

コナラ立木における ミネラルの幹半径方向移動の実態を細胞レベルで解明

木材加工・特性研究領域:黒田 克史、山根 健一

立地環境研究領域:伊藤 優子

幹に含まれるミネラルなどの成分は樹種ごとに異なっており、その違いが木材の色、耐久性、強度などの材質に影響します。ミネラルは土壌から水とともに吸収され樹木全体に配分されます。コナラの幹ではミネラルを含む水は辺材の外側の道管などの組織で輸送されるため、内側に含まれる成分は幹を半径方向に動いて蓄積されると考えられてきました。しかし、その移動の実態は実験として証明されていませんでした。この研究では、できるだけ立木で起きている現象をそのまま解析する手法を用いてコナラ幹の半径方向のミネラルの移動の実態を細胞レベルで明らかにしました。この成果は幹の材質の樹種間の違いを理解するための重要な手掛かりとなります。

成 果

■ 幹の成分は材質に影響する

多年にわたり健全な成長を続け大径になるための戦略として、樹木は取り込んだ成分を樹体の各器官へ配分します。幹に蓄積された成分の種類や割合は樹種で異なるだけでなく、幹の辺材と心材でも異なり、これが材色、耐久性や強度などの材質に大きく影響します。コナラには放射柔細胞がよく発達しています。放射柔細胞は幹の半径方向に配列しておりミネラル移動の役割があるとされてきましたが、じつはその実態は分かっていませんでした。

■ 幹内のミネラル移動の様子を立木の状態で明らかにする工夫

この研究では立木のミネラルの移動実態を解明するために、立木の内部の様子をできるだけそのまま調べる工夫をしました(図1)。染色剤である酸性フクシンを含む塩化セシウム水溶解(セシウム液)をコナラの樹皮のすぐ内側に数時間から数日間注入し、注入した幹部分を-196℃の液体窒素で凍結固定してから伐採し凍結試料を得ました。この凍結試料を用いて、クライオSEM/EDXで細胞の種類ごとにセシウム分布を解析しました。セシウムの動きは樹木の成長に必要なミネラルの移動の様子を明らかにするほか、原発事故後に放射性セシウムが幹内部に蓄積した経緯の解明も期待されます。

■ コナラ幹内のセシウムの移動

凍結と融解を繰り返す処理により生きている細胞がない状態にした幹にセシウム液を注入すると、セシウムは拡散により内方に移動しその距離は細胞の種類にかかわらずほぼ同じでした(図2上)。一方、生きた細胞がある通常の幹では、放射柔細胞では道管や木繊維よりも遠くまでセシウムは移動しました(図2下)。最外年輪の分裂中の細胞を除き辺材で生きた細胞は柔細胞だけです。そのため、得られた結果は、生きた柔細胞は拡散よりも速いスピードでセシウムを内方へ移動させることを示しています。さらにセシウム液を長時間注入し続けるとセシウムは辺材だけでなく心材へも移動しました(図3)。ところが、染色剤の赤色は心材の手前の

部分で止まり、心材には入りませんでした。この結果は、辺材から心材への移動は単なる拡散ではなく、辺材と心材の境界付近で移動する物質を選択する何らかのメカニズムが存在することを示唆しています。

コナラの結果を先行研究で得られたスギの結果と比較すると、どちらの場合も辺材内でミネラルは柔細胞を介した速い移動と細胞壁等の拡散の複合で半径方向に移動します。すなわちこの移動機構は樹木に普遍的であると考えられます。一方、スギとコナラでは心材に蓄積するミネラルの種類や割合が異なるため、心材へのミネラル移動の選択性は異なると考えられます。すなわち、辺材から心材へのミネラル移動機構は樹種間で異なり、それが幹の材質を決定する重要な要因の一つと考えられます。

研究資金と課題

本研究は、科研費(16H04936)「木部柔細胞類は樹木の水分通導の維持と防御システムにどのように関わっているのか」と(18H02258)「立木の幹内部を可視化する手法を用いた樹幹師部—木部の放射方向の物質移動機構の解明」、本研究の実施課題「大径材および国産早生樹等の利用拡大に向けた木材特性の評価」による成果です。

文献および参照サイト

Kuroda K et al. (2022) Cellular-level *in planta* analysis of radial movement of minerals in a konara oak (*Quercus serrata* Murray) trunk. J Wood Sci, 68, 16.

Kuroda K et al. (2020) Radial movement of minerals in the trunks of standing Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) trees in summer by tracer analysis. Forests, 11, 562.

専門用語

放射柔細胞: 師部(樹皮)から木部(材)へ幹の半径方向に延びた放射組織を構成する細胞。養分の輸送と貯蔵、心材物質の生成などの生理活動に関与すると考えられています。辺材では生きていますが心材では死細胞です。

クライオSEM/EDX: エネルギー分散型エックス線分析装置が付属したクライオ走査電子顕微鏡。試料の凍結を維持したまま、細胞形態の観察と元素分布解析ができます。

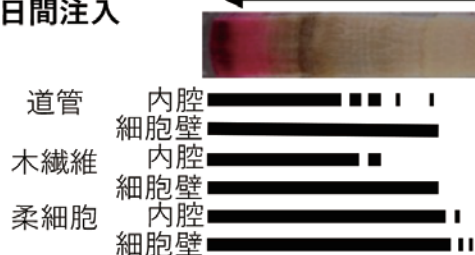


図1 セシウム液注入と立木凍結固定伐採法

(a) 立木の樹皮直下にセシウム液を注入し、(b) 幹を液体窒素で凍結固定してから、(c) 伐採します。
(Kuroda et al. 2022を改変)

凍結融解 4日間注入

辺材（生きた細胞無し）←拡散しか起こらない

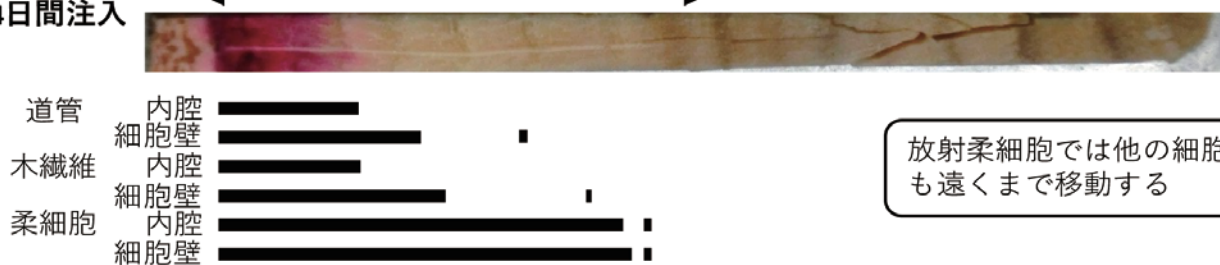


放射柔細胞と他の細胞で移動
距離はほぼ同じ

黒棒はクライオSEM/EDXでセシウムが
検出された範囲を示す

通常の幹 4日間注入

辺材（生きた細胞有り）



放射柔細胞では他の細胞より
も遠くまで移動する

図2 辺材内のセシウムの移動の特徴

生きた細胞が無い凍結融解処理の幹(上)では柔細胞とその他の細胞で移動距離はほぼ同じですが、辺材の柔細胞が生きている幹(下)では放射柔細胞で他の細胞よりも遠くまで移動します。辺材内では、生きた柔細胞が拡散よりも早い速度でセシウムを移動させることを示唆しています。(Kuroda et al. 2022を改変)

通常の幹 45日間注入



図3 辺材から心材への移動の特徴

セシウム液を長期間注入すると、セシウムは心材内に移動しますが、染色剤(赤色)は心材の手前までしか移動しません。辺材と心材の境界付近で、物質移動を選択するメカニズムの存在を示唆しています。