

## モンゴル国出土木製遺物の科学的保存処理研究

メンドバザル・オユントルガ

### 1. はじめに

モンゴルでは、国際共同チームと国内チームによる発掘調査が年間100件を超えている。遺物の中には、瓦・レンガなどの保存処理を施す必要のない遺物もあるが、木製品や金属製品などのように、弱くて脆く、短時間のうちに劣化し、崩壊してしまう遺物も多く発見されている。

#### モンゴルの発掘調査の現状

モンゴルでは毎年多くの発掘調査が行われ、数千年もの間守られてきた膨大な量の木製品が出土している。出土した木製品は、すぐに草原地帯の乾燥環境の中に置かれるので、極度の乾燥によって形状が変化したり、消失してしまったりすることが多い。

しかし、モンゴルでは、木製品の保存修復に必要な正確な知識・技術がないため、考古学者が自己流に管理して変形・消失させているのが現状である。

### 2. 研究目的

これまで詳細な研究が行われずに消失してしまった脆弱な木製品、中でも鮮やかな彩色木製品を発掘調査で保存することができれば、木製文化財の美術史・歴史学的研究が飛躍的に進展し、モンゴルの詳細な歴史復元が可能になるに違いない。そのためには、モンゴルの自然環境や出土木製品の特質に適した保存処理方法を確立する必要がある。

そこで、本研究の目的は、モンゴルに適した出土木材の保存方法を開発することである。具体的には、モンゴルの草原地帯で発見された出土木製品を研究対象に、草原から発見された出土木材の特質を理解し、草原地帯の極度の乾燥による収縮から木材を守り、発掘現場で安全に効率よく短時間で保存処理する方法を開発することである。

#### モンゴル出土木製遺物の研究

ユーラシア大陸の北東部に位置するモンゴルでは、これまで幾多の遊牧国家が生まれた。これまでの発掘調査において、パジリク時代（BC720年～300年）からモンゴル帝国時代（AD1216年～1307年）まで、遺跡や時代の特徴を表す木製遺物が多く発見されている。

#### 草原地帯で発見される出土木製遺物の特質

モンゴルの草原地帯で発見される出土木製遺物には、以下のような特質が見られる。

- 常に低温で飽和水蒸気環境が維持された場合に限って、木材細胞がバクテリアや腐朽菌によって完全に崩壊することなく、水浸出土木材と同じように形状を維持して発見されることがある。
- 日本で発見される飽水状態の木材とは異なり、飽和水蒸気で満たされた木材細胞は含水率が低く、まだ空隙が残っている。
- 飽和水蒸気環境を維持して発見された木材は、彩色などが極めて良好な状態で残存しており、世界的に見ても大変貴重である。

### 細胞の劣化状態

図1に示すように、モンゴルの草原地帯において、飽和水蒸気環境で出土した木製遺物の細胞壁(A)は、表面に近い部分は分解が進んで細胞間層だけになっている。これに対して、内部(B)は細胞間層だけでなく一次壁・二次壁も健全な状態で残っている。

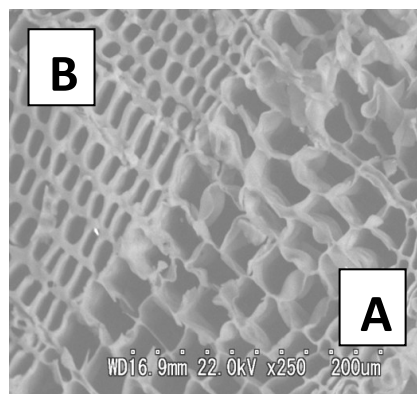


図1 モンゴルで出土した木製遺物の細胞壁

### モンゴルにおける木製遺物の埋蔵環境

遺跡において木製遺物が残るためには、木材腐朽菌やバクテリアが繁殖できない以下のような環境が必要である。

- ① 酸素が欠乏した地下水に満たされた状態
- ② 永久凍土のように極端な低温状態
- ③ 砂漠地帯のように極端な乾燥状態

モンゴルの自然環境は大まかには、3つに分けることができる。

#### ● アルタイ山脈の森林地帯

森林地帯の出土木材は上記の①のように酸欠で飽水状態の環境で発見される。飽和含水率が約300%~500%、アルタイ山脈など高度のある永久凍土や氷河のように極端な低温森林地で凍結した状態や、きわめて飽和含水率が高い埋蔵環境から発掘されるため、発掘後水漬けにして保存する必要がある。湿度が低いと組織のある良好な状態で出土されるが環境による軟腐朽菌によって水漬け木材が表面から軟化・腐食し・カビが発生する現象が多い。

#### ● 草原地帯

草原地帯で発見される出土木材は上記の②に近い低温状態にあるが、必ずしも常時凍結状態ではない。飽水状態では無く飽和水蒸気の埋蔵環境から発掘されるので、木材の飽和含水率は約30%以下の場合がほとんどである。木材は地下から発見された場合も形状を維持して良好な状態で発見される場合

が多い。これは、草原地帯の特質として地下が低温で湿潤な環境にあり、埋蔵空間は常に零下を前後する低温で飽和水蒸気環境が維持された場合に限り、木材がバクテリアや腐朽菌によって完全に崩壊することなく、水浸出土木材のように形状を維持したままの状態で見られることが多い。しかし、飽和水蒸気環境を維持して見られた木材は水浸け状態とは異なる。

#### ● 砂漠地帯

砂漠地帯で見られる出土木材は上記の③のように極端な乾燥状態が維持されている。木材は極めて乾燥した環境で見られるため、飽和含水率は5%~10%である。そのため、出土木製遺物は触るだけで崩れやすく、多くの場合は木材が変形し崩壊した状況で見られる。

本論文では、古くから東西交流の場になり、多種多様な遺跡が存在し、発掘調査も頻繁に行われる草原地帯の発掘調査で飽和水蒸気環境を維持して見られる出土木材の保存方法について提案する。

#### 草原地帯で見られた出土木材

モンゴルの出土木製品は多くの場合、飽和水蒸気に満たされた状態か乾燥状態にある。草原地帯では、地下空間で湿潤状態で見られる。木材は発掘されるまで低温で湿潤な地下空間にあり、飽和水蒸気で満たされている。飽和水蒸気に満たされて見られた木材は、草原の乾燥環境では発掘直後から乾燥が始まり短時間で劣化してしまう。草原地帯から発掘された出土木製遺物の劣化過程を検討するために、モンゴル西部・中部・東部の草原地帯で出土した木材を用いて、木材表面から内部へ5mm毎に切断して木材細胞の変化を走査電子顕微鏡（SEM）で観察した結果、表層では細胞壁を構成する2次壁（S1・S2・S3）が失われて、細胞間層だけが残っている。木材の中間および中心では2次壁・細胞間層が共に残って健全な状態である。

#### 草原地帯で出土する木材の問題点

モンゴルの草原地帯で飽和水蒸気環境を維持して見られた木材は、日本のような水浸状態とは異なり、外気の影響を受けて短時間で乾燥して変形する。飽和水蒸気に満たされて見られた木材は、モンゴルのような乾燥環境では発掘直後から乾燥が始まり短時間で劣化してしまうため、モンゴルのような大草原で発掘する場合には、乾燥環境の中で短期間に保存処理作業ができる方法の開発が求められる。

### 3. 草原の発掘現場で実施できる保存処理方法

糖アルコール含浸法とトレハロース含浸法は分子量が小さいため、木材細胞内に入りやすい。飽和水蒸気に満たされた木材や、乾燥木材にも入りやすい特徴がある。特に、トレハロース含浸法は、モンゴルの特徴である寒暖差の激しい乾燥した環境を利用して結晶化の促進が期待できる。

本研究の目的は、飽和水蒸気環境の地下空間で埋蔵していた出土木製遺物の保存処理方法を開発することである。草原地帯の発掘調査現場での保管、現地付近の保存処理に応用できる方法を考案することである。様々な保存方法を検討した結果、トレハロース保存法を適用することが、モンゴルの実情に最も相応しいと考えた。

なぜならば、トレハロースは、結晶性が高いので、寒暖差の激しい乾燥したモンゴルの環境を利用して結晶化の促進が期待できるからである。

本研究では、発掘調査で適用できるトレハロースを用いた保存処理法を目指して、飽和水蒸気で満たされて発見される草原地帯の出土木材を、発掘現場で安全に効率的に保存する方法を提案し、以下のような保存処理実験を行った。

- 加温した高濃度のトレハロース水溶液を用いる。
- 表面張力を下げるためにアルコールを添加する。
- アルコールを添加した高濃度トレハロース水溶液を発掘現場で洗浄瓶を使って出土木材に滴下することにより、効率よく木材細胞内部に含浸する。
- 木材細胞に浸透したトレハロースは夜間の気温低下によって一夜で結晶することにより出土木材の収縮を防止する。

トレハロース溶液を用いて洗浄瓶で滴下した結果、トレハロース 50%含浸では木材表面の 1mm~3mm 付近にトレハロースの結晶化が確認できたが、内部の細胞にはトレハロースの結晶が充填されていない部分の多いことが判明した。50%トレハロース水溶液にエタノール 5%を添加した試料は表面から 3mm~5mm にもトレハロース結晶化が観察され、内部の細胞に結晶が充填されている状況が確認された。トレハロース 70%含浸では木材表面の 1mm~3mm 付近にトレハロースが確認できたが、3mm から内部にはトレハロースの結晶化が確認できなかった。70%トレハロース水溶液にエタノール 5%添加した試料は、表面ばかりでなく 3mm~5mm にもトレハロース結晶が観察され、細胞内の全表面がトレハロースの結晶で埋められている状況が確認できた。

#### 4. 本研究の成果

モンゴルの草原では、飽和水蒸気に満たされた地下空間から発見される出土木製品が、出土直後に極度に乾燥した環境に曝されるので、発掘後短時間で変形することがある。また、モンゴルの出土木製品は、飽水状態で発見される日本の出土木製品と比較して含水量が少なく、出土後に極めて短時間で乾燥してしまうという特徴がある。そこで、本研究では、モンゴルの草原で発掘され、飽和水蒸気環境で出土した木材に対する保存処理方法を提案した。草原で発見される木材に対して、表面張力を下げて浸透力を高めた高濃度のトレハロース水溶液を浸透させることによって、トレハロースが木材内部で結晶化することで変形やひび割れなどを防ぐ可能性が高いことが分かった。トレハロース水溶液は、木材内部に浸透し結晶化することにより木材細胞を強化する。また、発掘現場において短時間で使用できるこの方法は、草原地帯で発見される多くの木製品に適応できる可能性がある。草原地帯の寒暖差の激しさはトレハロースの結晶化を促進するために有効であることも判明した。以上のことから、乾燥気候や夜間の低温度下の気候のモンゴルにおいて、出土木製品を安定的に維持できる可能性が期待でき、環境にもやさしく、安価で安全に作業でき、短期間で行えるトレハロース含浸処理法が、モンゴルの環境において最も期待できる結果となった。

なお、本研究の成果はモンゴルだけでなく、ロシアやトルコ・東欧諸国などユーラシア大陸の草原地帯から飽和水蒸気環境を維持して発見される出土木材全体に適用できると考える。今後は関係各国の研究者とも交流の輪を広げ、適用範囲を広げてゆきたい。