

森林防疫

FOREST PESTS

VOL.45 No.5 (No. 530)

1996

昭和53年11月8日第三種郵便物認可

平成8年5月25日発行(毎月1回25日発行)第45巻第5号



緑を保つ九十九里浜海岸のマツ林

海岸砂防・防風林、水源林、風致林等重要なマツ林に対しては、各種の防除対策が実施され、その保全が図られている。写真はその一例で、千葉県房総半島の東側、南は一宮町から北は飯岡町まで、13市町村にまたがる長さ60kmにも及ぶ九十九里浜海岸マツ林である。国・県・市町村の懸命の防除努力により、樹齢20～50年のマツ林が保安林としてのみならず、一般の人々の憩いの場としても、広く利用されている。

(写真：千葉県提供、文責：編集部)

目次

特集：松枯れの研究は怎么样了か—歴史・現状とまとめ(1)

第I章 松枯れの歴史およびマツの健全性と枯損原因

1. 松枯れの被害と研究の歴史	田畑 勝洋	82
2. マツが枯れる原因	金子 繁	84
3. マツ林の健全性と外生菌根	岡部 宏秋	88
4. マツの生理—健康と病気—	池田 武文	91
5. 大気汚染・酸性雨とマツの枯損	峠田 宏	97
《新刊紹介：植物ダニ学》	古田 公人	101
《林野庁だより、都道府県だより—青森県・大阪府》		102, 104
《森林防疫ジャーナル：森林病虫獣等防除活動優良事例コンクール、人事異動》		105

1. 松枯れの被害と研究の歴史

田畑 勝洋*

森林総合研究所森林生物部生物管理科長

明治38、9年頃、長崎県で大量の松枯れの記録が残されていた。その症状は針葉が萎れて枯死したと記載されており、今なお猛威を振るっているマツ材線虫病である松くい虫被害の典型的な症状ときわめてよく似ていた。今日ではさまざまな考証から長崎で記録された松枯れはまぎれもなくマツ材線虫病であったと考えられている。そしてこれが我が国で初めてのマツ材線虫病による松くい虫被害の記録となる。この長崎の松くい虫被害は枯損木の剥皮・焼却によって見事に被害の拡大がくい止められた。その後、この松くい虫被害は1930年代までに九州全域、岡山県、兵庫県の港湾、工場地帯を中心に西日本に広がっていった。

その被害材積量は1940年代前半には年間30～40万 m^3 となった。第二次世界大戦後の世情混乱期には被害は東海・関東地方にも広がりを見せ、被害材積量も100万 m^3 に達した。

この頃、米国GHQ天然資源局顧問の昆虫学者ロバート・L・ファーニスの勧告によって我が国の松くい虫等防除事業推進の改善と単行法が制定された。激害地は農林大臣の駆除命令により、その他は府県知事の命令によって駆除が行われた。

その後「松くい虫等その他森林病虫害の駆除予防に関する法律」が交付され、「松くい虫等駆除予防事業実施要領」が制定され、全国の松くい虫の人海戦術による駆除(被害木の伐倒焼却)を中心とした防除が推進された。

そのため、1950年代から1960年代には再び年間40万 m^3 と減少した。しかしながら、1970年代から我が国では薪や石炭から石油やプロパンへの燃料革命が進み、もはや被害木を燃料として使用しなくなる一方、当時の社会経済的背景から林業への労働力不足などでマツ林の手入れが行き届かず、伝染源である被害木の放置により被害は再び増大し、被害地域も関東北部・甲信越・東北地方に広がっていった。また、山陰や北陸地方ではそれまで飛び火的に入っていた被害も面的な広がりを見せるようになった。被害材積量も顕著な増大を見せ、各地で100万 m^3 を越える被害が年々続き、1979年には前年の夏の高湿と小雨の影響も加わって今世紀最大の240万 m^3 にも達する

に至った。

被害の拡大様相を見ると最初は飛び火的で点々とした被害であったものが点から面へと広がっていった。この飛び火的な被害は多くは昔から枕木、船舶・車両用材、建築用材、道路工事やチップ工場などのため被害木や被害丸太の人為的な移動・持ち込みによって生じたものである。当時の山陰や北陸地方への拡大がそれであり、1973年以降に被害が入った沖縄本島、宮城県石巻市、小笠原諸島もその典型的な例である。

現在、松くい虫被害が発見されていない地方は北海道と青森県のみであるが、地域的には長野県松本市や岩手県水沢市以北もマツ材線虫病による被害は認められていない。1996年に青森県の日本海側の秋田県との県境でマツノマダラカミキリ成虫雌1頭が誘引器によって捕獲された。幸いにもその後の調査で当地域ではマツノマダラカミキリはまだ定着していないことが明らかにされたが、秋田県男鹿半島のマツ林はすでに激害状態であることから青森県では厳重な監視体制を整え、被害の侵入阻止を図っている。

我が国には260万haのマツ林面積が存在したが、その約24%がマツ材線虫病による枯損被害を被ってきている。

さて、それではこのマツ材線虫病に関する研究の歴史をふり返ってみよう。

我が国のマツ類(アカマツ、クロマツ、リュウキュウマツ)がどうして枯れるのであろうかという疑問に最初に着手したのは森林昆虫学者であった。彼らはマツ被害木に寄生する昆虫、特にキクイムシ、ゾウムシ、カミキリムシなどの穿孔虫類を徹底的に調査し、枯損原因を追求し続けた。しかし、その結果は否定的なものであった。その後絶え間ない昆虫学者の枯損原因究明の努力によって、1968年～1971年にわたる4年間の特別研究「まつくいむしによるマツ類の枯損防止に関する研究」が林野庁林業試験場(現森林総合研究所)各部門の共同研究として実施されるに至った。

1947年に制定された森林病虫害等防除法には当時の知識のもとで本病は「松くい虫」の名で記載され、今日も法律で、また一般的にこの名が使用されている。そしてこの特別研究の中で、1971年に本病の病原体がマツノ

* Katsuhiko TABATA

ザイセンチュウ (*Bursaphelenchus xylophilus*) であることが樹病学者である徳重陽山・清原友也両氏によって明らかにされた。その後このマツノザイセンチュウはアメリカから侵入した線虫であることが1980年に明らかになった。病原体がマツノザイセンチュウであると判明した後、再び1973年～1975年の3年間の特別研究「マツ類材線虫の防除に関する研究」が森林保護部門共同研究として実施された。この研究によって、「松くい虫」はマツノザイセンチュウによって引き起こされるマツの萎凋病であることが学問的に認められ、本病はマツ材線虫病として日本植物病理学会に登録された。そして、足も翅もないこのマツノザイセンチュウを被害木の中から持ち出して健全なマツへ運ぶ媒介者の究明が昆虫・樹病研究者チームによって行われ、1972年にその運び屋がマツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus*) であることが突き止められた。その後、寒冷地方に生息するカラフトヒゲナガカミキリ (*Monochamus saltuarius*) もマツノザイセンチュウを媒介することが1987年に明らかにされた。

上記の特別研究の中で、病原線虫と媒介昆虫の詳しい協同生活環が明らかになったことにより、ようやく本病の防除の目途がたつに至った。そこで林野庁は1977年に5年間の期限付きの「松くい虫防除特別措置法」を制定し、本法に基づいて防除事業の推進を図った。現在までに本法は3回の改正を行ってきたこともあって、現在約30万haを占める保全マツ林の約70%は被害量が1%未満の微害林となってきた。

マツノザイセンチュウの侵入により感染・発病したマツは外見的には全身的な萎凋症状の発現から著しい針葉の赤褐変を示し、枯死に至るが、侵入から枯死までは初夏から秋までの短い期間に起こり、きわめて急激な病状の進展の経過をたどる。しかし、寒冷地方では発病経過や病状の進展が暖地とは異なり、遅延する傾向が見られる。寒冷地方に見られるこのような病状進行の遅れは「年越し枯れ」といわれており、マツノザイセンチュウが侵入し、感染・発病して翌年になって枯れる。その主な原因は低い気温によるものである。被害発生拡大とその激化は年平均気温が14℃以上の温暖な地域に一般的に見られるものである。温暖な地域であっても高標高地では年越し枯れの症状が見られ、概して被害は少ない。

マツノザイセンチュウは我が国のみならず、中国、台

湾、韓国、アメリカ、カナダにも分布し、特に北米大陸には古くから広く分布していたことが分かっている。しかし、北米原産のマツはそのほとんどがマツ材線虫病に対して抵抗性を持っており、北米ではマツノザイセンチュウは土着種であると考えられている。北米から他の国々への侵入経路はいろいろである。我が国を始めとする温帯・亜熱帯地域において材線虫病に感受性のマツを持つ国々への侵入・定着は、その国のマツにとって恐るべき外来侵入者による流行病の発生を伴うことになる*。

したがって、我が国の松くい虫被害は侵入者であるマツノザイセンチュウがその媒介者である土着のマツノマダラカミキリによって運ばれ、引き起こされたものであり、マツ材線虫病は広範囲に拡がる感受性マツの分布と環境条件及び社会経済的条件を背景に拡大して一大流行病となってきたものである。

現在でも約60万haあるマツ林の総被害材積量は年間約100万m³のレベルで推移している。しかし、その総被害量には約半数の防除対策が実施されていないマツ林の被害量が含まれている。

マツの枯損原因にはマツ材線虫病以外にもつちくらげ病や大気汚染などもあるが、このことについては後でわかりやすく述べることにする。

参考文献

- 我如古光男 (1974) 森林防疫 23, 42-44.
 Dropkin, V.H. & Foudin, A.S. (1979) Plant Dis. Rept. 63, 904-905.
 Dropkin, V.H., Foudin, A.S., Kondo, E., Linit, M., Smith, M. & Robbins, K. (1981) Plant Dis. 65, 1022-1027.
 遠田暢男 (1978) 森林防疫 27, 79-81.
 遠田暢男 (1988) 森林防疫 37, 161-166.
 遠田暢男 (1989) 森林防疫 38, 148-152.
 橋本平一・千原賢次 (1976) 87回日林論, 237-238.
 金子 繁・窪野高德 (1989) 100回日林論, 545-546.
 清原友也 (1973) 84回日林講, 334-335.
 清原友也・徳重陽山 (1971) 日林誌, 53, 210-218.
 小林富士雄・中原二郎 (1982) 松枯れを防ぐ. 157pp.
 Kondo, E.S. & Taylor, R.C. (1986) Forest Insects and Disease Conditions in Canada, 1985. Can. For. Serv., Ottawa, 107pp.
 国吉清保 (1974) 森林防疫 23, 40-42.
 田村弘忠 (1996) 森林防疫 45, 8-11.
 真宮靖治 (1985) 森林防疫 35, 145-150.
 真宮靖治・遠田暢男 (1972) Nematologica 18, 159-

* 世界におけるマツノザイセンチュウとその近縁種の現在の分布状況や、核酸 (DNA) の塩基配列といった分子生物学的手法による種としての均一性などについては、本誌45巻3号真宮靖治氏の解説に詳しい。

162.
真宮靖治・田村弘忠・二井一禎・清原友也 (1992) マツ材線虫病. 線虫研究のあゆみ 201-219.
佐藤平典・作山 健・小林光憲 (1987) 日林誌 69, 492-496.
孫 永春 (1982) 紅蘇林業科技 47.
庄司次男・滝沢幸雄・五十嵐正俊・早坂義男・小原憲由・高橋 勉 (1976) 森林防疫 25, 53-56.
庄司次男・陳野好之 (1985) 96回日林論 461-462.
滝沢幸雄 (1988) 森林防疫 37, 140-144.
程 珣端・林 茂松・黎 仰強・方 中込 (1983) 森林病虫通迅 1983(4), 4-5.
徳重陽山・清原友也 (1969) 日林誌 51, 193-195.
Tzean, S.S. & Shang-Tang, J. (1985) Proc. 6th ROC Symp. Electr. Microscopy, 38-39.
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. わかりやすい林業研究解説シリーズ 86, 75pp.

2. マツが枯れる原因

金子 繁*

森林総合研究所森林生物部森林微生物科長

はじめに

現在、我が国でアカマツ、クロマツが大量に枯損している原因はマツノゼイセンチュウを病原体とする材線虫病であることが明らかになっている。しかし、自然界には量的には材線虫病とは比較にならないがマツが枯れる原因は他にもある。強い乾燥害など、病原体が関与しない枯損が起こる場合もある。さらに、動植物の様々な病気と同様に、材線虫病の発生と進展には環境要因も当然作用する。環境要因との関係については他の著者により詳しくふれられるので、ここでは材線虫病以外の病原体ならびに昆虫加害などによる枯損原因や、それらと材線虫病との違いなどについて述べてみたい。

1. 材線虫病以外による枯損原因

1) つちくらげ病

根が病原菌(ツチクラゲ, *Rhizina undulata*)に侵されるために全身的な異常が起こり、枯損の外観は材線虫病による枯れに似ている。しかし、典型的な材線虫病による被害木に比べると、樹脂滲出が異常になるのはそれほど急激ではない。被害は東北地方の海岸林で多い(佐藤ら, 1974)。東北では、一関市周辺の内陸部の特定地域でも見られるが、発生しやすい土壌条件があるようである。

被害は必ず集団的に起こり、同心円状に広がるが、3年から4年ぐらいで終息する。中心部に必ず焼き火跡か、何らかの火を使った跡がある。山火事後の残ったマツが被害を受けることもある。これは、病原菌の胞子(子

のう胞子)の発芽には高温を必要とし、焼き火あるいは山火事で地中の胞子が存在する部分がこの温度になるためと考えられている。被害木の地際部の樹皮をはくと病原菌の褐色の菌糸束が見られ、梅雨期および秋に地際の土の表面に赤褐色をした団子状のきのこ(ツチクラゲ)(写真-1)が形成される。

なお、本誌に森林病虫獣害発生情報が再掲されるようになった1988年以降1995年までの7年間に報告されたマツのつちくらげ病の発生は93件、14.23haである。

2) ならたけ病

広葉樹伐採跡に植えられた10年生以下の林では集団枯損が起こる場合があるが、成木では単木的に枯れる場合が多い。特に地表の土壌が浅い斜面などに多い。青森県ではアカマツの連続的な大量枯損例があるが(兼平, 1988)、その病原菌はならたけ病菌のなかでも病原性が強いと言われる *Armillaria ostoyae* であることが明らかになっている(寺下・沢口, 1991)。症状は材線虫病に似て全体が萎凋して枯れる場合が多いが、ゆっくりと病状が進展する場合もある。地際の幹の樹皮をはくと、白色の菌糸膜や針金状の根状菌糸束が見られ、秋になると食用としても美味であるナラタケが発生する。

森林病虫獣害発生情報には1988年以降現在まで青森県を除きマツでのならたけ病の発生報告はない。

3) 皮目枝枯病

台風による傷害、夏の早ばつ、冬の低温乾燥が誘因となり枝枯れが進み、激しい場合は全身枯死も起きる。枯枝の幹部に形成される、盤状で黄褐色の病原菌の小さな子実体が診断の決め手になる。

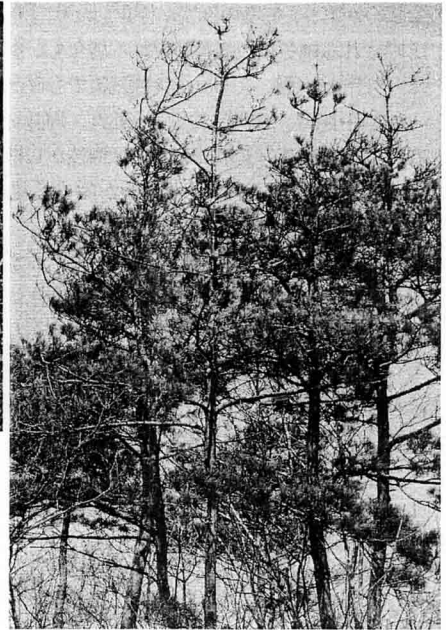
森林病虫獣害発生情報には1988年以降現在までマツ

* Shigeru KANEKO



写真-1(左) マツつちくらげ病-被害木地際部の子実体(きのこ)

写真-2(右) マツ皮目枝枯病-樹冠の枝枯れ



皮目枝枯病の発生報告はない。

4) 昆虫類による加害

北米では、早ばつなどの原因で衰弱したマツ類への青変菌類の胞子を持つ樹皮下穿孔虫類が加害することにより集団枯損が起ることが知られているが、日本ではそのような例はない。

マツカレハによる葉の食害で衰弱したマツへの穿孔虫類の加害(宇賀, 1965)や、マツカレハの連続的な発生と異常な乾燥などが重なると(佐藤ら, 1987), ある程度の集団枯損が起る。*Amylostereum*菌を媒介するニトベキバチが、他の原因による衰弱木を加害して枯損を起こす例も東北地方などではあるが、衰弱木の大部分はマツノゼイセンチュウによる感染を既に受けている木である。

関東地方での神奈川・千葉両県下の調査では、ニトベキバチ-アミロステレウム菌の協同作用によるマツの枯損率は連年0.5~1.5%の範囲である(小林ら, 1978)。

2. 青変菌類との関連について

青変病は辺材部が青く変色する病気であり、穿孔虫類の体表に付着した青変菌類が侵入するために起こるが、伐倒後の辺材や、何らかの原因で衰弱した木に二次的な穿孔虫類が侵入した場合には普通に見られる。これらの菌類も、実験的には光条件などを極端に悪くした鉢植えの苗木を枯死させる場合がある(Kaneko and Harrington 1990; 金子他, 1993)。しかし、普通の状態ならば鉢植えの苗でも枯死することはなく、野外での成木への

試験では全く発病が起らない。野外の若齢木の葉を摘んでストレスを与えた後に接種をしても、何の変化も見られない(金子, 未発表)。カラムツなどでは類似の菌の接種密度を極端に上げると樹体は枯死するが(山口市, 1991), アカマツでそのようなことが起るのは穿孔虫類が多数侵入した後であり、それらの穿孔虫類が二次的な昆虫であることは、松枯れの枯損解明の研究の中で膨大なデータが蓄積されている。

北米では類似の菌の仲間による根の侵害による枯損が良く知られている(Harrington and Cobb, 1988)。特に *Leptographium wagenarii* と言う菌による被害が大きいが、日本には発生記録がなく、著者らによる試験でもこの菌は全く分離されてこない。

3. 材線虫病の診断

材線虫病であることの診断は、病徴の特徴、および樹体内のマツノゼイセンチュウの存在に基づく。

針葉変色前の病徴は、まず樹脂の滲出能の異常として現れる。まだ針葉の色に変化が見られない夏前でも、樹皮に傷を付けても樹脂がほとんど、あるいは乾いたようになって全く滲出してこない木は病気が既に進行している。その後典型的なものは、夏から秋に全身の針葉が黄変し、すぐに赤褐色に変わる。よく観察すると、柔らかい新梢部が萎れ、旧葉も下を向いてくる。少し緩やかに病徴が進展する場合には、旧葉から変色するのが分かる。やや冷涼な地や、東北地方などでは、病徴の進展が

緩慢な場合があり、病徴の進展が停止したり、「年越し枯れ」と呼ばれる越冬後に病徴が現れる場合もかなりの率にのぼり(作山・佐藤, 1980), 接種試験でも確かめられている(庄司・陳野, 1985; 金子ら1987)。病徴が全身に現れない場合もあり、先端部あるいは側枝から枯損が始まる場合(写真-2), 下枝から枯損が始まる場合もあり、複雑な病徴の進展を示す。

樹体内の線虫密度は、針葉の変色が見られるようになると急速に高まる。病徴の進展が緩慢な場合には樹体内の線虫の分布が偏ったり、密度の高まりもみられないことがあることが、実際の林分での調査や接種試験でも明らかになっている(岸・神永, 1972; 在原・斎藤, 1984, 1985; 作山ら, 1984, 1986; 金子ら, 1985, 1987)。そのため、ひとつの部位から材片をとり、材料が新鮮なものは、1~2か月、25℃ぐらいにおいて少数の線虫の増殖を図った後に、線虫分離を試みる方法がとられている。また、被害木の針葉が脱落するようになると、樹体内の線虫密度もピークを過ぎ、二次的な線虫類や他の雑菌などが増加し始める。

材線虫病以外の原因で枯死したマツにマツノマダラカミキリが産卵し、その時にカミキリが持っていたマツノゼイセンチュウが侵入する場合もあるので、線虫の存在だけでは材線虫病による枯死の証明にはならない。前述のような病徴の進展と線虫の存在によって明らかになる。しかし、カミキリの産卵時の線虫侵入については、日本ではそれほど比率は高くない可能性がある。それは、実験のためのマツを切った時点で、後食時に侵入して健全な樹体内でわずかに生き残っていたマツノゼイセンチュウが増殖し、産卵前にマツノゼイセンチュウ密度が高まっている可能性も考えられるからである。著者らがマツノマダラカミキリが生息していない岩手県北部のアカマツを材料として、被害地で産卵をさせて線虫の侵入の有無を調査した試験では、産卵時の侵入は確認できず、確認されたのはニセマツノゼイセンチュウのみであった。北米では、産卵時の侵入の方が多いと言われている。しかし、大部分のマツは既に後食時に線虫の侵入を受けても、抵抗性であるからマツは発病しない。産卵試験にもそれらの木を用いている。これらの疑問を米国で産卵時の侵入を証明しているDwinell博士に尋ねたことがあるが、明瞭な答えはなかった。

4. 病原体としてのマツノゼイセンチュウ

人間の生命が危なくなった時には、最後には色々な病気がでてくる。樹木の枯死過程でも、ステージにより菌のフロラが変遷してゆくことが知られており、自然界で

の生物の枯死過程には様々な微生物が関与してくると考えるのが当然であろう。特に枯死への過程が緩慢に進む場合には、よりそのチャンスが多くなる。しかし、それぞれの病気には第一次の原因となる病原体なり、病原体以外でも人間の場合ならば細胞のガン化などの主因がある。特に、典型的な材線虫病の場合は症状の進展が極めて急速であり、他の微生物が樹木の枯死に関与できる機会は少ないであろう。我が国で見つかる青変菌類がストレスを与えた苗木に対して弱い病原性を示すことを述べたが、マツノゼイセンチュウの病原性と比較するとどうであろうか? 同様の人工下の環境条件で試験を行うと、比較にならないほどマツノゼイセンチュウの病原性は強い。マツノゼイセンチュウによる病原性には水ストレスが強く関係していることは多くの証明があり(Suzuki and Kiyohara, 1975; 鈴木, 1984; 他), 苗木を用いた試験では、光の強さの低下と病徴の進展は極めてパラレルであり、光合成が抑制される弱い光条件下(金子・陳野, 1986; Kaneko, 1989)あるいは光合成抑制剤の施用(福田, 1993)ではマツの抵抗力が低下し、病徴の進展が急速になる。また、人工的なSO₂濃度の高い条件では、マツノゼイセンチュウ接種で枯死率が高まり、マツノゼイセンチュウに比べ病原性が極めて弱いニセマツノゼイセンチュウでも病原性を示す(田中, 1975)。このように材線虫病の発現と病徴の進展にはいくつかの環境条件が関わっているのは明らかである。しかし、いくつかの病原体と、マツノゼイセンチュウを同じ人工条件で接種試験を行っても、青変菌類の時の場合と同様に他の病原体に比べ病徴の進展が驚くほど早い。

自然条件下で、夏の高湿・小雨はマツに対して強いストレスを与えるが、現在の酸性雨などの汚染物質が集団枯損の主因にはなり得ないことについては、この特集の他の著者により述べられている。岸(1988)は、大気汚染地域と考えられる地域と茨城県におけるマツの枯損程度との間には特別な関係はなく、マツノゼイセンチュウの病原性があまりに強いのか、大気汚染は集団枯損の誘因としての役割すらほとんど持たないと考えているが、従来の多くの地域での本病の拡大様式を見ればそれは自然な見方であろう。

しかし、なぜアカマツ・クロマツがマツノゼイセンチュウの侵入に対して非常に弱いのか? 詳しい枯死機構に関する研究については他の著者により述べられるが、日本のマツがマツノゼイセンチュウに対して極めて感受性が高いと言うことであろう。マツノゼイセンチュウは北米からの侵入者であると考えられていたが、最近のDNAによる研究で、米国から侵入した可能性が極めて

強いことが裏付けられている (Tarès *et al.*, 1994)。樹木と病原体との関係において、外国からの病原体に対して、ある樹木が抵抗性を持っていない場合があることは多くの事例がある。材線虫病と全く反対の例は *Cryphonectria parasitica* の感染によるクリ胴枯病であろう。アメリカグリは北米では用材用としても重要な樹種であったが、1900年、ニューヨークで胴枯病が発生して以来、米国全体へこの病原菌が急速に広がり、現在では北米でクリの大きな成木を見るのは不可能である。日本を含む東アジアにはこの菌が昔から存在しているが、大きな被害は起こっていない。そのため、本菌がアジアから北米に侵入したことが疑われ、政治的にも大きな問題となった。最近のDNAを用いた研究で、本菌が日本から侵入した可能性が明確になってきた (Milgroom *et al.*, 1996)。

日本のマツがマツノゼイセンチュウに対して感受性が極めて高いと言っても、線虫の侵入に対して全く抵抗反応を示さないと言うのではない。侵入した線虫によって発病に至らない場合には、樹体内の線虫数は徐々に減少してゆく。苗木でもこれははっきりしている (Kaneko, 1989; 金子・今川, 1991)。少雨などによる水ストレスがない場合には、より多数の線虫に対しても抵抗できであろう。このような機構は、単に線虫が増殖できないと言うよりも、より積極的な防御機構が働いていると推察される。そのように少しは働く防御機構も、少雨による水ストレス条件下ではほとんど働かないため急速な枯死が起こる。また、媒介者であるマツノマダラカミキリの密度が多い林では、カミキリによる後食も多く、1本のマツは幾たびも後食を受け、そのたびに繰り返し線虫による感染が起こっているはずである。しかし、実際にどのくらいの量の線虫が1シーズンに侵入し、侵入を受けたマツのうち、何割ぐらいか枯死するのかと言うようなことは、方法としても難しい点が多く不明な点が多い。

おわりに

材線虫病、および材線虫病以外のマツの枯損の特徴について述べてきた。幾度も述べたように、材線虫病は環境条件の影響を他の病害と同じように受けるとは言え、その枯死に至る経過は他の知られているマツの病原体とは比較にならないほど急速である。それは、病原体であるマツノゼイセンチュウが不幸にして外国からの人為的侵入者であるからと考えられるが、線虫密度がそれほど高まる前に回復できないほどに樹体が異常になる機構についてはまだ不明の点が残されており、今後の重要な課題であろう。

引用文献

- 在原登志男・斉藤勝男 (1984) 福島県におけるマツの枯損動態に関する研究 (I) - マツの枯損時期とマツノゼイセンチュウ検出率。 - 95回日林論, 463-464.
- 在原登志男・斉藤勝男 (1985) 福島県におけるマツの枯損動態に関する研究 (V) - アカマツ大径木に対するマツノゼイセンチュウの初秋接種の影響 -。 96回日林論, 467-469.
- 福田健二 (1993) 光合成・蒸散抑制下での材線虫病の進展。 104回日林論, 641-646.
- Harrington, T.C. and Cobb, F.W.Jr. (Ed.) (1988) *Leptographium root diseases on conifers*. APS Press, St. Paul, Minnesota.
- 兼平文憲 (1988) 青森県東北町に大発生したアカマツ造林地のならたけ病。 森林防疫 **37**, 113-117.
- Kaneko, S. (1989) Effect of light intensity on the development of pine wilt disease. *Can. J. Bot.* **67**, 1861-1864.
- Kaneko, S. and Harrington, T.C. (1990) *Leptographium truncatum* isolated from Japanese red and black pines. 菌叢研報 **28**, 171-174.
- 金子 繁・長谷川絵里・箭田浩士・佐藤泊二・市原耿民 (1993) アカマツ青変病菌 *Ceratocystis piceae* およびその生理活性物質のアカマツ苗に対する作用。 104回日林論, 613-614.
- 金子 繁・今川一志 (1991) 侵入初期のマツノゼイセンチュウの増殖に対する光強度の影響。 日植病報 **57**, 79.
- 金子 繁・窪野高德・陳野好之 (1987) マツノゼイセンチュウ接種によるアカマツ年越し枯れ木の枯損経過と材線虫の動態。 日林東北支誌 **39**, 172-174.
- 金子 繁・陳野好之 (1986) 異なる光条件下におけるアカマツ苗木材線虫病の進展の差異。 日林誌 **68**, 208-209.
- 金子 繁・陳野好之・小松正樹 (1985) マツ材線虫病の年越し枯れ木におけるマツノゼイセンチュウの材内密度。 日林東北支誌 **37**, 260-261.
- 岸 洋一 (1988) マツ材線虫病 - 松くい虫 - 精説。 トーマス・カンパニー, 東京, 292pp.
- 岸 洋一・神永翔六 (1972) 春季マツ枯損木から検出されたマツノゼイセンチュウ。 日林関東支誌 **24**, 35.
- 小林享夫・佐々木克彦・遠田暢男 (1978) 冬期のマツ枯損に関するキバチ (*Sillex*) - 糸状菌 (*Amylostereum*) 相互の関係。 日林誌 **60**, 405-411.
- Milgroom, M.G., Wang, K., Ahou, Y., Lipari, S.E. and

- Kaneko, S. (1996) Intercontinental population structure of the chestnut blight fungus, *Cryphonectria parasitica*. *Mycologia* **88** (in press).
- 作山 健・神山安生・小林光憲・佐藤平典 (1984) 寒冷地方におけるマツ材線虫病激害林の様相 (II) - マツノゼイセンチュウの検出状況 - . 日林東北支誌 **36**, 212~214.
- 作山 健・小林光憲・佐藤平典 (1986) 被害材内におけるマツノゼイセンチュウの季節的消長. 日林東北支誌 **38**, 260~261.
- 作山 健・佐藤平典 (1980) マツの材線虫病によって翌年に枯れた事例. 日林東北支誌 **32**, 206~207.
- 佐藤平典・緑川末蔵・中村勝義 (1987) 岩手県におけるマツカレハの大発生 (II) - 被害の予察と枯死木の発生 - . 森林防疫 **36**, 44-49.
- 佐藤邦彦・横沢良憲・庄司次男 (1974) マツ類の群状枯死を起こす「つちくらげ」病に関する研究. 林試研報 **268**, 13-48.
- 庄司次男・陳野好之 (1985) マツノゼイセンチュウの接種時期と枯損発生との関係. 96回日林論, 461~462.
- 鈴木和夫 (1984) マツの水分生理状態と材線虫病の進展. 林試研報 **325**, 97-126.
- Suzuki, K. and Kiyohara, T. (1975) Influence of water stress on development of pine wilting disease caused by *Bursaphelenchus lignicolus*. *Eur. J. For. Path.* **8**, 97-107.
- 田中 潔 (1975) マツの材線虫病の発生に及ぼすSO₂の影響. 86回日林講, 287-289.
- Tarès, S., Lemontey, J.-M., de Guiran, G. and Abad, P. (1994) Use of species-specific satellite DNA from *Bursaphelenchus xylophilus* as a diagnostic probe. *Phytopathology* **84**, 294-298.
- 寺下隆喜代・沢口勝則 (1991) 青森県で発生したアカマツならたけ病の病原菌について. 森林防疫 **40**, 178-183.
- 宇賀正郎 (1965) マツカレハの害によって誘発したマツクイムシの被害. げんせい **15**, 19-21.
- 山口岳広・佐々木克彦・松崎清一 (1991) カラマツ生立木に対する青変菌 (*Ceratocystis piceae*) の接種試験 (III) 接種木の萎凋枯死. 日林北支論 **39**, 76-78.

3. マツ林の健全性と外生菌根菌*

岡部 宏秋**

森林総合研究所森林生物部土壌微生物研究室長

1. マツと共生するキノコ

マツは外生菌根菌と共生する。おもにマツタケ、アマタケ、ハツタケといった担子菌やツチダングなどの子囊菌からなり、これらは大きな子実体(きのこ)をつくることが多い。外生菌根菌の菌糸は、吸収根といわれる細い根に侵入し皮層部の細胞間隙にネットを張りめぐらせ養水分を受渡す。細胞の中には入らない。この形態をもつ根を外生菌根という。代表的な外生菌根は、肉眼ではっきりとわかる特有の形(マツは二又分岐や棒状になることが多い)となり、しばしば厚い菌糸でおおわれ(菌鞘または菌套という)、菌根から土中に伸びて根の広がりを代替するともいえる菌糸(外生菌糸)があり、菌糸束に発達するものは肉眼視できるほど太い(写真)。マツは、この菌根形成によって養水分の吸収面積を拡大することになる。菌根共生が及ぼす宿主への生理的影響は大

きく、このような共生形態は、宿主の成長を促進したり、土壌の乾燥や氷結などの限界環境に対する耐性や耐病原性など諸障害の軽減化を図るはたらきがある。

では、マツ枯れ予防にこの菌根共生が有効に作用するのであろうか。残念ながら、これまでのところははっきりとした答えはない。最も有力な枯死要因であるマツノゼイセンチュウに対しても菌根菌との生活圏が異なるため、この間接的な効果の実証には問題が多い。効果を肯定する、または期待する見方があるのは、菌根共生が樹木の健全性に貢献するという事実があるからである。一般に菌根菌や菌根圏における微生物相の多様性は、林分の健全性をはかる指標になると考えられる。短期間で林分環境に大きな変動がない場合や枯損能力の低いマツノゼイセンチュウならば、菌根共生を生かした林分管理が有効であるように思われる。しかし、ベクターとしてのマツノマダラカミキリの飛散行動や枯損能力の強いマツノゼイセンチュウに耐えられるのかといった点では、昆虫の生態防除法など関連技術との組合せや抵抗性マツを

* 課題の一部は、農林水産省、大型別枠「生態秩序」(BCP-III -96-B-03)の成果に基づく。

**Hiroaki OKABE

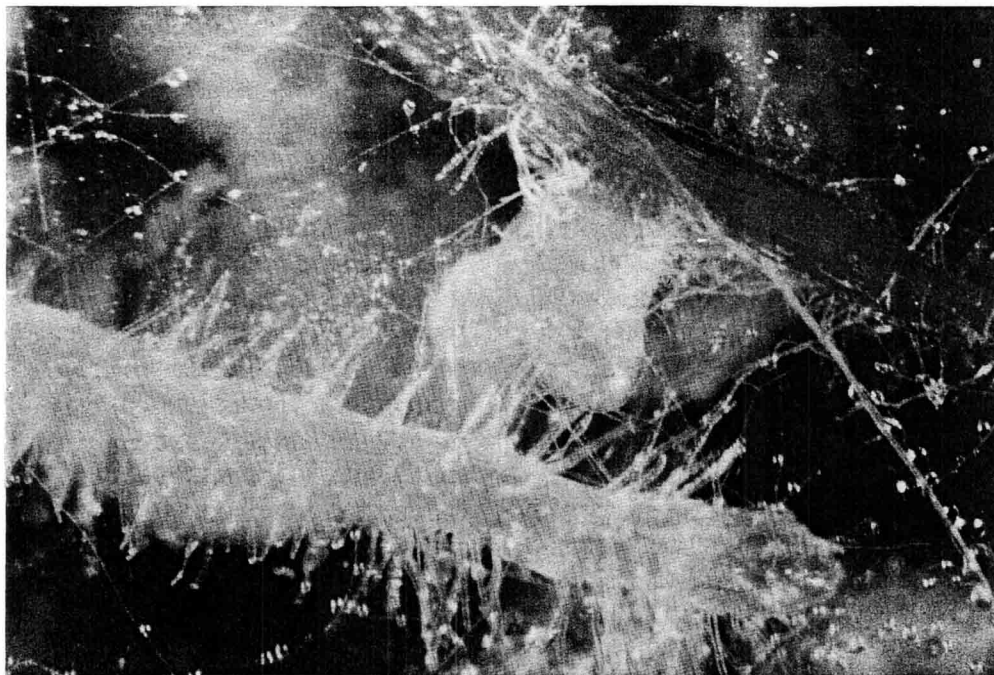


写真 コツブタケによるアカマツ菌根(分岐を始めた菌根と根毛の多い未侵入根の伸長)

用いた菌根共生の検証が必要であろう。

菌根菌が荒地や草地での造林を救ったという例は、それほど珍しくはない。とくに苗畑における菌根利用には歴史がある。コツブタケなど生産行程にのせられているものもある。とくに、異郷土樹種の導入に際して効果的であるという。しかし、我が国で戦後盛んに行われた外国産針葉樹の導入において菌根菌の利用を図ったという話は聞かない。同じ意味でカラマツ造林の拡大期には、カラマツ特有のキノコを持たない苗がカラマツの異郷土地域へ大量に出回ったようである。影響が出ているかもしれない。宿主と菌との親和性の問題や菌根の機能をどれほどひきだせるかといった課題があるが、有用な菌根菌を選抜し利用する姿勢は必要である。

マツ林のキノコは、マツタケの増産を目的とした研究や事業を通して比較的よく知られている。しかし、キノコがマツ林の活性を維持し、またその指標となることで、マツ林の健全化にどのように寄与するか、こういった調査はみられない。ここでは、これまでにマツ林から得られたフロラ情報などをもとに考察してみる。

2. 土壌の違いがマツ林のゆくえとキノコ相に及ぼす影響

マツが長期にわたり優占するところは、キノコにとっ

ても都合のよい土壌環境が保たれている場合が多い。一方、そのままにしておくとやがて消えていくようなところは、土壌環境の変わりやすい場所が多い。地上部ばかりでなく、地下部でも根系の競合がみられ、マツの根系にとって不利になりやすく、土壌中のさまざまな生物のバイオマスにも影響すると考えられる。

マツ林を放置すると、落葉の堆積がすすみマツタケの発生を低下させることが知られている。落葉が堆積すると確かに微生物相は変化する。マツタケにとっても、なくては困るし多すぎても困るこのリターの管理は、微生物相を調節する上でも、またマツを健全に管理するという点でも重要であるとされてきた。

実際、マツタケを増産または長期にわたってその生産を維持するために腐植の堆積を調節する施業が行われている。植物の組成にも踏み込んでいるこの管理は、庭園や名勝地のような盆栽型管理ではなく、燃料革命前に行われていた里山の利用に似ている。

マツは、裸地に根を下ろした時には単木として生理的なバランスをとっているが、やがて林をかたちづくるようになると、林分としてまた植物社会の一員として機能する。林になると地表に現れるのは、落葉の堆積であり、腐植の形成である。樹種の違いに加え、この過程で地域差が現れて独特なキノコ相をつくることになる。代

表的なマツ林土壌を例示し、キノコのかかわりやマツ林のゆくえについて述べてみよう。

関西にみられるやせ地では、マツ林の発達がふつうにみられる。そこでは裸地が落葉に覆われ、やがて腐植が形成されると細根が養水分をもとめて土壌表層に広がり、しだいに根の密度が高くなり菌根化が進む。しかし単純なマツ林では共生や分解にたずさわる微生物の種組成は単純であり片寄っていると考えられる。腐植の形成とともにゆるやかではあるがキノコ相も変化し根圏の菌根環境が維持され広葉樹などの混交林へと移行する。しかし、長期にわたる環境ストレスが続くことによってリターの分解や根圏の環境が悪化するとマツ林の保全に黄信号がともる。典型的なやせ地として知られる花崗岩土壌では、植生遷移の速度が遅く、しばしば代って育つ樹木がない。もちろんキノコ相も単純である。キノコだけでは評価できないとしても、ぎりぎりのところでマツが生きているところでは、わずかな樹勢の低下でも激害型へとすすむと思われる。

関東に多い火山灰土壌では、落葉がよく分解され腐植の形成が起きにくい。A層が深く、表層土壌に根が集まらないため、菌根は土壌中に分散し、豊富な有機物は、細菌や糸状菌など数多くの微生物を誘う。草本や下層植生の密度が上昇することによって、さらに肥沃となり、ますます微生物間の競争が激しくなる。ハツタケ、アマタケ、テングタケ類などは、これらの競争に勝たねばならない。腐植が形成されず、分解しやすい草本の根が多い表層土壌には住めないから、A層で菌糸を束状にして身を守りながら根をもとめて走るグループが多くなる。A層が厚いため根の密度がそれほど高くなく有機物の分布が影響し、シロのような防衛体勢をとるグループは少ない。平尾根の土壌が深いところでは、マット形成や表層の腐植層に生活するグループがみられキノコの多様性は高いが、平地林の腐植層のないところでは、表層に生息する種が少なくA層という制約されたところで形成される菌根菌が優占種となり生活面からみても多様性は低い。意外と単純なキノコ相といえる。表層で生活する菌根グループを欠くため、マツも損をしているにちがいない。この状態が危機に対応できない単純な機能しかもたないキノコ相になる原因であるとしたら施業的にも問題をはらむ。間伐や下層植生の除去を行い、植物社会的にも樹勢の強化や維持を怠らないようにすれば、A層の菌根菌相の保全にも結びつくと考えられる。

表層土壌や鉱物質土壌が適当な菌根形成条件を保つには、菌根形成に適した土壌である必要がある。水分や養分が不足せず、土壌中の細菌や糸状菌の生息密度が低い

といった、かなり限定された立地になる。このような場所は、孔隙の多い火山性土壌や粗粒の砂がみられるところで、しばしばマツの名勝地にみることができる。ここでは、表層土壌に生息するマット形成型の菌根菌や土壌深くまで菌糸束をのぼすタイプまで、多様な種類と共生することができる。ある菌が消えても機能の代替が可能でフロラであることがマツにとって望ましい。こういった条件を満たせば、マツ枯れに対しても、微害型でおさまる可能性がある。しかし、土壌の成熟化はマツ林の遷移を促す。マツ林は動く。それを一定期間とどめることができるとしたら、それは人の手だけであろう。

これらの地域だけを見ても、マツ林の植生、土壌のちがいが菌根菌の種類に影響することがわかる。土壌環境に適した生育型をもつ菌根菌の多様性と根系の健全性とは有意な関係がありそうである。

マツが菌根菌に与える最も強い影響力は根の広がり方にある。マツ林の健全性をみるには、根の分布と菌根菌の生活型の対応に注意することであろう。土壌の浅いところ深いところに、そしてそれぞれにおいて形態や機能の異なった多様なキノコ相を抱えることができるマツ林が、諸害に対する抵抗力をもっているといえる。マツ林の健全性を維持するためには、根の管理や地下に生息する生物にも目を向ける必要がある。

3. 他の樹種への転換とキノコの役割

共生関係を成立させるためには、宿主との親和性が問題となる。樹種によっては、特定の菌根菌だけを相手とする。このような場合、宿主がなければやがて途絶えてしまう。マツにもイグチなどに特有の菌根菌がある。しかし、マツはナラやシデなどとよく混交し樹種間に共通の菌根菌が多い。このようなことは広葉樹においても普通にみられる。共生とは、このように個々の種との対応だけではなく森林という集団の中で進化した仕組みともいえる。混交林では根系が複雑にからむため宿主の特定がむづかしい。キノコを介して異なった個体や異なった樹種が結ばれているという林分連合体というのが実態なのかもしれない。すでに実験的にも菌根菌によって植物個体間での物質の移動が確認されている。

マツと広葉樹が同じ菌根菌と共生できることは、キノコにとってもマツから他の樹種へ乗換えることができ生き残ることができるわけで、安全に樹種転換をはかるためにも都合がよい。マツと広葉樹の組合せにもいろいろな種があげられる。マツからの移行がキノコからみても無理のない植生、たとえば潜在植生を配慮した樹種転換を考えるべきであろう。マツ林が破壊され、有用樹の更

新がままならないところでの樹種転換には問題がある。とくに、マツが優占し下層に後継樹がない場合、あるいはまだ小さい場合には深刻である。このようにならないためにも広葉樹など他の樹種が近くに予め確保されていることが望ましい。また、草本やササの繁殖によって外生菌根菌が受ける影響や上述したような立地条件による微生物相の違いがマツ林の成立や持続に与える点についても着目する必要がある。

マツ枯れ跡地の林床は無残である。明るくなったところでは、蔓性植物やササの密度が著しい。下層植生が繁殖し、林床は前にもまして暗くなる。不健全な林床はキノコにとっても住みにくい。放置しておけば、森林の形成にかなりの期間を要し、土壌中の生物環境への影響も大きい。跡地の手当はぜひ行いたいものである。

マツ枯れの予防や被害対策として、マツ枯れ拡大防止林や飛び込み防止帯の配置計画がある。樹種の組合せや樹齢の異なった林をモザイク配置するなどの林分管理に加え、根系に関わる微生物や土壌生物などを生かすことで、さまざまなインパクトに対し緩衝力のある森林の管理を目指す必要があろう。

参考文献

- 小川 眞：菌を通して森をみる。創文，1980
河田 弘：森林土壌学概論。博友社，1989
岡部宏秋：共生微生物の植生回復技術への適用（I）外生菌根菌の活用。森林立地 36,55-63,1994
岸 洋一：茨城県における松くい虫被害マツ林跡地の現況。森林防疫 44(4),10-14,1995

4. マツの生理—健康と病気—

池田 武文*

森林総合研究所関西支所樹病研究室長

1. はじめに

マツノゼイセンチュウがマツの樹体に侵入すると、マツはそれに対していろいろな反応をする。その反応はマツの生理、つまりマツの正常な営みから考えて、許容できる範囲内での反応であったり、異常な反応であったりする。このことを見極めるにはマツの生理を十分に理解し、マツの健全な状態とはどのような状態なのかを知っておくことが重要である。そうすることで、マツ材線虫病とはどのような病気なのかをより深く知ることができるようになるであろう。

さて、マツの生理と一口に言ってもその範囲は非常に広く、マツの一生を順を追ってしてみると、生殖生理からはじめて種子の生理、生長にかかわる様々な生理が含まれる。ところが、マツの生理に関する研究はこれまで必ずしも系統だっで行われてきたわけではないし、すべての分野を網羅しているわけでもない。当初、マツの生理に関する研究は、マツの生長や生産に関する分野が大半をしめ、その成果は1980年代にほぼ取りまとめられている(根岸,1978;根岸・佐々木,1987)。更に、マツ材線虫病に関する研究が盛んになるにつれて、この病気が典型的な萎凋病であることから、マツの水分生理に関する研究が進展した。そこで本報では、まずアカマツとク

ロマツに関する研究報告をもとに、個体の生長にかかわるマツの生理について取りまとめ、その後、マツノゼイセンチュウがマツに侵入することで引き起こされる様々な生理の変化についてのべる。

2. マツと水

ふだんにげなく接し、使われている水は、あらゆる生物にとって必要不可欠の物質であり、当然マツにとっても最も基本的な物質である。すなわち、水はマツの樹体内にあって光合成や呼吸などの代謝物質としてはもちろんのこと、あらゆる本質的な酵素反応が行われるための適切な体内環境として重要な役割を果たしている。そのためマツの水分状態、つまりマツが水不足になっていないかどうかを知ることは、マツの健全性を評価するための重要な手掛かりとなる(池田,1995)。

マツの場合、土壌中の水は根から幹を通して葉に到達し、最終的には気孔から大気中へ放出される(図-1)。マツの水分状態は、葉からの蒸散による水の損失と根からの吸水による水供給とのバランスがどうなっているのかで決まる。例えば、吸水より蒸散が多くなればマツは水不足になる。マツの水分状態は葉の水ポテンシャルという値を測定することで評価できる。この値が低ければ低いほど水不足がきびしく、樹体はより多くの水を必要としていることを表している。そこでマツの夏季、一日の

* Takefumi IKEDA

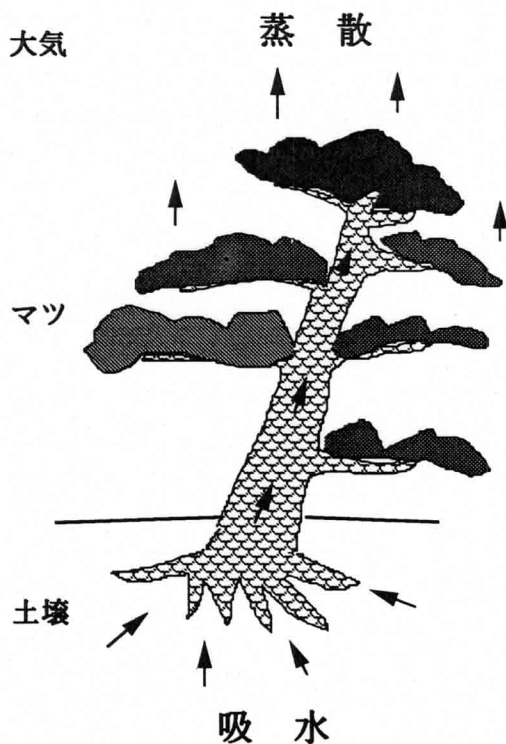


図-1 マツの水収支、矢印は水の流れを表わす

間の水分状態と樹体内を水が移動する速度、つまり樹液流速ととの関係を見ると (Ikeda & Ohtsu, 1992) (図-2), 夜が明けて太陽が輝きはじめると急激に樹液流速が速くなる。それにつれて葉の水ポテンシャルは低下していく。このような変化が午後2時ごろまで続く。その後太陽が西の空に傾きはじめると樹液流速は遅くなり、水ポテンシャルは高くなっていく。太陽が沈むと葉からの蒸散が停止するため、樹液流速も非常に遅くなる。このような現象は次のように説明できる。草本植物と違ってマツなどの木本植物は大きな幹を持っている。この幹には多量の水が貯蔵されている。日中、盛んに蒸散がおこなわれている時、マツから放出される水の多くは幹に貯蔵されている水である。このような状況で、蒸散量が増えれば増えるほどそれに見合った水の根からの補給がなければマツは水不足になる。つまり、日中の葉の水ポテンシャルは低下する。夜になると根から供給される水が徐々に幹の中に補給され、夜明け直前にその貯水量は最大に達する。この時の水ポテンシャルの値は、マツが受けている水ストレスの程度を知るための重要な指標となる。

樹木の木部は辺材と心材からなっており、水は樹体内

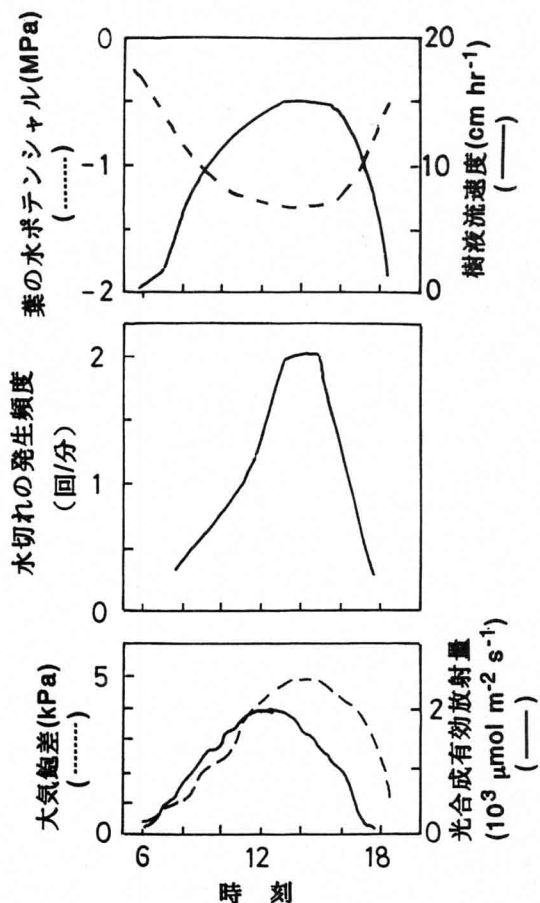


図-2 マツの水分生理状態(8月測定) (Ikeda and Ohtsu, 1992より改変)

の辺材部分を通っているが、辺材全体を同じ速さで水が動いているわけではない。マツでは形成層に近い部分よりすこし内側の部分で水の流速が最も速いことが知られている (Ikeda & Suzaki, 1987)。さらに細かくみると、マツ樹体内で水は木部を形成している仮道管の中を通過して動いている。仮道管は広葉樹の道管のようなパイプのような構造ではなく、仮道管相互は有縁壁孔対によって連絡されている (図-3)。有縁壁孔対はマルゴとトールスからなり、水はマルゴの小さな網目を通っている (図-3)。仮道管と道管のこのような形態の違いから、一般にマツを含めた針葉樹の木部の水分通導性は広葉樹のそれより小さく、水が通りにくくなっている (池田, 1988)。

水は土壌から根や幹の仮道管を經由して葉まで連続した水柱となつてつながっている。その水柱は葉での蒸散

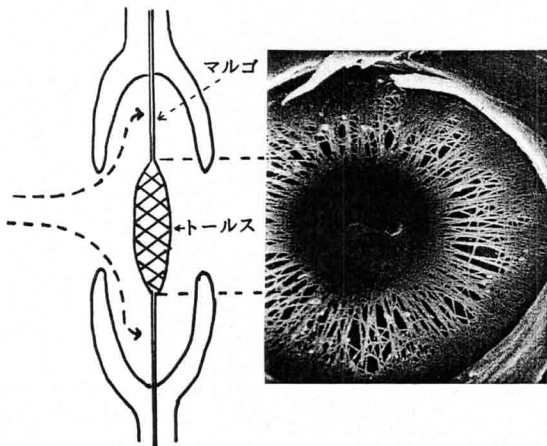


図-3 クロマツの有縁壁孔対、矢印は水の流れを表わす

を原動力として引っ張り上げられており、このことによって樹液の流れが起きている。引き上げる力は水ポテンシャルの絶対値である。マツが水不足になるとこの引き上げる力が大きくなる。この力がある限界以上に大きくなると、気泡が水柱に引き込まれて水柱が切れることがあり、これをキャビテーション（水切れ）と呼ぶ（池田，1994）。キャビテーションがおきはじめる水ポテンシャルの値は $-0.9 \sim -1.0$ MPa（ $-9 \sim -10$ 気圧）で（図-2）（Ikeda & Ohtsu, 1992），この範囲の水ポテンシャルの値は、夏であれば日中ごく普通に観察される値である。つまり、健全なマツでも、夏の日中に、頻度は非常に少ないが仮道管でキャビテーションがおきている。キャビテーションをおこした仮道管は空洞化して水分の通導機能を失うが、キャビテーションをおこした仮道管の数が少なければ、水はキャビテーションをおこしていない仮道管を迂回して移動することができる（図-4）ので、マツが水不足になって、生長が極端に低下したり枯死することはない。

通常、マツは水に対して以上のような特性を持っている。このマツがマツ材線虫病になると次のような様々な異常が生じる。マツの水分状態は大きく二段階に分かれて変化する（図-5 a）（Fukudaら，1992a；橋本ら，1983；Ikeda & Suzuki, 1984；Ikeda & Kiyohara, 1995；Ikedaら，1990；須崎ら，1976）。第1段階では、マツの水分状態にほとんど変化はないが、マツ木部の水分通導性はすでに低下しており、この段階の終り頃には正常なマツの20～40%にまで低下している（図-5 b）。この低下の原因としては、部分的に樹脂が仮道管を塞

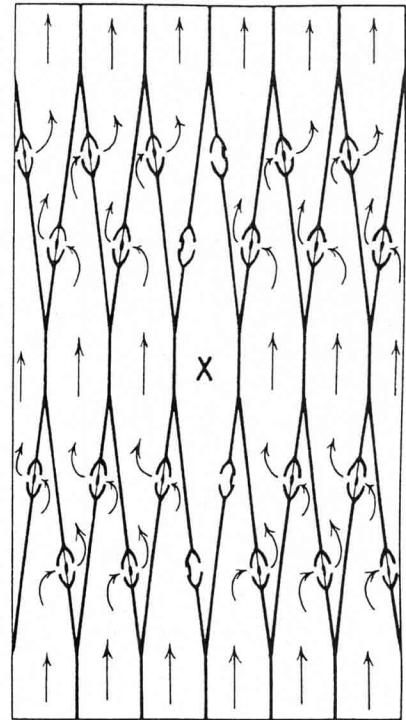


図-4 仮道管内の水の流れ、キャビテーションをおこした仮道管(X)を迂回する水の流れ(矢印)(Zimmermann, 1983より改変)

いだり（Odaniら，1985；Sasakiら，1984），柔細胞から移動したと考えられる物質が仮道管中に蓄積したり（Nobuchiら，1984），少ない頻度でキャビテーションがおこって部分的に木部が空洞化した（図-6）ことによるものと考えられる。第1段階の終わりには樹脂の浸出も停止し、前年の針葉も褐変しはじめる。その後、第二段階になると仮道管で高頻度のキャビテーションがおこり（図-6），木部は急激に空洞化が進行して水分の通導が急激に低下・停止し、マツの水分状態も急激に低下して枯死にいたる（Fukudaら，1992a；橋本，1993；Ikeda & Suzuki, 1984；Ikeda & Kiyohara, 1995；須崎ら，1976）。

さて、マツノゼイセンチュウには病原性の強いものと弱いものがあり、マツにもマツ材線虫病に対して抵抗性のあるものとなないもの（感受性）がある。これらお互いの組み合わせ実験から、マツノゼイセンチュウの侵入に対するマツの水分生理の変化に関して以下のことがわかった。感受性のマツに強病原性のマツノゼイセンチュウを接種すると水分通導性は完全に失われてマツは枯死

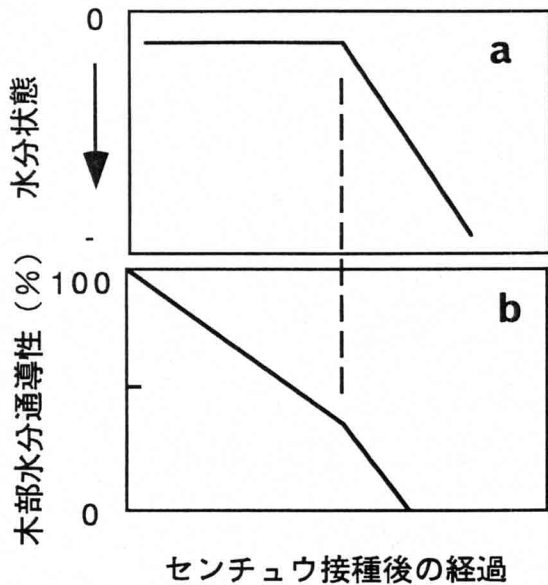


図-5 マツノゼイセンチュウ接種後のマツの水分状態 (a) と木部水分通導性 (b) の変化

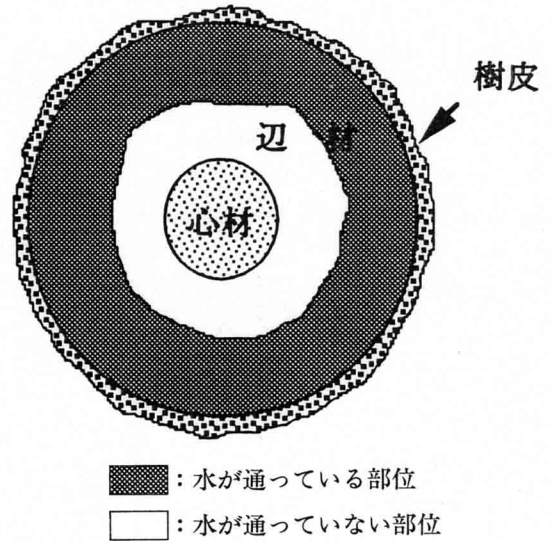


図-7 マツノゼイセンチュウが侵入しても枯れないマツの水分通導

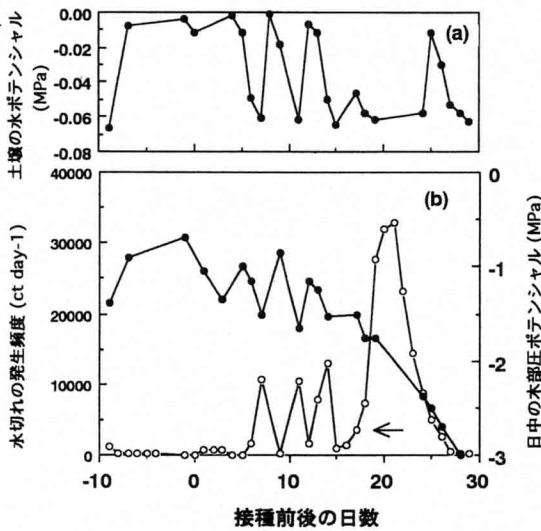


図-6 マツノゼイセンチュウ接種前後に発生するキャビテーション (水切れ)

するが、抵抗性のマツに強病原性のマツノゼイセンチュウを接種してもマツが枯れることはない。しかし、このようなマツでも木部の水分通導性は低下しており、通水部位は木部周辺に限られている (池田ら, 1994)。更に、感受性のマツに弱病原性のマツノゼイセンチュウを接種してもマツの水分状態が低下することはないし、ま

してや枯死することはないが、木部の水分通導性は低下しており、通水部位は木部の周辺に限られている (Fukudaら, 1992b; Ikeda & Kiyohara, 1995)。これらのことから、マツノゼイセンチュウがマツに侵入しても枯れないマツでは、形成層に異常はなく、木部の中心に近い古い木部は犠牲になっても、形成層に接した周囲の新しい木部の水分通導機能は維持されている (図-7) ことで枯れをまぬがれていると考えられる。

3. マツの物質生産

マツは光合成作用によって大気中の二酸化炭素を炭水化合物として固定している。つまり、自らが物質生産を行っているのである。その炭水化合物は物質代謝を営んだり、樹体を構成する上で重要な役割を果たし、マツが生存、生長するための基本的な物質を作っている。このことから、マツの光合成特性を知ることマツの健全性を評価するために重要であるといえる。

そこで根岸 (1978) と根岸・佐々木 (1987) の報告を中心にアカマツの光合成特性について論じる。まず、光合成の一日の経過は、天候、季節、その他の条件によって変わる。生長の盛んな時期で快晴の時には、夜明けとともに光合成が始まり、光が強くなっていくと光合成は急激に増加しやがて変化の少ない光飽和 (これ以上光が強くなって光合成が増加しない) の状態になる。夕方、光が弱くなると午前中とは逆の経過で光合成

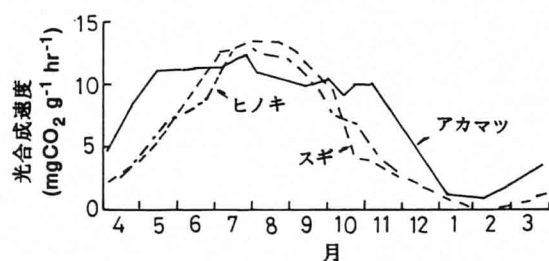


図-8 光合成能力の季節変化 (根岸・佐々木、1987より改変)

は減少する。つまり水分条件に恵まれている場合、光合成速度の日変化はおもに光の強さで決まる。しかし、土壤が乾燥すると水不足の影響により、日中の光条件が良くても光合成速度は徐々に低下する。

次に光合成能力の季節変化について述べる (根岸、1978; 根岸・佐々木、1987)。比較のためにスギとヒノキもあわせて示している (図-8)。光合成能力は3樹種とも春早くから季節が進むにつれて上昇し、夏を中心にして生長の盛んな時期に高い水準をたもち、秋になると低下し、冬には最低になる。アカマツはスギやヒノキにくらべて高水準の時期が長い傾向がある。光合成能力に変化を与える外的条件としては、温度の影響が大きく、寒さは低下を、暖かさは上昇をもたらす。秋の低下はスギ、ヒノキでは最低気温10℃前後、アカマツでは5℃前後ではじまる。秋から冬への光合成能力の低下、冬から春への上昇はいずれも直線的におこるものではなく、毎日の寒暖に応じてこまかな低下や上昇を繰り返しながら、大きな季節変化をたどる。

次に、光合成と各種要因との関係を見ると (根岸、1978; 根岸・佐々木、1987) (図-9)、アカマツは水分の不足にたいして敏感に気孔を閉じる性質があるので、土壤が乾燥すると早くから光合成速度が低下する。しかし、気孔を閉じることで体内水分が保持されるので、かなり乾燥した状態まで見かけの光合成速度は0にならない。またアカマツは、強い光のもと広い温度範囲で光合成速度が高い。つまり、マツは気孔の開閉を敏感に調節することで、蒸散による樹体からの水の損失と二酸化炭素の取り込みを上手にコントロールすることができるので、尾根付近の乾燥しがちな厳しい条件下でも相応の生長が期待できる樹種であるといえる。このような光合成特性を持つマツがマツ材線虫病に感染すると、マツの光合成速度は感染の初期にはほとんど変化しないが、マツの水分状態が急激に低下しはじめる時期に低下が始まる (Fukudaら、1992a; 森・井上、1983; 大山・上中、

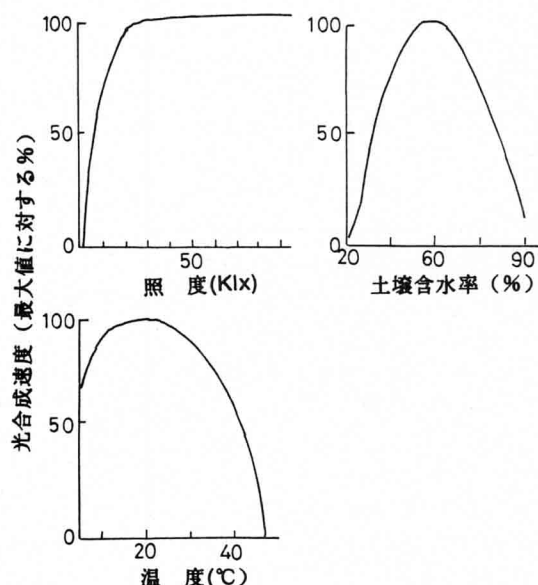


図-9 アカマツの光合成速度と各種環境条件との関係 (根岸・佐々木、1987より改変)

1975a,b)。つまり、マツ材線虫病罹病マツの光合成は罹病マツに顕著な水分欠乏が生じることによって低下したものと考えられる。

4. マツの呼吸

植物は光合成で生産された有機物のかなりの部分を呼吸によって分解し、エネルギーに変えている。有機物の収支からみると呼吸は消費による支出に相当する。しかし、植物は呼吸でえられるエネルギーをもとにして生存・生育しているので、これもまた重要な生理作用の一つである。呼吸作用は大きく二つに分けて考えなければならない。つまり、光合成器官である葉の呼吸と非光合成器官の呼吸である。

1) 葉の呼吸

葉の呼吸作用には二種類の呼吸作用、つまり暗呼吸と光呼吸がある。暗呼吸では光合成作用に直接使われる以外の生命活動に必要なエネルギーを供給する。アカマツでは冬芽がのびて新しい葉が展開する時期に上昇し、その後夏にかけて低下する (図-10)。

2) 樹皮呼吸

樹木は草本に比べて幹や枝、根のような光合成を行わない非光合成器官の割合が多く、これらの部分の呼吸を樹皮呼吸という。一般に、幹の放射方向にそった部位の間で呼吸速度を比べると、形成層部分が最高で、外側、内

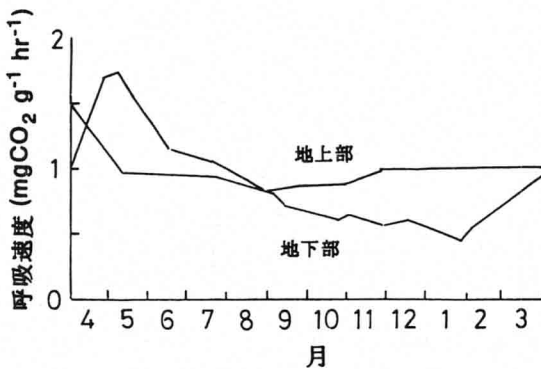


図-10 アカマツの呼吸速度の季節変化(根岸・佐々木、1987より改変)

側とも形成層から離れるにしたがって低下する。辺材では齡とともに呼吸速度は急減するが、辺材から心材にかわる移行材の部分で多少増加する場合がある。呼吸速度は温度に左右されるので、その日変化は気温と平行している場合が多い。しかし、生育期間に樹皮呼吸が日中低下することがある。特に夏の晴天の日には、幹の地表面近くで著しい。その原因として、樹液流の冷却作用による木部温度の低下と、樹液流による放出二酸化炭素の持ち去りが考えられる。また、呼吸速度の季節変化をみると、地下部の方が地上部より早くピークに達しており(図-10)、マツの根は2月ごろから活動を始めるといわれていることを裏付けている。マツノゼイセンチュウを人工接種したマツの苗全体の呼吸速度(大山・上中、1975a,b)やマツ苗の幹呼吸(森・井上、1983)には、傷害呼吸によると思われる呼吸速度の増加が見られるが、自然感染したマツ大径木では呼吸速度の増加がみられない(丹下他、1994)という相反する結果が報告されている。

おわりに

マツと水、マツの物質生産に関する生理ならびにそれらがマツ材線虫病になることで生じる変化について述べてきた。更に、マツ材線虫病になったマツには正常なときにはおこらないような様々な変化、つまり、安息香酸の生成(河津、1990)、カテコールタンニンの生成(二井・野洲、1986)、脂質過酸化(Yamada、1987)、エチレンの放出(Fukudaら、1994; 森・井上、1986)、モノテルペン生成(Kuroda、1989)、そして柔細胞の変性や死、破壊(Mamiya、1983)がおこっている。以上のような様々な変化を総合して、マツ材線虫病の発病、生体防御、抵抗性、枯死の機構を明らかにしていくことが必要であるが、現在のところ不明な点も多く、これからの

研究の一層の進展に期待するところが大きい。

引用文献

- Fukuda, K., Hogetsu, T. and Suzuki, K. (1992a) Photosynthesis and water status of pine-wood-nematode-infected pine seedlings. *J. Jpn. For. Soc.* **74**, 1-8.
- Fukuda, K., Hogetsu, T. and Suzuki, K. (1992b) Cavitation and cytological changes in xylem of pine seedlings inoculated with virulent and avirulent isolates of *Bursaphelenchus xylophilus* and *B. mucronatus*. *J. Jpn. For. Soc.* **74**, 289-299.
- Fukuda, K., Hogetsu, T. and Suzuki, K. (1994) Ethylene production during symptom development of pine-wilt disease. *Eur. J. For. Path.* **24**, 193-202.
- 二井一禎・野洲 正 (1986) 発病に伴うタンニン成分の動態と細胞学的変化「マツの激害型枯損の発生機構と制御」講演要旨集。301-302.
- 橋本平一 (1983) マツ材線虫病罹病木における通水機能について。日林九支研論 **36**: 187-188.
- 橋本平一・堂園安生・河辺祐嗣 (1983) マツ材線虫病の萎凋生理に関する研究 (I) - 樹体内における線虫の増殖について -。94回日林論 469-470.
- 池田武文 (1988) 樹木木部の構造と水分通導性について。林木の生長機構 **2**, 7-11.
- 池田武文 (1994) 樹木に発生するキャビテーションのアコースティック・エミッション法による検出。日林誌 **76**, 364-366.
- 池田武文 (1995) 樹木の病気と水分生理。森林防疫 **44**, 183-187.
- Ikeda, T. and Suzuki, T. (1984) Influence of pine-wood nematodes on hydraulic conductivity and water status in *Pinus thunbergii*. *J. Jpn. For. Soc.* **66**, 412-420.
- Ikeda, T. and Suzuki, T. (1987) Radial variation in the Rs-1 in the SPAC of several tree species. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.* **32**, 1-7.
- Ikeda, T. and Ohtsu, M. (1992) Detection of xylem cavitation in field-grown pine trees using the acoustic emission technique. *Ecol. Res.* **7**, 391-395.
- Ikeda, T. and Kiyohara, T. (1995) Water relations, xylem embolism and histological features of *Pinus thunbergii* inoculated with pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *J. Exp.*

- Bot. 46, 441-449.
- 池田武文・戸田忠雄・田島正啓 (1994) マツノゼイセンチュウ抵抗性の異なるクロマツとアカマツ家系のマツノゼイセンチュウ侵入に対する組織学的反応, 日植病報 60, 540-542.
- Kaneko, S. (1989) Effect of light intensity on the development of pine wilt disease. Can J. Bot. 67, 1867-1874.
- 河津一儀 (1990) マツノゼイセンチュウ感染による樹体成分の変動. 農化 64, 1262-1264.
- Kuroda, K. (1989) Terpenoids causing tracheid-cavitation in *Pinus thunbergii* infected by the pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). Ann. Phytopath. Soc. Jpn. 55, 170-178.
- Mamiya, Y. (1983) Pathology of the pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. Ann. Rev. Phytopathol. 21, 201-220
- 森 徳典・井上敬雄 (1983) マツノゼイセンチュウ接種苗の幹の呼吸. 94回日林論, 307-308.
- 森 徳典・井上敬雄 (1986) マツノゼイセンチュウによるマツ樹幹のエチレン生成とその誘導因子としてのセルラーゼ. 日林誌 68, 43-50.
- 根岸賢一郎 (1978) 樹木の形態と機能 (佐藤大七郎・堤 利夫編), 113-144, 文永堂, 東京.
- 根岸賢一郎・佐々木恵彦 (1987) 樹木の生長と環境 (畑野健一・佐々木恵彦編), 247-296, 養賢堂, 東京.
- Nobuchi, T., Tomonaga, T., Futai, K. and Harada, H. (1984) Cytological study of pathological changes in Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) seedling after inoculation with pine-wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). Bull. Kyoto Univ. For. 56, 224-233.
- Odani, K., Sasaki, S., Nishiyama, Y. and Yamamoto, N. (1985) Early symptom development of the pine wilt disease by hydrolytic enzyme produced by the pine wood nematodes—Cellulase as a possible candidate of the pathogen. J. Jpn. For. Soc. 67, 366-372.
- 大山浪雄・上中久子 (1975a) マツノゼイセンチュウ接種クロマツ苗における同化呼吸作用の異常 (第1報). 日林九支研論 28, 105-106.
- 大山浪雄・上中久子 (1975a) マツノゼイセンチュウ接種クロマツ苗における同化呼吸作用の異常 (第2報). 86回日林講, 200-201.
- 須崎民雄・矢幡 久・佐々木重行 (1976) マツノゼイセンチュウ接種クロマツ苗の水分通導性抵抗. 日林九支研論 29: 215-216
- 丹下 健・金坂 基・佐々木恵彦 (1994) マツノゼイセンチュウ自然感染木の幹木部呼吸速度. 日林誌 76, 138-143.
- Yamada, T. (1987) Lipid peroxidation during the development of pine wilt disease. Ann. Phytopath. Soc. Japan 53, 523-530.
- Zimmermann, M. H. (1983) Xylem structure and the ascent of sap. Springer-Verlag. New York, 143pp.

5. 大気汚染・酸性雨とマツの枯損

埤田 宏*

森林総合研究所森林環境部植物生態科長

はじめに

マツの衰退・枯損原因の一つとして大気汚染や酸性雨の影響を考慮するのは当然である。マツノゼイセンチュウが発見された時期は、わが国の大気汚染レベルが最も高い時代であったため、大気汚染による枯損との関係が議論された(吉岡・松本, 1975など)。近年、大気汚染に代えて「酸性雨」を環境汚染の主役と見なす考えがマスコミを通じて流布されるようになり、再びマツ枯損の主

因について疑問が投げかけられている。環境汚染説とゼイセンチュウ説との関係については、すでに、いくつかの総説(岸, 1988が詳しい)において論及されているが、必ずしも的を射たものになっていない。それは、「環境汚染が単独でマツを枯損させる条件」、「カミキリと線虫の共同作業がマツ林に激害をもたらす条件」、「汚染と材線虫病の複合作用」という3つの観点を区別せずに議論しているためである。例えば、大気汚染が極めて軽微な地域において激害が発生していることを示しても大気汚染の否定にはならない。同様に、高濃度の大気汚染でマツの

* Hiroshi TAODA

枯損が生じた事実が、広域に発生している材線虫病の否定とはなりえない。純粋に学問的な見地から見れば、両者が共に関与しているという「複合影響説」は極めて魅力的である。しかし、現実には発生している枯損に対して何をなすべきかということが最も重要であることには異論がないであろう。

大気汚染とマツの枯損

アカマツが二酸化硫黄(亜硫酸ガス, SO_2)に弱いという事実は古くから知られている。明治から昭和40年代前半に至るまでの煙害地で、クリ、アカマツは最初に被害を受けており、農作物に対する煙害の証拠とされるくらいである。例えば、秋田県小坂鉱山の銅精錬所からの排煙による最初の被害として、「鯉沢の栗葉が落葉し、赤松は赤褐色に変じて中には枯死せるものがある。雑木の葉にも斑点が見えてきたが、スギの激害はまだ認められない。」との記録がある(大館市, 1983)。二酸化硫黄, 光化学オキシダントのいずれに対しても、アカマツがスギやヒノキに比べて著しく弱いことは実験的にも確かめられている(埴田, 1975a)。低温の火山活動によって生じる硫化水素の噴気によって生じた硫黄荒原の周辺ではリョウブ等の低木林の外側がアカマツ林となり、ガス耐性があるように見える。これは、アカマツが酸性化した土壌に対する耐性があるため、植物毒性の低い硫化水素やごく低濃度の二酸化硫黄しか存在しない場所では、他の樹木が生育できないような場所にも生育できるためである。

アカマツの葉に可視的な被害症状をもたらす濃度と時間は、二酸化硫黄で0.1~0.2ppm, 数時間~十数時間が必要である。0.8ppmでは1~2時間の暴露であっても、翌日には葉にネクロシス(壊死)が生じる。樹体全体が枯死するためには、数ppmの高濃度が必要であり、0.8ppmで毎日6時間、3カ月にわたる長期暴露でも枯死することはなかった。ただし、広葉樹と違って針葉樹は被害を受けた葉を落して新葉を開くということができないため、春から初夏に葉の機能の損傷を受けると年間の物質収支が著しく悪化し、年とともに樹勢を弱める結果となる。実際に、昭和40年頃の精錬所周辺では着地濃度が数ppmに達することは稀ではなかった。オキシダントの場合も被害の発現レベルは同等であるが、ケヤキ等に見られたような異常落葉の発生はアカマツには生じない。クロマツはアカマツに比べるとやや強い部類に入るが、常緑広葉樹やスギに比べて比較すると弱い(埴田, 1975)。

各地の精錬所の周辺でアカマツ林が枯死した例は多いが、火力発電所や石油化学工場の周辺でははっきりしない。大気汚染防止法が昭和45年に改正・強化されるまで

の排煙対策は極めて不十分であり、周辺のアカマツを枯損させる程の環境濃度も少なくなかったと推察される。森林被害が証明できないのは、もともと工場周辺に良い森林が無く、有害ガスの発生量が徐々に多くなったため、裏付けとなる記録が得られないためである。また、国や自治体による環境濃度の測定結果が得られるのは法規制以後であり、問題となる時期のデータは得られていない。一部公表されたアルカリろ紙法や二酸化鉛法による吸着量の測定結果から類推して、岡山県の水島や、山口・広島両県にまたがる岩国・大竹地区では付近のアカマツ林に枯損木を生じさせたとしても不思議ではない。最近、山本ら(1996)は広島県下の2つの工業都市呉市と竹原市の年輪幅と年輪中の重金属含有量を調査し、カドミウムは1930年代に、鉛は1960年代に極大を示し、この時期の年輪幅が低下する傾向があったことを示した。年輪解析が可能であるためには、汚染が致死レベル以下であることが前提となるので、成長低下の説明はできても、激害の存在は証明できない。福井平野のスギ林(加藤輝隆ら, 1988a,b), 尾鷲のヒノキ林(Satoo, 1979a,b,c)で火力発電所からの大気汚染に対応した森林衰退が観察されたのは、スギやヒノキの耐性が大きいことによる。

酸性雨と森林衰退

1980年代になって、大気汚染源の少ない北ヨーロッパの諸国で山地の湖沼が酸性化し、魚類の死滅が問題になった後、針葉樹林の衰退が各地で顕在化した。多くの人々が酸性雨による森林の衰退を研究したが、直接的な影響は明確にされていない。旧東ドイツ、ポーランド、チェコスロバキアでは、ほとんど排出対策がなされないまま、多量の硫黄酸化物が放出されつづけたため、逆転層によって高濃度の汚染大気が停滞しやすい高標高の山地で顕著な森林被害が生じている。中部ヨーロッパでの凍害、ヨーロッパ全域にわたる少雨の影響による成長の減退も、土壌中に附加された窒素酸化物による富栄養化がストレスに対する抵抗力を低下させたためとする説明もある。

わが国の雨水のpHが彼の地と同レベルであること、枯損木を含む林分が存在することが結び付けられ、実際の因果関係が確かめられることなく、酸性雨による樹木衰退の可能性が報道された。実は、わが国での酸性雨の発生はかなり古く、1960年代より知られ、1970年頃にはpHが4を下回る雨は各地で観測され、アサガオの花弁の脱色現象も観察されていた。マスコミを通じて酸性雨が顕在化したのは1973年に静岡県、東京都、埼玉県などで多数の人々が目やのどの粘膜に異常を訴え、pH3前後の

強酸性の雨や霧が観測されてからである。当時は「硫酸ミスト」、「湿性大気汚染」、または、単に酸性の雨と呼ばれることが多かった。植物については、アサガオの花弁など「クチクラの薄い組織」に還元性の脱色斑が発生することが特徴とされている。ウキクサを用いた実験などで植物毒性の存在が証明されている。これらは、亜硫酸による強い還元作用や、重金属によるものと考えられており、pH 4程度の酸では植物に影響を及ぼすとは考えられていなかった。特に、スギのように厚いワックスで保護された葉で被害が生じるには、加水分解を生じる程の強い酸性(pH 3未満)が必要である。

植物の根系は水分を容易に吸収するため、土壤の酸性化によって損傷されることは、煙害時代から知られている。昭和40年頃まで各地の精錬所周辺に見られた煙害荒地では、土壤の水素イオン濃度(pH)が周囲より1前後低下し、土壤中のカリウム、カルシウムの減少、有害な可溶性アルミニウムの増加などが観察されている。しかし、このような煙害地では、ガス状の汚染物質の直接影響により森林樹木が顕著な被害を受けて枯死し、植生の保護を失った表層土壤の流失が生じている。そのため、土壤の酸性化による森林への直接的影響は明確でない。

スギやケヤキの衰退地区が描かれた地域では都市化による土壤のアルカリ化が進行し、雨水による酸性化は問題とされていなかった。当然のことであるが、酸性雨の植物影響は土壤の酸性化を通じて生じる。もちろん、非常に強い酸性であれば葉の組織に影響を及ぼすことも有り得る。その場合、大気中に高濃度の汚染ガスが存在していることを忘れてはならない。汚染ガスは葉の気孔から容易に侵入し、植物に被害をもたらすはずである。酸性雨による樹木衰退の可能性については多くの説がある(野内, 1990, 1991に詳しい)。しかし、酸性雨が葉の表面を被うワックスの量の減少や組成の変化をもたらすという報告はワックスの防護作用を説明して、病虫害の発生や成長量の低下の可能性を指摘したにとどまっている。今のところ、酸性の雨が真の原因と納得できる野外での樹木や植物の被害例は、国の内外とも見当たらない(横堀, 1992)のが事実である。特に、大樹・老樹の衰退に関しては、土壤の踏みつけや覆土、過湿、気象害、落雷、幹の腐朽、老化など普遍的な衰退原因を厳しく探索することが重要である。

大気汚染と材線虫病の複合影響

樹木を衰退させる大気汚染と病害の関係は病害の感染力と強さによって異なる。寄主である樹木を枯らさない

程度の病害であれば、寄主と寄生者が共存できるため、大気汚染による寄主の衰退が発病を促進する。マツのすす葉枯病が大気汚染によって促進される例(Chiba, O. & Tanaka, K., 1968)は良く知られている。健全な寄主を枯死させるほどの強い病害の場合は、大気汚染により著しく衰退した林分では、発病率がかえって低下する場合もある。材線虫病は極めて強力な病害であるから大気汚染と発病率の相関が見られるのは侵入線虫数が発病寸前の低い場合のみとなる(田中, 1973)。ただし、線虫の伝播者であるマツノマダラカミキリはマツと共存するような弱い寄主であるため、大気汚染によって寄生率が高められる可能性は大きい。

松くい虫被害と各種環境との関係を考察した竹下ら(1981)は、土壤乾燥による水分ストレスが材線虫病の発生を促進することを認めながら、煙害によるストレスとの相関を否定している。しかしながら、その根拠となる実験と野外観察の結果の取り扱いは極めてアンバランス(著者自身が述べている)である。煙害による直接枯損や材線虫病誘因を否定する根拠として、工場街より離れた場所での枯損の存在を述べながら、干ばつ地での被害発生が増大を認めている。煙害が存在しない地域や、干ばつを受けなかった林地で松くい虫被害が発生している事実と、煙害や干ばつで被害が促進されることは別の問題である。岸(1988)は、この点を確かめるため、茨城県の市街地・工場地の分布とマツ壊滅害区域の分布とその拡大の経過を比較し、大気汚染はマツ集団枯損の誘因としての役割すらほとんど持たないと述べた。しかし、この地域(鹿島工業地帯を含め)の大気汚染は樹木被害の発生レベルと比較して相当に低い状態であり、マツの激害が市街地・工場地域の分布と無関係であって当然と言える。最近、中根(1996)、佐久川(1996)らは、広島県極楽寺山のアカマツ林の枯損の主原因が大気汚染であると主張している。この地域では防除事業が行われていない(学会での質問への回答)ので、大気汚染による被害の促進が考えられる。しかしながら、中根らの調査結果からは、否定的な判断をせざるを得ない。市街地周辺の激害地から、山間部へ被害が減少する現象はマツノマダラカミキリの分布密度の低下として説明可能である。また、植物に対する毒性が大きいオキシダント濃度との相関が無く、ほとんど無害なチッソ酸化物濃度との相関が大きい点から、大気汚染の関与は否定される。さらに、汚染に強く、低木層の構成種であるヒサカキに被害が認められたことから、大気汚染ではなく土壤条件(2年続きの干ばつ)を疑う必要性を示唆している。

酸性雨による松くい虫被害の増大についても、その可

能性が懸念されている。浅井・二井(1996)はpH3の人工酸性雨とpH6.3の水道水を散布したクロマツ苗にマツノザイセンチュウを接種し、酸性雨処理が線虫の増殖、拡散を促進し、最終枯死亡率が前者で40%以上と、後者で10%前後となり、発病を促進する効果を示した。前項で述べたように、「酸性雨」の影響については、その作用形態と現実の汚染レベルを考慮しなければならない。一般に、pH3以上の硫酸・硝酸酸性は無害と見なして差し支えない。pH3未満であれば、有機物の加水分解を生じるため加害作用は大きい。しかし、このレベルの酸性度の降水があるとすれば、大気中に高濃度の汚染物質が存在するはずであり、ガス状汚染物質の害の方が大きい。土壌条件を悪化させたことによる被害の原因は、降雨と土壌の関係であって、雨そのもののpHではない。硝酸イオンを含んだ雨水は、しばしば、施肥効果をもたらすので、富栄養化による影響を考慮する必要がある。

まとめ

現在の日本では、大気汚染を主原因とする森林の衰退は認め難い。松くい虫被害を増大させる誘因としての役割も大きくないと考えられる。大気汚染の関与を肯定する説、否定する説のいずれも、大気汚染被害に関する基本的な調査原則(埴田, 1973)を踏まえていないため、不毛な議論を重ねる傾向がある。もし、大気汚染や酸性雨が松くい虫被害を助勢しているとすれば、薬剤による防除を増やすべきであろうか？ マツ林を守るための提言を伴う議論が無いのは残念である。

今後の環境問題として心配されているのは、長距離輸送型の大気汚染による酸性・有害物質の蓄積影響である。マツ林については、酸性化した土壌に対する耐性が大であるので、生育的適地が増大するかもしれない。しかし、急激な酸性化が生じてアルミニウム等の有害物質が可溶性となれば、著しい生育障害を生じる可能性もある。もっと大きい影響はマツ林に対する保育の熱意ではないだろうか？ 被害木を放置したまま、酸性雨の影響を議論するのは無意味であろう。

松くい虫の防除が成功し、市街地の周辺にマツ林がよみがえり、微害状態が続くようになれば大気汚染との関係を心配する必要が生じる。すなわち、マツが健全に生育する条件があり、かつ、発病に至らないレベルの寄生生物(マツノザイセンチュウ)が共存している状態である。干ばつと同様に、大気汚染による樹木衰退が材線虫病を誘発する可能性が生じる。この場合の大気汚染は工業地帯から排出される広域のものではなく、小規模の焼却場などから発生する局所的な汚染現象が考えられる。

短時間、高濃度汚染の影響は栄養条件の良い樹木に現れやすい。

引用文献

- 浅井英一郎・二井一禎(1996) 人工酸性雨がマツ材線虫病の進展に及ぼす影響II—温室苗を用いて秋に行った接種試験の結果—。第107回日本林学会大会講演要旨集, 227.
- Chiba, O. and Tanaka, K. (1968) The effect of sulphur dioxide on the development of pine needle blight caused by *Rhizophora kalkhoffii* Bubák. J. Jnp. For. Soc. 50: 135-139.
- 加藤輝隆ほか(1988a) スギの年輪幅に及ぼす大気汚染の影響評価(I)—火力発電所の操業と標準化年輪指数の推移—。大気汚染学会誌 26: 311-319.
- 加藤輝隆ほか(1988b) 同(II)—火力発電所周辺地域における標準化年輪指数と大気中SO₂, NO₂濃度との関連—。
- 岸 洋一(1988) マツ材線虫病—松くい虫—精説。pp. 1-292, トーマス・カンパニー, 東京。
- 中根周歩(1996) 大気汚染物質による森林被害の実態解明。平成7年度科学研究費補助金研究成果報告書 pp.1-44.
- 野内 勇(1990) 酸性雨の農作物および森林樹木への影響。大気汚染学会誌 25: 295-312.
- 野内 勇(1991) 酸性雨と植物被害。農業気象 47: 165-175.
- 大館市史編さん委員会(1983) 大館市史 第三巻上。660pp., 大館市
- 佐久川弘(1996) 広島県極楽寺山における大気汚染の状況とマツ・広葉樹の被害との関係。第43回日本生態学会講演要旨集, 2.
- Satoo, T. (1979a) Standing crop and increment of bole in plantations of *Chamaecyparis obtusa* near an electric power plant in Owase, Mie. Jap. J. Ecol. 29: 103-109.
- Satoo, T. (1979b) Leaf-litter production in plantations of *Chamaecyparis obtusa* near an electric power plant in Owase, Mie. Jap. J. Ecol. 29: 205-208.
- Satoo, T. (1979c) Production of reproductive organs in plantations of *Chamaecyparis obtusa* near an electric power plant in Owase, Mie. Jap. J. Ecol. 29: 205-208.
- 竹下敬司ほか(1981) 環境と被害, 西澤正久(編)まつく

い虫の総合防除システム化に関する研究. 科学研究費補助金研究成果報告書, 59-80.
埜田 宏(1973)大気汚染が植物に与える影響とその調査方法. 日生態誌 **23**: 81-89.
埜田 宏(1975)環境汚染と指標植物. 173pp., 科学ブックス23, 共立出版
田中 潔(1975)マツの材線虫病の発生に及ぼすSO₂の影響. 85回日林講, 287-289.

山本昌弘・福岡義隆・金 鐘甲(1996)アカマツの年輪成長と重金属含量. 第107回日本林学会大会講演要旨集, 226.
横堀 誠(1992)酸性雨等による植物衰退現象の実態/茨城県内での古木を含む樹木. 資源環境対策 **28**: 1316-1320
吉岡金市・松本文雄(1975)枯松一斉調査と年輪解析報告. 公害研究 **4**: 70-74.

新刊紹介

植物ダニ学

江原昭三(鳥取大学教育学部名誉教授)・真梶徳純(千葉大学園芸学部教授) 共編

A5判 419ページ, 1996年2月15日発行

定価 6,500円(消費税こみ)

発行所 全国農村教育協会

〒110 東京都台東区台東1-26-6

電話 03-3833-1821 FAX 03-3833-1665

振替 00110-1-97736

ハダニ類, フシダニ類を始めとする植物寄生性ダニ類の種類はきわめて多く, 林木に害を与えるものも少なくない。しかし, 一般的にダニ類は肉眼でかろうじて見えるほどの大きさであるうえ, 寄生部位も葉裏や花など人目につきにくい部位であることが多い。したがって, 寄生されていることさえ知らないことが多い。寄生による樹木の衰弱や結実の低下を正確に評価し, 適切な防除を行う必要があることはいうまでもない。

ダニ類は昆虫ではないので, 昆虫学の教科書にはダニ類についての記述がほとんどなく, 大学生のような初心者はもちろん, 林業技術者にとっても取り組みにくい対象であった。今回, 林木寄生性のダニ類を含め, 植物寄生性ダニ類の形態, 分類, 生活史, 個体群動態, 生理, 被害と防除, および研究法にいたるまで, いわばダニ類のすべてを詳細に記述した本書が, 出版されたことは森林保護に携わるものにとってありがたい。

なお, 本書の特徴として, それぞれの第一人者である14名の著者によって執筆されたことと, 引用文献が充実していることがあげられる。本書は初心者にとっては理解しやすい教科書であると同時に, 専門書であることはいうまでもない。(東京大学農学部 古田公人)

植物ダニ学

Principles of Plant Acarology

江原昭三・真梶徳純/編

Edited by S. Ehara and N. Shinkaji

全国農村教育協会

林野庁だより

①森林病虫害等担当者名簿(平成8年4月1日現在)

	森 林 病 害 虫 等			担 当 者 名 簿		
	課 名	課 長 名	内 線	補 佐 等	内 線	班・係名
北海道	森林整備	梶木	31-251	小杉	31-254	森林保全
青 森	治山	三上	3308	木下	3310	森林保護班
岩 手	松対策室	塩井	3332	君塚	3332	松対策室
宮 城	森林保全	佐藤	3070	長山・鈴鴨	3071	森林保護
秋 田	林政	橋野	1910	近藤・堀江	1916	緑化猟政
山 形	林業	山村	2533	加藤	2430	森林管理
福 島	森林整備	吉田	3450	矢吹	3452	森林保護
茨 木	林業	田村	3710	川上・会沢	3711	造林
栃 木	造林	高橋	3294	小松	3295	造林
群 馬	緑化推進	中嶋	3011	広井・白井	3012	造林種苗
埼 玉	林務	引田	4300	高橋	4307	森林保全
千 葉	みどり推進室	荒巻	3680	田中	3682	事業推進班
東 京	林務	和田	37-850	清水	37-855	森林計画
神奈川	林務	池部	4500	石田	4503	森林保全
新 潟	治山	斎藤	3040	高野	3041	緑化
富 山	林政	村中	3980	伊藤	3987	森組普及指導
石 川	森林管理	西野	3360	上田	3364	造林
福 井	林政	高畑	3120	渡辺	3124	造林保護
山 梨	森林保全	山崎	6100	新藤・宝方	6101	森林保護
長 野	治山	角間(かくま)	3251	高野	3252	森林保護
岐 阜	森林整備	麻生	2840	加藤	2841	緑化推進
静 岡	森林整備	神納(じんの)	2680	伊達	2680	森林保護
愛 知	治山	近田	3680	辻井	3682	主任SP
三 重	森林整備	今井	2578	田邊	2575	森林保全
滋 賀	森林保全	山家	3930	山本	3930	保全
京 都	森林保全	佐々	5020	鈴木	5024	緑化推進
大 阪	緑の環境整備	川崎	2751	鈴木	2751	治山
兵 庫	治山	峯田	4128	中井	4139	森林保全
奈 良	治山	池山	3990	上武	3994	保護
和歌山	森林整備	龍田	2970	毛呂	2971	緑化造林班
鳥 取	森林保全	沖	7302	坂本	7337	保護
島 根	森林整備	吉川(きつかわ)	5173	都間	5164	森林保護
岡 山	林政	山田	3300	本山	3310	森林保全
広 島	みどり景観室	行廣	3860	垣内	3861	森林保護
山 口	林政	徳光	3453	内田	3466	保険保護
徳 島	林業振興	合田	2445	山田	2459	森林鳥獣保護
香 川	林務	高谷	2691	野崎・金川	2694	SP
愛 媛	森林整備	武村	3765	石川	3365	保護緑化
高 知	林業振興	小禄	4591	東	4591	造林
福 岡	緑化推進	三浦	3550	国広	3555	保護
佐 賀	森林整備	實松(さねまつ)	2470	本多	2472	造林保護
長 崎	林務	鹿嶋	2981	奥田	2889	森林整備
熊 本	森林整備	新谷	5610	松村	5620	みどり推進室
大 分	森林保全	松垣	3860	守長	3867	環境保護
宮 崎	森林保全	高城	2850	高橋	2853	保護緑化
鹿児島	森林保全	伊藤	2920	海川	2920	保護猟政
沖 縄	みどり推進	知念	2297	平良	2297	造林

				電 話 等		
係 長 等	内 線	係 員 等	内 線	代 表	直 通	F A X 番 号
佐藤	31-275	福島	31-276	(行) 9-1195-		011-232-4140
工藤	3314	開米(かいまい)	3307	0177-22-1111	0177-75-2772	0177-74-0734
伊藤	3332	湊	3332	(行) 9-2495-		0196-51-8662
沼倉	3075	大友・木村	3075	(行) 9-2195-		022-211-3095
相馬	1916	伊藤・三沢	1916	0188-60-1916	0188-60-1916	0188-60-3828
本間	2528	野村	2528	(行) 9-2595-		0236-30-2238
斎藤	3462	須田・松崎	3462	0245-21-1111	0245-21-7433	0245-21-7946
神長	3719	高畠	3719	029-221-8111	029-221-8201	029-227-8550
立壁	3296	直井	3296		028-623-3296	028-623-3299
佐藤	3014	関	3014	0272-23-1111		0272-23-0463
荻原	4313	倉部	4313	048-824-2111	048-830-4312	048-830-4839
中後	3685	高木	3685	043-223-2249	043-223-3685	043-224-4108
土屋	37-886			03-5321-1111	03-5320-4861	03-5388-1466
斉藤	4513	鈴木	4514	045-201-1111	045-201-1498	045-212-8315
町田	3052	保莉	3053	025-285-5511	025-284-0495	025-283-3841
澤田	3985	林	3985	0764-31-4111	0764-44-3386	0764-44-4428
朝田	3374	柳田	3375	(行) 9-5295-		0762-23-9495
熊谷	3124	国兼	3124	(行) 9-5495-		0776-21-3775
天野	6115	名取	6116	0552-37-1111	0552-23-1644	0552-23-1639
野溝	3259	金子・高野	3260	(行) 9-4295-		026-233-2790
高橋	2847	丹羽	2847	058-272-1111	058-271-6516	058-272-6936
白井	2683	林	2683		054-221-2683	054-251-2014
山田	3682	鳥澤	3683	(行) 9-5195-		052-961-1224
長谷川	2572	吉川	2571		0592-24-2572	0592-24-2070
和田	3933	増田	3918	0775-24-1121	0775-28-3918	0775-28-4886
		中村	5024	075-451-8111	075-414-5024	075-414-5010
小林	2753	伊藤・山本	2754	06-941-0351	06-944-6746	06-944-6749
山田	4140	井上	4140	078-341-7711	078-362-3477	078-362-3952
今井	4014	白井・吉開	4016	0742-22-1101		0742-24-3683
中野	2973	南方	2975	0734-32-4111	0734-41-2973	0734-32-5850
加賀田	7305	阿部	7306	(行) 9-7795-		0857-26-7308
広江	5165	西	5165	(行) 9-7895-		0852-27-1674
		藤野・安東	3311	(行) 9-7395-		086-234-9351
畝本(うねもと)	3863	下山・大浦	3863	(行) 9-7195-		082-223-3583
河村	3474	熊谷	3474	(行) 9-7995-		0839-33-3479
安永	2459	佐々木	2459		0886-21-2459	0886-22-4580
山下	2695	山本・坂本	2695	(行) 9-8195-		0878-61-5302
岩崎	3362	伊勢本	3362	089-941-2111	089-941-9220	089-947-1041
津野	4591	竹崎	4591	0888-23-1111	0888-21-4591	0888-21-4594
柳	3556	柏原	3553	(行) 9-9195-		092-633-3684
深川	2476	馬場	2478	0952-24-2111	0952-25-7135	0952-25-7312
貞清(さだきよ)	2990			(行) 9-9495-		0958-21-1255
久保	5618	杉山	5599	(行) 9-9395-		096-383-7704
守長	3867	日隈	3867	(行) 9-9895-		0975-34-1693
塚本	2859	伊牟田(いむた)	2860	0985-24-1111	0985-26-7158	0985-27-0987
十島	2929	鮫島・福永	2935	099-226-8111	099-222-7432	099-222-5670
系数	2297	保久盛(ほくもり)	2297		098-866-2297	098-861-6741

農水協 TEL 3234-3380

森林総研 TEL(代)0298-73-3211

②森林保護対策室配置図

代表電話 03-3502-8111
 直通電話 03-3502-1063
 FAX 03-3501-5735

課長補佐 保護指導班担当 (島津) ☎6255	
森林造成保全 専門官 (立野) ☎6256	公営防除係長 (志水)
国営防除係長 (中尾) ☎6257	森林火災対策 係 (上田)

森林保護対策室長 (梶谷) ☎6252

課長補佐 保護企画班担当 (古久保) ☎6253	
森林造成保全 専門官 (松井) ☎6254	防除技術専門官 (椿野)
企画係長 (橘)	指導係長 (岡)

都道府県だより

①青森県の松くい虫被害対策について

青森県における松林面積は、約52千haで民有林全面積の約2割を占めています。クロマツ林は、三方を海に面した740kmの海岸線に飛砂防止・防風等のため古くから人工的に造成され、特に、津軽半島の日本海に面した屏風山、上北地方での太平洋に面した淋代海岸には、広域に居住環境や産業活動をささえる重要な海岸林が整備されてきました。アカマツは、岩手県境に隣接する馬淵川と新井田川流域にその大部分を占め、当該地域のスギに並ぶ樹種として林業振興と環境保全の重要な役割を担っています。また、当該地域の北部に隣接する上北地方内陸には、その優良な形質の故をもって古来「甲地松」として名声が高い天然林が所在しています。

本県では、松くい虫被害は確認されていませんが、隣接する他県の被害状況を踏まえ、昭和55年度からマツノマダラカミキリを捕獲する誘引器を設置し、また、昭和61年度か

ら松くい虫予防巡視員を県内に配置して被害の早期発見に努めてきましたが、平成7年度の調査でマツノマダラカミキリがはじめて誘引器により秋田県境付近で確認されました。幸いにしてマツノゼイセンチュウは確認されていませんが、本県にもマツノマダラカミキリが生息・繁殖できる環境にある森林区域が16市町村に所在することから、これまで整備されてきた松林への危機感が強まっています。

このことから、平成8年1月に関係市町村や団体等で構成する「青森県松くい虫被害対策推進連絡協議会」が設置され、被害の早期発見体制及び健全な松林の維持、防除体制の確立について連絡協議し、地域ぐるみの一体的防除を推進していくこととなりました。

県としては、平成8年度において海岸防炎林等の高度公益機能松林を中心に、衰弱・枯損木除去と計画的な除間伐等を実施し、健全な松林を維持していくほか、松くい虫予防巡視員の巡回活動や誘引器による分布調査によ

る被害の早期発見体制を拡充強化し、また、松くい虫被害及び防除について啓もう普及に努めていく方針です。

(青森県農林部治山課)

②大阪府の野生鹿対策

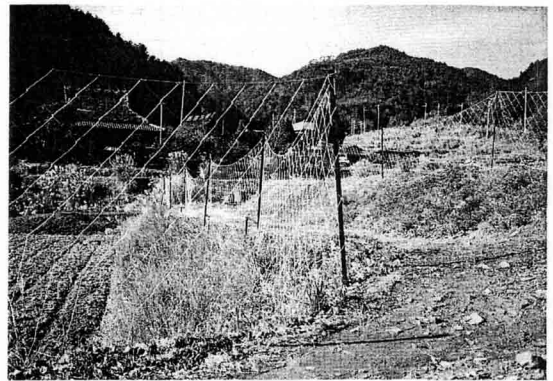
近年、大阪府においても野生鹿による農林業被害が著しく増大してきています。野生鹿は、能勢町、豊能町、箕面市、茨木市、高槻市など本府の北部の北摂山系に分布し、その数は推定で、昭和54年には60頭だったものが平成7年には約700頭になっていると言われています。

被害状況は、水稻、麦、野菜、クリ等の農業被害やヒノキを中心とした造林木の食害による林業被害が多く、被害額は、森林被害がかなり多いが合計で1億数千万円にのぼっています。

本府では、昭和49年よりオスジカの捕獲禁止措置をとっていましたが、農林業被害が増大してきたことに伴い、昭和61年、①オスジカの保護を図る地域を指定する。②これらの地域では食餌木の植栽を行うなど生息環境の改善に努める。③専任の鳥獣保護員の配置と巡視の強化に努め、定期的に野生鹿の生息状況を把握する。ことなどを旨とした大阪府自然環境保全審議会の答申を踏まえてオスジカの捕獲禁止を解除しました。

捕獲禁止の解除後も(社)大阪府猟友会が狩猟の自主規制を行い、捕獲を府域で年間20頭に制限してきましたが、平成7年より自主規制を中断することとしています。

本府は61年の答申を受け、防鹿柵(農地で



農地の周りに張り廻らした鹿害防止ネット(漁網)

は漁網、林地では金網が主体)の設置事業や、アオキ・シラカシなど鹿の食餌木を植栽する生息環境整備事業、有害鳥獣駆除の促進、定期的(3年に1回)な生息状況調査など、野生鹿の総合的な保護対策に取り組んでいるほか、試験的に造林木周辺のみを下刈りする坪刈りやウレタン樹脂製忌避剤の塗布、木酢液の活用なども実験的に進めています。

さらに、本年度からは、これまでのものに加え、野生鹿特別対策事業として、防鹿柵の強化(高くする、基礎部の強化、柵内部を見えにくくする)や、放置された広葉樹等の整備活用等、鹿の生息環境整備を行うこととしています。

今後の課題としては、農林業被害防止と野生鳥獣の保護の観点から野生鹿との共存のため、より効果的な被害防止対策や野生鹿の適正頭数管理手法についても検討を進めていくことが必要と考えています。

(大阪府緑の環境整備室)

森林防疫ジャーナル

森林病害虫等防除活動優良事例コンクール
被表彰者の推薦依頼について

当協会においては、森林病害虫等防除活動に取り組んでいる団体、個人を広く顕彰することにより防除事業の一層の推進を図るため、昨年より標記コンクールを実施

しておりますが、本年も別添実施要領のとおり実施することと致しました。つきましては、都道府県担当部局におきましては選考の上、調書により本会宛ご推薦下さいますようお願いいたします。

なお、この件につきましては別途各担当部局あて書類一式を送らせていただいております。

森林病虫害等防除活動優良事例コンクール 実施要領

永年に亘って森林病虫害等防除事業に貢献した団体及び個人に対する表彰を以下の要領により行います。

1. 表彰対象

森林病虫害等防除活動に積極的に努力し、森林資源の保全に顕著な功績のあった団体及び個人

2. 表彰基準

- (1) 被害量の減少等防除活動の効果が顕著に認められるもの
- (2) 防除事業の必要性を啓発し、地域住民と一体となって組織的取組体制をつくり活発に活動しているもの

3. 被表彰者の推薦、選考及び表彰の方法

- (1) 全国森林病虫獣害防除協会会長(以下会長という)は、都道府県知事に対し、被表彰者の推薦につき依頼するものとする。
- (2) 都道府県知事は、別に定める「推薦調書」を作成し、会長に推薦するものとする。また、会長も、これに準じて推薦することができるものとする。
- (3) 選考は、会長の委託した委員により構成される「選

考委員会」によって行うものとする。

- (4) 「選考委員会」は全国森林病虫獣害防除協会(以下協会という)内に設けるものとする。
- (5) 「選考委員会」は推薦調書を参考に会長表彰の被表彰者を選考するとともに、会長が林野庁長官に推薦する長官表彰の被表彰候補者を選考する。
- (6) 表彰は、協会の通常総会の席上において行う。
- (7) 会長表彰は団体、個人をあわせ原則として5件以内とする。

(全国森林病虫獣害防除協会)

○人事異動(森林総合研究所 平成8年3月31日)

田村 弘忠(所付主任研究官)	退職
五十嵐 豊(東北支所昆虫研究室長)	退職

○同(森林総合研究所 平成8年4月1日)

大田 祐子	森林生物部森林微生物科腐朽病害研究室
濱口 京子	森林生物部森林動物科昆虫生理研究室
横田 明彦	(国際農林水産業研究センター林業部)
	森林生物部森林微生物科土壌微生物研究室併任
磯野 昌弘	(森林生物部生物管理科昆虫管理研究室)
派遣職員	(国際協力事業団中国寧夏回族自治区 森林保護プロジェクト)

○訂正とお詫び

森林防疫45巻3号の表紙写真説明の2行目約360頭(38頭/ha)は、約360頭(3.8頭/100ha)の誤りでした。お詫びとともに訂正いたします。

森林防疫 第45巻第5号(通巻第530号)

平成8年5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