

中国、韓国および日本の3カ国は、古来より人々が往来し、交流を深めてきました。その交流の歴史は、遺跡や考古遺物、美術工芸品などの文化財を通して垣間見ることができます。これら文化財の保存修復は、単にその形を整えて次世代に伝えるだけではなく、その文化財が内に秘めた情報をも含めて伝えていかなければならないものといえます。

中国、韓国および日本にはそれぞれ文化財の保存修復に携わる専門家がいます。各国の文化財保存修復専門家は、自分たちの国の文化財をよりよい状態で次世代に伝えるべく、奮闘しています。地理的にも文化的にも共通するものをもつ東アジア3カ国ですが、文化財に対する考え方、文化財を取り巻く環境は、国によっておのずから違いがあるため、その文化財の保存修復の考え方は必ずしも一致するものではありません。しかしながら、気候風土や文化財の素材は類似したものも多く、共通の課題を抱えていることもまた事実です。隣人としての東アジア3カ国の文化財保存修復専門家が一堂に会し、お互いの考え方や技術についてその違いと共通性を認め合い、議論を深めていくことが必要な時代となりつつあります。

今回の埋文ニュースでは、昨年10月に北京で開催された東アジア文化遺産保存学会第1回大会における口頭発表の要旨を掲載しました。



文化遺産の保存と修復に対する概念への洞察

— 故宮博物院の文化遺産の病院 —

宋紀蓉

1925年に設立された故宮博物院は中国において最も大きくそして最も威信のある博物館である。明清時代の宮殿をもとに建てられており、167,000m²の面積がある。故宮博物院はおびただしい種類の古代のコレクションを有しており、その数は総計150万種類（セット）以上にのぼる。保存技術部は故宮博物院の文化遺産の病院としてこれら古代の美術品の維持と保護を担当している。故宮博物院の文化遺産の病院は、絵画、書、青銅製品、陶磁器、漆器、木工芸品、古代の時計などの保存と修復の作業室を備えている。また、これらの作業室に加え、科学研究センターおよび実験室が設置され、科学的な診断に基づいて最適な保存方法が処方されている。この文化遺産の病院はこれらの美術工芸品の寿命を確実に延ばしているといえることができる。過去50年、故宮博物院は伝統的技法と現代の科学技術を組み合わせてきた。ここではこの概念をよく表わしている文化遺産の保存修復に関するいくつかのケーススタディを取り上げることにする。

寒冷地における歴史的石造建造物の劣化と保存対策

石崎武志（東文研）、高見雅三（北海道立地質研究所）、田中享二（東工大）、松尾隆士（清水建設）

日本には、多くの歴史的レンガ建造物や石造建造物がある。それらの一部は、寒冷地にあり、冬季に周囲の気温は零度以下になる。これらの材料であるレンガや石材は多孔質体と呼ばれ内部に水を含むので、凍上現象によりレンガや石材が劣化する。この凍上現象とは、多孔質体が凍結しつつあるときに凍結面へ水が吸い寄せられ、そこで氷として析出するため体積が膨張する現象のことを言う。一般に、石材の劣化の要因として、物理的、化学的、生物学的なものがあるが、特に、凍結劣化と塩類風化のような物理的劣化は、影響の度合いが大きいと考えられる。この凍結劣化は、北海道や本州だけではなく、九州の山岳部でも見られる。そのため、この凍結と融解の繰り返しによる劣化は、歴史的石造建造物の劣化を考える上で重要である。

歴史的な石造建造物の劣化機構を明らかにするために、札幌にある「北海道開拓の村」内の歴史的石造建造物の調査を行った。調査は、継続的に壁面の劣化を観察すると共に、東西南北面の石材表面の温度の測定および、風速、風向、降雨量、温湿度などの周囲の微気象の測定を継続して行った。壁面の劣化観察から、南壁面の劣化の度合いが他の壁面に比べて大きいことが分かった。一方、壁面の温度の継続的測定から、冬季の凍結融解の回数が南壁面で一番大きいことが分かり、これらの結果の比較から南壁面の劣化の度合いが大きいのは、凍結融解の回数が大きいためであることが分かった。

また、石造建造物に使われている凝灰岩を用いた凍結実験を行い、凍結しつつある時の凍結面での氷晶析出による石材の破壊過程の観察を行った。このときの氷晶の析出温度と石材の破壊強度の関係を求めた。

石材やレンガなどの多孔質体の凍結劣化が生ずる要因として、低い温度、十分な水の供給、材質の凍上性がある。この凍上性とは、凍結劣化のしやすさを示すもので、凝灰岩などの様に空隙率が大きく、強度の弱いものは凍上性が大きく、花崗岩などの空隙率の小さく強度の強いものは、凍上性が小さい。歴史的建造物の場合、石材を取り替えることはできないので、対策としては、石材の水分量が上がらないようにすることが重要である。そのためには、もし、石材に供給される水が主として雨水によるものであれば、石材表面を撥水処理するなどして雨水の浸透を防ぐ方法は有効である。

韓国の石氷庫の劣化機構と保存環境の評価

キム・ジヨン、イ・チャンヒ、イ・ミョンソン

石氷庫（Seokbinggo）は18世紀から19世紀において使用された、石造の氷室である。この氷室は主として現地の石切り場から採取された花崗岩と他の石造建造物からの転用材から造られている。韓国に現存する6個の石氷庫では石材ブロックに、ひび割れ、剥離、変色や生物のコロニーが観察され、室内の微気候は極めて湿度が高い環境であることが認められた。慶州（Gyeongju）、安東（Andong）、昌寧（Changnyeong）、玄風（Hyeonpung）の石氷庫において劣化状態の評価と微気象に関する解析をおこなった結果、相対湿度、温度、水分凝縮や光源などの環境因子の影響により、それぞれの氷室は異なる劣化の特徴を有していることが認められた。

脱水乾燥した竹簡の修復に関する研究

呉順清、魏彦飛、呉昊

竹簡を脱水・乾燥すると、変形を生じ、書かれている文字を読むことができなくなってしまう。そのようになってしまった竹簡は考古学的にはほとんど価値のないものになってしまう。本論文では、戦国時代の墓から出土した脱水・乾燥した竹簡の修復について述べることにする。脱水・乾燥した竹簡をアルカリイオンと界面活性剤の溶液中に所定期間浸漬し、修復の前後で、竹簡の寸法、成分および顕微構造を比較したところ、竹簡の外観の寸法は98%まで回復させることができ、リグニンの含有率は変化していないという結果を得た。この方法は脱水・乾燥した竹簡を回復させ、水浸状態にするのに応用できるものである。さらに、この方法は竹簡の文字にダメージを与えるものではない。

遺構の保存について

青木繁夫（サイバー大学）

人間活動の結果として大地に刻まれた住居跡などの遺構を発掘されたままの状態で「その場」に保存公開する事がある。発掘されたままの遺構を保存公開する場合、土壌水分の蒸発による乾燥、あるいは凍結融解による崩壊さらには塩類の析出、カビや苔などの繁茂、昆虫などによる被害など、遺構を崩壊させるさまざまな問題を乗り越える必要がある。

日本では、1919年「史跡名勝天然記念物保存法」により史跡の保護制度が確立してしまい、さまざまな遺構保存方法が試みられてきたが保護棟を建設して風雨から遺構を護る程度のことしかされてこなかった。保存科学的に遺構保存が研究されるのは、1965年横浜市三殿台遺跡の住居跡を保護棟の中で露出展示したのが始まりであると思われる。

1988年頃から土壌遺構の保存については、遺構を風雨や凍結から護ること、安定した温湿度環境を維持するために断熱性能が高いこと、土壌水分の蒸発を抑制すること、生物の食物連鎖を防止することなど遺構を維持する保護棟の建設の基本的条件が整理され、具体的な設計指針が整理された。そのような条件下で土壌水分の蒸発抑制を実施する処理薬剤として親水性シリコン樹脂が開発され、1992年三殿台遺跡の遺構保存処理に使用された。千葉・加曽利貝塚遺構の保存処理、東京・出山横穴墓保存処理、群馬・矢瀬遺跡の保存処理、宮崎・酒元ノ上横穴古墳保存処理、鹿児島・上野原遺跡、奈良・高松塚古墳、キトラ古墳取合部保存処理、佐賀・吉野ヶ里遺跡北墳丘墓保存処理などに使用されて大きな成果を上げてきた。親水性シリコン樹脂を用いた保存処理の事例報告を行う。

石造文化財の災害発生予測システムの開発における基礎的研究

ソ・ジョンホ（公州大学校自然科学大学）、ユン・ミョンホ（公州大学校工科大学）

石造文化財の構造的な損傷を軽減するためには、石造文化財の損傷原因に関するデータを解釈し、国内の石造文化財の風化および損傷に関する標準データベースを構築し、自然災害による変位を測定する技術を開発する必要がある。

まずは、石塔の構造的な安全評価のため、ひどく風化した石造文化財の構造分析を含む風化特性モデルの作成である。次は、報告された結果を用いて、災害の規模および災害の発生を予測可能なアルゴリズムを構築することのできる安全管理マニュアルを活用可能にすることである。

過去5年（2001～2005年）に実施された石造文化財の保存管理研究が再検討された。石造文化財の耐候性低下に関する構造的欠陥についてのデータベース構築に必要なデータをえるため、「国宝石造文化財の現状調査と保存管理研究」における構造的安定性レベルが5ランクである石塔建築文化財が選ばれた。

その後、劣化発生原因および災害にみまわれた石造文化財の現状が調査された。フィールド調査や図面を通して、選定された石造文化財の構造的な問題および損傷原因が調査された。

本研究は石造文化財の災害発生の予測システムについての基礎研究である。

塔型の建築物のほとんどのものは、サイズが大きいため、屋外に設置されるので、おもに自然環境要因によって損傷を受ける。構造的安定性に影響を与える要因には、さらに地震や振動などがある。

塔型の石造文化財の損傷原因の中で構造的安全性に関連する要因として、石材間の結合状態の不安定現象や不安定地盤による構造的欠陥が挙げられる。とくに、これらの問題の原因は構造的安定性に影響を及ぼし、最終的には崩壊を招く。

石造文化財（石塔建築物）の風化原因には様々なものがあるが、構造的耐久性に関する問題を引き起こす原因は次のようなものである。ひとつは、部材の結合部が不安定であることと、地盤の不安定さによる構造的結合性の問題である。ふたつめは、石塔建築物の傾斜による偏心的な荷重の問題である。最後に、節理が上部構造の安定性に影響を与えることが確かめられている。とくに灌燭寺の灯籠型の石塔建築物や麻谷寺の五重の石塔は地震または復元後に受ける偏心的な荷重が部材の亀裂や構造的欠陥にも影響を与えることが確認されている。

中国の伝統的建造物の木構造彩色表面の 伝統工芸技術と保存技術に関する研究

馬涛

中国の伝統的建造物の木構造彩色表面の保存修復法に関して、中国の MOST より資金提供を受けたシステムティックな研究プログラムが 2007-2008 におこなわれた。本論文では、「伝統工芸技術に関する科学研究」、中国伝統的建造物の彩色表面の現状に関する研究、のようなプログラムおよび「科学的な保存法と材料に関する研究」のようなすべての情報に関連したデータベースなどの主な内容と結果を報告する。

代替燻蒸ガスに対する文化財の安定性評価

カン・デイル（韓国伝統文化大学校）

研究の目的 燻蒸に使用される気体である臭化メチルはオゾン層を破壊する物質である。先進国は 2004 年までに臭化メチルの多目的の生産と消費を廃止し、その他の国々でも 2015 年までに可能な限り、その使用を禁止するよう取り決めたモントリオール協定が 1987 年に締結された。

本研究では、代替燻蒸ガスとして他の国々で使用されている酸化エチレン（15 wt%）と HFC 134a（85 wt%）の混合ガスや、酸化エチレン（20 wt%）と二酸化炭素（80 wt%）の混合ガスおよびフッ化スルフルルに対して、文化財に使用されている様々な材質どれほど安定性をもち、そしてどのような影響を受けるのか実験をおこなった。

実験方法 本研究において用いた代替燻蒸ガスは酸化エチレン（15 wt%）と HFC 134a（85 wt%）の混合ガスや、酸化エチレン（20 wt%）と二酸化炭素（80 wt%）の混合ガスおよびフッ化スルフルルであり、これらのガスが金属、顔料、織物や紙におよぼす影響について観察をおこなった。燻蒸をおこなう条件については、財団法人文化財虫害研究所の定める条件に準拠した。

実験に供した材質は金属、顔料、織物そして紙である。金属の試験片は銅（銅、99.98%、30 mm×30 mm）と銀（銀、99.98%、15 mm×15 mm）である。顔料の試験片は鉛丹（ Pb_3O_4 ）、クロムイエロー（ $PbCrO_4$ ）、二酸化チタン（ TiO_2 ）、および磁鉄鉱（ Fe_3O_4 ）をスライドガラス（76 mm×26 mm×1 mm）に塗布したものである。織物の試験片としては大麻、絹および綿（染色していないもの、ベニバナで染色したもの、インディゴで染色したもの）であり、紙の試験片としては伝統的な韓国の紙を供した。

実験の前後において表面の観察をおこない、色彩の変化について調査をおこなった。

実験結果 酸化エチレンを用いた試験片では比較的速やかに退色が進行したことから、酸化エチレンは速やかに試験片内部へと拡散し、浸透したものと考えられる。

酸化エチレン（15 wt%）と HFC 134a（85 wt%）の混合ガスは沸点が低く（ $-26.20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）、吸着性は低いが、昆虫や微生物の殺傷能力が高い。この混合ガスにより燻蒸をおこなった結果、金属の試験片では表面の色彩が変化して、銅では ΔE の平均値が 3.40、銀では殆ど変化しておらず ΔE の平均値は 0.26 程度であった。顔料の試験片では ΔE の平均値は 1.0 以下で、顕微鏡観察では表面の変化は認められなかった。

酸化エチレン（20 wt%）と二酸化炭素（80 wt%）の混合ガスは他のガスと比較して沸点が高い（ $10.73\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）という欠点があるが、昆虫や微生物に対して強い殺傷能力を持ち、さらに遺物に使用される材質を損なうことはなかった。この混合ガスは燻蒸による色の変化について、酸化エチレン（15 wt%）と HFC 134a（85 wt%）の混合ガスと同様の結果が得られたが、その変化は顕微鏡観察では認められなかった。

フッ化スルフルルは不活性ガスであり、博物館における害虫駆除について先行研究がある。フッ化スルフルルは物質中に速やかに拡散、浸透するが、物質中に残留しない。しかしながら、微生物に対する殺傷能力は低い。燻蒸後の試料表面の色変化については上記 2 種のガスと同様の結果が得られた。特に、鉛丹については ΔE の値は 6.3 であり、大きな変化とみなせる。しかしながら、ここでも顕微鏡観察ではその変化を認めることができなかった。

結論としては、酸化エチレン（15 wt%）と HFC 134a（85 wt%）の混合ガスや、酸化エチレン（20 wt%）と二酸化炭素（80 wt%）の混合ガスおよびフッ化スルフルルに対する安定性に関して、今回実験をおこなった材質は殆ど差異が認められなかった。しかし、フッ化スルフルルについてはその主成分が SO_2 であるため、鉛を主成分とする顔料に対して影響をおよぼす可能性があり、また金属や樹脂、顔料、たんばく質やその他の材質に対しても影響をおよぼす可能性がある。したがって、本研究や他の先行研究の結果に示されているように、フッ化スルフルルに対する各種の顔料の安定性に関するさらなる研究が求められる。

アンコール遺跡・バイヨン寺院内回廊の浮き彫りの 保存修復に関する科学研究

沢田 正昭（国士舘大学）、J S A（日本政府アンコール遺跡救済チーム、代表；中川武）

バイヨン寺院内回廊の浮き彫りの保存修復に関する基本計画は以下の通りとした。(1)浮き彫りの現況の保存状態、ならびに劣化状態の実態を明確化すること、(2)浮き彫りの劣化要因を解明することと保存技術の研究、そして、これらの研究成果をふまえて、(3)浮き彫りの保存活用の技術的な面を十分に検討していく必要があると考えている。

浮き彫りの保存修理のためには、まず表面のクリーニングと、表面に付着する微生物（苔・地衣類・藻類）、および表面の汚染物質や沈着物質の除去から始める。それから、岩石の強化処理を行う。必要に応じて、破断したものの接合や欠損部の補填を行う。欠損部については単に補填・整形をするのではなく、構造的にも十分な強度をもたらすように配慮する。石材の強化に際しては、石材の部分が異なればその劣化度も異なるわけだが、強化処理後にはどの部分をとっても均質に強化できているようにしたいと思っている。さらに、総合的な強度をもたらすような保存材料と保存技術の開発研究を計画している。

我々はバイヨン寺の内回廊における浮き彫りに適した独自の保存材料の開発を目的とした、強化剤と撥水剤に関する耐候試験を

開始した。浮き彫りの砂岩と同じ素材で作られた試験体を作成し、各種の保存材料を用いて処理した後、それらの耐候性を比較検討することにした。

浮き彫りを構成する砂岩の強化剤と撥水剤を開発するために、現地で調達した灰色の砂岩を用いた試験体の物理的な特性をまず測定することとした。今回は、4種類の強化剤と撥水剤をそれぞれリストアップし、両者を組み合わせたものを含めて、計7種類の保存材料を準備した。先述の保存材料をしみこませた灰色砂岩の試験体をバイヨン寺院の現地において暴露している。バイヨン寺院所在の現地における暴露試験で、試験体の経年変化から耐候性を評価し、バイヨン寺院の浮き彫りに最適な保存材料を開発する。

故宮における明清時代の彩色画に用いられた保護材料の研究

王時偉、朱一青、張磊

彩色画は中国古代建築の重要かつ必要不可欠な要素である。彩色画は腐朽、日照および湿気を予防する機能を有するとともに、建築彩色を美しいものとし、建築芸術の美感をあげ、建築の形体美と色彩美を融合するものであり、中国伝統建築の特色となるものである。本研究では、故宮における明清時代の彩色画を研究対象として取り上げた。病理の分析および劣化と微環境との間の関係を研究することにより、彩色画の劣化要因と保護材料の特徴を示すものである。また、保護材料、室内実験プロジェクトおよび実験のパラメータの設定を考案しなければならないことについても述べる。また、保護性能を検証し、室内実験によるスクリーニングテストを評価することにより、優れた保護材料を得た。現地における保護実験により、彩色画の現地保護技術および質のコントロールと効果に対する評価のシステムを検討した。故宮における彩色画の材料の保護を通して、保護材料の選択と考案の科学的方法、保護材料の評価および現地保護技術の質のコントロールと評価をまとめる。

大英博物館の保存科学に対する一瞥

王全玉

博物館コレクションの長期にわたる保存はキュレーター、学芸員および科学者にとって重大な挑戦を意味している。1970年代以降、大英博物館の保存科学者はコレクションの安全な展示と収蔵に関する一連の研究プロジェクトを実施してきた。この研究は劣化の原因を特定することおよび制御方法を適切におこなうことに基づいているものであった。収蔵条件の監視および博物館全体にわたる収蔵のアップグレードを、コレクションの長期保存を確実にするために定期的におこなっている。

周囲の環境および展示ケースや収蔵庫の汚染ガスは博物館コレクションに対する主要な脅威のひとつである。木製の展示ケースから発生する酢酸やギ酸が金属製品の劣化の主な原因の一つであることが明らかとされた。結果として、木製の展示ケースは今日では金属とガラスを用いた展示ケースに入れ替えられている。展示ケースに用いられているすべての材料は使用に先立って劣化促進試験、いわゆる Oddy 試験がおこなわれ、金属製品に対して安全であることが確認されている。汚染ガスレベルのモニタリングは展示ケースおよび収蔵庫内でおこなわれている。焼結した酸化亜鉛であるプラスベックのようないくつかのスカルベンジャーが硫化水素を除去するために展示ケース内で用いられ、硫化銀の背性による銀の変色を防いでいる。

金属、ガラスおよび有機質などの多くの物質の劣化に対して相対湿度が影響することはよく知られている。これらの物質の多くは博物館の調湿されたあるいは除湿された展示ケース内で展示されている。これらの展示ケースはラジオテレメトリクセンサーを使った Hanwell システムを用いてモニタリングされる環境条件（温度と相対湿度）をもっている。電波の信号は15分ごとに実験室に送られている。他のエリアでは環境条件は保存担当者および学芸担当者により温湿度記録計および湿度計を用いてモニタリングされている。

化学薬品を用いて表面の腐食生成物を除去する保存処理はしばしば遺物に対してリスクを生じることがある。材料が特定の保存処理に対する応用に対して望ましい特別な化学的および物理的性質を持っているかどうかおよび経年的にそれらの性質を保持するかどうかを検討するために保存材料の試験がおこなわれる。これらの保存材料もまた遺物に対していかなる害も与えないということを確認するために Oddy 試験がおこなわれる。

朝鮮時代木造建築の丹青の仮漆に用いられた顔料

磊緑および石間朱の特性研究

アン・ビョンチャン（慶州大学校）

丹青は宮殿や寺院のような壮麗な木造建築に用いられる彩色技法のことで、様々な顔料を用いて様々な模様や絵が描かれる。この丹青の彩色技法の概略を述べると、まず建造物の部材全面に下塗り（仮漆）を施し、その上に模様の下絵を描く打草を行う。そ

の後、各種の色で彩色を施す。仮漆には「上緑下丹」の原則がある。すなわち、柱のような建物の下方に用いられる垂直部材には石間朱とよばれる赤色顔料が用いられ、その他の上部の水平部材には磊緑とよばれる灰緑色の顔料が用いられるのである。このような仮漆は丹青の基本的な色彩として確立されただけでなく、木材の欠陥を補い、その上に塗られる本模様用いられる様々な顔料の発色を良くし、建物の耐久性を高めるという重要な役割を果たしていることが知られていた。

丹青に関する記録は、王族や政府の公式文書である実録や地理誌などにある。仮漆の磊緑については、原料の産地が「長鬐縣産」と明確に記されている。いっぽう石間朱については、ウレン島の朱土窟が重要な産地であったと考えられるが、この洞窟の朱土が丹青の仮漆に用いられたことを確認できる資料は見つかっていない。

われわれはすでに採掘のおこなわれてない二か所の鉱山を訪れ、磊緑と石間朱のサンプルを採取した。これらのサンプルについて偏光顕微鏡、XRD、XRF および SEM-EDX などを用いて化学組成の分析をおこなった。分析の結果、磊緑の鉱物はセラドナイトという鉱物であることが分かった。この鉱物の化学組成は、 $K(MgFe^{2+})(Fe^{3+}Al)Si_4O_{10}(OH)_2$ である。

朱土窟の鉱物は赤褐色または黄褐色を呈し、概して粘土岩である。赤褐色の石材はやや多孔質で、ヘマタイト、サニディン、イライトおよび少量のダイアスポアと角閃石からなる。石間朱の化学組成は、 SiO_2 46~48%、 Al_2O_3 24~25%、 Fe_2O_3 6~7%、 K_2O 3~4%、 Na_2O 4~5%、 MnO 0.2%、 TiO_2 0.2% である。

われわれは採取した磊緑と石間朱顔料を朝鮮時代の薬研器をもちいて朝鮮時代の方法ですり潰し、顔料の粒度毎に色度を測定した。われわれはそれらの顔料を膠（接着剤）と混ぜ、その色彩効果について調べた。その結果、磊緑仮漆は $32\mu m$ より細かい粒子でもっとも色彩効果が高く、石間朱は $25\mu m$ よりも細かい時にもっとも色彩効果が高いことがわかった。これら 2 種類の顔料は、現代の顔料に比べて、紫外線ライトに対する素晴らしい耐候性を有し、生物に対する耐性にも優れている。われわれは磊緑と石間朱の顔料粒度によるカラーチャートを作成し、伝統的仮漆の色調の基準として提示した。

これらの顔料はいずれも粘土岩鉱物であり、その他の様々な色調の顔料と調和し、耐候性や生物に対する耐性に優れていることから、仮漆の顔料に適しているといえる。

文化遺産の輸送において発生する衝撃及び振動の特性

神庭信幸（東博）、和田 浩（東博）

増加する国際的な博覧会によって、保存科学者の多くは文化財のグローバルな輸送環境に関して広く理解せざるを得ない状況になっている。輸送環境中の衝撃と振動は、文化財へ重大な被害をもたらすことがある。衝撃と振動による輸送中の事故は、梱包ケース、それを取り扱う人間、取り扱いの機材、輸送機材、輸送システムの間複雑な相互作用の結果と考えられる。したがって、輸送中のデータは最適な梱包ケースと輸送手順を設計するのににおいて極めて重要である。最適な輸送と梱包を開発するために、保存科学者、梱包技術者、および運送業者が輸送中の梱包ケースが受ける温湿度や衝撃・振動などの物理的な環境について知っていることは重要なことである。

輸送中の文化財の衝撃・振動が測定された事例報告はごくわずかしかないために、実際に行った輸送の安全評価をおこなうために、利用可能な文献を参考にすることは難しい。文化財は一般の商品と全く異なる特性を有しているため、文化財を保護するための特別な梱包・輸送を設計することは常に挑戦である。従って、博物館が輸送環境を理解するのは重要であり、必須の条件である。これまでに行われた測定では、わずかなデータしか得られていないために、輸送中の環境に関して十分な理解を得るのは困難な状況であった。そこで、東京国立博物館では測定装置の記憶容量を拡大することによってデータ量を増加させる努力を行った。同時に、この新しい記録装置を使用して可能な限り輸送中のデータを測定し、基本情報を蓄積してきた。海外で行われる展覧会の際に測定する航空輸送のデータは、事故が発生した際の分析に利用されることもある。しかしながら、こうした測定において、衝撃・振動が発生した時間は決定できても、輸送工程のどの段階で発生したものであるかを正確に把握することは従来は困難であった。最近、我々は輸送中の文化財の随伴者の努力によって加速度が発生する時間と工程の関係を正確に記録するのに成功した。

現在、航空輸送中に生じる実際の振動及び加速度は、ISTA や ASTM などの従来の産業試験基準より低いと考えられている。従って、ISTA 航空機輸送振動試験基準が現在、改正中である(Joneson, Eric 2008)。これまでは荷扱いを考える技術者にとって、離陸、飛行中、着陸に比較して、貨物の積み込み、積み出しの時の振動・衝撃の方により高い関心が存在していた。しかし、大きな衝撃の一つが完全に見過ごされてきていたことが、東京国立博物館によって集められたデータから判明した。それは、空港内で使用されるドリーが発生する振動・衝撃が重大な影響をもたらしているというものである。もしもドリーの振動が考慮されていれ、事故発生率は減少すると考えられる。

この発表では、東京と海外の諸都市の間で行われた実際の輸送において収集された、いくつかの事例を提示し、それぞれの輸送工程の危険度を明らかにするために、それぞれの工程とそこで発生する衝撃・振動レベルに注目する。

陝西省白水蒼頡廟の崩壊壁画を処理するための脱塩技術の応用試験

陳港泉、樊再軒、于群力、喬海、唐偉、蘇伯民、馬建泰

陝西省の蒼頡廟は全国重点文物保護単位である。室内に残る壁画の一部は主として塩類によって引き起こされる崩壊を生じてお

り、現在、最も効果的な処理方法は脱塩処理である。アクリルアミドをグラフト重合させたある種のデンブンは主にデンブんとアクリルアミドで作られており、水と塩に対してきわめてすぐれた吸着媒となるものである。蒼頡廟の壁画の病害をある程度処理するための予備的な研究に基づき、適切な修理技術を選定し、この高吸収性ポリマーを綿紙に載せて脱塩板を設計製作した。脱塩試験の評価は以下の通りである。壁画中、特に表面の塩含有率は明らかに低下した。特に Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- を含む可溶性塩類の場合、その含有率は 1/3 減少し、2 回目の脱塩処理後には表面の塩の含有率は 70% 減少した。しかし、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} を含む塩に対しては有効ではない。固化後、壁画は強化され、その外観には明らかな変化は認められない。本試験により、応用された材料と技術が寺院の堂内の病害を受けた壁画の脱塩固化に適しており、主として NaCl 、 Na_2SO_4 、 NaNO_3 のような可溶性の塩を脱塩するのに適していることが明らかとなった。

非破壊分析による朝鮮時代後期の女性用銀製装飾品の研究

ク・ジヘ（サンハン文化財研究所）、キム・スギ（ヨンギン大学校）

本研究の目的は、朝鮮時代後期の女性用銀製装飾品の基礎材質や金属溶接技術について、文献調査および X 線を用いた調査をおこなうことであり、破面解析や蛍光 X 線分析によって材質および製作技法について調査した。

文献調査の結果、朝鮮時代の銀の用語は等級によって使い分けられ、現在の単語とは異なっていたことがわかった。「汗音（ハヌン）」という語が溶接をさす用語として用いられ、様々な成分の溶接がおこなわれたという事実が文献で確認された。非破壊分析の結果、朝鮮時代後期の銀製品の基礎材質は様々な等級の銀からなり、結合部には銀が用いられたり、真鍮による溶接技術が用いられた。

校倉・唐櫃の温度・湿度・大気汚染の調整効果

西山要一（奈良大）

日本の伝統的な倉庫建築である“校倉”は、1300年前の奈良時代には、行政機関である宮都や地方官衙、宗教施設である国分寺や神社ごとに建設され、全国にわたるその数は数百棟に及んだと推測される。校倉は国家や地方の行政、信仰に必要な文物を収容するがゆえに、国家の法令である“律令”により建設が義務づけられていた。

校倉の優れた保存機能は、奈良に現存する正倉院に伝えられる文物が、1300年を経た今日でも当時と変わらない形態と色彩を保つことで示されている。この優れた機能は、木造高床であること、井桁状に組みあげられている板壁の伸縮による湿度調節機能によるものと考えられてきた。

筆者は正倉院と同時代・同様式の東大寺“経庫”において、20年間、温度・湿度・大気汚染の測定を行ってきた。その結果、温度の日較差は、経庫外部では14度、経庫内部では4度、唐櫃内部では3度、湿度の日較差は、経庫外部では5.5%、経庫内部では1.5%、唐櫃内では1~2%であった。文物を収納する唐櫃内では温度・湿度ともに日々の変化は極めて小さく、紫外線もとどかないなど、文物を損傷する要因が最小限に抑制されている。理想的な保存環境といえよう。定期的な曝涼(虫干し)と点検、防火・防災など日常の管理の果たした役割も大きい。

さらに現代的課題である大気汚染は、二酸化硫黄(SO_2)は、経庫内部では経庫外部の13分の1、唐櫃内部では経庫外部の15分の1に減少し、二酸化窒素(NO_2)は、経庫内部では経庫外部の2分の1、唐櫃内部では経庫外部の140分の1に、塩化物イオン(Cl^-)は、経庫内部では経庫外部の11分の1に、唐櫃内部は経庫外部の16分の1に減少し

ている。経庫外部、経庫内部、唐櫃内に置いた金属板と彩色板の文化財サンプルの10年後の変化は、経庫外部は大きく経庫内部は小さく、唐櫃内はほとんど変化していないことから、木造の校倉や唐櫃が大気汚染物質の内部浸入を防ぎ、汚染大気を浄化する効果の大きいことを示している。

近年の文化財の保存管理では、鉄筋コンクリート建物で空気調整装置を連続運転して温度・湿度を完全管理する方法を採用している。この方法では、小刻みな温度と湿度の上昇と下降を繰り返し、かえって文化財の劣化を早めるばかりか、膨大なエネルギーを消費している。校倉建物と唐櫃の保存機能を応用した、伝統的な自然気候順応型の保存管理法を活用すべきである。

高句麗古墳壁画保存のための石灰モルタルに関する研究

ハン・キョンスン

材料が固化する環境条件の差異に基づいて、本研究では高句麗（Goguryeo）古墳に用いる充填材を分類した。1つは炭酸ガスと反応して空気中で固化するもの、2つ目は空気中の湿気と反応して高湿度環境下で固化するものである。後者は古代ギリシャや古代ローマにおいて実際に建築材料や、入り江および橋の修理材料として使用されたものである。高句麗古墳内部の平均的な相対湿度は90%以上、平均気温は10℃である。一般的に高い品質の石灰モルタルを保存修理に使用したとしても、水分の浸潤によつ

てモルタルの固化に問題が生じており、またその溶解性のために構造的な問題も生じる可能性がある。したがって、高句麗古墳壁画の保存のために理想的な石灰モルタルは湿潤環境下において固化し、硫酸化物の含有量が 0.5%以下で、かつ壁画彩色層を損なうことがないようマグネシウムや鉄の酸化物を含まないものであるべきということが、本研究によって示唆された。天然の水硬化性の石灰が、この要件を満たすと考えられた。そこで、本研究では 4 種の異なる水硬化性の石灰を選び出した。このうち 2 つは天然の貝殻から調製したもので（商品名 CALCIDUR と HYDRADUR、それぞれ試料名 NHL1 および NHL2）、2 つは人工的な材料である（それぞれアクリル樹脂とポリ酢酸ビニルを混合したもの、試料名 NHL3 および NHL4）。4 つのモルタルの材質特性を調べることで、使用可能なモルタルとそれらの使用可能な条件について知見を得た。4 つの水硬化性のモルタルそれぞれに対して、砂との混合比をそれぞれ 1:2、1:3、および 1:4 とした 3 種の異なる混合比の円形試料（直径 50 mm、厚さ 10 mm）を調製した。それぞれの試料は蒸留水によって相対湿度 90%、温度 10 °C に保たれた環境下に置かれ、28 日間かけて固化をおこなった。変形やクラックの程度や、点載荷試験によって求めた圧縮強度について記録した。試料に混合した砂は石英、長石から構成され、黒雲母も含有する。試料はその pH が中性となるよう蒸留水で洗浄し、黒雲母は除去した。その後、試料は KS の標準サイズに則っており、2.0 cm、1.0 cm、0.5 cm、0.25 cm、0.125 cm および 0.63 mm の大きさに切断された。これらの試料は温度 20 °C、相対湿度 90 % の環境下において 28 日間かけて固化した。一軸圧縮強度は点載荷試験の結果から算出した。全ての試料において、強度は製造した会社から供与された値を上回った。特に NHL2 では砂の混合比の増加に伴って点載荷試験強度が増加し、1:4 の試料では急激な増加が認められた。また NHL1 でも点載荷試験強度の増加は認められたが、その増加に規則性は認められなかった。

28 日経過した時点で、いずれの試料においてもひび割れや変形は認められなかった。本研究の結果から、高句麗壁画の修理に用いる材料には NHL2 が最もふさわしいと考えられる。

歴史的建造物由来古材を用いた

ヒノキ材(*Chamaecyparis obtusa* Endl.)の強度特性の経年変化

横山 操 (京大生存圏研)、ヨセフ・グリル (京大生存圏研・モンペリエ工大)、松尾美幸 (京大生存圏研)、

矢野浩之 (京大生存圏研)、杉山淳司 (京大生存圏研)、ブルーノ・クレア (モンペリエ工大)、窪寺茂 (文建協)、

光谷拓実 (奈文研・地球環境研)、坂本稔 (歴博)、尾崎大真 (歴博)、今村峰雄 (歴博)、川井秀一 (京大生存圏研)

木材という材料は、日本の文化において非常に重要な役割を果たしており、このことは、国宝や重要文化財に指定された建造物の 90%以上が木造建築であるということ、また、特に、日本の古都である奈良・京都に現存する多くの木造建築群がユネスコ世界文化遺産に登録されていることから、うかがうことができる。なかでも最も著名なものは、世界最古の現存する木造建築、7 世紀後半に建立されたとされる法隆寺である。

木材は長寿命材料として知られているが、未だ、その材料特性の経時変化について十分に理解されているとはいえない。木材の経年変化に関する本研究は、1000 年以上もの長きにわたって木造建造物を保存修復し、当初と同一の材料を用いて修理する伝統的な文化背景を持つ日本においてのみ遂行しえたものであると位置づけられる。

木材の経年変化を研究するにあたっての最も難しい問題は、実験試料として、樹木としての生育年代や部材としての使用年代が明らかであり、かつ、文化財所有者や文化財の保存修理を監督する行政などの了解が得られるという 2 つの条件が満たされるものでなければならないことである。しかし、この点において、日本の文化財指定建造物においては、建立や修理の歴史が付帯文書に記述され履歴が残される場合も多く、また、部材そのものの墨書、加工痕跡などから使用年代が明らかになる場合もある。加えて、年輪年代法や放射性炭素年代法を用いることにより、生育年代を知ることが可能である。さらに幸いなことに、近年、京都大学生存圏研究所では、文化財所有者や修理を監督する関連機関の了解を得て、これらの建造物の保存修理の際の取替え古材の収集をはじめている。

収集したこれらの古材群から、実験試料として、飛鳥期から近世までの歴史的建造物由来古材を 8 点、および現生材を選定した。木材は生物材料であるため、その特性は、産地や樹齢にも依存する。経年変化の詳細を議論するためには、そのような個体差を考慮する必要があるが、同じ樹種ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) を用い、なるべく年輪幅が揃ったものを選定した。また、これらの建造物由来古材と同等の、均質かつ大径木材の日本国内での入手は近年では非常に困難であるとされるが、本実験では古材のコントロール材として、文化財修理用材として高品質で最適であるとされる木曽産の現生ヒノキを使用した。

これらの試料を用いて、繊維方向および繊維直角方向（半径方向）のそれぞれについて、木材の物理的特性評価を行った。木材物性は、密度や含水率によって大きく影響されるため、得られた実験結果について、密度および含水率の効果を考慮して評価を行った。その結果、繊維方向の木材強度は伐採後 1000 年経過した材料でも現生材と比して大きく低下しないが、半径方向では、特に破壊エネルギーが著しく低減する傾向が認められた。この結果から、木造建造物の修理における古材の再利用では、半径方向の負荷については注意を要することが示唆された。

本報告では、日本の歴史的建造物由来ヒノキ古材の強度特性に関して、とくにヤング率と破壊エネルギーについて述べる。これは、日本固有の材料を用いた、木材経年変化に関する基礎的研究ではあるが、この結果は、東アジア圏の木製文化財に応用可能な共通性と普遍性をも含んでいる。この研究を遂行することにより得られる知見は、今後、木製文化財の保存修復の場面で、非常に有益なものになりうると考えている。

通景画のはぎ取り、保存および修復における環境要求の試談

李寅

通景画の内部構造は歳月とともにきわめて変化を生じてきている。いかなる場合であっても、はぎ取り、保存および修理の過程で再びダメージを受ける。この2回目のダメージを低減、あるいは回避するために、技術的に特定の保護対策以外に環境因子について考慮しなければならない。数年にわたる通景画の修理をとおして、テーマとしての環境は重要なものであることから、本論文では対比させながらすべての修復過程における環境因子の重要性を述べることにする。

臨床保存現場での金属器保存処理の実践と方向性

塚本敏夫、尾崎誠、尼子奈美枝、石川恵美、橋本英将、山岡奈美恵、中越正子

(元興寺文化財研究所)

元興寺文化財研究所では文化財の臨床保存現場の最前線として40年以上の保存処理を手がけてきた。

一方、40年という時代の流れで、文化財を取り巻く環境も大きく変化し、保存科学も大きなターニングポイントに差し掛かっている。

本報告では金属器保存処理の実践の歴史とその方向性について報告する。

その一つが、形を残す保存処理から、一歩進んで情報を残す保存処理への進化があげられる。

金属器保存処理も錆の進行を止め、鉄器のラインを出し綺麗に仕上げることから、錆化した有機質情報から器物としての元の構造や埋蔵された状態を復元したりするように保存処理の方向性が変化してきた。

もう一つは、文化財の活用・公開の方向性である。その一つの方向性として、わかりやすい展示による公開がある。立体系遺物で、安全性を確保しながら、その本来の姿や機能を表現する支持台での立体展示があり、その技術の確立である。

また、古代の技術を再現して製作する復元模造品もその一つである。特に、朽ち果てた埋蔵文化財は一般の人にはわかりにくいので、製作時の姿を再現して、体験することができることは、文化財を理解してもらうために必要なことであろう。

近年の地球温暖化にともなう気候変動は文化財の保管環境にも確実に変化をもたらしている。今まで考えられなかったような処理済遺物の結露による錆の進行事例が増加している。やはり、その原因は日本列島の亜熱帯化がその原因として考えられる。

21世紀の日本の保存科学の目指すべき緊急課題は、亜熱帯気候にも対処できる、独自の、アジア型保存処理技術の開発であり、保存処理技術と保管環境の整備をハード、ソフト両面から推し進めて行くことにより、貴重な文化財を一点でも多く後世に伝えていくことであろう。

館蔵壁画の緩衝層の修理技術に関する研究

孫延忠、葛琴雅、郭宏

緩衝層ははぎ取られた壁画と人工的な支持体との間に存在する。本論文では、館蔵壁画の緩衝層の分類と機能を要約する。緩衝層に対する修理技術を紹介するためのケーススタディとして「花変主題佛」壁画を取り上げることにする。まず、現在の緩衝層を除去する理由を検討した。続いて、「加熱」と「切削」という除去法がおこなわれた。最後に、科学的な結果に基づいて、新しい緩衝層をオリジナルの材料に似せて用いた。

韓国における塑像の製作技法と保存

チョン・キョンミ

塑像の製作技法には2通りの技法があり、1つは火を利用する技法で、もう一方は自然乾燥による技法である。本研究では朝鮮時代後期の塑像の中で、自然乾燥により製作された塑像を対象として調査をおこなった。本研究の結果、塑像の製作技法が明らかとなった。塑像製作の第一段階は、像の形を想定して厚い板材の彫刻をおこなう。第二段階として、彫刻された像に対して2回にわたり土を付け加えて、像の完成形を作成する。そして、土が下垂するのを防ぐために、麦わらのひもをよった糸を塑像の周囲に一定の間隔で巻きつけていたことが明らかとなった。