

材質評価技術の最前線

講演要旨集

2024 年 3 月 15 日（金）13:00～16:00

京都大学農学部総合館 W-214
+ Zoom によるハイブリッド開催

主催：日本木材学会 組織と材質研究会

プログラム

- 13:00-13:05 開会挨拶
山下香菜（会計幹事）
- 13:05-13:10 用語集について
中田了五（森林総合研究所林木育種センター北海道育種場）
- 13:10-13:20 趣旨説明
井城泰一（企画担当）
- 座長：武津英太郎（森林総合研究所林木育種センター）
- 13:20-13:50 「イメージングとインフォマティクスの融合による樹木細胞の多元的
形態情報解析」
喜多祐介（京都大学大学院）
- 13:50-14:20 「スギの大断面切片に適用した ImageJ プラグインの開発と組織構造プ
ロファイルの取得」
高島有哉（森林総合研究所林木育種センター関西育種場）：
- 14:20-14:30 休憩
- 14:30-15:00 「SilviScan による半径方向の複合的な多材質計測－カラマツ・グイマ
ツ交雑次代の計測例－」
海野大和（住友林業）
- 15:00-15:30 「X 線 CT を用いたクロマツ樹体内における接種したマツノザイセン
チュウの 3D 可視化」
中島 剛（青森県産業技術センター林業研究所）
- 15:30-15:55 総合討論
- 15:55-16:00 閉会挨拶
渡辺宇外（代表幹事）

趣旨

木材は、植栽から収穫まで長年の生命活動で形成された材料であるため、他の材料と比較して複雑な構造を有している。そのため、木材を質的または量的に評価する上では、細胞レベル、年輪レベルおよび樹幹レベルで評価方法を確立することが重要となる。近年の特性評価技術（イメージング技術やハイスループットな評価技術など）の発展は目を見張るものがあり、従来の方法では難しかった知見の集積や解析が行われつつある。そこで本シンポジウムでは、木材利用で重要となる密度や晩材仮道管 S₂ 層のマイクロフィブリル傾角などの形質や森林の病虫害被害について、新しいアプローチで研究を進めている研究者にご発表いただき議論することで、木材の組織と材質研究の発展に寄与するための場としたい。

日本木材学会 組織と材質研究会 企画担当
森林総合研究所林木育種センター東北育種場
井城泰一

イメージングとインフォマティクスの融合による

樹木細胞の多元的形態情報解析

京都大学大学院 農学研究科
森林科学専攻 樹木細胞学分野
喜多祐介

【概要】

木材という材料を適切に利活用するためには、木材そのものが有している諸性質、すなわち木材の材質、を適切に把握することが極めて重要であり、この目的を果たすため様々な手法 (e. g. 力学試験, 近赤外分光法, X線回折法, etc.) が活用されている。その一方で、木材を構成しているのはミクロな細胞組織であり、それがマクロな材質の根源であることを考慮すると、その構造や物理・化学的性質について基礎科学的な視点を深めることも併せて重要となる。特に細胞の組織構造評価については、構造体寸法を信頼性高く且つ統計的に信頼できる十分な量の計測を実施し、定量的な数値データを基にした議論を実施する必要がある。また、物性は構造体が有する複数の構造特性により発現することが予想されるため、それらを同時に計測できることがより望ましい。しかしながら、組織構造の定量計測はその実施コストの大きさや技術的制約が大きな足枷となっており、この点を打開可能な新規手法の台頭が必要である。

本発表では、特に細胞の組織構造に対して適用可能な、顕微イメージングと画像解析を融合した多元的細胞形態計測と解析に関して、その原理と応用事例を紹介する。トピックが材質研究であることから、特に材質への影響が大きいと考えられる組織構造の計測事例に焦点を絞る。現時点では、下記内容について発表を予定している。

- 1) 画像解析を利用した細胞長および細胞壁厚計測
- 2) 偏光顕微イメージング&画像解析による MFA, 細胞断面構造の同時計測
- 3) 偏光顕微イメージング&画像解析による MFA, 細胞壁厚, 細胞長の同時計測

【今後の展望等】

今回紹介する計測手法の多くは未だ確固たる信頼および汎用性を獲得するには至っていないが、既存の顕微イメージングシステムをそのまま援用した形で組織構造計測の高速化ならびに高付加価値化を実現可能とする将来性を有していると発表者は考えている。加えて、上記手法群を支える基礎技術 (e. g. 顕微イメージングと科学カメラ, CPU・GPU による計算処理, プログラミング言語とそのライブラリ, 大規模言語モデルによるコーディングサポート, etc.) の進化に、古典的手法のルネサンスも相まることで、取得可能なデータの質・量共に飛躍的な向上を実現しつつある。これらを Wood science tailored した形で取り入れることにより、組織構造及び材質研究の更なる発展に寄与したい所存である。

最後に、論文として既に内容が公開されているものについては Github にて公開を実施している (<https://github.com/pywood21>)。イメージングと画像解析を活用した新規手法開発ならびにその普及に興味がある方は是非お声がけいただけると幸いです。

スギの大断面切片に適用した ImageJ プラグインの開発と

組織構造プロファイルの取得

森林総合研究所林木育種センター関西育種場
高島有哉

【はじめに】

木材を質的または量的に評価する上で、それらの基礎となる壁厚や細胞内腔面積などの木材組織学的な知見を得ることは、古今において重要である。

樹木の横断面切片の顕微鏡画像を自動で解析するためのソフトウェアやプラグインは、既にいくつか入手可能であるが、壁厚が早材と晩材で大きく異なるスギ等の樹種については、1年輪を超える大断面切片画像の解析結果が良好でないことが多い。これは、解析ソフトウェアのパラメータを晩材に合わせて調節すると早材細胞壁の白飛びが生じ、逆に早材に合わせて晩材内腔の黒つぶれが生じてしまうことが主な原因である。我々は、スギをモデルケースとして、これらの問題を解消した自動解析可能な木材組織解析ソフトウェアを、画像解析ソフトウェア ImageJ 用のプラグインとして新たに開発した。

【プラグインの概要】

プラグインで実行する処理の概要を以下に示す。

- 1) フィルター前処理：ノイズ除去を目的に、gaussian blur および median フィルターによる前処理を実行する。
- 2) コントラスト補正：任意の領域ごとに適したコントラスト補正を行うために、コントラスト制限付適応ヒストグラム均一化処理を実装した。
- 3) 二値化処理：白黒画像を生成する。
- 4) 画像の分割（オプション）：放射方向に任意の長さで画像を分割し、各分割画像における平均値を出力できる機能を実装した。画像の分割を選択しない場合は、画像内における全細胞（壁）数の測定値が出力される。
- 5) 壁厚、内腔面積および細胞数の測定：仮道管の壁厚、内腔面積（および周囲長）、および細胞数を測定する。壁厚は、隣接する仮道管の細胞壁 2 枚分の厚さを測定値とする。また、壁厚を測定する細胞壁を任意の範囲の角度（接線方向を 0° ）で選択できるオプションを実装した。

【今後の展望】

本プラグインは、試作段階としてスギをモデルケースに開発されており、他の樹種はテストしていない。今後、樹脂道を持つ樹種も含めた多くの針葉樹に対応できるように改良することを検討している。

SilviScan による半径方向の複合的な多材質計測

ーカラマツ・グイマツ交雑次代の計測例ー

(住友林業) ○海野大和、(道総研林産試) 村上了、(道総研) 石塚航、
(住友林業) 楠和隆、(道総研) 大崎久司、松本和茂

【Silviscan について】

SilviScan は、木材の半径方向に対し連続的に高倍率でのデジタル画像撮影と X 線透過率及び回折強度の計測を行い、多形質を複合的に測定・算出する測定システムである。

1. デジタル画像撮影では、木口面を連続的に高倍率で撮影した画像から仮道管や木部繊維に関わる 6 形質（放射径・接線径・細胞数・細胞壁厚・粗度・比表面積）を、解像度 $25\mu\text{m}$ で測定・算出する。
2. X 線を接線方向に照射し、X 線透過率から気乾密度を解像度 $25\mu\text{m}$ で計測する。
3. X 線を接線方向に照射し、回折像から、マイクロフィブリル傾角、セルロース結晶幅及び結晶率等を解像度 $100\mu\text{m}$ で算出する。更に、X 線回折像から得られたプロファイルと気乾密度から、MOE を解像度 $100\mu\text{m}$ で算出することが、SilviScan の大きな特徴である。

1990 年代にオーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）において Robert Evans 博士を中心に開発され、現在はメルボルン（CSIRO）、ストックホルム（Innventia）、バンクーバー（FPInnovation）の 3 か所で稼働している。

【研究背景と報告内容】

中大規模木造建築の増加への対応や木材の高付加価値化の点から、国産材の高強度化が求められている。グイマツとニホンカラマツの交雑種であるグイマツ雑種 F_1 は、初期成長に優れ材の強度にも秀でる樹種特性があることから、北海道において普及が進められるとともに、さらなる強度の向上が図られている。強度といった、ある特定の形質を改良するには、その遺伝的な特性を改良させる“育種”的手法が用いられる。育種では通常、ある個体の遺伝的特性を評価するため、その子どもの形質を調べる“次代検定”の枠組みが用いられている。次代検定を効率よく行うためには、個体の遺伝的背景や形質に関わる遺伝情報の解析、ならびに改良を図る形質についての高精度かつ効率的な計測が求められる。

私たちは、育種によるグイマツ雑種 F_1 の更なる高強度化の実現を目指し、次代検定林の多個体を対象として、網羅的なゲノム情報の解析、立木・JIS 曲げ試験・ラミナの多段階に渡る強度特性値の測定、SilviScan による強度特性と関わる多材質値の測定を行ってきた。

本発表では、SilviScan による多材質計測の手法を概説するとともに、SilviScan により計測したグイマツ雑種 F_1 の多形質間の関連性評価、JIS 曲げ試験等によるマクロな強度特性値との比較を行った結果を報告する。

X線 CT を用いたクロマツ樹体内における
接種したマツノザイセンチュウの 3D 可視化

青森県産業技術センター林業研究所
中島 剛

マツノザイセンチュウにより引き起こされるマツ材線虫病の被害は、わが国で最大の森林病害虫である。本病の発病機序を明らかにするには、感染木内部のマツノザイセンチュウの挙動を把握する必要があるが、従来の顕微鏡による組織観察では、その全体像の理解は困難であった。本講演では、これまで講演者が取り組んできた厚い物体の内部を透視する手法として生命科学や材料工学などで広く使用されている X 線 CT を、マツノザイセンチュウを接種したクロマツに適応した研究例を紹介する。

参考文献

- Nakajima, G., Iki, T., Yamanobe, T., Nakamura, K. & Aikawa, T. 2019. Spatial and temporal distribution of *Bursaphelenchus xylophilus* inoculated in grafts of a resistant clone of *Pinus thunbergii*. J. For. Res. 24(2): 93-99.
- Nakajima, G., Iki, T., Aikawa, T., Hara, T., Ito, E., & Nakamura, K. 2024. In situ three-dimensional visualization of *Bursaphelenchus xylophilus* inoculated in *Pinus thunbergii* using X-ray micro-computed tomography. Can. J. For. Res. in press.