

研究終了報告書

「木材マルチスケール構造の網羅的解析による物性予測」

研究期間：2020年12月～2023年3月

研究者：小林 加代子

1. 研究のねらい

木材を効率よく利活用することは、カーボンニュートラルな社会を構築する上で重要な課題である。天然物である木材は複雑なマルチスケール構造を有しており、その構造にはある程度の規則性が認められるものの、あらゆる構造のスケールで不均質である。例えば、木材の年輪は樹木が形成する細胞が季節によって異なるというばらつきから生まれる周期構造である。しかし、各年輪の構造は樹齢やその年の気候にも影響されるため、隣り合う年輪は厳密には異なる構造となる。また、このようなばらつきは、樹種間、個体間、個体内という様々なレベルにおいて存在する。このような木材の複雑さは、木材の意匠性といった長所を引き出すが、均質な工業的材料と比較して扱いにくい要因でもある。

以上のような背景から、木材のあらゆる情報を体系化していくことには限界がある。一方、これらの木材の情報を適切に取得・管理することができれば、それらの情報はまさに木材の”ビッグデータ”となる。そこで木材のマルチスケールな構造情報を多面的に取得し、AIの力を使って木材の複雑さを紐解くことが本研究のねらいである。また、構造データとともに物性データを取得することで、木材利用において重要な物性予測モデルを構築し、物性発現に関与する重要な構造の要因を特定することを目指した。

2. 研究成果

(1) 概要

非破壊的な測定手法を駆使することにより、1つの木材サンプルから複数の構造および物性データが得られる系を確立した。サンプルを適切なサイズに設定することにより、全ての測定データにおいて解析が十分に行えるものであることを確認した。測定したデータは3つのスケールに対応する4種類の構造データおよび、2種類の変形モードによる物性データである。構造データのスケールの1つ目は分子レベルであり、この情報の取得には近赤外スペクトル測定を用いた。この手法は試料表面から化学成分についての情報を得るものであり、各試料の両面からデータを取得した。2つ目は分子集合体レベルであり、これには小角X線散乱測定を利用した。3つ目は組織レベルであり、X線CT測定および実体顕微鏡観察を行った。物性データは動的粘弾性測定によって取得し、引張および剪断変形モードを使用した。各モードについて、物体の弾性・粘性にそれぞれ相当する貯蔵弾性率・損失弾性率を得た。

得られたデータを用いて、構造データから物性を予測する機械学習モデルの構築を目指した。当初から予定していた畳み込みニューラルネットワークを用いた物性予測モデルの構築だけでなく、構造データ間の相関解析なども行った。

(2) 詳細

サンプルの収集と予備検討:

スギ (*Cryptomeria japonica*) のブロックを 9 つ入手し、厚さ 1 mm、幅 12 mm、長さ 40 mm に加工した。本実験では構造に多様性があることが好ましく、様々な外観を呈する試験体を準備した。

データの収集:

- ・ 近赤外スペクトル測定 一分子レベルの構造データ収集
近赤外スペクトルは、非破壊的に物質中に含まれる成分の情報を取得できるため、農産物や食品の品質評価などにもよく用いられている。木材はセルロース、ヘミセルロース、リグニンが主成分であり、そのおおよその割合は決まっている。しかしながら、個体差や心材(木材中央の色が濃くなる部分)では心材特有の成分が多くなるなどの差があり、そのような違いを検出できる可能性がある。実際、得られたスペクトルを二次微分して主成分分析を行ったところ、個体ごとに異なることが明らかになった。
- ・ 小角 X 線散乱測定 一分子集合体レベルの構造データ収集
木材の主成分のひとつであるセルロースは、結晶性の繊維(マイクロフィブリル)として木材中に存在する。その配向を示すマイクロフィブリル傾角は、木材の物性に大きな影響を与えることが知られている。そこで小角 X 線散乱測定を行い、数 nm~数十 nm の構造に由来する散乱データを取得した。測定はあいちシンクロトロン光センターのビームライン BL8S3 を利用した。得られたデータから、同一の試験体内であっても小角散乱パターンが異なり、マイクロフィブリル傾角に分布があることが示された。
- ・ X 線 CT 測定 一組織レベルの構造データ収集
X 線 CT 測定により、木材試験片の 3 次元構造データを取得した。本実験の測定条件では解像度は約 20 μm であるため細胞 1 つ 1 つを判別することはできないが、試験体の密度分布による木目が明瞭に観測できるものであった。
- ・ 動的粘弾性試験 一引張および剪断物性
非破壊的な物性データの取得方法として動的粘弾性測定を実施した。この測定で得られるのは各試験モード(引張・剪断)の貯蔵弾性率および損失弾性率である。引張の貯蔵弾性率は一般に密度と相関があるため、試験体全体の平均密度とは相関係数 0.8 以上の強い相関があった。

3. 今後の展開

本研究で得られたデータは非常に興味深い点をいくつも含んでおり、それらの解析を研究期間終了後も継続して行う。

4. 自己評価

研究目的の達成状況:

当初に計画した測定は概ね完了し、当初の予定になかった測定も追加することで、より充実

公開

したデータベースの構築を達成した。一方、測定には予定よりも時間を要するものがあり、解析は現在も進行中である。以上より、研究目的は概ね達成されたと考える。

研究の進め方:

顕微鏡カメラ、近赤外スペクトル用のアタッチメントなど、測定に必要な装置を購入し、実際にそれらを利用しながら研究を遂行した。途中、計画に変更が生じたが、研究費を後ろ倒しすることで、滞りなく研究費を執行した。以上より、研究の進め方は円滑であったと考える。

研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果:

当研究で得られたデータ及び成果は木材業界において非常に貴重なものである。今後、状況に応じて様々な研究者と協力・競合していくことにより、当分野における AI 活用の推進につながる事が期待できる。以上のことから、研究成果および研究データの波及効果は極めて大きいと考える。

5. 主な研究成果リスト

(1) 代表的な論文(原著論文)発表

研究期間累積件数:0件

(2) 特許出願

研究期間全出願件数:0件(特許公開前のもも含む)

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

- ・ 日本木材学会 ポスター賞 2021年3月16日
田村聡真、久住亮介、和田昌久、小林加代子「X線CTデータを用いた3次元CNNによる木材の物性予測」
- ・ ナノマテリアル応用研究会 招待講演 2022年12月15日
「木材および木材由来ナノ材料の画像解析およびマルチスケール理解に向けた試み」
- ・ セルロース学会関西支部若手セミナー 招待講演 2020年12月8日
「木材科学におけるデータ駆動型研究の可能性」