

ポスター発表要旨

地中レーダー探査によるエジプト・マスタバ墓 地下埋葬室母岩の劣化調査

○伊藤淳志・西形達明・吹田 浩（関西大学），田村晃一（応用地質株式会社）

1. はじめに

エジプト・サッカラにあるイドゥートのマスタバ墓地下埋葬室（紀元前 2360 年頃，写真 1 参照）の壁画は、歴史的な価値が非常に高いと評価されているが、壁画の下地となっている石灰岩質の母岩が風化し、壁画の多くが剥離あるいは剥落している状況にある¹⁾。そこで、壁画の保存修復に伴う母岩の補強補修を行うための調査として、埋葬室内外の温湿度の計測や岩盤表面の亀裂変位の計測などを継続して行っている²⁾。今回は、壁画の剥落の大きな要因と考えられる岩盤表層部の劣化や、岩盤内側の比較的浅い所に表面とほぼ平行に存在する微細な亀裂の情報を得るため、地中レーダー探査による調査を実施したので、その結果について報告する。

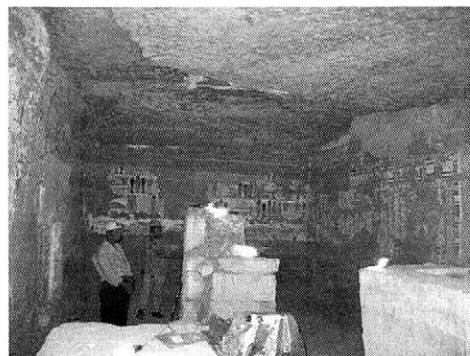


写真1 イドゥートの地下埋葬室

2. 調査方法

電磁波による地中レーダー探査（GPR）を適用するに当たって予備調査を実施した結果、当岩盤は電磁波の減衰が大きな岩質であり、また密閉された埋葬室内での測定であるため、ノイズレベルが非常に高い環境にあることが判明した。そこで、低周波の使用による岩盤深部に至るまでの調査は困難であると判断し、本調査では1.5GHzの高周波のアンテナを用いて、岩盤表面から20～30cm程度内に存在する明瞭なクラックを把握することとした。

測定箇所として埋葬室内において比較的劣化が進んでいる図1の12調査区を選定した。A～J区は壁面（床面から約1mまでの間）、KおよびL区は天井面である。それぞれの調査区は約1m四方であり、10cm間隔に並行する測線を設定（後述の図3および図5参照）することで、面的な劣化情報を取得した。

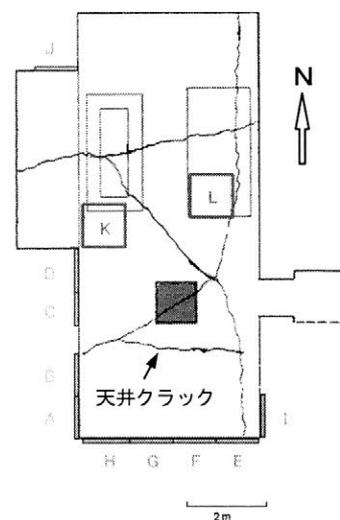


図1 地下埋葬室内の調査区

3. 調査結果

以下では、岩盤内部に特徴的なクラックあるいは不連続部が認められた2カ所の測定結果を示す。

(1) A区（西壁部）

A区におけるGPRの記録例を図2に示す。同図において横軸が測線上の距離程、右側縦軸がアンテナを発信した電磁波がアンテナに戻ってくるまでの伝播時間（ns： 10^{-9} 秒）である。これを地盤の電磁波伝播速度を見積もることで深度に換算したのが左側縦軸である。ここでは電磁波伝播速度を岩盤で最も一般的な値である10cm/nsとした。A区では壁面表面に縦方向の開口クラックが現れているが、GPRの記録ではこの開口クラックを通過した位置に、表面の凹み、段差としてその反応が現れている。また、表面にある開口クラックは、途中で一旦消えやはずれた位置に再び現れるように見える。

A区のすべての測線の測定結果を総合すると、図3のような岩盤内部状況の推定図が作成でき、壁面に見られる開口クラックの内側（深さ約10～20cm）に分離面が存在することがわかる。このように、壁面近くに壁面とほぼ平行に分離面が存在する箇所は崩落の危険性が高いものと考えられる。

(2) L区（天井部）

図4にL区のGPR測定例を示す。天井部では水平方向の地層堆積境界が天井表面と並行するため、GPR

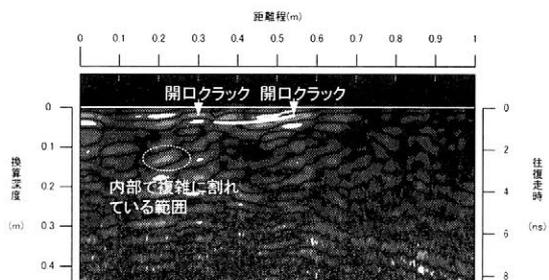


図2 A区のGPR測定記録 (A050 測線)

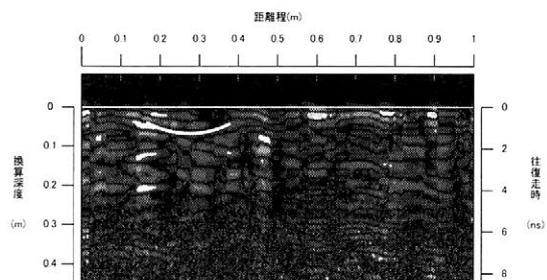


図4 L区のGPR測定記録 (L070 測線)

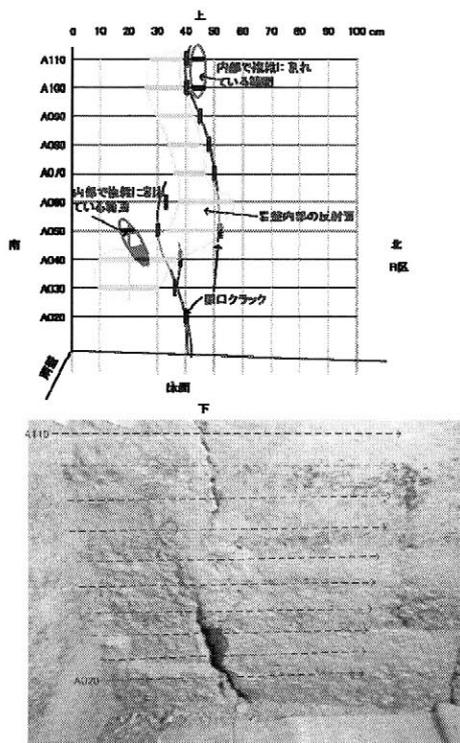


図3 A区の探索結果

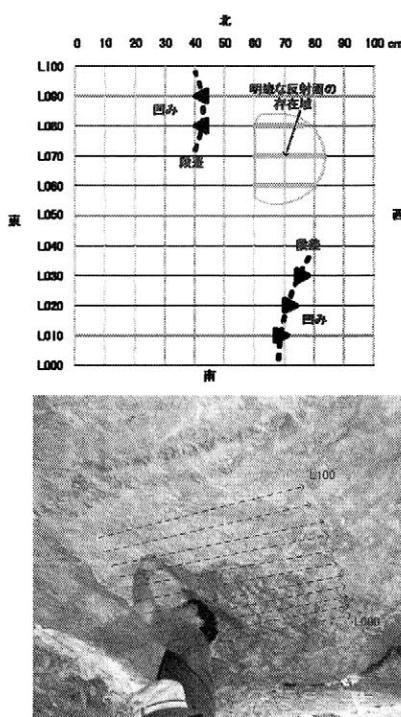


図5 L区の探索結果

の測定ではそれらが反射面として現れやすい。また天井部の表面には凹凸があるため、段差のある位置では壁面で見られた開口クラックと同じような反応が現れている。この測定結果から、岩盤内部状況の推定図を図5に示す。明瞭な反射面が分布する範囲が1カ所認められる。この反射面は非常に明瞭であるため、この部分に面状の分離面が存在するものと考えられる。他の天井部においても、このような分離面が存在する可能性は高いものと推察される。

4. まとめ

イドウトの地下埋葬室母岩について地中レーダー探査を行うことで、主に西面の壁と天井部で岩盤の劣化が顕著であることがわかった。これらの結果は、今後実施される埋葬室母岩の補強補修の有益な情報となるものと考えられる。なお本研究は、「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成20年度～平成24年度）」によって行われた。

参考文献

- 1) 吹田 浩, 西浦忠輝, 米田文孝, アフメド・シュエイブ, アーデル・アカリシュ: 古代エジプトのマスタバ墓 (イドウト) の埋葬室, 日本考古学協会第70回総会, pp. 274~277, 2004. 5
- 2) 伊藤淳志, 西形達明, 吹田 浩, 西浦忠輝: サッカラのマスタバにおける壁画修復に伴う石室の劣化調査, 第43回地盤工学研究発表会, pp. 221~222, 2008. 7

ステレオカメラを用いた密集仏像群の形状計測手法に関する研究

○運天弘樹(凸版印刷)，巽英之(凸版印刷)，増田智仁(凸版印刷)，猪瀬健二(凸版印刷)，安藤真(凸版印刷)，森井順之(東京文化財研究所)，久世めぐみ(東京文化財研究所)

1. はじめに

筆者らはこれまでに、仏像などの立体形状を持つ文化財を対象に、ステレオカメラを用いた小型の装置にて、簡便に三次元形状情報及び色情報を取得する手法の提案を行ってきた[1]。その手法を応用することにより、古墳壁画等のデジタルコンテンツ化や図面化による文化財のデジタル保存・デジタル公開へと貢献してきた[2]。

本研究では、従来手法をさらに発展させ、レーザーレンジスキャナなどの形状計測器の設置が不可能であるため計測が困難であった密集仏像群の三次元形状を計測する手法を提案する。本提案手法では、計測対象付近に、ステレオカメラを含む最低限の小型装置のみを持ち込むだけで良いため、安全かつ簡便な三次元形状計測を行うことが可能である。

以下に本手法の概要を述べるとともに、東大寺法華堂安置仏像群の計測を行った結果を報告する。

2. 方法

従来提案した手法[2]と同様に、本手法においても、ステレオカメラを動かしながら対象全体を撮影(図 1)することにより、ほぼ実時間にて、色情報付の三次元形状情報(図 2)を確認することが可能である。本提案では、従来手法を発展させ、撮影システムの安全性と簡便性を高めた。

従来手法では、手持ち部であるステレオカメラとデータ処理部である PC がケーブルで接続されていたため、計測対象の周りにケーブルを設置する必要があった。提案手法では、ステレオカメラと PC を無線 LAN にて接続するため、計測対象の周りのケーブルが不要である。

また、従来手法では、ステレオカメラにはファインダが設置されておらず、撮影者はデータ処理用 PC で撮影範囲を確認しながら撮影する必要があり、撮影時の安全性や機動性に問題があった。提案手法では、ステレオカメラ部に小型液晶ディスプレイを設置することにより、自然な形での計測が可能である。

上記の改良により、本提案手法では、安全性及び機動性をさらに高めた計測が可能となった。

3. 結果とその評価

本提案手法を用いて東大寺法華堂安置仏像を計測した結果の一例を図 2 に示す。東大寺法華堂には、大小 16 体(国宝 12 体、重文 4 体)の仏像が非常に密集した状態で安置されている。レーザーレンジスキャナ等の大型の形状計測器を仏像周辺に安全に設置することが不可能であるため、これまでは、仏像群を移動させること無く、形状計測を実施することは不可能であると考

えられていた。しかしながら、本提案手法を用いることにより、須弥壇内にて、安全かつ簡便に計測を実施する事が可能であった。

以上のことから、本提案手法は、その安全性、機動性の高さから、密集仏像群等の形状計測が困難な環境での計測に非常に有効であり、従来は計測が不可能であった対象に対しても、計測可能である可能性が高いと考えられる。

参考文献

- [1] 運天, 増田, 三橋, 安藤: “ステレオカメラ移動撮影による VR モデル自動生成手法の検討”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, **12**, 1, pp. 127-135 (2007).
- [2] 朽津, 運天, 三橋: “ステレオ移動撮影による簡易形状計測手法を用いた泉崎横穴のデジタル化”, 日本文化財科学会第 25 回研究発表要旨集, pp. 370-371 (2008).

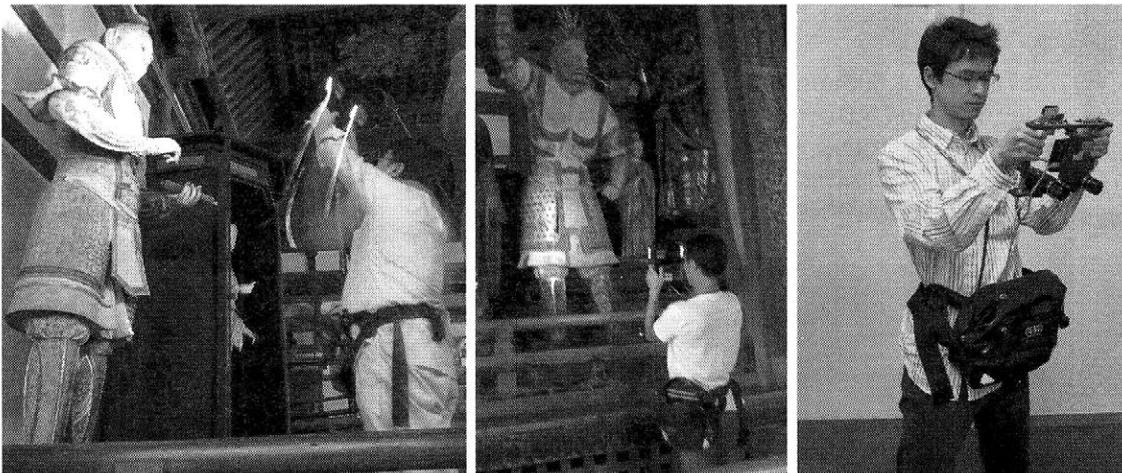


図 1. 計測の様子。東大寺法華堂内(左 2 つ)。



図 2. 東大寺法華堂安置仏像の計測結果例。点群データ(左), テクスチャ貼付済ポリゴンデータ(右)

超高精細画像処理による混一疆理歴代国都之図の科学分析

○ 坂本昭二・芝公仁・若間 俊旭・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)

1. はじめに

古地図は様々な要因で劣化しており、地図本来の地名・地勢を基本とする古地図の調査では慎重な解析が必要になるが、古地図そのものの物理的な解析はさらに劣化を早める可能性がある。そこで、古地図の保存性・閲覧性を考慮し、超高精細画像処理により、得られたデジタルデータを解析することにより、古地図そのものが持つ色や文字領域の解析とあわせ色彩復元や地名・地形復元による可読性向上が計られることを検証する。龍谷大学が所蔵する古地図である混一疆理歴代国都之図は、経年変化による劣化や表装による絹糸の変形などにより、色彩情報の欠落、文字ストロークの変形など多くの情報が劣化・欠落している。本報告では、超高精細画像を用い、色彩画像処理および形態学的画像処理により、その劣化状況を解析するとともに、蛍光X線元素分析による顔料推定と色彩画像処理との連携や、絹本の織構造解析による変形度解析を行い、非破壊的分析手法による総合的な科学分析について報告する。

2. 混一疆理歴代国都之図

2.1 由来

縦1,387mm×横1,605mmのこの地図は、下段に記される由来によると、元の勢力下の李氏朝鮮において1402年に作成されたものである。この図の基となったのは、李沢民の「声教広被図」と僧清濬の「混一疆理図」を合わせさらに朝鮮と日本とを描き加えたものである。この図に描かれた日本は、東西方向が誤って南北にはぼ九十度右に廻転している。その原図になったのは、わが国を具体的に描き現わした最古の地図「行基図」によったものと解されている(図.1)。

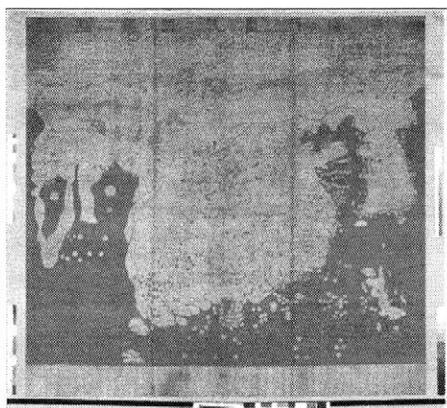


図.1 現状



図.2 劣化状況



図.3 織構造

2.2 劣化状況

本図は、516mm・566mm・543mmの幅をもつ絹本からなる。ここから製作時点において左右50mm・23mmの絹布が存在し現在欠落していると考えられる。この絹布は60~160 μ の絹糸の平織りの構造を持ち(図.3)、経年変化と軸装による荷重により文字領域とりわけ文字ストローク部や輪郭部において変形し、判読性の低下を招いている。(図.2) 図.2中の暗色領域は、河川を示しているが水域は、海(塩水):青、湖・川(淡水):青もしくは薄い青、黄河:黄色と描き分けられていることが、わずかに残る彩色部から推定される(図.4)。同様に、国都や都市名は墨色と赤色、島嶼部は白色、山脈は墨色による描き分けがなされている。図.5は図.4中央の都市名を囲む赤色領域を拡大したものであり、蛍光X線分析よりHgを主成分とする(他Pb)水銀朱が確認される。水域(海)についても、図.6に示すように青色顔料が確認されるが、微量のCu、Feが検出されたが顔料を特定するには至らなかった。

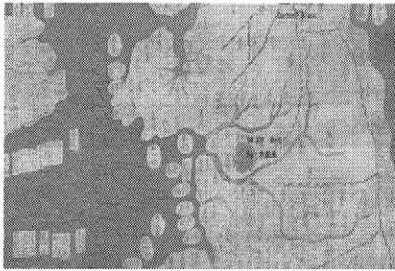


図.4 都市名および水域



図.5 都市名周辺



図.6 水域(海)

2.3 超高精細画像デジタルデータ

描かれている細線や最小文字ストローク幅は、80~100 μ (0.08mm~0.1mm)と細密であり、ここから本図の現状を記録する必要解像度は、mm 当り 12 本以上であり、このため(1605mm \times 12) \times (1,387mm \times 12)=約 3.5億画素以上のデジタル記録、色深度:青および無彩色を優先し、RGB 各14ビット諧調とした。また、参考画像として、1970年代に撮影された B/W 画像記録(4 \times 5inch ポジフィルムへの分割撮影を用い B/W 画像記録の特徴である墨色が鮮やかな参照データとして、文字領域の鮮明化処理に利用した。

3. 文字領域の復元

新たに記録する超高精細画像デジタルデータと、過去撮影された B/W 画像は、それぞれスケール、撮影時の絹本の傾き・ずれの程度が異なる。両データの対応点を求める方法として TIN(Triangular Irregular Network)・アフィン変換を用いた。まず、B/W 画像上にカラー画像へ写像する領域の基準となる箇所に点を定め、それらの点群をもちいて Delaunay 三角形分割を行う(図.7)。その後、B/W 画像で定めた基準点と対応するカラー画像の基準点の箇所へ点を定める。B/W 画像で行った三角形分割の結果から、それぞれの三角形を構成する3点と、カラー画像において同様の基準点に同定されている3点でアフィン変換を行い、座標を変換する。座標変換を行った B/W 画像を2値化して文字領域候補としてカラー画像へ転写する。図.9 に図.8 の地図領域に対して復元した結果を示す。



図.7 三角形分割

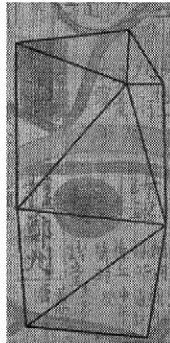


図.8 超高精細画像の一部

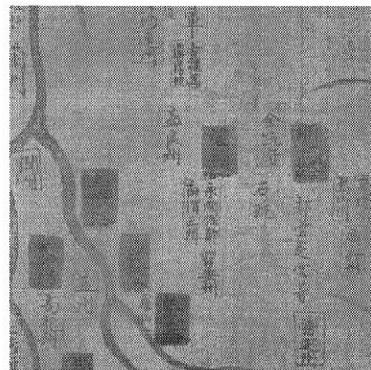


図.9 復元結果

4.まとめ

混一疆理歴代国都之図を対象として超高精細画像の作成と顔料特定のための元素分析およびデジタル顕微鏡による拡大撮影を行い、今後必要なる基本的なデータ取得を行った。また、過去の記録を用い、とりわけ劣化が進む文字領域の鮮明化と復元を試みた。今後は、同種の古地図に対しても本手法が有効であることを示すとともに彩色領域の復元を進めていく。

参考文献

- [1] 宮紀子, "地図は語るモンゴル帝国が生んだ世界図", 日本経済新聞出版社, 2007.
- [2] 若間俊旭, 岡田 至弘, "劣化画像解析による古地図からのランドマーク抽出の検討", 日本国際地図学会, 日本国際地図学会平成 19 年度定期大会発表論文・資料集, pp.48-49, 2007.

地理情報システムによる平安京の 3D 景観シミュレーション

○河角龍典（立命館大学）・川崎由依（立命館大学・卒業生）

1. はじめに

本研究の目的は、地理情報システム（Geographic Information Systems: GIS）と 3 次元コンピュータグラフィックス（3 Dimensional Computer Graphics: 3DCG）を用い、平安京（AD794-1192）の町並みやその周辺の山並みを 3 次元でコンピュータ上に再現し、そのシステムを活用して景観シミュレーションを行うことにある。

情報技術を活用し都市景観を 3 次元で視覚化する方法は多岐にわたる。本研究の特徴は主に GIS のアプリケーションを活用した点にある。近年、GIS のアプリケーションは、3 次元都市モデルを構築する機能を備える。本研究では、3D 建物モデルを構築するために CAD を使用したが、地盤データや土地利用データの構築や 3D 建物モデルを含む景観の表示には GIS のアプリケーションを使用した。

平安京の景観シミュレーションを実施するためには、広域に展開する地形モデルと大量の 3 次元建物モデルを同時にインタラクティブな環境下で表示する必要がある。GIS のアプリケーションがこのような環境に耐えうるかどうか確認することも本研究の課題のひとつである。また、人文科学の立場から過去の景観を 3D で視覚化することによって、どのような新しい知見が獲得できるのか検討することも本研究の目標のひとつである。3D 景観シミュレーション研究の人文科学での応用の可能性を検討するために、本研究においては平安京の都市計画と山並みの関係について分析を行った。

2. 資料と研究方法

平安京の景観を再現するためには、地盤、土地利用、建物のデータを個別に構築する必要がある。平安京を復原するための優れた研究は多い。本研究においては歴史学、考古学、建築史学の既存の研究成果を中心に活用した。特に 1994 年平安建都 1200 年の時に作成された『平安京復元模型設計図』（管理：京都市）に所収される建物の設計図や配置に関する情報は、本研究の重要な資料である。

地盤データは地形モデルおよび条坊街区モデルから構成される。地形モデルの情報源は国土院発行『数値地図 50m メッシュ（標高）』である。条坊街区モデルのベースマップには、古代学協会・古代学研究所編（1994）『平安京提要』に所収される『平安京条坊復元図』を用いた。

土地利用データの情報は、村井康彦編（1994）『甞る平安京』に所収される条坊一町街区単位の土地利用情報である。ただし、特殊な建築が多い平安宮域の土地利用情報は、『平安京復元模型設計図』から取得した。

3D 建物モデルの作成には、『平安京復元模型設計図』に所収される建物設計図を用いた。作成された建物モデルの表面材質としては、データ量を抑えるために画像テクスチャは使用されず、パーツごとに適当な色が設定されている（図 1）。

作成された 3D 建物モデルは、GIS アプリケーションに入力するために VRML（Virtual Reality Modeling Language）形式で保存した。なお、平安宮域の建物モデルについては各建

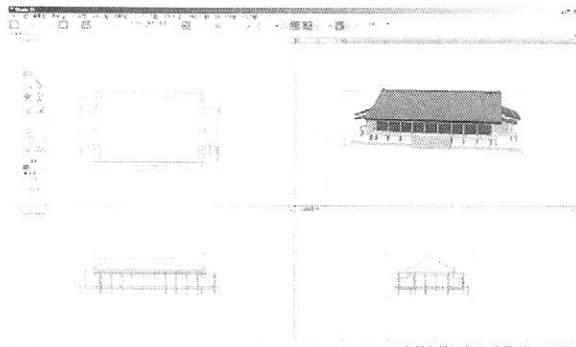


図 1 CAD によるモデリング

物単位でデータを保存し、平安京域の建物モデルについては条坊街区一町単位で建物モデルを統合した上で保存した。

これら地盤、土地利用、建物の3つのデータの統合には、GISに備えられた3Dビューワーのソフトウェア（ESRI社ArcView: ArcScene）の「3D マーカーシンボル」の機能を用いた。建物データの配置においては、土地利用データに含まれる建物類型の属性情報を基に、対応する建物形モデルを割り当てた。地盤データおよび土地利用データは同一の地理座標系で管理されているため、正確な重ねあわせが可能である。

3. 3次元ビューワーでの表示

図2は、3Dビューワーのキャプチャ画像である。建物が配置されている区域が、平安宮の区域に対応する。大量の建物形状データが地形形状の上に配置されているが、自由自在に視点を変え景観シミュレーションすることができる。また、ウォークスルー・フライスルーも可能であり、さらにアニメーションを作成する機能をも備えられている。

4. 平安京の景観シミュレーション

ここでは、3Dビューワーを利用し、とくに平安京の南北中心軸に位置する船岡山の見え方について景観シミュレーションを実施する。平安京は風水思想にかなった四神相応の地に建設されたと考えられてきた。船岡山は、四神（玄武・青龍・朱雀・白虎）の内、北の守り神である玄武に相当するものと考えられる。図3は、朱雀大路の低空から真北を眺望した画像である。平安宮の後ろに低山を確認することができる。これが船岡山である。船岡山が都市計画の南北中軸線上に位置することが、3次元で再現できた。また、船岡山の背後には、北山の山並みを眺望することができる。平安京の南北中軸線の延長線を北に辿ると、その延長上に周辺よりやや高い北山の頂や尾根筋が位置することが確認できた。こうした北山の頂や尾根筋まで考慮し、都市計画が実行されていたかどうか文献史料では確認できないが、背後の北山の山並みを考慮していた可能性も考えられる。

参考文献

古代学協会・古代学研究所編『平安京提要』、1994年、角川書店。
村井康彦編『甦る平安京』、1994年、淡交社。

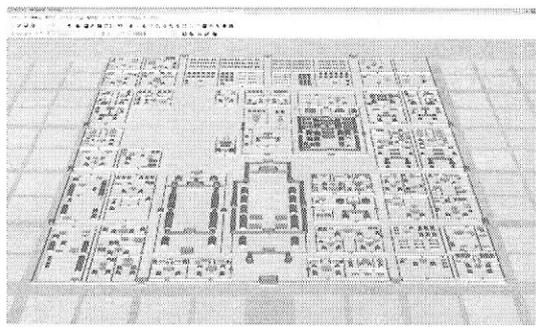


図2 GIS3次元ビューワーキャプチャ画像
(平安宮域)

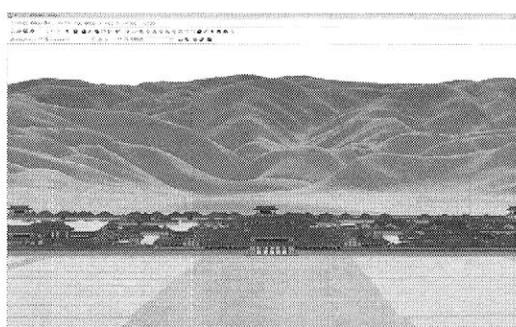


図3 朱雀大路低空から真北方向の眺望

弥生時代の遺跡から出土したイネ種子の DNA 分析

○花森功仁子***、石川智士*、齋藤寛*、岡田喜裕*、佐藤洋一郎***
 (*東海大学大学院地球環境科学研究科、**株式会社ジェネテック、
 ***総合地球環境学研究所)

1. はじめに

昨年、中世の遺跡から出土したイネ種子の DNA 分析をおこなった結果、増幅されたサンプルはすべて温帯ジャポニカ型を示した。これまで、弥生時代のイネ種子の分析にはランダムプライマーを用いて、温帯ジャポニカと熱帯ジャポニカを判別してきた。しかし、このプライマーは再現性が低く、1 回目の PCR 産物をテンプレートとして 2 回目の PCR を行うためコンタミネーションの危険性が高くなるという欠点があった。今回はプライマーの組み合わせおよび PCR 条件を検討し、1 回の PCR で DNA の判定を可能にした。このプライマーを用いて、弥生時代の遺跡から出土したイネ種子について考察をおこなった。

2. 材料と方法

弥生時代の中期の 2 遺跡、後期の 4 遺跡、計 6 遺跡より出土したイネ種子 99 点を材料に用いた(表 1)。

表 1 イネ種子が出土した弥生時代の遺跡と時期

遺跡名	所在地	時期	サンプル数 (点)
下之郷	滋賀県守山市	中期	19
日吉ヶ丘	京都府加悦町	中期中葉	4
		中葉から後葉	8
		中期後葉	4
		中期後葉から末葉	4
北金目	神奈川県平塚市	後期	16
登呂	静岡県静岡市	後期	6
道休畑	島根県浜田市	後期	30
上久津呂中屋	富山県氷見市	後期後半	8
サンプル合計			99

(時代区分は各遺跡報告書による)

遺物の抽出用に用いている NaOH を用いた改変アルカリ抽出法で抽出後、-30°C で冷凍保存されている抽出液をテンプレートとして用いた。前回、温帯ジャポニカには第 6 染色体上に約 216bp の欠失領域があることが確認された。今回はこのプライマー-IDJ6/A1・B2、A1・B3、A2・B2 のセットを用いて PCR 増幅をおこなった。なお、プライマー A1・B2、A2・B2 のセットは温帯ジャポニ

カの欠失領域を検出し、温帯ジャポニカ型と熱帯ジャポニカ型を判定するものである。プライマー A1・B3 は熱帯ジャポニカの特有領域にプライマーを作成し、遺物でも増幅しやすい 100bp 以下のバンドを検出する。これらを用いて PCR 増幅したプロダクトを 8% アクリルアミドで約 50 分、100V で電気泳動し、エチジウムブロマイドで染色後、UV ランプ照射によりバンドを検出した。

3. 結果と考察

プライマー A1・B2、A2・B2 を用いて、1 回の PCR で温帯ジャポニカ型と熱帯ジャポニカ型を示すバンドが増幅された (図 1)。このため、実験時間が短縮され、コンタミネーションの危険性が低下した。下図のとおり温帯ジャポニカ型を示すバンドが多数を占めた。しかし、遺物では経年変化により DNA が断片化され、短い領域が増幅されやすい可能性がある。そこで、ほぼ同じ長さ (85bp) を増幅するプライマー A1・B3 で PCR 増幅し、熱帯ジャポニカ型を確認した (図 2)。

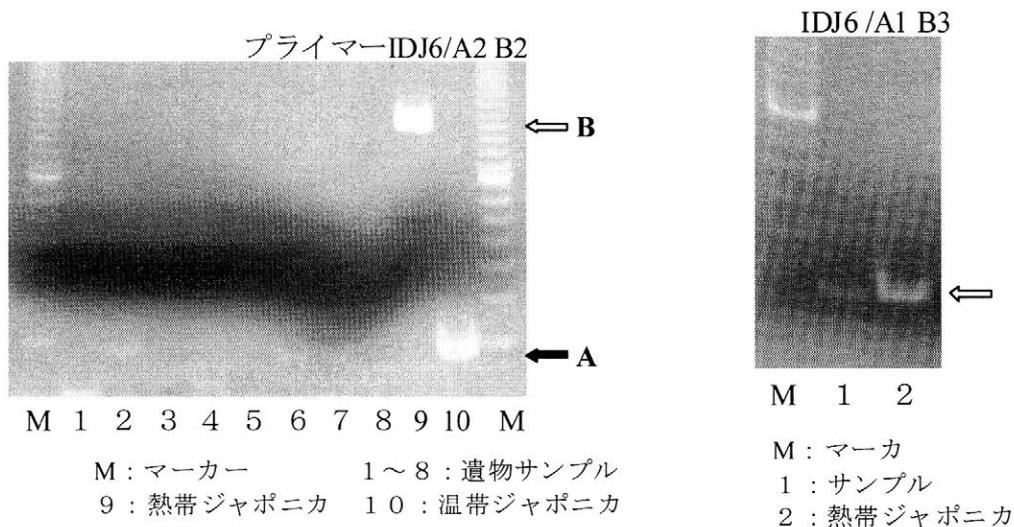


図1 PCR増幅後の泳動写真

図2 泳動写真

これらの結果から、弥生時代中期には温帯ジャポニカ、熱帯ジャポニカ、雑種が検出された。後期には温帯型と熱帯型をもつ雑種と温帯ジャポニカが検出され、雑種の比率が増加した (表 2)。

表 2 出土イネ種子の DNA 分析結果

弥生時代	サンプル数	温帯型	熱帯型	雑種	雑種比率 (%)
中期	39	14	3	5	12.82
後期	60	20	0	15	25.00
合計	99	34	3	20	20.20

弥生時代の中期から後期にわたる 6 遺跡を分析した結果、年代を経るに従い、熱帯ジャポニカ型が減り、雑種が増加している傾向がみられた。しかし、サンプル数に偏りがあり、直ちにこの比率が全体を反映しているとは言及できない。今後は遺跡の数を増やすことにより、さらに弥生時代の地域差や時期の変遷の検討を進めたい。

3次元デジタルアーカイブデータによるカンボジア・バイヨン寺院 尊顔の制作背景調査

○鎌倉真音（東京大学大学院），大石岳史（東京大学大学院），
高松淳（奈良先端科学技術大学大学院），池内克史（東京大学大学院）

1. はじめに

近年の情報技術の進展により、文化財や文化遺産などの文化資源のデジタルアーカイブが盛んに行われている。特に、実物体の3次元デジタルアーカイブ化技術を用いて、有形文化資源の表面形状を詳細に記録することは、文化財保存・保護、修復などに非常に有用である。デジタル保存されたデータは文化資源の価値そのものを包含し、半永久的に蓄積できるだけでなく、これらデジタルデータの利活用はあらゆる学問分野への応用や寄与、貢献が期待できる。デジタルデータの特長として、仮想的な複製・加工が容易であるため、実物に直接影響を与えることなく、考古学や美術史などの多分野への調査研究に展開することができる。本稿では、カンボジア・アンコール遺跡群のバイヨン寺院の尊顔について、3次元デジタルアーカイブデータを用いた分類解析について、解析手法と結果考察について述べる。

2. バイヨン寺院とデジタルアーカイブ

本稿で研究対象とするバイヨン寺院は、カンボジアの世界遺産であるアンコール遺跡群内の寺院で、12世紀頃、ジャヤヴァルマン VII によって建立されたとされている。一辺 3km の城壁で囲まれた城塞都市アンコールトムの中心に位置し、尊顔が刻まれた 52 の四面塔と複雑な建築構造が最大の特徴である。我々はバイヨン寺院デジタルアーカイブ化プロジェクト[1]により、レーザーレンジセンサーを用いた寺院全体の3次元デジタルデータ化に成功し、TB（テラバイト）単位のデータを保有している。本稿における研究では、現存する 173 の尊顔デジタルデータ、ならびにジャヤヴァルマン VII の坐像頭部顔面のデジタルデータを用いて類似解析を行い、バイヨン寺院尊顔の制作背景を考察する。



図1: バイヨン寺院と尊顔の3次元デジタルデータ

3. 尊顔解析とジャヤヴァルマン VII

バイヨン寺院尊顔は建立当時、寺院内に 200 面を超える尊顔彫刻があったとされる。尊顔は寺院の大きな特徴であり、その制作工程や、なぜこれほど多数の尊顔が制作されたのか等、多分野の研究者による様々な調査が行われてきた。特に、美術史専門家の調査では、尊顔は大きく 3 種類（デーヴァ、デヴァター、アシュラ）に分類できると考察している。これを踏まえ、3 次元デジタルデータによる分類解析を行った。基準となる尊顔を選択し、画像領域内に正面から表示されるように 3 次元モデルの姿勢を求める。すべての尊顔の基準点を取得し、基準顔に合うように縮尺と姿勢を求め、正面からの濃淡画像を作成する正規化処理を行う。これらの画像を用いて、美術史の調査結果をもとに線形判別解析によりすべての尊顔を 3 種類に分類する。線形判別関数は、デーヴァ、デヴァター、アシュラを判別するようにそれぞれ求める。また、距離画像間の差によって、すべての尊顔を階層クラスター解析により分類する。バイヨン寺院内の尊顔のみでの分類解析のほか、寺院の尊顔はいったい何故制作されたのかという謎に迫る結果を得るため、寺院を建立したジャヤヴァルマン VII 王の顔と尊顔との比較分類により、寺院の尊顔はなにを表しているのか、という尊顔制作の理由に迫るべく解析を行った。寺院尊顔とジャヤヴァルマン VII 坐像の大きさや、塔の壁面に刻まれていることと坐像として彫刻されていることによる彫刻表現や奥行き感の違い等を考慮して、正規化処理を行った画像で解析した。

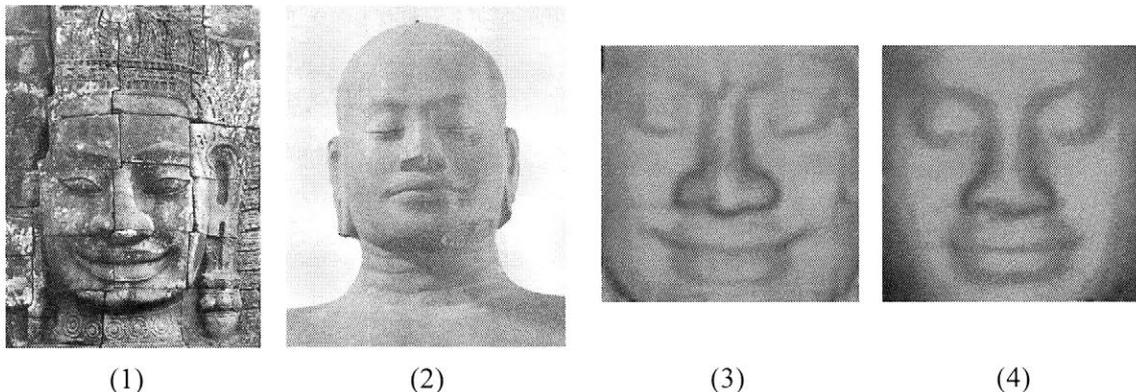


図 2: (1)バイヨン寺院尊顔 (51 塔南面) (2)ジャヤヴァルマン VII 坐像頭面部 (3)バイヨン寺院尊顔 (51 塔南面) の解析用に正規化した濃淡画像 (4)ジャヤヴァルマン VII の坐像頭面部の解析用に正規化した濃淡画像

4. 考察

バイヨン寺院の尊顔は大きく 3 種類に分類できるという美術史分野の調査結果を支持する結果を得た。また、寺院内の尊顔配置と制作方法の関連について、尊顔制作は複数の彫刻職人が複数のチームに分かれ、分業で寺院内の尊顔を制作したのではないかという仮説を示唆する結果も得た。計算機による分類の結果、バイヨン寺院尊顔の類似分布の中心にジャヤヴァルマン VII の顔がプロットされた。寺院の尊顔はいったい何故制作されたのか、なにを表しているのか。人間の目による観察では、寺院内すべての尊顔が同じ顔に見え、すべてが別々の顔にも見える。これは、ジャヤヴァルマン VII の坐像頭面部と尊顔の見比べでも同様である。今後、分類判別基準を整理し、似ていると感じる基準を抽出するとともに、王ジャヤヴァルマン VII の顔を寺院の尊顔に表現したのではないか、という考古学的にも非常に重要な知見を与えるものと考えられる。

[1] K. Ikeuchi, et al, "The Great Buddha Project: Digitally Archiving, Restoring, and Analyzing Cultural Heritage Objects", International Journal of Computer Vision, 75, 1, pp.189-208, 2007

エジプト・アラブ共和国アブ・シール南丘陵遺跡における GPR 探査

○岸田徹*, 津村宏臣*, 渡邊俊祐*, 河合望**, 吉村作治***

(*同志社大学, **早稲田大学, ***サイバー大学)

1. はじめに

アブ・シール南丘陵遺跡は首都カイロの南方約20kmに所在する(図1)。過去の発掘調査により、ラメセスII世の第4王子であるカエムワセトの葬祭殿跡や、カエムワセトの娘と思われるイシスネフェルトの墓であるトゥームチャペル(神殿付大型貴族墓)、さらに石積遺構や岩窟遺構など、初期王朝時代~新王国時代にかけての貴重な遺構・遺物が数多く発見されている。これらの遺構が発見された丘陵上部及び周縁部には、まだ多数の遺構が存在すると考えられる。そのため、我々は物理探査を用いて、遺構の存在を非破壊で探ることとした。最終的には、探査により遺構の位置やその分布範囲を把握し、アブ・シール南丘陵遺跡の保存管理のための地下遺跡マップを作成することを目的としている。



図1 アブ・シール南丘陵遺跡の位置
(<http://maps.google.co.jp/>より転載。一部加筆)

2. 探査の概要

2009年8月に、地中レーダ探査を実施した。探査の目的は、遺構と考えられる異常応答の検出であるが、今回は、特にシャフト(竪坑)墓の発見に焦点を絞って探査を行った。探査に使用した機器は、米国GSSI社製SIR-3000、アンテナは中心周波数200MHzを用いた。丘陵とその周辺部を含む4か所で探査を実施した。各探査区の位置は図2に示す。

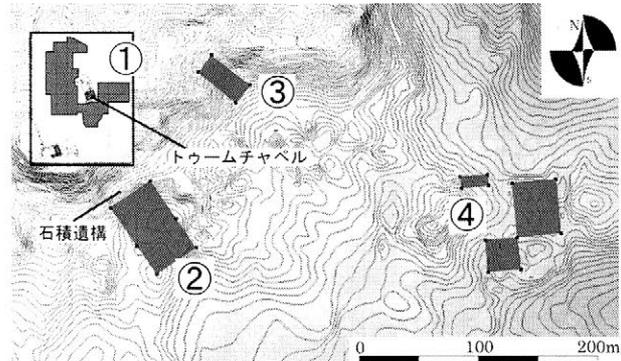


図2 地中レーダ探査範囲

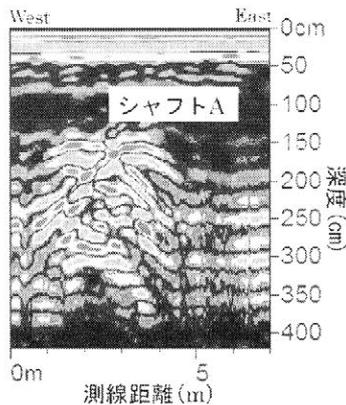


図3 地中レーダで捉えたシャフトAの異常

まず始めに、探査の有効性を確かめるため、過去の発掘調査で位置が判明している「シャフトA」上において探査を行った。その結果、シャフトAがもたらす異常応答は明確に捉える事が出来た(図3)。本調査では、同様の異常パターンを一つの目安として、GPRで捉えた異常応答がシャフトであるか否かの判読を行うこととした。

3. 探査結果

3-1. トゥームチャペル及びその周辺（丘陵頂部）

トゥームチャペル周辺で得られた全てのプロファイル及びtime slice図を検討した結果、シャフトAと類似した異常を2箇所発見することができた。

3-2. 石積遺構南側

石積遺構の壁面から南に約12mの地点で2か所の異常応答を認めた。両異常は比較的深い位置(約2.5m)から表れているが、シャフトAの異常パターンとよく似ている。

3-3. 丘陵南斜面

代表的なプロファイルを図4に示す。同探査区では基盤層と上層の砂層の境界面が深度約1～1.5mに明瞭にあらわれている。しかし、この境界は測線距離19～29mで途切れており、同地点は基盤層を掘り込んだ大規模な遺構のある可能性を示唆している。



図4 丘陵南斜面で得られた代表的なGPR プロファイル

3-4. 丘陵周辺部

丘陵の周辺には円形もしくは方形で、直径約4～5m、深さ0.2～0.5m程度の窪みがいくつか存在しており、シャフトの痕跡ではないかと考えられている。我々は、そのうち比較的大きな窪みを対象として探査を実施した。図6に代表的なプロファイルを示している。探査結果から、シャフトAのような異常パターンは認められなかったが、周辺に認められる成層構造が窪み部分では途切れており、人為的に改変（掘削）されている可能性がうかがわれる。

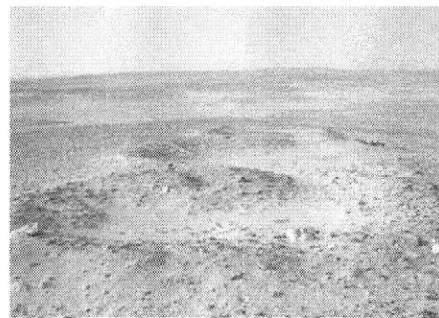


図5 遺跡周辺に点在する地表の窪み

4. まとめ

アブ・シール南丘陵遺跡において、シャフト及び、その他の遺構の存在を探るべく、GPR探査を行った。その結果、シャフトAと同様の異常パターンを示し、シャフトの可能性が高い箇所をいくつか推定することができた。しかし、現段階では捉えた異常がシャフトであるのか、土坑であるのかを判断することは難しい。また、特に丘陵の周辺部では、シャフトAの異常パターンとは異なるが、明らかに人為的な掘削があったと思われる箇所が認められ、これらもシャフトである可能性がある。今後、発掘結果と探査データを詳細に比較、検討し、典型的なシャフト及びその他の遺構の異常パターンを判別・分類することが重要である。データの蓄積によって探査精度は向上し、より詳細な遺跡の地下マップを作成することが可能であると考えられる。

（謝辞）本研究は、科学研究費補助金基盤研究（S）「エジプト、メンフィス・ネクロポリスの文化財保存面から見た遺跡整備計画の学際的研究」（課題番号：19100010）の成果の一部である。

火山灰でパックされた平安時代の村 —鹿児島県指宿市敷領遺跡—鍛冶炉の発見

○亀井宏行, 今村太一, 浅川陽介, 宮崎皓一 (東京工業大学), 指宿市教育委員会

はじめに

鹿児島県指宿市にある敷領遺跡は、西暦 874 年の開聞岳噴火で埋没した遺跡である。敷領遺跡で継続的な調査が続けられてきた。2005 年の地中レーダにより大規模な水田遺構を発見した。2006 年には電気探査と地中レーダ探査による水田域の北限の確定、2007 年には畝遺構、2008 年には住居跡の発見が続き、874 年噴火罹災直前の村落像が明らかになりつつある。2009 年には住居跡が発見された地点から東に約 50m 離れた地点で、同様の住居跡の発見を望んで探査を行った。そして住居跡と類似した反応を見つけ発掘を行った。その結果を示す。

探査結果

探査は、地中レーダ探査機器(pulse EKKO PRO 500MHz)を用いて探査を行った。探査領域図を図 1 に示す。探査領域は 13m(東西)×21m(南北)、測線間隔は 0.5m である。

図 2 は南北 2.5m 地点の断面図である。図中の深度 25nsec(深さ約 0.88m)付近に見られる層が紫コラと呼ばれる火山灰の層であると考えられる。

図 3 は深度 29~34nsec(深さ約 1.00~1.15m)の TimeSlice 図である。図中の丸で囲った部分に着目すると、周囲に比べて弱い反応の部分が見られる。大きさは 3m×3m 程度の方形形状である。これは 2008 年度の探査において住居跡が発見された際の反応と似ているため、この部分にも住居跡があるのではないかと考えられる。

また、図 3 の中央下にも周囲に比べて弱い反応の部分が見られる。この反応を東西 7m 地点の断面図で確認する。図 4 が東西 7m 地点の断面図である。図 4 中の丸で囲った部分に着目すると南北 4~8m 付近では紫コラの層が切れていることが確認できる。地表面付近から攪乱が起こっているため、図 3 の中央下の反応は住居跡によるものではないと考えられる。

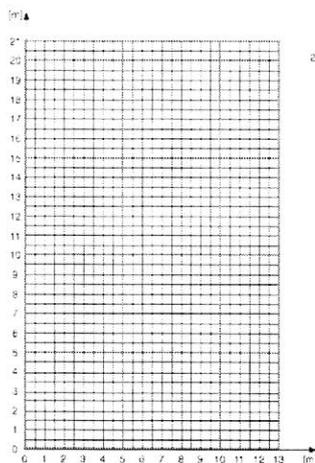


図 1 探査領域図

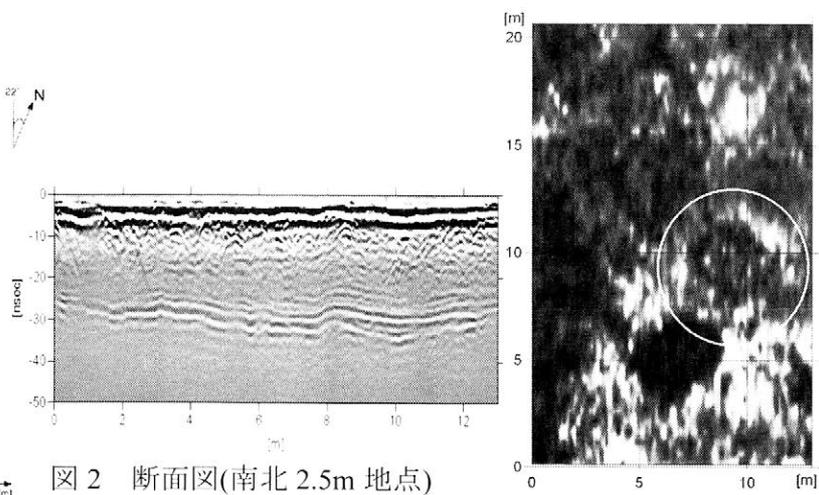


図 2 断面図(南北 2.5m 地点)

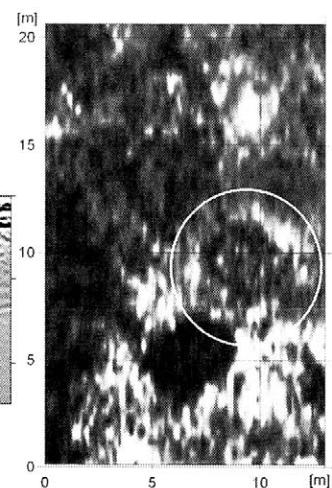


図 3 TimeSlice(29~34nsec)

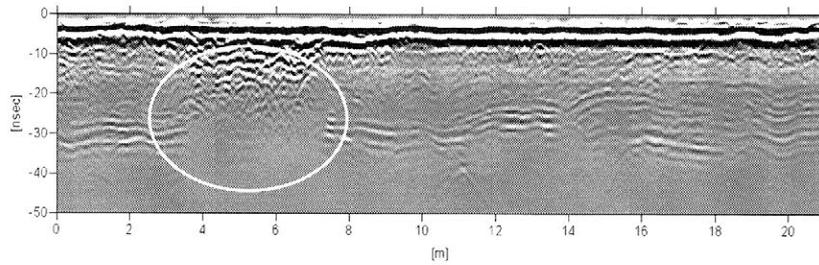


図4 断面図(東西7m地点)

発掘結果

探査により、3m×3m の方形状の住居跡と類似した反応を見せた地点 (図3の丸で囲った部分)を発掘した。図5は発掘した後の様子である。

発掘により、高さ10cmほどの土壇状遺構とその中心に鍛冶炉と見られる炉跡が発見された。

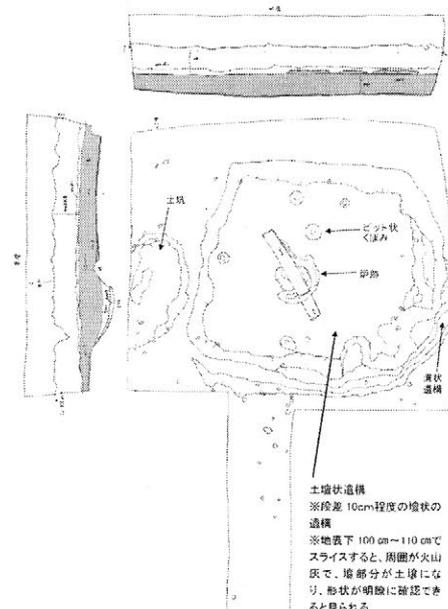
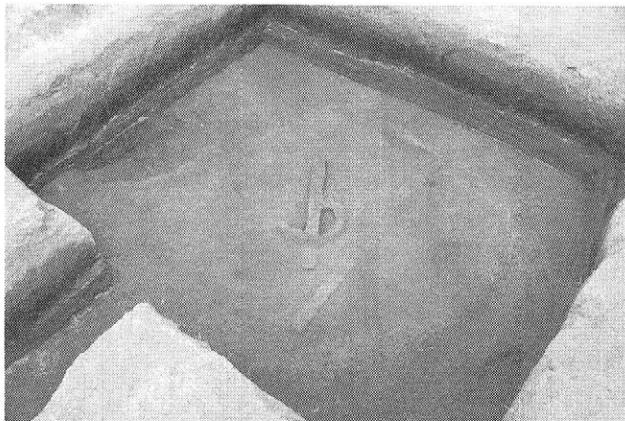


図5 発掘後の様子

まとめ

2009年鹿児島県指宿市にある敷領遺跡の地中レーダ探査をした結果、2008年に発見した住居跡の東方40m離れた地点で約3m×3mの方形の遺構を発見することができた。この遺構は発掘により、方形壇の上に炉を設けた特殊な遺構であることが確認することができた。鍛冶炉であれば、生産遺構の発見となり、村の構成要素が一つ加わった。

本研究は、平成16~21年度文部科学省科学研究費 特定領域「火山噴火罹災地域の地力回復過程の時空間解析に関する研究」(課題番号16089206,代表:亀井宏行)による。

エジプト、アル・ザヤーン神殿の地中レーダ探査

(前面部、内部通路、至聖所)

古川桂, ○亀井宏行, 阿児雄之 (東京工業大学), 中野智章 (中部大学)

はじめに

ハルガ/オアシス中部に位置するアル・ザヤーン神殿は(図1参照、至聖所に刻まれたギリシア語の碑文より、ローマ皇帝アントニヌス・ピウスの治世140年に再建され、“Tchonemyris”(古代ギリシア語で「巨大な井戸」の意とされる)と呼ばれていたことがわかっている。しかし、その起源や歴史の変遷はもとより、埋没や崩壊によって遺跡の全体像さえも明らかではない。2001年より東京工業大学とエジプト地球宇宙物理学研究所(NRIAG)との共同研究で、神殿西方の平地を探索した結果、遺構が広がる可能性が高まったため、2003年より発掘を開始した。結果、ローマ時代の日乾レンガ遺構が発見された。

現在も発掘調査は継続中であるが、神殿の起源や全体像をする手がかりを得るには至っていない。そこで、2007年に神殿前面部と神殿内部の地中レーダ探査を実施し、神殿に関連する埋没遺構を明らかにしようと試みた。

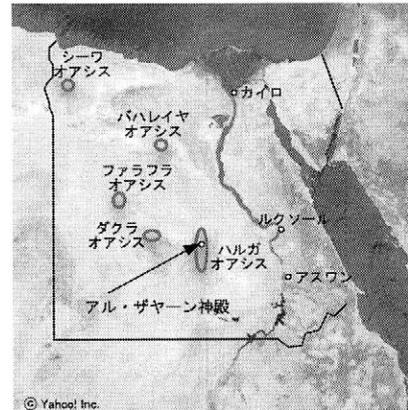


図1 アル・ザヤーン神殿の位置

探査概要

地中レーダ探査は探査区域を4区域に大別し、至聖所(A)、前廊および至聖所前(B)、アプローチ(C)、神殿前面部(D)とした(図2参照)。実施期間は2007年12月、探査機器はpulseEKKO PRO 500MHz アンテナ (Sensors and Software Inc., Canada) を使用した。測線間隔はいずれも0.5mである。

探査結果

至聖所内は、地下に構造物の存在を示すような結果が得られなかった。一方、前廊及び至聖所前では、図3に示すように神殿前に強い反射が見られ、また前廊南側で約2×4mの長方形の反射面が検出された。これら反射が何らかの構造物を捉えたものと推測し、2009年に神殿内のクリーニングを行なった結果、至聖所前と南側それぞれに反射面とほぼ同じ範囲の砂岩の石敷が存在していることが明らかになった。

図4にアプローチの西端の測線(LINE00)と東端の測線(LINE04)を示す。LINE00において深さ15nsecに平坦な反射面が続き、19.5m地点で孤立物体のような強い反射が見られる。また、LINE04の断面図においても、同じく深さ15nsecの14~22mにかけて平坦な反射が確認できる。これらの断面図と神殿建築の構造から、19.5m地点での孤立物体はかつてのパイロン

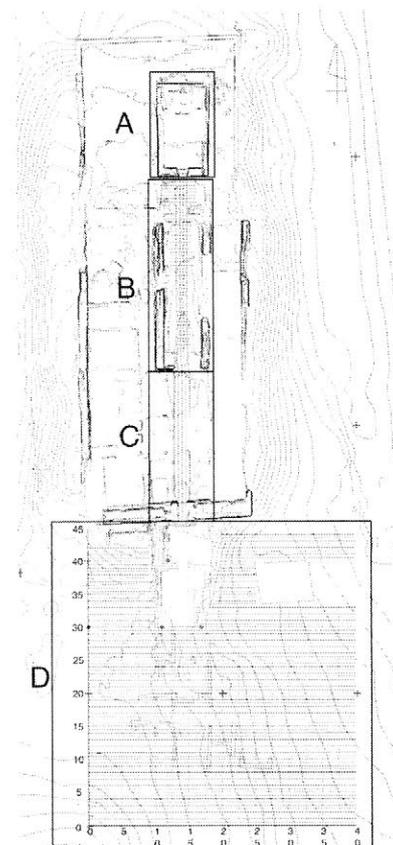


図2 測線配置図

の礎石を捉えた可能性があり、平坦な反射はより古い時代の地表面、あるいはアプローチを示したものでないかと推測される。

神殿前面部は日乾レンガ遺構がすでに地表に露出している部分もあるが、図 5(a) (t=0nsec)のタイムスライス図では露出した日乾レンガに続く埋没遺構も示しており、遺構の広がりを確認することができた。y=16m を境界として遺構の方向性が異なり、北に比べ南側の遺構はやや北東に傾いている。また、南東にはカーブした遺構も確認でき、前面部の遺構にはいくつかの方向性があることが判明したことから、これらの遺構の建設時期に差があることが推測される。一方、図 5(b) (t=16nsec)では x=12~17m の幅でパイロン前の石敷部分まで途切れながらも延びていることがわかる。この帯状の像は神殿の至聖所や前廊、及びアプローチとは軸が異なっており、またパイロンや南の周壁とも直行しないことから、現存の神殿と異なる時期に作られた神殿へと向かう参道の可能性が考えられる。

本研究は平成 19 年~22 年度科学研究補助金基盤研究 (A) 「考古遺跡調査への情報技術導入実験-エジプト・アルザヤーン神殿遺跡」 (研究代表者: 亀井宏行、課題番号 19254002) の元で実施した。

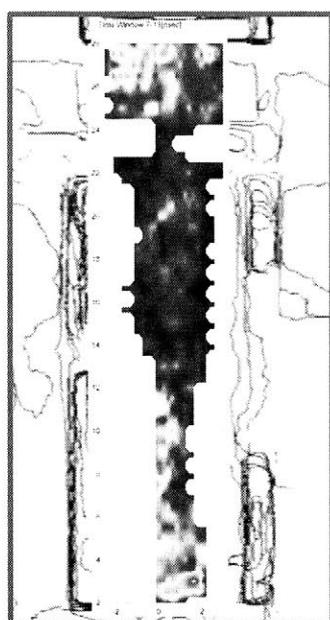


図 3 前廊、至聖所前タイムスライス図 (東西走査, TimeWindow7-11nsec)

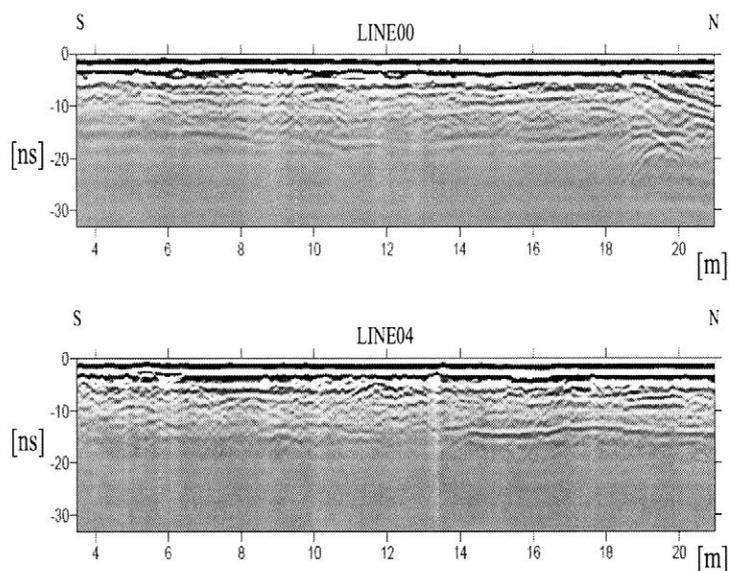


図 4 アプローチ断面図 (南北走査, LINE00: 西端, LINE04: 東端)

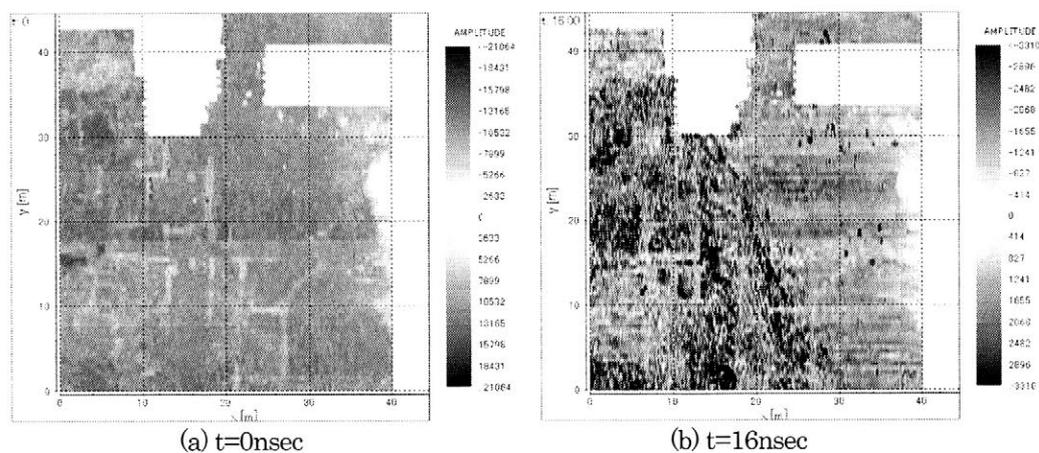


図 5 神殿前面部タイムスライス図 (東西走査)

製塩土器は化学分析で同定できる

堀内晶子¹、○宮田佳樹²、黒住仁美¹

¹国際基督教大学教養学部、²名古屋大学年代測定総合研究センター

1. はじめに

塩は人間の営みに欠かす事のできない重要なミネラルであり、日本では縄文時代から塩田が主流となる平安時代まで、土器を用いた製塩が行われてきた。また、製塩は地域の発展や交流、人口などの重要な指標にもなると期待されるため、これまでさまざまな視点から製塩土器の研究が行われてきた。しかし、塩そのものは水に良く溶けるため、製塩に使われた土器に付着・吸着された塩（主成分は塩化ナトリウム）は雨などの自然水によって洗い流され、さらに、浜辺に埋まっている製塩土器は、二次的に海水の影響を受けるため、たとえ土器に塩分が残存していても、全てが製塩を起源とするものであるかどうかはわからない。しかし、我々は実験製塩土器を用いて、水に溶け出さずに土器に残存する塩化物イオン(Cl⁻)が実際に存在し、フッ化物イオン(F⁻)との交換反応により回収できることを確認することができた(1)。本研究では、この手法を用いて広島県呉市蒲刈町沖浦遺跡から出土した製塩土器と製塩には使われなかったとされる土器に残留するCl⁻を測定した結果、この分析方法が古代の製塩土器の同定に応用できることが明らかになったのでここに報告する。

2. 試料と実験

広島県呉市蒲刈町沖浦遺跡は古墳時代前半(4世紀)から中世以降にわたる製塩遺跡と考えられている(2)。同遺跡F地点から出土した製塩土器片(OU-Salt)11点、未使用の製塩土器片(OU-unused)4点、用途不明の非製塩土器片(OU-nonSalt)8点、さらに居住地域とされている近隣の広島県安芸郡蒲刈町丸尾遺跡から出土した同年代の調理用土器片(MO-cook)2点、及び用途不明土器片(MO-nonSalt)4点を対象に、土器胎土に吸着し残存するCl⁻を分析した。

分析はこれまでに報告した方法(1)に準じてまず表面の塩分を蒸留水で除去した後土器を粉碎し、さらに水で洗い流される可能性のある流出性Cl⁻を蒸留水で繰り返し抽出・除去した後、さらに水には溶け出さずに強く土器胎土に保持されている保存性Cl⁻を0.28 Mフッ化アンモニウム水溶液で抽出し、塩化物イオン電極を用いてCl⁻の定量を行った。

3. 結果と考察

各土器片から、まだ水に洗い流される可能性のある流出性Cl⁻を蒸留水(DW)で抽出したCl⁻の総量として、また水に溶け出さずに土器片に残存する保存性Cl⁻を0.28 M NH₄F水溶液で抽出した総量として、保存性Cl⁻の高い順に並べたグラフが図2である。製塩土器からは、保存性Cl⁻が総量として1.50から0.13 mg/g pottery抽出され、この手法で実験製塩土器のみならず遺跡出土製塩土器からもCl⁻を回収、定量できることが明らかになった。製塩土器の最高値と最低値は10倍以上の差があるが、この差は製塩土器の部位による違いや海水・鹹水の濃縮回数などの差によるものと考えられる。

OU-Salt-1からOU-Salt-2まで保存性Cl⁻量の上位12点のうち製塩土器は11点を占め、製塩土器の最低値(0.13 mg Cl⁻ / g pottery)でも、住居遺跡とされている丸尾遺跡出土土器(調理用と用途不明土器)(平均0.019±0.008 mg Cl⁻ / g pottery)の約7倍、沖浦遺跡の非製塩土器(平均0.058±0.042 mg Cl⁻ / g pottery)の約2倍、未使用製塩土器(平均0.042±0.037 mg Cl⁻ / g pottery)の約3倍の保存性Cl⁻が含まれていた。従って、製塩土器は他の土器と比べ、優位に高い保存性Cl⁻が残留し、保存性Cl⁻を測定することで、製塩土器の同定ができる事が明らかになった。しかし、個々の値を見てみると、沖浦遺跡の未使用製塩土器OU-unused-2や非製塩土器OU-nonSalt-8, 6はそれぞれ

0.09、0.14、0.10 mg Cl⁻ / g pottery と製塩土器の最小値とほぼ同等あるいはそれ以上の保存性 Cl⁻ が残存していた。保存性 Cl⁻ 濃度が十分に高い場合、たとえば 0.20 mg Cl⁻ / g pottery 以上であれば製塩土器と同定できるであろうが、濃度がそれ以下の場合、製塩土器では無いと断定することは難しい。つまり、製塩土器とそれ以外の土器の保存性 Cl⁻ の濃度値を具体的にどの値で線引きするかが問題となる。

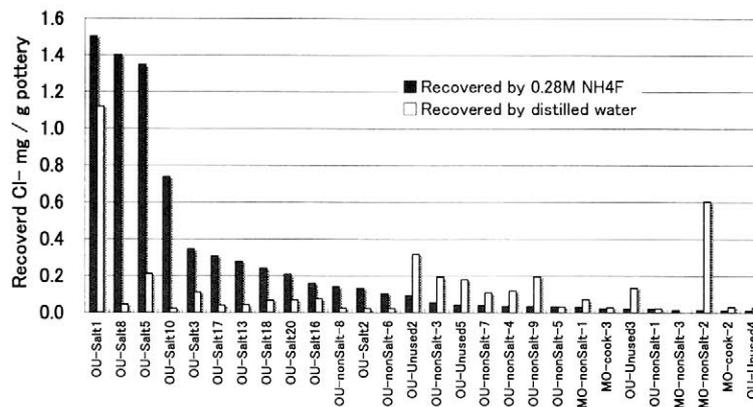


図2. 広島県呉市蒲刈町沖浦遺跡及び丸尾遺跡出土土器から蒸留水と0.28 M NH₄F水溶液で抽出された流出性と保存性塩化物イオンの総量 (mg Cl⁻/g pottery)

そこで、DWで抽出された流出性 Cl⁻ 量を比べてみると、保存性 Cl⁻ 量の上位13点はいずれも流出性 Cl⁻ 量が保存性 Cl⁻ 量より低く (図2)、すべての製塩土器はこの分類に属することがわかった。一方、一部の例外を除いて他の全ての土器片は流出性 Cl⁻ 量が保存性 Cl⁻ 量より高い。この結果から、流出性 Cl⁻ と保存性 Cl⁻ の割合が製塩土器と非製塩土器を識別する一つの指標になることが示唆されるが、この指標の正当性を検証する為には他の製塩遺跡出土土器を分析するなど、さらなる検討が必要である。

例外は先に問題になった保存性 Cl⁻ 量が製塩土器に匹敵する非製塩土器 OU-nonSalt-8 と 6 である。この2点の土器片は流出性 Cl⁻ 量が低いことから製塩に使われたと判断できれば、その保存性 Cl⁻ 残存量も説明がつく。また、OU-unused-2は流出性 Cl⁻ が抽出保存性 Cl⁻ より高いので製塩には使われなかったと判断する事ができるが、現時点では断言できない。

分析した製塩土器はなぜ保存性 Cl⁻ 量 > 流出性 Cl⁻ 量となったのであろうか。そもそも製塩土器は製塩の過程で土器胎土に浸透、吸着する Cl⁻ の絶対量が他の土器と比べて圧倒的に多い為、土器マトリックス内に強く保持される保存性 Cl⁻ 量もまた流出性 Cl⁻ 量も高くなるであろう。長い年月を経る事で流出性 Cl⁻ は雨や地下水などにより少しずつ洗い流され減少するが、保存性 Cl⁻ は残りやすいため、結果的に保存性 Cl⁻ 量 > 流出性 Cl⁻ 量となると考えられる。しかし、流出性 Cl⁻ だけを比較すると、同じ遺跡の同じ地点から出土した土器であっても非製塩土器の方が高い値を示している試料がある (図2)。どの種類の土器も同じように流出性 Cl⁻ が時と共に減少するのであれば、塩の付着絶対量が少ない非製塩土器の方が高い値を示す説明が付かない。単に絶対量の問題だけではないようである。

信頼性の高い分析をする為にはできるだけ残留の可能性の高い土器胴部を選択する等の配慮が必要であろう。また土器に残存するステロールを分析するなど、より総合的に判断することも重要である。

本研究は平成19年～22年度日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究(C)「製塩土器の科学的解析」(代表者:堀内晶子)及び、平成20年～21年度若手研究(B)「土器付着炭化物及び土器胎土吸着物を用いた先史時代の食性研究」(代表者:宮田佳樹)の研究成果の一部である。また、土器を提供して下さった蒲刈古代製塩遺跡復元展示館の松浦宣秀館長及び、これまでの一連の製塩実験に協力して頂いた千葉県千葉市立加曽利貝塚博物館土器作り同好会に謝意を表す。

- 1) 堀内晶子, 落合暢夫, 宮田佳樹, 「土器に残存する塩の検出方法の開発: 製塩土器の同定へ向けて」, 日本文化財科学会第25回大会研究発表要旨集, 396-397, 2008
- 2) 広島県蒲刈町教育委員会編, 「広島県安芸郡蒲刈町沖浦遺跡、2001年再調査」, 広島県蒲刈町教育委員会

細川家船屋形保存展示ケースの温湿度環境改修結果 第2報

○宮野秋彦(名古屋工業大学)、福西大輔、米村均(熊本市熊本博物館)

1. まえがき

熊本城内の細川家船屋形の保存・展示環境改善のために行った改修結果について、前報¹⁾以降の状況について報告する。

前報に述べた如く、改修では湿度環境の改善に主眼を置き、調湿建材²⁾によることとした。

採用した調湿建材は三種類で、それぞれの形状寸法と特性に応じ、ガラススクリーンと出入口扉を除く、床、壁、梁、桁、柱及び天井の全ての内装部表面に施工した。

改修によりケース内の相対湿度の日変動較差は小さくなったが、創設当時の元設計がケース内の通風・換気に主眼を置いたこともあって、天井、腰壁、出入口扉等の周辺にはなお隙間が存在し、そのため相対湿度の年変動較差の方は現在でもやや大きい。

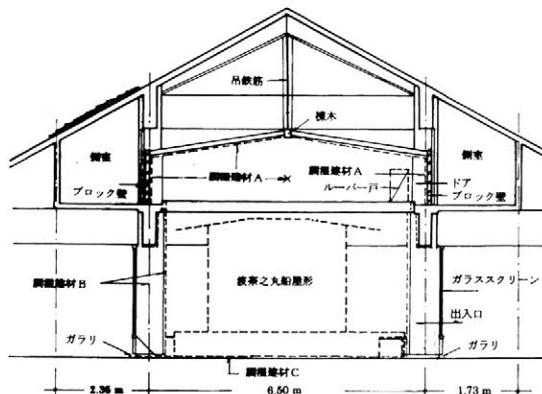


図1 「波奈之丸船屋形」保存展示ケースの概要

2. これまでの改修工事と調査の概要

床には、プレス成型した200mm角で20mm厚のゼオライト系の調湿性の床材を敷き詰め、柱表面には、厚さ8mmのケイ酸質炭酸カルシウム系の調湿タイルを、その他の天井、壁等の表面には20mm厚のケイ酸カルシウムを主料として抄造成形した調湿ボードを内装した。

改修計画策定に先立って、平成14年11月より東京文化財研究所による現状調査が始まり、平成15年(2003)6月には筆者等³⁾が温湿度測定を開始した。

改修工事は平成17年(2005)4月に完工し、その後も、細部の点検補修を加えながら調査測定を続けたが、平成22年(2010)1月をもって測定を一旦終了した。改修後の保存展示ケースの概要を図1に示す。

3. 測定結果と検討

図2及び図3に、改修前後の内外日平均相対湿度のそれぞれ一年間の相関を示す。

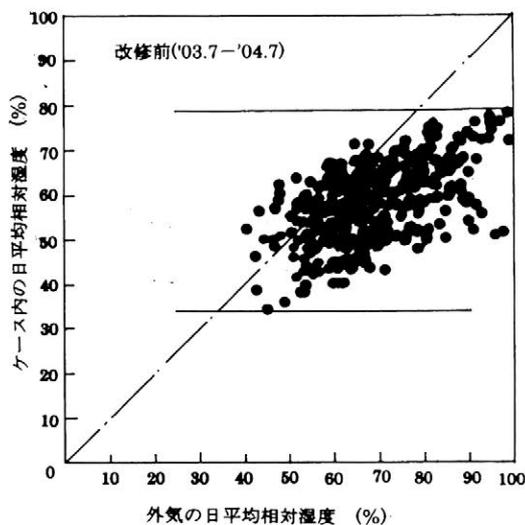


図2 内外相対湿度の相関(改修前)

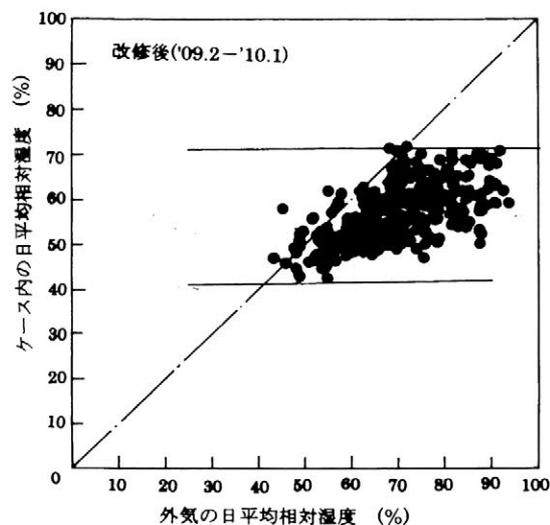


図3 内外相対湿度の相関(改修後)

改修前にはケース内の相対湿度が 35%~80%の範囲で変動していたのに対して、改修後の現在は、40%~70%の範囲に年変動の範囲が縮小していることが分かる。

図4、図5に、改修後の夏季及び冬季の代表的な晴天日の温湿度の日変動を示した。

図から明らかなように改修工事によって、ケース内の温湿度の一日の変化は極めて安定した状態となっていることが分かる。

表1に改修前、第一次補修後及び第二次補修後のそれぞれ各1年間における測定結果から求めた年平均値の一覧を示す。

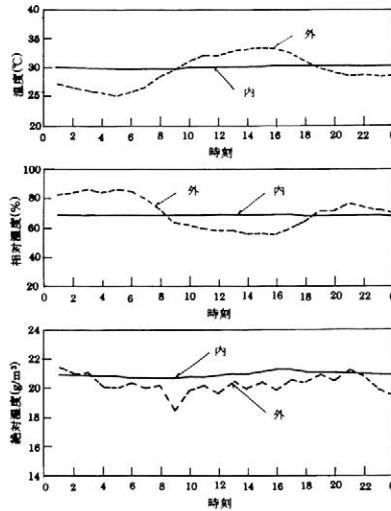


図4 改修後の内外温湿度日変化例
夏季、晴天日 (09.7.14)

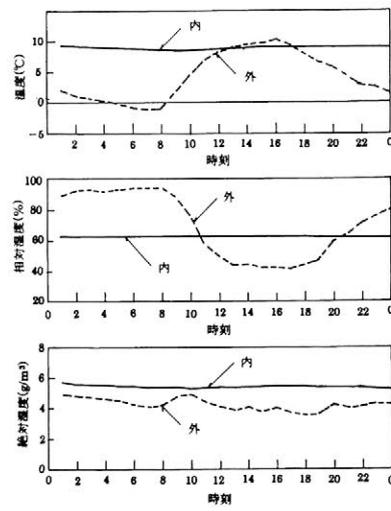


図5 改修後の内外温湿度日変化例
冬季晴天日 (10.1.26)

表1 細川家御座船波奈之丸「船屋形」保存展示ケース内外の温湿度測定結果

期 間	$\Delta\theta$	$\Delta\phi$	Δv	Θ_i	Θ_o	η	Φ_i	Φ_o	ν
改修前	1.3	-11	-1.0	0.8	6.7	0.14	4	37	0.12
一次補修	2.7	-9	-0.0	0.9	10.9	0.08	3	40	0.07
二次補修	3.1	-12	-0.2	0.8	8.5	0.10	2	38	0.07

註: $\Delta\theta$:内外温度差(°C)、 $\Delta\phi$:内外相対湿度差(%), Δv :内外絶対湿度差(g/m³)、

Θ_i :ケース内温度日較差(°C)、 Θ_o :外気温度日較差(°C)、 η :内外温度較差比、

Φ_i :ケース内相対湿度日較差(%), Φ_o :外気相対湿度日較差(%), ν :相対湿度日較差比

ケース内外の温度差は気密度の改修と共に次第に増加しているが、内外相対湿度の差には顕著な変化が見られない。

内外温度の日変動較差比の年平均値は、改修前に比べて改修後には僅かながら減少している。

それに対して、ケース内の相対湿度の日較差は、補修の進行と共に確実に小さくなっており、内外の相対湿度の日較差比も改修前の 0.12 から約半分に近い 0.07 に減少していることが分かる。図6には、改修前と現在のクリモグラフを併記した。

4. むすび

平成 14 年(2002)以来の改修の効果の概要について報告した。図6 改修前後のクリモグラフの比較
3箇所の出入口扉の気密性向上については、出来る限り早い機会に改善が施されることを望みたい。
調査測定に当り、格別のご協力を頂いたご関係各位に厚く御礼申し上げます。

文献及び参考資料:

- [1] 細川家船屋形保存展示ケースの温湿度環境の改修結果:宮野秋彦、石原武矩、福西大輔、若木和男、御厨秀俊、村田豊、寺村敏史、日本文化財科学会第 24 回大会(奈良)、'07.6.
- [2] 細川家船屋形展示施設の内部温湿度環境(回収結果報告 その1):宮野秋彦、日本建築学会九州支部研究報告、47 号、'08.3.
- [3] ISO 24353 及び JIS A 1470-1.2

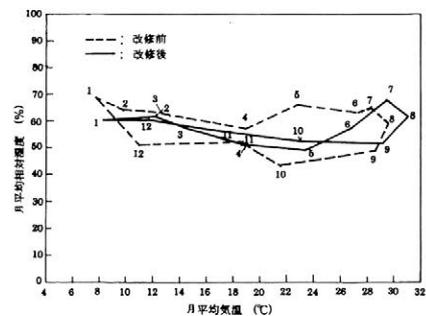


図6 改修前後のクリモグラフの比較

調湿建材内蔵型展示ケースの湿度調整機能について(第1報)

○宮野則彦(日本大学)、御厨秀俊(AM 工房)、宮野秋彦(名古屋工業大学)

1. まえがき

本報では、調湿建材(ISO 24353 及び JIS A 1470-1.2)を内蔵した展示ケースの湿度調整機能について測定した結果を報告する。

断熱材料には、高温用、常温用、低温用として、それぞれの温度域に適した材料があるが、調湿建材でも、その素材及び製法によって恒常湿度に相違があり、材料によって高湿、中湿、低湿のいずれかの湿度域で最も優れた性能が発揮されることが知られている。

ISO 及び JIS で、高湿、中湿及び低湿段階でそれぞれ試験条件が定められているのはそのためである。

試作した調湿建材内蔵型展示ケースは、収蔵・展示する文物の材質や容積などに応じて、湿度環境の最適化を計ることを目的として開発作成された。

2. 実験に使用した展示ケースと測定方法

実験に用いた展示ケースは、内容積が 373×373×393 mm (高さ) のアクリル板製の卓上型ケースで、高さ約 200mm のスチール製の台座に乗っている。展示面の四周には台座空間との間の湿気移動を図るための隙間が設けられている。

今回の実験における隙間幅は 5.5mm、隙間面積は 7,021mm² である。(写真)

実験では、珪酸カルシウムを主原料とした板状の調湿建材(300×100mm²×厚 25mm) 7枚を下部台座内蔵用とし、更に展示面用として大形板状の同じ調湿建材(300×300mm²×厚 25mm)を使用した。

今回の実験では次の 9 ケースについて行っている。

実験 No.0 : 調湿建材無。実験 No.1~7 : 台座空間内に小形調湿建材を 1 枚から 7 枚まで順次追加。実験 No.F 展示面に大形板状の調湿建材を追加。

実験は、空調を行っていない自然環境状態下の室内で行い、ケース内外の温湿度を小型温湿度計で 1 時間ごとに測定した。

測定期間は 2009 年 1 月~5 月(No.0 : 調湿材無、1/17-2/5, No.1 : 1 枚内蔵、2/5-19, No.2 : 2 枚内蔵、2/19-3/5, No.3 : 3 枚内蔵、3/5-19, No.4 : 4 枚内蔵、3/19-4/2, No.5 : 5 枚内蔵、4/2-16, No.6 : 6 枚内蔵、4/16-30, No.7 : 7 枚内蔵、4/30-5/15, No.F : 更に台上に大判 1 枚を載せる、5/15-28) である。

3. 実験結果と検討

表1に解析結果の一覧を示す。 表1 解析結果の一覧

No.	θ_i	θ_o	$\Delta\theta$	ϕ_i	ϕ_o	$\Delta\phi$	v_i	v_o	Δv	Θ_i	Θ_o	η	Φ_i	Φ_o	Φ/Θ_i
0	17.3	18.2	-0.9	50	42	8	7.4	6.5	0.9	5.2	6.0	0.87	7.3	11.1	1.5
1	17.7	18.4	-0.7	50	40	10	7.6	6.3	1.3	4.4	5.2	0.84	4.8	12.6	1.1
2	16.7	17.3	-0.6	49	44	5	6.9	6.5	0.4	4.4	5.2	0.85	4.7	10.6	1.1
3	16.3	16.9	-0.6	50	47	3	6.9	6.7	0.2	3.0	3.9	0.78	3.6	13.2	1.2
4	16.6	17.1	-0.5	50	47	4	7.1	6.8	0.3	2.3	3.0	0.77	2.9	11.9	1.3
5	19.3	19.6	-0.3	50	48	2	8.2	8.0	0.2	2.4	2.7	0.89	2.6	9.2	1.1
6	20.6	20.9	-0.3	50	50	-0	9.0	9.2	-0.2	1.9	2.2	0.88	2.6	10.5	1.4
7	22.1	22.4	-0.3	50	54	-4	9.7	10.7	-1.0	1.5	1.7	0.84	1.7	7.8	1.2
F	23.3	23.6	-0.3	48	56	-8	10.1	11.9	-1.8	1.4	1.5	0.97	1.0	11.0	0.7

註 θ_i : ケース内温度(°C)、 θ_o : 室内温度(°C)、 $\Delta\theta$: 内外温度差(°C)、 ϕ_i : ケース内相対湿度(%),
 ϕ_o : 室内相対湿度(%), $\Delta\phi$: 内外相対湿度差(%), v_i : ケース内絶対湿度(g/m³)、 v_o : 室内絶対湿度(g/m³)、
 Δv : 内外絶対湿度差(g/m³)、 Θ_i : ケース内温度日較差(°C)、 Θ_o : 室内温度日較差(°C)、 η : 内外温度較差比、
 Φ_i : ケース内相対湿度日較差(%), Φ_o : 室内相対湿度日較差(%)

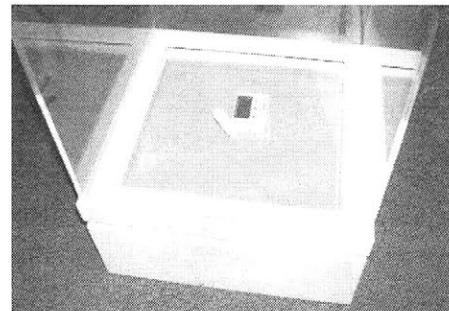


写真 実験用ケース

ケースの気密度が高いので、実験条件の変更時以外には、ケース内外の水分移動は極めて僅かであるから、表中の $\Delta\phi$ 及び Δv は参考値である。

図1に、全実験期間を通じたケース内外の温湿度の変化を示した。測定が冬季から春季にかけての期間であったため、外気温の上昇と共に、ケース内外の温度及び絶対湿度はいずれも実験の進行につれて増加しているが、ケース内の相対湿度は略50%で一定である。

図2に、ケース内外の温湿度差の変化を示す。

季節の変化と共に、4月頃を境として、温度差ではマイナスからプラスに、湿度差ではプラスからマイナスに転じている。

図3に、ケース内外の温湿度の日変動較差を示す。

温度の日較差は、冬から春にかけて暖房器具の使用時間の減少と共に小さくなっているが、相対湿度はこれとは無関係に、調湿建材の増加と共に相対湿度の日較差が減少している。

4. むすび

今回の実験では、一ケース当りの測定期間が短く、又台座内の調湿建材を増加させる方法で行ったので、季節によって異なる温湿度環境の室内に置かれた調湿建材の含水率の違いによる影響もあって、No.1からNo.7までの解析結果に多少の乱れが現れる結果となったものと考えられる。

現在行っている実験では、反対に全ての調湿建材を装着した状態から逐次取り除いていく方法で行っている。

更に、今後は台座との間の隙間幅を変化させた場合についても検討する予定である。

参考文献

- 1) 隙間の透湿特性について(第1報) : 日本建築学会東海支部 研究報告集、第6報、宮野秋彦、稲葉一八、1968.6.
- 2) 隙間の透湿特性について(第2報) : 日本建築学会大会学術講演梗概集、宮野秋彦、稲葉一八、1968.10.
- 3) 隙間の透湿特性について(第3報) : 日本建築学会東海支部 研究報告集、第7号、宮野秋彦、稲葉一八、1969.11.
- 4) 展示ケース内の温熱環境上の諸問題と対策: 日本文化財科学会、第16回大会、研究発表要旨集、赤沼英男、宮野則彦、水谷章夫、宮野秋彦、1997.6.

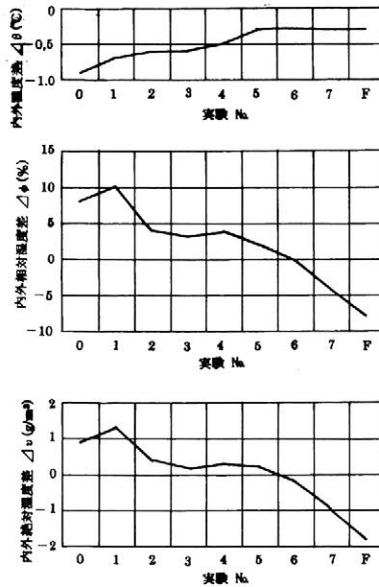


図2 ケース内外の温湿度差

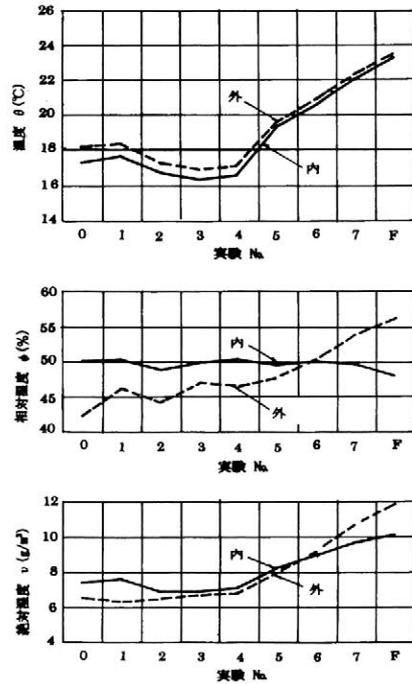


図1 ケース内外の温湿度

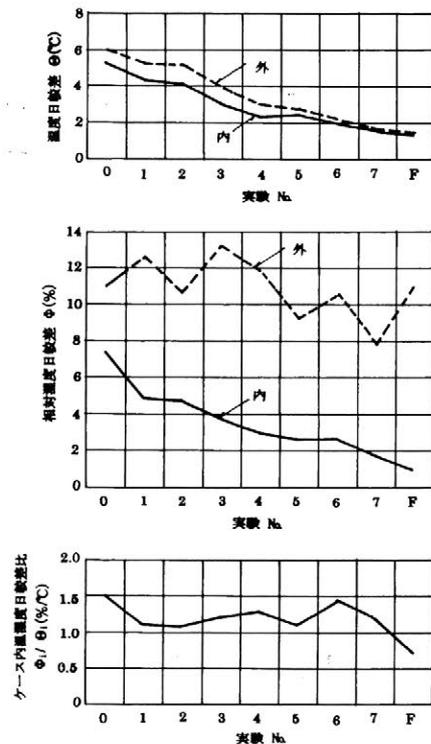


図3 ケース内外の温湿度日較差

復元青銅器の破砕実験

○魚島 純一（徳島県立博物館）、小泉 武寛（鋳造家）、
難波 洋三（奈良文化財研究所）、植地 岳彦（(財)徳島県埋蔵文化財センター）

1. はじめに

弥生時代を代表する遺物のひとつである「青銅器」には、意図的に破砕されたのではないかと考えられる状況で出土するものもある。しかし、銅鐸などの一般的な成分比（銅 Cu の含有率約 80%程度）の青銅器は、単に叩いた程度では容易には破壊できないことも知られている。では、出土する破砕青銅器はいったいどのようにして破砕されたのであろうか。この疑問を解決するのが、現代でも鋳造家が鋳損じた作品を鋳潰す際に用いている方法である。

発表者らは、弥生時代の青銅器を、実物とほぼ同様の成分比で復元鋳造して破砕する実験を行い、その詳細を記録するとともに、いくつかの出土青銅器片との比較を行った。

2. 復元鋳造

青銅器の復元鋳造は小泉が担当した。小泉は、これまでに博物館などからの依頼を受けて銅鐸をはじめとして数多くの青銅器を復元鋳造している。

鋳造にあたって、鋳型には炭酸ガス凝固タイプの砂型を用い、材料は下表に示すようなこれまでに報告されている出土青銅器の標準的な成分比とした。

	銅 (Cu)	錫 (Sn)	鉛 (Pb)	備 考
銅 鐸	84	10	6	高さ約37cm、重量約3000g
銅 剣	80	15	5	長さ約30cm、重量約350g
銅 鏡	72	22	6	直径約21cm、重量約1450g

（表中数字の単位は%（重量比））

3. 破砕実験

銅鐸と銅剣の破砕実験に用いた方法は、加熱した後に叩く方法である。この方法は、現代でも鋳造家が鋳損じた作品を鋳潰す際に用いている。通常は、鋳造時に使用する炉の近縁などに安置して加熱し、赤熱したところを軽く叩いて破砕するというものである。

今回の実験では、温度管理を容易にするため、電気炉を用いた。750℃に保った電気炉に復元青銅器を入れ加熱する。約5分後、赤熱した状態の復元青銅器を取り出し、金槌で叩くこととした。

銅鐸の場合、加熱後取り出したものを軽く叩くと、極めて容易に粉々に破砕することができた。比較のために、加熱せずに単に叩くだけで破砕できるかも試みたが、へこむ程度の変形に留まり、破砕することはなかった。

銅剣の場合も、同様の破砕方法で容易に折れてしまうことがわかったが、赤熱後に急冷するいわゆる焼き入れ処理をしたものは、強く叩いても曲がるだけで折れないことがわかった。

一方、他の青銅器にくらべて錫 Sn の含有量が多いためにもろいと考えられる銅鏡は、比較的容易に破砕できると考えられたので、まず鉄製の台に落下させることでの破砕を試みた。その結果、高さ約 15cm と約 25cm からの落下では破砕しなかったが、高さ約 40cm からの落下で破砕した。銅鏡の場合は、単に叩くだけでも容易に破砕できることもわかった。

4. まとめ

今回の復元青銅器の破砕実験と、そこから得られた破片と出土青銅器片との比較から、出土する青銅器片、特に銅鐸の破片の中には、おそらく今回実験で用いたのと同じ方法、すなわち、加熱後叩いて破砕されたものが含まれているであろうことがわかった。

今後、さらに多くの出土青銅器片の状況を精細に観察し、今回の破砕実験で得られた破片と比較することで、さらに多くの類例が見出せるものとする。

今回の破砕実験で得られた破片は徳島県立博物館において保管している。また破砕実験の様子を記録した映像は、今後、徳島県立博物館のホームページなどでも公開する予定である。



左上：銅鐸を加熱せずに金槌で叩く
右上：銅鐸を加熱後、金槌で叩く
左下：破砕後の復元銅鐸

建物の歴史を電磁波でみる —水戸市台渡里遺跡長者山地区 VII 地点の探査—

川口武彦（水戸市教育委員会），○金田明大，西村康，西口和彦（独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所），三井猛（㈱三井考測），木本挙周（牛久市教育委員会）

1.本研究の目的

地中レーダー（GPR）による遺跡の探査は、技術的な進展や実施における試行錯誤の成果、より多くの情報を取得できる段階に入りつつある。幅広い遺跡に対応するために、特に建物の柱穴の抽出は、日本の遺跡において求められている課題のひとつであろう。

茨城県水戸市台渡里遺跡は、常陸国那賀郡衙に比定され、北部の長者山地区は那賀郡衙正倉院にあたる考えられている。レーダ探査の結果、区画溝や建物の存在が明らかになり、部分的な調査と連携して遺跡の把握について成果があがりつつある（川口ほか2009b）。

倉庫跡は現在でも林の中に複数が高まりとなって遺存しており、この内の大型の建物基壇跡と推定される部分を対象としてGPR探査を実施し、良好な成果を得た。本発表では、その成果について報告をおこなう。

2.台渡里遺跡長者山地区 VII 地点と探査の目的

台渡里遺跡長者山地区 VII 地点は、基壇建物 SB001 の周辺に設定をおこなった探査区域である。この建物は桁行が 20m を超えると予想されたことから、疫病や飢饉の際に振給として支給される動用穀を収納しておく「法倉」であった可能性が指摘されている。西側の部分的な調査により、壺地業から桁行方向の布地業に建て替えられたことがわかり、また基壇上面を礫敷きで総地業風に覆っている可能性が指摘された（川口ほか 2009a）。しかし、建て替えの存在から、造営当初から大規模な建物であったかについては明らかでなかった。このため、今回の探査ではこれらの様相の確認を目的に探査をおこなうこととした。手法は GPR 探査と磁気探査を選択した。GPR は SIR-3000 (GSSI 社) と中心周波数 400MHz のアンテナを利用した。解析は GPR-Slice (Dean Goodman 氏作成) を用いて、背景フィルタおよび Migration 処理を実施のち、TimeSlice 法による平面表示をおこない、プロファイルとあわせて検討をおこなった。磁気探査は Grad601 (Bartington 社) を用いた。いずれの手法においても布掘地形は東西方向に存在することが発掘調査で予想できたため、測線は南北方向に設定した。測線間隔は GPR 探査が 0.25m、磁気探査は 1m である。探査範囲は東西 20m、南北 25m である。

3.探査の成果

ここでは、GPR 探査成果について紹介する。52-59ns の成果では、横方向の布掘地業が明瞭に把握できた。加えて、南側に等間隔の点状の反射が存在する。これは、発掘調査により確認されていた壺掘地業であると判断できる。この結果、発掘調査で確認された西側の状況を探査によって東側でも同様に確認することができたと考えることができよう。

今回の成果により、SB001 は造営当初から桁行が 7 間以上あった可能性が高いことが指摘できる。また、下層遺構の詳細を把握できたことは、今後遺跡の詳細調査の手段として文化財探査と発掘調査を組み合わせることが有力な手段になることを示すことができたと考える。

4.文化財探査成果からみた建物の性格

法倉は 8 世紀中葉以降に増加することが指摘されている（山中 1994、大橋 1999）。台渡里遺跡 SB001 については、建て替え後の布地業の建物に 8 世紀第 2 四半期頃の瓦が伴うことが明らかになっているため、下層にあたる壺地業の段階の建物は法倉として古い時期に位置づけられること可能性が高くなる。このため、法倉研究にも一石を投じる成果として位置づけられる。

参考文献

- 大橋泰夫 1999 古代における瓦倉について『瓦衣千年』森郁夫先生還暦記念論文集刊行会
 川口武彦・渥美賢吾・木本挙周 2009a 『台渡里 1 一平成 18 年度長者山地区範囲確認調査概報一』水戸市教育委員会
 川口武彦・金田明大・三井 猛・西村 康・西口和彦・木本挙周・佐々木淑美・樋口 碧 2009b 地方官衙遺跡調査における微地形測量と地下探査の有効性『日本考古学協会第 75 回総会研究発表要旨』中間責任法人日本考古学協会
 山中敏史 1994 第一章 郡衙の構造と機能 第四節 正倉の構造と機能『古代地方官衙遺跡の研究』塙書房

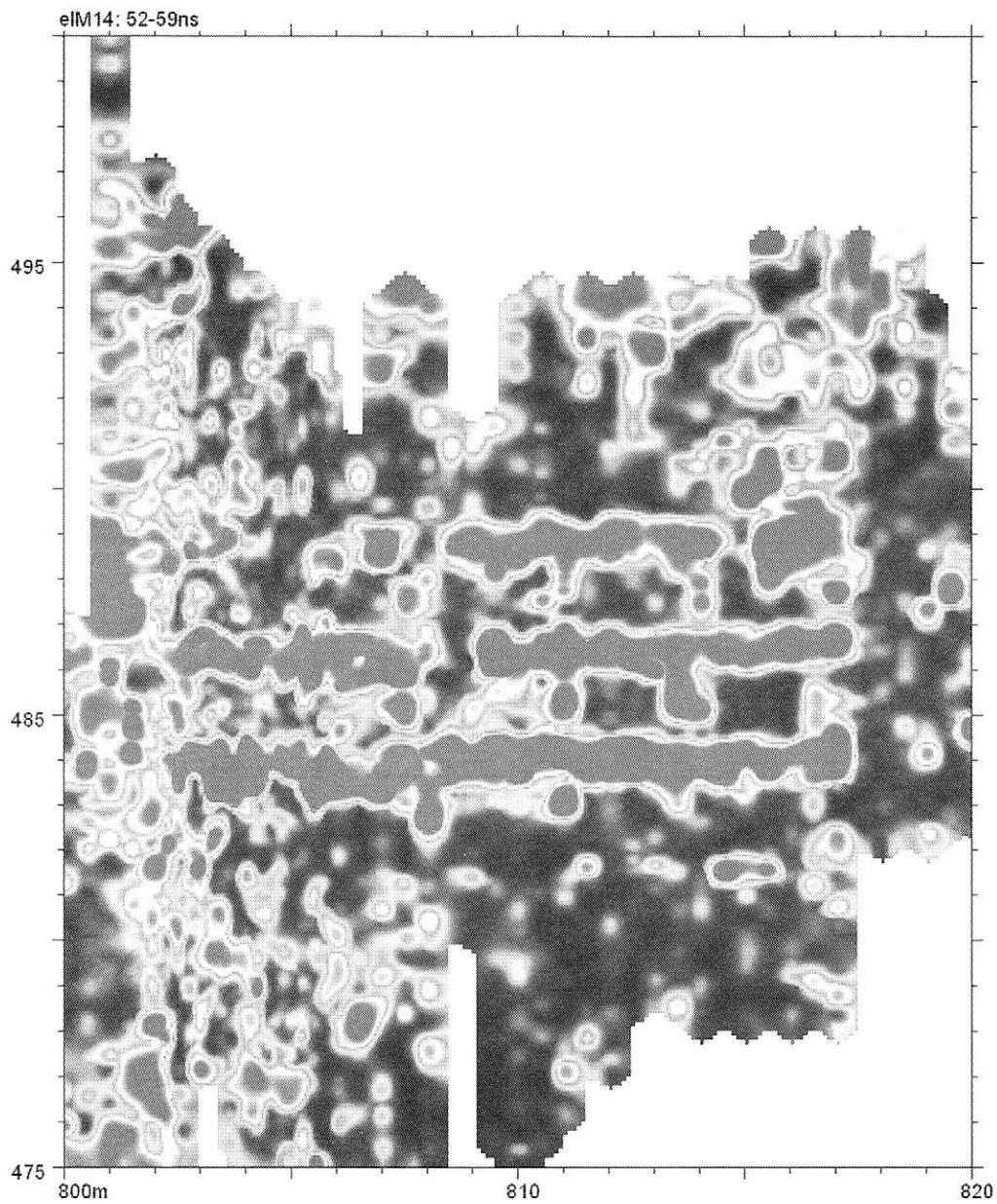


図1) GPR 探査成果

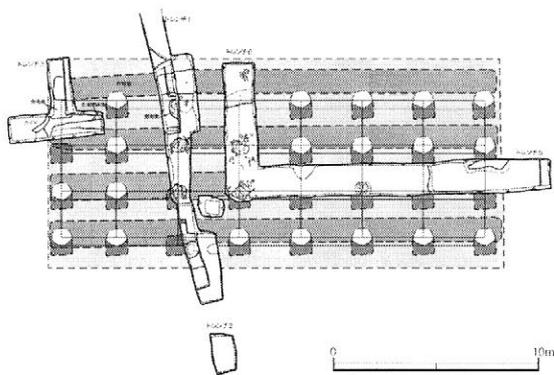


図2) SB001 発掘成果および復元想定図



図3) 作業風景

SVG による遺構・遺物の記録と活用への基礎的検討

○金田明大（独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所），
清野陽一（京都大学大学院）

1.本発表のねらい

近年、報告書の PDF での公開や、広域のリポジトリ構築など、共有や活用を目的に考古資料のデジタル化が試行されている。しかし、文字データの検索や共有に一定の成果をあげてはいるが、画像データについてはラスターイメージの公開が一般的であり、デジタル化の利点を十分に活用しているとはいえないのが現状である。

そこで、今回は報告書活用の実態を踏まえた画像情報の利用を目的とした SVG(Scalable Vector Format)による考古資料のデジタル化の実験をおこなう。

2.報告書の使用とSVG利用の展望

文化財の報告書は、読むだけではなく、研究や公開普及の基礎資料として扱われる。この際、複写やスキャンにより、利活用がおこなわれることが一般的であり、「鈹と糊による研究」と揶揄されることも多い。この使用形態を考慮すると、デジタル画像の利用は、使用の容易さをはじめ多様な面で利点がある。また、画像にあわせて記述を参照することが多いが、報告書の記載に戻る必要が生じるため極めて煩雑なものになる。ここで扱われる情報は多様で多量であり、使用過程において画像の内容への混乱や誤認が生じることも問題である。

SVG は XML 言語で記載され、形状を ASCII 形式で表現する。また、関連するデータの記載や、ネットワーク上の別のリソースやデータベースとの接続も親和性が高い。このため、画像と関連情報を一元的に管理することが可能になる。従って、利活用の多様な時点において画像とそれ以外の情報を有効に活用することが可能である。また、対応するソフトウェアも増加しており、製作から利用まで容易で多様な手段が存在する。

これらの利点から、図形データについて SVG による記述をおこなう動きが、地理情報システム (GIS) など他の研究領域においても検討されている。文化財の分野においても、有力なフォーマットの選択肢のひとつであろう。

3.SVG の実装実験

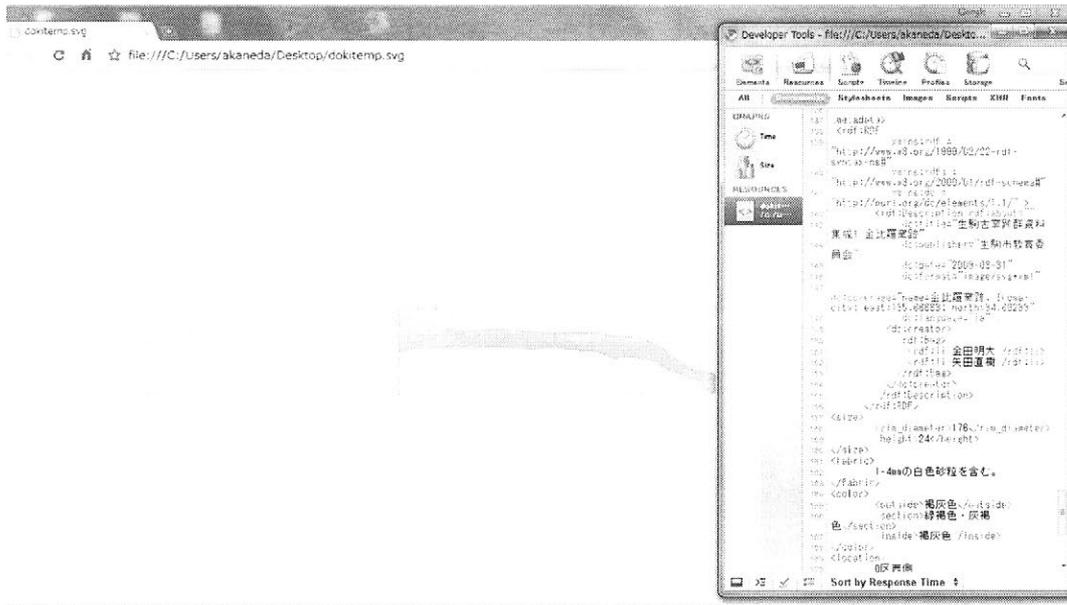
基本的には'metadata'要素内に各種情報を盛り込む方針で行った。

文書作成者は独立した SVG 文書内の最も外側の svg 要素に 'metadata'子要素を与える必要がある (SVG1.1 勧告日本語版 URI:http://www.hcn.zaq.ne.jp/___/REC-SVG11-20030114/metadata.html)、土器の実測図をドロー系ソフトウェアで作図し、SVG ファイルとして書き出したデータの最も外側の svg 要素の部分に情報を追加した。

XML データ内におけるメタデータの実装については RDF(Resource Description Framework)に基づいて記述することが一般的であり、その中でも書誌的な情報については DCMI (Dublin Core Metadata Initiative)によって標準化が行われている。そのため、本実験においても既に定義がなされているものについてはそれらの仕様にしたがって記述を行った。DCMES(Dublin Core Metadata Element Set)に規定が無いものの、情報として必要な部分については、現在のところ理想的な標準化仕様が定まっていない。このため、今回は独自に定義したタグを用意し、それを DTD として宣言することで利用した。今後この部分のスキーマについては、文化財の情報に関する議論が深められ、標準化がなされていく必要があると思われる。その際には、今回の独自定義はその標準化仕様に置き換えられることを望みたい。

4.まとめ

本発表では、文化財の画像情報としての SVG の有効性を検討した。今回は、XML で独自のタグを作成し、それを埋め込む形で観察情報を付加したが、Dublin Core や CIDOC CRM など、文化財のドキュメンテーションについての標準化という視点から、これらの有効利用が必要と考えるが、今回はなしえなかった。また、実装については、選択すべき項目の選択と標準化や、記述のルールといった問題に直面した。諸賢からの御叱正、御助言をお願いするものである。



SVG による実測図の表示と情報の表示

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"
standalone="no"?>
<!DOCTYPE dokitemp [
  <ELEMENT size (rim_diameter,height)>
  <ELEMENT rim_diameter (#PCDATA)>
  <ELEMENT height (#PCDATA)>
  <ELEMENT fabric (#PCDATA)>
  <ELEMENT color (outside, section,
inside)>
  <ELEMENT outside (#PCDATA)>
  <ELEMENT section (#PCDATA)>
  <ELEMENT inside (#PCDATA)>
  <ELEMENT location (#PCDATA)>
  <ELEMENT layer (#PCDATA)>
  <ELEMENT shape (#PCDATA)>
  <ELEMENT technique (#PCDATA)>
  <ELEMENT note (#PCDATA)>
]>
<svg
  xmlns:svg="http://www.w3.org/2000/svg"
  xmlns="http://www.w3.org/2000/svg"
  version="1.1"
  width="1052.3625"
  height="744.09497"
  id="svg2837"
  xml:space="preserve"><defs
  id="defs2841"><clipPath
  id="clipPath2853"><path
  d="m 0.595,276 841.89,0 L 841.89,0 0,
0.595,276 z"
  id="path2855" /></clipPath><clipPath
  id="clipPath2861"><path
  d="m 409.84,354.695 321.489,0 0,-89.035
-321.489,0 0,89.035 z"
  id="path2863" /></clipPath></defs><g
  transform="matrix(1.25,0,0,-1.25,0,744.095)"
  id="g2847"><g
  id="g2849"><g
  clip-path="url(#clipPath2853)"
  id="g2851"><g
  id="g2857"><g
  id="g2859" /><g
  id="g2865"><g
  clip-path="url(#clipPath2861)"
  id="g2867"><g
  transform="translate
(452.5801,353.2754)"
  id="g2869"><path
  d="m 0 0 c 16.75,3.33 10.67,-14
10.25,-14.75 -1.17,-2.1 -5.36,-6.07 -2.21,-7.87
1.76,-1 5.89,-0.9 22.55,-0.05
- 中略 -
style="fill:none;stroke:#332d2b;stroke-width:0.15
000001;stroke-linecap:butt;stroke-linejoin:miter;s
troke-miterlimit:4;stroke-opacity:1;stroke-dashar
ray:none" /></g></g>
<metadata
  <rdf:RDF
  xmlns:rdf =
"http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns
#"
  xmlns:rdfs =
"http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:dc =
"http://purl.org/dc/elements/1.1/" >
  <rdf:Description rdf:about=""
  dc:title=" 生駒古窯跡群資料集成 1 金比羅窯跡
"
  dc:publisher=" 生駒市教育委員会 "
  dc:date="2009-03-31"
  dc:format="image/svg+xml"
  dc:coverage="name= 金比羅窯跡 , lkoma-city,
east=135.68883; north=34.69283"
  dc:language="ja" >
  <dc:creator>
  <rdf:Bag>
  <rdf:li> 金田明大 </rdf:li>
  <rdf:li> 矢田直樹 </rdf:li>
  </rdf:Bag>
  </dc:creator>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>
<size>
  <rim_diameter>176</rim_diameter>
  <height>24</height>
</size>
<fabric>
  1-4mm の白色砂粒を含む。
</fabric>
<fabric>
  <color>
  <outside> 褐色色 </outside>
  <section> 灰褐色 </section>
  <inside> 褐色色 </inside>
</color>
  <location>0 区西側 </location>
  <layer> 黒色土層 </layer>
  <shape> 扁平なつまみに、平坦な天井部から縁
部は屈曲する。口縁端部は「く」字型。
</shape>
  <technique> 天井部外面中央部はへら切り痕を回
転ナデで消す。天井部から縁部は、回転ナデ
を施すが、一部に中央部から縁部に向けてナデ
を行う。縁部外面から口縁部内面は、ヨコナデ。
天井部内面は回転ナデ。中央部は、回転ナデ
の後、部分的に軽い静止ナデを行う。
</technique>
  <note> 天井部内面にモミ痕？ 2ヶ所あり。
</note>
</metadata>
</svg>

```

SVG のソース (一部)

低コスト三次元レーザースキャナーの利用と実践

○金田明大（独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所），木本挙周（牛久市教育委員会），川口武彦（水戸市教育委員会），三井猛（三井考測）

1.本発表のねらい

三次元計測は、高価な機器を必要とするものが多く、行政内といった実際に文化財の保護と調査を担当する組織にはなかなか導入が難しい面がある。しかし、近年、低価格で導入が可能なレーザースキャナーが出現しつつある。報告者は文化財の三次元データの取得と利用の普及を進めるため、これらの手法の実践を進めつつある。本発表では、これらの成果についていくつか報告をおこなうこととした。

2.廉価版三次元スキャナーによる計測

近年、廉価な三次元計測の手段が公開、販売されている。例えば、写真測量の原理を応用したものとしては、ImageMaster（TOPCON社）、クラビス（クラボウ）といった商用のものに加え、3DiVision（東京電機大学）、Arc 3D Webservice（3D-CoForm）といったより導入のしやすいものまで多様化している。また、パターン投影式のものなども増加しつつある。

更に、レーザー式のものとして、DAVID（Davidlaserscanner）や3D-wand（テクノドリーム21）といった機器やソフトウェアが公開されている。今回は、三次元スキャナーであるNextEngine2020i（NextEngine社）による成果について紹介をおこなう。この機器は取得可能範囲などに問題はあっても、従来の機器に比べ廉価である点が利点としてあげられる。また精度についても既に検証がおこなわれており、一般的なレーザースキャナーで取得可能なデータと比べても大きな違いがない（Guidi2007）。

3.計測の実際

既に遺物から遺構まで、様々な対象物の計測を試みているが（金田ほか2010）、ここでは、縄文土器についての計測成果を紹介する（奈良文化財研究所2010）。

ここで計測した土器は、山内清男考古資料として奈良文化財研究所が保管する曾谷遺跡出土の縄文土器深鉢である。本資料については既に詳細な報告がある（奈良国立文化財研究所1996）。

まず、外面を自動回転台を利用して計測をおこなった。それほど複雑なものではないため、回転角は60度に設定した。続いて、内面の取得をおこなうが、これは安全面に配慮しつつ資料を横に倒し、機器を移動しながら計測をおこなった。

これらの処理は取得した点群のクリーニング、位置あわせののち、統合および点群の再構成をおこなった。

点群データは計測と同時に取得した色調のテクスチャを含むため、obj形式に出力をおこない、PDF-E形式に変換をおこなった。グラフィックスデータの保管形式はU3Dである。PDFへの変換により、PDFを閲覧できるビューワーで三次元モデルの閲覧が可能である。

4.まとめ

多くの文化財は立体であり、三次元計測はその形状のドキュメンテーションをおこなう上で理想的な手段である。しかし、機材が高価なことが最大の問題として、なかなか広汎に導入されているとはいえない状況である。

しかし、今回紹介したものを含め、多様な手段が利用可能になってきている。今後、これらの利用と成果の検討を通じて、三次元計測が文化財保護関連の組織を中心に広く導入され、また手法や記録が洗練されることを期待したい。

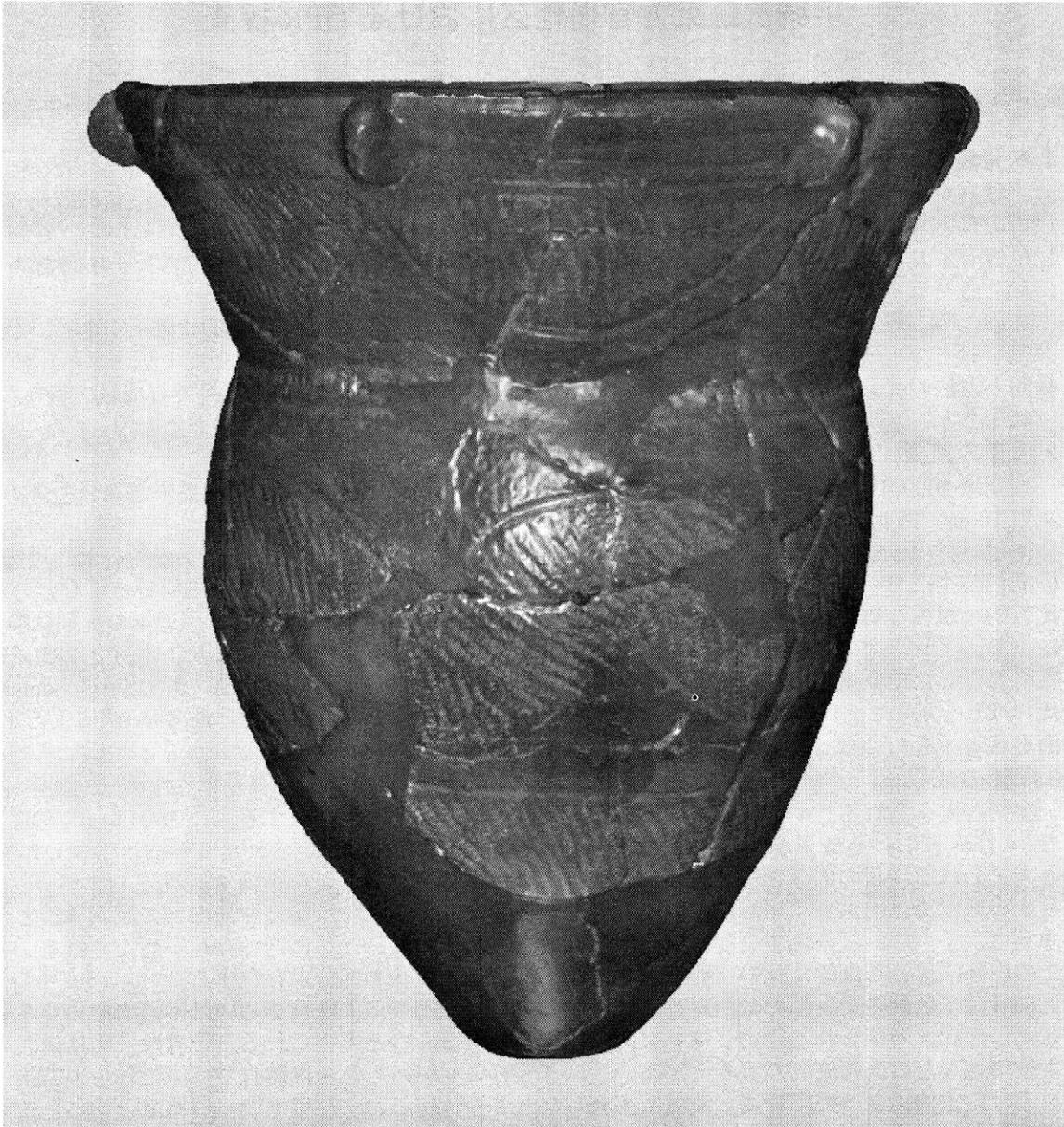


図 1) 三次元モデルの PDF による表示

引用文献

- 金田明大・木本挙周・川口武彦・佐々木淑美・三井猛 2010 『文化財のための三次元計測』岩田書院
奈良文化財研究所 2010 『埋蔵文化財ニュース 139 レーザースキャナーによる三次元計測』
奈良国立文化財研究所 1996 『山内清男考古資料 7 曾谷貝塚資料』
G. Guidi, F. Remondino, G. Morlando, A. Del Mastio, F. Uccheddu, A. Pelagotti 2007 Performance evaluation of a low cost active sensor for cultural heritage documentation, VIII Conference on Optical 3D Measurement Techniques

平城宮跡東方官衙地区における GPR 探査

○金田明大・国武貞克・西口和彦・西村康（奈良文化財研究所）

1.本発表のねらい

平城宮東方官衙地区の調査では、2006年度の第406次調査より、発掘調査の事前情報収集手段の改良と有効活用を目的とした物理的手法による文化財探査を実施している。しかし、谷部に位置しており、水分が多い箇所が存在や、複雑な整地土の存在、砂礫を多く含む土壌のためにおこるクラッタの発生などといった条件によりそれほど良好な成果を得ていない。

このため、成果の向上を目的とし、アンテナの走査方法と位置記録の精度向上を目的として試行をおこなっている。前者については、複数遺跡において同一側線での走査方法による比較検討と方法の改善をおこない、天良七堂遺跡・三軒屋遺跡（いずれも群馬県）で好成績を得た。これをもとに、平城宮においても探査をおこない、好成績を得たので紹介をおこなう。

2.調査の概要

期間は2009年1月18日より20日。実働2.5日を要した。探査地区は、調査予定部分を含め東西100m、南北104mの範囲で設定をおこなった。測線間隔は0.5mである。

使用機材は、SIR-3000（GSSI社）と中心周波数400MHzのシールドアンテナを用いた。周辺の発掘調査において遺構が比較的浅い部分に存在することが想定され、また建物や土坑などの比較的小規模な構造物の確認を目的としたため、TimeWindowを70nsとした。近年の実地試験により、アンテナの走査方法に応じて取得情報が変化することが明らかになり、木材とFRPを主材料としたそりを作成し、地面との設地を向上させた。解析は、GPR-SliceV7.0（Dean Goodman氏作成）を用いて、Background FilterおよびMigrationの処理をおこない、Time-Slice法による平面形状表示をおこなって、プロファイル画像や、考古学の知見と比較検討することとした。

3.探査の成果

遺構と考えられる地中の異常部の反射は、比較的浅い部分より存在する。ここでは、代表的な14-16nsにおける成果を図示した。結果、当該地区には存在が想定された基幹排水路SD2700と考えられる溝状の部分に東西に大きく区画が2分されることを指摘できる。

東の区画では、大きく矩形に強い反射が線状に連なり、これらは築地や溝などの区画施設と想定される。これは南側中央部に開口する部分を有しており、ここに門の存在が想定される。この内部には、規則的に強い反射が点状に並ぶ部分と、線状の部分が存在する。

前者は、区画の中央部で分かれた4棟が並び、更に北端では、基壇あるいは雨落溝をめぐらせた四面庇と考えられる建物2棟が東西に並存しているものと考えられる。後者は、雨落溝および築地などの区画施設の可能性が高い。探査翌日より開始した発掘調査では、これらの結果をうけて重機による掘削を浅く慎重に実施したところ、礎石および築地塀、石組溝といった遺構の存在が確認されている。

西の区画では、区画南側の方形の反射が問題となる。18-20nsでは、方形の区画全体が強い反射を示し、その中央部や南側に方形の反射の弱い部分が大小2箇所存在する。また、この北側には、円形の大きな反射がある。この構造物は反射が弱い部分がまわり、また南東部は面的な強い反射が存在している。性格は不明であるが、今後当該地区の評価をおこなう上でこれらの反射の実態を検討する調査の実施が必要になってくるであろう。

4.まとめ

探査と発掘との組み合わせにより、遺構の破壊を極力抑えた形で遺跡の性格や遺構の分布を把握することができた。探査の面からも、グラントゥールズとして発掘調査の成果を利用できることで、成果をより考古学的に解釈することが可能になる。今回は、遺構面が比較的浅かったこと、上層が水田耕土のみで盛土や整備に関わる改変の影響が少ないことが好成績に繋がったと考えられる。しかし、昨年度までの探査では類似した条件であったにもかかわらず、明確な建物の存在をとらえることはできなかった。これは、走査方法の改良によるものである可能性が高く、今後更に良好な信号を取得できる方法の開発や技術的な裏付けを得るための模索と実践の必要性を示している。

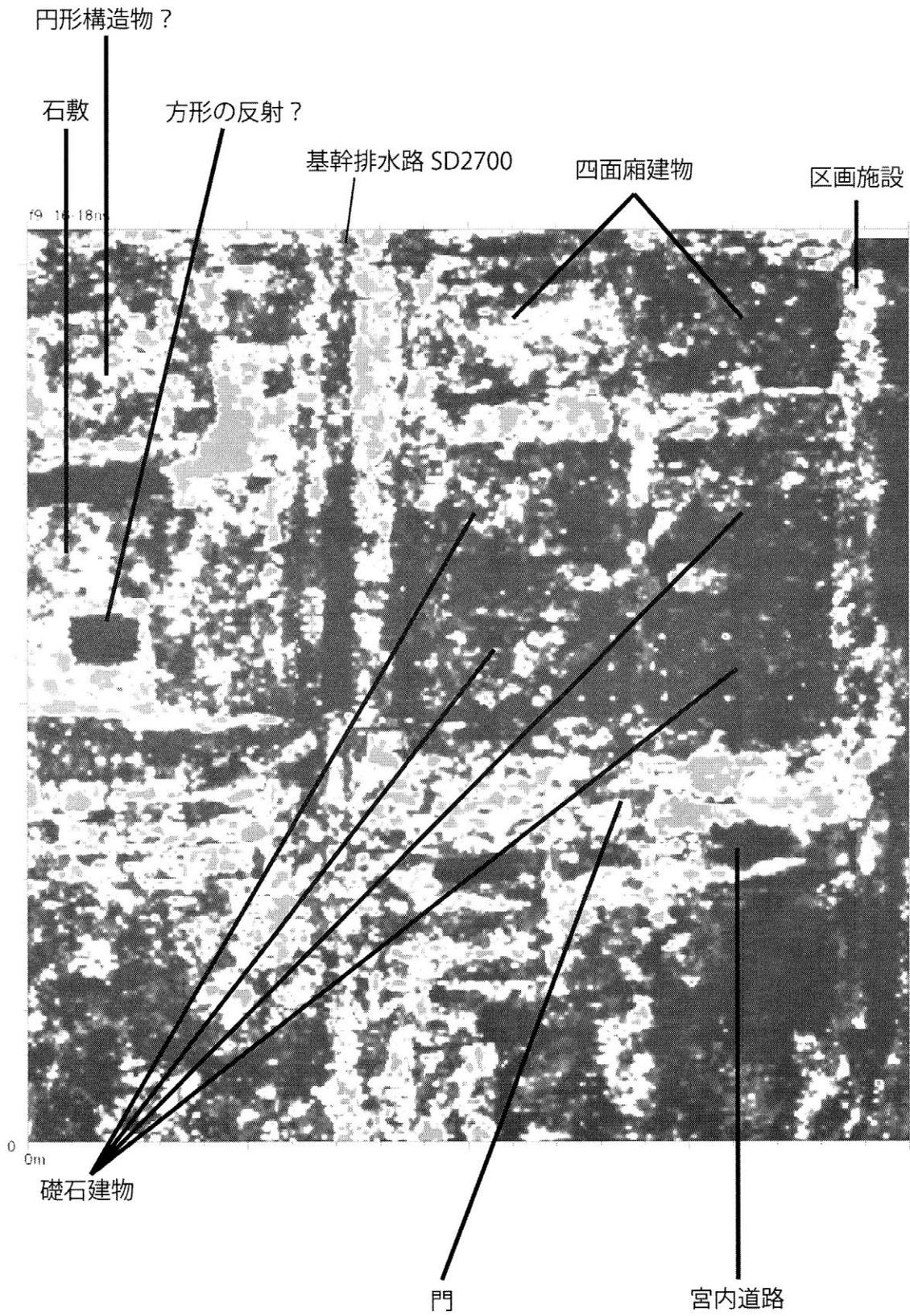


図 1) 平城宮跡東方官衙地区 GPR 探査成果平面図

超高感度・大面積ガンマ線イメージセンサーの開発と

移動が困難な文化財の調査

○犬塚将英（東京文化財研究所）、房安貴弘（長崎総合科学大学）、越牟田聡（サイエナジー株式会社）、田中義人（長崎総合科学大学）、浜垣秀樹（東京大学）

1. はじめに

文化財の科学調査では、資料採取が許されず、非破壊・非接触を大前提とした手法を要求されるケースが多いことから、X線を用いた調査方法は保存科学の歴史の中で重要な役割を担ってきた。例えば文化財の内部構造を調べるためにX線透過撮影が行われてきたが、調査用の機器は一般に大型、複雑かつ高価であるため、移動が困難な文化財の現地調査が難しいのが現状である。さらに、移動が困難な文化財の中では、塑像や建造物などの構造調査では、高いエネルギーのX線やガンマ線を用いる必要があるが、リアルタイムで画像を見ることができ可搬型の測定器は実用化されていないのが現状である。

ここでは、ガス電子増幅フォイル（GEM）を用いた検出器の信号読み出し部分と、高いエネルギーの光子を効率良く変換するための機構の開発状況を報告する。

2. GEM 検出器のための信号読み出し基板・回路と光コンバータの開発

これまでに、移動が困難な文化財を現地において非破壊調査をすることを目的として、信号増幅の主要な部分にガス電子増幅フォイル（GEM）を用いたX線検出器の開発を行ってきた¹⁾。ここでは、信号読み出し部分と光電コンバータの開発状況について報告する。

2-1. 信号読み出し基板と回路

本研究で開発している可搬型検出器の読み出し基板及び読み出し回路は、小型かつ低価格であることが必要である。一方、検出器の解像度は数百 μm 程度であれば充分である。以上を検討した結果、図1の概念図に示したような、X方向とY方向のストリップ（ストリップのピッチは1.56mm）を印刷した基板を用いて信号読み出しを行うことにした。検出器に入射したX線のX方向、Y方向の位置は、隣接したストリップに誘起された電荷量の荷重平均から算出する。

ストリップを用いた2次元読み出しの問題点としては、図1に示されているような異なる2点に入射があった場合に疑似画像が生じる「ゴースト現象」が挙げられる。しかし、電荷に加えて信号の到達時刻も測定すれば、この問題を回避することができて、検出効率が向上する。

本研究では、電荷情報と時間情報の両方を処理することができるLSIチップ²⁾を開発し、このLSIチップを搭載した信号読み出し回路を製作した（図2）。

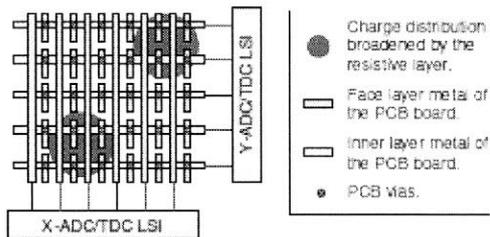


図1 XY ストリップ読み出しの概念図

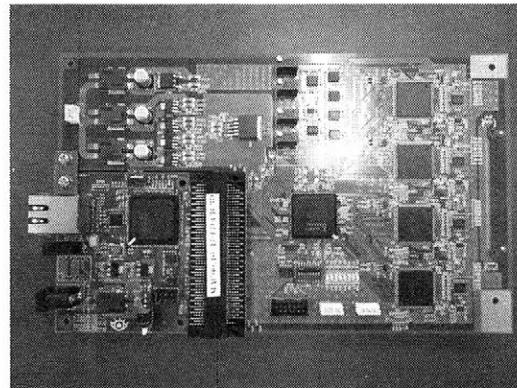


図2 信号読み出し回路

2-2. 光電コンバータ

現地調査では、塑像や建造物などの物質質量が大きい文化財の内部構造を知りたい場合がある。対象物の物質質量によっては、透過画像のコントラストを得るために、500keV 程度の入射 X 線やガンマ線を用いる必要が生じる。しかし、このような高エネルギーの入射光子に対して十分な検出効率（10%程度）を得るためには、GEM の上流に光電コンバータを設置する必要がある。このような目的のために、HIDAC 型³⁾の変換方法を利用した光電コンバータの開発を行った。

3. 今後の予定

個々に開発を行ってきた GEM 検出器、信号読み出し基板と回路、光電コンバータを組み合わせることにより、1つのガンマ線イメージセンサーとしての測定システムの構築を行う。また、²²Na などの放射性同位元素、X線管球、線形加速器を用いて、高エネルギー、高輝度の X 線源を用いて、測定システムの評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 犬塚将英：ガス電子増幅フォイルを用いた文化財の X 線透過撮影のための検出器の開発 II、保存科学 47 (2008) 173-178
- 2) Takahiro Fusayasu et al.: A Frontend LSI for Large-Area Gamma-Ray Imaging Detectors with Gas Electron Multipliers, IEEE 2009 nuclear Science Conference record N19-5 1100-1102
- 3) A.Jeavons et al.: A 3D HIDAC-PET camera with sub-millimeter resolution for imaging small animals, IEEE Trans. Nucl. Sci. 46 (1999) 468-473

本研究は科学技術振興機構（JST）の先端計測分析技術・機器開発事業「GEM による超高感度・大面積ガンマ線イメージセンサー」によるものです。

国宝・辛亥銘（稻荷山）鉄剣の X 線 CT 調査

○ 今津節生・鳥越俊行・輪田 慧（九州国立博物館）
野中 仁（埼玉県教育庁）

1. はじめに

さきたま史跡の博物館保管の埼玉県・稻荷山古墳出土の国宝金錯銘鉄剣を九州国立博物館で展示借用した際に埼玉県教育委員会と共同で X 線 CT を用いた非破壊調査を実施した。窒素ガス密閉の環境を変化させることなく、短時間に安全に非接触で鉄剣の内部構造を調査することができた。

2. 運搬と調査

国宝金錯銘鉄剣はさきたま史跡の博物館の窒素ガス封入の密閉ケースで展示されている。九州国立博物館では、窒素ガス封入状態を維持できるアクリル製の密閉ケース（0.1%以下の酸素濃度を維持）に鉄剣を封入し、さらに、振動防止機構を備えた輸送ケースに入れて行田市から太宰府市まで運搬した。

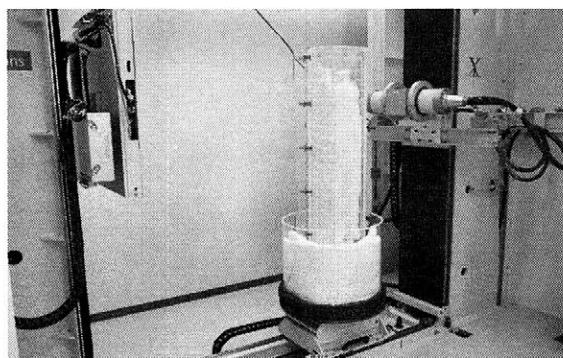


図1 窒素ガス密封状態を維持した CT 調査

X線CT調査では輸送用に使用した窒素ガス密閉アクリルケースをそのまま文化財専用の X 線 CT (Y.CT Modular320 FPD, YXLON International 社製) の回転台に設置して 320kvp で撮影した。撮影時間は 45 分であった。その後、X 線 CT 用解析ソフト (VG Studio Max) で立体画像を解析し、三次元の表面情報を抽出 (STL) して 3D ソフト (ATOSIII、Magics) で加工して三次元プリンタ (Z-Printer 450) で出力することによって、原寸大と 2 倍の複製品を製作した。

3. 調査結果

調査の結果、115 字の金象嵌文字と鉄地金の接着状況を克明に把握できた。さらに、従来の X 線透過撮影では不可能であった象嵌文字の正確な三次元計測を行い、表裏の象嵌文字を分離して視覚化することに成功した。また 115 字の金線文字とは別に、柄にも金属の装飾が施された痕跡を発見した。また、X 線 CT から取得したデジタルデータを活用して 3D プリンタで出力することにより、見学者が気軽に手に取ることができる複製品を作成した。

4. まとめ

X 線 CT を用いた短時間の非破壊調査によって、国宝・辛亥銘鉄剣の保存状態の把握、金象嵌文字の正確な計測による研究情報の蓄積と柄の金属装飾の発見、見学者が気軽に手に取ることができる複製品の作成などが可能になった。このように X 線 CT をはじめとするデジタル計測機器を用いた計測調査と高精度三次元情報の活用によって、文化財の保存や調査・研究の基礎資料、展示への応用として多角的な利用が期待できる。

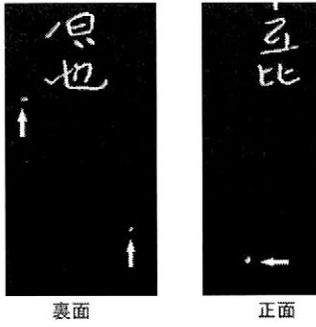


図2 把に残る金属の痕跡

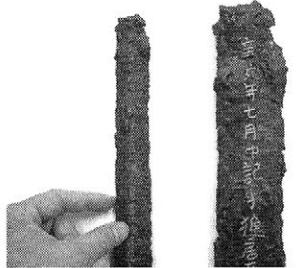


図3 実際に触れる複製品

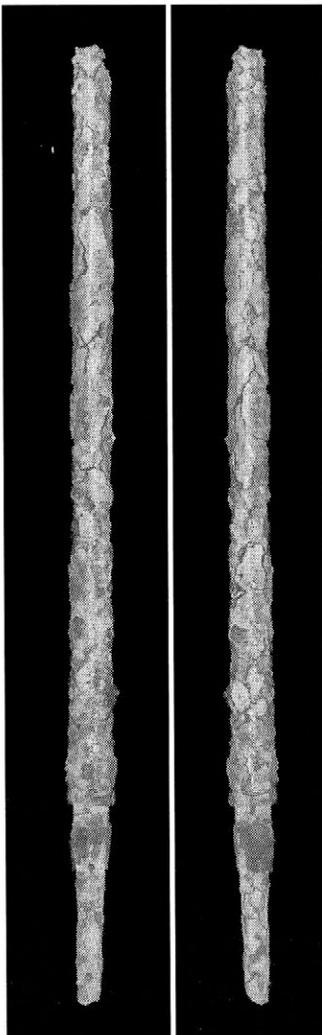


図4 接合部分の強調

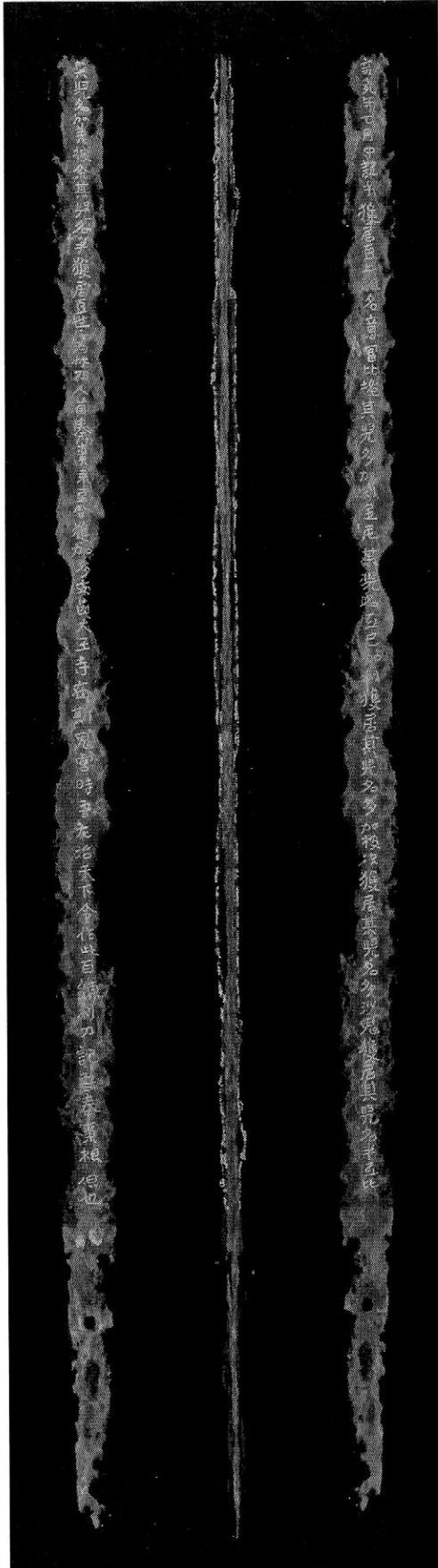


図5 鉄芯と象嵌の状態（裏面・側面・正面）

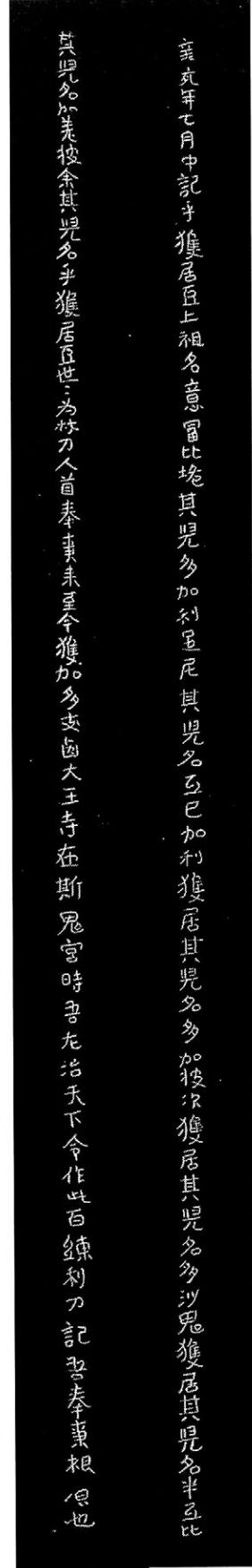


図6 金象嵌文字

古文書分類への情報学的アプローチ - 大谷コレクション「李柏文書」を例として -

○ 坂本昭二・倉石沙織・江南和幸・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)

河野益近(京都大学大学院工学研究科)

1. はじめに

龍谷大学大宮図書館所蔵の「李柏文書」を分析する機会を得たのでここに報告する。「李柏文書」とは、第二次大谷探検隊の隊員であった橋瑞超が1909年に中国の楼蘭遺跡で発掘した文書群を指し、この文書群はほぼ完全な形で残っている有名な主文書2点(重要文化財、IDP 文書番号:MS00538A, MS00538B)と41点の断片群(IDP 文書番号:MS08001A, MS08001B, MS08002, …, MS08012, MS08013A, MS08013B, MS08014, …, MS08039)からなる。詳しくは、本研究発表要旨集の筆者による別項を参照のこと[1]。今回の調査では、これまでになされていなかった科学的な分析(透過光および斜光撮影、高解像度スキャン、測色、デジタル顕微鏡による観察、蛍光 X 線元素分析などの非破壊分析など)を行い、これらの計測結果から文書の分類を試みた。

2. 計測

本調査では43点の文書について、以下に述べる項目についての計測を行った。

基本項目: 紙幅、紙高、紙厚、重さ、面積

原材料に依存する項目: 繊維幅の分布、紙色、含有元素

紙漉き道具に依存する項目: 簀の目、糸目

これらの項目はすべて定量データとして計測されるものである。次に、繊維幅の分布、紙色、含有元素、簀の目についての計測方法を述べる。

繊維幅の分布: KEYENCE VHX-1000 を用いて500倍または1000倍の倍率で透過光観察し、ランダムに選んだ繊維の幅を計測する。計測した繊維の数は各文書につき数百本である。

紙色: 測定には分光色差系(日本電色工業製 NF333)を用い、JIS P8150 を参考にして、光源は CIE イルミネラント C、視野角条件は 2°、測定径は 4mm とした。各文書につき数箇所から数十箇所まで測定した平均値をその文書の色とした。

含有元素: 本分析で使用した蛍光 X 線元素分析(XRF)機器は、Niton 社製の XL3t で、計測した元素は以下に示す34元素とバランス成分である。計測は各文書の大きさに依存して数箇所から数十箇所まで測定を行った。

Ba, Sb, Sn, Cd, Pd, Ag, Mo, Nb, Zr, Sr, Rb, Bi, As, Se, Au, Pb, W, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Ca, K, Al, P, Si, Cl, S, Mg.

簀の目: 簀の目の周期性を利用して計測を行う。具体的には文書の透過光画像をフーリエ変換を用いて周波数領域に変換して簀の目を計測する。[2]

3. データ分析

近年の計測機器の発達によって、比較的容易に様々な種類の計測データが手に入るようになった。次の段階としてこのような多数のデータ(高次元データ)を処理して分析する方法が必要となる。以下では、紙色データと含有元素データを用いた文書の分類を例として取り上げる。

3.1 紙色による分析

表色系は CIE $L^* a^* b^*$ を用いた。各文書のあまり汚れていないと思われる所を文書の大きさに依存して数カ所から数十箇所計測し、これらの平均値をその文書の紙色とした。全文書における L^* , a^* , b^* の各分散はそれぞれ 7.7, 0.6, 3.4 であり、 L^* の分散が最も大きく、次いで b^* の分散が大きく、 a^* の分散が最も小さい。従って、 a^* は紙色での分類にはあまり寄与しない属性であることがわかる。実際に主成分分析を行うと、第一主成分は L^* 軸方向、第二主成分は b^* 軸方向になり、これらの主成分が張る平面は L^*-b^* 平面に近い。従って、本稿では L^*-b^* 平面に各文書データをプロットし(図.1:この図中の番号は IDP 文書番号の接頭辞“MS0”を省略したものである。以下、他の図でも同様)、同時に可視化も実現した。この結果、元は同じ文書からの断片と思われるものがこの平面上で近い所にそれぞれプロットされていることが確認できる。今回の分析では42点のデータだけであるが、より大量の文書を分類するのに有効であると思われる。

3.2 含有元素による分析

42点の文書(MS08037 は破損しているため未計測)を計測した結果、Ba, Sb, Sn, Pd, Ag, Sr, Rb, Bi, As, Se, Au, Ni, Co, Cr, V, Mg の各元素はどの文書からも検出できなかった。少なくとも一つの文書から検出された元素は、Cd, Mo, Nb, Zr, Pb, W, Zn, Cu, Fe, Mn, Ti, Ca, K, Al, P, Si, Cl, S の18元素であった。そして全ての文書から検出され

た元素は、Cd, Ti, Ca, K, Si, Cl, S の6元素であった。以下の分析では、得られた XRF データを定性データとして扱い、定量データとして扱わない。これは計測対象としている文書料紙の厚さや密度がそれぞれ異なることによる。従って、ある元素が文書料紙に含まれているかどうかという情報のみから文書群の分類を試みる。但し、各文書において複数箇所計測を行っているため、元素によっては測定箇所によって検出されたりされなかったりする場合がある。本稿では、ある元素が N 箇所計測した結果、m 箇所計測した存在を検出できたとき、その元素の含有率を m/N と定義した。

本研究では、データ分析手法として統計学や情報学などで利用されている Kohonen の自己組織化写像 (SOM) と呼ばれるアルゴリズム[3]を用いた。これによって、各文書から取得した高次元データをデータ間の位相関係(近さ関係)をできるだけ保存したまま2次元に写像して可視化を行うことができる。分類に使用するデータには Fe, Al, P, Zn の4元素のデータ(4次元のデータ)を用いた。これは、この他の元素はどの文書に対しても同じような測定結果であるため、文書を分類するという観点からは役に立たないからである。実験の結果、図.2 に示すような結果が得られた。この図では文書番号が2次元平面上に配置されているが、これは4次元空間中での文書の分布を、各文書間の近さ関係を保持したまま2次元平面上に写像したものである。図中の濃淡は距離を表し、白い程距離が近いことを示し、黒い程距離が遠いことを示している。例えば、0538B の周りは濃淡が濃いのでその他の文書とは距離的に遠いことを示している。また、図中では 8028, 8029, 8030 は近くに配置され、これらの間では濃淡が白く非常に似ている(近い)文書であることがわかる。実際にこれらの文書断片は元々同一の文書であったものようである。また、図.3~6 は図.2 のマップ上での各元素の活性度を表している。ここでは濃淡が白い程その元素が含まれており、濃淡が黒い程その元素が含まれていないことを示す。例えば、図.6 では 0538B の部分だけ白くその他の部分は黒い。これは、亜鉛(Zn)が検出された唯一の文書が MS00538B であったためである。このようにしてマップから解釈していくと以下のことが言える。

- ・ 図.3 と図.4 より、Fe と Al の含有に相関が見られる。
- ・ 以下のようにおおまかに3クラスに分類できる。
 Class A (Class B, C 以外) : Fe, Al を含み、P はマップの左側程多く含み、右側に近い程少ない。
 Class B (MS00538B のみ) : 唯一 Zn を含む。
 Class C (マップ右下部分(0538A, 8001B, 8007, 8019, 8028~8030)) : Fe, Al, S, Zn を含まない又は少ない。

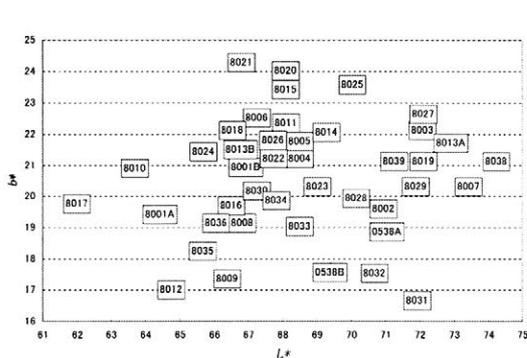


図.1 L*-b*平面上の文書分布

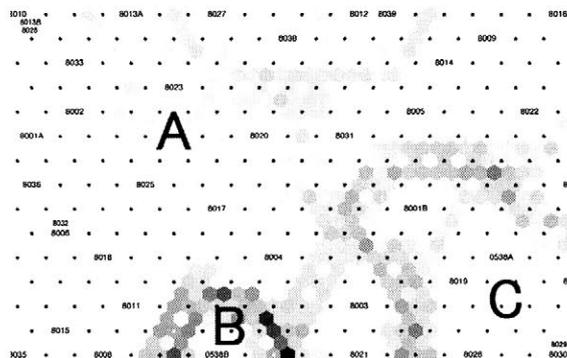


図.2 SOMによる特徴マップ

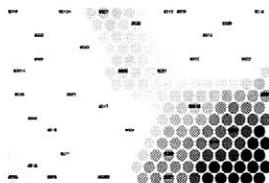


図.3 Feの活性

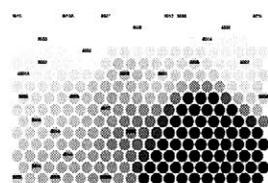


図.4 Alの活性

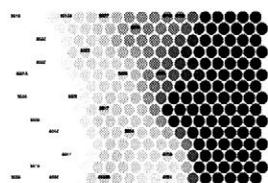


図.5 Pの活性

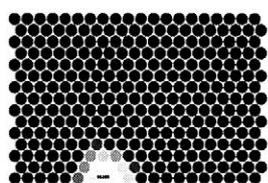


図.6 Znの活性

4. まとめ

今後、様々な種類の計測データが増えていくことは容易に予想され、益々、統計学や情報学の手法が必要になるであろう。本研究では、その一例として、計測データから文書を分類することを試み、その手法の有効性を示すことができた。今後はより大規模なデータに対してこのような試みを行いたい。

参考文献

- [1] 坂本昭二 他: 大谷コレクション「李柏文書」の科学分析, 日本文化財科学会第27回大会研究発表要旨集, 2009
- [2] 加藤雅人 他: 簀の目の測定法の開発および応用例, 第25回文化財保存修復学会, P004, 2003
- [3] Teuvo Kohonen, 自己組織化マップ, シュプリンガーフェアラーク東京, 2005

エジプト西方砂漠（オアシス）地域における環境調査 －発掘遺構の気象変動について－

○山田 卓司¹、塚本 敏夫¹、亀井 宏行²（¹元興寺文化財研究所、²東京工業大学）

1. はじめに

本報告における発掘遺構は、エジプト南西部のハルガ・オアシス中部に位置するアルザヤーン神殿遺跡西側地下の遺構である。2001年から東京工業大学を中心とした探査により構造物の存在が確認され、2003年以降の発掘調査によりローマ期と考えられる遺構や遺物が発見されている¹⁾。発掘された遺構は砂漠特有の環境変化に伴う塩析や強風等で劣化するため、発掘調査終了時に埋め戻しが行われる。今後の展示等に向けた対策整備が必要であり、発掘に伴う気象変動の基礎的なデータを収集するため、遺構を埋め戻す際に温湿度計を設置した。また、調査箇所近くの民家屋上に設置した気象観測ステーションの結果とともに解析を行い、発掘に伴う気象変動を考察した。多数の発掘調査が今後も行われるオアシス地域における本調査結果は、保存処理指針を決定する上で重要なものであり、得られた調査結果は遺跡保存へ種々の知見をもたらすと考えられる。

2. 発掘遺構と観測機器

発掘遺構は日乾煉瓦により構成される。発掘に伴い、砂漠地域における強い日照と風を受ける状況へ変化し、水分移動の影響による塩析が発生する。また、神殿遺跡周辺で木は一様に南側に傾き、砂紋が確認されることから、一定方向の強風が想定された（写真1）。

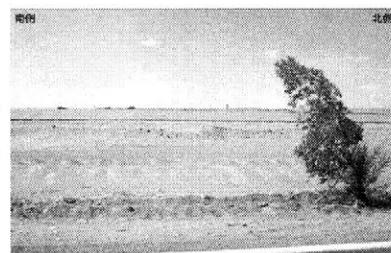


写真1. 神殿遺跡周辺の状況

発掘遺構の温湿度変動を把握するため、埋め戻し時に設置した温湿度記録計は以下のとおりである。神殿遺跡の温湿度調査と同じものを使用した（温湿度記録計：LASCAR ELECTRONICS LTD. EL-USB-2）²⁾。1時間間隔で記録し、再発掘時にPCによるデータの回収を行った。

発掘遺構が受ける日照や風力を把握するため、民家屋上に設置した気象ステーションは以下のとおりである（気象ステーション：HOBO マイクロステーションロガー、日射スマートセンサー、風向・風速スマートセンサー）。記録は15分間隔で行った。

3. 発掘遺構の環境調査結果

神殿部分の温湿度と比較し、地面下0.2と1mの温湿度はともに安定化していた（図1）。地面下1mの温湿度は、温度の変動はあるが湿度において良好な安定性を示し、埋め戻しの有効性を示す。直射日光を防ぐことで、温湿度変動の大きな緩和は可能であるが、地面下0.2m程度では湿度の変動が大きいことも明らかとなった。

気象ステーションにより、4月以降1000 w/m²を超える非常に強い日照を受け、秒速10 mを超える強風の影響を受けることが明らかとなった（図2）。日照面で発掘の時期は12

月から3月が望ましいことが明らかとなった。また強風は、北から北東風が中心であり、神殿遺跡周辺の木が南側に傾いている事象と整合性を得た（図3）。

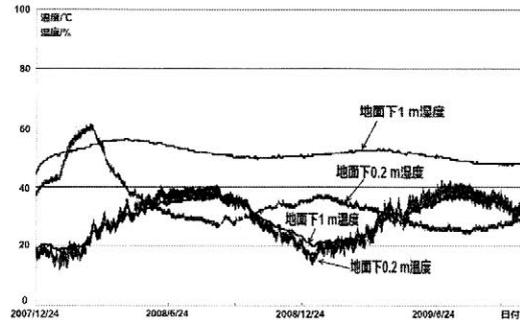


図1. 地面下の温湿度変動

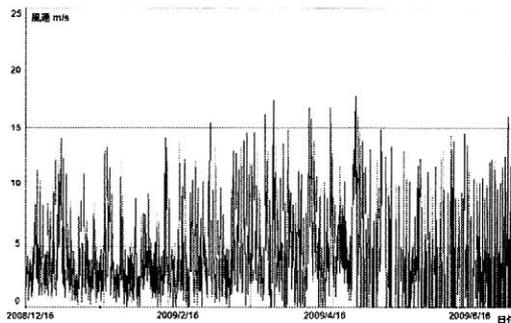


図2. 風速の観測結果

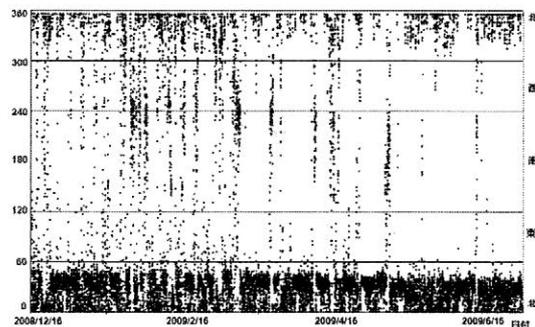


図3. 風向の観測結果

4. 発掘遺構の環境変動

遺構が発掘されることによって、遺構の環境は大きく悪化する。特に、砂漠特有の日照とハルガ・オアシスという地域特有の北風によって、遺跡環境は急速に悪化する。また、発掘調査後の埋め戻しも、地面下0.2m程度にある遺構で劣化の可能性が示唆された。

発掘遺構を保存するためには、日照と風を防ぐ手段が必要である。本調査により、明らかとなった風向と日照による水分移動を防ぐため、北側に風防を設けた屋根を設置することで発掘調査時における遺構劣化に対応する方策が考えられる。

今後、発掘遺構や神殿の環境を整備するためには、最適な風防施設を備えた覆い屋が必要になると考えられる。さらに、覆い屋にタワー集光型太陽熱発電プラントを設置し遺構監視設備へ電源供給するなど複合的な機能を持たせることが考えられる。

参考文献

- 1) Hiroyuki Kamei and Katsura Kogawa, El-Zayyan 2003 – 2006 (Tokyo 2007)
- 2) 山田卓司・塚本敏夫・亀井宏行、文化財保存修復学会第31回大会研究発表要旨集、p.218-219 (2009)

本調査・報告は、平成19年～22年度科学研究補助金基盤研究A（海外学術研究）19254002「考古遺跡調査への情報技術導入実験－エジプト・アルザヤーン神殿遺跡」（研究代表者亀井宏行）の一環として行った。

伽藍石仏における現況調査

－ 赤外線サーモグラフィを用いた事前調査結果について －

○ 山路 康弘（大分市立滝尾中学校）、伊藤 広宣・山村 健生（(株)文化財保存活用研究所）

1. はじめに

大分市指定史跡（昭和 49（1974）年 1 月 9 日指定）の伽藍石仏は別名：「南太平寺磨崖仏」とも呼ばれ、大分県大分市に所在する。丘陵の斜面に三つの小さな石窟が穿たれ、その中に鎌倉時代末期～室町時代にかけて造立された磨崖仏が刻まれている（写真 1）。右窟の入口には多聞天と不動明王、奥に阿弥陀三尊（観音は欠失）が刻まれ、中窟の奥には像高 54 cm の阿弥陀如来坐像が彫られているが、左窟は間口 150 cm、高さ 135 cm、奥行 130 cm の中に小窟窟が穿たれているだけで石仏は残っていない。本磨崖仏は塩類の析出や着生生物など見られ、さらには表層剥離や土壌化など岩の脆弱化が目立っている。そのため周辺環境および磨崖仏表面の劣化状況を把握するためのデータ収集を実施した。調査内容は温度湿度測定、析出物の成分分析、赤外線サーモグラフィによる劣化診断解析である。ここでは赤外線サーモグラフィにおける事前調査結果について報告する。

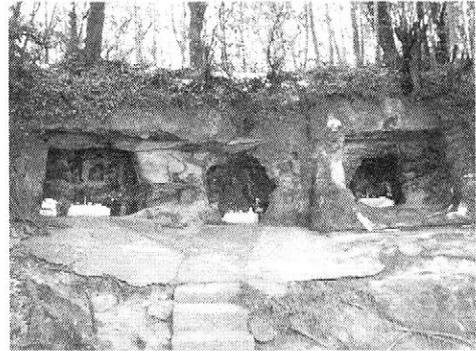


写真 1 伽藍石仏

2. 赤外線サーモグラフィによる劣化診断

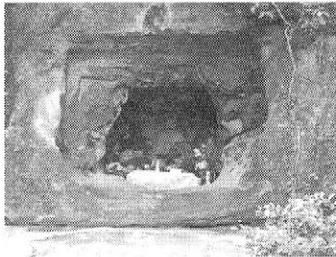
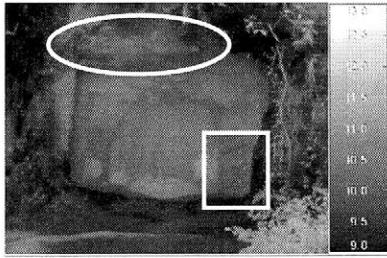
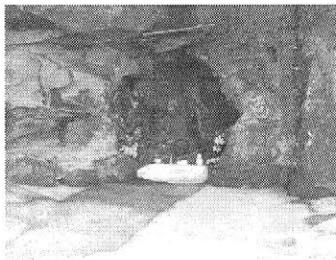
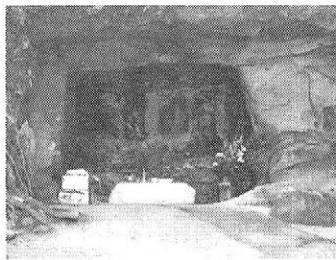
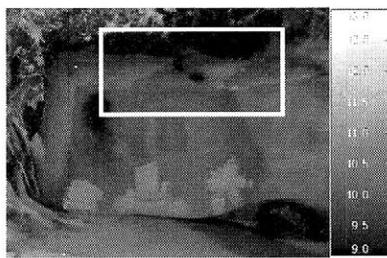
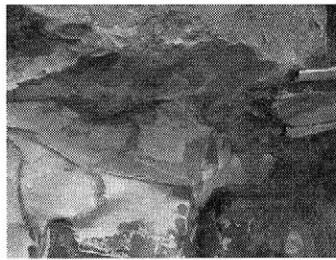
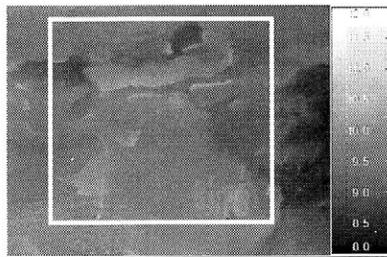
磨崖仏および窟周辺における表面の劣化状況を把握するために赤外線サーモグラフィによる劣化診断解析を実施した（写真 2）。調査対象物周辺の温度が上昇すると、対象物から放出される熱赤外線放射量が増加する。この劣化診断はこの原理を利用し、物性が均一であれば放出される赤外線エネルギー量は均一となり、表面温度分布も均一になるが、劣化や物性が異なれば放出される赤外線エネルギー量に差が出て、この差が表面温度分布に影響し、この差を解析することにより対象物の劣化状況を把握する診断方法である⁽¹⁾。今回は赤外線サーモグラフィで伽藍石仏全体を観測し、その後、各窟の観測を実施した。以下に解析結果を報告する。



写真 2 観測状況

3. 解析結果

	サーモ観測箇所写真	熱画像	観測結果
伽藍石仏全体			<ul style="list-style-type: none"> ・全体画像から中～左窟の間に表面温度の不連続な箇所が認められた。とくに窟上部に広く分布している。また表面に着生生物が繁殖している箇所は表面温度が低い傾向にある。

	サーモ観測箇所写真	熱画像	観測結果
右 龕			・○内に不連続な温度分布が認められることから、表層剥離が考えられる。□内にも不連続な温度分布が認められるが、この箇所は塩類析出による土壌化の進行によるものと考えられる（解析後、現地確認済）。
中 龕			・龕内部に刻まれている阿弥陀如来坐像の光背部分に不連続な温度分布が認められた。解析後、目視観察を実施した結果、樹木の根により、表層剥離や微細クラックの発生が明らかとなった。
左 龕			・3龕の中では極端な不連続な温度分布は認められないが、□内に一部認められる。右龕および中龕と同種の岩であるため、同様な劣化が発生する可能性が高いので注意が必要である。
中 龕 左 龕			・熱画像に表面の磨耗や剥離がはっきりと映し出されている。とくに□内はブロックで異常が見られるため、剥落する可能性が高い。よってモニタリングが必要といえる。

4. まとめ

伽藍石仏の劣化状況を把握するため、赤外線サーモグラフィを用いた調査を実施した。赤外線サーモグラフィにより表層剥離や岩の脆弱化をとらえることができ、とくに龕内部より外部の剥離が著しく、今後剥落する可能性が高い箇所の存在を明らかにすることができた。今後はモニタリングを実施しながら、龕内部の詳細調査をおこなう必要があると考えている。

参考文献

- (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』 独立行政法人 国立文化財機構 奈良文化財研究所 pp. 71-78

民具の使用痕分析と残存デンプン分析

○上條 信彦（弘前大学人文学部）

はじめに

先史時代の技術研究を行うために、道具の対象や使用法の研究は不可欠である。これらの研究の多くは、実験等の手法が用いられる場合が多い。しかしながら、実験では条件を設定できる反面、観察者の意図が少なからず反映され、かつ長期の使用に対するデータの収集は困難である。特に、使用痕跡で類型化される礫石器研究は、実験だけのデータ解釈では、不可能な属性が多くある。したがって、本発表では、堅果類の皮むき技術に着目し、考古資料の解釈のために必要なデータを得るために民具に着目した。民具の特徴は、上記の問題点の解決につながるほか、事例に伴う条件と使用痕を結合できるという点で有効な資料である。また道具の使用者は、高齢化が進んでおり記録化が急務である。この点で、民俗学者によっても度々取り上げられてきたが、道具の記述や図があっても、各使用法や痕跡に対する詳細な記述は少ない。よって、民具学の側面からも今後痕跡と使用法をつなげた研究が重要となろう。そこで、本発表では使用痕分析と残存デンプン分析を用いて、石製皮むき具*の観察を行った。残存デンプン分析については、その検出過程に対する課題が検討されつつある。本分析では、この課題に対し、道具が使用された際どの程度対象物のデンプンが残存するのか、長期間放置された状態でデンプンが残存し得るのかという観点から分析を行った。

1.石製の皮むき具の分布とその特徴

民俗学の成果によって、トチの実の皮むき工程で石を使う地域は、主に飛騨地方、秩父地方、三遠南信地方、四国地方の四地域であることが知られている。実地調査は、現物を確認できなかった四国地域を除く三地域にて行った。聞き取りではトチの実を水漬けして柔らかくした後、実の斜め方向に敲打することが効率的な皮むきの方法であり、この点は各地域にも共通するようである。ただ、用いられる礫の形状は、飛騨で短柱状・槌状であるのに対し、南信で棒状、秩父で長楕円・三角柱状・円形など、「皮をむく」というように使用目的が同じであっても、形態間にばらつきがあることが分かった。さらに、石製皮むき具の保持と動作は、2種に大別される。ひとつは、飛騨に多い短柱状のもので、道具を縦形に保持する場合（スタンプ形）、もうひとつは南信・秩父に多い長楕円・三角柱状のもので横形に保持する（ハンマー形）場合があることが分かった。したがって、機能と形態には相関性があるとみられる。

2.皮むき具の使用痕

低倍率法（総合倍率 15 倍）は、デジタル一眼レフ【EOS 20 D】に、マクロアダプター【レイノックス CM 2000 × 2.5】を装着した。高倍率法（総合倍率 50 ～ 300 倍）は、小型金属顕微鏡【Moritex：同軸落斜装置付顕微鏡】を改良して携帯観察を可能にした。観察は飛騨 12 例、南信 3 例、秩父 9 例で行った。結果は以下である。

- a. 皮むき具は、保持と動作によって少なくとも 2 種類（スタンプ形・ハンマー形）ある。両者は、使用中に持ち手の位置を変えながら使用する。そのため、機能面の位置や形状が、持ち手の位置によって多段階に変化する。
- b. a に由来しにくい各地域に共通する傾向として、使用痕の特徴がある。低倍率では、機能面が平坦～凸曲面をなし、粗さは激しい凹凸ではなく、磨耗やつぶれが認められる高所部と、結晶・基質の損耗・脱落が認められる低所部が混合していた。高倍率では、平坦になった高所部を中心に細かく小さな点状（いわゆる輝点状）の光沢が認められた（写真 a）。鉋物のつぶれや平坦面が認められるにもかかわらず、光沢の低所への拡大やパッチ状への変化はない。そのためか、触感はざらついた中でも磨耗した感じがする。以上の特徴は、実験の特徴にも類似する。

- c. 持ち手と上石とが接触する側面では、光沢の広がりを確認した（図：トーン部分）。分布範囲の特徴から、保持の際、力が最もかかる親指の当たる部分が発達することが分かった。この使用痕は、面の損耗や鉋物の脱落・破損はなく、光沢が礫そのものの凹凸を保ちつつ、低所部にまで広がる。光沢は鉋物を覆うような網状であり、パッチ状に拡大しない（写真b・c）。

3.皮むき具のデンブンプ分析

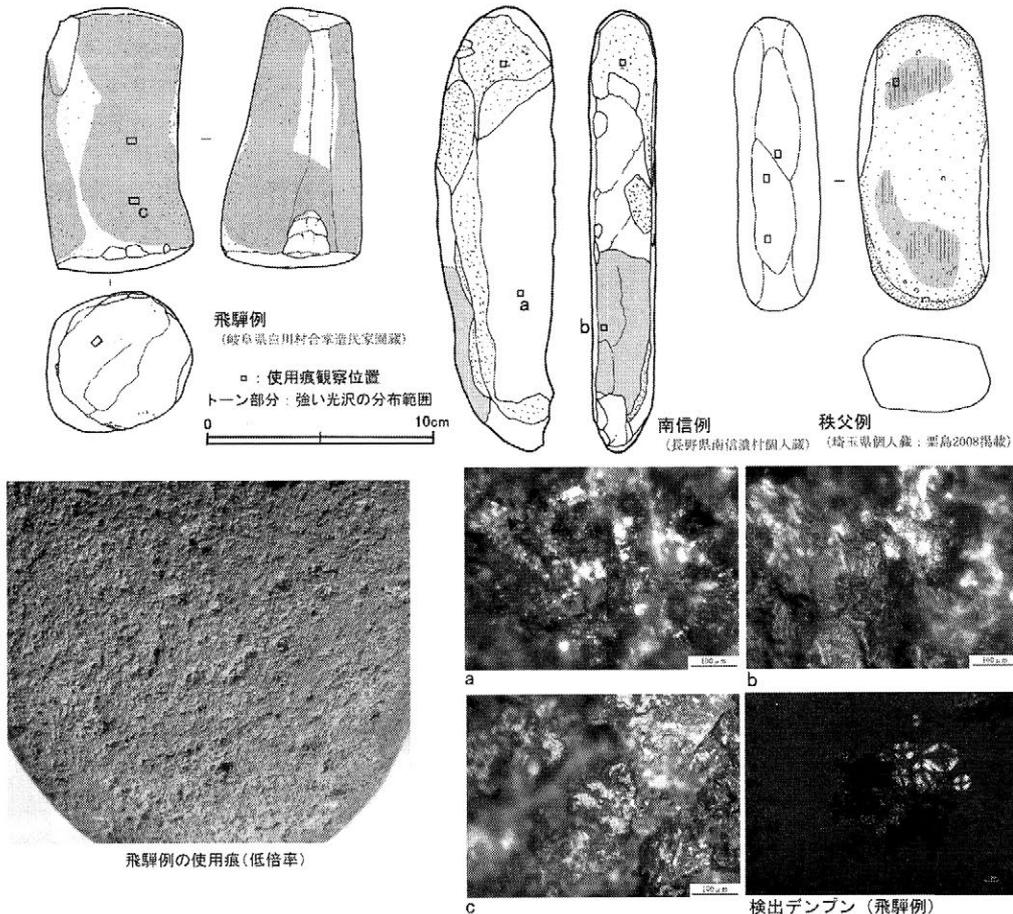
分析では、最も対象物と接触した部分（機能部）と持ち手との接触部分それぞれに 30ml の精製水を流し込み吸引した。遠心後（4000rpm・3min）、グリセリンゼリーで封入したプレパラートを観察した。なお分析は、飛騨例と南信例のみ行った。観察結果は以下である。

- 使用中の資料にはどの個所からも大量のデンブンプを検出した。一方、使用されていない資料には、デンブンプが残存する資料と全くない資料があった。古さとは関連しないことから、使用後の保管状況が関与している可能性が高い。
- 検出したデンブンプは径 10~20 μm の中型で複粒状に突起物が持つものが多い。検出例の全てで本特徴をもつデンブンプがある。これは、トチの現生標本の特徴から、検出されたデンブンプはトチと断定できる（写真参照）。

おわりに

本分析では、道具の使用法と痕跡との間に一定の相関性を見出したほか、数十年単位の使用レベルにおける道具の使用痕の時間的変化過程を明らかにした。また、残存デンブンプの大量検出により、道具の使用によってデンブンプが付着すること、また長期間未使用の道具でも保管環境によってデンブンプが残存することを解明した。このように、実験や考古資料からのデータが主体である双方の分析に対し新たなデータを加えたうえ、考古資料の解釈に際してより詳細な比較を可能にするデータを提供できた。

※トチの皮をむく道具には、「トチムキ石」「タタキ石」「皮むき石」などの呼称がある。その他に木槌、「トチクジリ」など木製品もある。本発表では機能的観点を重視し便宜的に「石製皮むき具」の呼称に統一している。



文化財用 X 線 CT による遺跡出土馬歯の計測

○植月 学(山梨県立博物館)・鳥越俊行(九州国立博物館)

1. はじめに

遺跡出土の馬歯は、過去に飼育されていたウマの特徴について、多くの情報を内包している。特に西中川ほか(1991)の研究により、全歯高による年齢推定、および臼歯列長による体高推定が可能になったことで、馬歯から引き出せる情報は増大した。

しかし、分析上の問題もある。第一に、年齢を分析するにあたり、もっとも条件が良いのは上顎・下顎骨に歯が植立した標本であり、複数の歯を計測することで、より正確な年齢査定が可能となる。しかし、植立状態の歯を顎骨から非破壊で取り出して計測することは多くの場合困難である。第二に、臼歯列長による体高推定に関しては、馬歯が加齢とともに摩耗し、長さも減じるという問題がある。つまり、臼歯列長に基づく体高推定式によって年齢の異なる個体を単純に比較することは正確さを欠く。

本研究では、文化財用 X 線 CT スキャナにより上記問題の解決を試みた。第一の点については、非破壊で全歯高の計測をおこなった。第二の点については、異なる年齢段階(歯の高さ)ごとに歯冠長を計測し、同一条件で比較することを試みた。

2. 試料と調査方法

資料運搬上の問題から今回は現生標本のウマ下顎骨と、遺跡出土遊離歯による解析を予備的におこなった。測定と解析には九州国立博物館の大型文化財用 X 線 CT スキャナを使用した。この装置は等身大の大型文化財から数 cm 大の資料までを調査可能な装置であり、約 0.2mm の高精度で任意断面の観察ができるため、馬歯の計測にも十分応用が期待できる。

3. 結果

図 1 はウマ下顎骨の上下方向(咬合面に垂直)の断面画像である。各歯の歯冠高を計測し、西中川ほか(1991)の数式により年齢を推定したところ、その平均は月齢 50 程度(4 歳を少し過ぎた頃)であり、標本の情報とよく一致した。

図 2 は同じ標本の前後方向(咬合面に平行)の断面画像である。咬合面付近とより歯根に近い部分での解析結果を示した。同一個体でもより咬耗が進んだ歯根付近では臼歯列長が短くなることを示す目的であったが、図 1 に見られるように、現実には歯種によって植立の角度が異なり、間隙ができてしまうため、単純に水平方向に輪切りにするだけでは臼歯列長の比較ができないことが判明した。しかし、図 3 の遊離歯の例が示すように、同一個体でも咬合面付近(若齢)より歯根付近(老齢)で歯冠長が減じることから、臼歯列長も加齢に伴い短くなると予想される。臼歯列長から体高推定をおこなう場合はこの点を考慮する必要があることは明らかである。

4. 展望

今回の予備的調査により本方法の有効性が確認できたため、今後遺跡出土顎骨植立標本の計測をおこない、その結果を本報告において提示する予定である。

なお、貝塚や洞穴遺跡などと異なり、遺存条件の劣悪な出土状況が多い馬歯の場合、土ごと固めて取り上げる場合が多い。それらの資料は保存上の問題、展示のため、あるいは予算上の問題など様々な問題により、その状態のままで収蔵されていることが多く、資料があらためて取り出されることは少ない。したがって計測が十分にできない場合が多い。また、上面の歯のみが露出して下面の状況はわからないが、下面にも歯の存在が予想される場合も多々ある。こうしたケースについても解析を行い、本方法の有効性を検討する予定である。

西中川駿ほか編 1991 『古代遺跡出土骨からみたわが国の牛、馬の渡来時期とその経路に関する研究』(平成 2 年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書)

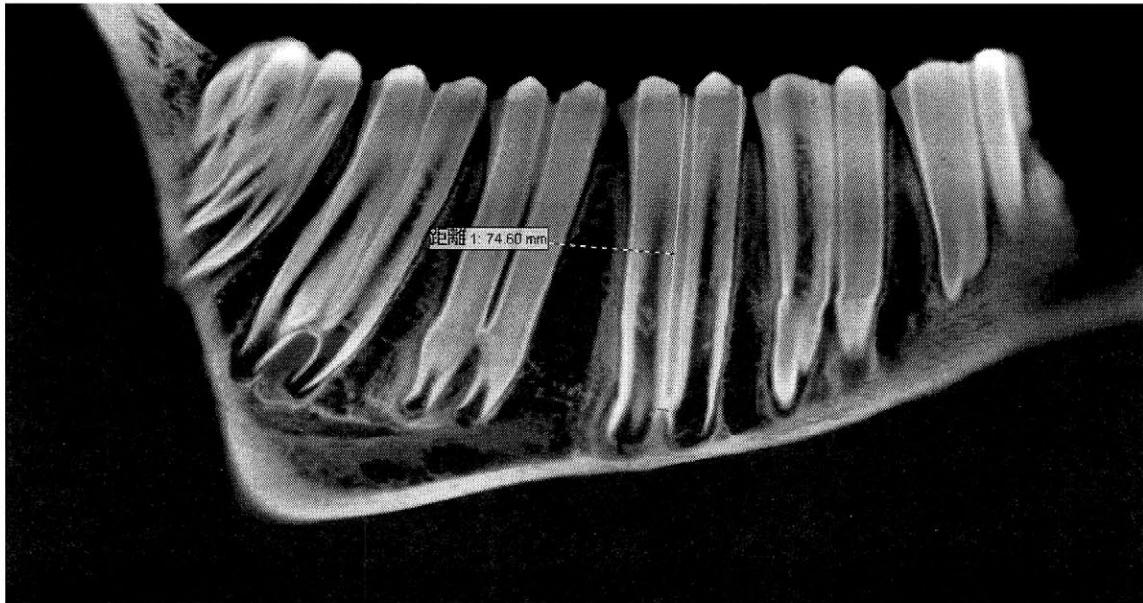


図1 ウマ下顎骨の X 線 CT 断面画像(上下方向)と歯冠高の計測

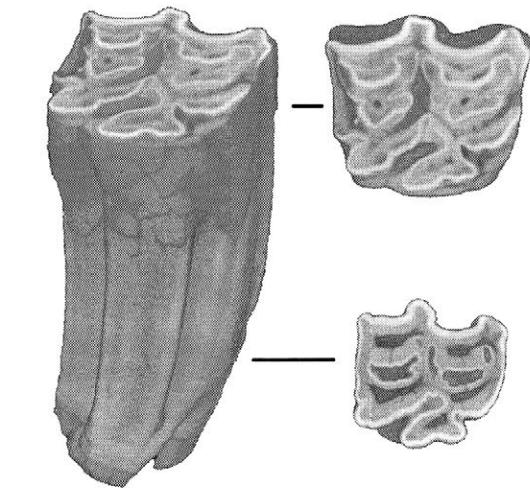
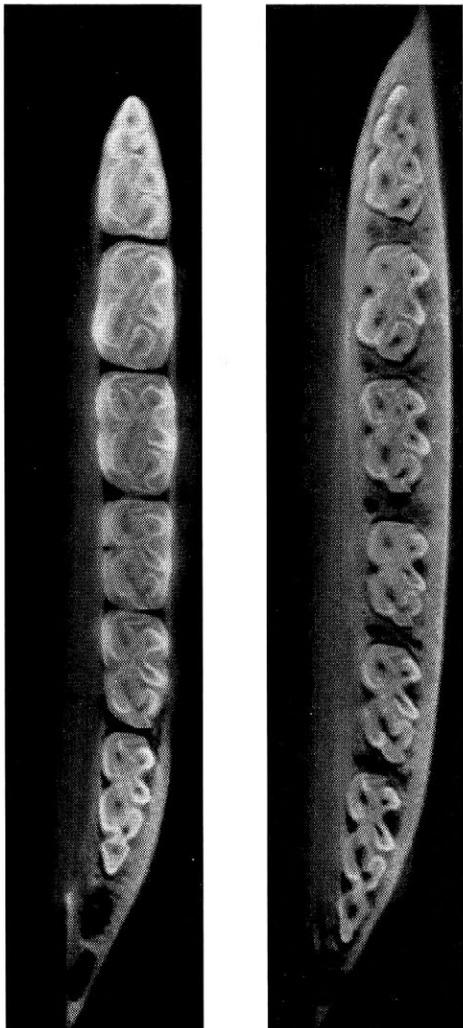


図3 山梨県大師東丹保遺跡出土馬歯(鎌倉時代)の X 線 CT 画像

図2 ウマ下顎骨の X 線 CT 断面画像(前後方向)
左:咬合面付近 右:歯根付近

パノラマ・マルチスペクトルカメラを用いた古墳壁画の文様検出

○ 森本哲郎(凸版印刷株式会社), 朽津信明(東京文化財研究所)
池内克史(東京大学生産技術研究所)

1. はじめに

劣化などが原因で文様を確認することが困難な装飾古墳は多く存在する。壁画の表面は顔料による表面層と岩などによる下層により構成された層状表面である。表面層は劣化によって薄くなり下層と混ざり合って視認性が悪くなる。また、装飾古墳は暗所下であり、赤土の土砂などが壁画に付着している場合も多いため、光源によっては顔料と土砂の区別が付き難い。さらに、一般的に使用されるデジタルスチルカメラによる撮影や目視による確認では、条件等色の現象により顔料の区別ができない場合もある。本研究では分光情報を用いることで、このような視認性の悪い壁画文様を検出することを試みた。まず、提案手法では我々の開発した広範囲の分光情報を取得できるパノラマ・マルチスペクトルカメラと層状表面の反射特性を考慮した解析アルゴリズムを用いた。さらに福岡県乗場古墳の壁画に適用した結果では、同古墳ではこれまで指摘されていなかった、双脚輪状文が存在する可能性が示されたのでここに報告する。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、最初に研究対象とする乗場古墳について説明し、次に分光情報を用いて顔料領域を検出する原理を述べる。さらに我々の開発したマルチスペクトル画像取得システムについて述べ、この画像の解析手法についても述べる。そして、結果と考察を述べ、最後にまとめる。

2. 乗場古墳

本稿において対象とする乗場古墳(福岡県八女市)は6世紀後半に築造されたと見られる前方後円墳で、赤、灰、黄の三色で彩色された国指定史跡である。石室内部には同心円、三角文、蕨手文、靴の文様が現在確認されている。しかしながら、顔料の残存状況はそれ程良好ではなく、また表面に付着物などが存在することにより各文様の正確な形状は認識しづらい状況にある。このため、我々は高精度な色情報である分光反射率を用いて壁画表面を解析することで文様を検出することを試みた。

3. 分光情報による顔料領域の検出

色の見えは、光源環境の特性、物体表面の反射特性、視覚系の特性によって決定されるため、同じ物体であっても、光源環境や視覚系の特性が変化すれば異なる色が観測される。また、色情報の元となる光は、物理的には各波長で強度を持つ連続スペクトルの情報であるのに対し、デジタルスチルカメラなどの視覚系は可視光領域における、この連続スペクトルの波形を赤、緑、青の三色に圧縮することによって色の違いを表現している。つまり、これは正確な色情報とは言えない。しかしながら、連続スペクトルの分光反射率情報を用いれば、光源環境や視覚系に影響されず、さらに物体に特定の吸収波長の違いを手がかりにすることで高精度な解析が可能である。本研究ではこの分光反射率を各画素に持つ、マルチスペクトル画像を直接解析することで文様の検出を行うことを試みた。

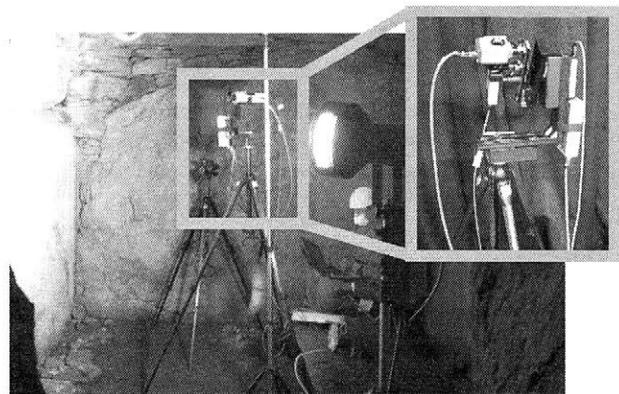


図1 パノラマ・マルチスペクトルカメラによる古墳壁画計測

4. マルチスペクトル画像の計測

スペクトロメータなどの一般的な分光情報計測システムでは受光部から0.1~1度角の点の領域しか計測することができない。我々は、古墳壁画の広範囲の分光情報を計測するために、図

1に示すようなパノラマ・マルチスペクトルカメラシステムを開発した。マルチスペクトル画像とは各画素に分光情報を持つ画像データである。本システムはモノクロカメラ（Sony XCD-X710）と液晶チューナブルフィルター（Cri Varispec）の組み合わせによるマルチスペクトルカメラシステムを二軸の自動回転雲台に装着し、これら三台の機器を同時に制御することで広範囲のマルチスペクトル画像を効率的に取得することが可能である。一枚の撮影画像の解像度は1280x920で400~720nmの間を4nm間隔で81バンドの分光情報を各画素に持つ。このシステムにより取得したパノラマ・マルチスペクトル画像をRGB画像にしたものを図2.(a)に示す。しかしながら、このシステムの分光感度は短波長が低く全波長を固定の露光時間で撮影すると短波長部分は光量不足のために多量のノイズを含んでしまう傾向がある。そこで本システムでは、各波長におけるシステムの感度特性と光源分光強度を考慮して、最適な露光量を自動で設定している。

5. マルチスペクトル画像の領域分割を用いた顔料領域の抽出

本研究では劣化した壁画の顔料領域を高精度に抽出するために、分光情報を直接用以て解析を行った。今回撮影されたマルチスペクトル画像は波長方向に高次元（81次元）で、通常の画像の領域分割は計算負荷や問題の難しさの点から非常に困難である。また、解析対象は顔料と下地が混ぜ合わさった複雑なスペクトル特徴を持っている。このため、我々は非線形次元圧縮を含んだアルゴリズムであるNormalized Cuts (NCuts)法を用いてマルチスペクトル画像の領域分割アルゴリズムを開発した。当アルゴリズムはこのようなデータの混合要素を考慮して、次元圧縮処理と領域分割を同時に行うことができる。

6. 計測と解析結果

本計測では乗場古墳の壁画2箇所について計測を行った。計測箇所①は奥室左壁にある壁画、計測箇所②は前室の羨道手前の左側の壁にある壁画である。計測に使用した光源は計測波長域(400-720nm)をなるべく同じ強度で計測するために人工太陽照明灯（セリック XC-500）を用いた。①については対象領域を7箇所に分けてパノラマ撮影を行った。計測風景を図3に示す。これらの計測されたマルチスペクトル画像はパノラマ化処理された後、光源の影響を除去し、分光反射率にしてから、解析処理にかけられる。

図2の計測箇所①の結果からは三角文様が検出されているのがわかる。さらに図3の計測箇所②の結果からはこれまで乗場古墳では確認されていなかった。双脚輪状文の存在の可能性を示唆する結果が得られた。

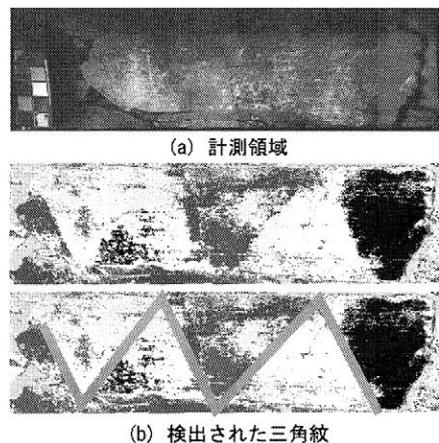


図2 計測箇所①の解析結果

7. まとめ

本稿では劣化した古墳壁画から文様を復元することを目的として、壁画のマルチスペクトル画像計測し、これを用いて文様の検出を行った。マルチスペクトル画像取得システムは古墳の色計測において保存、解析の観点から非常に有効なシステムであるといえる。また、古墳壁画は顔料が流れてしまっていたり、赤土や下地が混ざることによって文様の絵柄を確認することが難しかった。しかしながら、本解析手法では顔料部分のある程度の精度で検出することに成功し、双脚輪状文の存在の可能性を示唆するまでに至った。本手法は他の彩色古墳にも適用が可能であり、さらに解析精度を上げていくことで更なる考古学的知見がえられるものと考えられる。

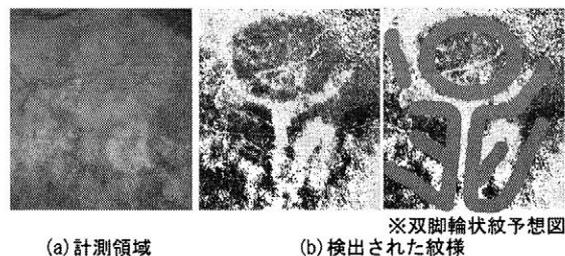


図3 計測箇所②の解析結果

土器表面微細痕跡の分析 —土器製作者の身体技法の考察へ向けて—

○川宿田好見，中園聡，稲垣友裕（鹿児島国際大学）

はじめに

本研究は、土器表面痕跡の顕微鏡観察を行い、土器製作者の身体技法を復元するための指標を得ることを目的とする。通常の肉眼観察の経験的指標では工具や運動方向等の推定がしにくい器面調整が多くあり、それらについて、顕微鏡等を使用してミクロな指標を得ることで一つの土器から得られる情報を飛躍的に拡大したい。そこで発表者らは、これまでミガキ痕を中心に復元実験と現物との対照のフィードバックを繰り返し、身体技法の観点からミガキ痕の類型化を行った（川宿田ほか2009）。本発表では、特にナデの痕跡に注目して、身体技法復元のための基礎データを得ることを目指す。

試料と方法

主としてナデを施す際に生じる痕跡に注目して実験を行った。まず実際の動きと観察結果の比較を行うため、粘土板を用いて様々な条件でナデを施し、その痕跡を確認して類型化した。0.5mm以下の砂粒を多く含む陶芸用粘土を使用し、常温の室内で20時間程度の半乾燥状態のものに、指、なめし皮、布（平織）を主に使用して施した（なお、いわゆる板ナデは含めない）。ナデ具の濡らし方を変えるなど条件を変えつつ実施した。さらに、実物資料の痕跡の観察から運動方向・タイミングなどの検討を行った。実験結果と実物資料との比較のため、民族考古学的調査で得られたタイ北部の伝統的製法による現代土器および弥生土器等のナデについて、肉眼観察のほか上記の機器を用いて観察を行った。以上の観察にあたって、肉眼及び実体顕微鏡観察による低倍率での観察のほか、より高倍率の観察と記録のためにデジタルマイクロスコプ（KEYENCE社製VHX-100及びANMO社製Dino-Lite Pro）を使用した。

結果と考察

ナデ具の種類と運動方向を推定する指標について、一定の類型化に成功した。ナデ具の種類については次のような成果が得られた。指の痕跡は条線が明瞭に確認でき、布・なめし皮のような条線の間さらに微細な条線が生じるものとは区別が比較的容易である。布となめし皮では一見類似しているが、布の場合は織目の影響があるため、規則的な条線が確認できた。

運動方向については、概ねどのナデ具でも確認できる指標として、大別して2つがある。一つは砂粒が本来の位置から動き、その軌跡が確認できるものであり（Ⅰ類）、これにより方向が推定できる（図1）。もう一つの指標として、砂粒は動かず、ナデの運動により表面の粘土が砂粒の一部にかぶり、その反対側に段差が生じるものがあり（Ⅱ類）、段差のある側へナデ具が移動したことが確認できる（図2）。なお、砂粒の軌跡と誤認し、運動方向を逆とみなす危険性があるが、慣れると判別は可能である。

タイの現代土器口縁部のヨコナデの痕跡と、実験品との比較・検討を行った。条線が明瞭なもの（図3）とそうでないもの（図4）がある。これらの個体は民族考古学的調査により製作時の記録があるため、実際の動きと解釈の整合性を評価することができる。観察の結果、上述の指標として挙げた痕跡が実際に確認でき、推定された運動方向はいずれも記録と合致した。

ナデ痕のあり方は、ナデ具、素地の可塑性や砂の量、乾燥の度合いなどにより変化するが、運動方向に関しては基本的には上述の指標が捉えられることが多い。したがって、顕微鏡の使用によってナデ方向の復元がかなり進むと期待できる。

おわりに

本研究では、これまでのミガキの類型化に加え、ナデ具による違いや、運動方向に関する基本的な指標を得た。ナデ痕においても顕微鏡観察の有効性は高いといえよう。乾燥の程度など諸条件の十分な検討が必要であることも確認したが、今後、土器の含水率と痕跡との関係につ

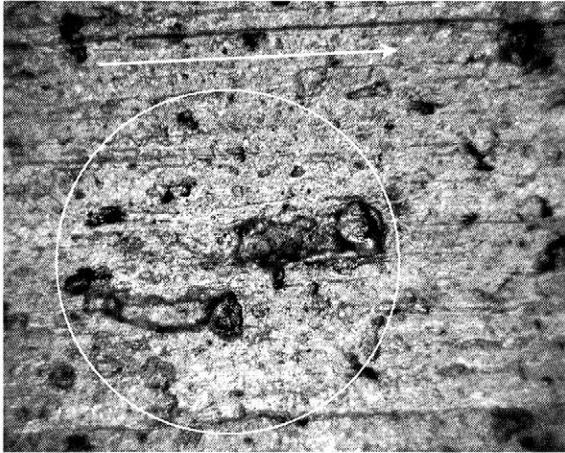


図1 砂粒の引きずり

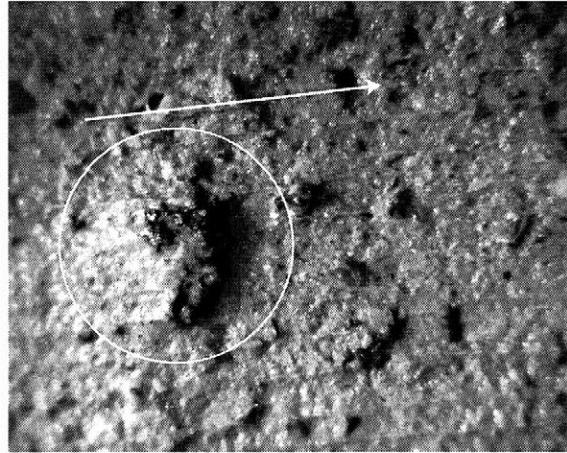


図2 砂粒への粘土の被り

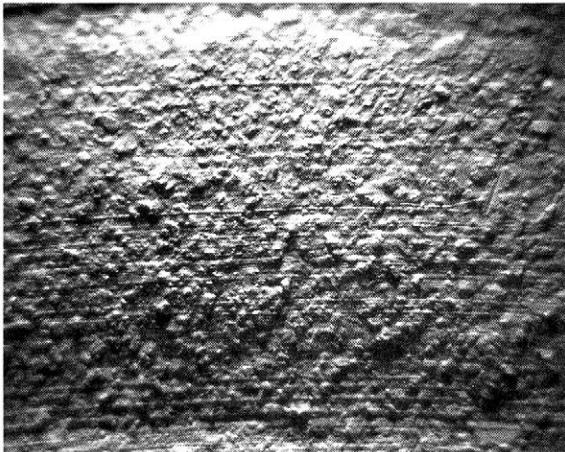


図3 ヨコナデが明瞭

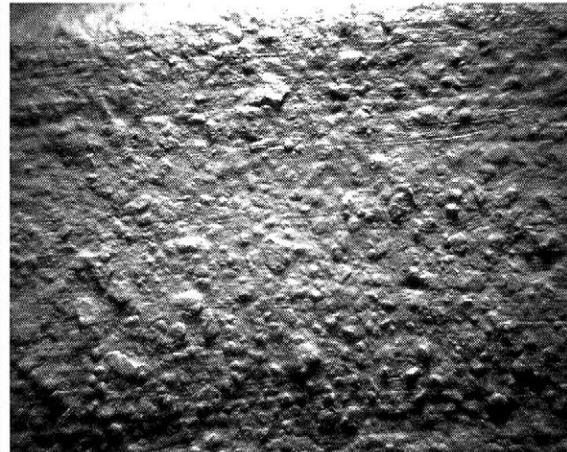


図4 ヨコナデが不明瞭で砂粒が目立つ

いて詳細に検討する必要があると考えている。縄文土器の研究では秋田(2009)による水分量とナデの状態についての研究があり、土器製作時の調整のタイミングについて検討が試みられている。身体技法を含めた土器製作時の状況を復元するために有効な視点といえる。ここでは基本的な検討にとどまったが、類型化、指標はさらに細かく抽出することができる。今後、よりデータを整え、痕跡と身体技法を結び付ける指標の精緻化を図っていきたい。

(本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(B)(課題番号21320150)の助成を受けたものである。)

参考文献

- 秋田かな子(2009).「土器製作における時間の制御について—縄文後期前葉“軟質性ナデ痕土器”の観察と復元から—」『日々の考古学』2, 東京: 六一書房.
- 川宿田好見(2006).「須玖式土器の観察—福岡県栗田・栗山遺跡の例から—」『鹿児島国際大学考古学ミュージアム調査研究報告』3.
- 川宿田好見・中園聡・池平壮峻(2009).「土器調整痕の顕微鏡観察—土器製作者の身体技法の考察へ向けて—」『日本文化財科学会第26回大会研究発表要旨集』.
- 村田章人(1990).「器面調整の実験的研究—縄文土器にみられる技法を中心に—」『考古学研究』37(3).
- Shepard, A. O. (1954). *Ceramics for the Archaeologist*. Washington: Carnegie Institution of Washington.
- 高橋護(1988).「弥生土器の製作に関する基礎的考察」『鎌木義昌先生古稀記念論集』.

実測図と三次元形状計測の比較 —考古学的遺物の記録・表現法の検討—

○川宿田好見，中園聡，黒木梨絵，平川ひろみ，泉さやか，新屋敷久美子，
高原裕介，江神めぐみ，中村有希（鹿児島国際大学）

はじめに

日本における遺物実測図は，世界的に見て極めて精密である。実測図の作成は営々として行われてきたが，工具痕の正確な同定や製作者の身体技法の追及など，研究の視点が多様化し変化しつつある今日において，実測図に代わる，または補完する表現法の有力なものとして，三次元形状計測を用いた記録・表現法があると思われる。貴重な文化財等に用いられつつあるが，三次元レーザースキャナを用いて，あえてごく一般的な土器片や縄文時代の石斧を中心とする考古資料の形状計測を行った実践例を示し，今後の利用法や課題を検討したい。

試料と方法

鹿児島県三島村黒島出土の縄文時代の石斧 16 点，縄文土器 1 点，古代～中世の滑石製品 2 点をはじめとする遺物を計測した。計測にあたっては，通常の実測図を作成したほか，三次元レーザースキャナ（Roland 社製 LPX-1200）を用いて形状計測を行った。基本的に 0.1mm メッシュで計測し，付属のソフトで図化した。

結果と考察

データ化と精度は基本的に満足のものであった。各実測図との検討の結果，実測図の巧拙・視点の違い・主観などによる個人差を明らかにすることができた（図 1）。また，注目されない重要部分や，表現が困難な痕跡なども記録でき，学術的にも利用価値が高いことが実感された。石斧では例えば，表面の敲打痕の正確な表現や，リダクションを明瞭に示す痕跡の表現（図 2），表面の平滑さや研ぎによる面の明確化（図 3）ができるなど，多くの成果が上がった。土器については調整による表面の微細な凹凸などがうまく表現できており，実測図や写真だけではカバーしきれないものを補完しうる。

三次元計測・図化は，文化財のデジタル記録として重要であることは理解されてきたが，ごくありふれた大量の遺物に対しても実施することは有効と考える。また，実測図は今後も必要であり続けるであろうが，こうした取り組みは，頼りきりであった実測図という方法の相対化・見直しほか，逆に実測図の洗練にも役立つであろう。研究者の鑑識眼を鍛える意味でも，初心者学習の比較用としても有用と考えられ，今後，本格的な取り組みにより考古学研究に幅広く資すると思われる。

謝辞

資料の三次元計測にあたり，三島村立大里小・中学校校長・小橋口誠先生をはじめとする方々のご理解・ご協力に感謝いたします。なお，本研究は，科学研究費補助金・基盤研究（B）（課題番号 21320150）の助成の成果の一部である。

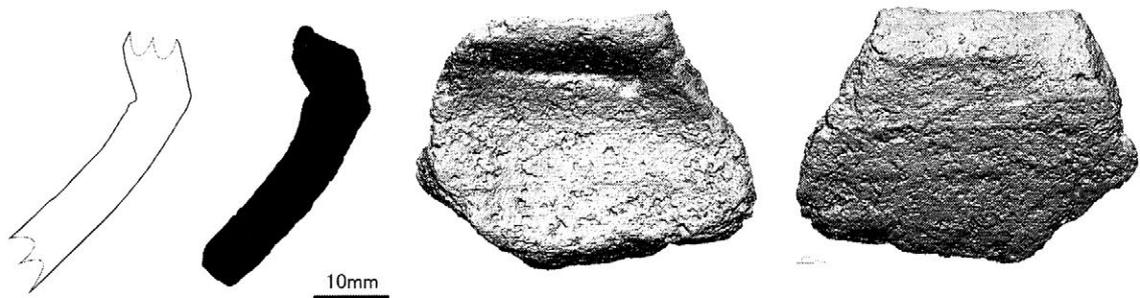


図 1 縄文土器片の実測図と 3D 計測による図化の比較（左の白抜きは従来方式の実測図。黒ベタは自動作成された断面）

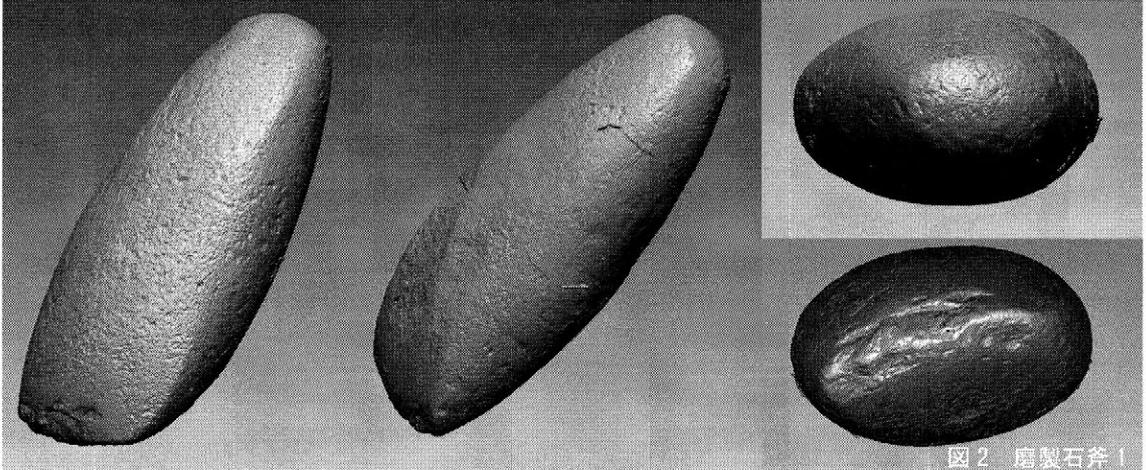
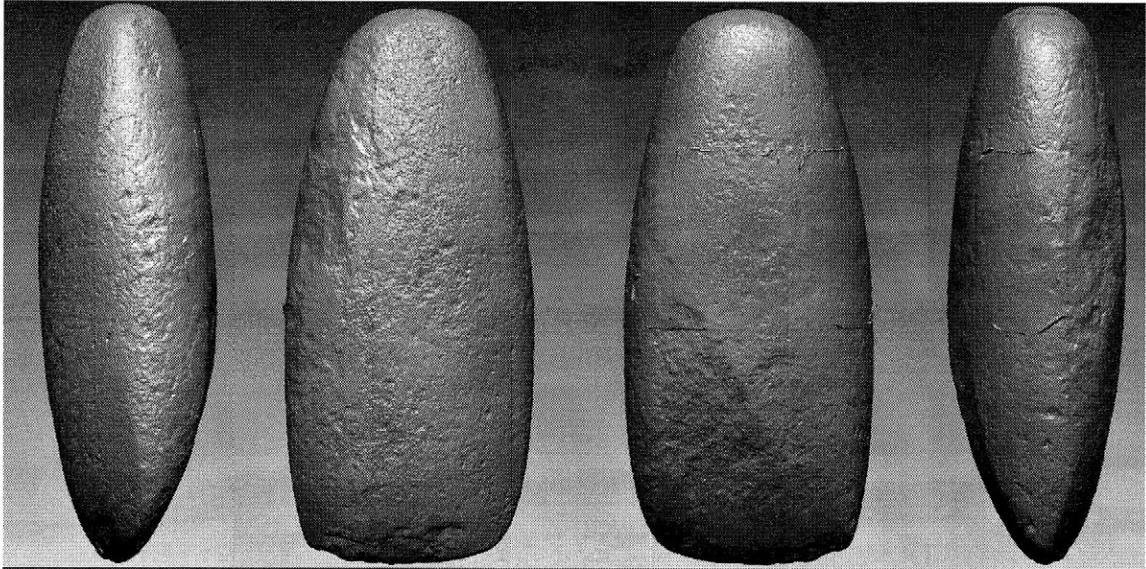


图2 磨製石斧1

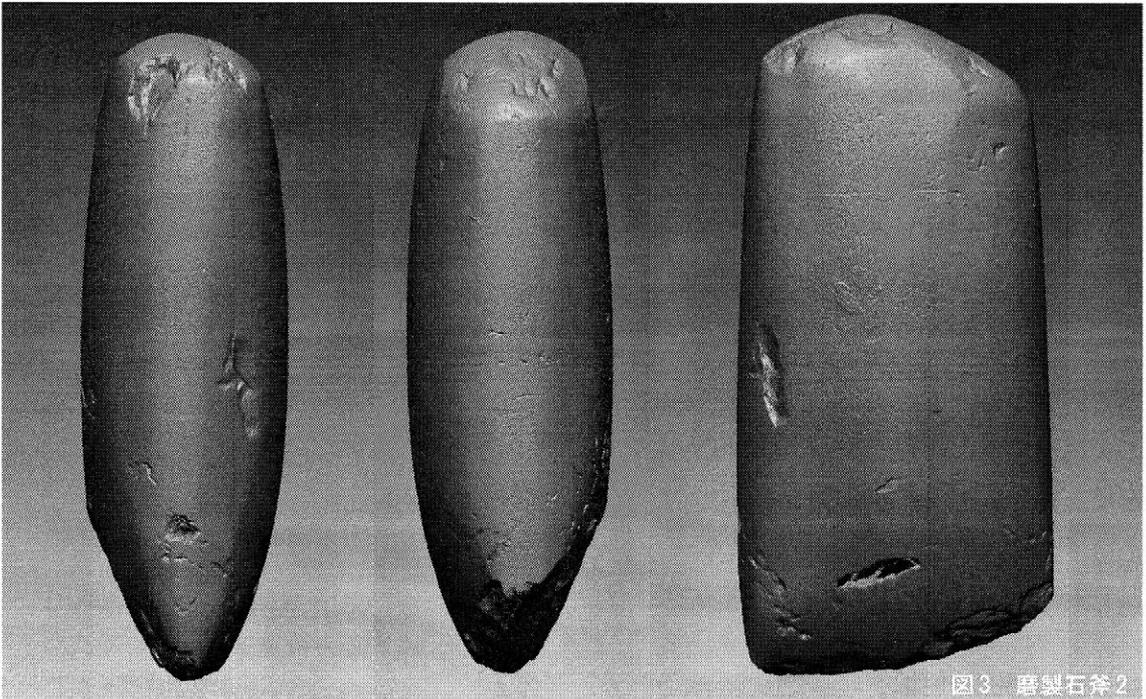


图3 磨製石斧2

地形変化と縄文集落の展開

-斜里平野とその周辺の事例-

○村本周三（総合研究大学院大学文化科学研究科博士課程）

はじめに

本研究では、近年の発掘調査の成果を中心に斜里平野周辺の地形の変化と縄文集落の展開について検討した。

近年、知床半島の付け根に位置する斜里平野周辺では、大規模な畑地整備や国道改良工事に伴う発掘調査が進められている。畑地の縁辺部でのトレンチ状の発掘調査が主体であるが、平野全域で網状に展開しているため、全域の様相が明らかになりつつある。

斜里平野周辺の遺跡分布

斜里平野及びその周辺における遺跡の立地は、便宜的に3大別することができる。①海岸砂丘、②平野部の微高地～氾濫原、③台地及び山間地である。現在の標高で5m以下地域とウエンベツ川から奥薬別川にかけての沖積地では、遺跡がほとんど確認されていない。

時期別では、縄文時代中期(以下、縄文中期)の遺跡が多く、同早期が次ぐ。文化財包蔵地数=集落跡数ではないが、東日本全般の傾向とは大差がないといえる。ただし、縄文中期とされている遺跡の大半はトコロ6類期及びそれ以降のもので、本州では大木10式や加曾利E4～称名寺式期以降に併行する時期である(図2)。

海岸砂丘上の縄文遺跡

これまでの発掘調査や分布調査から、縄文前期以前の遺構は確認されていない一方で、砂丘の南側を中心に縄文晩期以降の遺構・遺物が多く出土している。また、砂丘上には縄文中期の遺跡があることも知られている。2009年度には、カモイベツ遺跡の埋没した潟湖に面した砂丘縁辺部を調査した。砂層中の黒色帯からは縄文中期末～後期の遺構・遺物が出土し、当該期の利用を確認した。これらのことから、縄文中期から徐々に砂丘上での利用がはじまり、同晩期以降に盛んに利用されたことが推定できる。

微高地～氾濫原の縄文遺跡

奥薬別川以東では高密度に縄文中期の遺跡が分布している。斜里川流域と比べると傾斜があるものの、微高地上であっても分厚い河川堆積層が見られることがある。また、河川堆積層中に複数の縄文中期の遺物包含層が観察されることもある。なお、近年斜里町内では平地住居跡の検出例が増加しているが、河川堆積層中の黒色帯中から検出された事例もあり、竪穴住居とは構造を異にすると考える根拠となっている。

2009年度には、朱円48遺跡とウナベツ8遺跡で微高地上から氾濫原にかけてを調査した。朱円48遺跡では縄文前期の遺物包含層が微高地に限定される一方で、同中期の遺構と遺物包含層は氾濫原部分でも確認された。河川堆積層中に複数の縄文中期の包含層が確認され、河川の影響を強く受ける場所でも反復的に利用されたことがうかがわれる。

ウナベツ8遺跡では、氾濫原部分で現地表面から2m以上下、礫層中の黒色帯から縄文晩期の遺構・遺物が出土した。このことから、これまで現在の標高で5m以下地域とウエンベツ川から奥薬別川にかけての沖積地では遺跡が確認されていないという事実から密度は低いと考えられるものの、縄文中期以降の遺跡が分布している可能性を否定できないと考えている。

台地及び山間地の縄文遺跡

沖積面に面する火砕流台地や扇状地縁辺部から、山麓斜面を流れる河川周辺では縄文早期～晩期の遺跡が分布している。平野部と比較すると縄文早期の遺跡が目立つ。海進期や潟湖が存在した時期については、台地や扇状地縁辺部と山麓斜面の遺跡では生業を異にする可能性があるが、少なくとも遺物からはその差異を見いだせてはいない。また、斜里平野についてはハイ

ドロアイソスタシーにより海進期の海面上昇が抑えられていたことが指摘されており、想定しているより海岸線から遠い遺跡である可能性もある。

おわりに

近年の成果で特に注目されるのは、微高地上での縄文中期集落の様相である。集落はトコロ6類期を主体とし、前後の時期についてはその痕跡は極めて希薄である。また、当該期の遺跡は高密度に分布している。微高地上にも河川堆積層が見られることから河川流路の変更や増水の影響が見られる。そのため、あらかじめ集落を移動することが可能な場所が設定されていたと考えられる。また、人口の急激な増加と減少がなかったと仮定すれば、遺跡数が多いのは移動を頻繁に繰り返した結果であると考えられることができる。

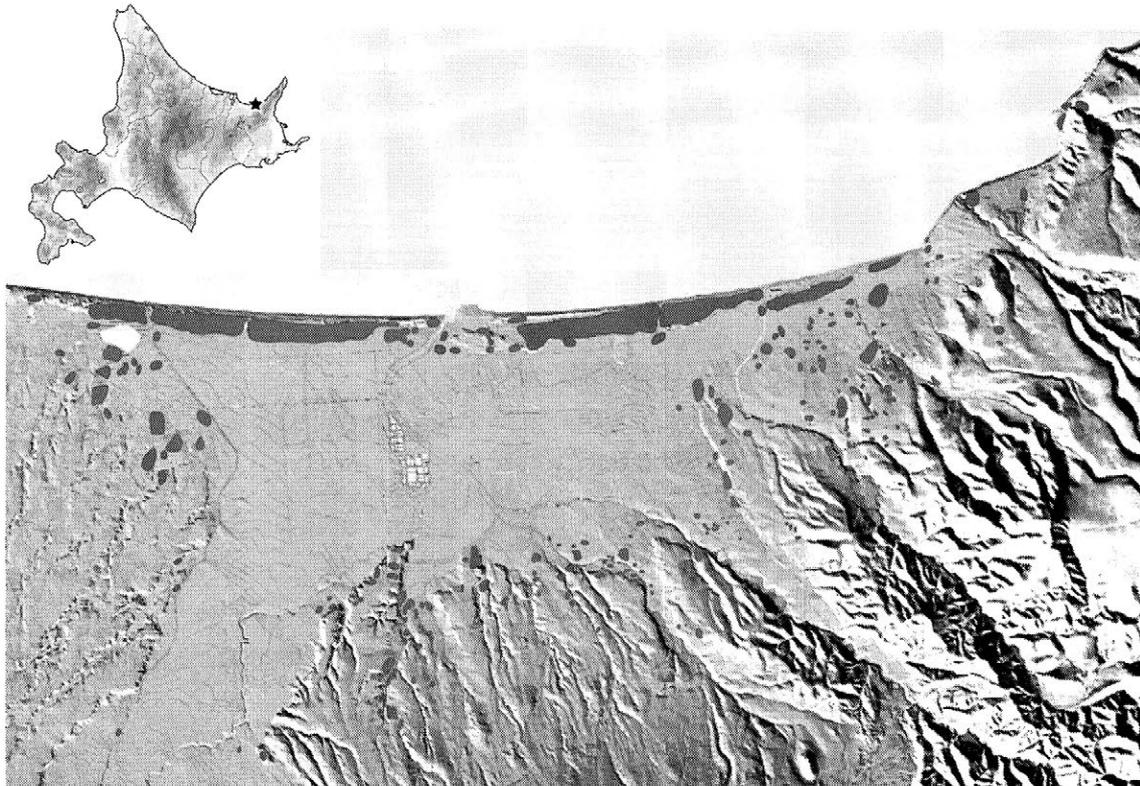


図1 斜里平野とその周辺における遺跡分布

Cal BC	関東地方	東北地方(南部)	東北地方(北部)	北海道(道南・道央)	北海道(道東)
3100				サイベ沢Ⅶ式	
3000	勝坂3式	大木8a式	円筒上層e式 +	見晴町式	
2900	加曾利E1式	大木8b式		榎林式 天神山式	
2800	加曾利E2式		榎林式		
2700	加曾利E3式	大木9式	最花式	大安在B式・柏木川式 ノダツⅡ式	
2600					モコト式
2500	加曾利E4式				
2400	称名寺式1式 称名寺式2式	大木10式 牛蛭式	大木10式		トコロ6類
2300			門前式 +		トコロ5類
2200	堀之内1式	網取式			北筒ⅢA式
2100			十纏内1式		北筒ⅢB式

図2 東日本における縄文時代中期後葉から後期前葉の土器編年と較正年代

今城塚古墳の地盤考古学的考察

○中山義久, 西田一彦 協同組合関西地盤環境研究センター
 西形達明 関西大学環境都市工学部
 宮崎康雄 高槻市教育委員会
 辻本裕也 パリノ・サーヴェイ(株)大阪支店
 岡崎宣治 (株)関西地質調査事務所

1. まえがき

今城塚古墳は、大阪府高槻市の芥川西岸に位置する、6世紀前半に構築された、継体天皇陵に比定される可能性がある、二重の周濠と内堤をもつ前方後円墳である¹⁾。現在、史跡整備が行われているが、本古墳は、戦国時代に城砦として利用時の人為的改変、さらに慶長伏見地震(1596年)による崩壊などの影響により、構築時の形状が大きく変化しているため、史跡整備に際して、古墳の築造方法、古墳形状の変形の原因、築造後の環境変遷を解明することが課題とされた。そこで、墳丘全体の内部構造や物理・力学・土層特性を把握することを目的として、墳丘堆積物を対象として地盤工学的視点からの調査を実施した。また、構築時・後の古墳および周辺古環境変遷を把握することを目的として、内濠堆積物を対象に、その物性や植物化石分析調査を実施した²⁾³⁾。今回の発表では、これらの調査成果を複合的に捉え、本古墳の構築・埋没過程について検討した結果について報告する。

2. 調査・試験法とその結果

今城塚古墳の現況を図-1に示す。古墳の規模は、発掘調査結果から、全長350m、全幅約340m、墳丘長185~190mで、後円部直径100m、築造時の高さは約16mと推定される¹⁾。図-1に示した位置においてボーリング調査と不攪乱試料(コア)を採取し、試料の層相を詳細に観察した後、物理、力学試験を行い、内濠堆積物については植物化石分析と有機物質の分析も行った。

1) 墳丘堆積物の地盤工学的調査成果

既存 No. 1 で採取されたコアの細かな観察結果から、墳丘を構成する堆積物は、2タイプの層状盛土からなることが確認される。

表層から深度5mまでは、黄色のよく締まった攪乱された砂質泥からなる盛土である。深度5m~12mは、発掘調査時に“うろこ”と呼ばれている¹⁾、有機物層と黄色粘土からなる不攪乱土壌ブロックの積層からなり、有機物層が下部になるように盛土されている。深度12m以下は、古墳構築時のベースをなす基礎地盤となっている。墳丘盛土のRIによる密度試験の結果から、“うろこ”と呼ばれる不攪乱土壌ブロックでは有機物部分で密度が小さく、黄色粘土層部で密度が大きくなる特徴が認められている²⁾。また、基礎地盤と盛土との境界には地下水があり、強度が小さく、活性度Acが低い値を示している。

2) 内濠堆積物

内濠堆積物の層相を図-2に示す。内濠堆積物最下部には、周濠掘削直後に形成されたとみられる基盤層の偽礫が混じる有機質泥の薄層、その上位に植物遺体を含む泥炭質泥ないし有機質泥が累重する。泥炭質・有機質泥層中には、内濠内への導水を目的として掘削された内堤の水路から流入したとみられる洪水堆積物や、慶長伏見地震時に濠内に移動した墳丘堆積物を挟在している。

慶長伏見地震発生時までの内濠内の環境は、層相および植物化石分析結果から、古墳構築直後はヒメ

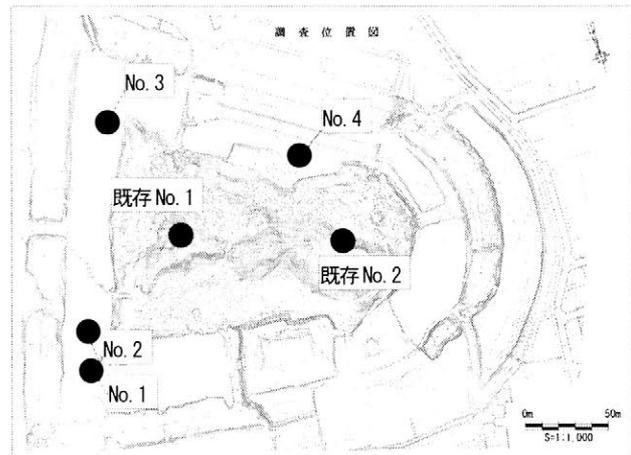


図-1 古墳の調査位置

ビシやマツモが生育する水域であった。その後、水生植物が繁茂する湿地へ変化し、富栄養化が進行する。その後、墳丘や周堤側からの土砂流入が顕著になる時期を経た後、再び静穏化し、泥炭質泥が累重する湿地へと変化したことが確認される。

3. 古墳の築造と周辺環境の変遷についての考察

この古墳はその当時の古墳の設計基準に従って建設されているはずである。しかし、古墳の盗掘、さらに城砦への改変などで大幅に変形されている。そこで、構築時の後円部の形状を平面図と土層構造から推定すると、図-3(a)に示したとおりである。ここで、構築当時の形を点線で示した。さらに、慶長伏見地震直前の形状、構造を実線で示した。伏見地震後を図-3(b)に示した。

このように、古墳外周部は比較的良好な黄色土をよく締固めて構築されており強度は大きい。そして、内部のうろこの部分は地山表面層部の土を上下逆にして、ブロック状に積み上げている。地山表面層部は有機質を含み、強度も小さく、密度も小さいので土層全体の強度も小さくなる。しかし、土取りが地下深部及ぶと土は良質になり、締固めによって充分の強度が得られるので外周部に用いたものと考えられる。盛土の構造は8つのタイプに分類されるが、ここではそのうち2つのタイプが見られる。図-3(b)は伏

見地震によって大規模にすべり崩壊が発生したときの様相を示したものである。これによって、B-4あるいはD-1層の軟弱層がすべり面となり、うろこ層の軟弱な層が北側の濠に向かって移動変形し、墳丘の上部のB-1、B-2、B-3が陥没したことが明らかである。

また、古墳が構築された6世紀前半から慶長伏見地震発生時までには、濠内の堆積環境が3回変化した。各変化は墳丘・周堤における人間活動の強弱に起因する可能性が高い。また、古墳一帯の地下水位は古墳構築以降、上昇傾向にあり、慶長伏見地震発生時も水位が高く地盤が劣化していたのでこのような水文環境が古墳のすべり破壊を招いたものと推定される。また、濠内堆積物は時代に応じて独自の性状を示し水質汚染などの環境変化も記録している。

参考文献

- 1) 高槻市教育委員会；史跡・今城塚古墳-平成十七年度 第9次規模確認調査, 2007.
- 2) 西田一彦, 井上啓司, 岡崎宣治, 宮崎康雄, 中山義久；今城塚古墳の地盤考古学的考察, 地盤工学会, 歴史的地盤構造物の構築技術および保存技術に関するシンポジウム発表論文集, pp. 53~60, 2008.
- 3) 西田一彦, 中山義久, 松川尚史, 宮崎康雄, 辻本裕也, 岡崎宣治；今城塚古墳周辺水域の堆積物の性状と環境, 第44回地盤工学研究発表会, pp. 99~100, 2009.

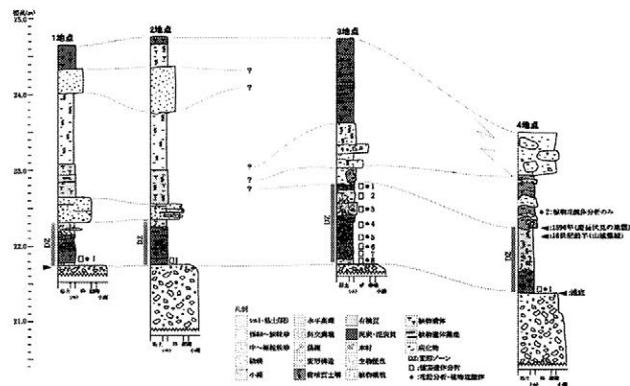


図-2 各ボーリング孔の断面特徴

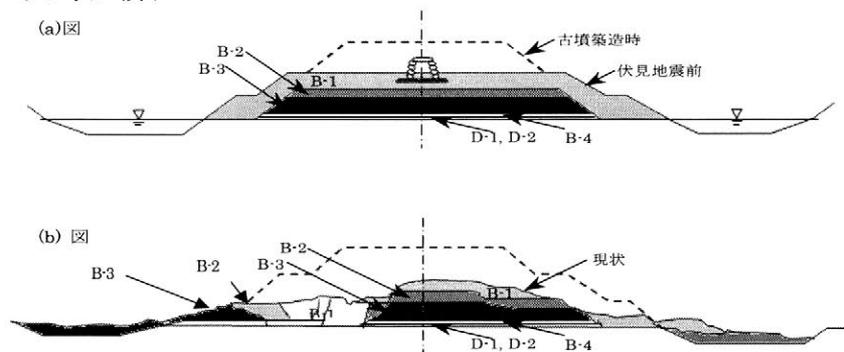


図-3 古墳築造時と伏見地震後の形状・構造の推定(後円部 C-K 断面)

ハンディ3Dデジタイザによる現場での活用

○鳥越俊行, 今津節生, 輪田 慧(九州国立博物館)

1. はじめに

三次元デジタイザは、出土資料や遺構など文化財を正確に記録する手法として、またデジタルの特性を生かした観察、レプリカ作成、博物館での活用などの用途で用いられている(塚本ほか(1994, 1997, 2001, 2003 など)、河上ほか(1999)、今津ほか(2004 など))。ただ、これまでのデジタイザは本体重量が十数 kg から数 kg と重く、三脚などで固定する必要があり、データ解析にも時間を要した。このため、可搬型で容易に計測できる携帯型のデジタイザが望まれていた。

九州国立博物館では、科学調査機器を利用した地域との連携を進めており、教育委員会等と協力して現場にて文化財の三次元計測を実施することがある。このたび、現場で利用できる精度を有し、計測状況をその場で確認できるハンディタイプの三次元デジタイザを文化財分野で初めて導入した。この装置は携帯性に優れており、移動の困難な文化財や発掘現場などでの測定に威力を発揮すると考えられるため、本装置の特徴と現場での調査例について報告する。

2. 機器の特徴

今回導入したハンディ三次元デジタイザは、カナダ Creaform 社の VIUScan である。リアルタイムに計測状況を知ることができ、表面形状と同時に色情報も得られる。機器は計測を行う本体と解析用のノート PC よりなり、本体寸法 172×260×216mm、重量約 1.3kg と小型・軽量である。レンズを交換することはできない。約 30cm の被写界深度を有しており、分解能は 0.1mm、テクスチャカラー 24bit sRGB の能力を持つ。測定は三角測量の原理を用いており、投影されたレーザーを二つの CCD カメラで受光し、得られたデータをノート PC に転送する。本体はノート PC とケーブル 1 本で接続し、取り回しが容易な構造となっている。計測は非常に容易であり、計測中は PC 上にリアルタイムで測定箇所が表示される。測定を中断し不足部分を確認しながら測定でき、測定の再開も容易である。

計測では、装置本体を片手で保持し、ゆっくり動かしながら測定する。本体と対象物との距離を 30cm 前後に保つ必要があること、約 10cm 間隔でポジショニングターゲットを必要とすることから、室内での実験をふまえ文化財での計測に支障となりそうな事例としてまず考古資料について測定を行った。

3. 現場での調査

現場での装置の有効性を検証するために、材質や形状の異なる出土資料に対して計測を実施した。まず高さ約 20cm の高坏を回転台に載せ測定を行った。被写界深度が 30cm あるため回転台にターゲットを貼るのみで測定を行ったが、機器を施設に持ち込んでから 10 分ほどで良好な測定結果を得ることができた。次に、立体的な形状の馬具についてエスカルフィルムに包まれた状態で計測を試みた。ターゲットをフィルムに貼り計測したが、本体に内蔵された色情報を取得するための照明がフィルムに反射することでノイズが発生してしまい、良好な結果は得られなかった。

屋内での調査結果をふまえ、発掘現場など屋外でも機器の有効性について検証を行うことにしており、その結果は会場にて提示する予定である。

4. まとめ

今回導入したハンディ三次元デジタイザは、従来の非接触三次元デジタイザに比べ携帯性が向上するとともに、手持ち式のため凹凸のある資料の調査が容易となった。また、照明を内蔵し 30cm 程度の距離で計測することから、良好な色情報が得られた。

被写界深度が 30cm あるため、アクリルやガラスなど光を透過する素材にポジショニングターゲットを貼り資料の計測を試みたが、光の反射によるノイズのため現時点では良好な結果を得ることができなかった。

謝辞

考古資料の計測に際し、福岡市埋蔵文化財センターに協力いただきました。感謝申し上げます。

文献

塚本敏夫、村田忠繁、川本耕三、吉村佐紀恵、手島充雄、松本亮、内田勇治、三次元形状計測による文化財のデータ保存システム構築と応用(1)、日本文化財科学会第 11 回大会研究発表要旨集、1994

塚本敏夫、増澤文武、佐藤宏介、松本岩雄、吾郷和宏、三次元形状計測による文化財のデータ保存システム構築と応用(3)-三次元形状計測による加茂岩倉遺跡出土銅鐸のレプリカ作製-、日本文化財科学会第 14 回大会研究発表要旨集、1997

河上邦彦、今津節生、鈴木勉、三角縁神獸鏡の三次元形状計測と立体観察、日本文化財科学会第 16 回大会研究発表要旨集、1999

塚本敏夫、佐藤宏介、影山真二、松尾充晶、松田重堆、那須豊、多湖真市、屋外用レーザーレンジファインダーによる遺跡の高速三次元デジタル計測、日本文化財科学会第 18 回大会研究発表要旨集 2001

塚本敏夫、佐藤宏介、多井健一郎、難波洋三、3 次元デジタルデータによる銅鐸の定量的同範解析、日本文化財科学会第 20 回大会研究発表要旨集、2003

今津節生、古谷毅、徳田誠志、森本国宏、鈴木 勉、樋口隆康、三角縁神獸鏡三次元デジタルアーカイブの活用-新しい遺物観察方法を目指して-、日本文化財科学会第 21 回大会研究発表要旨集、2004

オマーン・ラス・ジブス貝塚(第3地点)の磁気探査

○津村宏臣(同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センター),
 福原啓介(同志社大学文化情報学研究科), 渡邊俊祐(同志社大学文化情報学研究科),
 樋泉岳二(早稲田大学人間科学部), 植月学(山梨県立博物館)

はじめに

同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センターは、2009年より、文化庁・文化遺産国際協力拠点交流事業の拠点として採択され、オマーン国遺産文化省・考古博物館局ならびに発掘調査局と協力し、オマーン国における文化遺産の一般調査ならびに遺跡情報の集積、フィールドコースの開催と技術移転、GIS技術人材育成などの交流事業を開始した。この交流事業のフィールドコースの一環として、古環境も含めた、考古学遺跡調査で発生する様々な情報のハンドリングとGIS適用に関する共同事業の準備が求められてきた。

2006年から、筆者らを中心とするOKKプロジェクトメンバーは、上記の交流事業とは別に、オマーン国東海岸ラス・ジブス貝塚の考古学・古環境調査を継続してきており、上記のフィールドコースの一部として、ラス・ジブス貝塚での共同調査・研究の方向性が確定的となった。このような研究の情勢の中で、2007・2008年度には、ラス・ジブス1遺跡・2遺跡に関する一般調査と測量調査を実施し、その成果を受けて、本年度はラス・ジブス3遺跡の磁気探査調査と測量調査を実施することとなった。測量調査については、別に報告する。

磁気探査方法と地点

ラス・ジブス3遺跡は、これまでの調査で、良好な貝層を包含する比較的規模の小さい貝塚であることがわかっていた。また、土器を出土しない貝塚においては、アボリジノの事例で見られるような、野焼きの灰土を利用して貝の加工・調理を行う可能性が推察されたため、特に、磁気探査を中心に、小規模な野焼きあるいは炉の痕跡などを探索することを目的とした。

磁気探査については、Bartington Instruments社製のGrad601 Magnetic Gradiometer Systemを用い、0.5m間隔で貝塚の頂部を走査する方法で実施した。測量との関連で、貝塚に2つの調査座標系が存在しているが、いずれも走査後の座標変換により、測量座標系に置換している。ただ、この調査座標系の問題から、探査についても、一部重複をしながら2か所の探査域(北区・南区)が設定され、それぞれ、440×80mの面積となった。なお、貝塚頂部に風よけ用の藁葺き小屋があり、この小屋の建築資材として多量の針金が用いられていたため、北区の南、南区の西側のデータについては、判読が困難となっている。



Fig.1 ラス・ジブス貝塚と地点

探査結果

Fig.2 に探査区画と調査座標系を示した。Fig.3 は走査した区画の各走査線単位で最小値・最大値を除いた後、平均値によって偏差を標準化したデータで、Fig.3 の下図は、そのデータに対し、3×3 のカーネルを設定して、平均化のフィルタリングを行った結果である。

磁気の南北での異常のパターンを評価すると、Fig.3 の下図のように、いくつかの地点で野焼き址、あるいは小規模な炉址と考えられる異常を検出することができた。探査区画のその他の場所でノイズがきわめて少ないこと、ラス・ジプス貝塚そのものがほとんど周辺に人間の活動痕跡がないこと（後世の攪乱の可能性は少ない）、探査までに地表面に関しては徹底した観察調査で異常値となる物質的背景を除去したこと、などから、これらの地点は何らかの貝塚が機能していた時代の活動痕跡である可能性が指摘できる。

この異常値が検出された地点の平面的な位置と貝塚の形状との幾何学的関係は評価できないため、今後、発掘調査等を実施することによって、これらの探査結果を検証する予定である。

※ 本研究は、文化庁・文化遺産国際協力拠点交流事業、事業費によって実施された。また、オマーン国遺産文化省より、共同調査に関する全面的協力をえた。記して深謝いたします。

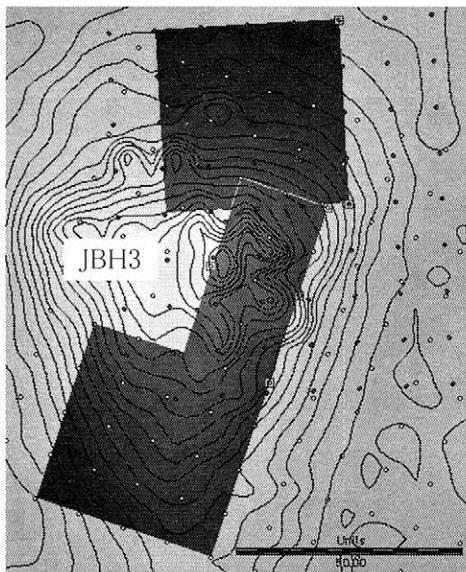


Fig.2 探査区画・調査座標系

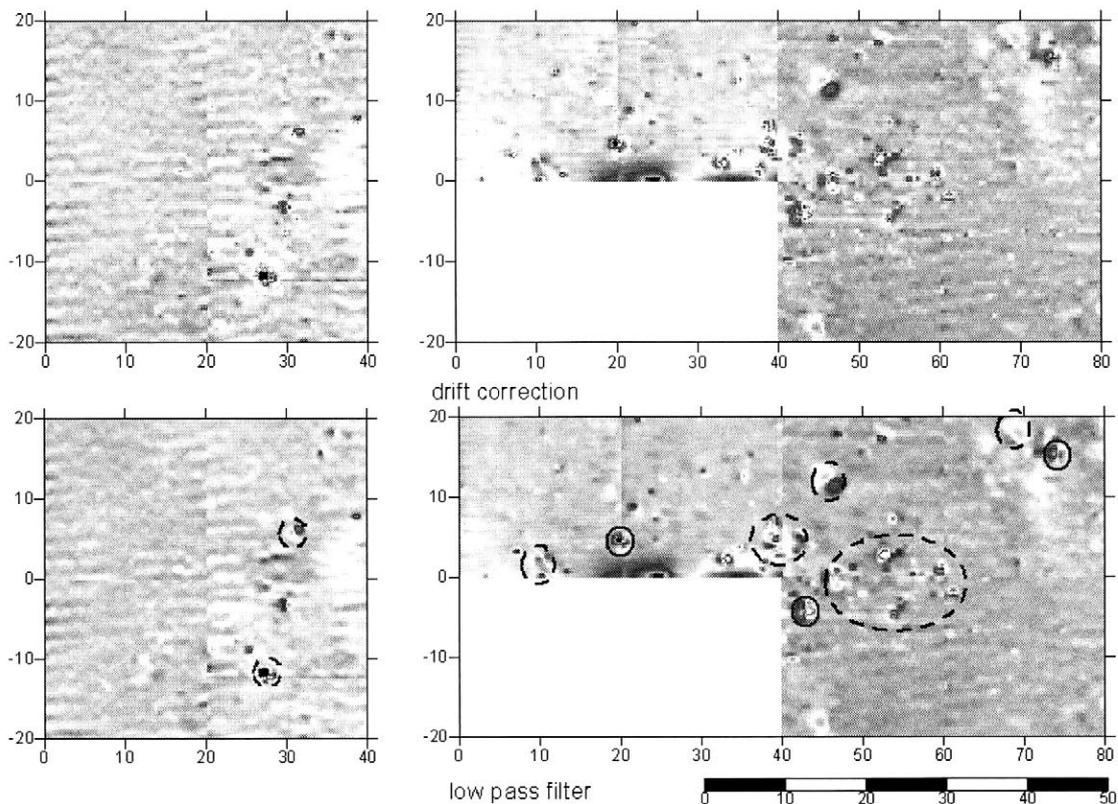


Fig.3 探査結果

オマーン・ラス・ジプス貝塚(第3地点)の詳細測量調査と微地形解析

○津村宏臣(同志社大学・文化情報学部/文化遺産情報科学研究センター),
渡邊俊祐(同志社大学文化情報学研究科)・福原啓介(同志社大学文化情報学研究科)

はじめに

同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センターは、2009年より、文化庁・文化遺産国際協力拠点交流事業の拠点として採択され、オマーン国遺産文化省・考古博物館局ならびに発掘調査局と協力し、オマーン国における文化遺産の一般調査ならびに遺跡情報の集積などの共同研究を開始した。

それ以前より、筆者を中心とするOKKプロジェクトメンバーは、ラス・ジプス貝塚の総合的な調査を実施しており、上記の交流事業の一部として、ラス・ジプス貝塚の総合的評価を実施することとなった。2008年度までの調査において、第1地点および第2地点の詳細測量調査を実施しており、本年度は、第3地点の詳細測量調査および隣接するサブカ(sabkha=離水したラグーン)の地形調査を実施することとした。特に、第3地点ならびにサブカの地形調査は、別途行われているボーリング調査成果との関連も含め、ラグーンの離水プロセスとその際の地形変遷を明らかとする上でも重要と考えられた。そのため、センチメートルオーダーメッシュで面的な地形情報を作成することが必要であると考えられる。

ラス・ジプス第3地点の立地概要

Fig.1は、衛星画像の解析と周辺地形データから判別した地形特徴を衛星画像に表示させている。Fig.1でもわかるように、ラス・ジプス第3地点は、ほかの第1・第2地点とは立地が異なっており、サブカに最も隣接し、さらに、これまでの調査でも雨季には、第3地点の周辺まで水が来ている状況を示す地表面形状となっている。遠景からでは、ちょうどサブカに残された島状土盛りの様相を呈している。本年度調査時(2010年2~3月)には、毎夕内陸部に多量の降雨があったことが気象情報から明らかとなっており、調査時には、サブカに水が湧く現象もたびたび見受けられた。これらの水はいずれも淡水であり、海水位との直接的な時系列動態の関連は看取できなかったが、微弱な起伏がサブカ表面にあることから、より低位表面に湧水が残るといった現象が観察された。

以上の立地概要から、第3地点は、サブカが離水していく段階的な環境変遷の中で、環境容量の多い場所をもとめて貝塚の立地を変化させた、第1地点よりは新しい貝塚に位置づけられると予想してきた。

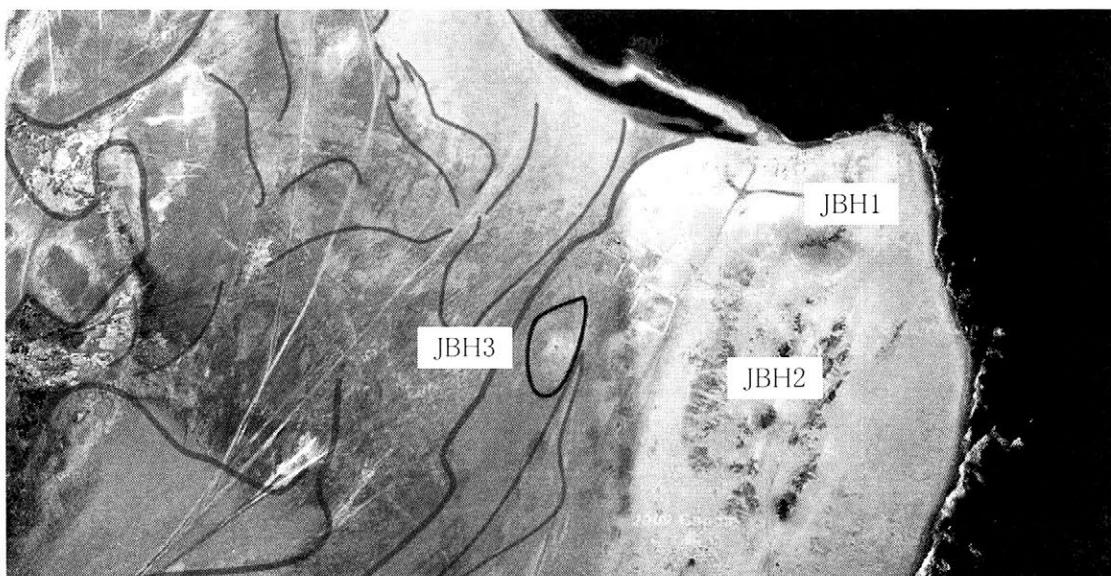


Fig.1 ラス・ジプス貝塚の立地とサブカの地形特徴

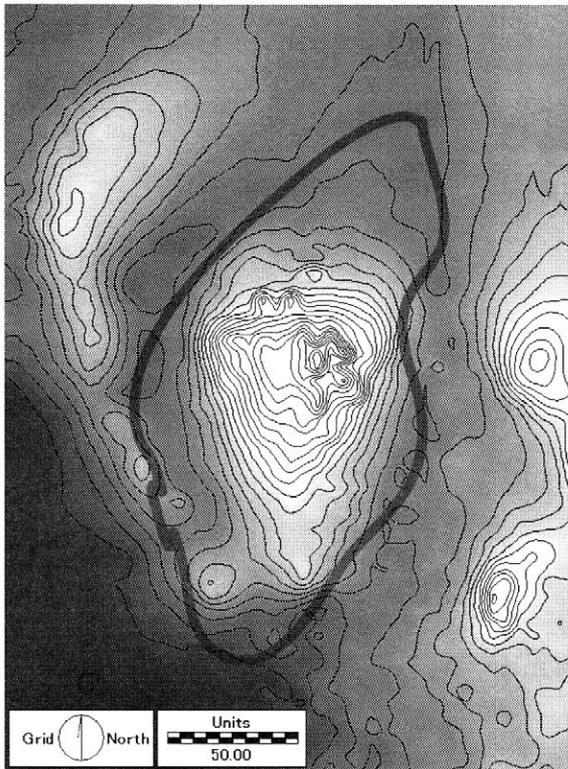


Fig.2 ラス・ジプス第3地点のDEMと等高線



Fig.3 遷緩・遷急グリッドの評価

測量方法

2008年度調査までに作成した第1・2地点の測量調査範囲を拡大する方向で、測量を実施した。DEM作成には、レーザーテック社製 Impulse200LR に、同志社大学/東北電子産業が共同開発した TSDL4 を接続した簡易計測機器を用いた。その後、三角法を用いた計測データの測量処理には、ハンドメイドのアプリケーションを適用した。総計測測量点数 7200 点(1点平均 2.4 m², 半径約 85cm エリアの標高値の代表値が計測点値)を、約4日間で測量し、ノイズデータのピックアップなどをその後おこなった。このデータに対し、微細な地形が再現できるよう、クリギングによる点群内挿を実施し、これにより DEM を析出した。

点群内挿の際にノイズと思われるデータの除去を行い、作成した DEM が Fig.2 である。等高線の間隔は 0.25m となっている。先ほどの面積と等高線間との関係から、最終的な DEM については、10cm メッシュデータとした (Fig.2)。

微地形の解析

第3地点の形成過程を考える上で、微細な地形データの評価が効果的と考えられる。上記の 10cm メッシュ DEM を元に、3×3 のカーネルを設定し、空間的な移動平均を析出しながら 10m グリッド単位での地形の特性を評価した (Fig.3)。地形の評価には、カーネル単位で固有値を計測し、固有値が閾値を越える(あるいは閾値を下回る)場合に、そのグリッドの地形変化が大きい(遷緩・遷急区間)と評価し、そこに基盤岩や貝層の存在、あるいは人為的な地形改変の可能性を評価した。その上で、現地表面形状から推察される埋没以前の貝塚の形状推定ラインを選出した。こうした評価を通じて、少なくとも、本地点は第2地点との連続性を明瞭には保っていないこと、サブカの内側へも堆積層が延長している可能性があること、などが理解できた。

※ 本研究は、文化庁・文化遺産国際協力拠点交流事業、事業費によって実施された。また、オマーン国遺産文化省より、共同調査に関する全面的協力をえた。記して深謝いたします。

敦煌莫高窟 285 窟に関する3D-GIS 技術を基準とした データベース構築

○津村宏臣(同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センター),
岡田健(東京文化財研究所), 高林弘実(東京文化財研究所),
青池暁子(同志社大学文化情報学部), 鎌倉快之(大阪工業大学),
蘇伯民(敦煌研究院), 王小偉(敦煌研究院)

はじめに

同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センターは、2008年より東京文化財研究所文化遺産国際協力センターとの共同研究「中国・敦煌莫高窟における莫高窟保護のための地理情報システム(GIS)活用によるデータ管理及び分析手法確立のための共同研究」を実施している。この中で、敦煌研究院保護研究所とも共同研究を実施し、主に壁画文化財研究における様々な情報のデジタルドキュメンテーションに関する技術研究・実装開発をおこなった。

本来的な情報技術の側面の特徴として、地理情報システムはデータベースを格納する機能を有している。空間的なオブジェクトに対して、オブジェクトの属性情報を様々なメタデータと共に格納する機能である。本研究は、この空間的なオブジェクトの処理対象を、従来の地理情報システムが可能としていた2次元(幾何情報:地図)から3次元(構造情報:3Dオブジェクト)に拡張し、実際に調査・研究で発生するあらゆる情報を格納する統合型の3D-GIS データベースを構築することを目的としている。

地理情報システムとデータベースの現状と課題

現状の地理情報システムに関する様々な機能を総括的に概観すると、どのようなベンダーによって開発研究が進められている地理情報システムにおいても、基本とする空間的なオブジェクトデータが3次元構造を独自に保有している場合はない。基本的には、石窟壁画のような建造物文化遺産に対する情報処理技術としては、対象となる空間的なオブジェクトを2次元に還元して(あるいは投影して)地理情報システムを応用するか、3次元 CAD システムにオブジェクト属性情報を付加する方法か、いずれかの方法しか存在していない。前者の場合、例えば本共同研究の主目的である、劣化環境の構造的な理解や空間的評価には次元縮約の問題を避けられず、後者の場合、基本的には空間構造の評価・解析は可能であっても、そこに拡張的に付加されている属性情報相互の分析は技術的に不可能である。

本共同研究は、石窟壁画文化財の保存・修復や材料学的研究のための基礎情報として空間構造情報を伴った形式の属性情報データベースを開発し、この3次元空間構造情報と属性情報のオントロジカルな分析機能を実装することで、実際の石窟壁画の劣化状況と構造的環境因子との関連を評価できることを目的としている。この目的を達成するために、①従来の地理情報システムのデータハンドリングと同様の利便性を担保しながら、壁画文化財の様々な情報(写真・メモ・テキスト・実験条件・結果など)を3次元空間に埋め込むことができ、②3次元空間の解析結果と格納した属性情報の時空間的関係を分析することをサポートし、③アーカイブシステムとして機能するために、空間的な検索機能と、入力機能をサポートすること、が求められた。

データベースの開発

基本のデータベースは、同志社大学文化遺産情報科学研究センターが開発している STIS を基本として開発された(Fig.1)。データベースに格納されたすべてのオブジェクトには、現地で実施した3次元座標値が付されており、それぞれ意味実体と呼ばれる情報単位でまとめられる。石窟の場合は、それぞれの壁面がまず1つの意味実体であり、Fig.1はその3次元表示の一例である。例えば、彫像(仏像)単位や、房室単位など、情報管理者・利用者が必要とする意味実体ごとに任意に統合することができる。

この設定した意味実体に対して、別のウィンドウが起動し、関連する座標値をもつ全てのデータが検索・分析可能状態となる。例えば、Fig.2は選択した壁面に対して、格納されている画像や理

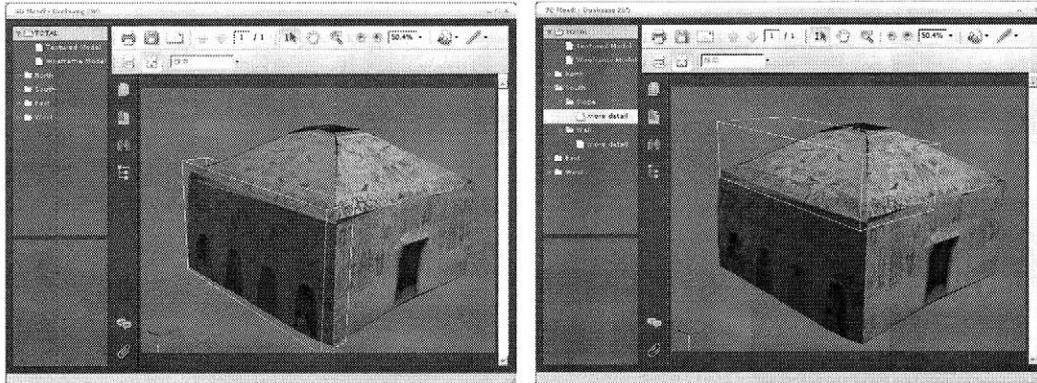


Fig.1 3次元構造(意味実体)検索と表示

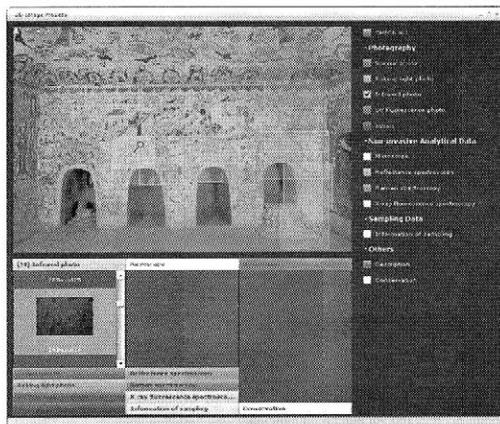


Fig.3 画像データベース



Fig.4 理化学分析データベース

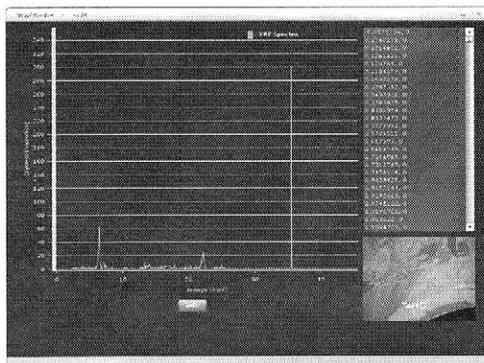


Fig.5 理化学データ検索結果

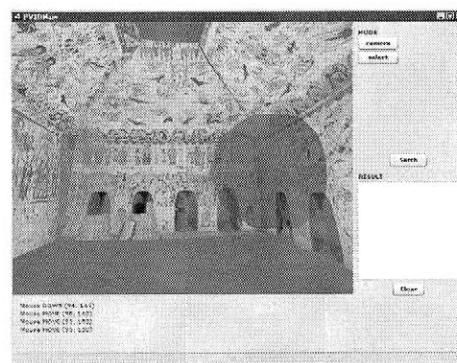


Fig.6 “クエリスフィア”起動画面

化学分析データベースなどが起動し、位置座標で管理された全ての情報にアクセスできるようになる。また、理化学分析データなどは、分析結果の参照のため、さらに、例えば Fig.5 のスペクトルグラフのように、分析結果のローデータを参照してグラフや図表を描出する機能を持たせている。

本データベースの新機軸である構造情報と属性情報の関連評価には、Fig.6 のように、クエリスフィアを起動して、空間内検索をおこなう。これにより、このスフィア内の位置座標に関連づけられたデータが、検索結果として Fig.3・4 のウィンドウにかえされ、相互関係について分析される。今後の研究では、分析結果相互の連関分析などを自動で行うモジュールの拡張などが必要であるが、3D-GIS を拡張した文化遺産データベースの 1 つのスタンダードモデルは構築できたと考える。

終末期古墳の漆喰を対象とした基礎的研究 —カヅマヤマ古墳漆喰の構造変化—

奈良教育大学 ○鶴 真美、金原正明
明日香村教育委員会 西光慎治

1. はじめに

貝殻は日本で古くから様々な用途の為に用いられてきた物質であり、石灰岩とともに白色顔料や漆喰の材料としても広く知られている。文献からはカキ、ハマグリ、シジミ、ホタテなどの貝が使用されてきたことが知られており、それぞれの貝殻の持つ微細構造から貝の種類を特定する研究が行われている。近年では正倉院宝物の伎楽面においてカキ殻等が用いられたことが調査により判明しており（成瀬 2004）、また、加工・風化などによる表面構造の形態変化を対象とした研究もなされている（市川佐織 2004）。漆喰の貝殻の種類を特定することは、製造工程や保存、修復方法を知るうえでも重要であると考えている。

本発表では微細構造観察による原材料識別の一環として、古墳漆喰の中から出土した貝殻遺物の表面を走査型電子顕微鏡で観察を行った。

2. 試料と分析方法

カヅマヤマ古墳は奈良県高市郡明日香村大字真弓小字カヅマヤマに所在する終末期古墳（7世紀後半）である。埋葬施設は吉野川の結晶片岩で作られた磚積石室であり、玄室内は床を除く全ての表面、及び石材の接合面に漆喰が流布されている。本研究では漆喰中から見つかった貝殻遺物を使用した。貝殻は灰白色で、外殻表面に0.1mmの薄い層が重なった栓皮茸状をしていることから、カキ類であると考えられている（図1）。

カキ殻の炭酸カルシウムの結晶構造は方解石からなり、結晶の並び方は稜柱構造（角形の柱状の結晶が垂直に並ぶ）、葉状構造（細長い板状結晶が積み重なり、殻表面に対して平行に並ぶ）がみられ、葉状構造の間には蜂の巣状のチョーク層とよばれる層があり、積層複合構造を成す。漆喰は製造過程で焼成を行うが、上記の構造は焼成後であっても判別は可能である。

漆喰試料は走査型電子顕微鏡（JSM-6300）で観察を行った。

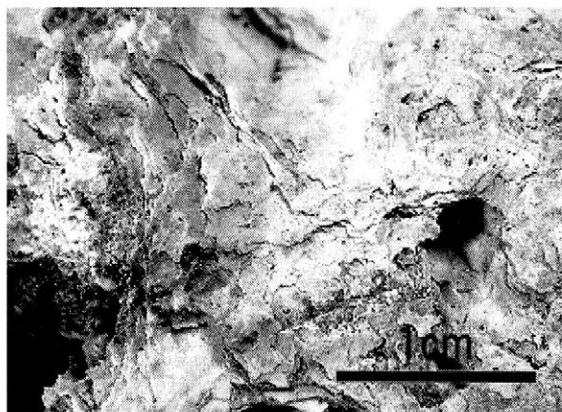


図1 カヅマヤマ古墳漆喰 表面

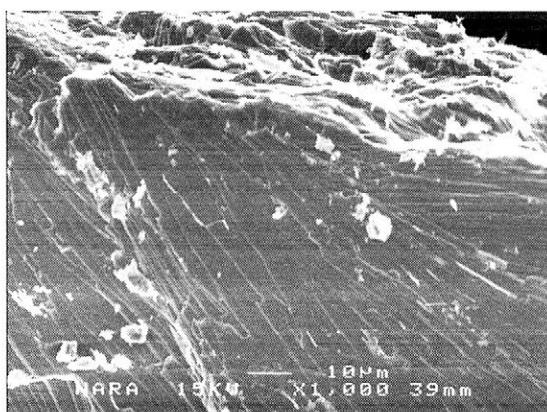


図2 イワガキ（現生）の葉状構造（SEM）

3. 結果

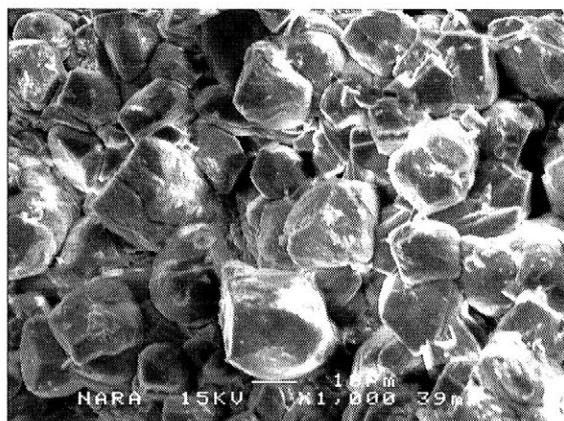


図3 カズマヤマ古墳漆喰 表面 (SEM)

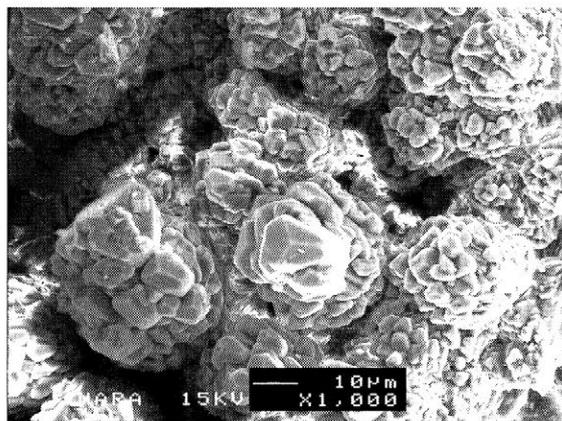


図4 カズマヤマ古墳漆喰 表面 (SEM)

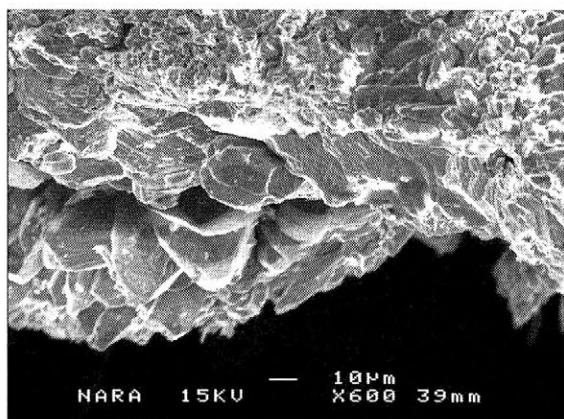


図5 カズマヤマ古墳漆喰 表面 (SEM)

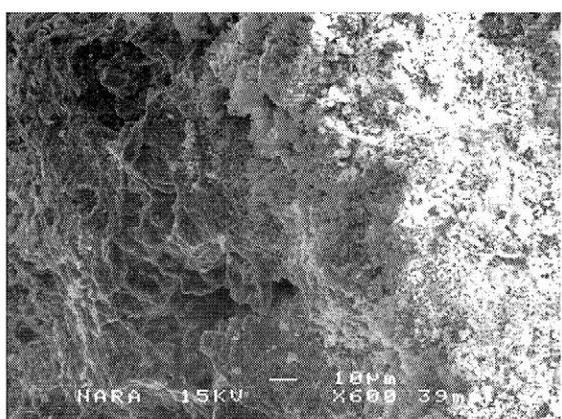


図6 カズマヤマ古墳漆喰 表面 (SEM)

4. まとめ

図3、図4のようにカズマヤマ古墳漆喰は表面に結晶の層が形成されており、現生のカキの持つ構造とは大きく異なる。主成分である炭酸カルシウムの性質上、古墳の中に浸み込んだ雨水等によって漆喰表面が溶解し、再結晶したものであると思われる。本試料は外観からはカキ類であると判別できるのにも関わらずカキ殻特有の表面構造の判別は困難であった。

漆喰は焼成した貝或いは石灰岩を粉碎し、スサなどを混ぜて練り上げる壁材であるため、本試料のように貝殻がそのまま漆喰から検出されることは稀である。このように何らかの理由で貝殻の形状を留めており、加工があまりなされていない貝であっても炭酸カルシウムの再結晶によって構造が確認できないのは非常に興味深い。

しかし変質が生じている場合でも内層の構造が確認できる可能性はあり、本試料のように貝殻特有の形状を保っている場合もある。風化作用が分析を妨げる大きな要因となることを踏まえたうえで、加工・環境により多様な表面構造が見られることを考慮していきたい。

水銀および鉛系顔料のX線分析

濱田 祐¹, ○藤原 学²

¹龍谷大学理工学部学術研究生, ²龍谷大学理工学部・古典籍デジタルアーカイブ研究センター

1. はじめに 370余年の歴史を有する龍谷大学の大宮図書館には、仏教、哲学、史学、文学等に関するコレクションや古典籍等、豊富な重要文献や歴史的資料がある。これらの中には『類聚古集』のような国宝や『李柏尺牘稿』『念仏式』のような重要文化財も含まれている。また、20世紀初頭にいわゆる大谷探検隊が3回にわたって中国西域地方を踏破発掘し、将来した資料である大谷コレクションの一部も保管されている。近年、同じく大谷コレクションを保管している中国旅順博物館との交流が盛んになり、本年3月に龍谷大学において旅順博物館蔵佛教寫本国際研討會が開催され、大谷コレクションの考古学研究についての情報交換がなされた。しかし、資料数が膨大であるとともに、調査過程における発掘記録が散逸して残されていないため、資料の多くはまだ系統だてて整理されていない。国内外でも高く評価されているこれらの資料をできるだけ早く科学的に分類する必要がある。

さて、考古試料の科学分析では非破壊分析である蛍光X線分析法が最も数多く用いられ、考古試料の材料や製法に関する情報を得ている。ほとんどは定性分析であり、定量分析はまだ少ない。考古試料の機器を用いた定量分析においては、適当な基準(標準)試料がない、表面に凹凸などがあり試料の形状が一定でない、などのため高精度の定量分析が困難である。そこで、本研究ではそれらの科学分析のための基礎データを集めるため考古試料でよく使用されている水銀および鉛系顔料について、種々の条件下で蛍光X線分析を行った。また、参照となる試料を作成し、それらの分析データを比較することによって、定量法としての蛍光X線分析の妥当性を評価した。これを考古試料に適用することを目指し、大谷探検隊将来品の中から「土偶」を選択し、特徴的なポイントにおける蛍光X線分析測定を行った。

2. 実験 基礎データを取るためX線光電子分光(XPS)、蛍光X線分析(XRF)、反射型紫外可視光分析(反射UV)、X線顕微鏡(XGT)などを用いて、測定条件を一定にして試料の分析を行った。顔料は辰砂(HgS)、軽粉(HgCl₂)、鉛白(2PbCO₃・Pb(OH)₂)、鉛丹(Pb₃O₄)などを単独だけでなく、それらの混合試料(HgS : 2PbCO₃・Pb(OH)₂ と Pb₃O₄ : HgCl₂)についても分析を行い、混合比の影響について検討した。また下地は板状の石膏(CaSO₄)と漆喰(CaCO₃)の2つを用いた。また、大谷コレクションの数体の土偶の赤系色に彩色された部分についてXGTで点分析および面(マッピング)分析を行い、基礎データと比較した。

3. 結果と考察 反射 UV スペクトルで、 HgS と $\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ の混合試料について混合比を変えて測定した結果を Fig. 1 に示す。混合比を変えたところ目視による色調は大きく異なっているにもかかわらず、ピーク形状の変化はほとんど認められなかった。 HgS の含量が多くなるにつれて吸光度の強度が増加する傾向にあるが、反射 UV データだけでは混合比についての情報を得ることは困難であった。一方、極少量の顔料を用いた XPS 分析により、それらの混合比を求めることは容易に行うことができた。大谷コレクションの土偶の胴体部背面(Photo. 1)の5箇所を XGT で点分析した。その赤色系顔料が色彩されているポイントの XGT 測定結果を Fig. 2 に示す。 Pb によるピーク強度が非常に強く現れており、また Hg によるピークも赤色でない他の場所と比較して強い。赤色が剥落している部分には白色が見えおり、そのポイントにおいて Pb の強いピークが得られる。このことより、土偶にまず白色顔料である鉛白($\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)が塗られ、その上から辰砂(HgS)が塗布されていると考えられる。また同時に面分析(マッピング)も行い、 Hg の分布を明らかにすることができた。これらのことより、XGT を用いることで顔料・下地材料の同定が可能であることがわかった。考古試料に顔料が混合または多層に塗付されていたとしても数種の元素を同定し強度を比較することにより、何が塗付されているのかを推測することが可能である。今後は、試料形状(表面の傾斜・凹凸など)の影響を考慮して、さらに精度の高い定量的考察を行っていく必要がある。

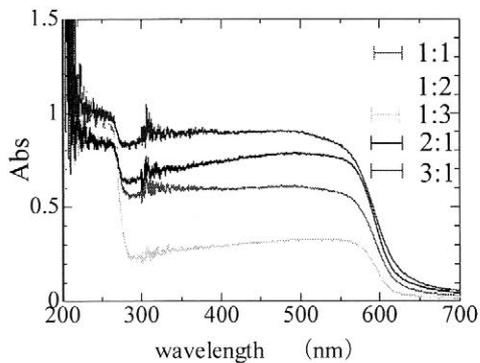


Fig. 1 辰砂・鉛白混合試料の反射 UV スペクトル

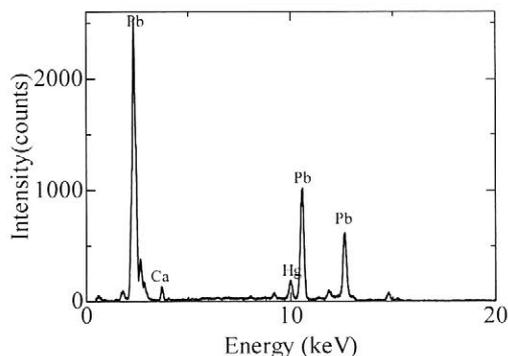


Fig. 2 土偶背面の蛍光 X 線スペクトル

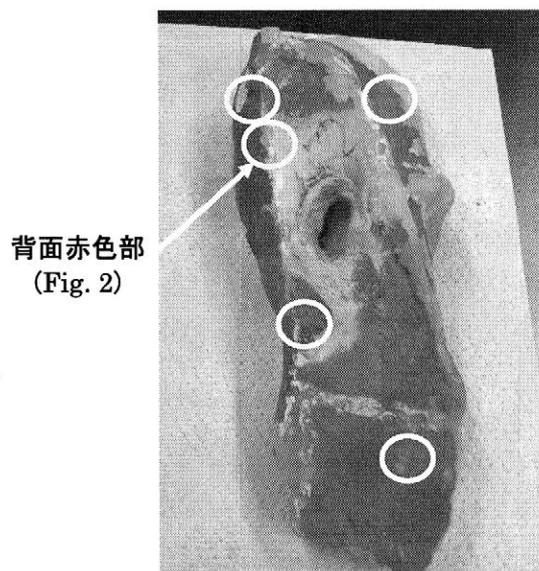


Photo. 1 土偶(大谷コレクション)背面

焼結体および岩石表面に塗布されたカルシウム系顔料の科学分析

○福田 堅一¹, 藤原 学²

¹龍谷大学大学院理工学研究科大学院生、²龍谷大学理工学部・古典籍デジタルアーカイブ研究センター

1. はじめに

龍谷大学大宮図書館には、国宝をはじめ貴重な重要文化財である古典籍などの多くの資料が保管されており、「貴重所の宝庫」として注目されている。その中でも大谷探検隊将来品は数と種類が多い。そもそも大谷探検隊将来品とは20世紀初め、西本願寺22代門主鏡如上人(大谷光瑞師)によって組織された大谷探検隊が3度にわたってシルクロード周辺の中国西域地域を踏破し発掘した資料のことである。しかし、大谷探検隊には考古学者も歴史学者もおらず調査過程での発掘記録が残されていない。これらの理由から、調査が行われて1世紀以上たつ今も未整理のものが多く残されている。世界的にも貴重な資料を分類・保存・研究し、それらの成果を社会還元することは龍谷大学に課せられた大きな責務である。その目的のために龍谷大学に古典籍デジタルアーカイブ研究センターが2001年に設置された。

一方、考古資料の分析では、資料の多くがCa, Pb, Cr, Hg, Fe, Cuなど重金属元素を含む顔料で塗布されていることが多いことから、X線分析を容易に行うことができる。本研究ではCa系の顔料に対する定量的取り扱いを目指し、種々の条件での測定を行った。考古試料として大宮図書館が保管している「せん類」を選択した。本研究における「せん類」は主に4～7世紀ごろに作成されたといわれている。その当時のCa系顔料は石膏(CaSO₄)、漆喰(CaCO₃)などが主に使われていた。これより、焼結体表面のCa系顔料の定量分析を行うためまずそれぞれについて検量線を作成し、それを「せん類」に適用して表面に塗布されたCa系顔料の含量を求めた。

2. 実験

3種類の粘土(備前、美濃、有田)を1100°Cで焼結させた。それを光学顕微鏡観察や水の浸透性測定により、最も定量に適していると考えられる焼結体として備前粘土焼結体を選択した。次にそれぞれの濃度の異なるCa水溶液を作成し、ろ紙または板状の備前焼の上に正確に0.05mLずつ滴下した。それぞれの溶液はおおよそ直径7.00mmの円状に広がった。そのままの状態乾燥させた後、X線顕微鏡(HORIBA XGT-2700)による点分析を溶液が広がった範囲内で5回測定した。これらの平均値を用いてそれぞれの条件下での検量線を作成した。大谷探検隊将来品の考古試料の中で主に岩石を材料としたせん類を選択し、そこに含まれるCaの定量分析を試みた。

3. 結果と考察

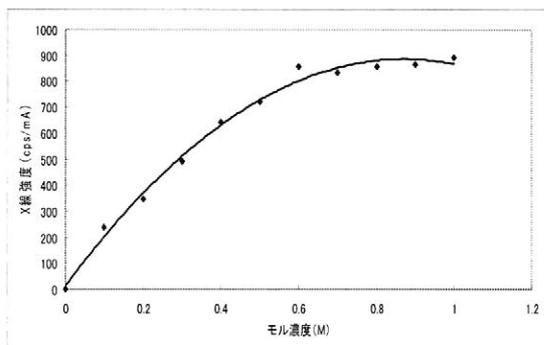


図1 CaCO₃を用いた場合のCa検量線

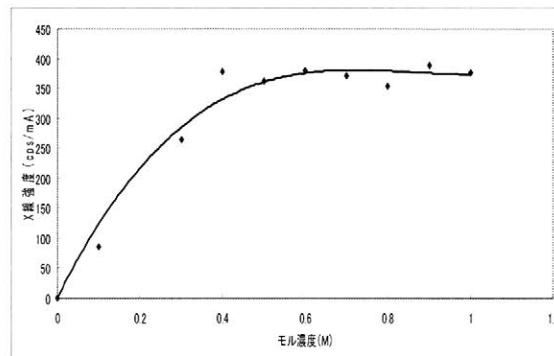


図2 CaSO₄を用いた場合のCa検量線

CaCO₃水溶液とCaSO₄水溶液を添加した場合には、それぞれ0~0.6, 0~0.4 Mの範囲定量可能であるが、それぞれのX線強度が大きく異なっている(図1、2)。この原因としてCaCO₃のCとOは軽元素であり大気下で測定しているXGTでは観察されないのに対し、CaSO₄のSは観察される。原子番号の大きいSを含む試料では、マトリックス効果によりCaのX線ピークの強度が弱められたと考えられる。

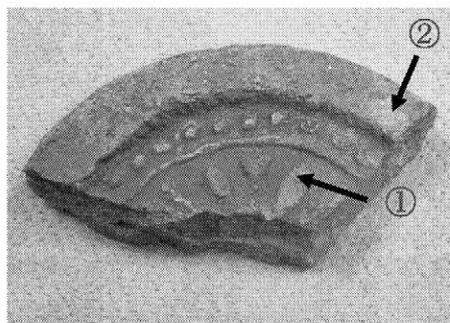


写真1 せん類(大谷探検隊将來品) Caが検出された。ポイント①と②を比較してみるとCaのピーク強度が大きく異なっているのに対し、Sのピーク強度はあまり変化していない。これらのデータを総合的に評価すると、せん類にはCa系顔料として漆喰

(Ca(OH)₂→CaCO₃)の顔料が用いられていると判断することができる。これは試料裏面の蛍光X線スペクトルにおけるSとFeのピーク強度からも明らかである。



写真2 マッピング結果

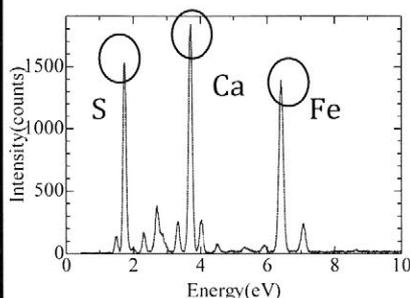


図3 ポイント①における
蛍光X線スペクトル

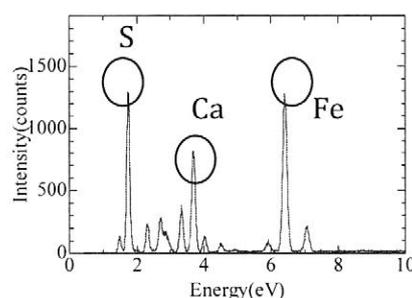


図4 ポイント②における
蛍光X線スペクトル

日本産爬虫類・鳥類の骨格同定法と体長復元

—ウミガメ科とカモ科を中心として—

○富岡直人、浜岡香名、立石和也、竹並千穂、古賀日香理、真子未来（岡山理科大学）

1. はじめに

日本の動物考古学において同定が難しい骨格に、四肢骨を含む長骨の破片、頭蓋骨や背甲骨板のような扁平骨、顔面骨の含気骨破片など、特徴がつかみにくい部位があげられる。ここで取り上げる爬虫綱と鳥綱の骨格は、目～属レベルでの同定基準が動物考古学者で共有されてこなかった上記のような部位が多い。その原因としては、これらの骨格は遺跡出土資料の多数を占めるものではなく、体系的な取り組みを実施する機運が生じなかったことが指摘できる。

2. 目的

爬虫綱と鳥綱の四肢骨や指骨、カメ類では背甲骨板が、多くの貝塚や低湿地遺跡でわずかながらも一定量出土する。これらが同定できるならば、有効な環境の指標となること、さらに生体の体長や直甲長が復元されるならば、どのような体格のものが捕獲されていたのかが明確となり、狩猟・漁撈文化の検討に有効な情報となることが予想される。

3. 分析

鳥綱と爬虫綱について、それぞれ遺跡より出土する例の多い部位を分析対象として選択し、遺跡出土資料の観察と現生標本の検討を行い、同定基準と計測ポイントを検討した。

鳥綱では出土率の高いカモ科について、金子(1971)、松井他(1984)、富岡(1996)、江田(2005)、松井他(2008)、松岡他(2009)を参考に、マガモ属、オシドリ属、ハジロ属、アイサ属、マガン属、ハクチョウ属について検討した。

爬虫綱についてはWyneken(2001)を参考にしながら、ウミガメ科、オサガメ科、スッポン科について検討を行った。計測ポイントとしては、相対成長の原理が適応しやすいと考えられる相似的に成長する部位を選択するように意識した。

4. 考察・結果

a. 鳥綱

第 1, 3 図に各骨格の同定基準と計測ポイントを

示した。

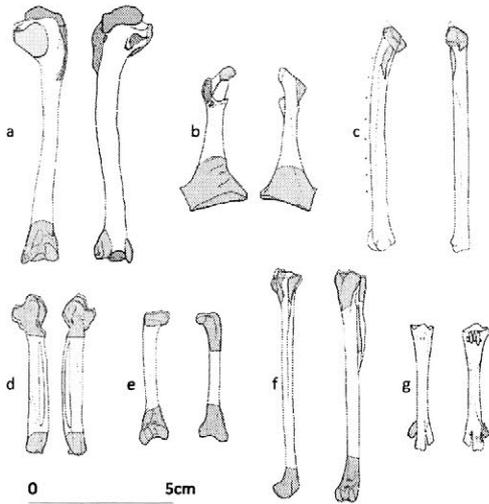
さらに現生標本の検討から上腕骨長からの体長復元式を第 5 図に提示した。今回分析した現生標本の場合、一部は復元値を含むものの、計算上相関係数は 0.96 が得られ、かなりの正確さで種を超え体長が復元できることが推定された。

大腿骨、脛足根骨、足根中足骨では、マガン属、ハクチョウ属の同定は骨格サイズを参考にすると容易に分類されることが再確認されたが、それぞれの属内では骨格の大きさから判別することが困難な場合もあった。今後、生体の同定が確かな試料での再検討の必要性が指摘される。従来カモ類 A～E クラスに分類されていたものは、第 1 図に示されている同定部分が残されている場合は水面ガモ（マガモ属、オシドリ属）と潜水ガモ（ハジロ属、アイサ属等）に分類することが可能であると推定された。この同定には、江田(2005)が掲げた同定基準を含んでいる。

b. 爬虫綱

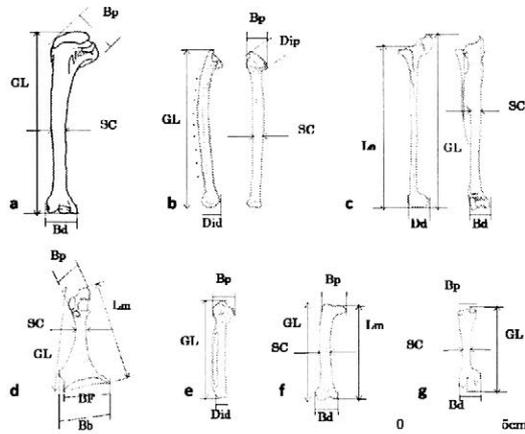
ウミガメ科について日本近海で捕獲されることの多いアカウミガメ、アオウミガメ、タイマイの背甲骨板（頂骨板・肋骨板・椎骨板）を第 2 図に、アカウミガメの前肢・後肢を第 4 図に掲げる。岡山県・兵庫県・大阪府・鹿児島県などの出土資料の場合には背甲骨板が圧倒的に多く、さらにほとんどが破片であった。それらの同定には、第 2 図で示した甲板ライン（背甲骨の痕跡）の検討が有効であることが把握された。ただし、ラインのカーブや骨板の癒合は年齢が上がると微妙な変化がみられる点にも注意が必要であることが把握された。今後は、異なった年齢階梯や雌雄での形態差の比較が重要な課題と考えられる。

謝辞： 骨格標本の観察については、以下の諸氏に多大なるご協力を頂いた。記して深謝致します。江田正毅、高橋亮雄、大牟田一美、西中川駿、松井章、西本豊弘、山崎健、丸山真史、藤田芙美、畑山智史、佐藤遙、富坂亜由、池畑耕一、日本ウミガメ協議会、屋久島うみがめ館、美波町日和佐うみがめ博物館カレッタ、紀宝町役場ウミガメ資料館、倉敷自然史博物館、東北歴史博物館



第1図 鳥綱骨格 (カモ科) 同定基準

a. 上腕骨 b. 烏口骨 c. 尺骨 d. 手根中手骨 e. 大腿骨
f. 脛足根骨 g. 足根中足骨: トーン部を属・種同定に利用



第3図 鳥綱骨格 (カモ科) 計測ポイント

a. 上腕骨 b. 尺骨 c. 脛足根骨 d. 烏口骨 e. 手根中手骨
f. 大腿骨 g. 足根中足骨

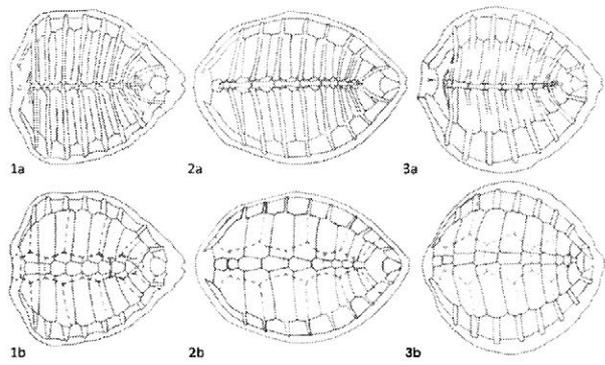
遺跡出土資料は破片資料が多いことから、破片化しても計測可能な部位を意識して図示した。

属・種によってプロポーシオンが異なることから、判別分析による分類が有効であると予想される。

尺骨にみられる後翼羽乳頭 (図中に・で位置を明示) の個数や位置も有効な同定ポイントといえる。

引用文献

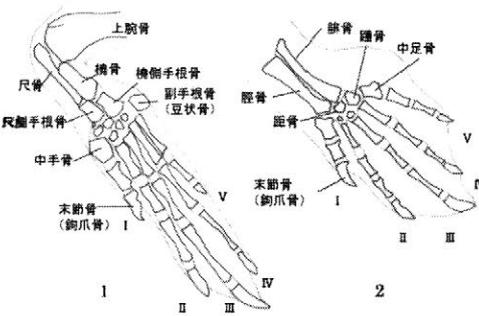
石井雅之、田中真一 2004 「関東地方の漂着ウミガメ類」『動物考古学 第21号』[考古学研究会]: pp.117-128
江田真毅 2005 「生活復原資料としての鳥類遺存体の研究—カモ亜科遺体の同定とその考古学的意義—」『海と考古学』[六一書房]: pp.387-406
加藤嘉太郎・山内昭二 1995 「鶏の骨格、鶏の前肢の筋」『改著家畜比較解剖図説上巻』[養賢堂]: pp.94-107, 174-177
金子浩昌 1971 「動物遺存体」『貝鳥貝塚』[岩手県花泉町教育委員会]: pp.166-197
富岡直人 1996 「中在家南遺跡出土動物遺存体の分析」『中在家南遺跡他』[仙台市教育委員会]: pp.201-254
浪形早季子 2004 「南西諸島のジュゴン・ウミガメ・イルカ・



第2図 爬虫綱骨格

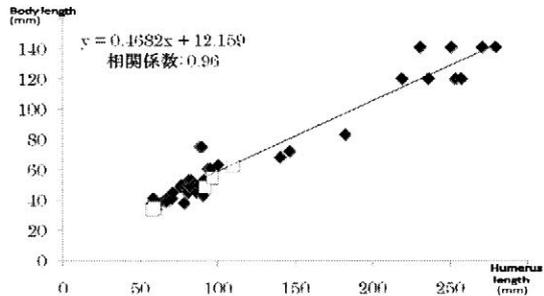
(実線: ウミガメ科背甲骨板・椎骨板・縁骨板
破線: 甲板ライン)

1. アカウミガメ、2. アオウミガメ、3. タイマイ
a: 内側、b: 外側 左方向が前位



第4図 爬虫綱骨格 (アカウミガメ)

1. 前肢 2. 後肢: 背面観 左方向が前位



第5図 カモ科体長復元

(x: 上腕骨最大長、y: 体長 (一部推定値) マガモ属、オシドリ属、ハジロ属、アイサ属、マガン属、ハクチョウ属を含む。些か強引ではあるが、上腕骨長より相関係数0.96の近似直線によって体長の復元が可能であることが示された。)

クジラ遺体」『動物考古学 第21号』[考古学研究会]: pp.73-89
新美倫子 1999 「鳥類」『考古学と動物学』[同成社]: pp.37-50
松井 章・小林和彦・高橋理 1984 「動物遺存体」『中沢貝塚』[東北大学文学部考古学研究会]: pp.96-131
松井 章編著 2008 「鳥類」『動物考古学』[京都大学出版会]: pp.108-145
松岡廣繁総指揮 2009 『鳥の骨探』[株式会社エヌ・ティー・エス]

Wyneken, J. 2001 "The Anatomy of Sea Turtles" (NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-470)

博物館展示におけるデジタルデータの活用

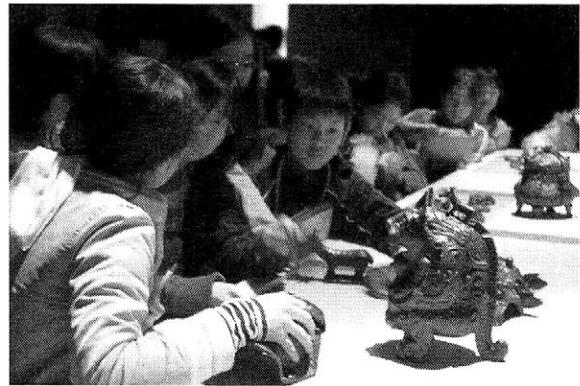
○輪田慧、今津節生、鳥越俊行、河野一隆(九州国立博物館)

1 展示に生かすデジタルデータ

文化財の保存と活用の新たな方法として、デジタル技術を用いた「本物を理解するための複製品」を製作した。デジタル技術による複製は、非接触のX線CTや3Dディジタイザで取得したデータを、3Dプリンタで立体造形し、製作する。デジタルデータを使用するため、コンピュータでの処理により、拡大・縮小・反転・断面形状の製作も容易である。

本研究の結果、安価に精巧かつ短時間で複製品を製作することができ、手にとって自由に観察できる複製品の展示が可能となった。本物の文化財とさわれる複製品を同時に展示することで、来館者に従来とは違った発見をしてもらうことが予想できる。また、目の不自由な方々に向けた展示や、学校など教育現場での活用も期待される。

具体的事例として、2010年2月から3月に九州国立博物館で行われた古代中国青銅器(註1)の展示を挙げる。この青銅器は、造形が細かく、形状も独特である。その細かさや複雑さを実感するには、ただ眺めるだけではなく、さわってみることが有効ではないだろうか。よって、本物に忠実な形の複製品を手にし、青銅器を鑑賞する、という実験的な展示を行った。



古代中国青銅器のさわれる展示 (於九州国立博物館)

2 データの取得と複製品の製作

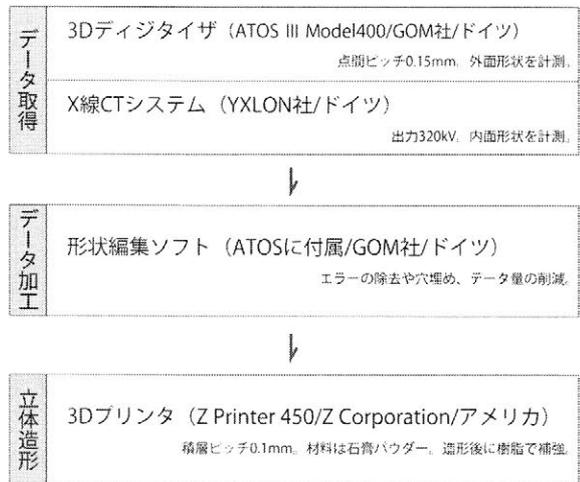
文化財のデータ化は、非破壊、非接触かつ高速な計測機器で行った。

2-1 文化財の形状データの取得

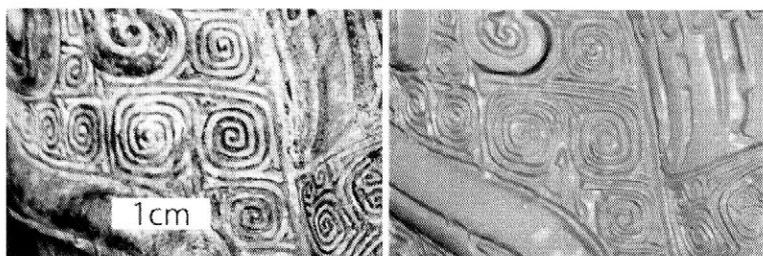
2-1-1 3Dディジタイザによる外面形状の取得

まず、複製対象の青銅器の表面形状を光学非接触式の三次元計測器(註2)によって計測した。精度は、点間ピッチ0.15mmである。これは、使用した装置において、300mm四方を一度に測定できる精度で、計測する青銅器の大きさ(高さ150mm~400mm)から、計測の安全性と速度を考慮したものである。再現度についても、下図のように、さわれる展示用としては十分な精度である。

また、装置の原理は、計測対象に投影した縞模様を2台のデジタルカメラによって撮影し、その視差によって、凹凸を計測するものである。したがって、カメラに写らない部分は計測できない。つまり、口の狭い筒の内側などは計測不可能である。これを補足するために、X線CT撮影を行い、X線で透視したデータを併用することとした。



複製品製作のワークフロー



実物(左)と取得したデータ(右)の同一部位

2-1-2 X線CTによる内面形状の取得

三次元計測器で得ることのできない青銅器内部の形状データを得るため、X線CT撮影(註3)を行った。撮影時の出力は、使用した装置の上限の320kVである。

次に、取得したCTデータを解析し、X線の透過度合いが等しい場所同士を点群データとして出力した。空気と青銅器ではX線の透過度合いが異なるため、その境目を取っていくことで、青銅器の形状データが得られる。

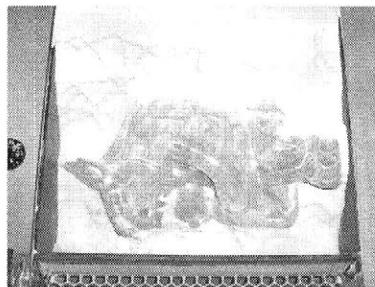
ここで問題は、X線がうまく通らなかった部分がノイズとなり、本来の形状が明確ではない部分があることである。そのため、どうしても不鮮明な部分は、CTデータをそのまま使用するのではなく、下絵として利用し、手作業で形状データを制作した。したがって、青銅器内部の形状データの正確性は、表面形状に比べて低く、0.5~1mm程度の誤差がある。

2-2 3Dプリンタによる立体造形

取得した青銅器の形状データからデータエラーや穴を取り除き、3Dプリンタ(註4)で出力した。本稿の3Dプリンタはインクジェット積層式で、積層ピッチは0.1mm、材料は石膏である。また、カラー出力にも対応している。

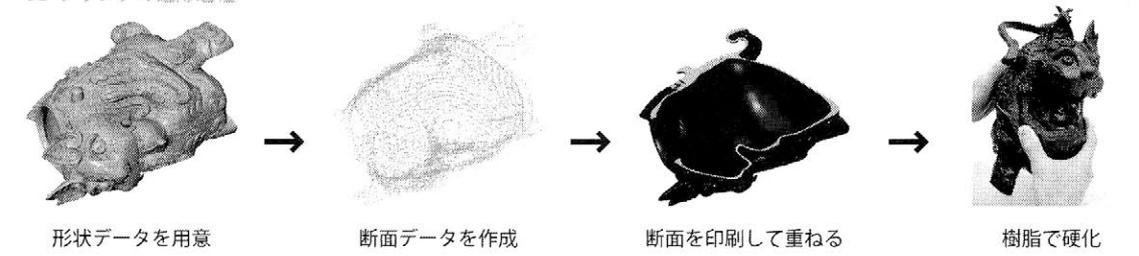
造形過程は、まず石膏の粉を平らに敷き、その上にインクと硬化剤を吹き付けて、形状の断面を印刷する。次に印刷台を積層ピッチ分下げ、再び石膏を敷いて印刷する。これを造形物の高さ分繰り返す。印刷した直後の造形物は強度が不十分なので、硬化する液体樹脂を染み込ませて乾燥させる。

製作にかかる費用は、右図のような重さ約500gの像を出力すると、材料と消耗品を合わせても10,000円以下である。



プリント直後は石膏に埋まっている

3Dプリンタの造形過程



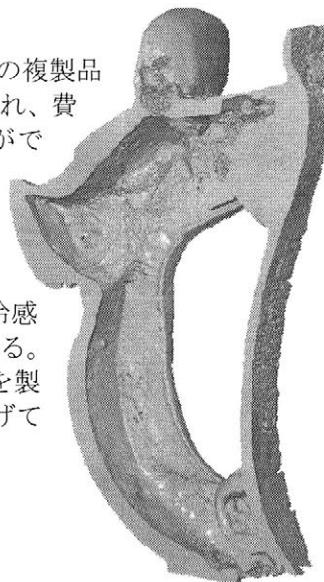
3Dプリンタの造形過程

3 次世代の博物館展示に向けて

これまで文化財の複製品といえば、本物に代わる、展示品としての複製品であった。一方、デジタル技術による複製では、工程が機械化され、費用は数十分の一程度である。そのため、複製品にさわってもらう事ができる。さらに、研究者でしか知り得なかった内面や断面の情報、複雑な製作技法などを造形し、実物と共に展示することも可能だ。

一方、今後の課題として、形以外の色、質感、重さ、匂いの表現が挙げられる。青銅器であれば、ひんやりとした触感や、ずっしりとくる重さが大切である。したがって、金属塗装などで、擬似的に冷感を出す、実物の重さとの比率を明確にする、といった改良が考えられる。

このように、デジタル複製で「本物を理解するための複製品」を製作し、文化財の保存と活用を両立させる次世代の博物館展示につなげていきたい。



中国青銅器の断面データ

註1：泉屋博古館蔵

註2：ATOS III Model400/GOM社/ドイツ

註3：X線CTシステム/YXLON社/ドイツ

註4：Z Printer 450/Z Corporation/アメリカ

バイオン内回廊バ・レリーフの保存研究における 着生物のスペクトル解析

○千葉麻由子（早稲田大学大学院創造理工学研究科）、森本哲郎（凸版印刷株式会社）、
片山葉子（東京農工大学共生科学技術研究院）、池内克史（東京大学大学院情報学環）

1. はじめに

本研究はカンボジア、アンコール遺跡群のバイオン寺院を対象遺構とし、砂岩造寺院の内回廊に施された浅浮き彫り、バ・レリーフの保存修復に資することを課題としている。高温多湿の環境下において劣化が甚だしいレリーフ壁面に多様な色調を呈する着生物に着目し、詳細な色情報を取得するスペクトル計測技術を用いた調査を行っている。

着生物は特定の吸収スペクトルの光を太陽光から吸収して光合成を行っている。この光合成色素を利用することで、壁面の吸収スペクトルの波形の違いを分析し、着生物の「種類」「分布」「繁殖サイクル」を解明することを目的としている。光合成色素に着目した生物因子の検出と解析は、これまでに蛍光ライダー技術を用いた調査が行われている（V. Raimondi 他 2009）。蛍光ライダー技術を用いたリモートセンシングは、海洋環境と植生調査の分野で開発が行われてきたが、過去 10 年において文化遺産の現場においても、技術の適応を成功させている。光吸収スペクトルの場合、基本的にはクロロフィルが主要な色素として検出されるが、シアノバクテリアの光合成補助色素であるフィコシアニンを利用できることが分かった。これにより、壁面に着生するシアノバクテリアの雨季乾季の分布において、その挙動を把握することができた。

2. 壁面にみられる着生物とその環境

バイオン寺院の内回廊は全てが一様な環境下にあるわけではない。複雑な建造過程の中で時期を分けて構築されたことで、基壇に高低差が設けられ、壁面は通廊状の小部屋に分割されている。屋根の残存状況によって、換気や雨水の影響に差が生じている。基壇が高い場所では全般的に含水率が高く（内田ほか 2009）、濃い黒色の着生物が目立つ。基壇の低い場所では赤色の着生物が見られるなど、環境差と着生の様子に傾向は見られるものの、回廊全体にわたって藻類、シアノバクテリア、地衣類から菌類、真菌類に至るまで多様な微生物の生育が確認されている（片山ほか 2009）。

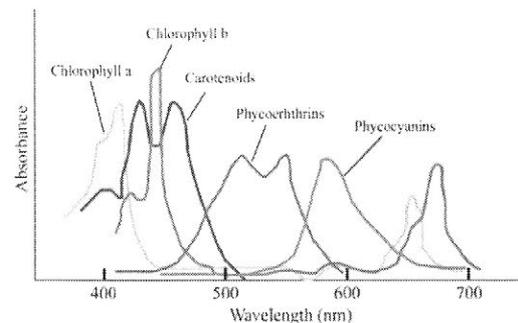


Fig.1 光合成色素の吸収スペクトル

3. 計測方法

本計測ではCRI社の液晶チューナブルフィルター（LCTF）VariSpecを用いたLCTF撮影システムを導入した。LCTFは電氣的に透過波長を制御できるフィルターであり、これをSONY社のモノクロCCDカメラXCD-X710の前に装着して撮影することで2次元のスペクトル画像を取得することが可能である。従来のスペクトルイメージングシステムに比べてフィルターの透過率が高いため、露光時間が短くできる。また、カメラを動かさずに2次元画像を取得できるためフォーカスのずれやブレなどが起きないといった利点がある。本システムより取得されたスペクトル画像は可視領域（400nm～720nm）を4nmごとに81枚の16bitグレースケール画像（1024×768）で保存される。また、屋外環境のスペクトル計測は急激な光源環境の変化が伴うため、標準白色版を用いて、最適な露光量を推定している。

類似した着生物の分布範囲を検証するために、マルチスペクトル画像の領域分割を行う。しかし、マルチスペクトル画像は波長方向に高次元で、かつ、解析対象は着生物と壁面が混合した複雑なスペクトルの特徴を持っている。この課題を解決するために、Normalized Cuts(Ncuts)法を用いた次元圧縮処理を行った。これらの計測システムは東京大学池内研究室で開発された。

4. 結果と考察

計測はバイヨン内回廊北面東翼で行った。基壇は低く、計測範囲の半分より東側は屋根が残存しており、壁面には黒、紫、赤、白と多様な色調のバイオフィームがみられる。Fig.2は雨季と乾季のマルチスペクトル画像の領域分割結果を示している。この各分割領域から抽出した吸収スペクトルをFig.3に示す。分割結果の三つのエリアから抽出された吸収スペクトルを比較するとフィコシアニン（シアノバクテリアの補助光合成色素）の吸収波長に一致する600nm前後で吸収の大きさに違いがみられる。このことから3つのエリアはフィコシアニンの量に起因して分割されていることが推測される。雨季と乾季の3つのエリアを比較すると、乾季にA、B領域が減少し、C領域が増加しているのが確認できる。これは、乾季にフィコシアニンの量が減少したことを示唆している。これらの結果は雨季と乾季の間で肉眼では確認できないシアノバクテリアの分布が大きく変化していることを示していると考えられる。

2007年9月から行っているデジタル写真による観測記録からは、着生物の分布範囲の変化をほとんど確認することができない。異なる色調のバイオフィームにおいて、各構成生物因子の繁殖の強弱が現れたものが今回の計測結果であったと考えられる。それは乾季雨季の1年で繰り返され循環するサイクルであり、現在の着生状況は急激な変化を示すものではないようである。

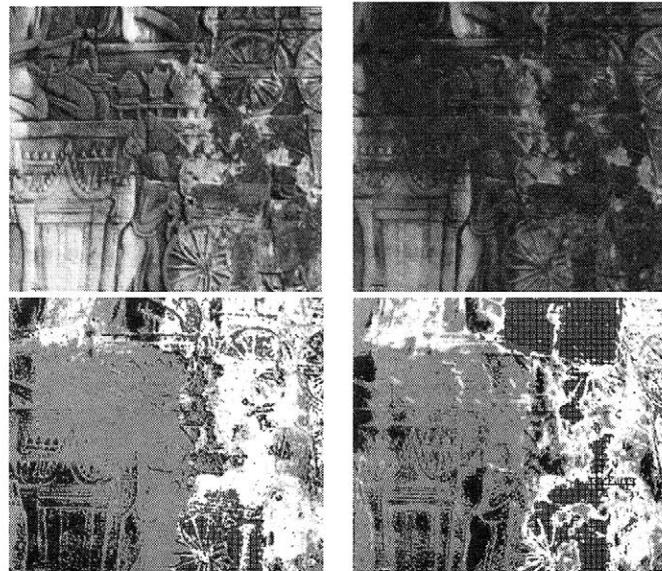
5. 今後の展望

この計測により、肉眼では確認できない着生物の分布を確認できた。今後は、除草剤塗布など保存処置を行った石材表面のモニタリングに応用し、メンテナンス時期の検討を行うなどしたい。

*本研究は平成19-22年度科学研究費助成金「アンコール遺跡・バイヨン寺院浮き彫りの保存方法の研究」（研究代表者：国士舘大学・沢田正昭）の研究成果の一部であり、日本国政府アンコール遺跡救済チーム（以下JSA）およびJSAの協力を得て進められた。

参考文献

- V. Raimondi, G. Cecchi, D. Lognoli, L. Palombi, R. Gronlund, A. Johansson, S. Svanberg, K. Barup, J. Hallstom. (2009). *The fluorescence lidar technique for the remote sensing of photoautotrophic biodeteriogens in the outdoor cultural heritage: A decade of in situ experiments*, *International Biodeterioration & Biodegradation* 63 pp823-835.
- 内田悦生, 下田一太, 田久保豊, 豊内謙太郎「5.4 アンコール遺跡バイヨン内回廊における砂岩材含水率の変化」『アンコール遺跡調査報告書』JSA 2009
- 片山葉子, 久住朝子, 大須賀雄, Gu Ji-Dong 「5.3 砂岩表面の微生物学的調査」『アンコール遺跡調査報告書』JSA 2009



(a) 雨季

(b) 乾季

Fig.2 デジタル写真による記録(上)と領域分割結果(下)

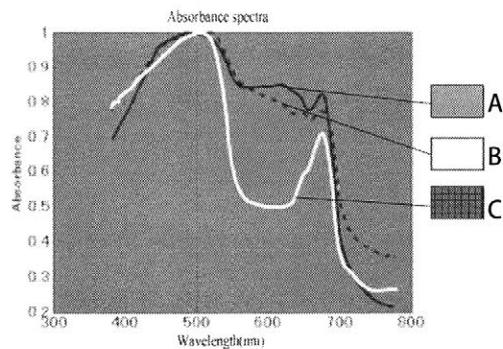


Fig.3 各分割領域の吸収スペクトル

中国広西省出土古代ガラスとヒスイ製品のその場分析による
考古化学的研究

○タンタラカーン クリアンカモル¹⁾、張本路丹¹⁾、李 青会¹⁾、中井 泉¹⁾、
熊 昭明²⁾、謝 日万²⁾

1)東京理科大学理学部応用化学科、2) 広西省文物考古研究所

はじめに

本研究では、古代における地中海・中近東地域から、東南アジアを経て日本までの交易の存在を実証することを最終目的として、中国の広西(Guangxi)博物館に軽元素分析が可能な可搬型蛍光X線分析装置と可搬型粉末X線回折計を持ち込み、広西省内の古代遺跡から出土した国宝級の貴重な遺物を含むガラス容器18点とひすい製品20点について分析した。その内、代表的なものとしては図1Aに示す前漢時代(B.C.206年からA.D.25年)の古墳M5号広西省出土ガラス皿と、図1Bに示す後漢時代(A.D.25年からA.D.220年代)の合浦県 Hong-ling-tou 古墳から出土した深藍色圓底ガラス杯等があげられる。ガラス皿は湖藍色(浅い青色)でわずかに透明で高さ3.4cm 口径12.5cm、皿の口縁は少し外に張って底がすぼまっており、特徴的な中国製品である。一方、ガラス杯は藍色、半透明、口縁部はやや内側にすぼまっており、縁は少し外側に巻いている。腹の中部は外に出ていて、二本の線文を廻らせているのが特徴である。

装置について

本研究では、当研究室がアワーズテック(株)と共同で開発した軽元素対応エネルギー分散型ポータブル蛍光X線分析装置 OURSTEX100FA-II を本年度さらに改良して、軽量化と試料観察カメラを付属させた新モデルのFA-IVを用いた。測定は全て真空下で、一試料につき白色X線と単色X線の2つのモードで測定した。測定は分析装置を広西省立博物館に設置して行い、定量分析は、NISTのガラス標準試料と研究室で合成したガラス試料を標準とする検量線法により行った。一方、考古遺物の分析用に(株)X線技術研究所と開発したポータブル粉末X線回折装置も導入した。X線源にはCu管球を使用し、検出器にSi-PIN検出器を用いることで散乱X線を著しく軽減でき、S/N比の良い回折パターンが得られる。また、DSPによる信号処理を導入し従来装置よりさらに軽量化し可搬性を高めた実用性の高い装置である。

分析結果と考察

検出された元素を検量線法による定量を行った結果、原料に起因する化学組成の特徴から、分析試料は鉛(Pb)と少量のバリウムを含む鉛-バリウムガラス($PbO-BaO$)とカリウム(K)の濃度が高いカリガラス系に分類された。カリガラス系にはルビジウムとストロンチウム濃度(Rb/Sr比)やアルミニウム(Al)濃度から細かく分類すると、 $K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 、 $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ 及び K_2O-SiO_2 系に分類され、それぞれのガラスの産地について考察した。ガラス盤(図1A)と深藍色圓底ガラス杯(図1B)は、両者ともカリガ

ラス系であることが明らかになったが、原料の不純物の特徴から深藍色圓底ガラス杯は Al と Ca の濃度が高く Rb/Sr 比が低い $K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 系のインド製又は南アジア製のガラス製品である可能性が示された。一方、浅い青色ガラス皿は Rb/Sr 比が高い K_2O-SiO_2 系の中国ガラスであることが分かった。さらに、ガラスの色は大きくわけて青色、青緑色、藍色の 3 色で、青緑色の起源は銅による着色で、微妙な組成比が青系と緑色系の色合いの違いを決めていることが推察された。紺色試料はマンガンを含み、コバルトによる着色であった。一方、図 2 A に代表例を示すひすい製品はポータブル粉末 X 線回折装置の分析結果から、トレモライト(*Tremolite*)またはアクチノ閃石(*Actinolite*)系の軟玉であった。さらに本研究により、これまでにヒスイと判定されていた図 2 A と同形の遺物の中にガラス製のもの(図 2 B)が見つかるなど、いろいろ興味深い結果が得られた。

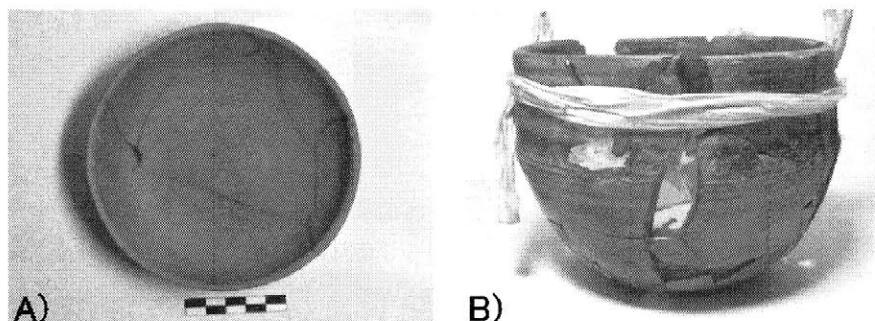


図 1 (A) 広西省出土浅い青色ガラス皿、(B) 合浦県出土深藍色圓底ガラス杯

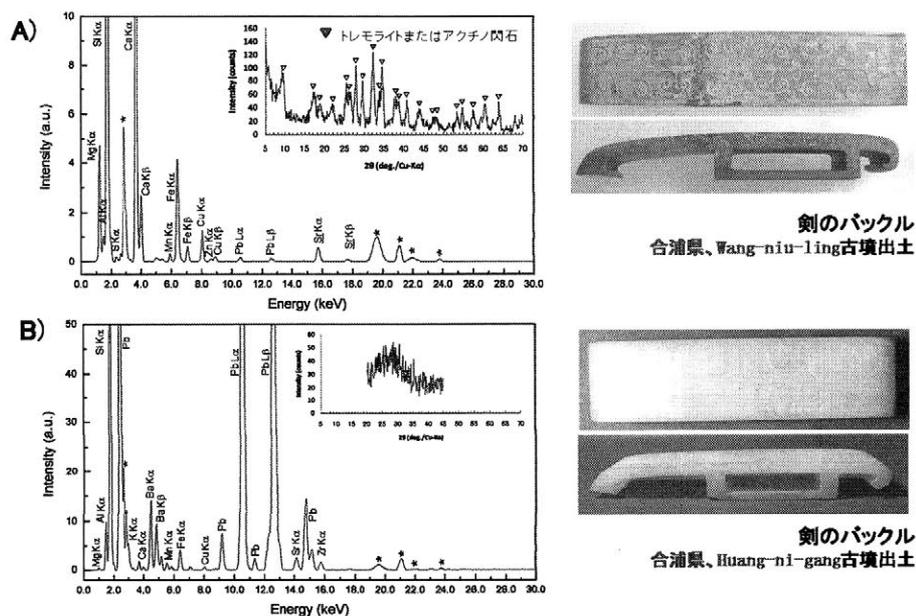


図 2. ヒスイ製(A)と鉛-バリウムガラス($PbO-BaO$) 製(B)の剣のバックル遺物の白色 X 線励起蛍光 X 線スペクトルと粉末 X 線回折パターン (挿入図) の比較

インド出土のガラスに関する原料の産地推定

○魯^ノ 禎^{ジヒョン} 珪^{ヒョウ} 平尾良光(別府大学大学院文学研究科)・安田喜憲(国際日本文化研究センター)

1. はじめに

ガラスは成型と加工が容易で時間が経っても形態が変化しないため、古代のガラス製造技術がほとんど変わりなく現代まで続いていること、化学組成によって地域の特徴がみられるなどのため、古代に行われた人間や物質の移動と交流などを研究する際に良い資料になる。ガラスは陸路・海路の発達によって人間の移動・文化の交流が行われたことにつれ、世界の各地に拡散した。特に、インドを中心に東南アジアの各地に広がったムティサラ(赤色の小玉)は東南アジアから東アジアまでの広い範囲にかけて発見され、古代の人間や物資の移動や文化の交流を示唆している。

一方、鉛同位体比を用いた既研究の成果から、いくつかのガラスには東南アジア産原料と推定されている N 領域の鉛が含まれていることがわかった。しかし、その産地がどこであるかを解明するためには、実際に東南アジア出土の資料に関して研究を行う必要がある。

本研究では N 領域の原料産地に関して、可能性のある地域の一つであるインドを中心に、インドから出土したガラス 4 点に関して鉛同位体比分析を行い、原料の産地を推定し、N 領域の原料との関連性を調べた。

2. 資料と測定方法

インドから出土したガラス 4 点に関して蛍光 X 線分析と鉛同位体比分析を行った。4 点のガラスはインドから出土したガラスであるが、正確な出土地や時代は不明である。

これらの 4 点の資料から鉛同位体比測定用の試料として約 0.1g を採取し、フッ化水素酸で分解した後、直流 2V で電気分解した。析出した二酸化鉛にリン酸とシリカゲルを加え、レニウムフィラメント上に乗せた。準備したフィラメントを別府大学に設置されている表面電離型質量分析計 MAT262 の中にセットし、1,200°C で測定した。同一条件で標準鉛試料 NBS-SRM981 を測定し、測定結果を規格化した。

3. 分析結果と考察

インド出土のガラス 4 点に関して鉛同位体比分析を行った結果、3 点は設定された東アジア産原料の領域から離れたところに直線上に分布する傾向が現れた。1 点は中国の華北産原料の領域に分布した。

少なくとも今回分析したインド出土のガラスからは N 領域との関連性はみられなかった。韓国の武寧王陵出土のガラスと日本の熊本県の小田良古墳出土のガラス、カンボジア王国出土のガラス、タイ国出土の青銅製品などから確認されている N 領域の原料は、その産地が東南アジア方面にあると推定されている。インドは、東南アジア・アフリカまで広がったインドーパシフィックガラスの初期中心地であり、インドで生産されたガラスが東と西に交易されたと考古学的に示されている。そのため、N 領域の原料の産地を解明する際に、東南アジア諸国と共にインドも N 領域の産地として可能性が含まれていた。

しかし、インドから出土したガラスに関して原料の産地を推定してみた結果、インドのガラスに使用されていた原料は N 領域の原料とは異なることがわかった。このことは N 領域の原料の産地がまだインドには見つかっていないことを意味し、タイ国・カンボジア王国のような東南アジアにある可能性を示唆しているのかもしれない。

本研究はN領域の原料の産地を解明する際に、産地の可能性の一つであったインドについて、インドから出土したガラス製品に関して原料の産地を推定し、N領域の産地がインドにある可能性は低いことを明らかにしたことで意味があるのであろう。

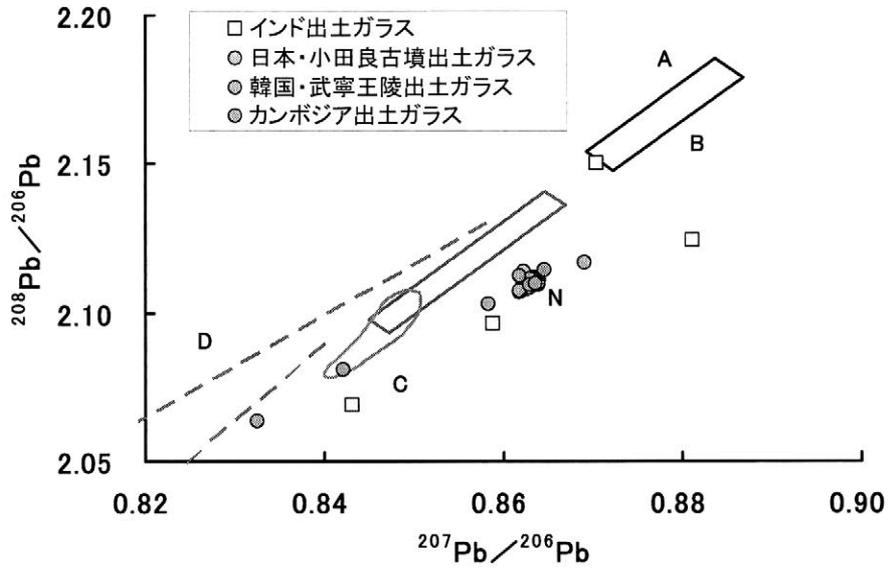


図1 インド出土ガラスと韓国・日本・カンボジア出土ガラスの鉛同位体比
($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ — $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)

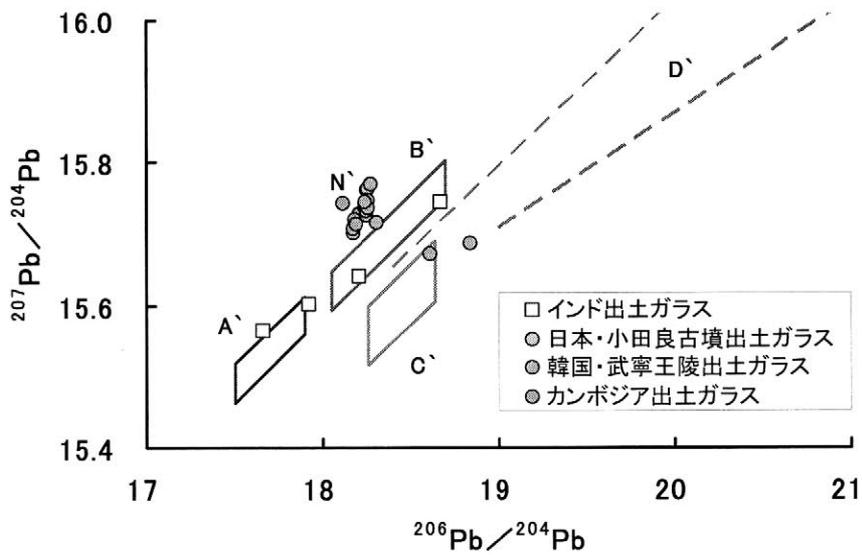


図2 インド出土ガラスと韓国・日本・カンボジア出土ガラスの鉛同位体比
($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)

熱分解-ガスクロマトグラフ/質量分析による出土琥珀の産地推定について(2)

○植田直見 (財団法人 元興寺文化財研究所)

渡邊緩子 (住友金属テクノロジー株式会社)

1. はじめに

出土琥珀の産地推定にはこれまで赤外分光 (FT-IR)、核磁気共鳴 (NMR)、ガスクロマトグラフ/質量分析 (GC/MS) などの分析方法が実施されてきた。しかし、劣化した琥珀については推定が困難な場合が多く課題となっていた。それを解決するためダブルショットパイロライザーを備えた熱分解-ガスクロマトグラフ/質量分析 (Py-GC/MS) を検討した。昨年の学会で熱分解におけるマスキロマトグラムが標準琥珀では産地ごとで異なったピークパターンが得られ、出土琥珀では劣化状態が異なってもマスキロマトグラムのパターンが同じであることがわかり産地推定方法としての可能性が広がったことを報告した。

今回、劣化成分や低分子化合物に焦点を絞り、標準琥珀および出土琥珀について熱脱着におけるマスキロマトグラムを検討した。同時に、出土琥珀の劣化状態を把握するため加熱時の重量変化を熱分析により測定した。これらの結果から出土琥珀の劣化が産地推定におよぼす影響を検討したので報告する。

2. 試料

標準試料として日本における主産地である久慈市 (赤川、川代)、銚子市 (西明浦、犬吠埼)、いわき市 (入間沢、広野町) 周辺の代表的な産地 2 箇所から採取した琥珀を用いて分析を行なった。また、出土琥珀としては青森県三内丸山遺跡、岩手県力持遺跡、新潟県馬高遺跡、長野県梨久保遺跡出土資料 (いずれも縄文時代の遺跡) について同様の分析を行なった。

3. 分析方法

熱分解ガスクロマト質量分析 (Py-GC/MS) はダブルショットパイロライザー (フロンティアラボ製)、ガスクロマト質量分析装置 (バリアン製 Saturn2000 型) を用い、使用カラムとしては DB1×0.25 φ mmID×60m、He 加熱雰囲気下で 350°C、550°C の 2 段階の加熱を行なった。

熱分析は島津製作所製熱分析装置 (DTG-60) を使用し窒素雰囲気下、毎分 5°C の昇温条件で 30°C から 600°C までの熱重量測定 (TGA) と示差熱分析 (DTA) を行なった。

4. 結果および考察

図 1 に琥珀に由来するラブダン型ジテルペン (communic acid) の基本骨格を表わした。琥珀はこのような化合物が架橋し複雑な構造を持つ高分子であり、また様々な不純物が含まれている。

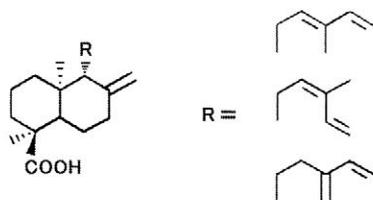


図 1. 琥珀の基本骨格

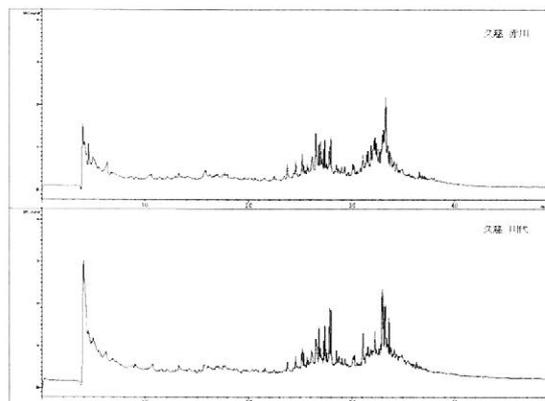


図 2. 久慈市付近産出土琥珀の Py-GC/MS (上段: 赤川 下段: 川代)

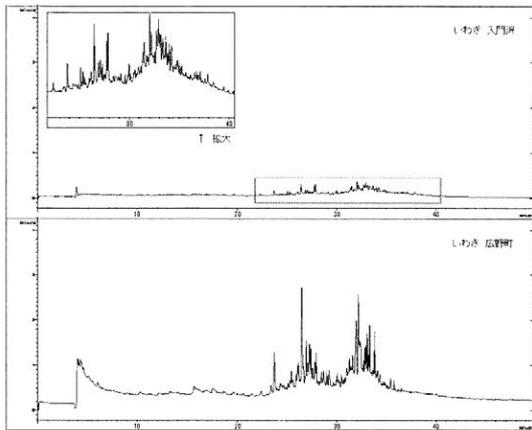


図3. いわき市付近産出琥珀の Py-GC/MS
(上段:入間沢 下段:広野町)

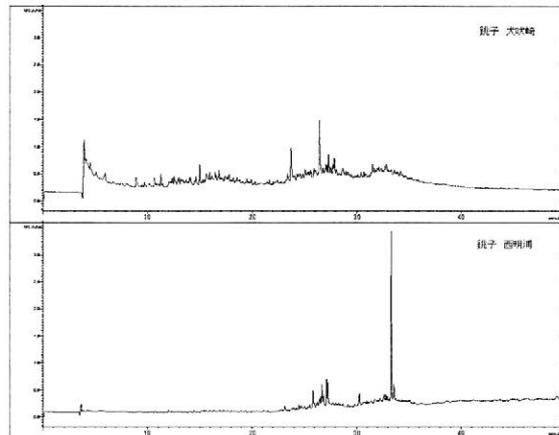


図4. 銚子市付近産出琥珀の Py-GC/MS
(上段:犬吠埼 下段:西明浦)

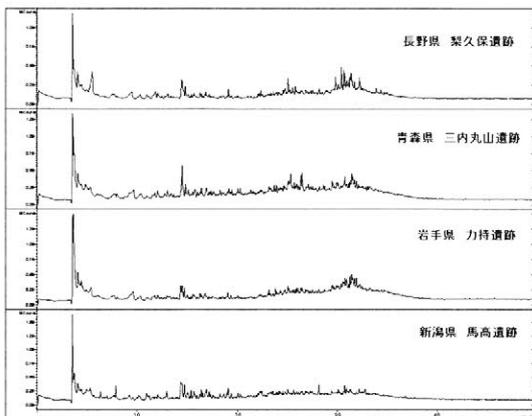


図5. 出土琥珀の Py-GC/MS

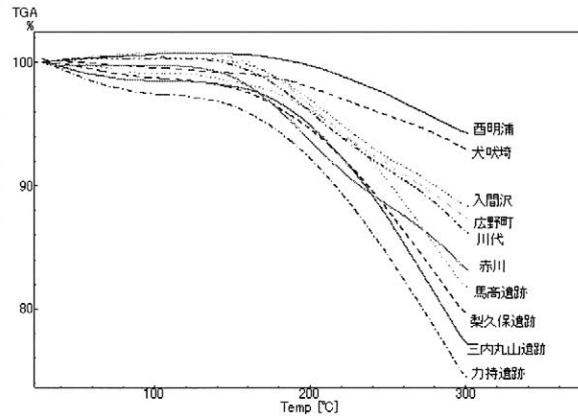


図6. 琥珀の熱重量測定

その結果、Py-GC/MS におけるクロマトグラムは非常に複雑なピークとなった(図 2~5)。また、熱分析では、加熱による重量変化を測定した結果、標準琥珀に比べて出土琥珀は劣化による重量の減少が生じていることがわかった(図6)。

熱脱着におけるマスクロマトグラムについて、標準琥珀は熱分解と同様に久慈・いわき産と銚子産では異なったパターンが得られた。なお、銚子産琥珀は今回分析した 2 箇所では異なったパターンとなった。一方、図5に示した出土琥珀の熱脱着におけるマスクロマトグラムについて、15分付近のピークは出土資料のいずれにも観察され、銚子犬吠埼産試料にも同様に見られた。さらに 20~35 分付近のピークは出土資料では大きく 2 種類のパターンを示すことがわかった。なおこの領域は標準試料でも産地により違いが見られた。

5. さいごに

日本の主な琥珀産地から採取した標準試料と縄文時代の遺跡から出土した琥珀の熱脱着成分について Py-GC/MS による結果を比較した。標準琥珀については前回の熱分解成分の分析と同様に産地による差が見られた。一方、劣化により熱脱着成分の増加した出土琥珀は本来の低分子化合物と劣化成分が合わさったピークとなっていると考えられるがその帰属までは至らなかった。しかし、今回の結果は熱分解成分と熱脱着成分の両者とも産地推定に応用できる可能性があると考えられた。今後さらに分析資料数を増やしデータを蓄積し詳細な検討を加えることで産地推定法として確立したい。

北陸・中部地方を原産地とする黒曜石の定量・定性分析 —黒曜石製遺物の原産地推定に関わる研究—

○杉原重夫¹⁾・金成太郎²⁾・長井雅史³⁾・柴田徹²⁾

1) 明治大学地理学研究室, 2) 明治大学文化財研究施設, 3) 防災科学技術研究所

1. はじめに

蛍光 X 線分析装置を用いた黒曜石製遺物の原産地推定においては、前処理による遺物の破壊を避けるため、遺物に X 線を直接照射した定性・半定量化学組成分析が多く行われている(望月 1996: 藁科・東村 1988 など)。しかし、X 線強度が遺物の状態や装置によって変化するため、測定分解能が悪い。また、他分析機関との比較も出来ない。したがって、遺物についてはやむを得ないとしても、少なくとも原産地における原岩の定量分析値を提示しておき、非破壊試料の定性分析においても同様な結果が得られることを確認しておく必要がある。本報告では北陸・中部地方の黒曜石原産地採集試料について定量分析を行い定性分析結果と比較した。また、原産地推定結果に基づいて北陸地方の黒曜石利用についても検討した。

2. 蛍光 X 線分析

試料は北陸・中部地方の黒曜石原産地(図 1)で採集した。定量分析は試料:融剤(Li₂B₄O₇)比=1:5のガラスビードを作製して波長分散型蛍光 X 線分析装置(リガク製,RIX1000)を用いて行った。検量線作成条件は長井ほか(2008)に準じた。定性分析は原岩を打ち割るか、岩石カッターで切断してスラブ状試料を 20 個以上作製し、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装(JEOL 製,JSX3100s)を用いて分析した。

3. 定量・定性分析結果

今回新規に測定した北陸や中部地方南部の原産地について、以下に定量分析の結果得られた全岩化学組成を概観する。大部分は SiO₂=75wt%以上の流紋岩質であるが、御嶽や三里山は安山岩~デイサイト質であった(図 2)。これらは不均質では石器製作に不向きである。ハーカー図(SiO₂変化図)上で特徴的な点について述べると、下呂や医王山、安島、大白川の一部は K₂O や Rb に乏しく、CaO, Sr, Ba に富む。特に下呂は MnO にも富んでいる点で特徴的である。比那は K₂O に富むが Rb に乏しい。板山と上石川の一部は MnO に富み Zr に乏しい。堂林と鳳来寺は Rb に富み MnO に乏しい。なお、医王山や大白川などは広い範囲に分布することから、さらに原産地を細分できる可能性が高い。また、板山と上石川の一部のように常に同じ挙動を示す場合は、起源について詳細に検討する必要がある。

定性分析で用いられている元素比を用いた表現においても、これらの特徴の組み合わせにより区別が可能である(図 3 上段)。定性分析による元素強度比の結果も同様である(図 3 下段)。ただし霧ヶ峰などの中部地方全体の原産地を含めた場合では、図上で非常に近接する場合もあるので、肉眼や鏡下の特徴も含めた総合的な判断をする必要がある。

4. 北陸地方の黒曜石利用

北陸地方を原産地とする黒曜石の利用状況を明らかにするために、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県などから出土した遺物を分析した。北陸地方から産出した黒曜石は近接した遺跡で利用される傾向が認められた。中部地方の霧ヶ峰産黒曜石は北陸地方でも多く利用されているほか、東北地方や神津島産の黒曜石も利用されていた。

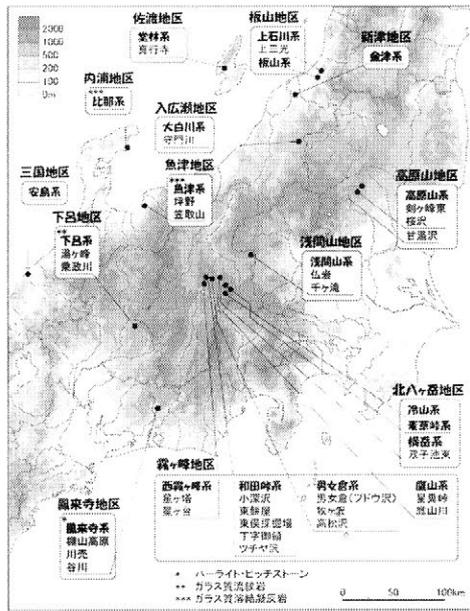


図1 北陸・中部地方の黒曜石原産地

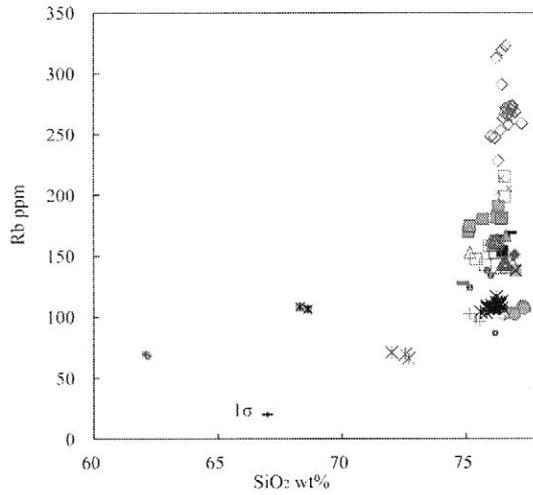


図2 北陸・中部地方の全岩化学組成: SiO₂-Rb 図

凡例 (図2・3共通)

- 堂林系
- 板山系
- △ 上石川系
- +
- ◆ 金津系
- 大白川系
- 魚津系
- 医王山系
- +
- 比那系
- × 安島系
- × 三里山系
- 下呂系
- × 御嶽系
- × 鳳来寺系
- △ 西霧ヶ峰系
- ◇ 和田峠・鷹山系
- 男女倉系
- 麦草峠
- 冷山系
- 横岳系
- × 浅間山系
- × 高原山系

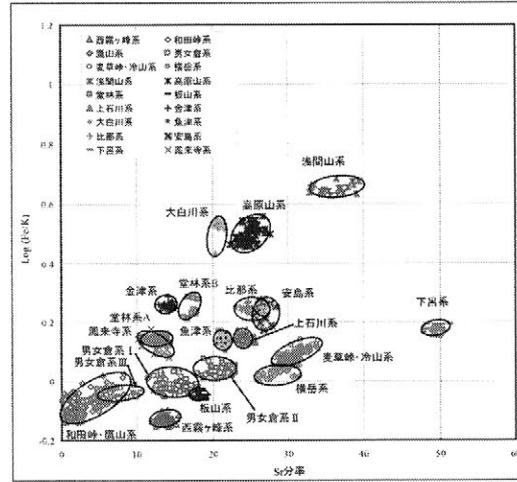
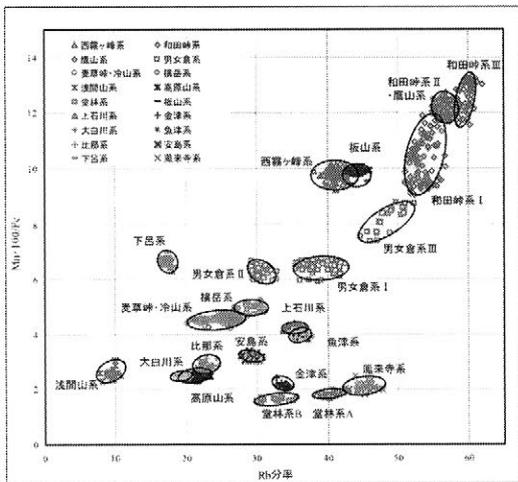
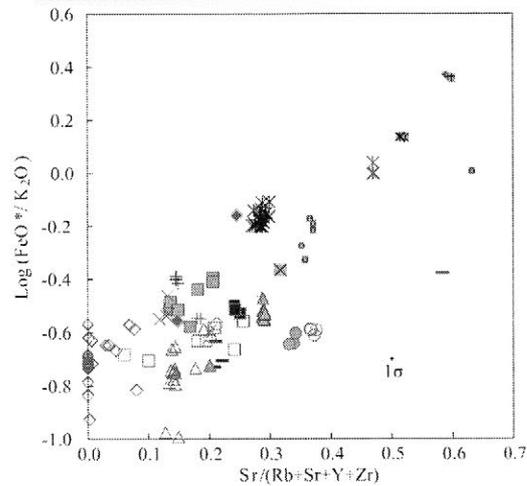
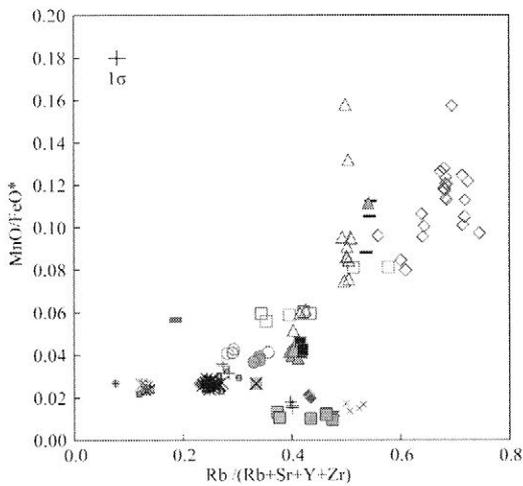


図3 北陸・中部地方産の黒曜石の判別図

上段: 定量分析による。全鉄はFeO+Fe₂O₃をFeO*の形で表した。
 下段: 定性分析による。石器原料として良質なもののみを使用している。

土器製作者個人の高確度同定法の開発 —製作工具痕の同定を中心として—

○中園聡，川宿田好見，黒木梨絵，平川ひろみ（鹿児島国際大学）

はじめに

本研究は、土器製作者を高確度で同定する方法を飛躍的に発展させる方法の開発研究の一貫として行ったものである。通常考古学的観察に加え、顕微鏡による痕跡の微細観察、レプリカ法の応用による工具痕のマッチングや、三次元スキャナ等による工具痕の取得と立体的マッチングのほか、蛍光X線分析による胎土の一致度の評定、製作者の身体技法への着目など、様々な方法を総合的に検討しており、それらの組み合わせによる多角的方法を採ることによって、土器製作者に実証的に接近可能であると考えている。

「産地」推定を究極まで推し進めれば、「産地」を構成する製作者個人に至る。したがって、個人同定・個人識別は、ミクロな生産・供給関係の実態把握につながるとともに、従来の「産地」研究とは質の異なる考古学的情報の把握にも役立つと期待される。また、理論的・方法的に産地推定の研究に資するところがあると考えられるため、産地推定の新たな展開へも結びつけたい。ここでは、特に土器の製作工具痕の3D形状計測と、それを用いた工具痕間のマッチング法に焦点を当てる。考古学においてこれまで条件の良い特徴的なものを除いて同定が非常に困難であった、タタキ痕のマッチング、すなわち同一タタキ具の同定に成功し、十分実用できるという手ごたえが得られたほか、押捺・刺突などその他の文様や工具痕でも成功しつつある。ここではタタキ痕を中心に報告する。

試料と方法

弥生土器、須恵器等のほか、現代タイの民族資料、実験製作による土器のタタキ痕を中心とする。三次元レーザースキャナ（Roland社製LPX-1200）を用いて形状計測を行った。0.1mmメッシュで対象範囲を計測した。大きなものなど現物の測定が困難なものについては、シリコンによるレプリカ法（丑野・田川1991）で必要な部分の形状を写し取って計測に供した。取得した3D画像をパソコンのモニタ上で重ね合わせ、評定した。

結果と考察

タタキは基本的に成形時に施される。変形が目的であるため、力加減によって前に施されたタタキ痕を変形させるなどの影響が生じ、また重複しつつ施されるため、切り合いによってもある程度の差が出る。さらに、タタキ具の同一面でも完全に同じ部位が用いられるわけではなく、ほぼ同じ部位が使用されるにすぎない。そうしたことを考慮しつつマッチングを実施したが、試みた例ではいずれも立体的マッチングに成功したといえる。

図1・2に示したように、同一個体内でも異なる個体間でも、条線の幅やピッチが完全に一致している。比較的広い範囲にわたってマッチしており、両者の差分は歪みが少ないものの場合、±0.1mm程度に収まっている。多少歪みがあるものでも±0.3mm程度以内の場合が多く、タタキ痕の場合、この程度の差であれば十分一致したと判断できる。以上より、本法はタタキ痕の比較にとって非常に有効と判断する。

なお、拓本や写真では表現しにくい微妙な凹凸などについても、3Dとしてデータを可視化することによって、繰り返し生じていることが確認できることがしばしばある。したがって、偶然の所産ではなくタタキ具そのものにあるキズやすり減った条線であることなどが判断できる。このように三次元化して比較するメリットが大きいことが確認できた。

今後の課題

同一製作具の同定において、ハケメについては高解像度断面スキャン法を既に開発したが、3Dスキャナを使用することでその対象をタタキ痕に拡張することができた。刻目や工具先端痕など工具の押捺や刺突などによるそれ以外の土器調整痕や文様に対しても成功しつつあり、さ

らに方法を洗練させることで多くの痕跡に拡張できる見通しがついたといえる。さらに、縄文時代早期の押型文に対する試行の結果、かなり本法が有望であることも確認できた。したがって、この成果は、「個人」同定研究だけでなく土器研究一般に応用できるであろう。

なお、今後さらなる検討と改善を重ねて確固たる方法を確立したい。ご教示・ご協力をお願い致します。

(本研究は、科学研究費補助金・基盤研究 (B) (課題番号 21320150) の助成を受けたものである。)

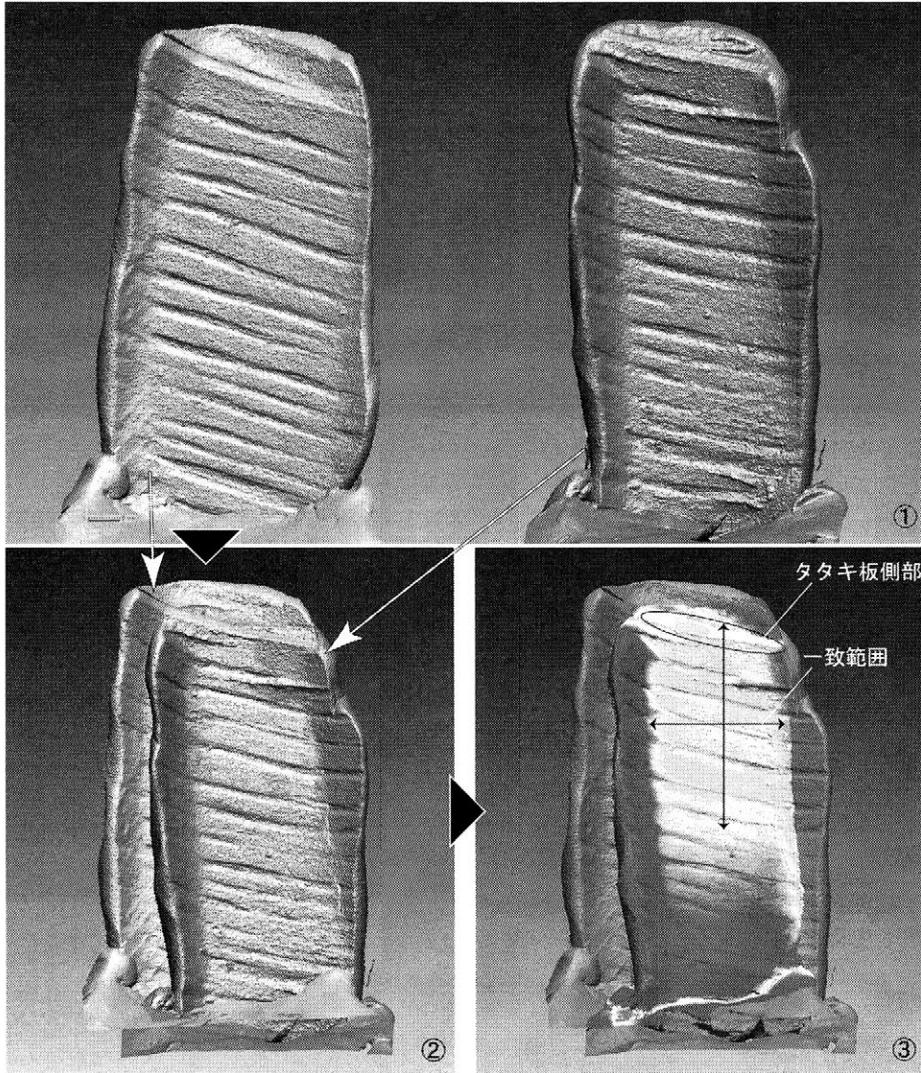


図1 同一個体内におけるマッチング(実験品)

- ①被検討試料の三次元データを取得
- ②位置合わせ
- ③偏差の表示

平行タタキメの条線がなす凹凸だけでなく、タタキ板側部の痕跡もよく一致している。

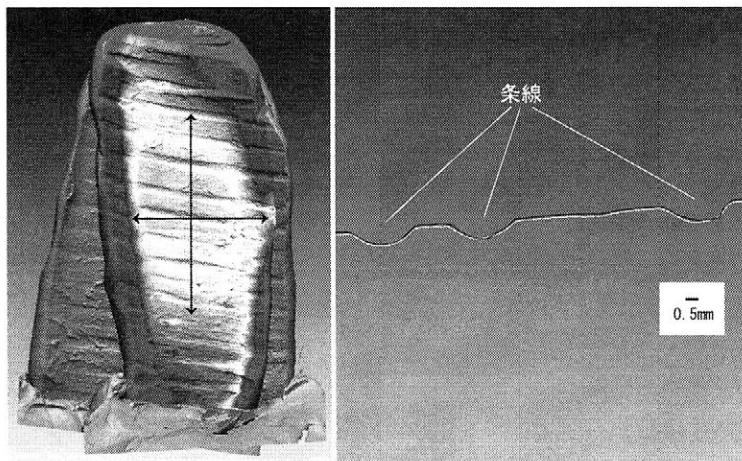


図2 個体間におけるマッチング(実験品)

左：別個体どうしのタタキ痕のマッチング。図1に示した同一個体におけるタタキ痕と同程度の一致がみられる。

右：位置合わせ後の縦断面の拡大。2本のライン(白線と黒線)がよく一致している。

鳥取県伯耆町井後草里遺跡出土土器の蛍光 X 線分析

松本直子 (岡山大学), ○黒木梨絵 (鹿児島国際大学), 長田康平 (伯耆町教育委員会), 泉さやか (鹿児島国際大学), 高原裕介 (鹿児島国際大学), 中園聡 (鹿児島国際大学)

はじめに

これまでの蛍光 X 線分析を用いた胎土分析によって、須恵器・埴輪・古代瓦等の生産遺跡(窯)と消費遺跡の関係など、生産・流通システムの把握において大きな成果が得られてきているが、さらに追求が必要な課題も多く残されている。なかでも、縄文土器・弥生土器・土師器その他へ拡張して同法を適用していくことも重要である。その場合は古墳時代以降で想定されている生産・流通システムと違いがあることが当然想定され、土器に対する社会的意味なども多様でありうることから、産地推定にとどまらず、考古学的諸問題の解決を視野に入れた分析の実践が必要となると考えている。

そうした研究の一貫として、鳥取県伯耆市大滝字井後草里遺跡から出土した縄文土器・弥生土器について蛍光 X 線分析による胎土分析を実施した。

試料と方法

岡山大学考古学研究室による井後草里遺跡 2 次・3 次調査で出土した、縄文時代早期・後期・晩期および弥生時代後期土器、計 30 点を試料とした。

分析は、三辻利一の方法により実施した。なお、貴重な資料であるため、試料の採取に先立ち、写真撮影、特徴の詳細な観察等を行うとともに、三次元レーザースキャナを用いた形状計測を行い記録した。土器の付着物や汚染を除去するためにミニターを使用して研削を行ったが、試料採取にあたっては基本的に特徴のある部位は避け、断面から慎重に採取するなどして保存に配慮した。粉碎にあたっては、タングステンカーバイド製乳鉢で微粉碎した。いずれも 105°C で 1 時間乾燥させた。その粉末試料を内径 20mm、厚さ 5mm の塩化ビニール製リングに入れ、プレス機で約 13t の圧力をかけてペレットを作製し、鹿児島国際大学に設置されている完全自動式の波長分散型蛍光 X 線分析装置(リガク製 ZSX100e)を使用して蛍光 X 線分析を行った。Rh 管球(管球出力 3.0kW)、真空条件下で同一の X 線出力(50kV, 50mA)、分光結晶は RX25, LiF1 を使用し、各元素を 60 秒間測定した。以上の手順で、Na, Mg, K, Ca, Ti, Fe, Rb, Sr の 8 元素を測定した。本機には最大 48 試料が装填できるが、その中に岩石標準試料 JG-1 も常に含まれている。1 セットごとにそれを測定することによって、定量分析のための標準試料とすると同時に、自動分析の定常状態での進行の確認を行う。分析値は、各元素の X 線強度を JG-1 の X 線強度で割った標準化値で表示する。

結果と考察(図 1・2)

試料にはかなりの時期幅があるが、無色鉱物(長石・石英)がかなり目立ち、有色鉱物では黒雲母がほとんどみられず、若干の黒色鉱物や火山ガラスを含む特徴を共有している。

縄文時代早期は、燃糸文土器と押型文土器(楕円押型文:黄島式)であり、Rb - Sr 図において、Sr 値は後者が大きく前者が小さいようにも見えるが、Sr 値が最も小さい 2 個体(No.5 と No.7)はそれぞれ燃糸文と楕円押型文である点が注意される。この 2 個体の分析値は全元素で酷似しており、同一個体で異種の文様を共存する可能性も一応考えられるほか、別個体とすれば胎土素材が酷似したものといえる。他にも同一個体の可能性のあるものを含むことを考慮すれば、燃糸文土器と押型文土器の間で胎土の差を積極的に論じるのは困難かもしれない。なお、燃糸文と楕円押型文はほぼ同時期と考えて差支えなく、胎土の類似性は両者の関係を知る上で有効な情報となり得よう。これらを早期土器として一括すれば、全体としての布置は縄文時代後期土器の布置と概ね重なる(図 1)。同一個体の可能性をうかがわせる分析値と挙動の類似は、楕円押型文では No.6, No.11, No.12 の間にみられる(この 3 点は Ti 値がその他より特に大きい)。燃糸文では No.1 と No.3 の間にも分析値の類似がみとめられる。

後期の磨消縄文土器 No.13 と No.28 も類似した挙動をとる。早期土器や他の縄文土器の布置におさまっており、在地製作の可能性が考えられる。

晩期土器No.24は、Ca, Sr値がやや高めであるなどの特徴があるが、他の縄文土器の範囲に収まっている。

弥生土器5点中4点は、調整法や色調、内面ヘラケズリによる薄い器壁、実体顕微鏡レベルでの鉱物組成という諸点で類似しているほか胎土の化学特性がかなり類似しており、これら4点中に同一個体が含まれる可能性が濃厚である。いずれも小片のため全形をうかがえないが、全て外面に煤の付着がみられる。もし、これらが全て別個体であれば、諸特徴が類似していることに加え胎土もかなり類似しているため、同時性の高さや素材の共通性を示唆する。これらとやや離れて布置される1点 (No.23) は、それらと色調が異なり、やや厚手であることなど特徴に差異がある。弥生土器の布置は縄文土器の示す変異幅におさまっていることも注目でき、やはり在地製作の可能性が示唆される。

おわりに

以上より、本遺跡の試料には積極的に異所的な特徴を示すといえるものはなく、大局的に見て在地的胎土の化学特性として把握すべきであろう。ただし、周辺遺跡の試料の計画的な分析などが必要であり、今後の課題といえる。

また、胎土が酷似する試料が複数存在するため、同一個体か、さもなければ別個体の同時製作品である可能性が指摘できる。もし同時製作の別個体であれば、同一製作者であるのか、それとも胎土調整のクセを共有する社会的関係が近い複数の製作者によるのかなど、考古学的に高次の解釈を行う上で重要な情報となり得る。今後、個体間の文様原体のマッチング等と併せて検討することで、さらなる評価が可能になってくるであろう (なお、試験的に立体的マッチングを試みたところ、No.8とNo.9は同一原体の可能性が高い。分析値の挙動は類似するが同一個体といえるほどの酷似ではない)。

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究 (B) (課題番号 21320150)、同 (課題番号 20320123) の助成を受けたものである。また、若手研究 (B) (課題番号 18720211) による資料を活用した。記して感謝します。

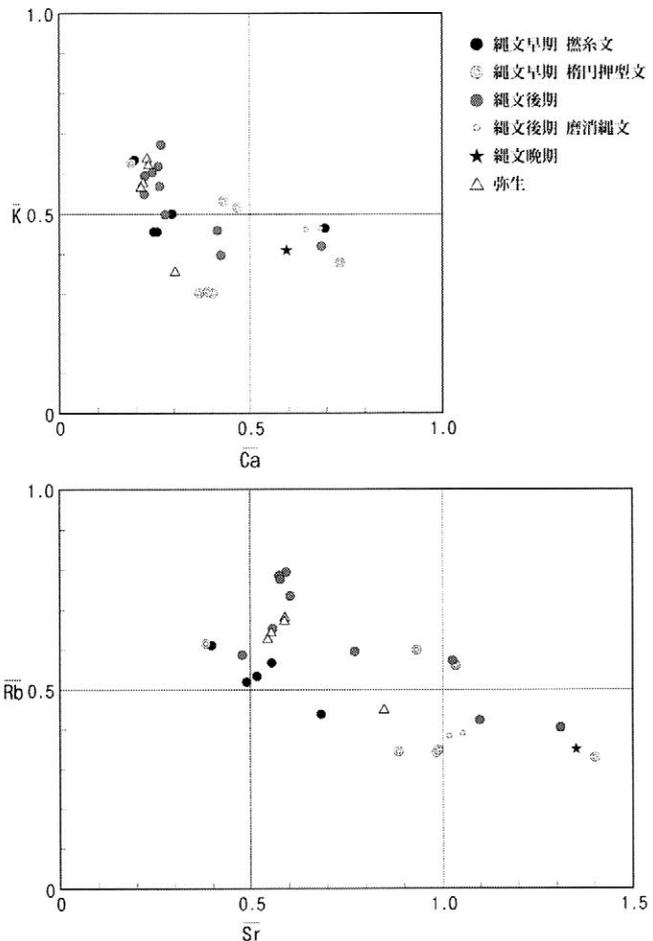


図1 K-Ca, Rb-Sr 分布図 (標準化値)

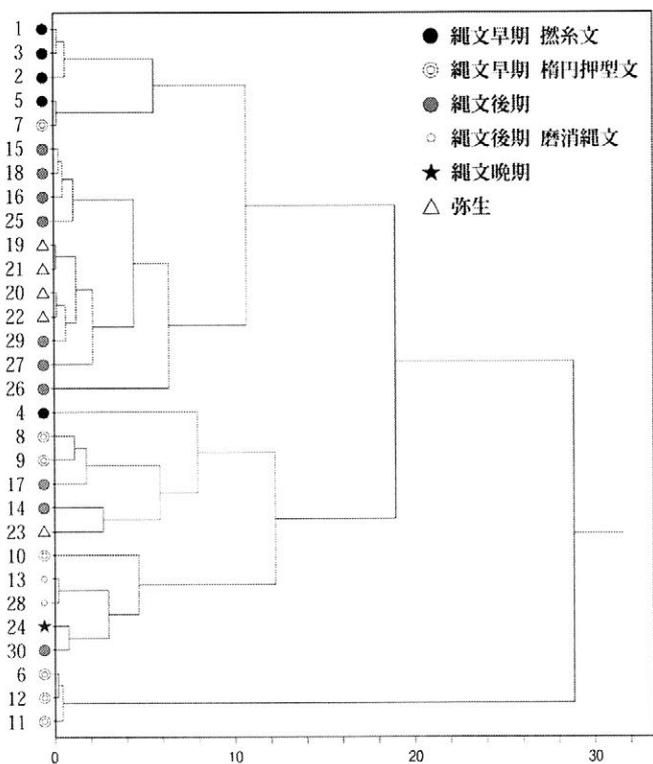


図2 クラスタ分析結果

土器製作者個人の高確度同定法開発のための復元土器の多角的検討

○平川ひろみ，重信美那子，中園聡，川宿田好見，黒木梨絵，
泉さやか，新屋敷久美子，太郎良真妃，稲垣友裕（鹿児島国際大学）

はじめに

本研究は，土器製作者個人の高確度同定法の確立を目指した研究の一環として実施したものである。いわゆる“鑑識眼”に頼ることなく，より実証的に同一製作者による土器を識別する方法の開発が重要であり，より個人に接近するためにはハケメなど限定された工具痕のマッチングのような同一工具使用の証明にとどまらず，身体技法や胎土情報を含むその他の情報を得る必要があると考えている。そのため，多角的なアプローチが必要となる。

ここでは弥生土器を模倣して復元された土器について，これまでに開発した，あるいは現在開発中の諸方法を適用して適切に判別できるか，ブラインドテストを実施した。

試料と方法

北部九州の弥生時代終末期頃の器台をできるだけ忠実に模した土器 10 個体が，2 名によって作製された（図 1）。併せて弥生時代中期末頃の小型の甕形土器 1 個体も，うち 1 名によって作製された。あらかじめ用意された以上の土器を用いて，製作者に関する情報を知らないグループ（中園らの方法を習得済み）が分析を実施したが，その際，同時性の高い状態で一括出土したと想定してもらい，複数の製作者による土器群であり，製作者数とそれぞれの製作者による個体を明らかにしてほしい旨の教示が与えられた。

使用された方法は，次のとおりである。型式学的観点から詳細観察を行ったうえで，工具の動きや角度，手順など身体技法に係る側面からの検討が行われた。これによりおよその推定がなされた後，各部位のサイズなど計測的属性を用いた多変量解析（PCA，クラスター分析），非計測的属性を用いた多変量解析（数量化Ⅲ類）が実施された。また，蛍光 X 線分析による胎土分析（三辻利一の方法）が実施された。さらに，シリコンレプリカ法（丑野・田川 1991）を応用してハケメのレプリカを取得し，中園らによる「高解像度断面スキャン法」によりハケメ断面形状のマッチングが実施された。一方，タタキ痕については，三次元レーザースキャナ（Roland 社製 LPX-1200）を用いた計測を行い，立体的マッチングが実施された。

結果と考察

型式学的観察では中間的な要素をもち判断が難しかった 1 個体（2）があるが，最終的に形態やクセに大きく 2 群（Ⅰ群とⅡ群）があると推定された。次に，非計測的属性を抽出したアイテム・カテゴリーデータに対して数量化Ⅲ類を適用したところ，やはりそれと対応する 2 群が

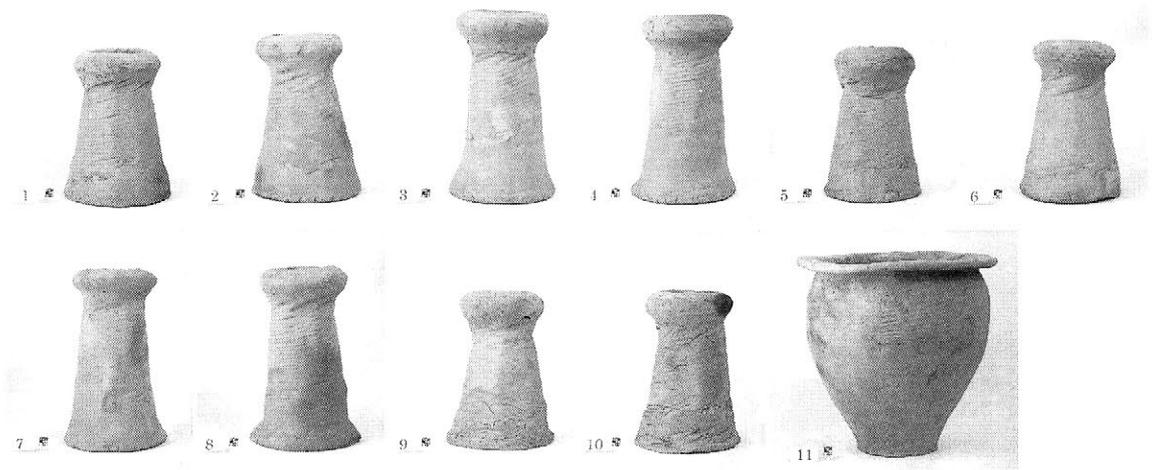


図 1 復元土器

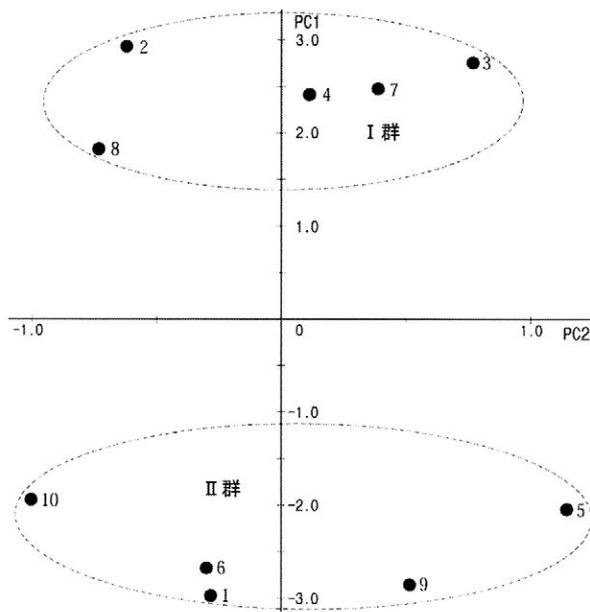


図2 胎土のPCA結果

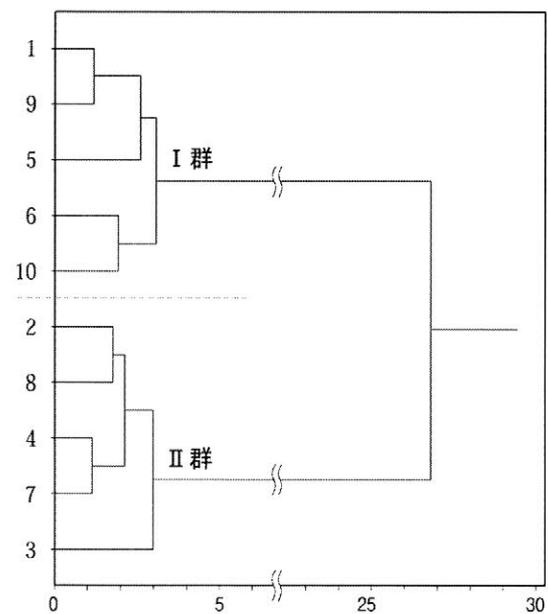


図3 胎土のクラスター分析結果

形成された(図2)。また、計測的属性を用いたPCAとクラスター分析でも、この結果が支持された。

胎土は、全個体がかなり類似した化学特性を示すが、各元素のプロット図を仔細に見れば2群が形成されていた。全元素の分析値を用いてPCAとクラスター分析を適用したところ、やはり2群に分かれることが判明した(図3)。いずれの2群も前記のものと対応する個体からなっているほか、各群の胎土は同時製作(同一人物による同時の胎土調整=クセの反映)とみなせるほど類似性が高いと判断された。

ハケメ断面のマッチングの結果、全個体で2種類のハケメ工具が使用されていると判断された。ハケメ工具も2群に対応していた。タタキ痕の立体的マッチングにも成功し、2群はそれぞれ別種のタタキ具が使用されていることが判明した。

以上より、2群はそれぞれ個人に対応する可能性が高く、2名による作品と判断された。

この結果は、実際の2名の製作者による作品群と完全に一致しており、誤判別はなかった。よって、ここで用いた多角的検討には一定の有効性があると考えられる。

おわりに

この種のテストとしては初期段階であり、ここでは小規模かつ比較的単純な構成としたが、今後はより条件を複雑化して実施するとともに、より実資料に近く、想定外の行為など、より困難な条件が想定される現在の民族例(伝統的土器製作の資料)での個人同定のテスト等を経て、遺跡出土土器に適用し、確度の高い個人同定法の確立へに向う予定である。

(本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(B)(課題番号21320150)の助成を受けたものである。)

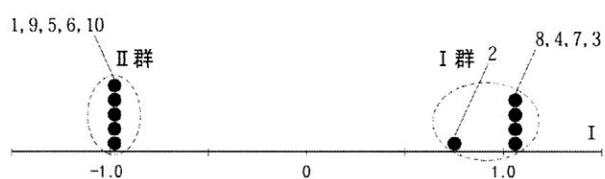


図4 非計測的属性の数量化Ⅲ類分析結果(I軸)

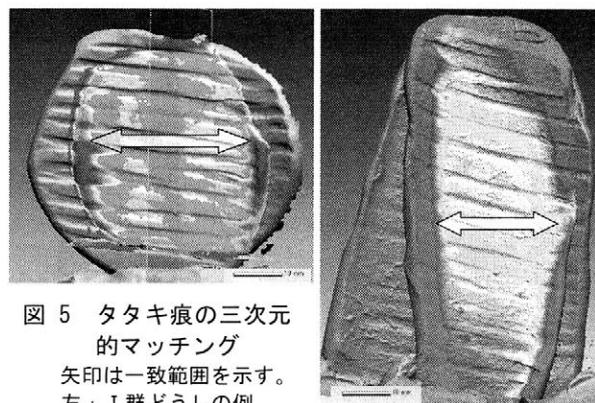


図5 タタキ痕の三次元的マッチング
矢印は一致範囲を示す。
左: I群どうしの例
右: II群どうしの例

岡山県岡山市犬島貝塚における石器石材の研究

— 蛍光 X 線分析による —

○大智淳宏・白石純・富岡直人（岡山理科大学）

1. はじめに

犬島貝塚の貝層は、出土した土器の編年、炭化物と貝殻の¹⁴C年代測定法より、縄文時代早期と推定されている。1～3次にわたる発掘で、上層～下層より総数182点の石器が検出された（大智2008、2009）。本発表では、この遺跡の縄文時代早期の層序より出土した石器群を中心として、石材の蛍光X線分析について述べる。

2. 分析方法

犬島貝塚出土石材は、182点中164点がサヌカイトであった。その他にチャート、花崗岩（アブライト）、黒曜石がみられた。このうちサヌカイト28点について蛍光X線分析を実施した。比較試料としてサヌカイトの原産地である金山、国分台、蓮光寺採集の試料と、黄島貝塚出土石器を用い、あわせて測定した。

分析対象は、デジタルスチールカメラでの撮影後、エアブラシ（モリタ製作所製ジェットブラストII）によって表面の風化層を除去し、エネルギー分散型蛍光X線分析装置（セイコーインスツルメンツ社製SEA2010L）を用いて測定した。剥片、チップであった2点については非破壊、それ以外は破壊分析を実施した。測定元素は白石（2008）に基づきSi、Ti、Al、Fe、Mn、Mg、Ca、Na、K、Pの10元素を選択し、定量的データを得ることとした。

3. 考察

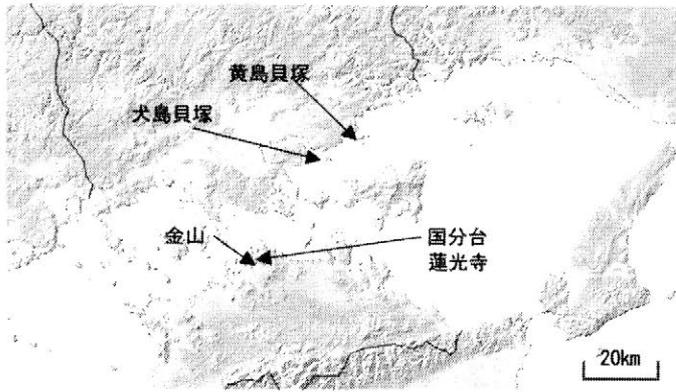
得られたデータを比較したところ、Fe、Ti、Kの各元素に顕著な差異がみられた（第1表）。このことからFe/Ti比、K/Ti比を計算し、XY散布図を作成した（第3図）。第3図にサヌカイトの原産地分布域の矩形図を示すとともに、犬島貝塚と黄島貝塚出土石器の測定値をプロットした。両貝塚とも香川県金山東産、蓮光寺産の2つの原産地分布域に測定値が分布した。わずかに両産地の分布域から外れるものが3点あるが、数値が極めて近いことから両原産地に属する可能性が高いと考えられる。今後、原産地で得られる試料を増加させ、矩形図についても再検討する必要があると指摘される。

犬島貝塚と黄島貝塚では、チャート製の異形局部磨製石鏃がともに出土している。肉眼観察では犬島貝塚のチャートは赤色泥岩と推定される。黄島貝塚のチャートは全て乳白色を呈している。いずれも産地は不詳であるが、現在までの所それぞれの島内ではこの種の石材が採集されておらず、異地性の石材と考えられる。検討の必要性が指摘される。

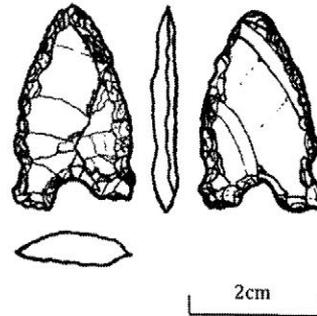
犬島貝塚からは黒曜石のチップが2点出土しているが、どちらも縄文時代早期の層位ではなく、古墳時代に前方後円墳を貝塚上部に造営した時、攪乱された層位から出土した。現在までの非破壊分析の結果では、既知の産地からの試料とのマッチングが得られず、得られたデータの信頼性について再分析を通して検討する予定である。

4. 結論

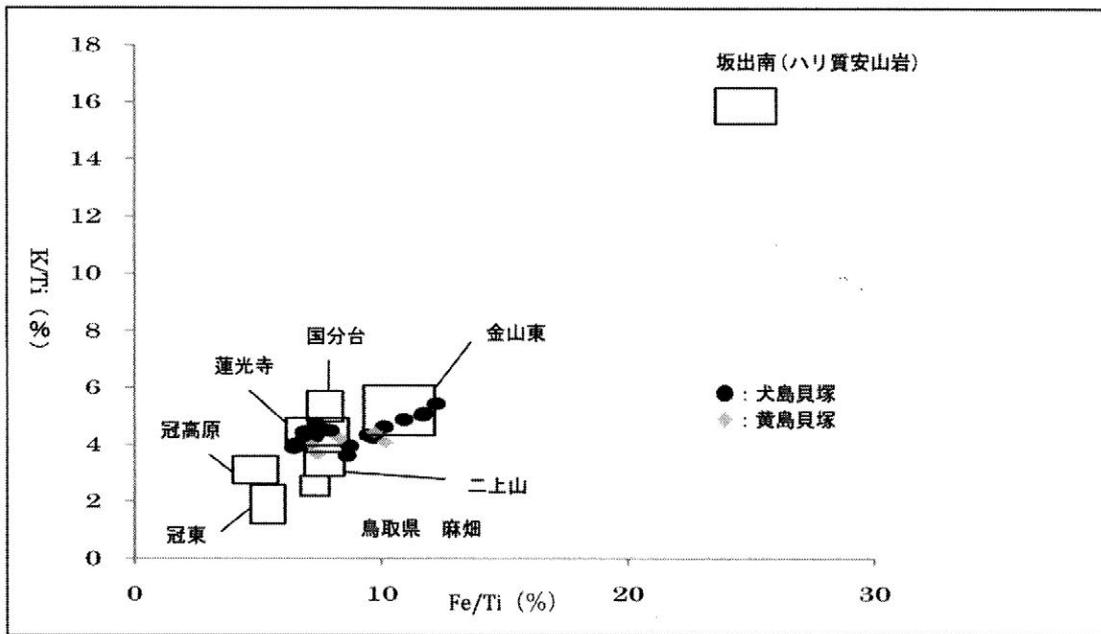
犬島貝塚、黄島貝塚出土のサヌカイトは香川県金山産、蓮光寺産と推定された。この2貝塚は同時期のものとされており、出土石材や石器群の構成も類似している。縄文時代早期では讃岐瀬戸地域は陸化した部分が広く存在し、この地域は汽水湖に面していたと考えられる。そのためこれらの貝塚を残していた縄文人は、陸づたいで容易に香川県のサヌカイト産地から石材を入手していたものと推定される。



第1図 犬島貝塚、黄島貝塚の位置



第2図 犬島貝塚出土
チャート製異形局部磨製石鏃



第3図 サヌカイト産地推定結果

第1表 サヌカイト分析結果

試料番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
登録番号	661	719	726	740	787	792	1176	1181	1184	1187	1222	1243	1320	1321	1322	1347	1352	1353		
犬島貝塚	Fe/Ti	7.73	9.46	7.73	7.92	6.43	9.46	6.43	7.04	7.25	12.23	6.75	7.35	10.12	8.8	6.75	8.7	6.87	7.29	
	K/Ti	4.5	4.33	4.5	4.46	3.88	4.33	3.88	4.22	4.42	5.44	3.98	4.71	4.62	3.8	3.97	3.95	4.2	4.27	
試料番号	19	20	21	22	23															
登録番号	1361	-	-	-	-															
犬島貝塚	Fe/Ti	6.58	6.85	9.68	11.84	10.91														
	K/Ti	4.02	4.44	4.25	5.02	4.87														
試料番号	24	25	26	27	28															
登録番号	-	-	-	-	-															
黄島貝塚	Fe/Ti	7.15	10.13	9.71	8.31	7.4														
	K/Ti	3.98	4.06	4.42	4.2	3.65														

引用文献

- 遠部慎編 2009 『犬島貝塚 2009』 [犬島貝塚調査保護プロジェクトチーム]
- 遠部慎編 2009 『犬島貝塚』 [六一書房]
- 鎌木義昌 1996 『瀬戸内考古学研究』 [河出書房新社]
- 白石純 2008 「大河内遺跡出土サヌカイトの産地分析および土器の胎土分析」『大河内遺跡』 [岡山県教育委員会] : pp. 173-176

謝辞 この分析において下記の方に多大なる御協力を頂きました。遠部慎、岡嶋隆司、竹内信三、瀬戸内市教育委員会、若松幸史、能美洋介、小野伸

携帯型蛍光 X 線分析装置および帯磁率計を用いたメソポタミア出土粘土板の非破壊分析

○内田悦生・佐々木利基(早稲田大学理工学術院)・渡辺千香子(大阪学院大学国際学部)

1. はじめに

メソポタミア文明においては文字の記録媒体として粘土板が用いられており、この粘土板には楔形文字を用いて記録が行われていた。最古の粘土板は紀元前3300年頃にさかのぼり、紀元前2100～2000年頃のウル第三王朝期のものが最も多く出土している。この粘土板文書には、経済、行政等に関する内容が書き記されている。本研究では初期王朝時代から新バビロニア時代の主要都市であるウル、アダブ、ウンマ、ラガシュ(ギルス)、ドレヘム(ブズリシュ・ダガン)、ニップル、シッパル、ウルクの8地域から出土した粘土板の中から経済文書を選んで化学組成分析および帯磁率測定を非破壊法によって行ない、その土(粘土)の供給源を明らかにすることを目的とした。

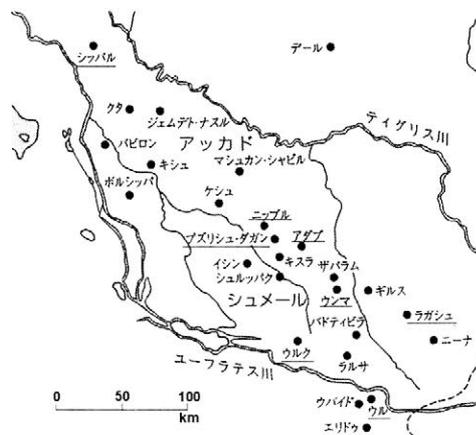


図1 メソポタミア地方の地図

2. 調査・分析方法

本研究では米国エール大学に収蔵されている粘土板(エールバビロニアンコレクション)およそ180個に対して、帯磁率測定および化学組成分析を行った。帯磁率測定は、チェコのZH Instruments社製携帯型帯磁率計SM-30を用いて行った。この帯磁率計は10cm四方以上の面積と5cm以上の厚さを有し、測定面が平らである試料に対して使用されるべきものであることから、表面積および厚さに対する補正を行ったが、形状に対しては適切な方法がないことから補正を行わなかった。化学組成分析にはInnov-X Systems社製の携帯型蛍光X線分析装置α-4000を用い、岩石標準試料を用いて検量線を作成し、分析値に対して補正を加えた。

3. 測定結果および考察

地域・年代によって系統的な違いを示したのはRb、Srおよび帯磁率であった。そこでRb-Sr図および帯磁率-Sr図を作成して比較を行った。この二つの図において二つの領域を区別することができた。その典型として、ウンマ、アダブ、ウル、ウルク出土の粘土板の分布域をA領域、ドレヘム出土の粘土板の分布域をB領域とした。Rb-Sr図(図2.1)ではA領域はSr含有量が低く、Rb含有量がやや高い所に位置し、分布域が狭い。それに対してB領域はSr含有量が高く、Rb含有量がやや低い所に位置し、分布域が広がっている。帯磁率-Sr図(図2.2)においてはA領域は帯磁率、Sr含有量共に低く、分布域が狭く、B領域は帯磁率、Sr含有量共に高く、分布域が広がっている。これら二つの領域の違いは粘土板の土の供給源の違いを反映していると考えられる。比較的流れの穏やかな場所における河川・運河堆積物はその組成が広域に渡って均質になるとともに、水との接触時間が長いためにSrの溶出や磁鉄鉱の変質が起りやすく、これはA領域の特徴に一致する。他方、氾濫原堆積物では様々な岩石由来物質が混ざり合うために幅広い組成範囲を示し、河川・運河堆積物と比べて風化が起きにくいことが考えられ、これはB領域の特徴に一致する。これらのことから、A領域に分布するものは河川・運河堆積物とその供給源であり、B領域に分布するものは氾濫原堆積物とその供給源であると考えられる。シッパルの粘土板(図2.3, 図2.4)は、B領域中のA領域に近い場所にまとまって分布している。A領域に分布する地域と比べて、シッパルは上流に位置していることから、風化の程度が相対的に小さいためSr含有量が高く、かつ帯磁率が大きくなっていると考えられ、その供給源として

上流の河川・運河堆積物が考えられる。また、ニップルおよびラガシュでは(図 2.5, 図 2.6) 両方の領域に渡って分布しており、河川・運河堆積物および氾濫原堆積物の両方が供給源として考えられる。

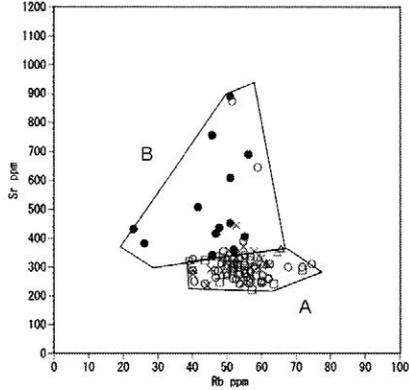


図 2.1 Rb-Sr 図

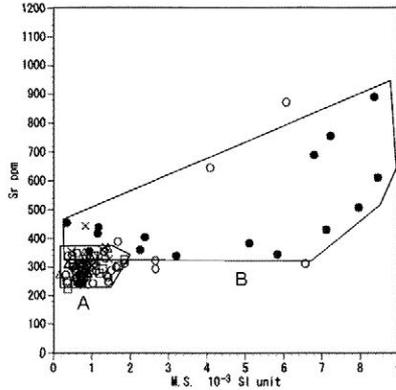


図 2.2 帯磁率-Sr 図

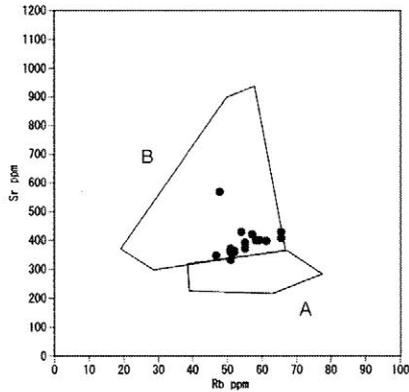
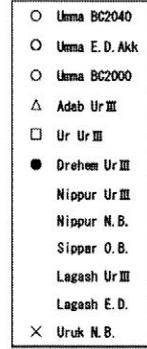


図 2.3 Rb-Sr 図 (シッパル)

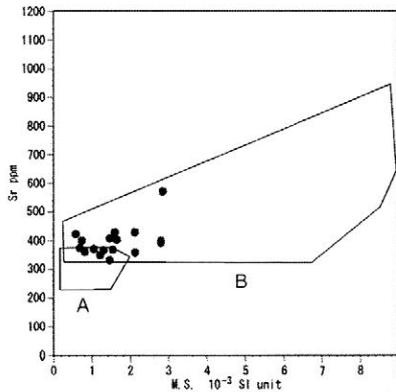


図 2.4 帯磁率-Sr 図 (シッパル)

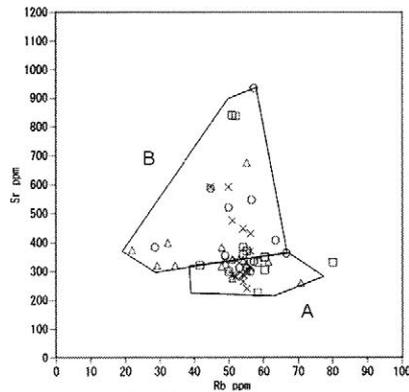
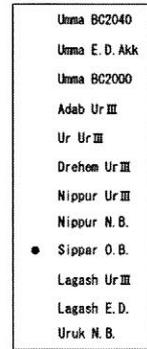


図 2.5 Rb-Sr 図
(ニップル、ラガシュ)

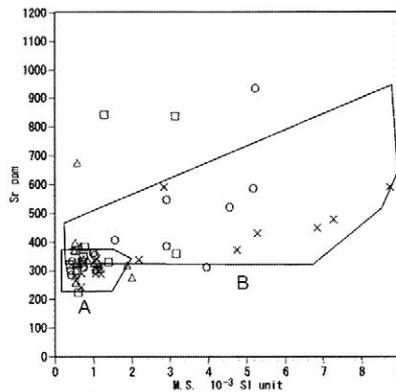
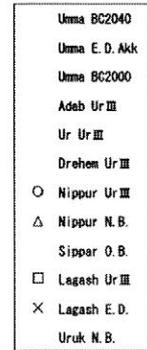


図 2.6 帯磁率-Sr 図
(ニップル、ラガシュ)



4. まとめ

Rb-Sr 図および帯磁率-Sr 図上での分布傾向に基づき、粘土板の土の起源として河川・運河堆積物と氾濫原堆積物の2つが考えられる。河川・運河堆積物が供給源であると推測される粘土板では上流と下流における違いが認められた。ウンマ、アダブ、ウル、ウルクは下流の河川・運河堆積物、シッパルは上流の河川・運河堆積物であり、ドレヘムは氾濫原堆積物、ニップルおよびラガシュは河川・運河堆積物および氾濫原堆積物の両方が起源であると考えられる。

長崎県南島原市の原城跡から出土した豆板銀の文化財科学的調査

○西田京平、山口将史、平尾良光(別府大学大学院)、松本慎二(南島原市教育委員会)

はじめに

長崎県南島原市に所在する原城跡からは、近世の特徴的な城郭遺構や天草・島原の乱に関するキリスト教遺物や鉄砲玉などの関連遺物が多く出土している。また、キリスト教関係遺物や鉄砲玉についての文化財科学的な調査結果はこれまでに数例が報告されている。今回、南島原市教育委員会より、原城跡から出土した慶長豆板銀について文化財科学的な調査の機会を頂いた。調査方法として、蛍光エックス線分析法による化学組成の測定と鉛同位体比法による材料の産地推定を行った。

資料について

資料が出土した原城跡は 1637 年に発生した天草・島原の乱の際に一揆軍が籠城した城で、1638 年に落城した。資料である豆板銀は、落城後に棄却された際に破壊されて埋められた部分の遺構などから出土しており、当時流通していた豆板銀であると考えられる。

慶長豆板銀は慶長銀のひとつで、慶長丁銀の補助的な貨幣として使用された。慶長銀は 1601 年から製造され、海外に大量に輸出された。慶長銀の材料産地としては、石見銀山や生野銀山を初めとした各地の銀山が考えられるが、文化財科学的な産地推定の例はこれまでに発表されていない。

分析方法

化学組成の測定には、別府大学に設置されているエネルギー分散型蛍光エックス線分析装置 SEA5230A を使用した。鉛同位体比の測定には、別府大学に設置されている表面電離型質量分析計 MAT-262 を使用した。

測定結果

化学組成の測定結果を表 1 に示す。全ての資料で銀が 85~91%含まれており、銅を 10%程度、鉛を数%から 0.2%程度、鉄と金をわずかに含んでいる。

鉛同位体比の測定結果を図 1 に示す。全ての豆板銀の鉛同位体比は日本領域内に分布した。資料の分布からこれら豆板銀の材料産地は日本であると推定される。また、豆板銀-3 の鉛同位体比は、兵庫県生野鉱山の鉛同位体比の値と非常に近い値を示しており、豆板銀-3 に含まれる鉛の産地は生野鉱山である可能性が示唆される。豆板銀-3 以外の資料では、図 1 で鉱山資料の鉛同位体比と近い資料もみられるが、検討の余地があるため、これまでに発表されている鉱山の鉛同位体比との比較では材料産地についてはわからない。

表 1. 豆板銀の化学組成

資料名	Ag	Cu	Pb	Fe	Au
豆板銀-1	89	7.6	2.5	0.1	0.6
豆板銀-2	88	11	0.4	0.7	※
豆板銀-3	91	8.4	0.2	0.1	0.2
豆板銀-4	87	9.6	2.5	0.7	0.5
豆板銀-5	85	13	0.3	0.9	0.9

※0.01 以上 0.05 未満検出

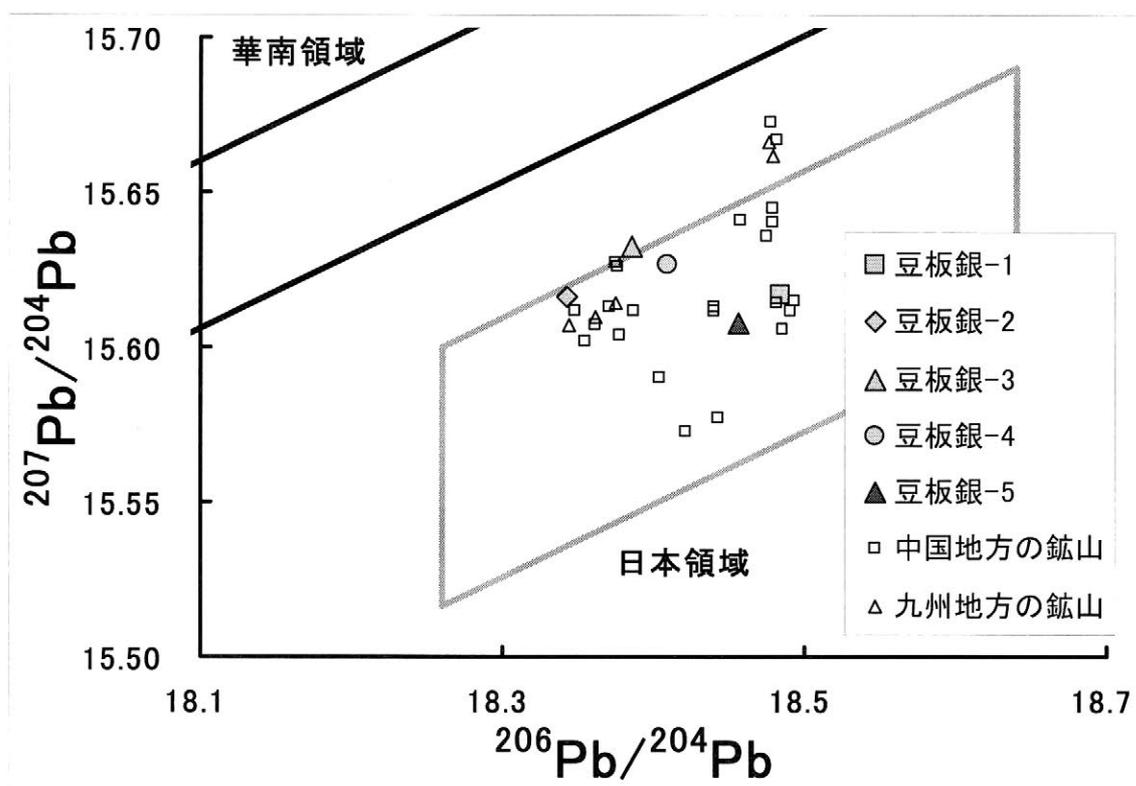


図 1. 豆板銀と中国地方・九州地方の鉛同位体比

まとめ

今回の測定結果から、豆板銀に含まれている鉛が生野鉱山産と推定される例が見つかった。一般的に銀の精錬には鉛を加えて銀と他の金属を分離する方法が行なわれており、豆板銀の鉛同位体比は精錬の際に加えられた鉛の値を示していると考えられる。精錬で加えられる鉛は基本的に銀鉱山や周辺の鉛鉱山で生産された鉛を利用していると思われるが、その場合には鉱山の成因が同じであれば、類似した鉛同位体比を示す。故に、豆板銀-3 の精錬に使われた鉛が、生野鉱山の鉛を利用して精錬が行なわれた可能性は高いといえるが、銀そのものが生野鉱山の銀である可能性については断定できない。今後、さらに豆板銀と鉱山の鉛同位体比も測定することで当時の金属材料の産地と流通について明らかになることが期待される。

資料の分析をさせていただきました南島島原市教育委員会に御礼申し上げます。

徳島県阿波市土成丸山古墳出土埴輪の胎土分析

○白石 純（岡山理科大学自然科学研究所），林 泰治（阿波市教育委員会）

1. はじめに

土成丸山古墳は、吉野川の支流である宮川内谷川により形成された扇状地端部に位置する。1984年に徳島県立博物館による測量調査が実施され、直径約40m、墳丘高約6.5mの大きさで、二段築成の円墳と推定された。そして墳丘のまわりを幅約14mの周溝が巡っており、円墳では県下一の規模を誇っている。また墳丘では埴輪が採集されており、埴輪の焼成、色調などから複数の窯より供給されていると推定している（天羽ほか1987）。

阿波市教育委員会は、2008年より同古墳の県指定に向けて、正確な古墳の規模など調べるために、発掘調査を実施している。今回の調査でも多数の埴輪が墳丘および周溝から出土している。

この分析では、肉眼観察による焼成、色調の違いから複数の胎土に分類されている埴輪が自然科学的な胎土分析で差異があるかどうか、またどこで生産されたのか検討した。

2. 分析方法および試料

分析は、蛍光X線分析法と偏光顕微鏡観察による二つの方法で検討した。

蛍光X線分析法で測定した元素は、Si・Ti・Al・Fe・Mn・Mg・Ca・Na・K・Pの10元素で、測定装置は、エネルギー分散型蛍光X線分析計（セイコーインスツル社製SEA2010L）を使用した。分析試料は、乳鉢で粉末にしたものを加圧成形機で約15トンの圧力をかけ、コイン状に成形したものを測定試料とした。偏光顕微鏡観察では、胎土中に含まれる砂粒（岩石・鉱物）の種類、大きさと含有量を調べた。また分析試料とした古墳出土の埴輪は、第2・3・4・5・6・7の各トレンチ出土の78点である。埴輪の器種は、円筒埴輪と朝顔型埴輪の2種類で、焼成時の色調により、白色系と赤色系に大きく分類できる。

3. 分析結果

（1）蛍光X線分析結果

この分析で試料に顕著な差がみられた元素は、Ti・Fe・Ca・Kの4元素であった。そこで、これらの元素を用いて、散布図により差異を検討した。そして第1図K-Ca、第2図Ti-Ca、第3図Ti-Feで埴輪の胎土比較を行った。その結果、各散布図とも埴輪の出土地点に関係なく大きく二つのグループ（A群・B群）に分類が可能であった。第1図で白色系の埴輪は、Ca量が少なく、K量が多い（A群）、逆に赤色系はCa量が多く、K量が少ない（B群）。第2図では、白色系はCa・Ti量が少なく（A群）、赤色系はCa・Ti量が多い（B群）。第3図では白色系はFe・Ti量が少なく（A群）、赤色系はFe・Ti量が多い（B群）。

（2）偏光顕微鏡観察結果

埴輪の胎土を観察した結果、3つの胎土に分類される。

- 1類：1mm以下の石英を中量含み、1mm以下の砂岩・チャートをまれに含む。
- 2類：0.5mm以下の石英を多量に含む。0.5mm以下の斜長石と黒雲母を少量含む。
- 3類：0.5mm以下の石英を中量含み、1mm以下の片岩をまれに含む。0.3mm以下の角閃石と黒雲母も少量含む。

以上の観察結果から、1類の砂岩、チャートがみられるもの、2類の花崗岩の岩片がみられるもの、3類の片岩がみられるもの、に分類された。

4. まとめ

蛍光X線分析と顕微鏡観察による胎土分析を行った結果、以下のことが推定された。

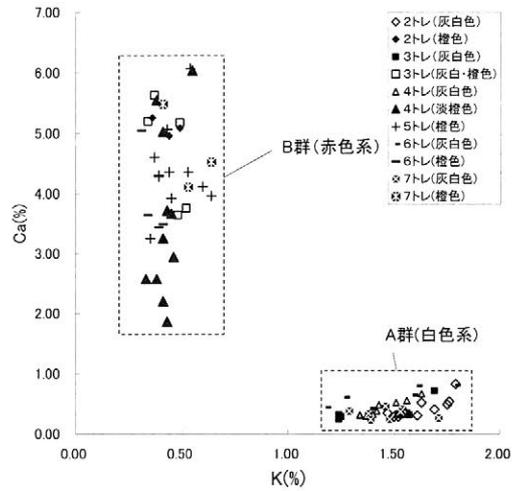
(1) 蛍光X線分析法では、2つの胎土にわかれた。これは、埴輪表面の色調の違いで、白色系はA群、赤色系がB群となった。また、赤色系にはFe量が多いこともわかった。

(2) 偏光顕微鏡観察では、砂粒の違いから3つの胎土に分類できた。従って、土成丸山古墳出土の埴輪には、少なくとも3種類の胎土があることがわかった。

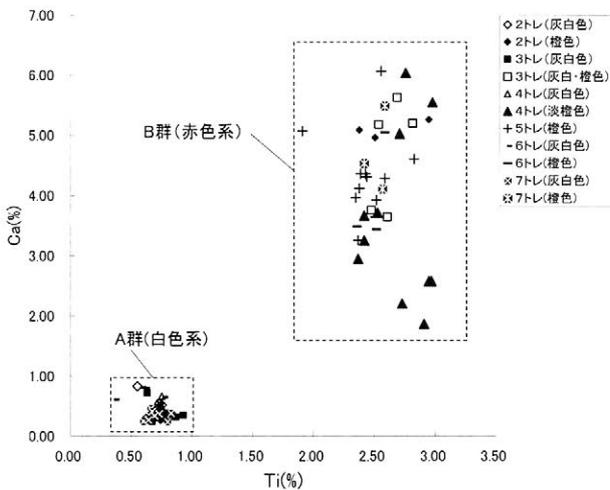
以上の結果から土成丸山古墳が立地している地質基盤層を検討すると、この古墳は和泉層群の南側に位置しており、扇状地の堆積物は、砂岩・泥岩・礫岩で構成されている。従って偏光顕微鏡観察の1類は吉野川北岸の古墳周辺、2類は花崗岩地帯の讃岐側、3類は吉野川南岸地域の砂粒構成に近いことが推測された。

(引用文献)

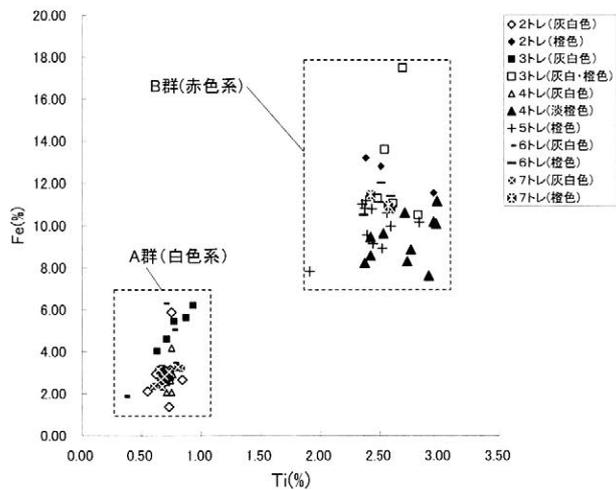
天羽利夫・岡山真知子・武藤美和 1987「土成丸山古墳調査報告」『徳島県博物館紀要』第18集



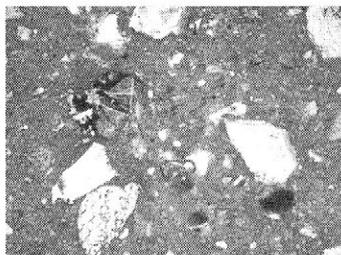
第1図 各トレンチ出土埴輪の胎土比較



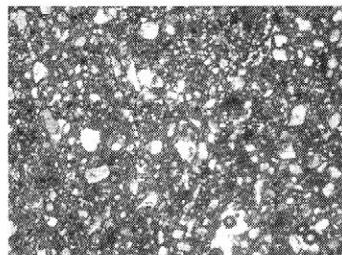
第2図 各トレンチ出土埴輪の胎土比較



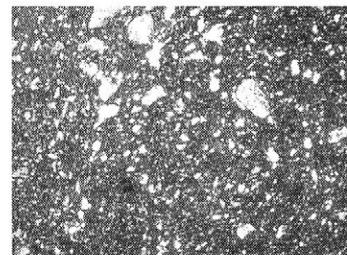
第3図 各トレンチ出土埴輪の胎土比較



1類



2類



3類

偏光顕微鏡写真(単ニコル)

1mm

熊本県の古墳から出土したガラスビーズの考古化学的研究

○白瀧絢子, 阿部善也, タンタラカーン・クリアンカモル, 中井泉(東理大・理),
池田朋生, 坂口圭太郎(熊本県立装飾古墳館), 後藤克博(熊本県教育庁)

【序】

ガラスは西アジアに起源があり, 西洋と東洋の海上交易路, いわゆる“海のシルクロード”により東方へと運ばれ, インド, 東南アジアを経て中国, 朝鮮半島, 日本といった東アジア地域へもたらされたとされる。しかし, 日本と東南アジアをつなぐ交易ルートは古代ガラスの化学組成からはまだ実証されていない。

熊本県小田良古墳出土のガラスビーズ4点に関して行われた鉛同位体比測定によって, その鉛の産地は東アジアではなく, 東南アジア領域であることが推定されている¹⁾。そこで本研究では, まず小田良古墳出土のこれらのガラスビーズについて化学組成分析を行い, その化学組成の特徴から日本と東南アジアを結ぶガラス交易ルートの存在を明らかにすることを目的とした。さらに, その上で熊本県内の他の古墳より出土したガラスについても同様に特性化を行い, 小田良古墳出土のガラスビーズとの対比から, より詳細な位置づけを進めた。

【分析試料及び分析装置】

分析した試料は熊本県立装飾古墳館所蔵の熊本県小田良古墳出土の黄緑色ガラスビーズ4点である。上述のとおり, これら4点の黄緑色ガラスビーズは鉛同位体測定により鉛の産地が東南アジアにあることが推定されている。さらにこれらに加えて, 同じく熊本県の遺跡(江田船山古墳, 国越古墳, 北岡横穴群)から出土したガラスビーズや勾玉についても分析を行った。

化学組成分析には我々が企業と共同で開発を進めているポータブル蛍光X線分析装置 OURSTEX 100FA-IV (OURSTEX (株)) を用いた。得られた蛍光X線スペクトルから, 検量線法を用いて各元素の酸化物換算濃度を算出した。検量線用の標準試料には, 認証値が与えられている標準ガラス (National Institute of Standards and Testing 製, Breitlander Eichproben und Labomaterial GmbH 製) および ICP-AES による定量化を行った合成ガラスを用いた。顔料の同定にはポータブルラマン分光分析装置 MiniRam (B&W TEK Inc. 製) を用いた。なお, ラマン分光分析装置には顕微鏡が取り付けられており, 試料を観察しながらレーザーの焦点を合わせ, 測定を行うことができる。

【分析結果と考察】

小田良古墳の黄緑色ガラスビーズの蛍光X線スペクトルを Fig. 1 に示す。なお, 4つの試料で有意な差は見受けられなかったため平均化したものを示した。スペクトルより, 特徴的な Pb と Sn のピークが見られることから, 鉛の原材料は着色剤である Pb-Sn 系の黄色顔料に由来することが分かった²⁾。そこで, ラマン分光分析装置により黄色顔料の同定を行った結果, 黄色顔料 PbSnO_3 であることがわかった (Fig. 2)。鉛同位体比により東南アジア製であることが示唆されていることから, 東南アジアの黄色顔料 PbSnO_3 が用いられていたと推定される。そこで, 黄色顔料という観点で着目し, 江田船山古墳から出土した黄緑色のガラスビーズ, さらに国越古墳出土の黄色と緑色のガラスビーズと比較したところ, 同様に Pb と Sn のピークが見られ, さらに微量元素のピークも一致したことから, 同じ Pb-Sn 系の黄色顔料を用いていた可能性が非常に高いことがわかった。

主成分組成は SiO_2 67.62%, Na_2O 9.57%, CaO 2.49%, Al_2O_3 8.99%, K_2O 2.77%, MgO 0.16% であり、いわゆるアルミナソーダ石灰ガラス ($\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系) であった。このような特徴を持った組成タイプはシリカ源として Al_2O_3 を多く含み CaO の少ない砂を用い、融剤として天然ソーダを用いていたと考えられる。このような組成は南アジアや東南アジアに特徴的なタイプで、韓国でも 2-6 世紀に出土している³⁾。これより、顔料としてではなく、ガラスとして東南アジアで作られたものが日本に伝わった可能性が高く、東南アジアと日本をつなぐ交易ルートの存在を古代ガラスの化学組成から実証するデータが得られたといえよう。

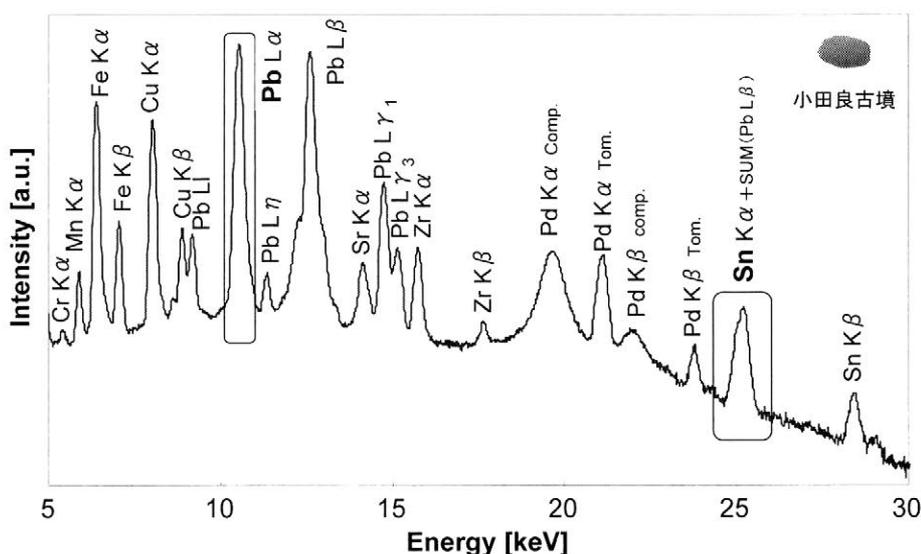


Fig. 1 小田良古墳の黄緑色ガラスビーズの蛍光 X 線スペクトル

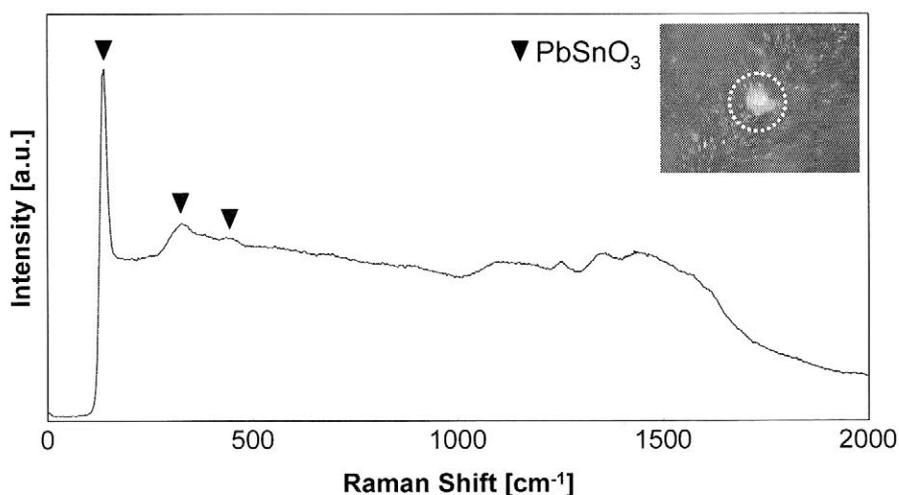


Fig. 2 小田良古墳の黄緑色ガラスビーズ中の黄色顔料のラマンスペクトル

【文献】

- 1) 魯 禔 玆 他：「日本文化財科学会第 26 回大会 研究発表要旨集」(2009) 272.
- 2) David Hradil, et al.: *Journal of Cultural Heritage* **8**, (2007) 377.
- 3) James W. Lankton, et al.: *Journal of Glass Studies* **48**, (2006) 121.

Kaman Kalehöyük 出土の鉄器時代・暗黒時代の土器の産地推定

○鈴木 裕子・黄 嵩凱・中井 泉（東理大・理）

1. はじめに

Kaman Kalehöyük 遺跡はトルコ共和国の首都アンカラより南東へ約 100km の中央アナトリアに位置する。本遺跡は複数の文化層が積み重なった層状構造を有し、これまでの調査でオスマン・トルコ時代、鉄器時代、中・後期青銅器時代、前期青銅器時代の 4 つの文化層の存在が確認された。中央アナトリアにおけるこれまでの発掘調査では、青銅器時代の終盤の紀元前 12 世紀にヒッタイト帝国が崩壊してから紀元前 8 世紀頃にフリュギア王国ができるまでの約 400 年間にあたる層序からは明確な文化層が殆ど確認されておらず、この期間は暗黒時代と呼ばれている。¹⁾ところが本遺跡からは暗黒時代に属する層序より、柱穴をもつ半地下式の建築遺構や赤と黒の二色彩文土器など、前後の時代のものとは異なる独特な文化の展開が確認された。そこで、本研究は当遺跡の暗黒時代とその前後の青銅器時代、鉄器時代の層序より出土した土器の産地を推定、比較することで未だに殆ど知られていない当時の土器流通の特徴に関する知見を得ることを目的に行った。分析試料は暗黒時代とその前後の層序から出土した土器片を用いた。なお、青銅器時代と鉄器時代の試料には、各時代に特徴的に確認されている赤色スリップ土器と還元土器を用いた。また、産地推定には重鉍物（比重>2.82）の持つ地域特性を利用した重鉍物組成法を用いた。各試料の産地は測定結果によって導き出された重鉍物組成の特徴を本遺跡周辺 50 km 圏内より採取した河砂・粘土堆積物のそれと比較して推定した。また、搬入品においては多角的な分析法による産地同定を行う為、高エネルギー放射光 XRF を用いて重鉍物の希土類元素の組成による特性化も行った。

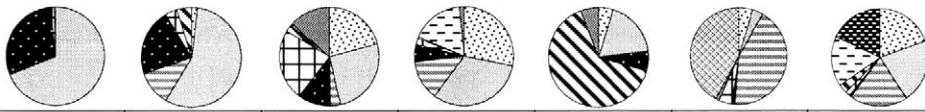
2. 実験試料・装置

本研究では暗黒時代の土器 7 点、青銅器時代の赤色スリップ土器 9 点、鉄器時代の還元土器 22 点の計 38 点の分析を行った。実験では約 20~40g の土器試料を粉砕し、255 μm の篩を用いて粒度を揃えた後に水で鉍物の周りに付着している汚れを洗い流した。その後、比重を約 2.82 に調製した SPT 重液を用いて重鉍物を取り出した。収集した重鉍物は樹脂でガラス板の上に包埋し、薄片を作成した。重鉍物の同定には走査型電子顕微鏡附属の X 線分析装置 JSM-7001F/EX-2300 (JEOL 製) を用い、1 粒ずつ特性 X 線を測定する事で重鉍物の同定を行った。なお、土器の重鉍物組成は 1 つの土器片につき 180 粒以上の重鉍物の同定結果から求めた。搬入品の高エネルギー放射光 XRF の測定には兵庫県にある大型放射光施設 SPring-8 の BL08W 実験ステーションで重鉍物の希土類元素などの重元素を分析した。

3. 結果・考察

重鉍物分析により 18 種類の重鉍物と岩石が同定された。そのうち、地域性を良く示していた単斜輝石、角閃石、チタン石、緑簾石、ざくろ石、カルシウム-ざくろ石、ジルコン、クロム鉄鉍、電気石、マンガンスピネル、蛇紋石（焼成により脱水されたもの）の 11 種類の重鉍物の総計を 100% に換算して重鉍物組成を求めた。各土器の重鉍物組成を比較し、その特徴からグループ分けをした結果を表 1 に示す。また、当研究室の先行研究²⁾より得られた本遺跡 25km 圏内の堆積物の重鉍物組成のグラフを図 1 に示す。今回測定した試料の多く（表 1 の TYPE 1）は、その時代に関係なく 70% 以上角閃石を含み、次いでくさび石を含有するといった本遺跡近郊（図 1 の A, B 地域）の花崗岩地質と同様の重鉍物組成を示した。また、どの時代においても角閃石、くさび石に次いで緑簾石、ざくろ石、単斜輝石を含有する本遺跡の東部（図 1 の I 地域）の変斑レイ岩・花崗岩地質と同様の特徴を持つ土器（表 1 の TYPE 2）が確認された。その他、鉄器時代の土器には角閃石だけでなく輝石やくさび石、ざくろ石、ジルコンといった様々な重鉍物を含む本遺跡西部（図 1 の F 地域）のオフィオライト・変成岩地質と同様の重鉍物組成を持つ物（表 1 の TYPE 3）も確認された。このように、殆どの試料は本遺跡 25km 圏内の重鉍物組成と同様の特徴を示したが、暗黒時代の 2 点と鉄器時代の 3 点は本遺跡 25km 圏内では確認されていない重鉍物組成を示した。これより、これらの 5 点は遺跡 25km 圏外からの搬入品であることが考えられる。

表1. 土器の重鉍物組成とグループ分け (点数)



	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3	TYPE 4	TYPE 5	TYPE 6	TYPE 7
鉄器時代	17	1	1	1	1	1	0
暗黒時代	3	2	2	0	0	0	2
青銅器時代	8	1	0	0	0	0	0


 単斜輝石 □ 角閃石 目 緑簾石 ■ くさび石 罫 ざくろ石 ▨ Ca-ざくろ石
 □ クロム鉄鉍 ■ ジルコン ■ 電気石 ■ 蛇文石 □ Mn スピネル

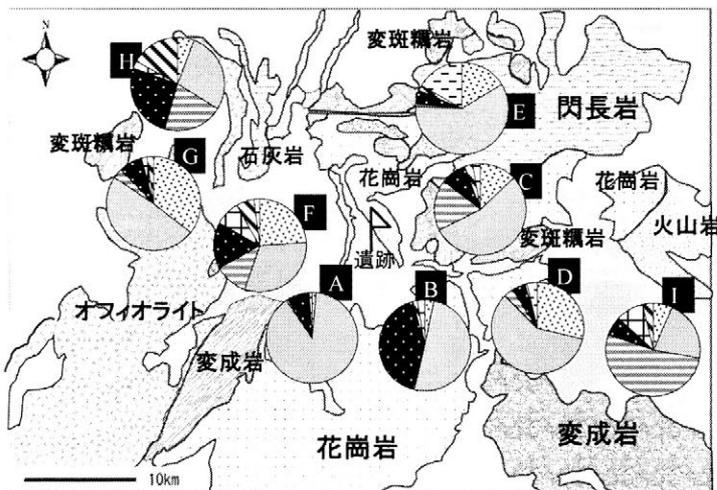


図1. 本遺跡周辺の堆積物の重鉍物組成からの搬入品である可能性が考えられる。鉄器時代の層から出土したTYPE 6の土器は電気石を特異的に含んでいるが、電気石をこのように特徴的に産出する地域というのは非常に限定されている。トルコにおいては本遺跡より100km程東方の辺りに電気石が産出する地域が確認されている³⁾ことより、1つの可能性として、この辺りがTYPE 6の産地であることが考えられる。

4. まとめと今後の方針

本研究によって、暗黒時代を通して青銅器時代から鉄器時代にかけて、常に本遺跡において土器製作を行っていた可能性が示された。また、本遺跡はこれらの時代を通して東方のI地域と交流を持っていた可能性も示された。今回分析した青銅時代の土器は全て遺跡25km圏内が産地であるが、暗黒時代以降からは25km圏外からの搬入品が確認されるようになった。暗黒時代の搬入品2点は共に同様の重鉍物組成を示したが、鉄器時代の搬入品3点は全て異なる重鉍物組成を示し、暗黒時代の搬入品と同様の重鉍物組成を示すものは確認されなかった。また、鉄器時代の1点を除いた4点は遺跡50km圏外からの搬入品であることも示された。これより、暗黒時代には50km圏外と交易を行っていたこと、暗黒時代と鉄器時代の土器の流通経路が異なる可能性等が示された。今後は更に分析点数を増やし、より正確な土器流通に関する知見を得ようと考えている。

1)大村 幸弘, アナトリア発掘記. (2004).

2) Bong et. al. journal of archaeological science (2010), in press.

3)Serhat Demirel et. al, The Canadian mineralogist. (2009)

EPMA による黒曜石石器の原産地推定 -北海道・上士別遺跡の例-

○和田恵治(北海道教育大学旭川校)・向井正幸(旭川市博物館)・
佐野恭平(北海道教育大学旭川校)・水田一彦(士別市立博物館)

1. はじめに

黒曜石は緻密で均質な火山ガラスからなるため、軽元素でも高い精度で微小領域を分析できる波長分散型 EPMA は、黒曜石石器の原産地推定のための化学分析において有用である(向井他, 2000; 和田他, 2003)。本研究では、黒曜石石器の微小部分を抜き取り、それを樹脂に包含して研磨試料として組成分析するものでいわゆる破壊分析にあたる。しかし、この方法の利点は、一枚の薄片に 50 点以上の石器を埋め込めるので、一度に多数点の分析ができることで、微小領域を測定できる EPMA の特徴を活かしたものである。また薄片作成時の削りと研磨によって、石器最表面の風化や水和による組成変動の影響を除去できること、透過試料なので顕微鏡観察が可能であり、黒曜石の微細組織の特徴からも原産地を同定する手がかりが得られることである。

これにより同時代における北海道産黒曜石の原産地割合の空間的分布を詳細に調べることができる。さらに、旧石器時代から縄文時代まで年代を経るにしたがい、黒曜石の原産地頻度や利用割合がどのように変化していったのかも多数の分析から明らかにすることができる。このような地理的分布及び歴史的考察を行うことで、北海道を主とした北方圏における先史時代の人々の交易ネットワークの解明(出穂他, 2008)に寄与できるだろう。

本研究では、EPMA 分析によって北海道の内陸部にある上士別遺跡から出土した黒曜石石器 339 点について原産地推定を試みた。その結果、白滝黒曜石が約 7 割に及んで使用されていたとともに地元黒曜石も次いで利用され、北海道東部・内陸部の黒曜石も少量使われていたことがわかった。

2. 上士別遺跡出土の黒曜石石器試料

上士別遺跡は北海道士別市上士別町に位置し、天塩川本流と金川の合流点から南 900m の河岸段丘上にある(士別市教育委員会報告書, 1975)。遺跡の年代は出土した土器から縄文時代初頭と考えられている(同上, 1975)。出土した石器は 566 点で、そのうち石鏃 118 点、石匙 98 点、剥片石器 155 点、石杵 106 点である(同上, 1975)。

これら黒曜石石器試料はできるだけ破損面積を最小にするように砕いて、大きき数 mm 以下の破片にして分析試料とした。石器破片は番号付けして、カバーガラス上に両面テープで貼り付けた円筒形アルミリングの中に格納した。このように石器試料 339 個は 28 個のアルミリングに分けて入れられ、アルミリングは樹脂(ペトロポキシ)で充填された。研磨された樹脂試料をスライドガラスに貼り付け、その後、試料を厚さ 0.03mm 程度に削り、薄片試料とした(合計 10 枚)。さらにダイヤモンドペーストで鏡面研磨し、表面に炭素蒸着を施した。

3. EPMA 分析方法

黒曜石ガラスの分析は、北海道教育大学旭川校の電子プローブマイクロアナライザ(EPMA, JEOL-JXA8600)で、加速電圧 15 kV、電流値 0.8×10^{-8} A、測定領域を径 10 μ m 平方で行った。測定元素は、SiO₂・TiO₂・Al₂O₃・FeO・MnO・MgO・CaO・Na₂O・K₂O・Cl である(和田ほか, 2003)。

4. 分析結果及び原産地推定

黒曜石ガラス試料は、1 試料につき 5~8 点を測定しその平均値をとった。酸化物の重量%の合計は 97.7%~101.4%である。酸化物の重量%の合計を 100%に再計算し、化学分析値を比較した。TiO₂/K₂O 比を縦軸に、CaO/Al₂O₃ 比を横軸にとった図にプロットして、北海道産黒曜石原産地ダイアグラムのスタンダード(和田・向井, 2007)と比較して黒曜石原産地推定を行った。また、1 試料ずつ北海道産黒曜石原産地それぞれの平均化学組成値に合致しているかどうかチェックした。4 点については、試料が強く水和していたり変質しているために正確な原産地推定はできなかった。

分析値の分散が大きく、化学組成図だけからでは、判別できない試料が多くあった。(1)名寄産と十勝 II (然別火山系?)産・豊浦産はそのダイアグラム上で組成が似通っているため、判定が難しい(53

試料)。その場合、豊浦産黒曜石ガラスは Cl 量が高いことで産地推定できる(向井, 2005)。名寄黒曜石は TiO_2/K_2O 比と CaO/Al_2O_3 比が十勝 II 産よりもやや高いこと(向井他, 2000)、十勝 II 黒曜石にはマイクロライトが少量含まれるのに対して名寄産黒曜石には結晶が入っていないことで互いに区別できる。偏光顕微鏡で調べた結果、53 試料すべてマイクロライトが含まれず名寄産であった。(2)置戸 I (置戸山) 黒曜石は、名寄産として判定した黒曜石試料とガラス組成が近いものがあるが、 Na_2O/K_2O 比が低いこと(向井他, 2002)、微小結晶がわずかに入っている場合があること、名寄産黒曜石よりもガラスの濁り(極微小の結晶?)が小さいことで区別される。(3)十勝 I (十勝三股) 産黒曜石と白滝産黒曜石は CaO 量で区別される(向井・和田, 2004)。遠軽産黒曜石と判定した石器試料は、北海道産黒曜石原産地ダイアグラムでは十勝 I 黒曜石と判定した石器試料の組成領域に入ってしまったが、FeO 量と Na_2O/K_2O 比の類似性から遠軽産と推定した。図1に原産地推定結果を示す。

5. 白滝産黒曜石の原産地推定

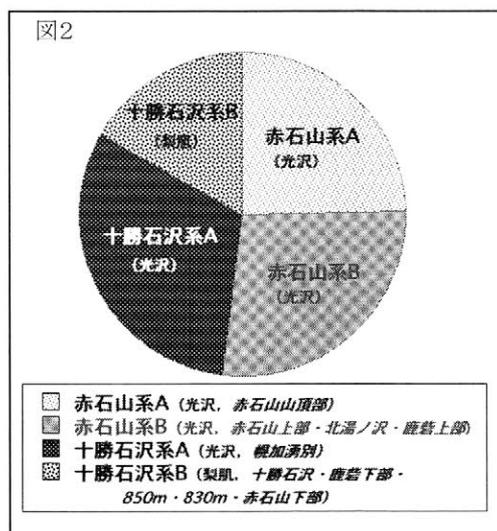
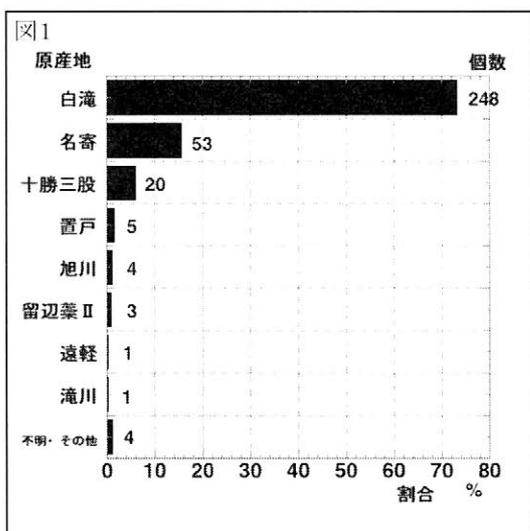
白滝産黒曜石のガラス組成は FeO^*-CaO 図から大まかに 4 グループに分けることができる(赤石山系 A・赤石山系 B・十勝石沢系 A・十勝石沢系 B) (和田他, 2009; 和田・佐野, 2010)。赤石山系 A は CaO 量が高く FeO 量が低い(赤石山山頂部溶岩・北湯ノ沢溶岩)、赤石山系 B は CaO 量が高く FeO 量が高い(赤石山上部溶岩・鹿砦上部溶岩・北湯ノ沢溶岩)、十勝石沢系 A は CaO 量が低く FeO 量が低い(幌加湧別溶岩)、十勝石沢系 B は CaO 量が低く FeO 量が高い(十勝石沢溶岩・鹿砦下部溶岩・850m溶岩・830m溶岩・赤石山下部溶岩)。ただしこれらは組成領域がオーバーラップしており、組成領域境界にプロットされる場合は、どのグループに該当するのか判定が難しい(和田・佐野, 2010)。

上土別遺跡の黒曜石石器試料で、白滝産に同定されたものを、 FeO^*-CaO 図及び顕微鏡観察によるマイクロライトの量及び磁鉄鉱の存在密度に基づき、どの組成グループからのものか推定した。

6. 上土別遺跡における黒曜石原産地割合の特徴

上土別遺跡(縄文時代前期)のような内陸地においても地元の名寄産黒曜石(16%)よりも圧倒的に白滝産のもの(73%)が使われていた。白滝産について細かく見ると、十勝石沢系 A が 32%、赤石山系 B が 27%、赤石山系 A が 25%、十勝石沢系 B が 17% の使用割合であった(図2)。梨肌状の十勝石沢系 B の使用割合が低いことは石器作りに黒曜石の材質が選択的になされていた可能性を示すものかもしれない。

上土別遺跡では、十勝産(6%)に較べると、置戸産の割合(2%)が低いことも特徴である。置戸産は北方圏では、白滝産に次いで流通しているが(木村, 2005)、ここでは約 2% に留まる。置戸産は、オホーツク海沿岸の常呂川河口遺跡では縄文時代に 20% と多く(和田他, 2003)、利尻島役場遺跡(続縄文時代)においても 21% と多く、オホーツク海沿いに黒曜石が渡っていったことが推定される(和田他, 2006)。内陸の上土別遺跡では縄文時代前期にかけては、十勝産が内陸ルートを通して流通したと推定される。大雪山系を越えていかねばならないが、内陸の峠越えを先史時代人は成し遂げていたのかもしれない。その後白滝産とともに天塩川の水路を使って黒曜石の移動がなされていた可能性を示す。



石器・玉類の原材産地分析（26）

○藁科哲男（遺物材料研究所）・丹羽祐一（香川大学）・
中村大介（明治大学古代学研究所）・金奎虎（公州大 学校）

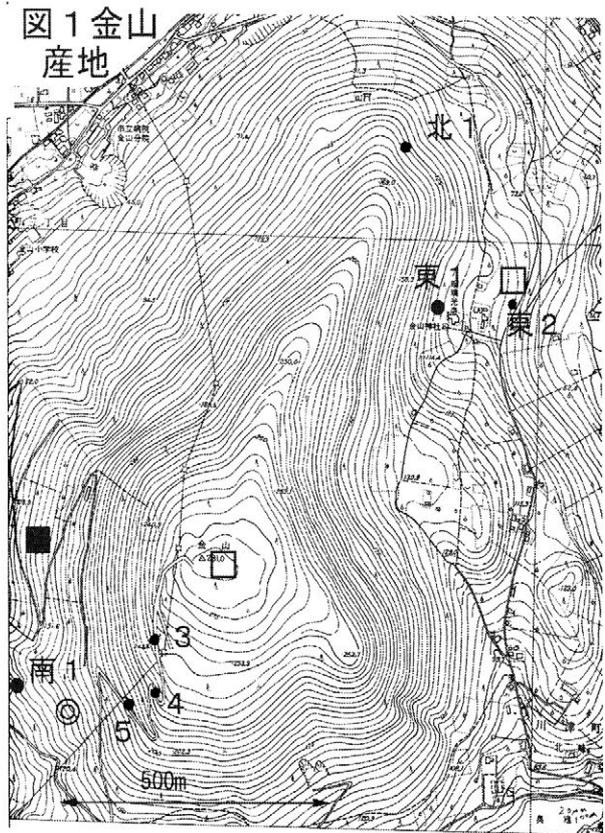
はじめに

産地分析は、蛍光X線分析法とESR分析法などで行い、判定では『遺物原材とある産地の原石が一致し、必要条件を満たしても、岩石学では他の産地の原石に一致しないという理論がないため、他の産地には一致しないという十分条件を満たす必要がある。』ノーベル賞の益川敏英博士の言を借りれば、科学とは仮説をたて正しいか否かあらゆる可能性を否定することにある。即ち十分条件の証明が非常に重要であると言い換えられると思われる。一致しなかった結果でも、考古学資料として非常に有用と思われる。

香川県金山産地の産出地点別サヌカイト原石の組成分類について

金山産地にはゴローと呼ばれているサヌカイト破片の集積地点が何カ所か存在している。

これらゴローの破片観察から加工痕を持つ破片、石器を調査すると同時に蛍光X線分析法で組成分析を行った。産出地点による原石組成差を定量的に区別するために、従来元素比（K/Ca、Ti/K、Mn/Sr、Fe/Sr、Rb/Sr、Y/Sr、Zr/Sr、Nb/Sr）の他に新元素比（K/Ca、Ca/K、Ti/K、Rb/Fe、Fe/Zr、Sr/Zr、Sr/Zr、Si/Fe）で両ホテリングのT2乗検定を行う。新元素比で分類基準を5%以上に設定し、各地点より採取した原石の同定結果を見ると①南地点（図1の◎）より採取した30個では、金山南露頭・金山西・城山の各群組み合わせが、10個、金山東南・金山東が3個、金山東南・金山東・金山北（図1北1の原石群）、金山南露頭・金山西、金山南露頭・金山南、金山西・城山、金山東南・金山西・金山南・城山・金山南露頭、金山東南・金山西・金山南の各群組み合わせがそれぞれ2個ずつ、金山南露頭・金山南、金山西・金山東南・金山南露頭・城山、金山東南・金山南、金山東南・金山西・金山南・城山、金山東南のみ、がそれぞれ各1個であった。



□金山東群 ■金山西群 ◎金山東南群

②金山東1地点（図1東1）の遺物発掘現場より採取した原石の産地分析結果では、金山東南に同定される確率が金山東、金山北に同定される確率より高い原石が多い。③金山東2地点（図1東2）、金山北1地点（図1北1）の遺物発掘現場より採取した原石の組み合わせ産地同定結果では、金山東1地点と逆に金山東が組み合わせの中で最も高く同定された原石は8で、金山東2地点とは異なっている。金山北1地点でも産地の組み合わせはの多くは金山北、金山東、金山東南が2～3組などの組み合わせである

が、11個中、10個が金山北に最も高く同定され、東2地点と異なった組み合わせ産地同定結果になり、金山北1遺物散布地の特徴になり、東1・2地点とも異なる原石の様に思える。また図1の3地点、4地点採取の原石は東1・2および北1地点と異なり、原石には金山南の成分が多く含まれている。④金山南1地点(図1南1)の遺物発掘現場の4層から採取した7個の原石、7層(基盤層)から採取した10個の産地同定結果では、第4層の原石は金山東南・金山南の組み合わせが3個、金山南露頭・金山西・城山の組み合わせが2個、金山東南・金山東と金山東南のみがそれぞれ1個で、7層(基盤層)では金山南露頭・金山西・城山の組み合わせが5個で、金山東南・金山南の組み合わせが3個、金山南露頭・金山西・城山・金山東南の組み合わせが2個であった。また、遺跡で金山東遺物と同じに出土する松の木遺物群は現在調査した金山の各地点からは一致した石材は見られず、松の木遺物群の原石産地の探索として双子山を調査し、良質のサヌカイトを4個採取し分析したところ、従来元素比の判定では、法印谷または双子山産の原石と同じに一致した。新元素比で法印谷、双子山産を区別したところ法印谷に信頼限界の0.1%以下に同定され十分条件を満たし、双子山に高確率で同定され産地分析の必要条件を満たし弁別された。本研究は、平成21年度科学研究費基盤研究(B)「香川県金山産サヌカイト製石器の広域流通システムの復元と先史経済の特質の検討」(研究代表丹羽佑一)の成果である。

朝鮮半島における碧玉・ヒスイ製品の産地分析について

朝鮮半島出土の碧玉製管玉(青銅器時代～三国時代)、結晶片岩様綠色岩(雲母片岩)製小玉(青銅器時代)ヒスイ・碧玉製勾玉の産地分析を行っている。今回、全北大學校博物館が発掘した完州上雲里遺跡出土の碧玉製管玉、ヒスイ製勾玉の産地分析を行った。碧玉製管玉は遺物番号42、31、53、95の4個を分析した結果、分析番号95は保寧寛倉里M437出土の管玉で作った寛倉里1遺物群に一致し、寛倉里1遺物群は朝鮮半島以外に出土事例はない。また他の3個の管玉の産地は不明であった。ヒスイ製勾玉は遺物番号SW3、32、49、111、127の5個で各3箇所分析した結果(表1)、糸魚川産とミャンマー産の区別が難しいものが多かったが、SW32は元素比Zr/Sr対Sr/Feで見るとミャンマー産でないという結果が得られ、総合判定で糸魚川産の結果がより確実なものとなった。ガラス玉は東南アジアの原料が使用され、上雲里遺跡の被葬者は、間接的か直接的か不明であるが、各地から文物を獲得できる立場にあったことがうかがえる。

表1 上雲里遺跡出土ヒスイ製勾玉の原材産地分析結果

号墳 ・出土地点	遺物番号 分析部分	分析 番号	各分類基準による判定			総合判定
			Zr/Sr対Sr/Fe	Ca/Si対Sr/Fe	Na/Si対Mg/Si	
上雲里1-1号墳・土壙3	SW3-1	104374	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
	SW3-2	104375	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
	SW3-3	104376	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
上雲里1-3号墳・土壙5-1	SW32-1	104377	IT,OY,MY	IT,OY	IT,KM,WK	糸魚川産
	SW32-2	104378	IT,OY,MY	IT,OY	IT,KM,WK	糸魚川産
	SW32-3	104379	IT,OY,OS,WK	IT,OY	IT,KM,WK	糸魚川産(ミャンマー産でない)
上雲里1-5号墳・土壙3	SW49-1	104380	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
	SW49-2	104381	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
	SW49-3	104382	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
上雲里2号墳・土壙3	SW111-1	104383	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
	SW111-2	104384	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
	SW111-3	104385	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
上雲里3号墳・石棺3	SW127-1	104386	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
	SW127-2	104387	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産
	SW127-3	104388	IT,MY	IT	IT,KM,WK	糸魚川産

IT:糸魚川 WK:若桜 OS:大佐 NG:長崎 HK:日高 IN:引佐 OY:大屋 KM:神居コタン HD:飛騨 MY:ミャンマー
 注: Ni/Fe比は日高産地および飛騨産地に同時に帰属された遺物の分類指標
 (飛騨産原石、42個の平均値±標準偏差) Ni/Fe=0.091±0.030
 (日高産原石、14個の平均値±標準偏差) Ni/Fe=0.065±0.028

奈良県内の古墳出土埴輪の胎土研究

○ 三辻利一・犬木 努・犬木麻美(大阪大谷大学)

1) はじめに

奈良県内には3ヶ所に大古墳群がある。西部の馬見古墳群、南部の大和・柳本古墳群、奈良市北部の佐紀古墳群である。いずれも、4～5世紀代の古墳群で、この時期には埴輪の窯跡は発見されていない。したがって、この時期の埴輪の生産と供給問題を検討しようとする、まず、1) 周辺の古墳出土埴輪の胎土との比較、2) 古墳群間での埴輪の胎土の比較、さらに、3) 後背地の岩石、土壌、粘土などの分析データとの比較が必要になる。

本報告では3大古墳群の埴輪の胎土をK-Ca、Rb-Sr分布図上で比較して、その化学特性を把握するとともに、その後背地の岩石、土壌の分析データや、時期は異なるが、同じ地域内にある窯跡出土埴輪、須恵器の胎土とも比較した。これらのデータを基にして、東大寺山古墳から出土した埴輪の数種類の胎土について考察した。

2) 分析結果

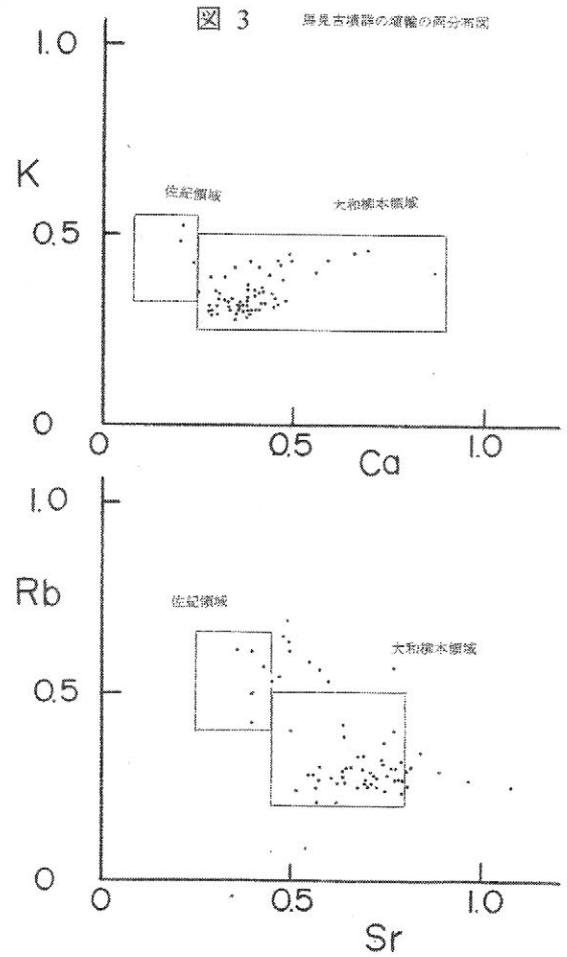
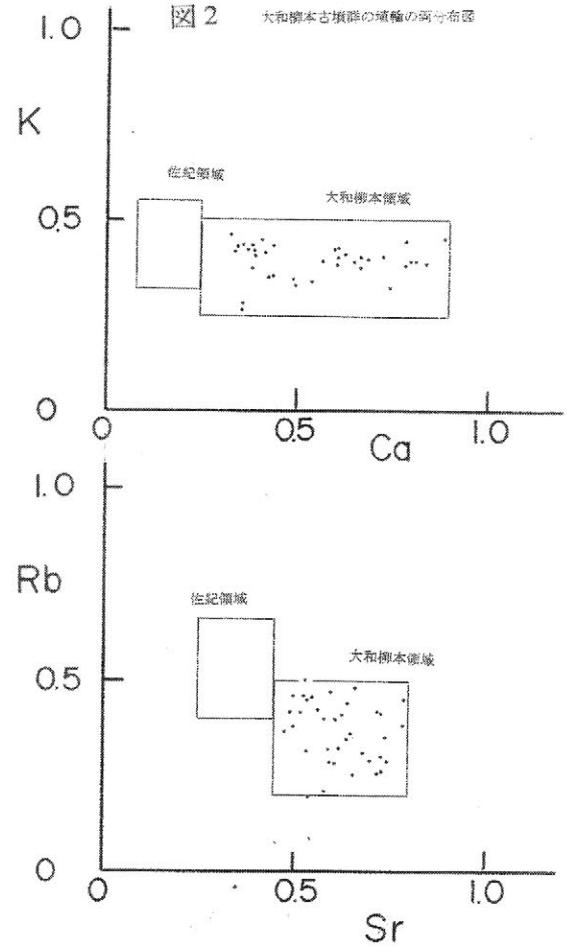
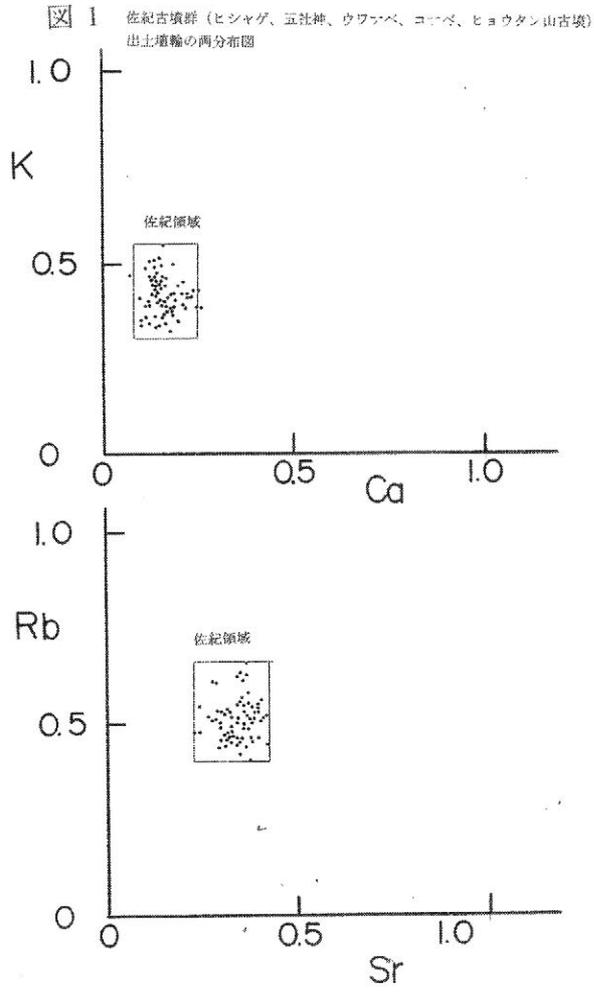
図1には佐紀古墳群の埴輪の小破片の蛍光X線分析によって得られた分析データに基づいて作成した両分布図を示す。佐紀古墳群としてまとまって分布していることが分かる。このことはこれらの埴輪は同じ地域内で作られた埴輪であることを示している。ほとんどの分析値を包含するようにして、佐紀領域を描いてある。Ca、Srが比較的少ないという特徴がある。この化学特性は大和西大寺で発見された6世紀代の菅原東窯跡群出土埴輪の胎土と類似する。したがって、この化学特性は奈良市周辺の埴輪胎土の特徴であると理解される。佐紀古墳群の埴輪はいずれも、この古墳群周辺で作られた埴輪と推察された。

図2には大和・柳本古墳群の埴輪の小破片の両分布図を示す。殆どの分析値を包含するようにして大和・柳本領域を描いてある。佐紀領域に比べてK、Rbがやや少なく、Ca、Srが多いことが分かる。したがって、佐紀古墳群の埴輪と大和・柳本古墳群の埴輪の胎土は判別分析にかけられるまでもなく、両分布図上で容易に識別できることがわかる。

図3には葛城山の東側に在る馬見古墳群の埴輪の両分布図を示す。大和・柳本領域に分布し、その胎土は大和・柳本古墳群の埴輪の胎土と類似することを示す。ただ、K-Ca分布図では大和・柳本領域の左側に、また、Rb-Sr分布図では右下側に偏在して分布しており、両古墳群の埴輪の胎土は必ずしも同じではないことが分かる。両古墳群の埴輪の胎土が類似することが葛城・金剛山を構成する花崗岩類が天理市南部に延びており、母岩が同じであるところから、理解出来る。また、葛城山の西麓にある古墳時代の中佐備窯跡出土須恵器の胎土が葛城山の東麓に在る馬見古墳群の埴輪の胎土と類似するところから、ともに、葛城山を構成する花崗岩類に由来する粘土が素材となった在地産の埴輪、須恵器であると推定される。

3大古墳群の埴輪の胎土の化学特性は奈良県内で採取された岩石、土壌、粘土からも考察された。県北部と南・西部とは地質が異なり、土壌、粘土にも違いがある。これらのデータを基にして、天理市北部にある西山塚古墳、東大寺山古墳の埴輪の胎土を考察した。東大寺山古墳からは奈良県北部的な胎土の埴輪と、南・西部的な胎土の埴輪が検出されて

おり、その生産と供給問題が注目される。



埴輪の胎土研究の視点

○ 三辻利一・犬木 努・犬木麻美(大阪大谷大学)

1) はじめに

須恵器は5世紀代には大阪府南部の陶邑に窯跡数が圧倒的に多く、胎土分析によって、陶邑産須恵器が全国各地の古墳へ一方的に供給されていたことが実証されている。6世紀代に入ると、大阪府北部の吹田丘陵でも100基を越える窯跡が発見されており、陶邑と並んで、大量に生産された両窯群の製品が何処へ供給されていたのかまだ、十分解明されていない。さらに、8世紀代では各地に大規模窯群があり、これらの窯群の製品が窯群周辺の遺跡にどのように供給されていたのかについてもこれからの研究課題である。このように、古代最大の窯業生産の産物である須恵器の生産・供給関係は多様であるが、窯跡が残っているため、窯跡に結びつけて生産・供給を再現できる。これに対して、生産地である窯跡が残っていない埴輪の生産・供給の再現には一定の視点が必要である。本報告では埴輪の胎土研究の視点についてまとめてみた。

2) 1基の古墳における埴輪の生産と供給

1基の古墳出土埴輪は周辺の1ヶ所で集中的に生産されたものなのか、それとも、1地域内の数ヶ所で別々に製作されたものであるのか、さらに、外部地域で作られた埴輪も供給されていたのかについてはこれまでの研究では十分に検討されていない。例えば、大阪府北部の新池窯群や大阪府南部の古市窯群の埴輪はそれぞれ、近辺にある今城塚古墳や応神陵古墳へ集中的に供給されていたことが胎土分析で示されている。しかし、窯跡群がない地域では、いわゆる、野焼きで埴輪を生産した場合にはどうなるのか。一例として、宮崎県西都原169号墳の円筒埴輪のK-Ca、Rb-Sr分布図を図1に、また、形象埴輪(壺型)の両分布図を図2に示す。比較対照のために、基準領域を描いてあるが、円筒埴輪と形象埴輪の分布位置が微妙にずれていることが分かる。基準領域は西都原古墳群の多くの埴輪が分布する領域である。169号墳の円筒埴輪と形象埴輪は別胎土であること、すなわち、別場所で作られた埴輪であることを示す。同じ地域内の別場所で作られた埴輪であると推察されている。また、山口県柳井市の柳井茶臼山古墳では円筒埴輪、朝顔形第2形式埴輪、形象埴輪と朝顔形第1形式埴輪、器台形埴輪の胎土は別胎土であった。別地域で作られた埴輪であると推定されている。同一古墳に二種類の胎土の埴輪が供給されていた場合には、このように、別地域で作られた埴輪が供給されている。奈良県天理市北部の古墳群の中にある東大寺山古墳の埴輪もこの例である。どこから供給されたのかが興味もたれる。同時に、二種類の胎土の埴輪が供給されていたことの意味が未解決の問題である。

3) 古墳群の埴輪の生産と供給

大阪府北部の三嶋野古墳群と大阪府南部の古市古墳群内にはそれぞれ、20基程度の窯跡が発見されている。新池窯群と古市窯群である。埴輪を集中的に大量に生産したと考えられている。両窯群の埴輪の両分布図を図3に示す。明らかに、両者の胎土は異なる。両者の判別分析の結果は図4に示されている。この判別図をつかって、両窯群の製品の伝播が追跡されている。これまでのところ、新池窯群の埴輪が古市古墳群からは検出されてい

ない。同様に、古市窯群の埴輪は三嶋野古墳群からは検出されていない。これらの窯群の埴輪の大量生産は同じ古墳群の古墳へ供給するために大量に生産したものと考えられている。

図1 西郡原 169 号墳(1-8 区) 出土埴輪の両分布図

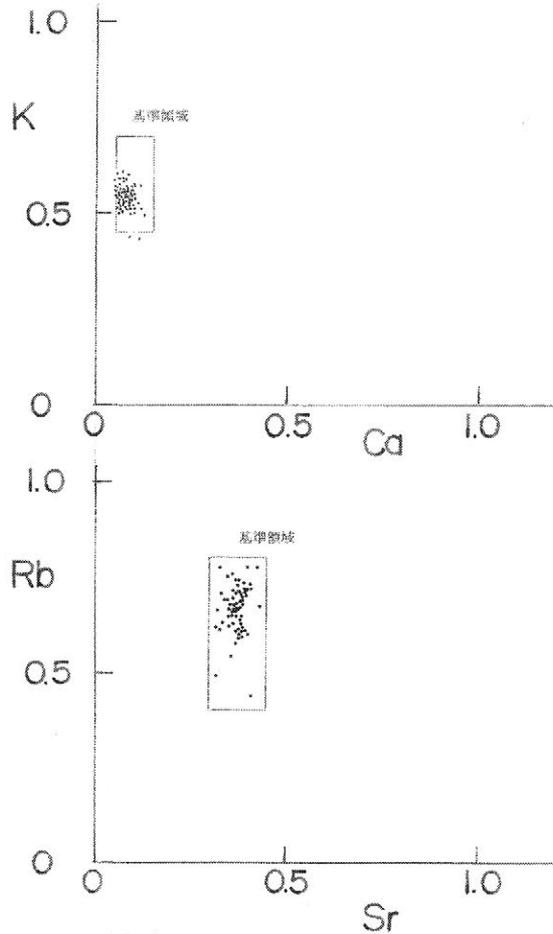


図2 西郡原 169 号墳出土形埴輪(蓋型)の両分布図

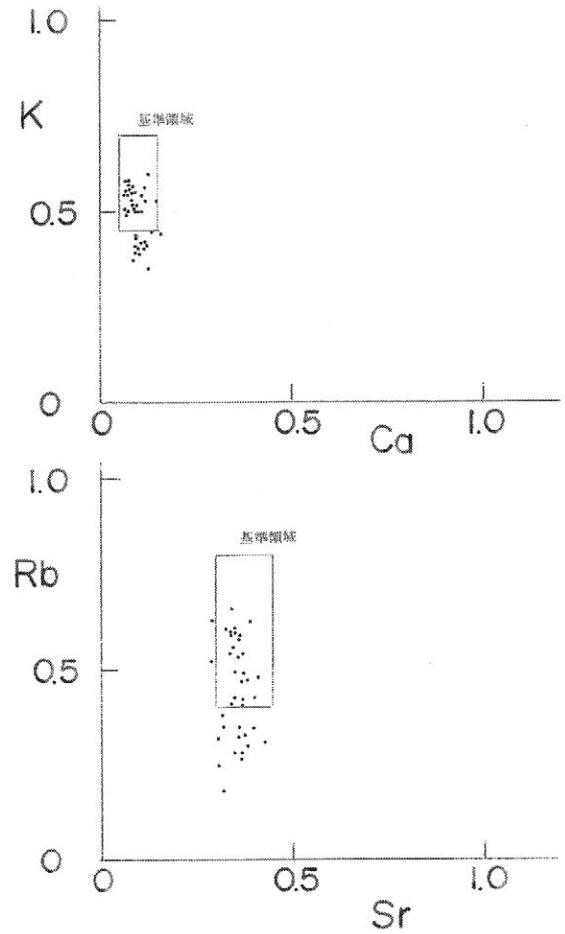


図3 新池窯群、古市(河内)窯群の埴輪の両分布図

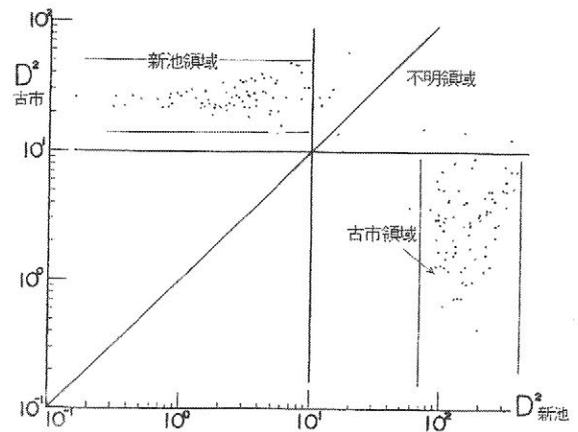
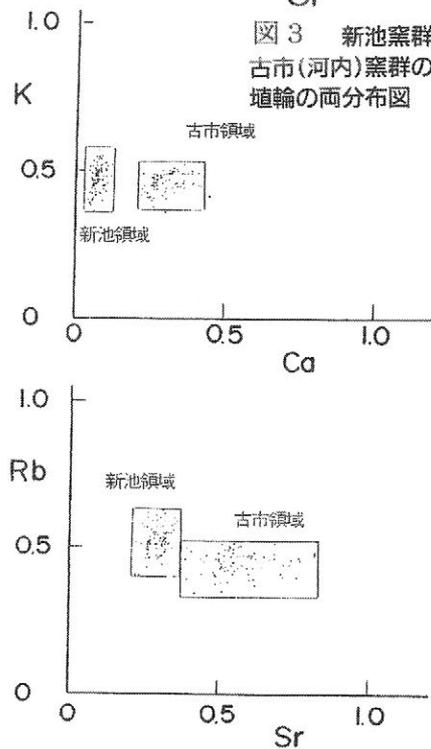


図4 新池群と古市群の相互識別

蛍光 X 線分析値にみる小豆島・讃岐産サヌキトイドの化学組成

○高橋 豊 (富士常葉大学環境防災研究所)

はじめに

サヌカイト、サヌキトイドを素材とする石器の原石産地同定に当たっては、石器のもつ特性を損なわないように、非破壊で、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置等による、定性分析で化学組成分析を行ってきた。この測定で得た X 線強度は、分析装置ごとに変化し、また分析試料の表面の形状・厚み、大きさや、試料表層の風化の程度などに左右される。遺物表面に水和層が発達し、風化が進んでいる場合などは、原石群の持つ化学組成からのずれが大きい。今回は、波長分散型蛍光 X 線分析機器による石器素材原石の定量分析値の裏付けを得たうえで、同素材の原石試料の非破壊定性分析値を用いて、分析値の比較、産地同定のための判別分析の手法の検討をした。

分析方法

分析装置 SEIKOU SEA-2001,
X線管ターゲット：ロジウム(Rh)
検出器：Si(Li)半導体検出器
試料は照射口上面に、マイラーフィルムをはり、上に試料をセットし測定した。

測定条件

管電圧：50kV、管電流：3 μ A、
照射径：10mm、
測定時間：.300sec、
雰囲気：真空

これらの分析条件は、分析する元素の種類とともに固定されている。標準物質に基づく定量分析ではなく、蛍光 X 線分析で得たスペクトル強度の比較と、判別分析によって産地推定を試みた。

測定した主要構成元素は、Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe の 7 元素である。これに、特性をみせる 4 種類の微量元素 Rb, Sr, Y, Zr を加え 11 元素を測定対象とした。

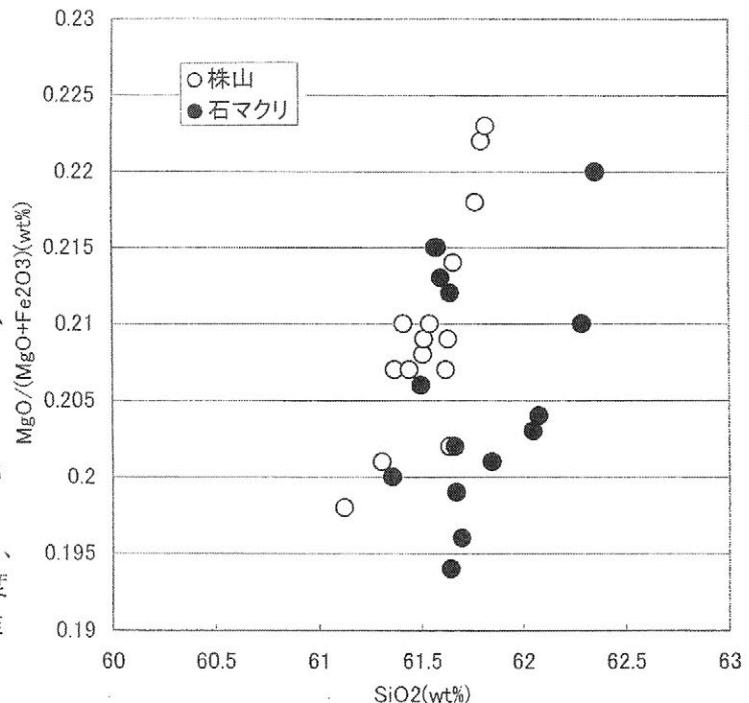
石器素材試料サヌキトイド

瀬戸内には、中期中新世に活動した瀬戸内火山岩を特徴づける岩石、石器素材原石でもあるサヌカイト、サヌキトイドが分布する。分布は、瀬戸内火山帯の拡がりと同なり、西に、二上山—小豆島—讃岐—瀬戸内の島々を経て、九州東部に至る。

瀬戸内火山岩類は、サヌキトイドで特徴付けられる。サヌキトイドは、比較的斑晶に乏しく (10%以下)、斜長石斑晶を欠き、黒色緻密で、鋭利な断口を示す火山岩である。サヌキトイドには、無斑晶安山岩や単斜輝石、古銅輝石、角閃石、カンラン石をみる安山岩で、他に、単斜輝石カンラン石玄武岩も含まれる。

サヌキトイドには、斑晶量の少なさや、斜長石斑晶の欠如という際立った特徴に加えて、細粒物質が集合する石基が緻密であり、石器素材として優れた特性をみせる。分析試料に二上山、小豆島、讃岐にみるサヌキトイドの一部を選択した。

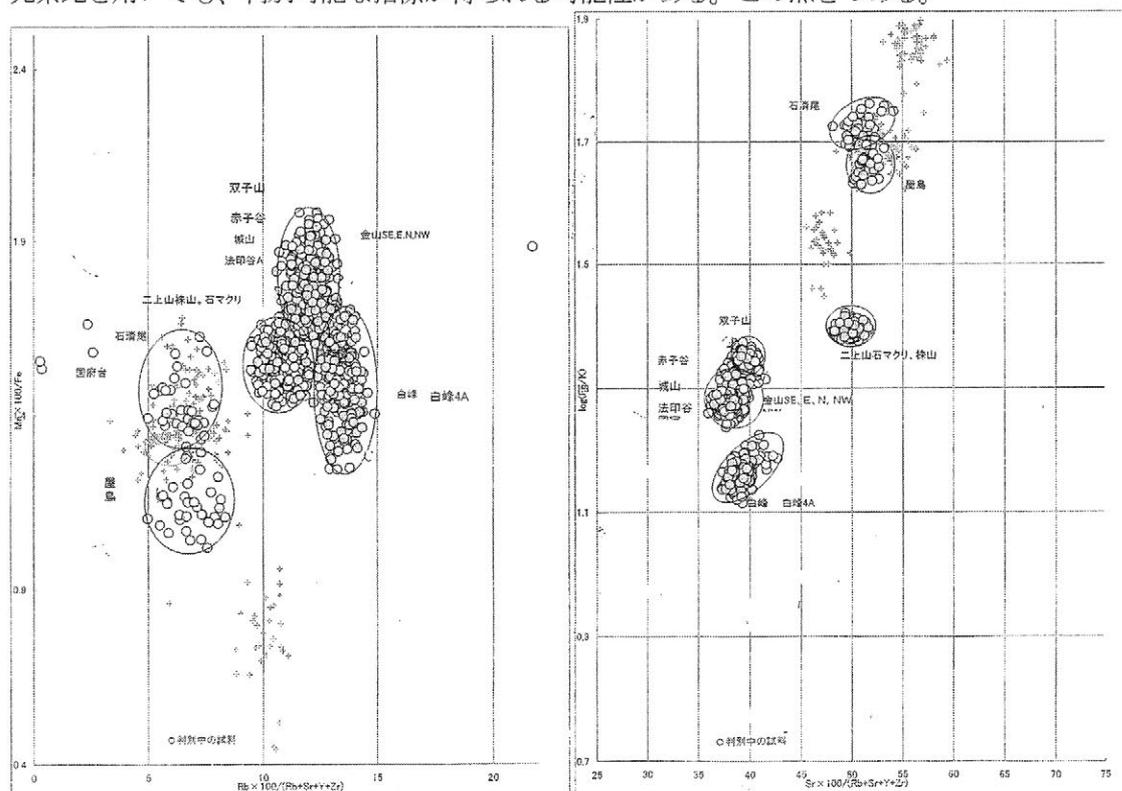
産地推定



測定結果から得られる各元素の蛍光 X 線スペクトル強度から計算される次の指標を用いた。主要構成元素 Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe については、簡単な強度比を算出した。微量元素 Rb, Sr, Y, Zr の扱いについては、Rb, Sr, Y, Zr の各微量元素の合計を強度 100%としたときの各微量元素の強度の百分率である Rb 分率、Sr 分率を計算した。これらの値を指標とし、X 軸・Y 軸に配し、「判別図」を作成した。「判別図」に、原石産地と遺跡出土試料から得られたスペクトル強度から計算される値を投入し、産地同定を試みた。

とりあえず、これらの指標を使って、素材産地の原石と遺跡出土試料の双方の値を重ねてプロットして、双方を比較して産地の推定を試みた。一つは、判別図による産地推定である。更に、多変量解析の判別分析を行って結果の確認をしている。この方法では、プロットした一つ一つの試料の値と各産地の群の重心との距離の最も近い産地を、その試料の産地としている。距離が短いほど類似度が高いと判断される。

問題は、化学組成からみて、サヌキトイドの産地同定により有効な指標は何かという点に在る。一例として、図 2 には、讃岐と二上山サヌキトイド原石の判別図の一部を、図 1 には、二上山原石の $MgO / (MgO + Fe_2O_3)$ の指標を使った散布図を示した。図 2 では、讃岐では、金山の領域に城山、法印谷、赤子谷、双子山の群が重なり判別できない。また、二上山の石マクリ、株山の原石も判別できない。しかし、図 1 のように、エネルギー分散型蛍光 X 線分析機器で測定可能な元素や元素比を用いても、判別可能な指標が得られる可能性がある。この点をつめる。



謝辞

富士常葉大学の嶋野岳人氏には、波長分散型蛍光 X 線分析 (XRF) 機器の操作、測定方法について教授いただいた。感謝申し上げます。

引用文献

Wedepohl, K.H. (1995) The composition of the continental crust, *GeochimCosmochim. Acta* 59, 7, 1217-1232.

佐野貴司 (2002) 蛍光 X 線分析装置を用いた火成岩中の主成分および微量成分の定量。富士常葉大学研究紀要, 2, 43-59.

二上山産(株山・石マクリ)サヌキトイドの化学組成

○高橋 豊 (富士常葉大学環境防災研究所)・佐藤良二 (香芝市二上山博物館)

はじめに

瀬戸内火山帯の代表的な火山である奈良県と大阪府県境にある二上山とその周辺地域には、サヌキトイドの火山活動がみられる。二上層群を構成するこれらの原川累層の溶岩類の噴出年代は $13.6 \pm 0.7\text{Ma}$, $14.6 \pm 1.5\text{Ma}$ で新第三紀中期中新世の噴出とされる。この原川累層の溶岩類のうち「春日山火山岩」・「株山」と「石マクリ火山岩」・「石マクリ」について、全岩化学組成分析を試みた。

この分析は、両火山岩の化学組成の差異を峻別できれば、二上山北麓のサヌキトイド分布と重なる遺跡群の各遺跡が、「株山」「石マクリ」の石器石材をどう選択的に取り込んでいるかなどの考古学的課題を進展させ得ると考え、行われた。

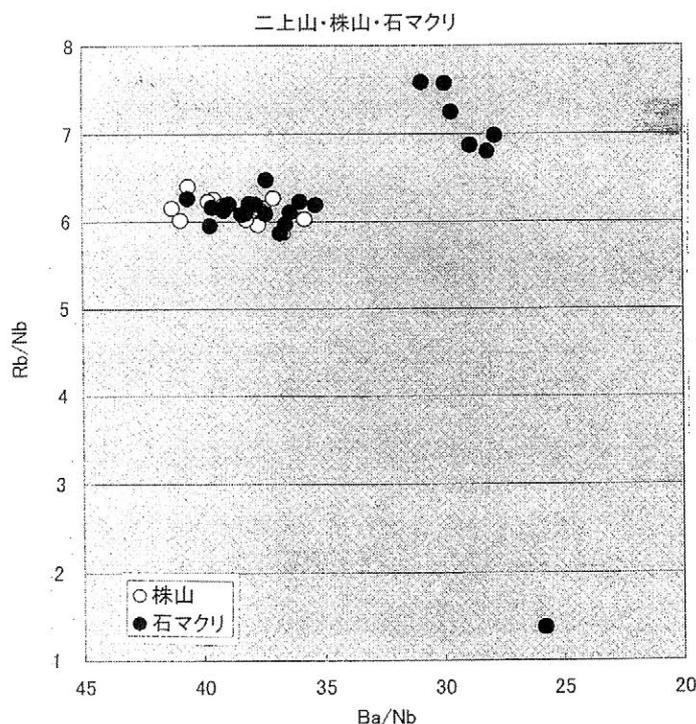
分析方法

分析方法波長分散型蛍光 X 線分析 (XRF) 方法は佐野 (2001) に従った。まず、粉末試料および融剤 (四ほう酸リチウム: 和光純薬工業、無水、タイプ II、蛍光 X 線分析用) を 110°C のオープン内で 12 時間乾燥させた後、デシケーターの中でそれぞれ室温になるまで冷ました。次に粉末試料 $0.8000(\pm 0.0004)\text{g}$ に対して融剤 $4.000(\pm 0.0004)\text{g}$ を加え、めのう乳鉢の中で均質になるまで混合した。これを東京科学製 CS-2 型白金るつぽに入れ、同社製ビードサンプラー装置 TK-4200 型を用いて 1100°C の温度で直径 30mm のガラス円盤を作製した。その際、るつぽからのガラス円盤の剥離を容易にするために、ヨウ化リチウム水溶液 (ヨウ化リチウム 0.4g に対して水 10g) を 1 滴 (約 10mg) 加えた。このガラス円盤を XRF (株式会社リガク製 RIX2100) にかき安山岩質サヌキトイド主成分組成 (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) および微量成分組成 (Rb, Ba, Nb, Sr, Zr, Y, Cr, Ni, V) を決定した。

結果

二上山山麓周辺の二上山のサヌカイトと総称される考古遺物石材の原石は、吉川 (1997) の「二上山周辺地域の地質図」にみられる、二上層群の安山岩質火山岩を利用していると考えられる。

分析試料の「株山」は、春日山の株山遺跡にみる岩脈から採取し、分析試料「石マクリ」は、春日東方の碎石場跡、現在の太子温泉地点で、田尻部層を覆う溶岩流「石マクリ火山岩」の崖錐の中から採取した。全岩化学組成の分析結果を図化した一部を示す。全岩化学組成は、「株山」は集中しまとまる。「石マクリ」は 5-6 群に分かれるが、この点は、両火山岩がおおう下位の田尻層群 B 層にみられる無斑晶質安山岩等の検討をまたなければならない。全岩化学組成は、「株山」は SiO_2 -61.12~61.82wt%、 MgO -2.19~2.24wt% に集中する。「石マクリ」は最も集中する領域では SiO_2 -61.2~62.3wt%、 MgO -1.67~2.00 wt% であった。ガラス質安山岩サヌキトイドである。



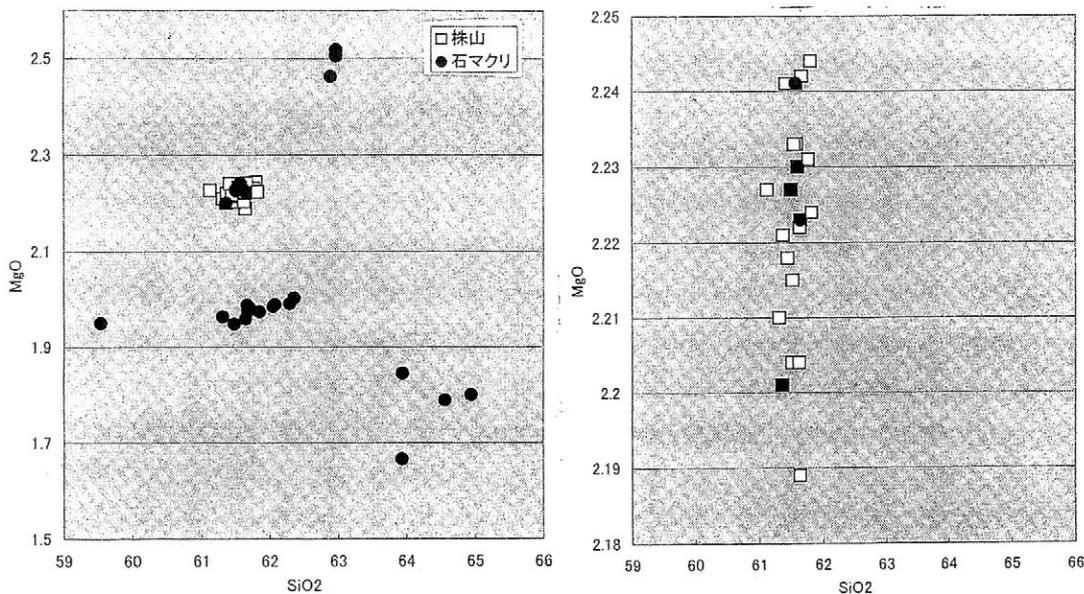
議論

マグマの化学組成を変化させる機構の中で最も重要なものは溶融作用及び分別結晶作用である。マグマ溜りで分別結晶作用が起こった後のマグマ組成は、分別結晶作用が起こる前のマグマ組成とは異なる。

これらの機構がおこる際、Rb,Ba,Nb の3元素はどれも鉱物を構成することはなく溶融作用及び分別結晶作用が起こると、3元素は同じようにマグマに濃集する。従って、これら3元素の比を取れば溶融作用および分別結晶作用の効果を取り除いた議論が可能となる。

つまり、マグマが溶ける前の物質、マグマソースの化学組成条件をみることができる。またSr,Zr、YはRb,Ba,Nbとは異なり、わずかに鉱物を構成するものの、マグマと鉱物が共存した際の鉱物への濃集の割合はほぼ同じであるため、これらの比を取るによっても、マグマソースの化学組成条件を見積もることができる。これを図化し、「株山」「石マクリ」試料の化学組成の差異を検討した。

二上山株山、石マクリ



考古学の視点

今回の分析の目的は、遺跡調査で利用できるサヌキトイドの化学組成を確認することにある。石器作成の素材の中でも利用頻度が高いのは、二上層群の各時代の火山岩の中、13.6Ma~14.6Ma (K-Ar年代、単位100万年)に貫入した原川累層の火山岩「株山」と「石マクリ」と考える。共に無斑晶で緻密なガラス質安山岩、サヌキトイドである。これら原石の礫の表面や断口にはそれぞれ、特有な性状が認められる。これらを手掛かりに、礫面が保存されている遺跡出土サヌカイト遺物を観察すると、そのほとんどに「春日山火山岩」の「株山」の石材が使われているという。しかし、石器の断口の観察と石器製作実験からは、「石マクリ火山岩」の「石マクリ」の石材も石器製作が充分可能である。また、両火成岩の岩石薄片の顕微鏡観察によると、石基の均一性と流理構造に両者の差異を見出すことができる。

そこで、今回の分析結果XRFで得た化学組成を、SiO₂-Al₂O₃、SiO₂-MgO等を軸とする散布図で示し、判別図を作成し判別分析を試み、二上山山麓に展開する遺跡から出土する遺物は石器素材として、どれを選択的に利用しているかを明らかにした。このサヌキトイドの産地同定手法を用いて、当時の流通・交流の実態に迫りたい。

謝辞

富士常葉大学の嶋野岳人氏には、波長分散型蛍光X線分析(XRF)機器の操作、測定方法について教授いただいた。感謝申し上げます

群馬県二宮赤城神社石造宝塔の炭素 14 年代測定

○ 坂本稔（国立歴史民俗博物館・総合研究大学院大学），
朽津信明（東京文化財研究所），
本多貴之（明治大学理工学部），前原豊（前橋市教育委員会）

1. はじめに

群馬県前橋市に所在する二宮赤城神社の石造宝塔（市指定重要文化財）には、表面に塗装の痕跡が残っている。石塔は木造塔を模倣するものも多いが、表面の塗装は屋外に長期間さらされることにより失われてしまう。塗装の実際を理解し外観を推定することで、当時の木造建築物の外観を復原し、ひいては町の風景の推定に寄与できることが期待される。石塔はその形式から南北朝時代頃のものと考えられているが、実年代を推定するために、表面塗装の炭素 14 年代測定を実施した。

2. 試料と処理

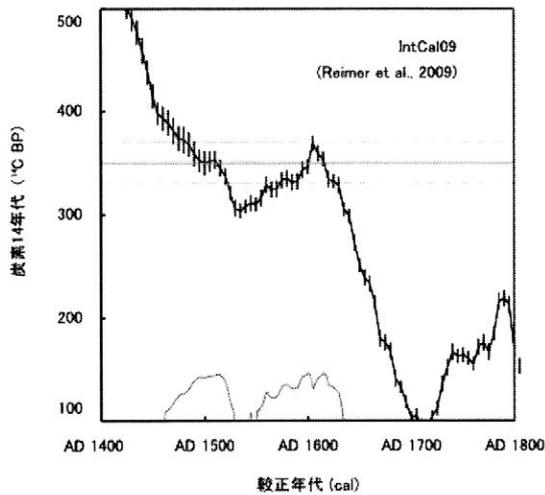
宝塔からの塗装の採取は 2009 年 11 月 9 日、所有者立ち会いのもと二宮赤城神社境内で行った。宝塔は笠の一部に大きな欠損がある以外、各部材の残存状況は比較的良好である。塗装は相輪、笠、塔身、基礎の当初整形面が残る部分に確認された。塗装は木屎漆と目され、表面に黒色の塗膜が認められる[1]。塗装の厚さは箇所により数 mm に達するものもあった。笠石軒裏と塔身側面より 1 平方 cm 程度の塗装を採取し、それぞれを GMNAJ-1、GMNAJ-2 とした。

採取した試料について、実体顕微鏡の下で表面の塗膜と下層の木屎漆との分離を試みた。GMNAJ-1 については分離した塗膜を a、木屎漆を b として、それぞれを測定試料とした。GMNAJ-2 は木屎漆を測定試料としたが、GMNAJ-1 b とともに微細な塗膜片が残留した可能性がある。同様に GMNAJ-1 a にも木屎漆が残留した可能性があるが、いずれの試料も割合は僅かであると判断した。

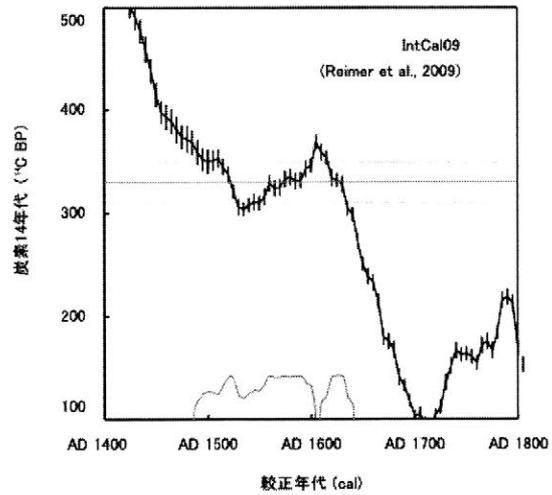
それぞれの試料は、アセトン中で超音波洗浄を行った後、年代測定試料に対する一般的な処理法である酸・アルカリ・酸処理（AAA 処理）を施した[2]。処理済の試料を回収し、乾燥・秤量後、(株)パレオ・ラボに送付して調製と測定を依頼した。(株)パレオ・ラボでは試料をグラフィイトに転換し、AMS（Accelerator Mass Spectrometry：加速器質量分析法）装置による炭素 14 の測定を行った。

3. 結果と考察

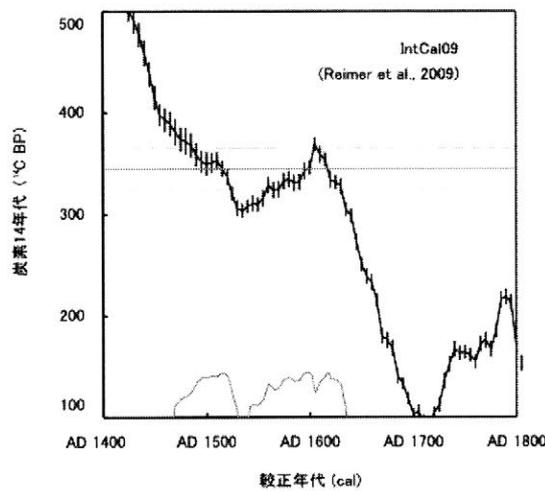
較正曲線 IntCal09[3]に基づき、較正プログラム RHC[4]を適用して導いた各試料の較正年代の確率密度分布を図 1 に示す。GMNAJ-1 の塗膜 (a) と木屎漆 (b)、および GMNAJ-2（木屎漆）の炭素 14 年代は 330～350 ¹⁴C BP と、測定誤差内でほぼ一致した。炭素 14 年代からは、木屎漆と塗膜は同時性の高い有機物と指摘できる。



試料名	GMNAJ-1 a
機関番号	PLD-15029
炭素14年代	350 ± 20 ¹⁴ C BP
較正年代	cal AD 1460 - cal AD 1530 42.5%
	cal AD 1545 - cal AD 1545 0.2%
	cal AD 1550 - cal AD 1635 52.7%



試料名	GMNAJ-1 b
機関番号	PLD-15030
炭素14年代	330 ± 20 ¹⁴ C BP
較正年代	cal AD 1485 - cal AD 1605 75.7%
	cal AD 1610 - cal AD 1640 19.7%



試料名	GMNAJ-2
機関番号	PLD-15031
炭素14年代	345 ± 20 ¹⁴ C BP
較正年代	cal AD 1470 - cal AD 1530 37.6%
	cal AD 1540 - cal AD 1635 57.8%

図 1 測定結果と較正年代

過去の大気中炭素 14 濃度の変動を反映し、較正曲線には凹凸が見られる。測定結果はそのような箇所に対応し、塗装の較正年代は西暦 1500 年ないし 1600 年前後という結果となった。いずれかに絞り込むことは困難であるが、前者であれば室町時代後半に相当する。宝塔の築造年代は形式から南北朝時代ないし室町時代前半と考えられ、若干の時間差は認められるものの、歴史的に長期間にわたって石造宝塔が塗装された状態で存在してきたことが確認できた。

本測定の一部は、平成 21 年度国立歴史民俗博物館基盤研究「歴史・考古資料研究における高精度年代論」により実施された。

- [1] 本多ほか (2010). 日本文化財科学会第 27 回大会発表
- [2] M. Sakamoto et al. (2010). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 268: 935-939.
- [3] P. J. Reimer et al. (2009). Radiocarbon 51: 1111-1150.
- [4] 今村峯雄 (2007). 国立歴史民俗博物館研究報告 137: 79-88.

AMS ^{14}C 測定実験室間の比較研究—名古屋大学と原子力機構むつ—

○中村俊夫(名古屋大学年代測定総合研究センター), 田中孝幸・甲 昭二(日本原子力研究開発機構青森研究開発センターむつ事業所), 太田友子(名古屋大学年代測定総合研究センター)

1. はじめに 最近では, AMS による ^{14}C 年代測定がよく利用されるようになっており, 年代測定ユーザーが, 複数の AMS 施設にまたがって年代測定を行っている場合もある. このように複数の AMS 施設を利用する場合には, 両機関の測定結果の一致度, 信頼度が特に重要な問題になる. 2006 年度から, 名古屋大学と日本原子力研究開発機構青森研究開発センターむつ事務所との間で協約を交わして, 研究課題名「加速器質量分析法による C-14 測定の相互比較」を実施している. この相互比較の研究として, 考古遺跡から採取されたイネ粃の炭化物, モモの種の炭化物およびオニグルミの炭化物を 2 つの ^{14}C 施設で分配し, ^{14}C 年代測定の相互比較を実施した. これらの 3 種類の試料は, それぞれ同一層から採取されたものであり, ^{14}C 年代は一致するはずのものである. ここでは, その結果を報告する.

2. ^{14}C 年代比較試料 山梨県の新府城跡から採取されたイネ粃の炭化物について, 合計 12 粒を 6 粒ずつ 2 グループに分け, 2 粒ずつを組として 3 試料として測定することとした. 一方, 山梨県宿尻第 2 遺跡から採取されたモモの種とオニグルミの殻の炭化物については, No.6 と No.17 の保存プラスチック瓶から, また No.21 の瓶からそれぞれ炭化物のカケラ 3 個体を選び出し, それぞれを割って 2 つに分け実験室間で分配した. このように, モモの種とオニグルミの殻については, 2 つの ^{14}C 測定ラボ間で分配したのは, 同一固体を 2 分割したものであり, 全く同一のものを, それぞれのラボで試料調製, 年代測定を行ったことが保証されている. すなわち, 得られる ^{14}C 年代は本来, 測定の誤差範囲内で一致するべきものである.

3. ^{14}C 測定結果及び考察 名古屋大学及び原子力機構むつで測定された結果を図 1 及び図 2 に示す. ここに示した ^{14}C 年代は, イネ粃の炭化物を除くと, 同一の個体を 2 分割して, それぞれを名古屋大学と原子力機構むつの AMS 装置で測定したものであり, 実際, 両施設の結果は 1 標準偏差の誤差範囲内で互いに良く一致している. なお, 原子力機構むつでは, ルーティンの試料調製をそのまま実施したことにより, アルカリ水溶液による洗浄処理で固形物が溶液中に溶けて無くなったため年代測定できなかった試料がある.

新府城は, 戦国武将武田勝頼が 1581 年に, 現在の山梨県韮崎市の中田町に築城した城である. 1582 年 3 月には, 織田・徳川の甲斐侵攻により, 武田勝頼は新府城に火を放って落ち延びることを試みたが途中で捕らえられて失敗した. 今回測定したイネの炭化物は, その火災の際に炭化したものと考えられる. OxCal4.1 較正プログラムを用いて, 炭化イネの ^{14}C 年代から暦年代を推定すると, おおよそ 1430 年から 1630 年と推定される. ^{14}C 年代の 300BP~400BP の間では IntCal04 較正データが大きく折れ曲がっており, このため, 可能性のある暦年代範囲が大きく広がっている. ^{14}C 年代の誤差は 1 標準偏差で $\pm 30 \sim \pm 35$ 年程度であるが, 可能性のある暦年代範囲は約 200 年の幅となってしまう

う。新府城が炎上した暦年代である 1582 年はこの推定範囲に入っている。他方、 ^{14}C 年代測定からは、これ以上は狭い暦年代範囲に縛り込むことはできない。

宿尻第二遺跡は、山梨県韮崎市穴山町 4306 外に所在する古墳時代前期の遺跡である（韮崎市教育委員会・峡北地域振興局 2004）。宿尻第 2 遺跡の 2 号竪穴住居跡の炭化物集中層からオニグルミの種子の殻が 245 点以上、モモの種子殻が 125 点以上検出された。採取されたモモ及びオニグルミの炭化種子殻の一部につき実施した ^{14}C 年代測定の結果は、1750BP~1870BP の約 100 年間に集中している。特に、1750BP~1800BP の 2 点を除くと、60 年間の間に集中する。一方、較正して得られる暦年代は、これらの ^{14}C 年代区間で IntCal04 データが直線的な変化からずれて折れ曲がりや変動があり、可能性の高い暦年代の範囲が cal AD 110 から cal AD 320 頃まで広がることになる。このように、 ^{14}C 年代測定から得られたオニグルミ及びモモの種子殻の暦年代は、同遺跡から出土した土器に基づく編年である古墳時代前期の推定年代とよく調和している。

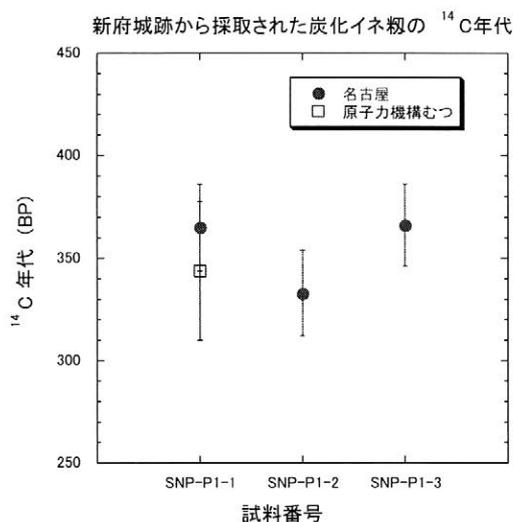


図 1 新府城跡から採取された炭化イネ粃の ^{14}C 年代

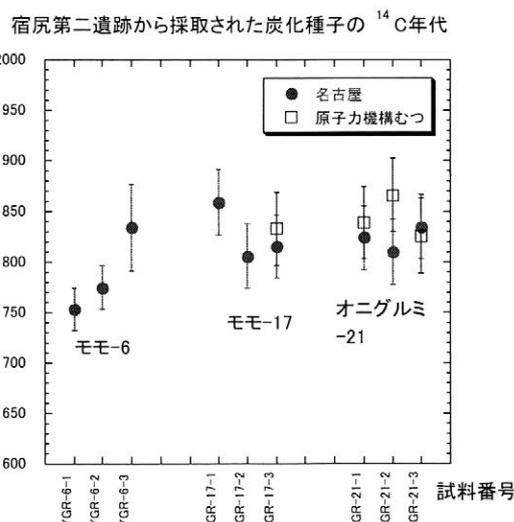


図 2 宿尻第 2 遺跡から採取されたモモ、オニグルミの種子殻の ^{14}C 年代

4. まとめ 歴史上の出来事に関連すると思われる新府城跡から発掘されたイネ粃炭化物および古墳時代の初期のものと思われる宿尻第二遺跡 2 号住居址から発掘されたモモ及びオニグルミの炭化種子殻を用いて、名古屋大学及び原子力機構むつの AMS 施設間で ^{14}C 年代測定比較研究を行った。両施設の結果は互いに良く一致しており、さらに歴史上の編年とも調和的であることが確認された。

謝辞 山梨県韮崎市教育委員会の関間俊明氏には、貴重な発掘遺物資料を提供していただいた。この実験室間比較研究の計画において、原子力研究開発機構青森研究開発センターの北村敏勝所長及び山本信夫課長には、計画の趣旨を理解して頂き計画推進にご助力頂いた。ここに感謝の意を表す。

日本産ツガ属の年輪年代測定（その3） —現生材による基準パターンの作成と既存データの再検討—

○藤井裕之（奈良文化財研究所・客員研究員）、光谷拓実（総合地球環境学研究所）

はじめに

ツガ（榎。トガとも呼ばれる）は、近世の建築用材として西日本を中心に広く使われた樹種である。木材利用史における主要樹種の一つでもあり、年輪年代法の対象としても以前から有望視されていた。しかし、その実用化のための基礎的検討は、長らくの間、不十分なままであった。

そこで一昨年の大会では、當麻寺大師堂（県指定文化財、奈良県葛城市當麻）のツガ属の部材で年輪測定を試みた結果を示し、この樹種でも個別物件の年代把握が可能なことを論じた（藤井・竹口 2008）。また、昨年の大会においても、願泉寺本堂（重要文化財、大阪府貝塚市中）の部材から計測したツガ属のデータと當麻寺大師堂の上記データを比較し、建築時の社会的背景が異なる物件でも年輪パターンが一致することを示した（藤井・竹口・後藤 2009）。しかし現生材の検討は、試料不足のため後回しになっており、ツガの場合、年輪パターンが具体的にどのような地理的範囲で同調しているか、という点を明らかにすることが大きな課題として残されていた。その後、屋久島産の現生材を集中的に調査した機会に、既存のツガ年輪データについても再検討を行い、産地間のデータ比較を試みることができたので、以下報告する。

1. 本発表に関するデータ処理の方法

本発表に関する年輪データの計測やクロスデーティングは、Baillie (1982) などに基づいた光谷ら (1990) の方法によった（クロスデート：重複年輪数 100 層以上、 $t=5.0$ 以上で判断）。今回は基本的に年輪読取器を使わず、試料の表面をコンパクトデジタルカメラ（Panasonic DMC-LX3）で撮影し印刷出力したものから年輪幅を計測している。撮影に際しては、画像にスケールを写し込み、計測の際に倍率がわかるようにした。実際のクロスデートはコンピュータ上でおこない、Excel VBA による自作プログラム、ならびに年輪分析ソフト PAST4（オーストラリア SCIEM 社）を併用した。

2. 現生材による屋久島産ツガの基準パターンの設定

鹿児島県の屋久島は、ツガの分布の南限にあたる。この島でツガは、おおむね標高が 500～1500m ほどの地点にスギやモミなどと混生しており、資源量も比較的豊富である。しかし現在、ツガの分布する森林全体が法令で保護されており、伐採や立木を傷つける形での調査は厳しく規制されている。これを越えない範囲において、現在までに下記 3 種類（A～C）の現生データを収集することができた。ここでは、それぞれデータ A、データ B のように仮称する。

- A. 1988 年秋に島内安房地区の貯木場において、保管中の丸太断面から計測したデータ（当時、年輪読取器を持ち込んで直接計測）。917 年分。1 個体のみで試料は現存しない。3 種類の中で、唯一伐採年（1988 年）が判明している。
- B. 2008 年秋に宮之浦嶽国有林内、三代杉～大株歩道入口間の森林軌道に倒れかかり、その後切断、撤去された倒木の木口断面から計測したデータ。646 年分。1 個体のみで、データ A との照合により最外年輪年代は 1989 年と求められた。この年が枯死年にあたると思われる。
- C. 屋久島町立屋久杉自然館（1989 年開館）で現に使用されている床材から計測したデータ。同館の展示スペースの床には、レンガ大の地元産ツガの角材が敷き詰められているが、この材の年輪は非常に緻密なものが多く、樹皮直下の面や辺材部が含まれているものも少なくない。2010 年 4 月現在、床材 85 点分の計測作業が終了し、それらのデータの一本化を試みた結果、408 年分（最外年輪は樹皮直下に相当）の年輪データを得ることができた。この最外年輪年代は伐採年と考えられ、データ A との照合により 1988 年と求められる。切り分けられているため、本来の具体的な個体数は不明だが、比較的多数にのぼるものと推察される。

上記の3種類を相互に比較した結果、AとC、BとCそれぞれの組み合わせにおける同調性はかなり良好であったが、AとBを直接クロスデートさせることはできなかった。これらのことから、データCは基準パターンとしての性能を有しているものと考えられる。

3. 各産地（屋久島、高野山、木曾）間のパターン比較とその結果

上記のデータCは、屋久島産の基準パターンとしての役割が期待できるほか、サンプル数の現状からみて、全国的にもツガ属の中でもっとも質の高い年輪データということが出来る。一方、これまでに公表されたツガ現生材の分析は、長野県木曾郡王滝村産の円盤試料2枚（1988年伐採、光谷ほか1990, p.58）の例に限られており、産地間の比較は一度も行われていない。

そこで、上述のデータC、木曾産円盤2枚の平均値パターンに、さらに和歌山県伊都郡高野町（高野山）産の円盤1枚（未公表試料。1979年9月伐採。奈良文化財研究所年代学研究室保管）を加えた産地の異なる三者間でパターンを比較した。その結果、木曾と高野山の組み合わせにおいては、t値およびグラフの目視点検とも結果は良好で、互いに伐採年を正しく検出することができた。しかし、屋久島産材が含まれる組み合わせに関しては、いずれも基準に達せず、クロスデートは成立しなかった。ただし、屋久島と高野山の組み合わせの場合、t値は基準に達していなくても、伐採年は正しく検出できていることが指摘できる。

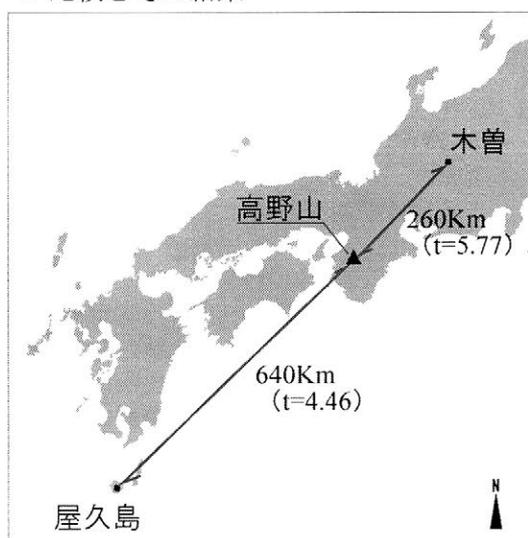


図 ツガ産地間の直線距離とt値

4. 若干の考察と今後の課題

木曾と高野山の間は、直線距離にして約260Km離れている。比較に使用した両者のデータを下支えする個体数は極端に少ないが、それでも矛盾なく同調性を確認できており、この程度の距離であれば、ツガの年輪パターンはよく一致することが想定できる。また、600Km以上離れた屋久島と高野山の比較結果によると、距離が遠くなるにつれてt値も逡減すること、年輪の成長に影響を及ぼす何らかの気候的な要素が、広い範囲で共通していることがうかがえる。以上のことからすると、ツガに関しても、ヒノキやスギと同様の水準で、年輪年代法が十分適用可能であることが確認できるだろう。

残る課題は、産地ごとに長期の暦年標準パターンを作成することである。国有林野事業統計（林野庁ホームページ http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/tokei/index.html、2010年4月閲覧）によれば、近年ツガの伐採量は激減している。したがってことは容易でないが、さらに良好な現生試料の入手に努めたい。また、建造物の保存修理工事の機会を活かした古材データの集積も急がれる。引き続き、試料の収集にご協力をお願いする次第である。

なお、本発表における成果の一部は、科学研究費（課題番号20760437）の助成による。

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・竹口泰生・後藤玉樹 2009 「日本産ツガ属の年輪年代測定—複数の近世建造物におけるデータ比較—」
 『日本文化財科学会 第26回大会 研究発表要旨集』 pp.146-147
 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

ロシア・アムール流域における過去一万年間の文化編年

○國木田大, 吉田邦夫 (東京大学), I. Shevkomud (極東国立博物館), 大貫静夫, 佐藤宏之, 熊木俊朗 (東京大学), 福田正宏 (東北芸術工科大学), 内田和典 (首都大学東京), 森先一貴 (奈良文化財研究所), A. Konopatskii (ノボシビルスク上級軍事指揮官研究所)

1. はじめに

本研究は、ロシア・アムール河下流域の過去一万年間の文化変遷の年代解明を目的としている。当該地域の新石器文化変遷は約 12,000BP のオシポフカ文化から始まり、コンドン文化、マリシェボ文化、ヴォズネセノフカ文化、コッピ文化、初期鉄器時代のウリル文化、ポリツェ文化と続く。本研究の対象範囲はポリツェ文化頃までを念頭において進めている。当該地域では、この他に東シベリア系のベリカチ式土器が進出する時期もあり、各文化集団間の接触メカニズムの解明や、その背景となる社会生態学的な相違が重要なテーマとなっている。そのためには、まず各文化の年代的な位置づけを明確にする必要がある。2008 年第 25 回大会では、マラヤガバニ遺跡における分析の途中結果を発表した (國木田ほか 2008)。今回は、バガロツコエ 24 遺跡、クニャーゼ・ヴォルコンスコエ 1 遺跡の ^{14}C 年代値をあわせて報告する。また、これらの遺跡で出土しないオシポフカ文化に関しては、2004 年度に調査したノヴォトロイツコエ 10 遺跡 (長沼ほか 2005) などを検討した。

2. 研究目的および方法

測定遺跡の概要は、福田ほか (2008)、森先ほか (2009)、内田ほか (2009)、大貫ほか (2010) で報告されているので、本要旨では割愛したい。以前から指摘している通り、当該地域の年代的な大きな問題は、遺跡の成立過程 (多層集落が多い) や堆積環境、付着物にみられる海洋リザーバー効果などがある。そこで、筆者らは研究当初から①炉跡など (コンテキストが明確な遺構) で出土する木炭と、土器付着炭化物の年代値の比較、②同一土器型式間の付着物年代のばらつきの検討について考察を行ってきた。土器付着物年代の傾向が分かれば、既存の付着物資料に関しても年代評価を行うことが可能となる。測定試料の調製は通常の方法に従って行い、測定は東京大学工学系研究科に設置されている AMS 装置を用いた。

3. 各文化時期の年代検討、遺構出土炭化物と土器付着炭化物の年代差

図 1 にマラヤガバニ、バガロツコエ 24 遺跡の ^{14}C 年代値を示す。マラヤガバニ遺跡、バガロツコエ 24 遺跡を参考に、現段階での新石器時代における各文化期の年代範囲は、コンドン文化 (?~6000BP)、マリシェボ文化 (6000~4700BP)、ベリカチ文化 (5000BP 前後)、ヴォズネセノフカ文化 (4700~3400BP) となる。

表 1 に同一遺構における木炭と土器付着炭化物の年代差を示す。北東アジア地域の土器付着炭化物の年代値は、海洋リザーバー効果の影響により、古く算出されることが多い。本論のデータも木炭と比較してすべて土器付着炭化物の年代値が古く、735~135BP の年代差が存在する。2008 年度マラヤガバニ遺跡第 1 発掘区第 3 区画では、炉に伴う出土状況で明確なセット関係の検討ができ (表 1、*マーク)、約 300~600BP の年代差を確認できた。今回の結果から、土器付着炭化物の年代値も、約 300~600BP 若い方に年代値を補正すれば、年代の指標として活用可能であることが確認できた。この点は多層集落遺跡の多いアムール川流域の研究にとってきわめて意義深い。一方で、存続期間が短いと推定されるベリカチ文化の付着物年代の分散幅は約 440BP (5765~5325BP) あるため、この幅より高精度では評価できないと考えられる。

ポスター発表では、この他に新石器時代初頭のオシポフカ文化段階のゴンチャルカ 1 遺跡、ノヴォトロイツコエ 10 遺跡の年代についても報告する。クニャーゼ・ヴォルコンスコエ 1 遺跡の付着物は 7265BP、木炭は 7655・7585・6845BP で二つの年代時期が確認された。今後、クニャーゼ・ヴォルコンスコエ 1 遺跡の年代測定を継続するとともに、新たな遺跡の探索を進め、10,000~7000BP の文化変遷を解明したい。

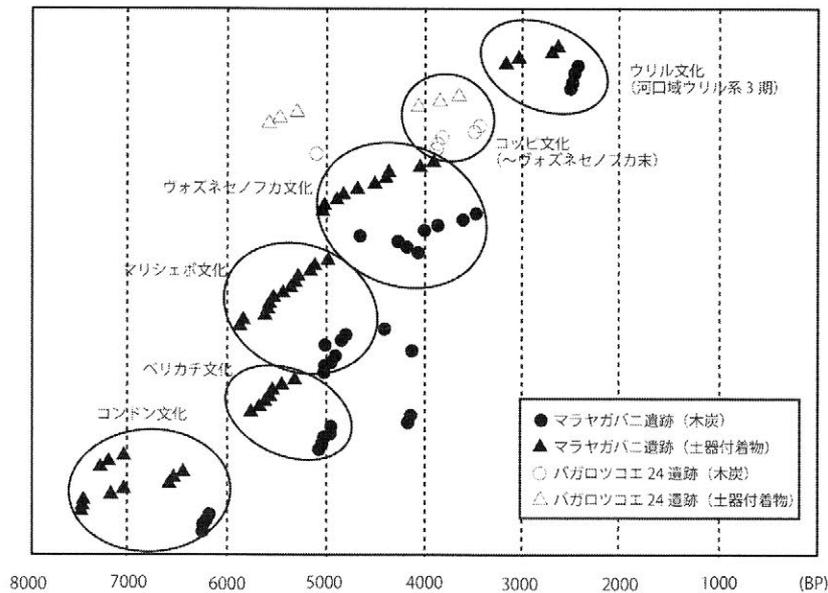


図1 新石器～初期鉄器時代における各文化の¹⁴C年代値

試料番号	層位・遺構など	文化	木炭年代	土器付着物年代	年代差
08MG-S2-43,45 現6付, 現9付他	08 マラヤガバニ遺跡 8 プラスト, 溝塚土	コンドン	6250, 6210 BP	6600, 6460 BP	390-210 BP
07MG-16B 59付B	07 マラヤガバニ遺跡 第2発掘区, 土坑3	ヘリカチ	4955 BP	5565 BP	610 BP
07MG-18B, 19B 57付B	07 マラヤガバニ遺跡 第2発掘区, 土坑5	ヘリカチ	5025, 4950 BP	5685 BP	735-660 BP
07MG-25M, 26M 他 1b付 M, 35付 M 他	07 マラヤガバニ遺跡 第1発掘区第1, 土器集中4	マリシエボ	5015, 4905 BP	5445, 5165 BP	540-150 BP
08MG-S2-34 現3付M	08 マラヤガバニ遺跡 第1発掘区第2, 土器集中7	マリシエボ	5010 BP	5545 BP	535 BP
08MG-S2-26 3付V	08 マラヤガバニ遺跡 第1発掘区第2, 土器集中4	ウォズネセ ノフカ	4170 BP	4400 BP	230 BP
08MG-S2-19 32付V	08 マラヤガバニ遺跡 第1発掘区第2, 土器集中2	ウォズネセ ノフカ	4270 BP	4685 BP	415 BP
08MG-S3-20 現4付V	08 マラヤガバニ遺跡 第1発掘区第3, 土器集中7	ウォズネセ ノフカ	4650 BP	5025 BP	* 375 BP
08MG-S3-18 現14付V	08 マラヤガバニ遺跡 第1発掘区第3, 土器集中5	ウォズネセ ノフカ	4000 BP	4370 BP	* 370 BP
08MG-S3-9 10付V	08 マラヤガバニ遺跡 第1発掘区第3, 土器集中2	ウォズネセ ノフカ	3610 BP	3920 BP	* 310 BP
08MG-S3-2 39付VK	08 マラヤガバニ遺跡 第1発掘区第3, 炉2	ウォズネセ ノフカ	3475 BP	4050 BP	* 575 BP
07MG-11S, 14S 他 32付 S, 43付 S 他	07 マラヤガバニ遺跡 第1発掘区第1, 炉4 周辺	河口域ウリル 系3期	2515, 2470 BP	3050, 2650 BP	580-135 BP

表1 同一遺構の木炭と土器付着炭化物の年代差

(* 伊関係)

【参考文献】

内田和典ほか 2009 「2008年度バガロツコエ 24 遺跡の考古学調査」『第10回北アジア調査研究報告会発表要旨』 北アジア調査研究報告会実行委員会
 大貫静夫ほか 2010 「2009年度クニャーゼ・ヴォルコンスコエ 1 遺跡の調査について」『第11回北アジア調査研究報告会発表要旨』 北アジア調査研究報告会実行委員会
 國木田大ほか 2008 「アムール下流域・マラヤガバニ遺跡における新石器文化編年の検討」『日本文化財科学会第25回大会研究発表要旨集』 日本文化財科学会
 長沼正樹ほか 2005 「ノヴォトロイツコエ 10 遺跡 2004 年度発掘調査」『第6回北アジア調査研究報告会発表要旨』 北アジア調査研究報告会実行委員会
 福田正宏ほか 2008 「マラヤガバニ遺跡における考古学的調査 (2007 年度)」『第9回北アジア調査研究報告会発表要旨』 北アジア調査研究報告会実行委員会
 森先一貴ほか 2009 「マラヤガバニ遺跡における考古学的調査 (2008 年度)」『第10回北アジア調査研究報告会発表要旨』 北アジア調査研究報告会実行委員会

炭素 14 年代測定法による縄文早期三引遺跡の存続期間に関する一試行

○山本直人・水野 螢 (名古屋大学文学研究科)

1. 目的

縄文時代の集落研究において、集落の存続期間を解明することは重要課題の一つとなっている。この課題を解決する一つの有効な手段として、AMS 炭素 14 年代測定法が挙げられる。

石川県七尾市三引遺跡は縄文時代早期末～晩期の遺跡で、土器型式編年では早期末～前期初頭の佐波式期の後、しばらく空白期間があつて前期中葉の福浦下層式から居住が再開している。本発表は、佐波式期に絞って三引遺跡の存続期間の究明を試みることを目的としている。

2. 方法と結果

現在までに三引遺跡では、山本 (山本ほか 2001・2009) や国立歴史民俗博物館 (西本 2009) によって AMS 炭素 14 年代測定が行われ、較正年代が提示されている。これらの測定結果をもとに、IntCal04 を用いて暦年較正をし直すことによって集落の存続期間を推定する (表 1・2、図 1)。

表 1 三引遺跡の炭素 14 年代測定結果および暦年較正結果 (西本 2009)

測定番号	出土区	試料	δ 13C (‰)	14C年代	較正年代(2σ) (calBC)			
PLD-9732	4区貝塚下包含層	土器付着物(煤)	-24.3	6700±35	海芋リザーブ?			
PLD-9726	10-11区2層	土器付着物(煤)	-25.6	6535±35	5610(2.7%)5590	5565(90.8%)5465	5405(2.1%)5385	
PLD-9725	10-11区2層	土器付着物(焦)	-24	6555±30	海芋リザーブ?			
MTC-08555	第1貝塚	土器付着物(煤)	-25.4	6430±70	5525(94.0%)5295	5250(1.4%)5230		
PLD-9727	10-11区4層	土器付着物(煤)	-25.7	6490±30	5510(95.4%)5375			
PLD-9728	10-11区3層	土器付着物(焦)	-23.8	6445±30	海芋リザーブ?			
MTC-08553	10-11区	土器付着物(煤)	-25.2	6410±40	5470(95.4%)5320			
MTC-08551	第1貝塚	土器付着物(焦)	-25.4	6380±40	5470(95.4%)5305			
MTC-08554	第1貝塚	土器付着物(焦)	-26	6350±40	5465(14.8%)5405	5385(68.0%)5285	5275(12.6%)5225	
MTC-10684	第1貝塚	土器付着物(煤)	—	6300±40	5365(95.4%)5210			
MTC-10683	第1貝塚	土器付着物(焦)	-25.4	6285±40	5365(94.3%)5205	5145(0.3%)5140	5125(0.2%)5125	5090(0.6%)5090
PLD-9733	9区包含層	土器付着物(焦)	-25.3	6315±30	5355(95.4%)5220			
PLD-9729	10-11区3層	土器付着物(煤)	-25.4	6310±30	5350(95.4%)5220			
PLD-9734	9区包含層	土器付着物(煤)	-25	6285±35	5340(95.4%)5210			
PLD-9723	10-11区3層	土器付着物(焦)	—	6270±30	5315(95.4%)5210			
PLD-9722	10-11区2層	土器付着物(焦)	-26.1	6270±30	5315(95.4%)5210			
MTC-08549	10区2層見上	土器付着物(焦)	-26.6	6200±70	5320(95.4%)4985			
PLD-6039	11区3層6656	骨(シカ)	—	6250±25	5310(91.7%)5205	5160(10%)5150	5145(0.7%)5140	5130(0.7%)5120
					5090(1.3%)5080			
MTC-08552	第1貝塚	土器付着物(焦)	-25.4	6210±60	5310(95.4%)5010			
PLD-9720	10-11区2層	土器付着物(焦)	—	6225±35	5305(48.6%)5195	5180(46.8%)5090		
PLD-6038	10区4層4447	骨(シカ)	—	6225±25	5300(52.8%)5200	5175(42.6%)5070		
PLD-6041	10区第1貝塚742	骨(シカ)	—	6195±30	5290(20%)5270	5230(93.4%)5045		
PLD-9724	10-11区3層	土器付着物(煤)	-25.3	6175±30	5220(95.4%)5005			
PLD-9721	10-11区2層	土器付着物(煤)	-25.8	6150±30	5210(95.4%)5010			
PLD-6040	10区第1貝塚9224	骨(シカ)	—	6145±25	5210(95.4%)5010			
PLD-9735	4区包含層	土器付着物(焦)	-25.6	6075±30	5195(1.6%)5180	5060(92.1%)4900	4865(1.7%)4855	
PLD-6037	10区3層1067	骨(シカ)	—	6080±25	5190(0.8%)5185	5055(93.3%)4930	4920(1.3%)4910	
MTC-08550	10区2層見上	土器付着物(吹)	-25.5	6045±40	5055(95.4%)4835			
PLD-9736	4区包含層	土器付着物(煤)	—	6000±30	5050(90.6%)4895	4870(4.8%)4850		

表 2 三引遺跡の炭素 14 年代測定結果および暦年較正結果 (山本ほか 2001・2009)

測定番号	出土区	試料	δ 13C (‰)	14C年代	較正年代(2σ) (calBC)		
17MEK03		土器付着物	-24.8±0.1	6290±100	5475(95.4%)5020		
17MEK02		土器付着物	-24.8±0.1	6205±120	5465(1.9%)5435	5425(1.2%)5405	5385(92.3%)4845
PLD-9079	西陽町区SK24	堅果類	-25.5±0.2	6170±30	5215(95.4%)5000		
PLD-9081	西陽町区SK40	堅果類	-26.1±0.2	6145±30	5210(95.4%)5005		
PLD-11287	SK43	コナラ属	-26.1±0.2	6130±30	5210(95.4%)4990		
PLD-11288	東陽町区SK48	マン科	-27.5±0.2	6060±35	5055(95.4%)4845		

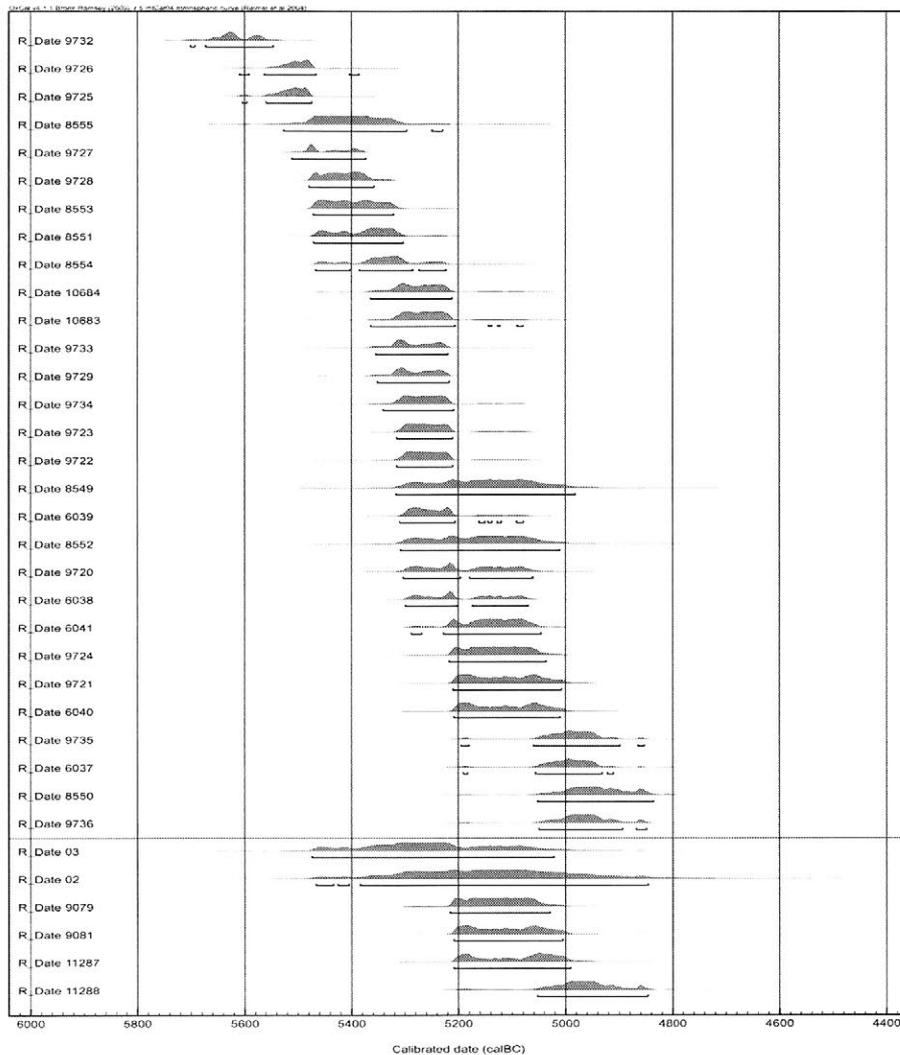


図1 三引遺跡の炭素14年代測定値の暦年較正結果

(注: 図下方の線より上部は西本2009の測定値、下部は山本ほか2001・2009の測定値)

3. 考察

35点のうちリザーバー効果の影響が疑われる3点と年代が大きくはずれる1点(PLD-9726)の合計4点を除外し、31点の較正年代から存続期間を考えていく。最も長く想定すると約5520calBC～約4850calBCの約670年間となり、最も短く想定すると約5370calBC～約5050calBCの約320年間となる。しかしながら、検出された遺構や遺物の出土量からは約320～670年間にわたって集落が存続したとは考えにくく、較正年代が2標準偏差で表わされることと較正曲線の平坦な部分と重なることにより、見かけ上、存続期間が長くなってしまふのであろう。ここから実際の存続期間を算出していく方法を究明することが、今後に残された課題の一つである。

【引用文献】

- 小田寛貴・山本直人、2001、「縄文土器のAMS¹⁴C年代と較正年代」『考古学と自然科学』第42号、pp.1-13、日本文化財科学会：奈良。
- 西本豊弘、2009、「地域別測定データ」『弥生農耕の起源と東アジア-炭素年代測定による高精度編年体系の構築-』、pp.306-309、国立歴史民俗博物館：佐倉。
- 山本直人・水野 螢・奥野絵美、2009、「石川県三引遺跡の壘果類貯蔵穴の炭素14年代測定」日本文化財科学会第26回大会：名古屋。

糖アルコール含浸法からの新たな展開 -トレハロースを主剤とする出土木材保存法へ-

○伊藤幸司（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 上）
今津節生（独立行政法人 国立文化財機構 九州国立博物館）

1. はじめに

発表者らは、1994年から糖アルコール含浸処理法の開発・実用化を行い、さらに広範な木製品を安全・確実に保存処理すべく研究を継続してきた。様々な糖類の中から、安定性、作業性、価格の面から検討した上でラクチトールを使用しているが、近年、バイオ燃料の高騰に伴い価格が上昇したために、より安価に入手できる糖類、具体的にはトレハロースを主剤とする保存処理方法への転換を視野に入れ研究を開始した。

従来の糖アルコール含浸法でラクチトールにトレハロースを添加することによって、高濃度溶液の維持や安定した結晶の形成に役立ててきた。今回はトレハロースを出土木材の含浸強化処理の主剤として活用するための研究を推進する。

糖アルコール含浸法の開発当初から、高湿度条件や含浸時におけるトレハロースの安定性を高く評価してきた。しかし、当時はまだ稀少糖であったので、価格と安定供給の面から大規模な利用には慎重であった。しかし、(株)林原の大量生産技術によって安定で安価な供給が開始され、近年では蔗糖の代替えとして利用が進むことによって、トレハロースは蔗糖にせまる低価格で安定し、欧米、アジア諸国でも安定して入手できる糖類になった。

当初、発表者らは糖アルコール含浸法の技術的な延長としてトレハロースの適正を検討した。しかし、その実験過程でより効果的な保存処理方法となる可能性が出てきた。現在、新たな処理方法への展開を目指し、基礎的な実験を行っている。本稿では糖アルコール法への適応を含め、その概要を記す。

2. 糖アルコール法への適応

トレハロースについては食品・医療分野を中心に様々な研究が蓄積され、有効利用がなされている。基本的な物性について、ラクチトールと比較した（下表）。

トレハロースは、ラクチトールの3水和物に相当する不安定な結晶は生成しないので、より安全な保存処理が見込まれた。反面、溶解性の低さと粘度が問題視されたが、トレハロース水溶液は同条件のラクチトール水溶液よりも粘度が低く、最終含浸濃度75%ならば加熱温度85℃程度で含浸可能であった。また、結晶性が極めてよいので取上げ後に核（シード）を与えなくても結晶することが多い。テストピースへの含浸実験を繰り返して再現性を確認した後、木簡の含浸処理を行った。その結果、ラクチトールを含浸したものと比較して遜色のない仕上がりであった（写真1）。

	ラクチトール	トレハロース
融点	102~105℃ (1水和物)	97℃ (2水和物)
溶解度 (g/100g 水)	169.7g (25℃)	91.4g (25℃)
甘味度	40 (対砂糖 100)	45 (対砂糖 100)
分子量	362 (1水和物)	380 (2水和物)
吸湿性	RH90%以下吸湿性なし	RH90%以下吸湿性なし

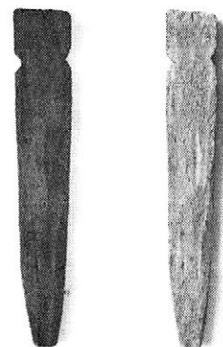


写真1 トレハロースを含浸した木簡
(最終含浸濃度76% 左:処理前、右:処理後)

3. 新たな保存処理方法へ

出土木材の保存材料としてトレハロースの適正を検討するために様々な実験を実施しているなかで、発掘現場での利用を想定しトレハロースの保湿性を検討するため実験を行ったところ、想定外の結果を得た。

テストピース（含水率750%程度の広葉樹）を10・20・30・40・50%のトレハロース水溶液に常温で1時間浸漬した後、室内に吊るして送風、乾燥した。その結果、実験で期待した“湿り気”はなく、ほぼ絶乾状態に乾燥しているにもかかわらず形状が保たれた。CTスキャンで実験材の断面を観察した結果（写真2）から見ても顕著な寸法安定効果が現れている。感覚的には「凍結乾燥後の木材」に近い。わずか1時間の含浸で驚くべき効果である。写真3は含水率700%の針葉樹を16時間含浸したものである。さらに寸法安定性がよいことがわかる。

4. まとめ

トレハロースは「不思議な糖」と言われており、その効果に関する研究が様々な分野で進められている。今回判明した出土木材に対する短時間含浸での効果は、現時点で明瞭に解釈するには至っていない。しかし、単にラクチトールの代替えとして“木材の中の過剰な水分と置き換える”という発想ではなく、“木材を変形させることなく水分を取り除く”、いわば凍結乾燥に近い、新たな保存処理方法へと展開する可能性がある。

今後、実用化に向けていくつもの条件をクリアする必要はあるが、大規模な機器を使用せず、大量のエネルギーを消費せず、安全で環境に優しい保存方法の確立に向けた新しい可能性を切り開くことが期待できる。

（以上のように、「短時間含浸」・「低濃度含浸」・「乾燥の緩急」に係る基礎的な実験を継続している。最新の情報は発表当日ご確認いただきたい。）

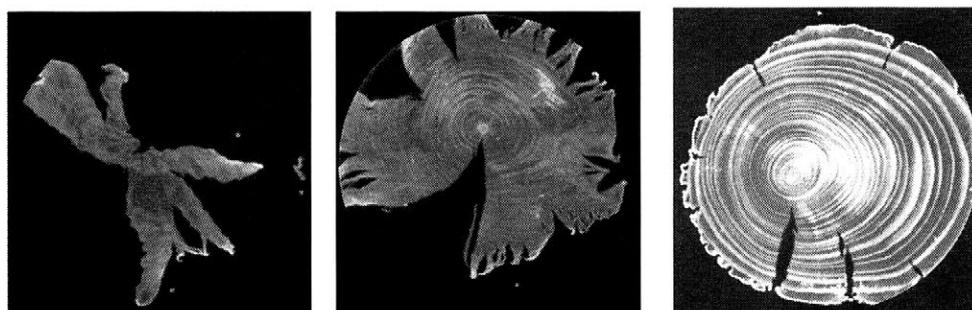


写真2 CT画像（含水率750%の広葉樹、左から0%・10%・50%含浸）

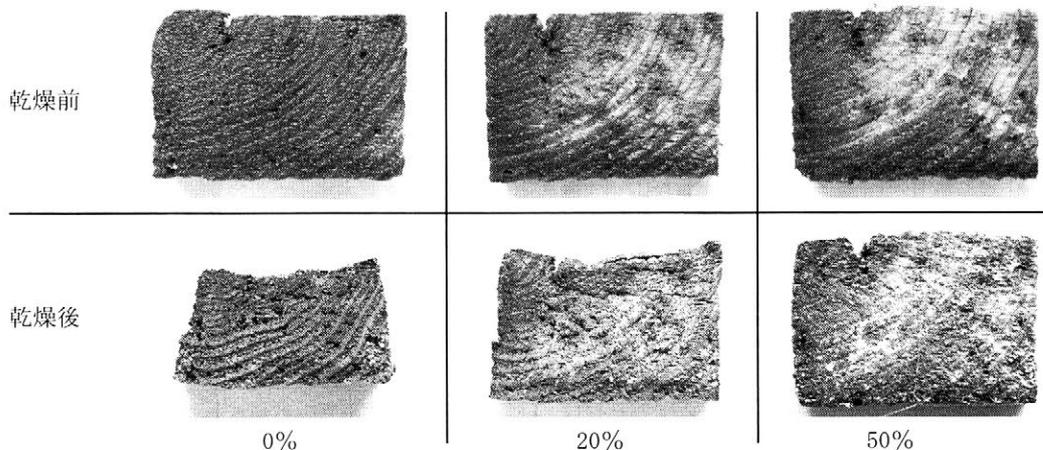


写真3 含水率700%の針葉樹 乾燥前後の外観（16時間含浸）

着生地衣類の二次代謝産物とその生成物を利用した文化遺産の強化方法の研究 I - 着生生物と基物との界面の微細構造解析 -

○河崎衣美(筑波大学・日本学術振興会特別研究員 DC)、
松井敏也(筑波大学)、山本好和(秋田県立大学)

1 はじめに

文化遺産を構成する材料として、石材やレンガは碑などの造形物から橋、寺院などの建築材料まで多用途に使用されている。これら屋外に曝される石造文化遺産の劣化対策としては、環境をコントロールして劣化要因を取り除くまたは和らげる方法と、劣化現象に対応し、物質の強化などの修復処置を行う方法がある。本研究では文化遺産の材質強化の一つの手法として地衣類によるバイオミネラリゼーションの利用について調査研究を行っている。微生物の活動を利用した土壌および岩石強化の手法として、土壌中に存在する微生物を利用したバイオグラウトに関する研究¹⁾がなされている。



写真1 地衣類が着生した石造文化遺産

地衣類の二次代謝産物とその生成物を利用して文化遺産の強化を行うためには着生メカニズムを把握し、二次代謝産物とその生成物を同定し、生成物の生成量や生成速度などを調査して条件を抽出する必要がある。地衣類の基物への着生状況の違いには、基物の種および地衣類の種、基物の平滑性やその他の環境条件などの違いが考えられる。そこで本報では異なる種の地衣類における同種の基物への着生状態を記録し、地衣類の着生に関する重要なファクターの抽出を試みた。

2 方法

生物が着生した岩石を試料とした。試料は花崗岩（着生生物種2種）、流紋岩（着生生物種12種）、チャート（着生生物種7種）、溶岩（着生生物種2種）である。写真1に試料の一つを示す。全着生生物の内訳は、地衣類では生育形が痂状の種が16種、葉状の種が2種、蘚類、藻類である。試料を岩石-着生生物境界面に対して垂直に切断し、岩石-着生生物境界部を光学顕微鏡の明視野において観察した。必要に応じて光学顕微鏡を用いた蛍光観察、微分干渉観察および走査型電子顕微鏡を用いた観察を行った。切断には低速精密切断機を用い、純水を切削液とした。観察においては各着生生物の生物体の構造や厚み、菌糸や偽根および仮根の密集レベルや穿入深さ、二次代謝産物とその生成物の結晶分布や厚みなど、岩石-着生生物境界部の微細構造に着目した。



写真2 地衣類が着生した岩石試料

3 結果と考察

花崗岩着生の痂状地衣類2の背面¹⁾を写真3aに、着生界面を写真3bに示す。写真3bより、地衣体に4つの層構造が見られた。背面から順に菌のみ存在する白色の層（上皮層）、菌と藻が存在する緑色の層（藻類層）、菌のみが存在する白色の層（髓層）、茶色の層が観察された。茶色の層は観察部分によってはその存在が確認されない部分があり、特定の鉱物上に観察される現象ではなかった。一方同じ痂状地衣類2の流紋岩着生の試料では茶色の層は見られなかつ

¹⁾ 地衣体において基物に接する面を腹面、逆の面を背面と表す。

た。茶色の層が花崗岩着生に特異な層であるか、地衣類の個体差で生じる層か、別の生物体が関与して生じた層であるかを、よりマイクロレベルでの観察および染色や蛍光観察などを用いた解析を行う必要がある。

花崗岩着生および流紋岩着生共に岩石 - 地衣境界部には空間は観察されず、密着性の高い状態で岩石に固着している様子が見られた。写真 3c の SEM 画像においても、地衣体内の髓層部分では菌体間の空間が $1\mu\text{m}$ に満たず、髓層部菌体の密集度が高い様子が観察された。

流紋岩着生の痂状地衣類 10 の着生界面を写真 4 に示す。写真 4 より、地衣体には 2 つの層構造が見られた。背面から順に菌と藻が存在する緑色の顆粒からなる層、黒色の菌糸がゆるく絡み合った層が観察された。写真 4 より、岩石 - 地衣境界部では黒色の菌糸が斑晶鉱物に接した状態が観察された。

光学顕微鏡を用いた明視野観察においては二次代謝産物およびその生成物と考えられる結晶は観察されなかった。顕微結晶法や X 線回折などを用いた分析、薄片試料の作製などにより生成物の同定や分布の解析を行う必要がある。

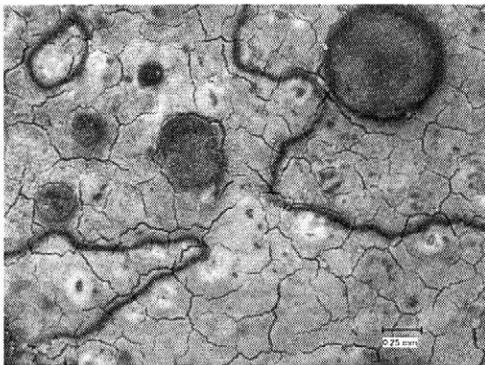


写真 3a 花崗岩着生痂状地衣類 2 背面

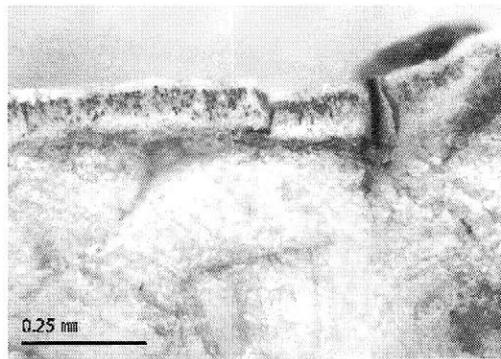


写真 3b 花崗岩着生痂状地衣類 2 着生界面

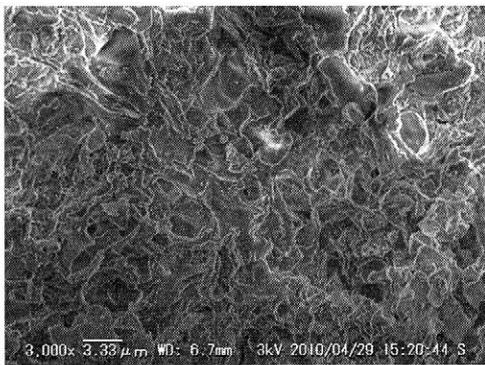


写真 3c 流紋岩着生痂状地衣類 2 髓層部の SEM 画像

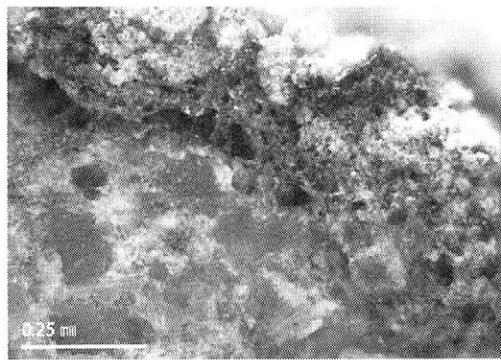


写真 4 流紋岩着生痂状地衣類 10 着生界面

4 まとめと今後の展開

着生生物と岩石基物との境界部の微細構造の解析を行い、着生に関する基礎的な情報を得た。さらにデータ数を増やし、着生試験による造岩鉱物の選択性の確認などを行い、文化財の保護を考慮した着生生物と基物との関わりに重点を置いた着生生物の分類基準の構築を目指す。

今後は実際の文化遺産の材質強化におけるバイオミネラリゼーションの利用に向けて、バイオミネラルの強制生成法を調査し、生成過程の基物への影響確認試験等を実施する予定である。

参考文献

- 1) 村尾彰了, 川崎了, 広吉直樹, 恒川昌美, 金子勝比古: 微生物代謝により固化する新しいグラウトに関する基礎的検討, 第 34 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.417 ~ 422, 2005. など

観察手法による高松塚古墳壁画表面の調査結果報告

○吉田直人 1、高妻洋成 2、降幡順子 2、辻本与志一 2、間瀬創 1

早川泰弘 1、佐野千絵 1、三浦定俊 1、肥塚隆保 2

(独立行政法人国立文化財機構 1. 東京文化財研究所 2. 奈良文化財研究所)

【はじめに】

国宝高松塚古墳壁画劣化調査の一環として、デジタルカメラを使った図像面のマクロ分割撮影を行ってきた。昨年度の大会では、その途中経過として、西壁・白虎像と東壁・青龍像の撮影結果から、図像が見えづらくなっている原因として、次の2点を指摘した¹⁾。

1. 描線や色材の漆喰面からの消失
2. 描線や色材の上に発生した乳白色物質の存在。

これ以降も調査は継続して行い、これまでに天井・星宿を含む全ての図像面を対象とした撮影を終えた。本大会では、その結果から判明した事項を報告する。

【撮影方法】

前回の報告と同じく、機材設置用のフレームにデジタルカメラ(リコー GX-100)を固定し、白色 LED による斜光条件のもと、壁画面のマクロ撮影を行った。撮影視野は約 30 mm× 45mm、カメラを等間隔に移動させながら、図像面とその周囲を分割撮影した。

【調査結果】

天井・星宿を含む全ての図像上に、白虎や青龍と同じく、粒状やペースト状の乳白色物質が発生していることが分かった(写真 1, 2)。1972 年に撮影された写真²⁾との比較から、発見後から現在にいたるまでの間に発生したものも多いが、発見前に既に発生していたものも相当量であることが判明した(写真 3)。また、物質が発生している箇所では、その下層に顔料や描線がよく残っていることから、不鮮明化の原因である一方、保護層として作用している面もあるといえる。この物質については、目地漆喰や下地漆喰の調査結果³⁾から、溶けた漆喰が再結晶化したカルサイトである可能性が強く示唆される。

また、描線や色材の消失に関しても、程度の差こそあれ、全ての図像で起こっている。一例として西壁・月象では、1972 年の写真では鮮明な山の描線が、今回の調査ではほぼ完全に消失していることが判明した(写真 4)。

本調査で撮影した画像は計 2090 枚に及ぶ。本会では、その中から典型的な画像を示し、調査結果の詳細を報告する予定である。

- 1) 吉田他：「高松塚古墳壁画の材料調査 (2)-観察手法による白虎および青龍の表面状態調査」日本文化財科学会第 26 回大会要旨集 310-311 (2009)
- 2) 高松塚古墳総合学術調査会：『国宝高松塚古墳壁画』(1973)
- 3) 肥塚隆保「目地漆喰と下地漆喰のサンプリングによる調査」第 12 回高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会参考資料 (http://www.bunka.go.jp/takamatsu_kitora/kentokaito/rekkachosa/12/pdf/sanko_2_3.pdf)



写真1：西壁・女子像・赤衣像の右肩付近衣の彩色が乳白色物質で覆われている。

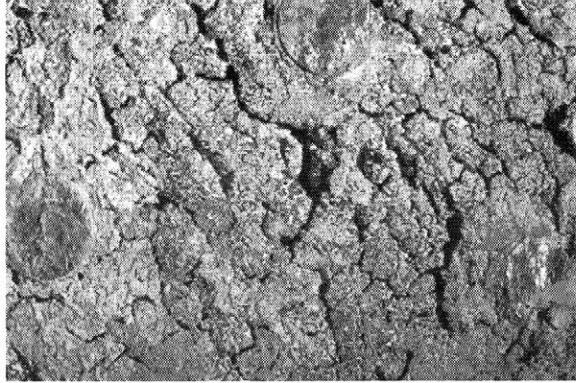


写真2：天井・星宿
星を表す金箔の上にも乳白色物質が発生。

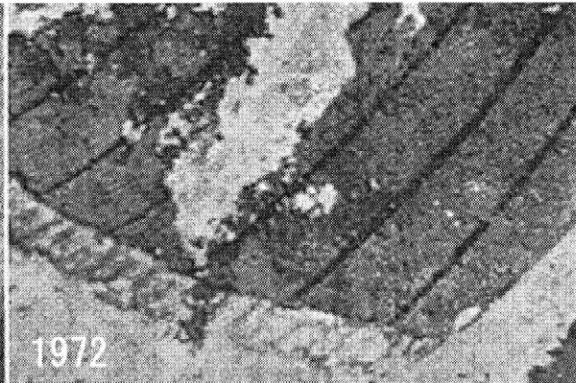
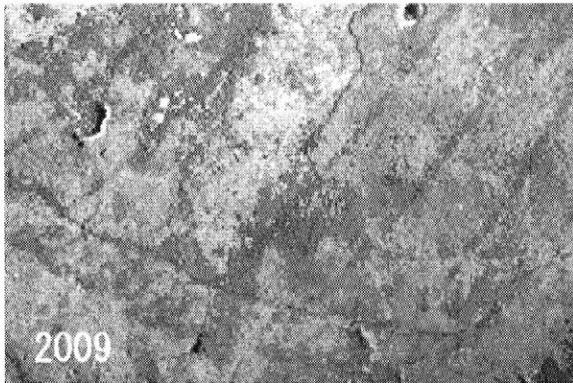


写真3：東壁・女子像・黄衣像の裳 1972年に撮影された画像との比較
色彩が不鮮明化している部位が一致することから、この乳白色物質は、発見前に発生していたものと推測される。

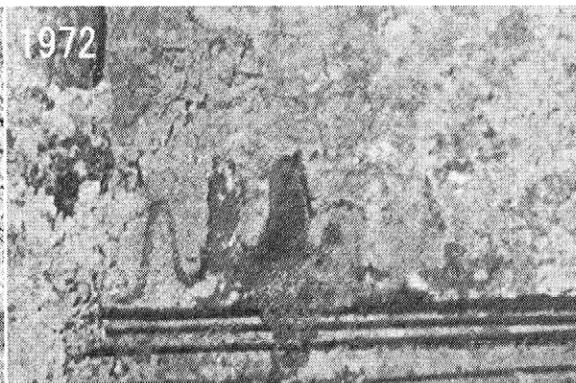
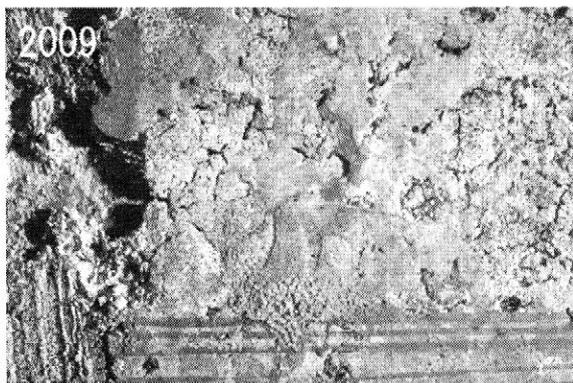


写真4：西壁・月象・雲に浮かぶ山
1972年の時点では明瞭にみられる輪郭線が、今回の調査時にはほぼ完全に消失していることが判明した。

高松塚古墳壁画の材料調査

— 蛍光 X 線分析法による下地漆喰に関する調査(2) —

○降幡順子^{*1}、早川泰弘^{*2}、吉田直人^{*2}、高妻洋成^{*1}、辻本与志一^{*1}、脇谷草一郎^{*1}、
佐野千絵^{*2}、三浦定俊^{*2}、宇田川滋正^{*3}、建石徹^{*3}、肥塚隆保^{*1}

(*1 奈良文化財研究所、*2 東京文化財研究所、*3 文化庁)

1.はじめに

高松塚古墳壁画の劣化原因調査の一環として、平成20年度より携帯型蛍光X線分析装置を用いて壁画表面に存在する主要元素の測定を行っている。下地漆喰に含まれる鉛の分布や画像に用いられている彩色材料を調査することで、壁画の劣化原因を推定し、さらには今後の修理に有用な情報を得ることが目的である。これまでの調査では、鉛の検出強度が場所により異なることが明らかとなり、昨年の本学会第26回大会では、西壁石2（白虎）・東壁石2（青龍）の調査結果を報告した。今回は北壁（玄武）、西壁石1（西壁男子群像）、天井石2（南から2石目）についての調査結果を報告する。

2.測定方法

二方向にスライド可能なアームが取り付けられている分析用フレームに携帯型蛍光X線分析装置Niton XLt-500 を取り付け測定を行った。測定条件は、管電圧40kV、電流Auto(約10 μ A)、測定時間60秒、X線照射範囲10mm ϕ （試料間距離7mm時）である。操作はすべてフレームの外からおこない、壁面上での作業をおこなうことなく安全に測定を実施できるようにした。測定は壁画面を縦横5cm間隔でおこない、土に覆われた箇所、あるいは漆喰が完全に脱落している箇所については測定を実施していない。測定箇所数は、北壁(玄武)335点、西壁石1(西壁男子群像)264点、天井石2は249点である。

3.測定結果

今回報告する三つの壁面においても、西壁石2(白虎)・東壁石2(青龍)と同様、鉛は強度の差はあるものの壁面全体から検出されることがわかった。しかし、西壁石2(白虎)・東壁石2(青龍)と比較し、画像周辺に分布する鉛検出強度の大きい範囲が狭いことがわかった。北壁(玄武)においては、玄武像の内側(蛇像の内側)に鉛強度の大きな領域が広がり、その上方(北壁最上方)には周囲よりも僅かに鉛強度の大きい部分も観察された。ただし、東壁日像や西壁月像の下方で観察されたような顕著に鉛強度の大きい帯状部分は認められなかった。西壁石1(男子群像)では、画像部分周辺と壁面の南端に鉛検出強度の大きい範囲が存在している。南端には画像は描かれていない。また、天井石2では星宿の西側と東側部分では、鉛の分布がやや異なっている状況が観察された。

これまでの調査結果からは、石材による鉛分布の差異も明確になりつつある。鉛分布の差異の原因については、二次的に生成した炭酸カルシウム層の影響や表面状態との関係を今後検討していく必要がある。

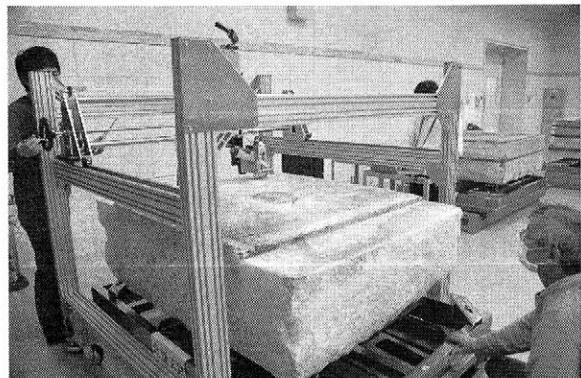


写真1：北壁（玄武）測定風景

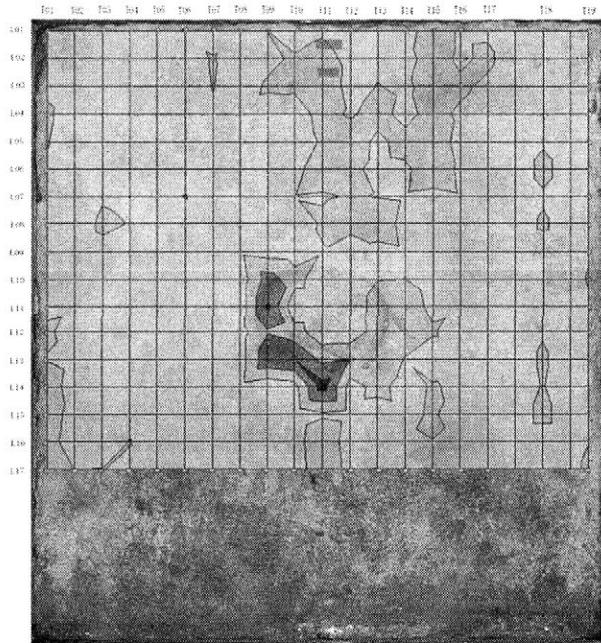


図1：北壁（玄武）鉛検出強度分布

玄武像の内側（蛇像の内側）においても鉛検出強度は大きい。壁面中央上部にも鉛検出強度の大きい部分が見つかったが、西壁石2・東壁石2のように明らかに帯状に伸びる部分は観察されない。

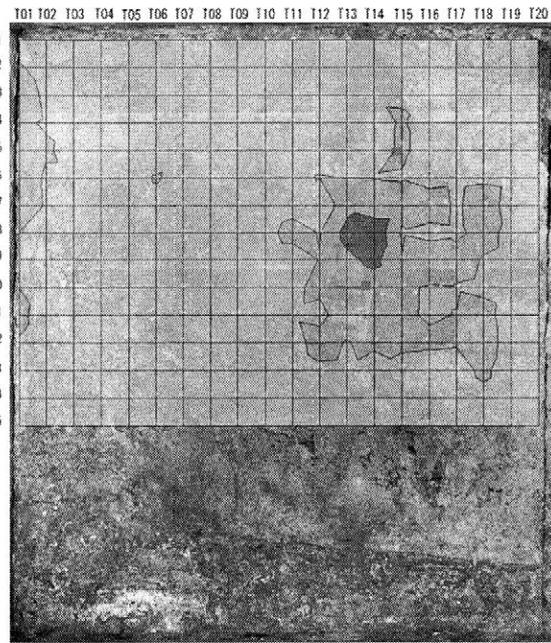


図2：西壁石1（西壁男子群像）鉛検出強度分布

図像が描かれていない南端（図左側）にも、鉛検出強度の大きい範囲が存在している。

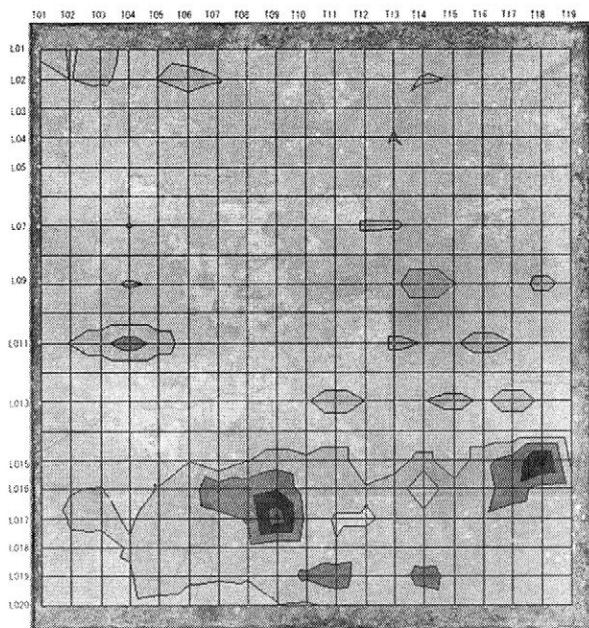
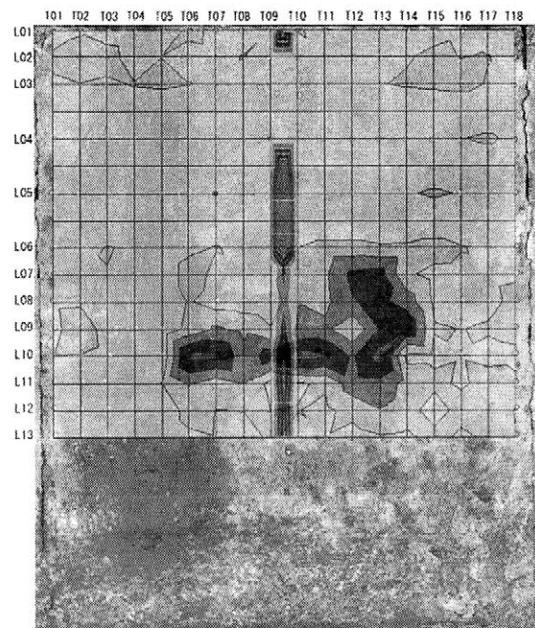


図3：天井石2 鉛検出強度分布（左：南，上：東）

西側（図下側）の鉛検出強度が相対的に大きいですが、これは測定距離の影響を含んでいると考えられる。星宿部分は西側では鉛検出強度の大きい部分が観察されたが、東側（図上側）では観察されなかった。



参考：東壁石2（青龍）の鉛検出強度分布
（日本文化財科学会第26回大会ポスター発表）

minor

 major

国宝高松塚古墳壁画の材料調査

—目地漆喰および下地漆喰—

○肥塚 隆保⁽¹⁾、高妻 洋成⁽¹⁾、降幡 順子⁽¹⁾、金原正明⁽⁴⁾

佐野 千絵⁽²⁾、早川 泰弘⁽²⁾、吉田 直人⁽²⁾、三浦 定俊⁽²⁾ 建石 徹⁽³⁾

(1):奈良文化財研究所, (2):東京文化財研究所, (3):文化庁, (4):奈良教育大学

1. はじめに

高松塚古墳壁画は、発見当初と比べて、絵画部分が薄れたり、漆喰が黒ずむなどの劣化が進んできた。最近の報告では、自然科学的要因と人為的要因が複雑に関与していた事が明らかにされた。本研究は、高松塚古墳壁画の漆喰の保存状態について、現状を正確に評価し、同時にその劣化原因を解明することを目的としたものである。ここでは、“目地漆喰”と壁画の下地を構成する“下地漆喰”について、これまでに調査した結果について概要を報告する。

2. 試料と方法

目地漆喰は、石室解体時に取り外された一部を採取して、調査試料とした(15箇所から採取し、キトラ古墳など数点の試料を参考として加えた)。下地漆喰については、壁画発見当初に採取され、嶋倉教授(奈良教育大学、地史・古生物学教室)によって調査された残り片が保管されており(金原研究室で保管)、本調査に提供されたので、この試料片(嶋倉試料と呼んでいる)9点を用いた(表土を含めて1g~0.1gの小片)。

今回は、実体顕微鏡観察、偏光顕微鏡観察(試料を超低粘性エポキシ樹脂で固化した後に、薄片を作成)、蛍光X線分析、X線回折、化学分析(ICP 発光分光分析、原子吸光、イオンクロマトグラフィ、による 19 元素の測定と灼熱減量を測定)、EPMA による元素分布測定(下地漆喰から検出される鉛の分布など調査)、一部の試料についてはマイクロフォーカス X 線 CT、CR による調査も実施した。また、漆喰に含有する有機物の同定もおこなっているが、確定できる結果は得られていない。

3. 調査結果

観察の結果、目地漆喰の表面からは、二次的に形成したと考えられる物質が顕著に認められた。第1点は、生物的要因による淡茶色ないし褐色を帯びた薄膜状の物質(バイオフィルム)である。第2点は、白色で脂肪光沢を呈する皮殻状物質が薄く表面を覆っていた。全体的には、表層の乾燥が進んでチョーキングを示していた。下地漆喰も同様であるが、試料とした下地漆喰の表層は、シルトないし粘土物質が最上層に薄く層を成して覆っており、その下には基質表層に接して白色の皮殻状物質が形成していた。これは壁画面側に顕著に表れており、凝灰岩に接着する面は、存在してもわずかである。

肉眼観察・実体顕微鏡観察で特徴的であったのは、目地漆喰の表層の一部で、白色を呈する化石化したスサ状物質らしきものが観察された点である(図1)。

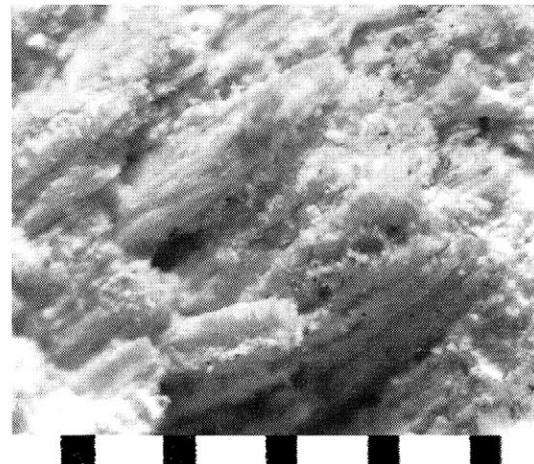


図1. 目地漆喰に見られた、スサの痕跡？

白色化して化石化していることもあれば、有機物としての成分が残存していると考えられるものもある。写真は 2mm 径におよぶ繊維の束で、これがほぐれた状態のこともある。(1Div=0.5mm)

偏光顕微鏡観察の結果、目地漆喰と下地漆喰は基本的に同質である。基質は微晶なカルサイトの集合体で、同質起源と考えられる垂円状の微小な礫がわずかに観察される。また、基質には多量の空隙が存在し、現在の漆喰とは大きく異なる多孔質体になっていた。空隙の形状は、虫食い状、シャープな線状、柱状など各種各様である。下地漆喰のほうがより微細な空隙を形成している。いずれも、スサが腐朽、消失して生じた二次的に形成した空隙と考えられ、漆喰としての強度が大きく減じる原因と考えられる。特に、下地漆喰は、表層付近に連続する空隙が顕著で、漆喰の陥没や剥落などの原因となる。この空隙部分には、二次的にカルサイト、一部でアラゴナイト？が成長して充填している箇所が多数観察された。特に目地漆喰では表層より内部で顕著である。また、何らかの繊維状物質が炭酸カルシウムに置き換わって化石化している様子も顕著に観察できた。

下地漆喰の層厚は、ほぼ 2.0-3.5mm 程度ときわめて薄く、観察できた試料では一度に塗布されていた。数回にわけて時間を隔てて塗布された形成は認められなかった。表層についても特別な仕上げの痕跡は認められない。特徴的なのは、表層上には二次的に形成したカルサイトがモザイクな糖状組織(Saccharoidal)を呈して、ほぼ均一な薄層を形成している点である(基質とは明らかに結晶の成長が異なる)。

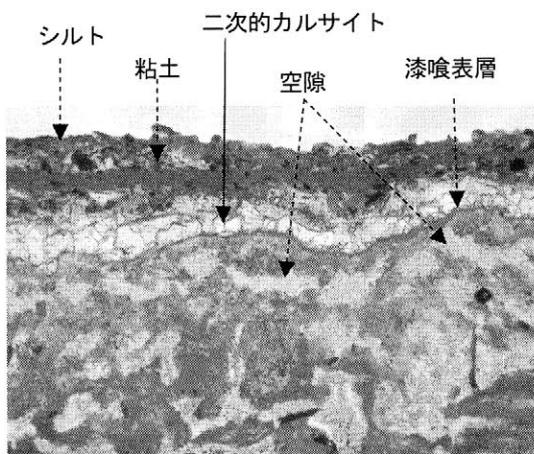


図 2. 下地漆喰の表層の状態。付着したシルト粘土層の下、漆喰表層に生じている糖状組織を呈する二次的なカルサイト。肉眼観察では乳白色脂肪光沢を呈する。(—ニコール、横寸法0.7mm)

化学分析の結果については、まず目地漆喰 14 試料について実施したところ、酸化カルシウムは、 $51.5 \pm 3.0\%$ (Ig.Loss: $44.0 \pm 0.6\%$) に達した。その他の成分は、数%かそれ以下であり、石英、長石 (Ab 系) などがわずかに含まれていることによる。二酸化ケイ素が数%に達する試料もあるが、表面に付着したシルトなどが十分に取り除けなかったことによる。顕微鏡観察などからも砂、粘土を混ぜた形跡は認められない。下地漆喰についても目地漆喰とほぼ同様な結果(酸化カルシウムは 50%)を得ているが、酸化マグネシウム含有量が下地漆喰では多い傾向を示した(酸化マグネシウムはほぼ 0.9%)。石灰原料に伴うドロマイ成分がやや多いのかもしれない。微量成分では、下地漆喰の方が、酸化バナジウム含有量が多い。ただし、下地漆喰の分析試料数は 2 点である。化学成分と劣化の関係については明らかではない。

下地漆喰には、鉛が 0.3% 前後含まれていることは、発見当初の調査でも知られている。今回の測定結果もこれらと同じであった。また、鉛は、図像部分に高濃度に分布する事は以前の調査で明らかにされていた。今回は、下地漆喰の全体から微量 (0.3%) に検出される鉛の分布状態について調べたところ、ほぼ均一に分布しているようであるが、部分的に微小塊状をなして散在することが明らかになった(図 3)。

4.まとめ

壁画の下地を構成する漆喰は、予想された以上に劣化が進んでいた。長期間にわたって高湿度下の環境に存在し、漆喰と水分との作用によるところが大きい。また、漆喰に含まれていたスサの腐朽も劣化要因としても見逃すことができない。

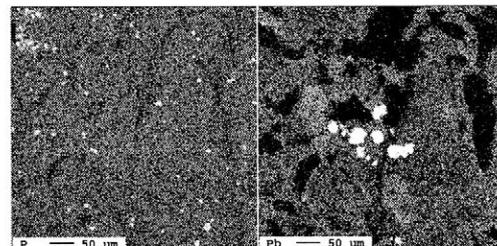


図 3. 下地漆喰に含まれるリン (左)、鉛 (右) の分布図。鉛は部分的に、微小塊状に存在する。

木造文化財における彩色の劣化機構に対する電磁波の応用

○金旻貞（京都大学大学院）、藤原裕子（京都大学）、藤井義久（京都大学）、
福永 香（情報通信研究機構）、高妻洋成（奈良文化財研究所）

1. はじめに

本研究は、木造文化財における彩色の劣化機構を電磁波を用いて究明することを目的としている。研究テーマとして取り上げる膠彩色（以下、彩色と呼ぶ）は、彫刻や古建築などにも多く見られるものである。しかしながら、その彩色の多くは紫外線などの影響を受けて変色していることが多い。さらに、風雨に曝される外部彩色は特に剥落を生じていることが多く、全体として本来とは大きく異なる姿となって現在に至っている。

木材の彩色劣化および剥落についての研究は、絵画を中心として、主に肉眼観察を基軸として、X線透過写真、赤外線写真、紫外線を補助的に利用しながら、彩色における顔料や技法的な問題について、詳細に分析されてきた。しかしながら、文化財の彩色の場合、修復によりオリジナルの彩色層と修復した層が重なっているため、その劣化メカニズムを究明することは極めて難しい。また、壁画、仏像、建築物の柱絵・扉絵などの本来ある場所以外では確認できない文化財の場合、非破壊調査方法だけでは制約を受けることも多い。彩色の劣化プロセスは、彩色の材質、技法及び保管された環境によって異なっており、根本的な彩色劣化の原因を究明するためには、様々な原因の総合的な理解が要求される。本研究では、その一環として、近年、文化財の保存や修復において検討されているミリ波やテラヘルツ波といった電磁波領域の応用技術を用いて、劣化状態を可視化することにより、劣化原因の基礎的知見を得ることを目的とする。

2. 実験

2 cm（放射方向）×2 cm（接線方向）×5 cm（繊維方向）に調製したスギ木材試片の板目あるいはましま目に胡粉下地を施し、その上に黄土、赤土、群青、緑青、水銀朱および鉛丹をそれぞれ塗布した。これらの彩色顔料の塗布にあたっては、膠の濃度を1、2、3、5および10%と変えた。調製した試験片は、温度20℃において相対湿度20、40、60、80および99%の雰囲気順次それぞれ100時間置いた後、続いて温度60℃において同様の湿度変化をさせた場合と温度70℃において湿度100%に保持した場合の2通りの強制劣化試験を実施した。

強制劣化試験を実施した試験片に対し、テラヘルツ波イメージングとミリ波イメージングをおこない、試験片の彩色層における劣化状況を解析した。テラヘルツ波イメージングとミリ波イメージングの概要を以下に述べる。

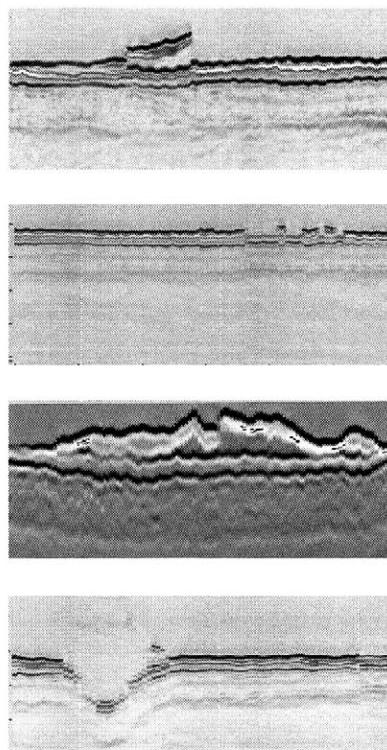
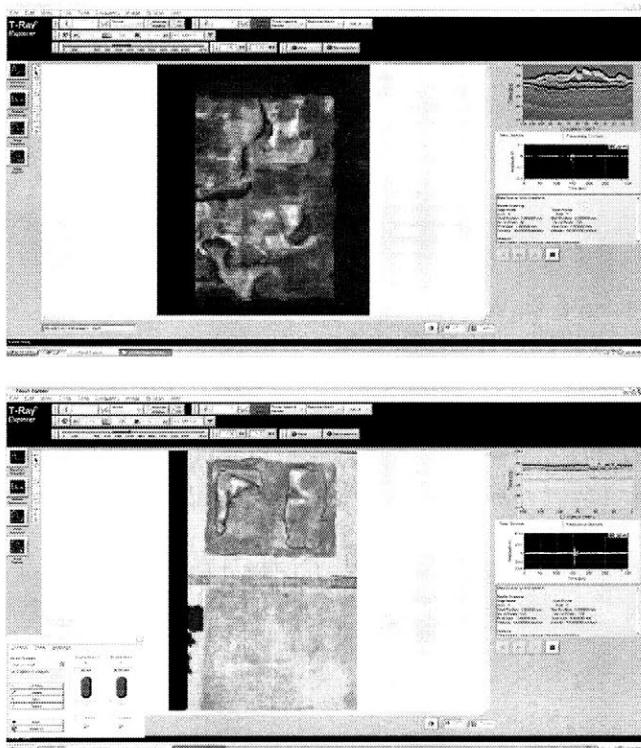
① テラヘルツ波イメージング：パルス波を用いた時間領域分光法（THz-TDS）である。THz-TDSは波の振幅、位相情報が得られ、物質定数を直接求められるほか、パルスの伝搬、反射を用いて非接触で物体の内部構造を観測することができる。ただしイメージングに用いることのできる周波数の上限は2THz（65 cm⁻¹）程度である。測定には、picometrix製T-Ray4000を用いて、光原と検出器をユニットとし、ポジショナーを用いて試料から約15-20mm離れてスキャンさせた。20 mm×50 mmの範囲を0.3 mm程度の平面方向の分解能で測定するには約9分程度かかる。内部方向の情報は、スキャン途中の各点ごとに情報が得られるため、30秒程度でおおよその内部構造を知ることができる。

② ミリ波イメージング：本研究では、波長が約3mm（周波数で約100GHz）のミリ波を用いた反射型装置によるイメージングも試みた。ミリ波は、テラヘルツ波に比べてイメージングの分解能は劣るが、対象物のより深部にまで到達するため、これによって彩色層の直下にある下地の状態や欠点を非破壊的に評価できると考えられる。実験では、テフロンレンズを用いた集光系での反射強度測定その他、切り離し導波管を試料表面に近接させて検出した反射波の強度分布を求め、材質との関連を検討した。

3. 結果と考察

一般的に彩色の劣化・剥落には二通りの症状がある。一つは粉状劣化で、膠の接着力が低下した結果、顔料粒子間の結合力が弱まることによるものである。もう一つは層状劣化で、彩色層と基底材である木質部との収縮差によって彩色層が素地である木質部から剥離・剥落するものである。ミリ波およびテラヘルツ波を用いたイメージングを木造文化財、特に彩色層の支持体からの剥離の調査に応用し模擬剥離の観察実験をおこなった結果、剥離のある部分及び異なる材質(空隙や水など)を区別することが可能となった。さらに目視にて発見が困難な場所において微細な亀裂や剥離をサブミリメートル幅で明確に観察することができた。

これらの新たな電磁波を用いた非破壊的な調査方法は、劣化部分の非破壊非接触の安全な診断が可能であり、支持体である木質の劣化状況を知ることができ、彩色層の劣化診断において総合的なデータを得ることが可能である。従来までのX線透過法は透過した情報が得られ、赤外線と紫外線を用いた方法では表層部分のみのデータが得ることができなかった。このようにミリ波・テラヘルツ波を用いた方法はX線、赤外線、紫外線ではえることのできなかった中層の可視化が可能となり、文化財をどのように修復・保存していくのかを考える上での極めて有効な指標になると考えられる。



謝辞

本研究の実施にあたり製作試料を提供して下さった岡墨光堂の岡泰央様・小笠原具子様・名倉絵美子様にご協力いただきました。またミリ波検出については、NTT マイクロシステムインテグレーション研究所のご協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。

漆喰材料の水分特性の比較研究

○林美木子, 佐野千絵, 石崎武志
(独立行政法人国立文化財機構 東京文化財研究所)

1. はじめに

漆喰は、その耐久性、良好な吸放湿性能などから、壁面仕上げ用の建築材料また絵画の下地材料として幅広い用途で国内のみならず世界各地で使用されてきた。この漆喰の水分特性や施工性などが、用いられた漆喰材料によって大きく異なる。水ポテンシャルは水分保持力を示す数値であり、環境に合った材料選びやその素材に適した保存環境の設定に重要な指標となりうる。しかし、それぞれの漆喰材料の水分特性について水ポテンシャルというパラメーターで比較している文献は少ない。今回、いくつかの漆喰材料について、水ポテンシャルを測定した。その結果、差異が見られ、さらにそれらの漆喰材料について物理的・化学的な性質を明らかにするためにいくつかの分析を行った。今回の報告は、漆喰材料の比較検討を行う基礎材料とするためのデータを提示することを目的とする。

2. 試料と方法

漆喰試料として、高松塚古墳の天井石目地漆喰（試料 A）、東京藝術大学取手校舎で焼成した石灰岩由来の漆喰（試料 B）、滋賀県産淡水貝由来の漆喰（蚌灰という種類の貝灰）（試料 C）、イタリア CEPRO 社の石灰石由来の漆喰（試料 D）、以上 4 点の試料で比較検討をした。また、和光純薬製の炭酸カルシウムを参照試料とした。これらの試料を以下の機器で分析した。

- ・ 水ポテンシャル測定（装置：Decagon 社 WP4 Dewpoint PotentialMeter）
- ・ 走査型電子顕微鏡（SEM-EDX）（装置：JEOL 社 JSM-6610LA）
- ・ 蛍光 X 線分析装置（XRF）（装置：セイコーインスツルメント社 SEA5230E）
- ・ X 線回折装置（XRD）（装置：PANalytical 社 X'Pert PRO MPD）
- ・ 示差熱・熱重量同時測定装置（DTG）（装置：島津製作所社 DTG-60）
- ・ レーザー回折粒度分布測定装置（装置：島津製作所社 SALD-3000）

3. 結果および考察

結果の一部を以下に示す。図 1 の Y 軸は水ポテンシャルの絶対値を示す（本来は負の値）。同じ重量含水比のときに、試料 A の水ポテンシャル値が一番小さく、試料 B、試料 C と続く、試料 D については試料 C とほぼ重なっていることが分かる。この結果は、材料としての保水性がよい試料は、試料 C や試料 D であることを示している。また、参照試料である純粋な炭酸カルシウムの保水性は、他の試料と比べてよくないということが分かる。

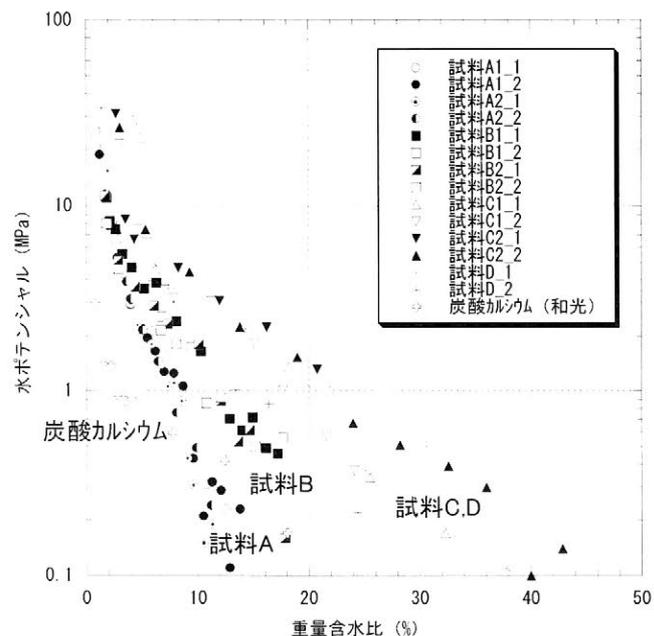


図 1 水ポテンシャルの結果

SEM-EDXにて元素分析を行った。約6 μ m四方、10箇所行い、平均値と標準偏差を求めた。試料Aにおける結果を下記の図2と表1に示す。検出された元素はC, O, Ca以外には微量のSi, Al, Mg, Sが検出された。試料Bでは微量のMg, Si, 試料CではSi, S, Mg、試料DではSi, Mgが検出された。

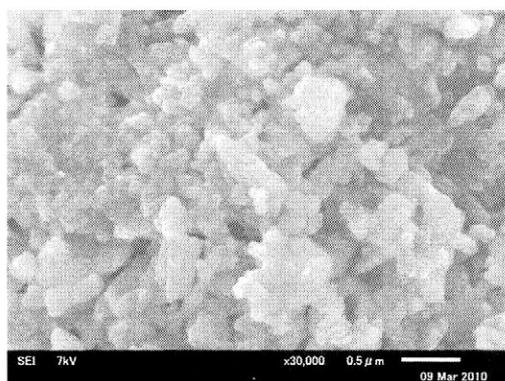


表1 SEM-EDXによる元素分析(試料A)質量%

	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Total
001	30.19	37.28	0.01	0.20	0.42	0.03	31.87	100.00
002	27.16	38.24	0.02	0.00	0.26	0.05	34.26	99.99
003	22.87	42.67	0.13	0.13	0.40	0.03	33.77	100.00
004	27.19	37.21	0.17	0.20	0.46	0.11	34.66	100.00
005	26.82	34.98	0.08	0.15	0.59	0.16	37.22	100.00
006	34.21	35.86	0.18	0.39	0.68	0.03	28.65	100.00
007	27.90	38.62	0.14	0.12	0.35	0.00	32.88	100.01
008	23.42	31.60	0.24	0.13	0.46	0.10	44.06	100.01
009	31.80	37.19	0.29	0.13	0.22	0.16	30.20	99.99
010	24.00	39.42	0.09	0.00	0.22	0.00	36.26	99.99
Mean	27.56	37.31	0.14	0.15	0.41	0.07	34.38	100.00
St Dev	3.68	2.90	0.09	0.11	0.15	0.06	4.28	0.01

図2 電子顕微鏡による反射電子像(試料A)

また、元素分析をXRFでも行ったところ、試料Aからは微量のSi, Feが検出された(図3)。さらに、XRDの分析では試料Aピークと参照試料のピークが一致した。他の試料については参照試料にないピークがいくつかみられ、試料BとCのピークはほぼ一致し、試料Dについてはより多くのピークが検出された。データの詳細な解析を行う予定である。

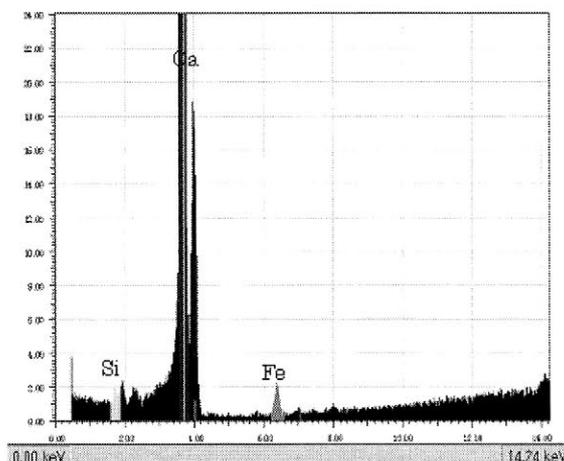


図3 XRFスペクトル(試料A)

DTGによる測定を行い、焼成温度や熱的性質を比較検討した。試料Aでは580 $^{\circ}$ Cから分解が始まり、ほぼ単一成分であることが分かった。試料B,C,Dではより低音の400~450 $^{\circ}$ Cにピークが見られ、混合物であった。

それぞれの試料について粒度分布測定を行った。図4は試料Aの結果である。粒度分布については、現在検討中である。

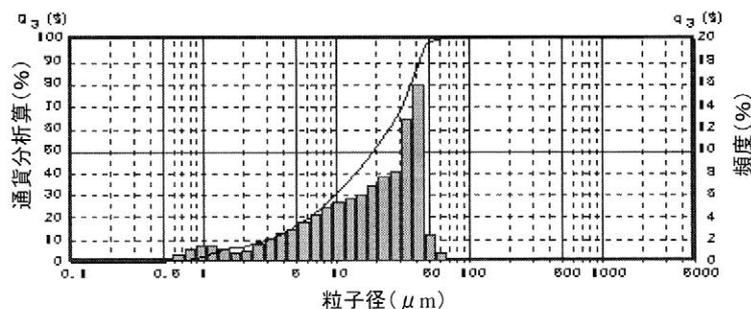


図4 粒度分布(試料A)

[謝辞] 試料のSEM分析をおこなうにあたり、日本電子株式会社(JEOL)にご協力いただきました。紙面を借りて心より御礼申し上げます。また試料を提供いただいた大野彩さんに感謝いたします。

高松塚古墳石室内より分離された主要な微生物のギ酸・酢酸生成能

○佐野千絵*・西島美由紀*²・喜友名朝彦*²・木川りか*・杉山純多*³(* 東京文化財研究所 *² (株)カスカ・ラボ NCIMB グループ *³ (株)カスカ・ラボ 千葉分室)

1. はじめに 高松塚古墳石室内から分離されたカビ・酵母、細菌の各分離株について、pHを下げる効果の大きいギ酸・酢酸生成能調査を行った。石室内で殺菌に用いたエタノールを微生物が炭素源として資化可能であったか確認した。比較対照として、キトラ古墳石室内から分離された微生物株についても試験した。

2. 主要な微生物のギ酸・酢酸生成能

<方法> 試験には高松塚古墳・キトラ古墳から分離された微生物株のうち、主要なものを選択した。使用培地は、カビ・酵母用にはツァペック液体培地、細菌用には0.02%酵母エキス添加BM液体培地とした。カビは斜面静置6日または7日、酵母・細菌は振とう培養3日または4日、25°Cで培養した。培養本数は各2本(反復)、植菌量はカビについては平板培地上のコロニー先端部をコルクボーラーで切り取って、接種源とした。細菌および酵母については懸濁液を作製し、0.5mLずつ添加した。有機酸分析用の各試料は、ろ過後の培養上清を試料として有機酸分析システム(島津製作所製)で測定した。また、測定対象としたギ酸・酢酸以外の要因によるpH低下を把握するため、ろ過後の培養上清のpHを測定(EUTECH INSTRUMENTS社製EcoScan pH 5)した。

<結果> 各分離株のギ酸・酢酸生成量とpH変化量の結果の一例を表1に示す。カビではギ酸の生成は認められなかった。高松塚古墳からの微生物分離株では、*Fusarium*属分離株およびその近縁対照株で顕著な酢酸生成が認められた。次いで *Acremonium*属(*Gliomastix*節)分離株で比較的酢酸の生成が多く見られたが、*Penicillium*属、*Trichoderma*属などの分離株や保存株では酢酸の生成はほとんど認められなかった。酵母では *Pichia membranifaciens* 分離株 T4716-3 で顕著な酢酸生成が認められた。細菌では *Ochrobactrum* 属分離株 T6220-2-3b で酢酸の生成およびpHの低下が認められた。比較対照として分析をおこなったキトラ古墳石室内から分離された微生物分離株では、西寄り天井の漆喰にあいた穴の中の黒色物質から分離された *Gluconacetobacter* sp. (K5929-2-1b株)の酢酸生成量が多く、pHの変化量も大きくかった。この分離株が漆喰を溶かした要因の一つと考えられる。分離株培養液は概ね酢酸生成量の多い株で顕著にpHの低下が認められる傾向があった。しかし、詳細に見るとpH低下の程度は必ずしも酢酸生成量のみとは相関しない場合もあった。*Phialocephala* phycomyces 培養上清および培地(参照試料)上清についてのみ、イオンクロマトグラフ(横河HP製HP2010-II)で無機イオン分析を行ったが、この2試料で無機イオン量について有意の差はみとめられなかった。

3. 単一炭素源を希少量のエタノール、イソプロパノールに変えた場合の主要微生物のギ酸・酢酸生成能

<方法> 試験には、*Fusarium*属3株(K5225-19-3、T4716-1、および対照菌株 *Fusarium solani* f. sp. *mori* NBRC 30964)、酵母1株(*Pichia membranifaciens* T4716-3)、細菌2株 *Ochrobactrum* sp. T6220-2-3b、*Stenotrophomonas* sp. (*S. rhizophila*に近縁) K5916-3-1b、および酢酸菌2株(*Gluconacetobacter* sp. 1 K5929-2-1b、既知種基準株 *G. diazotrophicus* DSM5601¹)の8株を用いた。カビ・酵母はツァペック液体培地、細菌は0.02%酵母エキス添加BM液体培地のそれぞれ炭素源(スクロースあるいはグルコース)を除いたものを基本培地とした。これらの培地に、最終濃度1%となるように、エタノール、イソプロパノール、またはグルコースを添加した。カビは斜面静置6日または7日、酵母・細菌は振とう培養3日または4日、25°C

で、各2本(反復)ずつ培養した。植菌量はカビについては平板培地上のコロニー先端部をコルクボーラーで切り取って接種源とした。細菌および酵母については懸濁液を作製し0.5mLずつ添加した。

<結果> 単一炭素源を希少量のエタノールに変えると、高松塚古墳石室内微生物分離株では *Pichia membranifaciens*(T4716-3株)、*Ochrobactrum* sp. (T6220-2-3b株)で酢酸生成量が増加し、pH低下を引き起こす可能性があることがわかった(表2)。キトラ古墳石室内からの微生物分離株では、*Gluconacetobacter* sp. 1 (K5929-2-1b株)の酢酸生成量が多かった。キトラ古墳石室内から分離された6株の酢酸菌株はpH変化量が大きく、漆食の溶解という事象を引き起こす能力を十分に持つ菌株であることが明らかとなった。

以上から、長期に現地保存が期待される文化遺産については、殺菌にあたって、可能であれば将来栄養源になり得る有機質の薬剤の使用を避け、紫外線殺菌などその他の物理的方法の採用も検討すべきであることが示唆された。

表1. カビ分離株による酢酸生成量と培養液のpH変化量

種名	菌株	酢酸生成量 mg/L	pH変化量*
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) sp. 1	T4519-5-1	48	-0.55
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) sp. 2	T6713-14-2	14	-0.09
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) sp. 2	K7511-1	11	0.17
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) <i>murorum</i> var. <i>murorum</i>	CBS 148.81	31	-0.09
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) sp. 1	T6517-1-1	39	-0.32
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) <i>masseei</i>	CBS 794.69	13	0.19
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) sp. 3	K4615-9	20	-0.08
<i>Penicillium paneum</i>	T5916-6-1	検出限界以下	0.31
<i>Penicillium paneum</i>	CBS 101032 ^T	検出限界以下	0.11
<i>Penicillium paneum</i>	K5916-7-1	検出限界以下	0.33
<i>Fusarium</i> sp. (FSSC クレード)**	T4716-1	130	-1.63
<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>mori</i>	NBRC 30964	57	-0.81
<i>Fusarium</i> sp. (FSSC クレード)**	K5225-19-3	91	-0.90
<i>Trichoderma</i> sp. 1-b	T4519-9-7	24	-0.35
<i>Trichoderma</i> sp. 1-b	K5916-7-3	0.3	0.32
<i>Trichoderma harzianum</i>	NBRC 30543	13	0.24
<i>Cylindrocarpon</i> sp.	TBT-1	26	-0.60
<i>Cylindrocarpon</i> sp.	TBK-22	21	-0.36
<i>Phialocephala phycomyces</i>	K5906-1-1	検出限界以下	-1.99

* pH変化量=培養後の培養液pH測定値-ブランク培地のpH測定値

***Fusarium solani* species complex クレードに含まれる *Fusarium* sp.

表2. 単一炭素源を変えた時の酢酸生成量の相違 (表中数値単位 mg/L)

種名	菌株	グルコース	エタノール	イソプロパノール
<i>Fusarium</i> sp. (FSSC クレード)*	T4716-1	89	3.3	0.3
<i>Fusarium</i> sp. (FSSC クレード)*	K5225-19-3	24	4.8	1.3
<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>mori</i>	NBRC 30964	49	3.4	0.6
<i>Pichia membranifaciens</i>	T4716-3	24	180	1.6
<i>Stenotrophomonas</i> sp. (<i>S. rhizophila</i> に近縁)	K5916-3-1b	8.1	検出限界以下	1.2
<i>Ochrobactrum</i> sp.	T6220-2-3b	3.4	52	検出限界以下
<i>Gluconacetobacter</i> sp. 1	K5929-2-1b	検出限界以下	1700	検出限界以下
<i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i>	DSM 5601 ^T	23	320	0.2

**Fusarium solani* species complex クレードに含まれる *Fusarium* sp.

出土鉄製品の脱塩処理の効率化について - 2 -

○山村健生(別府大学院) 渡辺智恵美(別府大学)

1. はじめに

脱塩処理は、遺物内に存在する錆を促進させる要因となる塩化物イオンや硫酸イオンといった陰イオンを除去することを目的とした処理である。脱塩処理は、現在までに数種類の方法が確立されており、それぞれに特徴があるとともに課題を残している。基本的に溶液を使用しない乾式法と溶液を使用する湿式法に分類される。日本では、脱塩処理の中でも溶液を用いて行われる湿式法が広く採用されている。湿式法の主な特徴として、比較的安全で大掛かりな機材を使用せずに処理を行うことができるが、処理に長時間を要することなどがあげられており改善課題とされている。

本研究は湿式法の1つであるセスキカーボネイト法に着目し、現在確立されている処理方法や工程を再検討し、処理期間の短縮、処理中に文化財に与える影響を中心に処理の効率化を模索した。

2. 実験内容

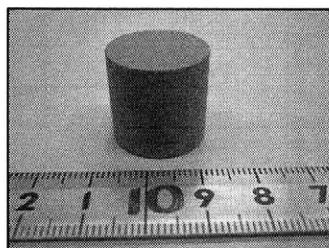
実験は、基本としてセスキカーボネイト法の長所である安全性の高さと大掛かりな機材を使用しないという特性を損なわずに、脱塩効果を上げることを目的としている。これを踏まえたうえで、① 脱塩液の液交換・② 脱塩液の濃度・③ 脱塩液の温度に関する3つの実験を行った。また、処理中に遺物に与える影響についても同時に観察を行い、遺物の安全性にも考慮しながら、脱塩効果が上がる方法を模索した。

実験に使用する試料は、試料用鉄粉を圧縮機で圧縮した鉄粉圧縮体(写真1)を用いた。作成した鉄粉圧縮体は、実際の遺物に近い状態にするために錆びた状態(写真2)にした。今回は、錆の進行を促進させることと、鉄粉圧縮体内部に多量の塩化物イオンを含有させるために 3.5%濃度の食塩水中に試料を浸漬させ、一定期間放置することで、試料の錆化を図ることとした。

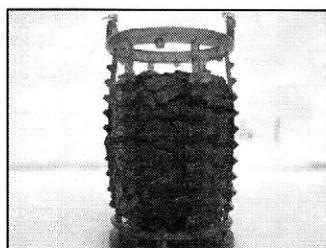
また脱塩効果の比較は、イオンクロマトグラフを用いて脱塩液中の塩化物イオン濃度を測定し、その結果をもとに遺物からの塩化物イオンの溶出量を算出する方法で行った。溶出量を脱塩効果の数値とし、諸実験の比較を行うこととした。

実験方法は、以下の通りである。

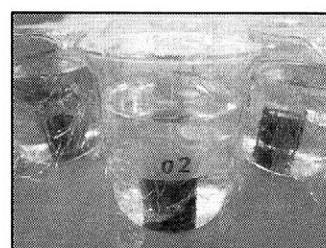
- ① 液量:300ml/濃度:0.5%/液温:常温下で、一定期間ごと(浸漬開始から1・2・4・8・16・32・64日)に液交換を行ったものと、液交換を行わずに一定期間ごとに測定用の脱塩液の微量採取を行った。
- ② 液量:300ml/濃度:0%(イオン交換水)・0.25%・0.5%・1.0%/液温:常温下で、一定期間ごと(浸漬開始から1・2・4・8・16・32・64日)に液交換を行わずに測定用の脱塩液の微量採取を行った。
- ③ 液量:300ml/濃度:0.5%/液温:40℃(オープン内で加温)常温下で、一定期間ごと(浸漬開始から1・2・4・8・16・32・64日)に液交換を行ったものと、液交換を行わずに一定期間ごとに測定用の脱塩液の微量採取を行った。



(写真1: 試料の鉄粉圧縮体)

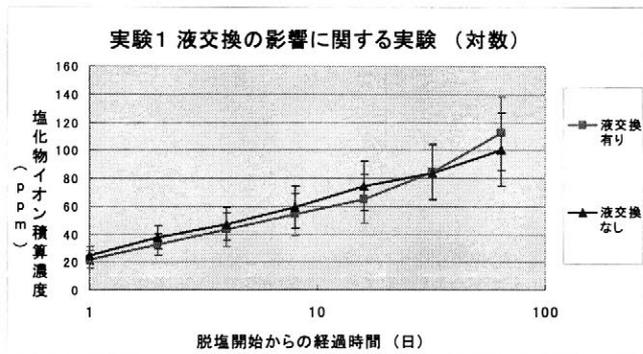


(写真2: 錆化後の試料)

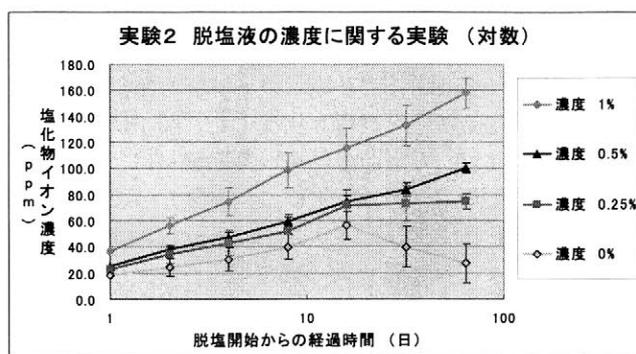


(写真3: 実験中の様子)

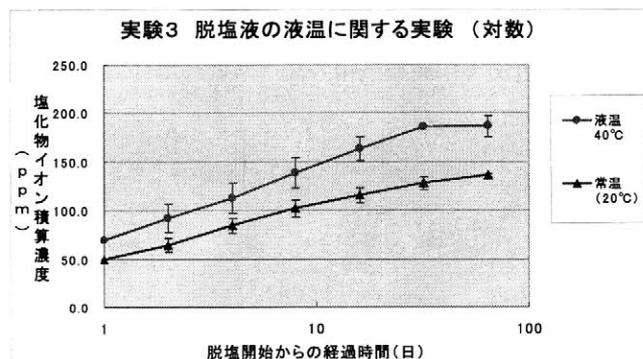
3. 結果と考察



① 液交換による脱塩効果への影響はなく、定期的に液交換を行っても脱塩効果の増加は見込めない。よって、作業効率と液交換の際に遺物に与えるストレスなどの悪影響を考慮すると、液交換を行わずに浸漬を長期間継続することで効率的に処理を行うことができる。



② 脱塩液の濃度は 0.5%濃度以下のものを使用すると水酸化鉄と思われる難溶性の錆を生成し、脱塩効果を低下させるため使用しない方がよい。一方、1.0%濃度については、0.5%濃度以上の脱塩効果が得られるため、処理の短縮が見込める。しかし、遺物に有機物が付着していた場合は、アルカリとの反応が懸念されるため、注意が必要である。



③ 加温による液温 40℃での脱塩については、常温下で行ったものに比べ脱塩効果を増加させるものになった。また、遺物への影響についても 40℃では肉眼で確認されるほどのことはなく、比較的安全に処理を行うことができるといえる。今回行った実験の中でも脱塩効果、遺物への安全性において特に効果が得られた方法ということができ、処理期間の短縮についても大いに期待することができる。しかし、溶液の加

温設備や管理費などの経済面について検討が必要である。

4. まとめ

今回の実験により、セスキカーボネイト法による脱塩については、脱塩液の温度や濃度などの条件を変えることや液交換の期間(回数)を再検討することで脱塩効果を上げることができ、処理を効率的に行えることがわかった。特に液交換の期間と脱塩時の温度については、実際の修復現場でも再検討することで処理期間の短縮が見込めると思われる。今後、遺物に与える影響や効率化の程度を検討するため、より詳細に実験を行い、修復現場での改善方法を模索したいと考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御助力いただきました別府大学文化財研究所客員教授・内田哲男氏に心より御礼申し上げます。また、測定機器の提供、並びに御助力いただきました大分県衛生環境研究センター水質担当課の宮崎博文氏、佐藤洋子氏をはじめ水質担当課の皆様にも心より御礼申し上げます。

発掘直後の古墳壁画保存のための石室保護材料の設置方法の検討

李 永輝・〇小椋大輔・銚井修一（京都大学大学院）、石崎武志（東京文化財研究所）

1. 背景と目的 既報¹⁾では、石室内温湿度解析により、1972年の高松塚古墳の発掘調査後の夏期に、外気に面する石室南側が、他の部位より温度が高くなり、その部位の石材から水分が蒸発し、北壁とその近くの天井、東西側壁と床石付近で、結露が発生していた可能性が高いと考えられることを示した。このような温度分布を抑制するために、本報では、発掘直後の石室の一部が露出した状態における、断熱材と覆土を用いた適切な保存対策について数値シミュレーションを用いて検討を行う。

2. 解析対象と方法 2.1 解析対象 古墳発掘終了後の露出部位を覆う材料として、土、断熱材の二つを取り上げる。土は吸放湿性に富み、熱容量が大きく、熱抵抗が小さい材料であり、断熱材は、熱抵抗が大きい材料である。壁画の保護のため、これらを用いた発掘部位の、適切な設置順序、設置面積、熱抵抗について検討を行う。

2.2 解析方法 用いる基礎方程式、熱水分物性値、計算方法は既報¹⁾と等しい。解析対象は、発掘後の墳丘を考え、露出部位に断熱材と覆土を置き、それを仮保護施設が覆う状況とし、図1に示すような石室の南北方向の断面を取り出した2次元系とする。なお、石室保護に用いる断熱材は、透湿性が低い硬質ウレタンフォーム（熱伝導率：0.037 W・m/K、熱容量 42kJ/(kg・K)）とし、非透湿として扱い、覆土は、高松塚古墳の墳丘地盤と等しくする。材料厚は、覆土は50cm、断熱材は20cmに固定する。検討は発掘前の12月31日の周期定常値を初期条件として3年目の結果について行う。発掘後の仮保護施設や石室入室の条件の概要、計算領域と境界条件は既報¹⁾と等しい。

3. 結果と考察 本報では、壁画の劣化の程度を評価するために、以下の4つの評価値を用いて適切な断熱材と覆土の設置面積を明らかにする。(1)石室内壁表面の年間最高温度、(2)石室内壁表面の年間最低相対湿度、(3)石室内壁表面の年間結露^{注1)}日数、(4)年間結露蓄積量である。ここで、石室内壁表面の年間最高温度、年間結露日数と年間結露蓄積量が大きい場合、カビ等微生物による生物的劣化に対する危険度が高くなると考える。また、石室内壁表面の年間最低相対湿度が低い場合、乾燥剥離による物理的劣化に対する危険度が高くなると考える。

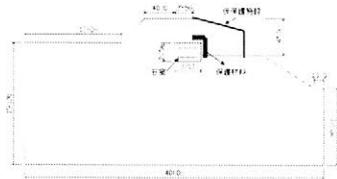


図1 解析対象（発掘後の状態）

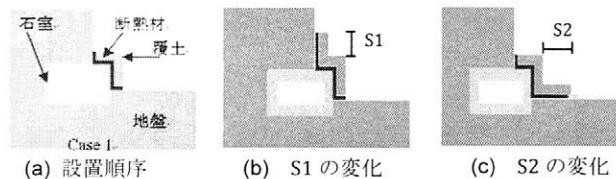


図2 断熱と覆土の検討ケース

3.1 断熱材と覆土の設置について 3.1.1 解析対象 断熱材と覆土の適切な設置順序を以下の2ケースで検討する。Case1は、発掘部位の石室南側に、断熱材の上に覆土を設置する場合であり（図2(a)）。Case2は、Case1と逆の設置順序とする場合である。

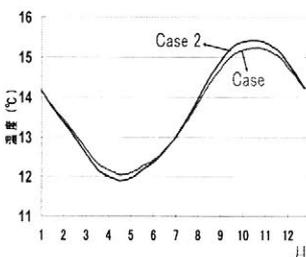


図3(a) 石室内温度変動の比較

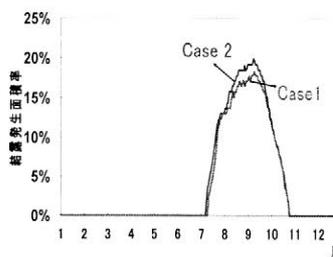


図3(b) 結露発生面積率の比較

3.1.2 保存対策の効果の検討 図3(a), 3(b)に、石室内温度と石室内表面の結露発生面積率^{注2)}をそれぞれ示す。図3(a)より、石室内温度はCase1では $13.6^{\circ}\text{C}\pm 1.6^{\circ}\text{C}$ 、Case2では $13.6\pm 1.8^{\circ}\text{C}$ であり、年平均は等しいが、年振幅はCase1の方が若干小さい。図3(b)より、両ケースの結露発生期間の差は小さく、結露発生面積率は、Case1の方が、若干小さい。この原因は、断熱材を覆土の下に設置している場合は、覆土が外気に面しており、含水率が低く、熱伝導率が低くなるためである。

表1に、石室内表面の評価値の結果を示す。表1より、年間結露日数、年間結露蓄積量と年間壁

表面温最高値については Case1 の方が小さくなる。石室内表面の年間最低相対湿度は Case1 の方が高くなる。保存対策として、断熱材を覆土の下に設置する方が、その逆の設置順序より良いといえる。

3.2 断熱材と覆土の面積について 3.2.1 解析対象 断熱材と覆土の適切な設置面積を、図 2(b),(c) に示すような 2 種類のケースで検討する。図 2(b),(c) は、それぞれ発掘部位の鉛直方向あるいは水平方向に S1 あるいは S2 だけ断熱材と覆土を伸ばす場合である。S1 は、0.5,1,1.5,2m と変化させ、S2 は 0.5,1,9m と変化させる場合について検討を行う。なお、S1 を変化させるときは S2 は 0 とし、S2 を変化させるときは S1 を 0 とする。

表 1 Case1,Case2 の評価値

ケース (m)	結露日数(Day)	結露蓄積量(Kg)	壁温最高値(°C)	最低相対湿度(%)
Case 1	107	2.05	15.30	99.2
Case 2	110	2.36	15.58	98.4

表 2 S1 を変化させた場合の評価値

ケース (m)	結露日数(Day)	結露蓄積量(Kg)	壁温最高値(°C)	最低相対湿度(%)
S1=0	107	2.05	15.30	99.2
S1=0.5	107	1.82	15.17	99.4
S1=1	115	1.84	15.13	99.5
S1=1.5	179	2.29	15.12	99.6
S1=2	199	3.22	15.17	99.6

表 3 S2 を変化させた場合の評価値

ケース (m)	結露日数(Day)	結露蓄積量(Kg)	壁温最高値(°C)	最低相対湿度(%)
S2=0	107	2.05	15.3	99.2
S2=0.5	100	1.71	15.2	99.2
S2=1	98	1.56	15.1	99.3
S2=9	105	1.48	15.1	99.3

3.2.2 保存対策の効果の検討 まず S1 を変化させた場合を検討する。石室内温度の年振幅の差は小さい(図なし)。表 2 より、結露日数は、S1 が 0.5m より長くなると、顕著に大きくなる。これは、S1 が大きくなると、石室の天井上の地盤に水分が蓄積してしまい、天井で結露が発生し易くなるためである(図なし)。表 2 より年間結露蓄積量は、S1 が 0.5m の場合が最も小さい。石室壁表面の年間最高温度は、S1 が 0.5m から 2.0m の場合が小さい。石室壁表面の年間最低相対湿度の差は小さい。以上から、発掘部位の鉛直方向に伸ばす断熱材と覆土は 0.5m 程度あればよいと考えられる。次に S2 を変化させた場合を検討する。石室内温度の年振幅は S2 が 0m の場合より 1m の場合が 0.2°C 小さく、S2 が 1m 以上では、その違いは非常に小さい(図なし)。表 3

の結果から、S2 の違いによる、石室壁表面の年間最低相対湿度の差は小さいが、年間結露蓄積量と年間最高温度は、S2 が長くなるにつれて下がる。S2 が 1m で石室壁表面の年間結露日数が最小値になる。以上から、発掘部位の水平面に伸ばす断熱材と覆土の長さは 1m 程度あればよいと考えられる。

3.3 石室露出部位に適切な保存対策 3.3.1 解析対象 ここで

は、覆土の厚さは一定とし、断熱材の熱抵抗を変化させた場合の検討を行う。ここで考える熱抵抗は、露出部位を覆う土と断熱材によるものである^{注3)}。発掘の露出部位の覆土の下に断熱材を設置し、S1=0.5m, S2=1m とした場合に対して、断熱材の厚さを変えず、熱伝導率を 0.008~0.18[W/mK] の範囲で変化させた。熱抵抗は 3.9~27.8^{注4)} [m²K/W] の範囲で変化した。

3.3.2 結果と考察 図 4 に、熱抵抗の違いによる評価値の変化を示す。なお、図中の点線は、覆土の熱容量が 4 倍の結果である。図より、熱抵抗が大きくなることで、年間結露蓄積量、年間結露日数、年間最高温度が小さくなり、年間最低相対湿度が大きくなる。熱抵抗は大きいほど良いといえる。露出部位の熱抵抗は 15 以上で、壁表面の結露が非常に少なくなり、28 以上で、結露がなくなる。壁表面の湿度低下は、熱抵抗が 10 以上で抑えられる。図 4 より、熱容量の大きい方が、曲線がやや小まわがるが、熱抵抗と評価値の関係はほとんど変わらない。厚さ 50cm 程度の覆土では、熱容量の影響は小さいといえる。

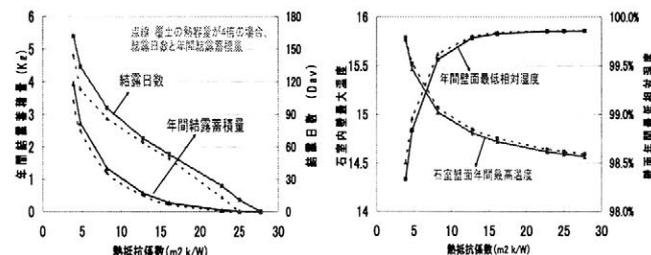


図 4 評価パラメータの熱抵抗の違いによる変化

4. 結論 主な結果を以下に示す。1) 非透湿性の断熱材を透湿性の土で覆う方法が、その逆の設置より、壁画劣化の抑制の効果がある。2) 壁画劣化の抑制に効果がある、覆土と断熱材の面積には最適値がある。3) 露出部位を覆う材料の熱抵抗が大きいほど、石室内の結露と乾燥が抑制さ

れ、壁面温度最高値も低下する。**注:**注 1) 結露発生判定は、通常相対湿度 100% で定義されるが、本論では、ほぼ飽和と見なせる水分化学ポテンシャル -5 [kJ/kg(相対湿度 99.999%)] 以上で、室内空気から壁表面へ水分が移動する条件とする。注 2) 室内表面積に対する結露発生部位面積の割合と定義する。注 3) ここで扱う熱抵抗は断熱材の熱抵抗+覆土の熱抵抗である。熱抵抗計算における覆土の熱伝導率は、覆土全体の年間平均値を用いる。注 4) 高松塚古墳発掘終了後の実施された保存対策の熱抵抗は約 3.9[m²K/W] である。**参考文献:** 1) 小椋、李、銚井、石崎、三浦：発掘直後の高松塚古墳石室内の温湿度変動の解析～仮保護施設と覆土の影響～、日本文化財保存修復学会第 31 回大会 (2009.6.13) 謝辞：平成 22 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) (課題番号 20560549 研究代表者 小椋大輔) の補助を受けた。記して謝意を表す。

鬮鷄山古墳の石槨内部発掘調査に伴う石槨周辺の温湿度制御方法の検討

木村奈津子・○小椋大輔・銚井修一（京都大学大学院）、高橋公一（高槻市教育委員会）

1. はじめに 鬮鷄山古墳は未盗掘の堅穴式石槨2基を有し、平成18年の石槨内画像調査で石槨内部に結露やカビ菌類の繁殖が認められ、副葬品への影響が危惧されている¹⁾。現在、高槻市教育委員会においては、発掘を行い副葬品等を取り出す可能性についても検討が行われている。その場合には、発掘作業により遺物・遺構が結露・乾燥し劣化が進行する危険性も十分考えられるため、外気の影響を抑える覆屋の設置と空調システムの導入が不可欠と考えられている。そこで本研究では、石槨周辺の適切な温湿度制御方法を明らかにすることを目的とし、数値シミュレーションによる検討を行う。

2. 空調制御の方針 石槨内は周囲地盤からの影響を受け、温度分布が生じ、部分的な結露が発生する危険性があることや、空調室と石槨内の温湿度が大きく異なる場合、結露が助長されたり、入室により結露・乾燥が生じる恐れがある。よって、発掘調査時には、周囲地盤の温度分布と空調室と石槨の温度差をできるだけ小さくし、空調室と石槨内温湿度をできるだけ一定に保つことが望ましい。これを空調制御の方針とする。石槨内温度の変動を抑え分布を小さくするには、墳丘表面を断熱することが有効である²⁾ことから、次章では墳丘表面の断熱材の効果、設置時期、必要面積と、空調室の適切な断熱部位について検討を行う。

3. 解析概要 3.1 解析モデル 図1に墳丘部の解析モデルの概要を示す。基礎方程式は既報³⁾と同様である。石槨及び発掘によりできる石槨に隣接する空調室（以下、地下室）は、室空気を1質点で代表させる。地盤内の熱水分の収支には熱水分同時移動方程式⁴⁾を用いる。石槨から水平方向に十分離れた地盤境界は断熱・断湿とし、底部境界では温度・水分化学ポテンシャルを固定する。

3.2 解析方法 解析対象は2次元とする。石槨は第1主体を考え、寸法は1m×6mで天井が深度2mの位置にある。その上に寸法2m×3mの地下室を設ける。地下室は断湿とし、土壌は粘土質土壌とした。石槨と地下室の間は厚さ10cmの土で仕切られており、両者の間での換気はないものとする。地表面には厚さ10cmの断熱材を敷き、その上に厚さ10cmの盛土を被せ、その蒸発冷却効果を利用する。外界条件には、2004～2007年の4年間の計測値を各日時にわたって平均した値を用いる。

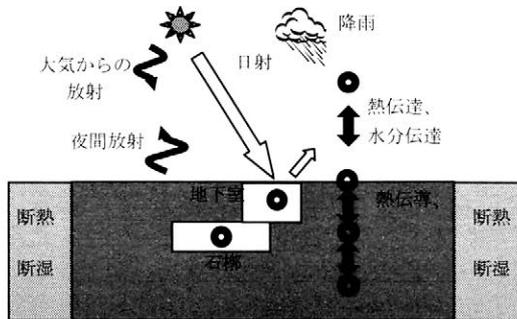


図1 解析モデルの概要

表1 地表面への断熱材設置時期と石槨内温度との関係[°C]

	断熱なし	1/1から断熱	1/1から断熱	7/1から断熱	10/1から断熱
年平均	15.8	15.8	15.5	16.0	16.7
年振幅	3.5	1.7	1.5	1.8	2.3

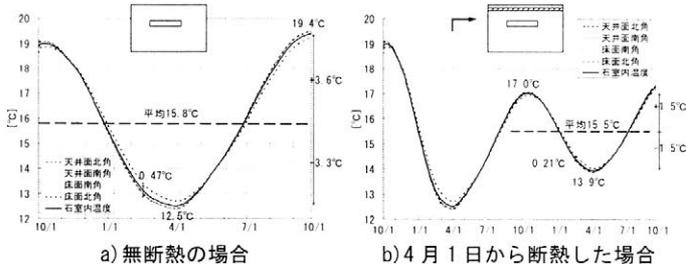


図2 石槨内空気及び壁面の温度変動

3.3 解析結果 3.3.1 地盤表面の断熱材の効果と設置時期について まず、地表面全面を断熱し、その設置時期を変えた場合の計算を行った。解析対象は、図1で地下室がない場合である。表1に石槨内温度の年平均と年振幅を、図2に無断熱と4月1日に断熱材を設置した場合の結果を示す。なお、各出力点の位置に関しては図3を

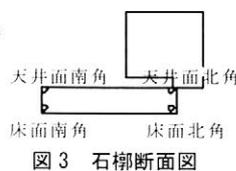


図3 石槨断面図

参照頂きたい。地表面を断熱することで、断熱開始時期によらず石槨内温度の年振幅は約半分抑制できる。また、

年振幅・年平均値共に最も小さくできるのは、4月1日から断熱した場合で、それぞれ1.5°C、15.5°Cであった。図4より地盤表面の熱流は、9月後半～3月後半は地盤から外気へ放出され、3月後半～9月後半はその逆方向に流れる。つまり、4月1日の断熱材設置は地盤内部の熱を放出し終わった直後で、その後の地盤への熱の流入を抑制でき、上記の結果となる。

3.3.2 地盤表面に施す断熱材面積について 断熱を開始する時期は4月1日とし、断熱材長さを全長6m、10m、14m、18m、地表面全面と変動させて計算を行った。解析対象は、前節と等しい。表2に結果を示す。断熱材が長くなるほど、石槨の平均温度は低く、振幅は小さくなる。また、地表面全面を断熱とした場合と同程度の効果を得るには、最低でも石室上部の地表面とさらに左右2mずつの計10mを断熱する必要がある。

表2 地表面の断熱材長さとし、石槨内温度との関係[°C]

断熱材長さ	6m	10m	14m	18m	地表面全面
年平均	15.7	15.6	15.6	15.5	15.5
年振幅	2.4	1.7	1.6	1.5	1.5

表3 地下室の断熱部位とし、石槨内温度との関係[°C]

	Case1	Case2	Case3
年平均	15.5	15.5	15.5
年振幅	0.3	0.7	1.1
石槨壁面の表面温度差の最大値	0.26	0.28	0.22

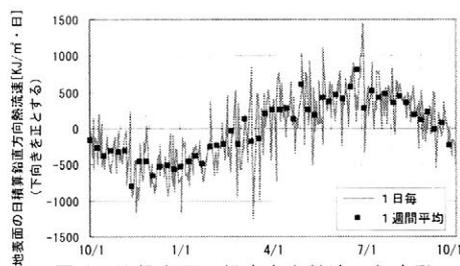


図4 地盤表面の鉛直方向熱流の年変動

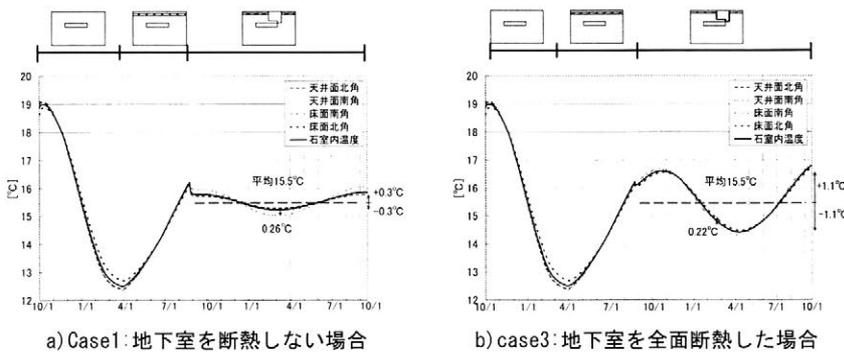


図5 4月1日から地盤表面全面を断熱し、9月1日から空調制御した時の石槨内空気及び壁面の温度変動

い場合、Case2:地下室の側面全てと石槨上部を除く床面を断熱した場合、Case3:地下室の全面を断熱とした場合である。表3に全結果を、図5にCase1とCase3の結果を示す。15.5°C・90%RH一定の空調制御をする場合、石室内温度振幅を最も抑えることができるのは、地下室に断熱を全く施さない場合(Case1)であり、0.3°Cであった。これは、地下室から周囲地盤への熱移動により、周囲地盤の温度変動を抑えられ、石槨内温度変動が抑制できたと考えられる。また、表面温度差が最も小さくなるのは、地下室を全面断熱とした場合(Case3)で0.22°Cであったが、断熱を全く施さない場合でも、温度差は0.26°C以内であった。

4. まとめ 主な結果は以下の通りである。1)発掘調査前の、4月1日から地盤表面に覆土がある断熱材を設置することにより、その後の石槨内の年平均温度を最も低くすることができる。2)発掘調査時に、石槨内温度をほぼ一定に保ち、温度分布を小さくするためには、事前に地盤表面に覆土がある断熱材を施し、石槨に隣接する発掘部位空間(地下室)の壁面に断熱を施さず、その空間の温湿度を一定に保つことが必要である。【謝辞】本研究の一部は、高槻市教育委員会の委託を受けて行われた。また平成21年度科学研究費補助金基盤研究(C)(課題番号20560549 研究代表者 小椋大輔)の補助を受けた。記して謝意を表す。【参考文献】1) 關鷄山古墳石槨画像・環境調査報告書、高槻市教育委員会(2007) 2) 鉾井修一ほか、關鷄山古墳の保存環境に関する研究(その3)日射遮蔽ネットの影響と地表面被覆条件の改善策、日本建築大会学術講演梗概集D-2,pp301-302(2009) 3) 小椋、前川、鉾井、高橋:熱水分同時移動解析による史跡關鷄山古墳の保存環境の検討、日本文化財保存修復学会第30回記念大会(2008) 4) 松本衛、新建築学体系 10.環境物理、第3章 湿気、彰国社(1984)

3.3.3 地下室の断熱部位について 4月から地表面全面に断熱材を施し、9月から地下室を設け温湿度を制御する場合の検討を行う。解析対象は、図1の通りである。地下室の設定温湿度は、15.5°C、90%一定とした。地下室の断熱部位を以下の3通りに設定した。Case1:地下室に全く断熱を施さない

中国麦積山石窟における修復材料の暴露試験と窟内部の強化試験

○松井敏也¹⁾、末森薫²⁾、花平寧³⁾、魏文斌³⁾、馬千³⁾、董広強³⁾、岳永強³⁾、
八木春生¹⁾、沢田正昭⁴⁾

1) 筑波大学、2) 東京文化財研究所、3) 麦積山石窟芸術研究所、4) 国士舘大学

【はじめに】

我々は中国麦積山石窟芸術研究所と2005年より石窟保護の共同研究を実施してきた。遺産マネジメント、景観、美術史、保存科学など様々な分野により調査がなされており、その成果の一部を報告してきた（文化財保存修復学会；2007年～2009年）。麦積山石窟は禅の修行場として五胡十六国時代（5世紀）より栄えており、総数194もの石窟を有し、今も南北朝時代から宋時代（5世紀中頃～13世紀頃）の素晴らしい塑像と壁画を遺している。そのため敦煌莫高窟や雲岡石窟や龍門石窟にも匹敵する重要な石窟であると考えられている。1953年に設立された天水麦積山文物保管所（現麦積山石窟芸術研究所）の活動によりこれらの塑像や壁画の保存状態は比較的良好であるとされてきた。しかし、近年石窟壁面の漏水や、リスなどの小動物による被害が目立つようになり、特に塑像の破損や壁画の剥離が深刻化している。本発表では修復材料評価と窟の壁面強化を行った。



その結果、麻の配合比や合成樹脂の種類により特性が見られ、修復対象となる個所の部位や環境に即した材料の選択基準を見出すための知見を得ることができた。また、石窟内では浸出水により岩体の崩落が問題となっている。そこで水溶性の樹脂を用いての崩落止めをおこなった。未処理と比較し崩落量が1/10以下に抑えることができるなど、高い効果を得ることができた。

【修復材料の評価試験】

塑造の修復や壁画の補強については、現地でこれまで伝統的技法により修復がなされており成果を上げている。本発表ではそれらの伝統的材料およびこれらに現代科学材料を添加した修復材料を作成し、現地にてその立地や大きさなどから環境の異なる窟を選定し、暴露試験を行った。評価は弾性試験と一軸圧縮強度、温湿度挙動によりおこなった。試験体は第22窟、第43窟、第133窟の窟内に静置した。第22窟は壁画に彩色層の剥落が見られたり、壁土全体が剥がれ岩体面との間に空洞が見られたりするなど、保存に関して何らかの緊急な対策を要する窟であり、修復も検討されている。第43窟は奥行き方向に深い窟であり、最奥部には別室が設けられている。奥部は外気の影響を比較的受けにくい環境であるが、岩体から水の供給があることから、高い湿度条件下での暴露となった。現地では主に土6に対し砂4を混ぜ、麻を適量（1.5～2.5%）加えてこれを修復材料としている。試験ではこの麻の配合比や現代科学材料（PVAC、珪酸エステル系、Mg系無機固化材（商品名ジオベスト、武井工業所）、エチレン酢酸ビニル系（NC；商品名ナチュラルコート、新成田総合社））を添加した試料も併せて製作し、曝露した。

表1には麻を配合した試験体に異なる樹脂を塗布した試験体の一軸圧縮強度変化結果を示す。

表1 異なる樹脂を用いた試験体の一軸圧縮強度変化（mm/100N）

		樹脂の種類	2008年	2009年	強度変化
麻 1.5%		無し	5.08	7.27	2.19
		NC	6.82	4.98	-1.84
		PVAC	6.12	6.07	-0.05
		珪酸エステル系樹脂	3.03	6.08	3.05

珪酸エステル系樹脂をスプレー塗布した試料ではNCとPVACをスプレー塗布した試料と比較して強度を得られたものの、曝露2年目になると強度の低下が認められた。NCとPVACをスプレー塗布した試料では未処理と比較してそれほど強度が得られないにもかかわらず、2年目も強度を維持する傾向を示した。

次に、これら曝露を行った試供体の吸放湿性の試験を行った。周辺環境（温度は30℃）を低湿状態から高湿状態（相対湿度100%）まで変化させ、さらに低湿に変化させた。そのときの絶乾重量に対する水分の増加量を図1に示す。現地で伝統的に用いられている修復素材は放湿過程と吸湿過程の水分量の差がおよそ0.2g（100g当たり）であった。PVACを添加した試料では約30RH%から約60RH%までは伝統的素材と同様の挙動を示しているが、90RH%を越える環境に曝されると、吸放湿の差が大きくなる事がわかった。更に、麻の添加の有無により、特に高湿環境で、3倍近い差が得られた。曝露した窟により劣化挙動も異なる事が判明した。各石窟の温湿度環境を考慮し、修復材料（現代科学材料の添加も含む）の選定する必要がある。

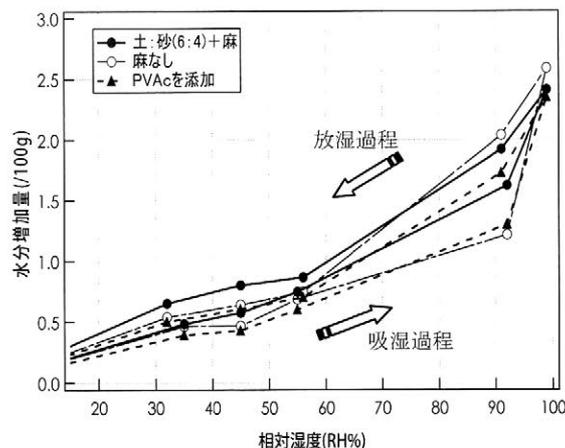


図1 湿度変化による重量変化

【岩体の強化試験】

麦積山は非常に脆い砂礫層が互層に走り、小さな振動により容易に崩落が生じている。崩落する大きさは顆粒状であり、岩体を構成する砂礫層が滲出水により凝集力が弱まり、崩落していると推定できた。崩落が著しい箇所は滲出水が甚だしく、窟内の湿度も高い。顆粒状の崩落は壁画と岩体の間に空間を作り、さらにその空間に崩落した粒子が積もることから壁画が重さに耐えられずに崩落する結果となっている。岩体の補強強化は土木的な施工を行なうものと薬剤処理によるものに分けられるが、本試験では薬剤による強化を試みた。

第94窟では修復部において岩体の崩落による劣化が懸念され、毎月その崩落量を秤量している。ここではエチレン酢酸ビニル系（NC）を用いた補強試験を行なった。この樹脂は水にエマルジョン化して存在し、湿気の多い箇所でも使用することができる。この樹脂の原理は、水中で安定化した数μmの樹脂粒子が、コーティングする事により土・砂・岩等の粒子間に浸透し、土・砂・岩の粒子を接着するとともに、樹脂同士が融着し保護層を形成する。土・砂の粒子間に樹脂が点在して接着しているために、樹脂が点在する事となり、素材の透水性・透湿性を大きく損なうことはない。透湿性についても、同様な効果が想定されている。試験は2009年3月より実施した。窟の天井左半分に60mlをスプレー散布した。評価方法は塗布を行っていない右半分との崩落量（g）の比較により行なった。結果を表2に示す。その結果、エチレン酢酸ビニル系樹脂を塗布した範囲では無処理と比較して崩落量におよそ10倍以上の差が得られた。本窟内においては良好な経過を示しており、使用した樹脂は岩体の補強に効果があると思われる。無処理の方に月ごとに差が生じている理由は窟内の温湿度環境による。例年、窟内が乾き始める季節になると崩落が増すことが分かっており、今後も調査を続行し崩落量の低減につなげたい。

表2 第94窟におけるNC塗布による崩落量の推移（単位g）

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
未処理	0.54	0.32	0.28	0.14	0.28	0.27	0.26	0.31
NC塗布	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02

【謝辞】

本研究の一部は文部科学省特別教育研究費「地域再生と観光戦略としての世界遺産等の保存・活用に関する高度専門職業人養成のための教育システムの構築」の助成を受けた。また吸放湿実験においては筑波大学人間総合科学研究科の増淵麻里耶氏の協力を得ました。ここに感謝いたします。

動的解析による高松塚古墳の損傷要因の検討

三村 衛 (京都大学), 長屋淳一 (地域地盤環境研究所), ○石崎武志 (東京文化財研究所)

1. はじめに

国宝壁画の恒久保存対策として、高松塚古墳石室を解体するのに先立って実施された大規模な発掘調査において、墳丘内部に亀裂や地割れが縦横に走っており、壁面が描かれている石室の石材にも大きな亀裂があることが確認された¹⁾。専門家の調査によれば、これらの亀裂や地割れは過去に発生した巨大地震による可能性が高いとされている^{1),2)}。昨年は、動的 FEM 解析を行い、繰返し荷重（正弦波）による墳丘部に発生する応力・ひずみ状況より、亀裂発生メカニズムを考察した³⁾。本論文では、当該地における想定地震動を用いた動的 FEM 解析を行い、墳丘に発生する応力を分析し、さらに、石室も細分化してモデル化して石室に発生する応力についても検討を行った。

2. 解析条件

図-1に動的FEM解析の有限要素メッシュ図を示す。高松塚古墳は自然堆積地盤(シルト混じり細砂)の上に石室(2m×2.3m×3.8m)があり、石室の周りは土盛りした版築で覆われた構造である。今回の解析モデルでは石室と地盤の間および上壁、下壁と側壁の間にジョイント要素を設けて、地震時における剥離が生じた場合にも対応できるモデルとした。また、地震時における石室の応力分布を詳細に検討するために石室の壁を厚さ方向に細分化した。表-1に解析パラメータ²⁾を示す。動的解析に際し、地盤は石室周りの版築と石室下部の自然堆積地盤の2層を

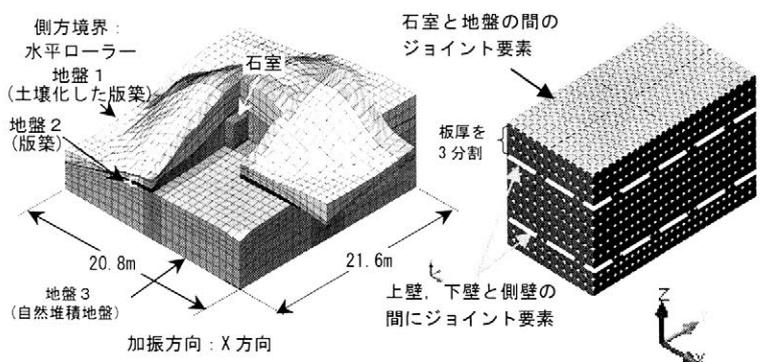


図-1 墳丘部と石室の有限要素メッシュ図

Ramberg-Osgoodモデル(ROモデル)による非線形モデル、石室は弾性材料と仮定した。図-2に入力地震動とパワースペクトルを示す。当該地付近には墳丘に影響を与えるような地震を引き起こす断層はなく、過去の地震で墳丘に影響を及ぼし得る地震は南海・東南海地震である¹⁾と考えられるため、動的解析における入力地震動は鶴来ら⁴⁾による南海・東南海地震の大阪府域における強震動予測の内、当該地の地盤条件に類似した大阪南東部のCYH観測点を対象とした地震動を用いた。パワースペクトルは周波数3~5(1/sec)に集中し、周期0.2~0.3(sec)の成分が大きく、墳丘の固有周期(0.153秒)に近い地震動であることがわかる。

表-1 解析パラメータ

	地盤1	地盤2	地盤3	石室
	土壌化版築	版築	自然堆積地盤	
単位体積重量 γ (kN/m ³)	14	16	18	18.76
ポアソン比 ν	0.488	0.478	0.45	0.373
せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	31500 ($V_s=150$ m/s)		120000 ($V_s=260$ m/s)	1.056×10^6
最大減衰率 h_{max}	0.3		0.3	
$\gamma_{0.5}$	0.0025		0.0025	

3. 解析結果

図-3 に最大変位発生時のせん断応力 τ_{xz} を示す。せん断応力は、平面的には墳丘の法尻付近、版築内部では石室周辺に 10~15kPa 程度のせん断応力が発生するが、版築の一面せん断試験より得られたせん断強度 $\tau_f=100\sim150$ kPa に対して小さな値に留まっており、地震時のせん断による亀裂の可能性は低いと思われる。また、図-4 に X 方向応力 σ_{xx} のコンター図を示す。同図において、法尻付近および石室の上部隅角部に 20~25kPa 程度の引張応力が発生している。版築のような土質材料では引張強度は 0 に近いいため、引張応力により亀裂が生じる可能性がある。

4. 石室の応力

図-5に示すように石室の天井石には南北に亀裂が生じて2つに割れていることがわかっている^{1),2)}。このような天井石内側の中央部に亀裂が発生するのは、石室および石室上部の墳丘の自重と地震時の上下動により作用する曲げモーメントによるものであることが考えられる。ここでは、正弦波（周期0.1秒，最大加速度100gal）の上下動による動的FEM

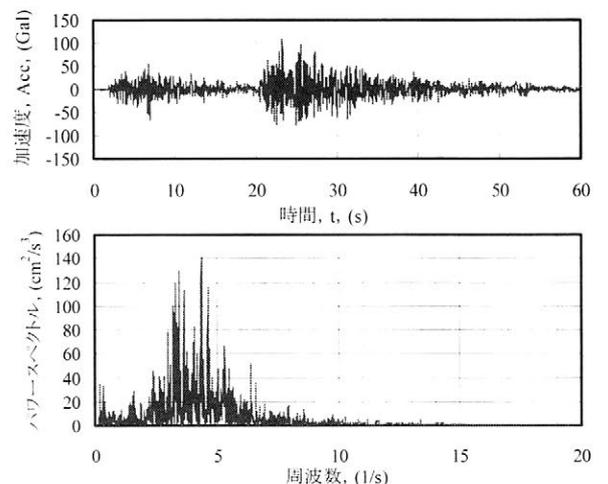


図-2 入力地震動の波形とパワースペクトル

図-2 入力地震動の波形とパワースペクトル

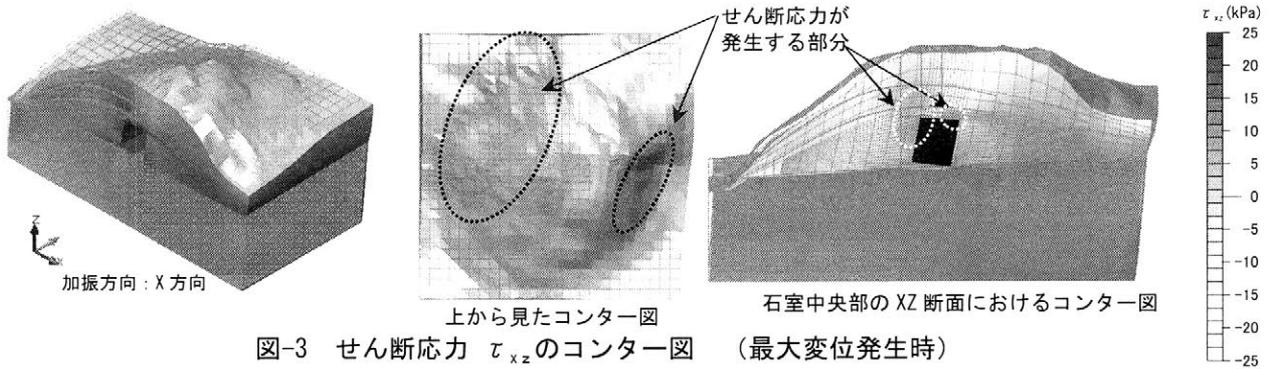


図-3 せん断応力 τ_{xz} のコンター図 (最大変位発生時)

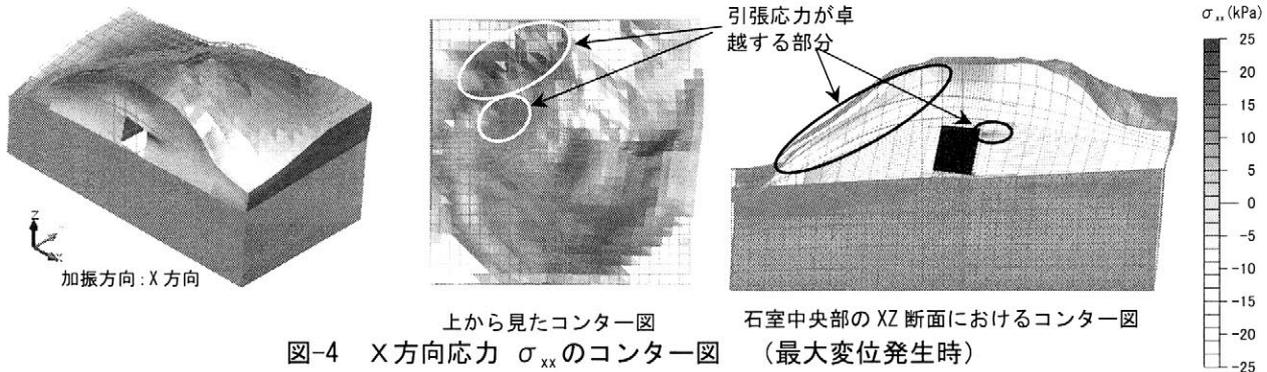


図-4 X方向応力 σ_{xx} のコンター図 (最大変位発生時)

解析を行い、石室に作用する応力を試算した。図-6,7に自重と上下動による最大変位発生時における石室のせん断応力 τ_{xz} 、X方向応力 σ_{xx} を示す。石室および墳丘の自重により石室の隅角部でせん断応力、天井石、下床石の中央部内側に引張応力が発生し、上下動が作用することにより、これらの応力はさらに増加しているが、石室の強度(一軸圧縮強さ6.39MPa、圧裂引張強さ1.06MPa)に対して小さい値である。また、図-5の左図に示すように実際の石室は壁が分割された構造であり、解析でモデル化したよりも変位の自由度が大きく、発生応力はさらに小さいと考えられる。但し、石室は凝灰角礫岩であり、必ずしも石室すべてが前述の強度を有するわけではなく、石室の弱部に何らかの要因で発生した亀裂が地震により拡大した可能性はある。

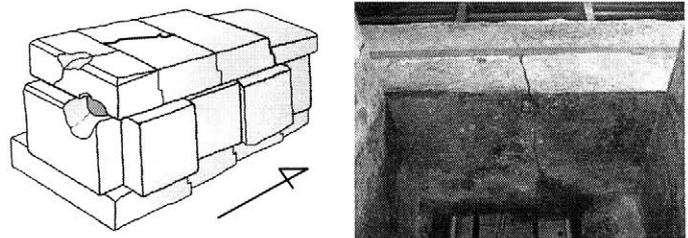


図-5 石室に発生した亀裂

また、図-5の左図に示すように実際の石室は壁が分割された構造であり、解析でモデル化したよりも変位の自由度が大きく、発生応力はさらに小さいと考えられる。但し、石室は凝灰角礫岩であり、必ずしも石室すべてが前述の強度を有するわけではなく、石室の弱部に何らかの要因で発生した亀裂が地震により拡大した可能性はある。

5. まとめ

- ①地震動による墳丘に作用するせん断力および引張応力は墳丘の法尻付近および石室の上部隅角部に発生し、地震時に発生する引張応力により亀裂が生じたと考えられる。
- ②石室および墳丘の自重や上下

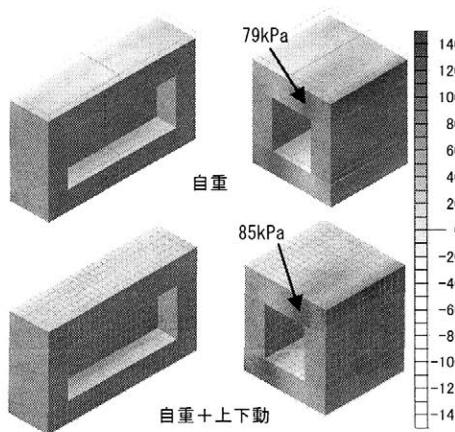


図-6 石室の応力 τ_{xz}

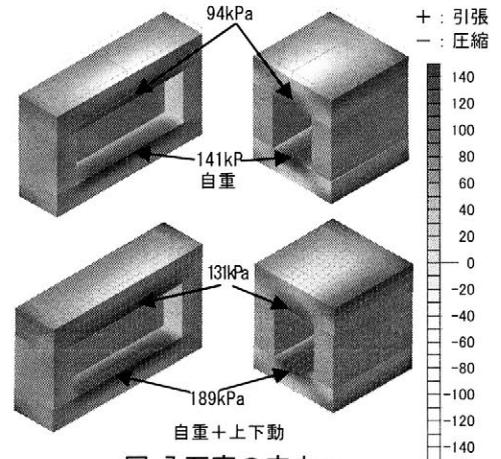


図-7 石室の応力 σ_{xx}

動地震により発生する石室の応力は、石室の強度に比べて小さい値であるが、石室を構成する凝灰角礫岩は必ずしも均一な強度を有すものではなく、潜在弱部で発生した亀裂が地震により拡大した可能性はある。

参考文献

- 1)松村恵司: 石室解体事業に伴う発掘調査, 月刊文化財, 532号, pp.16-21, 2008. 2)(独)文化財研究所 奈良文化財研究所: 高松塚古墳の調査—国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討のための平成16年度発掘調査報告—, 2006. 3)三村 衛, 長屋淳一, 石崎武志: 高松塚古墳墳丘部の動的解析, 第64回土木学会年次学術講演会, pp.515-516, 2009. 4)鶴来雅人, 趙伯明, Petukhin Anatoly, 香川敬生: 南海・東南海地震の大阪府域における強震動予測, 構造工学論文集 Vol.51A, 501-512, 2005.

積雪寒冷地における歴史的建造物の壁面劣化調査

高見雅三（道総研（旧北海道立地質研究所）），○石崎武志（東京文化財研究所）

1. はじめに

一般に凝灰岩のように空隙率の大きな岩石は、含水状態で凍結・融解を繰り返すと破砕作用により劣化することが知られているが、北海道の石造建造物には、空隙の大きな凝灰岩を建材として利用されているものが多い。我々は、積雪寒冷地における壁面劣化のメカニズムを解明するため、開拓の村にある石造建築物を研究対象に調査を行い、その概要を報告した（高見・石崎，2002，2009）。

研究対象の石造建造物は、木骨石貼り構造で明治42年に小樽新聞社社屋として建造され、その後、北海道新聞社などを経て、昭和31年から小倉商店本社社屋となり、昭和50年に解体され、昭和55年に現在の開拓の村に復元・移築されている。北海道建築設計監理株式会社(1975)によれば、解体された石材（札幌軟石：支笏溶結凝灰岩）は建造から70年近い年月が経過しているが、玄関など一部に凍害欠損（写真1）が見られる他はほとんど創建時のままの状態非常に良いとされる。しかし、移築15年後の平成7年には外壁全面補修工事が行われ、劣化防止剤として撥水剤が塗布され、また、平成20年には南壁面外壁の全面的な取替、部分的石材交換、亀裂補修が行われ、撥水剤の全面塗布が行われている。

また、石積構造の小樽市にある国の重要文化財指定の旧日本郵船株式会社小樽支店（以下、旧日本郵船という。）においても、ここ数年、劣化が著しい（写真2）。この建物は、昭和59～62年にかけて撥水剤の全面塗布など大規模な修復工事が行われている。

我々は、開拓の村で得られた歴史的建造物の結果を基に、旧日本郵船の劣化メカニズムについて検討を行ったので、その概要を報告する。

2. 開拓の村での結果概要

高見・石崎（2002）は、 4°C 以上→ -4°C 以下の凍結－融解サイクルの出現頻度（以下、出現頻度という。）と劣化状況との相関を明らかにした。高見・石崎（2009）は、修復工事時の外壁の劣化調査や石材試料観測から、平坦な南面と飾り柱や窓周りなどの凹凸部に富む南面以外の壁面とでは劣化過程が異なることを明らかにした。結果概要は、①南面では、剥離劣化による表面の凹凸は著しいが亀裂は全くみられないこと。②南面外の壁面では、殆どが石材を固定するかすがいの爆裂による亀裂劣化であること。③南面から採取した石材試料の一部で撥水剤の浸透域と未浸透域の境界付近（以下、境界付近という。）に潜在亀裂が存在すること。④その方向は、壁面に沿った亀裂であること。⑤乾燥状態のコア試料では、撥水剤の浸透域は目視確認できないが、濡らすと撥水効果が確認できること。等を明らかにした。

以上の結果から、劣化は、凍結融解作用や出現頻度による要因だけでなく、木骨構造から鉄筋コンクリート壁式駆体構造の変更と石材表面の撥水剤塗布により石材に入り込んだ水分は脱けにくい構造となり、水の浸入経路（量）の相違で劣化過程が異なる等を明らかにした。

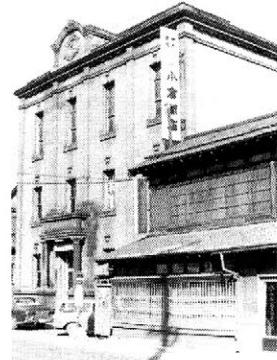


写真1 解体される直前の小倉商店本社社屋の写真(昭和50年当時撮影)



写真2 旧日本郵船の西壁面劣化

一方、境界付近の特徴を把握するため、岩石薄片観察、偏光顕微鏡観察、含有鉱物同定、含有物比測定、空隙率測定、X線回折、水銀圧入法による細孔量測定等を行ったが、空隙率（表1）以外は特に顕著な結果は認められなかった。また、石材から析出した白い結晶物については、上記と同様な分析を行った結果、非結晶のため同定に至らず、また FT-IR 分析を行った結果、撥水剤由来までの同定には至らなかった。

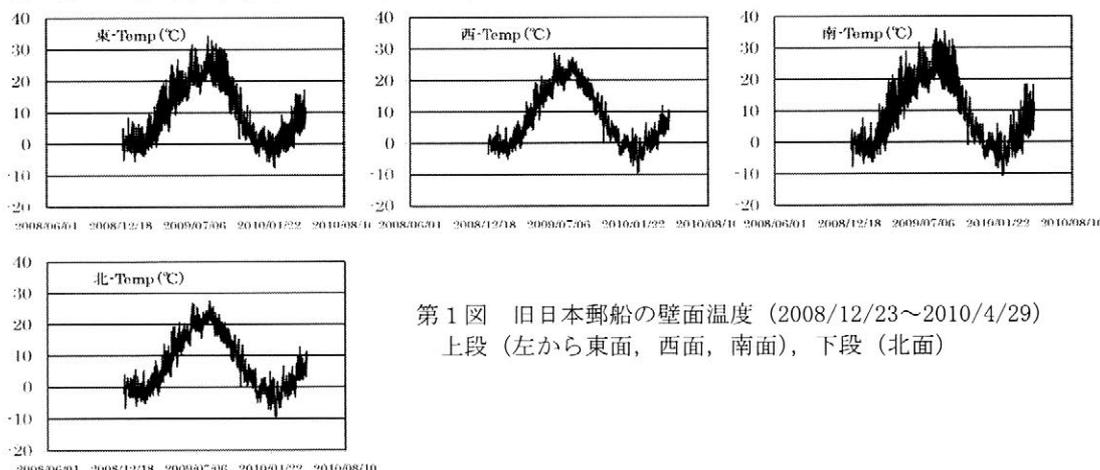
表1 空隙率測定結果

試料	空隙率(%)
撥水剤浸透域	14
境界域	36
未浸透域	34

3. 旧日本郵船の劣化調査概要

旧日本郵船の外壁には、凝灰岩が使われ撥水剤が全面塗布されていること、方位により劣化の度合いが異なること、出現回数は南面が最も多い（3～4回程度）ことなど開拓の村の劣化要因との共通点は多い。また、劣化の殆どは、写真2で示したように境界付近の剥離であるが、構造的にオーバーハングしている場所では亀裂が生じ剥落するなど、水の浸入経路（量）の相違等で劣化過程が異なる点では開拓の村と同じである。さらに、西面では、屋根裏で融雪水の流入確認や、外壁の熱映像観測で融雪水の関与が確認できること。北面では、流入経路は不明であるが、内部の壁紙が剥離した際の内壁の水分量が高かった等の報告があるなど、劣化の多くは、冬季～春季の水が関与し、凍結融解劣化による点では開拓の村と同じである。

しかし、寒暖の差がある南面は顕著な劣化がなく、逆に差があまりない西面と北面で多くみられるなど出現頻度と劣化との相関がないなど開拓の村の結果と異なる（第1図）。石材についても、軽石が多く、札幌軟石と比較して柔らかい点も異なる。



第1図 旧日本郵船の壁面温度（2008/12/23～2010/4/29）
上段（左から東面、西面、南面）、下段（北面）

4. おわりに

積雪寒冷地において、外壁の石材に撥水剤を塗布した場合、冬季～春季に雨水や融雪水が入り込むと境界付近で凍結融解劣化作用により、劣化が進行する。従って、撥水剤が塗布されていても目地や屋根などから水の浸入がないよう保守点検を行うことが非常に重要である。

5. 謝辞

調査にあたっては、北海道開拓記念館の小林幸雄氏、村上孝一氏、小樽市総合博物館の石神敏氏、北海道開拓の村の中島宏一氏、石材分析にあたっては、東京工業大学の田中享二教授、清水建設の松尾隆士氏、東北芸術工科大学大学院の鈴木雄太氏にそれぞれ協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 石崎武志・高見雅三(2002)：北海道開拓の村の歴史的建造物の壁面劣化調査，日本文化財科学会第19回大会研究発表会要旨集，108-109，. 2) 高見雅三・石崎武志(2009)：北海道開拓の村の歴史的建造物の壁面劣化調査（その3），日本文化財科学会第26回大会研究発表会要旨集，326-327.， 3) 北海道建築設計監理株式会社（1975）：旧小樽新聞社建物復原設計書，1-18.

エジプト西方砂漠ハルガオアシス、 アル・ザヤーン神殿遺跡の保存環境調査

○塚本 敏夫¹山田 卓司¹、中村 俊夫²、亀井 宏行³
(¹元興寺文化財研究所,²名古屋大学,³東京工業大学)

1. はじめに

アル・ザヤーン神殿遺跡は、エジプトアラブ共和国ニューバリー県西方砂漠ハルガオアシスに位置する。2001年度から継続的に調査が進められている¹⁾。本調査は遺跡探査によって、新たに神殿の西側で見つかった遺跡の発掘調査を主目的とし、神殿遺跡の保存調査や2遺跡の有機的な関係や当時の土地利用を含めた周辺の景観復元をも視野にいたした総合調査を行っている。本報告では発掘調査と並行して進めているアルザヤーン神殿の保存調査のうち一昨年度から開始した遺跡の保存環境調査の概要について報告する。

2. アルザヤーン神殿遺跡の問題点と保存調査の概要

アルザヤーン神殿遺跡は記録に残っている範囲で2度の修復が行われているがその修復履歴は明らかではない。また、日乾煉瓦の外壁は特に劣化し、一部破損しており、崩壊寸前の状態である。そこで、第1期の保存調査として、神殿の3Dデジタルアーカイブを行い、現状の正確な記録保存を行った¹⁾。2007年からの第2期の保存調査では①神殿の改修履歴の解明と②保存対策のための基礎データの収集を目的として調査を行っている^{2) 3)}。

3. アルザヤーン神殿遺跡の保存環境調査

神殿遺跡は砂漠地域における強い日照と寒暖差に加えて、強い強風を受ける物理劣化し易い環境にある。降雨はほとんどなく、低湿度であるが、オアシス地域特有の湧水地の縁辺に立地し、地下水位が高く周辺には塩析も見られることから、温湿度の日較差により、結露が想定された。そこで、神殿を構成する石材および日乾煉瓦壁の保存対策のため①神殿の部位による温湿度の変化の状況を把握する目的で、2007年から温湿度計（温湿度記録計：LASCAR ELECTRONICS LTD. EL-USB-2）を12箇所を設置して2年間にわたる温湿度データを得た²⁾。また、②神殿遺跡が受ける日照や風力を把握するため、気象ステーション（気象ステーション：HOBO マイクロステーションロガー、日射スマート センサー、風向・風速スマート センサー）を隣接する民家屋上に設置して15分間隔で記録を行った。

4. アルザヤーン神殿遺跡の環境調査結果

気象ステーションにより、4月以降 1000 w/m^2 を超える非常に強い日照を受け、秒速10mを超える強風の影響を受けることが明らかとなった。また強風は、北から北東風が中心であることがわかった。

温湿度調査から温度は平均温度が約28度、最大温度58.5度、最小温度2.5度で、最大日較差35度、最小日較差7.5度であった。湿度は平均湿度が約27%、最大湿度91%、最小湿度5.5%で、最大日較差48.5%、最小日較差12.5%であった。

日較差は年間を通じて大きいですが、高湿度になる時期は限られており、1年中で最も寒い1月中旬頃である。データから結露については毎日発生している状況ではないことがわかった。予想通り直接日照を受ける箇所は大きな日較差となっている、しかし、No.14とNo.15の比較では石材に比べて日乾煉瓦の方が大きな日較差を示した(図1)。

5. サーモグラフィーによる神殿の表面温度測定

直接日照を受け、日乾煉瓦と石材の表面温度の日較差を比較できる外壁入口門の定点観測を赤外線サーモグラフィ(Thermo Shot F30: NEC Avio 製)を用いて2009/12/10AM6時から1時間間隔で日没まで記録を行った(図3,4)。温湿度計で最高気温に達する11時40分前後では日乾煉瓦で約60度、石材で約32度と約30度に較差を生じている。最低気温に達する7時17分前後では日乾煉瓦と石材では約15度の較差を生じており、日照の影響でも15度前後の較差を生じている。

6. おわりに

サーモグラフィーの結果から日乾煉瓦の保存修復での劣化対応策として、表面温度の上昇を抑える比熱の大きな材料でのコーティングと日照を抑える覆い屋等の保護施設が必要と考えられる。しかし、この結果は冬季での結果であり、今年予定の夏季の測定結果と昨年度設置した曝露試験の結果を総合的に判断して保存修復計画案を立案したい。

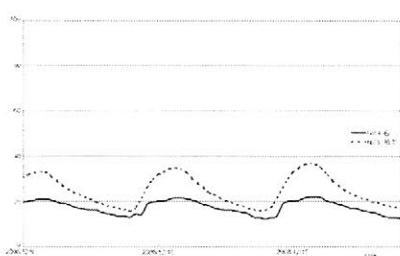


図1 No.14とNo.15の温度変化

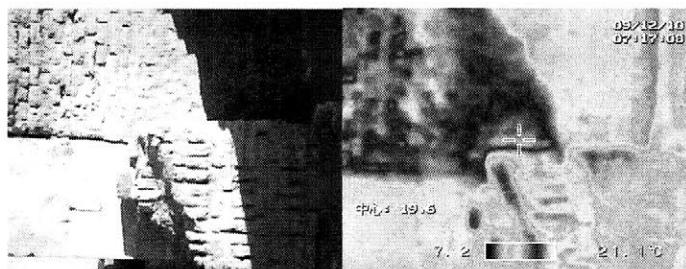


図3 外壁入口門の表面温度分布 (AM7:17)

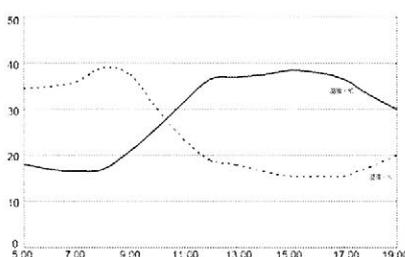


図2 日乾煉瓦(No.15)の温度日変化



図4 外壁入口門の表面温度分布 (AM11:41)

参考文献

- 1) Hiroyuki Kamei and Katsura Kogawa, El-Zayyan 2003 – 2006 (Tokyo 2007)
- 2) 山田卓司・塚本敏夫・亀井宏行、文化財保存修復学会第31回大会研究発表要旨集、p.218-219 (2009)
- 3) 塚本敏夫・山田卓司・中村俊夫・亀井宏行、第16回西アジア発掘調査報告会発表要旨集 (2009)

本調査・報告は、平成19年～22年度科学研究補助金基盤研究A(海外学術研究)19254002「考古遺跡調査への情報技術導入実験－エジプト・アルザヤーン神殿遺跡」(研究代表者亀井宏行)の一環として行った。

民俗資料の劣化とその対処法に関する研究（1） —木部への塩分浸透実験と金属防錆処理法の検証実験—

○日高真吾（国立民族学博物館）、
川本耕三、石井里佳、河村友佳子、橋本沙知（元興寺文化財研究所）
和高智美（和高巧芸）、

1. はじめに

本研究は漁労用具や製塩用具などの民俗資料が塩分や塩分に起因する錆によって受ける影響について科学的に明らかにし、その対処法を構築するものである。その1として、本発表では、木部の塩分浸透実験と金属防錆保存処理法の検証実験について発表する。

民俗資料は、一般的に、考古資料や美術工芸品などに比べ保管環境の変化に強く、劣化しにくいと考えられており、保管上の注意が払われず、保存処理を積極的に行わない場合も多い。しかし、他の文化財と同様に、温度湿度の変化、生物による被害など、民俗資料を劣化させる要因は数多くある。その中で民俗資料に特徴的な大きな劣化要因の一つに資料の持つ履歴がある。考古資料や美術工芸品と異なり、博物館資料となる前は民衆の道具であったために、使われていた履歴そのものが劣化要因となっている。この代表的なものが「塩分」である。民俗資料の中でも、塩分によって劣化している木部が多く観察される。そこで、塩分による木部への浸透と劣化の関係を明らかにするために、木部への塩分浸透実験を行った。

また、民俗資料の金属部分は、鉄、銅はもちろん、トタン、ブリキなど様々な金属がある。しかし、考古遺物の保存処理法に準じているため、鉄や銅を中心に考えられており、民俗資料の保存処理方法が確立していないのが現状である。金属に用いられる防錆方法の検証のために、汎用的に文化財保存処理に用いられている防錆剤等を、各種金属に塗布し、促進試験を行った。

2. 木部への浸透実験

木部への塩分浸透実験は、まず、木材サンプルを用いて木材が塩分を吸収しやすい状態の検証を試みることにした。木材サンプルは、民俗資料によく使われているスギとヒノキで行った。木材サンプル：スギ、ヒノキ いずれも3cm角
実験前の木材保管条件：1ヶ月間、恒温恒湿槽（20℃/50%）で保管し、含水率を均一にした。その後、デシケーター（オートソープ50%調湿）にて、1日保管後、デシケーターから段ボール箱に移し、実験作業を行う部屋（22±1℃、50±10）で保管した。

実験：

- ① 前述の保管条件の木材サンプルを準備した。
- ② ②のうち試験片としてそれぞれ6個の含水率と重量を測定した。
- ③ ②のうち試験片それぞれ3個をイオン交換水に浸漬した。
- ④ 含水率と重量を測定し、変化がなだらかになった段階で飽和と判断し、測定を終了した。
- ⑤ 90日間で重量がほとんど増加しなくなるので、90日程度で含水率が飽和になると仮定し、イオン交換水に浸漬して5日目、10日目、30日目、60日目、90日目までの各段階のサンプル材をそれぞれ3個用意し、各サンプル材を飽和食塩水に浸漬した。
- ⑥ 飽和食塩水に浸漬したサンプルを約1日ごとに重量測定を行った。増加が少なくなってきたら、1週間に1回程度の測定を続けた。

3. 金属防錆処理法の検証実験

金属防錆処理法の検証実験は、金属のテストパネルを使用して行った。

対象金属は、民俗資料に使用されている可能性のある金属とした。最も多く使用されているのは、鉄と銅であるが、その他にも、トタンやブリキなども使用されている。また、比較的新しい民俗資料ではアルミも使用されている。そこで、鉄、銅、トタン、ブリキ、アルミの5種類の金属で実験を行うことにした。

防錆剤は、使用実績のある7種類の防錆剤を、実際の保存処理を考慮して組み合わせた。

民俗資料防錆に使用されているアクリル樹脂であるパラロイドB44（ローム&ハース社）、及び、文化財に広く用いられているパラロイドB72（ローム&ハース社）、銅の防錆に効果的であるベンゾトリアゾール（以下、BTA）、BTAを含んだアクリル樹脂であるトアインクラック（株）トウペ）、屋外の銅像等に使用されているカルナバワックス、民俗資料の金属防錆に使用されている防錆剤であるLPS-1（武蔵ホルト株式会社）、民俗資料の防錆に使用されている不乾性油であるツバキ油、同じく不乾性油であるオリブ油の7種類である。

まず、金属板の前処理を行った。JIS K 5400（塗料一般試験方法）に則り、試料面の酸化皮膜を除去するため、研磨を行った。研磨方法は、研磨紙（#280）を使用して研磨した後、研磨剤を用いてさらに研磨した。研磨した金属板をキシレンに浸して超音波洗浄にかけ、ブラシでこすった後、アセトンで洗い流し、乾かした。

防錆剤の塗布仕様は以下のとおりである。

- ① BTA（1% エタノールで溶解） 1回塗布
- ② トアインクラック（原液をキシレンで2倍希釈） 2回塗布
- ③ B44 13%（キシレンと酢酸エチルアルコールに溶解） 2回塗布
- ④ B72 13%（キシレンと酢酸エチルアルコールに溶解） 2回塗布
- ⑤ ツバキ油 1回塗布（塗布後、溜まった油は拭き取る）
- ⑥ オリブ油 1回塗布（塗布後、溜まった油は拭き取る）
- ⑦ カルナバワックス 1回塗布
- ⑧ トアインクラック（②と同じ） 2回塗布 その後 カルナバワックス 1回塗布
- ⑨ B44（③と同じ） 2回塗布 その後 LPS-1 1回塗布
- ⑩ コントロール（研磨：鉄、銅、アルミ 未研磨：トタン、ブリキ）
- ⑪ コントロール（未研磨：鉄、銅、アルミ）

なお、コントロールとして、研磨した金属板を用意したが、トタンとブリキは皮膜を落としてしまうと考えられたため、未研磨のものをコントロールとした。実験条件を合わせるために、鉄、銅、アルミについても未研磨のものも用意した。

金属板研磨後、各防錆剤を塗布した。各々の防錆剤を各金属板3枚ずつに塗布した。2回目以降の塗布については1週間の乾燥期間を設けた後に塗布を行った。塗布を完了した金属板は、 $22\pm 1^{\circ}\text{C}/50\pm 10\%$ の環境で1ヶ月間乾燥させた。

促進劣化試験は、JIS K5600-7-3 耐湿性試験（不連続結露法）に則って行った。条件は以下の通りである。

湿：温度 $40\pm 3^{\circ}\text{C}$ /相対湿度 100% 16時間

乾：温度 $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ /相対湿度 $50\pm 20\%$ 8時間

この乾湿条件で、恒温高湿槽にて繰り返し運転を行い、1か月間の促進試験を行った。評価は、4人以上で目視観察し、劣化状況を5段階で評価した。

試験を終了した金属板は、実験作業を行う部屋（ $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 50 ± 10 ）で保管し、引き続き観察を行った。

4. 結果と考察

木材試験については、含水率が高い方が、塩分を吸収しやすい結果となった。引き続き、塩分劣化との関連について実験を進め、民俗資料の脱塩処理を実際に行い、検証する。

防錆実験については、アクリル樹脂と不乾性油に防錆効果があることが確認できた。変色などの他の劣化についても実験を進め、また、塩分と金属腐食についての検証も行う予定である。

5. おわりに

本研究の成果を進めることにより、塩分に起因する民俗資料劣化のメカニズムを解明し、民俗資料の特性に応じた保存処理方法を確立することができると考えている。民俗資料は、各地に大量に所在し、小学校の空き教室等に保管され、保存状況は良いと言えないことも多い。この方法論は博物館学芸員等でも安全かつ有効に行えるものを目指しており、大量の民俗資料の保存の一助になれば幸いである。

なお、本研究は、科学研究費（課題番号：21601020）の助成を受けたものである。

キトラ古墳の新たな微生物対策：紫外線照射について

○木川りか*, 佐野千絵*, 高鳥浩介*², 久米田裕子*³, 杉山純多*⁴,
森井順之*, 早川典子*, 川野邊渉*, 石崎武志*, 宇田川滋正*⁵, 建石徹*⁵

(*: 東京文化財研究所 *2: NPO 法人カビ相談センター *3: 大阪府立公衆衛生
研究所 *4: (株)テクノスルガ・ラボ 千葉分室 *5: 文化庁)

1. はじめに

キトラ古墳は、高松塚と同時代の壁画を有する古墳であり、2004年以降に石室の発掘および壁画の取り外し・保護作業が進められた。2008年には目視で確認される範囲の側壁の絵画部分、また天井の星宿図の取り外し作業が完了し、現在は、余白漆喰の取り外しが継続されている。目でみえる範囲の絵画の取り外しが完了したことを受け、石室内のカビなどの微生物対策について、これまでとは異なる方法（紫外線照射）が検討・採用された。本報告では、キトラ古墳の主要な微生物分離株に対する紫外線照射試験の結果と、現在採用されている具体的な方法、およびその効果について報告する。

2. 紫外線照射の検討と採用について

＜経緯＞ 2008年に目視で確認される絵画部分の取り外しが完了したことを受け、新たな微生物対策への切り替えが行われた。これまでは、色材への影響を考慮し、アルコール系の殺菌剤と、止むを得ない場合は部分的にイソチアゾリン系の抗菌剤（ケーソン）、および絵のない床部分にはホルマリン溶液を使用することもあったが、これらの有機系の殺菌剤、抗菌剤は、うすまったり、壊れたりすることによって、微生物の栄養源となる危険性もある。このため、有機物を残留させない方法である、殺菌灯による紫外線（UV）の間欠的照射、およびカビなどを除去する際には、低濃度（1000ppm程度）の次亜塩素酸ナトリウム溶液を使用する方法が、平成21年3月9日の古墳壁画保存活用検討会（第4回）にて、ワーキンググループから検討会へ殺菌効果を示す実験データとともに提案され、了承された。

＜紫外線の殺菌効果の検討と実施方法＞

キトラ古墳の主要な微生物分離株に対する紫外線照射による殺菌評価を行った（表1）。

この結果をみると、酢酸菌（*Gluconacetobacter* sp.）を含む細菌には極めて効果が高く、実験では殺菌灯を1mの距離から照射したところ、ほぼ1分以内にほとんどの細胞が殺菌されることが明らかになった。また、酵母の場合でも、3分以内でほぼ十分な効果がみられた。

ただし、カビの場合は、暗色系のカビ（*Acremonium* (sect. *Gliomastix*) sp.）など、黒褐色の色素を有する種類で十分な効果が得られるのには少なくとも30分は要することが明らかとなった。

この結果を受けて、2009年の間欠的紫外線照射は、三脚に紫外線殺菌灯（GL-10）を装着したもの（写真1）をさまざまな角度に調整して石室内に6本設置し、タイマーによって、1日に30分の照射を2回行う形で実施された。

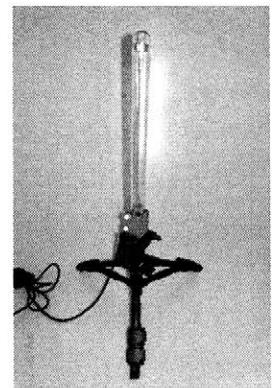


写真1.

＜経過観察と今後の対策＞

2009年3月以降、石室内の微生物制御法を紫外線殺菌灯による照射と必要に応じて低濃度の次亜塩素酸ナトリウム溶液を用いての物理的除去に切り替えてのち、石室内で白いカビの菌糸の発生はほとんどみられなくなった。ただし、2009年5月11日～6月5日（4週間）および、2009年10月19日～12月4日（6週間、1週間の中断を含む）の集中的剥ぎ取り作業中における点検では、“黒粒カビ”、いわゆる小型菌核をつくる黒色のアナモルフ菌類（担子菌類の系統）*Burgoa* sp. は目視でみられており、小型菌核を作る構造的特徴の点でも黒色の色素を有す

る点でも、紫外線に強い菌種と考えられた。しかし、全体的にみれば、カビなどの発生は、石室が高温になる時期においてもかなり抑制されていたといえる。

この *Burgoa* sp. のカビ2株について、紫外線照射による黒色の小型菌核に対する不活化試験を行ったところ、小型菌核は、6日間の紫外線照射でも生き残り、他のキトラ古墳由来菌株と比較して、紫外線に抵抗性が高いことが分かった。次に菌糸に対する不活化試験を行ったところ、1株においては30分の照射でほとんど不活化され、残りの1株では60分の照射で生き残りは認められなかった。以上のことから、黒粒カビ *Burgoa* sp. の小型菌核は紫外線照射に強いが、菌糸は60分以内の照射で不活化されることがわかった。この結果より、*Burgoa* sp. の小型菌核については、必要に応じて適宜物理的な除去を併用し、菌糸については、従来通り紫外線で不活化することが汚染拡大を防ぐための対策といえる。

3. 今後の対策について

現在のところ、カビなどの大発生にはいたっておらず、おおむね石室内は良好な状況にはあるが、紫外線や次亜塩素酸にも耐性の強い黒色色素を産生し、小型菌核様構造などを作る *Burgoa* sp. のカビなどの繁殖が目立ってくるような場合は、適宜、物理的な除去も併用する必要があると考えられる。

表1. キトラ古墳石室内から分離された微生物に対するUV照射殺菌試験結果

菌種名	菌株番号*	UV強度 uW/cm ²	処理前 [※]	UV照射時間 ^{※※}					
				30秒	45秒	1分	1分30秒	2分	3分
<i>Gluconactobacter</i> sp. 1	K5929-2-1b	11.2-12.7	10 ⁵	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<i>Stenotrophomonas</i> sp.	K5916-3-1b	11.2-12.7	10 ⁵	10 ³	10 ²	<10	<10	<10	<10
<i>Bacillis</i> sp.	K6203-10-3b	11.2-12.7	10 ⁵	10 ³	10 ¹	10 ¹	<10	<10	<10

菌種名	菌株番号*	UV強度 uW/cm ²	処理前 [※]	UV照射時間 ^{※※}				
				30秒	1分	2分	3分	5分
<i>Candida</i> sp. (新種)	K5916-7-4	11.5-13.4	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	10 ²	<10	<10
<i>Pichia guilliermondii</i>	K7724-2-2	11.5-13.4	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	10 ²	<10	<10

菌種名	菌株番号*	UV強度 uW/cm ²	処理前 [※]	UV照射時間 ^{※※}					
				5分	10分	20分	30分	40分	60分
<i>Penicillium paneum</i>	K5916-7-1	10.2-13.4	10 ⁵	10 ⁴	10 ²	10 ¹	<10	<10	<10
<i>Fusarium solani</i>	K5225-19-3	10.2-13.4	10 ⁵	10 ⁴	10 ²	<10	<10	<10	<10
<i>Trichoderma</i> sp.	K5916-7-3	10.4-14.6	10 ⁵	10 ⁴	10 ¹	10 ¹	<10	<10	<10
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) sp.	K7511-1	11.3-13.5	10 ⁵	10 ³	10 ²	10 ²	10 ¹	10 ¹	<10

※ 処理前；初発菌数 ※※ UV照射時間後；生残菌数を示す 照射は高さ1mの位置から行った

* 供試菌株は(株)テクノスルガ・ラボで分離・同定した

寒冷地における漆喰壁土蔵の劣化機構と保存対策 (7) ～左官材料の物性～

○鈴木 雄太 (東北芸術工科大学), 米村 祥央(東北芸術工科大学),
手代木 美穂(東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター)

1. はじめに

山形県内各地に現存している多くの漆喰壁土蔵の漆喰表面は、亀裂や剥離・剥落といった劣化が生じている。そのような漆喰壁土蔵は、これから壁面のさらなる劣化の進行、果ては土蔵の倒壊にまで至る可能性が考えられる。本研究では、凍結破砕による物理的劣化作用が主たる劣化現象と捉え、種々の室内・屋外実験を行ってきた。これまでの研究から、漆喰壁の劣化は中塗り層の物性により左右されると考察した。また、実際の漆喰壁土蔵と同じ構造・工程・工法と左官材料を用いて作製した漆喰試験壁の屋外環境下における劣化実証実験と微気象観測から、2～3月末の明け方に凍結破砕を引き起こす要素を満たすと考えられた。今回は、実際に漆喰壁に用いられている左官材料の物理的・力学的性質に関して報告する。

2. 実験材料

材料は山形県中山町・須川河川敷から採取した粘性土に藁苳を加えて発酵させ、再度藁苳を加えたもの（以下旧土）と、比較試料として山形県大石田産の大石田粘土（以下大石田）を用いた。

3. 実験方法

材料の物性試験に関し、飽和状態の体積含水率測定にはIMKO社製TRIME-TDR水分計とP2Dプローブを用い、それぞれ12回ずつ測定して最高・最小値を切り捨て10測定値から標準偏差を求めた。飽和含水比をJIS A1203¹⁹⁹⁹、土粒子の密度をJIS A1202¹⁹⁹⁹、粒度分布をJIS A1204²⁰⁰⁰、材料の工学的分類をJGS 0051²⁰⁰⁰、透水係数をJIS A1218¹⁹⁹⁸、透水係数計測のための試料作製をJIS A1210¹⁹⁹⁹に準拠して測定を行った。砂漆喰の物性試験として嵩密度、真密度、間隙率を測定した。荒壁、中塗り土は藁苳未混和試料を用い、飽和含水比、土粒子の密度、粒度分布に関しては混和した藁苳が測定に影響を及ぼすと想定し、透水係数のみ藁苳混和試料の測定を行った。表1に漆喰の材料組み合わせを、表2に試験材料の組み合わせを示す。

	消石灰 貝灰	礫	角叉
漆喰	20kg(8.5) 3kg(1.5)	200g (0.1) ^{*1}	250g (0.125) ^{*1}

*1 消石灰20kgに対する容積比

中塗り層 材料	主材 (原土)	骨材 ^{*3} (川砂)	補助材 (藁苳)
荒壁	1L	-	30g
中塗り土	1L	1.5L	30g
砂漆喰 ^{*2}	1L	1.5L	*2

*2 砂漆喰は漆喰に砂を混ぜたもの
*3 砂は3mm篩を通過分を使用

4. 結果と考察

図1に各試料の体積含水率測定結果を、表3に旧土試料と砂漆喰の各測定結果を示す。図1より、試料に混和される藁苳の影響が大きいことがわかった。特に、測定対象が飽和状態であると測定値の最大最小値の差が大きくなる傾向にあるといえる。現存している漆喰壁土蔵の土壁や漆喰壁は乾燥状態、つまり未飽和状態にあるので、体積含水率測定を行

えば水分の影響は少ないといえる。しかし、本実験では藁切を含んだ試料と含まない試料では、藁切を含むことによって体積含水率が高くなる可能性がある。

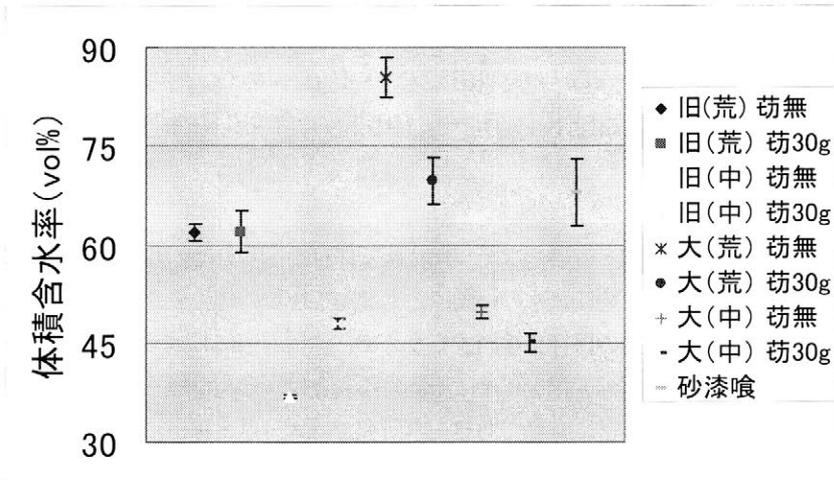


図1 各試料の体積含水率の標準偏差

表3より、旧土荒壁は含水比が高いことから水を多く含むことができると考えられる。また、シルト、粘土の割合が多く、砂分がほとんど含まれていないこと透水係数の測定が不可能だったことから、ほとんど透水しないと考えられる。中塗り土はシルト、粘土の割合が少なく、透水係数や粒径の組成割合から凍上の危険性があるといえる。中塗り土は藁切の有無で透水係数を比較すると、藁切混和試料は藁切未混和試料の約1/5であった。藁切自体は水を含みやすいと考えられるので、冬季間の凍結・融解の繰り返しを引き起こす凍結破砕劣化や凍上に寄与する可能性があると考えられる。砂漆喰は空隙率は44%と高く、粒度分布も砂と細礫で約89%を占めており、透水係数や粒径の組成割合から凍上の危険性は少ないといえる。藁切未混和の中塗り土と砂漆喰の透水係数を比較すると、砂漆喰は藁切混和の中塗り土の約10倍である。砂漆喰は中塗り土に比べて水が浸透しやすいと考えられる。しかし、水が浸透しやすいということは、砂漆喰内部に浸透した水が抜けやすいということも考えられることや、凍上が生じやすい範囲内にあっても、その影響を受けにくいということが考えられる。空隙率が高く、透水性に優れているということは砂漆喰内部に水が浸透しやすく、凍結破砕の危険性が考えられるが、重力による地面方向への排水が可能であれば、凍結破砕の危険性は低いと考えられる。逆に、藁切混和の中塗り土は水が浸透しにくい抜けにくく、凍上や凍結破砕の危険性が考えられる。

表3 旧土と砂漆喰の物理的・力学的性質の測定値

			荒壁		中塗り土		砂漆喰
主材(土):苧比			1L:0	1L:30g	1L:0	1L:30g	-
透水係数 K_{15} (cm/sec)			-		1.034×10^{-3}	2.09×10^{-4}	1.873×10^{-3}
飽和含水比 W(%)			116.66	-	38.67	-	26.51
土粒子の密度(g/cm ³)			2.599	-	2.635	-	2.51 ^{*1}
粒度組成 (%)	5μm以下	粘土	26.9	-	10.0	-	2.4 ^{*2}
	5μm~75μm	シルト	48.2	-	11.0	-	8.7 ^{*2}
	75μm~250μm	細砂	15.8	-	9.6	-	9.8
	250μm~850μm	中砂	7.0	-	30.7	-	32.9
	850μm~2mm	粗砂	2.1	-	30.5	-	36.3
	2mm~4.75mm	細礫	0	-	8.1	-	9.9

*1 砂漆喰のみ真密度の値 *2 石灰粒子分含む

遺跡保存を目的とした水の挙動に関する解析 —日田市ガランドヤ古墳における調査事例—

○脇谷草一郎¹⁾・矢羽田幸宏²⁾・高妻洋成¹⁾・肥塚隆保¹⁾

1)奈良文化財研究所 2)日田市教育庁文化財保護課

はじめに

土質遺構や古墳では一般に大地と縁のつながった状態で保存が図られる。しかしこれらの遺構は地表における水の循環系の一部にあるために、水の移動にともなう塩類の析出や、黴や苔類による汚損などの劣化を受ける。したがって遺構の保存を検討するうえで、遺構周辺における水循環の現状を把握し、さらには保存処理にともなう水循環の変化を正確に予測することは、各々が無二の存在であるが故に失敗の許されない文化財保存において非常に有効である。本研究では大分県日田市に位置する史跡ガランドヤ古墳において水の挙動に関する調査を実施した。

史跡ガランドヤ古墳は大分県日田市に位置する装飾古墳である。このうち1号墳は墳丘封土の殆どを失っており、昭和60年以降は内部を保護するために、露出した石室全体をビニルシートで覆っている。1号墳では石室石材表面の一部に剥離や白色を呈する析出物が観察されるとともに、常時ではないものの、石材表面には液状水が認められ、濡れた状態にある。上記の石材の劣化に対して、水が影響を及ぼしている可能性が示唆されたため、1号墳石室周辺における水の挙動に着目して、環境に関する調査を実施した。

1 実験および調査方法

1号墳周辺の土層層序と地下水面位置を把握するために、日田市によって1号墳近傍においてボーリング調査が実施されている。調査の結果、石室床面はGL-12mであるのに対して、GL-16mまでは盛土、その下層には順に玉石混じり粘土質砂礫層、砂層、砂礫層が存在し、地下水面はGL-52mに確認された。したがって、石室周辺の土はすべて盛土からなるものとして、以下の調査では盛土について試験をおこなった。

1-1 不飽和水分移動特性 土の保水性を表現する水分特性曲線および不飽和透水係数の関数として、本研究では van Genuchten-Mualem モデルを用いた。このモデルでは水分特性曲線 $\theta(h)$ 、および不飽和透水係数 $K(h)$ はマトリックポテンシャル h の関数として以下の式で与えられる。

$$\theta(h) = (\theta_s - \theta_r) \frac{1}{\left[1 + |\alpha h|^n\right]^m} + \theta_r$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m}\right)^m\right]^2$$

ここで S_e は有効飽和度で、飽和体積含水率 θ_s と残留体積含水率 θ_r をもちいて $(\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ で与えられる。 K_s は飽和透水係数 (m sec^{-1}) である。また α (m^{-1})、 n (-)、および $m = 1 + 1/n$ (-) は水分特性曲線の形状を与えるフィッティングパラメータ、 l は間隙結合係数と呼ばれるパラメータで、一般的には 0.5 の値が推奨されている。ここでは1号墳石室外から採取した不攪乱試料をもちいて、飽和透水係数の測定をおこなうとともに、マルクステップ法および蒸気圧法 (表1) による排水実験をおこない、得られた実験結果に対して HYDRUS-ID をもちいた逆解析をおこない1号墳周辺盛土のパラメータを推定した。

1-2 現地調査 1号墳周辺における水の挙動を把握するために、1号墳近傍で気象観測をおこなうとともに、周辺土壌の含水率およびマトリックポテンシャルの測定をおこなった。

1-3 数値実験 1-1で推定したパラメータを基に、降雨後の土中水分移動について数値実験をおこなった。得られた結果と1-2で実施した現地調査結果の比較をおこなった。

2 結果および考察

1-1から得られた盛土の水分特性曲線および不飽和透水係数をそれぞれ図1および図2に示す。盛土はやや不明瞭ながら、およそ10-20 cmH₂O付近に空気侵入値を持つ比較的保水性に乏しい土であることが示唆された。また得られた透水係数から中程度の透水性状であることが示唆された。

2010年4月1日に降雨強度およそ10 mmh⁻¹の雨が2時間にわたり観測され、その後5日間は降雨が観測されなかった。このとき雨水が1号墳周辺土壌へ浸潤し、土中を移動する過程のマトリックポテンシャル変化について数値実験をおこない、実測値と比較をおこなった結果を図3に示す。なお、横軸は石室側壁からの水平方向距離を表し、距離150 cmまでの地表面はビニルシートで覆われている。

距離150 cmまでの箇所では、マトリックポテンシャルが一定値をとることが実測値と推定値の両者から認められた。ビニルシートにより、地表面からの水の蒸発が抑制されるためと推察される。ビニルシートで覆われた範囲外の距離300 cmでは

同様にマトリックポテンシャルが一定値を示すが、ビニルシート直近の距離160 cmでは他と比較して著しく乾燥が進行しており、推定値と良く一致した。供給された水が水平方向へわずかに移動する一方で、地表からの蒸発が盛んなことによると推察される。

ここでは二次元の数値実験であったが、今後は三次元のものへと拡張し、遺跡全体での水の挙動について検討をおこなう予定である。

表1 蒸気圧法に用いた飽和塩溶液

塩	相対湿度 (%)	ϕ (cmH ₂ O)
KNO ₃	95	-70816
KCl	85	-223469
NaCl	75	-397959
NaBr	59	-724490
MgCl ₂ · 6H ₂ O	33	-1510204

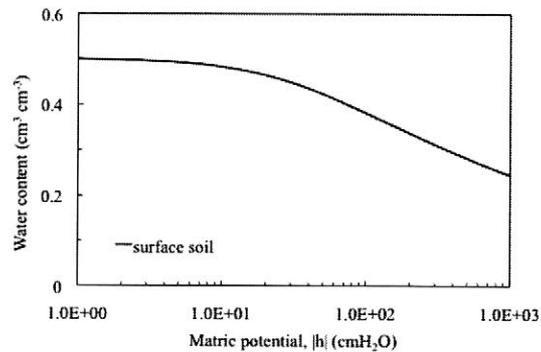


図1 盛土の水分特性曲線

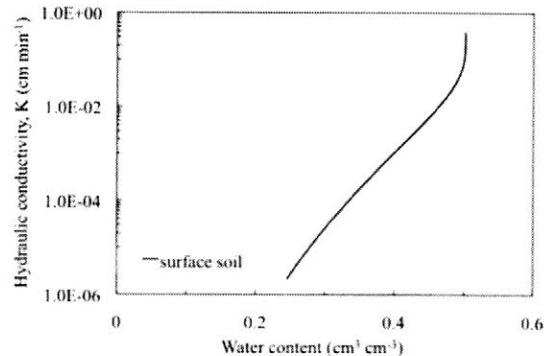


図2 盛土の不飽和透水係数

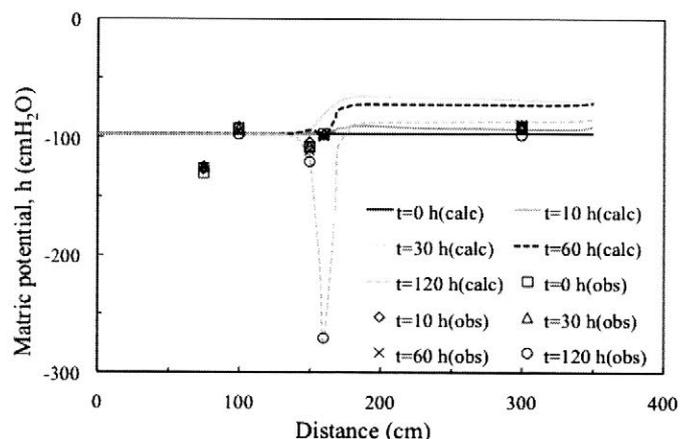


図3 1号墳周辺土中のマトリックポテンシャル：プロットは実測値、線は推定値

昆虫化石からみた愛知県畑間遺跡の古環境

○奥野絵美 (愛知県埋蔵文化財センター), 森 勇一 (金城学院大学)

1. 研究の目的

愛知県西部の尾張部では、田所遺跡(愛知県)や大毛池田遺跡(愛知県一宮市)をはじめ、中世・鎌倉時代に属する遺跡で、昆虫化石分析を用いた古環境分析が行われてきた(森 1996・森 1997 ほか)。その結果、中世の濃尾平野周辺では、ヒメコガネなどの畑作害虫を中心とした昆虫群が得られており、この地域で土地改変が進行し、人為的な自然改変が進んでいたことが指摘されている(森 2009 ほか)。しかし、知多・三河地域での研究例は少なく、中世の遺跡およびその周辺の古環境については未解明の部分が多い。そこで本論では、知多半島北部の東海市に位置する畑間遺跡で昆虫化石分析を行い、その結果とそこから復元できる古環境について考察する。

2. 試料および分析方法

畑間遺跡(愛知県東海市)は、伊勢湾岸の海岸平野のうち、太田川右岸の標高3~4mの高まり(砂堆)上に立地する。本遺跡は東海市教育委員会によって2001年度と2008年度に発掘調査が行われ、弥生時代前期から中世にかけての集落遺跡であることが明らかとなっている(愛知県東海市教育委員会 2004)。付近には古墳時代~古代の製塩遺跡として知られる松崎遺跡が存在している。試料の採取地点は、2001年度の発掘調査に際して検出された鎌倉時代前半の溝(024SD)である。溝の埋土である黒色シルト層51.0kgを、合計2地点(試料1・2)から採取した。昆虫化石の検出作業は、ブロック割り法および水洗浮遊選別法(フローテーション法)を用いて行った。見つかった化石はクリーニングをおこなったあと、顕微鏡下で一点一点現生標本と比較しながら同定し、重要なものに関しては写真撮影を行った。同定後の標本は、50%アルコールを注入し、密閉容器に入れ保管してある。

3. 分析結果

分析の結果、合計377点の昆虫化石を得た。分類群ごとにみると、科レベルでは8科計75点(19.9%)、亜科レベル2亜科2点(0.5%)、属レベルは5属72点(19.1%)、種まで同定できたものは9種215点(57.5%)であった。これ以外に、その他未分類の甲虫目等としたものは12点(3.2%)であった。生息環境および生態による分類では、食肉性ないし食植性の水生昆虫が1科1亜科2種計7点(1.9%)、食糞性ないし食屍性の地表性歩行虫が2科2属1種計28点(7.4%)、その他の地表性歩行虫が計2科2属2種57点(15.1%)、陸生の食植性昆虫が3科1亜科1属4種計274点(72.5%)であり、その他未分類の甲虫目等は計12点(3.2%)であった。なお、ここに記した昆虫化石の点数はいずれも節片ないし破片数であり、生息していた昆虫の個体数を示したものではない。

全体の出現率の72.5%を占めた食植性昆虫274点のうち201点が、ヒメコガネ *Anomala rufocuprea* であった。ヒメコガネはマメ類や果樹などの栽培植物を食害する昆虫である。その他の食植性昆虫についても、サクラコガネ属 *Anomala* sp. (51点)や、ブドウ属ほか各種畑作物の葉を食害するドウガネブイブイ *Anomala cuprea* (2点)など、今日農作物を加害する畑作害虫として知られる昆虫群が多く認められた。その他の地表性歩行虫に関しては、エンマコガネ属 *Onthophagus* sp. (17点)、マグソコガネ属 *Aphodius* sp. (1点)やマグソコガネ *Aphodius rectus* (5点)など、人為度の高い環境を指標

し、人や動物の糞に集まる食糞性昆虫をはじめ、動物の屍体や糞便に集まるウジ等を捕食する食屍性のエンマムシ科 Histeridae (3点)が検出された。

表1 畑間遺跡から産出した昆虫化石

生態	和名	学名	試料1	試料2	小計		
水生	食糞性	ガムシ科	Hydrophilidae	P2 L1		3	
		セマルガムシ	<i>Coelostoma stultus</i> (Walker)	E2		2	
		ヒメガムシ	<i>Sternolophus rufipes</i> (Fabricius)	P1		1	
		ネクイハムシ亜科	Donaciinae	L1		1	
地表性	食糞性	コガネムシ科(食糞性)	Scarabaeidae (Lamprosticti)	P1		1	
		エンマムシ科	<i>Onthophagus</i> sp.	H2 P3 E6 T1 L5		17	
		コブマルエンマムシ科	<i>Onthophagus atripennis</i> Waterhouse	E1		1	
		マダラコガネ	<i>Aphodius</i> sp.	L1		1	
		マダラコガネ	<i>Aphodius rectus</i> Motschulsky	P1 E3 L1		5	
	食屍性	エンマムシ科	Histeridae	P1 E1	P1	3	
	食肉・雑食性	肉食・雑食性	オサムシ科	Curculidae	H9 A3 P11 E11 T1 A3 L6 O1	E1	46
			ミズキワゴミムシ属	<i>Bembidion</i> sp.	E1		1
			ツヤヒラタゴミムシ属	<i>Synuchus</i> sp.	E1	E1	2
			ヒラタゴミムシ族	Platynini	P2		2
ナガヒコウタンゴミムシ			<i>Scarites torricola pacificus</i> Bates	P1		1	
ハネカクシ科			Staphylinidae	P1 E2 A2		5	
陸生	食植性	コガネムシ科(食植性)	Scarabaeidae (Pleurosticti)	P2 E5 A2 L2		11	
		サクラコガネ属	<i>Anomala</i> sp.	H3 P15 E19 T1 A8 L5		51	
		ドウガネブイブイ	<i>Anomala cupreum</i> Hope	E2		2	
		ヒメコガネ	<i>Anomala rufocuprea</i> Motschulsky	H9 S3 P36 E93 T13 A11 L27	H1 P2 E7	201	
		ハナムグリ亜科	Cetoninae	E1		1	
		コアオハナムグリ	<i>Oxyctonus jucunda</i> (Faldernum)	E1		1	
		ノコギリカミキリ	<i>Prionus insularis</i> Motschulsky			1	
		ハムシ科	Chrysomelidae	E2 L1		3	
		ゾウムシ科	Curculionidae	E3		3	
		その他	不明甲虫	Coleoptera	H1 E4 A1 L3 O1		10
水生甲虫	Aquatic beetle		P1 E1		2		
合計			361	13	377		

(検出部位凡例)

H(Head):頭部 A(Antenna):触角 M(Mandible):大顎 S(Scutellum):小顎板 P(Pronotum):前胸背板 C(Chrysalis):羽化

E(Elytra):鞘翅 T(Top):上翅 T(Thorax):胸部 A(Abdomen):腹部 L(Leg):脚 O(Other):その他

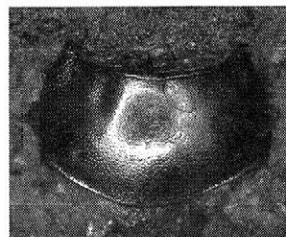


写真1 ヒメコガネ
Anomala rufocuprea Motschulsky
前胸背板 5.1mm(幅)

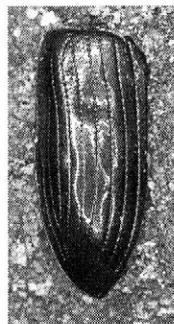


写真2 マダラコガネ
Aphodius rectus (Motschulsky)
左上翅 3.1mm(長さ)

4. 考察と結論

畑間遺跡の鎌倉時代前半の溝(SD024)からは、畑作害虫を中心とした陸生の食植性昆虫を多産した。この結果、遺跡およびその周辺では果樹・桑・マメ科植物などが植栽された畑作地帯が展開していた可能性が指摘される。濃尾平野周辺域で確認された人為的な自然改変が、知多半島北西部に位置する本遺跡付近においても広がっていたことが推定される。また、水生昆虫が殆ど検出されなかったことから、溝(024SD)付近は、人為度の高い攪乱環境下にあり、周辺には安定した止水域が存在しなかったことが考えられる。こうして、鎌倉時代前半に遡る畑間遺跡とその周辺では、近現代の農村地帯に見るような人間の居住域と農耕地が混在する人里空間が展開していたと推定される。

謝辞

本分析を進める過程で、東海市教育委員会および国際文化財株式会社の方には試料採取にあたって多大な協力を得た。ここに記してお礼申しあげる。

引用文献

愛知県東海市教育委員会. 2004. 畑間遺跡発掘調査報告.

森 勇一. 1999. 昆虫化石よりみた先史～歴史時代の古環境復元. 国立歴史民俗博物館研究報告. 81. pp. 311-342.

日本応用動物学会編. 1987. 農林有害動物・昆虫名鑑. 日本植物防疫協会. 379p.

森 勇一. 2009. 遺跡産昆虫から探る人々の暮らし. BIOSTORY. 11. pp. 16-26.

森 勇一. 1996. 愛知県一宮市大毛沖遺跡から得られた昆虫化石群集について. 大毛沖遺跡. 愛知県埋蔵文化財センター調査報告書. 66. pp. 188-194.

森 勇一. 1997. 畑作農村地帯を特徴づける田所・西上免遺跡の地表性歩行虫. 田所遺跡. 愛知県埋蔵文化財センター調査報告書. 71. pp. 154-158.

佐賀東名貝塚における時空的植生復原

奈良教育大学 金原正明
古環境研究所 ○金原美奈子

佐賀東名遺跡では、計画的に分析を行うことによって植生の空間的復原の検討を行った。時空的な植生復原を行うには、単一の試料や1箇所連続試料の分析からは難しく、複数箇所の連続試料の分析とその堆積環境の把握によって可能となり、分析も花粉分析など単一の分析ではなく、堆積特性の異なる大型と小型の遺体の組み合わせから可能となる。堆積環境の把握は珪藻分析によって行ない、その堆積特性を解析した。

(1) 第2貝塚と第1貝塚において、標準試料の共通断面とした第2貝塚H断面と第1貝塚1F断面において、大型遺体の分別を行なった後、珪藻分析、花粉分析、種実同定から環境と植生の検討を行なった。その結果、以下の環境および植生の復元および推定がなされた。

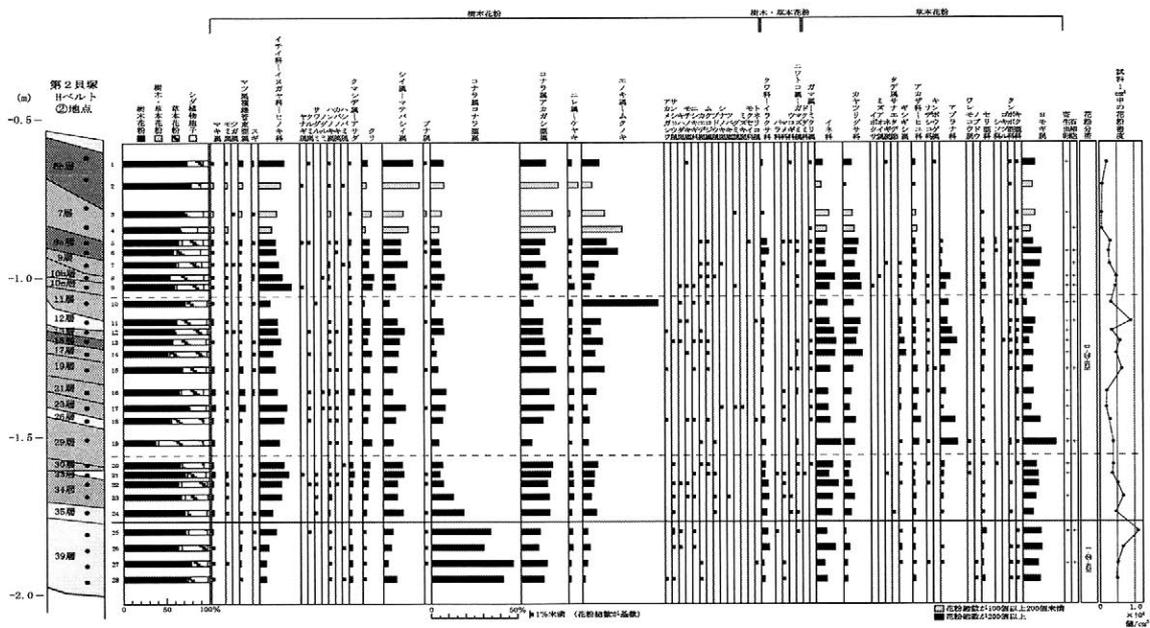
(2) 陸側(東側)で最も高位にある第2貝塚H断面第①地点は珪藻の生育できない陸域であり、第2貝塚H断面②・③地点、第1貝塚1F断面①～③地点は *Paralia sulcata* と *Cyclotella striata-stylorum* の内湾性の珪藻が優占し、隣接する海は内湾の環境が示唆された。貝塚は斜面堆積であり、海進とともに浸食された小規模な海食崖から海に向かって投棄され形成され、潮間帯に立地し、有明海は当時内湾の環境であった。

(3) 貝塚の形成された約7900年前から約7700年前の約200年間で、海水準は標高約-4.5mから約-3.0mまで約1.5m上昇した。海進の進行は貝塚形成期の中中部でより進行した後少し停滞し、また進行していった。

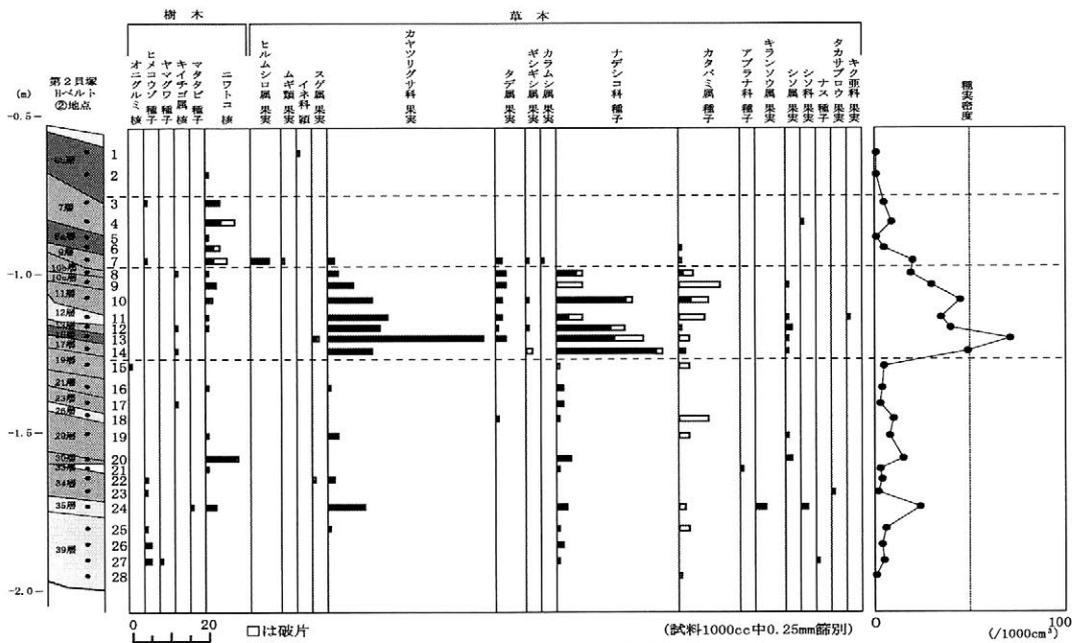
(4) 第2貝塚と第1貝塚の形成開始期は、周辺はコナラ属コナラ亜属林が分布し、クスギとナラガシワの現在の東日本に分布する暖温帯落葉樹林とはやや異なるが平地における冷温帯広葉樹林から暖温帯照葉樹林への交代期の温暖化の進行する不安定な条件下に成立した暖温帯落葉樹林が分布していた。

(5) 貝塚形成直後に、コナラ属アカガシ亜属を主にシイ属-マテバシイ属、イチイ科-イヌガヤ科-ヒノキ科を交える照葉樹林へと変遷した。イチイ科-イヌガヤ科-ヒノキ科は、暖温帯性のカヤやイヌガヤが照葉樹林域の川や谷周辺の適潤地に分布したと考えられる。

(6) 陸側から海側の地点の花粉群集の優先性の異なりと、分類群における散布性の特徴、種実群集との対比から、貝塚の海側の潮間帯にはカヤツリグサ科、アブラナ科、イネ科の耐塩性草本が生育し、海と接する陸域から集落域にかけてはヨモギ属やカタバミ属、イネ科、カヤツリグサ科の草本やニワトコの二次林要素の低木が分布し、ヤマグワが散在して生育していた。集落の後背には、コナラ属アカガシ亜属を交えながらより耐塩性のあるシイ属-マテバシイ属の優勢な照葉樹林が分布し、川沿い等の適潤地にはエノキ属-ムクノキ(種実よりムクノキ)林やヤマグワ、二次林要素として部分的にクリ林が分布していた。後背に向かってコナラ属アカガシ亜属(種実よりイチイガシが主)が多くなりシイ属-マテバシイ属を交える照葉樹林が分布し、河川および沢沿いにはイチイ科-イヌガヤ科-ヒノキ科(カヤやイヌガヤ)が比較的多く分布していた。

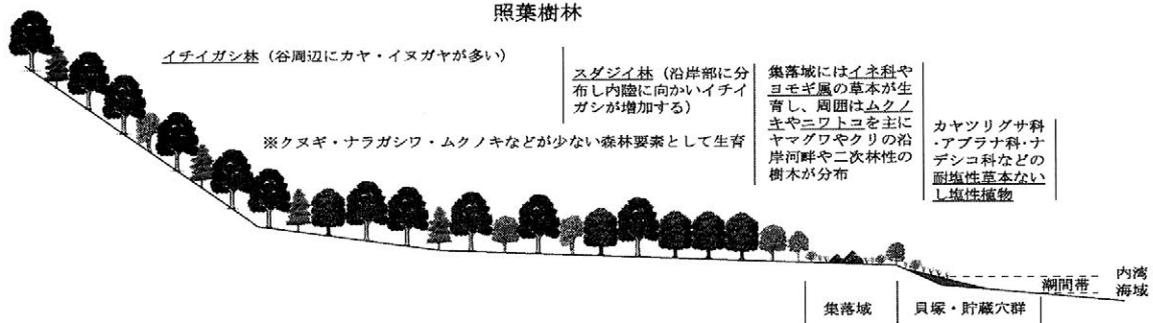


第2貝塚Hベルト②地点の花粉ダイアグラム



第2貝塚Hベルト②地点の種実ダイアグラム

照葉樹林



東名遺跡における植生と環境の空間分布模式図

電子顕微鏡観察によるアンズ核の加工処理法と毒抜き効果の考察： 中国初期稲作文化期の野生植物利用復元の一環として

○細谷 葵（総合地球環境学研究所），Michele Wollstonecroft（ロンドン大学 University College London 考古学研究所），Dorian Fuller（ロンドン大学 University College London 考古学研究所），秦嶺（北京大学考古文博学院）

1. 研究背景

モモ、アンズ、ウメなどのバラ科(Rosaceae)サクラ亜科(Prunoideae)の果実は、温帯で広く食用とされている。果肉部の利用はもちろんだが、核（種子）もデンプンやタンパク質を豊富に含み、食品として利用できる。ただし核にはシアン系毒素が含まれるため、核の食用には毒抜き作業が必要である。

中国では現在も、「杏仁」と呼ばれるアンズ核が、薬用、飲料、調味料などとして利用されている。そして、昨今の植物考古学調査により、こうしたサクラ亜科果実核の利用が、新石器時代までさかのぼる可能性が提示されつつある。すなわち、古くは紀元前 7,000～6,000 年の遺跡からモモ核・アンズ核の出土が見られ [表 1]、その中には明らかに貯蔵されている状態のもが含まれるので、核そのものの食用が想定できるのである。

こうした研究背景に基づいて、中国初期稲作期の野生植物利用の実態を復元する作業の一環とすべく、アンズ核の毒抜き実験を行った。

2. 研究目的

かつて、穀物の栽培は急速に農耕経済ベースの社会を成立させたと考えられてきた。しかし昨今の植物考古学研究的発展により、穀物栽培が始まってから食糧を栽培植物に依存する状態になるまで、数百年から千年という長い時間がかかっていることが、世界各地で指摘され始めた。中国長江流域の初期稲作期についても同様のことが論じられるとともに (Fuller et al 2009)、初期稲作民は、野生植物の採集や漁撈といった多様な生業戦略の一環として稲作も組み入れるという、広範囲経済を営んでいたことが判明してきた (甲元 2001、中村 2002)。このことは、後の稲作ベースの社会への変化は自然な流れではなく、社会組織の変化、すなわち生業活動のパターンとその背後にある概念の変化として捉えねばならないことも示唆している。

この観点から初期稲作期の生業の実態を理解するためには、人々が多様な生業活動を日々どのように組み合わせるかを復元が必要である。日々の生業活動においては、採集、栽培といった獲得活動と同じかそれ以上に、食資源を食べられる状態にするための加工処理活動に使う時間や空間が重要な意味をもつ。集落遺跡などに見られる遺物や遺構を、各種加工処理活動の「道具」「作業場所」として総合的に解釈することで、それぞれの食資源の加工処理に置かれたウェイトや作業スケールを比較でき、地域ごとの広範囲経済の実態を復元することができる。また、その時間的変遷を復元することで、稲作ベースの社会へ向けての社会組織の変遷をも考えることが可能である。

このような遺物・遺構の総合的解釈を行うには、各食資源に必要とされる加工処理活動について、全体的なシーケンスや使用される道具の特徴などを含む概念的解釈が不可欠となる。こうした概念は考古資料のみから得ることは難しいため、現代社会で行われている伝統的な加工処理技術の民族調査や、各種加工処理技術による効果の是非を比較する実験研究から得られる情報が重要である。本実験研究は、その目的において行った。

3. 実験方法

本研究では、実験研究の第一歩として、初期稲作期に可能だったと考えられる加工処理法をアンズ核に施し、細胞におきた変化を電子顕微鏡で観察するという実験方法を実施した。

研究材料としては、ロンドン中華街で薬用・調味料の目的で市販されているアンズ核を使用した。内果皮・種皮を除去して胚のみを取り出す加工が施されている [写真 1]。本来シアン系毒素を多く含まない品種である可能性が高いが、今回は加工処理による細胞変化を観察するのみなので、実験に使用することとした。

加工処理法としては、「煮る」「蒸す」の二方法を選び、二時間ずつ処理した。

二種の加工処理を施したアンズ核について、University College London 考古学研究所所蔵の電子顕微鏡を使用し、表面や割った内部の状態を観察した。

4. 実験結果

電子顕微鏡により、「煮る」「蒸す」を施したアンズ核の表面と内部について各 14 箇所を観察した結果、二種の加工処理法による内部の細胞変化には、違いがあることがわかった。

「煮る」加工処理を施したアンズ核については、全体に細胞の破損がなく、細胞内物質もそのままとどまっていると考えられる [写真 2]。

一方、「蒸す」加工を施したアンズ核については、細胞の破損が見られ、細胞内物質が流出している [写真 3]。すなわち、細胞に含まれる毒素についても、除去が可能な状態になっていることが考えられた。

以上の結果から、「煮る」「蒸す」で同時間処理した限りでは、「蒸す」方が効果的に毒素を除去できる可能性が提示された。

5. 考察と展望

長江下流域の蒸し具について、新石器時代の後半へ向けて多様化していく傾向が見られ、蒸す行為にかかわる調理活動が多様化していた可能性が指摘されている (楨林 2005)。本実験結果が示すように、アンズ核などのサクラ亜科果実核の加工処理に「蒸す」方法が効果的だったとするなら、従来考えられていた穀物の調理ばかりではない、蒸し具の幅広い利用法を想定することもできる。果実核は主食ではなく調味料的な位置にあったと考えられるので、初期農耕期の「料理」のあり方を考える研究にもつなげていくことができよう。

今回の実験研究は試験的なものであって、この方向での実験が有効である可能性が提示されたにすぎない。今後、対象とする果実核もさまざまな品種を使い、また加工なしの生果実を使用する必要もある。加工処理法もより多くの条件や方法を設定し、顕微鏡観察だけではなく毒素そのものの測定も必須であり、課題は多い。

なお、本実験研究は British Council Darwin Researchers Exchange Programme (2009 年) によって行った。今後、科学研究費補助金・基盤研究(C)「イネの栽培化を背景とした中国における初期農耕と社会」(2009~2011 年度、研究代表者：細谷 葵)にて継続予定である。

写真 1 アンズ核

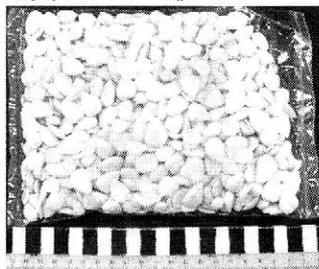


写真 2 煮たアンズ核の細胞

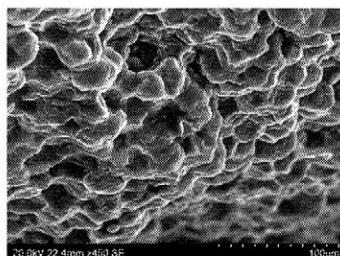


写真 3 蒸したアンズ核の細胞

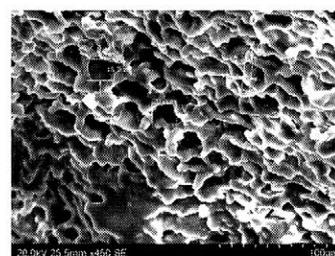


表 1 新石器時代長江流域におけるサクラ亜科果実核の出土状況

遺跡名	時期	<i>Amygdalus persica</i>	<i>Armeniaca vulgaris</i>	出典
湖南省八十垱遺跡	7000-6000 BC	X		Gu 2007
湖南省城頭山遺跡	4500-4000 BC	X		Gu and Liu 2006
浙江省跨湖橋遺跡	6000-5400 BC	X	X	Zheng 2004
浙江省河姆渡遺跡	河姆渡文化期 (4900-4600 BC)	X		Zhejinag-Province-Institute 2003
浙江省田螺山遺跡	河姆渡文化期 (4900-4600 BC)	X		Fuller et al, unpublished; cf. Fuller et al. 2009
浙江省普安橋遺跡	崧沢文化後期 (3500-3300 BC)	X		Qin & Fuller, unpublished data
浙江省卞家山遺跡	良渚文化期 (3300-2200 BC)	X		

古代土木工法の敷葉工法に関連する樹種選択性の解明

○ 大阪府文化財センター 山口 誠 治

1. はじめに

古代土木工法として知られる敷葉工法は、古代バビロニアから存在し中国から日本に伝わった工法と言われている。

施工方法は壁の構築や建築物基礎となる版築工法とほぼ同じで、異なる部分は純土を使用する点と土層の間に粗朶を敷く点である。粗朶については地域の植生を反映していることのようにだが、樹種鑑定の情報は少ない。この工法に関する、盛土の補強・侵食防止工法・堤体内の水の排水・圧密促進などが確認されている。しかし、遺跡発掘により敷葉工法痕跡が多く報告されているにもかかわらず、その実態の報告はなく、ただ植物遺体層の互層による堤体などの構造推定に終止している。

本研究は、敷葉工法に使用される樹種選択性と現在進行している発掘現場の敷葉状況や木製遺物を研究試料として樹種鑑定を行い敷葉工法について追求したので報告する。

2. 研究の概要と研究方法

大阪府文化財センターは昭和51年から昭和59年に行った近畿自動車道大阪線建設に伴う発掘調査において、調査地内から多量の木製品が出土した。これは、弥生～古墳時代の河内潟または河内湖の縁辺にあたる低湿地性土壌からの出土であったため、形をよく残した状態であった。

さらに、発掘調査後保存処理を実施し展示に耐えられる状態に復元し、これらの多量の木製品の樹種プレパラート作成と樹種データベース化を行い、同時に敷葉工法に用いられる樹種を調査し出土木製品樹種データベースの構築を行い、デジタル化したデータで敷葉工法に使用される樹種の選択性を検討した。

【研究方法】

- ① 木製品特に杭類の樹種情報について、樹種名、件数、時代、遺跡所在地、遺跡名、文献番号順に整理する。(データベースソフトウェアとして、FileMaker Pro を使用した。)
- ② 必要に応じて製品名ごと、樹種ごと、時代ごと、あるいは遺跡ごとに検索できるようにデータベース構築を行う。たとえば、スギやヒノキがどのような用途に使用されていたかをリストアップすることにより、遺跡出土木材の情報システム化の基礎を確立する。
- ③ データベース構築に関しては、国際木材解剖学者連合のリストを参考に京都大学生存圏の木質多様性データベース・森林総合研究所木材データベース・英国キュー王立植物園ウェブサイトの木材データベースなどを有効に利用して、遺跡出土木製品データベースを作成する。
- ④ 治水・敷葉工法に利用される木材樹種は、考古学・土木工学に関する情報から技術変遷を解明する。以上の研究手順で、次の研究成果を得た。

3. 研究成果

研究対象の遺跡は、近畿自動車道の建設に伴う地域で、特に治水遺構を発見した遺跡の出土遺物のデータ収集と旧大和川で治水遺構に付帯する杭類の樹種データベース構築を実施し研究を進めた。この地域での発掘成果により、以下の痕跡が明らかとなった。

この地域の広範囲の河内平野は、大きな湖(草香江、または河内湖)をつくって古い時代の淀川を合わせ、上町台地の北で海へと出る流路となり、この河内湖に土砂が埋まり平野へと変わっていった。基本的にこの一帯は上町台地にさえぎられた低い湿地帯であり、江戸時代まで大和川の分流や多くの池を残していた。

江戸時代半ばごろまで旧大和川は、柏原市の北で長瀬川(久宝寺川ともいう、本流)・楠根川・玉串川(吉田

川と菱江川に分流)など幾筋にも分かれ、吉田川など一部は寝屋川が注ぎ込む深野池(大東市周辺)・新開池(東大阪市の鴻池新田周辺)の両池に注ぎこんでいた。この池と長瀬川本流は現在の大阪市鶴見区放出周辺で合流し、さらに淀川支流の古川、同じく河内平野を流れる平野川と次々合流しながら上町台地の北(現在の天満橋の辺り)で淀川本流に合流していた。淀川はそこからまた安治川や木津川など多くの川に分かれ、デルタ地帯を形成しながら海へ流れていた。これら大和川の支流は土砂が堆積した天井川で、たびたび河内平野は氾濫の被害にあった。図1. に古代の河内平野の景観を示した。

河内平野の洪水防止や農業開発を目的として流路を西へ付け替える構想は古くは奈良時代以前からあり、治水工事の歴史は弥生時代まで遡ると考えられる。ここでの水利政策が多くの治水遺構を生み出すことになる。特に、治水遺構に関連した杭類の樹種鑑定結果では、当時の古環境の解明も探求できた。この杭類のなかでも、ヤブツバキ、コナラ亜属・アカガシ亜属(カシ類)の樹種が治水遺構に使用された。また、この杭類と遺跡地の花粉分析結果を比較検討すると、遺跡周辺に落葉及び照葉混合林が分布し、スギ、カヤ、ヒノキなどの林も部分的に分布した環境を推定できた。

さらには、敷葉工法に使用される樹種では、コナラ属が優先することから、コナラ属に対する選択性があると考えている。同時にコナラ属などのナラ林にクリ、カバノキ類やヤマザクラ類などが混じる混合林も考えた。遺跡地の樹種鑑定結果でヤマザクラ、カバノキ科・ハンノキなどとも一致し、混合林の存在も確実なものとした。

大阪府八尾市中央部の玉串川と長瀬川に挟まれた平野部に位置する山賀・久宝寺遺跡では、二つの河川が近いために度重なる洪水の被害を受けた地域でもあるが、水害を乗り越えて古代の人々が治水に関する土木技術を体得し肥沃な土地に耕作したことや水田と集落を幾度となく再生させたことなどが明らかとなった。

遺跡地の木材利用と土木技術の解明は、考古科学と古代の治水工事・古代土木学の研究に貢献したものである。以上この研究は、平成21年度の京都大学生存圏研究所全国共同利用研究により行った。

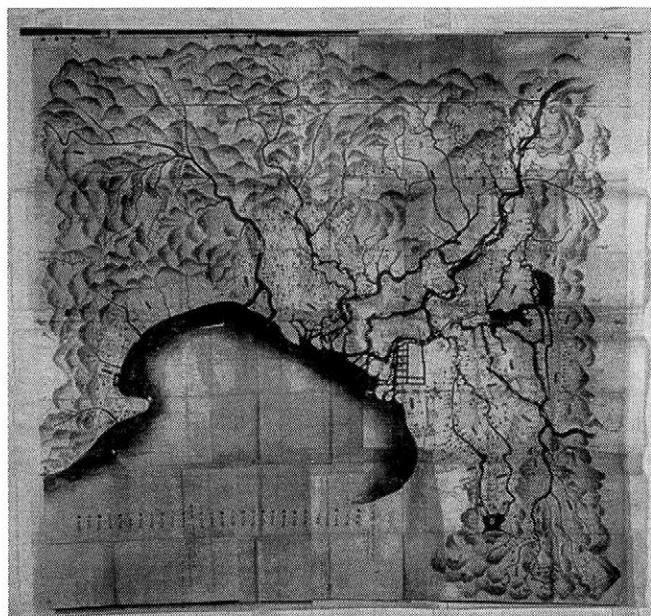


図1. 古代河内平野の景観

(参考文献)

『大和川流域のあゆみ 時の流景』2003年(国土交通省近畿地方整備局大和川河川事務所)

「池島・福万寺遺跡4(福万寺Ⅱ期地区 03-1 調査区)一級河川恩智川治水緑地建設に伴う発掘調査報告書」2008年(大阪府文化財センター)

「八尾市久宝寺遺跡・竜華地区発掘調査報告書Ⅶ-寝屋川流域下水道竜華水みらいセンター水処理施設等建設事業に伴う発掘調査他-2007年(大阪府文化財センター)

指宿市西多羅ヶ迫遺跡から出土した後期旧石器時代前半期の石器の分析—残存デンプン分析と使用痕分析の成果を中心に—

○渋谷綾子（広島大学総合博物館・国立民族学博物館），鎌田洋昭（指宿市考古博物館），寒川朋枝（鹿児島大学埋蔵文化財調査室）

1 はじめに

西多羅ヶ迫遺跡は、鹿児島県指宿市にある後期旧石器時代から縄文時代中期の遺跡である。同遺跡は指宿市教育委員会によって2002・2003・2005年度に調査され、さらに2006年6月から2007年3月に発掘調査が行われ、現在整理作業を行っている。発掘調査ではAT前後の後期旧石器時代前半期の石器が多数出土している。礫石器については現時点で台石8点、凹み痕が認められるもの19点、凹み痕と磨面が認められるもの20点、磨面が認められるもの15点が確認されている。こうした礫石器類は、これまで主に石器製作用ハンマーのとしての可能性が指摘されてきた。本研究はそれ以外の可能性として、旧石器時代における植物質加工具としての可能性について考察を行うものである。

2 調査資料と分析の方法

(1) 調査資料

本研究の調査資料はすべて2006年度の調査で出土した石器である。これらは、後期旧石器時代前半期（AT下位）の遺物包含層（第10層、黒褐色～明褐色層）から出土した磨石・敲石7点、台石4点の合計11点である。これらはすべて出土後に水洗されており、そのうち1点は小型超音波洗浄機によって洗浄されている。

(2) 試料採取と分析の方法

使用痕分析

使用痕の観察は、肉眼観察に加え実体顕微鏡（Leica GZ6、倍率：7～40倍）と落射照明型金属顕微鏡（BUEHLERメタルスコープViewMet、倍率：100・200倍）を用いて観察を行った。

残存デンプン分析

石器の残存分析で採用されているフラガーらの方法（Fullagar 2006）を用いて、分析試料を採取した。採取した試料はすべてプレパラートを作製した。次に、偏光顕微鏡（Nikon ECLIPSE E600、倍率：100～400倍）を用いて、接眼レンズを10倍、対物レンズを40倍とした視野条件で観察し、写真記録を行った。写真記録については、デンプン粒の外形や大きさ（粒径）、粒芯、層状構造を記録するため開放ニコルで撮影し、形成核の位置や偏光十字の形状を記録するため直交ニコルで撮影した。

さらに資料間の比較を行うため、現生標本の観察結果（渋谷 2006, 2009）と先行研究の方法（Lentfer & Torrence 2007; Mercader et al. 2008; Torrence 2006; Torrence et al. 2004）を参照し、残存デンプン粒の外形はA：円形・いびつな円形・楕円形、B：半円形・三角形・四角形、C：多角形の3項目、大きさは粒子の最長部分を計測してI：10 μ m未満、II：10～20 μ m、III：20 μ mより大の3項目、合計9項目で分類した。

3 分析結果

(1) 使用痕分析

使用痕観察により、分析した石器11点のうち9点には敲打痕や磨面が認められた。磨石・敲石類7点の形状は、楕円形5点、不定形1点、俵形1点であり、うち1点は斑品の抜けが大きく明瞭な使用痕が確認できなかった。残り6点には、主面部の中央部付近に径約1～3mmの敲打痕の集中が認められ

た。また、主面部だけでなく周縁部にも敲打痕が認められるものが5点確認できた。磨面については、3点に部分的に滑らかな面や高所が平坦な面が認められた。

台石4点のうち1点は、平坦で滑らかな面を有していた。そのほか、径1cmほどの凹みが主面部に広くまばらに点在するもの、主面部中央部に敲打痕が集中するものが各1点みられた。また、1点は平坦な面を有するが風化しており使用状況が不明であった。

(2) 残存デンプン分析

残存デンプン粒は、調査資料11点のうち10点から合計157個検出された。分解・損傷したデンプン粒は検出量全体の1割に満たず、大半のデンプン粒がその外形や大きさ、偏光十字の形状を容易に確認することのできる良好な遺存状態であった。明瞭な使用痕をもつ9点の石器については、残存デンプン粒の検出部位の多くが使用痕の確認された面であった。

残存デンプン粒の遺存状態については、単独粒や複数粒が確認でき、デンプン粒のほかには植物繊維や細胞組織等の植物性物質を検出した。ただしこれらの物質の検出量は非常に少なく、まったく見られない石器もあった。さらに、細胞組織の中に包含された残存デンプン粒も検出した。形態についてはBIII, CI, CIII以外の6類型を確認しており、多様な植物が加工された可能性をうかがわせた。

4 考察

今回分析を行った敲石類の敲打痕は、先端や周縁部のみでなく面的にも認められた。旧石器時代の敲石類は主に先端部に敲打痕が集中するものが多く、破損率が高いことが指摘されており(黒坪 2007)、今回は未分析である他の西多羅ヶ迫遺跡出土の敲石類にも、敲打痕が先端等端部に認められるものは多い。このような状況から、西多羅ヶ迫遺跡の礫石器類は、使用痕観察からは石器製作ハンマーと植物加工具の区別が困難なものが含まれているが、平坦な台石の存在や面の中央部を利用して対象物を敲打し磨くという一部の磨石・敲石類の使用状況は、植物加工の可能性を示唆している。

一方、残存デンプン粒が多く検出された部位は敲打痕の認められる部位であり、このことも調査資料が植物を加工する道具であった可能性を示している。細胞組織に包含された残存デンプン粒については、形状や検出状況の分析から、根茎・球根類に由来する可能性がきわめて高い。また形態分類の結果、すべての石器から由来する植物の種類がまったく異なる円形と多角形のデンプン粒を検出したことが判明した。このことから、調査した石器が複数の種類の植物を加工する道具であった可能性を指摘できるとともに、残存デンプン粒の候補となる植物については、堅果類や根茎・球根類など18属33種の植物を提示することができる。

引用文献

- Fullagar, R. 2006. Starch on artifacts. *Ancient starch research* (R. Torrence & H. Barton eds.), 177-203. Left Coast Press, INC., Walnut Creek.
- 黒坪一樹. 2007. 植物食利用具としての敲石. 月刊考古学ジャーナル 556: 7-10.
- Lentfer, C. & Torrence, R. 2007. Holocene volcanic activity, vegetation succession, and ancient human land use: Unraveling the interactions on Garua Island, Papua New Guinea. *Review of Palaeobotany and Palynology* 143: 83-105.
- Mercader, J., Bennett, T. & Raja, M. 2008. Middle Stone Age starch acquisition in the Niassa Rift, Mozambique. *Quaternary Research* 70: 283-300.
- 渋谷綾子. 2006. 日本の現存植物を用いた参照デンプン標本. 新潟県立歴史博物館研究紀要 7: 7-16.
- 渋谷綾子. 2009. 日本の先史時代における植物性食料の加工と利用: 残存デンプン分析法の理論と応用. 博士論文, 総合研究大学院大学, 神奈川県三浦郡葉山町.
- Torrence, R. 2006. Description, classification, and identification. *Ancient starch research* (R. Torrence & H. Barton eds.), 115-143. Left Coast Press, INC., Walnut Creek.
- Torrence, R., Wright, R. & Conway, R. 2004. Identification of starch granules using image analysis and multivariate techniques. *Journal of Archaeological Science* 31: 519-532.

青森県前川遺跡における古代水田跡ならびに弥生時代中期水田跡の調査

—プラント・オパール定量分析・プラント・オパール形状解析による成果—

○松田隆二(古環境研究所)、宇田津徹朗(宮崎大学)、
笹森一朗(青森県埋蔵文化財調査センター)、齊藤慶史(青森県教育庁文化財保護課)

1. はじめに

前川遺跡は、青森県南津軽郡田舎館村大字田舎館字前川に所在し、津軽平野南部の浅瀬石川左岸の沖積平野上に位置する。2006～2007年度の発掘調査において、古代の水田跡と弥生時代中期の水田跡が検出された。

本遺跡の東側には、弥生時代中期の水田跡が656枚(4万㎡)に及んで検出された国指定史跡の垂柳遺跡、弥生時代の水田跡が検出された高樋(3)遺跡が所在しており、弥生時代の水田域は当初考えられていた以上に広範囲に広がっていた可能性が示唆された。



ここでは、前川遺跡においてプラント・オパール定量分析ならびにプラント・オパール形状解析、さらに過去に分析調査を実施した垂柳遺跡においてプラント・オパール形状解析を実施し、津軽地方における弥生時代中期、古代の水田稲作の様相について検討した結果を報告する。

2. 調査・分析の概要

分析調査の対象は、前川遺跡の古代水田層(15区画113試料)と弥生時代中期水田層(60試料)、垂柳遺跡の弥生時代中期水田層(11試料)である。このうち、プラント・オパール定量分析は全ての試料を、プラント・オパール形状解析は、前川遺跡の古代水田層(水田20)で2試料、弥生中期水田層(BブロックNo25)で1試料、垂柳遺跡の弥生中期水田で1試料を対象とした。

分析試料は、分析者が現地(発掘現場)において直接採取したものである。採取された土壌試料は、定法にしたがって調整・処理を行い分析に供された。

3. 結果と考察

1) 古代(平安時代)の水田層では、前川遺跡では分析を実施した15区画のすべてでイネが高い密度で検出され、集約性の高い良く管理された稲作が営まれていたと推定された。各区画における耕作年数は約80～250年と推定され、区画によって耕作期間に違いが認められた。このことから、すべての田面が常時作付けの対象とはなっていないことが示唆された。なお、垂柳遺跡では古代の水田は未確認である。

表1 各遺跡における推定耕作年数(単位:年)

前川遺跡						垂柳遺跡					
古代水田						弥生時代中期水田				弥生時代中期水田	
水田3	水田10	水田20	水田30	水田33	水田47	Aブロック	Bブロック	Cブロック	Dブロック	II・III区	V区
82	144	215	101	120	146	80	120	80	20	70	60

2) 弥生時代中期水田層では、前川遺跡では分析を実施したすべての田面でイネが検出されたものの、区域によって検出密度に相違があった。各区域における耕作年数は、Aブロックで80年程度、Bブロックで120年程度、Cブロックで80年程度、Dブロックでは20年程度と推定され、Dブロックでは他に比べ耕作年数が短い。その理由としては、休耕や耕作放棄が想定される。

垂柳遺跡では、Ⅱ区・Ⅲ区の北側区域で70年、Ⅴ区で60年の耕作年数が想定されており、前川遺跡よりも若干短い。

3) 前川遺跡では、弥生時代中期の不定形水田においても稲作が営まれており、畦塗りや畦の作り替えが行われていたことが推定される。また、水路脇の盛土は、水路掘削時に盛られたもので、稲藁やヨシが敷き込まれた可能性が示唆される。

4) 前川遺跡および垂柳遺跡の水田土壌に含まれるイネプラント・オパール分析の結果、いずれもジャポニカのイネであると推定された。さらにその形

図2 前川遺跡(弥生時代中期水田)のプラント・オパール分析結果

状と判別得点から、熱帯ジャポニカである可能性が高いと考えられる。このことから、津軽平野では弥生時代中期から平安時代までジャポニカのなかでも熱帯ジャポニカが中心に栽培されていた可能性が推定される。

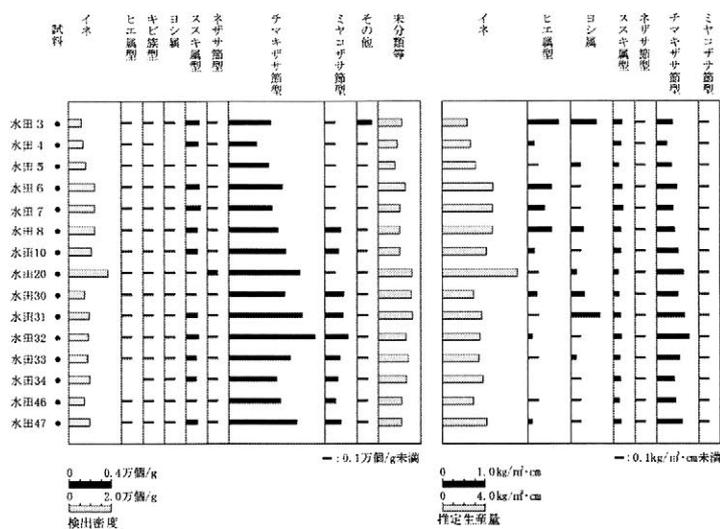


図1 前川遺跡(古代水田)のプラント・オパール分析結果

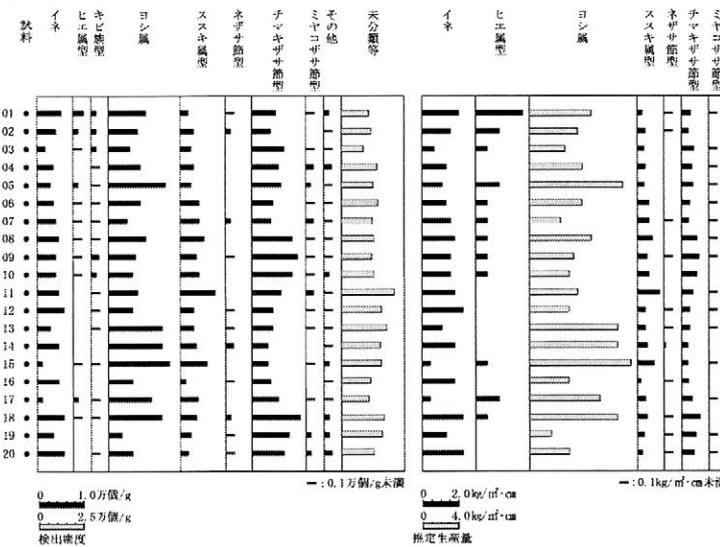


図2 前川遺跡(弥生時代中期水田)のプラント・オパール分析結果

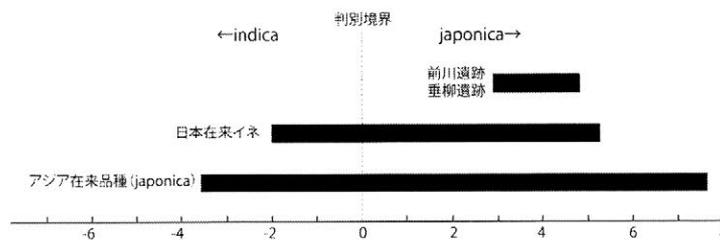


図3 遺跡土壌から検出されたイネプラント・オパールの判別得点

※本研究は、総合地球環境学研究所プロジェクト「農業が環境を破壊するとき—ユーラシア農耕史と環境—」の成果の一部である。

鹿児島県南種子町広田遺跡における縄文時代後期期以後の海岸地形発達過程

○松田順一郎（史跡 鴻池新田会管理事務所）

研究の経過

鹿児島県種子島南東部の海岸砂丘にある広田遺跡(図1)では砂丘砂の累重中に、おもに弥生時代後期後半から古墳時代にかけての覆石墓, 配石墓群が検出され, 被葬人骨にともなう貝符, 竜佩などの稀少な副葬品や装身具が注目されてきた. 2004~2006年度の南種子町教育委員会による発掘調査では, 土壌層序と岩相層序を, 現地の堆積層断面とその剥ぎ取り試料の観察, 堆積物の有機炭素と腐植酸含有量比, 粒径組成とそれに含まれる炭酸塩堆積物の量比などの分析をつうじて検討し, 砂丘の層序とその地形発達過程を推測した(松田 2007). しかし, その後2007年12月に, 砂丘北辺にあたる広田川右岸の護岸工事に伴って生じた露頭が同教育委員会によって調査され, 先の発掘調査で観察された累重より下位層準の堆積層(図2)が確かめられた. 本研究では, 同教育委員会からご提供いただいた露頭の記録と堆積物試料にもとづき地形発達についての推測を改訂した.

地形発達過程の概要

砂丘北端部の露頭では, 最下部の標高約-0.7mと, 標高0.2mの層準に, 異地性の泥炭質堆積物層がみとめられ, 前者は縄文時代後期後半, 後者は弥生時代前期の年代測定結果が得られた. これらの間には, 砂と礫からなるウォッシュオーバー堆積物が累重する. 弥生時代前期の泥炭質堆積物の上位には, 貝殻や有孔虫殻が混じらず, 淘汰のよい河成砂とシルトが標高0.6mまで累重する. この上の標高1.5mまでには, わずかに上方細粒化し, おもに水平層理と, ところに

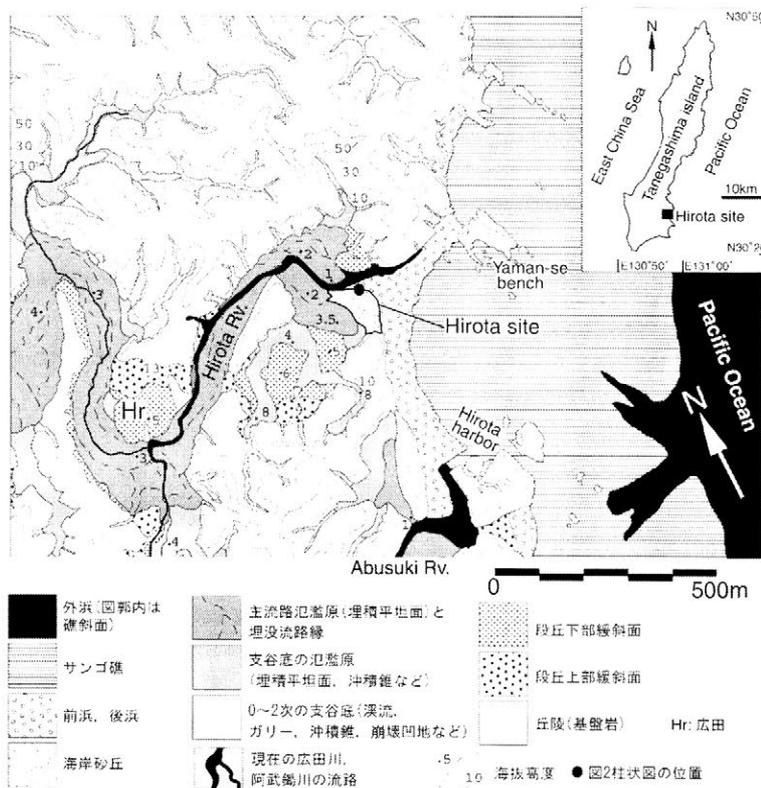


図1 広田遺跡とその周辺の地形分類図.

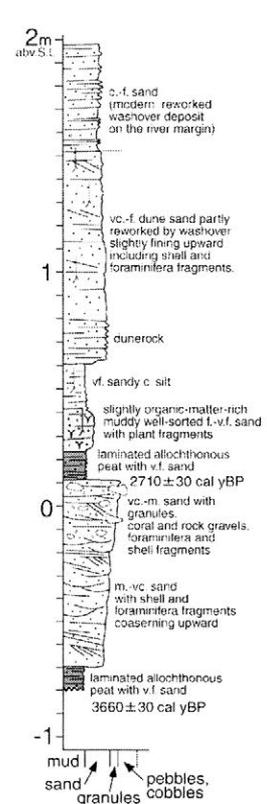


図2 広田砂丘北端の堆積層柱状断面図.

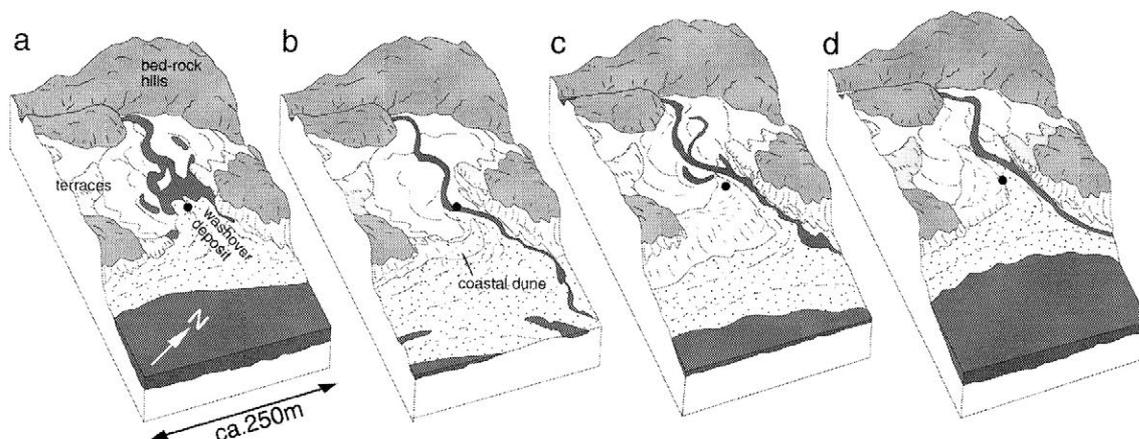


図3 広田遺跡の海岸砂丘とその周辺の地形発達を示す模式図。(a)縄文時代後期後半～晩期, (b)弥生時代前期～中期初頭, (c)弥生時代後期後半～古墳時代, (d)現在. bでは弥生時代前期頃の隆起を想定している. 黒丸印は図2の柱状断面の位置を示す.

よりプラナ型斜交葉理をなす細粒砂～粗粒砂が載る. この砂は粒度組成の点では砂丘砂とみなせるが, 比較的淘汰のよい鉱物粒子が卓越した葉層が部分的に挟まれ, 流水中のふるい分けによって生じたと考えられる. 以上のことから, 縄文時代後期から弥生時代前期までは, 広田川河口は海浜砂で閉塞され, 暴浪時にはその背後の小規模なラグーンにバームを越えた海水が流入したと考えられる(図3a). 発掘調査によって知られたように, 弥生時代前期に砂丘が発達し始め, 露頭の累重と調和的である(図3b). 飛砂の発生とともに南部の基盤岩と段丘の海食崖にはい上がり砂丘が発達し, 一部は段丘の頂部に達していた. この時期には, とくに前浜(礁池砂原の一部)が離水し, 飛砂の供給源となる海浜が拡大したはずで, その原因を現在は地震性隆起と想定している.

弥生時代中期の中頃までに, 現在の砂丘よりも海側の頂部に砂丘砂が, 北部では現在の標高約5m(砂丘砂の層厚約1m), 南部では約7m付近(層厚約10cm)まで発達し, 砂丘の領域が拡大した. 南部の高所では継続的に植生が分布していたが, 北部では中期の後半(あるいは後期初頭)に植生が発達し, 砂丘砂の堆積作用が休止した. その後おそらく弥生時代後期の前半に堆積作用が再び活発化した.

墓群形成期にあたる弥生時代後期後半～古墳時代(図3c)には砂丘砂は急速に堆積したが, 後期末から古墳時代初頭に堆積の休止とともに植生発達と土壌生成の比較的長い期間があった. 南部ではこの休止期間までも比較的密度の高い植生が継続し, 累積的な土壌生成をともない最大約60cm, 伏在する段丘を覆い垂直的に累重したのにたいし, 北部では厚さ約1mの砂丘砂が累重するとともに広田川沿いの後浜から後背湿地にかけ, 弧状に堆積域を広げた. この南北各部のちがいは弥生時代後期から古墳時代に形成された墓群の分布に影響したと思われる. 古墳時代の前半には砂の堆積作用が再び活発化した. 砂丘南部では砂丘砂は, 北部ではおそらく古代のあまり年代の下らない時期に堆積の休止期があり, 中世～近世の活発な堆積作用にともなって砂丘が成長した. その後, 砂丘の風上側斜面は侵食・堆積を繰り返す, 近年は大きく侵食されて風上側斜面が失われた(図3d)が, 回復の兆しがあるとも言われる.

謝辞 本研究を進めるにあたって, 資試料を提供していただくとともに, 現地踏査の便宜をはかっていただいた南種子町教育委員会の皆様に深く感謝いたします.

文献 松田順一郎(2007) 広田遺跡海岸砂丘堆積物の観察と分析. 石堂和博・徳田有希乃・山野尾ケン陽次郎編著「広田遺跡」. 南種子町教育委員会, pp. 149-172.

根室市温根沼貝塚出土資料からみた縄文前期北海道東部の環境

○新美倫子（名古屋大学博物館），猪熊樹人（根室市歴史と自然の資料館）

北海道は縄文文化の北限地域であり、その中でも特に冷涼な北海道北部～東部は縄文文化の分布限界であるため、気候変動による環境変化の影響を最も大きく受けた地域だったと考えられる。しかし、この地域においてはこれまで縄文時代貝塚から出土した動物遺体の定量的な分析がなされた例が非常に少なく、縄文人の動物利用の状況や動物遺体から推定される遺跡周辺の環境などについてはよくわからなかった。

そこで、名古屋大学博物館と根室市教育委員会は、縄文時代前期に形成された北海道根室市の温根沼貝塚の発掘調査を実施し、動物遺体など出土資料の定量的な分析を行うことにした。この遺跡は北海道最東の縄文時代貝塚であり、かつて1954年に大場利夫氏らによってその一部が発掘されたが、当時の調査では動物遺体の定量的なデータは示されていない。2009年にわれわれが行った調査では、貝層の厚さは最大で約50cmであり、貝層中からは縄文前期の押型文土器破片が出土した。貝層の調査方法は、貝層分布域を50cm四方の小グリッドに分割し、各小グリッドで上から約5cmずつを1カットとして、貝層を土ごとすべて取り上げ、ビニール袋につめて小グリッド名・カットNo.をつけて持ち帰ることとした。これらは袋ごとに1mm目のふるいにかけて水洗し乾燥させて、土器や石器、貝の殻頂部、魚骨などの抽出を行っている。

発掘した小グリッドのうち1ヶ所（B2-7）を選び、上から下まで、すべてのカットから出土した動物遺体を分類した結果、貝類ではアサリが主体であり、オオノガイ・ウバガイも多く見られた。魚類はウグイ類やカレイ類・ニシン類が多いが、サバ類もかなり出土している。サバ類は比較的大型の椎骨が多く見られることから、現在よりも温暖な海的环境が示唆される。ポスターでは、出土したオオノガイ貝殻を用いた年代測定の結果も示したい。

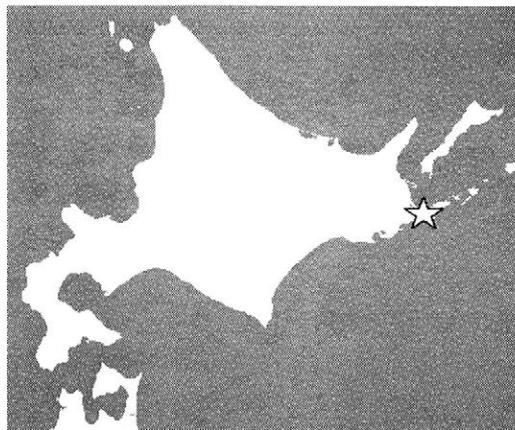


図1 温根沼貝塚の位置

表1 B2-7 区貝類出土内容

種 カット	アサリ		オオノガイ		ウバガイ		カキ類	バカガイ		その他	合計
	左	右	左	右	左	右	左殻	左	右		
カット1	112	136	18	18	18	24	1	2			329
カット2	241	223	21	32	19	16	2			種不明巻貝1	555
カット3	251	265	38	25	25	20	2			種不明巻貝1	627
カット4	307	301	36	37	19	23			1		724
カット5	306	348	55	32	31	28	4	2	4	タマガイ類1 クロタマキビ1 種不明二枚貝1 種不明巻貝2	815
カット6	307	290	30	28	23	44	2			種不明巻貝4	728
合計	3087		370		290		11	9		11	3778

註 二枚貝は殻頂部、巻貝は芯を数えている。左：左殻、右：右殻。

エジプト・アブシール南丘陵遺跡の測量と人工地形の析出・評価

○津村宏臣(同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センター),
渡邊俊祐(同志社大学文化情報学研究科), 岸田徹(同志社大学文化情報学部),

はじめに

同志社大学文化情報学部/文化遺産情報科学研究センターは、2009年より、早稲田大学エジプト調査隊と共同研究を開始し、メンフィス・ネクロポリスの保存整備計画に必要な、三次元遺跡地図によるシミュレーションのためのデータ整備と基盤GISの構築を開始した。そのなかで、現在発掘調査が進められているアブシール南丘陵遺跡およびダハシュール北遺跡を中心とする範囲について、詳細な地形測量に基づいたデジタルエレベーションモデル(DEM)作成の必要が指摘された。報告者を中心とするメンバーは、2009年、早稲田大学エジプト調査隊との現地共同調査を実施し、アブシール南丘陵遺跡、ダハシュール北遺跡にGPS測量による測量基準点の設定、アブシール南丘陵遺跡の詳細地形測量を実施した。

メンフィス・ネクロポリスの保存整備計画に必要なDEMの解析・評価のためには、発掘調査を含めた人工的な地形改変に関する情報集積が不可欠であり、本共同研究では、このために必要な、主に詳細地形調査を通じた人工地形の析出・評価内容に関して報告する。

測量調査とDEMの構築

アブシール南丘陵遺跡の地形情報は、これまで「通称:住宅局地図」と呼ばれる、エジプト住宅局が発行している5000分の1地形図(等高線間隔:1m, Fig.1)が、最も精緻な情報として利用されてきた。地形図を概観すると、アブシール南丘陵の西側に、細く舌状に北東に伸びる丘陵があり、さらに、東側にも南北に走る丘陵があることが判読できる。また、アブシール南丘陵は、現状ではこれらからは独立した丘陵として立地しており、それぞれかなり低い分水界によって区切られている。

現地調査に入る前の段階での共同研究における協議内容は、あくまでもアブシール南丘陵の詳細なDEM(約5~30cmメッシュ)の作成が目的であったが、現地に入り地形を確認した結果、特に丘陵の東西(分水界のある場所)では、アブシール南丘陵自身も、その東西にある丘陵も、それぞれ共通の基盤岩の走向が確認できることがわかった。また、発掘廃土置き場の関連もあり、現状と地形図との差異が顕著に確認できたため、丘陵上だけでなく、周辺域も含めて詳細なDEMを作成することとした。

DEM作成には、レーザーテック社製Impulse200LRに、同志社大学/東北電子産業が共同開発したTSDL4を接続した簡易計測機器を用いた。その後、三角法を用いた計測データの測量処理には、ハンドメイドのアプリケーションを適用した。総計測量点数35000点(1m²内平均15点計測(1点平均667cm²),計測点間隔≒15~30cm)を、約20日間かけて丘陵と周辺域の測量を実施し、ノイズデータのピックアップなどをその後おこなった。このデータに対し、微細な地形が再現できるよう、クリギングによる点群内挿を実施し、これによりDEMを析出した。クリギングは点群の自己相関値をアルゴリズムとして取りこむため、地形の遷急点や遷急区間については、別の内挿法を採用し、その後マージしてDEMを修正した。このDEMから、50cm間隔の等高線図を生成し、これをオーバーレイしたのが、Fig.2である。DEMのメッシュは10cmである。



Fig.1 アブシール南丘陵遺跡「住宅局地図 1:5000」
(一部抜粋改変)

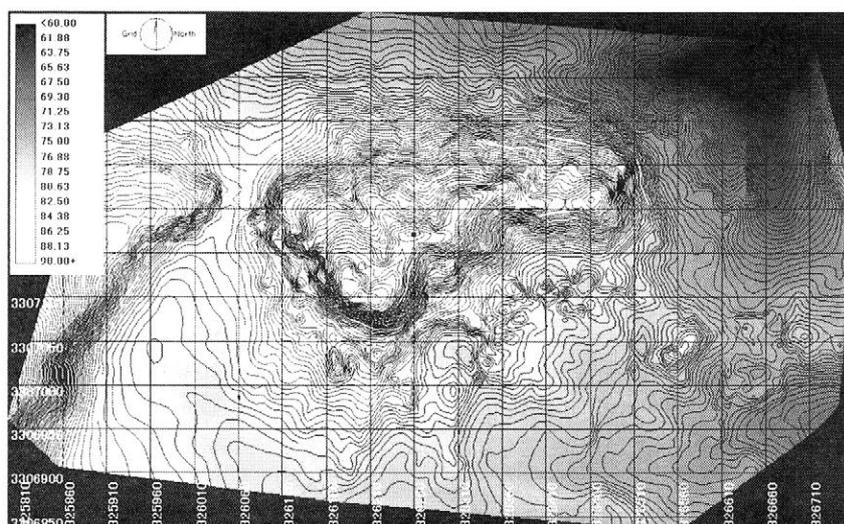


Fig.2 アブシール南丘陵 DEM および等高線図(等高線間隔 50cm)

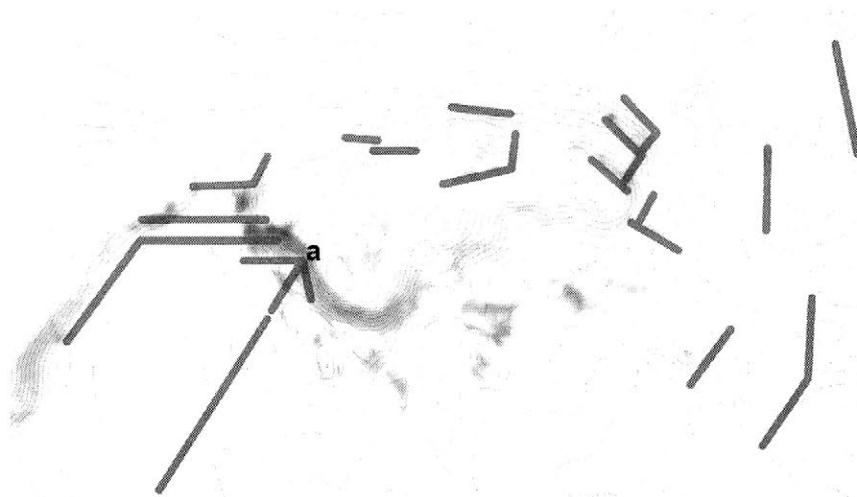


Fig.3 アブシール南丘陵 DEM および等高線図(等高線間隔 50cm)

DEM の判読と地形解析

アブシール南丘陵は、東西に低い分水界を有し、それぞれが共通の走向・傾斜をもつ堆積岩が基盤となっている。そのため、DEMを丹念に観察することにより、走向と傾斜の不自然な地点の分布を析出することができる。そこで、地理情報システムに格納したDEMの解析を行うため、5×5と10×10ピクセルのカーネル(1ピクセル10cmメッシュ:25cm²と100cm²)を設定し、走向と傾斜値の異常値を析出するための空間自己相関分析を実施した。その結果、対応するピクセルが異常値となるピクセルの色を濃色で表現し、これに補助線を書き入れた解析図がFig.3である。

Fig.3からもわかるように、特に西側の分水界周辺には異常値が集中しており、何らかの人為的な地平改変があったことを予想させる。また、東側にも同様に走向が一定の異常値の連続が析出されており、これらが不自然な分水界の存在や丘陵の独立性とも関わっている人工的な地形改変である可能性が示唆される。

通説的にはあるが、アブシール南丘陵周辺では大規模な石材確保のための石切場の存在なども想定されており、早稲田大学エジプト調査隊の発掘・調査成果からも、一部でこれを裏付ける結果が認められている(Fig.3-a部)。今後、DEMの解析結果に基づいてグラントゥールズを実施することで、より具体的な言及が可能となることが期待される。

弥生時代後期の包含層の土壤微細学的特徴とその形成過程 —大阪府四条畷市の雁屋遺跡での分析事例—

○辻 康男・山川真樹(パリオ・サーヴェイ株式会社)

1. はじめに

雁屋遺跡は、大阪府東部の生駒山地西麓部に発達する沖積扇状地扇端付近に立地する。隣接する1986年度・2004年度調査では、弥生時代後期の遺物包含層(以下、YLSと略す)が確認された。既往の発掘調査結果から、これらの調査区は、弥生時代後期の居住域縁辺部に位置すると考えられる。2004年度発掘調査では、YLSが居住域縁辺部での土地利用に関連して形成された可能性を想定し、その精査がなされた。しかし、発掘調査結果からは、YLSの性格を特定することができなかった。この結果から、YLSについては、肉眼観察よりも詳細なスケールでの観察にもとづく成因の検討が必要と判断された。そこで本研究では、2004年度調査で不攪乱試料として採取されたYLSを含む層準について土壤薄片を作製し、土壤微細形態学的観点からの検討を試みた。

2. 層序と分析試料

弥生時代ないしその前後の時期に調査区では、湿性の泥質な古土壤に、洪水堆積物が挟在する堆積層が累重する(図1)。この層相と年代から、調査区は当該期に扇状地間低地に位置していたと判断される。層序は、1986年度・2004年度調査区で共通する。弥生時代中期の方形周溝墓は、砂質泥層からなる古土壤の8層上面で構築される。方形周溝墓は、礫質砂層の6、7層および腐植質に富む細礫混じりの泥質砂の5層により埋没する。YLSは5層上部に累重し、4層から2層に相当する。このうち、弥生時代後期の遺物を含む堆積層は2、3層である。土壤薄片は、5層から3層において連続的に作製した(図1)。

3. 観察結果と解釈

5層(試料4・5)は、砂粒子で密に分布する(写真3)。孔隙はほとんど分布しない。砂粒子間は、腐植を多く含む細粒質物質で充填される。細粒質のb-ファブリックは、層位的に変化せず、干渉色を欠く未分化が連続する(写真7)。5層では、初生の堆積構造を示す平行葉理が確認される。YLSの3～4層は、4～3層下部(試料2、3)と3層上部(試料1)の2つの堆積層に区分される。微細構造は、5層から4～3層下部で明瞭に変化する。4～3層下部では、砂粒子の分布が相対的に粗となる(写真4)。孔隙は5層に比べ相対的に多く(写真5)、一部で薄層状のシルト質の被覆が観察される(写真6)。細粒質のb-ファブリックでは干渉色が認められ、3層下部に向かって顕著となる。3層下部では、モザイク様斑状、粒子包圍縞状、点班状をなす(写真8)。4～3層下部では、初生の堆積構造が認められず、4層を中心に直径3～7mm前後の微小な垂角塊状の偽礫が含まれる。また3層下部には、斜行する線状構造が確認される。なお本層では、5層では認められない幅2～3mmの根痕が特徴的に発達する(写真1)。4～3層下部の上位に位置する3層上部では、下位に比べ淘汰が良く、平行葉理が形成される(写真2)。

上記の記載にもとづく、5層は土壤物質を多く含んだ洪水堆積物と判断される。4～3層下部は、人為的擾乱により、層内全体に強い攪拌が及んだと捉えられる。松田・別所(1997)をふまえると、4～3層下部については、畑地耕作土と解釈される。この4～3層下部では、裸地や草地での植生下における細粒質物質の下方移動が生じていたと推定され、本層の土地利用とも調和的である。4～3層下部を埋没させた3層上部は、洪水堆積物である。

4. 小結

以上のことから、YLSは、弥生時代後期に居住域縁辺で形成された畑地耕作土であると指摘される。本研究により、1986年度・2004年度調査区では、弥生時代中期に墓域が洪水により埋没した後、弥生時代後期に畑地耕作地として利用され、洪水による埋没で放棄されたことが判明した。当日の発表では、さらに多くの土壤薄片画像とその記載から、上記解釈の根拠を示すとともに、既往の発掘調査や花粉・植物珪酸体分析の結果をふまえ、調査区周辺での景観変遷についても検討を行う。

・謝辞

分析の機会を与えて頂きました大阪府教育委員会の岡田賢氏に記して深く感謝申し上げます。
(参考文献) 松田 順一郎・別所 秀高,1997,大阪府北島遺跡における畑地形成と地形発達.日本文化財科学会第14回大会研究発表要旨,日本文化財科学会,70-71.

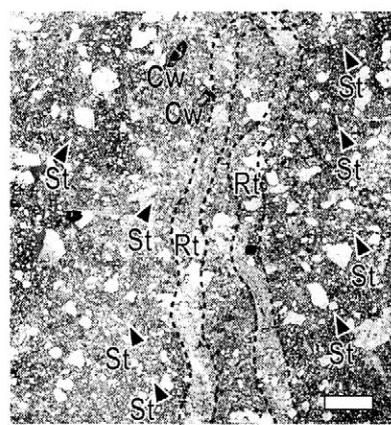
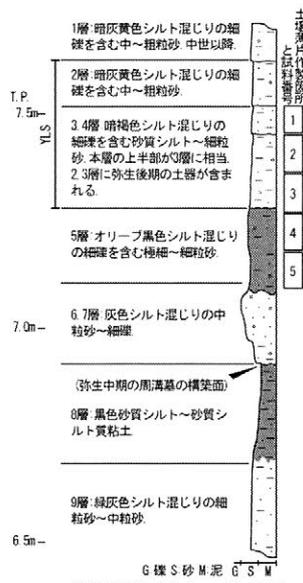


写真1 試料2(透過光)

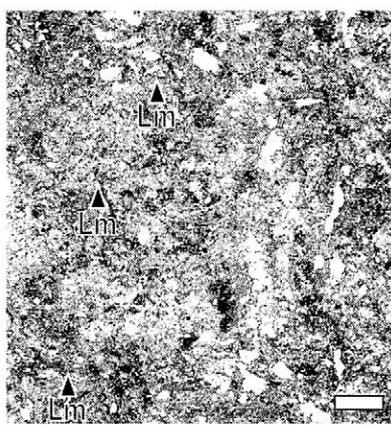


写真2 試料1(透過光)

・写真の凡例
 Vo: 孔隙 Cc: 被覆 Lm: 平行葉理 St: 斜行する線状構造 Rt: 根痕 Cw: 炭化材片
 スケールは1mm 柱状図のYLSは、弥生時代後期の包含層の略。

・試料採取地点の柱状図

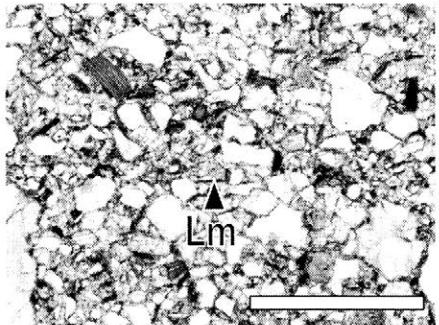


写真3 試料4(下方ポーラ)

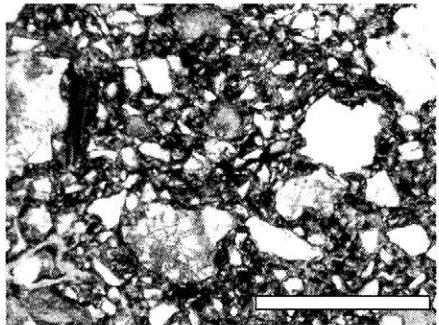


写真4 試料2(下方ポーラ)



写真5 試料3(下方ポーラ)

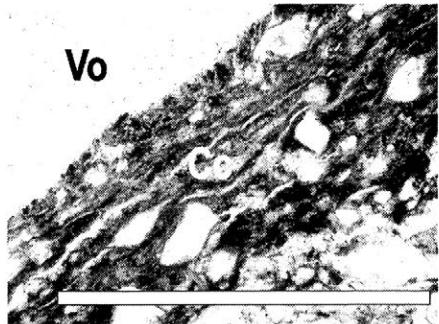


写真6 試料3(下方ポーラ)

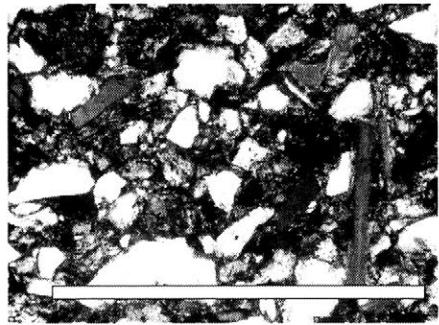


写真7 試料5(直交ポーラ)

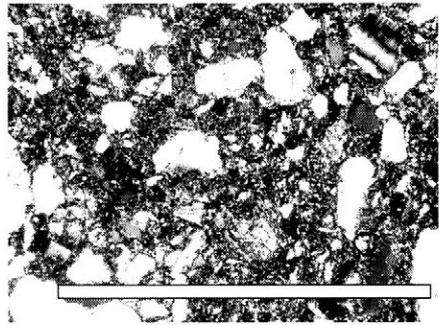


写真8 試料2(直交ポーラ)

図1 分析試料採取地点の柱状図、層序と土壤薄片画像

大阪平野とその周辺地域における中世以降の植生の変容過程

○辻本裕也 パリノ・サーヴェイ(株)大阪支店

1 はじめに

大阪平野とその周辺地域における弥生時代以降の植生変遷と人間活動の関係については、遺跡調査に伴う古植生調査成果の蓄積によって、より詳細な時間・空間スケールでの比較検討が可能となってきた。今回の報告では、古植生調査成果、特に多くの遺跡で行われている花粉分析結果について着目し、花粉化石群集の変遷パターンの特徴と、考古編年に基づく地点間の比較検討を行い、中世以降の植生変化と人間活動との関係を中心とする動的な変容過程について検討を行う。

2 花粉化石群集の変遷パターンと変遷時期

大阪平野およびその周辺に位置する遺跡で実施された弥生時代以降の花粉分析結果をみると、古墳時代以降に二次林の代表的な樹種であるマツ属花粉が増加傾向を示す遺跡が増加することが認識される(図1)。このマツ属を主とする花粉化石群集の変遷パターンは、地点間で多少異なるものの、大略的には、以下に示す3時期(古い時期より zone I～IIIとする)に区分が可能である。

zone I : マツ属が増加傾向を示す時期。増加することが特徴である。産出する種類(分類群)構成は、本時期以前と概ね類似するものの、産出率において多少の変化が確認される。

zone II : マツ属が急増し、多産するようになる時期。木本花粉では、多産していた常緑広葉樹のアカガシ亜属や温帯性針葉樹などが減少し、種類構成も多少減少する。一方、局地的な植生を反映している可能性が高い、草本花粉は産出率・種類数ともに増加する。栽培植物の種類も多く認められるようになる。また、変化後は、後述するIII期まで同様な組成が継続していることも本時期の特徴といえる。

zone III : マツ属がさらに増加し、卓越するようになる時期。木本・草本の種類構成は、いずれも単調になり、草本花粉では栽培植物・栽培種を含む種類が特徴的に産出するようになる。

各時期の年代は、zone I の始まりの時期が古墳時代に集中するが、弥生時代まで遡る遺跡もある。zone I からIIへの変遷時期は12～13世紀頃に集中するが、時期的に遅れる遺跡も確認される。zone II～IIIへの変遷時期は、地点間で多少異っているが、中世末～近世初頭に変化する場合が多い。

3 花粉化石群集から推定される古植生変化について

上記した花粉化石群集の変遷パターンは、各遺跡の地形発達過程を踏まえると、人為的植生攪乱による、マツ属を主とする二次林の分布拡大を反映していると推定される。変遷パターンの特徴として、zone II の急激な変化と変化後の群集組成の安定的産状、zone III の時期への急激な変化が挙げられる。前者は、中世における山林利用のあり方の変化を考える上で重要であり、急激な二次林化とその林分の維持管理が行われていた可能性を示唆する。また、後者は近世における急激な山林資源の収奪を示唆している。

また、変遷パターンは地域間で差異があり、植生変化の時期や傾度が地域間で多少異なっていたことも特徴である。例えば、生駒山地北部の天の川流域では、古墳時代以降に山地斜面の植生破壊が進行に伴い、土砂流出量が増大し、耕作地が拡大し、12～13世紀以降に禿げ山に変化する領域が拡大した。これに対して、生駒山西麓では12～13世紀頃にマツ属の卓越する林分に変化するものの、15～16世紀頃まで二次林が維持される状況にあり、禿げ山の領域が拡大するのは近世以降と推定される(辻本・辻, 2008)。また、平野南方の台地では、中世の段階になっても二次林の分布拡大が顕著でない領域の存在も確認される。このような植生変化の地域間差異は、他地域でも確認されており、地域の森林バイオマス量と、そこでの人為的植生攪乱のあり方との関係に起因していることが推定される。当日の発表では、これらの詳細について報告する。

参考文献

辻本 裕也、辻 康男、2008、生駒山北部の古墳時代以降の花粉化石群集の特徴と植生変遷. , 日本花粉学会第49回大会講演要旨集, 83.

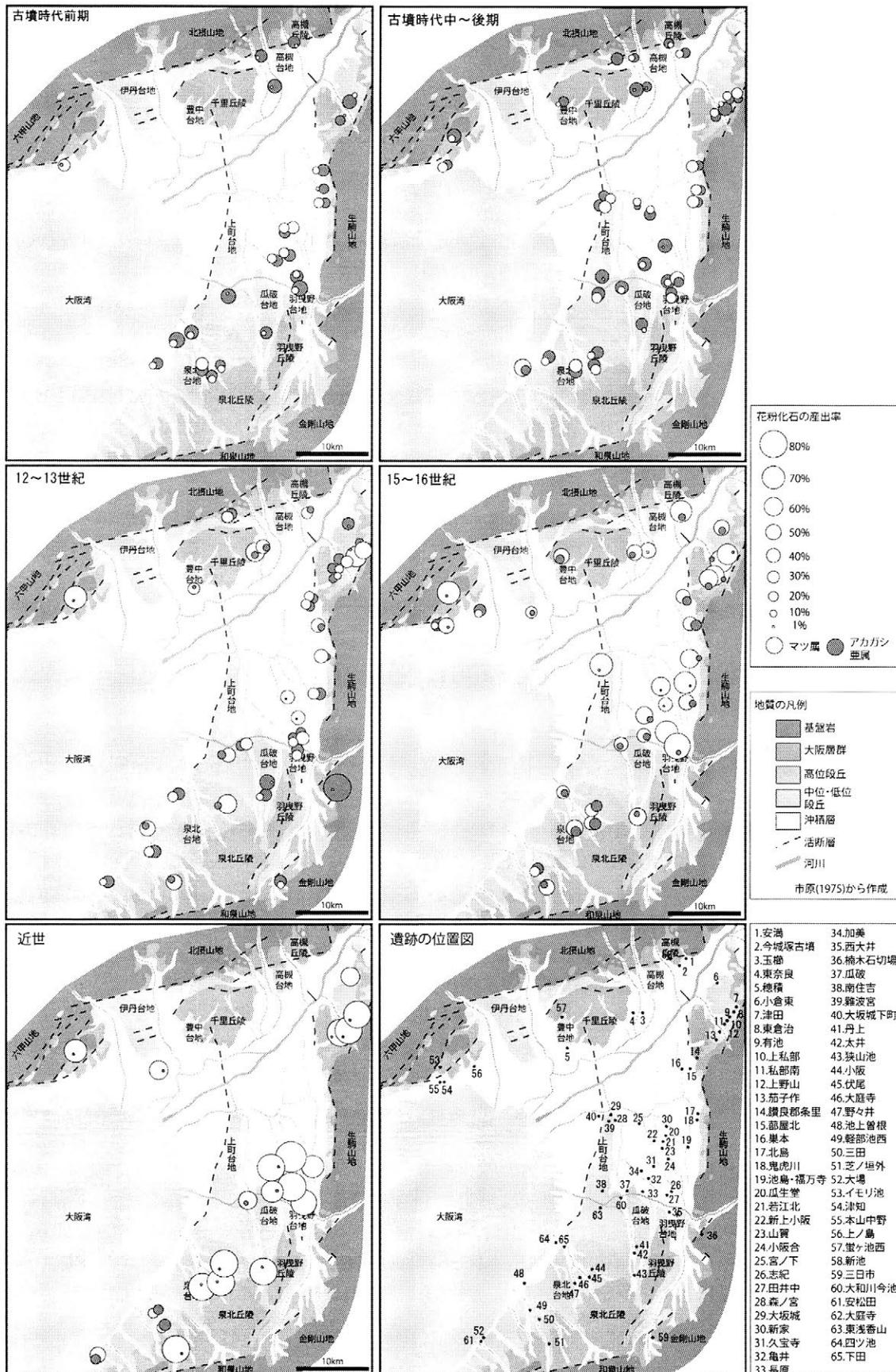


図1 古墳時代～近世のマツ属・アカガシ亜属花粉の産出率

オマーン・ラス・ジブス貝塚の古環境復原

○樋泉岳二(早稲田大学比較考古学研究所), 植月学(山梨県立博物館), 黒住耐二(千葉県立中央博物館), 江口誠一(千葉県立中央博物館), 津村宏臣(同志社大学文化情報学部)

1. 目的・経過

アラビア半島の北岸～東岸には新石器時代を中心とする多数の貝塚が分布するが、これらの貝塚形成と古環境変遷の関連や、貝塚における生業活動(動物資源利用)に関しては、基礎研究がきわめて不十分な状況である。発表者はオマーン国東部ジャラーン地域南端に位置するラス・ジブス(Ras Jibsh)貝塚および隣接するサブカ(sabkha=離水したラグーン)において、2006年度以降、完新世における古環境変遷と貝塚形成の係史解明をめざし、貝塚や周辺地形の調査研究を行ってきた。ここでは2009～2010年度の調査成果のうち、以下の3点について現時点での概要を速報する。①分布調査とラス・ジブス3貝塚(JBH3)の確認、②貝塚に隣接したサブカの掘削調査による層序の確認、③遺跡内外の古環境(ラグーンおよび植生)の推定を目的とした貝塚とサブカ堆積物の貝類遺体および植物珪酸体分析。

2. 分布調査とラス・ジブス第3貝塚(JBH3)の確認

ラス・ジブス貝塚では、これまで新石器時代の北半部(ラス・ジブス第1貝塚=JBH1)と青銅器時代以降と推測される南半部(同第2貝塚=JBH2)が確認されていたが、2009年の分布調査の結果、これらの西側のサブカ縁辺域において、マウンド状を呈する新たな貝塚(ラス・ジブス第3貝塚=JBH3)の存在を確認した(図1)。表面散布資料の分析の結果、貝類組成の特徴や多数の石器を伴う点はJBH1と同様だが、石器群の内容はJBH1が中石器的様相を色濃く示すのに対し、JBH3では大型の石刃を多数伴うことが確認された。このことからJBH3の年代は新石器時代でJBH1に後続するものと推定される。

3. サブカの掘削調査と層序

貝塚西側のサブカの4地点(SB-1・2・イ・ア:図1)において、地表面下最大約90cmまで掘削を行った。層序(図2)は、上部から風成と思われる砂層(①)、砂泥互層(③)がみられ、その下から現地性の高い内湾砂泥底性貝類(*Tellina arsinoensis*など)の殻を含む海成砂層(④)が検出された。砂泥互層(③)は、西半部(サブカ中央寄り)のSB-1～2では厚く、泥層の連続性もよいが、東側にむけて薄くなり、SB-イでは泥層の断片が混じるのみとなる。またJBH3に近いSB-アでは、風成砂層(①)と砂泥互層(③)の間にJBH3と同様の大型貝の貝殻を密に含む層(②)が介在することが確認された。これはJBH3の貝塚層の続きと思われる。さらにSB-2の海成砂層(④)の下からも類似の大型貝を含む貝殻層(⑤)が検出された。これも貝塚層の可能性が高いが、JBH3との層序関係は未確認である。現在各層準の炭素年代測定を実施中であり、今後その結果も踏まえてサブカと貝塚の層序関係の解明を進める予定である。

4. 貝類遺体および植物珪酸体からみたラス・ジブス貝塚の古環境に関する予察

サブカおよび貝塚の堆積物試料について、現在貝類および植物珪酸体分析を実施中である。以下にサブカの古環境および遺跡周辺の古植生に関する現時点での予察を簡単に述べる。

サブカの古環境:海成砂層(④)の自然貝類遺体群では*Tellina arsinoensis*および*Cerithidea cingulata*が優占しており、とくに前者は合弁個体を含む保存の良い個体が多く、現地性またはそれに近いものと考えられる。これらの種の生息域は内湾の潮間帯中・下部と考えられ、その他に認められた種も同様の環境の生息種が多いことから、この海成砂層は潮間帯中・下部で形成されたと推定される。

古植生:サブカと各貝塚の微小貝類の分析では、陸産貝類やアシ原に多いAssimineidaeの種は確認されなかった。またSB-2の砂泥互層(③)およびJBH1-8における植物珪酸体の予備的な観察結果では、いずれも珪酸体の産出数は極めて少なく、イネ科らしきものも確認されなかった。これらの結果は、陸域に陸産貝類の生息を保障できるような植生はなく、干潟周辺にも日本でよく見られるようなアシ原は存在していなかったことを示唆しており、あくまで現時点での見通しではあるが、サブカ・貝塚のいずれにおいても新石器時代以降の遺跡周辺の植生は現在と類似のきわめて植被に乏しいものであった可能性が考えられる。

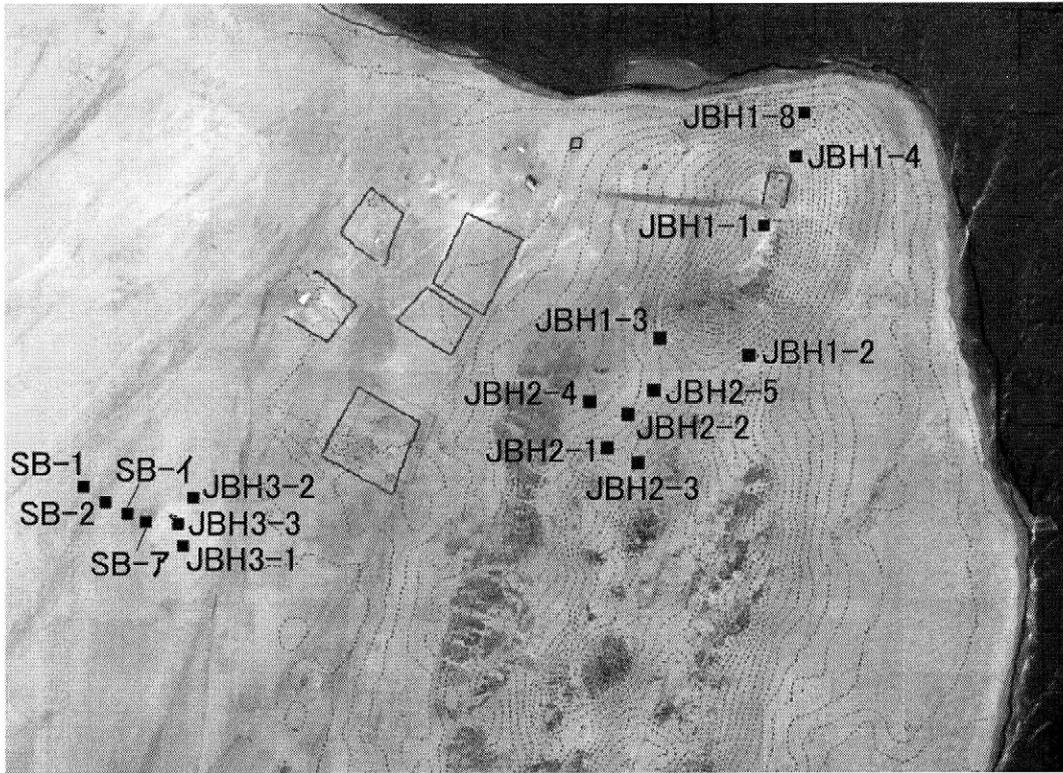


図1. ラス・ジプス貝塚の地形と調査地点の配置.

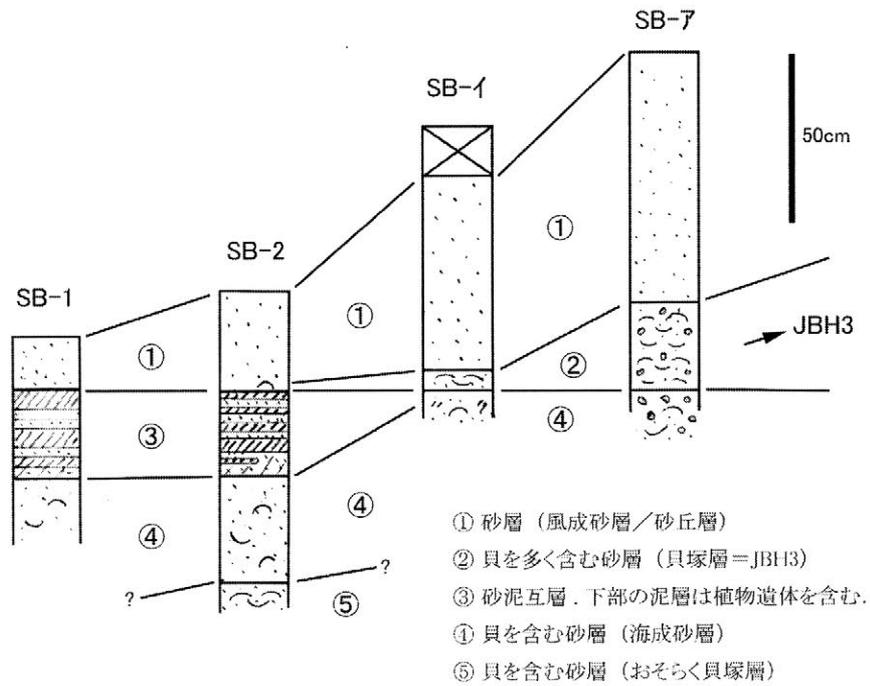


図2. サブカ SB-1~SB-ア(JBH3 西側)の地質層序模式図.
 (各地点間の距離および標高は暫定的なもの)

大分県九重町千町無田におけるイネ栽培の歴史

○谷口めぐみ、佐々木章、平尾良光（別府大学文学部）

はじめに

大分県九重町千町無田では標高 870m、くじゅう連山の北に位置する寒冷な湿地帯であるが、明治時代の水田開発以来、土地利用が進んでいる。この地では明治時代以前にも水田開発した記録がいくつか残っているが、いずれも失敗したとされている。『豊後風土記』（後 720～740 年ごろ）には「田野、郡の西南にあり。この野は広く大きく土地沃腴えたり。開墾の便、此土に比ふものなし。昔、郡内の百姓この野に居りて、多く水田を開きしに、糧に余りて畝に宿めき。大いに奢り、すでに富みて、餅を作ちて、的となしき。時に餅、白き鳥と化りて、発ちて南に飛びき。その年の間に百姓死に絶えて、水田を造らず。遂に荒れ廢てたりき。それより以降、水田に宜しからず、今、田野というこれその縁なり。」という記述があり、千町無田に関する伝説であると考えられている。そのため、この地におけるイネの栽培が歴史的にどのように変化してきたかを確認することを目的とした研究を進めた。

分析方法

分析に使用したコア KSM3 は大井らにより 2009 年に C14 年代測定、花粉分析、微粒炭分析、プラント・オパール分析を行っているが、今回はその結果をもとにより精密にプラント・オパール分析をすすめた。コアを 5cm 間隔に区切り、地表から 250cm までの計 50 試料の分析を行った。

分析結果と考察

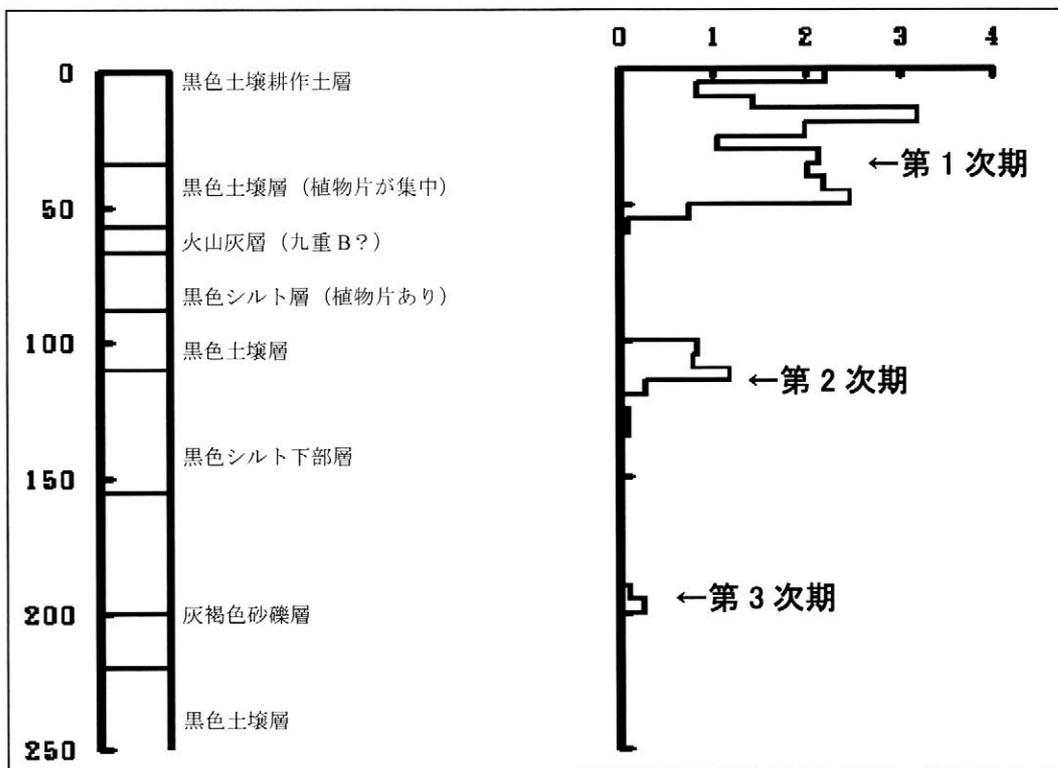
イネのプラント・オパールは 3 つの層から検出された。大井ら（2009）の年代測定の結果を考慮すると、地表から順に第 1 層目は近世・明治期以降の層、第 2 層目は 7 世紀ごろの『豊後風土記』の記述されている水田に依存する層、第 3 層目は古代以前のイネの栽培に依存する層ではないかと推定される。

第 1 ピークは耕作土及び黒色土層中に検出された。この層の 10a あたり玄米収量は 54t であり、千町無田で稲作が本格化した 1902 年から現在まで（2006 年）の 104 年間で計算すると、年間約 520kg の収量があると推定できる。現在の千町無田 10 a あたりの玄米の年間収量は約 500kg であり、明治時代は約 350kg であったとされているので、分析結果はかなり多めの数値になってしまう。多く検出された原因としては稲藁堆肥や稲藁灰として再び水田に戻されたことと、圃場整備の際に持ち込まれた表土がイネの植物珪酸体を多く含んでいたことが考えられる。

第 2 ピークは黒色土壌及び黒色シルト中から検出された。この層の 10a あたりの玄米収量は 12t である。この層は大井ら（2009）の年代測定によって BP1285 年と明らかになっている。BP1285 年はおおよそ 8 世紀ごろで飛鳥時代から奈良時代へ移行する時期である。古代における 10a あたりの玄米の年間収量は約 100kg といわれており、そうすると千町無

田では約 120 年間にわたって稲作が行われていたことになる。第 2 ピークにあたる 7～8 世紀ごろは耕地の拡大を行っていたころであるため、水田を放棄することは時代の流れから考えて難しいと考えられる。この時期の千町無田に関する文献に豊後風土記があるが、伝説の内容がそのまま稲作を放棄する原因になったとは考えづらい。そこで考えられる原因としては気候変動があげられる。北川（1995）は「7～8 世紀にかけては 1～2℃ほどの寒冷期が認められる。」と述べている。九重地域の気候は山地型の気候であり、気温だけに着目すると青森県の気温とさほど変わらないため、稲作を行うには厳しい環境であることが推測される。現在の平均気温から約 1～2℃低かったとされる古代の九重地域はイネが生育できる環境ではあるものの、現在より育ちにくい環境であったことが推測される。また当時は品種改良がなされていなかったため、玄米収量は少なかったと考えられる。このようにイネが育ちにくい環境になったことが稲作を放棄した原因ではないかと考える。

第 3 ピークは灰褐色砂礫層中から検出された。この層の 10a あたりの玄米収量は 0.8t である。この層の年代は特定できないが古代以前であるため、古代の玄米の収量を基に計算した結果、約 8 年間にわたって稲作を行っていたことになる。古代以前の弥生時代における水田跡が確認されている遺跡は低湿地帯が多く、湿地帯である千町無田でも稲作を試験的に行ったのではないかと考えられる。試験的に行ったため稲作を行った期間が短いことが説明できる。



千町無田 KSM3 土壌の植物珪酸体密度 (万個/g)

参考文献

- ・大井信夫・佐々木章・佐々木尚子（2009）「大分県九重町千町無田における過去 8000 年間の環境変遷」
- ・北川浩之（1995）「屋久杉に刻まれた歴史時代の気候変動」『講座 文明と環境 6 歴史と気候』

染織品に刺繍された金銀糸に用いられている漆の物性に関する一考察 ～ 熱分解・ガスクロマトグラフィ/質量分析法による検討 ～

○ 吉田滯代(名古屋大学物質科学国際研究センター)
宮腰哲雄(明治大学)、本多貴之(明治大学)

1. はじめに

我が国の染織文化財の中には、きらびやかな刺繍を施したものを目にすることがある。刺繍は布地に針を刺し、糸などを縫い付けて図案や図柄を表したものであり、時代ごとにそれぞれ特色に富んだ美しい刺繍を生み出してきた。江戸時代に入ると作品を豪華絢爛に彩るために金糸や銀糸などの金銀刺繍糸を用いて装飾されるようになった(写真1)。

我々はこれまでに江戸時代の染織品に刺繍された金銀糸の材質分析および製作技法に関する調査研究を試みてきた。その結果、金銀糸は紙に膠着剤として漆を塗り金箔あるいは銀箔を貼付けた後、細いリボン状に裁断し、それを芯糸に螺旋状に巻き付けた構造であることを確認した。そこで、本研究では金銀糸を製作する際に使用されている漆の物性について詳しく調べるため熱分解・ガスクロマトグラフィ/質量分析(Py-GC/MS)を試みたので、その結果について報告する。

2. 分析資料および分析方法

分析資料は表1に示した江戸時代の染織品に刺繍された金銀糸計7点とし、Py-GC/MSを試みた。金銀糸に膠着剤として使用されている漆の一例を写真2に示したが、膠着剤はいずれのサンプルも褐色を呈していた。なお、分析装置及び測定条件は下記の通りである。

【分析装置】

熱分解装置：フロンティア・ラボ社製 PY-2020iD

GC/MS装置：Agilent社製 6890N/5975 GC/MS system

分離カラム：フロンティア・ラボ社製 UA1-30M-0.25F

【測定条件】

熱分解温度：500°C、GC注入口温度：280°C、

測定ガス：He(1.0 ml/min)

GCオープン：40°C(2 min)→(20°C/min)→280°C(10 min)

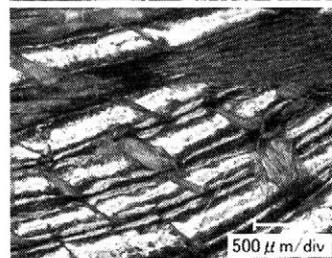
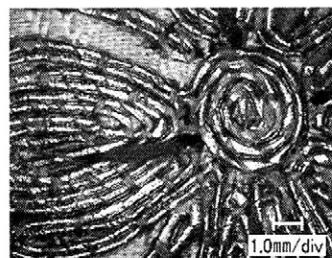


写真1 金糸の刺繍(N_o5)

Py-GC/MSによる熱分解法は単段熱分解法を利用した。単段熱分解法はヘリウム気流下中で高温の熱分解炉に試料を落下させ、瞬時に酸化反応を起こすことなく熱分解を起こす手法である。熱分解により気化した試料は、即座にGCカラムによって分離後、質量測定により分析される。GCに用いられるキャピラリーカラムによる分離は非常に正確であり再現性も高いため、漆膜のような複合成分から成る高分子物質の分析には大変有効な方法である。

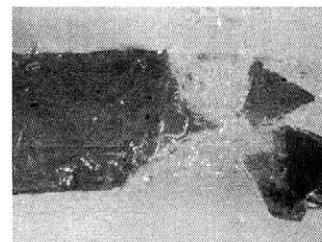


写真2 金糸に使用されている膠着剤(漆)

表1 分析資料

No.	資料名	金銀系の種類
1	白縮子地唐松に鳳凰文	撚金糸
2	緑縮緬地友禅染	撚金糸
3	緑縮緬地燕文	撚金糸
4	黒縮子地松笹菊萩に鶴亀文	撚金糸
5	白縮子地七宝繫文	撚金糸
6	〃	撚銀糸
7	赤縮子地刺繍裂	撚金糸

3. 結果および考察

500° Cで熱分解することによって得られたTICとマスキロマトグラムによると(図1)、いずれの試料からもウルシオールが検出された。また、 m/z 123のマスキロマトグラムからC7側鎖を持つカテコールが、 m/z 108のマスキロマトグラムからC7側鎖を持つフェノールが認められたことから、いずれも漆を使用しており、その種類は日本や中国の漆の木(*Rhus vernicifera*)の樹液であることが判明した。また、 m/z 60のマスキロ

マトグラムから各種の脂肪酸とともに、パルミチン酸やステアリン酸が認められたことから、アマニ油やえの油のような油脂が使用されていることが確認された。また、糖(グルコース)の脱水物も検出されたが、これは金銀糸の紙に由来するものと考えられる。

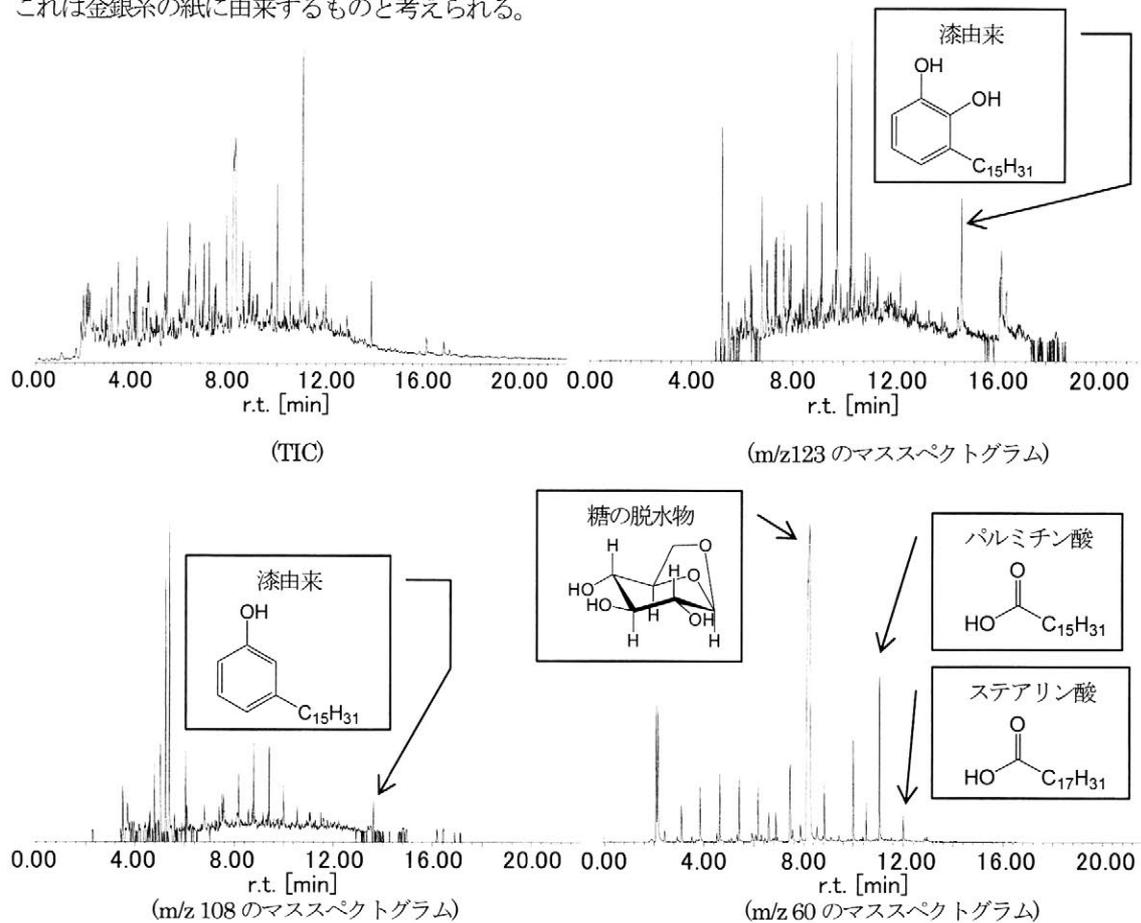


図1 500°Cの熱分解で得られた分析結果とマススペクトグラム(資料No.1)

4. まとめ

本研究において江戸時代の染織品に刺繍されている金銀糸についてPy-GC/MSによる分析の結果、紙に金属箔を貼る際に使用している箔下漆にはアマニ油またはえの油などの油脂を加えた漆を使用していることが判明した。油を混入した漆を箔下漆として使用することにより、金糸表面の金属箔は光沢を増す。肉眼観察においていずれの金銀糸も光沢が確認されており、これが漆に加えられた油に由来するものであることを確認した。

板碑に見られる彩色について

○朽津信明（東京文化財研究所）

【はじめに】 板碑の中に、彩色による装飾が施されたものがあることは広く認知されているが、それが系統的に科学分析された報告はこれまで知られていない。本稿ではこれまでに得られた分析データに基づいて、板碑に見られる彩色の特徴について報告する。

【調査対象】 板碑とは、主に中世に作られた板状の石塔のこと指すが、本研究ではその定義には立ち入らず、過去に一度でも板碑として報告されたことがあるものを板碑と認識する。過去の報告で彩色の存在が記載されている板碑を可能な限り調査し、日視で彩色の残存が確認されたものについて分析装置を用いてその顔料調査を行った。対象を表1に示す。分析を試みたのは、東京都、茨城県、栃木県にある鎌倉時代から戦国時代にかけての武蔵型板碑と、千葉県にある下総板碑、そして福島県にある図像板碑である。

【調査方法】 確認された彩色顔料に対して、従来報告している可視光反射スペクトル分析と低レベル放射線源を用いた蛍光X線分析¹⁾、そしてUSB顕微鏡による粒子観察（図1）を行った。

【結果】 結果を表1に示す。観察を行った多くのもので、銘文文字や種字部分で金色彩色が確認された。金色部分からは石材には含まれない金が検出され、スペクトルも金の波形を示した。顕微鏡観察の結果、金色部分では短冊のような形状の膜状物質が重なり合って観察され、また石材との間には茶色の別物質が存在する場合が多く認められた（図2）。武蔵型板碑における赤色彩色は、枠線や銘文文字に認められ、石材には含まれない水銀が検出されて波形は水銀朱と類似した。なおこれらでは、金色部分の下には、この赤色物質とは異なる茶色物質が存在し、水銀は検出されない。下総板碑の赤色彩色は種字部分に認められ、水銀は検出されず鉄が検出され、波形はベンガラのもものと類似した。なお、これらでは、赤色部分の上に金色の膜状物質が認められる。図像板碑の赤色部分は背景部分で認められ、やはり水銀は検出されず鉄が検出され、波形はベンガラのもものと類似した。この他、図像板碑では黒色物質が当初整形面を覆って認められる場合もあったが、成分の同定には至っていない。



図1. 調査風景
USB顕微鏡による観察

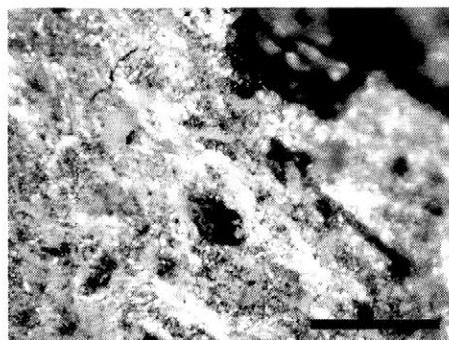


図2. 金色物質の顕微鏡下での見かけ
—：200 μm
短冊状の形状で膜状を呈する

【考察】 金色物質は、今回分析された範囲ではいずれも金と考えられ、顕微鏡によって膜状の存在状態が確認されたものについては、金箔である可能性が想定される。その形状から、金箔が細かい短冊状に切断され、それが漆などによって貼り付けられたかと推定される。今回調査した武蔵型板碑における杵線や銘文文字を表現した赤色は、水銀朱によるもので、同じ板碑で金色部分の下には別物質（漆か?）が認められることから、赤色は金とは異なる表面の発色として塗り分けられていたものと考えられる。この場合、文字（金）と杵線（赤）や、種字（金）と銘文文字（赤）が一枚の板碑の中で塗り分けられていたことになる（図3）。一方、下総板碑の種字における赤色物質は水銀朱ではなくベンガラと思われるが、その産状から表面の彩色表現として存在した可能性は低く、金箔を貼るための赤漆であった可能性が考えられる。図像板碑における赤色はベンガラで、これは屋外の石仏における赤色彩色がこれまでのところいずれもベンガラと報告されている²⁾ことと整合的である。黒色は今回の分析では成分について言及できないが、文字表現ばかりでなく図像表現にも黒色が用いられたことは確認された。板碑には、塔婆としての側面以外に、石仏としての側面や碑文としての側面など様々な要素が含まれており、彩色材料の面からそれぞれの理解が深められることが期待される。



図3. 題目板碑における金（銘文文字）と赤（杵線）との塗りわけ

- 文献1) 朽津信明 (2003) 保存科学 42, 19-27
 2) 朽津信明他 (2001) 保存科学 39, 33-42

表1. 分析対象と結果一覧

名称	所在(出土地)	箇所	元素	波形	鏡下での特徴	解釈
大永三年銘板碑	葛西城址	銘文	Au	金	短冊状(膜状)	金箔(漆で接着)
		杵線	Hg	朱	赤色細粒粒子	水銀朱(表面彩色)
享禄四年銘板碑	葛西城址	銘文	Au	金	短冊状(膜状)	金箔(漆で接着)
		杵線	Hg	朱	赤色細粒粒子	水銀朱(表面彩色)
〇〇三年銘板碑	葛西城址	銘文	Au	金	短冊状(膜状)	金箔(漆で接着)
		杵線	Hg	朱	赤色細粒粒子	水銀朱(表面彩色)
長禄五年銘板碑	古河市上大野	種字	Au	金	短冊状(膜状)	金箔(漆で接着)
		銘文	Hg	朱	赤色細粒粒子	水銀朱(表面彩色)
元亨元年銘板碑	小山城跡	種字	Au	-	短冊状(膜状)	金箔(漆で接着)
弘安三年銘板碑	小山城跡	銘文	Au	-	膜状(形状不明)	金箔(漆で接着)
天正十四年銘板碑	香取市大龍寺	種字	Au	-	膜状(形状不明)	金箔(漆で接着)
		種字	Fe	-	赤色細粒粒子	ベンガラ(接着用)
来迎三尊板碑	石川町和久	背景	Fe	ベンガラ	赤色細粒粒子	ベンガラ(表面彩色)
来迎三尊磐崖板碑	泉崎村観音山	背景	-	-	黒色、粒形不詳	不明

古代エジプト美術館所蔵イビス像の製作技法 —製作技法痕跡・元素同定からの検討—

○橋本英将（（財）元興寺文化財研究所），菊川匡（古代エジプト美術館），
大城道則（駒澤大学）

1. はじめに

出土金属製品の製作技法に関する研究においては、地域、時代を問わず、肉眼観察による製作技法痕跡の認定、元素同定からの裏付けの両者が不可欠である。しかしながら、現実問題として、肉眼観察による製作技法の痕跡の追求は主として考古学研究者がおこない、元素分析からの裏付けについては、主に分析科学、文化財科学を専門とするものがおこなうため、両者の視点が総合されたといえる事例は意外に少ない。本報告は、ハンドヘルド蛍光X線分析計を、考古学的な資料調査に導入し、考古的検討と元素同定を同時かつ網羅的に実施する試みの一環として、古代エジプトの金属製品を対象として調査をおこなった結果である。

2. 資料

今回報告する資料は、古代エジプト美術館（東京都渋谷区）所蔵のイビス像（トキの姿をもち、知恵を司るとされる）のうちの1点である。

3. 測定条件

使用した機器および測定条件は以下の通りである。

仕様機器

ハンドヘルド蛍光X線分析計 Innov-X α 4000（合金分析・土壌分析ソフト）（Innoz- α 社、アメリカ）（図1）

測定条件

管電圧 35kv、管電流 5 μ A、Ta(タンタル)管球、測定径約 1 cm、測定時間 15 秒

利点および問題点

分析結果を適切に評価するため、本分析計のもつ問題点と利点をあらかじめ述べておく。通常の設定型蛍光X線分析計の場合、測定径は 2mm 程度まで絞れるが、本機の測定径は 1 cm 程度と広い。つまり測定したい部位が小さい場合、その周辺を同時に測定してしまうことが避けられない。また、測定中は、素手で固定するため、微小なブレが常時起こり、かつ測定時間を 15 秒と短くせざるを得ない。機器の仕様上当然であるが、設置型で可能な場合が多い、試料室内を真空状態にしての測定ができない。したがって軽元素は測定できない。

以上のように、本機は設置型の蛍光X線分析計に比べて、測定精度が低いという点は否めない。一方、ハンドヘルドであることの利点も数多く存在する。設置型で、試料室を真空状態にして測定できる蛍光X線分析計の場合、一般に資料室の大きさは小さく、大型の資料を入れて測定することは不可能である。また、設置型よりも自由度の高い、可搬型蛍光X線分析計も存在するが、測定角度等の自由度は高くない。これに対し、ハンドヘルド蛍光X線分析計の場合、測定者自らが動くことにより、遺物が危険にさらされることなく、さまざまな部位を測定できる。また、設置型は移動そのものができず、通常の「可搬型」も装置全体で 15kg 以上の重量があるため、研究者個人が考古学的な資料調査とあわせて実施すること



図1 ハンドヘルド蛍光X線分析計 Innov-X α 4000

は、非常に困難である。これに対し、ハンドヘルド蛍光X線分析計は、本体重量1.6キロと軽量であるため、個人で実測用具、撮影用具と合わせて持ち運ぶことが可能であり、考古学的な資料調査と同時に材質、技法の解明を目的とした元素同定が可能である。

4. 測定結果と解釈

イビス像頸部右側面、右足前側部分の測定結果を図2、図3に示す。Cu、Sn、Pbが検出されており、主たる素材は鉛を含む青銅であると判断できる。また、現在肉眼では認識できないが、Auが検出されていることから、本来表面には鍍金もしくは金貼などによる金色の着色がなされていたと考えられる。ただし、この金がどのように施されたかは現状では不明である。

5. 肉眼での観察結果

頸部を観察すると、頸部全体を縦方向に半裁するように、凸線が走っているのが確認された(図4)。イビス像本体の造形にかかわる、鳥としての細部を象った線刻が凹線であるのとは異なり、青銅の鑄造後の造作によるものとは考えにくい。鑄造時点での製作技法に関する痕跡と推定される。こうした凸線ができ得る鑄造法であるとする、合わせ型による製作が想定され、失蠟法(ロストワックス法)を用いたのではないと考えられる。

6. まとめ

以上の結果をまとめると、今回検討の対象としたイビス像は、青銅を合わせ型によって鑄造したのち、全体に鳥の造形の詳細を線刻で施したのち、金による着色をおこなったものと考えられる。

こうした所見を一つ一つの資料について地道に蓄積、公表してゆくことにより、日本で所蔵されている、エジプトをはじめとする海外の出土金属製品が、学術資料として高い価値をもつものとして再認識されてゆくものと期待される。

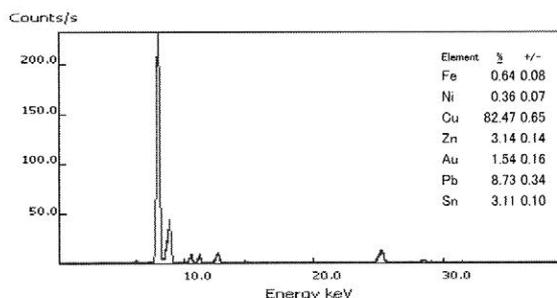


図2 頸部右側面測定結果

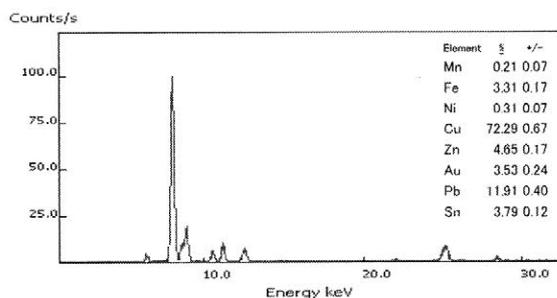


図3 右前足測定結果



図4 頸部中央に走る凸線

東大寺山古墳の木質遺物の同定

奈良教育大学 金原正明 ○湯ノ口利恵
古環境研究所 金原明

1. はじめに

東大寺山古墳は昭和 35 年(1960)に調査され、後漢靈帝「中平」紀年銘の大刀が出土した学史的な古墳である。東大寺山古墳では調査において採取され木質遺物が保存され、その記載や資料位置写真が明瞭に残されている。木質遺物は乾燥状態でシャーレおよび綿に挟んでサンプル袋に入れられていた。出土直後であれば、湿った状態のほうが同定精度がよくなるが、長年保存されていた資料であり、乾燥状態でなければ残存しえなかったと考えられ、最もよい状態で保存されていたといえる。また、保存処理が施されていなかったことも同定が行えた要因である。

ここでは、腐朽したのち乾燥し通常なら同定不能となる木質遺物または錆となって残った資料の同定を検討しつつ行った。

2. 試料と分析方法

試料は木片 4 点と銅製品に付着した錆と置きかわった木片 10 点の計 14 点の資料群である。

試料は極力非破壊で同定することを考慮し、表面を落射顕微鏡によって 50~1000 倍で観察をして行った。同定精度を高めるため、いくつかの資料は最小限の切片試料を作製して、生物顕微鏡によって 40~1000 倍で観察し、同定を行った。

3. 結果

試料は必ずしも木口(横断面)、柾目(放射断面)、板目(接線断面)の 3 面を観察できるものではなかった。針葉樹では柾目で同定が可能である分類群もあるが、広葉樹は 3 面が観察できなければ同定レベルが極めて低くなるものが多い。

同定の結果、コウヤマキ *Sciadopitys verticillata* Sieb. et Zucc.、ヒノキ属 *Chamaecyparis*、針葉樹 conifer、カバノキ属 *Betula* (分布域からミズメ)、ヤマグワ *Morus australis* Poiret、広葉樹 broad-leaved tree、タケ亜科 *Bambusoideae* (径からヤダケ) の 7 分類群が同定された。

4. 考察とまとめ

針葉樹材からみていくと、コウヤマキは、(No.11) 111 旧盗掘壙中央北寄新旧両盗掘壙境界木片の 1 点であるが、木棺材に用いられることから、本資料も木棺材であったとみてよいと考える。ヒノキ属は (No.2) 102 E26 巴形銅器付着木片(楯付着)であるが、当時の用材傾向からみてヒノキである可能性が高く、楯は革製と考えられているが、楯も含めて何らかの製品があったとしかいえない。また、針葉樹は (No.13) 113 木質片であるが同様である。

銅鏃付近木質は 6 資料あるが、ミズメと考えるカバノキ属は (No.7) 107 WA1 群銅鏃付着木質と (No.8) 108 WA2 群銅鏃付着木質の 2 点、ヤマグワは (No.9) 109 WA3 群銅鏃付着木質と (No.10) 110 WA4 群銅鏃付着木質の 2 点、広葉樹は (No.5) 105 EA1 群銅鏃付近木質(東大寺山 69 より)と (No.6) 106 EA2 群銅鏃付着木質(E2 列銅鏃付着)の 2 点、さらに (No.9) 109 WA3 群銅鏃付着木質にはヤダケの可能性のあるタケ亜科がある。こ

の結果からみて、矢柄の材質としてタケ亜科（ヤダケ）は妥当である。他にカバノキ属（ミズメ）やヤマグワなど広葉樹がありわざわざ削りだした、特に重堅なカバノキ属（ミズメ）などは極めて堅硬な作りの矢柄となり、実用性もさながら精巧なものであったとみなされる。銅製品に接する木質のみがその影響により残る場合があるが、残存状況からやはりいずも矢柄と考えられる。

他に広葉樹のレベルでしか同定できなかつたものは、(No.1) 101 E15 巴形銅器附着木片、(No.3) 104 E28 素環頭頭部西木質 (E28 頭部西の木部)、(No.4) 105 E52 巴形銅器附着木質 (E52 巴形銅器下 (表面) 附着)、(No.12) 112 木棺?片? (12-10 木棺の残片か)、(No.14) 114 木質片の5点あり、盾含め刀剣の柄や他の何らかの広葉樹の製品が用いられていたと考えられる。

表 同定結果

No.	資料	結果 (学名/和名)
1	101 E15 巴形銅器附着木片	broad-leaved tree 広葉樹
2	102 E26 巴形銅器附着木片 (楯附着)	<i>Chamaecyparis</i> ヒノキ属
3	103 E28 素環頭頭部西木質 (E28 頭部西の木部)	broad-leaved tree 広葉樹
4	104 E52 巴形銅器附着木質 (E52 巴形銅器下 (表面) 附着)	broad-leaved tree 広葉樹
5	105 EA1 群銅鏃付着木質 (東大寺山 69 より)	broad-leaved tree 広葉樹
6	106 EA2 群銅鏃付着木質 (E2 列銅鏃付着)	broad-leaved tree 広葉樹
7	107 WA1 群銅鏃付着木質	<i>Betula</i> カバノキ属 (ミズメか)
8	108 WA2 群銅鏃付着木質	<i>Betula</i> カバノキ属 (ミズメか)
9	109 WA3 群銅鏃付着木質	<i>Morus australis</i> Poir. ヤマグワ Bambusoideae タケ亜科 (ヤダケか)
10	110 WA4 群銅鏃付着木質	<i>Morus australis</i> Poir. ヤマグワ
11	111 旧盗掘壙中央北寄新旧両盗掘壙境界木片 (新旧両盗掘壙の境界辺底の付近より出土、底部よりは浮いている。厚約 5~10cm 上)	<i>Sciadopitys verticillata</i> Sieb. et Zucc. コウヤマキ
12	112 木棺?片? (12-10 木棺の残片か)	broad-leaved tree 広葉樹
13	113 木質片	conifer 針葉樹
14	114 木質片	broad-leaved tree 広葉樹

ヤッスホユック遺跡出土彩文土器の文様の考古化学的研究

○五月女 祐亮・中井 泉（東理大・理）

1. はじめに

ヤッスホユック(Yassihöyük)遺跡はトルコの首都アンカラから南東約 170km に位置する遺跡であり、1986、1988、2000、2002 年の 4 度にわたり、中近東文化センター付属アナトリア考古学研究所による一般調査と、遺物の表採が行われている。さらに、過去の踏査、表採調査の結果を受けて、2007-2008 年には同遺跡の磁気探査、地形測量、写真撮影及び表採が行われ、昨年 2009 年に第一次発掘調査が行われるに至った。発掘調査の結果、本遺跡より鉄器時代の遺構が確認された。

この時代の彩文土器に用いられる顔料は黒/褐色系、赤色系、白色系の 3 種類が存在し、なかでも、黒/褐色系顔料は特に多用される。黒/褐色系顔料は、その組成から Fe 系と Mn 系（および Mn+Fe 系）の二種類に大別される¹⁾。Fe 系では鉄鉱石を還元焼成して、磁鉄鉱 (Fe_3O_4) を得る。Mn 系（および Mn+Fe 系）では Mn 鉱物を高温で焼成し、Mn-spinel (Mn_3O_4) もしくはヤコブス鉱 (MnFe_2O_4) を得るものである。地中海沿岸に存在する紀元前 2 千年紀～千年紀の考古遺物に関しては、彩文土器の黒/褐色系顔料に関しては多くの研究がなされているが、未だに中央アナトリアにおける黒/褐色系顔料の製作技術の分布の詳細は明らかになっていない。

そこで、本研究では、ヤッスホユック遺跡出土の彩文土器を対象に、顔料の変遷や起源などの解明を目的とした考古化学的研究を行った。黒/褐色系の顔料、赤色系の顔料、白色系の顔料について様々な分析法による特性化を行った。そして、黒/褐色系の顔料の種類を明らかにし、中央アナトリアにおける黒/褐色系の顔料の種類と分布を解明する研究の第一歩とした。

2. 実験試料と分析装置

ヤッスホユック遺跡より出土した中期鉄器時代の彩文土器 14 点、後期鉄器時代の彩文土器 18 点について、まず蛍光 X 線分析装置 (OURSTEX 100FA-IV) による顔料および胎土の組成分析を行った。さらに、元素分布を可視化するため、X 線顕微鏡 (HORIBA XGT-2700) による蛍光 X 線元素マッピングを行った。さらに、顔料の保存状態の良いサンプルについて、ラマン分光分析 (JASCO NRS3200)、粉末 X 線回折分析 (ガンドルフィカメラ)、放射光 XANES 測定 (PF BL-12C) を行い、顔料の詳細な同定と特性化を行った。

3. 結果と考察

蛍光 X 線分析の結果、黒/褐色系顔料については Mn および Fe が、赤色系顔料では Fe が、白色系顔料では Ca が主成分であることが判明した。また、蛍光 X 線元素マッピングの結果、図 1 のように、黒/褐色顔料は Mn を含むものと、Mn と Fe を含むものの二種類が存在することがわかった。各土器片の分析結果を図 2 にまとめる。黒/褐色系顔料において、Mn 系（および Mn+Fe 系）の顔料は中央アナトリアの遺跡であるボアズキョイやカマンカレホユックで使用されている²⁾。それに対して、Fe 系の黒色顔料は地中海沿岸地域で使用されているが今回の試料には存在しなかった。

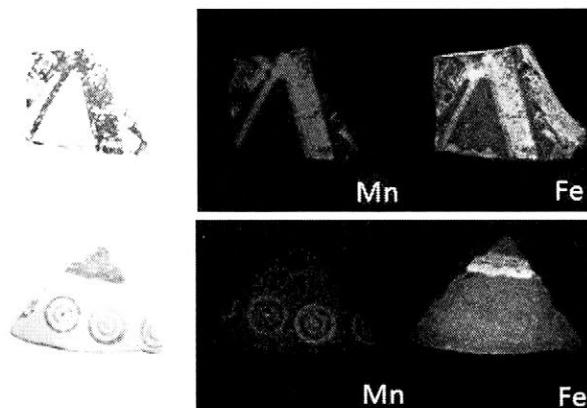


図 1. 土器片の元素マッピング像
上：Mn+Fe 系顔料 下：Mn 系顔料

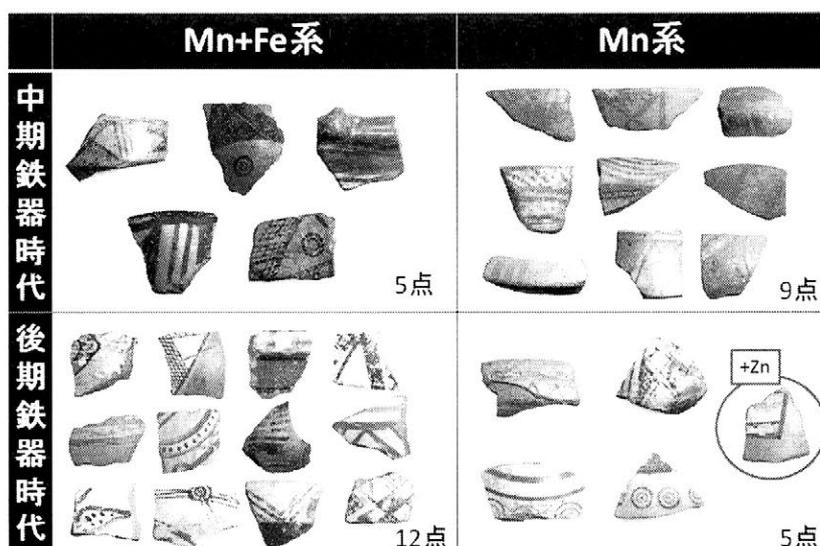


図2 土器片の時代と、黒/褐色系顔料の組成による分類

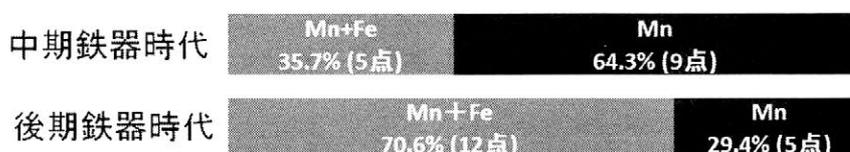


図3 黒/褐色系顔料の組成変化

さらに、図3に示すように、Mn系の顔料とMn+Fe系の顔料は中期鉄器時代から後期鉄器時代にかけて使用率が変化する傾向が見られた。中期鉄器時代において、中央アナトリアはフリギア帝国が支配していた。しかし、後期鉄器時代になるとフリギア王国はリディア帝国に組み込まれ、フリギア東部はリディア王国の手に落ちる³⁾。黒/褐色系顔料の中期鉄器時代から後期鉄器時代にかけての組成の変化は、このような時代的背景を反映している可能性が示唆される。

ラマン分光分析による相同定を行った結果、赤色系顔料は赤鉄鉱 (hematite:Fe₂O₃)、白色系顔料は炭酸カルシウム (CaCO₃) であることが分かった。粉末X線回折の結果、黒/褐色顔料において、Mn系の顔料にはマンガンスピネル (Mn₃O₄-spinel) が、Mn+Fe系の顔料にはヤコブス鉱 (jacobsite:MnFe₂O₄) と赤鉄鉱 (hematite:Fe₂O₃) が含まれていることがわかった。また、白色系顔料は方解石 (calcite:CaCO₃) であることが判明した。放射光XANES測定の結果はX線回折の結果を支持した。

4. まとめ

以上の分析結果より、ヤッスホコック出土の彩文土器の顔料において、赤色系顔料は赤鉄鉱、白色系顔料は方解石、黒/褐色系顔料はMnを含むものはマンガンスピネル、MnとFe両方を含むものはヤコブス鉱と赤鉄鉱であることが判明した。今後分析数を増やすことにより、中期鉄器時代から、後期鉄器時代において黒/褐色系顔料の変遷を明らかにしていきたい。

【謝辞】

本研究を進めるにあたり貴重な試料と考古学的な情報を提供して下さった大村正子隊長、ならびに大村幸弘博士、松村公仁博士に深謝する。

1) W. Noll, *et al.*, *Angew. Chem. Internat. Edit.*, **14**, (1975), pp.602-610.

2) M. Izumiyama, *et al.*, 2000, *Anatolian Archaeological Studies.*, Vol. IX, (2000), pp.201-206.

3) 大村 幸弘著, 土器片が語るミダスの世界, 中近東文化センター (1991), pp.80-91

ガスクロマトグラフ-質量分析及び分光法によるエジプト壁画に 用いられた顔料及び接着剤成分検出の検討

○浅井 重博¹, 久富 広隆², 川崎 英也², アフメド・シュエイブ³, 荒川 隆一²
(サーモフィッシャーサイエンティフィック¹, 関西大化学生命工², カイロ大考古学³)

はじめに

エジプトの色彩豊かな壁画は高温乾燥雰囲気下において3000年以上も色材が剥離しないような技術が用いられており、接着剤として一般に膠、アラビアゴムや卵白などが用いられたと考えられている。膠は牛や豚の皮膚や骨、腱などのコラーゲンに熱を加え、抽出したタンパク質であり、古代エジプトの壁画に膠の製造過程を示すものが描かれ、ツタンカーメンの墓から膠を用いた家具や宝飾類が出土している。またアラビアゴムはアフリカナイル地方原産のネムノキ科アカシア属アラビアゴムノキの樹皮を傷つけ、その傷口から分泌物を乾燥させたもので、その主成分は多糖類である。

しかし、これらが接着剤として使用されたとする学術的な検証は少ない。その理由として、文化財としての重要性のために破壊的な分析を行うことができないこと、高温乾燥雰囲気下で3000年以上もの間放置されていたために接着剤の構成有機物が分解または菌類などに捕食されて消失した可能性などがあげられる。当時の塗装技術の知見を得るために熱分解ガスクロマトグラフ-質量分析計(Py-GC-MS)とフーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR)により、エジプトの棺やカートネッジ(麻, パピルス石膏を固めたもの)に使用されている色材とその接着剤を分析した報告¹⁾や大理石や練りガラスなどを表面分析した報告²⁾がある。これによると、蜜蝋と膠の混合物、ヤニマツ由来の植物ゴムを使用したと推定している。他にも植物ゴム由来のアルドースやウロン酸を検出した報告例³⁾もある。

今回、GC-MSとFT-IR及びラマン分光光度計(Raman)を用いて、壁画小片の表面に付着した接着剤や使用されている顔料(色材)の同定を検討した。

実験

試料はエジプト、エル・メニア州にあるツナ・エル・ガバル遺跡の葬祭堂(ペルシア時代からプトレマイオス朝時代)から産出した壁画小片を用いた。

GC-MSで測定する試料として、壁画試料の赤色表面、青色表面そして黒色表面を削り取り、乳鉢ですり潰して、メタノール/アセトン(1/1 v/v)により超音波抽出を行った。コンタミネーションを確認するため、空試験(ブランク)も同様の操作を行い、試料を調製した。測定はイオントラップ型のGC-MS(ITQ 1100, Thermo Fisher Scientific)を用いて質量範囲 m/z 50-1000で行った。液体注入のほか、直接導入法により削り取った試料をプローブを通してそのまま質量分析計のイオン源内に導入し、測定を行った。

FT-IRはNicolet iN10(Thermo Fisher Scientific)を用い、任意の分析ポイントを極微量サンプリングし、ダイヤモンドコンプレッションセルを用いて試料を薄膜化し、顕微透過法で分析を行った。

Raman測定はNicolet OmegaXR(Thermo Fisher Scientific)を用い、任意の測定ポイントを極微量サンプリングし、スライドガラスに乗せ顕微モードで行った。

結果と考察

各色表面試料の抽出液をGC-MSで測定を行ったトータルイオンクロマトグラム(TIC)をFig. 1に示す。保持時間(RT) 15.58 minにラウリン酸メチルエステル, RT 18.71 minにパルミチン酸イソプロピルエステル, RT 19.09 minにパルミチン酸ブチルエステル, そしてRT 20.81 minにステアリン酸ブチルエステルが観測され、その中でもパルミチン酸ブチルエステルとステアリン酸ブチルエステルが特に強く観測された。これらは植物または動物性由

来の脂肪酸と特定できるわけではなく、膠などの分解生成物の可能性が考えられるほか、滑剤(添加剤)として用いられているブチルエステルのコンタミネーションも可能性として考えられた。一方、天然物由来と考えられるピークとして、僅かながら RT 12.96 min に脂肪酸ジエステル, RT 14.21 min にピペラジントリエステル, そして RT 14.50 や 18.31 min に脂肪酸トリグリセリド様に相当するスペクトルを有する有機物が観測されたが、脂肪酸の炭素数まで確定することができなかった。

試料を加熱プローブのフィラメントチップに直接附着させ、真空内でプローブに電流をかけることにより試料を昇華させ、気化した成分を直接イオン化する DEP 法と試料をカップに詰めたものを加熱プローブに挿入し、真空内でプローブに電流を流すことにより、ガラスカップから伝わる熱により気化した発生ガスを直接イオン化する DIP 法の 2 種類の直接導入法を用い、測定を行った。その結果、DEP 法では色材部表面で 200~450 °C 付近にかけて複数の不飽和結合を有する炭化水素群やアルコールないしエステル様またはステロイド骨格を有すると思われる成分が検出した。一方、DIP 法からも 120 °C 付近までに複数の不飽和結合を有するエステル様またはステロイド骨格を有すると思われる成分が検出した。

FT-IR では赤色表面から 550 cm^{-1} 付近に観測されたブロードな吸収ピークから水酸化カルシウムを含んでいることがわかった。また、黒色表面から 1581 や 1400 cm^{-1} に無機酸化物と思われる吸収スペクトルが、青色表面ではライブラリーと一致したものが検索されず、1400 cm^{-1} 以下にのみ吸収スペクトルが観測され、何らかの鉱物であることが示唆された。

Raman 分光法で得られた Raman スペクトルを Fig. 2 に示す。赤色表面や青色表面から約 1600 cm^{-1} 以上でスペクトル強度が上がり続けることから試料からの蛍光が見られた。赤色表面からは 273 や 211 cm^{-1} に散乱光が観測され、ライブラリーから辰砂 (HgS) であることがわかり、Chiavari¹⁾らの報告では酸化鉄とされていたが、水銀を色材に用いていることが今回の結果から示唆された。

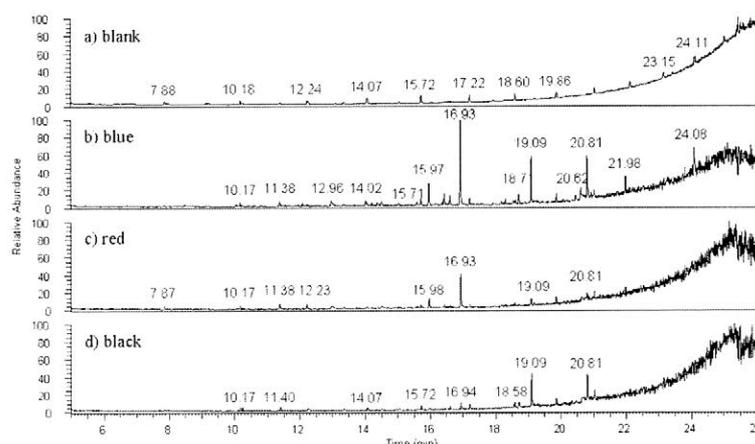


Fig. 1 Total ion chromatogram of the walls by GC-MS.

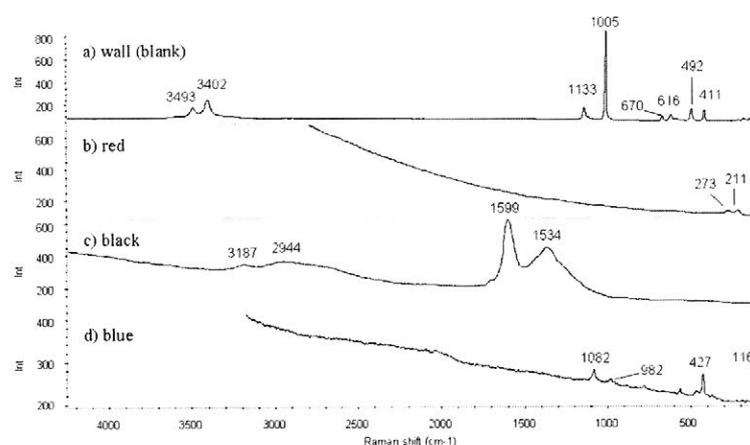


Fig. 2 Raman spectra of the walls.

参考文献

- 1) G. Chiavari, D. Fabbri, G. C. Galletti, R. Mazzeo; *Chromatographia*, **40**, 594 (1995)
- 2) E. Ribechini, S. Orsini, F. Silvano, M. P. Colombini; *Anal. Chim. Acta*, **638**, 79 (2009)
- 3) I. Bonaduce, H. Brecolaki, M. P. Colombini, A. Lluveras, V. Restivo, E. Ribechini; *J. Chromat. A*, **1175**, 275 (2007)

七宝亀甲形金具の材質・構造調査

○降幡順子(奈良文化財研究所)、加藤真二(奈良文化財研究所)、相原嘉之(明日香村教育委員会)

1:はじめに

七世紀の遺跡である牽牛子塚古墳(奈良県明日香村)出土の七宝亀甲形金具9点(破片含む)について分析調査を実施した。今回の調査は、非破壊的な手法を用いた七宝釉の化学組成、風化生成物の同定、金属器胎部分の構造調査などを実施し、七宝亀甲形金具の材質的な特徴を示すことを目的とした。七宝は金属器胎の上にガラス質の釉薬を熔着させたもので、ガラスや陶磁器の釉薬の技術と類似しているといえる。七世紀は、鉛ガラス等が再び流通を始めたと考えられる時期にあたるため、本調査で七宝釉の特徴を捉えることは、当時の技術伝播や流通などを考える上で重要であると考えられる。

2:分析資料

牽牛子塚古墳より出土した七宝亀甲形金具9点の内訳は、六角形を呈する金具6点、その半裁形の台形状を呈した金具2点、破片1点である。表面は風化により白色を呈する部分が顕著である。また緑色を呈する部分の多くは緑青サビであることが観察できた。ガラス光沢を持つ部分は褐色および緑色を呈している。金属器胎に金属板で植線された六花弁形の仕切りがあり、その周囲を七宝釉で埋めている。植線および器胎縁の上面部は部分的に金色を呈している。また顕微鏡観察から半裁形の台形の長辺部側面にも金色部分が残存していることが明らかとなった。植線の厚さは、鍍金が残存している部分では平均で約0.59mm、幅は約2.0mmである。金属器胎の断面の観察から、底部分の厚さは平均約1.0mm、縁部分の高さは約3.1mmである。測定箇所により若干値が異なるが、金属部分の腐食の影響が考えられる。

3:結果と考察

透過エックス線撮影は、FUJIFILM製 μ FX-1000,BAS5000を使用して撮影をおこなった。この手法は拡大撮影が可能であり、さらにIP(イメージングプレート)を使用し高精細な画像を得ることができる。七宝釉中の気泡から、色調によって気泡の在り方が異なる傾向が観察された。また白色風化している部分では貫入が顕著に観察できる。風化生成物については、非破壊分析が可能なエックス線回折装置PANalytical製XpertMPDにて測定をおこなった。白色を呈する部分では $PbCO_3$ (Cerussite)を顕著に検出した。化学組成に関してはEDAX製EAGLEIIIにて分析をおこなった。定量分析では、ガラス標準試料(10種類)を用いて検出元素を各酸化物にし100wt%になるよう規格化しFP法にておこなった。また各元素のマッピング測定を実施した。金属器胎および植線の金属板は銅であり、金色部分からは金および水銀を検出したため、アマルガムの可能性が考えられる。七宝釉の化学組成は、比較的風化の影響が少ないと顕微鏡下で観察された部分で実施した。測定値はばらつきの大い結果となったものの、二酸化珪素(SiO_2)は平均約36wt%、酸化鉛(PbO)は約47wt%であった。その他の酸化物ではアルミナ(Al_2O_3)を平均約6wt%含有していることが特徴的である。色材としては、緑色部分からは酸化銅(CuO)を、褐色部分からは酸化鉄(Fe_2O_3)を多い箇所では約4wt%含有している。過去の分析結果と比較したものを表1に示す。値はすべて平均値である。参照した遺跡としては7世紀ガラスは宮地嶽古墳・塚廻古墳、7世紀の鉛釉陶器はアカハゲ古墳・塚廻古墳、8世紀のガラスは薬師寺本尊台座内・大飛鳥祭祀遺跡出土・正倉院、8世紀の鉛釉陶器は平城宮跡・川原寺・一乗院址・鳥坂寺址・四天王寺である。今回の結

果と比較すると、酸化鉛の含有量はやや少ない傾向があるが、アルミナを数%含有している点など、ガラスよりも鉛釉陶器の化学組成と類似しているといえる。

今回の分析結果は非破壊分析ではあるものの、七宝釉葉の特徴を示すことができた。今後は事例報告によるデータの蓄積から、7世紀における国産ガラス、鉛釉陶器の研究に関する比較研究を継続しておこない、当時の特徴を明らかにしていきたいと考えている。

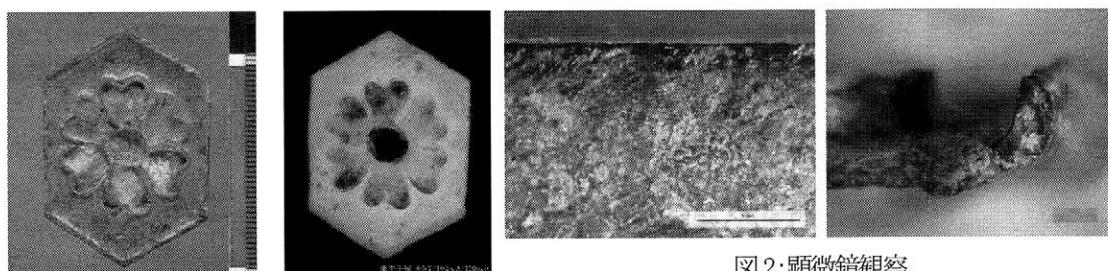


図1:透過X線撮影
六花卉の周囲に気泡が散在している。

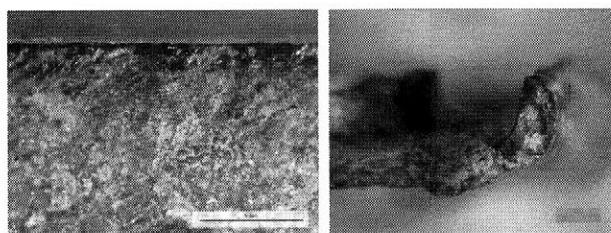


図2:顕微鏡観察
(左:半裁形の側面の鍍金部、右:器胎部の断面)
断面の観察から、器胎縁部が器底部と連続している部分も観察できる。

表1:過去の分析結果との比較(wt%) - :データ記載がないもの

出土遺跡等	SiO ₂	PbO	Al ₂ O ₃
牽牛子塚古墳	35.6	46.9	5.8
7世紀鉛釉陶磁器	-	54.9	2.4
8世紀鉛釉陶磁器	-	50.9	1.5
7世紀ガラス	26.4	72.8	0.2
8世紀ガラス	27.9	67.7	0
正倉院ガラス	26.7	70.4	0.2

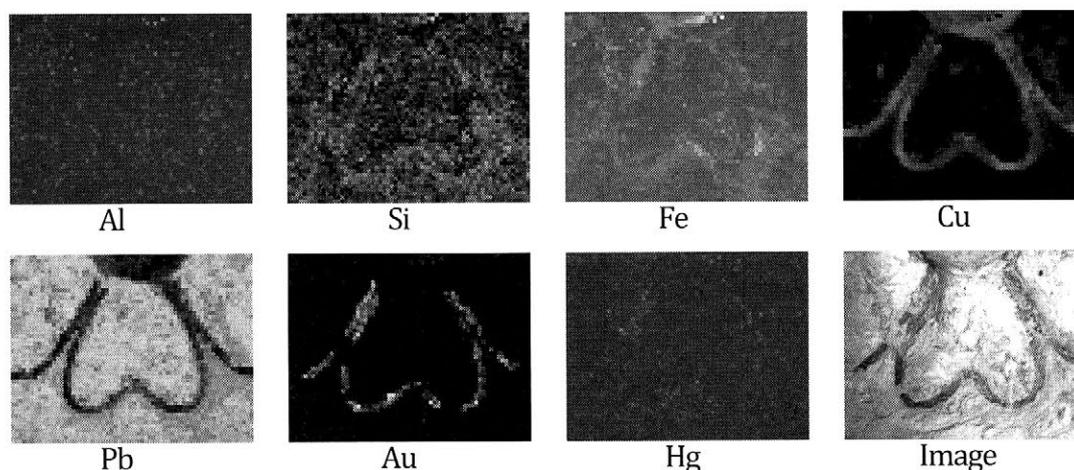


図3:蛍光X線分析 (マッピング測定結果)

金と水銀が同位置から検出されている。七宝釉は風化のため全体に白色を呈しているが、六花卉の外側は鉄を、内部は銅を検出しているため、この金具は花卉が緑色、その周囲は黄褐色であったと考えられる。

参考文献: 史跡牽牛子塚古墳(明日香村教育委員会、1982)、古文化財の科学(山崎一雄著、思文閣出版、2002)、日本の美術 322 七宝(至文堂、1993)、正倉院宝物黄金瑠璃鍍背十二稜鏡の模造について(正倉院紀要 24 号、2002)

東南アジア大陸部の稲作農耕民の覆い型野焼きにおける 焼成温度プロファイルの違いを生み出した要因

○小林正史 (北陸学院大学)

覆い型野焼きの種類と焼成温度プロファイル

本研究の目的は、東南アジア大陸部(タイ、ラオス、中国南部)の7つの土器作り村における焼成データに基づいて、覆い型野焼きの温度プロファイルの違い、および、その背景となっている「覆いの密閉度」と「燃料の量の違い」を生み出した要因を明らかにすることである。

野焼き類型： 稲作農耕民の野焼き方法(窯以前)は稲ワラによる覆いにより窯状の構造を作り、比較的少なめの燃料で効率的に焼成することが特徴である。稲ワラは、着火材、熱源、窯状の覆いの形成(稲ワラは、堅牢な植物珪酸体を多く含むため、筋状の構造が焼成終了時まで維持される)、という多様で重要な役割を果たす。東南アジア・東アジアの中でも、芋類が主食で水田稲作の重要性が低い台湾ヤミ族やフィリピン・ミンダナオ地域では開放型野焼きが多いことから、覆い型野焼きは水田稲作と結びついているといえる。覆い型野焼きは、覆いの密閉度と「土器 1 個あたりの燃料(薪・竹・ワラ)重量」の組み合わせにより類型化できる。覆いの密閉度は、「点火後にワラを掛ける超低密閉型」→「ワラのみで被覆材がない低密閉型」→「灰や泥で覆う高密閉型」の順に密閉度が高まる(表のc)。土器 1 個あたりの燃料重量は、燃料多用型(1個あたり4kg 以上が主体)のモー村、燃料中間型(2~4kg が主体)のモンカオケオ・ドンチック村・ブクドン村・マントウ村・曼乍村、燃料節約型(2kg 未満が主体)のハンケオ、に区分できる(表のd~f)。以上より、低密閉・燃料多用型のモー村、低密閉・燃料中間型のドンチック・曼乍村、高密閉・燃料節約型のハンケオ、高密閉・燃料中間/多量型のモンカオケオ・曼斗村、に類型化される(表のb)。高密閉の覆い型は少なめの燃料で効率的に焼成できるので、高密閉・薪多用型の例はない。

焼成温度プロファイル： 最高温度は野焼き類型と相関を示さない(表のp)。一方、「700°C以上維持時間」は、高密閉・薪中間型のモンカオケオ村・曼斗村では大半が 2.5 時間以上の長めなのに対し、低密閉型のモー・ドンチック・ブクドン・曼乍村と高密閉だが薪節約型のハンケオでは大多数が 1 時間未満である(表のr)。なお、ハンケオでは最高温度が 700 度以下のため「維持時間 0」の例が半数以上を占め、燃料多用型のドンチック村でも一定数存在する。なお、昇温速度は、燃料の量が同じならば密閉度が高いほど緩やかである(表のq)

野焼き類の違いを生み出した諸要因

覆いの密閉度の決定要因： 高密閉型(北タイ、および雲南の都市近郊型)と低密閉型(東北タイ・ラオス・雲南の農村立地型)の違いを生み出した要因として、「雨季対策の有無(前者では雨季でも焼成)」(表のn)や「薪燃料入手コスト(前者では高い)」(表のi)があげられる。前者については、東北タイでは雨季は農業に専念するため土器焼成を行わないのに対し、雨季にも焼成を行う北タイや雲南・曼斗村では屋内(屋根の下)でできる高密閉型が適する。北タイと雲南の都市近郊型の土器作り村では、水田を保有しない(または保有しても少ない)土器作り世帯が多いため、年間を通して土器を作る工人の比率が高い。また、北タイの農村立地型のモンカオケオ村も含めて、燃料節約型の3村では夫の関与なしで土器作りができるため(表のh~m)、雨季でも米作りと並行して土器作りを行うことができる。一方、大量の薪の調達や配置などに夫の関与が必要な東北タイでは、夫が米作りに専従する雨季には土器焼成ができないが、農業を行えない乾季では夫の手伝いを得ることができる。

後者については、薪燃料獲得コストが高いほど、少ない薪燃料で効率的に焼成できる高密閉型が適する(表のi)。また、1回の焼成土器数が多い場合は、低密閉の方が適する(表のg)。

薪多用型か節約型かを決定する要因： 低密閉型の中での燃料多用型(東北タイ中部)と中間型(東北タイ南部、ラオス、雲南曼乍)の違い、および、高密閉型の中での燃料中間型(モンカオケオ、雲南曼斗)と節約型(ハンケオ)の違いを生み出した要因として、薪燃料の得やすさ(表のi)と1回の焼成個数(表

のg)があげられる。前者については、村内や周辺から容易に薪を調達できる農村立地型よりも、都市近郊型の方が薪燃料獲得コストが高い。さらに、必要とする薪の量が多いほど、薪燃料の調達と野焼き時の大量の薪の配置における夫の関与が重要となるが、都市近郊型では乾季でも夫が農業に専従したり、他の仕事を持つため、夫の関与を期待できない場合が多い(表のi~k)。

まとめ： 以上より、覆い型野焼きのバリエーションを生み出した要因として「薪燃料の得やすさ」、「男性(夫)の土器づくりへの関与度合い」、「雨季に焼成するかどうか」、「1回の焼成個数(生産規模)」などがあげられること、および、これら4要因も相互に関連していることが示された。

	ラオス西部・ブク ン村	東北タイ・南部ドン チック村	東北タイ・中部 モー 村	北タイ・ハンケオ	北タイ・モンカオケオ	雲南・曼斗村	雲南タイ族・ 曼作村
a. 立地	農村	農村	農村だが、主要国道 沿い	都市近郊	農村	都市近郊	農村
b. 野焼き 類型	超低密閉・燃料中 間	超低密閉・燃料中間	超低密閉・燃料多用	高密閉・燃料節約	高密閉・燃料中間/ 多用	超高密閉・燃 料中間	低密閉・燃料 中間
c. 密閉度	被覆材がないため ワラ多め	被覆材がないため ワラ多め	被覆材がないため ワラ多め	被覆材が灰のため ワラがとても少なめ	被覆材が灰のためワ ラやや少なめ	泥で高密閉。 ワラは少なめ	被覆材がない ためワラ多 め
d. 1個当り 燃料重量	3~5kgが標準	2~3kgが標準	4kg以上が主体の燃 料多用型：薪・ワラと も多い	2.1以下が主体：3 以上の1例は小規 模焼成	2~5kg。密閉度が高 く、薪量の変異幅が大 きい	3~4kg	3~4kg
e. 1個当 たり薪重量	やや多め(1.2k以 上)	1.1~1.6kg。3kg以 上の1例は小規模焼 成のため	1.5~3kg以上が主体 だが1~1.5kgも数例 あり	薪節約型で0.2~1. 5kgに分布	1.5~3.5kgが標準。6k g以上の1例は焼成時 間の異例に長め	3kgと薪を多用	薪中間型で1 .2kg
f. 1個当り 炭重量	ワラ多め(1.5~3kg)	ワラ多め：1.2~1.7 kgが主体	ワラ多め：1~2.5kg が主体	ワラ最も少ない：0. 2~0.8kg	0.5~1.2kgが主体	0.8kg	ワラ多め：2 kg弱
g. 1回の焼 成個数	少なめ 14.3個	大規模 60~120個 平均73.7個	大規模 40~100個 平均70個	中間 平均50.2個	多め 50~120個 平均83個	少なめ 26個	少なめ 12個
h. 粘土入 手方法	水田から各世帯が 採掘	隣村の水田から各 世帯が採掘	各世帯で湖底から採 掘	業者から購入	業者から購入(隣村の 山地から採取)	各世帯で水田 から採取	各世帯で採 掘
i. 薪燃料 の量と得 やすさ	竹主体 村内に豊富	農村部に立地し、か つ、男性が土器作り に関与するため、薪 中間形の焼成	農村部に立地し、か つ、男性が土器作り に関与するため、薪 多用型の焼成が可能	都市近郊に立地し 、かつ男性の関与 が少ないため、薪 入手コストが高い	1990年代に工場から 竹を安価に豊富に入 手できるようになったた め、燃料多用型に変 化	曼斗村のよう に硬質の焼き 上がりを求める ため、多め	農村に立地 するため薪 は豊富
j. 燃料獲 得方法	夫が採取	夫が採取	夫が採取	購入+自給	業者から購入	購入	自給
k. 野焼き 担当	夫も時々関与	夫も時々関与	常に夫が関与	夫は関与しない 主婦単独で野焼き	夫は関与しない 互いに手伝いあう	夫は関与しな い	夫は関与し ない
l. 土器の 販売	夫が行商	夫が行商	夫が行商+トレー ダーに渡す	トレーダーに渡す	トレーダーに渡す	トレーダーに 渡す	直接注文に 応じて作る
m. 夫の関 与	やや高い	やや高い	高い	低い(なし)	低い(なし)	?	?
n. 焼成時 期	雨季は野焼きしな い(雨季対策不要)	雨季は野焼きしな い(雨季対策不要)	雨季は野焼きしな い(雨季対策不要)	通年野焼き 雨季対策必要	通年野焼き 雨季対策必要	通年野焼き 雨季対策必要	雨季は野焼 きしない(雨 季対策不要)
o. 焼成過 程	やや高温でやや短 め	やや高温でやや短 め	高温で短時間	低温で短時間	高温で長時間	温度中間で極 めて長時間	高温で短時 間
p. 最高温 度	750~900まで多様	650~900まで多様。 高温の方が1個当り のワラが少	850~900	500~800度が主体	700- 900度が主体。800度 以上が半数近くある	800度弱	800度台
q. 昇温速 度	風上側から風下側 へと焼成が移動す るため、最高温度 到達時間が地点に より大きく異なる。 風上側では25- 40分が主体	風上側から風下側 へと焼成が移動す るため、最高温度到達 時間が地点により大 きく異なる。風上側 では30-60分が主体	風上側から風下側へ と焼成が移動するた め、最高温度到達時 間が地点により大き く異なる。風上側では3 0分未満	30分~2時間が主 体。3時間以上の2 例は、竹よりも薪を 多用	3時間以上が標準。2 時間未満の1例はピー クが2カ所ある	30時間以上と 長め。被覆材 が泥であり、密 閉度が高いた め	20分程度と 短め。被覆 材がなく、密 閉度が低い ため
r. 700℃以 上維持時 間	30分未満で、最も 短め	1時間未満と短め	30分未満で、最も短 め	30分未満が主体で 、最高温度が700℃ に達しない例も半 数近くある	2.5時間以上が主体で 、曼斗村と共に最も長 め	3時間と最も長 め	30分未満で 、最も短め

豊岡遺跡出土の漆塗膜とアスファルトの分析

○神谷嘉美（地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター）

八木勝枝（岩手県立博物館）、宮腰哲雄（明治大学理工学部）

1. はじめに

縄文時代に使用されている黒色物には漆、アスファルト、炭などがある。漆は古来より塗料や接着剤として用いられてきた。一方、天然アスファルトは主に接着剤として使われ、日本では北海道から日本海側の秋田県や山形県、新潟県などで産出していた。天然アスファルトはある程度加熱することで液体状態へと変化するため、縄文後期後半から晩期にかけては石鏃や骨銛などの接着、破損した土器や土偶の補修などに利用された。天然アスファルトはこのように様々な場面で利用されていたが、通常では黒色の光沢を有する固形物であり、漆と混同されることも少なくない。また産地同定に関しても既存の手法の場合、溶解したのち抽出作業を行ってから分析するという3段階の手順を踏まなくてはならないため、ある程度の試料量を必要とする。

しかし前報の野地遺跡から出土した遺物の分析により、熱分解—ガスクロマトグラフ/質量分析[Py-GC/MS]を利用することで、出土遺物に付着する黒色物を比較的簡易に区別できる可能性が示唆された。そこで今回、岩手県豊岡遺跡より出土した遺物から黒色物が付着（塗布）されている数点を対象として、FT-IR（KBr法）やPy-GC/MSといった科学分析を行い、同様の傾向を得られるか検証した。漆が含まれるどうかの判断材料としては、主成分のウルシオールに着目した。天然アスファルトの分析については小笠原正明らが産地同定を試みたのを皮切りとして、広く行われるようになり、種々のステラン誘導体（炭素数27~30）がアスファルトの成分として認められている。そこでステラン誘導体に注目し、得られた情報を解析した。

2. 試料

今回対象とする豊岡遺跡は、北上川上流域を代表する亀ヶ岡文化の遺跡であり、遮光器土偶をはじめ数多くの縄文時代晩期の土器などを出土している。そのうちのいくつかの土器片には、黒色物が付着しているものが存在しており、本稿では以下の2試料について報告する。

1つ目の試料として外側に文様が施されている土器皿（図1）を取り上げる。この内側面には、黒色の塗膜が付着しており、これを削って試料Aとした。2つ目の試料は、試料B（図2）は注口土器のそそぎ口部分が失われているものである。上部の切断面には頭部を接着していたものと思われる黒色の物体が付着している。この黒色物を採取して分析試料Bとした。

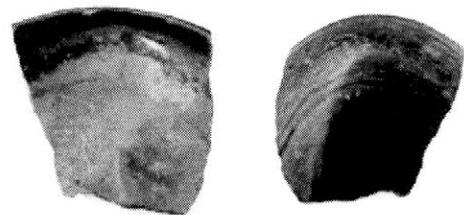


図1 試料A（左：内側、右：外側）

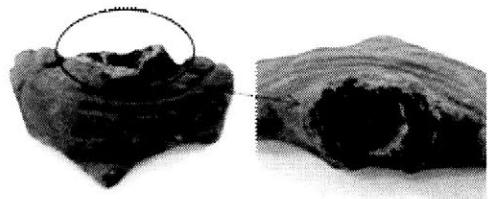


図2 試料B（左：全体、右：）切断面

3. 結果と考察

3-1. FT-IR

各試料の赤外線吸収スペクトルを図3に示す。標準的な漆膜（中国産素黒目漆・3年間保管したもの）や柳之御所遺跡より出土した漆紙のIRスペクトルと比べてみても、大きな差異は見られなかった。試料A・Bともに、不飽和を含む炭素鎖とエーテル結合を含んでおり、 1600cm^{-1} 付近のピークに若干の違いがある。しかしFT-IRのみではこの2つの試料を異なるものと判断しにくいと思われる。

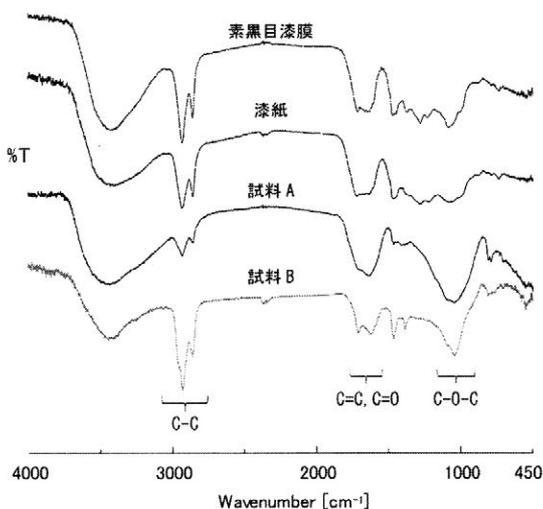


図3 各試料のIRスペクトル

3-2. Py-GC/MS

標準的な漆膜と試料Aおよび試料Bについて、 m/z 108と m/z 57のマスプロトグラフィーを図4に示す。 m/z 108はアルキルフェノール類の存在を示すものである。試料Aは標準漆膜と同じスペクトルであるのに対して、試料Bは異なるスペクトルとなっていた。次に m/z 57（炭化水素類）について着目して解析したところ、試料Aはアルキルフェノール類と同様に標準漆膜と類似するスペクトルとなったが、試料Bではより広範囲にスペクトルが分布していた。また試料Bのトータルイオンクロマトグラムからは、炭素数27~29の様々なステラン誘導体が確認された（図5）。これらのことから、試料Bは漆ではないと判断した。

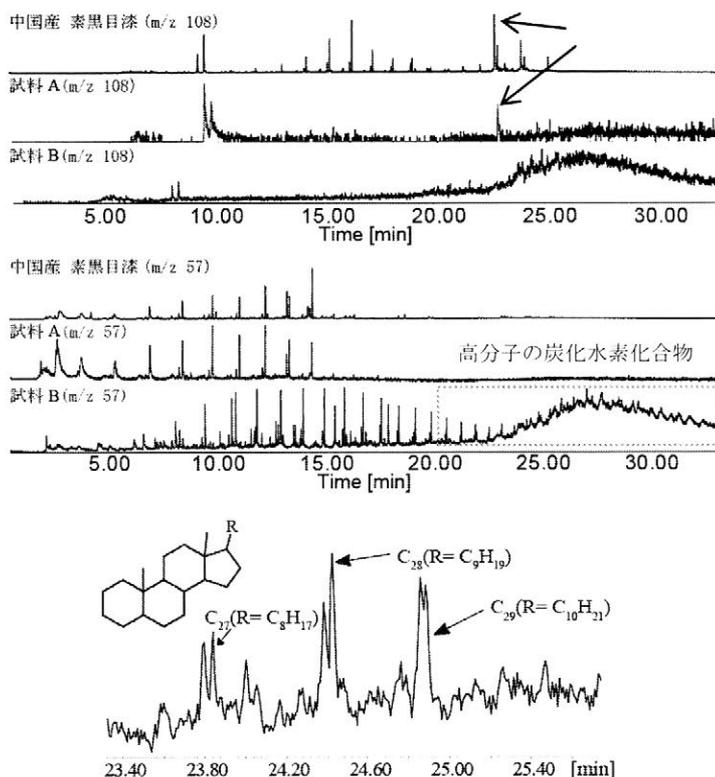


図5 ステラン誘導体類が検出される部分のTIC

4. おわりに

天然アスファルトは天然由来の炭化水素のため、非破壊分析の科学的分析手法としてよく用いられるFT-IRでは、漆と判別が付きにくい場合がある。そこでPy-GC/MSを用いて、ウルシオール由来のフェノール類が見られない点、炭素数27~29の様々なステラン誘導体が確認された点から、試料Bは天然アスファルトであると特定した。これらの分析結果の傾向は、野地遺跡より出土した黒色物の分析結果と一致するものである。判別の困難な出土遺物には、Py-GC/MSを用いた方法と組み合わせることが有効と考えられる。

シンクロトロン放射光 X 線トモグラフィーを用いた 神像、木彫像の樹種識別調査

○水野(田鶴) 寿弥子 (京都大学生存圏研究所), 杉山 淳司 (京都大学生存圏研究所)

要旨

戦国安土桃山時代は、中世から近世への転換期に位置し動乱期でもあった。このような時代に主に作製された仏像や神像は信仰の体現でもあり学術的に非常に深い意味をもつ。現在まで、木彫像の樹種識別調査は様々行われてきているが、神像についての樹種識別調査はまだ多いとは言えない。今回は滋賀県をはじめとして近畿・中部地方における神像、木彫像の樹種識別調査を行った。これら樹種識別用の不可避免的に得られた破片は大変小さく、徒手切片の作成が非常に困難なものが多かった。そこで徒手切片作成が不可能である極小サンプルについては今回新しい方法である、兵庫県に位置する世界トップレベルの加速器施設 SPring-8 において、シンクロトロン放射光 X 線トモグラフィー (SRX-ray μ CT) を用いた樹種識別法を試みた。その結果、カヤやヒノキが多いという識別結果が得られた。今後さらに多くの神像などの木彫像の樹種識別調査に SPring-8 を適用し、さらに多くのデータの収集を行うことを目標としている。

試料

滋賀県安土城博物館より依頼を受けた木彫像・神像約 30 点 (詳細については、学会時に発表する) について、不可避免的に得られた遊離片などを試料とした。徒手切片作成が可能な大きさであったサンプルについては徒手切片を作成し、それ以外のサンプルについては、シンクロトロン放射光 X 線トモグラフィーでの試験に供した。

方法

電子を光とほぼ等しい速度まで加速し、磁石によって進行方向を曲げた時に発生する、細く強力な電磁波である放射光を用いた高分解能 CT 像の撮影は、兵庫県播磨の大型放射光施設 (SPring-8) の医用ビームライン BL20XU で行った (課題番号: 2009B1093 ならびに 2009B1981)。サンプルホルダーに直径 0.7 mm、長さ 0.5 mm 程度のサンプルを固定し、サンプル台ごと 180 度回転させながら透過像を撮影した。透過像は、等倍率で 2000×1300 pixel ($0.5 \mu\text{m}/\text{pixel}$) の高精細カメラを用いて 0.1 度回転角刻みで 1800 枚撮影した。透過像より必要な補正を行った後、back filtered projection 法により断層像 (Z 方向 1300 枚) を再生した。像の変換や再生は BL20XU で開発されたコマンドラインプログラムを用い、また画像の解析や表示には Slice や ImageJ を用いた。一般的に光学顕微鏡を用いた樹種識別においては、解剖学的特徴により、木材の属レベル (時には種まで) の識別が可能である。

結果と考察

シンクロトロン放射光 X 線トモグラフィーと光学顕微鏡による樹種識別を行った結果、カヤとヒノキ科の樹種が多用されていることが判明した。詳細については学会発表にて報告する。従来、木材解剖学では、年輪等の木材内部観察などに汎用型 X 線 CT が使用されてきた。しかし汎用型 X 線 CT では、年輪情報を得るのに十分な解像度ではあると考えられているが、樹種同定に必要とされる木材微細構造を調べるだけの空間および濃

度分解能が不足しているというのが現状である。近年は、シンクロトロン放射光 X 線トモグラフィー (SRX-ray μ CT) により、より微細な組織観察が可能となり、例えば木材内部における水分通道部位の解明や、シンクロトロン顕微トモグラフィー: TOMCAT (Tomographic Microscopy and Coherent radiology experiments) beamline を用いた広葉樹の木材解剖学的特徴の観察、sub- μ CT による菌糸に覆われた Pine 辺材の微細構造観察などがある。このように、木材に μ CT を適用することにより従来不可能であった、木材表面の状況によらない、木材内部の任意の面での三次元情報が有効に得られることがわかってきた。本研究では SRX-ray μ CT のビームライン BL20XU を用いて、木質文化財由来の様々な極小サンプルによる樹種識別調査法の確立および適用を試みたが、識別調査に大変有益であることが判明した。

木質文化財の従来の樹種識別調査法では、徒手による切片作成・プレパラート作成・組織観察などが必要であったため、特に木質文化財の樹種識別においては得られるサンプルの形状が小さいこと・虫害などによる劣化が激しいものが多いことなどが問題であった。しかし、本手法では直径 0.7mm、長さ 0.5 mm 程度の極小サンプルにも適用できる他、木製文化財由来の破片で多くみられるサンプルの劣化状況に依存せず内部の三次元での組織観察が可能となった。従来の識別法においては、識別調査のためのプレパラート作成のためにサンプルを包埋させてしまうと、その後同サンプルによる科学的調査が不可能であるという点などが問題とされてきた。しかし、本手法では、 μ CT での撮影に供したサンプルはその後科学的分析などに使用することができるため、複合的な木質文化財の科学的調査が可能となる可能性を秘めている。放射光を用いた新しい樹種識別法で。今後、どのような分析が可能で、また必要とされているのか、さらに貴重な文化財を分析する正式なルール作りなど、数多くの課題を議論して解決しつつ前に進めることが重要と思われる。

謝辞

本研究は、高輝度光科学研究センターの課題研究 課題番号：2007B1544, 2008B1563, 2009B1093 ならびに 2009B1981 によって、ビームライン BL20XU において得られた成果に基づき纏めたものである。ここに銘記し謝意を表す。放射光実験に際しては(財)高輝度光科学研究センターBL20XU 担当の鈴木芳生博士、八木直人博士、竹内晃久博士、上杉健太郎博士に多大な協力をいただいた。並びに、多大なるご尽力くださった安土城考古博物館学芸員山下立氏に感謝する。

千葉県富津市所在 九条塚古墳出土遺物の再検討

一科学的調査を踏まえて

○杉本和江（古美術修理 すぎもと） 川本耕三（(財)元興寺文化財研究所
黒住耐二（千葉県立中央博物館） 伊藤伸久 小沢洋（富津市教育委員会）

1、はじめに

千葉県富津市に所在する九条塚古墳は、6世紀中葉に築造された前方後円墳であり、内裏塚古墳群中、盟主の系列に属する。1910年に発見され、須恵器・楕円形十字文鏡板付轡・金銅装大刀・玉類などが検出された。その後、1983年には測量調査、2009年には主体部の再調査が行われた。^{註1}また、同年に雲珠・辻金具の蛍光X線分析、同古墳出土と伝えられている貝製馬具についても調査を実施した。

2、成分分析と実体顕微鏡観察による調査

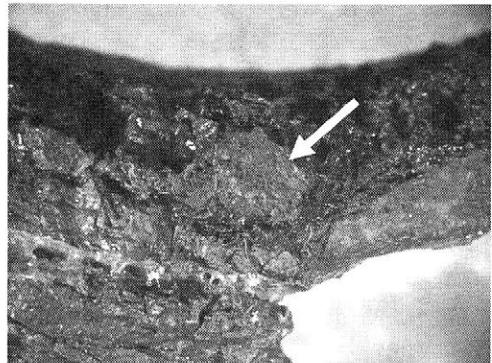
蛍光X線分析：エネルギー分散型ケイ光X線分析装置（セイコーインスツルメンツ（株）製SEA5230）

実体顕微鏡観察：キーエンス（株）製VHX-200

①馬具

中央部に貝を装填したと考えられる貝装雲珠・辻金具各1点が出土している。^{註2}雲珠・辻金具ともに同一の造りだが、現在、ともに貝は失われており痕跡も見られない。金属部分は鉄地に銅板の縁を折り返して着せる。外面からは水銀および金が検出されていることからアマルガム鍍金が施されていたと考えられる。鉾と雲珠責金具からは銀が検出されており、銀を着せていたことがわかる。

なお、辻金具裏面に一か所だけ赤色顔料がみとめられ、水銀が検出された。金銅装部分でもない事から、水銀朱と推定した。



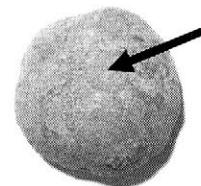
辻金具 裏面の赤色顔料

②礫

5cm弱の礫で、床面に敷かれていたものと思われる。肉眼観察で赤く見えた事から、調査を行った。赤色の強い部分と、赤くない部分からの検出元素を比較すると、後者から鉄がやや強く検出された。人為的に赤色が使われたとすると、ベンガラであると考えられる。

辻金具で水銀朱が検出されており、2種類の赤色顔料が使用された可能性がある。^{註3}

1910年に本古墳が発掘される契機となったのが、「朱の付着した石」が見つかった事とされる。但し、09年の再調査で、石室は大幅に破壊され、原型をとどめていないことが判明し、赤色塗彩に関しては未だ不明である。内裏塚古墳群内及び周辺地域等においても、明確な事例



09年調査により検出した礫に見る赤色顔料

は確認されていない。

また、09年に検出された礫の内、赤色顔料の付着した割合は多くなく、全てのものに見られるわけではない。従って、木棺等に塗られた顔料が二次的に石に付着した可能性もあると考える。^{註4}

③貝製馬具

鉄地金銅装馬具などとともに保管されていた。中央部が穿孔されており、金銅製の飾り金具を伴っていたと考えられる。黒住氏の観察により、斑紋が認められ、「アンボンクロザメ」であることがわかった。



貝製飾金具^{註5}とも称され、貝を本体とした馬具であり、②の貝装辻金具に装填されていたとは考えない。なお、内裏塚古墳群内では同じ形式の遺物が、蕨塚で4個体、姫塚で3個体、(伝)内裏塚古墳群出土として1個体が存在している。

3、まとめ

九条塚古墳は発掘されて、1世紀が経過した。わずかな部分ではあるが、科学的調査による新たな発見となった。これらの成果は、同古墳の位置付け等について、今後重要な資料となると考える。同古墳には未だに科学的調査を行っていない遺物もあり、今後さらに実施する必要があると考えている。

註1 小沢洋 「九条塚古墳の再検討—飯野小学校保管遺物を中心に—」『研究紀要IV』君津郡市文化財センター 1991年

なお、九条塚古墳に関する発掘経緯、出土遺物などは本文献に拠った。

富津市教育委員会 「九条塚古墳」『富津市内遺跡発掘調査報告書』2009年

註2 大久保奈奈 「イモガイと飾り鉾」『古代探叢IV—滝口宏先生追悼考古学論集』同論集編集委員会 他 1995年

註3 河野麻耶氏より、同一墓室内で2種類の赤色顔料が使われる可能性があるとのことご教示を受けた。
本田光子 「古墳時代の赤色顔料」『考古学と自然科学』第31・32号 日本文化財科学会誌 1995年

註4 前掲註1 『調査報告書』

註5 宮代栄一 「いわゆる貝製雲珠について」『駿台史学』76号 駿台史学会 1989年

調査・検討にあたってご配慮ご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。(順不同)
大久保奈奈 笹川龍一 海邊博史 河野一隆 白井久美子 田中新史

大阪府箕面市箕面経塚出土鏡についての検討

○清水 梨代（(財)長野県埋蔵文化財センター）、○森井 貞雄（大阪府教育委員会）、
箕面市教育委員会

はじめに

和鏡は出現そのものが日本の鏡生産における大きな画期であっただけでなく、日本の古代末から中世における社会システムや種々の製品流通の転換期とも軌を一にしており、当時の社会と密接につながっていたものと考えられる。大阪府下においては確実な経塚出土資料は希少であり、箕面経塚出土品はその数少ない事例である。今回、本経塚出土品が府指定品となるにあたって再調査を行い、このうち青銅製品である銅鏡3面についてはあわせて科学分析を行った。

調査方法

調査手法としては対象資料の外観的特徴から制作時期を推定することを目的に、従来の考古学的、美術工芸史的手法による観察を行い、さらに対象資料の材質を把握することを目的として蛍光X線分析による元素分析を実施した。

【測定条件】

〔測定機器〕 奈良大学保存科学研究室設置 エネルギー分散型微小部蛍光X線分析器

(エダックス, inc 製 (Eagle XXL NR))

〔測定条件〕 電圧-管電流; 35Kv-550 μ A 測定時間; 300秒 大気環境; 真空

管球; クロム(Cr) コリメーター; 0.1mm 測定箇所; 各5~10箇所

* 水素(N)~ナトリウム(Na)は分析器の機能上分析が困難であり、クロム(Cr)は管球に使用されている為、正確な測定値を測定することが困難であることから、測定対象から外した。

調査資料の遺跡の概要

箕面経塚は、昭和9(1934)年2月16日に、箕面市の箕面公園回遊道路開設工事の折に不時発見された経塚である。発見された地点は箕面大滝の上流、杉の茶屋と谷を隔てて相対する尾根の裾とされており、箕面川に沿って南北に広がる箕面公園の北端近く、箕面山の北東方向に当たる。この場所は箕面寺(現瀧安寺)の旧境内地にあたることから、本経塚は箕面山一帯が『梁塵秘抄』や『今昔物語』で「聖の住所」と称された山林修行の霊場として隆盛していたことを示す一端であると考えられる。経塚は戦前の不時発見であるこ

とから、遺構の全容および出土状況については不明であるが、褐釉壺1点、青白磁合子2点、青白磁小壺1点、銅鏡3面、銅銭4枚が経塚副納品として今日まで伝えられている。

結果

I 考古学的・美術工芸史的観察

法量（単位はmm）

瑞花双鳥八稜鏡

鏡面径；112.5 縁高；4.5 鏡胎厚；（内区）2.0（外区）2.5 鈕高；3.0

流水水草蝶鳥鏡

鏡面径；110.0 縁幅；1.5 縁高；8.0 鏡胎厚；1.0 鈕高；3.5

桜花双鳥鏡

鏡面径；77.0 縁幅；2.5 縁高；4.5 鏡胎厚；1.5 鈕高；2.0

瑞花双鳥八稜鏡は八葉座素円鈕、外区が内区よりもやや厚い段界圏をもつ唐式鏡である。文様は外区に草花文、内区に鈕を中心として上下に瑞花、左右に鳳凰または鴛鴦と考えられる双鳥をシンメトリーに配する。全体的に文様の形骸化が進んでいるだけでなく、踏み返しによる鑄造であり、鑄出しも極めて悪い。流水水草蝶鳥鏡の鏡式は振菊座截頭円鈕と中線単圏の界圏を持つ中縁直角鏡である。鈕や界圏を無視し、鏡背を1枚の画布とした文様構成で、水辺を主題とした文様が精緻で流麗な篋押しにより描かれている。また、本鏡を経塚に埋納する際に鏡背に書かれたと思われる墨書の痕跡が認められる。桜花双鳥鏡の鏡式は菊座截頭円鈕と中線単圏の界圏をもつ周縁の低い中縁外傾鏡である。鈕を中心として2羽の鳥を上下に配し、界圏に沿って円状に桜花を配する。湯口側の文様の鑄出しは極めて不明瞭であるが、鑄出しの良好な側では肉高で、精緻な篋押しにより文様が描かれていたことが確認できる。なお、全体的にシャープで精良なつくりである流水水草蝶鳥鏡と比較すると桜花双鳥鏡は鑄掛が数か所認められるだけでなく、湯口側の周縁がいびつで文様の鑄出しが悪いなどつくりそのものにやや稚拙な点が認められる。

II 元素分析

和鏡2面からは主成分として銅・錫・鉛が、微量成分として砒素・銀・水銀が検出された。八稜鏡からは主成分として銅・錫・鉛が、微量成分として砒素・銀が検出された。

おわりに

今回の再調査の結果、箕面経塚出土鏡の銅鏡には八稜鏡と和鏡の間に時間差があることだけでなく、2面の和鏡の間にも鏡式や技法の側面から明らかな差異があることが分かった。また、和鏡への過渡期の鏡である瑞花双鳥八稜鏡の科学分析を行うことは日本における鏡の鍍錫のはじまりを明らかにする上において重要なことである。以上のことから今回、和鏡2面だけでなく、八稜鏡の科学分析を同時に行えたことは大きな成果であった。

大分県宇佐神宮で鎌倉期に用いられた神輿障子絵の顔料調査

○石川 優生*¹, 山田 拓伸*², 井上 大樹*³, 平尾 良光*¹

(*¹別府大学大学院, *²大分県立歴史博物館, *³文化庁)

1. はじめに

宇佐神宮は大分県宇佐市に位置し、神仏習合を代表する神宮で、八幡信仰の歴史に大きな意味を持つ。宇佐神宮の一殿、二殿、三殿それぞれに神輿が存在し、その神輿の内側に障子絵が取り付けられていたが現在、障子絵は神輿から取り外されて屏風仕立てに表装されている。現存する障子絵は鎌倉時代の徳治年間（1306-1308）、室町時代の応永年間（1394-1428）に制作されたとされる*¹。今回、現存する障子絵のうち大分県立歴史博物館が所蔵する 10 面に関して、蛍光 X 線分析法を用いて顔料調査を行った。

2. 対象資料

宇佐神宮の神輿障子絵には法華経に関する主題を描いており、神が乗られる神輿に仏を描いている点から神仏習合を意味する資料として貴重であり、国の重要文化財に指定されている。一殿神輿には方便品、提婆達多品、如来寿量品、二殿神輿には譬喩品、靈鷲山説法、三殿神輿には妙莊嚴王本事品、靈鷲山説法を題材としている。

調査した障子絵 10 面のうち、8 面が鎌倉時代の徳治年間（以下「徳治本」）に、2 面が室町時代の応永年間（以下「応永本」）に制作された障子絵である。顔料の保存状態は良く、はっきりと顔料を確認することができる。応永本は徳治本を手本として掛かれたとされ、図様も一致する。この点を考慮し、徳治本と応永本の制作時期の違いが顔料にあるのかどうか検討した。

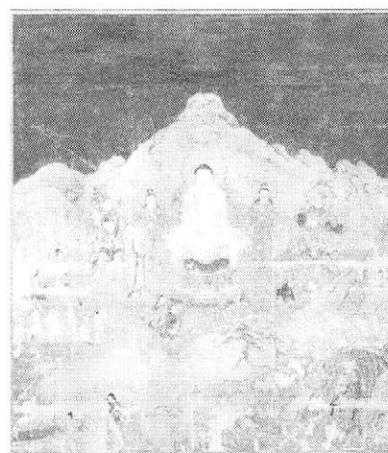


写真1 障子絵（徳治本）

3. 結果

蛍光 X 線分析に使用した装置は別府大学が所持する SII ナノテクノロジー（株）製可搬型蛍光 X 線分析計 SEA200 である。

測定箇所は全部で 866 箇所にあつた。徳治本と応永本とでは製作年代が異なるけれども、彩色材料に大きな違いは見られなかった。推測される彩色材料について、以下で色別に結果をまとめた。目視で観察できる彩色は白色、赤色、橙色、黄色、緑色、青色、黒色、金色、薄灰色であった。推測される顔料を表 1 にまとめた。

蛍光 X 線分析結果から伝統的な日本画の顔料が用いられていることがわかった。徳治本と応永本では使用された顔料に差異はないと考えられる。本分析から、緑色と青色について、緑色には緑青が、青色には群青が用いら

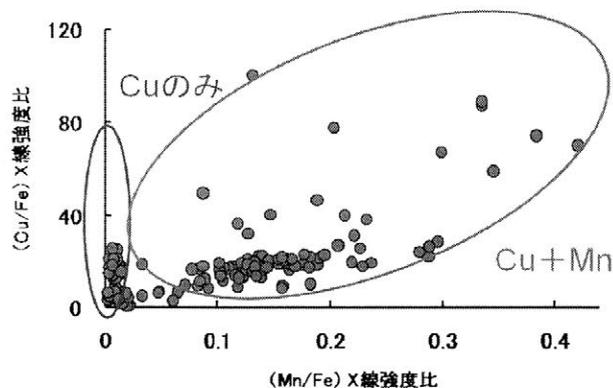


図1 緑色について（徳治本）

れており、この主成分である Cu (銅) に Mn (マンガン) が含まれている場合、Mn が含まれていない場合とがあった (図 1)。それら 2 種類の材料は原材料の鉱物に含まれる不純物の違いや、意図的に Mn を加えたのか、絵の図様によって使いわけたのか、などの可能性が考えられる。

最近の研究*²で緑青に Zn (亜鉛) や As (ヒ素) が含まれている例が確認されているが、今回わかった Mn が関係する 2 種類の緑青に関してはいまだ見つかっていない。これら緑青、群青の解明について、今後の研究に期待する。

白色について、美術史では鉛白は奈良時代にはすでに使用されており、鎌倉時代にも用いていたといわれるが、顔料調査では鎌倉時代や室町時代における鉛白の使用について研究が進んでいない。本調査で鉛白の使用が確認できたことから、鎌倉時代や室町時代における鉛白の使用が確認できたといえる。

目視観察で補彩されたと考えられる箇所から、江戸時代後期以降に登場するベロ藍 (プルシャンブルー) が確認された。このことから少なくとも補彩は江戸時代後期以降に行われた可能性がいえる。

蛍光 X 線分析結果から得られた各元素の X 線強度を用いて、X 線強度比を計算し分布図を作成し、その分布図から顔料を判別する試みを行った (図 1)。微量に含まれている元素を用いて比をとることで、緑色・青色顔料の材料の違いがあることを見出した。

6. まとめ

同じ色系の顔料であっても、化学組成から材料の違いが明らかになってきた。鎌倉時代や室町時代の顔料調査はあまり行われておらず、未知に等しい。今回の調査でこれらよく知られていない時代における顔料が確認できたことは、宇佐神宮における歴史の解明だけでなく、美術史の分野においても意義のあることと考えられる。

顔料が推定できたことで、当時使用された顔料が明らかになり、緑色と青色について材料の違いがわかった。このことについて、例えば、徳治本と応永本とで絵師が異なるため使用した顔料が違う可能性、原材料を採掘した鉱山が異なる可能性、意図的に材料を使い分けたとするならばその当時にあった技法である可能性などを、今回の調査で示唆できた。

参考・引用文献

- * 1 関口正之：図版解説 富岡美術館蔵法華経絵 (二幅)，「美術研究第」340 号 P232-234
- * 2 早川泰弘：銅系緑色顔料の多様性とその使用例，「保存科学」48 号 (2009)，P109-116

表 1 推測される顔料

白色	鉛白 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$) 胡粉 (CaCO_3)
赤色	朱 (HgS) 鉄酸化物 (Fe_2O_3) ?
橙色	鉛丹 (Pb_3O_4)
黄色	黄土 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) ?
茶色	染料? 鉄酸化物・ HgS ?
緑色	緑青 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) 染料?
青色	群青 ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) 主成分 Pb ? の何か ベロ藍 ($\text{Fe}_4(\text{Fe}[\text{CN}]_6)_3$) ?
黒色	墨 (C)
金色	金 (Au)
薄灰色	彩色なし

文化財染料の HPLC 分析による溶液分離成分の再分析の研究 ～FTIR 法による染料同定の研究～

○赤田昌倫(京都工芸繊維大学ベンチャーラボラトリー), 佐藤昌憲(奈良文化財研究所),
奥山誠義(橿原考古学研究所), 佐藤萌(京都工芸繊維大学大学院)

1. はじめに

古代から、糸や布を染色するという概念は、身分や階級の区別など、様々な考えの基に行なわれてきた。現在の「文化財の染料研究」は、古代の人々がどのような意図を持って多種多様の染料の中からその染料を選択したのか。という歴史研究の一環である。また、染料の同定作業を行なうことは、文化財資料の保存や再現に用いるために必要な研究である。

現在の染料研究や染料分析は、高速液体クロマトグラフィー(HPLC),紫外可視分光光度計(UV/VIS),蛍光分光分析(FL)などの機器分析が使用されている。それぞれ染料の研究において有効な機器分析であるが、初期段階の検討や、上記の機器分析の補助的な役割に関しては、赤外分光分析(FT-IR)が有効ではないかと考えた。本研究では FT-IR を使った分析方法において、どのような長所と短所があるかを検証し、染料分析の方法を提案する。

2. 研究目的

本研究の目的は、FT-IR による染料同定の有効性を検証することにある。具体的には、

- i) 抽出方法、抽出溶媒の選択
 - ii) 測定方法の選択
 - iii) HPLC 分析と FT-IR 分析結果の整合性
- HPLC 分離成分の FT-IR 分析方法の検討

これらについていくつかの実験を行い、適切な FT-IR による染料分析の方法を検討した。

3. 実験

今回は染料の中でも赤色系の天然染料に絞り、FT-IR による染料の区別が可能かどうかを検証した。また、西洋茜の HPLC 分離液について各成分の保持時間(RT)ごとのスペクトルの比較も行った。

3.1. 実験試料

Table.1 は試験布の染色条件の表である。3cm×3cm に裁断した JIS 規格の染色堅牢度試験布(絹)を使用し、各染色条件に従って染色布を作成した。

染色布はメタノールに浸漬し超音波洗浄機で 10 分程度染料を抽出した。この抽出溶液を分析試料とした。

*紅花抽出条件；20℃の蒸留水で 24 時間さらし、黄色成分(カルタミン等)を除去し、残渣について 3%の酢酸溶液で赤色成分を抽出し染液とした。

	水温(℃)	濃度(%)	時間
西洋茜	100	1	1時間
インド茜			
日本茜			
コチニール			
蘇芳	20	*	*
紅花			

Table.1 絹布の染色条件

	分析方法A	分析方法B
機器	島津製作所 IR Prestige-21	堀場製作所 FT-710
	顕微モード 反射法	液体セル ATR法*
分解能	8cm ⁻¹	
測定波数	4000-700cm ⁻¹	4000-400cm ⁻¹
積算回数	100	

Table.2 FT-IR の分析条件

*液体セルのプリズムは ZnSe を使用

機器	日立ハイテック HPLC L-7000
検出器	DAD検出器 L-7455
	蛍光検出器 L-7480
カラム	日立ハイテック LachromC18(5μm)
移動相	和光純薬 HPLC用メタノール

Table.3 HPLC の分析条件

3.2. 分析機器と分析条件

Table.2,3 は、各分析機器の分析条件の表である。本実験の検証には、FT-IR と HPLC を使用した。FT-IR の分析方法は、顕微 FT-IR 法と液体セル使用の ATR 法を選択した。

4. 結果と考察

4.1 染料抽出方法

染料の HPLC 分析を前提した場合、染料抽出にはメタノール溶液に HCl などを添加する。FT-IR の分析では、0.1mol/l HCl 10%以下の濃度で HCl の影響を受けない。また、溶媒を変化させても、抽出される染料はほとんど変化しないことがわかった。今回はメタノールのみの溶液を使用した。

4.2 測定方法

FT-IR による分析法について、顕微法を A 方式、ATR 法を B 方式とした。

A 方式の利点としては、ピンポイント(50×50 μm) の分析であるため、溶液を小さなスポットサイズで集積することで、必要とする試料の量を少ないという点である。A 方式の欠点としては、液滴のスポットサイズによっては、メタノール溶液の乾燥過程において試料台上で選択的分離現象(クロマト効果)が発生してしまい、分析部位によってスペクトルが変化する可能性がある。

B 方式の利点としては、ZnSe 基板上に残った染料成分全てを測定し、混合(平均)したスペクトルパターンを示すため、再現性が良く染料成分の特定が容易になるという点である。B 方式の欠点としては、十分なスペクトル強度を得るためには、A 方式よりも多くの試料が必要となる。

Fig.1 は、A 方式で各染料の分析を行なった結果である。それぞれ特徴的な赤外スペクトルのパターンが得られたことから、染料の同定については FT-IR による分析も有効であることがわかった。

4.3 HPLC-FTIR 法

4.1,4.2 の結果から、染料分析における FT-IR の有効性が証明されたので、より詳細な同定方法として、HPLC と FT-IR を組み合わせた分析方法を採用した。

Fig.2 は西洋茜の HPLC-DAD chromatogram である。HPLC はイソクラテック法で西洋茜の染布からメタノール抽出した溶液を使用した。このデータから保持時間(RT)ごとに溶出された液を分取し、FT-IR の A 方式で分析を行った。

クロマト効果によって染料はいくつかの構成成分に分離されるため、本来は成分によって異なるスペクトルが得られることが考えられたが、各 RT でほぼ同様の IR スペクトルが得られた。この原因については現在検討中である。

西洋茜と HPLC 溶出物の赤外スペクトルを比較すると、1670,1600,1380,1345 cm^{-1} などのピークの一部はどちらのスペクトルでも確認すること

ができる。このことから HPLC 溶出物を FT-IR 分析することで、構造物の推定を行うことができ、染料の同定作業に有効であることがわかった。

5. 結論

今回の実験で、染料の同定方法の一つとして FT-IR も有効であることを示した。また、HPLC の RT ごとの溶出液を分析することで、不明な RT のピークの帰属について検討することができることを示した。この方法は複数の染料が混在しているケースで有効であると考えている。

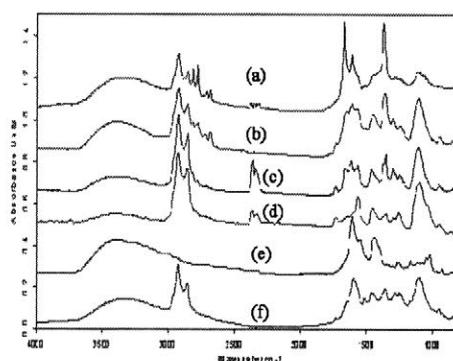


Fig.1 FT-IR spectra for dye samples.
(a) Madder (b) Indian madder (c) Rubia akane
(d) Cochineal (e) Sappan wood (f) safflower

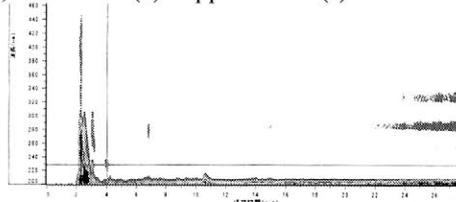


Fig.2 HPLC-DAD chromatogram for madder.

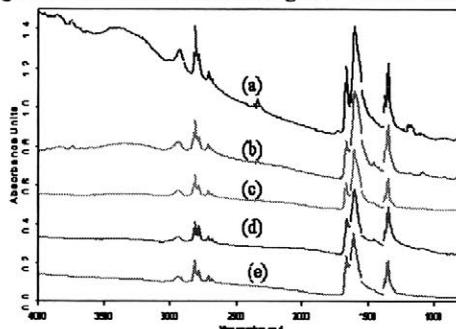


Fig.3 FT-IR spectra for HPLC eluted materials.
(a) RT2min (b) RT3min (c) RT4min
(d) RT7min (e) RT10min

謝辞:ATR 赤外分析機器は奈良大学のものを使用させていただきました。西山要一先生に厚く御礼申し上げます。

東大寺大仏殿所蔵品の材質と製作技法の調査研究

○川本耕三¹、坂東俊彦²、杉本和江³

(1 (財) 元興寺文化財研究所, 2 東大寺史研究所, 3 古美術修理 すぎもと)

1、はじめに

永禄 10 年 (1567) に戦禍を受けた東大寺大仏は元禄 5 年 (1692) に再興され、続いて大仏殿が宝永 2 年 (1709) に完成する。その後も東大寺大仏殿では脇待や四天王などの造立が進められ、様々な荘厳具が整備されてきた。

大型のものとしては仏前にある藤掛似水一門によって寄進された一対の大華瓶があげられる。一方、須弥壇上に設けられた欄干の擬宝珠の一つ一つには施主の名前が陰刻され、これらが寄進されたことを物語っている。

今回はこの擬宝珠の銘文を確認し、合わせて制作技法を検討した。ただし、これらの作品群の制作技法を考える上で重要な要素である成分等については、作品群が現在でも大いなる信仰の対象の一角にあり、科学分析等が困難である。そこで、東大寺の御協力により収蔵されている同時期と思われる金工品の調査を行った。

2、調査対象と調査方法

A 擬宝珠 大仏殿内沼地より出たといわれる。鎌倉期のものとの説もあるが、形式等から推定して江戸期の可能性もある。鑄造で造られており、最も胴が張った部分に短冊形の嵌金と思われる部分が 1 ヶ所ある。頂部の凸部を内面からみると当該部分に黒い物質が見えてはいるが、金属があるのか空洞になっているかはわからない。この物質に埋もれるような形で 1cm 程度の鉄釘状のものが出ている。頂部外面からは鉄は見えない。現在内部下半にのみ、凹部とよく似た黒色に加えて緑青の粒が混じった土が 1cm 程度の厚みで残っている。なお、宝珠の下には立ち上がりがあり、宝珠の下に来る部材に嵌め込むようになっていた。宝珠本体には接着剤となった物質の残滓がある。

B 風招 再興された大仏殿軒下に取り付けられていた風鐸から、昭和 40 年 5 月に落下したとされ、その後収蔵されている。舌に垂化する部分から斜めに接合線が走っている。接合線は覆輪の下にも認められることから、当初よりの仕様と思われる。覆輪はあたかも表裏別々に、風招端部に縁取りを施したかのように見える。しかし、本来は風招端部を包んで、風招の形態の変化点から変化点を一区切りとしながら接着されていたと思われる。覆輪が失われたところには接着剤となった物質の残滓がある。

分析はエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (XRF) (アワーズテック社製 100FA) を用いて試料の微小領域に X 線を照射し、その際に試料から放出される各元素に固有の蛍光 X 線を検出して元素を同定した。

3、分析結果

宝珠と風招からは、鉄 (Fe)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、ヒ素 (As)、鉛 (Pb) が検出され、何れも銅を主成分とする銅合金製であることがわかった。このうち鉄は粉塵や土壌成分中に多く存在するため、それら外部環境由来のものが多く含まれると考えられる。

また、風招の接合部分、および覆輪接着部からは、鉛と亜鉛がやや多く検出され、接着剤として用いられた可能性が考えられた。

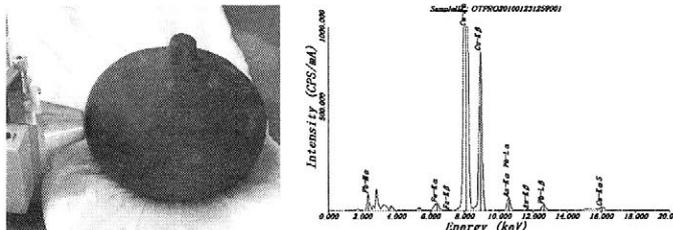


図1. 宝珠 側面や下部のXRF スペクトル

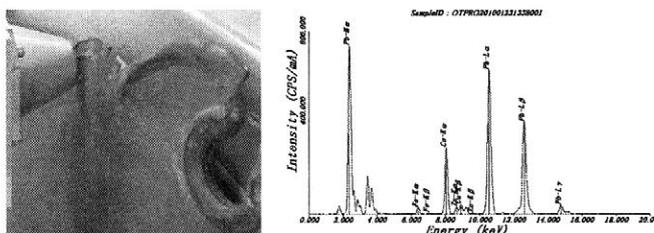


図2. 風招 覆輪接着痕のXRF スペクトル

4、まとめ

風招に見られた亜鉛は 18 世紀後半には「とたん」と称し、梵鐘の鑄造にも用いられている。本例では接着部に見られる事から、「ろう」⁽¹⁾として使用されたと考えられる。

江戸時代の金属製品は、それぞれの基準に照らして、一定の大きさを超えると全体を一気に製作しない傾向がある。個々のパーツの大きさは、器物全体の大きさというよりは、作品を製作する側の都合によって異なっているように見える。大仏殿仏前の大華瓶も大仏殿内の擬宝珠も、それぞれ適宜分割してパーツを製作し、接合して最終的な形に完成させている。この点では、この時期再建された大仏そのものも変わらない技法といえる。

接合方法は、組み合わせて鑄掛けで鋳を打つ、「ろう」や「はんだ」⁽²⁾を用いるなどがある。

本調査結果は、近世金工品とその製作技術を考える上で、製作年代と使用場所が明らかな貴重な例である。同時に、使用材料が明らかな例としても、今後の基本資料となると考える。

1) 現代の定義では以下のようにになっている。本稿ではこの定義に従って表記した。「“450℃以上の融点の溶加材（ろう）を用いてろう接する方法”をろう付，“450℃未満の融点の溶加材（はんだ）を用いてろう接する方法”をはんだ付けという。」

恩澤忠男他，日本溶接協会監修，<溶接の入門シリーズ>3『ろう付・はんだ付入門』，（1984）

2) 錫-鉛合金の、いわゆるハンダが使われた例として、静岡県袋井市所在 西楽寺不動明王像がある。

『西楽寺不動明王修復報告書』，古美術修理 すぎもと，袋井市教育委員会，（2009）

本研究において、擬宝珠・風招の調査にころよくご協力いただいた、東大寺はじめ関係各位に深くお礼申し上げます。

国宝伴大納言絵巻の彩色材料調査

○早川泰弘、城野誠治（東京文化財研究所）、黒田泰三（出光美術館）

1. はじめに

出光美術館に所蔵される伴大納言絵巻は平安時代を代表する絵画で、日本の四大絵巻の一つと評され、国宝に指定されている。現在は上・中・下巻の三巻から成り、各巻は縦 31.5cm、長さ 9m 前後の大きさで、詞書と絵が交互に展開する形として巻物に仕立てられている。

東京文化財研究所では出光美術館と共同で、平成 16～18 年度の 3 ヶ年にわたって上・中・下巻すべてについて非破壊・非接触による材質調査を実施した。高精細デジタル画像撮影、可視光励起蛍光撮影、反射赤外線撮影ならびに蛍光 X 線分析を用いた調査が行われ、膨大な画像およびデータを得るに至った。本報では、蛍光 X 線分析による調査結果を中心に、伴大納言絵巻に関する彩色材料について報告する。

2. ポータブル蛍光 X 線分析装置による調査

彩色材料の調査にはポータブル蛍光 X 線分析装置 SEA200 (SII ナノテクノロジー) を用いた。調査の様子を図 1 に示す。測定条件および測定ポイント数は以下の通りである。

X 線管球、管電圧、管電流：

Rh (ロジウム)、50kV × 100 μA

X 線照射径、測定時間：

φ2mm、100 秒/ポイント

装置—資料間の距離： 約 10mm

測定ポイント数： 上巻 500 ポイント

中巻 400 ポイント

下巻 372 ポイント

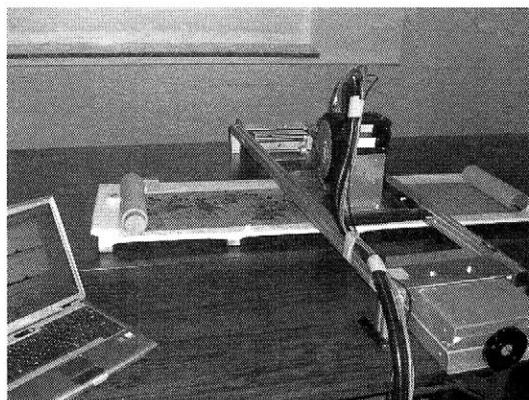


図 1 伴大納言絵巻の調査の様子

3. 調査結果

(1) 人物の描き分けについて

伴大納言絵巻には 460 名以上の人物が描かれているが、各場面における主要人物や地位の高い人物など特徴的な人物だけを、その周囲に描かれた多くの人物とは異なる彩色材料で描いていることが判明した。

その特徴的な人物の顔からは、ほとんどの場合、大量の Pb が検出され、白色顔料の鉛白 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$) による彩色が行われていると考えられる。一方、その周囲に描かれている多くの人物からは、特徴的な元素がほとんど検出されないか、あるいは微量の Pb が検出される程度であった。白色材料の使い分けを目視で判断するのは大変困難であるが、上・中・下巻すべてにおいて、人物の描き分けがなされていることが明らかになった。

さらに、伴大納言絵巻では多くの人物の頬に赤みがさされていることを確認することができるが、それらの箇所ほとんどから少量の Hg を検出した。赤みを強く確認できる箇所ほど Hg 検出量が多い傾向が得られた。赤色顔料の辰砂 (HgS) が用いられているものと考えられる。

(2) 赤色顔料の使い分けについて

上巻の中央付近には、赤色の柱と青色の屋根で彩られた朱雀門と、その後ろには炎上する応天門が大きく描かれている。朱雀門では、柱や軒下には明るい赤色が、門の板塀などにはやや暗い赤色が塗られている。蛍光X線分析では、明るい赤色部分からは Hg と少量の Pb が、暗い赤色部分からは Hg、Pb とともに Fe が同時に検出された。3種類の顔料によって、赤色の色調の違いを描き出していることが明らかになった。

一方、火事の炎には赤色、橙色、茶色を確認することができるが、これらの部分から Fe はほとんど検出されなかった。赤色部分からは Hg が、橙色部分からは Pb が主として検出されたが、朱雀門の描写のように両材料を併用した赤色表現はほとんど見られなかった。連続する場面であるにも関わらず、赤色の描写に大きな違いがあることが明らかになった。

(3) 上巻巻末の紙継ぎと描写について

上巻巻末には四名の人物が印象的に描かれている場面がある(図2)。庭先で後ろ向きに立つ人物の裾は紙継ぎ(第十三紙と十四紙の継ぎ目)を跨いで描かれ、紙継ぎ左右の不自然さが指摘されていた。蛍光X線分析で裾の部分进行分析したところ、第十三紙部分からは少量の Ca、Fe が検出されただけであるのに対し、第十四紙部分からは Pb が主成分として検出された。また、この人物の上方に描かれている石橋の部分についても、第十三紙部分からは Pb がほとんど検出されないのに対し、第十四紙部分からは大量の Pb が検出された。これらの結果からは、この紙継ぎが当初の状態であるとは考えにくく、第十三紙と十四紙の間には現在は欠失してしまった何かが存在していた可能性を強く示唆している。

また、人物の描写についても、建物内に描かれている三名については Pb 系白色顔料が使われているが、庭先で後ろ向きに立つ人物には使われていないこともわかった。

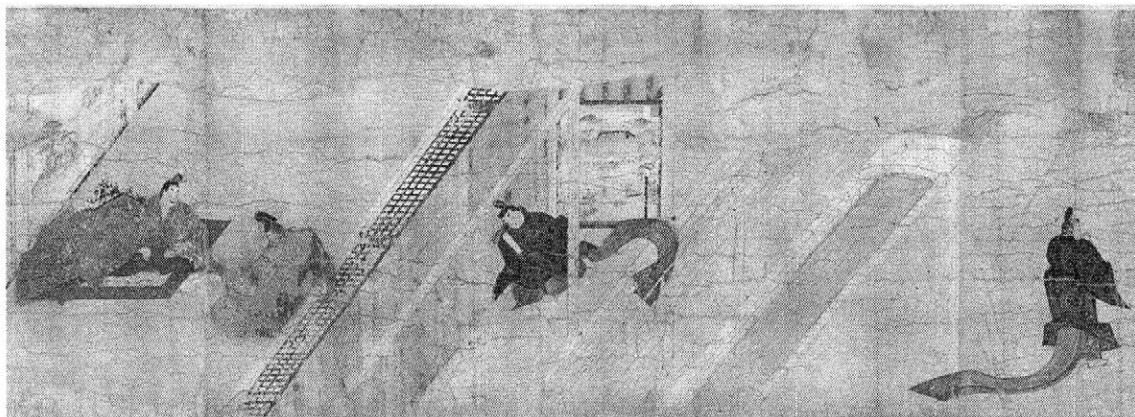


図2 伴大納言絵巻 上巻巻末部分

左から、清和天皇、藤原良房(太政大臣)、藤原良相(右大臣)、伴善男(大納言)とする説が有力である。

(4) 室内の女性描写について

中巻の中ほど(源信邸内)および下巻の中ほど(伴善男邸内)には、室内に多くの女性が居る場面が描かれている。両場面では、女性の衣や調度品などに金色の彩色が多く見られる。伴大納言絵巻の他の箇所ではさほど使用していない金を彩色材料として多用していることは特徴的である。源信邸内の描写では、源信夫人と子供の二名にだけ Pb 系白色顔料が使われ、他の女性には使われていないことも明らかになった。

1) 黒田泰三、城野誠治、早川泰弘：『国宝 伴大納言絵巻』、中央公論美術出版(2009)

熊本県下扇原遺跡出土ベンガラのカラクターゼーション ・・・ベンガラ研究の新たな試みとして・・・

○村上 隆(京都国立博物館)、高田 潤・辻 広美・團野瑛章・橋本英樹(岡山大学)、
草野圭弘(倉敷芸術科学大学)、宮崎敬士(熊本県教育庁文化課)、菊地孝宏(JFEケミカル)

1.はじめに

文化財分野の赤色顔料研究においては、朱、鉛丹、ベンガラの三種の存在を確認することに主眼が置かれ、鉄系酸化物はヘマタイト(α - Fe_2O_3)であれ、マグヘマイト(γ - Fe_2O_3)、マグネタイト(Fe_3O_4)であれ、一括してベンガラとして扱われるのが一般的である。例えば、蛍光X線分析(XRF)などで水銀(Hg)や鉛(Pb)が検出されずに主に鉄(Fe)が検出された場合には、その赤色顔料はベンガラと判断される。また、バクテリア起源とされるパイプ状の形態が電子顕微鏡観察によって確認できると、ベンガラとする場合が多い。

本研究では、熊本県阿蘇市三久保の集落跡「下扇原(しもおうぎばる)遺跡」(弥生時代後期)から出土したベンガラを対象とした。下扇原遺跡出土のベンガラの特徴は、色味の違うものが数種類存在することである。この色味の違うベンガラに対して、通常の粉末X線回折(XRD)測定や走査型電子顕微鏡(SEM)観察に加え、試料振動式磁力計(VSM)による磁化測定、比表面積(SSA)測定など、材料科学的に詳細なキャラクターゼーションを行った。本研究は、酸化鉄のさまざまな粒子特性に注目することで、遺跡出土ベンガラを新たな視点からより詳しく分類できる可能性を探る試みである。

2.分析

「下扇原遺跡」から出土したベンガラをその色味によって①～⑥に分類した。色味としては①、②は鮮やかな赤、③、④は少し黒味を帯びた赤、⑤、⑥は褐色である。

ベンガラの色味を決定する要因としては、鉱物種の違い、結晶構造の違い、化学組成、粒子の大きさの違いが考えられる。そこで、それぞれのサンプルについて1)XRD(株)リガク RINT 2500HF)、2)SEM観察(日立S-4200)、3)エネルギー分散型X線分析(EDX(株)堀場製作所 EX-250)、4)SSA測定(Micromeritics Instrument FlowSorb II 2300)、5)VSM(東英工業:改良型)による分析を行った。

3.結果

1)結晶相の同定(XRD) (図1)

①、③、④はヘマタイト(α - Fe_2O_3)とマグヘマイト(γ - Fe_2O_3)、もしくはマグネタイト(Fe_3O_4)の混相であり、②についてはヘマタイトほぼ単相であった。⑤、⑥は上記の酸化鉄に加え、不純物(SiO_2 など)を多く含んでいた。

2)粒子の形態観察(SEM) (図2)

破断面が無く、稜線が滑らかで、粒子の凝集していることから、全てのサンプルは焼成されたと考えられる。また、バクテリア起源であるパイプ状、ねじれ紐状の痕跡が見られないことから、鉱石起源であると考えられる。

3)元素分析(SEM-EDX) (表1)

全てのサンプルにFe以外の不純物元素が含まれているが、特に⑤、⑥は多くの不純物元素が認められた。逆に②は不純物が極めて少なく、非常に高純度である。しかしAl, Siに関しては、ヘマタイトにAlやSiが固溶することにより、色が鮮やかになるという研究報告^{註1)}や、Al, Siを多く含んだベンガラの方が明るい色を呈するという報告^{註2)}もあり、一概に不純物が多いほど色味が悪くならないと言えない。

4)比表面積(気体吸着流動法) (表2)

③～⑥が9.2～17 m^2/g であるのに対し、①、②は26 m^2/g 、33 m^2/g と比表面積が大きく、細かい粒子であることが分かる。

5)磁化測定(VSM) (表3)

③～⑥は1.7～5.1 emu/g と強磁性体の存在が確認できる。①は10.2 emu/g と高い値を示し、他のものよりも多く強磁性体を含んでいることが分かる。XRDの結果と合わせると、マグヘマイトもしくはマグネタイトが確かに存在しているといえる。比べて②は0.6 emu/g とほとんど強磁性体が存在しないことがわかり、XRDの結果と一致する。

以上をまとめると、次のようになる。

資料 No.	単相/混相	認められた鉄系化合物	不純物	粒子径
①	混相	α -Fe ₂ O ₃ , γ -Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄	少	小
②	単相	α -Fe ₂ O ₃	極少	小
③, ④	混相	α -Fe ₂ O ₃ , γ -Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄	多	大
⑤, ⑥	混相	α -Fe ₂ O ₃ , γ -Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄	極多	大

4. 考察

SEM 観察の結果から、下扇原遺跡出土ベンガラはバクテリア起源の原料でなく、褐鉄鉱や沼鉄鉱といった鉄物を原料とし、これを焼成することによって作製されたと考えられる。また、XRD、VSM、SEM-EDX の結果から、色味が鮮やかな①に対して、(i)主相相へマタイト以外にマグヘマイトもしくはマグネタイトを多量に含む、(ii)一般的には不純物として色味を下げると思われがちな Al や Si を②よりも多く含む、というこれまでに確認できなかった特徴が明らかになった。これは、ベンガラの色味に、粒子の大きさはもとより、他の含有成分の影響が大きく関与していることを示唆する。

マグヘマイトやマグネタイト、ヘマタイトなど、複数の酸化鉄を含むベンガラに関して、その生成機構の推察は、古代ベンガラの製作技術に言及できる可能性を秘めている。また②は極めて高純度であり、現代の良質なベンガラと比較しても遜色ないことは驚くべきことである。これらの結果より、ベンガラを精製する独自の技術があったのではないかと考えられる。本研究により、これまで一義的に大きな分類で取り扱ってきた古代ベンガラに対して、様々な材料科学的分析を行うことによって、更に細かい段階での分類の可能性を提示することができた。今後、さらに分析・検討を進めていくことにより、原料や製作法、その周辺技術の研究を含めたベンガラ研究を拡大・深化できると考える。

註1) 浅岡裕史・草野圭弘・中西真・藤井達生・高田潤：「吹屋ベンガラのキャラクタリゼーションと Fe₂O₃-Al₂O₃系赤色顔料の合成」『粉体および粉末冶金』50 (2003)

註2) 村上隆：「山田寺出土土瓦の「朱書」に用いられた「ベンガラ」の色に関する観察」『山田寺発掘調査報告』(奈良文化財研究所学報第63冊) 奈良文化財研究所 (2002)

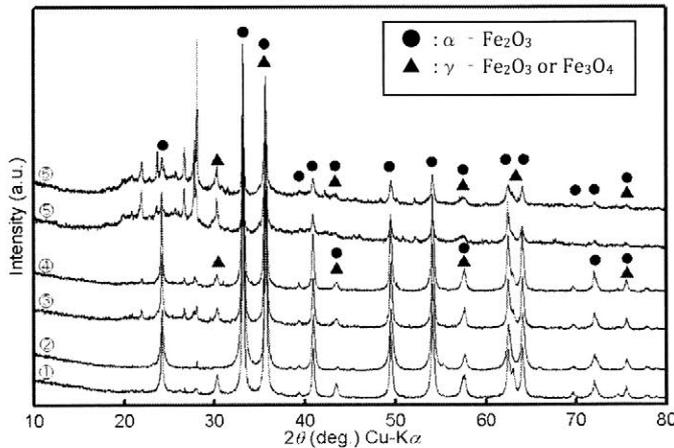


図1 X線回折

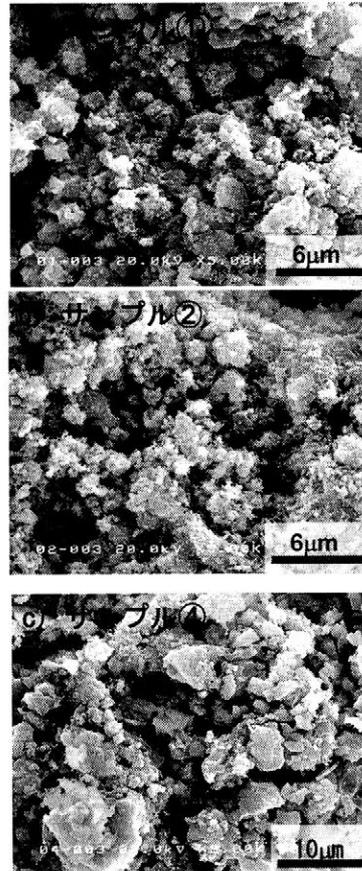


図2 電子顕微鏡 (SEM) 写真

表1 SEM-EDXによる不純物分析

	①	②	③	④	⑤	⑥
Mg	0.4	0.8	0.4	0.5	-	0.8
Al	2.7	1.1	4.5	4.8	7.7	7.8
Si	4.3	2.0	5.4	5.9	9.2	8.9
S	0.1	0.2	-	0.1	0.2	0.1
Ca	0.5	0.3	0.7	0.8	1.1	1.3
Ti	-	-	0.4	0.4	0.6	0.5

表2 比表面積測定

	①	②	③	④	⑤	⑥
SSA	26	33	17	17	9.2	16

表3 VSMによる飽和磁化測定

	①	②	③	④	⑤	⑥
飽和磁化	10.2	0.6	4.1	5.1	1.7	2.0

ウズベキスタン共和国から出土した炭化織物の科学的調査

○村上智見（奈良大学），宇野隆夫（国際日本文化研究センター）

1. はじめに

ウズベキスタン共和国は、古くからシルクロードの要衝として栄えた都市が点在し、ソグド錦や壁画に描かれた人物の衣装などからもわかるように、織物の産地としても栄えた地である。しかし、当地の織物技術や利用については明らかでない部分が多い。資料数は決して豊富ではないが、これまでいくつかの遺跡で繊維品が出土している。ゾロアスター教寺院址であるジャル・テパからも 1987 年に織物が出土したが、これまで詳細な調査が行われなかったことから、織物を所蔵するサマルカンド考古学研究所に赴き、科学的調査を行った。織物の材質と製作技法などの特質を明らかにする目的で行った調査の結果を報告する。

2. 遺跡の概要と調査資料について

ジャル・テパは、サマルカンド州のウルグッド（サマルカンドの南東約 40km）に位置する遺跡で、ソグディアナと呼ばれる地域に含まれる。4 世紀に城として築造され、以後 8 世紀までゾロアスター教寺院として使用された。

織物は寺院に設置されたベッド上に敷かれていたもので、40×75cm が炭化した状態で出土し、発掘当時に現場で硬化保存された(図 1)。出土時には織物上に寺院の天井や壁材が覆いかぶさった状態であったとのことから、8 世紀の火災によって偶然にも還元状態で炭化し、織物としての形状が残ったものと推測される。ウズベキスタン共和国は砂漠も存在する乾燥地帯に属するが、ジャル・テパのあるサマルカンド州は一定量の降雨があるため、繊維類の残存には必ずしも適さないことから、このような事例は貴重である。

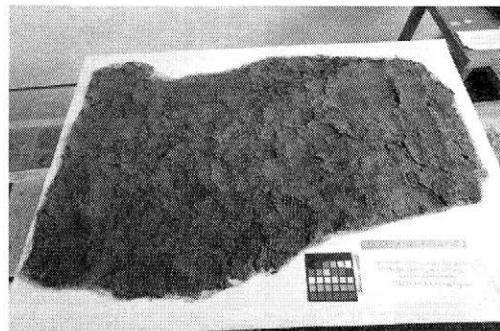


図 1：織物 全体

3. 調査方法

剥落片を用いて、実体顕微鏡、電子顕微鏡による繊維形状の観察と、顕微 FT-IR 分析を行うことで材質同定を試みた。電子顕微鏡による繊維断面の観察は樹脂包埋して研磨して行った。顕微 FT-IR 分析の測定条件は、測定波数領域 4000-700 cm^{-1} 、スキャン回数 256、分解能 8 cm^{-1} とした。

4. 結果と考察

織物は炭化のため損傷が激しいが、所々で織組織と糸の撚りを確認することができた。組織は平織と思われるが、経糸より緯糸が密に織り込まれているのが特徴的である。炭化し色彩を失っていることから、染料や色系の使用については不明で、また織の変化による施文などは見られなかった。ハツリを確認することはできなかったが、経糸がほとんど表面に表れていないことから、平織の一種である多色文織物の綴織の可能性もある。

材質は太く不均質な S 撚の強撚糸を使用していることから、絹以外の繊維と推測された。この

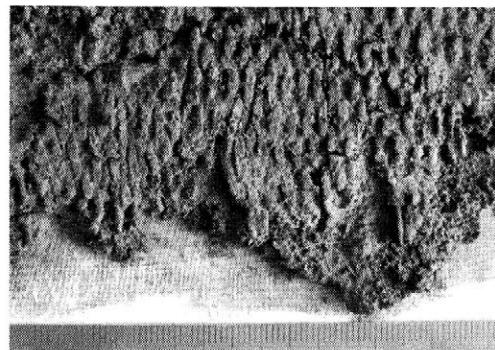


図 2：織物 拡大

織物の密度は経糸 6×緯糸 10(3cm 間本数)であった(図 2)。

次に、電子顕微鏡で側面・断面を観察した結果、糸外面は溶解した様に繊維形態が確認できないのに対して、内部には多くの繊維が形態を保持していることが判明した(図 3)。

断面の観察から、繊維直径は 5~15 μm 程度、楕円形のものや円形のもの、中空部分があるものやないものが見られた。側面形態は螺旋状のねじれのあるもの、獣毛繊維特有のキューティクルに似た凹凸があるものが見られ、繊維の特徴にばらつきが見られた(図 4)。獣毛繊維にはこうした中空部分を持つ太い繊維と質の良い細い繊維とが混在することが多く、この直径から本来ならば獣毛であるとは考えにくいですが、炭化のため繊維が収縮したと考えれば、特徴的には獣毛によく似ているといえる。



図 3：糸断面の SEM 像

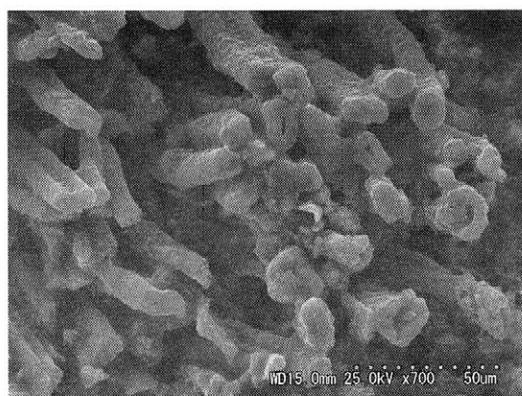


図 4：繊維断面の SEM 像

一方、顕微 FT-IR 分析では繊維形状が全く見られなかったが、図 5(c)のスペクトルのように、資料の 1200~1000 cm^{-1} 付近に植物繊維に似たピークパターンが出現した。確認のため偏光特性を利用して 0° と 90° の偏光角度で測定したが、偏光特性は得られなかった。資料は完全に炭化しているものと思われ、繊維種の特定はできなかった。

以上から、繊維の形態的特徴からは獣毛の可能性が考えられたが、炭化によって繊維形態が変化していることを考慮し、同定には慎重を期する必要があるだろう。今後、炭化実験を行い各種繊維の形態変化を明らかにし比較するなどの必要がある。また木綿と獣毛を混織する場合があるため、繊維の特徴にばらつきが多い点についてもさらに検討する必要がある。

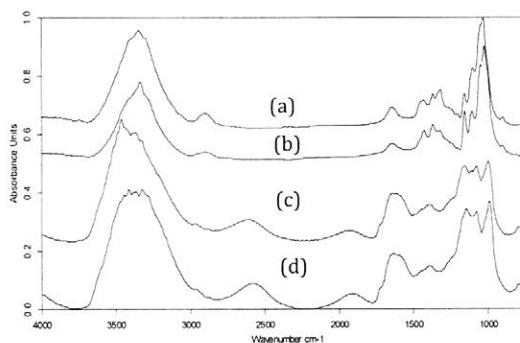


図 5：IR スペクトル

(a)現代木綿繊維 (b)現代木綿繊維(偏光)
(c)ジャル・テバ資料 (d) ジャル・テバ資料(偏光)

【参考文献】

- 1) Berdimuradov A.E., Samibayev M.K., THE TEMPLE OF JARTEPA- II (The problems of cultural life of Sogdiana in the 4th-8th c. A.D.) The Academy Of Sciences Of The Republic Of Uzbekistan, 1999
- 2) 坂本和子「織物に見るシルクロードの交流 トゥルファン出土染織資料—錦綾を中心に」大阪大学博士学位論文 2009
- 3) 加藤九祚, Sh.Pidaev「ウズベキスタン考古学新発見」東方出版 2002

十八夜観世音堂菩薩立像に使用された木材の非破壊樹種調査

○大山幹成（東北大学植物園）・酒井昌一郎（仙台市博物館）・星野安治
（東北大学植物園・日本学術振興会特別研究員 PD）・鈴木三男（東北大学植物園）

【はじめに】

古代の仏像用材は、飛鳥時代にクスノキが使用され、その後、奈良時代後半～平安時代初期以降、ヒノキが多用されたことが科学的調査により指摘されてきたが（小原 1972）、近年、この結果の一部に疑問が提起され、再調査の結果、奈良時代後半～平安時代初期の一木造による仏像の大多数がカヤで作られていたことが明らかになってきた（金子他 1998, 金子他 2003）。

宮城県仙台市に位置する十八夜観世音堂の菩薩立像は、奈良時代後期～平安時代初期（8世紀後半～9世紀初頭）の制作とされる一木造の仏像である（図1）。推定される制作時期は、上述の再調査が行われた時期に該当するため、この像に使用された樹種を明らかにすることは、仏像用材の時代変遷、地域差を考える上で重要なデータになると考えられる。通常、木彫像の樹種調査は、修復時に行われるが、今回はそれに該当しないため、デジタルマイクロスコープによる表面観察を試みた。

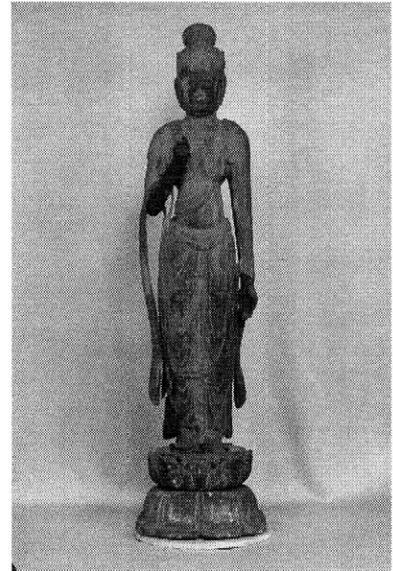


図1: 十八夜観世音堂菩薩立像（像高 138.5cm、写真提供：東北大学文学研究科東洋・日本美術史研究室）

【試料と方法】

菩薩立像の当初材、後補材3点（A, B, 天衣下端）の計4点を調査対象とした。通常、木材の樹種同定を行う際には、3断面の薄切片を作成し、光学顕微鏡で観察するが、本調査では、非破壊調査を行う必要があったため、非破壊で像表面の木材組織を拡大観察できるデジタルマイクロスコープ H7700（ハイロックス社）を使用した。この方法で得られる識別情報は通常の方法に比べると限定的ではあるが、カヤなど特徴的な構造を持つ木材の場合には同定できる可能性があるかと判断した。対象となる4点の表面からできるだけ風化していない場所を探し、観察とデジタル画像撮影を行った（図2）。

【同定結果】

●当初材、後補材 A は、カヤ（*Torreya nucifera* (L.) Sieb. et Zucc. イチイ科）と同定された。同定根拠としては、有縁壁孔を有する仮道管、単列の放射細胞が存在することから針葉樹材であること、さらに、仮道管内に対になったらせん肥厚が存在していることが挙げられた。日本産の針葉樹でらせん肥厚が存在する樹種は、カヤ以外にイチイ、イヌガヤ、トガサワラがあるが、このように2-3本が対になる傾向をみせるのはカヤだけである（図3）。

●後補材 B は針葉樹材であったが、それ以上の同定は困難であった。木口面および板目面のみが観察できたが、木口面で

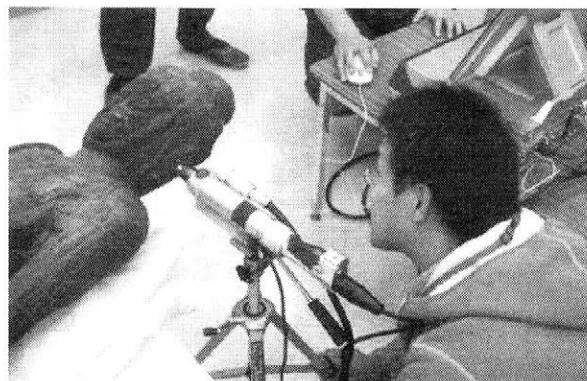


図2: デジタルマイクロスコープによる調査の様子（大山他 2010）

仮道管が存在し、垂直樹脂道が存在しないことと、晩材部が少ないことが確認できた。板目面ではらせん肥厚の存在は確認できなかった。上記の観察より、該当樹種としては、ヒノキ科の樹種（ヒノキ、サワラ、ヒノキアスナロなど）とモミ（マツ科）が想定されるがそれ以上の特定は困難であった。

●天衣後補材は、ケヤキ (*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino ニレ科) の可能性が高い。観察できたのは木口面のみであるが、大径の孤立道管が年輪のはじめにほぼ1列に並んでおり、孔圏外では、小径の集団管孔が斜線状・接線状に配列していることが確認できた。また、列数は確認できないものの、比較的列数の多い放射柔組織が存在していた。以上の条件を満たす樹種としてはケヤキが最も有力であるが、他の断面が観察できないためこれ以上の判断は困難であった。

【考察】

樹種同定は、薄切片プレパラートの光学顕微鏡観察を行うのが常法であるが、木彫像など試料採取に制限がある場合、微細な小片の電子顕微鏡観察でも樹種同定が可能な場合がある。本研究では、この両方とも適用不能だったので、デジタルマイクロスコープによる表面観察という新しい方法を試みた。その結果、対象が特異な解剖学的特徴をもつカヤであったこともあり、幸いにも2点について樹種同定を行うことができた。この方法は対象樹種が限られること、プレパラートの証拠標本を残すことができないという問題点があるが、非破壊で行えることもあり、仏像など調査対象によっては今後有効な手法であると考えられる。

8～9世紀の木彫像の多くがカヤで作られた理由については、唐・慧沼の著述に白檀の代用材として説かれる「栢」が日本ではカヤとして認識されていたこと、そして鑑真と密接な関係を持つ唐招提寺の木彫像にカヤが用いられていることから、鑑真の来朝が大きな意味をもっていた可能性が指摘されている（金子他 1998）。このカヤの使用は大分から福井まで広範囲に及んでおり、これには中央（南都諸宗寺院）による地方寺院への関与が指摘されている。一方で、東北地方では、南都の僧の関与の可能性が高い勝常寺（福島県会津）の諸像、その流れを組む双林寺（宮城県栗原）の諸像ともにケヤキが用いられている（金子他 2003）。この理由としては、カヤは暖温帯域が分布の中心であり、上記2寺院の周辺では良質のカヤ材の入手が困難であった可能性が指摘されている。その意味で、本研究で対象とした菩薩立像にカヤが用いられていたことは地域性の観点から見ても非常に意義深いと考えられる。宮城県は、カヤの分布北限に近く、自生の大径カヤ材が当時得られたかどうか現状では判断が難しいため、このカヤ材が仙台周辺地域由来かあるいはより南方の地域から持ち込まれたものかという問題は今後の課題である。

【引用文献】

大山幹成・星野安治・鈴木三男（2010）十八夜観世音堂菩薩立像に使用された木材の樹種、仙台市博物館調査研究報告、30:37-46

小原次郎（1972）『木の文化』、鹿島出版会、東京。

金子啓明・岩佐光晴・能城修一・藤井智之（1998）日本古代における木彫像の樹種と用材観一七・八世紀を中心に一、MUSEUM、555: 3-53。

金子啓明・岩佐光晴・能城修一・藤井智之（2003）日本古代における木彫像の樹種と用材観 II一八・九世紀を中心に一、MUSEUM、583: 5-44。



図3:当初材柱目面（矢印：対になったららせん肥厚、スケールは0.1mm）

石器の剥離面3次元構造のデータ化と、 3次元データ解析による使用・剥離痕の解析

○津村宏臣(同志社大学文化情報学部), 渡邊俊祐(同志社大学文化情報学研究科)

はじめに

筆者らは、これまで文化財の3次元形状データの取得とこれに関するデータハンドリングやアーカイブに関する研究を進めてきた。津村は主に3次元形状データの解析に関して、渡邊は同様のデータのアーカイブに関して研究を進めてきた。これらの蓄積から、形状データの解析とアーカイブによってなし得る、考古学・文化財研究の重要な主題として、擬似3次元データを用いた石器形状の研究をスタートさせた。

石器の3次元形状データの取得方法やその形状データハンドリングに関しては、既に、今野らを中心とした精力的な研究(2003・2005など)や千葉や横山らの研究(2003・2009など)によって、急速に具体的な応用技術としての展望が開かれつつある。これらの研究は、石器剥離面の自動析出や稜線など形状特徴量の評価手法の開発によって、2次元化(実測図化)の省力化を可能とし、3次元形状を3次元データで記録するという従来の牧歌的な点群データ利用(閲覧)から、飛躍的に解析的な応用へと進んだ。重要なのは、こうした研究が、あくまでも考古学・文化財科学の視座にしっかりと根付き、石器研究に有用なデータハンドリングや結果を析出してみせたことである。

筆者らは、同様の研究を進める中で、石器3次元形状データを次元を還元することなく、応用する研究主題について検討し、その1つに、形状解析データに基づいて石器接合のペアを自動抽出できるだけの情報の抽出と、これを用いたアーカイブデータへのアクセス、評価の方法について研究を展開した。本研究は、そうした3次元形状データと2次元形状データのデータセットとその解析から、アーカイブされた同様のデータの検索を行い、石器接合関係の評価まで進めるシステムの開発を目的としている。

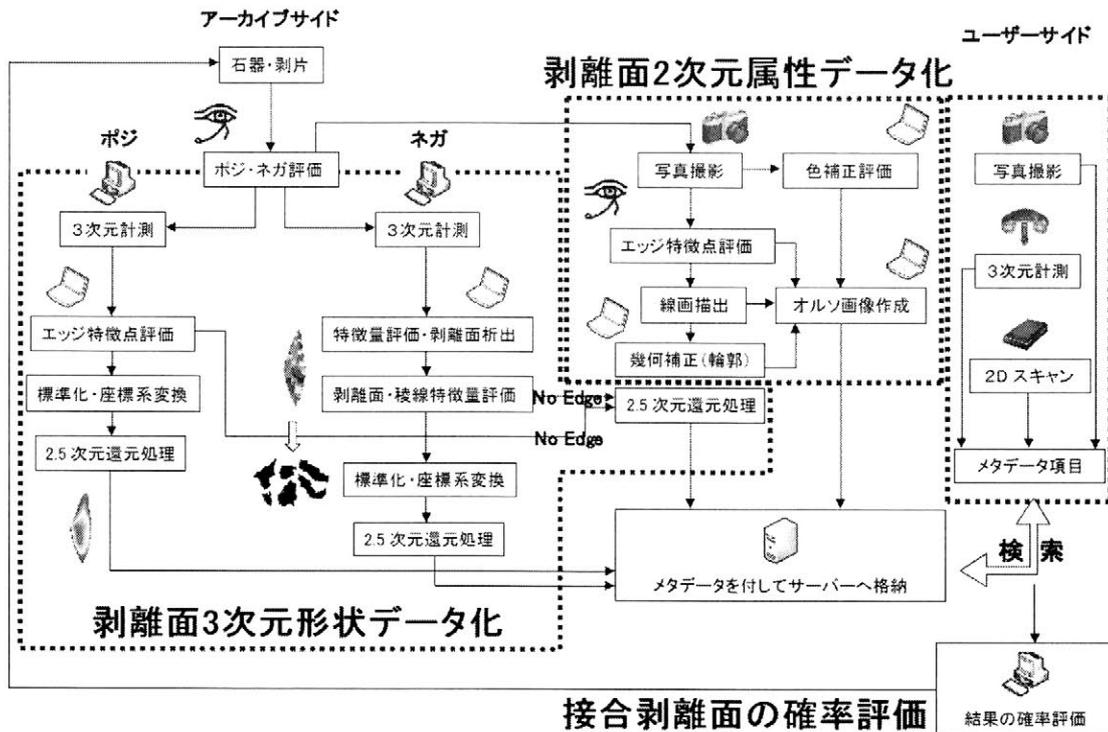


Fig.1 システムの概念図

システムの構造

接合剥離面の評価システムは、Fig.1のような構造となっている。アーカイブサイドでは、表裏面の3次元表面形状データを、レーザースキャナやピンスキャナなどで取得し、主剥離面はそのままエッジ(縁辺)の傾向変換点を数点入力する。この入力された3次元測定値から最小二乗法により近似平面を設定し、この近似平面に沿って計測値を座標変換し、2.5次元の座標値に還元、エッジの特徴点データと共にサーバーに格納する。背面のデータは、特徴量を評価し剥離面を析出、個別の剥離面に分割した後に同様の作業を行う。なお、調整加工剥離や切り合い関係などでエッジが消失している場合は、座標変換を行わず、そのままの計測値をサーバーに格納する。

次に、主剥離面・背面の剥離面単位で写真撮影と輪郭の線画を描出し、検索の際の属性情報とする。このため、撮影写真に対し、オルソ補正を実施し、2.5次元データと共にサーバーに格納する。輪郭データについては、ラスターデータに変換後チェーンコード化を実施し、コードの遷移によって、類似する輪郭データをクラスタリングできるようにしておく。また、2.5次元の座標値データ相互の類似度を、面相関分析によって求め、相関値によって類似形状が析出できるよう準備する。

検索アルゴリズムの改良

石器の剥離に限定して考えると、剥離そのものは物理現象であり、打剥・押圧など、剥離方法の際によって、形状データと属性データのオントロジーの概念が応用できる。例えば、ハードハンマーによる直接打撃と、ソフトハンマーによる間接打撃とでは、剥離面形状に大きな差異が認められることは経験則によって示唆されている。したがって、前者と後者の剥離面形状のデータを集積し、パターン化することにより、属性情報も含めたオントロジーが析出され、検索精度を上げることが可能となることが予測できる。

本研究では、まず、比較的均質な石材(サヌカイト)を準備し、同一の人物によって異なる剥離方法によって、その石材が割れなくなるまで、剥片剥離を行い、特徴的な剥片を選出して、その剥離面の3次元形状データの析出と解析を実施した。解析に際しては、剥離面の2.5次元データの座標変換後の計測値(Z値行列)を、3×3mmカーネルの移動平均値に置き換え、その固有値の変動を求めた。その結果、従来指摘されてきたように、剥離面全体の計測値行列の固有値は直接打撃の方が大きく、逆にカーネル単位で見た場合の変動は間接打撃の方が大きい事が示された(Fig.2)。これは、打撃の大きさによって、全体で見た場合と局所的に見た場合の面形状の変動のパターンが異なることを示している。石材の差異や人物の熟練度などで、統計的な有意差を評価することは難しいが、今後標本数を増やすことにより、この問題はクリアされると考えられる。

このほか指摘されている特徴として、フィッシャーの大きさや長さなどの相違が指摘されている。これについては、通常の3次元計測機器では対応が困難なため、キーエンス社製のVHX-1000デジタルマイクロスコープを利用した。本機器で取得される3D画像の焦点深度情報をASCIIテキスト情報に変換し、これに計測範囲情報を付加して、高さ値行列を作成し、同様の形状解析を実施した。この実験では、先の剥離面の評価のように有意な差を見出すことはできなかったが、これは実験に使用した石材(サヌカイト)の問題やフィッシャーの肉眼による範囲認定にも問題が残されていると考えられ、今後の実験データの蓄積が不可欠と言える。

検索精度の高いアルゴリズムの改良には、こうした3次元形状データや属性データの“構造的評価”が必要であり、特にオントロジー概念の援用は、それ自体が、石器製作者の“動作”と密接に関連する可能性を示唆している。そのためにも、アーカイブ側のメタデータの設計も必要であり、これらが整備されれば、稲田(2009)の指摘する、人為的剥離か自然剥離かの判別も、反証可能性を伴った情報処理によって可能となるだろう。

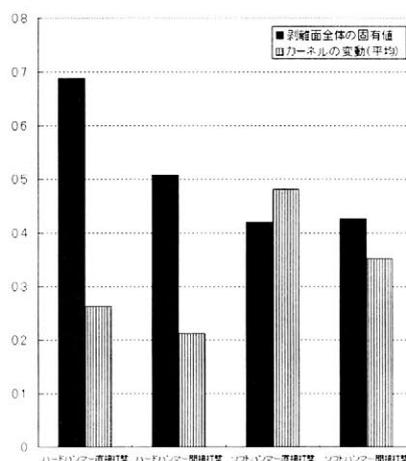


Fig.2 形状データの平均変動

古代製鋼技術を利用した炒鋼開発

○ 鄭光龍・金滿會・朴敏銖(韓國傳統文化學校), 金洋辰(奈良大學 大学院)

I. 緒論

古代から韓民族は鉄を使って鉄器を生産する技術を持っていた。特に高炭素鋼である炒鋼は銑鉄の湯を混ぜ、空気中の酸素と反応させ、湯の炭素を二酸化炭素化して銑鉄の炭素量を減らして作る鋼を言う。「天工開物」では‘数人が柳の棒で強く鉄の湯を混ぜるとすぐ塾鉄になる。柳の棒は一回混ぜるたびにその先端が2〜3寸が燃える’と書いており、「格物相談」では焼入れした塾鉄は‘剛可切玉’とも言い玉も切ることができると語っている。炒鋼で生産された鉄器が既に百済・高句麗の遺跡から発見されており、これにたいする科学的分析及び製鉄技術の発達過程の研究は行われている。

しかし、韓国での炒鋼に対する研究は遺跡及び遺物に対する研究だけが行われているし、‘炒鋼を生産する技術と方法に対する研究’はほとんど行われていない。従って本研究では古代の製鋼技術である炒鋼生産方法の復元研究を通じ、鉄器技術の成立過程での韓民族の役割と製鋼技術を体系的に明らかにしたい。

II. 研究方法及び考察

1. 製鉄、製鋼及び炒鋼技術の復元実験

炒鋼を生産するためには鉍石から炭素含量が高い、銑鉄を生産する1次製錬工程をする。これは炭素含量が2.1〜4.3%である鑄鉄を生産するために現代の製鉄工程と同じく炉の高さを高めて純鉄の融点の1,539℃まで上げるのではなく、鉄内部の炭素含量を増加させ溶融点を下げて炭素含量が4.3%、溶融点1,150℃である銑鉄を生産する。

しかし夏の湿度により内部の還元雰囲気と温度維持などが難しく銑鉄が順調に生産できなかったため1次素材(塊煉鉄と銑鉄塊)を再び融解させ銑鉄を生産する融解実験を実施した。

炒鋼が生産された遺跡として最も有力な鎮川石状里 B-7 号と慶州皇城洞江邊路 7 号遺構をモデルにして3基の炒鋼炉を構築した。融解実験を通じて生産された銑鉄を炒鋼炉から半融解させ、炒鉄を入れて、柳の棒を利用して混ぜ、脱炭をして炒鋼を生産した。

2. 科学的分析

製鉄・製鋼及び炒鋼実験の過程から收拾した塊煉鉄、銑鉄及び炒鉄、スラグの試片に対して、科学的分析を行った。成分組成は ICP 及び C/S 分析、化合物の状態は XRD 分析、微細組織は金属顕微鏡、介在物及び微細組織内の微小部位の化学組成は SEM-EDS を用いて分析した。

分析結果、炒鋼の成分組成は C(0.81~1.20%), Si(0.02%), Mn(0.03%), P(0.025%), S(0.002%)であった。

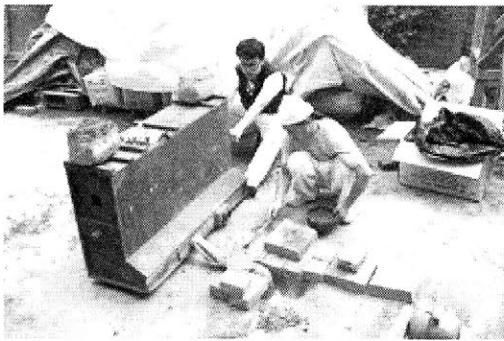


図 1) 炒鋼炉の操業

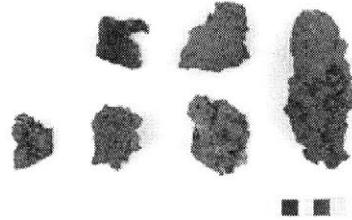


図 2) 生産された炒鋼

微細組織の観察結果、製鉄過程から多様な形態の組織 (ferrite, pearlite, cementite, dendrite)が観察され、融解過程では銑鉄炒鋼実験では過共析鋼が現れた。特に炒鋼は XRD 分析結果、製鉄過程のスラグは Fayalite と Wustite が現れた。また炒鋼スラグは 沙鉄と還元剤である貝殻などの影響で Magnetite, Ulvospinel, Wustite が検出された。そして、鍛冶過程から收拾したスラグ Wustite と Fayalite が共存するが、この時 Wustite は巨相で存在した。

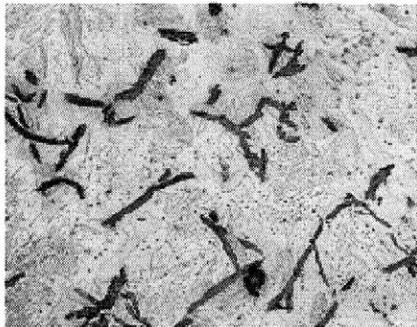


図 3) 銑鉄の微細組織

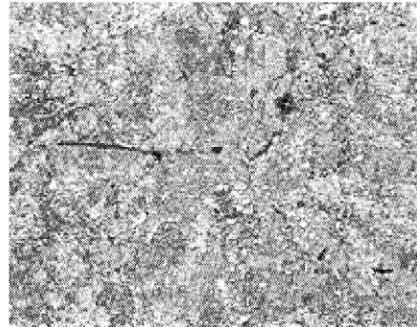


図 4) 炒鋼の微細組織

III. 結論

炒鋼技術は韓国固有の製鋼技術で良質の鋼を大量に生産できる長所がある。古代の製鋼技術を利用した炒鋼の開発のために文献調査及び基礎調査を実施し、伝統製鉄と溶解過程を経て炒鋼技術を研究した。炒鋼の実験は炉の築造方法と加熱温度、銑鉄と酸化物の重量費、高温の維持時間及び冷却方法、そして季節的な要素などが変数に作用し、予想通りに進まなかったが、古文獻を参考し、技能伝承者の参加で炒鋼が生産できた。

今回の研究で断絶された韓民族伝統科学技術である製鉄・製鋼生産方法を復元し、また開発された源泉素材を用いて文化財の復元、文化商品、高強度炭素鋼の生産が可能になった。

朝鮮時代の瓦の物理的特性の研究

○ 鄭光龍・賓周景(韓國傳統文化學校), 金洋辰(奈良大學 大學院生)

1. 序論

韓国の国宝である崇禮門が火事で全焼した。それから崇禮門の復旧が全国的な問題として浮かび上がったが、他の分野に比べ「伝統瓦の制作方法」にたいして徹底的に考証した研究がなく、関連分野にたいした技術の蓄積も不足な実態であった。その故に、伝統瓦の改補修の認識がたりなく、伝統建造物の瓦の取替え工事に現代の瓦が使用されることがほとんどである。しかし、これは成型方法(壓搾)に従って高い比重により、屋根の質量が増加して構造的な不安定を招来する問題点がある。

本研究は瓦の自然科学的分析方法を通じて製作原料及び製作技法、製作環境などのDBを構築する。また分析結果の独創的な応用と科学的な解釈技術による瓦の編年、特性、製作技術、生産地の推定を可能にすることを目標として行われた。

2. 研究方法

伝統瓦の物性や製作技法などを研究するため、6ヶ所の遺跡から出土した瓦(朝鮮時代)と伝統の瓦(製瓦匠)、現代の瓦など延べ72点の試料を分析対象に選定した。6ヶ所の遺跡は「崇禮門の瓦(前期・中期・後期・1963年補修瓦・1997年現代の瓦)、龍仁上峴洞上峴洞遺跡、烏山陽山洞遺跡、平澤七院洞遺跡、南漢山城、東大門運動場遺跡」として、朝鮮時代の瓦が出土した代表的な遺跡である。この試料72点に自然科学的分析を適用し朝鮮時代の瓦の基準になる特徴を提示することを試みた。

中性子放射化分析(Neutron Activation Analysis)を通じて瓦に含有されている微量成分元素の19種の含量を分析し、判別分析を利用した統計分析を実施した結果、各試料の微量成分の差により産地が区分できた。そしてXRD分析と偏光顕微鏡の観察で鉱物の造成を確認することができた。曲がる強度は化学試験研究院に依頼し、KS規格(KS F 3510)の方法によって瓦の幅方向に水平に棒を置き中央部に均一に荷重を加えて測定した。瓦の冬破に対する耐性を調べるためには耐冬解性を測定した。瓦を20±5℃の蒸留水に24時間浸した後、-20±3℃の冷凍槽に入れて8時間以上経過させる。そしてこれをまた20±5℃の蒸留水に6時間以上浸した。その後、濡れた布切で水分を除去し、試験対の亀裂、釉薬の浮かれの有無などを観察する実験でこの作業を10回進行しながら毎回観察結果を記録した。吸水率を測定するため便宜によって瓦を一定に(7*7cm及び10*10cm)規格化して20±5℃の蒸留水に24時間浸して表面の水を拭き取って表乾質量(m1)を測定して熱風乾燥機で(105±5℃)24時間乾燥した後、常温まで冷却した時の全乾質量(m2)を測定して(1)の式によって算出した。比重は容積の単位あたりの質量値という定義によって(2)の式によって算出した。

$$\text{吸水率(\%)} = \frac{m1 - m2}{m2} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{比重(g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{質量}}{\text{容積}} \dots\dots\dots (2)$$

全岩帯磁率は胎土の磁化強度を表す尺度として同一胎土で製作された瓦は同一な全岩帯磁率値を持つ。全岩帯磁率は「ZH Instrument, SM 30」を使用した。より正確な値を算出

するため10回測定した後、平均値を計算した。示差熱分析は標準物質と試料を調節された速度で加熱または冷却させる時試料と標準物質間の温度差異を測定して記録する分析法である。示差熱分析(DTA)は分析で現る吸熱と発熱反応を通じて鑛物内の吸着水、層間水及び結晶水の放出、鑛物構造の崩壊、熔融、蒸發、氣化、磁性物質の相転移だけではなく酸化と再結晶化の作用などが類推できる。sample panは Al_2O_3 を使用した。分析条件は $20^\circ\text{C}\sim 1200^\circ\text{C}$ の間で $20^\circ\text{C}/\text{min}$ の昇温の速度を適用して、これをに基づき分析を遂行した。

3. 結果及び考察

中性子放射化分析で微量元素を分析した後、判別分析を通じた崇禮門の瓦は独立的な五つの組として分類でき上峴洞の瓦は東大門運動場の瓦は同じ組に屬した。これに対して七院洞の瓦以外の瓦はそれぞれ分類された。上峴洞の瓦と東大文運動場の瓦を除いた瓦は遺跡の構成員によって独立的に生産・使用され、原料である粘土は他の場所で採取され運搬・使用された可能性は極めて高い。XRD分析と偏光顕微鏡の観察で 鈹物造成について調査したが、瓦は焼成当時、造成変化が激しいため瓦の基源を探るというのは無理があるということがわかった。特に崇禮門の瓦の場合、mullite, cristobalite, hercyniteなどの鈹物が発見されたが、これは張興の製瓦匠の瓦より高温で焼成されたという証拠としてみられるので推測がもっと難しくなる。曲がる強度は崇禮門の牝瓦(1963年)2007N、現代の瓦3000N、製瓦匠の瓦1600Nに測定された。吸水率と比重を測定した結果、比重は大部分 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 内外で同じようだが現代の瓦の比重値が $3.5\text{g}/\text{cm}^3$ まで高く測定された。吸水率は製瓦匠の瓦が一番高くその次が崇禮門の瓦、そして現代の瓦が1%で一番低かった。耐冬解性の測定結果、崇禮門の瓦は製瓦匠の瓦は1~3回までは冬破がなかつがし4~5回から表面の亀裂と剥落が生じることに判じて現代の瓦は1~3回から小さい亀裂が発生し始めた。全岩大帯磁の測定結果、製瓦匠の製作瓦が $0.37\sim 1.12(\times 10^3\text{SI})$ 値を表して現代の瓦が $3.54\sim 4.65(\times 10^3\text{SI})$ の値を表して胎土の性質が異なることが分かった。示差熱分析の結果、大部分の瓦が $550\sim 573^\circ\text{C}$ 附近で吸熱peakが確認できた。この温度は石英が α から β に象転移するため現れるpeakである。これを基づいてすべての瓦の焼成温度は 1000°C 以上に見られて、1963年の補修に使用された崇禮門の牝瓦の場合、XRD分析で $1200^\circ\text{C}\sim 1300^\circ\text{C}$ の間で生成されるcristobalite鈹物が現れ、焼成温度がこの範囲内にあることがわかった。

4. 結論

多様な実験結果、自然科学的な分析結果の統計学的な分析を通じて、瓦の胎土の原産地を対照するのができた。また、伝統の瓦、現代の瓦に対する物理的性質を対照して見る事ができた。原産地はそれぞれ異なったが、物理的性質は伝統の瓦組と現代の瓦の確然な差が現れた。このような結果が現れた理由は伝統の瓦と現代の瓦の製作方式が異なるためである。伝統の瓦は人が粘土を足で踏んで混合する‘人足味’型式で現代の瓦は粘土を土練機で破碎・混合して氣孔を除いて真空で圧縮して成形するためである。

大韓民国 忠南 公州市 唐岩理 出土 鋳滓の材料学的 特性

○趙南哲(公州大学校 文化財保存科学科), 李善永, 梁慧珍(百濟文化財研究院)

I. 序論

鉄は古代社会の形成に非常に重要な手段として使われ、鉄を生産する技術である製鉄技術は社会の発展に相当な影響を与えた。このような理由で現在考古遺跡から発掘される製鉄関連資料の分析は古代冶金技術の発達過程を糾明するための重要な資料である。本報告では、金属工学的分析方法を用いて、考古遺跡から出土された鋳滓と遺跡地で遂行された作業の性格を推正し、製作技術の水準を知ることがを目的にした。

II. 研究方法

本研究では、大韓民国忠南公州市唐岩里から出土された鋳滓6点を対象に自然科学的分析研究を行った。選定された6点について主成分分析、化合物分析及び微細組織の観察を通じて製作された時に使われた原料と鋳滓の種類及び製鉄方法について調べた。

鋳滓の主成分分析は波長分散形X-線蛍光分析器(WD-XRF, S4 Explorer, Bruker, Germany)、化合物状態はX-線回折分析(XRD, X'Pert PRO MPD, Philips, Netherlands)を利用して調査した。金属顕微鏡で組織を観察し、電界放射型走査電子顕微鏡(FE-SEM, JSM-7401F, JEOL, Japan)を使用した。組織内微少部位の化学組成を調べるためにエネルギー分散形X-線分析器(EDS, INCA, Oxford)を利用して分析を行った。

III. 研究結果

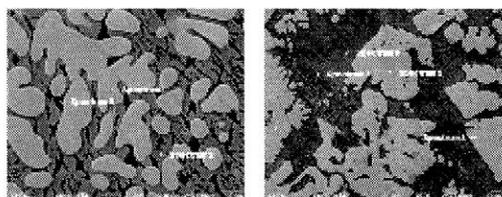
1. 注成分分析

全鉄量(Total-Fe)は大部分60~69%で普通古代で発見される鋳滓の全鉄量の範囲(30~50%)より高いため、鉄の回収率が良くないことがわかった。しかし、鋳滓5番の場合36.71%で鉄の回収率が他の鋳滓たちに比べて良いことがわかる。造材量($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$)の場合7~20%で、昔の製鉄からよく見られる造材量の範囲(17~40%)より低く現われるので、鋳滓と金属鉄の分離が円滑することができないことが分かった。しかし、鋳滓5番の場合46.92%で高く現われるので、他の鋳滓に比べて金属鉄の分離が円滑になることをわかる。製錬過程の中で石灰質物質を添加して加熱すればCaOに変化し、融点を低くして粘性を少ないようにして脱黄、脱磷作用に効果的である。鉄滓1~4番と6番のCaO含量は1.60~4.85%で低く現われる。これは石灰質物質によってCaOが検出されたのではなく、炉製作当時使われた粘土によって生成されたことに推定される。しかし、鉄滓5ばんの場合17.92%でその含量が高いことから見て石灰質物質を添加したように見える。そのうえ製錬過程で沙鉄を原料に製錬された鉄滓は TiO_2 , V_2O_2 , ZrO_2 の含量が高く現われて、これをとって製鉄原料を把握することができる。この遺跡から出土された鉄材の場合 TiO_2 の含量が平均0.32%で低く現われ、 V_2O_2 と ZrO_2 も少量に検出されることが分かる。即ち、製錬過程では沙鉄ではなく鉄鋳石を使ったと考えられる。鉄は製錬する時に使った耐火材の特性を把握する指数である塩基度($\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$)を確認して見た結果、0.17~0.72%で、酸性操業をしたと考えられる。

2. 化合物分析

全体的にWüstiteが柱状で現われた。その外Fayalite、 Magnetiteが現われた。特に鉄滓 2、 4、 5、 6 の場合、 多量のMagnetiteが検出されることが特徴的である。これを通じて出土された鉄滓は大部分 鍛冶過程で生成された鉄滓であることに推定される。

3. 微細組織観察



Sample	Analysis position	Element (wt%)									
		C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe
鉄滓 6	1	2.22	24.76								73.01
	2	0.75	34.87		1.15	0.68	15.22	0.47	13.69		33.17
	3	2.94	43.75	1.78		9.11	19.92	9.81	3.14		9.55
	4	1.50	27.01		0.55	1.15				0.40	69.39
	5	1.95	25.50								72.54
	6	1.43	39.02	0.54	0.73	4.13	17.67	3.70	12.80		19.97
	7	2.15	43.79	1.21		8.39	20.09	6.72	8.10	0.41	13.43

金属顕微鏡の観察結果、大部分の基地部分は灰色長柱状のFayaliteで大部分成しているし、その上に白色絹像組織なWüstiteと、白色多角形組織なMagnetiteが広く分布されている。鉄滓 6 番の場合、SEM-EDSを利用して微細組織と成分を分析した結果、①と⑤部分は絹状組織でWüstiteであり、④部分はTi、Mgを含んでいる白色多角形組織なMagnetiteである。②、⑥部分は素地に広く分布している灰色長柱状のFayalite、③と⑦部分は素地基地部分なGlass matrixである。

IV. 結論

- 1) 全鉄量は大部分60~69%として高い一方、鉄滓5番は36.71%の低いことから他の鉄滓に比べ鉄の回収率が良かったことが分かる。量の場合大部分7~20%で低く現われたが、鉄滓5番の場合46.92%で高く現われている。即ち、他の鉄滓に比べて金属量の分離が円滑であることをわかる。
- 2) 鉄滓1~4、6のCaO含量は1.60~4.85%である。これは石灰質物質によって検出されたのではなく、炉製作当時使われた粘土により生成されたことが推定される。しかし、鉄滓5点の場合 17.92%でその含量が高いことから見て石灰質物質を添加したと考える。
- 3) TiO₂の含量は平均0.32%、V₂O₅とZrO₂は少量が検出された。即ち、鉄滓の製錬原料では沙鉄ではなく鉄鉱石を使ったと考える。
- 4) 鉄滓の化合物と微細組織を分析した結果、基地部分は灰色長柱状の他、Fayaliteが主成分であり、そのWüstite組織と、白色Magnetite組織が広く分布されていることが確認できた。これを通じて、遺跡から出土された鉄滓は大部分鍛冶作業中に発生された鍛冶滓であると確認された。しかし、鉄滓5番の場合、他の鉄滓と比べ、造、組織から大きい差が観察され、製錬作業中に発生した製錬滓であると考えられる。同じ遺跡で出土された鉄滓でも、1次製錬工程を経た塊煉鉄を使って鍛冶工程の過程を経るので、製錬滓も一緒に出土されたと考えられる。

紫色ガラスの分析科学的研究

○田村朋美（奈良文化財研究所），江崎靖隆（糸島市教育委員会），
肥塚隆保（奈良文化財研究所）

1. はじめに

福岡県糸島市三雲・井原遺跡の弥生時代後期に比定される木棺墓から紫色透明を呈するガラス小玉が出土した。古代のガラス小玉において、紫色透明を呈するガラス小玉は類例がきわめて少なく、古代の日本列島におけるガラス小玉の様相を知ることでできる貴重な資料である。これらの紫色ガラス小玉についてガラス材質の調査を実施したところ、古代ガラス小玉の着色材に関する新たな知見を得ることができた。

2. 資料と方法

本研究の対象とした資料は、福岡県糸島市三雲・井原遺跡ヤリミゾ地区 15 号木棺墓出土ガラス小玉 44 点である。調査は観察および材質の非破壊測定によった。観察は実体顕微鏡下でおこない、ガラス小玉の製作技法を明らかとすることを目的とした。材質調査については、蛍光 X 線分析法による非破壊元素測定をおこなった。材質の調査にあたっては、主要な構成成分とそれらのおおよその含有量を知るため、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（EDAX 社製）をもちいて元素測定をおこなった。本調査では非破壊法を適用したため、試料の風化層や形状等の影響により、資料本来の正確な化学組成を知ることはできないが、大まかな材質を同定することは可能である。

3. 結果と考察

顕微鏡観察の結果、本資料には孔と平行方向に直線状に並んだ気泡列や両端面を貫通する筋状の気泡が認められ、引き伸ばし法によって製作されたと考えられる。

材質については、酸化カリウムを 7-23% 程度含有し、酸化ナトリウムの含有量が 1% 以下で酸化カルシウムの含有量もほぼ 1% 程度もしくはそれ以下であり、一般的なカリガラスの組成に類似する。一部にカリガラスとしては酸化カリウムの含有量が少ない資料も認められたが、本調査が非破壊測定のため、風化面の測定となり、本来の組成より酸化カリウムの含有量が少ない値を示した可能性が高いと考えられる。風化面でのこのような組成の変化は従来の研究でも指摘されていることから、本資料ではこれらの資料も含め、すべてカリガラスであると判断した。

着色に関与する成分については、酸化マンガンを 3.5%-6.4% 含有しており、マンガンイオンが主な着色因子であると考えられる。マンガンイオンはガラス中で主に、 Mn^{2+} によって無色、 Mn^{3+} によって赤紫色に発色することが知られている。このことから、本資料はマンガンイオンが酸化状態において紫色を呈しているものと考えられる。

弥生時代から古墳時代の遺構から出土するガラス小玉には青紺色を呈するカリガラスが知られている。また、これらのカリガラスの中には紫色味の強い紺色（以下紫紺色）を呈するガラス小玉も存在する。これら青紺色および紫紺色を呈するカリガラスは、本資料と同様に酸化マンガン含有量が多いのが特徴であり、さらに酸化コバルトを0.1%程度含有している。いっぽう、三雲・井原遺跡の紫色ガラス小玉については酸化コバルトがほとんど含まれておらず、これらの青紺色および紫紺色カリガラスと

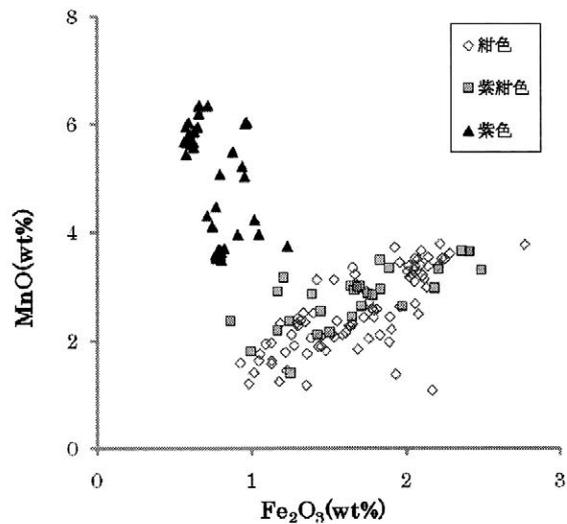


図1 非破壊測定によるガラス小玉のFe₂O₃-MnO量

は異なる特徴を有することがわかった。コバルトイオンは、Co²⁺の状態、非常に強い青色の着色力をもつことが知られている。このことから、青紺色および紫紺色カリガラスについては、Co²⁺が紺色の発色に寄与しているものと考えられる。ただし、青紺色カリガラスと紫紺色カリガラスについては着色に関与する成分の含有量に大きな差異は認められなかったことから、酸化条件によってMn³⁺が多く存在する場合に紫色味が強くなるものと推察される。

さらに詳細に検討すると、三雲・井原遺跡出土の紫色ガラス小玉は、青紺色および紫紺色カリガラス小玉と比較して酸化マンガン含有量が非常に多く、酸化鉄の含有量が少ないことも判明した（図1）。これらのことから、本資料と従来から知られる青紺色および紫紺色のカリガラス小玉では異なる着色材原料が用いられたものと考えられる。また、従来の研究ではマンガンはコバルト鉱石に付随する不純物と考えられてきたが、本資料ではマンガンがコバルトの不純物ではなく、単独で用いられた可能性が示唆された。

今回、コバルトを伴わないマンガンが着色に関与したガラスが存在することが明らかとなったことは、古代ガラス小玉の着色材の一端を解明する手掛りとなるものと期待される。

表1 調査対象資料および参考資料一覧

遺構名	時期	年代	青紺色	紫紺色	紫色
三雲・井原遺跡ヤリミゾ地区 15号木棺墓	弥生後期	1-2世紀	15		44
宮の前1号箱式石棺墓	弥生終末期	2世紀後半	45		
小倉原田3号土壙墓	弥生後期後半	2世紀		5	
須玖唐梨2号土壙墓	弥生後期後半	2世紀	3		
釣瓶落11号墳	古墳前期後半	4世紀	30		
女池ヶ谷25号墳	古墳中期後半	5世紀後半	7	25	

SIMS を用いた黒曜石水和層中の水素イオン分析

○渡辺圭太（東京工業大学），鈴木正男（立教大学）

1. はじめに

SIMS(二次イオン質量分析—Secondary Ion Mass Spectrometry)によって，考古学的黒曜石の水和層の H^+ プロファイリングを行い，高精度年代測定，及び遺跡周辺の古気候変化復元の方法を確立することを目指す。そのためには黒曜石水和層中の水の挙動を知ることが必要である。そこで，促進水和リアクターを用いて，上・中・下の一定温度，上→下・下→上など過去の氷河時代などの気候変化をシミュレートした可変温度などの条件下で，人工的に水和層を形成して，SIMS H^+ プロファイリングを行った。人工水和層作成には H_2O および D_2O を用い，1つの温度において H^+ および D^+ の挙動がどうなるか観測した。さらに，複数の温度で様々な温度経歴を経た水和層を作成し，水和層のプロファイルはどう変化するのかを調べ，黒曜石水和層中の水の挙動を解析するなど，今後の展望について述べる。

2. 実験

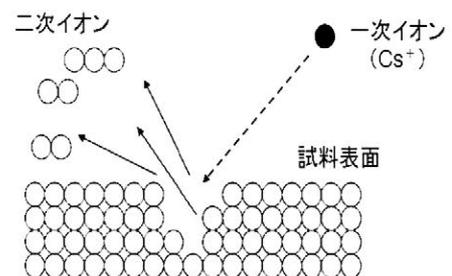
2-1. 促進水和実験

促進水和実験は，保温器を用いて高温で短期間に水和層を人工的に作成する実験である。一定の時間ごとに水和温度を変えることで様々な温度経歴を経た水和層を作成することが出来る。本研究において水蒸気温を $90^{\circ}C$ に設定した。

実験条件		
使用した水	設定温度	期間
純水 (H_2O)	$90^{\circ}C$	1クール（4週間） × 3クール
重水 (D_2O)		

2-2. 二次イオン質量分析法— (SIMS : Secondary Ion Mass Spectrometry)

SIMS は，表面分析の手法の中では最も高感度で，深さ方向の分析に最適な方法である。真空中で高速のイオンビーム（一次イオン）を試料表面に照射すると，スパッタリング現象によって試料中の粒子がはじき飛ばされる。このとき発生する正または負の電荷を帯びたイオン（二次イオン）を電場によって一方向に飛ばし，検出装置で測定する。水素イオンの検出感度が高く，数十 nm～数 μm スケールでの詳細な深さ方向分析が可能である。



測定条件

- ・ 測定装置 : Physical Electronics PHI 6650
- ・ 一次イオン種 : Cs⁺
- ・ 一次加速電圧 : 5.0 kV
- ・ 検出領域 : 54 × 69 (μm × μm)

3. 結果と考察

以下に黒曜石水和層中の H₂O および D₂O の深さ方向に対する濃度分布のプロファイルを示した。横軸が深さ、縦軸左が濃度 (atoms/cm³)、縦軸右が Si 二次イオン強度 (counts/sec) である。測定によって生じたクレーターの深さを用いて、深さへの変換を行った。

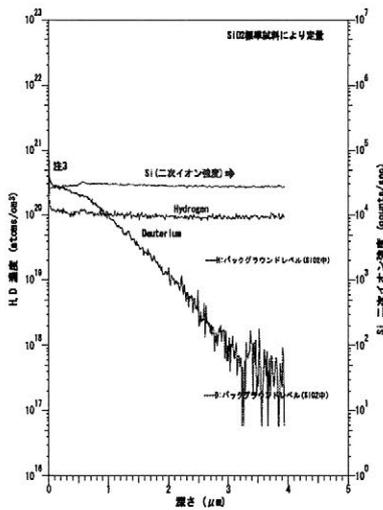


Fig.1 D

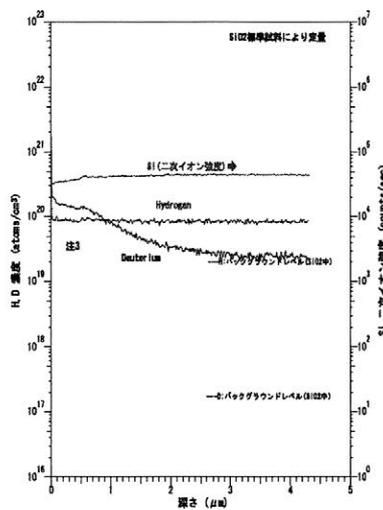


Fig.2 D-D

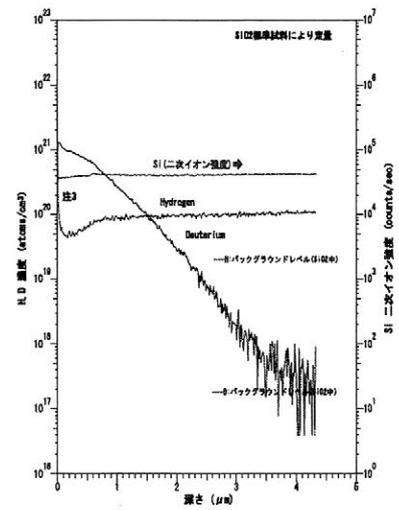


Fig.3 D-D-D

試料間で D₂O の分布に有意差が見られた。

D-D (D₂O を 2 クール) は他のサンプルに比べて空孔が多いため、実際の分布よりも広がって見えている可能性がある。また、試料には H, D が多く含まれているため、マトリックス効果の影響により定量値には不確かさが伴うと考えられる。

クレーター底面粗さの影響により実際の分布よりも鈍く見えている可能性がある。今後の試料作成における課題に繋がってくる。

ビームを照射しスパッタリングしていく時に、表面に付着した H⁺ または極表面付近の H⁺ がビームによって実際の位置よりも奥へ押され、それを検出する結果になった。これについては水和した試料についても同様の現象が起きている可能性があるため、黒曜石表面に極めて近い水和層を扱う上では考慮しなければならない問題である。

今回の SIMS 測定により、1つの温度において水 (H⁺, D⁺) の詳細な挙動が観測できたとは言えない。ただ、その方向性を示すことができた。今後は、1つの設定温度だけではなく、複数の設定温度で様々な温度経歴を経た水和層を作成し、水和層のプロファイルがどう変化するかを調べていく方針である。

X線CTスキャン法を利用した耳環の調査（2）

○渡辺智恵美（別府大学） 鳥越俊行 輪田 慧（九州国立博物館） 塩浜浩之（上毛町教育委員会）

1. はじめに

考古遺物を自然科学的な手法により調査することによって従来の考古学的調査にまして大きな成果が得られるのは周知の事実である。昨年度に引き続き、福岡県上毛町百留横穴墓群から出土した耳環について調査を行ったので報告する。

2. 調査方法および資料

従来から実施している蛍光X線分析による材質の調査やデジタル顕微鏡による観察に加えてX線CTスキャン調査（以下、X線CTとする）、X線CT画像を利用した三次元計測を行った。X線CTはX線透過試験と比べて損傷状況や内部構造、断面形状といったより多くの情報を得ることができる。また三次元計測は、耳環のような曲面と光沢を有する資料の計測には不向きであるが、X線CT画像を利用することによりこれを解消できる。今回はこの方法を利用して環の断面形や形状比較（一致度の検討）を行った。調査資料として、福岡県築上郡上毛町に所在する百留横穴墓群から出土した耳環37点を用いた。

百留横穴墓群は、大分県との境界で福岡県東端の上毛町大字百留に所在する49基からなる横穴墓群で、山国川左岸の丘陵の壁面に造営されている。地元では古くから「百穴」として周知されており、装飾古墳としても有名である。後世の盗掘等によりすべての横穴は開口した状態であり、戦後は倉庫や物置、遊び場として使用されていた。そのため遺物はほとんど残っていなかったが、いくつかの横穴墓で大刀や刀子、馬具などの破片、土器類が大量の玉類や耳環とともに出土している。これらの遺物から、この横穴墓群の造営時期は6世紀後半から7世紀前半頃に比定されている。いくつかの横穴で切り合い関係が確認されているが、各横穴墓の時期差については不明である。

3. 材質および製作技法による耳環の分類

耳環はすべて芯を持つ中実タイプである。蛍光X線分析を実施した結果、表面層からは金や銀、水銀などが検出され、芯部からは銅、錫、鉛のほかにも微量元素としてヒ素、セレン（Se）、ビスマス（Bi）などが検出された。

材質や製作技法により耳環を分類したところ、銅芯銀板貼鍍金技法によるものが26点、銅芯金板貼鍍金

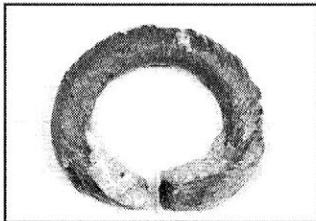


写真1



写真2 (拡大)

によるものが1点、銅芯銀板貼鍍金技法によるものが3点、銅芯鍍金技法によるものが2点、銅芯の表面に帯状の細板を巻いたものが1点（写真1,2）、表面層が剥落して装飾方法が不明なものが4点であった。

4. X線CTおよび三次元計測による調査

X線CTおよびCT画像を利用した三次元計測は、外部からは把握できない内部構造の調査と環断面形の把握や形状の一致度（マッチング）の測定することを目的として行った。

耳環の製作工程で、環を製作する際に銅芯を鉄の棒などに螺旋状に巻き付けて成形したと考えられるが、環の内側の形状と断面形、および材質や表面層の装飾方法などが一致すれば「同時期に製作された」という仮説が成り立つ。これを検証するためにX線CTおよび三次元計測を実施した。

X線CT調査から、環の断面形状に3つのタイプがあることが判明した。一つは正円に近いもので、比較的大型の耳環に多く見られる(写真3)。二つ目は縦楕円になるもの(写真4)、三つ目は蒲鉾形になるもので、環の内側面が直線に近くなる(写真5)。断面の比較には、接面(開口部)に平行する方向をX軸、直交する方向をY軸とし、耳環のほぼ中央部付近で切断した場合の断面形状を用いている。また、いくつかの耳環で銅芯の中央部に空隙を持つものが確認できた。芯の製作に関わる現象と考えられるが詳細は定かではない(写真6~9)。

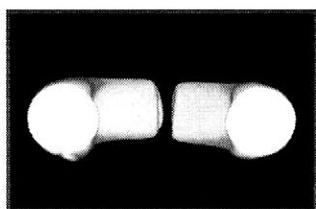


写真3

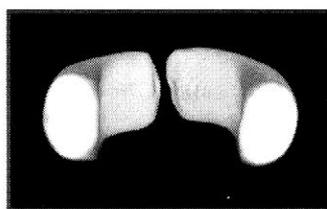


写真4

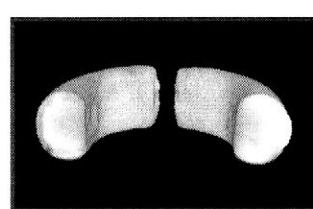


写真5

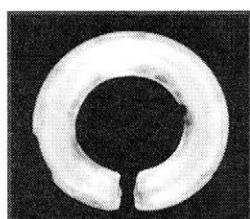


写真6

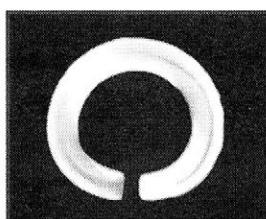


写真7

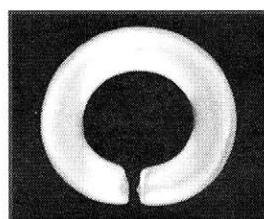


写真8

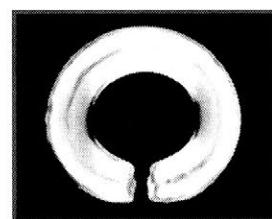


写真9

三次元計測によるマッチングでは、耳環の製作に関与していると思われる環断面、内側面の形状、大きさに留意して比較検討した。断面形状については、接面の正反対側(図3 矢印部分)を中心に環を8等分し、それぞれ比較した。検討の結果、いくつかの耳環で一致度の高いものが確認できた。とくに39号横穴墓から出土した4点のうち3点で一致度が高くなり、これらの耳環は製作技法や銅芯の材質についても酷似しており同時に製作された可能性が高い。一例として39号横穴墓から出土した耳環2点について、表裏と環断面の一致度をそれぞれ比較したものを図示した(図1~4)。

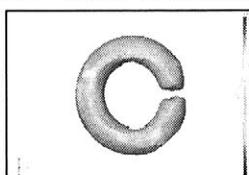


図1 耳環No22・23 (表)

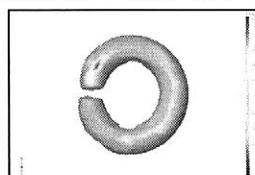


図2 同 (裏)

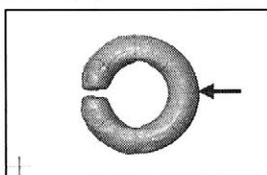


図3 断面形状と比較箇所

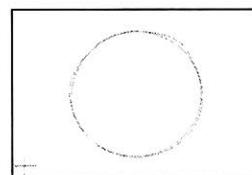


図4 矢印部分の一致度

5. おわりに

百留横穴墓群は後世に倉庫や遊び場として利用されていたことや発掘調査範囲の制限により、横穴の築造順序や遺物の出土地点などの考古学的な情報が限られていたが、X線CTや三次元計測法を用いることで、同時期に製作されたと推定できる耳環グループの存在や異なる横穴墓から出土した耳環が一致するなどの情報を得ることができた。これらは製作やそれに関わる工人、材料の供給と製品の配布といった考古学的な問題を考えるうえで重要な情報であり、本遺跡を理解するうえで一助になると考えている。

(本発表は科学研究費補助金—基盤研究C—の助成を受けて行った調査の一部である)

埴埴表面に残された金属成分の調査

○内山伸明，永濱功治，中村幸一郎，上床真，園田ひとみ（鹿児島県立埋蔵文化財センター）

1 はじめに

虎居城跡（鹿児島県薩摩郡さつま町）の調査で，中世末～近世該当層から直径 10cm あまりの埴埴が出土した。さらに調査を進めた結果，直径 30cm ほどの土坑内から，サイズや形状に特徴が見られる埴埴が多数まとまって出土し，内面には赤茶色や緑色の金属粒が付着していた。これらを鹿児島県立埋蔵文化財センター所有の蛍光 X 線分析装置で分析したところ，主に Cu, Sn, Pb, Fe が検出された。

そこで，これまでに鹿児島県内で出土している埴埴・取鍋を集成し，さらに蛍光 X 線による成分分析を行い，出土した金属製品との関連・傾向を探ってみた。特に今回は，虎居城跡の 5 点（中世末～近世）と寿国寺跡及び島津家屋敷跡出土の 2 点（近世）について，残存する金属成分を調査した。

2 鹿児島県内の埴埴・取鍋出土状況

当センターの調査では，これまでに 15 遺跡から 40 点あまりの埴埴・取鍋を確認している。大半は 1 遺跡 1 点から 3 点の出土であるが，虎居城跡からは 20 点と，まとまった数が出土している。

3 調査方法

(1) 表面観察

目視のほか，双眼実態顕微鏡（Nikon SMZ1000）による 8～20 倍観察を行い，埴埴表面の特徴的な色調や形態等を観察した。

(2) 金属粒子の分布調査

透過 X 線撮影装置（HITACHI PI-CR-1506）で撮影し，金属粒子の分布を調べた。

(3) 金属粒子の成分分析

非破壊では測定できない部分が大半のため分析用の試料を作成し，エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（堀場製作所製 XGT-1000，X 線管球ターゲット：ロジウム，X 線照射径 100 μm）で分析を行った。分析条件はそれぞれの試料に最適になるよう自動設定とした。定性的なデータ収集を目的としており，標準試料による補正は行っていない。

4 結果

(1) 表面観察及び金属粒子の分布調査

表面観察により，直径 1 mm 前後の細かい金属粒子が点在していることがわかった。このこと



鹿児島県内の主なつぼ，とりべ出土遺跡

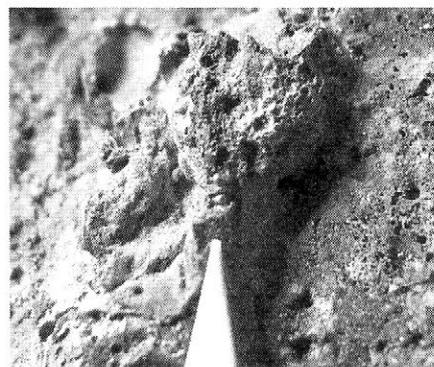


写真 1 埴埴表面の銅粒子

は透過X線画像でさらにはっきりと確認できた（写真1～3）。

今回調査した資料では、金属粒子を目視で確認できたのは銅だけであった。

(2) 金属粒子の成分分析

虎居城跡で出土した埴塼（資料 No. 11）表面に見られた金属粒子をサンプリングして成分分析したところ、純度の高いCu粒子であることがわかった（図1）。さらにこの他にこの資料の表面5か所からサンプルを採取して分析したところ、場所によってばらつきは大きい（図2）ものの、SnやPbなどが検出された。そのほかの埴塼からも同様の結果が得られた。

島津家屋敷跡（資料 No. 85）、寿国寺跡（資料 No. 321）の埴塼については、それぞれFe、Cu、PbやCu、Feなどを検出した。

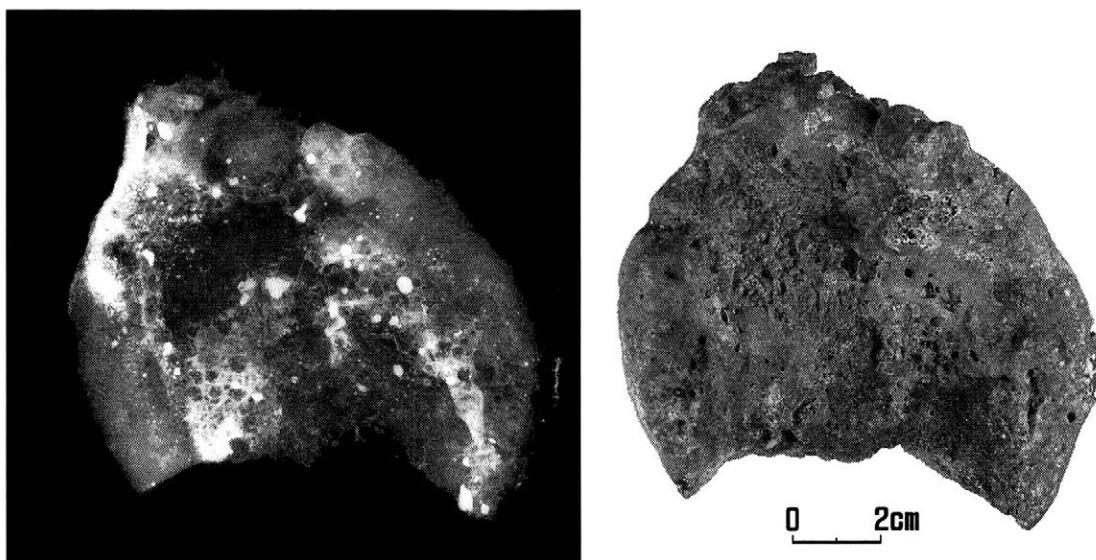


写真2 虎居城跡出土埴塼11（左：透過X線画像）

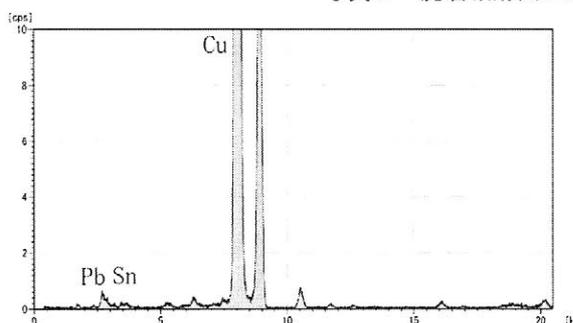


図1 虎居城跡出土埴塼11、銅粒子

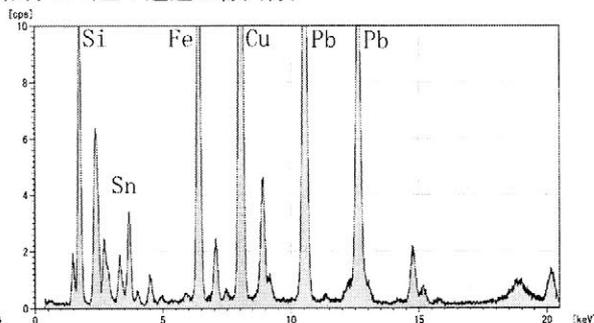


図2 虎居城跡出土埴塼11、暗赤褐色部分

5 まとめ

虎居城跡からは、鉄鍬や刀子等の鉄製品のほか、キセル、鏡、簪、古銭などの青銅製品、Agのインゴット、Pbの鉄砲玉が出土している。埴塼の出土点数や成分分析の結果から、鉄や銅を中心とした金属製品の生産活動が行われていた可能性が高いが、現段階ではこれらの金属製品にすぐに結び付く結果は得られていない。

今後は、透過X線画像と対比させながらさらに分析を進める予定である。

参考文献

伊藤幸司「埴塼に残る金属成分の解釈-鉛の多寡から推し量るべきこと-」日本文化財科学会第26回発表要旨集

アンコール・ワット十字回廊に見られる顔料の研究

○内田悦生・田久保豊・豊内謙太郎・渡辺美齡・宮田順一（早稲田大学理工学術院）

1. はじめに

アンコール遺跡（カンボジア）では、石材表面に顔料が塗布されている例はそれほど多くない。顔料が残存している場合でも、そのほとんどは赤鉄鉱を主とした赤色顔料であり、象のテラス、ライ王のテラス、プレ・ループ、プリア・カーン、タ・ネイなどに見られるのみである。しかしながら、アンコール・ワット十字回廊では、全面的に顔料が塗布されており、使用されている顔料の種類も多く、重ね塗りが行なわれている。この十字回廊の顔料に関しては、Kiesewetter et al. (2001)が調査を行っているが、表面の顔料に対して概略的な調査が行なわれているのみであり、重ね塗りされた顔料全般に対する調査は行なわれていない。そこで、本研究では、顔料の重ね塗りの状況を把握するとともに各層の構成物質の同定を行なった。

2. 顔料の塗布状況

十字回廊では、剥落している部分が多いが、ほぼ全面的に顔料が塗られていたと思われる。顔料は柱、壁面、梁材下面および小壁等に塗られており、場所により塗布されている顔料の違いが認められる。柱や壁では複数回に渡って異なる顔料が塗布されている。肉眼観察、デジタル顕微鏡観察および携帯型蛍光 X 線分析装置を用いた定性分析を行なった結果、壁面では北面と南面で塗布状況が異なるとともに、柱でも場所によって塗布状況が異なり、5 領域に分けられることが明らかになった。ここでは、図 1 に示した 10 領域（北壁面、南壁面、東西出入口、柱 5 領域、梁下面～庇屋根裏、小壁）において詳細な調査を行なった。なお、北壁面では上部（領域 G）と下部（領域 G'）とで顔料の塗られ方が異なり、また、最も北側の柱でも、北面（領域 A'）と他の面（領域 A）とで顔料の塗り方が異なっている。

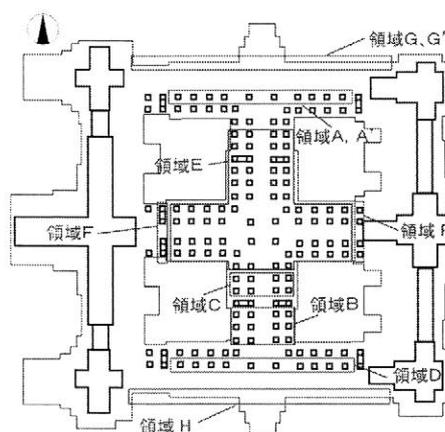


図 1 顔料に基づくアンコール・ワット十字回廊の領域分け

3. 調査・分析方法

上述した 10 領域に分けて顔料の詳細な調査を行なった。顔料は多くの場合、重ね塗りが行なわれているため、領域ごとに肉眼およびデジタル顕微鏡を用いて顔料の塗布順序を把握するとともに、代表的な箇所において携帯型蛍光 X 線分析装置を用いて、顔料の定性分析を行なった。それに加え、1～数 mm 程度の大きさの顔料を剥離部分から採取した。採取した顔料はエポキシ樹脂を用いて包埋した後、耐水研磨紙およびダイヤモンドペーストを用いて研磨・琢磨した後、実体顕微鏡を用いて顔料の断面を観察した。また、微小部 X 線回折装置を用いて顔料の構成物質を調べるとともにエネルギー分散型 X 線マイクロアナライザーを用いて顔料構成物質の化学組成分析を行なった。

4. 調査・分析結果

ここでは、典型的なパターンを示す領域 E の柱と領域 G の壁面の顔料に関して述べる。

4. 1 領域 E

十字回廊の多くの柱が領域 E に属し、表面的にはピンク色から赤色を呈している（図 2）。領域 E の顔料は 5 層からなる（図 3）。表面から第 1 層は、白色層であるが、下に赤色顔料が

存在するため肉眼的にはピンク色に見える。主として、塩化物系鉛、シュウ酸カルシウムからなり、リン酸カルシウム類、硫酸鉛および石こうを伴う。第2層は赤色層であり、主として、赤鉄鉱およびシュウ酸カルシウムからなり、鉛白、炭酸カルシウム、石こう、塩化物系鉛、リン酸カルシウム類、硫酸鉛を伴う。第3層は白色層であり、主として、塩化物系鉛および鉛白からなり、若干のシュウ酸カルシウム、リン酸カルシウム類、炭酸カルシウム、硫酸鉛を伴う。第4層はオレンジ色を呈し、主として鉛丹から構成され、塩化物系鉛、シュウ酸カルシウム、硫酸鉛を伴う。ただし、第3層との境界付近では鉛丹の一部は酸化され黒色を呈する二酸化鉛に変化している。第5層は白色層であり、主として鉛白と塩化物系鉛からなり、若干のシュウ酸カルシウム、硫酸鉛、炭酸カルシウムを伴う。



図2 顔料の塗布された十字回廊の柱（領域E）

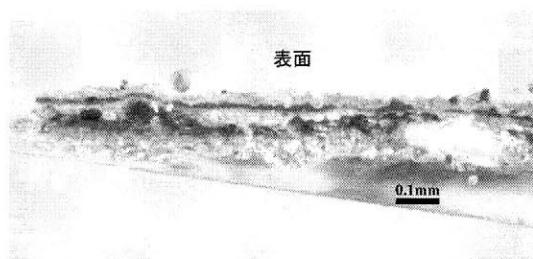


図3 領域Eの柱に残る顔料の断面

4. 2 領域G

領域Gは北側壁面のアプサラのレリーフより上の部分に対応する。領域Gでは、全面的に刷毛目の見られる肌色の顔料が塗られており、5層からなる。表面から第1層は肌色で、主として、赤鉄鉱およびシュウ酸カルシウムからなり、リン酸カルシウム類、石こう、炭酸カルシウムを伴う。第2層は黒色を呈し、主として二酸化鉛よりなり、リン酸カルシウム類、石こう、シュウ酸カルシウム、鉛白、塩化物系鉛を伴う。黒色の原因は二酸化鉛にある。第3層は白色層であり、塩化物系鉛および鉛白から構成され、少量のリン酸カルシウム類、シュウ酸カルシウム、石こうを伴う。第4層はオレンジ色を呈し、主として鉛丹からなり、塩化物系鉛、硫酸鉛、リン酸カルシウム類、石こう、シュウ酸カルシウムを伴う。第5層は白色であり、シュウ酸カルシウム、炭酸カルシウム、リン酸カルシウム類、石こうを主とし、少量の鉛白を伴う。

5. まとめ

アンコール・ワット十字回廊では、大きく分けて赤色、オレンジ色、白色および黒色の顔料が観察される。赤色顔料は赤鉄鉱であり、その不純物からラテライトが原材料であると推測される。この赤色顔料には、それ以外に白色顔料と同じシュウ酸カルシウム、鉛白、炭酸カルシウム、リン酸カルシウム類、石こう、塩化物系鉛、硫酸鉛が認められる。オレンジ色の顔料は主として鉛丹からなり、その他に塩化物系鉛、リン酸カルシウム類、シュウ酸カルシウム、炭酸カルシウム、硫酸鉛、石こうが認められる。白色顔料からは、塩化物系鉛、鉛白、シュウ酸カルシウム、リン酸カルシウム類、炭酸カルシウム、硫酸鉛および石こうが確認された。黒色に見える顔料には、鉛丹が酸化して形成された二酸化鉛が原因となるもの、石こうが黒色化したもの、および墨の3種類が存在している。

全体的にみるとオレンジ色の顔料（主として鉛丹）が初期に使用され、赤色顔料（主として赤鉄鉱）が後に使用されている。オレンジ色の顔料の下には白色顔料が認められることも認められないこともあるが、その上には白色顔料、そして赤色顔料が塗られ、さらにその上に白色顔料が塗られているパターンが得られており、領域Eがその典型であり、他の領域ではこれらの内、幾つかの層が欠如していると考えられることができる。

博多遺跡群出土中世漆器にみる下地調整技法

○武田昭子(昭和女子大学)、田上勇一郎(福岡市埋蔵文化財センター)、
赤沼英男(岩手県立博物館)、土谷信高(岩手大学)

1 はじめに

中世は東アジアの海を共有し、国境を超えた人・モノ・文化の往来が成立した時期といわれている。大陸からの製品流入や技術交流がより一層盛んとなり、列島内の物質文化にも大きな変革をもたらした。漆工関連でも需要に応じた様々な技術開発がなされたと推測されるが、その技術については不明な点が多い。本研究では、中世交易の窓口として栄えた博多遺跡群の築港線第3次調査で出土した漆器について、塗膜断面構造解析を行った結果を報告する。

2 出土遺跡(博多遺跡群築港線)と調査資料

博多遺跡群は弥生時代から中・近世の複合遺跡で、博多湾に面した砂丘上に立地する。砂丘は3列あり、海側の1列は文献に見られる「息浜(おきのはま)」、陸側2列は文献には記載されていないが、「博多浜」と呼ばれている。博多湾岸は弥生時代以来大陸文化を受け入れる窓口の役割を果たした地域である。7世紀以降、大宰府鴻臚館が迎賓館や貿易商館としての役割を果たしていたが、11世紀中頃に火災で廃絶すると、その役割は博多に移り、鎖国令が出される17世紀前半まで国内最大の国際貿易港として繁栄した。博多遺跡群は1977年の発掘開始以来、200地点ほどの調査が行われている。これまでの発掘調査の結果、弥生時代中期に博多浜南部から生活が始まり、11世紀後半には博多浜全体に広がる。12世紀初め頃にはそれまで陸地から離れていた息浜が博多浜と埋め立てによって陸続きとなり、12世紀後半から本格的に都市化が進む。そして15世紀以降は博多浜を凌ぐようになる、という変遷が明らかとなった。

築港線第3次調査は道路拡幅に伴い1985年に行われた。本研究で調査したTks-2・6は幅4mを超す10号溝から出土した。当該遺構からは、13世紀中ごろから15世紀前半の遺物が出土している。Tks-4・5・7は15世紀前半と考えられる桶組の107号井戸から出土した。

3 調査方法

調査資料の摘出には医療用メスを使い、各資料の形体学的研究に影響を及ぼすことがないよう細心の注意を払いながら実施した。摘出した試料を2分し、一方を塗膜断面構造の観察が可能となるようエポキシ樹脂に埋め込み、薄片にした。透過光で検鏡し、塗膜断面構造を調査した後、塗膜断面の下地層を偏光顕微鏡で検鏡し、下地構成鉱物を同定した。もう一方については、薄片試料と同様の方法でエポキシ樹脂に埋め込み、エメリー紙で荒研磨した後、ダイヤモンドペーストを使って仕上げ研磨した。落射光で塗膜断面を観察後、

EPMA(日本電子株式会社製・JXA-8230)で、色材料および下地混和鉱物相を分析した。

4 調査結果ならびに考察

4-1 塗膜断面構造

光学顕微鏡による塗膜断面構造解析の結果、全ての試料の鉱物混和下地層は内外面ともに1層であった。上塗りはTsk-4のみ5層で、他の試料は3層の断面構造をとる。Tsk-4,5,6の内外面の最表面はいずれも赤色系色材料を混和した上塗り層が塗布されている。Tsk-2の内面最表面およびTsk-7の外表面が赤色系色材料を混和した上塗り層が塗布されている。EPMAによる分析の結果、いずれの赤色塗膜層にも水銀(Hg)およびイオウ(S)を主成分とする直径 $5\mu\text{m}$ 未満の微細粒子が濃密に分布する様子が確認された。この層には微細な酸化ケイ素(石英と推定される)が混在し、使用された赤色系色材料は水銀朱である。

4-2 下地構成鉱物

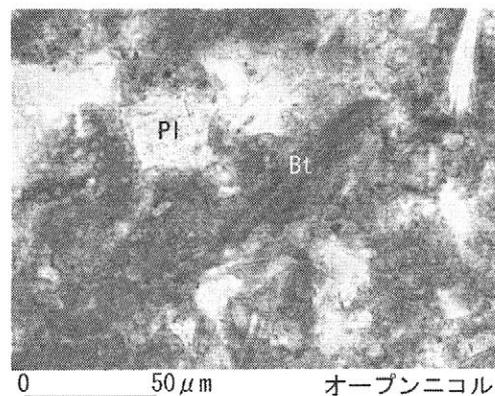
調査した5試料内外面および高台鉱物下地層の主構成鉱物は、石英(Qtz)、斜長石(Pl)、およびカリ長石(Kfs)で、Tsk-2内外面および高台、Tsk-5内面、Tsk-6,7内外面には普通角閃石(Hbl)、Tsk-4外面、Tsk-5,6内外面には黒雲母(Bt)が見出された。Tsk-5内面、Tsk-6,7内外面には黒雲母の変質によって生成したと推定される緑泥石(Chl)、Tsk-5内面にはモナズ石(Mnz)およびゼノタイム(Xet)、Tsk-7内面にはモナズ石と推定される直径 $4\mu\text{m}$ 未満の微細な希土類鉱物が混在する。Tsk-7外面からはジルコン(Zrn)、Tsk-5内面およびTsk-6外面からは斜方輝石(Opx)、Tsk-4,5外面からは火山ガラス片(Gl)が検出された。

主要鉱物組成に基づけば、5資料の鉱物下地層には花崗岩質碎屑物が混和された可能性が高い。Tsk-4およびTsk-5に見出された火山ガラス片は上述の花崗岩質碎屑物とは起源が異なる。使用した鉱物混和材の堆積層に混入したものと思われる。

筆者らは2009年度の大会で、博多40次・124次の発掘調査で検出された14~16世紀の遺構から出土した4資料の塗膜断面構造解析結果を報告した。それらの下地層には全て火山灰が混和され、また、昨年度の資料に比べ大きい鉱物粒子の分布が5資料に認められた。



遺跡の外観



Tsk2 外面下地層の偏光顕微鏡写真

蛍光 X 線分析法による古鉄中の As と Sb を定量するための問題点

○平井昭司, 植松宏紀, 江場宏美 (東京都市大学), 坂下明子*, 磯部健* (JFE テクノリサーチ*)

1. はじめに

古くわが国の製鉄技術は、たたら製鉄法により鉄がつくられていたが、主なる鉄原料は砂鉄と木炭が使用されていた。また、地域によれば豊富に産する鉄鉱石が使用されていた証はあるが、全国的には少ない。鉄原料としての木炭の利用は、どの地域にも豊富に存在する木材を使用し、木炭の燃焼に伴う一酸化炭素あるいは炭素により砂鉄等の鉄酸化物を還元し、鉄をつくることになる。つくられた鉄は鍛冶等により加工され、鉄材として、あるいは、種々の鉄器として各地に流通することになる。

われわれが、このような古い鉄材あるいは鉄器を手にしたとき、これらの鉄をつくった鉄原料(砂鉄および鉄鉱石)がどこの産地のものかを推定することは、当時の製鉄技術を把握するためには重要な検討項目の一つになる。われわれの多くの研究で、鉄材あるいは鉄器中に含有される微量な不純物元素のうちヒ素(As)とアンチモン(Sb)との濃度比が、鉄原料の産地を推定する有力な指標となることを明らかにしてきた。そのためには、As と Sb とを定量する分析技術が必要となるが、従来、簡易的な分析方法がなく、大型の分析装置を使用して定量しなければならなかった。特に、原子炉を使用する中性子放射化分析法では、数 10mg の試料量で ppm レベルの As と Sb を信頼性高く定量できていたが、原子炉利用ということで、手軽に分析できる方法でなかった。しかし、最近、ppm レベルの As と Sb とを定量できる卓上型の蛍光 X 線分析装置が開発されたので、この装置を利用しての古鉄中の As と Sb とを定量する際の特徴や問題点を明らかとした。特に、試料の形状(照射断面積)による分析値への影響について調査を行なった。

2. 分析装置と測定

分析装置は、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置(X 線技術研究所製: ED-10 特注)を使用した。本装置の X 線管球は、空冷式の W ターゲット管球で、As および Sb を別々の測定条件で測定した。管球電圧と管電流は、As ; 25 kV -2.0 mA, Sb ; 50 kV -1.0 mA に設置した。光学系において As 測定では、1 次フィルター; Al 1.0mm と 2 次フィルター; Al 0.1mm を使用し、Sb 測定では、1 次フィルター; Ni 0.5 mm と 2 次フィルター; Al 0.1mm を使用した。X 線照射面積は固定の 12mm φ で、大気状態で測定できる。

As および Sb を定量するための検量線作成には、表 1 に示す NIST 及び JSS の標準物質(As : 10~460ppm, Sb : 5~190ppm) の 3 水準あるいは 5~6 水準を使用した。As の測定には 300 秒間で、Sb の測定には 1000 秒間でデータの収集を行なった。

また、本装置には形状がさまざまな試料についても定量ができるように、散乱線の X 線強度の変動から目的とする元素の X 線強度が補正できるように内臓のソフトプログラムが装備されている。このプログラムの妥当性を確認するため、JSS 鉄鋼標準物質(As については JSS 171-6, Sb については JSS 175-6)をそれぞれ 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3mm 角に切断して、これら試料の X 線強度の変動の影響を検討した。

表1 As及びSb検量線作成用の鉄鋼標準物質

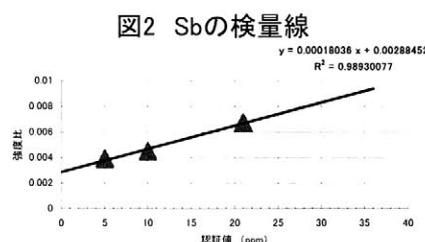
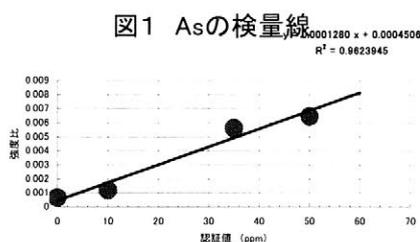
標準物質	認証値 (ppm)	
	As	Sb
NIST SRM1765	10	10
NIST SRM1766	35	5
JSS 169-6	50	
JSS 170-6	310	
JSS 171-6	460	
JSS 172-6		21
JSS 173-6		51
JSS 174-6		101
JSS 175-6		190

3. 分析試料

古鉄材の代表として、本願寺御影堂（京都）に使用されていた裏甲用鉄釘、瓦用鉄釘および築地堀用鉄釘（いずれも江戸時代初期）を分析試料とした。いずれも数 mm から 10 数 mm 角（鉄釘の中央部）の鉄釘で、ダイヤモンドの刃が付いたファインカッターにより鉄釘中央部を約 5mm 厚で切断し、蛍光 X 線分析のための測定を行なった。また、これらの試料のうち、裏甲用鉄釘と瓦用鉄釘の試料は 1 試料（10mm×10mm）を除いて、他の 4 試料はほぼ X 線照射面積を越えた大きさの鉄釘試料である。これら 5 試料は、分析値の比較のため、レーザー ICP 質量分析法および ICP 質量分析法で As と Sb の定量を行なった。

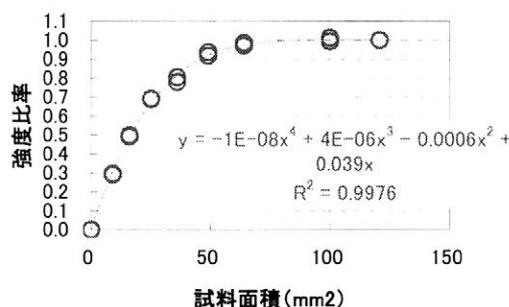
4. 結果及び考察

検量線作成に当たり、Sb の 5ppm レベル（CV 値：約 10%）を除き、3 回の繰返し測定の結果、As および Sb のいずれの変動係数（CV 値）は、数%以内で再現性よく ppm レベルまでが測定できることが明らかとなった。図 1 及び図 2 に As および Sb の検量線を示す。検量線における縦軸は、目的とする X 線の強度と散乱線の強度との比である。この強度比による検量線作成は、本装置に内蔵するプログラムと同一である。



次に、JSS 171-6 (As : 460ppm) と JSS 175-6 (Sb : 190ppm) を一定の面積に切断して X 線測定し、切断前の X 線強度との比をとり、試料断面積の減少により、どのように強度比が変化するかを示す強度比率を示したのが図 3 で、代表として As の例を示す。図から明らかなように、試料断面積が約 50mm² 以上であれば、強度比率も約 10% 減内にあるが、約 50mm² 以下になると強度比率の変化の割合が大きく、定量値の変動にも大きくあらわれることになる。特に、Sb の 1~3ppm の測定では、ブランクの影響が大きく現れ、この補正方法により定量値が大きく変動することが分かった。それゆえ、約 5ppm レベル以上の Sb と数 ppm レベル以上の As を定量するには、本装置が有効であることが明らかとなった。

図 3 As の強度比率と試料面積の関係



一方、他の化学分析法との比較では、同一試料をレーザー ICP 質量分析法と ICP 質量分析法で分析した。レーザー ICP 質量分析法では蛍光 X 線分析法と同一面の一部の表面を、ICP 質量分析法では、蛍光 X 線分析した資料の近傍の一部を切削し、その試料約 250mg を溶解し、分析を行なった。As および Sb において、3 分析法で一致する試料もあったが、Sb に関し 1~3ppm では、3 分析法とも全て異なっていた。また、Sb より比較的高濃度（数 ppm ~ 数 10ppm）の As について、一分析法の値が異なっているものもあった。恐らく試料の不均一性に由来することの表れかと思われた。

以上、新しく開発された簡易型の蛍光 X 線分析装置の性能評価を行い、As および Sb が 5ppm レベル以上であれば、真度高く定量できるが、それ以下となるとばらつきが大きくなることが分かった。

群馬県前橋市二宮赤城神社に現存する石造宝塔の表面塗装の分析

○本多 貴之(明治大学理工学部)、朽津 信明(東京文化財研究所)
前原 豊(前橋市教育委員会)

1. はじめに

宝塔は仏教の流れに乗り日本に伝播し、大型の物から小さな物まで多種多様な形が存在していることがわかっている。石で作られた宝塔(石塔)は多くの場合、小屋などに祀られることはなく野ざらしにされているためそれが塗装されたと認識されることは少ないものの、一部では塗装の痕跡が認められる物も存在している[1]。石塔は木造塔の造りを模倣することは珍しいことではないため、現在残っている石塔の建造様式を理解することは、当時の木造塔の外観を考察する一助となる。これは、当時の町並みを推定することへの寄与も期待される。

本発表では、群馬県前橋市指定重要文化財である二宮赤城神社の石塔(建造の形式から、南北朝時代と推定)を分析対象とした。本宝塔は、赤城塔と呼ばれこの地域に広く分布している宝塔群のひとつである。この宝塔(安山岩質と推定)の表面には微少の塗装跡が付着していることが確認された。今回は、この塗装膜について種々の科学分析を用いてその成分の考察を試みたのでその結果を報告する。

この石像宝塔は、笠の一部に大きな欠損がある以外は各部材の状態は比較的良好である。これらの部材のなかで、相輪・笠・塔身・基礎については建造当時の整形面が残存している部分にのみ塗装が認められ、風化した部分には認められなかった。

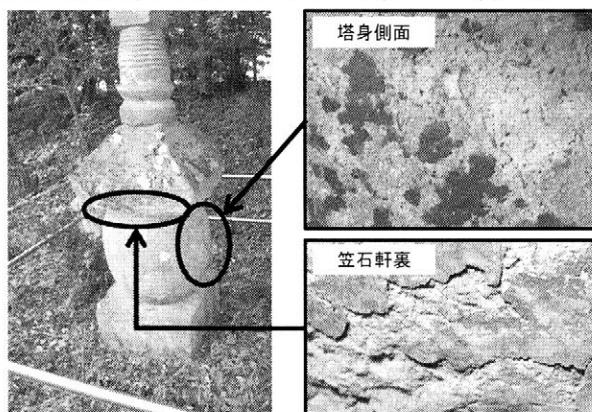


図1 二宮赤城神社の石造宝塔の全景およびサンプリング箇所

2. サンプルおよび分析手法について

二宮赤城神社の石造宝塔(図1)から所有者立ち会いの物、塔身側面部と笠石軒裏部を各1カ所、計2カ所から微量試料(塔身側面部:径8mm程度、笠石軒裏:径2cm程度)を採取し分析を行った。試料はクロスセクションによる観察、FT-IR、熱分解ーガスクロマトグラフィー/質量分析により分析を行った。

3. 分析結果

3-1. クロスセクションによる分析

それぞれの試料をエポキシ樹脂に包埋後、切片を作成し断面観察を行った。その結果、茶色の下層(光透過性あり)と、黒色の上層(光透過性なし)の存在が確認された。また、塔身部と笠石軒裏では厚さが異なっていることも確認された。さらに、茶色の層には繊維状の構造が見て取れることから、木質を利用していることが判明した。



図2 クロスセクション像(左:塔身・右:笠石軒裏)

3-2. 熱分解ーガスクロマトグラフィー／質量分析法 (Py-GC/MS) による分析

試料が複層構造になっている事が確認されたため、上層と下層に分けて Py-GC/MS 分析を行った。結果を図3に示す。それぞれ左からトータルイオンクロマトグラフィー (TIC)・イオンクロマトグラフィー (m/z 108:アルキルフェノール類)・イオンクロマトグラフィー (m/z 57:アルケン類) である。アルキルフェノール類は漆膜の熱分解時に特徴的に検出される成分であり、C₇及びC₁₅が特徴的に検出されたことから、本試料には日本に生息する漆と同種の漆が利用されていると考察される。

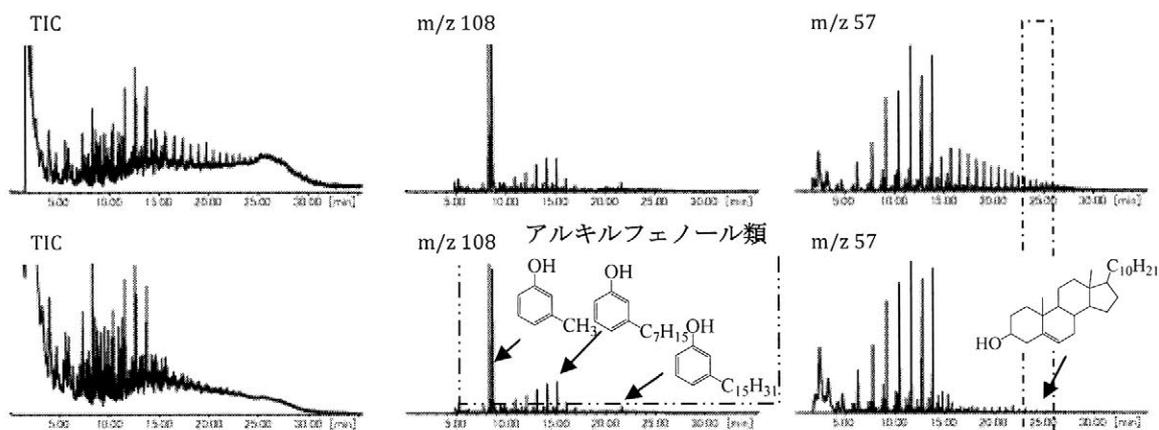


図3 笠石軒裏の Py-GC/MS 分析結果(上段:上層・下段:下層)

図3(右)の結果から、アルケン類 (m/z 57) において一定間隔の多数のピークが確認され、これらは熱分解時に直鎖アルケンを主として発生するアスファルト類ではないかと推察された。アスファルト類は炭素数 27~30 の種々ステラン類を持っていることが知られており、これらの成分も検出されている(点線部)。これらの炭素数の多い成分は上層に多く存在していることから、宝塔の製作時に表面から塗布されたのではないかと推察された。しかしながら、アスファルト類であるとすれば溶媒に脆弱であるため有機溶媒に溶解するはずであるが、クロスセクション観察時にエポキシ樹脂への溶解が確認できなかった。よって、アスファルトでは無い可能性も否定できない結果となった。

3-3. FT-IR による分析

Py-GC/MS 分析と同様の試料を臭化カリウム (KBr) とともに粉碎後成形し、FT-IR により分析を行った。結果を図4に示す。1034 cm⁻¹ の C-O 伸縮振動に由来する吸収強度の差が確認され、黒色層と茶色層では前者の方が 1034cm⁻¹ の強度が強いことがわかった。しかしながら、吸収の出現位置に関しては大きな差を認めることはできなかった。

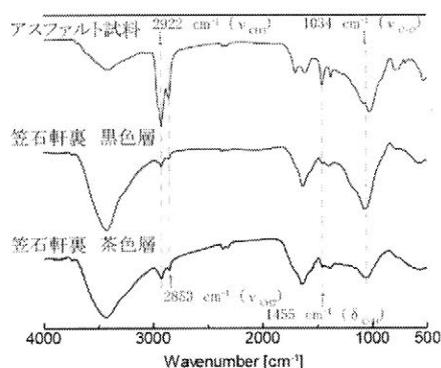


図3 笠石軒裏の FT-IR 分析結果 (上段:上層・下段:下層)

4. まとめ

本研究では、これまで塗装などは施されることはないと考えられていた石造の宝塔に、漆を塗装しているということを証明した初めての事例である。このような宝塔は赤城神社の事例一つであると言うことは考えにくく、今後も群馬県前橋市を中心に事例の検証を行い、どのような範囲にこのような「塗装された宝塔」が存在するのかを確かめる予定である。

<参考文献>

[1] 朽津信明, 池田朋生, 『石塔の彩色塗装について』2009年度 文化財科学会要旨集 P-026

佐賀県小城市布施ヶ里遺跡出土銅釦の修復報告

○友廣美和、渡辺智恵美（別府大学大学院） 古庄秀樹（小城市教育委員会）

1. はじめに

埋蔵文化財は長い年月を経るうちに形状や材質が変化しており、化学的な処置を行うことでより長く残そうとしている。その際には、本来の形状に戻すことと遺物に残っている情報を読み取ることが重要である。今回修復を行なった銅釦3点は、佐賀県小城市に所在する布施ヶ里遺跡から出土したものである。この遺跡では弥生時代から江戸時代にかけての遺構が数多く検出され、特に弥生時代は後期の甕棺墓や土坑墓を中心とする墓地群が確認された。その土壙墓のひとつから壺、甕、高杯、ミニチュア土器などととも銅釦3点が出土した。修復を行なう中でいくつかの知見が得られたのでその報告を行う。

2. 銅釦について

銅釦（どうぼたん／どうこう）や飾鉤（かざりびょう）などと称される。

半球形・ドーム形体部をもつ銅・青銅製品で、裏面に橋状・瘤状の鈕が鋳出されている（写真1、図1）。体部に水平に伸びるツバのついた径50～60mmのものが多い。体部の中央に孔を穿ち、裏面に鈕をもたないものもある（写真2）。

日本で確認されているのは8遺跡12点で、佐賀県布施ヶ里遺跡・西山田二本松遺跡、長崎県原の辻遺跡・タカマツノダン遺跡、熊本県小野崎遺跡・神水遺跡、京都府三山木遺跡・田辺天神山遺跡から出土している。その他、朝鮮半島の慶尚南道城山貝塚やアルタイのイベ古墳などで出土しており、中には馬面（馬甲？）に双鈕環を差し込んで着装した例も確認されている。日本列島では土壙墓や甕棺、住居址などから発見されている。

3. 遺物の概要

今回の3点は半球状の体部とその外縁にツバをもつ。断面形は伏鉢状、ツバの断面形は逆台形状である。表面は無文で、鍍金などの痕跡はみられない。形状を損なう錆は生成されておらず、残存状態は良好である。以下にそれぞれの詳細を記す。

No.1：直径55mm、高さ13mm、体部の直径約44mm。

ツバ4～5mm、裏面からの観察ではツバ幅3～6mm、体部の厚さに偏りがある。

鈕の長さ11mm、幅3mm、高さ3mmの瘤状。

No.2：直径50mm、高さ13mm、体部の直径約43mm。

ツバ4～5mm、裏面からの観察ではツバ幅3～5mm。

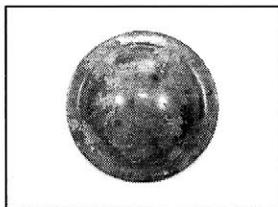
鈕の長さ11mm、幅3mm、高さ3mmの瘤状。

No.3：直径52mm、高さ12mm。体部の直径約43mm。

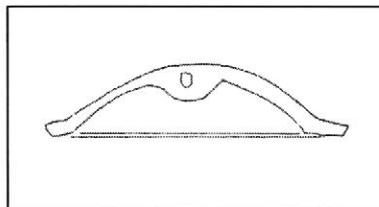
ツバ4～5mm、裏面からの観察ではツバ幅4～6mm。

鈕の長さ10mm、幅3mm、高さ4mmの瘤状

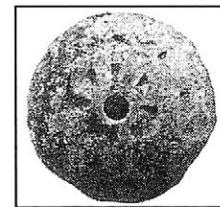
中心部から縁にかけて亀裂が生じており、他の2点に比べ縁の部分に欠損がみられる。



【写真1】 布施ヶ里遺跡出土



【図1】 布施ヶ里遺跡出土 実測図 断面
(小城市文化財調査報告書第4集 1986より転載)



【写真2】 タカマツノダン遺跡出土
(日韓交渉の考古学 1991より転載)

4. 修復

前項に記したように遺物の残存状況は良好であるが、X線透過試験の結果、パウダー状の脆弱な部分もみられ、アクリル樹脂含浸の強化も含め、通常青銅製品の修復を実施した。クリーニングでは表面を傷つけないことを考慮し、水/エタノール溶液と綿棒を用いて錆と土を除去した。次にエタノール・キシレン・酢酸エチルの混合液を用いて洗浄を行った。防錆処置にはBTAを用い、脆弱な部分の強化のためアクリル樹脂含浸を3回減圧含浸し、最後に樹脂塗布を行った。

5. 得られた知見

①研磨痕

デジタル顕微鏡（KEYENCE 社製デジタルマイクロスコープ VHX-600）による観察の結果、すべての銅釦に研磨痕とおもわれる数条の痕跡がツバと体部との境目に数ヶ所確認できた。

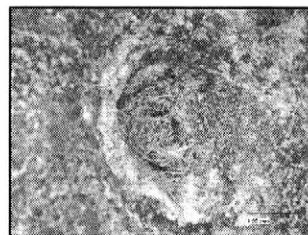
②赤色付着物

蛍光X線に（SII ナノテクノロジー株式会社製 SEA5230A）による分析を行なった。水銀のピークが確認されているため、水銀朱の可能性も考えられる。

③繊維状有機物（写真3・4）

No.1の釦内部から繊維状のものが発見された。材質を調べるためにフーリエ変換赤外線分光分析法（FT-IR）による分析をした結果、セルロースのピークが確認され植物系の有機質繊維であることが判明した。

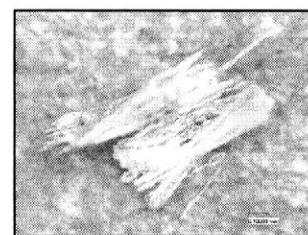
No.2は、釦孔が錆でふさがっており、釦孔内部の観察を行なうことはできず、No.3は釦内部が空洞であった。



【写真3】 釦内の繊維状有機物

④鉛同位体測定

鉛同位体比を用いた産地推定の結果、3点すべて華北産材料と考える領域に値を示した。特にNo.1とNo.2は酷似した値を示しており、同時期に鑄造された品である可能性が高い。No.3は同じ領域に分布しているが、過去に測定された神水遺跡と近い。また、小野崎遺跡の銅釦は朝鮮半島産領域に分布しているという結果が出ており、銅釦全体としての傾向はつかみ難いのが現状である。



【写真4】 繊維状有機物（200倍）

6. おわりに

今回修復した遺物は、鉛同位体比を用いた産地推定の結果、中国華北産の材料である可能性が高いことがわかった。また、慶尚北道漁隱洞遺跡の出土例では2つの釦の間に繊維が結びつけられていることや、貞柏里一古墳からは馬面の上下に双鈕釦を差し込んで装着した例が出土していることから、飾金具として用いられていたと考えられていた。しかし、日本ではまだ用途を示す出土はなかったが、植物系の繊維状有機質が釦内部からみつかったことにより、日本でもなにかに結びつけて使用していた可能性が高くなった。

謝辞

佐賀県文化課の細川金也氏には銅釦についてご教示いただきました。繊維状有機質の分析は元興寺文化財研究所の川本耕三氏に行っていただきました。鉛同位体比測定法を用いた材料の産地推定は平尾研究室で行いました。

殷周青銅器のCTスキャナ調査

○廣川 守(泉屋博古館)、今津節生・鳥越俊行・輪田 慧(九州国立博物館)

1. はじめに

我々は一昨年より九州国立博物館設置の文化財専用大型 X 線 CT スキャナを利用した中国殷周青銅器の内部構造解析調査を実施している。この調査の中でとくに注目しているのが青銅器の本体から伸びる立体造形の接続状況である。本体と立体造形物を一体でなく本体と別に铸造して何らかの方法で接続した場合、微細な間隙が観察できる。解析調査ではこの間隙の観察に重点をおいた。そして本学会昨年度大会において、西周時代初頭製作の壘の持ち手の接続状況について、本体から伸びる出ホゾに、先端が L 字状に折れ曲がった持ち手がくい込むようにはめ込まれている様子を紹介した(廣川他 2009)。その後さらに調査を進めた結果、新たな持ち手接続方法を確認したので、ここに報告する。

2. 資料と測定条件

本報告で採り上げる資料は、泉屋博古館蔵の虎鴉兕觥(図1)および象文兕觥(図5)の2点である(いずれも殷時代後期製作)。両者は横断面が楕円形で、長軸方向の一端に大きな注ぎ口、その反対側に持ち手が付いている。酒を注ぐ器と考えられており、注ぎ出す際に持ち手にかなりの負荷がかかる構造になっている。

実験に用いた機器は、九州国立博物館設置の文化財専用大型 X 線 CT スキャナ(独エクスロン・インターナショナル社製 Y.CT Modular320FPD)である。測定は X 線出力 320kV、2.0mA、1 資料あたり約 20 分の条件で実施した。また器全体は 0.3mm の精度、持ち手の部分は 0.13mm に拡大して測定を行った。

3. 測定結果

(1) 虎鴉兕觥(図1)

図2は器を長軸方向で断ち割った縦断面像である。さらに持ち手の部分を拡大したのが図3である。持ち手の横断面は非常に薄い板を曲げたような U 字形をしている。器本体との接続部分を見ると、本体に半環が付いている様子が観察できた。図4は下方半環部横断面であるが、持ち手付け根はこの本体半環を巻き込んでいるように見える。このことからこの器の持ち手は、本体と一体で铸造されたのではなく、先に铸造した本体の半環を巻き込むように取り付けられたと考える。すなわち、本体半環部分に持ち手の鋳型を装着して持ち手を铸造したものであろう。

(2) 象文兕觥(図5)

図6は器を長軸方向で断ち割った縦断面像である。さらに持ち手部分を拡大したのが図7である。持ち手の横断面は、先に紹介した虎鴉兕觥と同じく、非常に薄い板を曲げたような U 字形をしている。器本体との接続部分を見ると、持ち手の上部付け根と下部付け根とで異なる接続がおこなわれていることが判った。すなわち、上部は虎鴉兕觥と同じく、本体からのびる半環を持ち手の金属が包み込んでいるのに対して、下部は本体から棒状の出ホゾが伸び、それを持ち手の金属が取り囲んでいる。さらにこの出ホゾは先端がやや開き加減になっていて、持ち手金属が出ホゾから抜けられないような工夫をしている。図8は異なる向きで持ち手付け根を断ち割った縦断面像である。上部は細い半環のまわりに、下部は円柱状の出ホゾにそれぞれ持ち手金属がきっちりとめぐるっている様子がわかる。

4. まとめ

以上、簡単に兕觥の持ち手接続状況を紹介した。いずれも本体半環に持ち手を取り付ける構造が採用されていた。これまで持ち手は、本体と一体で铸造する方法と本体の出ホゾを利用する方法とが判明していたが、今回の調査によって新たに半環を用いた接続方法を確認すること



図1. 虎鴟兕觥全景



図5. 象文兕觥全景

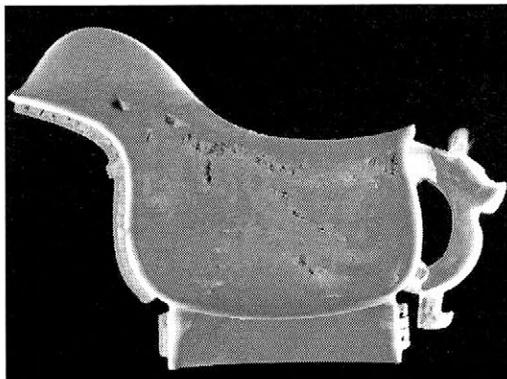


図2. 虎鴟兕觥本体三次元断面像

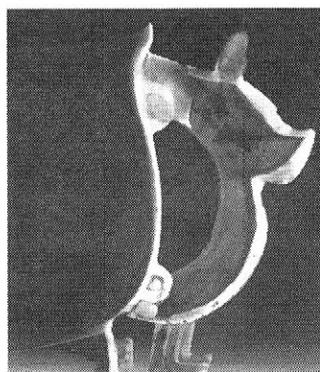


図3. 虎鴟兕觥
持ち手部拡大



図4. 虎鴟兕觥
持ち手横断面像

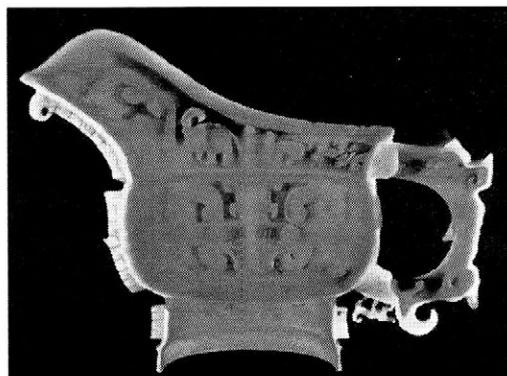


図6. 象文兕觥本体三次元断面像

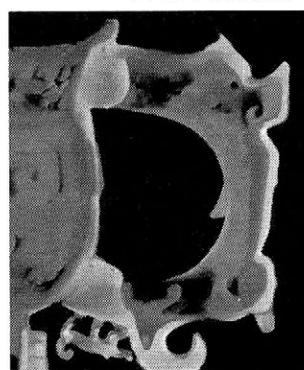


図7(左)・図8(右). 象文兕觥持ち手縦断面像

ができた。兕觥は酒を注ぎ出す際に持ち手にかなりの負荷がかかる構造をしている。とくに持ち手上部付け根により大きな負荷がかかるため、特殊な接続方法を採用したものと推測する。ただしこのような半環を用いた接続が、一体鋳造などに比べて、どのくらい強度・耐久性に優れているのかどうかについて、今後検証の必要がある。またこの接続方法がこの時期の兕觥製作に特有の技法なのかどうかを検討する必要がある。殷周青銅器には兕觥のほかにもいくつかの注酒器が存在するので、今後それらを測定しながら半環を用いた接続について考察を深めたい。

文献

廣川守・樋口隆康・今津節生・鳥越俊行・河野一隆・市元壘 2009 「X線CTスキャナを活用した中国古代青銅彝器の構造解析」 『日本文化財科学会第26回大会研究発表要旨集』 50・51頁。

刀剣の素材加工工程における温度と物性に関する研究

○齋藤努（国立歴史民俗博物館）、高塚秀治（同）

はじめに

伝統的な技法による刀剣製作では、刀匠の感覚によって加工が行われている。その技術を数値的に把握する研究の一環として、刀剣の素材を作る「折り返し鍛錬」に焦点をあてた。刀剣は、炭素濃度の異なる鋼材を組み合わせることで皮鉄の肌が形成される。それぞれの鋼材は折り返し鍛錬によって作製され、それに伴って組織の緻密化や組成の均一化が行われる。鋼材の炭素濃度が異なると鍛接できる温度帯も異なるため、炉内での加熱温度や加工温度を適切に調整しなければならない。刀匠は目視によってその微妙な温度差を見分けているとされるが、各作業工程において実際にどのような温度調整がなされているかを調べるために、高温用サーモグラフィによって逐次温度測定を行った。また中間・最終生成物から試料を採取し金属組織などの観察を行った。

折り返し鍛錬における作業工程

折り返し鍛錬では図1のような一連の作業が繰り返される。大きく分けて、二層の鉄を容易に離れない程度にまず鍛着する「仮着け」と、藁灰と粘土汁をまぶして加熱して叩いてしっかりと鍛着させ、さらに叩き延ばしていく「泥沸かし」の二工程からなる。

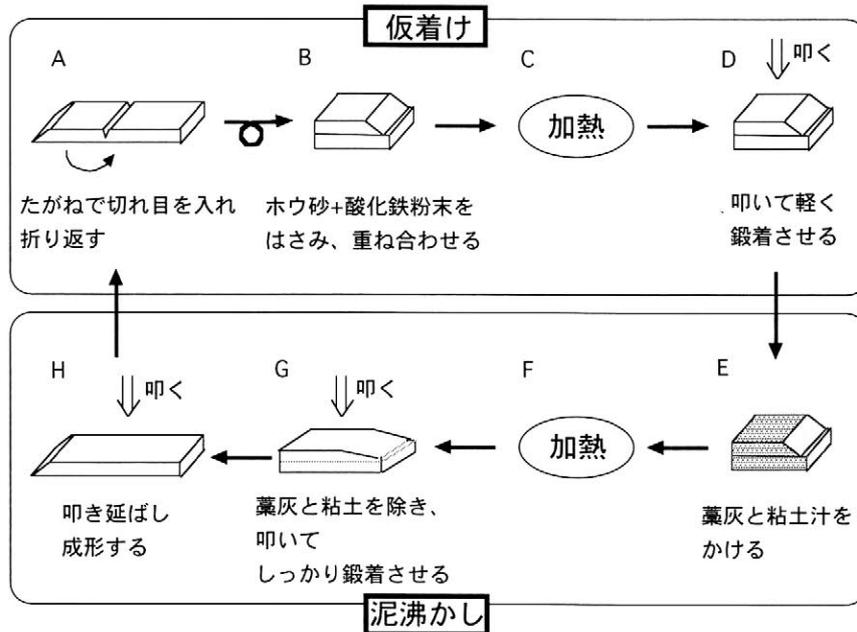


図1 折り返し鍛錬の工程概略図

軟鉄と鋼における折り返し鍛錬の温度測定

宮城県在住の刀匠・法華三郎信房氏に依頼して、肘金（軟鉄：C<0.1%）と鉾（鋼：C~0.7%）について各6回（下鍛えにおける標準的な回数）の折り返し鍛錬を実施してもらい、鉄を叩いて鍛造を行う温度の範囲を、仮着け（図1D）と泥沸かし（図1G→H→A→B）のそれぞれについて高温用赤外線サーモグラフィで測定した。図2でわかる通り、炭素濃度によって作業の温度範囲がわずかに異なっていた。仮着けでは、

低炭素の肘金の方が高温で鍛着するため、鉤よりも高い温度で作業を終える傾向がみられる。泥沸かしでは、肘金の方がより高めの温度から作業が開始されている。

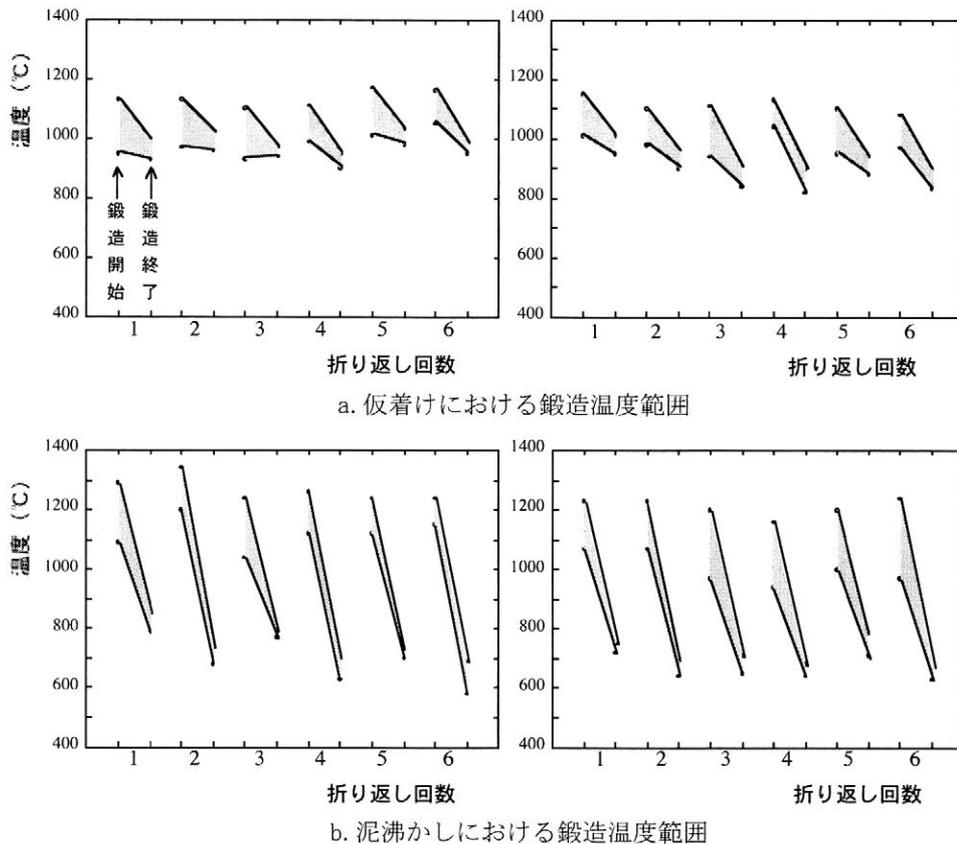


図2 肘金（左）と鉤（右）を折り返し鍛錬した際の鍛造温度の範囲

折り返し鍛錬による生成物の金属組織観察

それぞれ2回、4回、6回折り返し後に生成物を切断して試料を採取し、E PMAを用いて断面の金属組織観察を行った。折り返し直後の鍛接面には最大数十 μm の厚さの介在物が点状に連なってあらわれるが、これらは折り返し回数が進むに連れて薄くなり、また細かく分散して鍛接面が見分けられなくなる程度まで層の均一化が進む。

肘金では、ごく一部ながら表層付近に浸炭している部分（C : 0.2%）が認められた。また鉤の場合、表層付近や折り返し直後の鍛接面付近では薄い脱炭層がみられるが、6回折り返し鍛錬後の最終生成物における炭素濃度は0.6%程度で、全体としてはほとんど脱炭が進んでいない。このことから、泥沸かしの際に藁灰と粘土汁で覆うことによって完全ではないものの酸化を防ぐような雰囲気を作られていることがわかる。

泥沸かしについては従来、粘土汁中の酸化ケイ素によって、鉄中に介在物として残存しているスラグを抜き取る効果があるのではないかとの説があった。しかし今回の実験結果によると、折り返しを繰り返しても全体として含まれているスラグの量は減少せず、そのような効果は認められなかった。ただし、原料で様々な大きさのスラグが含まれていたものが、折り返しが進むにつれて細かく均一に分散していく様子は観察された。

本研究は科研費・挑戦的萌芽研究「鍛冶職人の伝統技術を数値的に把握する方法の創設へむけた基礎研究」（研究代表者：齋藤努、平成19～21年度、課題番号：19650256）の一環として実施された。

X線CTスキャン装置による埴仏の調査

○米田文孝(関西大学)・今津節生(九州国立博物館)・鳥越俊之(九州国立博物館)・
市元壘(九州国立博物館), 西光慎治(明日香村教育委員会)

はじめに

奈良県明日香村に所在する川原寺は、飛鳥寺・大官大寺・薬師寺などと共に飛鳥四大寺のひとつであった。その建立時期に関しては明確な文献記録を欠いており、明らかでなく諸説がある。『日本書紀』天武天皇二(673)年三月条には、「是月、聚書生、始写一切経於川原寺」とあることから、寺の存在が天武朝にまで遡ることは確かめられる。また、平城遷都の折には、飛鳥の諸寺は相前後して新都への移転を果たすが、川原寺はなお飛鳥の地に留まった。その後、東寺の末寺となった川原寺は、延久二(1070)年の『近江国弘福寺領荘田注進書』の記載に、「其本公驗等、寺家焼亡之尅消失之畢」とあり、『玉葉』建久二(1191)年五月二日条の記載に、「東寺末寺川原寺焼失事」として記録に登場する。

川原寺に対する発掘は1950年代後半に実施され主要伽藍が明かになったが、このときに出土した埴仏はわずかに1点である。1974年、川原寺址の後背に位置する丘陵から埴仏が発見され、発掘調査が実施された。当遺跡からは、「富寿神宝」や「承和昌宝」など、初鑄年代が平安時代となる銭貨が出土しており、また出土した埴仏片や塑像片は多くが被熱していた。これらを『近江国弘福寺領荘田注進書』『玉葉』との記述と符合させた場合、火災によって被害をうけた川原寺の埴仏や塑像が、一括して当地に埋納されたものと推測できよう。現在、この調査による出土資料の整理が進行中であり、本遺跡の総合的な評価については、今後の調査研究の進展に俟たなければならない。

1. 川原寺裏山遺跡出土埴仏について

本遺跡からは1600点余りの埴仏片や塑像片が出土している。埴仏については、その構図や図像の鮮明さなどから判断して、型式学的には橘寺出土品に後続する資料として位置づけられる。川原寺裏山遺跡出土埴仏は三尊形式のものが主流を占め、いずれも雌型に粘土をいれて成形し、焼成したものである。また、型押しにはいくつかの段階があり、およそ浮き出した図像と土板の中間ほどまでを充填する工程と、その背面部をあらためて充填する工程とに分かれる。さらに、図像部分は入念に粘土の充填が行われたとみられ、破片(剥離)資料の中には、本像背面部分が舟形に盛り上がった例が認められる。

製作技法のさらなる究明は、古代製陶技術の理解はもとより、埴仏の各地への伝播過程を技術面で考察する上で重要であり、多視点での構造把握が期待できる。川原寺裏山遺跡出土埴仏の型押しが指押さえを基本とする事は今更いうまでもないが、それが一枚の埴仏においてどのような手順によるのかなどは、破片資料の観察のみでは限界をとまなう。一方、完形資料や接合済みの資料においては、断面観察ができないという問題がある。

明日香村教育委員会、関西大学、九州国立博物館は、かかる問題意識から、X線CTスキャナによる完形埴仏の内面観察を実施した。本発表はその一端を紹介し、今後の埴仏研究の可能性を探ろうとするものである。

2. X線CTスキャナによる解析

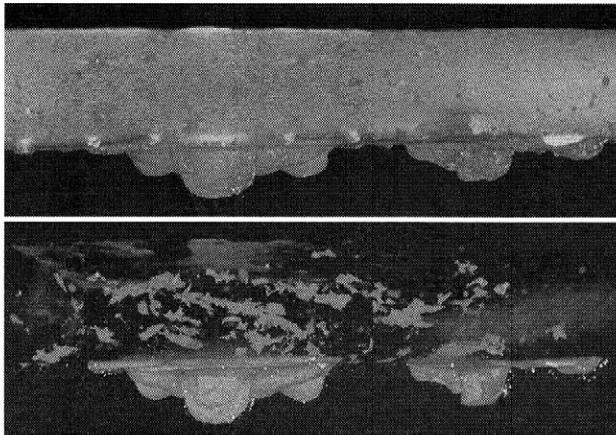


図1. 透過図(俯瞰)

胎土内の空間を黄色で示し、見通した図。本尊の背後の空間が中央に向かって山形を呈することを確認できた。

図2. 縦断面図

胎土内のやや正面寄りに、縦方向の空間(亀裂)が確認できた。

3. 小結

断面に認められた空間は、型押しの工程(段階)を示すものである。図1からは、型押し成形において、本尊部分は胎土を舟形に盛り上げて型押しをしていることが窺えた。図2からは分割型押しの具体的な位置関係が確認できた。



SPring-8で見る木屎漆の植物素材

○杉山淳司（京都大学生存圏研究所）、高瀬克彦（京都大学生存圏研究所）
八木直人（(財)高輝度光科学研究センター）、藤本青一（(財)美術院国宝修理所）

はじめに

樹種識別は個々の樹種の組織的特徴を、肉眼やルーペあるいはプレパラート標本の光学顕微鏡観察によって行う。しかしながら、国宝・重要文化財に指定された仏像や伝統的木製品などについては採取が不可能な場合が多く、修理の際に不可避免的に生じた唯一の超微細試料からの樹種識別が要求される。そこで超微細試料から非破壊・非侵襲でデータ計測が可能なシンクロトロン放射光 X 線トモグラフィーを検討してきたところ、光学顕微鏡的な解剖学上の特徴が可視化できることが明らかとなった。

木材の CT 像

シンクロトロン放射光 X 線トモグラフィーは、兵庫県播磨の大型放射光施設 (SPring-8) の医用ビームライン BL20XU で行った。透過像は、等倍率で 2000×1300 ピクセル ($0.5 \mu\text{m}/\text{pixel}$) の高精細カメラを用いて 0.1 度回転角刻みで 1800 枚撮影した。透過像より必要な補正を行った後、back filtered projection 法により断層像 (Z 方向 1300 枚) を再生した。像の変換や再生は BL20XU で開発されたコマンドラインプログラムを用い、また画像の解析や表示には Slice¹⁾ や ImageJ を用いた。

一例として、針葉樹の識別の根拠となる分野壁孔部分の CT 像を図 1 に示す。窓型の分野壁孔が明瞭に観察されると同時に、柁目と板目においては、薄い壁孔壁

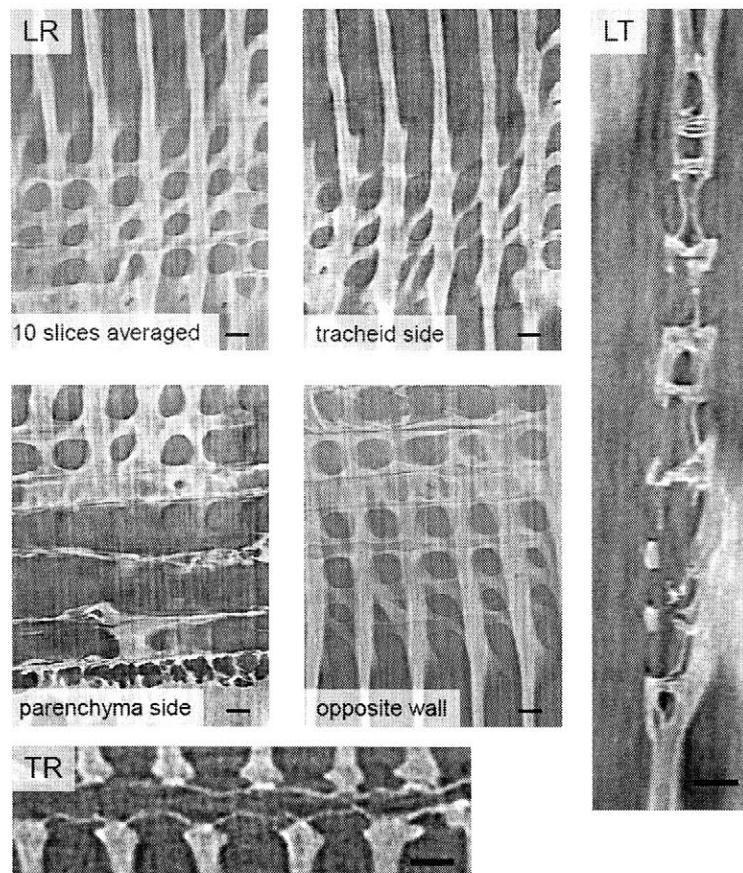


図 1 CT 像の一例 (*Pinus densiflora*)。LR: 柁目、TR: 木口、LT: 板目。LR の 4 枚の写真において、左上は 10 枚のスライス画像を重ねて投影したもので厚さ $5 \mu\text{m}$ の切片を光学顕微鏡で観察していることに相当。正、コントラストは密度 (X 線の吸収) による。スケールは $20 \mu\text{m}$ 。

(pit membrane)も観察された。本実験での空間分解能は $0.5\mu\text{m}$ ボクセルであり、世界的にみても木材の3D観察における最高の分解能といえる。このような方法を用いて、木屎漆（こくそうるし）の植物素材の観察を行うこととした。

木屎漆の結果結果および考察

結果の一例として、図2に盧舎那仏の螺髪固定用にもちいられた木屎漆について調べた結果を示す。図より、写真左上部に針葉樹の木口面が観察された。また非木材の間充物質（おそらく麦漆とおもわれる）は木材の表面から1ないし2層内側まで浸透していること、さらに漆中に数多くの菱形結晶が存在することが確認された。

針葉樹材については、分野壁孔の特徴がヒノキ型であった。ヒノキ属の有用木のなかでも、分野壁孔がきわめて整然と2個ずつ観察されることなどからヒノキの可能性が高いことが示唆された。

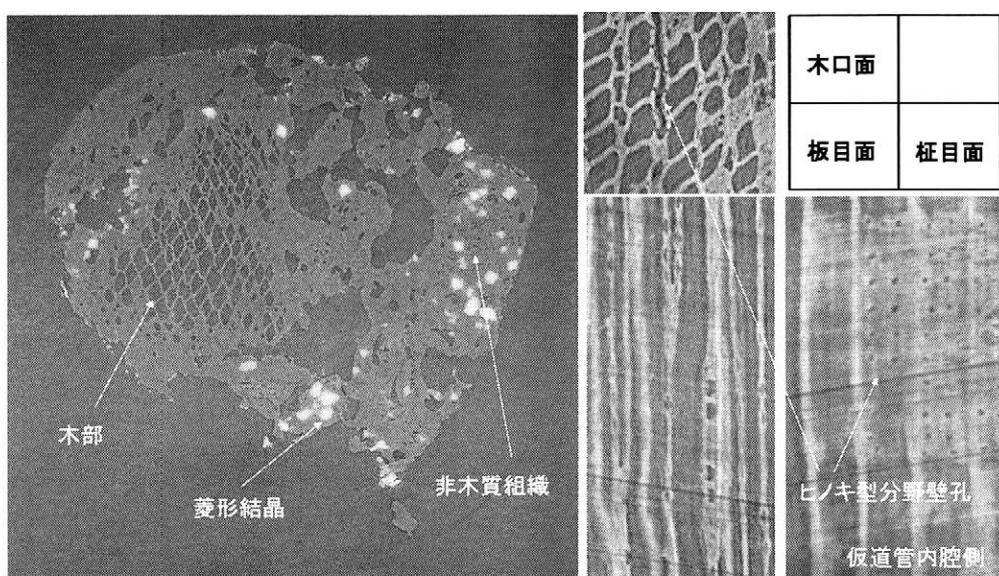


図2 再生した断層画像の一例(左)と木部より切り出した木口、板目、柁目に相当する断層像。

今後の展開

文化財の研究に放射光などの先端科学施設を利用する試みは、まだ歴史は新しいものの、先進国の博物館を中心に盛んになりつつある。どのような分析が可能で、また必要とされているのか、さらに貴重な文化財を分析する正式なルール作りなど、様々な課題を議論しつつ前に進めることが重要と思われる。今回、放射光トモグラフィーが文化財の樹種特定に役立つことを示せたことは、上述のような動きにはずみをつけるものと期待される。

謝辞

本研究は、高輝度光科学研究センターの課題研究 課題番号 2008B1563, 2009B1093 ならびに 2009B1981 によって、ビームライン BL20XU において得られた成果ある。BL20XU 担当の鈴木芳生博士、竹内 晃久博士、上杉健太郎博士に多大な協力をいただいた。この場をお借りして心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Nakano, T. et al. "Slice" Softwares for basic. 3-D analysis, <http://www-bl20.spring8.or.jp/slice/> (2006)

論山院北里出土青銅鏡の微細組織の分析

○俞在恩（韓国 国立文化財研究所）、趙詳紀（中央文化財研究院）、朴長植（弘益大学校）

1. はじめに

忠南論山市院北里の初期鉄器時代の土壙墓の発掘調査で、青銅鏡、銅斧、銅剣など、数点の青銅器が出土した。遺物は紀元前2～1世紀で編年され、青銅鏡の種類は多鈕細文鏡で完形に出土した遺物が1点、半破された状態で出土した遺物が1点である。多鈕細文鏡から試料を採取し、微細組織や化学成分を調べるために分析を行った。

2. 対象遺物

分析対象の遺物を Fig. 1 と Fig. 2 に示す。多鈕細文鏡-1 は直径 8.5cm で、鏡背に3つの鈕と三角形の細線で構成された文様をしている完形であった。分析試料は周縁部（A）と文様部（B）で採取した。多鈕細文鏡-2 は復元直径 8.5cm で、その形態が多鈕細文鏡-1 に似ていた。この遺物は周縁部で分析試料を採取した。

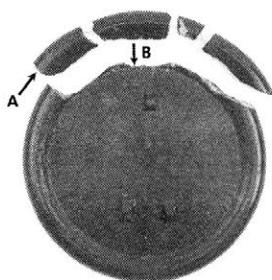


Fig. 1 多鈕細文鏡-1

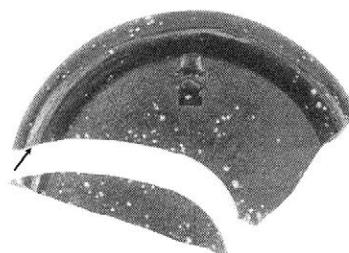


Fig. 2 多鈕細文鏡-2

3. 分析結果

多鈕細文鏡-1の微細組織を Fig. 3 と Fig. 5 に示す。分析結果、青銅鏡の主な組織は δ 相で、サイズが小さく黒色を呈している円形の部位で少量の Pb が確認された。 δ は Sn の含有量が 30% 以上の場合に観察される組織なので、この遺物は Sn の含有量が約 30% で少量の Pb を含む青銅合金で製作されたものと考えられる。これは SEM-EDX の分析で確認され、Fig. 4 と Fig. 6 に結果を示す。

多鈕細文鏡-2の分析結果を Fig. 7 と Fig. 8 に示す。明るい δ の結晶粒が大部分を占めているが、一方、サイズが小さくて黒色を呈している円形部位に少量の Pb が確認さ

れた。以上の結果から、2点の多鈕細文鏡の主な組織は δ 相で遺物の脆性が高いことを考えると、製作過程で鑄造だけを実施していたと判断される。

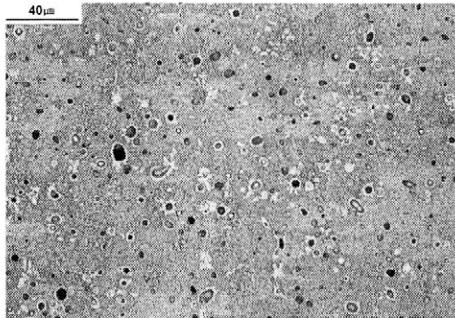


Fig. 3 多鈕細文鏡-1 (A) (X500)

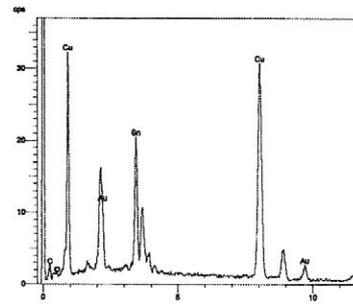


Fig. 4 SEM-EDX

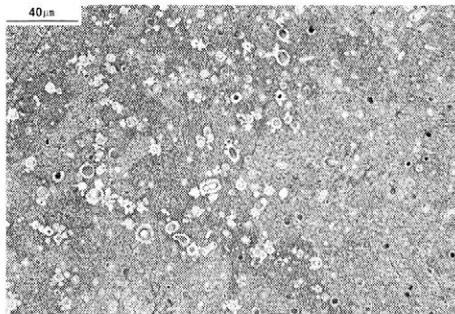


Fig. 5 多鈕細文鏡-1 (B) (X500)

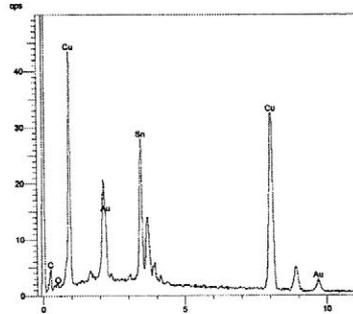


Fig. 6 SEM-EDX

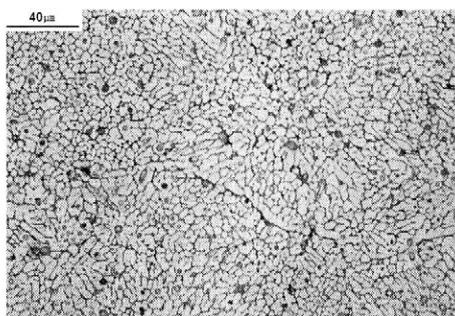


Fig. 7 多鈕細文鏡-2 (X500)

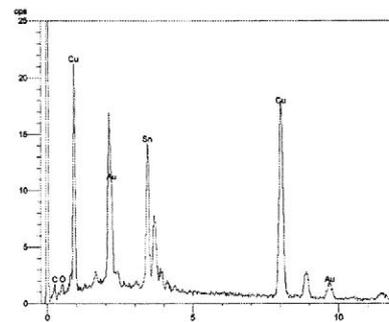


Fig. 8 SEM-EDX

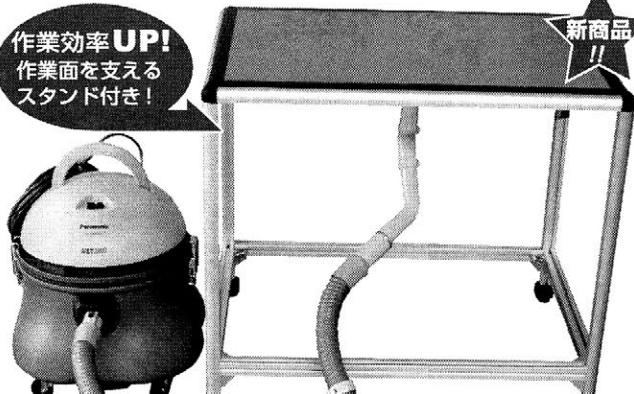
Fig. 3, 5, 7 : 光学顕微鏡写真、Fig. 4, 6, 8 : EDS spectra.

4. 結論および考察

韓国の論山市院北里から出土した紀元前2～1世紀の青銅鏡は、約30%Snや少量のPbが添加されていた青銅合金を用い、鑄造工程で制作されたことが分かった。組織写真で分かるようにSnの含有量が30%近くになると、主に δ 相が現れ脆性が高くなる。一方、融点が低くなり、白色に近く変化する。多鈕細文鏡にSnの含有量を高めた理由は不明であるが、当時Snの供給が不足なことを考えると、精密な文様製作や色の調整のためにSnの含有量を高くしていたと推定される。

小さな接着剤から大型機材まで、国内外の保存・修復用品を多数取り扱っております。是非、お問い合わせください!!

作業効率UP!
作業面を支える
スタンド付き!



新商品!!

日本製 サクションテーブル

SUCTION TABLE for the restoration of works-of-art

国産のサクションテーブルです。紙作品や染織品の洗浄や、漉き詰め、裏打ちなどにご利用ください。錆に強い頑丈な設計です。国内で製造しているため、メンテナンス面でも安心です。

基本セット内容

- ・作業台 (パンチングメッシュ)
- ・乾湿両用掃除機/国産
- ・スタンド (キャスター付き)
- ・接続ホース

オプションパーツ

- ・アクリルカバー
 - ・超音波加湿器 など
- 様々な付属品をオプションで組み合わせ可能です。

サイズ・仕様などご希望に合わせてカスタマイズ可能です!

コテ先
最大25種類



電気コテ Heating Spatula
ヒータング・スパチュラ

デジタル
赤外線撮影

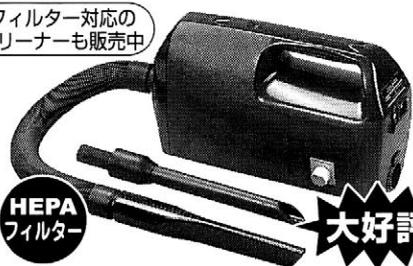


新商品!!

Mamiya ZD/ZD Back

赤外線撮影デジカメ

ULPAフィルター対応の
大型クリーナーも販売中



HEPA
フィルター

大好評

吸引力を無段階で調整可能!!
小型ミュージアムクリーナー

定番商品!!

修復材料の定番
パラロイドB72
アクリル樹脂を
特別価格で販売
しております。

パラロイドB72 アクリル樹脂
Paraloid B 72 Acrylic resin

100g 840円 1kg 4,000円



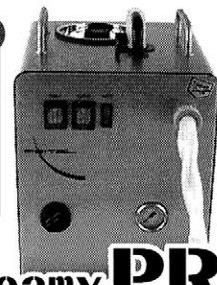
新商品

Moisture Cleaner

モイスタークリーナーセット

おすすめ品

- ・コントローラー
- ・超音波加湿器
- ・ダイヤル調整
- ・デジタル表示 (温度のみ)
- ・蒸気量調整
- ・変圧器使用



超微細
粒子!!

- ・ダイヤル調整
- ・アナログ表示
- ・蒸気量調節
- ・圧力調整

Steamy PR-1
スチーミーピーアルワン

貴重な美術品を後世に伝えるために!

林原・新古糊

古糊の代替品として、広く文化財
修復に使用が可能な製品です。

注目
商品

250gアルミラミネート袋
20gアルミラミネートチューブ×10本
※20gチューブ1本単位での購入を
ご希望の際は、お問い合わせください。



各種保存・修復材料も販売しております

- ・接着剤【布海苔、JUN FUNORI、メチルセルロース、クルーセル等】
- ・膠・ゼラチン系接着剤【魚膠、チョウザメ膠、皮膠、各種兎膠等】
- ・合成樹脂【各種パラロイド、モビリス、PVAc等】
- ・天然樹脂【ダンマル、マスチック、サンドラック、シェラック等】
- ・補彩用絵具【ゴールデン、マイメリ】・顔料【天然・合成】
- ・中性紙製保存用紙・保存箱、ポリエステルフィルム、ゴアテックス



オンラインカタログ

➔ <http://www.paret.jp/catalog/>

弊社の取扱商品を網羅したオンラインカタログです。商品数は200種類以上! 新商品やお奨め商品を掲載しています。掲載商品は通信販売で全国どこにでもお届け可能です。

文化財の保存修復用品の製造と販売

株式会社パレット

最新情報を掲載してます!!

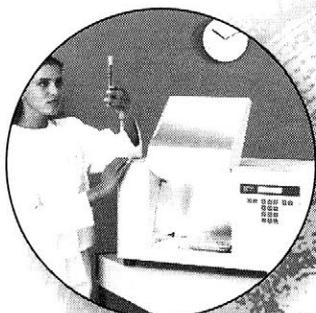
<http://www.paret.jp>

☑ 問い合わせメールアドレス

toiawase@paret.jp

商品のお問い合わせ等、お気軽にEメールでご連絡ください。(ウェブサイト是非ご覧下さい)

文化財の科学・保存・修復を お手伝い致します



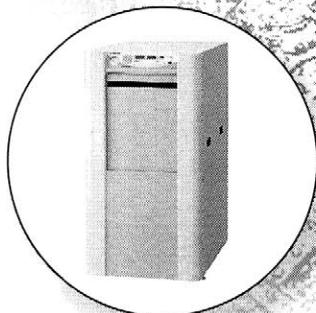
耐光試験機
紫外線強度計照度計



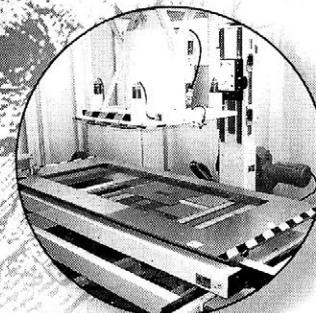
3次元計測器
三次元デジタイザー



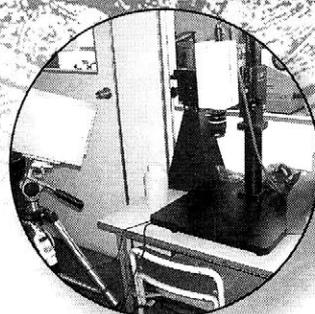
実体顕微鏡
マイクロスコープ
デジタル顕微鏡



脱塩処理装置
純水製造装置
イオンクロマト
キャピラリー電気泳動
金属含浸装置



X線透過撮影装置
軟X線
高出力透過X線
大型試料室



赤外線カメラ
赤外線カメラシステム
赤外線スキャナー

本当のことが知りたい

パレオ・ラボは遺跡出土遺物および

堆積物の自然科学分析を行う会社です。

分析業務サービス

年代測定および推定法

- 放射性炭素年代測定 [加速器質量分析 (AMS法)]
- 地磁気残留磁化測定 [焼成および堆積年代推定] ●火山灰同定 [ガラス・重鉱物の屈折率測定など]

遺物の材質および技法

- 土器の材料分析 [薄片分析・波長分散型蛍光X線分析] ●漆・有機物分析 [顕微赤外分光分析]
- 顔料等分析 [蛍光X線分析・X線回折分析] ●石器の石材同定 [肉眼・薄片分析・蛍光X線分析]
- 遺物分析 [蛍光X線分析 (定性分析・元素マッピング分析)・EPMA分析他] ●塗膜分析 [塗膜構造・EPMA分析]

遺物の産地

- 黒曜石・サヌカイトの原産地推定 [エネルギー分散型蛍光X線分析]
- 土器胎土分析 [薄片分析・波長分散型蛍光X線分析]

生業に関わる方法

- プラント・オパール分析 ●花粉分析 ●樹種同定 ●種実同定 ●獣骨・魚骨・貝類同定
- 炭素窒素同位体測定 ●寄生虫卵分析

古環境復元

- 堆積物の特徴記載 ●花粉分析 ●珪藻分析 ●植物珪酸体分析 ●大型植物遺体分析(材・種実・葉などを含む)

その他

- ボーリング調査 ●土層剥ぎ取り ●土層のデジタル連写撮影

上記以外にもご相談に応じます
お気軽にお尋ねください。

株式会社 **パレオ・ラボ** Pale Labo Co., Ltd. <http://www.paleolabo.jp>

本社 335-0016 埼玉県戸田市下前 1-13-22 ビコーズ戸田1111F 048-446-2345 E-mail: toda@paleolabo.jp
東海支店 501-6264 岐阜県羽島市小熊町島 5-63 アルビアル羽島1F 058-391-0881 E-mail: gifu@paleolabo.jp
AMS年代測定施設 376-0144 群馬県桐生市黒保根町下田沢 1900-65 0277-96-2088 E-mail: ams@paleolabo.jp

若手研究者を支援する研究助成の募集(第6期)

株式会社パレオ・ラボ

1. 助成の趣旨

弊社では、平成16年10月、年代測定を目的として¹⁴C測定専用の加速器質量分析計を導入し、年代測定業務を開始いたしました。これを期に、企業として社会に還元するため、また広く弊社AMS年代測定をご利用いただくため、若手研究者を対象として研究支援事業を第5期に引き続き企画いたしました。

2. 応募条件

- ①現在35歳以下の研究者(定職についていない方)および大学院生(考古学分野2名、自然科学分野2名)
- ②研究目的が年代測定を必要とするテーマであること
- ③過去に研究発表1本または論文1編以上を発表した者
- ④原則として、助成終了後1年以内に研究助成の内容を含む論文または口頭発表を公表し、その成果を提出すること
- ⑤研究助成の内容を含む発表および論文執筆の際、パレオ・ラボ若手研究者を支援する研究助成によるものであることを明記すること

3. 支援内容

以下の2項目を支援いたします。

- ①研究費として15万円を支給
- ②AMS年代測定10試料を無料測定。ただし、測定期間は下記の期間限定：平成22(2010)年9月1日～10月31日および平成23(2011)年4月1日～8月31日

4. 支援期間

平成22(2010)年9月1日～平成23(2011)年8月31日

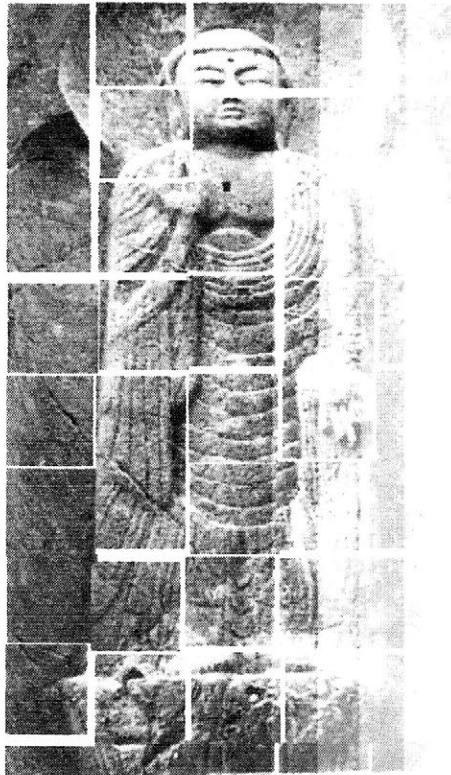
5. 応募方法

申し込み用紙(弊社指定用紙、弊社HP上からPDFまたはExcelファイルをダウンロード)、履歴書(書式なし、写真添付)、研究実績表(書式なし)を郵送

6. 締切

平成22(2010)年7月31日(必着)

お問い合わせ jyosei@paleolabo.jpもしくは058-391-0881担当係(なるべくE-mailをご利用ください)
助成に関する詳細は当社ホームページをご覧ください <http://www.paleolabo.jp>



STOP

the

風化

石材強化剤

OH100

石材撥水剤

290

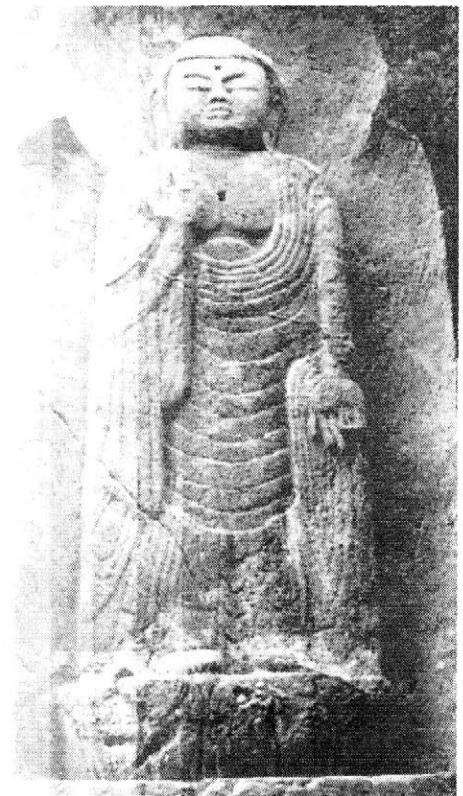
強化剤

OM25 OM50

TRY

the

活性



株式会社 **アクト**

本店

〒518-0467 三重県名張市赤目町相楽619-1

TEL・FAX (0595) 63-8261

倉庫

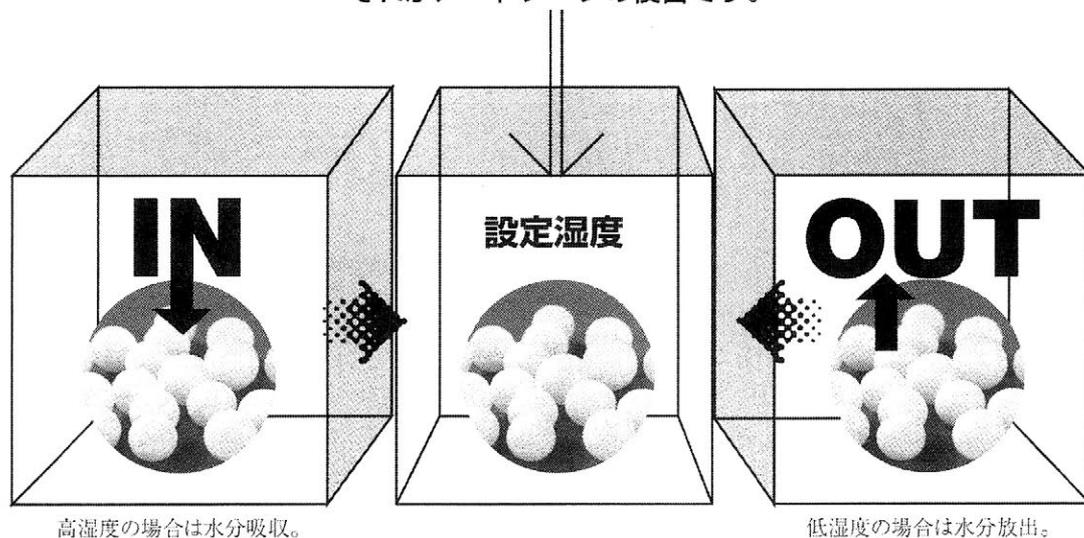
〒544-0015 大阪市生野区巽南5-9-11 森下通商ビル内

TEL (06) 6796-2381

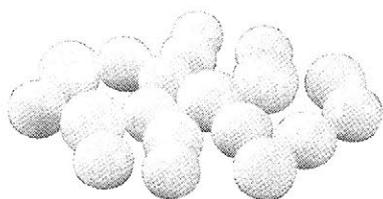
FAX (06) 6794-0254

アートソープ®

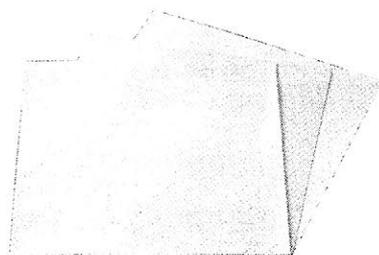
周りの湿度変化に対して常に適切な湿度をキープ、
それがアートソープの役目です。



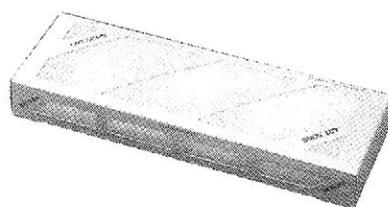
ビードタイプ



シートタイプ



カセットタイプ



富士シリシア化学株式会社

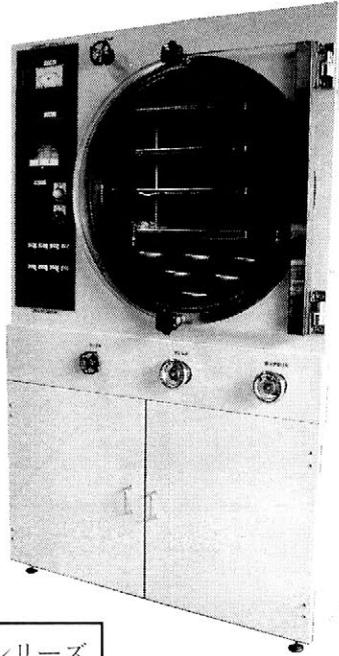
本 社	〒487-0013 愛知県春日井市高蔵寺町2-1846	☎ (0568) 51-2511
東京営業所	〒103-0027 東京都中央区日本橋2-1-1 櫻正宗ビル3F	☎ (03) 3275-1621
大阪営業所	〒534-0024 大阪市都島区東野田町3-1-8	☎ (06) 6354-8610
福岡営業所	〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前3-23-22 博多DNビル5F	☎ (092) 473-3771

PRESERVATION TECHNOLOGY
考古遺物保存処理装置

Archae-
master

20 数年の遺物処理装置の製作についての

豊富な経験、実績に基づいて、
装置を製造販売しております。
多様なご要求にお応えできます。

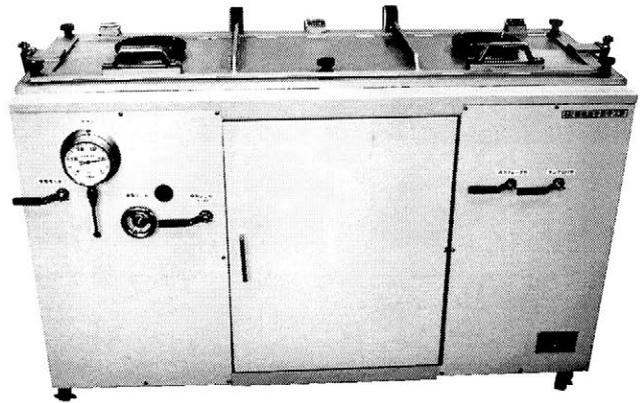


新シリーズ

小型真空凍結乾燥機 (APE シリーズ)

写真は AP-04E

棚板 300×450×4 枚



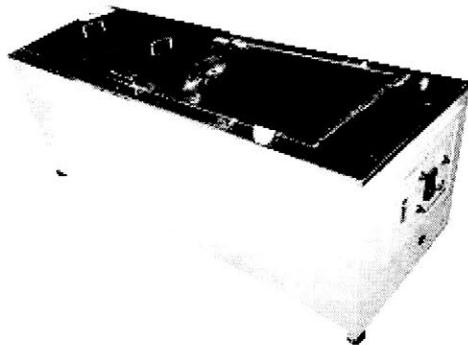
金属減圧含浸装置

写真は IP-90

上蓋は金属製になりました

PEG・糖液含浸装置

IWE シリーズ (底部間接熱媒ヒーター方式)



IWE-150H 型

水槽サイズ：500w×500h×1500d

IWE-200H 型

水槽サイズ：700×700×2000

IWE-300H 型

水槽サイズ：1000×1000×3000



製造・販売元

関西保存科学工業株式会社

〒632-0246 奈良県奈良市都祁友田町1 2 8 5

TEL : 0743-82-1302 Fax : 0743-82-5020 URL : <http://www.kaptec.co.jp>

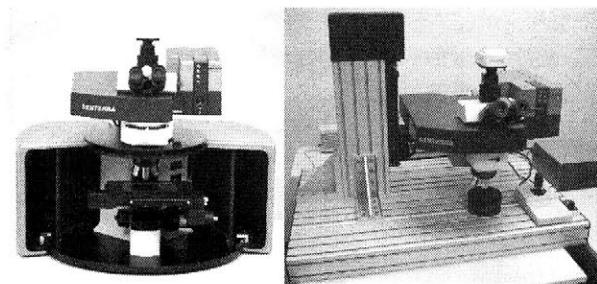
ブルカーの FT-IR / Raman ソリューション



ブルカーオプティクスでは、赤外/ラマン分光による
各種研究向けソリューションを提供しています。

■ SENTERRA

顕微レーザーラマンシステム



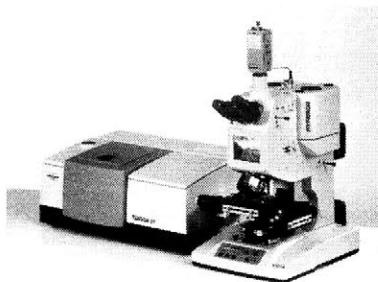
ラマン分光では、赤外分光と相補する分子情報が得られます。
試料調整が不要で、顕微ラマンではミクロンサイズでピンポイントの測定ができます。

特徴・仕様

- 自動波長キャリブレーション機能 Sure_Cal 搭載
- 自動蛍光除去機能 AFR by SERDS
- 複数の励起光源利用可能 (488/532/633/785/830nm)
- 電子冷却型 CCD 検出器搭載
- 顕微 FT-ラマン (1064nm) への拡張可能
- 大型サンプル仕様 (オプション)、光ファイバプローブ (オプション)

■ HYPERION2000 / 3000

ケミカルマッピング / イメージング赤外顕微鏡



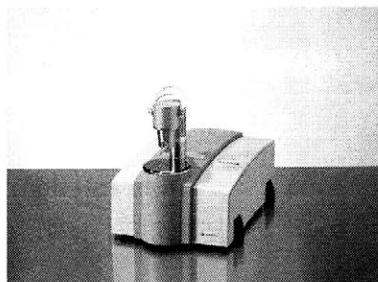
赤外顕微鏡でミクロンサイズの測定部位の赤外吸収スペクトルを測定することにより、ゴム、プラスチック、繊維、生物試料等の微細な構造解析や不純物などの定性分析ができます。

特徴・仕様

- 透過、反射 観測モード
- 高精度自動マッピング観測機能
- 顕微 ATR、高感度反射 (GIR) アクセサリ
- 近赤外・可視拡張可
- 2次元アレイ検出器搭載イメージングシステム (3000)
- 透過、反射、イメージング観測モード (3000)

■ ALPHA

接地面積 A4 サイズ 世界最小のベンチトップ型 FT-IR



コンパクトなボディながら、信頼性の高いスペクトルデータを提供します。ALPHA は外部振動に対しても優れた耐久性をもつため、光学系の調整などの面倒な操作はなく、必要な時に必要な場所へ持ち運び、すぐにお使い頂くことができます。

特徴・仕様

- 機器寸法 W22×D30×H25cm 重量 7kg
- 透過、ATR、反射、拡散反射、ガスセル等各種測定に対応可能
- 簡単操作のソフトウェアを標準装備
- 収納用専用アタッシュケース (オプション)
- バッテリー稼働 (オプション)

ブルカー・オプティクス株式会社

www.bruker.co.jp/optics
www.brukeroptics.com

●営業本部: 〒110-0016 東京都台東区台東 1-6-4 タカラビル6F

Phone: 03-5816-2125 Fax: 03-5816-2126

●大阪営業所: 〒532-0004 大阪市淀川区西宮原 1-8-29 テラサキ第2ビル 2F

Phone: 06-6394-8118 Fax: 06-6394-9003



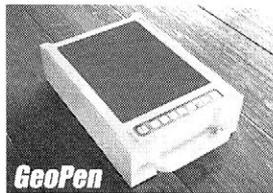
PRODUCT
Information 製品のご案内

探査と保存

HARDWARE

軽量小型の 比抵抗二次元探査装置

マルチ電極による装置で、二極・三極・四極法が可能。従来に比べて軽量・簡単操作で探査時間が短くなります。見掛け比抵抗図がリアルタイムに画面表示されるので、異常を即判断できます。



E60CN本体 (リレーケーブルは別売)

HARDWARE

誰でも簡単に操作可能 地下レーダー探査装置

コンソールやPCなどがオールインワンタイプの地下レーダー探査装置。車輪もついて探査効率が良くなりました。アンテナも多種類用意(別売)され、目的に応じた探査が可能です。



NOGGIN Smart Cart System (250MHz)

LIQUID WARE

風化から遺跡を保護 環境に優しいクリーンマテリアル

土と石を風化から守る強化保存剤。処理後の変色はなく、表面硬度も上昇します。また、照りもなく質感もそのまま。粘性土対応のTOT、砂質土対応のTOT-Vがあります。国土交通省 NETIS に登録



TOTで地震断層を強化保存(作業風景)

HUMANWARE

様々な探査や保存処理 業務を受託いたします

電気探査、レーダー探査をはじめとした各種考古学探査や、TOTを用いた保存処理業務、地中深くの定方位サンプル業務などを承ります。まずはご連絡下さい。

☎ (0778)25-7000



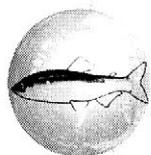
地下レーダー探査中(探査風景)

株式会社 田中地質コンサルタント

〒915-0082 福井県越前市国高2丁目324-7 TEL.0778-25-7000 FAX.0778-25-7001

遺跡の立地と年代を調べる

現地調査・分析試料採取・テフラ(火山灰)分析・放射性炭素年代測定

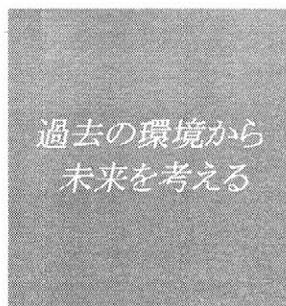


古代の
食生活を
推定する
寄生虫卵分析・
トイレ遺構分析・
骨・貝類同定

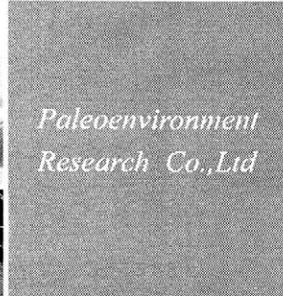
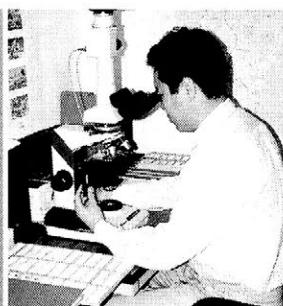


植生・環境を復原する

植物珪酸体(プラント・オパール)分析・
花粉分析・樹種同定・珪藻分析・
種実同定・植物遺体DNA分析



過去の環境から
未来を考える



遺物を保存する

木製品・種実等の
糖アルコール含浸保存処理



遺物や土壌の
科学的特性を探る
蛍光X線分析・土壌理化学分析

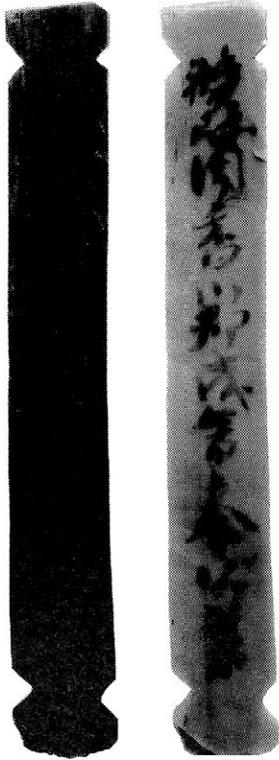


株式会社
古環境研究所

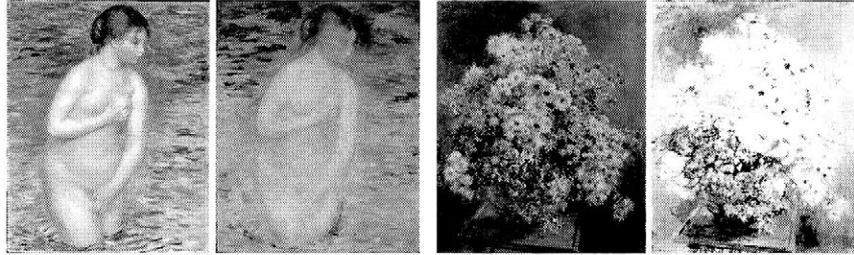
本社 / 〒331-0062 埼玉県さいたま市西区土屋1795-24
Tel.048-622-0389・Fax.048-622-9187

研究所 / 奈良研究所・宮崎研究所

<http://www.kokankyo.jp>



※奈良文化財研究所掲載許可済



所蔵：ポーラ美術館
※絵画の画像はポーラ美術館から掲載許可をいただいております。

ワンタッチで簡単にフィルターの交換ができるので、赤外線撮影用のライティングのまま高画質中判デジタルカメラとして通常記録用の撮影もできます。古地図や古文書の複写にも最適です。特にMamiya ZDシリーズは有効画素数2130万画素、センサーサイズ48×36mmの大型CCDを使用している為、画素ピッチが9ミクロンと大きく細部まで鮮明な高精細画像が得られます。

Mamiya ZD & Mamiya ZD Backを始めとした3種のお得なカメラセットをご用意いたしました。また、赤外線撮影備品セットもアカデミー版特別価格で提供中です。詳しくはお問い合わせください。

Mamiya ZD / Mamiya ZD Back Double Buffer Model

赤外線撮影システム

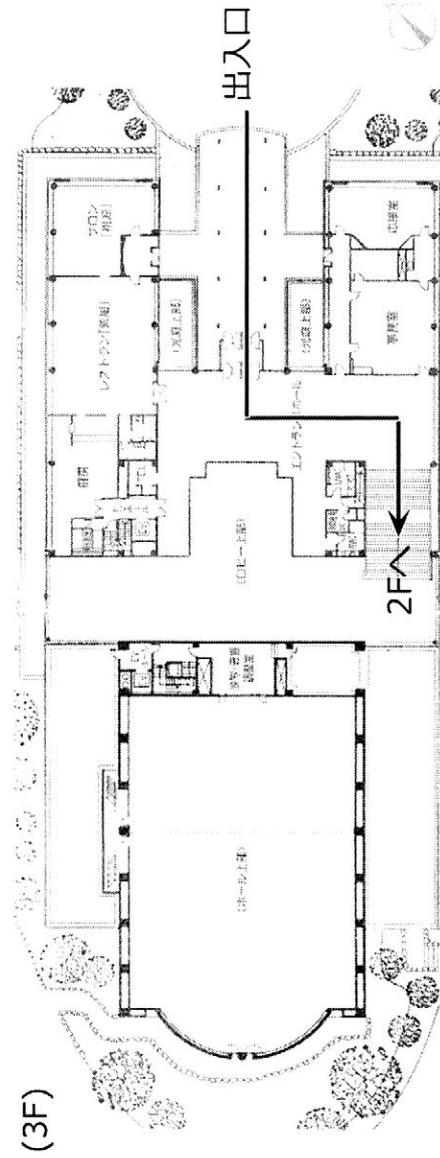


*機能外觀など品質向上のため、予告なく変更することがあります。

マミヤ・デジタル・イメージング株式会社

カタログ請求、製品に関するお問い合わせは 東京サービスセンター 〒112-0004 東京都文京区後楽 1-2-2 ココタイラビル TEL.03-6748-1983

会場案内図 (100周年記念会館2F)

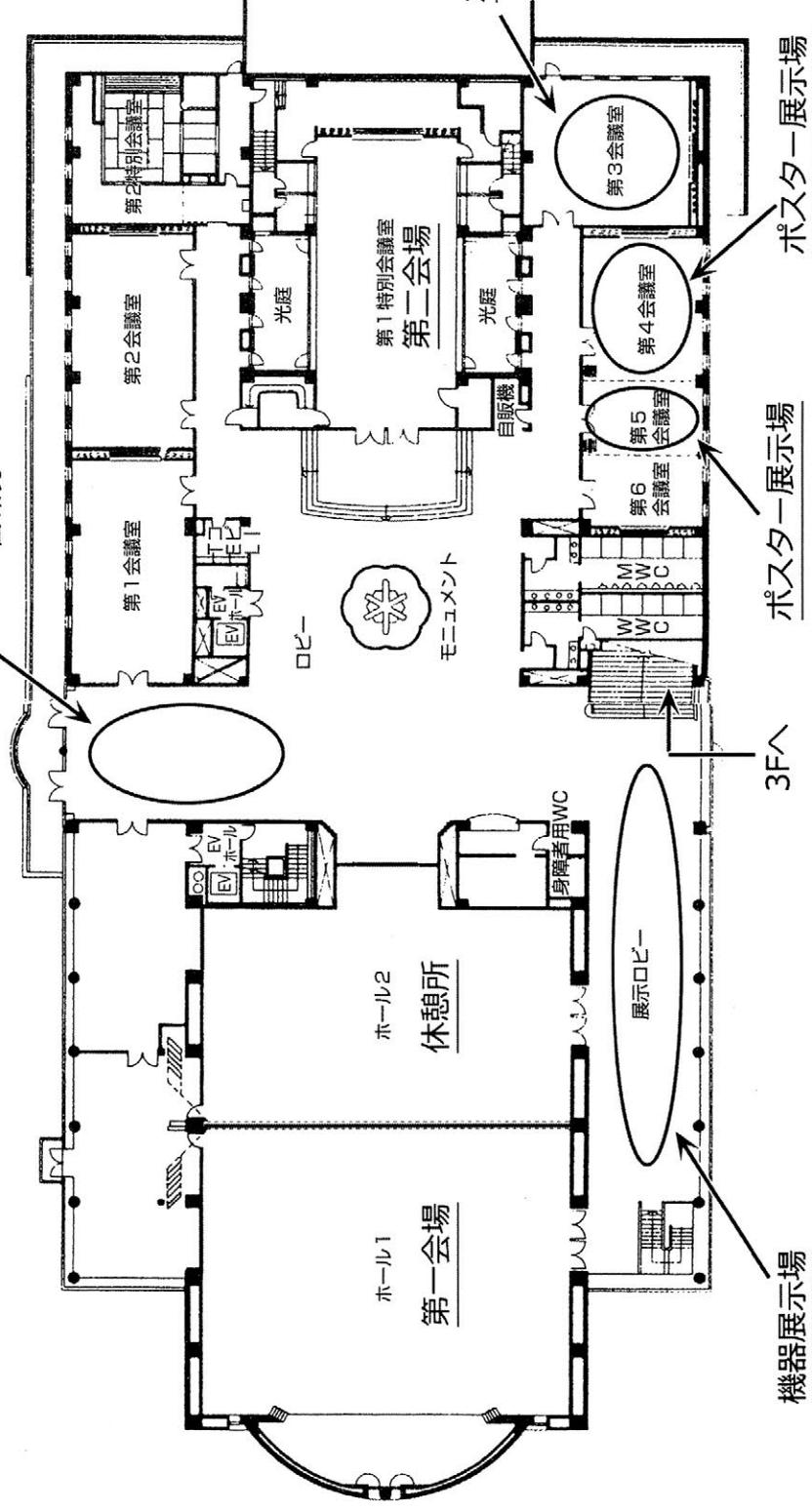


入口は3階になりますので、2階の会場へは階段で降りて下さい。

※26日(土)は、3階レストラン「紫紺」は午後2時まで営業しています。27日(日)の食事は、関大前通りの飲食店をご利用いただくか、各自でお弁当等を持参して下さいさるよう、お願い致します。

ポスター展示場

・古環境



ポスター展示場

- ・文化財科学一般
- ・産地
- ・年代測定

機器展示場

ポスター展示場

・保存科学

ポスター展示場

・材質・技法

3F

お食事処案内図



会場内のレストラン「紫紺」は、6/26(土)のみ14時まで営業しております。

学内の他のレストラン、コンビニも、6/26(土)のみの営業となっております。

6/27(日)は休業日ですので、関大前通りの食事処、あるいはコンビニに限定されます。

食事処が限られておりますので、お弁当等ご持参される方が、便利です。

学内店舗の営業時間は以下の通りです。

ダイニングホール・デイノア 10:00~17:00、レストラン法文坂 11:00~15:00、

レストランチルコロ 11:00~20:00、カフェソシオ 11:00~13:30

※は、コンビニを示します。



日本文化財科学会第 27 回大会研究発表要旨集

発行 2010 年 6 月 26 日

編集 日本文化財科学会第 27 回大会実行委員会

大会実行委員会

委員長 吹田 浩
委員 荒川 隆一 伊藤 淳志 伊藤 健司 奥山 誠義 岡 絵理子 川崎 英也
川本 耕三 土戸 哲明 中澤 務 中村 弘 西形 達明 日高 慎吾
森 貴史 米田 文孝
アソシエイト 西野 奈那 (RA) 川部 恵美 (RA) 吹田 真里子 (非常勤研究員)

日本文化財科学会第 27 回大会事務局

〒 564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号
関西大学文化財保存修復研究拠点 (総合研究室棟 2F) 内
TEL: 06-6368-1456 FAX: 06-6368-1457 E-mail: jssscp27@gmail.com
URL: <http://www.kansai-u.ac.jp/icp/jssscp/index.html>

主催： 日本文化財科学会

後援： 関西大学文化財保存修復研究拠点 (ICP)