

(様式第 5 号)

マイクロ X 線イメージングによる木材組織観察と樹種同定法としての可能性の検討
Application study of micro CT technique to wood identification with morphological features

百島則幸、芦川信雄、
Momoshima Noriyuki, Ashikawa Nobuo

九州環境管理協会
Kyushu Environmental Evaluation Association

- ※ 1 先端創生利用（長期タイプ）課題は、実施課題名の末尾に期を表す（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）を追記してください。
- ※ 2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後 2 年以内に研究成果公開〔論文（査読付）の発表又は研究センターの研究成果公報で公表〕が必要です（トライアル利用を除く）。
- ※ 3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※ 4 共著者には実験参加者をご記載ください（各実験参加機関より 1 人以上）。

1. 概要（注：結論を含めて下さい）

神社仏閣や木彫仏像などについて、その文化財的価値を評価する場合、使用されている木材の種類は重要な基本情報の一つである。しかし、文化財の保護の観点から樹種を調べるために採取できる木片は大きな制約を受けることが多い。本トライアル利用ではごく少量の木片試料から樹種を同定する手法としてのマイクロ X 線イメージングの可能性を検討した。木材組織は樹種毎に特徴的なパターンを示すことから、その特徴を抽出可能な分解能で CT 画像が取れると樹種同定法としてマイクロ X 線イメージングを利用できる。

(1) ヒノキ（針葉樹）、(2) ケヤキ（広葉樹）、(3) クスノキ（広葉樹）についてマイクロ X 線イメージングを測定した。試料サイズは直径 2mm、長さ 4cm であるが、実際の測定範囲は約 2x2x2mm である。試料は 0.36 度毎に回転させながら、各角度で 7 秒もしくは 10 秒測定を実施し、得られた画像 1001 枚を再構築して吸収強度の分布図（1024x1024x1024 ピクセル）の生データを得た。画像の解析には無料ソフト Fiji を利用した。

得られたピクセル間隔 2.6 μm の 3D 画像は樹種の組織形態を観察可能な分解能を持っていることが判った。顕微鏡で組織を観察するためには、3 軸方向（木口面、まさ目面、板目面）の薄片試料を用意する必要があるが、本手法で得られた 3D 画像からは各軸方向の画像を容易に抽出することができることから、光学顕微鏡による組織形態観察と同等の能力を持つ樹種同定法としての可能性を有していると評価された。

(English)

When evaluating the cultural property value of shrines and temples and wooden statues, the type of wood used is one of the important basic information. However, the pieces of wood collectable from cultural properties to examine tree species is often severely restricted from the viewpoint of protection of cultural properties. In this trial application, we examined the possibility of micro X-ray imaging as a method to identify tree species using a very small amount of wood chip samples. Since wood tissue has a characteristic pattern for each tree species, when a CT image can be obtained with high resolution that allows us to extract the features of tree species from the image.

Micro X-ray imaging was measured for (1) Hinoki (conifer), (2) Zelkova (hardwood), and (3) Cupressus (hardwood). The sample size is 2 mm in diameter and 4 cm in length, but the

actual measurement range is about 2 x 2 x 2 mm. While rotating the sample every 0.36 degrees, 7 seconds or 10 seconds of measurement was performed at each angle, and 1000 images were obtained, and reconstructed to obtain raw data of the distribution chart of absorption intensity (1024 × 1024 × 1024 pixels). The image were analyzed using the free software Fiji.

The obtained 3D image with a pixel spacing of 2.6 μm was found to have a good resolution and is capable of observing the tissue morphology of the tree species. It is necessary to prepare thin sections of wood tissue in the three axial directions (the xy plane, the grazing plane, the plate plane) when we extract morphological features with an optical microscope. The 3D image obtained by this method is enable us to extract images easily for the three axial directions with high resolution, and has an ability equivalent to optical microscopic observation of tissue morphology. Therefore it would be concluded that the micro X-ray imaging can be used as a tree species identification method.

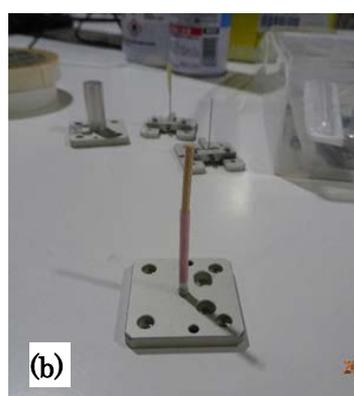
2. 背景と目的

樹種を同定することは様々な場面で求められることがあるが、すでに板や棒に加工されている場合は簡単ではない。加工された木材の樹種同定は、簡便な方法としては色、木目、材質などを観察して、経験に基づく熟練者の目視観察で行われることが多いが、ある程度の大きさや新鮮な表面がないと一般的に同定は困難である。一方、光学顕微鏡による木材組織の観察による形態学的な同定は信頼性が高い方法であるが、そのためには木材の一部を入手して顕微鏡観察のための組織切片試料(3軸方向)を作成する必要がある。文化財的価値の高い建物、仏像などからは顕微鏡切片試料の製作に必要な木材試料を得ることは困難であり、歴史的、地域文化的、芸術的観点から樹種同定の要望が高いにも関わらず実施できないことが多い。

放射光を用いるマイクロX線イメージング技術は微小な物体の3Dイメージングを作成することができる。微小な木片試料の3Dイメージングから、3軸方向の画像を切り出し、これらの画像から木材組織の形態的特徴を抽出することができれば、顕微鏡法と同様に樹種同定に利用できると考えられる。マイクロX線イメージングに必要な条件は高い分解能であり、数マイクロメートルの解像度が達成できると樹種に特徴的な組織形態を観察することができる。今回の目的は得られるCT画像が樹種同定に利用可能な分解能を有しているかどうかを調べることである。

3. 実験内容(試料、実験方法、解析方法の説明)

試料 : ヒノキ(針葉樹)、ケヤキ(広葉樹)、クスノキ(広葉樹)の板から、直径2mm、長さ4cmの円柱状試料を作成した。



(a) 作成した円柱状試料(右側は爪楊枝の頭部に円柱状試料を接着したもの)

(b) 試料保持台に円柱状試料を差し込んでセットした様子

(c) ビームライン07に試料保持台を取り付けた様子。ビームは試料の左から入射され、右側のCCDカメラで撮影される

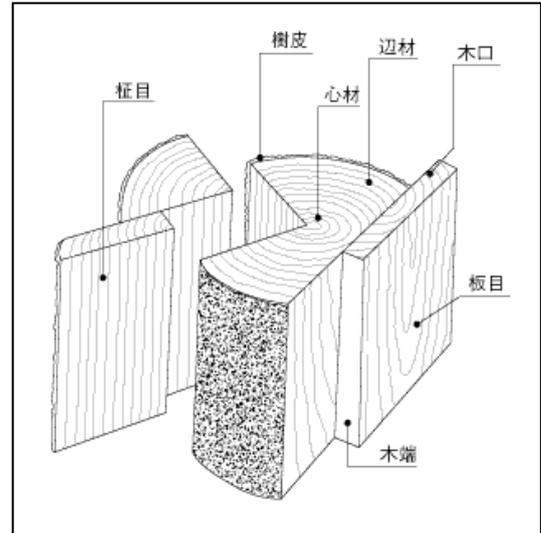
実験方法: バイオイメージングビームラインBL-07の回転台に円柱試料をセットして0.36度毎に回転

させながらCCDカメラによりCT写真を撮影した。使用したX線のエネルギーは9keVであり、ヒノキ及びケヤキは各面7秒、クスノキは10秒の測定時間であった。
 解析方法：CCDカメラへの記録は2048x2048x2048ピクセルの画像であるが、2x2x2ピクセルで統合することで1024x1024x1024ピクセルのデータ量の画像として再構築を行った。3D画像の観察は無料ソフトFijiを利用した。

4. 実験結果と考察

樹木の3軸方向（木口面、まさ目面、板目面）の位置関係を右図に示す。木口面には年輪と共に仮道管や導管の横断面が観察される。まさ目面には中心から表皮に向かう放射組織や導管や仮道管の縦断面が観察される。板目面には導管や仮道管の縦断面や放射組織の横断面が観察される。

各樹種の各面について得られた組織画像を示す。



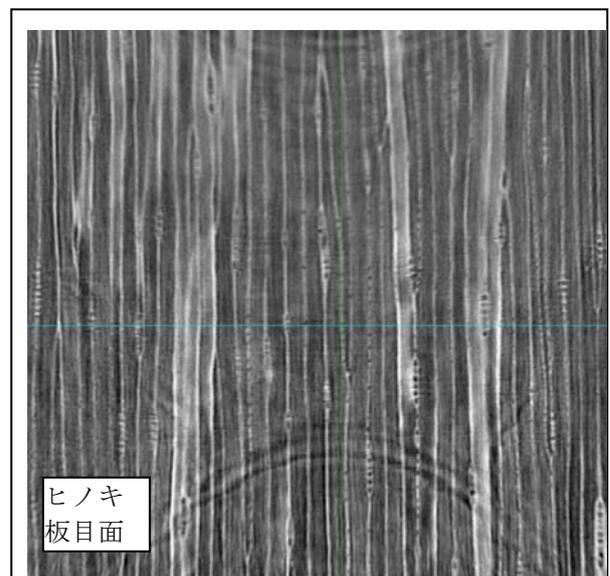
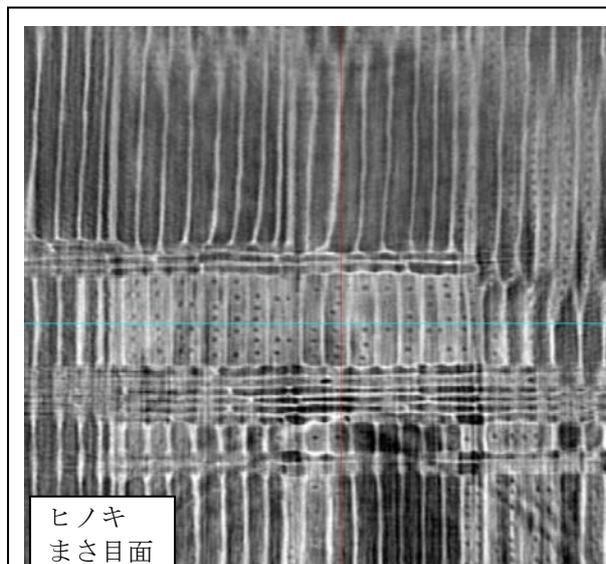
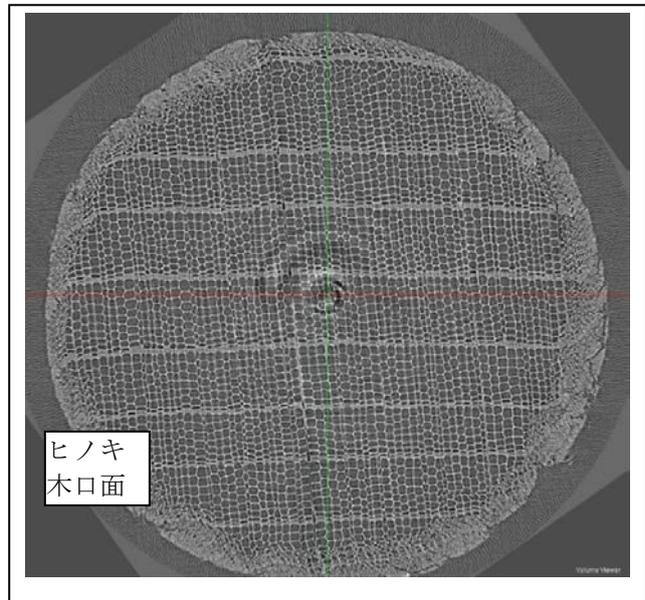
(1) ヒノキ（針葉樹）

木口面の横方向には年輪縞が観察される（白っぽい横線。晩夏から秋に生成した成長が悪い細胞の集まりである）。年輪の間隔から成長率は0.3-0.4cm/年であると読み取れる。針葉樹は仮道管が広く分布するのが特徴である。仮道管は一個一個の細胞であり、細胞の横断面すなわち細胞壁が丸く見て取れる。

板目面には仮道管を構成する細胞の縦断面に細胞壁が縦長に見て取れる。また、ところどころに放射組織の細胞が縦方向に塊として見える。

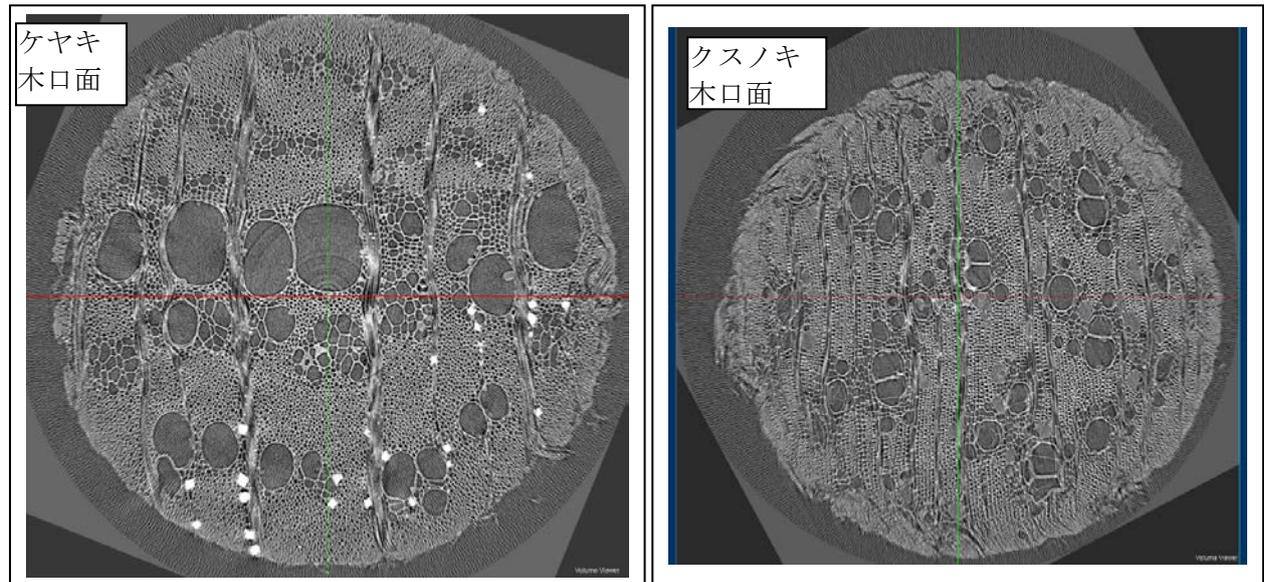
まさ目面には左から右方向に広がる放射組織の縦断面が見える。放射組織の縦断面の上下には仮道管の縦断面が見え、各仮道管を連結する壁孔が縦方向に点状に観察される。

注意：各面の倍率は任意である。



(2) ケヤキ (広葉樹) (3) クスノキ (広葉樹)

広葉樹は発達した導管が根から樹幹に水を通してのが特徴であり、ケヤキには発達した大きな導管と小さな導管が横方向に観察される。また、上下に走る放射組織が帯状に確認される。白い粒状で点在する部分はおそらくシリカなどの無機物質による目詰まりと思われる。一方、クスノキの導管は斜め方向に並ぶように分布している。放射組織の幅はケヤキより狭く、数が多いことが判る。



樹種の特徴は、様々な組織を観察することで知ることができる。現在 AWAI (The International Association of Wood Anatomists) による光学顕微鏡的特徴リストによる判別が利用可能である。AWAI は国際木材解剖学者連合により樹種をコンピュータで判別可能なようにコード化して「AWAI List」として体系化されたものである。CT 画像からコード化されている特徴を読み取り、リストに入力していくと光学顕微鏡による観察の場合と同じように樹種が絞り込めると期待される。

本トライアル利用では、マイクロ X 線イメージングによる画像が樹種同定に利用可能な分解能を有しているかどうかを調べることであったが、ヒノキ、ケヤキ、クスノキについて行った実験では、樹種に特徴的な組織形態を高い分解能で観察できることを確認することができた。得られる 3D イメージから任意の面の画像を取り出すことができることから、顕微鏡観察のための組織切片の写真と比べると抽出できる画像の数は多く、圧倒的に多くの情報を得ることができ組織形態の観察には有利なことは明白である。

5. 今後の課題

今回得られたものは 3 樹種だけである。他の樹種についてもマイクロ X 線イメージング測定を行い高分解能の画像が得られることを確認することが、本手法の発展には必要である。国内文化財への利用を目的とすることから、代表的国内産樹種のマイクロ X 線イメージングデータを揃えることが次のステップとなる。マツ、スギなどについて測定を行いたいと考えている。そして代表的な樹種のデータを揃え、実際の文化財について測定を進める計画である。

得られた樹種毎の 3D イメージはデータベースとして公開することが望ましい。

6. 参考文献

広葉樹の識別 IAWA による光学顕微鏡的特徴リスト、海青社、1998 年
針葉樹の識別 IAWA による光学顕微鏡的特徴リスト、海青社、2006 年

7. 論文発表・特許 (注: 本課題に関連するこれまでの代表的な成果)

なし

8. キーワード (注: 試料及び実験方法を特定する用語を 2~3)

樹木組織、マイクロ X 線イメージング

9. 研究成果公開について (注: ※2 に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文 (査読付) 発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してく

さい (2019 年度実施課題は 2021 年度末が期限となります)。
長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

~~① 論文 (査読付) 発表の報告 (報告時期: 年 月)~~
~~② 研究成果公報の原稿提出 (提出時期: 年 月)~~