

学 位 論 文 要 旨

「針葉樹における放射柔細胞の分化および細胞死と養分貯蔵機能に関する細胞生物学的研究」
“Cell biological studies on the differentiation, cell death and storage function of ray parenchyma cells in conifers”

環境資源共生科学専攻 森林資源物質科学大講座
荒川 泉

木材などの木質資源は再生可能かつ持続的生産が可能であり、樹木の成長により生産されるカーボンニュートラルな資源である。地球温暖化を防止し、循環型社会を構築するためには、木質資源の高度有効利用が求められる。木材として利用される樹幹は、形成層から生産された二次木部細胞によって構成される。木材の物理的・化学的特性は、二次木部細胞の量や形態、細胞壁構造、心材形成などの樹木の生命現象と密接に関わるため、木材の量や質を制御し、高度有効利用するためには、樹幹の形成機構や樹木の生命現象の理解が重要である。樹幹の大部分を占める二次木部細胞は、細胞死のタイミングや特徴が細胞の種類により大きく異なる。樹木に特有な木部放射柔細胞（以下、放射柔細胞）は長期間にわたり生存する間、養分貯蔵機能や樹幹放射方向の物質の輸送、心材形成に関わる二次代謝物質の生合成などの機能を発揮し、最終的に細胞死に至る。放射柔細胞に貯蔵される養分は、例えば、樹木の越冬後の細胞生産、二次代謝物質の生合成のエネルギー源や基質として重要であり、多くの生命現象と密接に関わる。したがって、樹木に特有で様々な機能を担う放射柔細胞の養分貯蔵機能の制御機構の理解は、樹木の生命現象や木材の形成機構の理解に重要である。

本研究では、放射柔細胞の養分貯蔵機能の制御機構に関して、分化過程と細胞死過程に着目し、放射組織の構造が単純である針葉樹を用いて、(1)放射柔細胞の分化と養分の貯蔵開始、(2)放射柔細胞に貯蔵された光合成同化産物の放射方向の分布、(3)放射柔細胞の細胞死と貯蔵養分の消失について研究を行った。

当年形成木部で二次壁の肥厚と木化が起き、放射仮道管をもつカラマツを用いて、養分の貯蔵開始と二次壁形成の関係性について組織化学的手法により解

析した。その結果、二次壁の有無に関わらずデンプン粒や脂質粒を貯蔵していたことから、放射柔細胞は分化過程において二次壁形成と養分貯蔵機能を独立して制御し、貯蔵養分の種類によって異なる制御機構をもつと考えられる。また、放射仮道管をもつカラマツと放射仮道管をもたないスギを用いて、放射柔細胞に隣接する放射仮道管の影響と放射柔細胞間の違いについて解析した。カラマツでは、自己分解過程にあると考えられる放射仮道管に隣接する放射柔細胞において、早期にデンプン粒の貯蔵が開始した。一方、スギではデンプン粒の貯蔵開始に明瞭なパターンは認められなかった。このことから、放射柔細胞間に養分貯蔵機能の違いはなく、隣接する放射仮道管から養分を回収したことによりデンプン粒の貯蔵を開始した可能性が示唆された。

放射柔細胞に貯蔵された光合成同化産物の放射方向の分布に関して、炭素安定同位体で標識された二酸化炭素を光合成により取り込ませる、光合成同化産物を標識する手法を用いて解析を行った。9月下旬に標識を行ったスギ苗木を標識2-3日後と131-132日後に採取し、師部の炭素安定同位体比測定を行った結果、9月下旬の光合成同化産物は速やかに転流し、3日以内に師部の柔細胞にデンプン粒として貯蔵され、少なくとも132日後まで貯蔵されることが示された。一方、木部では、9月下旬の光合成同化産物は主に分化中の細胞における細胞壁の肥厚と木化に利用される。また、標識3日後から132日後までに、9月下旬の光合成同化産物の一部が当年形成木部の放射柔細胞にデンプン粒として貯蔵される可能性が示唆された。一方、前年形成木部に標識による ^{13}C は検出されなかった。したがって、放射柔細胞の糖の輸送や貯蔵には変動があり、木部生産中である9月下旬に貯蔵に用いられる基質は、3日以上前に生合成され、葉や師部などに配分された光合成同化産物由来であり、休眠期にかけて9月下旬の光合成同化産物の一部が最外年輪に貯蔵される可能性が示唆された。

放射柔細胞の細胞死および養分貯蔵に関わる液胞の組織化学的解析により、放射柔細胞の液胞は分化中木部において膨圧の発生により細胞の伸長へ寄与した後、膨圧の減少に伴い小胞化し、タンパク質の貯蔵と細胞の恒常性維持へと主な機能を移行すると考えられる。さらに、放射柔細胞の細胞死過程において、液胞内の貯蔵タンパク質が急激に減少し、タンパク質蓄積型液胞が分解型液胞へと変換され、一部の液胞が崩壊を開始した。放射柔細胞では、同一の細胞内においても全ての液胞が同時に崩壊せず、液胞の崩壊開始後も暫く細胞内容物が維持されることから、管状要素と放射柔細胞で細胞死の特徴が異なることが明らかになった。また、移行材内部で拡大した一部の液胞の崩壊により、放射柔細胞の最終的な内容物の自己分解が引き起こされると示唆された。これらの液胞の機能変化は、長命な放射柔細胞における特徴であると考えられる。

以上、本研究では、針葉樹における放射柔細胞の分化、細胞死と養分貯蔵機能の関係性を細胞生物学的解析により明らかにした。放射柔細胞は分化に伴い直近の光合成同化産物を細胞壁形成へ利用しながら、他の器官などに配分されていた基質を元に養分を貯蔵し、液胞内の貯蔵タンパク質の消費と共に液胞の崩壊を開始した後、移行材内層において拡大した液胞が崩壊することによって、最終的な細胞内容物の自己分解が引き起こされると考えられる。