

**2019 年度**

**日本木材学会 組織と材質研究会・「樹木年輪」研究会  
合同シンポジウム**

**講演要旨集**

**2019 年 11 月 24 日**

**東京農工大学農学部**

**主催：日本木材学会 組織と材質研究会  
「樹木年輪」研究会**



2019 年度

日本木材学会 組織と材質研究会・「樹木年輪」研究会合同シンポジウム  
-形成層細胞の分裂と木部細胞の分化からみる年輪形成メカニズム-

12:30-12:35 開会挨拶 安江 恒 (信州大学)

12:35-12:40 趣旨説明 半 智史 (東京農工大学)

12:40-13:20 S-1

**形成層活動と年輪形成**

船田 良 東京農工大学 大学院農学研究院

13:20-14:00 S-2

**植物ホルモンと年輪形成**

雉子谷 佳男 宮崎大学農学部 森林緑地環境科学科

14:00-14:10 休憩

14:10-14:50 S-3

**ミズナラにおける年輪形成の長期変動と季節変化**

鍋嶋 絵里 愛媛大学 大学院農学研究科

14:50-15:30 S-4

**環境および遺伝が年輪形成に与える影響**

武津 英太郎 森林総研林木育種センター九州育種場

15:30-15:45 総合討論

15:45-15:50 閉会挨拶

## S-1

# 形成層活動と年輪形成

東京農工大学 大学院農学研究院  
船田 良

循環型社会を構築し、持続可能な開発目標（SDGs）を達成するには、再生可能な資源・エネルギーである木材の有効利用が重要である。また木材は、樹木が光合成により葉から吸収した大気中の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）をセルロースなど細胞壁成分として固定する場でもある。したがって、木材のさらなる高度利用は、温室効果ガスである CO<sub>2</sub> 濃度の上昇を軽減し、地球温暖化の急激な進行や異常気象の増大などを抑制する上で重要である。木材は、樹木の維管束形成層（形成層）由来であるため、その形成過程は環境要因や遺伝的要因など様々な要因により変動し、その結果年輪幅や年輪内の容積密度等が変動する。樹木の形成層活動は、気温や降水量などの気象要因、土壌条件、大気汚染などの環境ストレスなど環境要因の変化に大きく影響を受ける。一方、年輪幅や年輪内の容積密度等が変動する要因を年輪年代学的手法で解析することにより、樹木が生育中の環境変遷を復元することが可能である。本研究会では、我々がこれまでに得た知見を基に、形成層活動の制御機構について概説する。

樹木は、伸長成長と肥大成長により樹幹の大きさを増加させる。肥大成長は、二次分裂組織である形成層の並層分裂により行われ、樹幹が半径方向に太ることである。形成層は、樹皮のすぐ内側に存在し、樹幹や根を環状に包囲しており、分裂能力の高い細胞の集合体である。樹幹の接線方向に並んだ形成層始原細胞は、並層分裂により樹幹に対する接線面で2個の細胞に割れる。2個の細胞のうち1個の細胞は始原細胞として残り、もう片方の細胞が内側の細胞の場合は木部母細胞となり、外側の細胞の場合は師部母細胞となる。しかしながら、形成層始原細胞と同様な分裂能力をもつと考えられる母細胞を、形態・構造や細胞学的な違いで形成層始原細胞と区別することはできない。したがって、形成層始原細胞、木部母細胞、師部母細胞の層を一括して形成層帯とよぶことが多い。樹幹の形成層は、初春になると分裂活動を再開する。分裂活動を停止している休眠中の形成層帯の細胞は、樹幹の半径方向に2～5層であり、分裂活動が活発な時期には10層以上にもなる。形成層という用語が形成層始原細胞のみを指すのか、それとも形成層帯の分裂能力がほぼ等しい細胞全体を指すのかは、意見が依然分かれている。

日本のような温帯や冷温帯に生育する樹木には、形成層細胞の分裂活動に季節性が認められ、活動期と休眠期という周期性が存在し、その結果年輪を形成する。形成層細胞の分裂速度も季節的な違いが認められ、春から初夏にかけてピークを迎え、その後徐々に低下し、最終的に休眠する。気温や日長時間など樹木が生育する場所の環境要因の違いが、形成層活動の周期性を引き起こしているといえる。形成層活動は、内的には、オーキシンなどの植物ホルモンにより単独にまたは複数の植物ホルモンが相互作用して制御される。樹木の生育環境の変化が植物ホルモンの量的・質的な変化を引き起こし、その結果形成層活動に影響を及ぼ

すと考えられる。また、形成層細胞の植物ホルモンに対する反応性も季節的に変化し、形成層活動に影響を及ぼす。

形成層活動の周期性と気温との関連性を明らかにするために、形成層活動が休眠中の冬期の樹幹に加温処理（20～25℃）を行ったところ、形成層細胞の分裂や二次木部の分化を人為的に誘導できた。ただし、形成層活動を誘導するための加温処理期間は樹種により異なり、落葉針葉樹や落葉広葉樹は、常緑針葉樹に比べ長期間の加温が必要であった。本研究の結果は、樹幹温度の上昇が形成層再活動の直接的な制御因子であることを示している。樹幹への加温処理による形成層細胞の分裂や木部分化の誘導系は、年輪形成過程を短期間で連続的に解析する良いモデルといえる。一方、晩冬から初春の気温の上昇と形成層再活動時期との関連性を解析し、形成層細胞の分裂開始には、ある閾値以上の最高気温が累積することが重要であることを明らかにし、日毎の最高気温と閾値との差を積算した指標（形成層再活動指標；Cambial Reactivation Index (CRI)）を提案した。CRIは、気温データから形成層活動の再開時期の予測を行う上で有効である。また、閾値には樹種特性があり、形成層再活動時期の樹種による違いを引き起こしているといえる。一方、インドネシアなど気温や日長時間が変動しない熱帯に生育する樹木においては、雨季では形成層細胞の分裂活動が活発に行われ、乾季では形成層細胞の分裂活動は停止した。降水量のパターンの違いが、形成層活動を制御しているといえる。これらの研究成果は、樹木の生育環境の違いにより、形成層活動を制御する外的要因が異なることを示している。将来、地球環境が大きく変動した場合、形成層活動も変化し、樹木の肥大成長量も変動することが予想される。

#### 参考文献（総説・著書）

- 1) 船田 良：改訂版・木質の形成 -バイオマス科学への招待-（福島和彦、船田 良、山本浩之、高部圭司、梅澤俊明、杉山淳司編著）、海青社（2011）、2) 船田 良：木質の構造（日本木材学会編）、文永堂出版（2011）、3) Begum, S. *et al.*: *Physiologia Plantarum* (2013)、4) Nakaba, S. *et al.*: *Plant Microtechniques: Methods and Protocols*、Springer (2015)、5) 船田 良：生態工学ハンドブック（電子版） Vol.7 生態工学会編、アドスリー（2015）、6) Funada, R. *et al.*: *Secondary Xylem Biology*、Elsevier (2016)、7) 船田 良：あて材の科学 -樹木の重力応答と生存戦略-（吉澤伸夫監修、日本木材学会組織と材質研究会編）、海青社（2016）、8) Kitin, P. and Funada, R.: *IAWA Journal* (2016)、9) Begum, S. *et al.*: *Trees – Structure and Function* (2018).

## 1. はじめに

樹木の年輪は形成層での細胞分裂・分化によってつくられる。しかし、形成された年輪の特徴は、個体や樹種によって大きく変動する。年輪形成を理解するためには、「年輪形成の場である形成層および分化中木部で何が起きているのか？」を理解する必要がある。筆者は樹木の内生植物ホルモンについて研究を進めてきた。シロイヌナズナでのオーキシシン (IAA) 研究<sup>1)</sup>では、細胞内での IAA の受容と遺伝子発現調節の仕組みが明らかにされ、IAA はその濃度に応じて植物体の IAA 応答を引き起こすとされる。植物ホルモンは、生育環境からの情報をその含有量によって形成層や分化中木部に伝える情報伝達物質であるかもしれない。ここでは、形成層周辺組織の内生植物ホルモン量についての研究を紹介し、年輪形成を考えるための情報を提供したい。

## 2. 針葉樹（スギ）の年輪形成と植物ホルモン

### 2.1. 形成層のオーキシシン (IAA) 量の変動

IAA は樹冠で合成され、形成層を樹幹上方から下方へ移動しながら、針葉樹の木部形成を制御する重要な内的調節物質である。しかし、その含有量がどのように決まるのか不明であった。そこで、筆者らはスギ 3 品種の樹幹上部と下部の形成層に含まれる IAA 量について調べた<sup>2)</sup>。樹幹上部および樹幹下部の形成層に含まれる IAA 量は、それぞれ 9~47 ng/cm<sup>2</sup> および 3~42 ng/cm<sup>2</sup> (形成層接線面での単位面積当たりの量) であった。樹冠長 (CL (m)) および枝下からの距離 (DCB (m)) と形成層に含まれる IAA 量 (ng/cm<sup>2</sup>) との間には、それぞれ正および負の有意な関係が認められた (IAA 量 = 13.2 + 2.12×CL - 1.23×DCB)。

### 2.2. 樹齢と形成層の IAA 量

針葉樹での最も大きな材質変動は未成熟材と成熟材との間で生じる。そこで、筆者らは未成熟材形成のしくみを解明するために、若齢期および成熟期のスギ林木 (7 年生および 24 年生) の形成層に含まれる IAA 量を比較した<sup>3)</sup>。若齢スギ胸高部 IAA 量は、成熟スギに比べて極めて多量であり、樹高が大きくなるにつれて IAA 量は減少した。すべての試験木をまとめると、IAA 量が 200 ng/cm<sup>2</sup> より少ない場合には IAA 量の増加とともに晩材幅と S<sub>2</sub> 層マイクロフィブリル傾角が増大した。

### 2.3. 年輪形成における IAA の働き

スギ年輪形成における植物ホルモンの働きを明らかにするために、円形密度試験地 (密度区分 4 つ) で生育したスギ品種 (トサアカ) の年輪形成と形成層の IAA 量および GA<sub>4</sub> 量の季節変動を調べた<sup>4)</sup>。IAA 量は形成された仮道管数と正の相関関係を持つことがわかった。IAA 量は早・晩材形成への移行とは無関係であった。樹冠長、枝下高および形状比 (樹高/胸高直径) は、それぞれ正、負および負の影響を IAA 量へ及ぼした。しかし、これらの関係性は年輪形成の初期および中期で認められたものの、晩期では認められなかった。晩期において、密植の試験木は IAA 量が有意に多い状態で年輪形成を停止したものの、疎植の試験木では IAA 量が有意に少ない状態で年輪形成を続けていた。形成層活動の停止は IAA 量で制御されるのではなく、短日条件で誘導される IAA への形成層感受性低下に起因するのかもしれない<sup>5)</sup>。GA<sub>4</sub> 量と成長指標および年輪形成との間には、明確な関係は認められなかった。

スラッシュパインはスギやヒノキに比べて晩材形成が旺盛であり、晩材形成時に細胞分裂のピークがある。樹種特性として晩材率が大きなスラッシュパインと晩材率が小さなスギおよびヒノキについて、IAA 量および GA4 量の季節変動を明らかにした。スラッシュパインの IAA 量はスギおよびヒノキに比べて有意に大きく、旺盛な晩材形成がおこなわれた 9 月および 11 月の IAA 量は、顕著に増大した。スラッシュパインの旺盛な晩材形成は、IAA 量が極めて多いことに起因すると考えた。

#### 2.4. 早材形成を促進する植物ホルモン

針葉樹では土壌水分の不足が早・晩材形成に影響を及ぼすとされているものの、水分不足を伝えるシグナルは不明のままである。シロイヌナズナでは不活性型のサイトカイニン (tZR) が根からシュートへの情報伝達の役割を担うとされている。そこで晩材形成中の 28 年生スギに tZ を含む各種植物ホルモンを単独あるいは混合して投与し、早・晩材形成への影響を調べた<sup>6)</sup>。晩材形成中の tZ 投与は、コントロールに比べて細胞壁率が小さくマイクロフィブリル傾角が大きな早材タイプの仮道管分化を誘導した。IAA は、混合投与 (IAA+tZ) すると tZ の働きを阻害した。ジベレリン (GA3) は、混合投与 (GA3+tZ) しても tZ の働きを阻害しなかった。早・晩材形成中の形成層周辺組織における内生植物ホルモンの組織ごとの分布を調べるために、凍結連続切片を作成し切片ごとの植物ホルモン量を調べた。IAA は形成層に局在するものの、師部、形成層および木部にかけての IAA 量の放射方向分布パターンでは、晩材形成中の方が形成層における局在が顕著であった。一方、サイトカイニン量の放射方向分布パターンでは、早材形成中において形成層に近い木部に活性型サイトカイニンの大きなピークが認められた。今後データの蓄積を進める。

#### 3. 広葉樹の年輪形成と植物ホルモン

広葉樹年輪形成における植物ホルモンの働きを明らかにするために、クスノキとコナラで 5 月と 8 月の年輪幅と形成層の内生植物ホルモン量との関係を調べた。8 月の年輪幅と IAA 量との間に正の相関関係が認められた。また、5 月と 8 月ともに、tZR 量と IAA 量との間に正の相関関係が認められた。広葉樹の引張あて材形成における植物ホルモンの働きを明らかにするために、あて材形成中のスダジイとシラカシの形成層周辺組織の内生植物ホルモン量を調べた。IAA 量の偏在が認められ、あて材形成側で多く反対側で少ない。エチレン前駆物質 (ACC) 量でも偏在が認められ、あて材形成側で少なく反対側が多い。

#### 4. おわりに

オーキシンは樹形や樹齢によって形成層での含有量の変動し、年輪形成における主な働きは細胞分裂の促進である。早・晩材形成には、オーキシンとサイトカイニンの相互作用が関与する可能性がある。引張あて材形成誘導は、植物ホルモン偏在による複雑な制御機構があると推測され詳細な研究が必要である。

#### 引用文献

- 1) 小柴恭一ほか, 新しい植物ホルモンの科学 第2版 (2010)
- 2) Kijidani Y, et al, JWS,60, 235-242 (2014)
- 3) Kijidani Y, et al, JWS 60, 177-185 (2014)
- 4) Kijidani Y, et al, JWS 63, 315-321 (2017)
- 5) Baba K et al, PNAS 108, 3418-3423 (2011)
- 6) Kijidani Y, et al, JWS 62, 370-376 (2016)

## S-3 ミズナラにおける年輪形成の長期変動と季節変化

愛媛大学 大学院農学研究科  
鍋嶋 絵里

### はじめに

温暖化などの気候変動は、長期にわたって樹木の成長や森林の生産性に影響を与えうる。樹木の幹の年輪は、成長の長期変動を知るための有用なツールである。しかし、年輪が時系列データであることや、樹木の個体サイズが年輪とともに変化する（サイズ依存性）ことなどから、これまでの年輪解析手法では長期的な変動を抽出することが難しかった。また、近年、年輪の構造をより詳細に解析する研究が進んでいるものの、木部の形成時期や成長の季節変動などの時期的・季節的情報を読み取ることはできず、気候変動により、どのような因子が過去の成長に影響を与えたのかを特定することは困難である。そこで本研究では、長期的な気候変動が樹木の成長にどのような影響を与えているか、年輪形成における長期変動を抽出することを一つ目の目的とした。さらに、気候変動がどのように年輪形成に影響を与えうるかの基礎的情報として、木部形成および関連する生理特性（展葉、個葉光合成速度、貯蔵養分利用）の季節変化を合わせて明らかにすることを二つ目の目的とした。

### 年輪形成の長期変動

北海道大学苫小牧研究林における成熟したミズナラ 20 個体について、1970-2004 年までの間の年輪幅と年輪構造を測定し、長期的な変動について解析を行った。ミズナラは環孔材であり、早材（孔圏）における道管（孔圏道管）の識別が比較的容易である。そこで年輪幅に加えて、早材幅、孔圏道管数、孔圏道管面積についても計測し、自己相関や個体差、サイズ依存性を考慮した統計モデルを用いてパラメータを推定した。その結果、早材幅、孔圏道管の数および合計面積が長期的に増加していることが示された。一方で、年輪幅では長期的な変化は検出されず、短期変動がより大きいことが明らかとなった。また、晩材幅は年輪幅と相関があり、年輪幅と同様の変動を示した。早材幅、孔圏道管数、孔圏道管面積で見られた長期変動は、個体サイズの増大を反映したものである可能性もあるが、どの変数においてもサイズ依存性は検出されなかったことから、これらの長期変動は長期にわたる気候の変動によって生じたことが示唆された。要因となる気候変動として、調査地では、春先の気温が 1970 年から 2004 年にかけて増加している。また、春先の幹の加温は、形成層活動の再開を早めることが先行研究からわかっている (Begum et al. 2018)。よって、春先の気温上昇が早材形成の再開を早め、早材幅等の長期的な増加につながった可能性がある。

本研究から、ミズナラの早材と晩材とでは、長期変動が異なることが明らかとなった。早材形成における環境応答の生理メカニズムとして貯蔵養分の利用がある。貯蔵養分は前年以前の光合成産物であり、前年の気候条件などによる時間遅れの影響をもたらす。よって、貯蔵養分と当年の光合成産物のどちらを利用するかで、気候変動による影響は異なるはずである。ミズナラで早材の初期に貯蔵養分を利用することはわかっているものの、早材形成中のどの時期から当年の光合成産物を利用するかについてはわかっていない。そこで、特に貯蔵養分の利用時期に着目し、木部形成および関連する生理特性の季節変化を明らかにする研究を行った。

## 木部形成、個葉光合成、および貯蔵デンプンの季節変化

愛媛大農学部附属演習林におけるミズナラ林冠木 3 個体について、木材の形成に伴う貯蔵デンプンの局在、展葉と個葉光合成速度の季節変化を追った。個葉や枝の測定は、樹冠上部の被陰されていない枝を用いた。観測の結果、樹冠上部での開芽は、幹の胸高部位における早材形成開始と同時期であった。また、展葉が終了した後に、幹では早材から晩材へと移行した。一年枝および幹の形成層付近で貯蔵デンプンを染色し、観察したところ、一年枝の髄および幹の前年木部放射柔組織において、貯蔵デンプンが展葉中に減少し、再び増加するという凹型の変化を示した (図 1)。また、この時期には個葉光合成速度は高まっていた。よって、(1)開葉初期にはシンクであった葉が早材形成中にソースに転じること、(2)早材形成が終了する前から、枝と幹がシンクとなって当年の光合成産物が供給され始めていることが示唆された。このことは幹の木部セルロースの安定同位体比 ( $\delta D, \delta^{18}O$ ) の年輪内変動からも支持された (図 2)。理論的には、葉での光合成から幹での木部セルロース合成までの間に、光合成産物が一旦貯蔵されてまた利用されるなどの同位体分別の過程が入ると、 $\delta D$  と  $\delta^{18}O$  の変動パターンが異なり、 $\delta D$  で増加する方向に働く (Roden et al. 2000)。分析の結果、木部セルロースの安定同位体比は、早材で  $\delta D$  が大きく減少し、 $\delta^{18}O$  は増加した一方、晩材ではどちらも比較的安定し、類似した変動を示した。よって、早材形成とともに貯蔵養分の利用が減少していくこと、晩材では貯蔵養分ではなく当年の光合成産物を利用していることが示唆された。

本研究では、気候変動による年輪形成 (早材幅など) の長期変動を検出し、これが早材と晩材とで異なることを明らかにした。一方で、木部形成等の季節変化から、早材と晩材とでは、貯蔵養分や当年光合成産物の利用が明確に異なることを示した。このような早材と晩材での生理プロセスの違いは、年輪形成の変動パターンを理解する上で役立つ。これらの間にまだギャップはあるが、今後も樹木の年輪形成の長期変動を抽出し、関連する生理プロセスを特定していくことが、気候変動下での樹木の応答を理解し、予測する上で重要と考える。

## 引用文献

- Begum S, Kudo K, Rahman Md H, Nakaba S, Yamagishi Y, Nabeshima E, Nugroho WD, Funada R (2017) Climate change and the regulation of wood formation in trees by temperature. *Trees – Structure and Function* 32: 3-15
- Roden JS, Lin G, Ehleringer JR (2000) A mechanistic model for interpretation of hydrogen and oxygen isotope ratios in tree-ring cellulose. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64:21–35.

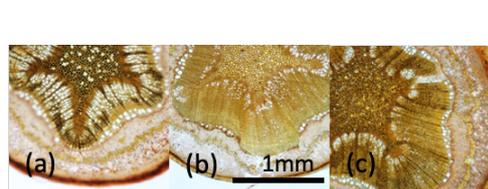


図 1: ミズナラ林冠木の 1 年枝の木口面切片 (40 $\mu$ m 厚) をヨウ素ヨウ化カリウムで染色した光学顕微鏡画像. (a)開芽時期, (b)展葉時期, (c)展葉完了時期.

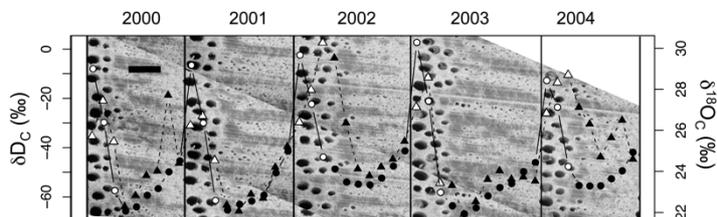


図 2: ミズナラ林冠木の幹の木部セルロースの水素安定同位体比 ( $\circ$ ,  $\delta D_c$ ) および酸素安定同位体比 ( $\triangle$ ,  $\delta^{18}O_c$ ) の年輪内変動 (2000-2004 年). スキャナによる木口面の画像と重ね合わせている。中抜きシンボルは早材部, 中塗りシンボルは晩材部を示す。

## S-4 環境および遺伝が年輪形成に与える影響

森林総研林木育種センター九州育種場  
武津英太郎

### はじめに

木材の材質を決める剛性や強度などの特性は、個々の個体ですべて異なる。われわれが観察することのできるこれらの特性（表現型）は、遺伝と環境の両者の影響を受け、一般に

$$\text{表現型} = \text{遺伝子型} + \text{環境}$$

として表現される。林木育種による遺伝的改良を考える場合、まず目的とする形質について、個体間のバラツキ（分散）を遺伝子型による分散と環境による分散に分けることから始まる。前者が後者と比べて大きければ、実際の林業において植栽材料の遺伝構成を選ぶことにより表現型をコントロールできる可能性が高いことを示すこととなる。分散比から計算される遺伝率等の遺伝パラメータを把握することは、育種材料の遺伝的評価を行う上で重要である。

一方、遺伝パラメータは目的形質間で異なることに加えて、同一形質であっても対象となった集団の遺伝的構成や集団が置かれた環境によっても異なる。事業である林木育種においては、入手できる範囲での情報に基づいて判断を行い事業を進めるため、遺伝パラメータの蓄積は必要である。一方で、より精度の高い評価や、未検証の環境下での表現型の予測のためには、遺伝的バラツキが発生するメカニズムとそれが環境によってどのように影響を受けるのかを科学的に理解する必要がある。そのためには、複合的な形質である材質関連形質や成長形質等を、空間的・時間的に分割した構成要素について遺伝性や環境と関係を把握する必要があると考えられる。

本講演では、本シンポジウムのテーマ「形成層細胞の分裂と木部細胞の分化からみる年輪形成メカニズム」に関連して、カラマツの材密度の遺伝パラメータを推定した事例、材密度を構成要素形質に分けた場合に、材密度に寄与する形質と年輪形成の季節性の遺伝的違いとの関係を解析した事例を紹介する。また、複数の環境下で生育したカラマツを用いて遺伝と環境との関係を解析した事例を紹介する。さらに年輪形成メカニズムからは直接は外れるが、スギにおける樹型と材質関連形質との関係を解析した事例を紹介し、材形成における遺伝と環境の関係性を考えたい。

### 交配集団およびクローンより求めたカラマツの材密度の遺伝パラメータ

長野県の浅間山麓で生育した人工交配家系が植栽された試験地（Fukatsu et al. 2013）およびクローン植栽地において、成長錐コアサンプルのデンストメトリにより材密度の遺伝パラメータを検討した。材密度の狭義の遺伝率は高い年次では 0.78 という値を示した。また、人工交配家系から求めた育種価とクローン平均値との関係は 0.92 と高い値であり、カラマツにおいて材密度は高い遺伝性を持つとともに、クローンの評価により育種材料の評価が可能であることが示された。

### 材密度の遺伝性と材形成の季節性の関係性

形成層帯を含むサンプルを定期的に採取し、材形成の季節性について 9 クローン間で比較を行った（Fukatsu et al. 2018）。その結果、早晚材の移行時期はクローン間での差は少なく、どのクローンも 6 月下旬から 7 月上旬であった。一方で晩材形成の終了時期はクローン間で異なっていた。晩材形成期間は晩材形成の終了時期によって決まり、晩材形成期間が晩材率

と高い相関を持つことから、カラマツにおいては晩材形成の終了時期の違いが材密度の違いを決定する要因の一つであると考えられる。

### 異なる環境下での材密度の遺伝性と材形成の季節性

環境が異なる長野・岩手・北海道に植栽した同一クローンセット（20クローン）において成長錐コアサンプルのデンシトメトリにより材密度を比較した場合、長野と岩手では高いクローン相関が見られる一方で、長野と岩手では相関が低いなど、気候の違いに応じて遺伝と気候環境の交互作用が材密度に存在する可能性が示された。

また、共通の複数クローンについて形成層帯のサンプリングによる材形成の季節性を解析したところ、長野・岩手・北海道ともに夏至の直後に晩材に移行していることが示された。3箇所で夏至の日長は緯度により異なることから、カラマツの晩材移行時期は夏至を挟んだ日長の変化が引き金であり、環境や遺伝による影響が少ない可能性が示された。

### 樹型と材質との関係

スギの植栽密度試験地において、複数クローンについて樹高・胸高直径・応力波伝播速度・マイクロファイブリル傾角を測定し、その関係性について解析した。その結果、樹高や形状比を説明変数に入れることによりマイクロファイブリル傾角や応力波伝播速度の個体間変異をより良く説明できることが示された。樹冠のサイズや樹冠からの距離によりマイクロファイブリル傾角や応力波伝播速度が影響を受けたと考えられる。材形成の「環境」は、材部で直接感知できるであろう温度や物理的的刺激に加えて、樹冠部から提供される光合成産物量や植物ホルモン量等の違いも含まれる。これらは樹冠部等での温度や光、水分等の環境の違いと遺伝的差異との結果として生じると考えられる。このことから材形成の遺伝と環境との関係を明らかにするためには、樹冠等の材部以外の組織における遺伝と環境との関係も対象とする必要があることを示す。

林業上重要な形質の遺伝的違いは、ゲノム配列の個体間の違いにまで遡ることができるはずである。スギにおいては、遺伝子配列の違いから個体の遺伝的能力を直接予測する手法である Genomic Selection (GS) も試行され、一定の予測精度が報告されている (Hiraoka et al. 2017)。一方で形質値は植栽環境や遺伝と環境の交互作用により変化することから、表現型の予測モデルを作ることは簡単ではない。木材の利用上重要な材質関連形質を、年輪形成の観点から分割し、樹冠等の材部以外での遺伝と環境の影響も考慮に入れながら、遺伝変異を理解していくことは、今後樹木の材質を予測・制御する上で重要と考えられる。

### 引用文献

Fukatsu E, Tsubomura M, Fujisawa Y, Nakada R (2013) Genetic improvement of wood density and radial growth in *Larix kaempferi*: results from a diallel mating test. 70:451–459.

Fukatsu E, Nakada R (2018) The timing of latewood formation determines the genetic variation of wood density in *Larix kaempferi*. Trees 32:1233–1245.

Hiraoka Y, Fukatsu E, Mishima K, Hirao T, Teshima KM, Tamura M, Tsubomura M, Iki T, Kurita M, Takahashi M, Watanabe A (2018) Potential of Genome-Wide Studies in Unrelated Plus Trees of a Coniferous Species, *Cryptomeria japonica* (Japanese Cedar). Front Plant Sci 9:271–15.

## 形成層細胞の分裂と木部細胞の分化からみる年輪形成メカニズム

2019年度 日本木材学会 組織と材質研究会・「樹木年輪」研究会 合同シンポジウム  
「形成層細胞の分裂と木部細胞の分化からみる年輪形成メカニズム」

「樹木年輪」研究会 2019 農工大 事務局：  
日本木材学会 組織と材質研究会 シンポジウム企画担当：  
半 智史（東京農工大学 大学院農学研究院）

プログラム・要旨集

2019年11月23日 発行

編集：半 智史

発行：「樹木年輪」研究会、日本木材学会 組織と材質研究会