

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

百島則幸¹、芦川信雄¹、田籠久也¹、米山明男²

¹九州環境管理協会, ²SAGA-LS

文化財的価値の高い建物や仏像などに使用されている木材の種類は基本情報であるが必ずしも明らかではない。顕微鏡で樹木組織を3軸方向の面（木口面、柁目面、板目面、図1）で観察する樹種同定法が広く利用されているが、この方法を用いるにはある程度の大きさの木片が試料作製に必要である。しかし、文化財保護の観点から、必要な大きさの木片を入手することは一般的には困難であり、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。一方、放射光を利用するマイクロ X 線イメージングは極少量の試料で樹木組織の観察が行えることから、文化財への適応も可能と考えられる。本研究は、SAGA-LS でのマイクロ X 線イメージングによる樹種同定法の確立と文化財への適応を目的とした。

BL07 の光学ハッチ（白色光）あるいは第2実験ハッチ（8keV あるいは 9keV）でマイクロ CT を高分解能 X 線カメラで 0.36 度毎に試料を回転させながら撮影した。1001 枚の回転画像を再構築して X 線吸収強度の分布の生データを得た。この条件による画像サイズは 2.6 μm /ピクセルとなる。

白色光で撮影したクスノキ（広葉樹）の 3D 画像を図2に示す。水の通り道である大きな導管の断面が木口面（図2左側の S 面）に見えている。図2右側にその導管の縦方向の断面を示す。幹の軸方向に伸びる導管の様子がわかる。

3D イメージング法の特徴は任意面の断面画像を容易に得られることであり、これが樹種同定における大きな利点となる。

確立した手法の紹介と本手法を福岡県内の神社境内の撰末社から得た部材へ適応した結果について報告する。

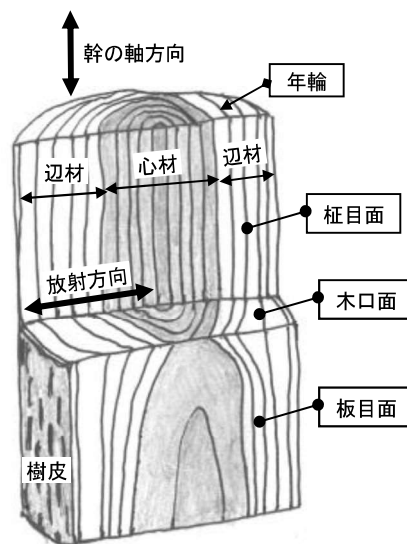


図1 木材の断面図

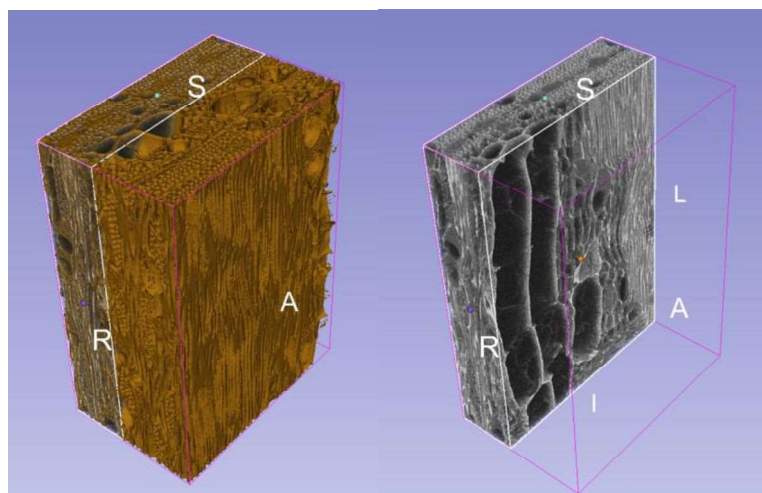
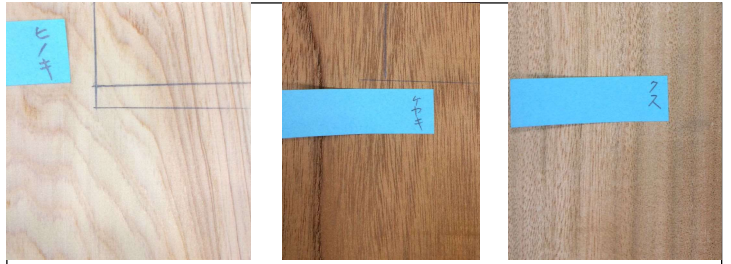


図2 クスノキの 3D 画像（面の配置は図1と同じ）

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



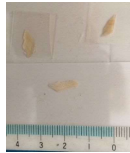
- 木材の樹種同定は様々な場面で求められる
- 色、木目、材質などを目視観察。経験に基づく熟練者の目が必要。一般的には新鮮な断面が好ましい
- 加工された木材や時間が経過した木材は目視での同定はより難しくなる



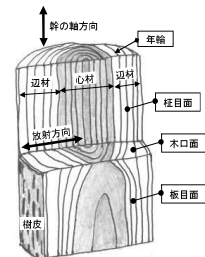
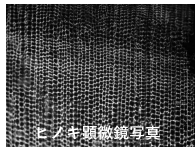
- 樹木組織を顕微鏡で観察して樹種を同定する方法がある

組織の顕微鏡観察による樹種判別

- 樹種で組織形態は異なる
- 3軸方向の組織形態を樹種同定に利用できる



顕微鏡観察



- 薄片試料の作製にはある程度の大きさの木片が必要
- 3軸方向の観察には、それぞれの薄片試料の作製が必要

文化財への顕微鏡法の利用は限定的

薄片試料作製に必要な大きさの木片の入手は一般的には困難

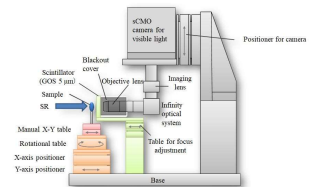
マイクロX線イメージング法(μX線法)は少量の試料で木材組織の観察ができる

本研究の目的

- SAGA-LSでμX線法を行うための基礎的知見の獲得と手法の確立
- 文化財への適応

BL07: バイオ・イメージングビームライン 光学ハッチ (白色光) 第2実験ハッチ (単色光: 8keVあるいは9keV)

高分解能X線カメラ
画素数: 2560 pixel × 2160 pixel
視野: 2 mm(H) × 2 mm(W)

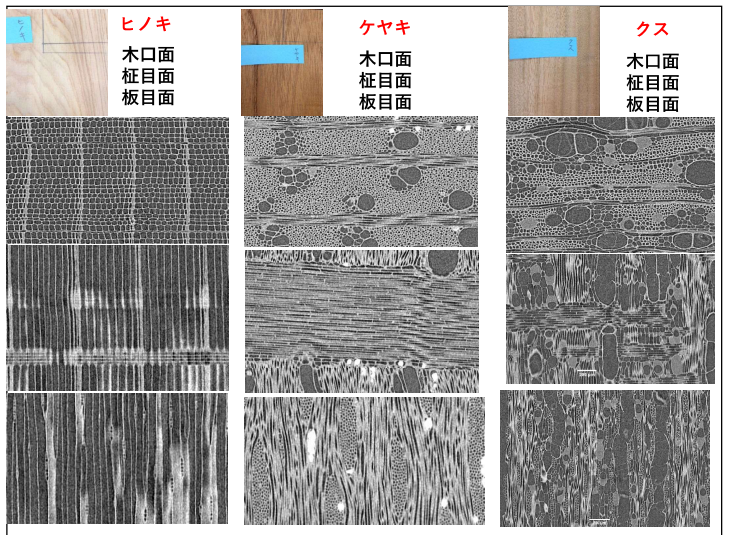
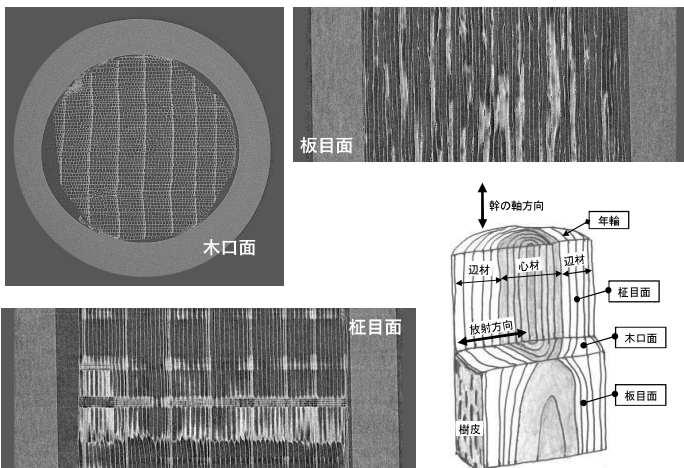


- 撮影方法: 試料を回転し0.36度毎に1001枚を撮影
- 撮影時間: 白色光 (約5分)、単色光 (約3時間)
- 画像処理: 2048 × 2048ピクセルの画像は2 × 2ピクセルで統合して1024 × 1024ピクセルに変換
- 再構築: 1001枚の回転画像を再構築してX線吸収強度の分布の生データに変換 (1024 × 1024ピクセル × 1024枚)

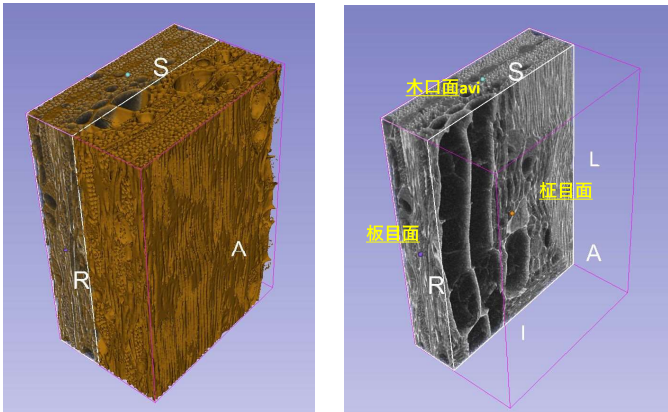
本条件による画像サイズは2.6μm/ピクセル



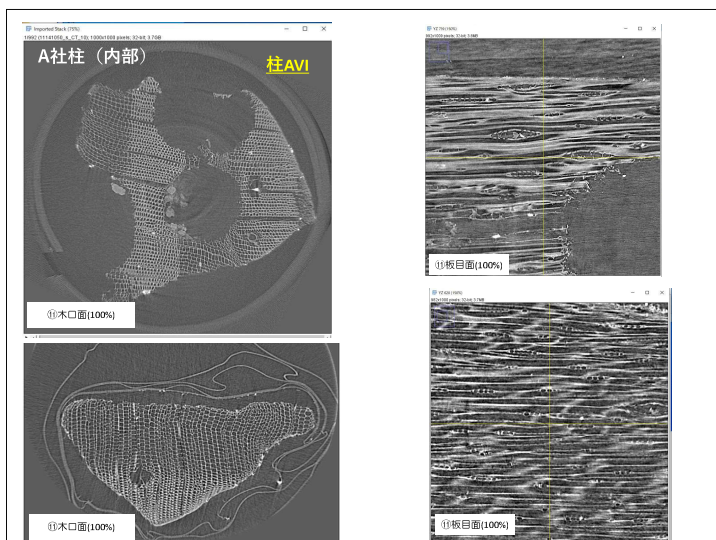
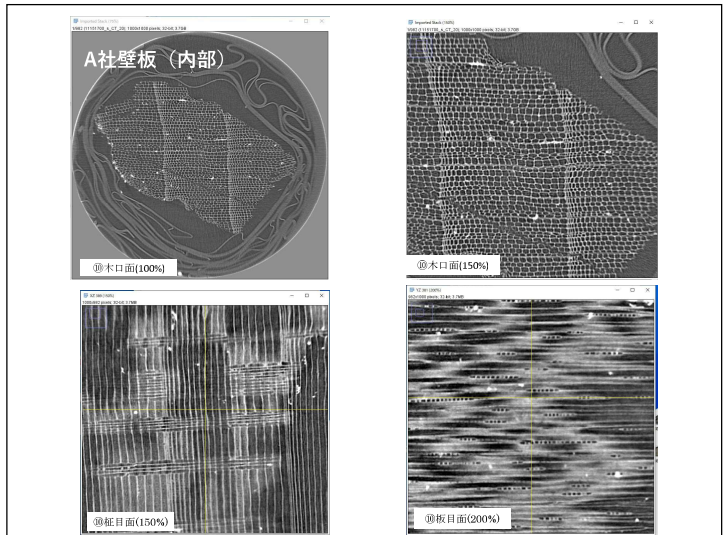
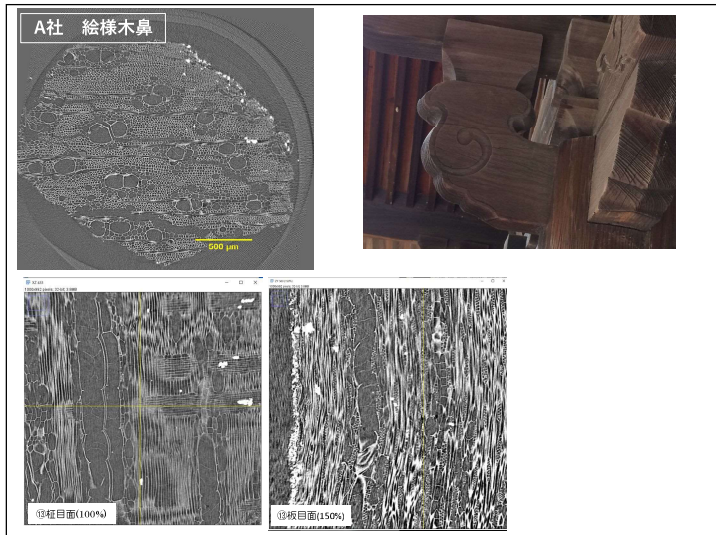
ヒノキのマイクロX線CT画像



クス 3D画像



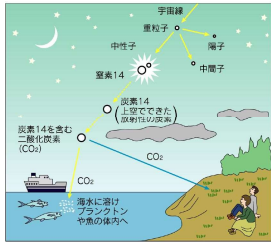
試料	画像
A社 柱 (内部)	 8keV, 10秒/0.36度 64bit, 1000x1000
A社 絵様木鼻 (外部)	 8keV, 10秒/0.36度 64bit, 1000x1000
A社 壁板 (内部) 萬治4年の墨書	 8keV, 10秒/0.36度 64bit, 1000x1000
B社 絵様木鼻 (外部)	 8keV, 10秒/0.36度 64bit, 1024x1000
B社 長押 (内部)	 8keV, 10秒/0.36度 64bit, 1024x1000



試料部位	組織形態の特徴	推定される樹種
A社 柱 (内部)	針葉樹の仮道管分布の特徴を示す。 軸方向細胞間 (樹脂) 道がみられる	針葉樹 マツの仲間
A社 絵様木鼻 (外壁)	広葉樹の道管分布の特徴を示す。放射組織の幅が数列	広葉樹 クスノキ
A社 壁板 (内部)	針葉樹の仮道管分布の特徴を示す	針葉樹 ヒノキの仲間
B社 絵様木鼻 (外壁)	広葉樹の道管分布の特徴を示す。放射組織の幅が数列	広葉樹 クスノキ
B社 長押 (内部)	針葉樹の仮道管分布の特徴を示す。 晩材の仮道管壁が厚く、放射方向細胞間 (樹脂) 道らしきものが見られる	針葉樹 マツの仲間

炭素年代測定法 (radio)carbon dating

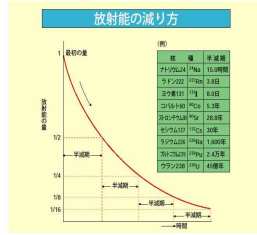
炭素14の生成と自然界の循環



樹木は光合成で炭素-14を年輪中に固定する



樹木が伐採されると年輪中の炭素-14は減少していく



炭素-14の半減期は5730年

- 1940年 ^{14}C の発見
- 1949年 リビーによる年代測定法の研究と確立
- 1960年 ノーベル賞受賞

本研究の成果と今後の展開

- SAGA-LSで μX 線法を行うための基礎的知見の獲得と手法の確立
 - 白色光及び単色光による木材組織の測定が可能
 - 画像サイズ2.6 μm /ピクセルの1024x1024ピクセルx1024枚スタック画像データとして得られる
 - 任意の位置の断面画像が抽出できる
 - 断面画像を樹種判別に利用できる
- 文化財への適応
 - 福岡県内の神社の摂末社へ本手法を適応した
 - 古い木材や風雨にさらされた部材でも組織の観察ができることを確認した
 - 部材の虫食いや劣化も観察できた
- 今後の展開
 - 神社仏閣等の建築部材の調査に利用する
 - 樹種同定法として一般化するには、樹種や産地が異なる測定データの集積（データベースの構築）。AIを利用する樹種判別法の研究