

● マツ材線虫病の防除

■ 探査と診断

1. 探査

ここで言う「探査」とは、防除対象となる枯れ木を見つけることです。通常は林外からの観察や林内踏査で枯れ木を探しますが（地上探査）、広域的な調査が必要な場合にはヘリコプター等を利用した空からの観察や空中写真、衛星画像等を利用した探査（空中探査）の実施が望まれます。近年発展の著しいドローンの利用により、被害木の空中探査は身近な技術になりつつあります。

マツ材線虫病では、少ない枯れ木が大きな被害につながることもあるので、見落としなく被害木を探し出して確実に駆除することが重要です。しっかりした探査が行われなければ、防除の成功はありません。



赤外線空中写真による被害木探査
赤外線写真では枯れ木は青白く見えます。



被害木探査へのドローンの活用
(撮影：青森県林政課)

どちらも大事：地上探査では道のないところ、歩けないところの木を調べるのが難しく、また遠すぎたり、逆光になったりした場合には針葉の変色を確認できません。空中探査を導入すれば、これらの問題を大幅に改善することができます。しかし、空中探査では他の木の樹冠に隠れた枯れ木は見つけられず、また谷地形等の陰になった場所の枯れ木は発見が困難です。それぞれに得手、不得手があることを理解し、2つの手法を併用するのが理想的です。

スケールを変えて：マツ材線虫病の侵入・拡大を防ぐには、守りたいエリアとその周囲を広く探査すべきですが、広いエリアで高い精度を保ったまま探査するのは労力的に困難です。空中探査を併用できる場合であれば、例えば、ヘリコプターを使った探査で重点となるエリアを絞り込み、必要な箇所については空中写真やドローンを使った詳細な探査を実施し、見つかった被害木の近傍で林内の踏査や樹脂滲出調査（後述）のような綿密な調査を導入する、といったように、スケールを切り替えながら探査努力にメリハリがつけられるとよいでしょう。

☑ マツ材線虫病防除における「早期検出」とは？

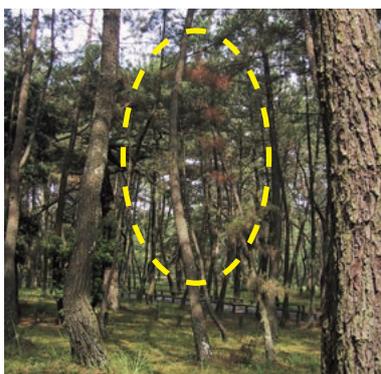
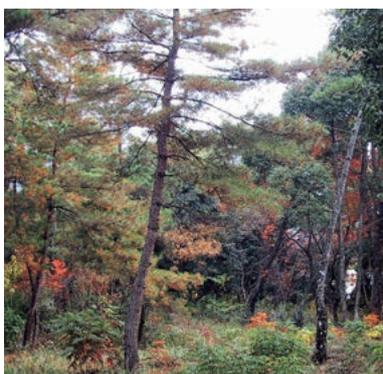
マツ材線虫病防除に関する技術開発で「早期検出」を求められることがよくあります。これから枯れる可能性のある木を事前に察知し駆除することで防除を効率化したい、という発想は理解できます。ところが、マツ材線虫病では「夏に脱出したマツノマダラカミキリ成虫から線虫を伝播された木は秋までに枯れる」のが普通で、成虫の羽化脱出期より前にどの木が枯れるかを予測することはできません。寒冷地で多発する潜在感染の場合、樹体内に侵入して潜伏状態となったマツノザイセンチュウにより感染の翌年以降に枯死が起こることがあり、この場合には早い段階から針葉の部分変色や新芽の伸長不良が確認される例もあります。しかし、そのような外観的な症状は必ずしも全ての木で見られるものではなく、前触れもなく夏以降急速に枯死する木もあります。この病気に関する限り、「早期検出」で対策が飛躍的に効率化するという事は、なかなか期待できません。

ただし、潜在感染木の発症を早期に検知することはマツノマダラカミキリの誘引源となる衰弱木を除去するために重要です。このための方法として、樹脂滲出調査（次ページ）は非常に有効です。（中村克典）

2. 診断

(1) 外部病徴

針葉の変色は、マツ材線虫病のもっともわかりやすい病徴です。通常は、夏季の短い期間に一斉に変色が進行します。しかし、マツ材線虫病で枯れる木でも、変色の進行に時間がかかったり、枝枯れや部分枯れのような症状を示したりする場合があります。逆に、マツ材線虫病の他にも針葉変色を伴う松の衰弱・枯死の原因はたくさんあります（下写真）。ですから、針葉変色だけを手がかりにマツ材線虫病と判断するのは危険です。ただし、周囲にマツ材線虫病の感染源があるような場合には、針葉変色した木はマツ材線虫病によるものと見なし、直ちに処分するのがよいでしょう。



マツ材線虫病によらない松の針葉変色の例

(上段左から) 秋季の旧葉変色、被圧による衰弱枯死、
除草剤によると思われる枯死
(下段) 海岸前線部で見られる潮害

(2) 樹脂滲出調査

樹脂分泌の停止は、針葉変色に先立って現れるマツ材線虫病に特徴的な症状です。針葉のしおれや変色が見られた木で、樹脂分泌が停止していれば、マツ材線虫病を発症しているとほぼ断定できます。また、寒冷地等で周囲にマツ材線虫病の感染源が存在する場合、外観的には無症状の木でも樹脂分泌が止まっていることがあり、そのような木は衰弱が進行しつつある潜在感染木と推定することができます。一定範囲のすべての松に対し樹脂滲出調査を実施することで、このような「隠れた衰弱木」を探し出すことができます。

樹脂分泌の有無を調べるには、松の樹幹に材に達する傷をつけ、時間をおいてそこからの樹脂滲出を確認する方法がとられます。傷をつける道具としては、直径1 cm内外の穴あけポンチがよく用いられています。松が健全であれば、数分から数時間のうちにポンチ穴から樹脂（松ヤニ）が流れ出てきます。樹脂の流出が確認できない場合は穴の中を確認し、露出した材表面に樹脂の滲出が見られない場合には「異常」と判断し、マツ材線虫病の感染を疑います。



なお、冬季は松の樹脂分泌活動が低下するので、この調査を行うのに適していません。また、健全な木でも部分的な枯死により樹脂が出なくなっている場合がありますが、そのような木では穴をあける場所を変えれば樹脂滲出が確認できます。木の状態を見ながら、適正な診断を行って下さい。

(3) マツノザイセンチュウの検出

松の衰弱・枯死の原因がマツ材線虫病によるものと確定するには、枯死木からマツノザイセンチュウが検出される必要があります。ただし、マツノザイセンチュウの検出や同定にはそのための手順や技術があり、いい加減な方法で行っても正しい結果は得られません。また、適正な方法にしたがったとしても、マツノザイセンチュウの検出率が 100% になるとは限りません。マツ材線虫病対策をすすめる上で、松の枯死原因を特定することは必須ですが、検出結果にこだわって対策が遅れるとマツ材線虫病の拡大を許すことになりかねません。被害拡大状況等を勘案し、検出を前提とせずに防除を推進することも重要です。

マツノザイセンチュウを検出するための試料を採取するには、枯死木の幹や枝からドリル（刃径 15 mm を推奨）を用いて、辺材から材片を 10 g 程度（茶碗一杯程度）採取します。外樹皮や腐朽部からは検出できないので採取しないで下さい。採取した試料は密閉できるビニール袋に入れて材の乾燥を防ぎ、冷暗所で保管します。複数の木から試料を採取する場合には、木を変えるごとにドリルを洗浄し、別のビニール袋に試料を収容して交互の混入を防ぎます。



マツノザイセンチュウは枯れ木の中に一様に分布しているわけではないので、検出効率を上げるには樹体の何力所かから試料採取するのが望ましいです。立木のままであれば、1ヶ所ではなく高さや方向を変えて数力所、理想的には伐倒して胸高部と樹幹上部（大枝の分岐部より上部の幹や枝）からの採取ができれば、検出効率が高くなります。

採取した材片を用いてマツノザイセンチュウを検出するには、以下の2つの方法があります。

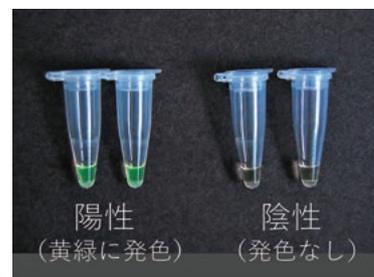
▶ ベールマン法

試料を水に浸して線虫を遊出させる方法です。よく使われる方法としては、ロートの下部にチューブを取り付けて栓をし、上部にティッシュペーパー等の濾過材で包んだ試料を置いてロート内を水で満たし、一定時間後にチューブに集められた線虫を回収します。回収した線虫を直接観察してマツノザイセンチュウかどうかを同定しますが、線虫の観察には高性能な顕微鏡が必要で、また同定には相応の知識と経験が必要です（15 ページ：コラム）。



▶ 診断キット*3

材片試料からマツノザイセンチュウの DNA を溶かし出して検出する方法です。ベールマン法では検出できないような低密度のマツノザイセンチュウでも検出することができます。判定は試薬の変色の確認により行います。キット一式が市販されており、またインターネットを通じた検出代行サービスも有料で提供されています。検出操作を自分で行うには、マイクロピペットや恒温器など最低限の実験器具と生物実験の基礎的な技術が必要です。



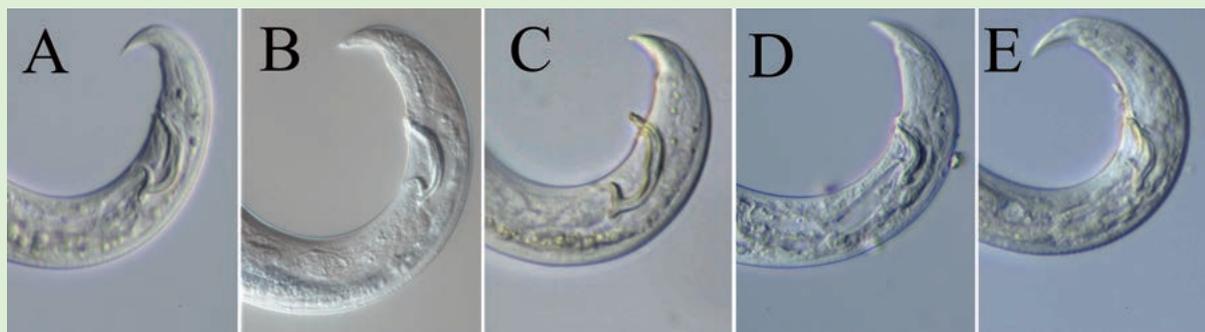
*3 マツ材線虫病診断キット（製品の紹介）

<https://www.nippongene.com/kensa/products/lamp-kit/pine/pine.html>



☑ 形態観察でマツノザイセンチュウを見つけ出す難しさ

上述されているように、マツ材線虫病によって松が枯れたことを証明するためには、枯れ木の中にあるマツノザイセンチュウを見つけ出す必要があります。一般的には「パールマン法」と呼ばれる方法を使って、枯死木から採取した材片の中にあるマツノザイセンチュウを水中に分離します。枯れた木の中には、マツノザイセンチュウだけでなく、カビを食べる線虫や細菌を食べる線虫など、様々な線虫が混在しており、それらの中から目的のマツノザイセンチュウを探し出さなくてはなりません。しかし、多くの線虫は、細長い形をしてニョロニョロと水中を泳ぐので、体全体を眺めただけではどれがマツノザイセンチュウなのかわかりません。よって、高倍率の顕微鏡を使って、各線虫種の特徴が現れる形態の一部（雄雌の生殖器や尾端など）を観察します。下に示した写真は、マツノザイセンチュウを含む近縁線虫種5種の雄成虫の交尾器を拡大したものです。この中の1つがマツノザイセンチュウです。みなさんどれがマツノザイセンチュウかわかるでしょうか？



マツノザイセンチュウを含む同属線虫5種の雄成虫の交尾器

正解は“B”です。これらの写真を見てどこがどう違うのかわかりますか？実はマツノザイセンチュウの近縁種の間では、雄成虫の形態は互いに酷似しているため、形態観察だけでマツノザイセンチュウを同定することは不可能だと言われています。マツノザイセンチュウを正確に同定するためには、雌成虫の生殖器と尾端の形状を確認する必要があります。しかし、パールマン法で線虫を分離すると、雄成虫あるいは生殖器官の発達していない幼虫しか検出されないこともしばしばあり、そのような場合、形態観察では答えは出せません。ちなみに、写真の線虫種はそれぞれ A：ニセマツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus mucronatus*)、B：マツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus xylophilus*)、C：*Bursaphelenchus doui*、D：*Bursaphelenchus poligraphi*、E：*Bursaphelenchus* sp. となります。

これらの問題を一気に解消してくれるのが、DNA を利用してマツノザイセンチュウの存在を検出できる「マツ材線虫病診断キット」による診断法です（前ページ）。この診断キットはマツノザイセンチュウのDNA に反応するように作られているので、材片の中にあるマツノザイセンチュウが雄成虫であっても、雌成虫であっても、あるいは幼虫であっても、発育ステージに関わらず陽性反応を示します。また、形態観察のように、様々な線虫種が混在する線虫群の中から、顕微鏡を使ってマツノザイセンチュウを探し出すという苦境にさらされることもありません。これからマツ材線虫病の診断技術を身につけたいと考えている方には、まずはこの診断キットによる手法を試してみることをお勧めします。（相川拓也）