ポスターセッション
Oral Presentations

南講義棟（S棟）1階 S101・S102・S103・S105・S106教室

7月11日　13：30～14：30

7月12日　13：00～14：00

P-001

陸前高田市立博物館所蔵被災写真資料の安定化処理

Stabilization Treatment on Tsunami-damaged Photographs belonging to the Rikuzentakata City Museum

武田昭子（昭和女子大学）、赤沼英男（岩手県立博物館）、熊谷賢（陸前高田市立博物館）

1．はじめに

2011年3月11日に発生した巨大地震とそれに伴う大津波によって、岩手県沿岸部に所在する文化施設も深刻な被害を受けた。中でも岩手県陸前高田市立博物館は特に被害規模が大きく、23万点に上る資料が海水損した。学術情報を記録した写真関係資料も同様で、写真関係資料についてはその多くが簡便なクリーニングの後、乾燥するという方法で保管されてきたが、劣化状況、残留塩分状況等についての調査はほとんどなされていない。

岩手県陸前高田市立博物館では6万6千点に上る写真関係資料が被災し、そのうちの約3万点については、首都圏内の美術館・博物館学芸員、写真家を中心に結成された任意のボランティア団体である陸前高田被災資料デジタル化プロジェクト実行委員会が、全国美術館会議等の団体や企業、個人の支援を得、学術データ保全を目的とするデジタル化を施こした。しかし、資料自体は脱塩を目的とする安定化処理は施されないままデジタル化されていない資料と共に冷蔵庫に保管され、今日に至っている。筆者らは一連の資料の安定化処理方法を構築する第一歩として、劣化状況に関する実態調査を実施した。その結果、写真紙の種類により相当量の塩分が含有されていることがわかった。

2．調査資料

調査対象とした資料は、1994年に撮影されたカラー写真3枚（No.220～No.222、以下Aグループ）、それ以前の撮影と推定されるカラー写真2枚（No.223、No.224、以下Bグループ）、撮影時期不明のモノクロ写真3枚（No.225、No.226、No.227、以下Cグループ）の合計8枚である。

カラー写真No.220、No.221、No.222は救出後のデジタル化に伴う処理時に、画像面に密着していた透明カバーごとアルバムから切り取り保存されていた。支持体（原紙）は堅固なものの、画像面は滲んだり流れたりして下地が見える個所も散見された。カラー写真No.223、No.224はフリーアルバムに収納されていた。No.223は台紙から剝がれたものの、透明カバーに画像面の一部が密着し支持体層が露出するなど、著しく損傷していた。No.224は台紙毎切り取られ、画像面の約半量は透明カバーにこびり付き、残された白色下地には砂の付着が認められ、残った画像面も割れと剥離が著しい。モノクロ写真のNo.225、No.226、No.227はフリーアルバムに収納されていたが、No.227のみ台紙に密着して取り外しが不可能だったため、台紙ごと切り取り保存された。3点いずれの画像面も損傷が進み、欠損により白色下地が露出し、黒色や赤色を呈するカビの痕跡が認められた。特に、No.227は腐朽による損傷が画像面のみならず支持体にも及び、画像の判別も不

可能な状況で、調査した８点の中で最も劣化が進んでいた。

３.実態調査方法および調査結果

実態調査は２で述べた８点の資料から約 3cm^2 の紙片(約 0.2g)を切り出し、画像面を蛍光Ｘ線分析した。次に、上記紙片から約 0.5mm^2 の試料片を摘出し減圧乾燥した後、断面が観察面となるようエポキシ樹脂に埋め込んだ。観察面をエメリー紙、ダイヤモンドペーストで研磨し検鏡面とした後、金蒸着を施し EPMA 分析した。残った試料片を一昼夜 20ml の精製水に浸漬し、溶出した塩化物イオン濃度をイオン電極法で測定した。

EPMA による断面構造解析結果によると調査した８試料は、支持体の両面に樹脂を塗布し、一方の樹脂層上面に Ti-O 系微細粒子(酸化チタン)を混和した樹脂を重ねた構造のタイプ(A グループ)と、支持体の片面に多量の Bi-S-O 系微細粒子(硫酸バリウムと推定)を混和した樹脂を塗布したタイプ(B・C グループ)の２つに大別され、いずれの微細粒子混和樹脂層上層にも微細粒子が点在する薄層(乳剤層)が観察された。

A グループの酸化チタン混和層直上にある乳剤層からは P、Ca、Na、Cl が検出された。B・C グループの乳剤層には Br、Cl が高濃度に一様に含有されていて、さらに C グループについては Fe、Al、Si、Ca、P、S、Na、Cl を含有する薄層が確認された試料もみられた。調査試料の支持体には高濃度の Cl、Na が一様に分布していた。画像面の表面の蛍光 X 線分析結果も、EPMA による分析結果とほぼ整合するものであった。一連の断面構造解析結果に基づけば、A グループはレジンコート紙、B・C グループはバライタ紙と判定され、乳剤層上面の保護層は劣化によりそのほとんどが喪失されていることがわかった。

８試料を蒸留水に一昼夜浸漬した後、浸漬液中に含まれる Cl^- 濃度をイオン電極法で測定した結果、A グループは浸漬液 20ml 中に 50～70ppm、B・C グループは 60～130ppm 溶出していることがわかった。溶出した塩化物イオンのほとんどは支持体に含有されていたもので、レジンコート紙がバライタ紙に比べ溶出量が少なかった。被災状況の差異に加え、レジンコート紙は支持体の両面に樹脂が塗布されているため、海水の侵入が抑制されたことがその要因として考えられる。なお、B・C グループの溶出液は酸性に偏っていたが、その原因については今後検討していきたい。

８資料の実態調査の結果、現在冷蔵保管している６万６千点余りの写真資料には、支持体に相当量の塩分が含有されていることが判明した。このままの状態で乾燥し、室内保管した場合、再び湿気を帯び真菌や細菌の発生による劣化進行が懸念される。今後上記実態調査結果をふまえ、迅速かつ安全に安定化処理できる方法論を構築し、その保全を図っていく予定である。

引用・参考文献

三田良美（2012）「陸前高田被災資料デジタル化プロジェクトの活動について」『Mouseion 立教大学博物館研究』№58：pp19-27

P-002

海水被害を受けた被災紙資料の保存処理
～フィリピン共和国タクロバン市の台風被害の事例から～

Conservation Treatment of the Paper Documents Damaged by Seawater
- Focus on Typhoon Haiyan case in Tacloban city, Philippines -

○ 大江克己（奈良国立博物館）、江前敏晴（筑波大学）、
スティフェン・アラヨン（東南アジア漁業開発センター）、タンチラ・ブンヤピパット（筑波大学）、
津田 守（名古屋外国語大学）、津田ヨランダ（神戸女学院大学）
○ Katsuki Ohe[1]、Toshiharu Enomae[2]、Stephen B. Alayon[3]、
Tunchira Bunyaphiphat[2]、Mamoru Tsuda[4]、Yolanda Tsuda[5]
(Nara National Museum[1], University of Tsukuba[2], Aquaculture Department Southeast Asian Fisheries Development[3], Nagoya University of Foreign Studies[4], Kobe College[5])

1.緒言

2013年11月4日に発生した平成25年台風第30号（アジア名：Haiyan フィリピン名：Yolanda）によって、フィリピン共和国レイテ州タクロバン市は高潮や暴風雨による甚大な被害を受けた。この被害は、建物やライフラインの他、文化財や行政文書等の社会・文化を表す資料へも影響を与えている。この状況を受けて、タクロバン市所在の政府関連施設における、海水被害を受けた被災紙資料（行政文書・以下、文書）の保存処理を現地にて実施した。この時の方法は、東日本大震災後に実施した津波被害文書類の保存処理法を基礎とするが[1]、ライフラインや物資の乏しい環境下であるため、現地状況に則した処理工程へ変容している。本発表は、2つの施設で実施した保存処理報告を記し、今後の展望を考察したものである。

2.政府関連施設の被害概要と初期状況・保存処理方針について

被害概要：保存処理を実施した政府関連施設はCivil Service Commission (以下、CSC)と、Proceeded to Commission on Election (以下、COMELECA)である。双方の施設は海岸沿いに位置するため、海水による高潮被害を受けた。CSCでは約300,000人分、COMELECAは約200,000人分の文書が被害を受けている[2]。

図1. CSCの初期対応後の状態

初期状況：台風直後の2013年12月以降、CSC及びCOMELECAでは、職員等によって応急自然乾燥・クリーニング等の初期対応が行われている。そのため、発表者らが訪れる2014年8月の時点で、両施設の大部分の文書は乾燥状態であった。しかし、初期対応後の文書は放置された状態であり、土砂や汚れが付着しページ間は固着していた（図1）。これに加えて、CSCの文書は一部が湿潤状態でカビが確認されたため、再乾燥・殺菌処理が必要であった。また、COMELECAの文書は、保管中に虫害の被害を受けているものが存在し、殺虫処理が必要であった。

保存処理方針：タクロバン市は被災から半年後も、瓦礫撤去や公共設備の整備が進行している段階であり、安定した電気の確保や物資調達が困難であった。また、治安状況から文書や物資の盗難への考慮も必要となる。この状況の中で保存処理法を選定する時、大規模な機材を用いない処理法が中心となる。そのため、日本から持参していた物資[3]と、現地調達可能な物資を用いた方法にて実施する方針となった。

3. Civil Service Commission (CSC) にて実施した保存処理

CSCの文書は再乾燥・殺菌処理を優先し、後にクリーニング等を行った。保存処理の実施期間は2014

【註】1.奈良大学保存科学研究室　2014『歌津と奈良を繋ぐ奈良大学保存科学研究室の東日本大震災津波被災文書等保存の活動』
2.CSCの文書は、一人あたり2～3枚のA4の書類である。COMELECAの文書は、一人あたり1枚のA4の書類である。
3.次の物資を持参した。刷毛・木製スパチュラ・マスク・使い捨て手袋・シリカゲル・お茶パック・脱酸素剤

年8月5日～2014年8月29日の25日間であり、総勢7名で作業を実施した。この時の工程を以下に示す。

Ⅰ 再乾燥：湿潤状態の文書の再乾燥を始めに行った。防犯上の関係で管理を行い易くするため、コンテナ内に文書とシリカゲル（和光純薬工業株式会社製）を封入することで乾燥を施した。再乾燥は3日間で完了した。再乾燥を行った文書は約300,000人分の内の約500人分である。

Ⅱ 殺菌処理：再乾燥後、現地調達した消毒用イソプロピルアルコール70%水溶液を噴霧した。この工程はカビが発生している全ての文書に施している。

Ⅲ クリーニングと整理作業：殺菌処理の後、新規に作製した棚へアルファベット順に整理して行った。併せて、汚れが著しい文書は、刷毛やブラシを用いて表面や内部のクリーニングを行った。整理作業を行った文書は約300,000人分の全てであり、クリーニングを行った文書は約20,000人分である。

4. Proceeded to Commission on Election (COMELECA) にて実施した保存処理

COMELECAの文書はクリーニングと殺虫処理を中心に施した。保存処理の実施期間は2014年8月5日～2014年9月1日の28日間であり、総勢10名で作業を実施した。この時の工程を以下に記す。

Ⅰ クリーニング：刷毛やブラシ・木製スパチュラを使用し文書の表面や内部の汚れを除去した。また、カビが確認される部分は、消毒用イソプロピルアルコール70%水溶液を噴霧して殺菌処理を行った。COMELECAでは約200,000人分の記録が保管されるが、期間中に着手できた文書は約78,000人分である。

Ⅱ 殺虫処理(低酸素濃度殺虫処理法)：機材を用いない方法として、低酸素濃度殺虫処理法を選定した。しかし、この方法の効用は処理時の温湿度に左右されるため[4]、処置前に温湿度調査を行った。処理を行う部屋内に、データロガー（HOBO製温湿度データロガー U12-013）を設置し24時間測定した[5]。測定結果（図2）から、平均温度は30.6℃・平均相対湿度は59.8%で推移も安定しているため、低酸素濃度殺虫処理法の実施が可能な環境であると判断した。

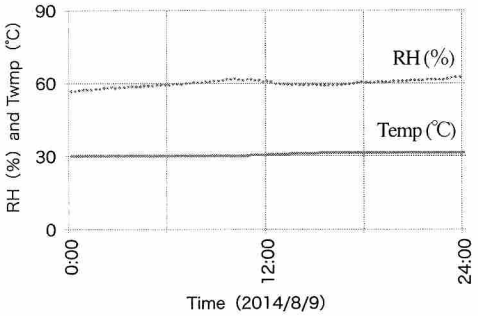


図2. COMERECAの温湿度推移

低酸素濃度殺虫処理法を行うにあたり、文書と脱酸素剤(三菱ガス化学製RP剤 RP-3A)を圧着袋に同封し密閉した。処理期間は2014年8月11日～2014年9月1日の28日間であり、約5,000人分の文書を対象とした。処理終了後、表面や内部に付着する虫の死骸を除去した。殺虫処理した約5,000人分の文書は、クリーニングを施した約78,000人分の文書の一部である。

Ⅲ 整理作業：クリーニングや殺虫処理と併行し文書の整理作業を進めた。クリーニングが完了した文書に記録を付け、混同しない用にアルファベット順に整理を行った。

5.展望

本発表での事例は、物資の乏しい環境下で実施した例であり日本国内とは状況が異なる。しかし、今後の災害対応を考察する際、様々な事態を考慮する必要性から、本例は事態の一例として有効であると考える。本発表を踏まえ、災害時における保存処理の初動を迅速にするため、今後の課題を整理しておきたい。

保存処理法について：保存処理を構成する各種方法は、様々な機材や薬剤を使用して実施される。緊急時に利用・転用可能な代用品や代用法・応急処理法など、保存処理の幅を広げる考察・研究が必要である。

物資の備蓄について：被災地域では処理に用いる物資の確保は難しく、搬入や文書の避難も難しい事態が想定される。応急処理を可能とするため、保管場所と併せて物資の備蓄・管理の検討が必要である。

協力関係の構築について：物資・人員の搬出入や輸送・作業場の確保等を行い易くするため、周辺施設等との協力関係の構築を行うことが必要である。また、関係の構築は情報収集にも有用に働くと想定する。

【註】4.木川りか・永山あい・山野勝次　1998「低酸素濃度殺虫処理法処理温度と殺虫効果の検討」『保存科学No.38』東京文化財研究所
5.扉や窓の開閉の無い状況下で測定した。なお、この部屋にエアコンは設置されていない。

【※】本稿は、平成26年 科学技術振興機構 国際緊急共同研究・調査支援プログラム（J-RAPID）「被災公的文書等法的基盤保全のための科学技術的修復方法の調査研究と社会文化的評価（代表：津田 守）」の成果の一部である。

P-003

モノとつながるエピソードデータベース
東北学院大学「牡鹿半島のくらし展」を通じて

Narrative database led to cultural properties damaged by a tsunami "Exhibition -Everyday life of the Oshika Peninsula of before the disaster" by the Tohoku Gakuin University

○阿児雄之（東京工業大学）、奥本素子（京都大学）、加藤幸治（東北学院大学）

1. はじめに

宮城県の牡鹿半島に所在していた「石巻市鮎川収蔵庫」に保管されていた考古・民俗資料は、東日本大震災時に発生した津波によって壊滅的な被害を受けた。これら資料は収蔵庫内にまで押し寄せた海水によって破損したものの庫外への流出を免れ、その後の「被災文化財等救援委員会」によるレスキュー活動によって救出された。東北学院大学ではこれら被災文化財を受け入れ、大学博物館を拠点に学生達の手でクリーニング作業をおこなってきた[*1]。

同時に、このレスキュー活動の過程で、被災文化財を地域の方々に見てもらい、暮らしの中でどのように使われてきたかをインタビューする「牡鹿半島のくらし展」を開催してきている。2012 年より鮎川・仙台・石巻などで開催し、話をうかがって作成した「聞き書きシート」はもうすぐ 1,000 枚近くにのぼる。

本研究は、被災することによって失われてしまったが、本来モノが持っていたであろう、人々との関係を「聞き書きシート」に綴られたエピソードを手がかりに結びつけ、被災文化財を将来に繋げていくことができる仕組みの構築を試みるものである。

2. 牡鹿半島のくらし展における聞き書き

被災文化財の洗浄などの保全修復作業とともに「牡鹿半島のくらし展」と題して、被災文化財の展示活動を実施している。この展示ではレスキュー活動の進捗を示すとともに、展示被災文化財自身についての情報や、展示文化財をきっかけにして牡鹿半島の慣習や思い出など、来場者に聞き書きするという活動がおこなわれてきた。この展示は、レスキュー活動に携わっている学生が主体となって、出陳する文化財の選定や解説パネルの作成から、展示会中のイベント開催まで企画・運営している。これまでの展覧会で使用したチラシやパンフレット、パネルデータなどは東北学院大学学術情報リポジトリに収められており、「文化財レスキュー」カテゴリとしてまとめ公開している[*2]。

学生たちは、展示会に来場した人々に話しかけ、展示文化財や活動の紹介をしつつ、話をうかがうという形式で聞き書きをおこなってきた（図１）。項目を設けて質問するものではなく、自然な会話の中から様々なエピソードを聞くというものである。よって、最初は話しかけ方がわからず困惑したりすることもあったり、メモを取り忘れたりと慣れない部分も多かったようだが、対話を重ねることによって徐々に聞き書きが充実してきた。個々人が収集し

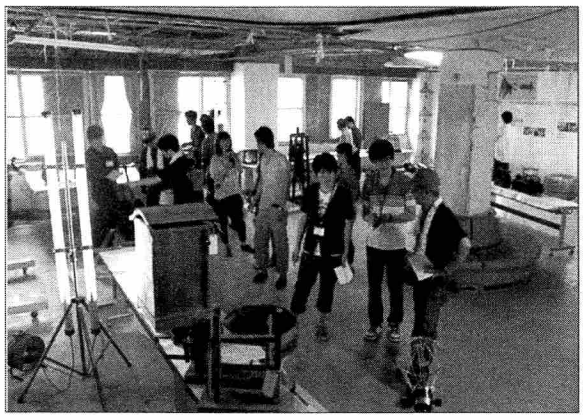


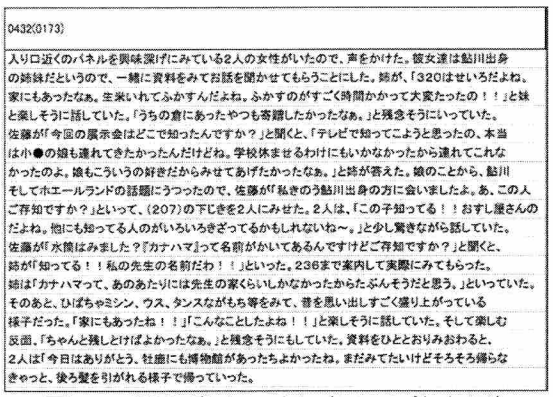
図１：聞き書きの様子

た聞き書きの内容は、後の比較分析がしやすいように、「聞き書きシート」という書式を作成し、できる限り会話記憶が残っているうちにまとめている。

聞き書きシートには、来場者の年代、性別、会話／やりとり時間など定型的な項目に加えて、中心となる会話／やりとりを記録する際には、どの展示物に関連した発話なのかを添えて記している。こうして作成された聞き書きシートは1,000枚にのぼり、被災資料に関連するものだけに留まらない多彩なエピソードが蓄積されている。

3. モノとエピソードの接続

東北学院大学におけるレスキュー活動を記録・活用することを目的として「カタリイト」[*3]というポータルサイトを運営している。このポータルサイトでは、レスキュー活動の紹介のほか、活動作業の中で生まれてきた、被災資料の状態を記した「カルテ」、作業過程を記録した「作業日誌」といった紙資料を電子化し、集約している（これらデータについては活動メンバーにのみ公開）。これらに加えて、「聞き書きシート」の情報も電子化してまとめている段階である。聞き書きシートは、手書きであるため、記載項目を文字起こしして、整理している（図2）。


0432(0173)

入り口近くのパネルを興味深げにみている2人の女性がいたので、声をかけた。彼女達は鮎川出身の姉妹だというので、一緒に資料をみてお話を聞かせてもらうことにした。姉が、「320はせいろだよね。家にもあったなぁ。生米いれてふかすんだよね。ふかすのがすごく時間かかって大変たったの！！」と妹と楽しそうに話していた。「うちの倉にあったやつも寄贈したかったなぁ。」と残念そうにいっていた。

佐藤が「今回の展示会はどこで知ったんですか？」と聞くと、「テレビで知ってこようと思ったの、本当は小●の娘も連れてきたかったんだけどね。学校休ませるわけにもいかなかったから連れてこれなかったのよ。娘もこういうの好きだからみせてあげたかったなぁ。」と姉が答えた。娘のことから、鮎川そしてホエールランドの話題にうつったので、佐藤が「私きのう鮎川出身の方に会いましたよ。あ、この人ご存知ですか？」といって、(207)の下じきを2人にみせた。2人は、「この子知ってる！！おすし屋さんのだよね。他にも知ってる人のがいろいろきざってるかもしれないね～。」と少し驚きながら話していた。

佐藤が「水筒はみました？『カナハマ』って名前がかいてあるんですけどご存知ですか？」と聞くと、姉が「知ってる！！私の先生の名前だわ！！」といった。236まで案内して実際にみてもらった。

姉は「カナハマって、あのあたりには先生の家くらいしかなかったからたぶんそうだと思う。」といっていた。

そのあと、ひばちゃミシン、ウス、タンスながもち等をみて、昔を思い出しすごく盛り上がっている様子だった。「家にもあったね！！」「こんなことしたよね！！」と楽しそうに話していた。そして楽しむ反面、「ちゃんと残しとけばよかったなぁ。」と残念そうにもしていた。資料をひととおりみおわると、2人は「今日はありがとう。牡鹿にも博物館があったちよかったね。またみてたいけどそろそろ帰らなきゃっと、後ろ髪を引かれる様子で帰っていった。

図２：聞き書きの例（2012仙台展）

レスキューした文化財は、モノだけが残っており、それ自身の来歴などバックデータがない。そもそもどのような場面で使われた道具なのか、牡鹿ではなんと呼称されていたのかすら分からない状況である。これまでは「カルテ」と「作業日誌」のデータを結びつけて活動状況を再現できるよう取り組んできた[*4]。しかし、それだけではあくまでも東日本大震災で被災し、レスキューされたモノであるということでしかない。これらに「聞き書き」データ（エピソード）が接続されることによって、単なるモノではなく、くらしの中で使われ伝えられてきた文化財になると考える。ポータルサイト内では、「カルテ」「作業日誌」「聞き書き」のデータが相互にリンクしている。このことによって、いわゆる資料台帳に記載される項目よりも広がりある文脈をもつ資料情報の記載が可能となった。

現段階では、各データが互いに接続しただけの状態であり、今後はより密接な関連性を抽出し、これまでにない充実したモノに付随するエピソードや経歴などの情報をいかに活用するかが重要となってくる。

なお、本研究における活動記録の電子化・ウェブサイト運営等については、JSPS科研費[24700889]「デジタルナラティブを利用した被災文化財情報の活用研究」の助成を受けている

＜註＞

1. 加藤幸治「東日本大震災の民具の救援・保全活動の展開　―宮城県における取組みとコレクションのこれから―」『民具研究』第147号, 日本民具学会, 2013, p.21-34.
2. 東北学院大学学術情報リポジトリ（https://tohoku-gakuin.repo.nii.ac.jp/）（2015年6月6日参照）
3. カタリイト（http://katariito.sakura.ne.jp/）（2015年6月6日参照）
4. 阿児雄之, 奥本素子, 加藤幸治「被災文化財レスキュー活動の記録情報群に基づく活動再現への試み」2014年度アート・ドキュメンテーション学会年次大会, 2014.

P-004

年輪年代学の視点から見た鈴木政吉工場製ヴァイオリンの年代測定と産地推定

Tree-Ring Dating and Provenance Study of the Violins Manufactured by Masakichi Suzuki from the Perspective of Dendrochronology

○大河内隆之（奈良文化財研究所）、安江恒（信州大学）

はじめに

本研究では、欧米の年輪年代学で研究対象とされる機会の多いヴァイオリン属の楽器について、明治末から昭和初期にかけて日本の鈴木政吉工場で製作されたヴァイオリンを取り扱う。

ヴァイオリン属の誕生は16世紀初めの北イタリアとされている。ヴァイオリン属が比較的新しい時代の産物であるということは、現生木から作成した良質である程度の長さの年輪クロノロジーがあれば、その守備範囲に含まれる可能性が高いということも、通常の考古学・建築史等の年輪年代学研究にはみられない特徴である。

日本におけるヴァイオリン製造の歴史を語る上で、欠かすことのできない重要な人物として、鈴木政吉（1859～1944）を挙げることができる。もともと三味線作りを家業としていた彼は、1888（明治21）年に最初のヴァイオリンを製作したのを皮切りに、ヴァイオリンの国産化に生涯を捧げることになる。1890（明治23）年には東京・上野で開催された第3回内国勧業博覧会で最高の有功賞を受賞、1893（明治26）年にはアメリカ・シカゴで開催されたシカゴコロンブス博覧会で褒賞を受賞するなど、彼のヴァイオリンは製作を始めてからわずか数年のうちに高い評価を得るに至った。さらに彼は、機械化された工場でヴァイオリンを製作するに至り、スクロールを作る機械を筆頭に、大小十数種の特許を取得して機械化を推進するとともに、工場を拡大して量産化にも邁進した。

調査対象

今回調査対象としたのは、鈴木政吉の工場で1910（明治43）年から1930（昭和5）年の間に製作されたヴァイオリン30挺60枚の表板である。

年輪幅時系列データの比較対象としたのは、アメリカの国家海洋大気局（NOAA）の運営する国際年輪データバンク（ITRDB）に登録されている北海道のアカエゾマツのデータである。通常のヴァイオリンで表板に使用されるスプルースは、マツ科トウヒ属に分類される。本州にもトウヒは自生しているが、主に標高の高い場所に限られているため、工業生産品として大量かつ低廉に求めようとすると、明治時代に開発の始まった北海道の低地にも生育するアカエゾマツにいきつくのは、当時としては理にかなったことである。

調査方法

ヴァイオリン表板の年輪幅の取得には、マイクロフォーカスX線CT（島津製作所SMX-100CT-D）による断層画像をコンピュータ上で画像計測する手法を採用した。計測には、upper（上部：指板裏を含む上部の最も膨らんだ部分）、middle（中央部：f字孔の直上でアーチが高くなった部分）、lower（下部：最も膨らんだ部分）の3ヵ所を断層撮像し、相互に比較しながら欠損輪や偽年輪の検出に利

用するとともに、最内層から最外層までの長いデータを取得することに努めた。

撮像条件は、管電圧 50kV、管電流 60μA で一回あたりの撮像視野を約 42mm に定め、半径相当のオーバーラップを設けながらそれぞれの両端部までをカバーした。一画像あたりの画素数は 2048×2048 画素であるので、約 20μm の計測精度となる。

年輪年代測定には、ITRDB に安江によって登録された母子里、遠音別、天塩、十勝のデータを使用した。年輪年代の照合は、対数変換と５年移動平均ハイパスフィルタを併用したのち、相関分析と t 検定によった。本研究では、奈良文化財研究所での慣例にしたがい、t 値５以上を年代照合成立の閾値としている。ただし、ヴァイオリンの表板は、通常、treble（高音部）と bass（低音部）の２枚からなり、一枚の板を切り開いた状態で用いるのが常であるため、同じ個体の高音部と低音部の年輪データは、きわめて相関性が高い。この事実を確かめたうえで、一方が t 値５に満たない場合でも、他方が t 値５以上の場合には年代成立の条件を満たすものとして扱った。重複年輪数については、100 層以上あることが望ましいが、ヴァイオリンの個体によってはそれに満たないものもあり、そのような個体についても t 値の動向や指標年の一致などに注意を払いながら慎重に扱うことにした。

結果および考察

30挺のヴァイオリンのうち､天塩のサイトクロノロジーと有意な相関を認めることができたのは、わずか４挺６枚にとどまった。そこで、各ヴァイオリン同士を相互に比較したところ、多数の有意な相関を見出すことができたことから、これらを時系列的に整理して、鈴木政吉工場製ヴァイオリンのクロノロジーとした。この鈴木政吉工場製ヴァイオリンクロノロジーを天塩産アカエゾマツのサイトクロノロジーと比較したところ、重複年輪数 247 年、t 値 7.5 という有意な相関性を認めることができた（図１）。逆に、天塩以外のサイトクロノロジーとは有意な相関性を見出すことはできなかった（図２）。これらの結果から、鈴木政吉の工場で製作されたヴァイオリンの表板には、北海道の天塩産アカエゾマツが用いられていたものと産地推定した。

年輪年代に関しては､最も新しいもので 1869 年であり､1910 年から 1930 年の製作時期よりはかなり古い年代になる。これは、原木から表板材を製材する過程で辺材部を含む部分が切除された結果と考えるのが妥当であろう。

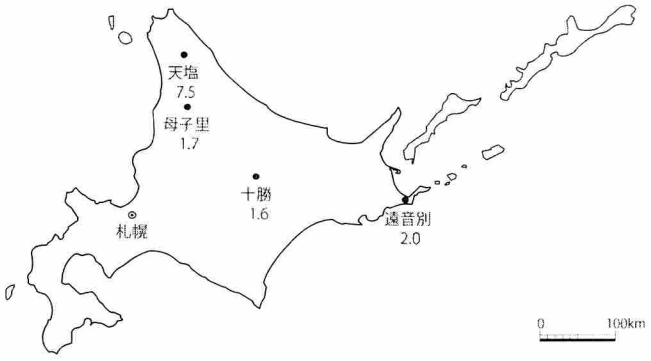


図２　アカエゾマツの年輪幅クロノロジーを対照した北海道のサイト位置および鈴木政吉工場製ヴァイオリンのクロノロジーとの t 値

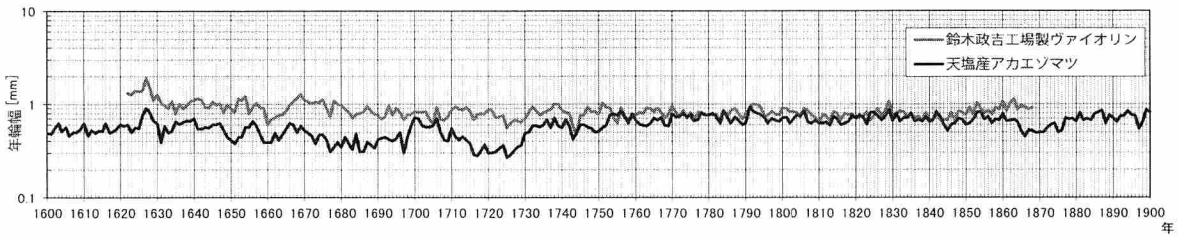


図１　鈴木政吉工場製ヴァイオリンおよび天塩産アカエゾマツの年輪幅の変動変化

P-005

年代測定のためのルミネッセンス測定装置の設計製作：日本の古文化財科学研究史におけるルミネッセンス測定装置開発の歩み

Development of luminescence measurement system for dating at archaeological science in Japan

○ 下岡　順直（立正大）

○ Yorinao Shitaoka (Rissho University)

1　はじめに

1960 年代に始まった日本の古文化財科学におけるルミネッセンス年代測定研究は、ルミネッセンス測定装置開発の進展でもあった。市川 (1963) の熱ルミネッセンス (TL) 測定装置に始まり、Harshaw 製や Daybreak 製といった外国の既製 TL 測定装置の利用で縄文土器片や文化層の焼土など多くの年代測定が実施された。21 世紀になり、世界的にはデンマーク王立研究所 (Risø) が提供する TL/光ルミネッセンス (OSL) 測定装置が主流となり、多くの古文化財試料が測定され、ブロンボス洞窟で発見されたオーカーが出土した層準を約 7 万年前 (Jacobs *et al.*, 2013) と推定するなど、歴史を書き換えるデータも少なくない。国内の古文化財科学研究利用では、長友ほか (2001) の設計製作したルミネッセンス装置は、TL 測定と OSL 測定が極低温 (-273℃) から高温 (500℃) まで温度制御可能な装置であったが、年代測定には室温から高温の温度制御で十分有効であった。橋本 (2007) のルミネッセンス装置は、小型Ｘ線管球を装着することで、放射線管理上の取り扱いが容易になった。このように日本では、世界中で汎用されている既製品にとらわれずに独自の測定装置を作りあげてきた。しかし、古文化財試料の年代値をコンスタントに求めることができる装置にまで必ずしも至っていなかった。

今回、設計・製作したルミネッセンス自動測定装置 (NRL-99-OSTL2-KU) は、年代測定に特化する仕様とした。本発表では、装置の概要を紹介し、遺跡堆積物を対象とした測定例と遺跡堆積物における露光履歴の観察の可能性についてコメントする。

2　ルミネッセンス自動測定装置

今回、ルミネッセンス自動測定装置を設計・製作するにあたり、① 外国製の装置よりも安価に導入でき、ランニングコストも軽減できること、② コンパクトな装置にすること、③ 放射線照射とルミネッセンス測定の繰り返しが行われる際の駆動部分を迅速に動作させることで測定時間をこれまでよりも短縮すること、を設計において重視した。これらコンセプトを基に設計製作した装置は、ヒーター温度や励起光強度、Ｘ線の

高電圧発生装置などの制御ユニットの上部に測定ユニットである試料を設置する暗箱とX線管球および光学ユニット、そして制御コンピューターを配置したことでコンパクトなものになった（図1）。暗箱は密閉性を良くし、測定雰囲気にするための窒素置換を効率良く行うために円柱状とした。これにより、密閉性は長友ほか（2001）の装置と比べて2倍の効率になり、窒素置換におけるランニングコストも軽減した。暗箱内の試料皿が最大32個まで設置できるプレートの駆動は、迅速に動作するように制御した。

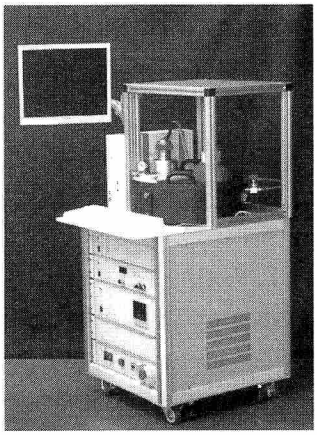


図1　ルミネッセンス自動測定装（NRL-99-OSTL2-KU）

放射線照射は、小型X線管球Varian製VF-50JWを用い、Spellman製高電圧発生装置（MNX50P50）で制御する。X線管球の前部には鉛製10 mmコリメーター（Hong *et al.*, 2005）を設置し、照射対象試料以外が被ばくしないようにした。さらに、照射時の線質特性に対しては、低エネルギー側を遮蔽する厚さ200 μmのアルミニウム製吸収板（Hong *et al.*, 2005）を設置した。

3　OSL測定例

単試料再現（SAR）法による放射線照射と測定の繰り返し測定による蓄積線量評価を複数回実施することで、遺跡堆積物試料の露光履歴について観察が可能になってきた。まず、Radial plotにより同一試料内での蓄積線量のばらつきを観察する（図2）。ここで過分散が20%未満であれば、堆積物はほぼ光でゼロリセットされているとされる（Olley *et al.*, 2004）。次に、複数の年代モデルを想定した線量評価を行い、露光履歴の異なる成分で分離することができる（例えば、図2では2成分に分離可能）。

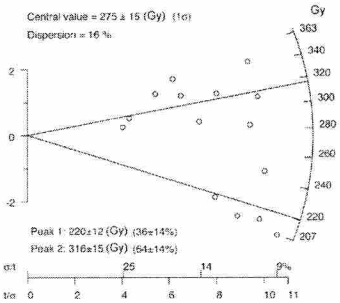


図2　遺跡堆積物における蓄積線量評価のRadial plot

このようにOSL法による年代測定では、より高精度な年代推定が可能になった。今後、遺跡堆積物の堆積過程における露光履歴にまで言及できるようになることが期待される。

謝辞：装置の設計では、奈良教育大学の長友恒人名誉教授からご教示を、ネオアーク株式会社からご支援いただいた。本研究は、日本学術振興会科研費若手研究A（課題番号：25702011）の一部を使用した。

参考文献：市川1963奈良学芸大学紀要11；長友ほか2001日本文化材科学会18回大会；Olley *et al.* 2004, Sedimentary Geology, 169；Hong *et al.* 2005, J. of Radioanal. Nucl. Chem.；橋本2007考古学と自然科学55；Jacobs *et al.* 2013, J. of Archaeological Science, 40

P-006

TL 法による新薬師寺旧境内遺跡出土被火瓦の年代測定

TL dating of the fired roof tile shards from Shinyakushiji temple precincts site

○青木智史(奈良教育大学)、金原正明(同)
○Satoshi AOKI (Nara University of Education), Masaaki KANEHARA (Nara University of Education)

1. はじめに

2008 年に奈良教育大学構内で発見された新薬師寺旧境内遺跡からは、旧金堂と推定される大型基壇建物跡をはじめ、多くの瓦片や奈良三彩片など非常に重要な考古学的成果が得られている。同遺跡では 2008 年以降も継続的に発掘調査が実施され、今回分析の対象とした瓦片は 2013 年に出土したものである。新薬師寺旧境内遺跡から出土した瓦片の熱ルミネッセンス法（以下、TL 法）による年代測定はこれまでにも実施しており、2011 年の当学会で研究発表を行っている[1]。その際分析対象とした瓦は 2009 年に大型基壇建物跡の南方約 50m 地点から出土した瓦であったが、いずれも建築材として数百年使用された後に倒壊し土壌中に埋蔵されたことによって生じた年間線量変化に起因する TL 年代値の過小評価が確認され、考古学的な成果とともに『東大寺要録』に記されている 962 年の新薬師寺金堂の倒壊の記載内容を支持するものとなった[2]。また、この際測定対象となった瓦試料からは火災の痕跡は認められず、『続日本紀』に記載されている 780 年の西塔の焼失に関連する分析結果は得られていなかった。一方、本研究で分析対象とした瓦片は、いずれも全体的に赤色を呈しており、ある時期に火災を被った可能性が考えられるものであった。そこで、最終被熱年代を評価することのできる TL 法を用いて被火年代の評価を試みた。

2．測定試料

測定対象とした試料は、2013 年に奈良教育大学の図書館改修工事に伴う発掘調査で大型基壇建物跡の西方約 300m 地点から出土した 4 点の瓦試料である。小片であるため型式的な検討は困難であるが、いわゆる布目瓦であり、考古学的には奈良時代の瓦であると考えて問題のないものである。すべての分析対象が一様に赤色を呈しており、被火の可能性が考えられる。

3．試料採取および試料処理

本研究で測定対象とした瓦試料は、拡大観察の結果いずれも石英を多く含んでおり、潤沢な試料採取が可能であったため石英粗粒子法による分析を行った。各試料から数十 g 程度の試料片を採取し、露光および外部からのβ線の影響を受ける表面部（深さ 2mm まで）を超硬カッターで除去した後、アルミ板で挟み万力を用いて徐々に圧力を加えながら粉砕した。その後、60 メッシュと 300 メッシュの標準篩にかけ鉱物の粒度分けを行い、粒度分けした試料(粒径 50～250μm)を採取した。その後、10%の過酸化水素水で 16 時間処理を行い有機物の除去を行った。さらに、洗浄し、50℃の恒温槽で乾燥の後、20%の塩酸で 60 分間処理した。これを洗浄後、50℃の恒温槽で乾燥させ、フランツ型マグネティックセパレーターで非磁性鉱物と磁性鉱物に分離し、分離した非磁性鉱物を 20%のフッ酸で 90 分間処理した。蒸留水で洗浄後、50℃の恒温槽で乾燥させ、200 メッシュの標準篩にかけて粒径 75 マイクロメートル以上の試料を測定試料とした。

4．蓄積線量と年間線量の評価

蓄積線量の測定には、DAYBREAK 社製の TL/OSL 自動測定装置-1150 TL SYSTEM-を用いた。昇温速度 10.0℃/sec、最高温度 500℃で測定した。また、測定時の検出波長域は 350-470nm である（光学フィルタ、

Corning 7-59 および Schott BG-39 を使用)。蓄積線量の評価には、石英粗粒子法による Multiple aliquot additive dose（MAAD）法を適用した。MAAD 法は、Natural 試料と任意の線量の放射線を照射した付加線量試料を測定し、生長曲線を作成して等価線量(Equivalence dose ; ED)を評価する方法である。スプラリニアリティー補正のためのアニール条件は、350℃で 60 分間とした。

年間線量評価は、発掘期間が短く発掘現場での直接測定が不可能であったため、γ線スペクトル法を応用した間接測定法により評価した。γ線スペクトル法を用いて放射性元素含有量を評価し、Adamiec らの換算式を用いて年間線量率を算出した。石英粗粒子法では、フッ酸処理によるエッチングでα線の影響を除外する事ができるため、評価する年間線量率は、β線量率およびγ線量率、そして宇宙線量率となる。宇宙線量率については、一般的な日本の平野部における線量率 0.15mGy/a を採用した。

5．結果および考察

分析結果は、表 1 に示す。TL 年代は、Sample 01 が 1230±180 年前、Sample 02 は 1260±190 年前、Sample 03 が 1270±200 年前、Sample 04 が 1240±150 年前と評価された。TL データは図 1 に例示した様に非常にまとまりが良く、いずれの分析結果も信頼できるものと考えられる。4 試料の平均年代値は、1250±90 年前であった。測定年である 2014 年を基準とすると、平均年代値は西暦 764±90 年となる。この年代は、新薬師寺の伽藍が整備されていく時期に該当するため、TL 年代値のみから単純に火災の年代と判断することは難しい。しかし、先行研究で分析した瓦のような年間線量変化に伴う年代値の過小評価は認められず、少なくとも伽藍整備期に何らかの原因で倒壊した建物があったと考えられる。また、小塊であり試料汚染の危険性が除去できなかったことから TL 測定は行いえなかったが、瓦と同時に焼土がまとまって出土しており、瓦の出土地点の近傍で火災が生じていた可能性は高い。さらに、『続日本紀』に記載される西塔焼失年代の 780 年とも近く注目される。ただし、測定対象試料の出土地点は西塔があった場所とは考えにくく、現時点で本測定結果を西塔の焼失と関連づけることは危険である。しかしながら、新薬師寺境内の整備期またはさほど間をおかない時期に境内で火災が発生していた可能性を示唆する結果が得られたことの意義は大きく、今後の新薬師寺の研究にとって有意な情報を提供し得たと考えている。

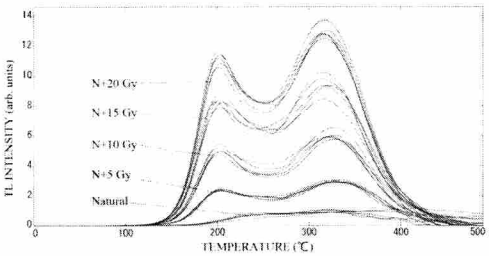


図 1．Sample 01 の TL グローカーブ（ED）

表 1．新薬師寺旧境内遺跡出土被火瓦の TL 年代測定結果

試料名	蓄積線量（Gy）	年間線量（mGy/a）	TL 年代（年前）
Sample 01	3.91±0.47	3.18±0.25	1230±180
Sample 02	4.84±0.63	3.85±0.30	1260±190
Sample 03	3.62±0.47	2.86±0.23	1270±200
Sample 04	3.66±0.31	2.96±0.27	1240±150

【参考文献】(1) 青木智史・綱真奈美・川端靖子(2011)「新薬師寺旧境内遺跡出土瓦の熱ルミネッセンス年代測定」『日本文化財科学会第 28 回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会, pp.100-101.

(2) 金原正明・青木智史・鶴真美・島軒満・西村匡広(2012)『新薬師寺旧境内-奈良教育大学構内遺跡の埋蔵文化財調査報告書-』奈良教育大学.

P-007

焼骨の放射性炭素年代測定の確度

—縄文時代の煅焼した獣骨・人骨の分析—

Accuracy of Radiocarbon Dating of Burnt and Calcined Bone:

Human and Animal Bones in the Jomon Period

山田しょう[1)]、早瀬亮介[1)]、小原圭一[1)]、鈴木雅[2)]、百瀬忠幸[3)]
1) ㈱加速器分析研究所、2) 宮城県蔵王町教育委員会、3) （元）長野県大桑村教育委員会
Shoh YAMADA[1)], Ryosuke HAYASE[1)], Keiichi OHARA[1)], Masashi SUZUKI[2)], Tadayuki MOMOSE[3)] 1)Institute of Accelerator Analysis Ltd., 2)Board of Education, Zaõ-machi, 3) (formerly) Board of Education, Õkuwa-mura

1. はじめに

焼骨はコラーゲンが破壊されるため、一般に放射性炭素年代測定に不適である。しかし、近年、火葬骨の炭酸塩を用いた年代測定の成果が報告されている（Lanting et al. 2001, Naysmith et al. 2007 他）。高温（約 600℃以上）で焼かれ、煅焼した骨で経験的に年代測定が成功する理由には諸説があるが、正確には不明であり、年代の信頼性についてはなお慎重な検討が必要である。本研究では、縄文時代の 2 遺跡において、共伴する土器・炭化材の年代等との比較により、焼骨の放射性炭素年代測定の妥当性を検討する。

2. 分析試料

① 宮城県刈田郡蔵王町谷地遺跡

大木 7b・8a 式期を中心とする比較的短い時期に属す（鈴木 2015）。土器型式から大木 8a 式期に位置づけられる 20 号住居 3 層出土の焼骨 3 点と炭化材 3 点の計 6 点を年代測定・比較した。

② 長野県木曽郡大桑村下条 I 遺跡

縄文中～後期の遺跡で、後期前半が中心となる。人骨を含む焼骨 5 点と炭化材 2 点を測定した。

3．分析方法

焼骨は、Lanting et al.（前掲）に従い、1.5%の次亜塩素酸ナトリウム（NaClO）で 2 日間、1M の酢酸（CH_3COOH）で 1 日間処理を行った後、リン酸と反応させ、二酸化炭素（CO_2）を採取した。炭化材は通常の AAA 処理を行った。

4．分析結果

① 谷地遺跡

焼骨と木炭、これまで他遺跡で測定された大木 8a 式土器の年代の間に、大変良い一致を得た。炭化材に比し、骨の方がやや古く出ているが、試料数が少ないので確実な傾向とは言えない。

② 下条 I 遺跡

焼骨の測定値は中期中～後葉と縄文晩期初頭頃の 2 グループに分かれる。前者の骨片集中遺構は、遺構が中期中～後葉の包含層で検出されており、正しい年代を表している可能性が高い。後者については、本遺跡の土器は整理中だが、現段階で確認されている土器よりやや新しくなる可

能性もある。しかし、8 号土坑では、炭化材の年代と近く、40 号配石は遺跡の最上面で検出されているので、少なくとも、近い時期を示していると言える。焼けた人骨は、いずれの年代のグループにも含まれており、後世の骨の混入ではなく、縄文時代のものと考えられる。

5. まとめ

1) 谷地遺跡の縄文時代中期大木 8a 式期の遺構から出土した焼骨 3 点は、共伴する炭化材、他遺跡での土器の測定年代とよく一致し、焼骨の年代測定の有効性を支持する。
2) 下条 I 遺跡の焼骨の年代は、二つの時期に分かれる。測定値のバラつきの少なさ、炭化材の年代、遺構検出の層準、出土土器等から、正しい年代を示している可能性があるが、土器の時期とややずれる可能性があるものもある。
3) 下条 I 遺跡の煅焼した人骨は、直接の年代測定により、縄文時代のものと考えられる。
4) 両遺跡の焼骨において、$\delta^{13}C$ 値が骨本来の値を示していないものがある。先行研究でも同様の指摘があり、焼骨において測定される炭素の由来と年代値の信頼性について、なお検討を要することを示す。

引用文献

鈴木雅 2015 谷地遺跡発掘調査概報（平成 23・24 年度調査），蔵王町内遺跡発掘調査報告書 2
Lanting, J.N. et al. 2001 Dating of cremated bones, *Radiocarbon* 43(2A): 249-254
Naysmith, P. et al. 2007 A cremated bone intercomparison study, *Radiocarbon* 49(2): 403-408

年代測定結果：蔵王町谷地遺跡

測定番号	試料名	採取場所	試料形態	処理方法	$\delta^{13}C$ (‰) (AMS)	^{14}C 年代 (yrBP)
IAAA-131645	No.1	20 号住居 3 層	焼骨（シカ角）		**-29.54 ± 0.59**	**4,420 ± 30**
IAAA-131646	No.2	20 号住居 3 層	焼骨（シカ角）		**-27.11 ± 0.53**	**4,440 ± 30**
IAAA-131647	No.3	20 号住居 3 層	焼骨（シカ/イノシシ）		**-18.96 ± 0.84**	**4,410 ± 30**
IAAA-131648	No.4	20 号住居 3 層	炭化材	AAA	**-24.92 ± 0.18**	**4,390 ± 30**
IAAA-131649	No.5	20 号住居 3 層	炭化材	AAA	**-22.57 ± 0.18**	**4,370 ± 30**
IAAA-131650	No.6	20 号住居 3 層	炭化材	AAA	**-24.47 ± 0.22**	**4,410 ± 30**

年代測定結果：大桑村下条 I 遺跡

測定番号	試料名	採取場所	試料形態	処理方法	$\delta^{13}C$ (‰) (AMS)	^{14}C 年代 (yrBP)
IAAA-140485	No.9-1	8 号土坑 覆土	焼骨（シカ角）		**-16.43 ± 0.48**	**2,900 ± 30**
IAAA-140486	No.10-1	18 号土坑 覆土	焼骨（ヒト）		**-20.87 ± 0.65**	**2,900 ± 30**
IAAA-140487	No.11-1	40 号配石内	焼骨（獣類）		**-22.80 ± 0.56**	**2,990 ± 30**
IAAA-140488	No.12-1	骨片集中遺構	焼骨(ヒト)		**-20.52 ± 0.40**	**4,160 ± 30**
IAAA-140489	No.12-2	骨片集中遺構	焼骨（シカ角）		**-22.83 ± 0.61**	**4,100 ± 30**
IAAA-132657	No.1	8 号土坑 覆土	炭化材	AAA	**-23.37 ± 0.32**	**3,000 ± 30**
IAAA-132658	No.2	44 号配石 礫間	炭化材	AAA	**-24.46 ± 0.25**	**3,070 ± 30**

P-008

日本産ツガ属の年輪年代測定（その8）
－新たなヒノキデータにより再現されたツガ古材の年代－
Dendrochronology of Japanese Hemlocks 8:
Replication of historical hemlock chronology by new data of Hinoki cypress

○藤井 裕之、光谷 拓実（奈良文化財研究所）
○Hiroyuki FUJII, Takumi MITSUTANI
(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

１．はじめに

2007年に着手したツガの年輪研究における最大の懸案は、年代が未確定となっている18世紀以前の古建築から取得した年輪パターン（以下、ツガ古材パターンとする）に対し、いかにして適切に年代を与えるかという点にある。これまでの研究発表で暫定的に付与してきたツガ古材パターンの年代は、第25回大会（藤井・竹口2008）で報告した當麻寺大師堂（奈良県葛城市、奈良県指定文化財）における1組のヒノキとツガによって導き出されたものにすぎず、古材と現生材とを直接つなぐツガ独自の年輪データを新たに獲得する方法、あるいはヒノキとツガによる組み合わせで同様の成果を再現する方法などによって、かねてよりその年代が適切かどうかの検証を図ることが求められていた。ここでは、上記のうち後者の方法に関連して、大阪府下の古建築で実施した年輪調査の結果、新たに取得したヒノキの年輪パターンの概要と、これを既存のツガ古材パターンとの照合に供した結果について報告する。

２．調査の対象

調査の対象とした古建築は、住吉大社摂社大海神社西門（大阪市住吉区、重要文化財）である。2013年から2014年にかけて保存修理工事がおこなわれ、年輪調査はその機会を利用して実施した（文建協編2014）。西門の創建年代については、意匠や工法、住吉大社境内に所在する他の建物との関係により、慶長12年（1607）をわずかに降る頃（江戸前期）と推定される。しかし、棟札や墨書などといった、年代を具体的に示す資料に乏しいことに加え、解体が進むにつれ、文献等に表れない時期の修理による思われる中古材の存在も意識されるようになり、こうした当初材、中古材それぞれの具体的な時期の解明が、今回の年輪調査の主たる目的となった。

３．データ取得と処理の方法

本研究に関する年輪データの取得（年輪幅の計測、年輪パターンの比較、照合）は、Baillie（1982）等をベースとした光谷らの方法（光谷ほか1990）によった（照合の目安；重複年輪数100層以上、t=5.0以上）。年輪幅の計測は、試料表面の画像をデジタルカメラで取得し、これを印刷出力したものからおこなった。この画像取得用機材は、ソニーNEX-5Nに各種マクロレンズ、アクセサリーを組み合わせて使用した。比較、照合の作業は主にコンピュータ上で行い、年輪分析ソフトPAST4（オーストリアSCIEM社）、およびExcelVBAによる自作プログラムを適宜併用した。

４．照合とその結果

大海神社西門の試料　軒廻りの材を中心に計23点のヒノキを試料に選び、まず総当たり比較に供した。その結果、Aグループ（265層）とBグループ（523層）の２本の平均値パターンを抽

出できた。次いで、おのおのヒノキの暦年標準パターンと比較をおこない、A グループは 1432 年から 1696 年まで（t=6.6）、B グループは 1055 年から 1577 年まで（t=5.6）の年代幅で照合が成立した。このような一連の操作により試料 19 点の年代が判明したほか、うち 18 点については A、B のいずれかに属しており、その状況をみると痕跡調査による当初材（B グループ）と中古材（A グループ）の判断に整然と対応していること、このうち中古材には樹皮型の試料（1663 年+40 層=1703 年）が含まれていることがわかった。以上により、当初材の具体的な時期については判明しなかったが、中古材については元禄から宝永にかけての伐採が想定されるに至った。

ツガ古材パターンとの照合　次に、上記２本のヒノキによる平均値パターンを、これまでの調査で取得した當麻寺大師堂後補材（前掲）、願泉寺本堂・築地塀（大阪府貝塚市、重要文化財）、高知城現用木部材（高知市、重要文化財）、旧立川番所書院（高知県大豊町、重要文化財）のツガ古材パターンと比較した。その結果、大海神社西門のヒノキ B グループは、高知城現用木部材のうち B グループ（1344～1684 年?）に基づいて照合が成立し、大海神社西門のヒノキ B グループの最外年輪年代も、ヒノキの暦年標準パターンを基準とした場合と同じ 1577 年に求められた。t 値は 5.26、重複年輪数は 234 であった。なお、これ以外の照合は成立しなかった。

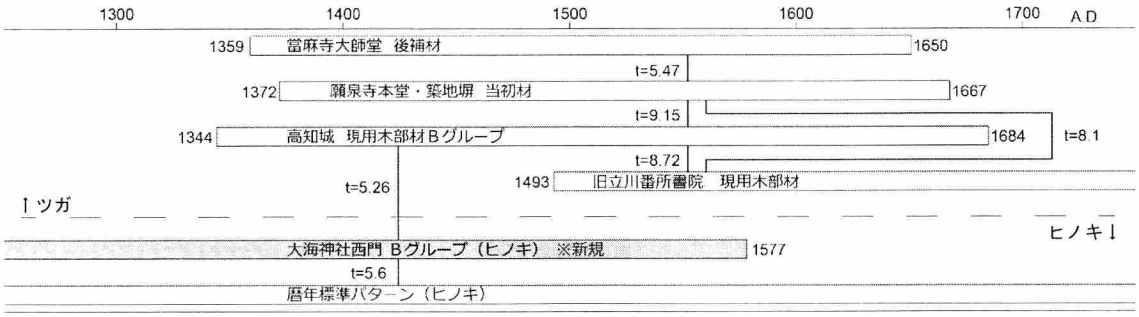


図　ツガ古材パターンに関する照合状況

５．照合状況の評価と今後の課題

大海神社西門で取得した新たなヒノキの年輪パターンにより、これまでツガ古材パターンに暫定的に付与してきた年代が、あらためて再現された。その根拠となった當麻寺大師堂における１組のツガとヒノキが、単材どうしの組み合わせであったことと比べると、今回は試料数に一定の裏付けを有する平均値パターンクラス以上の組み合わせによる結果であり、ツガ古材パターンに関する年代づけの妥当性は、質的にも飛躍的に高まったといえる。

これにより、ツガ古材パターンの検証は、大きな課題をひとつクリアできたことになる。今後も引き続き、ツガ材独自による現生材と古材とのパターンの接続に、努力を傾ける必要がある。

なお、本研究の一部は科研費（課題番号 25420685）の成果による。

文献

Baillie, M.G.L. 1982 Tree-ring dating and archaeology. Croom Helm. London and Canberra
藤井裕之・竹口泰生 2008「日本産ツガ属の年輪年代測定－近世建造物における試み－」『日本文化財科学会第 25 回大会研究発表要旨集』pp.126-127
藤井裕之 2013「日本産ツガ属の年輪年代測定（その６）－高知城現用木部材の調査－」『日本文化財科学会第 30 回大会研究発表要旨集』pp.184-185
文化財建造物保存技術協会（編）2014『重要文化財住吉大社摂社大海神社西門保存修理工事報告書』住吉大社
光谷拓実ほか 1990『年輪に歴史を読む－日本における古年輪学の成立－』奈良国立文化財研究所編　同朋舎出版

P-009

近世日本産樹木年輪の炭素 14 年代－建築部材とのマッチング

Radiocarbon ages of early-modern Japanese tree rings – matching with the wood material of the cultural assets building

○中尾七重（武蔵大学）・坂本稔（国立歴史民俗博物館・総合研究大学院大学）・中塚武（総合地球環境学研究所）

1．はじめに

民家や社寺など近世建築の建築年代調査は、建築部材の外周部、内輪部、中間部の 5 年輪試料 3 点を ^{14}C 年代測定し、IntCal で解析して部材年代を導き出して行う。これらの部材 3 点データはその多くで良好なマッチングが得られているが、たまに較正曲線より上下に飛び出るデータが得られており、これまでは試料汚染あるいは理由の分からない測定不良と考えてきた。

16 世紀から 20 世紀の年輪を有する伊勢神宮スギによるデータセット（坂本 2015[1]）はパルス状の上下動が特徴で、これまで知られなかった動向を示している。伊勢神宮スギデータセットを近世建築の部材 3 点データと比較すると、17 世紀から 19 世紀の多くの箇所で良好なマッチングが得られることが判明した。本稿では、IntCal･SHCal と伊勢神宮スギのデータセットの動向が大きく異なる 1670～1685 年に注目して、重文彦部家住宅長押、K 家住宅壁板、重文江向家住宅柱、石清水八幡宮楼門隅行肘木の IntCal および伊勢神宮スギデータセットのマッチングとの比較検討を行う。

2．重要文化財彦部家住宅長押

重要文化財彦部家住宅は群馬県桐生市にある 17 世紀後期の近世民家である。2009 年に ^{14}C 年代調査を実施し、IntCal による解析の結果、7 部材中 5 部材の最外年輪層がいずれも 17 世紀中～後期の年代を示した。残り 2 部材のうち、彦部 7 オクザシキ床板は前身建物の転用材、彦部 6「ぬ二-ぬ四」長押は、17 世紀後期にも確率があるものの、3 点の測定パターンから 18 世紀末と推測した[2]。建築調査では、彦部 6 長押は 17 世紀後期部材と同時期と判断されたが、測定結果から未知の修理改造時用材と推測された。

しかし彦部6長押データは伊勢神宮産スギデータセットの1670～1685年パルス状動向に良好にマッチングし、彦部 6 長押が建築調査の知見に合致する 17 世紀後期の用材であることが判明した。

3．K 家壁板

K 家住宅は東京都西多摩郡檜原村の山岳地帯に建つ 18 世紀初頭建築の近世民家である。2013 年に、文化財保存修理工事に伴う ^{14}C 年代調査を実施し、IntCal による解析の結果、調査 5 部材のうち 4 部材は 18 世紀初頭に共通年代域を持つことが判明した。K1 壁板は IntCal とのマッチングがあまり良好ではないが、17 世紀後期の年代域を持つため、製材時削除分を加算し同時期の用材と判断した。

K1 壁板を伊勢神宮スギデータセットと照合すると、1670～1685 年のパルス状動向の付近で K1 壁板が良好にマッチングし、17 世紀末の年代となり、他の調査部材と同時期であることが確認できた。

4．重要文化財江向家住宅柱

重要文化財江向家住宅は富山県東砺波郡上平村から川崎市に寄贈され、1968 年に川崎市立日本民家園に移築された。五箇山合掌造の標準的形式で 18 世紀中ごろの建築と推定されている[3]。2014 年に ^{14}C 年代調査[4]を実施した。江向家柱は IntCal とのマッチングが良好ではないが 17 世紀後期となる。伊勢神宮産スギデータセットと照合すると、1670～1685 年のパルス状動向付近で良好にマッチングした。

5．石清水八幡宮楼門隅行肘木

石清水八幡宮は京都府八幡市の男山に国指定史跡の境内を構え、本殿を始め多くの重要文化財建造物を擁する。重要文化財楼門もそのひとつで、^{14}C 年代調査[5]を実施した。楼門隅行肘木は IntCal とのマッチングが良好ではなく、SHCal とのマッチングは良好であり、さらに伊勢神宮スギデータセットと照合すると、1670～1685 年のパルス状動向の付近で良好にマッチングした。

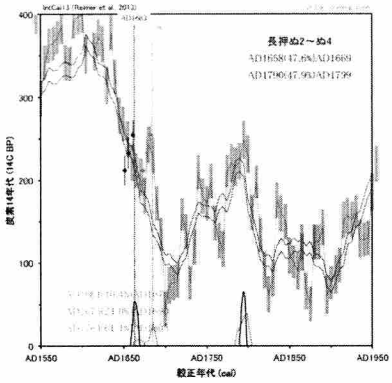


図 1：重文彦部家住宅長押

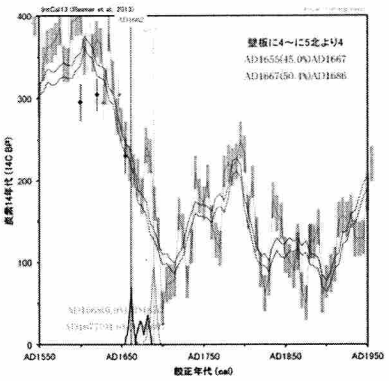


図 2：K 家住宅壁板

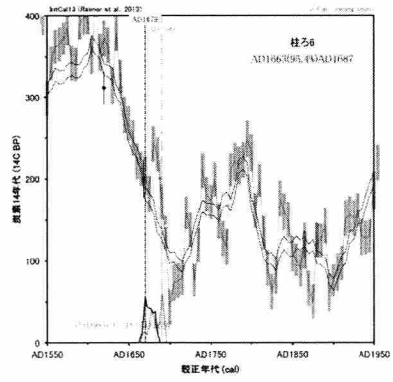


図 3：重文江向家柱

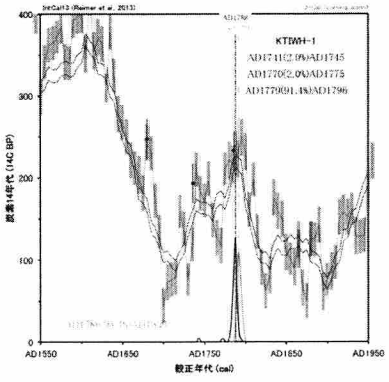


図 4：重文石清水八幡宮楼門隅行肘木

6．まとめ

1670～1685 年のパルス状動向を持つ伊勢神宮スギのデータセットと、重文彦部家住宅長押、K 家住宅壁板、重文江向家住宅柱、石清水八幡宮楼門隅行肘木は良好にマッチングする。1670～1685 年のパルス状動向を捉えていない IntCal とはマッチングが良好ではなかった。

彦部篤郎様、川崎市立日本民家園、石清水八幡宮、公益財団法人文化財建造物保存技術協会に感謝いたします。本研究は科学研究費補助金基盤(B)「文化財建造物の高精度放射性炭素年代測定:23300325」によるものである。

1 坂本ほか，日本文化財科学会第 32 回大会、2015
2 尾嵜大真他、重要文化財彦部家住宅建築部材の ^{14}C 年代測定、JAMS-12、2010.5
3 文化遺産オンライン
4 2014 年度国立歴史民俗博物館共同研究「年代情報に基づく木材の利用・活用に関する横断的研究」坂本稔、
5 御鎮座 1150 年記念・徳川家光公本社造営 380 年石清水八幡宮本社調査、石清水八幡宮

P-010

北海道東部における縄文時代早期の年代測定と食性分析

Dating and analyzing food habits in the Initial Jomon Period in Eastern Hokkaido

○國木田大，松崎浩之（東京大学），
山原敏朗（帯広百年記念館），石川朗（釧路市埋蔵文化財調査センター）
○Dai Kunikita, Hiroyuki Matsuzaki (The University of Tokyo),
Toshiro Yamahara (Obihiro Centennial City Museum),
Akira Ishikawa (Kushiro Buried Cultural Properties Research Center)

1. はじめに

本研究は、北海道東部地域における縄文時代早期の年代解明と食性復元を目的としている。極東ロシアや東シベリア地域の新石器時代研究は、近年多くの発掘成果の公表に伴い、以前より具体的な様相が判明しつつある。新石器時代/縄文時代における極東ロシア南部と日本列島の交流関係については、縄文時代早期後半の石刃鏃文化が長年注目されてきた。筆者らは、以前から石刃鏃文化の年代研究を進め、同文化現象が 8.2k 寒冷化イベントと同時期であることを解明してきた（國木田 2014 他）。大陸と北海道間で構造的な関連が認められる現象に注目するのは、日本列島北辺域での環境適応や社会構造を議論するのに有意義であり、縄文文化の独自性を捉え直す新たな契機としても重要になる。これらの課題に対して具体的な変遷過程を提示するためには、まずは各土器型式の数値年代や生業におけるデータが必要不可欠になる。

2. 分析資料および方法

研究方法は、土器付着炭化物の ^{14}C 年代測定、炭素・窒素安定同位体分析、C/N 分析を用いる。詳しい分析法や手順は國木田他（2010）をご参照頂きたい。試料の炭素・窒素同位体比、C/N 比は、SI サイエンス株式会社（EA：Thermo Fisher Scientific 社製 Flash EA1112、安定同位体比質量分析計：Thermo Fisher Scientific 社製 DELTA V）を用いた。^{14}C 年代測定は、東京大学総合研究博物館のタンデム加速器設備（MALT：Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator）を用いた。

本研究課題に対しては、筆者らの研究（大貫・福田編 2014、福田編 2015 他）、小林（2013）がある。本発表では、これらの先行研究を踏まえ、新たに測定した帯広市・釧路市・浦幌町等のデータを追加して議論を行う。本要旨では、内面土器付着炭化物、暁式（6 点）、テンネル式（4 点）、沼尻式（14 点）、東釧路 I 式（6 点）、下頃辺式（4 点）、女満別式（7 点）、トコロ 14 類（6 点）、大正Ⅳ群（6 点）、湧別市川 I 群（18 点）、浦幌式（5 点）、東釧路 II 式（3 点）、東釧路Ⅲ式（7 点）、東釧路Ⅳ式（2 点）の計 88 点を主に取り扱う。

3. 測定結果と考察

（1）^{14}C 年代測定

本研究上重要な遺跡の多くは、調査年度が古く、遺構出土の炭化物が保管されていないことが多い。そのため、年代測定は土器付着炭化物を用いて検討した。北方地域の土器付着物は、内容物が海産物に由来することが多いため、海洋リザーバー効果の影響を受けて年代が古く得られる。本研究では上記 88 点の内、海洋リザーバー効果の影響が推定される試料 67 点（炭素同位体が -24.0‰より重く、C/N 比が 13 より小さい試料）を選定し、比較を行った（図 1）。実際の年代は、約 500BP 程度新しいと考えられるが、土器型式間の年代順序を把握するには有用である。これらのデータと、既報告の木炭年代を参考にすると、当該地域の土器型式は、テンネル・暁式→沼尻式・下頃辺式・大楽毛式・東釧路 I 式→女満別式・トコロ 14 類・湧別市川 I 群・大正Ⅳ群・浦幌式（前半）

→浦幌式(後半)・東釧路Ⅱ式→東釧路Ⅲ式・コッタロ式・中茶路式→東釧路Ⅳ式と変遷する可能性が高い。各土器個体が受ける海洋リザーバー効果は一様ではないため、年代が重複および逆転している部分もある。今後、新規調査の炭化物年代を待つ必要はあるが、大まかな傾向は把握できる。石刃鏃文化は、女満別式等から東釧路Ⅱ式(一部Ⅲ式)頃までの約 7500～7000BP(約 8400～7800calBP)と考えられる。

(2)炭素・窒素同位体、C/N 分析

内面土器付着物の炭素・窒素同位体比(計 88 点)を図 2 に示す。大部分の試料が、C_3植物・草食動物の領域から海生生物の領域を結んだ範囲より、やや窒素同位体比が高い領域に分布する($\delta^{13}C$ 値:＞-24.0‰、$\delta^{15}N$ 値:＞10‰)。この傾向は、北方地域に特徴的で、海洋生物の影響が考えられ、年代が古く得られる点でも矛盾しない。この領域に入らず、炭化物と同年代(もしくは少し古い)で得られる試料がいくつかある。暁式で 3 点、テンネル式で 1 点、沼尻式で 1 点、下頃辺式で 1 点、湧別市川Ⅰ群で 3 点ある。湧別市川Ⅰ群の 1 点($\delta^{15}N$ 値:2.3‰)は、C/N 比が 19.1 と高いので堅果類利用の可能性が高い。北海道では非常に稀な値である。八千代 A 遺跡(暁式)では、$\delta^{15}N$ 値が低いものが大部分であるため、陸上動植物資源の影響が考えられる。石刃鏃文化段階の多くは、海洋資源であるが、トコロ 14 類や女満別式で、$\delta^{13}C$ が重く、$\delta^{15}N$ が低い傾向を示すものがある。海洋資源でも、食物連鎖の下位に位置する貝類や小魚を中心に煮炊きしていたのかもしれない。

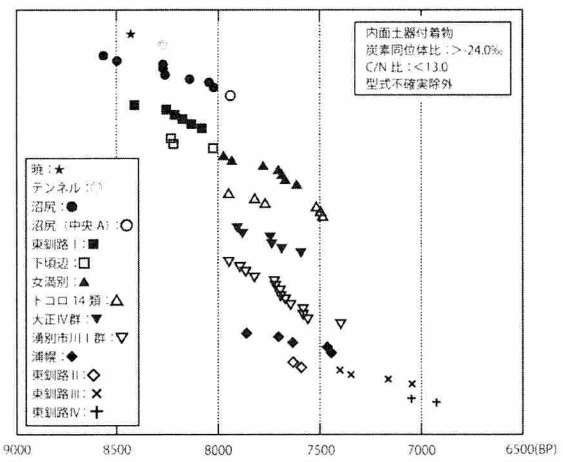


図1 ^{14}C 年代値(内面付着物、海洋リザーバー効果有)

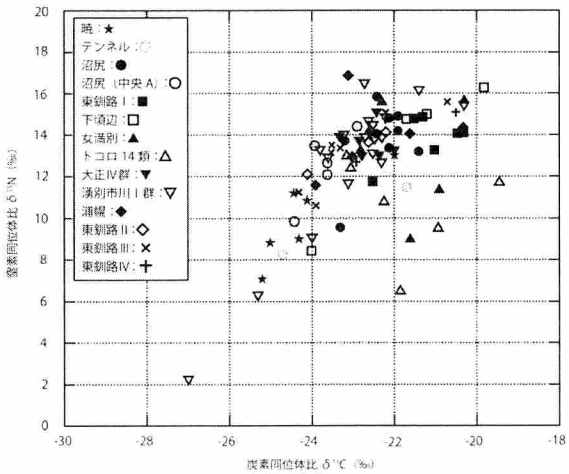


図2 炭素・窒素同位体比(内面付着物)

4. まとめ

現状で北海道東部の縄文時代早期の食性は、海洋資源に強く依存していた可能性が高い。ただし、一部の遺跡や試料では陸上動植物資源の利用も確認され、多角的な食料戦略も存在する。今後は、生業の変化が想定される石刃鏃文化前後の炭素・窒素同位体差や、遺跡の立地(海洋へのアクセス等)を考慮に入れながら、文化集団の食性変遷を考えていきたい。

【参考文献】

大貫静夫・福田正宏編 2014『環日本海北回廊における完新世初頭の様相解明』東京大学

國木田大他 2010「押出遺跡のクッキー状炭化物と大木式土器の年代」『東北芸術工科大学東北文化研究センター紀要』第 9 号

國木田大 2014「石刃鏃石器群の年代」『環日本海北回廊における完新世初頭の様相解明』東京大学

小林謙一 2013「北海道帯広市内出土縄紋時代早期土器付着物の炭素 14 年代」『第 15 回 AMS シンポジウム報告集』名古屋大学・AMS 研究協会

福田正宏編 2015『日本列島北辺域における新石器/縄文化のプロセスに関する考古学的研究』東京大学

P-011

東アジアにおける基盤整備型水田の成立期に関する実証的研究（第2報）

Study for the establishment period of the paddy field development technology with land leveling in East Asia（Ⅱ）

○ 宇田津徹朗（宮崎大学）・田崎博之（愛媛大学）・中村慎一（金沢大学）・金原正明（奈良教育大学）・小柳美樹（金沢大学）・藤原宏志（宮崎大学）・浦谷綾香（宮崎大学）・李小寧（浙江省文物考古研究所）・劉斌（同）・王寧遠（同）・鄭雲飛（同）

○Tetsuro Udatsu(Miyazaki Univ.), Hiroyuki Tasaki(Ehime Univ.), Shinichi Nakamura(Kanazawa Univ.), Masaaki Kanehara(Nara Univ. of Ed.), Yoshiki Koyanagi(Kanazawa Univ.), Hiroshi Fujiwara(Miyazaki Univ.), Ayaka Uratani(〃), Xiaoning Li(Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology), Bin Liu(〃), Ningyuan Wang(〃), Yunfei Zheng(〃)

1. はじめに

今日の東アジアの稲作を形作る原動力となった「地形を水平に改変（基盤整備）し、集約的な稲作の展開を可能にする水田の成立」が中国の新石器時代に生じたことは、多くの研究者が認めるところである。しかし、こうした水田（基盤整備型水田）が成立した時代や地域の詳細については、ほとんど明らかとはなっていない。

そこで、筆者らは、2012 年度より、科学研究費補助金の支援を受け、東アジアにおける基盤整備型水田の成立期を明らかにするため、社会形成の視点からその存在が有力視されている中国浙江省に所在する良渚遺跡群の莫角山遺跡周辺で水田探査と地形分析を実施し、その所在や土地利用の検討に取り組んできている。

この3年間の調査によって、良渚文化期の可能性が高い水田遺構の埋蔵域を探索することができた。ここでは、2014 年度の調査を中心に調査の概要と得られた成果を報告することとしたい。

2. 調査の概要

1）2013 年度までに得られた成果

2013 年度までの調査で、遺跡周辺の地形分析と浙江省文物考古研究所による遺跡範囲ならびにイネプラント・オパールが検出された地層の標高等を検討し、図１に示す７つの調査区を設定し、ボーリング調査と採取試料のプラント・オパール分析を実施した。その結果、２つの調査区（⑤と⑦）で良渚文化期と推定される地層からイネプラント・オパールが高い密度で検出される地点を確認することができた。

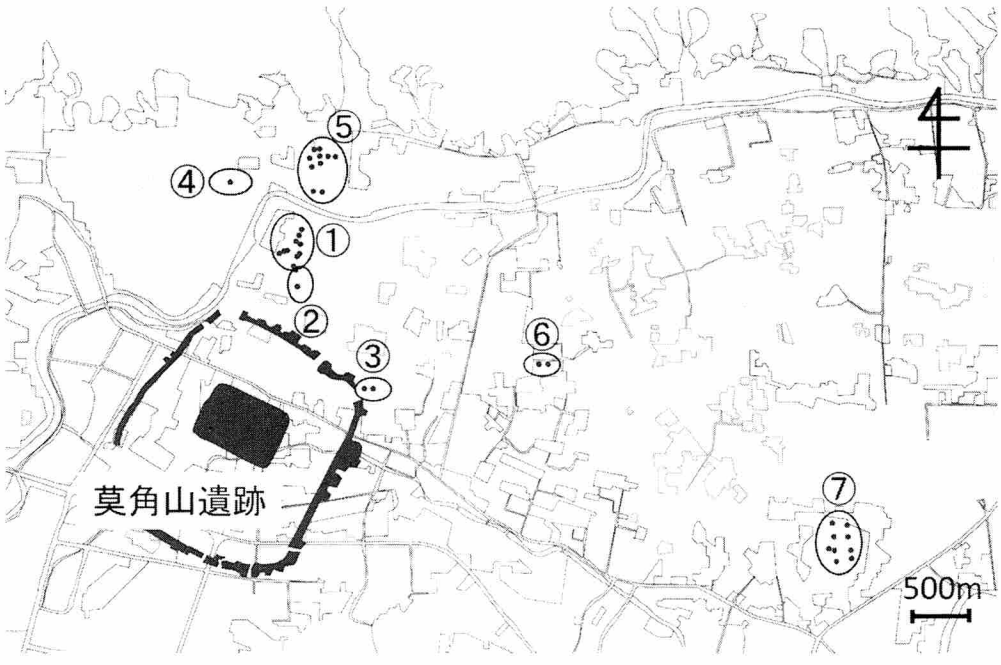


図1　莫角山遺跡周辺でボーリング調査を実施した7つの調査区の配置　　※網掛けの部分は水田

2）2014 年度の調査分析の概要

前年度の成果を受け、調査区⑤（上渓村）と調査区⑦（荀山）において、地形や旧河道について検討しながら、水田が埋蔵されている可能性のある範囲を網羅するようにそれぞれ調査グリッドを設定した（図２参照）。

設定した地点について、地表下３ｍまでのボーリングを実施し、良渚文化期の地層の確認と堆積状況の観察ならびに分析試料（土壌）の採取を行った。

採取した試料については、プラント・オパール定量分析を実施し、昨年度確認された検出地点との関係を含めて水田埋蔵域について検討を行った。

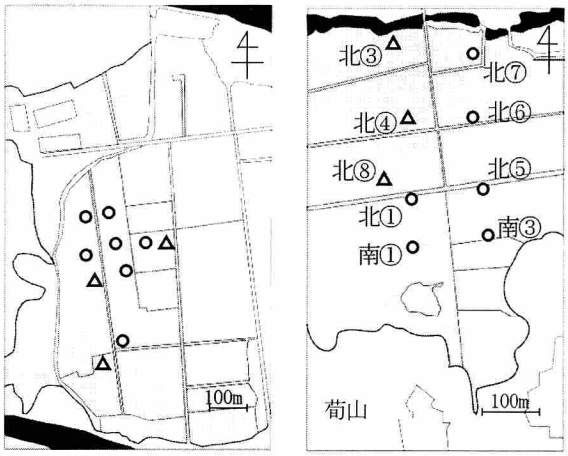


図2　ボーリング地点の配置（右：調査区⑤、左：調査区⑦）
※網掛けの部分は水田、塗りつぶし（黒）はダム・河川・水路

3. 調査分析の結果および考察

1）荀山調査区について

表１は、調査区⑦の荀山調査区でイネプラント・オパールが検出された良渚文化期に相当すると推定される地層の定量分析結果をまとめたものである。各地点の位置は図２のとおりである。

検出された地層は、地表下 65～134cm（標高で 1.2～1.8m）に位置しており、ほとんどが砂質シルトの土壌であった。図２中の○印は表１の地点を示しているが、荀山の縁辺部に所在する南①、南③、北⑤は特に密度が高く（7,000～10,000 個/g）、当時の基盤整備型水田が埋蔵されている可能性が高い。

2）上渓村調査区について

調査区⑤の上渓村調査区については、紙幅の関係で定量分析結果を割愛したが、荀山調査区と同様に図２にイネプラント・オパールが検出された地点を○印で示している。検出された地層は地表下 180～220cm（標高で 1.5～1.9m）に位置し、密度は 2,000～4,000 個/g 程度であった。

当該調査区では、現地形からも南北方向の河道が認められており、検出地点はこうした南北の河道東側の段丘面に残された水田域を捉えたものである可能性が推定された。

表1　プラント・オパール定量分析の結果

地点	地層番号	深さ (cm)	イネ *O.sativa*	ヨシ属 *Phrag..*	タケ亜科 *Bamb..*	ウシクサ族 *Andro.*	キビ族 *Pani.*
北①	4	114	1,174	1,760	587	2,347	587
	5	134	1,165	1,165	0	1,747	0
南①	4	107	3,138	1,255	628	4,393	0
	5	123	1,526	382	0	1,526	0
南③	3	80	7,146	2,680	893	7,146	1,786
	4	95	10,607	1,928	2,893	6,750	964
北⑤	4	71	8,961	5,974	0	8,961	597
	5	78	10,943	3,127	0	8,598	0
北⑥	3	65	1,190	1,785	0	2,974	595
	4	82	1,190	595	0	595	0
北⑦	3	73	4,369	0	0	4,369	0

単位（個／g）

4. まとめと今後の展望

2014 年までの３年間の現地調査と採取試料のプラント・オパール分析の結果から、地形的に異なる２つの調査区から良渚文化期に稲作が営まれていた可能性が高い範囲をほぼ特定することができた。特に調査区⑦の荀山調査区では、イネプラント・オパールの検出密度が 10,000 個/g を超える地点があることから、安定した当時の基盤整備型水田が埋蔵されている可能性が極めて高いと考えられる。

今回の報告はプラント・オパール分析結果を中心としたものであるが、さらに、採取土壌の粒度分析を実施し、堆積環境の情報を加えた詳細な検討を行う予定である。また、当該研究での現地調査は 2014 年度で最後となるが、今後は、試掘調査を含めた現地研究機関との検証を目指してゆきたい。

P-012

土器圧痕と炭化種実からみた東京都下野谷遺跡の植物資源

Plant resources reconstructed from pottery impressions and carbonized seed remains recovered at the Shitanoya Site, Tokyo

○山本 華（早稲田大学）、佐々木由香（株式会社パレオ・ラボ）、
大網信良（早稲田大学）、亀田直美（西東京市教育委員会）

はじめに

本研究では、武蔵野台地における縄文時代中期の植物資源の在り方について当該期を主体とする東京都下野谷遺跡の土器を対象に種実圧痕調査を行い、検討を試みた。当遺跡の破片土器を対象にした既往の圧痕調査では多様なサイズのダイズ属種子圧痕などが確認され、野生型のダイズと栽培型のダイズが混在していた可能性が示された（山本ほか，2014；佐々木ほか，2015）。また下野谷遺跡では土器種実圧痕調査だけでなく、炭化種実同定も行われている。今回は復元土器を対象に圧痕を探索し、未報告の炭化種実も分析して資料数を増やした上で、圧痕種実と炭化種実の出現傾向の違いを検討し、両者の形態と大きさを比較した。

1 資料と方法

これまでに行った土器圧痕調査は、下野谷遺跡出土の 7,936 点の破片土器を対象としている。今回は破片土器に加えて、第 6 次調査出土資料のうち報告書に掲載されている復元土器（半完形、略完形、完形）281 点を対象に圧痕調査を実施した。いずれも主として縄文時代中期中葉から後葉の土器である。あわせて、第 6 次調査時に同定された炭化種実の大きさを図版（早稲田大学校地埋蔵文化財整理室，1998，2000）から計測した。未報告の現地取り上げ炭化物 52 試料についても同定を行った。

圧痕はレプリカ法（丑野・田川，1991）を参考にしてレプリカを採取し、実体顕微鏡で一次同定を行った後、走査型電子顕微鏡（KEYENCE 社製 VE-9800）で写真撮影および二次同定を行った。炭化物は、水洗した後に実体顕微鏡下で同定し、炭化種実と炭化材を抽出した。

2 結果

2-1 検出された圧痕種実

破片土器の資料からは、30 点の植物由来圧痕を検出した。主な分類群はミズキ核や、シソ属エゴマ型果実、ダイズ属ツルマメ型種子、ダイズ属ダイズ型種子、ササゲ属アズキ亜属？種子などである。復元土器の資料からは、36 点の植物由来圧痕を検出した。主な分類群はミズキ核や、シソ属エゴマ型果実、ダイズ属ツルマメ型種子、ダイズ属ダイズ型種子、ダイズ属子葉、ササゲ属アズキ亜属種子などである。

調査の結果、マメ科種子やシソ属エゴマ型果実など、破片土器と概ね同様の分類群を復元土器でも検出した。特に復元土器では同一個体から同一分類群が複数検出されるケースを 4 例（シソ属エゴマ型果実 3 例、イヌシデ果実 1 例）、マメ科種子が複数検出されるケースを 2 例確認した。

2-2 検出された炭化種実と圧痕種実との比較

報告書に掲載された炭化種実の分類群は、オニグルミ炭化核と、キハダ炭化種子、ミズキ炭化核、マメ科炭化種子、ササゲ属炭化種子、タケニグサ種子、イヌコウジュ属果実などである。ただし、タケニグサ種子などは未炭化であったためにコンタミネーションの可能性が指摘されている（下野谷遺跡整理室編，2003）。また、未報告資料の中から今回確認した炭化種実はオニグルミ炭化核やユリ科炭化鱗茎などであった。圧痕種実と共通している分類群は、マメ科種子とミズ

キ核であった。特にマメ科種子は検出炭化種実に占める割合よりも検出圧痕に占める割合の方が高かった。形状をみると、ミズキ核は圧痕試料ではほぼ完形であるが、炭化試料では破片が多く検出されている。マメ科種子も圧痕試料ではほぼ完形であるが、炭化試料では 3 点中 2 点が破片である。ミズキ核の大きさを現生試料と圧痕試料、炭化試料で比較すると、圧痕試料には現生試料より大きいものがある一方で炭化試料より小さいものもあり、それぞれの状態ごとの明らかな差はみられなかった。マメ科炭化種子のうち完形であったササゲ属炭化種子の大きさも、圧痕試料のアズキ亜属種子とほぼ同じ大きさか、やや小さい程度であった。

3 考察

3-1 圧痕種実と炭化種実の出現傾向

圧痕種実ではほぼ完形のエゴマ型果実やダイズ属種子が顕著にみられるのに対し、オニグルミ核は見いだされなかった。一方、炭化種実ではオニグルミ核破片の比率が突出して高いが、エゴマ型果実や明らかなダイズ属種子は報告されていない。オニグルミ核破片が圧痕で検出されない理由としては、①当遺跡の土器にはそもそも入っていない、②破片になると礫との区別が難しいため圧痕としての存在を見逃しているなどの可能性が挙げられる。また逆にエゴマ型炭化果実が検出されなかった理由としては、①植物遺体として残りにくかった、②分析対象が現地取り上げ試料のみで土壌の水洗選別が行われなかったことなどが考えられる。炭化種実の遺存状況は埋蔵環境等によるため操作することはできないが、見つけられていないだけの圧痕種実は今後検出精度を高めることで出現傾向が変わる可能性はある。圧痕としてのオニグルミ核破片を判別できていないとすれば、オニグルミ核破片などの大型の堅果類の破片圧痕を同定する方法を確立することが課題である。

3-2 圧痕種実と炭化種実の形態と大きさの比較

ミズキ核は検出数が少なかったため、圧痕種実と炭化種実の大きさに一概に差があったとは言えないが、計測結果の傾向から現生、圧痕、炭化試料の順で小さくなることが推測された。ササゲ属炭化種子も完形個体は 1 点のみで、大きさは圧痕種実の大きさの幅の中に収まった。種子の大きさのばらつきには膨張と収縮による変化に加え、収穫時期や収穫年の違い、個体差の可能性も考えられる。

4 まとめ

土器圧痕と炭化種実では検出分類群の出現傾向が異なることが明らかになったが、これは肉眼による検出手段の差によるところが大きいと考えられた。圧痕種実として検出される植物の種類と、炭化種実として検出される植物の種類は一致しないことが示されたため、今後も両者を補完的に検討していく必要がある。炭化種実では全く得られないエゴマ型果実と少量しか得られないマメ科種子が、検出された圧痕種実の大半を占めている点は、今後圧痕の成因と性格について検討していく上で重要である。また、今回は圧痕種実と炭化種実の大きさに顕著な差は見られなかったが、今後の調査で資料を増やして詳細な検討を行いたい。

本調査に係る経費は、2012 年度～2015 年度日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（A）「先端技術を用いた東アジアにおける農耕伝播と受容過程の学際的研究」（代表：小畑弘己、課題番号 24242032）の一部を使用した。

引用文献
佐々木由香・山本 華・大網信良・亀田直美．2015．東京都下野谷遺跡の土器圧痕からみた縄文中期の種実利用．第 10 回九州古代種子研究会大会要旨集．
下野谷遺跡整理室編．2003．下野谷遺跡Ⅴ－縄文時代中期(4)－．348pp．早稲田大学．
丑野 毅・田川裕美．1991．レプリカ法による土器圧痕の観察．考古学と自然科学，24：13-36，日本文化財科学会．
早稲田大学校地埋蔵文化財整理室編．1998．下野谷遺跡Ⅰ－縄文時代中期(1)－．672pp．早稲田大学．
早稲田大学校地埋蔵文化財整理室編．2000．下野谷遺跡Ⅱ－縄文時代中期(2)－．495pp．早稲田大学．
山本 華・佐々木由香・亀田直美・大網信良・米田恭子．2014．東京都下野谷遺跡の土器圧痕にみる縄文中期の植物利用．第 29 回日本植生史学会大会講演要旨集，72-73，日本植生史学会．

P-013

山梨県諏訪原遺跡における土器圧痕にみる縄文時代中期の植物利用 —昭和女子大学調査区について—

Plant resources of the middle Jomon period reconstructed from pottery impressions recovered at the Suwahara Site, Yamanashi

鈴木英里香（昭和女子大学大学院）・佐々木由香（株式会社パレオ・ラボ）・
山本暉久（昭和女子大学）

１．はじめに

「土器圧痕」と称される土器表面の凹部を印象剤で型取りし、走査電子顕微鏡などで観察するレプリカ法を用いて、縄文時代中期を中心とする諏訪原遺跡で出土した土器圧痕の調査結果を報告する。諏訪原遺跡は山梨県北杜市明野町上神取の塩川左岸の河岸段丘面、標高約 550mに位置し、縄文時代中期の拠点的集落であると評価されている（山本他 2014）。

また、当該遺跡での土器圧痕調査は既に中山誠二氏と佐野隆氏によって行われているが（中山・佐野 2014）、本研究では圧痕調査が行われていない昭和女子大学調査地区で行い、種子圧痕の検出率や種実の組成について明らかにする。

２．試料と方法

今回対象の試料は 2007 年から当該遺跡において出土した土器（山本他 2014）のうち、現在までにレプリカ調査が終了している土器 1855 点である。調査方法は、土器を精査し、種実圧痕の疑いがある凹部を有する土器については、凹部を筆で丁寧に洗浄する。そこへパラロイドB-72アセトン５％溶液を土器保護のための離型剤として凹部と周辺に塗布する。印象剤である株式会社ニッシン製 JM シリコーンインジェクションタイプを注射器で注入し、圧痕のレプリカを作製した。その後、携帯型実体顕微鏡（Nikon 製ファーブル　倍率 20 倍）で同定を行い、さらに走査型電子顕微鏡（日本電子株式会社製 JSM-6010LA）で観察した。採取したレプリカはSUW を頭につけ、採取順に番号を付した。

３．結果

現時点での同定の結果、木本植物ではコナラ属アカガシ亜属果実（１）（写真１）とミズキ核（１）の２分類群、草本植物ではアズキ亜属種子（３）、アズキ亜属近似種種子（７）、ダイズ属種子（３）、ダイズ属近似種種子（４）シソ属エゴマ型果実（２）の５分類群の、計７分類群が産出した（括弧内の数字は産出数を示す）。これは山梨県を中心とした縄文時代中期にアズキ亜属とダイズ属、エゴマ、ミズキ、堅果類が多産する傾向に類似する（中山 2014）。また産出したアズキ亜属近似種種子のうち２点は、2014 年度の調査時、中期中葉と思われる土偶左臀部の破片から産出した（写真２，３）。

4．考察

同定の結果、諏訪原遺跡の昭和女子大学調査区では、アズキ亜属とダイズ属、エゴマ、ミズキ、堅果類が得られ、縄文時代中期の山梨県域における種実利用の状況と同様の種実を利用する傾向が見られた（中山 2014）。また土偶胎土からの圧痕種実の産出は本例以外に報告例はなく、その意味づけについて検討を行いたい。

土偶はいくつかの粘土塊を合わせて製作する「分割塊技法」で製作されており、粘土塊同士の接続には木芯を用いソケット式に差し込まれている（小野 1987）。小野正文によるとこの製作方法は接続部分で壊すことを目的とした、無理な製作方法であるという。土偶の製作意図は、祭りに使用したとする説や、地母神信仰の象徴であるという説、自然界の精霊が宿る説など、様々な議論がある（藤沼 1997）。この土偶については壊れやすい臀部と脚部の接合面にアズキ亜属種子があり、意図に混入された可能性がある。種子を混入する目的や時期的な傾向は今後の検討課題としたい。

本調査にかかる経費は 2012 年度～2015 年度日本学術振興会科学研究費補助基盤研究(A)「先端技術を用いた東アジアにおける農耕伝播と受容過程の学際的研究」（代表：小畑弘己、課題番号 24242032）の一部を使用した。

引用文献

小野正文　1987「土製品　土偶の製作法」『山梨県埋蔵文化財センター調査報告書釈迦堂Ⅱ』p.269 山梨県教育委員会
比佐陽一郎・片田雅樹　2005『土器圧痕レプリカ法による転写作業の手引き』福岡市埋蔵文化財センター
中山誠二　2014「山梨県における縄文時代の植物質食料の利用について」『山梨県立博物館調査・研究報告 9　日韓における穀物農耕の起源』　p.303-309　山梨県立博物館
中山誠二・佐野　隆　2014「山梨県諏訪原遺跡における縄文時代中期の植物圧痕」『山梨県立博物館調査・研究報告 9　日韓における穀物農耕の起源』p.140-148　山梨県立博物館
中山誠二　2014「山梨県における縄文時代の植物質食料の利用について」『山梨県立博物館調査・研究報告 9　日韓における穀物農耕の起源』　p.303-309　山梨県立博物館
藤沼邦彦　1997「土偶をめぐる問題」『歴史発見③　縄文の土偶』p.149-160　講談社
山本暉久他　2014『山梨県北杜市明野町上神取　諏訪原遺跡発掘調査概報　2014 年度』 p.18　昭和女子大学人間文化学部歴史文化学科

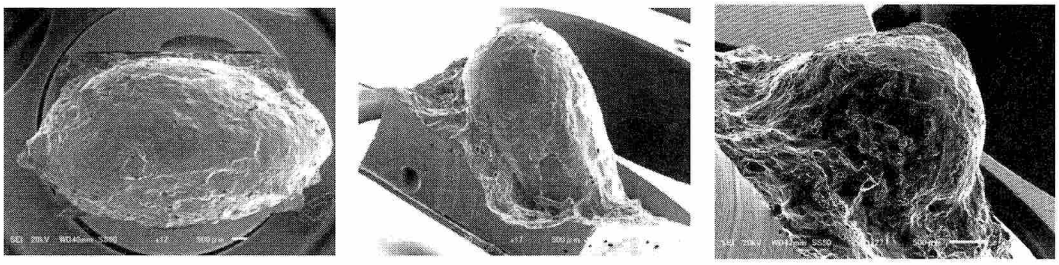


写真　諏訪原遺跡から出土した種子圧痕レプリカの走査電子顕微鏡写真
写真１　アカガシ亜属果実　　写真２　アズキ亜属種子①　　写真３　アズキ亜属種子②

P-014

八郎潟沿岸域における縄文後半期の植物利用

The plant utilization in the Hachirogata tideland coastal area of the latter half of Jomon

○上條信彦（弘前大学）

1. 研究の背景および目的

八郎潟沿岸に位置する秋田県五城目町中山遺跡は低湿地にあり、縄文時代後期後葉から晩期前葉の捨て場遺構（A 区）が検出され、豊富な植物質遺物が良好な状態で保存されていた。なかでもトチノキ種皮とオニグルミ内果皮は当時の人々が主要なエネルギー源として利用した食料残渣の可能性が高く、当時の食生活を知るうえで貴重な資料と判断された。そこで、できるだけ微細資料を回収するとともに、縄文人の獲得エネルギーなどの食環境を復元することにした。

2. 調査資料と保存処理

調査では発掘中に目に付くものを採取したほか、植物遺体を多く含む層位を中心に 3mm メッシュで水洗選別を実施した。最終的に 11,152ℓ、14,496.2kg の土壌を分析した結果、トチノキ種皮 26,633.4g、オニグルミ内果皮計 3,806.9g を回収することができた。また形態の分かるトチノキ種子 1,449 個、オニグルミ 818 個については大きさの計測や虫食い・焼痕などの状態観察を行った。

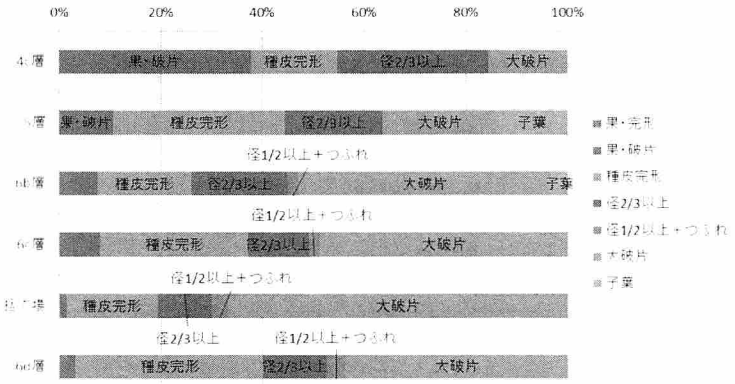
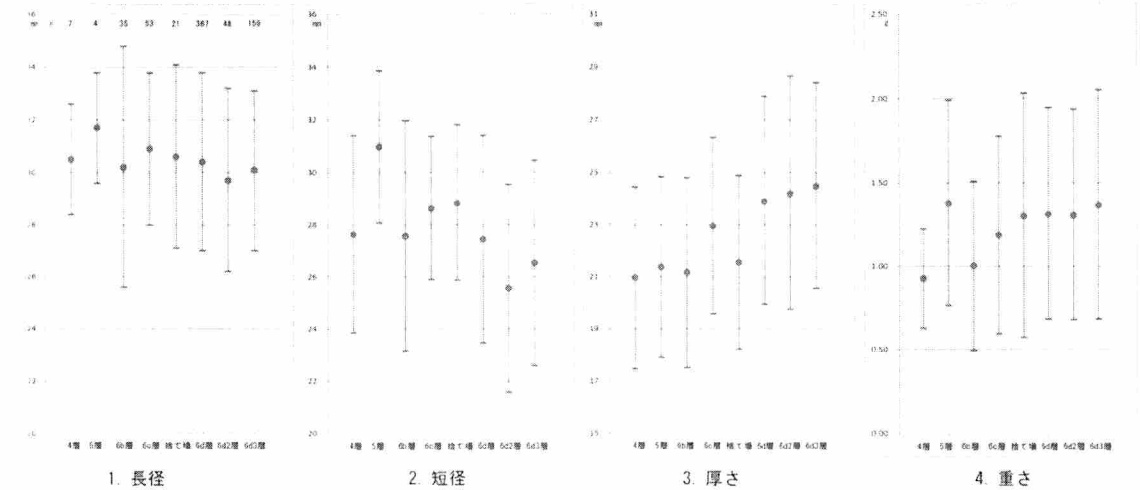


図 1 トチノキ種皮の分類組成

保存処理に際して、乾燥前の水中重量と空中重量及び乾燥後の水中重量と空中重量を計量することで空隙充填率を計算し、計算式〈重量計算式：(1.5×水中重量)／(1.5−1)〉を用いて 1 個体の重量を算出した。その後、PEG 水溶液浸透後に真空凍結乾燥をする方法で、622 個のトチノキ果皮を保存



1. 長径　2. 短径　3. 厚さ　4. 重さ

図 2 トチノキの大きさの変遷

処理した。さらに、植物遺体の検出量を採取土量で割った値を「密度」として定量的な指標として用いた。

3. 結果と考察

3.1 トチノキ種皮

完形個体全体に対する虫食い率は18%、幼果は10%に対し、人の手によって中身が取り出された大破片は虫食い率約 2%、幼果率は約 5%であった。また層序別にみると、捨て場におけるトチノキの出土量は5,926g で個数換算すると 4,004 個にのぼり、上層の 6b 層の約 2 倍にあたる。さらに、破片が圧倒的に多く、全体の 95%にあたる約 5,666g を検出している(図 1)。密度は捨て場以外の 6c 層 3.7g/ℓ、捨て場 8.47g/ℓで、捨て場の密度は本調査で最大となる。個数換算で捨て場では 1ℓ 当たり 5.7 個分が廃棄されたこととなる。よって、堆積状況もふまえ、少なくとも捨て場遺構検出のトチノキ種皮の堆積は人為的行為による堆積の可能性が高いといえる。

種子の大きさは、平均長径 30.8 ㎜、短径 27.6 ㎜、厚さ 23.5 ㎜であった (図 2)。層位ごとに検討した結果、6d 層から 6c 層にかけて種子の形が、球形から扁平へ、小型から大型へ変化する。なかでも 6c 層と捨て場でとの差は厚さと重さで顕著で、捨て場ほど重く扁平の種子が多い。ところが、6b 層になると小型化し軽量化するほか、種子のばらつきも大きくなる。

3.2 オニグルミ内果皮

捨て場ではトチノキ種皮に混在するように割れたオニグルミが検出されている。オニグルミの出土量は1028.6g (261 個分) で、上層の 6b 層の 1.7 倍に当たる。そのうち捨て場以外の 6c 層で 342.2g、捨て場で 686.4g で 2 倍ほどの差がある (図 3)。密度に換算すると、6c 層が 0.43g/ℓ、捨て場では 1.96g/ℓ で差は 5 倍ほどに拡大し、今回の調査で最大となる。捨て場での形態別割合は 1/2 片が 60%ほどを占め主体的である。6c 層と捨て場を比較すると、6c 層では完形が多く、捨て場では破片が多い。1/2 片の割れ方をみると、6c 層で下～横＋上部欠損と欠損無が多い一方、捨て場では頂部欠損と上＋横＋下部欠損が多い。

平面の密度分布も捨て場以外と捨て場で異なる。完形は捨て場である 6c 層に分布するのに対し、1/2 片・1/4 片・破片は捨て場に偏って分布する。ただし動物食痕は 6c 層、捨て場ともに分布する。

オニグルミ内果皮の大きさ平均は長さ 31.2 ㎜、幅 25.8 ㎜である (図 4)。大きさの平均は、6d 層から 4c 層の上層へと向かうにつれ、長さ・幅ともに緩やかではあるが小さくなっており、後期後葉から晩期にかけて種子サイズが小型化するようである。特に 6c 層と捨て場で長さ 40 ㎜、幅 33㎜ を超える大型の個体がある。サイズのばらつきは、集落が形成された 6c 層、捨て場、6d 層で比較的大きい。さらに 6c 層と捨て場を比較すると、6c 層のほうのばらつきが大きい。

4. まとめ

以上の結果より、トチノキとオニグルミの人為的な堆積状況の特徴を見出したほか、集落の形成前後における種子サイズの変化を見出すことができた。東北地方では層位的・空間的な種子分布については分析されていないため、今後同様の分析を行うことによって、植物利用の評価が変わっていくことが期待される。

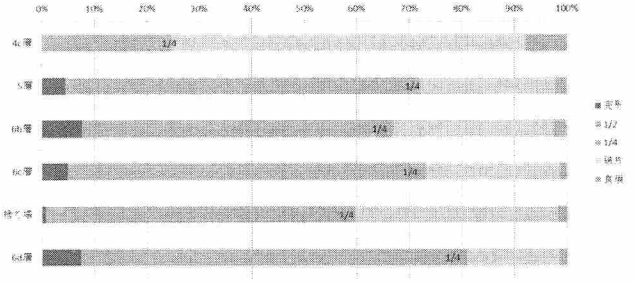


図 3 オニグルミ内果皮の分類組成

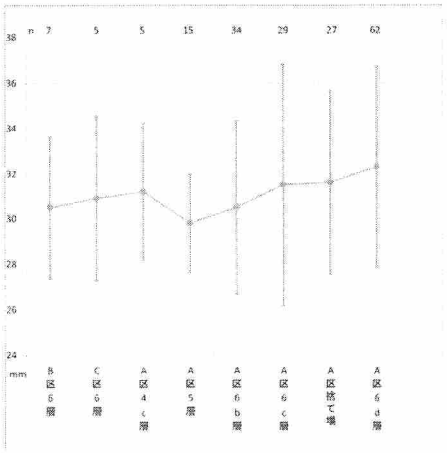


図 4 オニグルミの長さの変遷

P-015

堆積物と植物遺体の総合的研究

A Integrated Study of Sediment Analysis and Plant Fossils

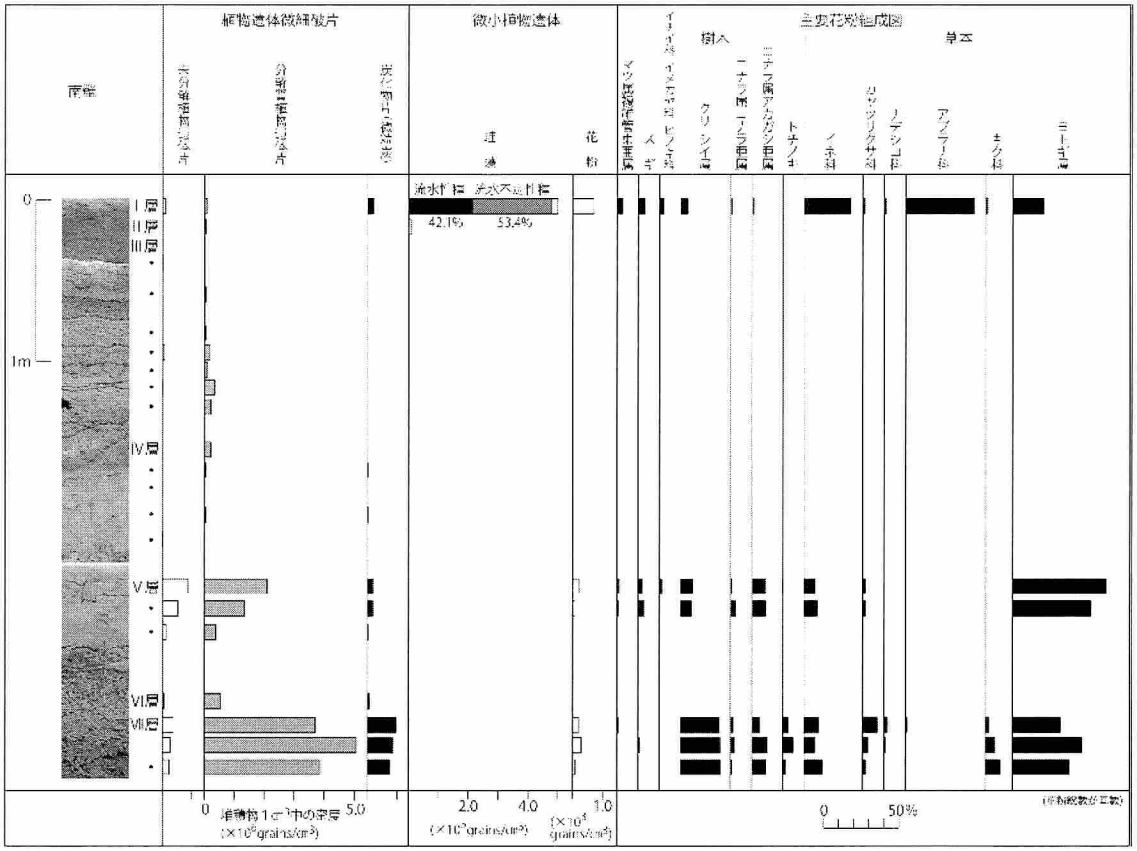
○金原正明(奈良教育大学)、金原正子(一般社団法人文化財科学研究センター)
○Masaaki Kanehara, Masako Kanehara

基礎的なことを踏まえ、堆積物の各要素として、堆積粒子、植物遺体等を分析し、堆積物の成因解析から、堆積層や遺構の性格を明らかし、また栽培植物の種実の検討も行った。

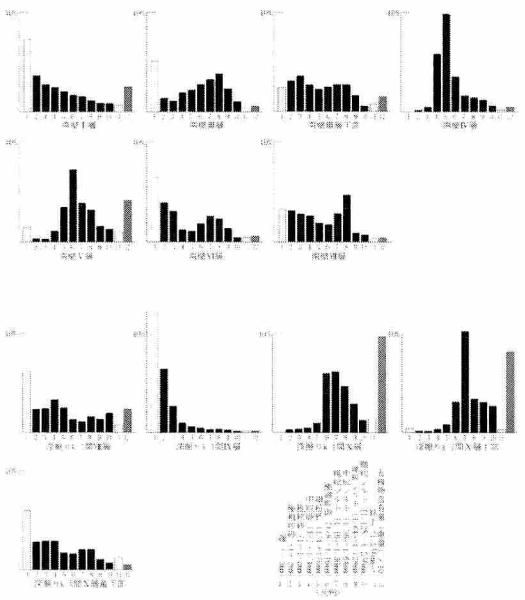
秋津遺跡７次南壁では、上位より、Ⅰ層は近現代耕作土であるが、珪藻が比較的多く検出され、流水性種と不定性種でほぼ構成され、流水の影響が示唆され、用水の豊富な耕作地であったとみられる。花粉群集では、草本が優占し、イネ科、アブラナ科、ヨモギ属が多く、特にアブラナ科から畑作が盛行しることが示唆される。樹木の中ではマツ属複維管束亜属、スギ、クリ-シイ属が多く、周辺の森林植生が示される。Ⅱ層からⅢ層、Ⅳ層は花粉や珪藻がほぼ出現せず、分解受けるないし堆積速度の速い生成環境が考えられる。Ⅲ層下部からは、少ないが分解質植物遺体片が出現し、土壌化が考えられる。Ⅳ層の上部も同様である。Ⅴ層では上部で植物遺体微細破片が多く、未分解植物遺体片も出現し、分解の著しくない土壌層とみなされ、下部に向かい各遺体は減少する。花粉群集が得られ、ヨモギ属が優占し、草本ではイネ科、樹木ではコナラ属アカガシ亜属とクリ-シイ属が主に出現する。ヨモギ属の多い比較的乾燥した草地の分布が示唆される。周辺の山野にはコナラ属アカガシ亜属とクリ-シイ属が分布していた。微細炭化物片（微粒炭）も出現し、近隣での人の活動が示唆される。Ⅶ層になると分解質植物遺体片が比較的多く、花粉も組成が示されるくらい出現する。ヨモギ属が多くやや乾燥が考えられるが、カヤツリグサ科が出現し低湿であったことが示唆される。微細炭化物片（微粒炭）が出現し活発な人の活動と関与が示唆される。後述する北部東端のⅦ層と比較すると、南壁のほうが地点としては、より乾燥した環境であったとみなされる。樹木ではクリ-シイ属が多く、第６次調査と同じ、洪水の氾濫砂の堆積によって水はけがよくまた痩せており、他の樹木の入り込みにくく、クリが周辺で疎林として分布していたと考えられる。深掘りk-1間の粒度組成ではⅧ層は弱く峰をもつが淘汰は悪く土壌層の特徴とみられる。Ⅸ層では著しく粗粒に偏り細粒に向かって大きく減少する。強い水流の淘汰を受けて形成された堆積物である。Ⅹ層ないし下部では、極細粒砂以下の細粒堆積物で、有機質含有量もやや高い。水流の淘汰を受けた細粒堆積物を母材とする土壌層である。下部は粗粒シルトが突出し、水流の強い淘汰を受けて形成されている。Ⅹ層最下層は粗粒に偏るが、淘汰は悪く、土壌層と考えられる。

讃良川遺跡の貯蔵穴（縄文中期）は、最下層のみに未分解の大型植物遺体のクヌギ果皮が集積し、上部層は炭化した大型植物遺体および動物遺体が含まれる。最下部のみが貯蔵穴の機能時の堆積であり、上部は投棄された遺体を含む堆積部とみられている。最下層は有機質を多量に含み、花粉も出現し、分解をほぼ受けていない堆積層であり、珪藻は低密度で陸生珪藻が出現し、堆積時は湿った環境であったとみなされる。未分解の大型植物遺体はクヌギの堅果であるが、堆積後の保存時に長期にわたり加水分解等により内部のデンプンを含む子葉部は分解され果皮のみが残存する。上部層では粗粒から中粒のシルトで構成され、氾濫等にとる水流による淘汰を受けた堆積物が堆積し機能を失う。上部層は未分解の植物遺体は激減し分解質の微細植物遺体片が増加し珪藻も出現しない。前述した堅果類の炭化子葉や炭化材片が豊富に含まれ、土壌化を受けた堆積物に由来する堆積物とみなされる。

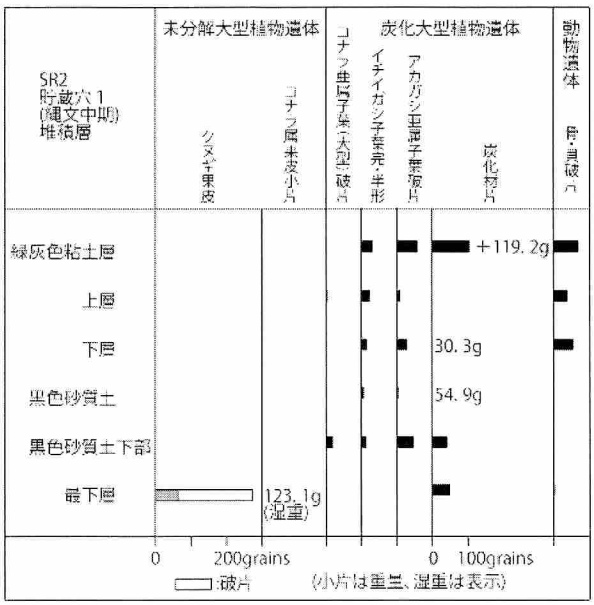
なお、長江下流域の初期稲作文明における植物遺体群集では特に栽培植物の種実の大きさの変化を調べ検討し、栽培によって必ずしも大きくならない実体が明らかになった。



秋津遺跡 7-2 次上部堆積層



秋津遺跡 7-2 次粒度分布図



讃良川遺跡 SR2　貯蔵穴 1 （縄文中期）の堆積層

P-016

中国青銅器の製作技法解明のための実験考古学的研究（3）

An experimental archaeological study for reconstructing the manufacturing technology of Chinese bronze vessels(3)

○丹羽崇史（奈良文化財研究所）、新郷英弘（芦屋釜の里）、廣川守（泉屋博古館）、
樋口陽介（芦屋釜の里）、八木孝弘（芦屋釜の里）

○Niwa Takafumi(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Shingo Hidehiro(Ashiyagama no Sato), Hirokawa Mamoru(Sen-Oku Hakuko Kan), Higuchi Yosuke(Ashiyagama no Sato) ,Yatsuki Takahiro(Ashiyagama no Sato)

1. これまでの対照実験の成果

筆者らは、近年の中国青銅器研究の製作技法をめぐる議論をもとに、これまでの研究の多くが、金属製品に見られる製作痕跡と実際の技術の相互関係が不明なまま、研究者・技術者による製作技術に関する仮説が提示されている点を指摘してきた。こうした現況を打開するため、同一の製品を複数の異なった原型素材や鋳型の構造などで製作し、できあがった製品どうしを比較検討する「対照実験」を2012年度より、芦屋釜の里にて継続的に実施している（丹羽ほか2013，丹羽ほか2014）。

2014年度は、青銅器の外底部にみられる線状痕跡の意味・機能を明らかにすることを目的として、対照鋳造実験を実施した。

2．商周青銅器の外底部にみられる線状痕跡

西周時代を中心とした青銅器のうち、鼎や簋とよばれる器種の底部には、人工的に刻まれた線状痕跡を有するものがあり、「加強筋」ともよばれている。このような線状痕跡には、網状のものやY字状のもの、「十」字状のものなど、形態にはさまざまなヴァリエーションが存在する。この痕跡の性格について、蘇栄誉氏は注湯時のガス抜けをよくし、気孔等の発生を防ぐ機能を果たした可能性を指摘した（蘇 1988）。もし線状痕跡がこのような鋳造効率を高める機能がある場合、そのあり方は商周時代の鋳造技術や製作者の評価にも関わってくると考える。しかしながら、実際に実験によってこの仮説の検証は行われておらず、線状痕跡の機能については、いまだ明らかではない。

こうした現況を踏まえ、青銅器に残る線状痕跡の意味の解明を目的とし、筆者らは青銅器の調査、ならびに対照鋳造実験を実施した。

3．泉屋博古館青銅器の調査

対照鋳造実験にさきがけ、2014年11月6日・7日、泉屋博古館にて、商代後期～西周前期の青銅簋7点の調査を実施した。

父乙簋（商代後期）（口径23.8cm 高さ17.8cm）
右は外底部（圏足内面）拡大

7点中4点の簋の外底部（圏足内面）に人工的に刻された線状痕跡があり、網の目状のものや「十」字と「L」字を組み合わせたものなど形態にもヴァリエーションがある。線状痕跡の多くは凸線だが、商代後

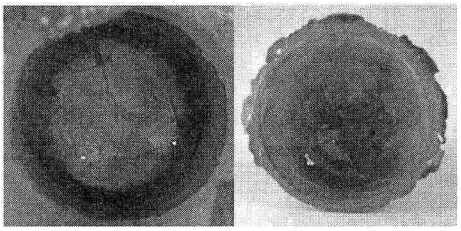
期の父乙簋は凹線と凸線の両方がみられた。父乙簋にみられる線の幅は約0.5㎜で、いずれの線も鋳肌面がマイクロスコープで観察でき、後刻ではないことを確認した。

4.2014年度の対照実験

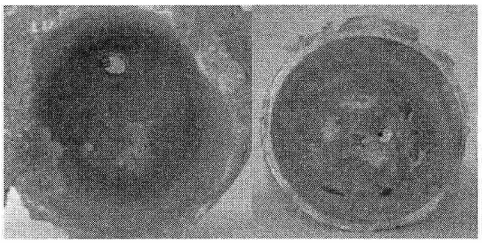
（1）実験の概要

対照鋳造実験は、2014年12月20日・21日に芦屋釜の里にて実施した。

線状痕跡を有する簋のうち、最も古いものの一つと考えられる父乙簋をモデルとし、底部鋳型内面に網の目状の刻み目を入れたものとないものとをそれぞれ2点ずつ製作した。実験製作品は、製作の都合上、口径12cm、高さ10.5cmと実物よりも小形のものとした。湯口とガス抜き口は圏足先端部に設け、鋳型を反転した状態で鋳造した。内笵と外笵の間には、3か所に青銅製のスペーサー(型持)を設けた。合金比率は、銅80%、錫15%、鉛5%。なお、今回は線状痕跡の機能解明を目的としたため、商周期とは異なる、外笵を分割しない挽き型による方法で鋳型を製作している。



線状刻み目を設けた製作品
左：外底部（圏足内面）　右：容器内面



線状刻み目を設けなかった製作品
左：外底部（圏足内面）　右：容器内面

（2）実験の結果

線状の刻み目の有無に差異を設けた鋳型2点ずつを1回で鋳造し、計2回の鋳込みを実施して合計4点の製品を製作した。2回の鋳込みのいずれの場合も、線状刻み目を有するものの方が巣・気孔が少なく、湯まわりがよい結果となった。そのため、線状刻み目が湯流れをよくする機能があった可能性がある。

また、線状刻み目の有無に関わらず、底部に設けたスペーサーの部分の一部が空洞となった。原因は不明であるが、こうした現象は、三船温尚氏らの鋳造実験でもみられたものである（三船・長柄2012）。

5．まとめ

今回の実験では、鋳型に人工的に線状刻み目を設けることにより、製作品の巣・気孔を少なくし、湯まわりをよくする効果がある可能性が明らかとなった。当該期の製作者が、線状刻み目がこのような機能があることを経験則的に理解していた可能性もありうる。西周時代までの青銅器は、春秋時代以降に比べ、分鋳技術によってパーツを個別で鋳造する割合が少なく、器全体を一体で鋳造する場合が多い（郭 1981，蘇ほか1995）。こうした時期にこそ、このような線状痕を用いる技法が普及したのかもしれない。

今後はより資料の実態に即してさらに異なった条件を設けて実験を継続して行うとともに、自然科学的な分析なども実施し、線状痕跡が鋳造効率をよくする要因の解明にも取り組みたい。

本報告は、科学研究費基盤研究（B）「三次元デジタル計測技術を活用した中国古代青銅器の製作技法の研究」（研究課題番号：70171824 研究代表者：谷豊信）による成果の一部であります。

引用文献　丹羽崇史・新郷英弘・八木孝弘・樋口陽介 2013「中国青銅器の製作技法解明のための実験考古学的研究―曾侯乙墓出土尊盤の調査から―」『日本文化財科学会第30回大会研究発表要旨集』，丹羽崇史・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘 2014「中国青銅器の製作技法解明のための実験考古学的研究(2)」『日本文化財科学会第31回大会研究発表要旨集』，三船温尚・長柄毅一 2012「鋳造実験による大型金銅仏の分割型鋳造の検証」『アジア鋳造技術史学会研究発表概要集』6，郭宝鈞 1981『商周銅器群総合研究』文物出版社，蘇栄誉 1988「宝鶏㶎国墓地青銅器鋳造工芸研究」『宝鶏㶎国墓地』文物出版社，蘇栄誉・華覚明・李克敏・盧本珊 1995『中国上古金属技術』山東科技出版社

P-017

永青文庫所蔵　洋人奏楽図屏風の彩色材料調査

Analysis of Colorants Used in *Westerners Playing Music Screen* collected in Eisei-Bunko Museum

○早川泰弘、城野誠治（東京文化財研究所）、三宅秀和（永青文庫）
○Yasuhiro HAYAKAWA, Seiji SHIRONO (National Research Institute for Cultural Properties),
Hidekazu MIYAKE (Eisei-Bunko Museum),

1．はじめに

永青文庫に所蔵される洋人奏楽図屏風（重要文化財、六曲一双、各隻 102.3cm×301.8cm）は桃山時代に描かれた初期洋風画の代表作で、遠近法や陰影法を使って、西洋的な風景と水際の丘陵で楽器を奏でたり座って語らう西洋人が描かれている。その製作に関しては、フランシスコ・ザヴィエルの来日（1549 年）以降、日本国内での布教活動を進めたイエズス会の関与が強いと考えられ、布教の一環として開設された神学校セミナリオで西洋画法の教育を受けた日本人絵師が描いたものと考えられている。

洋人奏楽図屏風は、平成 22 年から約 3 か年をかけ、解体修理が行われた。東京文化財研究所では、その修理前後において非破壊・非接触の彩色材料調査を実施した。本発表ではその調査結果の概要を報告する。

2．調査内容

(1) 高精細カラー画像撮影

5000 万画素マルチショット撮影、照明光源：キセノン放電管（色温度 5500K、紫外線除去ガラス装着）

(2) 近赤外線画像撮影

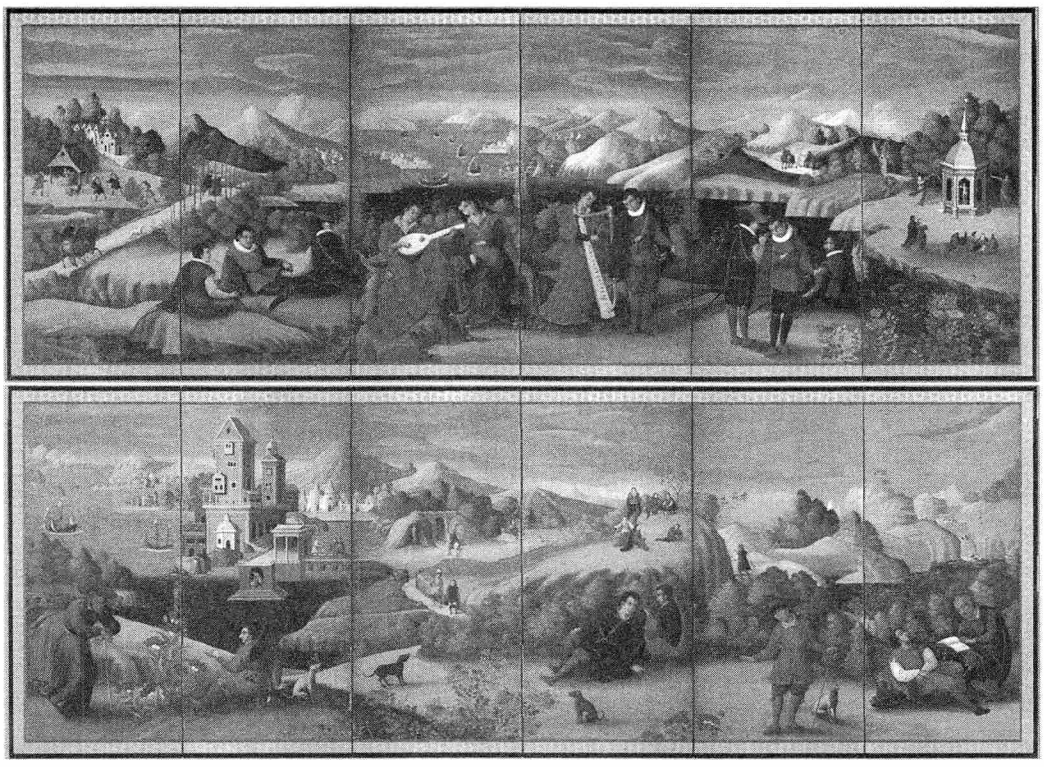
5000 万画素モノクロセンサー、照明光源：ハロゲン光源あるいは LED

(3) 蛍光画像撮影

カラー撮影用デジタルカメラ、照明光源：ｴﾚｸﾄﾛﾆｯｸﾌﾗｯｼｭ（350±20nm、1/1000 秒以下）

(4) 蛍光X線分析

ポータブル蛍光X線分析装置（SII 製 SEA200）Rh ターゲット、50kV×100μA×100 秒、φ2mm



永青文庫所蔵　洋人奏楽図屏風（上：右隻、下：左隻）

3．調査結果

（1）空

全十二扇を通して、上方1/4～1/5の領域には金色雲で埋め尽くされた空が描かれている。雲の輪郭部分の金色を強調して描くことで雲の重なりが表現されている。金雲部分から検出されるのはAuと微量のCa、Feだけである。金色の色調が薄い部分でAu-Lα3～6cps、雲の重なり部分では30～35cpsと5～10倍程度の差がある。金泥の厚みが5倍以上違うと推測される。

（2）山

画面左側から日が射し込んでいることを示すように、山の左側は白色から薄い茶色で明るく、右側は薄い青色に着色して暗い印象に仕上げている。Pb系白色材料とCu系青色材料、Fe系の黄色あるいは茶色材料が使われている。Pb検出強度はPb-Lβ50～70cps程度で、建物や人物の衣の白色部分の1/2程度の強度である。また、Cuが主として検出される青色部分からは少量のZnが同時に検出される。

（3）樹木

山の連なりの間、あるいは画面中央付近で遠景の山並みから近景の描写に切り替わる位置には樹木が描かれている。その多くは薄い緑色から暗い緑色までさまざまな緑色の色調で描かれている。Cu系緑色材料をPb系白色材料と併用することで緑色の色調の違いを描き出している。Cu系緑色材料部分からはZnは検出されない。

（4）海・湖

遠景の薄い青色部分から検出されるのは主としてCuだけである。Pbは検出されない。山の薄い青色の表現では、ほとんどの箇所でCu系青色材料とPb系白色材料が併用されていたのとは対照的である。高精細画像を確認しても、海の薄い青色部分に白色材料の存在は確認できない。海には波を表現する水文が黒色連続線として描かれている。肉眼では水文は確認しづらいが、高精細画像でははっきりと確認することができる。

（5）建物

建物の配色は白色、灰色、黒色のみによって行われ、無彩色に近い表現である。窓や出入口等の開口部はすべて黒色で塗りつぶされ、建物内部の様子はまったく描かれていない。白色部分からも黒色部分からも、ほとんどの箇所でPbが検出された。しかし、右隻一扇の神殿風建物については、Pb検出量が左隻五扇の建物の約2倍の強度が得られ、さらにこの神殿風建物の黒色開口部からはPbが検出されなかった。

（6）人物の肌

右隻に10名、左隻に7名の人物が大きく描かれている。右隻二扇と三扇で帽子を持って前を向く男性、あるいは右隻三扇と四扇で楽器を奏でる女性は同一人物かと思われるほどよく似た顔だちである。頬など明るい肌色部分はPb系白色顔料とHg系赤色顔料により着色されている。ほとんどの人物について、Pb-Lβ検出量は100～130cps、Hg-Lβ/Pb-Lβ比は0.22～0.26で一致する。左隻六扇に描かれている杖をつく人物の顔だけ他より赤く着色されており、Pb検出量は74cps、Hg-Lβ/Pb-Lβ比は0.30とHg比率が多い結果を示した。

（7）衣

赤外線画像では下描き線や描き直し部分が多数確認できるが、目視ではそれらの線はほとんど認識できない。Pb系白色顔料、Hg系赤色顔料、Fe系赤（茶）色材料、Cu系緑色顔料が見いだされ、臙脂色および黄色の有機染料も使われている可能性がある。

（8）楽器・装飾

右隻三扇に描かれているハープのフレームに特徴的な描写が見出される。Ca系白色材料が盛上げ材料として使われており、その上にAuの着色が見られる。右隻四扇リュートを弾く女性の右膝部分の装飾にも同様の表現が見出されるが、それ以外の部分からCaは検出されない。この表現方法は、泰西王侯騎馬図屏風（サントリー美術館、神戸市立博物館所蔵、ともに重要文化財）からも見つかっている。

（9）地面

Fe系茶色材料とPb系白色材料の併用によって異なる茶色の色調が描き出されている。右隻一扇、六扇、左隻一扇、三扇、四扇、五扇、六扇に描かれている地面の一部からはAuが検出される。金泥による描写がなされている。

P-018

可搬型分析装置によるエジプト古王国時代の壁画顔料の非破壊オンサイト複合分析

Nondestructive onsite multiple analysis of wall paintings in the tomb of Old Kingdom of Egypt using portable analytical instruments

○扇谷 依李（東理大・理），阿部 善也（同），和泉 亜理沙（同），中井 泉（同），
Miroslav Barta（プラハ・カレル大学），Mohamed Megahed（同）

1. はじめに

古代エジプトにおいて、先王朝時代（～前 4 千年紀）から様々な顔料が利用され、前 3 千年紀には世界最古の合成顔料も発明された[1]。古代エジプトで利用されていた顔料に関して、その相同定や特性化を目的とした化学分析は数多く行われている。しかし、今日のエジプトでは文化財の破壊・持ち出しが固く禁止されており、可搬型装置を用いた非破壊オンサイト化学分析の重要性が高まっている。また顔料は個々に様々な性質を持つため、単一の化学分析法によって全ての顔料を正確に同定することは困難であり、複数の分析法を複合的に用いることが望ましい。そこで本研究ではエジプト古王国時代の遺跡内に描かれた壁画を対象として、可搬型装置を用いた蛍光 X 線分析（XRF）、粉末 X 線回折分析（XRD）、顕微ラマン分光分析（MRS）、紫外可視吸収分光分析（UV-VIS）、蛍光分析という 5 種類の分析法を非破壊オンサイトで適用した。各分析の結果を複合的に用いて、壁画に使用された一連の顔料の正確な同定を試みた。

2. 実験方法

対象遺跡は、プラハ・カレル大学（チェコ共和国）が発掘を行った「Nefer の墓[2]」である。本遺跡はエジプト、アブ・シールに位置し、古王国時代第 5 王朝（前 25～24 世紀）に年代づけられる。本遺跡の内部には、白、赤（茶）、黒、黄、緑、青の顔料で描かれた鮮やかな偽扉（ぎひ: Fig. 1）が遺されている。2015 年 3 月 2 日から 4 日にかけての 3 日間、以下の可搬型分析装置 4 台を本遺跡内へと持ち込み、偽扉の彩色に使用された各顔料の分析を行った。XRF にはアワーズテック（株）製の 100FA[3]を、XRD にはテクノエックス（株）製の PT-APXRD-2 を用いた。これらの装置は、東京理科大学中井研究室が文化財分析用に各装置メーカと共同で開発したものである。UV-VIS および蛍光分析には、東京インスツルメンツ（株）と共同開発中の可搬型分光計を用いた。また、B&W TEK, Inc.製の MiniRam を用いて、顕微倍率 5～20 倍で、赤色レーザー（785 nm）を光源に用いた MRS を行った。測定は全て非破壊で行われた。

Fig. 1 分析対象の偽扉[2]

3. 結果および考察

白色顔料について、XRF によって Ca を主成分とすることが明らかとなり、MRS によって石灰石（calcite: $CaCO_3$）が同定された。同様に、黒色顔料および赤色顔料についても XRF と MRS の結果を総合することでそれぞれカーボンブラック、および赤鉄鉱（hematite: Fe_2O_3）を主成分とするレッドオーカーと同定した。

黄色顔料に関しては XRF により Fe を主成分とする顔料であることが示されたが、MRS では特徴的なスペクトルを検出することができなかった。そこで古代に利用された黄色顔料の再現試料を作成し、偽扉の黄色顔料と UV-VIS スペクトルを比較した結果、針鉄鉱（goethite: FeO(OH)）を主成分とする黄色顔料イエローオーカーであることが判明した。これら 4 種類の顔料は天然からの入手が容易であったことから、古代エジプトに限らず先史時代から幅広く利用されていた。

青色顔料について、赤色 LED（632 nm）を光源とする蛍光スペクトル測定によって約 900 nm に非常に強い蛍光を持つことがわかった。これは世界最古の合成青色顔料であるエジプシャン・ブルー（$CaCuSi_4O_{10}$）に特有の性質[4]である。非破壊の蛍光分析によって、わずか 1 秒という短時間でエジプシャン・ブルーを同定することができた（Fig. 2 参照）。一方で、緑色顔料は UV-VIS、XRF、XRD により、孔雀石（malachite: $Cu_2CO_3(OH)_2$）が同定された。古代エジプトにおける緑色顔料の利用に関しては不明な部分が多く、この分析結果は非常に重要な知見である。また、ともに Cu を主成分とする青色顔料と緑色顔料であるが、XRF により Zn や Pb といった Cu 鉱物由来の不純物の有無に差が見られた。この結果は、エジプシャン・ブルーの合成に使用された Cu 鉱物と、緑色顔料として使用された孔雀石が異なる産地で得られたものである可能性を示している。

このように 5 種の分析法を複合的に用いたことで、偽扉に使用された 6 種類の顔料を全て同定でき、また一部の顔料について原料の産地に関連した特性化を行うことができた。また、顔料の種類によって適した分析法は異なり、最適な分析手法を用いることで精確かつ迅速な同定が可能であることが示された。

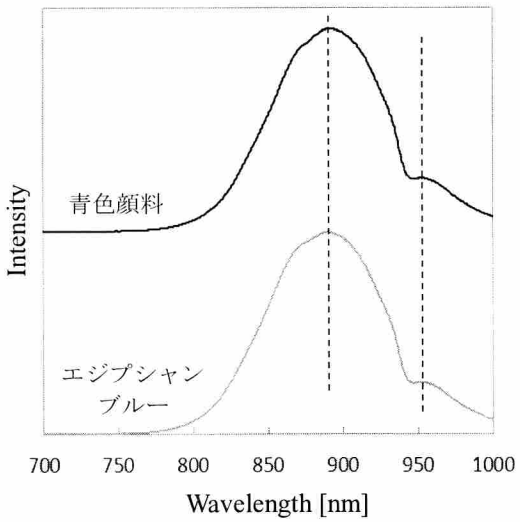


Fig. 2 青色顔料とエジプシャンブルーの蛍光スペクトル比較（λ=632 nm）

【謝辞】

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（若手 B 25870778、基盤 B 24350041）の支援により実施されました。

【参考文献】

1) L. Lee *et al.*: "Painting materials." In *Ancient Egyptian Materials and Technology*, Cambridge University Press, United Kingdom, pp. 104-120 (2000).
2) M. Barta: "A new family cemetery at Abu Sir South." *Egyptian Archaeology* **43**, 21-24 (2003).
3) I. Nakai *et al.*: *X-ray Spectrometry* **34**, 46–51 (2005).
4) G. Accorsi *et al.*: *Chemical Communications* **23**, 3392-3394 (2009).

P-019

一宮市博物館所蔵の陣羽織に使用されている金属糸の材質調査

Material Analysis of metal thread used for Woolen *Jinbaori* (Military Campaign Coat) of the Collection in Ichinomiya City Museum

○ 吉田澪代（名古屋大学年代測定総合研究センター）、早川泰弘（東京文化財研究所）、
伊藤和彦（一宮市博物館）、成河端子（一宮市博物館）

1．はじめに

陣羽織は武士が陣中で着用し、敵味方にその威光を誇示するために用いた衣装である。戦国時代の頃から用いられ、江戸時代に入ると新たなファッションとして陣中以外でも着用されるようになった。大胆華麗な文様色彩を駆使したものが多く、形態は袖のあるなし，丈の長短など多岐にわたり、襟には異国的な風俗の影響がみられる。陣羽織には金属糸で豪奢な刺繍が施されたものや、金襴、銀襴など豪華絢爛に彩られたものを多く確認することができる。

本発表では、愛知県にある一宮市博物館が所蔵している陣羽織のうち、５領の陣羽織（江戸時代）に用いられている金属糸（撚糸と平箔糸）について、自然科学的手法を用いた材質調査を行った成果について報告する。

2．調査資料及び分析箇所について

調査した陣羽織および分析ポイントは以下のとおりである。(分析箇所の一例については写真１を参照)

No.１　緑羅紗地獅子牡丹刺繍模様卍形紋陣羽織（計５ポイント）
No.２　萌黄呉呂地抱茗荷紋陣羽織（計３ポイント）
No.３　猩々緋羅紗地永井鉄線紋陣羽織（計２ポイント）
No.４　白呉呂地加賀梅鉢紋陣羽織（計３ポイント）
No.５　紫呉呂地桐紋陣羽織（計３ポイント）

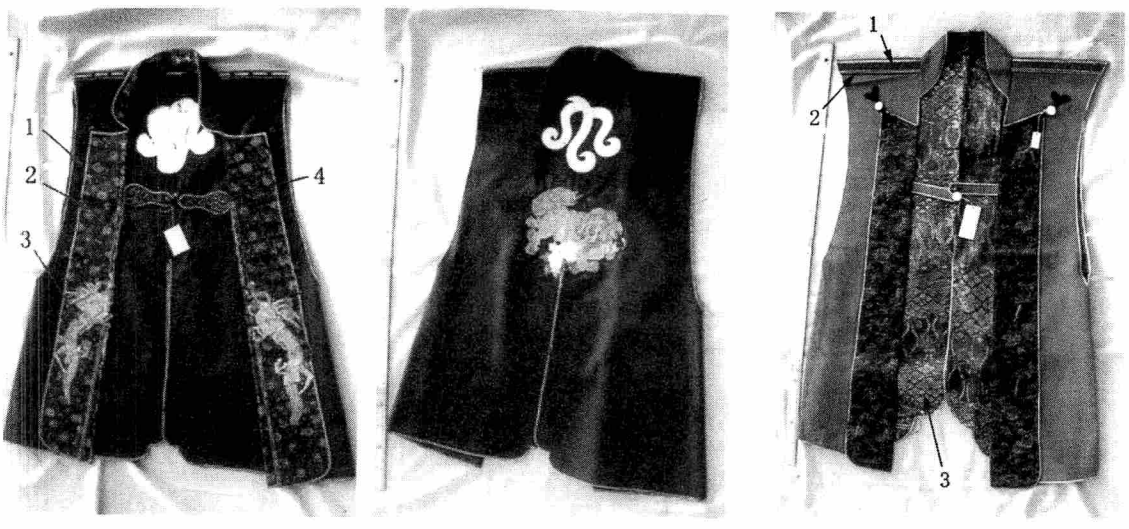


写真１　調査した陣羽織の一例および分析箇所（左：No.1、右：No.2）

3．調査方法

陣羽織に使用されている金属糸について、以下の調査を行った。

(1)マイクロスコープによる金属糸の拡大観察

分析装置：デジタル HD マイクロスコープ　VH-7000（㈱キーエンス製）

(2)蛍光X線分析による金属糸の材質調査

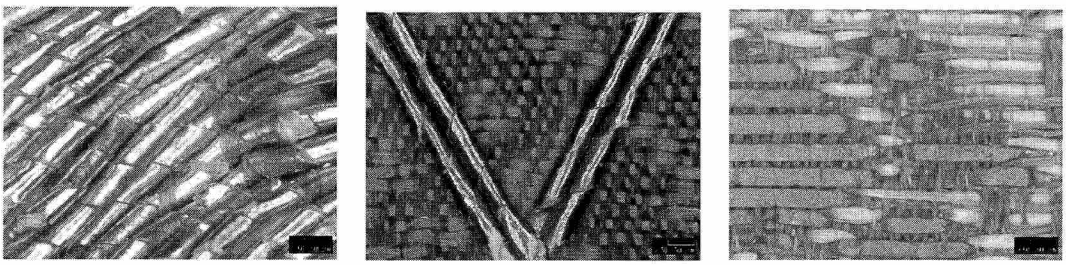
分析装置：エネルギー分散型蛍光X線分析装置　SEA5230（セイコーインスツルメンツ㈱製）

測定条件：モリブデン管球使用、大気条件下、管電圧45kV（コリメータ1.8㎜）

測定時間：1ポイントにつき300秒

4．調査結果

(1)マイクロスコープによる金属糸の拡大観察について



No.1-3　　No.2-1　　No.3-2

写真2　金属糸のマイクロスコープ像の一例

陣羽織に使用されている金属糸について、デジタルマイクロスコープを用いた拡大観察を行った結果、写真2のNo.1-3や2-1のように刺繍で用いられている撚糸は、紙の片面に金色または銀色の金属箔を貼り付けたものを細く裁断し（これを平箔糸という）、平箔糸を芯糸に螺旋状に巻き付けた構造が確認された。さらに、撚糸の太さを測定した結果、490〜530μmであった。また、撚糸の巻き方はすべてZ撚りであり、いずれも芯糸が見えないように隙間なく平箔糸を撚り付けた「丸撚り」であることが判明した。

次に、金色および灰黒色や灰褐色を呈した平箔糸を拡大観察した結果、紙の片面に金属箔を貼り付けて細く裁断した構造をしており、これら平箔糸の幅を測定した結果、約270〜610μmとばらつきがみられた。

(2)蛍光X線分析による金属糸の材質調査について

蛍光X線分析による金属糸の材質調査を行った結果、金色を呈している撚糸No.1-3、1-4、1-5、4-3、および金色を呈している平箔糸No.1-1、1-2、3-1、4-2、5-3からは主成分としてAuが検出されるとともに、微量元素としてAg、Cu、Fe、Caが検出された。従って、これらは金箔を使用して製作された撚金糸および平金糸であることが確認された。一方、No.3-2は金色を呈しているが、主成分としてCuとZnが検出され、平金糸ではなく平真鍮糸であることが確認された。次に、銀色を呈している撚糸No.2-1については主成分としてAgが検出され、微量元素としてCu、Fe、Ca、Sが検出されたため撚銀糸と確認された。

灰黒色や灰褐色を呈している平箔糸No.2-2、2-3、4-1、5-1、5-2に関しては主成分としてSnが検出され、微量のCu、Fe、Ca、Sも検出されたため、錫箔を使用して製作された平錫糸と判明した。さらに、No.5-1と5-3からはPbも検出されたが、その由来については不明であった。

5．考察およびまとめ

江戸時代の陣羽織に使用されている金属糸（撚糸および平箔糸）の材質調査および構造調査を試みた結果、陣羽織には撚金糸や撚銀糸、真鍮箔で作られた平真鍮糸、錫箔で作られた平錫糸が確認された。これらバラエティに富んだ金属糸をどのような目的で使い分けたのかは今後の検討課題である。また、いくつかの金属糸から検出されたPbの由来についても追跡調査が必要であると考える。

【参考文献】　『陣羽織の素材、技法の科学的分析と染織史学的位置づけに関する研究』平成16〜18年度科学研究費補助金 研究成果報告書　斎藤昌子著　(2007)

P-020

キジル千仏洞 69 窟壁画の技法材料：様式の差との関係

Painting materials and techniques of the wall paintings at the Cave 69, Kizil grottoes in Xinjiang: differences between two painting styles

○谷口陽子（筑波大学）、室伏麻衣（東京藝術大学大学院）、李博（亀茲研究院）
木島隆康（東京藝術大学）、佐藤一郎（東京藝術大学／金沢美術工芸大学）

はじめに

発表者らは中国・亀茲研究院と共同研究として、2012 年よりキジル千仏洞の壁画群のうち開鑿時期、壁画様式、天井様式等異なると考えられる 69 窟、167 窟、224 窟の壁画を対象に現地調査を行っている。新疆ウイグル自治区のクチャ郊外、西域北道のムザルト河に拓かれた崖に穿たれたキジル石窟群は、かつて古代亀茲国と呼ばれた都市国家の重要な仏教寺院遺跡のひとつである。キジル壁画は、サーサーン朝やインド、中国の影響を強く受けたものであるが、描かれた時期によって様式に差がみられる。20 世紀初頭にキジルから大量の壁画を剥ぎ取ったドイツ・トルファン探検隊のグリュンヴェーデルや、ヴァルトシュミットらにより様式分類されている。第一様式は、赤、茶色、緑色など暖色系が主に現存しており、濃淡もあまり顕著ではない。一方、第二様式は、ラピスラズリの青色の使用、顔や体部にいわゆる隈取と呼ばれる影が強くみられるもの、第三様式は中国風の仏教様式のものである。

ここでは、第一様式、第二様式と呼ばれる壁画が、あくまで技法材料の視点からどのような違いを持つのかを検証するために、一石窟内に時期の異なる絵画が重なって描かれている場所がわかる 69 窟主室を対象として両者の差を見ることとした。

第 69 窟第一様式、第二様式の壁画の色材

谷西区にある第 69 窟主室のうち、砂岩の支持体に直接彩色を施している天井部分と仏龕を除き、主室の東西の壁面を対象とする。主室にはかつて塑像が並べてあった痕跡があり、その隙間ごとに壁画が残されている。東西壁面の北側に、壁面に厚さ 1cm 程度の練り土を塗布したうえで一面ずつ燃燈仏授記の立仏が描かれている箇所がある（図1：右）。状態観察から、明らかに上下の層に分けることが可能である。筆致や図像など総合的な特徴から下層を第一様式、上層を第二様式とし、それぞれの壁画に対して、撮影装置つき可搬型マイクロスコープ（マイクロアドバンス社製 DS-100）、可搬型蛍光エックス線装置（Thermo Scientific NitonXL3t）、 分光測定には、プローブ型ポータブル分光反射率計 Jaz-Combo（オーシャンフォオトニクス社製）を用いて測定を行った。グレーティング 200-900nm、スリット幅 100μm、光学分解能 3.8 nm、光源モジュールは、可視-近赤外は内蔵のタングステンハロゲン（場合により、外付けのタングステンハロゲン Mikropak Halogen light source HL-2000-FHSA）、紫外励起は内蔵の UV365nmLED を用いた。反射プローブは R400-7-UV/VIS 400μm φ である。

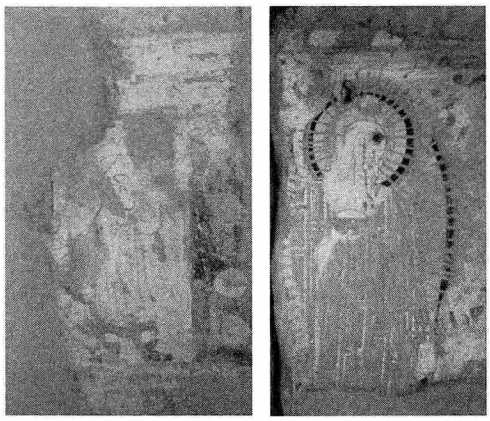


図 1 （左）キジル千仏洞 69 窟西壁（第一）、（右）東壁（第二様式）の赤外線写真

表１　第 69 窟の壁画に使用されている色材の比較

	白色下地	黒	青	黄	赤	白	緑	陰影	金属箔
第一様式 色材名(※)	無水石膏 もしくは二水石膏	炭素系か	－	密陀僧	レッドオーカー， 鉛丹	石膏／石灰	アタカマイト	-	－
第二様式 色材名(※)	無水石膏 もしくは二水石膏	炭素系か	ラピスラズリ	－	レッドオーカー， 鉛丹	石膏／石灰	アタカマイト	鉛系（鉛丹，鉛白？）	金，銀，モルダント（蛍光）

(※)検出された元素から推定される変色／褪色前の顔料名

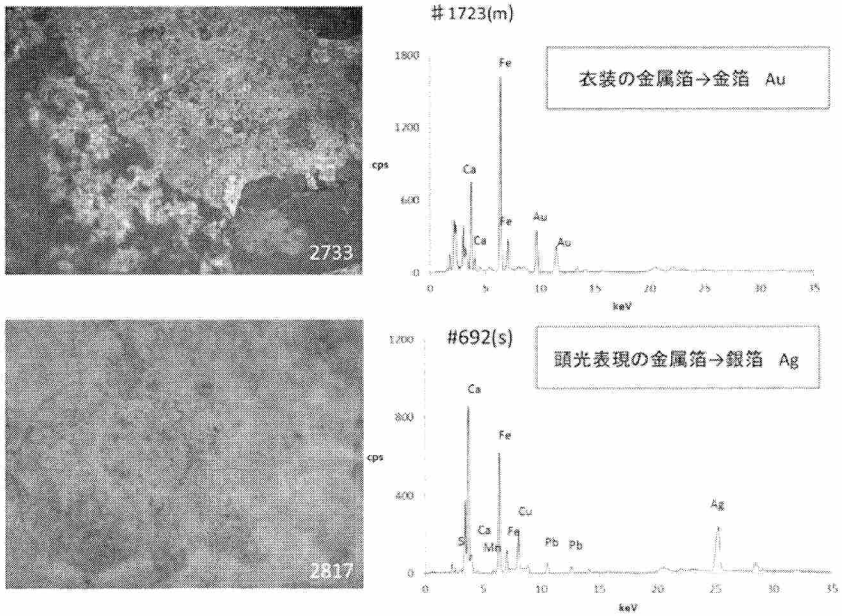


図２　図１（右）の立仏の衣文様および頭光表現の金属箔の実体顕微鏡像（視野幅 1. 2㎜）および蛍光エックス線スペクトル

結果および考察

第一様式は、青色や金属箔がほとんど見られず、モノクロームの印象の壁画と考えられていたが、今回の測定で、鉛の顔料である密陀僧、鉛丹などが利用されていたことを確認した。とくに密陀僧は、紫外線により変化することが知られており、白色、紫、黒といった色調に変化しているため本来の黄色をとどめている箇所が少ない。一方、第二様式の壁画からは、金、銀といった金属箔の利用、金属箔を貼るための何らかのモルダント(紫外線励起蛍光を生じる)、ラピスラズリ、輪郭や肉身の陰影となる暗部については、光が当たる明部と比較し、補色関係を意識したと思われる色調を、鉛を含む顔料で作り出していたと考えられる。今後の検討を必要とするが、この部分も紫外線励起による蛍光を生じるものであり、炭酸鉛のうち蛍光を生じるものに変質した結果と想定する。

[付記]
本調査は、科学研究：基盤研究（B）「シルクロード・キジル石窟壁画の絵画材料・絵画技術の研究」（代表：佐藤一郎）、および新学術領域研究（研究領域提案型）「西アジア文化遺産の材質と保存状態に関する自然科学的な研究」（代表：谷口陽子）の成果を含むものである。69 窟壁画の様式について、中川原育子氏、檜山智美氏からご助言をいただきました。記して感謝いたします。

[参考文献]

中川原育子; 谷口陽子; 佐藤一郎; 中村俊夫 (2012)「ベルリン・アジア美術館所蔵のキジル将来壁画の放射性炭素年代」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』XXIII　p.127-137.
Waldschmidt, E. (1933), *Über den Stiil der Wandgemälde, Die Buddhistische Spätantike in MIttelasien VII: Neue Buldwerke III*, Berlin, 24-31.

P-021

繊維遺物鑑別のための基礎研究

—人工的に劣化させた国内各産地の大麻繊維の比較—

Microscopic Study for Identification of Excavated Fibers

—Comparison between Artificially Degraded Hemp fibers from Different Districts in Japan—

○ 伊藤美香(昭和女子大学)、小原奈津子(同左)
○ Mika Ito, Natsuko Kohara (Showa Women's University)

1. はじめに

繊維遺物の鑑別には比較対象となる標品繊維との形態比較が最も簡便で有効とされているが、劣化分解した繊維や炭化した繊維など、原形とかけ離れた形状となってしまった繊維遺物は鑑別が困難である。そのため、鑑別のひとつの指標となるように、特定の植物繊維について、これらの形態を走査型電子顕微鏡用いて観察し、単繊維の繊維幅および断面積の測定を行い、天然物ゆえの個体差のばらつきを考慮して、繊維種毎の特徴を捕えるためのデータを集めてきた。現在、これらのデータにさらに産地の違いなどを含めて検討し、データベースとして整理するべく取り組んでいる。今回、土中から遺物として発掘されても劣化した状態であることの多い繊維遺物の鑑別の参考とするために、国内で生産された大麻繊維(宮城、福島、群馬、栃木、長野、大分)の各繊維の人工劣化前後の形態および大きさの変化について、走査型電子顕微鏡を用いて調査した。

2. 試料

下記、8種の栽培地および栽培時期の異なる国内産の大麻繊維を試料として用いた。

表1　国内各産地の大麻繊維

番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
産地	宮城県 栗原市	福島県 昭和村	群馬県 東吾妻町	栃木県 鹿沼市 (栽培種)	栃木県 鹿沼市 (野生種)	長野県 鬼無里	長野県 美麻市	大分県 日田市
採取年	平成 21年	平成 22年	平成 23年	平成 23年	昭和 47年	平成 17年	昭和 30年頃	昭和 40年頃
状態	精麻	精麻	精麻	精麻	精麻	皮麻	皮麻	精麻

3. 実験方法

【試料前処理】各試料は、未処理の状態では単繊維同士の膠着が著しく、単繊維の輪郭を判別することが困難だったので、大麻繊維の苧績み(糸作り)の前処理[1]を参考として、米とぎ汁に浸漬した後、もみほぐして分析試料とした。

【劣化条件】　人工劣化試料はセルロース分解酵素であるドリセラーゼをpH4.8の50mMクエン酸緩衝液で2%溶液とし、前処理した試料を30℃の湯浴中で48時間反応させて作製した。

【観察・計測】分析試料は、低温アセトン包埋割断法[2]により切断面を作製し、走査型電子顕微鏡(JSM-6010LA：日本電子製)を用いて観察した。各試料50本の単繊維について、繊維幅は観察ソフトウェア(In Touch Scope：日本電子製)の測長機能を用いて長径および断面積を計測

し、それぞれの平均値を求めた。

4. 結果および考察

人工劣化させた国内各産地の大麻繊維(単繊維)各 50 本の繊維幅および断面積を走査型電子顕微鏡で観測した。各産地の劣化前後の繊維断面積値の変化を図 1 に示す。

また、産地別比較のため、統計ソフト(SPSS)を用いて分散分析および多重比較を行い、平均値を比較した結果、人工的に劣化させた試料では、繊維幅：$F(7, 392) = 37.32$, $P < .05$、断面積値：$F(7, 392) = 35.20$, $P < .05$ で各産地の効果は有意であり、繊維幅、断面積値、周囲長共に平均値は未処理状態の試料と同じく、産地によって差があるという結果を得た。

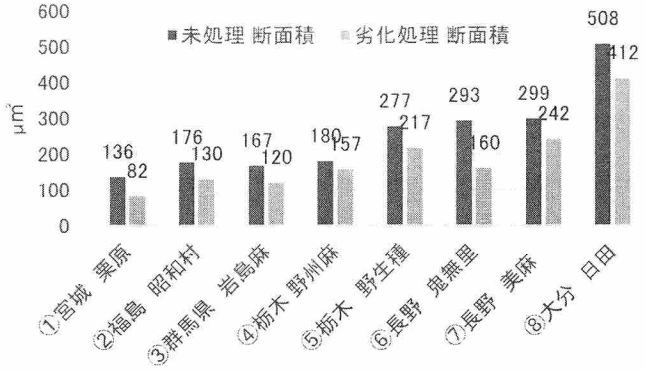


図1 人工劣化前後の断面積値（μm²）

さらに、繊維幅、断面積の各平均値について、Tukey HSD 法による多重比較を行った。その結果、断面積値平均において、人工劣化試料は 5 つの等質サブグループに分けられ、グループ 1(①～④)とグループ 2(②～④,⑥)とグループ 3(④～⑥)とグループ 4(⑤,⑦)とグループ 5(⑧)の間に有意差水準 5%で有意差が認められた。未処理状態で突出して繊維が太かった大分の大麻繊維は劣化後も他のすべての産地と有意差を保っていた。劣化による繊維の収縮や形態変化は、単繊維全体が収縮していた人工的な炭化[3]に比べると断面の外郭を基準とした断面積の収縮率は小さいが、繊維内部は写真 1、2 に示すように分解の受けやすい部分から空洞化する様子がうかがえた。出土繊維の中には、様々な状況において劣化分解され、繊維内部が消失しているようなものもみられる。そのような試料を鑑別の際、劣化する過程で生じる繊維の形態変化を観察と計測の両面から把握しておくことは、鑑別の確度向上に寄与できる可能性を持つと考える。今後はこれらのデータをデータベース化してより具体的に活用できる方法を模索していきたいと考えている。

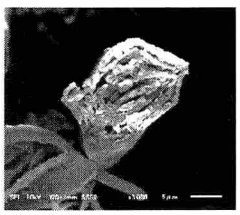


写真 1 長野県(鬼無里)大麻 ドリセラーゼ分解後

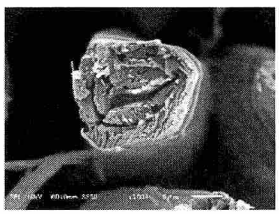


写真 2 長野県(美麻)大麻 ドリセラーゼ分解後

【謝　辞】貴重な試料をご提供くださいました栃木県立博物館 篠崎茂雄氏ならびに九州国立博物館 赤田昌倫氏に深く感謝いたします。

【参考文献】1) 博物館シリーズ 1『苧』 からむし工芸博物館 (2001) p. 46
2) 『新・走査電子顕微鏡』 共立出版 (2011) p. 422-423
3) 『日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集』 p. 180-181

本発表は科研費(課題番号 23501217)の助成を受けて行った研究成果の一部である。

P-022

北斗遺跡出土の織物・繊維遺物に関する一考察

A Study of textiles and fiber relics excavated in Hokuto Site

○日髙真吾、吉本忍、佐々木史郎（国立民族学博物館）、右代啓視（北海道博物館）
石川朗（釧路市埋蔵文化財調査センター）、和髙智美（合同会社文化創造巧芸）

1．はじめに

旧石器文化から擦文文化に至るまでの重複遺跡である北斗遺跡は、国指定の史跡に登録されている。今回、国指定史跡「北斗遺跡」の擦文文化期の出土品となる織物・繊維遺物について、デジタルマイクロスコープによる詳細観察をおこなった。その結果、極めて精緻な糸や織物の製作技術を観察することができた。そこで本発表は、北斗遺跡出土の織物・繊維遺物のデジタルマイクロスコープによる観察結果を提示するとともに、擦文文化期における北海道の織物文化について考察する。

2．北斗遺跡出土の織物・繊維遺物の先行研究

北斗遺跡出土の織物・繊維遺物は、第20号住居跡の床面から出土しており、その成果は松田猛氏によって「擦文文化の新しい織物資料」として報告されている[1]。また、伊藤美香氏らは、北斗遺跡出土の織物・繊維遺物について、人工的に炭化させた植物繊維を標本として形態の比較を試みている[2]。その結果、4種の繊維のうち、3種をオヒョウ、シナノキ、ツルウメモドキと同定するとともに、残りの1種もエゾイラクサの可能性を指摘している。

3．北斗遺跡出土の織物・繊維遺物のデジタルマイクロスコープによる観察

研究発表者らは、2014年7月に釧路市博物館において、北斗遺跡出土の織物・繊維遺物についてデジタルマイクロスコープ（KH-8700、ハイロックス）による観察をおこなった。観察した織物・繊維遺物は、第20号住居跡出土の炭化した繊維束、糸束、糸、織物などの断片である。それらの調査所見の一端を以下にまとめる。

繊維束（3481M）（写真1）

糸の原材料と考えられる細く裂いた靭皮繊維が束状になった炭化遺物。任意の9箇所で計測した繊維幅は、149～539μmであった。

糸束（3151）（写真2）

靭皮繊維を撚り繋いで績(う)んだ糸2本を、さらに撚り合わせて双糸とした糸が束になった炭化遺物。北海道では縄文文化晩期から擦文文化まで、糸を績む技術が継承されてきたとみられるが、アイヌ文化期以降においては、糸績みの技術は急速に衰退したと考えられ、北海道アイヌの靭皮繊維を糸素材とした織物を裁断、縫製して作られた衣服のうち、績んだ糸を使って織られた織物は、市立函館博物館が所蔵する1点[3]が確認されているにすぎない。

織物断片（3481C）（図1-1、1-2）

靭皮繊維を撚り繋いで績んだ糸で織られた平織組織の織物（図1-2のA）と、靭皮繊維を細く裂いたままの糸で織られた平織組織の織物（図1-2のB）が重なり合った状態で出土した炭化遺物。北斗遺跡出土の織物断片の炭化遺物の多くは、同様の2種類の織物が重なり合っており、そうした観察結果から、この3481Cをはじめとする同種の織物断片の炭化遺物は、裏地をともなった袷（あわせ）の着物の一部であった可能性がある。績んだ糸で織られた平織組織の織物のタテ糸とヨコ糸には、前述した糸束（3151）の双糸とは異なり、靭皮繊維を撚り繋いで績んだ単糸（1本の糸）が用いられている。績んだ糸で織られた平織組織の織物（図1-2のA）の糸の太さを任意のタテ方向の糸の4箇所、ヨコ方向の糸の3箇所で計測した結果、タテ方向の糸の太さは582～767μm、ヨコ方向の糸の太さは583～755μmであった。また、2mm間の糸密度は、タテ・ヨコ両方向の糸ともに2本であった。一方、靭皮繊維を裂いたままの糸で織られた平織組織の織物（図1-2のB）の糸幅を任意のタテ・ヨコ両方向ともに10

箇所で計測した結果、タテ方向の糸幅は153～247μm、ヨコ方向の糸幅は114～183μmであった。また、2mm間の糸密度は、タテ方向の糸が7本、ヨコ方向の糸が8本で、きわめて高密度の織物であることが観察された。

4．まとめ

北海道の縄文文化後期の複数の遺跡からは、靭皮繊維を績んだ糸をタテ糸やヨコ糸としたタテもじり織組織の織物の炭化遺物が出土しており[4]、続縄文文化の遺跡からは、錘（つむ）のはずみ車（紡錘車）や靭皮繊維を績んだ糸をタテ糸やヨコ糸とした平織組織の織物断片も出土している[5]。しかし、本発表で提示した高密度の織物断片が、それよりも粗い糸密度の織物断片と重なり合った状態で出土した遺物は、北海道では類例を見ないものである。したがって、今回観察をおこなった織物・繊維遺物は、擦文文化の織物文化を考える上で、極めて重要な資料として位置づけることができることから、今後には、精査をつづけ、研究のさらなる深化を図りたいと考えている。

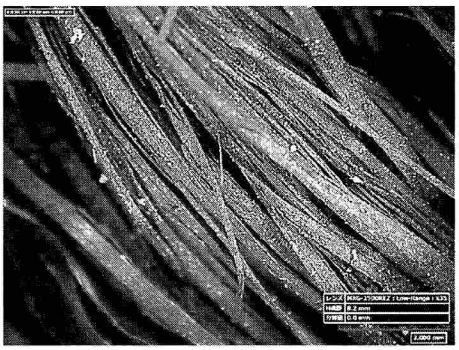


写真1　繊維束（3481M）マイクロスコープ画像

写真2　糸束（3151）

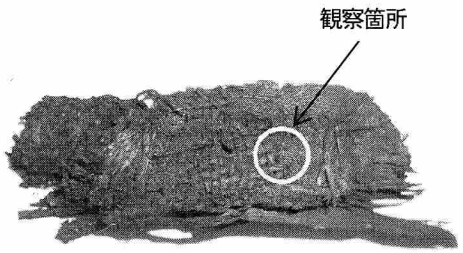


図1-1　織物断片（3481C）

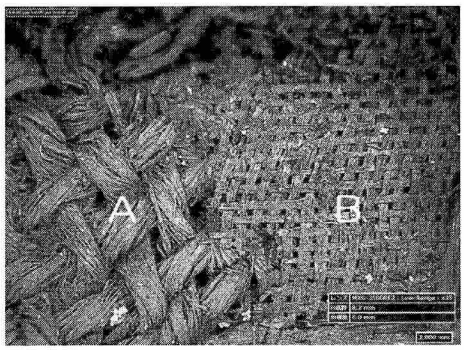


図1-2　織物断片（3481C）マイクロスコープ画像

本研究は、科学研究費補助金基盤B（一般）「北方寒冷地域における織布技術と布の機能」（代表　佐々木史郎：2014-2016）の成果の一部である。

【参考文献】

1)　松田猛「擦文文化の新しい織物資料」『古代文化』vol.45　P30-39　1993年　古代学協会
2)　伊藤美香、小原奈津子、松田猛「出土繊維鑑別のための基礎研究－北斗遺跡出土炭化繊維と炭化させた現存植物の比較」『考古学と自然科学』vol.51　P19-33　2005年 日本文化財科学会
3)　吉本忍「暮らしのなかの植物④ ツルウメモドキ」『森発見』No.37　P16-17　2015年 大阪府日本万国博覧会記念公演事務局
4)　吉本忍「北海道とその周辺地域に見る編みと織りの痕跡」氏家等編『アイヌ文化と北海道の中世社会』P121-163　2006年　北海道企画出版センター
5)　吉本忍『世界の織機と織物』2013年　国立民族学博物館

P-023

出雲平野の弥生時代後期から古墳時代前期初頭の集落における朱の利用

A study of the vermilion use in settlements from the Late Yayoi period to the Early Kofun period ,in Izumo Plains

○上山晶子(島根県教育庁埋蔵文化財調査センター)

1. はじめに

島根県東部の出雲平野北端に位置する山持(ざんもち)遺跡では、弥生時代後期から古墳時代前期にかけての建物跡や溝などが検出され、集落があったとされている。そして、当該時期の土器や石器の中には、外部地域より搬入されたとみられる水銀朱(HgS;以下、朱)を利用する際の加工に用いられたと推測されるものや、朱で塗彩されたものがある。「朱の利用する際の加工」を本論では、「精製・調製(調整)・(朱を塗布するための固着剤との)加工」とすると、山持遺跡の集落内でこれらの工程が行なわれたことが考えられる。このたび、それらの資料について、赤色顔料の同定作業や観察結果から、「朱の精製・調製(調整)・加工に使用された【道具】」と「朱で塗彩された【製品】」とを分類する作業を行ない、山持遺跡における朱の利用について若干の考察を行なった。

2. 資料について

今回の分類作業にあたり、対象とした資料の点数は38点である(表1)。

これらの土器・石器とも時期は弥生時代後期から古墳時代前期初頭にかけてのものであり、すべて実体顕微鏡観察(15～20倍)や蛍光X線分析による元素定性分析(非破壊)によって、朱の付着が確認されたものである。

【表1 分類を行なった資料の内訳】

種別	短頸壺	壺	装飾壺	高坏	蓋	鼓形器台	器台	鉢	片口鉢	甕	低脚坏	小計
弥生土器		1	4	2		3	11	1	1		1	24
古式土師器	1			1	1			4	1	1		9
土師器								2		1		3
小計	1	1	4	3	1	3	11	7	2	2	1	36
石器												2
合計												38

※資料の器種・時期は発掘調査報告書記載にもとづく

3. 【道具】と【製品】の分類

実体顕微鏡による朱の付着状況や、資料全体の観察結果から次のような基準を設け、【道具】と【製品】に分類を行なった。

【分類基準】

【道具】	土器は主に内面に朱が胎土に入り込むように付着し、外面には被熱の痕跡(黒変やススの付着)が見られるもの。石器は敲打痕や擦痕のある箇所に朱が付着するもの
【製品】	土器は主に外面に朱が付着し、内外面に被熱の痕跡が見られないもの。石器は、敲打痕や擦痕がみられず、全体に朱が付着するもの

その結果、表2・3のように分類した。

表2【道具】として分類された資料

種別	鉢	片口鉢	甕	高坏	低脚坏	小計
弥生土器	1	1			1	3
古式土師器	4	1	1	1		7
土師器	2		1			3
小計	7	2	2	1	1	13
石器（石杵）						1
合計						14

表3【製品】として分類された資料

種別	短頸壺	壺	装飾壺	高坏	蓋	鼓形器台	器台	小計
弥生土器		1	4	2		3	11	21
古式土師器	1				1			2
土師器								0
小計	1	1	4	2	1	3	11	23
石器								1
合計								24

土器について見てみると、【道具】では古式土師器が多く、【製品】では、装飾壺や器台など弥生土器が多いことから、山持遺跡では朱の精製・調製（調整）→加工・塗彩→（赤彩の）製品という工程を同時期に一貫して行なっていたとは、今回の分類結果からは言及することは難しい。しかし、弥生時代後期から古墳時代前期にかけて継続的に精製・調製（調整）→加工・（塗彩？）の工程が行われていたことが伺われる。また、石器については【道具】としての「石杵」と【製品】としての石器に分類されるものが 1 点ずつあった。両方とも弥生時代後期末（上記表の土器の種別では古式土師器段階）のものとされており、【道具】が最も多く出土している時期と重なる。

4. 【道具】の再分類

【道具】として分類した土器のうち、内面に朱が外面にススが付着した、朱の精製作業に使われたとみられる鉢や片口の付いた鉢がある。朱の精製作業には加熱の有無が従来から問われているが、山持遺跡では加熱を伴っていたと仮定し分類した。これらの土器を外面のススの付着状況からみていくと、朱の精製作業に使われたとみられる弥生土器の鉢や片口の鉢にはススはあまり付着していない。一方、古式土師器や土師器の鉢・片口鉢は、焦げ付いてタール状になったかのようなススが土器外面全体をびっしりと覆うように付着しており、山持遺跡では弥生時代後期末から古墳時代前期初頭にかけて、朱の精製作業のピークを迎えたことや何らかの技術転換が行なわれた可能性が考えられる。さらに、低脚坏や高坏の坏部にも、外面にススが内面に朱が付着している資料があり、転用して朱の精製作業に使用されているとみられる。

また、加工については、朱を土器等に塗布するための固着剤との混和が考えられるが、このような用途を持つとみられる鉢が土師器で 1 点みつかっている。外面にススが付着し、内面に塗膜状に朱が付着しており、固着剤との混和が推測される。

5. まとめ

山持遺跡では、朱の原料である辰砂原石が出土しておらず、出雲平野周辺の同時期の集落からも出土していない（2015 年 5 月現在）ため、辰砂をある程度の段階まで加工したものが山持遺跡に搬入され、製品への塗彩を行なうための最終的な調製（調整）・加工の工程が継続的に行われたことが考えられる。このような事例は、先行研究によって、他地域では示唆されているが、出雲平野では初めての事例である。しかし、同じ集落で出土した【製品】としての赤彩土器が、集落内で実際に塗布されたものであることの確証はなく、今後の課題である。

【参考文献】
島根県教育委員会 2007
『国道 431 号道路改築事業（東林木バイパス）に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書Ⅳ 山持遺跡Ⅱ・Ⅲ区 vol.2』
島根県教育委員会 2007
『国道 431 号道路改築事業（東林木バイパス）に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書Ⅴ 山持遺跡 vol.3（Ⅳ区）』
島根県教育委員会 2010
『国道 431 号道路改築事業（東林木バイパス）に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書 8 山持遺跡 vol.6（4,6,7 区）』
島根県教育委員会 2012
『国道 431 号道路改築事業（東林木バイパス）に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書Ⅳ 山持遺跡 vol.8（6,7 区）』

P-024

千駄ヶ谷五丁目遺跡出土近代ガラス製品の材質分析
－国産ガラス・輸入ガラスの識別を目的として－

Analysis of modern glasses from Sendagaya 5-chome site

○新免歳靖（東京学芸大学）、向井 亙（金沢大学）、井上曉子（東海大学）、
齊藤晴子（町田市立博物館）粕谷 崇（渋谷区教育委員会）、二宮修治（東京学芸大学）

１．はじめに

東京都渋谷区千駄ヶ谷五丁目遺跡第３次調査では、140 号遺構から 1880 年代前半のガラス製品が大量に出土した。これらのガラス製品には輸入品と推定される板ガラスや、国産品と推定されるランプ火屋、生産地が不明の食器類などが存在する。しかし、近代ガラス製品について科学的な調査は行なわれておらず、当時のガラス製品の材質や生産地の特性などはほぼ明らかとなっていない。本遺跡のガラス製品は、日本において西洋式ガラス製造が始まった時期（1870 年代前半）とほぼ同時期の資料にあたり、近代日本における初期のガラス製造技術の一端を明らかにする上で重要な資料となる。そこで、本研究では、日本における近代ガラス製造技術の解明やガラス製品の生産地推定に向けた基礎調査を行なう。千駄ヶ谷五丁目遺跡第 3 次調査出土の近代ガラス製品について蛍光Ｘ線分析により化学組成を求め、材質的な見地から国産品・輸入品といった判別を行なうための基礎データの取得を目指す。

２．分析資料

分析資料は、本遺跡 140 号遺構から出土した 1880 年代前半のガラス製品で、板ガラス、ランプ火屋（以下火屋とする）、雑器（グラス・容器・装身具）類などである。その内訳は、板ガラス類 28 点、火屋類 24 点、グラス類 9 点、容器類 4 点、簪類 4 点の合計 69 点である。日本における板ガラスの国産化は 1870 年代から国策として試みられたが成功せず、明治 40 年代になって成功する。そのため、本遺跡で出土した板ガラスは輸入品と推定した。一方、東京では明治 2 年に洋燈用品の製造が始まったという記録があり、以降、ガラス製燈用製品は日本の代表的な輸出ガラス製品の一つとなる。そのため、本遺跡の火屋類については国産品と推定した。

３．分析方法

分析機器には微小部エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 SII・ナノテクノジー社（現日立ハイテクサイエンス社）製 SEA5120S を用いた。分析条件は、管電圧：15・45ｋV（マルチ分析）、測定時間：180 秒×2 回、コリメーター径：1.8mm、雰囲気：真空である。分析では、まず定性分析を行い、含有元素の種類を求めた。その元素情報をもとに元素を選択し、定量分析を行なった。定量元素の種類は、Si、Ti、Al、Fe、Mg、Ca、Na、K、Pb、Mn、Co、Cu、Zn、As、Rb、Sr の 16 元素である。定量分析は、標準試料[NIST-SRM1831（ソーダ石灰ガラス）、SGT-8（カリ鉛ガラス）]をガラスの材質に応じて用いたファンダメンタルパラメーター（FP）方式により 16 元素の酸化物の和が 100 になるように規格化した。定性分析は目視により状態が良い箇所を選び、非破壊で行なった。定量分析は表面層をグラインダーで削り、新鮮面を検出して行なった。

4．分析結果・考察

定性分析の結果、板ガラス全27点、火屋全24点、グラス全9点がアルカリ石灰ガラスであった。板ガラスからはSrとAsが主体的に検出された一方で、火屋･グラスからはPbとMnが主体的に検出され、両者に含まれる微量元素のX線強度に差異が認められた。また、容器1点はカリウム分を多く含むアルカリ石灰ガラスであった。残る容器類3点と簪類4点は鉛ガラス製で、江戸時代から系譜を汲む国産ガラスと考えられる。

定量分析の結果、アルカリ石灰ガラスとした板ガラス・火屋･グラスはいずれもNa_2Oを主成分とするソーダ石灰ガラスであった。ソーダ石灰ガラス製品は、主成分元素であるSiO_2、CaO、Na_2Oの濃度によって板ガラスグループと火屋グループに分類された。図1にNa_2O－CaO元素濃度分布図を示す。本図から、板ガラスはCaOが約13～16%、Na_2Oが約10～13%の範囲にまとまってプロットされたのに対し、火屋はCaOが約4～10%、Na_2Oが約12～19%の範囲に比較的ばらついてプロットされ、両グループには化学組成に明確な差異が認められた。グラス類は大半が火屋グループと同じ範囲にプロットされた。鉛ガラスはPbOが約40～50%、K_2Oが約2～8%のカリ鉛ガラスであった。カリウム分を多く含むアルカリ石灰ガラスの容器1点は、Na_2Oが7.6%、 K_2Oが4.1%の混合アルカリ石灰ガラスであった。

本分析結果のうち、特にソーダ石灰ガラスの化学組成の差異は、ガラス生産地における原料やその調合、溶融設備など違いに起因すると考えられ、生産地を推定する基礎データとなるものである。本結果から板ガラスと火屋では明確にガラスの化学組成が異なり、生産地が異なる可能性が高いことが明らかとなった。これが輸入品と国産品の差異を反映したものかは今後も検討する必要がある。また、火屋とグラスでは化学組成が類似する資料もあり、同一産地での製造も想定される結果となった。

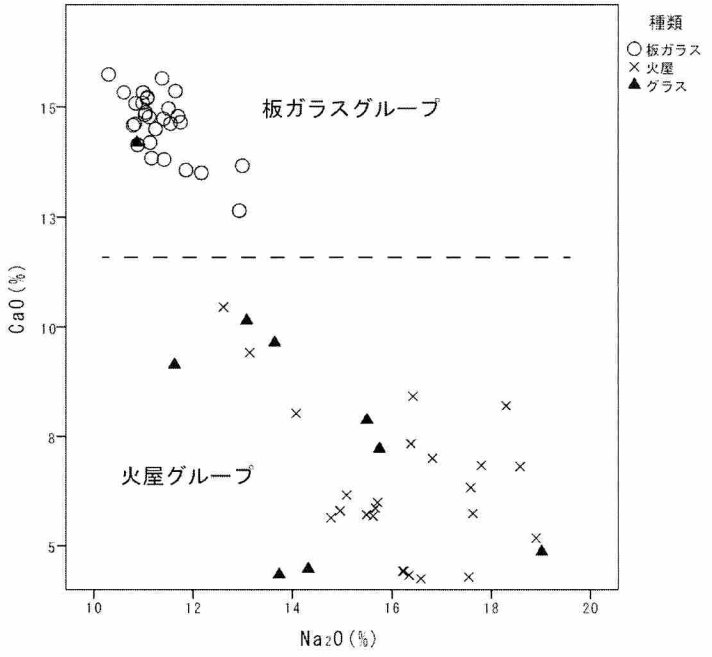


図1　ソーダ石灰ガラスのNa_2O－CaO元素濃度分布図

謝辞　本研究にあたりましては、渋谷区教育委員会よりご協力を賜りました。謹んでお礼申し上げます。

P-025

常陸日下ヶ塚古墳（鏡塚古墳）出土ガラス小玉の製作技法と化学的組成

Chemical compositions and manufacturing techniques of the glass beads from Hitachi Hisagetsuka Kofun (Kagamizuka Kofun)

○ 加藤千里（筑波大・院），村串まどか（東京理科大・院），久永雅宏（筑波大・院），
中井泉（東京理科大），谷口陽子（筑波大）

○ Chisato Kato[1],Madoka Murakushi[2],Masahiro Hisanaga[1],
Izumi Nakai[2],Yoko Taniguchi[1]([1]University of Tsukuba, [2]Tokyo University of Science)

はじめに

弥生・古墳時代のガラス小玉はアジア地域において広く交易された外来品としての実態が明らかにされつつある[1)]。発表者らはこれまでに、常陸における前期古墳出土品を中心としたガラス小玉 161 点を対象として、XRF による化学組成分析と、形態観察に基づく製作技法の推定という両観点から古墳時代におけるガラス玉の生産と流通について検討してきた。化学組成と製作技法を組み合わせて多角的な観点から考察を行うことで、ガラス玉の流通の様相に関して、より多くの情報を得ることができると考えられる。

今回、茨城県大洗町所在の前期古墳である日下ヶ塚古墳出土ガラス小玉を調査し、これまでに得られた常陸の前期古墳出土ガラス小玉の組成データ（狐塚古墳、桜塚古墳、勅使塚古墳、佐自塚古墳、原1・2号墳出土ガラス小玉：いずれも4世紀）との比較検討を行った。

日下ヶ塚古墳と出土ガラス小玉

日下ヶ塚古墳（鏡塚古墳）は、茨城県大洗町に所在し、鹿島灘を見下ろす独立丘陵上に位置する前方後円墳である。全長は103.5mで、4世紀末に年代づけられる。主体部は粘土槨に木棺を納めた形態であり、その中央部付近から出土した3989点の滑石製臼玉に混ざって、ガラス小玉207点が出土した。他に槨内から出土した副葬品としては鏡、直刀、勾玉、管玉、刀子・鎌などの農工具を模した滑石製模造品がある[2)]。これら副葬品のうち、滑石製模造品は 5 世紀以降の古墳時代中期に盛行する遺物群であり、同古墳出土例はその出現期にあたることからも注目されている。本研究では、日下ヶ塚古墳出土ガラス小玉 207 点（淡青色 196 点、紺色 11 点）を対象とした。

調査手法

製作技法を検討するにあたり、デジタルノギスで法量を計測した。また、マンセル値の計測、表面（特に小口面）及び内部気泡の状態の観察を行い、製作技法ごとに分類した。分類の基準は「古墳時代ガラス玉の製作技法とその痕跡」[3)]を参考にした（表1）。組成分析には ポータブル蛍光 X 線分析装置（OURSTEX 100FA-IV）を用い、測定条件等は松崎ほか[4)]に基づく。

表 1 製作技法分類の基準

技法	内部気泡	表面状態	小口面調整痕
管切り	孔と平行方向に伸びる気泡の住もしくは列	表面、孔の内面は比較的滑らかである	両小口面に加熱・研磨による調整の痕跡有り
巻き付け	孔を取り巻く横位に伸びる気泡の住もしくは列	表面は比較的滑らかであるが、孔の内面に荒れる傾向がみられる	なし
鋳造	細かい気泡の充溢	一部資料に表面に突起状の溶け残りが現れる傾向 孔の内面孔の内面に荒れる傾向がみられる	一部資料に小口面調整の痕跡あり

結果および考察

調査の結果、研磨による小口面整形や縦にのびる内部気泡から、資料のほぼ全てが管切り技法で製作されたガラス小玉であることが判明した。さらに XRF による分析の結果、対象資料にはアルミナソーダ石灰ガラス、カリガラス、ソーダ石灰ガラス（植物灰タイプ、ナトロンタイプ）という異なるタイプのガラス

小玉が混在していることが明らかとなった。ガラスタイプの違いと色調および法量には相関関係が見られないため、組成の違いに関わらず見た目の類似したガラス小玉が集められ副葬されたと考えられる(図1)。さらに、日下ヶ塚古墳のガラス小玉はアルミナソーダ石灰ガラスの占める割合が高く、カリガラスが主体である常陸の前期古墳の様相[5]とは異なる結果となった(図2)。その理由として、日下ヶ塚古墳がその造営に際し、他の常陸地域の前期古墳とは異なる状況にあったことが考えられる。所在地域に突如として出現した100m級の前方後円墳であることや、出土した滑石製模造品が畿内の古墳で出土した滑石製模造品と形態が類似すること[6]から、日下ヶ塚古墳の造営には、在地の勢力以外に、いわゆるヤマト王権を中心とする外部勢力が密接に携わっていたことが指摘される。

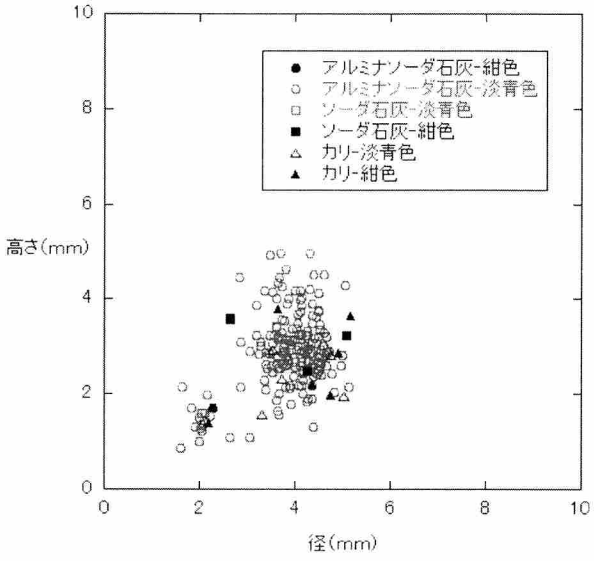


図1　日下ヶ塚古墳出土ガラス小玉法量プロット

本研究により、副葬品ガラス小玉の様相からも、常陸における日下ヶ塚古墳の異質性が強調される結果となった。

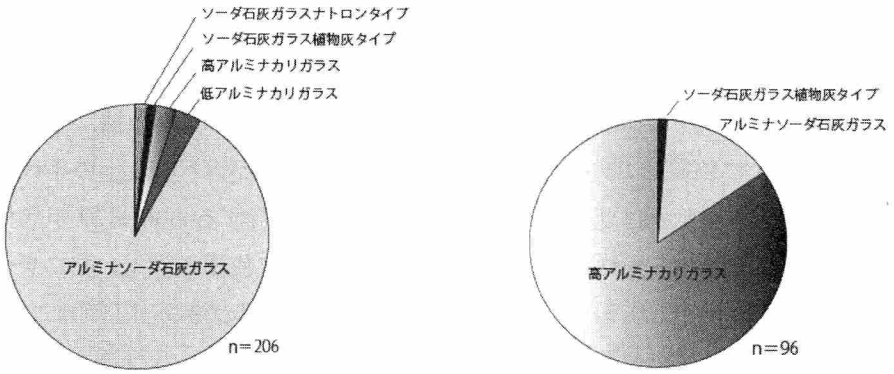


図2　日下ヶ塚古墳出土ガラス小玉組成タイプ内訳(左)
常陸前期古墳6基から出土したガラス小玉の組成タイプ内訳(右)

【謝辞】
本研究を進めるにあたり、國學院大学の深澤太郎先生に多大なご協力を賜りました。心より御礼申し上げます。

【参考文献】

1) 肥塚隆保・田村朋美・大賀克彦 2010「材質とその歴史的変遷」『月刊文化財』566 pp.13-25
2) 大場磐雄・佐野大和　1956『常陸鏡塚』綜芸社
3) 福島雅儀　2006「古墳時代ガラス玉の製作技法とその痕跡」『考古学と自然科学』54 pp.53-68
4) 松崎真弓・白瀧絢子・池田朋生・中井泉 2012「ポータブル蛍光X線分析装置　を用いた熊本県・茨城県出土古代ガラスの考古化　学的研究」『線分析の進歩』43 pp.437-452
5) 加藤千里　2015「常陸の前期古墳出土ガラス小玉の化学的組成と製作技法」『筑波大学　先史学・考古学研究』第26号 pp.49-63
6) 清喜裕二　1994「古墳出土農耕具型石製模造品の研究-富雄丸山古墳と鏡塚古墳-」『文化財学論集』pp. 713-72

P-026

オラーン・ヘレム壁画墓出土織物の特色

Characterization of textiles from the painting tomb of Ulaan-Kherem

村上智見(日本学術振興会特別研究員 PD・帝塚山大学)

1. はじめに

漢代以降、東西交易が活発になるとともに、中国の絹織物は文様・技術と共にユーラシアの東西に広く流通した。やがて日本を含む各地で絹織物が生産されるようになったが、どのような織物がどこで製作されたのか、どこからどこへもたらされたのか、不明な点が多い。我が国は世界に類を見ない数多くの染織資料を有しており、その研究は大きく発展してきたが、輸入品か国産品か、輸入品であるならどこで製作されたのか、不明な点が多いのが現状である。これは我が国に限ったことではなく、シルクロード織物研究全体に言えることでもある。製作地特定を困難にしている要因は、ユーラシア各地で製作される織物の特徴が、十分に明らかにされていないことにある。そこで本研究では、地域ごとの織物技術を明らかにすることを目的に、各地で出土織物調査を行ってきた。今回報告するのは、モンゴル国の突厥墳墓出土の織物についてである。

2. 遺跡と資料について

モンゴルではこれまでに 2 か所の突厥墳墓が発掘されている。2009 年に発掘調査されたザーマル乙突墓と、2011 年に発掘調査されたオラーン・ヘレム墳墓である(A.オチル、L.エルデネボルト氏とカザフ国立ユーラシア大学による共同調査。カラコルム博物館所蔵)。オラーン・ヘレム墳墓は首都ウランバートルの西約 170km、ザーマル乙突墓はトーラ川を挟んでオラーン・ヘレム墳墓の南約 10km に位置している。ザーマル乙突墓は墓誌を伴い 678 年の年代が判明している。オラーン・ヘレム壁画墓はザーマル乙突墓よりもやや先行する 660~670 年代築造と推定されている。織物は墓室内から発見され、衣服や敷物、袋などに使用されていた。ザーマル乙突墓からも経錦と平織物が出土しており、モンゴルにおける 7 世紀の織物出土例はこの 2 例のみであり貴重であるが、これまで詳しい調査が行われてこなかった。

3. 調査方法

文様の検討、織技術の分析、科学的調査を実施した。織技術の分析は、織組織、織密度、糸径、糸の撚りなどを計測し解析した。これらの観察にはハンディタイプのマイクロスコープを用いた。さらに必要に応じて、奈良大学設置の走査電子顕微鏡観察(日立製 S-3000N)、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置(EDAX 社製 Eagle XXL)による材質調査を行った。

4. 結果と考察

主な重要な資料として、ペルシャやソグドに見られるハート形花弁を持つ棋文錦(緯錦 2 点)など西方製(ここではトルファン以西を想定)のもの、正倉院にも所蔵されタジキスタンのムグ山上遺跡やトルファンからも出土している小花連珠文錦(経錦 1 点)、宝相華文錦(緯錦 1 点)、平地綾文綾(複数点)や縞の裳を着用した女性像が描かれた絹本など中国製のもの、動物・植物文錦(緯錦 1 点)、連珠円文錦 (緯錦 1 点)、衿を錦で飾った印金の胡服(綾 1 点)や毛皮(1 点)など、中国製

に類似するものの地域色がみられるものなどがあげられ、中央アジア以西で製織されたもの、中国製のもの、現地あるいは中国の地方で製作したとみられる織物が混在していることが分かった。

棋文錦はトルファンなどで見つかっているが、いずれもソグド製と考えられており、織りが粗く文様が崩れている。一方、当該墳墓出土の棋文錦は、文様の形に歪みがなく表現が丁寧であること、糸一本一本が弛みなくしっかりと打ち込まれているなど、高い技術で製織されていることが分かった。1点はビザンチン金貨を入れた袋として(図1)、もう1点は棺の底の敷物として(図2)使用されていた。文様の色彩なども含めビザンチン系錦に似た印象を受けるが、ソグド、ペルシャ、ビザンチン錦は相互に文様の模倣や技術が類似するため、資料の増加を待って今後慎重に比較研究を行っていきたい。これらは中国を介してもたらされた可能性も排除できないが、西方との繋がりを裏付ける資料として重要である。

正倉院宝物と同一の経錦は、678年の碑文を伴うザーマル乙突墓からも出土している。この年代からも、正倉院の当該経錦は後の時代に混入した法隆寺布である可能性が高いだろう。

トルファンや正倉院伝世品と同種の織物がモンゴルにももたらされていたことは重要な発見であり、他地域に例のない資料も見られるなど、染織研究のみならず東西交流史を復元する上で大きな成果が得られた。オラーン・ヘレム出土織物は、突厥と中国の強い結びつきを示す一方で、西方と独自に交流を行っていた可能性を示唆している。今後もモンゴルの多様な出土絹織物を調査することで、シルクロード交流の実態に迫りたい。

【参考引用文献】

○東潮「モンゴル草原の突厥オラーン・ヘレム壁画墓』『徳島大学総合学部人間社会文化研究第21巻』徳島大学,2013年

○坂本和子「トルファン出土染織資料について—錦の特徴にみる東西交流—」『シルクロード学研究 Vol.8 トルファン地域と出土絹織物』シルクロード学研究センター,2000年

○А.Очир, С.В.Данилов, Л.Эрденэболд, Ц.Цэрндорж 'Эртнтй Нуудэлчдийн Бунхант Булшны Малтлага, судалгаа' 2013

本研究は日本学術振興会特別研究員奨励費助成による研究成果の一部である。

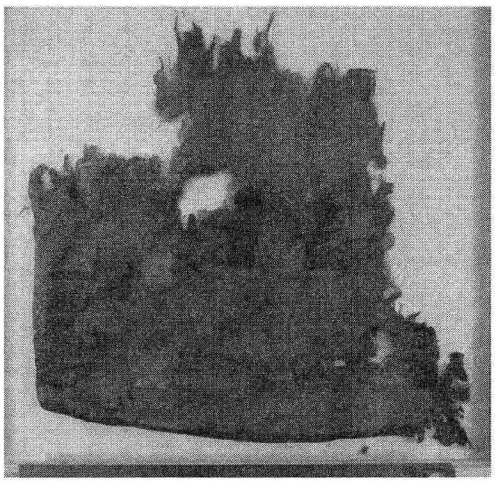


図1　金貨が入れられていた棋文錦

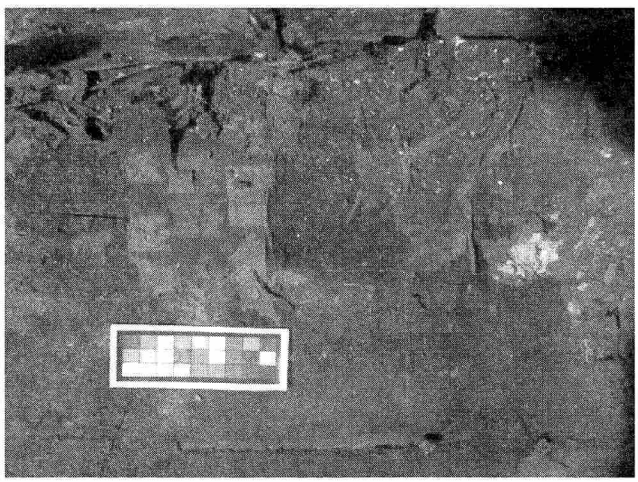


図2　木棺の底に敷かれていた棋文錦

P-027

自然送風を用いた金属加工技術の研究
－煙突形土製品の使用に関わる私案－

Study of metal processing technology using stack effect

○伊藤幸司（公益財団法人大阪市博物館協会　大阪文化財研究所）、田中清美（同左）
○Kouji Ito, Kiyomi Tanaka(Osaka City Cultural Properties Association)

１．はじめに

発掘調査により金属加工関連の資料は数多く蓄積されてきているが、送風装置「鞴（ふいご）」に関わるものは極々僅かである。よって、金属加工技術を考察する際、時代・職種に齟齬の無い鞴の使用を”想定”する。伊藤は炉への送風管である「羽口」の形状や使用痕に着目してきた。羽口の形状は使用する目的、つまり求める「風」に応じてつくり、使われた痕跡を残している。

そのような中で、形・使用痕共に理解に苦しむ羽口があった。弥生時代のある時期に出現する「曲がり羽口」で、唐古鍵遺跡・東奈良遺跡等の例がこれにあたる。先端部が擦られたかのように精緻に調整されている。そして、使用されたことは間違いないが先端部の被熱は非常に少なく見え、付着物はほとんど無い。このような特徴から煙突効果を利用した自然通風を想定し、鞴を使用せず、曲がり羽口のみを使った”自然吹き”で青銅地金を溶解して有効性を実証、形状と痕跡の”必然性”を証明した（＊1）。

他方、古墳時代の遺物に煙突形土製品と呼ばれているものがある。鍛冶に関わる遺物と共伴する事やその形状から排煙器と考えられているが、果たしてどれほどの排煙効果が見込めるのか、また、排煙装置ならば土製の必要があるのか疑問を持っていた。このことから、その形状・材質でなければならない必然性を検討し、自然通風によって炉の温度を上げるためのものと考えた。これに基づき、煙突形土製品を炉に設置、操業したところ、優れた昇温効果が得られる事が解った。煙突形土製品を用いれば、鍛冶作業において全く鞴を使用することなく、自然通風のみで、十分に鉄素材の温度を上げることが可能である。また、この実験を進める中で、青銅の溶解が可能であること等、更に検討すべき要素を持っていることが判明したので合せて報告する。

２．目的と方法

煙突形土製品は漏斗を伏せたような形で、本稿では便宜上、筒状の部位を「煙突部」、広がった部分を「裾部」と呼ぶ。出土遺物には、煙突部と裾部が一体となったもの、裾部のみのもの、煙突部のみのものなどがある。

当研究は、実作業に用いた際の実効性を確認する事を旨とし、煙突の高さや、炉内での羽口と炭と加熱対象物の位置関係を検討した。この為、繰り返し使用に耐える実験機（裾部、写真１）を製作、使用した。煙突部は取り外しの容易なステンレス製の筒（直径12cm×長さ90cm）を使用した。加えて、一体型の復元機（写真２）も製作し、実作業を想定して操業した。

３．内容と結果

煙突形土製品の機能を調べるために繰り返した実験のうち、煙突高による昇温効果の差異を確認した結果を挙げておく。

炉は粘土を貼らず、地表面にドーナッツ状に砂を盛り、上に実験機を被せる方法をとった。炉内温度は、土製の管に熱電対を通して炉の中心部を測った。羽口は3本で図1のように設置した。裾部のみ、煙突1本（90cm）、2本（172cm）の3パターンを試した。炭は羽口が隠れる程度まで入

れて20分間触ることなく燃焼させた。これらの実験の過程で昇温が非常に良好であることが解ったので、追加実験として青銅地金の溶解も試みた。結果は図2のとおりである。

4．まとめ

実験機・復元機ともに予想以上の効果が得られた。昇温効率・作業効率には羽口が重要な意味を持っている。また、複数の素材（鉄板）を炉内で加熱・保温しておくことが可能で、当研究のように煙突形土製品を使用することは、鍛冶作業を効率よく進めるためには大きな利点となる。

さて、今回の実験は鍛冶を想定して始めたが、その過程において青銅の溶解に十分な温度まで容易に上がることが判明した。かつて曲がり羽口を用いた自然送風の有効性を示した。もし、同時期に煙突形土製品もしくは同様の機能を持つ器物が存在したならば、自然送風による青銅溶解・鋳造の作業がより現実的になる。現在、その実効性の検討を進めているところである。

*1）伊藤幸司「曲がり羽口の使用方法に関わる復元的研究」『日本文化財科学会第29回大会研究発表要旨集』pp. 218-219　など

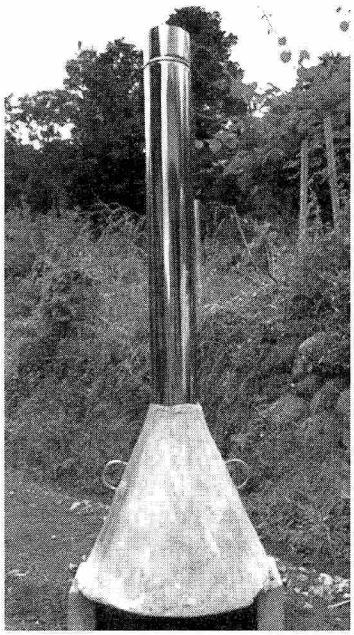


写真1　実験機

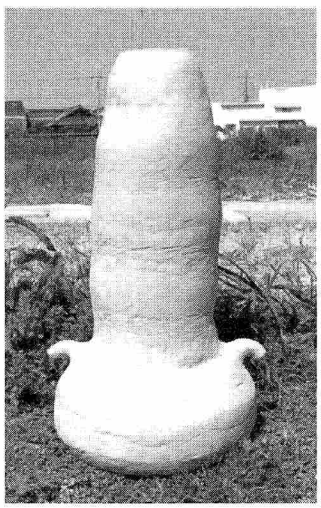


写真2　復元機

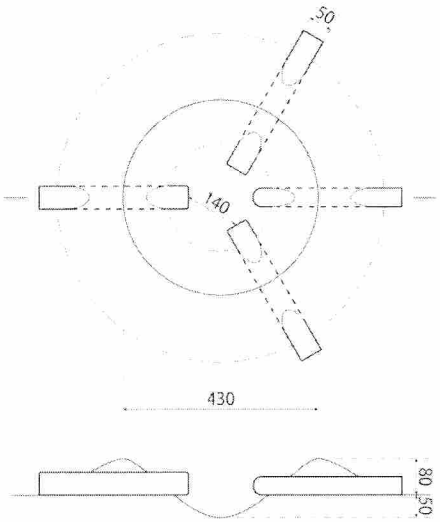


図1　炉の概略図

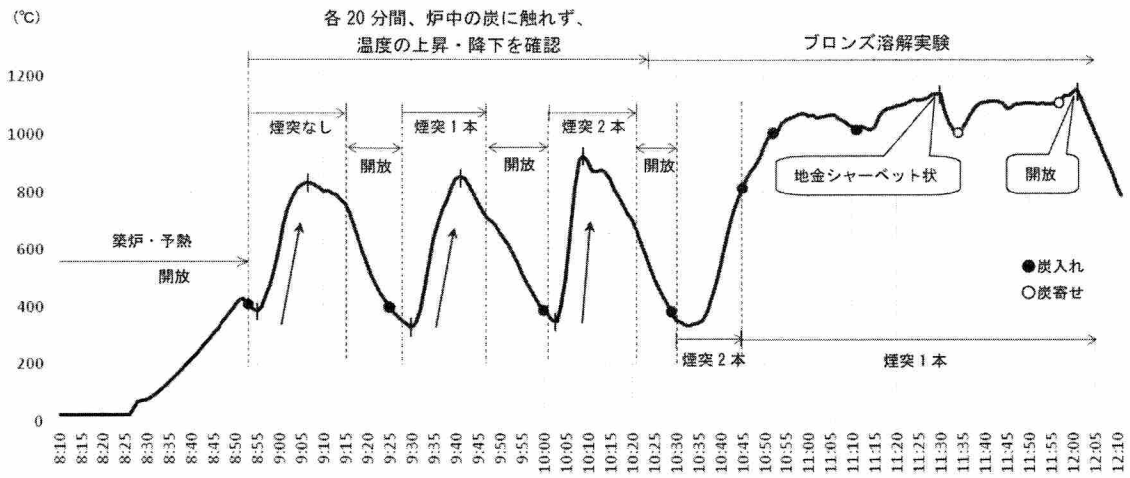


図2　実験機を用いた煙突効果の実験（羽口：3本、温度測定箇所：炉の中心部）

P-028

中国東北部土器における焼成温度と材質に関する検討
—遼寧省普蘭店市貔子窩出土土器の分析を中心に—

Examination of pottery technology focusing on the characterization and the firing temperature, found from the Hishika site, north-eastern part in China.

○鐘ヶ江賢二（鹿児島国際大学）・長友朋子（大阪大谷大学）・石川岳彦（國學院大學）・深澤太郎（國學院大學）・大日方一郎（國學院大學）・棟上俊二（福岡教育大学）

1．はじめに

東アジアの土器の焼成技術において、窯による高温焼成技術がどのように取り入れられたのか、そこにどのような技術革新が伴っていたのか、ということは、土器製作技術の発展過程を考えるうえで重要な問題であるが、検討の余地は多く残されている。窯焼成技術の導入に関連する技術変化、焼成と材料の選択との関連性を明らかにするには、窯構造の検討とともに、自然科学の分析手法による検討も必要である。

そこで、日本列島、そして窯による高温焼成技術導入の起源地である朝鮮半島の動向を考えるうえで鍵となる地域である中国東北部の土器の検討を行うことにしたい。本発表では、國學院大學博物館で所蔵されている遼寧省普蘭店市貔子窩出土の戦国時代および前漢期の土器に対して理化学的分析を実施し、中国東北部における窯焼成にともなう土器の材質を把握するとともに、韓半島、日本列島の窯焼成の土器との比較を視野に入れつつ、焼成温度と土器の材質との関連性、その特質を明らかにすることを目指す。

2．分析対象と分析方法

貔子窩遺跡出土土器片８点を分析に供した。その内訳は、高麗寨下層系３点（甗３点）、高麗寨上層系５点（釜２点、甑１点、短頚壺２点）である。高麗寨上層系の甑１点と短頚壺２点は、堅緻な質感で褐灰色～灰色を呈しており、還元焔・高温焼成されたものと推測した。

分析方法は、蛍光Ｘ線分析で土器の元素組成の把握を行うとともに、偏光顕微鏡で土器薄片の観察を行い、含有鉱物を検討した。またＸ線回折も実施し、高温焼成にともなう鉱物の検出も試みた。

3．分析結果

元素組成をみると、SiO_2、Al_2O_3 の組成から、土器の材質は酸性岩～中性岩的組成を示していることがわかる。ただし、高麗寨上層系の釜１点は CaO、Na_2O、Sr がほかの個体よりもかなり低く、MgO は高い。土器薄片の観察を勘案すると、滑石混和によるものとみられる。

また型式による違いに着目すると、高麗寨上層系の土器は、Fe_2O_3、Mn、Ba、Cr、Ni、V

などの元素において、高麗寨下層系と分布が異なる。また高麗寨上層系の還元焔焼成の甑と短頸壺２点は、K_2O や Cr の分布において他の高麗寨上層系の土器と若干違いがみられる。

鉱物組成をみると、いずれも花崗岩に由来する鉱物組成を示すが、高麗寨上層系の釜１点は滑石を混和材として用いている。高麗寨上層系の還元焔焼成のものは、微細な粒子が多く基質の粘土鉱物はガラス化し、高温焼成が推測される。

X 線回折では、いずれも石英・斜長石など長石類が検出され、還元焔焼成の土器もほかの酸化焔焼成の土器との違いは看取されない。

４．考察と今後の展望

今回の分析結果から、貔子窩遺跡出土土器は時期によって材料採取地に変化がみられること、また還元焔焼成の土器は他の土器と元素分布に若干違いがみられることが把握される。ただし、焼成温度と元素組成がどのように関連するかは明瞭ではない。また焼成温度に関しては、還元焔焼成土器はガラス化も認められるが、X 線回折では検出鉱物に大きな違いが検出されず、還元焔焼成であっても 1000℃を大きく超えるような温度で焼成されたとは考えにくい。還元焔焼成の土器は、朝鮮半島の状況から勘案すれば（鐘ヶ江・福田 2006）、瓦質土器や楽浪土器に近い焼成技術であったと推測するが、今後のさらなるデータの蓄積が求められる。

現時点では、得られたデータは限られたものであり、東アジアの窯焼成にともなう土器製作技術の解明には、依然として多くの課題が残されている。しかしながら、土器の理化学的分析によるデータは、土器製作技術の国際的比較研究のための「ものさし」となりうる。本研究は国際的研究の進展の足掛かりとなるものとして位置づけられると考える。

文献

鐘ヶ江賢二・福田匡朗 2006「韓半島系土器・楽浪系土器の発色技術についての基礎的研究－胎土分析と色調の計量的分析を通じて－」『考古学と自然科学』52

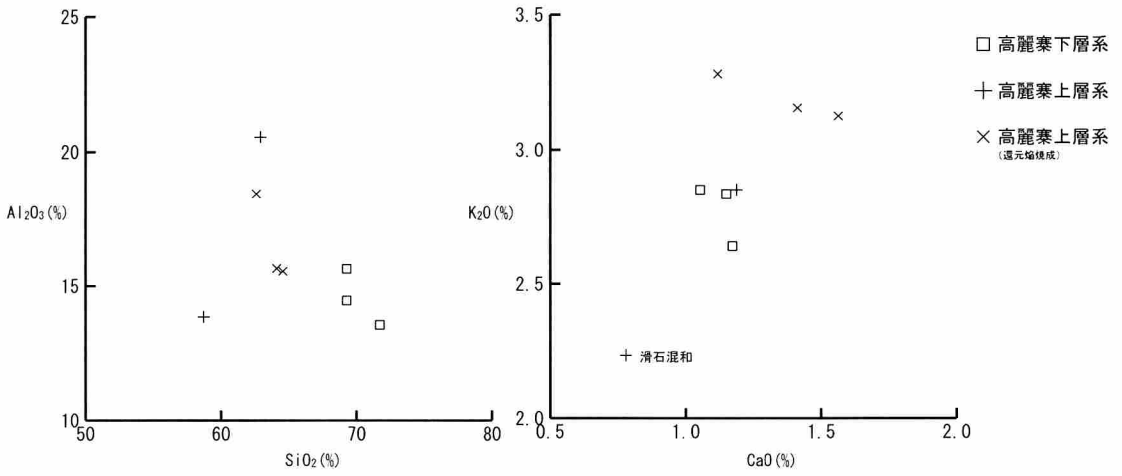


図１　貔子窩出土土器の元素組成

P-029

X線CTスキャナを用いた国宝「初音の調度」帯箱・櫛箱の構造調査

Study of structure for Hatsune Furnishings using X-ray CT

○赤田昌倫*、吉川美穂**、川畑憲子*、鳥越俊行***、今津節生*
*九州国立博物館, **徳川美術館, ***奈良国立博物館

1. はじめに

X線CTスキャナは対象物に対して様々な方向からX線を照射、走査し、3次元データとして再構成することで対象物の内部構造の情報を得る調査手法である。X線CTは非破壊非接触であることから文化財調査への応用性も高く、九州国立博物館では目に見えない亀裂等を確認する「文化財の健康診断」や、木胎・素地に関する樹種や接合方法といった「構造調査」を目的とし活用している。このような活用例の中でも、近世における大名婚礼調度の最高峰ある国宝「初音の調度」の調査は、健康診断と構造調査ともに大変意義があるものである。本発表では平成27年に九州国立博物館にて借用展示した徳川美術館所蔵の「初音の調度」のうち、帯箱と櫛箱について調査を行ったので、その成果について報告する。

2. 調査資料と調査方法

調査は「初音の調度」のうち帯箱と櫛箱を対象とし九州国立博物館のX線CTスキャナ（YXLON International社製Y.CT Modular 320FPD）を用いた。スキャンパラメータは管電圧320kV、管電流 2.5mAであった。調査内容により拡大率を変えて0.17mm～0.6mmの解像度で実施し、得られたデータは三次元データ解析ソフト（VolumeGraphics社製VGStudioMAX）による解析を行った。

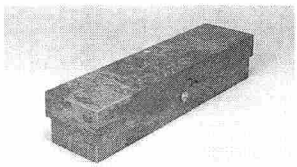


図1　初音の調度　帯箱

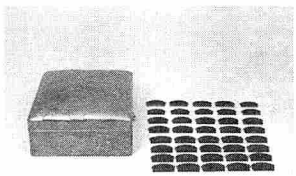


図2　初音の調度　櫛箱

3. 結果および考察

帯箱：図3は帯箱の蓋の長側面断面図、図4は帯箱の身の短側面断面図、図5は帯箱の接合模式図である。胎の樹種については木目が極めて均等で真っ直ぐ通っていることから針葉樹であると判断した。蓋については、図3と図4の断面図から赤枠で示した短側面と長側面を接合する部位は、木目の特徴から短側面は凸状に長側面は凹状に加工され、図5の模式図のような三枚組み接ぎによる接合であることがわかった。また、組み接ぎに使用された釘のコントラストを見ると、輪郭のみ白く見え、内部は黒く見える。これは全体が白く見える金属釘の特徴とは異なることから木釘または竹釘の可能性が考えられた。身については、図4の断面図から短側面四隅の赤枠で示した部位において木目は面全体の木目と異なること、短側面の端部中央は短側面側から釘が打ち付けられていることを確認した。蓋と同じく短側面側板は凸状に長側面側板は凹状になっており、三枚組み接ぎによる接合であることがわかった。

櫛箱：図6は櫛箱の蓋の長側面断面図、図7は櫛箱の蓋の短側面断面図、図8は櫛箱の身の長側

面断面図である。図６は上下の板の切れ目を、図７は蓋甲板と蓋側面の接合を示したものである。胎の樹種については帯箱と同じく木目から針葉樹であると判断した。蓋甲板について、図６から矢印で示した折形の段差は一枚の板から彫り出したことがわかった。次に図７において蓋甲板から蓋側板にかけて斜めに切断したところ、木目が異なる三枚の板とそれぞれの板の境界に麦漆や膠と思われる接着剤の白色の筋が端部から続いていることがわかった。また底板と側板の関係性については、図８の断面図の赤枠で示した部位から底板の上に側板を乗せていることを確認し、模式図のように接合していることがわかった。また図８の矢印で示した合口部は木目が連続しており、一枚の板を加工し合口部を造っていることがわかった。

4. まとめ

今回の調査結果から「初音の調度」帯箱・櫛箱どちらも細かな亀裂等は確認されず良好な状態であること、木胎については目の細かい非に良質の木材を使用していることがわかった。帯箱については蓋と身の両方で木釘または竹釘を使用し、短側面と長側面は三枚組み接ぎによる接合であることがわかった。この接ぎ方は強度を高める意図があったと考えられる。次に櫛箱については、蓋甲板の折形の段差は一枚板を彫刻したものであることがわかった。また蓋の甲板と蓋側板において釘の形跡は認められず、板の間にさらに一枚の板を確認することができた。板の境界は白色の筋が連続して続いていることから、麦漆または漆などの接着剤を使用し接合されたと考えられる。今後も様々な漆工品を継続して調査し、木胎構造などの知見の蓄積を進めていきたい。

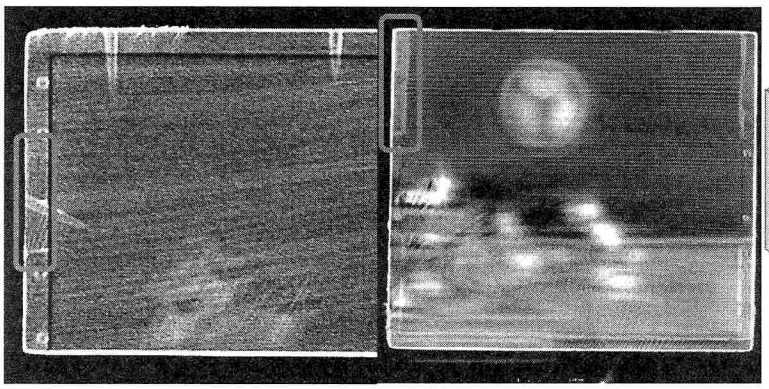


図３ 帯箱 蓋 長側面断面図

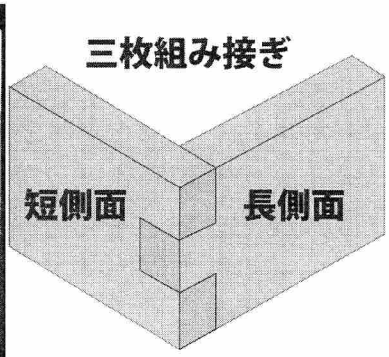


図４ 帯箱 身 短側面断面図

図５ 帯箱の接合模式図

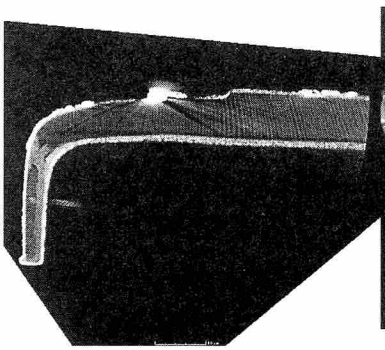


図６ 櫛箱 蓋 短側面断面図

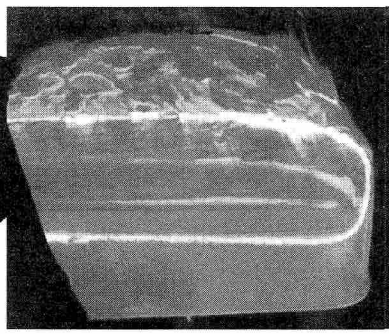


図７ 櫛箱 蓋 長側面断面図１

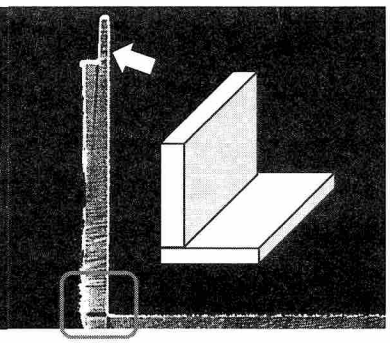


図８ 櫛箱 身 長側面断面図２

謝辞：木胎の構造は大西漆芸修復スタジオの大西智洋氏に助言を頂きました。記して感謝いたします。

P-030

相国寺旧境内より出土した櫛の質量分析による材質の特定

Identification of proteinaceous materials remaining in an ancient comb excavated from the ground of Shokoku-ji Temple

○深草俊輔（奈良女子大学）、河原一樹（大阪大学）、今井友也（京都大学）、丸山真史（東海大学）、浜中邦弘（同志社大学）、中澤 隆、宮路淳子（奈良女子大学）

1．はじめに

文化財に含まれる有機物質の自然科学的手法を用いた分析は、当該文化財の材質や製法を明らかにするだけでなく、保存・修復作業において有用な情報を提示できる。本報告では、同志社大学構内における相国寺旧境内の発掘調査において出土した図1に示す櫛について、その質量分析法による材質特定を行った。櫛の材質としては、主に木製のものが知られているが、タイマイの鱗板（甲羅）から採取される鼈甲、ウシの角やウマの蹄なども原料として使用されたことが知られている。これらの動物由来の櫛はいずれもコラーゲンやケラチンなどのタンパク質を豊富に含んでいる。しかし、発掘されるまでの経年劣化・分解により、その材質を特定することは難しいため、その実証的な研究例は皆無である。

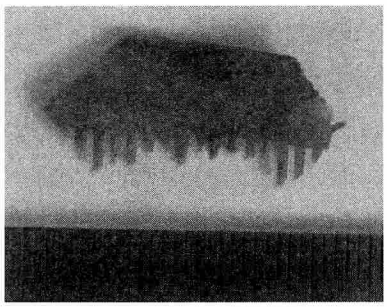


図1．出土した櫛

最近、我々は、文化財に使われた動物由来の材質の分析に生命科学分野でタンパク質の同定に利用されているマトリックス支援レーザー脱離／イオン化（MALDI）質量分析が有用であることを報告した[1]。本手法は、激しく劣化した数 mg 程度の文化財資料からでも、適切な調製法によりタンパク質が抽出できればその原料動物の特定が可能である。

2．実験方法

相国寺旧境内より出土した櫛（図1）から 7.29 mg の試料片を採取し、乳鉢上で 8 M 尿素溶液と混合させ、約 1.5 ml の試料懸濁液とした。その後、3 時間室温で放置しタンパク質の抽出をおこない、得られる溶液を限外濾過膜により濃縮し、適量のトリプシン溶液（0.2 μg/μl）を加えて抽出されたタンパク質を低分子量のペプチドに酵素消化した。比較試料として、アカウミガメ、アオウミガメ、タイマイの各甲羅片、ウマの蹄、ウシの角のそれぞれから約 10 mg ずつ試料片を採取し、上記と同様の行程でタンパク質を抽出した。

以上により得られた試料の酵素消化後、チップ型 C18 樹脂充填カラム（Ziptip C18、ミリポア株式会社）で予め脱塩・濃縮した溶液 1 μL を、MALDI サンプルプレート上でマトリックス溶液（α-シアノ-*p*-ヒドロキシ桂皮酸のアセトニトリル溶液）1 μL と混ぜてから乾燥し、フーリエ変換イオンサイクロトロン（FT-ICR）質量分析計（SolariX 7.0T、ブルカー・ダルトニクス株式会社）で MALDI 質量分析を行った。

3．結果

図２は、櫛試料のMALDI質量分析の結果得られた質量スペクトルをアカウミガメ、アオウミガメ、タイマイの各甲羅片、ウマの蹄、ウシの角の各々に関して同様に得られた質量スペクトルと比較した結果である。得られたスペクトルは出土状況や生物試料の特徴を反映して不純物のピークを多く含んでいたが、スペクトルを精査することにより、櫛の材質を判断する上で有益な幾つかの特徴的なピークを確認することができた。

例として、図２（b）には質量電荷比（*m/z*）の値が1272付近のピークを示す。櫛の分析結果においては、*m/z*値が1272.5440の比較的強度の強いピークが観測され、DNA塩基配列に基づくアミノ酸配列データベース検索の結果、アオウミガメのⅠ型ケラチンの部分配列NHEEEMNVLRに対応する質量（1272.5525 Da）とFT-ICR質量分析装置で想定される誤差の範囲（<10 ppm）で有意に一致した。一方、ウマの蹄およびウシの角の試料では相当するピークが観測されていないことから、他のピークの照合結果とあわせて、今回対象とした櫛製品は、ウミガメ科に属するカメの甲羅を原料としている可能性が極めて高い。しかし、タイマイおよびアカウミガメの分析結果においても相当する領域にピークが観測されており、これらのウミガメ科に属するカメの甲羅片の質量スペクトル間には高い類似性があるため、より詳細な生物種の特定については、今後の課題である。

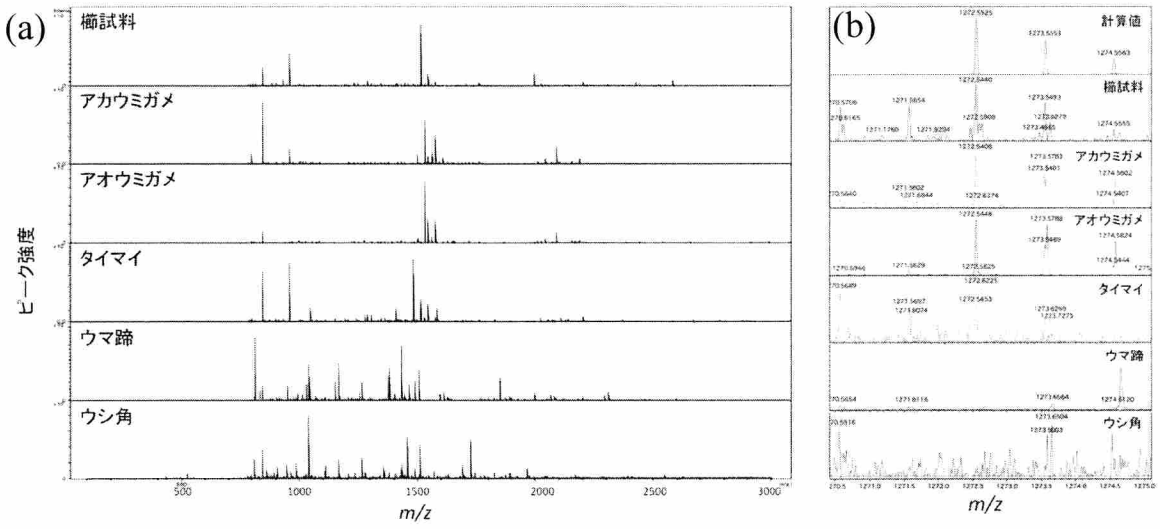


図２．(a) 櫛試料、アカウミガメ、アオウミガメ、タイマイの各甲羅片、ウマの蹄、およびウシの角のトリプシン消化後に得られるMALDI質量スペクトル。（b）*m/z*1272付近のピークの拡大図。（b）の最上部にアオウミガメ由来Ⅰ型ケラチンの部分配列NHEEEMNVLR（1272.5525 Da）の予測ピークを示す。

4．参考文献

（１）宮路淳子、河原一樹、松尾良樹、舘野和己、鈴木孝仁、高田将志、山崎雄三（2013）「墨に含まれる膠コラーゲンの質量分析による原料動物種の同定」『考古学と自然科学』、64、p. 47-57.

＊本研究は、JSPS科学研究費補助金（15H00709、25750104）により行われた研究成果の一部である。また、FT-ICR-MS測定は、京都大学生存圏研究所・先進素材開発解析システム（ADAM）を利用して行った。

P-031

鼓胴の用材調査（Ⅱ）国立歴史民俗博物館　生田コレクション

横山　操（京都大学農学研究科、国立歴史民俗博物館）
坂本　稔（国立歴史民俗博物館）

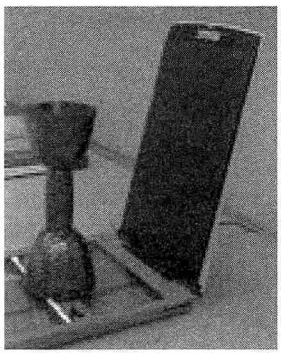
はじめに

日本固有の打楽器のひとつである小鼓について、鼓胴の用材調査を行った。これまで、小鼓および大鼓の鼓胴については、表面に加飾された漆蒔絵の意匠や技法を主な視点として論じられることが多く、用材樹種をはじめとする鼓胴の素材特性が明らかにされているとはいえない。

本研究では、国立能楽堂・生田コレクション（現在は歴史民俗博物館所蔵）を対象として、鼓胴素材の基礎情報である用材樹種について、スキャナー画像を用いて検討した。

実験方法

対象とする小鼓は、馬革から作られた二枚の革で胴をはさみ麻の調べ緒で組んだものをいう。鼓胴は一木造、中空である。表面はいずれも漆塗が施されている。



鼓胴の革口（革をかけた時に革の裏側が当たるところ）はいずれも、漆塗りが施されていないため、ルーペを用いた観察を行い、右図のように、スキャナーを用いて、画像（EPSON GTS640　：解像度 2000dpi）を取得した。

鼓胴の革口はいずれも木口面である。画像から、木取、平均年輪幅、針葉樹・広葉樹、また、広葉樹においては道管組織の配列の違いによって散孔材・環孔材の別を識別した。

対象資料

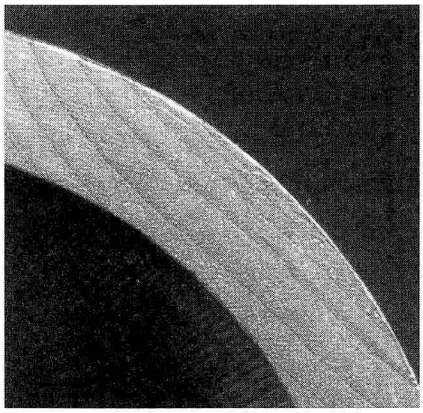
生田コレクションは、明治 20 年、生田秀氏およびその長男、耕一氏により収集された。製作年代は室町初期から大正にいたる各時代の小鼓であるとされる。鼓胴には番号が付され、漆蒔絵の意匠に応じて名称がつけられている。これまで、鼓胴表面に施された蒔絵の意匠、内グリに記された銘、あるいは鉋目の特徴によって、作者や製作年代の推定がなされている。これらの小鼓 102 点は、いずれの法量も、高さ約 25cm、直径約 10cm であった。

結果

いずれの鼓胴も、広葉樹であり、散孔材に分類された。

木取は、心去り材（みかん割材）から加工されたもの、通直な丸太そのものから加工されたもの、に分けることができ、多くが前者であった。平均年輪幅は、約１．５㎜であるが、一個体の中でも部位によるばらつきがあるため、素材の特徴量としては判断しがたい。

スキャナー画像の一例を下に示す。



考察

鼓胴の用材としてサクラ材が適切であることが、“木材の工藝的利用” 農商務省山林局編纂（明治４５年刊行）にも記されており、今日でも、鼓胴の用材は山桜材が最良であると知られている。今回の調査結果においては、鼓胴はいずれも散孔材であり、木口面画像からの情報のみでは樹種までを特定することはできないもののヤマザクラもこれに分類される。

一方、国内に現存する歴史資料として、国立博物館収蔵の重要文化財指定品、黒漆鼓胴（奈良時代）、彩絵鼓胴（奈良時代）、また、正倉院宝物に奈良三彩磁鼓胴、そして、馬場南遺跡出土の陶製鼓胴などが知られる。これらの材質は、木製鼓胴では、目視により、桐、欅、檜とされるが、ヤマザクラあるいはサクラである報告は確認できなかった。報告書に記されたこれらの用材樹種は、少なくとも、広葉樹、散孔材に分類されるものではない。

今回調査対象とした生田コレクションは、能楽が大成した室町期以降から、江戸期、明治にかけて製作されたとされ、現在、能楽の囃子方らが演奏に用いる小鼓や大鼓と、同時期に製作されたものと考えられる。江戸期の鼓製作の名手とされた道本がサクラ材を好んだこと、また、和漢三才図絵（1712）にも、サクラ材の記述が認められる。

日本の鼓は、7世紀末に大陸より伝来したとされるが、その後の派生および変遷は、いまだ明らかではない。今後、鼓胴の材質を新たな視点として、理解を深めたいと考えている。

謝辞

本研究遂行に際して貴重なご教示を賜りました、幸流小鼓方、林吉兵衛先生、林大輝先生、石井流大鼓方、石井保彦先生、資料熟覧の便宜を得ました、国立歴史民俗博物館、日高薫先生に、深く謝意を表します。

P-032

縄文早期後半の滑石含有繊維土器

The Earthenware in the Later Part of the Earlist Jomon Period Including with Talc and Fiber in its Body

○矢野健一（立命館大学）　藤根久（(株）パレオ・ラボ）

兵庫県北部の熊野（ゆうや）遺跡（兵庫県養父市（旧養父郡養父町）三谷字熊野）出土土器を調査している矢野は、繊維脱痕が顕著な縄文土器破片中に土器表面が極めて滑らかで、滑石含有土器として知られる曽畑式土器（縄文前期）と同様の感触を持つ土器に注意した。顕微鏡観察によって滑石片かと疑うことのできる砂粒を確認した。藤根は土器の蛍光X線点分析と元素マッピング分析を実施し、滑石の含有を確認した。

1　考古学的所見

遺跡は、円山高原の標高450－484mの舌状台地に立地する。1966年、開墾されて蚕室建設の際、縄文土器が出土し、養父町教委と鎌木義昌が確認調査を実施した。1974~1986年、養父郡と高松龍暉が分布調査を実施し、土器多数を採集し、1986年、養父郡、藤原弘幸発掘調査を実施している。藤原弘幸1988「養父町熊野遺跡を語る」『但馬考古学』第5号と鎌木義昌1992「熊野遺跡」『兵庫県史　考古資料編』を参照されたい。

A～H地点が調査されており、地点ごとに出土土器型式に差がある。土器片点数は200点程度で、繊維を含有する縄文早期後半の宮ノ下式（岡田2008のⅡa期）が最も多く、G地点に集中する。滑石含有繊維土器は計10点で2個体程度。G地点とH地点にまたがって出土する。一部土器に縄文早期後半の平栫式に似た押引文があるが、無文部破片が多い。同様の特徴を有する土器は、穂谷式と平栫式類似土器（早期後半）で、滑石含有繊維土器は宮ノ下より古く、穂谷式～平栫式類似土器に近い時期のものと判断している。

養父市八木川と大屋川にはさまれた丘陵部付近は蛇紋岩岩体で、滑石鉱山（聖長鉱山）や滑石の露頭が多数ある（岸岡2005）。ハチ高原遺跡には滑石製玦状耳飾製作地もあり、縄文時代に滑石が利用されていた。土器に含有されている滑石は、在地の砂粒もしくは粘土に由来することが容易に推測される。

2　胎土分析

藤根は（1）滑石含有土器、（2）滑石を含まない通常の土器、（3）地元採集の滑石片を含有するテストピースの元素マッピング分析と蛍光X線点分析を実施した。滑石は$Mg_6Si_8O_2O(OH)_4$で、マッピング分析ではマグネシウムの多量含有が大粒の砂粒と粘土部分双方に観察される。点分析では岩石片・粘土に酸化マグネシウムと酸化鉄双方の割合が高くなる。非滑石含有土器に酸化マグネシウムの割合が高い砂粒や粘土はない。滑石含有土器の砂粒は滑石が主で長石・石英は非常に少ない。この点は九州の滑石含有土器と共通する（矢野ほか2011）。非滑石含有土器は長石・石英が主で滑石は皆無。しかし、曽畑式、並木式の滑石含有土器とは、金属的光沢がない点、異なる。顕微鏡観察での滑石粒子の状態も異なる。

矢野は繊維含有量の目安を比重から得られないかと思い、電子比重計で比重を測定した。テストピース実験では、比重よりも「気孔率」（試料中の空隙部分の体積比）および「吸水率」（空隙部分の重量比）が繊維含有量に比例する。滑石含有土器の気孔率は他の繊維土器より格段に高い。滑石含有土器に含まれる繊維量は他の繊維土器よりも多く、繊維の長さも長いが、繊維含有率の高さは気孔率の高さからも裏付けられる。

兵庫北部の他の遺跡でも滑石含有の疑いが濃厚な早期の土器を確認しており、類例は増えると考えている。滑石を含有する粘土が採取できる地点があると推定しており、踏査を続けたい。

参考文献

岡田憲一 2008「縄文条痕系土器（西日本）」『総覧縄文土器』アム・プロモーション

岸岡貴英 2005「北近畿地方における滑石の産出地と周辺遺跡」『古墳時代の滑石製品』第 54 回埋蔵文化財研究集会発表要旨・資料集

矢野健一・小川香菜恵・内野那奈 2011「砂粒数カウント法による滑石混入土器の胎土」『日本文化財科学会第 28 回大会研究発表要旨集』

表　マッピング分析に基づく蛍光 X 線点分析結果

＊各元素マッピング画像において輝度（濃度）の高い位置を適宜選定し、点分析を行った。一部は主要大型粒子についても測定した。測定は、X線分析顕微鏡（㈱堀場製作所製 XGT-5000TypeⅡ）を用いた。元素マッピングの測定条件は、X線導管径 100μm、電圧 50KV、電流自動設定、測定時間 20,000sec。点分析の測定条件は、X線導管径 100μm、電圧 50KV、電流自動設定、測定時間 300sec。定量計算は、標準試料を用いない FP（ファンダメンタルパラメータ）法で半定量分析を行った。

分析No.	点No.	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO_2	Fe_2O_3	NiO	total	注目元素等	点の特徴	備考
A		25.80	0.00	68.47	0.01	0.00	0.00	0.01	0.11	0.00	5.31	0.28	99.99		滑石	滑石原石
B	1	3.18	13.17	76.79	1.88	2.14	0.86	0.28	0.00	0.01	1.69	0.00	100.00	Si		テストピース粘土のみ
	2	1.25	6.71	85.22	3.13	1.26	0.75	0.08	0.00	0.01	1.58	0.00	99.99	Si		
	3	3.19	17.98	62.69	4.13	2.82	1.48	0.38	0.00	4.19	3.14	0.00	100.00	Mn		
	4	3.37	15.22	59.83	7.46	2.37	2.47	0.35	0.00	6.31	2.60	0.01	99.98	Mn		
	5	4.21	16.09	64.45	3.34	1.92	1.12	0.35	0.02	0.07	8.43	0.00	100.00	Fe		
	6	2.63	17.30	60.80	7.03	3.93	2.21	0.73	0.02	0.05	5.29	0.01	100.00	Fe		
	7	3.82	17.86	68.43	2.56	2.99	1.29	0.45	0.00	0.02	2.57	0.00	99.99	粘土部		
	8	2.91	20.62	63.70	4.30	3.00	1.24	0.52	0.01	0.03	3.67	0.00	100.00	粘土部		
C	1	32.93	3.70	51.89	1.59	0.16	0.25	0.03	0.09	0.12	9.09	0.15	100.00	Fe	滑石	テストピース粘土：滑石粒（φ0.3～1mm）=1:1
	2	30.35	2.44	46.87	8.53	0.17	1.45	0.02	0.02	0.13	9.87	0.13	99.98	Fe	滑石	
	3	25.96	3.81	61.71	2.10	0.12	0.27	0.01	0.41	0.00	5.38	0.25	100.02	Fe(2)	滑石	
	4	26.08	0.90	64.78	2.19	0.01	0.30	0.01	0.17	0.00	5.31	0.24	99.99	Fe(2)	滑石	
	5	2.02	7.14	79.85	7.79	1.21	1.50	0.05	0.02	0.00	0.41	0.00	99.99	Si		
	6	3.92	16.90	63.90	6.28	5.18	1.84	0.23	0.02	0.00	1.70	0.02	99.99	K		
	7	25.71	1.72	7.76	3.41	0.16	57.60	0.05	0.01	0.10	3.46	0.03	100.01	Ca	滑石	
	8	16.03	8.65	41.23	4.06	0.48	0.95	0.21	13.24	0.00	15.02	0.12	99.99	Cr	滑石	
	9	30.56	10.69	44.03	2.93	0.12	0.49	0.05	2.07	0.00	8.92	0.13	99.99	Cr	滑石	
	10	5.95	17.16	65.65	4.77	1.93	1.77	0.39	0.03	0.01	2.32	0.03	100.01	粘土部		
	11	6.06	14.64	64.77	7.30	2.12	2.06	0.32	0.03	0.03	2.64	0.03	100.00	粘土部		
D	1	25.81	1.09	63.61	0.08	0.01	0.04	0.00	0.26	0.03	8.90	0.17	100.00	大型	滑石	熊野遺跡出土滑石含有繊維土器片
	2	24.02	2.95	60.21	0.00	0.01	0.01	0.04	0.21	0.02	12.25	0.29	100.01	大型	滑石	
	3	0.99	16.92	80.56	0.14	0.05	0.11	0.02	0.02	0.00	1.15	0.05	100.01	Si		
	4	3.52	2.07	90.63	0.12	0.09	0.03	0.20	0.15	0.01	3.15	0.03	100.00	Si		
	5	6.99	16.96	44.04	0.07	0.03	17.40	0.19	0.00	0.18	14.03	0.09	99.98	Ca		
	6	0.78	22.46	67.21	0.06	0.23	8.46	0.03	0.02	0.00	0.74	0.01	100.00	Ca	滑石	
	7	7.97	14.60	51.97	0.24	0.19	10.39	0.23	0.29	0.14	13.86	0.11	99.99	Ca	滑石	
	8	11.69	7.49	33.23	0.03	0.17	0.11	13.06	3.25	0.06	30.75	0.16	100.00	Ti	滑石	
	9	15.05	10.31	56.72	0.11	0.34	0.15	0.50	2.23	0.02	14.33	0.23	99.99	Cr	滑石	
	10	16.73	10.83	50.88	0.01	0.31	0.24	0.42	1.57	0.03	18.78	0.21	100.01	Cr	滑石	
	11	19.77	5.37	51.25	0.13	0.08	0.05	0.22	0.46	0.08	22.22	0.36	99.99	粘土部		
	12	15.66	13.19	53.07	0.20	0.49	0.17	0.52	0.55	0.04	15.82	0.29	100.00	粘土部		
E	1	1.32	4.29	94.07	0.08	0.11	0.04	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	100.00	Si	石英	熊野遺跡出土通常土器片
	2	0.00	3.28	96.47	0.03	0.07	0.06	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	99.99	Si	石英	
	3	2.38	16.40	74.64	0.00	1.62	1.47	0.36	0.00	0.02	3.11	0.00	100.00	P		
	4	0.85	16.59	68.18	0.05	13.25	0.26	0.28	0.00	0.00	0.54	0.00	100.00	K	長石類	
	5	1.04	16.80	70.02	0.09	10.97	0.20	0.59	0.00	0.00	0.29	0.00	100.00	K	長石類	
	6	2.28	23.95	63.19	0.04	0.32	8.48	0.10	0.01	0.00	1.65	0.00	100.02	Ca	長石類	
	7	2.10	22.46	67.01	0.04	0.32	7.61	0.01	0.00	0.15	0.30	0.00	100.00	Ca	長石類	
	8	1.72	25.27	62.68	0.20	1.25	2.64	1.69	0.02	0.04	4.48	0.00	99.99	Mn		
	9	0.00	11.48	85.89	0.10	0.58	0.19	0.32	0.54	0.00	0.91	0.00	100.01	Mn		
	10	3.45	22.99	58.28	0.18	1.08	1.48	0.83	0.01	0.55	11.16	0.00	100.01	Fe		
	11	11.33	12.26	50.84	0.12	0.91	8.15	1.12	0.01	0.67	14.59	0.01	100.01	Fe		
	12	2.85	26.56	63.04	0.24	1.74	0.61	1.04	0.00	0.01	3.91	0.00	100.00	粘土部		
	13	1.73	22.82	69.09	0.23	1.71	0.65	0.82	0.00	0.00	2.95	0.00	100.00	粘土部		

P-033

瑞浪市釜戸層から産出した琥珀と似た分子構造を持つ出土琥珀について

Study on the excavated amber with a similar molecular structure to the geological standard amber from the Kamado layer in Mizunami City

○植田直見((公財)元興寺文化財研究所)、渡邊緩子(日鉄住金テクノロジー株式会社)、
○Naomi Ueda(Gangoji Institute for Research of Cultural Property)、
Hiroko Watanabe(Nippon Steel & Sumikin Technology, Co., Ltd)

1．はじめに

昨年の大会で鹿児島県喜界町川寺遺跡出土琥珀が岐阜県瑞浪市産琥珀と非常によく似た分子構造を持つことを報告した。これまで出土琥珀の産地としては岩手県久慈市、福島県いわき市、千葉県銚子市などが主産地であり、瑞浪市産琥珀については報告例がほとんどなかった。なお、瑞浪市産の琥珀は年代的に新しくコーパル樹脂に近い性質を持ち、他の産出地の琥珀と分子構造が異なることがわかっている。

今回、国内の遺跡出土琥珀について、これまでと同様に赤外分光分析、熱分解-ガスクロマト/質量分析などを行った。その結果、件数は少ないが瑞浪市産琥珀と似た分子構造を持つ出土例が広範囲に亘って認められた。このことは同様な分子構造を持つ琥珀産地が瑞浪市以外に国内外で存在する可能性も示唆するが、瑞浪市産琥珀であることがわかれば、当時の交易を考える上では非常に興味深い。

2．資料

鹿児島県大島郡喜界町川寺遺跡、新潟県長岡市大武遺跡、北海道北見市常呂川河口遺跡から出土した赤褐色の樹脂状の塊を分析資料とした。これらはいずれも加工痕は無く表面は劣化が見られたが内部は比較的健全で透明感が残った状態であった。分析は遺物の健全な部分からごく微量をサンプリングし実施した。同様に瑞浪市釜戸付近から産出した資料も分析した。

3．方法

ATR-FTIR は全反射フーリエ変換赤外分光光度計（SENSIR TECHNOLOGIES 製 TravelIR)）を用い、極微量の試料をそのまま測定部に設置し検出器に DLATGS を用い、分解能 4cm^{-1}で測定した。

Pyro-GC/MS は JMS-Q1050GC 型 GC-MS（日本電子(株)製）を使用し、熱分解は EGA/PY-3030D 型熱分解装置（フロンティア・ラボ製）を使用した。測定は試料をガス化した後、Agilent J&W 製カラム（DB-1ms 60m×0.25mmI.D.×0.25μm）を使用し、EI 法により分析した。

4．結果および考察

出土遺物と標準試料の ATR-FTIR、Pyro-GC/MS（EI 法）の結果を図 1、2 に示した。ATR-FTIR、の結果を標準資料と比較した結果、現在産地の判明している資料では瑞浪市釜戸層から

産出した琥珀の分析結果に非常に近い結果となった。瑞浪市産の琥珀は年代的に新しくコーパル樹脂に近い性質を持ち他の標準産出地からの琥珀と分子構造がかなり異なる。次にこれらの分子構造を推定するため Pyro-GC/MS を行った。その結果、瑞浪市と類似した分子構造を持つ可能性が考えられた。

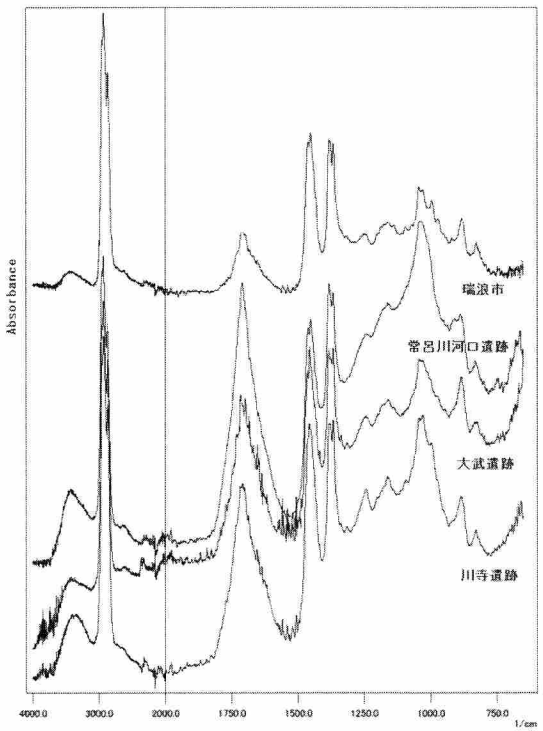


図１．出土琥珀と瑞浪市産琥珀の赤外吸収スペクトル

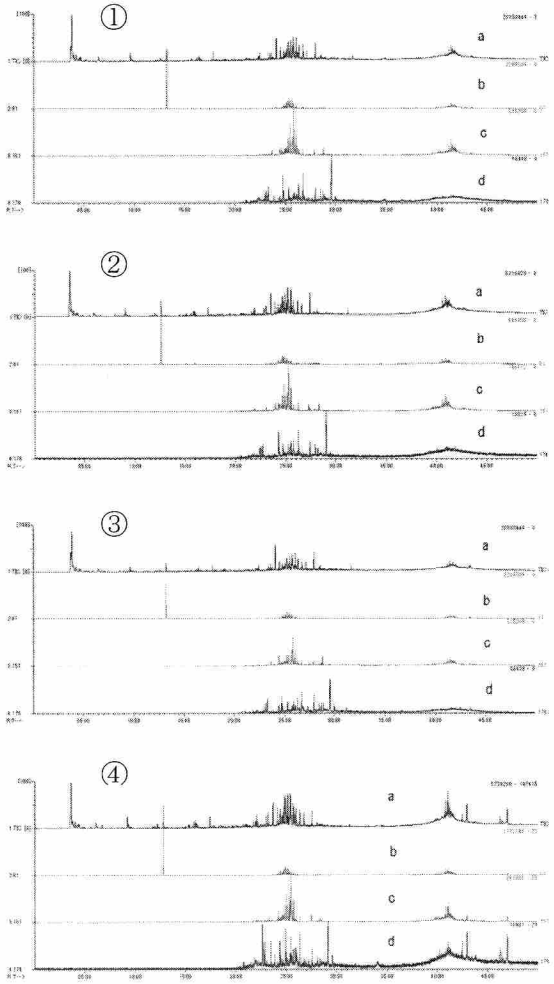


図２．出土および瑞浪市産琥珀の Pyro-GC/MS による分析結果
550℃におけるﾄｰﾀﾙｲｵﾝｸﾛﾏﾄｸﾞﾗﾑ(a)とﾏｽｸﾛﾏﾄｸﾞﾗﾑ（b：m/z=81、c：m/z=161、d：m/z=176）
①常呂川河口遺跡　②大武遺跡　③川寺遺跡　④瑞浪市釜戸層産琥珀

５．さいごに

今回、日本の広範囲で瑞浪市産琥珀とよく似た分析結果を持つ遺物が検出された。瑞浪市産の可能性が高い出土琥珀はこれまで報告例が少なく、交易を考える上で非常に興味深い。しかし、同様な分子構造を持つ琥珀産地が国内外で存在する可能性は残っている。そのため、少量産地などの分析を進めると同時に琥珀の分子構造を特定する必要があると考えた。今後は由来すると推測される樹木から流れ出た樹液やコーパル樹脂などを同様な方法で分析し比較したい。

最後に出土資料の分析を行う機会を与えていただきました喜界町教育委員会、（公財）新潟県埋蔵文化財調査事業団、北見市教育委員会、さらに瑞浪市釜戸層産出の琥珀を提供いただきました瑞浪市化石博物館のみなさまに感謝いたします。

P-034

エジプト、アブ・シール南丘陵遺跡出土のローマ・ビザンツガラスの化学組成分析による分類および起源推定

Classification and provenance estimation of Roman and Byzantine glass artifacts excavated from North West Saqqara、 Egypt by chemical compositional analysis

○内沼 美弥（東京理科大学）、阿部 善也（同）、中井 泉（同）、
河合 望（早稲田大学）、吉村 作治（東日本国際大学）

1. はじめに

古代ガラスの化学組成は、生産された地域や時代による原料の種類や採取地の違いを色濃く反映するため、化学組成分析による分類および起源推定が可能である。特に、地中海沿岸地域を中心に繁栄したローマ帝国（前 1～後 4 世紀）および初期ビザンツ帝国（後 4～7 世紀）で生産されたガラス製品は、融剤としてソーダ鉱物（ナトロン）を用いたソーダ石灰ガラス、「ナトロンガラス」に分類される。ナトロンガラスに使用されたナトロンは全てエジプトで採取されていたが、砂の採取地が地域・時代により異なるため、ナトロンガラスをいくつかの化学組成タイプに分類できることが明らかにされつつある[1-4]。

エジプトのアブ・シール南丘陵遺跡は、中期旧石器時代からビザンツ時代までの長期的な活動の痕跡があり、早稲田大学による継続的な発掘調査が続けられている。同遺跡からはローマ・ビザンツ期に年代づけられると思われるガラス片が多数出土しているが[5]、型式的な情報の少なさから“グレコ・ローマン時代”と包括的に扱われており、詳細な年代や起源（製造地）は不明である。本研究ではこれらのガラス片に対して可搬型分析装置による非破壊オンサイト蛍光 X 線分析を行い、化学組成に基づく分類と起源推定を行った。

2. 実験方法

分析資料は、エジプトのアブ・シール南丘陵遺跡より出土したグレコ・ローマン時代に年代づけられるガラス片 52 点である。化学組成分析には可搬型蛍光 X 線装置 OURSTEX 100FA-IV[6]を用いた。本装置は X 線の単色化機構を備え、古代ガラスの化学組成の特性化に有効な微量重元素を高感度に分析できる。加えて、検出器（SDD）の窓材の改良および真空チャンバーの搭載により、ガラスの主成分である Na や Mg などの軽元素も分析可能である。得られた蛍光 X 線スペクトルから、検量線法を用いて主成分から微量元素まで全 19 元素を定量し、出自の明確なローマ・ビザンツ期ガラスの化学組成の文献値[1-4]と比較することで、起源（製作地、時代）を推定した。全ての分析は非破壊で行われた。

3. 結果および考察

分析した 52 点のガラス片について、シリカ源由来の不純物に着目した化学組成の特性化を行った結果、23 点の Roman blue-green（RBG）type と 29 点の High Iron Manganese Titanium（HIMT）type という 2 種類の組成タイプに分類された。RGB type はローマ帝国期に生産さ

れたガラス製品に共通する普遍的な化学組成であり[1]、近年の研究によってイタリア南部を始めとする地中海沿岸の砂をシリカ源として用いていた可能性が示されている[4]。一方、HIMT type は Fe, Mn, Ti など様々な不純物元素を含む化学組成であり、後期ローマ帝国からビザンツ帝国期にかけて、エジプトのおそらくシナイ半島で生産された[3]。なお、ビザンツ帝国期には Levantine type と呼ばれる、現イスラエルのベルス川河口の砂を用いたガラスも生産されていたが[2]、分析した 52 点のガラスには Levantine type に分類されるものは存在しなかった。

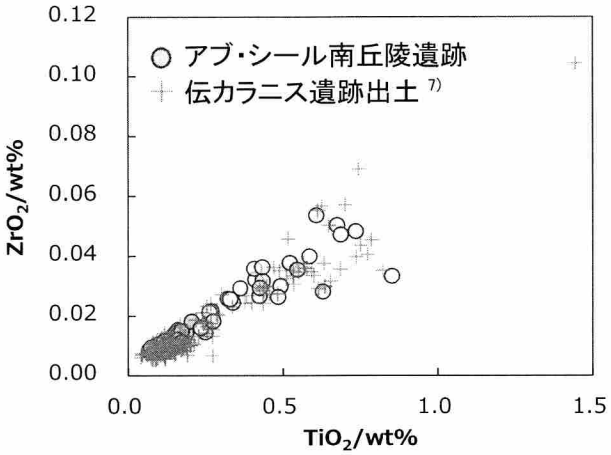


Fig.1 ZrO_2 vs. TiO_2 プロットによるガラス片の組成比較

Fig.1 に砂の不純物由来の元素である Ti と Zr の定量値（酸化物換算濃度）をプロットした。ここでローマ・ビザンツ期のエジプトにおけるガラス生産・流通の重要拠点であるカラニス遺跡で出土したとされるガラス片の化学組成[7]と比較したところ、両遺跡出土ガラスはきわめて類似した組成的傾向を示した。また各組成タイプの流通割合にも類似性が見られ、両遺跡のガラス流通に何らかの関連があった可能性が示された。

さらに古代ガラス生産では、シリカ源中に含まれる Fe による不本意な発色を防ぐために、消色剤として Sb や Mn が添加されていた。このうち Sb は、ローマ帝国期に生産された RBG type においてのみ使用が指摘されており[1]、本遺跡出土のガラスにおいても 3 点の無色透明ガラスから有意な量の Sb が検出された。これらの分析結果は、グレコ・ローマン時代として包括的に扱われていたアブ・シール南丘陵遺跡出土のガラス製品において、ローマ帝国期に製作されたガラスと、後期ローマ帝国からビザンツ帝国期にかけて製作されたガラスの双方が存在することを示している。

【参考文献】

1) H.E. Foster and C.M. Jackson: *J. Archaeol. Sci.* **36**, 189-204 (2009).
2) I.C. Freestone: in *Annales du 15e Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre. Corning, New York, 2001*, Nottingham, 111-115 (2003).
3) I.C. Freestone *et al.*: in *Annales du 16e Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre*. London, UK, 2003, Nottingham, 153-157 (2005).
4) D. Brems *et al.*: *J. Archaeol. Sci.* **39**, 2897-2907 (2012).
5) 早稲田大学エジプト学研究所 編:『アブ・シール南〔1〕』鶴山堂, pp.282-283 (2001).
6) 菊川 匡ら:『X 線分析の進歩』**40**, 325-336 (2009).
7) 内沼 美弥ら: 日本文化財科学会第 31 回大会において発表 (2014).

P-035

香川県安造田東３号墳出土モザイク玉の自然科学的研究
Scientific Study of a Mozaic Glass Bead from the Asoda-higashi No.3 Kofun in Kagawa

○田村朋美、大河内隆之（奈良文化財研究所）
○Tomomi TAMURA, Takayuki OKOCHI (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

１．　はじめに

1990年、香川県満濃町（現・まんのう町）の安造田東３号墳から特殊なモザイク玉が出土した。このようなモザイク玉は日本列島では類例がなく発見当初から注目されたが、内部構造や化学組成は明らかにされてこなかった。そこで、本研究では各種の自然科学的手法を用いて本資料の材質・構造調査を実施した。

２．　調査方法

本資料について、顕微鏡観察ならびにX線CT撮影をおこない製作技法を検討した。X線CT撮影には、マイクロフォーカスX線CT装置（SMX-100CT-D）を使用した。撮影条件は、管電圧100 kV、管電流100 μA、スライス厚0.01 mmである。基礎ガラスおよび着色剤の調査には、蛍光X線分析法（エダックス社製EAGLEIII）を適用した。X線源はMo管球、管電圧は20 kV、管電流は100 μA、X線照射径は112 μm、計数時間は300 秒とし、真空中で測定した。測定結果はガラス標準試料を用いて補正したFP法により規格化し、酸化物重量百分率で表した。また、ガラス中に含まれる結晶物質を同定するため、X線回折分析（リガク社製SmartLab）を実施した。励起用対陰極は銅（Cu）、管電圧は40 kV、管電流は30 mAである。

３．　結果と考察

製作技法　本資料は、表面から観察できる文様を手掛かりに、これまでにも製作技法の復元がなされている[1)]。本調査でも基本的にはこれまでの判断を追認する結果が得られた。すなわち、赤色ガラス棒に白色ガラスを被せ、さらに紺色ガラスを被せる。そして、その周りに白色の棒状ガラスを複数本付着させて一つのモザイク単位とする。これを７本束ねて一本のガラス棒とし、加熱しながら適当な大きさになるまで引き伸ばしたのち、適当な大きさに切断する。さらに切断片を再度加熱して軟化させ、芯棒を挿し込んで孔を作出したと考えられる（図１）。本資料は、両端面で開孔部の形状が異なるのが特徴であり、筆者らが包み巻き法と呼んでいる製作技法の特徴と共通する。これまでに日本列島で発見されている包み巻き法で製作されたガラス小玉のほとんどがローマ系のナトロンガラス製であることから、包み巻き法は西方のガラスと関係の強い製作技法であると考えている。

基礎ガラスの種類　蛍光X線分析の結果、本資料の材質はソーダガラスであり、さらにソーダガラスの材質細分の指標となるMgOとK_2O、CaOとAl_2O_3の含有量から、植物灰ガラス（Group SIII）[3)]に相当することが明らかとなった[2)]。さらに、植物灰ガラスの中でもMgO＞K_2Oで、かつMgOが多い領域にまとまる（図２）。MgO＞K_2Oの植物灰ガラスは、ササン系のガラスの特徴とされている[4)]。

着色技法　紺色部分に関しては、CoOが0.15-0.18%含まれていることから、コバルトイオンによる着色である。コバルト原料の不純物と考えられる成分については、MnOが0.06-0.12%と少なく、CuOを0.12-0.15%、PbOを0.13-0.26%含有する。このような特徴は、これまでに日本列島で確認されている一部の植物灰ガラス（Group SIIIC）のコバルト原料と類似する（図３）。ただし、本資料と類似のコバルト原料が使

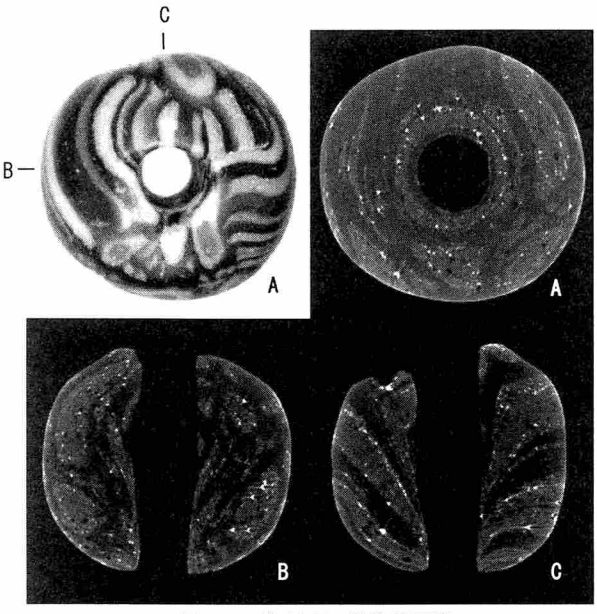


図１　モザイク玉のX線CT画像

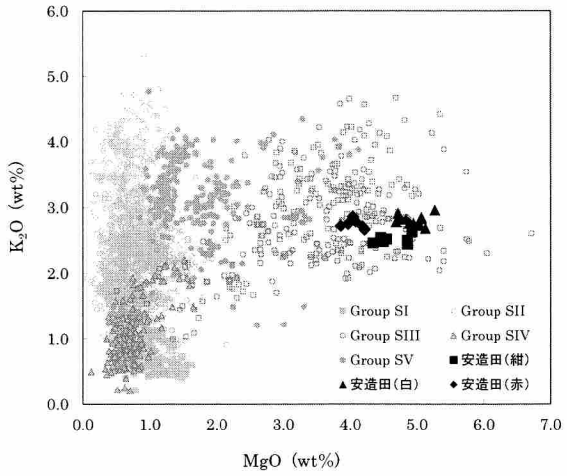


図2　基礎ガラスの材質分類（MgO vs. K_2O）

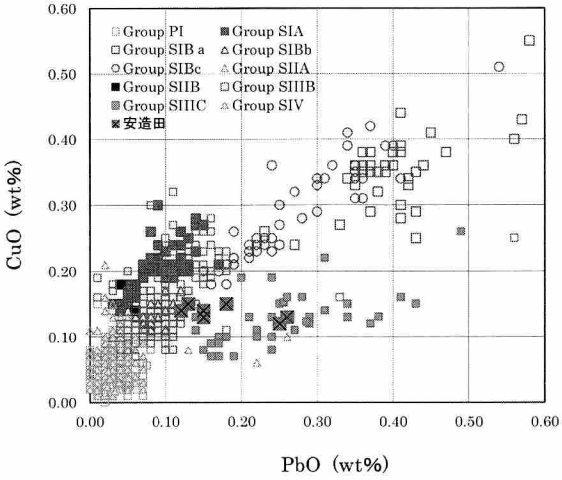


図3　コバルト原料の特性（PbO vs. CuO）

用されるのは、古墳時代後期末に出現する変則的な引き伸ばし法によるガラス小玉で、本遺跡の出土遺物には含まれていない。一方、白色部分は、紺色や赤色部分に比べて Fe_2O_3 が少なく MnO が多い。原料に不純物として含まれる鉄分をできるだけ少なくすることで、鉄イオンによる着色を避けるとともに、消色剤としてマンガンを意図的に添加していると考えられる（図4）。さらに、白色部分を顕微鏡下で観察すると、ガラス中に多数の白色粒子が認められる。この白色粒子のX線回折分析を実施したところ、酸化錫（SnO_2）と同定された（図5）。マンガンによる消色や酸化錫を利用した白濁は、地中海地域や西アジアの古代ガラスに一般的な技法である。赤色部分については、CuO が2.18-2.42%含まれており、色調およびX線回折分析結果から判断して、金属銅のコロイド着色と考えられる。（図6）。

以上のように、安造田東3号墳出土のモザイク玉の材質・構造調査を実施した結果、製作技法、基礎ガラスの種類、着色技法のいずれも西方地域のガラスと関係が強いことが明らかとなった。とくに、基礎ガラスの材質がササン系の植物灰ガラスであったことから、西アジアが本資料の生産地の第一候補となろう。

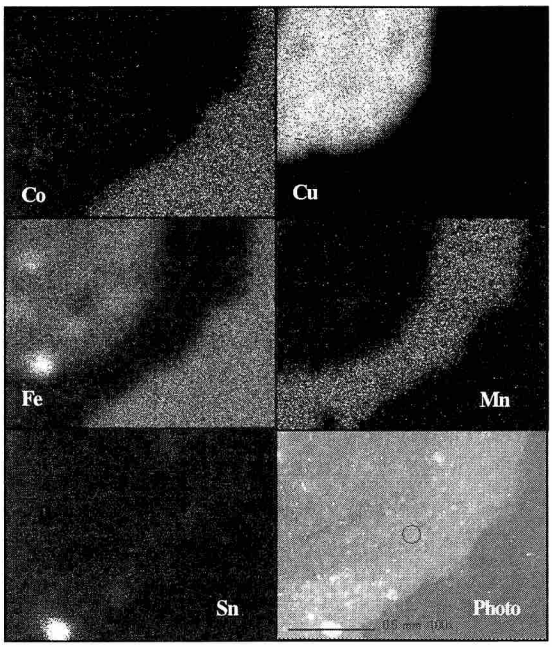


図4　モザイク部分の元素マッピング

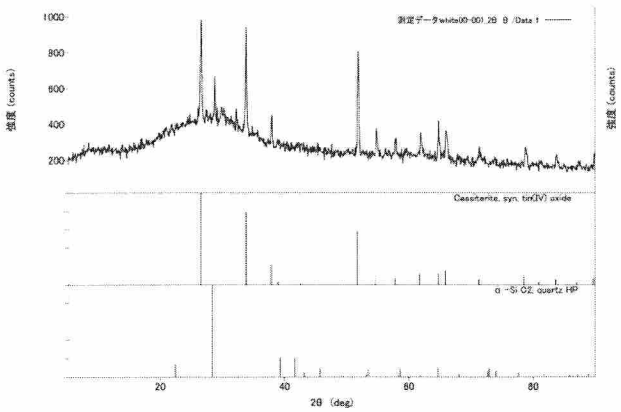


図5　白色部分（白色粒子）のX線回折チャート

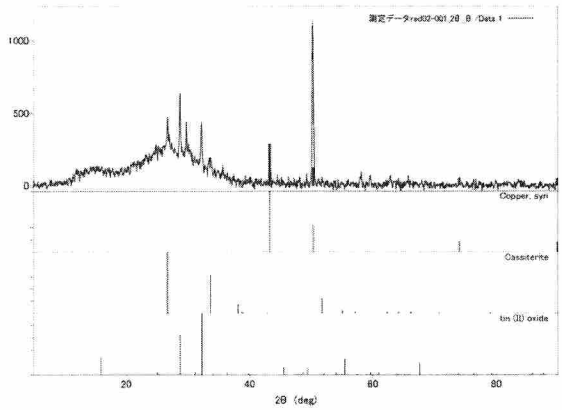


図6　赤色部分のX線回折チャート

1）谷一尚 2003「モザイクガラス円条文珠の本邦流入 - 香川県安造田東三号墳出土珠 - 」『美術史論集』第三号など。
2）分析値の詳細については、田村朋美・大河内隆之 2015「香川県安造田東3号墳出土モザイク玉の材質・構造調査」『奈良文化財研究所紀要』2015 参照。
3）Oga, K., Tamura, T. 2013. Ancient Japan and the Indian Ocean Interaction Sphere: Chemical Compositions, Chronologies, Provenances and Trade Routes of Imported Glass Beads in Yayoi-Kofun Period (3rd Century BCE-7th Century CE). Journal of Indian Ocean Archaeology, 9.
4）反対に MgO<K_2O の植物灰ガラスは中央アジア系とされる。Lankton,J,W., Lee,I., Kim,G., Kang,H. 2009. Bactrian Glass Vessels in Korean Tombs?. Annales du 17e Congres de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre,

P-036

シルクロードを旅したガラス器② —新沢千塚古墳群 126 号墳出土の紺色ガラス皿由来とされる破片の化学組成分析—

Glass vessel travelled the Silk Road Part II: Chemical compositional analysis of fragments identified as a deeply blue-colored glass dish excavated from a tumulus No. 126 at the Niizawa Senzuka Tumulus Cluster, Nara.

○阿部 善也（東理大・理），四角 隆二（岡山市立オリエント美術館），
八木 直人（SPring-8/JASRI），中井 泉（東理大・理）

1. はじめに

新沢千塚古墳群は，奈良県橿原市に位置し，600 基以上の墳墓より成る日本有数の古墳群である。1963 年，この古墳群の 126 号墳（5 世紀後半）より，淡緑色の切子ガラス碗と紺色のガラス皿（Fig. 1）が出土した[1]。現在これらのガラス器は共に重要文化財に指定され，東京国立博物館に収蔵されている。これらのガラス器について，出土直後に採取された破片を用いて国立科学博物館による化学分析が行われており[1]，その残りとされる破片が現在も国立科学博物館に保管されている。近年，我々は切子ガラス碗由来とされる破片に対して非破壊の蛍光 X 線分析を行い，昨年度の本大会で発表した[2]。本研究では，紺色ガラス皿由来とされる破片に対し，2 種類の蛍光 X 線分析法（微小試料用可搬型蛍光 X 線分析装置，高エネルギー放射光蛍光 X 線分析）を適用し，主成分から微量重元素までの詳細な化学組成を非破壊で分析した。得られた化学組成に基づき，その起源（製造地・年代）を推定した。

Fig. 1 新沢千塚古墳群 126 号墳出土紺色ガラス皿（東京国立博物館 蔵）

2. 実験内容

分析対象は，新沢千塚古墳群 126 号墳出土の紺色ガラス皿由来とされる微小破片である。紺色ガラス皿は直径 14.1～14.5 cm，高さ約 3 cm の円形の平皿で，同工の捻り出しによる高台はエジプトの Karanis にみられるなど，いわゆるローマ・ガラスの技法を踏襲しているものの[3]，器面には鳥・樹木・人物・馬などサーサーン朝～中央アジア的な図像が金彩で施された痕跡が認められるなど[1]，その起源について一定の見解をみない。

出土直後に比重・屈折率測定用に採取された粉末[1]の残りから，縦横 500 μm ほどの大きさの破片を選び出し，本研究の分析資料とした。本資料に対し，アワーズテック（株）と共同開発した微小試料用可搬型蛍光 X 線分析装置 100FA-V による分析を行った。本装置は Pd 管球から発生した白色 X 線をポリキャピラリにより直径約 200 μm に集光し，検出器窓材の改良および真空チャンバの接続により，微小試料中に含まれる Na までの軽元素を非破壊で定量することが可能である。さらに，本資料を大型放射光施設 SPring-8 の BL08W へと持ち込み，116 keV に単色化した高エネルギーX 線を励起源とする蛍光 X 線分析[4]により微量重元素を分析した。測定は全て非破壊で行われた。

3. 結果と考察

先行研究[1]により，この紺色ガラス皿はソーダ石灰ガラスに分類される化学組成を持つことが判明している。5世紀後半までにソーダ石灰ガラスの一次生産を行っていた地域として，地中海周辺を中心としたローマ～初期ビザンツ帝国と，メソポタミア～イラン高原のサーサーン朝ペルシアが挙げられる。両地域のガラスは化学組成から明確に区別でき，これは使用された原料の違いに起因する。特にソーダ融剤に関して，ユーフラテス以西ではエジプトで採掘された鉱物（ナトロン）を用いたのに対し，ユーフラテス以東では植物灰を用いたとされる。さらに，植物灰を用いたソーダ石灰ガラスの中に組成的特徴の異なるグループの存在が指摘されており，バクトリア（中央アジア）での一次ガラス生産を指摘する考えもある[5]。そこで，紺色ガラス皿由来とされる破片と，上記3地域で出土したソーダ石灰ガラス[5-8]について，植物灰由来で混入するMgおよびKの酸化物濃度を比較した（**Fig. 2**）。本資料はMgおよびKをほとんど含まず，融剤としてナトロンを用いた「ナトロンガラス」であることが明らかとなった。この結果は，この皿が地中海周辺地域起源である可能性を示している。該期のナトロンガラスに関して，微量元素に着目した化学組成の分類が行われており，本資料の化学組成は4世紀中期までのローマ帝国期に生産されたガラスの組成タイプに分類された。さらに高エネルギー放射光蛍光X線分析においても，本資料からローマ帝国期のガラスに特徴的な元素であるSbが検出された。

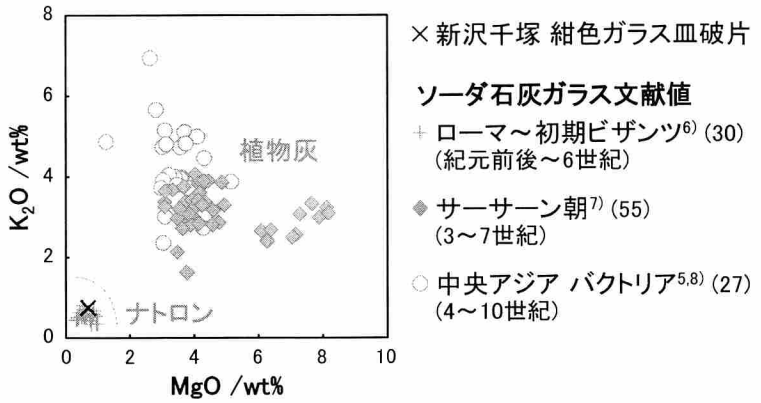


Fig. 2 新沢千塚出土紺色ガラス皿とされる破片と古代ソーダ石灰ガラスの化学組成比較（MgO *vs.* K_2O プロット）

以上より，新沢千塚古墳群 126 号墳出土の紺色ガラス皿由来とされる破片の化学組成分析により，このガラス皿が 4 世紀中期までのローマ帝国期に地中海周辺地域で製作されたものであった可能性が示された。これは我が国古墳出土のガラス器として，化学的にローマ由来と判断された初めての例である。同時に出土した切子ガラス碗はサーサーン朝起源である可能性が示されており[2]，シルクロードを行き交った品々の国際的性格を推測させる。

参考文献

1) 奈良県立橿原考古学研究所:『新沢千塚 126 号墳』(1977).
2) 阿部 善也ら: 日本文化財科学会第 31 回大会において発表 (2014).
3) 谷一 尚:『ガラスの考古学』第 2 版, 同成社 (2007).
4) 阿部 善也ら:『X 線分析の進歩』**45**, 251-268 (2014).
5) A.A. Abdurazskov: In *Ancient glass research along the Silk Road* (G. Fuxi *et al.* Eds.). pp. 201-220, World Scientific (2009).
6) H.E. Foster and C.M. Jackson: *J. Archaeol. Sci.* **36**, 189-204 (2009).
7) P. Mirti *et al.*: *J. Archaeol. Sci.* **36**, 1061-1069 (2009).
8) R.H. Brill: *Chemical Analysis of Early Glasses*. Corning Museum of Glass, Corning (1999).

P-037

中世梵音具の製作技法解明における三次元データの活用方法

Utilizing Method of 3D Data to Analyze Manufacturing Techniques of Medieval Buddhist Instruments

○田中 麻美、望月 規史、赤田 昌倫（九州国立博物館）

1. はじめに

梵音具とは音を出す仏具のことである。その中でも梵鐘や鰐口、雲版は金属で造られている。今回、高精細な三次元データを鋳銅製の梵音具、特に音を鳴らす際に叩く部分である撞座に適用してみた。撞座は鋳物師の特徴がよく表れる部分であるが、従来、実測図や写真を照合することで型押しで作られたものか、1つずつ手で作製したものか判断せざるを得なかった。本報告では資料の三次元データを用いて偏差を視覚的に表し、型押しで作られたものを判別できるか調査を行ったのでその結果について報告する。

2. 調査方法と資料

三次元計測は非接触光学式三次元デジタイザ(ATOSⅢ Model400/GOM 社)を使用した。資料の表、裏面の撞座の三次元データを重ね合せ立体的に比較を行い、偏差を計算しカラープロットにより視覚的に表示する。本報告では撞座の模様に合わせて片方のデータを数回回転させ、各場合において偏差の計算を行っている。なお計測時の精度は点間ピッチ0.05mm である。

本報告での調査資料は、平成26年度に九州国立博物館で行われた特集展示「「鳴りもの」の世界—九州ゆかりの梵音具を中心に」で展示された鰐口である。本資料は山口県下関市、美榮神社所蔵の品で、天文元年(1532 年)に製作されたものである。

3. 調査結果

資料の写真を図1に、撞座の三次元画像を図2に、調査結果を図3に示す。なお音を鳴らす際に叩く撞座であるが、鰐口は銅と錫の合金であり非常に硬い材質であるため、大きな衝撃が加わらない限り変形はしないものとする。これを前提として偏差のカラープロットを見ると、撞座全体にわたって偏差は約±0.2mm であり、非常に小さい。このことから本資料の撞座は木型で作製された可能性が極めて高い。なお偏差が最少となったのは図2の表面☆の蓮子と裏面③の蓮子を重ねた時であった。この結果から型そのものに上下左右の厳格な向きはなく、デザイン的に表裏面で同じ向きになるようにされていたと思われる。また撞座に表されている蓮の単弁、間弁、蕊の一単位ごとの角度はそれぞれおよそ45°、45°、8°であった。各単位が均等に割り付けられ非常にまとまっていることから、撞座のデザインは繊細に計算されて作られていたと推測できる。

4. まとめ

本報告では三次元データを用いて立体的に比較することにより、対象とする撞座部分の製作が手によるものか、型押しによるものか判断することができた。今後の課題としてまずデータの蓄積が挙げられる。本報告の手法を用いて調査を進めていくことにより、別個体で同じ型を使用しているものが見つかる可能性がある。複数の個体で使用されている型があれば、それらに用いられている型がどの時期や期間にわたって使用されたのか、またどのような製品に型を適用しているのか調べることができる。その結果から、中世梵音具の製作技法解明に迫ることができるであろう。別の課題として、本報告の手法を用いて得られる結果の判断が挙げられる。現在までの研究成果や現代の鋳物づくりなどを参照し、結果をどのように判断するか更なる考察を行うことが必要である。

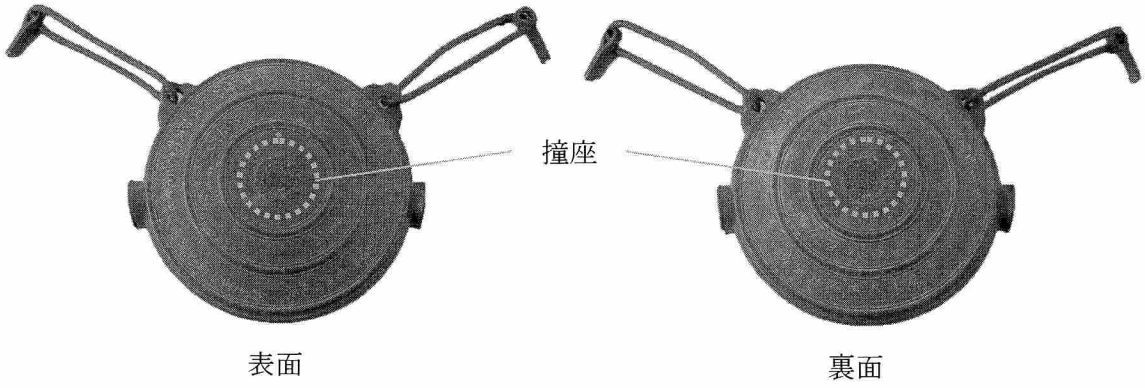


図 1. 美榮神社　鰐口

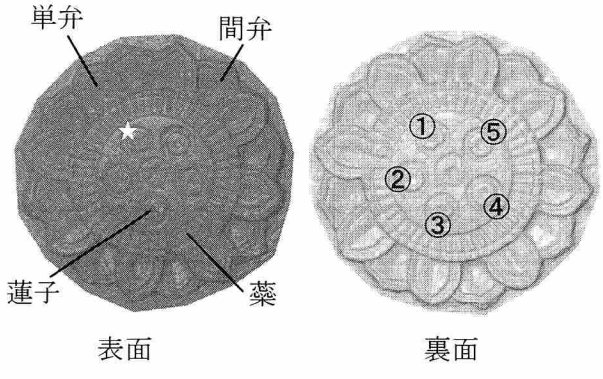


図 2. 撞座の三次元画像

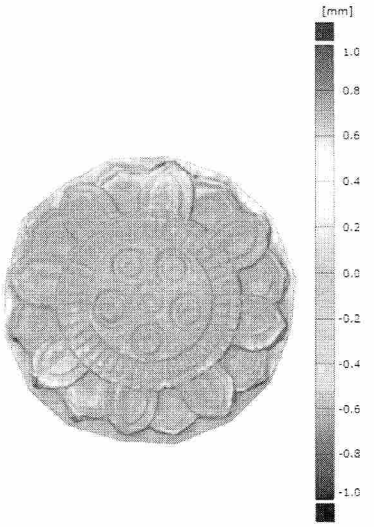


図 3. 結果

P-038

Comparative Study on Physical Characteristics of the Lacquer Wares Materials: The Clay Ash and Gok-su

張銀靜* (韓国伝統文化大学 文化遺産融合大学院 修理復元学科), 朴庭蕙**, 金洙喆[1]
(韓国伝統文化大学 保存科学科)

Eun Jeong Jang *、Jung Hae Park**、Soo Chul Kim[1]
*Department of Heritage Conservation & Restoration, Graduate School of Convergence Cultural Heritage, The National University of Cultural Heritage, **O-won Conservation of Cultural Heritage, [1]The National University of Cultural Heritage

[1]Corresponding Author: oldforest@nuch.ac.kr, +82-41-830-7366

1. Introduction

In Korea, there are lots of lacquer wares objects but there are no certain methods for restoration and conservation for it. For correct conservation treatments, understanding of materials for restoration are needed. In manufacture process for lacquer wares, covering Toheo over the object is very important. Many of lacquer wares were treated; however, there are no certain studies for lacquer wares restoration materials. Because of characteristics of lacquer wares, it is hard to expect reversibility, development of restoration materials are needed.

2. Experiment Materials and Methods

In this study, experiment materials are clay, wood powder, charcoal power, rooftile powder and rice starch, which are Toheo and Gok-su. Mixture ratios are shown below.

Table . List of samples (The thickness was indicated by the number after the sample).

Sample	Type	Condition of mixture (Volume Fraction)
LSA	Clay	lacquer : clay = 1 : 1
LSB		lacquer : clay = 1 : 2
LSC		lacquer : clay = 1 : 3
LWA	Wood powder	lacquer : clay : wood flour = 1 : 1 : 1
LWB		lacquer : clay : wood flour = 1 : 2 : 1
LWC		lacquer : clay : wood flour = 1 : 3 : 1

LCA	Charcoal Powder	lacquer : clay : charcoal powder = 1 : 1 : 1
LCB		lacquer : clay : charcoal powder = 1 : 2 : 1
LCC		lacquer : clay : charcoal powder = 1 : 3 : 1
LRA	Rooftile Powder	lacquer : clay : roof tile powder = 1 : 1 : 1
LRB		lacquer : clay : roof tile powder = 1 : 2 : 1
LRC		lacquer : clay : roof tile powder = 1 : 3 : 1
LMA	Rice starch	lacquer : rice starch = 1 : 1
LGA		lacquer : rice starch : wood powder = 1 : 1 : 1

These materials will be compared by chromaticity, impact resistance and polishing rate. Samples were made by clay and water by 1:1 volumetric ratio (Toheo). Tehoe were covered by lacquer (Wood power, Charcoal powder and rooftile powder were added). Size of samples were 30mm×30mm (Thickness: 2, 4, 6, 7mm).

3. Result

Toheo Samples showed the fastest drying speed outpacing wood powder samples, charcoal samples, rooftile sample, Gok-su samples and rice starch samples. When the ratio of clay increased, cracks were indentified. Identify the chromaticity of samples, when the ratio of Toheo increased, b* and brightness were increased too.

When the ratio of clay decreased, the impact resistance was increased. Gok-su samples show high impact resistance compared by other samples.

When the ratio of clay increased, the polishing rate increased too. Also wood powder samples and charcoal powder samples show high polishing rate. Woodtile sample shows lowest polishing rate.

4. Conclusion

Mixture of wood power and rice starch (Gok-su) were most appropriate for restoration material. Mixture of charcoal, Gok-su and mixture of rice starch shows highest polishing rate, so it could be use for restoration in irreversibility parts. Selecting appropriate restoration materials by condition of lacquer wares are very important. Therefore, study for coefficient of contraction on restoration materials are needed

P-039

DNA 解析を応用した美術工芸文化財の素材同定に関する研究

An Applied Study Using DNA Analysis for the Material of the Art Objects

○関根理恵[i]　辻　賢三[ii]　逢沢峰昭[iii]　安藤孝一[ii]
○Yoshie SEKINE、 Kenzo TSUJI、 Mineaki AIZAWA、 Koichi ANDO

はじめに

従来、美術工芸文化財の素材同定に関する研究では、外観観察や顕微鏡観察など目視に依存した素材同定が行われている。しかし、精度が低い点と必要試料量が多い点に問題がある。

近年、埋蔵文化財の分野で、種子や米などの遺物に対して DNA 分析による素材同定が行われるようになった。この実験手法の利点は、少試料で素材の同定が可能な点にある。現時点では、文化財の素材同定のための DNA 分析は、未開発の部分が多く、黎明期であるといえる。そこで、埋蔵文化財の分野で開発されつつある科学的実験手法を、有機質素材で構成される美術工芸文化財へ応用し、従来の方法よりサンプル採取によるダメージが少ない素材同定方法の開発を目標とし、基礎的研究に着手した。

実験計画：

美術工芸品の DNA 分析は、DNA の抽出、目的 DNA の増幅、塩基配列を決定のステップからなる。DNA 増幅には、現在の分子生物学では最もポピュラーな PCR（Polymerase Chain Reaction）法を用いる。これによって簡便にごく微量の DNA サンプルから特定の DNA 断片を短時間に大量に増幅させることができる。また、塩基配列の決定には、ダイレクトシーケンス法を用いる。これらの手法で得られた塩基配列をデータベース検索し、素材の同定を行う。

材料：乾燥亜麻（コルトレーン産）、乾燥大麻（栃木県粟野町産）、乾燥苧麻（滋賀県愛知郡愛荘町産）、綿糸（エジプト産）、江戸期木造彫刻下地布（日本産）、蚊帳（1920 年代購入）、粗目麻布（1980 年代後半購入）、中目麻布（1980 年代後半購入）、現代麻（2014 年購入）、リネンガーゼ（2014 年購入）を用いた。

DNA 分析

1）DNA 抽出

DNA 抽出は、DNeasy Plant Mini Kit（Qiagen）を用いて 2 つの方法で行った。供試繊物を金属剪刃で細断した後、1 つは乳鉢内で液体窒素を用いて粉砕し、キットの抽出プロトコルにしたがって DNA を抽出した。2 つ目の方法は、細断した繊物をキットの AP1 バッファーに 3 日間振盪した後に、抽出プロトコルにしたがって DNA を抽出した。抽出した DNA は濃度測定後、TE バッファーを用いて希釈し、鋳型 DNA を調製した。

2）葉緑体 DNA の PCR 増幅と塩基配列の決定

葉緑体 DNA の *rbcL* 遺伝子の塩基配列を決定した。古い繊物では、DNA が経時的に劣化（分解・低分子化）している可能性も高いことから、*rbcL* 遺伝子の短い断片を増幅するプライ

マー（Murphy et al. 2011）を用いた。PCR反応液は全量が15μlとなるように試薬調製した。内訳は、10 ng鋳型DNA、1×PCRバッファー、0.2 mMの各dNTP、1.5 mMのMgCl2、0.6 μMのForward（*rbcLF2*：5'-TGTTTACTTCCATTGTGGGTAATG-3'）およびReverse（*rbcLR3a*：5'-TTCGGTTTAATAGTACAGCCCAAT-3'）の各プライマー、0.5 U Taq polymerase（Promaga）である。

PCR増幅は以下の条件で行った。まず、予熱を94°Cで1分間行った。その後、1サイクルにつき熱変性を94°Cで45秒、アニーリングを60°Cで45秒、伸長を72°Cで1分とし、これを35サイクル行った。サイクル終了後の後伸長は72°Cで5分とした。PCR増幅にはGeneAmp PCR system 2720(Applied Biosystems)を用いた。得られたPCR産物をExoSAP-IT（GEヘルスケア・ジャパン）を用いて精製後、ABI PRISM BigDye Terminator version 3.1 Cycle Sequencing Kit（Applied Biosystems)を用いて、サイクルシーケンス反応を行った。反応サイクルは上記キットのマニュアルに従った。塩基配列の決定は、宇都宮大学ゲノミクス教育研究センターに委託し、DNA オートシーケンサーGeneScan ABI3500（Applied Biosystems)による解析を受け、塩基配列データを所得した。

DNAの塩基配列はBIOEDIT 7.1.3.0（Hall 1999）のCLUSTAL_W（Thompson et al. 1997）および目視によってアライメントした。

3）塩基配列の検索と種同定

各個体の塩基配列データをBLAST（Basic Local Alignment Search Tool）(http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi)を用いて検索し、同一性（%）の値から植物種の同定を行った。

結論

DNA分析の結果、江戸期木造彫刻下地布および蚊帳をのぞくすべての織物およびその素材において、葉緑体DNAの*rbcL*遺伝子の塩基配列（95〜184塩基対）を決定することができた。素材として分析した苧麻、亜麻、大麻から得られた塩基配列に対してBLAST検索の結果、それぞれ、苧麻と推定した植物は、カラムシなどのイラクサ科ヤブマオ属（*Boehmeria*）植物、亜麻は、アマ科アマ属（*Linum*）、大麻は、アサ科アサ属（*Cannabis*）の植物として99%の同一性でヒットした。このことから、葉緑体の*rbcL*遺伝子の当該領域を用いることで、素材植物種の同定が可能と考えられた。また、織物についても荒目麻布、現代麻、およびリネンガーゼから得られた塩基配列に対して、前二者はヤブマオ属、残りの二者はアマ属の植物種がヒットしたことから、前二者の素材は苧麻、残りの二者の素材は亜麻であると考えられた。一方、今回の実験では、江戸期制作の木造彫刻の下張りに使われていた布や、1920年代の蚊帳の塩基配列が決定できなかった。保存環境や経年によるDNAの劣化が関係していると考えられる。したがって、劣化した有機質素材に対する抽出方法についての検討が必要と考えられる。今後は、様々な保存状態の試料や様々な年代試料を用いて比較実験を行っていきたい。

※本研究は、出光文化福祉財団より研究助成を受けました。深謝いたします。

i)江戸川大学　ii)東京藝術大学大学院美術研究科　iii)宇都宮大学

P-040

江戸時代に製作された柄鏡の蛍光X線分析

Fluorescent X-ray Analysis of Handheld Mirror Manufactured in Edo period

○ 大江克己（奈良国立博物館）、栗田美由紀（奈良大学通信教育部非常勤講師）

○ Katsuki Ohe[1]、Miyuki Kurita[2]

(Nara National Museum[1], Contract teacher of Nara University Correspondence education department [2])

1.緒言

柄鏡は、江戸時代前期[1]から後期にかけて、庶民に流通する青銅製の柄付き鏡である（図1）。鏡背には、鈕を持たない変わりに一面に図像が施され、実用品のみならず美術工芸品としても親しまれてきた。そのため、風習や流行等の庶民生活の一端を反映している資料である。現在までの主な研究として、図像や銘に関する研究・鋳造史の研究・形態的研究が行われている。その中でも、形態的研究は、“前期から後期にかけて、鏡面の拡大に伴い柄は短小となる“という変遷傾向を、数量的に示した点で重要である。しかし、通説等の実証を含め、変遷の実態をより明確にする上で、材質等の科学分析の必要性が指摘されるが実施例は少ない。

以上の背景を受けて、今回、奈良大学博物館が所蔵する柄鏡の蛍光X線分析を実施した。本発表では、その分析結果について報告を行いたい。

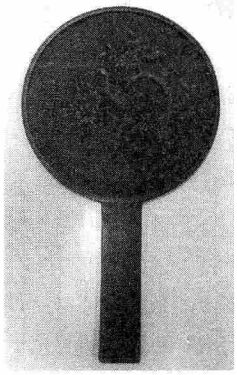


図1.柄鏡の様相
（桜樹尾長鳥図鏡）

2.柄鏡の変遷傾向と分析の着目点

今回の分析では柄鏡の通説に焦点を当てている。柄鏡の通説として、“後期頃にかけて柄鏡の需要の増加と共に、踏返して製作した粗悪な柄鏡が量産される”との認識がある[2・3]。これは、踏返し鏡として、前期や中期の特徴（形状・銘・図像）を備えた同形態の柄鏡が、量産化の影響で再出すると解釈できる。また、変遷傾向について、先行研究では、柄鏡の総長に占める鏡面の割合に着目した検討がなされている[3]。この検討を前期・中期・後期の3分割にまとめると概ね次の通りとなる。①.**前期**：総長に占める鏡面の割合が50%以下、②.**中期**：総長に占める鏡面の割合が55%前後、③.**後期**：総長に占める鏡面の割合が60%以上

上記の通説と変遷傾向を踏まえ、分析の着目点を次の2点に設定した。

A).江戸時代前期から後期に製作された柄鏡の、変遷に則した分析値の推移傾向

B).江戸時代中期及び後期に製作された、同形態の柄鏡の分析値の比較

また、先行研究から、江戸時代末期の鏡問屋 金森恒七家の卸売値の記録を分析の参考としている[2]。この記録によると、柄鏡には“誂・似・紛・本間・又・並・彦”の段階があり[4]、金質（材質）について記載がある。“誂”は白銅を新合し、“似”及び“紛”は、新合の湯に錫を添加する。“本間”については古鏡地金に錫を加え、“又”以後については古鏡、あるいは古鏡等に鉛を添加すると記されている。この記録から末期頃の原料の状況について読み取れ、推移や比較を今回の視点とすることから、銅・錫・鉛・ヒ素の各元素に着目した。

3.柄鏡の選定

上記着目点および変遷傾向・図像・銘の先行研究に基づき、以下の条件に該当する鏡を各2面選定した。

a.**前期**：「天下一」の銘、或は松樹図を有するもの。また、総長に占める鏡面の割合が50%以下のもの

b.**中期**：銘が鮮明で樹木や花の図像・蓬莱図を有し、総長に占める鏡面の割合が55%前後のもの

c.**後期**：踏返しにより製作された柄鏡（踏返し鏡）であり、総長に占める鏡面の割合が55%前後のもの

上記A).の知見を得るため、条件a～cの分析値を検討する。また、上記B).について知見を得るため、条件bと条件cの分析値を検討する。条件cについては、変遷傾向である“総長に占める鏡面の割合が60%以上”ではないものを選定した。これは、上記B).の知見を視座するためである。表1に選定した柄鏡を示す。

【註】1).これ以降、“前期”等の時期の記載は江戸時代中の時期を示す。また、形態的研究（註3）に併せ、天和2年(1682年)から安永元年(1772年)の間を中期と捉え、その前後を前期・後期と捉える。 2).広瀬都巽 1974『和鏡の研究』角川書店 3).前田洋子 1977「柄鏡の変遷古家コレクション及び大阪市立博物館所蔵の資料を中心として」『大阪市立博物館研究紀要 第9冊』 大阪市立博物館
4).段階について、誂の質が最も良く、彦に移行するにつれて粗悪となる。

4.分析条件

今回の分析では、選定した各柄鏡に対して、鏡面・鏡背共に３点（計６点）の測定を実施した。以下に測定条件を記す。

装置：エダックス製 Eagle II
エネルギー分散型蛍光Ｘ線分析装置
（奈良大学保存科学研究室 設置）

表 1.選定した柄鏡

名称	時期	総長 (cm)	鏡面の直径 (cm)	総長に占める鏡面の割合(%)
松樹図鏡	江戸時代前期	18.8	9.0	47.9
松樹図鏡		18.2	9.3	51.1
桜樹尾長鳥図鏡	江戸時代中期	19.9	11.3	56.8
蓬莱鏡		21.3	12.1	56.8
山水楼閣図鏡	江戸時代後期	19.9	11.7	58.8
若松南天図鏡		21.4	12.0	56.1

電圧：30kV　電流：500μA　管球：Cr　測定時間：240sec　測定環境：大気中　コリメーター：0.1mm

5.結果と考察

測定結果を図2～7に示す。紙面の都合上、図中では鏡面・鏡背の分析値の区別を示してはいない。なお、松樹図鏡（表１下）の鏡面、若松南天図鏡の全面のみヒ素（As）は検出されなかった。

A).変遷に則した分析値の推移傾向：図2～4より、全体的な傾向として、銅（Cu）の値は徐々に上昇し、錫（Sn）の値は徐々に低下する傾向が確認できる。また、図5～7より、前期と比較し、中期・後期については、全体的に鉛（Pb）やヒ素（As）の値が高くなる傾向が確認できる。これらの傾向と青銅製である点・通説（後期頃にかけて柄鏡の需要の増加と共に、踏返して製作した粗悪な柄鏡が量産される）を併せて考察すると、この分析結果は通説での認識を反映する結果であると推測される。

B).同形態の柄鏡の分析値の比較：選定の条件と表１より、中期及び後期の柄鏡は同形態の柄鏡である。図3・図4より、錫（Sn）の値に差が確認できる。図6・図7より、ヒ素（As）に有無があるが、鉛(Pb)の値に特徴は見られない。これは、同形態の柄鏡でも材質に違いがあることを示す結果と推測する。また、図4より、若松南天図鏡の錫の値が中期と近い点は、踏返し鏡の段階差を示す可能性がある。分析値の蓄積が必要であるが、錫等の値への着目は、同形態の鏡の分類・踏返し鏡の段階の分類に有効であると推測される。

6.結言

本発表では柄鏡の蛍光Ｘ線分析を実施した。分析の結果、従来の通説に沿う結果を取得し、同形態の鏡や段階の分類に有用な知見を得た。今回の結果は６点の柄鏡のみであるため、今後、点数を増やした分析値の蓄積が必要であり、他の元素を考慮した詳細な分析結果も重要となる。今後の研究の進展に期待したい。

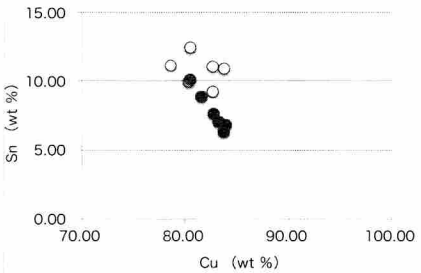


図2.江戸時代前期の分析値（Cu・Sn）
（●:松樹木図鏡(表１上) ○:松樹木図鏡(表１下)）

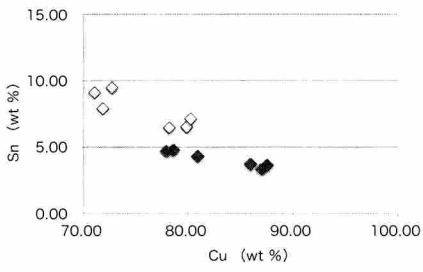


図3.江戸時代中期の分析値（Cu・Sn）
（◆：桜樹尾長鳥図鏡 ◇：蓬莱鏡）

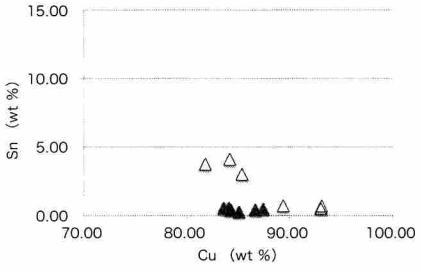


図4.江戸時代後期の分析値（Cu・Sn）
（▲：山水楼閣図鏡 △：若松南天図鏡）

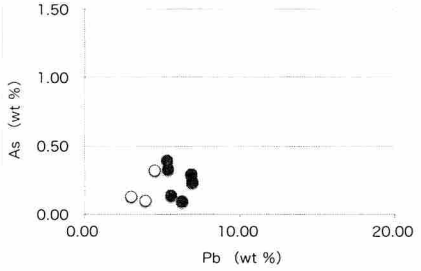


図5.江戸時代前期の分析値（Pb・As）
（●:松樹木図鏡(表１上) ○:松樹木図鏡(表１下)）

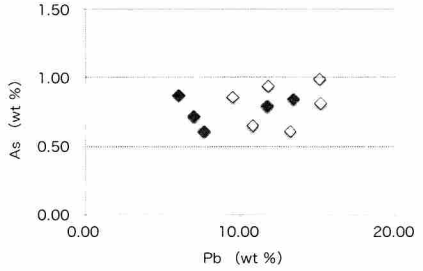


図6.江戸時代中期の分析値（Pb・As）
（◆：桜樹尾長鳥図鏡 ◇：蓬莱鏡）

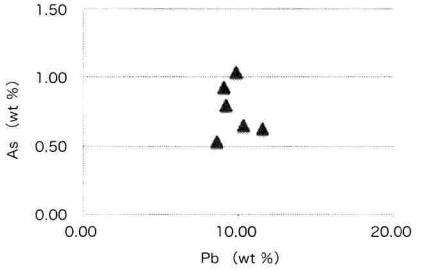


図7.江戸時代後期の分析値（Pb・As）
（▲：山水楼閣図鏡 △：若松南天図鏡）

【謝辞】本発表を行うにあたり、奈良大学博物館館長 坂井秀弥氏、同博物館嘱託学芸員 安藤真理子氏・納田敬吾氏にご協力を頂き、また、西山要一氏にご助言を頂きました。ここに記して感謝の意を捧げます。

P-041

ベンガラ粒子の形態からみた北関東の前期古墳出土の丹塗土器について

Research on the pottery colored by Bengala from the viewpoint of particle morphology of red iron oxide in early Kofun tombs at North Kanto.

志賀智史(九州国立博物館)／SHIGA Satoshi(Kyushu National Museum)

1. はじめに

赤色顔料の原産地や生産、流通、使用、またこれらを担った社会や集団とは？。筆者はその解明の第一歩として、赤色顔料の一つであるベンガラについて、粒子形態の分類をもとに編年や地域性の検討を行っている。今回は、北関東の前期古墳から出土した丹塗土器について興味深い知見を得たので報告したい。

1. 資料

資料は群馬県太田市にある古墳時代前期後葉(以下「時代」を省略)の方墳、成塚向山1号墳(群馬県埋文 2008)から出土した丹塗土器 21 点である。本資料は、報告書に掲載された土器全点、250 点の中から2の調査を経て筆者が選び出した。なお、ここで言う丹塗土器とは土器焼成前にベンガラを塗布し、焼成時の熱で器壁に固着させたものである。

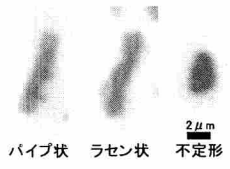
2. 調査方法

資料の保管先に赴き、携帯型実体顕微鏡(20 倍)を用いて赤色顔料付着の有無を観察した。赤色顔料が認められたものから許可を得てサンプリングした。研究室での調査は、最初に実体顕微鏡(7-100倍)で現地調査の所見を再確認した後、生物顕微鏡用試料の作成を行った。次に生物顕微鏡(40-1000倍)で粒子の色調と形態の観察を行った。試料作製方法ならびに観察方法は前報(志賀 2014)によるが、今回のプレパラート作成枚数は、1資料につき1枚とした。さらに蛍光X線分析で主成分元素の測定を行った。これらの結果を総合して赤色顔料の有無とその種類を判別した。ベンガラであった場合には粒子形態も判別した。

3. ベンガラの分類

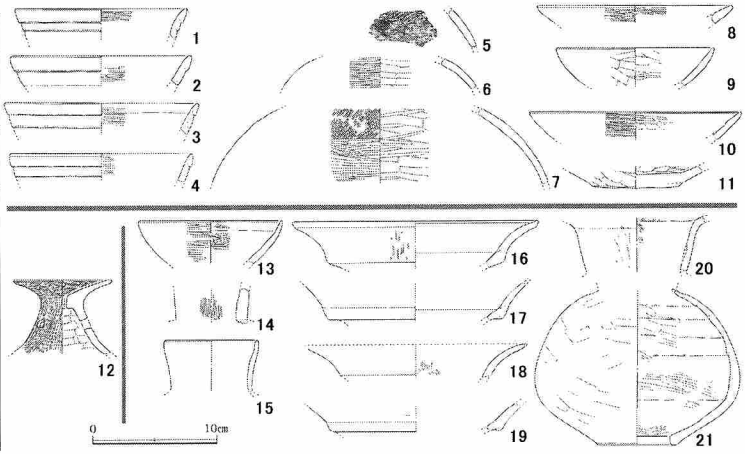
ベンガラは、パイプ状の粒子を含むもの(ベンガラ(P))、ラセン状の粒子を含むもの(ベンガラ(R))、特徴的な形態の粒子を含まないもの(ベンガラ(不定形))の3つに分類した(左下写真参照)。

パイプ状の粒子については、鉄細菌 *Leptothrix* の鞘と考えられている (岡田 1997)。ラセン状の粒子については、その形態が鉄細菌の一つである *Gallionella* に類似している。両者は、現生しており、最も検出されやすい鉄細菌とされる (上野 1995)が、出土ベンガラとしては、後者は非常に稀である。



ベンガラ(不定形)は、球状、鱗片状、カリフラワー状など多様な形態を持ち、これらが共存していることが多い。原料は不明であるものの、特徴的な形態の粒子を持たない点から、褐鉄鉱や赤鉄鉱、磁赤鉄鉱、磁鉄鉱などの鉄鉱石が原料になったと考えられている。

図	報告書図	器種	時期（前期）	ベンガラの種類
1	121	甕？（吉ヶ谷式系）	前葉	ベンガラ（R）
2	123	甕（吉ヶ谷式系）		
3	131	甕（吉ヶ谷式系）		
4	132	甕（吉ヶ谷式系）		
5	125	壺（吉ヶ谷式系）		ベンガラ（不定形）
6	126	壺（吉ヶ谷式系）		
7	127	壺（吉ヶ谷式系）		
8	120	高坏		ベンガラ（P）
9	124	高坏（東海系）		
10	128	高坏（弥生系）		
11	122	壺		
12	118	器台（東海系）	中葉	
13	130	高坏（東海系）	後葉	
14	119	小型壺		
15	263	小型壺		
16	231	二重口縁壺（東海系）		
17	232	二重口縁壺（東海系）		
18	233	二重口縁壺（東海系）		
19	234	二重口縁壺（東海系）		
20	235	二重口縁壺（東海系）		
21	10	底部穿孔壺（東海系?）		



4. 調査結果のまとめと考察

本古墳の丹塗土器で採用されたベンガラは、ベンガラ(R)が4点、ベンガラ(不定形)が3点、ベンガラ(P)が14 点であった。報告書では、これら土器の型式と出土層位の関係が十分検討されており、詳細な編年が行われている。ここではその対応関係から今回の調査結果を検討してみたい。

古墳前期前葉では、ベンガラ(R)が4点、ベンガラ(不定形)が3点、ベンガラ(P)が4点であった。ベンガラ(R)が採用された土器は、口縁部に輪積み装飾が施された甕（1-4）で、埼玉県中部に分布する弥生時代後期の吉ヶ谷式土器の系統を引く吉ヶ谷式系の土器とされる。ベンガラ(不定形)が採用された土器は、肩部に縄文が施された壺（5-7）で、これも吉ヶ谷式系とされる。ベンガラ(P)が採用された土器（8-11）のうち、高坏（9）は東海系、高坏（10）は近隣の樽式系・吉ヶ谷式系などを含む弥生系とされる。

古墳前期中葉では、ベンガラ(P)が 1 点であった。器台（12）は東海系とされる。

古墳前期後葉では、ベンガラ(P)が 9 点であった。高坏(13)と二重口縁壺(16-21)は東海系とされる。

本古墳のある北関東は、弥生時代後期に在地様式の土器が存在しないことから、古墳前期前葉では様々な系統の土器が流入してくる地域とされる。今回の調査では、その系統や器種によって採用されたベンガラが異なっていることが明らかとなった。ただし、高坏（9、10）のように同時期の別系統の土器でもベンガラ(P)が採用されているものも認められた。同じベンガラ（P）であっても土器やベンガラの生産地なども含めて同じであったかという点については、今回の調査では明らかにすることができない。また、東海系の土器では古墳前期前葉～後葉を通してベンガラ(P)だけが採用されており、その選択には何らかの伝統があった可能性が明らかとなった。

引き続き時期毎、系統毎、器種毎に採用されたベンガラの調査を行い、その意味を検討したい。そのフィールドとして、当地域は非常に魅力的な地域であるといえよう。

〈参考文献〉

上野英世 1995 「C.鉄細菌(Iron bacteria)」・「Gallionella ferruginea」『環境微生物図鑑』講談社

岡田文男 1997「パイプ状ベンガラ粒子の復原」『JSSSCP 14th Abstracts』

群馬県埋文 2008『成塚向山古墳群』※北関東の状況は、所収の深沢敦仁の論考による。

志賀智史 2014「出土ベンガラ中に含まれているパイプ状ベンガラ粒子の確認方法について」『JSSSCP 31st Abstracts』

〈謝辞〉

資料調査では群馬県教育委員会ならびに群馬県埋蔵文化財調査事業団に大変お世話になりました。また、調査には日本学術振興会の科学研究費（25370906）を使用しました。併せて感謝申し上げます。

P-042

中国天水・麦積山石窟壁画片の彩色材料に関する非破壊分析調査
Non-destructive analysis of the mural fragments of Maijishan Cave-temple in Tianshui, China

○末森薫（国立民族学博物館）、八木春生・松井敏也（筑波大学）
馬千・董広強・岳永強（麦積山石窟芸術研究所）

1. はじめに

麦積山石窟芸術研究所および筑波大学世界遺産専攻は、麦積山石窟の保護を目的とした共同プロジェクトを2005年より行っており、その一環として麦積山石窟壁画片８点を対象にした調査を実施し、壁画の構造や彩色材料の元素情報などを明らかにした[1]。しかし、これまでの調査で得られた結果は、使用した分析機器の仕様上の制限などにより、限定された情報の取得に留まっており、彩色材料の同定や技法の解析において課題が残されていた。そこで、同壁画片の彩色材料について、より確度の高い情報を得ることを目的に追加の非破壊分析調査を実施した[2]。本調査は、将来における壁画の保存に活用されることを想定する他、各壁画片の使用材料の特性や類似性から使用材料の変遷や工人系統の考察を行うなど、考古・美術史研究においても有用な情報とすることを目的とする。

2. 調査対象

調査対象は麦積山石窟の第 4、20、36、74、87、100、127、148、160 窟に崩落していた壁画片 8 点である。各窟の年代については、諸説が提示されるものの、大きく分けて、麦積山石窟において最早期となる北涼代あるいは北魏前期（五世紀中頃）の第74窟、北魏中期（五世紀後半）の第100、148窟、北魏後期（六世紀前半）の第87、160窟、西魏代（六世紀半ば）の第20、127窟、北周（六世紀後半）の第4、36窟と比定される。

3. 調査方法

本調査では、デジタル顕微鏡（KH-8700（HIROX 社）、レボズームレンズ（MXG-2500REZ）装着、観察倍率35～2500倍）による壁画片表面の観察、蛍光X線分析装置（100FA（OURSTEX 社、Pd管球、最大出力40kV-1.75mA（50W）、照射径3mm）による彩色材料の元素の定性分析およびFP法による定量分析、エネルギー分散型微小部蛍光X線分析装置（ORBIS（EDAX 社）、Rd管球、最大出力50kV-1mA(50W)）による微小部（照射径100nm, 300nm, 1mm）の元素分析、そして全自動多目的X線回折装置（Bruker 社、AXS （D8 ADVANCE/TSM)）による彩色材料のX線回折パターンの検出、標準回折パターンとのマッチングを行った。

4. 調査結果（表 1）

顕微鏡観察では、粒子の有無や粒径、粒形、混合物の確認を行った。その結果、第74窟の壁画片の緑色は粒径が不揃いであり、緑色の粒子の他に黒色や白色の粒子が混同していることから、鉱物を荒く砕いたまま使用されたことが推定される一方、第36窟や第127窟の緑色は不純物を含まず、粒径が細かい点が確認できた。また第20窟の黒色箇所では、黒色の周囲や下部に、黒色化の過程にあると想定される茶系の彩色を確認することができた。

蛍光X線分析および微小部蛍光X線分析により、各壁画片の彩色に含まれる主要元素を特定した。それらの元素情報に基づいて行ったX線回折分析により、回折パターンを取得し、各材料の同定を試みた。白色については、これまでカルシウム系の材料ということは分かっていたが、今回の調査で窟により数種類のカルシウム系の材料が確認された。多くの窟で硫酸カルシウム系が検出された他、苦灰石やシュウ酸カルシウムも一部の窟におい

て検出された。第 160 窟では二層の白色層が確認され、それぞれ異なる材料を使用していると考えられる。また第 20 窟や第 148 窟において黒色あるいは茶色箇所に検出された Pb は二酸化鉛と同定された。

5. 今後の課題

本調査を通して、彩色材料に見られる回折パターンを通して材料の同定を行うことができた。ただし、未確定の回折線も残されており、さらなる調査を要する。例えば、第 4 窟や第 36 窟、第 74 窟では Pb が、第 20 窟や第 127 窟では As が検出されたが、回折パターンにおいてその由来となる材料は特定できていない。また第 127 窟の Cu を主元素とする青色箇所からは、緑色鉱物である孔雀石の回折パターンは検出されたものの、銅系青色鉱物の藍銅鉱などの回折パターンは確認されておらず、分析条件を変えたさらなる解析を要する。

表 1：調査結果一覧

窟	時代区分	色系	粒子（粒度）	主要検出元素	回折パターン（英名/和名）	未確定回折線
4	北周	黒	確認（細）	Ca/S/Fe/Pb	Gypsum/硫酸カルシウム Weddellite/シュウ酸カルシウム	○
20	西魏	黒/茶	確認（細）	Pb	Plattnerite/二酸化鉛	
		白	確認（細）	Ca	Gypsum/硫酸カルシウム	
		青	確認（粗）	Fe/Ca/As	Lazurite/ラズライト	○
		灰	未確認	Ca/As/Fe		○
36	北周	薄緑	確認（細）	Ca/Cu/Pb	Malachite/孔雀石 Gypsum/硫酸カルシウム	○
		黒	確認（細）	Cu/Ca/Pb		○
74	北魏前期	緑	確認（粗）	Cu/Ca/Fe	Malachite/孔雀石	
		白	確認（細）	Ca/Pb/S	Gypsum/硫酸カルシウム	
87	北魏中期	黒	未確認	Ca/Fe	Gypsum/硫酸カルシウム Weddellite/シュウ酸カルシウム	
100	北魏中期	黒	未確認	Ca/Fe	Gypsum/硫酸カルシウム	
127	西魏	白	未確認	Ca/Fe/As	Calcite/方解石 Dolomite/苦灰石	○
		緑	確認（細）	Cu/Fe	Malachite/孔雀石	
		青	確認（粗）	Cu/Fe	Malachite/孔雀石	○
148	北魏中期	茶/薄茶	確認（細）	Pb/Fe/Ca	Plattnerite/二酸化鉛 Gypsum/硫酸カルシウム	○
160	北魏後期	白（二層）	確認（細）	Ca/Fe	Dolomite/苦灰石 Calcite/方解石 Whewerllite/シュウ酸カルシウム	

*粒度については、デジタル顕微鏡（×200）で粒径が確認できたものを「粗」とした。
*各測定箇所より、Quartz/ケイ素由来と考えられる Si が検出されたが、上記の表には記していない。

---

1) 『麦積山石窟環境与保存調査報告書』麦積山石窟芸術研究所・日本筑波大学世界遺産専攻合編，文物出版社，2011 年

2) 光学調査については、東アジア文化遺産保護学会（2015 年 8 月於奈良）にて報告予定である。

*本調査の成果の一部は、科学研究費補助金（研究活動スタート支援）「中国石窟芸術技法・材料の解明による美術史観再考 - 麦積山石窟を事例として - （26882058）」によるものである。

P-043

前橋市・宝塔山古墳における漆喰の施工過程に関する研究

Study on the manufacturing process of lime plaster of houtouzan tumulus,Maebashi City.

前川佳文・○朽津信明(以上、東京文化財研究所)・久住有生(左官株式会社)

1. はじめに

日本国内において6世紀末から7世紀頃にかけ築造された終末期古墳には、石室および石槨内に漆喰が塗布された痕跡の確認できるものが数多く存在する。本研究では、群馬県前橋市総社町にある宝塔山古墳の石室壁面に残留する漆喰(図1)に着目し、非破壊的手法による調査により、その施工過程と、そこにみられる技法や技能について考察を試みた。

2. 宝塔山古墳の概要

宝塔山古墳は前橋市総社町にある「総社古墳群」を構成する一基であり、二段築造の方墳である。(一辺約54m、高さ約12m) 主体部は、角閃石安山岩の切石を組み合わせて構築した両袖型横穴式石室をもつ。この時に用いられた工法が、「截石切組積」と呼ばれる高度な技術[1]であることから、当時の上野国の文化水準の高さを示す貴重な終末期古墳として、1944年(昭和19)には国の史跡に指定されている。

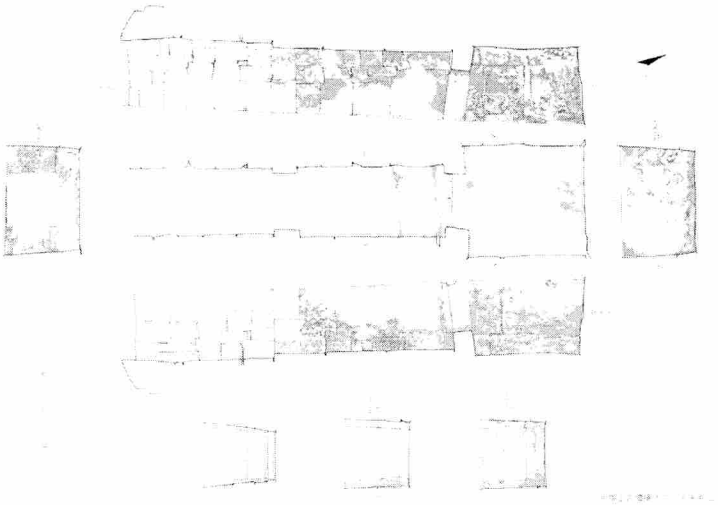


図1. 石室壁面に残留する漆喰分布図[2]

石室は羨道、前室、玄室の複室構造を持ち、それぞれの入口には、羨門、前門、玄門が設けられている。本研究の課題である漆喰は、現在確認できる全ての壁面に残存が認められるが、羨門と羨道部については、漆喰が塗られていた痕跡は確認できるものの損傷が激しく、その大半が失われている。残存する漆喰を観察した結果、その主たる施工目的としては二通りの解釈ができることから、以下に詳しく述べるものとする。

3. 漆喰の用途

宝塔山古墳に残存する漆喰の用途としてまず挙げられるのが「目地漆喰」である。目地漆喰は、切石同士が積み重ねられることで、あるいは隣接することで生じる隙間を埋めるために使われる建材である。目視観察では、漆喰に粒径1mm～10mmの粗粒石の存在を確認することができた。一方、石材の平滑な表面には、今日に至るまでに膨潤や浸食などの影響を受け全体的に傷んではいるものの、「目地漆喰」とは明らかに異なる用途で漆喰が塗布されている。この石材表面の漆喰をLEDライトで、順光または斜光を照射しながら目視観察を行ったところ、2種類の漆喰が使用されていることが確認できた。

ひとつは、漆喰に粒径0.5mm～1.5mmの粗粒石の混入が確認できるもの。もうひとつは、そうした粗粒石を含まないものである。この粗粒石を含まない漆喰は主に表層面にみられ、1mm程度の厚みを保ちながら広範囲に塗布されており、細かい筋状構造を持つ。その特徴としては、溝幅には平行な部分と幅広部／幅狭部が交錯する不均質な部分が認められる点や、所々溜まりが形成されている点などが挙げられる(図2)。

4. 漆喰の施工過程における考察

4－1. 骨材利用に対する理解

前章で指摘した石室内の漆喰に確認される粗粒石は、偶然に混入したものではなく、骨材として意図的に混合されたものではないかと推測できる。なぜなら、目地漆喰のように深度が深い隙間を埋める場所には粒径の大きなものが使われ、石材表面のように深度の浅い場所には粒径の小さなものが使われるといった使い分けがなされているからである。仮にそうであるならば、使用された漆喰の材料は、こうした粗粒石を混合させなければならない必要性があったと推測できる。漆喰壁が多用される西洋諸国においては、消石灰に川砂を混ぜ合わせたものが一般的に使われているが、このとき川砂は骨材の役割を果たしている。消石灰は収縮性の高い材料であり、僅か5mm程度の厚みでも簡単にひび割れてしまう。そこで、収縮性の低い物質を混入させることでひび割れを抑制する働きを持たせるのである。宝塔山古墳で使用された漆喰の主成分が消石灰であると仮定した場合、当時の左官技術者は粗粒石を混ぜることでひび割れを抑制できる、すなわち骨材の重要性を理解していたといえる。

4－2. 塗装材料としての使用

表層面の漆喰にみられる筋状構造に着目したとき、溝幅が平行に走る部分は、同時期に製作された埴輪や土器の表面に装飾として刻まれる刻線文[3]と類似しているようにも見て取れる。しかし、埴輪や土器製作において指摘される技法・道具を使うことで刻まれる溝幅が限りなく均一であるのに対し、前述したように溝幅には不均質な部分が認められる点を考慮すると、同一の方法が用いられたとは考え難い。加えて、溜まりは柔らかい穂先をもつ刷毛での塗布前後に生じ易い現象であることから、表層面の漆喰は刷毛塗りされた可能性があるのではないだろうか。

以上の考察結果をもとに、柔らかく練り上げた消石灰を幅4cmの刷毛で木製パネルに塗布したところ、非常によく似た筋状構造を生み出すことができた(図3)。骨材を含ませ、適度な厚みに塗られた漆喰に対し、この表層仕上げのような漆喰の使われ方は、塗料材料としての利用が指摘できる。

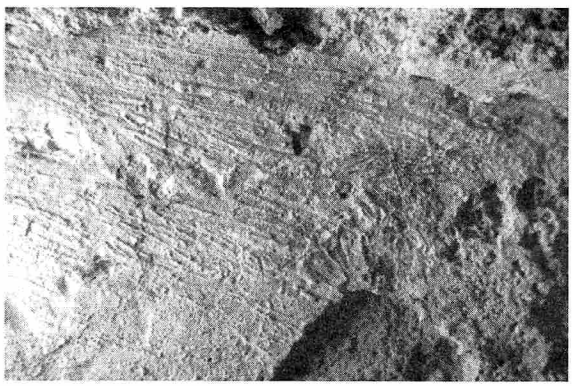


図2　不規則な溝幅と施工時における溜まり痕

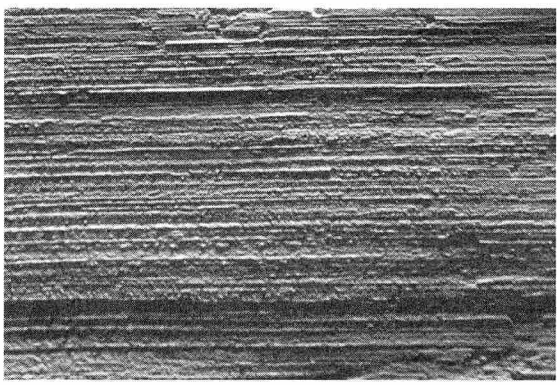


図3　刷毛を用いた筋状構造の再現

5. まとめ

石室内に残留する漆喰の施工過程に着目することで、約 1400年前の古墳築造に携わっていた人々の材料に対する理解力や技術力の高さを知ることができた。また、漆喰を薄く伸ばし、筋状構造が残る形で塗布された例は、隣接する蛇穴山古墳以外の古墳にはみられない特殊な技法であることから、宝塔山古墳周辺における土木建築技術の発展を示す痕跡として貴重な資料であるといえよう。今後は、引き続き古墳築造過程にみられる特殊な技法や技能に焦点を当てつつ、周辺遺跡との関連性を踏まえ研究を進めてゆきたい。

参考文献及び資料　1)松本浩一、桜場一寿、右島和夫(1980)「截石切組積横穴式石室における構造技術上の諸問題(上)」, 2)漆喰分布図作成に当たっては、『技研測量設計株式会社編(2011)総社町屋敷南遺跡 2』より引用, 3)円筒埴輪の製作技法〈http://www.city.komatsu.lg.jp/10697.htm〉(2015/6/5 アクセス)

P-044

帯磁率計を用いた古墳使用石材の簡易判定

Simple judgment of tumulus stone using susceptometer

○池田朋生(熊本県教育庁文化課)、朽津信明(東京文化財研究所)
Tomoo Ikeda (The cultural department office of Education Kumamoto Prefecture)
Nobuaki Kuchitsu (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)

1. はじめに

九州の中でも、熊本県の八代海沿岸である天草、八代地域は、中央構造線に含まれ、豊富な石材が採取できる。こうした地域での古墳使用石材の特定は、古墳築造の系譜を見るうえで、重要である。即ち、使用石材にある特定の石材を使用する場合、或いはその地域では採取できない石材を多用する場合、その使用の背景には、当時の技術的、社会的な関係に言及される（髙木 1994)。特に、肥後型石室、或いは石障系石室と呼ばれる、熊本に特徴的な石室の使用石材の研究では、砂岩、安山岩の利用から、産出地の想定とともに、石室の成立過程、その系譜を明らかにする試みが為されている（髙木 1999)。こうした先行研究によって、有効性が認められているものの、石棺、或いは石室では、石材表面を赤色顔料で全面塗布、或いは苔、地衣類に覆われている場合、石材の種別を判断することが容易ではない場合がある。

石材の鑑定では、石材表面のルーペによる肉眼観察の他、構成石材の一部を採取、薄片を造り、鉱物の組成を偏光顕微鏡で見るなどの方法が用いられる。しかしながら、こうした研究手法は、文化財においては、道徳上、また文化財保護制度上、認められがたい。また、石室を構成する数多の積石を網羅して鑑定するには、現実的ではない。

そこで、石材の磁性に注目し、帯磁率の値から、非破壊により石材の判定を行う。なお、本研究で行う帯磁率の測定は、石材の産地同定に寄与するものでは無い。あくまで古墳構築に用いられた石材を現地で見分ける際の一方法の提示である。石材を物理的に損ねることなく、複数の部材の判別を比較的短時間で行うことを目的としている（朽津他 2012）。

2. 調査の対象

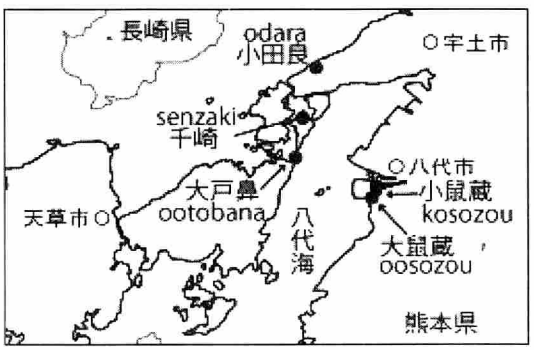


図1.主要砂岩製埋葬施設位置図

調査の対象は、八代海沿岸に点在する、砂岩を主要な使用石材とした古墳時代埋葬施設のうち、箱式石棺、肥後型石室である。このうち、千崎古墳群は、上天草市維和島北岸に所在する、26基の石棺・石室からなる5世紀の古墳群である。大鼠蔵古墳群は、八代市鼠蔵町大鼠蔵島にあり、装飾古墳である尾張宮古墳（肥後型石室）等石室、箱式石棺の他、竪穴式石室を含む5世紀代の古墳群である。小鼠蔵古墳群は、八代市鼠蔵町小鼠蔵島にあり、装飾古墳である小鼠蔵1号墳（肥後型石室)、小鼠蔵3号墳（箱式石棺）の他多数の石棺を含む5世紀代の古墳群である。

3. 調査の方法

調査対象古墳周辺での近現代の石切場を聞き取り調査により、使用される石材の種類を把握した。次いで、近現代に獲得された石材が使用されている「スキ」と呼ばれる、エビの養殖等に用いられるこの地域独特の沿岸に見られる石垣を観察、併せて帯磁率計を用いて、石材の帯磁率を測定し、古墳使用石材を検証する基礎データとした（表1)。次いで、周辺の古墳使用石材でも帯磁率を測定し、基礎データと比較した。使用した帯磁率計は、KT-10である。KT-10は、測定用のセンサー径が1cm満たないため、比較的小さい試料、例えば石室の積石ひとつに対しても、測定を試みることが可能である。

図 2. 主な文化財に使用する石材の産地

地元石材	帯磁率 ×10⁻³ SI UNITS		備考
	最低値	最高値	
イワノイシ	0.086	0.195	粗粒砂岩
下浦石(アカ)	0.033		細粒砂岩
下浦石(アオ)	0.172		細粒砂岩
飛岳石	16.67	32.78	安山岩 OR デイサイト
合津石	0.049	0.103	礫岩

表 1　各石材の帯磁率

図 2 の八代海沿岸で採取される石材のうち、火成岩である飛岳石は、16.67～32.78 と比較的高い磁性を持ち、下浦石、合津石、更に維和島で採取できるイワノイシといった、砂岩や礫岩などの堆積岩は、0.033～0.195 と低い磁性を持つ。

4. 調査の結果

結果の一部を、図 3 に示す。図 2 を見ると、八代市内では、砂岩、安山岩 OR デイサイト共に、採取できない。八代市内にある、小鼠蔵 1 号墳、大鼠蔵尾張宮古墳では、高い磁性を示す安山岩 OR デイサイトと見られる石材（最小値 21.23～最大値 39.17）が、積石の一部に集中し、概ね 2 つの層に分けて認められる。

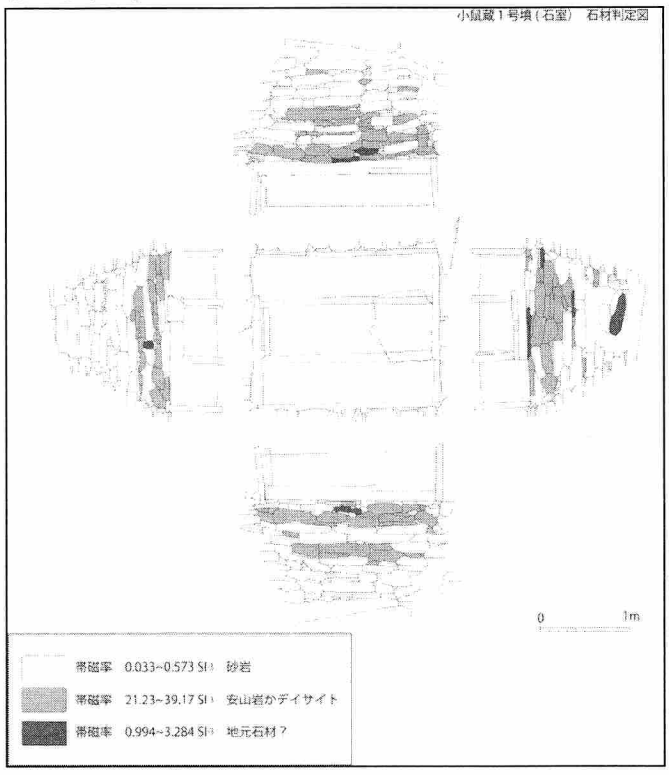


図 3. 小鼠蔵 1 号墳石材判定（帯磁率単位×10⁻³ SI UNITS）

5. 考察

まず、合津石と思しき礫岩と砂岩は、帯磁率は近い値を示すが、2 ㎜以上の円礫が混じるなど肉眼観察による識別が可能である。一方、砂岩であるイワノイシや下浦石と安山岩である飛岳石は、帯磁率に二桁以上の差がある。屋外で露出した石材表面や苔、顔料に覆われた石材を峻別するには、帯磁率計の利用は有効であると言える。 但し、比較的帯磁率の低い石材、例えば 0.086～0.195 の値を示すイワノイシでは、ベンガラのような鉄由来の顔料が塗られている場合、ベンガラの帯磁率の値（0.022～1.449）が含まれる場合があり、5.00 付近の値を示す石材との識別が困難な場合がある。

一方、小鼠蔵 1 号墳の比較的高い磁性を帯びる石材の利用は、単に異なる石材を組み合わせて使用したという見解に留まらず、石材の積み方から石室構築の技術的な可能性が想定できる。

引用・参考文献

髙木恭二 1994　「石障系横穴式石室の成立と変遷」宮嶋クリエイト第 6 号
髙木恭二 1999　「横穴式石室の石材」 九州前方後円墳研究会第 2 回研究会
○朽津信明、西尾克己、稲田信　2012　「松江藩で利用された花崗岩類」日本文化財科学会第 28 回大会　筑波大学

P-084

福岡県八女市釘崎3号墳出土単龍環頭大刀の構造調査

Scientific researches on ornamented sword from Kugisaki3 tomb of Yame City, Fukuoka Prefecture

○小林啓(九州歴史資料館)、大塚恵治(八女市教育委員会)、赤田昌倫(九州国立博物館)
○Akira Kobayashi(Kyushu Historical Museum),Kenji Otsuka(Yame City Boaed of Education),
Masanori Akada (Kyushu National Museum)

1. はじめに

考古資料の調査に自然科学的手法を用いることで、材質や構造、制作技法等における様々な情報を得られることは周知の事実である。中でも古墳時代の金属製品は、資料のもつ複雑な材質や構造に加え、考古学・自然科学両分野からの関心の高まりから、近年では自然科学的手法による各種調査を行う機会が増えてきている。しかし、考古学的に高い評価を受けながら、自然科学的手法による調査が殆どなされず、材質や構造など資料の基礎的な情報が不明な資料も数多く存在する。

本稿では、福岡県八女市の釘崎3号墳から出土した単龍環頭大刀について、材質や構造など資料の基礎的情報の把握を目的におこなった調査について報告する。

2. 資料と方法

釘崎3号墳は福岡県八女市に所在する6世紀後半代の前方後円墳である。出土遺物は単龍環頭大刀のほか仿製平縁四乳文鏡、鉄鏃、馬具、工具などが出土している。単龍環頭大刀は出土後に保存処理を実施しているが、材質や構造に係る自然科学的な調査は殆ど行われず不明な点が多い。

今回、単龍環頭大刀の材質・構造調査として、実体顕微鏡・デジタルマイクロスコープ・走査型電子顕微鏡・蛍光X線分析・X線CTスキャナなどを用い、柄頭・責金具・鞘口・刀身・飾板金具・鞘尻金具など環頭大刀を構成する各部位において自然科学的な調査を行った。

3. 結果

【柄頭】(写真1) 柄頭の内部には鋳込みによる大小の細かな空隙が確認された。空隙は単首部に最も顕著であり、環身部には僅か、柄部には殆ど見られない。柄頭と柄を繋ぐ目釘は中央部が空洞化し欠損していることが確認できる。目釘周辺には一部柄材が残存しており、広葉樹の柾目材である。この他、蛍光X線分析の結果、柄頭表面からは金(Au)を検出、部分的に水銀(Hg)が検出されており金アマルガムと推測できる。柄頭の地金は銅(Cu)・錫(Sn)・鉛(Pb)の青銅である。

【責金具・銀線・鞘口】(写真2) 柄部両端の責金具は銅地に薄い銀板を被せている。柄頭側の責金具にある四葉飾は銅地に金を被せており、四葉飾の底面で箔を折り畳んだ様子が確認できる。柄間の銀線には等間隔に刻みが入る。銀泉の柄尻側は責金具で隠れており、一部断裂している箇所が確認できる。鞘口は銅地に銀板を被せ両端部は内側に折り返している。折り返しは緩く内側には1mmほどの隙間が確認できる。鞘口は2/3ほどが責金具の下に入り込む構造であり柄側の端部は銀線と接している。

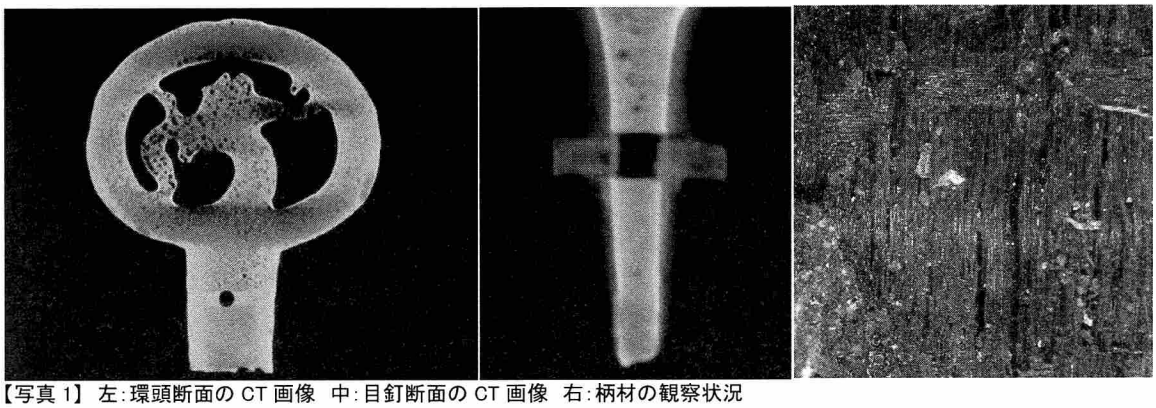
【刀身・飾板金具・鞘尻金具】(写真3) 刀身には一部に鞘材が残存しており、導管や穿孔板が確認できることから広葉樹である。柄材も広葉樹だが同一樹種であるかは不明である。飾板金具は銅板に銀板を被せ鋲で鞘木に固定する構造である。鞘尻金具は両端を折り返している様子が確認できる。末端の

薄板は鹿角製と推測され、2 本の鉄釘で鞘木に固定している。

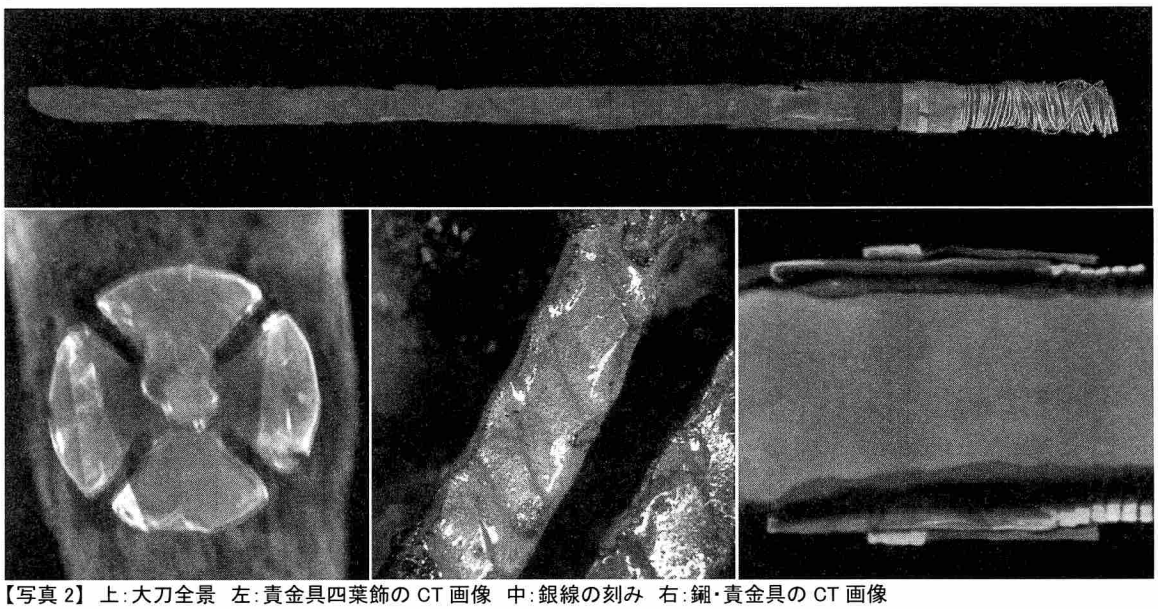
4. まとめ

各種調査手法による観察や測定結果から単龍環頭大刀の材質や構造に係る基礎的な情報を把握することができた。考古資料には材質や構造、制作技法などに係る基研的な調査・研究がいまだ十分ではない資料も多く存在する。今後、自然科学的手法による調査成果が研究の基礎情報として蓄積していくと共に、資料の再認識や新たな価値付けとなり文化財保護の一助となることを期待する。

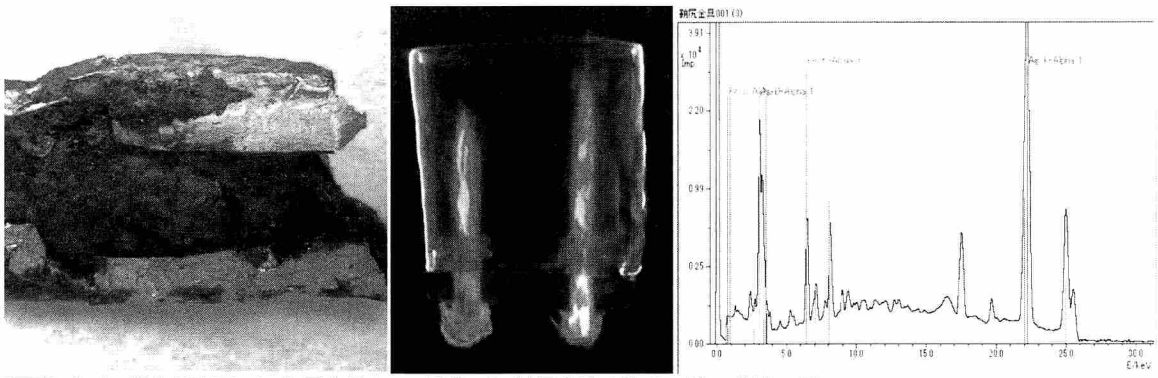
【参考文献】 八女市教育委員会 1971『管の谷窯跡群-八女古窯跡群調査報告Ⅲ-』八女市文化財調査報告書第 4 集



【写真 1】 左:環頭断面の CT 画像 中:目釘断面の CT 画像 右:柄材の観察状況



【写真 2】 上:大刀全景 左:責金具四葉飾の CT 画像 中:銀線の刻み 右:鍔・責金具の CT 画像



【写真 3】 左:責金具裏面 中:鞘尻金具の CT 画像 右:鞘尻金具の蛍光 X 線スペクトル図

P-045

陶磁器の上絵層における有機物分析の試み
ー焼成に伴う膠成分の変化を中心にー

Attempt to analyze organic matters in overglaze color layers of pottery and porcelain　-About the glue ingredients in after calcination-

○樋口智寛（東京都立産業技術研究センター）、二宮修治（東京学芸大学）

1. はじめに

陶磁器の製作地、製作年代、製作技法や当時の流通などの解明に対する手法の一つとして、胎土や釉薬についての成分分析が広く行われている[1)]。また陶磁器の製作には、加飾技法などに膠やろうなどの有機物も用いられており、これらの成分も重要な情報を与えるはずである。本研究では、陶磁器上絵層における有機物の分析を試みており、これまでに膠を混合した上絵具を用いてガラス板に上絵付けしたモデルを製作し、層間に存在する数μm程度の薄い対象物の有機物の分析が可能な飛行時間型二次イオン質量分析を行った。その結果、焼成後の上絵層に有機物が残存していることが明らかとなった[2)]。今回、残存有機物成分の同定に向けた試みとして、熱重量測定・示差熱分析（TG-DTA）や赤外分光分析（IR）を用いて焼成の各段階での膠の変化に関する分析を行った。

2. 実験

現在市販されている有鉛の上絵具（梶山工芸製、古代赤）および粒膠（吉祥製）を用いた。上絵具および粒膠の単体は、そのまま分析を行った。上絵具と粒膠との混合試料については、粒膠をイオン交換水へ24時間浸漬した後、60℃にて湯煎および攪拌して約10%(m/m)粒膠溶液とし、上絵具1gに粒膠溶液1mlを加え、混合・乾燥させた後、分析を行った。熱重量測定・示差熱分析（島津製作所製、DTG-60）は、空気気流中、10℃／分にて昇温を行った。質量変化が確認された各領域から試料を採取し、赤外分光分析（日本分光製、FT/IR-6300）1回反射ATR法により成分比較を行った。なお、上絵具および粒膠については、あらかじめ蛍光X線分析により、試料を構成する主成分元素の分析を行った。その結果、上絵具はAl、Si、Fe、Pbなど、粒膠はMg、Caなどを含有していた。

3. 結果および考察

図1に粒膠単体および粒膠と上絵具との混合試料のTG-DTA曲線を示した。粒膠では、200、300および500℃付近に重量減少、また500℃付近には顕著な発熱が見られた。一方、混合試料では、300および400℃付近に重量減少、350および450℃付近に発熱が見られたが、粒膠単体における500℃付近の顕著な発熱は検出されなかった。焼成の各段階における試料の変化を確認するため、重量減少が確認された各温度域から試料を採取し、それぞれ赤外分光分析を行い、図2に得られたスペクトルを示した。粒膠および混合試料共に、未焼成および200℃付近での焼成品において、3300や1650-1200cm^{-1}付近に主成分であるタンパク質由来の吸収が見られたものの、焼成温度の上昇に伴い、タンパク質の分解が進み、最終的には消滅した。この傾向は、試料の色変化とも一致していた。粒膠の場合、タンパク質が残存する温度域まで比較的未焼成品と近い色調を保ち、その後、黒変し、最終的に白色の灰分が残存した。この傾向から、500℃付近の発熱は、炭化した試料の燃焼によると見られる。

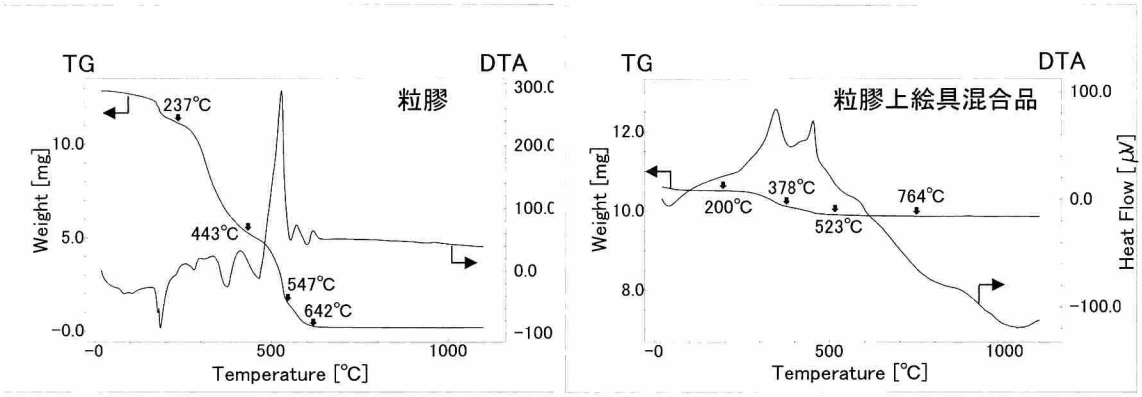


図1　粒膠および粒膠と上絵具との混合品の TG-DTA 曲線

雰囲気：空気気流、昇温速度：10℃／分、図中記載の温度は IR 測定試料を採取した箇所

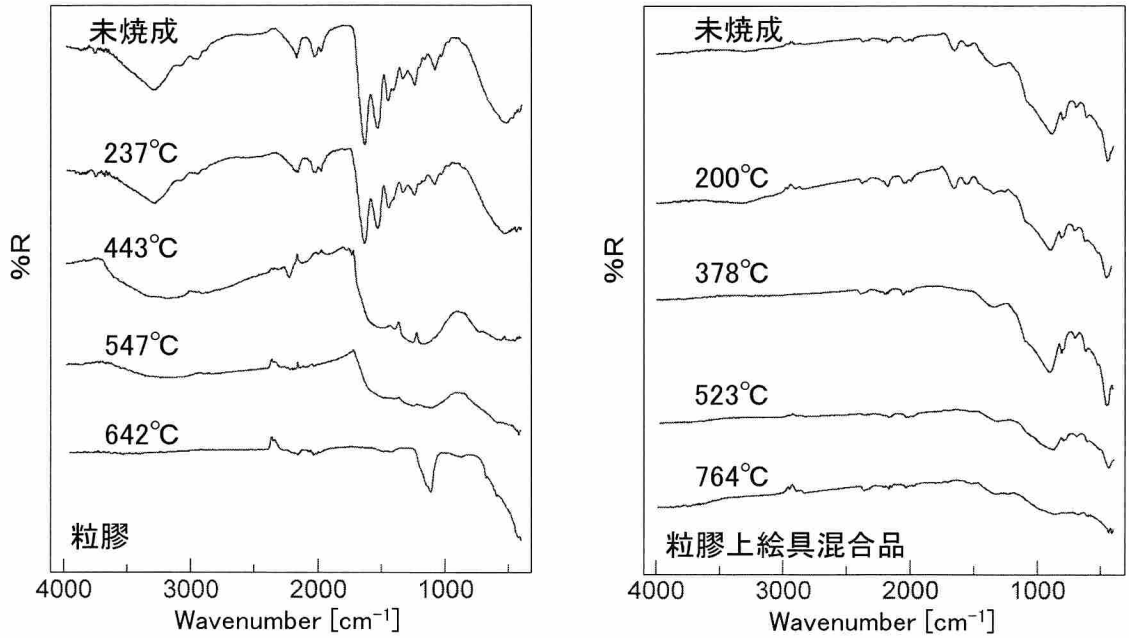


図2　焼成による粒膠および粒膠と上絵具との混合品の IR スペクトルの変化

混合試料においては、絵具成分が膠のタンパク質や炭化物の分解などを変化させ、膠単体とは異なる熱化学的な性質を示したと見られ、これらは焼成後の有機物残存にも寄与しているとも推定される。

4. まとめ

陶磁器の上絵層における残存有機物成分の同定に向けた試みとして、熱分析および赤外分光分析により焼成の各段階での膠の変化に関する分析を行った。その結果、絵具成分が膠の分解などの熱化学的な挙動を変化させることが分かり、焼成後の有機物残存にも寄与しているとも推定される。

謝辞　本研究はJSPS科研費25560139の助成を受けて行われた。

参考文献

1）新免歳靖、岡野智彦、二宮修治、初期および中期ラスター彩陶器の胎土分析による生産地推定、総研大文化科学研究　6、99（2010）

2）樋口智寛、二宮修治、陶磁器の上絵層における有機物分析の試み－焼成後における有機物材料残存の可能性について－、日本文化財科学会第31回大会研究発表要旨集、258（2014）

P-046

PXRF によるアゼルバイジャン，ギョイテペ遺跡及び周辺遺跡出土黒曜石製遺物の原産地推定

Sourcing obsidian artifacts from Goytepe and the surrounding sites, western Azerbaijan using PXRF

○金成太郎（明大），西秋良宏（東大），ファルハド・キリエフ（国立科学アカデミー）
○KANNARI Tarou (Meiji University), NISHIAKI Yoshihiro (Tokyo University), Farhad Guliyev (Azerbaijan National Academy of Sciences Institute)

1．目的

ギョイテペ遺跡の位置する南コーカサスでは，多くの黒曜石原産地が存在する。周辺のアルメニアやグルジアでは，先史時代の黒曜石製遺物について原産地推定が実施され，徐々に当該地域の黒曜石利用が把握され始めている。一方，ギョイテペ遺跡を含むクラ川流域では，数例があるが詳しい状況は未だ不明である。ギョイテペ遺跡は，アゼルバイジャンの新石器時代遺跡としては，最大級の集落に相当し，黒曜石製遺物が多く出土している。従って，それら遺物の原産地を明らかにすることは，当該地域における流通や交易の一端を明らかにし，さらに遺跡形成や人類文化の拡散の解明に貢献すると考えられる。一方，近年，外国の調査において資料の持ち出しが制限されることが多くなりつつあるので，現地での分析が強く求められている。そのため，多様な化学組成を持つ当該地域の黒曜石を対象とし，可搬型 XRF（PXRF）で原産地推定の手法を確立することは分析化学的にも意義が大きいと考えられる。よって本研究では，PXRF を用いてアゼルバイジャンで分析を実施した。

2．分析条件および試料

○分析機器：可搬型蛍光 X 線分析装置は SPECTRO 社製の xSORT を用いた。X 線管は最大 2.5W の Rh アノードで，検出器は SSD である。雰囲気は大気下である。Ti から Ba までは管電圧 50kV，管電流 0.05mA，測定時間 20 秒（条件 1）で，Mg から Ca までは 15kV 0.125mA，40 秒（条件 2）で測定した。分析値の算出は付属ソフトウェア Environmental を使用した。

○試料：基準試料は，南コーカサスの 16 地点およびトルコ東部の 5 地点で採取された黒曜石原石である。試料は，C. Chataigner 氏，前田修氏，望月明彦氏から提供いただいた。黒曜石製遺物は，ギョイテペ遺跡 277 点，トイレテペ遺跡 50 点，ハッジ・エラムハンルテペ遺跡 6 点である（図 1）。所属時期は紀元前六千年紀である。

3．結果

黒曜石原石の分析結果を図 2 に示す。分析値は蛍光 X 線強度を用い，望月（1997）に準拠し作図した。南コーカサスおよびトルコ東部の主要な黒曜石原産地を区分することができた。各遺跡の原産地推定結果を図 3 に示す。

4．考察

分析の結果，ギョイテペ遺跡下層では Sarıkamış などのトルコ東部が多く，上層ではアルメニア中央部の Geghasar などが多く変化が認められた。ギョイテペ遺跡よりやや古いハッジ・エラムハンルテペ遺跡ではギョイテペ遺跡下層と同様の傾向が認められた。トイレテペ遺跡は中間的な原産地構成を示した。よって，今回の分析から可搬型 XRF による対象地域の黒曜石製遺物の原産地推定は，「現地」で十分な成果が収められることがわかった。

図 1　対象遺跡の位置と黒曜石原産地

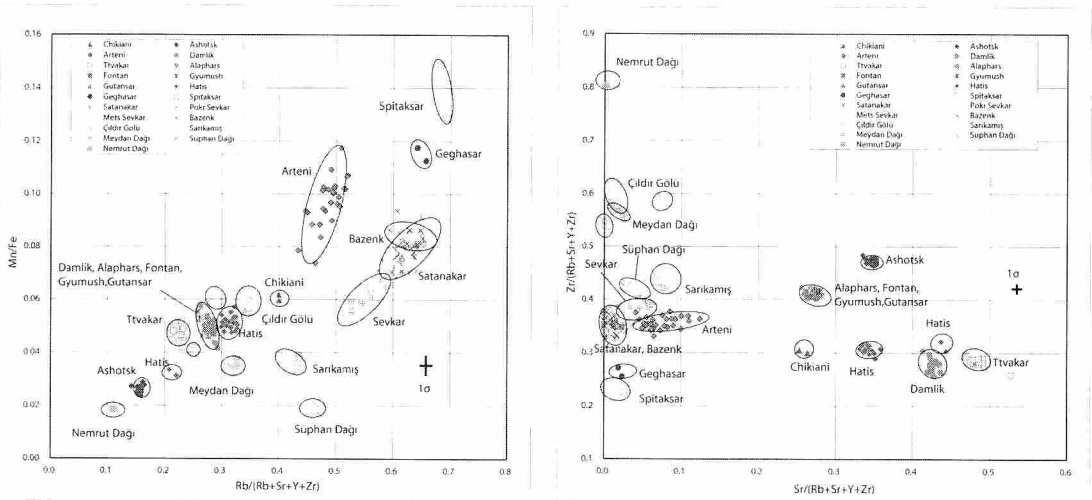


図 2　黒曜石原石の判別図

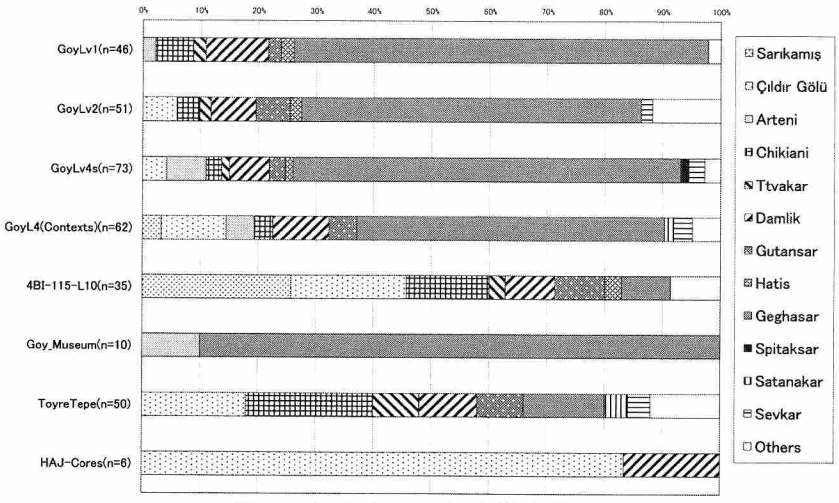


図 3　各遺跡の原産地推定結果

P-047

阿玉台式土器胎土の地域性と混和に関する研究（3）
—三鷹市坂上遺跡の事例から—

A study on locality and mixing of Atamadai type Jomon pottery material (3) - Case of Sakaue site in Mitaka city, Tokyo -

○河西学（帝京大学）、松本建速（東海大学）、市川慎太郎（明治大学）、中村利廣（明治大学）、
小林謙一（中央大学）、塚本師也（とちぎ未来づくり財団埋蔵文化財センター）

はじめに

本研究は、阿玉台式土器を対象に、岩石学的分析、蛍光X線分析などを相互補完的に用いることで、混和材、あるいはその他の土器原料の地域性と、土器製作地、土器製作システムの解明をめざすものである。これまでに栃木県桧の木遺跡、茨城県陸平貝塚などの分析から土器胎土の地域性がとらえられ、地域ごとに地元原料を利用し遠方から持ち込まれた雲母や花崗岩類などを混和して阿玉台式が作られたと推定された。一方で、神奈川県大日野原遺跡など阿玉台式の分布縁辺部では搬入土器が多く、あまり土器作りがなされていないことがわかった。今回は、東京都三鷹市坂上遺跡の土器を分析した。

試料と分析方法

試料は、坂上遺跡の縄文中期阿玉台Ⅰb式土器12点を用いた。蛍光X線分析は、明治大学理工学部の波長分散型蛍光X線装置 Rigaku RIX 3100 を用いた。0.400g の試料粉末を秤量し、融剤との質量比が 1:10 のガラスビードを用い、検量線法にて定量した。土器片中の主成分酸化物（Na_2O, MgO, Al_2O_3, SiO_2, P_2O_5, K_2O, CaO, TiO_2, MnO, Fe_2O_3）および微量成分元素（V, Cr, Ni,Cu,Zn, Rb, Sr, Y, Zr,Nb,Ba,Pb）濃度を測定した。また同一試料の薄片を作製し、フッ化水素酸蒸気でエッチングし、コバルチ亜硝酸ナトリウム飽和溶液でカリ長石を黄色に染色しプレパラートとし、ポイントカウント法で粒径 0.05mm 以上の岩石鉱物粒子を計数した。

結果と考察

岩石組成は、次のように大別される（図1）。①黒雲母と花崗岩類主体の土器（TKM-4,5,8,10,11,12）、②デイサイト・変質火山岩類（珪長質）主体の組成（TKM-3）、③堆積岩主体の組成（TKM-2）、④変質火山岩類、花崗岩類、堆積岩など多様な岩石種からなる組成（TKM-1,6,7,9）。③④は、多摩川流域・武蔵野台地・多摩丘陵などの河川堆積物などの組成と類似性が認められることから、地域的特徴を示す胎土であると考えられる。化学成分は、主成分酸化物を100%に規格化し元素ごとに図化した（図2）。SiO_2 は、53 ～ 73%と幅広い値を示す。坂上遺跡の化学成分の特徴は、桧の木遺跡、陸平貝塚、大日野原遺跡などの阿玉台式と比較して、SiO_2 が 70%を超える領域と、SiO_2 が 57%以下の領域に分布する胎土が存在すること、Ni が低率あるいは検出限界以下の試料が多いことなどである。

TKM-8 は、白雲母を伴い黒雲母と花崗岩類およびその造岩鉱物から主として構成され、関東周辺花崗岩類の化学組成との類似性が認められることなどから、東関東の花崗岩類分布地域で製作されたものが搬入されたものと推定される。

SiO_2 が 57%以下の領域での分布は、立川市向郷遺跡（建石 2002）で普通に報告されていることから、武蔵野地域の地域的特徴を示している可能性がある。TKM-3 は、砂分中に珪長質変質火山岩類やデイサイトなどを含むが SiO_2 値は低く、胎土の粘土質部分と砂分の化学組成は調和的ではない。同様に花崗岩主体の岩石組成を示す TKM-4 でも、胎土の粘土質部分と砂分の化学組成が調和的ではない。阿玉台式胎土に見られるこのような現象は、粘土質部分には地元原料を利用し、雲母や花崗岩

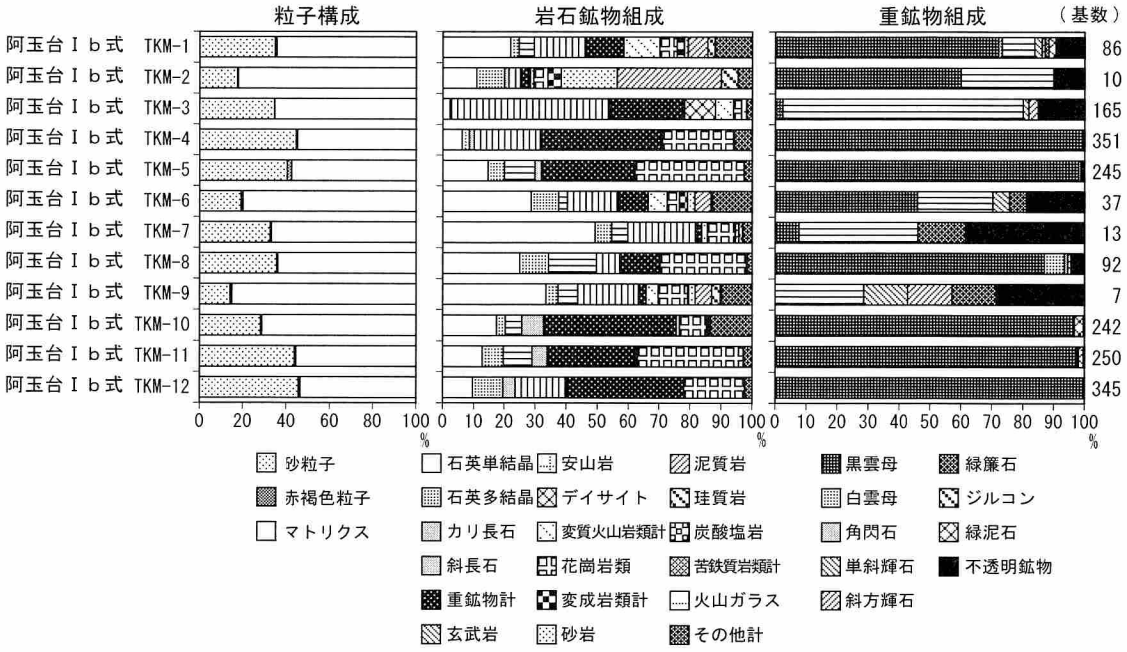


図1　三鷹市坂上遺跡出土土器の岩石鉱物組成

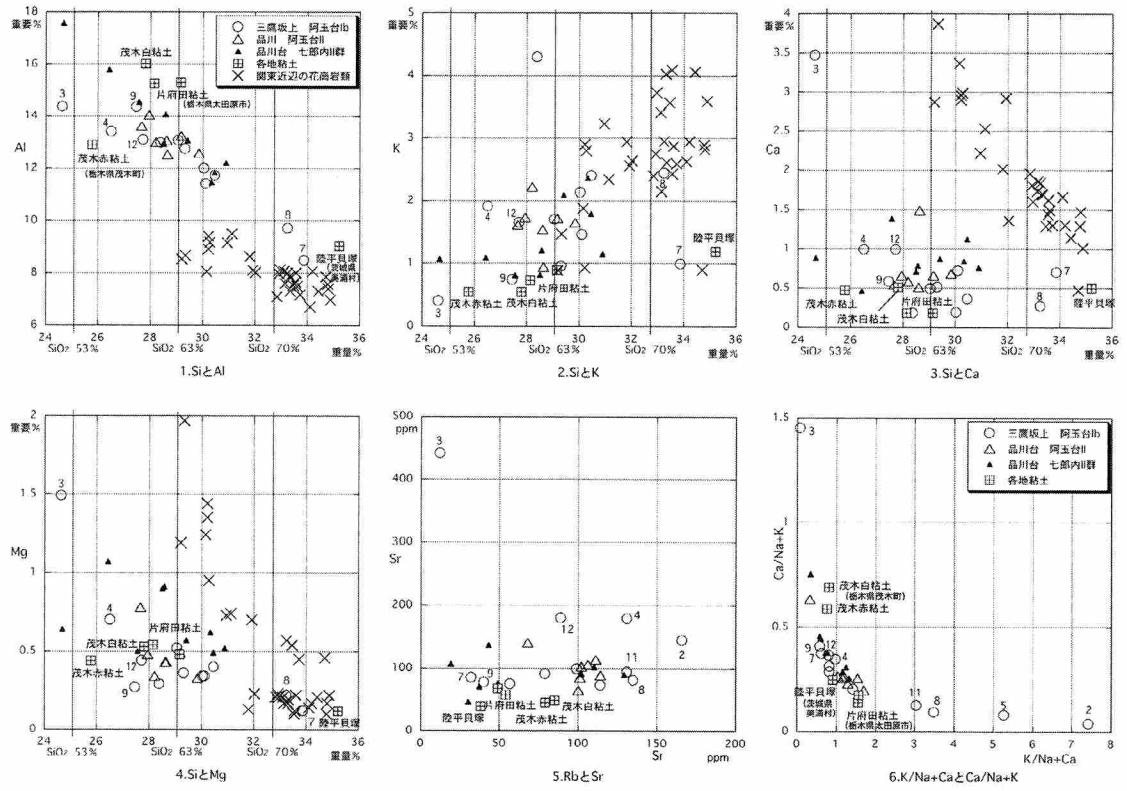


図2　三鷹市坂上遺跡出土土器の化学成分

類などの混和材を他所から調達し、地元で土器作りを行った可能性を支持するものと考えられる。また、試料ごとに化学組成と岩石鉱物組成の関係が多様であり、さらに雲母・花崗岩類などの混和材の含有率も多様であることから、土器作りにおいて個体ごとに混和の程度が多様であった可能性が推定される。

分析試料は、三鷹市教育委員会からご提供いただいたものである。本研究は、科学研究費補助金基盤研究（C）（課題番号 24520863）の成果の一部である。

P-048

SEM-EDS を用いた重鉱物組成分析による トルコ共和国、カマン・カレホユック遺跡出土ろくろ製土器の 産地推定と変遷に関する研究

Provenance and transition studies of wheel-made pottery from Kaman-Kalehöyük in Turkey by heavy mineral analysis using SEM-EDS

○高橋 友里恵(東理大・理), 関本 敦久(同), 松村 公仁(アナトリア考古学研究所),
大村 幸弘(同), 中井 泉(東理大・理)

1.はじめに

アナトリアにおいてろくろ製土器の利用・製作は前期青銅器時代(B.C.2300～B.C.1700 頃)に開始されたと考えられているが、その初期の利用・流通に関する研究例[1]はわずかであり, 不明な点が多い。そこで本研究では、前期青銅器時代の中央アナトリアにおけるろくろ製土器の製作および流通状況の解明を目的とし、中央アナトリアに位置するカマン・カレホユック遺跡より出土した前期青銅器時代のろくろ製土器の重鉱物組成による産地推定を行った。土器胎土中に微量に含まれる重鉱物の組成は、使用された粘土の採取地の地質的特徴を強く反映するため、重鉱物組成の比較から製作地を直接的に推定することが可能となる[2]。本遺跡では、遺跡から出土した古代土器と遺跡周辺の堆積物の重鉱物組成をエネルギー分散型 X 線分光器付の走査型電子顕微鏡(SEM-EDS)により分析・比較し、産地推定を行った。

2.実験方法

分析資料は、カマン・カレホユック遺跡の前期青銅器時代の文化層から出土したろくろ製土器 25 点と、比較として同時代の手づくね製土器 11 点である。ろくろ製土器と手づくね製土器の判別は、X 線透過装置およびデジタル顕微鏡を用い、胎土中の鉱物および空隙の方向を観察することで推定した。重鉱物分析の試料調製として、土器 15 g 程度を粉砕・洗浄・篩がけ後、重液(比重 2.82)によって重鉱物を抽出した。樹脂包埋・炭素蒸着後に、SEM による形態観察および EDS スペクトルによる化学組成から重鉱物 1 粒子ごとに鉱物種を同定した。土器 1 試料あたり重鉱物 200 粒程度を同定し、その存在割合を求め、各土器の重鉱物組成とした。同様に分析したカマン・カレホユック遺跡周辺 50 km 圏内の堆積物 85 点の重鉱物組成(採取地点は Fig. 1 参照)と比較し、各土器の産地推定を行った。

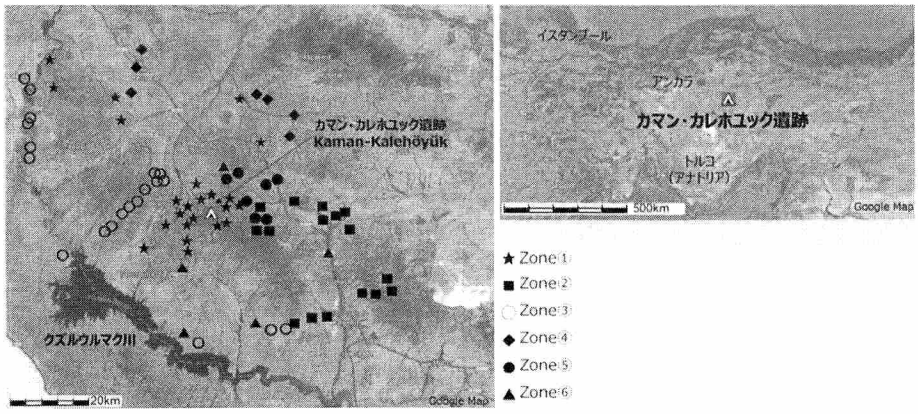


Fig. 1 遺跡周辺堆積物の採取地点

3.結果・考察

SEM-EDS により同定された全 15 種類の重鉱物のうち、単斜輝石，角閃石，緑簾石，チタン石，Ca-柘榴石，Cr-スピネル，ジルコンの 7 種の重鉱物の有無または量に基づき、Fig. 2 に示すようにろくろ製土器を Gr.1～Gr.7,手づくね製土器を Gr.8～Gr.12、そして堆積物を Zone①~⑥(Pattern A~K)に分類した。土器の各グループおよび堆積物の各パターンの代表的な重鉱物組成も Fig. 2 に示されている。Gr.1 と Gr.8 の重鉱物組成には角閃石とチタン石が特徴的に含まれ、遺跡周辺の堆積物 Zone①の Pattern A の重鉱物組成と類似していた。Fig. 1 に示されるように、Zone①の堆積物は遺跡周辺で採取されたものであるため、Gr.1 と Gr.8 は遺跡内で製作された土器、すなわち在地品である可能性が高い。また、現時点で本遺跡における最も古い建築層(前 2300 年頃)より出土したろくろ製土器の中にも、在地品と思われる重鉱物組成を持つものが存在した(tt-6)。この結果は、前期青銅器時代の早い段階から本遺跡の土器生産においてろくろが使用されていたことを示すものである。一方で、土器 Gr.5, 6, 7, 12 の 4 グループについては、遺跡周辺 50 km 圏内に類似した重鉱物組成を持つ堆積物が存在せず、これらは遺跡 50 km 圏外遠方からの搬入品の可能性が考えられる。このように、土器と遺跡周辺堆積物の重鉱物組成分析から、本遺跡における土器の生産・流通状況を明らかにすることができた。当日は時代による変遷についても考察を行う。

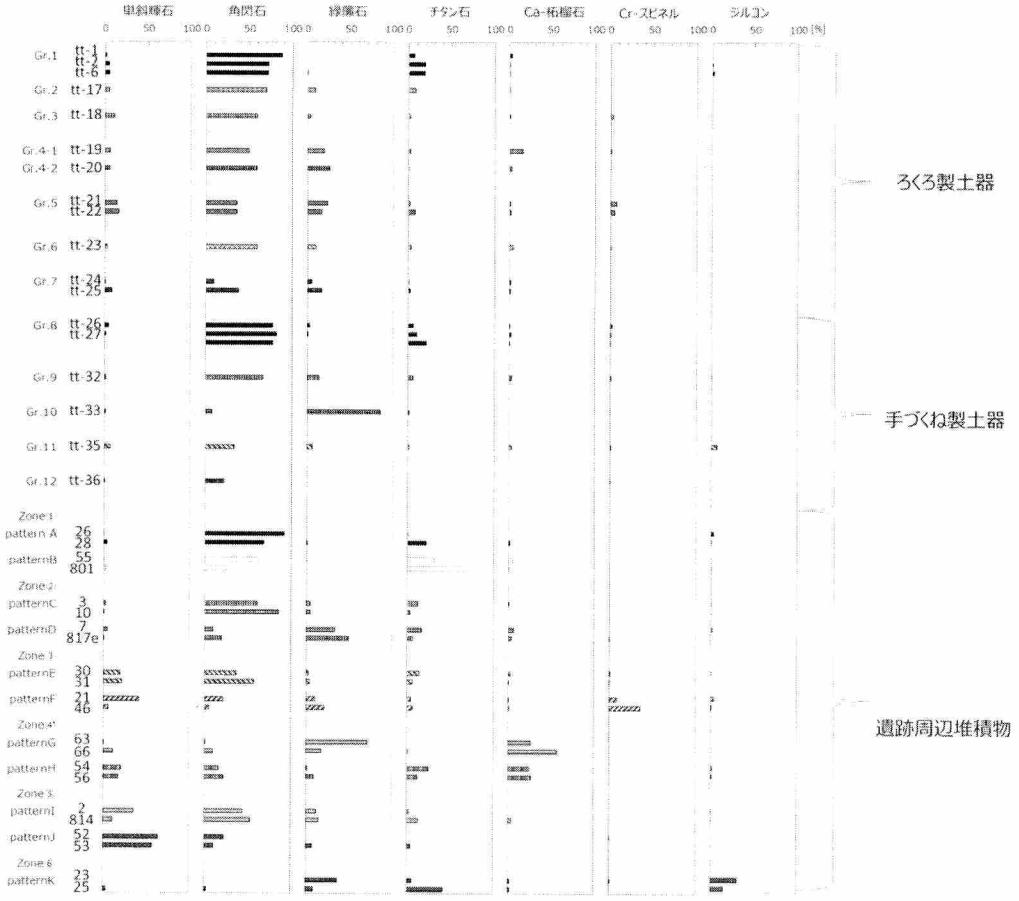


Fig. 2 土器と堆積物の重鉱物組成

参考文献

1) M.Türkteki : *ANATOLICA,* **XL**, 93-109 (2014).

2) W.S.K.Bong *et al.* : *Journal of Archeological Science*, **37**, 2165-2178 (2010).

P-049

江差町旧中村家住宅の年輪調査
－明治期に北海道へ渡ったツガの産地－
Dendrochronological study of Old Nakamura residence in Esashi, Hokkaido, Japan:
Provenancing of hemlock (*Tsuga sieboldii*) introduced into Hokkaido in Meiji Era

○藤井 裕之（奈良文化財研究所）、大山 幹成（東北大学学術資源研究公開センター植物園）
○Hiroyuki FUJII(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Motonari OHYAMA (Botanical Gardens of Tohoku University)

１．はじめに

重要文化財 旧中村家住宅（北海道檜山郡江差町字中歌町）は、北海道南西海岸部における近代の土蔵造町家の代表例として知られる（江面 2003）。1980 年（昭和 55）から約２年間おこなわれた保存修理工事の知見により総ヒバ普請とされたが、具体的な創建時期については、大火等の考証により明治 20 年代（1887~1896）頃と推定されたのみであった（文建協編 1982）。その後、藤井らの観察により、圧倒的多数のヒバ、板ものに見られるスギに加え、部分的にツガが多用されていること、いずれの樹種も年輪データの収集に好適なことがわかり、許可を得て 2014 年 5 月、上記の３樹種を対象に年輪調査を実施した。ここでは、ツガに関する成果を報告する。

２．目視観察による樹種の把握と試料の選定

年輪調査に先立ち、建物内見え掛かり部分の木部材を対象に使用樹種の目視観察をおこなった。その結果、１階ぶつまの柱と吊束、２階表座敷南半にツガが集中していた（図）。そのうち 100 層以上の年輪を有すると判断できた２階表座敷の柱４点、吊束２点、長押４点の計 10 点を、年輪データの計測対象に選定した。１階ぶつまのツガは、年輪が粗くデータ処理に堪えないと判断し対象から除外した。なお、重要文化財のため、今回は切片採取による樹種同定は控えた。

３．データ取得と処理の方法

本研究に関する年輪データの取得（年輪幅の計測、年輪パターンの比較、照合）は、Baillie（1982）等をベースとした光谷らの方法（光谷ほか 1990）によった（照合の目安；重複年輪数 100 層以上、t=5.0 以上）。年輪幅の計測は、試料表面の画像をデジタルカメラで取得し、これを印刷出力したものからおこなった。画像取得用機材は、ソニーNEX-5N、および同α7R に各種マクロレンズ、アクセサリーを組み合わせて使用した。今回は、四方柾材の画像取得に Adobe Photoshop CS4 以降に搭載された「被写界深度の合成」機能を試用することとし、カメラは通常手持ちとするところ、スライド雲台付写真用大型三脚に固定し、合成画像が連続するよう適宜焦点をずらして撮影にあたった。比較、照合の作業は主にコンピュータ上で行い、年輪分析ソフト PAST4（オーストリア SCIEM 社）、および ExcelVBA による自作プログラムを適宜併用した。

４．照合とその結果

総当たり比較　計測した 10 点の年輪データは、まず総当たり比較に供した。その結果、A～C の３グループを把握でき、吊束１点を除くすべての試料がいずれかのグループに帰属していた。この成果をもとに、各グループの平均値パターン（A=85 層、B=218 層、C=193 層）を作成した。

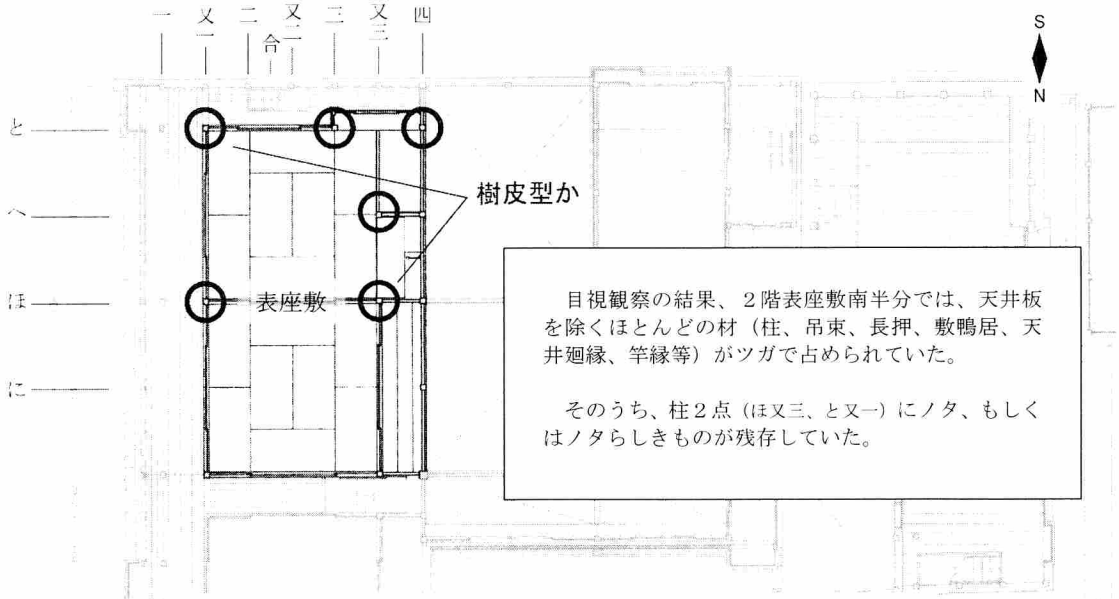


図　重文 旧中村家住宅２階におけるツガ柱の配置（○囲み部分）
平面図、および各通りの番付は、文建協編（1982）による

ツガ年輪パターンとの照合　つぎに、上記の各平均値パターンと、既存のツガ年輪パターンとの照合を試みた。その結果、高知城ツガ現用木部材 A グループ（新規報告、1599～1941 年）により、旧中村家 B グループは 1669 年から 1886 年までの年代幅で照合が成立した（t=5.5）。この高知城 A グループは、上芳我家住宅離座敷（愛媛県内子町）のツガ天井板（藤井 2014）に対し照合が成立する（t=5.72）。また、旧中村家 C グループは、前掲・上芳我家住宅のパターン（t=5.74）と高知城の E グループ（藤井前掲、t=5.77）により、1691 年から 1883 年までの年代幅で照合が成立した。柱と又一は B グループ、同じく柱ほ又三は C グループに帰属し、それぞれ各グループで最も新しい年輪を含む。また、柱ほ又三は、計測可能な最外年のさらに外側に２層年輪が数えられ、そこにノタが残存していた。グループに与えられた年代を各材に還元すると、柱と又一の最外年輪年代は 1886（明治 19）年、柱ほ又三では 1885 年（明治 18 年）に求められる。

５．照合状況の評価

ノタが確認できた部材２点の年代は、創建にかかわる歴史的事実とよく整合している。また、既存のツガ年輪パターンのうち、愛媛・高知産と目されるデータに対し相関が認められる。産地については、地域編年のネットワークが立ち上がっていないため、今後引き続き検討を要するが、現在のところ四国をはじめとする西日本産である可能性が示唆される。明治 20 年代当時、北前船などのなんらかの手段により、西日本方面から北海道へと至る木材流通の存在がうかがえる。

なお、本研究の一部は科研費（課題番号 25420685、25282069）の成果による。

文献
Baillie, M.G.L. 1982 Tree-ring dating and archaeology. Croom Helm. London and Canberra
江面嗣人 2003『近代の住宅建築』日本の美術 449　至文堂
藤井裕之 2014「日本産ツガ属の年輪年代測定（その７）－四国地方の文化財建造物における調査－」『日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集』pp.144-145
文化財建造物保存技術協会（編）1982『重要文化財旧中村家住宅保存修理工事報告書』江差町
光谷拓実ほか 1990『年輪に歴史を読む－日本における古年輪学の成立－』奈良国立文化財研究所編　同朋舎出版

P-050

肉眼観察と理化学分析手法の併用による神津島産黒曜石の産出地細分類

Subclassification of the production place of obsidian in Kozu Island by combination use of observation with the naked eye and chemical analysis

発表者（○：ポスター説明者）
○林　悠平(東海大学)、市川　慎太郎（明治大学)、中村　利廣（明治大学)、松本　建速（東海大学）

東京都伊豆諸島神津島で産する黒曜石は、旧石器、縄文時代に石器原料として用いられたことが確認され、当時の人々がもっていた高い海上航行能力の物質的な証拠として重要視されてきた。様々な手法による同島産黒曜石の研究がなされるなか、日本の各産出地の黒曜石を採集し、蛍光X線分析装置（EDX、WDXなど）でその元素組成を測定することで、遺跡出土の黒曜石を同様に分析し原産地を特定する手法が確立した。現在、神津島産黒曜石はその元素組成で「恩馳島系」と「砂糠崎系」とに大別され、信州や箱根などの他地域産の黒曜石とは明確に区別が可能である。しかし、同島内に複数ある黒曜石産出地点の細別は、これまで行われてきた理化学分析による分類では数値が近似していたため、難しかった。神津島の各黒曜石産出地の立地状況は地点によってかなり異なるため、同島産黒曜石の利用を考古学的に追究する中で、産出地の細分類の可否は問題となる。

今回、黒曜石産地分類における神津島産黒曜石の正確な産出地点の特定を目標として、同島の恩馳島、砂糠崎、沢尻湾、観音浦（海蝕崖と海岸）の各産出地点の黒曜石の波長分散型蛍光X線分析装置（WDX）による高品位な元素組成分析を、市川、中村が実施した。さらに、グレースケール、1cm×1cmマスなどを用いて黒曜石の外観的特徴を数値化した肉眼観察手法を確立し、同島複数産出地の黒曜石の分類もあわせて行った。特に、これまで産出地点として重要視されてこなかった、島の東側の海蝕崖から採集できる観音浦（先行研究ではオドリャアナ）産の黒曜石は、分析事例が少ないため重点的に分析した。

結果、WDX分析において恩馳島、砂糠崎、観音浦の各黒曜石は、元素組成的にそれぞれ独立した産出地であることが示された。特に観音浦は、SiO_2、Nbによる他産出地との明確な分類が可能であった（図)。肉眼観察においては、漆黒部分が多く斑晶の少ない恩馳島産と、透明部と斑晶が多い砂糠崎、観音浦産の二系統に大別できることが分かった（表)。ま

た、斑晶の多少によるWDX結果との連動と、砂糠崎と観音浦に内包される斑晶の内容物の違いも分析結果から確認できた。これらの成果と先行の文化財科学研究（WDX、EDXによる黒曜石の理化学産地特定）とを組み合わせることで、神津島産黒曜石のより詳細な産出地点の特定が可能となる。また肉眼的特徴の数値化により、各産地の黒曜石の外観による同定法の汎用性が高まり、考古資料（黒曜石製遺物）への適用も期待できる。ただし、黒曜石製遺物への適用のためには、現在確認されている原産地（先ずは関東圏遺跡への供給が先行研究で確認されている原産地）の原石の肉眼的特徴の数値化を合わせて行う必要がある。

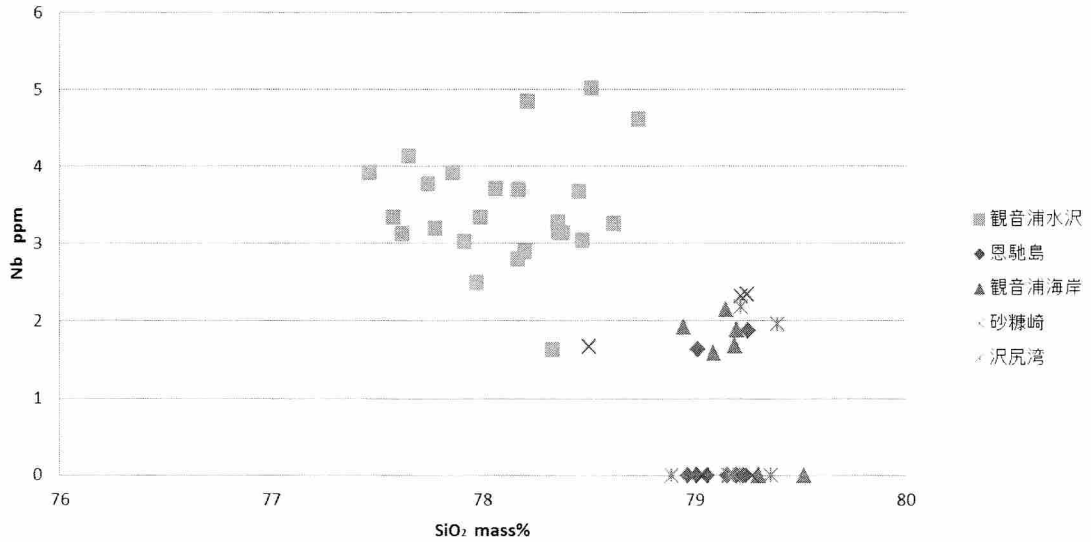


図　WDXによる神津島産黒曜石原石の元素組成分析結果
SiO_2/Nb

表　神津島産黒曜石　肉眼分類結果（一部）　黒色指標：KODAK Gray Scale（0～19）

産出地	番号	ガラス部の色（厚）	ガラス部の色（薄）	斑晶密度(1cm×1cm)	斑晶の大きさ(mm)	透明感（厚）	透明感（薄）
神津島観音浦海岸	1	10～15	4～7	3～6	1～2	明瞭	明瞭
神津島観音浦海岸	2	11～19	6～11	1～8	0.5～2	明瞭	明瞭
神津島観音浦海岸	3	18～19	3,4　14～19	3～7	0.5～2.5	不明瞭	不明瞭　一部明瞭
神津島観音浦水沢	1	5～19　若干茶	6～18　若干茶	3.4～7	0.5～2	明瞭	明瞭
神津島観音浦水沢	2	5～19　若干茶	5～14　若干茶	2.3～8	0.5～3	明瞭	明瞭
神津島観音浦水沢	3	8～19	3～12,13　若干茶	1.2～7	0.5～3	明瞭	明瞭
神津島観音浦水沢	14	7.8～19　若干茶	4～14,15　若干茶	2～8	1～3	明瞭	明瞭
神津島観音浦水沢	15	13～19	8,9～18	1～7	1～2	不明瞭	半明瞭　一部不明瞭
神津島恩馳島	1	17～19	7　16～19	1～3	0.5～1	不明瞭	ほぼ不明瞭
神津島恩馳島	2	17～19	8　16～19	1～3	0.1～0.5	不明瞭	一部半明瞭
神津島恩馳島	3	18～19	4～7　16～19	0～4	0.5～1	不明瞭	一部明瞭
神津島恩馳島	4	16～19	6～9　12～19	0～2	0.5～2	不明瞭	一部半明瞭
神津島恩馳島	5	17～19	4～6　15～19	1～5	0.5～1	不明瞭	一部半明瞭・明瞭
神津島沢尻湾　浜	1	8.9～16.17	5～14　若干茶？	3～6	0.5～3	明瞭	明瞭
神津島沢尻湾　浜	2	18～19	7　14～19	3～4.5	0.5～3	不明瞭	不明瞭　一部半明瞭
神津島沢尻湾　浜	3	17～19	14～19	6～12	0.5～2.5	不明瞭	不明瞭
神津島沢尻湾　浜	5	17～19	4～8　13～19	1～5	0.5～1	明瞭	明瞭
神津島砂糠崎	1	9～19　若干茶	3～12　若干茶	3～7	1～2	明瞭	明瞭
神津島砂糠崎	2	12～19　若干茶	2,3～13　若干茶	3～7	0.5～2	明瞭	明瞭
神津島砂糠崎	3	10～19	4,5～19	5～8	0.5～2.5	半明瞭	明瞭

P-051

X線CTを用いた東北地方民家所蔵漆器の非破壊年輪計測と産地推定

Nondestructive tree-ring measurements and dendroprovenancings for Urushi lacquer wares in Tohoku region

○鈴木伸哉（東京都埋蔵文化財センター）・大山幹成（東北大学植物園）・
星野安治（奈良文化財研究所）

はじめに

漆器はおもに中世以降の遺跡から数多く出土し、また多数の民具資料が残されている。これらを対象とした考古学・文化財科学的研究では塗膜構造の分析や樹種同定に基づく用材の分析等がおこなわれている。しかし表面が漆に覆われているため、素材となった木材を観察することは一部の破断面を利用する以外に困難であった。そのため漆器木地の生産・流通史に関する検討例は文献史料に依拠したものを除けば未だ乏しい。一方、民具などの古材資料の年輪データと、地域ごとに作成された標準年輪曲線との類似度の分析によって木材の産地推定が可能であることが示されている（dendroprovenancing: Haneca et al. 2005; Hoshino et al. 2008 など）。こうしたなか、本研究ではX線CTを用いて、非破壊で伝世漆器の木胎部の可視化と年輪計測をおこない、これに基づいた年輪年代学的検討によって産地推定を試みた。

資料と方法

岩手県一関市内の旧家土蔵に700点を超える漆器椀や皿、蓋類が保管されていた。これらは飯椀や汁椀、蓋類などからなる一膳分が、10～20人前ずつのセットとなっている。本来は箱に入った揃いの一式となっていたようだが、入手された年代や製作者などの由来は不明である。

肉眼観察によって木取りと樹種を推定し、横木取り・柾目のブナ属の材を用いたと見られるもののなかから、多数の年輪数が見込まれる資料56点を抽出し、資料とした。X線CTスキャナーで木材の横断面方向に沿って撮像し、年輪の画像計測をおこなった。

常法に基づき，得られた年輪データ間のクロスデートをおこない、さらに18世紀から20世紀をカバーする中部～東北地方のブナ属の標準年輪曲線（星野 2006）とクロスデートを試みた。

結果と考察

未だ計測の途中であるが、これまで得られた年輪データの検討の結果、同一のセット内の個体間で高い類似度でクロスデートし、同一母材をもとに製作されたと推定されるものも認められた。また、1点の椀蓋（No. 36）から得られた年輪曲線が、奥羽山脈の岩手県湯田のブナ材で構築された標準年輪曲線とクロスデートした（t=8.21 オーバーラップ108年：図1）。この年輪曲線は他地域の標準年輪曲線とはクロスデートしないことから、木材の産地として湯田を中心とした地域が推定される（図2）。さらに、これとは別グループの漆器は群馬県水上の標準年輪曲線とクロスデートするなど、異なる産地が示唆されるものもあった。

予備調査の段階であり、検討した資料数も限られるが、漆器木地の産地を推定する方法として年輪年代学的アプローチは有効であると考えられる。今後の資料の蓄積によって年輪曲線の拡充を図り、こうした検討の有効性を確認する予定である。

謝辞：貴重な資料の分析の機会を下さった千葉家ご夫妻に心より御礼申し上げる。本研究には日本学術振興会科学研究費補助金（23240116, 15H00034）の一部を用いた。

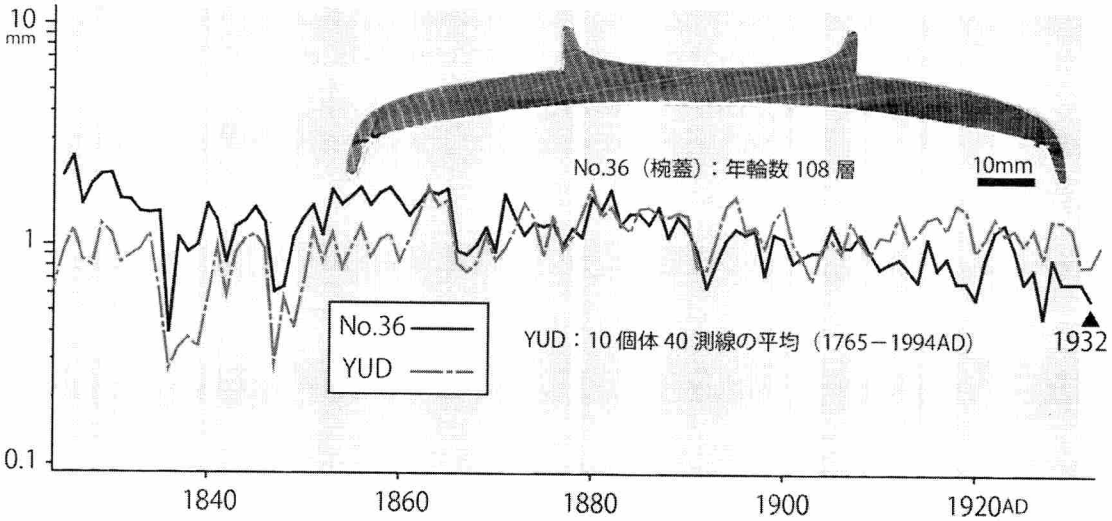


図 1　椀蓋 No. 36 の X 線 CT 画像・年輪データと
岩手県湯田の標準年輪曲線とのクロスデート結果

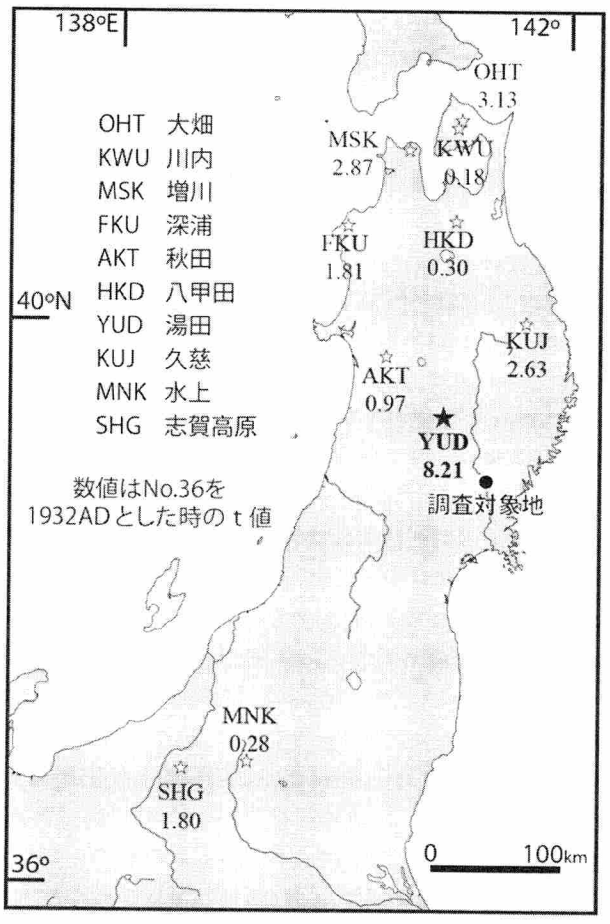


図 2　椀蓋 No. 36 と中部・東北地方の標準年輪曲線とのクロスデート結果の t 値.（星野 2006）をもとに作図

引用文献：Haneca et al. 2005 Journal of Archaeological science 32: 261-271　星野他 2006 考古学と自然科学 54: 69-79 Hoshino et al. 2008 Tree-Ring Research 64: 109-114

P-052

トルコ、ビュクリュカレ遺跡の巨石建築物から多量に出土した土器片の産地推定

Provenance analyses of pottery sherds excavated from the basement rooms at Büklükale, Turkey.

○関本敦久（東理大・理）　松村公仁（アナトリア考古学研究所）　中井　泉（東理大・理）

1. 序

これまでに我々は、走査型電子顕微鏡（SEM-EDS）を用いた重鉱物組成分析により、トルコ共和国・中央アナトリアの遺跡から出土した土器片の産地推定研究を進めてきた[1,2]。本研究で研究対象としたビュクリュカレ遺跡もまた中央アナトリア内の、トルコ最長流域を誇るクズルウルマック川に隣接する箇所に位置している。このビュクリュカレ遺跡は、アナトリア考古学研究所が 2009 年から継続的な発掘調査を続けており（発掘隊長：松村公仁）、これまでの調査により巨石建築物が検出され、中・後期青銅時代に大都市として機能していたことが考えられている[3]。第 4 次発掘調査（2012 年）の際に、巨石建築物の地下室 R54 が検出された。R54 からは糸切り痕土器（ろくろから切り離す際に糸を利用した痕跡が残存する土器）が多量に出土し、その数は椀型土器 3000 点・注口型土器 130 点に及ぶと見積もられている。規格化された土器の大量出土は、当時同遺跡で大規模な土器生産活動が行われていた可能性を示している。そこで我々は 2013 年度、R54 出土糸切り痕土器片 4 点の重鉱物組成分析を行ない、分析した試料全てが同遺跡付近の堆積物を用いて作製されたものであるという結果を得た[4]。本研究では、引き続き R54 出土糸切り痕土器片 20 点について重鉱物組成分析を行なうことで、同遺跡における土器の大量生産の可能性について検証した。また最近の調査により、R54 と類似した構造を持つ地下室 R62 が検出され、この R62 より出土した土器 20 点についても同様に分析を行ない、比較した。

2. 手法

分析試料は、ビュクリュカレ遺跡・地下室 R54 から出土した土器片 20 点、および R62 から出土した土器片 20 点の計 40 点である。なお R54 出土土器から分析試料を選定するにあたり、より搬入品の可能性が高いものを選び出すため、ハンドヘルド型蛍光 X 線分光分析装置（NITON）を用いて土器片 101 点の化学組成分析を行ない、主成分分析（PCA）により化学組成の特異性が高い 20 点を選択した。土器片約 20 g を粉砕・洗浄・篩がけ後、重液（比重 2.82）によって重鉱物を抽出した。樹脂包埋・炭素蒸着後に SEM による形態観察および EDS スペクトルによる化学組成から、重鉱物 1 粒子ごとに鉱物種を同定した。土器片 1 試料あたり重鉱物 200 粒程度を同定し、その存在割合を求め、各土器片の重鉱物組成とした。また遺跡周辺 20 km 圏内（Fig. 1）からサンプリングした堆積物 45 点を、同様の方法で重鉱物組成を求め、土器片の重鉱物組成と比較し、原料産地を考察した。

3. 結果と考察

重鉱物組成により、遺跡周辺堆積物は 8 グループ（Area 1～8）に区分された。それぞれの代表的な重鉱物組成を Fig. 2 に示した。これに対して、例として R54 出土土器 4 点の重鉱物組成を Fig. 2 に示した。R54 および R62 より出土した 40 点の土器片試料は、単斜輝石と角閃石に富み Cr スピネルと緑泥石を含むという似通った重鉱物組成を示した。これらの重鉱物組成の特徴は、遺跡周辺堆積物のうち Area 1 のものと類似していた。Area 1 の堆積物は遺跡に隣接するクズルウルマック川で採取された粘土であることから、本研究で分析した土器は全て遺跡周辺

の粘土を用いて遺跡内で作製されたもの、すなわち在地品であると結論付けた。この結果は、地下室 R54 より出土した大量の土器が全て在地品である可能性を強く示している。以上より、SEM-EDS を用いた重鉱物組成分析によって、中・後期青銅器時代においてビュクリュカレ遺跡が土器の大量生産を行なっていたという仮説を科学的に実証する重要な知見が得られた。

【謝辞】

貴重な考古遺物を本研究の為にご提供くださり、多くのご指導をいただいたアナトリア考古学研究所所長の大村幸弘先生に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

1) W.S.K. Bong, K.Matsumura, K.Yokohama, and I. Nakai: Provenance study of early and middle bronze age pottery from Kaman-Kalehöyük, Turkey, by heavy mineral analysis and geochemical analysis of individual hornblende grains, *Journal of Archaeological Science* **37**, 2165-2178 (2010).

2) K.Hashimoto, I.Nakai, and A.Schachner: Provenance Study of Pottery from Boğazköy, Turkey by Heavy Mineral Analysis: a Preliminary Report, *Archäologischer Anzeiger* **2013/1**, 177-193 (2013).

3) 中近東文化センター付属アナトリア考古学研究所 http://www.jiaa-kaman.org/jp/excavation_buklukale.html

4) 関本敦久ら: 日本文化財科学会第 31 回大会において発表 (2014).

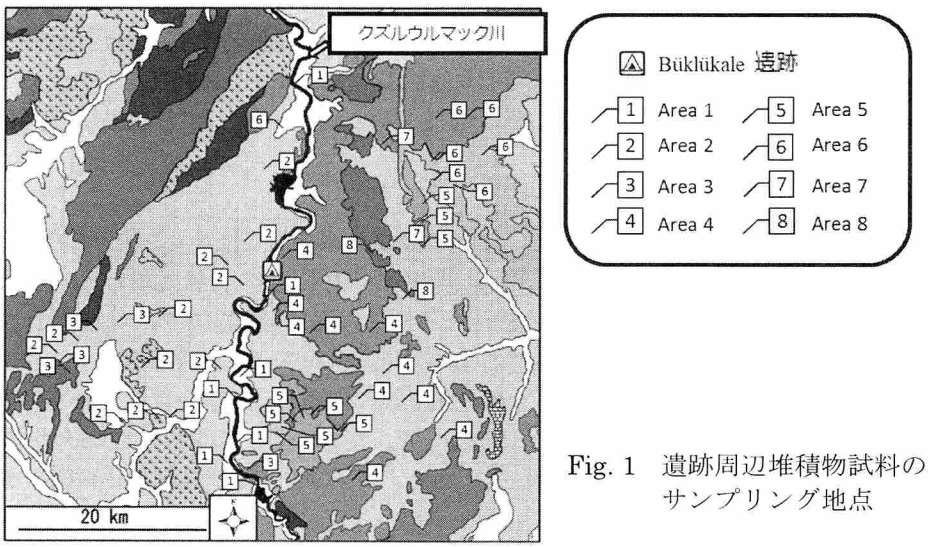


Fig. 1　遺跡周辺堆積物試料のサンプリング地点

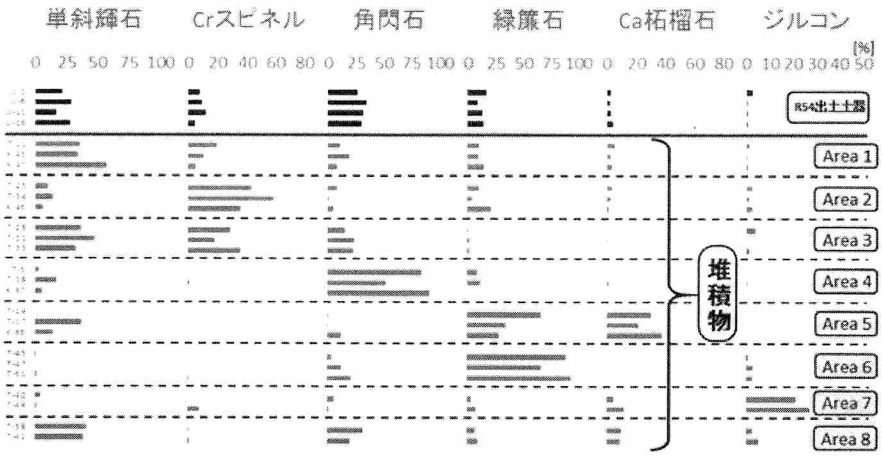


Fig. 2　土器片と遺跡周辺堆積物の重鉱物組成

P-053

ブルガリア南部のテル型集落から出土した前期青銅器時代土器の産地：考古学、記載岩石学および分析化学からの検討

Provenance of Early Bronze Age Pottery from Tell Settlements in South Bulgaria:

Examining in Archaeology, Petrography and Chemical Analysis

○千本真生（東海大学大学院文学研究科）、金成太郎（明治大学研究・知財戦略機構）、
柴田徹（東海大学文学部）、禿仁志（同左）

○ Masao Semmoto (Tokai University), Tarou Kannari (Meiji University),
Toru Shibata (Tokai University), Hitoshi Kamuro (Tokai University)

1．背景と目的

バルカン半島は、古代ヨーロッパ世界の形成過程を理解するうえで重要な地勢的位置を占めている。とりわけ、ヨーロッパ青銅器時代の起源・青銅器文化の系統をめぐっては、いわゆる「民族移動論」が一世を風靡したが、半島ではこの仮説の当否を含め、実証的な研究が十分に行われてこなかった。こうした背景のもと、筆者らはブルガリア南部のデャドヴォ遺跡をはじめとする集落出土の土器胎土を複数の手法で分析し、土器の産地推定に取り組むことで、前期青銅器時代の土器生産体制と集落間関係の一様相を明らかにしようと試みてきた（千本他 2014a、2014b、印刷中）。本発表では、これまで分析してきた3つの集落遺跡の土器産地についてまとめて検討することで、上記の課題に迫るものである。

2．分析対象と方法

上記の目的を達成するために、本研究ではブルガリア南部に隣接して位置するデャドヴォ、エゼロ、ソコル・ヒミトリヤタの各集落遺跡から得られた前期青銅器時代土器を分析対象とした（図1）。遺跡別の資料数は前より順に32点、50点、28点である。いずれも同じ土器型式圏の特徴を示している。

分析方法としては、偏光顕微鏡による記載岩石学的分析と蛍光X線分析を採用した。前者においては、上記の資料から作成したプレパラートを偏光顕微鏡で観察し、胎土中に含まれている岩石種を特定して、各岩石種の構成および量を定性的に把握した。後者に関してはエネルギー分散型蛍光X線分析装置（EDXRF, JSX3100s:JEOL）を用いて、ファンダメンタルパラメーター（FP）法により各資料の化学組成の定量値を算出した。

3．分析結果と考察

記載岩石学的分析により、各遺跡の資料を以下のように5つの胎土類型に大別した（表1、図3）。I類は粗粒の花崗岩のみが含まれるもの。II類は粗粒の花崗岩、石灰岩が含まれるもの。III類は砂岩、粘板岩、火山岩の2種類以上が含まれるもの。IV類は砂岩、粘板岩、火山岩の1種類以上と花崗岩が含まれるもの。V類は岩石を含まない、もしくは極少量しか含まれないもの。蛍光X線分析の結果（図2）では、I類胎土はデャドヴォ遺跡でMgOが相対的に低い範囲に分布しているのに対し、ソコル・ヒミトリヤタ遺跡ではデャドヴォ遺跡のものよりやや高い分布を示した。一方、エゼロ遺跡の主要な土器胎土であるIII・IV類胎土はMgOが相対的に最も高い範囲に分布し、他2遺跡とは分布範囲が異なる。

分析の結果、次の点を指摘することができる。1）デャドヴォ遺跡とソコル・ヒミトリヤタ遺跡で主要なI類胎土は構成岩石種の点では同一類型に属するものと分類されたが、化学組成の点では両者は区分できる。2）エゼロ遺跡で主要な土器胎土はIII・IV類であり、前2遺跡のI類胎土とは構成岩石種・化学組成の点で特徴が明確に異なる。3）これら3遺跡は同一土器型式圏内に位置するものの、各遺跡で主要な土器胎土は相違していたことから、一連の分析結果は集落ごとに異なる産地の素材を利用して土器生産を行っていたことを示す有力な証拠と言える。4）型式学的には在地系とされる土

器が、それぞれの遺跡では客体的な土器胎土を有する例が見られたことから、在地系土器の移動を伴う集落間交流が行われていたことを胎土分析により想定することができた。

【参照文献】

千本真生他（印刷中）：「ブルガリア前期青銅器時代における土器の産地推定：エゼロ遺跡の事例を中心に」『日本西アジア考古学会第20回総会・大会要旨集』、日本西アジア考古学会

千本真生他　2014a:「デャドヴォ遺跡における前期青銅器時代土器の胎土分析と産地推定」『Dyadovo Studies 7: ブルガリア・デャドヴォ遺跡の資料分析を通して見る青銅器時代開始期の背景−ブルガリア・デャドヴォ遺跡の第21次・第22次・第23次調査報告（2010～2012）−』、東海大学トラキア発掘調査団、pp. 116-126

千本真生他　2014b:「ブルガリア前期青銅器時代の土器産地について−ソコル・ヒミトリヤタ遺跡における胎土分析をもとに−」『アジアの土と炎−民族誌と実験考古学の最前線−』、「アジアの歴史と文化」懇話会、早稲田大学西アジア考古学勉強会、p. 92

表1　各集落の土器胎土の偏光顕微鏡観察結果

胎土類型	資料名	岩石									
		粒径（mm）	量	砂岩	頁岩・粘板岩	玉髄質岩	火山岩	花崗岩質岩	変質深成岩	結晶片岩類	石灰岩
Ⅰ	CT15	0.5～3	多					◎			
Ⅱ	CT16	0.5～2.5	多	・				◎		・	○
Ⅲ	CT58	1～3	多	○	◎		・	・			
Ⅴ	CT17	×	なし								・
Ⅰ	EZR35	0.5～2	多					◎			
Ⅱ	EZR27	0.5～1.5	中					○			◎
Ⅲ	EZR03	0.3～2	極多	△	◎		△	・		・	
Ⅳ	EZR36	0.5～3	多	○	○	△		△			
Ⅴ	EZR15	0.5	極少	・			・				
Ⅰ	SKL02	0.5～2.5	多					◎			
Ⅱ	SKL16	0.5～1.5	多					◎			○
Ⅲ	SKL01	0.2～4.0	多	◎	◎		△				
Ⅳ	SKL07	0.5～1.5	多	○			○	・	△		
Ⅴ	SKL15	×	なし								

◎多量　○中量　△少量　・極少量
CT：デャドヴォ　EZR：エゼロ　SKL：ソコル・ヒミトリヤタ

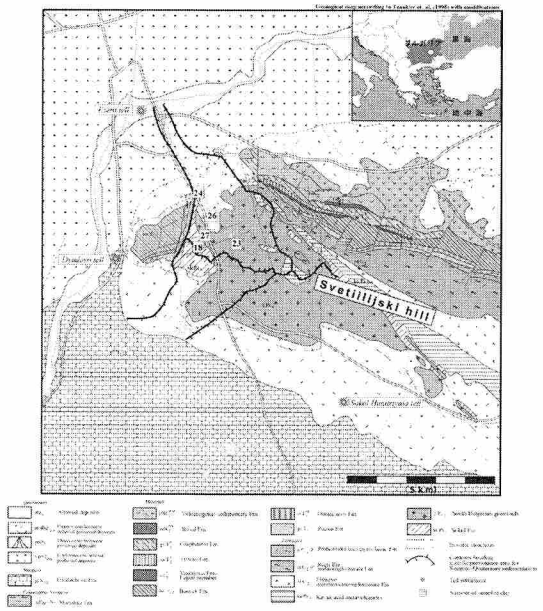


図1　遺跡の位置と周辺の地質

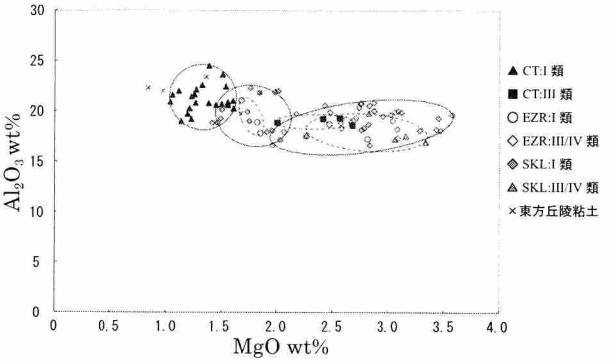


図2　土器胎土の成分相関図（MgO vs Al_2O_3）

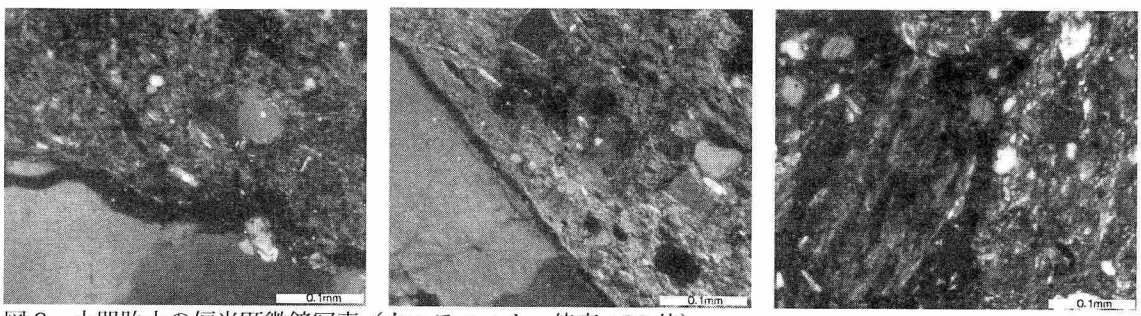


図3　土器胎土の偏光顕微鏡写真（クロスニコル。倍率100倍）
＊左からデャドヴォ遺跡（CT15）、ソコル・ヒミトリヤタ遺跡（SKL02）、エゼロ遺跡（EZR03）

P-054

Sr 同位体比測定法および熱分解 GC/MS 分析による漆製品の産地推定に関する研究

Application of Sr isotopes ratio and pyrolysis-GC/MS to provenance study of Lacquer wares.

○安藤 大輔 (明治大学大学院) 中井 俊一 (東京大学地震研究所)
本多 貴之 (明治大学理工学部) 宮腰哲雄 (明治大学理工学部)

1. 研究背景

本研究の目的は漆製品に使用されている漆液の産地を解明し産地の推定から交易経路の推定を行うことである。ウルシは東アジアを中心に生育・分布しており、主に 3 系統が存在している (**Fig. 1**) 。これら 3 系統のウルシ種は熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析計 (熱分解-GC/MS) を用いることで主成分の熱分解生成物から系統識別を行うことが出来る。しかし、主成分が同じである日本産漆 (列島産漆) と中国・韓国産漆 (大陸産漆) は熱分解-GC/MS 分析では識別することが出来なかった。そこでウルシに数 ppm 単位で含まれている Sr 同位体の存在比 ($^{87}Sr/^{86}Sr$) について着目した。$^{87}Sr/^{86}Sr$ は、ウルシの生育土壌の源岩が形成された年代により異なる値を示すために産地推定に応用ができる (**Fig. 2**) 。そこで本研究では、マルチコレクター型誘導結合プラズマ質量分析計 (MC-ICP-MS) により $^{87}Sr/^{86}Sr$ を測定して現生漆および漆製品の産地推定を行っている。

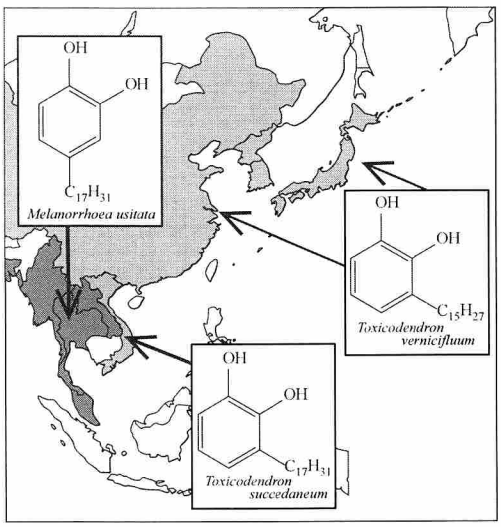


Fig. 1 The basis and distribution of Lacquer.

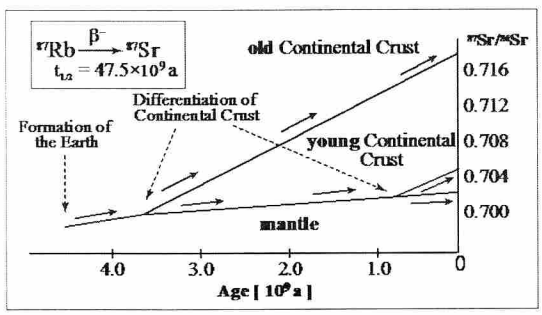


Fig. 2 The evolution of Sr isotopes ratio by radioactive decay.

佐藤 (2010)、武藤 (2014) の研究成果にて各地の漆液や土壌の間には $^{87}Sr/^{86}Sr$ の明確な差異が確認されている。その結果を踏まえて、我々は「沖縄」に注目して研究を進めている。沖縄には琉球漆器が存在しており、古くは中国への貢ぎものとして珍重されていた。また、19 世紀ごろまで、中継貿易の中心的な拠点であったことから、様々な地域の漆が漆器に対して使用されている可能性があると考えられており、注目を集めている。

そこで今回は、現在まで分析を行った沖縄・奄美大島における琉球漆器の分析成果概要を中心に発表する。

2. 実験

2.1 試料

・日本産漆塗膜 (岩手県二戸市浄法寺町) ・中国産漆塗膜 (中国重慶市城口)
・韓国産漆塗膜 (江原道原州市) ・ベトナム産漆塗膜 (ベトナムフート省トウバン村)
・琉球漆器 (箔絵・文机・丸櫃 A・丸櫃 B) 計 8 点

2.2 前処理

試料をテフロンビーカーに入れ、さらに硝酸 (Ultrapur) を加えて蓋をして 11 時間加熱分解を行った。テフロンビーカーの蓋を開けた状態で加熱乾固を行い、有機物を分解した。eichrom 社製 Sr resin が充填されたカラムに溶液を通過させて Sr のみ抽出した。Micromass 社製 IsoProbe Multicollector ICP-MS (誘導結合プラズマ-質量分析計) によって Sr 同位体比を測定した。また、信号強度から試料に含まれる Sr 濃度を推定した。なお、標準物質として NIST SRM987 50ppb ($^{87}Sr/^{86}Sr$: 0.71025) を測定値の規格化に使用した。

3. 結果・考察

今回、測定を行った日本産 (列島産) と中国産・韓国産 (大陸産) およびベトナム産 (新生大陸産) の漆塗膜の有する $^{87}Sr/^{86}Sr$ には明確な差異が確認された。佐藤ら (2010) は多くの日本産漆が有する $^{87}Sr/^{86}Sr$ は 0.71 (-) を下回ることを報告しており、今回の結果も同様な挙動を示した (**Table 1**)。また、各琉球漆器塗膜は熱分解-GC/MS により日本・中国・韓国産系漆である *Toxicodendron vernicifluum* が単一で使用されていることを確認した。

Table 1 Sample information and results of Sr analysis.

Entry	Name	Sampling area	Weight [mg]	$^{87}Sr/^{86}Sr$ [-] raw data	$^{87}Sr/^{86}Sr$ [-] corrected value[a)]	^{88}Sr [V]	Sr [ppm]
1	Japanese raw lacquer film	Ninohe, Iwate, Japan	48.3	0.70571	**0.70561**	4.4	2.2
2	Chinese raw lacquer film	Chengkou, Chongqing, China	48.0	0.71495	**0.71483**	3.6	2.5
3	Korean raw lacquer film	Wonju, Gangwon, Korea	33.6	0.71461	**0.71449**	2.2	2.1
4	Vietnamese raw lacquer film	Phu Tho province, Vietnam	73.1	0.72316	**0.72291**	4.4	2.2
5	Ryukyu lacquer ware Hakue	Urasoe art museum, Okinawa, Japan	31.8	0.71371	**0.71357**	5.5	13.9
6	Ryukyu lacquer ware Writing desk		18.8	0.70919	**0.70916**	5.3	185.9
7	Ryukyu lacquer ware Round chest A	Amami art museum, Kagoshima, Japan	18.9	0.71382	**0.71377**	6.7	26.3
8	Ryukyu lacquer ware Round chest B		12.5	0.71167	**0.71162**	6.7	39.5

a) Raw data was corrected by measured ratios of NIST SRM987.

$^{87}Sr/^{86}Sr$ による使用された漆液の産地推定を試みた結果を示す (**Fig. 3**)。琉球漆器のうち Entries 5, 7 — 8 の $^{87}Sr/^{86}Sr$ が 0.71 (-) を超えた値を示し、漆液の産地が中国産・または韓国産である可能性を示唆した。対して、Entry 6 の文机の漆塗膜の有する $^{87}Sr/^{86}Sr$ が 0.71 (-) を下回る結果となり、日本産漆の使用が示唆された。今回測定を行った各種琉球漆器の漆塗膜は非常に高い Sr 濃度を示した。一般的に漆液が有する Sr は約 2.5ppm である。高い Sr 濃度が琉球漆器の特徴の可能性、または漆塗膜中の混入物による影響ではないかと考えている。今後はさらに琉球漆器の分析事例を増やし系統的な調査を行い、Sr 濃度の傾向等の検討を行っていきたいと考えている。

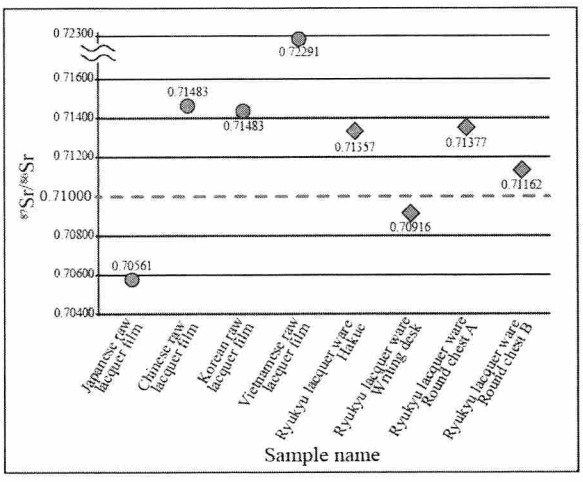


Fig. 3 $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio of Raw lacquer film and lacquer ware samples.

P-055

原の辻遺跡出土黒曜石の産地推定

Source identification of obsidian from Harunotsuji site

○片多雅樹(長崎県埋蔵文化財センター)、川道寛(同左)
○Masaki KATATA, Hiroshi KAWAMICHI (Nagasaki Prefecture Archaeological Center)

１．はじめに

長崎県埋蔵文化財センターでは、遺跡から出土した黒曜石製資料の原産地を推定する試みを始めている。その前段としてセンターに導入されているエネルギー分散型蛍光X線分析装置を用いて、主に九州圏内の黒曜石原産地から採集してきた黒曜石原石を分析し、望月明彦氏が考案した判別図法（望月2004、池谷2009）を用いて原産地の区分を行っている（片多ほか2014)。ここでは平成26年度に長崎県埋蔵文化財センターが実施した国特別史跡「原の辻遺跡（はるのつじ)」の発掘調査から出土した黒曜石を分析した結果について報告する。

２．分析資料と方法

平成２６年度原の辻遺跡発掘調査において出土した、黒曜石製遺物計１６９点全点に関して蛍光X線分析を行い、前述の黒曜石原産地判別図上に分析結果をプロットし産地推定を試みた。基本的に１資料１ポイント分析したが、資料の一部は２から４ポイント分析を行った。

使用したエネルギー分散型蛍光X線分析装置はＳＩＩナノテクノロジー社製：ＳＥＡ１２００ＶＸ。下面照射式で照射径は８ｍｍΦ。Ｒｈ（ロジウム）管球、ＳＤＤ検出器で液体窒素を要しない。分析条件は管電圧４０ｋＶで管電流は抵抗値によって自動設定とした。大気雰囲気で、測定時間１００秒で分析を行った。検出した元素のうち、Ｋ（カリウム)，Ｍｎ（マンガン)，Ｆｅ（鉄)，Ｒｂ（ルビジウム)，Ｓｒ（ストロンチウム)，Ｙ（イットリウム)，Ｚｒ（ジルコニウム）の７元素のX線強度（ＣＰＳ値：Count Per Second／1秒間に蛍光X線を検出した量）から、下記の式によって求められる４つのパラメーターを用いて、２種類の散布図（判別図）を作成した。

① Rb 分率＝｛Rb 強度×100/（Rb 強度＋Sr 強度＋Y 強度＋Zr 強度）｝
② Sr 分率＝｛Sr 強度×100/（Rb 強度＋Sr 強度＋Y 強度＋Zr 強度）｝
③ Mn 強度×100/鉄強度
④ Log（Fe 強度/K 強度）

パラメーター値をもとに作成した判別図（Rb 分率 vs　Mn 強度×100/Fe 強度）を図に示す。

３．分析結果

今回調査で出土した黒曜石製石器の全点１６９点の蛍光X線分析を実施した。その結果によれば大きく１０群に分けられることが判明した。まずそれぞれの肉眼による観察所見を述べる。

A群：4～5cm台の小円礫。礫面には爪形をした凹凸が見られるが牟田産のそれとは異なる。剥離面には白い微粒子がまばらに入りあまり良質ではない。風化した剥離面は青みがかっているが新鮮な面は漆黒色である。

B群：原石の形状は円礫である。牟田産と同じような礫面で断口面は漆黒色、ガラス質できわめて良質である。礫面の観察からソフトボール程度の大きさのものも認められる。分析するまでは腰岳・牟田系なかでも牟田産と考えていた。

C群：原石の形状は牟田産の円礫や腰岳産の角礫とは異なり、亜角礫である。礫面は凹凸が激しく、あまり摩滅していない。白い微粒をわずかに含むが質は悪くはない。風化した断口面は灰色がかった黒色

を呈する。D群：原石の形状は亜角礫状のものから円礫に近いものまで認められる。礫面の凹凸はさほどでもなく摩滅もあまりない。白い微粒子をわずかに含むが質はよい。断口面は風化すると青灰色から灰黒色になるが、新鮮な面では漆黒色である。肉眼観察では淀姫系と区別できない。E群：礫面には大きな凹凸のある不整形な円礫である。質はそれほど悪くもない。断口面は青みがかった黒色を呈する。G群：腰岳・牟田系の一群である。きわめて良質で、漆黒色の断口面を有する。礫面の観察から原石の形状は円礫と推察されることから牟田産の可能性が高い。H群：大きな剝片1点のみの群である。風化面は飴色がかっておりガラスの質感に乏しい。I群：わずか2点に過ぎずしかもプロットされた位置が若干離れているので原産地が異なる可能性は残る。風化面を見ると1点は茶褐色を呈しガラス質が強く他の1点は青灰色でハリ質になる。J群：微細な砕片1点である。黒色のガラス質に富むが原石の形状等は不明である。

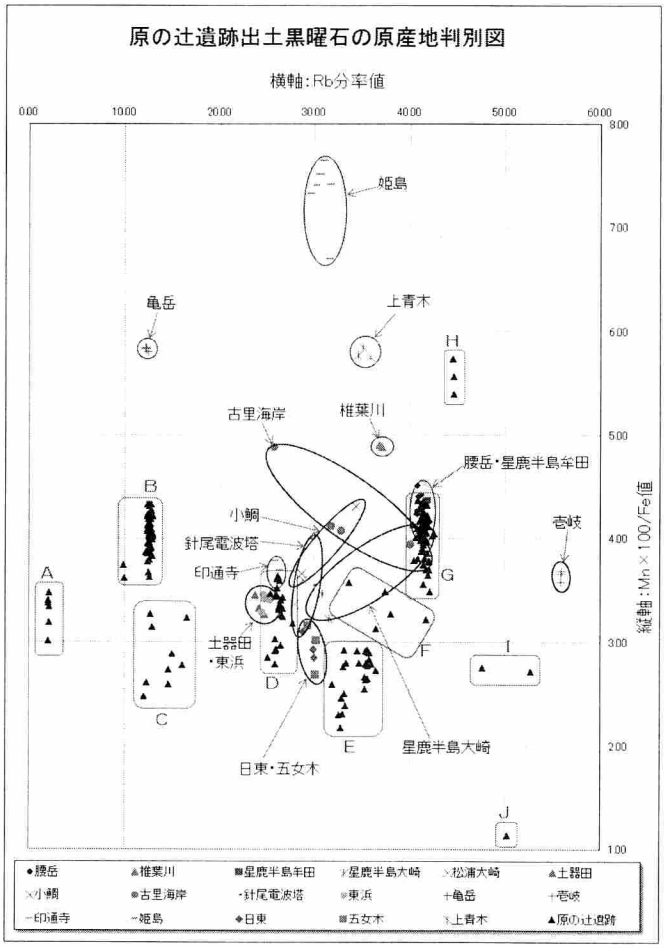


図　原の辻遺跡出土黒曜石の判別図

本センターで使用している原産地データは１７箇所である。今回の分析データではセンターのそれと合致したのはD群の淀姫系（土器田・東浜）とG群の腰岳・牟田系の２産地である。その他の群は既存のデータと一致しなかった。特にB群は肉眼ではG群と区別することは不可能であり、原産地の特定が急がれる。

４．まとめ

今回の分析結果から１０群中８群が産地不詳という予想外の結果となった。分析結果に基づいて出土した石器を分類してみると上述したようにその違いは明瞭である。計測ミスも大きく外れた資料については複数回計測するなどしており、その可能性も低い。ということは未知の原産地の存在の可能性が高い。西北九州の北端に位置するという地理的環境がより多くの産地からの原石搬入を促したとも考えられ、今後さらに基礎データの集積を行う所存である。また遺物分布においてもB群を主体とするグループと、D，E，G群を主体とするグループが明瞭に区分されることも直腸的である。両者にはある程度の時期差が想定される。詳しくは報告書を参照されたい（川道ほか2015）。

（参考・引用文献）

望月明彦 2004「用田大河内遺跡出土黒曜石の産地推定」『用田大河内遺跡』かながわ考古学財団調査報告第 167 冊

池谷信之 2009『黒曜石考古学―産地推定が明らかにする社会構造とその変化―』神泉社

片多雅樹、今西亮太 2014「判別図法を用いた黒曜石の産地推定」日本文化財科学会第 31 回要旨集

川道寛、古澤義久、楠本正樹、片多雅樹 2015『原の辻遺跡』長崎県埋蔵文化財センター調査報告書第 14 集※

※本報告書はホームページ上にて公開されているため参照されたい。http://www.nagasaki-maibun.jp/

P-056

超・遠隔地交渉における同笵関係の検討
—中国と日本出土の中世中国系瓦—

Research on the same mold made medieval Chinese roof tiles in ultra-long-distance interaction between China and Japan

○中園 聡*、下小牧 潤**、平川ひろみ**、太郎良真妃**、楊 帆**
(*鹿児島国際大学、**鹿児島国際大学大学院)

○Satoru Nakazono*, Jun Shimokomaki**, Hiromi Hirakawa**, Maki Tarora**, Fan Yang**
(*The International University of Kagoshima, **IUK Graduate School)

はじめに

このたび，中国と日本の間で同笵であることが濃厚な資料を初めて発見し，従来の常識を超える，「超・遠隔地間」での搬入関係を実証する道筋がついたので，ここに報告する。

中世日本の瓦のなかで，ひときわ異彩を放つのが九州の一部でみられる中国系瓦である。30 年近く前に博多で中国様式であることが指摘されて以来(常松 1987)，瓦当文様の源流が追及され(佐藤 1993, 1994)，近年では中国浙江省寧波等との関係が考えられるようになっている(常松 2005)。ただし，遠く海を隔てて寧波等で製作されたものが搬入されたかどうかの直接的証拠に欠けていた(cf. 小畑 2013)。また，これまで福岡市内の遺跡間で軒丸瓦の同笵関係が指摘されてはいたが，中国の瓦との同笵関係は未確認であり，その発見が切望されてきた（常松 2008)。果たして，我々は同笵の可能性が考えられる資料を発見し，関係者の協力により寧波で現物の調査を実施するに至り，併せて福岡市内出土資料と比較した。

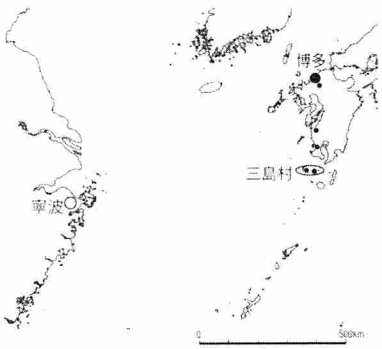


図 1 中国系瓦の出土地(●)

資料と方法

博多 90 次および箱崎 9 次調査で出土した草花文軒丸瓦（常松 2008）と，寧波市内の中国の個人収集資料のそれ，計 3 点について主に検討した（図 2)。その他，博多，箱崎に加え，福岡県以外で唯一軒丸瓦が発見されている三島村黒島大里遺跡の資料も検討した（図 1)。土器製作者個人の高確度同定法として開発した手法を適用し，詳細観察のほか，三次元レーザースキャナと SfM による三次元化を用いた記録及び三次元モデルの生成を行い，より客観的な条件のもとで比較・マッチングを試みるとともに，写真による比較も行った。別途発表するように蛍光 X 線分析も実施した。

結果

上記 3 点については細部まで類似がみられ，全体として酷似していた（図 2・3)。歪み・反りや収縮率等により全体での三次元的マッチングは困難があるが，様々に条件を変えた検討では各部分で一致がみられるとともに，「笵傷」の位置や文様にも基本的にずれは認められないことなど，同笵であることが確定的となった。また，寧波の資料の蛍光X線分析結果は日本出土の中国系瓦と化学特性が完全に一致しており，同一産地といえる（ただし，福岡市の同笵品は現在のところ未分析)。以上より，日本出土のものが中国寧波産であり，海を越えてはるばる搬入されたものであることがほとんど確実視できるようになった。今後，日宋貿易の実態やそのルート，瓦が使用された宗教施設やその導入の意図など様々なことについて論及できる可能性が考えられ，研究の新たな局面を迎えるのではないかと期待される。なお，三次元計測により笵の摩滅の進行等と解釈可能な部分もあり，製作の前後関係を推定できる可能性もある。

※調査にあたり寧波服装博物館 李本侹，邵国宏，常松幹雄，吉田大輔，福岡市埋蔵文化財センター 田上勇一郎の諸機関・諸氏にお世話になった。記して感謝いたします。これは JSPS 科研費・基盤研究（B)（26284124）の成果である。

寧波市内　　福岡市博多第 90 次　　福岡市箱崎 9 次

図 2　同笵の可能性のある瓦の三次元計測画像(上段:テクスチャ表示　下段:レンダリング表示)

図 3　三次元計測画像の重ね合わせによる比較

P-058

日本出土の中世中国系瓦・中国陶器の蛍光X線分析 —鹿児島県三島村と博多—

X-ray fluoresce analysis of medieval Chinese roof tiles and ceramics in Japan

○平川ひろみ*, 中園 聡**, 太郎良真妃*, 白井菜実*, 下小牧 潤*, 若松花帆**
(*鹿児島国際大学大学院, **鹿児島国際大学)

○Hiromi Hirakawa*, Satoru Nakazono**, Maki Tarora*, Nami Shirai*, Jun Shimokomaki*, Kaho Wakamatsu**
(*The International University of Kagoshima Graduate School, ** The International University of Kagoshima)

はじめに

我々は，薩摩半島の南，南西諸島の最北端にあたる三島村で調査に携わってきた。多数の中国系瓦や中国陶磁器をはじめとする中世遺物を発見し，往時の日宋間の交易・交渉を考察するうえで興味深い基礎データを得つつある。ここでは，日本における中世中国系(寧波系)瓦出土の南端である三島村黒島をはじめ，北端である博多の中国系瓦を中心に蛍光X線分析による胎土分析を実施し，その間にある中国系瓦の出土地のデータとも比較した。さらに，これらの瓦の故地と考えられる中国寧波の試料も分析し，日本出土の中国系瓦が寧波産であり，海を越えてはるばるもたらされたものであることを初めて直接的に導き出すことができた。

在地系の瓦と明らかに異質な中国系瓦は，近年では中国浙江省寧波等との関係が考えられている(常松 2005)。日本出土の中国系瓦のうち一部については蛍光X線分析が実施されており，三辻ら(2008)は，鹿児島県渡畑遺跡と芝原遺跡で胎土が一致すること，薩摩国分寺等の在地の瓦とは胎土が異質であることを確認している。また，博多の在地瓦を中心に，中国系瓦の一部についても胎土分析を実施している(三辻ほか2012)。小畑(2013)は，博多とその周辺の中国系瓦について本格的な分析を実施し，杭州の瓦なども分析した。その結果，寧波市や杭州市を含む浙江省で製作されたものと推定している。ただし，それ以上の産地の絞り込み，すなわち，博多など日本出土の中国系瓦と化学特性が一致する産地の検出が大きな課題として残っていた。本研究ではそうした点の解明について大きく前進させたことになる。

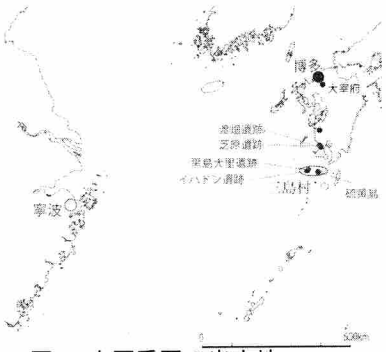


図1 中国系瓦の出土地(●)

試料と方法

中国系瓦と中国陶器を中心に分析した。中国系瓦は，福岡市の博多遺跡群195次，198次をはじめ，62次，79次，85次調査出土のもの(一部は磚)を分析した。近隣では大宰府でも発見されており僅かながら分析することができた。そのほか，鹿児島県にも分布し，我々が調査を担当した鹿児島県三島村黒島の大里遺跡で多く発見されており，同島のイバドン遺跡や隣の硫黄島でも発見されている(三島地区)。それらのうち，大里遺跡の各種の中国系瓦を分析した。また，薩摩半島西部の渡畑遺跡，芝原遺跡，中郡遺跡に認められる(薩摩西部地区)が，渡畑，芝原については三辻のデータを使用した。以上は，概ね12世紀の所産と考えられる。また，中国陶器については，三島村黒島の大里遺跡と黒島平家城遺跡のものを分析し，寧波のものと比較した(図1)。さらに，寧波市内の粘土も分析に供した。

分析は三辻利一の方法を基本とし(三辻1983, 2013;三辻ほか2013)，以下の手順で実施した。適量の試料表面をミニターで研削し，付着物や汚染を除去した。試料は定温乾燥器を使用し，基本的に

105℃で 2 時間乾燥させた。タングステンカーバイド乳鉢で微粉砕し，リング法（内径 20mm，厚さ 5mm の PVC リング）で加圧成形（約 130kN）した。装置は，鹿児島国際大学考古学実験室の波長分散型蛍光 X 線分析装置（リガク製 ZSX100e）を使用し，Rh 管球（管球出力 3.0kW），分光結晶 RX25，LiF1，真空条件下で，X 線出力（50kV，50mA）で Na，Mg，K，Ca，Ti，Fe，Rb，Sr の 8 元素について各元素 60 秒間測定した。ここでは各元素の X 線強度（Net 強度）を，同時に測定した岩石標準試料 JG-1 のそれで割った標準化値を分析値として示す。

結果と考察（図 2）

日本出土の中国系瓦については，K，Rb が高めで Ca が低めであるという特徴をもち，よくまとまっている。三島村の大里遺跡の試料と他の鹿児島県内の試料がよく一致するだけでなく，それらは博多や大宰府の試料ともよく一致した。すなわち，いずれも同一産地である可能性が高い。また，中国寧波市内の宋代の瓦も同様の特性をもち，日本出土のものと化学特性が一致した。別途発表するように，寧波市内の中国の個人収集資料と，博多90次および箱崎9次調査出土草花文軒丸瓦（常松 2008）が同笵の可能性が濃厚であるが，中国の資料については所蔵者の好意で試料を分析したところ，やはり日本出土のものと一致した（以上は，I 群としたもの）。

なお，仔細にみると Ca，Sr 値が高めのものも博多に散見される（II 群）。この特性をもつものは寧波でもみられる。

寧波市内の粘土については，全元素にわたって I 群と同じ特性をもつことが判明した。

以上より，日本出土の中国系瓦は，中国寧波市内のものと同じ化学特性をもち，寧波市内で製作された蓋然性が極めて高いといえる。

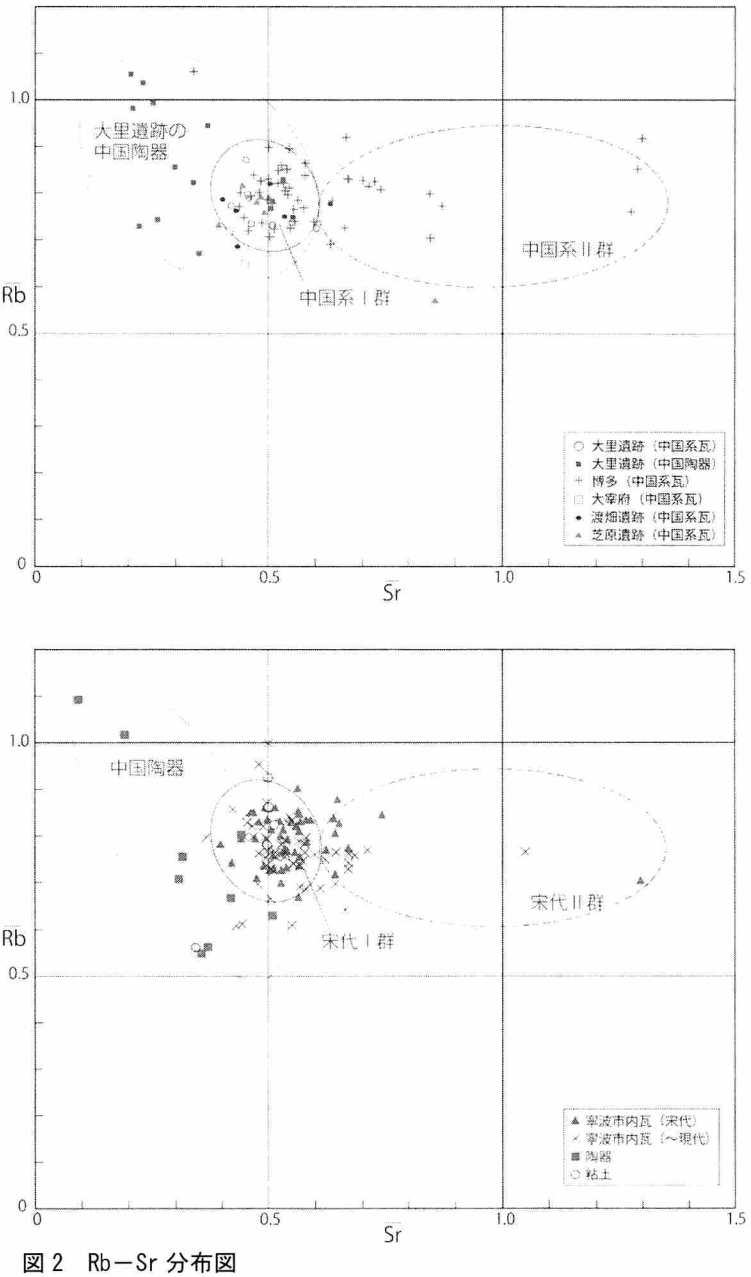


図 2　Rb－Sr 分布図
上：日本　　下：中国寧波

中国陶器については，大局的には瓦の I 類の特性に近いが，全体としては分散が大きく，瓦とは重心がずれていた。黒島のものと中国のものは大きくは同様の特性をもつといえる。

※調査にあたり寧波服装博物館 李本侃，邵国宏，常松幹雄，吉田大輔，福岡市埋蔵文化財センター 田上勇一郎の諸機関・諸氏にお世話になった。記して感謝いたします。これは JSPS 科研費・基盤研究（B）（26284124）の成果である。

P-059

弥生土器の長距離移動
—岡山市南方遺跡出土九州系弥生土器の蛍光X線分析—

Long-distance transport of Kyushu-style Yayoi pottery: X-ray fluoresce analysis of Yayoi pottery excavated from Minamikata site, Okayama City, Japan

○中園 聡*, 平川ひろみ**, 太郎良真妃**, 扇崎 由***, 黒木梨絵**, 新屋敷久美子**, 若松花帆*
(*鹿児島国際大学, **鹿児島国際大学大学院, ***岡山市埋蔵文化財センター)
○Satoru Nakazono*, Hiromi Hirakawa**, Maki Tarora**, Yoshi Ogisaki***, Rie Kuroki**,
Kumiko Shinyashiki**, Kaho Wakamatsu*
(*The International University of Kagoshima, **The International University of Kagoshima Graduate School,
***Okayama City Archaeological Research Center)

はじめに

岡山市南方遺跡では弥生時代に関する重要な発見がなされているが，九州様式の土器が少なからず出土していることも注目される。それらの様式の同定と蛍光X線分析による胎土分析を実施し，産地問題をはじめとする有用な情報を得ることを試みた。

試料と方法

南方遺跡で出土した九州系および在地様式の土器166点を試料とした。九州系は多くが中期前半（Ⅲ様式並行）に該当するとみられ，その産地推定にあたっては九州のデータと比較するだけでなく，同時期の在地様式の土器も試料とし比較することが有効である。

分析に先立ち表面の微細痕跡（調整痕等）を含む各資料の肉眼的特徴の型式学的観察，写真撮影，肉眼及び実体顕微鏡による胎土観察を行った。分析は三辻の方法を基本とした（三辻1983；三辻ほか2013）。適量の試料表面を研削し汚染を除去した後，タングステンカーバイド乳鉢で微粉砕し，リング法（内径20mm，厚さ5mmのPVCリング）で加圧成形（約130kN）した。波長分散型蛍光X線分析装置（リガク製ZSX100e）を使用し，Rh管球（管球出力3.0kW），分光結晶RX25，LiF1，真空条件下でX線出力（50kV，50mA）でNa，Mg，K，Ca，Ti，Fe，Rb，Srを各元素60秒測定した。各元素のX線強度（Net強度）を岩石標準試料JG-1を使った標準化値として示す。実績あるK－Ca，Rb－Sr両図の視察を基本とするが，有色鉱物の効果が想定されたため他の元素も検討した。

結果と考察

九州系土器は在地土器の分布範囲と重複しながらも，分布の重心が異なっている（図1）。南九州系である入来Ⅱ式またはその可能性があるもののうち，花崗岩由来の素材が使用されたと考えられたものを「Ⅰ群」，非花崗岩由来の素材と考えられたものを「Ⅱ群」とする。主成分分析およびクラスター分析の結果はおおむね調和的である（図2・3）。クラスター分析の結果から主要なものを便宜的に①～③とすると，①は在地様式，②は2群やその他①と③の中間的なもの，③はⅠ群で構成されている。③は類似度が非常に高いものが多く，同一個体あるいは同時製作品を含んでいる可能性も考えられる。

九州系土器のうち，Ⅰ群としたものは大隅半島のうち花崗岩由来の胎土をもつものと概ね類似した特性を示した。Ⅱ群はこれまでの分析データと比較すると宮崎平野のものと化学特性の傾向が類似しており，日向（宮崎平野）でみられる形態のものも含まれている。以上より，本遺跡出土の九州系土器が製作されたのは，大隅半島から宮崎平野である蓋然性が高いと考える。本遺跡の入来Ⅱ式が搬入品と推定されたことで，入来Ⅱ式の特殊な動きを明瞭に指摘できるようになった。入来Ⅱ式は，南は沖縄諸島で出土しており，遠隔地交渉と絡む移動が示唆されてきた。これまで「貝の道」は九州西海岸を北上する九州西回りルートが主流であったと考えられていたが，南海産貝製品が出土した本遺跡では入来Ⅱ式は日向・大隅産と推定され，「九州東回りルート」の存在が実証性を帯びてきた。

※本研究は，JSPS科研費・基盤研究（B）（26284124）による。

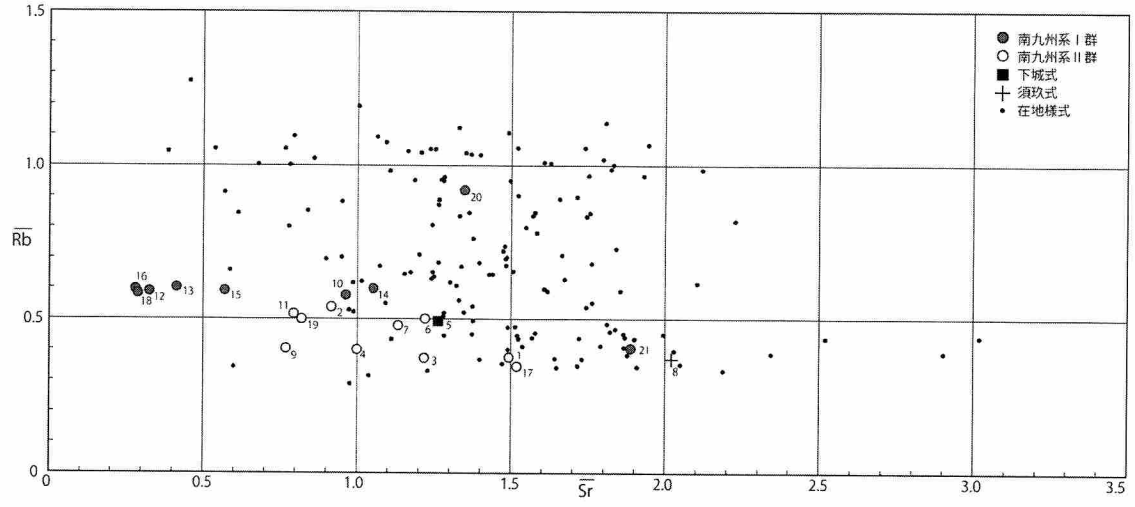


図1　蛍光X線分析の結果

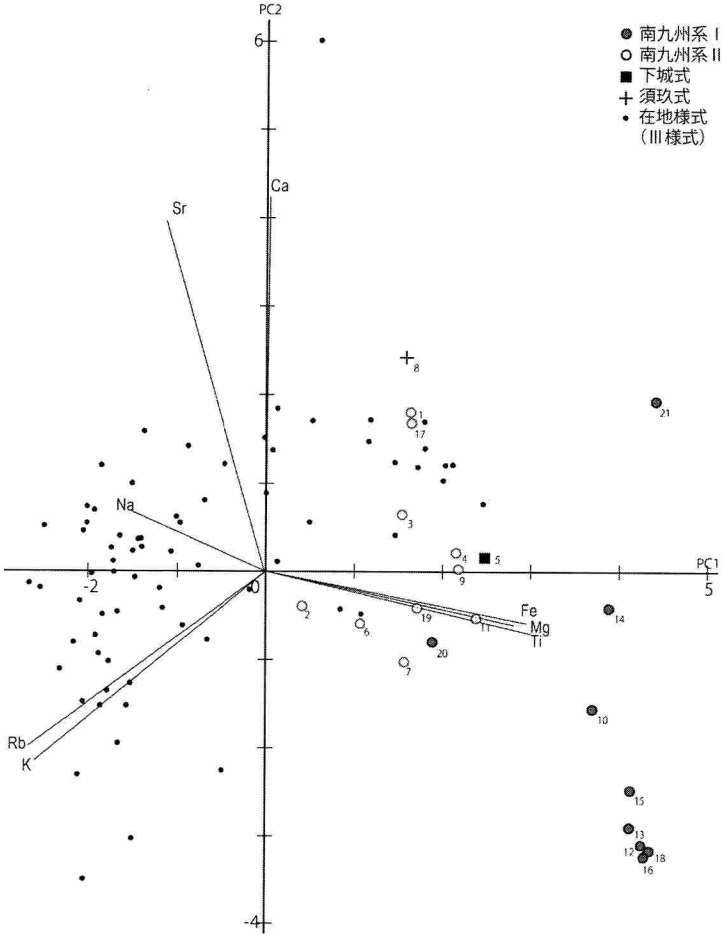


図2　主成分分析結果

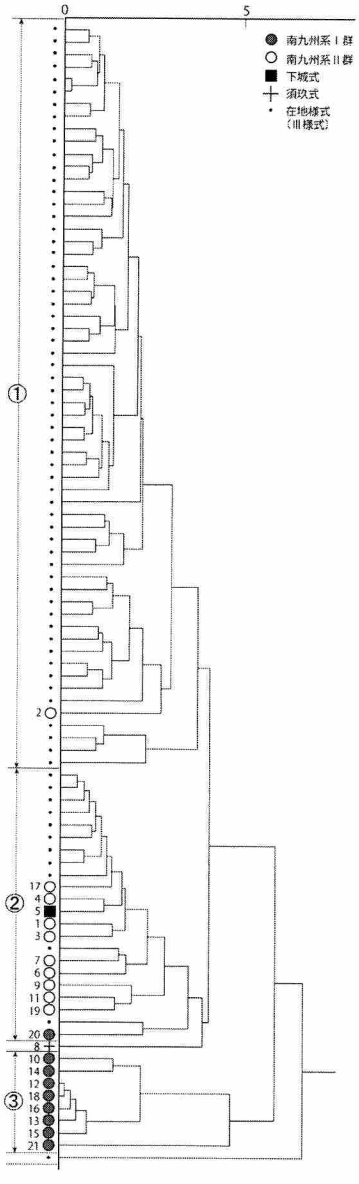


図3　クラスター分析結果

P-060

地球科学的精密分析に基づく今山系石斧石材に関する新たな展開

New findings on Imayama stone axe based on petrological analyses

足立達朗・田尻義了（九州大学アジア埋蔵文化財研究センター）
中野伸彦・小山内康人（九州大学大学院比較社会文化研究院）

【本研究の目的】

今山系石斧は弥生時代における伐採石斧として、福岡市西区に所在する今山遺跡にて製作され、広く北部九州に流通し使用されたとされる。そして今山系石斧の広域流通論は弥生時代の社会復元モデルとして多く引用されており、弥生時代研究において欠かすことのできないものである。しかしながら、これまで各地で出土した今山系石斧に関しては、一部の報告を除いて(例えば、佐賀県教委編、2003、柚比遺跡群 4)、今山で採取された石材で製作されたのかどうかを肉眼観察で判別している。そこで本研究では、今山系石斧として報告される消費地遺跡出土資料と、今山および周辺地域で採取した岩石試料に対して、薄片観察による岩石組織、電子線マイクロアナライザー（EPMA）を用いた鉱物化学組成分析、蛍光X線分析装置（XRF）およびレーザー溶出型誘導結合プラズマ質量分析計（LA-ICP-MS）を用いた主要・微量元素、希土類元素を含む全岩化学組成などの地球科学的高精度分析を実施し、石斧石材の地球科学的特徴を明らかにし、さらに採取した岩石試料と対比を実施することで原産地同定を行った。

【分析対象資試料・分析結果】

岩石試料は、今山およびその周辺地域である毘沙門山と能古島で採取したものを対象とした。石斧資料は、吉野ヶ里遺跡（佐賀県神崎市）、九州大学筑紫地区遺跡（福岡県大野城市）、堂の前遺跡（佐賀県唐津市）などで出土した今山系石斧と報告されるものを対象とした（図１）。

今山で採取した岩石は、アルカリ玄武岩質の特徴を持つ単斜輝石カンラン石玄武岩と判明した。毘沙門山と能古島で採取した試料もアルカリ玄武岩質の単斜輝石カンラン石玄武岩であるが、岩石組織や全岩化学組成などの点で今山産玄武岩とは明瞭に区別できることが分かった。

石斧資料の大半は、アルカリ玄武岩質の単斜輝石カンラン石玄武岩であった。また、これらの石斧資料の岩石学的特徴は、岩石組織、鉱物化学組成、全岩化学組成など全ての項目で今山産玄武岩と一致し、対比可能であることが明らかとなった。このことから、今山系石斧の石材原産地は、今山であることが明確となった。

しかしながら、堂の前遺跡出土の玄武岩製石斧を分析したところ、今山で採取できるアルカリ玄武岩質の単斜輝石カンラン石玄武岩ではなく、石英の捕獲結晶を含み、非アルカリ玄武岩質のカンラン石玄武岩であることが判明した。

そこで東松浦半島東部（唐津市屋形石、相賀崎、橋本川上流域周辺）および中南部（唐津市石高山周辺）、大島、鏡山を対象として地質調査を実施し（図１）、採取試料について地球科学的解析を実施した。その結果、鏡山および相賀崎には、石英の捕獲結晶を含むカンラン石玄武岩が分布することが判明した。しかし、これらの岩石はアルカリ玄武岩質の特徴を示すため、堂の前遺

跡出土の石斧石材とは、全岩化学組成が異なることが明らかとなった。

【今後の展開】

これまでのところ、堂の前遺跡で出土した石斧石材と対比可能な玄武岩の産地はまだ特定できていない。北部九州において、非アルカリ質玄武岩が北松浦半島に分布することが報告されている（角縁ほか、1994、岩鉱、89巻、41-55）ことから、北松浦半島東部（烏帽子岳、国見山）にて地質調査を行い、現在岩石試料の解析を進行中である。

堂の前遺跡から出土した石斧によって、考古学的にいわゆる今山系石斧とされるものの一部には、今山遺跡で製作されていない石斧が存在し、流通していることが明らかとなった。この事実は、これまでの今山遺跡で製作された石斧が広く北部九州に流通していたという考古学的な理解に再考を促すこととなる。今後、堂の前遺跡出土の石斧石材の原産地を解明する研究を継続し、今山以外の原産地を求め、その考古学的意義を考察したいと考えている。

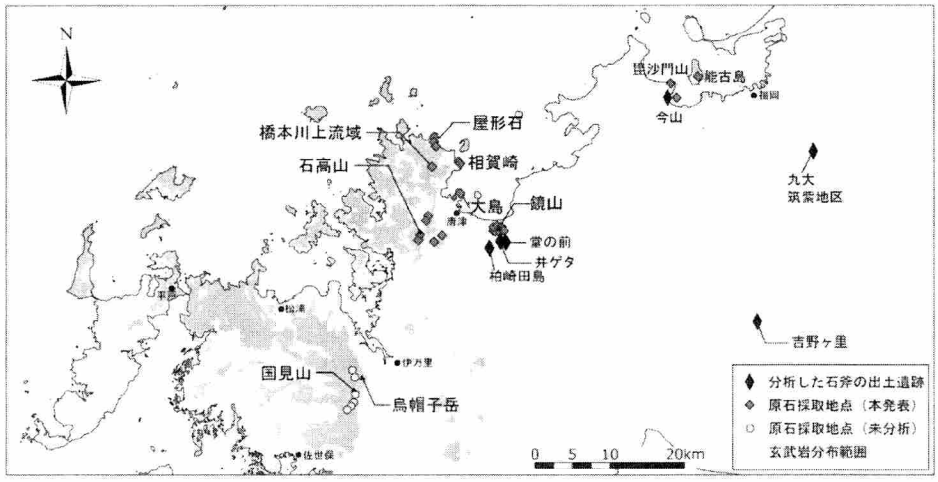


図1．分析石斧出土遺跡および岩石試料採取地点．

図2．岩石薄片写真．左：吉野ヶ里遺跡出土の今山系石斧石材．（単斜輝石カンラン石玄武岩）中：堂の前遺跡出土の今山系石斧石材．（石英捕獲結晶を含むカンラン石玄武岩）右：鏡山に産出する石英捕獲結晶を含むカンラン石玄武岩．

【謝辞】本研究の推進には、九州大学総合研究博物館、九州大学埋蔵文化財調査室、佐賀県教育委員会、唐津市教育委員会から資料の提供をはじめ様々な協力を得た。感謝申し上げます。

なお、本研究は平成26年度科学研究費補助金基盤研究(C)課題番号26370898「高精度地球科学分析を用いた弥生時代の石器生産と流通ネットワーク解明」および平成25年度九州大学比較社会文化研究院・特色ある研究プログラム支援経費「地球科学的高精度分析に基づくいわゆる今山系石斧と今山玄武岩の対比」の成果の一部である。

P-132

東南アジア漆器の科学分析

Scientific analysis of the Cambodian lacquerware

○赤前夏未（明大院）、宮腰哲雄（明大）

1. 緒言

遺跡等で発見された漆器は、現在まで目視での観察や文献調査によりその漆器の作成背景などの研究がなされてきた。ここに科学的な分析を加えることで、漆の種類の特定や漆器の作成背景などより精度の高い研究が可能となる。漆は主にアジアを中心に採取がされており、日本・中国では *Toxicodendron vernicifluum*、ベトナム・台湾では *Toxicodendron succedaneum*、ミャンマー・タイでは *Gluta usitata* と *Gluta laccifera* が生育している。カンボジアでも漆が採取されているが、ベトナムとタイに隣接しているため、その漆種が *Gluta* 系か *Toxicodendron* 系かその詳細については研究報告が少なく未解明な部分が多くある。そこで、カンボジアで採取された漆液と漆器を分析し、カンボジアに生育する漆種の研究を行った。

2. 実験

試料には、市販のミャンマー産の漆液 (*Gluta usitata*) とタイで採取された漆液 (*Gluta laccifera*) 、中国の西安から提供していただいたカンボジアで採取された漆液を用いた。漆器の試料は、タイで入手したカンボジア式のもので、丸櫃の形をして中筒と外蓋で構成されているものを用いた。

3. 結果と考察

3.1 漆液の分析

それぞれの漆液の脂質からモノマー成分を分取し、ガスクロマトグラフィー質量分析計 (GC/MS) で測定を行った。それぞれの質量と検出時間から、成分の帰属とピーク面積比を求めた (**Table**) 。L-1~L-4 には *Gluta laccifera* の試料、U-1~U-5 は *Gluta usitata* の試料、CA はカンボジアの試料とする。測定結果から、カンボジア産漆液はカテコールの 3 位だけでなく 4 位にも側鎖を有しており、*Gluta* 系漆液の特徴的な構造であるカテコールの側鎖末端にフェニル基を持つ成分を含んでいることが明らかとなった。また、カンボジア産漆液ではその末端フェニル基を持つ成分の割合が非

Table Analysis of monomer by GC/MS

Sample	Area ratio [%]										
	3-$C_{15:0}$	4-$C_{15:0}$	3-$C_{15:1}$	3-$C_{15:2}$	$C_{15:3}$	unknown	$C_{15:3}$	3-$C_{15:3}$	3-$C_{17:1}$	3-$C_{17:1}$	4-$C_{17:1}$
L-1	0.53	0.04	-	-	-	0.36	-	-	8.32	-	4.45
L-2	1.65	0.18	-	-	-	0.81	-	-	12.58	-	3.22
L-3	1.62	0.21	-	-	-	0.73	-	-	7.61	-	2.56
L-4	1.36	0.08	-	-	-	1.89	-	-	10.00	-	1.34
U-1	3.82	0.53	-	-	0.21	-	0.21	0.26	5.59	-	1.88
U-2	4.89	1.68	0.09	0.30	1.49	0.72	0.11	3.67	-	7.91	1.07
U-3	6.74	2.41	-	0.12	-	0.99	-	-	-	9.89	1.46
U-4	8.24	1.39	0.09	0.12	-	1.19	-	-	0.06	12.05	2.72
U-5	2.19	5.39	-	-	-	0.27	-	-	-	3.61	0.39
CA	2.62	0.27	-	-	-	-	-	-	6.38	-	2.54

Sample	Area ratio [%]										
	3-$C_{17:2}$	4-$C_{17:2}$	3-$C_{17:3}$	3-$C_{17:3}$	4-$C_{17:3}$	4-$C_{17:3}$	3-$C_{10:ph}$	4-$C_{10:ph}$	unknown	3-$C_{12:ph}$	4-$C_{12:ph}$
L-1	42.33	41.66	-	0.87	-	0.80	-	-	-	0.65	-
L-2	49.35	26.30	-	1.36	-	0.68	-	-	-	3.87	-
L-3	35.91	41.73	-	0.92	-	0.70	-	-	0.34	7.06	0.63
L-4	39.41	32.26	0.21	1.43	0.37	0.61	0.11	-	0.56	9.55	0.83
U-1	40.29	22.73	0.35	1.51	0.74	0.88	3.26	0.15	-	17.16	0.40
U-2	11.78	14.22	1.76	1.95	2.29	2.23	8.59	1.60	0.54	28.67	4.45
U-3	11.71	17.79	1.00	2.28	1.66	2.43	7.00	1.25	0.77	28.57	3.93
U-4	24.69	24.87	0.19	1.23	0.28	1.05	1.36	0.28	6.05	44.97	1.68
U-5	14.27	1.19	8.61	3.76	25.90	7.35	1.30	2.82	-	19.11	-
CA	42.33	41.66	-	0.87	-	0.80	-	-	-	0.65	-

常に少ないため、同様に末端フェニル基を有する成分が少ない *Gluta laccifera* 漆液と同様の漆液であると推察できる。

3.2 漆膜の分析

漆液を塗膜化したものと、漆器表面の塗装部分から微量削り取ったものを熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析計 (Py-GC/MS) を用いて測定を行った。

Gluta laccifera と *Gluta usitata* を比較するため、漆の特徴を表す m/z 91 (Alkylbenzene) のイオンクロマトグラムを示した (**Figure**) 。両種類とも、Pentylbenzene (B5) を中心に一度山型になりその後はピークが右上がりになる傾向が示唆された。その際に、*Gluta laccifera* では Butylbenzene (B4) の方が hexylbenzene (B6) よりも強いピークを示す傾向があり、*Gluta usitata* では Hexylbenzene の方が強いピークを示す傾向が明らかになった。これは、*Gluta laccifera* と *Gluta usitata* を見分ける指標になると考えられる。これをもとに、樹種が不明のカンボジア産の漆膜を分析したところ、Butylbenzene の方が Hexylbenzene よりも強いピークを示したので、*Gluta laccifera* ではないかと考えられる。同様にカンボジア式の漆器を分析したところ、Butylbenzene の方が Hexylbenzene よりも強いピークを示した。以上のことから、試料として用いた漆器表面の塗料は、*Gluta laccifera* から採取された漆樹を使用している可能性が高いことが明らかとなった。

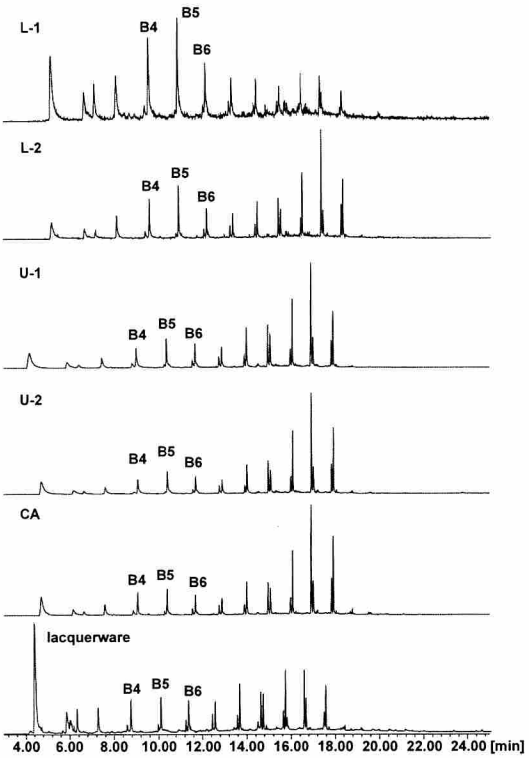


Figure Ion Chromatograms of sample (m/z 91)

4. 結言

漆液の分析から、カンボジア産の漆液はカテコールの側鎖末端にフェニル基を持つ成分が含まれていることから、ミャンマー・タイに生育する *Gluta* 系と同じ種類であることが推察された。また、その末端フェニル基を有する成分の割合から、カンボジア産漆は *Gluta* 系の中でも *Gluta laccifera* であることが推察された。

また、漆膜の分析から Butylbenzene と Hexylbenzene のピーク強度から *Gluta laccifera* と *Gluta usitata* の識別が可能であることがわかった。これをもとに今回使用したカンボジア産の漆膜を分析したところ、*Gluta laccifera* であることが示唆された。さらに、カンボジア式の漆器表面の塗料も *Gluta laccifera* であることが推察された。

P-061

麦漆の接着強度評価と銅触媒添加によるミャンマー産漆への応用

Evaluation of adhesive strength on mugiurushi and adding effect with copper catalyst on mugiurushi for applying Myanmar lacquer

○小川 歩[1]、山下 好彦[2]、早川 典子[2]（[1]東京芸術大学大学院、[2]東京文化財研究所）
○Ayumu OGAWA[1], Yoshihiko YAMASHITA[2], and Noriko HAYAKAWA[2]
([1] Tokyo Univ. of Arts, [2] National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)

1. はじめに

漆は9千年以上前から使用されている天然の高分子材料である。漆芸品に代表される塗料としての利用が注目されるが、親密な交友の事を「膠漆之交」というように古来より接着剤としても広く用いられている[1]。漆を接着剤として用いる場合、一般には糊漆(澱粉糊と混合)や麦漆(小麦粉と混合)が用いられる。これらは、硬化に時間が掛かる漆の特質を補うため、初期の接着力を与え、素地への漆の吸収を適切な範囲で抑えるなどの目的で添加物を加えたものである。一般に麦漆の方が接着力は強い[2]。こうした接着剤としての漆は漆芸品や陶磁器の修理、修復、仏像の製作などに用いられているが、技術者の経験と慣習の下に使用されており、科学的な研究の報告例は乏しい。接着強度については1980年佐藤によるものがあるのみである[3]。

本研究では、主に漆文化財の修復に用いる事を目的として、原料の比率を様々に変えた麦漆について、その接着強度をJIS K6851接着剤の木材引張りせん断接着強さ試験方法に従って測定し、迅速に強固な接着性を得られる麦漆の原料比率を評価した[4]。また文化財保存における真正性の観点から、海外製の漆芸品を現地の漆を用いて修復することを目指してミャンマー産漆を用いた麦漆を作成し、接着強度を測定した。さらに、漆の硬化条件・速度の向上が報告[5]されている塩化銅カリウム2水和物$K_2[CuCl_4(H_2O)_2]$を添加した麦漆の接着強度測定を行い、接着性の向上について検討した。

2. 試料と方法

漆は2013年、2014年岩手県二戸市浄法寺産盛辺生漆(浄法寺漆産業)、2013年ミャンマー産生漆(マハミャ漆店)を用いた。添加する小麦粉は、「とみざわからの贈り物」(薄力、強力、再強力)、「国産小麦たんぱく」(いずれも富沢商会)を使用した。触媒として塩化銅カリウム2水和物$K_2[CuCl_4(H_2O)_2]$(関東化学・鹿特級)、試験片にはカバ合板を用いた。

修復技術者により経験的に作成された日本産漆による麦漆の原料重量比は、小麦：水：漆＝1：0.7：1.5であった。ミャンマー産漆を用いた場合、原料重量比は小麦：水：漆＝1：0.7：4であった。麦漆の作成は、精秤した小麦粉と精製水を篦で練り合わせ、生漆と均一になるまで混合した。触媒は別報[5]と同様、予め生漆に混合して用いた。試験片はJIS K6851にある2枚合わせ試験片に準じて作成し[4]、20℃、75%RHで5～39日間硬化させた。引っ張り試験は23℃、50%RHにおいて島津オートグラフAGS-Xを使用し、1 mm/minの速度で行った。

3. 結果と考察

3.1 一般的な麦漆の接着強度経時変化

経験的に用いられる原料比で作られた麦漆の引張りせん断接着強さの経時変化をFig. 1に示した。日本産漆では5日目には既に剪断面は乾燥し、粉状化していた。実験を通じて未硬化で剪断面に触るとべたつくような試験片は接着強さが0.5 N/mm^{2}未満であった。

3.2 小麦粉、水の比率による麦漆の接着強度

生漆 1.5 g に、小麦粉、水の配合比を変化させ作成した麦漆の接着強度を Fig. 2 に示した。8 日後、14 日後共に、3.1 で用いた原料比よりも水を多くした物で高い強度を示した。この小麦：水：漆＝1：0.9：1.5 の重量比が漆の硬化に必要な水分を十分に供給するために適当な水分量であると考えられる。さらに水を多くすると強度は低下するが、これは反応に関わらず蒸発もしない水分が残留するためと考える。また、小麦と水両方が多いサンプルも 14 日後に高い接着を示したが、小麦量が多くなった際に耐久性などに影響を与えうるか今後検討が必要である。

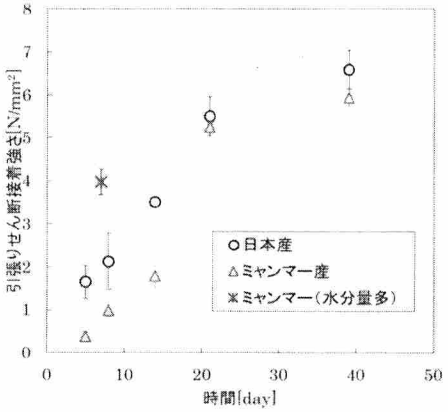


Fig. 1 麦漆の接着強度経時変化

3.3 ミャンマー産漆による麦漆作成と銅触媒添加

ミャンマー産漆は日本産に比べ硬化により高温高湿を要することが知られている。Fig. 3 にミャンマー産麦漆の硬化性向上を目的に $K_2[CuCl_4(H_2O)_2]$ を添加した際の 21 日後における接着強度を示した。21 日間の乾燥により触媒を添加しないものは十分な強度を得たが、触媒添加を行ったものは特に添加量が少ない時に十分な硬化をしなかった。これは、酵素反応と異なり触媒を用いた際に酸素を多く必要とするために、空気と触れない麦漆の硬化において添加効果を発揮しないのではないかと考える。しかし、ミャンマー産漆による経験的な原料比の麦漆は Fig. 1 にあるように初期の接着力が低い。そこで 3.2 の結果から水分量を増やし、原料比を小麦：水：漆＝1：1.2：4 とした麦漆を作成した結果、Fig. 1 に示すように 7 日間で経験的な分量と比較し 4 倍近い接着強度を得た。これは接着面に未硬化の部分が残らず、接着部分が動く事もない充分な強度である。

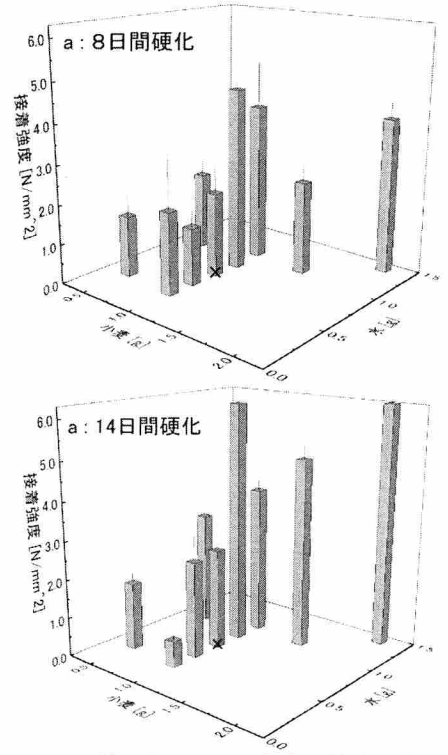


Fig. 2 原料配合比による麦漆の接着強度
(a:8 日間乾燥, b:14 日間乾燥,
図中×が Fig.1 における配合を示す)

4. まとめ

文化財修復等に用いられる麦漆の接着強度についてその経時変化と原料比による変化を定量的に測定し、約 40 日間の間接着強度が増加し続けることを確かめた。また、経験的な分量よりも水分を増やす事で早期に高い接着強度を得られることを明らかにした。ミャンマー産漆を麦漆として用いた場合、初期の強度が弱いという欠点があるが、水混合量の増加により、通常 2~3 週間で達する強度に 1 週間で達する事が出来た。

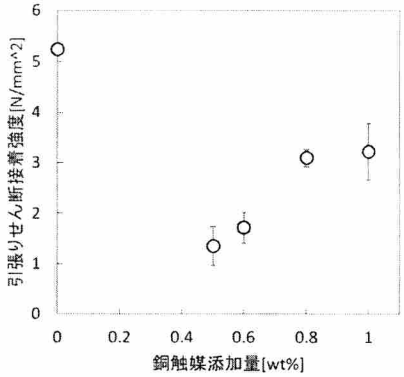


Fig. 3 ミャンマー産麦漆の接着強度と
銅触媒添加効果

参考文献 1)小川俊夫; 共立出版, 2014, 2)巣山定一; 2012,
3)佐藤武司; 弘前大学教育学部紀要 44, 1980
4)JIS K6851,
接着剤の木材引張りせん断接着強さ試験方法 1994,
5)小川歩; ﾏﾃﾘｱﾙﾗｲﾌ学会研究発表会予稿集, 2015

P-062

屋外石造文化財における金箔の保存条件に関する研究
A study on the conservation condition of gold foil on outdoor stone monuments

○朽津信明・渡邉尚恵・森井順之（東京文化財研究所）

1．はじめに

石塔や石仏などの歴史的屋外石造文化財の表面に金箔が認められる場合があり[1)]，一方でそうした石造文化財で漆が検出される場合も多い[2)]ことから，多くの場合にはそれらの金箔は漆で貼られている可能性が想定される。その一方で，漆が紫外線による劣化を受けやすいことはよく知られており[3)]，従って屋内環境に比べて一般に紫外線強度が高い屋外環境では漆の劣化は進行しやすく，必然的にそうした金箔は剥がれやすいことが予想される。実際に，出土によって確認された板碑では豊富に金箔が残存する場合が報告されている[4)]のに比べて，屋外にあり続けた板碑での金箔の確認例は極端に少ないものとなる。

本研究では，屋外環境において漆の劣化に伴う金箔の損失を防ぐことを目的として，紫外線量の実測調査を行ったので，その結果を報告し，そのことに基づき，現存する金箔を保存するための適切な環境について検討を試みる。

2．計測の考え方

築造当初から覆屋内に存在してきた石造文化財では，覆屋の構造上，その一部にのみ日射が与えられる状況が起こり得る（図１）。そうした石造文化財に施されている金箔について見ると，日射の与えられる部位では既に剥落していて確認できないのに対して，日射の与えられない部位では良好に残存していることが多い（図２）。もちろん，漆の劣化には，光だけでなく水分などの他の要因も複雑に関係することが指摘されている[3)]が，第一段階としては同一覆屋内の同一文化財として他の要因を度外視すれば，まずは日射の有無による金箔の剥離状況の違いが議論できることになる。この場合の日射は，晴天日と雨天日などの天候条件によって大きく異なるのはもちろん，季節による太陽高度などの変化によっても全く変わってくるため，たまたま日射が観察されたタイミングでの実測値だけでは議論の構築が難しく，季節変動と天候変化を考慮した，最低でも一年間の継続した計測が必要となる。もちろんそれ以外にも，その年その年の気象条件により，年間の総紫外線量は変動することが容易に予想されるが，ある年における，金箔が残存する箇所と残存しない箇所での年間紫外線量を比較すれば，第一段階としては金箔の損失を生む紫外線量の閾値を推測することに寄与できると期待される。

図１．大村純昌墓外観

3．調査対象と調査方法

調査対象は，大村市本経寺の大村藩主大村家墓所内にある大村純昌墓[5]とした（図１）。これは 1838 年に石造霊屋内に造られた石造の墓碑で，刻まれた文字内の一部に金箔と見られる金色が現存する部分もあるが，金箔を貼るための膠着剤である赤漆と見られる赤色物質のみが見られる部分も多い（図２）。デジタル写真を用い，Photoshop にて赤色・金色それぞれのピクセル数を数えることで残存率を見積もると，上部①で金箔の残存率が 85%，下部②で 1%，左部③で 4%，右部④で 63%とそれぞれ算出された。また，各ポイントで積算照度と積算紫外線強度（mW・h/cm²）とを実測した。計測は，T&DCorporation のデータロガーTR-74Ui-H を用い，一時間ごとに直前一時間の積算値を連続的に記録した。

なお，霊屋には過去に扉が存在した形跡が認められるが，現時点では部材は全く伝えられておらず，かなり古い段階で既に扉は欠損していたことが窺われる。すなわち，現在の環境は，177 年よりは短い，比較的長い時間継続して与えられてきたと考えられる。

４．結果

2014 年 10 月から 2015 年 3 月までの積算照度と積算紫外線強度値のそれぞれの合計値を表１に示す。いずれも，②，③，④，①の順に高い積算値が観察された。

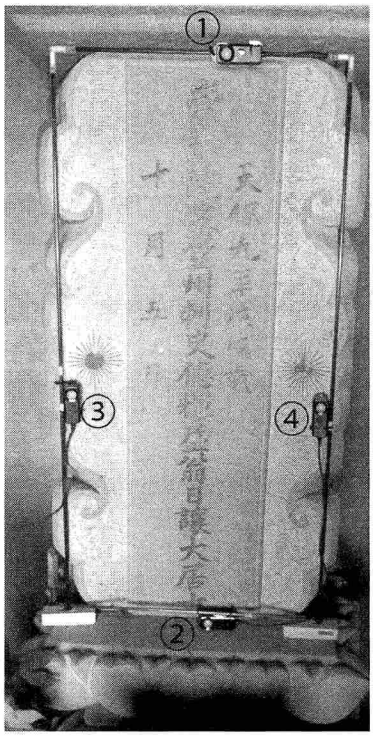


図２．大村純昌墓碑
（数字はセンサー番号）

５．考察

今回の計測ではまだ一年分のデータが得られていないものの，これまでのところでは，金箔残存量率が高い地点ほど低めの積算紫外線量が観察されており，金箔の保存には，その地点が受ける紫外線の積算量が大きな影響を与えている可能性が示唆される。この計測を一年続け，さらにそれを扉がなくなってからの経過年数倍すれば，金箔の剥落に直接的に影響を与える積算紫外線総量の目安値が得られことが期待される。

文献 1)本学会第 30 回研究発表要旨集 p.214（2013），2) 本学会第 27 回研究発表要旨集 p.404（2010），3) 神谷嘉美他（2006）文化財保存修復学会誌 51, 51，4) 本学会第 27 回研究発表要旨集 p.346（2010），5)大村市教育委員会（2007）国指定史跡大村藩主大村家墓所保存管理計画書

地点（図１参照）	①	②	③	④
積算照度（lx・h）	333192.27	970775.84	902813.08	837036.74
積算紫外線量（mW・h/cm²）	1.996	28.597	19.808	18.165

表１．各地点の照度と紫外線量の実測結果（2014 年 10 月 2 日～2015 年 3 月 25 日）

P-063

煉瓦の吸水放湿特性にみる塩の影響及び保存修復材料の検討

An Analytical Study of the Salt Influence on Bricks and of Their Conservation Materials Considering Water Absorption and Desorption Properties

○相川　悠（国士舘大学），松井敏也（筑波大学）
○Yu Aikawa(Kokushikan University), Toshiya Matsui(University of Tsukuba)

１．はじめに

日本の近代化遺産の一つとして、煉瓦造建造物が挙げられる。しかし、現存する煉瓦造建造物の多くは建造後100年以上が経過し、経年や環境の変化によって様々な劣化問題に直面している。特に、塩類風化は煉瓦表面上における塩類の析出やそれに伴う煉瓦表面の粉状化や剥離、亀裂、破砕などを起こすことで、煉瓦造建造物の外観と内包される美術的・歴史的価値を著しく損なう。

したがって、本研究では煉瓦の吸水放湿特性に着目することで塩類風化が煉瓦造建造物に与える影響を把握し、次に、煉瓦が本来持つ吸水放湿性を損なわない塩類風化に対する保存修復剤を検討することを目的とする。

２　試験方法

本試験では、煉瓦建造物が降雨や地下から毛管現象で吸水した水が放湿される過程を想定し、煉瓦に塩類を含有させた状態における吸水放湿性試験を行った。また、保存修復剤として透湿性コーティング剤の塩類風化における効果を把握するために吸水放湿性試験を行った。試験は、25℃の 60RH%に設定した恒温恒湿器にて行う。容器に煉瓦の底部から 1cm 浸かるようイオン交換水を入れ、絶乾状態の煉瓦底部から吸水させ、重量を計測した（吸水：24 時間）。吸水試験完了後は、煉瓦を水から離し、恒温恒湿器内にて自然放湿し、重量を計測した（放湿：48 時間）。試験で用いた煉瓦は、旧富岡製糸場（明治５年建立）の煉瓦を模したものを使用した。また、塩は煉瓦に甚大な被害を与える破壊力の大きい硫酸マグネシウム（MgSO4）の飽和水溶液を 50%に希釈（25℃のとき水 100g に対して MgSO4＝18.15g）したものを使用した。

３．試験結果

１)塩による煉瓦への吸水放湿特性への影響

吸水過程（図1）から煉瓦内部の空隙にMgSO4の1水和物が生成されて煉瓦の空隙が充填されることで水分の吸水量が減ることがわかった。そして、MgSO4含有前のオリジナルと塩含有後の水分挙動の差の時間推移（⊿y）が約200分において最大となり、その後煉瓦の吸水速度が緩やかになる。これは煉瓦に含有された1水和物が溶けることに水が使われ、さらに吸水が進むにつれてMgSO4の7水和物が生成されるため煉瓦内部の水の移動が遅くなり、水が拡散されていないと考えられる。そして、放湿過程（図2）では、煉瓦内部のMgSO4水和物により、煉瓦の吸放湿量が減っていると考えられる。これは、煉瓦壁面のある一つの煉瓦で塩類風化が起きている状況を想定した場合、塩類が析出している煉瓦に水分が与えられても、煉瓦内における水の拡散が

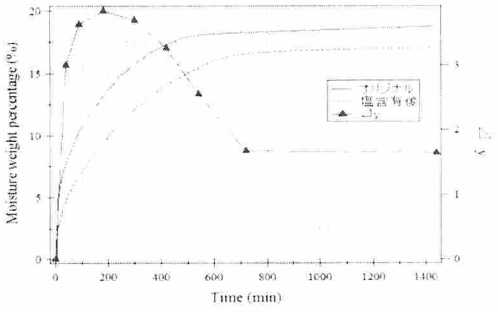


図１　吸水過程曲線及び水分特性の差

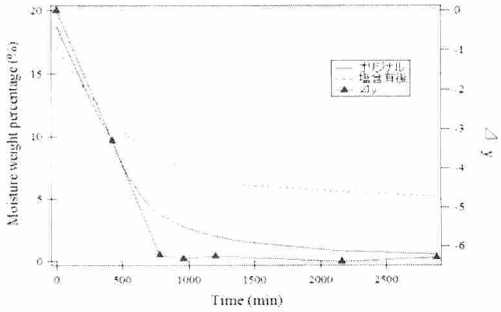


図２　放湿過程曲線及び水分特性の差

遅いため、周囲の健全な煉瓦に塩類を含んだ水が浸食することは非常に遅いと考えられる。煉瓦内で水の拡散が遅いため、塩類の存在が確認された際に早急な対処を行うことで、健全な煉瓦へ及ぶ前に対処することが可能なことを示す。

2）塩類風化における透湿性コーティング剤の検討

透湿性コーティング剤（エチレン酢酸ビニール系樹脂）は、透湿性のある樹脂であり、石材や煉瓦の粉状化や崩落防止剤として高い効果が得られている[1)]。透湿性コーティング剤を塗布した煉瓦に MgSO4 を含有させて吸水放湿性試験を行うと、崩落量が無処理のものの約 9 分の 1 以下に抑えられた。また、図 3 から無処理の場合では、吸水過程の段階で見られた煉瓦表面の剥離現象が透湿性コーティング剤塗布後は起こらなかったことから、水が十分に供給される環境では樹脂が膨潤して効果を発揮し、煉瓦表面の剥離を防いだと考える。そして、放湿過程で表面の粉状化や水膨れ現象が起きたのは、煉瓦表面が乾燥するにつれて透湿性コーティング剤の効果が減少したと考えられる。また、塩結晶の成長に伴って透湿性コーティング剤の塗膜が持ち上げられた可能性も考えられる。

図 4 及び図 5 の吸水放湿過程の結果からは、透湿性コーティング剤を塗布した煉瓦に MgSO4 を含有させると、無処理の煉瓦に MgSO4 を含有させた際の吸水放湿性と類似した結果が得られ、透湿性コーティング剤は塩溶液を通し、また透湿性コーティング剤の塗膜は塩を含んでいても吸水放湿性を大きく妨げないことがわかった。

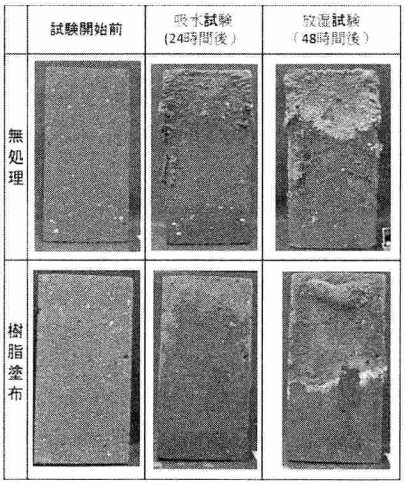


図３　吸水放湿試験の経過写真
上：塩含有後（無処理）
下：塩含有後（樹脂塗布）

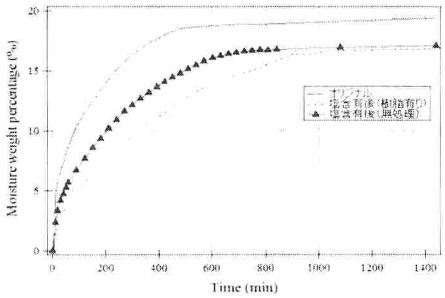


図４　吸水過程曲線

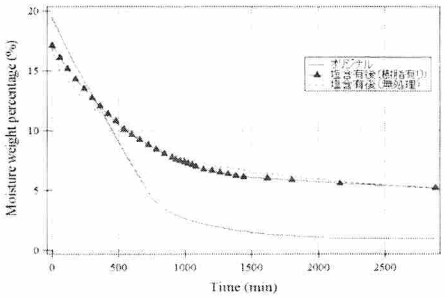


図５　放湿過程曲線

４．まとめ

煉瓦内における水の拡散が遅いため、煉瓦壁面における塩類風化の進行は遅いという結果が得られたことから、健全な煉瓦へ劣化が及ぶ前に対処することが可能なことを示すことができた。そして、この透湿性コーティング剤の塩溶液を通す性質から、透湿性コーティング剤を用いた擬煉瓦によるフェイシング（表打ち）を行うことで、煉瓦表面の保護及び塩類をオリジナルから移動させるなどの効果が期待できる。今後は、より効果的な塩類の抑制方法・除去方法について検討していきたい。

1) 松井敏也『麦积山石窟环境与保护调查报告书』麦積山石窟芸術研究所,日本筑波大学世界遺産専攻合編、文物出版社、2011 年、pg122 - 126

本研究は、筑波大学大学院平成 25 年度修士論文「煉瓦の吸水放湿特性にみる塩の影響及び保存修復材料の検討」の研究成果の一部である。

P-064

パイプ状ベンガラの微生物劣化に関する研究

Study on the Microbial Degradation of Pipe-Shaped Red Iron Oxides

李素妍(鳥取大学)、松井敏也(筑波大学)、吉川英樹(日本原子力研究開発機構)、奥山誠義(奈良県立橿原考古学研究所)、伊勢太郎(日本原子力研究開発機構)、富山祐貴(鳥取大学)
Soyeon Lee (Tottori University), Toshiya Matsui (Tsukuba University),
Hideki Yoshikawa (Japan Atomic Energy Agency), Masayoshi Okuyama
(Archaeological Institute of Kashihara, Nara Prefecture), Taro Ise (Japan Atomic Energy Agency),
Yuki Tomiyama (Tottori University)

1. はじめに

古代の赤色顔料の中にはベンガラ（α-Fe_2O_3）があり、土壌中の埋蔵文化財において赤色顔料として多く使用されている。ベンガラにはその外観、材質、状態の違いから数種のものが認められる。縄文時代から古墳時代にかけて全国各地で検出されている赤色顔料の中にきわめて定形なパイプ状を呈するベンガラがあり、一般にパイプ状ベンガラと呼称されている。ベンガラのパイプ状粒子については、鉄細菌 *Leptothrix* の鞘と考えられている（岡田, 1997)。一方、土壌中の鉄還元細菌は Fe（Ⅲ）イオンを還元してエネルギー源を取得するため、ベンガラの劣化原因の一つになりうる。本研究では埋蔵文化財の赤色顔料の微生物劣化の可能性を調査するためにパイプ状ベンガラの製造復元とそのベンガラを用いた培養試験、観察および分析に関して得た成果を報告する。

2. 試料製造と試験方法

茨城県ひたちなか市にある虎塚古墳（7世紀前半）には赤色顔料によって壁画が描かれ、その古墳周辺ではパイプ状ベンガラの原料である赤色沈殿物が取得できる。本研究では、この赤色沈殿物を採取して卓上高温電気炉（株式会社デンケン KDF1700）を用いて 1100℃で焼成をおこなった。焼成後の赤色沈殿物は図1のように試料を作成して複合機能付電界放出型走査電子顕微鏡（HITACHI S-4800, SEM）により結晶形状や大きさを確認した。管電圧：20kV、WD: 8.5mm の条件で観察した。鉄還元細菌が存在する培地に赤色沈殿物を添加し培養をおこなった。培養期間は7日、14日である。比較試料として鉄還元細菌のない培地を使用して培養し、培養条件は上記と同様である。培養後、X線回折装置（Rigaku RINT-2500, XRD）を用いて、粉末法により培養前後の結晶構造の同定をおこなった。ターゲットは Cu であり、管電圧：40kV、管電流：300mA、測定範囲：5～60°（2θ)、測定速度：1秒／ステップの条件で測定した。なお、14日間培養後の試料のみ電子顕微鏡に付属しているエネルギー分散型X線分光法（EDX）により元素組成を調べた。

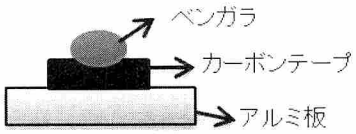


図1　試料の断面図

3. 結果と考察

1100℃で焼成した赤色沈殿物の XRD 分析結果、Hematite（α-Fe_2O_3)、Maghemite および Quartz が検出された（李, 2015)。SEM 観察ではパイプ状を確認し、その長さが約 4~15μm、直径が約 0.6~1.2μm であり、直線や曲線を示していた（図 2-a)。7日間培養後の SEM 観察では、鉄還元細菌の有無によるパイプ状結晶の形状変化は確認されなかった。鉄還元細菌の有無に関わらず XRD 分析結果は同じであり、Hematite、Magnetite および Quartz の他に Goethite、Baricite（$Mg^{2+}{}_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$)、Vivianite（$Fe^{2+}{}_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$）が検出された。これまでの研究によると、鉄還元細菌の存在下では板状または菱形の Baricite、Vivianite が確認された（李, 2011)。本研究では、7日間培養

後の SEM 観察では板状および菱形結晶は観察されなかった。14 日間培養後の SEM 観察の結果、鉄還元細菌が存在する試験のみで板状結晶が観察されていた。板状結晶の長さは約 20〜60 μm であり、その結晶がパイプ状結晶を覆っていた（図 2-b、2-c）。また、パイプ状結晶が板状結晶の一部になっていることを観察した（図 2-d、2-e）。これらの結果から板状結晶の生成によりパイプ状結晶が劣化している可能性が示唆された。板状結晶の EDX 分析結果、Fe、P、Si、Al、O を検出して Vivianite であることがわかった。本試験で使用した培地には鉄還元細菌の栄養素として Fe(Ⅲ)を添加しているので Vivianite の生成に必要な Fe(Ⅱ)の供給源が培地、またはパイプ状ベンガラであるか不明である。しかし、鉄還元細菌の存在により板状結晶の Vivianite が生成され、パイプ状結晶の劣化に影響を与えることが明らかになった。一方、鉄還元細菌のない試験ではパイプ状結晶が成長されて、パイプ状集合体の同士を繋がっていた（図 2-f）。これは培地組成によって栄養素が供給されてパイプ状結晶を成長していた可能性が考えられる。

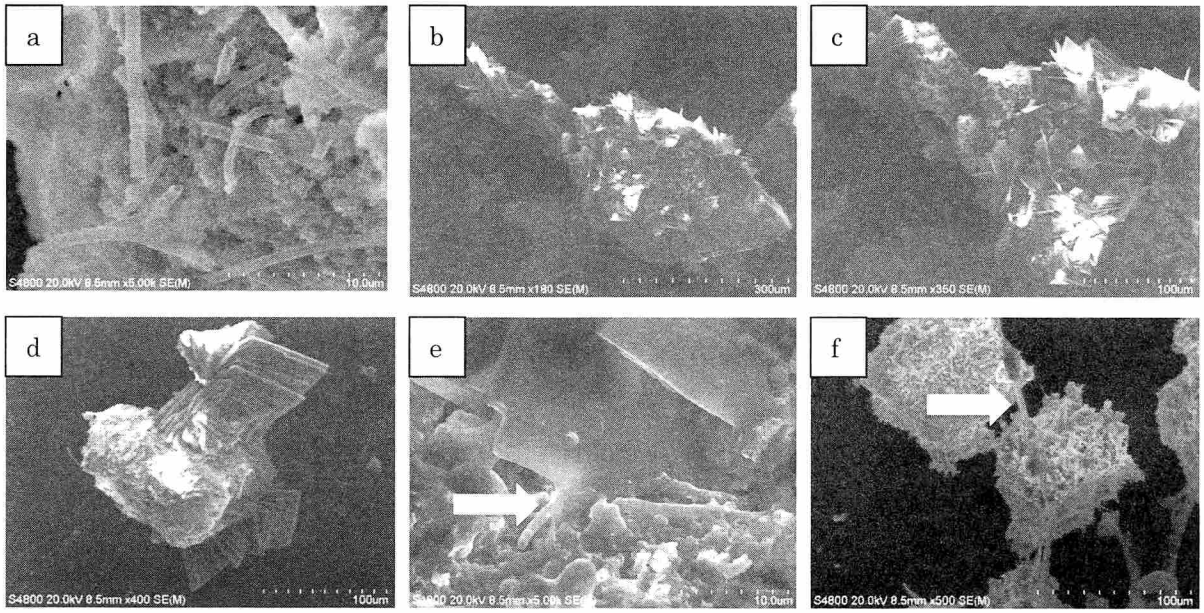


図 2　a. パイプ状結晶、 b. 板状結晶（全体像）、 c. 板状結晶（b の拡大図）、d. 板状結晶（全体像）、
e. 板状結晶（d の拡大図）　f. パイプ状結晶の集合体

4. まとめ

本研究をとおして鉄還元細菌の有無によるパイプ状ベンガラの形状変化が確認され、パイプ状ベンガラにおける微生物劣化の可能性に関する知見を得ることができた。

【引用文献】

岡田文男（1997）「パイプ状ベンガラ粒子の復元」『日本文化財科学会第 14 回大会発表要旨集』. 38-39pp.

李素妍，松井敏也，吉川英樹，奥山誠義，伊勢太郎，畠中沙綾（2015）「パイプ状ベンガラの生成方法に関する研究」『文化財保存修復学会第 37 回大会発表要旨集』. ページ未定.

李素妍（2011）『出土鉄製文化財の腐食における鉄還元細菌の研究』. 筑波大学大学院人間総合科学研究科博士論文. 37-39pp.

本研究は JSPS 科研費 26560146 の助成を受けたものです。

謝辞　本研究の試料採取にあたり、ひたちなか市埋蔵文化財調査センターの稲田健一さんにご協力をいただきました。記して御礼を申し上げます。

P-065

伊勢河崎商人館の文化財保存環境の研究

Study of the Cultural Properties for Environment at Isekawasakisyouninkan(伊勢河崎商人館).

宮崎真由(奈良大学大学院)

1.はじめに

伊勢河崎商人館(NPO 法人「伊勢河崎町づくり衆」運営)とは、江戸時代から酒問屋を営んでいた「小川酒店」の屋敷及び蔵を展示・収蔵スペースとして保存・活用している施設である。報告者は学生学芸員ボランティアとして活動に参加しており、当施設のおかれている状況や収蔵庫などの舞台裏を垣間見る機会を得た。そこで、商人館の保存環境を整えるために、平成 26 年より温湿度調査などを行い、商人館スタッフ及び学生学芸員とともに整理・調査活動を実践している。今回はその活動の一端を報告する。

2.伊勢河崎商人館とは

三重県伊勢市河崎町に所在する、江戸・明治時代に建築された蔵 7 棟、町屋 2 棟など、延べ面積約 1000 ㎡の商家である。勢田川に面して蔵があり、道路を隔てて商店・住宅に続き内蔵を持つという河崎の代表的な建物である。平成 13 年(2001)に国の登録有形文化財に登録され、翌年、伊勢河崎商人館として開館。母屋や蔵を利用して資料を展示公開し、蔵は収蔵庫としても用いられている。

写真 1:展示室

3.温湿度測定方法および結果

当施設は展示室・収蔵庫ともに空調管理を行っておらず、展示室及び展示ケースの扉は開放された状態であり、資料にどのような影響を与えているか不明であった。また、収蔵庫として利用している江戸時代(天保年間)の蔵が保存環境として適しているかを明らかにするため、温湿度データロガー(HANWELL ML4000、HB4000)を用いた温湿度調査を行っている。

その結果、展示ケースは密閉された方が比較的変動が小さいのに対し、開放されている方は大きいことが確認できた。一方、蔵の温湿度は季節によって変化するものの、日較差は小さく良好な保存環境が保てていることが確認できた。

写真 2:収蔵庫

4.まとめ

当施設が展示・収蔵する文化財は民具と古文書がほとんどである。現在、学生学芸員らによっ

て資料目録作成が進められている。その際、収蔵資料の劣化具合も合わせて確認しているが、現時点で若干の虫害が確認される程度で温湿度に関する大きな問題は出でいない。したがって、江戸時代に建てられた日本の伝統的な建築物が保存環境として適しており、人工的に温湿度を調節せずとも良好な環境を保っている事例を提示できたと考える。少人数の専属スタッフで支えられている当施設であるが、今後もこの良好な収蔵庫の保存環境を維持していければと思う。

謝辞

温湿度データロガー設置に際し伊勢河崎商人館の協力を得た。また、皇學館大学の学生学芸員ボランティアとそのOBをはじめとする諸氏の協力を得た。ここにあわせて感謝の意を表します。

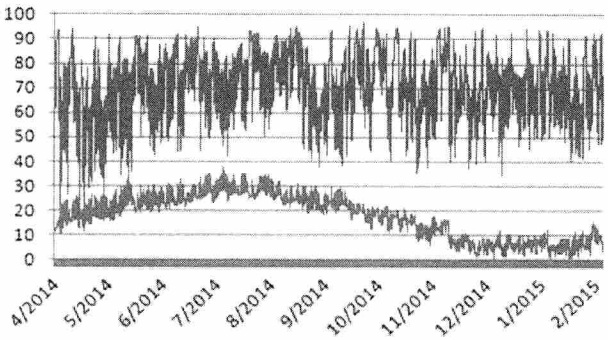


図 1:屋外

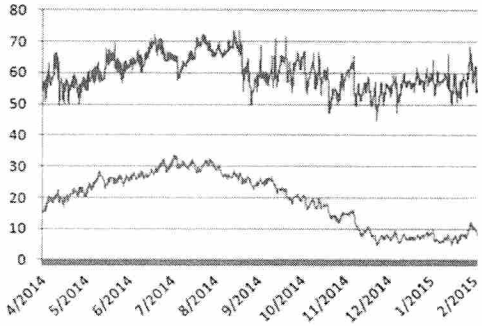


図 2:収蔵庫 1 階

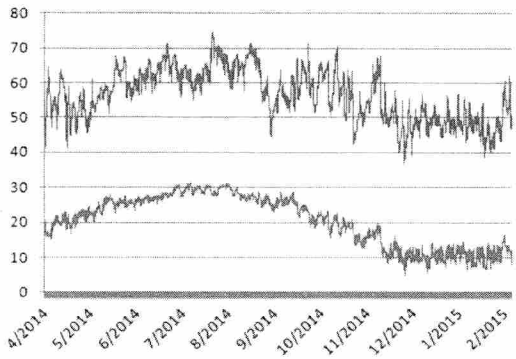


図 3:非密閉ケース

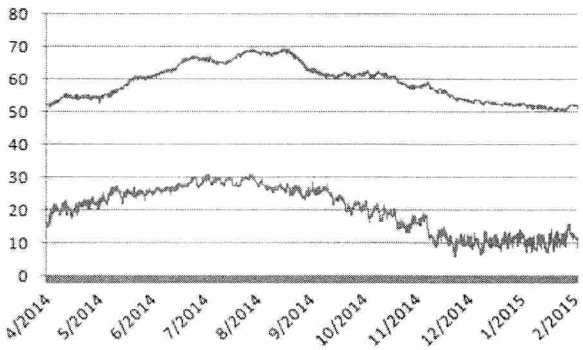


図 4:密閉ケース

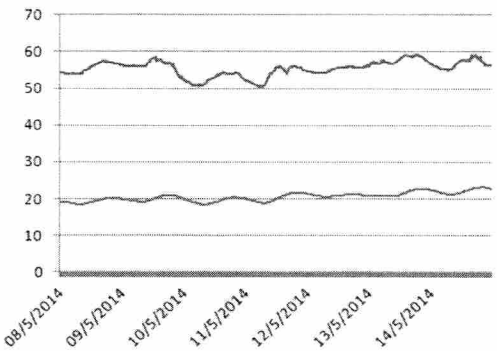


図 5:収蔵庫 1 階(1 週間の変動)

各図の上段グラフ:湿度(%)
下段グラフ:温度(℃)

P-066

埋蔵文化財仮保管施設における生物生息調査

Pest monitoring for temporary storage facility of buried cultural properties

○沖松信隆（公益財団法人 千葉県教育振興財団 文化財センター）

1．はじめに

文化財を保管する美術館・博物館等の施設においては、保存環境を適正に保つために、温湿度の管理や文化財害虫への対策がはかられてきた。昆虫類のトラップ調査（生物生息調査）は主要な対策のひとつと言える。美術品や歴史資料と埋蔵文化財が混在する施設では、トラップ調査が実施されていることが多く、埋蔵文化財専門の施設においても近年は実施される例が増えてきた。ただし、発掘調査用の現地作業所で実施された例は公表されている限りでは確認できない。各地の公立埋蔵文化財センターのように展示と保管の両機能を備えた施設では、ある程度保存環境の維持がはかられているが、現地作業所ではほとんどコントロールできないと言える。そのような環境において、文化財害虫がどのような生息状況にあるのか調査してみた。

2．対象施設と調査方法

埋蔵文化財の調査・研究を行う公益財団法人千葉県教育振興財団文化財センターの市川作業所において、2013 年夏から 2014 年夏にかけて昆虫類のトラップ調査を行った。当該施設は、主に遺跡発掘調査のために設けられた簡易の建物施設であり、調査で出土した考古遺物類が仮保管されている。建物の内訳は、事務棟１、整理棟２、収蔵庫２の合計５棟で、このうちB収蔵庫以外はエアコンが使用できる。考古遺物類は、基本的には収蔵庫に保管されているが、作業のために整理棟に一定期間保管することがある。また、事務棟では通常、考古遺物類を扱う作業はしないが、一部の保存処理済みの木製品を展示ケースに陳列している。

調査には、イカリ消毒（株）社製粘着シートトラップを使用した。原則的に、出入口と建物の奥側に最低限配置するようにした（図 1）。実施時期は 2013 年夏と秋、2014 年春と夏である。2013 年秋以降にシバンムシ類を捕獲したため、2014 年夏にはフェロモントラップを併用して設置した。各時期とも調査期間は約２週間である。

3．結果と考察

2013 年夏の第１回目調査（7/8～23）ではカツオブシムシ類幼虫が３匹捕獲され、秋（10/2～16）にはヒメマルカツオブシムシ幼虫 1 匹のほか、タバコシバンムシが事務棟で 1 匹捕獲された。2014 年春（5/12～26）にはタバコシバンムシがA整理棟で 1 匹捕獲されたものの、文化財害虫の捕獲数は最も少なかった。しかし、夏の調査（8/6～20）では再び増加傾向に転じ、シバンムシ類 29 匹（フェロモン 22 匹）、カツオブシムシ類幼虫４匹が捕獲され、これまで一度も確認されなかったゴキブリ類３匹、シミ類１匹も捕獲された（表１）。これらの結果から、当初は予想外に捕獲数が少ない結果となり、みかけの環境が必ずしも文化財害虫の生息と結びつくものではないことが示された。一方で翌年は一転して多数の捕獲があり、何らかの誘因が懸念される。

これらを踏まえた検討課題として、まず考古遺物類そのものが誘因となっているのかということがある。考古遺物類の材質は通常、土器・石・金属を主体とするが、対象施設では植物質のものや骨類が多く保管されている。シバンムシ類であれば、乾燥した植物質の素材や骨類を食害する可能性がある。これに当てはまるものには、保存処理済の木製品や出土した人骨・獣骨などがある。しかし、通常の歴史資料等や標本類と異なり、千年から数千年を経過しているためか、これらに対する食害をこれまで確認

したことがない。また、保存処理済の木製品については、経年という要素だけではなく、処理に用いた薬剤の影響も考慮してみる必要があろう。次に、考古遺物類そのものに誘因がなく、かつ被害もなく、たまたま他の環境的な要因で生息が確認されたとする場合、貸し出し等によって外部に文化財害虫が拡散する恐れを検討しなければならないであろう。

謝辞

調査を実施するにあたって、公益財団法人千葉県教育振興財団の協力を頂いた。また、調査用資材の準備と結果分析にはイカリ消毒株式会社の協力を頂いた。記して感謝の意を申し上げます。

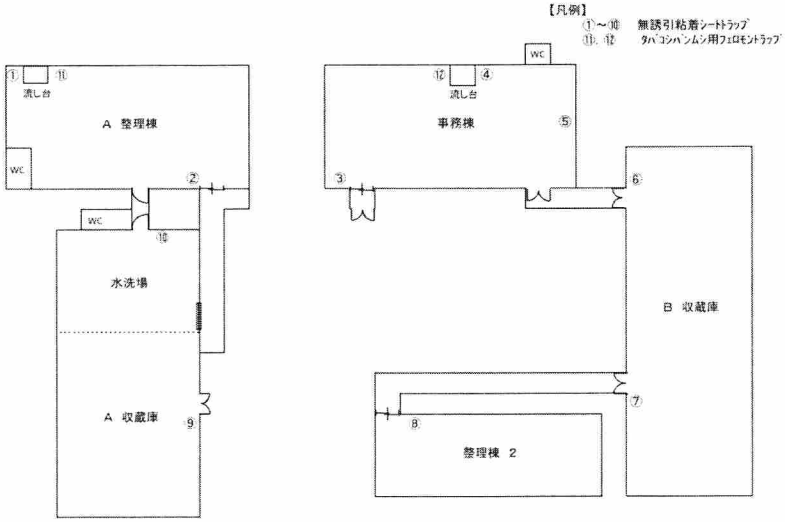


図 1　トラップ配置図

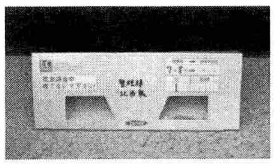


図 2　シートトラップ

図 3　トラップ設置状況

主な文化財害虫とその他の昆虫類	第1回 2013.07.08-07.23(15日間) トラップNo. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			合計	第2回 2013.10.02-10.16(14日間) トラップNo. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			合計
ゴキブリ類													0													0
シミ類													0													0
チャタテムシ類(無翅)	11	4	7	1	13	3	5	2		2			48					1								1
チャタテムシ類(有翅)	1												1							1						1
シバンムシ類													0				1									1
カツオブシムシ類	1		1			1							3						1							1
ガ類													0													0
その他の昆虫類	14	11	4	4	4	28	55	2	69	6			197	6	2	4	3	16	15	14	3	1	2			66
捕獲総数	27	15	12	5	17	32	60	4	69	8			249	6	2	4	4	17	16	15	3	1	2			70

主な文化財害虫とその他の昆虫類	第3回 2014.05.12-05.26(14日間) トラップNo. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			合計	第4回 2014.08.06-08.20(14日間) トラップNo. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計	総合計 第1～4回
ゴキブリ類													0	1			1				1					3	3
シミ類													0								1					1	1
チャタテムシ類(無翅)		2							1				3	1			1	1		4		4	2			13	65
チャタテムシ類(有翅)													0													0	2
シバンムシ類	1												1	3	1					3				14	8	29	31
カツオブシムシ類													0			1		1	2							4	8
ガ類													0													0	0
その他の昆虫類	11	2	5	8	8	227	8	6	7	2			284	19		360	7	6	21	16	5	18	3			455	1,002
捕獲総数	12	4	5	8	8	227	8	6	8	2			288	24	1	361	9	8	23	23	7	22	5	14	8	505	1,112

表 1　捕獲数一覧

P-067

ハギア・ソフィア大聖堂の南北ティンパヌム壁画材料に関する調査

Painting material of South and North tympanum in Hagia Sophia, Istanbul, Turkey

○佐々木 淑美(関西大学、東北芸術工科大学),
吉田 直人(東京文化財研究所), 小椋 大輔(京都大学), 安福 勝(近畿大学),
水谷 悦子(京都大学), 石崎 武志(東北芸術工科大学),
○Juni Sasaki (Kansai University, Tohoku University of Art And Design),
Naoto Yoshida (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo),
Daisuke Ogura (Kyoto University), Masaru Abuku (Kinki University), Etsuko Mizutani (Kyoto University)
Takeshi Ishizaki (Tohoku University of Art And Design)

1. はじめに

2012年の調査で、南ティンパヌムの壁表面が北に比べ黒ずんでおり、近くで観察すると埃が付着しているだけでなく、流水の痕跡、そして結露と思われる痕跡が黒くなっていることをみとめた。そこで、2013年から、ハギア・ソフィア大聖堂の南北ティンパヌムで顕著にみとめられる黒色付着物に関する調査を開始した。既報[1)]では、南ティンパヌムで採取した黒色付着物から鉛が検出されたことを報告し、その由来について壁画材料として鉛を含む顔料が使用された可能性を提示した。その後さらにサンプル分析を進め、南北で技法・材料の異なる壁面ペイントが施されていることを確認した。本発表では、この南北での壁画材料の違いについて、また2015年4月に開始した北ティンパヌム壁面の修復の現状について報告する。

2. 南北ティンパヌムにおける壁画材料の違い

北ティンパヌムの修復計画として内壁表面のクリーニングと再塗装が2014年に検討され始め、その際に、これまでの調査結果を受けて、北ティンパヌム壁画料の分析を博物館から依頼された。2013年および2014年の調査で、北ティンパヌム(Fig.1)から合計47点、南ティンパヌム(Fig.2)から合計19点の表面付着物ならびにペイント層をサンプル採取した。目視観察からは、北ティンパヌムでは表面で黒色化が進行しているのに対して、南ティンパヌムでは下地層と最表層の両方における黒色化の進行を確認することができた。南北ともに黄色い顔料によるペイントを最表層に伴うが、下地層は南北で異なり、北ティンパヌムでは白色であるのに対して、南ティンパヌムでは白色ではあるがわずかに黒色化していた。また、北ティンパヌムでは部分的であるが最表層の上塗りも確認することができた。この上塗りされた黄色い顔料の黒色化は、先に塗布されている黄色い顔料よりも進行していた。サンプルは博物館およびトルコ文化観光省の許可を得て日本に持ち帰り、東京文化財研究所にて蛍光X線分析法(XRF)による元素検出から鉛の有無を確認した。また、ペイント層の最表層(黄色)と下地層(白)の違いをみるために、蛍光X線分析に加えてX線回折分析法(XRD)による結晶相の同定も実施した。

分析の結果、南北ティンパヌムの全サンプルから鉛が検出された。また、ペイント層については、南ティンパヌムでは表裏ともに鉛が検出され、XRD分析の結果から表面の黄色顔料ではなく黒色化している白色層が鉛を含む顔料であることがわかった。これに対して、北ティンパヌムでは表裏ともに鉛が検出されたが、XRD分析の結果から最表面の黄色顔料が鉛を含む顔料であり、裏面の白色層は炭酸カルシウム

であることがわかった[2]。なお北ティンパヌムの黄色顔料のうち、後に上塗りされたペイント層のほうで鉛がより強く検知された。

また、北ティンパヌムの一部で、修復にあたり一部暴露された箇所(Fig.3)があり、そこから壁面の構成も知ることができた。北ティンパヌムにおいては、躯体(A)に土台層となるモルタルあるいはセメント(B)を塗り、その上に白色の下地層(C)、そして黄色ペイント層(D)が重なっていることがわかった。ただし、北ティンパヌム全体でみると、土台層(B)は厚さが15～50mmと様々で、セメントや植物片を含む白色モルタルなど材料にも分布がみられる。また、下地層(C)も目視では認められない箇所から厚さが2mmの箇所まで様々で、黄色ペイント層(D)も2層に及ぶ。これに対して、南ティンパヌム(Fig.4)では、黄色ペイント層は1層のみであり、また部分的には下地層とペイント層の明確な違いがなく、むしろ下地層の表面に黄色ペイントを塗布した箇所もみとめられる。

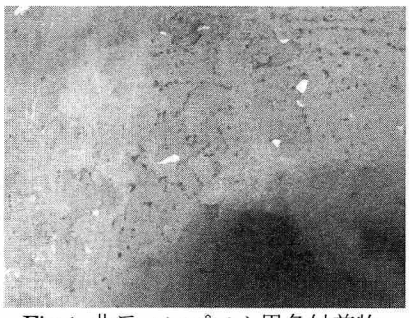


Fig.1 北ティンパヌム黒色付着物

Fig.2 南ティンパヌム黒色付着物

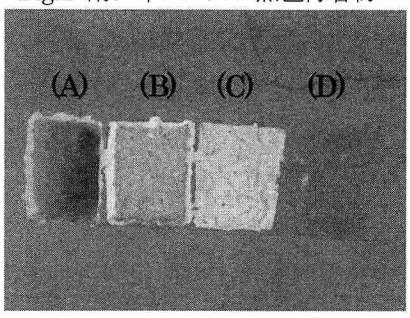


Fig.3 北ティンパヌム壁の構造

Fig.4 南ティンパヌム壁の構造

3. 南北ティンパヌムの修復時期の検討

南ティンパヌムが1910年頃にワクフによって修復されたことが記録としてあるのに対して、北ティンパヌムは修復の記録がない。1980～1990年代にロレベによって表面にペイントが再塗布されたと言われているが、この時の作業記録は残っておらず、作業の有無および使用された顔料を知ることもできない。しかし、1930年以降のトルコにおいて、鉛を含む顔料の使用が禁止されてきたことを考慮すると、1980年代の修復の際に今回確認された通りの鉛を含む顔料の使用は不可能であり、北ティンパヌムの修復時期は1930年代まで遡ることになる。鉛の由来として、顔料ではなく他の要因も検討する必要がある。南ティンパヌムでは、窓下に流水の痕跡がみとめられ、鉛屋根からの水の流入の可能性[3]を強く否定することは現時点で難しい。しかし、南北壁面から鉛が一様に検出されたこと、また析出塩類からは鉛が一切検出されていないことからも、壁画材料を由来とするのが穏当であろう。

4. まとめと今後の展開

今回の分析により南北ティンパヌム内壁面に使用された顔料に鉛が含まれていることが明らかとなり、壁画の歴史的価値の評価の必要性を博物館側に認識してもらえたと同時に、修復時の観光客ならびに修復作業者への注意を促すことができた。今後は、博物館と協力して、トルコで使用されてきた歴史的壁画材料について調査するとともに、保存・修復方策についても協議・検討していく予定である。

[謝辞] 本研究は、平成24年度学術振興会特別研究員研究奨励費の助成を受けて実施した学術調査の成果の一部である。また、本調査はハギア・ソフィアの館長ならびに学芸員の方々の理解と協力を得て実施することができた。ここに記して感謝申し上げます。

[参考文献]

1) 佐々木淑美他5名, 2014, ハギア・ソフィア大聖堂における内壁劣化の分布と南ティンパヌム壁画材料に関する調査, 日本文化財科学会第31回大会(奈良)
2) 佐々木淑美他5名, 2015, ハギア・ソフィア大聖堂をはじめとした歴史的建築物の内壁の劣化と材料に関する調査, 保存科学, 2015年3月第54号, pp.215-226.
3)中井泉他3名, 1993,ハギア・ソフィア大聖堂の建築材料について, 日本文化財科学会第10回大会, pp.98-99.

P-068

京都・寺町旧域における一括出土銭の調査と保存処理

Investigation and Conservation of a Large Number of Unearthed Coins at Teramachi ruins in Kyoto

○須山 貴史（株式会社イビソク）、持田 透（公益財団法人京都市埋蔵文化財研究所）、
小林 克也（株式会社パレオ・ラボ）

1. はじめに　中国・朝鮮・琉球・ベトナム等の海外から日本に渡来した銭貨を、総称して「渡来銭」と呼ぶ。日本では 12 世紀～17 世紀にかけて渡来銭が大量に流通した。千枚～数十万枚が一括して出土する場合、一括出土銭や大量出土銭と称される。

また渡来銭から踏み返し鋳造した銭貨を「模鋳銭」と呼ぶ。模鋳銭の特徴として銭文が不鮮明なことや外形が小さく薄いという外見的要素と、銅 Cu の含有比が高いといった成分傾向が挙げられるが、流通の実体は明らかではない。

京都市四条河原町の寺町旧域「大雲院」塔頭寺院跡の発掘調査事業に伴い、当地で出土した一括出土銭の調査・分類を行った。また埋納状態を立体的に観察できる展示資料として活用すべく保存処理を行った（Fig.1）。本発表では銭種と鋳造精度の調査や材質分析を通して明らかになった成果と、保存処理手法について報告する。

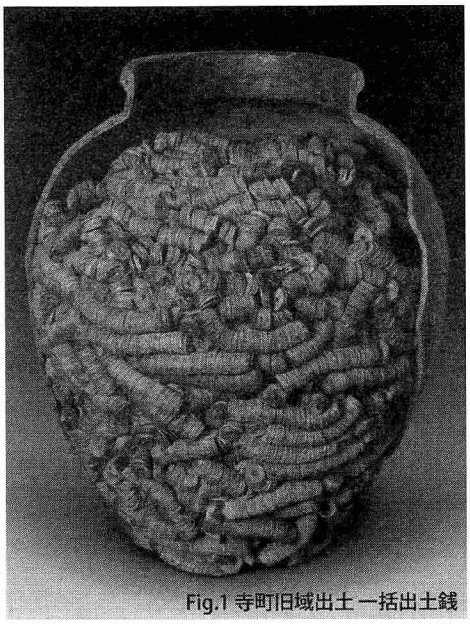


Fig.1 寺町旧域出土一括出土銭

2. 一括出土銭の概要　一括出土銭は平成 25 年 10 月から平成 26 年 3 月の発掘調査で出土した。胴径 0.52m の備前焼の壷に渡来銭が詰まっており、遺構面の層序から寺町形成段階の 16 世紀末から大雲院が焼失する 18 世紀後半の段階に埋められたものと判断できる。

銭種は北宋銭を主として唐銭（開元通寶）から明銭（宣徳通寶）までの 47 種類を確認した。最多は永楽通寶である。鈴木公雄氏の時期区分によれば、6 期（15 世紀第 4 四半期から 16 世紀第 1 四半期）にあたる。内容量は重量 268.9kg で 77 貫（7 万 4690 枚）～86 貫（8 万 3420 枚）と推定される。京都府下の出土例としては最多の数量である。

3. 銭貨の調査・分類　今回の調査では銭貨の一部 1654 枚（全体の約 2%）を取り外して調査・分類を行った。銭をクリーニング後、X 線透過検査装置（(株) リガク製 RF-200EGM2）によって撮影し、銭文の判別と鋳造時にできた鋳巣（空隙）の発生度合いを調査した。撮影条件は管電圧 80kV・管電流 5mA・照射時間 30 秒で、イメージングプレート Fuji IP ST-VI を使用した。

鋳巣の発生度合いから鋳造精度をA・B・Cの３段階区分し、肉眼判別で文字の鮮明度を４段階区分した（Fig.2）。鋳造精度 A に分類できる銭貨は明銭が多くを占める。流通当時に撰銭令で選別された明銭が、鋳造も良質であることが裏付けられた。鋳造精度が高いほど外観も精緻な傾向にあるが、例外も認められた。

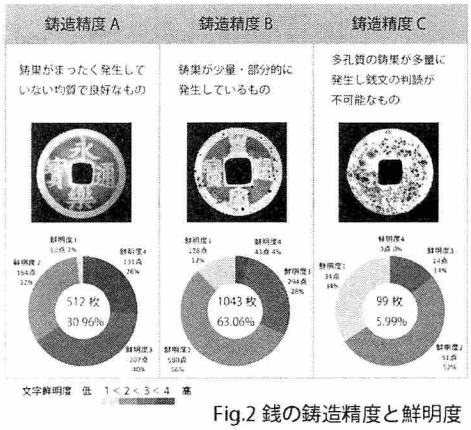


Fig.2 銭の鋳造精度と鮮明度

銭貨は97枚を紐で束ねて緡銭（さしぜに）とし、10緡で１貫となる。遺物から剥離した緡紐を走査型電子顕微鏡（日本電子（株）製 JSM-5900LV）で観察したところ、緡紐の材質は皮革と確認できた（Fig.3）。獣毛と膠原線維束が確認され、繊維束の形状から真皮組織と考えられる。脱毛処理で残った毛根部と考えられる獣毛も観察できた。動物種は不明である。

Fig.3 緡紐の電子顕微鏡写真

4. 保存処理　X 線透過画像により、遺物の良好な保存状態が確認できた。調査のため取り外した銭はEDTA・3Na の 5%水溶液に一定時間浸漬させ、純水で薬剤成分を洗浄したのち地金を傷つけないよう表面をクリーニングした。EDTA・3Na は pH8.0 付近の弱アルカリ性のため、メタルへの影響を抑えつつ錆と泥を軟化除去することができた。

壷の内部は緡銭同士が錆で固着したことで収納時の形状が保持されていた。不織布片にEDTA・3Na 水溶液を含ませたものを緡銭の表面に短時間湿布し、不要な錆・土のみを除去した。BTA 溶液を噴霧・滴下して安定化処理とし、アクリル樹脂パラロイド NAD-10 に BTA を添加した溶液を含浸した。乾燥期間を挟みながら２週間かけて段階的に濃度を 10%～30%に上げて樹脂溶液を噴霧・滴下した。投入した樹脂は乾燥重量で約３kg である。１ヶ月送風乾燥したのち、銭と壷の亀裂をエポキシ樹脂で補修し、表面仕上げを行い完了とした。

5. まとめ　銭種の判別を進めた結果、鮮明度２以下で鋳造精度 B～C の銭貨については、これまで経験的に模鋳銭とされた銭にほぼ該当すると考えられる。その割合は今回調査した銭貨のじつに 47.8%に達する。緡銭には選別した形跡がみられず、当時の京都における模鋳銭流通の実態にせまる資料といえる。また遺構年代と銭貨・壷の時期にはおよそ 100 年の開きがあり、伝世した可能性が高い。出土地は「大雲院」建築前は、室町時代に「余部（あまるべ）屋敷」と呼ばれる染織や皮革に携わる職業集団の集落があったとされる。緡銭には革紐が使われていることから、余部屋敷の人々がこの緡銭を束ねて大雲院の建築前後の時期に埋納したのではと推測される。

今後は X 線画像に画像解析を取り入れて定量評価法を確立し、蛍光 X 線分析で材質分析を進める。他地域の資料も併せて調査し、当時の貨幣流通や技術を明らかにする一助としたい。

謝辞　銭種判別、模鋳銭および時期区分について堺市教育委員会 嶋谷氏にご教授を賜りました。感謝の意を表します。

P-069

モンゴル国出土木製遺物の保存研究

—モンゴル国所在7世紀オラーンヘレム壁画墓出土遺物を中心に—

Conservation of wooden heritages found in Mongolia

○豊島佳澄(奈良大学)　メンドバザル オユントルガ(奈良大学)

はじめに

ユーラシア大陸の北東に位置し、遊牧諸民族の活動の場であった現在のモンゴル国に於いては、国内に点在する遺跡から、それら諸民族の広大な活動範囲を反映し、大陸の東西文化・歴史に関わるさまざまな遺物が出土している。

それらの遺物の中には、遺跡の環境条件等から保存状態の良好な木製品が多数含まれているが、現状では、モンゴル国内の研究機関や博物館・美術館等の展示・収蔵施設に於いて、個々の木製遺物の状況に応じた適切な保存処理に関する研究が十分であるとは言えない状況にあり、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存在している。

本研究は、これらの状況を鑑み、現地に於いて木製遺物を「木材」という保存処理の必要な有機物として認識・研究し、保存していく方法を確立するとともに、各木製遺物の樹種同定を行い、関連遺跡やその出土遺物との関連性を考察することによる大陸規模での木材利用の実態を研究する事を目的としている。

オランーンヘレム壁画墓

ボルガン県バヤンノール村から東北に 14km、トーラ川から南へ 6km のバヤム山所在 Shoroonbumbagar－Ⅱ遺跡(N:47° 57.792', E:104° 30.887')域にて 2011 年にモンゴルとカザフスタンの共同調査により発見された7世紀突厥時代の円丘状貴族墓であり、地下 7.5 mにある墓室と地上から続く地下道には鮮やかな壁画が良好な状態で発見されており、同時に、保存状態の良好な木製遺物も多数発見されている(図 1・2)。今回は、これらの出土木製品の内の数点を樹種同定し、含浸処理法による保存処置実験を行っている。

方法

モンゴル国内各地の遺跡で発見されている出土木製品から試料を採取し、樹種同定を行い、また、現生試料と遺物試料との分子量比較による劣化状態の考察も保存処理工程に活かして行く。これらの基礎データを参考に、各遺物の特性に即した保存処理方法を確立するための実験を行い、展示・収蔵施設への収容後の経過観察も行っていく。

樹種同定に関しては、現生の植生試料から比較資料作成も平行して行い、現地における試料収集と標本作成を進めている。

◎保存処理実験

①ポリエチレングリコール含浸法

②真空凍結乾燥法

③糖アルコール含浸法（ラクチトールやスクロース）

④高級アルコール含浸法（セチルアルコール）

⑤トレハロース含浸法

⑥トレハロース含浸法用いた自然乾燥法

⑦アクリル樹脂パラロイド(B72)用いた処理法

結果と考察

保存処理に関しては、現時点で一通りの工程を完了しているが、今後も経過の観察と現地施設の現状調査、それらのデータに基づく対応策を検討していく必要がある。

おわりに

近年、モンゴル国内に於ける国内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・遺物が発見されている。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も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、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に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。

参考文献

Бунхант булшны соёл Монгол улс Улаанбаатар хот 2014 (А Очир ,Л Эрдэнэ болд)

樋上昇『出土木製品の保存と対応(考古学研究調査ハンドブック［4］)』同成社 2012

図 1)棺出土状況

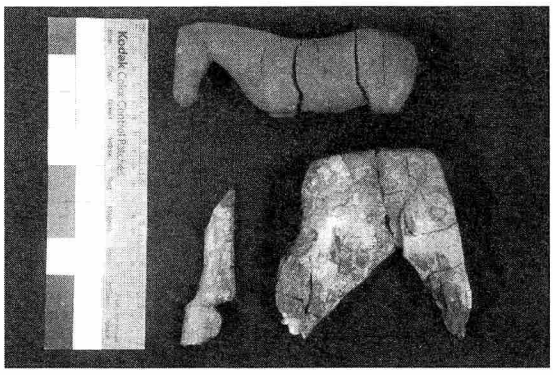


図 2)出土木製品の保存状態

P-070

出土木製品保存処理の省コスト化・省エネルギー化に向けた研究（その１）
－自然エネルギーを用いたトレハロース含浸処理法の研究－

Study of saving cost and energy of the waterlogged wood conservation treatment (1)
- Study of Trehalose method using the natural energy -

○伊藤幸司（公益財団法人大阪市博物館協会　大阪文化財研究所）、藤田浩明（同左）、
今津節生（九州国立博物館）
○Kouji Ito, Hiroaki Fujita(Osaka City Cultural Properties Association),
Setsuo Imazu(Kyushu National Museum)

１．はじめに

発表者らは糖類を用いた出土木製品保存処理の研究・実用化を２０年以上に渡って行い、近年ではトレハロース含浸処理法を実用化、発表してきた。トレハロースは食品・医療等の多分野で注目・研究されており、文化財保存分野でも非常に大きな可能性を持っている事が解ってきた。特に、優れた浸透性・結晶性・耐熱性・耐湿性・耐酸性などが挙げられ、木製品の保存処理において大幅な省コスト化・省エネルギー化が期待できる。

このようなトレハロースの特性を活かし、現在、海底遺跡出土の船等の大型木製品の保存処理を、また、電力供給の安定しない国々での木製品の保存処理を可能にすべく、自然エネルギーを利用した保存処理機器の設計・実用化を図る研究を推し進めている。

今回の発表は、その端緒として概要を公開し、広く意見を求める事を目的とする。

２．太陽熱集熱式含浸処理装置の開発

近年、各方面で省エネルギー化が求められており、福島原子力発電所事故以降は更にその要求が強まっている。文化財保存の分野も例外ではない。出土木製品の保存処理においては、加熱・保温を必要とするものがほとんどで、長期間にわたって電気エネルギーが使われている。世界的に見て最も普及しているＰＥＧ法を始め、現在採用されている木製品保存処理方法のほとんどがこの方式による。トレハロース含浸処理法は、その浸透性の良さから含浸処理期間が短縮されており、他の方法よりも電気エネルギーの使用も削減できているが、電気エネルギーに依存している事には変わりない。よって、更に省エネルギー化を図る為に自然エネルギーの利用を考えた。

着目したのは太陽からのエネルギーを利用する太陽熱集熱装置の利用である。太陽光発電システムと比べ設備は安価である。また、現在の太陽熱集熱装置は非常に熱効率の良い真空管式が開発されている。この装置は宿泊施設や工場の給湯システムのような一方通行の落水式だけではなく、大規模なハウス栽培の保温システムのように温水を循環、コント

ロールする事が可能である。イメージとしては、従来の含浸処理装置に組み込まれている熱源を太陽熱集熱装置からの循環温水に置き換えればよいのである（図１参照）。もちろん、循環用ポンプやシステム制御用機器への電力供給は必要であるが、最も電力消費の多い熱源に係るエネルギーを置き換えるので大幅な節約が見込める。また、夜間や雨天の際の熱量不足については電力を取り入れざるを得ないが、蓄熱媒体や蓄熱槽の検討などによって軽減し、総体として従来の５０％程度電力消費を削減することを目標としている。

３．含浸手法の検討

木製品の含浸処理工程では「浸漬」することが常である。トレハロース含浸処理法においても同様であるが、漆器など高温下での長期間浸漬に耐えられない資料には「ディッピング」を、脆弱で含浸後の表面処理が困難な特殊遺物には「噴霧」を、というように、対象資料に合わせた手法を考案して実施している（第２８回大会、３０回大会発表）。これまでの実務経験では、「ディッピング」と「噴霧」の手法は予想以上の含浸効果が得られている。トレハロースの特性を活かすことで、「ディッピング」・「噴霧」、もしくは新たな手法によって「浸漬」に迫る含浸効果が得られるならば、更に省エネルギー化・省コスト化を図ることも可能になる。

４．まとめ

トレハロースは木製品含浸処理の主剤として非常に有効であることがこれまでの研究により判ってきている。更に含浸処理手法・含浸処理装置を再検討、研究する事により有効な保存処理方法に高めてゆきたい。

＊本発表は科学研究費助成事業（ 研究代表者：伊藤幸司　基盤研究Ｂ　課題番号：15H02952「トレハロース法による海底遺跡出土文化財の保存処理研究 - 自然エネルギー利用に向けて」）に基づく。

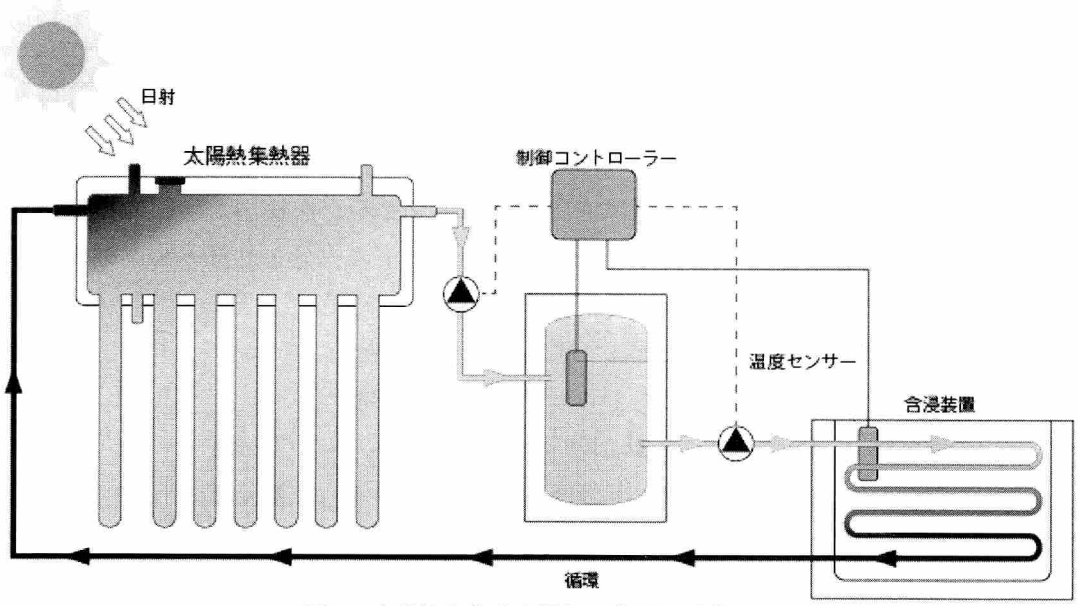


図１　太陽熱集熱式含浸処理装置設計案

P-071

出土木製品保存処理の省コスト化・省エネルギー化に向けた研究（その２）
－トレハロース含浸処理液の再生と再利用について－

Study of saving cost and energy of the waterlogged wood conservation treatment (2)
- About regeneration and reuse of Trehalose impregnation liquid -

○伊藤幸司（公益財団法人大阪市博物館協会　大阪文化財研究所）、藤田浩明（同左）、三宅章子（株式会社林原）
○Kouji Ito, Hiroaki Fujita(Osaka City Cultural Properties Association), Akiko Miyake(Hayashibara Co., Ltd.)

１．はじめに

出土木製品の含浸処理に用いられた処理液は、汚れなどによる黒色化や液性の劣化によって１回の使用、もしくは短期間で廃棄されることが多い。使用されている薬剤は様々なものがあるが、産業廃棄物として処理されるべきものが殆どである。発表者らが研究を進めている含浸処理法で使用するトレハロースは、長期間の加熱や処理液の酸性化によっても分解されない事が解っている。このため、木材から溶出される黒色成分（汚れなど）を取り除くことができれば再利用が可能である。今回は、これまでに行ってきた中空糸膜を使用した液分離によるトレハロース含浸処理液の再生研究の成果を紹介する。

２．再生装置を用いた試験

トレハロース法において使用されたトレハロース溶液はほとんど分解されていないが、黒色化する為に再利用することはなかった。そこで、この黒色成分を中空糸膜を利用して除去し、再利用を可能にするための試験を行った。

これまでにも含浸処理液を再生する装置は考案されてきたが、フィルタの目詰まりを取り除くための洗浄やメンテナンス・部品交換の頻度が高く、実用性の高いものとは言い難かった。しかし、今回注目した装置は内圧型の濾過フィルタを使用し、圧力をかけて循環させることで目詰まりを防ぎながら、一定の分子量以下の成分を外部へ濾過抽出する装置である（クロスフロー濾過方式）。

今回は以下二種類の中空糸膜を使って濾過試験を行った。

原液 - 約１年間使用し黒色化したトレハロース 40%水溶液

使用中空糸膜　- PES 膜（FUS0181　ポリエーテルサルホン　１万分画）

- PAN 膜（FUY03A1　ポリアクリロニトリル　３万分画）

いずれもダイセン・メンブレン・システムズ株式会社製

また、濾過試験によって得られた濾過液および濃縮液について、以下の方法で濁度や着色度を測定、糖組成の分析を行った。

濁度：分光光度計で720nmの吸光度を測定

着色度：420nmと720nmの吸光度の差を測定

糖組成分析（HPLC）：サンプルをBrix 1%に希釈し分析

（カラム：MCI-gel CK04SS double　流速：0.4ml / min　溶離液：Water

検出：RI　温度：80℃　試料：20μl Brix 1%溶液）

3．試験結果

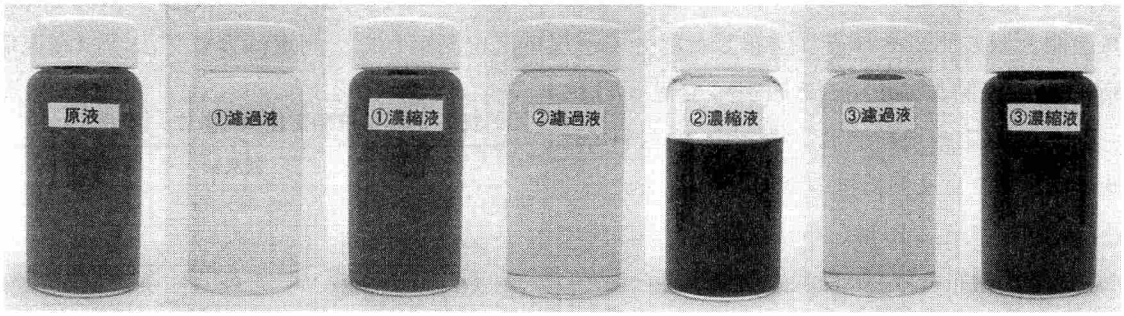
濁度および着色度測定結果、糖組成分析結果を表1に示す。測定の結果、原液より濾過液はいずれも濁度、着色度ともに低い値を示した。見た目で比較しても、原液と比べ濾過液は明らかに透明度が増しており、再利用可能であることがわかる。また、糖組成分析結果をみると、すべての溶液でトレハロース含量は約97%～99%と高い含有率を示しており、ほとんど分解していないことが明らかとなった。

4．まとめ

今回の試験は、その可能性を検討する為の予備試験である。結果が良好であった事から、今後は小規模な濾過装置を導入し、実作業上の有効性を検討する事になる。この再生利用の方式が実作業に於いて効果的に機能するのであれば、大型木製品を想定したトレハロース含浸処理装置の一部として取り入れる予定である。

表1：濁度・着色度・糖組成分析結果

	膜の材質	分画分子量	試料名	分析結果						
				液性		糖組成 含量(%)				
				濁度	着色度	トレハロース	グルコース	DP3	DP4	高分子
原液				0.18	0.98	97.90	1.38	0.28	0.18	0.00
	ポリエーテルサルホン	10,000	①濾過液	0.04	0.15	98.42	1.18	0.19	0.21	0.00
			①濃縮液	0.23	1.02	98.85	0.22	0.23	0.20	0.00
	ポリアクリロニトリル	30,000	②濾過液	0.05	0.25	98.04	1.55	0.22	0.20	0.00
			②濃縮液	0.64	2.51	97.44	2.12	0.27	0.18	0.00
			③濾過液	0.03	0.30	98.18	1.21	0.25	0.17	0.00
			③濃縮液	3.30	9.83	97.79	1.47	0.30	0.17	0.00



＊本発表は科学研究費助成事業（研究代表者：伊藤幸司　基盤研究B　課題番号：15H02952「トレハロース法による海底遺跡出土文化財の保存処理研究 - 自然エネルギー利用に向けて」）の研究成果の一部を含んでいる。

P-072

カッパドキア岩窟教会外壁での表面処理が壁体内部の含氷率分布に与える影響の検討

Effects of surface-finishing material on ice content distribution in outer walls of Rock-hewn churches in Cappadocia

○伊庭千恵美（京都大学）、吉岡瑞穂（同）、鉾井修一（同）、谷口陽子（筑波大学）、小泉圭吾（大阪大学）、渡辺晋生（三重大学）、朴春澤（ハイテック(株)）、佐野勝彦（(株)ディアンドディ）

1. 背景と目的

カッパドキアはトルコ中央部アナトリア高原に位置する奇岩地帯で、凝灰岩を掘削して造られた岩窟教会が多数現存するが、年々風化・劣化が進行しており、その保存対策が喫緊の課題となっている。壁体劣化の一因に、壁体を構成する凝灰岩内部での凍結破砕が挙げられる。凍結破砕の防止には水分の浸入の抑制や材料の空隙率の低減が有効であるとされるため、石造文化財では凍害劣化防止策として表面処理剤を外気に接する面に塗布する手法がとられることがある[1)]。岩窟教会でもその手法が検討されているが、図1に示すように、表面処理剤を塗布することで凍結破砕を含む劣化の防止に寄与する可能性がある一方、壁体の水分移動性状の変化や処理が不十分な箇所からの水分の浸入によって、現在とは異なる箇所で劣化が発生・進行することが懸念される。

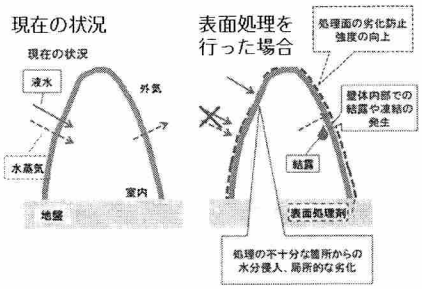


図1 表面処理剤の影響

本報では、表面処理剤の塗布が外壁内部の熱水分移動性状や凍結の発生に与える影響を明らかにすることを目的として、表面処理剤を塗布した凝灰岩の透湿抵抗測定と環境条件を考慮した熱水分移動解析を行う。なお、本報では表面処理剤として、現地での使用が検討されている無機系含浸封孔剤を扱う。

2. 無機系含浸封孔剤を塗布した試験体の透湿抵抗

今回検討に用いた無機系含浸封孔剤(以下封孔剤とする)は、塗布面より材料の空隙に含浸し、含浸部分の透湿性は損なわずに撥水性を高めるという特徴を持つとされる。このうち特に多孔質材料の透湿性に与える影響を検討するために、多孔質材料表面に封孔剤を塗布した場合と塗布しない場合の透湿抵抗を測定し、結果を比較した。試験体には岩窟教会を構成する凝灰岩と同質と考えられる凝灰岩（乾燥密度 1,400 [kg/m^3]；厚さ 19.1 [mm]）と、比較のため素焼き板（乾燥密度 1,500 [kg/m^3]；厚さ 9.4 [mm]）を用いた。凝灰岩は低湿側に塗布した場合を、素焼き板は高湿側と低湿側にそれぞれ塗布した場合で透湿抵抗を測定した。測定はカップ法[2)]（高湿側85%RH、低湿側53%RH、湿流上向き）で行った。

表1 透湿抵抗測定結果（単位：[m^{2}sPa/kg]）

	凝灰岩	素焼き板
塗布なし	5.64×10^8	5.75×10^8
塗布あり(低湿側)	5.69×10^8	5.88×10^8
塗布あり(高湿側)		6.84×10^8

表1に測定結果を示す。今回用いた材料では、低湿側塗布では透湿抵抗の増加は3%以下に留まり、透湿抵抗に大きな影響を与えないことが確認できた。高湿側塗布では20%程度の増加が見られた。この相違については、今後、材料の平衡含水率測定を行い詳細な検討を行う。

3. 表面処理剤の塗布が材料内凍結性状に与える影響の解析

図2のように、亀裂等から壁体内部に浸入した水分が外部に放湿される状況を想定し、表面処理剤の使用が外気側表面近傍(表面から50mm深さまで)の凍結性状にもたらす変化に着目して、一次元熱水分同時移動解析[3]を行った。解析に必要な現地凝灰岩の物性値がそろっていないため、解析時にはレンガの物性値を用いた。境界条件は現地で測定した冬季の気象データを設定した(表2)。表面処理の影響としては、表3に示すように、処理なし(Case 1)、封孔剤を想定し含浸部分の透湿抵抗は変えずに透水抵抗を大きくした場合(Case 2)、比較のため、透湿抵抗の大きいビニル系樹脂塗膜を想定し材料表面の湿気伝達率を小さくした場合(Case 3)の各場合について計算を行い、結果を比較した。計算期間は10日間とした。

1日目12:00から2日目4:00までの解析結果を図3に示す。Case 1(処理なし)とCase 2(封孔剤)を比較すると、Case2では凍結範囲が表面へとやや拡大するが、大きな相違はない。Case 3(塗膜)は外気側表面での含氷率が高くなり、結氷量と凍結範囲が全Caseで最大となる。

4. まとめ

封孔剤を現地凝灰岩の低湿側表面に塗布した場合、透湿抵抗はほぼ変化しないことを透湿抵抗の測定より確認した。また、表面処理の有無、種類の違いを想定した解析では、今回設定した条件下においては、封孔剤による表面処理が凍結性状に与える影響は小さいが、塗膜による処理では凍結範囲・結氷量が増加するという結果を得た。

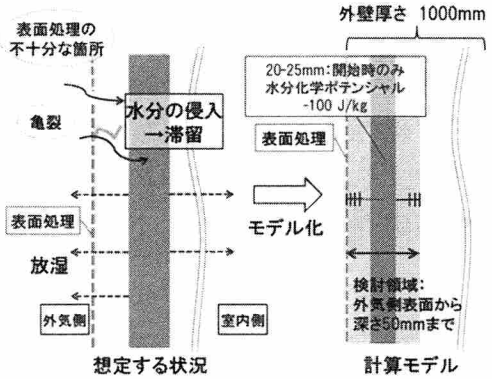


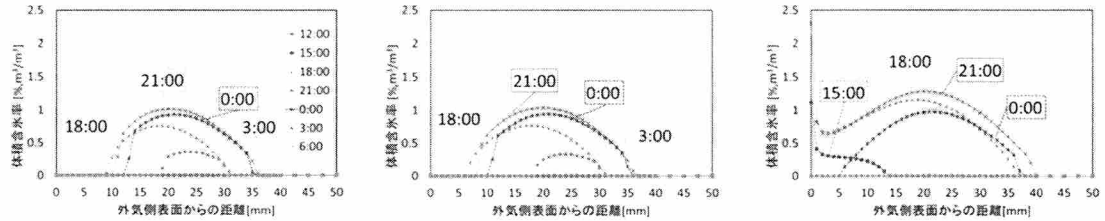
図2 想定する状況と計算モデル

表2 境界条件

	外気	室内空気
温度	1日周期のSin変動 振幅:5.0 ℃ 平均:0.0 ℃	1日周期のSin変動 振幅:1.5 ℃ 平均:2.5 ℃
水分	絶対湿度で1日周期のSin変動 振幅:0.001 [kg/kg'] 平均:0.002 [kg/kg']	相対湿度65 %で一定

表3 異なる表面処理の扱い方

	外気の湿気伝達率 [kg/m²s(kg/kg')]	表面から2mm深さの材料水分物性変化
Case1(処理なし)	0.018415	
Case2(封孔剤)	0.018415	透水抵抗を10倍
Case3(塗膜)	2.555×10^{-15}	変化なし



Case 1: 処理なし　Case 2: 封孔剤を想定　Case 3: 塗膜を想定

図3 各表面処理条件での含氷率分布の違い

＜謝辞＞ 本研究の一部はJSPS科学研究費補助金(24101014)の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

＜参考文献＞

1) 福田正巳, 三浦定俊, 西浦忠輝, 松浦憲知:石造遺跡の凍結破砕と樹脂によるその防止効果の実験 石造文化財の凍結—融解による劣化とその防止法に関する研究(1), 保存科学, 22, 1-14, 1983
2) 日本建築学会:日本建築学会環境基準 AIJES-H001-2006 湿気物性に関する測定基準・同解説, 丸善, pp. 17-21, pp. 38-42, pp. 45-52, 2006
3) 松本衛, 馬沙:地盤の凍結と融解過程の解析に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第482号, pp. 25-34, 1996. 4

P-073

名越切通における擬岩材料の比較検討
Comparison of pseudo-rocks in Nagoe Kiridoshi

○小林　恵(応用地質株式会社)、橋本　直樹(逗子市教育委員会)、
高松　誠(株式会社鴻池組)、海老澤　孝雄(株式会社ざエトス)

1. はじめに

史跡の保存工事においては、「現在の景観を大きく変えないこと」、「景観に違和感を与えないこと」が前提条件である。そのため、保存工事を実施する際には、補修痕を目立たなくさせる目的で、土や石の粉に樹脂を混ぜて土や石に似せた擬土・擬岩が使用される。本発表では、名越切通で使用している擬岩材料について比較検討し、材料の特徴や適用性、用途について報告する。

2. 名越切通における保存工事の概要

神奈川県逗子市に所在する「国指定史跡名越切通」は、鎌倉時代に尾根を掘り割って造られたとされる道で、後には鎌倉七口の一つとしても数え上げられ、鎌倉と三浦半島方面とを結ぶ陸路として永く重要な役割を果たしてきた。切通の周辺には、鎌倉の防衛にも関係すると考えられる平場や切岸、やぐらや火葬跡なども多く分布しており、中世都市鎌倉の周縁の歴史的景観を良く残している。

本史跡の主要な遺構である「切通」は凝灰質砂岩及び泥岩、「まんだら堂やぐら群」、「大切岸」は凝灰質砂岩の岩盤を切り出して造られており、風化や樹根の伸長による亀裂が発達し、崩落の危険性があった。そのため、平成 15、16 年度に第一切通、平成 24、25 年に大切岸、平成 26 年度にまんだら堂やぐら群の保存対策工事を実施している(まんだら堂やぐら群については現在も継続中)。

工事の具体的な内容は、岩盤表面を一体化させるための対策として「強化処理工」、(第一切通しでは「撥水処理工」も実施)、不安定化した岩盤を地山に一体化させるための対策として「亀裂充填工」、「ロックボルト工」、「ピンニング工」である。亀裂充填工、ロックボルト工、ピンニング工を行った箇所については、景観に配慮するため、表面の仕上げとして「擬岩処理工」を行っている。

3. 擬岩材料の比較検討

本史跡において使用している擬岩材料は、エポキシ系樹脂を用いた擬岩材(以下、エポキシ樹脂系擬岩材)及びポリマーモルタル系擬岩材(以下、モルタル系擬岩材)である。エポキシ樹脂系擬岩材は、透水性エポキシ系樹脂に現地粉砕岩、川砂等の骨材を練り混ぜたものである。モルタル系擬岩材は、セメントにアクリル樹脂、現地粉砕岩等の骨材を練り混ぜたものである。

これまで本史跡ではエポキシ樹脂系擬岩材を使用してきたが、やぐらの保存対策を実施するにあたり、モルタル系擬岩材の使用を検討することとなり、仕上がりの風合い、経年変化、施工性について比較検討を行った。

3.1 仕上がりの風合い

仕上がりの色合いや風合いは、史跡の景観にも大きく影響するため、擬岩処理において最も重要なポイントである。エポキシ樹脂系擬岩材は、透水性を有し、水の浸透により自然の岩盤と同じような色変化を示すため、周囲の岩盤との色合いの調和に優れている。また、有機樹脂のため、白華(コンクリートやモルタルの内部に侵入した水分が、蒸発する際に石灰分などの可溶成分とともに表面部分に浮き出し固まった白い生成物)が発生し、外見を損ねる心配もない。一方、モルタル系擬岩材は、透水性がほ

とんどないため、濡れても色の変化は小さく、岩盤との色合わせに熟練を要する。また、使用する材料によっては白華する可能性があるため、材料選定に注意が必要である。

3.2 経年変化

土木工事における擬岩処理では強度が求められがちであるが、本史跡における擬岩処理では周囲の岩盤の風化に合わせて擬岩処理した箇所も同じように経年変化するよう、擬岩材の強度をあえて自然の岩盤と同じ程度にして施工している。強度は使用する樹脂の量を加減することによってエポキシ樹脂系擬岩材、モルタル系擬岩材とも調整可能である。また、両者とも耐候性に優れているが、エポキシ樹脂系擬岩材は紫外線で黒系の色調に若干変色することがある。

3.3 施工性

エポキシ樹脂系擬岩材は、湿潤なところでは接着性が弱く、また凹凸がある部位への接着には注意を要する。また、水分の少ない粘土状の材料であるため、ある程度の厚みで盛り付けることになり、細い部分の作業にはやや不向きである。一方、モルタル系擬岩材は湿潤でも接着可能で、凹凸がある部位への接着性にも優れている。また、粘性のある液体状にすることで、細い部分への作業性もよい。なお、エポキシ樹脂系擬岩材は、半硬化時の成形が可能であり、仕上げ作業において岩盤の質感を出す際の施工性に優れている。

4.本史跡における適用性

第一切通(写真-1)や大切岸など、来訪者の目に付く場所にあり、規模(幅、長さ)の大きい亀裂は、景観面を重視し、周辺の岩盤と同じように乾燥や濡れた状態に変化するエポキシ樹脂系擬岩材が適している。一方、やぐらの内部(写真-2)は常に湿潤傾向にあるところも多く、側壁(垂直面)や天井(上裏面)には幅 1cm 以下の細い亀裂も多くみられるため、湿潤面への施工、接着性、上裏面への施工、細かい部分での施工性に優位なモルタル系擬岩材が適している。

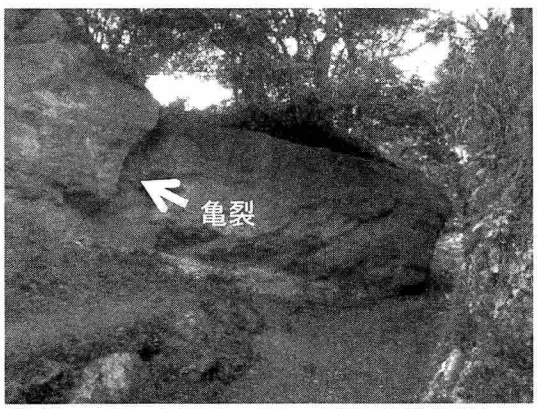


写真-1　第一切通(エポキシ樹脂系擬岩材)

写真-2　やぐら内部(モルタル系擬岩材)

5. おわりに

擬岩処理は、遺跡の構造的な強化や安定を図る上での根本的な対策ではないが、景観を重視する史跡の保存において不可欠な対策である。そのため、施工に当たっては、対象とする遺構の立地環境や施工箇所の位置、規模などを踏まえて、条件に合った保存材料を使用することが重要である。エポキシ樹脂系擬岩材については、施工から 10 年以上経過している箇所も含め状態は良好である。やぐらに適用したモルタル系擬岩材は、昨年度施工したばかりであるが仕上がりは良好である。今後は経年変化に関する検証を行い、メンテナンスに活かしていきたい。

P-074

Evaluating the stability and durability of the lime mortar and brick type in Namhansanseong parapet

○ 鄭光龍 (韓國傳統文化大學校 保存科學研究所), 趙炳英 (韓國建設生活環境試驗研究院)
·李王基 (牧園大學敎 建築學科), 李相沃 (韓國傳統文化大學校 保存科學研究所)
○ Jeong Gwang Yong (Institute of Conservation Science, The National University of Cultural Heritage), Jo Byeong Yung (Korea Conformity Laboratories), Lee Wang Gi (Dept.of Architecture, Mokwon University), Lee Sang Ok (Institute of Conservation Science, The National University of Cultural Heritage)

1. Introdoction

Namhansanseong parapet is composed of many different materials. Compositions of materials are divided by factory-made brick, handmade brick, cement mortar and lime mortar. There are two types of brick. One is factory-made brick that reaches very high strength (57~108 MPa) and they have water absorption ratio below 6%. Another is historical handmade brick that have water absorption ratio 9~19% and compressive strength (11~28 MPa). Therefore cement mortar and lime mortar should be used in appropriate ratio with improved durability suitable for brick types. Because repair mortars should have equal or higher water absorption and vapor permeability values than the adjacent masonry to prevent problems associated with inhibited moisture diffusion. This problem is a major cause of crack by freeze-thawing. Mortar and bricks should have equal compressive strengths.

In this study, Evaluate the stability and durability of the lime mortar and brick type by Mock-up test. And record the building methods about different cases to analysis methods for building by evaluating stability.

2. Experimental Part

Specimens were built for mock-up test in 'Outdoor Exposure Test Center'. The stability was tested on specimens of mortars by compressive strength test, Schmidt Hammer test, observation and meteorological monitoring. .

2.1 Used Materials

Mortars compositions were selected by three types. One is composition of historical mortars (in old documents). Another mortars used in modern restoration practice (hydrated lime mortar, mortars with addition of cement) have been tested. The other mortars were used on same composition of cement and hydrated lime. Mortar mixtures were prepared in two different versions: thickness 48 mm and 55 mm. Bricks were prepared in two different versions: factory-made brick, handmade brick.

Table 1. Composition of mortars

Mortar code	Composition of mortars (wt%)
Traditional lime mortar	4 (hydrated lime) : 2 (sand) : 1 (granite soil)
Recent use mortar	5 (hydrated lime) : 7 (sand) : 1 (white cement)
Gauged mortar	1 (hydrated lime) : 4 (sand) : 4 (granite soil) : 1(white cement)

Table 2. Classification of mock-up specimens

Classification		Mortar type		
		Traditional lime mortar	Gauged mortar	Recent use mortar
handmade brick	Mortar thickness (48mm)	①	②	③
	Mortar thickness (55mm)	④	⑤	⑥
Factory-made brick	Mortar thickness (48mm)	⑦	⑧	⑨
	Mortar thickness (55mm)	⑩	⑪	⑫

3. Results

Improved durability of mortars with cement addition has been confirmed by testing their freeze-thaw resistance, compressive strength test. Using only hydrated lime mortars have no problem of building parapets. But traditional hydrated lime mortar specimens were measured low compressive strength and freeze thaw resistance.

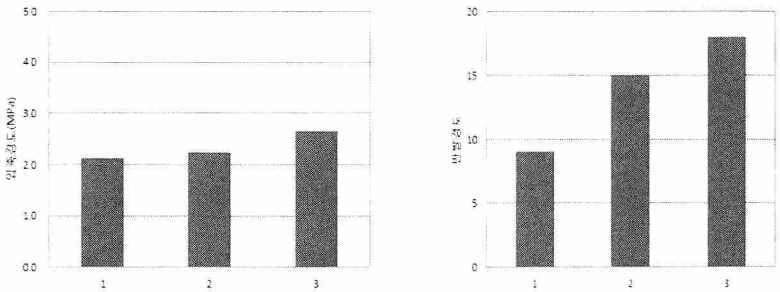
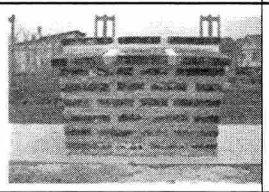
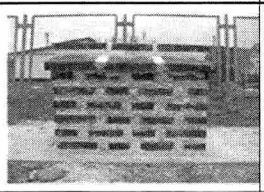
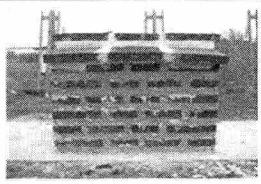
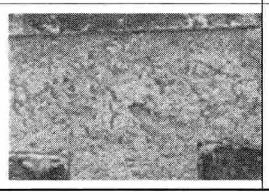
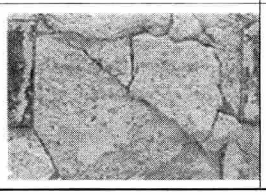


Figure 1. Results of compressive strength test and Schmidt Hammer test
(1: Traditional lime mortar, 2: Recent use mortar, 3: Gauged mortar)

Table 3. Results of mock-up test

Type	Traditional lime mortar	Recent use mortar	Gauged mortar
appearance			
detail condition			

4. Conclusions

In summary, the additions of cement have a positive effect on the compressive strengths of mortars. However, it should be same property among the materials in parapet. Satisfactory results have not been obtained by mock-up test. But if the traditional mortars have same property with handmade bricks, it will be used in restoration of Namhansanseong parapet.

P-075

出土木材のマイクロ波加熱凍結乾燥法による保存処理の研究4

Study on conservation of waterlogged wood using freeze-drying method with microwave heating 4

○川本耕三（(公財)元興寺文化財研究所）、植田直見（同左）、山田哲也（同左）、中村秀美（国立奈良高専）

○Kozo Kawamoto, Naomi Ueda, Tetsuya Yamada (Gangoji Institute for Research of Cultural Property), Hidemi Nakamura (Nara National College of Technology)

1. はじめに

水分を多く含んだ土中に埋まった木材はその表面からセルロース等が分解して水分と置き換わる。劣化はしだいに内部まで進行、含水量が増加し、その形態を維持できないほど脆弱になる。

凍結乾燥処理により出土木製品はその表面から乾燥していく。遺物表面に細かいクラックが生じるまで乾燥させても、劣化したものほど中心部に多くの水分が局在する危険性がある。

そこで、凍結乾燥処理法において遺物深部の水分の昇華を促進させるために、凍結乾燥処理中にマイクロ波照射による誘電加熱ができる実験装置（図1、表1）を作製し、その効果や問題点を本学会で報告した（出土木材のマイクロ波加熱凍結乾燥法による保存処理の研究1，2，3）。

本年は、引き続き行ったマイクロ波加熱凍結乾燥装置による出土木材試料の乾燥実験について報告する。

2. 実験方法

① 直径70mm程度の出土木材（流木）を長さ70mm程度に切断し、1本の木材から4～6個の試料を得た（図2）。

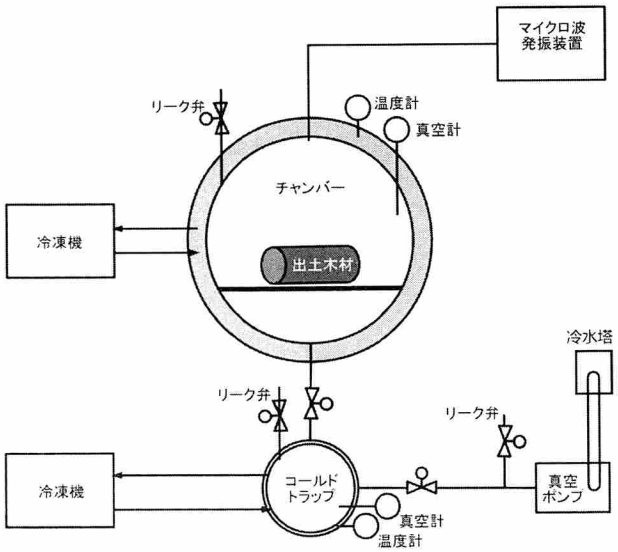


図1. マイクロ波加熱凍結乾燥装置模式図

表1. マイクロ波加熱凍結乾燥装置諸元

チャンバー：直径 900mm、全長 1800mm（円筒横型）
庫壁温度 -30℃（運転時）
試料棚 1.62m^2（有効面積）
コールドトラップ：直径 400mm、全長 800mm（円筒横型）2基
庫壁温度 -50℃（運転時）
到達真空度：10Pa（約 0.075Torr）
マイクロ波発振周波数：2450±50MHz（マグネトロン）
マイクロ波出力：0～2kW（連続可変）

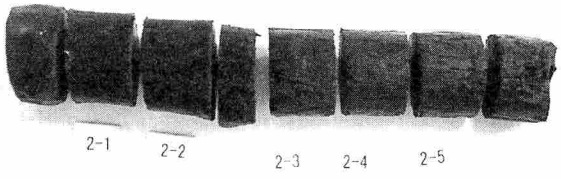


図2. 実験試料

② 樹種を同定後、20%、40%ポリエチレングリコール（PEG）水溶液に順に含浸した（含浸期間3～6ヶ月）。
③ マイクロ波加熱凍結乾燥機内で内部温度測定用のセンサーを差し込んで予備凍結した(-30℃、1～2日間)。
④ 2日間凍結乾燥処理を行った後、マイクロ波照射を併用した凍結乾燥処理を行った。その間、順に試料を取り出し、4日間（約100時間）で処理を終えた。
⑤ 処理を終えた試料は上層・中層・下層に切断し、さらに各層を中心部と周辺部に分け（図3、4）、計6分割した試料各部の含水率を絶乾法で測定した。

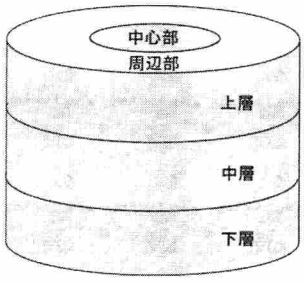


図3. 実験試料の分割模式図

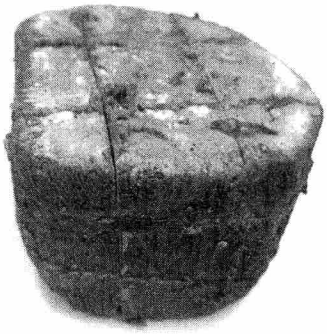


図4. 分割した実験試料

3. 実験結果と考察

各実験結果をグラフ化した一部を図5に示した。

PEG含浸後（乾燥前）100%前後であった各部の含水率は約2日間の凍結乾燥処理で15～40%になったが、中層中心部だけは約90%に留まった（#4-b(FD48.5h)）。

次に凍結乾燥にマイクロ波照射を併用すると（約8時間の凍結乾燥中に約30分間のマイクロ波照射を3回行った）、中層中心部の含水率は減少し（#4-c(FD56.25h, MW1.75h)）、さらにマイクロ波加熱凍結乾燥を行う（約10時間の凍結乾燥中に約30分間のマイクロ波照射を3回行った）ことにより他の部分とほぼ同じ含水率（1.6～2.8%）になった（#4-d(FD63.25h, MW3.25h)）。

今回の実験で、マイクロ波加熱凍結乾燥法が凍結乾燥処理法で取り除きにくい出土木製品深部に残存する水分を取り除くのに有効である可能性を見出した。

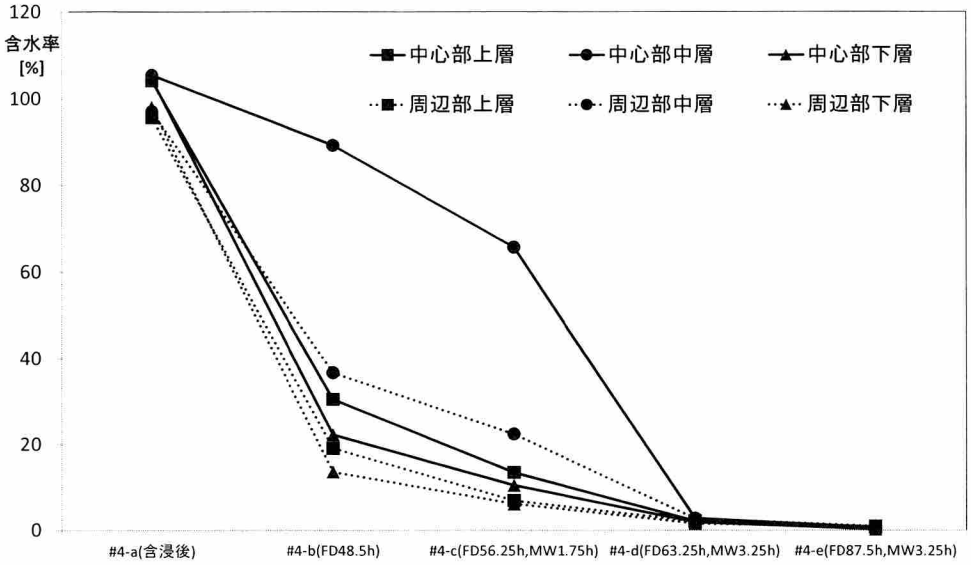


図5. 出土木材#4のマイクロ波加熱凍結乾燥法による処理に伴う含水率の変化

この研究は平成23～26年度科学研究費補助金（基盤研究(B)23300329）により行った。

P-076

入館者からの熱水分発生がハギア・ソフィア大聖堂の壁画の劣化に与える影響
Influence of heat and moisture generation from visitors on degradation of the wall painting in Hagia Sophia, Istanbul

水谷悦子（京都大学）、○小椋大輔（同左）、 石崎武志（東北芸術工科大学）、安福勝（近畿大学）
佐々木淑美（関西大学）

Etsuko Mizutani (Kyoto University), ○Daisuke Ogura (Kyoto University), Takeshi Ishizaki(Tohoku University of Art and Design), Masaru Abuku (Kinki University), Juni Sasaki (Kansai University)

1. はじめに ハギア・ソフィア大聖堂では第2コーニス(図1)を中心に堂内の多くの箇所で主に塩類の析出による表面塗装の剥離や内装材の剥落といった劣化が確認されている。塩の析出は多孔質材料中の水分に含まれるイオンが水分蒸発や温度変化による溶解度の変化により結晶化することであり、水分の供給を抑えることとともに温湿度環境の制御が保存対応策として挙げられる。既報[1)]では内壁の剥落程度の違いが表面近傍での水分蒸発に与える影響について検討を行った。本報では適切な公開方法を提案するため、観光客からの熱水分発生が堂内温湿度環境に及ぼす影響を室の温湿度解析モデルにより検討する。

2. 来館者数の推移 図2に2013年1月～2014年8月の大聖堂の1日の入館者数の推移を示す。月曜日は休館日であり一般の観光客の入館はない。2013年の年間の来館者数は約300万人であり、開館日の平均入館者数は約9400人である。2013年、2014年ともに5月の入館者数が最も多く、1日に2万人の観光客が訪れる日が記録されている。2014年1月～8月の入館者数が2013年の同時期の記録とほぼ同じ推移をとることから例年同じ傾向をとることが予想される。

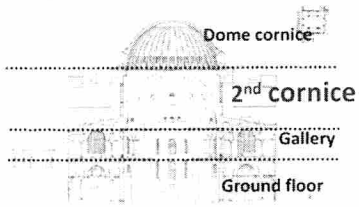


図1 断面図

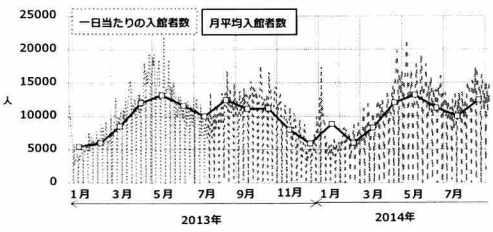


図2 1日当たりと月平均の来館者数

3. 数値解析による検討

3.1 解析概要 ハギア・ソフィア大聖堂内の室の解析モデルを作成し、堂内の温湿度解析を行う。図3に示すように室の解析モデルは開館時に観光客の滞在や扉や窓の開閉のあるギャラリー階と地上階を観覧エリア、ドームコーニスと第2コーニスからなる部分をコーニス部の2室とし、それぞれの空気を1質点で代表させる。壁体は1次元として扱い、外気に接している壁と地上階の間仕切り壁は吸放湿を考慮し、熱水分同時移動方程式を用いる。壁体の内外は第3種境界条件とし、外気側には2012年9月26日から2013年9月25日の期間に大聖堂の屋外で測定した温湿度測定値を用い、室内側は室温湿度解析から求まる温湿度を用いる。各方位の日射は全天日射量の実測値をもとに既報[1)]と同様に算出したものを与える。地盤は8.4mの深さの底部で外気の年平均温度を与える。水分物性値は，レンガ層は既報[1)]の解析に用いた目地モルタルの値を、その他の物性値は文献値を用いる。人体からの熱水発生量は文献値より一人当たり 80(W/s)、64(g/h)とした。1日当たりの入館者数は各月平均入館者数とし、滞在時間を30分として開館時間に観覧エリアの室の収支に与える。堂内の空気の流れは現地で行った風向風速測定や温湿度測定の結果を考慮し、図3の縞柄矢印のように仮定し、解析値が実測値

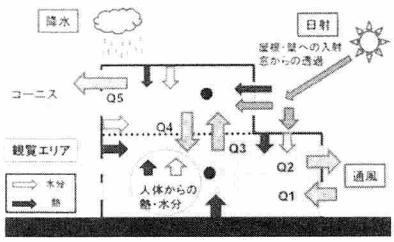


図3 室の解析モデル

表1 室容積と壁、開口部面積

		観覧	Cornice
窓面積(㎡)	東	173.1	37.8
	西	260.9	101.7
	南	615.1	46.5
	北	615.1	46.5
壁面積(㎡)	東	1752	589.2
	西	1752	525.3
	南	2064	1445.2
	北	2064	1445.2
室容積(㎥)		156891	44426.3

表2 同定した換気回数

		冬期（11月～3月）		夏季（7月～9月）		中間期（4～6月、10月、11月）	
		開館（9:00～16:30）	閉館	開館（9:00～18:30）	閉館	開館（9:00～18:30）	閉館
換気回数（回/h）	外気-観覧（観覧部基準）	0.5005	0.1792	0.5307	0.1353	0.3495	0.1353
	観覧-コーニス（コーニス部基準）	0.8732	0.8732	0.1444	0.1444	0.1444	0.1444

と一致するように流量を同定し(表2)、現状の堂内温湿度の再現を確認した(図省略)。上記モデルを用い、観光客からの熱水分発生が堂内環境に与える影響を検討するため、1)月毎に月別平均入館者数が入館し月曜日は休館とする場合、2) 1)と等しい入館者数で、毎日開館とする場合、3) 1)の月別入館者数を2倍とする場合の3ケースと入館者をなし(入館者数0)とした場合の解析値を比較する。なお現在ハギア・ソフィア大聖堂は、休館日がないため、ケース1)は2014年までの、ケース2)は2015年以降の開館状況に該当する。

3.2 結果と考察 図4から7に、入館者数を0とした場合の解析値を基準とした各ケースの室の温度差、絶対湿度差、相対湿度差の月平均値を求めた値を示す。図4より観光客からの熱水分発生の影響は5月に最も大きくなっており、ケース1)(月別平均入館者数、月曜休館)の場合、最大で観覧部で約0.6℃、コーニス部で約0.3℃の温度上昇があり、入館者数を2倍とした場合は、上昇幅は約2倍となる。また、入館者数の増加が温度上昇に与える影響は、観覧部の方が大きく、夏季にその傾向が強く観覧部の温度上昇がコーニス部の約2倍となるが、冬季の両者の差は小さい。これは夏季より冬季の方が、堂内の空気交換量が多くなるためであると考えられる。図5より入館者数の増加による観覧部、コーニス部の絶対湿度に与える影響は年間通じてほぼ等しく、5月に最も大きな絶対湿度の増加があり、ケース1)の場合で約0.6g/kgである。図6、7より入館者数の増加が相対湿度に与える影響は4月が最も大きくなっている。また相対湿度変化に与える影響は観覧部よりもコーニス部に対しての方が大きい。コーニス部に対しては各ケースとも年間通じて相対湿度が増加する方向に働くのに対し、観覧部の7月、8月の相対湿度は各ケースとも減少しており、入館者数が増加することで必ずしも相対湿度が上昇する訳ではない。

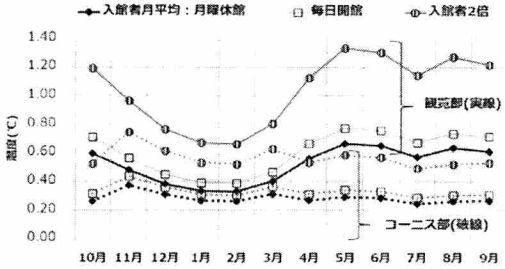


図4 入館者数0を基準とした場合の温度差

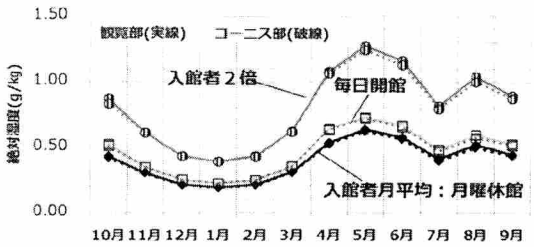


図5 入館者数0を基準とした場合の絶対湿度差

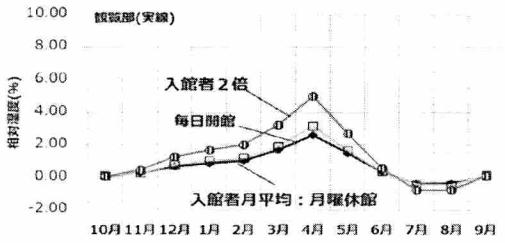


図6 入館者数0を基準とした場合の相対湿度差(観覧部)

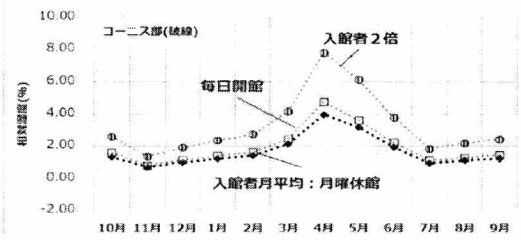


図7 入館者数0を基準とした場合の相対湿度差(コーニス部)

4. まとめ 大聖堂内の室温湿度解析モデルを作成し、堂内温湿度の再現を行い、モデルを用いた数値解析により観光客からの熱水分発生が堂内温湿度環境に及ぼす影響の検討を行い、以下の結果を得た。1)観光客からの熱水分発生が堂内温湿度環境に与える影響は大きく温度、絶対湿度は5月に、相対湿度は4月に最も大きくなることが分かった。2)入館者数増加が温度変化に与える影響は、観覧部の方が大きく、湿度変化に与える影響はコーニス部の方が大きくなることが分かった。3)観光客の増加は堂内温湿度を上昇させるが、室内相対湿度は下がる時期も発生した。

今後は、これらの温湿度環境の変化が内表面での水分蒸発に与える影響の検討を行い、壁画の塩類析出による劣化との関係を明らかにし、適切な公開方法の提案を行う。

[謝辞] 科学研究費補助金 若手研究(A)(課題番号:26709043 研究代表者:安福勝)の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。**[参考文献]** 1)水谷悦子他5名:ハギア・ソフィア大聖堂の内壁の仕上げ材が壁画の劣化に鳴与える影響, 日本文化財科学会第31回大会(2014), 2) 斎藤平蔵:建築気候, 共立出版, p.158,(1974)

P-077

釜尾古墳の装飾の保存に関する研究
-古墳の熱水分解析による結露抑制対策の検討-

Study on conservation of decorated chamber walls in Kamao tumulus - Investigation of the measures for preventing dew condensation by analyzing heat and moisture behavior of the tumulus -

芥子円香（京都大学）○小椋大輔（同左）鉾井修一（同左）
坂口圭太郎（熊本県立装飾古墳館）三好栄太郎（熊本市文化振興課）
MADOKA KESHI, ○DAISUKE OGURA, SHUICHI HOKOI(Kyoto University),
KEITARO SAKAGUCHI (Kumamoto Prefectural Ancient Burial Mound Museum),
EITARO MIYOSHI (Kumamoto City)

1. はじめに　熊本市に位置する国指定史跡の釜尾古墳は、石室内の装飾壁画の劣化の危惧により、一時閉鎖状態にある。劣化の原因として結露の落下・流下による顔料の流出が懸念されている。今後の装飾古墳の保存・公開を行うためには、まず石室内の結露の生じるメカニズムを明らかにする必要がある。既報[1]では、夏期の結露発生の主要因を明らかにすることを目的とし、次の結果が得られた。①石室内は冬期に乾燥傾向、夏期に湿潤傾向にある　②夏期の結露の主要因は入口付近の地表面からの蒸発であり、冬期の乾燥の主要因は入口扉での凝縮である。本報では、墳丘と周辺地盤を考慮した2次元の温湿度解析モデルを作成し、モデルの妥当性の確認した後、結露抑制対策の検討を行う。

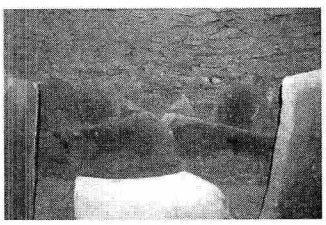


図1　釜尾古墳玄室内

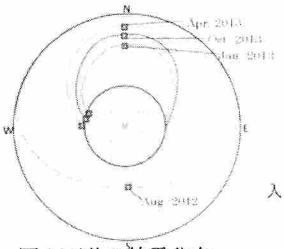


図2 天井の結露分布

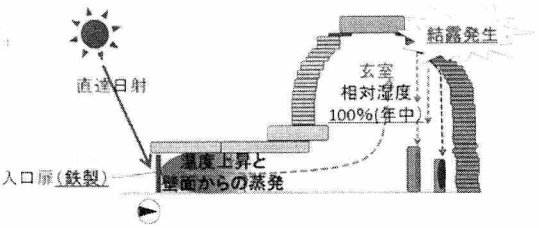


図3 結露発生のメカニズム

2. 温湿度解析モデルを用いた結露抑制対策の検討　既報より、夏期における結露発生の主要因は石室内入口付近の水分発生であることを示した。玄室内での結露発生位置は、石室を覆う墳丘の温度や含水量の分布が関係するため、本章では、これを明らかにし玄室における結露抑制対策を検討する。まず2次元の地盤系を考慮した熱水分解析モデルを作成し、内部空間の温湿度や結露性状の再現性について確認する。その上で、入口扉の日射の抑制・断熱効果について検討を行う。**2-1 解析概要**　石室を形成する凝灰岩やコンクリート・墳丘土壌は多孔質材料である。本研究では、多孔質材料内での熱・水分移動について、温度、水分化学ポテンシャルを駆動力とする松本の熱水分同時移動方程式[3]を用いる。石室内の空気は入口、羨道、玄室の領域に分け、各領域の空気を1点で代表させた熱水分収支式を用いる。各室間の換気量は各室の温度差を用いて算出する。解析対象は図4に示すような、墳丘を南北断面で切断した2次元モデルであり、数値解析には前進型有限差分法を用いた。墳丘を構成する材料の物性値は文献値を参照した[3]。**2-2 解析結果**　**2-2-1 石室内の温湿度性状**　図5に入口と玄室の温度の解析値と実測値の比較を示す。9月下旬から2月下旬にかけて解析値が実測値をやや下回る結果となっているものの変動は概ね一致し

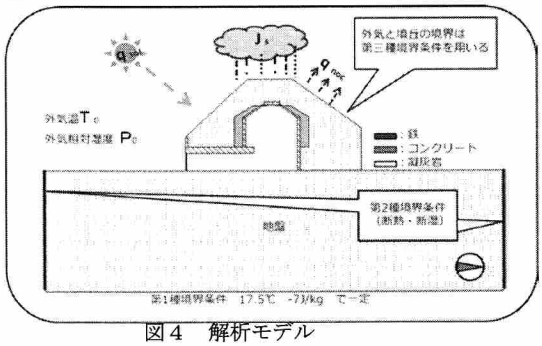


図4　解析モデル

ている。絶対湿度についても温度と同様、冬期に解析値が実測値をやや下回るものの変動は概ね一致している。（図省略）**2-2-2 石室内の結露性状**図６に冬期と夏期の結露発生位置（解析結果）を示す。冬期（1月5日0:00）は玄室内で結露は生じず、入口扉で結露しているのに対し、夏期（8月5日0:00）は玄室北面の側壁全面で結露が生じている。図７に夏期（8月5日14:00）の墳丘の温度分布と含水率分布（解析結果）を示す。図７（上）より、南側上部の温度が高く、北側下部の温度が低い値となっている。これは日射が南側から当たること、地盤温度が外気温より低い時期であることによる。また図７（下）より、南側上部の含水率が低く、北側下部の含水率が高くなっている。これも日射の影響であると考えられる。以上より夏期に北側側壁で結露が生じるのは、玄室表面の中で比較的温度が低く、含水率が高い面であるためだと考えられる。実測での目視調査の結果と比較すると、冬期に乾燥し夏期に結露する傾向にある点、北側で結露が生じている点は一致するが、天井で年中結露が生じている点は再現できていない。天井での結露発生要因としては、墳丘を構成する材料の透水性の違いにより天井面で水分が高くなりやすくなることや、本解析では考慮できていない玄室内の空気の上下の成層化や空気の攪拌による玄室空気中の絶対湿度の上下分布が生じることが考えられ、今後検討を行う。本モデルで概ね挙動は再現できているため、以下の解析では本モデルを用いる。

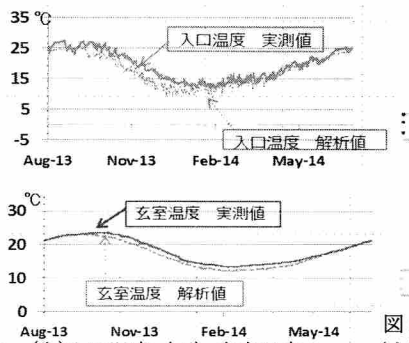


図５　(上)入口温度（下）玄室温度

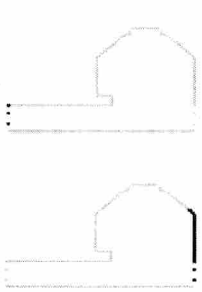


図６　結露位置
（上）冬期（下）夏期

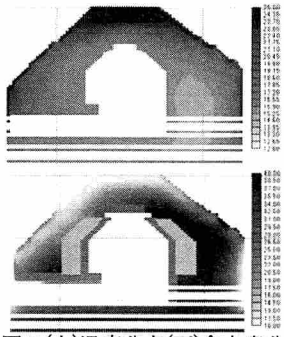


図７(上)温度分布(下)含水率分布

2-3 扉の日射遮蔽・断熱を行った際の結露抑制効果の検討　結露抑制対策として石室内入口付近の水分発生を抑えることの有効性を検討するため、扉の日射遮蔽、あるいは扉の日射遮蔽と断熱化の効果を、先の解析モデルを用いて検討する。扉の日射遮蔽は、扉に当たる日射量を0[W/m²]とし、扉の断熱は、扉の熱伝導率を0.0375W/mKとし、厚さが2cmと7cmとした。図８に遮蔽なしと遮蔽あり、遮蔽＋断熱（2cm厚）、遮蔽＋断熱（7cm厚）の場合の玄室内での結露量の解析結果をそれぞれ示す。最も結露発生量が多い7～8月を比較すると、遮蔽＋断熱（7cm）＜遮蔽＋断熱（2cm）＜遮蔽あり＜遮蔽なしの順で結露量が小さく、遮蔽と断熱（7cm）を行うと、遮蔽なしに比べて40%程度抑制できている。一方で、遮蔽なしの場合には結露発生量が比較的小さかった2月～4月の結露量は、遮蔽＋断熱（7cm）の場合が最も大きかった。これは、扉を断熱することにより、冬期の玄室内乾燥の要因である入口扉での結露が抑制されたことが原因と考えられる。つまり、結露量が最大となる夏期の結露発生量を最も抑制できるのは、扉の日射遮蔽を行い、断熱材を厚くした場合であり、結露発生期間が最も少ないのは、扉の日射遮蔽を行い、断熱しなかった場合である。結露量や結露期間、結露発生位置など適切な結露抑制対策を検討する際に判断する基準を明確にすることが今後の課題である。

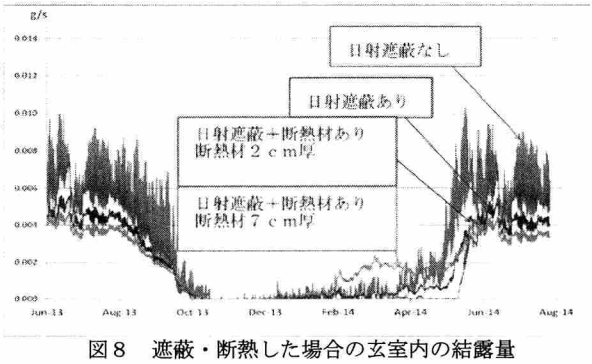


図８　遮蔽・断熱した場合の玄室内の結露量

3.まとめ　1)本解析モデルを用いた解析結果は石室内の温湿度と玄室の結露性状について測定結果と大略一致した。2) 結露抑制対策として扉の日射遮蔽と断熱の効果について検討を行った。

謝辞　平成26年度科学研究費補助金 基盤(B)(課題番号：26289203 研究代表者：鉾井修一)の助成を受けた。記して感謝申し上げます。

参考文献 1)芥子円香・小椋大輔・鉾井修一：「釜尾古墳の装飾の保存に関する研究-空気の流れを考慮した温湿度解析による結露発生要因の検討-」、日本文化財科学会研究発表要旨集、第31号 2)池田朋生：(2010. 2) 装飾古墳石室内での温湿度、彩色の見えを対象としたモニタリングシステムの構築, 熊本県立装飾古墳館, 3)松本衛：新建築学新建築学大系 10「環境物理」3.湿気　4)李永輝：発掘時における古墳壁画の保存環境に関する研究, 京都大学院博士論文, 2010, 3　5)鉾井・池田・新田：(2002) エース建築環境工学II，朝倉書店, 5)日本熱物性学会(2000)：熱物性ハンドブック，養賢堂

P-078

元町石仏における磨崖仏の保存に関する研究
—覆屋内環境が塩類風化に与える影響の検討—

Study on Preservation of a Buddha Statue Carved into a Cliff at Motomachi
- Influence of the environment in the shelter on salt damage-

高取伸光（京都大学）、○小椋大輔（同左）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）、
安福勝（近畿大学）、桐山京子（京都大学）、高妻洋成（奈良文化財研究所）

Nobumitsu Takatori, ○Daisuke Ogura(Kyoto University), Soichiro Wakiya(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Masaru Abuku(Kinki University),
Kyoko Kiriyama(Kyoto University), Yohsei Kohdzuma(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに　元町石仏は昭和９年に国指定史跡となった大分市を代表する磨崖仏である。岩盤に彫られているという特徴ゆえに元町石仏は岩盤背後からの熱・水分の影響を絶つことが難しく、風雨から石仏を守るための覆屋の建造や、地下水位を下げるため背後にトンネルを掘り排水を行う機構の設置など様々な保存対策が行われたが、主な劣化要因である塩類風化の進行が抑えられていない。本研究では、元町石仏で生じている塩類風化に着目し、その抑制を行う覆屋の環境設計を目的とする。本報では現状の覆屋内環境が元町石仏の熱水分性状に与える影響を熱水分移動解析により明らかにし、塩類析出を促進する環境要因について検討する。

2. 塩類風化のメカニズムと塩類析出の現状　元町石仏を構成する凝灰岩のような多孔質材料内では水分の移動が生じる。液水中の塩類は温度の低下や水分の蒸発によって溶解度を超えることで、結晶化する。この結晶化した塩類による劣化は塩類風化と呼ばれる。本報では主に水分の蒸発が塩濃度の上昇をもたらすことに着目し、塩類の析出を促進する環境要因について検討を行う。図1に冬季に多くの硫酸ナトリウムの析出が確認されている薬師如来像膝部におけるフェイシングペーパーによる時期ごとの塩類析出量調査[1]の結果を示す。秋期から冬期にかけて Na^+ や SO_4^{2-} といった成分が多く検出されており、塩類析出が冬季に多いことと対応している。

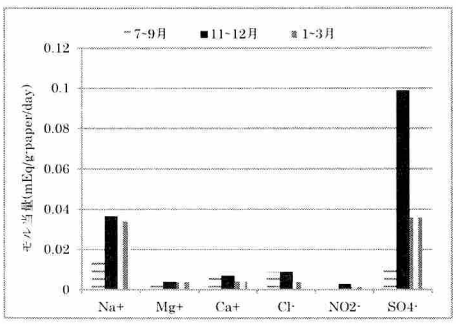


図1　膝部における塩類析出量

3. 解析概要　元町石仏の熱水分性状を明らかにするため熱水分同時移動方程式[2]を用いて検討を行う。図2に、解析に用いる薬師如来像中央を中心とした断面の２次元の解析モデルを示す。解析には2013年度の大分地方気象台の外気温湿度及び降水量[3]と、覆屋内で測定された温湿度[1]を使用し、日射は既報[4]の手法により推定した値を用い、各部位ごとに各々の推定値を使用する。地下水位は保存修理事業の調査より床下約1mで一定とした[5]。また凝灰岩の物性値は李ら[6]がまとめた文献値を基に飽和透水係数の値を 2.20×10^{-9}[m/s]と変更して使用する。各種解析は、地盤底部は第一種境界条件とし、地盤側面は断熱断湿とする。

4. 解析結果と考察　図3に膝付近での水分流の測定結果[注]と対応する部位の解析結果の比較を示す。夏季から冬季にかけて季節変動が概ね一致していることが分かる。以下では塩類の析出について含水率と蒸発量の解析結果から膝部を対象として検討を行う。図4に膝内部の深部方

向の含水率分布を示す。6月には表面の含水率が最も上昇するが、高含水率の部位が夏季から秋季にかけて深部に後退し、冬期から春季にかけて表面近傍に前進する。材料中の水分蒸発は含水率が大きく低下する位置において生じているものと考えられ、蒸発位置は、夏季には材料深部で、冬季から梅雨頃には表面近傍で生じているものと考えられる。これは冬期では塩類析出時期と一致するが梅雨頃では一致しない。次に図5に膝部に当たる年間日射量を、図6に膝に当たる日射量が最も大きい12月28日の表面温度と含水率の変動を示す。日射の当たる前後で含水率が約1.5%減少しているのが分かる。また、図7に膝部における年間含水率と表面からの水分流分布を示す。膝部の含水率と水分流は梅雨頃に大きく、後者のみ冬季に大きくなる。冬季の日射が膝部にあたる日においては図6のような急激な含水率の減少が頻繁に起きていると考えられる。

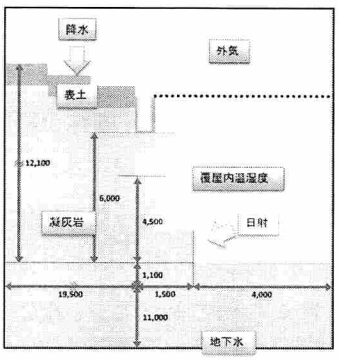


図2　2次元の解析モデル

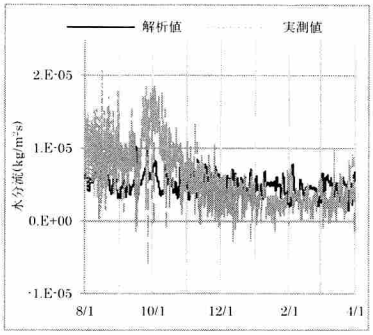


図3　水分流の実測値と解析値の比較

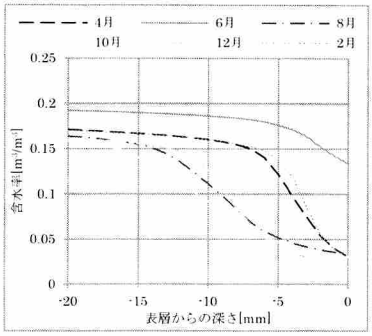


図4　膝内部の含水率分布の年変動

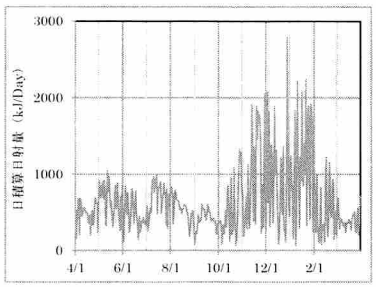


図5　膝部に当たる年間日射量

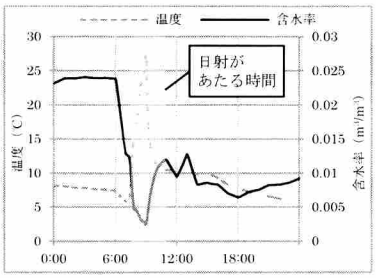


図6　膝部の温度と含水率の変動(12月28日)

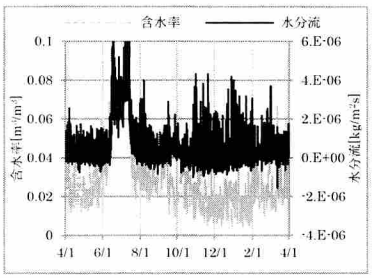


図7　膝部の年間含水率水分流分布

5. 結論　本報では現状の覆屋内環境における元町石仏の熱水分移動解析を行い、膝部の夏季から冬季の蒸発性状が概ね再現できた。このモデルを用いて主に水分の蒸発が塩濃度を上昇させ塩析出をもたらす点に注目し、膝部の蒸発が生じる部位と量について検討を行い以下の結果を得た。材料内部の含水率分布は季節変動があり、冬季から梅雨頃では材料表面近傍で、夏季から秋季にかけて材料深部で蒸発が生じやすくなっている。また直達日射の影響により表面の含水率は約1.5%低下する。この現象は膝部に当たる日射量が多い冬期の膝部で多く生じ塩類析出の状況との一致が見られる。一方で、梅雨頃に塩析出が緩慢な理由としては硫酸ナトリウムの溶解度が温度上昇により大きくなることと、含水率増加により濃度が減少することが主な要因と考えられる。

注）測定値の水分流は、膝部で測定された水蒸気圧から覆屋内水蒸気圧を引いたものに湿気伝達率 16.7[g/m²·h·mmHg] をかけて算出した。**謝辞**　本研究の実施にあたり、大分市埋蔵文化財保存活用センター参事補　河野史郎氏には貴重なご支援・ご指導を頂きました。心より感謝申し上げます。**参考文献**　1)大分市教育委員会：大分元町石仏平成25年度調査業務委託報告書(2014), (1984), 2) 松本衛ら：新建築学大系10　環境物理, 彰国社刊, 3) 気象庁：過去の気象データ検索, http://www.data.jma.go.jp, 2014年11月27日閲覧 (2014), 4)高取、小椋、脇谷、安福、桐山：元町石仏における磨崖仏の保存に関する研究―覆屋内環境が塩類風化に与える影響の検討―, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 環境系 (2015), 5)大分市教育委員会：国指定史跡大分元町石仏保存修理事業報告書 (1996), 6)李永輝, 小椋大輔, 鉾井修一, 石崎武志：高松塚古墳の発掘前後の石室内温湿度環境変化と応急保存対策の効果の解析, 日本建築学会環境系論文集 (658), pp.1041-1050 (2010),

P-079

酸化チタンを用いた光触媒の文化財保存科学への応用研究

On the application of TiO_2 photocatalyst in Conservation Sciences

○玉岡義隆（筑波大学）、松井敏也（筑波大学）

○Yoshitaka Tamaoka(University of Tsukuba)、Toshiya Matsui(University of Tsukuba)

【はじめに】

酸化チタン光触媒とは、建築関連、水処理・土壌汚染関連、医療関連などの分野で、空気浄化、水浄化、抗菌・殺菌などを目的として利用されている技術である。酸化チタン光触媒は紫外線を吸収することで空気中の汚染因子を酸化分解することが可能であるため、酸化チタン光触媒を応用することで、空気汚染を要因とする文化財の劣化被害を軽減することが可能だと考えられる。しかし、酸化チタン光触媒は、これまで文化財の保存のために応用されることはなかった。酸化チタン光触媒が文化財に応用されてこなかった理由には、酸化チタン光触媒は紫外線下でのみ効果を発揮するため、紫外線の悪影響を受ける文化財には相性が悪いと考えられてきたこと、次に酸化チタン光触媒の効果が正確には把握されていないこと、そして、どのように文化財に利用すればいいのか不明瞭であることの3つが挙げられる。本研究は、酸化チタン光触媒の効果を正確に把握し、今後文化財に光触媒を応用する際の指標にするとともに、酸化チタン光触媒を応用した新しい保存方法を提案し、保存方法の選択肢を増やすことを目的としている。

【実験方法】

酸化チタン光触媒（TAMネットワーク社，サンエコート）を塗布したガラス板及びデータロガー（Onset社，HOBO pro v2）をテドラーバッグ（サンプラテック社，テドラー（R）バッグ（Nタイプ））に封入して実験装置とした。実験装置にアンモニアガスまたは酢酸ガスを注入した後、紫外線照射装置（フナコシ社，　UVGL-58型）を使用して紫外線を照射し、一定時間経過ごとにアンモニアガス及び酢酸ガスの濃度を測定した。実験は、ガスの流れを作らず測定対象のガスが存在する空間に酸化チタン光触媒を放置する静的な環境で行った。

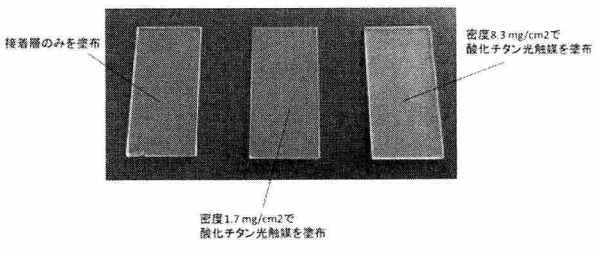


図1　酸化チタン塗布ガラス板

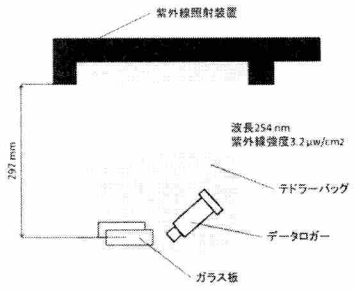


図2　実験装置図

【結果と考察】

実験結果から、静的な環境で酸化チタン光触媒が 100 ppm 以下の濃度領域のアンモニアガス及び酢酸ガスを酸化分解することが確認できた（図 3，図 4）。対象ガスの減少速度は、実験で使用した酸化チタン光触媒の重量に沿ったものであり、酸化チタン光触媒が酸化分解によって減少させる対象ガスの量は、酸化チタン光触媒の密度ではなく重量に依存していると考えられる。

表 1　実験条件

サンプル番号	ガスの種類	ガス体積（L）	ガス濃度（ppm）	ガラス板の枚数（枚）	塗布面積（cm2）	光触媒密度（mg/cm2）	光触媒塗布重量（mg）	紫外線強度
①	アンモニア	2	60	2	100	8.3	830	3.2
②	アンモニア	8	60	1	50	8.3	420	3.2
③	アンモニア	8	60	2	100	8.3	830	3.2
④	アンモニア	8	60	2	100	1.7	170	3.2
⑤	アンモニア	8	60	5	250	1.7	430	3.2
⑥	酢酸	2	80	2	100	8.3	830	3.2
⑦	酢酸	8	80	1	50	8.3	420	3.2
⑧	酢酸	8	80	2	100	8.3	830	3.2
⑨	酢酸	8	80	2	100	1.7	170	3.2
⑩	酢酸	8	80	5	250	1.7	430	3.2

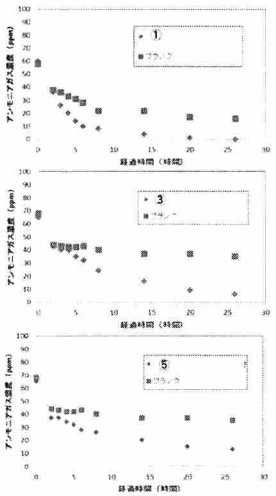


図 3 アンモニアガスの分解実験

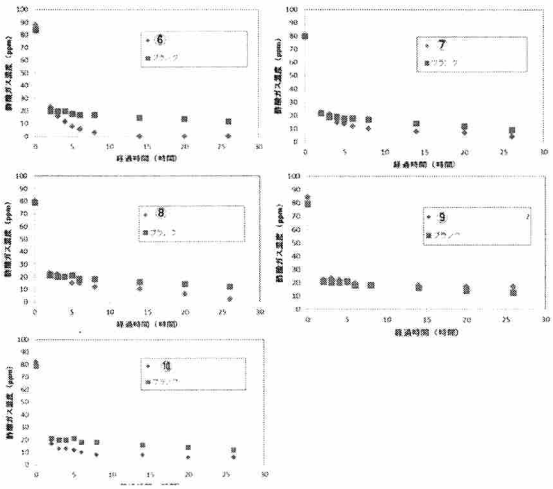


図 4 酢酸ガスの分解実験

【まとめ】

本実験では、GASTEC 社製の気体検知管を使用してガス濃度を測定したため、検知限度が東京国立博物館の空気汚染物質ごとの濃度指針と比較して大きい値である。今後、ガスクロマトグラフ質量分析計などの高感度な検出器を使用したガス分解実験を行う必要があるだろう。本研究では、化合物を酸化分解し減少させることに焦点を置き実験を行ったが、酸化チタン光触媒を文化財の保存に応用するためには、酸化分解によって生成される化合物を調査する必要があるだろう。紫外線は文化財に悪影響を与えるため、文化財に紫外線を当てることはできないが、酸化チタン光触媒には紫外線を当てなければならないので、紫外線の対策が必要である。

酸化チタン光触媒を保存科学に応用するためには、研究を必要とする項目がある。しかし、酸化チタン光触媒を応用することで、空気汚染を要因とする文化財の劣化被害を軽減することが期待できる。

P-080

金属製品の保存処理に用いる新規樹脂について

The new protective coating material for conservation treatment of metal objects.

○山口繁生、山田卓司、川本耕三、植田直見（公益財団法人　元興寺文化財研究所）
○Shigeo Yamaguchi, Takashi Yamada, Kozo Kawamoto, Naomi Ueda (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

1.　はじめに

金属製品の保存処理では樹脂含浸用の樹脂として非水系アクリルディスパージョン樹脂「Paraloid NAD-10V」(DOW Chemical company、以下 NAD-10)、及び溶剤可溶型のフッ素樹脂「V フロン一液マイルド　クリヤー」(大日本塗料株式会社、以下 V フロン)が用いられている。発表者らは V フロンの外気遮蔽能力が NAD-10 に比して高く、薄い膜厚で優れた防錆性を示すことに着目し使用してきた。本研究ではより防錆性に優れる樹脂を求め、様々な樹脂の調査を行った。調査の結果、フッ素系樹脂「アクアトップ　F　クリヤー」(大同塗料株式会社、以下アクアトップ)を見出し、現在その有用性の検討を行っている。本報告では検討の初期段階として行った、アクアトップ及び V フロンの被膜比較について報告する。

2.　試料及び方法

2. 1. 試験片及び樹脂溶液の調製

サイズ 50×20×0.8mm^3 の JIS G 3141 SPCC-SB 適合鋼板(冷間圧延鋼板)を用いた。鋼板をサンドペーパー(#400)で研磨し、その後、アセトンに浸漬して脱脂を行った。これを無塗装試験片とする。無塗装試験片を樹脂溶液に浸漬し、常温にて一昼夜乾燥させた後、再度浸漬を行い 1 週間乾燥させて各塗装試験片とした。樹脂溶液は、アクアトップ及び V フロン各々を樹脂濃度が 20%(w/w)になるようにクレンゾル HS(JX 日鉱日石エネルギー株式会社)で希釈して調製した。

2. 2. 物性試験

2. 2. 1. 粘度測定

B 型粘度計(東京計器)を用いて、樹脂溶液の粘度を測定した。

2. 2. 2. 膜厚測定

電磁膜厚計 LE-300(株式会社ケツト科学研究所)を用いて、試料の被膜厚さを測定した。測定は複数の箇所で行い、その中心付近の値を採用した。

2. 2. 3. 鉛筆引っかき試験

JIS　K5600-5-4 に準じて被膜の鉛筆硬度を測定した。

2. 2. 4. 付着性

JIS K 5600-5-6 に準じて被膜の付着性を測定した。

2. 3. 防錆試験

塗装試験片を錆びさせるため、過酷条件として塩水噴霧を用いた。超音波加湿器を用いて塩化ナトリウム水溶液(5%(w/v))より霧を発生させ、この霧を充満させた噴霧室内に試験片を設置した。無塗装試験片が十分に錆びたところで試験片を取り出し、錆の発生状況を比較した。

3. 結果及び考察

得られた物性試験の結果を表 1 に、防錆試験の結果を図 1 に示す。

物性試験の結果より、アクアトップは V フロンと似通った物理的特性を示すことが明らかとなった。一方、防錆試験においては両者に差が生じた。アクアトップでは均質な被膜が形成できないエッジ部分に錆が生じたものの、その他の部分では殆ど錆は生じなかった。これに対し V フロンでは、エッジ部分のみならず、均質な被膜が形成されている平面においても少量の錆が生じた。

以上より、アクアトップを金属製品の樹脂含浸用樹脂として用いる場合、処理工程はこれまでVフロンで行ってきた工程をそのまま適用できること、さらに、Vフロンと同様の処理によって、より防錆性に優れた被膜が形成できることが示唆された。

表 1. 樹脂溶液及び樹脂被膜の物性測定結果

	溶液粘度(cP)	膜厚(μm)	引っかき強度	付着性
アクアトップ	25.70	4.6±1.0	H	ハガレ無し
V フロン	24.15	4.9±0.9	H	ハガレ無し

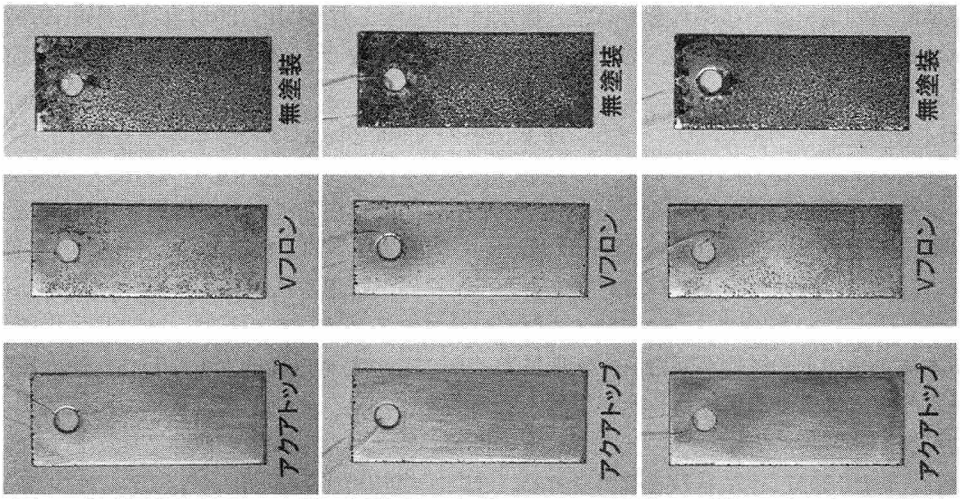


図 1. 防錆試験結果　上段:無塗装、中段 V フロン塗装、下段:アクアトップ塗装

4. まとめ

試験片を用いたアクアトップと V フロンの被膜比較より、アクアトップが V フロン以上の有用性を示すことが示唆された。この結果を踏まえ、今後はアクアトップを用いた実際的な処理方法の検討、及び、その他さらに有用な樹脂が存在しないかの調査を行っていく。

P-081

大分市元町石仏における塩類風化の現状と要因の検討

The Current State and the Factors of Salt Deterioration at Buddha Statue Carved into a Cliff at Motomachi.

○桐山京子（京都大学）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）、高取伸光(京都大学)、小椋大輔(京都大学)、安福勝(近畿大学)、髙妻洋成（奈良文化財研究所）

○Kyoko Kiriyama (Kyoto University), Soichiro Wakiya (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Nobumitsu Takatori(Kyoto University), Daisuke Ogura(Kyoto University),Masaru Abuku(Kinki University) , Yohsei Kohdzuma (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに　大分市元町石仏では、石仏の膝付近を中心に冬期において塩類析出に由来する石材の粉状化や剥離が生じている。既往の報告において析出が確認されている硫酸ナトリウムは、一般に石材の劣化におよぼす影響が最も大きい塩の一つとされており [1]、硫酸ナトリウム析出の抑制は元町石仏の保存において喫緊の課題である。一般に塩類は種類によって溶解度の温度依存性が異なり、飽和塩溶液が平衡する相対湿度が異なる。したがって、析出する塩類の種類とその分布を季節ごとに把握し、元町石仏周辺の温熱環境との関係を明らかにすることが、塩類析出の抑制方法を検討する上で必要である。ここでは、各季節における石仏付近に析出している塩の同定、環境調査と塩の起源に関する調査結果を報告する。

2. 調査　析出する塩類の種類とその分布の季節変化把握するため、2014 年 8 月 1 日、2014 年 11 月 8 日、2015 年 2 月 8 日、2015 年 4 月 18 日に石仏の 5 箇所より塩のサンプリングを行い、X線回折法による分析を行った。また、環境調査として、塩類析出と覆屋内の温熱環境の関係を把握するため、覆屋内外の温湿度測定と扉開閉時間の測定を行った。温湿度は、覆屋内、覆屋外、石仏両膝上の 4 箇所にデータロガを設置し、2014 年 11 月 8 日より測定を継続している。扉開閉時間は、覆屋入口の両扉にイベントロガを設置し、2015 年 2 月 8 日より測定を継続している。また、塩類の由来を明らかにするため石仏前面の集水井から採水を行った。採水は 2014 年 7 月 31 日、2014 年 11 月 8 日、2015 年 2 月 8 日、2015 年 4 月 18 日に行い、その後、イオンクロマトグラフィにより採取した水の溶存成分の定量分析をおこなった。

3. 結果および考察　元町石仏でサンプリングした塩の X 線回折法による分析結果を表 1 に示す。サンプリング箇所 No.2～No.5 に関しては、各季節とも硫酸カルシウム（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）が検出された。硫酸カルシウムが難溶性の塩であることから、一年中表面に存在していると考えられる。No.1 に関しては、夏期に硫酸ナトリウム（Na_2SO_4）、秋期に硫酸ナトリウムおよび硫酸カルシウム、冬期に硫酸ナトリウム、春期に硫酸ナトリウムおよび硫酸カルシウムが確認された。No.1 のみに夏期から硫酸ナトリウムが析出していた原因については、本試料はすでに石仏本体から剥離した破片に析出したもので、石仏本体からの水の供給が断たれた状態にあったことが考えられる。すなわち、他の箇所では毛管力や雨水の浸入により石仏本体へ水が供給されることに加え、気温が高い夏期では硫酸ナトリウムの溶解度が高く、容易に析出しない一方で、水の供給が断たれた破片では水分蒸発にともない塩の濃縮が進行し、析出にいたったものと推察される。また、塩類析出の範囲については、サンプリング期間中は元町石仏において例年塩類析出が盛んな箇所を中心に和紙でフェイシングがされていたため、分布変化の確認という目的は達成されなかった。一方で、既往の報告において 1994 年 1 月にサンプリングされた塩の X 線回折分析の結果では、全て硫酸ナトリウムまたは硫酸ナトリウム 10 水和物であると報告されている [2]。また、同報告書によると、この析出物は 10 月頃から発生しはじめ、その後徐々に析出量が増加すること、降雨時に湿度が高くなると一部潮解するが、3 月まで析出物は増加しているようであることが報告されている。この分析結果は、季節性の析出物のみを対象としたものであるのか、あるいは各ポイントにおける石仏表面の析出物をすべて分析した結果であるのか明確ではない。

しかし、今回の調査結果を併せて考えると、石仏の膝より下の部分において94年時点では析出していなかった硫酸カルシウムが析出するようになった可能性があることから、析出物の分布の変化については今後も慎重に検討すべきと考える。また、測定期間中の一部の覆屋内外の絶対湿度と覆屋向かって左扉の１０分間中の閉鎖時間の割合を図１に示す。図１に示した期間中、右扉は覆屋内での作業によりほぼ閉じていたためここでは示さない。扉を閉めている時間帯では覆屋内の絶対湿度が覆屋外の絶対湿度に比べて高くなる傾向が認められた。これにより、この期間においては、石仏が彫られている露頭から水分蒸発が生じている可能性があり、扉が開いている期間は覆屋内空気の換気量が増加し、水分蒸発が促進されることから、覆屋の扉が開いている状態の方が、塩類析出を促進する環境であるという可能性が示唆された。また、集水井から採取した水の溶存成分の定量分析の結果（図２）から、硫酸イオン、ナトリウムイオン、カルシウムイオンが高い濃度で含まれていることが明らかとなった。このことから、地下水の溶存成分が元町石仏において析出している塩の起源になっている可能性が高いことが示唆された。また、その他にも塩化物イオンも多く含まれていることが明らかとなった。硫酸ナトリウムと塩化ナトリウムを混合した場合、硫酸ナトリウムならびに硫酸ナトリウム１０水和物の溶解度が減少するという報告があり[3]、元町石仏においても塩化ナトリウムが硫酸ナトリウムの溶解度に影響を与えている可能性がある。混合した塩の挙動は現在研究途上であり、元町石仏においても混合した塩がどのような挙動を示すかについて検討する必要がある。

4. 結論　元町石仏の塩類風化を抑制する環境を検討することを目的とした調査において、析出している塩の同定と環境調査をおこなった。その結果、元町石仏において硫酸ナトリウムならびに硫酸カルシウムの析出が確認され、その起源は地下水にある可能性が高いことが示唆された。また温湿度の調査によって、調査期間中の冬期においては、覆屋の扉が開いている状態の方が、塩類析出を促進する環境になる可能性が示唆された。今後、混合した塩において、どのような温度ならびに相対湿度でどのような塩類が析出するのかを室内実験を通じて明らかにしていき、元町石仏における塩類風化を抑制するための環境を検討する際の一つの指標とする。

表１　塩のＸ線回折分析結果

	2014/8/1	2014/11/8	2015/2/8	2015/4/18
No.1	硫酸ナトリウム（Na_2SO_4）	硫酸ナトリウム、硫酸カルシウム	硫酸ナトリウム	硫酸ナトリウム、硫酸カルシウム
No.2	硫酸カルシウム（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム
No.3	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム
No.4	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム
No.5	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム	硫酸カルシウム

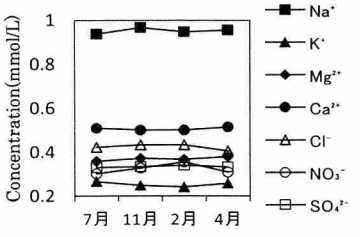


図2. 集水井の季節ごとの溶存成分

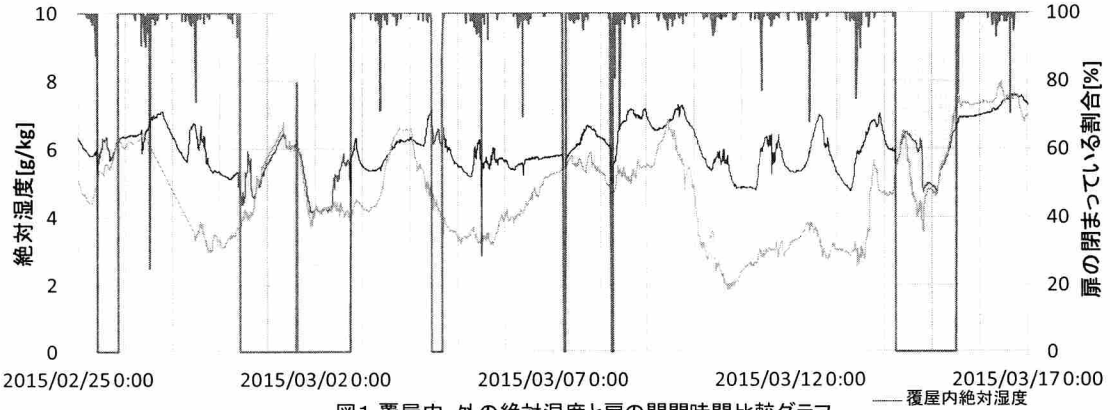


図1.覆屋内・外の絶対湿度と扉の開閉時間比較グラフ

【謝辞】調査にあたり、大分市教育委員会には多大なるご協力をいただきました。記して深く感謝申し上げます。

【参考文献】1) Eric Doehne and Clifford A. Price "Stone Conservation: An Overview of Current Research second edition" The Getty Conservation Institute (2010) pp.15-20
2) 大分市・明大工業株式会社『大分元町石仏析出物等調査委託報告書』(1994) pp.12,67
3) Michael Steiger, Kirsten Linnow, Dorothee Ehrhardt, Mandy Rohde　Decomposition reactions of magnesium sulfate hydrates and phase equilibria in the $MgSO_4$–H_2O and Na^+–Mg^{2+}–Cl–$SO_4$$2H_2O$ systems with implications for Mars. *Geochimica et Cosmochimica Acta 75* (2011) pp.3600-3626

P-082

海洋環境における鉄製遺物の腐食過程の研究 -埋蔵深度が鉄の腐食状態に及ぼす影響

Corrosion of iron artifacts in marine environment -Effect of burial depth on corrosion of iron

○柳田明進（橿原考古学研究所）、池田榮史（琉球大学）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）
髙妻洋成（同左）

○Akinobu Yanagida(Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture),Yoshifumi Ikeda(University of the Ryukyus) ,Soichiro Wakiya(Nara National Research Institute for Cultural Properties),Yohsei Kohdzuma(")

1. はじめに

鉄製遺物の腐食には、その周辺の溶存酸素（DO）濃度、酸化還元電位（ORP）などの影響が大きく、埋蔵環境によって腐食状況は顕著に異なると考えられる。一方で、埋蔵環境は季節変動を示し、堆積物の深度によっても変化する。したがって、海洋環境に位置する遺跡において遺物の取り上げが困難であるなどの理由から、現地においてその保存が図られる場合、海底環境の実態を把握するとともに、鉄製遺物の腐食過程を検討する必要がある。既報の研究では、元寇関連遺物が多数埋蔵されている鷹島神崎遺跡を調査地として、一部の鉄製遺物に還元環境下での腐食の特徴が認められること[1)]、埋蔵環境の季節変動、堆積物の深度による環境の差異[2)]を報告した。本研究では現在海底に位置する鉄製遺物の腐食を把握するため、堆積物中の深度ごとに金属試料を設置し、埋蔵深度が腐食状態と腐食速度に及ぼす影響について検討した。

2. 調査方法

劣化試験は長崎県松浦市に位置する鷹島の南岸において、2013年10月20日から約11ヶ月間実施した。埋没深度による腐食状況の差異を検討するため、堆積物の表層から深度2.5、20、60および100 cmの位置に炭素鋼を設置した。また、木製遺物が鉄製遺物に隣接した状況を想定して、木材に炭素鋼を接触させた試料を同一の深度に設置した。炭素鋼は 50×50×5 mmに切り出したSS400を用い、エメリー紙#800まで湿式研磨にて仕上げ、蒸留水およびアセトンで超音波洗浄した後、試験に供した。また、木材には 50×50×10 mmに切り出したマツ材を用い、炭素鋼の片面に接触させた。取り上げた試験片は除湿剤および脱酸素剤とともに保管し、実験室において腐食状態および腐食速度の分析をおこなった。腐食状態の検討では、試料の表面状態についてデジタルマイクロスコープ（HIROX社製KH-7700）を用いて観察した後、X線回折分析（XRD）、走査電子顕微鏡（SEM）、エネルギー分散型X線分光（EDS）を用いた元素マップによる分析を実施した。XRDはリガク社製SmartLabを用い、表1の条件で実施した。SEM-EDSは日本電子社製JSM-5400LV、JED-2100を用い、エポキシ樹脂に埋入した試料を切断および研磨した後、分析に供した。腐食速度は炭素鋼のみで設置した試料に対して、試験前後の重量減少を試験片の表面積および試験期間で除して算出した。試験後の重量は試験片を5 wt%クエン酸水溶液に30分間浸漬し、ブラシを用いて腐食生成物を完全に除去した後に計測した。

表1 XRDの測定条件

対陰極	Cu
管電圧、管電流	40 kV、100 mA
走査範囲	5～80°

3. 結果および考察

3．1 腐食状態の検討　XRDによって検出された腐食生成物の一覧を表2に示す。炭素鋼のみの試料では、深度2.5 cmにおいて観察された褐色および黒色の固着物から針鉄鉱（α-FeOOH）、深度20 cmで認められた黒色の固着物から磁鉄鉱（Fe_3O_4）が検出された。一方で、深度60および100 cmにおいて固着物の形成は認められなかった。深度2.5および20 cmに設置した試料の断面観察およびその元素マップでは、1~5 mmの厚みの多孔質な固着物層が形成されており、酸素、硫黄の分布領域と鉄の分布領域が一致する箇所が認められた。元素マップにおいて硫黄と鉄の領域が一致することから、硫化鉄などがわずかに生じ

ている可能性も示唆される。一方、炭素鋼に木材を接触させた試料では、すべての深度に設置した試料の木材との接触面で緻密な黒色物質が形成されており、XRD の結果、深度 2.5 cm では磁鉄鉱および fougerite ($Fe(OH)_2(OH)_{0.25}(H_2O)_{0.5}$)、深度 20 cm においてマッキーノ鉱（FeS）、磁鉄鉱、fougerite が検出された。また、深度 60、100 cm においてはマッキーノ鉱のみが検出された。試料の断面観察では約 0.1 mm の緻密な黒色物質層が観察され、元素マップでは鉄が顕著に検出されるとともに、炭素鋼に近接した箇所では酸素、その外側で硫黄が分布する領域が認められた。これらの結果を考慮すると、炭素鋼のみの場合では、主に酸化鉄が形成され、堆積物の表層付近では酸化的な環境で安定な針鉄鉱、深度 20 cm ではより還元的な環境で安定な磁鉄鉱が生じる傾向を示すと考えられる。劣化試験を実施した堆積物中の ORP は表層で約+300 mV を示し、深度 40 cm までに約-50 mV に低下する[2] ことが認められており、深度が増加して還元環境に移行することで形成される腐食生成物に差異が生じたと考えられる。一方で、木材が接触した試料においては、XRD および元素マップの結果を考慮すると、炭素鋼の近傍で水酸化鉄、その外側で硫化鉄が形成されていると推察される。この特徴は硫酸塩還元菌が介在して生じる微生物腐食の特徴と一致しており[3]、還元環境にある堆積物において木材が硫酸塩還元菌の栄養として作用することで、微生物腐食が促進されたと考えられる。また、炭素鋼のみでは腐食が緩慢であった深度 60 cm 以深においても、木材などの栄養となる物質が存在した場合、微生物腐食は進行すると考えられる。

3．2 腐食速度の検討　深度ごとの腐食速度および空隙率の変化を図 1 に示す。腐食速度は深度 2.5 cm で 0.05 mm/y を示し、深度が増加するにしたがって減少し、深度 60 cm 以深においては約 0.005 mm/y まで低下することが認められた。堆積物中の炭素鋼の腐食は DO を含む環境では DO もしくは鉄イオン、DO が欠乏した環境では、水もしくは鉄イオンのいずれかの拡散が反応の律速となる[4] とされている。堆積物中の空隙率の鉛直分布は表層から 60 cm 以深までに顕著に低下し、ORP が DO の消失以下の値を示している[2] ことから、深度 60 cm 以深においては DO が枯渇するとともに、水および鉄イオンの物質移動が緩慢になるため、炭素鋼の腐食速度が極めて停滞したと考えられる。また、当遺跡において海底の DO 濃度は嫌気的な環境に移行する夏期においても約 3 mg/L を維持しており[2]、低層海水における腐食速度は一般の海水環境の腐食速度である 0.1 mm/y[5] と同等と考えられる。したがって、鉄製遺物の腐食速度は海水中に比べて堆積物表層では約 1/2、60 cm 以深においては約 1/20 まで低下すると考えられる。

4．まとめ　劣化試験を用いて当遺跡の鉄製遺物の腐食に及ぼす埋蔵深度の影響を検討した結果、1）表層付近では腐食生成物として酸化鉄が生じ、深度 60 cm 以深では腐食生成物の形成が抑制される、2）木製遺物が接触した場合、硫酸塩還元菌が介在した微生物腐食により硫化鉄が形成される、3）腐食速度は堆積物表層で約 0.05 mm/y を示し、60 cm 以深では約 0.005 mm/y まで低下する、ことが認められた。

表2　各試料から検出された腐食生成物
（-は腐食生成物が認められないことを示す）

深度(cm)	炭素鋼	木材付着炭素鋼
2.5	針鉄鉱 (α-FeOOH)	磁鉄鉱 (Fe_3O_4) fougerite ($Fe(OH)_2(OH)_{0.25}(H_2O)_{0.5}$)
20	磁鉄鉱 (Fe_3O_4) fougerit ($Fe(OH)_2(OH)_{0.25}(H_2O)_{0.5}$)	マッキーノ鉱(FeS) 磁鉄鉱(Fe_3O_4) fougerite ($Fe(OH)_2(OH)_{0.25}(H_2O)_{0.5}$)
60	-	マッキーノ鉱(FeS)
100	-	マッキーノ鉱(FeS)

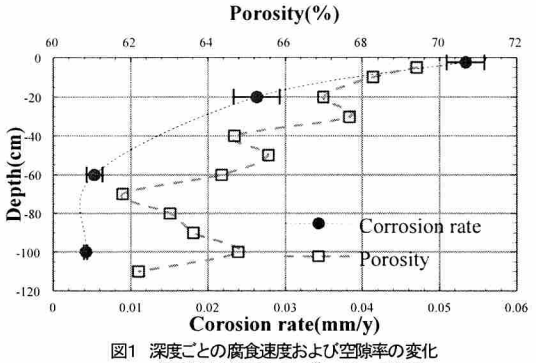


図1　深度ごとの腐食速度および空隙率の変化
（空隙率は柳田ら：2014[2]において発表）

謝辞　本研究をおこなうにあたり松浦市教育委員会、同教育委員会合澤理恵氏、㈱高林株式会社の潜水士の方々のご理解、ご協力を頂いた。また、本研究の一部は平成23～27年度科学研究費補助金基盤研究（S）（課題番号:23220022 研究代表者池田榮史）の補助を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献　1）柳田明進、田村朋美、脇谷草一郎、高妻祥成（2011）日本文化財科学会第28回大会研究発表要旨集, pp.252-253　2）柳田明進、池田榮史、脇谷草一郎、高妻祥成（2014）日本文化財科学会第31回大会発表要旨集, pp.90-91　3）腐食防食協会編（2004）微生物腐食入門, pp.15-36　4）柴田俊夫、渡邊正敏、谷口直樹、清水亮彦（2013）材料と環境, 62, pp.70-77　5）腐食防食協会編（1993）環境材料学入門, p.273

P-083

福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土資料の保存科学的調査

Scientific researches into archaeology objects by Funabaru tomb in Koga City, Fukuoka Prefecture

○小林啓・加藤和歳（九州歴史資料館）、今津節生（九州国立博物館）、輪田慧（合同会社2bit）、
森下靖士・甲斐孝司・横田義章（古賀市教育委員会）、
○Akira Kobayashi・Kazutoshi Kato (Kyushu Historical Museum)、Setsuo Imazu (Kyushu National Museum)、Kei Wada(2bit)、Yasushi Morisita・Takashi Kai・Yoshiaki Yokota (Koga City Boaed of Education)

1. はじめに

船原古墳遺物埋納坑は、平成25年3月に発見された古墳時代後期（6世紀末～7世紀初頭）の馬具や武器、武具など多量の遺物を埋納した未盗掘の大型土坑である。出土した遺物は総数500点をゆうに超え、質・量ともに豊富で、出土状態も良好なことから貴重な情報を多く内包している。九州歴史資料館では、古賀市教育委員会と共に発掘現場での遺物の取り上げをおこない、現在は保存処理や各種調査を進めている。

本報告では遺物埋納坑出土資料の中から、轡と杏葉についてX線CTスキャナによる調査結果と資料に残存する有機質の状態等についての調査成果に報告する。

2. 資料と方法

船原古墳遺物埋納坑は未盗掘であり、出土資料の依存状態が良好なことに加え、繊維や織物などの有機質情報が残存している可能性が高いことが推測された。そこで、資料の取り上げは可能な限り周囲の土ごと取り上げ情報を取り漏らすことのないよう努めた。

土塊状の資料はX線CTスキャナにより調査をおこない形状や状態について確認した。この他、土壌や資料表面に残存する有機質の有無や状態について確認し、今後の調査方法について検討する。

3. 結果

【轡】（写真 1）

X 線 CT スキャナによる調査の結果、6 種類の鏡板付轡が確認された。金銅製 3 種類、鉄製 3 種類である。円形鏡板付轡は少なくとも日本列島では類似する資料が乏しい稀有な資料であり、遊環の連結方法など構造に不明な点がある。環状鏡板付轡は形状と構造が異なる大小 2 種類が確認された。この他、過去の事例から忍冬唐草文心葉形鏡板付轡は舶載品、花形鏡板付轡は国内産と推測される。

【杏葉】（写真 2）

調査の結果、轡の鏡板と同数の 6 種類の杏葉が確認された。棘葉形杏葉のみ鉄製で、残りの 5 種類は全て金銅装である。花形杏葉は花形鏡板とほぼ同形同型で作られており、ともづくりであることが確認できる。鳳凰文心葉形杏葉は、忍冬唐草文心葉形鏡板付轡と形状や構造に類似する点が多く、これらはセット関係にあると推測される。

【有機質】（写真 3）

轡・杏葉の CT 画像から織物や繊維の痕跡が確認できる資料が複数あった。鳳凰文心葉形杏葉では

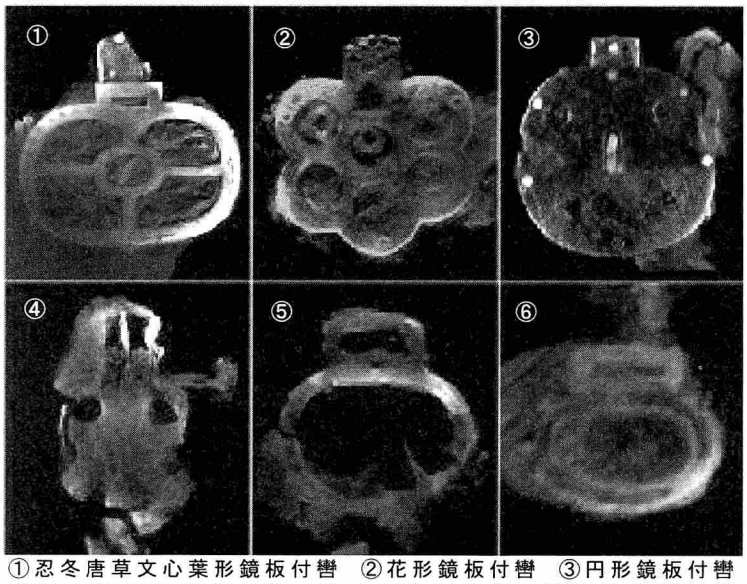
裏面に広く織物の痕跡があり、それらを折り重なっている状態が確認できる。この他、織物に接するように木質状または塗膜状の有機質が確認できる。

4. まとめ

X 線 CT スキャナによる調査により、轡と杏葉の種類と形状の概略について確認することができた。調査成果は今後おこなわれる本格的な保存処理や各種分析などにおける基礎情報となる。今回、対象とした轡や杏葉について、資料個々の材質や構造などの詳細は、保存処理をはじめとする各種調査において明らかにしていきたい。

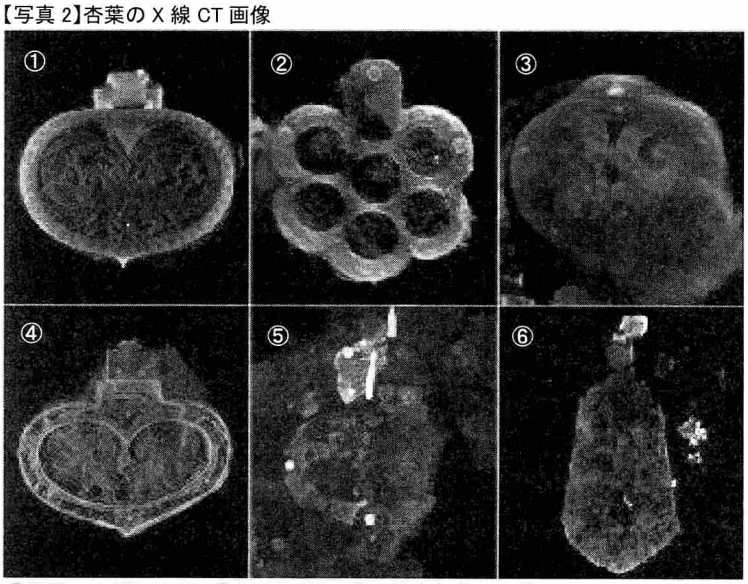
この他、確認された織物などの有機質は、材質同定の他に、出土状況の 3 次元計測と資料の CT データの活用により埋納状況を推測する手掛かりとなることも期待できる。船原古墳遺物埋納坑出土資料については今後も継続的な調査と調査成果の公開を進めていく予定である。

【写真 1】轡の X 線 CT 画像



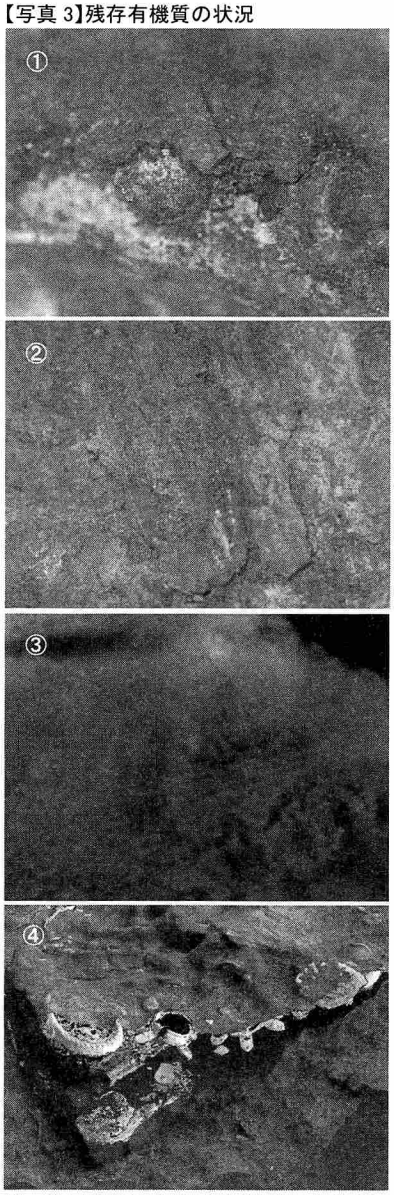
①忍冬唐草文心葉形鏡板付轡　②花形鏡板付轡　③円形鏡板付轡
④車文楕円形鏡板付轡　⑤環状鏡板付轡　⑥環状鏡板付轡

【写真 2】杏葉の X 線 CT 画像



①鳳凰文心葉形杏葉　②花形杏葉　③唐草文心葉形杏葉
④二連三葉文心葉形杏葉　⑤心葉形杏葉　⑥棘葉形杏葉

【写真 3】残存有機質の状況



①・②木質状有機質　③織物状の有機質
④3 次元計測と X 線 CT データの合成図

※船原古墳遺物埋納坑は、現在調査過程にあるため、今後、名称等の修正があることをご了承いただきたい。

P-085

大分県旧万寿寺跡より出土した銭塊の保存処理について

Conservation of Cluster of Coins Excavated from Old Manjyuji Site In Oita Prefecture

○稗田優生（大分県立歴史博物館），吉田　寛（大分県教育庁埋蔵文化財センター）
○Yuki HIEDA (Oita Prefectural Museum of History),
Yutaka YOSHIDA (Oita Prefectural Center for Archaeological Research)

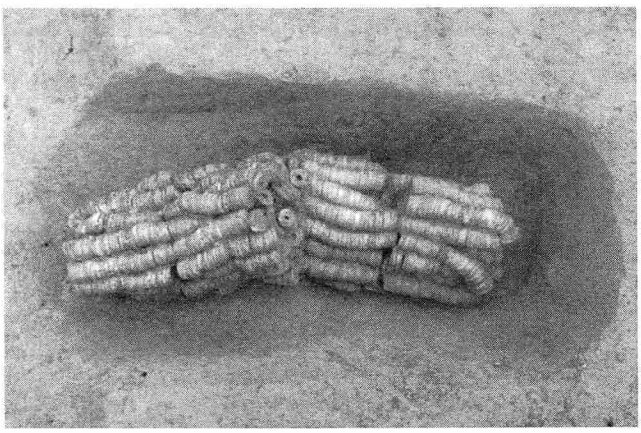
1　はじめに

大分県大分市元町に位置する旧万寿寺跡は、国指定史跡「大友氏遺跡」の南東に位置する臨済宗の寺院跡である。旧万寿寺は徳治元年（1306）、大友貞親（1246-1311）が博多承天寺より直翁智侃（1245-1322）を招き、「蒋山万寿寺」を建立したことに始まる。その後、天正14年（1586）の島津義弘・家久らの豊後府内侵略（豊薩戦争）により焼失する。寛永10年（1633）に開山15世孫の丹山禅師が、大分市金池町に万寿寺を再興した。

旧万寿寺跡を含む大友氏遺跡周辺では、近年の再開発や史跡指定に伴う事前調査で発掘調査が進められている。2013年に実施された旧万寿寺跡第7次調査で、銭塊2個の大量の銅銭が素彫掘り土坑に埋められた状態で発見された。発見後、銭塊2個の取り上げ作業を行い、保存処理を進めた。取り上げ作業や保存処理を進めるにあたり、今後の活用を見据えながら作業を進めた。本発表では銭塊2個に関して行った保存処理について報告する。

2　対象資料

旧万寿寺跡第7次調査で発見された銭塊2個は、長さ0.74m、幅0.41m、深さ0.20mの土坑に埋納された状態で発見された。



出土状況

重なりあうようにして発見された銭塊2個は、発掘調査から同時に埋められたと考えられ、構築年代は14世紀前半頃と推定されている。また、銭塊2個が木箱に入れられていたような状況は認められなかった。

銭塊1個につき約100枚単位で一緡とされる銭束が20束以上確認され、銭塊2個で40束以上の銭束が確認された。保存処理や今後の活用を考慮し、銭塊2個はばらさず、なおかつ銭塊の位置を変えないように銭塊2個全体を取り上げた。銭塊の取り上げには発泡ウレタンを使用した。

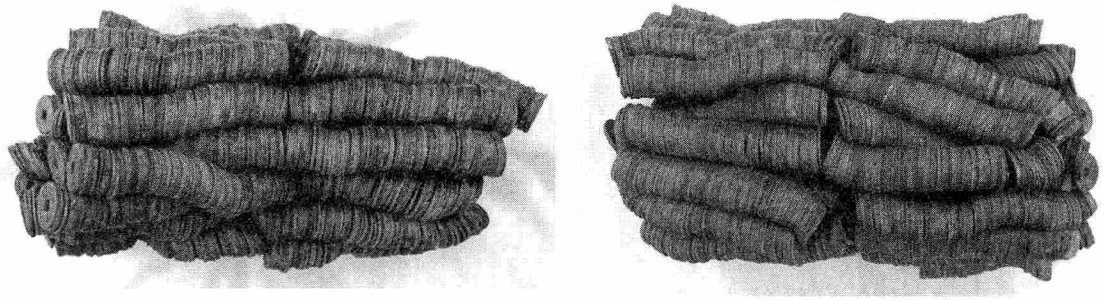
3　保存処理

銭束や各銭が錆によって互いに癒着して分離不可能であったため、銭塊のまま保存処理を進めることとした。

事前調査として、X線による構造調査を実施したが、銭塊の厚みによりX線が透過せず構造を明らかにすることはできなかった。表面観察では銭塊の表面に布や縄などの有機質は確認されていなかったが、銭塊の小口には有機質の紐の残存が確認された。

出土時に露出していた部分（表面）と露出していない部分（裏面）とに分けて保存処理作業を進めた。出土時に重なりあっていた銭塊は錆で固着しておらず、切りはなすことができ、銭塊を1個ずつ処理することとした。銭塊1個の法量は長さ約30cm～35cm、幅約20cmで、重量約20kgである。

作業中、重量による資料の崩壊や破損が心配されたため、クリーニング作業後に、仮止め作業を十分に行った上で強化処置を行った。仮止め作業は銭塊の表面強化とともに、安定化処理も同時に行うこととし、アクリル樹脂5％溶液（BTA1％含有）を3回繰り返して塗布した。仮止め作業には塊がくずれないように養生するためのガーゼ等は用いなかった。仮止め作業後、アクリル樹脂の減圧含浸を行い、接合を行った。



処理後の銭塊

4　まとめ

発見された銭塊2個に関して、銭塊の劣化状態や今後の活用方法を考慮して保存処理を行った。本来、銭1枚単位の観察が必要と考えられるが、各銭塊は錆による固着が著しく、銭1枚単位や銭束での解体が困難であった。そのため、銭塊本来の姿をとどめることを優先した。今後は処理後の経過を観察するとともに、銭塊の活用方法などを検討していく。旧万寿寺跡で発見された銭塊そのものの考古学的・歴史学的な研究が進められることを期待する。

参考文献

吉田 寛：旧万寿寺跡第7次調査で発見された銅銭一括出土遺構，出土銭貨，34，2014

謝辞

本処理作業を進めるにあたり、ご協力・ご教示いただいた九州国立博物館今津節生氏に感謝申し上げます。

P-086

東京学芸大学所蔵盤双六修理のための事前材質調査研究

齋藤由華　○服部哲則　太田朋宏

1．はじめに

東京学芸大学附属図書館では、教育関連資料として190点の教育双六(絵双六)のコレクションを所蔵しているが、それらの収集の際偶然入手したと思われる盤双六も1基収蔵されている。

この盤双六については、現在のところ入手に至る経緯などが全く不明で、本来盤本体に付属しているはずの白黒の駒、サイコロ、サイコロを振る筒はすでに失われている。

また、盤の破損も進んでおり、遊戯をする盤面は、収縮による亀裂が発生し白い仕切り線も一部抜け落ちている。両短辺の側板も外れてしまっている他、裏側塗装膜の剥落などが観察された。(写真1，2)当該盤双六の寸法は、盤面長辺：約400㎜　同短辺：約290㎜　高さ：195㎜　である。

将来の展示などの活用を目的に、文化財科学分野と美術分野は合同で本盤双六の修復を行うこととし、文化財科学分野では、その事前調査として盤双六に使用されている材料の分析調査を行った。

2．調査方法と結果

本発表では、材料調査のうち側板の接着剤と思われる剥落片、裏面の塗装膜の剥落片、および上面より抜け落ちた仕切り線に用いられている細い棒について、FT-IRを用いた材質分析の結果を報告する。

なお、FT-IRに関する仕様や条件は以下の通りである。

日本分光(株)製　FT/IR－7000
測定回数　16回
波長領域　400～4000　cm^{-1}
試料作製法　Kbr　錠剤法

(1) 側板接着剤剥落片

本体から外れた側板裏側に付着している黄色透明の膜を採取、顕微鏡下で木材片やごみなどを除去して分析試料とした。

(2) 裏面塗装膜

本体裏面の黒い塗装膜のうち梱包用の紙やビニール袋に落ちた剥落片を採取、小さめのものを分析試料に、大きめのものを断面観察用の試料とした。

(3) 仕切り線

抜け落ちた仕切り線の下面をグラインダーの回転砥石で削り粉末を採取、分析試料とした。

FT-IRによる分析の結果は次ページの吸収スペクトルグラフのとおりである。(図1～3)

評価は、IRUG(Infrared & Raman Users Group)のデータベースから最も近いと思われる基準スペクトルを選び、それらとの比較照合によって行った。

3．考察

赤外吸収スペクトルピーク波長の比較などから、(1)は膠、(2)は漆、(3)は象牙であると推定される。側板の接合に接着力の弱い膠をなぜ使ったのか、また、裏面の塗装膜の断面観察により、何回も塗り直しがされていることも分かった。修復歴も含め、盤双六修理に必要な情報の収集に努めて行きたい。

*IRUG：http://www.irug.org/

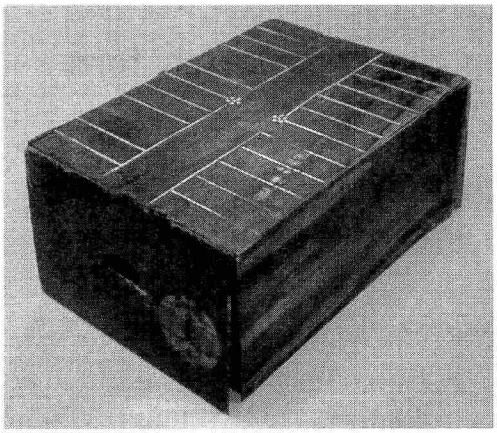


写真１　盤双六全体

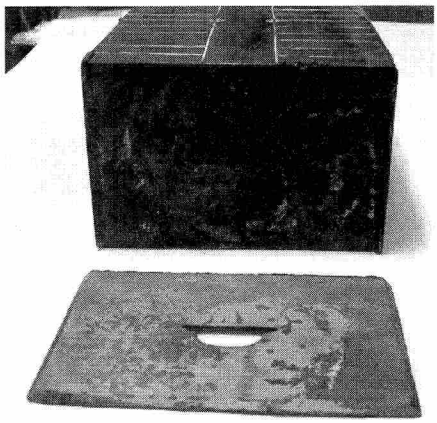


写真２　側板が外れている様子

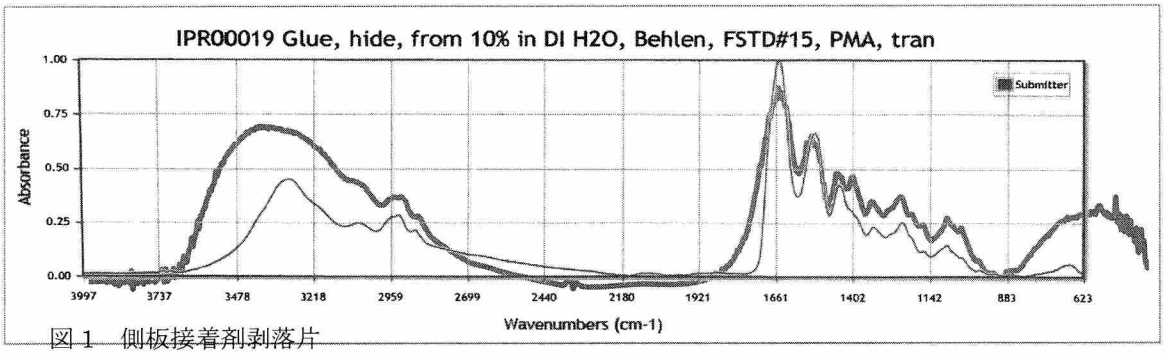


図１　側板接着剤剥落片

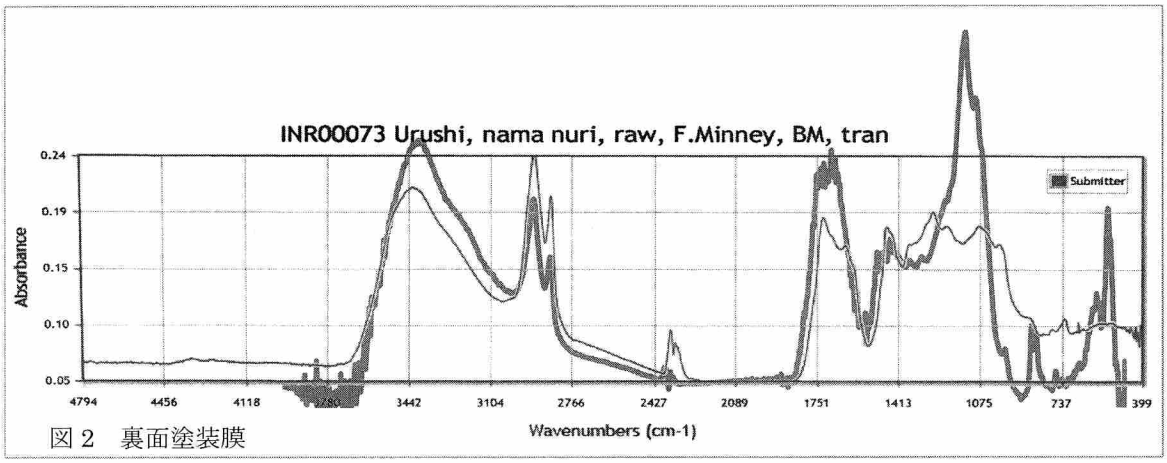


図２　裏面塗装膜

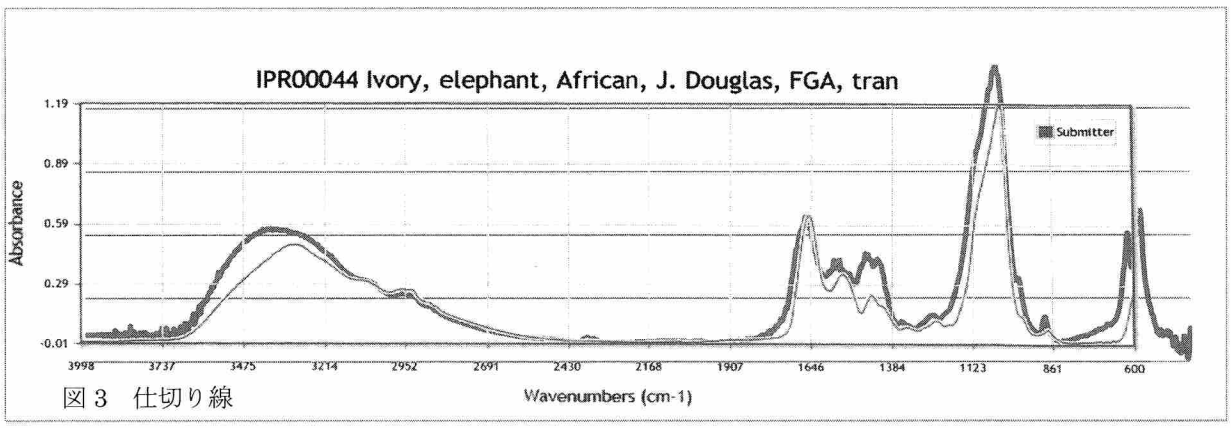


図３　仕切り線

凡例：　太線は今回の分析結果　　細線は IRUG が提供している基準スペクトル

P-133

漆喰表面の劣化形態に関する実験的考察
An experimental consideration on the degradation form of plaster surfaces

○朽津信明[1]・久住有生[2]・前川佳文[1]・早川典子[1]

1:東京文化財研究所，2:左官株式会社

１．はじめに

終末期古墳や，中世のやぐらなどで観察される歴史的な漆喰の表面は，一般に複雑な凹凸形状を示す場合が多く，施工当初は平らに仕上げられていたと仮定すれば，その後の劣化の違いで凹凸が発生したことになる。こうした凹凸の解明は，漆喰の当初状態を解明する意味で有効なばかりでなく，現存する歴史的漆喰の今後のさらなる劣化を予防する意味でも貢献することが期待される。本研究では，漆喰の施工実験を行いながら，こうした問題について考察を試みる。

２．特徴的な表面形態を示す歴史的漆喰の事例

鎌倉市の寿福寺の裏山には，俗に「実朝の墓」と称されるやぐら（中世の横穴状の墳墓）が存在し，凝灰岩の壁面に残存する漆喰の表面形状があたかも唐草文様の様に見えることから，「唐草やぐら」という呼び方もされて伝えられてきている（図１）。このいわゆる「唐草やぐら」の漆喰については，当初から人為的に表現された文様表現であるという考え方と，後天的な風化の結果として形成されたものという解釈とが存在し，後者の中にも，もともと平らな表面に平面的な絵画表現として唐草文が描かれていたものが，その絵画表現の形に漆喰が風化され残ったという解釈[1]も存在する。それ以外のやぐらでも漆喰が残存する事例はあり，一部にはこれと類似した表面構造が観察される場合もある。

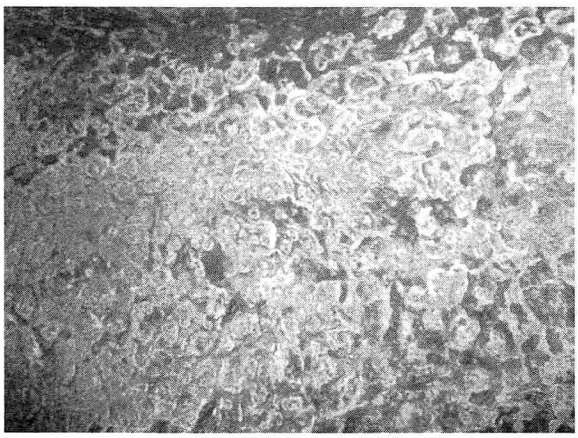


図１．寿福寺の「唐草やぐら」の漆喰表面

やぐら以外で，漆喰が長時間風化を受け続けてきた事例としては他に終末期古墳が挙げられ，例えば高松塚古墳でも明瞭な唐草状の文様は認識できないものの，漆喰表面には複雑な凹凸が認められる。また壁画は存在しないものの，例えば広島県の尾市１号墳[2]や奈良県のムネサカ１号墳でも，漆喰表面には渦巻文様にも見えるような凹凸が存在する。一方で，歴史的事例でなくても，例えば台湾の台南市にある煉瓦造りのごく普通の民家外壁でも，類似した存在状態の漆喰は頻繁に観察され，これらは特別な文様表現が意図的に施されるような箇所とは考えにくく，後天的に風化で形成された可能性が極めて高いと判断される。つまり，時代や地域を問わず，施工後にある程度の時間が経過した漆喰では，一般的に見られる表面状態であることがわかる。

３．実験手法

表面は均質に仕上げられた状態の漆喰に，化学的な不均質性が存在するかどうかを検証する目的で，30 ㎝角の板に漆喰の試験施工を行った。施工は，消石灰 400 g に炊きのり 400 cc とスサ 8g とを加えて木製板の上に木鏝で 20mm の厚さで塗りつけ，石で回すように表面を平らにし，完成時点では肉眼的には均質で滑らかな白色面が確認された。施工後約二週間が経過した後に，刷毛を用いてフェノールフタレイン溶液を表面から均質に塗布し，その後の色の変化を観察した。

４．結果

フェノールフタレイン溶液を塗布した直後には表面に変化は見られなかったが，やがて一部表面がだんだんと赤紫色に変化していき，約４分経過後には漆喰表面に赤紫色の唐草状の文様が観察されるに至った（図２）。その後，赤紫色は徐々に薄くなったが，赤紫色の箇所は不均質な文様状に存在し続けた。

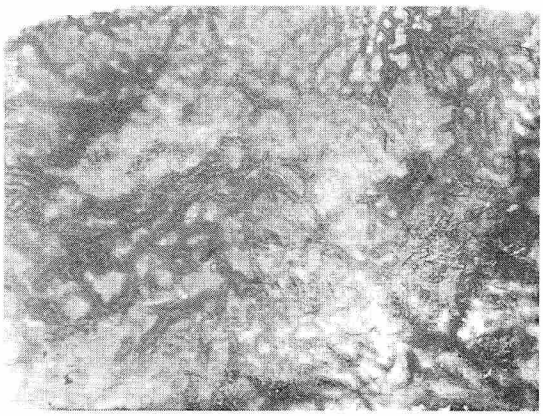


図２．浮かび上がった赤紫色の「文様」

５．考察

実験の結果起きた現象を考察すると，施工後約二週間の間に漆喰最表面は既に炭酸塩化が進行していたために中性化し，フェノールフタレイン溶液塗布直後は赤紫色に変化しなかったものと解釈される。その後，だんだんと赤紫色に変化したのは，未反応の消石灰分が内部に残存しており，それが表面に移動してアルカリ性を示すに至ったと考えられる。さらにその後赤紫色が薄くなったのは，表面に移動したアルカリ分の炭酸塩化が進み，徐々に中和されたことを示すのだろう。この際に見られた赤紫色の「文様」は，炭酸塩化反応が終わった部分と未反応部分との不均質性を反映していると考えられ，これは恐らく表面を平らにする際の力の入り具合などによる施工の不均質性に起因しているのだろう。塗布約４分後の時点で見られた赤紫色部分の分布は，いわゆる「唐草やぐら」の現状にも類似した文様状に認められ，これはこの時点で未反応のアルカリ性部分に相当すると考えられる。だとすればこの状態のままで水が供給され続け，化学反応が継続すれば，赤紫色部分に沿って石灰分は流出しやすいと考えられることから，長時間をかければあたかも唐草文様状に劣化が進行していくことが予想される。このことは，いわゆる「唐草やぐら」や古墳漆喰表面の文様状の凹凸が，自然の風化によって形成されたことを証明するにはまだ十分とは言えないものの，必ずしも人為的な造形を意図しなくても文様状の漆喰表面状態は，自然の風化によって十分形成され得ることが今回の実験によって実証されたことになる。

文献　1) 大三輪竜彦（1977）鎌倉のやぐら―もののふの浄土，2)朽津信明（2005）福山市周辺地域の漆喰使用古墳について，考古学と自然科学, 51 , 11-18

P-087

磁気探査と地中レーダ探査による エジプト・アラブ共和国コマルディバー遺跡の調査研究

Magnetic mapping and ground penetrating radar surveys for the study of the archaeological site of Kom al-Diba' (Arab Republic of Egypt)

○岸田 徹(同志社大学文化遺産情報科学研究センター)、長谷川 奏(日本学術振興会カイロ研究連絡センター)、津村宏臣(同志社大学文化遺産情報科学研究センター)、竹内俊貴(同)、茂木孝太郎(同)

はじめに.

西方デルタのイドゥク湖周辺地域は高濃度の土中塩分により、集約的な農業とは無縁の地とされ、活発な経済活動が想定されてこなかった。しかし、実際には、当該地域には多くのヘレニズム時代遺跡が分布しており、その経済活動の解明が今後の大きな研究課題となっている。

我々は、この様な潟湖周縁に立地するコマルディバー (Kom al-Diba') 遺跡において、非破壊で地下遺構を検出し、遺構の分布から村落構造や機能を推定することを目的に地中レーダ (GPR) 探査および磁気探査を実施した。

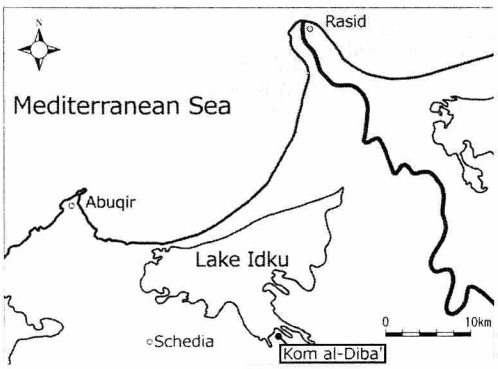


図 1 調査遺跡の位置 (Zaghloul: 2014 より。一部加筆)

1．調査の概要

コマルディバー遺跡は、ブハイラ県のイドゥク湖南部に所在する古砂丘上に立地している (図1)。地表面には、主にローマ時代 (1～3 世紀) と考えられる遺物が散布しているが、本格的な発掘調査は実施されておらず、遺構や遺跡の年代については未だ不明である。遺跡は大きく北丘と南丘に分けられ、それぞれ直径約 100m と約 200m の小高い丘状を呈している。

同遺跡における探査は、2014 年 9 月 7~17 日の計 10 日間で実施した。探査に先立ち、トータルステーションを用いて磁北方向を基準軸として 50m×50m の探査グリッドを南丘上に 6 箇所設定した。

GPR 探査に使用した機器は米国 G.S.S.I.社製 SIR-3000 及び 400MHz アンテナである。測線方向は各探査グリッドの傾斜方向と平行になるように南－北、もしくは東－西方向で走査した。測線間隔は全て 0.5m 間隔である。

磁気探査に使用した機器は英国 Bartington Instruments Ltd.社製 Grad 601 フラックスゲートグラジオメーターである。走査方向は南－北方向、測点間隔は 0.5m×0.5m 毎に 1 測点とした。

2．調査の結果

GPR 探査で得られた代表的な time-slice 図を図 2 左に示す。反射強度の強い部分を黒色、弱い部分が白色のグレースケールで表している。同図では探査範囲の中央部分に壁跡と考えられる直線状もしくは矩形の強い異常応答が認められた。同図の右は磁気探査で得られた磁気異常値を

同様にグレースケール表示したものである。GPR 探査よりも個々の壁跡が明瞭に捉えられており、遺構の北限と考えられる壁跡や数十の方形区画を読み取ることが可能である。

3．考察とまとめ

本遺跡では、GPR 探査よりも磁気探査で多くの壁跡を検出できた。磁気探査が特に有効であった理由はいくつか考えられたが、最も大きな理由は、土壌の塩分濃度が高く GPR では電磁波が急激に減衰し深部のデータが得られなかったためと考えられる。いずれにせよ、潟湖周辺の砂丘に立地する同様の遺跡においては、塩分濃度の影響を受けない磁気探査が有効な探査方法であることがいえる。

探査で捉えられた同遺跡の姿は、従来考えられてきた“中・小規模の村落”というイメージを一変するものであり、城壁で囲まれた“都市”とも呼べる遺跡が存在することが有力となった。今回は調査期間の制約等により、探査出来たのは限られた範囲のみであったが、今後、部分的な試掘調査を実施し、探査結果との比較検討を経たうえで、探査範囲を拡大し、西方デルタの潟湖周辺域における調査手法の確立と、同遺跡の構造解明について研究を進めていく予定である。

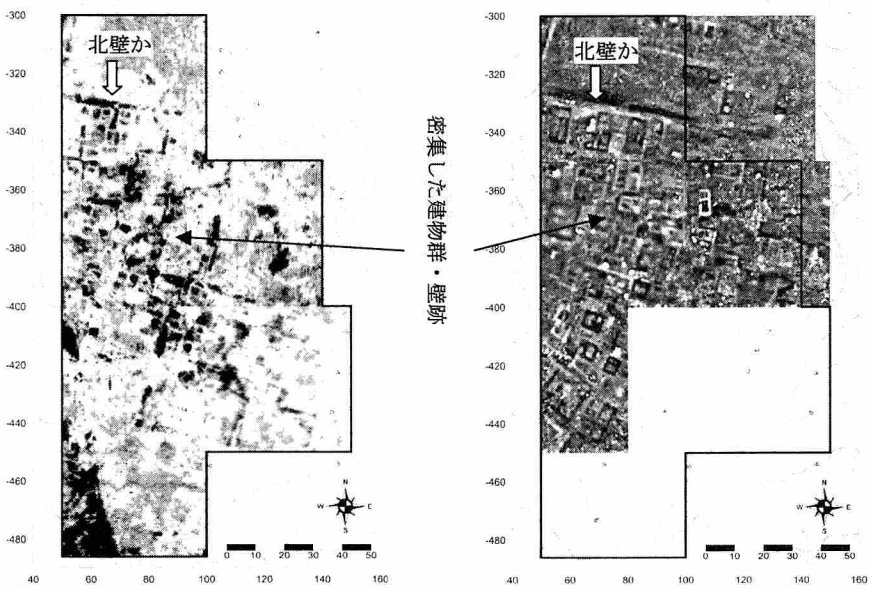


図 2　GPR 探査結果（time-slice 図、左）と磁気探査結果（右）

＜引用・参考文献＞

・Zaghloul, E. A. 2014 “The origin of some archaeological sites in north west delta region” Sate-Egitto Vol.6 Comprehensive Research Organization, Waseda Univ pp.13-16

＜謝辞＞

本研究は、科研費基盤研究（A）「衛星データと地質情報を活用したエジプト西方デルタの潟湖をめぐる歴史環境研究」（平成 23～26 年、研究代表者：長谷川奏、課題番号：23251016）による成果の一部である。

P-088

地中レーダ探査による史跡高岡城跡の研究

GPR study at the Takaoka Castle in Toyama Prefecture

○泉 吉紀（富山大学），酒井英男（富山大学），菅頭明日香（富山大学），
田上和彦（高岡市教育委員会）

1. はじめに

富山県高岡市に所在する史跡高岡城跡は,1609 年に加賀藩 2 代藩主前田利長により築城され,1615 年の一国一城令で廃城になった.その後は加賀藩高岡奉行の管理下で蔵や火薬庫が置かれていたと考えられている.我々は,高岡城跡において,遺構や縄張りの様相を探ることを目的に地中レーダ等の電磁気探査を行っており,本研究ではその一部の結果を報告する.

2. 探査概要

探査は,2009 年 8 月から 2012 年 7 月にかけて実施した.ここでは,本丸地区を中心に,図 1 に示す,本丸広場,本丸土橋とその周辺で行った探査について報告する.レーダのアンテナは,対象深度から,100・225・250MHz の周波数を採用した.

また結果の解析では,レーダ波の往復に要した伝搬時間と反射波の強度を記録し,測定順に並べた Profile 図（断面図）と共に,Timeslice 図（平面図）による解析も行った.

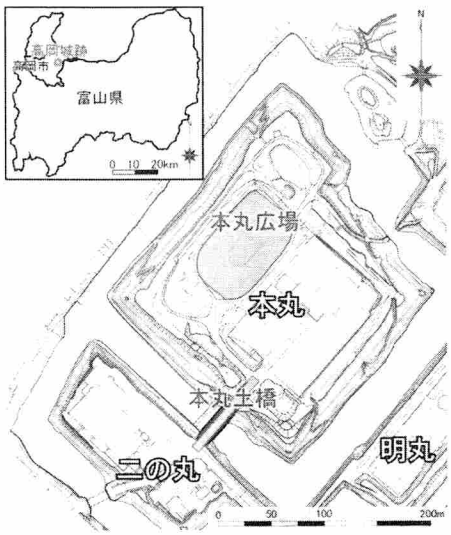


図 1 探査範囲

3. 探査結果と考察

＜本丸広場＞

本丸広場では,整地状況や遺構の有無を探る為,約 60×100m の範囲を設定して探査を行った.図 2 左には,深度 0.3-0.6m での Timeslice 図を示す.直線状の反射が多数確認できるが,これらは埋設された配管による反応である.白破線の範囲で,強い反射領域が認められた.同領域を横切る Line60 での探査結果を右に示すが,距離 15m,深度 0.6m に異常応答がある.これは石を捉えた反応の可能性が考えられた.

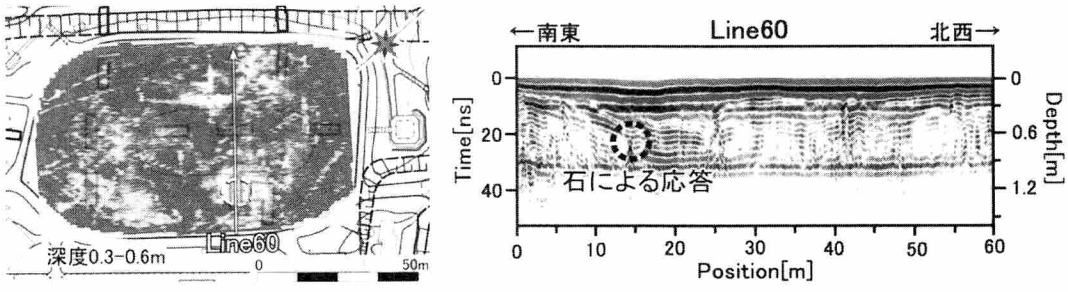


図 2 本丸広場での探査結果（左図：Timeslice 図，右図：Profile 図）

探査結果を基に設定されたトレンチで,45×40cm の礎石が検出された（図 3）.この他の地点でも礎石の存在を示す異常応答が得られており,レーダ探査がそれ程大きくない礎石の検出にも有効と考えている.現地はあまり掘削できない場所であり,今後,分解能の高い高周波アンテナを用いて密な測線間隔での探査を行い,本丸広場での礎石の分布と配置を詳細に検討する予定でいる.

図 3 検出された礎石

＜本丸土橋＞

本丸土橋は,高岡城跡で唯一石垣が残存する箇所で,城の格式からも重要な場所である.石垣は,乱積法で積まれており,慶長期の石積方法と共通している.ただ石垣面がほぼ直立していることや,落し積みが随所に認められることなど,富山城の明治以降の改修方法に似ており,近代に石垣が積まれた可能性も指摘されている.土橋と石垣の内部構造を探るため,土橋上部,石垣面と土橋の下部でレーダ探査を実施した.石垣面では,図 4 の様に上からアンテナを吊り下げて探査を行った.

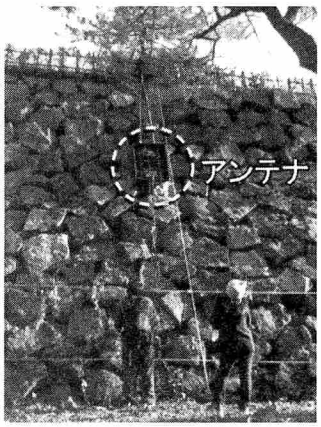


図 4 石垣面の探査状況

図 5 に,石垣面での代表的な探査結果を示す.縦軸は土橋の表面から下への距離,横軸は石垣内部への深度を示している.表面から約 1m まで石垣が築かれ,内側に石垣の裏込（栗石層）の反応が認められる.また盛土内では,土橋の地表から約 2.5m 下に反射の様相が変化する境界があった.そして,土橋上部の探査でも,同様な結果が得られた.

石垣の石材調査（西井他）では,石垣の下部は主に花崗岩・安山岩,上部は主に砂岩で築かれたと示された.この使用石材が変わる深度は,探査で得た盛土内の層境界と一致した.つまり本丸土橋は,2 回の盛土を施して形成されたと推察される.これは土橋上部の平坦面を造成するための段築跡か,土橋の改築跡を捉えた可能性がある.

壁面からの遺構のレーダ探査の研究は従来あまり行われていないが,我々は日本の三大奇橋として知られる黒部川にかかった愛本刎橋の調査でもその有用性を検証している.

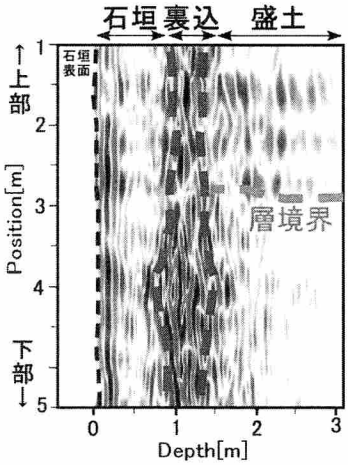


図 5 石垣面の探査結果

参考文献

高岡市教育委員会（2013）：高岡城跡詳細調査報告書,高岡市教育委員会,213p.

泉吉紀,酒井英男（2015）：壁面からの地中レーダ探査による遺構内部構造の研究,情報考古学 20 巻 2 号,日本情報考古学会,pp1-7.

Conyers,L.B. and Goodman,D.（1997）: Ground-Penetrating Radar –An Introduction for Archaeologists,ALTAMIRA PRESS,232p.

P-089

複数探査手法を用いた可児市大萱古窯跡弥七田窯の検討

Non-destructive prospection of the Yashichida kiln site with a plurality of methods.

○金田明大(奈文研)・ナワビ矢麻(早大院)・西口和彦・石松智子(奈文研)・長江真和(可児市教委)

はじめに 弥七田窯跡は岐阜県可児市に所在する。可児市教育委員会は桃山陶の代表的な産地である大萱古窯跡群の実態と活用を目的に、愛知学院大学と分布調査を、奈良文化財研究所と物理探査手法よる窯跡の解明を連携して進めている。2013 年には牟田洞古窯跡および窯下古窯跡の探査と発掘がおこなわれ、想定された複数地点において窯体を確認した(金田ほか 2014)。続いて弥七田窯跡の確認を目的として探査を実施することとした。踏査により、焼成不良品や窯壁、窯道具の大量散布の状況から窯の存在はほぼ確実と考えたが、範囲や窯の基数、遺存状況の詳細の確認が必要と考えた。今回は複数手法の有効性の検討と比較を目的に磁気探査、電磁探査、地中レーダー探査を実施した。

探査の概要 磁気探査ではフラックスゲート式差分磁力計 FM-36 を用いた(図1)。はじめに計測間隔 1mで探査をおこない、窯体を示すと考える異常部を確認した(金田・渡辺 2009)が、当初の調査範囲よりも上方に異常部が延びていることが確認できたため、再度範囲を拡張後、計測間隔 0.5mで計測をおこなった。この結果、連房式窯に特徴的な梯子状の磁気異常を取得した(図3)。

電磁探査では、GFI 社 CMDMini-Explorer を用いた。この機器は距離を離した3つの受信コイルを有しており、深さに応じた導電率と帯磁率を計測することが可能である(Bonsall ほか 2013)。従来、比抵抗電気探査が用いられてきたが、深度が限定される場合で条件が適合する場合には、迅速に成果を高密度に取得できるため、有効と考える。1m間隔で試験的な計測を実施し、成果を得ることができた(図4)。

地中レーダー探査では、使用機材は GSSI 社 SIR-3000 に 400MHz アンテナを用いた。0.5m間隔で測線を設定し、探査をおこなった(図2)。結果からは、磁気探査の成果同様に連房の所在をみてとることが可能である(図5)。地表直下より梯子状の反射があることから、地表で確認できる窯体などの散布の状況とあわせて窯の上部は削平されている可能性が高いと考える。

まとめ 複数手法の探査技術を窯に対して利用し、その成果を比較することで、基数や位置などの窯跡の基礎的な情報取得だけでなく、遺存状況や構造などの詳細情報を得ることが可能である。加えて、迅速な手法の導入により、今後更に利用が進むと考える。

反面、GPS 利用が困難な森林内での計測など、多様な条件に対応する迅速な位置情報の利用は残念ながらできていない。また、磁気探査成果における窯の主軸方位の差異による成果の違いの検討や、異常部の特定をおこなうための極磁気変換、電磁探査成果の検討なども今後の課題である。

参考文献:

金田明大・渡辺芳郎 2009「近世窯跡における地下探査の可能性」『地域政策科学研究』第6号 pp.1-23

金田明大・長江真和・西口和彦・ナワビ矢麻・今城未知 2014「可児市大萱古窯跡における探査と発掘の連携」『日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集』 pp.450-451

James Bonsall et al..July/September 2013.Assessment of the CMD Mini-Explorer,a New Low-frequency Multi-coil Electromagnetic Device, for Archaeological Investigations.Archaeological Prospection.Volume 20.Issue 3.pages 219-231

図1）磁気・電磁探査風景

図2）地中レーダー探査風景

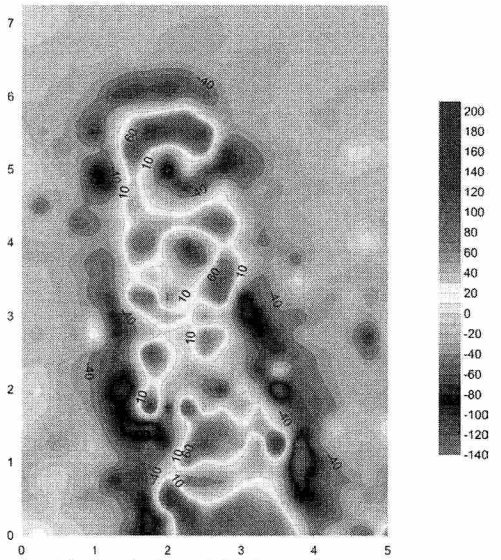


図3）磁気探査成果（広域：測定間隔1m）

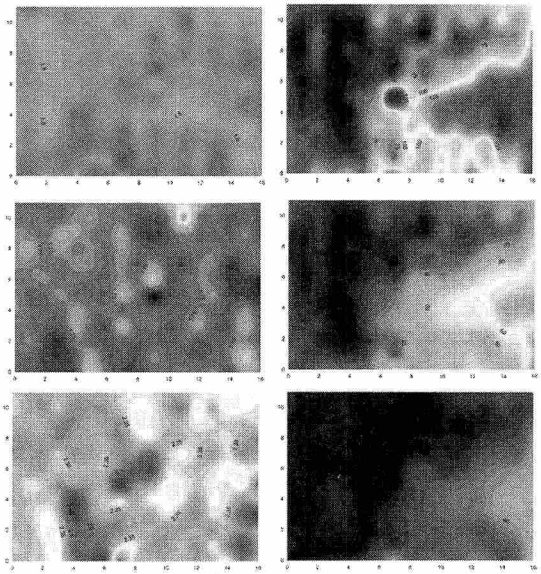


図4）電磁探査成果（左：inphase 右：Conductivity
上段：0.5m　中段：1.0m　下段：1.8m）

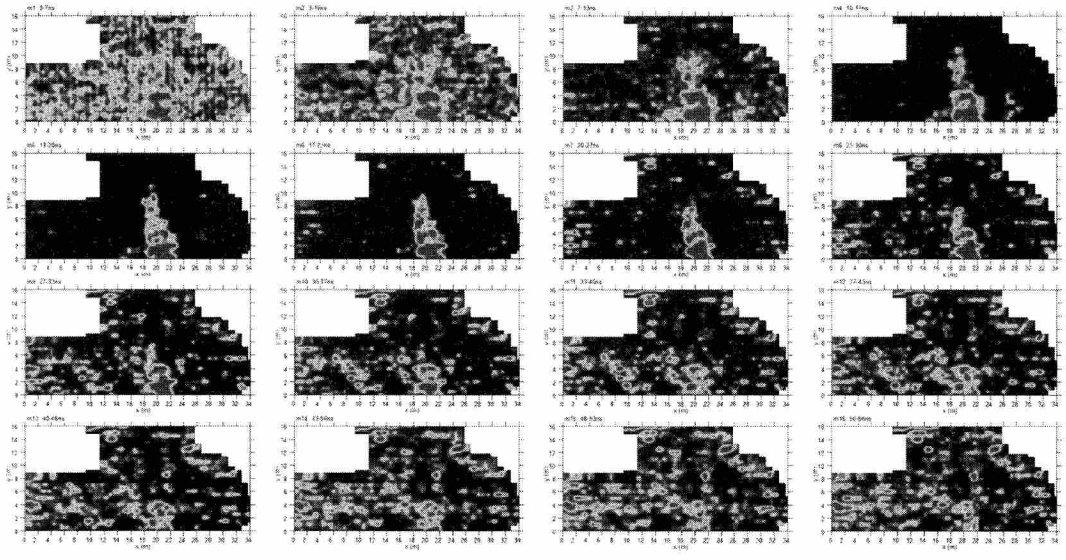


図5）地中レーダー探査成果

P-090

極微量（1 mg）考古試料を想定した マイクロガラスビード/蛍光 X 線法の開発

X-ray fluorescence determination with micro-glass-bead for one milligram of archaeological ceramics

○ 市川慎太郎（明治大学）、中村利廣（明治大学）

1. はじめに

土器などの考古遺物は貴重なため、化学分析をする際は、破壊が許されないことや極微量のサンプリングしかできないことが多い (Ichikawa et al.: 2012a)。しかし、代表化学組成を得るのに有効なガラスビード/蛍光 X 線法は、測定試料の調製に比較的多量 (数百～数千 mg) の粉末試料を必要とする。そこで、考古遺物の産地推定への適用を目指し、測定に必要な試料量を大幅に削減した化学組成分析法を考案した。本研究では、1.1 mg の粉末試料中の主成分および一部の微量成分元素を定量可能なマイクロガラスビード/蛍光 X 線法を確立した。また、地球化学標準物質で本法の信頼性を検証し、3 種類の考古遺物に応用した。

2. 実験

波長分散型蛍光 X 線装置には Rigaku RIX3100 を用いた。X 線管球には Rh を用い、管電圧 50 kV, 管電流 80 mA で主成分 (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe) および微量成分 (Ni, Zn, Rb, Sr) の分析線 (Kα 線) を励起した。蛍光 X 線強度の測定径は 3 mm とした。

試料は、旧地質調査所発行の地球化学標準物質 JB-1a (玄武岩), JR-3 (流紋岩), JSd-2 (河川堆積物) および、縄文土器 (横浜市保土ヶ谷採取), 弥生土器 (成田市台方採取), 黒曜石 (長野県鷹山採取) である。3 種類の考古遺物は、10–20 μm 程度のモード径に粉砕した。粉末試料は、600°C, 1 時間加熱した後、ガラスビードの調製に用いた。

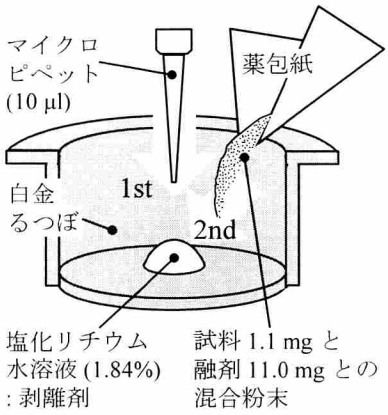


図 1 マイクロガラスビードの調製手順: 試料と融剤の白金るつぼへの導入方法

マイクロガラスビード (Ichikawa and Nakamura: 2014) は、粉末試料 1.1 mg とアルカリ融剤である無水四ホウ酸リチウム 11.0 mg で調製した。白金るつぼに、剥離剤として塩化リチウム水溶液 (1.84 mass%) を 10 μl 滴下し、その液滴中に、粉末試料とアルカリ融剤との混合粉末を加えた (図 1)。110°C, 5 分間の乾燥後、800°C, 60 秒間の予備加熱および 1000°C, 60 秒間の加熱で混合粉末を熔融した。熔融物を急冷・ガラス化し、半球状のマイクロガラスビード試料 (直径 3.5 mm 程度、厚み 0.8 mm 程度、試料 : 融剤 =1:10) を得た (図 2)。マイクロガラスビードは、無水四ホウ酸リチウム 4 g と塩化リチウム 0.02 g とを混合・熔融して調製したブランクガラスビード (直径 35 mm) の中央に貼り付けて測定した。

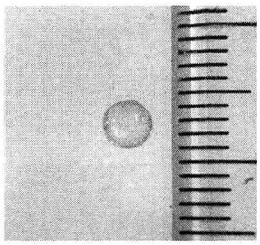


図 2 粉末試料 1.1 mg, 融剤 11 mg によるマクロガラスビード

検量線の作成には、試薬調合標準 (市川・中村: 2015) を用いた。検量範囲は、日本国内で出土した土器の組成 (Ichikawa et al.: 2012b) を参考にした。直径 35 mm のガラスビード検量用標準を調製した後、アルミナ製の乳鉢と乳棒で粒径が 250 μm 未満になるまで粉砕した。検量用標準粉末 12.1 mg を熔融・急冷・ガラス化して、検量用マイクロガラスビード標準とした。

3. 結果と考察

試薬調合標準で作成した検量線の直線性は良好であり、相関係数は $r > 0.992$ であった。また、ブ

ランク測定 (n = 6) の標準偏差の 3 倍から算出した検出限界 (試料中の濃度で表記) は、Na_2O, 0.17 mass%; MgO, 0.088 mass%; Al_2O_3, 0.047 mass%; SiO_2, 1.5 mass%; P_2O_5, 0.005 mass%; K_2O, 0.036 mass%; CaO, 0.015 mass%; TiO_2, 0.030 mass; MnO, 0.016 mass%; Fe_2O_3, 0.057 mass%, Ni, 45 μg g^{-1}; Zn, 36μg g^{-1}; Rb, 26μg g^{-1}; Sr, 60μg g^{-1} であった。

本法の正確さを検証するために地球化学標準物質 (JB-1a, JR-3, JSd-2) 中の主成分酸化物および微量成分元素を定量した (表 1)。本法による地球化学標準物質の定量値は、推奨値と概ね一致した。本法による考古遺物の分析結果を表 2 に示す。台方出土土器の Zn のような含有量の少ない成分を除いて、精度の良い定量値であった。マイクロガラスビード/蛍光 X 線法は、試料の量が著しく少なく、測定径が小さいにも関わらず、地球化学標準物質や考古遺物を良好に分析することができた。したがって、本法は、土器をはじめとする極微量試料の定量分析に有効である。

表 1 マイクロガラスビード/蛍光 X 線法による地球化学標準物質 (旧地質調査所発行) 中の主成分酸化物 (mass%) および微量成分元素分析 (μg g^{-1}) の定量

	JB-1a (玄武岩)			JR-3 (流紋岩)			JSd-2 (河川堆積物)		
	定量値		推奨値	定量値		推奨値	定量値		推奨値
Na_2O	2.9	(7.3)	2.73	5.1	(4.6)	4.69	2.2	(6.3)	2.438
MgO	7.5	(5.7)	7.83	N. D.	-	0.050	2.8	(6.5)	2.731
Al_2O_3	14.7	(4.2)	14.45	12.2	(7.4)	11.90	12.2	(7.9)	12.31
SiO_2	53.1	(3.0)	52.41	73.9	(7.1)	72.76	61.0	(9.1)	60.78
P_2O_5	0.249	(3.0)	0.26	0.020	(8.2)	0.017	0.102	(5.8)	0.105
K_2O	1.470	(2.9)	1.4	4.45	(6.6)	4.29	1.11	(6.5)	1.145
CaO	9.54	(4.8)	9.31	0.127	(7.6)	0.093	3.66	(5.7)	3.658
TiO_2	1.29	(5.3)	1.28	0.226	(7.4)	0.21	0.614	(6.1)	0.614
MnO	0.135	(3.6)	0.148	0.077	(6.0)	0.083	0.114	(5.9)	0.12
Fe_2O_3*	8.93	(5.2)	9.05	4.70	(6.5)	4.72	11.7	(7.6)	11.65
Total	98.6		98.9	96.6		98.81	95.5		95.55
Ni	132	(26)	139	N. D.	—	1.6	56.4	(18)	92.8
Zn	60.3	(12)	82.1	193	(6.2)	209	1840**	(5.0)	2056
Rb	44.7	(6.9)	39.2	494	(6.2)	453	40.1	(17)	26.9
Sr	363	(8.4)	442	N. D.	—	10.4	196	(4.5)	202

() 相対標準偏差, % (n = 5). N. D. 検出限界未満.
*全ての Fe を Fe_2O_3 として計算. **検量線を外挿して算出.

表 2 マイクロガラスビード/蛍光 X 線法の考古遺物への応用

	保土ヶ谷出土土器		台方出土土器		鷹山産黒曜石	
Na_2O	1.1	(8.3)	1.1	(3.5)	4.6	(2.5)
MgO	1.3	(6.7)	0.71	(5.3)	N. D.	—
Al_2O_3	20.9	(3.6)	19.2	(4.8)	12.5	(2.6)
SiO_2	59.1	(3.6)	68.6	(2.2)	76.2	(2.1)
P_2O_5	0.066	(4.6)	1.17	(1.8)	0.012	(7.3)
K_2O	0.851	(4.2)	0.974	(2.2)	5.05	(5.0)
CaO	1.47	(3.4)	1.44	(8.1)	0.585	(5.8)
TiO_2	1.29	(5.5)	1.08	(2.4)	0.078	(5.2)
MnO	0.117	(3.7)	0.023	(6.2)	0.096	(5.0)
Fe_2O_3*	12.2	(2.6)	7.17	(1.0)	0.268	(6.6)
Total	98.1		100		99.7	
Ni	N. D.	—	N. D.	—	N. D.	—
Zn	51.7	(7.7)	17.6	(21)	N. D.	—
Rb	47.8	(8.5)	51.3	(11)	255	(2.3)
Sr	102	(8.6)	159	(2.2)	23	(9.8)

() 相対標準偏差, % (n = 5). N. D. 検出限界未満.
*全ての Fe を Fe_2O_3 として計算.
主成分酸化物, mass%. 微量成分元素, μg g^{-1}.

4. 謝辞

本研究は、科学研究費 (若手研究(B), 課題番号 26750099「蛍光 X 線法による極微量 (1.1mg) 考古遺物試料の元素組成分析」) の成果の一部である。

5. 参考文献

Ichikawa, S., Nakayama, K. and Nakamura, T. 2012a "Glass-bead/X-ray fluorescence analysis of earthenware body – sampling from heterogeneous earthenware" X-Ray Spectrometry 41 pp.22–33

Ichikawa, S., Nakayama, K. and Nakamura, T. 2012b "Loose-powder technique for X-ray fluorescence analysis of ancient pottery using a small (100 mg) powdered sample" X-Ray Spectrometry 41 pp. 288–297

Ichikawa, S. and Nakamura, T. 2014 "X-ray fluorescence analysis with micro glass beads using milligram-scale siliceous samples for archeology and geochemistry" Spectrochimica Acta Part B 96 pp.40–50

市川慎太郎・中村利廣 2015「蛍光 X 線分析の試料調製 —基本と実例—」X 線分析の進歩 46 pp. 77–95

P-091

赤外線撮影法による彩色材料調査の有効性に関する研究３
The investigation of the effectiveness of infrared photography method for the analysis of painting materials: The Third Study

○秋山純子、森實久美子（九州国立博物館）

１．はじめに

これまで彩色材料の調査は点分析で行われていたが、絵画全体の状態を把握できなければ、その絵画を理解するには不十分といえるだろう。面的に把握することによって点分析の結果がさらに有効なものとなる。よって非破壊分析で面的に把握できる手法を確立することが求められる。これまで本研究では赤外線画像の有効性を把握するため、様々な分析機器による点分析を組み合わせて赤外線画像の解析を試み、実際の絵画で検証を行ってきた。今回は重ねて彩色している場合（例えば裏彩色がある場合など）、赤外線画像ではどのように写るのか検証することにより、赤外線画像による彩色材料の把握に役立てるための情報を得ることが目的である。

２．これまでの研究

これまで自作のカラーチャートを基準として実際の絵画に対して赤外線撮影をし、赤外線画像が彩色材料の検討に有効であるか検証した。また、使用されている彩色材料を特定するために、簡易型の蛍光Ｘ線分析装置で成分分析を行った。蛍光Ｘ線分析の結果と赤外線画像を照らし合わせ、どのような成分の顔料が赤外線画像の濃淡となって現れるのか把握した[1)]。さらに顔料ごとの近赤外領域の反射・吸収を理解するため、二次元分光スキャナ分析装置で分光反射スペクトルを測定し、それぞれの彩色材料が近赤外領域にどのような反射・吸収を持つのか把握した[2)]。以上のことから、赤外線画像を解析するために、蛍光Ｘ線分析で材料成分を分析し、分光反射スペクトル分析で近赤外領域の反射・吸収を把握することで、総合的に面的調査に有効なデータを得ることができた。

３．調査方法

赤外線撮影にはデジタルカメラ（PENTAX 製、中判デジタル一眼レフカメラ 654D）を使用した。カメラ本体は赤外線カットフィルターが内蔵されていない赤外線撮影用のカメラなので、リコー製 IR カットフィルターを取り付けて通常の撮影を行った。赤外線撮影時にはガラスフィルターの Kenko 製赤外線撮影専用 PRO1 Digital R72 を使用した。彩色材料の成分分析には簡易型の蛍光Ｘ線分析装置（オリンパス製、デルタハンドヘルド蛍光Ｘ線分析計 Premium、Rh 管球、分析ソフトウェア：岩石鉱石モード、型式：DP-4000）を使用した。また、赤外線画像を詳細に検討するために二次元分光スキャナ装置（JFE テクノリサーチ㈱製、イメージング分光器 V10C）を使って分光反射スペクトルを測定した。

４．結果および考察

調査対象試料は自作カラーチャート（図１）と九州国立博物館所蔵の「絹本著色羅漢図」（陸信忠筆、中国・南宋時代、13 世紀、１幅、縦 54.1cm　横 36.5cm）である（図２）。カラーチャートは短冊状にそれぞれ彩色した上に 90 度回転して同様に短冊状に塗り重ねた。羅漢図は緑と白の内衣に団花文のある赤い袈裟をまとう羅漢が玉座に坐し、後方には緑や桃色、金色からなる甲冑を身につけた神将形が描かれている。この絵画に使用されている彩色は金、白、青、緑、赤と少ないが、解体修理の際に裏彩色の存在が明らかとなっている。裏彩色とは絹などの透ける支持体に描く場合裏側にも彩色をし、表に透ける効果を狙った技法である。デジタルカメラによる赤外線画像は R72 のフィルターによって、720nm 以下の可視光領域をカットした近赤外領域の画像となる。カラーチャートの赤外線画像を見ると、重ねた塗膜が厚いためかそれほど下層の彩色の様子が写っていなかった。デジタルカメラは近赤外領域（1000nm 以下）の反射光を画像化するため、それほど深くまで光が入り込まない可能性がある。その中で染料である藤黄を重ねた箇所では下層の彩色がそのまま写し出された。また赤色部分はいずれも白く抜けることがこれまで

の調査で分かっているが、この試料では丹と弁柄が下層の影響を受けた様相を呈した。このことから、顔料の上に染料が塗布されている場合下層の彩色が赤外線画像に写し出されること、赤色部分は他の彩色部分と比較し、下層の情報が写りやすいことが分かった。墨は赤外線を吸収しやすい性質があるので、上層の塗膜を透過し黒く写ると思われたが、実際は塗膜が厚いためか赤外線が下層まで入り込まず、吸収が見られなかったと思われる。近赤外領域の分光反射スペクトルは赤外線画像の濃淡と合った反射・吸収を示した。蛍光 X 線分析の結果、上層の顔料成分によって強度に違いが生じた。鉛白が下地の場合、胡粉、朱、辰砂、緑青、群青は上層の顔料成分の方が強度は高かった。また弁柄、代赭は鉄と鉛が同じ強度を示し、白土、黄土は軽元素なため、鉛の方が強く検出された。一方、胡粉が下地の場合、鉛白、鉛丹、朱、辰砂、緑青、群青は上層の成分の方が強度は高く、代赭、弁柄、白土、黄土は下層のカルシウムが主成分として検出された。以上のことから赤外線画像による面的な情報と機器分析による点の情報を組み合わせることで、裏彩色に使用されている材料を推測することが可能ではないかと考える。

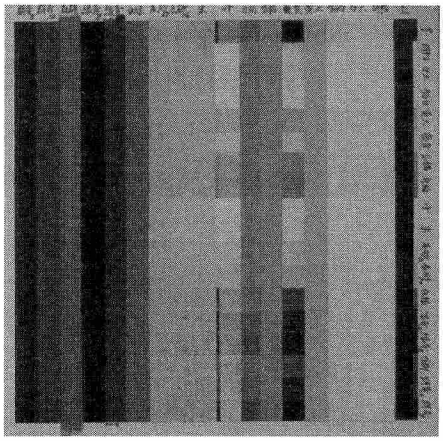


図 1　自作カラーチャートの赤外線画像
右から群青（8 番、12 番）、白群、緑青（8 番、12 番）、白緑、辰砂（10 番、14 番）、鎌倉朱赤口、丹、弁柄、岱赭、藤黄、日本黄土、鉛白、白土、胡粉、墨
下層は写真下から同様の順番で塗布した

そこで実際の絵画において赤外線画像と蛍光 X 線分析を行って検証した。赤外線画像はカラーチャート同様、白色および赤色部分は赤外線を反射し白く写り、緑色、青色、黒色部分は暗く写った。人物箇所は裏彩色が施されており、特に肌色部分は裏に白色が塗布され、表から薄く彩色が施されているため、裏面の影響で少し明るい様相を呈していると思われる。また羅漢の赤い衣装には金色で模様が描かれているが、赤外線画像では写し出されていない。一方、神将形の白地に金で描かれた模様ははっきりと写っている。蛍光 X 線分析の結果、人物箇所からは共通して鉛が検出された。赤色部分は水銀が、緑色、青色部分からは銅が鉛より多く検出された。肌色部分からは鉛と鉄が多く検出され、裏と表の彩色材料の成分がそれぞれ検出されたと推測される。また赤い衣服の団花文からは金が出なかったが、白地に金の部分からは金が検出された。このことは赤外線が金の存在を明らかにするのに有効であると示唆しているが、さらに検証が必要である。

図 2　絹本著色羅漢図の赤外線画像

5．まとめ

今回は前回までの調査を踏まえ、彩色が重ねられた場合の赤外線画像について検証した。赤外線画像は少なからず下層の彩色材料の影響を受け、点分析の結果と照らし合わせることで彩色材料の重なりをある程度推測できることが分かった。

※本研究は科学研究費補助金基盤研究(C)（課題番号：24501265）により行ったものである。

参考文献

1) 秋山純子,森實久美子:赤外線撮影法による彩色材料調査の有効性に関する研究 1,文化財保存修復学会第35回大会要旨集, pp.254-255 (2013)
2) 秋山純子,森實久美子:赤外線撮影法による彩色材料調査の有効性に関する研究 2,日本文化財科学会第31回大会要旨集, pp.418-419 (2014)

P-092

土器に残ったデンプンのバイオマーカーの検出
—調理実験土器の残留有機物分析を通して—
Detection of Starch Biomarker from Pottery Matrix
-Analysis of Organic Residues in Cooking Experimental Potteries-

○篠原香奈子(国際基督教大学)、松尾彩花(同左)、堀内晶子(同左)、宮田佳樹(金沢大学)

1. はじめに

デンプンは人間にとってタンパク質や脂質と並んだ重要な栄養素の一つであり、古代の食生活を考える上で欠かせない物質である。考古学的試料の分析においても、これまでにCraigら(1)や渋谷(2)によって古代の土器や石器表面に残留していたデンプンに関する研究が行われている。それらはデンプン粒子に注目し、どの植物由来であるのかを分類している。しかし、土器に付着したデンプンはそもそも絶対量が極めて少なく、保存状態も良くない場合が多い。また、それが本当に古代由来のものであるかの疑問もある。本研究では、デンプンやセルロースの加熱分解生成物として知られているレボグルコサンに注目した。もし、デンプンを含む食材の加熱調理過程で、レボグルコサンが生成し、土器胎土内部に浸透して保持されるのであれば、古代土器から検出されるレボグルコサンは、その土器で古代人がデンプンを含む食材を調理していた具体的な証拠としてのバイオマーカーになる可能性がある。そこで、レボグルコサンがデンプンを加熱調理したバイオマーカーになりうるかどうか検討するため、デンプンを含む食材と含まない食材の土器を使った調理実験を行い、土器に残留した有機物分析を行った。

2. 試料及び実験

試料は作製した土器を使って 1.ドングリ(KS3)、2.イノシシ(KS4)、3.ドングリ+イノシシ(KS5-1)、4.はまぐり(AM1B)、5.さけ+栗(AMI-12)、6. さけ(AMI-5)、7.うるち米お粥調理(KS8)、8.うるち米かまど調理(KS9、ガス調理)に、それぞれ水を加え、薪を燃料として加熱調理した後、中の食材を取り出した後土器を分割し、土器胴部を分析試料とした。すでに報告されている分析方法(3)に基づいて表面を薄く削り取った後粉砕し、クロロホルム:メタノール=2:1を用いて総脂質を抽出し、トリメチルシリル化後、ガスクロマトグラフ質量分析(GC-MS)法を使って分析した。(GC-MS の分析条件:Thermo Scientific TRACE GC ULTRA-ISQ LT, カラム:HP-1 50 m x 0.32 mm x 0.17μm, 初期温度:50℃で2分間維持, 300℃まで 10/min で昇温, 15 分間維持)。

3. 結果と考察

本研究で用いた各実験土器の総脂質分析結果より、どの試料からも脂肪酸 $C_{16:0}$、$C_{18:0}$(Cx:y、x=炭素数、y=不飽和結合数)の残存が顕著にみられた。デンプンを含む食材としてドングリを調理した土器からはレボグルコサンが検出され、デンプンを含まない食材としてイノシシの肉のみ、あるいはハマグリのみを調理した土器からはそれが検出されなかった。さらにドングリとイノシシの肉を一緒に調理した実験土器からは、予想通りレボグルコサンが検出された。図1に例としてドングリ(KS3)、イノシシ(KS4)、ドングリ+イノシシ(KS5-1)の GC-MS のクロマトグラムを示す。なお現代試料として加熱をせずにドング

リの粉を分析したところ、レボグルコサンは検出されていない。また、さけ＋粟を調理した試料（AMI-12）からは、レボグルコサンが検出された。これはデンプンを含む食材である粟由来のものである。しかしさけのみを調理した試料（AMI-5）からも微量ではあるがレボグルコサンが検出された。この結果は、調理実験の際燃料として用いた薪に含まれるセルロース由来のレボグルコサンが土器の外側に付着し、検出されたと推測される。

うるち米は2通りの方法で調理した。（図2参照）うるち米に水を加え、お粥として調理した試料（KS8）から検出されたレボグルコサンは絶対量が非常に多く（内部標準物質と比較）、うるち米をかまど型土器でガスを用いて加熱調理した試料（KS9）から検出されたレボグルコサンは絶対量が極めて少なかった。この結果より、調理方法の違いと残留するレボグルコサン量には関連があることが明らかになった。

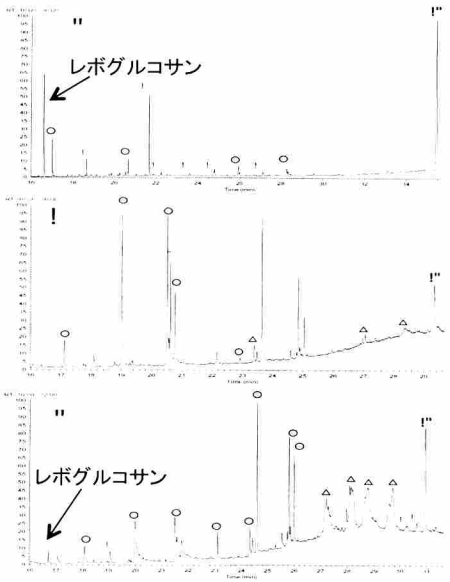


図1. 調理実験土器から抽出された総脂質のトリメチルシリル化後の部分クロマトグラム. A:ドングリ（KS3), B:イノシシ（KS4), C:ドングリ＋イノシシ(KS5-1)。ISは内部標準物資であるテトラトリアコンタン. ○は脂肪酸. ●は脂肪族アルコール. △はモノグリセリド. ×は混入物（プラスチックなどの可塑剤、無水フタル酸及びポリシラン由来).

4. まとめ

本研究の注目すべき結果は、デンプンを含む食材を調理した実験土器のみから、デンプン等が加熱分解することで生成するレボグルコサンが検出され、レボグルコサンが加熱されたデンプンのバイオマーカーになりうることが明らかになったことである。またうるち米を2通りの方法で調理した実験土器試料については、かまど調理したものより水を加えてお粥調理をした実験土器試料の方からレボグルコサンが多く検出されたことより、水と一緒に煮炊きすることで、よりレボグルコサンが土器マトリックスに浸透し吸着されるのではないかと推測される。

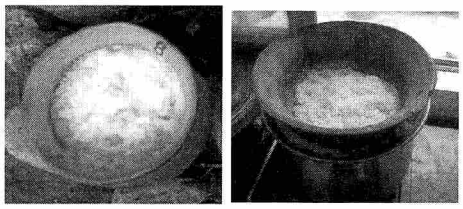


図 2. 左からうるち米に水を加えてお粥調理した実験土器（KS8)、うるち米をかまど型土器でガスを用いて加熱調理した実験土器（KS9）の作製時の写真。

最後に、調理実験に協力頂いた東北芸術工科大学北野博司先生に感謝いたします。本研究はH25-28年度科研費基盤B“有機地球化学的分析手法を用いた先史時代の食性復元”（代表者宮田佳樹）の成果の一部である。

参考文献

1. S. Hayley, J. Wilson, C. P. Heron, A. Glykou, S. Hartz, and O. E. Craig. A Systematic Approach to the Recovery and Identification of Starches from Carbonized Deposits on Ceramic Vessels. *Journal of Archaeological Science* 39.12, 2012, 3483-492.
2. 渋谷綾子,「日本列島における現生デンプン粒標本と日本考古学 研究への応用一残存デンプン粒の形態分類をめざして」,植生史研究,第18巻,13-27, 2010.
3. C. Heron and R. P. Evershed, The Analysis of Organic Residues and the Study of Pottery Use, *Archaeological Method and Theory*, 5, 1993, 247-284.

P-093

プラントオパールからのDNA復元
Recovery of ancient DNA from phytoliths.

○田中 克典（弘前大学人文学部）・宇田津 徹朗（宮崎大学農学部附属農業博物館）
○Katsunori Tanaka (Hirosaki Univ.),
Tetsuro Udatsu (Agric. Mus., Fac. Agric., Miyazaki Univ.)

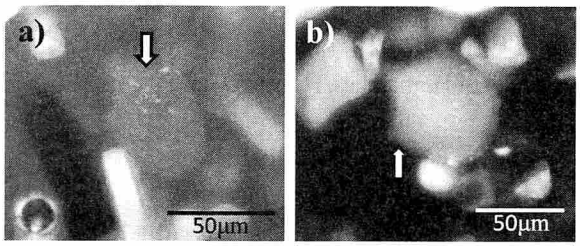
1. **緒言**　イネの種子遺存体やモミ遺存体といった資料から抽出したDNAは、当時の稲作を検討する上で有益な情報となる。しかしながら、これらの資料の検出頻度は高くなく、また、その遺伝情報は経年により損失していることもある。このため、稲作技術の遷移といった網羅的解析が必要な研究において、遺伝情報を抽出できる新たな資料が必要であった。先行研究では、イネの珪酸体（プラントオパールの前身）における遺伝情報の残存が確認され（高橋・佐藤 2001）、DNAが内在するプラントオパールを効率よく抽出する技術が確立された（宇田津・田中 2014）。そこで、本研究ではDNAの遺存程度を検証した。

2. **材料および方法**　分析試料は古墳時代の水田土壌中のプラントオパールである。プラントオパールの抽出は、粒径分画と比重分画で行い、付着有機物の除去は、超音波洗浄（40°C未満）とダイジェスダール分解（240°C）の2種類の方法で行い、供試試料とした。試料はDNAの残存をDAPI染色で確認した後、①40°C未満処理の試料のうち5.0mg、10.0mg、20.0mgの3つの秤量試料からDNAを抽出し、抽出に用いる至適試料量を検討した。また、②温度処理とDNA残存との影響を検討するため、40°C未満および240°C処理の試料について、それぞれ10mgからDNAを抽出した。①と②の反復はそれぞれ5回と10回とした。DNAは外部に付着したDNA等を超純水で洗浄・除去後に乾燥させたプラントオパールから、Mutou et al (2014)のアルカリ抽出法により抽出した。その後、PCR増幅法でDNAの断片（DNAマーカー）を増幅し、電気泳動法でDNA断片を視認することで、DNAの有無を確定した。イネDNAマーカーは、増幅が容易な6箇所の葉緑体ゲノム領域と、増幅が難しい8箇所の核ゲノム領域を利用した。

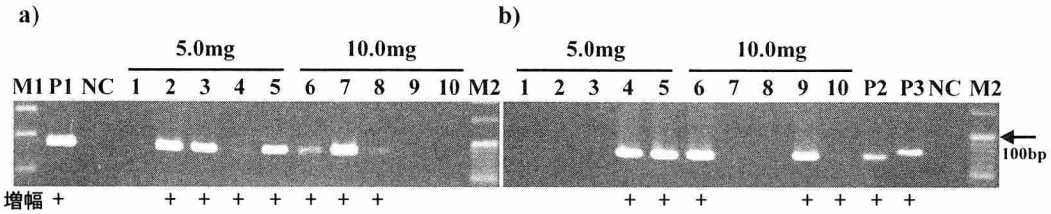
3. **結果および考察**　①3つの秤量のプラントオパールより抽出したDNA溶液から、葉緑体ゲノム領域において、増幅長が100～530bpまでのDNA断片を確認できた（第2a図; 第1表）。各領域の断片の検出数は、300bp以上の2領域（総計30本: 2領域×3区×5反復）で計7本（23.3%）であったが、*orf100*を除く200bp未満の3領域（45本: 3×3×5）では計30本（66.7%）であった。各分量区でDNA断片が増幅した本数は、30本（6領域×5反復）のうち5.0 mgで12本（40.0%）、残り2区で13本（43.3%）であった。特に、10.0mgや20.0mgの抽出溶液では、*orf100*または*petN-trnC*領域のDNA断片を検出することができ、イネ亜種の推定はPCR増幅で可能であった。核ゲノム領域では、栽培化関連遺伝子（*PROG1 M6*）や形質関連遺伝子（*Rc*, *Waxy*）のDNA断片が確認できた（第2b図）。特に、10.0mgや20.0mgの抽出溶液では、*qSH1*遺伝子（脱粒性）または*Waxy*遺伝子（モチ性・ウルチ性）のDNA断片が認められた。　②2つの温度処理区のプラントオパールより抽出したDNA溶液は、葉緑体ゲノム領域および核ゲノムの計7領域において、期待サイズのDNA断片を含んでいた（第1表）。特に、240°C処理区の溶液では、栽培化関連遺伝子（*PROG1 M5*, M6）の増幅数は2本および8本と40℃未満処理区（それぞれ0本および6本）と多かった。

以上のことから、葉緑体ゲノムや核ゲノムのイネDNAは、10.0mg以上のプラントオパールから抽出した溶液において、反復を重ねることで増幅が可能であった。また、処理

温度による影響はほぼ認められなかった。今後、容易で純度の高いプラントオパールを採集するために用いる化学薬品や埋蔵年代と DNA 遺存との関連について検討する。



第 1 図　40°C 処理 (a)と 240°C 処理 (b)の土壌より採集したプラントオパールの DAPI 染色
染色は外部の DNA を洗浄・乾燥で除去し、破砕後のプラントオパールにて実施した。写真は 455nm 下にて撮影した。矢印はイネのプラントオパール (推定)、内部の点は染色された DNA。



第 2 図　プラントオパールから抽出した DNA の PCR 増幅解析
a) *Rpl14–rpl16* 領域を特的プライマーで増幅した PCR 産物の電気泳動。 *M1* = 100bp DNA ladder (Takara, Japan), *P1* = 現生イネ, *NC* = 超純水, *1–10* = プラントパール抽出 DNA, *M2* =20bp DNA ladder (Takara, Japan)。 + = 期待サイズが増幅された試料。
b) Rc 領域を特的プライマーで増幅した PCR 産物の電気泳動。 *P2* = イネ・褐色種皮, *P3* = イネ・赤色種皮。その他の番号表記は a)と同じ。

第 1 表　各秤量区または各温度処理区のプラントパールより抽出した DNA 溶液にて検出された DNA 断片数

領域	関連機能	増幅サイズ (bp)	増幅数 (各5本)[1] 5mg	10mg	20mg	増幅数 (各10本)[2] 40°C	240°C
葉緑体ゲノム: 遺伝子内イントロン, 遺伝子領域, 遺伝子間領域							
rps16		144/145/152	5	3	5	8	4
orf100		100/ 162	0	1	0	1	0
petN-trnC		374/ 396	0	0	1	-	-
trnT-trnL		108/ 114	1	3	1	4	7
rpl14-rpl16		ca. 530	2	3	1	-	-
		ca. 170	4	3	5	-	-
核ゲノム: 遺伝子領域							
PROG1 M5	ほふく性	140	0	0	0	0	2
PROG1 M6	ほふく性	120	5	3	4	6	8
qSH1	脱粒性	71	0	3	1	6	6
sh4	脱粒性	142	0	0	0	0	0
Waxy	モチ・ウルチ性	196	0	0	1	0	0
Rc	種皮色	134/ 148	2	3	4	4	3
Hd5	開花・日長反応	116/ 135	2	3	2	7	6
Hd16	開花・日長反応	105	2	4	3	5	2

[1]40°C未満で超音波洗浄の試料において5.0mg、10.0mg、20.0mgの秤量区よりDNAを抽出した。括弧内は反復数。
[2]40°C未満での超音波洗浄、または240°Cでダイジェスダール分解処理した各10mgの試料よりDNAを抽出した。括弧内は反復数。-: 未試験。

P-094

出土米の形状分析からみた日本におけるイネ品種の展開
Morphological analysis of rice remain explains development of rice cultivation in Japan

○田中 克典・上條信彦 (弘前大学人文学部)
Katsunori Tanaka, Nobuhiko Kamijo (Faculty of Humanities, Hirosaki Univ)

1. 緒言

初期稲作は韓半島から九州北部へ導入され、その後、東日本へと普及した。東日本で出土したイネ種子の形状およびDNA分析によって、遺伝的要因のみならず、政治的および社会的要因が東日本への稲作とその技術の普及に関わっており、普及の過程で品種に相当するイネが成立したことが予期された (田中・上條2013他)。その品種選択の発生は西日本で起きた可能性があり、その検証には、西日本を含む幅広い地域のイネ種子において形状を調査する必要があった。そこで、本研究では列島全体のイネ種子のサイズについて計測し、稲作技術の普及とともにその過程で成立した品種の存在について検討した。

2. 材料および方法

計測の材料は大阪府立弥生文化博物館にて収蔵されている38遺跡40集団のイネ種子 (以下「出土米」) である。方法は各集団から計測可能な最大 100 粒の種子を任意で選び出し、デジタルカメラで撮影後にImage J v1.48 にて種子長と種子幅を計測した。得られた計測値は、既報の出土米分析の結果 (田中・上條2013)とあわせて分析した。結果的に、69遺跡79集団に由来する8,409粒の出土米を検討した (第1図)。各遺跡の時代と地域は第1表の通りである。

3. 結果および考察

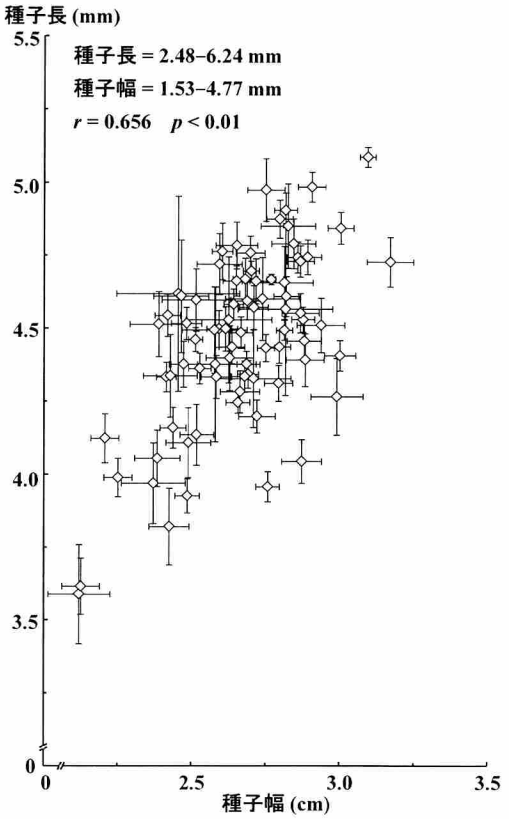
出土米の種子長は2.48～6.24 mmと幅広い変異を示し、4.75 mmを頂点とした正規分布を示した (第1図)。また、東北北部の千刈遺跡以外の集団において、種子長や種子幅は正規分布を示した。種子長は種子幅と相関が認められ ($r = 0.656, p < 0.01$)、種子サイズの変異を表す指標であることがわかったので、以下では種子長で説明する。

弥生時代前・中期では、集団の平均が3.99～5.09 mmと幅広く、また集団のばらつきが一様ではなかった。これに対し、弥生時代後期になると4.50 mmにまとまる傾向であった。その背景として、人為的な品種選抜が進展したほか、品種管理を行う統率者の存在がうかがわれる。また同じ大きさのイネが拡散することから、栽培情報が交換されたことを示唆していた。古墳時代前～中期の東日本では、種子長に基づく3つのグループが認められており、イネの導入は、前方後円墳体制に表れる政治の展開に対応しており、品種の栽培比率は首長層レベルの各地域グループによって進められたと考えられた。古墳時代後期には西・東日本間で平均の変動が狭くなっており、グループ的な適応を超えた変化があった可能性が考えられた。古代の西・東日本の官衙では平均の変動幅が狭く、イネ種子のばらつきも一定であった。このことは選別された一定品種のイネが穀倉の収められたほか、種籾として保管されたことがうかがえる。平安時代の東日本では、イネ集団の多くは4.50 mm付近の種子長を有しており、ある一定の品質であったことを示していた。特に荘園と推定される遺跡や開発が進んだ東北北部において、イネ種子のばらつきは、官衙のそれと比べて高く、開発領主層によるその土地に適応した多様なイネを利用する機運が高まっていたことが考えられた。戦国時代の城館のイネは、落城時に一括して備蓄されていたものであり、種子長や種子幅が長く、ばらつきが低かった。この結果は、戦乱の食料需要の高さにより、収量が高いイネが育成ならびに利用されたこと示していた。

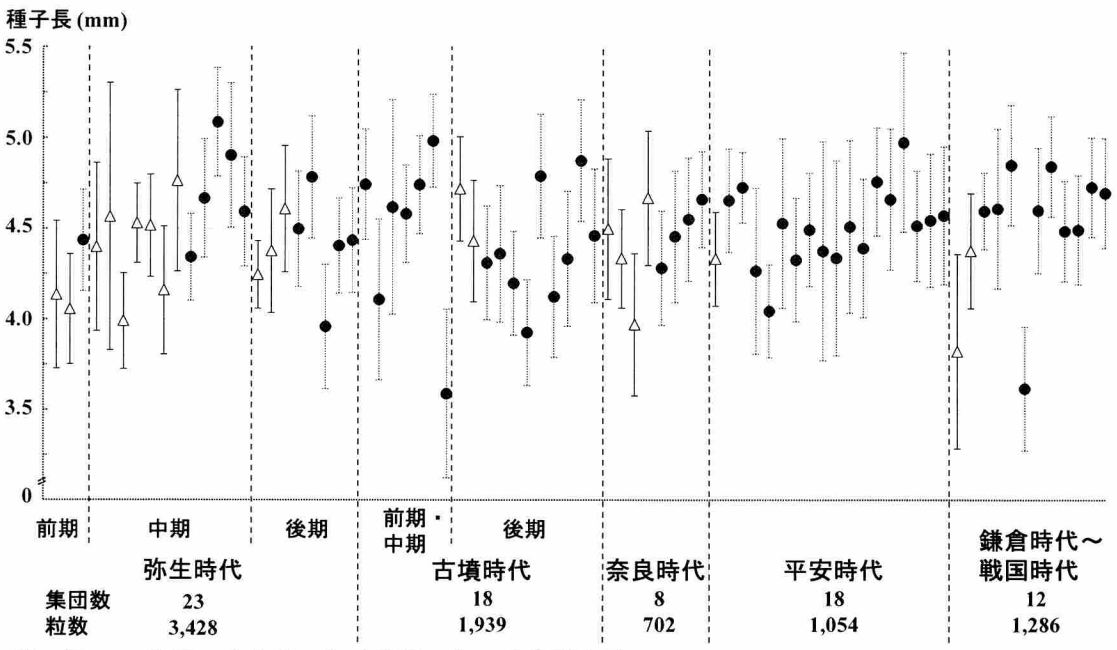
以上のイネ種子の網羅的分析により、政治および社会的要因がイネの導入や品種の選抜、育成ならびに維持に大きく関わったことをイネの形状面からも示唆しており、今後の地域的な分析により、食生活など具体的な変化が解明されることが期待される。

第1表　本研究で分析した出土米の年代と出土地点

考古学年代		地域	所在：遺跡名，城館名
弥生	前期	西/東日本	大阪：若江北，奈良：唐古・鍵，長野：力石条里
	中期	西日本	滋賀：大中の湖南/ 大阪：池上曽根/ 奈良：唐古・鍵/ 福岡：板付，岩崎/ 佐賀：安永田，前田
		東日本	青森：垂柳，群馬：黒川小塚/ 富山：下老子笹川
	後期	西日本	大阪：芝谷，亀井/ 奈良：平城宮
		東日本	福島：天王山，朝日長者/ 新潟：下馬場/ 長野：平柴平，榎田
古墳	前期	東日本	岩手：高山，宮城：留沼，東京：霞台/ 静岡：伊場
	中期	東日本	群馬：中筋，向井/ 富山：中谷内
	後期	西日本	熊本：玉名平野条里/ 佐賀：梅坂炭化米
		東日本	山形：嶋，西沼田，一ノ坪/ 群馬：小角田前，舞台D/ 長野：宮沖
奈良		西日本	島根：沢町舎人郷正倉，山代郷正倉，タテチョウ/ 福岡：小郡官衙
		東日本	北海道：手宮洞窟/ 宮城：城生/ 福島：関和久/ 千葉：芳賀輪
平安		西日本	福岡：九州大学筑紫地区
		東日本	青森：隠川（４），十三盛，蛍沢，前川，大平/ 岩手：千苅，猫谷内，田中３/ 山形：升川/ 福島：東作田Ｃ/ 群馬：市之関前田/ 栃木：長者ヶ平官衙/ 埼玉：若葉台/ 東京：早瀬前/ 新潟：一之口
鎌倉～戦国		西日本	兵庫：伊丹城/ 沖縄：佐敷グスク
		東日本	青森：前川，境関館，砂沢平/ 山形：亀ヶ崎城，嶋/ 群馬：行幸田西/ 東京：八王子城/ 新潟：堀越館，鮫ヶ尾城，甲田城



第 1 図　79 集団の出土米における種子長と種子幅の平均
値は平均値とその 95%信頼区間である。



第 2 図　79 集団の出土米における種子長の時代別変異
値は平均値と標準偏差である。△：西日本の遺跡、●：東日本の遺跡。計 79 の集団のうち、15 集団は 5 つの複合遺跡に由来する。

P-095

カンボジア・クメール遺跡の石材表面における マンガン酸化物の沈着

Precipitation of manganese oxides on the surface of building stones of the Khmer monuments, Cambodia.

○内田悦生(早稲田大学)・渡辺亮太(同左)・大澤里美(東京大学)

○Etsuo Uchida, Ryota Watanabe (Waseda Univ.), Satomi Osawa (Univ. of Tokyo)

1. はじめに

アンコール遺跡を代表とするカンボジアのクメール遺跡では、建築材として砂岩、ラテライトおよびレンガが使用されている。これらの建築材の表面は、時間の経過とともに黒色化するが、その主たる原因は藍藻の着生によるものである。しかしながら、このような藍藻の着生とは異なり、若干光沢をもち、青みを帯びた黒色物が建築材の表面を覆う現象が見られる。携帯型蛍光 X 線分析装置による分析の結果、この黒色化はマンガン酸化物の沈着によるものであることが明らかになった。ここでは、このマンガン酸化物の沈着によるクメール遺跡の建築材の黒色化に関して報告する。

2. マンガン酸化物の沈着状況

調査は、主として、アンコール遺跡、コー・ケル遺跡および前アンコール期のサンボー・プレイ・クック遺跡において行った。マンガン酸化物による黒色化は、砂岩(長石質アレナイトおよび石英質アレナイト)、ラテライトおよびレンガのいずれの表面においても認められるが、ラテライトにおいて最も顕著である。マンガン酸化物の沈着が顕著に見られる建造物として、アンコール遺跡のプレ・ループ(レンガ)、コー・ケル遺跡のネアン・クマウ、チュラップ、バンテアイ・ピア・チャン(いずれもラテライト)、そしてサンボー・プレイ・クック遺跡の C1 塔および S1 塔(レンガおよび砂岩)が挙げられる。マンガン酸化物の沈着は、建造物の外壁および内壁において見られる。

図 1 建築材表面にマンガン酸化物の沈着が認められるコー・ケル遺跡のネアン・クマウ(左:ラテライト造)とサンボー・プレイ・クック遺跡の C1 塔(右:レンガ造)

3. 調査方法

マンガン酸化物の沈着により黒色化した部分に対して、携帯型蛍光 X 線分析装置(Innov-X Systems Delta Premium)による現位置での非破壊化学組成分析を行った。分析には SOIL モードを使用し、測定時間は 60 秒とした。また、各建造物から採取した試料に対して、粉末 X 線回折装置(RIGAKU RINT-Ultima III および RIGAKU RINT-RAPID)による構成鉱物の同定、エネルギー分散型 X 線マイクロアナライザー(JEOL JSM6360+OXFORD INCA ENERGY)による化学組成分析、電界放出型走査電子顕微鏡(HITACHI 4500S)による形態観察を行った。

4. 調査結果と考察

4.1 携帯型蛍光 X 線分析装置による分析結果

分析は、マンガン酸化物の沈着により黒色化した部分と黒色化していない部分とにおいて行い、その比を求めた(図1)。黒色化した部分では、マンガンが著しく濃集しており、その他に、Ni、V、Zn、Y、K、Cl、S、Pb が建築材と比べて黒色部に濃集している傾向が見られた。鉄は、建築材と同様な値を示し、濃集傾向は認められなかった。砂岩、ラテライトおよびレンガのマンガン含有量は、一般的にいずれも

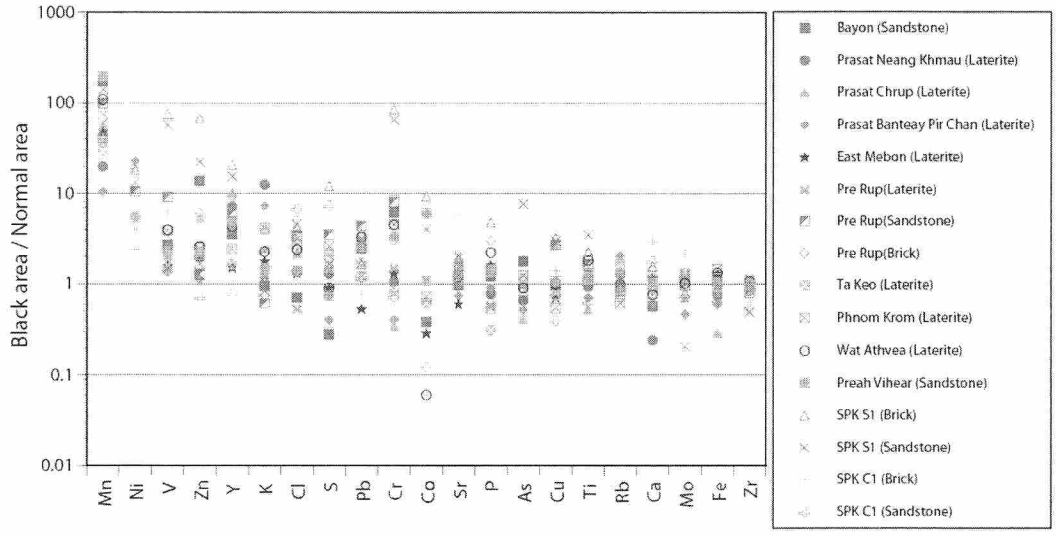


図 2　携帯型蛍光 X 線分析装置による分析結果。建築材表面における分析値に対するマンガン酸化物により覆われた表面における各元素の濃度比

0.3%以下であるが、コー・ケル遺跡のラテライトでは高く、0.3～2.4%の含有量を示している。このことは、コー・ケル遺跡のラテライトでマンガン酸化物の沈着が顕著であることの要因の一つであると思われる。

4.2 X 線マイクロアナライザーによる分析結果

黒色部では、マンガンが圧倒的に多く、4～48%の値が得られた。また、3～19%の Al、3～34%の Si、2～52%の Fe が検出されたが、これは建築材の構成成分による影響であると思われる。

4.3 粉末 X 線回折分析結果

マンガン濃集部からは、マンガンを主成分とする鉱物に由来するピークが検出されないことが多いことから、マンガン酸化物が非晶質、あるいは、低結晶質の物質として存在していることが考えられる。しかしながら、幾つかの試料からは、マンガン鉱物である Birnessite および Todorokite が確認された。

4.4 電界放出型走査電子顕微鏡による観察結果

多くの試料において、100～200nm 程度の大きさをもつ、六角板状に近い形を呈する物質が積層している様子が観察された。また、稀ではあるが、100～300nm の長さをもつ、桿菌様の形態が観察されたことから、マンガン酸化物の生成においてマンガン酸化バクテリアが関与している可能性が考えられる。

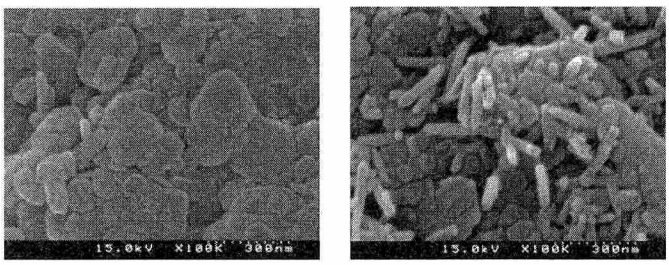


図 3　電界放出型走査電子顕微鏡による建築材表面に沈着したマンガン酸化物の形態観察。(左) 六角板状を呈する物質（東メボン、Sample no.3405）、(右) 桿菌様の形態を呈する物質（バンテアイ・ピア・チャン、Sample no.3404）

5. まとめ

上記の調査結果から、カンボジアのクメール遺跡の建築材表面には、マンガン酸化物の沈着による黒色化が見られ、マンガン以外に若干の Ni、V、Zn、Y、K、Cl、S、Pb 等が濃集していることが明らかになった。マンガン酸化物の多くは、非晶質の形で存在しているが、一部は、Birnessite および Todorokite として存在していると考えられる。マンガン酸化物は 200～300nm 程度の大きさの六角板状を呈していることが多いが、一部は桿菌様の形態を示し、マンガン酸化バクテリアがマンガン酸化物の沈着に関与している可能性が考えられる。このことを明らかにするため、今後、DNA 解析を行う必要がある。

P-096

蛍光寿命測定の文化財材料への応用に関する基礎研究 2
Preliminary research about the application to the fluorescence lifetime measurement for cultural properties 2

○佐々木　良子（京都工芸繊維大学　美術工芸資料館），
吉田直人（東京文化財研究所），
佐々木　健（京都工芸繊維大学　工芸科学研究科生体分子工学部門）
○Yoshiko SASAKI (Museum and Archives, Kyoto Institute of Technology),
Naoto YOSHIDA (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo),
Ken SASAKI (Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology)

はじめに

蛍光寿命は周辺環境が同じ条件で物質固有の値を示し，蛍光スペクトルの発光・励起波長に加えて第三のパラメータとして蛍光性染料などの非破壊的・非接触的な同定手法として用いることができる。また，周辺環境により微妙に変化するため有機・高分子材料に含まれる蛍光性物質からの蛍光発光に対してこの寿命の測定を行うことで，その有機材料そのものの物理的状態を非破壊的に数値化することが可能である[1-3]。

昨年，蛍光寿命測定を新たな非破壊分析手法として文化財分析の分野に導入する為の基礎研究として，まず，日本や中国で古くから用いられてきた蛍光性染料である黄檗の主成分のベルベリンに着目し，その蛍光寿命が周辺環境に応じて変化することを明らかにした[4]。本年は，絹染織品を用いて絹の構造と周囲環境の変化に対する黄檗の蛍光寿命の感受性について検討し，文化財資料も用いて，黄檗が絹蛋白の経年による構造変化のマーカーとして使用可能かどうか調べた。

実験

機器：浜松ホトニクス PLP10 ピコ秒パルスレーザ（410 nm，半値幅 80ps）を励起光源とした。浜松ホトニクス C-5094(波長走引幅 250 nm)で分光した後に，浜松ホトニクス C4334 ストリークカメラで Photon を検出した。Delay 及び Pulse generator は Stanford research DG535 を使用した。

標準試料：黄檗（高砂製薬）を用いて染色した絹布を測定に供した。

解析：データは浜松ホトニクス U8167 データ処理システムを用いて，図 1 の様に 2 成分，或いは 3 成分で解析した[4]。

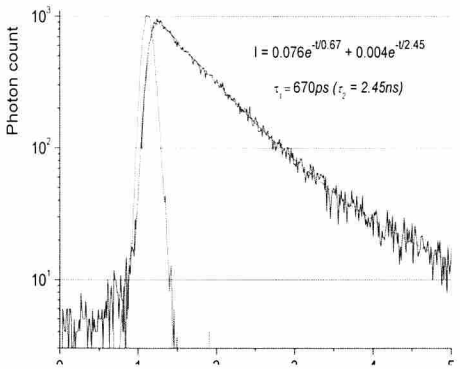


図 1　ベルベリンの蛍光減衰曲線
（メタノール溶液中：対数表示）

結果と考察

まず，現代の黄檗評品を用いて染色した絹布で検討した。日本産と中国産の黄檗で染色した絹を用いて，黄檗の産地の違いが蛍光寿命に影響を与えるかどうかを調べたところ（図 2），蛍光減衰曲線は誤差の範囲内で一致した。中国産と日本産黄檗では主成分のベルベリンのほかに存在する副成分のパルマチンの有無の違いがあるが，寿命に対する影響はほとんどなかった。黄檗のみで染色した黄色の絹と，藍を重ね染した緑色の絹について，蛍光寿命を測定したところ（図 3），蛍光減衰曲線は両者で有意な差は見られず，藍との重ね染が黄檗の蛍光寿命に影響を与えないことが示された。一方，紅の下染めとして黄檗を用いた場合（図 4），黄檗の蛍光減衰曲線は紅の共存の影響を受け，極めて短寿命の蛍光減衰成分が認められた。紅は 410nm で励起しても紅成分に吸収がないため蛍光をほとんど発しないため，黄檗のベルベリンから紅のカーサミンへの空間を通したフェルスター型共鳴励起エネルギー移動を起こす黄檗成分が存

在するものと考えられる。そのため500nm付近で観察される蛍光には通常の寿命を持つものの他に，エネルギー移動による短寿命成分が現れ，それと本来発光することのない短寿命の紅の蛍光成分が600nm付近で観察されたものと考えられる。

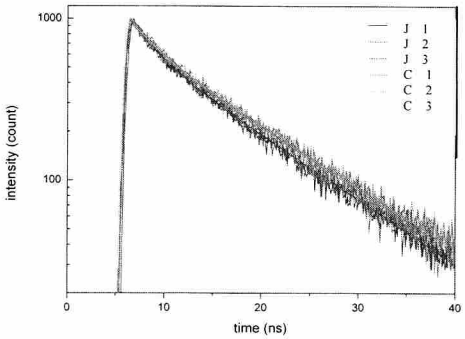


図2　黄檗染め絹布の蛍光減衰曲線（対数表示）：黄檗の産地の影響
J:　日本産,
C：中国産

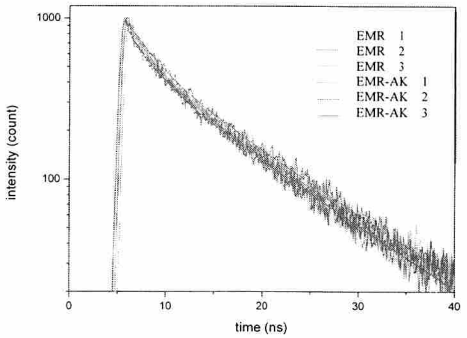


図3　黄檗染め絹布の蛍光減衰曲線（対数表示）：藍の共存の影響
EMR：黄檗のみ
EMR-AK：藍と黄檗の重ね染

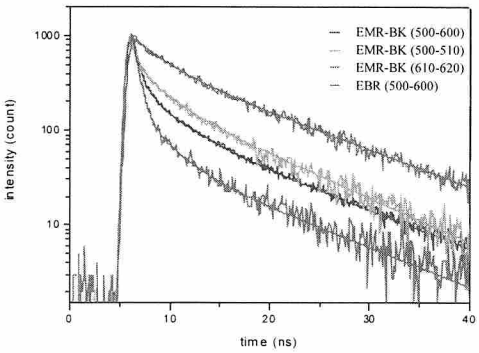


図4　黄檗染め絹布の蛍光減衰曲線（対数表示）：紅の共存の影響（500-600nmでモニター）
EMR：黄檗のみ
EMR-BK：紅と黄檗の重ね染
蛍光モニター波長(nm)の変化
500-510：黄檗のみ観測
610-620：紅のみ観測

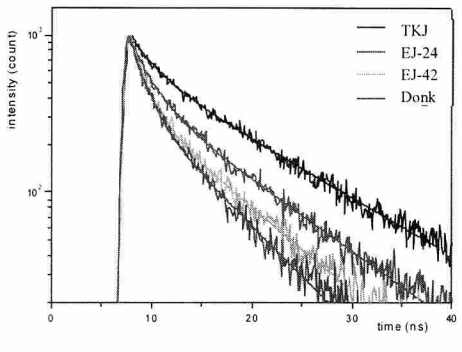


図5　黄檗染め絹布の蛍光減衰曲線（対数表示：経年劣化資料（日本製）
TKJ：現代標品（日本黄檗）
EJ-24：18C刺繍裂
EJ-42：17C小袖裂
Donk：14C九条袈裟

次いで，経年資料として文様等で年代を特定した14世紀から18世紀の黄檗染め資料について，同様に蛍光寿命の測定が可能かを検討した。資料の複数回の測定で高い再現性を示す蛍光減衰曲線を得られ，蛍光分光並びにHPLCによる成分分析により，日本産黄檗と確定している緑色の刺繍糸資料[5]についての蛍光寿命測定を行った（図5）。何れの資料も，現代標品の蛍光寿命よりも短い蛍光寿命が観測された。経年並びに劣化がもたらす絹蛋白の構造変化が黄檗色素成分の周辺環境の変化として蛍光寿命に反映され，短寿命化したものと考えられる。

参考文献

1) Ken Sasaki *et. al. J. Org. Chem.*, **71**, 4872-4877 (2006)
2) Ken Sasaki *et. al. Chem. Commun.*, **2004**, 408.
3) Ken Sasaki *et. al. J. Amer. Chem. Soc.*, **124**, 1182-1183 (2002).
4) 佐々木　他　日本文化財科学会第31回大会研究発表要旨集　pp.374-375（2014）
5) 佐々木　他　日本文化財科学会第31回大会研究発表要旨集　pp. 118-119（2014）

P-097

川辺に住んでいた縄文人の食生活を垣間見る
-東京都三鷹市丸山A遺跡出土土器の残存有機物分析-

Taking a glance at the diet of Jomon people dwelled along a river: the organic residue analysis of pottery from Maruyama A site, Mitaka-shi, Tokyo,Japan

松尾彩花(国際基督教大学)、篠原香奈子(同左)、○堀内晶子(同左)、宮田佳樹(金沢大学)

1．はじめに

古代人の食生活を検討する手段の一つに、人々が使用した土器に残存している食材の主要成分である有機物質、特に脂質を分析する手法が知られている(1)。東京都三鷹市丸山A遺跡は、神田川流域の右岸の台地に位置する縄文後期の墓壙や祭祀遺構が集まっている遺跡で、対岸低地部には同時期の丸山B遺跡があり、木材やドングリ、トチの実などが伴う水場遺構が見つかっている。本研究は、丸山A遺跡から出土した加曽利B式、及び堀之内式土器の残留有機物をガスクロマトグラフィー質量分析法(GC-MS)を使って分析し、当時川辺に住んでいた人々の食生活を科学的に検討した(2)。

2．試料と実験方法

試料は、竪穴状遺構及び土坑から出土した堀之内2(A-06, 09, 10, 11)、堀之内前(A-12, 13)、堀之内粗製(A-05)、加曽利B2前(A-14)、加曽利B1又はB2(A-15)の計9点で、すでに報告されている分析方法(3)に基づいて1試料につき4つの異なった画分を分析した。試料はまず、表面を薄く削り取った後粉砕し、クロロホルム:メタノール=2:1(C:M)を用いて総脂質を抽出した。さらに、総脂質を鹸化し、酸性脂質と中性脂質の2つの画分に分けた。また、有機溶媒では抽出できなかった土器に強く保持された極性の高い脂質を回収するため、C:M抽出後の土器粉を、直接アルカリ分解してC:M不溶性画分を得た。試料は、それぞれ必要に応じて、トリメチルシリル化(TMS化)またはメチル化した後、ガスクロマトグラフ質量分析(GC-MS)法を使って分析した。(GC-MSの分析条件:Thermo Scientific TRACE GC ULTRA-ISQ LT, カラム:HP-1 50 m x 0.32 mm x 0.17 μm, 初期温度:50℃で2分間維持, 300℃まで10/minで昇温, 15分間維持)。

3．分析結果と考察

全体的に土器に残存していた脂質量は少なく、水生動物のバイオマーカーとなるイソプレノイド酸や不飽和脂肪酸が270℃以上に加熱されると土器内で生成することが知られている芳香族を含む脂肪酸ω-(*o*-alkylphenyl)alkanoic acids(APAA)(4)は、どの土器片からも検出できなかった。

植物性と陸生動物食材の可能性：土器片A-12、A-13、A-14から抽出された主な脂質は、$C_{16:0}$と

$C_{18:0}$ (Cx:y, x=炭素数, y=不飽和結合数を持つ脂肪酸)で、調理用土器から回収される典型的な脂質パターンを示している。A-12、A-13、からは, 植物性ステロールである campesterol が検出されている事から、脂分の多い植物が調理されたと考えられる。主に動物由来の cholesterol がいずれの土器片からも検出されているので、動物性脂質も同時に調理されている可能性があるが、魚などの水生動物のマーカーとされる、炭素原子２２個以上の超長鎖脂肪酸（VLCFA）や不飽和脂肪酸の分解生成物であるジヒドロ脂肪酸（DHFA）とジカルボン酸（DC）が検出されていない事から、cholesterol は陸生動物由来と考えられる。しかし、cholesterol は今回分析したすべての土器片から検出されているため、コンタミネーションの可能性もあるので、注意が必要である。

植物性食材の可能性：土器片 A-06、A-09、A-10、A-11 は検出された脂肪酸のピークの大きさがアルコール類の大きさより小さく、一般的にアルコール類をほとんど含まない動物性脂質ではなく、ワックス由来と考えられるアルコール類を含む脂分の少ない植物性を主に扱った容器であると考えられる。また、植物性ステロールの campesterol が検出されている事、検出された脂肪酸は長くても炭素数 20 までで、VLCFA などの水性動物のバイオマーカーは検出されていない事からも植物性食材の可能性を支持している。さらに、A-09、A-10、A-11 からはデンプンの分解生成物である levoglucosan が微量ではあるが、検出されている。

植物性と水性動物食材の可能性：土器片 A-15 は、検出された脂肪酸のピークの大きさがアルコール類の大きさより小さく、campesterol と levoglucosan が検出されている事から植物性脂質が含まれていると考えられる。また、炭素数 28 までの VLCFA の他に炭素数 5~13 までの DC がシリーズで検出されている。DC は DHFA がさらに酸化された不飽和脂肪酸の分解生成物で、二重結合を含む不飽和脂肪酸があったことを示している。長鎖不飽和脂肪酸は魚などの水性動物に多く含まれているので、A-15 は植物と水性動物の両方を処理した土器と推測される。当時の人々は、陸生動植物と共に魚などの水性動物も調理した可能性を示唆しており、豊かな食生活を営んでいたことが推測できる。試料提供して頂いた、三鷹市教育委員会ならびに下原祐司学芸員, 斉藤圭子調査員に謝意を表す。本研究は H25-28 年度科研費基盤 B“有機地球化学的分析手法を用いた先史時代の食性復元”(代表者宮田佳樹)の成果の一部である。

参考文献

1. 例として：Evershed RP. 2008a. Experimental approaches to the interpretation of absorbed organic residues in archaeological ceramics. World Archaeology 40 (1): 26-47.

2. 丸山 A 遺跡出土土器の残留有機物分析, 丸山 B 遺跡報告書（印刷中）

3. Heron C, and Evershed RP. 1993. The Analysis of Organic Residues and the Study of Pottery Use. Archaeological Method and Theory. 5, 247-284.

4. Clamp L, Evershed RP. Reconstructing aquatic resource exploitation in human prehistory using lipid biomarkers and stable isotopes. In: Holland HD, Turekian KK, editors. Treateas on Geochemistry. 2nd ed. Elsevier; 2014. 319-339. (Archaeology and Anthropology; vol. 14)

P-098

土坑内のリン、炭素、窒素の濃度分布について
-用途(墓、トイレ、ゴミ穴)推定の可能性について-

Distribution of phosphorus, carbon and nitrogen concentrations in the pit -The estimate of the use (Grave, Excreta tank, Garbage disposal pit and etc.) -

○渡辺正巳(文化財調査コンサルタント(株))・瀬戸浩二(島根大学汽水域研究センター)・
林　健介(島根県埋蔵文化財調査センター)・是田　敦(島根県埋蔵文化財調査センター)・
合田幸美((公財)大阪府文化財センター)・山手貴生(大田市教育委員会)・
伊藤悟郎(津和野町教育員会)

発掘調査に際して、多数の土坑が検出される。多くの場合、土坑には内容物が残存しており、内容物からその用途を窺い知ることができる。しかし、土坑内に内容物が残存しなかった場合、その用途を推定することは、大変困難である。

内容物を伴わない「土坑」でも、「建物の柱穴」や、「塀の柱穴」、「杭穴」などは、その配列や規模から推定が可能である。一方、「墓」、「トイレ(便槽)」、「ゴミ穴」については、その規模や形態に類似したものが多いことから、区別が難しい。このため、その用途を推定するために、自然科学的手法が用いられることがある。

「墓」の可能性がある「土坑」については、脂肪酸分析、あるいはリン(P)・カルシウム(Ca)濃度測定から、その可能性について考察されてきた。これらの内、脂肪酸分析についてはブラックボックス的な解析手法が問題となり、近年では用いられることが少なくなっている。P、Ca 濃度分析では、これらの元素が土壌の主な構成要素であり、測定方法や得られた値の評価方法に問題がある場合が多かった(例えば、土壌中でPとCa濃度には相関関係が認められず(図-1)、検出されたP、Caが、骨(リン酸カルシウム)に由来するか否かの保証がない。)。

演者らは、有機物中の炭素と窒素の比が異なることに着目し、埋葬施設の可能性がある土坑を対象としたP, 有機炭素(C), 全窒素(N)の関係を調べてきた(渡辺, 2008;渡辺, 2010;渡辺, 2014aなど)。この結果、P濃度が高くC、N濃度比(C/N)が10未満を示す場合、高濃度を示すPの給源として、動物(人間を含む)遺骸の存在が推定できることを示した(渡辺, 2008;渡辺, 2010など)。更に渡辺ほか(2014b)は、土坑が「墓」と特定される場合、頭部の位置を確定できることも示した。

「トイレ(便槽)」の可能性がある「土坑」については、寄生虫卵の濃度、食物残渣の存在などを頼りに、その可能性が推定されてきた(金原・金原, 2004)。しかし、「便槽」の廃棄時に、資源である糞便は「便槽」から汲み取られ、更に「便槽」が清掃されたことも、予想される。このため、寄生虫卵の多くが、糞便と一緒に取り除かれることがある。「便槽」状の遺構から、寄生虫卵が検出されないことが多いのは、このためである。し尿処理汚泥を利用した「AZ有機(商品名)」について、C/N=6という報告がある。しかし、この値を糞尿のC/Nと見なせるか否かは不明である。また人間の場合、いわゆる「菜食」であればC/Nの値は高く、「肉食」であれば低いと推定されるが、実測値がない。

「ゴミ穴」については、全く遺物が検出されない事例はないものの、その性質からC/Nの分布がランダムであることが予想される。

引用文献

金原正明・金原正子（2004）トイレ遺構から探る食生活．考古学が解き明かす古代の歴史-新世紀の考古科学-，59-68，クバプロ，東京．

渡辺正巳（2008）原田遺跡8 区土坑(SK57）の自然科学的検討．原田遺跡4 縄文時代以降の調査，192-202，国土交通省中国地方整備局・島根県教育委員会．

渡辺正巳（2010）矢野遺跡B 区SK2866 のP（全リン）及びC（有機炭素）・N（全窒素）分析．矢野遺跡 自然科学分析・考察編（第4 分冊）- 新内藤川改修工事に伴う埋蔵文化財報告書-，出雲市の文化財報告，10，31-38，出雲市教育委員会．

渡辺正巳（2014a）荒槇遺跡で検出された木枠遺構のPCN 分析．市井深田遺跡　荒槇遺跡　鈴見Ｂ遺跡１区，　201-207．

渡辺正巳（2014b）庵寺古墳群におけるリン、炭素及び窒素分析．庵寺古墳群・大迫ツリ遺跡・小釜野遺跡，103-107．

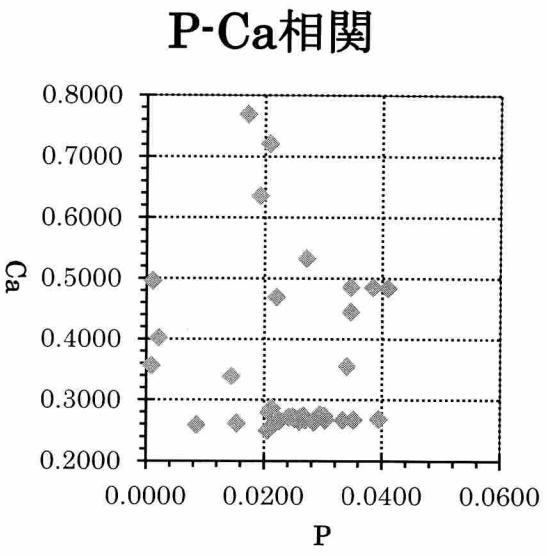


図-1 堆積物中の P-Ca 相関
（渡辺(2014a) 表 2 分析結果を編集）

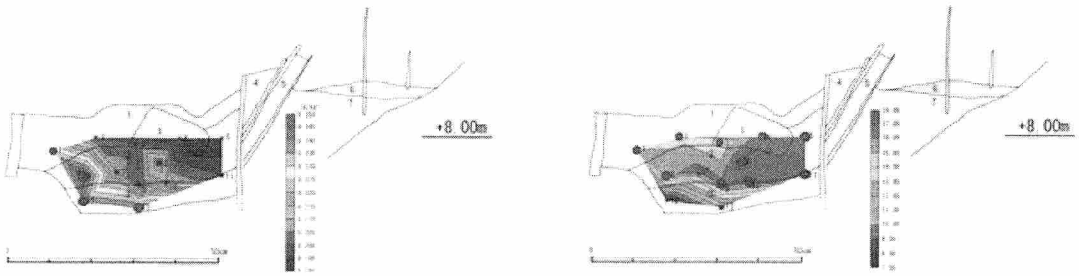


図-2 土坑内での P、C/N の分布 （渡辺，2014a）
左：P　右：C/N

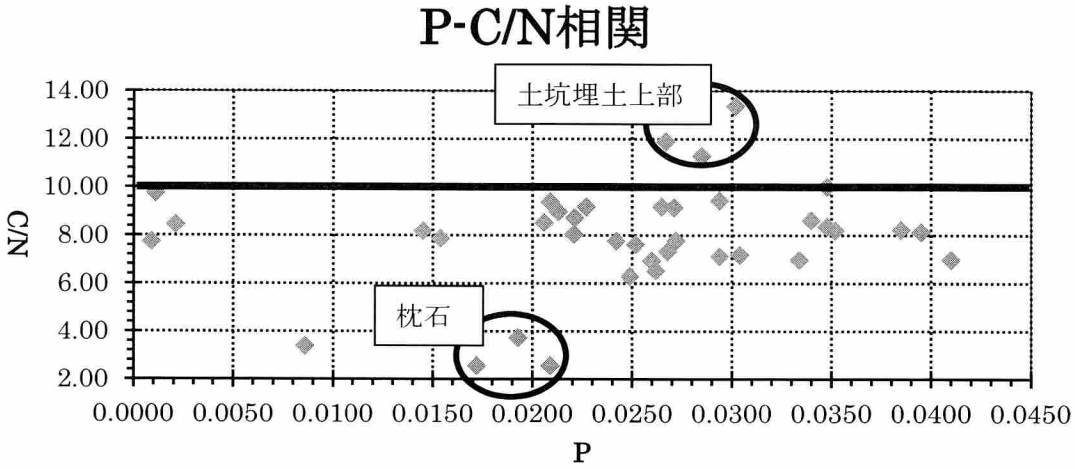


図-3 土坑墓内 P-C/N 相関図
（渡辺(2014b) 表 2 分析結果を編集）

P-099

矢穴の三次元計測による石割技術標準モデルの検討

Study of the quarrying technology standard by the three-dimensional measurement

○高田祐一（奈良文化財研究所）、福家恭（長岡京市教育委員会）、広瀬侑紀（京都橘大学卒業生）、藤田精（高尾石材株式会社）

○Yuichi Takata (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Takashi Fuke(the Nagaokakyo city board of education), Yuki Hirose(Kyoto Tachibana University),Tsutomu Fujita(TAKAO STONE.CO.,LTD)

1.はじめに

前近代、「矢」を使用することで大きな石の採取が可能となった。矢を挿入するために石にほられた穴を「矢穴」という。現在は石の切断面に残る矢穴痕跡の型式・サイズによって年代を推定する研究が進んでいる。しかし、矢による石割技術は、楔によって石を物理的に切断するのではなく、矢穴を基点に石に亀裂を生じさせ、矢のふくらみによって亀裂を押し広げることで石を割る原理にこそ特徴がある。そのため、矢穴痕の断面的な理解ではなく、矢自体のふくらみに注目することが重要であり、そのふくらみを検討するために、三次元計測という新たな手法を用いて石割技術を検討した。

2.調査方法

（1）矢穴掘りの再現実験と香川県小豆島石切場における矢穴の型取り

現在、近世初期に用いられていた矢・矢穴による石割技術は現存しない。そこで、石工である藤田精による矢穴掘りの再現実験を実施し、ノミの動きや石工の利き手、姿勢等によって矢穴にその痕跡が残るか観察した。また、藤田が掘削した矢穴をシリコンで型取りすることで、遺跡に残る矢穴痕を評価するための比較資料を得ることにした。小豆島岩谷の「大坂城石垣石切丁場跡」八人石丁場において、石材225の矢穴列（下取り線の線刻のみも含めて27個）の内、モデルケースとして８個の矢穴を対象にシリコンによる矢穴の型取りを実施した（図１）。

（2）矢穴の縦横断面の形状計測

藤田による矢穴と石切場の矢穴のシリコン型を３次元スキャナ「NextEngine」によって３次元データ化した（図２・３）。データから縦横断面を抽出した。

3.分析結果

８個の矢穴それぞれの縦横断面を観察し、矢穴毎の差異を検討した。その結果、次の点が判明した。

ｉ）　各矢穴の縦横断面の矢底立ち上がり角度を整理した（表１）。縦断面に比べ横断面は、バラつきが少なかった。作業分担者ハが作業した矢穴の縦断面の

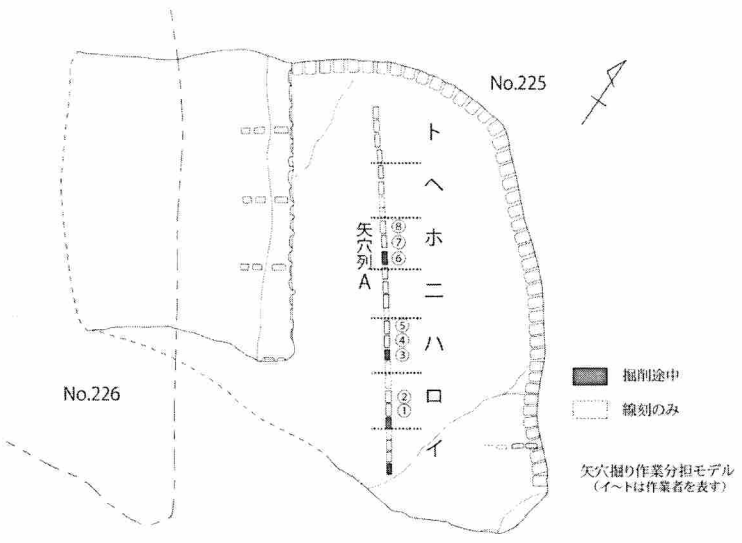


図1　八人石丁場石材225略測図

角度のバラつきが最大14度に対し、横断面は最大４度と安定している（図４）。矢穴８個の横断面南西壁の中央値が99度、北東壁が100度であり、各作業者は横断面を100度前後とするように意識的に作業していると推測できる。

ⅱ）　横断面の形状を重ねることで、各作業者が意識した形状ラインの標準モデルを検討した（図５）。この標準モデルによって、現存していない当時の矢の形状を復元しうる。

４.まとめ

大坂城普請では石垣石の規格化を徹底した。それを実現するための採石技術の技術標準を検討する手がかりを得た。当時の技術や道具の標準モデルを構築することで、既に現存しない道具の復元も可能となる。

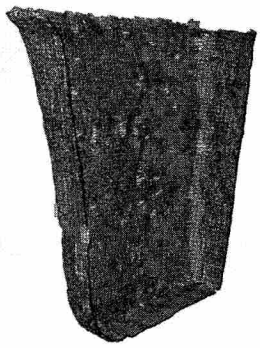


図2 矢穴の三次元縦断面図

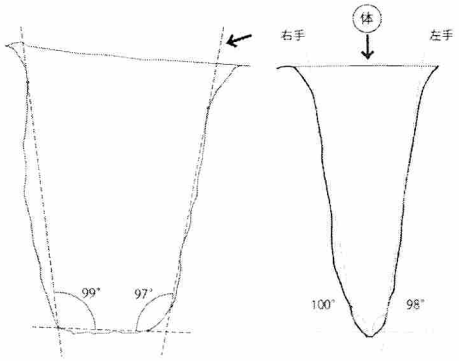


図3 藤田精作成矢穴
縦断面/横断面

表1　石材225矢穴列の矢底立ち上がり角度一覧表

作業分担者	番号	縦断面(度)		横断面(度)		所感		
		SE(南東)	NW(北西)	SW(南西)	NE(北東)	縦断面	横断面	総合
ロ	1	92	90	100	101	両側面の立ち上がり角度が90度～94度。角度のバラつき最大4度。	両側面の立ち上がり角度が99度～101度。角度のバラつき最大2度。	縦断面・横断面ともに角度のバラつきが少なく安定的。
	2	91	94	99	99			
ハ	3	100	91	99	99	南側面100度・北側面90度。角度のバラつき最大14度。	両側面の立ち上がり角度が96度～100度。角度のバラつき最大4度。	縦断面は角度のバラつき最大14度あるものの、3つとも同じ傾向を示すため、癖か体勢によるものだろう。横断面ともに角度のバラつきが少なく安定的。
	4	100	91	100	100			
	5	105	92	96	99			
ホ	6	97	117	98	110	掘削途中の矢穴があり評価は難しいが両側の立ち上がり角度は100度～110度。角度のバラつき最大20度。	両側面の立ち上がり角度が97度～110度。角度のバラつき最大13度。	縦断面・横断面ともに角度のバラつきが大きくかなり不安定。
	7	100	100	97	100			
	8	110	102	101	109			
平均		99.375	97.125	98.75	102.125			
中央値		100	93	99	100			

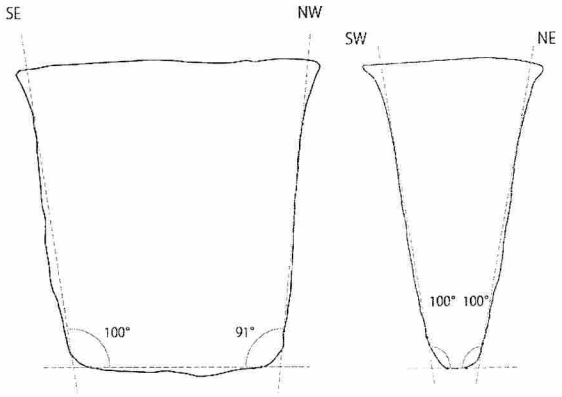


図4 石材225　4番矢穴
縦断面/横断面

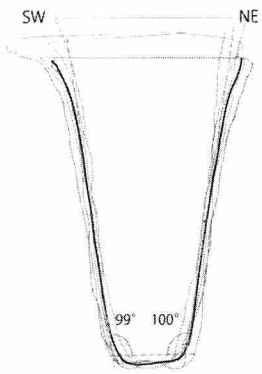


図5 矢穴横断面　標準モデル

P-100

発掘調査報告書の全文データベース「全国遺跡報告総覧」の構築

Construction of the Comprehensive database of archaeological site reports in japan

○高田祐一（奈良文化財研究所）、森本晋（同左）、田中俊二（島根大学）、昌子喜信（同左）、
福山栄作（同左）、矢田貴史（同左）、永島幹大（ENU Techonologies）

○Yuichi Takata,Susumu Morimoto(Nara National Research Institute for Cultural Properties),
Shunji Tanaka,Yoshinobu Shoji,Eisaku Fukuyama,Takafumi Yada(Shimane University),
Yorihiro Nagasima(ENU Techonologies)

1.はじめに

近年、年間約8,000件程度の発掘届が提出され、日本全国で多数の発掘調査が行われている。発掘調査成果は発掘調査報告書にまとめられ、年間約2,000冊の報告書が発行されている。しかし、報告書の流通範囲は限られており、いわゆる「灰色文献」化している。そこで発掘調査報告書を全文電子化して、インターネット上で検索・閲覧できるようにした「全国遺跡報告総覧」を奈良文化財研究所（以下、奈文研）にて公開した（図1）（http://sitereports.nabunken.go.jp/）。

2.開発の経緯・体制

2008年度から2012年度にかけて、国立情報学研究所の最先端学術情報基盤（CSI）整備事業の委託を受けて、島根大学を中心とした全国の21の国立大学が連携して取り組んだ「全国遺跡資料リポジトリ・プロジェクト」では約14,000冊の発掘調査報告書を電子化した。年間50万件のダウンロードがあるなど、活発に利用され大きな成果をあげた。しかし、各大学がそれぞれにシステムを運用していたため、コストや運用で重複が発生し負担が生じていた。またサーバの老朽化により継続性に課題があった。そこで奈文研がクラウドプラットフォームにシステムを構築し、全国遺跡資料リポジトリ・プロジェクトで電子化したデータを統合し、全国遺跡報告総覧として公開した。当面の間、従来通り各大学がデータ登録を担い、情報基盤の維持管理を奈文研が担当する予定である。

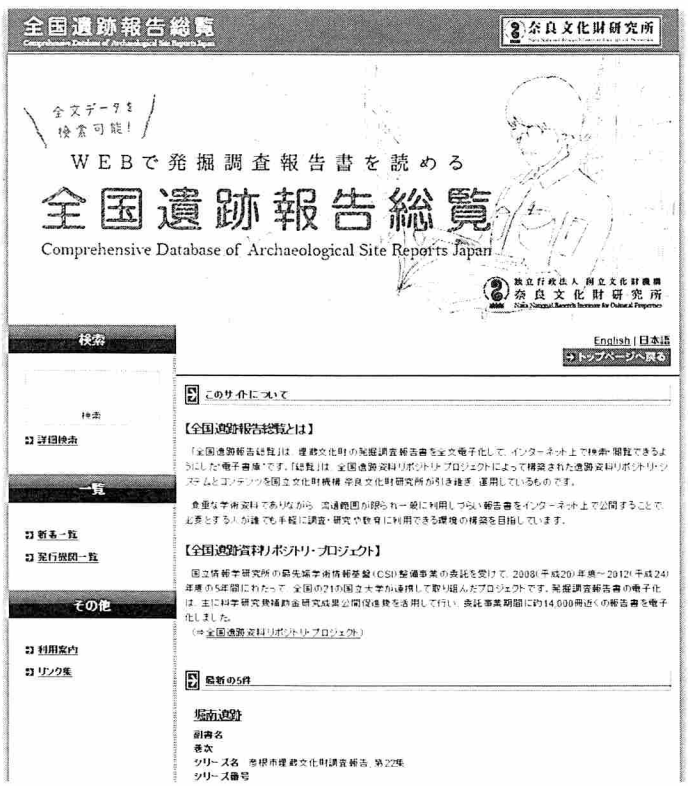


図1 全国遺跡報告総覧トップページ

3.機能と期待される効果

（1）検索性

資料には、それぞれOCR（光学文

字認識）処理を施しているため、任意のキーワードで全文検索できる（図２）。今までは各大学にデータが分散していたため、個別に検索する必要があったが、本システムでは１回の検索で全国の資料を検索できる。ユーザインタフェースを見直すことで、より気軽に使えるように改善した。検索結果にハイライト機能があり、自分の興味がある資料に容易にたどり着くことが可能となった。効率的に抜け漏れなく類例・前例を調査できるようになった。

（２）情報入手の容易性

従来、入手や閲覧が困難だった報告書がWEB上で閲覧可能となり、情報入手が容易となった。研究者はもちろん、一般の方も報告書を通して新たな歴史的認識を得ることができる。地域学習や調査成果の社会的還元に貢献するだろう。

（３）新たな研究領域の発展

考古学に関する膨大な電子データを一元的に集約した。2015年５月末時点のデータ量は、報告書等14,333冊、総ページ数1,656,413ページ、総文字数615,210,143文字である。ビッグデータ的手法による新たな研究領域の発展の潜在性があり、考古学研究の高次化・効率化に貢献できる情報基盤となる可能性がある。

（４）災害対策

本システムは、クラウドプラットフォームにて構築した。クラウドであるため、データ増加に合わせ柔軟にシステムの増強が可能である。またサーバ本体を特定拠点に設置し、その地域が激甚災害に見舞われた場合、データの保全性や業務継続性の観点から大きなリスクが発生する。クラウドプラットフォームにて複数のデータセンターにデータを保管することによって、災害対策（データの保全）や業務継続性を向上させることができる。

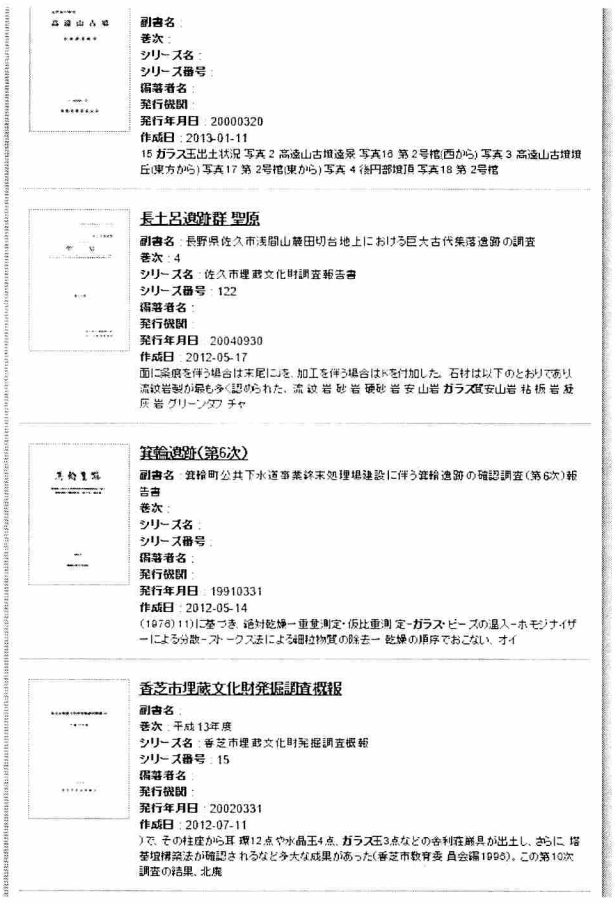


図2 検索結果画面

検索キーワード「ガラス」

４．課題と今後の展望

今後は、国立情報学研究所が提供しているCiNii Booksや国立国会図書館サーチとデータ連携を推進する予定である。他システムとのデータ連携によって、貴重な発掘調査の成果を、より円滑に流通させ、埋蔵文化財に関する成果の社会還元を意図している。

網羅的に報告書データを収録したうえで、いつでも・どこでも・だれでも調査成果にアクセスでき、電子データを恒久的に保全していくための基盤づくりを進めていく必要がある。

P-101

戊辰戦争戦没者の墓石の劣化調査 2

Degradation research of *Boshin* war gravestone 2

○渡辺ゆきの（奈良大学大学院）

1. はじめに

明治維新の際勃発した戊辰戦争では多くの人々が犠牲になり、全国各地に墓石が建立された。現在、建立から 140 年あまりが経過し、一部の墓石では劣化が急激に進行している。墓石は被葬者の情報が刻まれており、戦争当時を後世へ伝えるための貴重な文化財である。墓石をより長く保存するべく、劣化状態の調査をこれまでおこなってきた。

前回は北海道において戊辰戦争戦没者の墓石の劣化状態を調査し、凝灰岩の脆弱性を報告した。本研究ではあらたに新潟県において調査をおこない、劣化の進行速度の比較をおこなった。

2. 調査内容

新潟県小千谷市船岡公園西軍墓地、新潟県柏崎市柏崎招魂所の 2 ヶ所で調査をおこなった。新潟県は北海道と同様に積雪地域である。なお、船岡公園西軍墓地は凝灰岩製と花崗岩製の 2 種類の墓石が建立されているが、今回は凝灰岩製のみ調査結果を報告する。

劣化状態の調査は現地において目視でおこない、竿石の四面の状態をA～Eの5段階で評価した。A が最も劣化が進行していない状態をあらわし、E が最も劣化が進行している状態をあらわす。調査データの整理後、墓所ごとに劣化状態の統計をとった。

3. 調査結果

(1)船岡公園西軍墓地（新潟県小千谷市）の墓石の劣化状態

凝灰岩製の墓石 123 基の調査をおこなった。墓石は兵士の没後小千谷各地の寺院に建立され、明治元(1868)～2(1869)年頃のものである。明治 41(1908)年 5 月に現在の土地に改葬された。

ほとんどの墓石において表面の磨滅が進行しており、文字の判読が難しくなっていた。一部でえぐれるような穴も確認できた。色は赤黒く変色しており、もとの凝灰岩の色とは大きく異なっていた。そのため A 評価のものは無く、B 評価が最も多くなっている。一部 D 評価の墓石もみとめられた。

(2)柏崎招魂所（新潟県柏崎市）の墓石の劣化状態

凝灰岩製の墓石 44 基の調査をおこなった。明治元(1868)年 10 月 20 日に招魂所が設立されているため、同時期に墓石が建立されたと考えられる。

全体的に文字が磨滅していたが、ほぼ判読が可能だった。表面の変質は少なかったが、一部の墓石ではえぐれるような穴が空いておりワラジムシが生息していた。A 評価は無く、B 評価が最も多く C 評価

も一部みとめられた。D 評価以下のものはみとめられなかった。

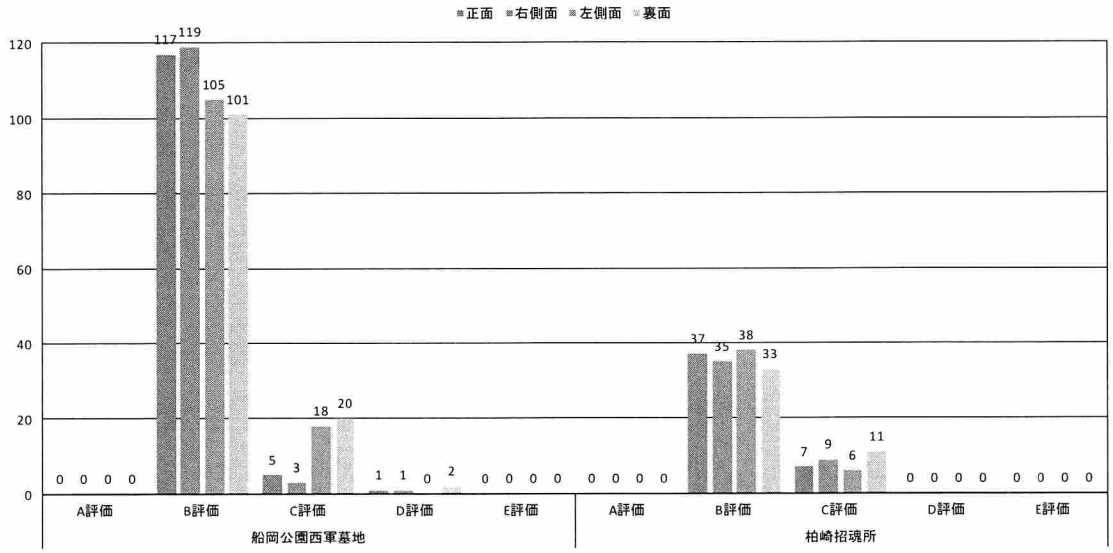


図1　石材の劣化評価

4. まとめ

調査の結果 B 評価が最も多く、全体的に墓石表面の磨滅が進んでいることがわかった。前回調査をおこなった函館護国神社の墓石の劣化状態と類似した傾向を示している。特に穴状にえぐれる劣化現象は函館護国神社と今回の 2 か所の墓所以外ではみられなかった。いずれも墓石に凝灰岩が用いられているため、石材による共通性が考えられる。

本研究を進めていくことで石材の違いによる劣化の進行速度の傾向が明らかになってきた。今後も調査を継続し、劣化の傾向から墓石の保存方法を検討していきたい。

5．参考文献

・小千谷市史編修委員会（1967）『小千谷市史 下巻』小千谷市

P-102

蛍光X線分析による楽浪土城址および楽浪古墳出土古代ガラスの起源推定

Provenance study of ancient glass artifacts excavated from Lelang Earthern Castle and Lelang tombs in Korea by XRF analysis

○柳瀬 和也（東京理科大学・理学部），小寺 智津子（日本学術振興会特別研究員／東京大学大学院人文社会系研究科），澤村 大地（東京理科大学・理学部），村串 まどか（同），馬場 慎介（同），中井 泉（同）

1. 序

楽浪郡は紀元前108年に前漢の武帝により朝鮮半島北西部に置かれた，漢四郡の一つである。この漢四郡の設置を契機に，朝鮮半島の原三国社会や日本列島の弥生社会は漢文明との接触を深めていった。四郡の中でも楽浪郡は313年まで存続し，この接触の中心地であった。楽浪土城はその楽浪郡治址である。

本研究は楽浪郡出土のガラス製品の組成を分析し，古代アジアにおけるガラス製品の流通を明らかにすることを目的とするものである。すでに小寺は楽浪土城出土のガラス製品の形態や製作技法などの分析から，同一タイプのガラス管珠が弥生時代後期の西日本で流通していたことを明らかにし，後期の北部九州や北近畿の首長達が直接楽浪から入手していた可能性を指摘した[1]。またその出土ガラスの多様さから，楽浪郡が東アジアにおけるガラス製品流通の要衝であった可能性を指摘した[1]。このような楽浪郡出土ガラスの化学分析は，大陸や日本をはじめ，古代アジアにおけるガラスの流通ルートや製作地を考察する上で非常に重要である。楽浪郡出土ガラスの一部は肥塚ら[2]による化学組成分析が行われており，「ムチサラ」と呼ばれる銅による赤色着色が施されたカリガラスなど，特殊なガラスの存在が指摘されているが，他地域出土の古代ガラスとの定量値による詳細な比較はなされていない。そこで本研究では，東京大学所蔵の楽浪土城址および楽浪古墳出土の古代ガラスに対して，可搬型蛍光X線分析装置を用いた化学組成分析を行った。さらに我々がこれまでに分析を行ったアジア各地の古代ガラスと比較し，楽浪郡出土のガラス製品との関係を考察した。

2. 分析資料および分析装置

分析資料は戦前に発掘された東京大学所蔵の楽浪土城址および楽浪古墳出土の古代ガラス136点で，いずれも漢～西晋に年代付けられる。出土品は耳璫と珠類（管珠・小珠・連珠他）である。比較資料としては東京理科大学中井研究室がこれまで分析を行った日本各地出土の古代ガラス[3]のほか，東南アジア，中央アジア[4]，インドの古代ガラスを用いた。

化学組成分析には同研究室がOURSTEX（株）と共同開発した可搬型蛍光X線分析装置OURSTEX 100FA-IVを用いた。得られた蛍光X線スペクトルから，検量線法を用いて全20

元素の酸化物換算濃度を算出した。測定は全て非破壊で行った。

3. 分析結果および考察

分析した古代ガラス 136 点を主成分組成に基づいて分類した結果，カリガラス（K_2O-SiO_2 系）35 点，アルミナソーダ石灰ガラス（Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2 系）49 点，鉛ガラス（PbO-SiO_2 系）23 点，鉛バリウムガラス（PbO-BaO-SiO_2 系）29 点の 4 種類に大別できた。また，これらの組成タイプとガラス製品の形状にも対応が見られ，ガラス小珠はカリガラスとアルミナソーダ石灰ガラス，ガラス管珠は鉛ガラスと鉛バリウムガラスであった。耳璫にはカリガラス製と鉛バリウムガラス製の 2 タイプが存在した。カリガラスの小珠と鉛バリウムガラスの管珠は，弥生時代に見られるものと形態のみならず組成も類似であることがわかり，楽浪を通じて入手した可能性がさらに高まった。一方アルミナソーダ石灰ガラスと鉛ガラスは弥生時代ではあまり出土しておらず，遺物中のその割合の多さも楽浪郡のガラスの多様性を裏付ける結果となった。**Fig. 1** に楽浪郡から出土したカリガラスとアルミナソーダ石灰ガラスに関して，微量重元素 Rb_2O, SrO, ZrO_2 の含有量に着目して特性化を行った結果を示した。その結果，楽浪郡のアルミナソーダ石灰ガラスの一部は他地域には見られない微量重元素組成を有していることがわかった。これらのアルミナソーダ石灰ガラスはすべてムチサラのガラス小珠であり，楽浪郡へのガラス流通の経路を示す重要な指標となることが期待できる。今後さらに検討を加えていきたい。

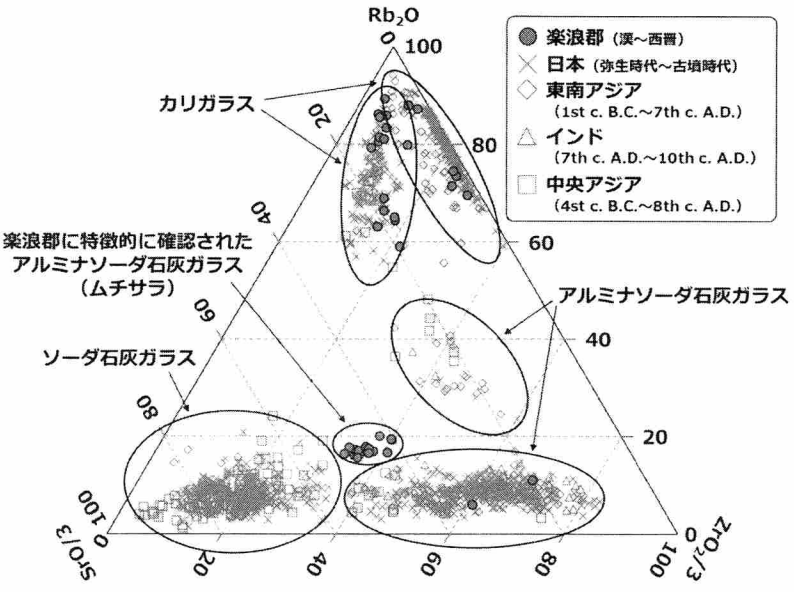


Fig. 1　微量重元素含有量による古代ガラスの特性化

【謝辞】貴重な資料を分析する機会を下さった東京大学の設樂 博己教授に深く感謝致します。なお，本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(B)26303006）の支援により実施されました。

【参考文献】

1) 小寺 智津子:“弥生時代及び併行期の東アジアにおけるガラス製品の考古学的研究”, 東京大学大学院博士論文 (2014).

2) 肥塚 隆保，田村 朋美，大賀 克彦：月刊文化財, **566**, 13-25 (2010).

3) 柳瀬 和也，松﨑 真弓，澤村 大地，中村 和之，森岡 健治，中井 泉：分析化学, **64**(5), 371-377 (2015).

4) 澤村 大地，柳瀬 和也，松﨑 真弓，中井 泉，セルゲイ・ラプチェフ，A. イシラリエバ：日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集, 420-421 (2014).

P-103

長福寺本堂内小壁彩色の自然科学的研究

Scientific research of the painted wall (Kokabe) in Chofuku-ji Temple

○青木智史(奈良教育大学)、池田藍子(奈良県教育委員会文化財保存事務所)、田中希和子(同)、
山田宏(同)

○Satoshi AOKI (Nara University of Education), Aiko IKEDA, Kiwako TANAKA, Hiroshi YAMADA (Office of Cultural Assets Preservation, Nara Prefectural Board of Education)

1. はじめに

奈良県生駒市に位置する長福寺の本堂は鎌倉時代に建立された建物であり重要文化財に指定されている。長福寺本堂は平成24年9月1日から柱の不同沈下を是正する目的から解体修理が行われており、それに伴い彩色が施された部材を詳細に調査する貴重な機会が得られた。長福寺は、寺伝によると鎌倉時代の建長 7 年(1255)に西大寺の叡尊が巡錫した際に寺の荒廃を嘆き、實詮、顕實らの僧を励まして、その興隆を図ったとされている。本堂は弘長2年(1262)には再興され、弘安6年(1283)までの20年余にわたって堂舎の修復に尽力したと伝えられる。本堂の建立年代を明確に記す史料は発見されていないが、建築様式や解体修理に伴う発掘調査および出土遺物から判断して、寺伝に記された弘長 2 年(1262)の建立とみて大過はないと考えられる。長福寺本堂には、天井、長押、柱、小壁板、無目鴨居などが彩色で荘厳されており、柱や長押に描かれた彩色は鎌倉復興期のものと考えられる。また、延宝 6 年(1678)と宝暦 13 年(1763)年の修理札が伝えられており、享徳3 年(1454)と天正 2 年(1574)にも本堂が修理されていたことが記されており、堂内には鎌倉以降の複数時期にまたがる彩色が残されている。今回調査の対象とした小壁板(ほ四-ほ六)の彩色も後述する近赤外線調査の結果から中世末から近世初頭ごろのものと推定される。しかしながら、多くの彩色は経年劣化により黒色化および退色が著しく、肉眼観察のみでは詳細な内容を理解することは困難である。そこで本研究では、初めに近赤外線撮影調査を実施し図像内容を明らかにした後、蛍光 X 線分析による材質分析を実施することで彩色復元に資する情報の提供を試みた。

2. 近赤外線撮影および蛍光X線分析

近赤外線撮影調査にはリコー製 PENTAX 645D IR を使用した。調査では同一アングルから可視光撮影および近赤外線撮影を実施し、その都度光学フィルターを換装して撮影を実施した。本調査では約 860-1100 nm の波長域を近赤外線調査の撮影範囲とした(使用光学フィルター:FUJIFILM IR フィルター IR-86)。

蛍光 X 線分析には、OLYMPUS 製ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置 DELTA DP-2000 Premium を用いた。測定条件は、励起用 X 線ターゲットが Rh、管電圧は 40kV(軽元素測定時は 15kV)、管電流は 200μA、測定部径は 3mm(Mining モード)または 10mm(Soil モード)、計測時間は 270 秒である。撮影および分析は長福寺修理現場プレハブ建屋内にて大気雰囲気下で行った。また、測定は装置を三脚に固定し小壁板表面から 1mm 程度離した非接触・非破壊にて行った。

3. 結果と考察

近赤外線撮影調査の結果、現状は黒色化して赤色部および一部の黄白色部以外は判然としない小壁板彩色(写真 1)の全体像を明らかとすることができた。写真 2 に示したように、小壁板(ほ四-ほ六)には 2 体の飛天が描かれており、左側の飛天は柄香炉を持ち画面左から右に向かって飛ぶ姿で、左側の飛天は体を翻しながら

飛翔する姿となっている。様式的には、中世末から近世初頭ごろのものと考えられる。この近赤外線撮影調査の成果をもとにして、計66箇所の蛍光X線分析を実施した。

以下に、蛍光X線分析の結果について述べる。木部が露出した部分を除き、すべての箇所からAl、Si、Kが検出されており、下地層として白土の使用が推定される。また、長福寺の他時代の彩色部材と異なりKの含有量が多い特徴があり、白土の供給源が異なっている可能性がある。また、本調査において得られた分析結果のうちで、特に興味深い点は飛天の肉身部などの現状黄白色部の分析結果である。肉身部については顔や腕など計6箇所の分析を行ったが、いずれも主要元素としてAl、Si、Kの他にClおよびPbが検出されている。Clは同様の色調を示す髪紐と一部の花の蕊部分で検出される元素であり、いずれもPbとともに検出されている。このことは、この小壁で使用されている鉛系白色顔料が塩化鉛($PbCl_2$)や塩基性塩化鉛(PbClOH)などの塩化鉛系白色顔料である可能性を示唆するものであり注目される。現状で色情報を残している部分としては、上記の黄白色部以外では飛天(左側)の天衣や裳の花文、飛天(右側)の裳の地色、散華などの赤色部だけであるが、この部分からはSおよびHgが主要元素として検出されており水銀朱が用いられていると推定される。また、頭髪や腰布、裳裾、柄香炉、散華、裳の花文などの近赤外線写真で暗色に写っている部分からはCuが検出されており、岩群青や岩緑青などの顔料が用いられていると考えられる。また、裳裾の裏などCuとともにZnが主要元素として得られる箇所があり、髪などの青色と推定される箇所からは検出されないことから、本彩色においてはZnは岩緑青に由来する可能性があり今後さらに検討していく必要がある。図1に示した右側の飛天の天衣は、近赤外線写真で明るく写る面と暗く写る裏面が存在する。明るく写る面からはPbが検出されており、鉛丹や鉛系白色顔料の使用が考えられる。暗く写る面からはFeが主要元素として検出され、ベンガラや黄土などの鉄系顔料の使用が推定される。また、頭飾り、胸飾り、腕釧などから、Auが検出されており、金箔が用いられていると考えられる。以上のように、彩色復元に資する詳細な材質情報が得られた。

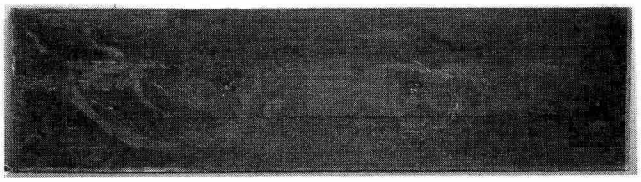


写真1　小壁板（ほ四-ほ六）飛天図の可視光写真

（撮影波長域：380-760 nm）

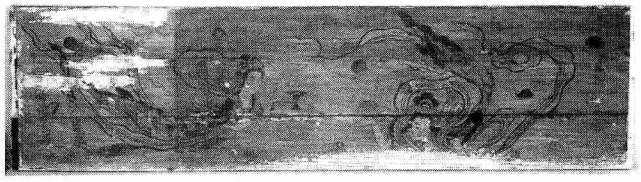


写真2　小壁板（ほ四-ほ六）飛天図の近赤外線写真

（撮影波長域：860-1100 nm）

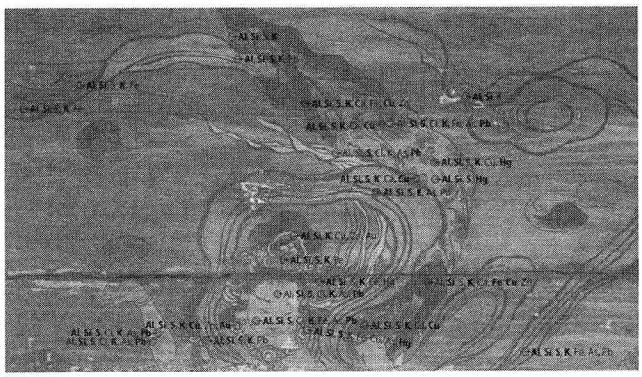


図1　飛天（右側）の蛍光X線分析結果（太字は特に多い元素）

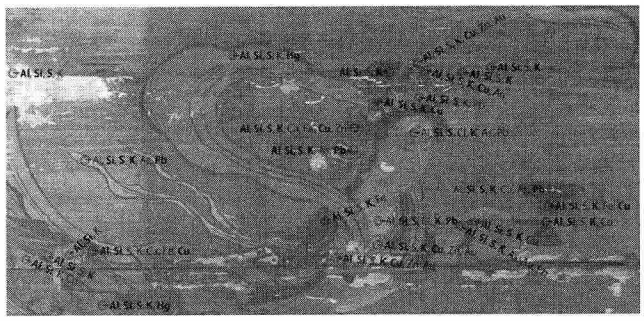


図2　飛天（左側）の蛍光X線分析結果（太字は特に多い元素）

【参考文献】成瀬正和(1992)「奈良時代の鉛系白色顔料」『正倉院年報』第十四, pp.33-58.

P-104

マイクロX線CTを用いた絵画の層構造調査

- 層構造調査へのテラヘルツ波イメージング技法の基礎調査 -

Application of micro X-ray CT to Structural Survey of a Historical Painting

金旻貞(九州国立博物館)、高妻洋成(奈良文化財研究所)

はじめに

文化財に施されている彩色は、単層で構成されることは少なく、多様な機能を有した複数層で構成されていることが多い。彩色塗膜の劣化状態を理解するためには、表面のみならず、表層から下層までの界面の情報を把握する必要がある。情報を得るにはX線を用いることで、表面より下の層についての構造調査が可能であるが、非破壊且つ現場で実行することはきわめて困難である。従って最表面の彩色層の評価に偏っている状況である。このような問題を解決するため、これまでの内部構造調査方法としてテラヘルツ(THz)波とミリ波を利用した新たな分析調査技術を彩色文化財の調査・研究に応用するための研究をおこなってきた。しかしながら、新たに得られた層構造情報に関して確認・検討を行う必要がある。ここでは、前報[1]の検討課題である THz 波の文化財への応用性、有効性を確認するために、層構造等が既知の試片について THz 分光イメージングとマイクロフォーカスX線 CT を用いて比較・検討をおこなった結果を報告する。

方法

2 cm×2 cm×5 cm(放射方向×接線方向×繊維方向)に調製したスギ木材試片の板目面に、水銀朱を用いて試料番号を記入した。さらに、その上に粒度を調整した土(粒径①840-177 μm、②177-37 μm、③37 μm 以下)を被覆層として厚さ 2mm および 6mm にそれぞれ塗り重ねた。また、漆喰を被覆層として 1～5 mm の間で 1 mm おきに厚みを変えて塗布した試験片も調製した。これらの試料片に対してマイクロX線CT像を取得した。CT像は、九州国立博物館の An x-ray micro-computer tomography system (BRUKER、 skycan1272)を用いて撮影した。撮影条件は、X線管球ターゲットにはアルミニウム(厚さ1㎜)にスパッタによりタングステンを蒸着したものを用い、管電圧 80kV、管電流 125μA、ピクセルサイズ 0.48μm でおこなった。テラヘルツイメージングは picometrix 製 T-Ray 4000 を用いておこなった。スキャン条件はワークディスタンスが 15～20 mm、ピクセルサイズ 0.3 mm×0.3 mm でスキャン速度は6mm/sec であった。

結果および検討

マイクロX線CT像は被覆する材料、粒度および厚みの違いに関係なく、全試料について基底材の表面付近、層と層の界面までの情報を明確に得ることができた。前報テラヘルツイメージングでは、粒径が 840-177 μm および 177-37 μm の土を被覆層とした場合、彩色層としての水銀朱の数字を確認する

ことができなかったため、ここでは粒径が 840～177μm の土を被覆層とした試料を紹介する(図1～2)。

同試料に関してマイクロX線CT法を用いた画像で比較してみたところ、粒径が 840-177 μm および 177-37 μm の場合とも被覆層の粒度が細かいほど基底材の近くに集中し、荒い粒子はその上の層、表層に分布していることがわかった。目視で観察する彩色層の情報は層内部に均等に分布しているようにみえるが、マイクロX線CT層からわかるように一つの材料で施した単層の中でも層内部は不均等に分布している。さらに空隙が多く存在することがわかった。以上のことからテラヘルツイメージングでは良好なイメージングができなった理由として THz 波の散乱が生じやすい構造がわかった。

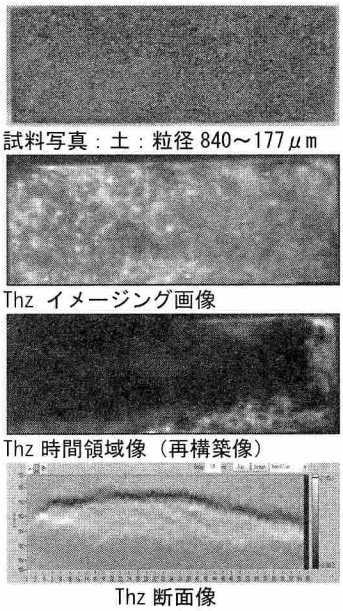


図１．テラヘルツ（Thz）画像

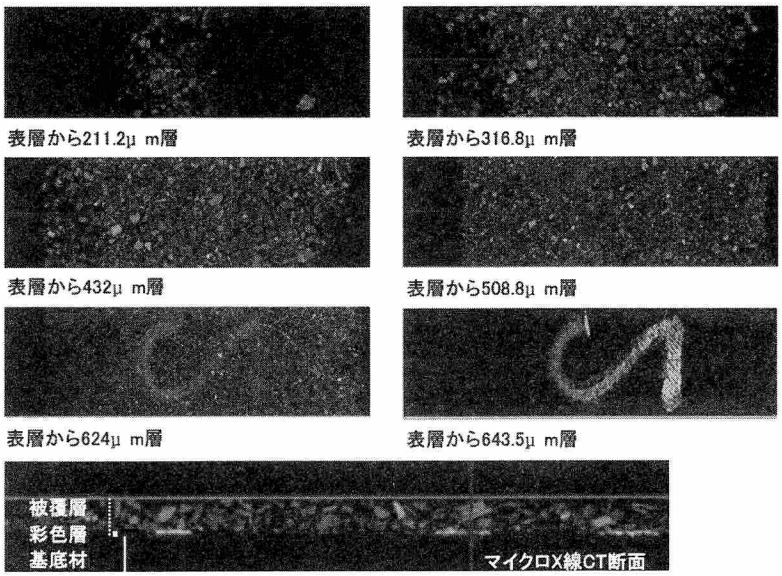


図２．マイクロ X 線 CT 画像

また、漆喰層に関しては層厚によらず、マイクロ X 線画像とテラヘルツイメージングからいずれの場合もイメージングをおこなうことが可能であった。そのことから THz 波を用いたイメージングには、試料を走査する時、層厚よりも粒経が測定因子に影響を及ぼすことを再確認することができた。さらに、マイクロ X 線画像から表層からは平滑に仕上げられているように見えても、層間の界面で粒径差が存在する場合、わずかな浮きが存在していることも確認できた。

まとめ

下地などを含む彩色構造の調査は、絵画の研究および保存・修復を考える上で重要な過程のひとつである。多様な条件で置かれている彩色文化財の内部構造調査を非破壊・非接触の原則でおこなう場合の制約される調査法のことを考慮すると、マイクロX線CTの優れた空間分解能と高速性を絵画資料への基礎研究の有効なツールとして用いて、テラヘルツ波の新たな調査法の検討を続けることが望まれる。本研究ではすでに確立した方法であるX線CT法との比較検討をおこなうことでテラヘルツ波で得られた情報の正確性及び有効性を占めることができた。

---

[1]高妻洋成、金旻貞、福永香ら、『ミリ波およびテラヘルツ波の文化財への応用Ⅰ』、日本文化財科学会第 27 回、2010

P-105

琉球の籐蔓漆器盆の科学分析

Investigation of Ryukyu lacquer ware “Toh-tsuru bon”

山府木碧[1]、宮里正子[2]、岡本亜紀[2]、○宮腰哲雄[1](明治大学理工学部[1]・浦添市美術館[2])

1. 諸言

琉球には数多くの漆器が存在するが、その中に籐蔓で縁を編んだ籐蔓盆（籐縁盆・網代盆）というものがある。複数の素材を複雑に組み合わせているが、板と網代部との接合に釘を用いているものや、釘を用いずに板に穴を開けて蔓を通しているものと技法は様々である。

そもそも籐蔓盆は琉球で全て製作されたものか、中国で製作されたものを輸入したのかもはっきりとしない。琉球漆器の研究は近年ようやく進み始めたが、籐蔓盆に関する研究は全く進んでいない。本研究は琉球で入手した籐蔓盆三枚からサンプルを微量採取し、熱分解-ガスクロマトグラフィー/質量分析（Py-GC/MS）法、クロスセクション法、Sr同位体比分析などの科学分析を行い籐蔓盆に使用された漆や材料、技法などを調査し、それぞれを比較検討し籐蔓盆の製作法を解明することを目的とする。

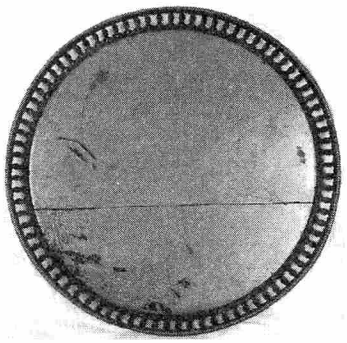


Fig.1 籐蔓円盆

Fig.2 籐蔓角盆

2. 分析試料

今回分析に供じたのは三枚の籐蔓盆のうちの二枚である。一枚は円盆で、朱漆塗りの見込みには沈金で蜻蛉、密陀絵で菊の花が描かれ輪郭線は箔絵で描いている(Fig.1)裏面は黒漆塗り。横方向にひびが入っている。もう一枚は角切の方形盆で楼閣山水図が箔絵で描かれ、岩の輪郭などを肉上げし立体感を出している(Fig.2)。こちらも裏面は黒漆塗り。縁巻の芯材や籐の編み方がかなり異なっており、試料比較的シンプルな編み方であるのに対し、角盆は縁巻の芯材を複数合わせて使っているなど作り方に大きな差異が見られる。

これらの破損部やヒビの箇所から試料を微量採取し、また剥落片も分析試料とした。

3. 結果と考察

円盆から採取した破片をPy-GC/MSを用いて測定を行い、T.I.Cから漆の熱分解生成物であるアルキルフェノール（m/z108）のイオンクロマトグラフを抽出した（Fig.3)。漆膜中

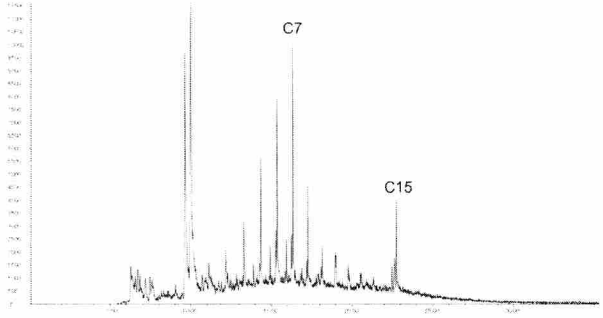


Fig.3 Py-GC/MS(m/z108 extracted ion pyrogram)

のウルシオールの重合物が熱分解して得られる 3–ペンタデシルフェノール(C15)と 3–ヘプチルフェノール(C7)が確認された。このことから円盆には日本または中国産の漆が使われていることが分かった。また、また、カルボン酸(m/z60)のイオンクロマトグラフを抽出した結果、この塗膜には油も混ざっていることが示唆された。

次いで元素分析とクロスセクションを行い、顔料の成分や層構造の把握を試みた(Fig.4)。その結果、下地の上に漆層が1層あり、その上に赤色漆層が塗られていたことがわかった。赤色漆層の顔料は蛍光X線元素分析の結果Hg(水銀)とS(硫黄)が検出された。よって水銀朱(HgS)であるとわかった。この層をよくみると顔料が上に集中し、下には顔料が殆ど見られないことが分かる。通常顔料は層の下に沈むもので、このように上に集中することはまずない。乾燥途中で表裏をひっくり返したために固まり切っていなかった顔料が移動したなどと考えられるが想像の域を出ない。

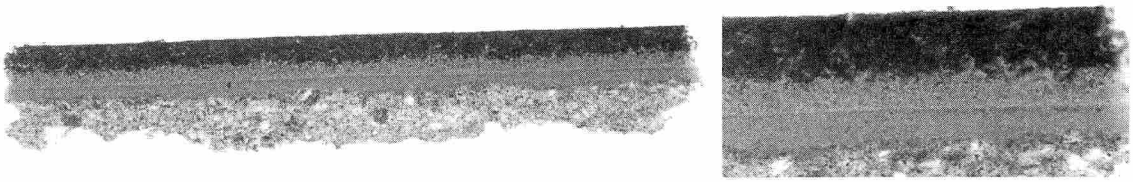


Fig.4 円盆見込みのクロスセクション (左・全体図、右・拡大図)

また樹種同定を行った結果、底板はゴヨウマツ、縁巻の芯材は竹笹類、立ち上がり部分に円形に編まれている蔓はトウ属？(トウの仲間が何属かあるが、それとは区別ができない)であるという結果になった。

この他に角盆はSr(ストロンチウム)同位体比分析を行った。Sr同位体比分析は同位体比分析では列島の漆は$^{87}Sr/^{86}Sr=0.710$以下を示し、それに対して大陸の漆は$^{87}Sr/^{86}Sr=0.712$以上を示すことが報告されている。そのため、東京大学地震研究所のマルチコネクタ型誘導結合プラズマ質量分析計(MC-ICP-MS)を用いて試料を測定したところ、角盆に使用されている漆は$^{87}Sr/^{86}Sr=0.71070$を示し、日本産であることがわかった(円盆は測定中)。

4. 結言

今回は籐蔓盆というものに焦点を当てて複数の科学分析を行った。その結果、円盆・角盆共にウルシオールが主成分である漆が使われ、角盆の漆は日本産であることが分かった。円盆は赤色顔料に辰砂が使用されていた。今後も円盆角盆ともに分析を続け、分析結果から比較検討を行いその構造や材料、技法などがどのようなものか、どのような違いがあるのかを明らかにすることを目的に研究を続ける。

P-106

歯エナメル質の炭素安定同位体比に基づく山梨県古代・中世遺跡出土馬の食性復元

Reconstruction of horse diets in classical and medieval sites in Yamanashi using carbon isotope analysis of enamels

○覚張隆史(北里大学)、植月　学(山梨県立博物館)

【研究の背景】

近年、臼歯エナメル質の炭素同位体比測定が遺跡出土馬の食性復元に用いられている（菊地ほか 2014、覚張 2015)。臼歯エナメル質は摂取した全食物に含まれる炭素に由来する上、一度硬質化が完了すると、後に摂取した食物由来の物質の影響を受けない。したがって、歯の形成時期を加味することで、特定の年齢における摂食様式を知り得るという利点がある。

群馬県の古墳時代遺跡では本手法により雑穀給餌が示唆され、大陸の飼育様式との関連が論じられている（覚張 2015)。本研究では山梨県内出土馬を対象に、同様の飼育方法が古代や中世にも存在したのか、存在したとすれば馬の体格とどのように関連するのかを検討した。

【試料および方法】

歯エナメル質の炭素同位体分析に、バルク試料として２遺跡８点を、同一歯内の複数地点から採取した試料として３遺跡３点の計 11 点を用いた（表)。試料は、工作用ドリル（Dremel 社製）にタングステンカーバー（松風社製）を装着し、エナメル質粉末を約 10mg 採取した。エナメル質の前処理は、覚張（2015）の方法を用いた。乾燥させた試料の一部を、国立科学博物館地学研究部のキールデバイス型安定同位体比質量分析計（Kiel Device-IRMS）を用いて、炭素同位体比を測定した。測定時における国際標準物質の測定精度はともに±0.1‰以下であった。

【結果】

バルク試料としてサンプリングした百々2 遺跡および大師東丹保遺跡出土馬における歯エナメル質の炭素同位体比は、それぞれ-7.3±0.3‰、-7.8±0.8‰であった（表１参照)。また、両遺跡出土馬の炭素同位体比は分散および母平均に有意な差は無かった。

同一試料から複数地点サンプリングした鯉ノ水遺跡、坂ノ上姥神遺跡および三ヶ所遺跡の炭素同位体比は、それぞれ-9.8±0.3‰、-5.7±1.1‰、-5.6±0.7‰であった（表１参照)。

【考察】

Cerling & Harris(1999)に基づいて、本研究で得られた炭素同位体比から、出土馬を C3 植物食者（$\delta^{13}C$<-8‰)、C3/C4 植物食者（$\delta^{13}C$>-8‰、$\delta^{13}C$<-2‰)、C4 植物食者（$\delta^{13}C$>-2‰）の３区分に分類した（図)。その結果、百々２遺跡はすべて C3/C4 中間食者に、大師東丹保遺跡は２個体が C3 植物食者、残りの２個体は C3/C4 中間食者であった。また、複数地点サンプリングした試料は、各個体の炭素同位体比の平均値に基づいて同様に分類した。その結果、鯉ノ水遺跡は C3 植物食者、坂ノ上姥神遺跡および三ヶ所遺跡は C3/C4 植物食者に分類された。日本列島や東アジアにおいて、牧場などで半野生的に放牧された馬の多くは C3 植物食者に分類される。一方、本研究で分析された個体の多くは C3/C4 中間食者に分類されており、これらの結果は出土馬が半野生下では得られない比率の C4 植物を摂取していた可能性を示唆している。

次に、複数地点サンプリングした３遺跡について、歯エナメル質の形成時期間における炭素同位体比の変動を評価した。各試料採取地点の形成時期は、覚張（2015）の歯エナメル質形成時期推定式に基づいて算出した。その結果、鯉ノ水遺跡の炭素同位体比は約 2 歳～4 歳において C3 植物食者の範囲に収まり続けており、大きな変動は見られなかった。一方、坂ノ上姥神遺跡および三ヶ所遺跡の炭素同位体比は 2 歳～4 歳まで C3/C4 中間食者の範囲に収まり続けた。また、三ヶ所遺跡では加齢に伴い炭素同位体比がやや低くなる傾向があり、逆に坂ノ上姥神遺跡では 4 歳以降に 2‰以上の大きな変動が検出されていることから、個体によって C3/C4 植物の摂取パターンが異なると考えられる。この様なパターンの違いは、当時の馬に給餌する飼葉の内容

が年齢によって異なっていた、かつその変化が地域や時代、個体によっても多様であった可能性を示唆する。

百々遺跡、大師東丹保遺跡、坂ノ上姥神遺跡は甲府盆地西部の近接する遺跡である。百々遺跡は近傍に牧を控えた平安時代の大集落であり、大師東丹保遺跡は鎌倉時代の武家居館や水田址などからなる。3遺跡の結果はこの地域において時代を超えて同様の飼育方法が継続していた可能性を示す。また、1点の結果ではあるが、鯉ノ水遺跡のみがC3植物食者に分類されたことは、本遺跡だけが県東部の富士山麓域という異なる環境に立地することによる可能性がある。

次に体格を反映する馬歯サイズとの関連を見る。古墳時代の群馬県三ツ寺I遺跡では、大形の個体で約3歳時頃からC4植物給餌率の上昇が確認され、『延喜式』に見られる上馬に穀類を与える規定との類似が指摘されている。今回の分析では大形に分類される三ヶ所遺跡の炭素同位体比が高い点が類似する。しかし、他に高い値を示した大師東丹保遺跡No.881や、4歳齢頃に急激なC4植物給餌率の上昇が認められた坂ノ上姥神遺跡はいずれも小形であり、馬歯サイズと給餌の関係が一様ではないことも示唆された。逆に大形ながら低い値を示した鯉ノ水遺跡については先述のように立地環境による可能性も考慮する必要がある。

以上の変異が遺跡の立地や性格、馬体などとどのような関係にあるのか、今後さらに試料を増やして検討していく予定である。

表　分析試料

遺跡名	年代	No.など	サイズ	歯種	推定年齢	分析ID	δ ^{13}C PDB
百々2	平安	5号馬	?	臼歯片	-	DD-01	-7.1
		6住	?		-	DD-02	-6.9
		Q98	?		-	DD-03	-7.6
		R62	?		-	DD-04	-7.5
大師東丹保3区	鎌倉後半	No.881	小	P^4	16.9	DH01	-6.6
		No.983	大	P_2	3.5	DH02	-8.8
		No.482	大	P_4	4.2	DH03	-7.9
		No.764	中	M^2	6.6	DH04	-8.0
鯉ノ水	平安(9c前-10c初)	No.857	大	M^3	5.0	KM857U	-9.5
						KM857M	-10.2
						KM857R	-9.5
坂ノ上姥神	平安～中世(9-16c)	3号溝No.4	小	M^3	6.9	SU4U	-6.6
						SU4M	-6.5
						SU4R	-4.2
三ヶ所	中世(-16c)	1号土坑	大	M^3	3.5	SK4U	-4.8
						SK4M	-5.4
						SK4R	-6.5

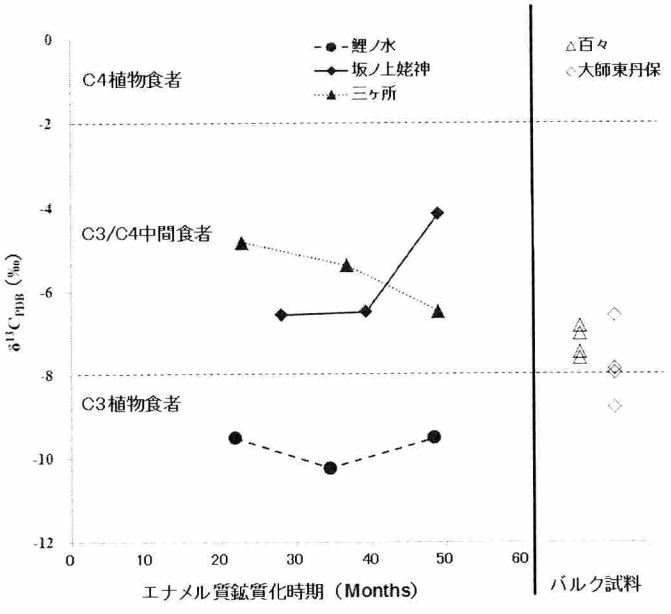


図　山梨県遺跡出土馬における歯エナメル質の炭素同位体比
（左が複数地点サンプリングした試料、右がバルク試料）

謝辞

分析にご協力、ご指導いただいた下記の方々に深く感謝申し上げます。
小林健二（山梨県立考古博物館）
斎藤秀樹（南アルプス市教育委員会）
齋藤めぐみ・鈴木希実（国立科学博物館地学研究部）
杉本悠樹（富士河口湖町教育委員会）、三澤達也（山梨市教育委員会）

引用文献

Cerling, T.E., Harris, J.M., 1999. Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies. *Oecologia*. 120:347-363.

覚張隆史　2015　「歯エナメル質の炭素安定同位体比に基づく三ツ寺I・II遺跡出土馬の食性復元」『動物考古学』32:25-37

菊地大樹・覚張隆史・劉呆運　「西周王朝の牧経営」『中国考古学』14:83-100

P-107

京都盆地中西部、向日市寺戸川河床堆積物の文化財科学的研究(2)

Archeo-Scientific Study on the Fluvial Deposits of Terado-gawa Test Pit Project in Mukou City, Mid-western Lowland of the Kyoto Basin(2)

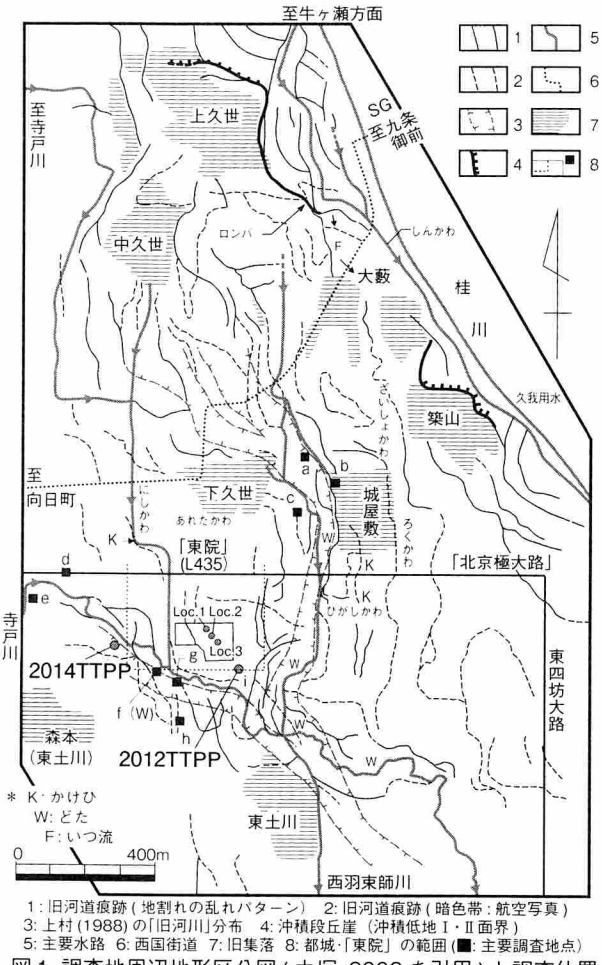
○矢野健一(立命館大学)中塚良(公益財団法人向日市埋蔵文化財センター)
辻本裕也(パリノ・サーヴェイ株式会社)

今回は、昨年度報告した寺戸川縦坑(2012TTPP)の文化財科学的調査の継続調査として、2014年度に実施したボーリング調査(2014TTPP)成果について報告する。

2014TTPPボーリング調査は、清水良治氏のご協力を得て、京都府向日市森本町下町田地内、寺戸川右岸の耕作地において実施し、深度15mまでの堆積物コアを採取した(図1)。

採取コア堆積物の層相、および2012TTPP地点の層相を図2に示す。2012TTPP地点では、約49000年前の更新統の上位に約4900y.B.P(暦年で紀元前3900年頃:縄文時代前期後葉)の河川堆積物が不整合(標高6.5m層準)で累重している状況が確認されている。今回の2014TTPP地点でも同様な堆積層の累重状況が確認されるが、河川堆積物の層厚が約10m(標高3.5m～13.5m)と厚く、地点間層序対比については、放射性炭素年代測定(測定中)に基づく評価を行う予定である。

いっぽう、調査地近隣の長岡京跡左京435次調査区でもボーリング調査(Loc.1～3)が実施されており、層相および周辺地質調査成果に基づいて、図3に示す年代層序区分が行われている(中塚,2002)。このボーリング調査でも標高8m前後層準において、更新統を侵食して堆積する河川堆積物が認められる。各地点で確認された河川堆積物は、ほぼ同時期に形成された可能性は充分考えられる。そうだとすれば、約4900BP頃に大規模な洪水の頻発など、急激な河床上昇をもたらす地形・水文などの環境変化が起こっていることになる。また、同様な変化は京都盆地東部の京都大学構内遺跡でも確認されており(冨井2010)、広域的な環境変化を反映している可能性もある。



1:旧河道痕跡(地割れの乱れパターン) 2:旧河道痕跡(暗色帯:航空写真)
3:上村(1988)の「旧河川」分布 4:沖積段丘崖(沖積低地Ⅰ・Ⅱ面界)
5:主要水路 6:西国街道 7:旧集落 8:都城・「東院」の範囲(■:主要調査地点)
図1 調査地周辺地形区分図(中塚,2002を引用)と調査位置

文献
冨井眞(2010) 先史時代の自然堆積層の検討による大規模土砂移動の頻度試算－京都市北白川追分町遺跡を中心として, 自然災害科学29－2: 163－178.
中塚 良,2002, 第2章 遺跡の位置と環境 長岡京跡左京第435次.「向日市埋蔵文化財調査報告書第55集 長岡京跡左京北一条三坊二町」,(財)向日市埋蔵文化財センター, 13-30.

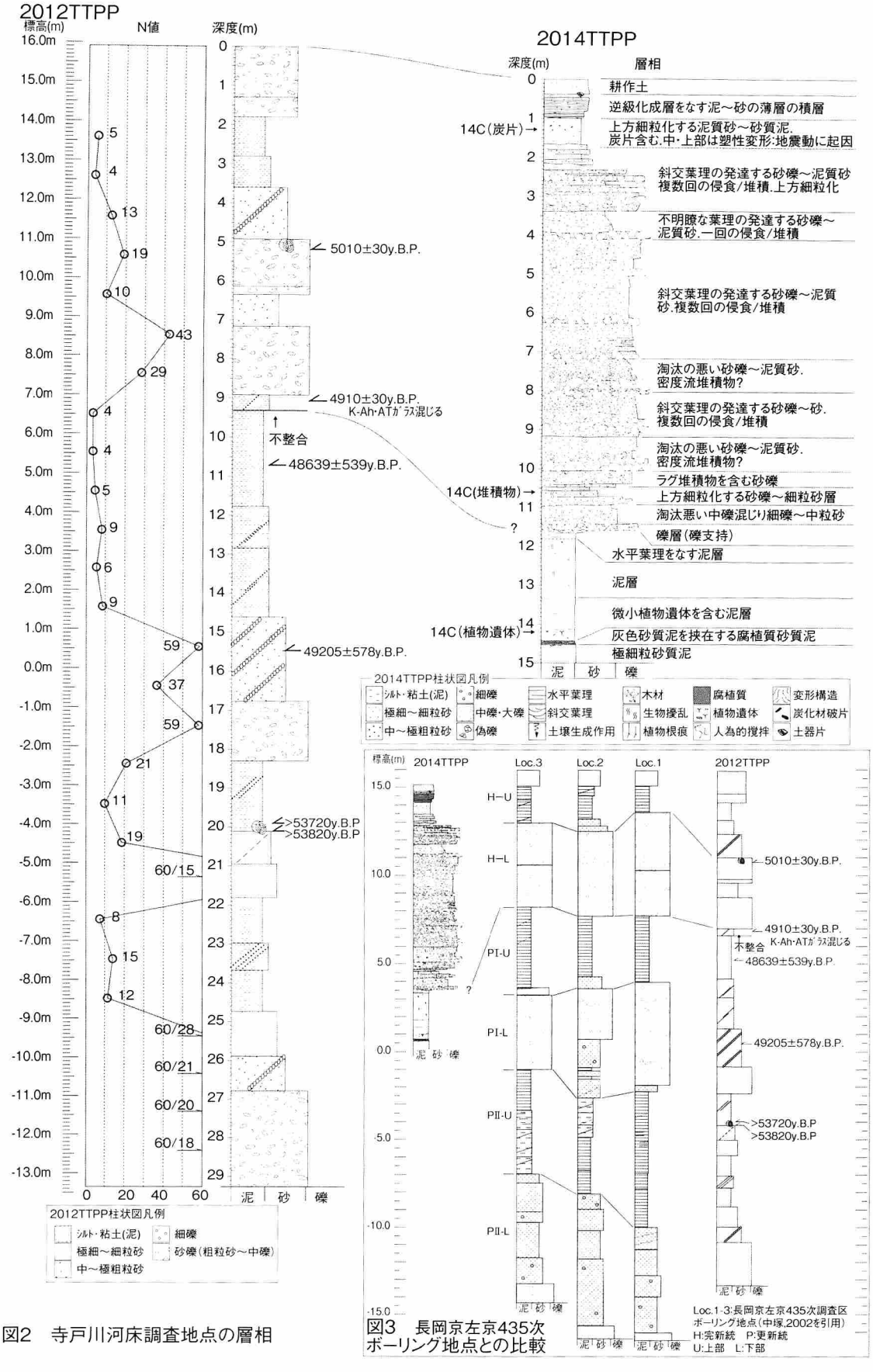


図2　寺戸川河床調査地点の層相

図3　長岡京左京435次
ボーリング地点との比較

P-108

伝統的修復部材の研究
～国重要文化財「通潤橋」における目地漆喰について～
Study on the traditional restoration material
—On the joint plaster of "Tsujunkyo," a national important cultural property

○坂口圭太郎（熊本県立装飾古墳館）Keitaro Sakaguchi・西慶喜（山都町教育委員会）Nishi Yoshinobu・大津山恭子（山都町教育委員会）Kyoko Ohtsuyama・朽津信明（東京文化財研究所）・Nobuaki Kuchitsu

1 はじめに

熊本県上益城郡山都町に所在する通潤橋は江戸時代の嘉永 7 年（1854 年）に布田保之助により架橋された水路橋で、サイフォンの原理を利用した通水技術で知られており、建築史からの評価が極めて高い。また架橋以来、地元の方々の手によって橋の維持管理が行われている事も特筆される。

この維持管理において、蘇熔結凝灰岩製の通水管を繋ぎ合わせるための「目地漆喰」は「通潤橋仕法書」[注1]にその材料や製法が伝承されてきた。しかしながら、熊本県内において、このような伝統的修復部材を使った維持管理は同県宇土市の轟泉水道[注2]の「がんぜき」以外は行われていない。

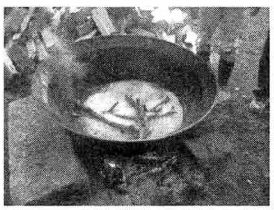
本研究の目的は通潤橋に使われている「目地漆喰」の特性を明らかにし、国重要文化財である通潤橋の維持管理に役立てることである。

2 「目地漆喰」の材料

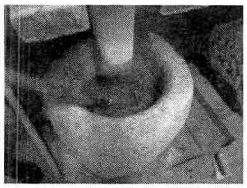
仕法書には単に「土」と記載されているが、粒子が微細な粘質土、いわゆる赤土を用いる。 次に「白灰」とあるが、これは Ca を主成分とし、現在も土蔵等の壁に塗られる「漆喰」の主原材料である石灰岩や貝殻等を高温で焼成した「消石灰」である。次に「砂」とある。これは「真砂」と呼ばれる粒がそろった川砂から採取するよう記載されている。これはコンクリートで強度を上げるための「骨材」であると考えられる。次に「塩」である。これは消石灰の硬化反応を進めるためと従来考えられてきた。その理由として塩化カルシウムが融雪剤として広く用いられていることにある。最後に「松葉の煮汁」が必要とされる。これは「南蛮漆喰」の製法において牡蠣灰に菜種油を加えるとされることから、耐水性や防水性を高める効果と考えられる。しかしながら菜種油は高価であり、通潤橋では大量に消費する必要に迫られて、松に含まれる油を代用品として使った可能性がある。

3 「目地漆喰」の製作手順

「松の枝葉の煮汁」は鉄製の大鍋に水を張り、葉がついた枝ごと投入する写真①。その後煮汁が薄墨色になるまで時間をかけて煮詰めていく。「土」は事前に乾燥しておく。その後材料を混合わせた後、松の枝葉の煮汁を加えなじませておく。石臼にこれらの材料を入れて突く。写真② 突く際には、材料が均等に混ざるよう返しながら粘りが出るまで突いていく。この作業はいわゆる「餅つき」に似ている。また「目地漆喰」の製作に要する時間や材料の配分比率も外気温や湿度あるいは赤土の湿り具合によって変えなければならない。また「目地漆喰」の仕上がり具合は製作者が確かめながら決定している。

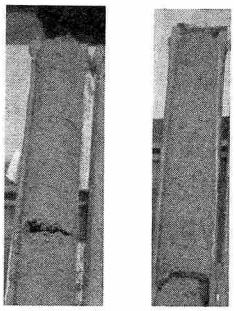


写真① 松葉煮汁製作の様子



写真② 石臼による突き

4 「目地漆喰」と「がんぜき」の違いについて

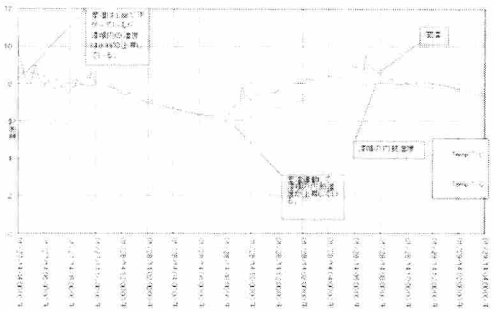


写真③
左（貝灰）・右（消石灰）

轟泉水道の「がんぜき」と通潤橋の「目地漆喰」と比較をする。まず材料として通潤橋では「消石灰」を用い、轟泉水道では「貝灰」を用いる。この違いとして消石灰は貝灰に比べて比重が重いため、通潤橋の送水管での詰め替え作業[注2)]において突き硬めに適していると考えられる。一方で轟泉水道の「がんぜき」は、送水管の亀裂から生じた漏水防止と石蓋の接着を目的にしており、通潤橋の通水管をつなぐ目づめが目的である「目地漆喰」とは使用目的が異なる。このことは試験的に行った竹筒に詰めた両者の比較写真からも裏付けられる。[写真③]次に製作方法の違いについて述べる。「がんぜき」が使用する直前に製作するのに対し「目地漆喰」は「突き戻し」と呼ばれる作業工程が必要とされ1日から2日ほど寝かして再度突く。この作業の目的は「仕法書」でも理由が書かれていない。今回の研究では、その理由を明らかにするための基礎データ取得を目的に「目地漆喰」の温湿度や硬さの変化について観察と温度データ計測を実施することとした。

5 「目地漆喰」のモニタリング

「目地漆喰」のモニタリングはこの漆喰の温度変化、室温、表面の測色、水分量、質量のデータ収集と表面観察とした。右のグラフは約3日間の調査結果をまとめたものである。モニタリング開始直後から室温は下降しているのに反し、漆喰はわずかながら上昇している。これは漆喰中の石灰とナトリウムの化学変化で発熱しているためと考えられる。測定開始から1時間を経過すると漆喰内部の温度は下がり始める。この時の表面観察では明らかな表面硬化は認められない。また、この表中の水分量測定を見ると漆喰製作後に内部の水分量が大きく下がる。この事は、水分量の低下と漆喰の硬化に関連性がある事を示唆する。



グラフ①　目地漆喰の変化

また触診において表面硬化に至る時間が「突き戻し」の方が長いことが判明した。このことは「目地漆喰」が固まることを遅らせることで、詰め替え作業に要する時間の確保か「漆喰」の容量を担保する可能性が考えられる。より明確にするために今後のモニタリング内容を検討する必要があると考える。

6 最後に

今回調査した通潤橋で用いられている「目地漆喰」の製法は通潤橋の送水管の維持管理に携わった人々の経験と創意工夫を重ねた結果として正しく伝承されている。この伝統的材料としての「漆喰」から派生したと考えられる「目地漆喰」は、現在では他に類を見ない貴重なものである。また全国に残る石造文化財の保存のためにも、今後も通潤橋で用いる「目地漆喰」を後世に継承していくためには、単なる製法の解明や作業手順の記録保全に留めるのでは無く、地元の管理組合の方々で製作から補修まで実施できる体制づくりが不可欠である。また伝承されてきた製法と作業手順は「職人技」であり、後世に語り継いでいかなければならないものと考える。

謝辞　この研究にあたって、通潤橋を管理する組合員の方々、通潤橋の保存に御尽力されている地元の役場職員を初めとする多くの方々のご協力でこの研究がすすめられた事に感謝申し上げます。

参考文献　坂口圭太郎・池田朋生・朽津信明 2011『装飾古墳修復部材の研究「がんぜき」を用いた試み』日本文化財科学会第 28 回大会
筆者不詳（伝 布田保之助）　「通潤橋仕法書」江戸時代カ　（通潤地区土地改良区 所蔵）

註1）通潤橋仕法書とは安政元年（1854年）に架橋された通潤橋の構造や設計、維持管理に必要な「目地漆喰」の製法などを記した書物である。通潤橋の維持管理の為に必要な事柄を記してあるが、記された年代や筆者は不明である。

註2）轟泉水道は江戸時代の寛文3年（16639に造られた簡易水道で、今現在も100戸余りの家々の上水道として使用されている。

註3）詰め替え作業に立ち会った際に作業を行っていた方の貴重なコメントである。

P-109

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地域的特性化

Chemical Characterization of Medieval Glass Artifacts Excavated from Fukui and Kyoto Prefectures by Nondestructive X-ray Fluorescence Analysis

○馬場 慎介（東理大・理），川越 光洋（一乗谷朝倉氏遺跡資料館）
山本 雅和（京都市埋蔵文化財研究所），竜子 正彦（同左），井上 暁子（東海大・教養）
澤村 大地（東理大・理），村串 まどか（同左），柳瀬 和也（同左），中井 泉（同左）

1. 序

日本においてガラスは弥生時代前期末からみられるが、日本国内で原料からガラスを作り出す一次生産が開始されたのは鉛ガラスであり、古墳時代末期以降とされる[1]。その後、国内のガラス生産は一時衰退するが、10 世紀後半になると中国から新たな組成を持つカリ鉛ガラスが製造技術とともに流入し、中世以降の国内ガラス生産の中心となった[2]。ガラスの化学組成は原料の種類や採取地の違いを強く反映することから、製造地域や時代の特性化に有効である。ガラスを含む文化財の非破壊化学組成分析においては蛍光 X 線分析（XRF）が有効だが、X 線を吸収しやすい鉛を主成分として含むカリ鉛ガラスは XRF による定量が難しいとされてきた。そのため、中世以降のガラスに対する蛍光 X 線分析による化学組成分析の例はごく少数である。さらに、その中でも化学組成からガラスの流通について議論している研究はほとんどない。そこで本研究では XRF によるカリ鉛ガラスの定量法を確立した。そして開発した手法を用いて、福井・京都の遺跡で出土したガラスの化学組成による特性化を行うことを目的とした。また、東京理科大学中井研究室が以前に測定を行った平等院鳳凰堂で発見されたガラスの化学組成と比較することで中世のガラス変遷について時代的な考察も行った。

2. 測定方法

分析資料は、室町時代 16 世紀中ごろの福井県一乗谷朝倉氏遺跡出土のガラス容器片、ビーズ 91 点と、平安～江戸時代の京都市の 11 箇所の遺跡から出土したガラスビーズ 120 点である。うち朝倉氏遺跡出土のリブ付装飾ガラス容器片、紫色ガラス容器片、京都市平安宮豊楽殿出土のガラスビーズの 3 点は重要文化財に指定されている。色は透明緑色、乳濁水色、紺色、紫色、無色透明など様々である。化学組成分析には東京理科大学中井研究室が OURSTEX（株）と共同開発した可搬型蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA[3-4]を用いた。アルカリケイ酸塩ガラスについては、検量線法を用いて全 22 元素を酸化物換算濃度として算出した。鉛ケイ酸塩ガラスについては、鉛含有量に応じた補正を施した補正検量線を用いて定量を行った。なお、鉛含有量についてはアルキメデス法による密度測定の結果より算出した。測定は全て非破壊で行われた。

3. 鉛ガラスの定量法

鉛ケイ酸塩ガラスの定量法の検討として、鉛の自己吸収効果の影響を評価するために、鉛含有

量の異なる系列（A～E）の自作標準試料を作成した[5]。各系列内では、鉛以外の定量対象元素（15 元素）の含有量を変化させ、XRF により得られた各元素の強度と配合比から求めた化学組成を用いて検量線を作成した。ここで各元素の検量線の傾きは、鉛含有量に対する関数として表せることから、密度から求めた鉛含有量により各元素の検量線の傾きを補正することが可能となる。この補正検量線を用いて、全 15 元素を精度よく定量することができた。

3. 結果と考察

測定したガラス 211 点を化学組成に基づき分類した結果、201 点がカリ鉛ガラス、4 点がカリ石灰ガラス（K_2O-CaO-SiO_2）、6 点がアルミナソーダ石灰ガラス（Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2）であった。カリ鉛ガラスおよびカリ石灰ガラスは主に中世以降で見られる組成タイプのガラスとされており、中世の福井・京都でも、当時の日本で広く流通したガラスが流通していたことがわかった。ここで透明緑色カリ鉛ガラス 49 点に着目し、鉄、銅および亜鉛の含有量比を三角ダイアグラムとして Fig. 1 に示した。比較として、平等院鳳凰堂で発見された緑色透明カリ鉛ガラス容器片[6]1 点の組成についてもプロットした。Fig.1 より、透明緑色カリ鉛ガラスは 3 つに分けられることがわかった。鉄および銅はカリ鉛ガラスにおいて緑色着色剤として機能し[7]、福井・京都・平等院において異なる着色要因の、起源が異なる透明緑色カリ鉛ガラスが流通していたことが明らかとなった。また同じ京都の資料であっても時代により緑色着色に違いが見られ、流通したガラスの起源が異なる可能性が示唆された。アルミナソーダ石灰ガラスは古墳時代に、多く流通したガラスとされる[8]。本研究で見つかったアルミナソーダ石灰ガラスは、古代日本で広く流通したタイプと類似した化学組成を有していたため、古代からの伝世品である可能性も示唆された。

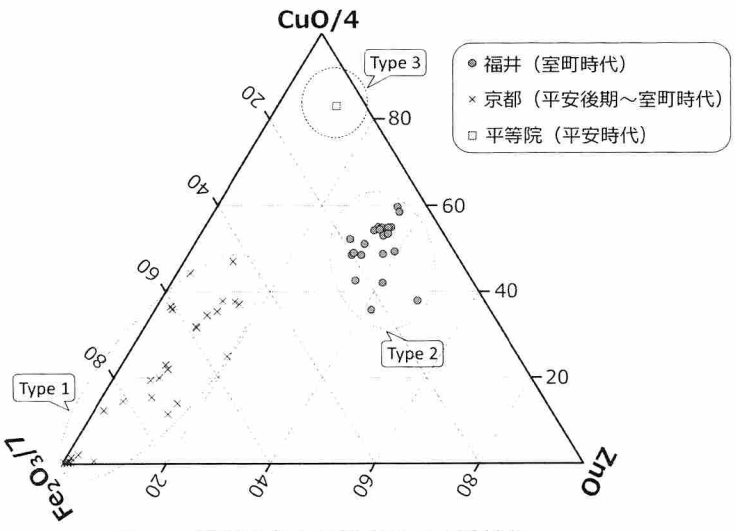


Fig. 1　透明緑色カリ鉛ガラスの特性化

【謝辞】
貴重な文化財の調査機会をくださった福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館、京都市埋蔵文化財研究所の関係者各位のご協力に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】
1）肥塚隆保，田村朋美，大賀克彦：月刊文化財，**566**，13-25(2010).
2）降幡順子，比佐陽一郎，斎藤 努：考古学と自然科学，**66**，25-42 (2014).
3）菊川 匡，阿部善也，真田貴志，中井 泉：X 線分析の進歩，**40**，325-337 (2009).
4）K. Tantarakarn, N. Kato, A. Hokura, I. Nakai, Y.Fujii, S. Gluščević：*X-Ray Spectrometry*，**38**(2)，121 (2009).
5）権代 紘志,阿部善也,中井 泉：X 線分析の進歩，**42**，325-340 (2011).
6）白瀧絢子，中井 泉，井上暁子：鳳翔学叢，**7**，149-170 (2011).
7）伊藤 彰："-ガラスにおける-炎と色の技術"，アグネ技術センター，pp.70-90 (1997).
8）柳瀬和也，松﨑真弓，澤村大地，橋本英俊，東 憲章，永濵功治，中井 泉：X 線分析の進歩，**45**，279-303 (2014).

P-110

平安期緑釉陶器の色彩学的検討２
Chromatic research of the green glazed ware of the Heian Period 2

○田中由理（公益財団法人　元興寺文化財研究所）

１．はじめに

平安期緑釉陶器の生産は、東海（愛知・岐阜）、近江、畿内、防長（山口）といった限られた地域で行われたとされており、産地ごとに胎土や釉調が異なることから、それが産地同定の指標となってきたが、その色の表現には、これまで濃緑色や淡緑色、若草色などの感覚的かつ主観的な色名が用いられがちであり、客観的な記述が十分になされていなかった。その理由としては、分光測色計などの客観的な測定結果と、目視で感じる色との間に大きな開きが生じるために、器械計測が敬遠されてきたことがあったと考えられる。しかし主観的な色の表現では、研究者間の認識を共有することは難しく、産地同定の基準もあいまいにならざるを得ないため、色調の客観的表現方法の確立が必要とされる。

２．既往の研究

筆者はこれまでJISの標準色票（目視計測）や分光測色計（器械計測）などを用いた客観的な計測を行って結果を比較したところ、器械計測の結果としての色の値（L*a*b*値、マンセル値など）に比べて、分光反射率のスペクトルを比較することにより、目視とも共通する色の特徴を見いだせる可能性があると考えた（田中 2012、2014）。そこで、まず原料が確実にわかり、色が比較的安定的に出やすいテストピースの焼成実験を行うことにした。ただし平安時代の緑釉陶器は低火度の鉛釉であり、製作するのが困難であるため、まずは作るのが容易な、高火度焼成の灰釉である一般的な陶芸材料を用いて、銅や鉄などの呈色剤を加えた釉薬の焼成実験を行った。

前回の実験（田中 2014）では、岐阜の五斗蒔土という粘土を胎土として、銅釉や鉄釉の釉調を計測したところ、銅釉の緑色や鉄の酸化釉の茶色や黄色などの分光反射率の傾向を明らかにすることができ、これが実際の緑釉陶器の測定結果（田中 2012）とも共通することが分かった。しかし、胎土が白色に近かったため、透明の釉薬に胎土の色が透けて、釉調にどのような影響を及ぼすかという点については検討できず、問題が残った。

３．復元実験

３-①　テストピースの焼成

昨年の実験とその課題を踏まえ、今回の実験では、前回の白色の胎土（岐阜の五斗蒔土）に加えて、赤色の胎土として信楽の並漉赤土も使用して、比較対象とすることにした。釉薬と焼成条件については、緑釉陶器が該当する「銅を主とした釉の酸化焼成」に対象を絞り、いろいろな釉をかけた場合の釉調の違いを測定することにした。釉薬は表１のように2通りの方法で配合した。

焼成実験は、岐阜の五斗蒔土（以下、白色胎土とする）も信楽の並漉赤土（以下、赤色胎土とする）の場合も同様に、以下の

表１　釉薬の配合（数値は基礎釉全体を100とした場合の割合）

Ⅰ釉：石灰透明釉（１号釉）を基礎釉として呈色剤を変化

	1	2	3	4	5	6	7	8
１号釉	100	100	100	100	100	100	100	100
酸化銅	1	2	0.5	1	1.5	5	5	5
弁柄	0	0	1.5	1	0.5	0	0	0
合成土灰	0	0	0	0	0	0	20	50

Ⅱ釉：呈色剤は一定で、基礎釉の配合を変える

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
釜戸長石	50	40	40	30	30	30	20	20	20	20
合成土灰	30	40	30	50	40	30	60	50	40	30
朝鮮カオリン	0	0	10	0	10	20	0	10	20	30
天草陶石	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
酸化銅	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

ような手順で行った。①テストピースを作り、800 度(8 時間)で素焼きを行った。②その後、釉薬を配合して、テストピースに掛けた。③本焼成は最高 1230 度で、12 時間かけて酸化焼成を行った。実験に用いた小型電気窯は、日陶科学(株)製の STD-NU 還元仕様である。図 1 に、I の釉薬をかけて焼成したテストピースの写真を示す。

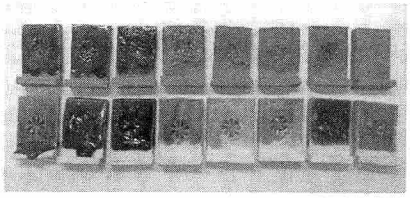


図 1　釉薬のテストピース
(上段：赤色胎土　下段：白色胎土)

3-②テストピースの色調計測

本焼成まで終えたテストピースは、コニカミノルタ製の分光測色計 CM-2600d で釉調及び胎土の色調を測定した。各波長の分光反射率をグラフに表した。図2に、テストピースの計測結果の一部を示す。

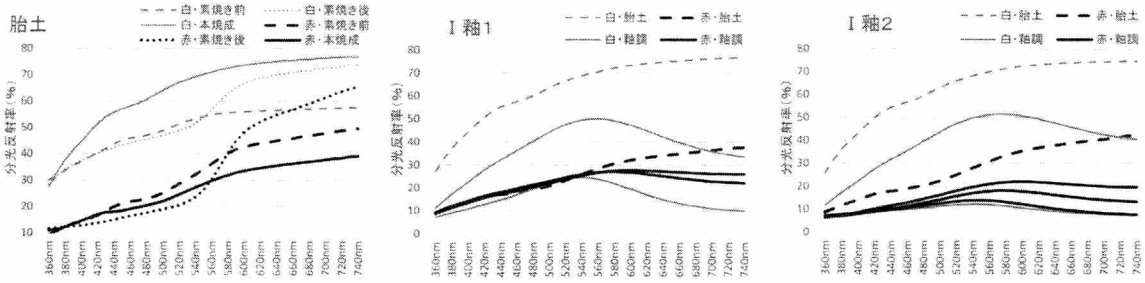


図 2　釉調の計測結果

3-③計測結果の解析

白色・赤色の胎土の素焼き前・素焼き後・本焼成後の色を比べると、それぞれ白色・赤色の胎土で色調は大きく異なるものの、素焼きで分光反射率が上がる高波長の部分と、本焼成で分光反射率の変化が見られる 450nm 付近など共通点が見られる。

I 釉1と I 釉2(銅の割合が少なめ。基礎釉 100 に対し、それぞれ1、2)については、赤色胎土のほうが、釉厚が薄かったためもあるが、赤色胎土のほうが高波長の部分で高い分光反射率を保っており、胎土の色に強く影響を受けていることが分かる。しかし、低波長の部分を見ると、胎土には必ず見られる 450nm 付近のグラフのへこみが釉調の方には一切見られず、また緑色のピークと考えられる 540～580nm の箇所でのピークが確認できるように、釉薬の色を示す部分が確かに認められた。

その他のテストピースについても、白色胎土の場合に胎土の色に影響されず釉の色がよく分かるのに対し、赤色胎土では高波長部分で特に胎土の色の影響を強く受けているものの、ある程度釉の色を反映した分光反射率グラフになっていることも確認できた。

4．おわりに

以上のようなテストピースの焼成実験を通して、銅釉の持ついろいろな色のバリエーションとともに、胎土の色が異なることによって、その釉調が如実に影響を受けることが分かった。しかし釉薬の薄さ・厚さによっても、釉調の色の出方は異なり、さまざまな条件(胎土の色・釉薬の厚さ)のものを比べることによって、釉薬の色に迫ることができる可能性を秘めているだろう。こうした点は、実際の緑釉陶器の資料とも比較して、その色の出方のパターンを検証していかなければならないと考える。

本研究は、JSPS 科研費25770283(平成 25～27 年度科学研究費　若手研究(B)「平安期緑釉陶器の色彩学的研究」)の助成を受けたものです。

参考文献

田中由理 2012「緑釉陶器の色彩学的検討」『篠窯跡群大谷3号窯の研究』大阪大学考古学研究室篠窯調査団
田中由理 2014「平安期緑釉陶器の色彩学的検討」『日本文化財科学会第 31 回大会　研究発表要旨集

P-111

大明通行宝鈔・至元通行宝鈔の真贋判定に向けての基礎研究

The basic study on authenticity determination of Ming and Yuan dynasty banknotes

○坂本昭二(龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター)
小田寛貴(名古屋大学年代測定総合研究センター)
○Shouji SAKAMOTO (Ryukoku University Digital Archives Research Center)
Hirotaka ODA (Nagoya University Center for Chronological Research)

1. はじめに

中国で発行された大明通行宝鈔や至元通行宝鈔などの宝鈔は紙幣であるために、発行された当時から偽造が行なわれていたと見られ、紙幣に偽造した者に対する懲罰が印刷されている。さらに現代において作成された偽物も大量に出回っており世界中に存在している。従って、専門家もどれが本物でどれが偽物かが把握できないのが現状である。このような経緯から2013年5月に大英博物館において大明通行宝鈔に関する学際的なワークショップが開かれた[1]。これを受けて本研究ではフランス国立図書館(BnF)所蔵の大明通行宝鈔(Chinois 1133)、そして個人所有の大明通行宝鈔2点と至元通行宝鈔1点の顕微鏡分析を行った。さらに、個人所有の宝鈔3点についてはC14年代測定も行なった。

2. 大明通行宝鈔、至元通行宝鈔

大明通行宝鈔は明代の洪武八年(1375年)に中書省において発行され始めた紙幣で、この壱貫文札は世界最大の紙幣である。この紙幣には、「偽造した者は死刑で、偽造者を告発した者には銀250両と犯人の財産を与える」と明記され、朱印が表に2箇所と裏に1箇所押されている。明代の法律書である『大明会典』の巻三十一によると、この紙幣は桑の茎を材料にして作り、高さ一尺(約34cm)、幅六寸(約22cm)、質は青色、外枠は龍文花欄、小篆文字で左右に「大明宝鈔」と「天下通行」と計8文字が記されている。

至元通行宝鈔は元代の至元二十四年(1287年)に尚書省において発行され始めた紙幣でパスパ文字で左側に「至元宝鈔」と右側に「天下通行」と記されている。

本研究で分析した宝鈔は以下の4点の資料である。(資料1)BnF所蔵の本物とされている大明通行宝鈔の壱貫(Chinois 1133)(図.1参照)。この宝鈔はフランスで活躍したドイツ出身の東洋学者のユリウス ハインリッヒ クラプロート(Julius Heinrich Klaproth, 1783-1835)が所蔵していたと思われる物で、この宝鈔とともに上述の大明宝鈔の印刷文のフランス語訳と1822年10月の彼のサインが記されている書類も存在する。彼はロシアによる中国への使節団派遣に随行した際に現地で大量の書籍を収集しているが、この宝鈔の入手の経緯に関してははっきりしない。彼は西洋に古い中国の紙幣の存在を学術的に紹介した最初の人物でもある[2]。そして、(資料2)大明通行宝鈔の壱貫、(資料3)同じく大明通行宝鈔の壱貫、(資料4)至元通行宝鈔の壱貫である。

3. 分析

すべての資料で目視観察を行い、BnF所蔵の大明通行宝鈔(Chinois 1133)についてはデジタル顕微鏡(Keyence VHX-1000)による紙表面の観察を行なった。その他の資料3点については、顕微鏡観察、及び、C14年代測定も行なった。

・目視観察

資料1～3は大明通行宝鈔の壱貫で同じ紙幣あるが、それぞれ印刷された文字や模様のパターンや紙質に若干の違いがあるのがわかる。紙色は灰色で、朱印の色は資料1、2と4はオレンジ色であるが、資料3は比較的赤い色をしている。簀の目模様は縦方向で1cm当たり資料1が6本、資料2と4は7本で、資料

3 は簀の目模様が確認できなかった。

・顕微鏡観察

以下に顕微鏡観察でその存在が確認できたものを列挙し、特徴のあるものに下線を引いた。

○資料 1(Chinois 1133):桑(又は楮)繊維(図.2 参照)、方形結晶、朱印はオレンジ色の顔料に若干の赤色顔料が混ざる、大きさが数 μm 程度の鉱物質の粒子
○資料 2(DMT1):桑(又は楮)繊維、細い繊維、多数の方形結晶、非繊維細胞(柔細胞など)、紫色の繊維束(結晶が付着)、黄色の繊維束、微量のピンク色繊維、青色染料、朱印はオレンジ色の顔料に若干の赤色顔料が混ざる
○資料 3(DMT2):桑(又は楮)繊維、多数の方形結晶、黄色の繊維束、朱印はオレンジ色の顔料
○資料 4(DMT3):桑(又は楮)繊維、細い繊維、多数の方形結晶、非繊維細胞(柔細胞など)、紫色の繊維束(結晶が付着)、黄色の繊維束、朱印はオレンジ色の顔料に若干の赤色顔料が混ざる

これらの結果から材料に差があることが確認された。資料 2(大明宝鈔)と資料 4(至元宝鈔)は作成された時代が違うにもかかわらず、材料の特徴に共通点が多い。

・年代測定

資料 2〜4 のすべてが 1950 年代以降に作成されたものであった。(注:資料 1 は分析していない。)

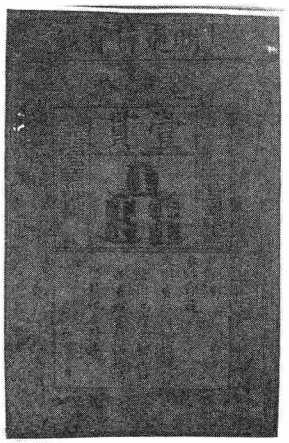


図.1 Chinois 1133 (BnF 所蔵)

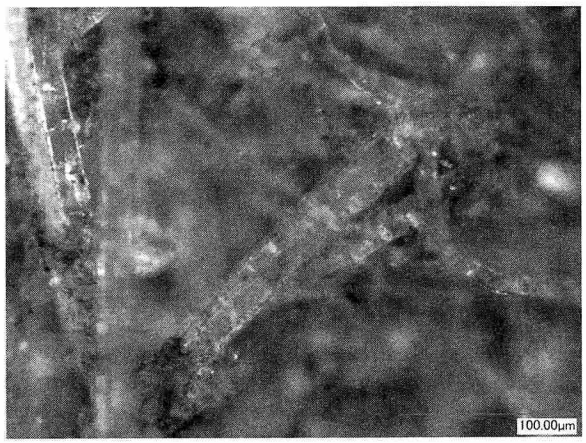


図.2 桑 (又は楮) 繊維 (Chinois 1133)

4. まとめ

本分析において、資料 2〜4 の宝鈔 3 点に関しては C14 年代測定によって明確に偽物であることを示すことができた。さらに、資料 3 は資料 2 と 4 と目視と顕微鏡観察において明確な違いがあるので偽物にも種類があることがわかった。これらの偽物と資料 1(BnF 所蔵の宝鈔(Chinois 1133))とを比較した結果にも紙質や原材料に違いがあった。BnF 所蔵の宝鈔は本物と信じられているが、それを示せるだけの知見はまだ集積されていない。今後、多数の宝鈔を分析して情報を集積していく必要がある。

参考文献

[1] Caroline R. Cartwright, Christina M. Duffy and Helen Wang: Microscopical examination of fibres used in Ming dynasty paper money, British Museum Technical Research Bulletin, Vol. 8, p.105–116, 2014

[2] Klaproth, Julius von: Sur l'origine du papier-monnaie, Journal asiatique, 1, 1822

P-112

敦煌文書における紙繊維配向性について

Paper fibre orientation of Dunhuang documents

○坂本昭二、岡田至弘
龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター
○Shouji SAKAMOTO, Yoshihiro OKADA
Ryukoku University Digital Archives Research Center

1. はじめに

紙表面の繊維を観察すると、多数の繊維が一定方向に並んでいるパターンもあれば、ランダムに様々な方向を向いているパターンもあることがわかる。このような繊維配向パターンは紙を漉いた時の動作に起因するものであるが、これを観察することによって紙を漉いた時の手法を推定することができる。近年、このような紙表面の繊維配向についての研究が盛んに進められている [1]。一般に紙を漉く際には、漉き簀を前方から手前に動かし、紙料液の中の繊維を掬う動作を行なう。これによって、紙の簀に接している面(簀面と呼ぶ)は簀の並ぶ方向と垂直方向に繊維が並ぶことになる。一方、紙の簀に接していない面(汲み込み面と呼ぶ)は、紙漉工の動作によって繊維配向が生じたり、繊維配向が見られない場合もある。紙漉工が捨て水や簀を揺らすと汲み込み面に繊維配向が生じ、紙漉工が何もせずに水が落ちるまで待った場合には繊維配向は生じにくい。本研究では、フランス国立図書館所蔵のペリオコレクションと大英図書館所蔵のスタインコレクションから選んだ漢文で書かれた敦煌文書359点の繊維配向性と書写面について調べた結果を報告する。

2. 分析方法

紙表面の繊維配向の観察には高解像度デジタル顕微鏡(Keyence VHX-1000)を用い、光源はリング照明、倍率100倍(実解像度: 2 [μm/pixel])での観察及び撮影を行なった。観察は裏打ち紙などがない限り表と裏の両面を観察し、撮影はランダムに両面各 10 箇所程度撮影した。分析した文書の多くが巻子本で多数の紙が継がれているが、すべての紙を分析せずに1紙から数紙を選んで観察した。ペリオコレクションの分析で撮影した画像はインターネット上に公開されている [2]。

例: フランス国立図書館所蔵の景龍二年(708 年)の記年を持つ敦煌文書「本際經疏 巻第三」(Pelliot Chinois 2361)の第 11 紙は表側の書写面に繊維配向が見られ(図.1 参照)、裏側にはあまり見られない(図.2 参照)。

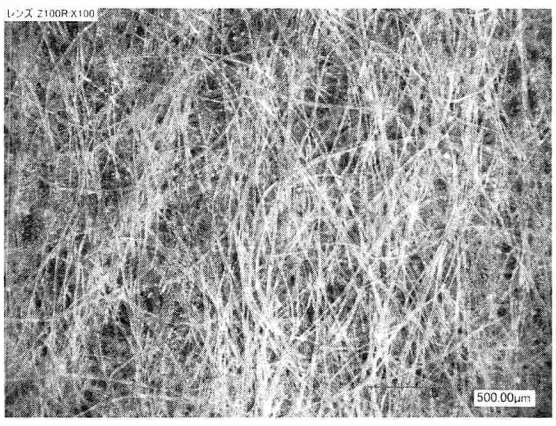


図.1 Pelliot Chinois 2361 第11紙表 繊維配向あり

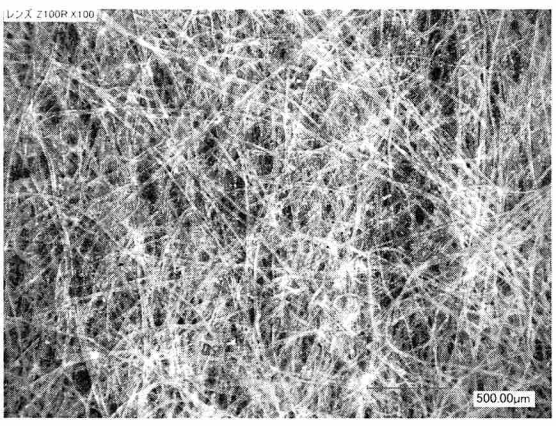


図.2 Pelliot Chinois 2361 第11紙裏

3. 結果

本分析では359点の漢文の敦煌文書の紙の繊維配向性を調査した。これらの文書には記年の無いもの（170点）と記年のあるもの（189点）があり、記年のあるものは5世紀から10世紀のものである。これらを繊維配向のあるものと無いものに分類し、紙の表裏との関係を調べた結果を以下に示す。但し、繊維配向のあるなしの判定は著者の坂本が行なった。

表.1　敦煌文書料紙の繊維配向と書写面

繊維配向	点数	備考
両面にあり	19	表面の繊維配向パターンの方が明瞭で、繊維量の少ない極めて薄い紙が多い。
表にあり	312	
裏にあり	23	裏書きされた面が表として指定されているものも含まれる。
両面になし	5	

ここで、紙の表裏は片面だけに書写されている文書は書写面が表であるが、両面に書写されている文書は所蔵機関が決めた表裏に従っている。但しこの場合、先に書写された面が常に表として指定されているわけではなく、裏書きされた面が表として指定されている場合もある。

以上の結果から、多くの紙が片面にのみ繊維配向を持ち、書写は繊維配向のある面に行なわれることが一般的であったことがわかった。このことから、紙を継いだり界線を引いた者達や文書を書いた筆者達が紙の表裏を意識していたこともわかる。例えば、本調査での最も古い文書の例はスタインコレクションの「十誦比丘波羅提木叉戒本」（S.797）であるが、この写本は奥書によると西凉時代の建初元年（405年）十二月五日の戊時（19〜21時）に比丘の德祐が敦煌城南に於いて書写したもので、繊維配向のある面に書写されており、この時代から繊維配向のある面に書写が行なわれていたことがわかる。このような文書は5世紀から10世紀まで時代に関係なく、安史の乱以前に書写された文書には敦煌以外で書写されたものも少なからずあることから書写された場所にも関係なく、安史の乱以降、筆記具が筆からペンに変わっていくが筆記具にも関係なく、経典や官文書や世俗文書といった文書の種類にも関係なく繊維配向のある面に書写されている。

また、分析した紙の中には繊維が数ミリ程度に切断された後に漉かれて打紙加工された紙（安史の乱以前の経典用紙に多く見られる上質紙）も多いが、繊維を切断した紙としていない紙の繊維配向を比較すると、繊維を切断していない紙の方が明瞭な繊維配向パターンをしている。

4. まとめと考察

本分析では、漢文で書かれた敦煌文書の紙の多くにおいて片面にのみ繊維配向があることを示した。また、時代、筆記場所、筆記具、文書の種類に関係なく繊維配向のある面に書写されていることを確認した。これは繊維配向のある簀面の方が一般的に紙表面の平滑性が高いためであると思われる。但し、今回調査した文書は漢文文書であり、漢人文化の影響下にあった（敦煌は安史の乱後の一時期チベット系の吐蕃に占領されるが敦煌の住人の多くは漢人のままであった。）ものを調査したと言える。このような傾向は日本の古文書にも見られるが、一方でアラブや西洋ではサイジング処理された紙にペンで両面に書写することも多く、紙の表裏の概念が希薄であったようである。このような言語や文化の異なる文書に関しても、今後さらに調査を進めていく必要がある。また、印刷された版本の紙についても調べる必要がある。

参考文献

[1] 白井麻美、増田勝彦：繊維配向と抄紙技術 ー中韓の料紙についてー, 文化財保存修復学会第 36 回大会研究発表要旨集, pp.248-249, 2014

[2] http://www.afc.ryukoku.ac.jp/pelliot/index.html

P-113

3D プリンタの博物館への応用

Application of the 3D Printer to Museums

○田中 麻美、今津節生（九州国立博物館）

1. はじめに

元来、工業用として利用されていた 3D プリンタは、低価格化や高機能化により一般的にも普及し始めている。様々な分野で活躍の場を広げている 3D プリンタは文化財にも活用されており、特に複製品の作製に用いられている。本稿では 3D プリンタで使用するデータの作成過程と、3D プリンタで作製された複製品の活用方法について述べる。

2. 複製品の作製方法

複製品の製作過程の流れを図 1 に示す。文化財の複製品はできる限り精巧なものを作る必要がある。そのため文化財の形状を精確に計測できる三次元計測機が必須となる。例えば、九州国立博物館では表面形状を非接触光学式 3D デジタイザ(ATOSⅢ Model 400/GOM 社)で、デジタイザで取得できないカメラには映らない箇所や内部の形状などは X 線 CT(X 線 CT システム/YXLON 社)にて計測する(図 2)。これら 2 つのデジタルデータを組み合わせ 1 つのデータにするが、計測したデータには穴になっている部分や、形状が崩れてしまっている部分が少なからず存在する(図 3)。3D プリンタでデータを出力するためには、これらのノイズを完全に除去しなければならない。但しデータの穴を埋めたり、形状の崩れを補正したりする際には処理後の形が実物と異ならないか必ず確認を行う必要がある。

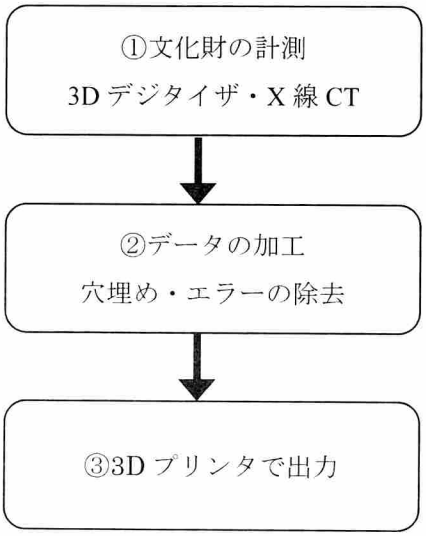
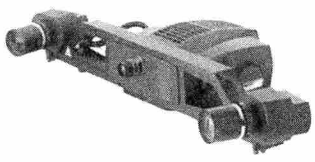
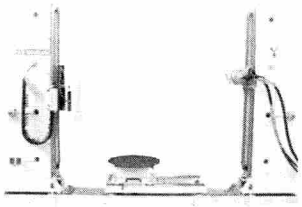


図 1：複製品作製の流れ



ATOSⅢ Model 400



X 線 CT システム

図 2：三次元計測機

3D プリンタにも様々な種類があるが、九州国立博物館では Z Printer 450・850(3D Systems 社)を主に使用している(図 4)。このプリンタは石膏を積層材料としたインクジェット方式を用いており、積層ピッチ 0.1mm、フルカラーで印刷することができる。3D プリンタでデータを出力する際に気を付けなければならないのはデータの配置である。配置によって強度や積層のラインの表れる向きが変わるので、十分に考慮したうえで配置を考えなければならない。

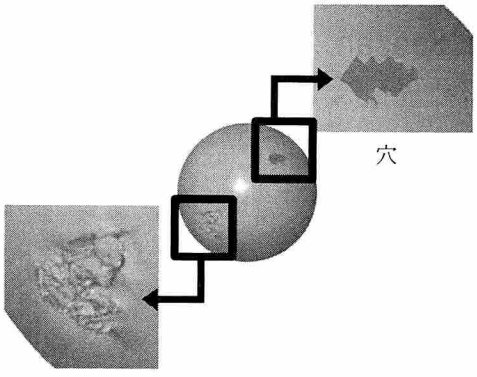
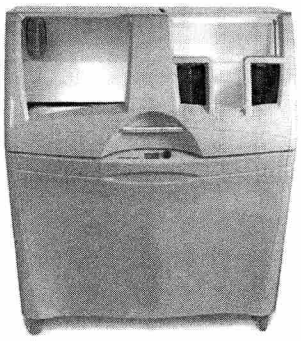


図 3：ノイズ



Z Printer 450

図 4：3D プリンタ

3. 触れる複製品と展示

文化財の複製品は主に展示や普及、研究に用いられる。ここでは博物館で最も応用される展示について述べる。3D プリンタで作製する複製品は安価で、かつ短時間でできるため、従来の本物の代用品としての複製品と異なり触れて感じる複製品として自由に触れながら観察することができる。またデータの加工を自由に行えるので、拡大・縮小したものや任意の断面をプリントすることができ、普段見ることができない部分の観察も行える。観察する側にとってはケース越しでは見られない部分も観察することができ、それまでとは違う新しい発見を得られるかもしれない。視覚にハンディキャップのある方にとっては、触れることで展示品の形を想像しやすくなると思われる。一方、展示する側にとっても、注目してほしいみどころなどを伝えやすくなる。まさに精巧に作られた複製品は本物をより深く理解するためのアイテムとなる。さらに本物に直接触れるわけではないので、文化財の保存にもつながる。複製品展示の具体的な事例として、平成 26 年度夏に九州国立博物館で開催された「小中学生のための考古学」が挙げられる(図 5)。複製品を実物の横に置いたこの展示では、複製品を手に取り実物と見比べ、どのように使われていたのか考察する人の姿を見ることができた。

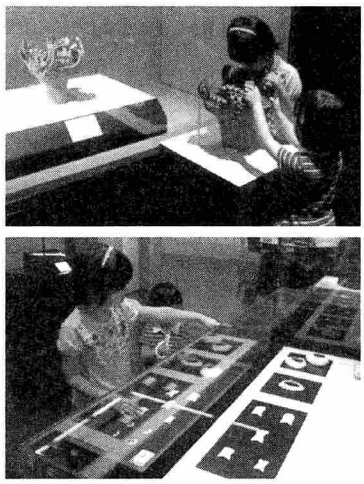


図 5：触れる複製品の展示事例

4. まとめ

3D プリンタで精巧な複製品を作製するためには、3D デジタイザと X 線 CT が必要不可欠である。より良い複製品を作製するためにも、文化財の計測機器や 3D プリンタなどの機械の特性、また計測データの取り扱いやデータ処理において起こりうる不具合等を十分に把握しておく必要がある。

P-114

A study of metal smelting technologies through the analysis of the slags in Seosan, Korea

Namchul Cho, Junwon Kim, Hyunkyung Cho
(Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University)

Ⅰ. Introduction

Slag is residue of ore separated from a metal during the smelting process. Through its analysis, it would be possible to presume the smelting process including the raw material that used, the fuel for vivifying the metal, and the temperature of forges. Thus, with the analysis, it is significantly helpful to understand the ancient smelting process.

There are several ancient Baekje metallurgy sites; Soepaengyi, Eunbuli, Sansoogol, and Yeongtapli, with Busungsanseong(mountain fortress) as a center in Seosan, Chungcheongnam-do, Korea, and it shows that Seosan was a major ancient iron-producing area. As a record of the annals of the Joseon Dynasty, there were silver mines in Eunbuli, Seosan so that people were sent to produce silver with melting 1geun(600grams, Korean unit of weight)and 8nyang(37.5grams, Korean unit of weight) of lead. Furthermore, Doseongli Jigokmyeon is known for the site that had been mined for gold, silver, lead and iron until 1960's and many craftsmen lived in.

The study attempts to discover how the ancient smelting process operated in the region through the metallurgical analysis of the slags collected from Soepaengyi, Eunbuli and Hwacheonli, Seosan, and the furnace wall collected from Moosoejeom village, Seosan, Chungcheongnam-do.

Ⅱ. Samples and method of analysis

The slags collected from Soepaengyi, Eunbuli and Hwacheonli(Seosan) and the furnace wall collected from Moosoejeom village(Seosan) were analyzed to reveal the features of smelting process. Major composition was analyzed by wavelength dispersive X-ray fluorescence spectroscopy: WD-XRF, S4 Pioneer, Bruker, Germany, the micro-structure observation was operated by the metallographic microscope: DM 2500M, Leica, and the chemical composition of the micro-structure was analyzed by energy dispersive spectrometer: EDS, QUANTA300, BRUKER, Germany.

Ⅲ. The result and discussion

The slags are high in PbO and ZnO than general slags for iron. Commonly, slags for iron contain less or no PbO and ZnO. Thus, the slags collected from Seoan are not the residue for smelting iron but for nonferrous metal. It means the slags collected from Soepaengyi, Eunbuli, and Hwacheonli Sansoogol(Seosan) are the residue for smelting nonferrous metal using galena.

However, the furnace wall collected from Moosoejeom village(Seosan) contains no PbO and ZnO, unlike the slags found in Seosan.

Furthermore, the micro-structure of the slags in Soepaengyi, Eunbuli, and Hwacheonli(Seosan) shows that there are long-pillared fayalite and white crystals distributed over the internal organization. After detail observation and analysis, white crystals contain high PbO so that they are presumed lead particles and there are also high PbO and ZnO overall on the base. It means that the slags have different features than others for smelting iron. To sum up, the slags presumed that they are not the residue for smelting iron but for nonferrous metals.

As the result of the analysis, it is proved that not only was iron produced but various kinds of nonferrous metals also done in Seosan. In addition, the high composition of PbO and ZnO for the slags in Soepaengyi, Eunbuli, and Hwacheonli(Seosan) implies that they are not the residue for smelting iron but for nonferrous metals with galena.

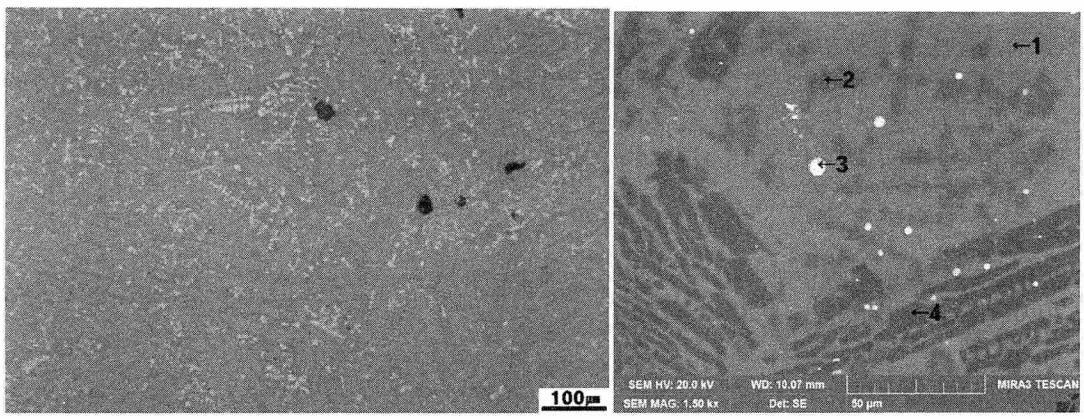


Figure 1. Micro-structure of the slag in Soepaengyi, Seosan

Table 1. EDS data for the slag in Soepaengyi, Seosan

Analysis point	Composition (wt %)								
	FeO	SiO_2	MnO	Al_2O_3	PbO	K_2O	CaO	ZnO	TiO_2
1-01	17.71	25.94	3.10	3.65	45.21	0.47	1.86	2.06	-
1-02	78.03	7.10	1.97	2.09	7.71	0.23	-	1.89	0.98
1-03	2.43	-	-	-	97.57	-	-	-	-
1-04	63.57	24.02	10.05	-	-	-	0.43	1.94	-

P-115

付け木着火部位の科学的検討

Scientific study for ignition part of old match stick called "Tsukegi"

○宮田佳樹(金沢大学), 藤田慎一(岩国市教育委員会), 勝田長貴(岐阜大学), 千葉博俊(パリノサーヴェイ（株）), 高橋敦(パリノサーヴェイ（株）)

○Yoshiki Miyata (LLRL, Kanazawa Univ.), Shinichi Fujita (The Iwakuni-City Board of Education, Yamaguchi), Nagayoshi Katsuta (Gifu Univ.), Hirotoshi Chiba (PALYNOSURVEY Co.), Tsutomu Takahashi(PALYNOSURVEY Co.)

1. はじめに

付け木は，火打ち石やまいぎり等で火口に発火した火種をかまどや灯明などに移す際に利用された点火具の一種であり，現代で言うところのマッチやライターに相当する(図1)。民俗資料からは，先端部に硫黄が塗りつけられている薄い板状のものが報告されている。しかし，付け木は使用頻度の高い遺物でありながら，残存しにくいため，また，定型化されず，先端部が焦げた棒状木製品，箸状木製品として誤認されることが多く，これまで改めて個別に取り上がられることも少ない遺物の一つであった。そこで，本研究では,北陸地方の大丹保遺跡(富山県砺波市)から出土した付け木の着火部分の元素組成を走査型X線分析顕微鏡で分析し，元素マッピングを行い，科学的検討を通して，付け木の具体的な利用法を考えていく。

2. 方法

付け木試料を蛍光顕微鏡用スライドガラスに貼り付け，走査型X線分析顕微鏡(scanning X-ray analytical microscope) XGT-2000V(堀場製作所)を用いて，その元素組成マッピングを行った(図2)。

3. まとめ

別名硫黄木ともいわれるように，着火部分からは，硫黄と(堆積中に土壌から浸透した可能性もあるが，)Ca, Fe, Mn, K, Tiなどの元素が検出された(図2)。付け木の着火部位から硫黄を実際に検出したという事例はこれまでほとんど報告されていない。

今後，この硫黄がどこからどのような形で供給され，それがどのような形態で保存され，付け木の着火部位に付着し，利用されたのかを含めて，付け木について，形態観察を含めた科学分析法によって実証的に明らかにすることを目指したい。

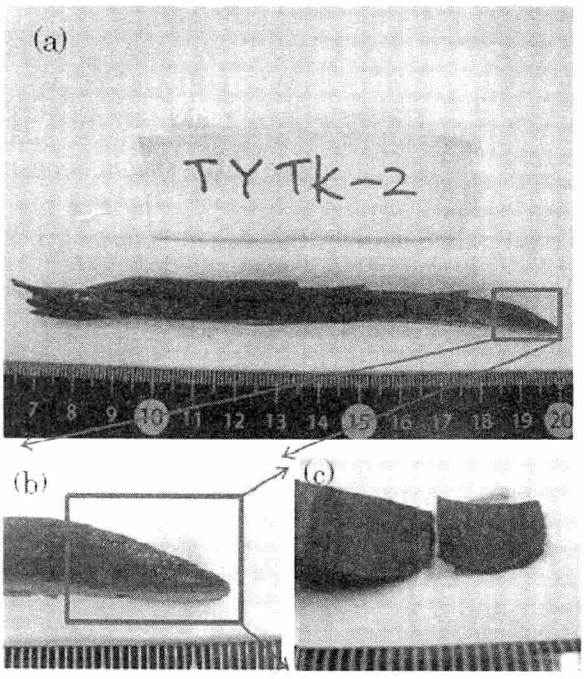


図1 付け木試料(TYTK-2)

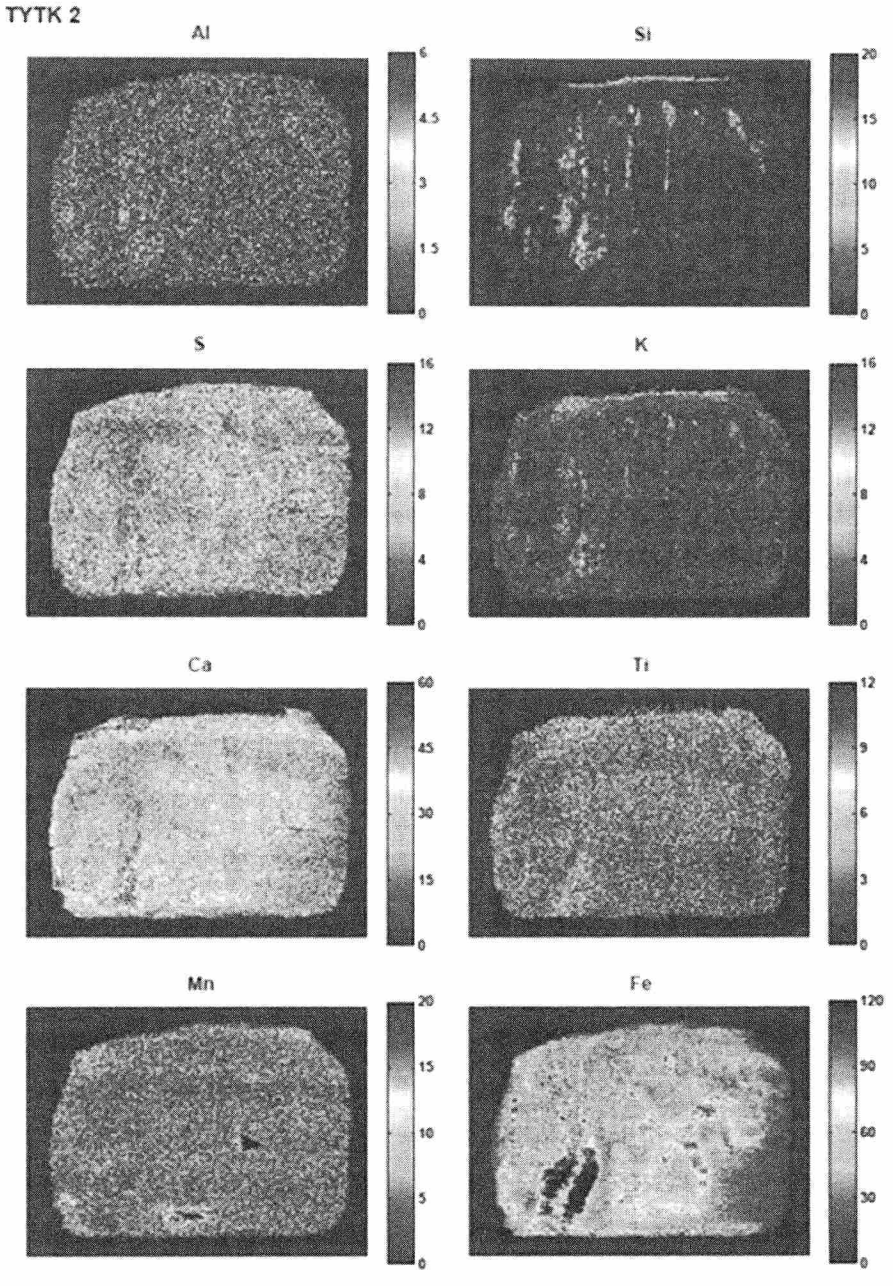


図2 付け木試料(TYTK-2)の元素マッピング

謝辞　試料提供をして頂いた砺波市教育委員会　ならびに，野原大輔氏に謝意を表す。
参考文献　大丹保遺跡発掘調査報告

P-116

エミール・ガレのガラス作品の着色に関する化学的研究

Chemical Studies on coloration of glass works of Emile Gallé

○和泉 亜理沙（東京理科大学）、阿部 善也（同）、中井 泉（同）、
小林 宏子（北澤美術館）、池田 まゆみ（同）

【初めに】

エミール・ガレ（1846－1904）[1]は、フランス東部ナンシーのガラス工芸家である。1867 年より父の事業に参画、1877 年より正式に経営を任され、1889 年および 1900 年のパリ万博においてガラス作品でグランプリを受賞した。19 世紀末から 20 世紀初頭にかけてヨーロッパに開花したアール・ヌーヴォーを牽引した一人であり、その独創的なデザインと優れた技術で生み出されたガラス作品(例：Fig. 1)は、今日も高い評価を受けている。本研究では北澤美術館(長野県諏訪市)に収蔵されるエミール・ガレのガラス作品を対象として、可搬型分析装置を用いた蛍光 X 線分析(XRF)と紫外可視(UV-VIS)分光分析、蛍光分析を非破壊かつ複合的に行い、着色技術の解明を中心とした化学的な特性化を行った。

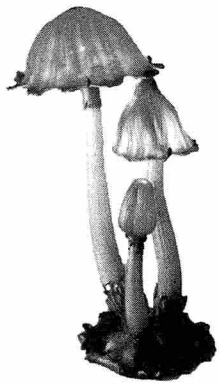


Fig.1 エミール・ガレ作
『ひとよ茸ランプ』
(1902)
北澤美術館 蔵

【実験】

北澤美術館収蔵のエミール・ガレ作のガラス作品 76 点に対して、館内に可搬型分析装置を持ち込み、非破壊での分析を行った。XRF には、東京理科大学中井研究室が OURSTEX(株)と共同開発した可搬型 XRF 装置 OURSTEX 100FA[2]を用いた。得られた XRF スペクトルから、検量線法により全 24 元素の定量を行った。XRF は各作品のベースとなるガラスの組成分類および化学組成による着色剤の同定に用いた。UV-VIS 分光分析および蛍光分析には、当研究室が(株)東京インスツルメンツと共同で開発中の可搬型分光計を用いた。本装置は検出器として CCD 搭載のマルチチャンネル分光器を用い、光源等を組み替えることにより、UV-VIS スペクトルと蛍光スペクトルの双方を測定できる。UV-VIS スペクトル測定用の光源として、重水素ハロゲン光源(215～2500 nm)を用い、透過法または反射法による測定を行った。蛍光スペクトル測定には専用の測定ヘッドを使用し、光源には UV-LED(365 nm)、緑色 LED(520 nm)、赤色 LED(632 nm)を用いた。

【結果と考察】

XRF により、ベースガラスの組成タイプとしてソーダ石灰ガラスとカリ鉛ガラスの 2 種類が用いられていることが明らかとなった。各作品の制作・装飾技法とベースガラスの種類には対応が見られ、低融点のガラス粉をベースとするエナメル釉を表面に焼き付けるエナメル装飾の作品では主にソ

ーダ石灰ガラスのベースが使用されていたのに対し、異なる色ガラスを重ねて彫刻を施すことにより浮き彫り文様を作る「被せガラス」、異なる色ガラス片を貼り付けた後に再溶融させてならし込む象嵌装飾「マルケトリー」、再加熱して軟化したガラス表面に別のガラスを貼り付け高肉浮彫を作り出す「アプリカッション」など立体的な技法が用いられた作品では、主にカリ鉛ガラスが使用されていた。これはソーダ石灰ガラスとカリ鉛ガラスの融点の違いに起因するものであると考えられる。また、色ガラスの化学組成分析により、ピンク・紫色着色剤としてMn^{3+}イオン、青色着色剤としてCu^{2+}イオンおよびCo^{2+}イオン、緑色着色剤としてCr^{3+}イオンが同定された。

その一方で、カリ鉛ガラスをベースとする作品の多くでは、Pb による自己吸収および Pb-L 線の妨害により、着色元素を XRF により同定することは困難であった。また、一部のソーダ石灰ガラスにおいても、ごく微量な着色元素を XRF により検出できないものがあった。そこで UV-VIS 分光分析および蛍光分析により、XRF で検出できなかった着色剤の同定を試みた。まず、『月光色ガラス』と名付けられている淡青色ガラスに対して UV-VIS 分析を行った結果、XRF では検出できない ppm レベルのCo^{2+}イオンが着色原因であることが判明した。また、一部のピンク色ガラスにおいて、UV-VIS 分析を行ったところ、Au のナノコロイド粒子による表面プラズモン効果により着色が行われている可能性が示された(Fig.2)。蛍光スペクトル測定では、一部の緑色ガラスの着色剤としてUO_2^{2+}イオンが同定された他、UV-LED 励起により黄緑の発光、赤色 LED 励起で近赤外の発光(800 nm)を持つ作品が多く見られた。組成既知のガラス標準試料との比較によって、これらの発光の原因はそれぞれMn^{2+}イオンとCr^{3+}イオンである可能性が高いことが判明した。

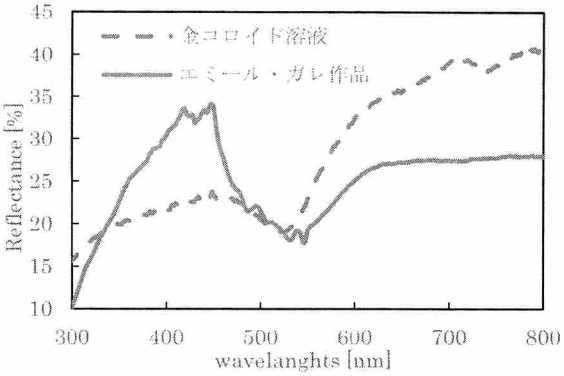


Fig.2 エミール・ガレ作『蘭文八角壺』および金ナノコロイド溶液の UV-VIS スペクトル比較

このように、可搬型分析装置を複合的に用いた化学分析により、エミール・ガレのガラス作品に使用された着色剤の一部を非破壊で同定することができた。また、その制作・装飾技術と原料の特性化に繋がる数多く興味深い結果が得られた。

【謝辞】

可搬型分光計の開発にご支援くださった(株)東京インスツルメンツの栗原文雄氏および同社の優れた開発陣に厚く御礼申し上げます。本研究は日本学術振興会科学研究費補助金(基盤 B 24350041)の支援により実施されました。

【参考文献】

1) 池田まゆみ:「北澤美術館 ガラスコレクション ガレとドーム 四季の花」(2011)

2) I. Nakai *et al.*: *X-ray Spectrometry* **34**, 46–51 (2005).

P-117

国宝 桜ヶ丘銅鐸・銅戈の科学調査

Science Investigation into Sakuragaoka Dotaku and Doka

○鳥越俊行(奈良国立博物館)、今津節生・進村真之(九州国立博物館) 、橋詰清孝
(神戸市教育委員会事務局文化財課)、菅本宏明(神戸市立博物館)、輪田慧(合同会社 2bit)、
池内一誠(福岡県立太宰府高等学校)、北井利幸(奈良県立橿原考古学研究所附属博物館)

1. はじめに

約50年前に発見された兵庫県神戸市灘区桜ヶ丘出土の銅鐸・銅戈は、発見直後からきわめて厳重に保存・管理されており、のちに国宝に指定されたため最新の科学的な調査が行われる機会を得なかった。この銅鐸を所蔵する神戸市博物館と九州国立博物館は、平成23年度に九州国立博物館で開催された「タイと日本―ふたつの国の巧と美」展に5号銅鐸が出陳された際に、正確な形状計測と内部劣化の調査を目的の一つとして、科学的な計測を実施した。その際に、きわめて有用な成果が得られたことから、これ以外の銅鐸と銅戈について、平成 25 年夏に九州国立博物館で開催された「国宝神戸市桜ケ丘銅鐸・銅戈」展に出陳された際に計測を行った。なお、一部の銅鐸については、奈良県立橿原考古学研究所で既に三次元計測が実施されていたが、九州国立博物館にて X 線 CT スキャナ(以下CT)を行う際に三次元計測すると容易に三次元情報を合成することができることから、再度三次元計測を行った。

その結果、三次元計測ではこれまで錆で判読できなかった表面の文様が新たに確認されるとともに、CTでは腐食や亀裂に関する有益な情報が得られたため、今回報告を行う。

2. 計測の方法と条件

三次元計測:独 GOM 社製 ATOSⅢ、測定精度約 0.1mm で実施。計測には銅鐸一個当たり約半日を要した(図1)。

CT:独 YXLON International 社製 Y.CT Modular 320 FPD、X線出力 320kV、2mA、測定精度約 0.3mm で実施。小型の銅鐸なら約 6 分で測定が終了。

3. 調査の成果

三次元計測は、表面の位置情報を記録し色情報は記録しないため、錆化や劣化により肉眼観察では読み取ることが難しい、わずかに凹凸として残った銅鐸の文様が明らかとなった。特に、12号銅鐸では四頭渦文の文様を新たに読み取ることができた(図2)。

CTでは、腐食や亀裂、錆による劣化などの情報が得られ、これまで肉眼ではわからなかった多くの知見が得られた。特に、6号銅鐸では鈕の付け根に明瞭な亀裂が確認された。

4. まとめ

最新の調査を行うことで、発見から50年経過した資料でも新たな成果が得られた。三次元計測では、凹凸情報を詳細に検討することで、一部の銅鐸で初めて文様として認識できるなど、研究に役立つ情報が得られた。またCT調査では、表面に現れていない錆化や亀裂などが新たに判

明し、今後の保存活用や展示における取り扱いの参考となるべききわめて有効な情報が得られた。

三次元計測やCTは、測定データを三次元情報として記録する。一部分を抜き出したり拡大したりすることが自由自在にできる三次元プリンターを用いて、両者の測定データを統合し出力することで、精密な立体模型を容易に製作できる。三次元プリンターによる模型は、精密かつ安価で短時間に作ることができることから、展示や教育普及の場で従来不可能であった触ることのできる模型として活用されつつある(図3)。

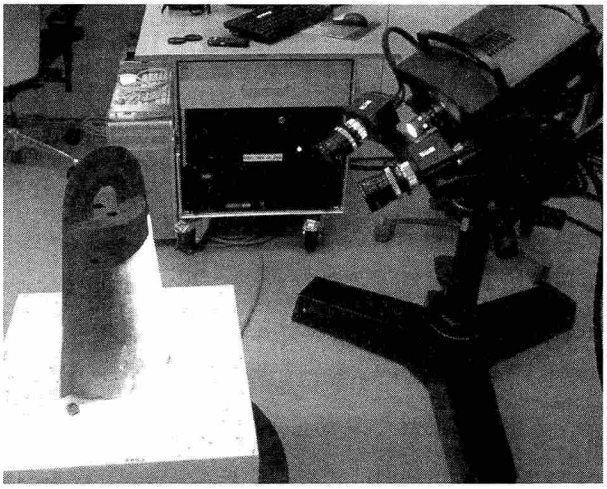


図１　三次元計測の様子

図２　新たに判明した１２号銅鐸の文様

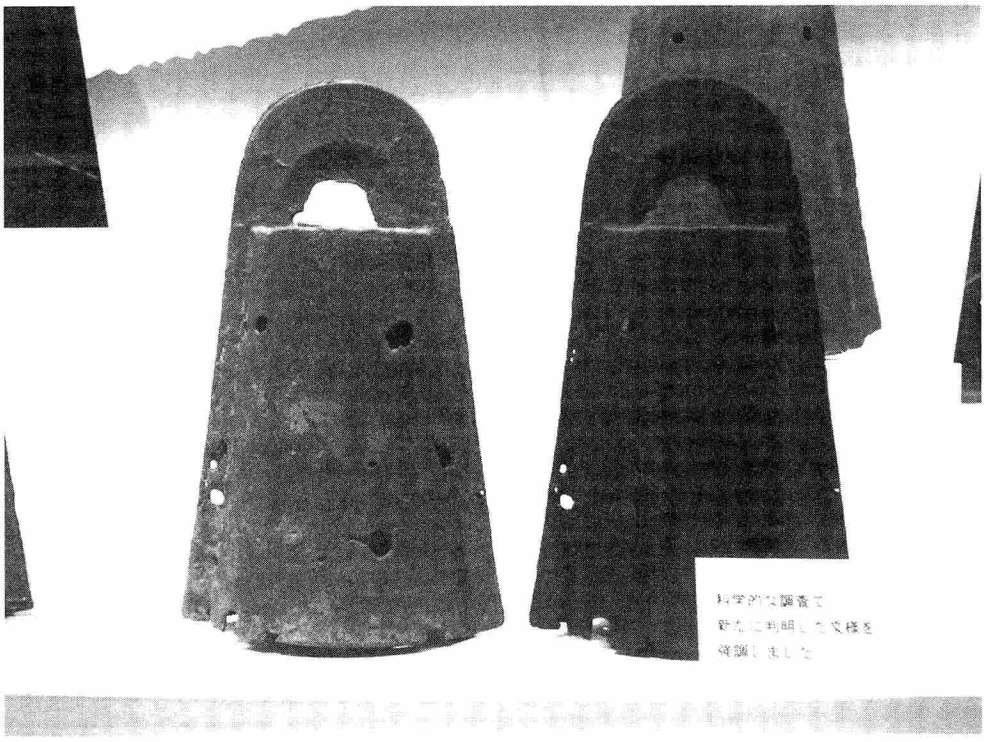


図３　１２号銅鐸の本物（左）と復元した模型（右）の比較展示

P-118

土器に残った塩化物イオンはどこから来たのか？

Where did chloride ion remaining in earthenware come from?

阿部　周平(国際基督教大学), ○堀内　晶子(同左)

1.　はじめに

塩は生き物にとって欠かすことのできないミネラルであり、塩水を加熱濃縮して塩を得るために用いられた古代の製塩土器が世界各地で出土している。しかし、塩は水に溶け易く、雨や、地下水などにより洗い流されてしまうだろうと考えられていた為、製塩土器の科学的な分析はなされてこなかった。しかし近年、一部の塩が水に流されずに残留することがわかってきた(1)。我々は、土器を構成する粘土のイオン交換能に着目し(2)、塩の主成分の一つである塩化物イオン(Cl^-)が、水に流されずに粘土の主成分であるシリケートによって強く保持されること、またシリケートへの親和性がCl^-より高いフッ化物イオン (F^-)と交換させることで、強く保持されたCl^-（保持性Cl^-）が回収できることを実験製塩土器で確認し、日本の製塩土器に応用して報告した（3)。

しかし、世界各地の製塩土器に目を向けると、土器が置かれた環境も、作成に使った粘土の組成も、土器焼成温度も同じとは限らず、この分析手法が世界共通に使える手段なのかの検討が必要となる。そこで本研究では、製塩以外に土器に塩化物イオンが残留する可能性、たとえば、土器が海水に浸るなど、外部環境からのCl^-流入と、Cl^-が土器作成以前にすでに粘土に含まれていた場合のCl^-濃度と焼成温度の影響について、実験モデルを使って検討した。

2.　試料及び実験

市販されている美濃素焼き粘土を板状に成型し、800℃で9時間焼いた後、約1 cm^3の土器片に切り、モデル実験試料とした。

実験1.　モデル試料を濃度の異なる塩化ナトリウム水溶液(0 %, 3 %, 10 %, 26 %)に一定期間(1 day, 1 week, 1 month, 3 month)浸し、回収した後、すでに報告されている方法で水に溶け出さない保持性Cl^-量を測定した(3)。すなわち、土器片を粉砕して粉とし、水に洗い流される可能性のあるCl^-をあらかじめ除去するため、蒸留水でCl^-が検出限界以下になるまで繰り返し超音波洗浄した後、F^-溶液中で超音波をかけ、F^-と交換して流出したCl^-を、塩化物イオン選択電極を用いて定量した。

実験2.　粘土に、あらかじめ異なる塩化ナトリウム水溶液(0 %, 0.2%, 1%, 3%, 10%, 26%)を一定量それぞれ加えて0.5, 2.3, 7.4, 9.6 mg Cl^-/g clayになった試料を，異なる温度(室温, 300℃, 500℃, 800℃)で9時間焼成後、保持性Cl^-量を上記同様に求めた。

3.　結果と考察

実験1.　Cl^-の濃度や浸した期間に関わらず保持性Cl^-は確認されなかった。モデル実験では雨等で洗い流される可能性のあるCl^-をまず蒸留水で除去してから、保持性Cl^-を測定している為、この結果は、たとえ海水や塩水などが外部から流入しても、保持性Cl^-として残らないことを意味している。

実験 2.　粘土に、塩化ナトリウムを添加して焼成した後の保持性 Cl^-量は、焼成温度によって大きく変

化していた。例として 7.3 mg Cl^-/g clay になった粘土を、温度を変えて焼成した際に回収できた保持性Cl^-量を図1に示す。室温(25℃)では検出限界以下であった保持性Cl^-が、300℃, 500℃で焼成するとそれぞれ 0.19±0.03, 0.16±0.004 mg Cl^-/g clay 回収できた。しかし、一般的に野焼きで土器を焼成する際の温度と言われている800℃では、検出限界以下になった。800℃で粘土を焼成すると、添加したCl^-量に関わらず、いずれも検出限界以下であった。

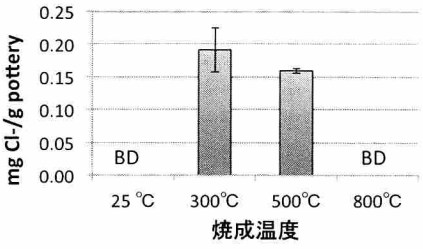


図 1. 粘土にNaClを加えた後(7.3 mg Cl^- / g clay),温度を変えて焼成した実験土器片から回収された保持性Cl^-量. BDは検出限界(0.02 mg Cl^-/g pottery)以下.

製塩過程では、塩水を加熱蒸発させるため、加熱によって土器が膨張して塩分が土器内部に浸透しやすくなり、土器胎土に保持されやすくなると考えられる。この結果は、加熱することにより、土器胎土内にCl^-が浸透しやすくなり、保持性Cl^-として残留するが、800℃になると保持性Cl^-は、より強く胎土と結合して、F^-では交換できなくなると推測される。従って古代人が野焼きで土器を焼成する場合、たとえ使う粘土にCl^-が含まれていても、F^-によって回収される保持性Cl^-量には影響しないと言えよう。また、一番Cl^-の添加濃度が低い 0.5 mg Cl-/g clay の試料を、一番温度の低い 300℃で焼成した場合を除いた全ての試料は、焼成中に土器板がぼろぼろになり、実験で用いたCl^-量を含む粘土は器を作るには適さないことが示唆された。

3. まとめ

Cl^-は、調理や製塩など、土器を加熱することで土器内部に浸透し、F^-で交換できる保持性 Cl^-として水に洗い流されずに土器に残留するが、保持性 Cl^-量は室温で、塩分を含む外部環境の影響を受けないことがわかった。また、一般的な土器焼成温度である 800℃では、今回使用した濃度範囲内 (0.5~9.6 mg Cl-/g clay)で保持性Cl^-が検出限界以下であったことから、たとえCl^-が粘土に含まれていても、保持性 Cl^-量は粘土からの影響を受けないことが示された。従って土器から検出される保持性Cl^-は製塩など、土器に塩水を入れて加熱した結果を直接反映したものであり、外部環境からも使用した粘土からも影響されないと言えよう。また、0.5mg Cl-/g clay 以上の粘土は 800℃で焼成中に土器が壊れてしまい、土器作りには向かないことが示唆された。今後、様々な種類の粘土を用いて同様の実験を行い、粘土の特性と保持性Cl^-を調べ、使用している分析手法が世界の製塩土器に適応できるか、さらに検討する予定である。

参考文献

1. Flad, R., Zhu, J., Wang, C., Chen, P., von Flakenhausen, L., Sun, Z., Li, S., Archaeological and chemical evidence for early salt production in China. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 102 (2005) 12618-12622.
2. 和田光史, 粘土の陰・陽イオン交換容量測定, 粘土科学, 21(1981), 60-63.
3. Horiuchi, A., Ochiai, N., Kurozumi, H., Miyata, Y., Detection of chloride from pottery as a marker for salt: A new analytical method validated using simulated salt-making pottery and applied to Japanese ceramics, J Archaeol Sci, 38 (2011) 2949-2956.

P-119

白山信仰関連文化遺産の文化資源化と活用

Cultural Resourcization and sustainable use of cultural heritage

○山口 欧志(立命館大学)、阿部 来(福井県勝山市教育委員会史蹟整備課)、
宇野 隆夫(帝塚山大学)

1. はじめに

このプロジェクトは、白山信仰に関連する文化遺産を対象とする。白山信仰は、越前・加賀・美濃をまたがる白山を対象とする信仰である。その開山は、紀元後 717 年に泰澄の登頂によると伝えられる。プロジェクトでは、文化遺産の様々な方法を用いた記録調査を行い、文化遺産の維持管理、研究、教育や観光へ役立てる取り組みを継続的に行っている。

本発表では、福井県勝山市に所在する国史跡白山平泉寺旧境内出土の遺物を対象とした 3 次元モデルを作成した結果を提示する。次に、これまでの調査で得た成果を色々な端末で体験できるような双方向型の展示方法を複数試行した。その成果を報告する。

2. 対象と方法

・白山平泉寺旧境内出土遺物の 3 次元モデル化

これまでに実施された発掘調査で多数の遺物が出土した。なかでも華南彩釉陶器筆架(以降、筆架)と青白磁観音像(以降、観音像)は、国内での出土例は少なく貴重な資料である。

筆架と観音像は、平泉寺旧境内や白山の自然と歴史を紹介する白山平泉寺歴史探遊館まほろば内の展示ケースの中で展示されている。裏面や底面などを観察できるよう自由な角度に回転させたり、施された意匠など細部を観察したりすることは難しい。

そこで、筆架と観音像を自由な角度で詳細に観察できるよう、テクスチャーをもつデジタル 3 次元モデルを作成し、タブレット端末や PC などで表示可能にした。方法は、単焦点レンズを装着したミラーレス一眼カメラを用いて対象の写真を様々な角度から撮影し、SfM(Structure from Motion)とMSV(Multi-View Stereo)を実行できるソフトウェア(PhotoScan)を用いて 3 次元モデルを作成した。

・成果発信のマルチプラットフォーム化とマルチデバイス化

このプロジェクトでは、白山平泉寺旧境内における調査成果の GIS データ化をはじめ、旧境内や現境内の3次元レーザー測量、白山禅定道の踏査と重要地点の360度パノラマ作成、出土遺物の 3 次元モデル作成などを進め、それぞれ成果を積み重ねてきた。

そこでこれらの成果を多くの人が触れることが出来るよう、ブラウザベースの表示方法を採用し、Windows や Mac といった OS に依存しない方法で閲覧できるようにした。また、利用可能な端末は、スマートフォン、タブレット、PC ディスプレイ、大型スクリーンに対応させ、様々な場面での利用を可能にした。特に大型スクリーンへの対応では、マウスやタッチパネルなどを利用せず、Kinect v2 センサーによるジェスチャー操作や文字やマークの書き込みを実装した。これにより、従来の端末では操作者以外は画面を見ることができなかったものを、多数の人間が同時に体験できるようにして、小中学校での出前講義など、館外での多人数向けの活用に役立てられるようにした。

3. 結果

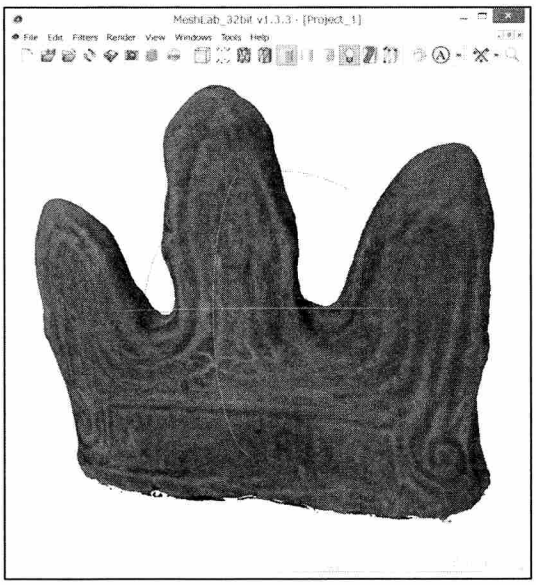


図 1　筆架の 3 次元モデル

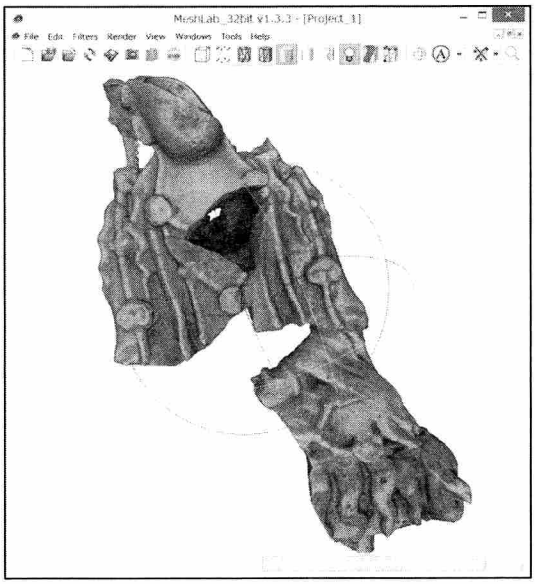


図 2　観音像の 3 次元モデル

筆架と観音像の 3 次元モデルを作成し、オープンソースでマルチプラットフォームなプログラム(MeshLab)を用いて、操作できるようにした(図1・図2)。

また、大型スクリーンに映し出した白山禅定道ヴァーチャルツアーや遺物の3次元モデルを両手のジェスチャーだけで操作できるようにして、操作者以外も楽しめるようにした。その結果、特に子どもが関心を強くもち、長時間体験した。

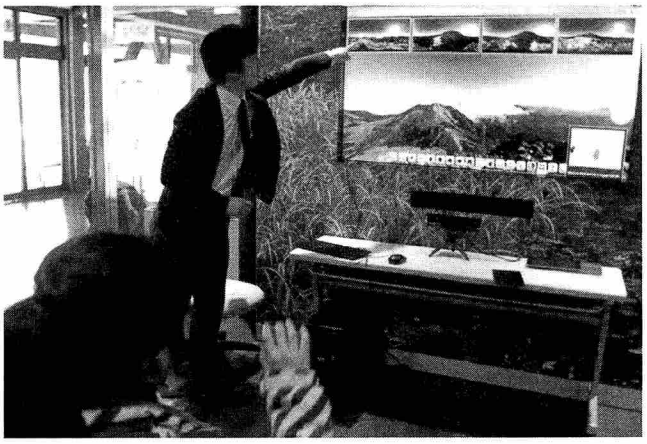


図3　ジェスチャーによるヴァーチャルツアーの操作

4. 課題と今後の展望

今後も地元の方々と協力して白山平泉寺旧境内およびその周辺地域の文化遺産の記録を蓄積し、保存・保護や地域振興に活かしたい。また地元の文化遺産を支える、いわば文化遺産サポーターの活動に貢献したい。また今回試行したジェスチャーによるデジタルコンテンツの操作体験をふまえ、より簡単に誰でも操作できるよう洗練させたい。

謝辞

本発表は、福井県ふるさと創造プロジェクトによる勝山市「白山平泉寺全国発信プロジェクト」とJSPS 科研費 26870764 による成果の一部である。勝山市平泉寺白山神社と白山比咩神社および環境省白山事務所に御理解と御協力をいただきました。記して感謝の意を表します。

P-120

形態および DNA 分析による出土魚類骨の分類

Identification of fish bones using morphology and DNA analysis

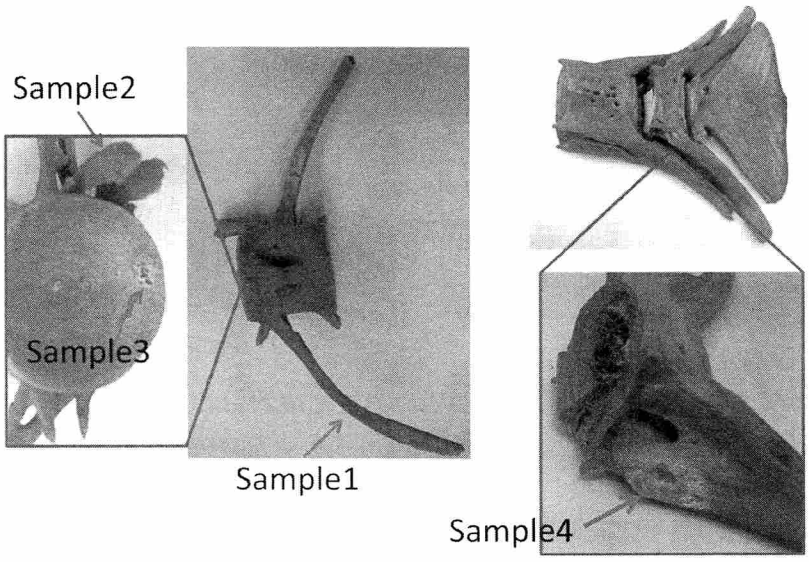
○花森功仁子，武藤文人（東海大学），植月学（山梨県博），武藤望生，石川智士（地球研）

【はじめに】

山梨県鰍沢河岸跡（富士川町）で検出された土坑より明治時代末期に廃棄されたと推定される大型魚類やイルカなどが出土し，ニベ科 Sciaenidae gen. sp.，イシナギ属 *Stereolepis* sp.，フサカサゴ科 Scorpaenidae gen. sp.，アブラボウス *Erilepis zonifer*，ブリ属 *Seriola* sp.，ネズミザメ科 Lamnidae gen. sp. およびマグロ属 *Thunnus* sp. の 460 点が含まれていた（植月 2006a&b，2007）．マグロ属は魚類の約半数を占めていたが，脊椎骨腹面の形状とサイズ，当時の漁法などからクロマグロ *T. orientalis* の可能性が高いことが示された（植月・武藤，2008 年度魚類学会発表）．さらにクロマグロと同定された資料の一部を用いて DNA の抽出と PCR 増幅をおこない，86 塩基対からサバ科マグロ属のクロマグロまたはビンナガ（*T. alalunga*）の可能性が示唆された（武藤ら，2014 年度魚類学会年会）．今回は複数の領域の塩基配列を用いて，さらに正確な同定を試み，また，断片化した遺物が PCR 増幅しやすい領域を検討した．

【材料】

出土魚骨のうち，マグロ属 *Thunnus* sp. と推定された腹椎骨 1 つからの前向突起（サンプル 1），スポンジ状の神経棘（サンプル 2），椎体内部（サンプル 3），および種同定には至らなかった 1 個の尾椎（おそらく尾鰭椎前第 2 椎体）の棘の基部（サンプル 4），の 2 資料 4 サンプルを用いた．



【方法】

各資料に 70%エタノールを噴霧した後，ピンセットを用いて小骨片のサンプル 1，2 を採取した．サンプル 3 は滅菌したドライバードリルを用いて表面を消毒した背骨内部を粉末

状に削り出した．サンプル4は同様の方法で尾椎内部から粉末状に削り出した．

これらサンプルはマルチビーズとともに滅菌済のチューブに入れ，マルチビーズショッカー（安井器械）を用いて，2,000×g，6秒を2回かけて粉末化した．その後，フェノール・クロロフォルム法を用いて全DNAを抽出した．

ツナ缶などのマグロの加工食品用に開発されたBottiら（2010）の方法によりPCR増幅し，増幅されたDNA断片のシーケンスを実施した．これは8または9種類のプライマー・カクテルでPCR増幅し，その後いずれのサンプルにも共通配列のプライマーを用いてシーケンスするものである．今回はミトコンドリアDNAの*Cyt* bの3領域（A，B，C）の塩基配列を特定した．特定された配列をDDBJのBlast検索により相同性の高い既知配列との比較を行った．

【結果】

領域A(291塩基対)ではサンプル1と3が増幅され，239，258塩基が特定された．Blast検索の結果，クロマグロ，タイセイヨウクロマグロ，ビンナガと97%の相同性を示した．

領域B(175塩基対)ではすべてのサンプルで増幅が成功し，100～117塩基対が特定された．サンプル1，2，3では各々の配列が完全一致したが，サンプル4は他のサンプルと2塩基の置換が認められた．Blast検索の結果，サンプル1，2，3はクロマグロ，タイセイヨウクロマグロ，ビンナガ，メバチと1塩基置換が検出され，99%の相同性を示した．サンプル4は88塩基対でメバチと完全一致し，105塩基でタイセイヨウクロマグロ，コシナガ，ビンナガと1塩基置換が認められた．

領域C(163塩基対)ではサンプル1，2，3の94塩基が特定され，完全一致したが，サンプル4は配列特定にはいたらなかった．Blast検索の結果，68塩基中1塩基置換が検出され，クロマグロと98%，ビンナガとは95%の相同性を示した．

上記の結果から今回のサンプル1，2，3については領域Cの配列特定によりクロマグロと推定された．サンプル4については領域Bの配列からメバチである可能性が示唆された．

【考察】

本研究の1資料3サンプルのミトコンドリアDNAの領域の部分配列情報は，クロマグロと最も高い相同性が示された．これは2008年の形態と漁業情報等による推定と，2014年のDNAを用いた種の推定に矛盾しない．一般に，遺物では200塩基をこえるDNA断片は増幅しにくいが，本研究でも291塩基の領域Aは増幅しにくい場合があった．領域Bは175塩基，領域Cは163塩基を増幅するが，これらは領域A内に設定されている．遺物では領域BとCの増幅と配列特定が有効だろう．

今後は魚類の出土遺物に形態分析とDNA分析を合わせて用いることにより，さらに詳細な当時の営みや環境変化，利用魚種の時代的変遷を解明する一助となるであろう．

【謝辞】

所蔵資料をご提供いただき，分析をご許可頂きました山梨県立考古博物館に深く感謝申し上げます．

P-121

遺構および遺物の簡易色彩計測に関する初歩的検討
A preliminary study of color measuring method for archaeological records.

金田明大　八尾純子　石松智子（奈文研）

はじめに　考古資料の色彩は、その生成や使用は勿論のこと、埋没後環境といった資料の履歴を反映している。遺構における土色や遺物の記録において、色彩情報は必須の記録項目となっている。土色を例とすれば、基準層位の設定やそれに基づいた離れた地区間の堆積の関係の検討などに寄与する。

反面、特に発掘調査においては、屋外という外部環境による観察の困難さや、同一土層においても必ずしも色彩が一定しないこと、そして記録作業の煩雑さなどもあり、直観的で再現性の乏しい記載に留まっていることも多い。この結果、記録が必ずしも活用できるものにはなっていないのが現実であろう。文化財や土壌を対象に既に検討が進められている（吉田 2009、西山他 2011、田中 2012）。

これらの課題には、考古資料の色彩記録から何がわかるのか、という根源的な問いと共に、いかに簡便に記録をおこなうかという技術的な模索が必要であろう。加えて、考古資料の色彩記録が持つべき詳細さがいかなるものであるかという議論が必要である。

機器を用いた測定が望ましいことはいうまでもないが、導入コストの面から即時に普及することは難しいことから、論者らは簡便な色彩測定を模索している。まだまだ研究は緒についたばかりであるが、ここで実践のいくつかを紹介し、議論のたたき台としたい。

方　法　現時点における考古資料の色彩情報の取得方法には、色票と比較した視感測色、分光測色計や色差計での測定がある。当初、カラーチャートやグレーカードを含めたデジタルカメラ画像を調整し、色情報を表色系に従って抽出する手段を模索したが、特に屋外においては天候や日照といった外部環境による影響が多く存在することから、成果は思わしくなかった。このため、基準となる色票を対象物と同時に撮影し、ソフトウェア上で近似する色を判定する方法を試みた。手法の検討手段は以下の通りである。

まず、測定の基準箇所を合計 12 箇所設定し、マンセル値を色差計 SPAD-503（コニカミノルタ社製）で測定する(1)。標準土色帖を 1 枚ずつ取り外し、12 枚全てを 1 枚のパネルに貼り付けたパネルを用意する。光源条件を均質に近づけて撮影するため、パネルの角度をなるべく対象に合わせる。取得画像は RAW と Jpeg の 2 形式とした。ペイント系ソフトウェア PhotoshopCS2（Adobe 社）の色域指定機能を使用し、判定対象箇所を指定後、許容量を増減して、画像内の土色パネルの色票で選択されるマンセル値を記録する(2)。選択箇所が 2~3 箇所にわたることが多いが、いずれも色の 3 属性の隣接する部分が選択されており、離れた値を持つ色票が選択されることはなかった。これら(1)・(2)の結果を今回は比較した。

結　果　測定部分を特定した箇所については、色差計の測定値と本手法での値については、色相差については2.5 程度のずれが存在する部分がみられる。これは 40 色相を表現した土色帖のカード 1 枚程度の差異に相当する。明度差、彩度差も 1 程度の差がある。これらは基準とした色差計の解像力を考えた時に、ほぼ同様の成果をしめしていると考えることができよう。同一層と認定した箇所のランダムサンプリングによる測定においては、色相差で 5 程度、明度差・彩度差 1 程度のずれが存在する箇所がある。これらは選択した測定箇所に起因するものと考えることができ、基準色と極端に乖離するものは認められなかった。

まとめ　地域の資産であり、人類の歴史を語る上で不可欠な考古資料の記録は、列島の各地で日々おこなわれている。このため、記録に携わる多くの人々が利用できる手法を模索する必要がある。そのためには、どのくらいの再現性を確保する必要があるのか、そして現実的に利用可能な手段は何かを常に考えていく必要があるだろう。検討した本手法においても使用する色空間や撮影機器や条件による差異といった問題点が多く存在すると考えられる。今後も検討を重ねていきたい。

参考文献

吉田直人　2009「色材の“デジタルカメラ分光分析”に関する基礎的検討」『保存科学　第 48 号』　pp.51-59

西山賢一・木本邦行・磯野陽子・井上弦　2011「色彩計を用いた岩石・土壌の色彩測定法」『応用地質』第 52 巻　第 2 号　pp.62-71

田中由里　2012「緑釉陶器の色彩学的検討―大谷 3 号窯出土の品の目視同定と器械測定―」『篠窯跡群大谷 3 号窯の研究』大阪大学文学研究科考古学研究報告第 5 冊　pp.351-388

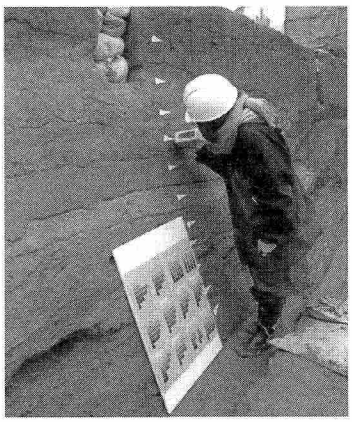


Fig.1) 土色計による測定風景

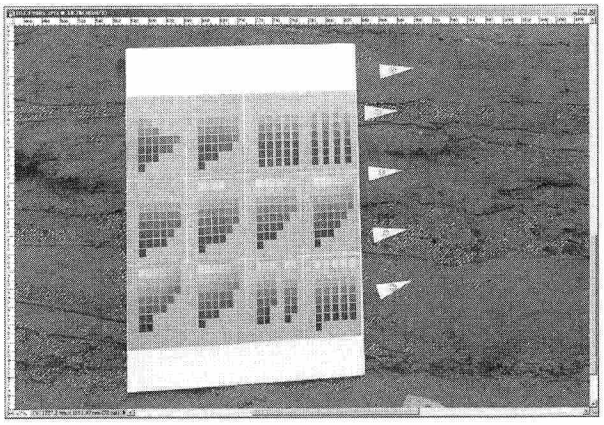


Fig.2) 色域指定による色判定

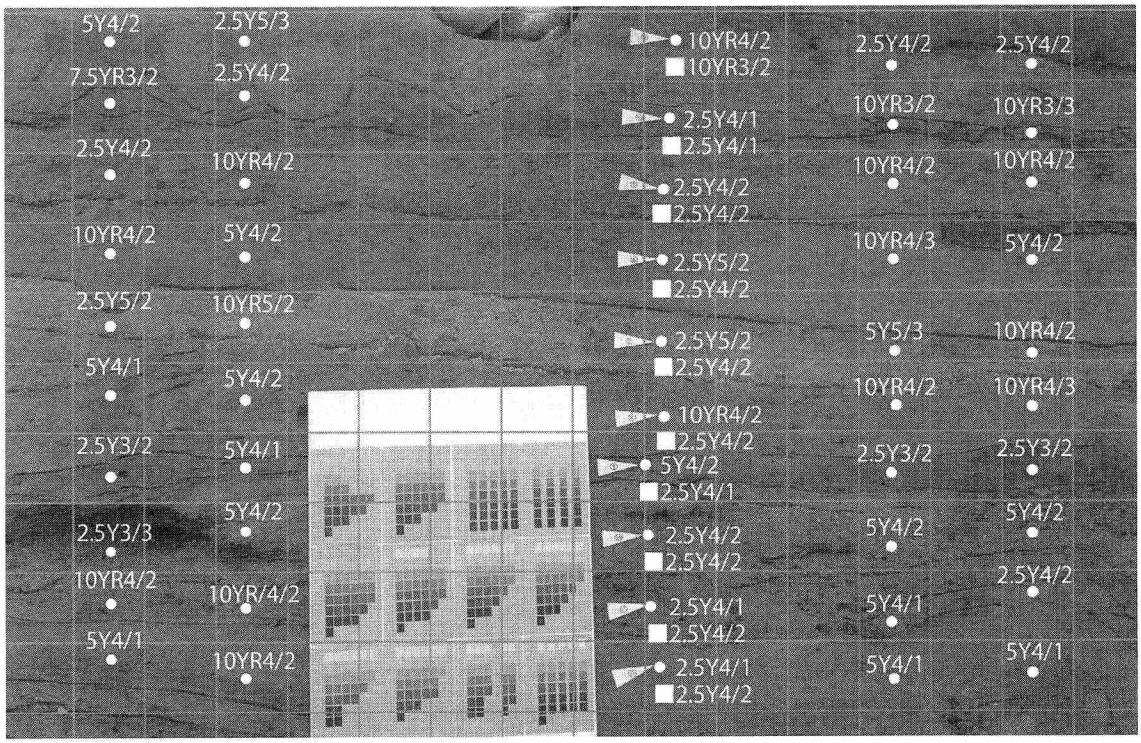


Fig.3) 本手法で得られた土色測定に関する成果

Pl.1) 測定値 (抜粋：灰色の網掛けは土層内の最頻値、太字は土色計と値が一致。③は土色計と同位置での測定)

測定場所	土色計(実測)	③	②	③	④	⑤
ポイント1	7.5YR4/2	7.5YR3/2	2.5Y3/2	7.5YR3/2	10YR3/2	10YR3/3
ポイント2	10YR3/2	2.5Y3/2	**10YR3/2**	**10YR3/2**	2.5Y3/2	10YR3/2
ポイント3	10YR4/2	2.5Y4/2	2.5Y4/2	**10YR4/2**	2.5Y5/3	5Y4/2
ポイント4	2.5Y4/1	10YR3/3	10YR3/2	**2.5Y4/1**	2.5Y4/2	7.5YR3/2
ポイント5	2.5Y4/2	10YR4/2	10YR4/2	**2.5Y4/2**	10YR4/2	**2.5Y4/2**
ポイント6	2.5Y4/2	5Y4/2	10YR4/3	2.5Y5/2	5Y4/2	10YR4/2
ポイント7	2.5Y4/2	10YR4/2	5Y5/3	2.5Y5/2	10YR5/2	2.5Y5/2
ポイント8	2.5Y4/2	10YR4/3	10YR4/2	10YR4/2	5Y4/2	5Y4/1
ポイント9	2.5Y4/1	2.5Y3/2	2.5Y3/2	5Y4/2	5Y4/1	2.5Y3/2
ポイント10	2.5Y4/2	5Y4/2	5Y4/2	**2.5Y4/2**	5Y4/2	2.5Y3/3
ポイント11	2.5Y4/1	2.5Y4/2	5Y4/1	**2.5Y4/1**	10YR4/2	10YR4/2
ポイント12	2.5Y4/1	5Y4/1	5Y4/1	**2.5Y4/1**	10YR4/2	5Y4/1

P-122

新設展示ケースにおけるアルデヒド類の放散挙動およびそのコントロール

Quantitative analysis and control of aldehydes generated from newly built museum display cases

○杉山智昭（北海道博物館）、小林幸雄（元北海道開拓記念館）、
山崎正彦、大隈裕明（光明理化学工業株式会社）

1. はじめに

文化財公開施設等において使用される密閉型の展示ケースは内部空間の温度・湿度の急激な変動を抑制する上で優れた効果を発揮する。しかしケース内での空気交換が緩慢であるため、何らかの要因により文化財に劣化を引き起こすガスが滞留した場合、内部は文化財保存管理上、不適な環境が長時間にわたり保持されることとなる。特に新しいケースを導入する場合には設計の段階から実際の展示運用にいたるまで、有害なガス（有機酸、アンモニア、ホルムアルデヒドなど）の発生を防止あるいは早期に低減するための計画を立案し実行することが求められる。

現在、文化財公開施設における各種造作についてはホルムアルデヒド含有量が基準値以下（F☆☆☆☆　放散量:5μg/㎡h 以下）の素材で設計され製作されるのが主流である。その一方、ホルムアルデヒド以外にも存在している他のアルデヒド類の放散については設計段階で素材指定を行う具体的な選択肢が十分用意されていないのが現状である。その結果として、F☆☆☆☆の素材を組み合わせて制作したケース、パネルなどの造作からホルムアルデヒド以外のアルデヒド類が放散され、文化財に対して長期の劣化作用を及ぼす危険性が常に存在している。

そこで本研究では、F☆☆☆☆の素材から構成された展示ケースについて、実際に放散されているアルデヒド類の調査を行うとともに、その有効なコントロール手法について検討を行った。

2. 材料と方法

1）展示ケース

北海道開拓記念館（2015年4月1日より北海道博物館）に新規導入されたスチール製のセミエアタイト（半密閉型）ケースおよびウォール（壁付けの大型）ケース内について測定を実施した。

2）測定方法

ケース扉を1週間閉鎖した後、あらかじめ設置したエアサンプラーのタイマー機能を利用し、美術館・博物館用検知管（光明理化学工業㈱製　北川式検知管ホルムアルデヒド710型）でホルムアルデヒドを測定するとともに、DNPH捕集管（光明理化学工業㈱製）によってアルデヒド類を捕集したのち、HPLCにて各アルデヒド類の定量分析を実施した。なお、測定が行われていない時期にはケースの扉は常に開放し、各種枯らし作業を継続した。

3. 結果および考察

納品直後のケースついてホルムアルデヒド用検知管を用いて測定を実施したところ、測定限界を超える濃度が示されたが、枯らし作業（高温・低湿環境創出、開放送風）を行った結果、3ヶ月後には大幅なホルムアルデヒド濃度の低下（80ppb）が確認された。その後、DNPH捕集管にて捕集したアルデヒド類について定量分析を行った結果、ホルムアルデヒド以外に、炭素数の多いアセトアルデヒド、ブチルアルデヒドなどの物質が比較的高い濃度で検出された（図1）。

約2ヶ月間の枯らし作業期間を経て2回目の測定を実施したところ、セミエアタイトケースについてはクロトンアルデヒドで62%、ブチルアルデヒドで61%の濃度減少が確認された。またウォールケースに関しても高濃度で存在していたブチルアルデヒドが62%の濃度減少を示し、炭素数の多いアルデヒド類についても時間をかけた枯らし作業（温度・湿度コントロールおよび送風換気）によって濃度を低減可能であることが明らかとなった。

一方、本研究においてはホルムアルデヒドが比較的早期に低減されているが、アセトアルデヒドやアセトンについては、2回の測定で大幅な濃度の低減は認められなかった。今回検出された各種アルデヒド類が実際に文化財へ及ぼす影響については未だ知見が少ない。しかし、F☆☆☆☆の素材から構成された造作物より、ホルムアルデヒドより高い放散量で、かつ濃度低下速度が遅いクロトンアルデヒド、ブチルアルデヒドが検出された結果は、今後の早急な対応として設計時の素材選択肢の多様化・差別化にむけた検討や、より効率的な低減手法の開発、これら物質のモニター・チェック体制の整備を強く促すものと考えられる。

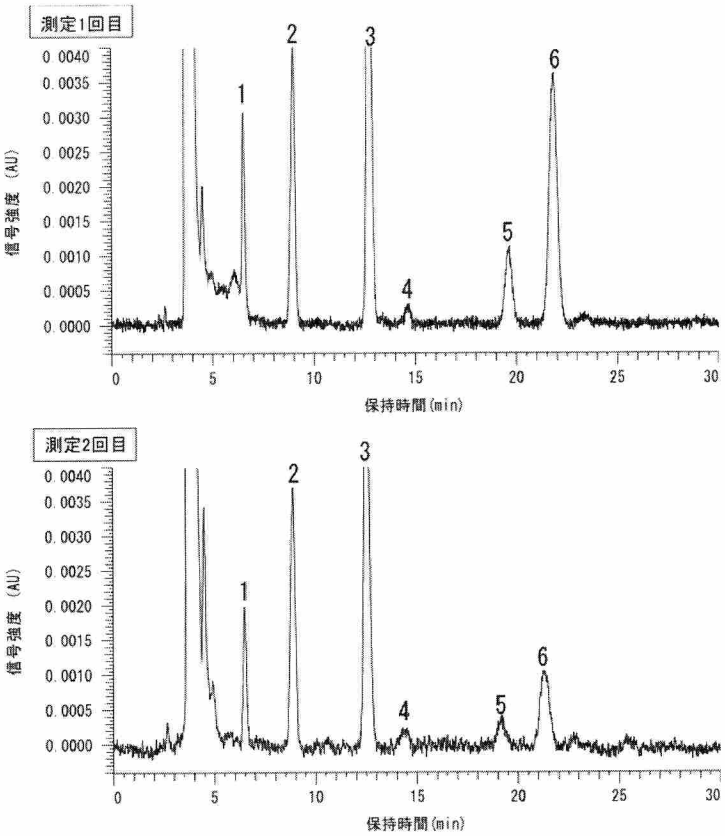


図1 クロマトグラムの例（セミエアタイトケース）

ピーク 1:ホルムアルデヒド, 2:アセトアルデヒド,
3:アセトン, 4:プロピオンアルデヒド,
5:クロトンアルデヒド, 6:ブチルアルデヒド

表1 各種アルデヒド類測定結果例（セミエアタイトケース）

成　分	測定	保持時間	ピーク面積	ppm※
ホルムアルデヒド	1回目	6.50	12922	0.015
	2回目	6.49	11325	0.015
アセトアルデヒド	1回目	8.96	29660	0.032
	2回目	8.88	31115	0.039
アセトン	1回目	12.73	66708	0.076
	2回目	12.55	57378	0.073
プロピオンアルデヒド	1回目	14.68	1785	0.002
	2回目	14.38	3108	0.005
クロトンアルデヒド	1回目	19.65	13507	0.015
	2回目	19.16	4653	0.006
ブチルアルデヒド	1回目	21.83	51094	0.055
	2回目	21.25	17415	0.021

※ 20℃, 9L換算

P-123

土器・石器・その他の遺物
—ごく一般的な遺物についての三次元記録とその意義—
Three-dimensional recording and its significance of "general" artifacts in archaeological sites

○太郎良真妃*、平川ひろみ*、中園 聡**
(*鹿児島国際大学大学院、**鹿児島国際大学)
○Maki Tarora*, Hiromi Hirakawa*, Satoru Nakazono**
(*The International University of Kagoshima Graduate School, ** The International University of Kagoshima)

はじめに

三次元計測は機器やソフトウェアの普及がめざましく、比較的安価なシステムで高精度の三次元記録ができるようになってきた。今後一層の普及が見込まれるが、特別な遺物でなく考古資料の大多数を占める土器片や石器といった普遍的な資料に適用することは、考古資料の記録の精緻化、再現性の確保、保存、研究の発展など、様々な点において寄与するところが大であると考える。ここでは、そうした観点から筆者らが数年にわたり取り組んできた実践例を提示し、その意義と展開について議論したい。

方法

本研究では複数種類の三次元計測機器を使用している。据え置き型、持ち運びの可能なデスクトップ型、ハンディ型の3種類である。いずれも非接触での計測が可能な3Dレーザースキャナである。据え置き型のものは最も精細であるがサイズに制限があり、色情報の取得(マッピング)は同時にできない。それに対してハンディ型は迅速性と応答性が優るが解像度が低いなど、使用条件や特性、精度・解像度が異なる。以上に加え、写真から三次元形状を生成するSfMソフトも使用した。以上の中から、対象物や状況によって最適と思われるものを選択し、または併用するなどしている。

実践例と考察

実践例の一部を示す。鹿児島県三島村黒島の小・中学校に保管されていた全資料について三次元化を実施した（図2；川宿田ほか 2012)。また、黒島に所在する諸遺跡の分布調査・発掘調査に際して土器や石器あるいは陶磁器等の三次元計測を行い、報告した（図1；三島村教育員会 2015)。計測を行うことにより、三次元データとして保管・利用できることや、離島におけるパブリックアーケオロジー・博物館活動に利用可能である。その他、国内外で積極的な三次元計測を行い、遺物の種類による特性や研究への利用等を考慮に入れつつ実践を積んでいる（図3)。

三次元計測は形状を記録するものであるが、そのメリットは記録にとどまらない。そのひとつとして視覚的自由度の向上があり、様々な角度から観察することが可能である。肉眼では観察しにくい文様や微妙な凹凸も、レンダリングを変更することで鮮明になる。また通常では見ることができない自由な視点から土器を観察することも可能になり、通常の観察時の制約から解放されるという点も大きなメリットである。二次元平面に線画で表現された実測図、拓本、写真が長らくメインであり、特に日本における実測図は、世界的にみても規格性が高く信頼性があるが、色情報を盛り込むことは困難であり、器形・調整上の表現しがたい微細形態はもとより、基本的に代表的な1か所で断面を表現せざるをえないなどの制約がある。また、実測者の巧拙や問題関心により違いが生じるのが常であり、再現性や品質保証の観点からも問題がないわけではない。そうした問題を比較的よく解決できる記録法が三次元計測といえる。さらに、土器表面の同一工具痕のマッチングをはじめ、詳細な形態比較に使用できるところも優れている。

三次元計測が考古学の分野で活用されて久しく、すでに広範な導入と応用の時期が来ている。研究素材としての可能性を伸張させつつ、記録にとどまらない活用が今後の考古学において重要になるはずである。

※本研究は、JSPS科研費・基盤研究（B）（26284124）による。文献リストは割愛させていただいた。

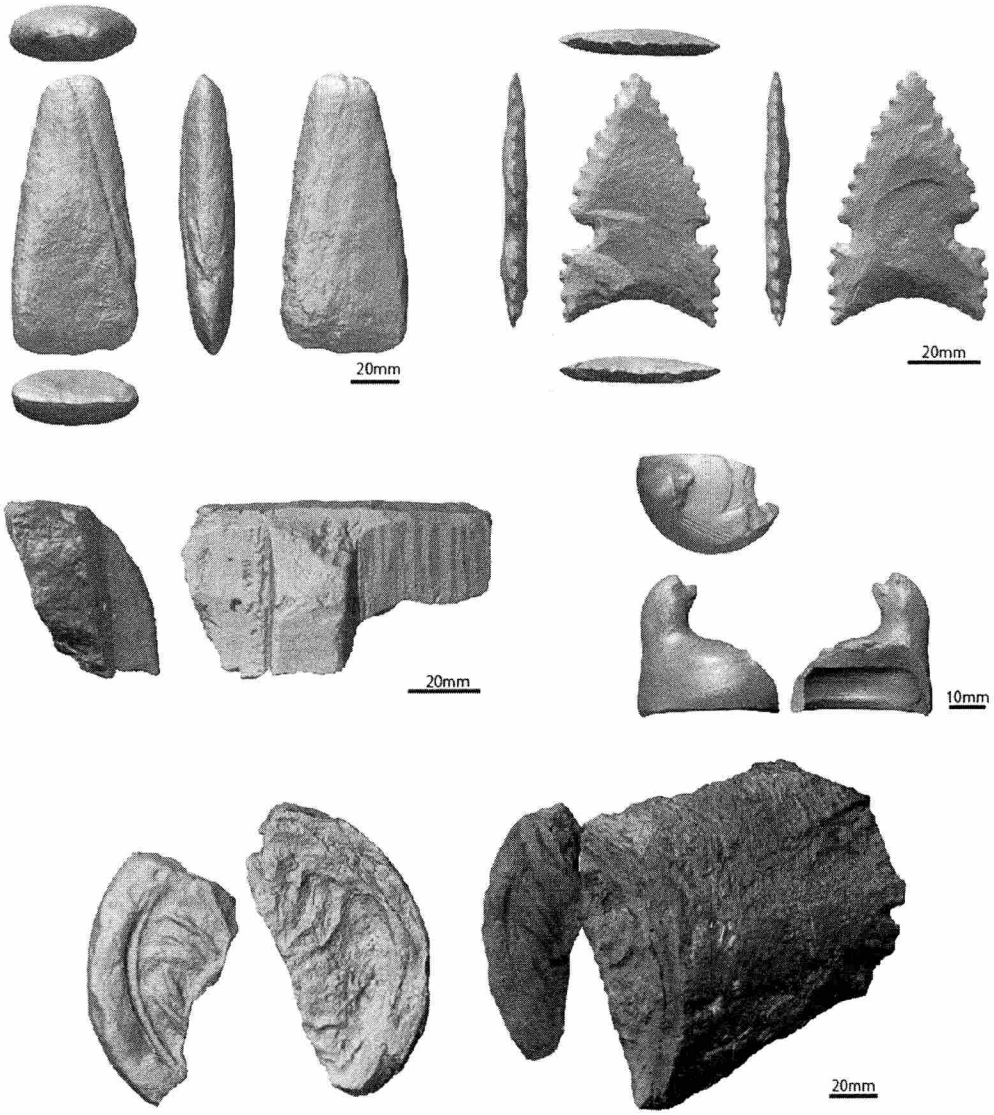


図1 鹿児島県三島村黒島の考古資料

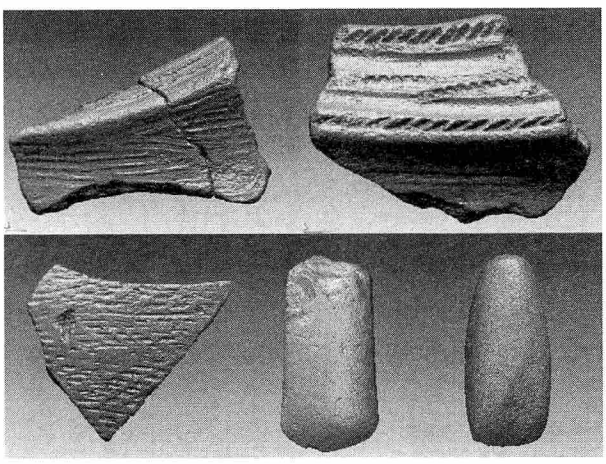


図2 三島村大里小・中学校保管の考古資料

図3 瓦の三次元計測

P-124

SfMによる土器の三次元化
—中国新石器時代の土器を対象として—
SfM measurements of China Neolithic pottery

○楊　帆*、太郎良真妃*
(*鹿児島国際大学大学院)
○Fan Yang*, Maki Tarora*
(*The International University of Kagoshima Graduate School)

はじめに

中国考古学の成果は、しばしば世界的に参照される。それだけに、そうした成果をさらに意義あるものにしようとすれば、遺跡や遺物のより精密かつ客観的な記録や表現をし、広く共有することが求められよう。一方、考古学を取り巻く状況をみれば、昨今の三次元計測に関する発展は著しいものがあり、それを応用することによって、実測者の主観や技量による差異を排除したり、二次元図面に反映しがたかった多くの情報を盛り込んだりすることが技術的には可能になりつつある。

これまで中国国内の実践例として土器などの通常の遺物に関して三次元計測の取り組みはほとんどなされておらず、ここではその手がかりとして新石器時代の土器に対して三次元化を実践することにした。

資料と方法

対象としたのは、遼寧省瓦房店市長興島三堂村出土の筒形罐(中国東北地方の新石器時代に通有の器種)である。三次元化にあたって二次元情報としての写真から三次元形状を生成するSfMを用いた。本研究では100枚程度の写真を用い、SfMソフトはPhotoscan(Agisoft社)を使用した。

結果と考察

土器の正確かつ詳細な形態の把握が可能となった(図1)。土器の形態を様々な角度から観察することもでき、形状だけでなく色情報も付加されるため、近似色調も同時に記録できた。実測図に反映しがたい文様の細部形態や表面の調整痕についても、一通り満足いく程度に仕上がった。特に断面形態については、実測図では片側の一か所しか表現されないのが普通であったが、任意の部位での検討が可能となった。このように、後からでも新しい情報を読み取ることができ、観察や比較検討の自由度が向上するのは三次元化の大きなメリットといえる。三次元計測の諸方法のうち、ここで用いた方法は、記録という点に関してはデジタルカメラのみで可能であり、計測環境の制限も少なく、時間もさほどかからない点も利点である。ただし解析にあたっては、コンピュータのスペックに依存するところもあるが、少なからぬ時間を要する場合がある。より迅速に信頼性の高い満足のいく結果が出せるよう、撮影の手技を含めて経験を積む必要があろう。

おわりに

中国考古学においても三次元計測は、遺跡や遺構、建築物などを主な対象として広まりつつあるが、本研究は土器について三次元化を実施した非常に稀な例となった。考古学研究の土台を確かなものとするには、土器などの普遍的な資料に対して適用することこそ必要なのである。今後、さらに実践していきたい。

※JSPS科研費・基盤研究(B)(26284124)の成果の一部である。文献リストは割愛させていただいた。

テクスチャ表示

レンダリング表示

テクスチャ表示

文様部分の拡大（テクスチャ表示）

横断面と見通し（テクスチャ表示）

図 1　三次元化した筒形罐

P-125

遺跡・調査区・遺構・土層
—SfMによる三次元記録—
SfM measurements in archaeological sites

○太郎良真妃*、平川ひろみ*、白井菜実*、下小牧 潤*、若松花帆**、中園 聡**
(*鹿児島国際大学大学院、**鹿児島国際大学)
○Maki Tarora*, Hiromi Hirakawa*, Nami Shirai*, Jun Shimokomaki**,
Kaho Wakamatsu**, Satoru Nakazono**
(*The International University of Kagoshima Graduate School, ** The International University of Kagoshima)

はじめに

近年、考古学的調査において三次元計測による遺構等の記録が行われつつあるが、いっそうの普及の余地があると思われるにもかかわらず、一般的な手法として普及するには至っていないのが現状といえよう。それには様々な要因があると考えられるが、少なくとも比較的簡便かつ有効な手段として写真等の画像データから三次元モデルの生成を行うSfMの手法がある。すでに国内外で実践例が多くあるが、本研究ではこれまで行ってきた様々な場面での実践例を提示し、普及のための一助としたい。

方法

対象とする調査区または遺構の周辺および内部から、一眼レフデジタルカメラを用いて写真撮影を行い、約400枚程度の写真を取得した後、SfMソフトであるPhotoscan（Agisoft社）を使用して対象物全体の三次元データを生成した。テクスチャ情報も付加されるため、トレンチ壁面の土層等の記録にも役立つ。生成した三次元データをGeomagic XOS（3D Systems社）で読み込み、編集を行った。

事例

本研究では鹿児島県三島村黒島に所在する黒島平家城遺跡と大里遺跡を対象とした。黒島平家城遺跡ではトレンチや遺構だけでなく、地形解析を目的として調査区周辺の三次元化も試みた。当該遺跡は道路からの比高差が大きい崖下にあり大型機材の搬入や電源の確保が困難であった。このような制約に対して、写真による三次元化は特に有効性があった（図1～3）。当該遺跡には約25mに及ぶ石列があり、石の形態や配置をより視覚的に表示・把握することが可能となった。また遺構については掘削の過程で複数の三次元化を行った。大里遺跡では各調査区の三次元化を実施した（図4）。特に、写真で正面から写すことの困難な狭いトレンチの土層について、正面からの歪みのない画像を提示することができた。

まとめ

考古学的調査において基本的かつ重要である遺構の形態の記録や土層の記録などは、多大な時間がかかる点や、調査者の意図的・非意図的な取捨選択が大いに入り込むなどの問題もある。このような問題を解決するためにも三次元計測が有効であり、発掘後の検討も行うことが可能である。また、この方法は事後処理に時間がかかる点を考慮しても、調査者の決断しだいで導入は容易であり、調査時間の短縮などメリットは大きい。また、三次元データを生成することにより、形状・近似的色情報を半永久的に保存でき、将来の活用が可能である。考古学的調査において有効な手段であろう。

※JSPS科研費・基盤研究（B）（26284124）の成果の一部である。文献リストは割愛させていただいた。

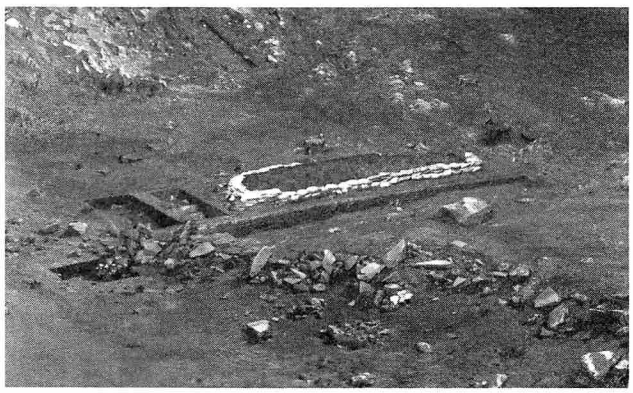


図1 黒島平家城遺跡（中世初期）の調査区の三次元画像

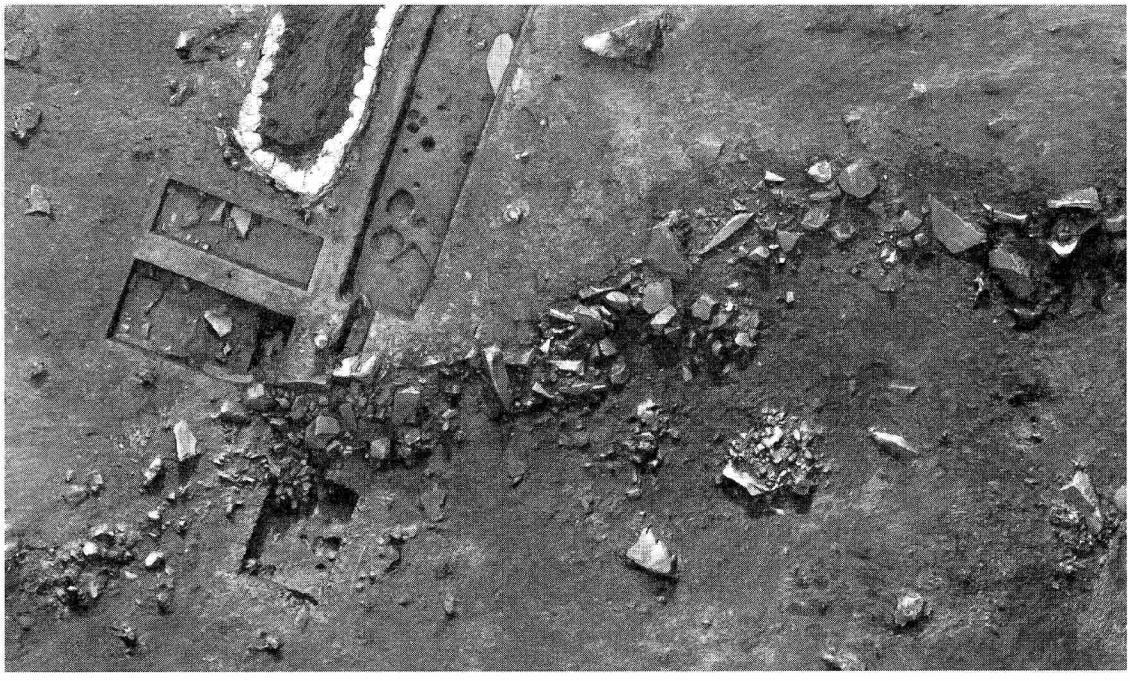


図2　黒島平家城遺跡の調査区の三次元画像（俯瞰）

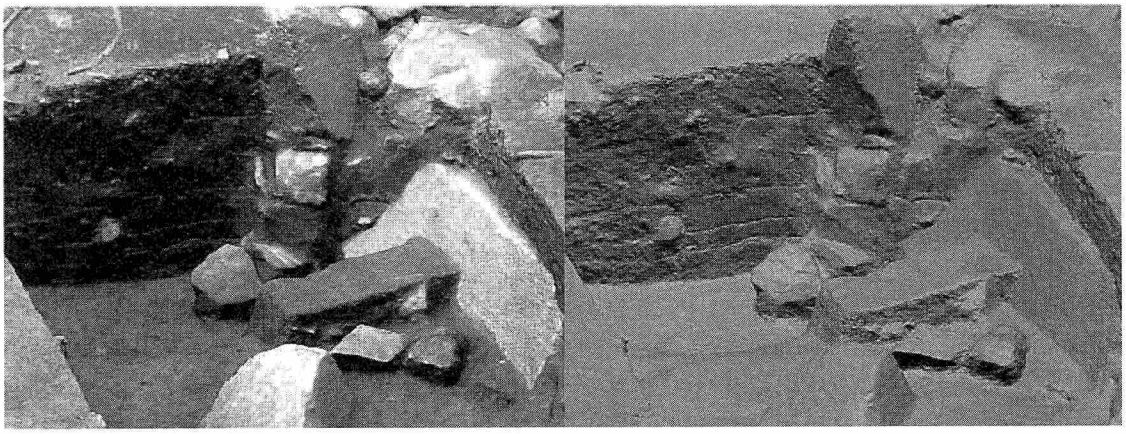


図3　黒島平家城遺跡のトレンチ内の土層（左：テクスチャ表示　右：レンダリング表示）

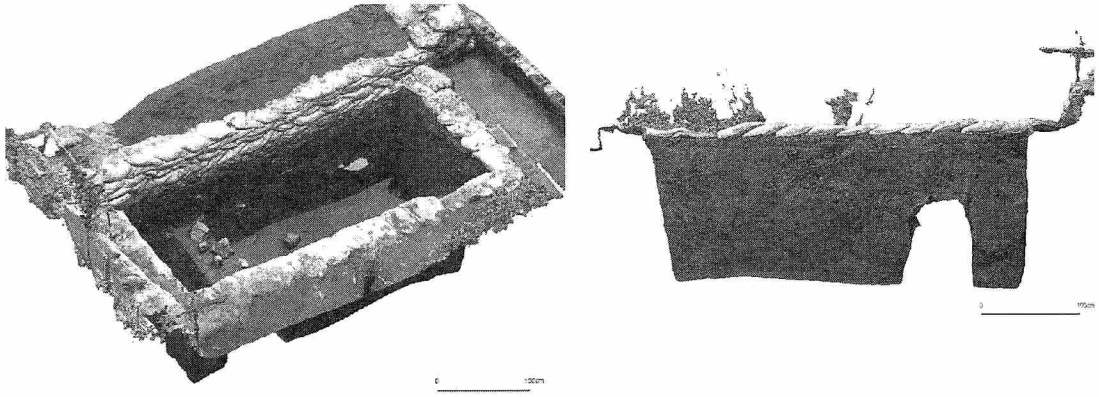


図4　大里遺跡トレンチの三次元計測（左：トレンチ　右：トレンチ内の土層正面観）

P-126

自然地理学・考古学的教育・普及におけるオンライン動画の展開、活用

ーYouTube を例にー

Practical process of Online Movie for Educational Physical geography and Archaeology - Example as YouTube's Channel Composer,2014-2015 -

中塚良（向日市埋蔵文化財センター）
NAKATSUKA , Ryo （Muko city archaeological center , Kyoto）

1. はじめに ～ディジタルポスターセッション 2015～

演者にとって動画はフィールドワークや実験考古学的プロセスを記録しプレゼンする上で重要な媒体であり、これまでスクーリングまたディスプレイ的にオフライン条件下で適宜活用を図ってきた。編集動画は例えばフィールドでの活動を端緒に展開する野外系の大学授業において体感的かつ動態的資料に相当し受講者とのテキスト的共有が期待されるが、授業用オンラインサイトは動画データがほぼアップ不能の小容量（演者の条件では 50Mb サイズ/ファイル）である。他方 DVD ディスク配布等による対応は不可能とは言えないまでもタイムコスト的に非現実的である。そこで 2014 年度以降オンライン動画サイト YouTube 上に自身のチャンネル（図１）を設けフィールドワーク成果を中心に編集資料を試行的にアップロードし今年度実用を開始した。オンライン化は授業用にとどまらず同時に不特定で広範な情報共有を可能とする。調査研究・普及的成果の発信においてオンラインサイトは至便かつ開放的であるが、一方、たとえば発掘調査に関わるデータは動画作者である調査担当に対しても著作権的制限が存在し非ネット利用が基本条件であると確認しうる。ここでは試用以降の過程と成果、課題について提示してみたい。ポスター会場ではオン・オフ各種の編集動画資料をディスプレイする。

2. Youtube チャンネル構成プロセス 2014-2015

京都盆地周辺域におけるフィールド調査成果（2011～）を中心に、東北津波遡上地域におけるフィールド成果（2011. 9）、古式土師器製作実験プロモーション成果（2012）を加え現在 16 編をアップする。

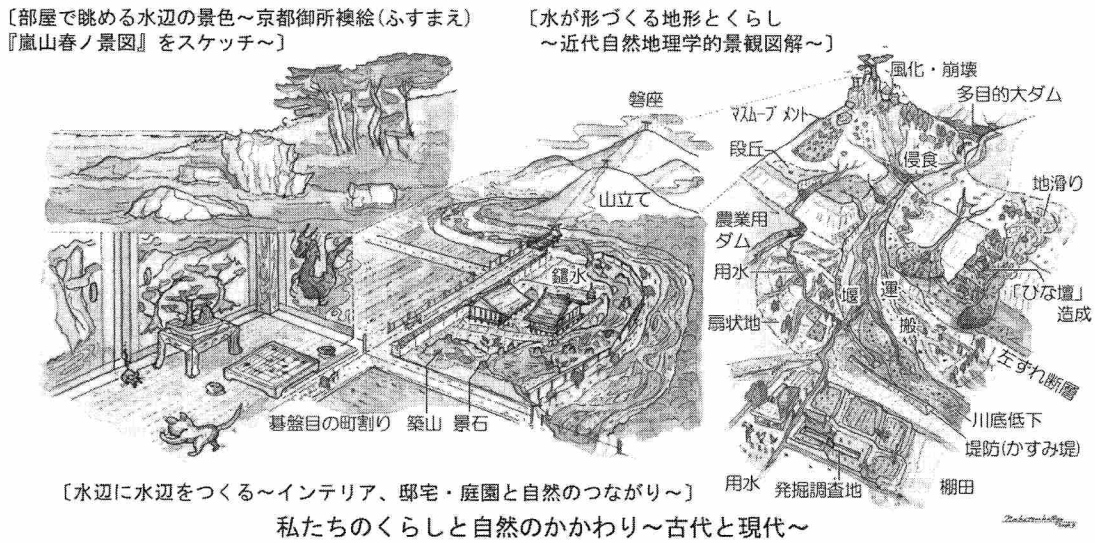
〔2014 年度〕図２に自然景観図解（2009）を示す。物質崩壊・生産場としての組織地形的スカイラインから変動地形的・河川地形的山麓～盆地底に至る、また風化・堆積物質の歴史的資源利用がなされる人間活動場全域が自然地理的フィールドに相当する。中世以降発達をとげる天井川地形の防災科学的観点からの発掘調査過程（2011, 図 3）、山麓から風化花崗岩がしめる山稜を越え、歴史時代斜面発達史に関わる露頭観察をおこなう比叡山フィールドワーク（2013, 図 4）、台風 18 号通過時の峡谷～京都盆地最下流部に至る河川出水状況（2013. 9. 16, 図 5）等を編集、提示する。授業テキスト利用を意図する。

〔2015 年度〕山麓部から分水界を越えるフィールドワークスクール３講（a:岩倉～大原盆地間/瓢箪崩山、b:比叡山音羽川・白川源流域、c:京都盆地北西郊澤山・沢ノ池）を開講する。うち a はプレフィールドワーク（2015. 3 月下旬）で大原側峡谷上部の上石流性扇状地縁辺においてヒキガエル Bufonidae の孤立的産卵・繁殖場を確認し、生物相と歴史時代地形発達史・植生変遷史的関わりについてスクーリング動画資料のアップロード以降も調査を継続中である（図６）。

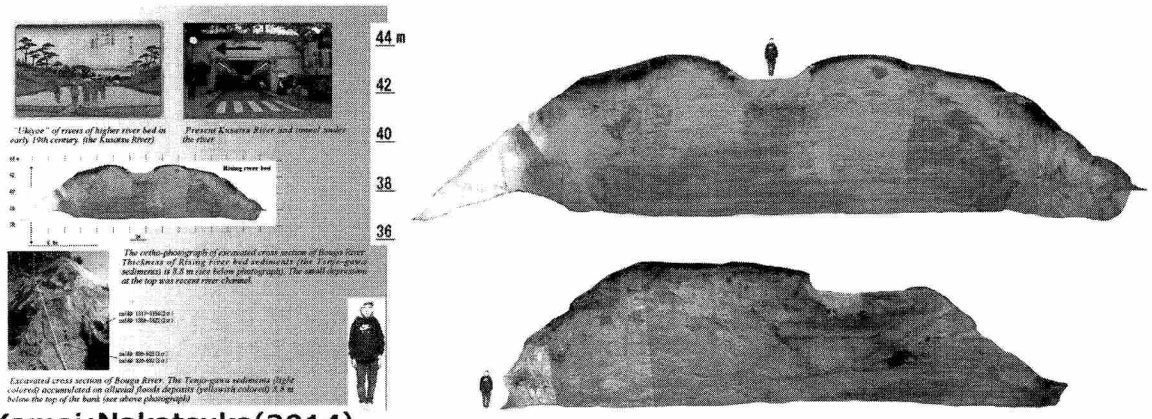
3. 成果・課題

プレフィールドワーク、フィールドスクーリング、以降の調査活動の動態の組み合わせによって授業にライブ感、系統性がもたらされる。オンラインネットワーク上での野外系研究・教育活動に関わる各種チャンネルサイトのさらなる展開が期待される。

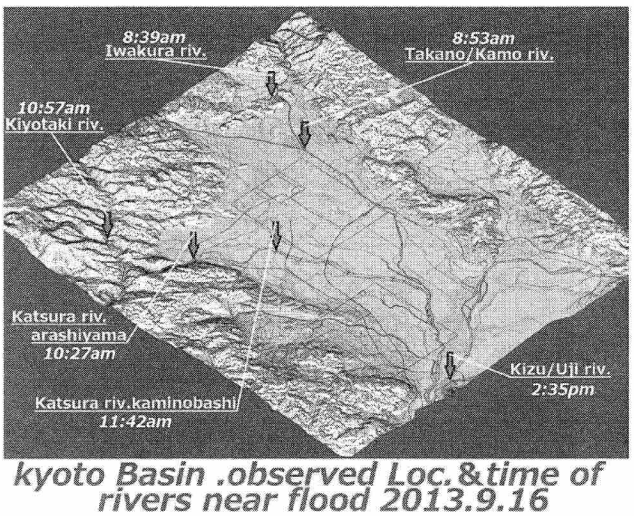
◇図1 演者のチャンネルサイト表示

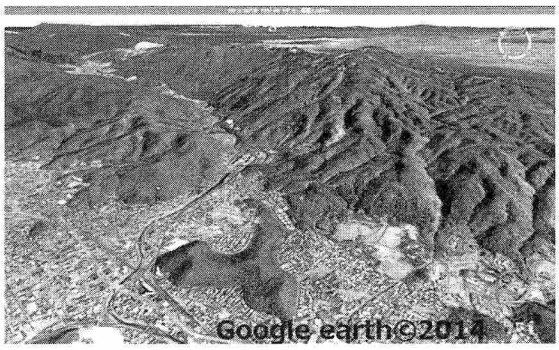


◇図2 自然地理学的景観図解(中塚,2009) ～スカイラインに至るフィールドワークのモチーフ～



◇図3『天井川時代を掘る－防賀川トレンチ調査2011－(防災考古学研究グループ)ver.3.1』挿図





◇図4『比叡山自然地理紀行2013(予告編)』

図5『京都盆地河川景観記録 2013.9.16_ver.2.5』(上)
図6『瓢箪崩山自然地理学フィールドワークスクール 2015.4.26_ver.2.0』(右)

ポスターセッション

文化財科学一般

P-127

土器表面の風化の検討
—現代北タイの伝統的土器を中心に—

Research on weathering of pottery surfaces with a focus on traditional pottery in modern Northern Thailand

○平川ひろみ*、中園　聡**
(*鹿児島国際大学大学院，**鹿児島国際大学)
○Hiromi Hirakawa*, Satoru Nakazono**
(*The International University of Kagoshima Graduate School, ** The International University of Kagoshima)

1. はじめに

従来の土器研究において，土器の壊れ方に関する研究はいくつか存在するが，風化を含めた傷み方についての検討例は極めて少ない。土器が傷む原因として，凍結や加熱（e.g. 中塚 2013），紫外線，植物等の影響などいくつか考えられてきたが，これらに関する実験や詳細観察を含む本格的な検討は，一部を除き手薄であった。土器はどのように，いかにして傷むのか。この課題は，土器のライフヒストリーを知るうえで役立つとともに，過去の人々の使用法や土器に対する態度を把握するためにも重要であると考える。

我々が継続調査している北タイの伝統的土器製作村をはじめ，伝統的土器を現地で目にするとき，苔むした土器が散見される。それらの観察から，土器の風化や傷み，果ては土器が最終的に壊れるに至る要因の一つに，土器表面に付着した藻類・地衣類・苔類等の影響があることが想定された。それらが及ぼすダメージについて検討した例は，土器研究では皆無に近いと思われるが，石造物等に目を向ければ保存の観点からいくつか存在し（e.g. 朽津 2008；イコモス国際石造物専門委員会 2012），また岩石学的・土木工学的観点等からの研究もある。ここでは現代の土器等で実際に観察される苔等の土器付着物に焦点を当て，まずはどのように付着しているのかを把握したい。

2. 事例観察

ここでは表面に苔等の生物着生が看取された土器・素焼陶器を扱う。すなわち，北タイの伝統的土器製作村で製作，使用されていた水甕（モーナム）等の器種のほか，現代日本の家庭で使用されていた一般的な植木鉢等にも着目した。

北タイでは，家々の敷地内に飲料用の水甕が置かれる伝統があるが，現在では実際には飲まれないシンボリックな「置物」として，しばしば中に水を張った状態で設置されていることが多い。そうしたものには高率で苔等の付着がみられる（図1）。また，なかには僅かながら実際に飲料用に用いられているものもあるが，そこでもまた苔等の付着がしばしば見られる（図2）。いずれも付着範囲は外面であり，蓋が被さる口縁部上面から，胴部内面全面に至るまで基本的に付着物は観察されなかった（図3）。このように苔等が付着したままで使用されている例は多い。その他，庭に放置さ

図1　苔むした水甕（北タイ）

図2 飲料用に使用されている水甕(北タイ)

れた土器の内外面にも付着がみられる。以上のことから，遺跡出土土器の表面で，もし生物化学的風化を同定できるとすれば，置かれた状態を復元することが可能になると思われ，新たな課題といえる。

現代日本で植木鉢として使用されている素焼陶器にも，しばしば苔等の生物着生が観察される。それらと北タイの土器について，肉眼観察に加え，デジタル顕微鏡，一部については高倍率の顕微鏡で観察するとともに画像取得も行った。同一個体内における，生物着生部分とそうでない部分を比較するとともに，生物着生部分を水で洗浄し観察した。なお，洗浄による傷が土器表面につかないよう配慮し，洗い足りない程度にとどめ，本来の土器表面を表出させた状態で観察した。

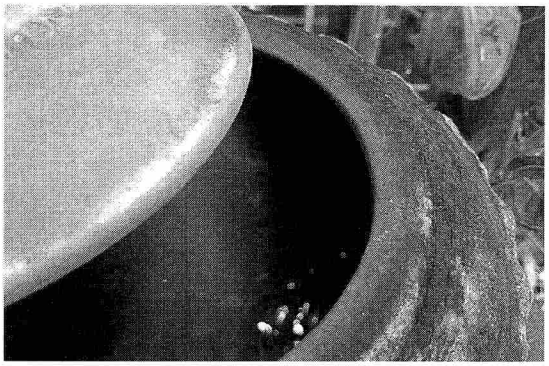


図3 水甕の内面と外面(北タイ)

3. 結果と考察

表面に付着していたものは，藻類，地衣類，苔類，カビであることがうかがえた。生物着生がある部分とない部分で土器表面の状態が特に変わらないものもあったが，変色・付着物の生成，変質など一定程度の差がみられたものがある。やはり水甕として使用されたものには，外面に生物着生がみられ，蓋と接触する口縁部上面～内面全体のほか，底面には基本的にみられなかった。微細な表面のヒビなどに入り込んだものも認められた。生物着生はこのように僅かな隙間に入り込み，さらに着生を進行させ増殖していくと思われる。また，乾燥後の外面には白い付着物が観察されることがある。さらに，苔の場合は土器表面に薄い土壌層を形成しているものが見られた。生物着生の影響は，最初期はごく僅かなものにすぎないが，しだいに外面の劣化や剥離等のダメージをもたらす要因の一つになり得ると考える。

4. おわりに

生物着生の影響について，実際の遺跡出土の土器で観察し，それを見極めていく人が必要である。これらを観察することは，前述のように土器がどのように使用されていたか，どのようなライフヒストリーを辿ったかの復元について，重要な情報を与えると思われる。また，器種による使用法のより詳細な復元や，ひいては使用者の器種カテゴリーの復元にも繋がると期待される。さらに，我々が課題としている土器製作者の高確度個人同定においても，土器表面の微細痕跡の観察が重要であるが，その際に観察される微細なダメージがどのような要因・機序で表面が風化するのかを把握する必要があり，生物着生の影響の有無についていっそう注意していきたい。

※JSPS 科研費・基盤研究(B)(26284124)の成果の一部である。

P-128

水中遺構評価のための沿岸域測量と海浜流系シミュレーションデータの統合

Data integration of measurement and simulation for understanding of the underwater heritages

○津村宏臣(同志社大学文化情報学部)、
茂木孝太郎(同志社大学文化遺産情報科学研究センター)

はじめに

本研究では、環境が一定しない海浜域（動的地形遷移）に残された海中遺構を評価するため、クアッドコプターによる空撮映像から３次元写真測量を実施、海浜流系モデルとシーマーカーを用いた実地モニタリングデータを統合し、水中遺構構造機能評価を実施した。

具体的には小豆島・天狗岩磯丁場および周辺域における中世期突堤遺構（通称：カモメ石）の調査を実施した。従来は船着き場と評価されてきた遺構について、新たに潜水調査データとも関連づけ、これがカオティックな海浜流系を制御する導流堤の機能を持った可能性を評価した。こうした調査は従来の水中考古学や文化遺産評価の事例がなく、新たな計測手法の開拓も独自性と新規性が指摘できる。また、この調査では、合わせて沖合６km にある水ノ子岩座礁岩周辺の潜水調査と動画撮影、動画映像からの写真測量と水中構造評価、ソナー探査なども実施し、この周辺に、切り出された石材が多数水没していることを確認した。

1. クアッドコプターによる空撮と写真測量を併用した沿岸域地形のモニタリング

一般的に、海浜部の汀線周辺域は多様な気象条件や海浜流系作用などにより、微地系の把握とその記録の困難さが指摘されてきた。筆者らは、これまでLRFなどを利用し地形計測を実施してきたが、継続的なモニタリングのため、クアッドコプター（Phantom）による動画撮影（GoPro HERO4）と、撮影された動画からの写真の切り出し、切り出された写真を用いた３次元写真測量とオルソ画像作成を実施した。本方法では、①空撮動画を動画解析ソフトで連続制止画として析出し、②この中で撮影方向を指示した後、マーカーを用いてラップ率の高い画像を自動抽出し（Handmade）、③これらの画像を写真測量ソフトウェア（Agisoft PhotoScan）を利用して３次元スキャンデータとして、これから④オルソ画像と、⑤空間補間処理（Handmade）を行い、⑥DEMと等高線図作成を行った（Fig. 2）。これにより水中遺構周辺の微地形モニタリングが可能となった。

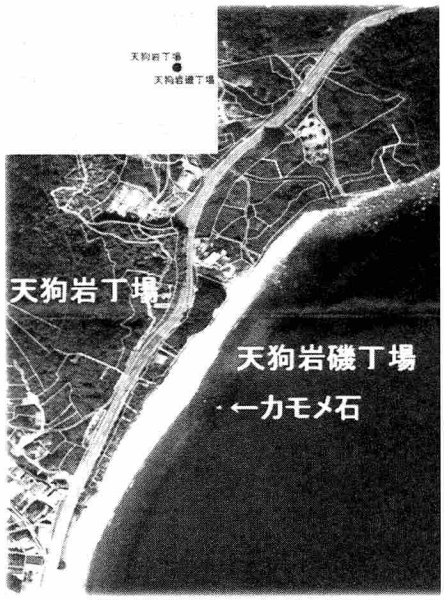


Fig. 1　大坂城石切丁場址群（天狗岩）

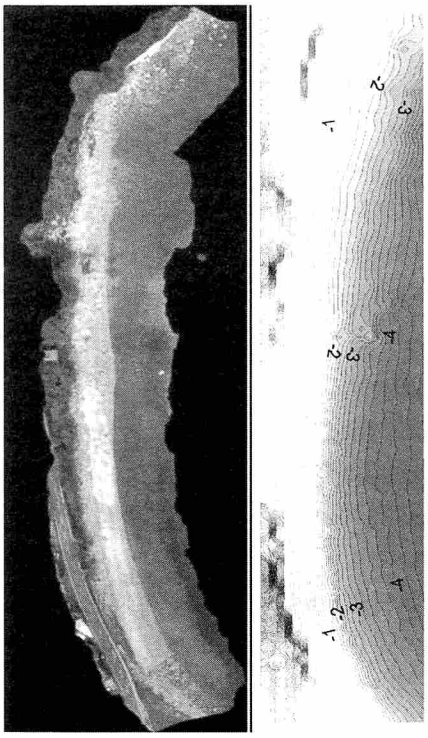


Fig. 2　空撮と写真測量による地形図

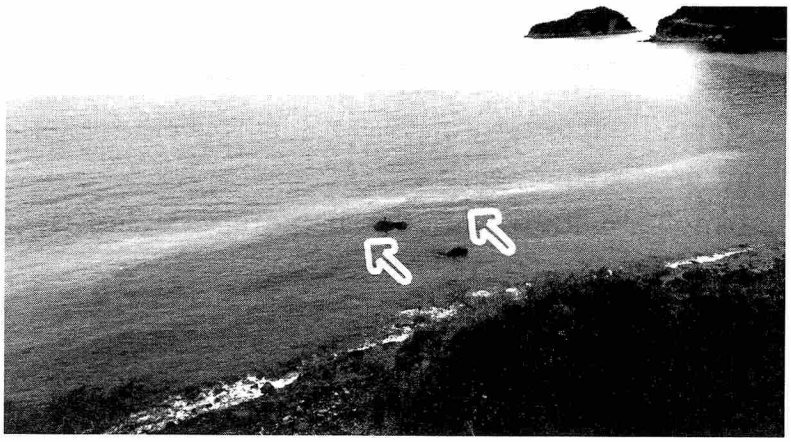


Fig. 3　シーマーカーによる離岸流調査（天狗岩磯丁場）

2. カモメ石の構造評価と離岸流調査

これまで、筆者らの理解では、「カモメ石」は石材運搬船係留のための施設と理解していた。しかし、汀線周辺地形の微細な評価と、モニタリング、海底埋設石材（人工リーフ）との関係から、カモメ石関連水中遺構を中近世期の高度な潮汐流・離岸流利用施設と評価しその実験を実施した。

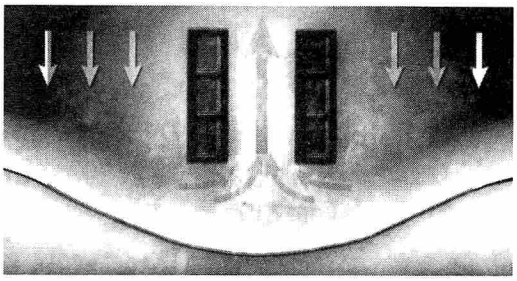


Fig. 4　導流堤（カモメ石）模式図

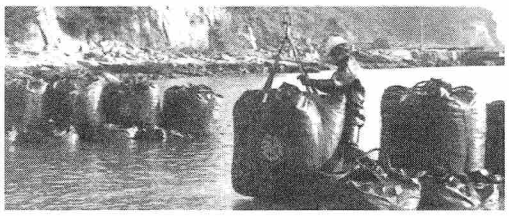
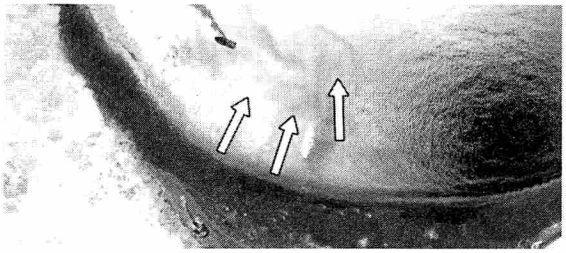


Fig. 5　荒浜での導流堤設置実験



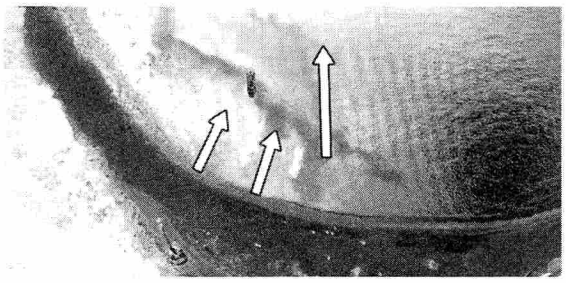


Fig. 6　荒浜での離岸流実験

なお調査・実験には、小豆島町、町所在石材加工関連企業、NHK、アマゾンラテルナ各社が協力した。天狗岩磯丁場でシーマーカーを用いた離岸流の確認（Fig. 3）を行い、周辺海域で、類似した海浜地形を精査し、小豆島町荒浜を実験場所に定めた。Fig. 4に見られる離岸流モデルを参考に、Fig. 5のように土嚢による導流堤を設置、Fig. 6のような離岸流実験結果（同様にシーマーカーによる撮影）をえた。この結果から、詳細な地形図作成と海浜流系のシミュレーションおよびその実験結果から、中近世期における沿岸域の海洋運搬技術の一部を解明した。

3. 水ノ子岩座礁岩周辺での水中調査

上記モデルでは、一度に沿岸から搬出できる石材規模が小さいため、沖合での石船などへの積み替えを想定し、水ノ子岩座礁岩周辺の水中調査と探査（地形図作成）を実施した。結果、多くの水没石材を確認した。今後その運搬作業工程の復元のための調査を継続する。

P-129

赤外線サーモグラフィを用いた表面温度変動の記録
- 臼杵市下藤地区キリシタン墓における調査事例 -
Record of surface temperature variations using infrared thermography
-The case study in the shimofuji district Christian cemetery,Usuki City -

○伊藤広宣((株)文化財保存活用研究所)HIRONOBU ITO, 山路しのぶ(同) SHINOBU YAMAJI,
山村健生(同)KENSEI YAMAMURA, 神田高士(臼杵市教育委員会)TAKASHI KANDA,
山路康弘(宇佐市立西部中学校)YASUHIRO YAMAJI

1．はじめに

赤外線サーモグラフィは対象物が発する赤外線エネルギーを検出・分析し、温度分布図として画像化する装置である。この装置は対象物の表面温度を「面」で表すため、広範囲の表面温度の比較に適している。また、対象物を定点撮影することで、表面温度がどのように変動したかを把握することもできる。そのため、赤外線サーモグラフィの撮影は屋外文化財における日射の範囲やその影響を知るための調査方法として有効である[1)]。今回は大分県臼杵市の下藤地区キリシタン墓でおこなった調査から、遺構面における表面温度変動の結果について報告をする。

2．調査概要

下藤地区キリシタン墓は大分県臼杵市野津町に所在する16世紀末～17世紀初めに造られたキリシタン墓地である。発掘調査によって54基以上の石組墓をはじめ、建造物の礎石や砂利敷の円形広場・参道等の遺構が約400㎡の範囲で見つかり(図１)、現在も継続して発掘調査がおこなわれている。冬は凍結防止策として保温袋やシートを遺跡全体に被せているが、春から秋の間は遺構の大半が保温袋やシートを外しており、日射が直接土壌や遺構にあたる状態であった。

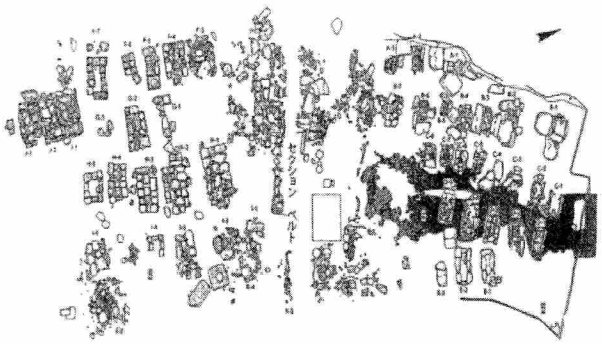


図１　下藤地区キリシタン墓遺構図面

2013年の夏に遺跡の西側で土壌にヒビ割れや白色析出物が認められた。一方で、南東側の一部では菌類や植物の繁茂を確認した。これらの原因は遺跡周辺環境の相違や日射状況の違いによる土壌表面温度の差と考えられる。下藤地区キリシタン墓の土壌や墓石において、日射が与える影響を把握するため、赤外線サーモグラフィによる定点撮影をおこない、遺跡内の表面温度変動を記録した。赤外線サーモグラフィには「サーモトレーサ TH9100MR(NEC Avio)」を使用し、撮影は日の出前から日の入りまでおこない、撮影間隔を１時間毎とした。

3．調査結果

今回は撮影結果を基に下藤地区キリシタン墓を４つのエリア(北東部, 北西部, 南東部, 南西部)に分け、土壌表面温度変動から見た各エリアの日射状況の比較と同エリア内の墓石表面温度変動の比較の結果について以下に示す。

【土壌表面温度変動から見た各エリアの日射状況の比較】

各エリアから図２の４点を選定し、土壌表面温度変動の比較をおこなった。図３に示すように、日射によって各地点の土壌表面温度が上昇する時間および上昇幅に大きな差が見られた。2013年の夏に土壌のヒビ割れが生じていた北西部および南西部は午前中から日が射していた。一方、植物の繁茂が見られた南東部に日が射したのは午後からだった。これらから、各エリアで日が射す時間が違うことが確認できた。

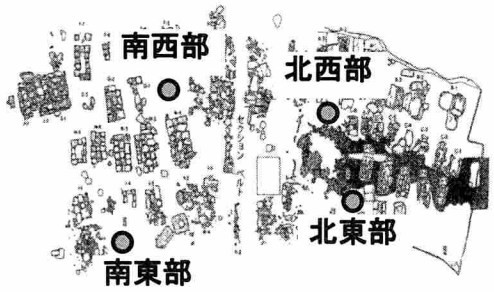


図２　土壌表面温度変動比較地点

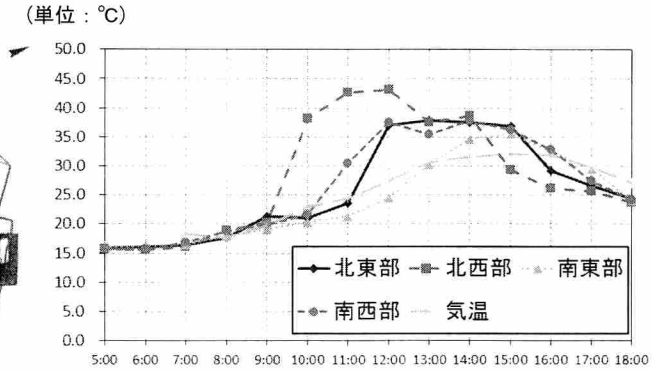


図３　土壌表面温度変動状況

【同エリア内の墓石表面温度変動の比較】

北東部エリア内にある墓石Ａと墓石Ｂは日照時間がほぼ同一であったにもかかわらず、表面温度の上昇および下降勾配や最高値などに差が生じた(図４，５)。これは石の大きさや種類、劣化状況による差だと考えられる。今調査では墓石Ａと同様に、日陰になった後も隣接する墓石より表面温度が高い傾向にある墓石がいくつか確認できた。

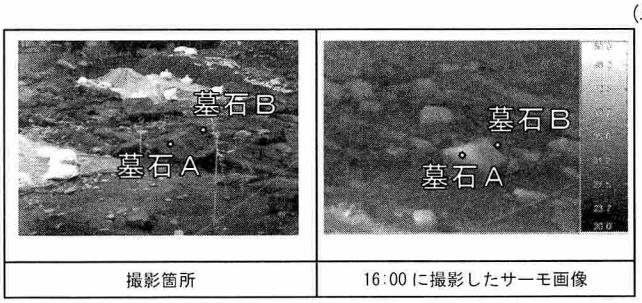


図４　墓石表面温度比較箇所

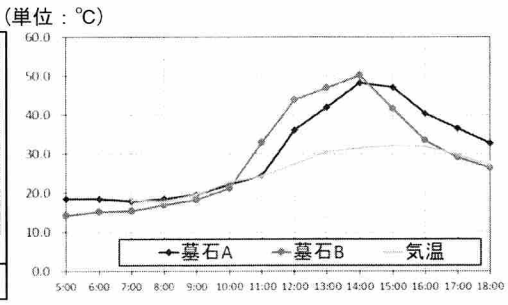


図５　墓石表面温度変動状況

４．まとめ

今回の調査では、赤外線サーモグラフィで遺跡内を撮影することによって、表面温度変動を把握することができた。また、2013年の夏に見られた土壌の変化に日射が関係していることが明らかとなった。さらに、下藤地区キリシタン墓に用いられている墓石の中で、比熱の違いがあることも判明した。今後は冬場における表面温度変動を把握する必要がある。

１）山路康弘　2009「赤外線サーモグラフィにおける屋外文化財の劣化診断」『埋蔵文化財の保存・活用における遺構露出展示の成果と課題 - 平成 20 年度 遺跡整備・保存修復科学合同研究集会 報告書 - 』奈良文化財研究所 pp. 71-78

P-130

ハミ塚古墳から見つかった白色物質の分析調査

Analysis of the white substance found in Hamitsuka kofun

○鶴真美　廣岡孝信　山田隆文（奈良県立橿原考古学研究所）
○Mami Tsuru　Takanobu Hirooka　Takafumi Yamada
(Archaeological Institute of Kashihara, Nara Prefecture)

1. はじめに

ハミ塚古墳は奈良県天理市岩屋町に位置する、6 世紀末～7 世紀初頭に築造された方墳である。発掘調査は 1995 年 10 月 2 日～10 月 20 日、1997 年 2 月 3 日～6 月 16 日に奈良県立橿原考古学研究所によって行われた。埋葬施設は両袖式の横穴式石室で、石室は巨大な花崗岩によって築かれ、石室壁面の各所に白色物質の存在が認められた。また石室内には、凝灰岩製刳り抜き式家型石棺の破片が確認され、その外面においても白色物質の付着がみられる。なお、現在は石室羨道の一部を除き、石室の大半は埋め戻されている。

白色物質の残存状況から古墳時代の当時の状況を推測すれば、石室玄室・羨道の壁面、石棺の外面に白色物質が塗られていたと考えられている。この白色物質については既に蛍光 X 線分析が行われており、その結果カルシウムとリンを含むことが確認された。今回の調査では、これらの白色の物質について、自然科学的な手法を用いて分析を行い、材質の詳細を得ることを目的とした。

2. 試料

試料 1　：　凝灰岩製の石棺石材の表面に白色物質が付着している。乳白色でチョーク状を呈する。スサ材などは確認できなかった。

試料 2　：1999 年に石棺表面から採取された乳白色物質の小片。採取箇所は不明である。

試料 3　：羨道床面から検出された白色の物質である。軟質で軽く、不定形で鍾乳石に類似した形状である。きめ細かい粒子によって構成されており、斑点状に黒色の粒子が混じる。

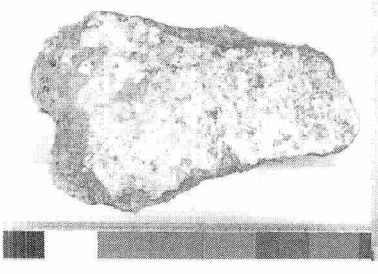


図 1　試料 1

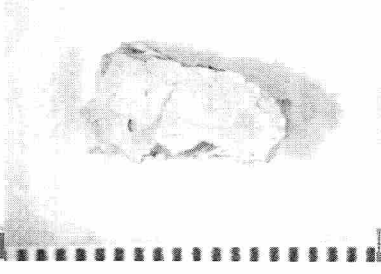


図 2　試料 2

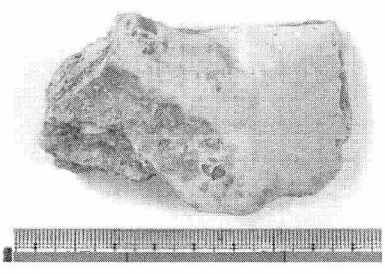


図 3　試料 3

3. 分析方法

走査型電子顕微鏡（以下 SEM）による観察、エネルギー分散型 X 線分析(以下 EDS)、X 線回折分析（以下 XRD）を行った。SEM 観察及び EDS は日本電子 JSM-5400LV を使用した。XRD 分析は Rigaku MINIFLEX II を使用した。ターゲットは Cu、走査範囲は 3~90deg で測定を行った。

4. 結果

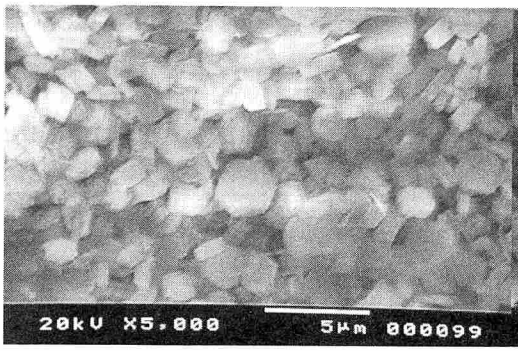


図4　試料1　SEM画像

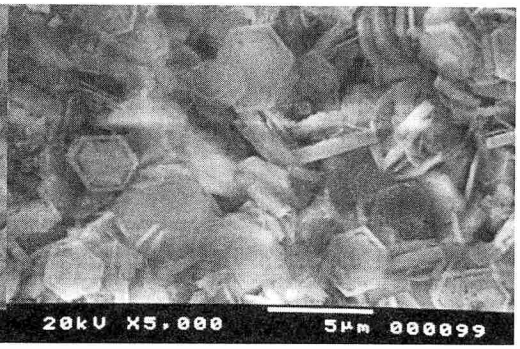


図5　試料2　SEM画像

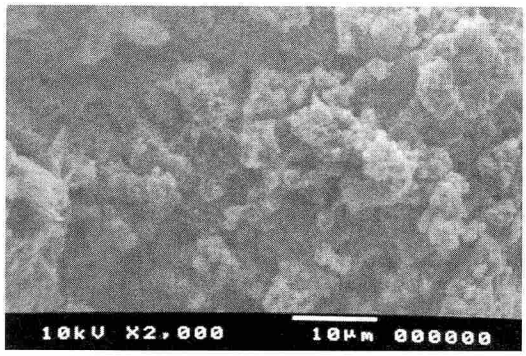


図6　試料3　SEM画像

表1　EDS分析とXRD分析の結果

	EDS	XRD	化学式
試料1	Al、P、K、Fe	タラナキ石	$(K,NH_4)Al_3(PO_4)_3(OH)\cdot 9H_2O$
試料2	Al、P、K、Fe	タラナキ石	$(K,NH_4)Al_3(PO_4)_3(OH)\cdot 9H_2O$
試料3	Al、Si、K、Ca、Fe	方解石、バテライト、石英	$CaCO_3$、SiO_2

5. 考察

試料1、2からは、タラナキ石と呼ばれるリン酸塩鉱物を検出した。SEM観察からは、六角板状の結晶が確認できた。タラナキ石は洞窟などの湿潤な環境下においてしばしばみられ、特にコウモリの糞（コウモリグアノ）に多く含まれるリン酸と洞窟中の粘土などが反応し、生じることがある。試料1、2にはリンが含まれており、コウモリグアノなどの外的要因によりリン酸が供給され、タラナキ石が二次的に生成された可能性が高い。また試料3からは方解石と石英、バテライトを検出した。バテライトは方解石の多形にあたるが、通常自然界ではあまり見られない鉱物である。炭酸カルシウムからバテライトが形成されたと考えられるが、壁面や石棺の装飾に炭酸カルシウムが用いられたかは不明である。

ハミ塚古墳の石室壁面には漆喰などが塗られていたと推定されていたが、今回の分析でタラナキ石という洞窟鉱物を検出したことによって、既報告で顔料とされてきた白色物質の再精査が必要と考えられる。しかし今回実施したのは石棺石材の一部と床面に堆積した炭酸カルシウムの分析のみであり、石室壁面や石棺全体の白色物質について言及するには至らなかった。リン酸塩鉱物を顔料に用いた可能性や、何らかの装飾を施した上に二次生成物が生じた可能性なども想定した上で、今後はさらに詳細を解明していきたい。

P-131

宮城県利府町硯沢遺跡 SP126 出土火葬人骨の形成過程研究

Formation Process Analysis of a Cremated Human Skeleton, Excavated from the SP126, in the Suzurizawa Site, Rifu-Cho, Miyagi Prefecture.

○富岡直人(岡山理科大学)、足立望(岡山理科大学大学院)、高橋義行(利府町教育委員会)

はじめに

2009 年度の硯沢遺跡(宮城県利府町硯沢窯跡[高橋他 2011])で検出した SP126(図 1)は 9 世紀前半の須恵器長頸壺を伴い、その中に細片の火葬骨(硯沢火葬骨)が納められていた[瀧川 2011]。

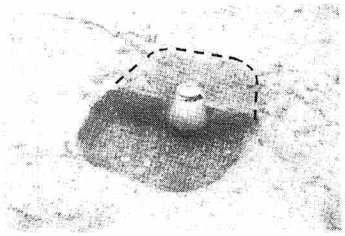


図 1. 硯沢遺跡骨蔵器出土状況
[高橋 2011: p.117 一部改変]

1. 焼骨・骨灰

壺内の白色化した焼骨と骨灰等内容物は便宜的に 5 層に分けてサンプルされた(図 2, 3)。1～4 層では白色化した焼骨の細片が多く、およそ 5cm の厚さでサンプルを集めた。最下層の 5 層では、暗褐色の土壌の付着が多くみられ、それを基準にサンプルを行った。当初、この土壌の付着は倒立した壺の開口部の近くにあったため土壌が自然に侵入したものと推定したが、あらためて検討すると、①骨蔵器は 2ℓ程度の細口の壺で密に焼骨・骨灰が集積していたこと. ②12 世紀末の貴族の葬儀法を記述した「吉事次第」[塙 1932]に火葬骨の封入において「次茶婉ノ瓶子ニイレテ土砂ヲクハヘ入テフタヲオオヒ」という記述がみられること. ③他遺跡で粘土棒が挿入された例があること. 以上の 3 点より、意図的に土を入れた可能性もあると考えることとした[富岡他 2014]。

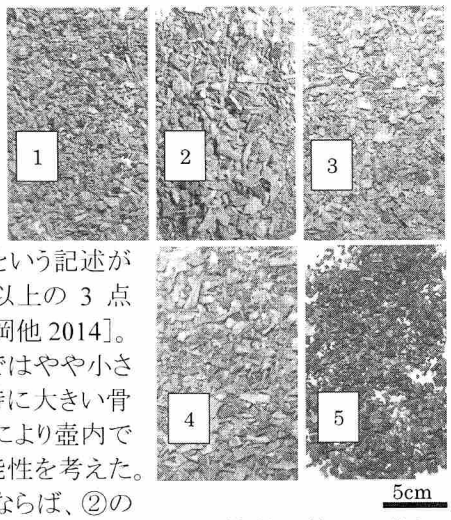


図 2. 焼骨・骨灰の状況

1 層の骨格破片は他の層の骨格破片より大きく、特に 5 層ではやや小さい骨片が多かった(図 2)。これは、①壺内に焼骨を納める時に大きい骨格から拾って壺内に入れた. ②逆位に箱に収めた後、震動により壺内で骨が動き大きな破片が上に、小破片が下に移動した. の可能性を考えた。ただし、報告書で書かれている通り、近傍で火葬された骨格ならば、②のように震動で移動する機会は少ないと予測される。

壺内の残存物総量は 2,130g であったのに対し、灰・骨粉の総重量は 791g で、瀧川氏は「ほぼ全身の部位を灰とともに納めた可能性の方が高い」とし、それは単数の個体に由来したと推定することに「矛盾はない」とした [瀧川 2011: p.158]。筆者らの観察でも図 4 に示すように、単数個体に由来する可能性を補強するように検出された部位にダブリはみられなかった。筆者らもいままで火葬人骨の分析を行ったが、硯沢火葬骨の焼骨と骨灰の重量はその中でもやや多い状態であった。

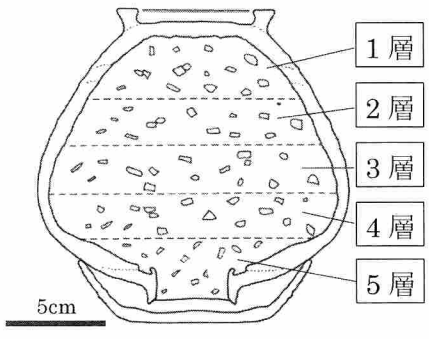


図 3. 骨蔵器断面図(模式図)
-----は便宜的分層, ただし 1 層が上部まで充填されていたかは破損していたため不明。

2. 火葬骨

年齢や性別の情報を示しやすい骨格としては、わずかに単根性の歯(切歯。大歯・小臼歯等)の骨尖が形成完了している状況を根拠に、若くとも少年期(15 歳前後)以降[瀧川 2011: p.158]と推定されるのみである。また、長期にわたる殯の後や他の場所に一次埋葬や曝されて白骨化した後に焼かれたのではなく、死亡後期間をおかずに火葬されたと推定されている[瀧川 2011:p.158]。筆者らの観察でも、その所見は支持された。

3. 骨蔵器

壺は約 2,300ml の容積の長頸壺で、焼成後に長頸基部を連続する剥離で調整し、短細頸状に加工されていた(図 5)。壺は図 1 の通り逆位に埋納され、杯身が開口部を塞ぐように添えられていた(図 3)。

骨蔵器を逆位に埋納する風習は、平安時代末期の文献にみられる「うつふし」[勝田 2003:pp.146-150]の事例と考えられる。

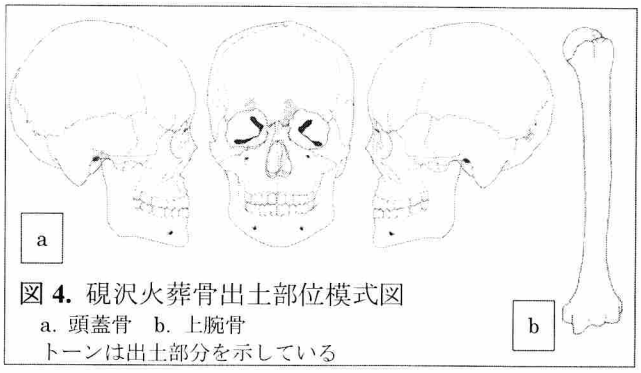


図 4. 硯沢火葬骨出土部位模式図
a. 頭蓋骨　b. 上腕骨
トーンは出土部分を示している

4. 角釘

壺に近接する状態で土壙内から鉄製の角釘が検出された。このことから、外容器として木箱があった可能性も考えられる。杯身の下には植物性炭化物が検出され、意図的に木炭が墓壙に埋置されたものと推定した。

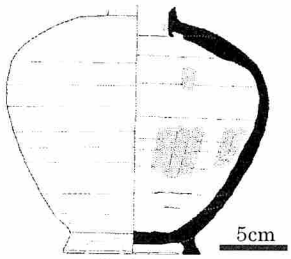


図 5. 硯沢遺跡骨蔵器（SP126 出土）［高橋 2011: p.118］

5. 火葬骨の形成過程

以上の所見をもとにして形成過程を復元すると図 6 のようになった。脊椎に由来すると考えられる骨片に、暗色がかった色彩を示すものがみられることから、脊椎付近に燃料や酸素の供給が行き渡らず、比較的低温度で焼成された可能性がある。これは、骨格が火葬中に攪拌されるようなことがなく、姿勢を保ったままで長時間焼かれた可能性を示している。骨片の多くに螺旋状に展開する歪みや亀裂がみられ、これらの骨格が筋肉等の軟部組織を残した比較的新鮮な状態のまま火葬されたことが推定された。

また、ガラス状の付着物が複数の骨片に確認された。2 層からは骨格の外面に付着したと考えられるものが 3 片以上、脳頭蓋内面に付着が観察されたものが 1 点、四肢骨の髄側に付着が観察されたものが 1 点検出された。これは、エントツ効果を有す閉鎖的な炉で焼かれたことをうかがわせる。

以上より、既に 9 世紀前半頃には宮城県内で死亡後期間をおかずに火葬する風習や、骨蔵器を利用した火葬骨埋納があったこと、骨片にガラス状膠着物質の付着が起こるような状態で火葬されたことが判明した。

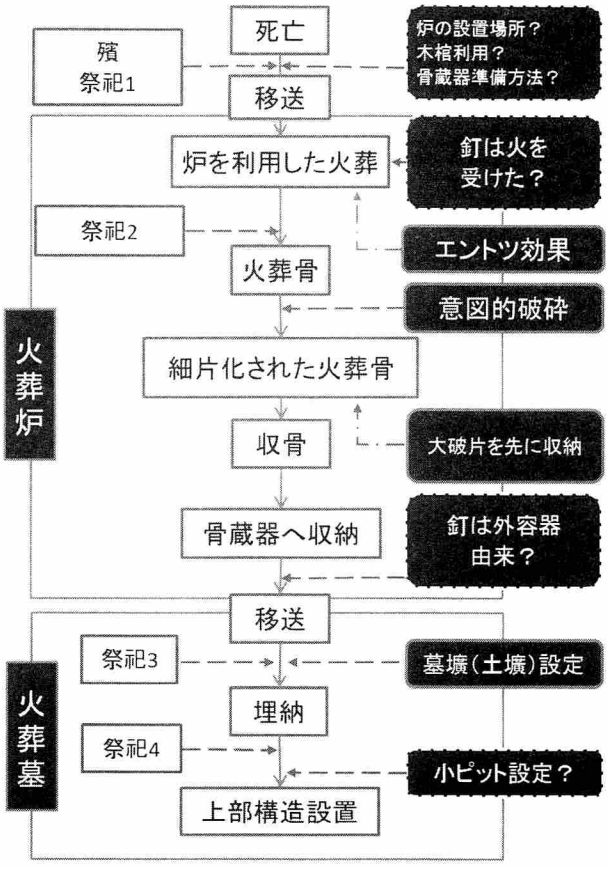


図 6. 硯沢火葬骨形成過程

引用文献

勝田　至　2003「貴族の葬法」『死者たちの中世』［吉川弘文館］:pp.129-165

高橋　義行　他　2011「第Ⅳ章. 調査成果」『硯沢窯跡Ⅱ』［利府町教育委員会］: pp.10-134

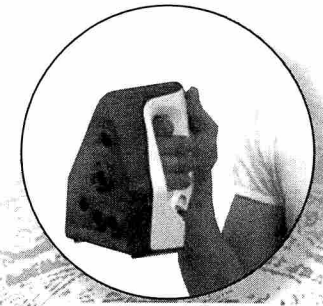
瀧川　渉　2011「利府町硯沢窯跡出土の火葬骨について」『硯沢窯跡Ⅱ』［利府町教育委員会］: pp.157-160

富岡直人・片岡明衣・足立望　2014「宮城県洞ノ口遺跡出土の中世火葬骨の研究」『半田山地理考古』第 2 号［岡山理科地理考古学研究会］: pp.97-90

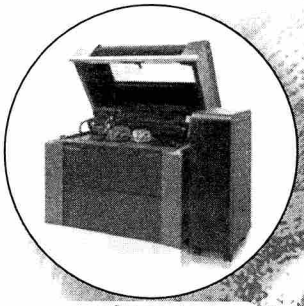
塙保己一　編　1932　「吉事次第」『群書類従』［続群書類従完成社］: pp.454-460

MITSUWA FRONTECH

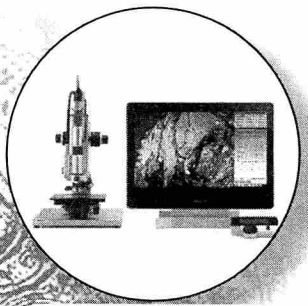
文化財の科学・保存・修復を お手伝い致します



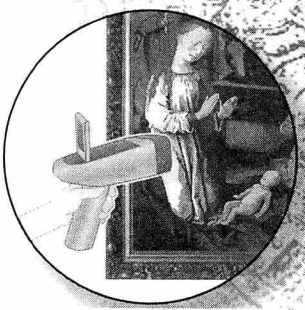
三次元情報
3Dスキャナー



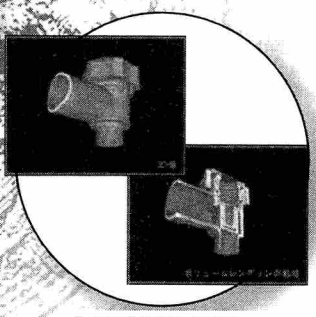
三次元出力
3Dプリンター



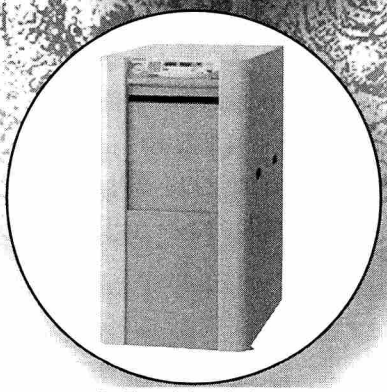
表面観察
マイクロスコープ
赤外線カメラ



無機・有機分析
蛍光X線分析装置
X線回折装置
FT-IR



内部構造調査
X-CT装置
X線透過装置



文化財保存処理
脱塩処理装置
金属減圧含浸装置
糖アルコール含浸装置

株式会社 三ツワフロンテック
http://www.mitsuwa.co.jp
〒530-0041 大阪市北区天神橋3-6-24　TEL/06(6351)9677　FAX/06(6351)9699

日本文化財科学会第32回大会研究発表要旨集

発行　2015年7月11日
編集　日本文化財科学会第32回大会実行委員会

日本文化財科学会第32回大会事務局
（東京学芸大学文化財科学教室）
住所：〒184–8501 東京都小金井市貫井北町4–1–1
電話：042-329-7508　Fax：042-329-7508

制作　株式会社クバプロ

大会実行委員名簿
実行委員長　服部哲則（東京学芸大学）
実行委員　網干　守（成城学園高等学校）、宇田川滋正（文化庁）、
小川絢子（国立国際美術館）、新免歳靖（東京学芸大学）、
鈴木　稔（帝京大学）、建石　徹（文化庁）、田中眞奈子（東京藝術大学）、
難波道成（東京都立荻窪高等学校）、二宮修治（東京学芸大学）、
日高　慎（東京学芸大学）、三浦麻衣子（山梨文化財研究所）、
矢嶋國雄（明治大学）