

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：84604

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12963

研究課題名(和文)出土木製遺物の水中保管時における劣化を効果的に抑制する手法の開発

研究課題名(英文) Development of methods for suppressing deterioration of waterlogged wood in temporary storage

研究代表者

松田 和貴 (MATSUDA, Kazutaka)

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・研究員

研究者番号：60791035

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：水中保管時における木製遺物の劣化には、好気性微生物の活動が大きく影響していると考えられる。これまで研究代表者らは、実際の遺物の水中保管環境において溶存酸素を低減する方策を検討、考案してきた。本研究では、溶存酸素の低減による木製遺物の劣化抑制効果の中長期的かつ定量的に評価するため、出土木材を試料とした腐朽実験をおもに実施した。その結果および既報の成果との比較検討から、溶存酸素の低減による還元環境の創出が、水中保管環境における木製遺物の劣化抑制に有効であることをあらためて示した。また、これを実現するための人的・経済的な負担や環境負荷が小さく、簡便かつ継続的に運用可能な手法を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、木製遺物の水中における劣化現象について、種々の環境条件が及ぼす影響を実験から定量的に検討したことで、その抑制のための要件を具体的に示すことができた。さらに、実際の木製遺物の水中保管環境で比較的容易に運用可能な劣化抑制法を提示し、同法を中長期間運用した場合にも一定の効果があることを示した。本法は、防腐のための化学薬品を用いず、また高度な設備等も要しないため、環境負荷および導入・運用コストを抑えることができる。本研究の成果は、日本のみならず各国地域における文化財保護に資するものであるといえる。

研究成果の概要(英文)：It is considered that the activity of aerobic microorganisms greatly affects the deterioration of waterlogged wood during temporary storage in wet condition. So far, we studied and devised measures to reduce dissolved oxygen in the temporary storage environment of them for preservation.

In this study, we conducted decay experiments using excavated wood in order to quantitatively evaluate the effect of suppressing decay of wood by reducing dissolved oxygen in the medium and long term.

From the results, it is shown that the provision of a reducing environment by eliminating dissolved oxygen is effective in suppressing the deterioration of waterlogged wood in temporary storage environment in long term. In addition, this study provides the methods that can be easily and continuously operated to maintain the ideal environment for temporary storage of them.

研究分野：保存科学

キーワード：保存科学 木製遺物 出土木材 一時保管 劣化抑制

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 出土木製遺物の水中保管時における劣化現象とその原因

古来より「木の文化」が育まれてきた日本では、全国で膨大な量の木製遺物が出土している。これらの木製遺物は、過去の人々の営為を知るための資料として重要な位置を占めている。水浸状態で出土する木製遺物の多くは脆弱化しており、乾燥によって著しい収縮を生じるため、保存処理の実施まで水中で一時的に保管される。一方、木製遺物の保存処理には十分な時間が必要であり、一定期間に処理可能な遺物の数量には限界がある。そのため、現実には多くの遺物を未処理のまま維持せざるを得ず、本来「一時的」であるべき水中保管が、数年から十数年にまで長期化する例が多い。その結果、水中で遺物の劣化が進行し、表面の加工痕や墨書など学術的に重要な情報が失われ、文化財としての価値が損なわれるといった問題が生じる。

こうした水中における木製遺物の劣化現象は、主として微生物が木材を栄養源として分解することによって生じる。とくに、呼吸に水中の酸素(溶存酸素)を利用する好気性微生物は、嫌気性微生物に比べて、有機物の分解効率が高いことが知られている。したがって、木製遺物の水中保管時における劣化を抑制するためには、こうした微生物の生育を抑制できる保管環境を創出することが肝要である。

(2) 従来の保管方法における問題点

木製遺物を保管する比較的小規模な容器では、微生物の繁殖を抑制するため、各種の防腐薬剤の使用も一般的におこなわれている。一方、人体への毒性が比較的低い薬剤の効果は限定的であるため、定期的な再添加が必要とされ、膨大な量の遺物を管理するうえで大きな負担となっている。また、酸素不透過性素材の袋に木製遺物を封入し、酸素の供給を制限することで微生物の活動を抑制する手法も広く用いられているが、大型の遺物には適用できないという問題がある。また、これらの手法による中長期的な遺物の劣化抑制効果について、定量的な検討は十分におこなわれていない。

(3) 研究の方向性

研究代表者らはこれまで実際の遺物保管水槽において、溶存酸素の増減に影響を及ぼす環境因子を明らかにし、また溶存酸素を低減する方策を検討してきた。その結果、水面を酸素不透過性素材で被覆することなどにより、屋外の大型水槽においても、嫌気的な環境を容易に創出、維持できることが示された。一方、溶存酸素の少ない環境では、呼吸に酸素を利用しない嫌気性微生物も生育するため、その木材の劣化への影響についても検討する必要がある。木製遺物をより長期間安定して水中で保管するための条件と方法を検討するためには、溶存酸素量と出土木材の劣化との関係を定量的に把握することが重要と考えられる。

2. 研究の目的

研究代表者らはすでに、現生木材の木材試料をもちいておこなった予備的な実験から、溶存酸素の多寡が水中における木材の劣化速度に影響を及ぼすことを示唆する結果を得ている。本研究では、出土木材を試料とした腐朽実験を中心として、溶存酸素のほか、栄養条件などの違いによる遺物の劣化への影響をあわせて検討することで、実際の木製遺物の一時保管環境における劣化をより効果的に抑制する手法を確立することを目指す。すなわち本研究では、1) 溶存酸素、栄養条件などの違いが出土木材の劣化に及ぼす影響を定量的に明らかにし、2) 水中保管中の木製遺物の劣化を抑制するための保管環境の条件を検討することを主要な目的とした。

3. 研究の方法

(1) 概要

本研究では、実際の木製遺物の水中保管環境における劣化をより効果的に抑制する環境条件を検討するため、出土木材を試料とした腐朽実験を実施した。実験では、酸素の供給条件のほか、栄養条件の異なる水中で試料を一定期間保管し、その残存率から劣化程度の評価を試みた。水中における出土木材に特有の劣化様式について整理するとともに、より効果的に木製遺物の劣化を抑制できる保管環境を実現するための具体的な手法について、実用化を念頭に検討をおこなった。

(2) 実験

試料

発掘調査現場より提供を受けた直径 13 cm 程度のモモ (*Prunus persica* (L.) Batsch) の出土材(最大含水率: 350~650%程度)から、バンドソーを用いて 20 mm (接線方向) × 20 mm (放射方向) × 10 mm (繊維方向) の寸法としたものを 140 個作製し、試料とした。なお、各試料はあらかじめアスピレータを用いて減圧脱気したのち、水中重量と飽水重量を測定した。

方法

4 つの蒸留水を張った容器 (W × D × H = 35 × 25 × 20 cm、実験系 A ~ D とする) に出土木材

試料を40個ずつ保管した。容器ごとに、酸素の供給条件について明確な差を与えるため、エアポンプを用いて常時曝気をおこなう実験系と、水面全体を酸素透過性の十分低いシート状の素

材で被覆する実験系を2つずつ設定した。さらに、この2種の実験系について、栄養源の供給有無による試料の劣化への影響を検討するため、乾燥ブイオンを添加する実験系をそれぞれ1つずつ設定した。これらの実験条件を表1に示す。なお、各容器内には蒸留水を8L入れ、乾燥ブイオンを添加した実験系では、その濃度を30g/Lとした。各実験系は30のインキュベータ内に設置し、適宜蒸留水を補充した。各実験系では、データロガ(Onset Computer社製HOB0U-26)を設置し、実験初期の溶存酸素量を10分間隔で測定した。また、酸化還元電位計(サトテック製PH-230SDJ)を用いて、同様に酸化還元電位を測定した。ただし、これらの機器は記録用メモリや充電機の容量などの制約により、測定開始から5か月間のみ運用となった。実験系内の環境のかく乱を防ぐため、これらの機器の交換等は実施しないこととした。実験中の様子を図1に示す。

所定の期間が経過するごとに試料を5個ずつ回収して、劣化状態の分析をおこなった。試料の劣化状態は、実験前後での水中重量の残存率、および浮力法によって推定される実験前後の最大含水率の尺度とした。また、なお、回収後の試料は恒温乾燥機を用いて105で6時間乾燥させ、絶乾重量を測定した。浮力法により導かれる体積を用いて、最大含水率を実測値として算出し、推定値との比較もおこなった。試料の設置期間は1、2、4、8、16、28、60週間とした。なお、当初の実験計画では、数か月程度ですべての試料を回収する予定としていたが、実験系間で試料の劣化程度の差異が現れにくく、また研究の目的に照らし、より長い期間で実験をおこなうことが望ましいと考えられたことから、計画の見直しをおこなっている。

表1 実験条件

実験系	酸素供給	栄養源
A	曝気あり	添加なし
B	曝気あり	添加
C	水面被覆	添加なし
D	水面被覆	添加



図1 実験中の様子

4. 研究成果

(1) 水質の推移

実験初期の各実験系における溶存酸素量(飽和度)の測定結果を図2に示す。各実験系では、実験開始直前まで曝気をおこなっていたため、いずれも初期の溶存酸素飽和度は100%程度となっていた。一方、実験系Bならびに、実験開始と同時に水面を酸素不透過素材で被覆した実験系CおよびDにおいては、その直後から急激に溶存酸素飽和度が0%まで低下した。実験系Bでは、容器内の水が白濁していたが、これは栄養分の添加によって水中の微生物が急激に増殖したためと考えられ、その結果、曝気量を上回る酸素消費が生じたものとみられる。なお、こうした水の白濁は、実験系Dにおいても同様に認められた。実験系Bでは、実験開始約2週間後から再び溶存酸素飽和度が上昇したが、これは栄養源の不足により、好気性微生物の活動が緩慢化し、酸素消費が相対的に減少したためであると考えられる。

なお、実験系CおよびDでは、溶存酸素が枯渇した状態が概ね維持されており、水面の被覆による酸素供給抑制効果が表れているといえる。なお、実験系Cでは実験中に溶存酸素飽和度の上昇が認められたが、これは観察などのために一時的に水面を解放したことによる影響などが考えられる。

実験初期の各実験系における酸化還元電位の測定結果を図3に示す。常時曝気をおこなった実験系AおよびBでは、比較的高い酸化還元電位が維持されているが、上述のとおり実験系Bにおいては初期に溶存酸素が枯渇したため、一時的に酸化還元電位が-400mV程度まで低下し、還元的な環境が形成されていたといえる。

一方、実験系CおよびDにおいては、実験開始直後の溶存酸素の減少と対応するように、酸化還元電位も-500mV程度まで急激に低下し、その後もおおむね還元的な環境が維持された。また実験系Dでは、実験開始の翌日から約1週間にわたって、水中で盛んに気泡が生じた。この気体を携帯型ガス検知器(レイシステムズ社製ToxiRAE3-H2S)により簡易的に測定したところ、硫化水素が検出されたことから、還元環境下で嫌気呼吸により硫化水素を生じる硫酸塩還元菌が生育していたものと考えられる。

以上のことから、本実験では、曝気および水面の被覆の有無によって、酸素の供給条件の差異を概ね当初の意図に沿って設定、維持することができたといえる。

(2) 試料の劣化程度

各実験系における試料の最大含水率増加率の推移を図4に示す(5試料の平均値。エラーバーは標準偏差)。いずれの実験系においても、最大含水率の経時的な変化は顕著でなく、実験条件による有意な差は認められなかった。すなわち、酸素の供給条件および栄養分添加の有無による明確な影響は認められなかった。一般に、出土材は埋蔵環境下でセルロースやヘミセルロースの多くをすでに失い、リグニンの含有割合が高くなっている。また、リグニンは微生物による分解が比較的進行しにくいとされており、実験条件の違いによる試料の劣化への影響が顕著なものとならなかったと考えられる。ただし、本実験では試料の劣化程度を種々の重量の測定結果をもとに検討したが、測定の精度にも課題があると考えられる。

一方、現生材を試料に用いた予備的な腐朽実験(既報)では、現生材の劣化は出土材に比べて速く進行すること、また溶存酸素の供給を制限し、還元環境とすることでその速度を低下させられることを示している。出土木材の劣化程度は個々に大きく異なっており、易分解性の成分が比較的多く遺存した木製遺物などでは、溶存酸素の供給される環境においてさらなる劣化の進行が懸念されるといえる。今後、本研究を発展させて、水中における出土木材の劣化様式について、より詳細な検討をおこなう必要があるが、出土木材一般の劣化を抑制する手法として、酸素供給の制限による還元環境の創出が有効であることがあらためて示されたといえる。具体的には、酸素不透過性の積層シートなどを用いて、出土木材を保管する容器の水面を被覆することが、簡便かつ中長期的に運用可能な手法となろう。

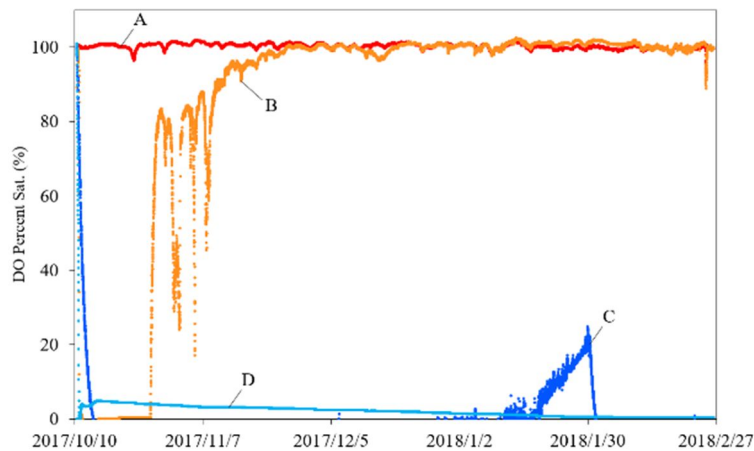


図2 各実験系の溶存酸素飽和度の推移

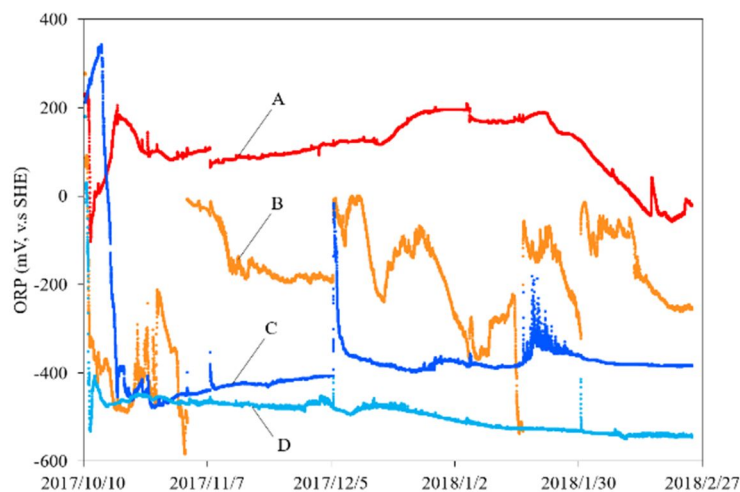


図3 各実験系の酸化還元電位の推移

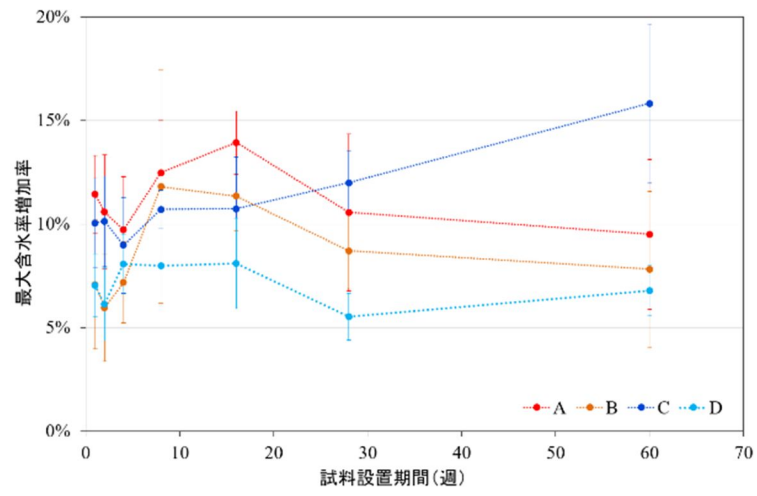


図4 各実験系の試料の最大含水率増加率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 松田和貴	4. 発行年 2020年
2. 出版社 京都大学博士学位論文	5. 総ページ数 96
3. 書名 出土木製遺物の保存処理の効率化をめざした一時保管ならびに薬剤含浸の新たな手法の開発	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----