

樹木の水分通導機能の消失に及ぼす水ストレスの影響

関西支所 池田 武文

1. はじめに

樹木を形作る器官のうち、幹や根、枝のほとんどは木部が占めている。この木部は、樹体を支えることと水の長距離輸送という二つの大きな役割を持っている。特に後者に関して、木部には道管や仮道管といった水を通す水分通導組織があり、根で吸収された水を葉まで通すパイプの役割を果たしている。

これまで、このパイプ機能が水ストレスや凍結が原因で失われる、つまり水が通らなくなることは樹木の成長や生存にとってマイナスであると考えられてきた。ところがこのことに加えて、最近の樹木の水分生理学研究の成果から、水分通導組織は樹体を貫く単なる均一なパイプではなく、樹体各部でそのパイプ機能に差のあることが指摘されている。

ここでは、樹木水分生理学の最新の成果をもとに、水ストレスに対する樹体各部のパイプ機能消失程度の違いと、病気（マツ材線虫病）によるマツの水分通導機能消失過程の概要を報告する。

2. 樹液の上昇とその消失

水分通導組織である道管や仮道管の中の水はそれ自身の凝集力によって連続した柱となって繋がっている。蒸散によって葉の細胞から水が失われると、それを補うために水柱が引っ張り上げられる。ところが、通常失われた水は直ちに補われることはないで、水不足が生じる。水不足が厳しくなると引き上げる力はさらに大きくなる。その力がある限界を超えると、様々な原因ですでに空洞化している隣り合った道管や仮道管の壁孔膜の微細な孔を通して空気が水柱に引き込まれ、空洞が形成されて水柱が途切れる。この現象が水ストレスによって誘導されるキャビテーション（空洞形成）（図1）である。その結果、道管や仮道管には空気が充満してエンボリズム（塞栓症）を起こし、水が通らなくなる。これが“air seeding（エア・シーディング）理論”によるキャビテーション発生メカニズムである。

（右側上へ）

エンボリズムが木部の一部だけで生じている時は、水はその部位を迂回して上昇するので、樹木の成長が著しく低下したり、枯れたりすることはない。ところが、多くの箇所でエンボリズムが起こると、枝や根が枯れたり、樹木個体が枯死することもあり、樹木の成長や生存に重大な影響を及ぼすことになる。

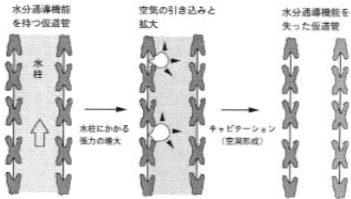


図1. エンボリズムの形成メカニズム
(拡大図44KB)

（左側下へ）

3. 樹体各部位のキャビテーションに対する感受性の解析

先に示したエア・シーディング理論をもとに、樹木木部のキャビテーションに対する感受性、つまりキャビテーションの起こりやすさを定量的に評価することができるユニークな実験方法が考案された。その方法は“空気注入法”と呼ばれている。

この方法では、枝や根、幹の切断試料を鉄製の密封容器（図2）に入れ、その中に任意の圧力の空気（樹木の水ストレスの程度に相当する）を送り込んで一定時間置く。その間に試料の木部ではキャビテーションが発生してエンボリズムが起こる。その試料の一方の端から一定圧で水を流して、もう一方の端から流れ出てくる水の量を測定すると、その試料の水分通導度（水の通りやすさ）が求まる。この操作をいろいろな圧力下でくり返す。水ストレスが起きていない0MPaの時の水分通導度に対して、ある任意の空気圧下（図3の横軸）で失われた水分通導度の割合（図3の縦軸）をそれぞれプロットすると、vulnerability curveという曲線を得ることができる。この曲線が左によればほどキャビテーションに対する感受性が高いことを示す。

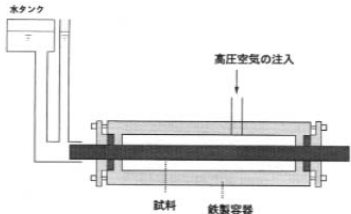


図2. 空気注入法

自然状態では、水柱にかかる張力がある限界を超えると水柱に空気が引き込まれてキャビテーションが発生する。この現象を逆に考えると、切断試料（水柱に張力がかかっていない状態）の外から圧力を加えて水柱に空気を押し込むと、キャビテーションを人工的に発生させることができる。これが空気注入法によるキャビテーションの再現である。

以上のような空気注入法を使って作成した、クロマツ4年生苗木の部位別（根、当年生幹、1年生幹）のvulnerability curve（図3）をみると、根の一部で他の部位に比べてキャビテーション感受性が高かったが、他では顕著な違いは認められなかった。しかし、樹高約10mの成木では根の感受性が最も高く、枝も若い枝ほど感受性が高いというように、樹体の末端部に当たる若い枝や根でキャビテーションが起こりやすいことが分かった。このような樹木の齢や樹体の部位によるキャビテーション感受性の違いが、野外で生育する樹木の成長や生存にとってどのような意味があるのかは今後、さらなる検討が必要なテーマである。

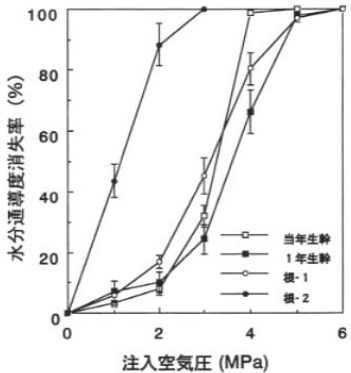


図3. クロマツ苗木のvulnerability curve

4. マツ材線虫病によるマツの水分通導機能消失過程

マツノザイセンチュウを接種したマツの病気の進展・枯死過程において、先に示したvulnerability curveを作成し、この病気とキャビテーション発生との関係を検討した。その結果、病気が進展するにつれてキャビテーションに対する感受性が高くなる、つまり、キャビテーションが起こりやすくなることが分かった。

別の研究成果でもマツ材線虫病の進展過程で生じるキャビテーションは、通常の水不足で生じるキャビテーションに比べて非常に頻度が高く、特にこの病気の後半に生じるキャビテーションは爆発的であることが分かっている。本研究で明らかになったキャビテーション感受性の高まりは、既知の研究成果を強く裏付けるものであり、この病気の後半に起こる急激な水分通導機能の消失を引き起こすrunaway embolism（ランウェイ・エンボリズム）と密接な関係にあることが分かった。

5. おわりに

樹木の水分生理に関する新たな基礎的概念を導入することにより、これまで判然としなかった現象が整然と理解できるようになった。ここで得られた結果は今後、樹木の耐乾燥性や萎凋病の発病・枯死機構の解明等の応用研究のさらなる進展に繋げることが期待できる。