

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：31501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H00618

研究課題名（和文）トレハロース法による包括的保存処理方法の研究—海底遺跡出土鉄製品などへの適応

研究課題名（英文）Research on comprehensive cultural heritage conservation treatment techniques using trehalose.

研究代表者

伊藤 幸司（ITO, KOUJI）

東北芸術工科大学・文化財保存修復研究センター・教授

研究者番号：50344354

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：出土埋蔵文化財の保存処理は、材質や形状に合わせ様々な薬剤が使用されてきた。中でも、鉄製品については世界的に有機溶剤と合成樹脂を用いる方法が主流である。しかし近年、様々な分野で環境や人体への悪影響を及ぼす薬剤などの使用を制限する動きが加速度的に進んでおり、文化財保存処理分野でも例外ではない。研究代表者が研究を継続している保存処理方法は、自然界に存在する糖の一種であるトレハロースを使用するもので安全である。当初、出土木製品への摘要を進めてきたが、研究の進展によって鉄製品にも有効であることが分ってきた。合成樹脂や有機溶剤の使用から脱却し、トレハロースによる包括的な保存処理方法を研究、成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

文化財は材質や遺存状態などが異なっているため薬剤や方法が多岐に渡るが、各地の埋蔵文化財組織などでは限られた保存処理方法に当てはめて実施しているのが実状である。当研究によってトレハロースによる鉄製品保存処理への有効性が確認できたことにより、50年以上にわたる合成樹脂と有機溶剤の使用から脱却できる可能性が高くなった。特に新潟県長岡市で実施した順動丸鉄製シャフトの保存処理は、専門的な技術を学んでいない地元の人々の手によって保存処理を完遂することが出来た。研究課題名に掲げたトレハロースによる海底遺跡出土鉄製品の保存は、既にオーストラリアから技術移転の依頼が来るなど世界的に注目されている。

研究成果の概要（英文）：Various agents have been used for the conservation treatment of buried cultural heritage. Among these, the use of organic solvents and synthetic resins for iron products is the most common method worldwide. In recent years, however, there has been an accelerating trend in various fields to restrict the use of chemicals that have adverse effects on the environment and the human body. The field of cultural property conservation treatment is no exception. The conservation treatment method studied by the applicant uses trehalose, a type of sugar found in nature, and is safe. Initially, the method was applied to excavated wooden objects, but the progress of the research has shown that it is also effective for iron objects. In the present study, a comprehensive conservation treatment method using trehalose was studied, moving away from the use of synthetic resins and organic solvents.

研究分野：文化財保存科学

キーワード：トレハロース 保存科学 保存処理 海底遺跡出土文化財 包括的保存処理方法 鉄製文化財 木製文化財 環境保全

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

出土鉄製品に対して世界的に行われている有機溶剤を用いる保存処理方法から脱却するため、糖の一種で食品として多用されている安全性の高いトレハロースを用いる「トレハロース含浸処理法」(以下、トレハロース法)を適応させるための研究を進め、実用化を目指す。

研究代表者はトレハロースを主剤とする含浸処理方法を基礎として様々な手法を開発・実用化し、保存処理成果を上げてきた。その対象は木製品や漆製品はもちろんのこと、布や革、縄、編籠などの特殊有機遺物、更に処理後の安定性を得ることが困難な海底遺跡出土木鉄複合材遺物などに及んでいる。

前回の基盤研究B (JP18H00759、研究代表伊藤幸司)では、海底遺跡出土木鉄複合材遺物に対して現象面で確認できているトレハロースの有効性について、その要因を科学的に究明し、これと連動して鉄への錆化抑制効果の基礎的な研究に着手した。なかでもトレハロースの電気伝導率の低さは、鉄が腐食するための要件である電気的な挙動を阻害するものとして着目しており、保存処理後の錆化抑制の最大要因として捉えている (Fig 1)。

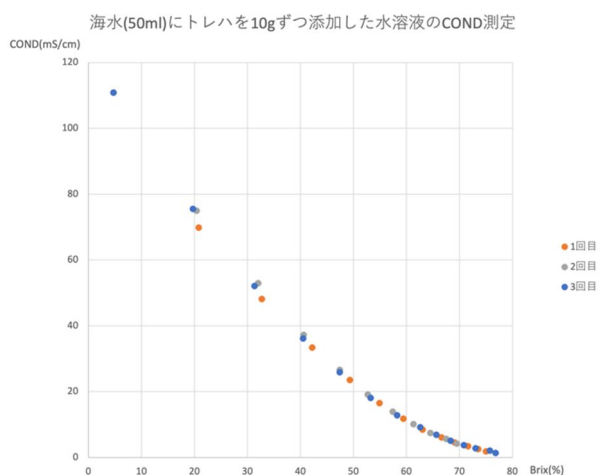


Fig 1. トレハロースによる海水の電気伝導率抑止効果

2. 研究の目的

当研究はトレハロースの鉄錆化抑制効果の基礎的研究を引き継ぎ、鉄製品全般に対するトレハロース法の有効性を研究する。そして、鉄製品の保存処理において必ず使用してきた合成樹脂と有機溶剤から脱却し、遺物にも人にも環境にも優しいトレハロースを用いる安全で容易な保存処理方法を実用化する。

加えて、木製品をはじめとする有機遺物や木鉄複合材遺物、金属製品など多岐にわたる材質、更に、海底・内陸など埋蔵環境毎に異なる多様な来歴、条件を持つ出土文化財に対して、トレハロースによる一元的、包括的な保存処理方法の確立を目指す。

当研究の最終年度には、海底から引き揚げられた大型鉄製品を保存処理する機会に恵まれたため、当初計画に掲げた実作業の手法・方法の検討・研究の対象として重きを置き、保存処理を実施し、手法の検討を行った。

3. 研究の方法

(1) 2021年度

脱塩処理の進行に伴う遺物中の海水成分の量比の変化を把握するためにハンドヘルド型蛍光X線分析装置を用いる手法が妥当であるか否かの検討を行った。一般的なハンドヘルド型蛍光X線分析装置は大気中での測定に限られる事などから軽元素の分析に必要な検出強度は望めないが、今回導入した装置 (BRUKER社製TRACER5g。以下、「TRACER」) は軽元素の検出能力が優れており、更にヘリウムパージすることが可能である。初年度にはその精度を確認するための実験を行った。

(2) 2022年度

鉄製品脱塩処理の進行を把握すべく、TRACERを用いる手法の研究を進めた。定性分析には当該装置が装備しているソフトウェアArtaxを使用し、定量分析には検量線作成ソフトEasyCalで作成した海水成分用半定量アプリを用いた。

(3) 2023年度

実資料への実施機会に恵まれたため、トレハロース法の鉄製遺物への適応方法や実作業の検討に重きを置き、保存処理を完遂することに注力することとした。対象は幕末に新潟県長岡市寺泊港内で沈没、明治期に引き揚げられた順動丸の鉄製シャフト（長岡市指定文化財、軸部径30cm、長さ4m、外輪円盤部径1.4m。以下、順動丸シャフト）2点である。トレハロース法の鉄製遺物への実施は今回が初めてというわけではなく、三重津海軍所跡（佐賀県、世界遺産）出土のボルトナットの保存処理を行い、良好な結果を得た実績がある。

(4) 研究成果の公表、技術の移転

トレハロース含浸処理法は研究を重ねる毎に進展、展開しており、従前からその成果の公開は早期に行ってきた。各年度を通じて学会、研究会などで最新の情報の公開を図った。

4. 研究成果

(1) 2021年度

コロナ禍の影響によりTRACERの納入が大幅に遅れたため、当初予定していたすべての作業を終えることはできず、一部を2022年度に引続き行うこととした。海底遺跡出土遺物を想定し、海水を用いて標準試料を作成した。元寇沈船の遺跡地である長崎県松浦市や富山県富山市、島根県島根市、熊本県八女市、長崎県壱岐市、福岡県福岡市の海岸で海水を採取し、水分を蒸発、乾燥後に残る固形分を粉碎して10 tの圧力をかけてコイン状に成形、計8点の標準試料を作成した。この標準試料を据置型蛍光X線分析装置で測定し（山形県工業技術センターに委託）、得られた元素濃度を「真の値」と仮定し、EasyCalを使用してナトリウム(Na)、マグネシウム(Mg)、硫黄(S)、塩素(Cl)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)の6元素を対象とする海水成分用半定量アプリを作成し、TRACERに実装して使用した。

(2) 2022年度

予備実験として鷹島海底遺跡出土木片を脱塩処理し、その過程をTRACERで測定した。

調査の目的は、

- ①対象物をTRACERで直接測定する手法での脱塩効果把握の可否
- ②測定中の水分の蒸発による検出強度の変化
- ③脱塩廃液中の海水成分濃度との関連性
- ④ClとSの挙動

などである。

- ①：ヘリウムパージすることにより軽元素の検出精度が良好となり、脱塩処理の進行に伴う各元素の挙動（量比の変化）を把握できることが判明した。
- ②：水分の蒸発に伴って各元素の検出強度の上昇を確認した。この上昇幅は時間と共に減少し、一定の時間で収束するよう見えた。
- ③：脱塩廃液を濾紙に浸み込ませて乾燥後に測定したところ、①と整合する結果が得ら

れた。

- ④：Clの抽出は早いですがSは極めて遅いことが分かった。Sの抽出のために長期間をかけても十分な効果が得られない可能性が高い。

一方、海水成分用半定量アプリを用いた水浸資料の直接測定は望ましい精度は得られなかった。原因は資料面の水分にあり、蒸発に伴って測定結果が揺れることが分かった。解消する方策も検討したが、Artaxで得られた結果が有効であったため、これを用いることにした。

2022年10月1日、鷹島海底遺跡から木製大型イカリを引き揚げた。考古学的調査を行なった後、2023年1月から脱塩処理を開始、TRACERで脱塩効果の確認を行った（fig 2）。その結果、1週間ほどでClの減少・恒量化が確認できた。しかし、TRACERの故障という不測の事態に陥り、当年度の作業の継続は断念した。



Fig 2. TRACER を用いた木製イカリの直接測定

(3) 2023年度

順動丸シャフト（fig 3）の保存処理を行うにあたり、年度内での完了を目指すこと、保存処理の専門家ではない地元の人達の手によって作業を完遂すること、という2つを目標とした。

実作業は、シャフトの下半分が浸漬できる加熱槽を製作し、上方からシャワーを用いて散水含浸する方法を採用した（fig 4・5）。この方法は基盤研究B（JP15H02952、研究代表伊藤幸司）の成果に基づくものである。製作した装置を用いて脱塩処理と含浸処理を行った。また、これまでに行った海底遺跡出土遺物の保存処理および処理後の調査から、トレハロースを用いた場合、残留している海水成分の影響はほとんど受けず、二次的な劣化が生じないことが現象面で確認できている。また、鉄製品の場合は木製品と違って急激な含浸によって変形する恐れもないことから、短期間の脱塩処理・含浸処理を計画した。順動丸シャフトの脱塩処理を2023年10月13日から11月30日（52日間）、12月1日からはトレハロース含浸処理を行い、翌年1月18日に完了した（48日間）。保存処理開始に先立ってシャフト表面から脱落した錆塊をTRACERで分析したところ、外側表面よりも内側表面から高濃度の塩素と硫黄を検出した。また、脱塩処理段階の溶液を採取し、塩化物イオン・硫酸イオンの測定を行いその多寡を確認し



Fig 3. 順動丸シャフト（保存処理前）

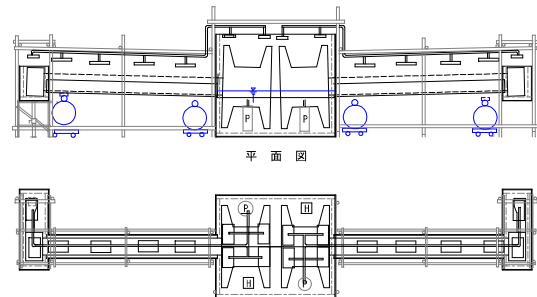


Fig 4. 保存処理装置



Fig 5. 保存処理装置 シャフト設置した状態

たところ、予想どおり完全に抜ききることはできていなかったが、前述の理由から予定の日程でトレハロース含浸処理を開始した。含浸処理終了後はドライヤーを用いて表面処理を行った。本稿執筆時（取上げ後5ヶ月）までに問題は生じていない。

当研究課題の大きな目的は、従来行われてきた出土鉄製文化財の保存処理方法の見直しにある。有機溶剤と合成樹脂を使う含浸・強化処理や、大型品に対して大量の薬品と長期間を必要とする脱塩処理などから、人や環境に負荷をかけない材料、方法への転換を研究した。今回の順動丸シャフトの保存処理はその達成に向けた大きな一歩であり、今後の経過観察でその成否が明らかになるであろう。



Fig 6. シャワーによる含浸処理

(4) 研究成果の公表、技術の移転

毎年開催されている日本文化財科学会（3年間で5件）、3年毎に開催されるICOM-CC WOAM（2023年1月、ドイツ マインツ、2件）、2年毎に開催される東アジア文化遺産国際シンポジウム（2023年8月、札幌、2件）での発表を行った。

海外への技術の移転は、2018年にドイツ隊がモンゴルで発掘したモンゴル帝国時代の宮殿の漆塗柱の保存処理を、2022年11月と2023年5月に国立カラコルム博物館（ハラホリン、Fig 8）、2023年12月に国立文化遺産センター（ウランバートル）で実作業を行った。

2023年10月、UNESCOからの招聘を受け、ASEAN諸国の文化財保存担当官に向けて海底遺跡出土文化財に対するトレハロース法の有効性と実作業に関わるワークショップを2日間行った（カンボジア シェムリアップ、Fig 9）。

2016年にタイ王国シェムリアップで出土した沈船の現状の確認と保存処理に関わる指導、および新設される文化財保存処理施設に関わるアドバイスを行うため、2023年10月に現地を訪問した。沈船出土地はエビ養殖池の中にあり、季節的に満水状態で沈船は完全に水没していた。取り上げられているキールはコンクリート製の水槽に水漬けされており、前回訪問の際に指摘した漏水は修理されていた。新施設には大型の含浸処理槽が3機作られる予定で、仕様についての指導を行った。



Fig 7. 順動丸シャフト 表面処理後（右側）



Fig 8. 漆塗柱の保存処理



Fig 9. UNESCO でのワークショップ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 伊藤幸司	4. 巻 88
2. 論文標題 トレハロースを用いた文化財保存	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 文化財科学	6. 最初と最後の頁 65-68
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 伊藤幸司、加藤由美子
2. 発表標題 トレハロースによる大型鉄製遺物の保存処理 - 順動丸鉄製シャフト -
3. 学会等名 日本文化財科学会第41回大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 伊藤幸司
2. 発表標題 トレハロースを使った鉄製品保存処理の実践と社会実装に向けて
3. 学会等名 北海道・東北保存科学研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 伊藤幸司
2. 発表標題 漆塗柱の表面処理技術と実務
3. 学会等名 ガルバルガス遺跡出土漆塗柱保存のための講習会（モンゴル国立文化遺産センター）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤幸司
2. 発表標題 トレハロース含浸処理法の実務－実作業のための知識と技術－
3. 学会等名 専門技術講演会（東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kouji Ito
2. 発表標題 The properties of Trehalose in expanding the range of objects to be conserved: archaeological objects, wood-iron composite objects, and iron
3. 学会等名 UNESCO Workshop on Emergency Preparedness and Underwater Cultural Heritage in Southeast Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kouji Ito
2. 発表標題 Environmental benefits of using Trehalose and Renewable Energy: a departure from the existing concept of conservation treatments
3. 学会等名 UNESCO Workshop on Emergency Preparedness and Underwater Cultural Heritage in Southeast Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤幸司
2. 発表標題 漆塗柱の含浸処理方法と実務
3. 学会等名 ガルバルガス遺跡出土漆塗柱保存のための講習会（モンゴル国立カラコルム博物館）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤幸司
2. 発表標題 海底遺跡出土遺物へのトレハロース含浸処理法の有効性 - 元寇沈船隔壁板の保存技術 -
3. 学会等名 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム in 札幌 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林啓, 安木由美, 伊藤幸司
2. 発表標題 トレハロース含浸処理した海底遺跡出土遺物の経年変化調査
3. 学会等名 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム in 札幌 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kouji Ito, Akira Kobayashi, Hiroaki Fujita, Masaaki Sawada
2. 発表標題 Conservation treatment of organic objects using amorphous glass of trehalose
3. 学会等名 The 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Mainz, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kouji Ito, Yumi Yasuki, Toshiya Matsui, Akiko Miyake, Setsuo Imazu, Yoshifumi Ikeda
2. 発表標題 Conservation treatment of Mongolian ships using the trehalose method
3. 学会等名 The 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Mainz, 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤幸司
2. 発表標題 トレハロースを用いた文化財保存の実践ー基礎的な方法から元寇イカリの保存までー
3. 学会等名 専門技術講演会（東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安木由美、小林啓、伊藤幸司
2. 発表標題 トレハロース法による海底遺跡出土大型木材の保存処理について（2）-隔壁板の表面処理と鉄釘の経過観察 -
3. 学会等名 日本文化財科学会第39回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤幸司
2. 発表標題 トレハロースを用いた文化財保存の実践
3. 学会等名 モンゴル国立文化遺産センター特集学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤幸司、安木由美、藤田浩明、今津節生、池田榮史
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本文化財科学会 第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片多雅樹、伊藤幸司
2. 発表標題 トレハロースを用いた漆膜を保持した処理法の試み
3. 学会等名 日本文化財科学会 第38回大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

トレハロース法研究室 / Trehalose method laboratory https://www.facebook.com/groups/1625254984354525

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	今津 節生 (Imazu Setsuo)		
研究協力者	高妻 洋成 (Kohzuma Yohsei)		
研究協力者	松井 敏也 (Matsui Toshjya)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	三宅 章子 (Miyake Akiko)		
研究協力者	小林 啓 (Kobayashi Akira)		
研究協力者	安木 由美 (Yasuki Yumi)		
研究協力者	藤田 浩明 (Fujita Hiroaki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
モンゴル	国立文化遺産センター	国立カラコルム博物館	