

# 低温走査電子顕微鏡による樹木のキャビテーションの可視化

(北海道大学農学研究科) 佐野雄三、(九州大学演習林) 内海泰弘

## 1. 研究の背景

樹木の内部をどのような仕組みで水が上昇するのかという問題は、ふるくより樹木生理学上の基本的な疑問の一つであり、現在でも論争の絶えない問題である。半世紀近く前より凝集力説を裏付ける実験事実が幾つか得られるにいたり、細部では見直しの必要が論じられているものの、現在ではこの説が大筋で間違いないというのが専門家の一致した見解である。

凝集力説によると、蒸散時の通水組織の水には大きな張力が作用する。したがって、蒸散が活発な最中の通水組織の水は、きわめて気化を起しやすいう準安定状態にある。現在の樹木水分生理学では、このような準安定状態が通常はどのようにして維持され、何が契機となって損なわれるのか、気化(キャビテーション)が生じたときに樹体全体に進行するのをどのようにして防いでいるのか、キャビテーションによる通水障害からどのようにして回復するのか、といったキャビテーションの発生や進行、回復の仕組みを解明することが重要な課題になっている。

## 2. 研究の成果

筆者らは、材組織の水の分布や状態を低温走査電子顕微鏡(Cryo-SEM)により可視化する方法を考案し<sup>1)</sup>、立木状態で液体窒素により凍結させた木部の水分分布をこの方法で観察することにより、季節的なキャビテーションのタイミングや進行過程について検討してきた<sup>2~5)</sup>。以下に、その研究成果について紹介してみたい。

図1にトドマツ材木口面のCryo-SEM写真を示す。Cryo-SEMとは、試料ステージを冷却する機構を備えた走査電子顕微鏡である。液体窒素を使って試料を極低温に維持したまま試料の金属蒸着~観察ができるため、高真空のSEM鏡筒内でも試料の水分を昇華させずにその分布や状態を安定的に観察することができる。

この方法により北大中川研究林の環孔材樹木(ヤチダモ)の木部の水分分布を季節別に調べた研究<sup>2)</sup>では、孔圏道管の不可逆的なキャビテーションのタイミングや過程について、他の研究手法では知ることの難しい興味深い知見が得られた。10月には当年に形成された孔圏道管に水が充満し、木部繊維のほぼすべてが空洞化していた(図2)。ところが、11月下旬のこの冬最初の本格的寒波の直後には、当年の孔圏道管がキャビテーションを起しているとともに、それら孔圏道管近傍の木部繊維が水で再充填されているのが認められた(図2)。2月

になると、11月には水で充填されていた孔圏道管近傍の木部繊維から再び水がなくなっていた。

北大構内の散孔材樹木2種(オノエヤナギ、シラカンバ)の枝について季節別に水分分布を調べた研究<sup>3)</sup>では、環孔材樹木の場合と同様に、両樹種ともに冬期間に多くの道管がキャビテーションを起し、このときに一部の木部繊維がまとまって水で再充填されていた。しかし、キャビテーションを起した道管が冬の終わりまでに少しずつ増えること、春先の開葉前にはほぼすべての道管が水で再充填されるようになることは、環孔材樹木とは異なっていた。

北大苫小牧研究林の針葉樹3種(トドマツ、エゾマツ、カラマツ)について調べた研究<sup>5)</sup>では、新しく形成された年輪において、早・晩材の移行部の仮道管で秋にキャビテーションが率先的に起こること、続く冬期には早材部の仮道管でキャビテーションが散発的に起こることが明らかになった。また、エゾマツでは冬期に樹脂道管近傍の仮道管にもキャビテーションが起こることも明らかになった。

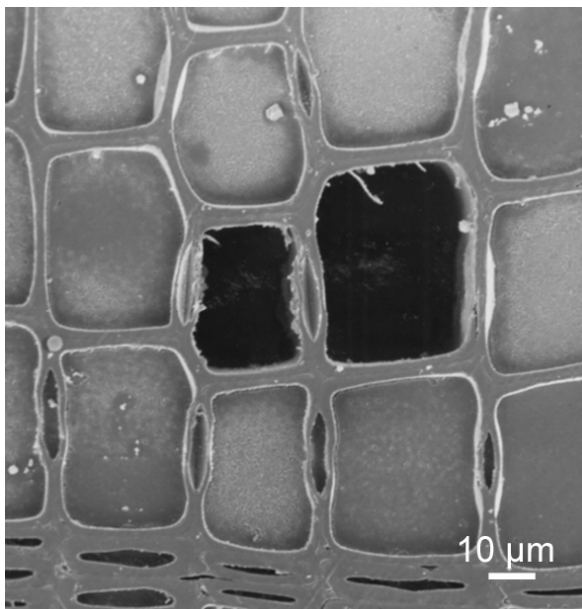


図1. トドマツ材木口面のCryo-SEM写真。

冬期に氷点下の気温が継続するような寒冷地に生育する環孔材樹木の孔圏道管が、冬期の凍結を契機にして不可逆的な通水障害を起すことは従来から知られていた。しかし、一度の凍結と融解で孔圏道管がほぼ完全に排水されてしまい、このときに支持組織の一部が水で再充填されることは想定されていなかった。同様に、寒冷地の散孔材樹木の道管が冬期には凍結に起因する一時的な通

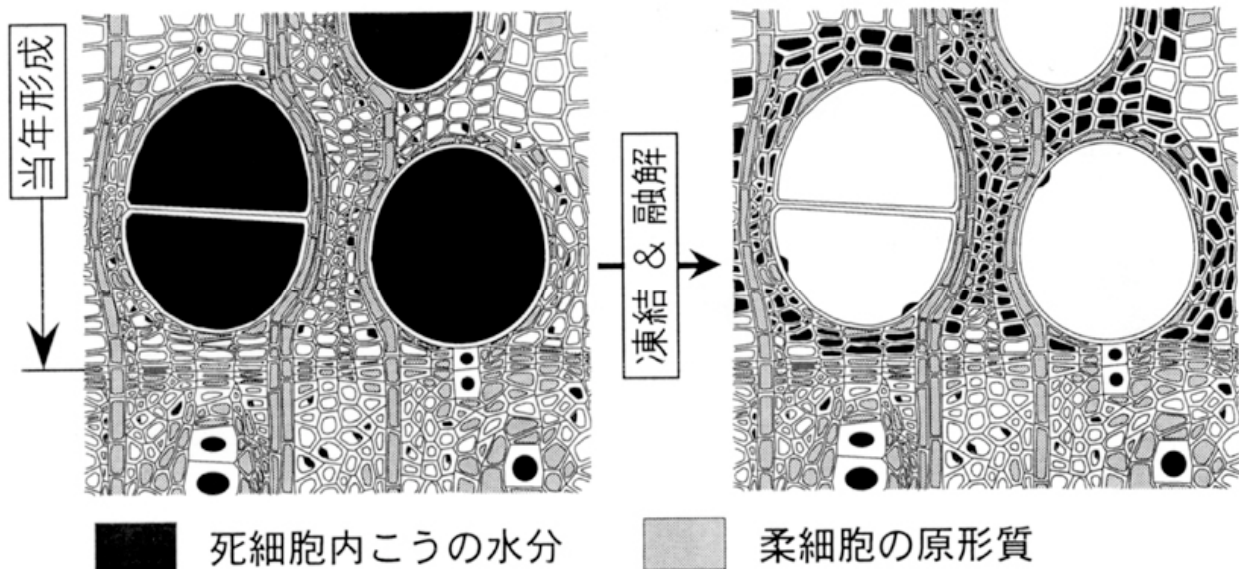


図 2. 北大中川研究林のヤチダモ若齢木における水分分布の季節変化の模式図（木口面）. 初冬の寒波前（左）と寒波直後（右）. 文献2) に基づき作図.

水阻害を起こすことは知られていたが、冬期にこれだけ多くの道管が脱水されることは想定外であった。また寒冷地に生育する針葉樹の場合にも、特定の季節に年輪内の特定の部位からキャビテーションが始まることは、筆者らの研究により初めて示された現象である。

### 3. 研究の意義

樹木の通水障害を調べるのには、これまで透湿度の測定、あるいはキャビテーションの瞬間に発するとされる音を増幅・記録する方法などが用いられてきた。これらの研究手法では、定量的あるいは非破壊的にキャビテーションの程度を評価できるという利点がある一方で、通水組織の内部の水の状態を知ることは難しかった。これに対して筆者らは、独自の組織学的手法により、寒冷地に生育する樹木の内部において秋から翌春までの期間にこれまで全く知られていなかった水の流動が生じていることを見いだした。この成果は、樹木水分生理学の研究史において新たな研究課題の発掘として位置付けられることになると思う。

道管で凍結に起因するキャビテーションが起こるとき、道管から排出された水が木部繊維へと流動すると考えられるが、そのメカニズムは不明である。その後の木部繊維から木部外への排水の過程についても、今のところ全く不明である。今後、道管からどのような経路をたどり、どのくらいの時間を要して最終的に樹体外へと排水されるのかを検討することがまず必要である。

人が天然物の巧妙な仕組みをよく理解し、模倣して、役に立つ幾多の技術を発明してきたように、このような水の流動の仕組みを解明することにより、低コストで省エネルギーの木材乾燥法を開発するためのヒントが得ら

れるかもしれない。樹木の水分流動の仕組みを解明することは、樹木水分生理学ばかりではなく、木材利用学的にも意義のある問題であると思われる。

最後に、紹介した一連の研究は、北大農学部、北大研究林（旧、演習林）、北大低温科学研究所の施設を利用し、多くの方々のお世話になりながら行われたことを記し、関係各位に謝意を表したい。

### 引用文献

- 1) Sano, Y. et al. : *Trees* 9, 261-268 (1995).
- 2) Utsumi, Y. et al. : *IAWA Journal* 17, 113-124 (1996).
- 3) Utsumi, Y. et al. : *Plant Physiology* 117, 1463-1471 (1998).
- 4) Utsumi, Y. et al. *Plant Physiology* 121, 897-904 (1999).
- 5) Utsumi, Y. et al. : *Plant Physiology* 131, 1826-1833 (2003).