

樹木の乾燥耐性と水分通導部の細胞構成の関係を探る機能解剖学的研究

神戸大学農学研究科 森林資源学研究室

修士1年 山田佳乃

はじめに

神戸市では都市緑化が積極的に行われてきたが、近年では大木化に伴う街路樹の衰退などの問題があり、管理についての再検討が必要になっている。樹木によって水要求性は大きく異なる。兵庫県の県樹クスノキは降雨の少ない真夏でも青々とした葉を茂らせる。一方、ハート形の葉を持つことから庭木や街路樹として植栽されるカツラは水要求性が高く、夏の高温や少雨によって落葉、衰退する場合もある。街路樹の衰退・枯死を防ぐためには、樹木の水要求性を考慮した植栽が必要であるが、現在はこれらの情報が十分に把握されていない。

道管の中を水が上がる基本原理は、凝集力-張力説で説明されてきた (Tyree and Zimmerman 2002)。葉の蒸散によって水が出ていき、葉脈の道管内の水が減ると、それを補給するために水を下から引きあげようとする (図1 左図)。すると道管内の水には張力が働き、水分子の水素結合によって水が上昇する。このようにして、道管内の水は根から葉まで連続した「水柱」を形成している。

しかし現実には、この水柱は頻繁に途切れることが分かっている。あまりに強い張力がかかると、水分子間の水素結合が切れて気泡が発生し、道管は排水して空洞になる (図1 右図)。空洞になった道管では一時的に水が流れなくなるものの、夜や降雨時に水が流入し (再注水)、通水が再開する (水分通導の回復)。水は樹木の生存に必須であり、長期間生育する樹木にとって排水した道管で通水を回復させることは非常に重要である。しかし、その仕組みは解明されていなかった。

本研究では、クスノキ *Cinnamomum camphora* を材料として、排水した道管への再注水のプロセスを機能解剖学的手法によって検討した。乾燥耐性のある樹種で通水の回復機構を明らかにすることで、**科学的根拠に基づいた植栽樹種選択基準を提案する。**

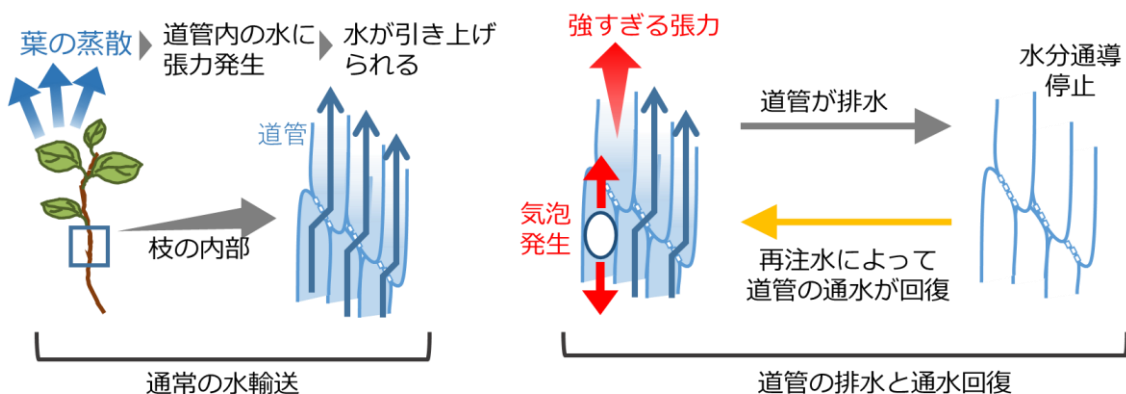


図1 樹木における水輸送の模式図

方法

対象樹種と採取地

①クスノキ *Cinnamomum camphora*

クスノキ科クスノキ属の常緑高木種。

<採取地>

神戸大学農学部キャンパス構内 (図 2)



図 2 調査対象木 (クスノキ)

色素液吸入による再注水の検証

長さ 40cm のクスノキの切り枝を一定時間大気中において排水させて水分欠乏の状態にし、葉を取り除いてから、枝の下端を 1%酸性フクシン水溶液 (以下、色素液) に 10 分間浸した。色素液を吸入した細胞は赤く染まるため、水輸送に関わっている細胞を視覚的に把握することができる (図 3)。

マクロ・ミクロ観察による再注水プロセスの追跡

色素液を吸入させた後、供試枝を基部から 5cm おきに切断した (図 3)。各木片の横断面における色素液の吸入範囲を実体顕微鏡で観察し、乾燥処理時間との関連を検証した。各木片を冷凍した後、滑走式ミクロトーム (リトラーム REM-710: 大和光機工業) で厚さ 22~35 μm の横断面、縦断面の切片を作製した。これらの切片を光学顕微鏡で観察し、色素液を吸入した細胞を確認した。



図 3 色素液吸入実験後の供試枝

クスノキ二次木部の細胞構成の把握

枝の組織から厚さ 22~35 μm の横断面、放射断面の切片を作成し、木化 (リグニン沈着による硬化) した細胞を識別するためサフラニン・ファストグリーン二重染色を施した。光学顕微鏡による観察時には、色素液を吸入した細胞の分布や、乾燥処理時間に伴う木部細胞の変化に注目した。

結果

飽水処理直後（図4：N-0）では全ての細胞が水で満たされているので、色素液を吸入しなかった。短時間の乾燥処理を施すと広い範囲で色素液を吸入し（図4：R-1、R-3）、長時間の乾燥処理を施すと色素液の吸入は著しく減少した（図4：T-24）。

クスノキの二次木部では道管の周りを多数の軸方向柔細胞が取り囲んでいた（図5a、5b）。色素液吸入実験後、柔細胞類の細胞壁と内容物、道管の壁孔と細胞壁の染色を確認した（図6a、6b）。なお、長時間の乾燥処理により色素液がほとんど吸入されなかった供試枝では、柔細胞の原形質分離が観察された（図6c）。

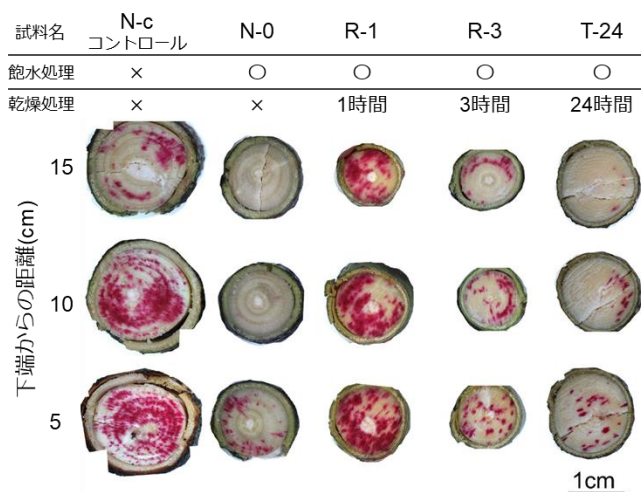


図4 木部における色素液の吸入範囲

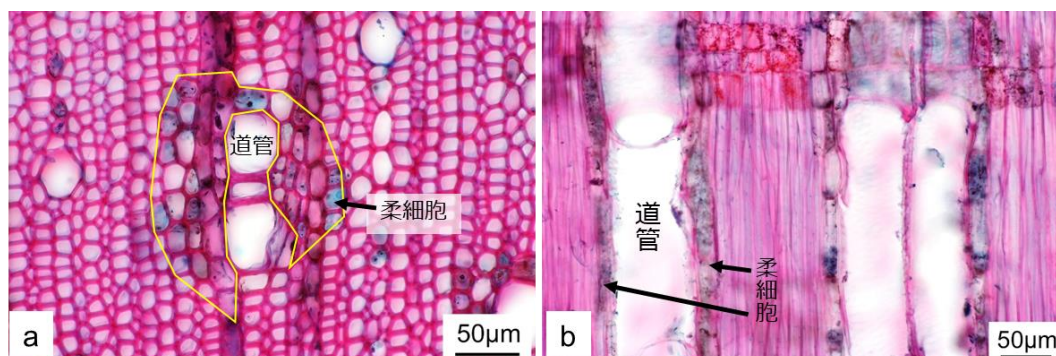


図5 クスノキ二次木部の細胞構成
a：横断面、b：縦断面

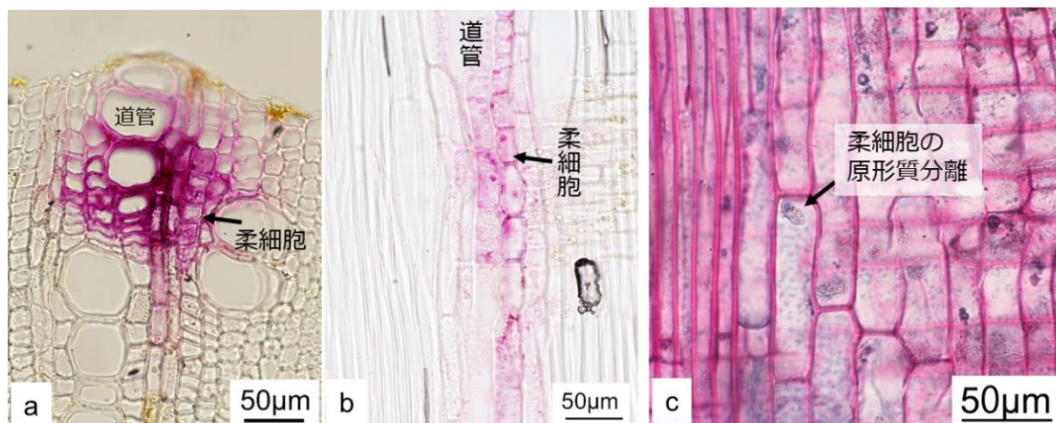


図6 実験後の細胞

a、b：色素液を吸入した細胞、c：長時間の乾燥処理後に観察された柔細胞の原形質分離

考察・提案

本研究の結果から、道管の中の水がなくなった後でも、再度水を与えると柔細胞類が吸水して水を道管に運んでいることが分かった。このメカニズムは、色素液が柔細胞類を介して上昇し、柔細胞類と道管との間の壁孔を通して道管内腔に移動したものと考えられる（図7）。柔細胞類は養分の貯蔵や供給といった生理活動を担う生細胞である（黒田 2015）。長時間の乾燥処理を行った場合は、柔細胞が原形質分離を起こし、排水した道管への再注水ができなかったことがわかった。クスノキが乾燥条件に強いのは、道管の周囲に柔細胞類が多いことと関係していると考えられる。

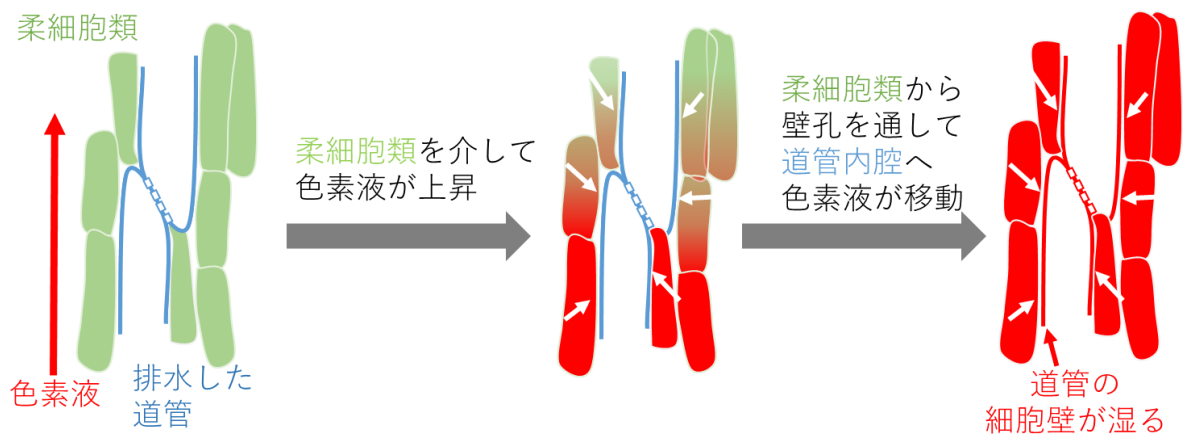


図7 再注水過程のモデル図

一般に、街路樹や公園植栽木は乾燥した環境下で生育している。水不足の環境で生育しやすい樹木の条件として、柔細胞の配置や量に注目し、科学的根拠に基づいた、乾燥耐性を指標とする植栽木の選定が可能である。以下に、神戸市の代表的な街路樹であるカツラとケヤキの植栽可能な環境を推測した例を示す。

①カツラは非常に多くの道管を持つが軸方向柔細胞は少ないため（図8a）、水要求性が高くエンボリズム発生後の水分通導の回復が難しい。したがって、灌水が可能な場所には植栽可能である。

②「環孔材（図8）」であるケヤキでは、春先の水分通導を担う大径道管の周囲も（図8b-1）、夏以降の水分通導を担う小径道管の周囲も（図8b-2）、非常に多くの軸方向柔細胞が取り囲んでいる。そのため、水分通導の回復が容易であり、灌水の手間がかけられない場所にも植栽可能である。

不適切な環境に植栽されたために起こる樹勢の低下、景観の悪化、管理コストの増加を防ぎ、安全で美しい神戸のまちづくりに貢献可能である。

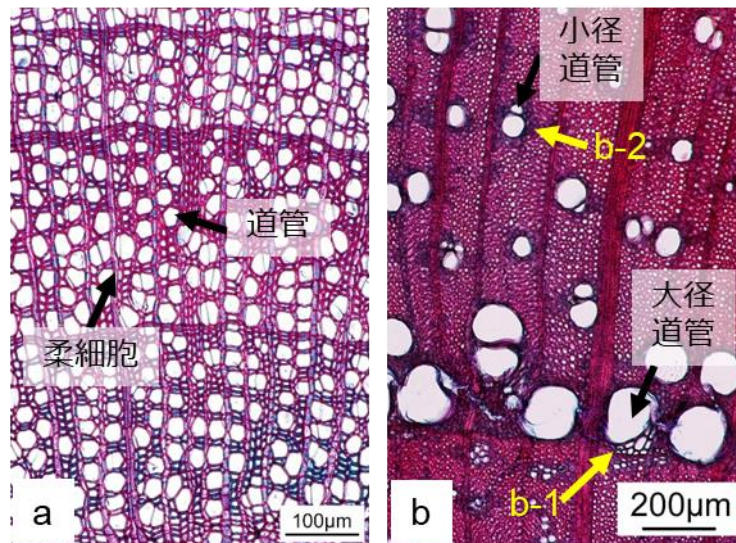


図8 クスノキ以外の街路樹の二次木部細胞構成

a : カツラ横断面

道管は非常に多いが柔細胞類はさほど多くなく、道管の周囲は柔細胞類で囲まれていない

b : ケヤキ横断面

早材部分には大径道管、晩材部分には小径道管が分布する環孔材

大径道管の周囲も (b-1) 小径道管の周囲も (b-2) 多数の柔細胞類が分布する

引用文献

黒田克史 (2015) 木部における柔細胞の役割, 物質移動と心材形成. 木材学会誌 61 : 131-135

Tyree M.T. and Zimmermann M.H. (2002) Xylem Structure and the Ascent of Sap. Springer-Verlag . New York, pp.187-190