

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月29日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300332

研究課題名（和文） 分光分析法を用いた日本の木彫像の非破壊的樹種同定方法の開発

研究課題名（英文） Development of a non-destructive method for identifying wood used for wooden statues by near infrared spectroscopy

研究代表者

能城 修一（NOSHIRO SHUICHI）

独立行政法人森林総合研究所・木材特性研究領域・チーム長

研究者番号：30343792

研究成果の概要（和文）：

近赤外分光光度計を用いて木彫像に使われているカヤとヒノキ、サワラ、ネズコ、スギの識別を行い2種ずつの組み合わせでは種を識別できることを明らかにした。また木材構造の上でもヒノキ科の樹種は種ごとに特徴を持っていて区別できることを明らかにした。以上の成果に基づいて古代から近代の木彫像の樹種の検討を行った。一方で、近赤外分光分析を広く適用していくにはデータベースの構築が前提となることも明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

Using near infrared spectroscopy, we managed to identify wood of *Torreya nucifera*, *Chamaecyparis obtusa*, *C. pisifera*, *Thuja standishii*, and *Cryptomeria japonica*. Species of Cupressaceae s.l. could also be distinguished from wood structure. Based on these results we identified wood used for wooden statues from the ancient to early moderns periods. We also found that, to apply the near infrared spectroscopic identification to various species, construction of spectra database is indispensable.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2011年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：木材解剖学

科研費の分科・細目：文化財科学・文化財科学

キーワード：木彫像、樹種同定、分光分析、木材組織、木材標本

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本では、縄文時代前期以降、豊かな森林資源を背景として多様な木材資源の利用が行われてきた。彫刻史においても、古くは飛鳥時代から木を用いて仏像を彫ることが行われ、その結果、日本には世界でもっとも古い木彫の仏像が現存している。木彫像の用

材については小原（1964、1972）による先駆的な業績があり、飛鳥時代のクスノキから奈良時代以降のヒノキへという主要な流れが提示されていた。しかし近年、美術史では、一木彫の仏像を中心として、この成果に疑義が呈されてきた。そこで申請者は研究分担者とともに、微少な剥離片を用いて古代の木彫

像の樹種を報告した(金子ほか 1998、2003 ; 東京国立博物館・読売新聞社 2006)。しかし調査したすべての木彫像で剥離片が得られた訳ではなく、保存状態がひじょうに良く剥離片の得られない像では樹種同定はできていない。また剥離片が得られても、針葉樹の同定に必須の柾目とは限らず、同定に至らない場合もある。

(2) 近年、赤外分光法をはじめとする分光分析法が美術資料や考古資料の素材同定に活用されてきており、木材でも近赤外分光分析法を用いた非破壊的な樹種識別が試みられている。分光分析法による樹種識別を行うには、確実に同定された木材標本を用いて分光スペクトルのデータベースを作製して統計的に評価することが第一で、それにもとづいて木彫像の樹種識別を非破壊で行う可能性が考えられた。

(3) 一方、これまでの木材組織による剥離片の樹種同定は、限られた数の日本産木材標本の観察にもとづいており、周辺のアジア諸国に生育する樹種も含めて、木材組織による同定根拠を客観的に再評価することが求められていた。

2. 研究の目的

(1) 日本の木彫像におもに使われているのは、ヒノキ科とスギ科、イチイ科を中心とする針葉樹であり、こうした針葉樹を対象として、分光分析法が樹種同定にどこまで有効かを明らかにする。近赤外分光法によって樹種ごとのスペクトル・データベースを作成し、得られたスペクトルを解析し、樹種に特徴的なパターンを発見する。

(2) 木彫像をはじめとする過去の木材に分光分析法を適用し、得られたスペクトルを解析して、樹種識別の可能性を探索し、スペクトルの経時的な変化について検討する。

(3) 木彫像に使用されている針葉樹の木材標本を、日本だけでなく周辺アジア諸国でも収集し、標本の木材組織学的な観察を行って樹種の特徴を数値化し、樹種同定の根拠を客観化する。

3. 研究の方法

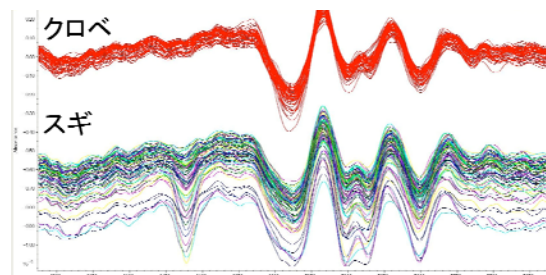
(1) 森林総合研究所木材標本庫に所蔵されている針葉樹の木材標本について分光分析を行ってスペクトル・データベースを作成する。収集木材標本のプレパラートを作製し、木材解剖学的な識別拠点を、画像解析法を用いて解析する。

(2) 古代以降の木彫像の調査を行い、美術史上の調査のほか、分光分析法によるスペクトル収集と剥離片の収集を行う。収集した木彫像資料のスペクトル・データを針葉樹材スペクトル・データベースと対照して、木彫像の樹種を同定し、剥離片による同定結果

と対照して評価する。また分光スペクトルの経時的な変化の有無を明らかにする。

4. 研究成果

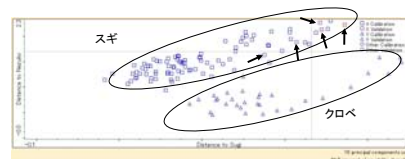
(1) 機種選定の結果購入した機器を用いて、森林総合研究所の木材標本庫に所蔵されているスギの標本 27 点とクロベの標本 10 点を選別し、新鮮な木口面で近赤外分光分析装置を用いてスペクトルを収集した。得られたスペクトルを多変量解析ソフトウェアのアルゴリズムを用いて処理し、スギとクロベを判別するための最適な条件を検討した。その結果、スペクトルに補正を加えて二次微分スペクトルを用いた場合に判別の精度が高まった。さらに、分析に用いる波数領域を限定して主成分の最大数を 15 まで増やすことによりスギとクロベの分離が可能になった。木材構造からスギまたはクロベと判断された近世の建築材の識別依頼標本からスペクトルを得て上記のアルゴリズムを適用した結果、この標本はスギと判断することができた。またクラスター解析でも識別依頼標本はスギのクラスターに属することが示され、スギであると判別された。



スギとクロベの近赤外吸収の二次微分スペクトル

近赤外分光分析法によるスギとクロベ(ネズコ)の判別分析の結果

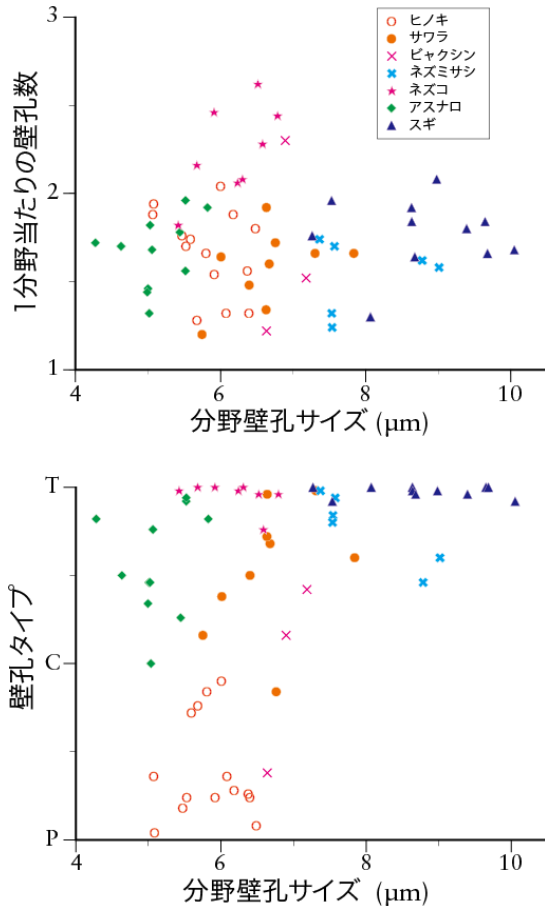
矢印: 鑑定依頼材(近世の建築材)



スギ28標本、クロベ11標本
二次微分スペクトルを主成分分析した。
分析する波長領域を絞った方が、判別精度が向上した。
近世の建築材はスペクトルによりスギと判断することができた。

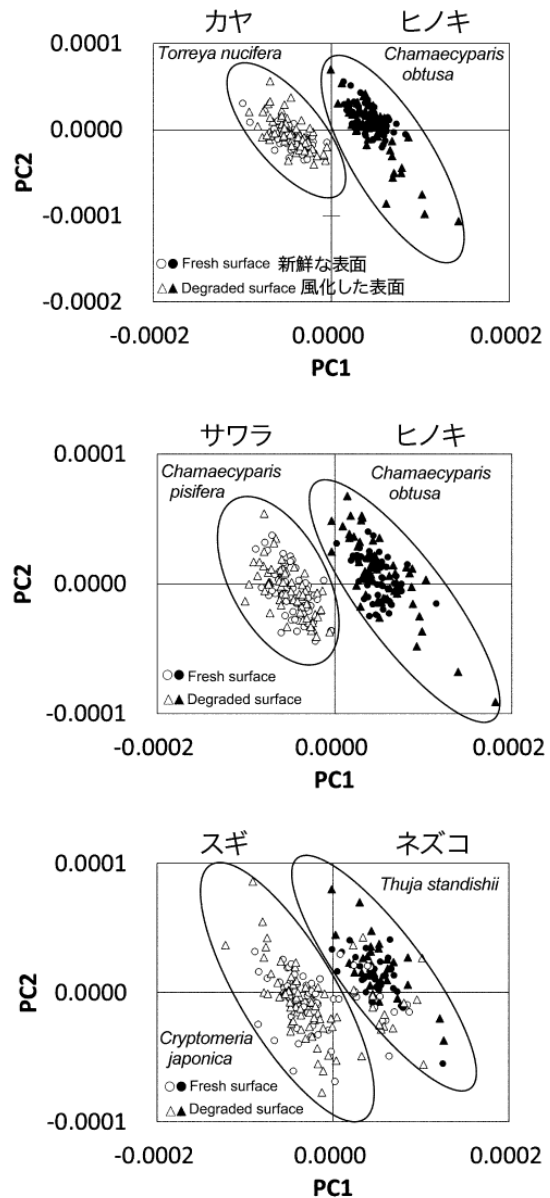
(2) スギ科を含む広義のヒノキ科の樹種は日本では先史時代から現在まで使われている重要な森林資源であり、木彫像でも寄木造りではヒノキが選択されていたことが明らかとなっている。そのためヒノキ科樹種の識別は日本の先史時代や歴史時代の木材利用を解明する上で不可欠である。ヒノキ科の樹種を木材構造から識別するため、日本産ヒノキ科 5 属 7 種について分野壁孔と放射組織の

数量的な形質の変異を調べた。その結果、分野壁孔の大きさとタイプ、1分野における数の平均値に注目すると種の識別が可能であることが明らかとなった。放射組織の高さと頻度は、種の変異幅がほとんど重なっており、識別には使えないことも明らかとなった。



(3) 近赤外分光分析法による樹種識別によって、風化した古材の樹種識別がどこまで可能であるのかを、日本の美術史や歴史上で重要な樹種について調べた。森林総合研究所の木材標本庫に保管されている、過去 80 年にわたって各地で収集された針葉樹 5 種の木材標本を用いて、風化した表面と新鮮な表面とで近赤外スペクトルを取得した。最小二乗判別分析を用いて、ヒノキとカヤ、ヒノキとサワラ、ネズコとスギの 3 組の樹種が識別できるかどうかを検討した。同時にスペクトルの前処理と波長域の影響も評価した。検討した標本においては、830~1150 nm の波長域の 2 次微分スペクトルを用いた最小二乗判別分析によって、100%の確率で 2 種を識別することが可能であった。また風化した表面でも新鮮な表面でも、ほぼ同様なスペクトルが得られることが明らかとなった。この結果、近赤外分光分析法を最小二乗判別分析と組み合わせることで、試料を破壊することなしに、風化した古材を識別できる可能性を

示すことができた。



(4) 埼玉県入間郡毛呂山町桂木寺所蔵の木彫像と、京都府宇治市萬福寺所蔵の木彫像、長崎県長崎市興福寺の木彫像、島根県の成相寺の木彫像の樹種を、剥離片を用いて調査した。桂木寺の古代の木彫像はカヤと、ヒノキ科、サクラ属で製作されていた。カヤは古代の畿内における一木造りの仏像で限定的に選択されており、同様の樹種選択が関東地方でも行われていたことを明らかにした。一方、ヒノキ科とサクラ属は畿内以外の地域における一木造りの木彫像の樹種選択を反映するものなのか、あるいは制作技法の違いによる樹種選択を示すものなのかは、今後、調査した木彫像の制作技法を解明して明らかにしなければならない。万福寺の近世の木彫像には、チークとクスノキ、ヒノキが、また興福寺の近世の木彫像にはヒノキとクスノキ

科が使われており、近世においては海外から樹種を移入して木彫像を制作していたことを示すとともに、一方では、古代からつづく伝統的な樹種選択が継続して行われていたことを明らかにした。島根県の成相寺の古代の木彫像にはスギとカヤ、マキ属、センダン、サクラ属、ケヤキと多種類の樹種が使われていた。この木彫像はいずれも神像であり、地域の由緒に従って樹種を選択する神像の樹種選択を示していた。東京国立博物館所蔵の中国から将来された古代の木彫像3体の樹種を調べたところ、トチノキ属とカキノキ属、キリ属が使われており、日本とはまったく異なった樹種選択が行われていたことを明らかにした。

(5) 近年、樹種識別の需要の高まりを反映して新たな樹種識別手法が開発されているが、それらを総覧し、従来から行われてきたケモタキノミー（化学分類学）にもとづく方法と比較した。その結果、分光分析は化学データの規則性や特徴を統計学的に抽出して分析する手法で、非破壊ででき、樹種の識別や産地識別だけでなく、含水率や強度といった物性値の測定や化学成分の定量といった応用面にも適用できることが明らかになった。しかしいずれの方法もデータベースの構築が大前提であり、データベースの構築が木材標本の蒐集の重要性とデータベース構築のためのマンパワー確保の必要性をあらためて認識することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

1. K. Watanabe, I. Kobayashi, N. Kuroda, M. Harada & S. Noshiro, Predicting oven-dry density of Sugi (*Cryptomeria japonica*) using near infrared (NIR) spectroscopy and its effect on performance of wood moisture meter, *Journal of Wood Science*, 査読有、2012、DOI 10.1007/s10086-012-1268-4.
2. K. Watanabe, K. Yamashita & S. Noshiro, Non-destructive evaluation of surface longitudinal growth strain on Sugi (*Cryptomeria japonica*) green logs using near-infrared spectroscopy, *Journal of Wood Science*, 査読有、2011、DOI 10.1007/s10086-011-1238-2.
3. K. Watanabe, H. Abe, Y. Kataoka, & S. Noshiro, Species separation of aging and degraded solid wood using near infrared spectroscopy, *Japanese Journal of Historical Botany*, 査読有、19巻、2011、117-124.
4. S. Noshiro, Identification of Japanese species of Cupressaceae from wood structure, *Japanese Journal of Historical*

Botany, 査読有、19巻、2011、125-132.

5. 金子啓明・岩佐光晴・能城修一・藤井智之、日本古代における木彫像の樹種と用材観 III—八・九世紀を中心に(補遺)一、*MUSEUM*、査読有、625号、2010、61-78.

〔学会発表〕(計5件)

1. 安部 久、樹種識別の精度向上に関する最新事情、第62回日本木材学会組織と材質研究会講演会、2012年3月17日、北海道大学(札幌).
2. 能城修一、東北地方を中心にみたアスナロの木材利用史、日本植生史学会第26回大会、2011年11月5日、弘前大学(弘前).
3. Kaneko, H., Iwasa, M., Noshiro, S., Fujii, T., Wood types and material selection for Japanese wooden statues of the ancient period, *Wood Culture and Science Kyoto 2011*, 2011年8月7日、京都大学生存圏研究所(宇治).
4. S. Noshiro, H. Abe, Y. Kataoka, Identification of Japanese species of Cupressaceae s.l. from wood structure and implication of their identification for past timber usage in Japan, *The Third International Metasequoia Symposium*, 2010年8月4日、大阪市立自然史博物館(大阪).
5. 安部 久・片岡 厚・能城修一、解剖学的分析と近赤外分光分析を用いた針葉樹材の樹種識別、日本木材学会、2010年3月17日、宮崎市民プラザ(宮崎).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

能城 修一 (NOSHIRO SHUICHI)
独立行政法人森林総合研究所・木材特性研究領域・チーム長
研究者番号：30343792

(2) 研究分担者

安部 久 (ABE HISASHI)
独立行政法人森林総合研究所・木材特性研究領域・主任研究員
研究者番号：80343812
片岡 厚 (KATAOKA YUTAKA)
独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・チーム長
研究者番号：80353639
黒田 克史 (KURODA KATSUSHI)
独立行政法人森林総合研究所・木材特性研究領域・主任研究員
研究者番号：90399379

(3) 連携研究者

金子啓明 (HIROAKI KANEKO)

独立行政法人国立文化財機構東京国立博
物館・その他部局・特任研究員

研究者番号：90110098

浅見龍介 (RYUSUKE ASAMI)

独立行政法人国立文化財機構東京国立博
物館・学芸研究部調査研究課東洋室・室長

研究者番号：30270416

和田 浩 (HIROSHI WADA)

独立行政法人国立文化財機構東京国立博
物館・学芸研究部保存修復課環境保存室・

主任研究員

研究者番号：60332136