

博 士 学 位 論 文

内容の要旨および審査結果の要旨

氏名・（本籍地）	メンドバザル・オユントルガ（モンゴル国）
博士の専攻分野の名称	博 士（文 学）
学 位 記 番 号	甲第12号
学位授与の日付	平成29年3月18日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
学 位 論 文 名	モンゴル国出土木製遺物の科学的保存処理研究
論 文 審 査 委 員	主 査 奈良大学 教授 今 津 節 生 副 査 奈良大学 教授 魚 島 純 一 副 査 奈良大学 名誉教授 西 山 要 一

【論文内容の要旨】

先ず本論文の目次を示し、次に論文内容の要旨を記載する。

第1章 はじめに

第2章 モンゴルにおける考古学の発展と遺物の保存状況

- 2.1 モンゴル考古学の発展
- 2.2 モンゴル出土木製遺物の研究
- 2.3 モンゴルにおける木製品の文化
- 2.4 モンゴルの気候変動と植生環境
- 2.5 モンゴルにおける木製遺物の埋蔵環境
- 2.6 モンゴルにおける遺物の保管環境
- 2.7 モンゴルにおける木製品の保存状態の特質

2.8 水蒸気含水率と飽和含水率の測定と細胞壁の観察

第3章 出土木製遺物の保存処理方法

3.1-1 ポリチレングリコール (PEG) 含浸法

3.1-2 実験試料

3.1-3 結果

3.2-1 糖アルコール含浸法

3.2-2 実験試料

3.2-3 結果

3.3-1 高級アルコール含浸法

3.3-2 実験試料

3.3-3 結果

3.4-1 真空凍結乾燥法 (フリーズドライ [FD])

3.4-2 実験試料

3.4-3 結果

3-5 様々な保存処理法における寸法安定性比較

第4章 モンゴルの出土木製遺物に適した保存処理法の開発

4.1 研究開発の目的

4.2 草原地帯で発見された出土木製品の現状

4.3 短時間含浸による出土木材の変形防止

4.4 保存処理方法の原理

4.5 実験資料

4.6 保存処理条件とピン間での寸法安定性

4.7 走査電子顕微鏡による観察

4.8 結果

4.9 結論

第5章 今後の展望

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、東西の歴史や文化に大きな影響を与えてきた。遺跡からは現地で製作されたものだけでなく、ユーラシアの各地からもたらされた高価な品々が膨大に出土しており、遊牧国家の強大な力と広範な文化交流を物語っている。それは遺物だけでなく建物などの遺構にも技術として使用された。それらの遺物や遺構の中には、早急に保存処理を施さなければ消失してしまう木製品が多く含まれている。多くの木製品が、これまで詳細な歴史学的研究を待たずに変形や消失あるいは埋め戻されてしまっている。ユーラシアの歴史をひも解くカギを握るモンゴルの遺物を消失させず、歴史学研究に生かすことで、ユーラシアの歴史をさらに詳細に復元できるはずである。さらに、歴史学的研究のさらなる発展のため、モンゴルの貴重な木製文化財を考古学者自らが保存修復を施し後世に残せるようにすることが急務である。

本論文では、早急な保存処理が必要な有機質遺物、特に木製品に関して、その特質や状態に合うように、日本の技術を応用してモンゴル独自の保存修復方法を確立して普及させ、木製文化財を歴史学研究に利用できるようにすることを目標に研究を開始した。日本の保存処理技術を応用することが最も適していると思われるのは、同じ東アジア文化圏にあり漆器など出土遺物に共通点が見られること、最先端の木製品保存処理技術を有しているなどの理由からである。しかしながら、日本の技術をそのまま応用できるものばかりではなく、凍結や乾燥などの極端な環境下にある遺物も多いことから、モンゴルの環境や保存状態に適した保存処理方法を確立する必要がある。モンゴルの発掘調査の件数は、国際共同と国内発掘調査チームを含めると、年間100件を超えており、出土遺物の中には、瓦・建築材のレンガなどの特別な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出土されている。遺物は、長い期間、土中に埋められており、現在まで残った遺物は周囲の環境と平衡状態にあったものと考えられる。それが発掘されて空気に触れたために平衡状態が崩れ、木製品は収縮・変形し、さびた金属製品遺物を目の当たりにすることが多い。出土遺物の中でも最も早急な処置が必要となるのが有機質文化財であるが、木製品は多量に出土するうえに用途も多岐にわたることから、その保存方法は一様ではなく難しい。

第1章では、モンゴルの現状と研究の目的について述べている。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。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。本論文の研究目的は、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、草原の地下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。

第2章では、モンゴルにおける出土遺物や出土環境など考古学の発展と遺物の保存状況について調査を行い、モンゴルの出土木材の特質を研究している。モンゴルでは毎年多くの発掘調査が行われ、極度の乾燥や凍結などの環境下において、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。しかしながら、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、考古学者が自己流で木製品を保管しても、形状が収縮し、時には消失することが多いのも現状である。そこで、保存処理方

法の基礎になる知識が必要となる。保存処理や修復では、科学的な調査分析が重要である。保存科学的な調査に必要とする出土遺物の構造・材質・要因・劣化状態など出土環境や保存環境に関する情報を自然科学的に調査研究し、使用されている材料や制作技法、具体的な劣化の現状とその要因を明らかにしたうえで、出土遺物に適切な保存処置を施し環境を整える必要がある。

第3章では出土木製遺物の保存処理方法について研究し、モンゴルの出土木材の採集したサンプルで実験を行っている。出土木材の保存処理法の歴史は、水浸有機遺物に対して、19世紀にヨーロッパで開始されたカリ明礬含浸法に始まり、ポリエチレングリコール (PEG) 含浸処理方法が開発され、日本国内では、1961年～1962年において元興寺極楽坊の出土木製遺物にアクリルアミド溶液を用いた保存処理法を行ったのが初の例である。アクリルアミドを改良し、水溶性の有機溶剤製の酢酸ビニール、アクリル系樹脂、フェノール系樹脂、ポリエチレングリコール (PEG) など用いた処理を試した結果、未処理の木製品と比較するとポリエチレングリコール (PEG) を用いた含浸処理法に効果がみられた。また、1980年代からは主に蔗糖 (スクロース) を用いた研究が進められた。Glattann が1982年に低分子のPEG#400水溶液を凍結乾燥の前処理に用いて以来、欧米ではPEGあるいは糖類の水溶液による真空凍結乾燥が主に実施されている。また、高価な凍結乾燥機を用いず自然環境を利用した凍結乾燥もカナダやオーストラリアの寒冷地帯で実施されている。日本では、保存処理の短縮化をはかる目的で1980年代に入って真空凍結乾燥機が普及し始めた。さらに1990年代に入ると、糖類を含浸して結晶させる糖アルコール含浸法が開発された。1994年代には奈良県立橿原考古学研究所の今津によってラクチトールとトレハロースという2種類の糖類を用いた含浸処理法が開発された。また、1990年代から低分子量の薬剤を用いて保存処理を行う高級アルコール法や脂肪酸エステル法などが開発された。木材の飽和含水率が30%以下の乾燥した状態では、水分の不足により、木材中で一般の腐朽菌は生育できない。日本とは違って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。草原で出土されている出土木製品は常に低温の地下空間の中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、水浸出土木材と同じような状態で発見されることがある。モンゴルの草原地帯で飽和水蒸気環境を維持して発見された木材は、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に乾燥して変形する。飽和水蒸気に満たされて発見された木材は、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。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・東部の草原地帯の発掘調査で出土した木材を用いて、木材表面から内部への状態変化を走査電子顕微鏡 (SEM) で観察した。木材資料は飽和含水率の進定と顕微鏡観察を行った。出土木製品に観察される劣化は、細胞壁の層構造やフィブリル配列に対応して進行することや微生物による分解であることが研究で明らかになっている。化学組成の点では、細胞壁の劣化の進行にともなってホロセルロースの含有率が減少する反面、リグニンは相対的に増加する。この変化はホロセルロースがリグニンより優先的に分解されると共にホロセルロースを多く含む2次壁 (S1、S2、S3) が、リグニンを多く含む1次壁 (P) や細胞間層 (I) よりも劣化の初期段階に失われること等の起因していることも明らかになっている。

第4章ではモンゴルの出土木製遺物に適した保存処理法の実験を行った結果を分析している。モンゴル・シベリア・ユーラシア大陸などの草原地帯では、地下に大規模な墓を築き、豪華な副葬品を埋蔵することがある。モンゴルの草原で発見された出土木製遺物を出土直後に現場での出土状態を観察し、飽和含水率を上げる含浸処理方法と、そのまま現場において、短時間で保存処理できる方法を考える必要がある。現在、飽和水蒸気環境で発見された出土木製遺物の保存処理できる方法が開発されていない。本論文の著者は、2004年にモンゴルウランバートル大学に入学し、考古学を学び、モンゴルで10年間

に渡って青銅器時代・パジリク時代・匈奴時代・鮮卑時代・突厥時代・ウイグル時代・モンゴル帝国時代の古墳などの遺跡発掘調査に携わってきた。モンゴルでは特に木製品や染織品などの有機質文化財研究が遅れているが、出土した遺物は、適切な保管・保存処理がされず、消失してしまったり、原形を留めなくなったりするケースが多い。考古学者を志すものとして、木製品を保存することができれば後世まで伝えることができ、木製品を歴史研究の資料として利用することが可能になれば、さらなる歴史学研究的発展につながるため、モンゴルの環境に適した保存処理方法を確立する研究を始めた。モンゴルのような大草原で発掘すると乾燥環境で簡易で保存処理作業できることを考える上で、本論文では、まったく異なる地下空間による低温で湿潤環境にあり、飽和水蒸気環境において、防水率が低い出土木製品の現地保管、あるいは現地での保存処理に応用できる、あるいは、短時間による乾燥・収縮・変形を防ぐために木材の表面から内部まで深く浸透し、固化できるような薬剤の必要性を検討した。

薬剤の必要性と効果を検討した結果、乾燥環境や低低温によって結晶化ができる糖類の一類トレハロースを用いて、現地での保存処理法を以下のように実験した。本論文においては、飽和水蒸気環境で出土した飽和含水率が低い出土木材に対して、含浸装置使用せずに短時間で高濃度の十分な量を浸み込ませ、木材を変形させることなく表面に発生するひび割れを防いで形を保たれたまま、水を取り除く効果的な処理方法であると期待される結果となった。実験した保存処理法の中で、木製品においてはトレハロース含浸処理法が最も有効であることが分かった。なぜなら、出土含水木材と出土後乾燥した木材ともに内部に十分なトレハロースの結晶が確認できたことで、トレハロース水溶液の浸透力が含水木材と出土後乾燥した木材にも同様に浸透力が高いことがわかったからである。モンゴルの出土木製品は飽和水蒸気環境で埋蔵されていたために、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い。しかも、発見直後から極度の乾燥状態に放置されるので、出土後極めて短時間で乾燥してしまうという特徴がある。また、トレハロース水溶液は、浸透し結晶化することにより強化でき、温度の低い環境下においても結晶化しやすい特徴がある。モンゴルの草原で出土する木製品の劣化状態は、表面の細胞壁の劣化が進行している部分を破壊させ、乾燥している特徴が見られる。このような特徴な木材に細胞壁の表面の劣化した部分をトレハロース水溶液で結晶化させて、安定した強い結晶化で固化したことによって、表面に発生するひび割れなど劣化を完全に防ぐ可能性が高いことが分かった。現場での処理後のトレハロース結晶化を促進するために現場の低温湿度環境を応用もできることなどの特徴から、乾燥気候や低温度下のモンゴルでも出土木製品を安定的に維持できる可能性が高く、モンゴルの保存環境設備下で“安価”で“簡易に作業”でき、“短期間”で行えるトレハロースを用いた含浸処理法が最も期待できる結果となった。

第5章では、現在の研究状況を分析し今後の研究の展望を述べている。近年、モンゴル国内に於ける各研究機関の独自調査の他、海外の調査団との共同調査により、多くの貴重な遺跡・遺物の発見が続いている。しかし、これらの遺物に対する保存科学的研究はその理念の浸透、理解の段階に於いてはまだスタートラインに立ったばかりであると言える。今後、コスト面を考慮し、手順の簡易化による遺物収蔵施設への技術導入を促進する為の実験を重ねると共に、現地の研究者や博物館職員との連携・協力を積極的に図っていく必要がある。また、モンゴルの草原地帯の地下空間から発見された木製品の保存に適用するための木製品の埋蔵環境による多くの角度で科学的な基礎実験を行い、環境に優しく大規模な設備を必要としない木製文化財の保存方法を確立することによって、モンゴルの実情に合った木製文化財の保存方法を確立すること、飽和水蒸気環境が維持された地下空間において極めて良好な状態で発見される彩色木製品を保存する技術を確立すること、上記の研究を実施することによってモンゴルばかりではなく、中国・モンゴルからシベリア・トルコに至るユーラシア草原地帯で発見される木製文化財に

ついて環境に適した安全な保存方法を確立できることを期待する。また、極めて良好な残存状態で発見される木製文化財には彩色され木棺や板絵など世界的にも貴重な文化財が多い。飽和水蒸気環境で発見される彩色文化財を保存する方法の確立は世界的に見ても大きな課題であり、本研究の更なる進展によって、世界各地で多くの貴重な文化財を良好な状態で保存できるようになることが期待される。

【審査内容の要旨】

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、本論文では、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、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。

本論文は、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ており研究の新規性は高く評価できる。さらに、本論文の研究成果はモンゴルだけでなく、ユーラシア大陸の草原地帯全体に適用できる有用性の高い研究であると評価できる。今後は、さらに研究成果を蓄積して様々な文化財の保存に適応することによって、さらに完成度と応用性を高められる研究であると評価できる。

【最終試験の結果】

メンドバザル・オユントルガの課程博士最終試験については、審査委員会の今津節生（主査）、西山要一（副査）、魚島純一（副査）の3名が平成29年2月20日、本学大学院棟において実施し、学位請求論文と参考論文（発表済みの学術論文）および英文要旨をもとに口述試問の形で行った。本論文は研究内容の新規性、有用性、完成度等に留意して審査した。その結果、メンドバザル・オユントルガが博士の学位を受けるに十分な学識を有することを確認した。

【審査結果】

審査委員会は、学位請求論文の審査結果、および最終試験の結果から、本論文は博士（文学）の学位を与えるに相応しい業績と判断する。