

出土木製遺物の保存処理の効率化をめざした新たな薬剤含浸法の検討

松田和貴

I はじめに

低湿地の遺跡から出土する木製遺物の多くは、埋蔵中に木材細胞壁の劣化が進行して脆弱化し、多量の水分を含んだ状態となっている。一般にこうした水浸状態の木製遺物は、そのまま乾燥されると著しく収縮することから、安定化のための保存処理が必要となる。

出土木製遺物の保存処理法については、現在も主流の一つであるポリエチレングリコール (PEG) 法 (Christensen1970) をはじめ、高級アルコール法 (岡田ら1992)、糖アルコール法 (今津1993) およびその発展形であるトレハロース法 (伊藤ら2010) などが実用化されてきた。これらの保存処理法は原則として、遺物中の水分の一部または全部を常温で固体となる薬剤に置換する含浸工程と、冷却や乾燥により薬剤を固化させる固化工程の2工程からなる。含浸工程では、一般に比較的低濃度に調製した薬剤の溶液中に遺物を浸漬し、溶質の濃度を徐々に上昇させることで、遺物内部の水分と溶液中の溶質との置換が図られる。これは、遺物内部と溶液の間に生じる溶質の濃度勾配によって溶質が移動する拡散現象を利用したものである。ただし、この濃度勾配が過大になると、浸透圧の作用によって遺物からの脱水が卓越し、遺物が収縮する恐れがあるため、濃度の拙速な上昇は厳禁とされる。このように、従来の保存処理法における含浸工程は、原理的に長い期間を要するものであることから、その効率化が重要な研究課題とされてきた。

一方、木製遺物の保存処理の効率化に関する研究では、遺物内部への浸透性や寸法安定効果などの面で、より優れた薬剤を模索することに注力されてきた側面が大きいといえる。これまでに提案されている各種の薬剤を用いても、木製遺物の樹種や寸法によっては、含浸工程に相応の時間を設定せざるを得ない場合もある。出土木製遺物の保存処理のさらなる効率化のためには、遺物内部へ薬剤を導入する手法自体の改良が必要といえる。

そこで筆者らは、含浸工程において遺物内部に溶液の流れを生じさせ、効率よく溶質を導入する手法の開発に着手した。本報では、その実現性を検討した予備的な実験の結果を述べる。

Ⅱ 溶媒蒸発を用いた薬剤含浸法の検討

木材のように細孔構造を有し、かつ親水性である材料は、毛細管現象によって材料外部の液水を吸収する性質がある。こうした毛細管現象による液体の流れを利用して水溶性の薬剤などを木材中へ導入する手法に、立木注入法（飯田1989）がある。立木注入法では、生立木もしくは伐採直後の樹木の根元から、樹木の蒸散作用や樹液流動を利用して各種の溶液の浸透が図られる。

出土木製遺物では、化学的性質や細胞壁の物理的強度などが現生材と大きく異なるものの、光学顕微鏡による薄切片の観察によって樹種同定が可能な程度に組織構造を残したものも多い。したがって、出土木製遺物においても立木注入法のように、不揮発性の薬剤を溶質とする溶液に遺物の一部を浸漬し、他の部位から溶媒のみを蒸発させることで、遺物内部に負圧を生じさせ、液絡部から遺物外部の溶液を吸収させられる可能性がある。これは、溶液の流れにともなう遺物内部への溶質の移動、すなわち移流を利用してより積極的に薬剤を含浸させる手法であるといえる。さらに、木製遺物の表面だけでなく、遺物を浸漬する溶液の液面からも溶媒を蒸発させることで、遺物の内外において溶液の濃度を上昇させることができると考えられる。最終的に濃度を100%近くまで上昇させる場合においても、溶質の融点より高い温度に維持することで、含浸工程における溶液の凝固を防ぐことが可能である。また、溶質にPEGなど水溶性の薬剤を用いる場合、遺物に含浸させる溶

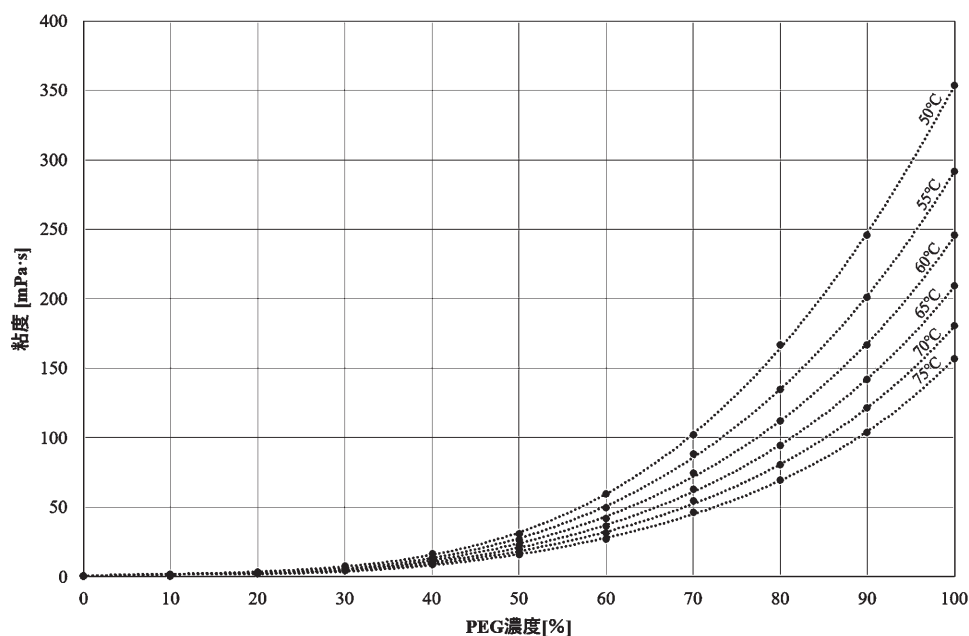


図1 PEG水溶液濃度と粘度の関係

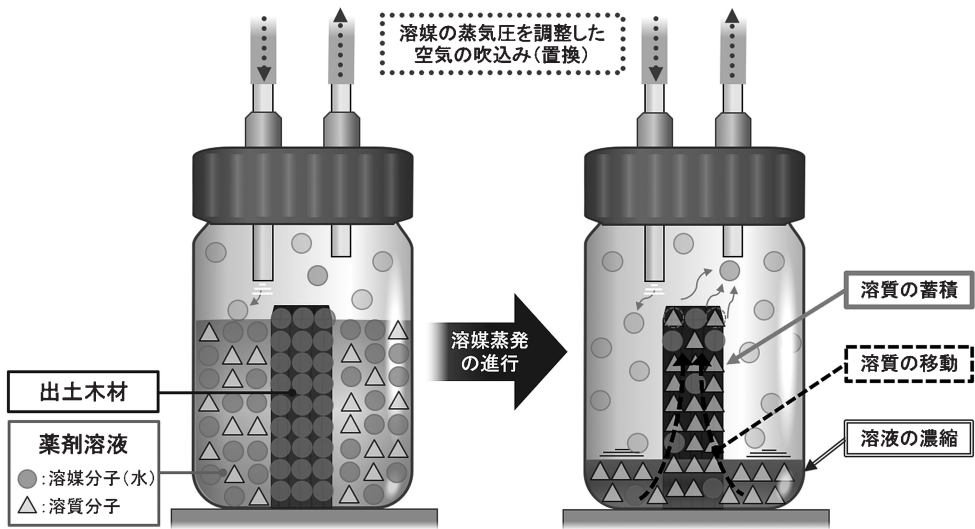


図2 溶媒蒸発を利用した薬剤含浸の模式図

液は水溶液とすることができると、もとより遺物に含まれる水分も溶媒として扱える。

なお、PEG水溶液の粘度は温度と濃度に依存する。日本における木製遺物の保存処理で広く使用されているPEG4000の水溶液について、その粘度と濃度の関係を温度ごとに図1に示す¹。同図から明らかなように、PEG水溶液は温度の低下ならびに濃度の上昇によって粘度が増大する。そのため、上記のように溶媒である水を蒸発させると、PEG水溶液の木材内部への浸透性は低下すると考えられる。そのうえ、蒸発によって木製遺物から水分が過度に失われると、回復困難な収縮を生じる恐れがある。これを防ぐためには、遺物表面から溶媒が蒸発する速度が、遺物内部へ溶液が吸収される速度を過度に上回らないよう適切に制御する必要があるといえる。具体的には、図2に示すように、適当な温度に維持した半密閉容器に、比較的低濃度に調製した溶液をいれて木製遺物の一部が液面より上に露出するよう浸漬し、溶媒の蒸気圧を調整した空気を吹き込んで置換することで、溶液からの溶媒の蒸発速度を制御することが可能になる。

以上のような、溶媒蒸発を利用して能動的に木製遺物内部へ薬剤を含浸させる手法（以下、溶媒蒸発法と称す）の実現性を検証するため、出土木材とPEG水溶液を用いた予備的な実験をおこなった。

Ⅲ 実 験

1 試 料

発掘調査現場より提供を受けた直径13cm程度のモモ (*Prunus persica* (L.) Batsch) の出

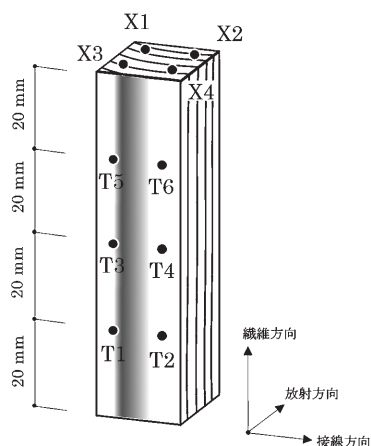


図3 試料の寸法測定用ピンの打ち込み位置

表1 試料の寸法測定箇所

測定箇所	測定の方法	底面からの高さ
X 1-X 2	接線方向	80mm
X 3-X 4	接線方向	80mm
X 1-X 3	放射方向	80mm
X 2-X 4	放射方向	80mm
T 1-T 2	接線方向	20mm
T 3-T 4	接線方向	40mm
T 5-T 6	接線方向	60mm
T 1-T 5	繊維方向	—
T 2-T 6	繊維方向	—

土材（最大含水率：350～650%程度）から、バンドソーを用いて20mm（接線方向）×20mm（放射方向）×80mm（繊維方向）の寸法としたものを4個作製し、試料とした。これらのうち、上記の溶媒蒸発法を検討する実験に用いるものを試料1とし、その対照実験として乾燥のみを実施するものを試料2とした。さらに、比較のために従来の薬剤含浸法を適用するものを試料Aおよび試料Bとした。実験前後における各試料の接線方向、放射方向および繊維方向の寸法変化を測定するため、図3に示す点の位置を基準として、ステンレス製のピンを計10本打ち込み、表1に示す2点間の寸法をノギスで9箇所測定した。ここでは実験時の試料の向きを念頭に、木口面の一つを底面とし、その対面および木表側の板目面にピンを打ち込むこととした。なお試料調達の場合、試料Bでは木取りが四方桁に近いものとなったが、すべての試料において、上部木口面のX1とX2およびX3とX4の各2点が同一年輪上に並ぶようにピンの打ち込み位置を調整した。

2 方 法

半密閉容器に試料とPEG（三洋化成工業製 PEG4000BCP、以下同じ）の水溶液を入れ、この容器に任意の水蒸気圧を持つ空気を吹き込むことで、溶媒である水を適切な速度で蒸発させることができるよう、図4に示す装置を構築した。本装置は、試料と含浸溶液をいれるガラス製の含浸容器（恒温槽1内に設置）と、ガラス容器に蒸留水をいれた加湿器（恒温槽2内に設置）、ガラス容器による凝縮槽（恒温水槽により15℃に保温）、ならびにエアポンプから構成される。これらを図4に示すようにウレタンチューブで接続し、エアポンプによって図中の矢印の方向に空気が循環できるよう流路を形成した。以上の装置は室温22℃の実験室内に設置し、恒温槽1の温度はPEGの融点（約56℃）より高い70℃で一定、恒温

槽 2 の温度は室温以上かつ70℃以下で任意に設定可能とした。なお、ウレタンチューブ内での結露を防ぐため、必要に応じてチューブの周囲を断熱材で被覆した。

エアポンプを一定の流量で稼働させることにより、含浸容器内で

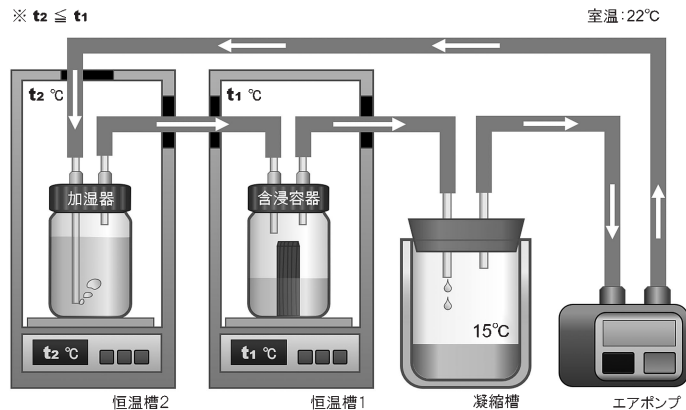


図 4 実験装置の模式図

PEG水溶液から蒸発した水分を含む空気が凝縮槽に移動し、15℃における飽和水蒸気量まで除湿される。凝縮槽を通過した空気は、加湿器内で恒温槽 2 の任意に設定した温度における飽和水蒸気量まで加湿される。さらにこの空気は、含浸容器に戻る際に恒温槽 1 の設定温度まで加熱されることにより、その相対湿度が低下する。そのため、本装置では含浸容器内で継続的に水分を蒸発させることができ、さらに加湿器を保温する恒温槽 2 の温度を変化させることによって、その速度を制御することが可能となっている。

以上の実験装置の含浸容器にPEG水溶液をいれ、ピンのない木口面を下に試料 1 を浸漬した。ここでPEG水溶液は、試料と同等の体積に相当する重量のPEGを溶質とし、内径約 9.2cmの含浸容器内で試料上部が液面よりわずかに露出する溶液量となるよう、8%計500 gとした (PEG: 40 g、蒸留水: 460 g)。試料の設置後、エアポンプを稼働させ、PEG水溶液の濃縮と試料への含浸を図った。溶液の減少が十分進行して停滞した時点を含浸工程の終点とした。なお、試料にPEGを含浸させない条件を検討するため、試料 2 ではPEG水溶液の代わりに蒸留水500 gを用いて同様の操作をおこない、水分蒸発による乾燥のみを実施した。各試料とPEG水溶液、および蒸留水は、あらかじめ恒温槽 1 に静置し、温度を調整したうえで用いた。

なお、試料 1 の実験では、含浸容器内と加湿器内に無線式のデータロガ (Onset Computer Corporation製 MX2302) を設置して、それぞれの温度と相対湿度を 1 分間隔で測定、記録した。先述の通り、溶液のPEG濃度が上昇すると、その粘度が増大し、木材中への溶液の浸透性が低下すると考えられる。本実験では、試料の収縮をできるだけ抑制するために、溶液の濃度上昇に合わせて、含浸容器での水分蒸発速度を低くするよう、恒温槽 2 の温度を段階的に上昇させた。目視観察や温湿度の推移から、PEG水溶液の減少が停滞したと判断された場合には、含浸容器の相対湿度を徐々に低下させるよう、恒温槽 2 の温度を降下

させた。なお、実験開始305時間後に、あらかじめ恒温槽 2 内で保温した蒸留水を加湿器に補充した。各試料の実験条件を表 2 に示す。

試料 1 は薬剤含浸の後、実験室内で静置して冷却固化させた。試料 2 は含浸容器内における水分蒸発の完了後、同様に実験室内で放冷した。実験前と同様に固化後の試料の寸法を測定し、次式により各測定箇所の気乾状態の収縮率を求めた。

$$\text{収縮率} [\%] = \frac{(\text{実験前の寸法}) - (\text{実験後の寸法})}{(\text{実験前の寸法})} \times 100$$

試料 A および試料 B では、含浸溶液－木材間の溶質の濃度勾配による拡散を利用して木材内部へ溶質を移動させる従来の薬剤含浸法を踏襲するため、それぞれ試料全体を PEG 水溶液に浸漬し、順次その濃度を上昇させることで、PEG の含浸を図った。なお、試料 A は最終的に含浸溶液の濃度を 100% まで上昇させたのちに冷却固化させ、試料 B では 40% の濃度まで含浸させたのち、固化工程で真空凍結乾燥を実施することとした。

含浸工程において、試料 A では容量 500ml のガラスびんに PEG の 20% 水溶液を 500 g 入れて試料を浸漬し、70℃ の恒温槽内で保温した。約 10 日が経過するごとにガラスびん内の PEG 水溶液を、別途用意した PEG 水溶液と入れ替え、水溶液の濃度を 20% ずつ上昇させた。最終的に濃度 100% の PEG に 10 日間浸漬したのち、冷却による固化工程に移行した。試料 B では、試料 A と同様に PEG の 20% 水溶液に浸漬し、11 日後に 40% 水溶液への入れ替えをおこない、さらに 10 日間浸漬し、真空凍結乾燥による固化工程に移行した。なお、各濃度の PEG 水溶液は、すべて溶液量が 500 g となるよう調製した。試料 A および試料 B の含浸工程における PEG 濃度と浸漬日数を表 3 に示す。

固化工程では、試料 A は含浸容器から取り出して、表面に付着した余分な PEG をペーパータオルで拭き取ったのち、22℃ の実験室内で静置して冷却し、PEG を固化させた。試料

表 2 試料 1 と試料 2 の実験条件

試料名	恒温槽 1 温度	恒温槽 2 温度 (日数)	エアポンプ流量
試料 1	70℃	40℃ (3 日), 60℃ (1 日), 65℃ (1 日), 69℃ (8 日), 67℃ (4 日), 65℃ (3 日), 60℃ (1 日), 40℃ (3 日)	500ml/min
試料 2	70℃	40℃ (5 日)	500ml/min

表 3 試料 A と試料 B の含浸工程における PEG 水溶液の濃度と浸漬日数

試料名	PEG 水溶液の濃度 (W/W%) と浸漬日数
試料 A	20% 11 日, 40% 10 日, 60% 12 日, 80% 10 日, 100% 10 日
試料 B	20% 11 日, 40% 10 日

Bは、同様に表面のPEG水溶液をペーパータオルで拭き取ったのち、あらかじめ-40℃に冷却した真空凍結乾燥機の庫内に移し、予備凍結として12時間静置した。予備凍結後、庫内を減圧したうえで加熱することにより、試料の水分の除去を図った。この減圧乾燥を7日間おこなったのち、庫内を室温と同等になるまで昇温し、試料を取り出して22℃の実験室内で静置した。固化後の各試料の寸法を試料1、2と同様に測定し、各測定箇所の気乾状態の収縮率を求めた。

IV 結 果

1 実験の経過と試料の外観

試料1および試料2の含浸工程の状況を図5に示す。試料1では含浸容器内のPEG水溶液の液面が徐々に低下した。加湿器を設置した恒温槽2の温度の上昇にともない、液面の低下速度は減少した。また、試料の液面より露出した部分は、常に濡れ色を保ち、形状にも大きな変化は認められなかった。PEG水溶液の減少が完全に停滞した時点では、含浸容器の底部にわずかに溶液が残存していた。以上の工程には24日を要した。

試料1の含浸工程における含浸容器内と加湿器内の温度および相対湿度の測定結果を図6に示す。含浸容器内の温度は、含浸工程中70℃前後で安定して推移した。また、加湿器を設置した恒温槽2の温度を表2に示す通り変化させたことにともない、加湿器内の温度も変化した。加湿器内の相対湿度は、当初100%程度で推移したが、温度の上昇にともなって、95%程度まで低下した。含浸工程後半に加湿器内の温度を低下させると、相対湿度

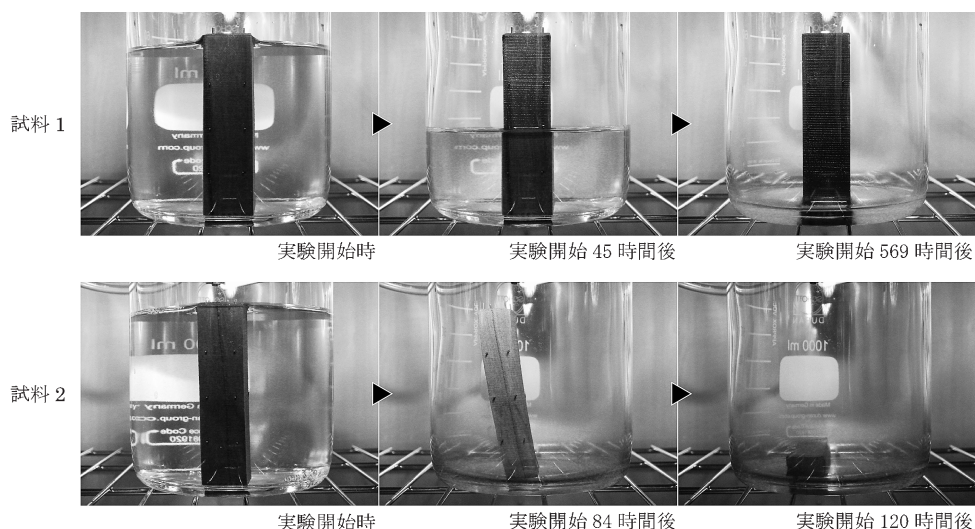


図5 溶媒蒸発法による含浸工程の様子

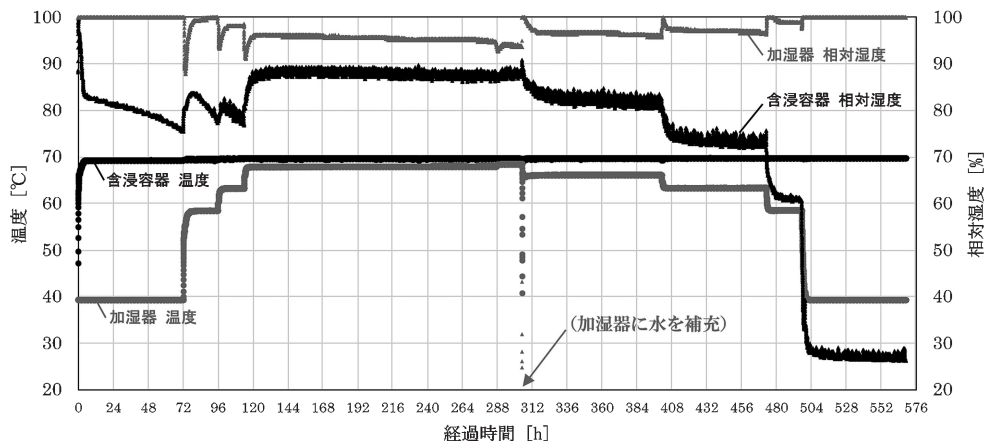


図6 試料1の含浸工程における含浸容器および加湿器の温度と相対湿度の推移

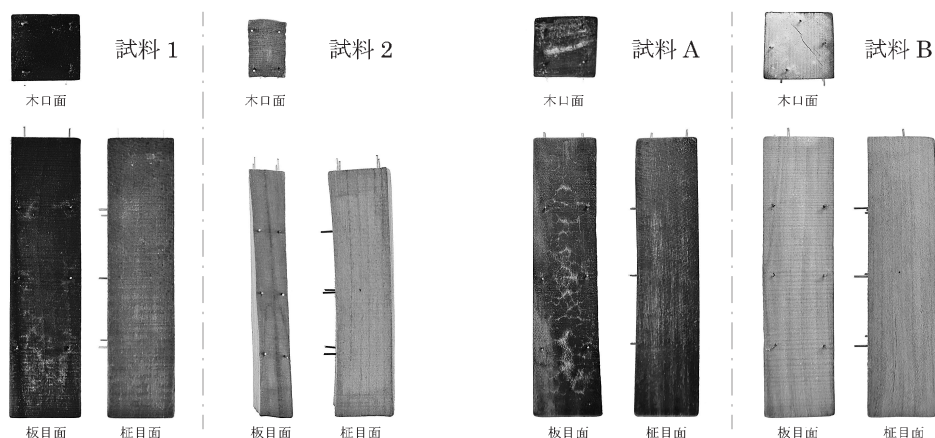


図7 実験後の試料1, 2の様子

図8 実験後の試料A, Bの様子

は上昇した。なお、加湿器の温度を上昇させた場合には、含浸容器内の相対湿度は上昇し、加湿器の温度を降下させた場合には、含浸容器内の相対湿度も降下した。PEGを含浸させない試料2においても、実験開始後は含浸容器内の蒸留水の液面が徐々に低下したが、液面が容器底面に達するまで試料の外観に大きな変化は認められなかった。一方、容器内に液面がなくなると同時に、試料の色調が明るくなり、接線方向の顕著な収縮が生じた。図5では、乾燥終了時点で試料2が転倒しているが、これはこうした収縮によるものである。以上の含浸工程後に実験室内で放冷した試料1では、試料表面の色調が含浸工程直後に比べ、やや明るくなった。試料2については、実験室内での冷却による外観上の顕著な変化は認められなかった。実験後の各試料の様子を図7に示す。

試料Aおよび試料Bではともに、含浸工程において外観上の顕著な変化は認められなかった。実験後の両試料の様子を図8に示す。同図に明らかなように、固化工程後は試料A

表4 各試料の収縮率

試料名	収縮率（気乾状態）								
	X1-X2	X3-X4	X1-X3	X2-X4	T1-T2	T3-T4	T5-T6	T1-T5	T2-T6
試料1	-0.29%	0.51%	0.72%	0.00%	0.52%	-0.13%	-0.07%	0.47%	0.76%
試料2	34.57%	38.74%	10.23%	12.28%	44.07%	42.70%	44.58%	12.37%	12.09%
試料A	1.82%	1.55%	1.04%	0.27%	2.64%	2.25%	2.33%	0.86%	0.91%
試料B	3.69%	1.32%	4.61%	2.89%	-0.07%	0.47%	0.00%	1.19%	1.82%

の表面がやや暗い濡れ色となったのに対し、真空凍結乾燥を実施した試料Bの表面は明るい色調となった。また、試料Aでは実験前に正方形であった木口面の形状がやや歪み、その他の面にも肉眼で判別可能な程度の変形が生じた。試料Bでは、2つの木口面において、年輪に直交する亀裂が複数生じるとともに、PEGで表面が白く覆われた状態となった。さらに木口面以外の4面において、試料の内側方向への凹みが生じた。

2 試料の収縮率

全4試料の寸法測定箇所における気乾状態の収縮率を表4に示す。PEGを含浸させていない試料2では、接線方向の収縮率が35～45%程度と大きく、放射方向、繊維方向においても10%程度の収縮率を示した。一方、溶媒蒸発法によってPEG含浸をおこなった試料1では、各部の収縮率が±1%未満であった。

従来の薬剤含浸法を適用した試料AおよびBでは、各部の収縮率は0～5%程度であり、上部木口面における収縮率は試料Aより試料Bでおおむね大きかった。一方、板目面における接線方向の収縮率は、試料Aより試料Bで小さかった。

V 考 察

溶媒蒸発法を適用した試料1では、含浸工程において経時的に溶液量が減少する一方で、元の形状が維持されていたことから、試料表面において蒸発する水分に相当する量の溶液が、液絡部から試料へ吸収されたものと考えられる。すなわち、試料表面からの水分蒸発にともなって試料内部に生じた負圧を駆動力として、移流による溶質の移動が引き起こされたといえる。また、含浸容器内部の相対湿度をモニタリングし、その変化を細かく制御したことにより、試料表面から水が蒸発する速度を、試料内部への溶液の供給速度以下に抑制し得たと考えられる。ただし、本実験では加湿器内の相対湿度が100%に維持されることを想定していたが、実際には温度の上昇にともなって、95%程度まで低下した。エアポンプの流量は一定としていたことから、温度の上昇によって加湿器内の飽和水蒸気量が増加した結果、蒸留水からの水分蒸発速度が不足し、加湿器内の相対湿度が想定より低い

値で推移したと考えられる。

試料1では、収縮などによる外観の明らかな異常は認められず、各部位の収縮率も極めて小さかった。溶媒蒸発法によって内部にPEGを導入し、元の外形を良好に維持することができたといえる。PEGを含浸させていない試料2において、乾燥にともなう顕著な収縮が生じていたことから、溶媒蒸発法によって出土木材への薬剤含浸ならびに一定程度の寸法安定効果の付与が可能であることが示されているといえる。ただし、溶媒蒸発法による含浸工程におけるPEGの濃度分布やその経時的な変化については、以上の実験のみでは十分な考察が困難である。

溶媒蒸発法との比較を目的に、従来の拡散による薬剤含浸法を適用した試料AとBにおいても、各部の収縮率はともに数%程度であり、一定程度の寸法安定効果が得られたといえる。ただし、両試料とも肉眼で判別可能な程度の歪みが生じていた。また、試料Bでは上部木口面における接線方向の寸法測定基準としたピンの間に複数の亀裂が生じたため、収縮率の値には相応の誤差を含むと考えられる。

試料A、試料Bともに含浸工程終了直後の肉眼観察では、外観に明らかな異常は認められなかったことから、こうした変形はおもに固化工程において生じたとみられる。本実験の含浸工程では、PEG水溶液の濃度を約2週間ごとに20%上昇させたが、試料内部に溶質を十分浸透させることは原理的に困難であったと推測される。そのため、含浸させるPEG水溶液の濃度を最終的に100%とした試料Aにおいても、内部には水分が一定量残存していたと考えられる。試料Aでは、こうした内部におけるPEGの濃度分布の不均一性が、亀裂の発生に影響を及ぼした可能性が考えられる。また、試料Bに収縮や亀裂が生じたことについても、同様にPEG水溶液を試料全体に均一に浸透させることができなかったことによる影響があるとみられる。ただし、試料Bでは予備凍結の期間をはじめとして、真空凍結乾燥の条件設定が適切でなかった可能性も考えられる。

以上の実験において、溶媒蒸発法を適用した試料1の薬剤含浸の期間は24日間であった。従来法を適用した試料Aと試料Bでは、含浸工程をそれぞれ53日間、21日間実施した。さらに試料Bでは、含浸工程後の真空凍結乾燥に予備凍結を含めて8日間要し、保存処理の期間は計29日であった。試料1では、冷却による固化工程を含めた保存処理の期間が試料Aおよび試料Bに比べて大幅に短いにもかかわらず、PEGの含浸の程度および寸法安定性の面において良好な結果を示したといえる。ただし、試料Aと試料Bの含浸工程における溶液濃度の上昇はやや拙速であり、従来の保存処理法において必ずしも一般的なものではない。本実験では、試料数が限られていることなどから、各試料の条件や結果の単純な比較には難があるものの、効率性や寸法安定性などの観点から、溶媒蒸発法が木製遺物への薬剤含浸法として大いに有用性をもつ可能性が示唆されているといえる。

VI まとめと今後の課題

本報では、出土木製遺物の保存処理において、溶媒の蒸発を利用して遺物内部に溶液の流れを生じさせ、より積極的に溶質を導入する手法を溶媒蒸発法として検討した。出土木材試料とPEG水溶液を用いた実験の結果、比較的低濃度の溶液に木製遺物の一部を露出させた状態で浸漬し、温度と溶媒の蒸発速度の制御下におくことで、移流によって木材内部へ溶質を速やかに導入させられる可能性があることを示した。さらに、以上の溶媒蒸発法を適用した実験では、良好な寸法安定効果を得ることができた。ただし、本実験では木材内における液体の移動性が繊維方向で高い性質を利用するため、木口面が常に溶液に接するよう、試料の繊維方向を垂直として含浸容器内に設置した。一方、出土木製遺物の形状や寸法は多様であり、薬剤含浸時における遺物の配置や向きに制約がある場合も多い。さらに、木材内部における溶液の浸透性には、こうした木材の異方性や劣化程度などの材質的特徴や溶液の粘度などが影響を及ぼすと考えられる。そのため、溶媒蒸発法による薬剤含浸の実用化のためには、これら相互の関係について、今後定量的に検討を進める必要がある。さらに、木材内部における溶質の分布や寸法安定効果についても、X線CTなどを用いてより詳細に検討していきたい。

なお、溶媒蒸発法による木製遺物の保存処理には、種々の薬剤を溶質や溶媒として利用することが可能であると考えられる。含浸工程に続く固化工程についても、溶質や溶媒の種類に応じて、冷却や自然乾燥、真空凍結乾燥など様々な手法が適用可能であるといえる。これらを適切に選択することで、保存処理の効率をより向上させられる可能性があると考えられる。

拡散をおもに利用する従来の薬剤含浸法では、木製遺物全体を浸漬可能な量の溶液を、相応の大きさの容器内に調製する必要があった。くわえて、その溶液の濃度を上昇させるため、定期的に溶質を追加する、あるいは異なる濃度の溶液を別途調製する必要があった。溶媒蒸発法では、こうした溶液の濃度管理に関する作業負担を大幅に軽減することが可能となるといえる。さらに、はじめに調製する溶液の溶質とする薬剤の必要量は、遺物内部の全空隙に相当する量のみであるため、保存処理後の廃液量が大幅に削減される。このように、溶媒蒸発法は木製遺物の保存処理の効率を大きく向上させるだけでなく、環境負荷ならびに経済的負担を大幅に軽減させる可能性を有していると考えられる。緻密で硬質な樹種からなる遺物や、建築部材をはじめとした大型の木製遺物など、従来の保存処理法では中心部まで十分に薬剤を含浸させることが困難であった遺物への溶媒蒸発法の適用可能性についても、今後検討を進めていきたい。

註

- 1 本図の作成にあたっては、あらかじめ85℃に保温した各濃度のPEG（三洋化成工業製 PEG4000BCP）水溶液を実験室内で冷却しながら、その粘度の変化を音叉振動式粘度計（株式会社エー・アンド・デイ製 SV-10）によって測定したデータを用いた。本機で測定される粘度値は原理上、粘度と密度の積となることから、測定値をPEGの密度（1.21 at 25℃）で除した値を用いた。ただし、ここでは温度による水およびPEGの密度の変化は考慮していない。

参考文献

- B.B. Christensen 1970 The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark
- 飯田生穂・野村隆哉・森岡茂勝 1989「樹液流を利用した材の染色と寸法安定化処理」『京都府立大学学術報告 農学』41 pp.64-70
- 伊藤幸司・藤田浩明・今津節生 2010「糖アルコール含浸法からの新たな展開—トレハロースを主剤とする出土木材保存法へ—」『日本文化財科学会第27回大会研究発表要旨集』pp.152-153
- 今津節生 1993「糖アルコールを用いた水浸出土木製品の保存（Ⅰ）糖類含浸法とPEG含浸法の比較研究」『考古学と自然科学』28 pp.77-95
- 岡田文男・肥塚隆康・沢田正昭・吉田秀男 1992「高級アルコール法による出土木材の保存処理」『古文化財の科学』37 pp.12-20
- 日本木材保存協会編 1982『木材保存学』文教出版 pp.242-243

挿図出典

いずれも筆者作成