

埋蔵文化財 データベース

187

MARCH
2025

独立行政法人
国立文化財機構
奈良文化財研究所

保存科学研究集会
木質文化財の保存修復に関する新たな視点・最近の取組



はじめに

奈良文化財研究所では、文化財の保存に携わる全国の文化財担当者を対象に、保存修復に関する様々な課題についての情報共有と意見交換をする場として、保存科学研究集会を開催しています。2024年度は、日本木材学会木質文化財研究会と合同で「木質文化財の保存修復に関する新たな視点・最近の取組」をテーマとして、2024年12月14日に開催しました。このテーマの設定にあたっては、同研究会の定義に基づき“主要な構成材料として木に由来する材料が用いられている文化財”を幅広く木質文化財として取り上げることとしました。

保存科学研究集会において、木に関連した文化財をおもな対象としたのは2015年度以来であり、この9年ほどの間には木質文化財の保存修復に関する調査研究や技術も大きく進展してきました。そこで、今回は考古遺物のみならず木造建造物・木彫像・民具・沈没船・漆製品など様々な木質文化財を対象に、それらの保存修復に携わる研究者から最新の知見や実践的な取組をご紹介いただくこととしました。講演後の総合討議では、各分野の研究者や自治体担当者をはじめ、多くの参加者から質問やコメントが寄せられ、活発な議論が交わされました。

本号の埋蔵文化財ニュースでは、木質文化財の保存修復に関する調査研究のさらなる発展、応用につなげることを目的として、このたびの研究集会における7件の講演の要旨をまとめることとしました。



表紙：木の「木」（本文および講演にて言及された樹種で構成）

保存科学研究集会 2024
日本木材学会木質文化財研究会 2024 年度例会
「木質文化財の保存修復に関する新たな視点・最近の取組」

目次

木質文化財における生物劣化と新規な対策手法 藤井 義久 (京都大学)	3
文化財の樹種調査結果からみつめる人と木の歩み 田鶴 寿弥子 (京都大学)	5
木質文化財「活用」の現場を支える保存科学 ～アイヌ民具と沈没船資料を中心として～ 杉山 智昭 (奈良大学)	7
X線 CT による遺跡出土漆製品の構造解析の課題と展望 片岡 太郎 (弘前大学)	9
出土遺物の保存処理における漆塗膜の変形メカニズムの検討 楊 曼寧 (奈良文化財研究所)	11
水浸出土木製品の乾燥剤凍結乾燥法 ～これまでの研究と経年変化について～ 中尾 真梨子 (奈良県立橿原考古学研究所)	13
出土木製品の保存処理における新たな薬剤含浸手法の試み 松田 和貴 (奈良文化財研究所)	15

木質文化財における生物劣化と新規な対策手法

京都大学名誉教授・東京文化財研究所
FUJII Yoshihisa
藤井 義久

1: はじめに

木材など天然の有機質系の材料からなる文化財は、常に生物劣化(虫害と菌害)のリスクに暴露されている。劣化対策として、これまで化学薬剤を用いた駆除や予防手法を中心に、二酸化炭素処理、低温処理、低酸素処理などが開発され運用されてきた。一方、発表者らは湿度制御した温風による処理法(以下温風処理)の可能性を検証してきた。当初は木材(建造物)内を加害している主に甲虫類を殺滅する手法として検討を開始した。これまでその可能性(駆除効果と木材等対象への影響)を明らかにし、実用化を進めた結果、2023年から文化財建造物の虫害駆除方法として運用が開始され始めた。

一方、2025年からの酸化エチレン(殺虫用燻蒸ガス)の供給停止や、水損した文化財や紙資料のレスキュー手法の開発が求められる中、現在同手法の美術品・工芸品や紙資料の虫害や菌害対策に適用性を検討しつつある。

2: 原理と経緯

2-1. 処理の原理

温風処理では対象物(建造物)の周囲に断熱・気密性の高い覆い屋を設置し、その中の温度を徐々に60℃程度まで昇温させ、一定期間保持した後に徐々に降温させる。60℃で保持されている間に、成虫、蛹、幼虫や卵のすべての態の加害昆虫が死滅する。また木の含水率変化とそれによる収縮・膨潤を防ぐために、初期時の含水率によって決まる平衡含水率曲線に沿うように雰囲気温湿度を制御する。すなわち昇温期には空間内を加湿し、降温期には除湿する。また除湿によって対象物の表面での結露を防ぎ、汚損を避ける。これによって対象物を毀損することなく木材加害昆虫を駆除できる。欧州などでは既に、美術工芸品や家具、建造物における虫害対策に利用されている。

2-2. 経緯

本手法を虫害の生じている文化財建造物に適用するために、2008年頃から原理確認のための基礎実験を開始し、小型の処理チャンバーや野外で用いることのできる試験的装置の開発を経て、2017年、2018年および2022年に実際の建造物を用いた実証試験を行った結果、本手法の有効性が確認され、2023年9月には、国内で初めて重要文化財建造物である日光山輪王寺護法天堂の解体材に適用された。さらに2024年5月には東照宮御仮殿鐘樓に適用された。

3例の実証試験を通じて、開発したシステムは求められる温湿度制御性能を有し、殺虫効果が確認され、また建造物の棄損につながると考えられる処理中の木材のひずみが許容値以下であり、彩色や漆に問題がないことが明らかになった。

3: 事例

検証では、日光中禅寺の愛染堂、鐘樓および日光社寺文化財保存会所有の神社本殿建築の温風処理を実施した(図1左)。建造物を、断熱性および気密性の高い覆い屋(コンパネとスタイロフォーム、気密シートで構成されている)で覆い(図1中)、その内部、ヒーター・ファン・加湿器からなる処理ユニットを設置し、温湿度をセンサで監視しながら昇温・加湿、保持、降温・除湿のスケジュールを実施した。昇温速度は毎時0.3℃程度として60℃までの昇温に約4日をかけ、保持に3日、降温に約4日かけた。空調装置を導入して、主に降温時に必要となる冷却除湿装置を用いての湿度制御を行った。

駆除効果は、2種類の手法で検証した。対象建造物の最大断面寸法の部材と同じ寸法の試験材に供試虫を仕込み、処理によって、供試虫の生存や再発生がないことを確認した。また同様の寸法の材料の中心温度を連続的に測定し、致死温度(60℃)に達していることを確認した。

木材は、温度変化と含水率変化によって伸縮する。とりわけ含水率変化による伸縮は大きい。温風処理では、建造物部材の含水率を測定し、これに対応する平衡含水率曲線に沿うように温湿度を制御しながら昇温・降温した(図1右)。これによって、処理中の木部の含水率は保持され、含水率変化による伸縮は抑制される。なお温度変化による伸縮は生じる。検証では、建造物部材や持ち込み試験体について、ひずみゲージを用いたひずみ測定を行った。また処理前と処理後漆や彩色部分の色差の計測や、表面仕上げ層の顕微鏡観察を行った。

検証を通じて開発した手法によって原理通りの温湿度制御が可能であること、甲虫類の駆除効果があることが確認された。また部材のひずみも、年間の気象変動によって生じる部材のひずみの最大値を超えることがないこと、色差に変化がないこと、彩色部分に外観上の変化がないことが確認された。



図1 検証に用いた神社本殿建築(左、日光社寺文化財保存会)、断熱覆い屋と制御ユニット(中)、温湿度制御の根拠となる平衡含水率曲線(右、初期含水率17%を保持するように昇温・加温、降温・除湿した)

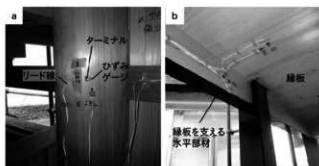


図2 建造物に生じるひずみを測定するひずみゲージの取り付け状態

4:課題と今後の展望

現在、本法の汎用化を目指して、その可能性や技術上や運用上の課題を検討しつつある。また長期にわたる対象物への影響評価も実施中である。さらに建造物よりは規模は小さいが、より繊細な温湿度制御が求められる美術品や工芸品、紙資料への適用性を検討しつつある。これらについては虫害だけでなくカビ類に対する駆除効果も検討しつつある。さらに水損した紙資料等の殺菌および乾燥処理への適用性を今後の課題としている。

引用・参考文献

- 1) 島田正理、他 9 名: 湿度制御した温風処理による木造建造物加害甲虫類の殺虫(1)—温湿度制御性能の評価—、保存科学 No.62, pp.13-33(2023)
- 2) 藤原裕子、他 7 名: 湿度制御した温風処理による木造建造物加害甲虫類の殺虫(2)—殺虫効果の確認と建造物への影響の検討—温湿度制御性能の評価—、保存科学 No.62, pp.179-192(2023)

1:はじめに

文化庁 HP¹⁾によると、「文化財は、我が国の長い歴史の中で生まれ、はぐくまれ、今日まで守り伝えられてきた貴重な国民的財産(以下省略)」とある。その貴重な国民的財産のうち、有形のものに目をやると、我が国では木材で制作されたものがその多くを占めるといえるだろう。そのような木質文化財がどのような木の種類(樹種)で制作されているのか、という根源的ともいえる情報は、古代人の用材選択の知恵、植生、木材利用の変化などを知るだけでなく、当時の人々が特定の樹種に対して抱いていたかもしれない特別な思い、つまり心性や精神性の解明にも役立つものとして期待される。自然を聖なるもの、カミとして認識しながら成り立ってきたともいえる日本文化の本質に迫る上で、人と木の歩みに寄り添う研究は、誠に地味ではあっても、ある種の重要な視座を与えてくれるものといえよう。人と木の関係を精神性から考える上で、しごくささやかな例を挙げたい。ぜひお気に入りの小説を思い浮かべてほしい。パラパラページをめくると、人物の心が動く場面、場の変化など様々な描写で少なからず樹木が登場しないだろうか。その樹木は、単に木として表現されることは少なく、様々な樹種名で彩り豊かに描かれる。つまり「暗闇に木の枝が揺れる」ではなく、「暗闇にクスノキの枝が揺れる」という様に具体的な樹種名が記されることが多い。この樹種名をみて、私たちはその木の葉や花、樹形を思い浮かべ、モノクロの小説を華やかで臨場感あふれたものにするのと同時に、その樹種が匂わせる聖性や民俗性、といった日本人の精神の奥深くに眠る何かしらの観念を思い知る。暗闇に揺れるクスノキにある種の神聖さや霊的な観念まで抱くのは、決して筆者だけではないだろう。樹木は、日本人の感性、文化、思考、様々な部分に、瑞々しくそして静かに途絶えることなく存在し続けている。そしてそれと同じく、樹皮や葉を取り去り、文化財の材料として使われた木材にも、少なからず同様の精神性が込められているのではないだろうか。文化財に使われた木材の物性だけではなく、そこに込められた精神性や心性にも目を向けることが重要なのではないかと、より強く感じつつある。

筆者は、歴史的建造物や木彫像といった木質文化財の樹種調査などに木材解剖学分野から携わってきた研究者の端くれであり、未熟ながら保存修復の際などに依頼を受けて様々な木製品の樹種を調べている。具体的には、小さな木片から木材3断面(木口・板目・柾目面)の切片を作成し、プレパラートに封入して顕微鏡で観察して解剖学的特徴を確認することで樹種を絞り込む。試料が極めて小さく劣化が激しい際には、マイクロCTなども駆使するが、文化財によっては、千年以上経過しているものも少なくなく、有機物である木材は劣化が避けられないため、解剖学的特徴が劣化し見えにくいものも多い。そのため非常に難儀することの多い作業といえる。心が折れそうになることも多く、またあってはいけないことだが未熟さゆえに樹種を絞り込む中で誤ることもある。それでも続けてこられたのは、顕微鏡で見つめる小さな木片の向こう側に、古代の人の顔や思い、そして文化財を今に伝えるために尽力したたくさんの人々の顔がみえるように、鳥游がましいことではあるが、心と心が繋がるように感じるからである(図1)。

本講演では、木質文化財の樹種調査から見えてきた、人と木の歩みの一端²⁾の中から、歴史的建造物と木彫像に対象を絞って、ささやかではあるが近年の研究事例をご紹介します。

2:歴史的建造物における樹種調査

法隆寺をはじめ日本には多くの歴史的建造物が存在している。これらの貴重な建造物は、定期的に修理工事が行われ、適切に維持管理されたおかげで今に伝わっているのである。このような建造物の修理工事に際して、当初材あるいは後補材に使われた樹種を解明することは、修理の際の新材選択のためだけでなく、当時の木材流通、樹種選択の地域性などの観点からも重要となる。様々な建造物の修理工事現場に赴いた際、大工や現場担当者の目視による樹種判断力のすばらしさにはいつも感動させられてきたが、それでも見立てられた古材について、顕微鏡を用いて樹種調査すると、見立てが異なっている事例も少なからずある。ヒノキとスギ、ケヤキとクリなど、新材であれば匂いや木目などがヒントとなるものでも、長い時間を経て、色や香りや質感



図1 顕微鏡でのぞく人と木の歩み

が大きく変化を遂げた劣化した古材では、樹種判断が難しい事例は少なくない。これは決して大工や現場担当者の経験不足というわけではなく、木材が有機物であり劣化や変化を避けられないことが最大の理由であろう。近年では近代建築など比較的新しい建造物の調査も行っているが、海外からの木材が利用されている事例も少なくない。ただし、例えば同じヒノキであっても、日本産ヒノキと海外のヒノキは解剖学的に酷似しているため、顕微鏡のみでは産地まで絞り込むことが難しく、今後の課題となっている。また木材に込められた精神性という観点に関しては、日本文化の集大成ともいえる茶の湯を行う場、茶室にも注目している。

床柱や中柱などの意匠性の高い部材の樹種調査により、人と木の向き合い方の研究を少しずつ進めている。本講演ではいくつかの事例に絞ってご紹介する。

3:木彫像における樹種調査

近年、東京国立博物館や森林総合研究所の研究により、8-10世紀頃の一本彫像の多くがカヤという木で制作されていることが明らかにされた³⁾。当時の仏典には「十一面観音像を作る際、白檀を使用せよ。白檀がないなら栢木を使うように」とあるのだが、この栢木が日本ではカヤである可能性が高まっているのである。筆者らも、公益財団法人美術院国宝修理所をはじめとした機関と長きにわたって木彫像の用材調査を行っているが、カヤの木彫像に遭遇することが比較的多くあった。カヤは例えば将棋盤や囲碁盤に使用されるやや黄色味を帯びた木材であり、良い香りの木材である。現代の生活ではカヤを知る人は少ないかもしれないが、その実は相模の土俵の鎮めもの一つにされたり、和菓子屋の縁起物のお菓子に、かち栗や昆布等と共に入れられていると聞く。今も日本文化の中に、カヤは密かにそして神聖さをもって息づいているようである。近年筆者らは仏像のみならず神像や国外の木彫像についても調査を進めているが、例えば国内の神像に仏像同様カヤが使用された複数の事例も見つけている。国内の木彫像の用材は、時代とともにカヤに加えてヒノキや広葉樹なども使われるようになっていく様子が少しずつ見えてきている。本講演では、このような木彫像の樹種調査から見えてきた学際研究の一部をご紹介する。

4:結び

古代中国の神話に、半神の人間である巨人盤古が死ぬと、毛髪が星に、体毛は草や木になるとある⁴⁾(諸説あり)。同じように、よく知られた話ではあるが8世紀の日本書紀には、神の毛が樹木になるという非常に類似性の高い話が掲載されている。このような神話、古文書、絵画、仏画等を目にするとき、様々なカミやホトケとともに、瑞々しく登場する木や樹種に心奪われる。木質文化財の木を見つめる研究は、決して使われた材料、樹種を明らかにすることだけが目的ではない。木を通して、遠い昔に生きていた人々の思いに寄り添い、信仰や木に向き合う姿を解明することでもありと考えている。木に対して人々が抱いてきた、そして培ってきた哲理を未来につなげることは、物事が早いスピードで進むこれからの社会においても、人々の心を癒し支える大きな糧になるものと思われる。木質文化財の樹種調査で得られた結果を通して、人と木の歩みにフォーカスし、哲理をみつめる研究にこれからも邁進していきたい。

引用・参考文献

- 1) 文化庁 HP: <https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/index.html>
- 2) 田鶴寿弥子:ひとかけらの木片が教えてくれること 木材×科学×歴史、淡文社(2022)
- 3) 金子啓明他:仏像の樹種から考える古代一本彫像の謎、東京美術(2015)
- 4) アン・ビレル:中国の神話、丸善ブックス(2003)

木質文化財「活用」の現場を支える保存科学 ～アイヌ民具と沈没船資料を中心として～

奈良大学文化財学科
SUGIYAMA Tomoaki
杉山 智昭

1: はじめに

近年の社会情勢を反映し改正された文化財保護法、博物館法の趣旨を受け、現在、文化財公開施設等においては、その所蔵コレクションをより一層活用すべく様々な努力が続けられている。この活動は、多くのコレクションの価値を広くすべての人々に周知し、知的好奇心を喚起することにより、社会全体の文化的発展を推進していく上で不可欠なものである。しかし、現代が消費的・恣意的にコレクションを取り扱うことは許されない。保存科学はこのような場面において適正かつ客観的な「活用」の指針・判断基準を提供するものとして重要な役割を果たすことが可能である。本研究では、木質文化財の適正な活用と保存・継承を支えるべく、現場の要請に応じて保存科学的なアプローチのもと実施した調査の結果につき、アイヌ民具と沈没船資料の例を取り上げ紹介する。

2: アイヌ民具の活用における貢献

2-1. アイヌ民具について

北海道にはアイヌ民族が伝えてきた数多くの木製資料が各地に継承されている。しかし、これらのコレクションについては一部のものを除き、その構造や製作の技法・地域・時期等に関する情報が十分ではなく、未だ不明な部分も多い。また、その中には生活の道具として長年使用されてきたものもあり、保存状態が良好なものばかりではない。したがって、今後、当該コレクション群にも一層求められてくるであろう文化財の活用の動きに対応していくためには、まず各資料に対する客観的なコンディション調査を行った上で、文化財保護の観点からそのデータを運用していくシステムの構築が不可欠である。しかし、入手経路や過去に実施した修復時の記録にも乏しい当該コレクション群について、コンディションに関わる詳細情報を従来の非破壊法（外部観察・計測など）のみで入手するには限界がある。

2-2. 内部欠損領域の検出と記録整備について

文化財が現時点で構造的に抱えているリスクを正確に評価し記録することは、その安全な活用を進めていく上で重要な作業となる。博物館などの文化財公開施設等においては、従来、外観観察や過去に行われた解体修理記録等に基づいて各資料のコンディションファイルが作成され、搬送・展示、保管環境の整備時のリスク低減に用いられてきた。しかし、従来の手法によって整備されたコンディションファイルには素材・構造内部に存在する情報が含まれていない。特に記録に乏しいアイヌ民族資料については、今後の活用機会拡大を考慮すると、詳細かつ客観的な情報の蓄積が特に望まれる資料群と位置付けられる。そのため近年では、より多くのコンディション情報を得るための手段として、アイヌ民具について X 線 CT による内部構造調査が行われるようになってきている^{1,2)}。

アイヌ民族がイコロ(宝物)として和人から入手し、継承してきた漆器資料(シントコ)についての調査例を図 1 および図 2 に示す。シントコの蓋に着目して外部観察を行った際、表面と裏面ともに一部、漆塗膜の剥離・脱落が認められたものの、木地については構造的に割れやその他の損傷箇所は確認されなかった(図 1 左上、左下)。それに対し、X 線 CT スキャナによって得られた情報をもとに、再構成された蓋の三次元画像(以下 三次元 CT 画像)を調査した結果、内部に空洞を伴った脆弱部位の存在が認められた(図 1 右上、右下、図 2)。この空洞領域は木材の死節に由来するものと推測され、蓋の直径面に垂直な断面画像からはその範囲が、蓋裏面の表層近くまで達していることが明らかとなった。本調査結果は表面が漆塗膜に被覆された漆器類の内部に潜在する重大な脆弱部位を検出し、より安全で事故のない資料の取り扱いを行う上で、X 線 CT スキャナによって収集された情報が大きく寄与することを示すものである。

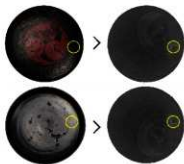


図1 内部脆弱部位の位置(円内)

左:表面外観 右:三次元 CT画像



図2 欠損領域の三次元 CT画像(矢頭)

3:沈没船資料の保存処理・活用に向けた調査

文化財に対して保存処理、修復などの行為を加える際には、その行為による不可逆的な変化(変形・破壊)を回避するとともに、処理自体の可逆性を担保することが求められる。19世紀末、和歌山県串本町沖で座礁沈没したオスマントルコの軍艦イルトゥールル号より回収されたと考えられる滑車については、外形は保たれているものの、木材内部の不可視領域より粉・粒状となった木材が漏出しつづけていること、金属部に広範に錆が広がっていることなどから、保存処理の実施に対する安全性を確保する上でまず、詳細な現況調査を実施することが不可欠であった。当該資料について X 線 CT スキャナを用いた非破壊内部調査および木材組織の観察を行った結果、当該資料には内部で大きな劣化が生じており、現状において構造の安定性が十分担保されていない状態にあることが判明した(図3)。本結果は当該資料の保存処理を計画するにあたり、部材の固定・保持方法などにつき有益な情報を提供するものであるとともに、処理終了後も継続して現況調査を行い、当該資料を安全に活用・保存していく上での基本記録情報として利用されている。

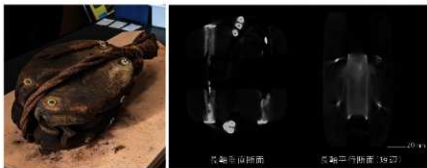


図3 滑車の外観と三次元 CT画像例

4:おわりに

博物館法の改正により、博物館事業に館資料のデジタルアーカイブ化が追加され、①博物館資料に係る情報の保存と体系化、②博物館における調査研究の成果を含めた資料の公共化、③多様な創造的活動への博物館資料の活用が推進されている。しかし、デジタルアーカイブは実物資料が備える文化的価値情報のすべてを提供し、その役割を代替することはできない。したがって今後も文化財を活用した展示・調査研究・教育普及活動等を実施していくためには、資料の移動・搬送などに伴うハンドリングはもとより、定期的な状態確認、温湿度をはじめとした周辺環境の整備、再処理や修復などを継続していく必要がある。保存科学は合理的かつ安全に文化財を活用する上で有益であるため、より広い領域・現場で活動の裾野を一層広げていくべきである。

参考文献

- 1) 杉山智昭・長田佳宏・鳥越俊行・今津節生:アイヌ民族狩猟用矢筒の非破壊内部調査-X線CTによる閉塞した資料内部の可視化について-、奈良大学紀要(52)、pp. 105-113(2024)
- 2) 杉山智昭・赤田昌倫・鳥越俊行・長田佳宏・大江克己・今津節生:X線CTによるアイヌ民族資料「シントコ(行器)」の製作技法および劣化現況に関する調査、北海道博物館研究紀要(4)、pp.21-28(2019)
- 3) 杉山智昭・Turanli TUFAN・木村淳・鳥越俊行・加藤沙弥・比佐陽一郎・鳥島純一・今津節生:沈没船イルトゥールル号より回収された滑車の非破壊内部調査、日本文化財科学会第41回大会研究発表要旨集(2024)

X線 CTによる遺跡出土漆製品の構造解析の課題と展望

弘前大学人文社会科学部北日本考古学研究所

KATAOKA Taro

片岡 太郎

1: はじめに

縄文時代の漆製品には高度な技術と豊かな創造性がみられ、当時の文化の多様性が想像される。この製作技術の解明は、縄文時代文化の一端を深く理解する手がかりとなると考えられる。本報告では、X線 CT を用いた縄文時代の漆製品の構造解析で得られた知見をもとに、今後の遺跡出土漆製品研究における課題と展望を述べる。

2: 遺跡出土漆製品研究の劣化状態の観察と製作技術研究への応用の研究史

縄文時代の遺跡から発見される漆製品は、漆の部分が残存している一方で、他の部分は消失していることが多い。

この劣化状態については古くから認識されており、たとえば1932年、喜田と杉山が是川中居遺跡(青森県八戸市)の漆製品について図録を刊行した際、「極めて稀に漆塗織維製容器、あるいは櫛等の断片が、漆および土漚青等の塗料の保存によってわずかに原形を想像し得る」と述べている¹⁾。1955年には、自然科学的手法を取り入れて縄文時代の漆製品の構造を観察する先駆的な試みとして、江坂が青森県西津軽郡館岡村(現つがる市)亀ヶ岡遺跡で発見された結歯式漆櫛のレントゲン調査を実施した。この調査により、櫛歯や束ねていた紐が消失していることが確認され、さらにその痕跡から、円形の櫛歯が繊維紐で交互に束ねられ、頭部が製作されている技術が考察された²⁾。その後、1971年には、中里ほかによる宮城県栗原郡一迫町(現栗原市)の山王田遺跡出土の結歯式漆櫛の保存処理とレントゲン観察による櫛歯の固定方法の研究³⁾、1979年には、小林ほかによる北海道美沢川遺跡群の透かし模様入り漆櫛のレントゲン観察による切り込み法による透かしの模様の復元研究⁴⁾が実施され、劣化状態に基づく製作技術研究が進化した。

X線 CT が縄文時代の漆製品の構造解析に初めて用いられたのは、2008年に田口らが実施した北海道恵庭市西松 5 遺跡から出土した透かし模様入りおよび無しの漆櫛の解析である。CT 画像により、櫛歯の調製方法や透かし模様の切り抜き技法が明らかになった⁵⁾。さらに2015年には、片岡ほかが宮城県玉造郡岩出山町(現大崎市)根岸遺跡の藍胎漆器をCT画像から三次元合成し、消失していた編組部分を再現して複雑な編組技法を立体的に観察することに成功した⁶⁾。

3: X線 CTによる遺跡出土漆製品の構造解析の方法と効果

3-1. 構造解析の方法

遺跡出土漆製品の構造解析に関し、筆者らは、2次元画像であるCT画像から、密度(しきい値)の違いを利用して、目的の部品だけを抽出して、立体的な画像を得ることで解析を進めている。

結歯式漆櫛を例に挙げて具体的に説明する(図1)⁷⁾。まず、CT画像全体から櫛の部分を出し、関心領域(ROI)を設定する。次に、観察したい櫛の構造(例えば、櫛歯と撚り紐)に合わせてしきい値を設定する。ここで、櫛歯と撚り紐は、周囲の漆部分よりも密度が低いことを利用し、しきい値処理によってこれらの部分を抽出できる。その後、不要な部分をノイズリダクションし、ROI内に限定することで、櫛歯と撚り紐のみのスライス画像が得られる。最後に、これらのスライス画像をサーフェスレンダリング法により立体視することで、櫛歯や撚り紐の構造に着目した観察が可能となる(図2)。

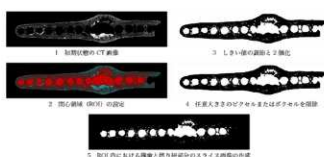


図1 漆歯の歯歯と撚り紐部分の3次元モデルの作成手順

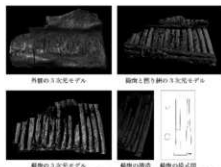


図2 漆歯と撚り紐の構造(透視投影図)

3-2. 材質技法研究への効果と課題

遺跡出土の漆製品の構造解析において、材質・技法の研究では、X線CT分析が内部構造の非破壊観察を可能にし、マイクロからミリメートルレベルの部品の大きさを把握する点で特に有効である。しかし、X線CTでは、物質の密度差等に基づいて画像化するため、同じ密度を持つ物質は区別が難しい場合がある。例えば、漆と似た密度の有機物や、微細な鉱物粒子は、CT画像だけでは明確に区別できない場合がある。また、水銀朱など、X線吸収係数の大きい素材が混在した場合、ノイズリダクションが困難で、本報告のような明快な画像解析が難しい。そして、漆製品の製作工程のすべてを復元する場合、漆そのものや成形材料の評価が必要である。

3-3. 保存科学研究への効果と課題

遺跡から水浸しの状態で出土する漆製品の保存科学的調査には、内部構造や劣化状態を非破壊で観察できるX線CTが有効である。CT画像により、漆製品内部のマイクロからミリメートルレベルの空隙が観察できるため、樹脂含浸の必要性の事前検討や、保存処理後の含浸効果の確認に応用可能である。しかし、特に水分を含んだ漆器の場合、X線が吸収されやすく、解像度やコントラストが低下するという課題もある。

4: 遺跡出土漆製品の研究の展望

X線CTを用いた遺跡出土漆製品の研究は、材質・技法の解明に新たな視点を提供し、今後の考古学研究的発展に貢献するものと期待される。保存科学の分野においても、X線CTは内部の空隙を詳細に観察できるため、劣化状態の評価や保存処理の効果を測定する有効な手段となる。特に、樹脂の浸透状態が可視化できれば、現行の保存処理方法の改善に繋がると考えられる。しかし、湿润状態でのX線CT撮影の難しさや、樹脂と漆製品自体のコントラスト差が不十分である点が、今後の課題として残る。

引用・参考文献

- 1) 喜田貞吉・杉山壽榮男『日本石器時代植物性遺物圖録』刀江書院（1932）
- 2) 江坂輝彌：日本最古のクシ—縄文文化末期—、科学朝日、pp.5-6（1955）
- 3) 中里寿克・江本義理・石川陸郎：宮城県山王遺跡出土弁柄漆塗櫛の技法とその保存処置、保存科学 7、pp.47-60（1971）
- 4) 小林幸雄・三野紀雄：美沢川遺跡群出土赤色漆塗櫛の製作技法について、北海道開拓記念館研究年報 第7号、pp.71-82（1979）
- 5) 田口尚・鈴木信・土肥研昌・今津節生・鳥越俊行：X線CTスキャナーを活用した赤色漆塗櫛の構造と製作技法の調査、日本文化財科学会第25回大会研究発表要旨集、pp.242-243（2008）
- 6) 片岡太郎・上條信彦・鹿納晴尚・佐々木理：宮城県大崎市根岸遺跡出土藍胎漆器の製作技法-X線CT分析を使った構造調査-、東北歴史博物館研究紀要 16、pp.53-58（2015）
- 7) 片岡太郎：櫛の製作、『縄文の漆と社会』阿部芳郎編集、pp.128-139（2023）

1: はじめに

漆塗膜が伴う出土遺物の大半は複合遺物であり、補強が必要と判断された場合、通常は主体となる材質に合わせて強化される。例えば、木胎漆製品には木材、銅胎漆製品には銅材に応じた保存処理が施されている。しかし、その過程において漆塗膜に著しい変形を生じる例(図1)が数多く報告される¹⁾²⁾。塗膜の変形は遺物の外観を変化させるため、その変形を抑制する処理法の策定が求められる。この課題に対しては、まず漆塗膜の材質特性を考慮し、保存処理工程および使用される薬剤が塗膜の変形に与える影響を検討する必要がある。

2: 漆塗膜が保存処理において変形を生じる理由

2-1. 処理用溶媒の収着・脱着による内部応力

漆は脂質成分のウルシオール、水、水溶性成分の多糖類やラッカーゼと含窒素物から構成され、ウルシオールの重合によって硬化し、塗膜になる。漆塗膜は親油性のウルシオール重合体と親水性の多糖類から構成されるため、極性・非極性有機溶剤と水分の両方に対して親和性を示す³⁾。これらの溶媒が塗膜の内部を通して拡散する能力を持ち、塗膜の膨潤を引き起こすと同時に、内部応力を生じさせる。特に、漆塗膜が下地(胎)との接着により体積変化が拘束された状態にある場合、内部応力の発生により、剥離・剥落をもたらす可能性がある。したがって、湿潤な埋蔵環境から出土した脆弱な漆製品を大気環境で安定して保管できる状態まで移行する諸工程において、原理的には水分の除去および有機溶剤の使用によって塗膜に内部応力が生じることは避けられない。



図1 保存処理における漆塗膜の変形

2-2. 反り上がり：塗膜特性と関与する変形現象

保存処理中における出土漆塗膜の典型的な変形現象として「反り上がり」が挙げられる。これは、有機溶剤が塗膜に入り込んで膨潤を起こさせ、塗膜の表面(環境にさらされる側)と接着面(胎に接する側)で膨潤の程度に差がある場合に生じる現象である。

塗膜の表面と接着面の伸び具合になぜ違いが生じるのか? 先行研究では力学的および化学的の二つの視点から検討が行われている。力学的な視点から見ると、漆塗膜が胎に付着する際、まず表面側の塗膜が有機溶剤と接触し、変形が生じる。その結果、表面で変形した塗膜が接着面側の塗膜を引っ張り、接着面に近い部分での伸びが大きくなることがシミュレーション実験で明らかになった⁴⁾。化学的な視点では、外部環境の影響を受けやすい塗膜の表面が経年劣化によって成分変化を起こし、接着面との間に成分差異が生じうる。健全な漆塗膜と劣化した漆塗膜では有機溶剤に対する親和性が異なり、それぞれが内部に取り込む溶媒の量³⁾、収着・脱着によって発生する内部応力も異なることが確認されている。さらに、劣化によって表面と接着面の間に成分差異が生じた漆塗膜は、保存処理時に用いる浸漬溶液のpHの影響を受けて、反り上がる方向が変わることも報告される⁵⁾。

これらの先行研究は、塗膜と胎の付着状態、塗膜の表面と接着面間の成分差異が、薬剤含浸時の変形挙動と関連するという重要な知見を提供している。一方で、化学的な視点に関する検討は分析事例は限られており、塗膜内部の成分分布が、外部環境の影響だけでなく、硬化条件によっても生じる可能性については十分に検討されていない。

2-3. 出土漆塗膜の表面・接着面間の成分差異の形成

出土遺物の主体となる材質の強化を図りつつ、塗膜への影響を最小限に抑える最適な溶媒選択と処理法を策定するために、薬剤含浸時の変形挙動と関連する出土漆塗膜の特性を明らかにする必要がある。この課題に対して、筆者らはこれまでに全体的に捉えられている出土塗膜内部の成分分布を、形成要因別に評価できるかどうかを検討した。

平城宮跡から出土した銅製品から剥落した塗膜を調査対象に、塗膜の表面・接着面の成分を分析し、さらに、プレパラートを作成した上に断面観察および元素分布の調査を行った。出土金属製品に伴う塗膜は、焼付け技法（熱硬化）で作製された可能性を踏まえて、実資料の調査結果を自然硬化および熱硬化の模擬試料と比較した。これにより、熱硬化塗膜は成膜時から内部に成分分布があり、健全な状態であっても、自然硬化塗膜に比べて有機溶剤の浸透で反り上がりが生じやすい可能性が確認された。実資料が焼付けで制作されたと仮定した場合、硬化が完了した時点から層内成分分布を持つため、これらの成分特徴をベースに、外部環境の影響によって更なる化学変化が生じる。外部環境の影響による劣化は、埋蔵前（大気環境）および埋蔵後（土中環境）の二つの段階で発生すると予想される。大気環境における劣化は主に光劣化と予想され、その影響は紫外線強制劣化させた模擬試料の成分分析およびプレパラートに対する元素分布の調査から明らかになった。一方で、硬化方法、紫外線劣化と関与しない表面と接着面の違い、表面の方にカルボキシレート基が多く存在することや表面付近にCの強度が低下していることは、埋蔵環境における劣化の影響に由来する可能性が高いと推察される。

3: 出土漆製品の保存処理の展望

漆製品は東アジアを中心とした広い範囲で出土している。これらの遺物は、時代・地域の違いにより胎の材質、制作方法、劣化状態が多岐にわたる。そのため、どの特性が保存処理時における変形挙動にどのような影響を与えるかについて、十分に解明されておらず、保存処理前に特性に応じた遺物の仕分けや適切な対策を講じることが難しい現状があった。本研究の遂行により、保存処理時に生じる塗膜の反り上がりの一因である塗膜表面・接着面の成分差異を、形成要因別に評価することが可能となり、漆製品を確実に安定化させるために不可欠な情報を提供するとともに、これまで明らかにされていなかった、漆塗膜の埋蔵環境における劣化機構の定性的な理解を深める一助にもなったと考えられる。

今後、こういった知見を活かし、塗膜の内部成分分布を定量的に再現できる模擬試料を用いる保存処理実験を行う予定である。実験を通して、溶媒の収着・脱着に伴う内部応力がもたらす塗膜の変形現象を抑制し、劣化程度を低減させる処理条件を検討する。これにより、出土漆製品の効果的かつ安全的な保存処理法への提言につなげたい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費(22K01012)の助成によるものです。研究の遂行にあたり、多大なご指導を賜った明治大学の本多貴之准教授、榎原考古学研究所の奥山誠義氏に感謝申し上げます。

引用・参考文献

- 1) 植田直見: 出土漆の劣化について—保存処理薬剤が及ぼす影響—、元興寺文化財研究所創立 40 周年記念論文集, pp.59—70 (2007)
- 2) 楊曼寧・柳田明進・奥山誠義・協谷草一郎: 出土銅製品に施された漆塗膜の剥離メカニズムの検討(その1)、日本文化財科学会第 39 回大会研究発表要旨集, pp. 180-181 (2022)
- 3) Rivers, *et al.* Solvent effects on East Asian lacquer (*Toxicodendron vernicifluum*), *East Asian lacquer: material culture, science and conservation*, pp.60-74 (2011)
- 4) 小川俊夫・浜田嘉一: 吸湿過程における剛球に塗布された漆膜の力学的挙動、材料 42、pp. 1287-1292 (1993)
- 5) Wang, *et al.* PH-Dependent Warping Behaviors of Ancient Lacquer Films Excavated in Shanxi, China. *Herit Sci* 10, 31 (2022)

水浸出土木製品の乾燥剤凍結乾燥法 ～これまでの研究と経年変化について～

奈良県立橿原考古学研究所
NAKAO Mariko
中尾 真梨子

1:はじめに

水浸出土木製品の保存処理方法についてはこれまでに様々な先行研究がなされており、水分を常温固形の薬品と置換する方法(ポリエチレングリコール含浸法、トレハロース法など)や、水分を物理的に除去する方法(真空凍結乾燥法)などが開発され、今日まで出土木製品の保存処理方法として採用されてきた。

しかし、これらの方法はいずれも高価な機器や薬品、適切な設備が必要となり、限られた施設でしか行えないという難点がある。また、日本における出土木製品の出土点数は年間数千点を超えるが、保存処理が行われるものは一部にすぎない。より多くの文化財を後世へのごすためにも、低コストで簡便な方法の開発は必須である。

そこで、市販の乾燥剤と冷凍庫、密閉容器を利用した乾燥方法を便宜的に「乾燥剤凍結乾燥法」と称し、水分を含んだ文化財(水浸出土木製品、水損文書等)の新たな乾燥方法として開発を進めている。乾燥剤凍結乾燥法は、特殊な機器を用いず手軽に購入が可能な材料で処理を行うことが可能で、作業手順も単純な革新的な方法である。

2:乾燥剤凍結乾燥法の手順

現在、水浸出土木製品の乾燥剤凍結乾燥法は、以下の手順で行っている。なお、この手順は今後の研究によって変更する可能性もある。

①薬剤含浸…ポリエチレングリコール(以下、PEGと称する)を含浸する。(20%水溶液→40%水溶液まで)含浸後、表面の余分なPEGを洗淨する。

②乾燥…試料を密閉容器に乾燥剤とともに密閉し、 -20°C ～ -40°C に設定した冷凍庫に入れ凍結し乾燥する。この時、サンプルと乾燥剤が直接接触しないよう、乾燥剤を不織布製の袋等で包む。

③処理後クリーニング…表面に析出した余分なPEGを、筆などを使用しクリーニングする。

また、2つの乾燥方法(A方式、B方式)について、適応性等を比較検討している(図2)。

3:これまでの成果

これまでの実験結果を図3に示す。これまでの基礎的研究により、乾燥剤凍結乾燥法は、小型で丸太状の水浸出土木製品に対して一定の効果があることを確認している。乾燥剤凍結乾燥法は、自然乾燥よりも緩やかに乾燥が進むことで、著しい形状変化が発生していないのではないかと推測している。

一方で、木取りや形状によっては割れや変形が発生するなど、課題は多い。現在は、水浸出土木製品への適応性評価を進めている段階である。

これまでの課題
水浸出土木製品

- ①水浸出土木製品を乾燥させるための、高価な機器や薬品を購入できない
- ②特殊な機器や複雑な手順が必要となる場合がある
- ③従来の方法より簡便で、かつ材料が手に入り易い処理方法が求められる

乾燥剤凍結乾燥法の3つの利点

- ①必要物品はホームセンター等で購入できる
- ②冷凍庫に入れてしまえば乾燥を待つだけ
- ③処理に手間がかからない

メリット・デメリット

メリ ット	<ul style="list-style-type: none"> ①特殊な機器は必要ない ②市販品で行える ③作業時間は短い、または同等 ④乾燥中は手がかからない ⑤臭気が吸着され臭わない 	} 手軽
デ メ リ ット	<ul style="list-style-type: none"> ①乾燥期間が高い ②ランニングコストがかかる (冷凍庫を長期稼働させる必要がある) ③乾燥終了がわかりにくい 	} 長期戦

これまでの成果

- ①密閉容器内はわずかに減圧状態で凍結乾燥が行われる。
- ②密閉容器内の相対湿度は、乾燥開始直後から急激大幅に低下する。
- ③試料の重量変化率は、乾燥開始から24時間後～数日間の変化が大きい。
- ④乾燥剤の吸湿限界以降はわずかに上昇またはほぼ変化がない。
- ⑤異なる性質をもつ乾燥剤(A型シリカゲル、B型シリカゲル、活性炭)は、水点下でもそれぞれ相対湿度が低下する。

図1 乾燥剤凍結乾燥法の課題と成果



	A方式	B方式
写真		
	試料の周囲を乾燥剤(シリカゲル)で囲い、密閉容器内を水点下で乾燥させる方法。	密閉容器内に乾燥剤を置き、試料をトレーに置き、布製の袋を挿入して試料と乾燥剤を隔離する方法。
メリット	B方式と比較して乾燥期間が短い	A方式と比較して乾燥剤の臭いが少ない
デメリット	・乾燥剤の臭気が発生しやすい ・シリカゲルが手荒れしやすい ・臭い・埃が試料に付着する可能性がある	・内部に湿度が発生しやすい ・乾燥終了時に湿度計を必要とする

図2 乾燥剤凍結乾燥法の乾燥方法

形状	丸太状		板状		その他			
薬剤含浸	なし		なし		あり	なし		
乾燥温度	-2.0℃		-2.0℃		-4.0℃	-3.0℃		
乾燥条件	A方式		A方式	B方式	A方式			
	広葉樹	広葉樹	広葉樹	広葉樹	広葉樹/針葉樹	B方式 広葉樹/針葉樹		
結果	一定の効果を確認。急激な乾燥で変形が生じやすい。X線透過撮影、X線CT撮影により内部の亀裂を確認。	一定の効果を確認。トレー接地部の乾燥が遅く、著重な乾燥速度に差が出やすい。X線CT撮影による内部構造を確認。	水口	一定の効果を確認	一定の効果を確認	一定の効果を確認	一定の効果を確認。密閉容器内は外気圧と141Paの差圧を確認。	
			縦目	変形、収縮、ひび割れが発生	変形、収縮、ひび割れが発生			変形、収縮、ひび割れが発生
			径目	変形、収縮、ひび割れが発生	変形、収縮、ひび割れが発生			

図3 乾燥剤凍結乾燥法の出土木材への実験結果
(A方式：試料全体を乾燥剤で覆う方法、B方式：乾燥剤を底面に敷き、試料を上に乗ける方法)

4:経年変化

乾燥剤凍結乾燥法により乾燥を完了させた丸太状コナラ材2点(径約5cm,厚約3cm,処理前含水率約850%)について¹⁾、乾燥後約8年目(3078日目)に経年変化を確認した(図4,5)。本実験では、出土木材そのものの乾燥条件による挙動を把握するため、PEGによる薬剤強化含浸は行っていない。寸法変化は、木口面の放射方向および接線方向に打ったステンレス製小釘間の距離をもとに比較した。これらのサンプルは乾燥後、チャック付きポリ袋に入れ密閉容器内で保管していた。保管環境は、空調管理のない、一般的な屋内環境である。

肉眼による状態確認の結果、サンプル1点に処理前から存在した中心部の割れが広がり、破片が生じていた。また、いずれのサンプルにも粉状の微細な破片が発生していた。しかし、大きな色調変化、著しい変形は発生していなかった。今後も観察を継続する。

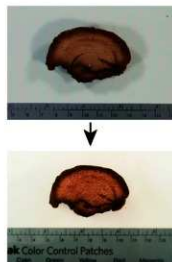


図4 乾燥剤凍結乾燥後の経年変化
(上：乾燥直後、下：3078日後)

5:おわりに

このように、乾燥剤凍結乾燥法は、小型の水浸出土木製品への適応を想定し研究を進め効果を挙げている。しかし、これまでの基礎的実験により一定の効果が得られる方法であることを確認している一方で、本方法にはいまだ多くの課題が残されている。①適切な乾燥剤の選定、②乾燥前後の構造および組織変化、③乾燥状況の確認方法、④処理終了点の決定法、⑤保存処理後の強度、⑥材質および器種への適応性の選択などについて検討が必要である。今後も研究を継続する。

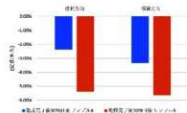


図5 乾燥剤凍結乾燥後寸法変化率(3078日目)

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP15K12448、JP20H00021、JP23K00953 の助成を受けたものです。X線CT撮影は、弘前大学 片岡太郎様にご協力をいただきました。また、富士シリシア様様にご助言を賜りました。この場を借りて御礼申し上げます。

引用・参考文献

- 1) 中尾真梨子・奥山誠義：出土木製品乾燥剤乾燥法における重量と寸法の変化について、奈良県立橿原考古学研究所報 青陵 148号、pp.5-8 (2016)
- 2) 奥山誠義・中尾真梨子：氷点下における乾燥剤と共に密閉した出土木材の変化(2)－内部圧力と重量の変化－、日本文化財科学会第34回大会研究発表要旨集、pp.212-213 (2017)
- 3) 中尾真梨子・奥山誠義：氷点下における乾燥剤と共に密閉した出土木材の変化(1)－形状と重量の変化－、日本文化財科学会第34回大会研究発表要旨集、pp.204-205 (2017)

出土木製品の保存処理における新たな薬剤含浸手法の試み

奈良文化財研究所
MATSUDA Kazutaka
松田 和貴

1: はじめに

水浸出土木製品の保存処理では、ポリエチレングリコール(PEG)をはじめとする水溶性薬剤を含浸・固化させる手法が一般的である。しかし、各種薬剤の含浸工程には長い期間を要するほか、水溶性薬剤を用いる水系の保存処理を施した木製品は吸湿性を持つなど難点も多い。木製品に非水溶性薬剤を含浸させる非水系の処理法も実用化されているが、予め有機溶剤による脱水置換が不可欠で、やはり時間や手間を要するほか設備面・安全面における課題も多く、適用は限定的である。こうした背景・課題から、発表者らは出土木製品の保存処理の効率化を念頭に、新たな薬剤含浸手法の開発に取り組んでいる。ここでは最近の試みについて紹介したい。

2: 薬剤含浸の効率化のために

2-1. 薬剤含浸における溶媒蒸発の利用

出土木製品を各種の薬剤溶液に“漬け込む”従来型の含浸工程では、おもに濃度勾配による拡散を利用して、溶液から木材内部への溶質の移動(浸透)が図られるが、その進行は原理的に緩慢なものである。一方、こうした溶質の移動について、溶液そのものの流れ、すなわち移流をあわせて利用できれば、その効率を大幅に向上させられると考えられる。木材のように親水性かつ細孔構造を持つ材料は、各種の水溶液を表面張力の作用により吸収する性質がある。そのため、出土木材の一部を保存処理用の溶液に浸け、他の部位から溶媒のみを蒸発させることで、木材内部に溶液の流れを生じさせ、液絡部から周囲の溶液を効率よく吸収・濃縮させることができると考えられる(図1)。発表者らは、こうした手法を溶媒蒸発法と称して検討を進めてきた¹⁾。

溶媒蒸発法では、PEGをはじめとする水溶性薬剤を用いた処理において一定の効果が認められたが、安全面や技術的な制約から、有機溶剤が必須となる非水系処理への適用には課題があった。そこで近年は、さらに界面活性剤を用いることで、非水溶性薬剤を水浸状態の出土木材に直接含浸させる新たな手法(以下、新手法)への発展を試みている。

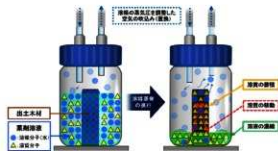


図1 溶媒蒸発法による薬剤含浸の模式図

2-2. 陽イオン界面活性剤を用いた新たな高級アルコール含浸法の検討

出土木製品の保存処理への界面活性剤の適用については、多くの先行研究がある。例えば、水系の処理法において含浸溶液に非イオン界面活性剤や陰イオン界面活性剤を添加することで、溶質薬剤の浸透性向上のほか、残留水分の乾燥工程における木材の収縮抑制の効果などが報告されている。またPEG法では、あらかじめ出土木材を陽イオン界面活性剤の水溶液に一定期間浸漬させることで、その後のPEG水溶液の浸透速度が向上するとの報告がある²⁾。最近では、非水系処理である高級アルコール(HA)法においても、有機溶剤による出土木材の脱水後に陽イオン界面活性剤を利用することで、HAの含浸効率を向上させる手法が考案されている³⁾。

一方これらの界面活性剤は、おもに溶質薬剤の木材内部への浸透を補助するために用いられており、出土木製品を各種の溶液に“漬け込む”という含浸工程の基本的な手法自体は従来同様といえる。ここで、発表者らは陽イオン界面活性剤の特性に着目し、従来とは異なる新たな原理に基づく薬剤含浸法を検討した。

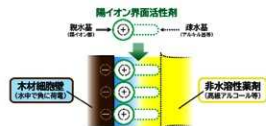


図2 水浸出土木材細胞壁への陽イオン界面活性剤の吸着による非水溶性薬剤との親和性向上の模式図

一般に水中では、多くの固体表面が負に帯電することから、親水基が陽イオンとなる陽イオン界面活性剤は、水浸状態の木材細胞壁に対する吸着性が高いものと考えられる。一方、木材細胞壁に陽イオン界面活性剤の親水基が吸着すると、これと対をなす疎水基で細胞壁表面が覆われた状態となり、非水溶性薬剤に対してより親和的になるといえる(図2)。このように、陽イオン界面活性剤によって木材細胞壁表面を疎水的な状態に改質できれば、溶媒蒸発法と同様にして木材中の水分を取り除くとともに、HAのような非水溶性薬剤を移流によって速やかに浸透させることが可能になると考えられた。とくに、HAは加熱した溶液を用いることで、いわば濃度100%の含浸液として取り扱えるため、濃度変更(上昇)の工程をも省略できる可能性がある。このような新手法について、具体的な適用法を検討するとともに基礎的な実験を行った。

3:基礎的な実験による新手法の試行

遺跡出土のケヤキ *Zelkova serrata* (最大含水率: 700~1200%程度)から作製した1辺30 mmの立方体状試料を用いて、新手法におけるHAの浸透性と寸法安定効果を検討する基礎実験を行った。実験には、出土木製品の保存処理に適用されるHAのセチルアルコールとステアリルアルコールを重量比3:2で混合したもの(以下、 $C_{MIX}OH(3:2)$)と、陽イオン界面活性剤であるステアリルトリメチルアンモニウムクロリド(以下、STAC)を用いた。

含浸工程では、まず図3に示すように、75°Cの半密閉容器内に試料を繊維方向が鉛直となるよう設置した。STACを添加した $C_{MIX}OH(3:2)$ の加熱溶液を循環させて試料の上方から常時滴下し、試料由来の水蒸気を適宜容器外へ排出することで、脱水と溶液液の浸透の同時進行を図った。本稿では詳細な実験条件は割愛するが、比較用としたSTACを添加しない条件の試料(図4左)は顕著に収縮した一方、STACを5% (w/w)添加した条件のもの(図4右)では、1~2週間程度で含浸工程が完了し、冷却固化後においても概ね元の形状が維持されていた。陽イオン界面活性剤が効果的に作用することで、試料からの脱水とHAの含浸を同時にかつ速やかに進行させることができ、良好な寸法安定効果を得られたといえる。

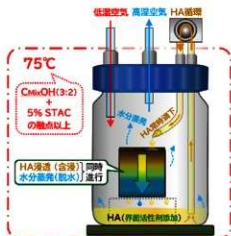


図3 新手法による水浸出土木材へのHA含浸の模式図



図4 STAC添加の有無による試料の寸法安定性への影響(木口面)

4:まとめと今後の展望

このたび検討した新手法は、木材一溶液間の濃度勾配による拡散を溶質移動のおもな駆動力として利用する従来の手法に比べ、含浸工程に要する期間を大幅に短縮できる可能性がある。とくに含浸薬剤として非水溶性のHAを用いるものでありながら、有機溶剤が不要となるという極めて大きな利点を持つものといえる。さらに、含浸工程中の薬液の濃度変更や交換の必要もないことから、環境負荷の低減のほか、経済性や作業性の大幅な向上も期待できるものであるといえる。今後、新手法により適した薬剤の組成のほか、処理後の木製品の安定性や保管環境条件等についても検討を進め、実用化につなげたい。

謝辞 本研究はJSPS科研費 23K00954の助成を受けたものです。記して感謝の意を表します。

引用・参考文献

- 1) 松田和貴・脇谷草一郎・高妻洋成:水浸出土木製遺物の保存処理における溶媒蒸発を用いた薬剤含浸の効率化の可能性、保存科学 59, pp. 73-88 (2020)
- 2) 植田直見・井上美知子・増澤文武:ポリエチレングリコール(PEG)含浸による出土木材の保存処理の改良(陽イオン界面活性剤を使用して)、材料 41 (461), pp. 148-152 (1992)
- 3) 吉田生物研究所:動植物又は出土文化遺物の保存方法、特開 2023-61037 (2023)

