

# 発表要旨

## 漆塗膜の表面特性を定量的評価するための基礎研究

### Basic research to evaluate surface characteristics of Urushi coating quantitatively

○下出祐太郎（京都工芸繊維大学伝統みらい教育研究センター），  
高橋瑤子（京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科先端ファイブ科学専攻），  
遠藤淳司（京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科先端ファイブ科学専攻）  
○Yutaro SHIMODE (Future Applied Conventional Center, Kyoto Institute of Technology),  
Yoko TAKAHASHI (Kyoto Institute of Technology), Atsushi ENDO (Kyoto Institute of Technology)

#### 1. 緒言

日本の伝統工芸である漆塗りには様々な技法があり，その工程は複雑多岐にわたり，それぞれに特徴を持っている．しかし現在，漆工芸品の修理・修復等に関わる学芸員や研究者が皆，漆の特徴や漆工芸品の制作工程を正確に把握しているわけではない．本研究では現代の漆塗り試料を用い，主に光学面での漆塗膜の特徴を把握することにより，今後の漆工芸品の研究や修理・修復への応用の基礎データの取得を目指した．

#### 2. 実験方法

##### 2-1. 測定試料

試料の作製には京蒔絵師(右利き男性，54歳，経歴36年)1人が参加し，作業環境は通常の仕事場とした．材料には仕上がりの光沢が異なる「艶漆」(堤浅吉漆店 光琳塗り立て上本黒)と「艶消し漆」(辻田漆店 すぐろめ)の2種類の漆を用い，職人がこの配合を変えることで10段階の光沢の差を表現した．器胎は100mm×100mm×5mmのアクリル板とし，通常の漆塗り工程同様，予め表面を研磨した後に生漆を摺り込む「生地固め」を施したものを使用した．道具には女性の頭髪を用いた一寸幅(30mm)の漆刷毛を使用した．図1に示すように，試料は艶の無い方から順に「艶1」「艶2」とし，最も艶のあるものを「艶10」と称した．

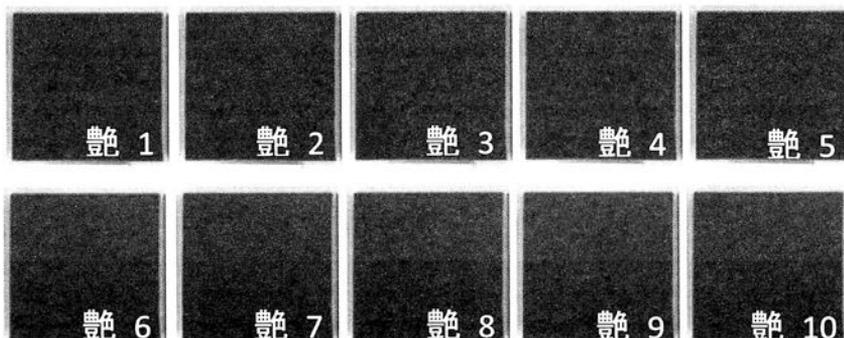


図1.10段階に塗り分けた漆塗り試料



図2.光沢計  
(HORIBA IG-331)



図3.分光測色計  
(コニカミノルタ  
センシング  
CM-2600d)

##### 2-2. 測定方法

光沢度の測定には図2に示すような光沢計(HORIBA IG-331)を使用し，測定条件は屈折率1.567であるガラス表面において60°入射の場合には反射率10%を光沢度100%とし，20°入射の場合には反射率5%を光沢度100%とした．

色度および色調の測定には，図3に示す分光測色計(コニカミノルタセンシング CM-2600d)を使用し，漆塗膜の中央を3回測定したうちの平均の値を求めた．

表面粗さの測定には，表面形状粗さ測定機(テラーホブソン フォームタリサーフS3C触針式)を用い，測定条件は，波長1mm以上のデータはスキャン範囲5mm×20mm(51本×4,000点)，スキャン速度1.0mm/sec，計測時間約30分とし，波長1mm未満のデータはスキャン範囲5×5mm(51本×20,000点)，スキャン速度1.0mm/sec，計測時間約20分とした．表面形状データはガウシアンフィルターにより1mm以上，0.1～1mm，0.01～0.1mm，0.001～0.01mmの4つに波長分離し，各波長域における算術平均高さ(JIS B 0601-2001)を算出した．図4および図5に表面形状の測定方法を示す．

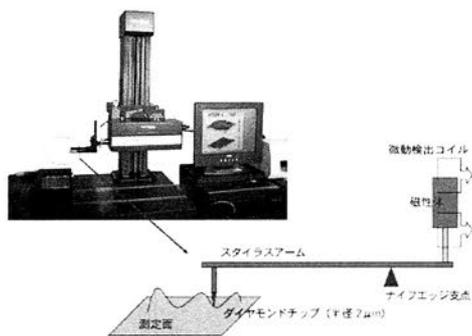


図4.表面形状粗さ測定機  
(テラーポブソン フォームタリサーフ S3C)

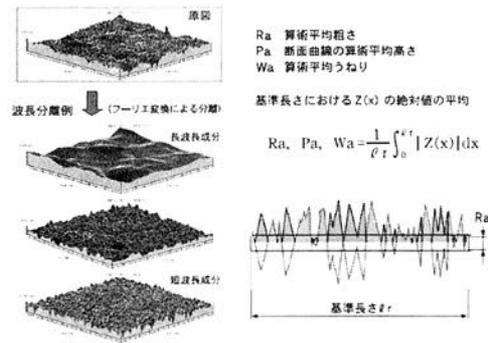


図5.フーリエ変換による波長分離

### 3. 実験結果と考察

図6.に漆塗り試料の番号と光沢計で測定した20, 60°の光沢度を示す. 試料番号に従い, 光沢度は緩やかに曲線を描いて上昇していることがわかる. 図7.に, 表面粗さと光沢度の関係を示す. 表面形状データを各漆塗り試料の光沢度と照合すると, 波長分離範囲0.01~1mm の表面粗さは, 光沢が上がるにつれて減少する傾向にあった. このことから, 漆塗り表面の光沢に影響を与えているのは波長分離範囲0.01~1mm の表面粗さであることが示唆された.

図8.に明度(L\*)と表面粗さ, 図9.に彩度(C\*)と表面粗さの関係をそれぞれ示す. 光沢が上がるにつれて, 表面粗さは減少するいっぽう, 明度は下がり, 彩度は上がることが判明した. 図10.では, 明度(L\*)と彩度(C\*)の関係をグラフ化した.

図11.にa\*, b\*の分布を示す. 光沢が増すに従ってa\*はマイナス方向, つまり赤から緑方向の色へと変化し, b\*はプラスの方向, すなわち青から黄方向の色へと変化する傾向にあることが判明した.

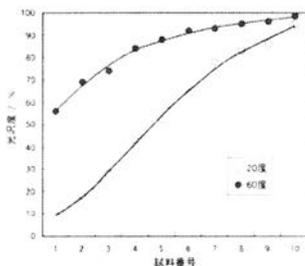


図6.漆塗り試料の光沢度

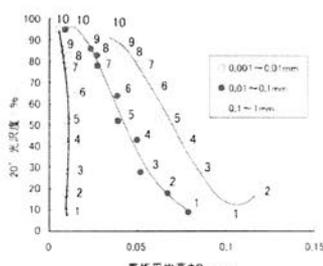


図7.漆塗り試料の光沢度と各波長域の表面粗さ

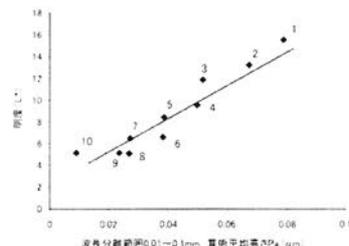


図8.漆塗り試料の明度(L\*)と表面粗さ

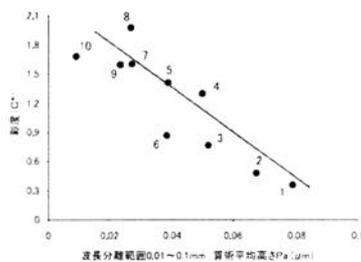


図9.漆塗り試料の彩度(C\*)と表面粗さ

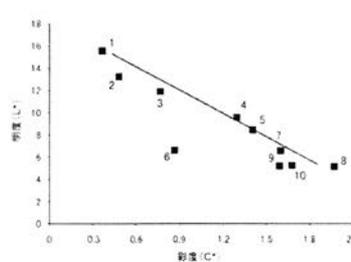


図10.漆塗り試料の明度と彩度

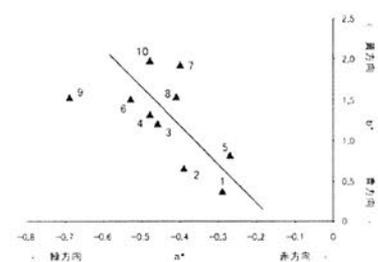


図11.漆塗り試料におけるa\*, b\*の変化

### 4. まとめ

光沢の異なる10枚の漆塗り試料を熟練の職人に塗らせ, 目視による光沢の判別力と各塗膜表面の特徴を科学的な見地から検証した. これらの結果は現代の漆塗りのものであり, そのまま年月の経た文化財に応用することは難しいかもしれないが, 今回のデータをもとに劣化試験等を行うことで, 修理・修復の際の最適な方法や後代の修理痕の判別等への応用に期待が持てるものと考えている.

## 古代西アジアにおける黄色ガラスの組成変遷 The compositional change of the yellow glass in ancient West Asia

○中村 彩奈 , 阿部 善也 , 中井 泉 (東理大・理)  
○Ayana Nakamura, Yoshinari Abe, Izumi Nakai  
(Department of Applied Chemistry, Tokyo University of Science)

### 【はじめに】

紀元前 16 世紀よりガラス製造がはじまった古代西アジアでは、ガラスはラピスラズリや金などの貴石の代用品を目的として製作されていた。そのため、青色や黄色といった多彩な色ガラスが製作され、そのための高度な技術を持ち合わせていたと考えられている。古代のガラスはガラスフリットに着色剤を加えて再熔融することで製作されており、この様子が最もよくわかるのが黄色ガラスである。黄色ガラスの着色剤はアンチモン酸鉛  $Pb_2Sb_2O_7$  であることが確認されており、このアンチモン酸鉛粒子がガラス中に散在し、顔料本来の色によって発色していることが SEM 像により確認されている[1]。この  $Pb_2Sb_2O_7$  の合成には Pb 原料と Sb 原料が必要であるが、エジプト新王国時代の第 18 王朝(前 15 - 13C)の黄色ガラスには顕著に Zn が含まれており、この Zn は Pb 原料由来であると考えられている。実際エジプト東部砂漠の Gebel Zeit で得られる方鉛鉱(PbS)には閃亜鉛鉱(ZnS)が共生していることが知られ、この地域の方鉛鉱が Pb 原料として第 18 王朝の黄色ガラスに利用されたのではないかと考えられている[2]。一方で、約千年時代の下ったプトレマイオス朝(前 3 - 1 C)の黄色ガラスに Zn は含まれないという報告がなされており、この Pb 原料の変化が新王国第 18 王朝とプトレマイオス朝時代の間のいつ頃に起きたのかは明らかではない。また、隣国のメソポタミアで製作されていた黄色ガラスの原料や製法にも興味を持たれる。そこで、本研究ではエジプト新王国時代(第 18 - 20 王朝)を中心に、様々な年代・地域の黄色ガラスの分析を行うことにより、古代西アジア地域における黄色ガラスの変遷を追った。

### 【測定と資料】

新王国第 19-20 王朝の黄色ビーズ 10 点(エジプト, Dahshur 北遺跡出土)と、同時期にメソポタミアで成立していたミタンニ王国の黄色ビーズ 7 点(シリア, Tell Fakhariya 遺跡・Qatna 遺跡出土)について、ポータブル型の分析装置を遺跡発掘現場に持ち込み、非破壊オンサイト分析を行った。蛍光 X 線分析装置(OURSTEX 100FA-IV)を用いて検量線法による各元素の定量および組成特性化を図り、さらに顕微ラマン分光分析装置(MiniRam)、粉末 X 線回折装置(PT-APXRD)により黄色ガラス中に存在する顔料の非破壊相同定を行った。また、岡山市立オリエント美術館収蔵のローマ期エジプト(前 1 - 後 4 C)のモザイクガラス 5 点について美術館に同装置を持ち込み分析を行った。さらに、古代エジプト美術館(渋谷)収蔵のエジプト第 18 王朝のガラス容器片(約 30 点)をお借りして蛍光 X 線分析装置による分析を行った。

### 【結果と考察】

ラマン分光分析、粉末 X 線回折により、いずれの地域・時代においても黄色着色剤として  $Pb_2Sb_2O_7$  が同定された。さらに、エジプトの第 18 王朝(前 16 - 13 C)の黄色ガラスでは、Pb と Zn の濃度に相関があり、Pb 原料に不純物として Zn が含まれていることが確認され、先行研究を支持した(Fig. 1)。一方で、Dahshur 北遺跡出土の第 19-20 王朝(前 13 - 11 C)のガラスでは Pb と Zn の相関が見られず、第 18 王朝で使用されていたと考えられる東部砂漠の方鉛鉱以外の Pb 原料を用いていたことが示唆される。また、Zn がないと報告のあったプトレマイオス朝の後のローマ属州時代では、第 19-20 王朝と同じく Zn がいない Pb 原料が使用された。よって、第 19-20 王朝から黄色ガラスに用

いられる Pb 原料が変化していたことがわかった。シリアの Tell Fakhariya 遺跡・Qatna 遺跡出土の後期青銅器時代の黄色ビーズを分析した結果、全てが Zn を含まないタイプであった。この時代はエジプトの第 18 王朝と並行する時代であり、エジプトで Zn を含む Pb 原料を用いていたのに対し、メソポタミアで Zn を含まない Pb 原料が用いられていたことは、同時代に Pb 供給源が複数あったことを示唆する。

さらに、Pb 原料だけでなくガラスの基部組成にも着目した。ガラス製作には原料となる石英の融点を下げるためにアルカリが使用されるが、古代のアルカリ源には、主に K や Mg を含む植物灰(K,Mg>1.5 wt%)か、鉱物のナトロン(K,Mg<1.5 wt%)が用いられていた。このようなアルカリ源はガラスが製作された地域や年代に特徴があり、植物灰かナトロンのどちらを使用したかに着目することでエジプトとメソポタミアのガラスを見分けることができる。今回分析を行った黄色ガラスでもエジプト第 18 王朝のガラスでは植物灰が、同時代のシリアではナトロンが用いられていることが分かった。しかし、ダハシュール北遺跡より出土している第 19-20 王朝のガラスは高 Mg(>1.5~10 wt%)、低 K(<0.5 wt%) のタイプであり、今までにない組成であった。これは黄色ガラスだけでなく、今回分析した同遺跡出土の第 19-20 王朝の全てのガラスでも同じ傾向を示した。

第 19-20 王朝において Pb 原料だけでなくアルカリ原料もそれまでとは異なるものを用いていることが分かった。この時代は所謂ラメサイド期と呼ばれ、ラムセス王が頻繁に海外遠征を行いエジプトの勢力を最大にするなど、歴史的に大きな変化があった時代である。この時代、エジプトにおけるガラス製造にも大きな転機が訪れた可能性が示唆された。

謝辞 本研究の実施にあたり貴重な資料を分析する機会を下さった、吉村作治早稲田大学名誉教授 (Dahshur 北遺跡)、菊川匡氏(古代エジプト美術館)、Dominik Bonatz 氏(Tell Fakhariya 遺跡)、Peter Pfaelzner 氏(Qatna 遺跡)に厚く御礼申し上げます。

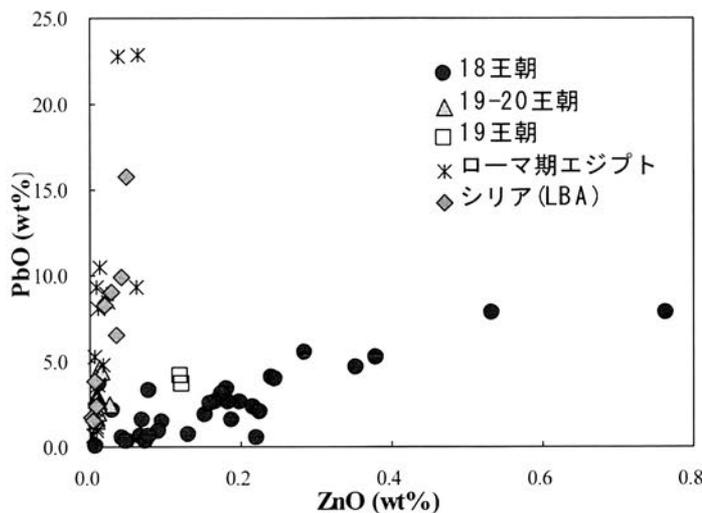


Fig. 1 黄色ガラスにおける ZnO vs. PbO 化学組成プロット

[1] A. J. Shortland: *Archaeometry*, **44**(4), 517-530 (2002)

[2] J.L. Mass, M.T. Wypyski and R.E. Stone: *Archaeometry*, **44**(1), 67-82 (2002)

## 砂岩材の帯磁率および特徴に基づくアンコール遺跡の円柱を伴う テラスおよび空中参道の建造時期に関する考察

### Consideration on the construction age of the cruciform terraces and the elevated causeways with columns in the Angkor monuments based on the magnetic susceptibility and the characteristics of the sandstone blocks

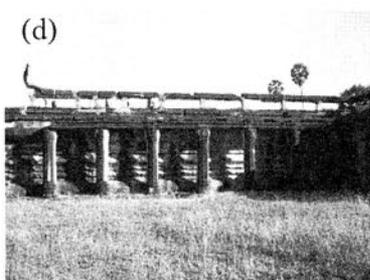
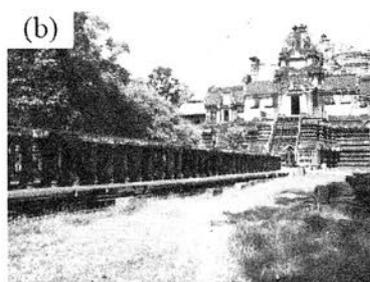
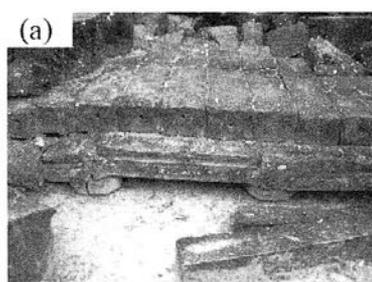
○内田悦生・佐藤桂(早稲田大学理工学術院)・オリヴィエ=クニン(ナンシー国立高等建築学校)・  
豊内謙太郎(早稲田大学理工学術院)  
○Etsuo UCHIDA, Katsura SATO (Waseda Univ.), Olivier CUNIN (C.R.A.I.),  
Kentaro TOYOUCHI (Waseda Univ.)

#### 1. はじめに

アンコール遺跡の一部の遺跡では、円柱で装飾されたテラスや円柱で支えられた空中参道が見られる。このような建造物は、C. Jacques(1994,1999)によりポスト・バイヨン期の増築物であると考えられてきた。しかしながら、使用されている砂岩材の帯磁率およびその特徴(大きさ、形、組積法、層理面方向など)から、これらの建造物は各遺跡の建造時期とほぼ同じ時期に建造されたことが明らかになってきた。

#### 2. 砂岩材の帯磁率と特徴に基づく円柱を伴うテラスおよび空中参道の建造時期に関する考察

円柱で装飾されたテラスや円柱等で支えられた空中参道を伴う遺跡として、チャウ・スレイ・ヴィボール、パプーオン、チャウ・サイ・テヴォダ、アンコール・ワット、バンテアイ・サムレ、王宮内十字テラス、ブリア・ピトゥが挙げられる。



写真の説明:(a)チャウ・スレイ・ヴィボールの短い八角柱で支えられた空中参道、(b)パプーオンの東ゴープラと中央部を結ぶ空中参道、(c)チャウ・サイ・テヴォダの四角柱および八角柱で支えられた空中参道、(d)円柱装飾が施されたアンコール・ワットの十字テラス

#### 2.1 チャウ・スレイ・ヴィボール(パプーオン期~アンコール・ワット期前期)

砂岩の帯磁率は場所によって異なり  $1.2 \sim 3.7 \times 10^{-3}$  SI Unit の広い範囲を示し、アンコール・ワット期前期に対応する値を示している。しかしながら、砂岩材の多くは正方形の断面を示し、層理面方向が意識されておらず、パプーオン期以前の特徴を示す。これらのことからチャウ・スレイ・ヴィボールは従来のクレン期の建造物であるとの考えとは異なり、パプーオン期~アンコール・ワット期前期の過渡期の建造物であると推測される。東ゴープラと中央祠堂を結ぶ空中参道の柱と床(写真 a)の帯磁率は、それぞれ  $1.96$  と  $1.82 \times 10^{-3}$  SI Unit であり、他の場所の砂岩の帯磁率の範囲内にある。このことは、この空中参道は後の増築部ではなく、他の場所とほぼ同時期に建造されたことを示している。

## 2.2 バブーオン (バブーオン期)

東ゴープラの砂岩の帯磁率は、基壇が  $1.74 \times 10^{-3}$  SI Unit、上部構造が  $2.07 \times 10^{-3}$  SI Unit、空中参道途中の十字型建物の砂岩は、基壇が  $1.73 \times 10^{-3}$  SI Unit、上部構造が  $2.05 \times 10^{-3}$  SI Unit、そして空中参道の砂岩は (写真 b)、支柱が  $1.31 \sim 1.34 \times 10^{-3}$  SI Unit、床が  $1.34 \sim 1.51 \times 10^{-3}$  SI Unit となっている。いずれの箇所も砂岩の帯磁率も、クレアン期～バブーオン期の砂岩の帯磁率の範囲 ( $1.3 \sim 2.4 \times 10^{-3}$  SI Unit) と一致しており、これらの建造物はバブーオン期に建造されたことを示している。東ゴープラの砂岩材は、正方形の断面を示し、層理面方向は無秩序で、かつ、整層積みとなっており、バブーオン期以前の石材の特徴を示しており、ポスト・バイオン期の建造でないことは明らかである。以上のことから、東ゴープラおよび空中参道は他の場所と同様にバブーオン期に建造されたと考えられる。

## 2.3 チャウ・サイ・テヴォダ (アンコール・ワット期前期)

チャウ・サイ・テヴォダは、アンコール・ワット期前期の建造と考えられ、砂岩の帯磁率は、 $1.08 \sim 5.55 \times 10^{-3}$  SI Unit の広い範囲で変化し、その帯磁率は建造時期とともに増加する傾向が認められる。東ゴープラと十字テラスは空中参道で結ばれ (写真 c)、四角柱および八角柱によって支えられている。十字テラスの砂岩の帯磁率は  $3.73 \times 10^{-3}$  SI Unit、空中参道の四角柱の帯磁率は  $4.85 \times 10^{-3}$  SI Unit、八角柱の帯磁率は  $3.96 \times 10^{-3}$  SI Unit の高い値を示し (床は新材からなる)、アンコール・ワット期の建造であることを示している。

## 2.4 アンコール・ワット (アンコール・ワット期主要期)

アンコール・ワット外回廊の西側に隣接して設置された円柱を伴う十字テラス (写真 d) のテラス本体および円柱の帯磁率は、それぞれ  $3.15$  と  $3.48 \times 10^{-3}$  SI Unit であり、他の場所と同様な値を示しており、この十字テラスがアンコール・ワット期に建造されたことを示している。

また、中回廊と内回廊の間には南北経蔵と結ばれた円柱で支えられた空中参道が存在している。この円柱と床の帯磁率は、それぞれ  $3.17$  と  $2.85 \times 10^{-3}$  SI Unit で、これらの値は、アンコール・ワット期主要期の砂岩の帯磁率の範囲 ( $2.8 \sim 4.3 \times 10^{-3}$  SI Unit) 内にあり、このことから、この空中参道もアンコール・ワット期主要期の建造であると考えられる。

## 2.5 バンテアイ・サムレ (アンコール・ワット期主要期以降)

十字テラスおよび円柱の帯磁率は、それぞれ  $2.03$  と  $2.52 \times 10^{-3}$  SI Unit であり、十字テラスには灰色で長方形の断面を呈する良質な砂岩が使用され、整層積みとなっている。これらのことから、この円柱付き十字テラスは、バイオン期前期末の建造であると推定される。

## 2.6 王宮内十字テラス (バイオン期末期～ポスト・バイオン期)

十字テラスは盛土上にあり、石材の大きさ・形が不揃いで、若干の石英質赤色砂岩を伴っていることから、バイオン期末期以降の建造であると推定される。十字テラスの砂岩の帯磁率は  $1.64 \times 10^{-3}$  SI Unit であり、バイオン期末期以降の建造であることと調和的である。

## 2.7 プリア・ピトゥ (ポスト・バイオン期)

グループ T の十字テラスと円柱の帯磁率は、それぞれ  $1.63$  と  $2.37 \times 10^{-3}$  SI Unit であり、グループ V の十字テラスと円柱の帯磁率は、それぞれ  $2.19$  と  $2.22 \times 10^{-3}$  SI Unit である。どちらの十字テラスの帯磁率の値もプリア・ピトゥの中ではやや小さく、相対的に遅い時期に建造されたことを示している。また、どちらの十字テラスにも若干の石英質赤色砂岩が認められ、このことはポスト・バイオン期の建造であることと調和的である。

## 3. まとめ

本報告では、空中参道や円柱装飾を持つ十字テラスの建造時期に関して砂岩材の帯磁率と特徴を基に考察を行なった。Jacques (1994, 1999)によるとこれらすべての建造物は Jayavarman VIII 世によるポスト・バイオン期の増築物であると考えられていたが、砂岩材の帯磁率および特徴からこれらの建造物は、各遺跡の他の建造物とほぼ同じ時期に建造されたことが明らかとなり、バブーオン期からポスト・バイオン期に至るまでの長期にわたって用いられた建築様式であることが示された。また、バブーオンの東ゴープラは、Jacques (1999)によるとライ王のテラスと位置を揃えるために Jayavarman VIII 世の時代に増築されたものであると考えられていたが、砂岩材の帯磁率および特徴は、この東ゴープラがバブーオン期の建造物であることを明らかにした。

## 壁面着生物のスペクトル解析による覆屋の評価 —バイオン内回廊の保存方法の検討—

### Investigation for Evaluation of Conservation Facilities in terms of Spectral Analysis for Microorganisms on the Wall Relief —Study of the Conservation Method of Bas-relief at Inner Gallery of Bayon—

○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（東京農工大学大学院農学研究科），池内克史（東京大学大学院情報学環）  
○CHIBA Mayuko (Waseda University), Morimoto Tetsuro (Toppan Printing Co., Ltd.),  
Katayama Yoko (Tokyo University of Agriculture and Technology), Ikeuchi Katushi (University of Tokyo)

#### 1. はじめに

本調査はカンボジア・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目的として行われる。クメール文明の神学芸術の粋が込められたこのレリーフは、高温多湿の過酷な環境下において劣化の一途を辿っている。現在、内回廊のレリーフが施されている壁面にかかる迫り出し式屋根は約半分が残存し、残存している屋根においても身舎壁体の不同沈下などにより石目地間に隙間が生じることによって漏水が起き、レリーフ壁面は直接流水にさらされている。こうした石材劣化の主たる要因とされる水を遮断するひとつの方法として覆屋を検討し、雨季乾季にわたる1年間（2009年5月から2010年4月）において仮設置を行った。本稿では覆屋設置による壁面の着生状況の変化をスペクトル計測によって示し、覆屋の評価を行う。

#### 2. 内回廊レリーフ壁面の環境

##### 2-1. カンボジアの降雨

亜熱帯地域に位置するアンコール遺跡群では、一年が5月から10月の雨季と11月から4月までの乾季に二分される。特に雨季の始めと終わりに雨量が増大するが、一カ月あたり200～300mm程度となる。1時間ほどの短時間に叩きつける局所的な降雨であるが、日本国政府アンコール遺跡救済チーム（以下JSA）による遺跡群内での気象ステーションにおいて、100mm/hに達する強烈なスコールが観測されることもある。

##### 2-2. 壁面と屋根

保存対策が検討されているバイオン寺院内回廊の浮き彫り壁面は、通廊状の小部屋に分割されているが、約半分の部屋においては迫り出し式の屋根が残存している。本来、バイオン寺院の屋根は雨水の浸入を防ぐために、隣り合う石材は合ジャクリになっているうえ、石材はやや外に転ぶように勾配が取られている。しかし長年にわたる経年変化によって、石目地間に隙間が生じている。このような変位は規則的なもので、柱の外転びと身舎部分の壁体の不同沈下に起因している。2010年に行った漏水試験の結果では、屋根頂部の石目地のみならず、壁体の中を雨水が浸透し、壁面に染み出す箇所も確認した<sup>1)</sup>。

#### 3. スペクトル計測

着生物は特定のスペクトル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」を解明することが可能である。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り、これにより壁面に着生物シアノバクテリアの着生挙動を把握することができた。その結果、2008年雨季から2009年乾季への変化としてシアノバクテリア着生分布が減少していることを確認した。減少の理由として、シアノバクテリアの着生と水分挙動の関連が強いことが考えられた。

##### 3-1. 計測方法

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。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。その後、類似する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金剛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 (Ncuts1)法を用いた次元圧縮処理を行った。さらに計測領域におけるスペクトルを比較するため、画像を3次元形状データに画像を張り付け正確な対応点を取り、スペクトルデータの比較を行った。これらの一連の計測システムは東京大学池内研究室で開発された<sup>2)</sup>。

またフィコシアニンの吸収スペクトルによる分割領域において、顕微鏡観察および蛍光解析から実際にシアノバクテリアを多く検出し、生化学的検証も行われた<sup>3)</sup>。

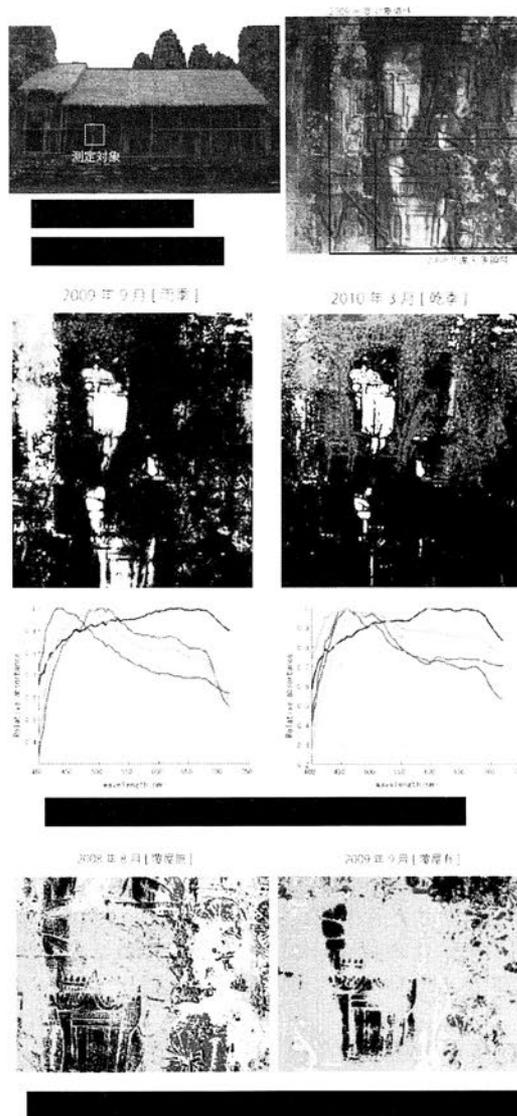
計測は覆屋が仮設されたバイオン寺院内回廊北面東翼で、2009年9月（雨季）と2010年3月（乾季）に行った（fig.1）。

### 3-2. 結果

2009年雨季と2010年乾季に取得したスペクトル画像を比較したものをfig.2に示す。フィコシアニンの吸収を示すのが黒の領域であり、シアノバクテリアの着生分布を表す。結果として覆屋仮設期間に雨季から乾季に向けて、対象範囲上方ではシアノバクテリアの着生範囲が減少、下方では増加したように判断できる。さらに覆屋仮設以前の雨季と仮設期間中の雨季を比較した結果をfig.3に示す。フィコシアニンの吸収を示すのがグレーの領域であり、覆屋仮設期間中において全体的にシアノバクテリアの着生範囲が増加している。覆屋仮設をきっかけにそれ以前では雨季から乾季に向けて減少したのに対し、仮設中においては壁面下方で雨季から乾季に向けて増加の挙動が見られた。

### 4. 考察

写真撮影による定点観測によると、覆屋仮設の1年間を含む2008年8月から2010年9月において黒色着生物の分布範囲に視認できるほどの目立った変化は認められない。ただし覆屋に近いオリジナルの屋根表面に地衣類の増加が認められた。覆屋を設置することによって、湿気が滞留したとも考えられるが、もともと存在していた着生物を温床として着生範囲が広がったと思われる。その一方で漏水の影響がバイオンに比べて非常に小さいアンコール・ワットの浮き彫り壁面は着生物の影響がほとんど見られない。覆屋の設置は着生物の除去と併せて行うことが必要だと考えられる。



\*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・バイオ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（JSA）およびJASAの協力を得て進められた。

#### 【参考文献】

- 1) 千葉麻由子, 下田一太, 中川武「バイオン寺院内回廊の漏水現況調査」日本建築学会学術講演梗概集 2010
- 2) 森本哲郎, 池内克史「反射率解析のためのマルチスペクトル画像計測—バイオン寺院内回廊における着生物の分類—」, 日本学術振興会国際高等研究所 国際シンポジウム「文化遺産保存技術」, Oct. 2009
- 3) 大須賀雄, 李賢淑, 久住朝子, 川島新, 森本哲郎, 千葉麻由子, 片山菜子「石材表面に形成されたバイオフィルムの色調と微生物群集の関係」(ホスター発表) 日本微生物生態学会講演要旨集 (25) 2009

## レバノン共和国の壁画地下墓三次元写真測量について Photogrammetry Method, Underground Tomb(T01) Tyre, Lebanon

○西山要一（奈良大学），塩地宏行・山内基樹（株式会社 文化財サービス）

○Yoichi Nishiyama(Department of Study of Cultural Properties Nara University)  
Shioji Hiroyuki, Motoki Yamauchi(Assistant Service foe Cultural Assets)

### 1.はじめに

奈良大学レバノン遺跡保存修復チームは、2009年よりレバノン南部ティール市(スール市)近郊のブルジュ・アル・シャマリに所在する T.01 壁画地下墓の修復を行っている。T.01 地下墓の墓室の床には6基の掘込石棺が設けられ、四壁と天井には孔雀・魚・パン・壺・草花・被葬者の肖像などの壁画や、西暦 196/197 年の築造年を示すギリシャ語碑文などが記され、地上には5基の掘込石棺墓と石切り遺構がある。このように地表と地下の遺構が複雑に重なり、さらに地下墓の壁画を記録するために、2010年度に三次元写真測量を行った。機材や時間が制約される海外調査では、効率的かつ効果的な計測方法である。

### 2.三次元写真測量について

遺跡測量における写真測量技術については以前から確立した手法として用いられてきているが近年、デジタルカメラとパソコンを利用した三次元計測技術が発達し、遺跡測量にも活用され始めてきている。原理的にはデジタルカメラで撮影した左右2枚の写真をステレオ画像に変換しパソコン画面上で三次元計測を行うものである。撮影したデジタル画像をステレオ画像に変換するためには撮影画像位置、三軸の傾きを導き出す必要があるが、そのために撮影した画像に4点以上のターゲットが写し込まれるように計測対象物表面に配置しあらかじめトータルステーション等で X, Y, Z の座標値を計測しておかなければならない。

### 3.レバノン壁画地下墓の現地作業

今回のレバノン壁画地下墓の測量作業においては撮影カメラは CANON EOS 5D (レンズ焦点距離 17mm) にて撮影を行い、3D計測ソフトは TOPCON Image Master を使用した。現地に持って行く機材としては、手荷物で扱える重量を考えデジタルカメラ、座標を計測するためのトータルステーションと3脚、パソコン等の機材だけにとどめ、極力軽装備での測量作業を行うこととした。現地作業はターゲットの貼り付け、計測、撮影を行った。撮影枚数は地下部、地表部を合わせて409枚、ターゲットの数は500点であった。撮影に関しては現地の気候がちょうど乾季でもあり地表面については、日が当たっていない朝に撮影を行い、地下部については照明設備がほとんどなかったため、フラッシュを用いた撮影とした。

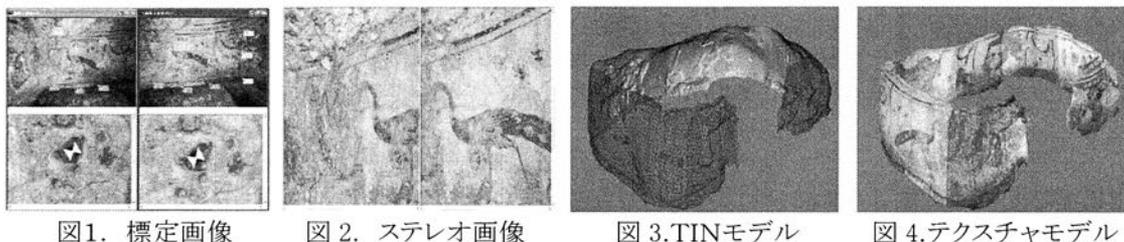
### 三次元写真測量計測フロー



ステレオ撮影画像

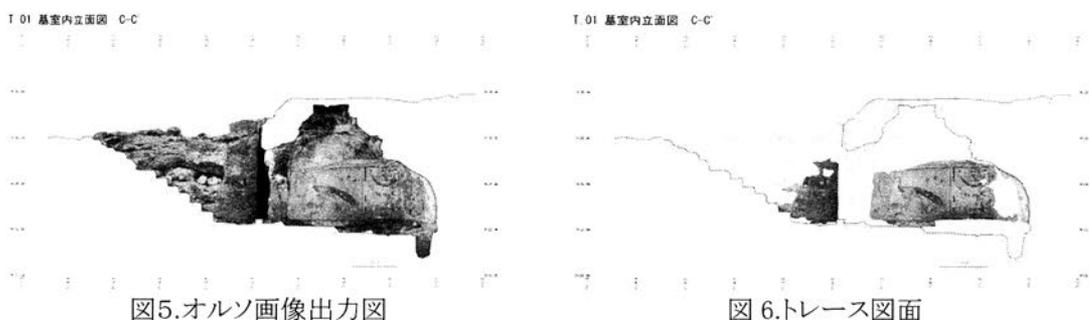
### 3. 三次元計測作業

現地にて撮影した画像に写し込まれたターゲットを基に標定作業(図1)を409枚すべての画像について行った。調整計算にはバンドル調整ソフトにて行い500点のターゲットでの誤差はXY方向で3mm、Z方向で2mm(標準偏差)の精度で収まった。この標定結果をもとにステレオ画像(図2)を作成し三次元計測を行った。計測に際してデジタル図化機の特徴であるステレオマッチングによる自動計測によりDSM(Digital Surface Model)を作成し(図3)さらにテクスチャを張り付けることによって画像データの張り付いた三次元モデル(図4)が作成される。今回の調査区では主として壁画地下部、地下に入るための階段部、地表部の3ブロックに分けて作成した。



### 4. オルソ画像、出力図面作成

図面を作成するにあたり前項で作成した3Dモデルからオルソモザイク画像(図5.)を作成しその画像を背景にしてトレース作業を行った。今回は壁画地下墓という性格上、壁画部分についてはオルソ画像をそのまま残している。(図6.)



### 5. まとめ

近年のデジタル写真を用いた三次元計測技術の発達はパソコンの能力の向上に伴い目覚ましいものがある。今回の海外調査測量においても最小限の機材で三次元モデルを作成することが出来ることで今後の海外調査手法としては大いに有効なものであると考えられる。また三次元モデルを作成することにより、地表と地下の遺跡の関係を視覚的に確認できることは、今後の遺跡の保存・修復にも役だってくれることを期待している。その他に今回の調査地区のように実際現地へ行くことの困難な場合でも、より多くの方に遺跡の状況を理解していただけるという教育的効果も生み出されるということである。

### 参考文献

高地信夫・伊藤忠之・渡邊広登・大谷仁志・門林理恵子・太記重剛 デジタルカメラを用いたPCベースの3次元画像計測、モデリングシステムとその実応用例について

## 環境適応型文化財輸送診断車（シバラⅡ号）の開発 Development of Environment-Adaptive art transporter (sibaraⅡ)

○塚本敏夫, 雨森久晃, 植田直美 (財団法人元興寺文化財研究所)  
滝沢英明 (株式会社守谷商会)

○Tukamoto Toshio, Amenomori Hisateru, Ueda Naomi(Gangoji Institute for Research of Cultural Property), Takizawa Hideaki(Moritani & CO.,LTD)

### 1.はじめに

元興寺文化財研究所では文化財の強化処理の評価は最も遺物にストレスがかかる輸送時であるとの視点から、文化財輸送用の除振パレットの開発を行ってきた。近年の地球温暖化で文化財を取り巻く保存環境が激変しており、温暖化による問題が顕在化してきた。

また、『発掘された日本列島展』での輸送・展示の経験から長期間に及ぶ輸送時の環境変化が文化財に大きなダメージを与えることがわかってきた。そのため、輸送による急激な環境変化に適応した温湿度管理が24時間可能な完全空調システムを実装した美術品輸送車の開発が急務となった。このような経緯の中、昨年度、(財)日本宝くじ協会助成金により、文化財保存保護啓発広報車として、新たに環境適応型文化財輸送診断車(以下シバラⅡ号)を開発し導入することができた。これにより文化財を安全に輸送し、保存活用することができ、全国各地の文化財保存・保護事業に寄与できると考えている。今回はこのシバラⅡ号の開発を中心に紹介する。

### 2. 環境適応型文化財輸送診断車の概要

#### 2-1. 開発の基本コンセプト

当研究所はよく文化財の病院に例えられる。今回開発したシバラⅡ号は診断機器を搭載して現地に赴き、患者さん（文化財）の状態を診断し、病院（当研究所）に搬送する救急車の役割を担っている。このシバラⅡ号の開発の基本コンセプトは“文化財にやさしく、地球環境にもやさしい文化財輸送診断車”である。



写真1 環境適応型文化財輸送診断車（シバラⅡ号）外観



写真2 荷室内状況

#### 2-2. 車両（シバラⅡ号）の概要

##### (1) ハイブリットカー

文化財にやさしく、地球環境にもやさしい文化財輸送診断車としてエアサスペンション仕様の4tトラックとして、世界初のハイブリットシステム車を日野自動車と共同開発した。

仕様：

車両：車両外寸（全長 7900・全高 3420・全幅 2350）

日野レンジャー 4t ハイブリット車（リヤサスペンションを特注により4バックエアサスペンションに改造）

荷室部分架装：荷室内寸（長 5560・高 2080・幅 2080）○後扉観音開き・側扉片開きとして電子ロック及び異常解放時警報アラーム付き。○天井・床・両側面・前後面六面に 100mm の

断熱材を使用、内装は、ポリウレタンフォームにより緩衝材とし、表面には吸湿効果のあるビニールレザー張り。○床面は、エアラインレール4本を埋設、除振パレットを固定可能。

## (2) 除振装置

本車両の最大特徴は、文化財にやさしい輸送車として、貴重な文化財の輸送及び可搬型の精密分析機器輸送を考慮し、振動を最小限に抑えるために、従来のエアサスペンション仕様に加えて、新たに(株)エーエス社と共同開発した除振装置を実装している。

仕様：除震パレットは減衰機構に粘性体ダンパーを使用、固有振動数は3.5Hzに設定、1枚の法量は900×900mmで最大積載重量60kg。4枚までのユニットで連結使用可能で長尺・大型資料にも対応が可能(最大積載量240kg)

## (3) ソーラー式完全空調システム

地球温暖化にも対応した文化財にやさしい完全空調システムを採用。従来の美術品輸送車では夜間の空調ができない不完全な空調システムであった。そこで、屋根にソーラーパネルを装備することにより、ソーラーベンチレーションシステムとリモートエアコンシステムによる温湿度の24時間集中管理システムを採用。このシステムにより、移動先の温湿度が確認できる場合は荷室内を移動中に徐々に現地環境に合わせることで、文化財に急激なストレスをかけず、搬出入が可能。長期の文化財輸送を安全に行うことが可能となる。また、可搬型の精密分析機器を安定した環境で測定することも可能。

仕様：○ソーラーパネル4枚(最大出力195W)を荷室天井部に設置。発電電力をソーラーチャージコントローラーにより制御、効率良くバッテリーへ充電を行なう。また、荷室天井外部に日照計(Hukseflux社製)を設置し、日照量とソーラー発電量のモニタリングを行っている。○荷室庫内空調システムは、運転席からの集中制御が可能で、空調には家庭用エアコン(ダイキン社製)を使用。充電バッテリーからの電力供給で運転停止中も24時間空調が可能。○車両から100V・200Vの供給が可能(外部電源が無い場合でも車両からの電源供給で計測機器・X線撮影が可能)。また、外部から100V・200Vの供給が可能

## (4) 輸送環境モニタリングシステム

走行時の文化財の安全を確保し、データを蓄積する目的で文化財輸送環境をモニタリングできるシステムを開発した。輸送時の振動加速度、荷室内外の温湿度を記録するとともに赤外線サーモグラフィによる荷室内の温度環境やWEBカメラによる文化財の状態監視と走行データ(GPSやバックモニタによる路面映像)やソーラーパネルの発電量の管理を一元管理できるモニタリングシステムを実装。

仕様：○輸送時の荷室内の状況を常時把握するため荷室内に温湿度計(チノ社製)を2個、荷室内前後及び外部に設置し、温湿度の変化をキャビン等でモニタリングが可能。○三軸の加速度計(クロスボー社製)を任意3点の場所に設置し、加速度変化をキャビン等でモニタリング可能。

○荷室庫内の状態を把握するためWebカメラ(ARTRAY社製)及び赤外線カメラ(NECAvio社製)によるモニタリングを行う。○上記3件のモニタリングにより、事前に設定したシキイ値を超えた場合、PC上に警告を出すと同時に設置GPS(ガーミン社製)・バックモニター(クラリオン社製)・Webカメラの位置及び画像と荷室内の情報を記録し、蓄積を行なう。このことにより異常発生の地点・状態を確認することが可能。

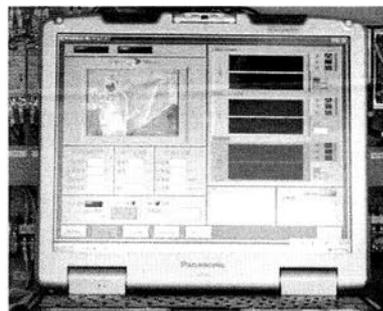


写真3 輸送環境モニタリング画面

## 3. おわりに

今回開発したシバラII号は確認走行試験を経て、2月22日に始動し、本格的な運用を行っている。今後は走行データを蓄積して、そのデータを公開・フィードバックして文化財のより安全な輸送に寄与して行きたい。また、文化財輸送の今後の課題として、より安全な梱包方法の開発を目指して研究開発を進めて行く予定である。

# 調湿建材内蔵型展示ケースの湿度調整機能について(第2報)

## On hygrothermal performance of exhibition case which contains the humidity control materials Part 2

○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)  
○MIYANO Norihiko (Nihon Univ.), MIKURIYA Hidetoshi ( AM Off.),  
MIYANO Akihiko(Nagoya.Inst.Tec.)

### 1. まえがき

前報<sup>1)</sup>の第一次実験に続き、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行った第二次実験の結果を報告する。

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ように、調湿建材にも、その素材や製法等によって、高湿、中湿及び低湿域のそれぞれに適する材料があつてよいと考えている。

前報にも述べたように、ISO 及び JIS で、高湿、中湿及び低湿段階での試験条件が定められているのもそのためである。

開発作成した調湿建材内蔵型の展示ケースは、収蔵・展示する文物の材質などによって、それぞれの調湿建材の性能を考慮し、またその数量を変化させるなどして、ケース内の湿度環境の最適化を計ることを目的としたものである。

### 2. 第二次実験の概要

一連の実験における展示ケースは、展示部分の内容積が 373×373×393 mm (内法高) 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。

ケース内の展示台周辺には台座内の調湿建材の吸放湿に伴う湿気拡散のための隙間が設けられている。

( 図1)

今回も前回同様、珪酸カルシウムを主原料とした板状の調湿建材(300×100mm<sup>2</sup>×厚 25mm)を用いたが、試料枚数は実験期間を通じて 7 枚とし、展示台周辺の隙間幅を5段階に変化させて、ケース内外の温湿度を測定した。測定期間は'10.3.~11.である。

### 3. 第二次実験の結果と検討

表1に今回の実験条件を、表2に解析結果の一覧を示す。

冬季から夏季への季節変化に伴ってケース内の気温は次第に上昇しているが、表2より、ケース内の相対湿

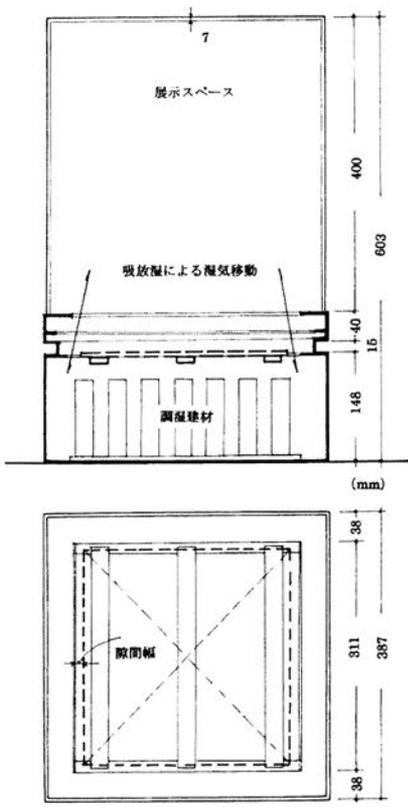


図1 試作展示ケースの概要

度は 50～57%の範囲にとどまっていることが分かる。

また、ケース内の気温の日較差は、季節変化に伴うケース外の気温の日変動較差の減少と共に 2.4℃から 1.4℃へ変化しているが、ケース内外の気温の日較差の比  $\eta$  は、全期間を通じて 0.9 となっている。

更に、各期間毎のケース内の気温の日較差に対するケース内の相対湿度の日較差の比、 $\Phi_i / \Theta_i$  を求めると図2のようになる。

図中、○は前報の結果で、全開とあるのは展示台を撤去して台座部分を開放した場合の結果である。

この結果から、隙間幅が約 20mm 以上となるに従って、 $\Phi_i / \Theta_i$  値は急激に減少し、隙間幅 30mm で略全開の時と同一となるということが明らかとなった。

この結果は、水谷章夫等による鉛直通気層の湿気貫流特性に関する既往の実験的研究<sup>[2]</sup>の成果とも極めて良く一致するものである。

#### 4. むすび

今回の実験によって、展示台座周辺の隙間幅は最小限 30mm が必要であることが明らかとなった。

次回以降には、内蔵する調湿建材を代えて、更に検討を加えたいと考えている。

#### 参考文献

- [1] 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、御厨秀俊、宮野秋彦、日本文化財科学会、第 27 回大会、研究発表要旨集、2010.6.
- [2] 建築構造体内通気層の透湿性能の測定－通気層による構造体の防湿効果に関する研究 その1、水谷章夫、大沢徹夫、宮野秋彦、日本建築学会計画系論文報告集、第 376 号・昭和 62 年 6 月.他

表 1 第二次実験条件

No.	展示台面積 (mm <sup>2</sup> )	隙間幅(mm)	隙間面積 (mm <sup>2</sup> )	開口率
1	302×302 = 91,204	4.5	5,217	0.054
2	289×289 = 83,521	11.0	12,375	0.128
3	280×280 = 78,400	15.5	16,821	0.174
4	270×270 = 72,900	20.5	21,571	0.223
5	250×250 = 62,500	30.5	30,471	0.315
6	展示台無		96,721	1.000

表 2 解析結果の一覧

No.	$\theta$	$\phi$	$\nu$	$\Theta_i$	$\Theta_o$	$\eta$	$\Phi_i$	$\Phi_i / \Theta_i$
1	16.1	50	6.8	2.4	2.8	0.9	2.6	1.08
2	18.1	50	7.7	2.2	2.5	0.9	2.1	1.07
3	21.3	51	9.4	1.5	1.6	0.9	1.6	1.07
4	27.5	55	14.6	1.5	1.5	0.9	1.5	0.97
5	22.1	57	11.1	1.4	1.5	0.9	1.0	0.71

$\theta$  : 温度 (°C)、 $\phi$  : 相対湿度 (%)、 $\nu$  : 絶対湿度 (g/m<sup>3</sup>)  
 $\Theta_i$  : ケース内温度日較差 (°C)、 $\Theta_o$  : ケース外温度日較差 (°C)  
 $\eta = \Theta_i / \Theta_o$ 、 $\Phi_i$  : ケース内相対湿度日較差 (%)

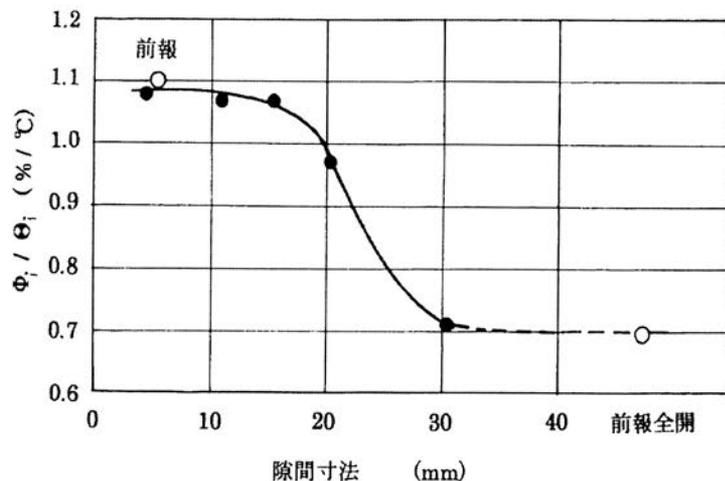


図 2 ケース内温度と相対湿度の日変動較差比  $\Phi_i / \Theta_i$  (%/°C)

## ゼオライト土壁による収蔵空間の湿度調整機能

On the inside humidity environment of the store house  
which applied the zeolite to the wall.

○宮野秋彦(名古屋工大)、宮野則彦(日本大学)、  
村田豊、長島晴治(カナツ技建工業)、客野實、福井晴子(伸興サンライズ)  
○ MIYANO Akihiko(Nagoya Inst.Tec.)MIYANO Norihiko (Nihon Univ.),  
MURATA Yutaka,NAGASHIMA Seiji(Kanatsu Engineering Construction Co.Ltd.),  
KYAKUNO Makoto(Sinkou Sunrise Co.Ltd.)

### 1. まえがき:

ゼオライトを主材とする塗装用調湿建材で壁及び天井を内装した場合の収蔵空間の湿度環境について、実大空間を対象とした一連の対比較実験を行ったので報告する。

今回実験の対象とした塗材は、経済産業省委託事業「地域資源活用型研究開発事業」の成果によるもので、島根県産の天然ゼオライトを使用している。

### 2. 実験の概要:

実験では、木造と RC 造の夫々の建物の中で、隣接する同規模の2室を対象として、一方の部屋の壁と天井を塗装し、対照室とした隣室はビニール貼のままとした。

部屋は全て無人状態とし、木造では1年間('08.10~'09.9)、RC造では8ヶ月('10.3~10)に亘り、室内外の温湿度を一時間毎に収録した。

室容積は木造 46.46m<sup>3</sup>,RC造 57.13m<sup>3</sup>,塗面積は木造 54.57m<sup>2</sup>,RC造 56.1m<sup>2</sup>で、塗面積に対する室容積の比は、木造の 0.85m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>に対して RC造では 1.02m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>となっている。

### 3. 実験結果の解析と検討:

表1、表2及び図1~4に主な解析結果を示す。図1は、塗壁室と貼壁室の日最大相対湿度の月平均値の相関で、RC造では56~68%の湿度範囲に調整されているのに対して、木造では室内湿度の年変動が月平均で55%~75%の範囲に広がっている。

表1 解析結果-その1 (木造)

年月	'08.10	11	12	'09.1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\theta_1 - \theta_2$	-0.6	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	-0.4	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2
$\phi_1 - \phi_2$	-1.0	-0.3	-1.2	-2.8	-1.0	-1.5	-2.2	-1.3	-0.6	-0.3	-0.5	-1.1
$v_1 - v_2$	-0.6	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.5	0.2	-1.0	-0.1	0.0	-0.1
$\Theta_1 / \Theta_2$	0.89	0.89	0.88	0.90	0.90	0.92	0.94	0.93	0.95	0.95	0.93	0.94
$\Phi_1 / \Phi_2$	0.55	0.62	0.64	0.65	0.53	0.55	0.49	0.50	0.47	0.61	0.51	0.54
$\Phi_1 / \Theta_1$	1.0	1.4	1.8	2.1	1.2	1.1	0.8	0.9	0.9	1.3	1.1	1.0
$\Phi_2 / \Theta_2$	1.6	2.0	2.5	2.9	2.1	1.9	1.5	1.6	1.9	2.1	1.9	1.8

図2は、日最小相対湿度の月平均値の相関で、日最大値程の違いは無いが、木造に比べてRC造の変動範囲がやや小さく調整されていることが分かる。

図3には、塗壁室と貼壁室の相対湿度の日変動較差の月平均値の相関を示す。

表より、塗壁室と貼壁室の気温の日較差比の平均を求めると、木造で $\Theta_1 : \Theta_2 = 0.92$ , RC造で0.96となって、両者の間には大きな差は無いが、相対湿度の日較差比については、木造の $\Phi_1 : \Phi_2 = 0.56$ に対して、RC造では0.67とやや大きくなっている。

表2 解析結果—そのII (RC造)

年月	10.3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta_1 - \theta_2$	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.5	0.3	-0.3
$\phi_1 - \phi_2$	3.7	-1.0	-2.0	1.3	-1.2	-2.3	-3.1	0.1
$v_1 - v_2$	0.2	-0.5	-0.7	0.0	-0.4	-0.4	-0.7	-0.3
$\Theta_1 / \Theta_2$	0.95	1.00	0.95	1.06	1.00	0.95	0.87	0.88
$\Phi_1 / \Phi_2$	0.81	0.55	0.43	0.76	0.62	0.75	0.73	0.67
$\Phi_1 / \Theta_1$	3.8	3.4	2.6	3.2	3.4	3.6	3.4	3.4
$\Phi_2 / \Theta_2$	4.4	6.2	5.8	4.4	5.4	4.6	4.0	4.4

注： $\theta$ ：月平均温度(°C)、 $\phi$ ：月平均相対湿度(%)、 $v$ ：月平均絶対湿度(g/m<sup>3</sup>)

$\Theta$ ：気温日較差の月平均値(°C)、 $\Phi$ ：相対湿度日較差の月平均値(%)、1：塗壁室、2：貼壁室

図4は、室内気温の日変動較差に対する相対湿度の日変動較差の比を示す。

木造の場合も RC 造の場合も共に塗壁室の値が貼壁室より小さくなっているが、木造の塗壁室では安定して概ね 1% / °C 前後となっているのに対して、RC 造では 2.5~4.1 % / °C の範囲でかなり大きく変化している。

これは、躯体構造の熱及び湿気特性の相違によるもので、因みに、木造の塗壁室と貼壁室の気温日較差の平均値 9.5°C と 10.4°C に対して、RC 造の塗壁、貼壁両室では 1.9°C と 2.0°C と、略 1/5 となっており、一方、相対湿度の日較差の平均値は、木造室の 11.4% と 20.2% に対して、RC 造室では 6.3% と 9.7% で約 1/2 の値となっている。

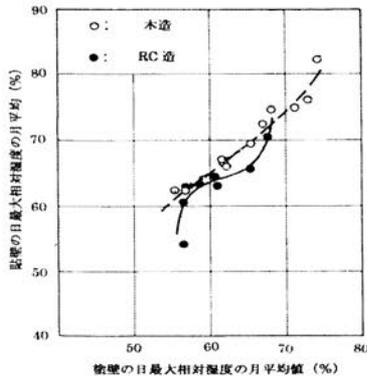


図1 日最大相対湿度の月平均値の相関

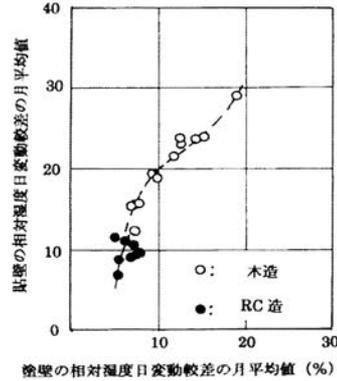


図3 相対湿度の日変動較差の相関

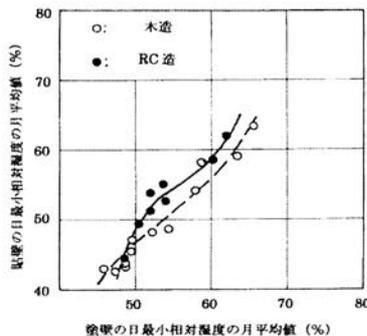


図2 日最小相対湿度の月平均値の相関

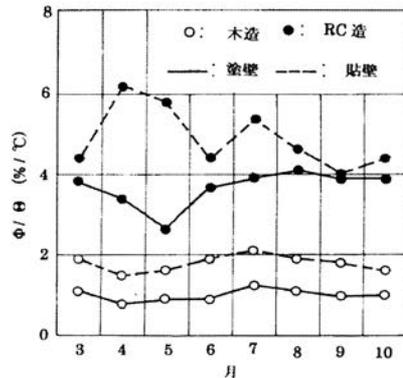


図4 気温と相対湿度の日変動較差の比(%/°C)

#### 4. むすび：

二年間に亘る一対比較実験の結果から、ゼオライト土壁の優れた調湿性能を確認し、更に、躯体構造の熱、湿気特性により湿度調整効果にかなりの相違のあることも明らかとなった。

## 愛知県朝日遺跡から出土した石鏃の刺さった獣骨 Animal bone with a stone arrowhead embedded from Asahi site

○山崎 健（奈良文化財研究所），大河内 隆之（奈良文化財研究所），  
宮腰 健司（愛知県埋蔵文化財センター），原田 幹（愛知県教育委員会）  
○Takeshi Yamazaki（Nara National Research Institute for Cultural Properties），Takayuki Okochi  
（Nara National Research Institute for Cultural Properties），Kenji Miyakoshi（Aichi Prefecture  
Archaeological Research Center），Motoki Harada（Aichi Prefectural Board of Education）

### 1. はじめに

本発表で扱う資料は、昭和 60 年度に実施された発掘調査において出土したものであるが、朝日遺跡の報告書には掲載されておらず、未報告の状態であった。そこで、愛知県埋蔵文化財センターの『研究紀要』において報告を行なった（宮腰ほか 2011）。本発表は、その報告に際して得られた知見である。

### 2. X線 CT 撮影による陥入した石鏃の観察

分析資料は、朝日遺跡の谷 A に形成された貝層から出土した。所属時期は弥生時代中期前半と考えられる。まず、獣骨に陥入した石鏃の形態を非破壊的に解析することを目的として、マイクロフォーカス CT 装置を用いて X 線 CT 撮影を行ない、陥入した石鏃の 3 次元立体画像を構築した。撮影にあたっては、奈良文化財研究所と島津製作所株式会社が共同開発したマイクロフォーカス X 線 CT 装置（SMX-100CT-D）を使用した。撮影条件は、管電圧 85kV・管電流 117 $\mu$ A の 20 分間照射である。撮影した画像データを基に、オフセットのフルスキャン方式で装置の受像素子の解像度を有効に利用し、コーンビーム方式による三次元再構成を行なった。その結果、獣骨に陥入した石鏃の形態や法量などを把握することができた。

### 3. 獣骨の分析

石鏃の刺さった獣骨はニホンジカ（*Cervus nippon*）の腰椎で、椎体遠心側の椎窩が扁平であることから、最も尾側の腰椎である第 6 腰椎と考えられる。石鏃の陥入部を肉眼観察すると、治癒過程で見られる骨増殖による棘状の突起が形成されている。また CT 撮影による観察により、石鏃を覆うように骨増殖が進行していることが明らかとなった。石鏃の先端は椎弓の中央部まで刺さっていたが、脊髄が収まる椎孔には到達していなかった。骨増殖が認められる点と石鏃が脊髄まで損傷を与えていない点から、陥入した石鏃では致命的な傷とならず、この鹿はしばらくの間生きていたものと判断できる。

石鏃は、椎弓の右側に刺さっていた。第 6 腰椎の正中軸（頭部から尾部へと至る体軸）に対して右前約 60° の入射角度で、水平方向は椎弓の真横（約 90°）から石鏃が打ち込まれている。すなわち、ニホンジカが立位姿勢であれば、右斜め前の方向から、ほぼ水平に矢が発射されたものと推測される。



石鏃の刺さったニホンジカの腰椎

### 4. 石鏃の分析

石鏃の石材は、青灰色を呈するチャートである。CT 画像で身中程に段が確認できることから、伊勢湾地域特有の五角形鏃だと判断できる。側縁の一部と基部は欠損しているが、外部から肉眼観察が可能な部分では押圧剥離による加工が観察され、逆刺部から茎部へのラインが若干残っている。CT 画像から判断すると有茎鏃として復元できる。また CT 画像から明らかになった石鏃残存部分の法量は、長さ 18.5mm、幅 11.4mm であった。欠損部を復元すると、長さ 21mm、幅 12mm 前後の大きさが推定される。

また本資料には刺突時またはその後が生じたと思われる痕跡が3ヶ所に認められた。1つは、石鏃の先端部である。折れや剥離などの破損の可能性があるが、刺突時に生じた衝撃剥離痕が内部にそのまま保存されているものと推測される。2つめは、先端側から生じた逆刺部の破損で、刺突時に生じた衝撃剥離痕の可能性がある。3つめは、基部に折れによる欠損で、刺突時または矢が抜け落ちた際に生じた破損と考えられる。

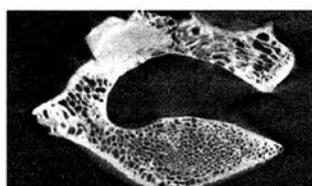
## 5. 考察

石鏃の入射角度を検討すると、鹿の下腹部に向かって、右斜め前方から、ほぼ水平に矢を射たものと推測された。肉眼による外部からの観察では、石鏃がやや上方から入射したように見える。しかし、CT撮影による観察により、石鏃を覆うように骨増殖が進行していることが判明し、より正確な入射角度を推定することができた。

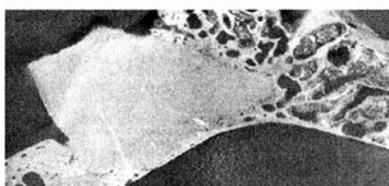
弥生時代になると弥生土器や銅鐸に鹿が描かれることが多くなるため、鹿が儀礼に用いられたものとみなされている。今回の資料は、骨増殖が認められることから、この矢では致命傷にならずに、射られた後も矢を受けたまま逃げ去ってしばらく生存したものと考えられる。ただし、この骨自体が朝日遺跡から出土していることから、その後別の機会に狩猟されて、遺跡内に持ち込まれたものと推測される。したがって、獣骨に陥入した石鏃は、儀礼に用いられたものではなく、狩猟に用いられたものと推測することができる。

この石鏃は、チャート製の五角形鏃であり、複数の剥離痕跡や欠損が認められた。こうした破損は矢が刺さった衝撃による痕跡と推定され、石鏃の使用痕という「考古学資料」と鹿の狩猟という「人間行動」を対応させることができる重要な資料であるといえる。また、石鏃の法量をみると、欠損部を復元したとしても長さが約21mm、幅が約12mmと推定された。これは朝日遺跡から出土した石鏃の中でも、最も小型のサイズである。弥生時代の石鏃は、狩猟具と武器の機能分化が起こったとみなされ、全長3cmもしくは重量2g以上の石鏃は武器としての用途が想定されることがある。本事例のみでは、弥生時代から出土した石鏃における機能と法量の関係性を結論づけることはできないが、本稿で試みた方法により、石鏃の機能に関する解釈は検証可能な議論になりうると考えられる。これまで弥生時代における石鏃研究は、時代観を反映して武器としての考察が中心であった。今後、本発表のような事例を蓄積させたい。弥生時代における狩猟活動や狩猟具について検討していきたい。

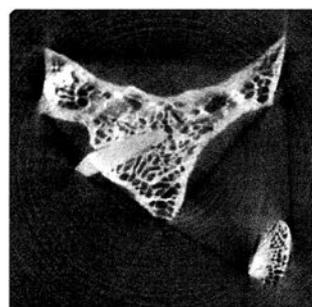
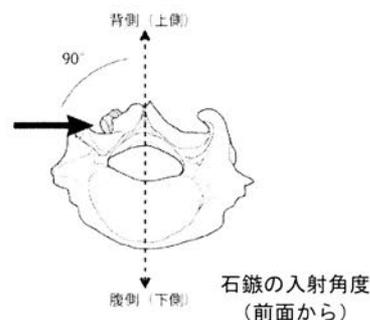
宮腰健司・山崎健・大河内隆之・原田幹（2011）「朝日遺跡から出土した石鏃の刺さったシカ腰椎について」『研究紀要』12、愛知県埋蔵文化財センター



X線CT画像（前面から）



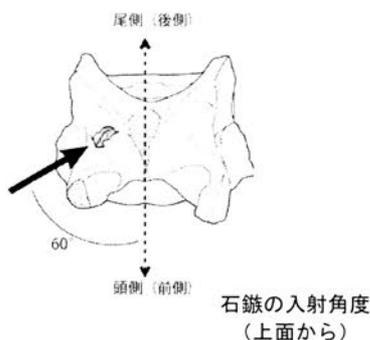
X線CT画像（前面から、拡大）



X線CT画像（上面から）



X線CT画像（上面から、拡大）



## 三次元デジタルアーカイブを用いた古墳出土鏡の接合事例について —100年を経て接合した津堂城山古墳出土鏡—

Case of Joining of Mirror used by 3D digital archive technology

-Excavated from TUDO SIROYAMA tomb-

○徳田誠志（宮内庁書陵部）奥山誠義（奈良県立橿原考古学研究所）

山口卓也（関西大学博物館）上田 睦（藤井寺市教育委員会）

○TOKUDA MASASHI (Imperial Household Agency) OKUYAMA MASAYOSHI (Archaeology Institute of Kashihara Nara prefecture) YAMAGUCHI TAKUYA (Museum of KANSAI Univ.) UEDA MUTUMI (Board of Education of Fujiidera City)

### （研究の目的）

今般、関西大学博物館に「漢鏡破片 3個 河内國南河内郡津堂村小山古墳」として登録されている旧本山コレクション資料が存在していることを知った。現在は同博物館内において、「伝津堂城山古墳出土」として展示されている。今回この鏡片が、宮内庁書陵部所蔵の同古墳出土斜縁二神四獣鏡と接合する可能性が考えられた。よって本鏡片について三次元形状計測とX線画像撮影をおこない、同一鏡であるか否かの確認を目的として実施した。

なお、津堂城山古墳は明治45年(1912)に地元の人々によって発掘され、出土品は宮内庁の所蔵に帰することとなったが、正式な発掘調査ではなかったために品目・数量については、その時の報告とでは若干の齟齬がある。今回計測した鏡片が本山コレクションとなった経緯については明らかではないが、発掘後地元に残されていた出土品を購入した可能性が考えられる。

### （研究の意義と方法）

今回計測した鏡は別々の機関で所蔵されてきたため、これまで一度も同一個体であることを確認したことがなかった。今回、関西大学博物館が所蔵する伝津堂城山古墳出土鏡について三次元形状計測を行い、既に計測を終えている宮内庁所蔵鏡とデータ上において接合関係を確認したものである。計測データによって同一鏡であるか否かを判断できることから、実物を持ち運ぶ必要のないことが、この調査方法による最大のメリットである。

調査は奈良県立橿原考古学研究所に依頼して、三次元形状計測とX線画像撮影を実施した。三次元形状計測装置とX線画像撮影装置は、次の通りである。

三次元形状計測装置＝ATOS II（ドイツ GOM 社 2002年製造）

X線画像撮影装置＝YXLON X線透過システム MG225LX Fuji Film デジタル X線画像検査システム

### （研究の成果）

関西大学博物館が所蔵する鏡片は3片あり、形状から破片aと破片b・cに大別できる(破片bについては2片に割れているが、明らかに出土後の破損と判断できるので1片として取り扱う)。宮内庁鏡番号72は図1に示したように、破損した状態で保管されてきた。しかし昭和57年度に復元修理をおこない、現状では欠損部分を樹脂によって補填している。そのため仮に原物を持ち寄ってみても、接合の可否を確認することは難しい。よって計測データによる作業となるが、図2に示した破片aは図1の右下にある欠損部分に接合することが確認できた。また、断面形状の比較においても、一致することが明らかとなった。しかしながら破片aは全体に付着物(布・あるいは泥)が固着しており、文様の詳細を確認することが難しい。よってX線画像撮影をおこない、銘文の文字を確認することとした。銘文の構成から、破片aの銘文は

「鏡(もしくは「統」)徳序道」に該当する部分と考えられ、その通り画像において「徳」の文字を確認することができた(図3)。このように平面形状・断面形状・銘文の位置と文字の3点について検討した結果から、破片 a は宮内庁鏡番号 72 の一部であると断定したものである。

次に破片 b・c であるが、この 2 片は宮内庁鏡番号 73 の斜縁二神四獣鏡の欠損部分に接合することが確認できた。宮内庁鏡番号 73 は復元修理を実施していないため、破片画像を直接図面上で合成した(図4)。この結果、平面形状・断面形状が一致し、破片 b・c が宮内庁鏡番号 73 の一部であると判断したものである。また、本破片についても X 線画像撮影を試みたが、小片のために文字を確認することはできなかった。

#### (今後の課題と展望)

今回の調査は、発掘後約 100 年間も別々の所蔵先にあった鏡片について、三次元形状計測を実施し、その計測データによる検討から同一鏡であることが判明したはじめての結果となった。このような事例は極めて稀なことであると考えられるが、古墳出土鏡のデジタルデータを蓄積していくことによって、同様の事象が発見されることも考えられる。よって今後とも三次元形状計測を進めていくことと、そのデータの公開が必要であると考えられる。

なお、本研究の一部は、由良大和古代文化研究協会助成事業の成果を含むものである。

(文責：徳田)

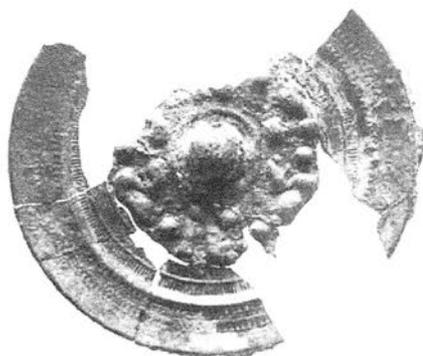


図1 宮内庁鏡番号 72 (修復前)



図2 関西大学博物館所蔵 破片 a

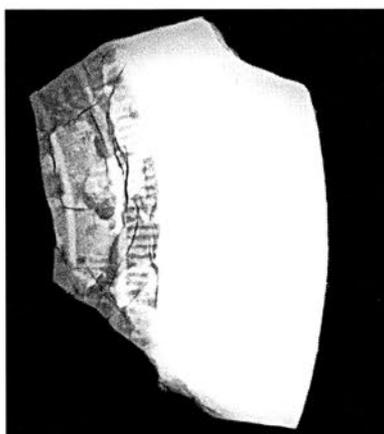


図3 破片 a X線画像「徳」

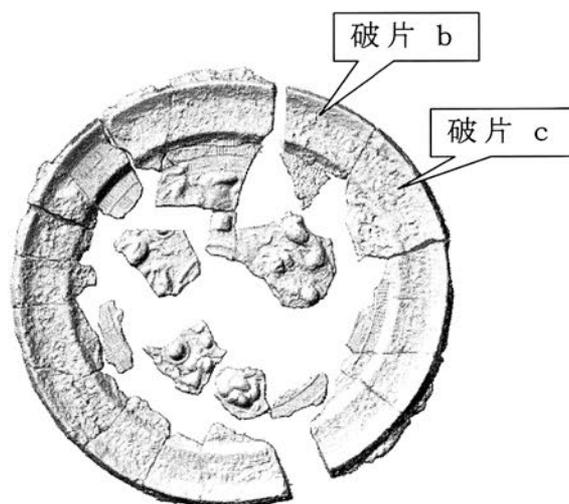


図4 宮内庁鏡番号 73+破片 b・c

## 庭月観音像の解体修復に伴う自然科学的調査

### Scientific investigations for dismantling restoration of the Niwatsuki Kannon

岡田靖, 佐藤高史 (東北芸術工科大学),  
片岡太郎 (弘前大学), 小林啓 (福島県文化振興事業団),  
大山幹成, 星野安治 (東北大学),  
門叶冬樹, 加藤和浩, 庵下稔 (山形大学)  
Yasushi Okada, Takafumi Sato (Tohoku University of Art and Design),  
Taro Kataoka (Hirosaki University), Akira Kobayashi (The Culture Promotion Organization of Fukushima Prefecture),  
Motonari Ohyama, Yasuharu Hoshino (Tohoku University),  
Fuyuki Tokanai, Kazuhiro Katoh, Minoru Anshita (Yamagata University)

#### 諸言

日本の仏像文化財の多くは、寺院等で脈々と伝えられてきた伝世品である。木材を主要な表現素材として発展してきた仏像は、大切に保存されてきたとはいえ長い歴史の中で災害や自然劣化により損傷し、修理を重ねて現代まで伝えられてきた。近世以前、信仰対象として修理されてきた仏像は、制作当初の部分と後世の修理部分が混在し、修理銘や文書が残されていない限り、正確な修理履歴を辿ることが困難な状況にある。現代の文化財修復では、文化財が辿ってきた歴史を出来る限り明らかにし、多角的な視点からの評価を考察した上で、保存、修復措置が講じられている。その際、制作当初の箇所と後世に補修された箇所を判別することが、文化財が同時に合わせもつ持つ多面的な価値を推し量る上で重要な情報の一つとなり、保存、修復計画を構築するための指針を与えてくれるものとなる。そのため、当該文化財の美術史的調査や、自然科学的調査を通じた総合的な研究が必要である。本発表では、山形県鮭川村の庭月山月蔵院観音堂にまつられている聖観音菩薩立像（庭月観音像）の解体修復に伴い実施した自然科学的調査の成果（岡田ら：2011）について報告する。

#### 試料と方法

庭月観音像は、山形県下でも重要な宗教体系の一つである最上三十三観音巡礼の三十三番結願札所の本尊として知られ、鮭川村有形文化財に指定されている木製一木造の仏像である。修復前の観察では、全体に素地が露出した像表面に後世の補修跡が散見でき、像の自立性や各部材の接合に構造的な問題が生じている状態であったため、構成部材の全解体処置を行うこととなった。それに伴い、外観様式などからみた美術史的調査、および樹種同定、放射性炭素年代測定、年輪年代学による調査を行った。

樹種同定には、劣化により自然脱落した破損材を14点の部材について採取し、剃刀を用いて切り出した3断面（木口・板目・柁目）の薄切片のプレパラートを作製して、光学顕微鏡下での観察により同定した。放射性炭素年代測定には、同じく自然脱落した破損材を6点の部材について採取し、山形大学 YU-AMS 装置 (NEC 製 1.5SDH) を用いて AMS 法により測定した。年輪年代学調査には、針葉樹材の部材19点を供し、框座底板については部材が外されていなかったためデジタルマイクロスコープ (Hirox 製 KH-7700) を用いた画像計測で、その他の部材については実態顕微鏡下での変位計測で年輪幅を計測して、目視評価、統計評価によるクロスデーティングを行った。

## 成果の概要

解体処置の結果、体幹部分を中心に制作当初と思われる部位や、各所に剥ぎ寄せられた木材に複数の異なる樹種が使用されている本像の構造技法が確認された（図1）。解体前の調査では、大きく彫り変えがなされた像表面の外観様式から、本像の制作時期は室町時代後期から江戸時代頃と判定していた。しかし解体処置によって、本像体幹部材に樹芯を含む一木材が使用されていることや、背割りに背中と腰下の上下二段を削りぬく古式な技法が用いられていることが明らかとなった。また、腰部前面に残された当初部分と思われる裾の折り返しの造形様式や、体幹部を側面から見たときの像の厚みなどにも古式な特徴が確認された。以上の特徴は、何れも平安時代中期から後期にかけて見られる技法および表現様式であるため、解体処置後の美術史の見解では、本像の制作時期は平安時代後期頃ではないかと推測された。

樹種同定では、体幹部材、頭部材、両上腕材などの主要幹部材はホオノキ、背板、腕材の一部はスギ、補修材と思われる背板の一部はカツラ、足先材、宝冠部材、天衣材などはアスナロ属と同定した。一回の修理処置の補修材に、特別な理由がない限りは同一木材を使用することが通例であることから考えると、このように複数の異なる樹種が用いられていることは、本像が現在に至るまでに複数回の修理を受けてきた可能性が示唆される。また、放射線炭素年代測定では、ホオノキと同定された主要幹部材から何れも11世紀から13世紀の年代が得られ、年輪年代学調査では、像背面にあてられた補修材の下部背板材（スギ）が13世紀後半頃（鎌倉時代）に伐採された木材であることが明らかとなった。

以上の各調査により得られた成果を踏まえ、寺院や村に残る文献資料調査も含めて、総合的に制作年代および修理時期の考察を行った。その結果、庭月観音像は平安時代後期頃に制作され、その後、度重なる甚大な損傷を受けながらも、その度に修理が施されて現在にまで伝えられてきたと判定した。そして、この見解をもとに修復方針の再検討を行い、庭月観音像の持つ多様な価値を同時に保存できるように留意した修復計画を構築、実践した（図2）。



図1 庭月観音像の解体展開写真。



図2 庭月観音像の修復後写真。

## 引用文献

- 岡田靖・佐藤高史・片岡太郎・小林啓・大山幹成・星野安治・門叶冬樹・加藤和浩・庵下稔 2011  
「庭月観音像の科学的調査と修復実践に関する研究」 東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター紀要 No.1

# インターネットを利用した田の神に関する情報の集約 Collecting Tanokan Status from the Internet Space

○松岡 秀一, 亀井 宏行, 橋本 泰一, 阿児 雄之, 野澤 真佑  
(東京工業大学)

○Shuichi Matsuoka, Hiroyuki Kamei, Taiichi Hashimoto, Takayuki Ako,  
Shinsuke Nozawa (Tokyo Institute of Technology)

## 1. 目的

近年、Facebook や Twitter に代表されるソーシャルネットワーキングサービス（以下 SNS）がインターネット上でのコミュニケーションの中心的役割として急速に発達してきた。例えば、日本での人気がある Twitter は全世界で 1 日に 3500 万件の情報の流通がある。その膨大な情報の中には文化財の状態を把握する上で重要な情報が多く流れている。それらの情報をうまく集めることで文化財の管理に役立つと考えられる。

本研究では個人からインターネット上に発信されている文化財の情報を集約することにより、屋外文化財を特定の管理者が主体になって管理する従来の体制に加え、地元住民や観光客などを巻き込んだ新しい管理モデルを提案する。

## 2. SNS を利用した文化財の情報管理

本モデルの概要を図 1 に示す。図 1 の地元住民・観光客は文化財を訪れた個人、管理担当者は現地の公共団体や博物館の管理担当者を表している。また利用する SNS として Facebook や Twitter などが挙げられる。

本モデルの目的は管理に有用な情報を集め、管理に活かすことである。個人からの情報発信は増加傾向にあるが、情報発信をした個人同士の繋がりほとんどない。管理に有用な情報を増やすためにも、個人から発信されている

文化財に関する情報を集約し、文化財を取り巻くコミュニティの成長を促し、情報発信をさらに増加させることが必要となる。本モデルの中心となるのは個人、管理担当者、SNS を関係付ける web サービスである。SNS からの情報の収集は各サービスで公開されている API を用いて行う。収集した情報を解析し、管理担当者に提供することで、文化財管理における補助的な役割を担う。

田の神（たのかん）とは旧薩摩藩内広域に約 2000 体存在する石造物であり、現在でも地域に根付いた信仰対象である。また、それらは周囲の土地利用の変化や地域で持ちまわるといふ祭りによって所在地が変動する。人手不足という問題から田の神の状態の変化を把握するのが難しく、管理がうまくいっていない。田の神を対象として提案するモデルの中でも情報集約における基本システムの設計と実装を行った。利用する SNS は Facebook<sup>1</sup>, Twitter<sup>2</sup>, Flickr<sup>3</sup>, フォト蔵<sup>4</sup>, Wikipedia<sup>5</sup>とした。

しかし、本システムから“田の神”に関する情報を収集する実験を行っていたが、東日本大震災によって屋外にある文化財の被害が数多く報告されている。そのため急遽本システムを用いて地震による文化財の被害の情報を集めた。

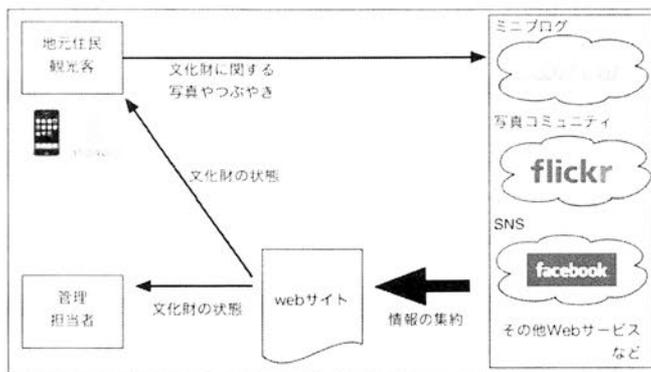


図1 管理モデル

<sup>1</sup> <http://www.facebook.com/>

<sup>2</sup> <http://twitter.com/>

<sup>3</sup> <http://www.flickr.com/>

<sup>4</sup> <http://photozou.jp/>

<sup>5</sup> <http://ja.wikipedia.org/>

### 3. 東北地方太平洋沖地震における文化財の被害調査

3月11日14時46分東北地方太平洋沖地震が発生した。震災の直後からしばらく電話などで情報交換ができない期間が続いたが、SNSには早い時期から文化財に関する情報が発信されていた。そのなかでも注目したいのがTwitterである。例えば2011年3月11日から3月22日までに鹿島神宮に関する1000件の情報を分析してみると、「倒」「壊」「崩」といった言葉が1000件のうち472件見つかった。また、写真が同時に投稿されている情報が58件含まれていた。さらに地震が起きてからの100件に関しては、73件が鹿島神宮の鳥居や灯籠などの被害状況が分かる内容であった。

図2のように鹿島神宮に被害があることを知る情報がすぐに得ることができたとわかる。今後の文化財の管理保存に関してSNSを利用すると文化財の状態把握を早い段階から行うことができるため、有効なツールであると言える。

### 4. まとめ

SNSに存在する情報が文化財管理において有用であることを示した。例えば、屋外に分布する文化財を巡るフィールドミュージアムを考える際には、文化財を訪れた人を巻き込むことで得られる情報を管理に上手く利用することができる。

今後の計画として、提案した管理モデルにおける地元住民・観光客や管理担当者との通信を可能とする機能などを盛りこんでいく。

Image	Date	Text
	2011/3/11 14:51	おい石倒れたぞ <a href="http://twitpic.com/48d6gh">http://twitpic.com/48d6gh</a>
おい倒れたぞ (2011/3/11 14:51)	2011/3/11 15:13	茨城6鹿島神宮でもひどい崩壊が… <a href="http://twitpic.com/48df9j">http://twitpic.com/48df9j</a>
	2011/3/11 15:22	二回目で倒れたのか…マジやばいやばい <a href="http://twitpic.com/48disf">http://twitpic.com/48disf</a>
茨城6鹿島神宮でもひどい崩壊が… (2011/3/11 15:13)	2011/3/11 15:27	鹿島神宮に着いた途端。倒れる灯籠。軋む社殿。ビックリ。ああ犬たち心配
	2011/3/11 15:33	鹿島神宮で被災、鳥居がどっちも倒れた
	2011/3/11 15:38	鹿島神宮なうだけど鳥居崩れて入れない状況
二回目で倒れたのか…マジやばいやばい (2011/3/11 15:22)	2011/3/11 15:44	いなだの石の大鳥居が崩壊している。鹿島神宮、古い建造物は大丈夫。
		⋮
	2011/3/14 7:53	【現在の鹿島神宮】ただ今7時50分、鳥居の撤去作業中。作業が終わり次第、宮城の支援に回るとのこと。阪神大震災のときも、救援に向かったらしい。頭下がります。 <a href="http://t.co/Kgz3cgm">http://t.co/Kgz3cgm</a>
	2011/3/19 13:41	おととい鹿島神宮にお参りいっただけど御影石でできた大鳥居が倒れてました。飛び散ったカケラをありがとうございます。ありがとうございました。 <a href="http://t.co/W3eDRWY">http://t.co/W3eDRWY</a>

図2 鹿島神宮の例

## 化学分析のための微量な古人骨試料のコラーゲン残存量と汚染度合の判別法

### The screening techniques of archaeological bones suitable for chemical analysis using only microscale samples

○板橋悠（東京大 新領域創成科学研究科），齊藤 真理恵（東京大 理学部），  
米田穰（東京大 新領域創成科学研究科）

○Yu Itahashi (Integrated Biosciences, University of Tokyo), Marie Saito (School of Science, University of Tokyo), Minoru Yoneda (Graduate School of Frontier Sciences, University of Tokyo)

#### 1. はじめに

人骨の放射性炭素年代測定や安定同位体食性分析などの埋葬人骨それ自体の理化学的な分析は近年の発展が目覚ましく、伝統的な物質文化研究や動植物遺存体の質的分析だけでは明確化することができなかった量的な議論にも視点が向けられるようになった。

骨組織に含まれるコラーゲンは化学的な変化を受けにくいタンパク質であるため、数千年も前の骨試料でも生体由来の成分や情報を残している。またいくつかの化学的な指標によって純粋性を評価することが可能であることから(Ambrose, 1990)、骨試料の化学分析においては抽出されたコラーゲンが利用される場合が多い。しかしコラーゲンをはじめとした骨の生体由来成分の保存は、堆積中の化学的变化や微生物による分解により、埋没環境によって大きく変化することが知られている(Collins et al., 2002)。

化学分析に利用されるコラーゲンの抽出には約 0.5g の骨試料の破壊が伴うが、場合によっては抽出を行っても分析必要量のコラーゲンを得ることができず、考古学的に重要な試料を損壊するリスクがある。こうしたリスクを減ずるためにも、分析のための本格的な試料の採取の前に、コラーゲンをはじめとする試料中の成分の保存状況と、骨試料への外来成分の混入を評価(pre-screening)する必要がある。年代測定には数百 mg の骨試料が必要とされるが、コラーゲン残存量を判定する pre-screening では、コラーゲン抽出の際よりも微量での化学分析に適した試料の判定が必要とされる。

南イングランドの 12 遺跡で行われた Brock ら(2010)の研究では、元素分析によって測定された骨試料に含まれる窒素量と炭素量がコラーゲン残存量との相関を示したが、その傾向は地域によって大きく異なっていることも示された。このため環境の異なる地域では、その地域の試料の保存状態に基づいた pre-screening のベースラインが必要とされる。

#### 2. 実験方法

本研究では更新世まで遡る人骨試料が発見されている日本の南西諸島において、元素分析による試料判別の有効性の確認とコラーゲン残存量と汚染指標のベースラインを構築した。対象として沖縄県、および鹿児島県種子島の 19 遺跡より出土した人骨試料 61 個体から採取した骨粉末の元素分析を行った(table. 1)。

φ 0.8mm と φ 3mm のドリルで人骨試料の緻密質から骨粉末約 1~2mg を採取し、元素分析装置で窒素の重量%と炭素の重量%を測定した。元素分析は Thermo Fisher Scientific 社の元素分析装置、FLASH2000 を使用して行った。またスタンダードとして Atropine と cyclohanone-2,4-dinitrophenylhydrazone を測定し、キャリブレーションを行った。

また骨試料乾燥重量に対する抽出したコラーゲン重量からコラーゲン残存率を評価するため、人骨試料からのコラーゲンの抽出を次の手順で行った。緻密質を中心に約 500mg ~ 1000mg 採取した試料を純水洗浄後、0.2N NaOH で混入有機物が溶出させた。粉碎した試料は 1N 塩酸によって脱灰され、90℃に加熱して水溶ゼラチン化したコラーゲンをガラスフィルタでろ過し、溶液を凍結乾燥して得られた成分をコラーゲンとして分析に促した。抽出されたコラーゲンの窒素量と炭素量の比からコラーゲンの純粋性を評価した。

### 3. 結果と考察

南西諸島の骨試料で元素分析を行った結果、窒素の重量%(%N)と炭素の重量%(%C)とコラーゲン残存率及び、その汚染度の中に相関が見られた(fig. 1)。コラーゲンの炭素と窒素の含有量のモル数比 (C/N 比) は植物由来の土壌有機物よりも小さい2.9~3.6 という値を示すため (DeNiro, 1985) 、本研究では C/N 比 2.9~3.6 の範囲を分析に適する条件とした。南西諸島の試料では抽出率 1%以上の試料でも C/N 比がこの範囲より大きい試料が確認された。また%N は 0.76%よりも低い試料で 1%以上の抽出率を示した。南西諸島で%N が 0.37%以上の 28 試料では、内 26 試料が C/N 比が 2.9~3.6 の範囲を示した。

南西諸島の試料では約 0.4%以上の%N であれば、化学分析に適したコラーゲンの抽出が可能であると判断できる。また%C についても 3%を超える試料では 29 試料中 27 試料では、抽出されたコラーゲンの C/N 比が 2.9~3.6 の範囲を示した。

また骨試料の%N と%C の値と抽出されたコラーゲンの C/N 比で判別分析を行った結果、南西諸島の試料では 90%で C/N 比が 2.9~3.6 の範囲に入る試料を判別することができた。南西諸島の試料では%C のみや%N のみを説明変数として行った判別分析では%N、%C の 2 値を説明変数として用いた場合よりも低い 87%の判別分析結果となった。

遺跡名	試料数
首里城	1
銘苅古墓群	6
大堂原貝塚	2
具志川城跡	1
港川フィッシャー遺跡	1
木綿原貝塚	3
伊祖の入れ御拝領墓	5
勝連城	1
仲原遺跡	1
石垣貝塚	3
八重山蔵元跡遺跡	1
白保竿根元原洞穴遺跡	14
外間遺跡	2
浦底遺跡	2
アラフ遺跡	1
潮原古墓群	9
前東原	6
ヤッチのガマ	1
田之脇遺跡	1

Table. 1

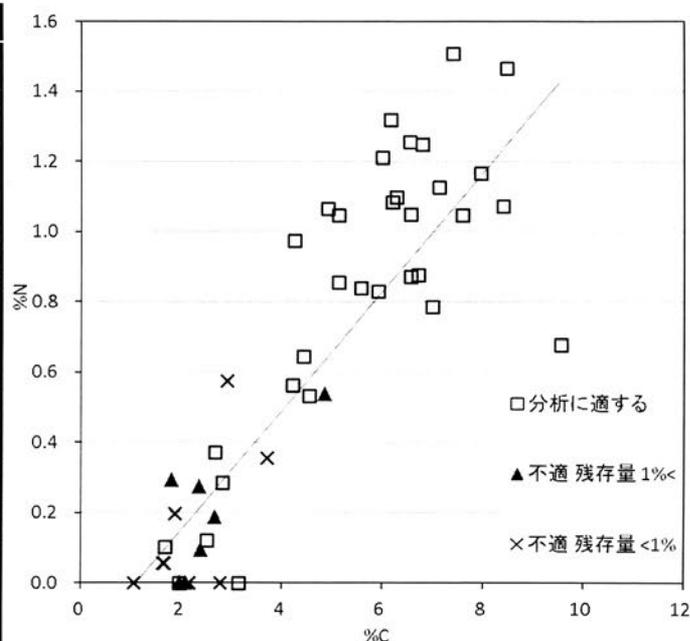


Fig. 1

### 4. 参考文献

- Ambrose, S.H 1990 『Preparation and characterisation of bone and tooth collagen for isotopic analysis.』  
「Journal of Archaeological Science 17」 p431-451
- Brock, F., Higham, T., Bronk Ramsey, C 2010 『Pre-screening techniques for identification of samples suitable for radiocarbon dating of poorly preserved bones』 「Journal of Archaeological Science 37」  
p855-865
- Collins, M.J., Nielsen-Marsh, C.M., Hiller, J., Smith, C.I., Roberts, J.P., Progodich, R.V., Wess, T.J., Csapo, J., Millard, A.R., Turner-Walker, G., 2002 『The survival of organic matter in bone: a review』  
「Archaeometry 44」 p383-394
- DeNiro M.J. 1985 『Postmortem Preservation and Alteration of In vivo Bone-Collagen Isotope Ratios in Relation to Paleodietary Reconstruction.』 「Nature 317」 p806-809

## アンコール遺跡活用のためのカンボジア国民の文化意識調査

The questionnaire survey for the application of Angkor in Cambodia.

○朴東熙（早稲田大学），澤田正昭（国士舘大学）

○PARK Dong-Hee（Waseda Univ.），SAWADA Masaaki（Kokushikan Univ.）

**1. 調査概要** アンコール遺跡の活用は主に外国人を対象とした観光に偏り、理想的な活用が行われていると言えない。したがって本告ではカンボジア国民を対象に遺跡と文化に対するアンケート調査を実施し、アンコール遺跡の活用に一助になることを目標とする。

**2. 調査方法** シェムリアップ市(Siem-Reap city, Cambodia)の3ヶ所で一般人100人を対象としアンケート調査を実施した。質疑応答はクメール語で、回答方法は無記名で、男女比は50:50に調節した(信頼度 95%±10%)。本研究の前に、タイ人を対象とした「文化財に対する意識および文化財との関係」に関するアンケート調査が発表されている(参考文献1)。先行研究と本調査の比較を円滑にするため、先行研究で使用された質問紙をシェムリアップ市とカンボジアの状況に合うように改めて作成した。

対照群としてプノンペン(Phnom-Penh city, Cambodia)でも同じアンケート調査を行った。また、上記したタイでのアンケート結果も参考した。

**3. 結果および分析** 問1に対し、図表1の通りの結果がでた。「遺跡」と「言語」が占める比率が高いこと、そしてタイの結果と比べ、より多様な要素を文化として認知していることが特徴的である。「遺跡」の比率が高いことはアンコール遺跡がカンボジアのシンボルとして長く使われてきたこと、近年には観光資源として多岐にわたり活用されていることなどの影響があると考えられる。

問2の調査結果、カンボジア人の遺跡に対する関心度が非常に高いことが分かった。問3の結果の訪問頻度も問2の結果を補足する。また問3の結果で年齢による遺跡訪問傾向が現れた。年齢が高くなるほど遺跡訪問回数が増える傾向がでた。これはタイで確認された「年齢が高いほど遺跡に関する関心が高くなる」という結果がシェムリアップにも共通すると言える。

問4では遺跡の価値に関する意識を調査した。その結果、タイの調査と比べ、カンボジア国民は遺跡の価値を歴史だけではなく、多様な分野にわたり考えていることが分かった。これはシェムリアップもしくはカンボジアの遺跡活用がタイより多様な分野で行われていることを意味するだろう。

問5では遺跡を訪問する理由を、問6では遺跡に必要であると考えていることを尋ねた。その結果は図表5・6の通りである。

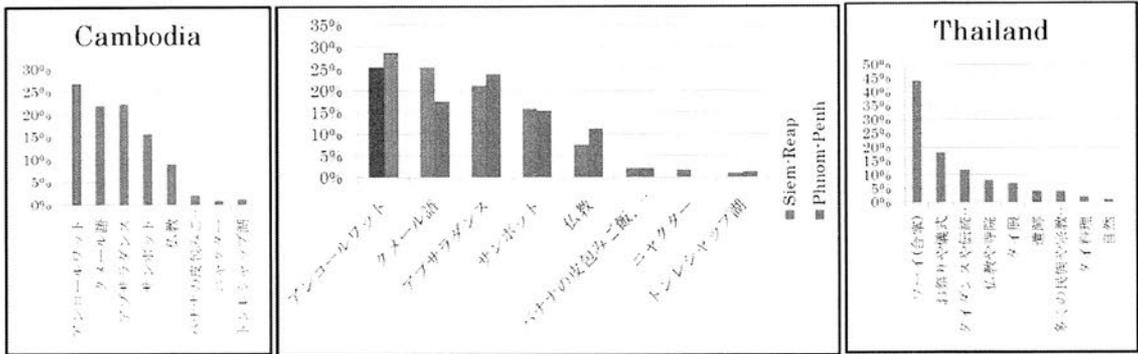
**4. 結論** シェムリアップ市民はアンコール遺跡に対して、高い関心を持っており、実際に頻繁に訪れ、積極的に活用していた。調査者の仮説であった「自国民にたいするアンコール遺跡の活用はあまり考慮されていないため、実際の自国民の活用は行われていない」の正反対の結果が出ることとなった。

上記のように自国民の自らのアンコール遺跡の活用と高い関心が確認された。これからは国民の文化向上のための活用を考える必要が有るだろう。

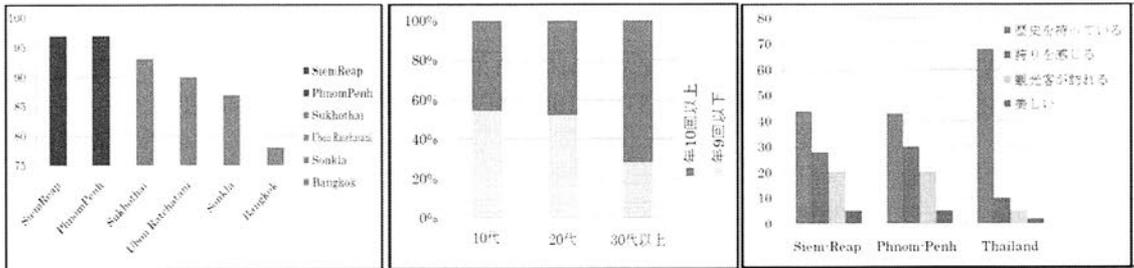
本研究は財団法人日本科学協会の笹川科学研究助成によって実施したものです。

アンケート質問と結果

- 問 1.あなたがカンボジアの文化だと思うものは何ですか。(二つ選択)
- 問 2.あなたは(アンコール)遺跡に関心がありますか。
- 問 3.あなたは(アンコール)遺跡には1年に何回ぐらい訪れますか。
- 問 4.あなたが(アンコール)遺跡が重要だと思う理由は何ですか。
- 問 5.あなたはどのような理由で(アンコール)遺跡を訪れましたか。
- 問 6.あなたがアンコール遺跡に必要なと思うものは何ですか。

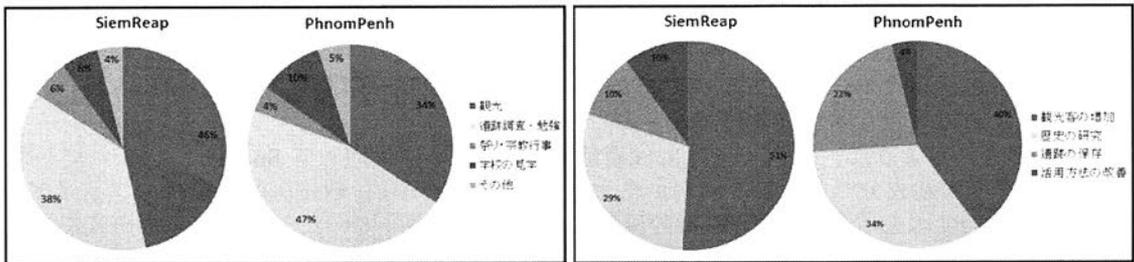


図表 1.文化に対する意識(左・中：カンボジア/右：タイの事例)



図表 2.「非常に関心がある」+「関心がある」の比率(左)

図表 3. 年齢別アンコール遺跡訪問の頻度(シムリアップ・中)、図表 4. 遺跡の価値(右)



図表 5.遺跡訪問目的

図表 6.アンコール遺跡に必要なであると考える事

参考文献

1.高田真希、「タイにおける文化財の社会的役割に関する研究」、修士論文、筑波大学大学院芸術研究科、2005

## オンサイト分析によるダハシュール北遺跡出土 多色ファイアンスビーズの考古化学的研究

### On-site archaeometric analysis of polychrome faience beads excavated from Dahshur North

○遠山加奈枝, 張本路丹, 阿部善也, 中井泉 (東理大・理),  
矢澤健 (サイバー大学), 吉村作治 (早稲田大学名誉教授)

○Kanae TOYAMA, Rodan HARIMOTO, Yoshinari ABE, Izumi NAKAI (Department of Applied chemistry, Tokyo University of Science), Ken YAZAWA (Cyber University), Sakuji YOSHIMURA (Professor emeritus at Waseda University)

#### 【序】

ファイアンスは石英を主原料とする焼き物で、釉薬部のみガラス化し内部は石英が残存する。古代のファイアンスの発生は、紀元前 41 世紀頃にメソポタミアとエジプトで小さなビーズやタイルとして使われたのが始まりであったとされる<sup>1)</sup>。その頃のファイアンス製品はほとんどが銅着色による水色であったが、新王国時代の第 18 王朝(紀元前約 15 世紀)以降になるとガラスの生産開始に影響される形で様々な色の製品が作られるようになった。第 18 王朝の多色ファイアンスに関しては数多くの研究<sup>2)</sup>がなされているが、新王国時代後半(第 19 王朝以降、ラメサイド期)に関しては研究例が少なく、その着色技術や第 18 王朝からの変遷は明らかではない。そこで本研究は、可搬型分析装置をエジプトのダハシュール北遺跡(発掘調査: 早稲田大学エジプト学研究所)へと持ち込み、出土している新王国時代後半の多色ファイアンス製品を分析することで、各色の着色技術とその変遷を明らかにすることを目的とした。

#### 【分析装置及び分析試料】

分析に用いたのは、ポータブル蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA-IV とポータブル顕微ラマン分光分析装置 MiniRam である。OURSTEX 100FA-IV は、当研究室が OURSTEX(株)と共同開発したもので、測定室を真空にすることにより Na や Mg といった軽元素の分析が可能である。X 線源として Pd 管球を用いており、「白色 X 線励起モード」と「単色 X 線励起モード」による測定が可能である。MiniRam は B&W TEK Inc. 製の装置で、励起光は波長 785 nm の赤色レーザー光を用い、2048 ピクセルの CCD を搭載している。さらに、顕微鏡の接続により、ごく微小領域(約 XXXXXXXXXX)の分析が可能である。今回測定したファイアンス製品は、新王国時代第 18 王朝の首飾りのビーズと新王国時代後半(ラメサイド期)のビーズの計 103 点である。

#### 【結果と考察】

蛍光 X 線分析により得られたラメサイドファイアンスビーズの定量値を平均化し、成分ごとに棒グラフとして Fig.1 に示した。各色の着色元素に注目すると、黒色ビーズからは Mn と Fe が、赤色ビーズからは Fe、黄色ビーズからは Pb と Sb、水色ビーズからは Cu が検出された。白色ビーズからは有意な着色元素は検出されなかった。

Fig.1 に示されるように、水色ビーズには着色剤として Cu に付随して Sn、Pb が含まれていた。Sn と Pb は青銅の副成分であり、これらが含まれていたことから、新王国時代以降のファイアンス製作において水色着色剤である Cu の原料に青銅の錆を用いていたとされる先行研究を支持する結果となった<sup>2,3)</sup>。黒色ビーズに関しては、Fe の含有量においてビーズの大小で違いが見られ、2 種類の着色剤の存在が示唆された。また、白色の小さいビーズには着色因子となる元素は含まれておらず、石英そのものの白さであることが判明したが、大きいビーズには黄色ビーズ同様に Pb と Sb が含まれていた。よって大きいビーズは、元は黄色であったが時代を経るにつれて色が減衰した、もしくは製作者が黄色ビーズを作るつもりで黄色着色剤を加えたがなんらかの原因で黄色く発色しなかった可能性が考えられる。顕微ラマン分析では、黄色と赤色のビーズで特徴的なラマンスペクトルが検出され、赤色には着色剤として赤鉄鉱  $Fe_2O_3$ 、黄色にはアンチモン酸鉛  $Pb_2Sb_2O_7$ (Fig.2)が含まれることが明らかとなった。さらに赤、黄の 2 色の

ファイアンスに関して第 18 王朝の出土遺物と比較した結果、着色技術及び組成に変化は見られなかった。よって第 18 王朝に開花した多色ファイアンスの着色技術は、ラメサイド期以降も継続していたと推測される。

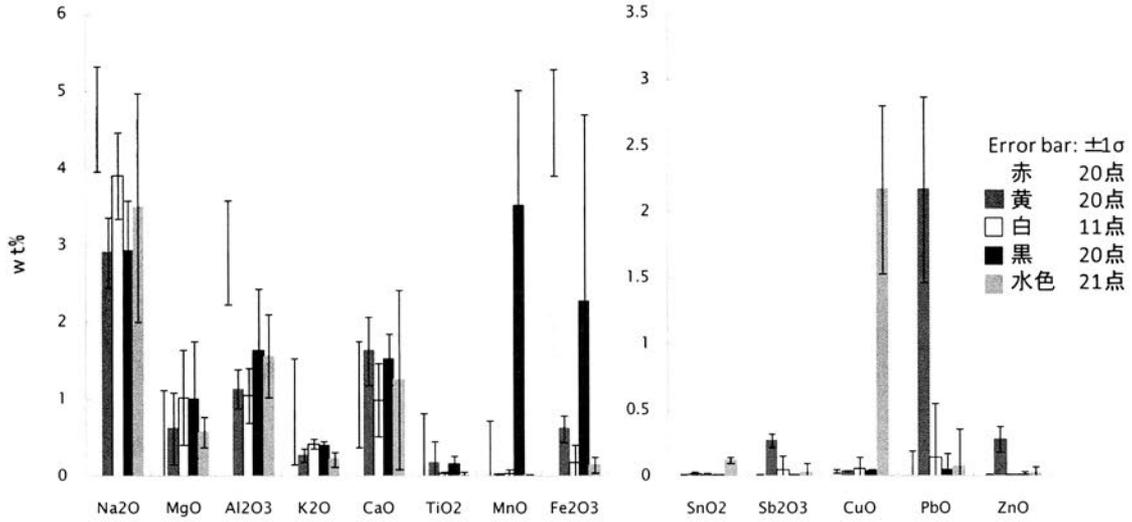


Fig.1 ラメサイドファイアンスビーズ(釉薬部)の定量値比較

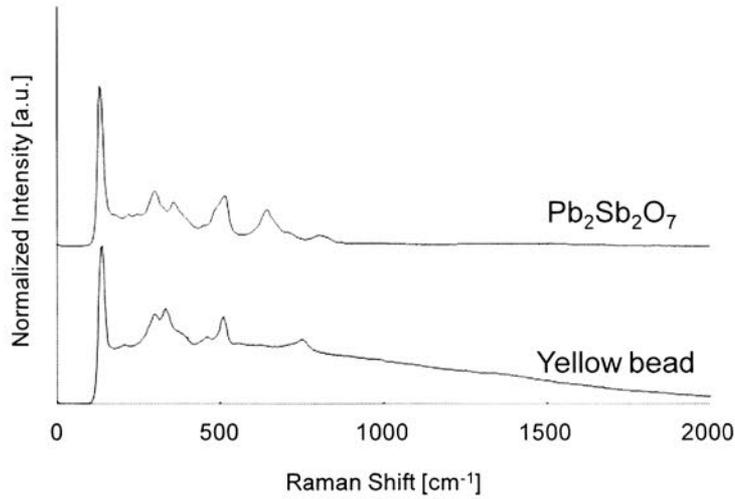


Fig.2 黄色ビーズのラマンスペクトル

- 1) 山花京子：『ファイアンスとは』西アジア考古学、第 6 号、123-134(2005)
- 2) A. Kaczmarczyk, R.E.M. Hedges: "ANCIENT EGYPTIAN FAIENCE." (1983).
- 3) 阿部善也、張本路丹、中井泉：『エジプト学研究』別冊 14、94-116(2010)

## 桜京古墳における高精細デジタルアーカイブ技術 High Definition Digital Archiving of Sakurakyo tumulus

○森本哲郎（凸版印刷株式会社），小林由枝（東京大学大学院学際情報学府），宮崎大輔（広島市立大学情報科学研究科），影澤 政隆（東京大学生産技術研究所），朽津信明（東京文化財研究所），池内 克史（東京大学大学院 情報学環）  
○MORIMOTO TETSURO(Toppan Printing Co.,Ltd), Yoshie Kobayashi(The University of Tokyo), Daisuke Miyazaki(Hiroshima City University), Masataka Kagesawa(The University of Tokyo), Nobuaki Kuchitsu(National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Katsushi Ikeuchi(The University of Tokyo)

### 1. はじめに

装飾古墳は保存上の理由で実物を一般公開できない、さらには研究者でさえ容易に立ち入ることのできないものが多く存在する。このような文化財を保存、公開するために計測データから文化財デジタルアーカイブを作成することは非常に有効である。東京大学池内研究室、凸版印刷、東京文化財研究所は九州の装飾古墳を対象として、高精度計測技術により形状情報や色情報を取得、保存し、解析やコンテンツ制作への応用を行っている。装飾古墳は立地環境や石室内の環境保持のために計測し、再現するのが困難なものが多い。本稿では、桜京古墳の計測を例に取り、このような屋外にある遺跡において利用されるべきデータの取得方法および取得されたデータを用いた情報の活用方法について紹介する。

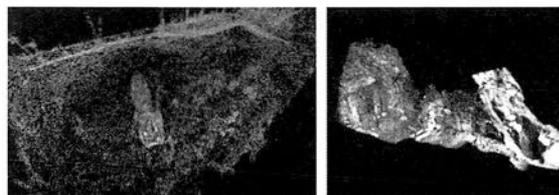
### 2. 桜京古墳

桜京古墳（福岡県宗像市）は玄界灘に面する場所に位置する6世紀後半に築造されたと見られる全長39mの前方後円墳であり、国指定史跡に指定されている。また、奥壁と石室形支柱には線刻により三角文が描かれ、その内部に三色の彩色が塗られている。

### 3. 高精度高効率CGモデル作成

装飾古墳は内部の壁画保護のために温度湿度を一定に保つ必要がある。このため、三次元計測はなるべく短時間で効率よく取り残しがないように形状と彩色データを取得する必要がある。図1は作成されたCGモデルである。

**形状計測** 本計測ではレーザー三次元計測装置（Z+F社 Imager）を石室内外に設置し、石室と墳丘の三次元形状計測を行った。個々の計測位置から見えない部分は装置本体を移動させて計測し、後に複数位置から得られた各三次元形状データに池内研究室で開発された位置合わせ、統合処理にかけて高精度な古墳の三次元形状データを得ることができる。



墳丘点群データと石室  
図1. 作成されたCGモデル

**テクスチャ撮影** テクスチャ画像は三次元形状全体にマッピングできるように撮り残しなく、撮影しなくてはならない。そこで本計測では全周囲雲台を用いることで全周囲のテクスチャ画像を取得し、画像をパノラマ化してから球状投影によりテクスチャマッピングを行った。これにより、古墳石室内部のような凹物体の形状物体とのマッピングは、効率よく高精度に行うことができる。

### 4. 照度差ステレオ法による線刻形状計測

桜京古墳では壁画表面に下書き用と思われる0.5mm幅ほどの線刻が彫られているものが多く見られる。これは壁画の書き方などを解析する上で重要な情報である。しかし、レーザー三次



図2. 照度差ステレオシステム

元計測装置では、レーザーの幅もしくはレーザーの移動幅以下のものは計測できない。このため、今回この微細な線刻の計測を行うために照度差ステレオ法と呼ばれる光学情報を用いた詳細形状の計測装置を開発し計測を行った。開発されたシステムの概観を図2に示す。

照度差ステレオ法とは照明変化による物体表面の点を撮影した画像強度の変化を観察することで表面の法線方向を推定する手法である。開発したシステムは CCD カメラの周りに装着された光源を一つずつ点灯して画像を撮影し各光源位置における画像の強度から法線方向を推定する。図3は推定された壁画表面の詳細形状の結果である。(a)の画像は陰影情報を除いた色彩画像と(b)の画像は詳細形状である。この画像から壁画表面には細かい線刻が彫られていることが良く分かる。

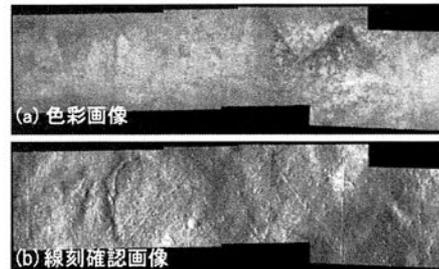


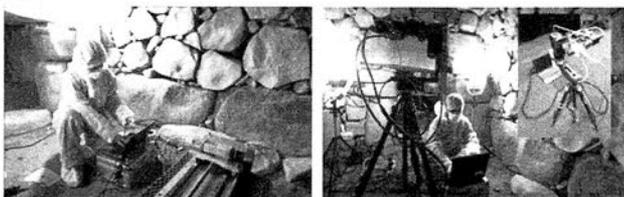
図3. 計測された詳細形状

また、次に述べる分光画像による解析結果と比較すると、線刻の位置と顔料の塗られている領域の境目とは、微妙にずれていることが確認された。

## 5. 分光画像計測

デジタルスチルカメラで撮影されたテクスチャ画像は RGB の三原色により表現される色情報である。しかしながら、装飾古墳の壁画は赤土を多く被っており、照明条件によっては赤顔料が赤土と区別が付きにくくなり紋様の判別が困難になる。照明環境や機器の個体差に影響されない正確な色情報を保存するためには物理量としての色情報である分光情報を取得する必要がある。今回の分光計測では3種類の分光計測装置を用いて計測を行った。まず、分光放射輝度計 (PR-655) は絶対的な物理量としての分光情報を取得することができる。しかしながら、スポットによる計測しかできない。そこで広範囲の分光情報を取得するために、二種類の分光画像取得システムを開発した。多波長フィルターを用いた平行移動型システムと液晶チューナブルフィルター (LCTF) を用いたパノラマ分光画像取得システムである。これにより、広範囲の分光画像を取得することが可能にした。図4に計測風景とシステムの概観を示す。図5は取得された分光画像と開発された解析プログラムである。この画像は各画素に81次元の分光情報を持つ。これらの画像を解析することで壁画の文様を高精度に解析することが可能である。

また、これまでは赤、緑、黄色の三色が確認されるとされていたが、黄色とされる箇所で計測された分光データは、他の装飾古墳では白とされている箇所のデータに類似していると判断された。



(a) 多波長フィルタ分光画像計測システム (b) パノラマ分光画像計測システム

図4. 分光画像取得システム



図5. 計測された分光画像データ

## 6. まとめ

計測データから作成された CG モデルを用いて、制作された CG ムービーは九州国立博物館にて現在上映されている。これは山奥に立地し、立ち入ることのできない桜京古墳を公開する手段として非常に有効であるといえる。また、照度差ステレオや分光計測によるデータは保存、修復、解析などの基礎データとしても活用することができる。

## 7. 謝辞

本稿は、文部科学省「複合現実型デジタルミュージアムに関する研究」の一環として行われた。また、計測においては宗像市教育委員会に多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

## 福岡市元岡・桑原遺跡群出土木製馬鞍の復元 —新たな複製技術の応用—

Reconstruction of a wooden saddle excavated from Motooka-  
Kuwabara sites in Fukuoka City  
-Application of new reproduction technology-

○比佐陽一郎、吉留秀敏（福岡市教育委員会）

田上勇一郎、上角智希、西澤千絵里（福岡市埋蔵文化財センター）

鳥越俊行、輪田慧（九州国立博物館）

Hisa yoichiro, Yoshidome hidetoshi (Fukuoka city board of education)

Tagami yuichiro, Kamikado tomoki, Nishizawa chieri (Fukuoka city archaeology center)

Torigoe toshiyuki, Wada kei (Kyushu national museum),

### ■はじめに～遺跡と資料の概要

福岡市の元岡・桑原遺跡群は、福岡市の西北端部、糸島半島の基部に位置し、旧志摩町（糸島市）に境を接する。九州大学の移転地として平成7年度より発掘調査が行われ、多くの重要遺跡が発見されている。第18次調査は、遺跡群中央東よりの川の南岸に位置し、北西に開口する狭い谷地形の範囲となっている。弥生時代から中世に及ぶ幅広い時代の遺構、遺物が検出された中でも飛鳥時代～奈良時代の出土資料が多く、調査区の低地では豊富な地下水により、当該期の木製品が遺存していた。出土した木製品の中で特に注目されるのが、馬鞍の部材、「居木」である。

鞍は、座面となる居木と、居木を前後で繋ぐ前輪、後輪（＝鞍橋）で構成される（写真3参照）。居木は、馬の背骨を中心に左右に振り分けて配され、2枚ないし4枚からなる。元岡・桑原18次の居木は、性格不明の土壌からの出土で、鞍に関わる部材としては遺跡全体を見ても1点のみであった。その形状から、2枚居木の左側の部材と推察される。資料は、出土後、PEG含浸法により保存処理が行われた。

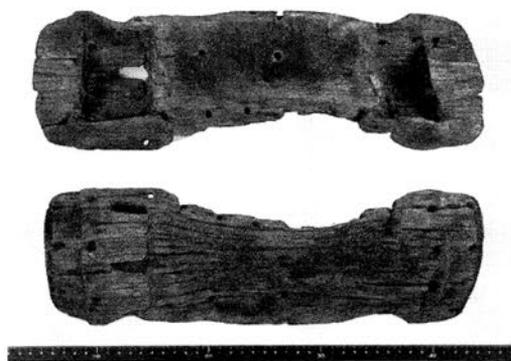


写真1. 居木（裏面・表面合成写真）

### ■資料の考古学的位置付け

日本の馬匹文化は、古墳時代中期以降に朝鮮半島から伝わったとされる。当時の王権と直結する文化であることから、考古学の中でも主要な研究テーマの一つとなっている。研究材料となる馬具の多くは古墳の副葬品として出土するものであるが、その大半は有機質部分が失われており、金属部分のみを対象とせざるを得ない。特に鞍は、主要部分が木で作られたと考えられており、古墳の出土品では装飾のための部品や、鞍を馬体に固定する紐を留めるバックルが残る程度である。一方で、低地の集落遺跡では、木製品が遺存する中に、稀に馬具類も含まれるが、古墳～奈良時代までの出土例では、鐙や、鞍の部材の場合も鞍橋のみで、居木の事例は知られていなかった。伝世品では、正倉院御物を最古とし、平安時代末頃以降、神社への奉納品などの事例が増加するが、これらが古墳時代の馬匹文化伝来当初のものと系譜を一にするものか否かなどは、手掛かりが極めて限られる状況であった。元岡・桑原遺跡群出土の居木は7世紀後半に属すると見られ、非常に重要な資料と位置付けられるものである。

### ■復元の基本概念と手法

本資料は考古学的に重要な意味を持ちながらも、類例も限られ、また本来組み合わせられて構

成されるものの部材であることから、単体で見た場合に、一般の人のもとより考古学に携わる人でもその意味を読み取ることは困難である。そのため、全体像の復元が必要となるが、復元には教育普及的な意義と同時に、製作やそれに至る調査の過程で得られる情報も、資料の研究のために有益なものとなる。

最も簡便な復元は二次元上でのもの、つまり、図あるいはイラストであるが、臨場感が得られない、歪みなどの無理が顕在化されずに埋められるといった問題がある。三次元による復元の場合、実物を組み込むか否か、材料を何で作るかなど、幾つかの手法が想定される。

今回の場合、実物資料は類例のない貴重なものであり、そこに直接手を加えることはためらわれること、等材料＝木では加工に技術を要することなどから、全体を非等材料＝合成樹脂で復元することを基本方針とした。そして、本資料の場合、居木部分が遺存していることに意味があり、その形状を忠実に模倣することが必要と考え、居木部分を複製に置き換えることとした。しかし、出土したのは2枚居木の1枚であるが、もう1枚は左右対称形であり、原資料の複製を二つ作っても用を成さない。そこで利用したのが、デジタルによる三次元計測および、そのデータを利用した成形技術である。この技術は1990年頃から文化財の分野でも利用がはじまり、既に事例の報告も行われているが、近年、急速に進歩、普及している分野でもある。

### ■作業の内容

復元作業は九州国立博物館の装置を用いて行った。まず、文化財用大型 X 線 CT スキャン装置（エクスロン・インターナショナル社製）で資料の形状を記録。得られたデータは、コンピュータ処理で左右対称に変換し、これをオリジナルデータと共に 3D プリンタ（Z Corporation 社製/ZPrinter 450）で出力した。この装置は、石膏の粉を使い、PC から転送された 3D モデルのデータを元に、立体模型を作る立体プリンタである。得られた成形品は、形状だけであればその目的を十分に果たすものではあるが、実際に組合せ、あわよくば人が乗れる強度も確保したいという欲求から、更に成形品をシリコンゴムを用いて手作業で型取りし、エポキシ樹脂 FRP に置換したものを製作。これをベースに、同様の材料で製作した鞍橋を組合せ、革紐で結紮し復元を行った。鞍橋の復元は、居木を適度な位置に固定した上で、その形状に合わせて立ち上げた。

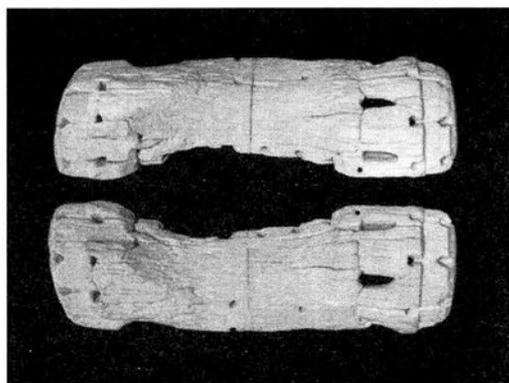


写真 2. 3D プリンタで出力されたもの

### ■まとめ

作業の中で、鞍橋の復元や居木と鞍橋の結紮は、例検討が十分に行えていないなど、推測や主観が入り込んでいる部分もある。とはいえ、残存している居木部材は複製という手法で正確に写されたものという部分では、大きな間違いはないであろう。また、これまでも古墳時代の鞍を復元した事例はあるものの、これらは鞍橋をベースに行ったもので、新たな視点を呈示できたともいえる。何より、単体では分かり難い資料を分かり易く伝える、資料の観察以外に復元の過程で情報を得るといった復元の主目的は果たせたものと考えられる。

今回製作した復元資料が、研究部門での叩き台となり、また教育普及の場面で大いに活躍することを望む。

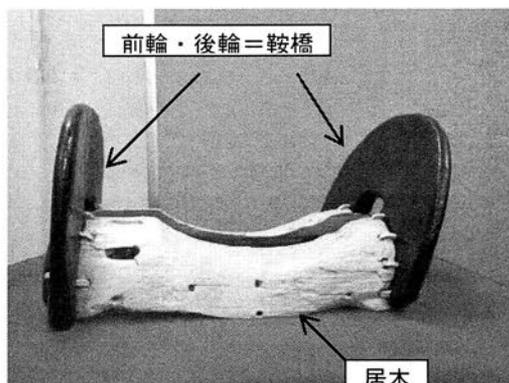


写真 3. 完成した復元品

## 三次元レーザースキャナを利用した線刻壁画の計測と分析 — 史跡吉田古墳の石室調査成果から —

### Instrumentation and Analysis of line incising in stone chamber walls using 3D laser scanner -From the investigation of Yoshida tumulus-

○米川暢敬, 渥美賢吾 (水戸市教育委員会), 三井猛(有限会社三井考測)  
○YONEKAWA NOBUTAKA, ATSUMI KENGO (The board of education, MITO CITY),  
MITSUI TAKESHI (MITSUI KOUSOKU Inc.)

#### 1. 史跡吉田古墳の概要

吉田古墳は茨城県水戸市元吉田町所在の終末期古墳である。水戸市教育委員会では、平成 17 年度から史跡整備のための範囲・内容確認調査を実施している。発掘調査は、今次の調査で第 6 次を数える。



吉田古墳石室遠景 (南から)

#### 2. 調査の目的と発表の主旨

第 6 次調査は、昭和 47 年度実施の第 1 次調査において記録された、石室構造の再確認と、保存環境下における石材の劣化など、奥壁に描かれた線刻壁画及び石室石材の保存状況の確認、そして今後の利活用に堪えうる、現在の水準での記録をとることを目的として実施した。

今回の発表では、石室の詳細な計測を目的として導入した三次元レーザースキャナによる計測成果を中心として、今次調査で得られた知見を紹介したい。

##### 《調査要項》

調査主体：水戸市教育委員会

調査支援：有限会社三井考測

調査期間：平成 22 年 10 月 15 日

～平成 23 年 1 月 29 日

調査面積：60 m<sup>2</sup> (東西 5 m×南北 12m)



石室奥壁 (南から)

#### 3. 計測の方法と成果

##### (1) 使用機材

使用した機材は三次元レーザースキャナとトータルステーションである。奥行 3m, 幅 1.32～1.46m, 天井石残存部分での高さ 166 cm という石室の規模と、石室を構成する石材が凝灰質泥岩という、非常に脆い材質であることから、大型の機材は接触による石材の損傷を招く可能性が考えられたことから、使用する計測機は小型かつ軽量の機種 (Next Engine 3DScanner HD) を採用した。三次元レーザースキャナの固定には、中型～大型カメラ用三脚を流用し、万一の転倒・接触の際への備えとして、機材の外表面には保護材を装着した。また同様の理由から、トータルステーションについても、石室等計測専用三脚を使用し、計測はノンプリズムモードにて実施した。

##### (2) 計測の方法と成果

計測は石室全面 (奥壁 1 枚, 東側壁 2 枚, 西側壁 2 枚, 天井石 1 枚) に対して実施し、三次元レーザースキャナでは、線刻・壁面の工具痕などの面的記録を採取した。計測に要する時間と計測範囲を考慮し、石室全体の計測は 1 枚あたり 34.29 cm×25.65 cm の範囲 (計測精

度 0.38 mm, 計測時間約 7~10 分) で実施し, 壁面のうち特に線刻の浅い部分に対しては, 1 枚あたり 12.95 cm×9.65 cm の範囲 (計測精度 0.12 mm, 計測時間約 15~20 分) で実施した。

トータルステーションでは, 肉眼による観察に基づいて線刻と落書などを分類した上で, 石室壁面の傾斜角, 石室の面積・容積など含めて, 構造体としての線的記録を採取した。また, 調査区・周辺の遺構・墳丘の計測データと石室の計測データとの整合性を図るため, 調査区全域に対してもトータルステーションによる計測を実施した。全てのデータは CAD により三次元データとして編集している。

#### 4. 計測結果と今後の活用に向けて

##### 《三次元レーザースキャナ導入のメリット》

①従来の調査で採用されてきた採拓や遣り方測量では回避できなかった, 文化財への接触を回避することが可能である。このため, 今回の対象のように接触することで劣化を招く恐れがあるものを記録するには非常に有用な方法である。

②線刻の深度や工具痕などの微細な情報を鮮明に記録できることから, 現場での肉眼による観察に加え, 光源の関係から目視では確認が困難であった線刻に対し, 野外調査終了後の整理作業時でも, 線刻描画手法や石材加工技術に対する詳細な検討を加えることが可能である。

③計測により取得したデータには, 計測時に取得した画像データをテクスチャとして貼り付けることが可能であり, 三次元 CG 画像として活用することが可能である。

##### 《三次元レーザースキャナ導入のデメリット》

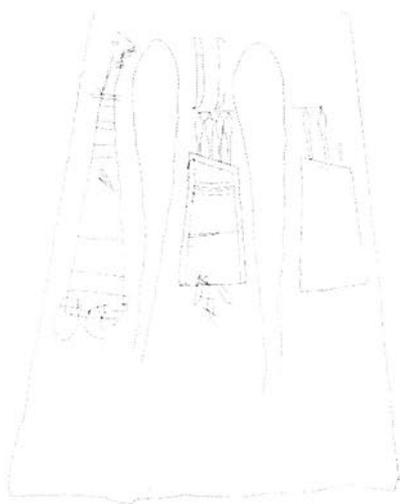
計測範囲が限定されるため, 大きな対象を記録するには必然的に記録枚数が増えることで, 計測時間及びデータの接合などのデータ処理に要する時間がかかってしまう。

また, 機材の操作には, 一定の訓練が必要である。

##### 《教育現場への利活用》

①計測により取得したデータは, 三次元 CG として鑑賞可能であることから, 博物館やその類似施設において, 映像資料としての展示が可能である。

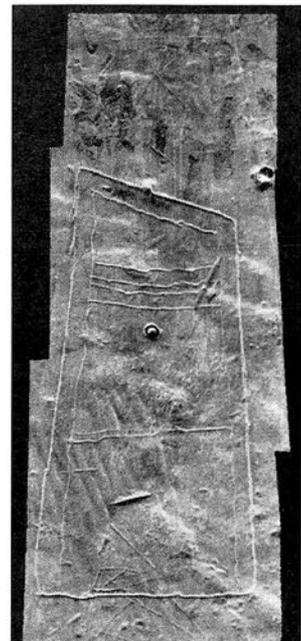
②計測された三次元データを基にし, 実寸大の精緻なレプリカが作製可能であり, 実際の計測データを基にした資料の製作に活用することができる。



奥壁線刻実測図



奥壁線刻壁画 (中央部)



奥壁 3D 画像 (中央部)

## 江戸小紋のパターン解析と幾何特性評価 Geometric pattern analysis of Edo-komon with SIS

○津村 宏臣（同志社大学文化情報学部），宇佐美 智之（同志社大学文化情報学研究科）  
○TSUMURA HIROOMI（Faculty of culture and information science, Doshisha University），  
Usami Tomoyuki（Graduate School of culture and information science, Doshisha University）

### 1. 本研究の位置づけ

物質・非物質を問わず，あらゆる人類活動の所産としての文化財と対峙する場合，そこに潜在する人類行動の諸力を想定したうえで，表象される時空間的実態を構造的に把握する必要がある。たとえば，特定物質の形状について，視覚的に顕現される外見的特徴は歴史・文化の視覚表層に過ぎず，文化の実像を捉える多くの次元の単次元にしかなりえない。言い換えれば，そこから各種データを定量／定性的に計量・抽出し，それらの情報のつながり（オントロジー）構造の比較・検討から，諸事象の背景にアプローチする視座が重要である。

本研究で対象とする「江戸小紋」は，近世日本の都市民の文化に生きた人々の社会・文化的コンテクストを断片的ながらも，鮮明に映し出している。階級を基盤とした社会的格差や政治・法的制約などからの逸脱を前提に，経済状況の変遷に伴って経済組織の生産や情報伝達システムの拡張を導くなど，これは特定文化の確立過程における複合的問題への示唆に他ならない。ただ，そこに描出された紋様そのものに着眼した場合，これまでは歴史資料に依拠した叙述，あるいは絵柄の個別的解説が専らとされ，具体的な紋様体系間の評価，すなわち文化財データとしての検討に踏み込んだ事例は北田（2002）の幾何学的分類などに見受けられる程度である。江戸小紋を取り巻く現象にアプローチする第1段階として，紋様形状の抽出・標準化およびパターン解析における方法論を展開し，紋様評価全般の新たな知見を呈示することに本研究の目的がある。

### 2. サンプル資料のデータ化

「江戸小紋」については，小紋の制作段階に用いられる型紙をはじめ，着尺のほとんどが現存しない，または損傷を受けているのが実態とされ，小紋自体の保護・保存の在り方には未だ課題が残されている状況下において，「小紋帳」

（Fig.1）は，往時の残片的な痕跡として重要な資料となっている。これは，江戸時代の中・後期以降，需要の増大に対応するべく移行した量産型の生産システムの中，顧客の財選択を効率的に促す情報伝達機能を果たしたと考えられており

（北田 2002 等），実際に扱われた紋様の種類が数多く掲載されている。

資料のデータ化について，デジタル化の際の歪みやノイズの発生を最小限にとどめるため，フラットベツトスキャナで 1200dpi の高解像度でスキャンした。分析に際しては，本研究では幾何紋様特性を評価したいため，原資料の濃淡から各資料別の任意閾値を設定して 2 値化した。そして，トリミングなどの諸処理を施した後，8 ビットの BMP 形式の画像として空間情報システムに取り込んだ（Fig.2 の A 図）。具体的な紋様形状データ化については，紋様の最小構成単位を抽出し，デジタイズ機能によって配置パターンの基点データを再構築した（Fig.2 の B 図）。

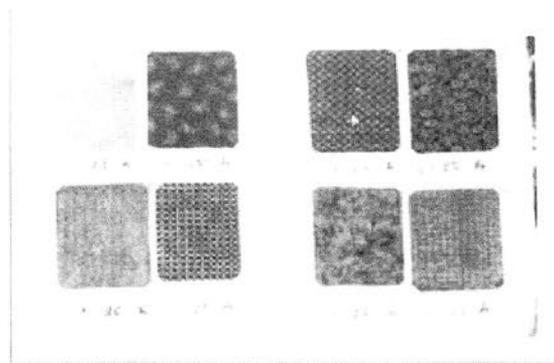


Fig.1 小紋帳の構成例

### 3. パターンと幾何特性

#### 3-1. ボロノイ分割

ラスター化した基点データにボロノイ分割を適用し、併せて最小構成要素が占める範囲におけるピクセル出現頻度推移を示したものが Fig.3 である。(標本平均:739,標本標準偏差:19.3)。

Fig.2 (A 図) では、配置パターンの構成に一定の規則性を視覚的に読みとれたものの、各要素の領域単位のピクセル占有比には振幅が生じ、パターンの変動的性質を理解できる。これは、往時の手製作工程の象徴であるばかりか、製作者や地域的特色、時代的風潮など、多様なコンテキストを内包した歪みであることが示唆される。

#### 3-2. ドローネ三角形化と面積値再分類

先の骨組みに、ドローネ三角形分割を適用したものが Fig.4 の A 図である。また、B 図は各三角形面をラスター形式のポリゴン構造に変換したものを示す。

このモデルでは、構成パターンに起因する不均一な三角形の形状や方向の構成などを具体的に見出すことができる。ここで、三角形面ごとのピクセル占有値を計量し、グルーピングした場合、Fig.5 のとおり、その相対的な差からモザイク状のパターンが表出された。これは、制作段階における配置の粗密さを顕現させたものと評価でき、結果として Fig.2 (A 図) とは全く様相を異にする構造的特性が映し出されている。機械製作工程では発生しえないこの特性は、「粋(すい)」や「通」などの心象的側面に影響を及ぼす1つの説明因子である蓋然性が示唆されるだろう。

### 4. 紋様評価の方法論と展望

以上の方法論において重要な視点は、小紋帳を1つの表象空間と読み換え、地理情報システムを基盤に2種類の空間補間技術から面的構造を構築したことにある。これによって、紋様体系間の比較に不可欠な「標準化」が可能となり、時系列的な変遷過程や異種紋様間の差異などの評価を併せれば、文化財データの構造的特性の記述に踏み込めることとなる。江戸小紋に内包される他次元の属性情報の多角的な検討を含め、今後の継続的な計量的手法適用とその理解のための理論化が不可欠だろう。

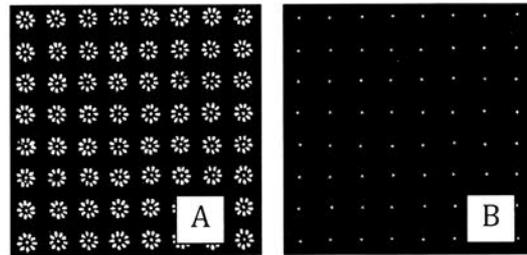


Fig.2 紋様サンプルのデータ化

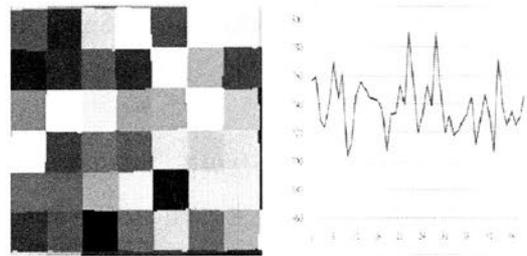


Fig.3 ボロノイ図とピクセル出現頻度

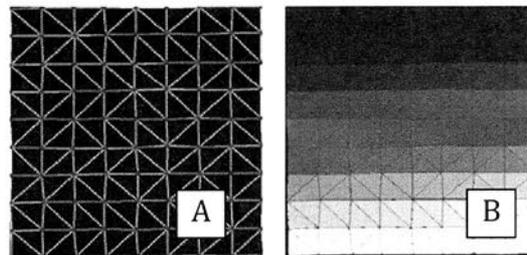


Fig.4 三角形モデルとラスター・ポリゴン化

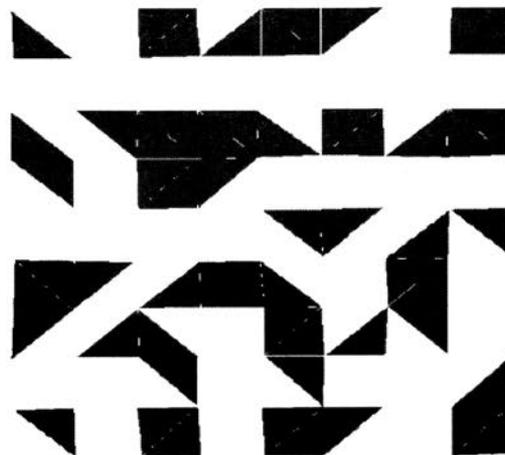


Fig.5 三角形面の面積値別再分類

## 福井県若狭町西塚古墳出土鉄製品及び青銅製品の腐食状態

### Corrosion state of iron and bronze artifacts excavated from Nishizuka Mound, Fukui Prefecture

○三ツ井誠一郎・吉川英樹（日本原子力研究開発機構），徳田誠志・清喜裕二（宮内庁書陵部）  
○Seiichiro Mitsui, Hideki Yoshikawa (Japan Atomic Energy Agency),  
Msashi Tokuda, Yuji Seiki (Imperial Household Agency)

#### 1. はじめに

遺跡から出土する鉄製遺物は表面が厚い腐食生成物に被覆され原形を留めていないことが多いが、青銅製遺物は一部腐食生成物に被覆されるものの原形のまま出土する傾向がある。このような腐食状態の違いの要因としては、それぞれが埋蔵されていた環境の条件のほか、遺物そのものの材料の特性が関係しているものと考えられる。

本研究では、福井県若狭町の西塚古墳より出土した古墳時代中期後半（5世紀後半）の鉄製及び青銅製遺物を対象に非破壊分析を行い、同一の環境条件における材質による腐食状態の違いについて検討を行った。

#### 2. 研究対象

福井県若狭町の西塚古墳は、脇袋古墳群の西端に位置し、主軸を南北方向にとり、前方部を南に向けた前方後円墳である。大正5年（1916年）の旧国鉄小浜線建設に伴う土砂採取により前方部が削られたため、現在は、後円部だけが現存する。今回研究対象としたのは土砂採取時に発見された石室から出土した鉄製横矧板鉾留短甲の残欠2片、神人歌舞画像鏡、変形三獣鏡の金属製遺物計4点（図1）である。鉄製遺物については全面が腐食生成物、いわゆる鉄錆で被覆されており、原形を判別しにくい状態となっている。一方、青銅製遺物については、一部腐食生成物に被覆されているものの、特徴的な文様は十分確認することができる。



図1 西塚古墳出土青銅製遺物及び鉄製遺物  
(左から神人歌舞画像鏡、変形三獣鏡、鉄製横矧板鉾留短甲の残欠2片)

### 3. 分析方法

遺物の腐食状況を把握するため、X線CT装置（日立製 HiXCT-6M）を用いた腐食量評価、及びポータブル X線回折・蛍光 X線分析装置（理研計器製 DF-01：以下 XRDF）を用いた表面の化学組成、腐食生成物の分析を行った。なお腐食量については、後述する腐食生成物の密度を超える値（ $6\text{g/cm}^3$ ）をしきい値とし、CT像においてこれより密度が小さい領域を腐食生成物とみなし、遺物全体の体積で除して体積比（腐食生成物体積／遺物全体の体積）として求めた。

### 4. 分析結果

図2に X線CT像の例を示す。断面図では明るい部分ほど密度が高い領域である。銅鏡は大半が密度の高い領域であるが、鉄製短甲残欠については鋸及びその周囲に限られる。解析により各遺物の腐食量を試算したところ、銅鏡が 37～50vol%、鉄製短甲残欠が 76～78vol%であった。各遺物の表面積も考慮する必要があるが、傾向としては銅鏡の腐食量が小さいと言える。

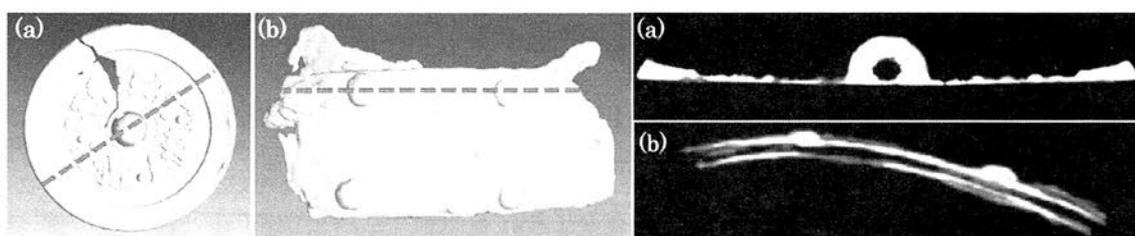


図2 神人歌舞画像鏡 (a) 及び鉄製横別板鋸留短甲残欠 (b) の立体図及び断層図（破線部）

腐食生成物としては、銅鏡では緑青（malachite:  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ）と錫石（cassiterite:  $\text{SnO}_2$ ）、鉄製短甲残欠表面では針鉄鉱（goethite:  $\alpha\text{-FeOOH}$ ）や磁鉄鉱（magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ）などが検出された。なお、神人歌舞画像鏡については鏡表面の金属光沢部では銅-錫合金（ $\delta\text{-Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ ）が検出されたほか、裏面の赤色部（図1の神人歌舞画像鏡写真左下部の破線で示す部分）において辰砂（cinnabar:  $\text{HgS}$ ）が検出された。一方、変形三獣鏡については、鏡表面に黒色の光沢を呈する部分が観察されたが銅-錫合金は検出されず錫石のみが検出された。

### 5. 考察

腐食生成物として緑青及び針鉄鉱が検出されていることから、これらの遺物は酸化的な環境で腐食したものと推定される。上述の通り銅鏡の腐食量が小さい傾向があるが、各遺物は同一の環境条件で腐食したと考えられることから、材料の特性が腐食量の差異に関係していると言える。銅鏡表面に検出された錫石は、青銅品の腐食を抑制する効果を有することが報告されており（Wang et al. 1995, Williams et al. 1998）、青銅品特有の錫の存在が銅鏡の腐食状態に大きく影響したことが示唆される。

#### 【引用文献】

Wang et al. (1995): Structural and Elemental Analysis on the Nanocrystalline  $\text{SnO}_2$  in the Surface of Ancient Chinese Black Mirrors, Nano Structured Materials, Vol. 5, No. 4, pp. 489-496.

Williams et al. (1998): Interpretation of Black Surface of Ancient Chinese Bronze Mirrors, Abstract of a poster presented at the Budapest International Symposium on Archaeometry.

## 土器における粘土帯接合痕の可視化と観察 Visualization of Slab/Coil Constructions in Pottery

○中園聡（鹿児島国際大学国際文化学部），平川ひろみ（鹿児島国際大学大学院国際文化研究科），黒木梨絵（同），中村有希（同）  
○Satoru Nakazono<sup>1</sup>, Hiromi Hirakawa<sup>2</sup>, Rie Kuroki<sup>2</sup> and Yuki Nakamura<sup>2</sup> (<sup>1</sup> Faculty of Intercultural Studies, The International University of Kagoshima; <sup>2</sup> Graduate School of Intercultural Studies IUK)

### はじめに

土器の製作技法において、粘土帯の接合法についての関心は高く、実測図中に接合線を描くことは既に定着している。考古学において粘土帯の接合法は、弥生時代開始期における内傾接合・外傾接合の評価に代表されるように（家根 1984），土器製作者の系統とも結びつく議論になりうるし、製作者の身体技法やクセの復元などへの手がかりとなりうるだけに、接合痕を明確にすることは重要である。しかし断面の肉眼観察によることが普通であり、根拠に乏しいと思われるものが少なくないのが現状である。そこで、擬口縁に代表される接合面で外れた破片などでなければ積極的に図示するのは避けるべきとの慎重派の見解もある。また、土器を切断して断面から接合線を見出す試みもいくつかあるがそのような方法では困難という認識も提示されている。

一方で、擬口縁等の接合面に、稀に埋没土壌に由来するとみられる鉄分等の成分が沈着していたり、土器表面に塗られた赤色顔料等が面的にしみ込んだりしたものがあることに気付く考古学関係者も多いはずである。したがって、実際には肉眼観察が困難な微細な連続的空隙があるとみなすのが妥当であろう。接合面にあると思われる微細な空隙を積極的に可視化し、観察を進めることが考古学的に果たす役割は小さくない。

我々は近年様々な分野で応用され実績のある蛍光樹脂含浸法を採用し（van Mier 1997；岩城ほか 2004；手塚ほか 2005；ほか），土器に適用することで接合痕を積極的に可視化し、観察することにした。

### 試料と方法

可視化のために蛍光樹脂含浸を行い、硬化後、切断面を観察する方法を基本とした。使用した樹脂はエポキシ樹脂であり、含浸を容易にするために特に低粘度のものを選択した。それにエポキシ樹脂混合用の粉末蛍光染料（色：イエロー）を、主剤に対して 1ml あたり約 5mg の割合で混合し、使用した。含浸にあたっては、真空ポンプ（到達真空度約 2Pa）を使用し、真空脱泡により蛍光エポキシ樹脂を含浸した。硬化後、土器切断面を研磨した後、紫外線蛍光灯（ブラックライト、波長 370nm）で紫外線を照射し、デジタル一眼レフカメラでマクロレンズを使用して接写する簡便な方法をとった。また、必要に応じて実体顕微鏡等を使用して観察した。

試料は以下のとおりである。①実験製作した円筒形試料（粘土に砂を混ぜた素地で粘土紐を作り、巻き上げ法によって棒に巻きつけ、外面をナデ仕上げした円筒）を乾燥後、焼成した。②実験製作した小型の鉢（①と同じ素地を使用、内傾接合と外傾接合で各 1 個）も同様に乾燥後、焼成した。③伝統的製作技法による民族資料（タイの現代土器等），④考古資料（土器の破片）を使用した。

①～③は製作法が既知であり、実際の接合法と断面との対応について確認することを主目的とした。これらを縦に切断し、樹脂含浸硬化後、切断面を平滑に研磨した。研磨面を観察・撮影した。

### 結果と考察

試料は、樹脂含浸前の断面では接合痕がほとんど見えなかったが、上記処理を施した結果、顕微鏡レベルでは明瞭に見えるようになった。デジタルカメラでの撮影にも概ね堪えることがわかった。

①～③の試料については、製作時における接合箇所・接合法に調和する結果が得られた。したがって、土器においてこのような可視化の方法に有効性があるといえる。なお、空隙部分には概ね一様に浸透するため、胎土中の気泡やクラックなど接合とは関係しない部分も顕在化してしまう。そのため、本研究では観察面をさらに研磨して数度にわたって観察した。接合痕の場合、連続して出現すると期待されるからである。その結果、確かに接合痕は連続して観察され、誤認を排除することができた。実際の接合法と断面に出現した接合痕らしき線との対応が確認されたことになる。胴部だけでなく、口縁部、突帯、底部の接合等についても確認された。なお、通常はデジタルカメラでの撮影で十分であったが、より詳細な観察・撮影においては顕微鏡を用いることが有効であった。

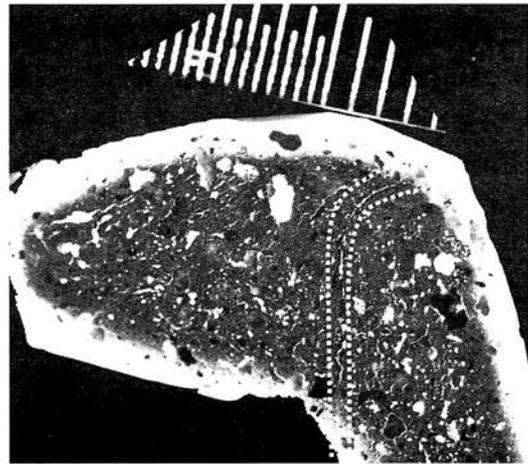
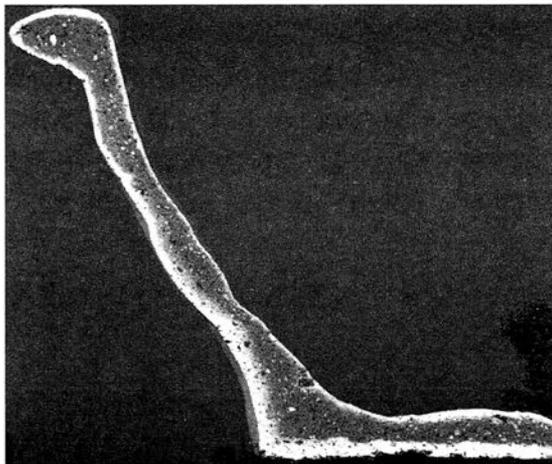
以上より、この方法は考古学的考察に足る詳細な情報を得ることができるとの確信を得た。この方法は比較的簡便であるため、格段に多くの土器に拡張できるとともに、製作法や製作者の身体の動きなどに関する様々な情報を正確に得ることが期待できるようになった。

### おわりに

かなり微細な空隙へも樹脂が浸透することが確認され、通常の土器接合法の評価については、今回使用した方法で基本的には十分と思われる。ただし、主剤となるエポキシ樹脂によって、温度・粘度・硬化速度などの特性が異なるため、より適切な樹脂・方法となるよう、さらに工夫する必要がある。また、今回はさほど問題にならなかったが、煮炊きに使用された土器では、調理等に使用された素材に由来する物質の空隙への浸潤・固着があると予想される。それはそれで使用法の評価などにもつながるとは思われるが、本法への影響なども確認しておく必要がある。

なお、マクロには紫外線イメージスキャナの使用、よりミクロには蛍光顕微鏡の使用が有効と思われるが、今後の課題としたい。

本研究は、科学研究費・基盤研究（B）（課題番号 21320150）の成果の一部である。



左：実験製作した小型鉢を焼成後、切断した断面（含浸前）。断面には接合痕らしきものはほとんど見えていない。

右：蛍光樹脂含浸、硬化後に切断、研磨した。紫外線を照射して撮影した口縁部の拡大写真。白い点線で囲んだ部分に細い接合線が見える。接合線は胴部と口縁部の境目（写真下方）から真上に向っており、その延長は右側（内面側）にカーブしている。周囲に見えるクラックや気泡などは異質である。これは、突帯文系の口縁部に似せて製作した土器で、外面に貼付した粘土紐によって口縁部を作り出したものである。製作の具体的方法と接合線のあり方がよく調和しているといえる。また、断面を研磨し、数度にわたって観察したが、いずれの観察面でもこの接合線は連続して出現した。したがって、接合線と認定してよい。

## 古代土器に残留する有機物の分析とコンタミネーション

### Analysis of organic compounds in ancient pottery and contamination

○堀内晶子(国際基督教大学 教養学部), 宮田佳樹(名古屋大学年代測定総合研究センター)  
○Akiko Horiuchi (The College of Liberal Arts, International Christian University), Yoshiki Miyata  
(Center for Chronological Research, Nagoya University)

#### 1. はじめに

古代人の食生活等を反映する有機物は当時の生活環境を知る上で重要な手がかりを与えてくれる。一般的に有機物は土壌中の無機物や微生物等によって容易に分解されるが、近年ではモデル系を使った分解反応の機構や分解物の同定研究も行われ、分解生成物もバイオマーカーとして使用されるようになった[1]。また、有機物の物質特異的同位体の測定から、食物の種類を推定する方法も有力な手段として注目されている[2]。特に煮炊きや食料を保存する際に土器に吸着された有機物は周囲の環境から守られ、当時の物質やその分解物が保持されると考えられるため、古代土器に残留する有機物の分析に期待が寄せられている。

土器は吸着性が高いため、残留する有機物を分析する際特に注意しなければならないのが出土後のコンタミネーションである。思いがけないコンタミネーションが、歴史的試料の判定を誤ってしまう可能性があるからである。そこで、出土後のコンタミネーションの例を紹介しながら、コンタミネーションの可能性とその対策を検討した。

#### 2. 予測できるコンタミネーション

土器に残留する脂質の一般的な分析方法は、まず土壌中から土器表面に浸透した有機物や、発掘後に土器表面に付着した物質を取り除くため土器表面を削り取った後、土器を粉碎し、クロロホルム:メタノール=2:1で脂質を抽出する。次に抽出した脂質を気化しやすくするためにメチルまたはトリメチルシリル誘導体に変換し、ガスクロマトグラフィーでそれぞれの成分を分離した後マススペクトルスコピーで各成分を同定するGC-MS法を用いる。この間、溶液の濃縮・除去操作、シリカゲルカラムによる極性物質の除去操作などがある。この分析過程で生じる可能性のあるコンタミネーションの要因は、1. 使用するガラス器具に付着している微量の不純物、2. 保管容器や栓から微量溶け出す物質、3. 溶媒や試薬に混入している不純物、4. 実験者の手や衣服からの汚れなどがある。

これらの要因をできるだけ排除するための基本は、まず微量の物質を扱う脂質分析の実験区域をその他の比較的多量の物質を扱う実験区域から隔離する。次に実験器具は専用のものを使う。使用するガラス器具はできるだけ使い捨てにし、その他は十分洗浄した後、450°Cで4時間加熱し、残っている可能性のある有機物を燃焼除去する。試薬は小分けし、不純物が混入した際の被害を最小限にする。また、分析をする際には必ず空実験(試料なしでその他はすべて試料と同じの操作)を行い、使用した試薬や器具からのコンタミネーションを確認する等があげられる。

しかし、分析段階以外でも混入してしまうコンタミネーションがある。一般的なコンタミネーションは合成樹脂に含まれている可塑剤である。たとえば発掘後、土器片の保存に用いるビニール袋、試料を取り扱

う際に使用するゴム手袋、試料や試薬を保存する際のポリビンや合成樹脂のキャップなどから由来するものである。典型的な可塑剤はフタル酸の誘導体類、リン酸エステルなどがある。酸化防止剤として使われるクレーゾール誘導体も合成樹脂に由来するものである。また、シリコンキャップや栓のシリコンライナーに由来するポリシロキサンも典型的な混入物の一つである。土器片はまずアルミフویلでくるんだ後、ポリ袋に入れる、できるだけ直接接触らないようにシピンセット等で扱う、ガラス容器を使う等の注意が必要である。これらのコンタミネーションはある程度予測されるが、予測できないコンタミネーションもある。

### 3. 予測できないコンタミネーション

我々が分析したいくつかの縄文土器片から松ヤニなど植物性樹脂に含まれている abietic acid、dehydroabietic acid、2-methyldehydroabietic acid、isopimaric acid が検出された(図1)。土器表面を保護するために塗布されたのか、あるいは破損した土器をつなげるために用いられたのか等、いろいろ考えを巡らせたが、abietic acid や isopimaric acid は反応しやすい二重結合を持つため、古代土器にそのままの形で残るかという疑問が残った。さらに、岡山県から出土した5-6世紀の製塩土器の一部からも同様の物質が検出され、これらの年代も形式も用途も異なった2種類の土器の共通項は木製の箱に保管されていたことから、樹脂成分は土器を保管していた木製の箱から由来したと結論づけた。

また、化粧品に含まれるサンスクリーンのひとつである 2-propenoic acid, 3-(4-methoxyphenyl)-, 2-ethylhexylester (Parsol MCX) を検出したケースもある。発掘に関わった人が使っていたものが混入したと思われる。

このように思いがけない物質が検出されるケースがあり、土器発掘後の取り扱いには細心の注意が必要である。一方、この結果は土器がいかに物質を吸着しやすいか、いかに周辺の環境を反映する能力を保有しているかを示す物でもある。土器は、作成されてから分析されるまでの遍歴を物語る物質が保持された優れた試料なのである。

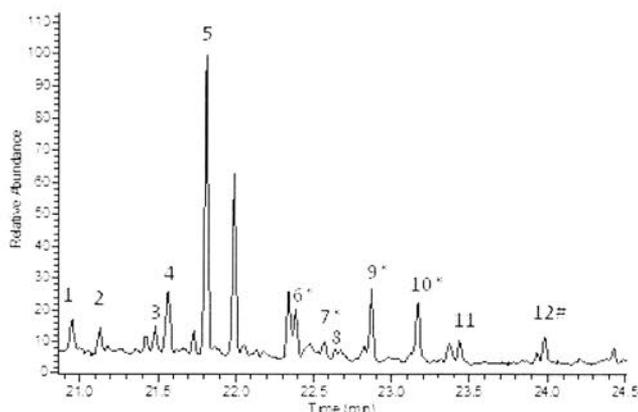


図1. 縄文土器からクロロホルム:メタノール=2:1で抽出した成分の部分クロマトグラム(トリメチルシリル化後)。1. C17:0 fatty acid (FA), 2. C18 alcohol, 3. Alkane, 4. C18:0 iso-FA, 5. C18:0 FA, 6. 2-methyldehydroabietic acid, 7. Isopimaric acid, 8. C19:0 FA, 9. dehydroabietic acid, 10. abietic acid, 11. C20:0 FA, 12. bis(2-ethylhexyl) phthalate. \* 松ヤニ成分. # 可塑剤

[1] e.g. F.A.Hansel, R.P.Evershed. Formation of dihydroxy acid from Z-monounsaturated alkenoic

acids and their use as biomarkers for the processing of marine commodities in archaeological pottery vessels, Tetrahedron Letters, 50 (2009) 5562-5564.

[2] e.g. R.P.Evershed, S.N.Dudd, M.S.Copley, A.Muthurjee. Identification of animal fats via compound specific  $\delta^{13}\text{C}$  values of individual fatty acids: assessments of results for reference fats and lipid extracts of archaeological pottery vessels, Documenta Praehistorica XXIX, UKD 903.28:902.65, 73-96.

## 木造建造物等における劣化防止剤の研究 The research on the deterioration inhibitor in wooden buildings

○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）  
○YAMAJI YASUHIRO（Takio junior high school, Oita city），ITO HIRONOBU, YAMAMURA  
KENSEI（The Institute for Conservation and Use of Cultural Heritage, Oita Co.,LTD）

### 1. はじめに

日本は高温多湿な気候風土の国であるため、文化財の木造建造物は降雨による湿気から木材腐朽菌による被害を受けることがしばしば報告されている。そこで日本文化財科学会第25回大会にて「石造文化財の保存修復用撥水剤の開発」を発表後、石材用に開発した保存修復用撥水剤(劣化防止剤)が木材にも適応できるように改良を加えてきた。そこで新しく開発した樹脂(「YM-OW」)の効果を確認するため、既存の建築用撥水剤(防腐処理剤)との比較試験(「吸水性試験」,「透水性試験」)を実施した。ここではこれら試験結果について報告する。

### 2. 試験方法

<吸水性試験> 試験で用いた木材については檜(40×40×160mm)を採用し、木材全面に樹脂を塗布後、2週間自然乾燥させ、その質量を測定。その試験体を水へ浸し(写真1)、1時間後、6時間後、24時間後の計3回、水中より試験体を取り出し、その質量を計測した。その時の質量と乾燥時の質量との差で性能を評価した。全面に塗布した樹脂には新しく開発した樹脂を含む11種類の撥水剤・防水剤を用いた(使用した樹脂については表-1を参照)。

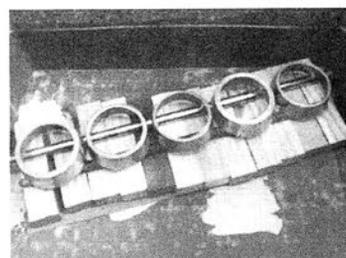


写真1 吸水性試験状況

<透水性試験> 試験で用いた木材については檜(40×40×160mm)を採用し、木材上面に樹脂を塗布後、2週間自然乾燥させ、その質量を測定。その後、中心部へ一定の水圧を1時間かけ(写真2)、その質量を計測し、乾燥時の質量との差で性能を評価する。上面に塗布した樹脂は吸水性試験同様の11種類の撥水剤・防水剤を用いた。

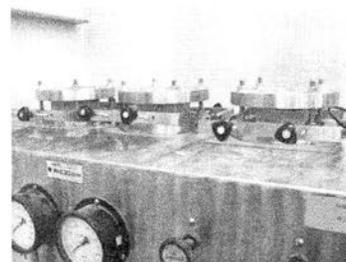


写真2 透水性試験状況

表-1 使用樹脂一覧表

	使用樹脂		使用樹脂
1	未処理	7	ノンロット
2	VATON	8	ハッスル・撥水君
3	シッケンズ	9	オスモカラー
4	木肌美人	10	YM-OW
5	キシラデコール	11	スーパーウッドステイン(クリアー)
6	キシラデコール(やすらぎ)	12	スーパーウッドステイン(ビニー)

### 3. 試験結果

#### <吸水性試験>

単位：(g)

		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
	乾燥時質量	165.1	163.2	163.9	163.1	160.9	161.5
1 h	吸水時質量	175.2	164.8	165.0	164.9	161.9	163.3
	吸水量	10.1	1.6	1.1	1.8	1.0	1.8
6 h	吸水時質量	183.8	167.9	167.3	167.4	164.8	166.4
	吸水量	18.7	4.7	3.4	4.3	3.9	4.9
24 h	吸水時質量	194.0	174.2	172.7	172.3	171.4	173.1
	吸水量	28.9	11.0	8.8	9.2	10.5	11.6

		No. 7	No. 8	No. 9	No.10	No.11	No.12
	乾燥時質量	164.2	161.4	162.9	164.2	163.7	164.8
1 h	吸水時質量	165.4	162.1	163.5	164.9	165.1	166.6
	吸水量	1.2	0.7	0.6	0.7	1.4	1.8
6 h	吸水時質量	167.6	163.9	164.7	166.0	168.3	170.3
	吸水量	3.4	2.5	1.8	1.8	4.6	5.5
24 h	吸水時質量	172.4	169.9	170.4	171.2	175.2	177.7
	吸水量	8.2	8.5	7.5	7.0	11.5	12.9

#### <透水性試験>

単位：(g)

		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
	乾燥時質量	161.4	162.6	160.1	163.2	163.4	160.9
1 h	透水時質量	171.8	163.5	162.4	165.9	164.2	162.4
	透水量	10.2	0.9	2.3	2.7	0.8	1.5

		No. 7	No. 8	No. 9	No.10	No.11	No.12
	乾燥時質量	159.8	163.2	160.2	160.3	161.9	160.5
1 h	透水時質量	162.0	164.1	161.0	160.9	163.5	162.2
	透水量	2.2	0.9	0.8	0.6	1.6	1.7

### 4. まとめ

吸水・透水係数に関しては未処理と比較すると樹脂処理を行うことにより、いずれも係数が大きく減少することが明らかとなった。また今回開発した「YM-OW」は吸水・透水性試験で既存の材料と近似値はあるものの、今試験では吸水・透水量が一番少なかった。以上の結果から新規に開発された劣化防止剤は高い効果を有することが示唆され、既存の建築用撥水剤(防腐処理剤)と同等ないしそれ以上の結果を示した。今後も木造建造物が抱える問題を少しでも解決できる材料になるよう試験を重ね、国内外を問わず同じような問題を抱えている国々において、今回開発した材料が選択肢の一つになることを期待する。

## 土器製作者のリズムと動作

—モーションキャプチャーを用いた身体技法の記録・分析—

### Potters' Rhythm and Motion: Recording and Analysis of the Body Techniques Using Motion Capture Technology

○川宿田好見（鹿児島国際大学），中園聡（鹿児島国際大学国際文化学部），平川ひろみ（鹿児島国際大学大学院国際文化研究科），黒木梨絵（同）

○Yoshimi Kawashukuda<sup>1</sup>, Satoru Nakazono<sup>2</sup>, Hiromi Hirakawa<sup>3</sup> and Rie Kuroki<sup>3</sup> (<sup>1</sup> The International University of Kagoshima; <sup>2</sup> Faculty of Intercultural Studies, IUK; <sup>3</sup> Graduate School of Intercultural Studies, IUK)

#### はじめに

発表者らは、土器表面の詳細観察や実験的手法から、製作者の個人識別や身体技法等の解明を目指して検討を行っている（川宿田 2006；川宿田ほか 2009, 2010；川宿田・中園 2009；ほか）。それは、製作時における製作者と土器との間の身体的・認知的相互作用など、考古学的にさらに高次の議論へも展開させうる。また、過去の製作者については直接観察できないため、現代の伝統的土器製作者の動作を観察・記録・解析し、結果として生じる痕跡や形態をパターン化する必要がある。さらに、伝統的土器製作が衰退し、消滅の危機にある現在において、土器製作者の動作を記録しておくことも意義あることであろう。

そこで、モーションキャプチャーを利用して、北タイの伝統的土器製作者の動作解析を実施した。モーションキャプチャーによる動作解析は様々な分野で近年盛んに行われているが、土器製作者を対象とした動作解析は稀有といえよう。従来、土器の製作に関して、製作技法や工程の復元に注意が向けられ、製作者の身体技法はさほど注目されてこなかったこともその一因であると考えられる。ここでは、その成果と有効性について報告する。

#### 動作解析の方法

北タイの伝統的土器製作村において、複数の製作者の製作工程をビデオカメラで撮影した。取得した映像からモーションキャプチャーソフトを用いて 2 次元での動作解析を行った。さらに、2~3 台のビデオカメラを異なる角度に設置して撮影を行い、映像の空間認識（キャリブレーション）後、3次元座標を算出し、動作解析および製作者の 3D 画像の作成も試みた。製作者の体の各部位（頭・肩・肘・手首など）やタタキ板等の工具の動きを解析し、個々の製作者のクセの把握や製作者間の差異などの検討を行った。

#### 結果と考察

製作者ごとにタタキの 1 ストロークの動作の幅、一定間隔のタタキのリズムやスピードなどをデータとして取得することに成功した。各製作者はほとんど共通した工程を繰り返しているだけのようにも見えるが、動作解析の結果、製作者ごとに概ね安定したクセがあることが判明した。それは時間とも関係しており、上記の 1 ストロークの時間や、それが累積した工程における一連の動作の時間、振幅の幅に顕著であった。すなわち、タタキのリズムやスピードが製作者ごとに安定しており、製作者間で異なっていた。さらに、身体の複数の部位間で関係があり、例えば腕を主体とするタタキにおいて、頭（顔）の動きとの連動がみられた。また、クセは仕上げの動作において比較的明瞭であり、仕上がりの微妙な形に関係していることが確認された。

なお、多くはベテラン製作者を対象としたが、ビギナーといえる 1 名では、ベテランに対してリズムに乱れがあるなど個人内での動作の安定度が低いことが判明した。

以上のように、タタキの振幅、リズム、スピードなど、観察や撮影のみでは詳細なデータの抽出が難しく、また言語化が困難であるような情報に関して、客観的で検討可能なデータを得ることができた。

## おわりに

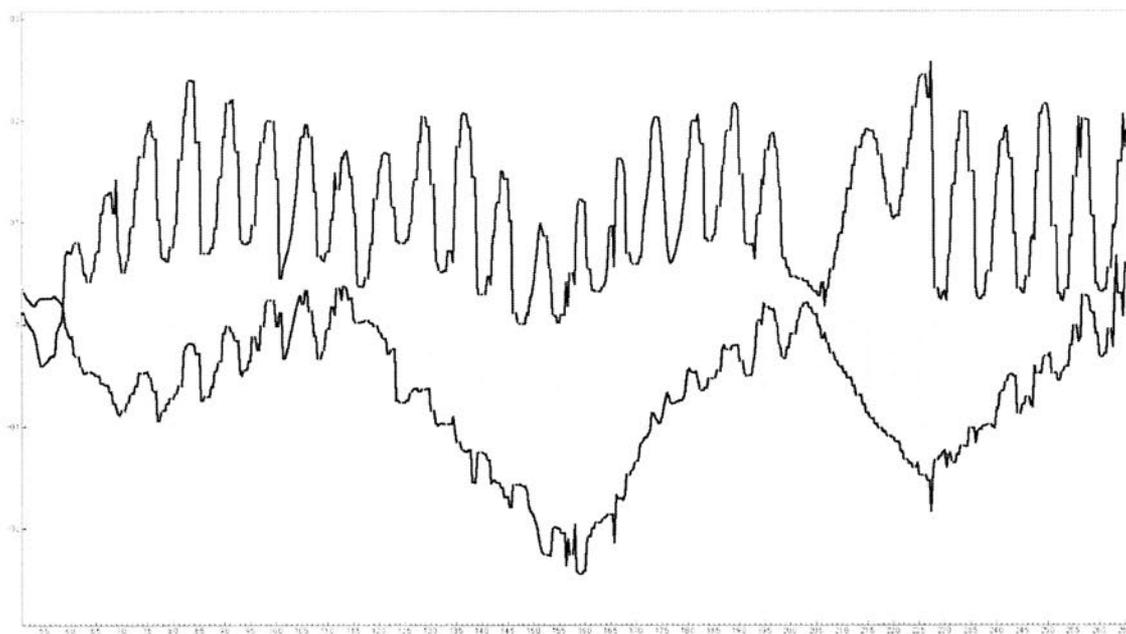
従来の土器製作研究において欠落しがちであったのは、具体的な動作や身体技法であり、またリズムやスピードであったといえよう。また、そうしたものをつぶさに観察できる民族考古学的調査においては、動作や身体技法の客観的な把握という点で不十分だったのではなかろうか。それに対して動作解析は、製作者自身でさえ意識していない側面をもデータとして明らかにすることができ、有効であるといえよう。

こうした研究を重ねることで、土器に残った製作痕と製作者の動きを繋ぎ、その関係を説得力ある形で示さなければならぬ。そうすることで、考古遺物としての過去の土器への応用が可能になるからである。過去の製作者とその行為を復元するためには、多角的な検討を行う必要がある。その取り組みのためにモーションキャプチャーは有用なツールであると考えられる。衰微する伝統的土器製作にあっては、製作者の動作を記録として残すことは喫緊の課題ということができ、したがって、そのためにも普及を図りたい。



土器製作の場面。上半身を中心に身体の各部位を使ってリズムカルにタタキを行っている。

本研究は、科学研究費・基盤研究（B）（課題番号 21320150）の成果の一部である。



動作解析の結果（2次元）。タタキ板の動きを解析した結果。横軸は時間で、縦軸は動きの幅。リズムカルな動作が読み取れる。

## ペルー共和国パコパンパ遺跡出土金属製品の組成について

About the composition of metal materials of archaeological site Pakopanpa in Peru

○日高真吾 關雄二 (国立民族学博物館) 橋本沙知 (元興寺文化財研究所)

○HIDAKA SHINGO, SEKI YUJI(National Museum of Ethnology)

HASHIMOTO SACHI(Gangouji Institute of Cultural Property)

### 1. はじめに

パコパンパ遺跡はペルー北部、海拔 2500 メートルの山中に位置する形成期の強大な神殿遺跡 (写真 1) である。その時代の編年は、I 期と II 期の 2 時期に細分化され、I 期は紀元前 1200 年から紀元前 900 年、II 期は紀元前 900 年から紀元前 500 年と考えられている。

パコパンパ遺跡ではこれまで小規模な発掘がおこなわれてきたが、2005 年から現在にかけて大規模な発掘がおこなわれている。この大規模発掘は、国立民族学博物館とペルー国立サン・マルコス大学の合同調査であり、その中心的な役割を共同発表者の關雄二が担っている。

パコパンパ遺跡の発掘調査では、大量の銅製品が出土するとともに、2009 年には「パコパンパの貴婦人の墓」と名付けられた墓所から金製品が出土した。このたび研究発表者らは、調査団に参加してパコパンパ遺跡から出土した II 期の金製品および銅製品の蛍光 X 線分析を実施した (写真 2)。そこで、パコパンパ遺跡出土の金属製品の金属組成について報告する。



写真 1



写真 2

### 2. 蛍光 X 線分析の測定方法

本調査で用いた蛍光 X 線分析装置は、アワーズテック(株)製エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 100FA である。本装置は、小型軽量化が図られ、可搬型となっていることから、オンサイト分析が可能な装置で、今回の測定は大気中でおこなった。採用した測定条件を次に示す。また、すべての測定結果についてファンダメンタル・パラメータ法 (FP 法) を用いて、金 (Au)、銀 (Ag)、銅 (Cu)、鉄 (Fe) の成分比率 (wt%) を求めた。

[測定条件] X 線管球: モリブデン 管電圧・管電流: 40kV・20mA  
X 線照射径: 直径 3 mm 測定時間: 100 秒

### 3. 測定結果

金製品の測定結果を表1に、銅製品の測定結果を表2に示す。

### 4. 考察

分析をおこなった金製板状耳飾り一対については、金製板状耳飾り1の表面と裏面、金製板状耳飾り2の裏面の金が70%前後、銀が25%前後、銅が4%の値を示すのに対して、金製板状耳飾り2の表面は金が80%前後、銀が14%前後、銅が4%前後であり、明確な差がみられる。また、金製リング型耳飾りがほとんど銅を検出していないことに対して、板状耳飾りは明らかに銅が検出されていることが注目できる。なお、銅製品については8点の遺物から鉄分を多く含んだ銅製品であることがわかる。

### 5. まとめ

金製板状耳飾りで使用されている銅については、その成分量から人為的に加えられたと推察する。金製板状耳飾りは金製リング型耳飾りと比較しても銀の含有量が多く、いわゆる金の発色効果を狙った可能性もある。また、金製板状耳飾り2の表面と裏面の金の成分量の違いについては、現段階ではさらなる検討が必要と考えており、今後は電子顕微鏡等による断面観察も実施して、再検証したい。

銅製品については、鉄の成分量の多い遺物が確認できた。これら銅と鉄の関係性については、遺跡の土壌成分、さらにはX線透過試験やX線CTスキャンによる観察も含めて検討したい。

### 謝辞

本研究成果の一部は、科学研究費補助金科研費基盤（A）海外「先史アンデス社会における権力の生成過程の研究」平成19～22年度（代表者：關雄二 課題番号：19251013）と、平和中島財団国際学術共同研究助成「先史アンデス社会における権力の発生：パコパンバ遺跡貴人墓の分析」平成22年度（代表者：關雄二）によるものである。

資料名	Au(wt%)	Ag(wt%)	Cu(wt%)	Fe(wt%)
金製板状耳飾り1①表	68.020	27.938	3.859	0.184
金製板状耳飾り1②表	69.701	26.638	3.446	0.215
金製板状耳飾り1③表	69.587	26.564	3.649	0.200
金製板状耳飾り1①裏	70.697	25.896	3.138	0.269
金製板状耳飾り1②裏	69.607	26.316	3.676	0.400
金製板状耳飾り1③裏	68.754	26.394	4.339	0.514
金製板状耳飾り2①表	79.999	15.103	4.324	0.574
金製板状耳飾り2②表	81.059	13.624	4.828	0.489
金製板状耳飾り2③表	80.767	14.093	4.379	0.761
金製板状耳飾り2①裏	65.992	30.145	3.705	0.158
金製板状耳飾り2②裏	65.670	30.259	3.796	0.275
金製板状耳飾り2③裏	67.459	28.266	4.103	0.172
金製リング型耳飾り1①	94.061	5.150	0.479	0.309
金製リング型耳飾り1②	94.412	4.821	0.534	0.232
金製リング型耳飾り1③	94.065	4.932	0.833	0.170
金製リング型耳飾り2①	93.649	5.149	0.678	0.524
金製リング型耳飾り2②	94.756	4.641	0.387	0.216
金製リング型耳飾り2③	93.794	5.255	0.772	0.178

表1

資料名	Au(wt%)	Ag(wt%)	Cu(wt%)	Fe(wt%)
円錐形装身具	0.168	0.038	99.416	0.379
鑿型銅器	0.113	0.078	99.457	0.352
環状装身具	1.106	3.093	94.086	1.715
鑿型銅器	0.176	0.108	99.497	0.218
銅製針	0.395	0.094	96.049	3.461
銅製針	0.301	0.126	99.035	0.538
銅製針	0.615	0.933	97.354	1.098
銅製針	0.126	0.099	99.440	0.334
銅製針	0.010	0.082	99.795	0.114
銅製針	0.198	0.114	99.002	0.686
銅製針	0.458	0.099	96.995	2.448
銅製針	3.846	1.069	41.644	53.441
銅製針	0.120	0.055	99.178	0.646
銅製針?	0.052	0.238	99.585	0.125
銅製針	0.107	0.069	99.246	0.578
銅製針	0.131	0.183	99.248	0.439
銅製針?	0.348	0.101	92.267	7.284
鑿型銅器?	0.103	0.076	99.405	0.416
銅製留めピン	10.794	12.175	34.143	42.888
銅製針	7.185	1.829	65.649	25.337
銅製針?	8.362	3.360	60.466	27.813
銅製留めピン	1.403	0.943	30.106	67.548
銅製留めピン	3.985	6.144	75.375	14.497
鑿型銅器	2.757	2.045	65.522	29.676
鑿型銅器	2.504	5.584	65.325	26.586

表2

## 同位体化学分析による西アジア先史時代埋葬人骨の食性と年代 Dietary evidence and dating by Isotopic analysis of burial bones from prehistoric West Asia.

○板橋悠（東京大 新領域創成科学研究科），常木晃（筑波大 人文社会科学研究科），  
米田穰（東京大 新領域創成科学研究科）

○Yu Itahashi (Integrated Biosciences, University of Tokyo), Akira Tsuneki (Humanities and Social Sciences, University Tsukuba), Minoru Yoneda (Integrated Biosciences, University of Tokyo)

### 1. はじめに

骨コラーゲンの安定同位体比分析による古人骨の食性分析は 1970 年代後半に開発され、過去の食性を定量的に評価可能な手法として、その利用される遺跡数を増やしている。また人骨そのものを用いた放射性炭素年代測定は個人が死亡した年代を示すため、墓地の利用された年代を議論する上で重要な手がかりとできる。西アジアの新石器時代は農耕の開始という生業の転換期にあたり、生業と密接にかかわる食性は注目される研究対象の一つといえる。西アジアで伝統的に行われてきた、ムギ類を中心とした栽培とヤギ・ヒツジに代表される牧畜の 2 つを柱とした農耕の開始は、新石器時代になって現れる巨大な集落、その後の多くの人口を抱えた都市成立のための重要な要素であったと考えられる。

本研究ではシリア・アラブ共和国の北西部に位置するテル・エル・ケルク(Tell el-Kerkh)遺跡より発掘された人骨試料において、炭素と窒素の安定同位体による食性分析と放射性炭素年代測定を行った。ケルクの大型テル複合体を構成する 3 つのテル型集落遺跡の一つであるテル・アイン・エル・ケルク(Tell Ain el-Kerkh)遺跡からは、土器新石器時代の屋外型共同墓地が発見されている。この墓地は、先行する先土器新石器時代で見られる住居内への個人埋葬や集団埋葬とは異なり、集落内のオープンスペースに埋葬専用の墓域を設けて死者を埋葬したものであり、現在判明している西アジアで最古の屋外型共同墓地と捉えられる。土器新石器時代中期に当たる 4~6 層の 200m<sup>2</sup>ほどの墓域から、現在までに 240 体以上の人骨が発見されており、この墓地は少なくとも数百年間にわたって営まれ続けていたと想定される。

### 2. 実験方法

遺跡出土の埋葬人骨、動物骨の同位体分析から、当時の食性や埋葬形式との関係を考察した。骨組織中のコラーゲンの窒素安定同位体比  $\delta^{15}\text{N}$  と炭素安定同位体比  $\delta^{13}\text{C}$  は採食により動物の体内に取り込まれた食物に含まれていたタンパク質の同位体組成に基づいており、試料の同位体組成から個人が食べていた食物を逆算することが可能である。

骨試料で NaOH によるアルカリ洗浄、HCl による脱灰を行い、加温によりゼラチン化したコラーゲンを抽出した。抽出されたコラーゲンで元素分析・質量分析計(EA-IRMS)による安定同位体分析と AMS 法による放射性炭素年代測定を行った。

抽出されたコラーゲンの窒素量と炭素量のモル数比(C/N)が 2.9~3.6 の範囲から外れた試料は、外来成分の混入があると判断し除外した。

本研究ではテル・アイン・エル・ケルク遺跡 4~5 層出土人骨 27 個体、5~6 層出土人骨 12 個体、6 層出土人骨 10 個体で安定同位体分析を実施した。

またテル・アイン・エル・ケルク遺跡 4~5 層出土人骨 2 個体、5~6 層出土人骨 2 個体で、東京大学大学院工学系研究科 タンデム加速器研究施設(MALT)において加速器質量分析(AMS 法)により  $^{14}\text{C}$  年代測定を実施し、OxCal4.1 にて IntCAL09 を用いて暦年校正を行った。

### 3. 結果と考察

テル・アイン・エル・ケルク新石器墓地の各層位の傾向では、第 5~6 層と第 6 層の  $\delta^{15}\text{N}$  値では有意な差は表れなかった (t 検定、 $P = 0.13 > 0.05$ ) が、第 4~5 層と第 6 層 (t 検定、 $P = 0.00794 < 0.05$ )、また第 4~5 層と第 5~6 層 (t 検定、 $P = 0.00004 < 0.05$ ) では有意な差が表れた。第 5~6 層、第 6 層と比べ第 4~5 層出土人骨の  $\delta^{15}\text{N}$  は高い傾向を持つ。  $\delta^{13}\text{C}$  も各層位毎に異なる傾向が見られ、  $\delta^{15}\text{N}$  では有意差の表れなかった第 5~6 層と第 6 層にも  $\delta^{13}\text{C}$  では有意な差が

見られた (t 検定、 $P = 0.0132 < 0.05$ )。ケルク遺跡より出土した動物骨の安定同位体を測定した結果、草食哺乳類内でも動物種によって異なる値を示すことが分かっている。各層位の人骨が異なる傾向を示す理由として、時代により動物性食物の利用量や主に利用された動物種が異なっていたことが考えられる。しかし全体として墓地に埋葬されている集団の同位体比はコムギ、マメなどの C3 植物と草食哺乳類の同位体比の間に位置しており、栽培と牧畜を中心とした西アジア型農耕の傾向を示している (Fig. 1)。

また年齢による  $\delta^{15}\text{N}$  の傾向 (Fig. 2) を見ると、4~5 歳以下の乳幼児では高い値を示す個体が多い。授乳下の乳児は母親よりも一段階高い  $\delta^{15}\text{N}$  を示すことが知られており、5 歳以降の個体では乳幼児よりも  $\delta^{15}\text{N}$  が低くなる (t 検定、 $P = 0.039 < 0.05$ )。しかし 4~5 層においては 20 代後半から 30 代前半の 9 個体中 6 個体が 9‰以上、40 代の 2 個体も 8.8‰、9.4‰と若い個体よりも高い  $\delta^{15}\text{N}$  を示した。4~5 層の 20 代後半以降の個体の一部が乳幼児と同等の高い  $\delta^{15}\text{N}$  を示す理由については、これらの個体毎の情報をさらに精査する必要がある。

埋葬には成人男性だけでなく、女性や子どもでも副葬品の共伴例が確認されている。副葬品の有無では同位体比に有意差が見られなかった (t 検定、 $P = 0.87 > 0.05$ )。また性別が同定されている個体で性別による同位体比の有意差は見られなかった (t 検定、 $P = 0.89 > 0.05$ )。

人骨コラーゲンにて年代測定を行った結果 (table. 1)、4~5 層の 2 個体が 6058 ~ 5916 cal BC (1  $\sigma$ )、5835 ~ 5665 cal BC (1  $\sigma$ ) と 5~6 層の 2 個体が 6415 ~ 6252 cal BC (1  $\sigma$ )、6474 ~ 6252 cal BC (1  $\sigma$ ) との年代が示された。4~5 層出土の炭化物の  $^{14}\text{C}$  年代測定では 6200 ~ 5900 cal BC との年代が示されており、6 層以下の年代はこれらよりも遡ると考えられる。

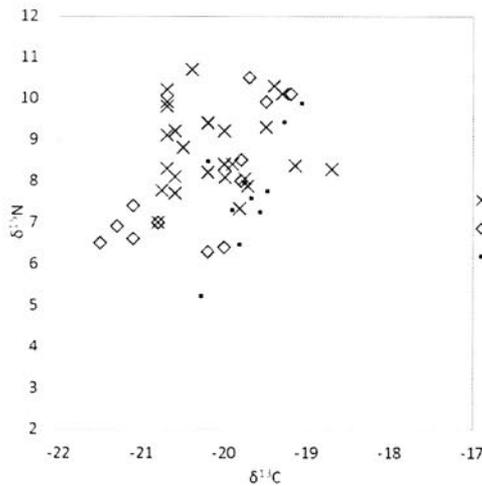


Fig. 1

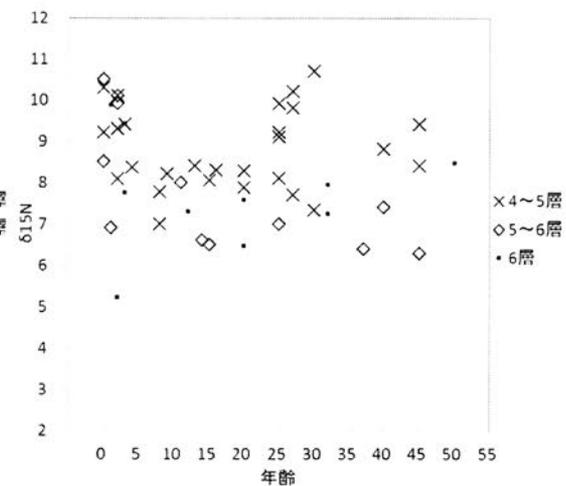


Fig. 2

sample no.	$^{14}\text{C}$ -age(BP)	cal BC 1 $\sigma$	cal BC 2 $\sigma$	Layer
STR519	7115 $\pm$ 68	-6058~-5916	-6203~-5840	第4~5層
STR926	6855 $\pm$ 80	-5835~-5665	-5968~-5624	第4~5層
STR825	7468 $\pm$ 79	-6415~-6252	-6469~-6107	第5~6層
STR830	7548 $\pm$ 80	-6474~-6266	-6567~-6236	第5~6層

Table. 1

参考文献

A.Tsuneki 2010 『A newly discovered Neolithic cemetery at Tell el-Kerkh, northwest Syria』  
 『Proceedings of the 6th International Congress on the Archaeology of the Ancient Near East, Volume 2』  
 Harrasowitz Verlag, Wiesbaden. p697-713

## 輪郭形状解析による出土馬歯の形態分類に関する基礎的研究 Study of phenotypic variation among excavated horse teeth based on elliptical Fourier analysis

○植月学(山梨県立博物館)・津村宏臣(同志社大学文化情報学部)

○Manabu Uetsuki (Yamanashi Prefectural Museum), Tsumura Hiro'omi (Faculty of Culture and Information Science, Doshisha University)

### はじめに

馬歯は馬の体の中でもっとも強度があり、普遍的に出土する。また、歯の形態は環境や生活習慣などによる後天的変化が少なく、遺伝による形質をより直接的に反映していると考えられる。馬歯を活用することができれば、馬の形態・系統に関する議論も大幅に進展する可能性が高い。そこで、本研究では馬歯から直接的に個体間の近縁性を検討するために、楕円フーリエ解析による臼歯エナメル質(咬合面)輪郭形状の比較という新しい手法を試みた。この手法では従来の2点間の直線的な計測値の比較に比べて、より複雑な生物の形状を数値化できるという利点があり、様々な動物の系統や家畜化にともなう形質の変化の研究において成果を挙げつつあるが、馬歯への適用は現生、出土品共に国内外に例がない。

### 資料と方法

分析に用いたのは山梨県内の遺跡群、茨城県村松白根遺跡、青森県根城跡、岩手県野田遺跡、北海道勝山館跡の出土標本、および現生標本(西洋種)である。出土標本の年代は山梨県については古墳時代、平安時代、および中世を含み、その他は中世後半～近世初頭を主体とする。今回は上下各6種類ある臼歯のうち、上顎の第一後臼歯のみを対象とした。

はじめに馬歯咬合面を撮影し、エナメル質の輪郭をトレースした。次に、楕円フーリエ解析ソフト SHAPE (Iwata & Ukai 2002) を用いて楕円フーリエ記述子によって楕円近似次数に対応する楕円方程式係数を析出し、次元縮約のため主成分分析を実施した(図1)。

### 結果

現生と出土標本は明確に分離された。前者は西洋種であり、出土標本とは明らかに系統が異なるので、この点は本手法が馬歯形状による馬の系統分類について一定の有効性を持つことを示す。そこで、現生を除いて再度主成分分析をおこなった。図2には第1主成分と第2主成分の得点分布を示した。遺跡名の後のアルファベットは個体を示す記号である。同一名称は同一個体の左右を表す。

出土品では山梨県と北日本の標本で一部重なるものの、主な分布域には差が認められた。詳細に見ると、北日本でも根城跡(青森)と野田遺跡(岩手)は分布が異なり、勝山館(北海道)の2個体はかなり差が大きい。山梨の中世標本は変異が大きく、複数の標本が含まれる大師東丹保や二本柳の結果からは遺跡内での変異の大きさも見て取れる。茨城県村松白根遺跡は一部例外はあるが、おおむね北日本と山梨の境界付近にプロットされた。点数が少ないため確実性を欠くが、以上の傾向は北日本から中部日本へという地理的変異と対応し、馬歯形状の地理的クラインが示されている可能性も考えられる。

次に年代差を検討する。年代が大幅に異なる標本が得られているのは山梨のみだが、古墳時代の2遺跡(塩部、お舟石)、および平安時代の朝気遺跡は北日本と山梨の境界付近にまとまった。馬の導入期においては形態変異に乏しく、時代が降るとともに変異が大きくなった、あるいは新品種の導入、交雑が進んだことを示している可能性がある。ただし、点数の少なさによる偶然である可能性も排除できないので、資料をさらに蓄積していく必要がある。

以上のように、本手法は地域間の形状の差異を識別する上で一定の有効性を持つと評価できる。これは、遺跡内での個体群の形態変異の大きさ(多様性)を評価することにつながる。また、個体群の中で、外来・移入の要素を識別することも可能である。例えば二本柳遺跡のCは北日本の分布域に入り込んでおり注目される。本手法単独ではその意味するところを解釈するのは難しいが、古DNA分析や同位体による産地推定(覚張他 2009)、歯冠長によるサイズ区分(植月 2011)などと組み合わせて検討することで、馬産の方法や流通についてより詳細な議論が可能になると期待される。

今後さらに他の歯種も対象とし、地域、時代を広げて分析を進めていく。同時に、現生和種の品種間での差の程度や加齢による馬歯形状の変化についても検討を加えていく予定である。

謝辞: 資料の調査にあたっては、以下の諸氏のご協力を賜った。記して感謝申上げる。  
 大寫正之氏(甲斐市教育委員会)、小笠原善範氏(八戸市立博物館)、櫛原功一氏・平野 修氏(帝京大学山梨文化財研究所)、小林健二氏(山梨県埋蔵文化財センター)、齊藤邦典氏・塚田直哉氏(上ノ国町教育委員会)、高田和徳(御所野縄文博物館)、西本豊弘(国立歴史民俗博物館)、保坂康夫氏・石神孝子氏(山梨県立考古博物館)

植月 学 2011 「出土馬歯計測値の比較のための基礎的研究」『動物考古学』28  
 覚張隆史・植月 学・米田 穰・中野孝教・湯本貴和 2009 「同位体化学分析による中世馬の産地識別と形態学的特徴との関連性—山梨県の中世馬産の研究—」『日本文化財科学会第26回大会研究発表要旨集』378-379  
 Iwata, H. and Y. Ukai (2002) SHAPE: A computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. Journal of Heredity 93: 384385

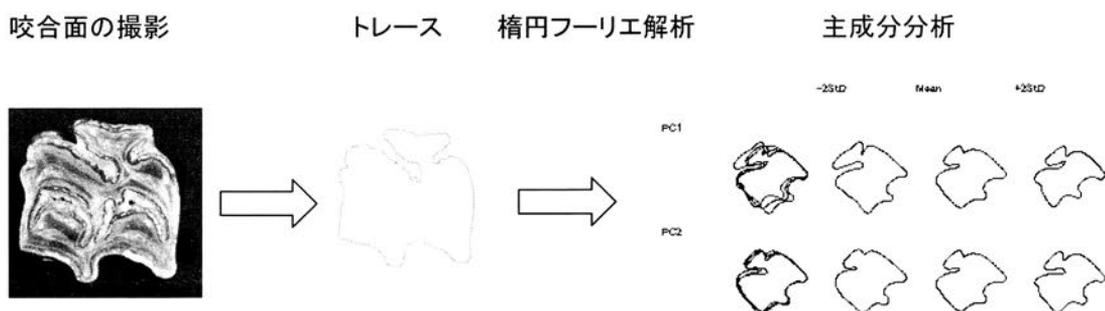


図1 分析の手順

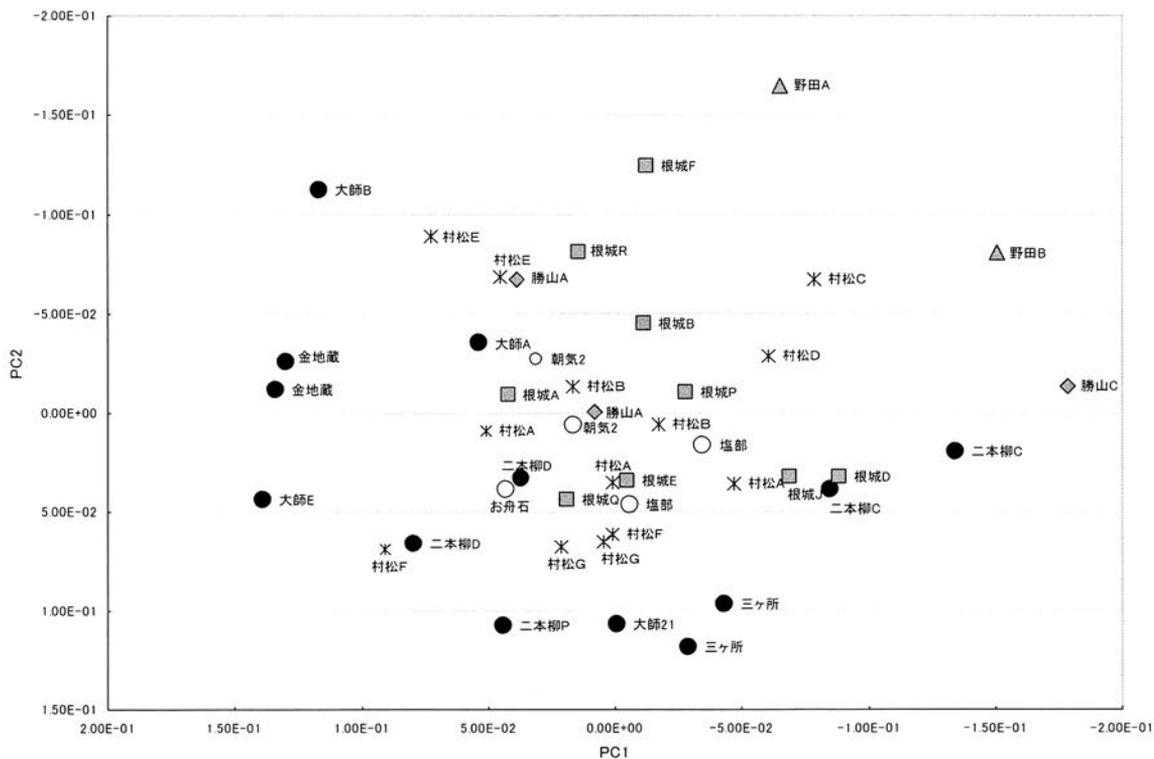


図2 ウマ上顎第一後臼歯輪郭形状の主成分得点分布

## 三次元形状計測による石製鋳型の銅鐸の分析

### Analysis of bronze bell-shaped vessel by three-dimensional digital archive technology

○水野敏典、北井利幸、○奥山誠義、青木政幸

MIZUNO TOSHINORI, KITAI TOSHIYUKI, OKUYAMA MASAYOSHI, (Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture) (AOKI MASAYUKI, The Tatsuuma Collection of Fine Art)

#### 1. はじめに

本研究は、各地に分散所蔵される考古資料をデジタル化し、一覧できる新たな研究の場の構築を大目的として、考古資料の三次元形状計測を行ってきた。その中で「銅鐸から銅鏡へ」の製作技術の解明を目指している。土製鋳型による「兄弟銅鐸」の比較（水野他 2010）をうけて、今回は、石製鋳型を用いたとされる「兄弟銅鐸」の計測を行った。

#### 2. 資料としての石製鋳型をもちいた兄弟銅鐸

石製鋳型を用いたとされる銅鐸の特徴は、土製鋳型を用いたとされる銅鐸と比べ、文様の細部が不明瞭である。今回、分析対象としたのは、辰馬考古資料館所蔵の辰馬 407 号銅鐸と辰馬 417 号銅鐸であり、良好に計測できた。

#### 3. 現象

①2 個体間の比較において AB 面の左右のズレが大きく、A 面を基準にすると鐸身上端で左右方向に最大 5 mm ほどのズレを確認できた。そのため、立体物としての収縮、差違の確認には、各面毎に行った。

②2 個体間の形状データを重ねた結果、ヒレおよびヒレ付近の鐸身にズレが目立つものの、基本的な形状は一致し、明確な収縮は認められなかった。

③407 号の範傷は、414 号において形が崩れるなどの変形が確認できた。

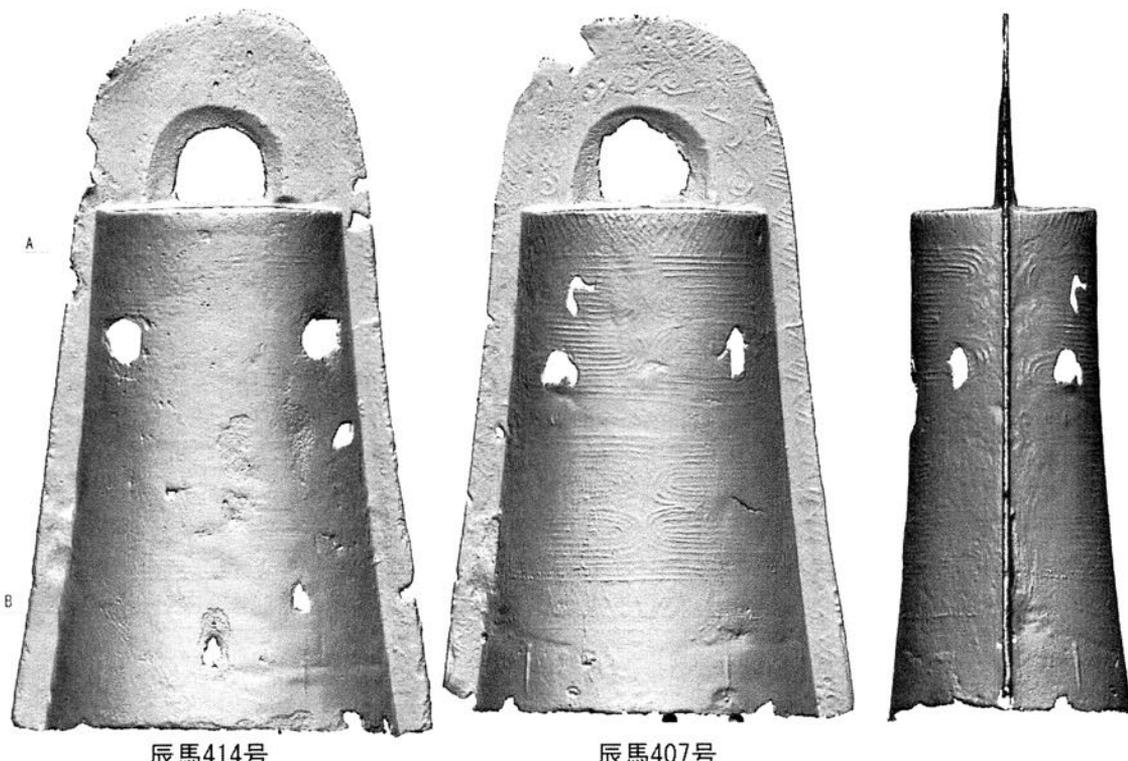
④文様は、407 号が 414 号にくらべて比較的明瞭である。確認できる部分は少ないが範傷を共有し、文様の歪みの形状も共有することを確認した。

⑤ヨコ断面では、ヒレ付近の鐸身形状に変化がみられ、ヒレは 407 号よりも 414 号の方が全体に分厚い。

⑥414 号の AB 面をデータとして切り離し、片面を反転して重ねたところ、一定のズレは確認されるものの曲面体として、特に鐸身中央部は大まかに合致した。

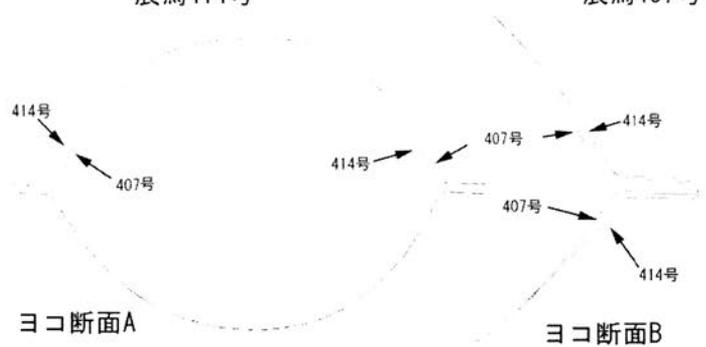
#### 4. まとめ

2 点の銅鐸は、範傷の一部を共有する同一の鋳型から派生した製品であり、範傷と形状変化の傾向から 407 号→414 号の製作順序が想定される。明確な収縮は確認できず、踏み返し技法が用いられた可能性は低い。ヒレとヒレ付近の鐸身の形状変化は、土製鋳型と同様に連続製作による鋳型表面の剥落によるものであり、その一部は真土等で補修を行ったと予想される。曲面体としての AB 面の近似および差違は、元型による成形が困難な石製鋳型とすれば、鋳型製作技法を示す重要なデータとなる。また、鋳造時の AB 面のズレも、鋳型構造に関わる情報であり、今後、他の「兄弟銅鐸」および鋳型資料での検討が必要である。



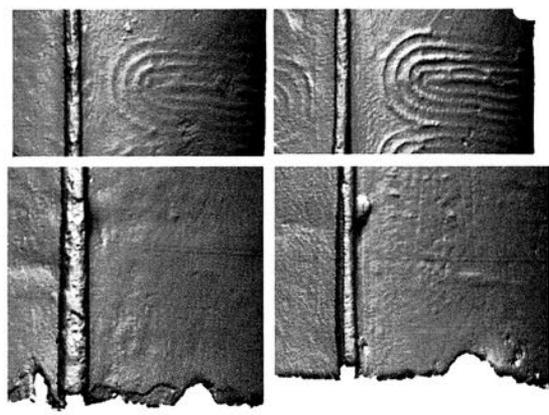
辰馬414号

辰馬407号

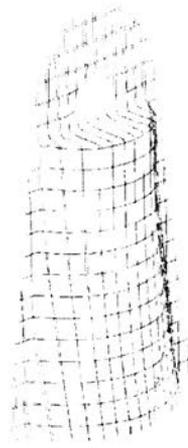


ヨコ断面A

ヨコ断面B



左が414号  
右が407号



辰馬414号のA面と  
B面を分割し、B面を  
反転させて、AB面の  
曲面の重ねて比較

図1 辰馬407号・414号銅鐸の比較

使用機材 ATOS (ドイツ GOM 社製)  
 本研究は、高橋健太郎、増永光令より技術的な協力を受け、また下記の機関の協力を得た。  
 財団法人辰馬考古資料館、奈良県立橿原考古学研究所  
 本研究は、財団法人由良大和古代文化研究協会からの研究助成成果の一部である。

## 無形文化財としての「呪術」の分析手法の開発

### ーフォーマライゼーションによる行為のモデル化ー

Development of analytical approaches to the "magico-religious" intangible cultural properties.

- Modeling of the behavior with formalization -

○津村 宏臣（同志社大学文化情報学部）， 亀山 高穂（同志社大学文化情報学研究科）  
○TSUMURA HIROOMI（Faculty of culture and information science, Doshisha University），  
KAMEYAMA TAKAHO（Graduate School of culture and information science, Doshisha University）

#### 1. 文化遺産の情報化と解析の新しい方向性

従来、無形文化遺産の“科学的”アプローチの方法として、音声や言語、口頭伝承の録音、伝統工芸など諸技術の動作や所作、あるいは文化空間芸術としての芸能や踊りの映像化などの方法が採用され、研究資料として情報化され蓄積されてきた。また、近年では多次元・計量的な観点から、それらの技術がデジタル化されたり、Motion Capturingのような新しい計測技術が一般化されたりしつつある。だが、そうした定量／デジタルという手段が、諸文化現象の意味論的本質理解のための方法論の“科学性”の担保となるわけではない。定量／デジタルデータによって情報化することと、文化現象の理解の“科学性”の狭間には、未だ大きな溝が存在している。

本研究では、この資料情報と現象理解の間を“行為の（数理）モデル化”によって充填する Middle Range Theory（中範囲理論；中位理論）を新たに開拓し、その有効性について議論したい。この Middle Range Theory による文化現象理解は、人類行動の客体的所産ー有形文化財ーについては、考古学などの分野において進められてきた。本研究は、対象として人類行動の主體的所産ー無形文化財ーに着目し、その中でも特に「呪術（および祭祀行為）」について具体的なモデル化を進める。

#### 2. 呪術とフォーマライゼーション

フォーマライゼーションは、社会学などで実践されている方法論で、現象を説明する「理論的アイデア」を明確化する際に数理的／演繹的な記述によってこれを行う。より簡潔に言えば、「現象の骨格（本質の意味）を言説ではなく数学を用いて説明」し一般化する方法である。現象における問題事項そのものだけでなく、着眼、概念、モデルに至るすべてが説明対象となる。まず、ある現象を現象学的な意味で一般命題化する。この際、一般的に現象は時間によって変化する関数関係で理解可能とし、時間で微分するモデルが想定されることが多い。別の場合にはその現象を支える人々の人口や経済力など様々な変数が微分項となることがあるように、現象の本質の部分にどのような固有の背景（変数）が存在するかを現地調査や資料調査の中から導き出す点は従来の記述的方法論と変わるころではない。

呪術については、すでにフレーザー、マリノフスキー、レヴィ＝ストロースなど、多くの人類学・民族学者によって議論が深められている。また、呪術と関連する形で宗教を捕らえるか否かを、フレーザーのように別と考える立場と、オットーのような同次元の別カテゴリーの実態と考える立場とが並立している。さらにレヴィ＝ストロースが議論したように、呪術と科学にも共通点と相違点とが認められている。本研究で呪術のフォーマライゼーションが可能となれば、その構造比較を通じて、宗教や科学が同一の構造をもった現象や概念なのか、あるいはそうでないのかについて検討できるようになる。

本研究では、呪術の一般命題として、マリノフスキーの議論を参照に下の命題を考える。

- ① 人々の「現在抱える不安要素」は、功利的欲望や自己実現の感情の要因となる。
- ② 人間の功利的欲望や自己実現の感情が高まれば、呪術者によって呪術が実行される。
- ③ 呪術は他者を「聖なるもの」へ到達させ、擬似的に不安を解消させる傾向に向かう。

### 3. 命題のモデル化

「現在抱える不安要素」を $Ac$  (Current Anxiety), 功利的欲望や自己実現の感情を $P$  (Passion), 呪術量を $M$  (Magic), 「聖なるもの」を $S$  (Sage) とすると, 呪術の①~③の命題は,

$$\frac{dAc}{dt} = xP - zM \dots ① \quad \frac{dM}{dt} = S - yAc \dots ②$$

(ただし,  $x, y, z > 0$ )

となる。①は, 呪術が欲望や感情に働きかける仕組み, ②は呪術量の変化が聖なるモノへの到達と不安解消となる状況をそれぞれ示している。

①式の  $xP$  は, 術者個人が被術者の感情や欲望を意図的に一方に保つため, これを  $i$  (individual) ( $>0$ ) と置換すると, ③になる。

$$\frac{dAc}{dt} = i - zM \dots ③$$

各パラメータは, パラメータ $y$ が不安解消の為の“疑似化係数”, パラメータ $z$ が,  $M$ がパフォーマンスについて説明しているのだから, “名目的呪術係数”と考えることができる。

この②③式のダイナミクスは次のようになる。まず, 2式の均衡点は, 左辺をゼロにおいて $M$ と $Ac$  ( $=S$ ) に関して解けば,  $M = i/z$ ,  $S = Ac = 0$ となるため, 均衡点は $(M^*, Ac^*)$ となる。均衡点における呪術量は,  $i$ を $z$ で割る値であり, 名目的な呪術が大きい(迫力大)ほど, 呪術量の均衡点はゼロに近づくことを示している(その逆も同様)。ここで, 現実の呪術と呼ばれるモノが多様性に富み定義が困難である実態については, この均衡点の挙動が証左となる。また, 術者と施術が全く同じであっても, 「聖なるもの」への到達過程や時間が同様ではないため, 一般に呪術が均衡点にとどまることは考えにくい。そこで, 均衡点近傍でテイラー展開で均衡の安定性を測る。

$$\frac{dV_1}{dt} = -zW_1 \dots ④ \quad \frac{dW_1}{dt} = yAc \dots ⑤$$

(ただし,  $V_1 = Ac - Ac^* = Ac$  および  $W_1 = M - M^* = M - \frac{i}{z}$ )

さらに, ⑤式を $V_1$ と $W_1$ に関してとくと,

$$\frac{V_1^2}{z} + \frac{W_1^2}{y} = K \dots ⑥$$

となり,  $Z=i$ の時のみ真円形の楕円関数となる。

次に, この関数について, Fig.1の点 $r$ について, このシステムの回転(循環)方向をみる。Ac と $M$ からプラス方向にある点 $r$ は, ④⑤の「現在抱える不安要素」の変化率 ( $dV_1/dt$ ) が負であること, 併せて呪術の変化率 ( $dW_1/dt$ )が正であり, 両者を合成すると右回りの楕円軌道を描くことになる。

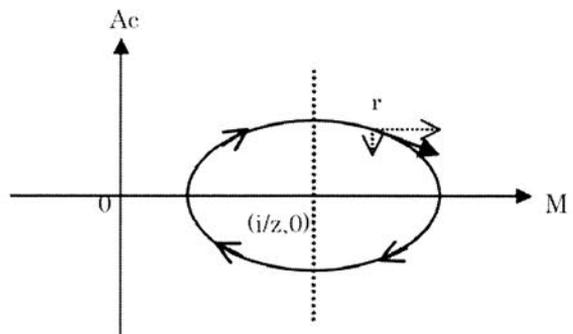


Fig.1 呪術の円環モデル

### 4. 結論

このフォーミュライゼーションの作業から, 次のような呪術の文化行動の一般特性を導くことができる。まず, 点 $r$ そのものの挙動から均衡点が「現在抱える不安要素」の増減を左右する分岐点であり, 被施術者の不安解消の擬似的効果の表出と消失の特徴点が存在することがわかる。人類学や民族学で議論される“聖俗”の対置概念を数理的に証明するモデルとなっている。また, 楕円軌道の形状の特に正円形となるとき, 呪術が名目上の功利的欲望や自己実現の感情の解消と同一になり, 原因と結果が直接結びついたケースを指している。これがレヴィ=ストロースの言う“科学”の状況とも理解できるだろう。

## 文化遺産写真記録のための簡易オルソ画像作成 Easy ortho image creation for the archiving of cultural heritage photograph

○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），  
田中 良明（相互技研），田中 孝之（相互技研），内山 幹夫（相互技研）  
○TSUMURA HIROOMI（Faculty of culture and information science, Doshisha University），  
Usami Tomoyuki（Graduate School of culture and information science, Doshisha University），  
Tanaka Yoshiaki(Sogo-Giken), Tanaka Takayuki(Sogo-Giken), Uchiyama Mikio(Sogo-Giken).

### 1. 本研究の位置づけ

文化遺産の CRM において，特に現地調査（踏査）における発生情報の最も多くの部分を，デジタル写真が占める場合が少なくない。特に，継続的なモニタリングを必要とする場合には，位置情報と写真とメモ，といった簡易な情報を蓄積していく状況が想定される。現状では，多くの現場でメタデータを付されていないこうした情報の塊を保管する方法が採用されているが，将来的な活用のためには，それらをアーカイブとしてシステム化し，情報から知識を引き出せる仕組みを構築することが，文化遺産情報研究の課題である。

本研究では，そのうち写真データのアーカイブに際して必要な，メタデータの入力や位置情報の確定，並びにデータベース内で写真相互を画像情報として検索・抽出可能なシステムを開発するため，入力すべき写真をすべて空間座標系で標準化して入力する方法を検討する。その際，重要なことはすべての写真に簡易に空間座標を付置することであり，そのためには3次元空間座標系に従ったオルソ画像作成が簡易に行える必要が生じる。

従来の厳密なオルソ画像作成には多大な時間と労力を必要としたが，実際の成果物レベルで考えれば，どの程度の“オルソ化”ができればよいかには検討の余地が残る。被写体のおおよその位置が確定でき，バルクの座標情報で膨大な写真と比較・検証できるシステムの構築が必要なのか，数 mm 単位での誤差が検索結果を大きく左右するシステムが不可欠なのかという問題である。報告者らは，これまで様々な文化遺産の時空間情報に関わるアーカイブの実態と検証を重ねて，おおよそ前者が実現されることが，文化遺産写真記録のアーカイブに資するとの結論に至った。

### 2. システムの実装

同志社大学文化遺産情報科学研究センターでは，3D-GIS を基盤技術とした写真アーカイブのためのデータベースを開発・実装を進めており（東京文化財研究所との共同研究「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」他：Fig. 1），それらのシステムの入力インターフェイスとして機能することを前提とした。

写真のメタデータについては，エグジフ：Exif（Exchangeable image file format）メタデータを個々の写真について自動で読み取りとし，さらに Dublin Core に準拠した写真メタデータを編集できるよう設定した。なお，編集可能なメタデータは Table. 1 で一部は Exif からの自動読み取りである。

システムは Java で記述・実装され，実行は無償の Adobe AIR（© Adobe Systems）上で行われる。



Fig.1 敦煌石窟（写真）アーカイブシステム

Table.1 写真メタデータ

・Name	→ 投稿者の名前(所属する団体)
・ID	→ 写真 No.
・Target	→ 撮影対象物(遺跡名、遺物の場合はその名称)
・artist	→ 撮影者(個人名)
・date	→ 撮影日
・lat long	→ 緯度経度
・data format	→ オリジナルデータのデータ形式
・camera type	→ 撮影に使用したカメラタイプ (Exif から転記)
・size	→ オリジナルデータのサイズ(Exif から転記)
・shutter speed	→ シャッタースピード (Exif から転記)
・aperture	→ 絞り値 (Exif から転記)
・copyright	→ コピーライト
・comment	→ コメント
・image	→ 写真

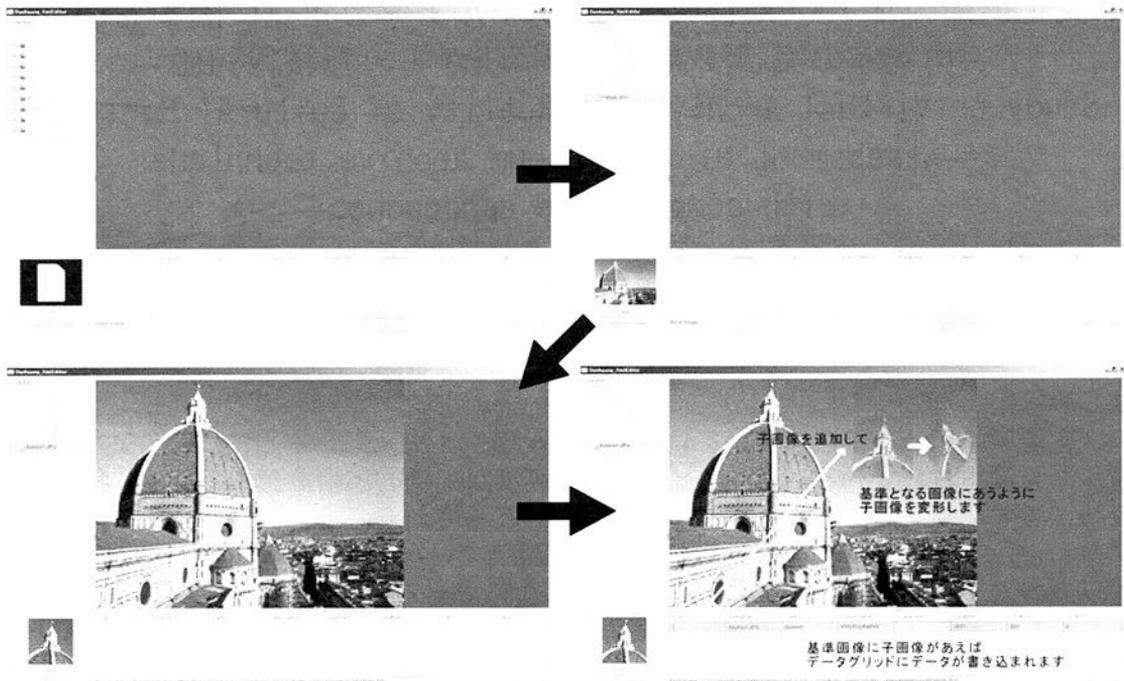


Fig.2 システムの利用画面

### 3. システムと簡易な操作

- ① メインウィンドウ、左側の作業ディレクトリ設定で、写真が格納されているディレクトリ（フォルダ）を指定する。
- ② ディレクトリ内の「基準座標の付された画像」を“LoadBaseImage”ボタンからダイアログを開き読み込む。この「基準座標が付された画像」とは、geotiffファイルのように、正しい空間座標値が属性値として付された画像、ないしはbmpやjpgファイルの場合のようにピクセルの地番が空間座標値となっている画像のこと。
- ③ 同じ左側のファイルツリーから、編集したい（空間座標を付けたい・メタデータを編集したい）画像を選択し、ウィンドウ下の“Add”ボタンを押すと、ベース画像の上に被編集画像（：以下子画像）が読み込まれる。
- ④ 子画像はメインウィンドウ内では、画像のドラッグ&ドロップで移動、トラックないし右下のハンドルで拡大／縮小、子画像エッジ部分をドラッグすると画像の任意角度で回転する。また、子画像の各4すみは、それぞれ単独にドラッグ&ドロップでき、「基準座標が付された画像」の指定の位置に4すみをそろえると、元の子画像がその方向に“引っ張られた”画像に変化する
- ⑤ ウィンドウ下部のデータグリッドでメタ情報、データベース格納時のタグ情報を閲覧・編集（サンプル画面では Caption, ImageType, ImageCategory, LocationX, LocationY など）が可能。
- ⑥ ウィンドウ右下の“Output CVS File”ボタンを押すと、メタデータと4すみの座標値がタグ付けされたカンマ区切り形式のデータで出力・保存され、同様に子画像の位置を示す矩形データ（Fig.1のピンの部分）が生成される。
- ⑦ 保存されたCVSファイルと原画像をサーバーにアップロードする

### 4. 結果とシステムの有用性

従来の“正確”なオルソ画像作成方法は、コストパフォーマンスの面から、逐次的に蓄積されるメモ写真のアーカイブには向いていない。本システムの実装とデータベースの併用により、多くの写真がレイヤーとして格納され相互参照可能となる点は重要である。また、マウスによる直感的操作による点も、ユーザーフレンドリィといえる。

# 文化遺産のリアリティーとバーチャルアーカイブに関する研究 —博物館の実状調査と比較解析からみた技術評価— Study on Virtual Archive and Reality of Cultural Heritage —Assessment of the Museum archive technique with comparative approaches—

○渡邊俊祐(同志社大学文化情報学研究科)  
SHUNSUKE WATANABE (Graduate School of Culture and Information Science)

## はじめに

文化遺産のアーカイブについては、デジタル化や3次元化を中心に、様々な方法と技術が開発適用されている。だが、どのような高度な工学的技術を適用しても、我々が調査時に感じたり、現物に触れたときにインスパイトされる“モノ”のもつ意味論的なリアリティーを保持したアーカイブの実践には至っていないように感じる。従って、研究者以外の人々が文化遺産に接したときのリアリティーや、その文化遺産の第一次当事者である製作者や使用者のリアリティーは、第三次当事者である研究者の科学的視座とは異なった実存の意味として“モノ”と同次元にあると考えられるため、文化遺産のリアリティーは、科学的視座のみからでは「保存し得ない」とも言える。

本研究では、この文化財のリアリティーについて理論的な検討を踏まえ、その理論や技術の実践の場としての博物館を調査対象として、どのようなバーチャリティーによってリアルをアーカイブしているのかについて検討する。この中から、「リアルバーチャリティー」としての文化遺産のバーチャルアーカイブについて展望する。

## リアルとバーチャルの概念論的關係

バーチャルリアリティーの分野で議論されてきたバーチャルとリアルの概念的な関係は次のようにまとめることができる (Fig.1)。

従来、バーチャルとリアルという用語の定義は、日本語では現実と仮想という対極に位置する意味と理

解されてきた。しかし、リアルから意味の検討を始めていくことで、直接的に繋がらなかったバーチャルとリアルが、間接的にほぼ同じ意味であり、同じ極相に位置する概念であると整理することができる。これらと対置される媒介実態には、サイバーがあげられる。バーチャルとリアルが概念上同義でありことからわかるように、現在の様々な情報技術を適切に組み合わせることにより、バーチャルリアリティーとデジタルアーカイブを融合した「リアルバーチャリティー」としてのバーチャルアーカイブは実現可能といえる。アーカイブに接する人々が、“モノ”に接したときと同様に、個々の経験と理解によって属性情報のオントロジーを紡ぎ出すこと、その無限のオントロジーが“再現可能な形と技術で情報を集積すること”がバーチャルアーカイブであると定義できる。

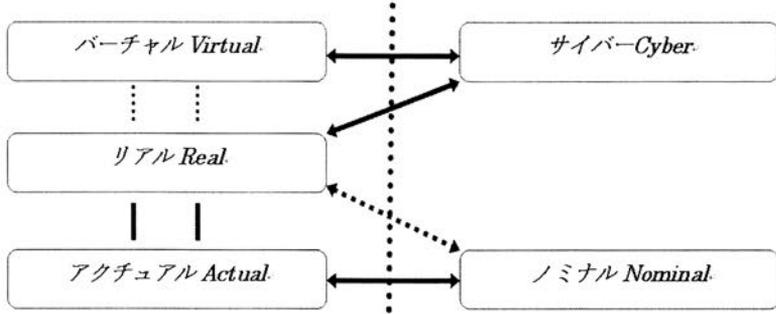


Fig 1 リアルとバーチャルとサイバーの関係図

## バーチャルアーカイブと博物館

バーチャルアーカイブと既存のデジタルアーカイブ・バーチャルリアリティー・博物館について、得意不得意の分野を研究史・現在の技術から検討した。その結果、データのアーカイブから蓄積・表現まで一貫して苦手としないものをバーチャルアーカイブとし、その基礎となっているものが博物館であるという結論に達した。そこで、バーチャルアーカイブの基礎研究とするため博物館の展示について比較調査を行った。

### 博物館の比較調査

将来的には全国の博物館を対象とする予定だが、本研究の現状では、西日本を中心とした 50 館を無作為抽出して現地比較調査を実施した。比較調査に使用した変数は、博物館学の展示の分類・バーチャルリアリティーの臨場感要素を基本とし追加の変数を加えたものを使用し、データを作成し分析を行った。

Fig2 は、作成したデータを多因子分析した結果を散布図に表したもので、開館年度別に 1979 年、1989 年、1999 年、2010 年までと 4 つのグループにスプリットした分布図である。年度を負うごとにグループの重心がアル方向性を持って遷移している状況を看取できる。

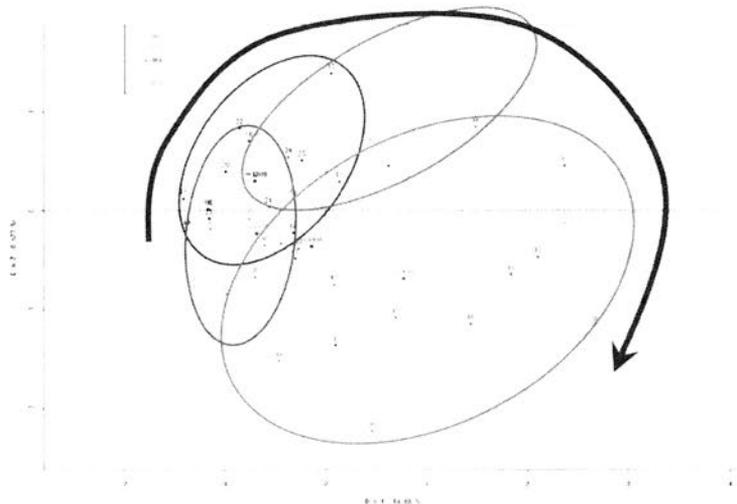


Fig 2 多因子分析散布図

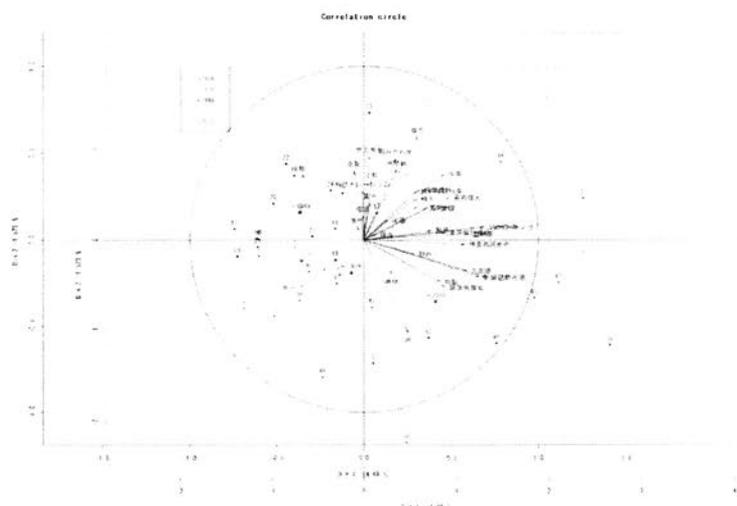


Fig 3 多因子分析因子ベクトルおよびサンプルの因子得点

そこで、この遷移の背景にある技術実態を明らかにしするために、多因子分析の変数ベクトルに博物館の因子得点プロット図を重ね合わせた (Fig.3)。

既存の展示方法（一方的な情報の提示など）では、観覧者が満足しないという認識が展示側にも認識され、動的に視覚を覆うことのできる臨場感要素の高いと言われる展示の導入により現在に至っているものと考えられる。

つまり、リアルバーチャリティーによって、'もの'という存在の情報にリアリティーという付加情報を加えるバーチャルアーカイブが、観覧者も満足する理想の姿であると言える。

## 文化財建造物塗装材料の分析(2) ～談山神社塗装の Pyro-GC/MS 分析～

Analysis of Painted Materials on Historical buildings (2)  
Application of Pyrolysis Gas Chromatography to Painted Materials on Tanzan·Jinja Shrine

○渡邊緩子<sup>1</sup>, 赤田昌倫<sup>3</sup>, 金旻貞<sup>1</sup>, 佐藤昌憲<sup>2</sup>, 舘俊秀<sup>5</sup>, 大林潤<sup>2</sup>,  
降幡順子<sup>2</sup>, 脇谷草一郎<sup>2</sup>, 田村朋美<sup>2</sup>, 高妻洋成<sup>2</sup>

1)住友金属テクノロジー株式会社 2)奈良文化財研究所 3)京都工芸繊維大学ベンチャーラボラトリー非常勤研究員

4)京都大学大学院 5)奈良県教育委員会

WATANABE HIROKO\*, KOHDZUMA YOHSEI\*\*, AKADA MASANORI\*\*\*,  
KIM MIN JUNG\*\*\*\*, SATO MASANORI\*\*, TACHI TOSHIHIDE\*\*\*\*\*, OBAYASHI JUN\*\*,  
FURIHATA JUNKO\*\*, WAKIYA SOICHIRO\*\*, TAMURA TOMOMI\*\*

\*Sumitomo Metal Technology, INC \*\*Nara National Research Institute for Cultural Properties,

\*\*\*Kyoto Institute of Technology, Venture Laboratory

\*\*\*\*Graduate School of Science, Kyoto University \*\*\*\*\*Nara Prefectural Education Board

### 1. はじめに

文化財建造物の塗装材料の調査においては、材料の劣化や後世の修理による塗り重ね等の資料自体の有する問題に加え、採取できる試料量に限りがあるため、その材質を正しく判断することが非常に困難になることが多い。そのため、微量の試料に対して精度のよい分析法を確立する必要がある。

今回、談山神社権殿の大修理にともない、塗装材料の調査分析を行った。過去の修理において複数の材料が使用されており、まず手始めに、層構造の顕微鏡観察、赤外分光分析法、エネルギー分散型蛍光X線元素分析法およびX線回折法により、一部の塗装材料についての知見を得た。さらに上記分析法で判別不可能であった試料に対して、Pyro-GC/MS(熱分解-ガスクロマトグラフィー質量分析法)を適用したところ、材質の種別をすることができた。その結果、談山神社の権殿では膠および漆以外に油と松脂を用いた塗装材料が用いられていたこと、同一の部材でも後世の修理で当初の塗装材料とは異なる塗装材料が用いられていたことがわかったので報告する。

### 2. 分析試料

談山神社は奈良県桜井市の多武峰にある神社である。平成の大修理にともない、重要文化財である権殿の部材に関して奈良文化財研究所を中心に塗装状態の調査分析を行った。過去の修理記録では、権殿は中世～近世にかけ複数回にわたる再塗装がなされたとあり、漆、膠、チャン塗という言葉が見られ、内外装、塗装時代、部材の違いからそれぞれ塗り分けている可能性が指摘された。分析には塗装材料を掻き落とした小破片、粉末化した試料ならびに、木質に塗装されたままの試料を用いた。今回は特に赤外分光分析法にて種別ができなかった試料3(虹梁、外装部材)について報告する。

チャン塗の標準資料として、有限会社島津漆工房製チャン油(桐油(50g)、荏油(50g)、松脂(30g)、一酸化鉛(0.9g)を混合したもの)を使用した。

### 3. 分析方法

熱分解はフロンティアラボ製、Py-2020D型Pyrolyzerを使用した。1mg程度の試料をHe雰囲気下で350℃にて熱脱着(比較的的低分子成分を気化脱着させる)させ、その後550℃にて熱分解を行

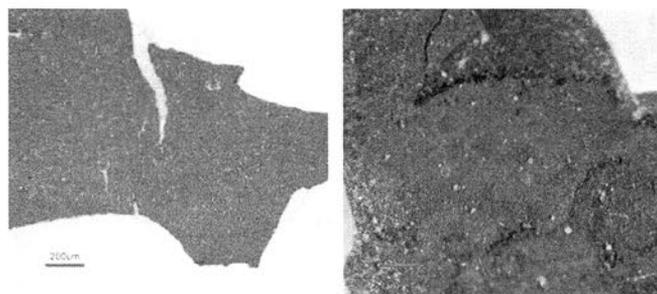


図1 試料3の実体顕微鏡写真

うダブルショットにより、分析を実施した。熱脱着成分及び熱分解成分はそれぞれバриан製 Saturn2000 型 GC/MS に導入した。

#### 4. 分析結果

図1に実体顕微鏡による写真、図2にFT-IR スペクトルを示す。試料の上層と下層について分析を行ったところ、(a)上層； $1709\text{cm}^{-1}$ にC=O(カルボン酸)、 $1626\text{cm}^{-1}$ 、 $1316\text{cm}^{-1}$ に顕著なピークが得られた。(b)下層； $1709\text{cm}^{-1}$ にC=O(カルボン酸)、 $1408\text{cm}^{-1}$ にメチレンに帰属するピークが検出されたものの、いずれも材質を特定することはできなかった。次に、Pyro-GC-MS 分析結果を図3に示す。脂肪酸由来の成分( $m/z$  60+73)が数多く検出されるとともに、松脂由来と推察されるデヒドロアビエチン酸類( $m/z$  285)の成分が検出された。図4に示したチャン油の標準品と比較したところ、同様の結果が得られ、試料3の塗装はチャン油により塗装されたと考えられる。

#### 3. まとめ

FT-IR 分析において塗装の判別が困難であった試料約10点について、Py-GC/MS 分析を実施したところ、ほとんどの部材で漆と油系塗料(チャン塗)を種別することができた。一部の部材では、両方が混在していることが確認され、過去の修理で異なる塗装がなされた可能性が考えられる。

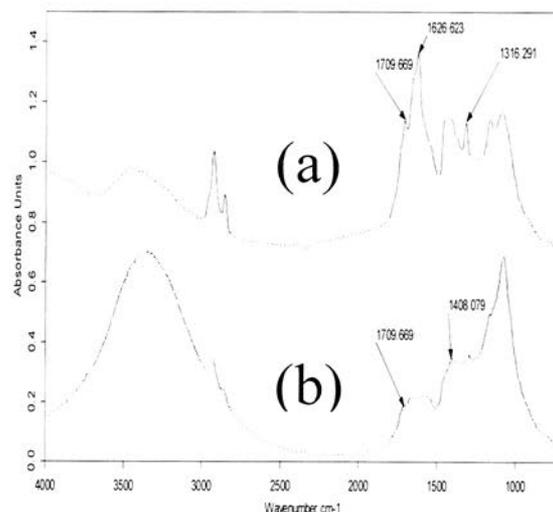


図2 試料3のIR スペクトル  
(a)上層 (b)下層

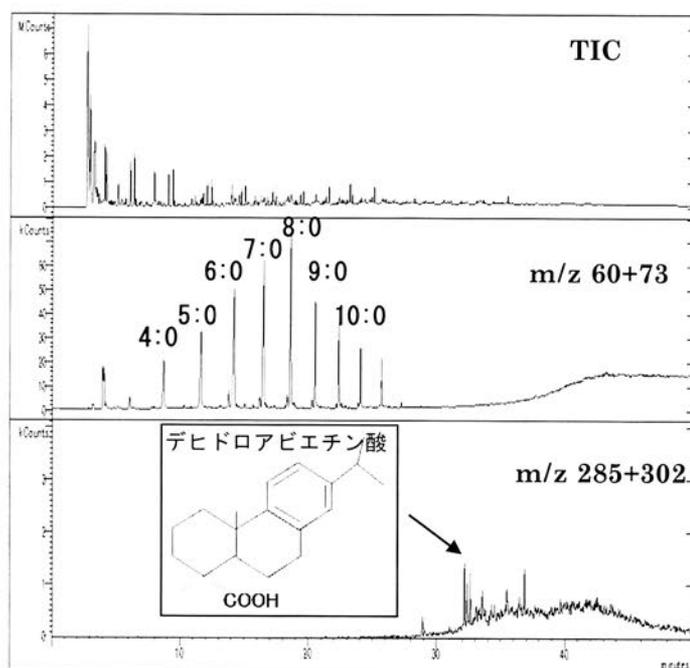


図3 試料3のPy-GC-MS 分析結果 (550°C)

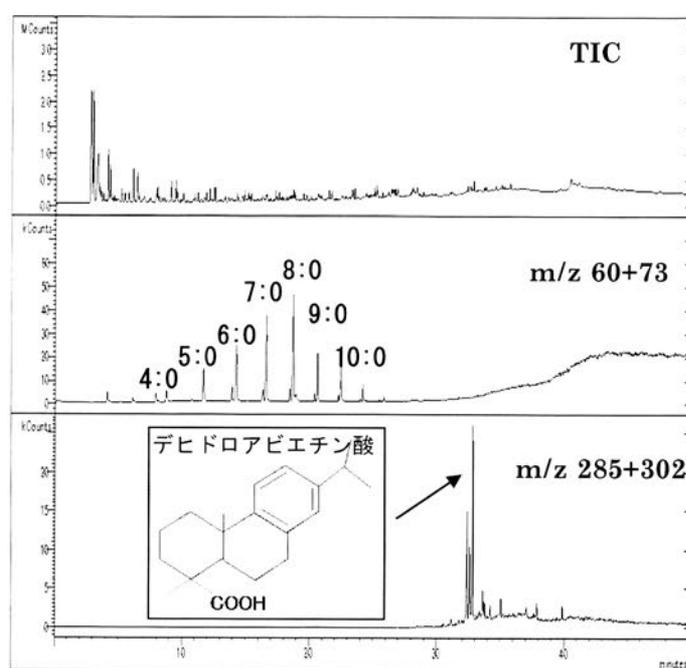


図4 標準品のPy-GC-MS 分析結果 (550°C)

#### 4. おわりに

Py-GC/MS 分析結果から、談山神社の権殿に関する塗装の種別をすることができた。また、異なる塗装が混在する結果も得られたことから、今後は、層別に塗装材料の種別の可否について検討を行う予定である。また、松脂の検出感度が低いことから、高感度に検出する方法についても合わせて検討を行いたい。

## 長崎県埋蔵文化財センターにおける精密機器を用いた体験学習について

### On the Learning Experience using some Precision Instruments at Nagasaki Archaeological Center

○片多雅樹(長崎県埋蔵文化財センター)

○KATATA Masaki (Nagasaki Prefecture Archaeological Center)

#### ◆はじめに

国指定特別史跡に指定されている弥生時代の環濠集落『原の辻遺跡』を眼下に望む高台に、平成 22 年 3 月壱岐市立一支国博物館がオープンした。同博物館内には長崎県埋蔵文化財センターも併設され、全国的にも珍しく市と県と博物館を運営する指定管理者(乃村工藝)の三者が同居する施設となっている。展示公開機能を有する博物館と、調査研究機能を有する埋蔵文化財センターが相互に協力している。博物館では開館当初より月に 1 度バックヤードツアーを行っており、また『精密分析機器で調べてみよう』と題し、主に小学生を対象とした体験学習を年間 10 回行っている。この体験学習は長崎県埋蔵文化財センターが保有する、出土遺物の保存処理に伴う事前調査機器をもちいて、専門職員や大人に対する説明ではなく、子どもたちでも分かりやすく、また興味を抱かせられるようなアイデアを盛り込み、各機器の特性を活かしたプログラムを実施している。他機関で行っているアイデアも参考にし、身近なものを精密機器を用いて観察、調査することで得られる情報から、埋蔵文化財センターの仕事内容や成果の普及活動に努めている。

#### ◆実施内容

- ・顕微鏡観察…室外設置用に導入した大型モニターを利用して、硬貨など身近なものを拡大観察する。アメリカ 1 セント硬貨の顕微鏡観察では、打刻されているリンカーン記念館の中に座るリンカーン大統領の彫像まで確認できる。
- ・蛍光エックス線分析装置…10 円硬貨を分析し、Cu (銅) だけでなく Zn (亜鉛) や Sn (錫) が含まれることを確認できる。子供には難しい。
- ・三次元計測器・3D プリンター…人面石の三次元計測データから出力された各色、各大きさのレプリカを紹介する。
- ・透過エックス線撮影装置…中身が見えないように梱包し透明タッパーに入れた生活用品を撮影する。クイズ形式にすることで興味を抱いてもらっている。
- ・赤外線反射画像…参加者にエンピツで名前を書いてもらい、その名前をボールペンで塗りつぶしてもらい、その紙を赤外線カメラで透視することで名前を当てるマジックを行っている。

#### ◆課題と展望

上記実施内容は平成 22 年度に実施した中から、参加者の反応や他機関のアイデアを参考にリニューアルを重ね、平成 23 年 3 月現在で実施している内容である。小学生高学年を主な対象とし実施しているが、保護者として同伴する大人に対しても好評をいただい

いる。しかし、壱岐という土地柄、リピーターもいるため、マンネリ化を防ぐ工夫も必要である。今後、更に本事業を活性化させるべく、本学会での発表を通じご意見、アイデアを伺いたい。

▼赤外線画像撮影装置

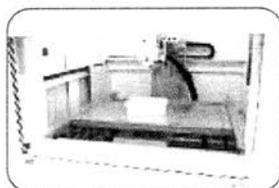
発掘された資料に書かれている古くて見えにくい文字などが、はっきりと観察できます。



① 女の子が持っているものをよく見てみると…



② 黒く塗りつぶしたところがある「紙」です。文字が書かれていたようです。装置で調べると、どんなことが書かれているのか、はっきりと見えました!



▲透過X線撮影装置

病院などにあるレントゲン撮影と同じで、調べるものの内部の構造を観察することができます。

手に持っているのはミニカーです。装置に入れて観察すると、下の図のように内部が透かして見えるようになりました。みなさんの持ち物も調べることができますよ!

- 大切な装置がたくさんあります。次のことを守りましょう。
- 飲み物や食べ物を持って入らないでください。
  - スタッフの指示に従って見学しましょう。
  - 聞わからないことはスタッフにどんどん質問しましょう。

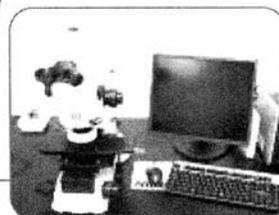
見学の約束

いさこくはくぶつかん 一支国博物館

精密分析機器で調べてみよう

体験マップ

実際に研究で使う精密分析機器に触れて調べてみよう。身近なものが内部まで見えたり、新しい発見があるよ!



▲実体顕微鏡写真撮影装置

肉眼では分からない発見がたくさん見つかるよ!



① 左は10円玉、右はアメリカの1セント硬貨です。



② 1セント硬貨を調べると、こんなに内部まで見えるんです。



③ 指さしている場所には、肉眼で見えなかったあるものが見えました!

▼三次元計測機・3Dプリンター

三次元計測機で測定したデータに基づいて3Dプリンターで本物と同じ形のレプリカを作ることができます。



① 原の辻遺跡から見つかった人面石です。



② ただいま測定中…。いろいろな角度からデータを読み込みます。



③ 3Dプリンターで、こんなにたくさんの人面石レプリカが作成できました!



※内容が変更となることもございます。

<平成23年度にむけ壱岐島内の全家庭(11,000世帯)に配布された案内>

## 文化財のX線透過撮影時における照射条件評価法の開発 Development of Methods for Evaluating the Condition for X-ray Radiography of Cultural Properties

○犬塚将英（東京文化財研究所）

○Masahide Inuzuka (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)

### 1. はじめに

文化財の科学調査では、資料の採取が許されず、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、①調査用の機器は一般に大型、複雑かつ高価である、②よって、移動が困難な文化財の現地調査が難しい、③X線管球を用いる際の管電圧、管電流、照射時間、照射距離などのX線照射条件は文化財を構成している物質の種類に大きく依存するが、照射条件に関する定量的な情報は十分に整理されていない、などのように改善の余地が残されていると考えられる。

本研究では、文化財を構成している物質とX線との相互作用を定量的に評価するための理論的及び実験的手法を確立し、移動が困難な文化財の内部構造に関する調査を行うことを目的としている。ここでは、X線透過撮影のための最適条件を導き出す手法を確立するために、コンピュータシミュレーションを用いた方法を導入してみた。そして、実際に行ったX線透過撮影から得られた画像との比較を行うことにより、その評価手法の有用性を検証した。

### 2. 文化財を構成する材料とX線との相互作用の定量的な評価方法の構築

X線透過撮影を用いた調査では、修理を予定している文化財の内部構造を調べたい時などに重要な情報を提供することができる。このような保存科学的な調査のみならず、絵画技法、彫刻や工芸品の構造などを明らかにすることが可能なので、美術史や考古学などの研究分野でも重要な役割を果たしている。

しかし、調査を行いたい文化財の種類、そしてそれらを構成している材質の種類（金属、木材等）や寸法は多岐にわたっている。さらに、調査対象の文化財が単一の材質で構成されている場合よりは、むしろ異なる材質により複合的に構成されている文化財を調査する場合の方が一般的である。よって、X線透過撮影を行って内部構造を調査する時に、X線管球の管電圧、管電流、照射時間、照射距離などの最適条件は被写体の大きさや材料の種類に大きく依存する。ここでは、X線の照射条件に関する定量的な評価を行うために、シミュレーションソフトウェア「GEANT4」を用いることにした<sup>1)</sup>。GEANT4を用いると、X線照射条件を検討するための必要事項である①照射X線の条件、②光電効果やコンプトン散乱など、物質とX線との相互作用、③検出器の応答、を定量的に評価することができる。

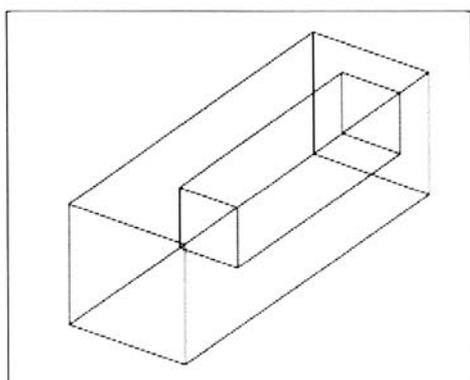


図1 GEANT4に入力した空洞を有する木材

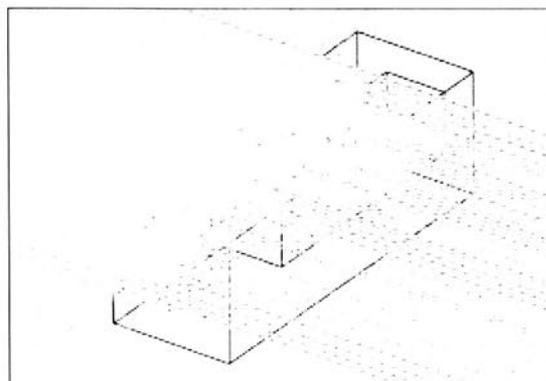


図2 15keVのX線を照射した時の相互作用

### 3. GEANT4を用いた計算例

ここでは、内削りを有する木彫像を被写体としてX線透過撮影を行うケースを想定した計算例を示す<sup>2)</sup>。被写体の材質はセルロース、元素の構成比はC:H:O=6:10:5、密度は $0.4\text{g/cm}^3$ と仮定し、被写体の幾何学的な構造は $5\text{cm}\times 5\text{cm}\times 20\text{cm}$ の穴が空けられた $10\text{cm}\times 10\text{cm}\times 30\text{cm}$ の直方体を想定した(図1)。

エネルギーが $15\text{keV}$ の光子を1000個発生させて、上記の物体に対して垂直に照射した場合の計算結果は図2、図3のようになった。この計算では、物体中でのX線の光電効果とコンプトン散乱、物体表面での反射が考慮されている。物体中に空洞がある部分は空洞が無い部分よりもX線の透過率が高い様子を視覚的にとらえることができる。一方、図4では $100\text{keV}$ の光子を発生させた場合の計算結果を示した。このエネルギー領域では透過率が高いために空洞の有無によるコントラストが得られないことがわかる。このようにして得られる透過X線の分布を調べることにより、X線透過画像のコントラストを定量的に予測することが可能となる。

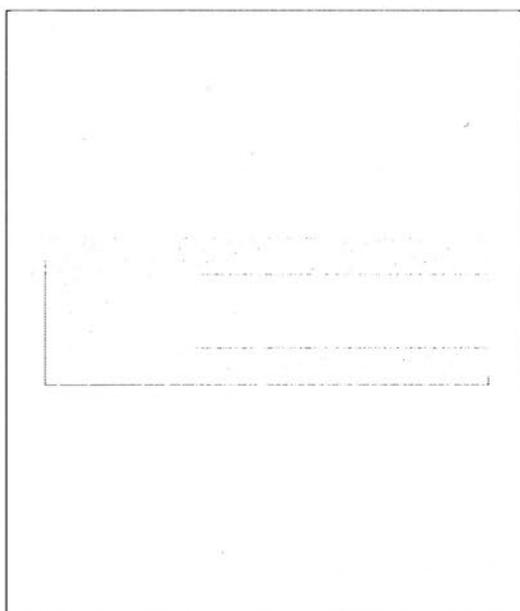


図3 物質量とX線(15keV)の透過量との関係

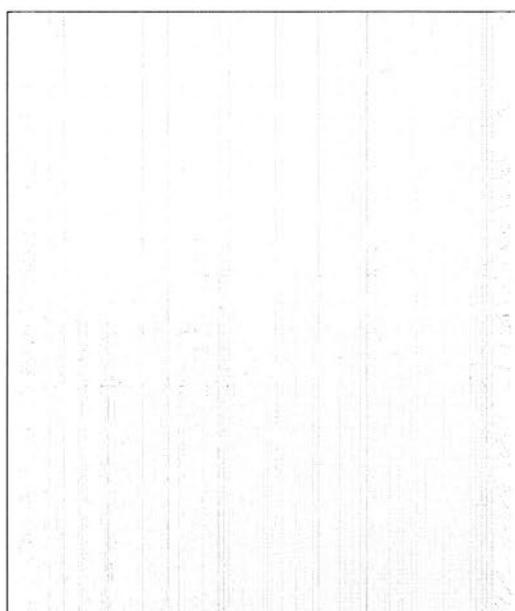


図4 物質量とX線(100keV)の透過量との関係

### 4. 実際に行ったX線透過画像との比較

上述のようなGEANT4を用いた評価手法の有用性を検証するために、以下に示すような2通りの試料のX線透過撮影を行った：

- ① 寄木造の木彫像。前節では単純化した木材のモデルで計算を行ったが、実際の木彫像の構造に近いジオメトリーを入力して計算を行い、実際のX線透過画像との比較を行う。
- ② 顔料で彩色が行われた絵画を想定した試料を作成し、そのX線透過画像とGEANT4での計算結果との比較を行う。

以上のようなX線透過画像との比較を行うことにより、照射条件評価法の有用性を検討した。

#### 参考文献

- 1) S.Agostinelli et al.: GEANT4 – a simulation toolkit, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 506 (2003) 250-303
- 2) 犬塚将英：文化財のX線透過撮影時における照射条件評価法の開発、保存科学、49、125-130 (2010)

本研究は平成23年度文部科学省科学研究費補助金若手研究(A)「移動が困難な文化財のためのエックス線を用いた非破壊調査手法の構築」によるものです。

# 新薬師寺旧境内遺構における地中レーダ探査と磁気研究 Study of the “Shinyakushiji temple site” by GPR and the magnetism of the excavated remains.

○菅頭明日香（富山大学），岸田 徹（同志社大学），泉 吉紀（富山大学），  
酒井英男（富山大学），金原正明（奈良教育大学）  
○Asuka KANTO (University of Toyama), Toru KISHIDA (Doshisha University),  
Yoshinori IZUMI (University of Toyama), Hideo SAKAI (University of Toyama),  
Masaaki KANEHARA (Nara University of Education)

## 1. はじめに

2008年度より，奈良教育大学構内にて特別支援学級校舎の改築に伴う埋蔵文化財調査が行われており，奈良時代に造られた新薬師寺旧境内に関連する遺構や遺物が数多く出土するなどの成果が得られている。

本研究では，新薬師寺旧境内の中門址の検出を目的として地中レーダ探査を行い，その後に行われた発掘調査結果との整合性を検討した。また，発掘調査により出土した火災を受けたと思われる瓦と焼土について，方位を付して研究用試料を採取し，それらの磁気物性から被熱やその状況について検討した。

## 2. 地中レーダ探査

### (1) 概要

2008年度の発掘調査により，新薬師寺旧境内基壇の残存部と東へ延びる基壇化粧の凝灰岩列，瓦の堆積する雨落ち溝が検出されている。南側の延石列は階段部と考えられ，この大型基壇建物遺構は旧金堂と推測されている。発掘結果をもとに新薬師寺旧境内の中門と回廊址の位置範囲を推定し，その周囲を含む範囲を調査区域として，中門と回廊址の検出および外周状況の確認を目的とするレーダ探査を行った。調査区域は，大型基壇建物遺構の南40～70m地点にあたる。

探査は，2009年5月17日と24日に，富山大学のSensors & Software社Noggin plus 250及びSmart Cart Systemを使用して実施した。アンテナ周波数は250MHzを用いた。結果の解析は，レーダ波の往復時間と反射強度の記録を測定順に並べた擬似断面図（GPR-Profile）と，Time-slice図法解析による様々な深度での平面図により行った。探査後に，探査区域の下部で確認調査が行われており，発掘結果と比較し，整合性を含めて結果を検討した。

### (2) 探査結果

中門と回廊址を示す反応として，大型基壇建物の南北軸に沿う凝灰岩列の反応を想定していたが，中門の推定範囲と周辺区域では，明確な反応は見られなかった。そこで測線を南へ約100m延長する探査を行ったが，想定される反応は得られなかった。同範囲の発掘調査でも，中門・回廊址は検出されておらず，今後さらに検討が必要となっている。

代表的な探査結果としてLine2のGPR-Profileを図1に示す。

Line0～5の測線距離22～25mの範囲にレーダ波の強い反射領域が

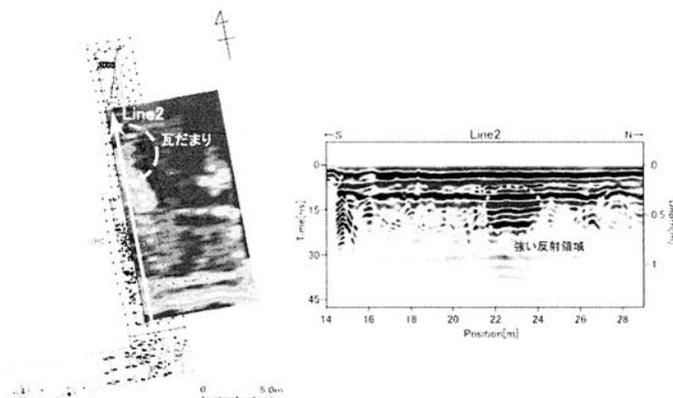


図1 代表的な探査結果

見られ、その地点より火災を受けたと思われる瓦と焼土遺構が出土した。

2008年度の発掘調査では、旧境内の大型基壇建物遺構の上部で、明治時代後半に作られた旧陸軍聯隊のレンガ造り建物の基礎と日本庭園跡が検出されたが、レーダ探査を行った結果、建物基礎のレンガや暗渠、排水溝等の反応が明確に現れた。

全体として、探査結果は、その後の発掘調査の結果と良く調和していた。

### 3. 磁気物性

#### (1) 概要

2009年度発掘調査区の東部C区より、奈良時代から平安時代にかけての遺物を含む南北溝や東西流路等が検出された。また、多くの瓦と貨銭が出土した。

南北溝には、焼土を伴う被熱したと思われる瓦だまりがあった。同区画より焼土と瓦試料10点を採取した(図2)。また東西流路からは、堆積物と瓦試料3点を採取した。実験室で帯磁率と自然残留磁化を測定後、焼土は二次磁化を除き焼成時の磁化を抽出するための段階交流消磁実験を行った。瓦試料については、段階熱消磁実験を行った。磁化測定と交流消磁には富山大学のパススルー型超伝導磁力計、熱消磁実験には電気炉 TDS-1を使用した。加熱実験は、磁性鉱物の変質を抑えるため、アルゴン雰囲気中で行った。



図2 調査風景

#### (2) 実験結果

焼土試料の多くは、消磁実験では不安定な磁化を示した。また磁化強度は平均  $10^{-5} \text{Am}^2/\text{Kg}$  であった。これは、一般的な焼土より弱い磁化であり、焼土は熱残留磁化を獲得していると考えられるものの、その被熱温度はあまり高くなかったと推測される。

図3には、南北溝より採取した瓦試料の熱消磁実験の例をザイダーベルト図で示している。磁化方向の消磁に伴う変化は直線的であり安定な磁化を示しているが、低温部でプロットは折れ曲がり、2成分の磁化の存在を示している。この結果は、瓦が焼成後に比較的低温の再加熱を被ったことを示すと考えられる。

それぞれ複数個を採取した焼土と瓦試料の磁化方向は共にまとまらなかった(図4)。これは、瓦は被熱後に十分冷却してから、崩れながら出土地点に移動したことを示すと考えられる。つまり、火災はあったものの、規模はあまり大きくは無かったと考えられる。

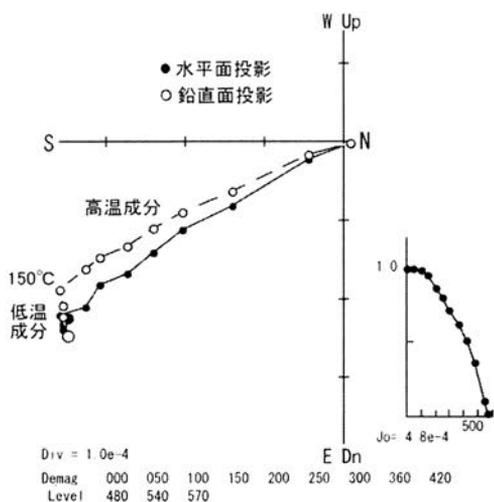


図3 代表的なザイダーベルト図

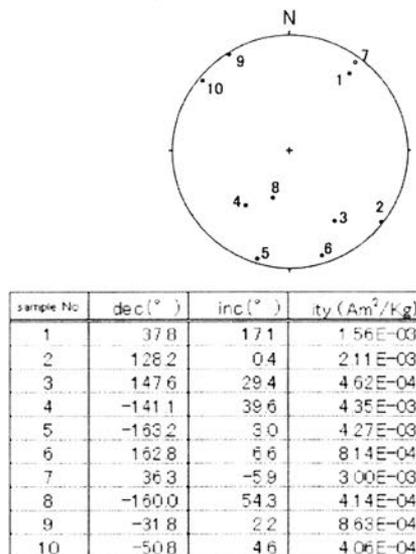


図4 瓦試料の磁化方向

## デジタル造形による殷周青銅器鑄造技術の可視化

### Build the internal structure of Chinese ancient ritual bronzes by 3D printer

○輪田 慧（九州国立博物館），今津 節生，鳥越 俊行（九州国立博物館）  
○WADA Kei（Kyushu National Museum），IMAZU Setsuo, TORIGOE Toshiyuki（Kyushu National Museum）

#### はじめに

九州国立博物館では 2008 年より、泉屋博古館との共同研究において、中国殷周青銅器の X 線 CT 調査を行っている。その結果、本体と持ち手の接続部分の構造が明らかになった。そこで本稿では、青銅器の CT データを 3D プリンタ[\*1]によって造形し、本体と持ち手を分離した模型や、半裁した模型を制作した。2011 年 2 月には、これらの模型から型を起こし、推測される当時の技法で実際に青銅器を鑄造した[\*2]。

このように、CT データを造形し、手にとって観察できる模型を制作することによって、鑄造技術者にも分かりやすく調査結果を提示し、協力してもらうことができる。また、実物と同様の形状で鑄造実験が行えるため、実験結果に説得力を持たせることができる。

#### CT データの造形方法

本稿では象文兕觥の本体と持ち手を分離して造形した。この器の本体と持ち手の接続部分は、上部と下部で異なった構造になっている。上部は本体に環があり、その環に持ち手側の芯が通っている。また、下部では本体に出ホゾがあり、それを持ち手が包み込むようになっている。本体の環や出ホゾは、持ち手に完全にくまれており、外側には露出していない[\*3]。具体的な造形方法は次のとおりである。

- ①CT データをもとに、数値解析や手作業で、造形したい部分を抽出する。
- ②抽出した部分を三次元点群データに変換する。
- ③エラー等を取り除き、3D プリンタで造形する。

まず、①について、CT データは撮影対象のスライス画像が複数枚組み合わせられて構成されている。その画像一枚一枚について、造形したい部分を線で囲み、抽出する。CT データの数値によって自動的に抽出できる場合もあるが、ノイズ等の影響によって自動抽出が難しい場合は手作業で囲む。囲んだ部分はデータとして残るので、再度検証や修正が可能である。また、CT データは空気と物体との境目が明確ではないため、外側から見える部分については三次元計測のデータを利用している。図 1 は象文兕觥の持ち手のみを囲んだ画像である。

次に、②について、囲んだ部分を一般的な三次元点群データである STL 形式に変換する。CT データに含まれる物体内部の情報は造形時に不要なため、表面皮一枚のデータ形式に変換する。図 2 が STL 形式にしたものである。

最後に、③について、データ上で穴になった部分を埋めたり、処理する際にエラーになる部分を取り除いて、「綺麗な」データにする。この工程はほとんどを自動処理でおこなえるが、不自然な形で埋まってしまう穴などは手作業で修正する。一度データを作成してしまえば、自由に拡大縮小ができ、3D プリンタで短時間に高精度な模型をいくつでも造形することができる。図 3 が実際に造形した青銅器の持ち手の半裁模型である。この模型は、構造観察用や型どり用として使用し、実際に内部構造を再現した鑄造品を製作した。その再現品と実物との内部構造の比較が待たれる。

## 今後の展開

今後は比較検討ができるように他の部位や青銅器も造形し、鑄造技術研究の進展に協力したい。そのほかに、漆工品や仏像の木組みなど形や構造の研究に応用できる。

本稿で制作した模型は、模造品ではなく、実際のデータが実物として立ち上がっている。そのため、あたかも本物の半裁品を観察するように手にとって観察できる。これを活かし、文化財の研究において閃きを生み出すきっかけとしていきたい。

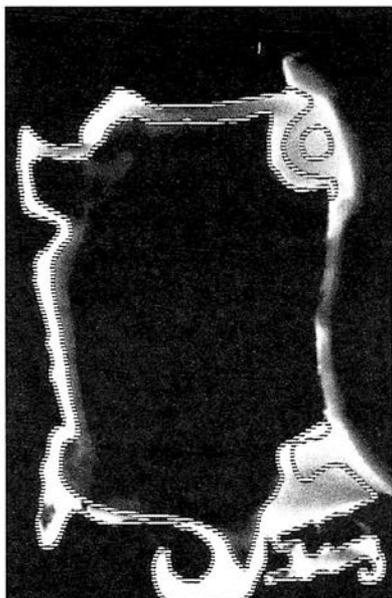


図 1. CT データ

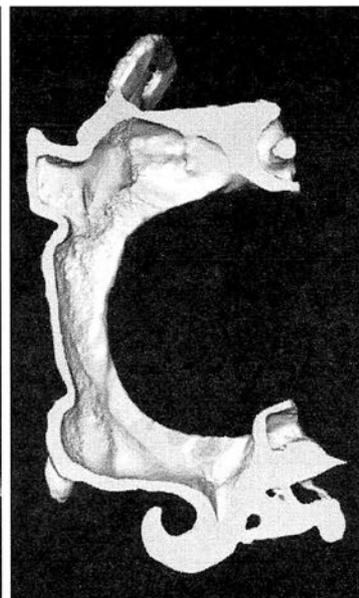


図 2. STL データ

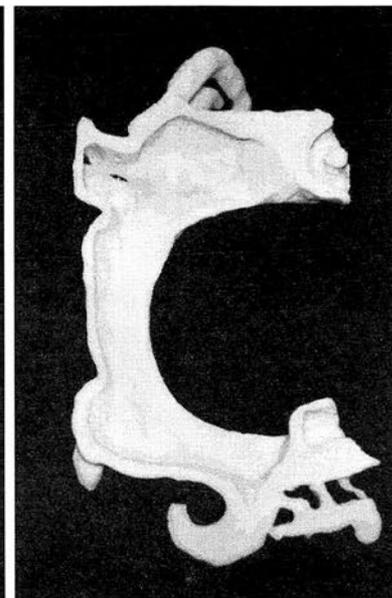


図 3. 造形結果

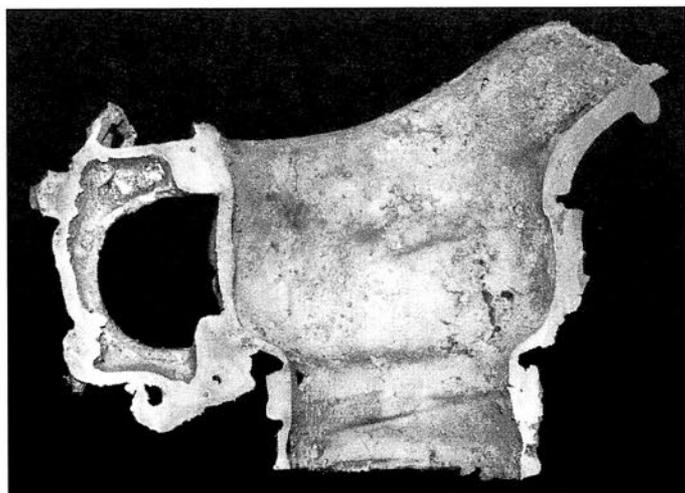


図 4. 鑄造した象文兕觥



図 5. データを手にとって観察

[\*1] Zprinter 450 / Z Corporation / アメリカ

[\*2] 2011年2月4日、福岡県の「芦屋釜の里」にて鑄造実験を行った。

[\*3] X線CTを利用した殷周青銅器の構造解析 (I) - 館蔵爵・壘の調査 - / 今津節生、鳥越俊行、河野一隆、市元壘、樋口隆康、廣川守 / 2010年3月30日発行 / p36-37

## 「赤城山南麓における遺跡群および遺跡群集合の構造的研究」

### —群馬県武井遺跡群における発掘調査—

#### A Preliminary Report of Excavation 2010 at the Takei Site Cluster, Gunma Prefecture, Japan

○飯田茂雄 (明治大学), 安蒜政雄 (明治大学), 武井遺跡群調査団 (明治大学, 桐生市教育委員会, みどり市教育委員会, 岩宿フォーラム実行委員会)

○IIDA Shigeo (Meiji University), AMBIRU Masao (Meiji University), Takei Site Cluster Research Group (Meiji University・Kiryu City・Midori City・Iwajuku Forum Executive committee)

#### 1) 研究の目的

旧石器時代の日本列島には、ナイフ形石器と槍先形尖頭器それに細石器で特徴づけられた、三つの文化の階梯がある。そのうちの、本州の中央部を中心に展開した槍先形尖頭器文化は、中部高地の黒耀石原産地、北関東の赤城山南麓、南関東の平野部に数多くの遺跡を残し、それぞれの地に複数の遺跡群を形成している。本調査・研究は、赤城山南麓に焦点を当てて、槍先形尖頭器が出土する遺跡群の個々と、それら個別の遺跡群が集まる遺跡群集合の在り方を、総合的に明らかにすることを目的とする。と同時に、この調査・研究の成果にもとづいて、日本列島における槍先形尖頭器文化の成り立ちをとらえながら、中部高地、赤城山南麓、南関東平野部からなる、同文化の地域構成とその歴史的な動態についてのモデル作りを試みる (安蒜 2010)。

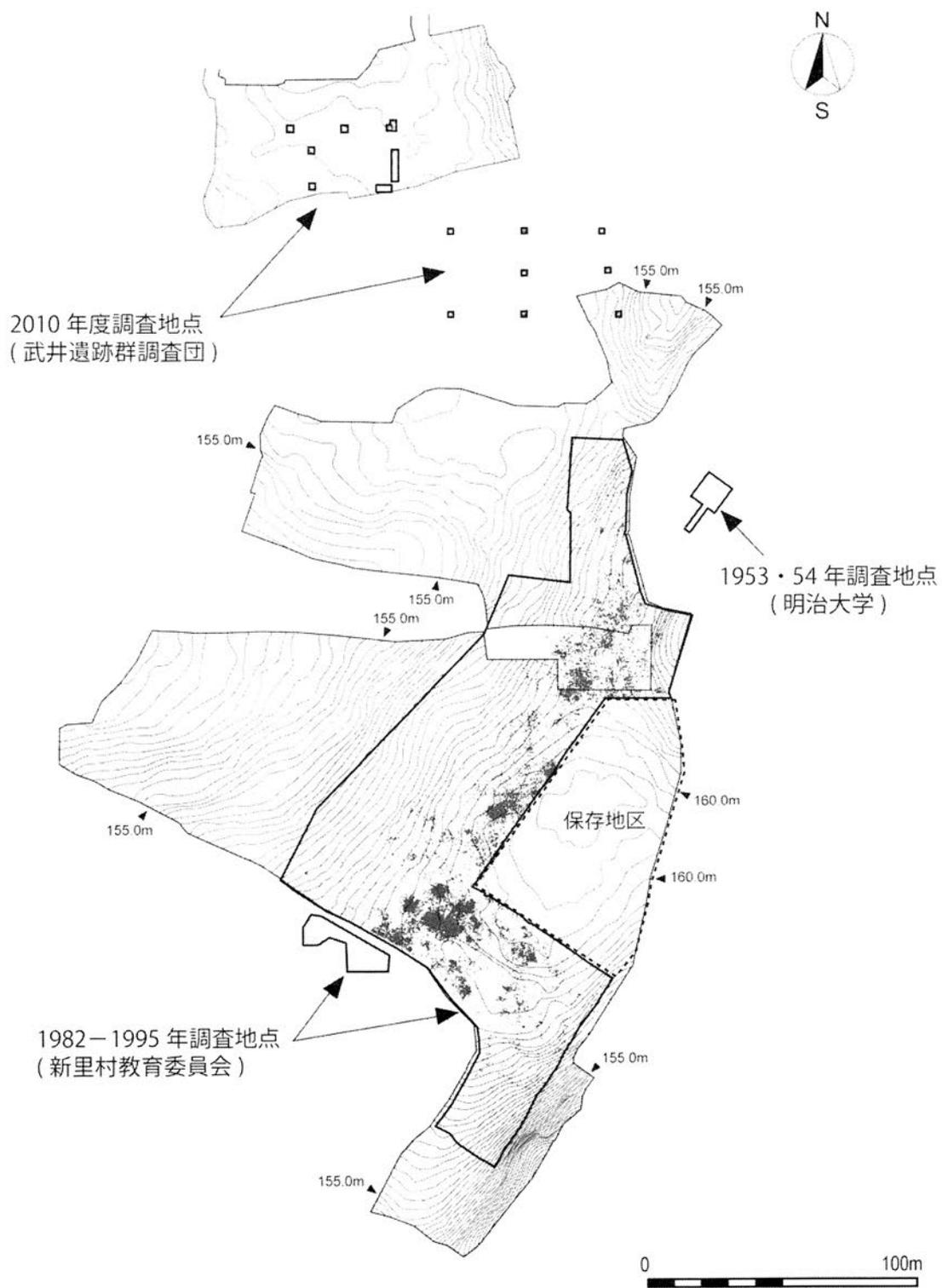
#### 2) 武井遺跡群の概要と発掘調査の目的

武井遺跡群は群馬県桐生市新里町武井に所在し、渡良瀬川によって形成された大間々扇状地桐原面に立地している。遺跡は寄居山と呼ばれる周囲よりやや小高い地点に位置している。遺跡の東側は鑄木川とその支谷である寄井堀によって大きく浸食されており、西側は南西方向に向かって緩やかに傾斜している。第1回目の発掘調査は明治大学考古学研究室によって1953・54年に行われ、槍先形尖頭器を主体とする石器群が確認された (杉原 1977)。その後、1982年から新里村教育委員会 (当時) によって寄居山周辺を対象とした発掘調査が実施され、槍先形尖頭器文化期の20万点近い遺物が南北200m、東西100mという広範囲にわたって分布することが明らかとなった (阿久澤 1998・2000、内田ほか 1988、加部 1996・1998・2000、岩宿フォーラム実行委員会 2004)。と同時に、保存区を含む遺跡東側とは対照的に、遺物が全く出土しない範囲も調査によって確認された。こうした遺物分布のまとまりや広がりとはどのような分布の構造を持っているのか。さらには石器群・遺跡・遺跡群、あるいはより巨視的な遺跡群の集合がどのような構造で成り立っているのかについて明らかにすることが発掘調査の目的である。

#### 3) 2010年度発掘調査

2010年度は2010年4月29日～5月4日、8月9～15日の2回実施した。発掘調査では、上記の目的を達成するために、①遺跡の広がりや旧地形の関係、②遺物分布の構造と構成の解明の2点に主眼をおいた。今年度の調査は、寄居山北側の遺物分布限界を明らかにするため、2m×2mの調査区を13カ所、10m×2m、5m×2mのトレンチをそれぞれ1カ所ずつ計15地点について遺物の有無と土層堆積状況について確認を行った。本報告ではそれらの成果の概要を示す (第1図)。なお、本研究は2010年度より明治大学、桐生市教育委員会、みどり市教育委員会、岩宿フォーラム実行委員会の四者の協力体制のもと、武井遺跡群調査団 (団長: 安蒜政雄) を組織しこれにあたった。

※引用文献については紙幅の都合上省略した。ご寛恕願いたい。



第1図 武井遺跡群の地形と遺物の広がり

## ガッガル川流域砂丘の OSL 年代測定とインダス文明衰退の因果関係

### A causal relationship between sand dunes around Ghaggar basin, India and Indus civilization using OSL dating method

○下岡順直（京都大）・前奎英明（広島大）・長友恒人（奈教大）・青木智史（奈教大）

Yorinao Shitaoka (Kyoto Univ.), Hideaki Maemoku (Hiroshima Univ.), Tsuneto Nagatomo (Nara Univ. of Education) and Satoshi Aoki (Nara Univ. of Education)

#### 1. はじめに

インド、ハリヤーナー州、ラージャスターン州からパキスタン国境に向かってガッガル川およびその支流であるチョウタング川が流れている（図）。この流域には、カーリーバンガン遺跡やラーキーガリー遺跡などのインダス文明期の都市遺跡が遺されている。ガッガル川は、現在乾季には水流がほとんど無くなる間欠河流であるが、かつては水量豊富な大河であり、その恩恵によって文明は成熟したと考えられた。しかし、河川争奪による乾燥化により流域の砂丘が拡大したことで、インダス文明の都市は衰退したとする説が挙げられてきた。ところが、我々が 2008～2009 年に行った現地調査では、ガッガル川河道付近の氾濫原は、大河であるヤムナー川やサトルージ川などと比べて小規模であることや、砂丘上にインダス文明期の遺跡がすでに存在していたことなどが確認された。これらの事実から、ガッガル川流域に分布する砂丘は、インダス文明成熟期にはすでに存在していたと考えられる。

そこで今回、砂丘の光ルミネッセンス (OSL) 年代測定を行って、砂丘の堆積開始年代を求め、砂丘形成とインダス文明期の新旧関係を検証した。砂丘地帯では乾燥しているため有機物が少なく、放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 測定が行える試料が少ない。また、太陽光などでタイムゼロイング (年代の初期化) された鉱物試料について OSL 測定は有利なことから、砂丘堆積物は OSL 測定法に適している。

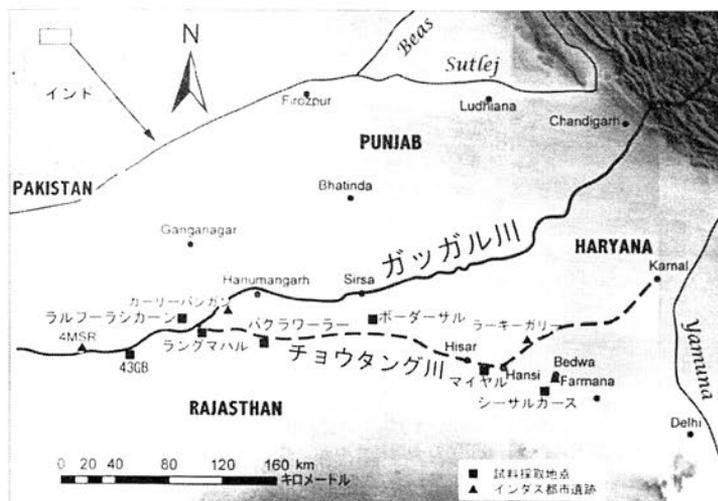


図 調査地点 (地図は前奎 (2009) を使用)

#### 2. 砂丘の OSL 年代測定

OSL 測定試料は、ガッガル川およびチョウタング川流域のシーサルカース村、マイヤル村、ボーダーサル村、ラングマハル村、バクラワーラー村、43GB 村、ラルプーラシカーン村の近郊の 7 カ所の砂丘堆積物を採取した（図）。試料は、各地点で上下 2 ヶ所から採取し、上位より①と②（表）とした。

採取した試料は、暗赤色灯の暗室で試料処理を行った。砂丘砂より抽出した粒径 50～250  $\mu\text{m}$  の鉱物を 10%過酸化水素水による約 12 時間処理と 20%塩酸による 90 分間処理で、有機物と炭酸塩鉱物を除去した。その後、磁気分離器を用いて磁性鉱物を除去し、20%フッ化水素酸で 90 分間処理を行い、石英以外の鉱物の除去と石英鉱物の表面のエッチングを行った。最後に石英鉱物の粒径を 75～150  $\mu\text{m}$  に調整した。

蓄積線量評価のための OSL 測定は、奈良教育大に設置された OSL 自動測定装置（ネオオーク社製 NRL-99-OSTL）を使用した。蓄積線量評価は、単試料再現法（Single aliquot regenerative-dose : SAR）法（Murray and Wintle, 2000）を用いた。

年間線量評価のための  $\gamma$  線スペクトル測定は、奈良教育大に設置された高純度 Ge 検出器（Eurisys measures 製 EGSP2800-20-R）を使用した。年間線量評価は、試料中の放射性元素 U、Th、 $^{40}\text{K}$  の  $\gamma$  線を計測し、産業技術総合研究所の提供する 5 つの岩石標準試料で作成した検量線を用いて U、Th、K 濃度を決定し、換算式（Adamiec and Aitken, 1998）により年間線量を求めた。その際、含水比補正（Zimmerman, 1971）を行い、年間宇宙線量は Prescott and Hutton (1994) の式を参考にして 0.10 mGy/年と仮定した。

### 3. 結果と考察

試料は、それぞれ複数回測定を行って蓄積線量を求めた。各試料の OSL 年代を表に示す。砂丘の OSL 年代は 15～12 ka (ka : 千年前) もしくは 5 ka を示し、インダス文明が最盛期 (4.5～3.9 ka) には砂丘はすでに現位置に存在し、砂丘が川の氾濫で大規模に侵食されるようなことはなかったことが明らかになった。よって、ガッガル川が文明期に恒常河川から季節河川に移行するほど劇的な変化はなかったと考えられる。

今後、ガッガル川の河川環境とインダス文明盛衰の因果関係の議論がより深化し、ガッガル川流域に位置するインダス都市の衰退原因についても明らかになっていくことを期待する。

### 謝 辞

本研究は、大学共同利用機関法人・人間文化機構・総合地球環境学研究所の研究プロジェクト「環境変化とインダス文明」（プロジェクト 3-3）の支援を得て行われた。

表 砂丘堆積物の OSL 年代

試料採取地点	試料	蓄積線量 (Gy)	年間線量 (mGy/a)	OSL年代 (ka)
シーサルカース	①	38.3±2.5	2.50±0.08	15.3±1.1
	②	32.0±1.6	2.66±0.09	12.1±0.7
マイヤル	①	30.2±2.2	2.34±0.10	12.9±1.1
	②	34.1±2.0	2.47±0.09	13.8±1.0
ボーダーサル	①	13.4±1.0	2.57±0.25	5.2±0.6
ラングマハル	①	26.4±1.3	2.01±0.08	13.1±0.8
	②	34.1±2.3	2.37±0.08	14.4±1.1
バクラワラー	①	11.2±0.4	2.27±0.09	4.9±0.3
	②	28.2±1.1	2.14±0.07	13.2±0.7
43GB	①	11.7±0.7	2.33±0.08	5.0±0.3
	②	11.5±0.6	2.23±0.08	5.1±0.3

## プラント・オパール中の炭素による生産遺構の年代決定法に関する研究 (Ⅱ) 一年代測定に必要な土壌重量の算定モデルの作成

### Study (II) of the dating method of ancient production fields using the carbon in plant opal .

#### -The calculation model of the soil weight required for the radio carbon dating -

○宇田津徹朗(宮崎大学), 中村俊夫(名古屋大学), 田崎博之(愛媛大学),

外山秀一(皇學館大学), 杉山真二(古環境研究所), 松田隆二(同)

○Tetsuro Udatsu(Miyazaki University), Toshio Nakamura (Nagoya University), Hiroyuki Tasaki (Ehime University), Shuichi Toyama (Kogakkan University), Shinji Sugiyama (Paleoenvironment Research Institute), Ryuji Matsuda (Paleoenvironment Research Institute)

#### 1. はじめに

本研究では、炭化種子などの年代測定試料の検出が難しい場合に、それを補完する手法として、生産遺構土壌に含まれているプラント・オパール中の微量な炭素を集め、AMS法によって生産遺構が営まれていた年代を決定する手法の確立を目指している。

年代測定を実施するには、プラント・オパールから少なくとも数百  $\mu\text{g}$ 、できれば 500 $\mu\text{g}$  以上の炭素の確保が望ましい。現在、唯一、プラント・オパール中の炭素による年代測定を実施している BETA 社では、測定に必要なプラント・オパールの量を一律 300mg と定めている。

しかし、プラント・オパールが含有する炭素の割合は、植物によって異なっている (Piperno 2006、John A. Carter 2007) ことから、本来、必要な量はプラント・オパールの組成によって、決まるはずである。これは、海外では土壌中のプラント・オパール組成および密度を算定する定量分析がほとんど普及していないためと考えられる。土壌からのプラント・オパールの抽出にはかなりの時間と労力を要するため、土壌中のプラント・オパール組成に応じた必要量を設定する方法は、実用化の視点からは、必要不可欠であるといえる。

そこで、筆者らは、定量分析の対象となる主要なイネ科植物から抽出できる炭素量を明らかにし、土壌中のプラント・オパール組成から、年代測定に必要な土壌重量を算定するモデルの作成を試みた。また、このモデルを用いて、日本国内の水田や畑遺構土壌からプラント・オパール年代測定を実施する場合の土壌重量についても検討を行った。ここでは、その概要とこれまでに得られた結果について報告を行いたい。

#### 2. 年代測定に必要な土壌重量の算定モデルの作成について

通常、生産遺構土壌を対象としたプラント・オパール定量分析では、イネ (*Oryza sativa* L.)、ヨシ属 (*Phragmites*)、タケ亜科 (*Bambusoideae*)、ウシクサ族 (*Andropogoneae*)、キビ族 (*Panicaceae*) 及び樹木の一部を対象としている。したがって、それらのプラント・オパール1個から抽出可能な炭素量 ( $\mu\text{g}$ ) を明らかにすれば、500 $\mu\text{g}$  の炭素を確保するのに必要な土壌重量は以下のような算定モデルで定めることができる。

##### 【炭素を 500 $\mu\text{g}$ 確保するのに必要な土壌重量の算定モデル】

$$\text{必要な土壌重量(g)} = \frac{500}{\text{イネの密度} \times \text{含有炭素} + \dots + \text{キビ族の密度} \times \text{含有炭素量}}$$

以下、モデル作成に必要なプラント・オパール1個から抽出可能な炭素量を求めた実験の概要を述べる。

##### 1) 材料と方法

土壌中から特定の植物由来のプラント・オパールを集めることは困難であるので、ここでは、その前身である各イネ科植物の機動細胞珪酸体を炭素の抽出実験に供試することとした。供試した機動細胞珪酸体は、排気ガスなどの Dead Carbon の吸収の影響を除くため、道路に面していない宮崎大学内で栽培あるいは自生している各イネ科植物から抽出したものである。また、珪酸中の炭素の蓄積がプラント・オパールと同じ状態と見なせるよう、用いた植物の葉身はいずれも

完全に成長が完了し、枯死したものを用いた。機動細胞珪酸体の抽出は、葉身を 550°C で乾式灰化し、粒径篩別により 20 $\mu$ m 未満の粒子を除去して行い、さらに、夾雑炭素について有機物分解処理(ケルダール分解)を実施した。

こうして抽出した機動細胞珪酸体からの炭素の抽出は、名古屋大学および BETA 社に依頼して実施した。また、それぞれの機動細胞珪酸体の1個あたりの重量については、定量用ガラスビーズを用いて算定した。

## 2) 結果と考察: 各種イネ科植物由来のプラント・オパールから抽出可能な炭素量

下表は、BETA 社による炭素抽出の結果と機動細胞珪酸体の1個あたりの重量から求めた各イネ科植物からの抽出可能炭素量である。名古屋大学での抽出結果については、報告Ⅲを参照いただきたい。若干の差があるもののほぼ同程度の抽出状況である。

なお、土壤中で自然に有機物分解を経たプラント・オパールと葉身中から乾式灰化で抽出したものでは、後者の方が減少することが筆者らの実験から認められている。これは、土壤中から混入した炭素が完全に除去できていない点も否定はできないが、中空の珪酸体内に残された細胞質由来の炭素が灰化された可能性も高いと考えている。しかし、実用化という観点からは、より確実なこの値を、土壤中から抽出したプラント・オパールからの抽出可能な炭素量と設定することが望ましいと判断された。

植物間で比較すると、炭素の回収という点では、ヨシやヒエなどの効率が高いことが明らかとなった。

表 各種イネ科植物由来の機動細胞珪酸体からの抽出可能炭素量

植 物	珪酸体重量 (mg)	抽出炭素 ( $\mu$ g)	炭素抽出量 ( $\mu$ g/個)	イネとの 含有量比
イ  ネ	351.1	161	2.97E-05	1.00
ヨ  シ	315.1	420	1.65E-04	5.55
タ  ケ	412.3	107	1.26E-05	0.42
ススキ	318.9	345	7.49E-05	2.52
ヒ  エ	334.9	832	3.57E-04	12.02

## 3. プラント・オパール年代測定を実施する場合の土壤重量について

各イネ科植物由来のプラント・オパールからの抽出可能な炭素量が求められたことを受けて、これまで筆者らが実施してきた国内の水田や畑遺構等の土壤のプラント・オパール定量分析結果を用いて、年代測定に必要な土壤重量の試算を行った。

試算に供試した遺跡は、以下の青森県から沖縄県までの 11 遺跡である。

### 【供試した遺跡】

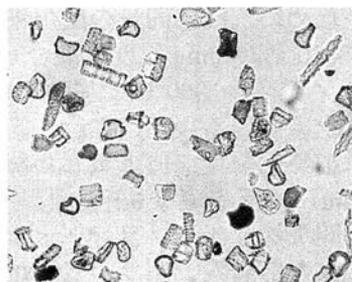
前川遺跡、坂元 A 遺跡、池島・福万寺遺跡、津島岡大遺跡、新城下第二遺跡、アンチ貝塚遺跡、横壁中村遺跡、大道西遺跡、林花畑遺跡、鴉尾第二遺跡、南迫田遺跡

試算した結果、炭素を 500 $\mu$ g 確保するのに必要な土壤重量は、そのプラント・オパール組成により、100g 未満から最大 1200g までと大きな違いが存在することが明らかとなった。また、水田では 300~600g、畑では 300g 程度の土壤で測定可能なケースが多いことも確認された。

## 4. まとめと今後の課題

今回の検討により、重量算定モデルの有効を確認することができた。実際の土壤からは機動細胞以外に由来するプラント・オパールも回収されており(右写真参照)、実際には、これ以上の回収を見込むことができると期待される。

また、BETA 社では数百  $\mu$ g でも年代測定を実施しており、この量であれば、数十gの土壤でも炭素の回収が可能であり、試掘や探査段階での測定も視野に入ってきたと考える。今後、さらに植物種を増やし、精度の高い算定モデルの確立を目指したい。



# プラント・オパール中の炭素による生産遺構の年代決定法に関する研究 (III) -炭素抽出とその $^{14}\text{C}$ 年代測定の試み-

## Study on age determination by carbon in plant opal collected from ancient agricultural field (III)-Tests of carbon extraction from plant opal and radiocarbon dating-

○中村俊夫(名古屋大学)、宇田津徹朗(宮崎大学)、田崎博之(愛媛大学)、外山秀一(皇學館大学)、杉山真二(古環境研究所)、松田隆二(同)

Toshio Nakamura (Nagoya Univ.), Tetsuro Udatsu (Miyazaki University), Hiroyuki Tazaki (Ehime University), Shuichi Toyama (Kogakkan University), Shinji Sugiyama (Paleoenvironment Research Institute, Co. Ltd), Ryuji Matsuda ((Paleoenvironment Research Institute, Co. Ltd)

### 1. はじめに

プラント・オパールは非晶質の珪酸体 ( $\text{SiO}_2$ ) で構成されているが、微量の炭素を含んでいる。プラント・オパールが含まれる土壌の年代は、土壌中に含まれる木炭、木片、あるいは全有機態炭素を用いて測定できる。しかし、土壌に含まれる花粉やプラント・オパールから土壌堆積当時の気候環境や植生を議論するうえで、花粉やプラント・オパールを用いて直接年代測定が可能であれば、推定される気候環境や植生と年代の関係の曖昧さが排除できる。花粉の選別や濃縮により、花粉を主体とする試料の  $^{14}\text{C}$  年代測定は、近年報告例が多い。一方、土壌から抽出したプラント・オパールを用いた  $^{14}\text{C}$  年代測定の報告は、世界的に見ても数例にすぎない。そこで、本研究グループでは、一昨年からこの研究に取り組んできた。本報告では、これまでの実験成果として、(1)プラント・オパールからの二酸化炭素の抽出、(2)遺跡土壌から抽出したプラント・オパールについて得られた  $^{14}\text{C}$  年代、について述べる。

### 2. 実験

炭素抽出実験に使用したプラント・オパールは、現生の植物体に含まれるものと遺跡土壌中に含まれるものの2種類である。現生植物体のプラント・オパールは、植物体を  $550^\circ\text{C}$  で乾式灰化し、粒径篩別により  $20\mu\text{m}$  未満の粒子を除去し、さらに有機物分解処理を行って選別した。遺跡土壌中のプラント・オパールの抽出は、宇田津ほか (2010) による。

プラント・オパールからの炭素抽出には高周波加熱炉 (LECO Corporation 製の HF-10) を用いた。この高周波加熱炉は、土壌中の炭素存在量分析装置に組み込まれて使用されている。名古屋大学では、木炭による製鉄が行われた時代の鉄製品の  $^{14}\text{C}$  年代測定において、試料鉄を溶融して鉄中に残留する木炭起源の炭素を抽出するために用いている。このように、鉄が溶融する温度まで加熱できるため、石英 (石英の1種である水晶の融点は  $1610^\circ\text{C}$ ) を溶融して石英中の炭素を燃焼し、 $\text{CO}_2$  として回収できることが期待される。

プラント・オパールは微小な粉末であることから、加熱する際に飛散して装置を汚さないために、ほぼ同量の酸化銅粉末と混合して用いた。プラント・オパール  $500\text{mg}$  程度と粉末酸化銅  $500\text{mg}$  程度を混合し、高周波加熱助燃剤である微粒鉄 (LECO-502-231)  $1.5\text{g}$  と共に、事前に  $1000^\circ\text{C}$  で加熱処理した、深さ  $18\text{mm}$ 、内径  $18\text{mm}$ 、内容積約  $4\text{ml}$  の酸化アルミニウム製のるつぼに入れ、高周波加熱炉に装填した。

加熱炉を真空に排気したあと、高純度酸素 (太陽東洋酸素 (株) 製、 $\text{CO}, \text{CO}_2 < 0.1$  ppm) で反応炉を  $0.5$  気圧程度に満たしたあと、毎分  $200\text{ml}$  の流量で酸素を流しながら、4分間加熱して、プラント・オパール中の炭素を  $\text{CO}_2$  として抽出した。燃焼ガスの成分はほとんどが酸素であり、二酸化炭素とイオウ酸化物等が微量に含まれる。イオウ酸化物は二

酸化マンガンを用いて吸収除去した。燃焼ガス中の CO<sub>2</sub> は、3 連の液体窒素トラップに燃焼ガスを徐々に通過させることにより固化・固定し、一方、酸素は真空ポンプで排気して除去した。回収した CO<sub>2</sub> は、-100°C に調整したエタノールで水分を除去したあと、一定容積内でガス圧を読み取ることで定量した。その後、一部の試料について回収した CO<sub>2</sub> を、鉄触媒の水素還元法でグラファイトに変換して、名古屋大学のタンデム加速器質量分析計を用いて、<sup>14</sup>C 年代を測定した。

### 3. 結果及び考察

プラント・オパール試料量と回収された炭素量を表 1 に示す。ここで回収された CO<sub>2</sub> の量は極めて少なく、プラント・オパール試料量に対する重量比で 0.1% 以下である。プラント・オパールの炭素含有量は良く解っていないため正確な収率は判らないが、プラント・オパール試料量の増加と共に回収される炭素量が増加することから、プラント・オパールに含有される炭素の一部は回収できていると判断される。現生のイネとタケについて炭素の回収率を比較すると、同量のプラント・オパールについてイネの方がほぼ 2 倍の炭素が回収できている。これは、イネのプラント・オパールの方がタケのプラント・オパールよりも 2 倍程度炭素含有率が高いことを示していると思われる。また、遺跡土壌から抽出したプラント・オパールは現生植物のプラント・オパールに比べて炭素の回収量が相対的に高い。遺跡土壌から抽出したプラント・オパールに土壌起源有機物の混入が疑われる。

名古屋大学では、現状では 0.5mg 以上の炭素について、CO<sub>2</sub> からグラファイトを合成することは定常的に可能となっているが、0.5mg 以下では、グラファイトがきちんと合成できないことが多い。そこで今回は、御幸遺跡のプラント・オパールから得られた 2 つの CO<sub>2</sub> 試料を足し合わせた 0.659mg を用いて年代測定を行った。その結果を表 2 に示す。得られた δ<sup>13</sup>C 値から、グラファイトへの変換効率が良くないことが解るが、<sup>14</sup>C 年代はグラファイトの値を示しているはずである (中村・太田 2011)。<sup>14</sup>C 年代は 3715±100 BP と得られており、弥生時代の遺跡である御幸遺跡の水田土壌の年代としては古すぎる。さらに事例を増やして、CO<sub>2</sub> の回収率をあげると共に、得られる <sup>14</sup>C 年代の意味を検討したい。

表 1 現生植物および遺跡土壌のプラント・オパールから抽出された炭素量と収率

試料	試料重量(A) (mg)	CO <sub>2</sub> 収量(B) (炭素の重量として mg)	CO <sub>2</sub> 収率 (A/B; 100 %)
現生植物から抽出されたプラント・オパール			
イネ	503.25	0.172	0.034
イネ粉末	375.98	0.133	0.035
タケ	197.33	0.042	0.021
タケ	462.47	0.081	0.018
タケ粉末	477.66	0.057	0.012
遺跡土壌から抽出されたプラント・オパール			
曲金北遺跡	418.8	0.258	0.062
御幸遺跡	399.43	0.275	0.069
御幸遺跡	677.55	0.384	0.057
中国古代水田	635.41	0.920	0.145

表 2 遺跡土壌中プラント・オパールから抽出された炭素の炭素同位体分析結果

試料	CO <sub>2</sub> 量 (炭素の重量 mg)	δ <sup>13</sup> C (‰)	<sup>14</sup> C 年代(BP, ±1σ)	実験室番号
御幸遺跡	0.659	-45.4	3715±100	NUTA2-16609

宇田津徹朗ほか (2010) 日本文化財科学会第 27 回大会要旨集、p.52.

中村俊夫・太田友子 (2011) 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書、XXII, p.219.

## 紀元前後の東アジア産樹木年輪の示す炭素 14 年代の変動 Variations of radiocarbon age appeared in East Asian tree-rings around 2000 BP.

○坂本稔 (国立歴史民俗博物館)  
○Minoru SAKAMOTO (National Museum of Japanese History)

炭素 14 年代法による暦上の実際の年代 (暦年代) の導出には、未知試料の値を暦年代の判明した試料の炭素 14 年代と比較する「較正」が必要である。通常この操作は、主に欧米の高緯度地域に産した樹木年輪などによって作成された較正曲線 (IntCal09[1]) に基づいて行われている。これまで大気中の炭素 14 濃度は半球内で均一とされ、IntCal09 を異なる地域の試料に適用することは妥当とされてきた。ところが紀元前後のある時期、日本産樹木年輪に記録された炭素 14 濃度が欧米産樹木とずれていることが指摘された (図 1) [2]。

当該期は、弥生後期から古墳開始期という考古学的に重要な時期である。このずれは暦年代に基づく議論に大きく影響することが懸念され、またどの地域まで影響が及ぶかも検討されなければならない。そこで新潟県内の自然木、奈良県内の古墳の木棺、および韓国東南岸の出土柱の炭素 14 年代測定を実施し、IntCal09 および箱根 (神奈川県) と遠山川 (長野県) の埋没樹幹によって提案される日本版較正曲線 (J-Cal) との比較を行った。樹木年輪は基本的に 5 層を 1 単位とし、切削後必要な前処理を施した上で、加速器質量分析法 (AMS) による炭素 14 年代測定を実施した。

姫御前遺跡は新潟県埋蔵文化財調査事業団による調査であり、出土した自然木 (スギ) 1 点には年輪年代が与えられた。その年代に基づいて炭素 14 年代を較正曲線上にプロットすると、測定結果は IntCal09 より J-Cal に沿っているように見える (図 2)。年輪年代を未知とした場合のウィグルマッチ法の結果は、J-Cal に基づいた方が年輪年代法によって得られた年代と整合的であった。これらのことは、箱根や長野県の樹木に見られた当時の大気中炭素 14 濃度の変動が、新潟県でも確認されたことを意味する。

柳本大塚古墳の木棺は大神教本院が所蔵し、桜井茶白山古墳の木棺は榎原考古学研究所による再調査の過程で取り上げられた。それぞれの好意により柱状試料を採取することができた。樹種はいずれもコウヤマキであり、辺材が残されていなかったので伐採年は不明である。年輪年代は確定できなかったものの両者には年輪幅の同調が確認され、炭素 14 年代測定に供した一連の試料のうち最外部 (柱状試料、または木棺自体の最外層とは限らない) の年代差は、柳本大塚古墳が桜井茶白山古墳より 6 年古いものであった。炭素 14 年代を IntCal09 および J-Cal に対してマッチングさせると (図 3)、IntCal09 では年代差が逆転してしまい、J-Cal では年輪幅の同調に近い結果となった。奈良県で出土した古墳木棺についても、日本産樹木年輪に共通した変動が支持される。

韓国釜山広域市の古村遺跡は、国立歴史民俗博物館と東亜細亜文化財研究院による共同調査が進められている。出土した柱 (ノグルミ) は年輪幅の計測後、年輪層の炭素 14 年代測定を実施した。ところが、試料の示した変動パターンは J-Cal よりも IntCal09 に近いもので (図 4)、較正曲線において年代が下るとともに炭素 14 年代が上昇する時期に限り、日本産樹木年輪のパターンに近い変動が見られた。すなわち、当時の大気中炭素 14 濃度が日本列島と韓国東南岸とで異なっていた可能性がある。

大気中の炭素 14 濃度は、宇宙線による大気圏上層での  $^{14}\text{C}$  生成量の変化に影響されるが、異なる濃度を持つ成分の混合でも変動する。南半球の大気中炭素 14 濃度は北半球より最大 80 炭素年ほど古いことが知られ[3]、その境界は赤道付近の熱帯収束帯 (ITCZ: InterTropical Convergence Zone) とされている。北半球における夏期、ITCZ は日本列島の南の海洋まで北上する。もしその影響が樹木年輪の生育する春から夏にかけて日本列島にまで及んでいたとすれば、日本産樹木が固定した二酸化炭素は「南半球的な」炭素 14 濃度を有していた可能性がある。図 1 から、日本産樹木年輪の炭素 14 年代は IntCal09 と南半球の較正曲線 (SHCal04) の中間に位置していることがわかる。ただし、韓国東南岸の樹木年輪に日本産樹木年輪の炭素 14 年代のような変動が見られないことから、その影響は単純ではなかったことが予想される。

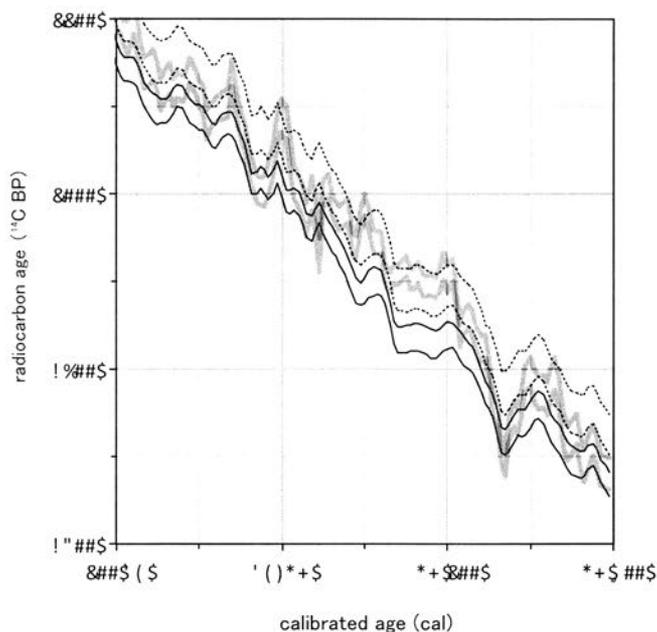


図1 日本産樹木年輪による較正曲線（太線）と IntCal09（細線）・SHCal04（点線）との比較

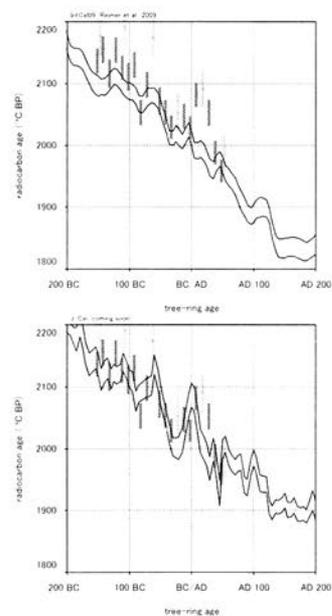


図2 姫御前遺跡出土材の年輪年代と IntCal09（上）・J-Cal（下）との比較

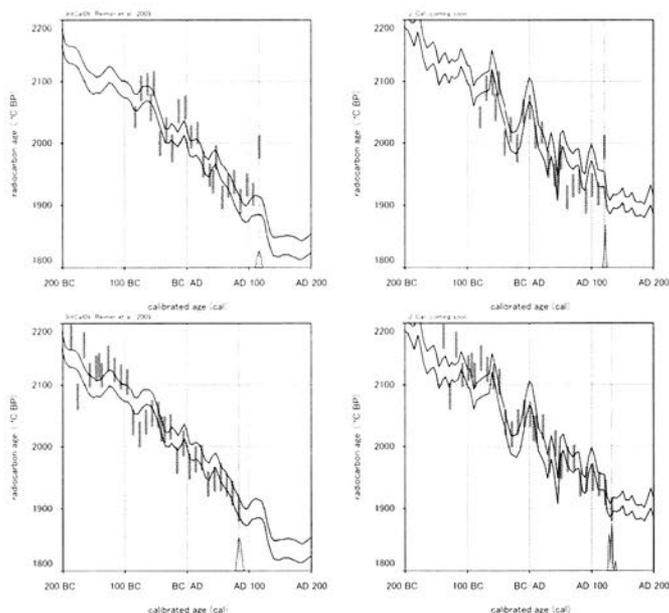


図3 柳本大塚古墳（上）・桜井茶白山古墳（下）出土木棺のウィグルマッチ（左は IntCal09、右は J-Cal による）

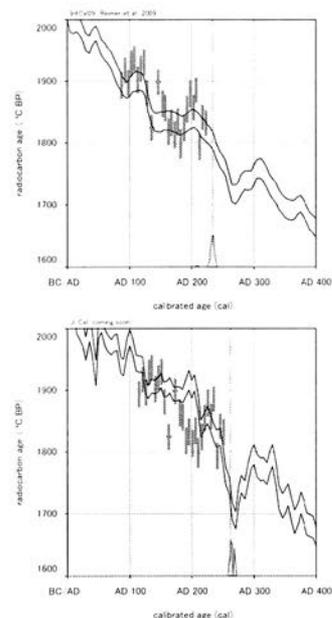


図4 古村遺跡出土柱の IntCal09（上）・J-Cal（下）に対するウィグルマッチ

本研究は科学研究費補助金（No. 21240072, 21242030）による成果の一部である。以下の方々の援助を賜ったことを深謝する（順不同）。光谷拓実（総合地球科学研究所）、尾寄大真（(株)パレオ・ラボ）、木村勝彦（福島大学）、西野新也（大神教本院）、橋本輝彦（桜井市教育委員会）、今村峯雄・春成秀爾・西本豊弘・藤尾慎一郎（国立歴史民俗博物館・総合研究大学院大学）、寺澤薫（橿原考古学研究所）、深澤芳樹（奈良文化財研究所）、申勇旻（東亜細亜文化財研究院）、鈴木三男（東北大学）、箱崎真隆（東北大学大学院）、金憲爽（総合研究大学院大学）。

- [1] P. J. Reimer et al., (2009) Radiocarbon, 51, pp. 1111-1150.
- [2] 尾寄ほか(2008) 日本文化財科学会第25回大会発表要旨集, pp.136-137.
- [3] F. G. McCormac et al., (2004) Radiocarbon 46, pp. 1087-1092.

## 国宝永保寺開山堂の年輪年代調査

Dendrochronological Study of the National Treasure: *Kaisando Hall, Eihoji Temple*

○ 大河内隆之, 光谷拓実 (奈良文化財研究所)

○ Takayuki OKOCHI, Takumi MITSUTANI (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

### はじめに

年輪年代法は、木造文化財の調査において一年単位で年代を決めることのできる自然科学的  
年代測定法として、重要な役割を果たしている。近年、デジタルカメラやコンピュータによる  
画像解析技術が長足の進歩を遂げたおかげで、調査対象の表面において年輪が明瞭に観察可能  
な場合は、現地で撮影したデジタル画像をもとに年輪年代調査をおこなうことも多い。本稿で  
は、岐阜県多治見市の国宝永保寺開山堂を同方法により年輪年代調査した成果について報告す  
る。

### 調査対象

永保寺は、正和2年(1313)に夢窓疎石と元翁本元らが同地を訪れ開創したと伝えられる臨濟  
宗の名刹であり、同寺開山堂は禅宗様建築の代表例として国宝に指定されている。この建物は、  
方三間の昭堂、方一間裳階付きの祠堂が前後に並び、これらを相の間に連結した構成となっ  
ている(図1)。祠堂には仏徳禅師元翁本元の墓所である宝篋印塔のほか、夢窓疎石と元翁本元  
の頂相が安置されている。開山堂(別名「僊壺堂」)は、観応2年(1351)に夢窓疎石が入寂し、翌  
文和元年(1352)に足利尊氏の寄進により建立されたと伝えられ、建築様式的な特徴からも南  
北朝時代の建立と考えられる。また、外観において昭堂と祠堂を対照させながら、相の間を介  
した巧妙な架構によって一体化されたような内部空間(図2)が、どのような経緯で形成された  
のかという点でも興味深い。

### 調査方法

本報に掲載する年輪年代調査は、2006年4月、関口欣也氏の立会いのもと永保寺の協力を得  
て、脚立などの簡易な足場条件下で実施された。マクロレンズと接写用ストロボを装備したデ  
ジタル一眼レフカメラ(1100万画素および1670万画素)を用いて、2400dpi程度の解像度とな  
るように一枚あたりの撮影範囲を定め、スケールを写しこみながら年輪が明瞭に観察可能な箇  
所を一連の計測用画像として撮影した。

年輪幅の計測には、筆者らが開発した年輪画像計測用ソフトウェアを用いた。年輪年代測定  
に際しては、年輪幅の時系列データに対数変換・5年移動平均ハイパスフィルタ処理を施した  
のち、暦年代の確定しているヒノキの標準年輪パターンとの相関分析とt検定をおこなった。

### 結果

この調査では、開山堂を構成する昭堂、祠堂、相の間のうち計40点の部材を調査対象とし  
た。年輪年代の判明したもののうち、建立年代に関わる可能性のある17点を図3・4に年輪  
年代とともに表示する。年輪年代の解釈において、調査対象部材に樹皮または樹皮を剥いだ面  
が残存しているか(以下、樹皮型とし図3・4中でAと表記)、辺材が残存しているか(以下、  
辺材型とし図3・4中でBと表記)、心材のみからなるか(以下、心材型とし図3・4中でC  
と表記)ということは、たいへん重要である。図3・4中の一連の年輪年代をその視点から見  
ると、樹皮型の藁座が1335年と最も新しく、ついで辺材型の部材が、昭堂の大虹梁:1334年、  
拳鼻:1332年、根肘木:1331年、巻斗:1328年、祠堂の琵琶板:1321年、琵琶板:1316年と、原  
木からの加工程度に応じて徐々に古くなる。これら一連の年輪年代は、開山堂建立のための原  
木伐採が1335年におこなわれたことを示唆している。

### 考察

開山堂の建立は文和元年(1352)とされてきたが、今回の年輪年代調査から推測される原木伐  
採の時期は1335年であり、寺伝よりも十数年古くなる。これを永保寺の歴史に照らしてみ  
ると、元翁本元が正慶元年(1332)に入寂し、夢窓疎石が京都臨川寺開山となって永保寺開山を元  
翁本元に改めた建武2年(1335)に相当する。年輪年代法は、原木伐採年代に関する情報を与  
えるものであるから、今回の年輪年代調査の結果をもって寺伝の文和元年(1352)建立を否定す  
ることにはならないが、祠堂には正慶元年(1332)入寂の元翁本元の墓所があり、実際の開山であ  
る元翁本元において夢窓疎石の寂する翌年まで開山堂建立を待つとは考えがたいことから、元

翁本元の入寂を機に開山堂建立のための用材調達が始まった可能性も考えられよう。また、開山堂を構成する昭堂、祠堂、相の間の建立経緯であるが、祠堂については琵琶板の年輪年代から1321年を遡ることなく、さらに1332年寂の元翁本元の墓所があること、一方の昭堂については樹皮型の藁座の年輪年代が1335年であり、以下辺材型の複数の部材の年輪年代が整然と序列することから、祠堂と昭堂の建立に時期差を見込むとしてもわずか3年である。この程度の隔たりであれば、原木伐採に端を発する工期等を含めて考えると、一括の造営事業として捉えることも可能であり、微妙な問題として残る。

永保寺では、平成21年度(2009)から24年度(2012)にかけて、国宝開山堂と国宝観音堂の屋根葺替修理工事がおこなわれている。年輪年代調査についても、この修理工事の工程に合わせて進行中であり、より多くの部材から年輪年代情報を得ることで、さらに永保寺開山堂建立の詳細を解明していきたい。



図1 永保寺開山堂北側外観  
(写真提供：文化財建造物保存技術協会)



図2 永保寺開山堂内部  
(写真提供：文化財建造物保存技術協会)

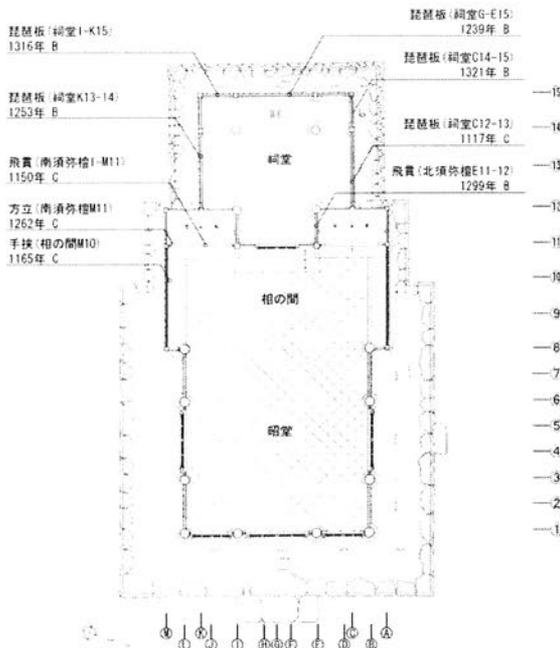


図3 永保寺開山堂平面図

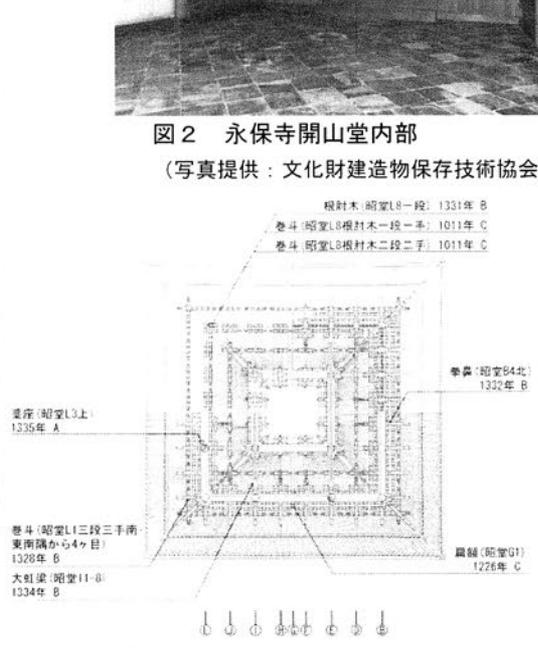


図4 永保寺開山堂昭堂天井見上図

謝辞

年輪年代調査に際しては、永保寺、横浜国立大学名誉教授の関口欣也氏、中央公論美術出版の鈴木拓士氏、公益財団法人文化財建造物保存技術協会の加藤雅大氏はじめ、多くの方々のお世話になった。記して感謝の意を表します。

# 新薬師寺旧境内遺跡出土瓦の熱ルミネセンス年代測定

## Thermoluminescence dating of the roof tile shards from Shinyakushiji temple precincts site.

○青木 智史 (奈良教育大学) , 綱 真奈美 (奈良教育大学) , 川端 靖子 (奈良教育大学)  
○Satoshi Aoki (Nara University of Education) , Manami Tsuna (Nara University of Education) ,  
Yasuko Kawahata (Nara University of Education)

### 1. はじめに

本研究では、2008年に奈良教育大学構内で発見された新薬師寺の旧金堂と考えられる大型基壇建物跡等で知られる新薬師寺旧境内遺跡から2009年に出土した瓦試料を対象に、熱ルミネセンス法(以下、TL法)による年代測定を実施した。本研究で用いたTL法は、陶磁器や瓦などの焼成考古遺物の年代測定に適した方法である。TL法で評価される年代は、最後に高温を被った年代であり、一般的な場合、それは焼成時の年代を表すことになる。新薬師寺は、『東大寺要録』によれば西暦747年に光明皇后の発願で創建されたとされ、西暦756年頃に作成されたと考えられる『東大寺山堺四至図』には「新薬師寺堂」が記されており、その頃には金堂は成立していたものと考えられる。一方、『続日本紀』には西暦780年に西塔焼失の記述があり、『東大寺要録』には西暦962年に大風により七仏薬師堂等堂舎顛倒との記載がある。記述はないものの西暦962年に火災が伴っていた可能性もあり、TL年代測定を実施する際に留意しておく必要がある。本研究では、新薬師寺旧境内遺跡出土瓦試料のTL年代測定を実施することにより、新薬師寺の堂宇の成立年代や被火の可能性を明らかにすることを目指した。

### 2. 測定試料

測定対象とした試料は2009年に大型基壇建物跡の南方約50m地点を発掘した際に検出された5点の瓦試料である。考古学的には、これらの瓦のうち、3点が型式や胎土、その他の特徴により創建期のもの、残り2点も型式は不明なものの創建期から奈良時代末までのものと考えられる。

### 3. 試料採取および試料処理

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

### 4. 蓄積線量と年間線量の評価

蓄積線量の測定には、DAYBREAK社製のTL/OSL自動測定装置-1150 TL SYSTEM-を用いた。昇温速度10.0°C/sec、最高温度500°Cで測定した。また、測定時の検出波長

域は 350-470nm である（光学フィルタは Corning 7-59 および Schott BG-39）。蓄積線量の評価には、石英粗粒子法による Multiple aliquot additive dose (MAAD) 法を適用した。MAAD 法は、Natural 試料と任意の線量の放射線を照射した付加線量試料を測定し、生長曲線を作成して等価線量(Equivalence dose ; ED)を評価する方法である。スプラリニアリティー補正のためのアニール条件は、350°Cで 60 分間とした。

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

## 5. 結果と考察

蓄積線量と年間線量、および TL 年代の評価結果を表 1 に示した。全体として纏まりの良い年代値が得られている。測定年である 2010 年を基準として西暦年に換算すると、Sample01~05 はそれぞれ 840 $\pm$ 200 年、890 $\pm$ 200 年、770 $\pm$ 170 年、840 $\pm$ 220 年、840 $\pm$ 290 年となる。また、5 試料の平均値をとると 1174 $\pm$ 99 年前となり、同じく西暦年に換算すると 836 $\pm$ 99 年となる。少なくとも、962 年に火災を伴っていた痕跡は見当たらない。誤差範囲を考慮すれば創建期の瓦であるとも考えられるが、中央値のみに着目すれば Sample03 を除き 8 世紀中頃に成立したと考えられる新薬師寺の瓦としては数十年から百年程度若く評価されている。しかし、この結果をもって、創建以降に火災などによって被熱したと考えるのは早計である。注意を要するのは、今回測定対象となった瓦は、屋根瓦として実際に用いられていた建築材である点である。通常、TL 法では、出土時の試料の胎土および周辺土壌から年間線量率を評価する。この際、年間線量率が過去一様であったという仮定を置くが、本研究の様な場合には少なくとも屋根瓦として用いられていた間は空気中にあったことになり、土中に埋蔵されている場合に比べてその間の年間 $\gamma$ 線量率は低かったことが予想される。仮に、『東大寺要録』が伝える西暦 962 年の大風による倒壊時まで屋根上にあつた場合、埋蔵以前の二百年間程度の間は $\gamma$ 線量率が少なかったことが予想され、その分蓄積線量が少なくなっていることが考えられる。結果として数十年程度若く評価されてしまっている可能性がある。このような建築材の年間線量変化に着目した研究が 2004 年に長友らによってなされており<sup>\*</sup>、同一条件ではないが本研究においても今後検討が必要となると考えられる。今後も新薬師寺旧境内遺跡出土瓦の分析を進めたい。

表 1 新薬師寺旧境内遺跡出土瓦の TL 年代測定結果

試料名	蓄積線量 (Gy)	年間線量率 (mGy/a)	TL 年代 (年前)
Sample01	3.45 $\pm$ 0.55	2.96 $\pm$ 0.17	1170 $\pm$ 200
Sample02	4.85 $\pm$ 0.69	4.32 $\pm$ 0.48	1120 $\pm$ 200
Sample03	4.74 $\pm$ 0.50	3.84 $\pm$ 0.34	1240 $\pm$ 170
Sample04	4.12 $\pm$ 0.63	3.52 $\pm$ 0.36	1170 $\pm$ 220
Sample05	3.48 $\pm$ 0.81	2.98 $\pm$ 0.28	1170 $\pm$ 290

<sup>\*</sup>長友恒人, 西村誠治「唐招提寺金堂基壇の磚の TL 年代測定」, 『日本文化財科学会第 21 回大会研究発表要旨集』, pp.6-7, 2004 年.

## 日本産ツガ属の年輪年代測定(その4)

—ツガとクロスデート可能なヒノキ古材試料について—

### Dendrochronology of Japanese Hemlocks 4; Ring-width data of historical Hinoki timbers crossdatable with the mean data of Hemlock

○藤井 裕之(奈良文化財研究所・客員研究員), 中田 宏和(奈良県文化財保存事務所)  
○FUJII Hiroyuki (Guest researcher, Laboratory of Dendrochronology, Nara National Research Institute for Cultural Properties), NATATA Hirokazu (Office for Restoration of Architectural Monuments, Nara Prefectural Board of Education)

はじめに

年輪年代学によるツガの本格的な検討は長らく行われないうままであったが、最近の研究によって現生材、古材の双方でデータの蓄積が進みつつあり、この樹種においても年輪年代法が十分適用可能であることがわかってきた(藤井・光谷 2010)。しかし、今のところ現生材と古材における年輪パターンとの連結は未達成で、ツガに適用可能な暦年標準パターンの実用化に向けて、ツガ古材にいかん適切に年代を与えるかが課題になっている。

第 26 回大会の研究発表(藤井ほか 2009)ではこれをクリアするため、ツガ古材と関連の高いヒノキ古材試料を介在させることにより、ヒノキの暦年標準パターンからツガ古材による平均値パターン(以下、ツガ古材パターン)に間接的ながら仮の年代を与えた。ただ、その裏付けとなるデータは 1 例のみで、データの反復性に問題があった。

その後、奈良県内の近世建造物を新たに調査したところ、ツガ古材パターンと関連の高いヒノキ古材(樹皮型試料を含む)を 2 点検出できた。これらのヒノキ古材は、ヒノキ自身の暦年標準パターンとはクロスデートできなかったが、試みにツガ古材パターンを基準に年代を求めたところ、建造物の履歴と非常に整合的な結果が得られた。古材におけるツガとヒノキのクロスデートについて、妥当性の高い新例を追加できたので、以下報告する。

#### 1.調査の対象

調査対象としたのは、重要文化財 當麻奥院方丈(奈良県葛城市當麻)である。この建物の平面規模は桁行 12m、梁間 9m、屋根は寄棟造の瓦葺で、修理前は場所によって本瓦葺と棧瓦葺が使い分けられていた。現存建物は慶長 17(1612)年に建立されたものであり、その後数度にわたって大がかりな改造を受けていることが棟札や瓦銘、その他の痕跡からわかる。2008 年度から奈良県文化財保存事務所により半解体修理が進められており、今回の知見はその解体工事と並行して行った年輪年代調査によって得られた。

#### 2.試料とデータ処理の方法

解体工事の結果、方丈正面(南流れ)から解体した化粧垂木の多くに、ノタ(舂、あるいは野太とも。樹皮直下の丸太はだのこど『建築大辞典第 2 版』彰国社)が残存していることがわかった。そこで、南流れの化粧垂木のうち、目視でおおむね 100 層以上の年輪が含まれていると判断した 8 点を試料に選定し、垂木の尻から各々約 1cm 厚に切り出した木片を年輪幅の計測に供した。これらは、痕跡調査の結果、すべて当初材と考えられる。寸法は、いずれも成が 9-12mm、幅が 7-10mm 程度で、髄(芯)に近い部位が含まれていることから、原木は直径 30cm ほどの大きさであったと考えられる。また、各試料の年輪幅は非常に細かいものが多い。樹種については、試料ごとに徒手切片法による観察・保存用プレパラートを作成し、同定した結果、すべてヒノキであった。

年輪幅データ(以下、年輪データ)の計測や比較、照合は、Baillie(1982)等をベースとした光谷らの方法(1990)によった(照合の目安;重複年輪数 100 層以上、 $t=5.0$  以上)。計測は、試料の木口面において専用の実体顕微鏡付き年輪読取器を使用して行った。また、比較、照合の作業は主としてコンピュータ上で行い、年輪分析ソフト PAST4(オーストリア SCIEM 社)、および ExcelVBA による自作プログラムを適宜併用した。

### 3.クロスデートとその結果

#### a. 化粧垂木 8 点の総当たり比較

まず、8 点すべてについて総当たり比較を行ったところ、1 組のみ高い t 値でクロスデートが成立した。この組を構成する 2 点はともに樹皮型であったが、最外年輪の位置は互いに一致し、グラフの目視点検も良好であった。

#### b. ヒノキの暦年標準パターン等との比較

次に、上記 2 点から化粧垂木の平均値データを作成し、ヒノキの暦年標準パターンとの比較に付けることにした。この作業は光谷拓実氏、および東北大学・鳴門教育大学研究グループ(大山幹成氏)に依頼して実施した。しかし、このクロスデートはいっさい成立せず、2 点をそれぞれ標準パターンと比較した場合も同様であった。

#### c. ツガ古材パターンとの比較

現在作成されているツガ古材パターンは、隣接する當麻寺大師堂改造時(17 世紀後半と推測される)の後補材によるものである。年輪データは 292 層からなり、最外年輪年代は 1650 年である。これまでに大師堂の当初材、および大阪府貝塚市願泉寺本堂のツガ材に対してクロスデートが成立しており、そのパターンは一定の普遍性を帯びていることが想定できる。また、年代的にも化粧垂木と時期が重複していることが考えられる。

そこで、ツガ古材パターンを化粧垂木の平均値データと比較したところ、問題なくクロスデートが成立した。最外年輪年代は 1611 年であった。この平均値データを構成する試料 2 点はともに樹皮型であることから、ツガ古材パターンに与えた仮の年代に誤りがなければ、その原木が伐採された時期は、1611 年の秋ごろから 1612 年の春ごろまでの間に絞り込むことができる。

### 4.年代値の評価について

棟札銘によると、奥院方丈が上棟を迎えたのは旧暦の慶長 17 年 6 月 25 日である。現在の暦では、同年 7 月 23 日のことであった。化粧垂木はその後まもなくして組み立てられたと考えられるが、その時期と上述の年輪年代との間に時間的な矛盾はない。伐採から使用までの時間差がやや短い懸念はあるが、当時は新しい幕府の手で次々と主要な寺社の再興が図られた時代であったことを考えると、むしろ整合性のほうが高いように思われる。

#### まとめ

ヒノキの暦年標準パターンと年輪データが同調しないヒノキに対し、ツガ古材パターンから年代づけを試みた。その結果クロスデートが成立し、文字資料と整合的な年代を得ることができた。

ツガ古材パターンに適切な年輪年代を与えるには今回の結果を得てもまだ不十分で、依然として反復性の検証は十分ではない。しかし、ヒノキの一部にツガと同調する一群が存在していることをあらためて確認できた点は、産地推定の問題とも関連して重要と考える。今後も現生、古材の別を問わず、新たな試料を得て、継続して確認作業を続けていきたい。

なお、本発表の一部は科研費(課題番号 22760497、22500974)の成果によるものである。

#### 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・後藤玉樹 2009「日本産ツガ属の年輪年代測定(その2)－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

藤井裕之・光谷拓実 2010「日本産ツガ属の年輪年代測定(その3)－現生材における基準パターンの作成と既存データの再検討」『日本文化財科学会第 27 回大会研究発表要旨集』pp.274-275

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

## 新田 (1) 遺跡出土木材の年輪年代測定と放射性炭素測定から

### 推定される遺構間の年代関係

#### Dendrochronological and radiocarbon dating for archaeological wood excavated from the Nitta (1) site, Aomori Prefecture

箱崎真隆 (東北大学生命科学研究科), ○大山幹成 (東北大学植物園), 星野安治 (東北大学植物園), 佐々木由香 (パレオ・ラボ), 藤根 久 (パレオ・ラボ), パレオ・ラボ AMS 年代測定グループ, 木村淳一 (青森市教育委員会)

Masataka Hakozaki(Graduate School of Life Sciences, Tohoku University), ○Motonari Ohyama(Botanical Gardens, Tohoku University), Yasuharu Hoshino(Botanical Gardens, Tohoku University), Yuka Sasaki(Paleo Labo Co., Ltd.), Hisashi Fujine(Paleo Labo Co., Ltd.), Paleo Labo AMS dating group, Jun-ichi Kimura (Board of Education, Aomori City)

【はじめに】年輪年代法では、木質遺物の年代測定を高精度で行うのみならず、可能な限り多くの試料を供試することにより、遺跡の遺構間の年代関係を推定することが可能である。現在、東日本では、年代測定の基盤となる標準年輪曲線の整備が未だ途上であり、年代測定ができない時代、地域が存在するが、このような場合でも、年輪年代法で各試料の年代関係を確定後、<sup>14</sup>C年代測定を実施することで、遺跡の営まれた年代範囲を絞り込むことが可能である。本研究では、青森市に位置する新田 (1) 遺跡より出土した木製品を対象として、1)東北北部の古代～平安時代をカバーするアスナロ標準年輪曲線の構築、2)年輪年代測定と<sup>14</sup>C年代測定を併用し、同遺跡の年代および遺構間の年代関係を推定すること、を目的とした。

【試料と方法】 新田 (1) 遺跡は、青森市新城川右岸の沖積地及び丘陵地上に位置する石江遺跡群の一つで、主に平安時代と中世の遺構が検出されている。同遺跡では出土木材の一部で既に年輪年代測定が実施され、遺跡の営まれた年代範囲 (11世紀初め～中頃) が示唆されている (光谷, 2007)。本研究では、前回報告された16点を含む44点の試料 (樹種: アスナロ) を供試した。クロスデーティングは、統計評価とグラフの目視評価を併用した。年輪年代測定で、試料間の年代関係を確定後、試料5点を選定し、それぞれ5-7点の測定試料を採取して、加速器質量分析計 (パレオ・ラボ、コンパクトAMS: NEC製15SDH) を用いて<sup>14</sup>C年代測定を行った。<sup>14</sup>C年代の暦年較正は、OxCal4.1 (較正曲線データ: INTCAL09) を使用し、ウィグルマッチングを行った。

【結果と考察】 試料44点のうち、31点をグループ1、2点をグループ2として試料間の年代関係を確定した。グループ1の結果を、光谷 (2007) と比較したところ、試料間の年代関係は、データまたは試料の取り違えと推定される1点を除き、完全に一致した。このことから前回報告に基づき、グループ1に暫定的な暦年代を与えた (図1)。グループ1の31点の試料群により、西暦681～1048年にわたる369年間のアスナロ標準年輪曲線を構築した。この曲線は、今後、東北北部における年代測定に重要な役割を果たすことが期待される。

グループ1の年輪年代測定結果とこのグループに含まれる3点の試料のウィグルマッチング法による暦年較正年代はほぼ一致し、遺構の年代が11世紀初め～中頃であることが確定した。ただ、これら3点の年輪年代はいずれも2σの暦年代範囲内に入らず、ウィグルマッチングの暦年代の方が古い結果を示した。この

原因として、古い炭素による試料の汚染や時代的、地域的に Intcal と日本産樹木の放射性炭素含有量がずれている影響が考えられるが、現段階での特定は困難である。

今回対象とした試料は溝 (SD) や井戸 (SE) の投棄材が多く、遺構の年代を直接的に示す証拠にはなりにくいため、遺構間の詳細な年代関係を示すことは困難であったが、各遺構がほぼ同時代であり、年輪年代から示唆される遺構間の年代関係も発掘所見と矛盾がないことが示された。

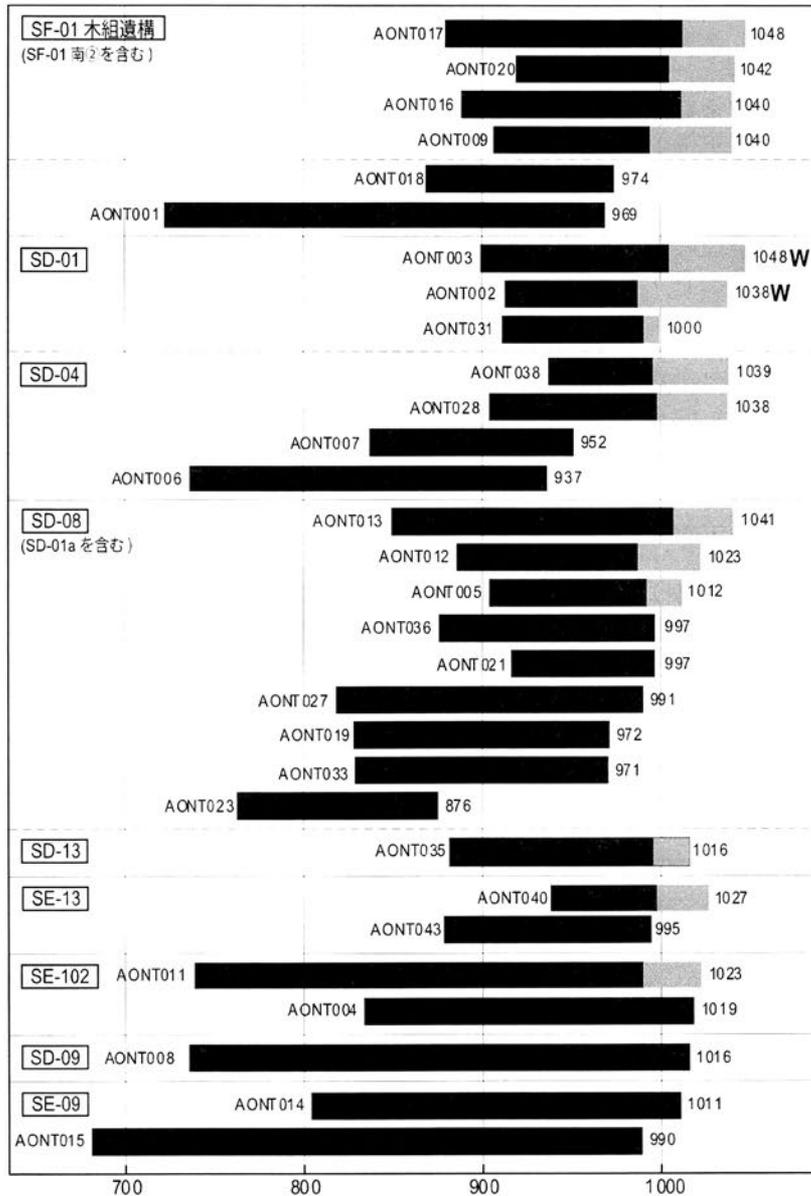


図1: 新田 (1) 遺跡試料のバープロット。各試料の年代範囲および最外年輪/層年代を示す。心材部は黒色、辺材部は灰色で示している。脚注直下の年輪 (対照) を確認した試料に層年代にWを付した。SDは溝遺構、SEは井戸遺構を示す (箱崎功, 2011)。

【引用文献】

光谷拓実 (2007) 年輪年代法による新田 (1)、高間 (1) 遺跡出土木材の年代測定. 青森市教育委員会編「石江遺跡群発掘調査報告書—東北新幹線建設事業に伴う発掘調査—」, 281-285, 青森市埋蔵文化財調査報告書第94集, 青森市教育委員会.  
 箱崎真隆・大山幹成・星野安治・佐々木由香 (2011) 新田 (1) 遺跡出土木材の年輪年代測定と放射性炭素年代測定から推定される遺構間の年代関係.「石江遺跡群発掘調査報告書IV」(第2分冊), 62-72, 青森市埋蔵文化財調査報告書第108集2, 青森市教育委員会.

縄文貝塚出土のトウカイハマギギ *Plicofollis nella* (Valenciennes)とその意義

## The significance of Giant sea catfish, *Plicofollis nella* (Valenciennes) recovered from Jomon shell middens

○松井章・大江文雄(奈良文化財研究所)・田嶋正憲(岡山市教育委員会)

○Akira Matsui, Fumio Ohe and Masanori(Nara National Research Institute for Cultural Properties),  
Tajima(Okayama Municipal Government)

約 6000 年前にピークをむかえた縄文海進期には、現代以上の地球温暖化が生じたとされるが、これまで貝塚出土の魚類相からその温暖化が確かめられた例はほとんど無かった。今回、われわれは、佐賀市東名貝塚(縄文早期)、岡山市彦崎貝塚(縄文前・中期)から、ナマズ目ハマギギ科に分類されるトウカイハマギギ *Plicofollis nella* (Valenciennes)が出土し、それが縄文海進時に生じた地球温暖化の指標となる魚種であることを明らかにすることができた。現在、日本列島とその沿岸に生息するナマズ目のうち、淡水にはギギ科、アカザ科、ナマズ科などが、海水にはゴンズイ科、ハマギギ科が生息する(山田 1993)。日本近海のハマギギ科には、ハマギギ、トウカイハマギギ、オオサカハマギギが知られている。近年、トウカイハマギギは *Arius* 属から独立した属として、*Plicofollis* 属 (Kailola 2004) の名称が与えられている。他のハマギギ科に属す種と比較して、トウカイハマギギの形態上の特徴は、側篩骨、上後頭骨など頭蓋骨の一部の膨隆・肥大化が認められ、東名、彦崎貝塚から出土した試料の特徴と一致することから、トウカイハマギギと同定した。

最初にこの試料が考古学文献に記載されたのは、2006 年の彦崎貝塚の報告書においてで、種名不明魚種として写真図版の中に記載されている(石丸・富岡 2006, p. 291 図版 5 No.118-125)。この報告書の編集者、田嶋は 2008 年 3 月、松井に種名の査定を依頼し、松井は国際考古動物学会の魚類ワーキンググループ(ICAZ, FWG)などの知人・友人に問い合わせを行ない、幾つかの示唆を受けたが、いずれも確定には至らなかった。2008 年 11 月、台湾を訪問した折り、中央研究院語言研究所の李匡梯(Kuang-ti, Li)博士の発掘した、台南サイエンスパーク遺跡から出土した動物遺存体を調査中、その試料を見だし、その種名と部位の同定について議論したが結論には至らなかった。その後、李博士が台北郊外の淡水河で漁獲されたハマギギ属を入手し、松井のもとに持参したことによって分類上の枠組みを確定することができた。松井はハマギギ属について調べるうち、化石魚骨を専門とする大江が、ハマギギの学名について議論を行い、また近年の日本海での漂着例について論考(大江 2008)を重ねていることを知り、大江のもとを訪ねて、トウカイハマギギの現生骨格標本と、出土試料との比較検討を行った結果、両貝塚から出土している試料が、トウカイハマギギの側篩骨と上後頭骨であることを確認した。さらに 2010 年 10 月、岡山市教委の田嶋を訪問し、それまでの彦崎貝塚出土の動物遺存体の概要を検討することができた。本種は、上海からマレーシア、インドネシア、インド、ニューギニア、オーストラリア北部の熱帯から亜熱帯の浅いマングローブの群生する沿岸部や河口部に群生し、まれに海流に乗って日本沿岸に漂着し、定置網などで混獲されることがある(高知、浦戸湾: 1981 山川武氏私信)が、水温の関係で産卵し、世代を重ねることはない(大江 2008)。

松島義章(2006)によると、南関東の貝塚や自然貝層では、亜熱帯種群であるハイガイやシオヤガイなどが9500-87000年前に出現し、5000年前に急に姿を消すことと、6500年前から4200年前にはタイワンシラトリやカモノアシガキ、チリメンユキガイなどの熱帯種群が短期間、出現するなど、太平洋沿岸の温暖化が指摘され、北海道へも日本海経由で7500年前にはハマグリやシオブキなどの温暖種が姿をあらわす(松島2006)。

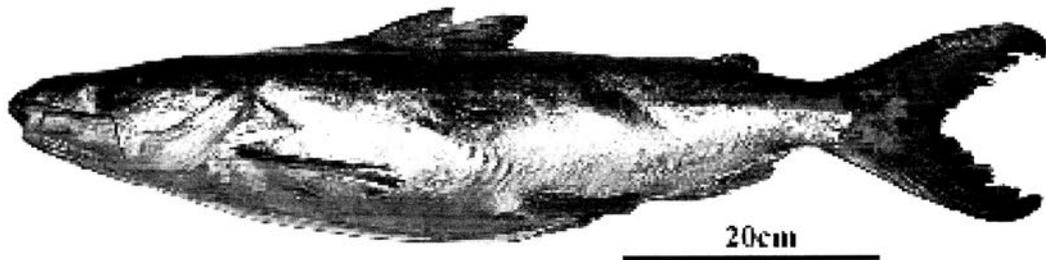
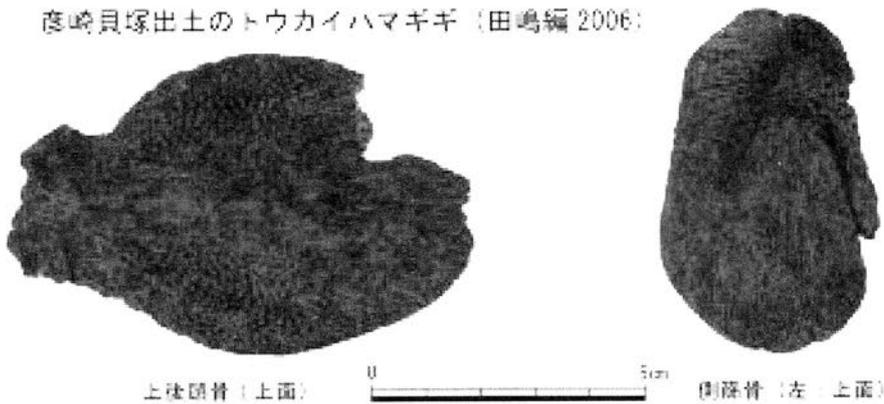
トウカイハマギギは、長い間、西日本貝塚産魚骨の中で科・属・種が不明として扱われてきたが、縄文海進にともなう縄文早期から前・中期の有明海や瀬戸内海の温暖化を実証する魚種であったことが判明した。今後、他の貝塚での本種の出土の有無とその分布、時期の変遷を明ら

かにしたい。大江はこれまでに縄文遺跡から出土するウシサワラが暖海種の指標になると考えてきたが、今回、トウカイハマギギの同定により、縄文海進時の温暖化の指標として新たに本魚種を加えることができたと考える。この他の種不明の魚種の中にも、その形態的特徴、形状など熱帯・亜熱帯性の魚種の可能性のあるものが含まれていることは確実である。今後、東南アジア各国や台湾、韓国など周辺諸国の動物考古学者と連携を強め、現生標本の提供や交換の重要性を指摘したい。さらに近いうちに、環太平洋、特に東南アジア、あるいは中国、台湾、韓国、ロシア沿海州などの動物考古学者らとの共同研究を実施したい。このような古環境の指標となる魚種は、他の日本の貝塚で多数を占めるタイ科、スズキ科、ニシン科などのように、当時の人々の食生活に占める比率は小さかったかもしれないが、その生活環境、自然環境を知る上で、重要な情報をもたらすものである。

文献

大江文雄2001「鮮新統ハマギギ科魚類化石への現生種骨格資料」『化石の友』48: pp.38-43.  
 大江文雄2008「対馬暖流による日本海沿岸でのハマギギ出現」『化石の友』53: pp.39-45.  
 石丸恵利子・富岡直人2009「彦崎貝塚出土の動物遺存体」田嶋正憲編『彦崎貝塚範囲確認調査報告』岡山市教委 pp.254-296。  
 Kailola, P. J. 2004 'A phylogenetic exploration of the catfish family Ariidae (Otophysi: siluriformes) *The Beagle, Records of the Museums and Art Galleries of the Northern Territory* 20: pp. 87-166.  
 西田巖・中野充・甲元眞之・松井章2006「佐賀県佐賀市東名遺跡の調査」『考古学研究』53(1), pp.104-106。  
 松島義章2006『貝が語る縄文海進』有隣新書。  
 山田梅芳1993「ハマギギ科」p.239, 中坊徹次編『日本産魚類検索図鑑』東海大学出版会 1474pp.

彦崎貝塚出土のトウカイハマギギ (田嶋編 2006)



トウカイハマギギ

## 弥生犬種に関する遺伝的多様性の見方

View of genetic diversity in domestic dogs of Yayoi period.

○ 山 口 誠 治 (大阪府文化財センター)

Seiji YAMAGUCHI (Osaka Center for Cultural Heritage)

### 1. はじめに

渡来人は稲作文化をもたらし、同時に犬も上陸した。その犬は縄紋犬と違って猟犬ではなく、渡来した犬は、家畜として飼われていたと考えられている。弥生時代の遺跡の調査で見つかる犬の骨は、バラバラになったものが多く、その骨の詳細な調査が必要である。

渡来人と共にやって来た北方系の犬は、在来の南方系の縄紋犬と交配した痕跡が日本犬(柴犬、紀州犬、秋田犬、甲斐犬、四国犬)の遺伝子に記憶されている。さらには、北海道と南九州および琉球列島に渡来人が行かなかったか、あるいは極めて少なかったか、在来の縄紋犬の血統がほぼ純粋に保たれたと考えられる。それが北海道犬や琉球犬であると言われている。

本研究は、現在進行している発掘現場から出土する動物遺物を研究試料として犬種の同定作業を行い、古代犬の遺伝的形態の特徴を追求したので報告する。なお、古代の日本犬は、日本人の生成の秘密を解き明かす情報も秘めていると考えられる。

### 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動物遺体が出土した。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、これらの多量の動物遺体の同定作業と形態復元も行い弥生時代の犬種を検討した。

#### [研究方法]

- ① 出土動物遺体情報について、種名、件数、時代、遺跡所在地、遺跡名、文献番号順に整理する。遺体情報データをデータ化した。(データベースソフトウェアとして、FileMaker Pro を使用した。)
- ② 必要に応じて動物遺体の種類、時代ごと、あるいは遺跡ごとに検索できるようデータベース構築を行う。たとえば、イヌやイノシシ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、動物遺体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、動物解剖学の図解リストを参考に動物遺体部位を判定して、その部位の詳細な観察により、食痕や解体痕を明らかにする。出土動物遺体情報データなどを有効に利用して、環境考古学データベースを作成する。
- ④ 各遺跡で利用される犬種は、考古学に関する情報から家畜化や品種改良の変遷を明らかにする。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、特に溝や井戸や埋葬遺構から発見された動物遺物のデータを収集する。これらの多く動物遺体は、完全な形態で残存するとは少ない。また、全国的にも青谷上寺地遺跡から出土したイヌの骨 350 点を超える量ほどのまとまった資料が出土した遺跡はない。しかし、青谷上寺地遺跡に指摘するほどの多量な動物遺体を検出したのは当センターで

発掘した亀井遺跡であり、動物遺体の保存処理に成功している。また、亀井遺跡から出土したイヌについて、数種類のイヌを確認できそうである。さらに、出土したイヌの骨には解体した痕跡が認められず、イヌの埋葬が行われた遺構も検出している。

(1) 遺伝学上の最新研究成果・・・イヌの家畜化と品種改良は、人類文明の発展に伴って急速に起こった形態の劇的な放散を示す興味深い一例である。イヌおよびその先祖野生種であるタイリクオオカミを対象とした、4万8,000個を越える一塩基多型の大規模かつ詳細な全ゲノム調査により、遺伝的下位区分の注目すべきパターンが明らかにされた。はっきりと分岐した2つのクラスターが出現し、一方は古い品種群、もう一方は19世紀に生み出された近代の品種群であった。共有ハプロタイプ分析から、イヌは、主として中東またはヨーロッパ起原であり、ミトコンドリアDNAデータから以前示唆されたような東アジア起原ではないことが示された。このことは、最近の考古学的発見と一致している。

(2) 生物学的見地からの犬種の多様性・・・古代犬の進化はある程度、家畜化と関連し自然淘汰の力で小型化した古代犬は祖先のインディアン・オオカミほどには大型化せず。人間の集落の周りで犬の数が増すと、餌が少なくて済む小型犬の方が生き残りやすく進化による変化は考えていたよりもずっと早く訪れ、犬が新大陸にコロニーをつくったのも予想以上の勢いであったと考えられる。尚、以上の点を亀井遺跡から出土した弥生犬で考察するには研究対象個体数が少ないが、中小型犬5体、中型犬8体が確認されている。保存状態が良好な遺体が14体存在している。個体数が少ないが進化過程の検討を進めている状況である。また、青谷上寺地遺跡の犬種との比較検討する機会があれば、進化に関する研究が進み詳細な結果が分かれば、日本国内の犬種の遺伝的形態変遷が解明できると考えている。

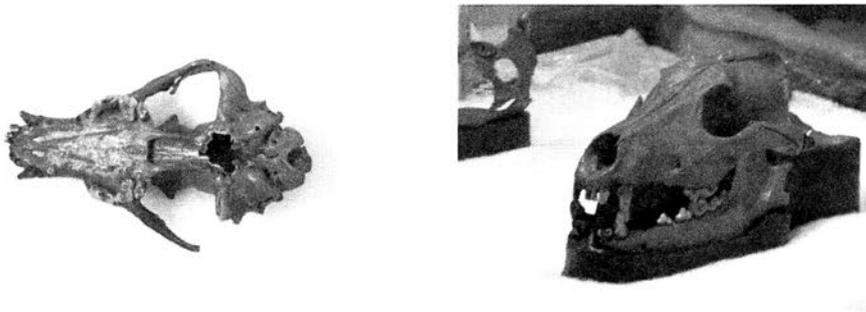


図1. 亀井遺跡出土の弥生犬頭骨

現在、各犬種の発生地や進化の「系統」によって犬を分類する方法は、生物学的見地から高く評価されるものである。日本のジャパンケネルクラブなどでは、平成6年4月から従来の用途別7犬種分類を廃し、国際畜犬連盟 (FCI) の分類に従い、犬の「系統」を重視した10グループ分類方式が採用されている。

[参考文献]：「亀井遺跡 寝屋川南部流域下水道事業長吉ポンプ場築造工事関連埋蔵文化財発掘調査報告書Ⅱ」1982年3月 (大阪府文化財センター)

「亀井遺跡Ⅱ 寝屋川南部流域下水道事業長吉ポンプ場築造工事関連埋蔵文化財発掘調査報告書Ⅲ」1983年10月 (大阪府文化財センター)

『青谷上寺地遺跡の弥生人と動物たち』2006年3月 (鳥取県教育委員会)

Bridgett M. vonHoldt et al. 2010 Genome-wide SNP and haplotype analyses reveal a rich history underlying dog domestication., Nature, Vol 464, pp.898-902

## 軽井川南遺跡群出土木炭窯における 木炭のウィグルマッピング年代と樹種構成

### 14C wiggle matching of the carbonized wood remains excavated from the charcoal kiln at Karuigawa-minami sites, Japan and the vegetation around the area.

○黒沼保子, 藤根久, パレオ・ラボ AMS 年代測定グループ (株式会社パレオ・ラボ), 柏崎市教育委員会

○Yasuko Kuronuma, Hisashi Fujine, Paleo Labo AMS Dating Group (Paleo Labo Co., Ltd.), Kashiwazaki City Board of Education

#### はじめに

軽井川南遺跡群は、柏崎平野の南側に広がる低丘陵地帯に位置し、総遺跡数は 35 遺跡に及ぶ。このうち鉄生産に係わる遺跡は 22 遺跡を数え、奈良時代～鎌倉時代(概ね 8 世紀～12 世紀)に営まれた製鉄コンビナートである。調査では、鉄生産に係わる製鉄炉や鍛冶炉に隣接して多くの木炭窯が検出されている。

一般的に、木炭窯は遺物を伴わないことが多く、焼成年代が明らかでないため、周辺に所在する製鉄や鍛冶に関連する遺構との関係は明確ではなかった。ここでは、下ヶ久保 C 遺跡の木炭窯から出土した木炭についてウィグルマッピング法による放射性炭素年代測定を行い、明らかにした木炭窯の焼成年代、また木炭窯内の木炭の樹種構成から明らかにした当時の樹木植生の特徴について報告する。

#### 試料と方法

下ヶ久保 C 遺跡は軽井川南遺跡群でも最大規模の製鉄遺跡で、鍛冶炉が 3 基、木炭窯が 19 基検出されている。ここでは 17 号木炭窯(SX-17)から出土した木炭の放射性炭素年代測定および樹種同定を行なった。

17 号木炭窯(SX-17)では、煙道付近から奥壁まで、長さが 10～50cm 程度の木材が約 800 本並べた状態で検出され、これら多くの木炭は樹皮が残っていた(写真 1)。各分析方法は以下の通りである。

#### 【放射性炭素年代測定(ウィグルマッピング法)】

ウィグルマッピング法を行った試料は、樹皮が残る最外年輪部を有し、複数点を測定できるだけの年輪数を持つ木炭を選んだ。木炭試料は、破断面について実体顕微鏡を用いて最外年輪部を確認した後、年輪数を計測し、5 年輪単位で切り分けた。木炭は、モクレン属の樹木であり、直径 65mm の丸木材で 15 年輪が計測できた。測定試料は、1-5 年輪と 11-15 年輪を対象とした。

各試料は調整した後、加速器質量分析器(コンパクト AMS:NEC 製 1.5SDH)を用いて測定した。得られた  $^{14}\text{C}$  濃度について同位体分別効果の補正を行なった後、ウィグルマッピング法により最外試料の暦年代を求めた。

単独の年代測定試料では、 $^{14}\text{C}$  年代値から暦年較正を行なう際に較正曲線に凹凸があるため、高精度で年代を決定するのが難しいことがある。ウィグルマッピング法では同一個体から採取した複数試料を測定し、それぞれの試料間の年代差の情報を用いて試料の年代パターンと、校

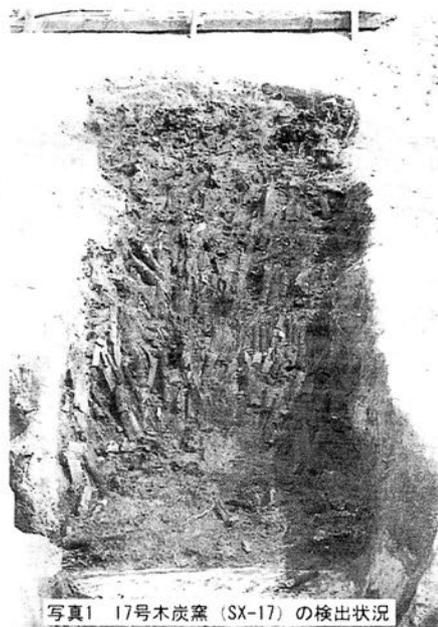


写真1 17号木炭窯 (SX-17) の検出状況

正曲線のパターンが最も一致する年代値を算出することによって、高精度で信頼性のある年代値を求めることができる。

### 【樹種同定】

肉眼もしくは実体顕微鏡で観察し、木取りの確認および径と年輪数の計測を行った。その後、手あるいはカッターナイフを用いて 3 断面(横断面・接線断面・放射断面)を割り出し、試料を作製した。直径 1cm の真鍮製試料台に試料を両面テープで固定し、銀ペーストを塗布して乾燥させた後、金蒸着して走査型電子顕微鏡(日本電子(株)製 JSM-5900LV 型)を用いて観察・同定を行った。

### 結果と考察

ウィグルマッチング法を行った結果、2σで確率の高い方の暦年代範囲において 8 世紀後半～9 世紀後半、1σで確率の高い方の暦年代範囲において 8 世紀後半～9 世紀前半の年代範囲が得られた(表 1)。

表1 17号炭窯(SX-17)の放射性炭素年代測定、暦年較正、ウィグルマッチングの結果

測定番号	δ <sup>13</sup> C (‰)	暦年較正用年代 (yrBP±1σ)	<sup>14</sup> C 年代 (yrBP±1σ)	<sup>14</sup> C年代を暦年代に較正した年代範囲	
				1σ 暦年代範囲	2σ 暦年代範囲
PLD-14434	-24.29±0.13	1208±18	1210±20	778AD(41.6%)828AD	730AD( 1.0%)735AD
				839AD(23.6%)866AD	771AD(94.4%)886AD
PLD-14435	-26.01±0.12	1232±19	1230±20	714AD(25.4%)745AD	692AD(33.9%)749AD
				767AD(31.6%)816AD	764AD(61.5%)874AD
				843AD( 8.2%)859AD	
最外試料年代				777AD(55.6%)825AD	730AD( 2.4%)739AD
				851AD(12.6%)867AD	775AD(93.0%)880AD

樹種同定では、ハンノキ亜属、クリ、コナラ属コナラ節、モクレン属、ネムノキ、ヌルデ、カエデ属、イイギリ、ミズキ、クマノミズキ類、エゴノキ属が確認された。これらは主に温帯に分布する落葉広葉樹である。1 本の木を分割利用したと思われることから、量比については検討できないが、特定の分類群が多く産出することはない、周辺の樹木を雑多に利用したものと推測できる。木取りは丸木・半割・ミカン割りがあり、径はすべて 10cm 以下で 3～6cm 程度のものが大半であった。また、丸木では直径 4cm 以下のものが多く、ほどよい太さのものは丸木で、太いものは分割して規格を統一していたと思われる。年輪数は 20 年輪以下が大半であるが、50 年輪以上のものもある。ハンノキ亜属やコナラ節、ヌルデといった陽樹も産出おり、また年輪数の少ない若い材が多く利用されていることから二次林化した樹木を伐採利用していたと思われる。しかし、年輪数の多い材も多少含まれていることから、完全な二次林のみではなく自然植生も残っていたようである。

製鉄には大量の木炭が使用されるため、木炭の材料には周囲の森林が利用される。17 号木炭窯は 8 世紀後半～9 世紀後半または前半の年代が得られており、軽井川南遺跡群の中では比較的早い時期の操業であるが、早くも周囲の森林では二次林化が進行していたと思われる。

### 引用文献

- 柏崎市教育委員会(2010)軽井川南遺跡群Ⅰ. 172p, 柏崎市教育委員会.  
 柏崎市教育委員会(2010)軽井川南遺跡群Ⅱ. 58p, 柏崎市教育委員会.  
 柏崎市教育委員会(2010)軽井川南遺跡群Ⅲ. 72p, 柏崎市教育委員会.

# オマーン・ラス・ジブス貝塚における漁労活動と古海況

## Fishing and coastal paleoenvironment at Ra's Jibsh, Oman

○植月学(山梨県立博物館)・樋泉岳二(早稲田大学比較考古学研究所)・津村宏臣(同志社大学文化情報学部)

Manabu Uetsuki (Yamanashi Prefectural Museum), Toizumi Takeji (Institute of Comparative Archaeology, Waseda University), Tsumura Hiro'omi (Faculty of Culture and Information Science, Doshisha University)

### 1. 目的

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。発表者ら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関係系解明をめざし、貝塚や周辺地形の調査研究を行ってきた。本発表では2009～2010年度の調査成果のうち、貝層サンプルの水洗選別により得られた魚類遺体の分析結果を新たに報告し、これまでに得られた古海況変遷に関する知見とあわせて、漁撈活動と古海況の関係を検討する。

### 2. 遺跡の概要と調査の経過

ラス・ジブス貝塚では、これまで新石器時代の2地点の貝塚(ラス・ジブス第1、第3貝塚=JBH1、JBH3)と歴史時代の貝塚1地点(同第2貝塚=JBH2)が確認されている。放射性炭素年代はJBH1が約7000～6400BP(5500～5100 cal BC)で、ジャラーン地域の貝塚としては最古級に相当する。JBH3は5775BP(約4040～3850 cal BC)でJBH1より新しく新石器時代の後半、JBH2は1510 BP(1070～1220 cal AD)であった。貝塚に隣接するサブカ(離水したラグーン)は、海成層下の貝塚?層において5990BP(4300～4110 cal BC)、海成砂層において5740BP(3980～3800 cal BC)の年代が得られている。

遺跡周辺の古海況変遷は、貝塚の表面散布貝類のサンプリング調査をもとに、次のように推定された。遺跡形成期前半(JBH1:新石器時代)には遺跡後背のsabkhaにラグーンと砂泥質干潟が存在し、周辺には小規模なマングローブ湿地も点在していた。これに対し後半(JBH2:歴史時代)には、ラグーンが衰退し、外海沿岸性の貝類の比重が相対的に増加した。

### 3. 魚類遺体組成

JBH1のトレンチ2箇所、JBH3のトレンチ1箇所に設定したコラムより連続的にサンプルを採取した。サンプルは4、1mmフルイで水洗した。今回は各コラムの一部のサンプルを選び、4mmメッシュから骨類を抽出した。さらに、各コラム1サンプルについて、1mmメッシュのうち50gから骨類を抽出した。

サンプルから得られた脊椎動物遺体は魚類のみで哺乳類、爬虫類や鳥類は検出されなかった(表A)。魚類は4mmではクロダイ属、1mmではニシン科(Clupeinaeが主体)が優占する。1mmは50gのみ分析したため、重量により全体組成を復元すると、ニシン科が主体で、ボラ科や小形のアジ科が次ぐ(表B)。その他同定された種も含め、いずれも遺跡付近のラグーンや沿岸域で捕獲可能な種であり、貝類組成から推定された遺跡周辺の環境と調和的である。

未同定標本が多く残るものの、現状では外洋での漁労を明確に示す種は存在しない。魚類のサイズは未同定標本も含めて全般に小型である。比較的大型の種であるクロダイ属も、現生標本との比較によれば30cm未満の個体が主体である。遺跡では石錘(pebble net-sinker)以外の漁具は採集されていない。魚種と体長組成も考慮すれば、本遺跡の漁撈活動は遺跡付近のラグーンや沿岸域における小型魚類を対象とした網漁が中心であったと推定される。

アラビア半島の6～4千年紀BCの遺跡と比較すると、イエメンのGihayuではギンガメアジ属 Caranx、スマ、サバ科などの外洋での魚を中心とする(Rosello-Izquierdo et al. 2005)。アラビア湾では同様にマグロ属などを対象により沖合まで開発した遺跡と、内湾浅海域での小形魚(タイ科主体)網漁や tidal

trap が中心と推定されている遺跡もある(Beech & Glover 2005)。本遺跡は後者に近いが、イワシ類を主体とする遺跡は知られていない。ただし、これらの調査のほとんどでは4mm前後のフルイが用いられているので、回収法の影響も考えられる。今回の結果は実際にはイワシ類のような小形魚がこの時期の食料資源の中で重要な位置を占めていた可能性を示唆する。

#### 4. ラス・ジブスにおける生業の問題

新石器時代の動物遺体はほぼ貝類・魚類により構成され、同時期の多くの遺跡で確認されているヤギ/ヒツジなどの家畜、ガゼルなどの狩猟獣、イルカ、ジュゴンなど海獣類、ウミガメ類は未確認である。哺乳類やウミガメ類の希少性は調査面積の狭さによる可能性もある。しかし、これらは表面採集でもほとんど回収されていないので、本来少なかった可能性が高い。貝類採集と小型魚類を中心とした漁撈のみで周年の生活が成立したかは疑問がある。今後は周辺植生や居住の季節性、あるいは他地域への季節的移動の可能性について検討を加える予定である。また、遺跡の立地は石器石材獲得の面でも不利であり、石器石材獲得方法についてもより広域的な視点から検討していく必要がある。

本貝塚はアラビア半島の新石器時代貝塚遺跡としては最古のひとつであり、その調査成果はアラビア半島周辺における人類の初期海洋適応を理解する上で重要な知見をもたらすことが期待できる。

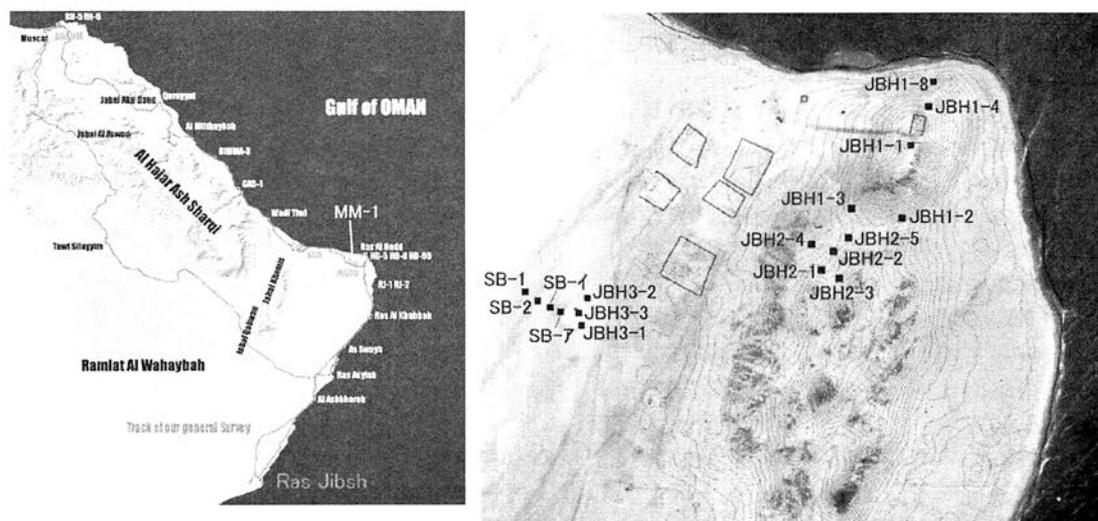


図 遺跡の位置と調査地点

表 魚類遺体組成

メッシュ 地点 サンプルNo.	4mm						1mm			4+1mm推定%		
	JBH1-4 ③ ④	JBH1-8 ③ ⑥	JBH3-3 ④ ⑤ ⑥	JBH1-4 ③	JBH1-8 ⑤	JBH3-3 ⑤L	JBH1-4 ③	JBH1-8 ⑤	JBH3-3 ⑤L	JBH1-4 ③	JBH1-8 ⑤	JBH3-3 ⑤L
エイ類 RAJIFORMES		1			1				0.0%	0.5%	0.0%	
ニシン亜科 Clupeinae				6	25	5			15.6%	10.4%	5.3%	
ニシン科 Clupeidae	8			24	142	41			66.9%	59.3%	43.3%	
コチ科 Platycephalidae		1							0.0%	0.0%	0.0%	
キス属 <i>Sillago</i> sp.		1							0.0%	0.1%	0.0%	
アジ類 Carangidae	3			1					4.3%	0.0%	0.0%	
クロダイ属 <i>Acanthopagrus</i> sp.		15	6			1			0.0%	1.1%	0.4%	
タイ科 Sparidae	1	25	26	2	1				0.6%	3.5%	2.1%	
ボラ科 Mugilidae	4							14	2.2%	5.8%	6.3%	
カレイ科 Pleuronectidae			1						0.0%	0.0%	0.4%	
未同定 Teleostei indet.		7		4	45	40			10.4%	19.3%	42.3%	

235g 283.5g 148.6g  
※1mmは50gのみ処理

岩屋山古墳群、石の宝殿の造営に使われた  
長さの尺度のフーリエ変換による推定

**Estimation of the Scale of Length Used in the Construction of the Group of  
Iwayayama Tumulus and Ishi-no-Hoden with the Aid of Fourier Transform**

○中條利一郎（東文研客員研究員），木暮嘉明（帝京科学大）

○Riichiro CHUJO（Visiting Researcher, Tokyo Res. Inst. of Cultural Properties），  
Yoshiaki KOGURE (Teikyo Univ. of Sci. and Tech.)

1 はじめに

標記の古墳群の長さの計測値にフーリエ変換を施し、それらの造営に使われた尺度を推定する。その情報に基づき、遺跡間の造営に携わった工人集団の異同を推定する。

2 解析に用いた遺跡

この発表で解析に用いた遺跡群は下記のとおりである。なお、イについては既に発表済みなので、アとの比較についてだけ述べる。

ア 岩屋山古墳群

岩屋山古墳	奈良県明日香村
ムネサカ第一号墳	奈良県橿原市
小谷古墳	同
峰塚古墳	奈良県天理市
文殊院東古墳	奈良県桜井市
秋殿古墳	同
石塚古墳	大阪府太子町
艸墓古墳	奈良県桜井市
平尾山千塚	大阪府柏原市
墓尾古墳	大阪府東大阪市

石の宝殿について発表の後、猪熊兼勝教授よりの示唆を受け、後日、和田晴吾教授より教えて頂いた数値である。出展：白石太一郎、「論集、終末期古墳」。

同時に教えて頂いた梅原末治、「日本古文化研究所報告」記載の計測値は使用しなかった。上記のものと重複しているものがあること、尺貫法による計測値であることが理由である。また、和田晴吾、「見瀬丸山・藤ノ木古墳と六世紀のヤマト政権」のも使用しなかった。こちらは時代が異なると考えられるからである。

イ 石の宝殿

置田雅昭教授から教えて頂いた西谷真治、「天理大学学報」記載の数値をそのまま使用した。

3 解析に用いたアルゴリズム

Cooley-Tukeyによる高速フーリエ変換（FFT）をそのまま使用した。その際、フーリエ変換は、本来、周期を知るためのものであることを考慮し、長さ 0.00cm に計測値（ダミー）が一つあるものとして加えた。

4 結果と考察

アの 10 古墳の各々に対して尺度を求めることを試みたが、尺度らしいものは得られなかった。データが少なすぎることが原因と考えられる。

次に、アの 10 古墳の 64 の計測値に対して、一括してフーリエ変換を試みたが、やはり望ましい結果は得られなかった。計測値の最小値が 50cm（小谷古墳の石棺蓋の高さ）、最大値が 1680cm（岩屋山古墳の石室の長さ）と広範囲に分布しており、数値の大きいデータの丸めによる 0 や 00 が意味のある情報と判断されたためと思われる。

そこで、800cmより大きいデータ（6個）を除いたものに対し、フーリエ変換を行う。800cmを閾値に選んだのは、その近傍に計測値がないことによる。58個のデータそのもの、5cm単位に切り上げたもの、二捨三入したものの三種類についてフーリエ変換を行った。グラフによる表示は会場で行うことにし、結果だけを記せば、

	最大強度の周期	その次の強度の周期
生データ	10.00cm	12.81
切り上げ	10.48	14.14
二捨三入	10.00	13.36

である。これらの内、最大強度のものは1cm単位に丸めた結果によるもので、尺度ではない。その次の12-14cm、或いはその整数倍が尺度と考えられる。この頃使われた尺度の一つ

和銅小尺 24.8cm

に近く、岩屋山古墳群は和銅小尺を用いて造営された可能性が大きいと結論される。

一方、石の宝殿は32.0cmの尺度を用いて造営された可能性が大きく、両者が同じ工人集団によって造営されたとは考えにくい。

## 5 既往の研究との比較

松本清張は石の宝殿造営へのゾロアスター教徒の関与を示唆している。古代ペルシアにはqadamという尺度があり、1qadam = 32.0cmであり、この示唆と矛盾しない。

現在は情報過多の時代と言われる。従って、ある文献の所在を知らなかったからと言って、それを非難することは出来ない。しかし、ある文献のある個所を引用しながら、別の個所を無視するのは許されない。「播磨国風土記」の取り扱いがこれに当たる。同風土記はオリジナルのままではないと言うものの、現在にまで伝わる貴重な史料で、歴史学や考古学で多用されている。岩屋山古墳群と石の宝殿の比較についても例外ではない。その「飾磨郡」の条に、「手苧丘と号くる所以は、近き国の神、此処に到りたまひて、手以て草を苧りて食薦（すごも）としたまひき。一云はく、「韓人等、始めて来りし時に、鎌を用ゐることを識らず、但、手以て稲を苧りき、故、手苧村と云ふ。」」という記述があり、国籍は不明だが、外国人（韓人）いたことは間違いない。その他の記述もあるが、それは会場で紹介する。

ところで、ゾロアスター教徒であるにせよ、そうでないにせよ、工人として外国人が石の宝殿造営の時代に播磨地方にいたという説は松本清張が最初なのかどうかも気になる。松本清張がこの説を書いたのは彼の小説「火の路」が最初で、当初は「火の回路」という題で、1973年から1974年にかけて、朝日新聞に連載されたものである。それより20年以上前の、1952年に藤原義一が「郷土志」という兵庫県形地方の雑誌に「当時の工人の着想の遠大と巧妙さに感激」と書いているのに続けて、「天界八十人衆が天橋昇降の際、天上から見えるよう空向きの宮殿」とか、「バビロニアやペルシャの昔の思想を引いたカルデア都市の聖山（チグラト）、パーセポリス宮殿の天壇のように天体と結びついた宗教的な意味」と書いている。どこにもゾロアスター教徒とは書いてない。あまりの突飛な考えにボカして書いたのかも知れない。

## 6 結 論

岩屋山古墳は和銅小尺（24.8cm）の尺度を用いて造営されたもので、石の宝殿のqadam（32.0cm）を用いたのとは異なる工人集団によるものである。

## 謝 辞

石の宝殿のシンポジウムにお招き頂いた森永速男准教授（兵庫県立大学）、そのお陰で岩屋山古墳群の示唆を頂いた猪熊兼勝名誉教授（京都橘大学）、データを頂いた和田晴吾教授（立命館大学）に感謝します。また、「石の宝殿調査報告書」をご恵贈頂いた清水一文氏（高砂市教育委員会）、そこに所載の「郷土志」をお送り頂いた中村弘氏（兵庫県立考古博物館）にも感謝します。

# 中国唐代民生用途文書に見る粟を主体とするイネ科植物由来用紙 Paper made from Millet and Grass Fibre found in the Secular Documents of Tang Dynasty

○江南 和幸（龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター）、坂本 昭二（龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター）、森 正和（同）、岡田 至弘（同）、大木 彰（龍谷大学図書館）、増田 勝彦（昭和女子大学）

ENAMI KAZUYUKI(Digital Archives Research Centre, Ryukoku University), SAKAMOTO SHOJI(Digital Archives Research Centre, Ryukoku University), MORI MASAKAZU(as above), OKADA YOSHIHIRO(as above), OHGI AKIRA(Library of Ryukoku University), MASUDA KATSUHIKO(Showa Women's University)

緒言 製紙技術発祥の中国では、原初ぼろ布原材料による製法から、後漢時代に種々の植物樹皮・表皮を用いる技術へと展開を見た。この技術こそ以後中国およびその周辺諸国の今に続く製紙技術発展の基礎である。しかし大麻表皮、楮（構）韌皮繊維を用いる製紙法は唐末より紙需要の拡大による原料調達のための必要から、竹、わらを用いた製紙技術へと転換されたとされている。中国の製紙事情に関する文献によれば、2000年の全パルプ消費量 2155 万トンのうち、木材パルプ:385 万トン、竹パルプ:40 万トン、稲わら:705 万トンであり、2020年の予測総量 4270 万トンに対して、木材:968 万トン、竹:130 万トンに対して稲わら:1210 万トンとされ、稲わら原料は依然としてきわめて重要な地位を占める (1)。中国の潘吉星(2)、銭存訓(3)によれば、イネ科植物の製紙への利用は中唐から晩唐～宋初頭の竹紙に始まり、北宋以後稲わら紙が作られるようになったという。竹紙製紙法は、天工開物に詳細が記され、宋時代以後の歴史も実物を通してたどられているようであるが、稲わら紙の起源の詳細はまだ文献記載の域を出ていない。

今回、龍谷大学大谷コレクション中の唐代 7 世紀末～8 世紀半ばのトルファン地方の民間の経済関係文書を中心とする用紙の顕微鏡観察を行ううちに、アワを主体とするイネ科植物を原料とする用紙が多数発見された。この発見は、唐中央から遠く離れた辺境における民間の需要に応じるために、大麻紙、楮紙作りと併行して始まったアワなどのイネ科植物を用いた紙作りが、その後の中国における稲わらを用いる製紙法の先駆けであったことを示すものである。

実験方法 大谷コレクションの文書(5)～(7)に記載される中央アジアトルファン地域（中国にあっては西域最辺境）において発見された、民間経済文書用紙を主とし、その他兵役文書、官庁文書、仏教経典も含めた古文書のモルフォロジー、繊維微細組織、紙表面および内部に残る植物遺物を、キーエンスデジタル顕微鏡 VX-500 を用いて詳細に観察し、繊維、表皮、種子（小花）、葉、茎などから植物遺物の同定を試みた。イネ科植物のいくつかについては、予測される種の日本の標本との比較、また中国禾本科植物の著書(4)に記載の組織写真を参考とした。

## 結果と考察

Fig.1～4 に今回分析した文書用紙に見いだされたアワの植物遺物の典型例を示す。いずれも中央アジアトルファン地域で発掘された 8 世紀中頃の唐時代の経済関係文書とされる文書である。Fig.1 は国際敦煌プロジェクトの大谷コレクション分類番号（以下同じ）の MS05834 周氏一族の納税文書に属する文書で開元 29(741)年の紀年がある文書上に残存したアワ粒（小花）である。Fig.2 も同時代の経済文書に漉きこまれたアワ茎表皮である。半叩解状であることからアワの茎が確かに製紙材料に使われたことを示す。Fig.3 は MS05833 周氏一族納税文書:寶應元(762)年の上のアワ小花付属物のアワに固有の短い刺を有する刺毛である。刺毛は同時代又それ以前の多数の文書に叩解の度合いに応じていくらか形を変えつつもほぼ共通に見いだされる。Fig.4 は MS05811 周氏一族納税文書:至徳二(757)年上のアワ小花内穎表皮で特有の組織をもつ。

これらのアワと同定される植物遺物は今回の分析では、主として 8 世紀の経済文書に多く見いだされたが、兵役文書、官庁文書の用紙にも、ぼろ布、大麻繊維に混じり存在した。また 7 世紀末～8 世紀初頭の則天文字の記された文書にも見いだされている。アワとは直ちに同定出

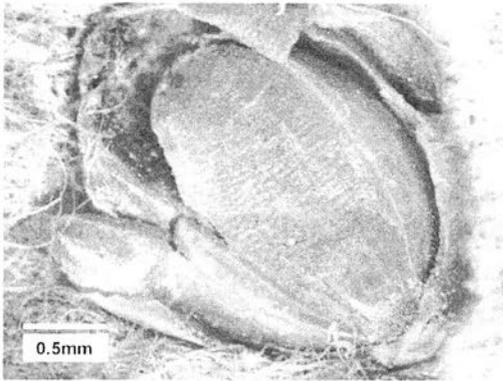


Fig.1 MS05834 周氏一族納税文書:開元 29(741)年の上に残るアワ粒 (小花)

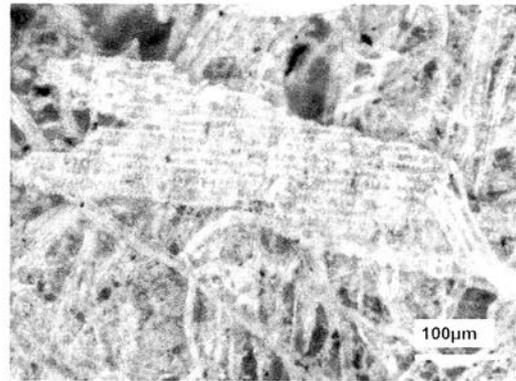


Fig.2 MS04906 高昌県納税文書:天寶 4(745)年に漉き込まれた半叩解状のアワ茎表皮.

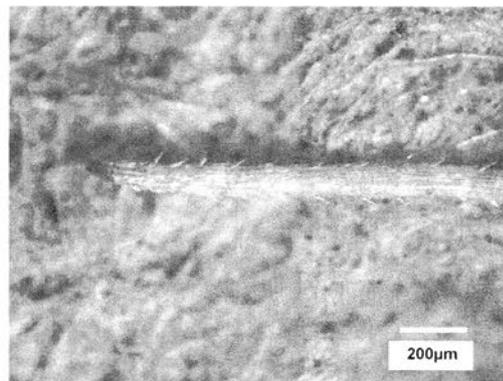


Fig.3 MS05833 周氏一族納税文書:寶應元(762)年上に残るアワ小花に付属の刺毛.

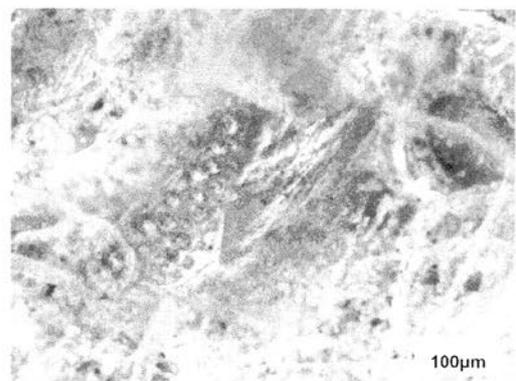


Fig.4 MS05811 周氏一族納税文書:至徳 2(757)年に漉き込まれたアワ小花内穎表皮.

来ないが、イネ科植物遺物は 6 世紀高昌国の文書にも見いだされており、中国中原から遙かに隔たった中央アジア地域では製紙材料不足から、早くからイネ科植物が製紙材料として（少なくとも補助材料として）用いられていたことが伺える。中唐時代に始まるとされる竹紙，北宋時代に始まるとされる稲わら紙は，このような中央アジアの製紙工人の創意工夫が逆に中原に伝わったことによるとも考えられる。それでは，なぜ中央アジアでは稲わらではなく，アワなのか。(8)によれば，栽培植物としてのアワはインド，中央アジアを起源として，アジアからさらにヨーロッパへ広がったもので，水資源に恵まれない中央アジアでは米ではなくアワがもっぱら主食であったことは容易に理解出来るところである。(9)には 3000 年前の雲南省遺跡の炭化穀粒がアワであり，その証拠として Fig.1 小花，Fig.4 の内穎表皮と類似の穀粒およびアワ小花内穎表皮 SEM 写真が比較のための中国産アワの写真とともに示されていることを付け加えたい。最後に日本産アワ標本の提供を頂いた阪本寧男京都大学名誉教授に感謝いたします。

#### 文献

- (1) 常用非木材繊維鹼法製漿実用手冊 中国軽工業出版社，1997，北京
- (2) 潘吉星:「中国製紙技術史」，佐藤武敏訳，平凡社，1980
- (3) 銭存訓:「中国の紙と印刷の文化史」，久米康生訳，法政大学出版局 2007 年
- (4) 草類繊維 (禾本科) 中国科学院植物研究所編著，科学出版社 1973 年版，北京
- (5) 大谷文書集成第一巻 龍谷大学善本叢書 5，小田義久編，法蔵館，1984 年
- (6) 大谷文書集成第二巻 龍谷大学善本叢書 10，小田義久編，法蔵館，1990 年
- (7) 大谷文書集成第三巻 龍谷大学善本叢書 23，小田義久編，法蔵館，2003 年
- (8) 阪本寧男:「雑穀をたずねて」，エコソフィア 8(2001),56-63
- (9) 佐々木高明，松谷暁子，李昆声，阪本寧男:国立民族学博物館研究報告，22(1997),804-827

# 人物埴輪の製作技法と円筒埴輪の刷毛目による埴輪工人の同定 Identifying haniwa artisans analysing production technique and tools of human-shaped haniwa

○大村冬樹(筑波大学大学院人文社会科学研究所)

OHMURA FUYUKI (Graduate School of Humanities and Social Sciences,  
University of Tsukuba)

## 1、はじめに

古墳時代の埴輪生産は畿内地域に始まり、関東地方に伝播したのち在地の工人集団によって盛んにおこなわれるようになったと考えられている。背景として、中央の大和政権と地域首長との交流が大型古墳の築造と埴輪祭祀に関係していることが想定される。関東地方では埴輪生産は地域を統括していた首長の下で大規模に行われていたとみられ、有力首長と大和政権の関係を明らかにするための大きな手掛かりになると考えられる。本発表では、大規模生産が窺われる現在の茨城県域において、埴輪の中で最も多様な技法が用いられる人物埴輪を対象に製作技法を分析した。さらには同一工人集団によるものと推定される埴輪の刷毛目工具痕跡を比較し、埴輪製作工人集団について考察した。

## 2、茨城の人物埴輪製作技法

埴輪出土古墳の分布は那珂川・久慈川流域(茨城県北部)と霞ヶ浦北岸周辺地域(茨城県中央部)に集中している。これまでに、挂甲線刻表現、眼孔の形状などの違いにより工人集団が異なるという指摘がされている(車崎 1980、日高 2006 など)。これらは主に外見的特徴から工人集団を分類したものであり、工人の「くせ」を反映した製作技法は腕のみが注目されてきた。そこで、頭部破片を中心に内面観察から同一工人集団による製作品との裏付けを得るための作業をおこない、再検証した。

## 3、人物埴輪の頭部製作技法

改めて複数遺跡の資料を実見した結果、頭部の製作技法の特徴も以下に挙げるように2パターンに分類されることを再確認した。

### ○茨城県中央部

- ・ 基本的に内面にナデを施す
- ・ 顎外面に粘土を貼り付け曲線的に表現
- ・ 顎部より上を別成形

### ○茨城県北部

- ・ 内面にナデを施さない
- ・ 顎を内側から押し出して尖らせる
- ・ 輪積みにより閉塞

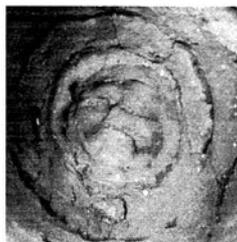


写真1 人物埴輪破片に見られる製作時の主な痕跡(左から順に、頭部内面上部の輪積み痕、顎部内面の押し出し痕、断面中空の腕部)

#### 4、刷毛目の観察

埴輪の外面上には、製作段階に施された木材(刷毛目工具)による木目凹凸(年輪)がみられる。この年輪の幅を比較することで、埴輪の個体間で同一の工具が用いられたかを判別することが可能である。まずは刷毛目の間隔を記録し、比較検討した。幅が一致する資料の刷毛目はデジタルカメラを用いて真横から撮影し、パソコン上で拡大して一致することを確認した。このような埴輪の外面上に施された「刷毛目」の共通性を観察し、埴輪生産に関して考察を行った。

#### 5、刷毛目からみた工人の特徴

先述の共通する技法が用いられている人物埴輪の刷毛目工具の同一性と、埴輪の器種ごとの異同を調査した。茨城県北部において多数の埴輪が出土した中道前5号墳では3種類の刷毛目パターンがみられ、その中で最も共通個体が多い刷毛目が人物埴輪頭部にも一致する。このことから、円筒埴輪を多く製作した工人が人物埴輪も製作していたものとみられる。一方、茨城県中央部で最も出土数が多い舟塚古墳でも共通個体が多い刷毛目パターンがみられた。また、女子埴輪と武人埴輪に共通する刷毛目もある。しかし、埴輪の作風が類似する北屋敷古墳、不二内古墳の刷毛目パターンはいずれも一致しない。すなわち、両地域において最も多くの円筒埴輪を製作した工人が形象埴輪も製作していたものとみられるが、複数の古墳の埴輪を同時に製作していたとは考えがたい。



写真2 埴輪外面の刷毛目の例

#### 6、結論・分析の問題点

上記の通り、刷毛目痕跡が一致する資料は人物埴輪の作風と技法が類似する古墳間では認められなかった。工人の特徴が近似する埴輪に同一の工具は使用していないことから、これらの埴輪の製作は同時期におこなわれたものではないと推察される。古墳間で同一の刷毛目はみられないことから異なるプロジェクトごとに製作されたといえるが、同一古墳内における工具の扱われ方にも異なる傾向があったものとみられる。すなわち、刷毛目工具は、製作機会毎に新たなものが使用されていたと考える方が穏当である。

#### 7、おわりに

分析から、製作技法から同一工人集団による製作が考えられる埴輪でも、それを同一人物による製品とみなすにはさらに細かく分析を進めるべきといえる。今回の調査で工人集団の製作した器種を推測することは可能であるが、刷毛目工具の扱われ方にはまだ検討の余地があり、今後は工人の影響範囲を明らかにするために別の方法を検討することが課題である。

#### 引用文献

車崎正彦 1980 「常陸久慈の首長と埴輪工人」 『古代探叢』 早稲田大学出版部 pp.309-327  
日高慎 2006 「『型』成立の実体」 『埴輪づくりの実験考古学』 学生社 pp.85-99

# 日本出土ソーダ石灰ガラス製小玉の種類とその変遷

## Scientific Research of Na<sub>2</sub>O-CaO-SiO<sub>2</sub> glass beads excavated in Japan

○田村朋美（奈良文化財研究所），高妻洋成（奈良文化財研究所），肥塚隆保（奈良文化財研究所）

○Tomomi Tamura（Nara National Research Institute for Cultural Properties），Yohsei Kohdzuma（Nara National Research Institute for Cultural Properties），Takayasu Koezuka（Nara National Research Institute for Cultural Properties）

### 1. はじめに

アルミニウム含有量の少ないソーダ石灰ガラス（Na<sub>2</sub>O-CaO-SiO<sub>2</sub>系）（以下、ソーダ石灰ガラス）は「西のガラス」といわれ、地中海周辺地域で発達したと考えられている。また、これらのソーダ石灰ガラスはMgOおよびK<sub>2</sub>Oの含有量が少なく融剤として天然ソーダを使用したと推定されるものと、MgOおよびK<sub>2</sub>Oの含有量が多く融剤に植物灰を使用したと推定されるものに分類されている。ここでは便宜的に前者をナトロンガラス、後者を植物灰ガラスと呼ぶ。近年、日本で出土するソーダ石灰ガラス玉類についてもこれら2種類の系統のガラスの存在が明らかとなり、それぞれの日本での流通時期についても言及することが可能となってきた。さらに、これまでソーダ石灰ガラス小玉の分析事例はコバルト着色による紺色ガラスにほぼ限られていたが、古墳時代後期末に出現する植物灰ガラス小玉には様々な色調のものが存在することが明らかとなってきている。本研究では、日本で出土したソーダ石灰ガラス小玉の種類を把握し、ナトロンガラスおよび植物灰ガラスそれぞれの日本列島への流入時期について検討した。

### 2. 資料と方法

本研究の対象とした資料は、弥生時代後期から古墳時代後期にかけての遺跡から出土した約2000点のガラス小玉である。これらのガラス小玉について観察的手法により製作技法を推定し、分析的手法によりその化学組成を調査することによって基礎ガラスの材質および着色材の分類をおこなった。材質調査にあたっては、エネルギー分散型蛍光X線分析装置（EDAX社製EAGLE III）をもちいて非破壊分析を実施した。測定結果は、ガラス標準試料をもちいて補正したFP法により規格化し、酸化物重量百分率で表すこととした。本調査は完全非破壊測定であり、表面の風化の影響を無視することができないため、資料本来の正確な化学組成を知ることはできないものの、基礎ガラス材質や着色材の分類的考察をおこなうことは可能である。

### 3. 結果と考察

MgOおよびK<sub>2</sub>Oの含有量が少ないというナトロンガラスの特徴を示したのは連珠法および二種類の巻き付け法によるコバルト着色の紺色ガラス小玉であった（図1）。いっぽう、引き伸ばし法による紺色ソーダ石灰ガラス小玉のなかにもMgOおよびK<sub>2</sub>Oの含有量が比較的少ない傾向を示す一群が認められた。しかしながら、同一遺構で共伴した資料群でもMgOおよびK<sub>2</sub>O含有量の変異が大きく、いずれかもしくは両成分を2-3%含有する場合があることから、ナトロンガラスを原料として異なる材質のガラスが混合された可能性が考えられる。そこで、これらをナトロンガラス主体ガラスとしてナトロンガラスとは区別した。これらのナトロンガラス主体ガラス小玉はコバルト原料の不純物と考えられるMnO含有量が多いことが特徴である。

古墳時代のソーダ石灰ガラス小玉の多くが MgO および K<sub>2</sub>O を 2% 程度以上含有する植物灰ガラスであった。これらの植物灰ガラスのほとんどが、引き伸ばし法で製作されたコバルト着色の紺色ガラス小玉であった。ただし、これらの植物灰ガラス製の紺色ガラス小玉は MnO の含有量が少なく、同じく引き伸ばし法で製作されたナトロンガラス主体のガラス小玉とはコバルト原料が異なるものと考えられる。

古墳時代末に、一般的な引き伸ばし法によるガラス小玉とはやや異なる特徴を呈するガラス小玉が出現することが知られている。これらのガラス小玉は、一方の端面の角が丸味を持ち、両端面が非対称となる特徴的な形状を呈する。孔壁がやや荒れており、芯棒を用いて孔に軸を通した状態で、加熱された可能性も考えられる。以上のことから、一般的な引き伸ばし法とは異なる技法で製作された可能性が考えられるため、上記のような特徴をもつガラス小玉の製作技法を変則的な引き伸ばし法と呼ぶこととする。これらのガラス小玉を分析した結果、いずれも植物灰ガラス製であることが明らかとなった。紺色透明を呈するものが最も多いが、濃緑色透明、紫褐色透明、淡青色半透明、黄緑色不透明、黄色不透明など紺色以外の色調のものも一定量存在する。とくに淡青色半透明や黄緑色不透明、黄色不透明など、先行して高アルミナソーダ石灰ガラス小玉に認められる着色技法が用いられていることが注目される。紺色のものについても MnO 含有量が 0.5% 程度以下と少ないものの、PbO の含有量がやや多い点で通有の紺色植物灰ガラスとは異なる特徴を有する (図 2)。このように、これらのガラス小玉は製作技法や着色材が異なることから一般的な引き伸ばし法による紺色の植物灰ガラス小玉とは系譜が異なる可能性が考えられる。

以上のように様々な種類のソーダ石灰ガラス小玉が日本列島で流通していたことが明らかとなった。これらのガラス玉の流入時期については以下のように考察することができる。弥生時代後期にナトロンガラス主体ガラス小玉が北部九州を中心に確認され、出土状況からナトロンガラス小玉についてもほぼ同時期に流通したのと考えられる。植物灰ガラス小玉が本格的に流入する時期は他の材質よりかなり遅く、古墳時代中期後半から始まり、6 世紀に大量に流通する。このとき流入したのは一般的な引き伸ばし法で製作された紺色ガラス小玉が中心である。これらのガラス小玉の流入がほぼ途絶えたと考えられる古墳時代後期末に入れ替わるように両端面が非対称なガラス小玉が出現する。これらの時期にガラス小玉の流入経路に大きな変化が生じたものと考えられる。

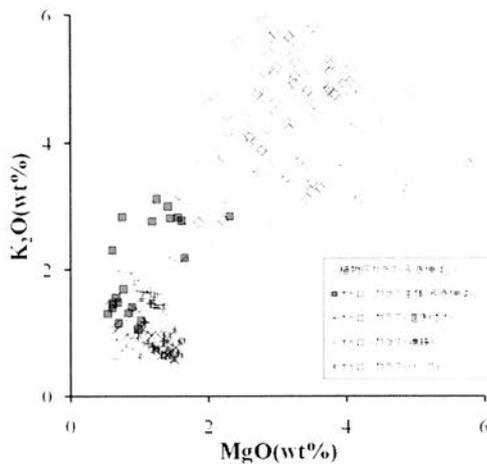


図 1 ソーダ石灰ガラスの MgO-K<sub>2</sub>O 量

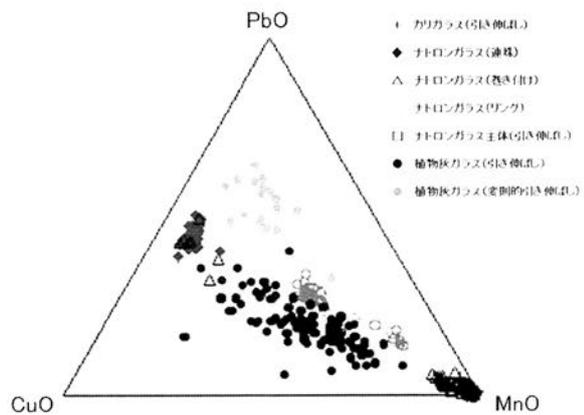


図 2 紺色ガラス小玉のコバルト原料の不純物

# 示差熱天秤-光イオン化質量分析 (TG - DTA - PIMS) による 出土琥珀の科学分析

## Analysis of Excavated Ambers by Thermogravimetry- Differential Thermal Analysis- Photo Ionization Mass Spectrometry

○植田直見 ( (財) 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)

○Naomi UEDA(Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

Hiroko WATANABE(Sumitomo Metal Technology, INC)

### 1. はじめに

今年の発表では熱分解-ガスクロマト/質量分析 (Py-GC/MS と略す) による出土琥珀の分析結果を報告した。この方法は2段階の加熱により、低温部 (熱脱着) で劣化した琥珀成分を除き、高温部 (熱分解) で望む分析が行える特徴がある。それ以前の分析方法は劣化の影響を受けデータの解析が困難となる場合が多かったが、Py-GC/MS は分子構造を把握できる方法として有効であることがわかった。しかし、電子衝撃イオン化法であるため分子が分断されフラグメントとなり非常に複雑なピークとなることもわかった。そのため解析が複雑で分子構造の違いは認められるが個々のピークの帰属には困難が伴った。

一方、示差熱天秤-光イオン化質量分析 (以下、TG-DTA-PIMS と略す) は加熱によってガス化した資料を光イオン化する方法で分子を壊さず分析できる。そのため、複雑なフラグメントが観測されにくく、高分子化前の分子の構造が把握できる可能性が高い。今回、標準琥珀を中心に同一条件で分析した結果、産地によって分子構造に差が見られることがわかったので報告する。

### 2. 資料

標準試料として日本における主産地である久慈市 (赤川、米田、堀内、川代)、銚子市 (長崎早船、酉明浦、犬吠崎、波止山)、いわき市 (南沢、入間沢、末続、広野町) 周辺のカッコ内に示した代表的な4箇所採取した琥珀を用いて分析を行なった。

### 3. 分析方法

TG-DTA-PIMS は(株)リガク製、光イオン化 TG-DTA-MS 測定装置 (ThermoMass photo) を使用した。測定は試料 2~3mg をプラチナセルに入れ、He ガスを 300ml/min で流しながら、昇温速度 20°C/min で加温し、試料をガス化した。その時の重量変化と熱量変化を測定しながら発生したガスを光イオン化質量分析計で分子量を測定した。

### 4. 結果と考察

日本の主たる産地から産出する琥珀の起源となる植物はナンヨウスギ科の植物やメタセコイヤ属の可能性が高いといわれている。これらの植物由来の樹液の主成分はラブダン型のジテルペンで図1に示した分子構造を持つ。これらの化合物の環外の二重結合が長い年月の間に共有結合し、高分子化したものが琥珀であると言われている。そのため、TG-DTA-PIMS で得られた分子イオンの  $m/z$  はこのモノマーに由来する化合物が含まれていると考えられた。図2、図3に久慈市 (川代)、いわき市 (入間沢)、銚子市 (酉明浦) の分析結果を示した。そ

の結果、DTG では、久慈、いわきは銚子よりガス化する温度がいずれもやや低いことがわかった。これは以前に熱分析を行なった結果とも一致した。また、それぞれの産出地では 400℃ 付近から 450℃ 付近の間で DTG のピークが一つのものとなつに分かれるものが確認された。それぞれの産地でイオン化された分子の主な  $m/z$  を図 3 に示した。

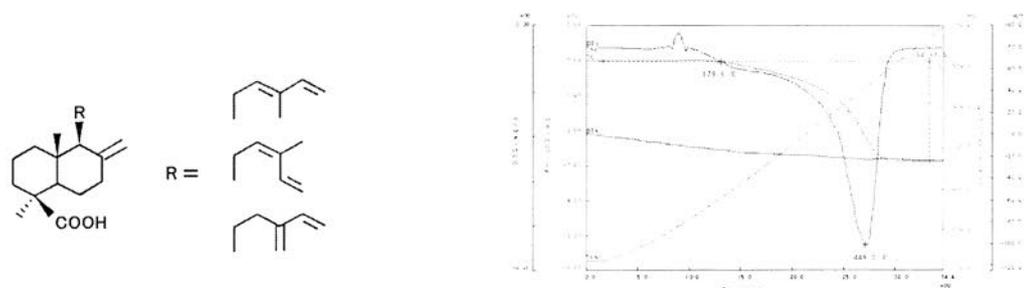


図 1. 琥珀を構成する成分 (Communic acid)

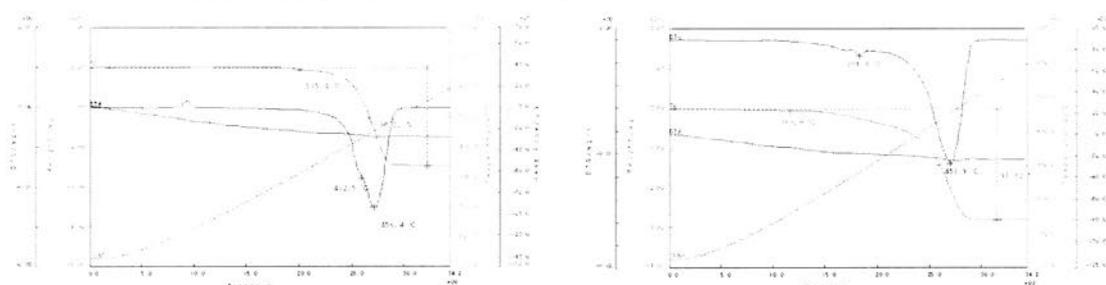


図 2. 標準琥珀の TG-DTA (上段右: 久慈市、下段左: いわき市、下段右: 銚子市)

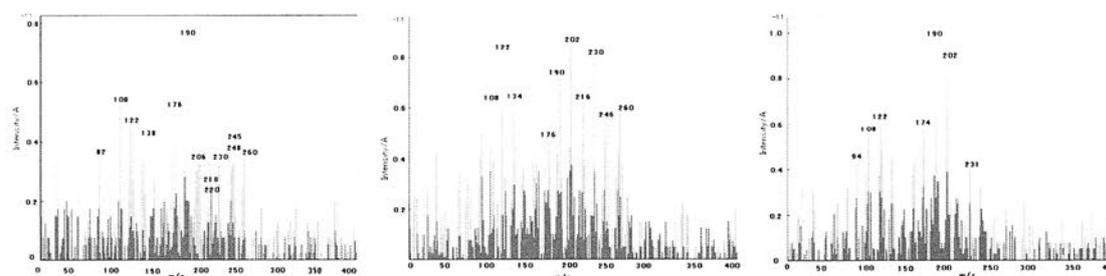


図 3. 標準琥珀の PIMS (左: 久慈市、中: いわき市、右: 銚子市)

その結果、 $m/z=202$  までは  $m/z=190$  のピーク強度がいずれも比較的高いことも含め、 $m/z$  の値と強度は似通った傾向を示した。しかし、それより分子量の大きい領域では銚子産は強度が高いピークがほとんど確認できないのに比べ久慈、いわきは何本 ( $m/z=230$ 、 $246$  など) か目立ったピークが確認できた。この結果より久慈市・いわき市と銚子市は区別がつく可能性が高いと思われた。

## 5. さいごに

高分子化合物である琥珀は由来する化合物の構造はどの産地でもほぼ同じ傾向を示した。しかし、分子量の高い部分で差が見られ、高分子化における結合状態が異なっているためではないかと推測した。今後さらに分析試料数を増やしデータを蓄積することで地域ごとの差を明確にし、出土琥珀の産地推定へと進めていきたい。

## 弥生前期・遠賀川式土器の成形方法：

### 粘土帯外傾接合と頸部折り曲げ手法の機能的意味

Forming Method of the Ongagawa Type Pottery: With Special Interests in Performance Characteristics of the 'Gai-kei' Joining Method (upper clay bands are added on the exterior side of lower ones) and the Bending Method of Neck Forming.

○小林正史（北陸学院大学）、鐘ヶ江賢二（鹿児島国際大学）、田畑直彦（山口大学埋蔵文化財資料館）、河西学（山梨文化財研究所）、山崎頼人（小郡市埋蔵文化財調査センター）

#### 1. 分析の目的と方法

本研究の目的は、「使い勝手（機能性と耐久性）と製作コストのバランス」という機能的視点にたつて、「一定の選択肢の中から特定の土器作り技術が選択された理由」を明らかにすることである。西日本の遠賀川式土器を主対象として、以下の方法で成形方法（頸部折り曲げ技法、および粘土帯の外傾接合）の機能的意味を検討する。まず、断面薄片における粒子の配向性の分析と「復元可能土器の割れ口が水平に巡る頻度」の検討から、成形手法の特徴を復元する。そして、東南アジアの土器作り民族誌における外傾接合例と製作実験を参照しつつ、土器作り工程間の関連（粗砂粒を多く含む素地や板ナデ仕上げとの関連）も考慮して、このような技法が選択された機能的意味についての仮説を提示する。

分析資料：福岡県小郡市に所在する力武内畑、三沢南崎、横隈狐塚、大板井、三沢北中尾遺跡から出土した遠賀川式深鍋（板付Ⅰ～Ⅱc式期）12点について、長さ4cm以上の断面薄片を作製した。土器片試料はエポキシ樹脂を含浸させて補強し、土器の鉛直断面切片（厚さ3mm）を切断し、岩石薄片と同様に薄片を作製した。エポキシ樹脂には、薄片で黄褐色になるように蛍光色素を混入させてあるため、十分に樹脂が含浸された土器の場合には、土器薄片作成中に生じた亀裂（白色）と区別ができる。通常よりも長大な切片を薄片にしたため、エポキシ樹脂硬化後の温度差などによる膨収縮などにより、土器薄片に薄片製作時の亀裂が少なからず生じている場合がある。粘土に加えられた応力に対応して粘土鉱物やより大きな粒子が配向を示す。胎土中の粘土鉱物や他の粒子あるいは細かき害れ目などからなる配向は、可塑性のある焼成前の土器の素地に加えられた製作技法による作用の痕跡をとどめている。

#### 2. 断面薄片における粘土粒子の配向性の分析

粘土粒子の配向性から、成形方法について以下の点が指摘される。

第1に、頸部の括れ部では粘土粒子の配向が滑らかに湾曲しており、線構造の接合痕跡が見出せないことから、折り曲げにより頸部の括れを作り出したことが明らかである。さらに、口縁部や胴上部に比べて頸部の厚さが薄い例が目立つことから、折り曲げ時に引き伸ばすような動作も行われたといえる。

第2に、12点中少なくとも5点において粘土粒子の配向に「外面に傾く線構造」が認められることから、外傾接合で成形されたことが明らかである。一方、半数近くの資料では接合部を示す線構造が認められなかった理由として、素地が全体的に緻密なため「線構造が存在したとしても認定しにくかった」可能性と、断面薄片の長さを超えていた（粘土帯幅が5cm以上だった）可能性とが考えられる。

第3に、接合痕が縄文土器よりも不明瞭であり、また、過半数の資料では気孔が明瞭に認められないことから、接着強度が強い。この点は、土器片の割れ口が水平に巡る頻度が低いことから明らかである。

第4に、外傾の接合痕は断面の内部で観察できるが、特に外表面では見えないことから、外表面が入念に調整されている（接合時の伸ばしやその後の板ナデなど）。

最後に、断面の中央部において外傾の接合痕の傾きがほぼ一定しており、想定されていたよりも傾斜が緩い(上述のように、内外表面付近は、調整が入念なため、線構造を認定できない)。この事実は、最初の接合時に上下の粘土帯間の重複がそれほど大きくなかったことを示す。一方、接合部での剥離痕が50例近く報告された大阪府讃良郡条里遺跡の遠賀川式土器では、断面中央部での接合痕がより急角度だが(中尾2008)、これは、胴部の湾曲が強い壺・鉢が大多数を占めるためと推定される。なお、粘土粒子の配向の線構造がほぼ一定した傾きを示す事実は、これが接合痕を示すことを補強している。

なお、粘土帯の幅については、今回の観察では明らかにできなかったが、讃良郡条里遺跡の剥離痕例から「1段の幅が4 cm以上の太目(直径4 cm以上)の粘土紐または粘土帯だった可能性が高い。

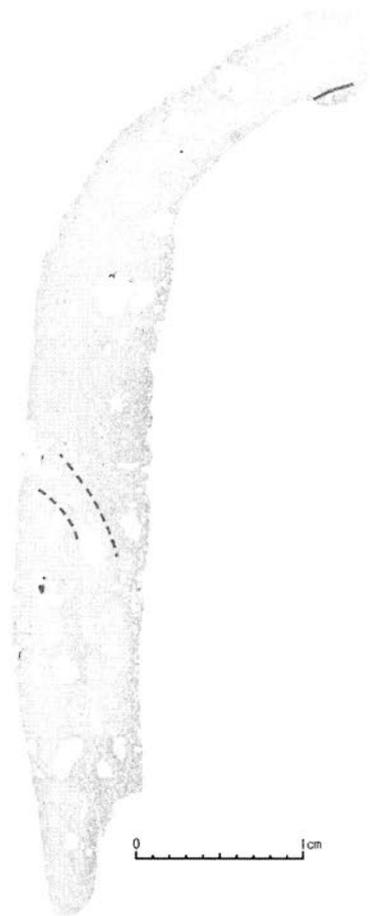
### 3. 頸部折り曲げ技法と粘土帯の外傾接合の機能的意味

まず、折り曲げ技法(+口縁部横ナデ)による頸部の作り出しは、稲作農耕民の土器作り民族誌に普遍的にみられる特徴である。この理由として、炊飯では、オカズ用鍋との置き換えや炊飯の蒸らしのために熱くて重い鍋を頸部を掴んで移動する必要があることから、頸部を堅牢にする必要があることがあげられる。弥生深鍋は、頸部で割れ口が巡る比率が縄文深鍋よりも低い事実は、この点を裏付けている。

次に、外傾接合は、東南アジアの土器作り民族誌事例(ラオスのサラワン県ブンカム村・ディンコック村、および海南島福報郷)では、粘土帯(1段の紐幅が広い)を積んだ後、伸ばしにより密着度を高める技法に伴っている。フレッシュな粘土が外面では下段の粘土の外側に積まれるため、「内面は下から上へ、外面は上から下へ」と伸ばしやすい(これに対して、内表面を上から下へ伸ばす操作には制約がある)ことが、外傾接合が選択された理由と考えられる。また、幅広い粘土帯を積むには外傾の方が適するという実験結果もある。縄文土器では早~前期の繊維土器に用いられる。東北の円筒下層式土器や関東の繊維土器は、破片の割れ口が水平に巡る頻度が低い点で、縄文土器の中では特異的である。素地に大量の繊維を入れるのは、使い勝手の利点はないことから、休止をあまり置かず、一気に積み上げることが目的と思われる。

一方、外傾接合による製作実験では、器壁が外側に広がり、へたっぺりしやすいことが木立雅朗氏や田畑により指摘されている。よって、あえて外傾接合を用いた理由を解明する必要がある。

上述の諸点から、外傾接合は、比較的軟らかめの粘土帯を、伸ばし技法を用いて積み上げる成形方法と結びついている、と推定される。今回の観察では、断面薄片の内外表面付近の接合痕がみえないため、伸ばし技法を検証できていない。しかし、断面「内部」の接合痕の傾きが比較的緩やかな点で、東南アジアの外傾接合の民族誌例(上段の粘土帯を、あまり傾きをつけずに置き、接合面の上端と下端は接合時の伸ばしにより、各々上下に長く引き伸ばされて傾きが急になる)と共通することから、「太い粘土紐を積む時点では上下の粘土紐間の重複が少なかったにも関わらず、粘土紐間の接着強度が高いのは、内外表面を伸ばし技法により密着させた結果である」と解釈することもできる。そして、遠賀川式土器特有の粗砂粒の多い素地は、軟らかめの粘土を外傾接合する際に、ずり落ちにくくする工夫と解釈できる。最後に、外傾接合と伸ばし技法が選択された理由として、1段の幅が広い粘土帯では、伸ばし技法のような接合直後の調整・変形に適していたことが考えられる。



# 顕微赤外分析による絹製文化財の劣化状態の研究

## Studies on the Degraded State of Excavated Archaeological Silk Fibers using Infrared Micro-Spectroscopy.

○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 客員研究員），奥山 誠義（橿原考古学研究所）  
○Masanori Akada (Kyoto Institute of Technology Venture Laboratory),  
Masanori Sato(Nara National Research Institute for Cultural Properties),  
Masayoshi Okuyama(Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture)

### 1. はじめに

我々はこれまで繊維の材質分析に関連する赤外分析(FT-IR)による様々な研究をおこなってきた。佐藤ら[1]は赤外スペクトルから絹のアミド基が文化財の出土資料において特別な変化を示すことを指摘している。また、このアミド基の変化は偏光スペクトルでも顕著なことが確認されており[2]、繊維の材質分析に役立つことが分かっている。しかしながら、一部の出土資料は、繊維形状は維持しているにも関わらず、分析では偏光特性が確認できない場合がある。本研究では劣化状態を偏光と結晶化度から検証し、材質分析が困難な資料においてどのような変化が発生しているのか調査研究を行った。

### 2. 分析試料と分析条件

#### 2.1 分析試料

予備調査において、出土資料の中から(1)偏光特性がなかった試料を数点選出し分析を行った。また、モデル試料として、強制劣化試料を(硫酸銅 10%水溶液に浸漬させ、70°C6ヶ月静置したもの)を作成し、段階的な諸変化について検証した。なお、試験用の絹布には染色堅牢試験用精練絹布(JIS規格)を使用した。

#### 2.2 分析条件

分析には Shimadzu IR Prestige-21 (Reflectance Spectroscopic Analysis)を使用し、分解能  $8\text{cm}^{-1}$ 、アパーチャーサイズ  $25\mu\text{m}$ 、積算回数 128 回の条件下で分析を行った。また、偏光子を用いて  $15^\circ$ 刻みの偏光スペクトルの測定も行った。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 出土繊維資料の分析結果

図1に出土繊維からサンプリングした分析試料の偏光スペクトルを示す。分析試料は各種顕微鏡観察の結果から絹繊維ということ判断がなされている。この試料のIRスペクトルは現代参照絹と比較すると、Amide基が非常に崩れており、Amide Iと思われるピークも  $1610\text{-}1600\text{cm}^{-1}$ と非常に低波数側にシフトしていることがわかった。偏光子を入れ、 $0\text{-}90^\circ$ まで偏光角度を調整し分析を行った結果、わずかながら偏光特性が得られた。しかしながら非常に低波数側にピークが検出されること、偏光特性が微弱であることから、明確に Amide 基と判断することはできなかった。

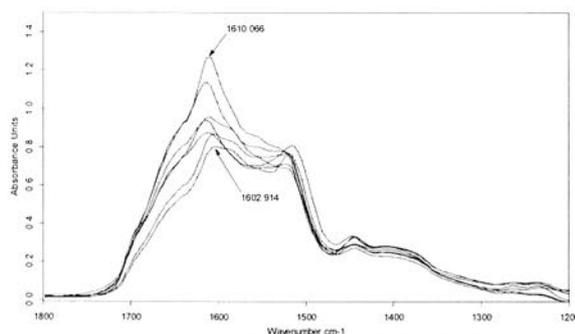


図1 出土繊維資料の偏光スペクトル

#### 3.2 実験試料の分析結果

出土繊維資料の偏光特性がどのような経緯で失われるのかを検証するため、強制劣化試料を作成し、いくつかの分析を行った。

図2に実験試料の偏光スペクトルを示す。分析試料は実験期間の増大にともなって  $3500\text{-}3400\text{cm}^{-1}$ に銅の結合水や、 $1070\text{cm}^{-1}$ に硫酸銅の影響と思われる  $\text{SO}_4^{2-}$ と絹の分解成分と思われるピークが発生した。また、 $1700\text{-}1500\text{cm}^{-1}$ の Amide 基のピークについても大きな変化が見られた。

### 3.2.1 結晶化度

実験試料の劣化度を示すために、IR スペクトルによる結晶化度の算出を行った。絹の劣化度評価を行う場合、破断強度等の算出が一般的だが、絹製文化財は資料量が微量の場合が多く測定が難しい。そこで、FT-IR による結晶化度による評価を行った。

結晶化度の算出は  $1614/1660\text{cm}^{-1}$  とした。解析の結果、14 日経過した試料では現代参照絹よりも結晶化度が非常に大きくなっており、非晶質の分解消失による相対的な結晶質の増加が発生していると考えられる。6 ヶ月経過試料では結晶化度は現代参照絹と同じ数値まで低下しており、結晶質が崩壊していると考えられる。

### 3.2.2 偏光特性

図 2 に 6 ヶ月経過試料の偏光スペクトルを、図 3 に偏光角度による Amide I / II のピーク強度比を示す。また表 1 は偏光角度  $90^\circ$  の結晶化度と Amide I / II のピーク強度比の数値である。偏光特性について検証した結果、実験開始から 14 日経過した試料では偏光特性が現代参照絹よりも強く検出された。絹の偏光特性は分子の配列にも強く依存するため、試料の劣化にともなう結晶質物質の相対的な増加によって偏光特性も強く現れたことが考えられる。

しかしながら 6 ヶ月経過試料について分析した結果、Amide 基のピークに関しては、現代参照絹と比較して偏光特性が非常に低下していることがわかった。特に、 $45^\circ\sim 90^\circ$  の角度においては偏光特性がほとんど区別できない結果となった。

## 4. まとめ

絹は劣化すると一時的に結晶化度が増加することがあるが、それにもなって偏光特性も強く検出されることがわかった。さらに劣化が進行し、結晶化度が低下すると、偏光特性も徐々に失われていくことがわかった。特に偏光特性は IR スペクトルにおいて Amide が検出されている場合でも偏光特性が非常に弱くなっていることがある。特に結晶化度が顕著に低い試料については偏光特性も現れないことがわかった。

## 5. 終わりに

これまで出土繊維資料の材質分析では偏光特性を特に注視してきたが、上記の結果から偏光特性が失われた状態のものもあることがわかった。またこのような絹繊維は結晶化度が顕著に高くなっていることもわかった。これらのことから Amide 基が特徴的に出ている有機成分が比較的残存している資料でも、偏光特性は失われているケースがあり、今後材質分析を行う場合は上記の点に注意しながら材質分析を行う必要があると言える。

[1] 「絹文化財の世界(伝統文化・技術と保存科学)」角川書店(2005)

[2] 赤田, 佐藤, 奥山 Journal of Textile Engineering (2009), Vol.55, No.6, 171-177

本研究は、科学研究費補助金若手研究者(B)「絹文化財の簡易的な劣化指標の作成」の成果の一部である。

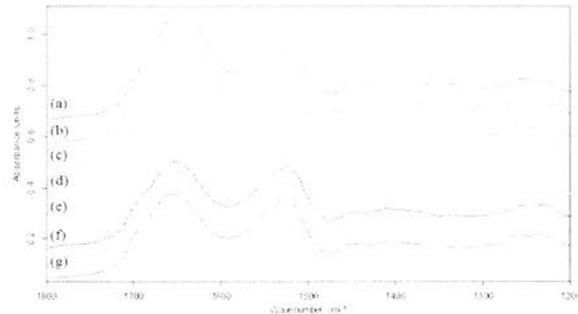


図 2 6 ヶ月経過試料の偏光スペクトル  
(a)偏光  $0^\circ$  (b)偏光  $15^\circ$  (c)偏光  $30^\circ$  (d)偏光  $45^\circ$   
(e)偏光  $60^\circ$  (f)偏光  $75^\circ$  (g)偏光  $90^\circ$

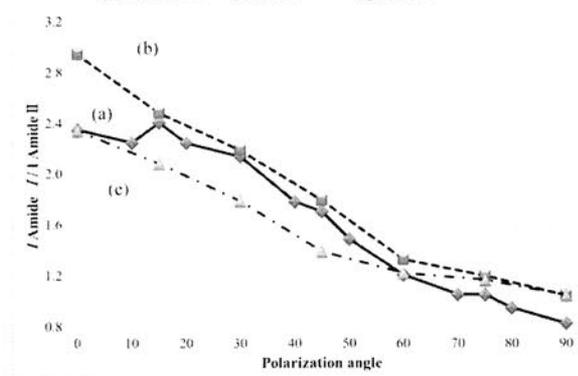


図 3 偏光角度による Amide I / II のピーク強度比  
(a)現代参照絹 (b)14 日経過試料 (c)6 ヶ月経過

Polarization angle $90^\circ$	I Amide I / II	I 1615 / I 1655
STD	0.83	0.14
Sample(14days)	0.81	0.45
Sample(180days)	0.67	0.13

表 1 各試料の偏光特性と結晶化度(偏光角度  $90^\circ$ )

中央アナトリア鉄器時代の土器の黒/褐色系顔料についての考古化学的研究  
 Characterization of black and brown pigments on Iron Age pottery from central  
 Anatolia using X-ray analysis.

○五月女 祐亮, 黄 嵩凱, 中井 泉 (東理大・理)

○S. Yusuke, W.S.K. Bong, and I. Nakai (Dept. of Appl. Chem., Tokyo Univ. of Science)

【目的】

鉄器時代の中央アナトリアでは彩文土器が多数製作されていた。文様に用いられる顔料には黒/褐色系、赤色系、白色系の 3 種類が存在する<sup>1)</sup>。このうち、黒/褐色系の顔料は鉄器時代を通して使われ続けた顔料である。この黒/褐色系顔料は地域によって主に二つの製法がある。一つは、鉄系鉱物を還元焼成することにより、磁鉄鉱( $Fe_3O_4$ )を生成する方法で、鉄器時代において主にギリシア陶器の黒陶の制作で使用された製法である<sup>2)</sup>。もう一つは、マンガンを高温で焼成する方法で、鉄器時代のポアズキョイで利用されていたことが報告されている<sup>2)</sup>。中・後期鉄器時代(B.C. 900-300)の彩文土器において、本研究室の先行研究としてカマン・カレホユックから出土したものの分析<sup>3)</sup>と、2009 年度の研究によるヤッスホユックから出土したものの分析<sup>4)</sup>が行われている。その結果、両遺跡において黒/褐色系の顔料はマンガンを含むものと、マンガンと鉄の両方を含むものの 2 種類が大部分を占めており、マンガン系顔料が主流であることがわかっている。

そこで今回は、中央アナトリア鉄器時代の遺跡間において黒/褐色系の顔料に差があるかどうか調べるため、カマン・カレホユック、ヤッスホユック、アリシャールホユック(Fig. 1)より出土した中・後期鉄器時代に属する彩文土器を対象に、より詳細な顔料の同定、およびその変遷や周辺遺跡との関連を探り、考古学的な知見を得ることを目的とした。

【方法】

2009 年度に分析を行ったヤッスホユック出土の彩文土器(35 点)に加えて、新たにカマン・カレホユック(94 点)、アリシャールホユック(10 点)出土の彩文土器(Fig. 2)の文様と元素分布の対応を見るため、X 線顕微鏡による蛍光 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、粉末 X 線回折分析、放射光による XANES 測定を行い、顔料の詳細な特性化を行った。

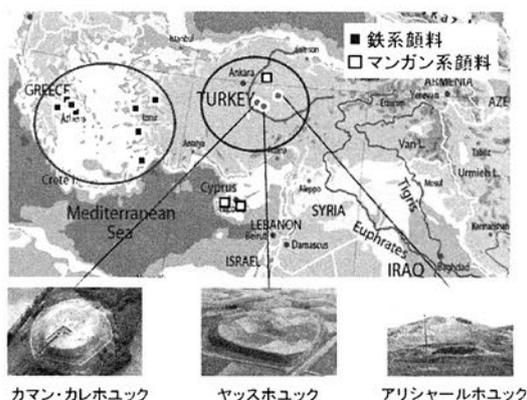


Fig. 1 黒/褐色系顔料の分布と分析対象遺跡

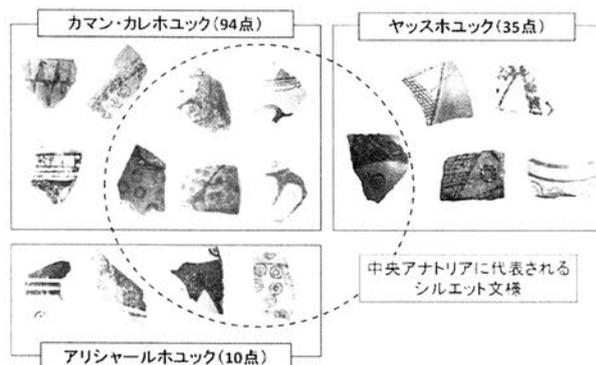


Fig. 2 分析試料

【結果と考察】

X線顕微鏡による蛍光X線元素マッピングの結果、いずれの遺跡から出土した彩文土器においても、赤色系顔料には鉄が、白色系顔料にはカルシウムが主に含まれることが判明した。そして黒/褐色系の顔料はマンガンのみを含むものと、マンガンと鉄の両方を含むものの2タイプが存在した(Fig. 3)。また、いずれの遺跡からも磁鉄鉱のみによる黒/褐色系顔料は検出されなかった。また、ラマン分光分析では、赤色系の顔料は赤鉄鉱( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、白色系の顔料は方解石( $\text{CaCO}_3$ )であることがわかった。粉末X線回折の結果、黒/褐色系の顔料において、マンガンのみを含む顔料には立方晶構造を持つ酸化マンガン( $\text{Mn}_3\text{O}_4$ -スピネル)の他にビクスピ鉱( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ )を含むものと、ハウスマン鉱( $\text{Mn}_3\text{O}_4$ )を含むものの2タイプに細分化することが出来た。また、マンガンと鉄の両方を含む顔料にはヤコブス鉱( $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ )と赤鉄鉱( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )が含まれていることが判明した。以上の分析結果をTable 1にまとめた。また、このように黒/褐色系顔料に使用された鉱物はいずれもマンガンと鉄の酸化物であり、マンガン:鉄の組成比と温度との相図から推定された顔料の焼成温度はいずれも $1000^\circ\text{C}$ 付近だった。三つの異なる遺跡において着色剤の差異が無かったことから、いずれの遺跡においても同様の技術によって製作された黒/褐色系顔料が使用されたことが示唆された。また、時代が新しくなるにつれてマンガンと鉄の両方を含むタイプの顔料の使用率が増加しており、マンガン:鉄の比率を調整し黒～茶色の色彩の調節を行っていた可能性も示唆された。

本研究によって当時の顔料に含まれていた結晶相の詳細が判明したため、今後は再現実験により実際に顔料を焼成し、当時の製作技術の解明を行ないたいと考えている。

Table 1 各着色剤の分析結果

	組成	結晶相
赤色系顔料	鉄	赤鉄鉱
白色系顔料	カルシウム	方解石
黒/褐色系顔料	マンガン+鉄	ヤコブス鉱 + 赤鉄鉱
	マンガン	Mn-スピネル + ビクスピ鉱  Mn-スピネル + ハウスマン鉱

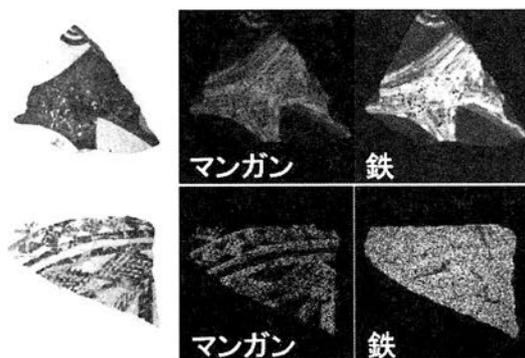


Fig. 3 土器片の元素マッピング像  
上:マンガン+鉄系顔料  
下:マンガン系顔料

【参考文献】

- 1) 大村 幸弘:『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
- 2) W. Noll, et al., *Angew. Chem. Internat. Edit.*, **14**, (1975), 602-610.
- 3) M. Izumiyama, et al., 2000, *Anatolian Archaeological Studies.*, Vol. IX, (2000), 201-206.
- 4) 五月女祐亮, 東京理科大学 2009 年度卒業論文.

# 質量分析による牽牛子塚古墳出土夾紵棺断片中の絹の確認

## Mass spectrometric identification of silk in the “KYOCHO” coffin excavated from the KENGOSHI-ZUKA tomb

○宮路 淳子(奈良女子大学), 河原 一樹(奈良女子大学), 六車 美保(奈良女子大学),  
松尾 良樹(奈良女子大学), 岡田 文男(京都造形芸術大学),  
中沢 隆(奈良女子大学)

○Miyaji Atsuko (Nara Women's University), Kazuki Kawahara (Nara Women's University), Miho Muguruma (Nara Women's University), Yoshiki Matsuo (Nara Women's University), Fumio Okada (Kyoto University of Art and Design), Takashi Nakazawa (Nara Women's University)

### 1. はじめに

牽牛子塚古墳は、奈良県高市郡明日香村に所在する終末期古墳の一つである。牽牛子塚古墳は、明日香村教育委員会による発掘調査の結果、その墳形が正八角形であることが明らかになっており、日本書紀にみられる記述などから、斉明天皇(594-661年)と娘の間人皇女の合葬墓である可能性が指摘され、注目を集めた。牽牛子塚古墳の主な出土遺物については、夾紵棺断片や七宝亀甲形座金具、ガラス玉などが知られており、その内、奈良女子大学には5点の夾紵棺断片が伝わっている(図1)。夾紵棺は、飛鳥時代に大陸から日本列島に伝えられた漆を主とした夾紵と呼ばれる高度な技法を利用して製造されており、歴史学および漆工史研究において重要な位置を占めている。牽牛子塚古墳出土夾紵棺断片に関しては、これまでの研究報告から漆と苧麻布が層状に貼り重ねられていることが明らかになっているだけでなく<sup>(1)</sup>、目視による観察から、最表層に絹が貼られていることが指摘されている<sup>(2)</sup>。近年、夾紵棺塗膜断面の顕微鏡観察結果から、35層程度の苧麻布の上に、1ないし2層の絹布と思われる層の存在が認められ<sup>(3)</sup>、夾紵棺製作当時、絹が非常に高価な品であったと考えられることから、改めて当該古墳の被葬者が天皇あるいはそれに近い身分の人々に限られると推測された。しかしながら、発掘された夾紵棺断片は、土壌の付着が顕著である為、目視や顕微鏡による観察では限界があり、より詳細な分析は難しい。その為、断片中の絹の存在を証明する確定的な証拠は未だに得られていない。

今回、我々は夾紵棺断片中に含まれると考えられている絹のタンパク質に着目し、それらのマトリックス支援レーザー脱離/イオン化(MALDI)質量分析法による同定を試みた。MALDI質量分析法は、生体内で発現されるタンパク質とその生体機能の関連を網羅的に解析する学問分野であるプロテオミクスで盛んに用いられている手法であり、極微量試料中のタンパク質の同定を可能とする。



図1. 牽牛子塚古墳出土夾紵棺断片  
(奈良女子大学所蔵)

### 2. 試料および実験法

**実験試料調製:** 本実験では、先ず現代の絹糸の原料である蚕繭(*Bombyx mori* 由来)を入手し、絹由来タンパク質を同定する際の比較試料とした。蚕が産生する絹糸は、中心部にフィブロインと呼ばれる繊維タンパク質が存在し、その周囲を膠質のセリシンと呼ばれるタンパク質が覆い囲む構造をとっている。絹布の製造は、繭から得られる生糸から精練作業によりセリシンを取り除いた糸が使用される。その為、先ず精練作業により繭に含まれるセリシン分の除去を行った。実際の行程としては、約1gの繭を炭酸ナトリウム溶液中で加熱し不溶性のフィブロインを除いた溶液をセリシン溶液とした。フィブロインは、チオシアン酸リチウムや塩化カルシウム水溶液中に溶解する。そこで、先に得られたフィブロインを塩化カルシウム水溶液中で加熱溶解させフィブロイン溶液とした。夾紵棺断片に関しては、断片の最表層から約1mgの微量粉末を採取し質量分析用の試料とした。得

られた粉末を乳鉢に移し、極微量試料であることを考慮して、21°Cでチオシアン酸リチウム水溶液に懸濁させた。得られた各溶液は、遠心式フィルター (Millipore/Amicon Ultra) を用いて濃縮および脱塩した後、100 mM 炭酸水素アンモニウム緩衝液にバッファー交換を行い保存液とした。

質量分析測定: 調製済みの各保存液 50  $\mu\text{L}$  に対して 1  $\mu\text{L}$  のタンパク質分解酵素トリプシン溶液 (0.5  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ ) を加え、37°Cで 24 時間、酵素消化した。消化後に生じるペプチド断片の混合溶液 10  $\mu\text{L}$  に 0.5 %トリフルオロ酢酸溶液を加えて、pH が 4.0 付近になるように調製し、その後、ZipTip-C18 カラム (Millipore) で濃縮および脱塩を行い測定溶液とした。MALDI サンプルプレート上で、測定溶液 1  $\mu\text{L}$  とマトリックス溶液 ( $\alpha$ -シアノ-p-ヒドロキシ桂皮酸のアセトニトリル溶液) 1  $\mu\text{L}$  とを混ぜてから乾燥し、MALDI タンデム飛行時間型 (TOF/TOF) 質量分析装置 (Axima Performance; Shimadzu/Kratos, Manchester, UK) を用いて分析を行った。

### 3. 結果と考察

図 2 の (B) および (C) には、蚕繭から単離、抽出したセリシンとフィブロインの酵素消化後に得られるペプチド混合物の MALDI 質量スペクトルをそれぞれ示してある。各スペクトルは異なる信号の分布パターンを示しており、質量分析法によりセリシンとフィブロインを簡便に見分けることが可能であることが分かる。図 2 の (A) では、夾紵棺断片の溶解物から得られた MALDI 質量スペクトルを示している。興味深いことに、夾紵棺断片由来のスペクトルは、繭糸の中に存在しているフィブロインとそれを覆っているセリシンに由来する信号で説明できることが分かり、夾紵棺断片中の絹の存在を強く裏付けた。更に、我々の予想と反して、夾紵棺断片由来のスペクトルは、本来であれば精練によって除去されているはずであるセリシンの信号分布パターンと極めて似ており、一方でフィブロインに由来する信号はほとんど観測されなかった。フィブロインに関しては、比恵遺跡出土の弥生中期前半の銅剣に付着する絹の走査型電子顕微鏡観察から、経年劣化による腐敗が示唆された例もあることから、土壤中での分解消失が考えられる<sup>(4)</sup>。また、膠質のセリシンに関しては、絹糸の光沢に関与することから精練の際に、セリシンを若干量残す工夫が施された可能性がある。以上、本研究により得られた情報は、夾紵棺断片に絹が使用されていた確固たる証拠を初めて示すのみならず、今後、当時の絹布の製造過程を窺い知る上で重要な情報を提示するものである。

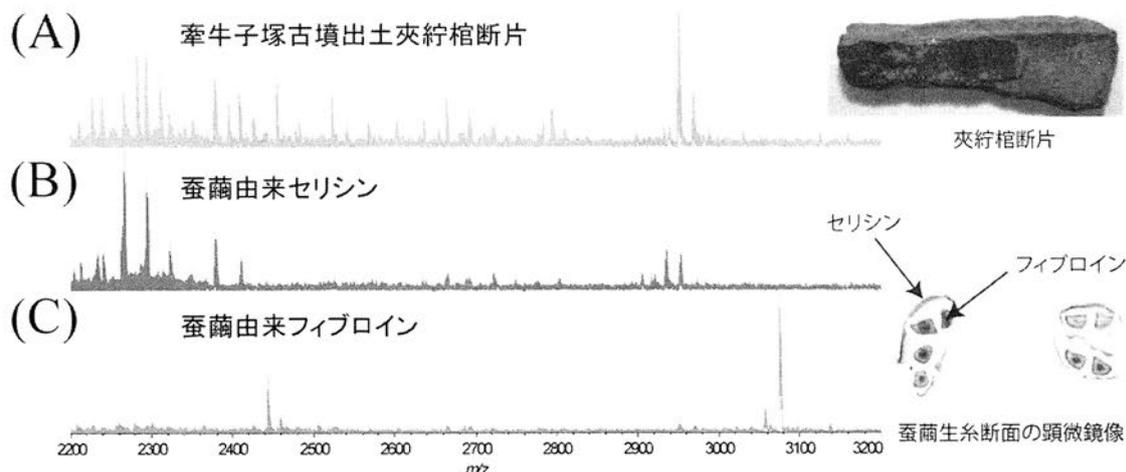


図2. 牽牛子塚古墳出土夾紵棺断片溶解物の酵素消化後ペプチド混合物の質量分析スペクトル (A) と蚕繭由来セリシン (B) 及びフィブロイン (C) の酵素消化後ペプチド混合物の質量分析スペクトル ( $m/z$  2200-3200 の領域を拡大)。右下には、参考の為、蚕繭生糸断面の顕微鏡像を載せている。

### 参考文献

- (1) 猪熊兼勝 1973 「夾紵棺—玉手山安福寺蔵品に関連して—」 『論集 終末期古墳』 塙書房
- (2) 明日香村 1977 『史跡牽牛子塚古墳—環境整備事業に伴う事前調査報告—』
- (3) 岡田文男 2009 「奈良女子大学所蔵牽牛子塚古墳出土夾紵棺の塗膜観察」 『奈良女子大学主催夾紵・乾漆シンポジウム—牽牛子塚古墳から阿修羅像へ—』 当日配布資料
- (4) 布目順郎 1989 「シルクの考古学」 『繊維学会誌』 45 巻 6 号

## 生産地周辺における近世のトガサワラ利用について

— 談山神社権殿・木部材の樹種調査から —

### Modern timber usage of *Pseudotsuga japonica* near place of origin; on the result of wood species analysis in members of Gonden hall, Tanzan shrine (Nara Prefecture.)

○藤井 裕之(奈良文化財研究所・客員研究員),

吉田 恭純, 舘 俊秀(奈良県文化財保存事務所 談山神社出張所)

○FUJII Hiroyuki (Guest researcher, Laboratory of Dendrochronology, Nara National Research Institute for Cultural Properties), YOSHIDA Mitsuyoshi, TACHI Toshihide (Tanzan Shrine Branch, Office for Restoration of Architectural Monuments, Nara Prefectural Board of Education)

はじめに

トガサワラ(*Pseudotsuga japonica*)は日本固有の常緑針葉樹で、銘木では「吉野松」という名称でも知られる。紀伊半島中南部および高知県東部の限られた深山に自生するとされているが、急速に数を減らしつつあるのが現状で、絶滅が危惧されている。

文化財におけるトガサワラは、大半が近世以降のものである。分布域から遠く離れた関東地方では1990年代以降、近世の遺跡や建造物に関する報告例が増えており、長距離移動を経た消費地における利用実態が明らかにされている(川田ほか 1995、中尾 2005 など)。一方、生産地にあたる西日本の報告は少なく、建造物に関する散発的な事例がほとんどであった。

このような状況のもと、最近実施した重要文化財 談山神社権殿の保存修理工事において一部の木部材を対象に樹種同定を行ったところ、寛文年間の修理による補足材にトガサワラ材がまとまって使われていることがわかった。

#### 1. 談山神社権殿木部材の樹種同定

談山神社権殿(奈良県桜井市多武峰)は、桁行五間、梁間五間、一重、妻入りの入母屋造、檜皮葺で、もとは常行三昧堂と呼ばれる仏堂であった。現在の権殿は永正3(1506)年の戦乱で罹災した後、まもなくして再建されたものであることが史料の記述から推定される。また別の史料によると、寛文8(1668)年の修理までは桁より上が仮屋根であったとされており、永正の再建後、未完成の状態が長く続いたと考えられる。今回の保存修理工事は、奈良県文化財保存事務所が担当し、2008年度から2011年度の工期で実施している。

樹種同定用の試料は、権殿の木部材から必要に応じて185点を選んだ。今回の調査は、工事の終盤段階で行うことになったため、網羅的な試料選定には至らなかった。樹種の同定は、木材組織各断面の徒手切片によって作成した観察・保存用プレパラートを生物顕微鏡で観察する方法で行った。プレパラートの封入材にはガムクロラルを選択した。また、同定にあたっては適宜、現生標本や文献などを参照した。

その結果、ニョウマツ類、スギ、ヒノキはどの時代の材にも一定数が含まれていたが、ケヤキやモミ属は当初材、トガサワラは寛文材に集中していた。また化粧材の大半はヒノキであったが、野物材としてのヒノキはごく少数にとどまった。トガサワラの用途を詳しくみると、化粧材から野物材まで幅広く使われており、特別な選択性はうかがえない。樹種同定を行わなかった材に関しても、トガサワラと推定できるものは、目視観察により権殿の小屋組全般(貫、束など)で数多く見受けられる。また同様に、江戸時代前半に建立、修理歴のある談山神社境内の他の建物でも、トガサワラが多数使われていることが推測できる。

#### 2. トガサワラ利用の背景

トガサワラが使われたのはなぜか。関東におけるこれまでの調査報告によると、水湿への耐朽性に対しての適材選択の結果とみる意見や、意匠面を重視する意見がある。

番号	建物名称	時期	用途	備考	文献
1	森村家住宅主屋 (橿原市新賀町)	1732 (享保 17)	北八畳天井板 (1点)	当初材	修理報告書(2006)
2	片岡家住宅主屋・ 客室部 (宇陀市大宇陀区田原)	18世紀 前半	「おくざしき」柱 (4点)	当初材 その他、 「ひや」の柱に1点 (天明改造時に取替か)	修理報告書(2009)
3	吉川家住宅主屋 (橿原市山之坊町)	18世紀	小屋束、高堀束 (8点)	改造時の転入転用材 柱を小切って使用? (もとの数は多くない?)	藤井・竹口泰生・長谷川晋平 文化財科学会 24 回大会要旨集(2007)
4	當麻寺大師堂 (葛城市當麻)	17世紀 後半	両脇横壁板 (多数)	改造時の後補材 ツガと無秩序に混用	藤井・竹口 文化財科学会 25 回大会要旨集(2008)

表 トガサワラの検出例(奈良県内)

自生地に近い京都や奈良の近世建造物の場合は、前者の考えには当てはまらないようである。たとえば京都で本格的な樹種同定調査が実施された数少ない事例でもある桂離宮古書院では、天井まわりの化粧材や床組、小屋組関係の野物材にトガサワラがみられるが、水回りや雨掛かりに集中しているということはない。

奈良県内の文化財建造物に関しては、2000年代以降の樹種同定調査の結果、これまでに4例でトガサワラが検出されている(表)。これらのうち、網羅的な調査は吉川家住宅に限られるが、いずれの使い方も水湿に対する耐朽性とはほぼ無関係である。それよりも、意匠面や銘木としての価値を重視した利用(森村家住宅、片岡家住宅)や、ありふれた一般材としての利用(當麻寺大師堂、転用材として吉川家住宅)を考えたほうが理解しやすい。

談山神社権殿の場合も、野物材としてニヨウマツ類と同様の使われ方をしていることから、トガサワラの多くは、当時入手しやすかった一般的な素材として利用されたと考えられる。このことは、桂離宮古書院の状況とも一致している。化粧材としてのトガサワラは、何らかの事情で不足した多数派のヒノキを補うかたちで充当されたであろう。

### 3. その産地について

権殿に使われたトガサワラの入手先を直接示す手がかりは、今のところ何もない。しかし、享保 17(1732)年に多武峰の役人に提出された「御用材木売上ケ之目録」には、トガサワラの奈良県地方における別名「赤梅」の記載があり、そのころ多武峰一帯に自生地が及んでいた可能性がある。寛文修理時のトガサワラが、近隣地から調達されていてもおかしくはない。

#### まとめ

談山神社権殿におけるトガサワラの利用状況は、この樹種が持つ材質上の長所に特段の配慮が払われたとはいえず、基本的にマツ系の一般材としての性格が強いように思われる。このことが、当時の木材利用としてどこまで一般化できるかはわからない。生産地の真っただ中における特殊事情にすぎないのかどうか、今後の調査のなかで明らかにしたいと思う。

樹種同定なしに修理現場でトガサワラを見分けるのは、ほとんどの木工従事者の経験にない以上、至難の業である。しかしトガサワラは、その分布の希少性により、ここでとりあげた用材選択のほかにも、近世の木材利用史にかかわる多くの論点を内包している。引き続き多くの現場で網羅的な樹種同定調査が行われることを期待したい。

#### 文献

- 川田秀治・藤根久・辻誠一郎 1997「江戸城外堀跡市谷御外橋詰・御堀端遺跡から出土したトガサワラの加工木について」『植生史研究』第5巻第1号、pp.43-46  
 中尾七重 2005「使用樹種の調査」『重要文化財 閑家住宅主屋・書院及び表門保存修理工事報告書』財団法人文化財建造物保存技術協会(編) 関恒三郎 pp.100-103

## 打製石器製作・使用時に応用された諸技術に関する指摘

- 北イラン新石器時代遺跡、タペ・サンギ・チャハマックの事例を中心に -  
New insights in the manufacturing technology of chipped stone tools: examples from  
the northern Iran Neolithic site of Tappeh Sang-i Āxmaq

○中村 真衣子 (筑波大学大学院 人文社会科学研究所), 久田 健一郎 (筑波大学 生命環境科学研究科), 谷口 陽子 (筑波大学 人文社会科学研究所)

○Maiko NAKAMURA (Humanities and Social Sciences, University of Tsukuba), Ken'ichiro HISADA (Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba), Yoko TANIGUCHI (Humanities and Social Sciences, University of Tsukuba)

### 1. はじめに

1970年代, 4度にわたり東京教育大学によって発掘された北イランの新石器時代(紀元前7-6千年紀)遺跡, タペ・サンギ・チャハマック出土の打製石器群を再分析したところ, 相当量の石器に赤色物質塗布と加熱の痕跡が観察された。これは, 1977年に発表された概報では指摘されていない事実である。赤色物質が塗布された石器の類例は, イランではほとんど報告されていない。発表者は, 石器に付着する赤色物質について, 南アフリカや西アジア先史時代における先行研究から, 石器の柄付けのための接着剤, そして被熱痕は剥離作業を円滑に行うための意図的な加熱を示すものではないかという視点から検討を行ってきた。本研究の目的は, 各種の検討, 分析を通じて, 新石器時代のイランにおける石器の製作, 利用に関して人々がどのような技術, 知識を応用していたか論証することである。

### 2. 赤色物質付着石器とその分析方法

赤色物質を塗布された石器は, アフリカ各地の旧石器時代遺跡からの出土例をはじめ, フランスやシリアの旧石器時代遺跡などで発見されている。今日, それらの自然科学的分析と復元実験により, 赤色物質がオーカー(土系赤色物質)に天然樹脂や蜜蝋を混ぜたものであり, 石器を柄に装着するために使用された接着剤であるとの見方がある<sup>1)</sup>。また, オーカーが接着剤の加工性を上げたり乾燥を促進したりする働きがあることも明らかになりつつある。しかし, 西アジアでは, ビチュメン(天然アスファルト)が豊富に産出し, それが接着剤として利用されるケースが多く, 実際に赤色物質が接着剤として使用された可能性が指摘されているのはイスラエルやシリアのごくわずかな遺跡においてのみである。イスラエルの例はオーカーを混ぜた泥漆喰系の接着剤であるとされている。

チャハマック遺跡の石器に見られる赤色物質はその付着範囲が主に石器の側縁に集中するなど柄の被覆範囲と似ていることから, 接着剤として使用されたものと仮定した(図1)。まず, 赤色物質の化学組成を確かめるために, EPMAを用いた定性分析と, FT-IR分析を行った。EPMAを用いたのは, 今後の研究のために原位置に付着した赤色物質を損なわずに測定を行う必要があると考えたためである。

### 3. 赤色物質分析結果

EPMA分析では, 顔料の付着している部分に高濃度のFeが存在していることが確かめられた。また, そのFe集中部分にほとんどCaが検出されなかったことから, イスラエルの出土例にあるような石灰に赤色物質を混ぜたタイプの接着剤ではなかったと結論できる。

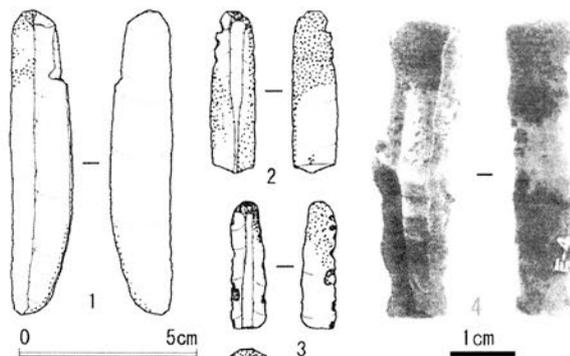


図1 チャハマック遺跡の赤色物質付着石器  
(点描: 赤色範囲, 灰色: 鎌刃光沢付着範囲)

また、顕微鏡観察によって赤色物質付着部分中に黄褐色を呈するごくわずかな部分が確認された。FT-IR を用いた顕微反射測定では、その黄褐色部で有機物の存在を示唆するものと思われる特徴的なスペクトルが得られた(図2)。現在のところ混和物として最も有力なのは蜜蝋である。対照試料としたピスタチオの樹脂など6種類の天然樹脂やゴムについては、その有無を断定するまでには至らなかった。今後透過測定など測定法を工夫することにより、分析精度を上げてゆく必要があるだろう。

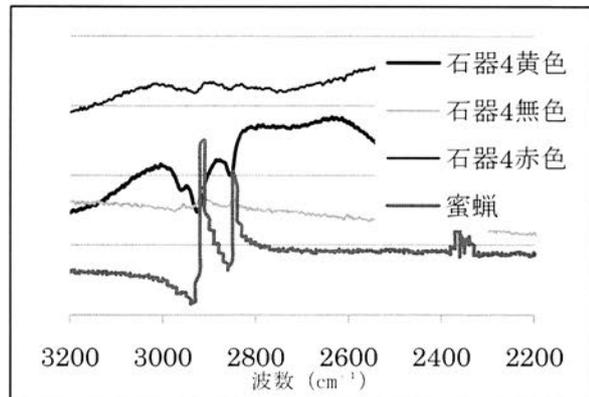


図2 石器の付着物と蜜蝋の FT-IR スペクトル

#### 4. 被熱痕を有する石器の観察結果

チャハマック遺跡の石器製作に使用されている石材は、主に黄褐色系の珪質ノジュールである。この遺跡の周辺はジュラ紀の石灰岩地帯で、珪質ノジュールは石灰岩中にシリカ(SiO<sub>2</sub>)が濃集してできたものである。含有量としては充分であったろうと想像される。しかし、岩石の内部にできることから、地表面に露出することはまれであり、採石は念入りでしかも選択的なものであったことが窺える。紫～茶色、灰～白色を呈するものも少なからず存在するが、それらは内面に被熱によると思われる半円～円形状のヒビが入っていたり、半球状にはじけた剥離痕(サーマルショック痕)を有していたりするため、黄褐色系の珪質ノジュールが焼けて、または何らかの方法で熱を加えられて変色したものと考えて間違いない。石材の熱処理に関する先行研究から、被熱の痕跡は色の変化だけでなく、光沢の増加によっても判断できること、また熱処理された石材は加工が容易になることが証明されてきた<sup>2)</sup>。変色した石器が偶然被熱したものである可能性を完全には排除できないが、両丘の石器群において一定の割合で存在すること、また、被熱した後に鎌刃やナイフとして用いられていたことを示す使用痕を有するものが存在することなどから、発表者は意図的な熱処理が行われていたと推論している。それを証明するために、今後チャハマック遺跡で使用されていたものに近い石材を用いて焼成実験を行い、変色や変質がどのくらいの温度、そして火力の制御技術を必要としていたのか検討する予定である。

#### 5. おわりに

今回は、まず非破壊の分析により、赤色物質の同定と、接着剤として利用された可能性について検討を行った。これについては今後、定量的な有機分析を行う必要がある。今回得られた結果から、チャハマック遺跡の住人が付近で採取できる石材や鉱物、あるいは植物由来の材料を用いて、それらの特性を理解した上で高度な道具製作を行っていた可能性が高いことが指摘できよう。パイロテクノロジー(火熱技術)の祖形ともいえる技術がいくつか垣間見えるのは、チャハマックが農耕によって生活を安定させ、専門的手工業の発展期を迎えていた社会であったからではないだろうか。本研究はこの遺跡の石器群について従来行われていた、石器の形態分類を基礎とするものではなく、石器を製作する段階での前処理を示唆する痕跡と、使用段階において石器自体を損なうことなく付加された痕跡の分析に焦点を当てている。これは、原石獲得から廃棄までの、石器にまつわるシェーンオペラトワール(動作連鎖)を復元する上で意義があると考えられる。

##### 【参考文献】

- 1) Allain, J. and A. Rigaud 1986 *Décor et Fonction. Quelques Exemples Tirés du Magdalénien. L'Anthropologie* 90(4), pp. 713-738.
- 2) Crabtree, D. E. and R. Butler 1964 Notes on experiments in Flint Knapping: I Heat Treatment of Silica Materials. *TEBIWA, The journal of the Idaho State Museum* 7, pp. 1-6.

# 平等院鳳凰堂本尊台座華盤内発見のガラス玉について

## Chemical composition of glass beads discovered from the platform of the Amida sculpture inside the Phoenix hall of Byodoin

○中井 泉、白瀧絢子（東理大・理）井上暁子（東海大・教養）神居文彰（平等院）  
I. Nakai, J. Shirataki (Tokyo Univ. of Sci.), A. Inoue (Tokai Univ.), M. Kamii (Byodo-in)

### 1. 背景と目的

平等院鳳凰堂の平成大修理の過程で、本尊阿弥陀如来の台座華盤の内部からガラス玉、瓔珞、螺鈿、金属製品、木片、その他、合わせて 800 点余の遺物が発見された。これらの遺物がいつ華盤内に納入されたか各資料により複数分野から調査中であるが、同梱の螺鈿を伴う豪華な瓔珞片などの状態や形状などから、ガラス玉類は当初の堂内荘嚴の一部である可能性が高いと考えられる。これまで日本のガラス工芸史では弥生～奈良時代に比べ、平安時代から室町時代にいたる中古・中世期は資料が極端に減少することから、ガラス製造は衰えたと考えられていた。11 世紀半ばに創建された平等院鳳凰堂の本尊台座からこれほど多量のガラス類が発見されたことは、日本のガラス史の空白を埋める出来事として極めて重要である。今回、約 200 個のガラス玉について、形態観察及び密度測定、蛍光 X 線分析を行い、平等院ガラスの化学組成、製造技法、様式を分析し、奈良時代あるいは同時代の東アジアのガラスと比較することで、これまで漠然としていた平安時代のガラスの実態にせまる手がかりを得ることを目指した。

### 2. 調査資料及び分析方法

華盤内から発見された単体のガラス玉のうち、小さな破片と水晶玉 1 個を除くガラス玉総数は 217 個であった。また、銅線や螺鈿を伴った瓔珞片の一部として残るガラス玉は約 200 個である。これらのうち、単体のガラス玉 189 個と瓔珞片の一部（25 件）に付随するガラス玉 29 個についてハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置（Thermo-NITON XL3t-900S-M）を用いた分析を、さらに単体ガラス玉のうち 40 個の密度測定を行った。PbO 含有量は、鉛ガラスの既知の PbO 含有量と密度の関係を使って実測密度から見積もった。密度測定を行った 40 個のうち 35 個についてはポータブル蛍光 X 線分析装置（OURSTEX 100FA-IV）を用いた定量分析を行った。

### 3. 分析結果と考察

蛍光 X 線分析及び密度測定の結果、いずれも多量の鉛を含む鉛ガラスであることが分かった。さらに、密度測定の結果からは組成的に大きく二つに分けられることが判明した。比重が 4.0 前後のものとは 5.0~5.5 のものである。鉛ガラスについては密度と PbO 含有量の関係が求められているので、それを利用すると、比重 4.0 のガラスは 50~55% の PbO を、比重 5.0~5.5 のガラスは 70% 以上の PbO を含むと考えられる。また、実測密度と蛍光 X 線分析から得られた酸化カリウム ( $K_2O$ ) の含有量との関係を示したものを図 1 に示す。これより、50~55% 前後の鉛 ( $PbO$ ) を含むガラスは  $K_2O$  を 1.0~5.0% 含み、鉛 70% 以上のガラスについては  $K_2O$  はほぼ 1.0% 以下でほとんど含まれないことが判明した。ただし、 $K_2O$  は銀化で溶脱してしまうので、表面分析である蛍光 X 線分析では実際の濃度よりも低くなる傾向がある。以上より、2 種類のガラスは低密度のものはカリ鉛ガラス ( $PbO-K_2O-SiO_2$  系)、高密度のものは鉛ケイ酸塩ガラス ( $PbO-SiO_2$  系) と呼ぶことができることがわかった。

**カリ鉛ガラス  $PbO-K_2O-SiO_2$  系** 分析を行った単体ガラス玉（189 個）のうち、カリ鉛ガラス製の玉は 170 個あり、全体の約 90% を占めた。ガラスの色はカリ鉛ガラスの中では青色系が約 80% を占め、圧倒的に多い。この青はすべて酸化銅  $CuO$  による着色であり、鮮明な青色ではなく全体に緑色がかかった青緑色を呈していた。

**鉛ケイ酸塩ガラス  $PbO-SiO_2$  系** 分析した資料のうち、密度測定でこの系統と確認できたものは 13 点である。カリ鉛ガラスの場合には青色が主流であるのと対照的に、この鉛ケイ酸塩ガラス系は濃緑～黄緑系およびベージュ系の色調を示し、径が 10 mm を超える大型の玉、あるいは 4~5 mm の小型のものに分かれる。緑色系は  $CuO$  による、ベージュ系は  $Fe_2O_3$  による着色である。また、下記のように特殊な形態や装飾をもつものがあり、数は少ないが色も形も多様である。図 2 はその一例で、振り玉（ねじり玉）[E-12]と呼ばれる類の玉で、成型時に孔と並行に稜を形成し、道具で S 字形に振ってつくられたものである。

**正倉院ガラスとの化学組成の比較** 化学分析の結果から、華盤内のガラス玉には二系統の鉛ガラスがあることが判明した。カリ鉛ガラスは、中国で8世紀頃から製造がはじまり、宋代に広く使われていた種類である。生産地については現時点で同定できないものの、創建当初に誂えられたとすれば、日本でのカリ鉛ガラス玉の確認された使用例としてはもっとも早い例といえる。一方、数は少ないものの鉛ケイ酸塩ガラスはより古いタイプであり、7世紀末から国内で製造され8世紀の奈良時代に広く流通していたガラスと同じ種類であることがわかった。この「奈良時代タイプ」ともよぶべきガラスは、代表的な正倉院所蔵のガラス玉の組成<sup>1)</sup>と類似していた。緑色系のガラスについて、両者を比較して表1に示した。正倉院資料#8の4.2 g/cm<sup>3</sup>という密度の値は鉛が72%含むことから明らかに低く、気泡の影響等で低くなっていると文献でも指摘されており、密度の結果は除外する。[E-11]と[E-12]の密度5.29, 5.23 g/cm<sup>3</sup>と正倉院ガラスの文献値とを比較すると非常に良く一致している。鉛の濃度は正倉院ガラスは70-72%であるのに対し、[E-11]と[E-12]は68-70%である。また、SiO<sub>2</sub>は前者が23-25%に対し、後者は24-26%と近似していて、いずれも鉛ケイ酸塩ガラスに分類される。着色元素の銅も同レベルである。その他の微量成分である、ナトリウム、マグネシウム、アルミニウム、カリウム、カルシウム、鉄も同レベルと言うことができよう。従って、両者のガラスがほぼ同一の原料調合のもとにつくられたと推察するのは困難ではない。平等院ガラスの起源を考える上で、大変興味深い結果が得られたと言えよう。

【謝辞】分析にご協力下さった太田亜希、田中正流（平等院ミュージアム）、中村彩奈、鈴木周作、阿部善也（東理大・理）の諸氏に深く感謝いたします。

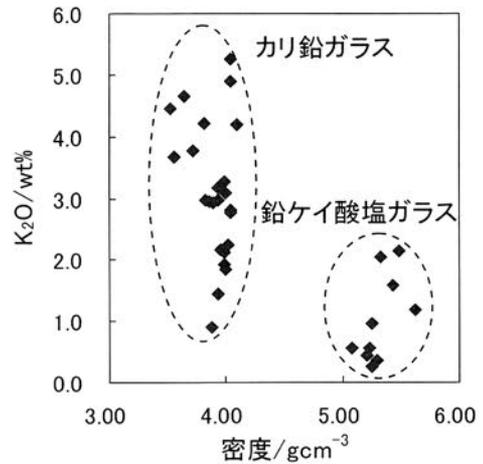


図1 密度と K<sub>2</sub>O 含有量との関係

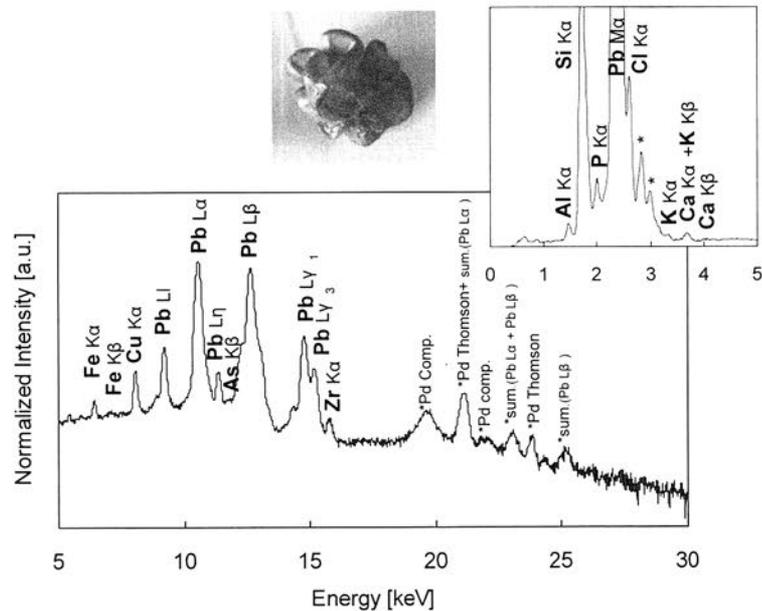


図2 鉛ケイ酸塩ガラス[E-12]の写真とXRFスペクトル

表1 緑色系の正倉院ガラス<sup>1)</sup>と平等院ガラスの化学組成(wt%)の比較

資料	色	密度	PbO	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	備考
4	濃緑	5.3	71.9	24.7	0.12	0.06	0.31	未測定	0.09	0.71	1.08	1.44	正倉院
8	緑	4.2	72.4	23	0.28	0.21	0.47	未測定	0.25	tr	0.73	1.99	正倉院
9	緑	5.2	70.5	24.9	0.49	0.37	0.66	未測定	0.32	0.39	0.27	1.58	正倉院
E-11	緑	5.29	70	26.0	0.1	0.3	0.7	1.6	0.4	0.3	0.1	0.4	平等院
E-12	濃緑	5.23	68	23.6	0.4	0.7	1.2	2.7	0.6	0.5	1.4	1.0	平等院

【参考文献】1) 正倉院事務所編『正倉院のガラス』、日本経済新聞社、p.54-55 (1965)

## 正倉院木工品に用いられた接着剤の同定

### Identification of the Adhesives Used for the Wooden Artworks Treasured in Shosoin

○中村 力也（宮内庁正倉院事務所），成瀬 正和（宮内庁正倉院事務所）  
Rikiya Nakamura (Office of the Shosoin Treasure House), Masakazu Naruse (Office of the Shosoin Treasure House)

#### 1. はじめに

正倉院には、多様な8世紀の木工品が伝世しており、調度や箱、几、仏具、楽器類、遊戯具などがある。それらは、8世紀の日本の工芸技術を今日に伝えるとともに、当時の人々が積極的に受け入れた半島や大陸の木工品を類推できる存在であるため、我が国上代文化史上においてきわめて重要な品々である。

これまで、我々は正倉院宝物に用いられた接着剤の材質を明らかにするため、全反射吸収／フーリエ変換赤外分光（ATR／FTIR）装置を用いた材質調査を進めてきた<sup>1,2</sup>。その中で、ニカワ、デンプン、乳香が接着剤として見出されている。しかし、これらの接着剤の使い分けの基準は、明らかになっていない。

本発表では、8世紀における被着材からみた接着剤の選定基準の解明を目的として、正倉院木工品を対象とした接着剤の同定結果について報告する。正倉院木工品の接着剤の同定には、ATR／FTIRを用い、非破壊分析を実施した。また、材種や接着用途と接着剤の素材との関連についても考察する。

#### 2. 試料および実験方法

##### 2-1. 正倉院宝物

「伎楽面木彫 24号」は、大仏開眼会（だいぶつかいげんえ）（752年）において催された伎楽の仮面である。本品は、キリ製であり、耳の一部は本体と接ぎつけられている。ATR／FTIRには、キリ製の耳の一部である剥落片を使用し、本体との接着痕を分析した。「紫檀木画双六局」は、床脚（しょうきやく）をもつ双六局である。ATR／FTIRでは、シタン製の床脚の一部である剥落片を使用し、畳摺（たたみずり）との接着痕を分析した。「紫檀金銀絵双六筒」は、シタン製で銀の覆輪（ふくりん）が付く双六筒である。ATR／FTIRでは、本体と覆輪との接着痕を分析した。「沈香末塗経筒」は、筒形の印籠蓋造の箱である。ATR／FTIRでは、箱の蓋掛（ふたががり）の剥落片を使用し、身の側板や紙製内張りとの接着痕を測定した。蓋掛は、ヒノキ製である。「木画剥落」は、緑染め鹿角の剥落片であり、木工品に接着されていた断片である。ATR／FTIRでは、裏面に残る接着痕を分析した。

##### 2-2. ATR／FTIR

ATR／FTIRには、バイオラッド社製 FTS-135 に UMA-500 を付属させた顕微 FTIR 装置を用いた。ゲルマニウム結晶を顕微カセグレン鏡に装着し、側面反射モードによる ATR 測定を実施した。得られたスペクトルを、Savitsky-Golay 法を用いて平滑化した後、2次微分処理して解析した。

### 3. 結果と考察

正倉院木工品の調査品目ならびに結果を表1にまとめた。「伎楽面木彫 24 号」や「紫檀木画双六局」, 「紫檀金銀絵双六筒」の接着に関して, 残存する接着痕を ATR/FTIR 分析したところ, ニカワと一致するスペクトルを得た。ニカワは, 「沈香末塗経筒」の身側面と蓋掛との接着剤としても同定されており, 8世紀の木工品の汎用接着剤であったことが伺える。ニカワは, ヒノキ, キリ, シタンといった多様な材種を区別することなく用いられていた。「紫檀木画双六局」は, 唐で製作された宝物と考えられている。本宝物の接着剤としてニカワが同定されたことにより, 唐においてもニカワが接着剤として用いられていたことが科学的に立証された。一方, 「沈香末塗経筒」における蓋掛と内張りとの接着には, デンプンが用いられていることがわかった。この結果は, 当時の工人が接合部位により接着剤の素材を使い分けていたことを示している。木工品の装飾物由来の断片である「木画剥落」は, 接着剤として, 乳香が同定された。これまでの研究においても, 「螺鈿紫檀五絃琵琶」や「玳瑁螺鈿八角箱」といった正倉院木工品の螺鈿装飾物の接着剤として, 乳香やデンプンが見出されている<sup>1,2</sup>。

表1 正倉院木工品における接着剤の同定結果

宝物名	被着材 (素材)	接着剤 <sup>1</sup>
「伎楽面木彫 24 号」	木 (キリ) / 木 (キリ)	ニカワ
「紫檀木画双六局」	木 (シタン) / 木 (シタン)	ニカワ
「紫檀金銀絵双六筒」	木 (シタン) / 金属 (銀)	ニカワ
「沈香末塗経筒」	木 (ヒノキ) / 木 (ヒノキ)	ニカワ
「沈香末塗経筒」	木 (ヒノキ) / 紙	デンプン
「木画剥落」	鹿角 / 木 (不明)	乳香
「螺鈿紫檀五絃琵琶」	貝 (ヤコウガイ) / 木 (シタン)	乳香 <sup>2</sup>
「玳瑁螺鈿八角箱」	貝 (ヤコウガイ) / 木 (不明)	デンプン <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ATR/FTIR による同定結果      <sup>2</sup> 参考文献 1, 2

### 4. さいごに

本研究では, 正倉院木工品に焦点をあて, 使用された接着剤の同定について述べた。正倉院木工品では, 負荷の大きい部位の接着には, ニカワが用いられており, 一方, 負荷の少ない接着には, ニカワ, 乳香, デンプンといった多様な接着剤が使用されていた。今後の接着剤調査の進展により, 木工品のみならず, 金工品や玉製品など, 8世紀の接着素材の選定基準が明らかになるものと期待される。

[参考文献] 1. 中村力也, 成瀬正和, 文化財保存修復学会第 31 回大会研究発表要旨集, 64-65 (2009).  
2. 中村力也, 成瀬正和, 日本文化財科学会第 27 回大会研究発表要旨集, 74-75 (2010).

中世の金精錬技術に関する科学調査  
—武田氏館跡とその城下町遺跡出土遺物を中心に—  
Scientific research on gold refining technology in medieval Japan  
—To target relics in the ruins of *Takeda-shi-yakata* and the town around castle—

○ 沓名貴彦 (山梨県立博物館) 村上 隆 (京都国立博物館) 甲府市教育委員会  
○ Takahiko Kutsuna (Yamanashi Prefectural Museum) Ryu Murakami (Kyoto National Museum)  
Kofu City Board of Education

○はじめに

これまでに発表者らは、山梨県を中心に、金の生産地である金山遺跡や中世城館から出土した遺物に対し科学調査を行った結果、土器表面に金の粒子を確認しただけでなく、ピスマスや鉛といった特徴的な元素の付着を確認し、その詳細について報告を行ってきた<sup>1),2),3)</sup>。

今回、中世甲斐を支配した武田氏三代の本拠地であった武田氏館跡と、その周囲に形成された武田城下町遺跡から出土した遺物に金等の付着を確認した。その詳細について報告する。

○武田氏館跡と武田城下町遺跡について

武田氏館跡は、山梨県甲府市中心部のやや北、相川の扇状地頂部である躑躅ヶ崎に位置し、1辺約200mの方形単郭の主郭を中心に、周囲には曲輪群が展開する中世城館である。

武田氏館跡は、武田信虎が永正16年(1519)に甲府市東部の川田館から躑躅ヶ崎に新たな守護所を築いて移転したことから始まり、子の信玄による領国拡大に伴い付属曲輪群も含め館の拡充が進んだ。武田信玄の跡を継いだ勝頼は、天正9年(1581)に新府城を築城し本拠を移転したが、直後の天正10年(1582)に織田信長・徳川家康連合軍の侵攻を受け、武田家は滅亡した。

その後徳川・豊臣氏家臣らは、躑躅ヶ崎の武田氏館跡に改修を加え、領国統治の拠点としたが、やがて甲府城が築城され、その機能は廃されるに至っている。

武田城下町は、武田氏館の造営に伴う家臣団の集住で成立し、その後急速に拡大した。

武田氏滅亡後の甲府城築城に伴い武田氏館跡近郊は農村化した。甲府城に近い一帯は近世城下町の一部に再編成された。そのため甲府駅北口周辺は、中世と近世の城下町遺跡が検出される。

○今回の調査について

本報告の調査対象遺物は、武田氏館跡の主郭及び外郭の4地点から出土した土器片合計14点、及び武田城下町遺跡4地点出土の土器片合計9点である。これらは、平成2年～21年における発掘調査で出土し、報告書には未記載の遺物が殆どである。

遺物は熔融物の付着が確認されたため、発掘当初は鉄や銅の鍛冶に関連する遺物と認識されていた。しかし、今回の顕微鏡による予備調査において、金等の付着が確認された。

調査方法には、下記の非破壊分析手法を用いた。

- ・ X線透過撮影による元素の分布状態の確認
- ・ X線透過撮影で遺物に付着した元素の分布状態を調査した。
- ・ 蛍光X線分析(XRF)による元素分析
- ・ 付着金粒子等に対し、XRFを用いて定性分析を行った。
- ・ SEM-EDXによる元素分析

遺物表面に付着した金粒子周辺における元素の分布状態を、SEM-EDXのマッピング分析によって調査した。



図1 エックス線透過画像  
(武田氏館跡主郭部天守台地点)

○調査結果

顕微鏡による詳細観察では、武田氏館跡主郭出土遺物の2点に銀粒子の付着が確認された。銀粒子の確認は、山梨では最初の事例である。その他の遺物では、金粒子の付着を確認した。その粒子のサイズは、大きいもので500 $\mu$ m程度、小さいものは10 $\mu$ m以下である。

X線透過撮影の結果、金・銀粒子の表面への付着に基づく陰影が殆どであり、その他重元素の

付着に基づくと見られる陰影が確認された遺物は、僅かであった（図1）。

そこで、確認された金・銀粒子部分に対してXRFを用いて定性分析を行ったところ、金や銀以外に特徴的な元素を確認しない遺物もあったが、多くの遺物でビスマス等の元素を確認した。

重元素等の付着が確認された遺物については、SEM-EDXを用いてマッピング分析を行った。その結果、粒子周辺には様々な重元素の付着が確認されるものの、その元素の付着は少なくみられるため、純度を上げるための精錬作業、もしくは加工などで用いられた可能性が考えられる。

### ○まとめ

今回、武田氏館跡や武田城下町遺跡出土の金・銀粒子付着資料への科学調査の結果、城館内や城下町において金・銀に対し火を用いた作業が行われていたことを確認した。

これまで、鉄や銅における鍛冶関連遺物との認識であったが、金・銀の生産関連遺物と確認できたことは非常に大きい。その生産おけるどの過程での使用かは、今後の検討が必要である。

遺物は全て今回の再調査で金・銀粒子が確認したため、遺構との関連性を確認することはできなかった。今後の発掘調査では、出土遺物の性格を充分理解しつつ調査を行う必要がある。

### 参考文献

- 1) 杓名,鈴木,谷口,萩原,村上「中世の金精錬技術に関する科学調査について —甲斐金山遺跡を中心に—」日本文化財科学会第25回大会発表要旨集、p98-99、2008
- 2) 杓名,鈴木,谷口,萩原,室伏,村上「中世の金精錬技術に関する科学調査について —国指定史跡勝沼氏館跡を中心に—」日本文化財科学会第26回大会発表要旨集、p246-247、2009
- 3) 杓名,長崎,村上「中世の金精錬技術に関する科学調査について —長野県川上村梓久保金山遺跡を中心に—」日本文化財科学会第27回大会発表要旨集、p68-69、2010

表1 金粒子周辺においてXRFにより検出した特徴的な元素類

		Au	Ag	Cu	Bi	Pb	その他	
武田氏館跡	主郭天守台	1		+++++	+++++	++	++	
		2	+++	+	+	+++++	++	As W
		3	+++	+	+			
		4		+++++	+++	++	++	Zn
		5	+++++	+++	+			
		6	++					
		7	+++					
		8	+++	+		+++++		
		9	+		+			
		10	+					
	大手	1	++++	++			+	
		2	+++	++				
字三角		++		+	+++++		Sn	
字高堀		++		++++		+++		
武田城下町遺跡	古府中1315	1	++++	++	+++			
		2	++		+			
	古府中1501	1	+					
		2	++			++		
	屋形三丁目 2492-2	1	++			+++++		
		2	+++	+	+	+++++	Zn	
		3	++					
		4	+				+++	
	大手一丁目4314		++++	+	++			

注1：表中の表記は、+++++>++++>+++>++>+の順で、XRFによる検出強度が高いことを示している。

注2：付着金・銀粒子のサイズは幅があるため、測定範囲に含まれる粒子の面積割合により検出強度が異なる。

# ハギア・ソフィア大聖堂モザイク調査報告 -寸法及び色彩による材料・技法考察-

## Report of Mosaic Survey in Hagia Sophia, Study on Material/ Techniques from the point of view of Size and Colors.

- 佐々木淑美 (筑波大学大学院人間総合科学研究科世界文化遺産学専攻),  
日高健一郎 (筑波大学大学院人間総合科学研究科世界文化遺産学専攻)  
○Juni Sasaki (Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba,  
Doctoral Program in World Cultural Heritage Studies),  
Kenichiro Hidaka (Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba,  
Doctoral Program in World Cultural Heritage Studies)

### 1. はじめに

筆者は2009年11月1日から2010年10月25日までの期間、トルコ共和国イスタンブール旧市街に残るハギア・ソフィア大聖堂(以後「ハギア・ソフィア」と略記)において、堂内各所に残る6～14世紀制作のモザイクに関する現状調査及び記録を実施した<sup>1)</sup>。本稿では、ドームならびにナルテクスのモザイクを例に挙げ、テッセラの寸法及び色彩による材料・技法考察の成果を報告するとともに、堂内に残るモザイクの調査結果から材料・技法の変遷を明らかにし、制作年代を再検討する。

### 2. 調査成果と考察

#### 【ドーム・モザイク(ドーム北東1/4での調査結果、写真1)】

##### ○金テッセラの寸法

6世紀構造部のモザイク(以後「6世紀モザイク」と略記、Rib.31-35、計160点、図1-①)では、平均縦7.2mm×横6.4mm(最小縦6.3mm×横4.0mm、最大縦7.2mm×横8.9mm)と縦長で、比較的均一な大きさの金テッセラが使用されているのに対し、14世紀構造部のモザイク(以後「14世紀モザイク」と略記、Rib.35-40、計159点、図1-②)では、平均縦7.0mm×横7.3mm(最小縦4.6mm×横5.0mm、最大縦8.2mm×横10.7mm)と横長で、不均一な大きさの金テッセラが使用されている。

##### ○金テッセラの色彩

6世紀モザイクは、明度が高く、赤みがかった黄色の発色が強い(500nm以降の波長を強く反射している)。これに対して、14世紀モザイクでは、6世紀モザイクと同様の金テッセラとともに、明度が低いテッセラ(全体の反射率が40%以下)を含んでいる。

#### 【ナルテクス・モザイク(全域：区画A～I、写真2)】

##### ○金テッセラの寸法

建築部位別で見えていくと、リュネット壁のモザイク(区画A～I、計472点、図1-③)では平均縦6.5mm×横5.8mm(最小縦6.1mm×横3.5mm、最大縦8.3mm×横8.5mm)、連結アーチのモザイク(区画A～D、計72点、図1-④)では平均縦6.1mm×横5.7mm(最小縦5.5mm×横4.5mm、最大縦7.6mm×横7.0mm)のテッセラが使用されている。両部位ともに、縦長の長方形テッセラが多く使用されていることがわかる。

##### ○金テッセラの色彩

リュネットのモザイクは、ばらつきがあり、全体的に反



写真1 ドーム・モザイク



写真2 ナルテクス・モザイク

射率が低く、銅色に近い色彩の金テッセラの混在が認められる。一方、連結アーチのモザイクでは、反射率傾向にまとまりがあり、リュネットのモザイクにはなかった明度の高いテッセラ(600nm 付近の反射率が 70%以上のもの)が含まれている。

#### 【テッセラの寸法】

モザイク制作時に、意図的にテッセラの設置方向を選択した可能性が指摘できる。縦長のテッセラを多用する理由としては、テッセラの並びに規則性と水平方向への流れを与えると同時に、目地幅を一定にするための工夫である可能性が考えられる。また、ナルテクス・モザイクでは、ほとんどのリュネットで、テッセラが下向きに角度をつけて設置されている。これは地上からモザイクを見上げた際の光の乱反射による効果(モザイク表面のゆらぎ)を狙ったもので、この時、縦辺が長い長方形のテッセラを使用したほうが反射面を多く得ることができ、より効果を得ることができる。

#### 【テッセラの色彩】

ドームでは、6 世紀・14 世紀モザイク両方に共通して使用されている金テッセラがあり、これは再利用である可能性が指摘できる。

ナルテクスでは、リュネットのモザイクに対して、無作為に色彩を選択使用し、色彩にばらつきを持たせた可能性が指摘できる。これは、下向きに角度をつけて設置する技法と同じく、画面上にゆらぎを生じさせる意図をもって行われた可能性がある。

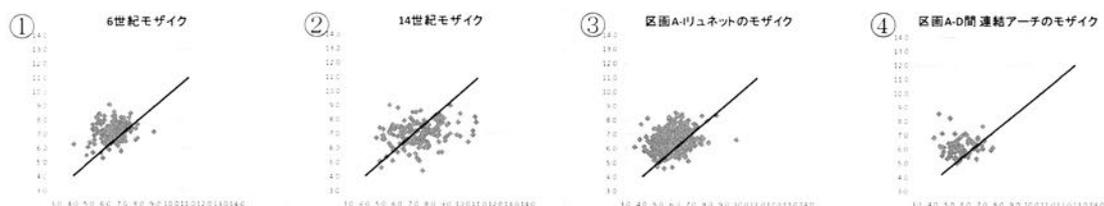


図1 ドーム(①6世紀、②14世紀)及びナルテクス(③リュネット④連結アーチ)の寸法計測値分布

### 3. 金テッセラの明度・彩度とモザイクの制作年代

室内各所に残るモザイクの色彩計測結果は、合計で 2550 点にのぼる。それらを、色彩(分光反射率傾向及び L\*a\*b\*表色数値を参照)から 10 パターンに分類し、各モザイクが、それら分光反射率パターンの中のどのような組み合わせで、またどのような比率で構成されているかを考察した。その結果、下地及び金テッセラの色彩について以下の考察をした。

まず、6 世紀に大聖堂が創建された際、モザイクは、赤色の下地に、L\*値が 70 以上をとる明度の高い金テッセラを使用して制作されていた。その後、6 世紀ドーム再建時には、黄色(黄土色)の下地に、L\*値が 70 以上と明度の高い金テッセラとともに、L\*値が 60 から 70 と少し明度の低い金テッセラを同程度使用し制作されている。そして、明度が低い(L\*値 60 以下)金テッセラを使用し、下向きに角度をつけて設置していることが特徴に挙げられる。既往研究では、この設置技法を 726 年以前のモザイクでのみ認められる技法であると指摘している<sup>3</sup>が、本研究によって、その指摘を、色彩計測に基づいて検証することができた。さらにこの下向きの設置技法が、壁面モザイクに対して適用され、明度の低い色彩の金テッセラや銀テッセラの使用と同時に適用されていることもわかった。設置技法と金テッセラの色彩(質の低い材料による色彩)を併用することで、画面にゆらぎを与える視覚的效果を狙っていたと考えられる。

註 1) 筆者は 2010 年度トルコ共和国政府奨学金留学生として滞在した。調査は、笹川研究助成の交付を受けて実施した。

註 2) Thomas Whittemore, *The Mosaics of St. Sophia at Istanbul. Preliminary Report on the First Year's Work, 1931-1932, The Mosaics of the Narthex*, Oxford Univ. Press, 1933, p.11.

註 3) Paul A. Underwood ; Lawrence J. Majewski, "Notes on the Work of the Byzantine Institute in Istanbul : 1957-1959 : The Conservation of a Byzantine Fresco Discovered at Etyemez, Istanbul", *Dumbarton Oaks Papers*, Vol.14, 1960, p.209.; Cyril Mango ; Ernest J. W. Hawkins, "The Mosaics of St. Sophia at Istanbul. The Church Fathers in the North Tympanum", *Dumbarton Oaks Papers*, No.26, 1972, p.3-4.

# 砂粒数カウント法による滑石含有土器の胎土

## Temper of talc included pottery analyzed by counting the numbers of mineral particles

○矢野健一（立命館大学），小川香菜恵（立命館大学院生），内野那奈(同)  
○ Kenichi Yano, Kanae Ogawa and Nana Uchino(Ritsumeikan University)

### 1 砂粒数カウント法

筆者は、土器胎土の特徴を客観的に表現するために、20倍の実体顕微鏡（ニコンのファープル）を用いて、土器胎土の表面に見える砂粒を種類・大きさ別に数えている。土器表面（通常は内面）に砂粒が十分観察できる状態のものであれば、そのまま数えることができるが、不可能な場合は、紙やすりで砂粒を露出させる場合もある（それが可能な場合のみ）。通常、1cm×1cmの方形区画内を観察している。

数える砂粒の種類は、A 黒色粒（角閃石もしくは輝石） B 金色粒（黒雲母） C 白色粒（長石、石英が主、透明度により細分する場合もある）を基本とし、その他、「くさり礫」「シャモット」などと呼ばれる粒を数えたり、チャートなどを数えたりする場合もある。粒の大きさは、径0.5mm以上1.0mm未満と径1.0mm以上の2種類に分ける場合と、径0.25mm以上0.5mm未満も数える場合がある。

土器の胎土分析では、鉱物の相対的比率を示すことはあるが、絶対量を示すことは一般的ではない。筆者らは、土器の個体ごとの砂粒の絶対量の差を鉱物の種類ごとに示すことはできないかと考え、このような手法を試みている。砂粒の絶対量を示す利点は、砂粒総量の増減にしたがって、特定鉱物のみが増減するかどうかを判断できることである。筆者らは、すでに、縄文晩期の中中部地方の土器において、雲母粒を中心とする砂粒の増加が総砂粒数の増加に寄与する事例を見出している（阿部・塚原ほか 2006）。さらに、縄文後期の近畿地方の土器において、角閃石・輝石粒を中心とする砂粒の増加が総砂粒数の増加に寄与する事例を見出している（中塚・矢野ほか 2010）。

筆者らの分析は、特定鉱物の添加が土器製作・使用のいかなる点にとって必要とされたかを明らかにすることにあるが、十分な分析ができておらず、現在は様々な鉱物において観察事例を増やしている段階である。

この分析の問題点は、1cm×1cmという限られた面積における砂粒の観察にとどまるため、砂粒数が十分にその個体の砂粒の実態を反映していない可能性がある点である。しかしながら、観察事例を増やせば、砂粒数の傾向を把握することは可能である。つまり、この方法は数をこなすことに意味がある。

### 2 滑石混入土器と滑石非混入土器との比較

今回は、九州地方において特徴的な胎土である滑石混入土器の様相を観察した。観察したのは、福岡市椎葉A遺跡、佐賀県菜畑遺跡、熊本県曾畑貝塚の3遺跡から出土した轟式、轟式と曾畑式との中間期の諸型式（「中間型式」と呼称する）および曾畑式である。轟式はいずれも滑石非混入、中間型式は多くが非含有、一部含有、曾畑式は多くが含有、一部非含有である。3遺跡を選んだのは、轟式から曾畑式にかけて各時期の土器がある程度出土しているからであり、同一遺跡で通時的な胎土の変化を追うことで、滑石混入を必要とした理由を見出せないかと考えたからである。

顕微鏡観察は、矢野・小川・内野の3人のうち、2人が同一土器の砂粒を観察した。表は椎葉A遺跡の砂粒数だが、これは1cm×1cmの区画内の砂粒を20倍の顕微鏡で観察した砂粒数の2人分の計測値を合計している。したがって、実際の砂粒数の約2倍の値となっている。

椎葉A遺跡では轟式13点、中間型式14点（滑石非含有10点、滑石含有2点）、曾畑式14点（滑石非含有4点、滑石含有10点）を観察した。滑石非混入土器のほぼすべてが、長石と石英粒を主とする白色粒主体である。径0.5mm-1mmの細かい粒のものが多く、0.5mm以下の砂粒も多い。興味深いのは、轟式から曾畑式にかけて、総砂粒数が減少傾向にある点である。た

だし、このような減少傾向は菜畑、曾畑では確認できていないので、さらに事例を増やして観察する必要がある。

曾畑式の滑石含有土器は、滑石粒以外の砂粒をほとんど含まない。この傾向は他の2遺跡も同様である。滑石粒は0.5mm以下の極細粒も多く含んでいるが、0.5mm以上の砂粒数の合計値は、轟式等の滑石非含有土器に比べて少ない。これは、他の2遺跡においても同様である。滑石は板状に剥離するので、土器面に沿って面をなす。このことは手触りだけでなく、土器製作上、粘土帯を垂直に維持する上で有利に働いたはずである。

3遺跡に共通する点として、径0.5-1mmの赤色もしくは黒色の炭化粒が滑石混入土器に限って比較的多く含有している点もあげられる。植物種子状のものかと思うが、確認できていない。また、3遺跡とも、滑石と通常の砂粒を混合したと判断できる事例はなかった。

胎土の差と、土器の大きさや厚みなどとの関係についても、発表では分析を加えたい。滑石は非常に細かい粒にまで、薄く剥離しやすい。このような特徴は雲母や片岩などとも共通し、さらには針状に剥離する角閃石も近い特徴を有する。このような鉱物は特定の時期に限って集中的に添加される傾向があり、土器製作上の理由で説明できるのではないかと考えている。

表 福岡市椎葉 A 遺跡の縄文土器胎土砂粒の様相

土器の種別 (時期・滑石含有の有無)	黒色粒(角閃石主)		金色粒(雲母主)		白色粒(長石・石英主)		白色粒合計 P=C+C'	砂粒数合計 A+A'+B+B'+C+C'	滑石粒		滑石粒合計 Q=D+D'
	0.5-1mm	1mm-	0.5-1mm	1mm-	0.5-1mm	1mm-			0.5-1mm	1mm-	
	A	A'	B	B'	C	C'	D	D'			
轟非滑石平均	1.92 3	0.61 5	0.92	0.1 5	26	13. 2	39.2	42.8	0	0	0
中間非滑石平均	2	0.3	0.5	0	17.5	11. 3	28.8	31.7	0	0	0
曾畑非滑石平均	3.75	1.25	0	0	11	7	18	23	0.25	0	0.2 5
曾畑滑石平均	1	0.4	0.5	1.4	0.2	0	0.2	3.5	9.93	13. 9	24. 4

参考文献

阿部嘉幸・塚原秀之・矢野健一 2006 「長野県宮崎遺跡出土縄文土器における器種による胎土の相違」 『日本文化財科学会第23回大会研究発表要旨集』、20-21頁

福岡市教育委員会 2004 『椎葉 A 遺跡』 (福岡市埋蔵文化財調査報告第794集)

中塚良・矢野健一・木立雅朗・木村啓章・河本純一・清水芳裕 2010 「縄文土器の材質的研究」 『第17回京都府埋蔵文化財研究集会資料集 京都府の縄文時代～遺跡・遺物はなぜ動くのか』 京都府埋蔵文化財研究会

矢野健一・関戸一将・松崎健太・柳原麻子 2010 「付論 砂粒カウント法による縄文土器分析」 『第17回京都府埋蔵文化財研究集会資料集 京都府の縄文時代～遺跡・遺物はなぜ動くのか』

## 中国古代青銅器における分鑄技法の検討

### The study of the division casting technique in the Chinese ancient bronze ware

○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)、  
新郷英弘・樋口陽介(芦屋釜の里)

○Mamoru Hirokawa(Sen-oku Hakukokan), Setsuo Imazu, Toshiyuki Torigoe, Kei Wada  
(Kyushu National Museum), Hidehiro Shingo, Yosuke Higuchi(Ashiyagama no Sato)

#### 1. はじめに

我々は2008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。なかでも本体と持ち手との接続状況について、殷後期から春秋前期にかけての約40例を調査した結果、3種類の接続方法を確認した。そのうち、本学会昨年度大会において発表した兕觥の接続方法は、現段階でこの器種にのみ使用された非常に特殊な分鑄による接続方法であることがわかった(廣川他2010)。とくに象文兕觥(殷後期製作、図1)では、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た。上部は本体からのびる半環を持ち手の金属が包み込み、下部は本体から伸びる棒状の出ホゾを持ち手の金属が取り囲んでいた(図2、図3)。このような特殊な接続方法を採用した背景を考察する一環として、我々は本年2月に復元実験を実施した。

#### 2. 復元実験の方法

復元実験は、福岡県芦屋町芦屋釜の里内に設けられた芦屋釜復元鑄造工房にて、本年2月に実施した。実験の方法は、まずX線CTおよび三次元デジタル計測によって得たデータから三次元モデルを作成し(本大会輪田慧発表「デジタル造形による鑄造技術の可視化」参照)、それをもとに鑄型を作成した。本来の鑄型は中子と複数の外范を組み合わせた土製合范と推測されている。ところが、器には立体装飾が多数存在し、極めて複雑な外范を組み合わせる必要があり、かつ一部の立体装飾において外范の抜け勾配を確保できず、外范構造を完全に解明できなかった。そのため今回の実験では、持ち手接続の復元を優先して、ロストワックスによる鑄造をおこなった。まず持ち手の接続部分に半環と出ホゾとを付けた器本体を製作し(図4)、そこに持ち手の鑄型を接続して鑄造した(図5)。

なお、鑄造に先立って、金属成分を決定するために、携帯型蛍光X線分析装置を用いて象文兕觥の蛍光X線分析を実施した。器の表面は伝世中に様々な処理がなされており、本来の地金成分を全く反映しないため、圈足接地面および外底部分で光沢のある地金が露出している部分を3カ所測定した。その結果3測点の平均値は、銅約80%、錫約15%、鉛約5%であった。この数値は、測定環境および表面状況に大きく左右されるものであるが、大まかな指標として採用し、この数値を本実験で用いる金属材料の成分とした。

#### 3. 実験結果

鑄造実験によって製作した復元品を図7に示す。外部から肉眼観察すると、持ち手と本体との接続部分にわずかな隙間が存在するが、持ち手はきっちりと本体に接続されており、実際の使用にも耐えうる強度をもっていた。さらに製作品を切断し接続部分の状況を確認した(図6)。肉眼では持ち手部分の金属と本体半環の金属との区別がつかない程、隙間なく接続されていることがわかった。さらに持ち手と本体とが、きわめて広い範囲で部厚く接続できていることが確認できた。厚さ2~3mmで持ち手と本体とをつなぐ一括鑄造に比べ、強度の点で優れているものと推測する。また、図3のX線CT画像では、わずかながら隙間が確認でき、さらに持ち手金属と本体金属とで若干のコントラストが存在していて、図6の復元品とは異なる状態である。今回の実験では、本体および持ち手とも同じ成分の金属材料を用いたが、実際の象文兕觥製作では、本体と持ち手とで異なる成分の金属材料を使用したのかもしれない。



図1. 象文兕觥全景

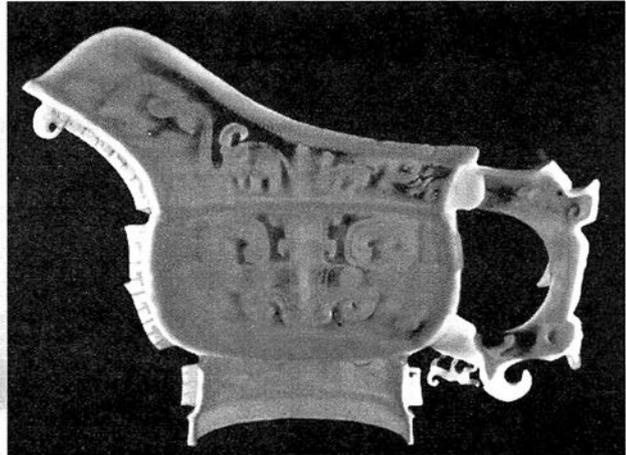


図2. 象文兕觥本体三次元断面像

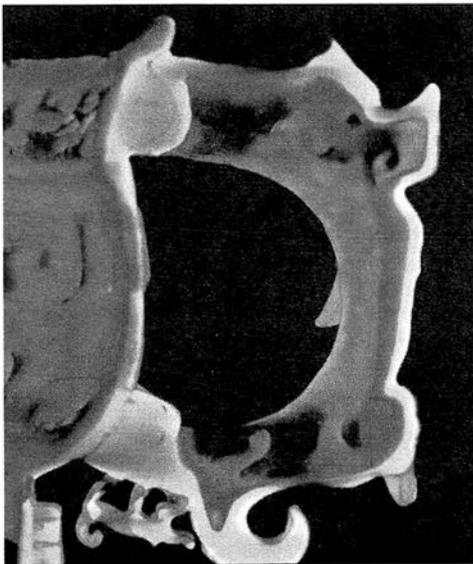


図3. 象文兕觥持ち手縦断面像



図4. 復元鑄造実験で製作した本体の持ち手接続部分



図5. 復元鑄造実験で製作した象文兕觥



図6. 切断した持ち手

文献

廣川守・今津節生・鳥越俊行・輪田慧 2010「X線 CT スキャナを利用した殷代青銅兕觥の内部構造解析」『中国考古学』第10号

## 蛍光 X 線分析によるサーサーン朝銀貨の考古化学的研究

### Chemical characterization of Sasanian Silver Coins by using XRF analysis

○堀内 慧・中井 泉(東理大理),四角隆二(岡山オリエント),足立拓朗(中近東文化セ)

○Kei Horiuchi(Tokyo Univ. of Science), Izumi Nakai(Tokyo Univ. of Science),

Ryuji Shikaku(Okayama Orient Museum), Takuro Adachi(Mid. Eastern Cult.Center in Japan)

**【はじめに】**イラン南部から興ったサーサーン朝(A.D.226-651)において銀は最も重要な金属で、帝国の経済は基本的に銀によって支えられていた。そのため銀の生産、分配はサーサーン朝の宮廷により高度なコントロールを受けており、要塞により銀鉱山は管理、保管されていた。このような銀は貨幣や装飾品の材料として使用されていたことが知られている。しかしながらこの時代に関する歴史、文化等を記した書物は殆ど残っておらず、当時の政治経済に関して知られていることは少ない。したがって、銀貨から得られる情報は重要である。

一般的なサーサーン朝銀貨には表に王の胸像、裏にサーサーン朝の国教であったゾロアスター教の拝火壇のデザインが刻印されている。このようにコインからは当時の宗教、文字、王名、発行年、発行所など様々な情報が込められている。<sup>1)</sup>従ってこれをもとに当時の経済状況、政治的背景を考察することが可能である。本研究では銀貨に含まれる成分を分析し、純度を明らかにし各時代において精錬法、産地等の変化に伴う変遷や相違が見られるかを考察した。

**【実験】**分析は当研究室がアワーズテック(株)と共同開発した可搬型のポータブル蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA を美術館内に持ち込んで行った。測定条件は管電圧 40 kV、管電流 0.1 mA、測定時間 200 秒とした。資料の錆など表面に汚れがあるものは酢酸、エタノールで除去したが、基本的には非破壊での分析を行った。測定資料は岡山市立オリエント美術館と中近東文化センターの協力を得て、サーサーン朝の銀貨 102 点、銅貨を 2 点、装飾品を 12 点分析した。また、異なる時代の銀貨・装飾品も計 147 点分析した。

**【結果と考察】**サーサーン朝銀貨において時代による変遷を探るため、銀貨の主成分である Ag と副成分である Cu、Fe、Pb、Au に着目した。各時代の Ag の定量値の結果を図 1 に示す。図 1 より、紀元後 3 世紀の銀貨の Ag の含有量は約 20~90% と幅広いのに対し、それ以降の時代では Ag の純度が高く、殆どが 90% 以上の組成であった。Ag の純度が高い理由として図 1 に示したフスラウ 1 世(A.D.531-579)では国内で積極的に法律を改善する改革を行い、対外的には東方ではエフタル、西方ではビザンツ帝国との抗争で勝利を収めたことが大きく関係する。<sup>2)</sup>このような黄金期時代の間には発行された銀貨は Ag の純度が高く、分析した銀貨 26 点中、25 点は Ag 濃度が 90% 以上であった。次のフスラウ 2 世(A.D.591-628)の時代では西部地域を征服し領域拡大を実現したとされる。しかし、戦争等により経済状況が悪化し Ag の純度が 50~80% 前後と低い銀貨が製造されたと推察される。

同時に Cu の定量値を比較したところ、Ag の純度が低いほど、Cu を多く添加して銀貨を発行していることが示された。結果的に、サーサーン朝ほどの時代を見ても銀の純度が高いことが分かったが、各王により政治的、経済的背景から Ag の純度に差が見られることが分かった。

本研究では銀貨の精錬法にも着目した。銀の精錬法には灰吹法とアマルガム法がある。灰吹法では鉛鉱石から銀を抽出するのに対し、アマルガム法では金、銀を水銀とのアマルガムという合金にして水銀を除去した後、金、銀を抽出し銀貨を生産していた。<sup>3)</sup>そのため、Hg の有無により、精錬法の違いが分かる。そこで、今回分析した銀貨において精錬法の違いを見るため、Hg を含むもの、Hg を含まないものの 2 グループに分類した。その結果、サーサーン朝の銀貨 102 点中、6 点に Hg が含まれており、それ以外の銀貨には Hg は含まれていなかった。Hg を含むものは少数で濃度も高くないことからこれらの Hg は製造過程で添加されたものではなく、おそらく原料の不純物として含まれていたと考えられる。したがって、この時代の銀貨は灰吹法により、鉛鉱石から銀を抽出し銀貨を製造していた可能性が高いことが推察される。尚、発表では Fe、Au、Pb 等の元素に関しても報告を予定している。

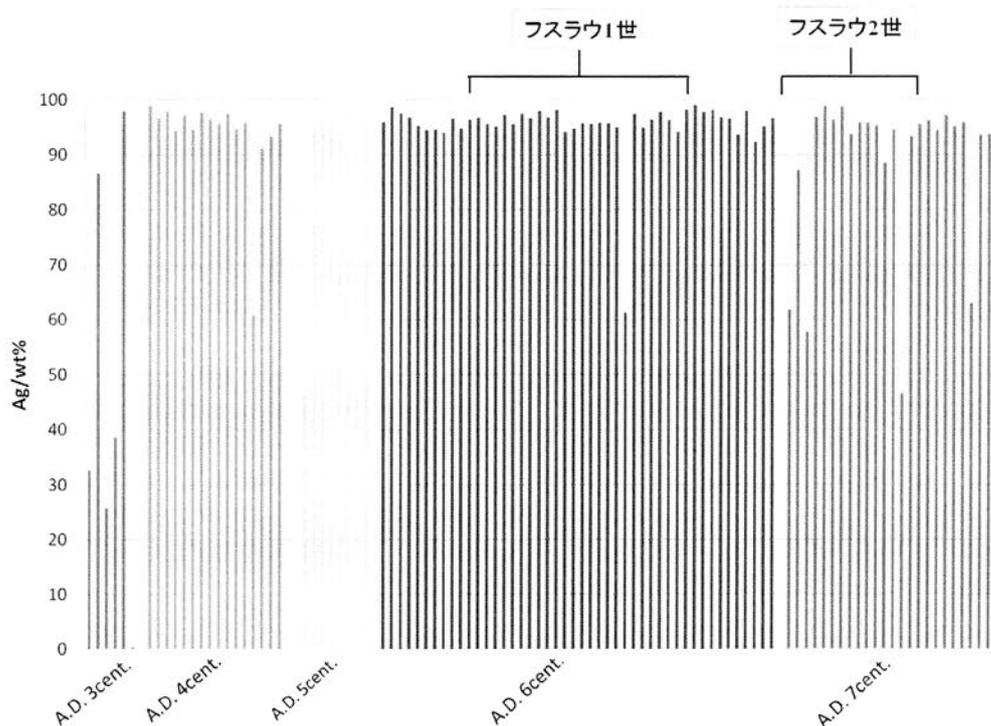


図1 サーサーン朝銀貨の Ag 定量値の比較

- 1) 津村眞輝子「サーサーン朝のコイン」『ペルシアの宝物—至高のガラスと銀の世界』岡山オリエンツ 30-31(2010)
- 2) Jere L. Bsacharach and Adon A. Gordus “The Purity of Sasanian Silver Coins: An Introduction” *Journal of the American Oriental Society* 92, 280-283(1972)
- 3) Meyers P., *The Metropolitan Museum of Art*, 23(1974)