

## 保存科学と考古学～埋蔵文化財保存の現場から～

(公財)京都市埋蔵文化財研究所 資料業務(保存科学) 関 晃史

### はじめに

保存科学は考古学や文献史学など様々な分野からアプローチが行われている歴史研究のうち、資料保存や科学分析を専門とする研究分野です。とても広い分野を対象に研究が行われていますが、今回は特に埋蔵文化財をどのように保存しているのか？ また、分析方法やその成果をどう活かしているのか？について、できるだけ最新の事例を交えながらご紹介しようと思います。

### 文化財保護をめぐる主な制度

- ・明治 4 年 (1871) 「古器旧物保存方」の太政官布告
  - 性格：古器旧物の所在・所有者を明確にした。
  - 背景：文明開化の機運から、伝統的な文化を否定的にみるようになる。また、明治元年の神仏分離令で廃仏毀釈運動が起こり、仏教文化財の破壊や困窮寺院の宝物売却で文化財が散逸する事例が増加した。
- ・明治 30 年 (1897) 「古社寺保存法」制定
  - 性格：社寺建造物や社寺所蔵文化財に管理責任と展示活用を義務付けた。文化財保護を目的とした初めての法律。
  - 背景：明治 27・28 年の日清戦争で民族意識が高揚し、歴史や文化が見直されるようになった。
- ・昭和 4 (1929) 年「国宝保存法」制定
  - 性格：社寺所蔵以外の文化財や城郭も対象に加えた。同法での「国宝」は現在の「重要文化財」に相当。
  - 背景：江戸時代から 60 年が経ち城郭の老朽化、また、大正から続く不況で旧大名家所蔵文化財が散逸。
- ・昭和 25 年 (1950) 「文化財保護法」制定 (現行)
  - 性格：形ある有形文化財だけでなく、無形文化財なども対象とし、先に制定されている国宝保存法、史跡名勝天然記念物保存法、重要美術品等ノ保存ニ関スル法律を統合した。
  - 背景：敗戦期の混乱から文化財の散逸を防ぐ必要があった。また、法隆寺金堂の火災によって壁画が焼け、世間でも文化財保護が求められるようになった。

### 保存科学について

文化財の保護は上述したように現在まで約 150 年に渡って取り組まれてきましたが、その背景には文化財を失ってきた失敗もあります。明治時代以降、科学的な面から保存・分析を文化財調査に取り入れた事例はありますが、本格的に自然科学的手法が文化財の保存・分析に用いられるようになるのは約 70 年前であり、歴史学にアプローチする学問としては比較的新しい分野といえます。特に考古学分野においては、資料の保存・修復のほか、製作技法や産地、年代、環境、資源利用といった検討を科学分析の方面から加えられるようになりました。

埋蔵文化財として保存の対象となる資料は多種多様です。そのうち土製品や石製品は焼成温度や石

材にもよりますが、多くは洗浄、接合、石膏補填、補彩をして室内であればそのまま保管できる頑丈な資料であり、いずれかの工程を行わないからといって資料そのものが崩壊することは基本的にありません。一方で土製品・石製品と比べて出土量は少ないですが、木製品や金属製品などは、そのまま放置すると変形や崩壊を起こし、資料としての価値を失ってしまうものが多くあります。こうした資料の形を維持して残していくためには保存科学的な処理(保存処理)を施す必要があります。以下、保存処理が必要となる資料を中心にご紹介していきます。

### 出土木製品にみられる特徴

日本の文化は「木の文化」と言われるように、日本人は太古から木との密接な関係を基に文化を築き上げてきました。木は容易に加工できるので建築部材のような大きなものから小さく精巧なものまで実にバリエーションに富む資料であり、用途に適した樹種の選択的利用も知られています。例えば農工具などの強い力が加わる道具には硬いカシを使い、漆器椀には木目の美しいケヤキ、櫛では細工が容易なツゲや重厚感のあるイスノキなどが選ばれています。また、紙の様に何かを描くことができるため、文字や絵が残されていることもあり、当時の人々の身近な文化を色濃く伝える資料と言えます。

それら木製品が土中で残る条件としては常に多湿な土壌や永久凍土、砂漠といった埋没環境で変化が起こらない土壌に限られ、日本では河川跡や池跡といった多湿な土から出土します。その理由は乾湿の繰り返しによるストレスが無く、また、活発に活動する好気性の微生物の影響を受けにくいといった環境にあります。それでも数百年～数千年の間、土中では徐々に分解が進み、主成分であるセルロースやヘミセルロースを失ってスポンジのようにスカスカな状態になっていきます。その様な木の内部には、失った主成分に代わって土中の水分が入り込んで辛うじて形状を留めていますのでスカスカな資料ほど水を含んでいます。そのまま乾燥させてしまうと、蒸発時の表面張力に脆弱になった木材組織が耐えられず、変形・収縮が発生し、資料価値を失ってしまうため保存処理が必要になります(図 1)。現在生えている木でも、水を除いた木質のみの重量に対して 0.8～1.8 倍の重量の水分を含み(以下、この割合を含水率 80～180%のように記す)、乾燥時は収縮に伴う割れが起こりますが、出土木製品には最大で含水率 1200%といった資料もあり、現生材とは比較にならないほど収縮します。収縮には木の方向(図 2)ごとで差があり、軸方向で 1 縮む時には放射方向で約 5、接線方向で約 10 の割合で縮みます。

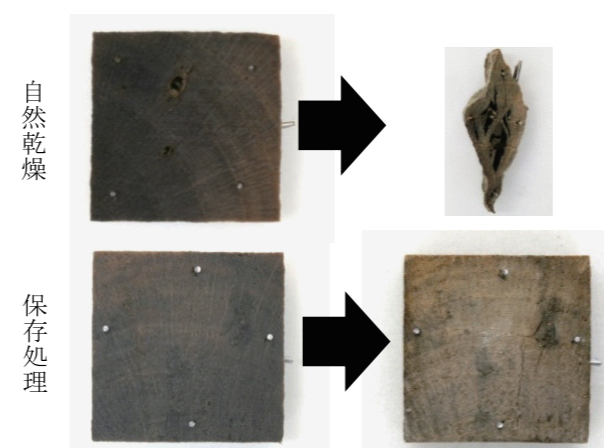


図 1. 保存処理実験写真

石川県金沢市畝田寺中遺跡出土試料  
樹種：クリ、含水率：897～1028%、  
保存処理：トレハロース真空凍結乾燥

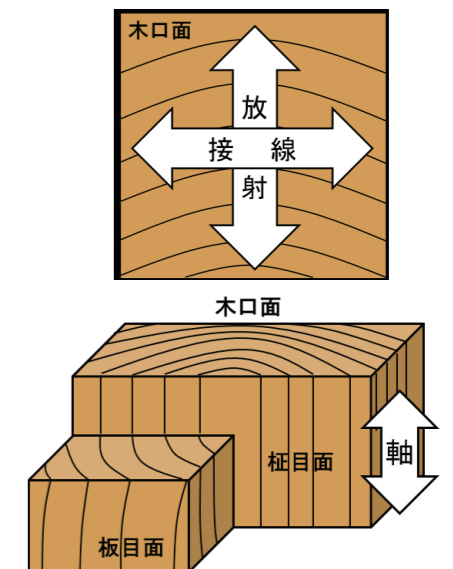


図 2. 木材の面と方向のイメージ

### 出土木製品の保存処理

木製品を保存するための処理では、中に含まれる水を安全に取り除き、資料として活用できる強度を与えることが目的となります。それには水を別の物質に置き換える必要があります。置き換える物質には様々なものがあります。最も汎用的に使われているものでポリエチレングリコール（以下、PEG）と呼ばれる物質があります。PEGには蠟と似た性質があり、温めると溶け、常温では個体の物質です。水溶性であり、水に溶かした低濃度液から高濃度液へ段階的に木製品を浸け、最終的には加熱して溶けたPEGだけの液に浸け込むことで含まれていた水を全てPEGに入れ替えます。同じように水に溶かして行う処理法には砂糖（トレハロース）を用いた方法があります。対象とする木製品が大きいほど水の置き換えに時間がかかりますが、小さな資料であっても約3ヵ月、大きな資料であれば数年を必要とします。

### 出土木製品の分析

出土木製品の分析調査には代表的なもので、何かを描いた痕跡を探す「赤外線調査」、何の木なのかを知る「樹種同定」、年代を探る「年輪年代測定」があります。

赤外線は人の目で見える可視光よりも波長の長い光で、逆に可視光より波長の短い光には紫外線やX線があります。赤外線のように波長の長い光には、対象物の内部に進入する性質があり、その光のみを捉える赤外線カメラを使うと、表面上は汚れや消失で見えなくなった墨であっても、染み込んだ墨が残っている場合には可視化することが出来ます（図3）。

樹種同定は、木製品の木口・板目・柁目の三面から剃刀を使って限りなく薄いスライス片を採取し、生物顕微鏡で観察することで樹種を調査します。木の組織には樹種それぞれの特徴があり、劣化の程度にもよりますが科、属、種レベルでの同定が可能となり、調査点数を増やすことで用途に応じた樹種の選択を知ることが出来ます。

年輪年代測定は、1年ごとに形成される年輪の特徴から年代を知る方法です。よく成長した年とあまり成長しなかった年で現れる年輪幅の長短の組み合わせを、年代の明らかな標準木材と照らし合わせることで、年輪の形成年がわかり、最も新しい外側の年輪形成年が資料製作で木を伐採した上限年となります。運良く樹皮部分が残っていれば伐採した年を正確に知ることが出来ます。



図3. 伏見城跡近世墓木札  
(左：可視光写真、右：赤外線写真)

### 出土金属製品の保存処理

金属製品とは、酸化鉱物から金属単体を抽出して鍛造や鋳造で製作されたものを言います。それを保存するには、金属単体という自然界では存在しにくい不自然な状態から、安定で自然な鉱物へと戻ろうとする働きである「錆びる」という現象を抑制する必要があります。

当然ですが発掘で出土する場合には既に土中で酸化し、表面を錆に覆われた状態で見つかります。展示や実測といった活用を考えると錆は見かけを不明瞭にするので除去しますが、錆を除去した金属は表面を覆っていた安定した酸化物が無くなり、錆びずに残っていた地金が酸素や湿気と触れ合うこ

とで再び錆びやすい状態になります。金属が錆びる原因は環境条件などがありますが、出土する金属製品には土中の塩分を取り込んでいるものもあり、それらは顕著な崩壊を引き起こす性質を持つものがあり危険です。そのような資料から塩分を取り除くため、純水をアルカリ性にした水溶液に金属製品を浸けて塩分を溶出させます（脱塩処理）。その後、樹脂を溶かした有機溶剤に浸けて資料表面を樹脂で覆うことで、できるだけ酸素や湿気に触れないようにして保存処理は終了します。保存処理を終えた金属製品であっても徐々に劣化が進行する事例は多く、その進行速度は劣化が進むにつれて加速していきます。劣化した資料を元に戻すことは不可能なため、劣化を抑制する保管環境整備や劣化速度の緩やかな段階で発見し、再処理を行うといった工夫が金属製品を残していく上で必要になります。

### 出土金属製品の分析

金属製品の分析にも様々な方法が用いられていますが、文化財を対象にした場合、非破壊での分析方法が最も望まれます。特に利用される非破壊分析には「X線透過撮影」や「蛍光X線分析」が挙げられます。X線透過撮影やそれを複数回行うことで立体像を構築するX線CT撮影を行うと、X線の透過度合から密度の違いが明瞭に表れ、その違いから、劣化した箇所や文様、構成する材質の違いといった、本来であれば錆を除去しなければ得られない情報を知ることが出来ます。X線透過像から得られた情報は、顕微鏡観察などの結果と共に錆の除去作業に大変役立ちます。また、蛍光X線分析では、X線を照射して発生する元素固有の蛍光X線を判別することで、照射箇所に存在する元素を知ることが出来ます。また、その照射箇所を増やすことで面的な元素分布を知る蛍光X線マッピング分析という方法もあります。

### 御土居出土「極印 鑽」の分析事例

平安京右京六条一坊三町跡・御土居跡（中央市場）の発掘調査で出土した極印 鑽は当初、用途不明の鉄製品として錆の除去を行ったところ、端面に銀座の役所名である「常是」と「大黒天像」の陰刻が見つかり、江戸時代の銀貨幣である丁銀の品質を保証するために打たれた極印の鑽であることがわかりました（図4）。印面に表現される大黒天像と常是という文字の特徴から、元和・寛永期以降の丁銀に使用されたものと考えられています。これまでに銀貨に対して使用された極印 鑽はみつかっておらず、これが全国で初めての発見となりました。

この極印 鑽の分析調査では、X線CT撮影、蛍光X線分析、蛍光X線マッピング分析を（公財）元興寺文化財研究所、（株）堀場テクノサービスにて実施しま



図4. 平安京右京六条一坊三町跡・御土居跡極印 鑽

した。X線 CT 撮影で得られた像からは、印面に密度の高い箇所が点在しており（図5）、その箇所を蛍光X線で分析すると鉛（Pb）の検出が認められ（図6）、その他の箇所では銀（Ag）や銅（Cu）も検出されました。それらの金属がどのように印面に分布しているのか調べるため、次に蛍光X線のマッピング分析を行ったところ、各元素の分布状況がわかりました。丁銀の主な元素である銀と銅に加え、既に述べた鉛と僅かな金を確認しています。特に銀と銅は大黒天の右側から常是にかけて分布し、鉛が大黒天像の左側に多く存在していることがわかります（図7：下）。また、銀、銅、鉛の分布を共に示した画像をみると、鉛が他の金属との合金としてではなく、単体で存在している箇所が多く、特に検出が強い箇所はX線 CT 像でみられた電子密度の高い箇所と一致します。印面に残るこれらの元素は、打刻した対象物に由来する可能性が高く、鉛の検出は贗金への打刻も考えさせられます。しかし、当時の保管方法や補修、メンテナンスといった取り扱いについては、分かっていない事が多く、評価はこれからの課題となります。いずれにしても、これまでは打刻された側の丁銀や絵図を通してでしか存在を確認できていなかった銀座で用いられた極印鑽の発見と、印面に土壌由来とは考えられない金属が残るといった分析成果は、貨幣製造史を考察する重要な資料といえます。

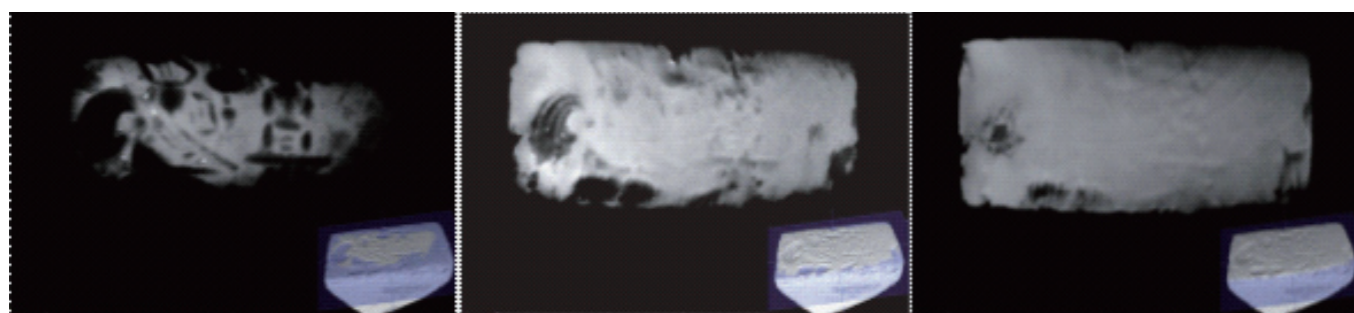


図5. X線 CT 撮影画像（丸は密度の高い箇所。右図へ行くほど深い断面像）

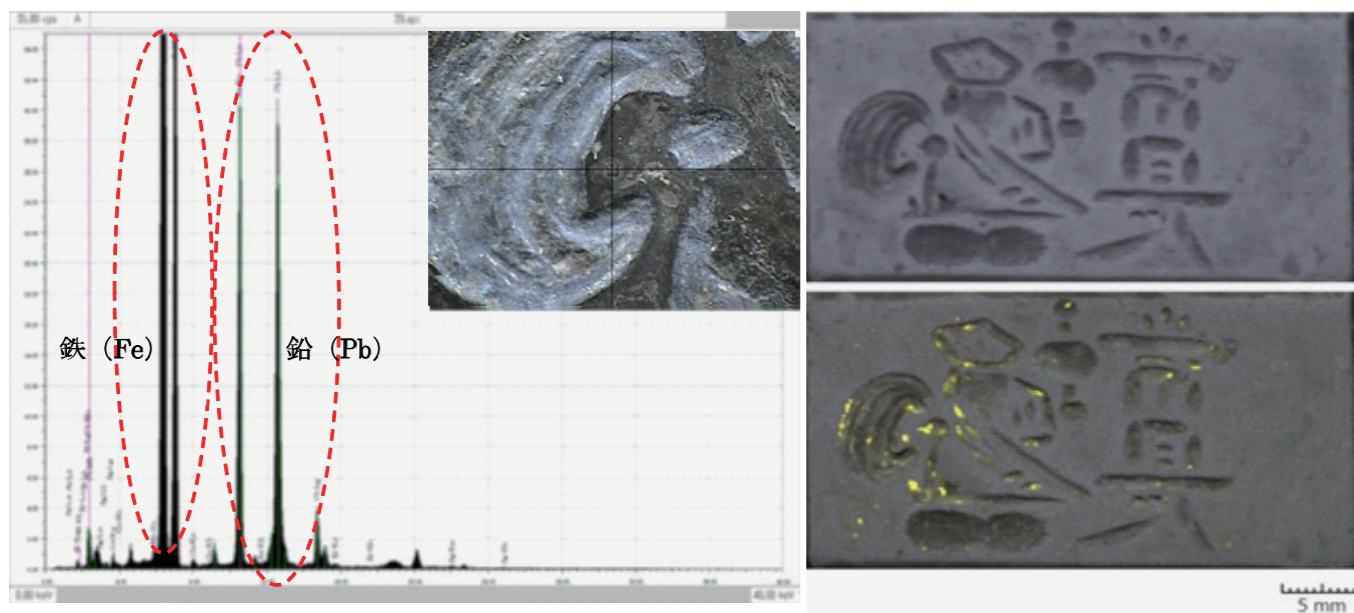


図6. 蛍光X線スペクトル

図7. マッピング像  
上：鉄、下：鉄+鉛

### 動物遺存体の保存

遺跡から出土する動物遺存体（以下、骨）は、歯や角といった頑強な部分を除くと、木製品と同じような環境から出土します。特に日本の酸性土壌ではカルシウム分が溶けやすく、古い骨の場合は貝殻などでアルカリ性が加わって中和された貝塚や海辺でしか残らないのが普通です。なんとか出土まで残っていた骨でも、水分を多く含んだビスケットのように、とても脆弱になっているものもあり、

その様な骨は乾燥によって亀裂や表面剥離、粉状化してしまいます。骨の形状は、生物種を特定する大切な手がかりとなるほか、解体や加工で付いた刃物痕の残る骨（図8）や、ケガまたは病気を痕跡として残すものもあるため重要です。したがって、形が維持できないと思われる骨には、後述する分析において弊害となる可能性もありますが、金属製品のように樹脂を使って固める必要があります。

### 動物遺存体の分析

骨には非常に多くの情報が残されており、それらを読み取るための研究は盛んに行われています。良く知られている DNA 分析では、生物種や性別、血縁関係などを調査できます。また、骨に残るコラーゲンから行う炭素・窒素同位体分析では、死亡時から過去 10 年間に摂取したタンパク質について知ることができ、何を食べていたのかが大まかにわかります。ほかにも、歯に残るストロンチウムから行うストロンチウム同位体分析では、歯が形成される際に生活していた地域の情報を得ることができます。そのため、第三大臼歯（親知らず）などの様に、形成時期の異なる歯で違いがみられる場合や、出土した土地と異なる地域の分析結果が出た場合には、地域間の移動が明らかになります。

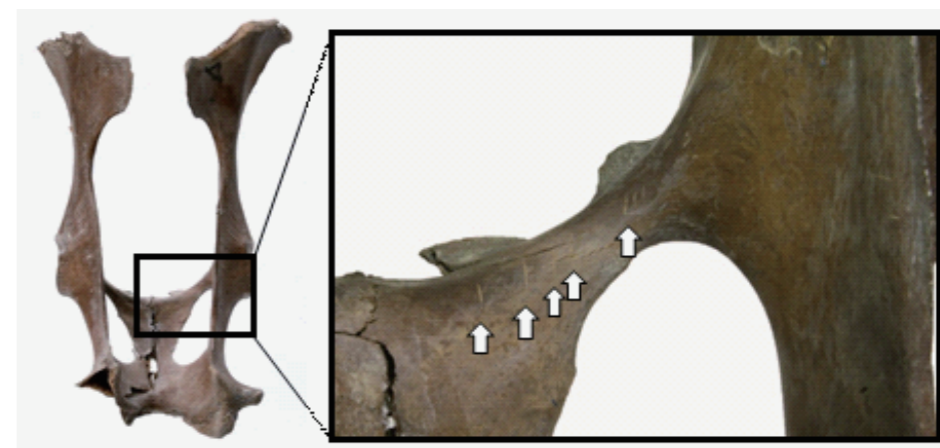


図8. 富ノ森城跡ニホンジカ寛骨に残る刃物痕（近世）

### ガラスの保存

日本におけるガラスは、弥生時代前期末に中国や朝鮮半島から北部九州に初めて伝えられたと考えられています。ガラスには主成分であるケイ素（Si）のほか、着色剤や融点を下げる目的で様々な元素を含んでおり、それら含有元素からカリガラスや鉛ガラス、ソーダガラスなどに分類し、各時代における流通が世界的に研究されています（図9）。このうち、融点を下げる目的で添加されることの多い鉛を含んだガラスは、劣化して顕著な変化を起こす危険があります。鉛で劣化したガラスは白色になっていくため、蛍光X線分析が一般的でなかった時代には、珊瑚玉や貝製玉としてしばしば間違えて報告されています（図10）。こういった鉛を含むガラスには急激な乾燥を避けつつ、高湿度環境で保管しないとといった措置が必要になります。

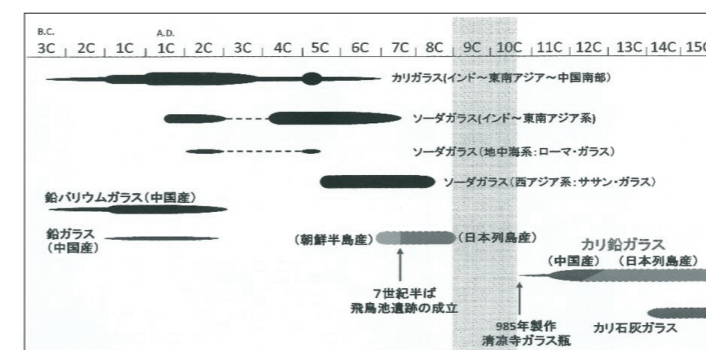


図9. 日本におけるガラス材質の変遷  
田村朋美氏「城久遺跡群出土のガラス製遺物について—自然科学的調査から産地をさぐる—」より

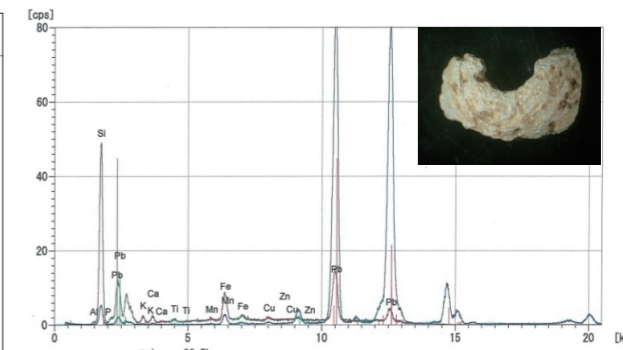


図10. 鳥羽離宮 真珠製と間違えられたガラス玉（平安時代後期）蛍光X線スペクトル

## ガラスの分析

しかし、鉛を含むガラスは悪いことばかりではありません。鉛は鉛同位体比分析によって鉱山を特定する研究が進んでおり、ガラスの生産地や材料としての供給地を知る手がかりになります（図 11）。日本産の鉛鉱石を使って生産が認められるのは 7 世紀中頃の飛鳥池遺跡に始まり、以降ガラス生産は続きますが、奈良時代後半以降になると生産・流通量が激減します。再流通するのは 10 世紀後半頃、新しい元素組成の「カリ鉛ガラス」が中国で生産され、これが日本にも少ないですが輸入されています。12 世紀頃になると日本国内でもカリ鉛ガラス生産が始まり、その後、江戸時代まで流通します。

京都市におけるガラス玉の出土はそれほど多くありませんが、分析した事例では、弥生時代後期の資料が西京極遺跡で 14 点、大藪遺跡で 2 点、弥生または古墳時代として中臣遺跡で 2 点があり、いずれもカリ鉛ガラス製でした。流通が減少している間の資料では、平安時代前期の平安宮豊楽殿跡にて 1 点の資料があり、こちらはカリ鉛ガラス製でした。流通が再開する 10 世紀後半以降では、11 世紀後葉の平安宮内裏跡（承明門）では 8 点が分析され、ソーダガラス製 6 点、カリ鉛ガラス製 2 点、12 世紀の鳥羽離宮跡では 4 点が分析され、いずれもカリ鉛ガラス製でした。また、16 世紀前半の山科本願寺跡から出土したガラスのうち 99 点を分析したところ、カリ鉛ガラス 95 点、カリ石灰ガラス 4 点でした。これらは概ね全国的な傾向と一致しますが、10 世紀には放棄されていると考えられる豊楽殿跡のカリ鉛ガラスと内裏跡のソーダガラスは他と異なります。前者は後に京都で広く流通するカリ鉛ガラスの組成とも少し異なり、特殊なガラスといえますが、出土品ではないので判断が難しい資料です。後者については奈良時代以前から 11 世紀後葉まで伝世した可能性や再利用なども考えられます。また、ガラス玉については、製作技法が概ね 3 種類知られており、溶けたガラスを鉛細工のように引き延ばして管状にし、切断する「引き延ばし管切り技法」（図 12）、棒に巻き付けて製作する「巻き付け技法」、鋳型に溶かしたガラスを流し込んで製作する「鋳型熔融技法」があります（図 13）。それぞれの技術の痕跡はガラスの表面にみられる筋や内部の気泡に残されており、よく観察することで製作時に用いられた技術が見えてきます。

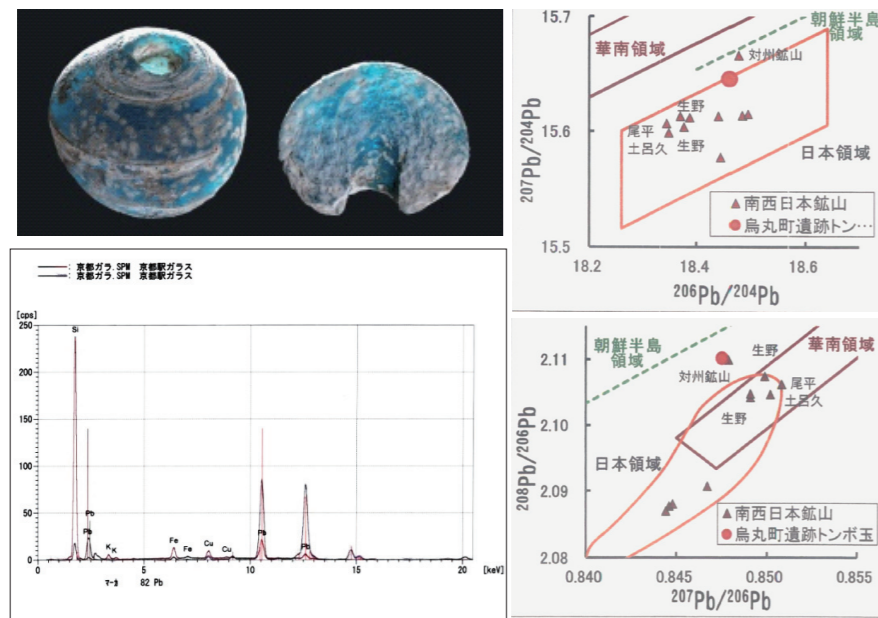


図 11. 平安京左京九条三坊八町跡・鳥丸町遺跡ガラス玉（鎌倉時代前半）  
左下：蛍光 X 線スペクトル、右：鉛同位体分析結果の各鉛鉱山比較

## おわりに

ここまでご紹介しましたように、保存科学という分野は資料を残していくため、また、資料からの情報をより多く引き出すために欠かせない分野といえます。また、博物館などで何気なく展示されている木製品や金属製品にはもれなく保存科学者の裏の頑張りが詰まっておりますので、足を運ばれた際には是非そういった目でも資料をじっくり観察してみてください。そして、これからもこの京都では発掘調査によって学術的価値の高い資料が発見され、注目を集めてくれることと思います。それらはいずれも国民の共有財産であり、我々には次の世代に残していく義務があります。保存科学的な分析方法は、これからも着実に進歩していき、我々が未来に託した資料からも新しい発見が生まれることでしょう。それに期待し、これからも文化財の保存にご理解を賜りますよう、お願いいたします。

## 参考文献

- 岡田文雄 編『保存科学概論』2002, 京都造形芸術大学  
 沢田正明 編『遺物の保存と調査』2003, (株)クバプロ  
 中村晋也・関晃史「トレハロースを使用した真空凍結乾燥法による出土木材の保存処理研究」『日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集』2014, 日本文化財科学会  
 山本雅和ほか『伏見城跡 京都市埋蔵文化財研究所発掘調査報告 2006-27』2007, (公財)京都市埋蔵文化財研究所  
 吉崎伸・鈴木廣司「IV鳥羽離宮跡 第 77 次調査」『昭和 57 年度 京都市埋蔵文化財調査概要』1984, (公財)京都市埋蔵文化財研究所  
 鈴木廣司・網伸也「中臣遺跡 77 次調査」『平成 10 年度 京都市埋蔵文化財調査概要』2000, (財)京都市埋蔵文化財研究所  
 吉崎伸ほか「大藪遺跡」『平成 11 年度 京都市埋蔵文化財調査概要』2002, (財)京都市埋蔵文化財研究所  
 中谷正和ほか『富ノ森城跡 京都市埋蔵文化財研究所発掘調査報告 2020-6』2021, (公財)京都市埋蔵文化財研究所  
 上村和直 編「平安京左京四坊十五町」『昭和 52 年度 京都市埋蔵文化財調査概要』2011, (財)京都市埋蔵文化財研究所  
 鈴木康高ほか『平安京左京四坊十二・十三町跡、富小路跡 京都市埋蔵文化財研究所発掘調査報告 2020-3』2020, (公財)京都市埋蔵文化財研究所  
 柏田有香ほか『平安京右京六条一坊三町跡・御土居跡 京都市埋蔵文化財研究所発掘調査報告 2020-8』2021, (公財)京都市埋蔵文化財研究所  
 丸川義広ほか『平安京左京三条二坊十町（堀河院）跡 京都市埋蔵文化財調査報告 2007-17』2008, (財)京都市埋蔵文化財研究所  
 近藤章子ほか『白河街区跡・吉田上大路町遺跡 京都市埋蔵文化財研究所発掘調査報告 2019-12』2020, (公財)京都市埋蔵文化財研究所  
 李銀眞ほか『平安京右京九条二坊四町・五町跡、唐橋遺跡 京都市埋蔵文化財研究所発掘調査報告 2020-2』2020, (公財)京都市埋蔵文化財研究所  
 田村朋美『城久遺跡群出土のガラス製遺物についてー自然科学的調査から産地をさぐるー』2015, 第 30 回国民文化祭かごしま発表資料  
 肥塚隆保『日本で出土した古代ガラスの歴史の変遷に関する科学的研究』1997, 東京芸術大学 pp106 - 110  
 平尾政幸ほか『平成 28 年度 京都市埋蔵文化財出土物文化財指定準備業務報告書 鳥羽離宮金剛心院跡出土品』2017, 京都市文化市民局  
 前田義明ほか「鳥羽離宮 I 金剛心院の調査」『京都市埋蔵文化財研究所調査報告 第 20 冊』2002, (財)京都市埋蔵文化財研究所  
 鈴木康高・松吉祐希『平安京左京九条三坊八町跡・鳥丸町遺跡 京都市埋蔵文化財研究所発掘調査報告 2017-8』2018, (公財)京都市埋蔵文化財研究所  
 鈴木康高「青いガラス玉の煌めき」『リーフレット京都 No. 368』2019, (公財)京都市埋蔵文化財研究所・京都市考古資料館  
 馬場慎介ほか「非破壊蛍光 X 線分析による福井・京都出土の中世ガラスの特性化」『日本文化財科学会第 32 回大会研究発表要旨集』2015, 日本文化財科学会  
 関晃史・中村晋也「石川県内遺跡出土ガラス資料の自然科学的研究①」『石川県埋蔵文化財情報』2016, (公財)石川県埋蔵文化財センター

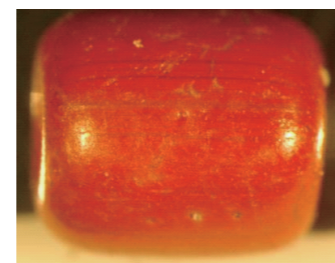


図 12. 石川県金沢市畷田西遺跡群ガラス玉（古墳時代中～後期）



図 13. 飛鳥池遺跡出土ガラス資料  
なぶんけんブログ(115) 古代ガラスの製法より