

平成 30 年 9 月 5 日現在

機関番号：84413

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02952

研究課題名（和文）トレハロース法による海底遺跡出土文化財の保存処理研究-自然エネルギー利用に向けて

研究課題名（英文）Conservation treatment study of cultural properties excavated from the undersea ruins by the trehalose method - toward the use of natural energy

研究代表者

伊藤 幸司 (Ito, Kouji)

公益財団法人大阪市博物館協会（大阪文化財研究所、大阪歴史博物館、大阪市立美術館、・大阪文化財研究所・室長

研究者番号：50344354

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）： これまでに判明しているトレハロース法の有効性を最大限に生かし、海底遺跡出土文化財の保存処理方法を確立する為、以下に主眼をおいた研究・開発を行った。まず、海底遺跡出土文化財への適応について検討し、鉄部錆化の抑止と広葉樹材の寸法安定性の実験及び経過観察を行った。さらに、省エネルギー含浸処理システムの開発として、太陽熱集熱式含浸処理装置（集熱・含浸・制御の各装置）と廃液再生装置を試作、実際に稼動し実用機の製作を念頭に置いた基礎的データを蓄積した。

以上の研究成果から、自然エネルギーの利用とトレハロース法の融合により、海底遺跡出土文化財の保存処理を効果的に推し進める基盤を確立することができた。

研究成果の概要（英文）： To establish a method of conservation treatment of excavated cultural properties of the undersea remains, we conducted research and development focusing on the following. Firstly, we examined adaptation to the cultural properties excavated at the undersea, and examined the inhibition of the rusting of the iron part and the experiment of the dimensional stability of the hardwood material and follow-up observation. Furthermore, as a development of an energy-saving impregnation treatment system, prototype of a solar heat collection type impregnation treatment device and a waste liquid regenerating device were prototyped, basic operation with actual production in mind for production of a practical machine data was accumulated.

It was possible to establish a foundation on which effective of conservation treatment of excavated cultural properties of the undersea ruins can be realized by using natural energy and trehalose method.

研究分野：文化財科学

キーワード：トレハロース 海底遺跡出土文化財 自然エネルギー 太陽熱集熱式含浸処理装置 廃液再生

1. 研究開始当初の背景

研究代表者等は発掘調査によって出土した木製文化財(以下、「木器」)の保存処理方法としてラクチトールを主剤とする「糖アルコール含浸処理法」(以下、「糖アルコール法」)を確立し、更にこれを発展的に転換した「トレハロース含浸処理法」(以下、「トレハロース法」)の開発・実用化など、計20年以上に渡って糖類を用いた保存処理方法の研究を推し進めてきた。含浸する主剤としてのトレハロースの適正を研究する過程で、その性能がラクチトールを上回ることが明らかとなった。

通常的环境下では安定した結晶(二含水結晶)しか生成しない

結晶性が非常に高い

結晶後の吸湿性が極めて低い

特にこの3つが大きな長所といえる。

これらの特性により、適用範囲の拡大という点においては「金属との複合材」からなる資料の保存処理で成果を挙げている。また、長期間の加熱含浸処理から脱却して「低濃度・短時間含浸」の可能性を追求、含浸処理工程での加熱期間や総保存処理期間の飛躍的な短縮を図る為の研究を行った(基盤研究(C)平成24年度~平成26年度、伊藤幸司、「トレハロース含浸処理法の開発と実用化-より環境に優しく経済的な方法へ-」)。この成果は、省エネルギー・省コストに直結し、低加熱低濃度含浸、ひいては常温で含浸処理を終えられる可能性が出てきた。

2. 研究の目的

このような研究を進展させることが、これまで懸案となってきた「海底遺跡出土文化財の保存処理方法」と「半乾燥状態で出土する有機遺物の保存処理方法」につながるものと考えた。

本研究では、これまでの研究成果を活用し

て前述の2つの事案に着手し、前者は鷹島海底遺跡出土品を、後者はモンゴルにおける出土品をモデルケースとして、現状の把握と対処方法の検討を行なった。

前記 ~ の特性に加え、トレハロースは他の二糖類に比べ非結晶状態での安定性が高く、食品業界では「垂れにくい糖蜜」として多用されている。数日で消費される食品への使用と、半永久的な安定性を理想とする文化財への使用を同列にはできないが、その利用によってより広範で精度の高い文化財保存に結びつく可能性がある。

よってトレハロース溶液から結晶化・非結晶化の条件を見直し、非結晶であるガラスとラバーの生成条件を検討(図1)その利用を試みたところ良好な結果が得られた。

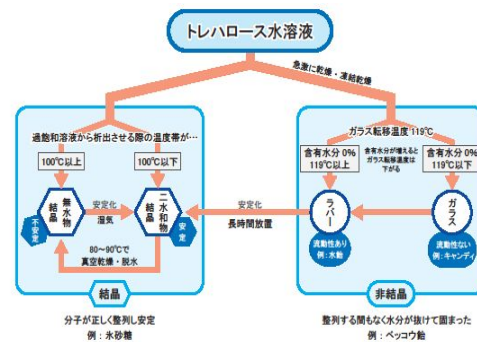


図1 トレハロース水溶液の固化条件

当報告では、学会発表を中心として、これまでに行った研究の成果を報告する。

3. 研究の方法

(1)海底遺跡出土文化財の保存処理

トレハロース法の有効性が周知のものとなり、取り入れる機関が増えていく中で、可及的速やかにトレハロース法の適応性の確認とその実施が求められているものに海底遺跡出土文化財がある。日本においては長崎県松浦市鷹島海底遺跡から出土した資料が該当する。

しかしながら、事前に越えておかねばならない幾つかの問題点がある。

第一の問題は、含まれている塩化物イオン

と硫酸イオンの挙動である。海底遺跡から出土した木器は内陸から出土した一般的な木器とは一線を画する特徴的な腐食・劣化が進行し、従来の保存処理方法では問題が生じることが知られている。木器の保存処理方法としてはPEG法が最も普及しており、大型木器への対応も可能であるが、主剤であるPEGの吸湿性から海底遺跡出土木器が含有する塩化物・硫化物の再溶解を止めることはできず、鉄部分を錆化、更にはPEG自体を分解し木部を傷めることが分かっている。

第二の問題は、樹種である。保存処理方法の多くは広葉樹材の寸法安定性が芳しくなく、実施する場合には細心の注意を要する。特に、PEG法は広葉樹材には不向きである。

第三には、海底遺跡出土文化財は船の構造物がその多くを占めているため大型のものが多く、大規模な保存処理設備の導入費用と、長期に渡る処理期間中のランニングコストが大きな問題となっている。これは海外での事例を見ても明らかである。

これらの問題点に対して、トレハロースの結晶は吸湿性が極めて低く、他分野での研究では塩化物を安定的に包み込んで結晶し、再溶解を防ぐ効果が確認されている。

また、トレハロース法は広葉樹材に対しても優れた寸法安定性を示しており、十分に適用できる保存処理方法であることが我々の研究から判明している。

このような有効性に基づいて、3つ目の問題点を解消すべく、省エネルギー・省コスト・省廃棄物化を目標とする研究を行なった。前例のない自然エネルギーを利用する含浸処理装置「太陽熱集熱含浸処理装置」を設計・製作(写真1)し、その有効性を確認した。更に、トレハロース廃液の再生を図る「液分離装置」や、大型浸漬槽を導入することなくトレハロースを含浸するために「滴下含浸」の実験を行ない、それぞれの効果と実用性を検討した(図2)。結果、液分離装置で

使用済み廃液を再生し、再び保存処理に使用することを実現した。更に、滴下含浸は通常の浸漬含浸よりも含浸スピードが向上することがわかった。

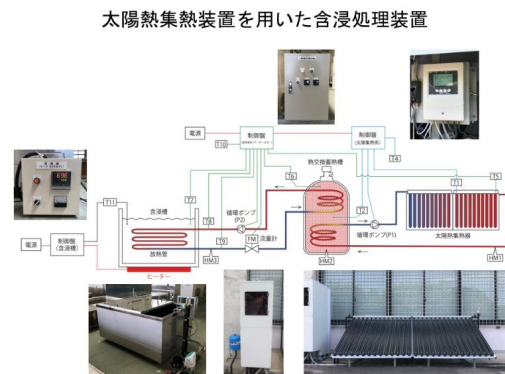


写真1 太陽熱集熱含浸処理装置

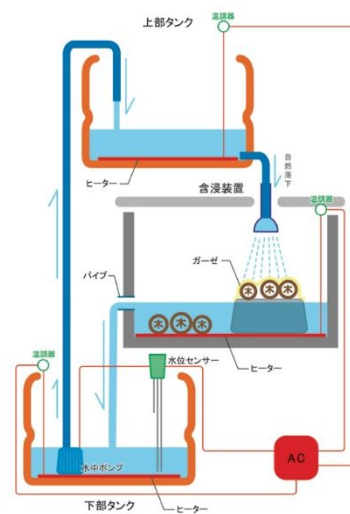


図2 滴下含浸実験

(2)半乾燥木材への適用研究

従前から、半乾燥木材への適用の可否を検討してきた。具体的には、水浸状態であった木器が管理上の問題から半乾燥もしくは乾燥状態になってしまったものを想定していた。しかし、気候風土、埋蔵状態が異なると出土時から半乾燥状態で、出土直後に低湿度環境にさらされて変形、破壊されて失われてしまうケースがあることを知った。モンゴルの草原地帯からの出土品がこれにあたり、多くの木器が失われている。これまでは、変

形・収縮後の木器に対する修復が試みられてきたが、出土時の姿を保つことは半ば諦められている。

このような木器に対して、その浸透性や結晶性の良さの特性からトレハロース法こそが保存処理を実現することが可能であると考えた。

2016年11月、有志の研究者とともにモンゴルに渡り、モンゴルにおける発掘調査の手法、遺物管理の状況、保存処理技術の実際について予備的な調査を行なった。これによって、木器が失われてしまう第一の原因は発掘直後の取り扱いと管理方法にあり、加えて木器の保存処理については知識や実績が全くないことが判明した。また現地で、短期間で試験的な含浸処理を行ない、トレハロース法によって寸法安定性良く保存できる可能性を見出した。他方、多数出土する布や革などの有機遺物への実施を求められ、現地研究者の目前で実際に保存処理を実施、ごく短時間で良好に処置を完了し、その有効性を知らしめた。

2017年7月、前年の基礎調査を受けて、現場での対処方法やトレハロース法の技術移転を目的として、2班編成でモンゴルに渡った。第一班はアイリギーン・ゴゾゴル遺跡の調査に参加、出土直後の対処方法を教示し、全ての木器を出土時の姿のままウランバートルの研究施設に搬送することに成功した。これはモンゴルでは初めての出来事で、大きな反響を得るとともに、現地研究者との深い信頼関係を築くことができた。

第二班は翌8月にはウランバートルで実資料に対してトレハロース法を実施した。半乾燥状態にあるため、まず含水率を上げ、その後トレハロース溶液を含浸する方法で木器・漆器の保存処理を行なった。滞在期間中は、通常の木器同様に保存処理を進めることができた。並行して保存処理に関わる研究者に向けてトレハロース法の基礎に関わる講

義も行ない、帰国後の保存処理を引き継ぎ、託した。



写真2 発掘調査現場での応急処置



写真3 国立文化遺産センターでの実習

(3)非結晶状態の利用

トレハロース法は含浸後結晶化を図ることを旨としているが、含浸したトレハロースの全てが結晶となっているわけではない。結晶と非結晶が混在し、固化しているのが実情である。一般的な木器の場合、意図的に操作して結晶に偏向させているのである。これにより、短時間のうちに強固に固め変形を抑制することができている。反面、木器表面への結晶の固着は避けられず、蒸気などを用いた表面処理が必要となっている。では、非結晶に偏向させたらどうなるのか。ガラス・ラバーともに透明度が高い。赤色の出土布製品にトレハロース溶液を含浸し、非結晶状態となるように加熱・固化の操作を行ったところ、オリジナルのテクスチャー、そして赤い色そのままに保存処理を終えることができた。対象資料の遺存状態が良ければトレハロースの含浸量を抑えることで表面処理の必要もない。実際、前述の赤色の布の場合は表面処理を行っていない。非結晶状態は長時間の吸湿によって結晶に転移することが判って

いる。どのような条件で結晶に転移するのか、それを抑えるには如何にすべきなのか、現在も研究を継続している。前述の布は処理後5年を経過したが今もクリアな表面状態で、処理後当時の状態を保っている。



写真4 処理後の布



写真5 処理後布繊維断面拡大

4. 研究成果

以上の様に、当研究では目的として掲げた事項に対して大きな成果を得ることができた。加えて、トレハロース法のさらなる有効性、展開の可能性を示す結果も得られている。

現象面からその有効性が確認できている海底遺跡出土文化財への適用についても、科学的な裏付けを得るべく研究を継続しており、その事由としていくつかの要因が挙げられている。海水成分に含まれている塩化物・硫化物など安定した保存状態の維持に障害となっている物質への劣化抑止効果を明らかにできるまで遠くない。これが明らかとなれば、海底遺跡出土のみに限らず、鉄木の複合材、更には出土鉄製品一般への適用についても波及する。

他方、結晶化による安定性を念頭において進めてきたトレハロース法の研究は、非結晶

化状態の理解とその活用に展開し、より広範な材質への対応、より精緻な表面状態の維持へとその対象領域を広げ、著しい精度の向上を見せている。

出土文化財の保存処理について、長期に渡るエネルギーの使用、有機溶剤の使用、多岐に渡る材質を用いるために生じる方法の多様化など、避けられない現状として受け入れ、それを踏襲することを疑問視することなく進んできている。材質や方法の多様化は対応できる対象と状態を広げることに繋がった。それを否定することはしないが、いくつかの方法で一元的に用いることができる素材が現れることは、作業管理、処理後の管理などを単純化、簡素化することに繋がる。木製品から木と鉄の複合材、そして鉄製品へ、内陸部出土遺物から海底遺跡出土遺物へとトレハロース法の可能性は広がり、確実に成果を上げてきている。文化財保存の裾野を広げるためにトレハロースを用いる研究を継続的に行うことが必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

伊藤幸司、糖類を用いた水浸木製文化財の保存技術、冷凍 第90巻第1054号、査読有、2015、25-28

伊藤幸司、保存処理の動向と展望 木質遺物、考古学と自然科学第71号、査読有、2016、31-51

〔学会発表〕(計5件)

伊藤幸司・藤田浩明・今津節生、出土木製品保存処理の省コスト化・省エネルギー化に向けた研究(その1) - 自然エネルギーを用いたトレハロース含浸処理法の研究 -、日本文化財科学会第32回大会、2015

伊藤幸司・藤田浩明・三宅章子、出土木製品保存処理の省コスト化・省エネルギー化に向けた研究(その2) - トレハロース含浸処

理液の再生と再利用について -、日本文化財科学会第 32 回大会、2015

伊藤幸司・藤田浩明・今津節生、出土木製品保存処理の省コスト化・省エネルギー化に向けた研究(その3) - トレハロース含浸処理法における含浸手法の検討 -、日本文化財科学会第 33 回大会、2016

伊藤幸司・藤田浩明・北村良輔・今津節生、出土木製品保存処理の省コスト化・省エネルギー化に向けた研究(その4) - 太陽熱集熱含浸処理装置の製作と稼働 -、日本文化財科学会第 34 回大会、2017

伊藤幸司・三宅章子・赤田昌倫、トレハロース含浸処理法の展開 - 非結晶状態の利用について -、日本文化財科学会第 34 回大会、2017

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 幸司 (ITO, Kouji)
公益財団法人大阪市博物館協会大阪文化財研究所・保存科学室長
研究者番号：50344354

(2) 連携研究者

今津 節生 (IMAZU, Setsuo)
奈良大学文学部文化財学科・教授
研究者番号：50250379

藤田 浩明 (FUJITA, Hiroaki)
公益財団法人大阪市博物館協会大阪文化財研究所・学芸員
研究者番号：50344403

高妻 洋成 (KOHZUMA, Yosei)
独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター長
研究者番号：80234699

松井 敏也 (MATSUI, Toshiya)
筑波大学大学院・教授
研究者番号：60306074

(3) 研究協力者

三宅 章子 (MIYAKE, Akiko)
株式会社林原・研究員

合澤 哲郎 (AIZAWA, Tetsuro)
松浦市教育委員会・副主任