

トレハロース含浸処理法を用いた木質遺物の経年変化に係る研究

小林啓 KOBAYASHI, Akira／九州歴史資料館学芸調査室研究員・文化財保存修復研究センター客員研究員

1. はじめに

トレハロース含浸処理法（以下、トレハロース法）は、糖類の一種であるトレハロースを主剤とする出土遺物の保存処理方法である。トレハロースは自然界に天然に存在する糖類で、耐酸性や耐熱性に優れ、生成する二水和物結晶は25℃・95%RHの環境に7日間置いても全く吸湿しない性状をもつ（姫井2014）。日本をはじめとする高温多湿の環境にある東アジア・東南アジア諸地域に適した保存処理方法である。

トレハロース法の研究は、2008年から今津節生氏・伊藤幸司氏により、ラクチトールを用いた糖アルコール含浸処理法を基礎に主剤を転換する形で進められてきた¹⁾。当初、トレハロース法による保存処理の対象は、内陸遺跡から出土する木質遺物が中心であったが、研究の進展に伴い木質遺物から木鉄複合材遺物へ、さらに海底遺跡出土木鉄複合材遺物へと適用範囲は大幅に拡大した。

一方、木質遺物の代表的な保存処理方法であるポリエチレングリコール含浸処理法（以下、PEG法）等に比べ新しい処理方法であるため、処理後の経年変化に対する懸念について研究当初から常に指摘がある。また、糖類を用いた糖アルコール含浸処理法と混同するなどトレハロース法について正確に理解されていない状況も一部に存在する。

本稿ではトレハロース法で保存処理した木質遺物の経年変化についてX線CT（以下、CT）を用いて検証する。経年変化の評価は、外観の形状、X線透過撮影による内部構造の二次元的解析、CTによる内部構造や薬剤分布の三次元的解析により行う。トレハロース法の経年変化に対する漠然とした懸念に対し、CTを用いた科学的根拠に基づき検証し評価する。

2. X線CTを用いた木質遺物の研究

CTをはじめとする3Dデータを用いた考古遺物の研究は、分析機器の多様化・高精度化に伴い2000年以降に多く報告されている。考古遺物を対象にした主な研究手法を整理すると、以下の①～③に大別できる。

①遺物の表面情報を解析する手法

②遺物の内部情報を解析する手法

③遺物の空隙から情報を抽出する手法

考古遺物は外観的特徴を重視した型式学的研究が主体であり、①や②の手法を用いた研究が主体であるが、近年では③の手法による画期的な研究成果が報告されている（片岡2022）。

CTによる考古遺物の研究が多様化する中、木質遺物を対象にした研究事例は多くはない。保存科学の研究分野では、X線透過撮影による木質遺物の経年調査に係る事例が報告されているが（伊藤2019）、研究の中核を成すのは保存処理方法や処理薬剤の物性等、脆弱な木質遺物の形状安定性に関連するものが多い。一方、筆者はCTを用いて木質遺物の内部状態や薬剤分布の可視化を目的とした研究を報告している（小林2013）。トレハロース法・PEG法・高級アルコール法で保存処理した木質遺物をCTで解析し比較した。その結果、トレハロース法で保存処理した木質遺物は、他の処理方法と比べ、内部状態や薬剤分布を明瞭に可視化できることを明らかにした。

保存処理後の木質遺物については内部状態や薬剤分布、経年変化の評価等について未だ研究の余地が残る。トレハロース法とCTの組み合わせはこれら課題を解釈する手掛かりとなる。

3. 資料の概要

本稿では観世音寺（福岡県太宰府市）出土の下駄を対象とした。以下に遺物の概要を記す。

観世音寺は福岡県太宰府市観世音寺に位置する寺院である。発掘調査は、1952年（昭和27）に九州大学と福岡県教育庁により始まり、1972年（昭和47）以降は九州歴史資料館が実施している。

発掘調査で出土した木質遺物は、工具・農具・容器・履物・武器・祭祀具等、種類や用途は様々である。このうち下駄は完形の資料のみ39点が報告書に掲載されている（岡寺2007）。

下駄には台と歯が一体の連歯下駄、台と歯が別材の差歯下駄がある（図1）。報告書掲載39点の内訳は、連歯下駄19点、差歯下駄18点（露卯下駄12点、陰卯下駄6点）である²⁾。

連歯下駄の平面形は小判形で、前壺を中央、後

壺を後歯の前に左右2箇所にあける。歯と台板の幅はほぼ同じで、歯は台の両小口から独立する。また、側面からみた歯は「ニ」の字形に平行となる。連歯下駄の時期は大半が古代の11世紀後半～12世紀前半、溝跡や井戸跡からの出土である。

差歯下駄の平面形は小判形で、前壺を中央、後壺を後歯の前に左右2箇所にある。台板の横断面形は大半が方形だが、逆台形のを数点含む。差歯下駄の時期は大半が中世の14世紀代、溝跡や土坑からの出土である。

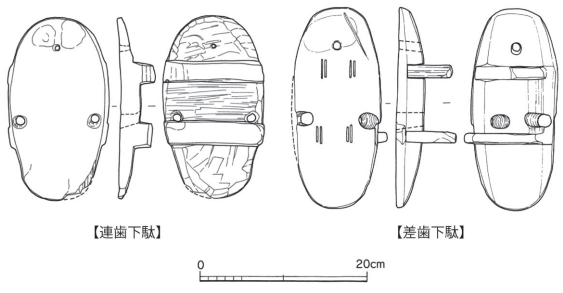


図 1 下駄の種類

4. トレハロース法による下駄の保存処理

保存処理は観世音寺から出土した下駄（30点）を対象に行った。下駄は1987年から1989年の発掘調査で出土しており、以降、2017年の保存処理まで約30年間、未処理のまま水浸け保管していた。長期にわたり未処理の状態が続いたため著しく劣化しており、触れた指が埋まるほど極めて脆弱な状態であった。

トレハロース法による保存処理は2017年9月4日から10月5日までの約30日間で行った(表1)。以下、保存処理の工程毎に概要を記す。

4-1. 事前調査

保存処理前の遺物の状態を記録するため、重量測定・推定含水率測定・樹種同定・写真撮影を行った。また、脱鉄処理としてEDTA・2Na3%水溶液に約1日浸漬して遺物内部の鉄分を抽出した。

事前調査の期間は2017年9月4日から7日までの4日間である。

4-2. 含浸処理

トレハロース水溶液に下駄を浸漬し、遺物内部の水分をトレハロースに置換した。トレハロース水溶液の濃度は30%Bxから開始して段階的に濃度を上げた。各濃度における含浸期間は7～10日間、最終含浸濃度は72%Bxである。含浸処理は熱風乾燥器で加温しながら行い、温度は50℃～85℃、トレハロース水溶液の濃度に応じ段階的に温度を上げた。

含浸処理の期間は2017年9月7日から28日までの22日間である。

4-3. 取り上げ・固化

最終含浸濃度のトレハロース水溶液から下駄を取り出し風乾した。加温した熱風乾燥器から取り出すことで、下駄内部のトレハロース水溶液の温度が低下、過飽和状態になり固化が進行する。

取り出した下駄の固化促進のため、送風機で風を当て風乾した。風乾中は偏りなく固化を図るため、下駄を定期的に天地返しした。

固化の期間は2017年9月28日から10月3日までの7日間である。

4-4. 表面処理

固化後、下駄表面の余分なトレハロースをスチームクリーナーで除去した。表面処理では、下駄の表面がスチームにより濡れるため、濡れた箇

表1 トレハロース法による下駄の保存処理

年月日	処理項目	処理内容・使用薬剤等	作業担当者
2017/9/4	事前調査	重量測定・推定含水率測定	小林
2017/9/4～9/7		樹種同定	小林
2017/9/5～9/6		脱鉄（EDTA・2Na 3% 水溶液）	小林
2017/9/7		写真撮影（処理前）	北岡
2017/9/7～9/15	含浸処理	トレハロース水溶液含浸（30～32% Bx）	小林
2017/9/15～9/22		トレハロース水溶液含浸（50～52% Bx）	小林
2017/9/22～9/28		トレハロース水溶液含浸（73% Bx）	小林
2017/9/28	取り上げ・固化	取り上げ	小林
2017/9/28～10/3		風乾	小林
2017/10/3～10/5	表面処理	表面処理（スチームクリーナー・熱送風装置）	小林
2017/10/5	記録作成	写真撮影（処理後）	北岡

所は送風機により再度風乾した。

表面処理の期間は2017年10月3日から5日までの3日間である。

4-5. 記録作成・保管

保存処理後の遺物の状態を記録するため、重量測定・写真撮影を行った。また、保存処理の作業工程・使用薬剤や樹脂・使用機器等を記録したカルテを作成した。

保存処理後の下駄は常温環境で保管しており、2025年3月現在で保存処理を終えて約7年半が経過している。

5. 保存処理後の経年変化

保存処理後の経年変化は、外観の形状及び内部構造、薬剤分布の比較により行った。外観は目視観察による形状の比較、内部構造・薬剤分布はX線透過撮影・CT撮影による比較により評価した。なお、保存処理を行った下駄は30点あるが、ここでは連歯下駄・差歯下駄で大型且つ残存部位の多いNo18とNo19を中心に提示する。

5-1. 外観の形状

基本的な評価として目視観察による下駄の保存処理前（以下、処理前）と保存処理後（以下、処理後）の形状を比較した。図2はNo18（連歯下駄）、図3はNo19（差歯下駄）の処理前と処理後の状態である。処理前後を比較して、目視観察で認識可能な歪みや割れ、収縮等の変形は生じておらず下駄の形状に目立った変化は無い。保存処理により新たな歪みや割れ等、外観上の形状に変化は生じていない。

図4はNo19の後壺付近の拡大である。処理前後を比較して、壺穴の穿孔痕跡や台と歯を繋ぐ楔状の部材に欠損や変形は無い。また、下駄に元々あった細かな亀裂や割れにも拡大や変形は生じておらず、加工痕跡等の微細な形状についても処理前後でほとんど変化は無い。

下駄は、出土後30年以上水浸け保管していたため劣化が著しく、特に表面は触れた箇所が簡単に潰れるほど脆弱な状態であった。この様な極めて脆弱な遺物においても、処理前後で外観の形状にほとんど変化は無い。また、処理後7年以上経過したが、現段階において経年による形状の変化は無く良好な状態を保っている。劣化の著しい脆弱な木質遺物においてもトレハロース法の有効性を証明する結果といえる。

図18はNo6の処理前後の状態である。処理後の



図2 No18・連歯下駄（上：処理前・下：処理後）



図3 No19・差歯下駄（上：処理前・下：処理後）

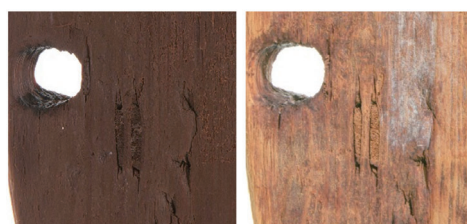


図4 加工痕等の状態（左：処理前・右：処理後）

色調は白色に近い淡い茶色であり、長期間にわたる水浸け保管により脱色が進んだためと考えられる。下駄の形状は処理前後で変化は無いが、形状や色調を良好な状態で残すためには、出土後速やかに保存処理を行う必要がある。

5-2. 内部構造①-X線透過撮影-

内部構造の評価としてX線透過撮影（以下、X線撮影）を行った³⁾。処理後の下駄に外観上の変化が無いことは前項のとおりである。X線撮影では、外観からは視認不可能な下駄の内部構造を可視化し評価した。

図5はNo.18、図6はNo.19の処理後とX線透過画像（以下、X線画像）の比較である。X線画像からは、No.18、No.19共に下駄の内部に歪みや割れ等の変形が生じていないことが分かる。X線撮影は、No.18、No.19以外の下駄にも行っており、何れも内部に目立った形状の変形は無い。外観の形状と同様、内部についても現段階において形状の変化は無く良好な状態を保っている。

図5、6のX線画像には、下駄内部に細かい筋状の白色箇所が写る。これら白色箇所は、下駄の内部で固化したトレハロースの結晶と考えられる。処理後の木質遺物にX線撮影を行い、内部のトレハロースを可視化した事例はこれまでも報告がある（伊藤2020）。X線画像には、トレハロースの結晶が下駄の内部に疎密無く分布している。トレハロースが下駄に含まれていた水と十分に置換し、結晶となり形状を安定化していると考えられる。

図7はNo.18、図8はNo.19の下駄の中央部分を拡大したX線画像である。トレハロースの結晶は、下駄の台（以下、台）の短軸方向に密に分布する傾向を示す。No.18では台の中央部分に比べて両端部で結晶が顕著であり、台の長軸方向より短軸方向で目立つ傾向にある。No.19でも台の短軸方向で顕著であり、No.18と比べて中央・両端など下駄の部分による偏りが少ない。

このような結晶の見え方の違いは下駄の木取りによるものと考えられる。図9にNo.18とNo.19の台の木取りを示す。No.18は台の短軸に対し年輪がやや平行に入り、No.19は斜めに入る木取りとなる。No.18は台の中央部は板目、両端に近づくにつれてやや柾目となる。一方、No.30は全面が柾目と板目の中間、やや柾目寄りとなる。

X線画像では、台の木取りが柾目に近づくにつれて結晶が密に分布する傾向を示すことから、放

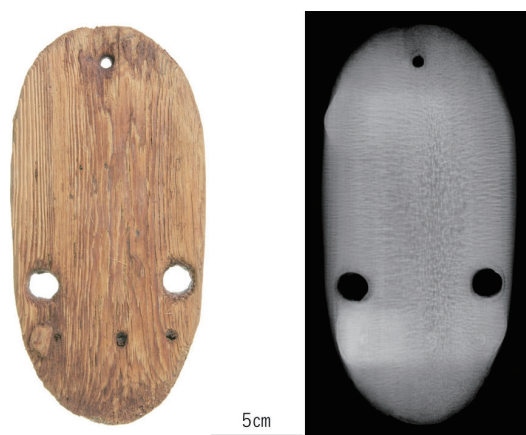


図5 No.18・連歯下駄（左：処理後・右：X線透過画像）

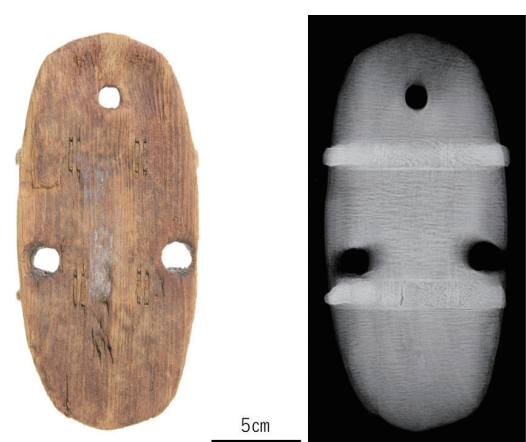


図6 No.19・差歯下駄（左：処理後・右：X線透過画像）

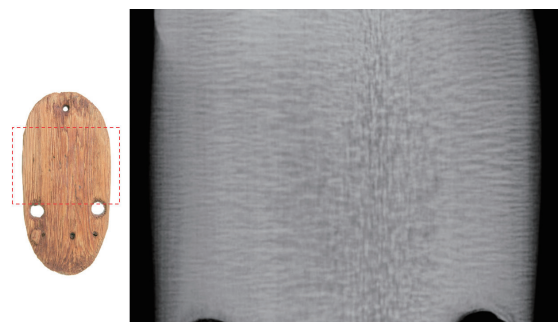


図7 No.18・X線透過画像（拡大）

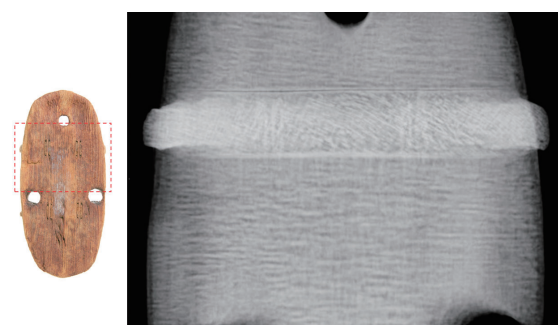


図8 No.19・X線透過画像（拡大）

射方向に結晶が集積したものと推測できる。

また、放射方向に比べ、接線方向・繊維方向では結晶は目立たず、接線・繊維方向には結晶の集積が緩慢であることが推測できる。

5-3. 内部構造②-X線CT撮影

CT撮影では、X線撮影と同様、外観からは視認不可能な下駄の内部構造を可視化した⁴⁾。CT撮影で得たスライスデータにより下駄の部位や木取りに合わせた任意の断面を設定し、内部構造を三次元的に可視化し評価した。

図10はNo18、図11はNo19のX線画像とX線CT画像（以下、CT画像）である。図10・11のCT画像は、それぞれ下駄の中心線付近の断面を示す。No18・No19の何れの断面でも、下駄の内部に歪みや割れ等の変形が生じていないことが分かる。X線撮影による平面的（二次元的）解析と同様、CT撮影による立体的（三次元的）解析においても、現段階において内部の形状に変化は無く、良好な状態を保っている。

X線撮影でも確認した下駄内部のトレハロースの結晶は、CT撮影ではより鮮明に可視化した。

図10・11のCT画像では、何れの断面においても細かい筋状の結晶が下駄の内部に分布する。No18では中心部付近でやや疎らだが、No19では全面に疎密なく分布している。CTは、物質の質量や厚みよるX線の減衰率の差異により造影する。今回の場合、処理後の下駄において最も減衰率の高い物質はトレハロースの結晶であり、X線画像やCT画像に写る筋状の物質はトレハロースの結晶と考えられる。

図12はNo18、図13はNo19の下駄の中央部分を拡大したCT画像である。X線撮影の結果と同様、結晶は下駄の短軸方向に密に分布する。CT画像では、台の木取りが杓目に近いほど結晶が密に集積する様子がより鮮明である。また、前壺・後壺付近では、結晶が下駄の短軸方向ではなく長軸方向（繊維方向）を優勢に集積する。

結晶の方向や分布の詳細を把握するため、下駄の横断面（木口面）と放射断面（杓目面）のCT画像を比較した。

図14はNo18・図15はNo19の横断面のCT画像である。No18・19共に、何れの横断面においても結晶が放射状に分布する。放射状に分布した結晶の傾きはほぼ一定であり、年輪に対してほぼ直交する。このことから、木材の放射柔細胞（以下、放射組織）に沿う様にして結晶が集積したことが推

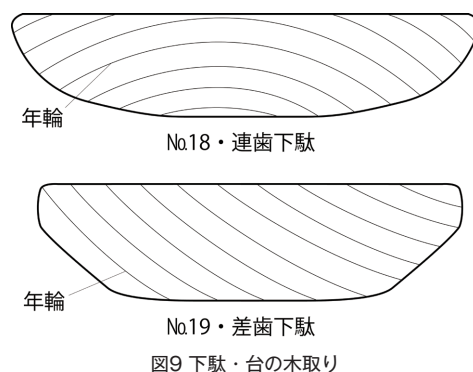


図9 下駄・台の木取り

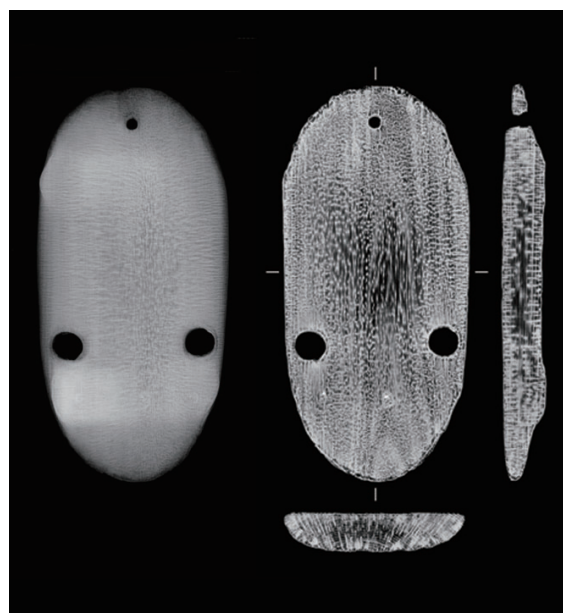


図10 No18・X線透過画像（左）とX線CT画像

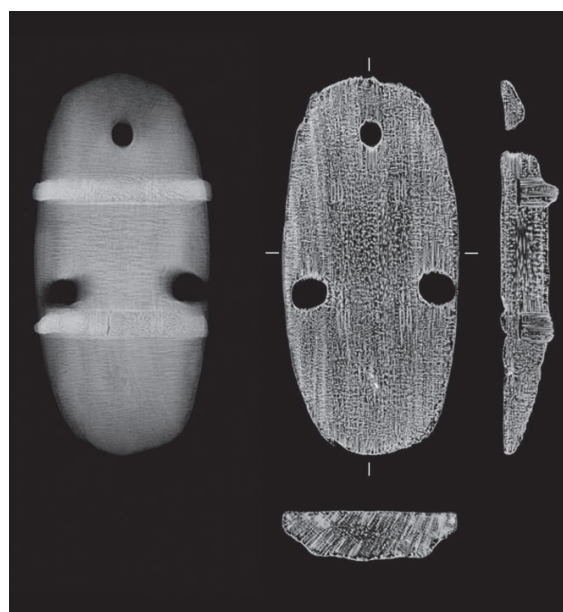


図11 No19・X線透過画像（左）とX線CT画像

測できる。

下駄の前方・後方（図14・15①・②）では放射方向の他、接線方向にも結晶が集積する。横断面のCT画像による結晶は、放射方向に顕著であり、分布密度は前方・後方で高く、中央付近ではやや低い傾向にある。

図16はNo18、図17はNo19の放射断面のCT画像である。No18・19共に、横断面と同様、放射断面においても結晶は放射方向に広がり分布する。放射方向の結晶の傾きは、何れの断面においてもほぼ一定であり、繊維方向（伸長方向）に対して直交している。放射断面のCT画像からも横断面と同様、放射組織に沿う様に結晶が集積したことが推測できる。

また、図12・13と同様、放射断面のCT画像でも、前壺・後壺付近では結晶が放射方向より繊維方向を優勢に集積する。No18の後壺（図16③）、No19の後壺（図17①・③）では繊維方向への結晶の集積が特に顕著である。壺穴は木口面が穴の表面（遺物外面）となる木取りであり、結晶は下駄の表面付近では放射方向に集積し、中央部分では繊維方向に集積する傾向となる。同様の木取りとなる下駄の上下端部（爪先・踵）付近では、結晶の集積は繊維方向より放射方向が優勢である。下駄内部における結晶の集積方向は、木取りに加え遺物の部位や厚みに関連している可能性が考えられる。

この他、放射断面の結晶は、多少の疎密はあるものの、何れも下駄の中心付近まで分布している。トレハロースが下駄の内部にまで十分に含浸し、結晶となっていることが分かる。放射断面のCT画像による結晶は、横断面と同様、放射方向に顕著であり、分布密度は前方・後方で高く、中央付近ではやや低い傾向にある。

CT撮影では、処理後、下駄内部に亀裂や歪み等の形状変化がほとんど無いこと、トレハロース結晶の集積方向や分布について傾向の一端を明らかにした。

No18・No19共に下駄内部の結晶は、放射組織に沿う様に集積する。放射組織の機能は、放射方向への水分通導や栄養物質の貯蔵である。木材組織の機能に従い、結晶が集積したことが推測できる。

また、下駄の表面付近の極度に劣化した箇所では、他の場所と比べて結晶が不規則に乱れている（図18）。結晶の集積方向や分布は、木質遺物の木取りや木材組織、更には劣化状態に関連する可能性が推測できる。

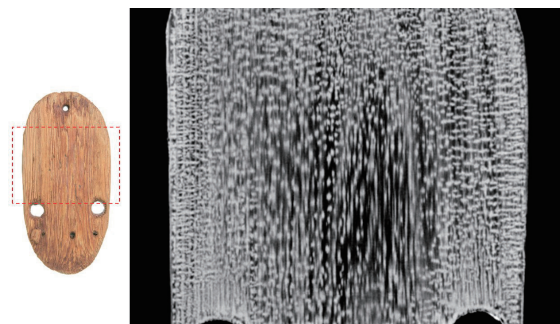


図12 No.18・X線 CT画像（拡大）



図13 No.19・X線 CT画像（拡大）

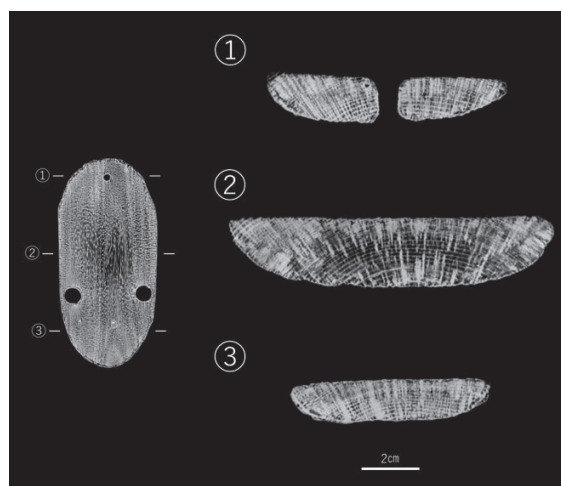


図14 No.18・横断面のX線 CT画像

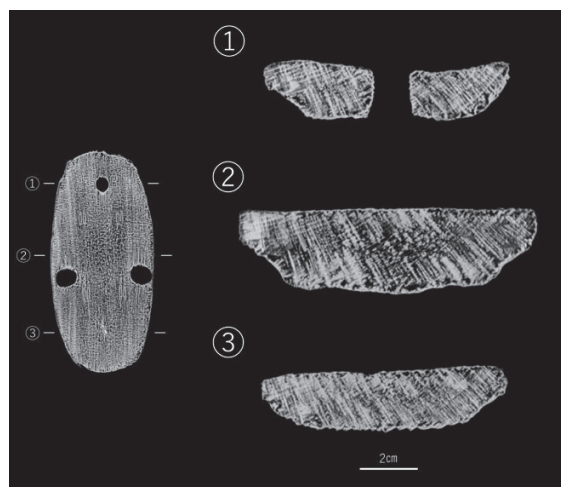


図15 No.19・横断面のX線 CT画像

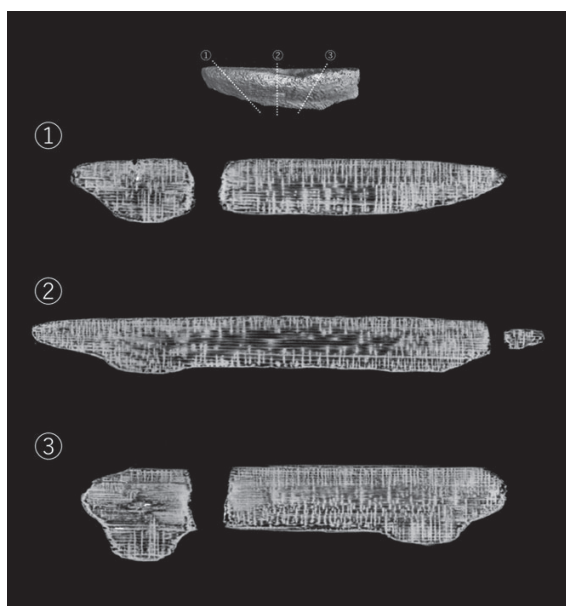


図16 No.18・放射断面のX線 CT画像

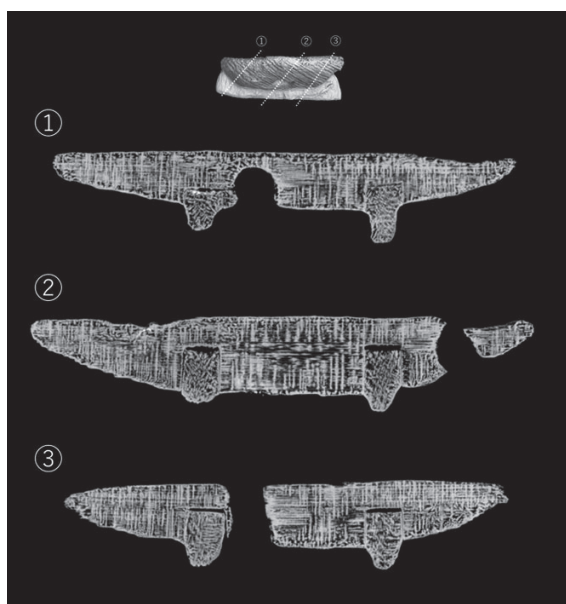


図17 No.19・放射断面のX線 CT画像右：No.30

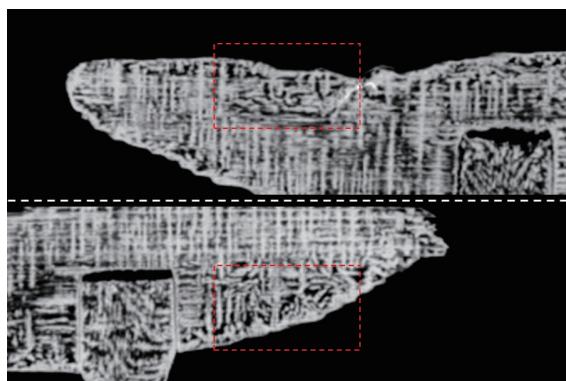


図18 No.19・放射断面のX線 CT画像（拡大）

6. おわりに

トレハロース法による下駄の保存処理では、処理後の遺物に形状の変化はほとんど無く、良好な状態を保っていることを明らかにした。

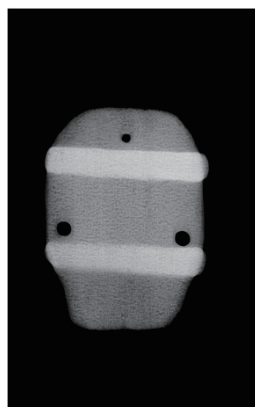
本稿の結果は、出土後30年以上が経過し極端に劣化した木質遺物においてトレハロース法の有効性を実証したものである。トレハロース法における漠然とした懸念に対する回答として効果的な事例といえるだろう。

保存処理を行った下駄は、2025年3月現在で処理後約7年半が経過した。今後も経年変化に係る継続的な調査を行い、10年後、15年後、20年後の形状安定性について検証、証明していく必要がある。

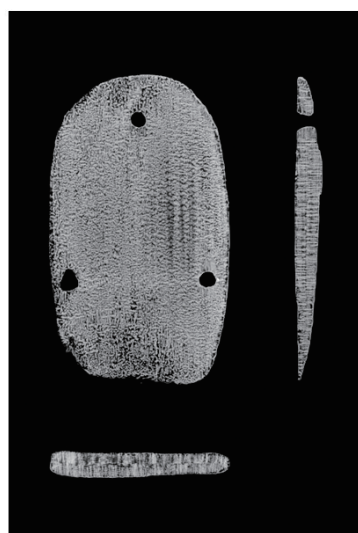
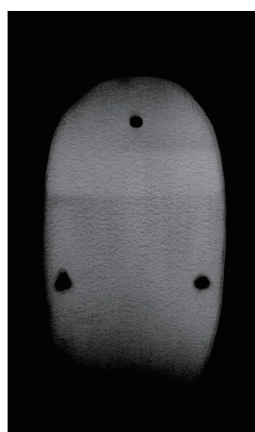
CT撮影では下駄内部のトレハロース結晶について、特徴的な傾向として、結晶は放射方向を優勢に集積することを明らかにした。本稿で用いたCTは、結晶の状態や分布の詳細解析には十分な分解能を有しているとは言い難いが、凡その傾向を把握するに至った。下駄内部の結晶は、放射組織に沿う様に分布し、木材の組織構造や木取りが結晶の集積方向や分布に大きく関連していることが推測できる。また、劣化の著しい箇所では結晶の集積方向や分布に乱れが生じていることから、遺物内部における結晶の集積に、木材の劣化状態が影響を与えている可能性が推測できる。

トレハロース法を用いた木質遺物の内部状態や結晶状態の可視化にはCTは極めて有効である。今後、含浸を終えた直後の遺物を時間経過と共にCT撮影を行い、結晶化の工程を解明するなどトレハロース法研究における更なる展開が期待できる。

No.4・連歯下駄



No.6・連歯下駄



No.18・連歯下駄

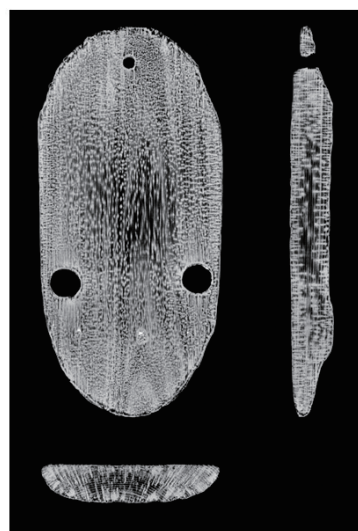
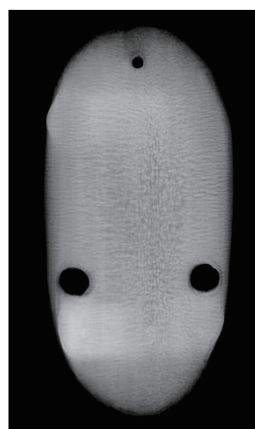


図19 連歯下駄の調査結果

No19・差歯下駄

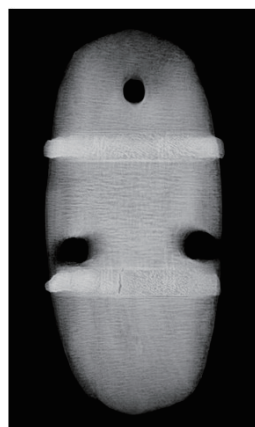


処理前



処理後

5cm



X線透過画像



X線CT画像

No22・差歯下駄

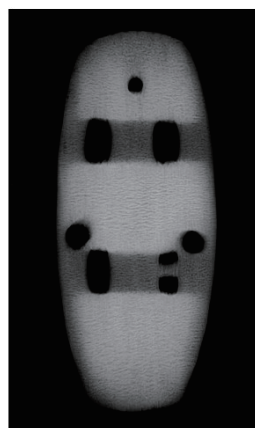


処理前

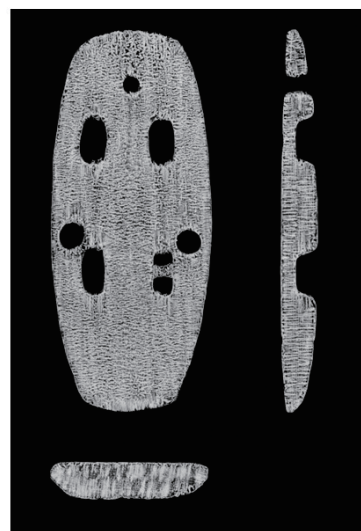


処理後

5cm



X線透過画像



X線CT画像

No23・差歯下駄



処理前



処理後

5cm



X線透過画像



X線CT画像

図20 差歯下駄の調査結果

表3 観世音寺出土下駄・保存処理 対象一覧

No.	種類	時期	樹種	出土遺構・層位	出土年月日	掲載番号
1	連歯下駄	中世	スギ	SD3200	1987.11.6	Fig.206 - 1
2	連歯下駄	中世	針葉樹	SD3200	1987.11.6	Fig.206 - 2
3	連歯下駄	古代	広葉樹	S-870 下層	1989.6.26	Fig.206 - 3
4	連歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	広葉樹	SD3500	1989.7.14	Fig.206 - 4
5	連歯下駄	古代	針葉樹	黒色土	1988.1.14	Fig.206 - 5
6	連歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	スギ	SD3500	1989.7.21	Fig.206 - 6
7	連歯下駄	中世	針葉樹	SD3200	1987.10.27	Fig.206 - 7
8	連歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	不明	SD3500	1989.7.24	Fig.206 - 9
9	連歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	マツ属複雑管束亜属	SD3500	1989.7.24	Fig.206 - 10
10	連歯下駄	古代	針葉樹	SD1230	1989.5.12	Fig.206 - 11
11	連歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	針葉樹	SE870	1975.11.17	Fig.206 - 12
12	連歯下駄	古代	タブノキ属	S-602	1988.3.30	Fig.206 - 13
13	連歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	広葉樹	SD3500	1989.7.4	Fig.206 - 14
14	連歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	広葉樹	SK3507	1989.5.10	Fig.206 - 15
15	連歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	ケヤキ	SD3500	1989.7.24	Fig.206 - 16
16	連歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	広葉樹	SD3500	1989.6.29	Fig.206 - 17
17	連歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	ヒノキ	SD3500	1989.7.21	Fig.206 - 18
18	連歯下駄	中世	針葉樹	SD3840	1992.6.12	Fig.206 - 19
19	差歯下駄	14 世紀代	針葉樹	SD3200	-	Fig.207 - 21
20	差歯下駄	中世	ホオノキ	黒色砂質土	1987.10.2	Fig.207 - 24
21	差歯下駄	14 世紀代	針葉樹	SD3200	1987.11.9	Fig.207 - 26
22	差歯下駄	14 世紀代	スギ	SD3200	1987.11.10	Fig.207 - 28
23	差歯下駄	14 世紀代	ヒノキ	SD3200	1987.11.9	Fig.207 - 29
24	差歯下駄	中世	ヒノキ	SD3840	-	Fig.207 - 30
25	差歯下駄	中世	スギ	SD3840	-	Fig.207 - 31
26	差歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	ヒノキ	SD3500	1989.7.15	Fig.207 - 33
27	差歯下駄	11 世紀後半～12 世紀前半	スギ	SK3507	1989.5.19	Fig.207 - 34
28	差歯下駄	14 世紀代	ヒノキ	SD3200	1987.11.7	Fig.207 - 35
29	差歯下駄	近世	オニグルミ	SG4190	-	Fig.208 - 36
30	差歯下駄	近世	広葉樹	SG4190	-	Fig.208 - 37

【註】

- 1) 今津節生氏がトレハロースを含浸主剤として用いる検討を始めたのは1993年である。また、糖類を用いた文化財保存の研究は1990年代前半から始まっており既に30年以上が経過している。
- 2) 報告書掲載の下駄にはいわゆる雪駄の様な形状のものが2点含まれている。これらについては連歯・差歯の分類には含まず除外した。
- 3) X線透過撮影は2024年11月、福岡市埋蔵文化財センターのX線透過撮影装置を使用して行った。
- 4) X線CT撮影は2025年12月、九州歴史資料館のX線CTスキャナY.CT Precision S -KYUS4-を使用して行った。

【参考文献】

- 伊藤幸司 2020『トレハロースを用いた文化財保存の研究と実践-糖類含浸処理法開発の経緯と展望-』株式会社三恵社
- 伊藤幸司 2021「トレハロース法による海底遺跡出土大型木製品の保存処理について」『日本文化財科学会第38回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会 pp.202-203
- 伊藤幸司 2024「トレハロースを用いた文化財保存」『文化財科学』日本文化財科学会学会誌 vol.88 日本文化財科学会 pp.65-68
- 岡寺良 2007『観世音寺-遺物編2-』九州歴史資料館 pp.393-397
- 片岡太郎 2022-2024「縄文時代の漆櫛製作の技術伝播からみた文化の受容と拡散」科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
- 木村充保 2006「遺跡出土下駄の全国集成に基づく編年および地域性の抽出に関する基礎的研究」『橿原考古学研究所紀要 考古学論攷』第29冊 奈良県立橿原考古学研究所 pp.4-9
- 小林啓 2013「大宰府史跡出土木製品の用材調査-観世音寺出土木製品の用材傾向-」『研究論集』九州歴史資料館研究論集38 九州歴史資料館 pp.109-116
- 小林啓 2013「X線CTスキャナを活用した出土木製品の構造解析に係る基礎研究」『日本文化財科学会第30回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会 pp.312-313
- 小林啓 2020「トレハロースの非晶質化を用いた木簡削り屑の保存処理」『日本文化財科学会第37回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会

pp.234-235

姫井佐恵・川口恵子・高倉幸子・横山せつ子
2014「トレハロースの基本物性」『TREHA BOOK トレハを知り、糖を知る-洋菓子編-』株式会社林原 pp.1

【謝辞】

本稿におけるX線透過撮影は福岡市埋蔵文化財センターのX線透過撮影装置により行った。機器利用に際し使用許可をいただいた福岡市埋蔵文化財センター、現地対応をいただいた上角智希氏に御礼申し上げます。