木質文化財の保存と修復の科学の展望*1

高妻洋成*2

Prospects for Conservation and Restoration Science
for Wooden Cultural Properties*1

Yohsei KOHDZUMA*2

Cultural properties which consist of wood, so-called wooden cultural properties have historical, academic, or aesthetic worth. In order to preserve wooden cultural properties, it is necessary to understand the materials and their deterioration condition, and then apply to them an appropriate conservation and restoration treatment. In conservation and restoration of wooden cultural properties, various scientific methods have been applied as well as traditional restoration techniques. This paper presents an overview of scientific investigations, conservation treatments and restorations for wooden cultural properties, and future prospects will be discussed.

Keywords: wooden cultural properties, conservation, restoration, deterioration, diagnosis.

主に木材を材料として構成される木質文化財は、歴史的、学術的、あるいは芸術的価値を有するものである。木質文化財を保存するためには、その材料と状態を正確に把握し、適切な対策をとる必要がある。木質文化財の保存と修復は、伝統的な修復技術に加え、様々な科学的な手法が取り入れられてきている。本稿では、この分野においておこなわれている科学的な調査、保存処理、および修復について概観した後、今後の展望について述べることにする。

1. はじめに

昭和25年に制定された文化財保護法¹⁾ 第二条では、文化財を有形文化財（建造物、美術工芸品）、無形文化財（演劇、音楽、工芸技術等）、民俗文化財（有形の民俗文化財、無形の民俗文化財）、記念物（遺跡、名勝地、動物、植物、地質鉱物）、文化的景観（地域における人々の生活又は生業及び当該地域の風土により形成された景観地）、および伝統的建造物群（宿場町、城下町、農漁村等）の6つに

分類している。また、この他に保護すべきものとして埋蔵文化財（土地に埋蔵されている文化財、文化財保護法第九十二条）と文化財の保存技術（文化財の保存に必要な材料や用具の生産製作、修理・修復の技術等、文化財保護法第四百四十七条）を定義している。これらの「文化財」の中には、樹木から材料を取り出して作られたものが数多くある。樹木から取り出される材料には木材、樹皮、漆、蠟、韃皮繊維など多くの材料があり、これらの材料を用いて作られている文化財を広義には「木質文化財」ということができよう。しかしながら、圧倒的に木材を利用した「木質文化財」が多いことから、本稿では主としてこの木材を利用した文化財を狭義の「木質文化財」としてその対象とすることにする。

木質文化財とはいえ、木材だけで構成されているものは少ない。例えば、木造建造物においてはその主たる材料は木材ではあるが、釘、礎石、塼、瓦、

*1 Received October 2, 2014; accepted October 20, 2014.

*2 奈良文化財研究所 Nara National Research Institute for Cultural Properties, Nara 630-8577, Japan
Corresponding author: Y. Kohdzuma (kouzumay@nabunken.go.jp)

土壁、漆喰、彩色等多くの異なる材料も重要な構成要素となっている。木質文化財を保存ならびに修復するにあたっては、何を残すのか、現状はどうなっているのか、どう残すのかといった問題に必ず直面する。何を残すのかについては、形状はもちろんであるが、その文化財が有する価値を残すことを考えなければならない。現状を把握するためには、用いられている材料の種類とその劣化状態を知ることが必要である。何を残すのかという目的を明らかにし、現状を把握したうえで、その文化財にとって最適な保存の方策が適用されることになる。

木質文化財の価値づけ、現状把握ならびに保存修復においては様々な科学技術が応用されてきている。ここでは、それらの現状と課題について言及し、木質文化財の保存と修復に関する科学技術の将来の展望をみていきたい。

2. 木質文化財の保存の現状

2.1 木質文化財の調査研究

前述したように、木質文化財を保存するには、まずその価値を知り、現状を把握することが重要である。鉱物などの天然素材から化学変化あるいは状態変化により原料が作られる金属やガラスなどとは異なり、木材は素材そのものが材料として利用される。したがって、木質文化財を構成する木材から歴史的価値あるいは学術的価値を見出そうとするならば、機能と用途に対する樹種選択性、木材工作技術および年代がその中心的な話題となる。

木材の力学的特性などの物理的性質は、樹種によって様々である。日本書紀や古事記の記載から、我が国における人間と樹木あるいは木材との関わりが古代から深かったこと、および樹種の特性を経験的に理解して木材を利用していたことを窺い知ることができる^{2, 3)}。また、仏像や歴史的建造物の部材、あるいは遺跡から出土する木製遺物等の木質文化財に対して樹種の同定が数多くおこなわれている⁴⁻⁷⁾。これらの調査から、それぞれの木質文化財において使用されている木材の樹種にある一定の選択性が認められることから、古来より機能と用途に応じて木材が使い分けられていたことが示唆されている。

木造建造物をはじめとした木質文化財に残る木材工作技術は、工作に用いられる道具の発展とともに変遷していることがこれまでに明らかにされている⁸⁾。近年、植村は古代寺院の建築部材に残る鑿痕を調査し、古代の鑿の形状と使用法について詳細な検討をおこない、古代における木材工作技術史に関して多くの知見を提示している⁹⁾。

対象とする木質文化財がいつ作られたものかを知することは、その文化財の歴史的な背景を知る上でも重要なことである。木質文化財の年代を知る方法としては、放射性炭素同位体である¹⁴Cを用いた年代測定法¹⁰⁾と年輪年代法⁴⁾がある。特に年輪年代法では、樹種が限定されるものの、ヒノキやスギなどで樹皮が残っている場合には伐採年を決定することができる。

2.2 歴史的建造物および伝世品

木質文化財は、歴史的建造物ならびに伝世してきたもの（伝世品）と遺跡から発見される出土木製品の大きく2つに分けることができる。前者は乾燥した環境の中にあってその形状を良好に維持しているものから、経年による老化、紫外線劣化、木材腐朽菌による腐朽、虫害など多種多様な劣化を生じているものまで様々な状態のものがある¹¹⁾。紫外線や腐朽、虫害については、木質文化財に特有の劣化現象というものではないため、保存修理にあたっての診断事例としての報告が多い。

歴史的建造物や伝世品の修理において、その劣化診断は目視による観察が一次診断として実施されている。多くの場合、この目視による観察をもって修理の方針が立てられることが多い。一次診断に続き、必要に応じてより詳細なあるいは正確なデータを取得するために、様々な二次診断が実施されている。二次診断では、強度的な情報の収集に加え、木材内部の劣化状況の可視化が主な目的となる。二次診断でおこなわれる試験としては、X線透過撮影、打撃試験、超音波試験、穿孔抵抗試験、アコースティックエミッション法、腐朽診断試験などがある¹²⁾。

歴史的建造物や伝世品の修理は、伝統的な手法でおこなわれることが多い。伝統的な修理技術は長い年月の間に洗練されてきたものである。しかしながら、その技術は決して固定化されているものではない。修理技術者は修理をしなければならない文化財を前にした時に、勘と経験に基づいて対象となる文化財の劣化診断をおこない、自己のもつ技術と材料を最大限に活かしてその文化財をよりよい状態にするための方法を考案し、実践する。その際、従来の伝統的な技術に加え、新たな材料と手法が取り入れられることもある¹³⁾。

2.3 出土木製品

出土木製品は埋葬や廃棄などの何らかの理由により、地中に埋没したものであり、軟腐朽菌や嫌気性のバクテリアなどによる分解を受けている。わが国ではそのほとんどの木製品が低湿地で出土し、水浸状態となっている。出土木製品の劣化状態に関して

は、多くの研究がなされている¹⁴⁻¹⁹⁾。埋没中に受けた微生物による分解により、多糖類であるセルロースとヘミセルロースが減少しており、その分だけ、細胞壁中に新たな空隙が生じ、その新たな空隙への水の侵入が生じていると考えることができる。したがって、地中で木製品が分解を受けるのにもない、最大含水率の増加と容積密度の減少が生じることになる。また、細胞壁の強度と密接な関連性を有するセルロースの分解消失は、細胞壁の強度の著しい低下を示すものであり、乾燥に際して細胞壁の収縮のみならず、新たな空隙の閉塞と細胞内腔側への細胞壁の落ち込みにより、時として接線方向において60%を優に超える異常な収縮を引き起こすことになる。吸湿による細胞壁の膨潤は、その復元力をセルロースが担っており、出土木製品のようにセルロースが分解消失している細胞壁にはもはや、吸湿による復元力は失われていると考えることができる。したがって、乾燥により異常な収縮と変形を生じた出土木製品を再度水中に浸漬したとしても、その形状は回復しないことになるのである。

出土木製品の劣化状態に関する研究が進展しているのに対し、その劣化状態を診断するための技術はまだ確立しているとは言い難い。先述したように劣化の進行した木材は、その最大含水率が増大することが知られているが、この最大含水率を非破壊で知ることが困難である。浮力を利用して最大含水率を推定する方法も考案されているが、出土木製品が必ずしも飽水状態になっているわけではないため、その推定値にはかなりの誤差を含んでいる。また、仮に正確な測定ができたとしても、出土木製品の劣化状態は部位により様々であり、得られる最大含水率はその出土木製品全体の平均値的なものに過ぎない。大型の出土木製品ではその計測はさらに困難をとまう。

出土木製品の多くは埋没中に微生物によりその細胞壁中の主として多糖類が分解消失され、きわめて脆弱な状態となっている。劣化の進行した出土木製品は、乾燥により異常な収縮変形を生じる。このような異常な収縮変形を防いで出土木製品を乾燥状態とするため、いくつかの保存処理法が開発されてきた。出土木製品の保存処理は大きく薬剤含浸工程と乾燥・固化工程の2段階からなる。現在、主として含浸処理に用いられる薬剤にはポリエチレングリコール、ラクチトール、トレハロースおよびセチルアルコールがある。1960年代に使用されるようになったポリエチレングリコール²⁰⁾は高分子量のため、薬剤含浸処理が長期にわたることから、次第に低分

子量のラクチトール²¹⁾やセチルアルコール²²⁾が用いられるようになり、近年ではトレハロースを用いた含浸処理が行われるようになってきた²³⁾。乾燥・固化工程では、冷却による固化と結晶化、気乾あるいは真空凍結乾燥による余分な水分や溶剤の除去等の方法がとられる。まれに化学反応を利用した固化法もあるが、可逆性がないことから実施されることはほとんどない。上述したように、出土木製品の劣化状態の診断調査法は確立されていないため、保存処理も経験的におこなわれているというのが現状である。また、船の部材など大型の木製品の場合には、その内部まで十分な薬剤の浸透拡散が進行しないという問題がある。

3. 今後の展望

3.1 歴史学、民俗学等における木質文化財に対する自然科学の応用

木質文化財は歴史学や民俗学等において重要となる学術的な情報を有している。これらの情報とは、樹種、産地、年代および工作技術に関するものである。外観上の形状を詳細に把握する技術と内部の構造の可視化技術の応用が、これらの研究課題を飛躍的に発展させる可能性がある。

すでに年輪年代研究では、マイクロフォーカスX線CT法による木質文化財の年輪の可視化により、表面的には年輪を計測できなかった木質文化財の年代測定が可能となっている²⁴⁾。また、実験室に持ち込むことのできなかったものでも、年輪を計測できる面を有していれば、高精細デジタルカメラによる撮影により、現地でデータを収集できるようになっている²⁵⁾。また、産地推定を検討するために、同一樹種による年輪幅暦年変動パターンについて、広域ネットワークの作成も進められている²⁶⁾。

これまで樹種の同定は、木質文化財から採取した試料からプレパラートを作製して光学顕微鏡で組織を観察するか、木質文化財の木口面、板目面およびまさ目面が見えている部分を実体顕微鏡で観察するという方法がとられていた。水野らは仏像修理などで発生するごくわずかな試料片をシンクロトロン放射光X線トモグラフィを用いて組織の観察をおこなうことで樹種識別を可能とした²⁷⁾。

3.2 劣化診断技術の発展

木質文化財の保存修理をより効果的にかつ効率的に実施するためには、対象となる木質文化財の正確な劣化診断が必要となる。劣化の種類、部位およびその程度を科学的に正確に把握することにより、より適切な保存修理を検討し実践することが可能とな

る。しかしながら、現在、総合的に木質文化財の劣化診断をおこなうことのできる技術は必ずしも確立されているわけではない。

伝世品のうち、搬送が可能なもので、かつ装置の撮影範囲内に収まるものであるならば、劣化診断技術としてX線CT法が有効である²⁸⁾。また、木材表面からある程度の深さの構造を可視化する技術として、ミリ波およびテラヘルツ波を用いたイメージング技術が開発されてきている^{29, 30)}。ミリ波は歴史的木造建造物の建築部材の表層下において検出される虫害の検出などに用いることができる。また、テラヘルツ波を用いたイメージングは板絵などの彩色層の状態を可視化することができる。

いっぽう、ほとんどの出土木製品は水浸状態にあるため、木材中での水の分布を磁気共鳴イメージング(MRI)により可視化することで、含水量の分布、すなわち腐朽の程度とその分布を知ることができる³¹⁾。今後、含水率の計測などの定量的な取り扱いが可能となれば、出土木製品の保存処理にきわめて有用な診断技術となるものと期待される。

以上のように、木質文化財の劣化状態を知るための診断技術の開発は、今後、木材の劣化の尺度となる物性や化学的特性の可視化技術を中心に進められていくものと考えられる。歴史的建造物および伝世品の修理においては、伝統的な修理技術の継承を基本としつつ、診断調査の結果を踏まえながら、その最適な材料と修理技術の検討をおこなっていくという点では従来通りであろう。しかし、これまで勘と経験によって判断されていた劣化状態が診断技術の向上により定量的に可視化されるようになることで、修理の精度を向上させるものと期待できる。また、この可視化の技術は修理後の経過観察にも適用できるものであり、木質文化財の維持管理においても重要な技術となるであろう。

3.3 出土木製品の保存処理技術の開発研究

出土木製品の保存処理において課題となっているのは、大型の木製品の保存処理と極めて高い密度を有する木材の保存処理である。いずれも含浸薬剤の拡散・浸透が大きく制限されること、保存処理後に材中に残存する水分の蒸発により、材の変形や亀裂が徐々に生じることが問題となっている。劣化診断技術の開発とあわせ、埋没中に生じる物理的性質、空隙構造あるいは細胞壁構成成分の変化についてさらに詳細な研究をおこなう必要がある。また、含浸薬剤の材中への導入法や乾燥法また、保存処理技術についても、これらの基礎データを基に安定化のメカニズムを追求した研究をおこなうことが必要であ

ろう。

4. ま と め

歴史的建造物、美術工芸品、出土木製品など木質文化財はきわめて多岐にわたっている。これら木質文化財の保存と修復にはこれまで材料科学の観点から様々な応用研究がおこなわれてきた。しかしながら、これらの保存と修復においてはいまだに勘と経験に頼らざるを得ない部分も多いのが現状である。計測技術、分析技術、観察技術などの様々な科学技術の進展は、木質文化財の保存と修復の分野に大きな影響を与えるものである。より深く木質文化財の状態を知り、より最適な保存修復技術の開発を進めることにより、木質文化財の保存が図られる。

文 献

- 1) 文化庁文化財部：“文化財保護関係法令集”，ぎょうせい，東京，2009.
- 2) 遠藤安太郎：林業上より観たる日本古代の文化. 林学会雑誌 No. 21, 209-236 (1924).
- 3) 大野俊一：古事記及び日本書紀に現はれたる樹木に就いて. 林学会雑誌 16(4), 302-314 (1933).
- 4) 伊東隆夫：木質文化財に関する最近の研究の動向. 木材学会誌 51(1), 67-69 (2005).
- 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－七・八世紀を中心に－. *MUSEUM* No. 555, 3-53 (1998).
- 6) 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－八・九世紀を中心に－. *MUSEUM* No. 583, 5-44 (2003).
- 7) 伊東隆夫，山田昌久：“木の考古学-出土木製品用材データベース”，海青社，大津，2012.
- 8) 渡邊 品：“日本建築技術史の研究－大工道具の発達史－”，中央公論美術出版，東京，2004.
- 9) 植村昌子：建築部材刃痕にみる古代の鑿の形状と工作技術 建築生産工程における道具刃部の形状と使用法の研究 その1. 日本建築学会計画系論文集 73(634), 2755-2761 (2008).
- 10) 木越邦彦：放射性炭素14Cによる年代測定. 地学雑誌 94(7), 706-710 (1986).
- 11) Nilsson, T., Daniel, G.: Structure and the aging process of dry archaeological wood. “Archaeological wood”, Rowell, R. M., Barbour, R. J. eds., American Chemical Society,

- Washington, DC, 1990, pp. 67-86.
- 12) 藤井義久：木材の劣化診断技術の課題と展望. 木材保存 34(6), 256-260 (2008).
 - 13) 藤本青一：彫刻作品の保存修理における合成樹脂の応用. 文化財保存修復学会誌 No. 50, 11-27 (2006).
 - 14) Grattan, D. W.: Waterlogged wood. "Conservation of marine archaeological objects", Pearson, C. ed., Butterworths, London, 1987, pp. 55-67.
 - 15) Florian, M-L. E.: Scope and history of archaeological wood. "Archaeological Wood", Rowell, R. M., Barbour, R. J. eds., American Chemical Society, Washington, DC, 1990, pp. 3-32.
 - 16) Hoffmann, P., Jones, M. A.: Structure and degradation process for waterlogged archaeological wood. "Archaeological Wood", Rowell, R. M., Barbour, R. J. eds., American Chemical Society, Washington, DC, 1990, pp. 35-65.
 - 17) Schniewind, A. P.: Physical and mechanical properties of archaeological wood. "Archaeological wood", Rowell, R. M., Barbour, R. J. ed., American Chemical Society, Washington, DC, 1990, pp. 87-109.
 - 18) Hedges, J. I.: The chemistry of archaeological wood. "Archaeological wood", Rowell, R. M., Barbour, R. J. eds., American Chemical Society, Washington, DC, 1990, pp. 111-140.
 - 19) Blanchette, R. A., Nilsson, T., Daniel, G. and Barbour, R. J.: Biological degradation of wood. "Archaeological wood", Rowell, R. M., Barbour, R. J. eds., American Chemical Society, Washington, DC, 1990, pp. 141-174.
 - 20) Hafors, B.: The Role of the Wasa in the development of the polyethylene glycol preservation method. "Archaeological Wood", Rowell, R. M., Barbour, R. J. eds., American Chemical Society, Washington, DC, 1990, pp. 195-216.
 - 21) Imazu, S., Morgós, A.: Conservation of waterlogged wood using sugar alcohol and comparison of the effectiveness of lactitol, sucrose and PEG #4000 treatment. "Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials conference", Hoffmann, P., Daley, T. W., Grant, T., Spriggs, J. A. eds. ICOM Committee for Conservation, Working Group on Wet Organic Archaeological Materials, Bremerhaven, Germany, 1997, pp. 235-255.
 - 22) 岡田文男, 沢田正昭, 肥塚隆保, 吉田秀男：高級アルコール法による出土木材の保存処理. 古文化財之科学 No. 37, 12-20 (1992).
 - 23) 伊藤幸司, 藤田浩明, 今津節生：ラクチトールからトレハロースへ：糖類含浸法の新展開. 考古学と自然科学 No. 65, 1-13 (2013).
 - 24) Okochi, T., Hoshino, Y., Fujii, H., Mitsutani, T.: Nondestructive tree-ring measurements for Japanese oak and Japanese beech using microfocus X-ray computed tomography. *Dendrochronologia* 24(2-3), 155-164 (2006).
 - 25) 大河内隆之：年輪年代学におけるデジタル画像技術の活用. 埋文写真研究2007 No. 18, 42-49 (2007).
 - 26) 星野安治, 米延仁志, 安江 恒, 野堀嘉裕, 光谷拓実：東日本におけるブナ年輪幅暦年変動パターンの広域ネットワーク構築. 考古学と自然科学 No. 54, 69-79 (2006).
 - 27) 水野寿弥子, 高瀬克彦, 杉山淳司：シンクロトン放射光X線トモグラフィー (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 No. 62, 85-95 (2011).
 - 28) 鳥越俊行, 今津節生：文化財用大型X線CTスキャナによる非破壊調査. "2007 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム発表要旨輯", 2007 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム準備委員会, ソウル, 2007, pp. 181-186.
 - 29) 藤井義久：ミリ波を用いた木材および木造建築の非破壊診断技術. 検査技術 14(12), 37-43 (2009).
 - 30) 金 旻貞, 藤原裕子, 藤井義久, 福永 香, 高妻洋成：木造文化財における彩色の劣化機構に対する電磁波の応用. 日本文化財科学会第27回大会研究発表要旨集, 大阪, 2010, pp. 290-291.
 - 31) Kohdzuma, Y., Koezuka, T., Sawada, M.: Non-destructive testing of archaeological objects. "Preprints of international congress on the conservation and restoration for archaeological objects", Nara National Research Institute for Cultural Properties, Nara, 2002, pp. 69-75.