

博士論文要旨（令和元年度）

令和元年度に提出された博士論文は、課程修了によるもの1編と、論文提出によるもの2編、計3編である。

各論文の要旨を次に掲載する。

《博士論文要旨》

(論文博士)

トレハロース含浸処理による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－

伊 藤 幸 司*

本稿はトレハロース含浸処理法（以下、「トレハロース法」）の有効性を明らかにするために、まず、先行する糖アルコール法（以下、「ラクチトール法」）の概要を記し、両者の方法・手法、研究成果について述べた。

トレハロース法は、結晶化によって対象資料の固化を図る基本的な方法から、低濃度含浸の可能性、非晶質状態の利用などへの展開と、自然エネルギーを利用した太陽熱集熱含浸処理システム、廃液の再生利用、滴下による含浸、そして、現在進行している鉄への腐食抑止効果など、主剤であるトレハロースの特性を活かした研究を行ない、実用化を図っている。

第1章 序論

気候風土の異なる地域で出土する多様な水浸有機遺物の状態・条件を概観し、取り巻く保存処理の現状と課題に触れた。

糖類含浸処理法の開発・実用化への導入として、世界的に最も研究され実施されてきたポリエチレングリコール法（以下、「PEG法」）からラクチトール法へ、そしてトレハロース法の研究に至った経緯の概略を記した。

第2章 ラクチトール法

世界で最も研究され実施されてきたPEG法を概観し、解消すべき問題点を明らかにした。1990年頃、大阪市文化財協会が直面していた「PEG法が必要とする長期にわたる処理期間」という問題を解決すべく糖類含浸法を選択した理由を記した。

主剤であるラクチトールの結晶性や吸湿性などの基本的な性状と、保存処理方法や問題点について述べた。特に多くの問題を起こした三水和物結晶の生成について触れ、問題を解決し保存処理方法としての精度を高めるために行なった様々な実験から例を挙げて概説した。

第3章 トレハロース法の確立

今津節氏氏が糖類含浸法の主剤として最初に検討したのはトレハロースであった。しかし、当時のトレハロースは天然に存在するものを抽出するしかなく、1kg数万円するような希少な糖であった。よって文化財への使用は見送られ、代わってラクチトールを使用することになった。1995年頃、トレハロースを人工的に生産することに成功し、価格は100分の1程度まで下がった。

令和元年度 *大阪市文化財協会調査課保存科学室長

2008年頃、ラクチトールの供給が不安定になったことから、方法は踏襲して主剤をトレハロースへ転換することを試みた。

トレハロースはグルコースが2個結合した非還元性の糖質で二糖類に属し、分子量は342である。二水和物の結晶をつくり、融点97℃、95%RH 以下では吸湿せず、耐酸・耐熱性に優れている。このような特性が保存科学分野での利用を有効にしている。

トレハロース法で用いているのは「トレハ」であり、双方の違いを理解する必要がある。また、糖の濃度測定にはBrix計（屈折率計）を用いてきた。屈折率計は短時間のうちに測定結果が得られることから含浸処理の濃度管理に使用してきた。屈折率計はトレハロース水溶液中の固形分の屈折率を、同じ屈折率の蔗糖の濃度に当てはめた値を示している。含有しているトレハロースの濃度を知るためには換算する必要がある。

トレハロース水溶液から得られる固化物の状態は結晶と非晶質（Amorphous）の2つに大別できる。更に結晶は二水和物結晶と無水物結晶に、非晶質はガラスとラバーに分けられる。これらの固化物が水溶液から得られる条件とそれぞれの遷移条件について、水溶液から二水和物結晶に向かうフロー図を用いて概説した。

ラクチトールとの比較から、その優位性を概観した。トレハロースの二水和物結晶とラクチトールの一水和物結晶の臨界比湿度から、保存処理後の展示環境、保管環境の許容を比較した。また、結晶化のスピード、安定する結晶の生成など保存処理作業における優位性を記した。

初期に行なった二つの実験から対象資料の変形を抑制する効果を検討し、寸法安定性を左右する含浸された固形分の量に着目した。他分野では多用されているトレハロースの結晶・ガラスの特性が、文化財分野での使用においても有効であることが判った。また、この特性を十分に引き出すためには風乾することが重要である。

4. トレハロース法～基礎編

トレハロース法は従来の方法の概念とは異なる。

トレハロース法を実施するに際して、「水溶液-飽和-過飽和」というトレハロース水溶液の遷移を理解し、「結晶」・「非晶質」・「固形分」・「固化物」・「固化」という状態を明確に捉え、区別して関連づけることが必要である。

トレハロース水溶液からトレハロースの固化を図るための方法は、「加熱法」・「冷却法」・「常温法」の3つがある。これらはいずれもトレハロース水溶液を過飽和にするための基本的な方法である。そして、いずれも場合も含浸後に行なう風乾が重要である。前述の5つのキーワードを踏まえて、この3つの方法から選択、もしくは組み合わせて保存処理を実施することで、広範におよぶ対象資料の多様な素材、条件に対応することができる。

5. トレハロース法～応用編

トレハロースの性状と基礎的な保存処理手法を十分に理解し、様々な工夫をすることによって広範囲の条件に対応することができる。

対象資料の条件によっては加熱できる温度が限られる場合があり、これによって含浸できるト

レハ水溶液の最終濃度も制約を受ける。55℃程度までしか加熱できない漆製品は、2段階の含浸を行なうことで高濃度含浸の効果に近づけることができる。

トレハロースガラスはガラス転移温度が高いので、他の二糖類と比べて安定している。しかし、主な使用目的は食品なので短時間での消費が前提となっており、長期間の変化について調べられていなかった。トレハロースガラスは吸湿によってトレハロースラバーとなり、最終的には二水和物結晶となって安定する。この遷移自体に問題はないが、文化財へ適用する場合、白色化することが懸念された。トレハロースガラスから二水和物結晶に至る遷移の条件やプロセスを研究したところ、トレハロースガラスが特徴的な吸湿挙動を示すことが明らかとなり、望ましい保管環境も分かった。トレハロースガラスを利用する手法として3つの事例を挙げた。

6. トレハロース法の展開

近年、水中考古学という分野が確立して海底での調査が進むにつれて沈船が発見されるケースが多くなってきた。沈船を引き揚げて保存処理した例としてバーサ号やメリーローズ号などが知られている。その保存処理は長期に及び、経費は非常に高額で、処理後の状態も十分なものではない。トレハロースを用いることでこれらの問題を緩和、解決すべく次のような研究を行なっている。

電気エネルギーの使用を可能な限り抑えるために太陽熱集熱含浸処理装置を設計・製作し、長崎県松浦市鷹島埋蔵文化財センターに設置して試験稼働している。併せて、高額な大型含浸処理槽の製作を回避すべく、滴下による含浸手法の検討を進めている。また、トレハロースが耐酸性・耐熱性に優れていることに着目して、黒色化した使用済みトレハロース水溶液を中空糸膜フィルターで液分離して、再利用可能な溶液を抽出することに成功した。

糖類を含浸するラクチール法・トレハロース法で保存処理した木鉄複合材は、処理後に問題は生じていない。事由はいくつも考えられ、それらの相互作用によって効果が得られていると思われる。筆者は糖類が非電解質であることに着目し実験を行なった。基礎的な実験ではあるが、鉄の腐食を抑制する効果を持つ可能性が高いことが判った。

7. 総括

ラクチール法の有効性は実資料への保存処理で確認されていたが、その科学的な根拠が不十分であるとされ、また、三水和物によるトラブルへの不安感から評価は低かった。しかし、トレハロースは学際的な研究が蓄積されており、他分野での先行する科学研究から多くの知見を得ることができている。我々が行なっている文化財保存に特化した研究においても、その有効性を裏付ける科学的なデータが蓄積されてきている。トレハロース法を取り巻く現在の動向などから、今後の期待について述べた。

《博士論文要旨》

(論文博士)

埋葬法の人類史

河 野 一 隆*

第Ⅰ部要旨 死という究極の問題と向き合うために、人類はさまざまな埋葬法を生み出した。その変遷過程の歴史的意義を見極めるために、本書は比較研究のための歴史認識論から説き起こした。歴史を認識する主体は個人が設定する現在にあり、進化論と伝播論を整理しシュベングレー、トインビー、フランクフォート、ウォーラーステインによる世界の体系的な把握を概観して課題を総括し、理論考古学の動向に触れ埋葬法の変遷過程を比較研究するための方法論を整理した。

第Ⅱ部要旨 そのための歴史的生成への適用として、V.G.チャイルドが指摘した2つの人類史上の飛躍である新石器革命と都市革命について独自に検討し、文化の進化論的ではなく構造論的な把握を試みた。食料生産革命とは生産様式ではなく生活様式の変革であり、埋葬法と都市の類型把握から時間観念の変質を見出し、神聖王と神聖王権とを歴史的に位置づけた。その経済基盤として、威信財の生産と消費から生じる交換の不均衡性に基づくシステムを威信財経済と名付け、その動態を考究した。さらに王墓に付属する犠牲・殉葬を埋葬法変遷過程の中で把握し、異次元交換を支える王の象徴的身体について論じた。また国家形成要因に挙げられる戦争の歴史認識について、王権形成との関連性を機能主義的に分析した。

第Ⅲ部要旨 埋葬法の歴史理論を確立するためにエジプトと中国の埋葬法について比較考古学の方法論にもとづく整理を行った。まず第Ⅰ・Ⅱ部の論点を整理し、従来の国家形成論との差別化を試みた。そして神聖王権と威信財経済が生み出した文化構造論として8つの作業概念にまとめた。次いで、エジプトと中国の埋葬法を取り上げた。変遷過程に特定個人墓に前代との量・質的な飛躍が認められ複雑化の昂進過程が始まる時、埋葬施設と記念物、葬祭殿や廟が複合体化し頂点に達した時、王権の公共性が失われ埋葬法が個人的な営為と化し急速な解体を迎える時期を3つの画期とした、4つの世代関係を抽出した。

第Ⅳ部要旨 これを他の19地域でも比較検討した比較作業の結果、第4世代までたどる地域もあれば第1世代で中絶する地域もあった。さらに変遷過程の中に外来要素を取り込むか否かで発展型と持続型を区分し、持続型相互が衝突して他者を変質させる衝突型を加えた3類型を抽出した。さらに生業、社会や集落の統合形態、階層規制に着目し歴史的展開との関連性について論究した。埋葬法の変遷過程と書き留められた歴史の「過去を創出する」といった類似性を指摘し、埋葬法を重視する社会が枢軸時代に先行する大きく観念が飛躍する時代と位置付けた。

第Ⅴ部要旨 エジプトと中国を核とする装飾墓は、モチーフや描き方の差に基づき前者がヌビアとエトルリア・トラキア、後者が契丹(遼)と高句麗という周辺地域に拡散し、伝統と見なせ令和元年度 *東京国立博物館 上席研究員

る。またメソアメリカでも神話の図柄を採ったモチーフや文字を主要モチーフとしたものも認められる。さらに幾何学文を主とするものが東-東南アジアや地中海域に点在し、海洋交流がうかがえる。一方、石刻文様は先史ヨーロッパに多く、装飾棺ではクラゾメナイ型陶棺、シドン型石棺、リキュア型石棺など地中海東部に中心がある。このような分布を旧石器時代の洞窟壁画と比較すると纏まりが見られ、王墓と同様に人類史の中で位置づけられることを見出した。

第Ⅵ部要旨 埋葬された王の本質、王墓の構造的特徴と成立要因、儀礼の機能について述べた。また中心化と非中心化、長距離交易、神聖王権と威信財経済、戦争と英雄叙事詩など、国家形成論で論究されてきた諸要素との整合をはかり、歴史認識の理論的位置を確定した。

第Ⅶ部要旨 王と社会との関係性を全体給付の交換構造の中に位置づけ、その帰結として権力主体の生成過程を解釈する歴史認識が古墳時代の王権論の眼目と位置付けた。東アジア世界の中で国内外の互酬制的関係を日本列島の国家形成に取り込み、国民国家論を止揚した新視角を提唱した。そのために中期古墳の発見と規制論を見直し古墳時代の歴史認識における論点を整理した。

第Ⅷ部要旨 水晶製玉作、石製模造品、横穴式石室、古墳被葬者論から考古資料の分析と総合とを実践した。水晶製玉作では、技術革新と生産組織の分業の高度化について論じ、初期威信財生産の具体像に論究した。石製模造品は中央の権力主体による儀礼管理を通じて2度の古墳文化の伝播が中心-周辺関係の形成に寄与したと述べた。横穴式石室では伝統的に拘束力の強い埋葬施設が東アジアで共有される背景に、中国の葬送観念を地域ごとに適応させる刺激伝播の実態を論じた。古墳被葬者論は後期・終末期古墳を取り上げ、古墳築造が私的営為となった後の被葬者像について素描した。

第Ⅸ部要旨 日本列島の王権論を初期・盛期・末期に分けて展開し、領域論についても言及した。初期王権では初期威信財生産が根付き、威信財交換によって中心-周辺関係が形成される弥生時代中期末～古墳時代前期後半である。さまざまな威信財が階層的に保有され、顕彰され消費されるための場として、厚葬墓が登場する。倭王権は中国・朝鮮半島との結びつきを強める中で、複合的な儀礼を管理し伝播させることで地域支配を伸長させる。盛期王権では在地首長による集団重積構造に立つ世俗王統とそれに外在化した神聖王統とが並立し、相補的に展開した古墳時代前期末～中期末である。渡来人による新技術の導入と複合は生産手段に分かち難く結び付いていた生産組織を分離させ、畿内には生産拠点を集積し、地方にも拡散させた。これは威信財の複合で成り立っていた儀礼管理の構造を弛緩させ、畿内系横穴式石室の波及がそれに一層の拍車をかけた。末期王権は古墳築造がもはや公権力生成の機能を喪失し、私的営為と化して中央による規制の対象となった古墳時代後期初頭～飛鳥時代初頭である。朝鮮半島動乱に共鳴した東アジアの流動化に対応するための国際化を余儀なくされ、王権は初期国家の体制を急速に整えた。また、領域論では日本列島を17地域に分けて文化の展開を粗描し、境界の構造について論究した。

第Ⅹ部要旨 総括として古墳文化を国民国家論を越えた時間・空間軸で相対的に位置づけるために、「極東文明」という枠組みを提唱した。環境経済論の立場に立って生態世界の広がりにも注意し、龍山大拡散と松菊里大拡散という2つの大画期が極東地域の歴史的生成を左右することを指摘した。極東地域の神聖王権と威信財経済もこのような長期的な文脈から生成される。しかし、共同所有であった土地が労働の対価とみなされるようになると、古墳文化は急速に衰退し、

成熟した古代国家に向けての体制整備が加速する。

《博士論文要旨》

(課程博士)

古代アジアにおける彩色顔料の変遷 －モンゴル出土顔料の科学的研究－

柳 成 煜

本論文では、古代の東アジアで使用された顔料を蛍光X線分析、X線回折分析、電子顕微鏡による材質分析と形状観察などの自然科学的分析によって特定した。さらに歴史的な観点から顔料の変遷過程を考察した。本研究の中心となる地域はモンゴル高原である。モンゴル地域の古代顔料の先行研究として、東アジアの各国で行われた顔料の自然科学的研究を総合して、古代東アジアの顔料史をまとめた。

彩色顔料は建築物や工芸品を着色する素材として使用されてきた。顔料についての自然科学的調査は、近年東アジアの各国でも活発に行われており、日本、韓国および中国では数多くの事例が報告されている。しかし、モンゴル地域の顔料についての科学的調査は非常に少ない状況である。考古学的調査が行われる遺跡はモンゴル国の歴史において匈奴時代など一部の時代に集中しているため、通史的な観点からの調査が難しい。また、発掘調査が行われた遺跡から彩色遺物および壁画などの顔料を使用した例が発見されることはさらに少ない。したがって、本論文で私が調査した遺跡と時代はモンゴルの歴史において極めて一部に過ぎず、今後の持続的な調査が必要である。

モンゴルの顔料調査に先立ち、東アジア（日本、韓国、中国）、シルクロード、モンゴルの古代顔料に関する先行研究を以下のようにまとめた。日本の古代顔料については、九州の装飾古墳、奈良の高松塚古墳、法隆寺金堂壁画、正倉院宝物の4項に分けて、顔料の先行研究をまとめた。韓国の古代顔料については、三国時代（高句麗、百濟、新羅、伽耶）、高麗時代、朝鮮時代の3項に分けて先行研究をまとめた。中国の古代顔料については、敦煌莫高窟および仏教寺院の壁画に使われた顔料の調査報告をまとめた。

シルクロードの古代顔料については、パーミヤン、アフラシヤブ、ファイアズ・テパなどのシルクロード沿いの遺跡から見つかった壁画および遺物の破片の調査報告をまとめた。最後にモンゴルの古代顔料についての先行研究は、中国内モンゴル自治区に位置する遺跡からの出土した壁画の報告を記述した。

本稿で顔料の科学的調査を実施したモンゴル地域の遺跡は、紀元前2世紀の匈奴時代から16世紀までさまざまな時代にかけて分布している。現在まで調査した時代と遺跡は、紀元前2世紀から紀元後2世紀頃の匈奴時代の遺跡（Balgasiin tal, Noyon Ula, Chihertiin Zoo）、紀元後2～3世紀の鮮卑時代の遺跡（Airgiin Gozgor）、紀元後4～6世紀の柔然時代の遺跡（Urtiin Ulaan Unit）、紀元後6～7世紀の突厥時代の遺跡（Shoroon bumbagar①、Shoroon bumbagar②）、

令和元年度 *文学研究科文化財史料学専攻後期課程

紀元後8～10世紀のウイグル帝国時代の遺跡 (Durvuljin, Khar Balgas)、紀元後13世紀のモンゴル帝国時代の遺跡 (Karakorum, Tsahiurt Ovoo)、モンゴル帝国崩壊後の16世紀の遺跡 (Uvgunhiid) である。

この中で彩色顔料を使用した遺物が最も多く出土された遺跡は、突厥時代のShoroon bumbagar古墳遺跡である。この古墳はモンゴル地域において最古の鉛系の人工顔料である炭酸鉛が確認された遺跡である。その他に、現在までの調査において注目を集める遺跡と顔料は以下の通りである。まず、鮮卑時代のAirgiin Gozgor遺跡では最古の岩緑青と岩群青が確認された。前代の匈奴時代の遺跡からも岩群青と岩緑青は検出されたが、遺物を彩色したもので発見されなかったため、顔料としての使用例はAirgiin Gozgor遺跡が最も古い。また、ウイグル時代のDurvuljin遺跡からは一般的に使用される銅系の緑色顔料である岩緑青ではなく、亜鉛を多く含むローザサイトが推定された。同時代のKhar Balgas遺跡からはラピスラズリと推定される顔料が発見された。10世紀の契丹時代からは、鉛系の顔料が炭酸鉛 (白色) のみならず、鉛丹 (赤色) も使われ始めた。なお、モンゴル地域の遺跡から発見された鉛丹は独特な粒子形状を持ち、製法について追加調査が必要である。9世紀頃のウイグル帝国から13世紀のモンゴル帝国時代を前後にモンゴル地域では鉛丹、緑塩銅鉱、ラピスラズリ、ローザサイトなど前代まで確認されなかった顔料が現れた。これは中央アジアや中国などの広域にわたって勢力を広げた当時のモンゴルの影響圏が推定できる。

紀元前2世紀頃の遺跡から調査したモンゴル地域の顔料は16世紀に至るまで多様な種類が確認または推定された。これらの顔料は、東アジアの北部に位置したモンゴルの遊牧民族の特性の上、他地域の文化が持続的に流入された結果を反映したと推定される。モンゴル地域において時代別に現れた顔料、特に人工顔料は東アジアの他国に比べてやや遅い傾向もある。例えば中国では、秦・漢時代から使用された鉛系顔料が本研究においてモンゴル地域では7世紀頃の突厥時代に初めて確認された。しかし、ローザサイトのように他国では珍しい顔料が使用された例も確認された。以上の調査結果から、古代の東アジアの他国とモンゴル地域の顔料史の違いが一部確認することができた。

本研究を進める過程で以下のような注意点が考えられた。現在、顔料の同定のためには非破壊的な方法が主に使われている。特に制限された状況でXRFのみで同定することが多い。しかし、朱などの一部の顔料を除いてはXRFだけで種類を同定することには無理がある。例えば、高句麗古墳壁画の場合、制限された分析環境により携帯型XRFのみ用いられて分析が実施された。その結果、検出されたPbから鉛白と推定されている。しかし、Pbを含む白色顔料は本研究で調査した突厥時代の炭酸鉛など他の種類も存在するため、必ず追加分析が必要である。したがって、本稿ではXRFによる元素分析とXRDによる結晶質化合物の確認、最後にSEMによる顔料粒子の形状確認を通じて最終同定を行った。

本研究は、モンゴル国の古代顔料についての初の本格的な研究である。しかし、試料の採集には限界があり、今回調査した結果がモンゴルの顔料史を代表するとは言い難い。今後、長期課題として研究を進め、より信頼性の高いデータを蓄積する予定である。これによって、本研究が顔料の移動経路から見る東西交流の究明ができることを期待する。