

埋蔵文化財 ニュース

ISSN 0389-3731

奈良国立文化財研究所
埋蔵文化財センター
〒630 奈良市二条町2-9-1
☎ 0742-34-3931

1981. 3. 10

31

CAO NEWS

Centre for Archaeological Operations

木製遺物の保存科学

わが国で木製遺物の自然科学的手法による保存法が実用化されておよそ10年を数える。近年低湿地の発掘調査が増加するにしたがって、木製遺物等の出土量も膨大なものとなってきている。これらの木製遺物は、通常、水に漬けて保管されるが、恒久的な保存処理も当然必要であり、事実、その種の保存処理が実施されつつある。

文化庁では、遺物の保存処理のための補助金を昭和53年度から計上しており、木製遺物等出土品の保存処理事業も急速に進展している。また、保存処理のための装置を設置している機関も各地に増加してきている。今回の埋蔵文化財ニュースでは、「木製遺物の保存科学」をとりあげ、この種保存科学関係の知識の普及をはかるとともに、保存処理の事業を遂行するにあたって活用いただける基礎的資料とすることを計画した。さらに、発掘現場でも木製遺物取り扱いの実際に役立てていただければ幸いである。



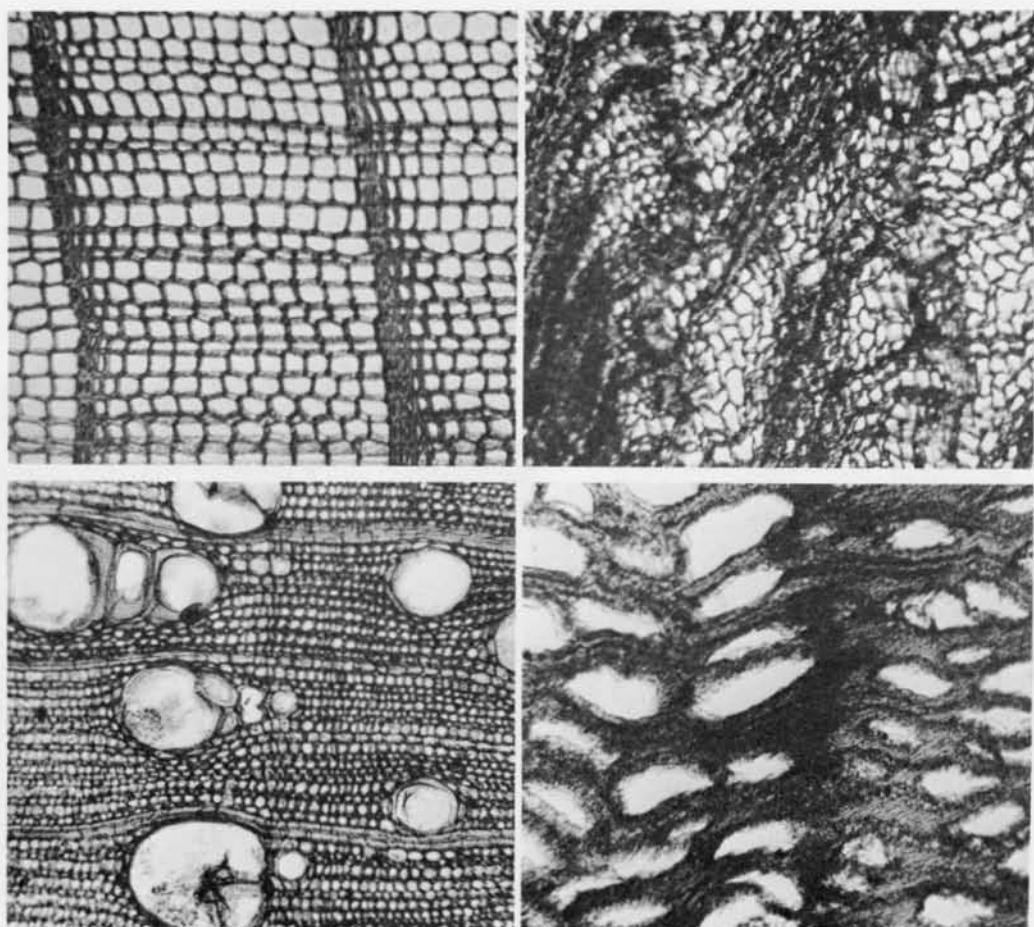
木製遺物の理学的性質

日本の風土で、木製遺物が土中に残存するのは、遺跡が常に湿った状態にあった場合がほとんどで、乾湿の状態が繰り返されるような遺跡では残存しにくい。したがって、発見される木製遺物は、いわば、水漬け・密封の状態で長期間土中に埋もれていたものが多い。そのため、木材の主要な成分であるセルロースなどは、すでに流出・崩壊しており、かわりに水が過飽和にしみこんでいる。それゆえ、外見上は強固にみえるものでも、自然に乾燥させると、ひび割れや激しい収縮を起し、ついには元の形をとどめないほどにまで変形してしまう。

このような木製遺物を構成する木材は、減少する成分（セルロース分など）、増加する成分（アルカリ抽出量、灰分など）、そして、リグニンのようにあまり変化しない成分からなっている。一般に、セルロース分の残存量が少ない木材ほど含水率は高い。また、同じ条件の埋蔵環境にあっては、針葉樹材よりも広葉樹材の方がセルロース分を失いやすく、腐敗しやすい。

主要な成分を失ったこれら木材の恒久的保存処理は、そのなかに含まれた水を他の安定した物質に置き換えて木製遺物の形状を維持するか、その形状を変えることなく水を強制的に除去することによっておこなう。

上段針葉樹 下段広葉樹
左列出土直後 右列自然乾燥



木製遺物が出土したら

土中でもろくなっている木材は、発掘調査期間中、空気にさらせば乾燥が進み、変形する。常に湿った条件にある遺跡の場合にはまだしも安全だが、通常は、ビニールシートなどを被せて乾燥を防がなければならない。また、木材を常に湿らせておくために吸湿性のある低分子量のポリエチレンゴリコール（PEG-600, 1500など）を水に溶かして木材に直接塗布したり、布にしみこませて被覆するとよい。いずれにせよ、木製遺物が出土したら、空気中にさらす時間を最小限にとどめることが肝要である。

発掘現場から取りあげた木材は、恒久的な保存処理を施すまでの間、乾燥させないような配慮が必要である。仮に、水槽に納めて乾燥や変形を防いだり、小型のものならプラスチックス製タッパーなどの密閉容器を利用するのもひとつ的方法である。ホーローバットなどにガラス板の蓋を付けて使用する例も多いが、この場合には、ビニールシートを一枚挟むだけで密閉効果は倍加する。

長期間、水漬けにしなければならない場合には、防黴剤を添加する必要があるが、よく使用されているホルマリンは刺激臭があり、また、気化するので防黴効果を持続するのはむつかしい。ホウ酸とホウ砂を7:3の割合で混合したもの（割合を変えることによって、水溶液のpHを調節できる）の約10%（重量比）の水溶液をつくっておき、実際に使用する時に、さらに、20倍ぐらい（約0.5%）にうすめて使うと便利である。なお、同水溶液は木材を浸してから間もなく褐色を呈するが、これは埋蔵中に木材にしみこんだ泥水などが再び抽出されるためである。木材成分が抽出されるのはきわめて少量であり、保存上の問題はほとんどない。

遺物に付けるラベルには、紙や木札を使用する例も多いが、汚れたり、濡れたりすると文字が見えなくなったり、破損したりする場合があるので、最近では、ポリエチレン製の板やマイラー紙にマジックインキなどで書きこむのが普通である。しかし、次のような方法も簡単で便利である。すなわち、紙片に必要事項をすべて記入したあと、ポリエチレン製フィルムに封入する方法（定期券や免許証がプラスチックフィルムで封入されているのはこの方法）である。この方法では、ボールペンなどの通常の筆記用具が使用できるので手軽である。記入カードを封入する手間は、記入されたカードを2枚のフィルムに挟み、装置に挿入するだけで、カードを挟みこんだ2枚のフィルムは、接着されカードを封入した状態にする。その所要時間は1分とかからない。装置には「ラミネータS12」（幅240×奥行205×高さ150mm、富士写真フィルムK.K製、88,000円より各種）や「ラミペットL-100」（明光商会K.K製、58,000円より各種）などがある。カードを封入するための「ラミネートフィルム」のサイズは、各種用意されているが、70×100mmのものが一般的である。100枚入1セット2,000円。なお、フィルムは必要な大きさに切断して使用することも可能である。

このようにして作成したラベルは、水中では何ら変化することはないし、65°CのPEG水溶液に1年間漬けておいても変質しないので、PEG含浸法（後述）による恒久的保存処理の際にも特別な配慮を要しない。ただし、90°Cを越える高温の同水溶液に1年間も漬けておくとフィルムは多少劣化することがあるが、この場合でも、処理後ラベルを新しいフィルムに封入しなおすことができる。

恒久的な保存方法

自然乾燥による木材の変形は、過飽和に含まれている水が蒸発する過程で生ずる。木材表面の水が蒸発（表面蒸発）すると、それに対応して表面と内部の含水量がアンバランスになり、内部の水は拡散（内部拡散）しようとする。このとき、水の表面部分への移動にともなって水の表面張力（界面張力）が作用し、これに耐えられないほどもろくなった木材の場合、その収縮・変形をまねく。元来、物体の乾燥とは物体中に含まれる液体の表面蒸発と内部拡散のくりかえしによって進行する。

PEG含浸法

木製遺物を恒久的に保存するためには、この不安定な含有水分を他の安定した物質に置き換えるのがひとつ的方法である。それによく採用されるのが高分子化合物のポリエチレングリコール（以下PEG）である。PEGは化学工業のみならず、木材工業の分野でも“木材の寸法を安定化させる薬剤”として広く応用されているもので、化学的にも安定した物質で、分子量の大きさによってその形状が異なる（PEGの物性一覧表参照）。たとえば、PEG-4000（平均分子量3700）は、常温では固体を呈し（融点約55℃）、水に溶ける性質を持っている。木製遺物の恒久的保存のためには、このPEG-4000が使われる。これを保温可能なタンクの中で液状に保ち、木材を漬けておけば木材中の水は少しづつPEG溶液と置き換わる。

「PEG含浸法」と呼ばれるこの方法では、通常、PEG-4000の20%水溶液に木材を浸すことから始め、漸次、濃度を高めていき、最終段階では100%近いPEG溶液をしみこませることになる。処理期間は、遺物の大きさにもよるが柱根など比較的大型のもので少なくとも1年をかけなければならない。この方法は、大型の木材や大量の木材を処理するのに効果的である。処理後の状況は、PEG-4000の比重が1.2であるため、さらに木材は重くなる。また、PEG含浸後の木材は炭化したように黒化することがあるが、トリクロールエチレン（トリクロレン）で木材表面をブラッシングするか、同液に十数秒間浸して表面洗浄すれば、容易に本来の木材の色調をとりもどすことができる。なお、トリクロールエチレンにおよそ5%程度のPEG-4000を溶かしておけば、洗浄された木材表面にPEGが残留し補強の効果もある。しかしながら、実際には同液を洗浄のために繰り返して使用しているうちに木材から溶出したPEGがトリクロールエチレンに溶けてくるのでその必要はない。

同法は保温可能な装置とそれを操作できる人員が確保できれば、比較的気軽に実施できる。現在、最も信頼できる安全な恒久的保存方法として知られており、各地で広く利用されつつある。木製遺物を水中で保管する状況から脱却できる手短かな方法である。

真空凍結乾燥法

その他の恒久的な保存方法として、含有水分を強制的に除去する方法がある。そのひとつは「真空凍結乾燥法」で「アルコール・エーテル・樹脂法」もこれにはいる。

「真空凍結乾燥法」は、木材中の水分を予備凍結したのち、高真空中で昇華させる方法であり、水の木材内部における拡散を防止し、したがって、木材の収縮・変形をさけることができる。この方法は、生化学、食品製造などの分野でも広く活用されているものである。

処理の実際には、木製遺物に含まれている水を融点25°Cの有機溶剤、第三ブチルアルコール(C_4H_9OH)に置き換えてから凍結乾燥する。水を含んだまま凍結乾燥するよりも乾燥時間を大幅に短縮することができるし、ひいては、ひび割れや変形もほとんど生じなくなる。通常は、第三ブチルアルコールの20%水溶液に木材を漬ける。第三ブチルアルコールの濃度は、除々に高め、最終段階では第三ブチルアルコールにPEG-4000を60%程度溶かした液を木材にしみこませる。これを真空凍結乾燥機の試料室に入れ、すばやく-40°C下で予備凍結する。完全に凍結されたら、試料室内を約7000分ノ1気圧に減圧すると、第三ブチルアルコールは早い速度で昇華しはじめ、マッチ箱大の木製遺物なら約10時間で乾燥する。第三ブチルアルコールに比べて、分子量がはるかに大きいPEGは凍結乾燥後も木材内部に残留し、木材を強化する。なお、木製遺物の腐朽の程度や保存状態の異なる針葉樹、広葉樹などの樹種に合わせて、木材にしみこませる溶液のPEG-4000の濃度を50~80%の範囲で調整することが可能である。この保存方法によると、木材の含有水分をすべてPEGと置き換える「PEG含浸法」とは異なり、処理後の木材の中に空隙が維持され、新材と同じような物性を与えることができる。木材の腐朽の程度や樹種のちがいに応じて適当量のPEGを含浸させて処理後の木材の物性を自由に設定できるのも大きな特長である。特に脱色、漂白などの前処理をしなくとも乾燥後の木材は新鮮な色を取り戻すので木簡など、墨書や彩色のある遺物の処理にも効果的である。

アルコール・エーテル・樹脂法

「アルコール・エーテル・樹脂法」は溶剤を利用して合成樹脂などをしみこませて強化する方法である。この方法はエーテルの表面張力(17dyn/cm)が水のそれ(72dyn/cm)にくらべて小さいことを利用したものである。すなわち、表面張力の小さいエーテルを利用すれば乾燥過程の内部拡散による収縮や変形は最小限にいくとめることができる。エーテルは水にはほとんど溶けないので、水を含んだ木製遺物は、あらかじめ、水やエーテルに可溶なアルコールと置換したのち、エーテルをしみこませる。さらに、エーテルにはダンマール樹脂、ビーズワックス、ロジン、ひまし油、そして、スタンド油などを溶かしておき、これを木材にしみこませる。エーテルが乾燥したあとは、これらの天然樹脂は木材内部に残留して木材を補強する。同法はPEGを使用しないので水に再び溶解するなどの恐れはないし、水よりも表面張力の小さい有機溶剤を使用するので、処理期間を大幅に短縮することができる。

しかしながらこの方法では、保存状態の良い木製遺物や編物、竹かご、植物質纖維加工品などのように比較的うすい形状の遺物保存にはきわめて有効な保存法であるが、処理後の木材補強のための樹脂濃度を50%を超えて含浸させることはむつかしく、腐朽の激しい、もろい木製遺物を十分に強化できない場合がある。また、エーテルの沸点は35°Cなので、その取り扱いには十分注意しなければならない。したがって、エーテルにかえて沸点が140°Cのキシレン(表面張力28dyn/cm)を使う方法もあるが、いずれにしても有機溶剤を取り扱うという危険は免がれず、特に大型の遺物や木製遺物を大量に、同時に処理する場合には、法律などに準じた特殊な保存処理施設や専門要員を必要とする。

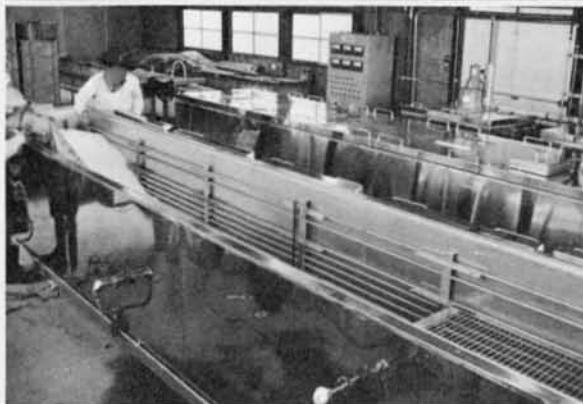


PEG 含浸法

木製遺物は水中に保管しているあいだにも、相互にぶつかり合うなどして損傷することがある。遺物はナイロン製などの不織布（和紙ふうのやわらかい布）で梱包し、保護する。



不織布で保護された遺物は、さらにまとめてステンレス製のかごに納める。このとき、出土地区ごとに、また、製品の大きさや材質なども考慮してグループ別に分けて収納する。



PEG-4000の20%水溶液を調製し、これに遺物を浸す。なお、含浸タンクの材質はステンレス製であることが望ましい。PEGの水溶液に対する耐蝕性が最もすぐれている。



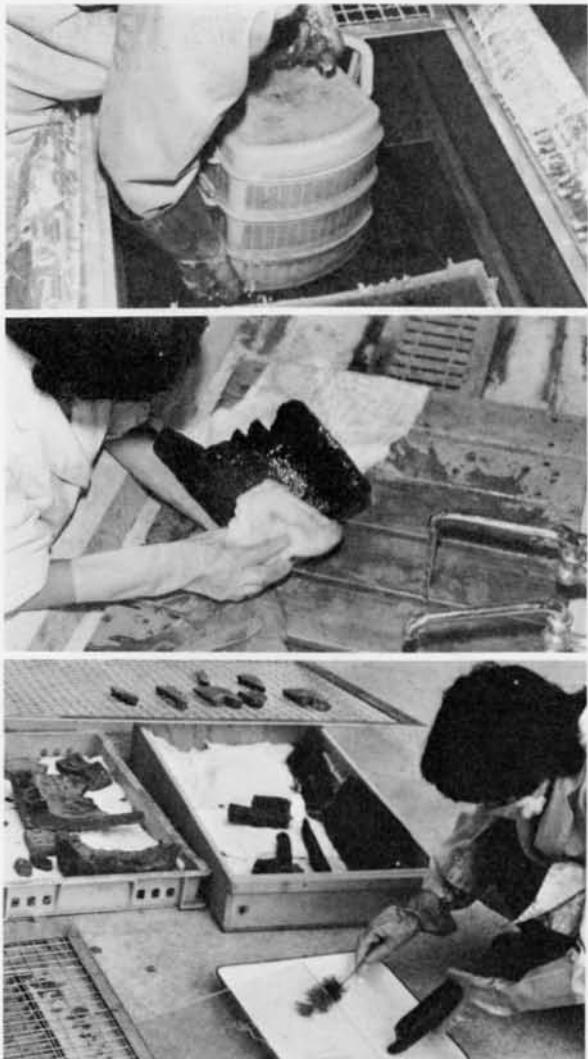
グループ別に納められた遺物は、腐蝕の程度のちがいなどによって、PEGの濃度や含浸速度を調節することが可能。含浸タンクの設置には作業工程に基づくスペースを確保する。

PEG を液状に保つため、含浸タンクを65°C (PEG-4000の融点は約55°C) に保温する性能が必要。遺物を納めるケースの材質はステンレスのほかプラスチックスの使用も可。

PEG-4000の比重が1.2なので重量変化から含浸処理の終了時点を確認することができる。含浸処理を終えた遺物は、温湯をしみこませた布等で表面のPEG溶液を拭き取る。

PEG 含浸した遺物は黒化することがある。しかし、トリクロールエチレンで表面洗浄するか、同溶液に短時間浸すことによって表面のPEGを洗い落し、元の色調が得られる。

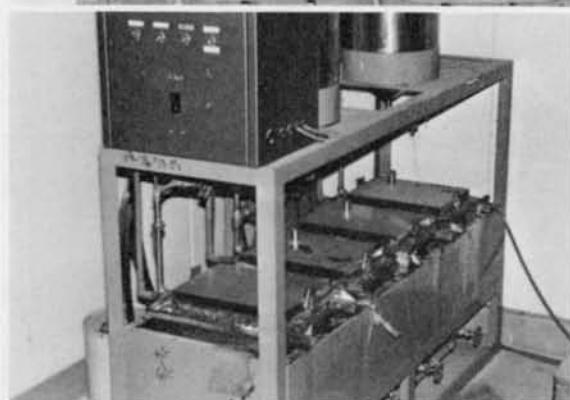
同法は保温が可能なタンクさえあれば比較的簡単に利用できる方法として広く知られている。比較的大型の遺物はこの方法で処理が可能であるが、重量がかさばることは否めない。





真空凍結乾燥法

真空凍結乾燥法は、木簡などの比較的小型の遺物を対象にして処理する。木簡の中でもその大きさや形状別に分類し、PEG含浸法の場合と同様に不織布などで梱包し、保護する。



凍結乾燥する前に、遺物中の水分をターシャリブタノールに置き換える前処理が必要である。ターシャリブタノールの融点が約25℃なので、保温が可能な前処理装置を使用する。

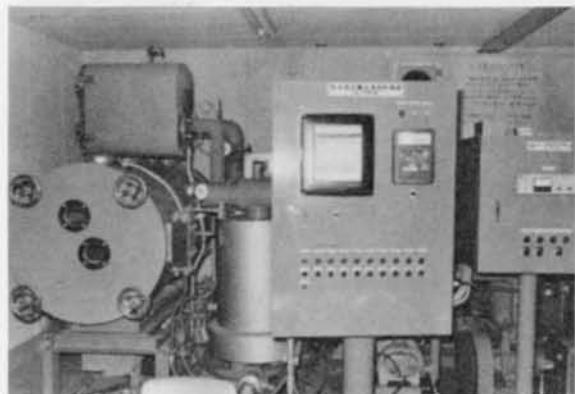


ターシャリブタノールの20%水溶液に遺物を浸すことから始めて、徐々に濃度を高め、最後にはターシャリブタノールにおける60%のPEG-4000を溶融したものを含浸させる。



前処理が終ったら遺物を含浸タンクから取り出し、すばやくアルミ箔で包み、凍結する。凍結されるまでの間、ターシャリブタノールが蒸発するのを抑制するためである。

乾燥室に遺物を投入したら、-40°C下で急激に凍結する。さらに、試料室を約7000分の1気圧にまで減圧し、遺物の温度はおよそ20°Cまで上昇させて真空凍結乾燥が進行する。



真空乾燥を開始したら、通常、遺物の温度を-40°Cから常温にまで徐々に高める。真空下での凍結乾燥に要する時間は、木簡大（長さ約30cm）のものでおよそ10~15時間である。



前処理の段階で、木材の組織を強化するためにPEG-4000をターシャリブタノールに溶かして含浸しているので、乾燥処理後の質感は新材により近くなり、木材としての物性（吸湿・脱湿性など）も或る程度にまで回復させることが可能である。

左：処理前 右：処理後

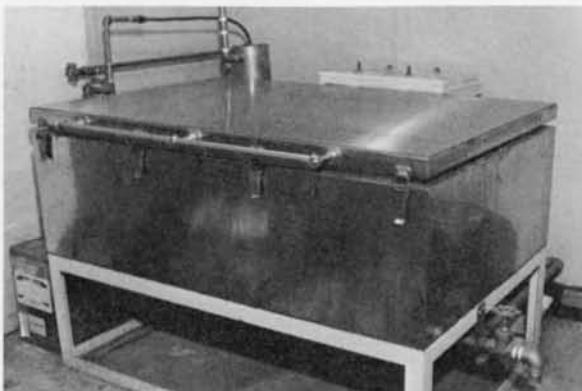


アルコール・エーテル・樹脂法

木製遺物のほか、竹かごや編物など植物質繊維加工品の保存処理にも効果がある。たとえば、写真のような土器に桜の皮が網状に巻きつけてある遺物などには同法が利用できる。



遺物全体を合成樹脂で硬化するには遺物中の水分をアルコールで置き換え、つぎに表面張力の小さいエチルエーテルと置換する。さらに合成樹脂を溶かした溶液をしみこませる。



有機溶剤を使用する場合には、特別に安全な装置を設置しなければならない。すなわち、低温維持ができる閉鎖系のものである。図の含浸槽には側壁内部に冷水が還流している。



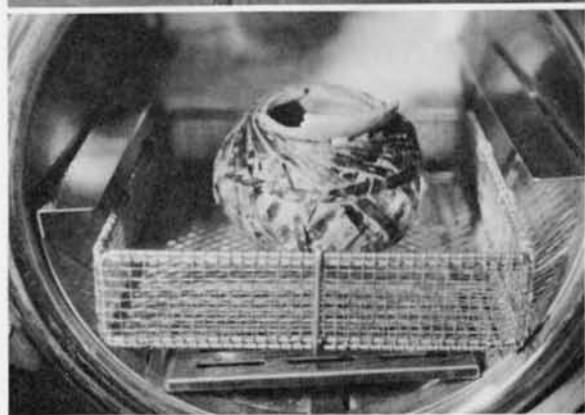
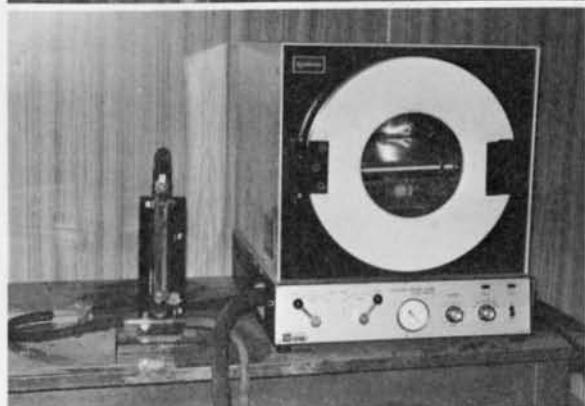
処理すべき遺物は、PEG含浸法の場合と同様、ナイロン製の不織布などで梱包する。さらに、ステンレス製のカゴに納めて含浸槽に浸し、遺物の形状を損傷しないよう保護する。

竹かごなどの遺物の場合には、液中ではぐれてしまう危険がともなう。不織布で包みこむだけでなく、さらに、綿糸などを巻きつけて十分に保護してから処理液に浸すようにする。

複雑な形状の遺物では、含浸するための容器にも配慮する。規格サイズの豊富なデシケーターを使用すれば遺物の容積に近いものが選定できるので余分な溶液を使わないで済む。

アルコールからエーテル、そして所定量のダンマール樹脂、ビーズワックスなどの樹脂を十分にしみこませる。乾燥時に際しては、自然乾燥の他、真空乾燥すれば仕上りは早い。

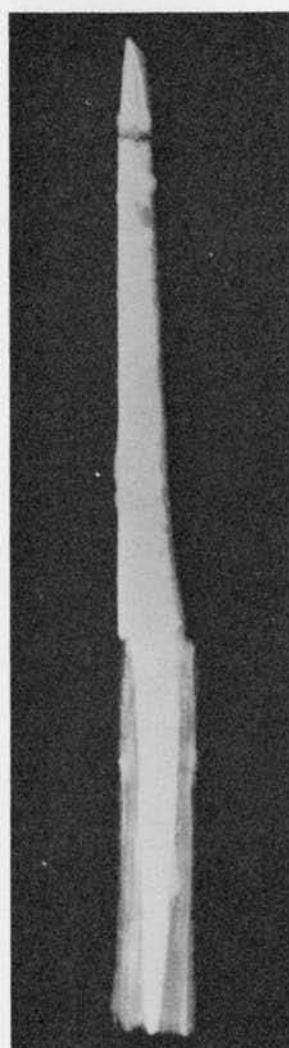
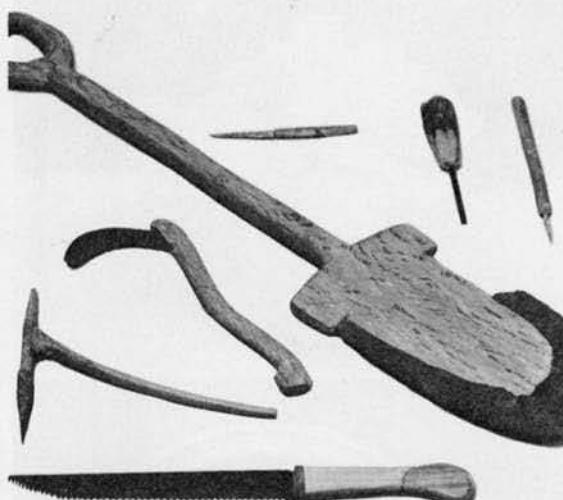
遺物の表面に余分な樹脂が表出している場合もあるが、真空乾燥(100~300mmHg で十分である) したあと、トリクレンなどで局部的に洗浄すれば簡単にクリーニングできる。



特殊遺物の保存法

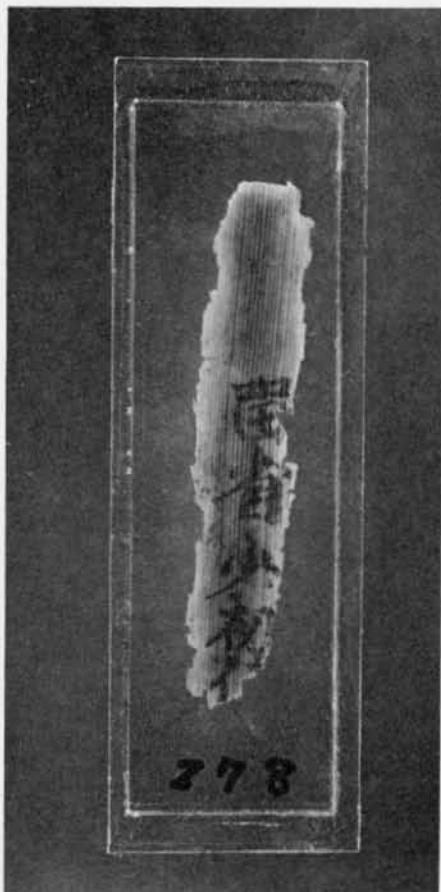
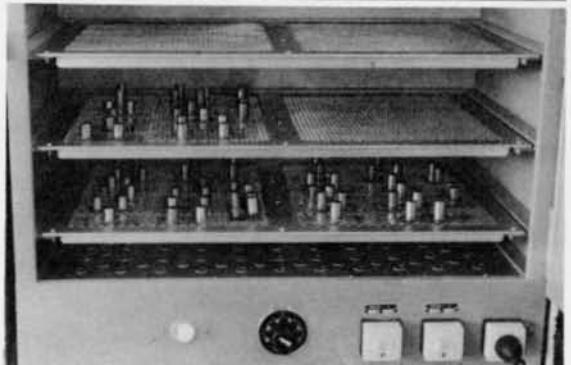
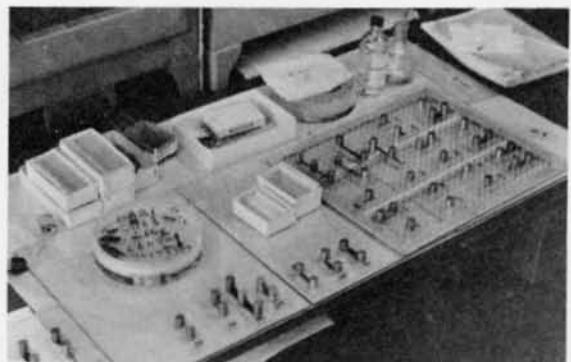
金属が付随した木製遺物

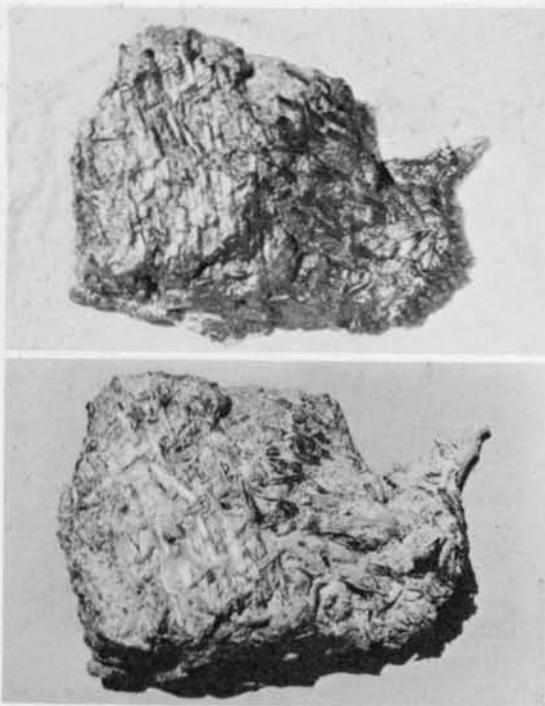
木製遺物の中では金属が付随している製品も多い。このような遺物は、長期間水に漬けて保管するには金属のためにならない。早急に保存処理が必要である。また、金属部分が見えないときにはX線透過写真を応用して形状などを確認しておく。金属部分が取りはずせる場合には、それぞれに適合した保存処理をすればよい。それができない場合には、通常、金属の保存に重点をおき、溶剤を利用した保存法で全体を硬化するのが合理的かつ有効である。



木簡前片

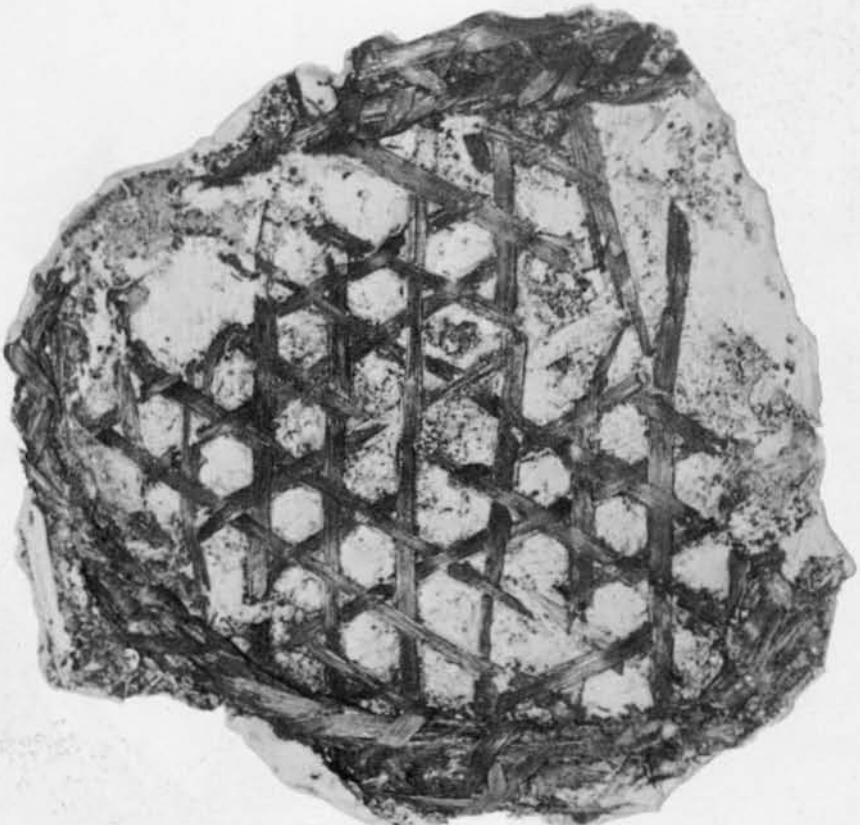
公用文書や物品の付札となった木簡は墨書き部分を削り落して木札が再使用された。木簡から削り落された削片は、普通の木製遺物と同様に、自然乾燥すれば元の形状を完全に損なう。これらは生物標本などにみられるプレパラート方式で保存する。削片をまず、アルコールに浸して脱水し、キシレンと置換する。そして、合成樹脂を使って二枚のガラスで封じこむ。削片同士を連結して木簡を再現する必要が生じた場合に処理前の状態に戻すことが可能。





植物質繊維加工品

植物質繊維加工品の保存には、アルコール・エーテル・樹脂法などを応用できるが、それに土壤が付随している場合には、土壤ごと硬化しなければならず、溶剤を利用する方法は能率的ではない。水を使用する PEG 含浸法を応用するのが良い。土壤に含まれる水分は PEG で置き換えられるので遺物とともに適度に硬化することが可能である。なお、PEG 含浸による遺物の黒化は避けられないが、木製遺物の場合と同様に表面を洗浄することで解消。



漆製品

漆製品の素地が木材の場合には、その腐朽が激しいために漆膜自体を独自に強化しなければならないことが多い。保存法には、PEG含浸法、真空凍結乾燥法、そして、アルコール・エーテル・樹脂法など、いずれの方法も応用できるが、漆膜の厚味やその製作技法などを考慮して保存方法を使い分けることが肝要である。なお、いずれの方法を利用する場合にも、保存処理の過程で素地が僅かに収縮しても漆膜との間で剥離が生じ変形することがある。



各種保存法の検討

現在、わが国で実施されている木製遺物の恒久的な保存法としては、①PEG含浸法、②真空凍結乾燥法、そして③アルコール・エーテル・樹脂法があげられる。

木製遺物の保存処理を最初に試みられる場合には、まず、①の方法を採択し、検討されるとよい。保温可能な含浸タンクとそれを操作できる人員が確保できれば、PEGの水溶液の中に遺物を浸しておくだけの簡易な方法なので、比較的失敗例の少ない安全な保存法である。保存状態のあまり良くない広葉樹材などには、②の方法が最適であろう。処理後の木材を補強するためのPEGの含浸量を自由に調節できるので合理的である。①や③の方法も応用できるが、腐食のすんだ木材に、再び新材に近い物性を与えることはむつかしいと思われる。一方、比較的保存状態の良好な木材（このような木材の多くは針葉樹である）には、①、②のほか、③の方法が有効である。天然樹脂が含浸されることにより、木材組織がさほど変壊していない針葉樹材などは、それなりに新材により近い様相を呈する。③の方法では有機溶剤を使用するため、処理期間は①の方法に比べて大幅に短縮することができる利点を持つ。しかしながら、取り扱いの際の危険がともなうほか、腐朽の激しい木材に対しては十分な強度を得ることがむつかしく、処理後の変形が危惧されるので注意しなければならない。

木簡のように墨書があったり、彩色の施されている遺物などには、特に、脱色・漂白などの前処理をしなくとも乾燥後の木材の色調を明るくする②の方法が効果的である。①や③の方法も応用できるが、①の方法では処理後の重量がかさみ、木質感を損なう欠点があるし、③の方法では木材の保存状態や遺物の形状、木取り加工のちがいなどによって遺物に変形を与えることがある。いずれの方法も、遺物の材質や保存状態などを十分に検討したうえで、それぞれの遺物に見合った処理方法を各種使い分ける配慮が肝要である。

ポリエチレングリコールの物性

種類	平均分子量	融点 °C	水溶性	外観
PEG-300	285 ~ 315	-15 ~ -8	完溶	やや粘稠、無色
PEG-400	570 ~ 630	20 ~ 25	完溶	軟こう状
PEG-1000	950 ~ 1050	38 ~ 41	溶解度70	軟こう状
PEG-1500	500 ~ 600	37 ~ 41	溶解度70	軟こう状
PEG-1540	1300 ~ 1600	43 ~ 46	溶解度70	ロウ状固体
PEG-2000	1900 ~ 2100	50 ~ 53	溶解度62	ロウ状固体
PEG-4000	3000 ~ 3700	53 ~ 56	溶解度50	白色フレーク状
PEG-6000	7800 ~ 9000	60 ~ 63	溶解度50	白色フレーク状