

令和元年6月24日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18730

研究課題名(和文)歴史的建造物のオンサイト樹種調査へ向けた新規手法の基礎的研究

研究課題名(英文)Basic study of the new technique for the on-site wood identification

研究代表者

田鶴 寿弥子(水野寿弥子)(Tazuru, Suyako)

京都大学・生存圏研究所・助教

研究者番号：30609920

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：数百年単位で経年している木質文化財のオンサイト樹種識別の手法の確立を目指し、近赤外スペクトルと統計的判別手法を組み合わせた非破壊手法であるケモメトリクス解析に注目し、ポータブル型近赤外分光法を活用した実用的なシステム構築を目指した。これまでに現生材については、ヒノキとカヤ、アカマツとクロマツといった複数の樹種間については判別をほぼ100パーセントに近い精度にて可能としたが特に古い歴史的古材などでは試料の劣化状況や水分量の変化などの原因などにより判別精度が非常に低く、現段階での樹種識別は不可能という状況にある。特に判別精度が低い傾向にあるものについては、現在DNAによる分析を計画中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

文化財の樹種情報は考古学・美術といった分野で重要な意味をもつ。仏像の樹種を同定した結果、ヒノキと考えられていた物の多くがカヤであることが判明し仏教経典の柏木の概念が翻った研究に代表されるように、樹種調査は重要度を増している。近年放射光X線μCTによる三次元像からの樹種識別や画像深層学習による識別なども試みられているが、文化財調査ではオンサイト型の樹種調査法が求められてきた。そこで近赤外分光分析による樹種調査に注目した。その結果現生材では判別に有効である一方、古材では経年劣化による吸着水の影響と考えられる要因により判別精度が大きく低下し、今後継続した研究が必要であることが判明した。

研究成果の概要(英文)：To identify wood species of old wooden artifacts by on-site method, portable near infrared spectroscopy was examined using reference wood samples and old wooden samples. Diffuse-reflectance NIR spectra were obtained from new 20 species and a principal component analysis model was developed from the second derivative spectra. When using new (unaging) wood, it was possible to identify several wood species by employing NIR spectroscopy in combination with multivariate analysis. However, when old wood samples were used, identification accuracy was severely decreased. Our results implied that NIR spectroscopy combined with PCA would be a good technique for the identification of new wood but not be good for old materials. Further investigation would be necessary.

研究分野：文化財科学

キーワード：樹種識別 文化財

1. 研究開始当初の背景

日本は木の文化の国であると言われている。1000を超える樹種が存在し、有用樹種だけでも300といわれる豊かな植生に恵まれている日本では、国土の7割以上が森林に囲まれており、日本人が木と密接に関係して生活を文化的に発展させてきたことが見てとれる。しかし、日本の木の文化が世界的にも賞賛されているのは、日本文化の形成に木が潤沢に用いられているからという単純な理由だけではなく、木の文化がより深みを持って賞賛されるだけの世界でもまれにみる適所適材の用材観・文化や技術の継承のための人々の類まれなる努力といったさまざまな理由が含まれているからであると考えられる。

木質文化財の樹種情報は、考古学・美術・建築といった様々な研究分野で地域性・植生・使用樹種の歴史の変遷などの体系化に有効となってきた。例えば、東京国立博物館主導で平安時代頃製作された仏像彫刻に使用された樹種を体系的に同定した結果、ヒノキと考えられていたものの多くがカヤであることが判明し、仏教經典に記載された柏木概念が翻った研究¹⁻³⁾に代表されるように、木質文化財の樹種調査はより重要度を増している。

木質文化財にどのような種類の木材が使用されているのかを正しく解明することは文化財の文化財価値を維持する上で必要な保存修復における新補材選択に重要なことは言うまでもなく、木材の樹種選択の時代性、地域性や木材流通、植生の解明などにも有益であり、美術史や建築史をはじめとしてさまざまな学際領域の研究を大いに発展させる可能性を秘めている。

一般的に、立ち木の樹種を知りたい場合には、樹形・花・実・葉といった特徴を観察することで判断できる。しかしいったん伐採されて茶色い木材となると、外見から得られる特徴は多くはないため、木材の組織構造を観察して樹種を調べる必要がある。そのためには、初歩的にはルーペでの観察が、そしてより細かな組織の観察には木材の木口面・板目面・柱目面とよばれる3断面について剃刀で薄片を切り出し、光学顕微鏡などで観察することが必要となる。しかし、長い年月を経た古材を判断する場合には、経年劣化により色や香りや風合い、重さなどが変化することも非常に多く、長年の経験がある大工や熟練の修復担当者でさえも頭を傾げるケースが少なくないことが判明してきた。

事実、筆者らが2007年より調査を行ってきた30件を超える建造物のうち、調査時、現場担当者による目視での樹種推定が記録されていた10件の建造物から採取した部材257点について、筆者らが行った顕微鏡識別と現場担当者による目視での樹種推定について比較・考察を行った結果、その多くに、差異がみられることが判明してきている⁴⁾。さらに、筆者らは特に国内でも珍しい、茶室建築における樹種識別調査とデータベース化を進めているが、日本人の用材観の集大成とも言える茶室建築においては、一般的な建造物であれば取り替えるべきと考えられるような床柱や中柱といった主要な部材の劣化や傷が侘び寂びとして重視されることも多く、木材サンプルを採取できない場合も多い。

近年は、放射光X線マイクロCTによる三次元像からの樹種識別やCT画像を用いた深層学習による識別なども試みられてはいるが、文化財を調査するにあたっては、建造物の部材など持ち運びできないものも多く、仏像についても現場で調査を行うことが可能な簡便な樹種調査法が求められてきている。そこで、非破壊・簡便・オンサイトな調査を可能とする近赤外分光分析(FT-NIR)による樹種調査に注目した。これは近赤外領域の光をモノにあて、スペクトルを元に物質の状態を推測する技術である。

これまでに申請者らは代表的な有用木材約20種類に卓上型NIRを用いて検量線を構築し、組織が類似しているために顕微鏡観察では分類困難な現生アカマツ・クロマツについて判別を可能とした。一方、古材のアカマツ・クロマツやヒノキ、スギなどについては経年劣化の影響により判別精度が低下した。その原因は経年劣化による吸着水をはじめとした成分の変化と考えられるが、詳細は未解決であり、古材の判別においてどのような領域を用いて解析を行うかが今後の重要な課題となっていた。さらにオンサイト調査に必要な、卓上型とは若干性状が異なる「ポータブル型NIR装置」での検量線構築などが課題として残っていた。

2. 研究の目的

近年、国内外を問わず多種多様な木質文化財の調査に様々な科学的手法を取り入れる事例が増している。中でも木質文化財の材料である木材の樹種について科学的に明らかにする樹種識別の重要性は、考古学、美術史、建築史といった様々な学際領域において近年より認識が高まってきている。

しかし我々木材解剖学者にとって、先人たちによって蓄積されてきた木材組織に関するデータベースを活用してもなお、年月を経た古材の樹種識別は容易なことではない。例えば劣化が激しい木材では解剖学的特徴であるらせん肥厚とよばれる部分が分解したり溶けたりして観察しにくくなるなど、課題も多い。また、ヒノキ科の樹種の中には、例えばヒノキとヒノキアスナロのように、木材組織の中でも分野壁孔とよばれる部位の形状が大変類似しているために、識別が困難なケースも少なくない。しかし例えば、ニヨウマツ類に属するアカマツとクロマツは、建造物の部材に明瞭に使い分けされていることも多く、その明確な分類は、建築史における用材観といった点で重要な知見になると考えられる。このアカマツとクロマツの分類には、放射仮道管の鋸歯状突起の激しさの違いが重要とされているが、古材では突起が劣化してしまうために観察しにくいケースが少なくない。また、平安時代に製作された仏像に多く使用されているカヤについては、仮導管の内壁にあるらせん肥厚が重要な識別ポイントとなるが、こち

らも同様に経年により観察しづらくなるケースも少なくない。

このように、特に古い木質文化財の樹種調査では、光学顕微鏡などを用いた木材組織観察などの形状に頼った識別に限界があることが判明してきたことから、近年、非破壊かつ簡便でオンサイト、また木材組織観察に頼らない手法に重きが置かれてきている。また、特に木質文化財の中でも歴史的建造物の修復工事の際に行う部材調査では100を超える膨大な数の部材を扱うことから、古材の樹種調査や後補材選択のためのオンサイト調査が急務となっている。本研究では近赤外スペクトルと統計的判別手法を組み合わせた非破壊手法であるケモメトリクス解析に注目し、卓上型ならびにポータブル型近赤外分光分析を用いた樹種調査の基礎的研究を進める。これにより文化財への適用などを目的とした実用的なシステム構築へと展開していきたい。その上で、歴史的建造物の樹種調査により樹種選択の歴史の変遷や地域性へのアプローチを試みるものである。

3. 研究の方法

本研究では、近赤外スペクトルと統計的判別手法を組み合わせた非破壊手法である、「ケモメトリクス解析」を建造物の樹種識別に適用させた。まず卓上型NIR装置を用いて現生材ならびに古材のスペクトルデータを収集し、解析手法を確立する。研究期間内に、実験室内の卓上型NIRから、現場で用いることができるポータブル型NIRへと進展させ、スペクトルデータの取得法と処理法を精査し、顕微鏡観察による識別が困難な同属異種間の樹種識別などに適用させる。さらにスペクトルの前処理(二次微分など)・測定波長領域の選択・判別モデル構築に必要なアルゴリズムについても検討し、判別精度の向上を図る。最終的には建造物修復現場で、ポータブル型NIR装置を用いた実地調査を実施し、実用化に耐えうるシステムの構築を目指した。

具体的には、京都大学生存圏研究所材鑑調査室に保管されている現生の主な広葉樹や針葉樹木材群によるデータ取得、解析からはじめ、これまで行ってきた様々な地域の歴史的建造物由来の古材でのデータ取得、解析をすすめた。

4. 研究成果

本研究では木質文化財の中でも、数百年単位で経年している歴史的建造物および木彫像のオンサイト樹種識別の手法の確立を目指して、近赤外スペクトルと統計的判別手法を組み合わせた非破壊手法であるケモメトリクス解析に注目し、ポータブル型近赤外分光法を活用した実用的なシステム構築を目指した。これまでに京都大学材鑑調査室に保管されている現生の有用樹種のうち、歴史的建造物に多く使用されている例が多い樹種を中心に、卓上型NIRおよびポータブルNIRによるデータの獲得ならびに解析を進めてきた。

これにより現生材については、ヒノキとカヤ、アカマツとクロマツといった複数の樹種間については判別をほぼ100パーセントに近い精度にて可能としてきたが、特に経年数の多い歴史的な古材などについては試料の劣化状況や水分量の変化などの原因などにより判別精度が非常に低く、現段階での樹種識別は不可能という状況にある。そのため現在継続して精査を進めている。特に茶室建築や建造物に使用されるアスナロ属には、東北地方に多いヒノキアスナロと本州でも生育するアスナロという種類があり、これらを分けることができれば、茶室や建造物に使用されているアスナロ属の当時の北前船流通をはじめとして重要な知見となる。しかし現段階では分類ができていない。ヒノキアスナロとアスナロについては、特に古材で判別精度が低い傾向にあったことから、他の手法によるアプローチを検討中である。近赤外分光法を用いた樹種識別では、数百年、千年単位で経年した非常に古い木材については、筆者らの調査では精度が非常に下がったが、今後DNAなどを活用した分析を行うことで、NIRでは現在のところ不可能である細密な分類を計画中である。

文献

- [1] Kaneko H, Iwasa M, Noshiro S, Fujii T (1998) Wood types and material selection for Japanese wooden statues of the ancient period particularly the 7th–8th century MUSEUM The Bimonthly Magazine of the Tokyo National Museum 555:3–54 (in Japanese with English summary).
- [2] Kaneko H, Iwasa M, Noshiro S, Fujii T (2003) Wood types and material selection for Japanese wooden statues of the ancient period (particularly of the 8th–9th centuries) MUSEUM The Bimonthly Magazine of the Tokyo National Museum 583:5–44 (in Japanese with English summary)
- [3] Kaneko H, Iwasa M, Noshiro S, Fujii T (2010) Wood types and material selection for Japanese wooden statues of the ancient period, III: Further thoughts on 8th and 9th century sculptures MUSEUM The Bimonthly Magazine of the Tokyo National Museum 625:61–78 (in Japanese with English summary)
- [4] 田鶴寿弥子, 建造物保存修理工事における部材の樹種調査の現状, 建築史学, 72, 34–43, 2019.

5. 主な発表論文等

1. 田鶴寿弥子, 松本康隆, 中山利恵, 杉山淳司, 笛吹嘉一郎作芭蕉翁故郷塚「瓢竹庵」の樹種識別ならびに古文献内記述との比較検討, 木材学会誌, 65, 2, 110-116, 2019.
2. 田鶴寿弥子, アメリカ国内の美術館に所蔵された東アジア木彫像の樹種調査と展望, 生存圏ミッションシンポジウム要旨集, 97-98, 2019.
3. 田鶴寿弥子, 反町始, 杉山淳司, 天野山金剛寺金堂木造大日如来坐像・木造不動降三世明王坐像・附木造天蓋修理報告書, 天野山金剛寺, 2019. 分担執筆.
4. 田鶴寿弥子, 杉山淳司, 丸岡城天守学術調査報告書, 福井県坂井市教育委員会, 2019. 分担執筆.
5. 田鶴寿弥子, 建造物保存修理工事における部材の樹種調査の現状, 建築史学, 72, 34-43, 2019.
6. 田鶴寿弥子, 杉山淳司, 熊本地震により倒壊した熊本市洋学校教師館における樹種調査, 木材学会誌, 65, 1, 33-38, 2019.
7. Ryo Hisamochi, Yumiko Watanabe, Masaki Sano, Takeshi Nakatsuka, Naoyuki Kurita, Miyuki Matsuo-Ueda, Hiroyuki Yamamoto, Suyako Tazuru, Junji Sugiyama, Bambang Subiyanto, Sri Nugroho Marsoem, Toshitaka Tsuda, Takahiro Tagami Cellulose oxygen isotopic composition of teak (*Tectona grandis*) collected from Java Island: a tool for dendrochronological and dendroclimatological analysis *Dendrochronologia*, 52, 80-86, 2018.
8. 田鶴寿弥子, 重要文化財大照院本堂および経蔵保存修理工事報告書, 公益財団法人文化財建造物保存技術協会, 2018. 分担執筆.
9. 田鶴寿弥子, 茶室建築の樹種を科学的に知る～樹種識別法の今～茶の湯文化学, 27, 59-66, 2017.
10. 田鶴寿弥子, 松尾大社の神影, 松尾大社, 2017, 分担執筆.
11. 杉山淳司, 田鶴寿弥子, 反町始, 鹿園雑集奈良国立博物館研究紀要第17号18号, 2017.
12. 田鶴寿弥子, 杉山淳司, 内田家住宅における樹種識別調査, 重要文化財内田家住宅保存修理工事報告書, 119-120, 2017, 分担執筆.
13. Harada, M., Watanabe, Y., Nakatsuka, T., Tazuru-Mizuno, S., Horikawa, Y., Subiyanto, B., Sugiyama, J., Tsuda, T. and Tagami, T. Assessment of Sungkai tree-ring 180 proxy for paleoclimate reconstruction in western Java, Indonesia. *Quaternary International*, 432, 33-38, 2017.
14. 田鶴寿弥子, 杉山淳司, 京都府与謝野町における神像ならびに獅子・狛犬の樹種識別調査の事例紹介, 生存圏研究, 12, 55-61, 2016.
15. 田鶴寿弥子, 福井県指定有形文化財 本荘春日神社本殿修理工事報告書第5節本殿の樹種, 本荘春日神社本殿修理工事報告書, 26-27, 2016, 分担執筆.
16. 田鶴寿弥子, 杉山淳司, 京都府与謝野町における神像ならびに獅子・狛犬の樹種識別調査の事例紹介, 生存圏研究, 12, 55-61, 2016.
17. 田鶴寿弥子, 木づかいの匠、日本, 生存圏研究, 12, 27-32, 2016.

〔雑誌論文〕(計8件) 報告書他あり。

〔学会発表〕(計23件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等 <https://youtu.be/dTfMET20jCg>
6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：杉山淳司

ローマ字氏名：Junji Sugiyama

研究協力者氏名：松本康隆

ローマ字氏名：Yasutaka Matsumoto

研究協力者氏名：中山利恵

ローマ字氏名：Rie Nakayama

研究協力者氏名：メヒテル・メルツ

ローマ字氏名：Mechtild Mertz

研究協力者氏名：伊東隆夫

ローマ字氏名：Takao Itoh

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。