

|           |                                                                                                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名       | みや た みどりかわ よう こ<br>宮 田 (緑 川) 葉 子                                                                                                            |
| 学位(専攻分野)  | 博 士 (農 学)                                                                                                                                   |
| 学 位 記 番 号 | 論 農 博 第 2585 号                                                                                                                              |
| 学位授与の日付   | 平 成 18 年 1 月 23 日                                                                                                                           |
| 学位授与の要件   | 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当                                                                                                                     |
| 学位論文題目    | Transverse shape analysis of softwood tracheids by the quantitative<br>Fourier transform image analysis<br>(フーリエ変換画像処理による針葉樹仮道管横断面の定量的形状解析) |
| 論文調査委員    | (主 査)<br>教 授 藤 田 稔 教 授 野 瀧 正 教 授 伊 東 隆 夫                                                                                                    |

### 論 文 内 容 の 要 旨

木材の種々の物性は木材を構成する細胞の形状とこれらの集合様式によって大きく影響される。これらの形状因子を数量的に解析することは、木材の本質に迫ることになり、また木材の効率的利用にも役立つ。しかし天然生産物である木材は、特定の樹種であっても、樹幹の中での部位や生育条件などで細胞の形態は大きく変動する。形態の定量はコンピュータ画像処理法を応用しても大変煩雑な作業である。実際には細胞の長さや太さを測定するのが可能な程度であった。細胞の集合様式については、定量的解析はもちろんのこと、定性的記述すら乏しいのが現状である。

そこで本研究では、木材細胞の集合様式を周期構造と捉え、木材の周期構造解析にフーリエ変換画像処理法 (Fourier transform image analysis) を導入し、精度の高い定量解析を試みている。

第1章では木材の横断面画像における基本組織、すなわち針葉樹の仮道管と広葉樹の木部繊維形態の定量解析法と、フーリエ変換画像処理法の背景と既往の研究について述べ、研究の目的を明確にしている。またフーリエ変換画像処理法における用語類や記号類を整理している。

第2章ではフーリエ変換画像処理法の全体的工程を概説し、これを pre-FFT (効果的な解析のための前処理段階)、2次元FFT, post-FFT (具体的な解析段階) の3段階に区分した。pre-FFT は光学顕微鏡による画像サンプリングや画像抽出などの実空間領域での工程で、細胞を中心点や輪郭線に単純化する工程とその時の誤差を検定している。2次元FFTでは実空間領域から周波数領域へ変換されるが、その時の誤差の発生過程を検定している。周波数領域での post-FFT では極座標解析の問題点を指摘している。各々の段階での誤差の発生原因とその影響を詳しく検定し、10%の誤差範囲の中で3者のバランスのとれたフーリエ変換画像処理法を開発している。個々の細胞の形状を測定し、その測定結果を積み上げて全体像を捉える従来の画像処理法に対して、本研究ではまず全体像を捉え、そこから個々を逆算する新しい試みである。

第3章では細胞の位置情報をドットマップに単純化することで、針葉樹のスギとアガチスの仮道管、また広葉樹ではホオノキの木部繊維の配列を定量的に解析している。この手法は一度に数千個の細胞群が解析できることを検証して、細胞集団を解析することで最頻の構造と、そこからのゆらぎの程度を具体的数値で導き出している。スギとアガチスでは個々の細胞の配列をブロックモデルでゆらぎを含めて復元している。しかしホオノキでは道管などの混在が解析を困難にするために、ゆらぎを数値化するには至っていない。

第4章では約千個の仮道管の輪郭を単純化したネットマップから細胞壁の方位の分布を定量的に解析し、ブロックモデルにこの細胞壁方位の情報を追加することで、仮道管横断面形態を、ゆらぎを含めて復元する工程を、針葉樹のスギとアガチスで提案している。また post-FFT で得られたパワースペクトルパターンの角度分布関数から細胞壁の方位、長さ、方位のゆらぎを抽出し、通常の画像処理法でもこれらを検定して、復元された形状モデルの妥当性を明らかにしている。

第5章ではこのフーリエ変換画像処理法を世界の5科12属22種の針葉樹早材部の横断切片像に適用して、仮道管の精緻な形状と集合様式を復元している。得られた結果は多種多様である。そこで針葉樹仮道管の母体である形成層始原細胞に基づいて、そこからの発達を想定した形状パラメータを考案することで、樹種的な特徴を高精度かつ多面的に表現し、数値化で

きる方途を示している。またこのパラメータから樹木細胞の形状決定に関わる樹木生理学的研究への可能性を示唆している。

第6章では研究の総括とともに今後の課題を示している。すなわち、本研究では大量の樹木細胞を一度に処理して定量的にその性質を解析することを目的としたことから、高拡大像を必要とする細胞壁の厚さについては言及していない。また、解析対象を樹木細胞の代表的部分である早材部に限っていることを明記した上で、本研究が細胞形状記述の大きな1部分を担うものであるとしている。

## 論文審査の結果の要旨

木材の基本組織の細胞、たとえば針葉樹における早材部仮道管は、その木材の多くの物性を決定する重要な要素である。本論文はこの基本組織細胞の形状を、仮道管の配列と形の2種類の因子で精密に定量的解析するために、フーリエ変換画像処理法を発展させ、また多数の針葉樹で実際に適用したものであり、評価すべき点は以下の通りである。

- 1) 信頼性の高い定量的解析を実現するために、フーリエ変換画像処理全体の工程を厳密に検定・管理し、工程全体で10%の誤差範囲を維持するための実験条件を提案した。また装置が変わってもこの実験精度が維持できるように、工程管理のための各種シミュレーション法を考案した。
- 2) フーリエ変換画像処理法の実用性を高めるために、仮道管横断面画像の客観的サンプリング法と極低倍率光顕法やスキャナー法を採用した。この空間領域での条件設定により、最大で数千個の仮道管断面の画像サンプリングに成功した。また画像処理面の画素数と、空間領域・周波数の両領域でのバランスを検定し、そこから有効な画像サンプリング数、光顕の拡大率を算出した。
- 3) フーリエ変換画像の濃度（輝度）情報を定量的に解釈するために、その pre-FFT 段階での画像抽出や各種コンボリューション法で、変換後の数値解析を容易にした。また方眼状に配置された現在の画像処理画面では斜め方向の解析精度が劣り、方位誤差が生じることを見だし、その対策法を考案した。
- 4) 多量の入力画像から最頻値に基づくもっとも妥当な形状を復元した。そしてまた復元の妥当性を通常の画像処理法で検証した。これに基づき、細胞配列と形状のゆらぎの程度を分散として数値化した。これらにより細胞配列と形状解析におけるフーリエ変換画像処理法が確立したと評価できる。
- 5) 多数の針葉樹仮道管で上記の解析法を実施し、樹種的な特徴を2次的に数値化し、点対称の六角形および偏った六角形として図形化した。またこれら数値データを活用するために、仮道管の水分力学的発達モデルを考えて数種のパラメータを提案した。これらパラメータは針葉樹の樹種の特徴と生育環境との関係を示唆するものである。

以上のように、本論文は木材細胞の定量的形態解析に新しい展開をもたらすものである。また具体的に多数の針葉樹の樹種に適用された解析例は、木材の樹種特性と物性解析の基礎的データとして価値あるものである。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成17年11月21日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。