

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22300309

研究課題名(和文)新規手法を活用した木製文化財の樹種識別

研究課題名(英文)Wood identification of wooden artifacts by means of novel techniques

研究代表者

杉山 淳司(Sugiyama, Junji)

京都大学・生存圏研究所・教授

研究者番号：40183842

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円、(間接経費) 4,050,000円

研究成果の概要(和文)：樹種を識別することは、考古学や歴史学など様々な局面で有用な情報となる。そのために、光学顕微鏡観察により形態的な特徴を見極めて識別する手法が発達してきており、このような方法で現在属レベルでの識別が可能となっている。単純な作業であるが、経験と熟練を要する技術であり、また国宝をはじめとする文化財の場合は非破壊が原則であるため、資料を作成することすら不可能である。このような状況を鑑み、光学顕微鏡による従来法とは別の新しい非破壊樹種識別法として、大型放射光X線CT法、揮発性微量物質、近赤外分光分析法による樹種識別について検討し、実際の国宝サンプルの観察と同時に樹種識別の可能性と問題点を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Wood identification often provides invaluable information in various aspects of historical and cultural affairs. So far, the technique of discerning the morphological features by optical microscopic observation, is most commonly used. Although it is a simple procedure, expertise of wood anatomy as well as skills in sample preparation and furthermore experiences are prerequisite. In addition, for instance, wooden objects from national treasure class, the objects, are normally the subject of religion and not the subject of scientific investigation. Therefore, novel non-destructive approach is demanded as an alternative to the conventional microscopic method.

In view of such situations, we have investigated (1) 3D imaging using synchrotron X-ray computed tomography(CT), (2) chemical assessment using emitted volatile organic compound(VOC) from wood sample, (3) spectroscopic classification and discrimination by infra-red, near-infra-red, and Raman regions.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：文化財科学 文化財科学

キーワード：樹種同定 大型放射光 トモグラフィー 揮発性微量成分 近赤外分光

1. 研究開始当初の背景

文化財は過去を語る。過去は、未来の生存圏を予測する上でも重要な知見をもたらす。特に木の文化を誇る日本においては、例えば木質文化財に利用されている樹種やその意味を丹念に調べてゆけば、わが国固有の文化を支えてきた「適材適所」の木使いの知識が学べるのではないかと想像できる。しかし文化財の調査は可能な場合であっても非破壊が原則である。どのように文化財を科学し、情報を抽出するか。これは、潤沢な木質文化財を誇る日本をはじめとした世界共通の課題でもあった。例えば樹種識別調査においては、木片から3断面(図1)を切りだし、プレパラート作成、観察という、破壊が伴うため、このことが文化財調査での障壁となってきた。

2. 研究の目的

非破壊検査が原則とされる文化財などの樹種判定のための新しい手法の開発を目的とした。まず、X線を用いた透過像から3次元構造を再構成する、いわゆるCT法(computed tomography)の利用については、汎用装置の分解能では識別に必要な木材組織の可視化が出来ないため、大型放射光X線CT法の利用を検討した。また、木材組織構造が類似しており、形態学的な特徴のみでは識別が難しい、二個体あるいは同属の木材の判別に、木材が発する揮発性有機化合物、材表面の反射拡散測定により得られる近赤外分光スペクトルを利用した樹種判別の可能性について検討した。

3. 研究の方法

シンクロトロンX線 μ CTによる研究展開は、これまでの申請者の取り組みを継続させつつ、幅広く文化財由来試料の非破壊測定を行った。その過程で、シンクロトロンX線 μ CTのための、試料調製をはじめ、出力や照射時間など最適な実験条件を確認し、断層および3D画像取得のためのフリーウェアソフト(sliceやimageJ)や市販ソフトウェアの活用を含む3次元構築、データ解析による組織構造の定量化、数値化データを用いた樹種判別法などの実験手法を確立した。これと平行して、文化財由来試料に多く利用される樹種や、いわゆる有用材を針葉樹・広葉樹それぞれ選定し、現生材の μ CT画像による組織学的特徴に関するデータベースを構築した。今後の文化財由来試料の識別のためのプロトコル作成を目指すと同時に、(公開できる情報に限って)結果をHP上に公開した。

VOC検出によっては、組織学的な特徴では判別困難な、ヒノキ科のサワラ、ヒノキ、ヒバ、またスギとネズコ、さらには国産ヒノキとタイワンヒノキなどについて判別を行っ

た。用いるVOC装置の特性から得られるデータからまず種内変動と種による特徴を明らかにした上で、各種間の差を見出す分子量領域を設定し、判別式を求めた。ソフトウェアにはUnscramblerを利用した。

形態によらない樹種判別法として、上記の携帯型質量計を利用したVOCに加えて、研究期間後半にはより非破壊的な方法である近赤外分光法の検討に注目した。

近赤外分光法は、卓上の近赤外分光装置を用いて試料のスペクトルを取得し、スペクトルの多変量解析によって樹種判別を行う方法である。ソフトウェアにはUnscramblerを活用した。研究を立ち上げるにあたって、まず定量性を確認するためのプレリミナラな実験として、木紛の分析を行い、技術的また理論的な問題点の検討を行った。

4. 研究成果

X線トモグラフィーは「木材から切片を作って顕微鏡を覗く(図1)」代わりに、「X線を使って透過像を撮影し、それをもとに無限に切片を作ることのできるバーチャルな木材組織を3Dで作製する(図2)」ということを実現する。一般に医療用のシステムでは数百 μ m~1mm程度の分解能に留まるが、大型放射光施設SPring-8では、限りなく強く、そして平行に発せられるX線を利用することができる結果、0.5 μ mの分解能が保証される。この分解能は樹種同定に適したスケールで構造を調べることが保証し、その結果美術院の担当する国宝木彫像の調査や、天平期の木屎漆に含まれる木紛(図3)、朝鮮半島由来の古面、神像、狛犬、木床義歯(図4)といった木質文化財の破片の識別を可能とした。

日本彫刻史の中で、仏像と比べて神像彫刻の研究はやや遅れをとっている分野であった。数多くの神像が非公開で祀られてきたため、仏像に比べ遥かに調査の機会に乏しく、体系的な研究への妨げとなってきたことに加えて、神仏分離・廃仏毀釈による影響、神像が仏像と異なる様式や構造的特徴を持ち、独自の歴史の変容をみせた点、或いは、造像銘



図1. 通常木材識別に必要な光学顕微鏡による三断面像(木口面、柁目面、板目面)。樹種はケヤキ。

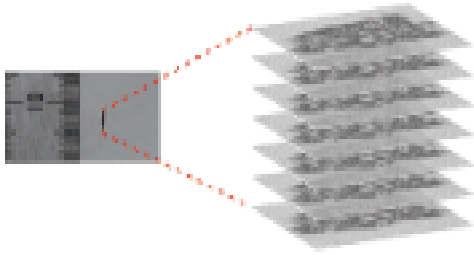


図2. 通常、文化財等から得られる剥離片は、長さ数 mm、幅 1 mm という小ささ(左の写真)。SPring-8 の X 線マイクロ CT を用いて 1800 枚の透過像を撮影し、フィルター逆投影法という演算処理により 1300 枚の断層像を再構築した(右)。分解能 0.5 マイクロメートルで 3 次元像の観察が可能となる。

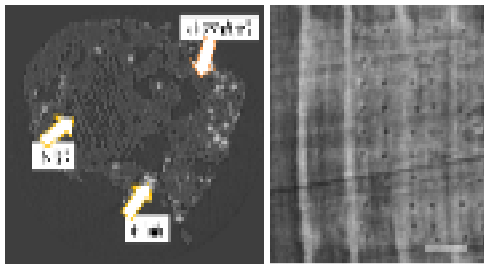


図3. 唐招提寺盧舎那仏 頭部螺髪固定用乾漆の CT 像。右図よりヒノキと推定される。

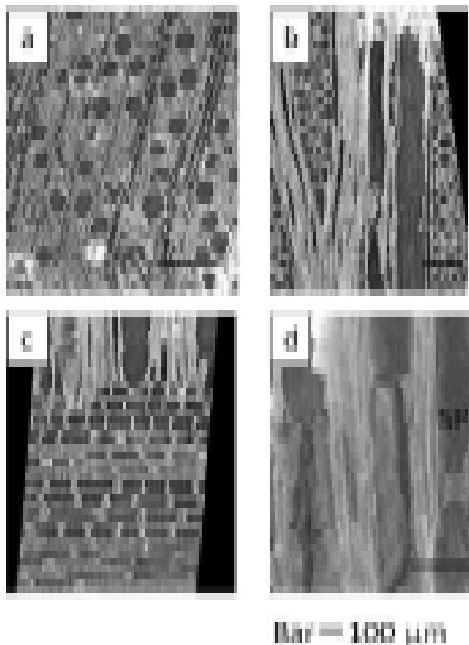


図4. 木床義齒の CT 像の一例。

のある像が稀少で、平安時代に遡るものが皆無に近い点などもこのような傾向に拍車をかけたと思われる。そのため、古代から中・近世に至る造像の展開を通観できる日本神像史はまだ確立していない。

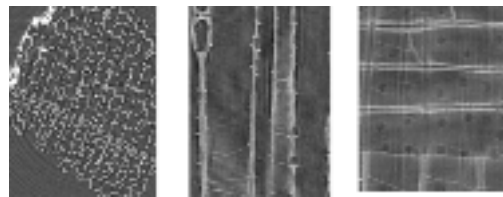


図5. 滋賀県甲賀市矢川神社女神坐像について、放射光 X 線マイクロトモグラフィーを用いて撮影した断層像から構築した木口(左)・板目(真中)・柾目(右)に相当する画像

一方、神像の用材観を審らかにすることは、神仏習合の概念にも波及すると考えられ、日本彫刻史において非常に重要な知見をもたらすと考えられてきた。そこで関西地域の中でも特に木彫像の残存が多いとされている滋賀県や京都府に伝来する神像の樹種調査を行った(図5)。滋賀県に伝わる神像彫刻の一例として、11世紀の作と推定されている大宝神社男神立像はヒノキ、また平安後期の作と推定されている矢川神社女神坐像はカヤであることが判明した。滋賀県ならびに京都府の11世紀から14世紀頃までの複数の神像彫刻を調査した結果からは、特にカヤが多用され、次いでヒノキが使用されていることが判明した。

近年金子らにより奈良末から平安初期の一木彫像の多くがカヤであると明らかになり、カヤによる造像が各種尊格に及ぶのは、中国の栢の概念の拡大化の反映と見做される等との指摘されている。本研究で神像にも一部カヤの使用が判明したことにより、神像を中国の栢の概念の拡大化の流れの中に位置づけることが出来るのか、或いは仏像とは異なる樹種が志向されているのか、といった問題を解く可能性が出てきた。

一方、解剖学的な特徴には、DNA のような生命の根源物質に刻まれる遺伝的、系統の変異が正確に現れる訳ではないので自ずと限界がある。解剖学者の努力によって、限界は属のレベルであり、種の特定ができる樹種は限られていることが知られている。しかし、

文化史や歴史上重要な史実の根拠として、種の判別が切望されるケースも少なくなく、その意味で形態に寄らない新しい手法の開発が有用である。

VOC(匂い)検出には、飛行時間型質量分析法 TOF-MS によるガス分析計のひとつである VOC 分析計 MS-200(KORE Technology 社製)を用いた。本実験装置は、すでに名古屋大学や京都大学工学部をはじめ宙空電波科学研究領域での実績が実証されており、京都大学生存圏研究所高橋けんし准教授の協力に基づき、現在も当研究室に設置されている。

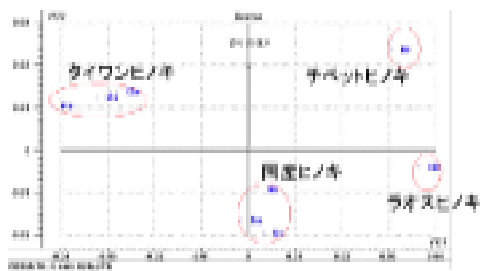


図6. 有用ヒノキ科樹木の VOC 分析結果

まず光学的顕微鏡を用いた樹種識別では特定が困難なヒノキ科の樹種識別への客観的指標の確立を目的として、京都大学生存圏研究所材鑑調査室に保管する標準木材サンプルのうち破壊を伴う調査に用いることのできるすべてのサンプルから材面を新しく削り取り、そのサンプルを一昼夜密封シール内に置いた後、VOCの測定に供した。得られるデータからまず種内変動と種による特徴を明らかにした。次に、各種間の差を見いだ

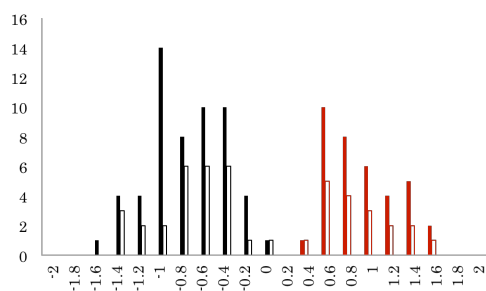


図7. 京都大学生存圏研究所材鑑調査室が所有するアカマツ材(アカ)とクロマツ材(黒)を用いて、両者のトレーニングセットのスペクトルデータをもとに判別関数を計算し、テストデータ(白抜)の判別を行ったもの。すべてのサンプルが、間違いなく判定できていることがわかる。ただし、水分条件や、試料の採取部位(心材、辺材)などが考慮できておらず、プレリミナルなデータである。

す分子量領域を設定して判別式を算出した。

図6に示す通り、通常顕微鏡で判別できないヒノキ属の樹種が明瞭に区別された。

VOCに加えて、赤外線、近赤外線、ラマン分光などのスペクトルを検討したところ、近赤外法がもっとも簡便で再現性のよい結果を与えることを見だし、粉末試料を用いた場合、二葉松やヒノキ科有用樹種などの判別装置として近赤外ケモメトリクス法を開発することが出来た(図7)。次のステップとして、歴史的建造物使用用材のオンサイト非破壊検査に利用できるように、スペクトル取得の技術の改善やデータの蓄積する必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

1. 田鶴寿弥子, 杉山 淳司, 山下 立, 滋賀県地域における神像彫刻の樹種調査 — 新旧手法の適用による —, 滋賀県立安土城考古博物館紀要 第21号, p71-94, 2013, 査読有り
2. 田鶴寿弥子, 杉山淳司, 国宝・重要文化財知恩院本堂および集会堂ほか二棟修理工事報告書(集会堂編), 京都府教育委員会, 修理工事報告書, p105-108, 2013/3, 査読無し
3. 水野 寿弥子, 高瀬克彦, 杉山 淳司, シンクロトン放射光 X 線トモグラフィ(SRX-ray μ CT)を用いた木質文化財の樹種識別, 考古学と自然科学, 63, 1-11, 2011, 査読有り
4. 田鶴寿弥子, 杉山淳司, “樹種識別の結果”, 国宝・重要文化財知恩院本堂および集会堂ほか二棟修理工事報告書(集会堂編), Vol.1/2, 2013, pp105-108, 査読無し
5. 水野寿弥子, 杉山淳司, 豊国神社茶室「豊秀舎」における樹種識別調査, 茶の湯文化学, 18, 1-9, 2011, 査読有り
6. Suyako Mizuno, Junji Sugiyama, “Wood identification of building components of the tea room Hasso-seki of Konchi-In temple designated as an important cultural property”, *Mokuzai Gakkaishi*, Vol.57No.1, 2011, pp14-19, 査読有り
7. Suyako Tazuru-Mizuno, Junji Sugiyama, Identification of wood of archaeological heritages by X-ray micro-CT imaging, *SPring8 Research Frontier*, 2011, 査読有り

[学会発表](計17件)

1. Junji Sugiyama, Wood science for culturally important wooden artifacts. Wood Culture Symposium, Xiamen,

- China, 2014/3/22
2. 田鶴寿弥子, 杉山淳司, 獅子・狛犬における木材選択, 第 64 回日本木材学会大会, 2014 年 3 月 13-15 日, 松山
 3. Suyako Tazuru, Junji Sugiyama, Wood identification of wooden deities using X-ray micro-CT imaging, 8th Joint Seminar of CKJ on Wood Quality and Utilization of Domestic Species, International Symposium on Wood Quality and Utilization, 2013/10/21-22, Jeju, Korea
 4. Yoshiki Horikawa, Tazuru Suyako, Junji Sugiyama, NIR spectroscopy allows to distinguish anatomically similar wood species. 8th Joint Seminar of CKJ on Wood Quality and Utilization of Domestic Species, International Symposium on Wood Quality and Utilization, 2013/10/21-22, Jeju, Korea
 5. Suyako Tazuru, Yoshiki Horikawa, Junji Sugiyama, NIR spectroscopic investigation of anatomically similar wood species. 8th Pacific Regional Wood Anatomy Conference and Annual Meeting of International Academy of Wood Science, 2013/10/17-20, Nanjing, China
 6. Junji Sugiyama, Non destructive imaging of Japanese Buddha statues, The 7th Asia Oceania Forum for Synchrotron Radiation Research, SPring-8, Himeji City, 2013/09/21
 7. Junji Sugiyama, Non destructive and spectroscopic analysis of softwood used in cultural artifacts, 慶北大学校, ウルチン産金剛松に関する研究集会, Daegu Korea, 2013/08/09
 8. 杉山淳司, 木のミクロな仕組みから分かること、見えること、京都大学附置研 第 37 回品川セミナー、2013/06/07
 9. 杉山淳司, 高分解能 CT でみる木の文化, 第 21 回 SPring-8 施設公開 科学講演会, 播磨、2013/04/27
 10. 田鶴寿弥子, 杉山 淳司, 新旧手法の適用による神像彫刻の樹種識別調査, 第 63 回日本木材学会大会, 2013 年 3 月 27-29 日, 盛岡
 11. Junji Sugiyama, Wood identification using tomography and spectroscopy - principle and practice, Int'l Symposium in memory of 30th anniversary of Kangwon National University, College of Forest and Environmental Science, Chuncheon Korea, 2012/10/16
 12. 杉山淳司, 放射光マイクロ CT による樹種識別, 文化財科学講演会 - 放射光・中性子で文化財を探る - ,

- 2012/09/28, 東京都
13. 杉山淳司, 人文系のセルロースサイエンス, セルロース学会西部支部シンポジウム, セルロース学会, 2011 年 12 月 15 日, 長崎
 14. 杉山淳司, SPring-8 による文化財木製品調査, SPring-8 ワークショップ: 放射光と文化財科学, 2011/09/12, 大阪市
 15. Junji Sugiyama, Humanosphere Science in Wood Culture - recent activities, International Symposium on Wood Science and Culture, Uji Kyoto, 2011/08/06
 16. 水野寿弥子 杉山淳司, シンクロトロン放射光 X 線トモグラフィーを用いた、木質文化財の樹種データベース構築, 日本文化財科学学会第 28 回つくば大会, 2011.06.11-12, 筑波大学
 17. 水野寿弥子 杉山淳司, “歴史的建造物の樹種調査における放射光 X 線マイクロトモグラフィーの適用”, 建築史学会 2011 年度大会, 2011/4/23, 東京大学

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LBMI/>

<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/bmi>

6. 研究組織

(1)研究代表者

杉山 淳司(SUGIYAMA, Junji)
京都大学・生存圏研究所・教授
研究者番号: 40183842

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

田鶴 寿弥子(TAZURU, Suyako)
京都大学・生存圏研究所・助教
研究者番号: 30609920