物防疫所の資料によれば、日本の港で時々、成

虫が捕獲されている。また、筆者も福岡市東区の九州大学構内で成虫を確認している。この種はイギリスでもアメリカからのマツ材よりよく発見されている。これらのことから考えて、これまで、日本にはたびたび、北米からマツノザイセンチュウの運び屋であるカミキリムシの侵入があり、それに伴い、各地に新たなザイセンチュウが供給されてきたと考えるのが妥当であろう。

おわりに

マツノマダラカミキリ類の分類と分布について、簡単な紹介をしたが、想像以上に木材(被害材)の移動により、カミキリムシが移動、侵入定着していることが理解されたと思う。そして、日本で今後気をつけねばならないのは、中国、台湾産のマダラカミキリの侵入であろう。というのはこの地域のマダラカミキリは幼虫が蛹になるための低温休眠が必要ないタイプの個体が多いからである。もし、沖縄を含む温暖な地域に侵入定着し、年2回発生した上にマツノザイセンチュウの耐久型幼虫がうまく、この発生に一致すれば、今の防除法も考え直さねばならなくなる。

また韓国の例もあるように、日本が新たな未分布地域への拡大の源となり加害者になりうる可能性があるので、アジア東部地域の各国への木材、梱包材の輸出には注意をはらう義務がある。

3. マツ枯損の拡散についての一考

竹谷 昭彦*

森林総合研究所森林生物部長

1. はじめに

マツ材線虫病は蔓延する伝染病である。伝染病の防除のためには、どのような地域にどのようなメカニズムで病気が起こり、マツを枯損させているかという疫学的枯損メカニズムの解明が必要である。そのメカニズムの解明によってマツ材線虫病の防除法ならびに蔓延を防止する技術の開発が可能になる。

現在実施されている防除法は松くい虫研究に携わった多くの研究者の成果をもとに組み立てられているものである。マツ-マツノマダラカミキリ-マツノザイセンチュウ3者間の間(鎖)を断ち切るという直接的な防除技術の開発と病気を拡散させない方法の開発である。現行の防除体系のなかで、拡大防止法として樹種転換あるいは

は被害拡大防止林などの設定などが行われている。

マツ枯損の拡散は、まず第一にマツノマダラカミキリがマツノザイセンチュウを運び、マツを枯損させることによることがあげられる。次に、しばしば枯損木をパルプ材、建築材等に利用するために、あるいは枯損木の処理のために未侵入地へ人為的に持ち込むことによって拡散することがあげられる。

マツの枯損木の人為的な移動による拡散はここで論じる問題ではないので、前者のマツ-マツノマダラカミキリ-マツノザイセンチュウの3者の関係によるマツ枯損の拡散についてのみ考えてみたい。

2. 発生環境

マツの材線虫病が発生するためには、その宿主となるマツ、病原であるマツノザイセンチュウ、病原の伝播者

* Akihiko TAKETANI

であるマツノマダラカミキリの生息環境を明らかにすることが必要である。

1) アカマツ、クロマツの天然分布

林 弥栄(1952)は全国を精力的に踏査して重要樹種の天然分布を明らかにした。

それによると、アカマツはマツ科に属する常緑針葉喬木で、日本のほか朝鮮、遼東半島、満洲、ウスリーなどに広く分布している。日本における天然分布の北限は北海道苫小牧市で、およそ北緯42° 40' である。南限は鹿児島県屋久島の前岳地域とし、およそ北緯30° 15' である。

本種の垂直分布は、一般的に見て奥羽地方ではおよそ海拔100~500mまで、関東地方ではおよそ海拔100~1,200mまで、中部地方ではおよそ海拔100~1,400m、近畿、中国、四国、九州の各地方ではおよそ海拔100m~1,000mの間によく繁殖している。

クロマツはマツ科に属し、日本および朝鮮半島南部に自生する常緑の針葉喬木で天然分布の北限は青森県下北郡大間町で北緯はおよそ41° 34' である。それより以南に分布し、南限は鹿児島県トカラ七島の宝島で北緯はおよそ29° 0' である。クロマツは各地方の沿岸地に美林がみられる。本種の垂直分布の範囲はとこにより相違があるが、一般的にみて、沿岸地あるいは比較的海に近い山地にもっともよく成育をしている。

2) マツノマダラカミキリおよびマツノザイセンチュウの分布

マツノマダラカミキリおよびマツノザイセンチュウの分布はいまや北海道を除く、沖縄県から青森県まで拡大している。もちろん、分布が確認されているこれらの都府県の中にも、主に気象要因によって生息できない個所があることは周知のことである。詳細については岸の総説(1988)および本特集号の「媒介昆虫マツノマダラカミキリ類の分類と分布(楨原 寛)」に記載されているのでそちらに譲る。

3) マツノマダラカミキリの加害する樹種

マツノマダラカミキリが加害する樹種として、研究の進展にともない多くの種が加害されることが明らかになってきた。マツ科の樹種で加害されるのは、森本(1981)は16種、小林富(1982)は24種をあげているが、文献に記載されているのは28種が数えられている(岸 1988)。これらの多数の樹種が加害され、枯損することが知られているが、在来アカマツ、クロマツの被害と比較するとそれらの被害量は微々たるものである。

4) マツ材線虫病の発生環境

マツ材線虫病は気象条件、特に気温、降雨回数、降雨量などの環境の影響を強く受けている。現在マツ材線虫

病は東北地方から九州まで広く蔓延しているが、その発生量は地域によってかなり違っている。これを説明するためにカミキリ、センチウの生育に必要な温量を基準にしたMB指数、カミキリの行動や降雨量を勘案した指数、枯れやすさの指数などが提案されている。

MB指数(竹谷ほか 1975)は月平均気温15°C(センチウの増殖停止温度)以上の温度の1年間の累積値である。これを有効積算温度(12°C)に変換して、カミキリの発育に必要な有効積算温度と比較したところ、38MB付近がカミキリの増殖のための限界温量であった。40MB以下、40~45MB、45MB以上の3区分し、実際のマツ材線虫病の発生量と比較してみると、40MB以下では少なく、45MB以上では多発していた。

九州の場合は40MB以下の地域は主に標高400m以上の九州中央山塊であり、低地はほとんど激害区分に入っている。また、河川の流れている所は深く入っている(図-1)。

3. マツの材線虫病の拡散に関わる要因

1) カミキリの羽化脱出消長

マツノマダラカミキリの羽化脱出消長は成虫の後食予防を目的とする予防散布の時期を決定するために最も重要な事項である。そのために各地において数々の調査例があるが、羽化脱出消長の特性についての解析は少ない。

羽化脱出消長の特性の解析の1例をあげる。宮崎県においては、例年県内10個所に羽化脱出調査点を林内に設けて調査を行っている。解析は昭和51~53年の調査資料をもとに行われている。その解析結果によると、全体としての特徴はピークに達するまでは速く(平均日数14

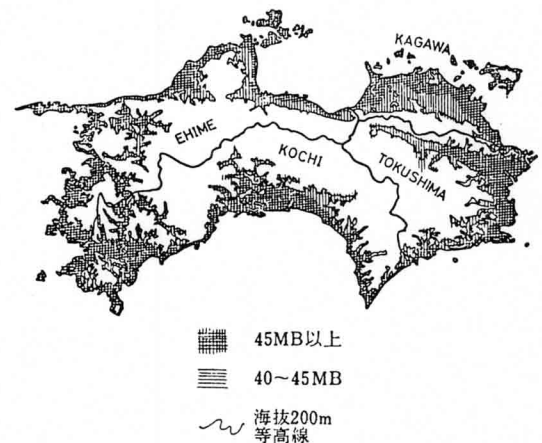


図-1 MB指数による四国地域の3区分

日), ピークを過ぎると遅くなる(平均日数25日)傾向があった。これは全国の羽化脱出の傾向とも一致する。また, 羽化脱出日が早いと羽化脱出の終了が遅く, 逆に羽化脱出日が遅いと羽化脱出が早く終了するという傾向がみられた。ただし, 変曲点(ほぼ羽化脱出ピーク時点)はほぼ一定していた(図-2)。また, 変曲点までの有効積算温度(12℃基準)は500~550日度であり, 他の調査結果とほぼ一致した(竹谷ほか 1981)。

2) 枯死木から運び出される材線虫数

和歌山県潮岬において, マツノマダラカミキリ羽化脱出時期ならびに飼育経過日数による保線虫数についての調査が行われた。

これによると, 羽化脱出初期の5月31日までの保線虫率は60%であるが, それ以降6月中の保線虫率は20~40%と低下し, 7月に入ると20%以下に低下した。

また, カミキリ1頭当たりの保線虫数を見ると, 5月30日までの羽化脱出虫は172頭であったが, 6月に羽化脱出したものについては8頭から73頭で比較的に少なく, 7月の羽化脱出虫については0頭から0.2頭でほとんど線虫を持っていなかった。

7月の羽化脱出虫に比べ, 6月の羽化脱出虫は保線虫率, 保線虫数ともに高いことから, マツの衰弱枯死に直接影響を与えるのは5, 6月に羽化脱出したマツノマダラカミキリで, 7月以降に羽化脱出したものはマツの衰弱枯死に与える影響は少ないものと考えられる。

飼育経過日数に伴う線虫検出数については, 雌雄とも羽化脱出後20日までの個体はかなりの線虫保持していること, また25日以上経過すると保線虫数が減少することが示された(竹谷ほか 1974)。

3) 羽化脱出から産卵までの日数

カミキリ成虫の行動を調査するためにモデル実験を行った。実験の概要はケージは3m×3m×2m(高さ)の

ステンレス製の金網を用いた。この中に野外の生立木になぞらえて5年生の鉢植えクロマツ(一部アカマツ)16本を入れ, 餌木(産卵用材)は20年生アカマツを長さ80cm(直径10~15cm)に玉切りして17本を鉢植えマツと同様に等間隔に設置し, カミキリ成虫の行動, 後食量, 産卵を調査した。

この結果, 各調査時の産卵痕の推移を見ると, 設置後8日間(羽化脱出後9日間)で調査期間虫の産卵痕総数の0.8%の産卵痕があり, 次の8日間ではやや多く1.9%みられた。これが羽化脱出後17日以降になると急にその数を増し, 各時期ともほぼ20%前後の産卵が行われていることが分かった。実産卵数として, 穿孔孔数で代替すると, 羽化脱出後17日までは1.5%, 4.8%と非常に低いが, それ以降になると20%とほぼ一定した。

つまり, カミキリ成虫は産卵可能となるまでほぼ17日かかることを意味している(奥田ら 1974)。逆に考えればカミキリの産卵可能な異常木の発生はマツノザイセンチュウがマツの樹体内に侵入してから同程度の日数がかかることを示している。

4) マツノマダラカミキリ羽化脱出後における移動・分散

井戸ら(1975)は和歌山県潮岬においてマツノマダラカミキリの羽化脱出後における移動分散時期などに解明するために放虫試験を行っている。

実験は2カ年にわたって行われた。ラッカーでマーキングした成虫を1974年には756頭(羽化脱出虫345頭, 立木・餌木・誘引器411頭), 1975年には1,012頭(全てケージからの羽化脱出虫)を放虫した。放虫はいずれの年も5月から7月に, 数回に分けて放虫した。再捕は潮岬全域(1974年は餌木14箇所, 誘引器20箇所, 1975年は餌木13箇所)に配置し, 放虫後毎日調査を行った。

その結果, 1974年の再捕率は6.48%, 延べ捕虫率は18.78%であったのに対し, 1975年の再捕率は0.29%, 延べ0.99%であった。1975年の再捕率は1974年に比して低い。この原因は1975年の放虫成虫は全て羽化脱出直後の成虫を使ったことによると推察できる。

放虫時の飛翔行動は山根ら(1973~1976)のケージ内実験において指摘しているように, 自然下においてもいきなり飛び立つことはなく, 放虫周囲のススキ, 灌木などの先端に這い上がり飛び立つことが多い。しかし, 自力での飛翔はそれほど大きくないが, いったん気流に乗ると視界から消えることがある。大きな飛翔は活発に動き回る晴天時である。曇天, 雨天, 雨上がり等は動きは緩慢で, 静止あるいは放虫点の周囲を歩き回ることが多い。遠距離の移動分散は供試虫の成熟度合, 放虫時点並

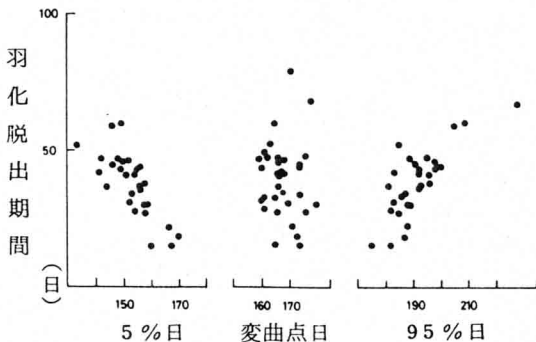


図-2 羽化脱出曲線の特性(宮崎県)

びにそれ以降の気象条件に大きく左右されるものと推察された。全体的に餌木、誘引剤での捕虫の最も高い時期は7月上旬から下旬にかけてであったが、このことは6月中旬から下旬にかけての放虫数が多いこと、またこの時期の野外においては産卵対象木の発生が比較的少ないこと等が考えられる。

再捕時期は早いもので放虫後1日目、遅い場合は29日目であった。しかし、大きな移動分散は放虫後7日以内に終えるようであった。移動分散距離は比較的短く、再捕虫の75.5%は100mの範囲(1974)であった(図-3)。

5) その他の要因として、センチウのマツへの侵入、気温、土壤水分、センチウの毒性、マツの感受性(抵抗性)、さらにカミキリの性比、生存率、産卵能力、雌の行動、枯死木内材線虫などが関係している。

以上の各要因がそれぞれ相互に関連してマツ材線虫病の拡散に影響している、各要因が相互の関数として全て表現されたときに初めて完全な拡散様式が構築が可能となる。現在このシステムの一部が数値化されているに過ぎず、全体にわたってはまだ解明されていない。

4. 拡散のシミュレーション

以上に述べたように、成虫の行動に関していろんな手法を用いての地道な観察、実験、調査が数多く行われている。しかしながら、分散空間が3次元で、しかも分散距離が大きいことなど主たる理由で移動・分散の実態を普遍的に明らかにすることは非常に困難である。

1) シミュレーションの条件

ここでは上記に述べた報告されている結果等を条件に

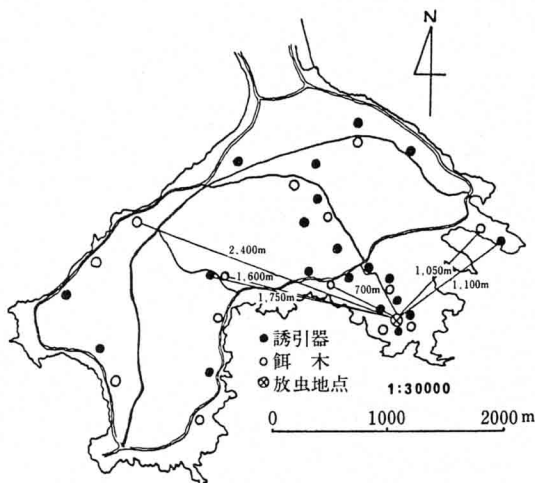


図-3 餌木・誘引器の配置と放虫点からの再捕距離

して最も単純な仮定上で模擬的に成虫を移動させ、その軌跡をもとに成虫の移動・分散について検討した。

カミキリの羽化脱出後の成虫の行動は1) 移動・分散期、2) 定着摂食期、そして3) 産卵期の三段階に分けられるが、ここでは、産卵誘引されるまでの時期に限定し、考察した。

この時期の成虫の動きとしては、新しい生息地や餌をもとめての移動や後食、交尾など様々なものがあるが、ここでは主に飛翔による移動に限定した。この場合分散に関しては2次元の空間とみなせる。

移動の方向、距離は限定条件のなかでランダムとした。例えば移動方向を 360° とした場合、その移動距離の分布は2次元の正規分布にしたがう。また、移動方向に制限がある場合は、移動子が制限壁にぶつかったときは反射することとし、 360° 、 270° 、 180° 、 90° 、 60° 、 30° の範囲で移動することとし、シミュレートさせた。

林分は無限林分の場合と限定林分の場合が想定できるが、初期移動の場合は無限林分を想定するのが妥当である。

2) シミュレーションの結果

360° ランダム移動の軌跡の例を図-4に示した。移動回数は100回である。移動子(成虫)は出発点の近辺からあまり離れない場合、出発点から遠く離れても、近くに戻ってくる場合、あるいは移動回数を追って遠くに離れてしまう場合など様々である。これを100回(100個体)繰り返し、取りまとめた結果を図-5に示した。この図は移動回数の20~100回のときの移動距離の値の小さい方から順に並べたもので、それぞれが累積確率になっている。縦軸の0.5のところが各回の中央値であり、回数が増えるにしたがって、中央値が増加し、移動距離が増加することを示している。

この累積確率は

$$F_n(r) = 1 - \exp\left(-\frac{r^2}{n}\right)$$

ここで r は原点からの移動距離をしめす。1式より平均的移動距離(中央値)は

$$r = \sqrt{\log_e 2 \cdot n}$$

で得られる。これに1回の平均移動距離を乗すると各移動回数毎の平均移動距離が得られる。

図-4の中央値の動きを見やすくするために描き改めたのが図-5である。平均移動距離を3mとして試算した。移動許容角度 $360^\circ \sim 30^\circ$ の移動の様相を示した。この図から移動許容角度が小さくなるに従い、移動距離が増加する。また、 360° の場合を除いて、移動回数の増加にともない距離の増加はほぼ直線で表され、移動許容角度の減少にともない勾配が小さくなることが明らかになった。

網室における分散行動の観察の結果、1日1m以上の移動が0～8回観察されている。平均は3.6回/日であった。これと成虫の移動分散期間は2～3週間と報告されているので、3週間(76回移動)として計算してみると、360°の場合の平均移動距離は24mとなる。成虫の分散個体の約80%は100m以内に留まるとされているので、この条件にあわせるためには一回の平均移動距離を約9mにしなければいけない。

野外において成虫が360°自由に行動できることはごく希である。実際には風(海・陸風・山谷風など)などの影響が大きく受けている。それぞれ移動方向を制限されているのが常である。同条件のもとで、移動許容角度が270°の場合平均移動距離は72m、80%の個体は87m以内に分散し、同様に180°では147m、158m、90°では



図-4 ランダム移動の軌跡(黒丸は出発点)

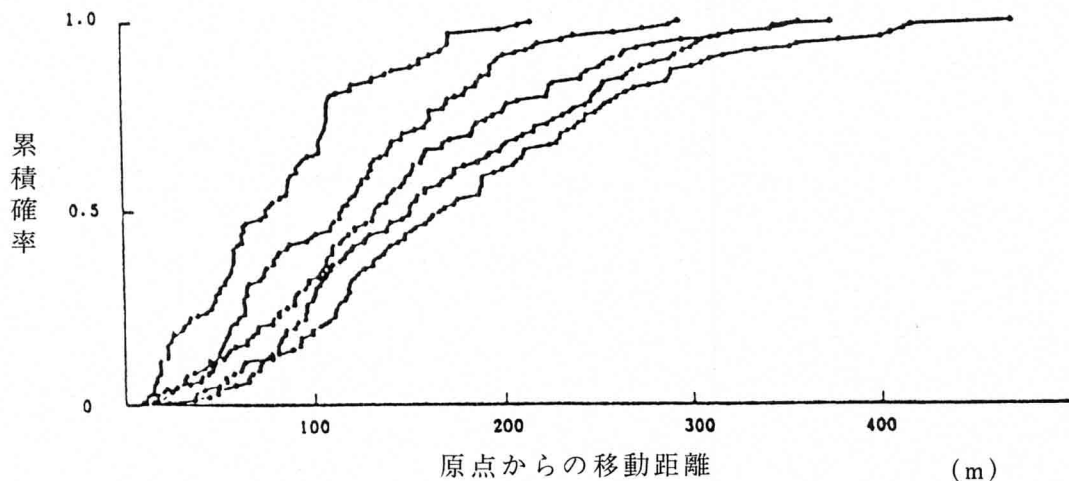


図-5 累積分布曲線(左より移動回数20, 40, 60, 80, 100回)

160m, 220m, 60°では219m, 232m, 30°では227m, 240mとなっている。

このように、カミキリ成虫の移動・分散は本質的にランダムであっても、環境によって様々な様相を示すと考えられる。逆にいえば成虫の移動・分散の解析には環境要素を抜きにしては論じることができないと考えられる。

3) 長距離の移動

羽化脱出後1週間ぐらいの間の移動は成虫の習性からして、風等の影響を大きく受け、長距離の移動を行う可能性が高い。島嶼間の移動もこの時期であろうし、飛び火的な被害の発生もこの時期のものである。線虫の離脱経過からしても、マツの材線虫病の被害拡大の大きな役割を果たしている。羽化脱出初期の予防が重要であるという根拠である。保全すべき松林の被害拡大防止のためには特別防除の1回目の散布が重要である。

4) 短距離の移動

成虫が産卵期に入ると産卵と後食の繰り返しになるから産卵対象木からはあまり離れない。この時期のカミキリ成虫は線虫を殆ど落としているので、当年度の被害には大きな影響を与えないと想定されるが、カミキリ密度が高くなり、次年度の枯損に関係し、この時期の予防も十分重要となる。

5. 防除帯

被害拡大防止のために、ある一定の区域のマツを除去したり、あるいはその区域に薬剤防除の徹底を行ってカミキリ成虫の移動・分散を阻止して、被害拡大予防を目的としている。

しかしながら、その設定にあたっては、地形、地勢、気象条件を十分に調査する必要がある。なおかつカミキリは生物であるから予想外の行動をとることがあるので、十分な監視体制を確立する必要がある。そうしなければ、かつて試験的に設置した防除帯の失敗の二の舞を踏むことになり、折角の良案を無に帰すこととなる。

6. 終わりに

被害拡大様式について、書き始めたところこのテーマに関してはマツの材線虫病に関する膨大な研究成果の大半が関係することがわかり、あわてふためいた。枯損の拡大は宿主-病原体-伝搬者の関係の総合的な結果として表れたものであることを再認識した。マツの材線虫病がここまで広がってしまった段階でマツ枯損の拡大について考えるのは時既に遅しと謗られるかもしれない。しかし、今後保全すべき松林を中心とした防除体系を組もうとしている中で、改めて真剣に考える必要があることを痛感した。

参考文献

松くい虫に関する研究は夥しい数の研究成果があげられている。枯損の拡散にはその殆どの分野が関係するものである。ここでは分散・行動に関連するものに限定して取り上げ、参考とさしていただいた。

1. 在原登志雄(1979)：東北地方におけるマツの材線虫病の発生予測-有効発病期間内の発病指数に基づいて、日林東北支誌 **31**, 162-164.
2. 伊達 功(1980)：岩手県におけるマツノマダラカミキリの分布可能地域について、日林東北支誌 **32**, 285

-186.

3. 堂園安生・清原友也(1971)：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.
4. 萩原幸弘・小河誠司・竹下晴彦(1973)：マツ類材線虫被害の伝播範囲、日林九支研論 **25**, 153-154.
5. 萩原幸弘・後藤泰敬・河野克也・織田泰昌(1978)：マツの材線虫病の発生環境-大分県におけるMB指数からの解析-、日林九支研論 **31**, 245-246.
6. 林 弥栄(1952)：日本産重要樹種の天然分布、林試研報 **55**, 251pp.+12pls.
7. 細田隆治・奥田素男・竹谷昭彦(1974)：マツノマダラカミキリ成虫の行動に関するモデル実験II-成虫の日周活動-、日林関西支講 **25**, 229-301.
8. 井戸規雄・武田丈夫(1976b)：自然下に於けるマツノマダラカミキリの行動の時期変化、87回日林論, 255-256.
9. 井戸規雄・武田丈夫・小林一三・竹谷昭彦・細田隆治(1975)：マツノマダラカミキリ成虫の分散行動に関する調査、86回日林講, 335-336.
10. 川畑克己(1979)：マツノマダラカミキリの島しょ間移動、日林九支研論 **32**, 281-282.
11. 川畑克己・古城元夫(1971)：松くい虫被害の伝播について、日林九支研論 **25**, 198-200.
12. 岸 洋一(1988)：マツ材線虫病-松くい虫-精説 292pp., トーマスカンパニー, 東京.
13. 小林一三・奥田素男・細田隆治・古田公人(1975)：自然下におけるマツノマダラカミキリ成虫の放虫時の分散行動、日林関西支講 **26**, 213-215.

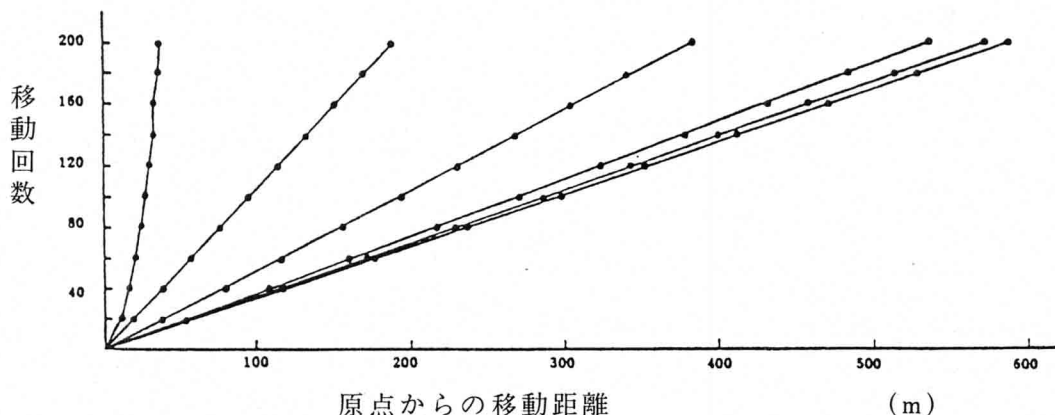


図-6 移動角度を限定した場合の移動(左より360°, 270°, 180°, 90°, 60°, 30°)

14. 小林富士雄・奥田素男・竹谷昭彦・細田隆治(1970) : 松の異常木と松くい虫の飛来の連日調査. 林試関西支年報 12 : 117-120.
15. 森本 桂・岩崎 厚・谷口 明(1975) : マツノマダラカミキリに関する研究(14) - 停留率と温度との関係 -. 日林九支研論 28, 199-200.
16. 西村正史(1973) : マツノマダラカミキリの行動の連続観察. 日林誌 55, 100-104.
17. 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 29, 115-117.
18. 奥田素男・細田隆治・竹谷昭彦・井戸規雄(1973) : マツノマダラカミキリ成虫の標識再捕試験(予報), 84回日林講 327-328.
19. 奥田素男・竹谷昭彦・細田隆治(1974) : マツノマダラカミキリ成虫の行動に関するモデル実験(特) - 産卵および羽化脱出 -. 日林関西支講 25, 294-297.
20. 武田丈夫・井戸規雄(1975) : 県下におけるマツノマダラカミキリ・マツノザイセンチュウの拡散と気温の関係. 日林関西支講 26, 209-212.
21. 竹下敬司・萩原幸弘・小河誠司(1975) : 西日本におけるマツの立枯れと環境. 福岡林試時報 24, 145pp.
22. 竹谷昭彦・小川 哲(1981) : マツノマダラカミキリに関する研究(34) - 宮崎県におけるマツノマダラカミキリの羽化脱出について -. 日林九支研論 34, 191-192.
23. 竹谷昭彦・倉永善太郎・大河内勇(1984) : マツノマダラカミキリの林内における行動と成虫密度. 日林九支研論 37, 205-206.
24. 竹谷昭彦・奥田素男・細田隆治(1975) : 松の激害型枯損木の発生環境 - 温度からの解析 -. 日林誌 57, 169-175.
25. 竹谷昭彦・奥田素男・細田隆治・井戸規雄・武田丈夫(1974) : マツノマダラカミキリ羽化時期別ならびに飼育経過日数による保線虫数. 日林関西支講 25, 267-270.
26. 山根明臣(1975) : マツノマダラカミキリ成虫の行動習性. 森林防疫 24, 211-213.
27. 山根明臣(1976) : マツノマダラカミキリの行動. 森林防疫 26, 188-191.
28. 山根明臣・相川金作(1973) : マツノマダラカミキリ成虫脱出後の行動習性. 84回日林講, 324-327.
29. 山根明臣・伏見正二(1974) : マツノマダラカミキリ成虫の脱出直後の移動分散行動. 85回日林講, 242-245.
30. 吉田成章・岩崎 厚・森本 桂・倉永善太郎・牧野豊吉(1978) : マツノマダラカミキリに関する研究(XXVI) - 島原市眉山国有林でのマーキングによる密度推定 -. 日林九支研論 31, 255-256.

4. マツ樹の枯損機構 - 樹体内で起きていること

田畑 勝洋*

森林総合研究所森林生物部生物管理科長

はじめに

マツ材線虫病については、これまでに数多くの知見があるが、枯損機構に関する報告はそれほど多くはない。そのほとんどはマツノザイセンチュウが宿主に致命的な障害を与えてマツを枯死させるとした観点から見ており、結果的には間違っていないであろう。マツノザイセンチュウはマツ樹体に侵入しても侵入初期には増えずその後しばらくして爆発的に増殖する。マツノザイセンチュウの増殖が見られない侵入初期にマツノザイセンチュウが直接引き起こす加害作用は主に部分的な形成層の破壊と一部の樹脂細胞や柔細胞の破壊だけに過ぎないと考えられ、単にそれだけで健全なマツが枯死するものではない。

マツノザイセンチュウの侵入初期にはマツノザイセンチュウの侵入に伴って様々な現象がマツ樹体内で同時に起きている。これらの現象はマツが侵入してきた病原体から身を守るための応答反応であると判断される。

ここではマツノザイセンチュウのマツ樹体内侵入に対して起こす応答を生体防御反応として捉え、その観点からマツ材線虫病によるマツ類の枯損メカニズムを説明する(田畑・小谷, 1993)。

1. 植物病理学における病原微生物による感染の成立機構

一般に植物は病原体に遭遇しても、直ちに感染が起こるものではない。なぜならば感染より前に植物体にはもともと備わっていた抵抗性機構が存在するためである。

* Katsuhiko TABATA

その抵抗性機構は「静的抵抗性」と呼ばれ、樹皮が厚いとか予めサポニンのような抵抗性物質を持っている等といったような物理的、化学的な抵抗性である。しかし、この静的抵抗性がいったん突破されると、病原体の侵入に対する植物側の生体防御反応が誘導される。

また病原体と植物の間に寄生関係が成立しない、たとえばマツ材線虫病はスギやヒノキには感染しないといったような抵抗性があり、これを非宿主抵抗性という。さらに、同種の中でも抵抗性が病原体によって誘導される品種や系統がある。これは品種特異的抵抗性といわれている(真山, 1990)。

上述したことをマツ材線虫病に当てはめて説明してみよう。

マツノザイセンチュウはマツの堅くて厚い樹皮の壁に阻まれて侵入できない。これがさきに示した静的抵抗性である。しかし、マツノマダラカミキリの後食によってこの樹皮という物理的障壁が破壊されると、マツノザイセンチュウは容易に樹体内に侵入することができ、マツは感染・発病に至るわけである。

ごく少数のマツは侵入したマツノザイセンチュウに抵抗性を示して生き残り、その性質は子供に引き継がれるといわれている(明石ら, 1991)。それは品種特異的な抵抗性が誘導されるためである。

それではマツに侵入したマツノザイセンチュウのマツへの加害作用とマツノザイセンチュウの侵入に対するマツの応答について述べてみよう。

2. マツノザイセンチュウの樹体内侵入に対する生体防御反応

図-1はマツ樹体内における典型的なマツノザイセンチュウの増殖曲線を示したものである。マツノザイセンチュウはマツ樹体内に侵入しても直ちに増殖しないが移動・拡散後一定期間を過ぎると爆発的な増殖パターンを示す(真宮, 1975)。ここで注目すべき点はマツノザイセンチュウが樹体内に拡散したが増殖していない期間にいったいどのようなことが起きているかである。

そのままにマツノザイセンチュウのマツへの作用について見てみると主として次のような加害作用が認められる。

- (1)口針による細胞内容物の摂食(田中, 1974)
- (2)セルラーゼの体外分泌による部分的な柔細胞や形成層の破壊(Odani, 1985; Yamamoto, 1985)
- (3)菌類やバクテリアの伝搬(Okura, 1980; Tamura, 1983)

しかしながら、このような部分的なマツノザイセンチュウの加害作用のみではマツは枯死するとは到底考えられない。

それでは次にマツノザイセンチュウ侵入初期に見られるマツの応答反応、すなわち生体防御反応を見てみよう。マツノザイセンチュウの侵入に対する主なマツの生体防御反応は以下に示す通りである。

- (1)放射柔細胞や軸方向柔細胞の細胞死(真宮, 1975; Nobuchiら, 1984; 二井ら, 1986)
- (2)安息香酸やモノテルペンの大量生成(河津ら, 1983, 1986, 1990; 黒田ら, 1992)

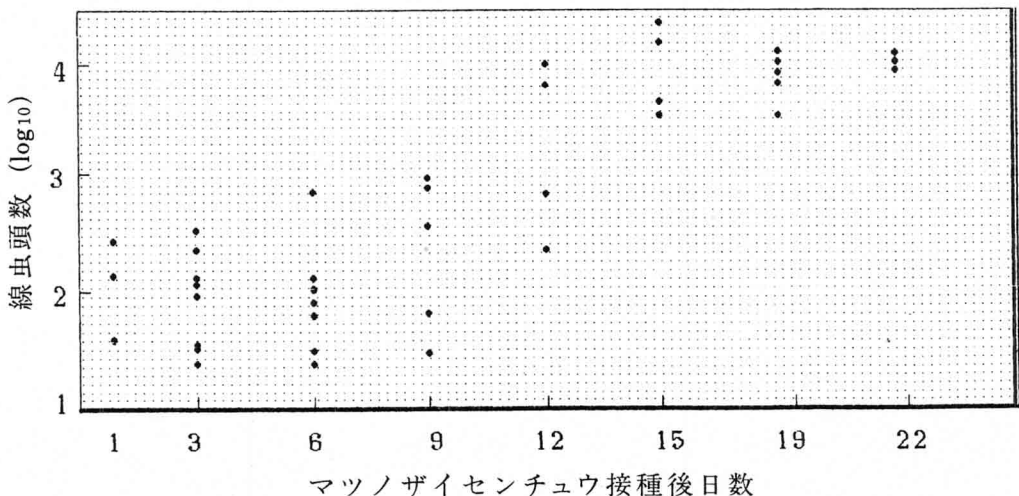


図-1 マツノザイセンチュウ接種後の個体数の変化

- (3)水分通導系の閉鎖(須崎ら, 1976; Sasakiら, 1984; Ikedaら, 1984; Kuroda, 1989)
- (4)エチレンの放出(森ら, 1986)
- (5)呼吸量の増加(大山ら, 1975a, b)
- (6)蒸散量の低下(鈴木ら, 1975, Suzukiら, 1984; Sasakiら, 1984; Ikeda & Kiyohara, 1995)
- (7)樹脂流出量の低下(清原, 1973; 鈴木・清原, 1975; Ikeda & Kiyohara, 1995)

これらの様々な応答は同時平行的に進行すると考えられ、ここに示した順序で起こるものではない。

それではさきに示したマツノザイセンチュウの侵入に対するそれぞれのマツの応答が生体防御反応として、一体どのような意味を持っているのか見ていこう。

(1)放射柔細胞や軸方向柔細胞の細胞死

真宮(1975)はこの柔細胞の細胞死はマツノザイセンチュウの侵入後きわめて速やかに、しかも広範囲に起こる反応であるとしている。また、このような柔細胞の細胞死は一般的に植物体で見られる過敏細胞死ではないかと考えられている(二井, 1986)。こうした樹木の過敏細胞死は組織の区画化による生体防御反応であり、病原体の侵入した部位を過敏感死した細胞で取り囲んで病原菌を侵入部位に封じ込めようとする反応であると考えられる(Shigo, 1985)。

(2)安息香酸やモノテルペンの大量生成

マツノザイセンチュウの侵入直後からマツは抵抗性物質である安息香酸を大量に生成し、マツノザイセンチュウから身を守ろうとする。しかし、安息香酸はマツノザイセンチュウに対して毒性はなく(Okura, 1985)、マツ樹体内で大量に生成蓄積してもマツノザイセンチュウは死滅しない。却ってマツ樹体にとって有害な作用をもつ。したがって、安息香酸生成はマツの侵入病原体の誤認の結果、マツにとってみれば誤ったあるいは不適切な生体防御反応と考えざるを得ない。またモノテルペンもあたかもファイトアレキシンのようにマツノザイセンチュウの侵入に対する認識応答として大量生成されるが、安息香酸と同様モノテルペンもマツノザイセンチュウに対して毒性はなく、これもマツの侵入病原体の誤認によるマツ自身にとって有害な生体防御反応ということになる。

(3)水分通導系の閉鎖

これまでに水分通導阻害の原因については次の3つの説がある。

①マツノザイセンチュウによる樹脂細胞、柔細胞の摂食やセルラーゼによる細胞破壊の結果、細胞内容物や樹脂などの仮道管への漏出による水分通導系の閉鎖。

②過敏細胞死に伴う細胞内容物の仮道管への漏出に

よる水分通導系の閉鎖。

③モノテルペン類の生成増加に伴う柔細胞の細胞死によってモノテルペンの仮道管への漏出が起こることによる水分通導系の閉鎖。

このような水分通導系の閉鎖の意義はどのようなことなのであろう。Shigo(1985)はこのような仮道管の閉鎖は病原体や病原毒素の樹体内拡散を防ぐための生体防御反応と考えている。Shigo説が妥当であるとすれば、水分通導系閉鎖の原因のいずれを問わず、マツノザイセンチュウの侵入に対して起こすこのようなマツの反応はマツノザイセンチュウに対する生体防御としては無効であり、現にマツは枯死する。つまり、この水分通導系の閉鎖もマツ側の侵入病原体の誤認によって生ずる不適切な防御反応ではないかと考えられる。

(4)エチレンの生成

マツ材線虫病も多くの植物の病気と同様に、病原体侵入直後からエチレンの放出が報告されている。マツノザイセンチュウが侵入しても枯損に至らない抵抗性クローンの場合は侵入初期のみエチレンが放出されるがそれ以後低下する。一方、感受性クローンではいったんエチレンの放出は減少するがその後増大し枯死する。このようなエチレンの放出がどのような意義を有するかは不明であるが、水分通導系の閉鎖に何らかの関係を有するものと考えられている。

(5)樹脂流出量の低下

樹脂流出量の低下はマツ材線虫病の初期症候として診断に利用されている。樹脂流出量の低下の原因は木部で樹脂道の樹脂細胞がマツノザイセンチュウによって破壊され、樹脂が木部内部などに放出されるためであり、二次的な症候と理解される。

(6)呼吸量の低下

呼吸量の低下は一般的にいわれるように病原体の侵入に対抗して起こす生体防御反応などに必要なエネルギーの供給のためと理解されるであろう。

(7)蒸散量の低下

蒸散量の低下はマツノザイセンチュウの侵入後、比較的後期に起こり、マツ材線虫病の初期的兆候の中でも最も遅い反応である。これは水分通導系の閉鎖によって生ずる二次的な現象である。また、水ストレスは気孔の閉鎖、水分通導系の閉鎖、根の吸水阻害などによって生ずるものであるが本病の初期症候では気孔は閉鎖しておらず、部分的な水分通導系の閉鎖は起こっているものの根の吸水は正常であることから初期症候段階では水ストレスは起きていない。

それではここでマツ材線虫病によるマツの枯損メカニズ

表-1 マツ材線虫病における誘導抵抗性とその特性

1. 弱毒性線虫前接種 5 日後から誘導される。
2. 全身的な抵抗性が誘導される。
3. 線虫破砕物, 熱殺線虫では誘導できない。
4. ある種の細菌, 糸状菌でも誘導可能。
5. 強毒性線虫の少量接種でも誘導可能。

ムを考えるうえに重要な抵抗性誘導現象を述べてみたい。

3. 誘導抵抗性現象

清原(1990)は、弱病原性のマツノザイセンチュウの前接種によって、後から接種した強病原性線虫による枯死が防げることを発見した。

図-2は抵抗性が誘導された場合のマツ樹体内におけるマツノザイセンチュウの増殖パターンを示すものである。このような誘導抵抗性の特性としては表-1に示す通りである。

山で生き残ったマツのクローン化されたマツ(抵抗性候補木)はマツ材線虫病に対して強い抵抗性を示す。これはここでいう誘導抵抗性とはまた異なった抵抗性であると考えられる。

誘導抵抗性は次のようにまとめることができよう。すなわち、病原性の弱いマツノザイセンチュウを接種すると、それらはアカマツ・クロマツなどの感受性マツの本来持っている低レベルの真の抵抗性を強めておく作用か、もしくは病原体の感染時に生ずる有効な生体防御反応を高める作用をし、マツは枯死しないと考えられる。一方、病原性の強いマツノザイセンチュウを大量に感受性マツに接種すると、真の抵抗性誘導は起こらないか、起こっても構築された抵抗性を上回る病原性遺伝子が発現しマツに対して強く作用し、枯死すると考えられる。

4. 抵抗性機構

現在のところ、マツ材線虫病の抵抗性機構は不明であるが、図-3に示したように感受性マツではマツノザイセンチュウの急激な移動・増殖を許して枯死するが、抵抗性マツではマツノザイセンチュウの移動・増殖が抑制されて枯死には至らない(堂園ら, 1973; 橋本ら, 1975)。しかしながら、どのような抵抗性機構によってマツノザイセンチュウの移動・増殖が抑制されるかは未解明である。マツ樹体内でマツノザイセンチュウが増殖できない場合にはマツは枯死しないということはマツノザイセンチュウの増殖を抑制する酒石酸モランテル(樹幹

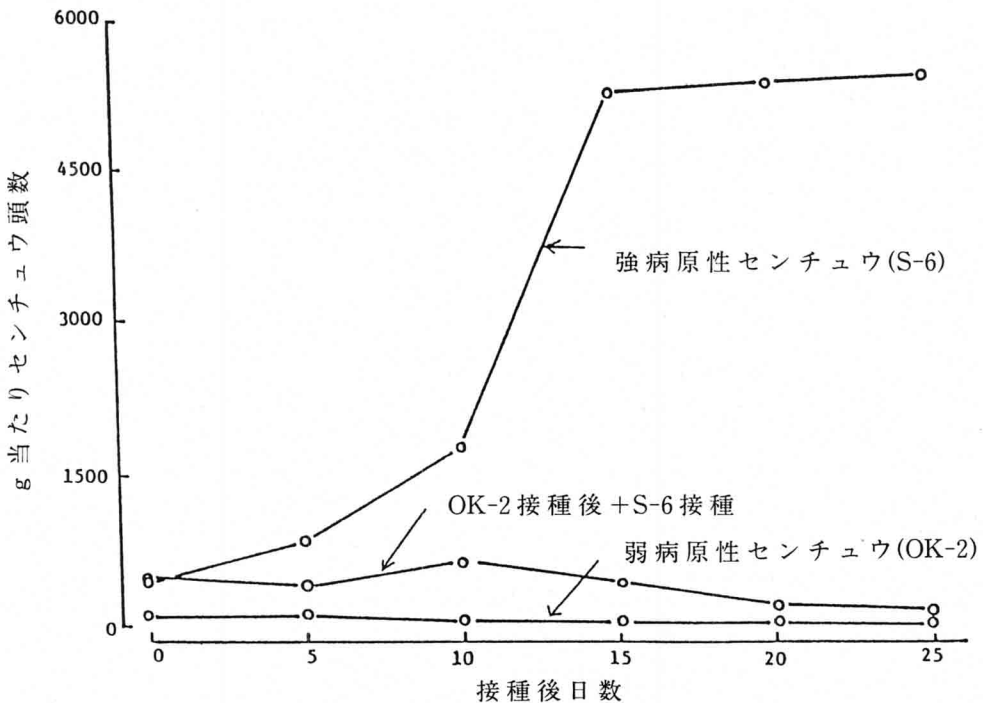


図-2 抵抗性が誘導されたマツ樹体内のマツノザイセンチュウ数

注入剤グリーンガードの主成分)が松くい虫予防剤として卓越した効果を示すことでも明らかである。

5. マツ材線虫病の枯損機構

以上のことから、マツ材線虫病の枯損機構は次のように説明することができる。

マツノザイセンチュウのマツ樹体内への侵入初期に見られる(1)柔細胞や軸方向柔細胞の過敏感細胞死、(2)抗菌性物質の大量生成、(3)水分通導系の閉鎖などのマツの生体防御反応はマツが侵入病原体をマツノザイセンチュウではなく、他の病原微生物であると認識して応答した結果であるが、病原体の誤認による生体防御反応の暴走、なかでも全身的な過敏感細胞死が結果としてマツノザイセンチュウの移動・増殖を許し、著しい形成層や樹脂細胞の破壊と水分通導障害を起こしてマツは枯死すると考えられる。その証拠に弱病原性のマツノザイセンチュウを接種するとマツは侵入した病原体をマツノザイセンチュウであると認識できることによって先に示した生体防御反応の暴走を生ずることなく、適切なレベルの生体防御反応を誘導し、マツノザイセンチュウの移動・増殖を抑制することでマツは枯死に至らないものと考えられる。しかしながら、マツ材線虫病に対する真の抵抗性機構や抵抗性誘導機構はまだ十分解明されておらず、今後の研究に委ねざるを得ないところである。

引用文献

1. 明石孝輝・糟谷重夫・北村系子・金指あや子：マツ材線虫病抵抗性個体選抜における選抜効果と選抜効果予測の手法, 日林誌 **73**: 46-49, 1991.
2. 二井一禎・野淵 正：発病に伴うタンニン成分の動態と細胞学的変化, 日本農芸化学会菘田基金研究小集会「松の激害型枯損の発生機構と制御」講要集 14-16, 1986.
3. 橋本平一・堂園安生：抵抗性及び感受性マツの樹体におけるマツノザイセンチュウの移動と増殖, 86回日林講：301-302, 1975.
4. Ikeda, T. and Kiyohara, T.: Water relations, Xylem embolism and histological features of *Pinus thunbergii* inoculated with virulent or avirulent pine wood nematodes, *Bursaphelenchus xylophilus*. J. Exp. Bot. **46**: 441-449, 1995.
5. Ikeda, T. & Suzaki, T.: Influence of pine wood nematodes on hydraulic conductivity and water status in *Pinus thunbergii*. J. Jpn. For. Soc. **66**: 412-420, 1984.
6. 河津一儀・川井 悟：マツノザイセンチュウ接種によるクロマツ成分の変動—高速クロマトグラフィーによる追跡, 農化 **57**: 117, 1983.
7. 河津一儀・尾崎益教・川井 悟・藤原正美・小林昭雄：松枯れ発病に伴う安息香酸の動態, 農化 **60**: 1103,

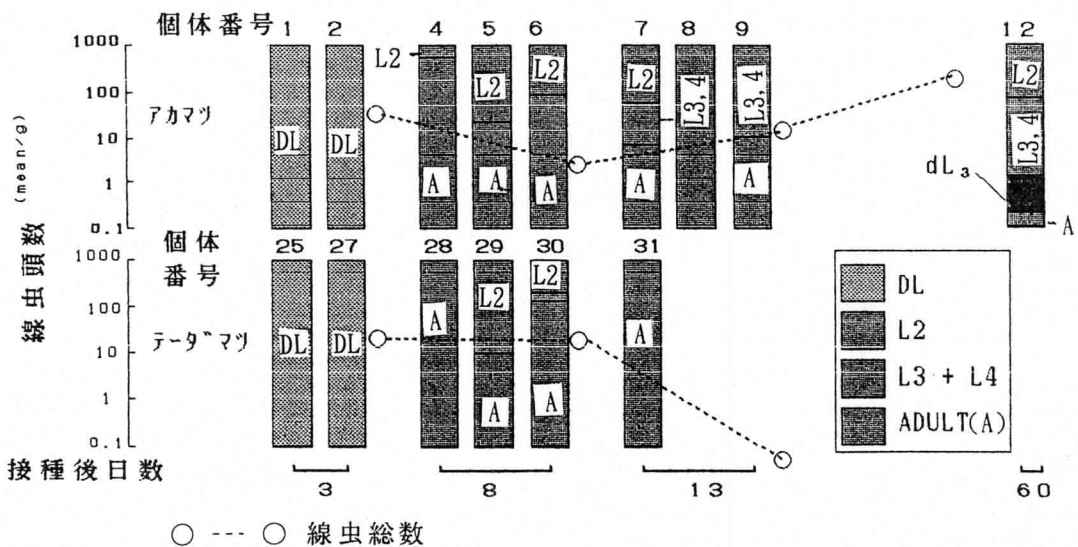


図-3 感受性マツ・抵抗性マツ内での線虫の齢構成の違い

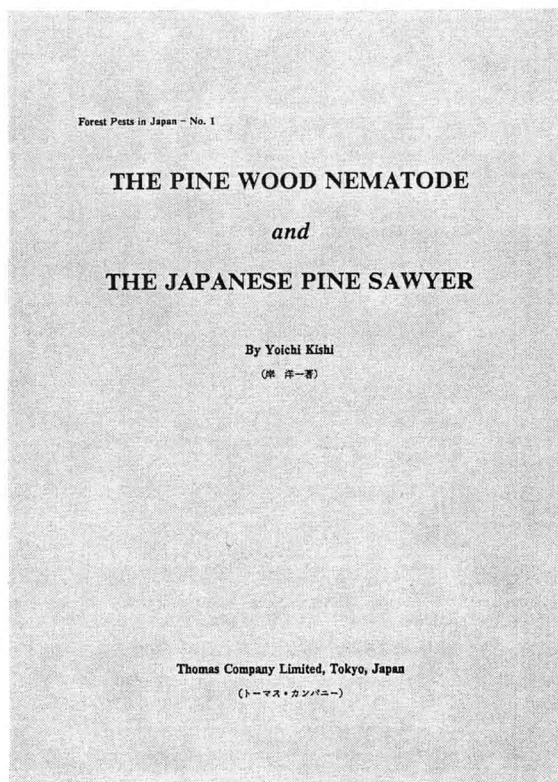
- 1986.
8. 河津一儀・尾崎益教・川井 悟・藤原正美・小林昭雄：マツノザイセンチュウ感染による樹体成分の変動。農化 64：1262-1264, 1990.
 9. 清原友也・徳重陽山：マツノザイセンチュウを接種したクロマツ苗の樹脂量および蒸散量の変化。日林九支研論 26：195-196, 1973.
 10. 清原友也：マツ材線虫病における誘導抵抗性。農化 64：1251-1253, 1990.
 11. Kuroda, K. : Terpenoids causing tracheid cavitation in *Pinus thunbergii* infected by the pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). Ann. Phytopath. Soc. Japan. 55：170-178, 1989.
 12. 真宮靖治：感染初期におけるマツ類樹体内でのマツノザイセンチュウの動態。86回日林講 285-286, 1975.
 13. 真山滋志：ファイトアレキシン誘導の分子機構。化学と生物 28：402-408, 1990.
 14. 森 徳典・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ララーゼ。日林誌 68：43-50, 1986.
 15. Nobuchi, T., Tominaga, T., Futai, K., Harada, H. : Cytological study of pathological changes in Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) seedling after inoculation with pine-wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). Bull. Kyoto Univ. For. : 224-234, 1984.
 16. Odani, K., Sasaki, S., Nishiyama, Y., Yamamoto, N. : Early symptom development of the pine wilt disease by hydrolytic enzymes produced by the pine wood nematodes-cellulase as a possible candidate of the pathogen. J. Jpn. For. Soc. 67：366-372, 1985.
 17. Oku, H., Shiraishi, T., Ouchi, S., Kurozumi, S., Ohta, H. Pine wilt toxin, the metabolite of a bacterium associated a nematode. Naturwiss. 67：198-199, 1980.
 18. Oku, H., Yamamoto, H., Ohta, H., Shiraishi, T. : Effect of abnormal metabolites isolated from nematode-infected pine on pine seedling and pine wood nematodes. Ann. Phytopath. Soc. Japan. 51：303-311, 1985.
 19. Sasaki, S., Odani, K., Nishiyama, Y., Hayashi, R. : Development and recovery of pine wilt disease studied by tracing ascending sap flow marked with water-soluble stains. J. Jpn. For. Soc. 66：141-148, 1984.
 20. Shigo, A. L. : 樹木はどうやって腐敗から身を守るか。日経サイエンス 15：62-71, 1985.
 21. 須崎民雄・矢幡 久・佐々木重行：マツノザイセンチュウ接種クロマツ苗の水分通導抵抗。日林九支研論 29：215-216, 1976.
 22. 鈴木和夫・清原友也：マツノザイセンチュウ接種後のクロマツの蒸散量および樹脂流出量の変化と線虫密度。86回日林講 293-295, 1975.
 23. 田畑勝洋・小谷圭司：マツ材線虫病に対する生体防御。森林科学 8：28-38, 1993.
 24. Tamura, H. : Pathogenicity of aseptic *Bursaphelenchus xylophilus* and associated bacteria to pine seedlings. Jpn. J. Nematol. 13：1-5, 1983.
 25. 田中 潔：マツノザイセンチュウの菌糸摂食行動。85回日林講：247-249, 1974.
 26. 堂園安生・清原友也・橋本平一：マツの種類別にみたマツノザイセンチュウの樹体内移動。日林九支研論 26：183, 1973.
 27. Yamamoto, N., Odani, K., Sasaki, S., Nishiyama, Y. : Cellulase exudation by the pine wood nematode-detection of activity in its crawling track. J. Jpn. For. Soc. 68：237-240, 1986.

新刊紹介

The pine wood nematode and the Japanese pine sawyer : by Yoichi KISHI, xi+302pp, Thomas Co. Ltd., Tokyo, Japan, 1995
マツノザイセンチュウとマツノマダラカミキリ

岸 洋一(茨城県林業試験場)著
A5版 xi+302ページ, 1995年12月発行
定価 13,390円(消費税込み)
発行所 (有)トーマス・カンパニー

〒107 東京都港区北青山2-12-8
電話 03-3401-2527 FAX 03-3401-2547



本書はかつて1988年に同じ著者により刊行された「マツ材線虫病—松くい虫—精説」の英語版であるが、前者が単に英訳されたのではなく、その後の数年間における知見もあらたに付け加えられた増補・改訂版といっているものである。それは引用文献が数百篇ふえ、合わせて2千3百篇を越えたことにも端的に示されている。内容的にも項目によっては全面的に書き改められたものがあるが、これらの点を考慮すれば、前者とは別の書物といってもよいかも知れない。

いわゆるマツ材線虫病に関しては現在でもなお解明されるべき問題が多々残されており、事実、諸研究も続行されつつあるとはいえ、研究状況全般をみるとかつての勢いはない。今後はあらたな視点からの研究が開始されることも必要と思われ、その際、本書は羅針盤の役を果たしうると信ずる。また、表現は適切でないかも知れないが、巻末に挙げられた引用文献のリストだけでも本書の価値は十分あると思う。ただし、文献の記載のしかたについては若干の異論があり、日本語で書かれた文献の英語訳(本書の著者自身によるものでよい)をぜひ付けるべきだったと考える。本書が日本人以外の読者も想定して出版されたものである以上、これが必然と考えるからである。しかし、本書が“マツ材線虫病”問題に関心をもつ方々すべてにおすすめしうる力作であることには変わりがないので、ここで紹介する次第である。

(小久保 醇)

林野庁だより

① 都道府県林業専門技術員(森林保護)名簿

北海道：森林整備課	佐々木 満	新潟県：林政課	小林 勝輔
青森県：林政課	兼平 文憲	富山県：林政課	林 功
岩手県：林業振興課	平野 潤・木村経三	石川県：森林管理科	八神 徳彦
宮城県：林業試験場	相沢 孝夫	福井県：林政課	岩佐 礼三
秋田県：林業技術センター	加茂谷常雄	山梨県：林業振興課	千野 博
山形県：林業課	大泉 雅春	長野県：治山課	金子 政博
福島県：林業振興課	加藤 政樹	静岡県：林政課	佐野 信幸
茨城県：林政課	海老根翔六	三重県：森林整備課	古川 博康
栃木県：林業振興課	福田 昭	滋賀県：森林センター	谷口 守
群馬県：林政課・緑化推進課	戸谷 等・関 賢造	京都府：林務課	三沢 淳良
埼玉県：林業試験場	大澤 元	大阪府：緑の環境整備室	村田 勝博
千葉県：林務課	貝沼 覚	和歌山県：森林整備課	小南 全良
東京都：林務課	土屋 大二	鳥取県：森林保全課	阿部 竜三
神奈川県：森林研究所	岸 靖之	島根県：林業管理課	井ノ上二郎
		岡山県：林政課	濱田 保雄・守安 昇平

広島県：みどり景観室
 山口県：林政課
 香川県：森林センター
 福岡県：森林林業技術センター
 佐賀県：林政課
 長崎県：林務課
 熊本県：林業研究指導所
 大分県：林業振興課
 宮崎県：林業総合センター
 鹿児島県：林業試験場
 沖縄県：林務課

下山 治政
 山本 博
 大久保政利
 吉田耕二郎
 深川 忠久
 貞清 秀男
 木下 安美
 麻生 賢一
 黒木 逸郎
 村本 正博
 我如古光男

千葉県：林業試験場経営管理研究室長兼主任研究員 松原 功
 " " 主任研究員 中川 茂子
 東京都：林業試験場研究員 中村健一・遠竹行俊
 神奈川県：森林研究所研究部主任研究員 山根 正伸
 " " 技師 藤森 博英
 新潟県：林業試験場造林保全課主任研究員 布川 耕市
 富山県：林業技術センター林業試験場農林水産課長 西村 正史
 長野県：林業総合センター技師 岡田 充弘
 岐阜県：林業センター病害虫科長 野平 照雄
 " " 主任技師 大橋 章博

② 都道府県森林保護担当研究者名簿

北海道：林業試験場森林生物部長 村田 義一
 " " 主任研究員 東浦 康友
 " " 微生物科長 塚田 晴朗
 " " " 研究員 徳田左和子
 " " 昆虫科長 原 秀穂
 " " 小動物科長 中田 圭亮
 " " " 研究員 雲野 明
 青森県：林業試験場育林環境部 今 純一
 総括主任研究官
 岩手県：林業技術センター副所長 佐藤 平典
 " " 森林資源部長 草場 敏郎
 " " 主任専門研究員 玉山俊彦・小原 修
 " " 専門研究員 小岩俊行・高橋健太郎
 " " 技師 栗野 義行
 秋田県：林業技術センター主任専門研究員 岩谷 隆一
 " " 技師 長岐 昭彦
 " " 主任技術員 佐々木一・二三
 宮城県：林業試験場森林保護科長 田代 文士
 " " " 技師 唐沢 悟
 山形県：林業試験場森林資源部専門研究員 斉藤 正一
 福島県：林業試験場緑化保全部長 在原登志男
 " " 研究員 橋本正伸・大槻晃太・川口知穂
 茨城県：林業試験場林産保護部長 岸 洋一
 " " 主任研究員 小倉 健夫
 " " 技師 細田 浩司
 栃木県：林業センター造林部長 相馬 俊雄
 " " 主任技師 丸山友行・岩撫厚子・唐沢正人
 " " 県民の森管理事務所鳥獣課長 根本 久
 " " 主任 高橋安則・矢野幸宏
 群馬県：林業試験場研究部森林課独立研究員 佐藤 博
 " " " " 主任 曲沢 修
 埼玉県：林業試験場造林保護部主任 長島 征哉

山梨県：森林総合研究所研究管理幹 馬場 勝馬
 " " 森林保護課研究員 大澤 正嗣
 静岡県：林業技術センター研究主幹 藤下 章男
 " " 副主任 加藤 徹
 愛知県：林業センター技術開発部主任研究員 佐藤 司
 石川県：林業試験場森林環境部長 松枝 章
 " " 森林育成科技師 矢田 豊
 " " 育種科技師 江崎功二郎
 福井県：総合グリーンセンター総括研究員 井上重紀・三田村忠司
 " " 主任研究員 今井三千穂
 三重県：林業技術センター研究課主査 奥田 清貴
 滋賀県：森林センター副総括・林業専門技術員 谷口 守
 京都府：林業試験場技師 小林正秀・野京 愛
 " " 野久野分場主任研究員 歌丸 孝治
 大阪府：農林技術センターみどり技術室長 伊藤 孝美
 " " 主任研究員 松下 美郎
 " " 研究員 山田倫章・川井裕史
 兵庫県：森林・林業技術センター森林資源部次長 国分 義彦
 " " 森林環境部主任研究員 上山 泰代
 " " 主任研究員 塩見 晋一
 奈良県：林業試験場造林課総括研究員 天野 孝之
 " " " 技師 中西 康二
 和歌山県：林業センター森林環境部長 鈴木 正隆
 " " 研究員 大槻国彦・法眼利幸
 鳥取県：林業試験場森林管理研究室長 西村 徳義
 " " " 研究員 井上牧雄・西垣真太郎
 島根県：林業技術センター次長 周藤 靖雄
 " " 保護科長 周藤 成次
 " " " 主任研究員 金森 弘樹
 " " " 研究員 扇 大輔

岡山県：林業試験場業務部研究員	岡本 安順	佐賀県：林業試験場林政課専門技術員	灰塚 敏郎
〃 自然保護センター企画調査課	井上 悦甫	〃 〃 育林経営研究室長	黒木 尊信
広島県：県立林業試験場育林保全部長	池田作太郎	長崎県：総合農林試験場林業部育林科研究員	
〃 〃 研究員	弓場憲生・軸丸祥大		久林高市・吉岡信一
山口県：林業指導センター研究部環境科長	福原 伸好	熊本県：林業研究指導所育林環境部長	服部紅一郎
〃 〃 〃 研究員	田戸 祐之	〃 〃 〃 研究参事	宮島 淳二
徳島県：林業総合技術センター保護科長	高橋 昌隆	大分県：林業試験場育林部主任研究員	室 雅道
〃 〃 〃 技師	細川 芳宏	宮崎県：林業総合センター育林保全科長	讃井 孝義
香川県：森林センター所長	辰巳 徹	〃 〃 技師	田村 健一
〃 〃 林業専門技術員	大久保政利	鹿児島県：林業試験場保護部長	新川 博俊
愛媛県：林業試験場主任研究員	井上 功盟	〃 〃 林業専門技術員	村本 正博
高知県：林業試験場保護科長	宮田 弘明	〃 〃 〃 主任研究員	田実 秀信
〃 〃 〃 主任研究員	安田 睦	〃 〃 〃 研究員	佐藤 嘉一
福岡県：森林林業技術センター育林科長	小河 誠司	沖縄県：林業試験場育林保全科室長	仲栄真盛長
〃 〃 専門研究員	大長光 純・池田浩一		

都道府県だより

①高知県の松くい虫被害対策

高知県の松林面積は18,320haで民有林の約4%を占めています。松林は県下一円に分布していますが、面積の小さな松林が点在しているのが特徴です。

これらの松林における松くい虫被害は、一部の山間部を除いて県下全体で発生しており、昭和38年に約19,000m³と最大の被害を記録し、その後約5,000~16,000m³の間で増減を繰り返してきましたが、平成3年度以降は順調に減少を続け、7年度は約1,150m³の被害量となっています。

松くい虫被害の発生した林分の中でも、本県の海岸線沿いに広がる松林には潮害防備等の保安林、県立公園等の一部として県民の憩いの場として利用されている松林など重要なものが多いことから、現在これらの松林に対し重点的に地上散布や伐倒駆除等を実施し、その被害の沈静化に努めているところです。

海岸部の松林の中で本県を代表するもの一つに、県東部の安芸市から芸西村にかけ約4kmにわたって広がる琴ヶ浜の松原がありま

す。松くい虫により県下の松林の大半が大きな被害を受ける中、琴ヶ浜は従来から被害の発生が少なく、樹齢200~300年の大木が残る貴重な松林でしたが、県全体では被害が減少傾向にある中、平成4年度に被害が急増し、これらの大木のほとんどは姿を消してしまいました。国庫補助、県・村単独事業により、地上散布、伐倒駆除及び樹幹注入等の防除を実施し、被害量は減少していますが、終息に至っていないのが現状です。

当地域では、平成4~7年にかけての松くい虫被害を契機に、松林を守る気運が市、村及び地元住民の間で高まってきました。平成7年度には松林保全体制整備事業(国庫補助)により、「琴ヶ浜松原を守る会」を発足させ、被害跡地への植樹等を実施しました。本年度は住民参加による一斉清掃等を計画しています。また、芸西村では琴ヶ浜松原を「村の宝、顔」として位置づけ、その管理体制の強化を図るため、松林の買収に向けて村単独事業として買収費4,550万円の子算を計上しています。

松くい虫被害の根絶は非常に困難な状況となっていますが、県としても地元市町村や住民組織と連携して、被害の終息、貴重な松林の再生整備に向け取り組んでいきたいと考えています。

(高知県森林局林業振興課)

②佐賀県の白砂青松「虹の松原」

三保の松原、天の橋立と並び、日本三大松原のひとつに数えられる虹の松原は、佐賀県北部の唐津市と浜玉町にまたがって位置し、玄海灘に面して東西に約5km、幅約500m、総面積約240haに及ぶ松原です。400年前に唐津藩主寺沢志摩守が植林したのが始まりとされる歴史のある松原で、明治2年国有林に移管、現在佐賀営林署により管理されています。虹の松原は玄海国定公園と国の特別名勝の指定を受け観光面での役割を担うほか、防風保安林、激害防備保安林及び保健保安林として地域の生活を守る重要な働きをしています。

しかし、平成3年の台風以降松くい虫による被害が目立つようになり、また入林者の増加によるゴミの投棄、不心得な焚火等による火災等松原の機能や景観を脅かす問題が増え

ています。

このような問題に対し、佐賀県、唐津市、浜玉町及び佐賀営林署が一体となって取り組んでいます。

地元唐津市と浜玉町では毎年合同で「虹の松原春祭」を実施し、その中のイベントとして植樹、松原基金の募金活動、空き缶拾い、虹の松原駅伝を実施して松原の保護を訴えるとともに、国道沿線の林内の除草作業を実施し、火災の防止と環境美化に努めています。

佐賀営林署では、松くい虫の防除及び駆除をはじめ、保安林改良事業として植樹、下刈、除伐、防風垣の作設事業、植樹フェアなどのイベントやライフサイクルの森の設置により緑の普及を推進しています。

また、県においても、松くい虫の特別防除を営林署と共同で行うほか、緑の少年団による植樹を実施するなど松原の保全と緑の普及に努めています。

これからも、地元、国と連携し、この貴重な財産である「虹の松原」を守り育て、後世に引き継ぐよう頑張っていきたいと考えてます。

(佐賀県森林整備課造林保護係)

森林防疫 第45巻第6号 (通巻第531号)

平成8年6月25日 発行 (毎月1回25日発行)

編集・発行人 佐藤清吉

印刷所 松尾印刷株式会社

東京都港区虎の門 5-8-12 ☎(03)3432-1321

定価 620円 (送料共)

年間購読料 6,200円 (送料共、消費税186円別)

発行所

〒101 東京都千代田区内神田1-1-12(コープビル)

全国森林病虫獣害防除協会

電話 03-3294-9719, FAX 03-3293-4726

振替 00180-9-89156