

【第37林木育種研究談話会】

抵抗性マツを利用したマツ枯れ防除に期待する —発病および抵抗性メカニズムに関する研究成果から—

黒田 慶子

1. はじめに

マツ材線虫病の防除はコストが高いため、最近では抵抗性マツへの期待が大きい。ところが、選抜された抵抗性アカマツが100以上あるにもかかわらず、苗の生産や植栽は進んでいない。その理由として以下のことがあげられている。1) 利用者には「本当に強いのか」という疑問がある。2) 接種検定では健全苗が半数程度しかなく⁷⁾、抵抗性の高さが母樹や採種園によってばらつく。3) 種子生産が少なく、苗の生産がきわめて少ない。4) 地元のニーズにあった抵抗性マツがない。これらの問題は技術的には解決可能であるので、近年の研究成果で有用と思われることがらを紹介し、抵抗性マツの利用を推進する一助としたい。

2. 病気の進展と枯死のメカニズム

マツノザイセンチュウ(以下、線虫)は、マツノマダラカミキリが摂食した当年～1年生枝の傷から侵入し、皮層と木部にある樹脂道を通して移動する。アカマツ、クロマツの若木に接種した強病原性線虫は、接種後1週間以内に樹幹全体に分布するが、線虫密度は低く、この時期の水分通道は正常である(図-1A)⁵⁾。線虫接種3週間後から旧葉の褐変などの病徴が見られる。樹幹に色素液を注入すると染まらない部分が発

生しており、水分通道が一部で停止していることがわかる(図-1B)^{1)・5)}。肉眼で白く見えるのは、通道組織である仮道管から水が抜けて気体が充満したためである。

マツの放射組織の柔細胞は養分の貯蔵や二次代謝(生命の維持に関わらない代謝)を担っている。樹脂道の周囲には、樹脂を生産するエピセリウム細胞がある。線虫はこれらの生きている細胞を栄養源にしている。エピセリウムや柔細胞は線虫の活動に対して抵抗(防御)反応を起こし、揮発性テルペンやフェノール性物質など、二次代謝物質を生産する。

通道組織が一時的に空になる現象は健全木でも蒸散にともなって日常的に起こり、エンボリズムあるいはキャビテーションと呼ばれる。健全木では降雨時や夜間に水流が回復するので、急に枯れることはない⁶⁾。しかし線虫感染木では、排水部分は次第に拡大し、水分通道能力が急速に低下する。木部の乾燥とともに形成層の細胞の壊死が顕著になり(図-1C)、また線虫の増殖が活発になる。多数の研究成果から、通道停止による水の供給不足が枯死の直接的原因であることが明らかになった¹⁾。強病原性線虫の接種では、10年生前後のクロマツは4～5週間、アカマツでは6週間程度で主幹部の通道がほぼ停止する。

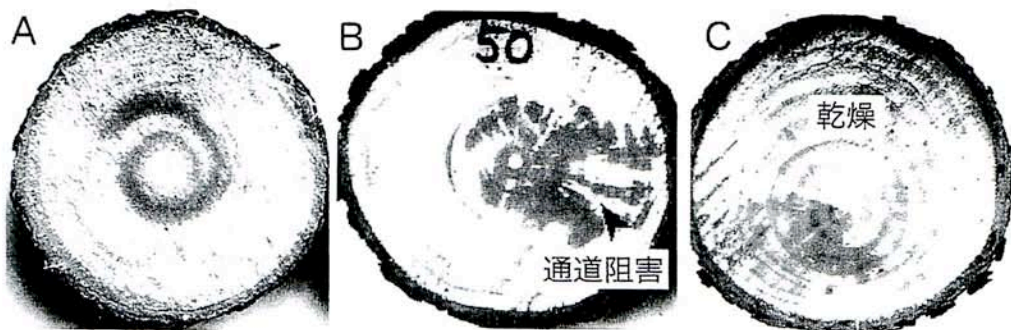


図-1 線虫を接種したクロマツ樹幹における水分通道阻害の進展
A: 接種1週間後、正常な樹液流動。B: 3週間後、部分的に通道阻害が発生。C: 4週間後、通道は極度に低下し、木部は乾燥している。

3. マツ組織の防御反応および抵抗性発現要因

北米産の抵抗性種であるテーダマツでは、線虫はマツ組織に感染（侵入）できるが、樹体内での移動が阻害され、増殖できない。仮道管の排水は局部的に起こるが、通道阻害部の拡大はなく、樹液流動は持続する⁴⁾。感受性種であるアカマツ・クロマツから選抜された抵抗性家系苗では、線虫の増殖阻害効果は認められるが、テーダマツより弱い。クロマツ家系では、接種検定後の健全率が25%程度と低い家系もあり、抵抗性が高い個体を効率よく見つけるには、抵抗性の発現機構に基づいて選抜する必要がある⁷⁾。

抵抗性クロマツ家系の満1年生苗（播種後16ヶ月）地際部への接種では、8割の個体で線虫の増殖が進行し、根の壊死がよく見られた³⁾。満2年生苗（28ヶ月）のシュート先端への接種では線虫の阻害効果が明確で、家系間の差が明らかに認められた。この結果から、苗のサイズや接種位置によって抵抗性の発現に差が出ることがわかった³⁾。抵抗性アカマツ家系苗（満4～5年生）への線虫接種では、通道阻害の進行が非選抜苗より緩慢な傾向が認められた²⁾。また、それらの家系の一部には、枝数が多い例があった。枝元では樹脂道が通直でないという特徴があり、線虫の移動を困難にしている可能性が示された。

4. 今後の課題と早急に必要作業

以上の研究成果から、選抜および接種技術に関して、以下の点を提言したい。(1)マツの組織で線虫の活性阻害効果が出るまで1～2週間程度の時間が必要である。小型苗（樹高30cm程度）の地際部への接種では、線虫が根や全身に分布して枯死しやすい³⁾。供試苗サイズや接種部位についての検討が必要である。(2)島原系統の線虫では、アカマツは枯れにくい（関西）傾向がある。高い抵抗性を示す個体を選抜するには、地元の強病原性線虫の使用が望ましい。九州だけでなく、他地域でも接種用の強病原性線虫を選抜すべきである。

今後検討すべき課題として三点があげられる。まず、「健全率の低い家系が多い」ことについては採種園の改良が必要である。戸田⁷⁾はアカマツでは上位29家系で生存率7割を達成できるとしている。除去する母樹の選定と、抵抗性強度の高い母樹の補植作業は、1年でも早く実施する必要がある。また、抵抗性が低めの母樹は種子が多い傾向があり、種子を混ぜることで全体の健全率を低くしている。種子を混ぜないで家系

ごとに健全率を示して配布するのが望ましい。二つめの問題「成木に抵抗力があるのか」という疑問に関して、戸田ら⁸⁾は7年生時の生存率が高いと報告している。10年生前後で罹病しやすくなるので、植栽地での調査が今後必須である。三つ目の「地元産抵抗性マツが必要」という要望は、庭園に向く樹形のアカマツを求める京都の社寺から出てきた。関東や九州の需要はクロマツが主であるが、関西では庭園や治山の両方の目的でアカマツの需要が大半である。抵抗性マツに求める形質は地域ごとに異なるので、ニーズの把握と対応が必要である。

一般に、新たな発明品がそのまま一足飛びに売れるわけではない。たいいていの場合、知恵を絞って売れる商品に作り上げている。抵抗性のマツについても、苗の大量生産と普及までを視野に入れた検討が必要であり、今後は森林保護、育種部門、行政との連携で仕事を進めていくのが望ましいと考えている。なお、関連の研究報告や解説、写真等については、<http://cse.affrc.go.jp/keiko/hp/kuroda.html>に掲載している。

（くろだ けいこ，森林総合研究所関西支所）

引用文献

- 1) 黒田慶子：マツ樹幹内で起きていること — マツ材線虫病の発病機構と抵抗性に関する研究より —。森林防疫 52:19-26, 2003.
- 2) Kuroda, K.: Inhibiting factors of symptom development in several Japanese red pine (*Pinus densiflora*) families selected as resistant to pine wilt. J. For. Res. 9: 217-224, 2004.
- 3) 黒田慶子・大平峰子・岡村政則・藤澤義武：マツ材線虫病抵抗性クロマツ家系の苗木における線虫分布と増殖。日林誌89, 2007(印刷中)
- 4) Kuroda, K., Yamada, T. and Ito, S.: *Bursaphelenchus xylophilus* induced pine wilt: Factors associated with resistance. Eur. J. For. Path. 21, 430-438, 1991.
- 5) Kuroda, K., Yamada, T., Mineo, K. and Tamura, H.: Effects of cavitation on the development of pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. 日本植物病理学会報, 54, 606-615, 1988.
- 6) Sperry, J.S., Tyree, M.T. Mechanism of water stress-induced xylem embolism. Plant Physiol. 88: 581-587, 1988.
- 7) 戸田忠雄，マツノザイセンチュウ抵抗性の向上に関する研究。林木の育種 192: 1-4, 1999.
- 8) 戸田忠雄，栗延晋，佐々木峰子：マツノザイセンチュウ抵抗性マツの次代検定林における7年次の成長と生存率。J. Jpn. For. Res. 84:188-192, 2002.