ポスター発表
Poster Presentations

会場：奈良女子大学　N 棟
N101・N202・N301・N302 教室

ポスター解説日時
7 月 7 日（土）　13：00 ～ 14：00
7 月 8 日（日）　13：00 ～ 14：00

中国天水・麦積山石窟壁画片の高精度炭素年代測定
High-precision Radiocarbon Dating with Mural Fragments of Maijishan Grottoes, Tianshui, China

○末森薫（関西大学） 岳永強（麦積山石窟藝術研究所）
大森貴之・尾嵜大真・米田穣（東京大学総合研究博物館）
○Kaoru SUEMORI(Kansai University), Yue Yongqiang（Art Institute of Maijishan Cave-Temple Complex), Takayuki OMORI, Hiromasa OZAKI, Minoru YONEDA (The University Museum, The University of Tokyo)

1. はじめに

麦積山石窟芸術研究所と筑波大学世界遺産専攻は、2006 年より麦積山石窟の保護を目的とした共同研究プロジェクトにて、南北朝時代（5 、6 世紀）制作の壁画片 9 点（第 4、20、36、74、87、100、127、148、160 窟）を対象とした調査を実施してきた。麦積山石窟の各洞窟には、歴史史料に記載事項や題記、洞窟の造営位置、造像や壁画の形式・様式の比較などの先行研究より、おおよその年代観が提示されている。一方で、明確な年代を示す根拠は少なく、より精緻な年代観の構築には課題が残されている。そこで、各壁画片の泥土層に含まれる有機物を微量採取し、放射性炭素同位体比を用いた年代測定を実施した。本発表では、測定の詳細および結果とともに、既存の年代観に基づくベイズ推定により作成した推定年代モデルを提示する。

2. 試料調整および測定条件

各壁画片の泥土層に含まれるスサや麻などの植物片，あるいは炭化物を微小量採取し，年代測定試料とした。試料の前処理は，表面に付着した胎土など異物を顕微鏡下で取り除いた後，1.2M 塩酸を用い土壌中炭酸鉱物の除去を行った。植物遺存体の前処理では一般に水酸化ナトリウム水溶液による埋没環境中に存在するフミン酸除去も合わせて施すが，壁画泥土中の保存状態からその影響は極めて小さいと判断し，また試料組織が脆弱であったため本分析ではこれを省略した。前処理が完了した試料は，元素分析計を用いて二酸化炭素を生成・精製し，水素雰囲気下で鉄触媒を用い還元することで加速器質量分析計（AMS）用のターゲット試料を調製した。なお，炭素量が 0.5mg に満たない試料については，微量測定用の試料調製法によりターゲットを準備した。表 1 に，壁画から採取した試料重量と前処理後の試料重量，実際の分析に用いた試料重量をまとめる。

表 1　麦積山石窟壁画片試料調整・測定情報

壁画片窟番号	試料材質	採取試料重量 (mg)	前処理後重量 (mg)	分析試料重量 (mg)	ターゲット炭素量(mg)
4	麻片	14.13	3.42	3.38	0.41
20	麻片	24.85	5.58	3.19	0.91
36	麻片	3.35	1.36	1.34	0.12**
74	麻片	27.32	16.67	16.35*	0.15**
87	麻片	27.18	7.14	3.45	1.14
100	スサ片	36.49	16.39	3.50	0.82
127	スサ片	27.08	10.03	3.49	1.11
148	炭化物	2.46	1.40	1.40	0.80
160	スサ片	2.50	0.46	0.42	0.11**

*土壌中の微細な植物片を分析するため泥土とともに試料調整を行った。
**微量測定を実施した試料。

3. 年代測定結果

東京大学総合研究博物館が所有する AMS にて、放射性炭素同位体比測定を行った（表 2）。^{14}C 年代（BP 年代）は，AMS で同時測定した $\delta^{13}C$ 値により同位体分別補正を行い，NBS シュウ酸

(OxII)と 14C 枯渇シュウ酸（和光純薬）の標準試料の ^{14}C 測定結果を用いて算定した。また、較正年代の算出には、OxCAL4.2（Bronk Ramsey, 2009）を使用し、較正データには IntCal13（Reimer et al. 2013）を用いた。なお、第 74 窟の値は、値が大きく外れており、コンタミの可能性が疑われる。また、第 127 窟の値は、δ13C の値が低い。これらについて、2018 年 5 月現在、試料を再採取し追加測定中である。

表 2　麦積山石窟壁画片　^{14}C 年代・較正年代

窟	^{14}C 年代(BP)	$\delta^{13}C$（‰）	較正年代(1SD)	較正年代(2SD)
4	1555 ± 23	-26.1 ± 0.2	430-545 AD	425-560 AD
20	1616 ± 21	-23.6 ± 0.2	340-530 AD	390-535 AD
36	1413 ± 41	-29.8 ± 0.4	610-655 AD	565-670 AD
74	3689 ± 38	-24.4 ± 0.4	2135-2030 BC	2200-1960 BC
87	1610 ± 24	-22.0 ± 0.5	405-530 AD	395-535 AD
100	1761 ± 22	-24.6 ± 0.2	240-350 AD	220-345 AD
127	1648 ± 21	-5.8 ± 0.3	385-420 AD	340-430 AD
148	717 ± 19	-24.5 ± 0.2	1270-1285 AD	1265-1295 AD
160	1517 ± 40	-28.2 ± 0.5	435-600 AD	425-620 AD

4.　既存編年を用いたベイズ推定による推定年代モデルの作成

上記の較正年代結果について、統計学のベイズ確率に基づきオックスフォード大学が開発したソフトウェア、OxCAL4.2 を用いて解析し、推定年代モデルを作成した。解析にあたり、先行研究に提示される編年や年代観を整理し、今回測定に供した壁画片を六つに分期し，各期の新旧関係から年代の絞り込みをおこなうとともに、美術史年代のひとつの指標となる北魏の洛陽遷都の 494 年に北魏後期の上限年代を設定した。図 1 は，特に年代が集中した北魏後期から北周に比定される窟の推定年代を図化したモデルである。なお，第 127 窟は $\delta^{13}C$ 値が著しく低く，ベイズ推定からも高確率で異常値と判断されたため、本モデルからは省いている。

5.　今後の課題

今回実施した年代測定では、過半数の窟において、既存の年代観と調和する結果を得らえた。また、ベイズ推定により、ある程度絞り込んだ年代を推定することができた。他方、74、100、148 については、既存年代観との間に開きがあり、その要因について考察を要する。また、今回は各壁画片より微量試料を採取し、それぞれ一点の測定であった。5 世紀半ばから 6 世紀半ばにかけた ^{14}C の較正年代は複雑な対応関係にあり、より確度の高い年代を得るには、測定数を増やす必要がある。今回測定していない窟を含め、試料数を増やすことで、より精度の高い推定年代モデルを提示できると考えている。

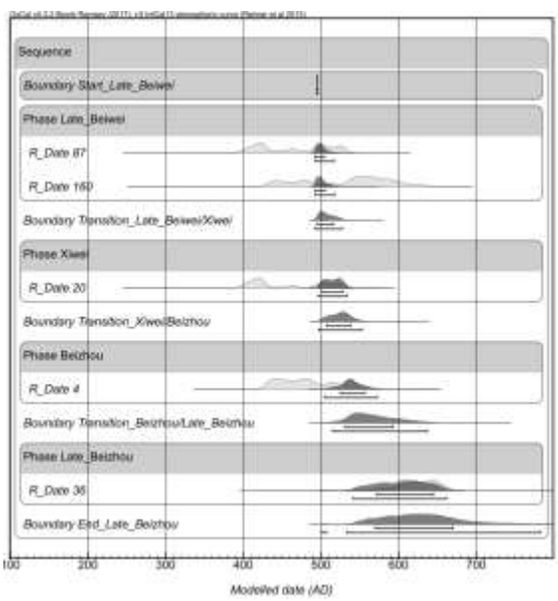


図 1　麦積山石窟壁画片　推定年代モデル
*推定条件：494 年以降の造営。87・160＜20＜4＜

［文献］1) Bronk Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51(4), 337-360. 2) Reimer et al. 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1869-1887.

［備考］本発表は JSPS 科研費（JP16H05902）による研究成果の一部です。末森は 2018 年 4 月より国立民族学博物館学術資源研究開発センターに所属。

プラント・オパールの表面に残留する微細繊維による年代測定法の開発（Ⅰ）

Study for the dating method using the fibers remaining on the surface of phytolith(Ⅰ)

◯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）
◯Toshio NAKAMURA, Tetsuro UDATSU, Hiroyuki TASAKI

1. はじめに

発表者らは、水田や畑（畠）といった生産遺構の探査に利用されてきたプラント・オパール（イネ科植物を中心とする植物起源土粒子）の表面に残留する有機質繊維から、遺構の年代を測定（加速器質量分析法による ^{14}C 年代測定）する技術の開発に取り組んでいる。

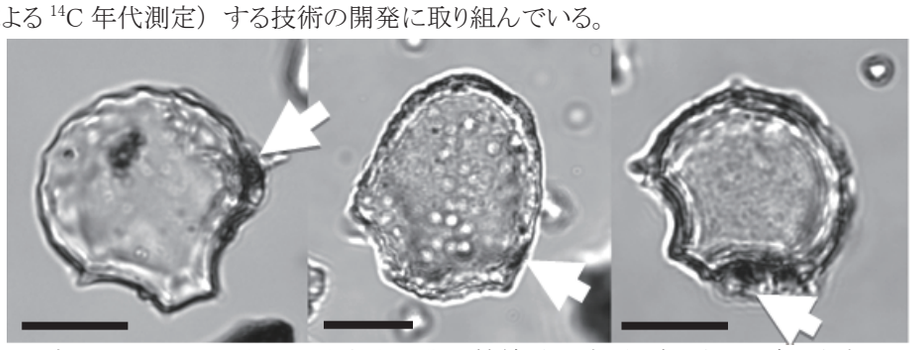


写真 1　プラント・オパール表面に残留する繊維質（矢印の部分：右と左はイネ、中央はヨシ属）
※スケールは 20μm

従来、生産遺構の年代決定は、包含遺物や炭化種子などの偶発的な検出に依存しており、当然、年代決定ができない場合も生じる。本研究で開発を進めている技術は、探査に利用されるレベルの検出率と検出量を備えたプラント・オパールを利用することにより、こうした「生産遺構の年代決定方法の限界」を突破することを目指している。ここでは、平成 29 年度に開発した土壌からのプラント・オパール抽出手法の概要と年代測定の試行結果について報告を行う。なお、本研究は JSPS 科研費（課題番号：17K18513）の助成を受けて実施した。

2. 取り組みの概要

測定試料であるプラント・オパールを土壌から抽出する実験を実施し、その抽出率やプラント・オパールの純度を中心に評価を行った。さらに、抽出したプラント・オパールの付着繊維質による年代測定を行い、その結果から当該手法の有効性を検証した。

1）供試試料について

既に年代が明らかになっている弥生時代から中世の稲作遺跡（6 遺跡：図 1 の A～F）および中国の新石器時代の水田土壌を供試した。国内 6 遺跡の水田は、異なる堆積環境（谷底低地、自然堤防、三角州、扇状地）下で造成されたものでもあり、堆積環境やそれに起因する粒子組成などが、抽出率やプラント・オパールの状態（風化の程度、表面の繊維質の残留の程度）に与える影響の大きさについても検討を行えるようにした。

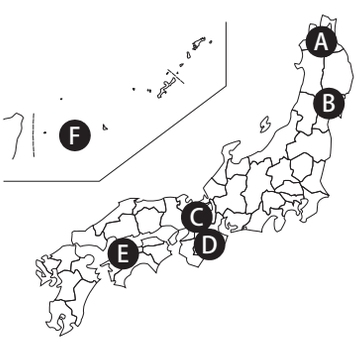


図 1　遺跡の分布

2) 土壌からのプラント・オパールの抽出

イネのプラント・オパール（ここでは、葉身中に形成される機動細胞珪酸体に由来するもの）は、粒径が 20～125μm、比重が 1.5～2.3 の土粒子である（図 2）。抽出では、この大きさと比重を鍵とし、粒径分画と比重分画を組み合わせた方法を基本として用いた。また、プラント・オパールの純度を高めるための工程として、夾雑粒子の中で、粒径と比重で分画できない粒子（海綿骨針等）の除去を目的に、3 種のフィルターによる篩別を行った。

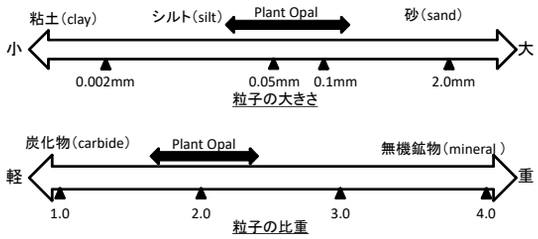


図 2 イネプラント・オパールの大きさと比重

3) 年代の測定

抽出した約 300mg（プラント・オパールそのもので年代測定が実施可能とされる目安重量）のプラント・オパールを名古屋大学と BETA 社で年代測定を実施した。なお、今回は供試試料の一部についてのみ測定を行った。

3. 結果

1) 土壌からのプラント・オパールの抽出工程について

土壌 500gについて、粒径分画（篩別による 125μm 以上、沈底法による 20μm 未満の粒子除去）と比重分画（2.3 以上、1. 6 以下の粒子除去）の後、さらにフィルター（120・80・60μm）による夾雑粒子除去を行った。この工程により純度の高いプラント・オパールを抽出できることが確認された。抽出量は、690 mg～5,730mgであり、測定に必要な量を得ることができている。但し、ガラスビーズを用いた定量法で算定した抽出率は 14～49％であり、定量法の誤算を考慮しても抽出率には改善の余地があると言える。

2) 年代測定の試行結果について

下表は、年代測定を実施したものの中で国内遺跡の測定結果（BETA 社）を示したものである。測定結果は、いずれも考古学的な年代に比べてやや古い値であったが、概ね調和的であった。$\delta^{13}C$ の値からは、測定の際に抽出された炭素が植物由来のものであることが確認されている。また、新石器時代の水田土壌については、想定年代（6,000 BP）に近い（やや新しい）年代値が名古屋大学、BETA 社ともに得られている。

表 1 年代測定結果

遺跡	^{14}C 年代（年 BP±1σ）	暦年代	想定年代	$\delta^{13}C$
B 遺跡	2,710±30	910BC～805BC	300BC～AD600	−21.0
D 遺跡	2,210±30	375BC～195BC	300BC～AD300	−21.1
F 遺跡	1,030±30	AD975～AD1,030	AD1,200～AD1,300	−24.6

4. 考察およびまとめ

構築した抽出工程により、測定に必要なプラント・オパールをどの堆積環境の土壌からも抽出できること、また、一部の試行であるが、測定により年代値も得ることができた。測定された年代値については、やや古い値となったが、おおむね調和的な年代値が得られた。この原因については、抽出プラント・オパール中のイネの純度に起因する（ヨシ属など、イネが栽培される以前に優占していた植物由来のプラント・オパールが耕作土に混じるため）のではないかと推定している。今後、プラント・オパールの純度を中心に、さらなる改善に取り組んでゆきたい。

近世日本産樹木年輪の単年輪炭素 14 年代測定

Annual radiocarbon measurement of early-modern Japanese tree-ring.

◯坂本稔（国立歴史民俗博物館／総合研究大学院大学)、中尾七重（山形大学)、
箱﨑真隆（国立歴史民俗博物館)、門叶冬樹（山形大学）
◯Minoru SAKAMOTO (National Museum of Japanese History / SOKENDAI), Nanae NAKAO (Yamagata University), Masataka HAKOZAKI (National Museum of Japanese Hisototy), Fuyuki TOKANAI (Yamagata University)

1. はじめに

炭素 14 年代法における較正曲線は，定期的な見直しが行われている。元データには水月湖の年縞堆積物の炭素 14 年代値など最近のものが採用されることもあるが，基本的にはこれまでに蓄積されてきた樹木年輪やサンゴなどの炭素 14 年代値に基づいている。しかしながら，IntCal の場合，樹木年輪の生育地が欧米の高緯度地域に限られている。また，太陽活動の 11 年周期を相殺するために 10 年輪ないし 20 年輪を 1 試料とした測定が行われている。加えて，較正曲線は広範な地域を代表するものとして統計処理による平滑化が行われていて，その方法は見直しの度に少しずつ変化している。近年は，較正曲線の地域効果は国際的な共通認識となりつつあり，また炭素 14-ウィグルマッチ法を適用する際に現行の較正曲線ではマッチングが十分でない（むしろ古い版の較正曲線の方が良好なこともある）といった例も報告されている。

Miyake et al.，(2012) による AD775 の宇宙線イベントの検出に端を発し，同様なイベントの発生頻度を解明する目的で，単年輪の炭素 14 年代測定が世界中で実施されている。筆者らのグループはこれまで 5 年輪ないし 3 年輪を 1 試料とした炭素 14 年代測定を実施してきたが，地域効果をより高い精度・確度で議論し，較正曲線に反映させるためには，単年輪の炭素 14 年代測定が不可欠である。今回は，18 世紀前後の樹木年輪の単年輪炭素 14 年代測定について報告する。

2. 試料と測定

試料はさいたま市青葉神社三重塔のヒノキ柱材で，年輪年代法でマスタークロノロジーと照合して中部日本産と推定された。19 世紀については既に 3 年輪を 1 試料とした炭素 14 年代測定を実施済で（Sakamoto et al.，2017），改めて試料採取と処理，測定を実施した。

窒化ケイ素の刃を用いた低速回転切断機で，木口面から厚さ 1㎜，長さ 10㎝，幅 2㎝ の年輪を切り出した。水および有機溶媒（アセトン，クロロホルム・メタノール混液）による超音波洗浄を施し，テフロン製パンチングシートに挟んで培養管中で塩素漂白（70℃×4 回）およびヘミセ

ルロース分解（17.5%水酸化ナトリウム溶液，80℃×3回）を実施した。中和・水洗したセルロースは凍結乾燥し，写真袋に入れてスキャン画像を撮影した上で，実体顕微鏡下で年輪を1層ずつ切り分けた。年輪は予め焼出したバイアル瓶に保管し，山形大学高感度加速器加速器分析センターでグラファイト化とAMSによる炭素14年代測定（AMS-^{14}C測定）を実施した。

3. 結果と考察

測定結果を図1に示す。炭素14年代測定は基本的に隔年で，AD1700前後など一部の時期は連続的に実施した。測定値の多くはIntCalとSHCalの間に分布し，17世紀後半は既報の伊勢神宮スギや石巻市天雄寺ケヤキ材の挙動と類似している。AD1800前後は3年輪を1試料とした前回の測定と重複する時期があり，ほぼ合致していることがわかる。

日本産樹木年輪の単年輪炭素14年代測定はNakamura et al.，(2013）による屋久スギおよび室生寺スギの報告例があり，やはりIntCalとSHCalとの中間に位置すると報告されている。伊勢神宮スギについては5年輪を1試料とした測定を実施し，微細な上下変動が見られることを報告したが，今回の測定では必ずしもそれら全てを再現できていない。今後青葉神社ヒノキの残りの単年輪，ならびに伊勢神宮スギ単年輪の再測定を実施し，微細構造を解明する計画である。

青葉神社のご理解と安田工務店のご協力を賜ったことを深謝します。本研究は国立歴史民俗博物館共同研究，ならびに科学研究費補助金（17H00773）による成果の一部である。

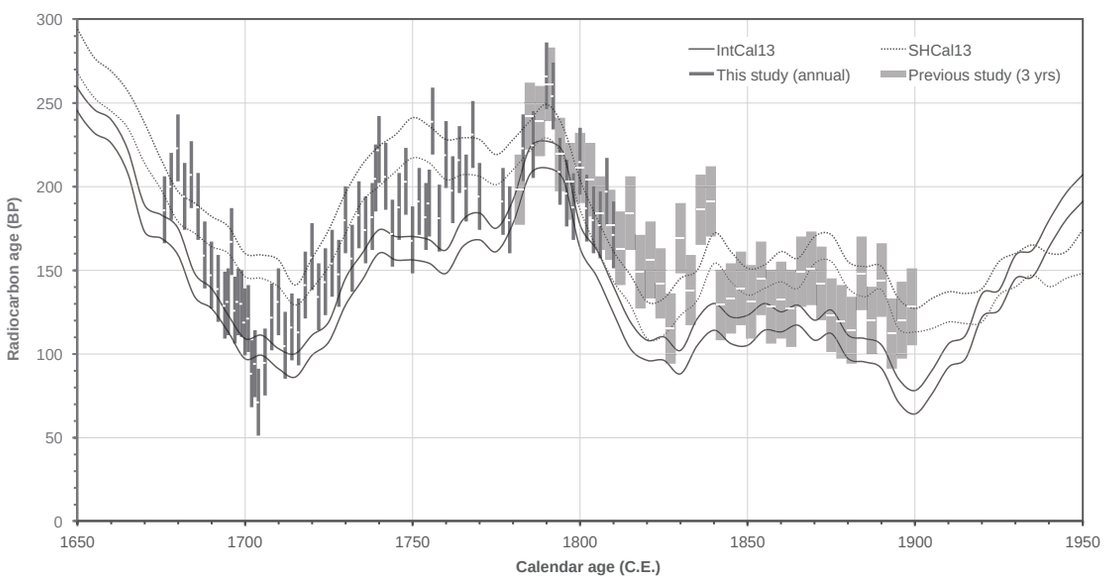


図 1　　青葉神社ヒノキ柱材の単年輪の炭素14年代測定

文献

Miyake et al., *Nature* **486**, pp.240-242, 2012.

Nakamura et al., *Radiocarbon* **55**, pp.763-770, 2013.

Sakamoto et al., *Radiocarbon* **59**, pp.1907-1707, 2017.

北海道伊達市有珠地区の近世アイヌ期遺跡から出土した煙管の年代学的検討

Chronological Study of Kiseru , Excavated from Sites of Ainu in Usu , Hokkaido

○永谷幸人（北海道教育庁）・伊藤　茂（株式会社パレオ・ラボ）・
山形秀樹（株式会社パレオ・ラボ）・小林克也（株式会社パレオ・ラボ）・
中村賢太郎（株式会社パレオ・ラボ）・青野友哉（伊達市噴火湾文化研究所）
○Yukihito Nagaya(Hokkaido Board of Education) ・Shigeru Ito (Paleo Labo Co.,Ltd)・
Hideki Yamagata (Paleo Labo Co.,Ltd) ・Katsuya Kobayashi (Paleo Labo Co.,Ltd)・
Kentaro Nakamura (Paleo Labo Co.,Ltd)・Tomoya Aono(Date City Institute of Funkawan Culture)

ポスター発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学一般

探査

文化財防災

1. はじめに　近年、北海道伊達市有珠地区（図１）では、近世アイヌ文化期の集落の発掘調査が多数行われている。本発表では、有珠地区の遺跡から出土した煙管の①層位学的年代、②雁首の型式学的年代、③羅宇の ^{14}C 年代測定結果から、アイヌ文化の中で重要な意味をもつ煙管が、本州で製造されてから有珠アイヌの手に渡り、副葬・廃棄されるまでの時間幅について検討した。

2. 試料　有珠地区所在の有珠４遺跡・ポンマ遺跡（2012 年度調査区）の墓坑から出土した煙管 14 点中、遺存状態が良好な 10 点を試料とした。

3. 方法　**①層位学的年代**：煙管が副葬された墓坑の年代を、1640 年の北海道駒ヶ岳噴火・津波と 1663 年の有珠山噴火による堆積物との関係から３時期に区分した。**②型式学的年代**：古泉弘（1983）の編年を基準に、雁首の形態により６段階に区分した。**③^{14}C 年代測定**：雁首の金属部分に接して遺存した羅宇（いずれもタケ亜科生材）を試料として測定した（図２）。

4. 結果　結果を図３に示す（①層位学的年代を白ヌキ、②型式学的年代を矢印で表している）。

5. 考察　有珠のアイヌ集落に持ち込まれた煙管のうち、もっとも古い型式の試料①②は小泉編年Ⅱ段階（17 世紀前半）で、墓に副葬されるようになるのは 1640 年以降であることが明らかになった。その後、1663 年までの間の墓（小児墓を除く）10 基中５基に煙管が副葬されており、有珠地区に煙管（を用いた喫煙文化）が普及した状況がみてとれる。

また、試料①～③等は、羅宇の材料伐採時期を示す較正年代の分布と、型式学に基づいて判断される雁首の製作時期が重複ないし近接しており、材料の調達から製造、そして副葬が短期間に行われたと考えられる。中でも、古泉編年第Ⅲ段階（17 世紀後半）の試料③が 1663 年間までに副葬されていることから、有珠アイヌと和人との活発な交易の存在が示唆された。

6. 今後の課題　1663 年以降の墓に副葬された煙管については、墓の年代が絞り込めないため、十分に検討することができていない。また、伝世の有無や、「ヤニ」により目詰まりが生じることから煙管を用いた喫煙では不可欠とされる羅宇の修繕や作り直しについての検討も今後の課題としたい。

7. 謝辞　伊達アイヌ協会、伊達市噴火湾文化研究所の多大なご支援・ご協力に感謝申し上げます。なお、本発表は、株式会社パレオ・ラボ「若手研究者を支援する研究助成」（第 10 期）による研究成果の一部である。

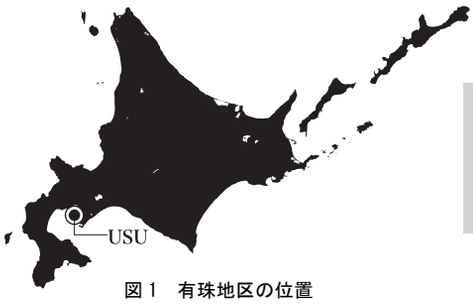


図１　有珠地区の位置

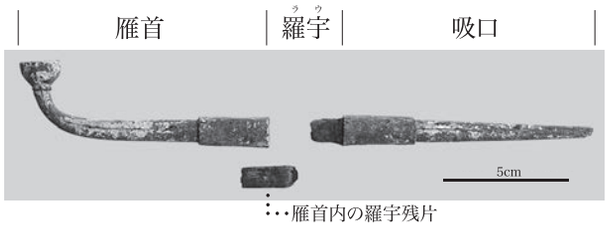


図２　煙管の構造（試料② US4-GP010）

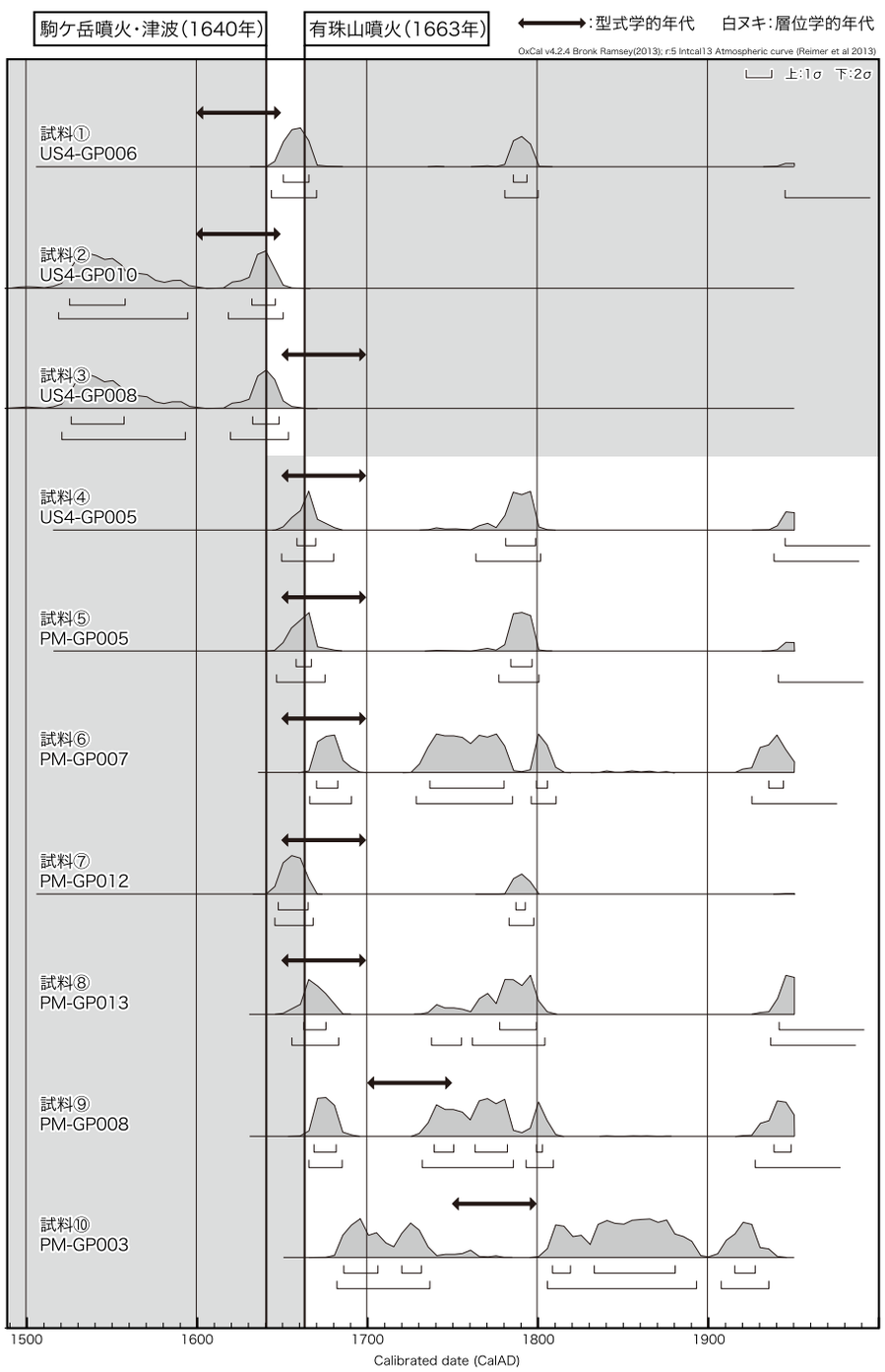


図３　分析結果

エジプト考古繊維遺物の年代測定

Radiocarbon dating of ancient textiles owned by the Kyoto University Museum

◯横山 操（京大院農・総博）、坂本 稔（国立歴史民俗博物館）、
遠藤利恵、村上由美子（京大総博）
◯Misao YOKOYAMA, Minoru SAKAMOTO, Rie ENDO and Yumiko MURAKAMI

1. はじめに

京都大学総合博物館エジプト考古資料群は、京都帝国大学初代考古学教室教授であった濱田耕作博士が、イギリスのロンドン大学教授のペトリー博士のもとに留学したことを契機として京都大学に移管・寄贈されたものである。そのコレクションの一部であるコプト織物について、2011年秋、エジプト考古資料の企画展“埃及考古”に際し、考古学・自然科学による調査を行い、製作年代や製作技法について考察を加えてきた。これらの展示前調査に端を発し、2016年の国際シンポジウム”From Petrie to Hamada Egyptian Antiquities of Kyoto University”の開催を経て、著者らはエジプト考古資料コプト織物断片の調査を継続している。

本報では、総合博物館所蔵エジプト考古資料における繊維製品のうち、ミイラ布断片（京都大学総合博物館・登録番号６３３）と草履（同・登録番号１１２３）を対象として、それぞれの資料に由来する不可避かつ微細な剥落片を用いて、放射性炭素年代測定を行った結果について述べる。

2. 資料

ミイラ布断片は、EEF（エジプト探査基金）からの寄贈品であり、草履は、京都帝国大学考古学研究室の初代教授濱田耕作によってもたらされた資料である。京都大学総合博物館資料目録エジプト資料編によれば、いずれも、年代不詳・出土地不明とされる。

京都大学に収蔵後、いずれも燻蒸および洗浄履歴はなく、ガラス扉のある木製棚に他のエジプト考古資料群と共に保管されていた。近年、紫外線および虫害・菌害による劣化進行を危惧し、暗幕の設置および紫外線フィルター導入、中性紙保管箱への収納等を対策として講じた。その際、それぞれの資料に認められた不可避な剥落小片を、放射性炭素年代測定に供した。

3. 放射性炭素年代測定

国立歴史民俗博物館年代実験室で必要量を切断・採取し、アセトン及びクロロホルム・メタノール混液を用いて超音波洗浄を施した。次いで，炭素 14 年代測定試料に対して一般的に行われる酸・アルカリ・酸処理（AAA 処理）を実施した。

前処理の終了した試料は(株)加速器分析研究所に送付し，測定試料となるグラファイト炭素

の調製，および加速器質量分析法（AMS）による炭素 14 の測定を依頼した。AMS 測定は(株)加速器分析研究所の AMS 装置で実施された。炭素 14 年代は試料の炭素 14 濃度から計算されたモデル年代であり，較正曲線 IntCal13 に基づき，OxCal で較正年代に修正された。

その結果を、図１および図２に示す。これより、ミイラ布断片は紀元前２１００年前後、草履は西暦５００年前後の値が得られた。

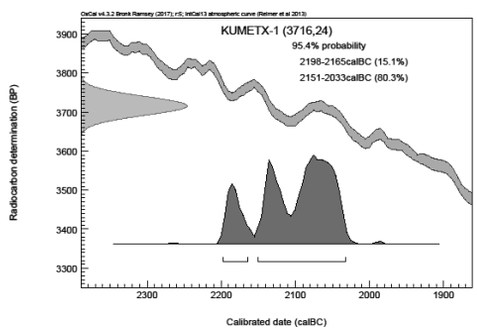


図１　ミイラ布断片６３３の較正年代

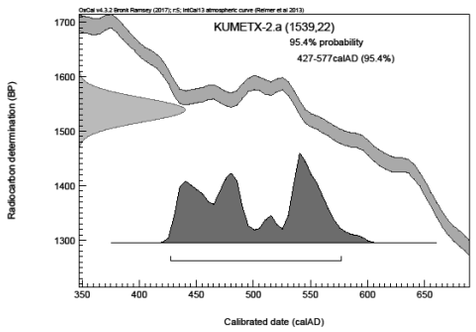


図２ 草履１１２３の較正年代

4. 結果と考察

京都大学総合博物館所蔵コプト織物は、著者らのこれまでの調査結果から、その製作年代が３世紀から１３世紀までの幅広い時期に渡る資料群であることが示されてきた。フリンダース・ペトリと濱田耕作が、広義におけるコプト織物の変遷を理解するための資料として、地域や年代、製作技法について豊かなバリエーションを示しうるよう、教育的配慮をもって収集・選定されたことが随所に示される資料群である。

前述の研究手法に倣い、放射性炭素年代による年代測定のほか、織り密度、糸の撚り方向、織り組織など CIETA のリストに準拠した基礎調査、資料群の来歴精査による考古学情報の取得によって、今回対象としたミイラ布および草履それぞれの資料の理解に努めた。

その結果、ミイラ布断片は、長さ約 180cm、幅約 40cm であり、比較的原寸に近いと考え得ること、織り密度は、経 36 緯 20（per cm）と密であること、S 撚りの亜麻であること、加えて、コプト時代をはるかにさかのぼるエジプト中王国時代の所産であることが明らかとなった。また、草履は、コプト時代の所産であることが示され、エジプト考古資料における繊維製品収集の意図を理解する上でも非常に意義深い。今後さらに、それぞれの様式に基づく編年において当該資料の位置付けの理解を深めるとともに、劣化進行による当初の形態情報の損失を免れ得ない現状において、資料の何を残しうるか、いかに資料を継承しうるかという命題と向き合いつつ、調査を進めてゆきたいと考えている。

謝辞　メトロポリタン美術館名誉館員・梶谷宣子氏には、ミイラ布の調査にかんして、多くの御教示をいただいた。ここに記して深い謝意を表します。

形態・DNA 分析からみた出土イネの歴史的遷移

Historic transformation of the ancient rice from grain shape and DNA analysis

◯上條信彦（弘前大学）、田中克典（同左）、小泉翔太（京都大学）
◯Nobuhiko KAMIJO, Katsunori TANAKA (Hirosaki University), Syota Koizumi (Kyoto University)

1. 本発表の目的

初期稲作は韓半島から九州北部へ導入され、その後、東日本へと普及した。東日本で出土したイネ種子の形状および DNA 分析によって、遺伝的要因のみならず、政治的および社会的要因が東日本への稲作とその技術の普及に関わっており、普及の過程で品種に相当するイネが成立したことが予期された（田中ほか 2014・2015）。その品種選択の発生は西日本で起きた可能性があり、その検証には、西日本を含む幅広い地域のイネ種子において形状を調査する必要があった。そこで、本発表ではさらに供試材料を加えて、日本最大レベルの出土イネ情報を作成し、空間的検討と歴史的関連を検討した。特に、形態・DNA 分析双方を行い、サイズの変異が DNA とどう係るのかも検討した。

2. 対象および方法

形態分析の分析対象は、青森～宮崎県の各自治体から協力を得た弥生時代～近世の 125 遺跡 270 地点のイネ種子 20,013 粒である。遺跡数の内訳は東北 28、関東 27、北陸 8、中部 18、東海 4、近畿 16、中・四国 10、九州 14 である。形態分析は各集団から計測可能な種子を最大 100 粒まで任意で選び出し、デジタルカメラで撮影後に Image J v1.48 にて種子長と種子幅を計測した。

DNA 分析は大阪府立弥生文化博物館保管の 31 遺跡 36 地点で各地点最大 5 粒、計 145 粒を対象にした（小泉ほか 2018）。分析は弘前大学の古 DNA 実験室を利用した。古 DNA の抽出法は Muto et al.（2014）により、種子遺存体の母系や多様性を分析するために、４つの DNA マーカーを用いた。これらのうち、葉緑体ゲノムの DNA マーカーは２つで、*petN* と *trnC* との遺伝子間領域（*petN-trnC*）にある挿入または欠失、および *rpl14* と *rpl16* との遺伝子間領域（*rpl14-rpl16*：PS-ID）にある単純反復配列である。核ゲノムの DNA マーカーは、イネ第６染色体領域に座乗する欠失マーカー（IDJ6）およびイネ第７染色体領域に座乗する種皮色関連遺伝子（*Rc*）の挿入マーカーである。

3. 結果および考察

各遺跡の種子長平均は 3.90～5.67 ㎜、幅 1.91～3.06㎜と幅広い変異を示し、長さ 4.43 ㎜、幅 2.57㎜を頂点とした正規分布を示した。これは既報（田中ほか 2014・2015、小泉ほか 2018）の変異幅に収まる。

粒型（長幅比）と粒大（長幅積）の組み合わせをみると、弥生時代前期には３つのパターンが認められた。パターン①は短短粒・長円粒といった丸みのある小型米で九州北部から近畿にみられる。パターン②は中短粒・長短粒といった長めの中・大型米で兵庫県玉津田中、奈良県唐古・鍵遺跡など近畿・東海でみられる。パターン③は長めの小型米で前期後葉の東北にみられる。粒大のばらつきは①と③に比べて②のほうが大きい。この差は水稲農耕拡散期に各地で定着したイネが異なっていたためとみられる。

弥生時代中～後期は前期のパターンに加え、九州南部や対馬ではパターン②が現れる。パターン③は新たに試料が加わった山陰や中部高地で分布する。そのほか山陰・四国、および関東はパターン③に該当するが、後期には新たにパターン④として丸みのある中型米が関東を中心に増加する。近畿・東海では同一遺跡でも遺構ごとにパターン①と②の差が顕著になる。中でもパターン②の奈良県鴨都波遺跡の長めの大型米は異質である。ばらつきは前期に比べて小さくなる。

古墳時代には、西日本を中心にパターン①が主体で、関東でパターン②④、中部高地・東北ではパターン③が多い。いずれも小～中型米であり、大和政権下において小～中型米が主流であったことが分かる。古代でも、西日本を中心にパターン①が主体である。一方、関東と九州南部はパターン④が多い。パターン③は古代城柵遺跡を含む東北北部や中部高地に継続してみられる。

中世には、西日本を中心にパターン①であるが、北陸や関東では同一遺跡内でも遺構ごとでパターン②と③が顕著な差となる。パターン③は中部高地のほか北陸や北関東・東北にもみられる。北陸以西に比べて関東以北のばらつきが大きい。

DNA 分析では、*rpl14- rpl16* が未増幅、*petN- trnC* において 6 粒のジャポニカ種、IDJ6 において温帯型 5 粒、熱帯型 6 粒、ヘテロ型 2 粒、*Rc* 領域において *rc* が 4 粒という結果を得た。DNA が増幅できた試料全てがジャポニカ種かつ種皮色が褐色であった。粒形質と比較すると温帯型の千葉県東寺山石神（古墳）はパターン③、福島県北五老内（古代）はパターン①、佐賀県基肄城跡（古代）はパターン①、宮城県八谷館跡（中世）はパターン①、熱帯型の神奈川県大場富士塚（弥生）はパターン③、山口県綾羅木郷（弥生）はパターン③、東京都八王子城跡（中世）はパターン②、ヘテロ型の信貴山奥之院（中世）はパターン①であり、今後、サンプル数を増やす必要はあるものの、温帯型がパターン①、熱帯型がパターン②・③に該当する可能性が示された。

以上のイネ種子の網羅的分析により、全国レベルの時期的・地域的な変化を明らかにできた。その要因として社会的要因によるイネの導入や品種選択、育成ならびに品質維持が大きく関わるとみられる。また見出されたパターンと DNA が一定の相関が認められた。今後より試料を増やし比較する必要がある。

参考文献

田中克典・上條信彦 2014『日本の出土米Ⅰ』弘前大学人文学部北日本考古学研究センター
田中克典・佐藤洋一郎・上條信彦 2015『日本の出土米Ⅱ』弘前大学人文学部北日本考古学研究センター
小泉翔太・田中克典・上條信彦 2018『日本の出土米Ⅲ』弘前大学人文社会科学部北日本考古学研究センター
Mutou C, Tanaka K, Ishikawa R. 2014. ‘DNA extraction from rice endosperm (Including a protocol for extraction of DNA from ancient Seed samples)’ *Cereal Genomics: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology vol 1099* (Henry RJ, Furtado A, eds.), New York: Springer Science, Business Media. pp. 7-15

プラント・オパール形状を利用した野生イネの分化と変遷に関する基礎的研究

Fundamental study on differentiation and transition of wild rice using the morphological character of rice phytolith

○宇田津徹朗（宮崎大学）、右田晋太郎（同左）、
石川隆二（弘前大学）、一谷勝之（鹿児島大学）
Tetsuro UDATSU (University of Miyazaki), Shintaro MIGITA (University of Miyzaki),
Ryuji ISHIKAWA (Hirosaki University), Katsuyuki ICHITANI (Kagoshima University)

1. はじめに

イネの栽培化は、「人による継続的な野生イネの利用」によって始まったとされるが、このプロセスの検証はほとんど進んでいない。この原因としては、検証に必要な「自然な状態での野生イネの分化と変遷」と「人による干渉（保護や選抜に相当）が存在したと推定される野生イネの分化と変遷」の比較を可能とする調査フィールドと具体的なデータを収集する有効な方法が確保・確立されていなかったことが挙げられる。しかし、近年の研究により、このプロセス検証の可能性が見えてきた。調査フィールドについては、まず、前者は、オーストラリアに人の干渉を受けていない状態で野生イネの分化が確認されている地域が確認されている。また、後者は、長江下流域で該当する時代と地域の遺跡が確認され考古学的な調査が進展している。さらに、現生と過去の野生イネの比較データについては、葉身中の機動細胞珪酸体（プラント・オパールの前身）の形態から栽培イネの野生祖先種（*O.rufipogon*）を他のイネ科植物と識別できることが明らかとなっており（佐野・宇田津 2008）、土壌中のプラント・オパール形状を利用することで、データの収集そのものは可能な状況にある。

そこで、本研究では、プロセス検証の第 1 段階として、「自然な状態での野生イネの分化と変遷」をプラント・オパール形状から捉えることの可否について、先に述べたオーストラリアの現生野生イネの機動細胞珪酸体形状から検討を行った。ここでは、その概要と結果について報告を行う。なお、本研究は JSPS 科研費（課題番号 15H05968）の助成を受けて実施した。

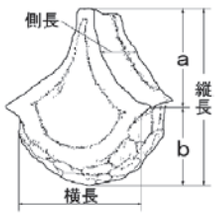
2. 材料と方法

本研究では、オーストラリアの野生イネの機動細胞珪酸体形状を調べ、以下の 2 点について分析を実施し、プラント・オパール形状から野生イネの分化を捉えることの可否について検討を行った。

- 野生イネの機動細胞珪酸体形状が栽培イネと同じ傾向を有しているか
- 機動細胞珪酸体形状が野生イネの違い（分化）を反映しているか

【材料】分析対象とした試料は、オーストラリアに自生する *O.meridionalis* と *O.rufipogon* ならびに、*O.meridionalis* から分化したと考えられている新種候補である JPN2（オーストラリア北部のクイーンズランドに自生する野生イネ）、さらに比較のためにインドの *O.rufipogon* を加え合計 85 サンプルの止葉葉身を供試した。

【方法】供試した野生イネの機動細胞珪酸体の形状は、止葉葉身を乾式灰化し、葉身中の機動細胞珪酸体を抽出した後、プラント・オパール形状解析法により測定を行った。形状解析ではサンプル毎に 50 個の機動細胞珪酸体を無作為に選出し、縦長、横長、測長、b を計測し、その平均値と断面形状を示す b/a を形状値とした。



右図 機動細胞珪酸体と測定部位

3. 結果および考察

【野生イネの機動細胞珪酸体形状が栽培イネと同じ傾向を有しているか】

形状解析によって得られた各サンプルの形状データについて、分散分析、相関分析、主成分分析を行った。その結果、まず、野生イネの機動細胞珪酸体形状の変異は、サンプル間がサンプル内よりも有意に大きいことが確認され、形状による比較が可能であることが確認された。次に、東アジアの在来イネと供試野生イネ、それぞれについて相関分析と主成分分析の結果を比較した。相関分析では、結果が完全に一致はしなかったが、縦長と横長の間の強い相関など主要な傾向は同じであった。主成分分析では、第 1 主成分が大きさ、第 2 主成分が断面形状を示し、これらの累積寄与率が約 90%であるなど、よく一致していることが確認された。

以上の結果から、野生イネの機動細胞珪酸体形状は栽培イネとほぼ同じ傾向を有していると推定された。

【機動細胞珪酸体形状が野生イネの違い（分化）を反映しているか】

写真は供試したオーストラリアの野生イネの機動細胞珪酸体である。比較すると 3 者には大きさや形状の違いが認めれれた。分散分析でもこれらの間に有意差が確認されたため、クラスター分析を実施し、機動細胞珪酸体の形状から野生イネの関係性を分析した。その結果、形成されたクラスターは野生イネのグループにほぼ対応していた。また、*O.rufipogon* については、インドのものとは明瞭に異なるクラスターが形成されたのに対して、オーストラリアのものは、在地の *O.meridionalis* のクラスター内に内包されるものがあり、進化や分化とある程度整合した（矛盾しない）傾向が認められた。

写真　野生イネの機動細胞珪酸体（左から、*O.rufipogon*（オーストラリア）、*O.meridionalis*、JPN2）　※スケールは 50μm

4. まとめ

分析の結果、野生イネの機動細胞珪酸体形状は栽培イネと同じ傾向を有していること、また、機動細胞珪酸体形状が野生イネの違い（分化）を反映している可能性が示唆された。無論、この結果は､今回の供試試料において認められたものであり､データを追加した確認が必要であるが、今後、プラント・オパールの形状を利用することで、野生イネに生じた変化を把握する分析手法の構築についてさらに検討を進める価値を示したものと考える。

GIS を用いた微細地形面分析との連携による水田遺構探査の試行

Pilot study on the investigation method of ancient paddy fields in cooperation with micro landform analysis using GIS

○ 宇田津徹朗（宮崎大学）・田崎博之（愛媛大学）・渡辺展也（中部大学）・
金原正明（奈良教育大学）・劉斌（浙江省文物考古研究所）・王寧遠（同左）・鄭雲飛（同左）
○Tetsuro UDATSU（Miyazaki Univ.）, Hiroyuki TASAKI(Ehime Univ.), Nobuya WATANABE（Chubu Univ.), Masaaki KANEHARA（Nara University of Education）,Bin LIU(Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology), Ningyuan WANG(〃), Yunfei ZHENG(〃)

1. はじめに

発表者らは、中国浙江省に所在する良渚遺跡群において、当時の水田の立地や規模ならびに生産性について検討を進めている。これまでの調査研究により当該遺跡群において 3 種類の土地利用にもとづく水田稲作の存在を把握している。しかし、当該遺跡群の範囲は 80 平方キロメートルと広範であり、従来の踏査による微地形調査にもとづく水田遺構探査では、網羅的な調査は困難である。そこで、地理情報システム（GIS）を用いた微細地形面分析と連携し、水田立地の可能性の高い範囲を抽出することにより、広範な水田遺構探査の精度と効率の向上を試みた。ここでは、その概要と成果について報告を行う。なお、本研究は JSPS 科研費（課題番号 15H05968, 15H05966）の助成を受けたものである。

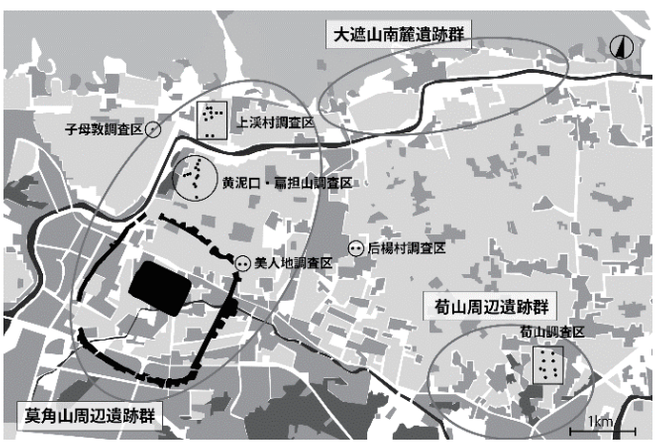


図1 良渚遺跡群における調査区の所在

2. 試行した探査の仕組みと概要

これまでの広域な水田遺構探査では、遺跡の近傍での探査で確認された水田層の標高や層序を活用できるものの、調査地域内で同じ探査手順を地道に繰り返してゆくものであった。しかし、この方法では調査範囲に限界があり、特に、海外調査では、改善が必要である。そこで、本研究では、これまでの調査と試掘で判明した良渚文化期の水田標高や地形立地にもとづき、GIS による微細地形分析を実施し、広域な調査地域内に当該期の水田が所在した可能性が高い範囲を選定することで、広域探査の効率と精度の向上を図ることを試みた。

具体的には、まず、水田探査と試掘が実施された荀山遺跡を中心としておよそ 3ｋｍ四方の範囲を対象に、CORONA 衛星画像（USGS サイトよりダウンロードのうえ幾何補正）を基図として、ステレオ実体視で微地形判読を行い、近年の開発により消滅したものも含めた遺跡分布の把握と、遺跡と周辺微地形の関係を考慮した古景観を推定復元し（図 2 中の塗りつぶされた部分）、水田が所在する可能性が高い範囲（図 2 中の①～④）を選定した。この①～④について、ボーリングによる埋没微地形調査と採取土壌のプラント・オパール分析を行い、水田遺構探査を試みた。

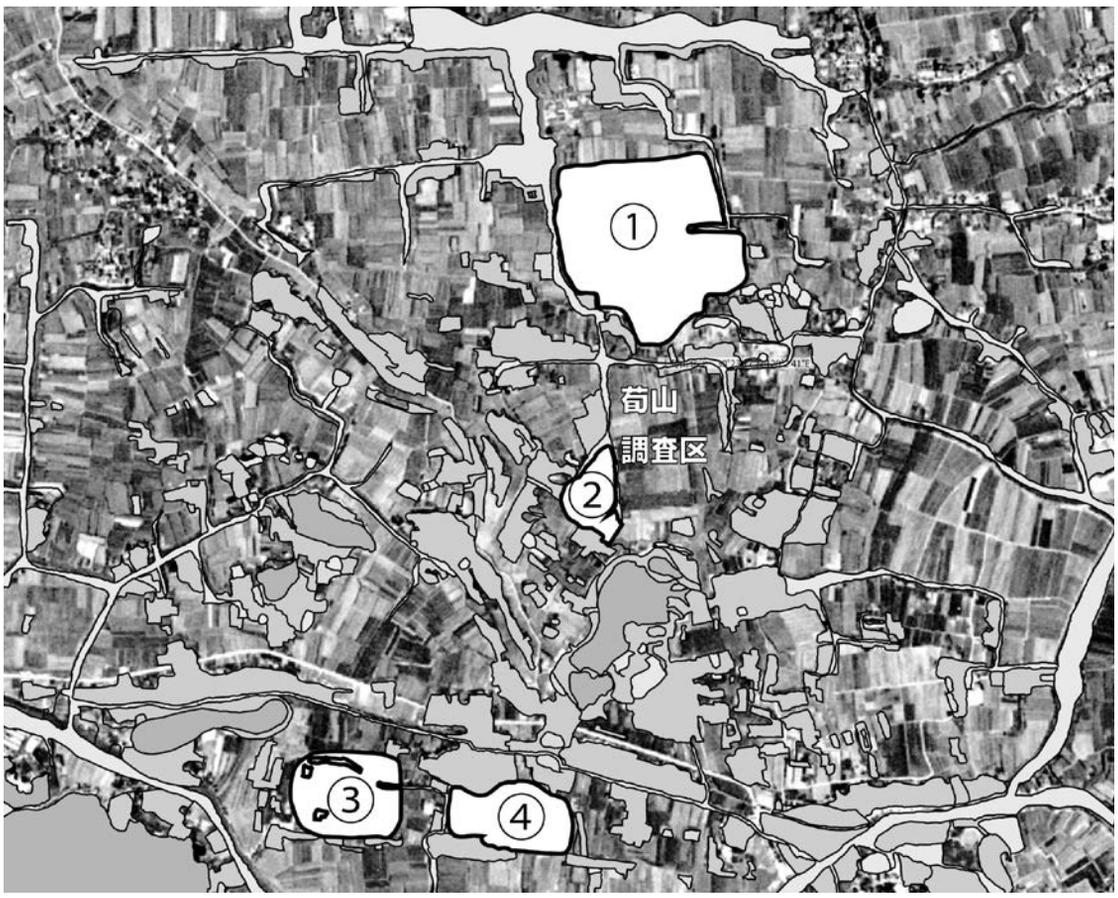


図 2　苟山調査区周辺の微細地形分析と設定した調査区(①～④)

3. 調査分析の結果

調査区①～④それぞれについて、調査区を網羅するように南北および東西方向にボーリングを実施した結果、いくつかの地点で水田土壌と推定される地層を確認した。これらの土壌についてプラント・オパール定量分析を実施した結果、③調査区（坟垄里遺跡周辺）において地表下 1.2 m（標高 1.62m）の土壌からイネプラント・オパールが約 13,000 個/ｇ検出された。

日本の弥生時代の水田遺構が検出されている水田土壌中の密度がおよそ 5,000 個/ｇ前後であることを考慮すると、長期間にわたる安定した稲作が営まれていたと考えられる。これら、プラント・オパール分析ならびにボーリングデータに基づく埋没微地形分析の結果から、当該調査区に良渚文化期の水田が埋蔵されていることが推定できる。また、今回の調査は 2 日半程度で実施できており、これまでに比べて、調査時間も大きく短縮できたと評価できる。

4. 考察およびまとめ

今回の試行により、踏査による地形分析・ボーリングによる埋没微地形調査・採取土壌のプラント・オパール分析による水田遺構探査の結果（水田遺構立地や標高）を基本情報として、GIS による微細地形分析を加えた手法が、探査対象域の絞り込みに有効であるとの見通しを得ることができた。また、この微細地形分析を橋渡しとして、当時の水域や環境情報と水田遺構探査結果を統合することで、遺跡あるいは遺跡群単位での水田面積（利用可能な面積）と当時のイネの生産性をより高い精度で推定することも可能になると期待される。

弥生時代の大規模集落、太田・黒田遺跡が展開した和歌山平野中央部の成り立ち

Development of the central part of Wakayama Plain ; large-scale settlement of Oda Kuroda site was located in Yayoi period

趙哲済（大阪文化財研究所）、菊井佳弥（和歌山市文化スポーツ振興財団※1）、
大木要（和歌山市役所）、藤藪勝則（同※1）、辻康男（株式会社パレオ・ラボ）

Chuljae CHO(Osaka City Cultural Properties Association), Kaya KIKUI(Wakayama City Culture & Sport Promotion Foundation※2), Kaname OGI(Wakayama City Hall), Katsunori FUJIYABU(same as ※2), Yasuo TSUJI(Paleo Labo Co.,Ltd)

和歌山平野中央部に立地する太田・黒田遺跡は、集落と生産域の様相が判明している近畿地方でも数少ない大規模集落のひとつである（文献1・図1）。本発表では通常の発掘調査による地層観察と年代測定や土壌薄片鑑定などに加えて、ボーリング柱状図や関連資料（文献2）を積極的に用いることにより、太田・黒田遺跡の地形の成り立ちを詳細に検討する。

平野中央部の層序（岩相区分）は、ボーリング柱状対比図から、下位より更新統の礫層と、これを覆う完新統①～⑥層に細分できる（図2）。完新統の主たる岩相は、①層が腐植物や植物片を含む泥層、②層が貝殻を含む礫・砂層、③層が貝殻を含む泥層～砂層、④層が中位に鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah：縄文早期末，7300較正年前）を挟む砂層、⑤層が砂礫層、⑥層が泥層である。いずれの地層も紀ノ川の上流側の東・北側で粗粒相が卓越する。

層序と岩相変化から推定される堆積環境は、①層が海進初期の泥干潟や海進直前の泥湿地、②～④層は潮汐三角州ないし三角洲前縁の浅海底と考えられる。そのうち③層は縄文時代早期の海進により現在の和歌山平野中央部に堆積した海底の泥層であり、④層は高海水準期に前進した紀ノ川デルタ前縁の砂層とみられる。

一方、⑤層は紀ノ川の三角州の成長と河口の前進を示す粗粒相である。紀ノ川の掃流量は大きく、K-Ahの堆積後まもなくの縄文時代前期初めごろには河口が西へ前進し始めている。紀ノ川の三角州とその分流路が発達し、自然堤防が形成されると、太田・黒田遺跡周辺への粗粒堆積物の供給が減少し、後期には遺跡一帯は泥干潟となった。⑤層最上部の干潟堆積層から採取した木片の年代は縄文時代中期後半～後期初頭（4530 ～ 4360 cal BP）である（図3・4）。

⑥層は⑤層とは対照的に細粒相が優勢である。紀ノ川河口が海側へ遠のき、紀ノ川と分流路の自然堤防の形成に加えて、沿岸砂州の成長も顕著になった縄文時代晩期には、粗粒物質が供給され難く、自然堤防を溢流した細粒物質が主として堆積する氾濫原に遷移したことを示している。砂州の形成は、遅くとも縄文時代中期初めには始まっていたと考えられ、吹上遺跡では弥生時代前期までに少なくともT.P.+8ｍ程度の高さに浜堤・砂丘列が発達している。

太田・黒田遺跡では、離水した環境で形成された土壌中に縄文時代晩期末の土器が確認され、弥生時代前期後半には自然堤防上に居住域を設け、緩斜面地を利用して水稲耕作を行うなど、縄文時代以来の地形発達の上に弥生時代の集落形成が行われている状況がうかがえる（図3）。

文献 1　和歌山市文化スポーツ振興財団（2016）『太田・黒田遺跡第78次発掘調査報告書』
2　KG-NET関西圏地盤研究会（2011）『新関西地盤－和歌山平野－』

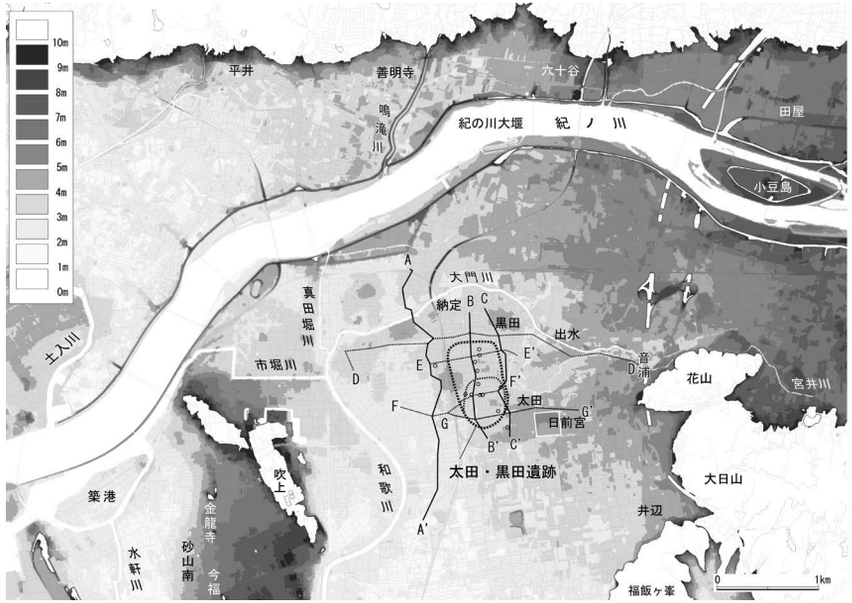


図1　太田・黒田遺跡周辺の等高線図（0 ～ 10m）（文献 1 より）

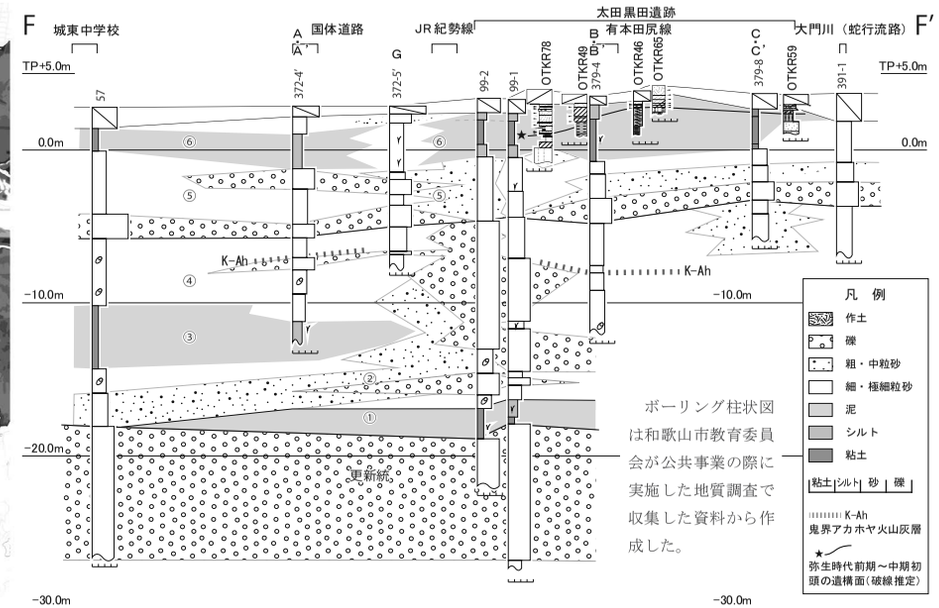


図2　太田･黒田遺跡周辺の地質柱状対比図F–F′（趙･大木原図を掲載した文献 1 より）

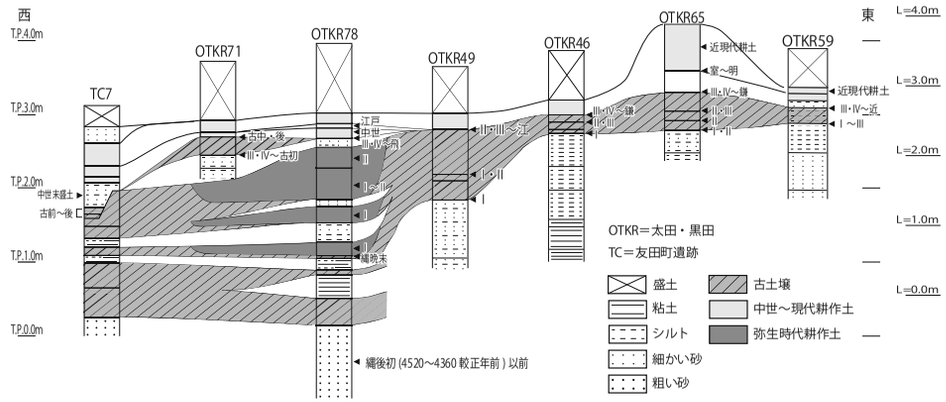


図3　太田・黒田遺跡柱状断面図（大木原図）

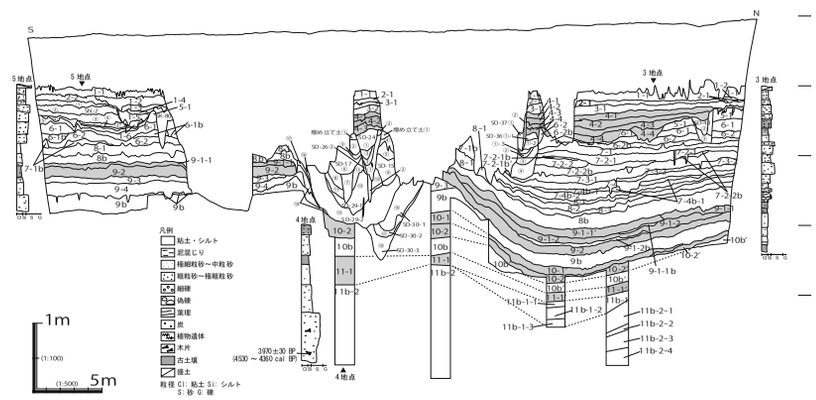


図4　太田・黒田遺跡第 78 次調査断面図（文献 1 より）

古代の竪穴住居跡から探る遺跡形成過程

A study of the formative processes of archaeological sites, through the excavation of the ancient pit dwelling

○松本建速（東海大学）、市川慎太郎（福岡大学）、栗崎　敏（同左）
○Takehaya MATSUMOTO (Tokai University), Shintaro ICHIKAWA, Tsutomu KURISAKI (Fukuoka University)

ポスター発表

年代測定
古環境
材質・技法
産地
保存科学
文化財科学一般
探査
文化財防災

1. 背景と目的

東北北部東側から北海道には、窪地状態で発見される、埋まりきらない竪穴住居が多数ある。このような遺跡は、住居廃棄後、人為が加わらず竪穴が自然に埋没していく様子を示し、遺跡形成過程を知る手がかりとなる。また、竪穴内に堆積した土は住居廃棄後の周辺環境に関するデータとなる。ただ、埋まりきらない遺跡を対象として遺跡形成過程を探る研究は少ない。

そこで東海大学文学部歴史学科考古学専攻では、遺跡形成過程を記録すべく、青森県上北郡六ヶ所村金掘沢遺跡で埋まりきらない平安時代の竪穴住居の発掘調査を2015年以来実施してきた。2017年度は住居内堆積土を分層し、周辺海岸砂と比較した。採取した土壌試料を、松本が東海大学で学生とともに実体顕微鏡で観察し、また、市川・栗崎がX線回折法による定性分析をおこなった。今回は、遺跡を覆う土の由来を探るための中間報告である。

2. 試料と方法

（１）試料：10世紀後半の竪穴住居の堆積土から51点の土壌試料を採取した（図）。他に、周辺の太平洋岸、陸奥湾岸の砂を比較試料とした。現在の表土である最上層は黒褐色土である。落葉広葉樹や小枝などによる腐植を多く含む。その直下の２層、さらに下の３層はどちらも黒色で、いわゆる黒ボク土である。図で盛土とした部分は住居の竪穴部を掘り込み、掘り上げた土を盛った部分であり、当時の表土の黒褐色土や下層のームブロックなどから成る。

（２）方法：１）実体顕微鏡による鉱物の観察・同定、２）X線回折法による鉱物の定性分析

１）実体顕微鏡による鉱物観察。試料を超音波洗浄し、布製篩で0.25㎜以上、0.15㎜以上、0.10㎜以上、0.64㎜以上に分粒し、粒度毎に300点ずつ同定し、鉱物組成を見た。

２）X線回折法による鉱物の定性分析。試料を90℃で24時間乾燥させ、試料中の植物片をピンセットで除去し、アルミナ製の乳鉢と乳棒で、結晶を損なわないよう軽く叩くようにして粉砕し、その粉末を測定した。X　線回折装置には、福岡大学理学部設置のRigaku SmartLab を用いた。

3. 結果と考察

（１）実体顕微鏡による鉱物観察・同定

表土、黒ボク土層、盛土などの層を含む９点を分析した。２層（試料26）、３層（試料28）は黒色で、いわゆる黒ボク土だが、イネ科植物の微粒炭が含まれていた（写真３）。どの層にも多いのは、石英と長石、火山ガラスである。輝石や角閃石もある。これらの鉱物はあまり風化は進んでおらず、火山灰由来と考えられる。また、数は少ないがどの層にも摩耗して丸くなった砂が含まれる（写真２）。それらには黄色、褐色のメノウが多い。他に、これも数は少ないが磁鉄鉱が含まれる。これらの丸くなったメノウは海の砂であり、磁鉄鉱も幾分丸みを帯びる。

盛土を構成する試料６から海綿状骨針が検出されている（写真１）。これも海から飛来したことを示すのであろうか。

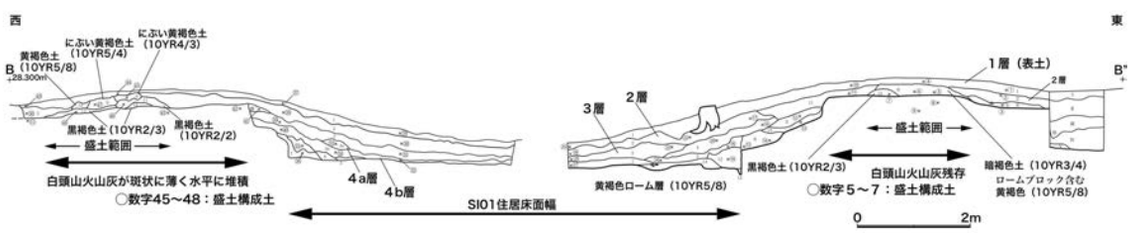
（２）X線回折法による定性分析

大部分の試料に石英、斜長石、斜方輝石、普通輝石が含まれていた。試料８・43は黄褐色の火山灰で、野外における色による識別法で白頭山火山灰と考えているのだが、それらにはアノーソクレイスが見られた一方、輝石類が未検出であり、他の試料とは性質が異なっていた。白頭山火山灰はアルカリ長石を多く含むのが特徴であるので（宮本ほか2003）、これらの２点はそれでよいと考えているが、もう少し考察を続けたい。

4. まとめと今後の課題

青森県六ケ所村金掘沢遺跡で検出された10世紀後半の住居跡に堆積した土を分析し、実体顕微鏡による鉱物の同定やXRDによる鉱物の定性分析をおこなった。住居を覆う２、３層はいわゆる黒ボク土だが、多くの微粒炭が含まれていた。また、どの試料にも丸みのある砂が含まれ、海岸から飛来した可能性が高い。今後、太平洋側と陸奥湾側の海岸砂、小川原湖岸の砂との比較をおこなう予定である。なお、白頭山火山灰の化学成分はCaが低くK、Naが高いことが知られ（宮本ほか2003）、化学分析も噴出起源の判別に有効である。化学分析の実施も今後の課題である。他に、黒ボク土生成要因には馬飼の草焼きが重要である。さらに考察を続けたい。

宮本　毅・中川光弘・長瀬敏郎・菅野均志・大場　司・北村　繁・谷口宏充（2003）「白頭山（長白山）の爆発的噴火史の再検討」『東北アジア研究』７号　3-31頁



１層：黒褐色（10YR2/2）表土、表層は落葉層、下層は植物根多量、シルト主体、砂、粘土鉱物含む、柔らかく細かく砕ける
２層：黒色（10YR1.7/1）シルト主体、砂、粘土鉱物含む、ややしまる
３層：黒色（10YR2/1）　シルト主体、砂、粘土鉱物含む、しまり弱い
４a層：暗褐色（10YR3/4）　シルト主体、砂、粘土鉱物含む、しまり非常に弱い、小さなロームブロック、黒色土が斑状に混じる
４b層：暗褐色（10YR3/4）　シルト主体、砂、粘土鉱物含む、ややしまる、ロームブロック、黒色土がところどころに混じる

図　土層断面図

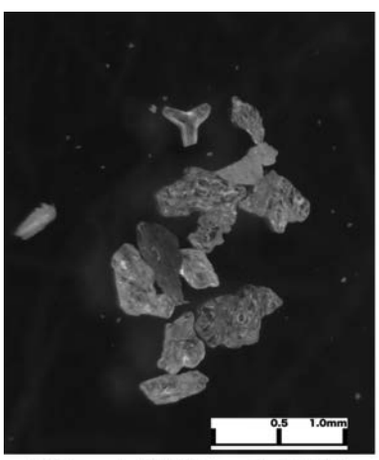


写真１　土壌試料６　盛土構成土
火山ガラス、海綿状骨針

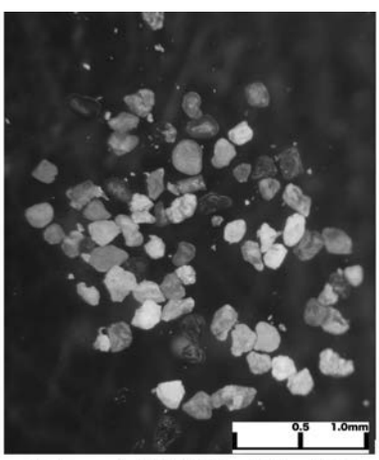


写真２　土壌試料26　岩片、粗砂

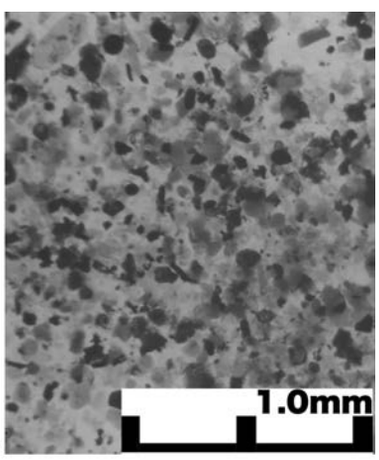


写真３　土壌試料26　微粒炭
を含む様々な砂　0.065～0.10mm

青森県古小川原湾沿岸における縄文時代の古環境と動物資源利用

Paleoenvironment and faunal exploitation along Paleo-Ogawara Bay coast, Aomori in the Jomon period

植月　学（弘前大学）

○Manabu UETSUKI (Hirosaki University)

ポスター発表

- 年代測定
- 古環境
- 材質・技法
- 産地
- 保存科学
- 文化財科学一般
- 探査
- 文化財防災

1. はじめに

青森県東北町古屋敷貝塚の縄文時代中期初頭～末葉の貝層出土の動物遺体の分析をおこなった。本遺跡は特に獣骨の出土が多く、調査時には骨塚に近いような状況を呈していたとされ、本地域の遺跡としては比較的まとまった量の動物遺体が回収されている。本研究では他遺跡との比較をもとに、本遺跡における動物資源利用の特質と周辺環境との関係について考察を加える。

2. 分析結果

貝類組成は内湾砂泥干潟のアサリ、ハマグリを主体とし、汽水性のヤマトシジミや湾奥泥底干潟のマガキなどが次ぐ（註）。当時の小川原湾には海水が入り込む内湾が広がっていたと推定される。脊椎動物遺体組成は早期末葉の長七谷地貝塚や前期中葉の東道ノ上(3)遺跡に比して哺乳類が増加し、魚類が減少している（図１）。特に大型獣のシカ、イノシシの割合が多い。なお、東道ノ上(3)では水洗選別も行われており、厳密な比較はできないが、それでも本遺跡の魚類の少なさは際立っている。

イノシシ、シカの年齢構成については近隣で比較可能なデータを持ち合わせていないため、東京湾東岸の縄文中期～晩期貝塚と比較した（図２、３）。イノシシは第３乳臼歯とこれと交換する第４前臼歯の比から、約1.5才未満の幼獣が多かったことがわかる。シカはこの比から見た幼獣の割合はさほど顕著ではないが、四肢骨癒合段階による年齢構成では年齢ステージ２以降が他遺

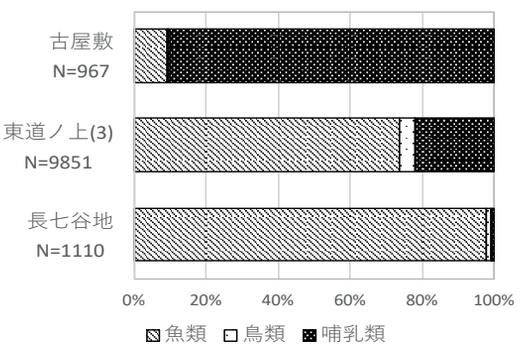


図１　脊椎動物遺体組成の変化

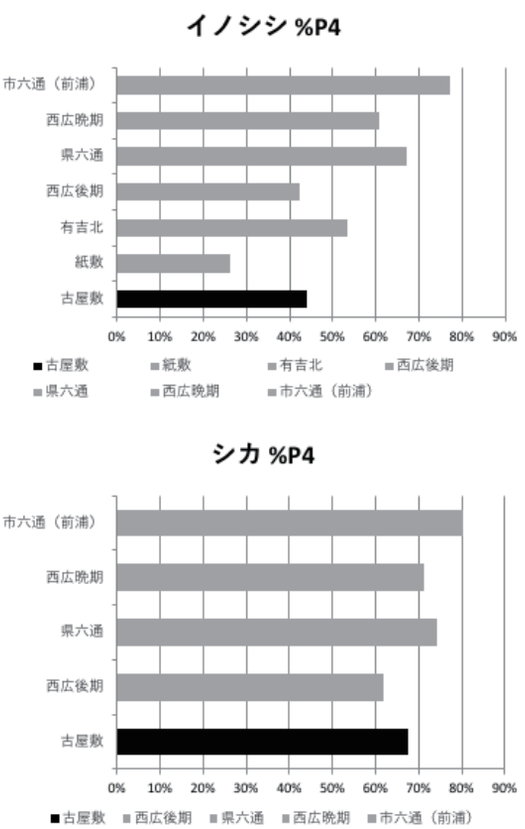


図２　第３乳臼歯に対する第４前臼歯の割合

跡より少なく、若獣主体である。イノシシもステージ３は各遺跡の中で最も少ない。以上は本遺跡におけるイノシシ、シカ資源に対する狩猟圧が高かったことを示す。

やはり東京湾東岸の貝塚群と部位組成を比較すると、イノシシ、シカ共に特徴的なあり方を示した（図４）。イノシシは頭部への偏りが顕著であり、体部は全般に少ない。シカも頭部の割合が高いが、後肢末端の骨など体部の一部も同程度出土している。

3. 考察

イノシシ、シカで幼獣や若獣が多く、捕獲圧が高かったと推定されることは前段階に比して陸獣に偏重した資源利用と調和的であった。頭部主体の部位組成は他遺跡との差が顕著で、イヌによる破壊など非人為的要因のみでは解釈しがたい。シカでは肉が付随せず、素材としての価値も低い後肢末端の部位も多く出土した。本遺跡は解体の場であり、利用価値の低い部位を残してその他部位は消費地に搬出される場合が多かった可能性もある。限られた発掘区域ではあるが、先行する前期の竪穴遺構群の検出に対し、中期の遺構が未検出である点も居住地としての性格に疑問を投げかける。

貝類相からみて沿岸環境に大きな変化がないと推定される中で、魚類利用が低調となり、陸獣偏重の資源利用に転換している原因は現時点では不明である。上記のように本遺跡が居住地ではなく、魚類利用は他の地点で行われていた可能性も検討する必要がある。より広域的な遺跡群の中での動物資源利用を解明していくことが今後の課題である。

謝辞：資料分析の機会を与えていただいた東北町教育委員会および金子浩昌氏（早稲田大学）に感謝申し上げます。

なお、本研究は平成 29 年度 弘前大学若手・新任研究者支援事業による成果の一部である。

（註）上北町教育委員会編　1983 『上北町古屋敷貝塚・I−遺物編(1)-』

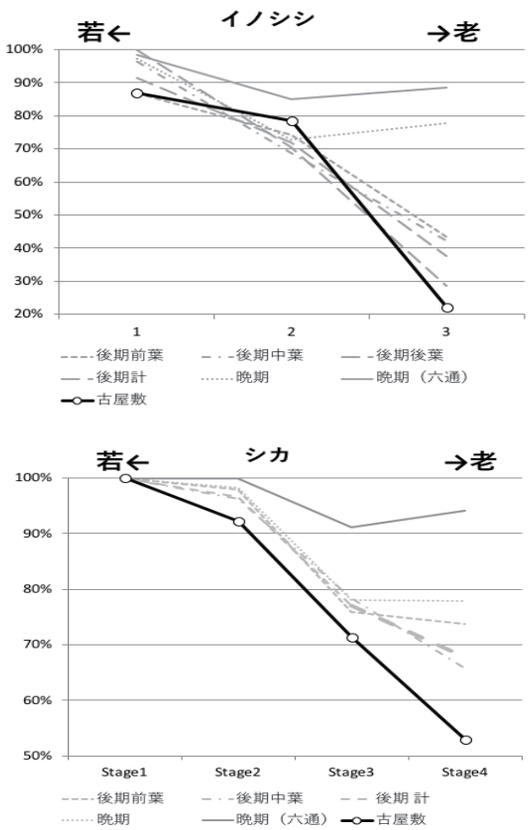


図３　骨端癒段階による年齢構成

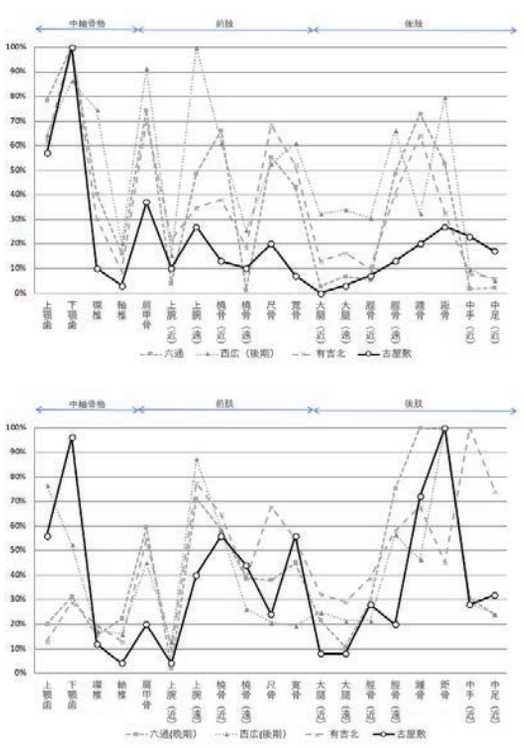


図４　部位組成（上：イノシシ　下：シカ）

小氷期と巨大噴火・津波がアイヌ民族に与えた影響Ⅱ

The impact enormous volcanic eruptions, tsunamis and the Little Ice Age had on the AinuⅡ

○添田雄二（北海道博物館）・杉山真二（株式会社古環境研究センター）・中村賢太郎（株式会社パレオ・ラボ）・宮地　鼓（公益財団法人アイヌ文化振興・研究推進機構）・渡邊　剛（北海道大学大学院理学研究院）・甲能直樹（国立科学博物館）・青野友哉（伊達市噴火湾文化研究所）

○Yuji Soeda(Hokkaido Museum)・Shinji Sugiyama(Paleoenvironment Research Center Co.,Ltd)・Kentaro Nakamura(Paleo labo Co.,Ltd)・Tsuzumi Miyaji(The Foundation for Research and Promotion of Ainu Culture)・Tsuyoshi Watanabe(Hokkaido University)・Naoki Kohno(National Museum of Nature and Science) ・Tomoya Aono (Date City Institute of Funkawan Culture)

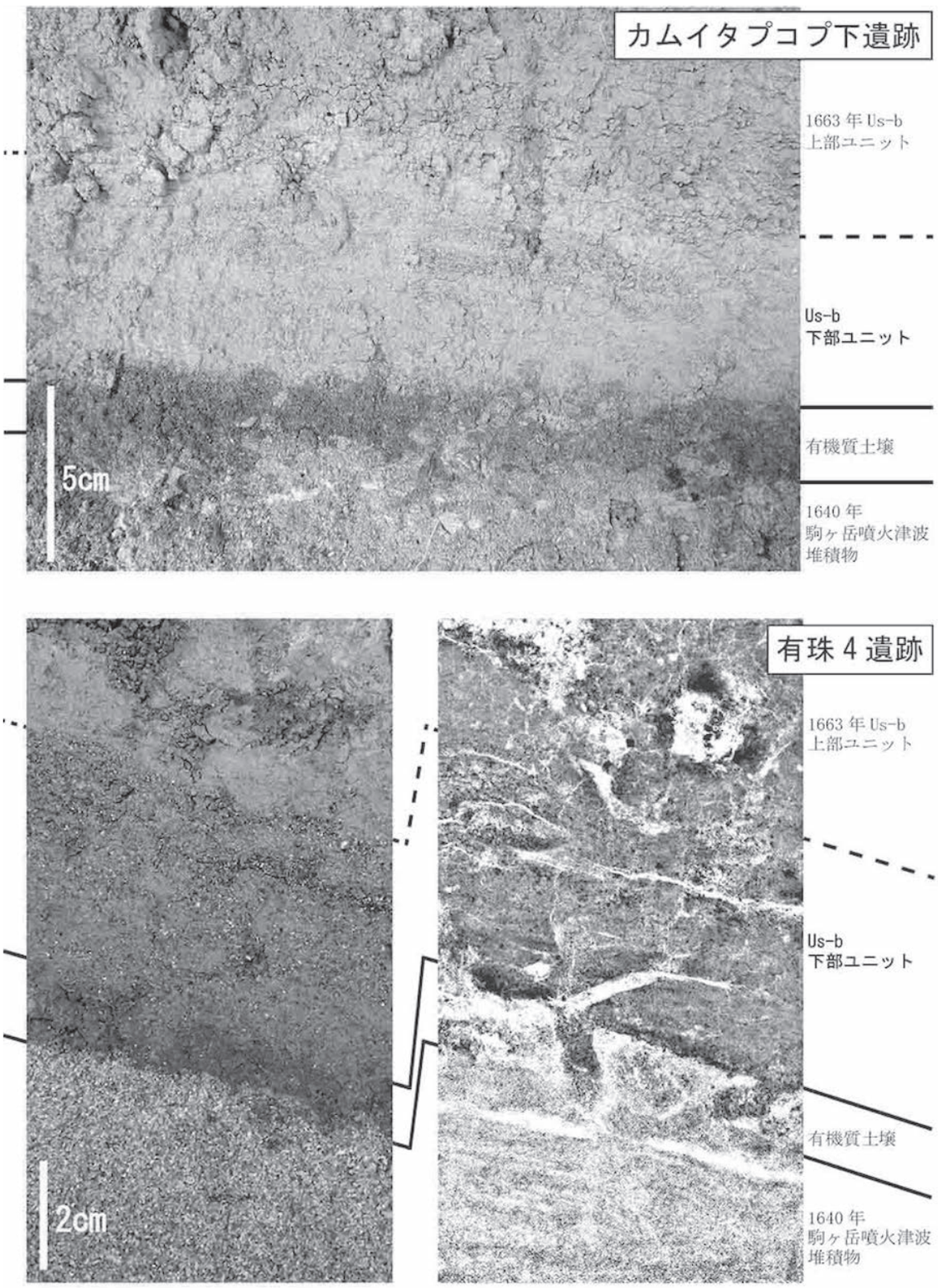
1. はじめに

15 世紀から 20 世紀初頭は小氷期（Little Ice Age）と呼ばれる世界的な寒冷期で、特に寒冷であった 17 世紀中頃の北海道では巨大噴火・津波も頻発していた。しかし、松前藩関連の古文書では、例えば 1640 年の津波では噴火湾でアイヌと和人約 700 人が死亡とされているものの断片的な記載で詳細は不明であり、また、当時のアイヌ民族は文字による記録を残していないためその影響を正確に読み取ることができない。そこで巨大噴火・津波の痕跡が残る、北海道伊達市有珠（有珠湾近く）のカムイタプコプ下遺跡を発掘して 17 世紀中頃の生活を明らかにすると同時に、遺跡の堆積物や遺物から直接古環境（小氷期と巨大噴火・津波の実態）を復元してアイヌ民族へ与えた影響を探る研究（JSPS 科研費 15H03272、2015～2018 年度）に着手した。

2. 手法、結果

2017 年度における遺跡の発掘と地質調査ならびに関連分析の結果、1663 年の有珠山噴火の際、有珠地区は火砕サージに襲われていた可能性が判明した。例えば、1822 年の有珠山噴火で発生した火砕流と火砕サージは現洞爺湖町入江地区の住居を焼失させ 80 人以上が犠牲となっており、有珠地区での火砕サージを含めた 1663 年噴出物の層厚は２ｍを超える地点もあることから、当時アイヌ民族が多大な被害を受けたことは確実となった。また、植物珪酸体分析の結果、1663 年頃は積雪量が少なかった可能性を示すデータが得られ、当時、対馬暖流の流入が弱まっていたこととの関連が推定される。このことからは、暖流から大気への熱輸送量が減少して沿岸域が寒冷になっていたことが推定され、北海道千歳市や苫小牧市などの低地で確認した小氷期のインボリューション（地層の凍結擾乱）の存在とも調和する。さらに、貝塚出土貝類を用いた安定同位体および微細成長縞分析では、17 世紀中頃は冬が長かった可能性を示すデータが得られてきている。以上の結果、有珠地区では、1640 年と 1663 年の大きな２つの自然災害を経て集落構造が変化した様子が見られ、また、当時の畑では短い夏に適応した作物が栽培されていた可能性を示

すデータが蓄積されるなど（詳細は本大会で永谷氏が報告）、小氷期と巨大噴火・津波がアイヌ民族へ与えた影響が、より明確となった。



遺跡に分布する 1663 年有珠山火山噴出物(Us-b)の下部ユニットに見られる斜交葉理（火砕サージで形成されたと推定）。 上は土層断面の剥取を撮影、下は BOX サンプリング試料とその X 線画像。

特別天然記念物秋吉台におけるドリーネ堆積物中の植物珪酸体化石群と炭化物の年代

Radiocarbon dating of charcoal particles and fossil phytolith assemblages from the soils in the dolines on Akiyoshi-dai Plateau, special natural monument, Japan

○江口誠一（日本大学）、渡邉稜也（同左）、藏本隆博（秋吉台科学博物館）

○Sei-ichi EGUCHI, Takaya WATANABE (Nihon Univ.),

Takahiro KURAMOTO (Akiyoshi-dai Muse. Nat. Hist.)

日本国内の石灰岩地域における植生調査は、特異な環境下であることから多くの事例が見受けられる。しかし、その変遷に関しては希少植物種の保護に着目した内容がほとんどで、群落として 100 年オーダーの長期にわたる議論は極めて少ない。また、石灰岩が侵食して形成された凹地形のドリーネに堆積した風成層からは、周囲の植生を反映した化石の産出が期待されている。

山口県の秋吉台は、日本最大の面積をもつカルスト地域で、石灰岩台地上には多くのドリーネが分布している。そのほぼ全域で、ススキやネザサを主体とした草地景観が広がり、かつては有益な採草地として利用されてきた。同地域の江戸時代享保期の絵図や、地下鍾乳洞における石筍内の同位体分析により、少なくとも西暦 1700 年頃には既に同様の景観となったとされている。また現在も、観光などを目的とした年 1 回の火入れを維持し、それを保っている。本研究では、秋吉台上のドリーネ堆積物について、植物珪酸体分析および微粒炭分析、放射性炭素年代測定をおこない、その草地景観の形成時期について明らかにした。

当地域における草地範囲のほとんどが特別天然記念物に指定されている。その北部に位置する「大シブリ」（OS）、「椎の木平」（SD）、「一杯水」（IM）3 ヶ所各地区のドリーネ底において、数地点のトレンチ掘削あるいは検土杖にて、深度 1m ほどから上位へ約 10cm ごとに、植物珪酸体分析および微粒炭分析用試料を採取した。層相は、下位より褐色微細砂シルト、炭化材を含む褐色シルト質微細砂、表層の暗褐色シルト質細砂と変化した。そのうち地下 30～80cm より微細な炭化材が産出し、放射性炭素年代測定用の試料とした。

炭化材についての放射性炭素年代測定の結果はそれぞれ、OS-4 地点の地下 30cm で 294±22yrBP（PLD-28954）、同地下 40cm で 207±18yrBP（PLD-28955）、OS-6 地点の地下 50cm で 180±21yrBP

(PLD-34173)、SD-5 地点の地下 50cm で 612±17yrBP(PLD-28956)、同地下 80cm で 647±18yrBP (PLD-29841)、SD-6 地点の地下 50cm で 211±21yrBP(PLD-34172)、IM-4 地点の地下 50cm で 818± 20yrBP(PLD-31413)、同地下 75cm で 314±16yrBP(PLD-31414)、IM-5 地点の地下 50cm で 188± 20yrBP(PLD-34171)であった。

植物珪酸体化石群の産出状況について、OS-1 地点では、地下30cmの層準を境に組成が変化した。下位層では樹木が多く見られたが、上位層でススキ属型、チガヤ属型、シバ属型などの草本類をはじめ、タケ亜科型、ネザサ節型も増加し、その傾向は表層部で顕著となった(図 1)。OS-2、OS-3、OS-4 地点も同様な傾向が認められた。また、これらの微粒炭の層位変化は、地下 20cm より上位で増加した。一方、SD-5、IM-4 地点では地下 60cm より上位で草本類が増加傾向にあり、表層部でそれが顕著となった。

予察の状況ではあるが、放射性炭素年代値が得られた層準から、植物珪酸体化石群の組成に変化が認められた。何れの年代試料が炭化材であることから、木本類の生育と、それより上位層の草本類の拡大が推定される。数値の暦年代が中世から近世を示し、それから現在まで調査地周辺域において、ススキやタケ・ササ類を主体とする草地景観が広がっていたと考えられる。よって、絵図や石筍の同位体分析という別の方法による従来の見解と整合する結果が得られた。今後は、さらに分析地点を増やすと共に、地点間およびドリーネ間の堆積環境の違いを考察に加えた調査・分析を進める計画である。

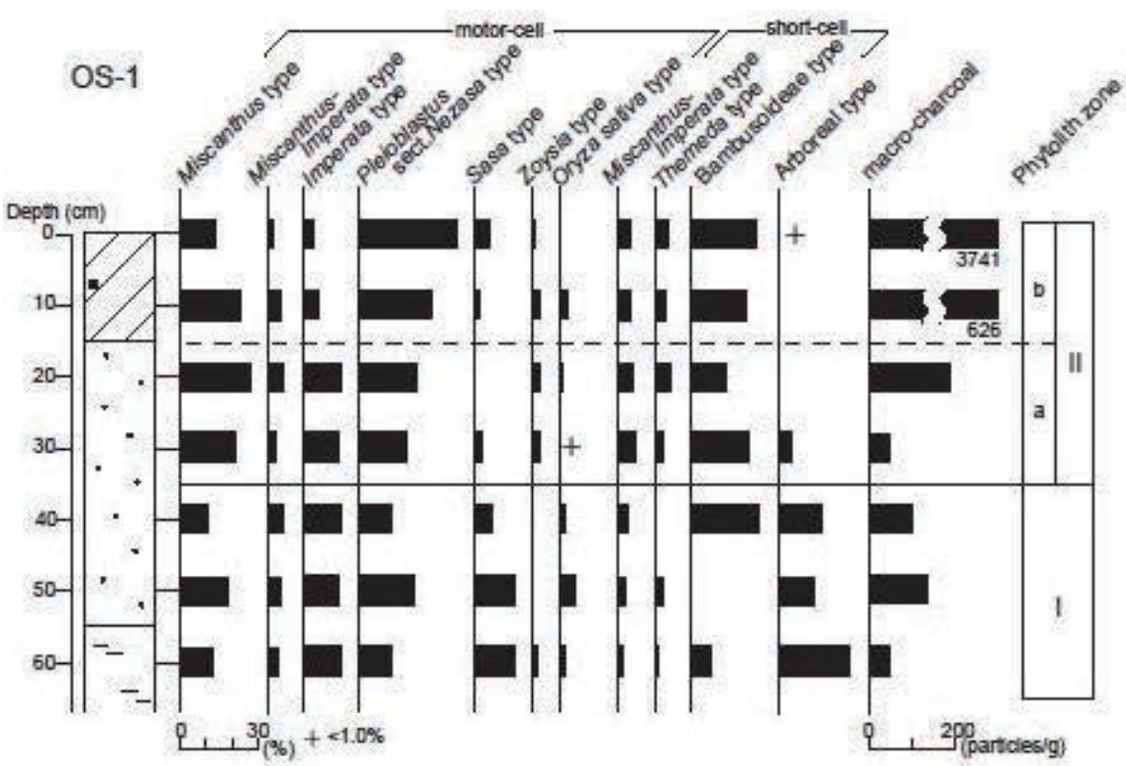


図 1 OS-1 地点の植物珪酸体化石と微粒炭ダイヤグラム(渡邉・江口・藏本、印刷中)

炭化種実と土器圧痕からみた
中屋敷遺跡における弥生時代前期の植物資源利用

Use of plant resources during the early Yayoi period at the Nakayashiki site deduced from charred seeds and fruits and pottery impressions

○佐々木由香（明治大学黒耀石研究センター）・桑島晴香（昭和女子大学）・小泉玲子（同左）

○Yuka Sasaki (Meiji Univ. Center for Obsidian and Lithic Studies),

Haruka Kuwashima, Reiko Koizumi (Showa Women's Univ.)

1. はじめに

関東地方における弥生時代前期は、稲作導入期という重要な時期であるが、遺跡数が少ない点に加えて、低湿地遺跡も少なく、植物利用が不明な時期である。弥生時代前期の植物資源利用を明らかにするため、関東地方西部に位置する中屋敷遺跡を対象として、土器圧痕と炭化種実を検討した。

中屋敷遺跡は、神奈川県足柄上郡大井町山田に所在する。本遺跡の存在する山田集落は、金子台地と大磯丘陵の間の南北に延びる地溝状の低地に位置する。遺跡は、金子台地の東斜面から流れ出した菊川及びその支流によって挟まれた標高 90～97mの微高地に立地し、弥生時代前期後葉の土器や土坑群に加え、同時期のイネ、アワ、キビなどの炭化種実とアワとキビの圧痕が確認されている（小泉ほか, 2008, 2010）。本研究では、新たに第 9 次調査で発見された土器を対象にして、土器表面の種実と思われる凹部（以下「種実圧痕」と呼称する）を印象剤で型取りをし、走査型電子顕微鏡などで観察し同定するレプリカ法を用いて、種実圧痕を検討した。また、26 号土坑から多数の炭化物が確認されたため、フローテーション法を用いて炭化物を選別し、炭化種実を同定した。

2. 試料と方法

調査対象の試料は、昭和女子大学で発掘調査が行われている中屋敷遺跡北側調査区の第 9 次で回収された遺構覆土と土器である。調査方法は以下の通りである。まず、土器は 1 点ごとに精査し、種実圧痕の疑いのある凹部を筆で洗浄する。パラロイド B-72 アセトン 9%溶液を土器保護のための離型剤として凹部とその周辺に塗布し、印象剤である JM シリコーンインジェクションタイプを注射器で注入し、圧痕レプリカを作製する。その後、携帯型実体顕微鏡（Nikon 製ファーブル 倍率 20 倍）で同定を行った。種実圧痕の可能性があるレプリカについて、走査型電子顕微鏡（日本電子株式会社製 JSM-6010LA）で観察及び写真撮影を行った。採取したレプリカは採取順に試料番号を付した。

また 26 号土坑の土壌は 10 ㎝毎に袋に入れて回収した。その土壌を概ね 1000 ccずつ水洗し、水に浮遊した炭化物を採取した。3 回ほど繰り返し、その後 1.0mm 目の篩を用いて水洗選別を行った。土壌は乾燥させ、その後にさらに、5.0mm の篩を用いて乾燥篩がけを行い、炭化物を抽出した。採取した炭化物は実体顕微鏡を用いて炭化種実の同定を行った。26 号土坑の水洗した土壌総量は、126,250 cc である。

3. 結果

3-1. 種実圧痕

現在調査継続中であるが、第 9 次調査から出土した土器からは、6 点の種実圧痕を確認した。その内の 5 点をアワの有ふ果と同定した。

3-2. 炭化種実

現時点での同定の結果、オニグルミ炭化核(多数)、クリ炭化果実(多数)・炭化子葉(多数)、トチノキ炭化種子(多数)、ムクロジ炭化種子(多数)、ブドウ属炭化種子(1)、サンショウ炭化種子(1)、イネ炭化種子(11)、キビ炭化種子(5)、アワ炭化種子(2)、ササゲ属アズキ亜属炭化種子(4)、エゴマ炭化果実(8)が産出した(括弧内は産出数)。

4. 考察

同定の結果、現時点で圧痕ではアワ、炭化種実ではオニグルミとクリ、トチノキ、ムクロジ、ブドウ属、サンショウ、イネ、キビ、アワ、ササゲ属アズキ亜属、エゴマを同定した。いずれも食用可能な種実である。

1999 年～2004 年までの第 1 次～6 次調査、2008 年～2009 年の第 7･8 次調査で発掘を行った中屋敷遺跡昭和女子大学調査区から発見された種実圧痕では、キビ有ふ果･種子、アワ有ふ果･種子の 2 分類群が同定されている(小泉ほか, 2010)。また、炭化種実では第 8 次調査までにオニグルミ炭化核とクリ炭化果実、クワ属炭化核、キイチゴ属炭化核などの木本植物や、イネ炭化籾･炭化種子、キビ炭化種子、アワ炭化種子などの草本植物が産出している(小泉ほか, 2008, 2010)。今回の調査で新たにアズキ亜属炭化種子とエゴマ炭化果実を確認した。

今回の調査で改めてアワ、キビ、イネなどの栽培植物が産出し、さらに栽培植物のエゴマ、マメ類のアズキ亜属、しょう果類のブドウ属やサンショウなどが 1 遺構に共伴して出土することが捉えられ、弥生時代前期の遺跡として成果を上げることができた。現時点で調査は途中であるため、さらに調査を進めていきたい。

謝辞　水洗･炭化物抽出作業にあたり、昭和女子大学歴史文化学科野本紗英里、松原加奈、梅津早紀、佐藤明歩、後藤和奏、中山悠那の協力を得た。圧痕作業にあたり、野本、松原、梅津の協力を得た。走査型電子顕微鏡での撮影は、昭和女子大学伊藤美香先生のご協力を得た。水洗作業および炭化物抽出に関わる経費は、科学研究費基盤研究(C)17K01198(代表:佐々木由香)の一部を用いた。

引用文献

小泉玲子ほか編　2008『神奈川県足柄上郡大井町　中屋敷遺跡発掘調査報告書　南西関東における初期弥生時代遺跡の調査』昭和女子大学人間文化学部歴史文化学科

小泉玲子ほか編　2010『神奈川県足柄上郡大井町　中屋敷遺跡発掘調査報告書Ⅱ　第 7･8 次調査』昭和女子大学人間文化学部歴史文化学科

小泉玲子･佐々木由香･井口真理子編　2018『神奈川県足柄上郡大井町　中屋敷遺跡第 9 次調査概要報告』昭和女子大学中屋敷遺跡調査団

マイクロフォーカス型Ｘ線 CT 撮影を用いた不攪乱土壌資料の観察

Observation of undisturbed soil data using micro focus type X-ray CT imaging

佐藤亜聖、○塚本敏夫、坂本俊（公益財団法人　元興寺文化財研究所）
國下多美樹（龍谷大学）、中塚良（公益財団法人向日市埋蔵文化財センター）
Satou Asei、○Tsukamoto Toshio、Sakamoto Syun（Gangoji Institute for Research of Cultural Property）
Kunisita tamiki（Ryukoku University）
Nakatsuka Ryou（Muko city Archaeological center）

１．はじめに

発掘現場における不攪乱土壌資料の観察は現在、肉眼観察による土層断面図の作成と断面サンプルの剥ぎ取りによる軟Ｘ線撮影による観察が行われている。特に、地震痕跡（噴砂や津波等）や耕作土の根痕跡の観察に遺構断面の剥ぎ取りサンプリングによる軟Ｘ線撮影が威力を発揮している。

しかし、現在行われている軟Ｘ線撮影では面的な観察しかできなかった。近年のＸ線 CT 撮影の普及で、文化財の３次元的な内部構造の可視化が可能になってきた。

本報告では、平安京左京九条三坊九町・烏丸町遺跡出土の不攪乱土壌資料の観察をマイクロフォーカス型Ｘ線 CT を用いて行うことにより、従来の観察に較べてより立体的な観察が可能となり、より正確な土壌の解釈が可能となったのでその成果の一部を紹介する。

２．遺跡の概要と分析の目的

（１）遺跡の概要

平安京左京九条三坊九町･烏丸町遺跡は京都市南区東九条上殿田町に位置し、調査対象面積は 4,300 ㎡である。隣接する十町では「武蔵国施薬院」銘木簡が出土しており、平安時代前期には施薬院に関連する施設が存在したことが伺える。古墳時代後期～近代にいたる複合遺跡であるが、主要な遺構は平安時代前期～鎌倉時代に集中し、14 世紀以降は居住地としての利用は見られない。

（２）分析の目的

当遺跡では、平安時代前期の整地層直下で、整地層によって埋められる流路（SD5430）を検出した。整地層を除去した流路上面には数条の素掘り小溝が存在しており、また肉眼観察で土壌下層を確認したため、居住地として利用する以前の耕作土が残存している可能性を考えた。この仮説について、土壌構造の観察から検討することと、Ｘ線 CT による土壌構造の立体観察が、土層検証の有効手段となりうるかを検証するため、今回の分析を行った。

３．Ｘ線分析

（１）資料の採取

SD5430壁面における該当層位部分を縦 25cm×横 15cm×奥行 10cm の不攪乱土壌ブロックを切り出し（図 1）、ラップフィルムとガムテープにより梱包した。

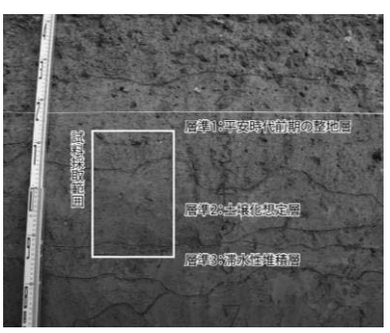


図１　試料採取位置

（２）Ｘ線ＣＴ分析の方法

使用機器：分析に使用したＸ線ＣＴは（公財）元興寺文化財研究所の文化財用マイクロフォーカス型Ｘ線ＣＴ TOSCANER-32300μFD-GCR（東芝製）を使用した（写真１）。

撮影条件：撮影は管電圧 200Ｋｖ、管電流 0.2ｍＡで行った。

データ解析：データ解析には VGStudioMAX（Volume Graphicss 社製）を用いた。

（３）Ｘ線ＣＴ分析結果

不攪乱土壌ブロックのＸ線ＣＴによる縦断面画像を図２に、横断面の連続画像を図３に示す。

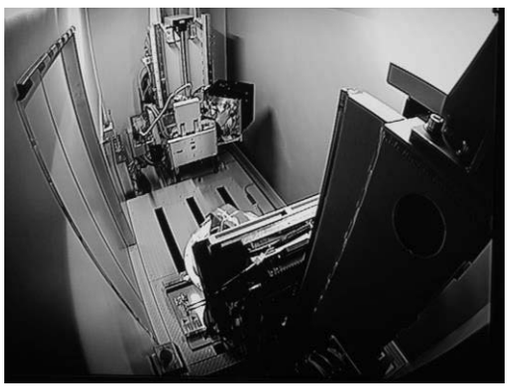


写真１　試料の測定風景

図２　縦断面ＣＴ画像

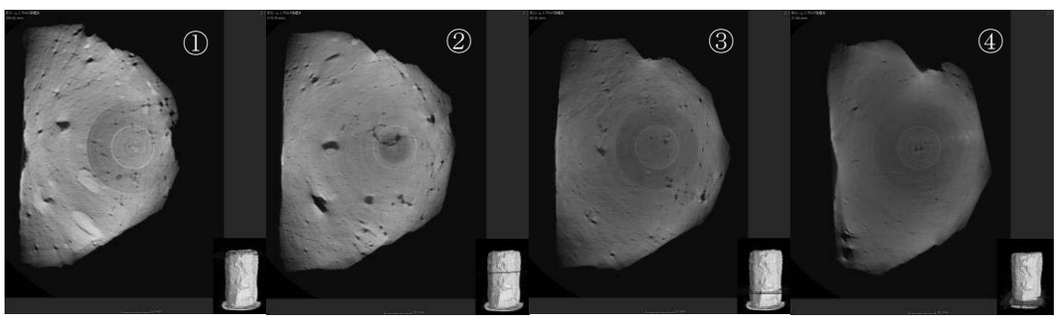


図３　横断面の連続ＣＴ画像（①最上位②上位③中位④下位）

４．観察結果

図2は縦断面画像であるが、通常の土壌薄片を用いた軟Ｘ線撮影画像と同様の明瞭な画像が得られた。特に、土壌薄片作成の際に外れてしまうことが多い礫質が安定した状況で観察できるため、礫質の量比が明瞭に観察できる。

図3は横断面の連続画像であるが、これをみると最上位には多数の礫が、上位・中位には動物活動に起因する孔隙が、下位にはわずかな根痕のみが確認でき、肉眼観察で判断した上位から整地層→土壌層→滞水性堆積層という想定を肯定する構造が確認できる。また、横断画像をコマ送りで確認すると、層準2の上面から急速に水平方向へ広がる根痕が確認でき、これが下位になるほど垂直方向へ展開してゆく様子が確認できた。これはイネ科植物の根構造に類似する。このことから層準2については水田耕土の可能性が考えられる。今後はプラントオパール等の情報と組み合わせることでさらなる検証を行いたい。

５．おわりに

当初、大型の土壌ブロックについて、Ｘ線 CT による観察は困難であろうと予想していたが、撮影の結果、極めて良好な画像が得られた。今後は大型の土壌ブロックでのＸ線ＣＴ解析を継続的に進め、地震痕跡（噴砂や津波等）や耕作土の根痕跡の立体構造の観察に基づく、正確な土壌構造の解析を進め、得られた知見の蓄積を行っていきたい。

参考文献

佐藤亜聖、塚本敏夫他 2003「3次元計測と理化学的分析を用いた多層位水田遺構の調査」『日本文化財科学会第 20 回大会要旨集』 pp192-193

上町台地とその周辺低地における弥生時代から古代の古景観変遷動態モデル

Dynamic model of paleolandscape succession of Uemachi upland and the adjacent lowland, Osaka from Yayoi period to Ancient

○ 松田順一郎（史跡鴻池新田会所管理事務所）、辻本裕也（株 古生態研究所）、
趙哲済（大阪文化財研究所）

○ Jun-ichiro MATSUDA(Management office of Kounoike-shinden Kaisho), Yuuya TSUJIMOTO (Paleoecological research institute, co., Ltd.), Chul-jae CHO (Osaka City Cultural Prooerties Association)

古景観・古地理図の作成にあたって、言語モデルの写像としての模式図や経験的な情景への感情移入をもとめる絵画的表現などの伝統的な手法だけでなく、地質学・考古学調査から得られた計算可能な空間情報を制御可能な精度で操作して可視化するコンピュータ処理系による空間定位的な景観モデリングが期待される。2009 から 2013 年度の「大阪上町台地の総合的研究―東アジアにおける都市の誕生・成長・再生の一類型」（科研 A、21242031、代表：脇田修）では、古環境 GIS チームによって、弥生時代後期から豊臣期までの５葉の古地理図が作成された（http://www.occpa.or.jp/kenkyu/kaken/kaken_UE_pdf/UE_01_uemachi.pdf ）。

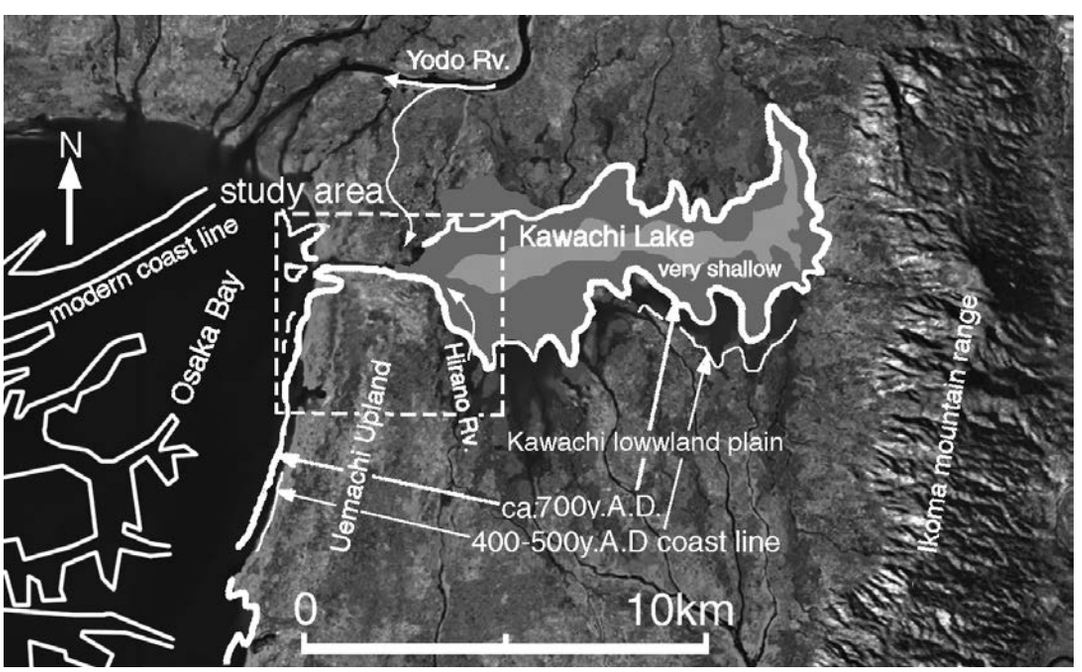


図１　古墳時代中期から難波の宮造営期の古地理と研究対象地域。本文に述べた「古地理図」ではない。更新統（中位段丘構成層）からなる上町台地の北端は淀川デルタの南縁にあたり、東側は平野川河口の堆積作用で沖積低地が拡大するとともに、台地の西縁では、浜堤列が付加され、海岸平野が発達しつつある。

この成果にもとづき、本研究では次のような作業を行っている。(1)弥生時代後期、古墳時代後期、古代(難波宮造成期)の景観に関してすでに復元された地形と植生から、さらに推測される微地形、植生、土地利用などのパッチパターンをGIS 上で、基本的には手作業でモデル化する。同時に、それらのパターンが生じるいくつかの主要なプロセスが、コンピュータ・シミュレーションでの生成が可能かどうかを検討する。(2)作業の結果えられる景観図のパッチパターンのパラメータを参照しつつ、各時期の土地と資源利用、人工改変、都市形成、遷移と撹乱、人口動態などのプロセスを扱える手法と動態モデルを模索する。

図２　上町台地北部で推測される難波宮造営期の景観を構成するさまざまなパッチ。図郭は図１の破線範囲。1 ピクセルを10X10 ｍとして木本・草本植生、宮都の人工改変地、構造物、台地周辺の耕作地などを分類している。本図の下敷きには、同範囲の地形分類レイヤ、DEM レイヤを作成し、局地的な環境勾配を考慮し、あり得べきパッチを手作業で描いてみた。小さな建物や耕作地の区画、植生パッチ縁辺の形状などは、単純化している。この本図の範囲では約２万人が分布すると仮定した。宮都の造営にともなう景観生成のパターンと規模については、人口と社会組織を検討する必要がある。その経済が依存する生態系は図の範囲を越えているが、限られた範囲の空間情報からでも都市成立にともなう人間活動のインパクトが評価できると考えている。この時期に先立つ弥生時代後期、古墳時代後期の景観についても同様の作業をおこない、約 400 年間の長期的な遷移にみられる動的平衡やその不安定化について検討する予定である。

土器残存有機物による日本列島のフードスケープ復元の試み
Reconstruction of foodscape from food residue in pottery at Japanese archipelago

◯宮田佳樹（金沢大学 先端科学・イノベーション推進機構），宮内信雄（東大総合研究博物館），堀内晶子（国際基督教大学），吉田邦夫（東大総合研究博物館）
◯Yoshiki MIYATA (Kanazawa University), Nobuo MIYAUCHI (The University Museum, The University of Tokyo), Akiko HORIUCHI (International Christian University), Kunio YOSHIDA (The University Museum, The University of Tokyo)

【はじめに】

土器での調理では，内外面にそれぞれ炭化物が付着する。内面は食材のタンパク質と炭水化物を主たる起源とするコゲ，外面は燃料材を起源とするスス(や吹きこぼれ)である。また，食材中の脂質はコゲや土器胎土に吸着する。そのため，土器に残存する有機物は，三大栄養素であるタンパク質，炭水化物，脂質を起源とする。酸性土壌が主体の日本列島では，人骨の分析により食性復元ができる遺跡が限られるため，普遍的に試料が得られる土器残存有機物を利用した食性解析手法が確立すると，列島全体の食性の特徴を検討する上で，非常に有益である。

【フードスケープ（食景観）とは？】

本研究では，食を復元しうる様々な資料，方法を駆使し，ヒト，資源・環境・文化を通時的，共時的に検討することによる，フードスケープ（食景観）の復元を目指している。土器残存有機物の分析は，その根幹の一つをなす。もちろん，人骨に骨に保存された 10 年単位の平均食性情報と組み合わせることで，景観の解像度がより高まるのは言うまでもない。フードスケープ論においては，縄文時代の東日本の人口を支えたとする“サケマス論”，弥生時代以降の“水稲稲作”の受容による炭水化物の調理とその伝播は，景観のスナップショットである。通時的･共時的な事象として認識するフードスケープ復元という概念を意識することにより，列島に住む我々の祖先の食生活を，動画のように生き生きとした “食景観”として実証的に検証できるようになるはずである。

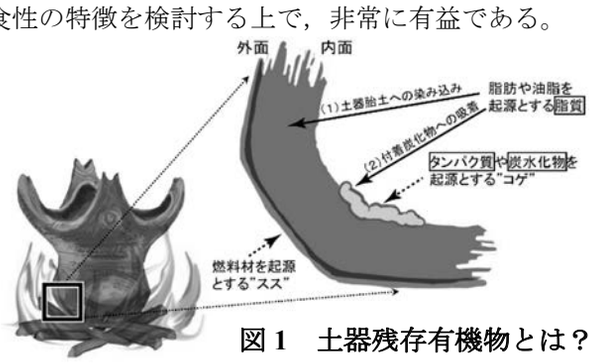


図 1　土器残存有機物とは？

【土器使用痕観察と残存有機物情報】

フードスケープ復元の信頼性を評価するため，完形土器試料の使用痕観察と残存有機物情報を組み合わせる学際的研究手法によって，調理形態をも含めた古食性復元がどの程度行えるのか，検討する。対雁２遺跡（北海道）から出土した大洞 A 式土器（HDMTK-201（図番号 207））の事例を紹介する（図２）。シチュー状調理をした場合，A はバンド状の上部喫水線上コゲであ

り，調理終了，盛りつけ後に，喫水線が胴下部に移動し，その際に生じたのが，B バンド状の下部喫水線上コゲである。くぼみに土器を固定したことから外面底部は G のように被熱を受けず，C に調理スープは残る。外面全体には E のように，薄いススが付着していたものの下半部は強い被熱を受け F のように赤色化し，ススが酸化されて消失したと考えられる。E 薄いススの上に，強い火力により D 調理内容物が吹きこぼれ，被熱し，層状炭化物が形成されたと考えられる。

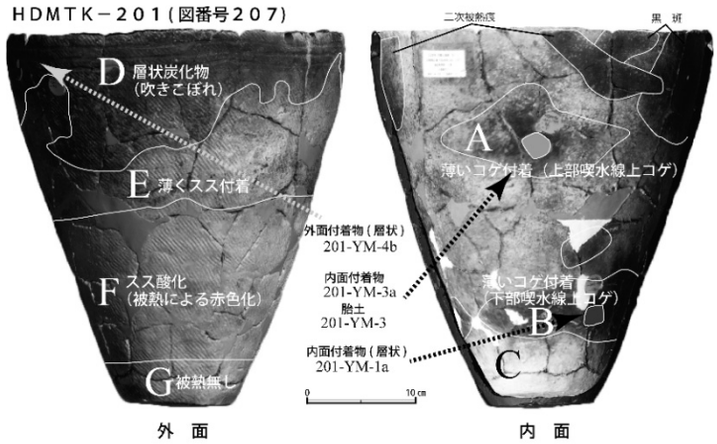


図２　対雁２遺跡出土土器のススコゲ使用痕観察結果の一例

つまり，A，B，D の付着炭化物と A 直下胎土から抽出した脂質の分子レベル炭素同位体組成(CSIA)は，近似しており，海産物の領域に分布した。 B と同じ下部喫水線上コゲバンド 201C（2990±35 BP）の放射性炭素年代は大洞 A 式土器の年代観（2600～2700 BP）に比べて 300～400 炭素年古いリザーバー年代を示すため，海産物という CSIA 結果と調和的であり，それらの間の年代を示した D の層状付着物 201a （2825±40 BP）は海産物と燃料材を起源とするススとの混合物と考えると整合的である（対雁２遺跡報告書（8））。このように，土器残存有機物情報の妥当性を検討することで，より確からしく古食性を推定し，フードスケープ復元の信頼性を向上させることができる。

今後，調理実験や民俗調査などを含めて，様々な食材グループ（穀物，堅果，陸獣，サケマス，海産魚，海獣）とその調理形態に応じた，土器使用痕観察と残存有機物情報との整合性を検討する作業を進めていくつもりである。そのためには，日本産現生生態試料の脂質組成から，食材グループや個々の食材を同定できるバイオマーカー（生物指標化合物）分子を探したり，バルク安定同位体組成，抽出した脂質の分子レベル炭素同位体組成を分析し，食材グループ毎の端成分領域を詳細に検討していくことが重要である。

科学分析技術，考古学，人類学的な知識を総合するこのような研究アプローチは，どこまで整合的な“解”が得られるのかという文化財科学という学際的研究領域の本質でもある。

【謝辞】対雁２遺跡出土土器試料提供，観察に協力して頂いた，北海道教育庁 西脇対名夫主幹及び，北海道立埋蔵文化財センター 田口尚課長に謝意を表す。土器使用痕観察と作図は，金沢大学 久保田慎二博士によるものである。本研究は，科研費基盤研究(A)”科学分析手法と土器使用痕観察を組み合わせた古食性と調理形態復元に関する学際的研究”(研究代表者 宮田佳樹; 16H01824)，科研費基盤研究(B)”縄文土器で煮炊きしたものと土器の使い分けについての研究”(研究代表者 吉田邦夫; 15H03262)，及び，科研費新学術領域研究”稲作と中国文明-総合稲作文明学の新構築-”高精度年代測定および稲作農耕文化の食生活・健康への影響評価(研究代表者 米田穣; 15H05969)の支援を受けた。

長福寺本堂入側柱来迎図の自然科学的彩色図像調査

Scientific research of the Raigo-zu (image of the descent of Buddha and Attendants) on the pillars in Chofuku-ji Temple

◯青木智史（天理大学附属天理参考館）、山田真澄（京都造形芸術大学）、池田藍子（奈良県教育委員会文化財保存事務所）、田中希和子（同左）、山田宏（台湾師範大学）

◯Satoshi AOKI (Tenri University Sankokan Museum), Masumi YAMADA (Kyoto University of Art and Design), Aiko IKEDA, Kiwako TANAKA (Office of Cultural Assets Preservation, Nara Prefectural Board of Education) , Hiroshi YAMADA (National Taiwan Normal University)

1. はじめに

奈良県生駒市に位置する重要文化財・長福寺本堂は鎌倉時代（13 世紀）に建立された建物で、堂内には部分的に建立当時の彩色が残されており 13 世紀における堂内荘厳の貴重な例となっている。平成 24 年から平成 28 年にかけて解体修理工事が行われ、併せて堂内彩色についても悉皆的な調査を実施した。平成 29 年には修理工事報告書が刊行されている。だたし、彩色図像の自然科学的調査に関しては膨大な調査成果であるため中間的な報告となっていた。今回報告する東西入側柱来迎図（柱 ほ六、柱 ろ六）は、これまでの美術史的研究から弥勒来迎図の可能性が高いことが指摘されており、これが事実であれば現存する弥勒来迎図の中でも古例ということになり重要な作例である。本研究では、経年劣化による黒色化が著しいためまず近赤外線撮影調査で図像内容を明らかにし、その後に彩色復元で重要と考えられる箇所（合計 269 箇所）について蛍光 X 線成分分析を実施した。その結果、色料推定に資する重要な成果が得られたことを報告する。

2. 近赤外線撮影および蛍光 X 線分析の測定条件

本研究では撮影調査にリコー製 PENTAX 645D IR を使用し、近赤外線調査では約 760-1100 nm の波長域を撮影範囲とした。蛍光 X 線分析には OLYMPUS 製ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置 DELTA DP-2000 Premium を用いた。測定条件は、励起用 X 線ターゲットが Rh、管電圧は 40kV（軽元素測定時は 10kV）、管電流は 100μA（軽元素測定時は 200μA）、測定部径は 3mm または 10mm、計測時間は 270 秒である。測定は長福寺修理現場建屋内にて大気雰囲気下で、装置を三脚に固定し柱表面から 1mm 程度離した非接触・非破壊にて行った。

3. 結果と考察

近赤外線撮影調査の結果、現状では黒色化が著しいものの、両入側柱来迎図の彩色は予想以上に良い状態で残されていることが明らかとなった（図 1 および図 3）。特に入側柱 ほ六の来迎図の残存状況は良好なものであった。両図像とも、中尊と両脇侍が雲にのって来迎する様であり、柱が当初位置を保っているならば北方より来迎していることになる。撮影調査により図像の細部が明らかとなったため、この成果を基にして彩色復元の上で必要と考えられる部分について蛍光 X 線分析による定性分析を行った（図 2 および図 4）。全体で共通する点としては、Al、Si、K、

図 1. 入側柱 ほ六 来迎図 近赤外線展開画像

図 2. 入側柱 ほ六 来迎図 蛍光 X 線分析箇所（◉ 部分）

図 3. 入側柱 ろ六 来迎図 近赤外線展開画像

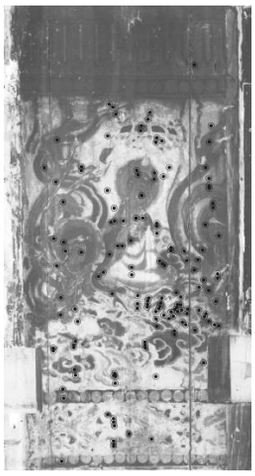


図 4. 入側柱 ろ六 来迎図 蛍光 X 線分析箇所（◉ 部分）

Fe が主要元素として得られることが挙げられる。これらは白土下地やその下層の漆の地の粉等に由来すると考えられる。また、来迎図上方に描かれる連珠文および垂下する花弁文部分は Ca のピークが非常に強く検出される。一方、来迎図下方の連珠文は Pb が主要元素であり両者の差は明瞭であった。このため、来迎図上方の連珠文および垂下する花弁文は過去の修復時に施された後補彩色であると推定される。分析箇所が多く詳述は避けるが、両来迎図の中尊部分の測定結果の一部を図 5 に示した。両図ともに頭髪部からは強い Cu ピークが検出されており、通常仏髪は青色を示す事から岩群青（$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$）が用いられていると考えて大過なかろう。肉身部は共に Pb が主要元素であり鉛系色料の使用が推定されるが、柱 ほ六の中尊の肉身部からは弱い Hg のピークが検出されるためやや赤みを帯びた肉身色であったと考えられる。衣服の部分を見てみると、柱 ほ六が僧祇支・大衣・裙はいずれも Cu を主成分とする寒色系色料と推定されるのに対し、柱 ろ六は僧祇支は Cu を主成分とするが、袈裟・裙は Hg および Pb を主要成分とする暖色系の色料で彩色されていることがわかった。また、両図像とも衣に細やかな文様が描かれており、部分的に Au が検出されることから金泥による彩色と推定される。その他にも両脇侍や飛雲文などからは多様な元素が検出されており、かつては極彩色の柱絵として堂内を荘厳していたと考えられる。今回調査対象とした両入側柱来迎図の美術史的な性格については今後のさらなる研究を待たねばならないが、本調査により明らかにできた自然科学的な研究成果は鎌倉時代の彩色研究に資するものとなったと考えている。今後は本研究の成果をもとにこれらの図像について彩色復元を実施する予定である。

入側柱 ほ六　来迎図・中尊 主要検出元素	測定部位
Al, Si, K, (Ca), (Ti), Fe, Cu, (Zn), (Pb)	頭光
Al, Si, (K), (Ca), Fe, Cu, Zn, (Pb)	頭髪
Al, Si, K, Fe, (AS), (Hg), Pb	肉身部（顔）
Al, Si, S, K, (Ca), Fe, (As), Hg, Pb	肉身部（唇）
Al, Si, S, K, Fe, (Cu), (As), (Hg), Pb	肉身部（手）
Al, Si, (K), (Ca), Fe, Cu, (As), (Pb)	僧祇支
Al, Si, K, Fe, (Cu), (As), Pb	僧祇支（縁）
Al, Si, K, (Ca), (Ti), Fe, Cu, (Pb)	大衣
Al, Si, (K), Ca, (Ti), Fe, Cu, Zn, (As), (Au), (Pb)	大衣（縁）
Al, Si, S, K, (Ca), Fe, Cu, (Hg), (Pb)	裙
Al, Si, (K), (Ca), (Fe), Cu, (As), (Pb)	裙（縁）

入側柱 ろ六　来迎図・中尊 主要検出元素	測定部位
Al, Si, (K), (Ca), (Fe), (As), Pb	頭光
Al, Si, (K), (Ca), (Fe), Cu, (Zn), (Pb)	頭髪
Al, Si, (K), (Fe), (As), Pb	肉身部（顔）
Al, Si, (K), (Ca), (Fe), (As), Pb	肉身部（胸）
Al, Si, (K), (Ca), (Fe), Cu, (Zn), (Pb)	僧祇支
Al, Si, S, (K), (Fe), (As), (Hg), Pb	僧祇支（縁）
Al, Si, S, (K), (Ca), (Fe), (Cu), (As), Hg, Pb	袈裟
Al, Si, (K), (Ca), (Fe), Cu, (Zn), (Hg), (Pb)	袈裟（縁）
Al, Si, S, K, (Ca), (Fe), (As), Hg, Pb	袈裟または裙
Al, Si, (K), (Ca), (Ti), (Fe), (Pb)	袈裟または裙 （剥落部）

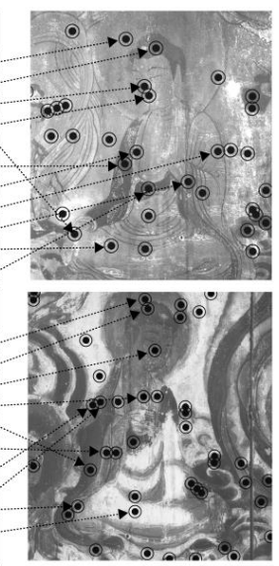


図 5. **来迎図の蛍光 X 線分析結果**〈柱 ほ六および柱 ろ六の中尊部分を例示〉
［表中の（ ）内は微量の成分］

3D プリンターで作成したマスクを用いた遺物の蛍光 X 線分析

X-ray fluorescence analysis of artifacts using a mask created with a 3D-printer

○小林淳哉（函館高専）、中村和之（同左）、山田誠（同左）、山谷文人（利尻富士町教育委員会）
○Junya KOBAYASHI, Kazuyuki NAKAMURA, Makoto YAMADA (National institute of technology, Hakodate College), Fumito YAMAYA (Rishirifuji town board of education)

1. 背景・目的

出土遺物の非破壊組成分析には蛍光 X 線装置（XRF）が広く用いられている。このうち、波長分散型（WD-XRF）は高精度・高分解能であるが、測定面は平滑である必要がある。このため、複雑な形状の試料には、分解能は劣るもののエネルギー分散型（ED-XRF）が用いられている。我々は ED-XRF により測定した青銅古銭の表面元素組成から鋳造当時の内部組成を推定する方法を提案しているが[1)]、同時に検出される微量成分元素の定量性には課題がある。本研究は平滑処理できない遺物に WD-XRF を利用する方法として、表面形状画像から近似的な平滑面を見出し、その部分以外の凹凸面はマスクして元素測定する方法の有効性を検討することを目的とした。

2. 実験装置と WD-XRF 用マスクの作成

波長分散型はリガク製 Super mini、エネルギー分散型は携帯可能な装置である Niton XL3t500 を使用した。

3D デジタイザーによって、寛永通宝（市場に流通しているもの）および利尻富士町で出土した金属塊の 3D 画像を作成し、平滑面を探索した。その後その部位が露出されるマスクをアクリル樹脂を用いて 3D プリンターで造形した。このマスクの X 線照射面に対し，測定部分が露出されるように金箔を複数枚貼り X 線を遮蔽した。遮蔽に必要な金箔の厚みは、金箔を複数枚貼った青銅板で銅のピークが検出されなくなる厚みとして決定し、今回の条件では約 7μm であった。

3. 結果と考察

図 1 に市販の寛永通宝を 3D デジタイザーでスキャンした画像と、それをもとに 3D プリンターで製作したマスクに金箔を貼ったものを示す。今回は古銭の円周部分が最も多くの平滑面を確保できるので、そこが露出されるようにした。また、図 2 は利尻富士町で出土した金属塊を作成したマスクにセットした状態である。測定中に試料が倒れることがないような構造に設計している。

表 1 と表 2 に寛永通宝と利尻富士町からの出土物の ED-XRF と、マスクを利用した WD-XRF での

主成分元素分析の結果と元素比を示した。寛永通宝は青銅であり、利尻富士町からの出土物はその主成分が鉛とスズなので、はんだである。後者には鉄も検出されたのでそれも示した。なお、どちらの試料も表に掲げた元素の合計を 100%として補正している。

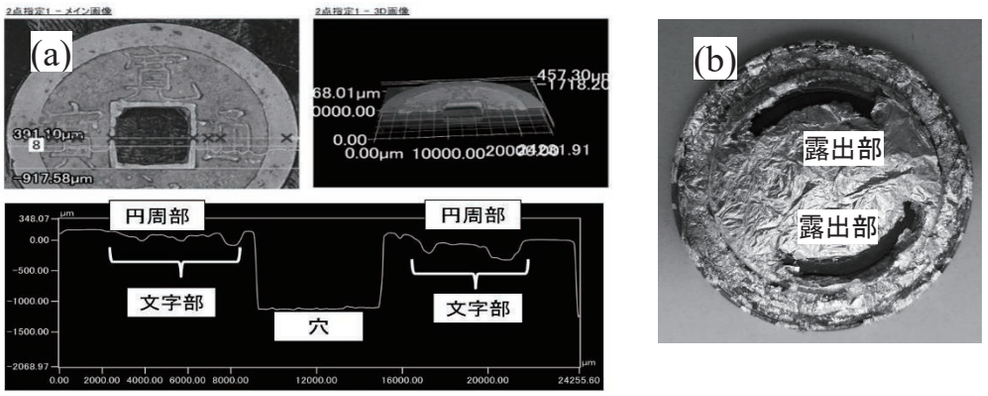


図 1 (a)寛永通宝の凹凸のデジタル画像, (b)周辺部用マスク

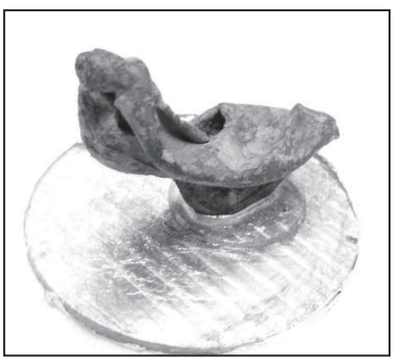


図 2 (a)出土遺物用マスク（底面の円盤状）にセットした状態

両方の試料とも、2 つの形式の XRF の主成分濃度は近似しており、WD-XRF が利用できることが確認できた。従って、WD-XRF の微量成分の高精度な定量性が生かされる用途で強みを発揮すると考えられる。たとえば利尻富士町の出土遺物は他の青銅製品とともに出土しており、こうした青銅製品の修理・補修にはんだとして使われていたのではないかと推定できる。そこで、出土遺物の補修痕を透過 X 線写真で調べ、その部分の元素比や微量成分元素の含有量比較などにより、この金属塊の用途も明らかにできる可能性がある。

表 1　寛永通宝の分析結果

形式	Cu(%)	Sn(%)	Pb(%)	Cu/Sn	Sn/Pb	Cu/Pb
WD-XRF	84.6	4.2	11.2	20.14	0.38	7.56
ED-XRF	82.0	4.9	13.3	16.73	0.37	6.17

表 2　利尻富士町出土遺物の分析結果

形式	Pb(%)	Sn(%)	Fe(%)	Pb/Sn	Pb/Fe	Sn/Fe
WD-XRF	76.7	21.3	1.95	3.60	39.30	10.92
ED-XRF	76.5	23.3	1.70	3.28	45.00	13.71

参考文献

1)　小林淳哉　中村和之、緑青の発生した古銭の表面組成から内部組成の推定、出土銭貨 (36) 38(2016)

ポンペイ遺跡「アポロの家」における壁画の保存状況調査

The conservation condition survey of wall painting at “Casa di Apollo” in the archaeological site of Pompei

○前川佳文（東京文化財研究所）・モニカ・マルテッリ・カスタルディ（スオル・オルソラ・ベニカーザ大学）・グイド・ボッティチェッリ（フィレンツェ国立修復研究所）・ステファーニア・フランチェスキーニ（保存修復 S. F）

○Yoshifumi MAEKAWA (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)
Monica Martelli CASTALDI (Suor Orsola Banincasa University of Naples)
Guido BOTTICELLI (Opificio delle Pietre Dure)
Stefania FRANCHESCHINI (S.F.Restauri)

1. はじめに

カンパーニア州ナポリ県（イタリア）のポンペイ遺跡は、79年に発生したヴェスヴィオ火山噴火によって地中に埋もれた稀有な遺跡であることから広く知られている。18世紀に始められた発掘により次々と姿を現した建物の壁には美しい壁画が描かれており、この貴重な文化財を後世に残そうと、様々な取り組みが繰り返されてきた。本研究では、ポンペイ遺跡に残された壁画の状態観察を通じて、過去の修復技法と今日みられる保全状態の関連性に着目しながら、劣化状況や今後に向けた保存修復方法について検討を試みるものである。平成28年度から平成29年度にかけて実施したポンペイ遺跡およびエルコラーノ遺跡を対象とする壁画の保全状態調査の結果、ポンペイ遺跡の北側に位置するアポロの家に描かれた壁画に遺跡内で共通してみられる損傷状況が集中してみられることから、これを調査研究の対象として選定した。

図１　アポロの家　外観

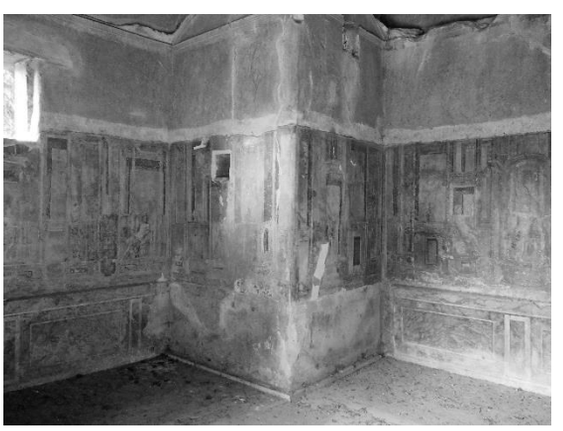


図２　アポロの家　内観

2. アポロの家

2-1. 外観

この家はポンペイ遺跡を囲む北側の外壁に隣接しており、メルクーリオ通りとフッローニカ通りの間に位置する。1830年に発掘され、アポロ神が複数描かれていたことから命名された。調査研究対象となる壁画は、敷地内にある庭園の奥に位置する建物の内壁に描かれており、夏場の横臥食卓として建設されたものと考えられている。

2-2. 内観

調査研究の対象となる壁画は、図3に示されたAからFまでの側壁に描かれている。床から70cmの位置より130cm の幅を有し、建物内を取り囲むよう帯状に描かれている。壁画の上層部は漆喰が剥き出しとなっているが、部分的にストゥッコ装飾が残されていることから、何らかの装飾が施されていたことが予測される。天井は近年におけ

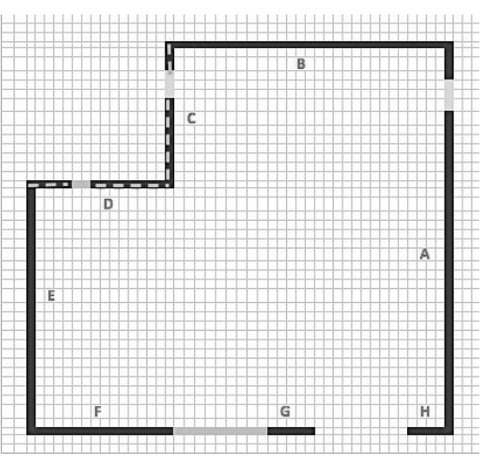


図３　アポロの家　見取り図

る修理により梁や瓦が新しく付け替えられていることが確認できた。

3. 壁画技法

3-1. 漆喰層

漆喰層は大きく分類して支持体に直接塗布されたアリッチョと彩色層にあたるイントナコの 2 層構造をもつ。アリッチョは、場所によって古代ローマの壁画技法の特徴でもある多層塗り工法が採用されており、厚い箇所では5cm に達する。また、AとBに描かれた壁画の漆喰層はマンマータと呼ばれる瓦の上に塗布されており、建造物の壁には直接塗布されていない。これは、マンマータ(図4)を組み込むことで建物の壁との間に空間を設け、地下や外壁からもたらされる湿気を遮断することで室内への影響を抑制する目的に配慮されたものと推測できる。

3-2. 彩色層

主に背景色などにはブオン・フレスコ画技法が採用されており、人物や建築物といった細密な描画が必要とされる箇所にはビアンコ・ディ・カルチェ技法が採用されていることから、フレスコ画混合技法であることが分かった。

図4 壁画背面のマンマータ

4. 壁画の保全状況

4-1. 漆喰層における問題点

ノック法における漆喰層の剥離状況調査の結果、大きな問題はみられなかった。しかし、彩色層の状態から接触が危険と判断できる箇所については、保存修復処置を進める中で確認する必要がある。

4-2. 彩色層における問題点

過去の修復において、彩色層の補強を目的に蜜蝋や合成樹脂が前面に塗布されている。この処置が壁画の吸放湿性能を著しく低下させる原因となっており、壁画の表面に向かって移動する湿気の揮発経路が塞がれたことによる膨張現象が確認できる(図5)。また、ところどころに塩の析出が集中的に発生しており、結晶化による彩色層の破壊が目立つ(図6)。

図5 湿気による膨張現象 (斜光撮影)

図6 塩の析出による彩色層の破壊

5. まとめ -今後の保存修復方法の方向性-

アポロの家に描かれた壁画は、過去に使用された修復技法および材料が原因となり大きく傷んでおり、これらを安全かつ効率的に取り除くことが重要であると指摘できる。主に彩色層にみられる損傷状況は深刻であり、剝落を回避しながら表面に残存する蜜蝋や合成樹脂の塗布物のみを、作品への負担を最小限に抑えながら除去することが重要となる。そのためには、剥離や粉状化が進んだ彩色層の事前補強が必要不可欠であり、凝集力や接着力を回復させるに適した材料および修復方法を開発していくことが今後の研究課題といえよう。前述した通り、過去に同様の手法で修復された壁画はポンペイ遺跡およびエルコラーノ遺跡に数多くあり、同様の問題を抱える。過去から現代に受け継がれたこの貴重な壁画群を後世に伝えることに貢献できるよう、さらなる研究を進めていきたい。

＊本研究は、科学研究費助成事業［基盤研究(B)(課題番号：16H05640)］の成果の一部である。

京都市等持院修理工事における樹種および年代測定

Wood identification and Dating of Toji-in temple in Kyoto city

○田鶴寿弥子（京都大学生存圏研究所）、杉山淳司（同左）
○Suyako TAZURU-MIZUNO, Junji SUGIYAMA (RISH, Kyoto University)

1. 概要

歴史的建造物の修理に際して行われる部材の科学的調査の中でも、樹種調査や年代調査は取り換え材の選択において有効な知見となるだけでなく、建造当時の木材流通や木材選択の情報獲得のためにも有益であり近年より重要度を増している。京都府京都市北区に位置する等持院では、2017 年より茶室清漣亭および霊光殿などの建造物の保存修理工事が行われている。修理工事に際して建築部材、所蔵品などにおける樹種識別や年代測定を行った。茶室清漣亭や霊光殿の部材の樹種識別調査からは、当時の興味深い用材観が判明した他、部材の年代測定からは、当該建造物のこれまで判明していなかった建築や修理の経緯などについて考察する上で重要な知見が得られた。

2. 試料と方法

本研究では、茶室清漣亭および霊光殿（図 1）の修理工事に際して、部材から樹種識別用試料を採取・撮影・部位の確認などを行い、その後京大生存圏研究所においてプレパラートの作成および樹種識別作業を行った。採取された試料は、水ないし湯で軟化させたのち、片刃カミソリもしくはミクロトームを用いて三断面切片を作成した。その後エタノール : グリセリン＝1 : 1 とともにホットプレートで加熱して薄片内の気泡を除去し、ガムクロラールで封入を行った。その後、木材組織の光学顕微鏡観察を行った。光学顕微鏡で観察される解剖学的特徴により、木材の属レベル（時には種まで）の識別が可能である。また、年代測定による年代推定が必要と思われた霊光殿の 3 部材については、株式会社パレオ・ラボによる加速器質量分析法による放射性炭素年代測定（一点についてはウイグルマッチング法）を適用した。

図 1　霊光殿における修理工事の様子

3. 結果と考察

霊光殿では、主に柱、須弥檀の天井板、須弥檀の根太をはじめとした様々な部材について樹種調査を行った。その結果、多い順に、ヒノキ、ニヨウマツ類、モミの使用が認められた。霊光殿の須弥檀の天井板（ヒノキ）、須弥檀の天井板（ニヨウマツ類）、天井の桁（モミ）の 3 点についてパレオ・ラボによる年代測定を行った結果、それぞれ、18 世紀初頭～前半および 19 世紀前半～20 世紀前半、17 世紀後半～20 世紀中旬、17 世紀後半～20 世紀中旬に相当することが判明したが、今回適用した試料はいずれも最終形成年輪が残っていなかったことから、古木効果の影響を受けている可能性も示唆され、その場合実際に枯死もしくは伐採された年代は測定結果よりも新しい年代であると考えられる。

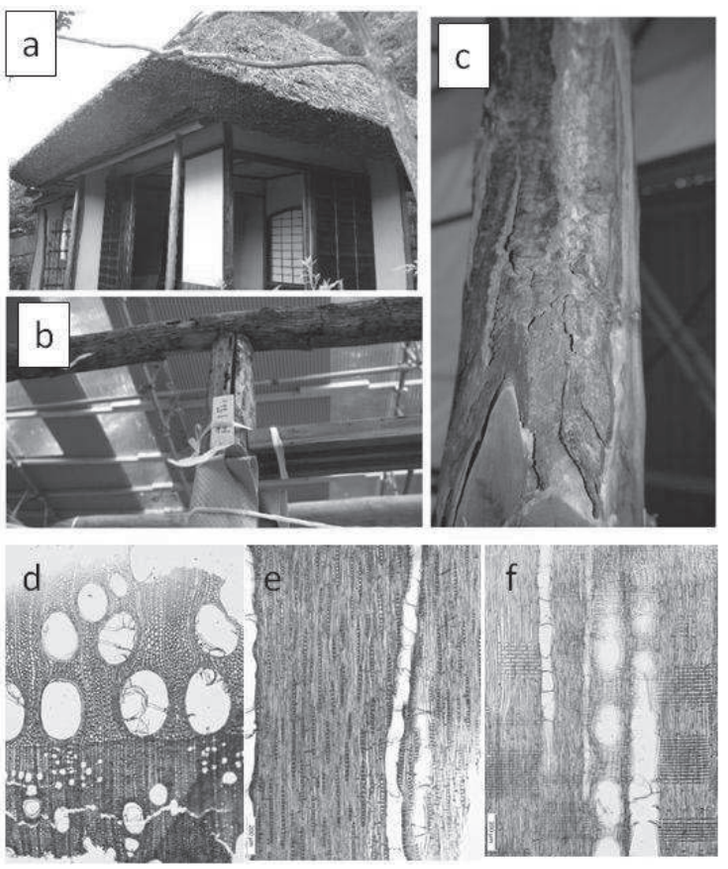


図 2 茶室清漣亭（a）における部材調査の例。皮付き丸太（柱 b，c）の調査を行った結果、クリであることが判明した（d:木口面、e:板目面、f:柾目面）。

また、茶室清漣亭（図 2）では調査は現在進行形で行われているが、皮付き丸太柱について樹種識別を行ったところ、クリ（図 2ｄ－ｆ）をはじめとした茶室独特の用材観が認められた。皮付き丸太については、年代が経過することにより大工や専門家でも外観から樹種を判断することが困難な例も多く、このような顕微鏡を用いた調査は今後も継続して行っていきたいと考えている。今後も継続して樹種調査や年代測定を行うことで、茶室や霊光殿における用材観の解明、ならびに建築年代や歴史的背景の解明に尽力していきたい。

4. 謝辞

本研究は，科研費若手 B（16K18730）ならびに、京都大学生存圏研究所全国共同利用研究によるものである。ここに銘記し謝意を表す。また調査に多大なるご協力をいただいた等持院、野口工務店、京都伝統建築技術協会、松本康隆博士、株式会社パレオ・ラボに心より感謝する。

唐招提寺春日赤童子立像の彩色調査と
テストピース法を用いた色料推定

Analysis of the Pigments used in Standing Kasugaakadoji Statue of Toshodai-ji Temple,
and Estimation of Pigments using a method of specimen.

◯荻山琴美（奈良教育大学）金原正明（同左）、大山明彦（同左）、石田太一（唐招提寺）

◯Kotomi OGIYAMA, Masaaki KANEHARA, Akihiko OYAMA (Nara University of Education) ,
Taichi ISHIDA (Toshodai-ji Temple)

1. はじめに

近年では文化財に対する彩色分析の報告が増えているが、あくまで分析結果の報告のみに留まっている部分が大きいと思われる。本研究では奈良・唐招提寺所蔵の春日赤童子立像を調査対象とし、科学分析により推定された色料の組み合わせを再現したうえで同様の条件下で再度分析を行うというテストピース法を用いることで、推測をより同定に近づける検証を試みた。これは分析結果の解釈が難しい彩色研究に活用されていく方法と考える。そして科学分析結果に美術史的見解も踏まえ、コンピュータ上での彩色再現図を作成した。

2. 調査対象

今回調査を行った春日赤童子立像は奈良・唐招提寺に伝来した彫像で、現在は同寺新宝蔵に安置されている。春日赤童子とは奈良・春日大社の神として、室町時代以降に興福寺周辺で篤く信仰された尊像であり、その信仰としての成立は南北朝時代と推定されている。その姿は制吒迦童子を原形とし、性格は護法童子に由来すると考えられる（山本 1987）。本像も春日赤童子として唐招提寺に伝来するが、一般的に春日赤童子像として流布している像は右手で棒状の持物を地に突き、左手で頬杖をつくような姿で表されることが多く、本像の姿勢とは異なっている。『不動明王二童子像』（三井寺所蔵）などに同様の姿勢をとる制吒迦童子像がみられるため、本来は制吒迦童子であった可能性も考えられる。また本像の彩色の保存状態は良好で、その彫刻は鎌倉期の制作を思わせる。しかし先述の通り、春日赤童子に対する信仰は南北朝時代以降に成立することや、奈良地域には南北朝期以降にも優れた彫像が存在することからも、その制作時期については検討が必要と考えられる。

3. 調査方法

肉眼観察にて美術史的な面から彫刻について観察を行ったのち、赤外線・紫外線撮影、蛍光 X 線分析の科学調査を行った。赤外線撮影にて彩色文様の把握を行い、蛍光 X 線分析で色料（主に顔料）の定性分析を行う。染料については蛍光 X 線分析のみでなく赤外線・紫外線写真とも総合的に評価する。赤外線・紫外線撮影では PENTAX 645D を使用した。また必要に応じて IR 富士フイルム社製光吸収・赤外線透過フィルター、ケンコー・トキナ DR 655 フィルターを用いた。蛍光 X 線分析装置は OLYMPUS ハンドヘルド蛍光 X 線分析計デルタプレミアム合金アナライザ DP-2000-CC を使用した。測定条件は X 線管球にロジウム（Rh）、管電圧、管電流は Mining plus Mode は Beam1 が 40kV、100μA、Beam2 が 10kV、200μA。Soil Mode は Beam1 が 40kV、100μA、Beam2 が 40kV、100μA、Beam3 が 15kV、200μA。また測定は大気雰囲気、測定距離は

約 1〜2 ㎜、照射径は Mining plus Mode はφ3 ㎜、Soil Mode はφ9 ㎜。非破壊・非接触で行った。

4. 調査結果とテストピース法への応用

像高 38.3 ㎝で一木造（面部別材、岩座前後二材）に彩色を施している。樹種は、年輪が非常に緻密な針葉樹であり檜の辺材と見られ、玉眼は水晶と思われる。彩色剥落箇所の目視観察から白色色料の下地が施されていることが分かる。調査結果から下地は白土等の粘土鉱物、肉身部の赤色は水銀朱、髪や眉の金色線は金泥、領巾は緑青もしくは群青で縁取りは青色暈繝、腰帛は緑青で花模様を青系・赤系・紫系暈繝、裙は鉛丹、腕釧は金泥、と使用色料を推測した。

本研究では調査結果から考察を行った後、不可解な点が多かった彩色部について彩色を再現したテストピースを制作し、調査時と同様の条件下で分析を再度行うというテストピース法を用い、彩色に対する更なる言及を試みた。この彩色再現テストピースの分析データと調査結果を比較することにより、彩色部の細かな文様に用いられる色料の組み合わせや、下層に存在する色料の選択肢を絞ることができると考えた。ただし本研究での彩色再現とは復原的なものではなく、分析結果から想定される色料の組み合わせを再現するというものである。

今回特に焦点を当てたのは、白土下地の可能性について、領巾の地と模様・縁取りに用いられた色料について、金色色料についての 3 点である。中でも領巾の使用色料の検討では実際の色、赤外線撮影結果、蛍光 X 線分析結果を総合的に検討のうえ、彩色の専門家として大山明彦氏の見解も加えて考察した。その結果、領巾の地は群青、縁取りは金泥縁取りの群青・白群の二段青系暈繝という結論に至った。調査結果による判断では蛍光 X 線分析で銅を検出し、現在確認できる色が緑色であることから地は緑青、縁取りは粒子の大きさから緑青と白緑か白群と推測していた。しかし群青・白群の変色により黒色や緑色に変色したものであるとの意見を受け、改めて群青を使用したテストピースの制作とコンピュータ上での彩色再現を行った。今回の分析方法において群青と緑青の区別は不可能であったが、彩色復元図からは領巾が群青であることにより全体が引き締まるような印象を受ける。群青と緑青の変色については、新たな課題として今後研究を進めていきたいと考えており、現在試験的に実験を行っている。

5. まとめ

本研究の結果から、調査後に行う彩色再現テストピースの制作と分析は，彩色調査において有効な検証方法であると言える。限界が存在する非破壊分析も、分析から得られた結果の考察を終了地点とせず、考察の検証実験等を実施して更なる追及を行うことで、より同定に近づくと考えられる。特に色料は原材の種類が多種存在するために同定が困難な場合が多いが、今後も彩色調査に活用できるような基礎研究や分析方法を模索していきたい。

6. 主要参考文献

山本陽子 1987「春日赤童子考」『美術史研究』25, 早稲田大学美術史研究会, pp.26-45
伊藤征司 2000「顔料の事典」朝倉書店
大山明彦 2012「『栄山寺八角堂内陣装飾画』に関する新知見ほか」奈良教育大学紀要 第 61 巻 第 1 号, pp.169-175
武田裕子・早川泰弘 2016「国宝「阿弥陀聖衆来迎図」の彩色材料に関する調査」『保存科学』55,pp.47-62
神田雅章 2016「春日赤童子立像」『神像彫刻重要資料集成』第三巻［関西編二］,pp.159-160,p.406

陶磁器の上絵層における有機物分析の試み
－飛行時間型二次イオン質量分析および赤外放射光分析による焼成に伴う膠およびふのり成分の変化に関する検討－
Attempt to analyze organic materials in overglaze color layers of ceramics
– Analysis of the Nikawa and the Funori ingredients in calcination by TOF-SIMS and synchrotron radiation FT-IR –

○樋口智寛（東京都立産業技術研究センター）、水本和美（東京藝術大学）、新免歳靖（東京学芸大学）、高橋佳久、伊藤鈴音（東京学芸大学大学院）、二宮修治（東京学芸大学）
○Tomohiro HIGUCHI(Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute), Kazumi MIZUMOTO(Tokyo University of the Arts), Toshiyasu SHINMEN(Tokyo Gakugei University), Yoshihisa TAKAHASHI, Suzune ITO(Graduate School of Education, Tokyo Gakugei University), Shuji NINOMIYA(Tokyo Gakugei University)

1. はじめに

陶磁器の製作には、膠やふのり等の有機物が用いられる。本研究では、用いられた有機物を焼成後の陶磁器から判別することを最終目標とし、高感度分析を試みている。これまでに、上絵付けに膠を用いた上絵層の断面を飛行時間型二次イオン質量分析計（TOF-SIMS）により分析した結果、焼成後の上絵層に有機物が残存することが分かっている [1,2]。また上絵付け焼成中における膠の経時変化を、赤外放射光を利用した赤外分光光度計（FT-IR）により、その場観察した結果、上絵付け焼成時の昇温条件の違いにより、膠の分解挙動が異なることが明らかとなり、焼成後の残存有機物成分に関与する可能性があることが示唆された [3]。今回、残存有機物成分の同定に向けた試みの一つとして、膠およびふのりを用いた上絵の間の比較を目的とし、焼成に伴う成分変化をTOF-SIMSおよびFT-IRにより分析した。

2. 実験

粒膠（吉祥製）およびふのり（伊勢久製）にイオン交換水を加え、湯煎・攪拌し、それぞれ約 10%(m/m)および約 2%(m/m)の溶液とした。酸化鉄と Pb 含有フリットを混合して作製した上絵具 1g に調製された溶液 1ml を加え、混合した後、基板へ刷毛を用いて塗布し、上絵付けのモデル試料とした。

FT-IR 分析: モデル試料について、SPring-8（BL43IR）の赤外顕微鏡（Bruker 製 Hyperion2000）を使用し、空気気流中、室温から 600℃まで加熱しながら、透過法により分析した。

TOF-SIMS 分析: モデル試料を大気雰囲気において電気炉により 800℃にて焼成し、所定の大きさに切断・紫外線オゾン洗浄後、TOF-SIMS（アルバックファイ製、TRIFT Ⅲ）により分析した。分析条件は、一次イオン Ga^+、中和銃を使用、測定質量数範囲 1-5000 とした。

3. 結果および考察

FT-IR 分析: 得られたスペクトルを図 1 に示した。未焼成の場合、膠を用いたモデル試料（以下、膠試料）においては 3300 や 1700-1200cm^{-1} 付近にタンパク質由来、ふのりを用いたモデル試料（以下、ふのり試料）においては 3200 や 2900cm^{-1} 付近に多糖類由来の吸収が確認された。これらに注目すると、膠試料の場合、未焼成から 240℃までの温度範囲におい

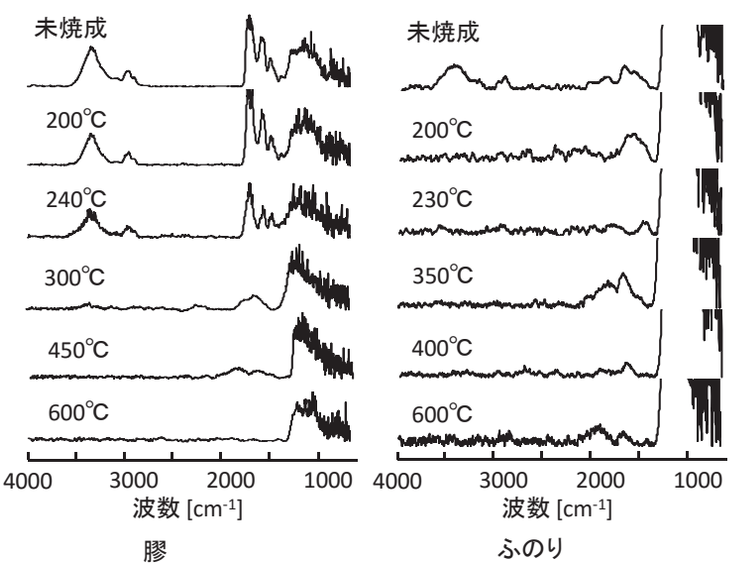


図1 焼成に伴う赤外分光スペクトルの変化
（昇温速度：100℃／時間、温度表記は分析時の試料温度）

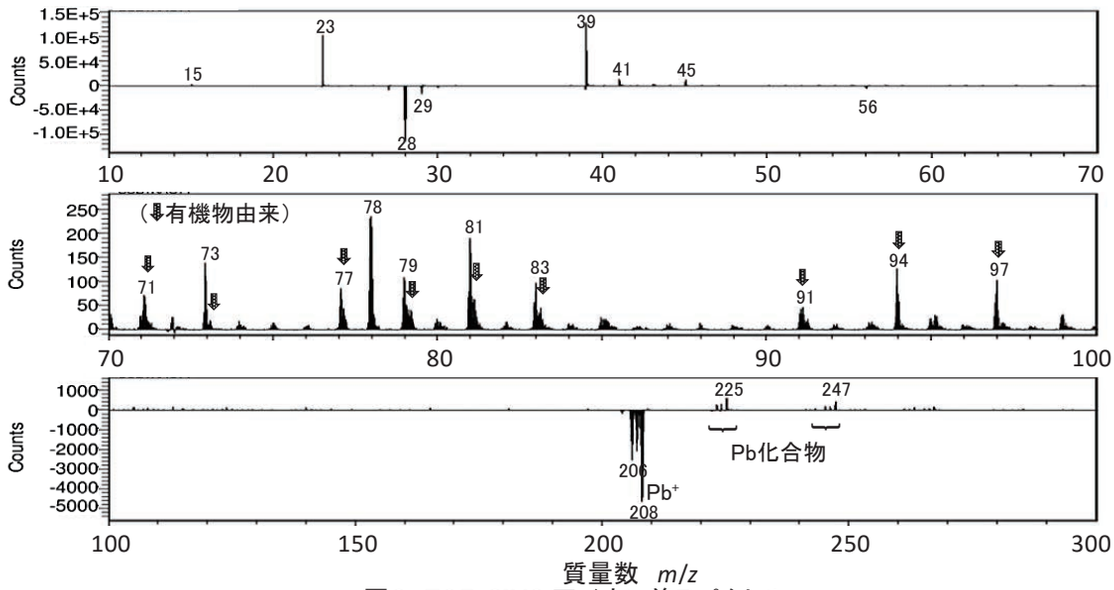


図2 TOF-SIMS 正イオン差スペクトル
（上向きピークはふのり試料、下向きピークは膠試料から相対的に強く検出したフラグメントイオン）

て、強度の大きな変化は見られず、焼成が 300℃まで達すると、顕著なたんぱく質由来の吸収は消失した。一方、ふのり試料の場合、200℃において、多糖類由来の吸収が消失した。

TOF-SIMS 分析: 膠試料とふのり試料の間の差スペクトル算出し、比較的強度が強い質量数 300 迄の正イオンスペクトルを図2に示した。算出の際には、トータルカウントによる規格化を行った。スペクトル中、上向きピークはふのり試料、下向きピークは膠試料から相対的に強く検出されたフラグメントイオンを示す。ふのり試料の場合、膠試料の場合と比較し、有機物由来のフラグメントイオンが強く検出され、多くの有機物が残存しているといえる。また、Pb に注目すると、膠試料の場合、Pb 原子のイオンが強く検出され、ふのり試料の場合は、Pb 化合物由来のフラグメントイオンが強く検出された。この現象から、両試料間において、例えば結晶系や化学結合状態等、Pb の存在形態が異なることが示唆される。

以上から、ふのり試料は、膠試料と比較して低温において成分が変化、さらに絵具成分との化学反応により、例えば金属有機物等の化合物が生成しやすいとも示唆される。今後、多様な上絵具を用いた事象の分析を試み、焼成による化学反応等を解明することが期待される。

4. まとめ

陶磁器の上絵層における残存有機物成分の同定に向けた試みとして、酸化鉄と Pb 含有フリットを混合して作製した上絵具を、膠およびふのりを用いて上絵付を行い、焼成に伴う成分変化を TOF-SIMS および赤外放射光を用いた FT-IR により分析した。

その結果、ふのりを用いて絵付けした上絵層は、膠を用いた場合と比較し、焼成後において有機物が優位に残存することが明らかとなった。また上絵付焼成時における化学反応は、混合した有機物成分により異なることが示された。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP16K01188 および JP25560139 の助成を受け、また SPring-8 利用課題 2017B1758 として行われた。

参考文献

1) 樋口智寛、二宮修治、陶磁器の上絵層における有機物分析の試みー焼成後における有機物材料残存の可能性についてー、日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集、258-259(2014)
2) 樋口智寛、二宮修治、陶磁器の上絵層における有機物分析の試みー焼成に伴う膠成分の変化を中心にー、日本文化財科学会第 32 回大会研究発表要旨集、208-209(2015)
3) 樋口智寛、二宮修治、新免歳靖、水本和美、陶磁器の上絵層における有機物分析の試みー赤外放射光分析による焼成に伴う膠成分の変化に関する検討ー、日本文化財科学会第 34 回大会研究発表要旨集、122-123(2017)

国宝信貴山縁起絵巻の彩色材料調査

Analysis of Colorants Used in *Illustrated Scrolls of the Legends of Shigisan*, a National Treasure

○早川泰弘、城野誠治（東京文化財研究所）
○Yasuhiro HAYAKAWA,　Seiji SHIRONO
(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

信貴山朝護孫子寺に所蔵される信貴山縁起絵巻は平安時代を代表する絵画の一つで、信貴山中興の祖と考えられている命蓮にまつわるいくつかの説話を絵画化したものである。三巻から成り、第一巻は「山崎長者の巻」または「飛倉の巻」、第二巻は「延喜加持の巻」、第三巻は「尼公の巻」と呼ばれている。

東京文化財研究所では朝護孫子寺および作品寄託先である奈良国立博物館の協力のもと、平成 23～24 年度に三巻すべてについて光学調査を行う機会を得た。高精細カラー、蛍光、赤外線画像撮影を行うとともに蛍光X線分析を実施し、描画技法や彩色材料等について検討を行った。本発表では、その中から蛍光 X 線分析による彩色材料調査の結果を中心に、その概要を報告する。

2. ポータブル蛍光X線分析装置による調査

調査に使用した機器は、ポータブル蛍光 X 線分析装置である。これまでに国宝「源氏物語絵巻」（徳川美術館、五島美術館）や国宝「伴大納言絵巻」（出光美術館）の彩色材料調査に用いた機器であり、同一機器・同一条件で調査を行ったことで平安時代の三大絵巻の分析結果を直接比較することが可能となった。測定条件は以下の通りである。

X線管球：　Rh（ロジウム）
管電圧・管電流：　50kV・100μA
X線照射径：　φ2mm
測定時間：　1 ポイント 100 秒
装置先端から資料までの距離：　約 10mm

3. 調査結果

信貴山縁起絵巻の蛍光 X 線分析では、Ca、Fe がほぼすべての測定箇所から検出された。彩色がほとんど存在しない部分からも Ca と Fe が検出されていることから、用いられている紙そのものに由来していると判断できる。Ca については、「尼公の巻」からの検出量が他二巻よりも大きい傾向にある。「山崎長者の巻」、「延喜加持の巻」から検出された Ca 量は 5cps 前後であるが、「尼公の巻」からは 10cps 前後が検出された（図１）。

Fe については、0.1～0.2cps 程度の検出量の箇所がほとんどである。一方、「延喜加持の巻」第四紙の建物の一部、第二十紙の馬の鞍からは Fe が大きく検出され、Fe 系黄色顔料の黄土が利用されていることが推測された。

緑色や青色の箇所からは Cu が大きく検出された。「山崎長者の巻」や「延喜加持の巻」などでは 100cps 以上の Cu が検出された箇所もある。「山崎長者の巻」の青色部分では Cu

とともに微量 Zn が同時に検出されたが、「延喜加持の巻」と「尼公の巻」から Zn が検出された箇所はない。

「山崎長者の巻」の鉢、「延喜加持の巻」の輪宝、「尼公の巻」の大仏などからは Au が顕著に検出された。これらの箇所について、肉眼で金色の光沢はほとんど認められない。金色の下層に橙色顔料が存在している箇所も多数見出され、金色の発色を高めるために、Pb 系橙色顔料が併用されていることがわかった。また、これらの箇所では表面の平滑度が低く、ややザラザラした感じがあるのが特徴的である。

「山崎長者の巻」の衣の一部や、「延喜加持の巻」第十五～十六紙（図２）の壁代や年中行事障子から Ag が大きく検出された。また、「尼公の巻」第十七、二十二紙などの雲の表現からも Ag が検出された。「延喜加持の巻」で Ag が検出された箇所からは、微量の Hg が同時に検出される特徴がある。これらの箇所に赤色顔料は確認できず、Hg の由来は特定されていない。

赤色が確認できる箇所のほとんどからは Hg が検出された。建物の屋根に見られる焦茶色部分（図２参照）からも Hg が検出される。信貴山縁起絵巻の中に Fe 系赤色顔料は見出されなかった。

信貴山縁起絵巻の中で白色がはっきり確認できる箇所は少ないが、白色顔料として使われているのは Pb 系材料である。Pb が検出されている箇所は多くないが、人物の頬に薄赤色の着色が確認できる箇所も多く、Pb 系白色顔料の鉛白と Hg 系赤色顔料の辰砂が併用されていると考えられる。これらの箇所では、現在、褐色から薄黒色に見える箇所も多いが、両顔料を併用したことによる変色が原因とも考えられる。

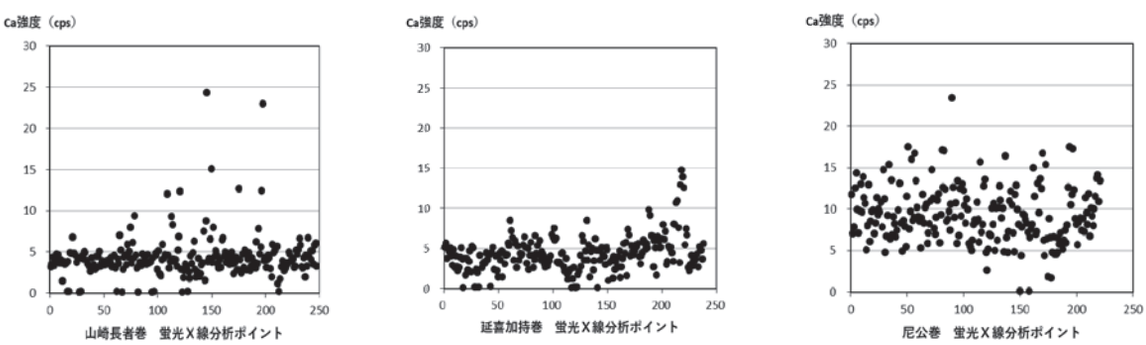


図１　信貴山縁起絵巻からの Ca 検出強度

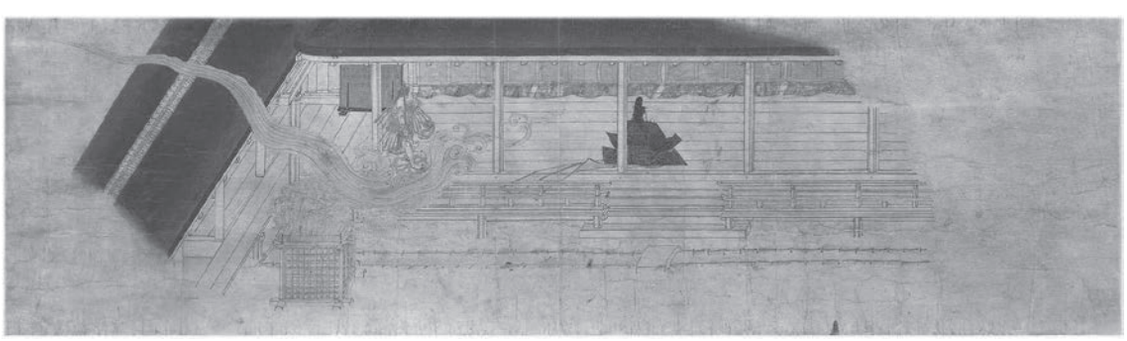


図２　「延喜加持の巻」第十五～十六紙

現代技法で製作されたミャンマー漆器の材料調査

Research on Components of Modern Lacquerware Made in Myanmar

○倉島玲央（東京文化財研究所）、山府木碧（同左）、早川典子（同左）

○Reo KURASHIMA, Midori YAMABUKI, Noriko HAYAKAWA

(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

漆工芸における伝統的な技法や材料、工程は地域ごとに育まれてきたために多種多様である。伝統的な製法に基づいて漆器の製作が現在も行われている一方で、合成樹脂や合成顔料の出現に伴い、漆器に利用される例が増えている。本研究では、最近製作されたと考えられるミャンマー漆器に焦点を当てて材料の分析調査を行い、文献上の伝統的製法と比較することでミャンマー漆器の現状の把握を試みた。

2. ミャンマー漆器の伝統的な製法

ミャンマーのバガン周辺では、刻線に顔料を摺りこむ蒟醤（きんま）技法によって製作された漆器が非常に多い。以下に、文献上の伝統的製法の一例を示す。

① 胎（挽物にチーク材、籃胎や捲胎には竹を用いる）→②下地塗り（粘土質の土と木屑と漆を混ぜたもの）→③下地塗り（米と骨の灰を混ぜたもの）→④漆塗り→⑤刻線→⑥顔料摺り→⑦上塗り（ニームの木の樹液による顔料の保護）

4〜8 ヶ月、長いと 2 年かけて製作するものもあり、漆器の価格は製作時間と装飾にかかる手間によって左右される。製作過程は製作所によって異なり、「漆器に刻線を入れる前に水溶性のアラビアゴムを塗る」過程が存在したり、「刻線を入れた部分に樹脂を塗り、すり漆をして乾かぬうちに顔料を載せ、乾燥後水洗いする」方法があるという。

2. 調査資料と方法

資料 A〜C を Figure 1〜Figure 3 に示す。これらの資料は 2016〜2017 年にミャンマーのバガン周辺で購入したものである。資料 A には緻密な文様が描かれており、胎は竹で柔軟性に富む。一方、資料 B,C の文様は資料 A に比べ粗雑で、胎は硬くチーク材の使用が推測される。

Figure 1. sample A

Figure 2. sample B

Figure 3. sample C

これらの資料に対して、層構造の把握や、製作に使用された樹脂・顔料を決定するために、クロスセクション観察、熱分解ガスクロマトグラフ質量分析（Py-GC/MS 分析）、蛍光 X 線分析を行った。クロスセクション観察は試料をエポキシ樹脂に包埋、研磨し、Leica S9D を用いて、反射光モード、倍率 500 倍で観察した。Py-GC/MS 分析はガスクロマトグラフ質量分析装置（Agilent Technologies 製、7890A GC system および 5975C inert MSD with Triple Axis detector）、熱分解装置（FRONTIER LAB 製、Multi Shot Pyrolizer EGA/PY-3030D）、キャピラリ分離カラム（FRONTIER LAB 製、Ultra Alloy PY-1、30 m×0.25 mm×0.25 μm）を使用した。キャリアガスに流量 1 mL/min の He を用いて、熱分解温度 500 ºC、インジェクション温度 300 ºC で試料を分解、導入し、オーブン温度 40 ºC で 2 分保持した後、12 ºC/min で昇温、320 ºC で 10 分保持した。インターフェイス温度 320 ºC、EI モードでイオン化電圧を 70 eV 印加することで計測した。蛍光 X 線分析（XRF 分析）は、セイコーインスツルメンツ（株）SEA-5230E　微小部エネルギー分散型 X 線分析装置を使用し、大気下、測定時間 180 秒または 300 秒、励起電圧 50 kV の条件で分析した。

3.結果と考察

3-1.クロスセクション観察

各資料の蒟醤が施されたと考えられる箇所から試料採取し、クロスセクション観察を行った。結果の一部をFigure 4 に示す。資料 A,B どちらにも、顔料層(a)は漆層の一部凹んだ部分(b)に見られた。その界面の漆層には彫った跡が確認でき、蒟醤技法による加飾であるといえる。

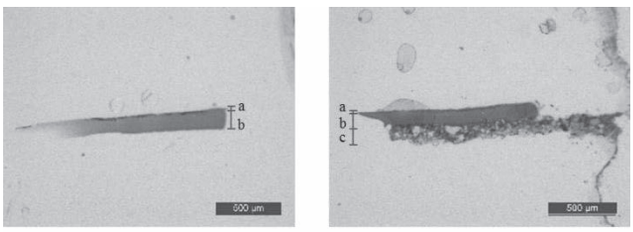


Figure 4. cross section analysis of sample A (left) and B (right) (transmitted light, ×110)

3-2. XRF 分析

結果を Table 1 にまとめた。資料 A の赤色には水銀朱、黄色部には石黄、緑色には石黄と青色染料の混色が予想され、伝統的製法に用いられる顔料と同一であった。一方で、資料 B,C の赤色部にはレーキ顔料や染料、黄色部にはクロム酸塩、緑色にはクロム酸塩と青色染料の混色、白色にはチタンホワイトや Ca 系顔料の使用が推測され、使用顔料の変化が確認された。現在も資料 A のような漆器が製作されていることから、顔料の毒性ではなくコストを意識したものであると考えられる。また、伝統的製法で下地に用いられる骨粉由来の Ca は検出されない一方で Fe が検出されているため、下地材料の変化が示唆された。

Table 1. XRF analysis of pigments

	red	yellow	green	blue	white
sample A	Hg, As, Fe	As, Hg, Fe	As, Fe, Hg	-	-
sample B	-	Fe, Pb, Ca, Cr	Fe, Pb, Ti, Ca, Cr	-	Fe, Ca, Ti
sample C	Fe, Ti	Fe, Pb, Cr, Ti	-	Fe, Ti	-

3-3. Py-GC/MS 分析

次に、資料 A~C における合成樹脂や油脂の使用の有無を確認するために、各資料の表面から採取した試料片を用いて Py-GC/MS 分析を行った。一例として、資料 A のトータルイオンクロマトグラム、*m/z* 108 の抽出イオンクロマトグラム、*m/z* 60 の抽出イオンクロマトグラムを示す(Figure 5)。トータルイオンンクロマトグラムはいずれも複雑なスペクトルを示していたが、合成樹脂由来のピークは検出されなかった。次に漆種の同定をするために *m/z* 108 のイオンクロマトグラムを抽出したところ、いずれのスペクトルにおいても heptylphenol (P7)を中心とした山形のピーク群および、フェノールの側鎖末端にフェニル基を有する 3-(10-phenyldecyl)phenol (P10ph)、3-(12-phenyldodecyl)phenol (P12ph)のピークが観測された。このことから、資料 A に用いられた漆種は主成分が thitsiol であるタイ・ミャンマーに自生する *Gluta* 属であることが示唆され、自国の漆を使用したことが確認された。また、資料 B, C においても同様の結果が得られた。脂肪酸の同定に利用される *m/z* 60 の抽出イオンクロマトグラムに注目すると、早い流出時間において低級酸と見られるピーク群および、palmitic acid、stearic acid のピークが全試料から検出され、油脂成分が混入していることが明らかとなった。現地視察時に製作所でテルペン油が置いてあるのを何度か見たことから、艶出しや粘度調整のために漆に添加している可能性が考えられる。

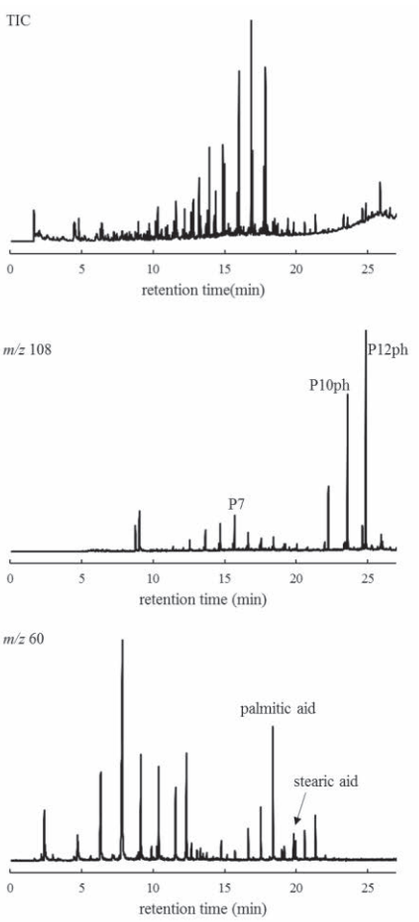


Figure 5. Py-GC/MS ion chromatograms of sample A (from above: total ion chromatogram, *m/z* 108, *m/z* 60)

火山地帯から産出した赤土素材のベンガラについて

Bengala made from red clay from a volcanic zone

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

はじめに

昨年度、筆者は群馬県渋川市にある金井東裏遺跡から出土した赤色顔料(5c 後半-6c 初)の分析報告に伴い、群馬県(一部神奈川県)内の 5c 後半-6c 前半の出土赤色顔料を含め計 18 遺跡 328 点の分析調査を行った。その結果、赤色顔料は全てベンガラと判断した。ベンガラのほとんどは特徴的な形態の粒子を含まないもの(ベンガラ(非 P))であった。しかし、一般的なベンガラ(非 P)とは異なり、石英等の不純物が多く含まれ、単体でみると単なる赤土に見え、通常であればベンガラと呼べるものではなかった。本発表では、この特徴的なベンガラ(非 P)に関する諸特徴を報告し、今後の出土赤色顔料研究の一助とするものである。なお、一部の資料については、永嶋正春(1993･1999)および藤根久(2008)による分析報告があり、その結果は本報告と整合している。

１.調査方法

目視観察、実体顕微鏡観察(7-100 倍)、生物顕微鏡観察(50-1000 倍)、蛍光Ｘ線分析(HORIBA XGT-5200,Rh,50kv,100s,SDD,100μm他)、Ｘ線回折(RIGAKU RINT UltimaⅢ,Cu,40kV,40mA,平行法)、ラマン分光分析(Bruker Optics SENTERRA,785nm,1or10mW,10or20s,2μm)を行った。

２.赤土素材のベンガラの特徴

外観　赤玉と呼ばれる直径約 7cm の泥団子状に成形されたものが特徴的である。6 遺跡(1,2,6,9,11,12)から出土している。県外では神奈川県横須賀市で出土しているのみである(11)。これらは一般的なベンガラに比べ赤みが弱く、砂礫も多く含んでいる。金井東裏遺跡では、同じ特長を持つ赤玉の破片や、塊状・粉状のもの、棒状礫に塗布された状態のものが多数出土している。古墳の横穴式石室内に塗布・散布されたもの(4,8)は、一般的なベンガラに近い色調であるが、少し白っぽく見える。実体顕微鏡の高倍率で観察すると白色の半透明鉱物を多数含んでいる(遺跡土壌の混入ではない)。埴輪に塗布されたものは、赤土様ではあったが、局所的、微量であったため十分な観察は困難であった。

元素組成　Al,Si,S,Fe を主成分としている。その他、As を含むものがある。

鉱物組成　石英を中心に赤鉄鉱と明礬石が同定された。埴輪のものは微量で、粘土や遺跡土壌の混入も多く、現状では明礬石を同定できていない。

３.まとめ

群馬県内を中心とする当該期の遺跡で顕著に採用されている赤土素材のベンガラは、外観や Fe,Al,Si 等の含有から土壌分野で言う赤色土や黄色土と考えられる。そして、S や As の含有および明礬石の同定から火山地帯で産出したものと考えられる。近隣であれば群馬県北西部、長野県との県境にある草津白根山周辺が産地として有望であろう(志賀 2019)。

赤土素材のベンガラは、赤玉の状態で流通していたと考えられ、そのまま祭祀に用いられたり、古墳に副葬されていた。またベンガラの素材として砕いて石室や埴輪に塗布されたと考えられる(杉山・志賀 2018)。その流通圏、全てが赤玉の状態で流通していたかどうか、赤玉の大きさや色調の濃淡が同一産地での時期差や工人差などを示すのか、複数の産地を示すのかなど未解明な部分も少なくない。今後も検討を重ねたい。

なお、赤玉の詳細は、杉山秀宏・志賀智史 2018「赤玉について～朱玉との比較から～」『群馬県埋文研究紀要』36、科学調査の詳細は、志賀智史 2019(予定)「金井東裏遺跡出土の赤色顔料について(2)」『金井東裏遺跡』群馬県埋文編を参照されたい。

※参考文献は紙幅の関係上、省略しました。お詫び申し上げます。資料調査では以下の機関にお世話になりました。群馬県埋文、安中市・伊勢崎市・太田市・群馬県・渋川市・高崎市・中之条町・前橋市・横須賀市の各教育委員会、天理参考館(順不同)。本研究には、科研費・基盤研究(C)25370906 および基盤研究(B)26284122 を使用しました。

No	遺跡名	遺跡所在	出土遺構・遺物	状態	調査点数	XRF(全点測定) ※括弧内は一部で検出	XRD ※括弧内は測定点数	Raman ※括弧内は測定点数
1	川端遺跡C区	中之条町	住居	赤玉	4	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(1)	
2	黒井峯遺跡	渋川市	住居出土二枚貝内	粉状・塊状	1	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(1)	
3	金井東裏遺跡	渋川市	掘立柱建物	赤玉	105	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(24)	
			住居出土棒状礫塗布	粉状	33	Al,Si,S,Fe,(As)他		石英,赤鉄鉱,明礬石(2)
			住居ほか	赤玉片	13	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(2)	
			住居ほか	粉状・塊状	約70	Al,Si,S,Fe,(As)他		石英,赤鉄鉱,明礬石(1)
			祭祀遺構出土土器内	粉状・塊状	1	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(1)	
4	簗瀬二子塚古墳	安中市	石室内塗布散布	粉状・塊状	1	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(1)	
			埴輪塗布	粉状	3	Al,Si,S,Fe,(As)他		
5	保渡田八幡塚古墳 井出二子山古墳 北畑3号墳	高崎市	埴輪塗布	粉状	3	Al,Si,S,Fe,(As)他		
			埴輪塗布	粉状	2	Al,Si,S,Fe他		
			埴輪塗布	粉状	2	Al,Si,S,Fe他		
6	中大類金井遺跡	高崎市	住居出土土器内	赤玉	1	Al,Si,S,Fe,As他		石英,赤鉄鉱,明礬石(1)
7	小島田清水谷1号墳	前橋市	周溝出土土器内	粉状・塊状	1	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(1)	
8	前二子古墳	前橋市	石室内塗布散布	粉状・塊状	1	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(1)	
			埴輪塗布	粉状	1	Al,Si,S,Fe他		
9	本関町C区2号墳 本関町8号墳	伊勢崎市	石室掘方	赤玉	15	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(3)	
			石室掘方出土礫付着	粉状・塊状	1	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(1)	
10	上野井古墳	太田市	埴輪塗布	粉状	2	Al,Si,S,Fe,(As)他		
11	天神横穴	横須賀市		赤玉	2	Al,Si,S,Fe,As他		石英,赤鉄鉱,明礬石(2)
12	(天理参考館)	伝群馬県		赤玉	2	Al,Si,S,Fe,As他	石英,赤鉄鉱,明礬石(1)	石英,赤鉄鉱,明礬石(1)

表１　赤土素材のベンガラ出土遺跡一覧

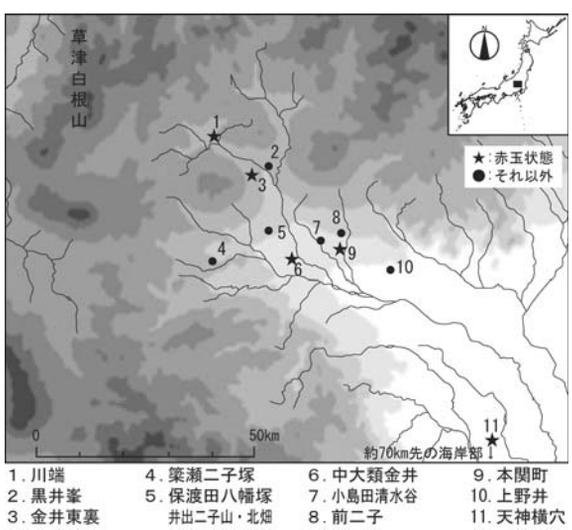


図１　遺跡分布（番号は表に対応）

図２　金井東裏遺跡・赤玉の出土状況（報告書より）

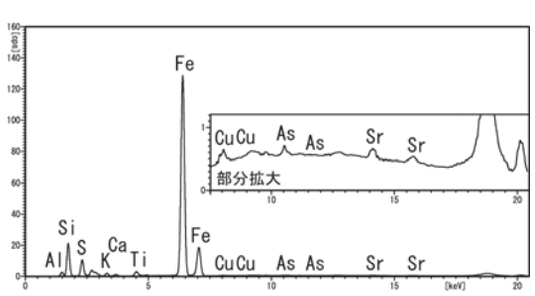


図３　金井東裏遺跡・赤玉の XRF スペクトル図

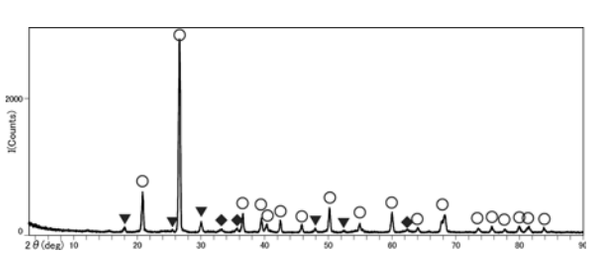


図４　金井東裏遺跡・赤玉のＸ線回折図
（○が石英、◆が赤鉄鉱、▼が明礬石）

東洋文庫モリソンコレクションの最初期「東方見聞録」ヨーロッパ各国語刊本の印刷と紙

Study of Printing and Paper of Early Printings of Marco Polo's "The Description of the World" published in various European Languages of Morrison Collection of Toyo Bunko

徐小潔（東洋文庫）、橘伸子（同）、○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）、岡田至弘（同）

XU Xiao-jie* , TACHIBANA Nobuko*（*Toyo Bunko）， ENAMI Kazuyuki**, OKADA Yoshihiro**（**Digital Archives Research Centre, Ryukoku University）

1：初めに

1450 年, Gutenberg による活字印刷の開始以来，ヨーロッパにもようやく印刷刊本の出版の時代が訪れた。以後 15 世紀後半に印刷，刊行された初期印刷刊本は今日インキュナブラ（揺籃本）として，世界の図書館の秘蔵するところとなっている。Gutenberg の 42 行聖書に使われた紙は，その耐久性に関して，今日までそれを越す紙は見られず，ヨーロッパにおける製紙術のモニュメントとなっているという[1]。アジアに比べていまだ幼稚なぼろ布を原料とする製紙術に沈んでいたヨーロッパにおける紙は以後どのような進展を見せるのか？インキュナブラ本に使われた用紙は，どのような紙が使われていたか，またその後の印刷はどのような進展を見たかを，東洋文庫モリソン文庫のマルコ・ポーロの「東方見聞録」の最初のラテン語訳（1485 年刊），1498 年刊イタリア語訳の 2 冊のインキュナブラを含む，1508 年刊イタリア語訳，1556 年刊最初のフランス語刊本，1611 刊最初のドイツ語刊本合計 5 冊の刊本について分析を試みた。比較のために，同時に 16〜17 世紀に出版されたヨーロッパ刊本の用紙との同異を検討した。

2：実験方法

用紙の分析は，従来われわれが採用している　Keyence VHX-500 デジタル顕微鏡を用いて，用紙の素材，モルフォロジー，また活字面を観察した。刊本のうち，朱色活字の見られるものについては，インクの組成を蛍光X線分析装置 NITON XL3 を用いて分析した。

3：結果と考察

(1) 用紙：上に紹介した Gutenberg 聖書の紙は当時のヨーロッパの紙の中で最上級の紙が使われたといわれているが，今回観察した「東方見聞録」刊本に使われた用紙は，決して上質の紙ではなかった。上記 1485 年刊東方見聞録ラテン語訳刊本の用紙は，肉眼でみても各所に“植物片”？と思われる断片また“ごみ”が見られた，Fig.1。1498 年刊イタリア語版もほぼ同じ用紙が使われている。フランス語版の用紙には，植物表皮断片が見つかっている。EMMANVELI（1575 年刊），ADICIONES（1577 刊）（豊島正之上智大学教授蔵）など以後の刊本用紙にも，比較的大

きな植物断片の存在が見られた。当時のヨーロッパでは植物繊維から直接紙を作る技術は存在せず，亜麻布を主体とするぼろ布が紙の原材料であった。現在市販のヨーロッパ産亜麻布の上質品と下級品とを得て，その組織を比較したところ，下級品には，フランス語版，また 16 世紀ヨーロッパ刊本の紙に見られたものと同様の亜麻表皮が少なからず存在する。Gutenberg 聖書には，“上質ぼろ布”を原料とした“高級用紙”，世俗刊本には，“下級ぼろ布”を原料とする紙が使われたことが伺われる。また，1611 年刊ドイツ語版（Leipzig 刊）には，“ワラ”表皮断片が見つかっている，Fig.2。2016 年本会第 33 大会で著者たちによる報告の“中国製ワラ紙”使用の Leipzig 刊本[2]のごく初期の例と考えてよい。

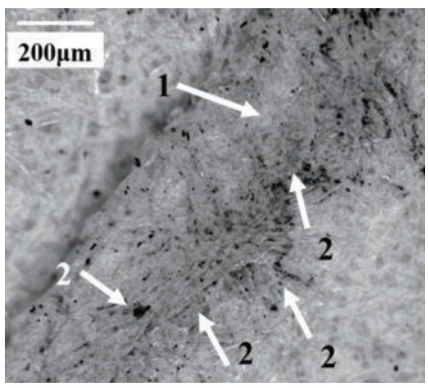


Fig.1 東方見聞録ラテン語版 1485 年刊用紙。
1 ：ぼろ布由の糸片。2 : 植物片，と “ごみ”。

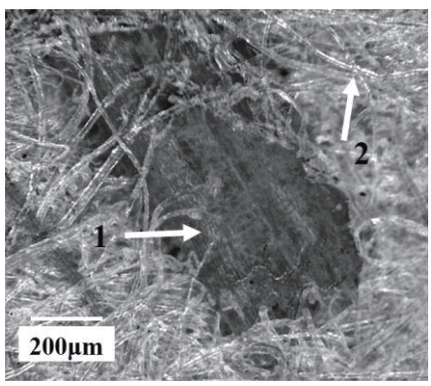


Fig.2 東方見聞録ドイツ語版 1611 年刊用紙。
1 : コムギ葉の表皮。2 : 典型的なわら由来繊維。

(2) 印刷：Gutenberg は最初の印刷から黒・赤 2 色のインクを用いていたが，巻頭の装飾文字は手彩色である。上のラテン語版の巻頭文字は赤色であるが，銅版の周囲が深く凹み装飾文字を銅版凸版として用いた跡が明瞭であり，同時か 2 回印字かの区別は不明であるが，印刷である。赤色インクの成分は蛍光X線分析から水銀朱であることが判明した。印刷面の顕微鏡写真を観察した結果を Fig.3 に示す。水銀朱の粒子は極めて粗く，油性インクに粗い水銀朱を混ぜそのまま用いたことが分かる。

中国・アジアのように，朱墨として固めたものをさらに硯で擦り細かい粒子として使う方法との違いは歴然としている。

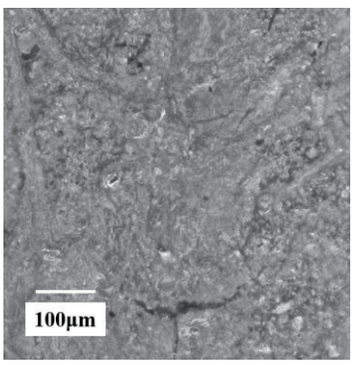


Fig.3 ラテン語版巻頭赤色装飾文字の印刷面

[1] Dard Hunter: “ PAPERMAKING The History and Technique of an Ancient Craft”, Dover, New York, 1978, Reprint edition

[2] 江南他：“16－18 世紀ヨーロッパ刊本に用いられた中国の紙”P-83，日本文化財科学会第 33 会大会要旨集，p.284

中国新石器時代の木材加工にみる刃こぼれの痕跡
—浙江省田螺山遺跡出土材の検討から—

Cut Marks with Stone Tools in Tianluoshan Site in Ziejiang, China

○村上由美子（京都大学）、浦 蓉子（奈良文化財研究所）、西原和代（京都大学）、
山下優介（東京大学）、川崎雄一郎（京都府教育庁）、鶴来航介（京都大学）、
孫 国平（浙江省文物考古研究所）、中村慎一（金沢大学）
Yumiko MURAKAMI, Yoko URA, Kazuyo NISHIHARA, Yusuke YAMASHITA,
Yuichiro KAWASAKI, Kosuke TSURUGI, SUN Guoping, Shinichi NAKAMURA

1. はじめに

中国新石器時代には、金属器を欠くにもかかわらず石器を用いてきわめて高度な木材加工がなされていた。我々は浙江省田螺山遺跡（紀元前 5000～3500 年）で出土した木製品について実測調査を行い、河姆渡文化期の木材利用や木工技術の解明を進めている（村上・鈴木 2017）。本発表では石斧による刃こぼれ痕に着目し、複数の方法による記録を踏まえて報告を行う。

2. 先行研究の整理と本発表の目的

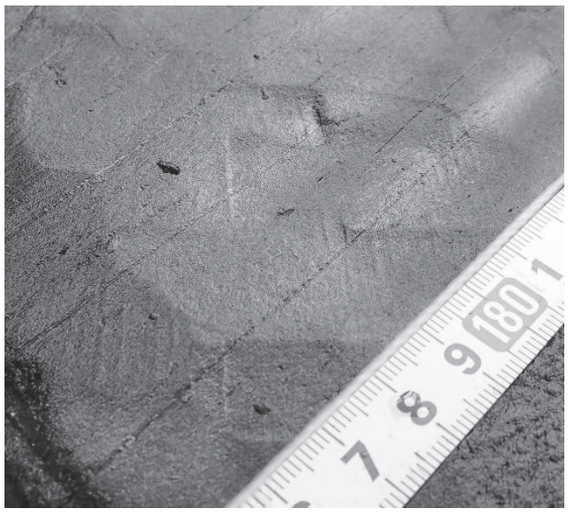
木器に残る加工痕、とりわけ刃こぼれ痕に着目した先行研究として、佐賀県菜畑遺跡の報告（唐津市教委 1982）や『弥生文化の研究』の論考（宮原 1988）があげられる。近世の杭に残る加工痕との比較から、金属器の使用を識別する上で「顕著な刃こぼれ痕」が注目され、弥生の工具鉄器化を捉える指標との論点も示された。その後は研究の停滞期を経て、近年ようやく鉄器化に関連して加工痕を再検討する機運が高まってきた（考古学研究会東海例会編 2017）。

出土材の加工痕研究が停滞するなか、イギリス先史時代の木工技術研究（Sands1977）の影響を受け、江戸時代の建築部材に残る刃こぼれ痕に着目した研究例が蓄積しており、シリコンを用いたレプリカの作成や別部材に残る同一工具の認定・工具形状変化の把握など、資料提示の方法や検討課題の設定において先駆的な試みがなされている（藤井 2004）。

本発表では、「顕著な刃こぼれ痕」は鉄器だけでなく石器を用いた場合にも生じることを示し、加工痕の議論を進める上で必要な資料提示の方法を再考する。

3. 資料の概要と記録の方法

【小型の加工材】第 7 層出土、長さ 9.8cm、厚さ約 4 cm の厚板状の加工材。端部を斜め方向に切断した面に顕著な刃こぼれ痕が複数認められる（写真左下、刃幅約 3.5 cm）。



【大型の柱材】現存長 262.8cm を測る角柱で樹種はフウと同定された（村上・鈴木 2017）。中心に樹芯を含む芯持丸木の木取りで、四面を石斧で平滑に削り出して角柱に加工している。加工痕はおおむね角柱の全面に残っており、部分的に顕著な刃こぼれ痕が認められる（写真）。

角柱の加工痕の記録にあたっては、ラップフィルムで覆った上から油性ペンでなぞり、それを実測図に反映させたほか、拓本・写真など他の方法も併用した。特に刃こぼれ痕が顕著な部位は、シリコンを用いてレプリカ法による記録も試みた。各種記録の活用により、木材とは別の場所で保管されている石斧との照合や、二次資料を持ち帰っての比較検討が可能となる。

4. 考察と課題

今回の資料提示により、顕著な刃こぼれ痕は石斧によっても生じるものであり、必ずしも鉄器使用の指標とはならないことが明らかとなった。今後は日本の出土木材でも石斧による刃こぼれ痕の事例を探索し、鉄器使用の場合と何らかの明らかな差異が認められるかどうか検討を進めるとともに、中国における石器、青銅器、鉄器それぞれの加工痕に関する情報を蓄積し、利器の材質や形状による加工特性の差に関して理解を深めていく必要がある。また、そうした理解を共有するための加工痕の記録法についても、さらに工夫を重ねていきたい。

《引用・参考文献》

唐津市教育委員会 1982『菜畑遺跡』唐津市文化財調査報告書第 5 集

考古学研究会東海例会 2017『木製品からみた鉄器化の諸問題』

藤井裕之 2004「木質古文化財に残る「刃こぼれ痕」について」『日本文化財科学会第 21 回大会研究発表要旨集』

宮原晋一 1988「石斧、鉄斧のどちらで加工したか」『弥生文化の研究』10

村上由美子・鈴木三男 2017「浙江省田螺山遺跡で出土した新石器時代の木製品の調査」『植生史研究』第 26 巻第 2 号

Sands, R. 1997, *Prehistoric Woodworking*. The Institute of Archaeology, UCL.

石造菩薩頭部彩色の自然科学的調査

Scientific investigation for paint layers on the head of the bodhisattva

○高嶋美穂（国立西洋美術館）、谷口陽子（筑波大学）、中川原育子（名古屋大学）、熊澤雄基（(一財)日本皮革研究所)、多賀祐喜（(株)ニッピ バイオマトリックス研究所)、服部俊治（(株)ニッピ バイオマトリックス研究所）
○Miho TAKASHIMA (The National Museum of Western Art, Tokyo), Yoko TANIGUCHI (University of Tsukuba), Ikuko NAKAGAWARA (Nagoya University), Yuki KUMAZAWA (Japan Institute of Leather Research), Yuki TAGA (Nippi Research Institute of Biomatrix), Shunji HATTORI (Nippi Research Institute of Biomatrix)

1. はじめに

本像（**図 1**）は、2017 年に一宮市博物館に寄贈された石造菩薩頭部 1 躯（総高 45.5 cm）である。一見して隋時代の仏像の特長を持っているが、従来知られている作例と大きく異なる点がみられ、来歴に関する情報もないので年代について判断を下すことが難しかった。一方で仏頭には残存状態が良くないものの多彩色の装飾が認められ、そこが特徴でもあった。そこで、仏頭の製作技法を明らかにし製作時期の推定の根拠とするために、自然科学的分析を行った。

2. 調査

2-1. 紫外線、赤外線による調査

2-2. 蛍光 X 線による調査

機器：Niton 社製 XL3t。測定：Soil モード、測定範囲：8mmφ、測定時間：120 秒／箇所。

2-3. 微小試料を用いた分析

2-3-1. 試料の採取

左耳中央(S1、肌色)、右耳付け根(S2、青色)、右耳の耳環（S3、茶色)、右耳上方の冠帯の下（S4、緑色)、左耳の上（S5、青色）の 5 か所から採取。試料大きさは長辺が約 500 μm～1 mm、1 か所につき数個採取した。そのほかに剥落箇所不明の剥落片数片（S6）を採取した。

2-3-2. 絵具層の構造と顔料組成の分析

S1～S5 の試料をポリエステル系樹脂（冷間埋込樹脂 No.15/丸本ストルアス株式会社）に包埋、断面を研磨してクロスセクション（絵具層断面）を作成。偏光顕微鏡像と紫外線蛍光像の観察と、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置付属の走査型電子顕微鏡（SEM-EDX）（日本電子株式会社製 IT-100LA 型）を用いて反射電子像の観察と顔料の同定を行った。

分析条件：カーボン蒸着、試料室内は高真空、加速電圧 15～18 kV、WD10 mm、測定時間は 100 秒（ただし、元素マッピング分析の場合は 5～10 分程度)。

2-3-3. GC/MS による膠着剤の分析

分析試料：S2～6。油、蜜蝋、樹脂の同定を行った。試料はトルエンと TMTFTH（3-(Trifluoromethyl) phenyltrimethylaminium hydroxide, 5%メタノール溶液, TCI 製）の混合液によりケン化、メチル化を行った（Mazurek et al., 2014)。

Agilent technologies 社製 7820AGC system/5977B MSD。注入口温度：300℃、注入：スプリットレス法（1 分後パージ)、注入量：1μL、カラム：DB-5 ms、カラム温度：50℃(2 分保持)、20℃/分で 230℃まで昇温（5 分間保持)、10℃/分で 325℃まで昇温（15 分間)、35℃/分で 350℃まで昇温(0 分間保持)、キャリヤーガス：ヘリウム、1.2 mL/分、トランスファーライン温度：320℃、イオン化法：EI、イオン化電圧：70 eV、イオン源温度：320℃。

2-3-4. LC/MS による膠着剤の分析

分析試料：S1。膠の分析はⅠ型コラーゲン由来のマーカーペプチドを用いて行った。詳細は既報（熊澤ほか, 2017）を参照。

3. 結果

3-1. 紫外線、赤外線による調査

彩色層表面の多くの部分にある茶色の有機物質様のものが紫外線励起蛍光を生じた。

3-2. 蛍光 X 線による調査

SEM-EDX を用いた顔料分析の結果と一致。

3-3. 微小試料を用いた分析

3-3-1.　絵具層の構造と顔料組成の分析
下塗りはカオリナイトを主成分とする白色で、彩色層が複層存在するが、下塗り以外はS1からS5間で層の構造に共通性がない。また、彩色層にカオリナイトを多用していること、S3以外では彩色層の数が多いこと、S2～5には茶色の有機物質様のものを含む層がある点が特徴である。この茶色の物質は彩色層表面に確認され紫外線調査時に蛍光を生じた物質と考えられた。青は不純物が少ないラピスラズリ､緑はエメラルドグリーンと塩化銅(図2)、赤は鉛丹とオーカーと推定された。
3-3-2.　GC/MSによる膠着剤の分析
S4からはスベリン酸、アゼライン酸、パルミチン酸、ステアリン酸が検出され、乾性油が使用されていると考えられた。他4サンプルでは油、蜜蝋、樹脂は同定できなかった。したがって、茶色の有機物質様のものの一部は乾性油と推定されるが、他は不明である。
3-3-3.　LC/MSによる膠着剤の分析
S1からはマーカーペプチドが検出できず、膠の同定はできなかった。膠が含まれていない可能性と、顔料や経年による影響により膠の検出ができなかった可能性がある。

4.　考察

分析結果のうち特記すべきはS4とS5のエメラルドグリーン、S2とS5に含まれていたバライトで、前者の合成法の発見は1814年（Estaugh et al., 2004)、後者の絵画への使用開始年代も18世紀末とされていることから（Harley 1982)、本像の制作年代とされる隋時代と矛盾する。これらの顔料が含まれる層は彩色層のうち下方の層であり、後世に補彩された箇所とは考えにくく、彩色部分は後世につけられたものと判断した。

美術史的観点からは、宝冠の化仏の数が7体と極めて特異であること、宝冠内部の文様表現の平板さと雑な処理、バランスの悪さ、背面の処理などから贋作の可能性が疑われた。しかし一方で本像は、宝冠の側面に鳥翼をつけるタイプの鳥翼冠と三日月宝冠の組み合わせ、宝冠内の縦位輪つなぎ唐草文など西方色の強い要素を持っており、隋という時代背景に合致している。このことから、彩色は後補のものと判明したものの、彫刻そのものについての真贋の判断は現時点では留保することとした（谷口, 高嶋, 中川原, 2018)。

図1　石造菩薩頭部（一宮市博物館所蔵）

文献
熊澤雄基、多賀祐喜、高嶋美穂、服部俊治。高速液体クロマトグラフ質量分析装置を用いたコラーゲンマーカーペプチドによる膠の由来動物種の同定、第39回保存修復学会要旨、2017
谷口陽子、髙嶋美穂、中川原育子。一宮市博物館像石造菩薩頭部彩色の分析､帝京大学文化財研究所研究報告17、2018
Estaugh, N., Walsh, V., Chaplin, T., Siddall, R., Part 1. A Dictionary of Historic Pigments ,*Pigment Compendium,* Elevier Butterworth-Heinemann, p.155, 2004.
Harley, R. D., 12.Whites, *Artists' pigments c.1600-1835*, Archetype Publications, p.174, 1982.
Joy Mazurek Marie Svoboda, Jeffrey Maish, Kazuki Kawahara, Shunsuke Fukakusa, Takashi Nakazawa, Yoko Taniguchi, Characterization of Binding Media in Egyptian Romano Portraits using Enzime-Linked Immunosorbant Assay and Mass Specrtometry, e-Preservation Science11, 2014, 76-83.
謝辞：本発表は、文部科学省科学研究費補助金「美術作品や歴史資料における彩色の膠着材の同定―複数の分析法からのアプローチ（課題番号：16K01187）研究代表者：高嶋美穂」の成果によるものである。

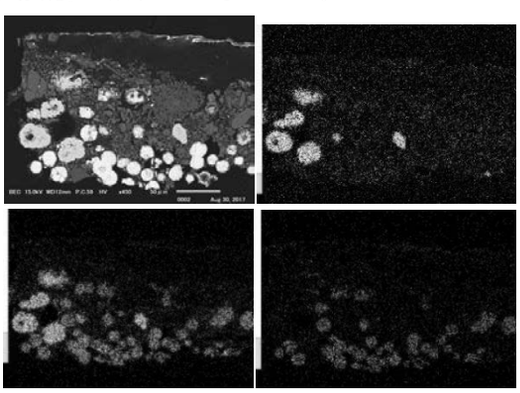


図2　S4の反射電子顕微鏡像（BSE）（左上）およびマッピング像。Cl K(右上)、Cu K（左下)、As K（右下）

14 世紀モンゴル帝国フグノタラニーン・ウグンヒード寺遺跡の顔料調査（Ⅰ）

A Study On Pigments Excavated From Mongol 14C Temple（Ⅰ）

○柳成煜(奈良文化財研究所)、ウラムバヤル エルデネバト(モンゴル国立大学)、チョルーン(モンゴル歴史考古学研究所)、メンドバザル オユントルガ(奈良大学)、今津節生(同左)

○Sungwook Ryu (Nara National Research Institute for Cultural Properties)、Ulambayar Erdenebat (National University Of Mongolia), Chuluun(Institute of History and Archaeology of the Mongolian Academy of Sciences), Oyuntulga Mendbazar(Nara University), Setsuo Imazu(Nara University)

１．はじめに

２０１７年度にモンゴル国立大学から彩色顔料のサンプルを提供してもらい、分析を実施した。このサンプルはモンゴル国ボルガン県ラシャーント村の 紀元後１４世紀のモンゴル帝国時代に建てられたフグノタラニーン・ウグンヒード寺遺跡から出土された。発掘はモンゴル歴史考古学研究所、フランス文化考古学研究所、ドイツのボン大学の共同調査で２０１７年８月１日から１２日まで行われた。サンプルは赤、青、緑、白、黒の色が彩色された建物の破片であった。顔料の調査には実体顕微鏡観察、蛍光 X 線分析を実施した。

２．遺跡情報と分析対象

分析試料はウランバートルから南西に２５０km はなれたボルガン県ラシャーント村フグノタラニーン・ウグンヒード寺遺跡から採取した。このサンプルは中央寺の北側にある３つの部屋の内一番大きな部屋より、彩色されたレンガ壁から採取した。色の種類は 赤、青、緑、白、黒で、サンプル名は KF032, KF033, KF034, KF035, KF036, KF037 である。

３．分析方法

奈良文化財研究所の実体顕微鏡(LEICA 製)による遺物の観察、同研究所の蛍光 X 線分析装置(EDAX 製、EAGLEⅢ)による成分分析を実施した。蛍光 X 線分析の条件は電圧４０kV、電流３０μA、測定時間３００秒、ターゲット Rh、真空である。

４．分析結果

実体顕微鏡の観察結果、KF032 では赤と白、KF033 では白、KF034 では緑、黒、赤、白、KF035 では赤と白、KF036 では青、KF037 では赤と白の顔料が確認できた。蛍光 X 線分析結果は次のとおりである。KF032 の赤色顔料の分析結果では鉛、鉄、硫黄、ケイ素、砒素が検出された。３ケ所の測定結果からこの赤色顔料は鉛(Pb)系列の鉛丹と推定した。白色顔料の分析結果では主にケイ素とアルミニウムが検出されてこの白色顔料は白土と推定した。KF033 の白色顔料はカルシュウム、ケイ素、硫黄、マグネシウム、鉄などが検出された。カルシウムと硫黄の検出と成分比からこの顔料は石膏(Gypsum)と推定した。KF034 の黒色顔料は鉄、ケイ素、カルシュウム、アルミニウムなどが検出された。しかし出土状況などから考えるとこの成分は顔料ではなく土の成分とみられる。そのためこの黒色は炭素系と推定した。緑色顔料は銅、鉄、ケイ素、カルシュ

ウムなどが検出された。この結果から銅を主成分とする孔雀石(Malachite)と推定した。赤色顔料は鉄、ケイ素、カルシュウム、アルミニウムなどが検出され、この結果から鉄を主成分とするベンガラと推定した。白色顔料はケイ素、アルミニウム、カリウム、鉄などが検出され、この結果から白土と推定した。KF035 の赤色顔料は鉛、硫黄、ケイ素などが検出され、この結果から鉛を主成分とする鉛丹と推定した。白色顔料はカルシュウム、ケイ素、鉄、カリウムなどが検出され、カルシュウムを主成分とする炭酸カルシウムと推定した。KF036 の青色顔料の分析結果は銅、ケイ素、鉄、カルシュウム、カリウムなどが検出され、この結果から銅系の藍銅鉱(Azurite)と推定した。 KF037 の赤色顔料は水銀、硫黄、ケイ素、鉄などが検出され、この結果から朱と推定した。白色顔料はケイ素、アルミニウム、カルシュウム、鉄などが検出され、この結果から白土と推定した。

５．考察

今回の分析で赤、黒、白、青、緑の顔料を調査した結果、赤色の場合、ベンガラ、鉛丹、朱の３種類が検出された事が注目できる。白色の場合は炭酸カルシウム系の顔料と白土、石膏の３種類が検出された。その他にも孔雀石、藍銅鉱、炭素系黒色などが検出された。今回の調査では限られた場所で一つの色ごとに多種類の顔料が使用された事が確認できた。この結果より、紀元前の匈奴時代から時代別に登場してきた顔料が１４世紀になって顔料の種類に限らず用途によって一般的に使用されたことへの推察に至った。

		Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe	Cu	Hg	Pb
KF032	Red1-1	–	4.46	16.66	31.00	–	15.13	0.76	11.33	–	1.59	7.83
	Red1-2	–	3.50	11.17	38.99	–	6.00	0.18	2.68	–	7.33	19.73
	Red1-3	–	3.78	13.73	38.34	–	5.15	0.20	1.60	–	7.23	20.47
	White1-1	–	24.27	47.68	–	10.01	7.53	0.69	5.33	–	–	0.24
	White1-2	–	24.68	48.78	–	11.29	3.82	0.84	5.51	–	–	0.25
	White1-3	–	24.23	47.53	–	10.45	3.21	0.86	9.00	–	–	0.29
KF033	White1-1	30.19	6.53	20.76	–	2.58	30.07	0.74	7.95	–	–	1.17
	White1-2	23.48	5.86	19.27	–	2.91	37.54	1.54	7.70	–	–	1.71
	White1-3	21.84	5.54	18.39	8.62	3.97	28.47	0.69	9.56	–	–	2.93
kF034	Black1-1	–	11.77	40.20	–	–	17.19	2.05	10.97	8.40	–	–
	Black1-2	–	13.33	48.77	–	–	17.00	0.88	5.90	5.91	–	–
	Black1-3	–	12.32	41.58	2.86	4.39	20.51	1.00	10.69	3.58	–	–
	Green1-1	–	–	18.95	–	–	9.18	–	8.96	40.61	–	–
	Green1-2	–	–	9.07	–	–	7.44	–	7.57	48.29	–	–
	Green1-3	–	–	35.35	–	–	18.66	–	13.17	16.83	–	–
	Red1-1	–	12.44	51.53	–	3.17	7.64	0.76	24.16	0.16	–	–
	Red1-2	–	11.92	41.08	–	2.99	8.57	0.83	34.23	0.23	–	–
	Red1-3	–	12.45	51.23	–	3.45	12.52	0.91	19.06	0.26	–	–
	White1-1	–	27.37	52.31	–	10.84	2.98	0.45	5.83	0.13	–	–
	White1-2	–	26.66	49.65	–	10.52	4.99	1.51	6.42	0.16	–	–
	White1-3	–	27.18	51.51	–	10.97	4.68	0.74	4.64	0.14	–	–
KF035	Red1-1	–	–	10.08	38.95	1.41	5.65	–	5.72	–	–	38.20
	Red1-2	–	–	4.87	38.93	0.61	2.99	–	4.13	–	–	48.47
	Red1-3	–	–	11.44	36.84	3.47	5.76	–	7.62	–	–	34.88
	White1-1	–	–	34.44	1.55	13.13	33.49	–	15.86	–	–	1.53
	White1-2	–	–	22.06	1.35	12.67	44.86	–	17.88	–	–	1.18
	White1-3	–	17.02	45.39	–	16.07	7.69	–	13.83	–	–	–
KF036	Blue1-1	–	–	35.54	–	5.53	3.88	–	6.47	44.55	–	4.03
	Blue1-2	–	–	26.80	–	2.46	3.57	–	3.21	57.49	–	6.48
	Blue1-3	–	–	49.36	–	10.44	8.37	–	9.60	19.12	–	3.11
KF037	Red1-1	–	–	14.44	38.33	5.40	17.52	0.92	8.04	–	15.36	–
	Red1-2	–	–	13.78	45.76	4.08	14.96	0.75	6.15	–	14.51	–
	Red1-3	–	–	12.85	51.27	2.57	8.63	0.42	5.11	–	19.16	–
	White1-1	–	15.45	35.97	–	23.06	13.01	1.06	11.45	–	–	–
	White1-2	–	21.74	55.44	–	9.60	6.29	1.30	5.62	–	–	–
	White1-3	–	24.76	50.70	–	11.92	5.61	–	7.02	–	–	–

「失鉛法」の実験考古学的研究

Experimental archaeological research of “Lost lead casting”

○丹羽崇史（奈良文化財研究所）、三船温尚（富山大学）、長柄毅一（富山大学）
○NIWA Takafumi(Nara National Research Institute for Cultural Properties), MIFUNE Haruhisa (University of Toyama), NAGAE Takekazu (University of Toyama)

1. これまでの研究経緯と問題の所在

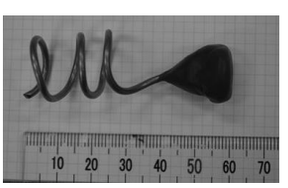
春秋戦国時代は、それまでとは異なった形態・紋様の青銅器が出現するとともに、新たな青銅器製作技術が出現したことが明らかになっている（蘇ほか1995，江村2000）。この時期には「曾侯乙」尊盤や淅川下寺2号墓出土銅禁など、非常に複雑な楼空（透彫）状装飾の青銅器が出現し、その製作方法をめぐっては、失蝋法（蝋型法）説をはじめ、鉛などの金属原型を溶かして鋳型を作ったとする説、あるいは蝋や金属のような消失原型を用いなくても製作可能とする説など、さまざまな見解が提示されてきた（丹羽2008）。

こうした先行研究を踏まえ、丹羽は共同研究者らとともに、蝋・金属・木など複数の原型素材を用いて同一形状の鋳造試料（テストピース）を製作する実験を実施し、錫製の原型から鋳型をつくり、製品を鋳造することが可能であること、また用いる原型素材によって製作品の表面状態に差異が生じることなどを明らかにした（丹羽他2013・2014）。前回の実験では安全上の理由から鉛ではなく錫を金属原型としたが、今回は先行研究で想定されていた鉛原型を用いた「失鉛法」による鋳型製作実験を実施した。先行研究では実際に鉛や錫鉛合金を原型として鋳造を行った事例もあるが（張2001、李2008）、詳細な実験の記録は公表されてはいない。そのため、今回の実験では工程を詳細に記録するとともに、「失鉛法」で製作した製品や用いられた鋳型にどのような特徴が残るかを明らかにするため、それらの自然科学分析も実施した。

2．「失鉛法」による鋳型製作実験

実験は2016年12月17･18日、富山大学芸術文化学部にて実施した。

原型は幅2㎜の螺旋状鉛線を用い、９点の鋳型を製作した。原型を鋳物土でくるみ、炭火で約30分、重油炉で４時間半にわたり燃焼し、原型溶解（脱鉛）を試みた。結果９点のうち、１点は壊れたが、８点は脱鉛による鋳型製作に成功した。このうち４点は鋳型のまま保管し（以下、１～４鋳型とする）、残りの４点を銅錫の二元合金（Cu78%、Sn22%）を用いて鋳造し、製品を製作することができた（以下、５～８鋳型、５～８鋳造品とする）。



鉛原型（湯口部分はワックス）

脱鉛を経た鋳型

3．製品・鋳型の自然科学分析

鉛原型から製作した鋳型で鋳造した製品、ならびに鋳型に残る鉛の分布等の特徴を明らかにするため、鋳型・鋳造品の蛍光X線、電子顕微鏡による分析を実施した。分析は富山大学長柄研究室で行った。

（1）分析１　蛍光X線

使用機器：アワーズテック100FA型

測定条件：管電圧40kV、管電流0.5mA、ターゲットPd、X線照射径 3㎜Φ以下、大気雰囲気中、測定時間100s

○**５鋳型（鋳造済）**：鋳型断面の①外部分（真土）、②内側部分を測定。

①：Cu、Pb、Zn などを検出

②：Cu、およびPb（少量）を検出

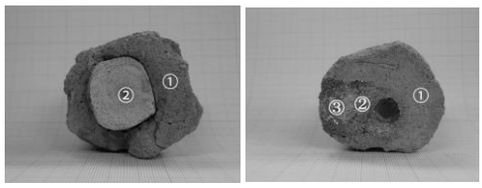
○**３鋳型（未鋳造）**：①真土部分、②③ガラス化した鉛（脱鉛痕）部分を測定。

①：Cu、Pb、Zn などを検出

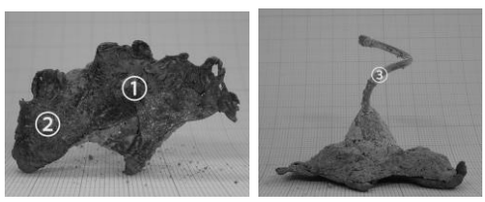
②③：Pb を検出

○**５鋳造品**：①湯口中央付近、②湯口周辺部分、③螺旋部分（鋳造品本体）

①②③：Cu、Pb、Sn、Zn を検出



蛍光X線測定箇所　左：５鋳型　右：３鋳型



蛍光X線測定箇所　５鋳造品

（２）分析２　電子顕微鏡

使用機器：日立ミニスコープ TM3000、オックスフォードインストゥルメンツ SwiftED3000

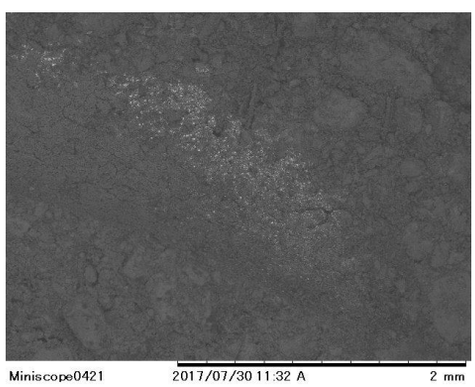
測定条件：加速電圧 15 kV

○**９鋳型（螺旋部分の残った鋳型片）**

螺旋状部分に集中して斑点状の痕跡が残る（点状分布）。Pb を検出。螺旋部分以外からは Pb 検出なし。

○**９鋳造品**

鋳造品表面に鉛の付着を確認した。さらに断面観察から、鋳造品内部に鉛が入っていることも確認できた。



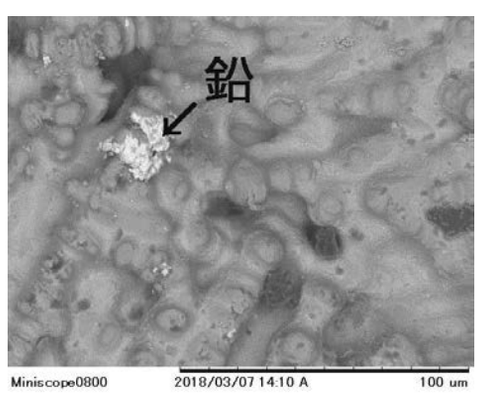
９鋳型　螺旋部分の SEM 像

螺旋状部分に斑点状の痕跡（鉛）

４．まとめ

今回の実験・調査により、鉛原型を用いて鋳型製作、ならびに製品の鋳造が可能であることを改めて明らかにした。また、実験で用いた鋳型表面、および鋳造品の表面や内面に鉛が付着していることを確認し、「失鉛法」による製作品・鋳型の特徴が明確となった。今後は出土青銅器のデータとの対比を進めていきたい。

本報告は科学研究費 JP16H05946、JP16H01918 による成果の一部である。実験にご協力いただいた鈴木舞氏（学習院大学東洋文化研究所）、堀内快氏、渡辺貫太氏、隠岐まこ氏（富山大学学生）に感謝いたします。



９鋳造品　表面の SEM 像

残留鉛が見られる

引用文献

江村治樹 2000『春秋戦国秦漢時代出土文字資料の研究』汲古書院，丹羽崇史 2008「中国における失蝋法の出現をめぐる学史的検討 - 東アジアにおける失蝋法の出現と展開に関する研究序説(1)－」『FUSUS』1，丹羽崇史・新郷英弘・八木孝弘・樋口陽介 2013「中国青銅器の製作技法解明のための実験考古学的研究―曾侯乙墓出土尊盤の調査から―」『日本文化財科学会第 30 回大会研究発表要旨集』，丹羽崇史・新郷英弘・樋口陽介・八木孝弘 2014「中国青銅器の製作技法解明のための実験考古学的研究（２）」『日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集』，李志偉 2008「有関曾侯乙尊盤鋳造方法的証明 - 論中国青銅時代的熔模鋳造」『南方文物』2008 年第 2 期，蘇栄誉・華覚明・李克敏・盧本珊 1995『中国上古金属技術』山東科技出版社，張光遠 2001「中国最早「失鑞法」-春秋中期「蛇網蓋冠龍虎方壺」的鋳法論証」『海峡両岸春秋鄭公大墓青銅器学術研討会論文集』國立歷史博物館

重要文化財　泉穴師神社本殿の彩色調査

Research of Architecture Paintings of Main Hall at Izumianashi-jinja Shrine, a National Important Cultural Property

○多田牧央（川面美術研究所）、森正和（龍谷大学）
○Makio TADA (KAWAMO Art Research Institute), Masakazu MORI (Ryukoku University)

1. はじめに

大阪府泉大津市豊中町に所在する泉穴師神社本殿（以下、本社）は、慶長七年（1602）の再建で、桁行三間、梁間二間、三間社流造、正面千鳥破風二カ所付、檜皮葺、南面である。ただし、外陣天井装置・欄間・垂木等に文永十年（1273）建築の前身建物の部材が再用されている。昭和二十四年（1949）二月十八日、重要文化財に指定された（附棟札 5 枚）。

平成二十六年（2014）七月から平成二十九年（2017）三月まで、有限会社川面美術研究所（代表取締役荒木かおり）は、重要文化財泉穴師神社本殿ほか 2 棟保存修理工事において、本社・住吉社・春日社の全面的な塗り直しを主な内容とする塗装工事を担当した。ただし本社内外陣境の板絵 1 面（旭に松図）と扉絵の外陣側 4 面（稚松に鶴図）については剥落止め（合成樹脂除去含む）及び補筆、扉絵の内陣側 4 面（神像図）については剥落止め（合成樹脂除去含む）であった。また蟇股等彫刻・組物・板絵・扉絵の復元見取図作製のための彩色調査の一環として、無機顔料分析に係る蛍光X線分析（XRF）と顕微鏡観察を実施した。本発表は、その結果を基に、本社板絵・扉絵彩色の成立背景を考察するものである。

2. 修理履歴

彩色塗装に関する修理記録は乏しい。近世の彩色修理については、貞享三年（1686）の棟札写に記録を見出せるが、詳細は明らかでない。

昭和三十三年（1958）の解体修理では、明治期のものと推定された本社外部彩色塗装が大きく塗り替えられたが、当時の復元根拠や修理仕様は明らかでない[i]。ただし本社内部の板絵・扉絵は塗替えを免れ、合成樹脂による剥落止め[ii]と全面的な補筆を経たと推定される。

昭和五十三年（1978）八月、火災により本社は甚大な被害を受け、彩色塗装も消火放水により剥落した。その災害復旧として、昭和五十四年修理工事が実施された[iii]。本社内外陣境の板絵・扉絵両面は、合成樹脂によって再び剥落止めされた[iv]。

3. 材料分析の方法

①蛍光X線分析	OURSTEX 100FA、アワーズテック株式会社、管電圧 40kV、管電流 Auto 設定、測定時間 200 秒、大気中
②実体顕微鏡観察	StemiDV4SPOT、Carl Zeiss、8・16・32 倍
③光学顕微鏡観察	HANDY MICROMETER TS-HM-120、株式会社杉藤、120 倍

4. 結果と考察

4-1. 目視観察

板絵及び扉絵外陣側は、現状塗膜の下に、現状と一連のものではない塗膜の遺存や図様の痕跡が観察された。よって現状の板絵及び扉絵外陣側は、少なくとも慶長七年に遡るものではなく、数次に亘り手を加えられたと考えられる。現状の板絵と扉絵外陣側の作画は似ており、同時同工のものと推測される。

扉絵内陣側の表現は、板絵及び扉絵外陣側の表現とは異質で、制作者が異なると推測される。扉絵内

陣側金地上に、制作者の署名として墨書「神祇□川□位殿内／笹伊勢守陳畫」等があり、朱文方印の落款を模して「□陳」が描かれていた。しかしながら制作者の素性は未だ詳らかでない。扉絵内陣側4面は、それぞれ背景の林の描写や衣裳表現に個別性が観察されることから、工房制作の可能性が考えられる。過去に塗り替えを経た痕跡を認めなかったので、現状の板絵及び扉絵外陣側より古いと考えられるが、慶長七年まで遡る確証は得られなかった。

4-2. 材料分析

本社扉絵の各色相の推定顔料を内陣側と外陣側に分けて表 1 に纏めた。また本社板絵の各色相の推定顔料を昭和三十三年修理前後に分けて表 2 に纏めた。

表 1 と表 2 の緑色と青色の推定顔料に注目すると、扉絵外陣側と板絵で類似性が高い一方、扉絵内陣側は一致していない。したがって制作者や制作年代について扉絵外陣側と板絵が近い関係にある一方で、扉絵内陣側がそれらとは遠い関係にあることが、顔料分析の結果からも補強することができた。

板絵及び扉絵外陣側では、花緑青 $Cu(C_2H_3O_2)_2 \cdot 3Cu(AsO_2)_2$ の使用が推定された（図 1）。花緑青は日本において 19 世紀以降に導入された顔料であると考えられるので、現状の板絵及び扉絵外陣側の成立は 19 世紀以降に比定される。

また扉絵内陣側では、スマルト $SiO_2 \cdot K_2O \cdot CoO$ の使用が推定された（図 2）。スマルトは日本において 17 世紀から 19 世紀にかけて使用された顔料であると考えられるので、扉絵内陣側の成立は 17 世紀から 19 世紀に比定される。

表1　本社扉絵における使用顔料（推定）

色相	扉絵外陣側	扉絵内陣側
白色	胡粉	胡粉
黒色	墨か	墨か
赤色	朱	鉛丹と朱
茶色	–	ベンガラ
緑色	花緑青／新岩緑青	岩緑青
青色	不明（Fe系／Co系）	スマルト
金色	金箔	金箔

表2　本社板絵における使用顔料の変遷（推定）

種類（色相）	昭和三十三年度修理前	昭和三十三年度修理
白色下地	胡粉下地か	不明
金地	黒漆に金箔	黄土と黄鉛か
太陽（赤色）	鉛丹と朱か	ベンガラか
松葉叢（緑色）	花緑青か	花緑青と新岩緑青か
松針葉（緑色）	花緑青か	花緑青と新岩緑青か
松幹（茶色）	–	ベンガラか
松荒枝（黒色）	墨とベンガラか	墨か
土坡（緑色）	花緑青か	–

注：「不明」は分析を実施したが顔料の種類を推定できなかったことを示し、「–」は分析を実施していないことを示す。

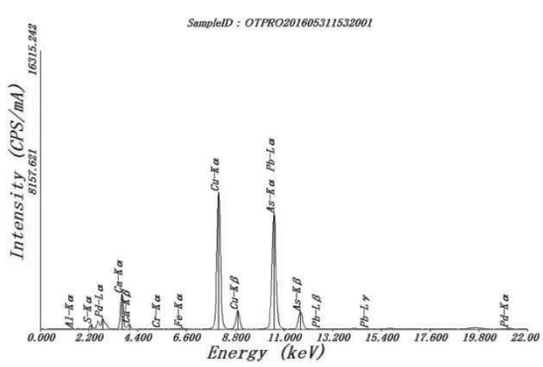


図 1　板絵緑色（花緑青）の蛍光 X 線分析結果

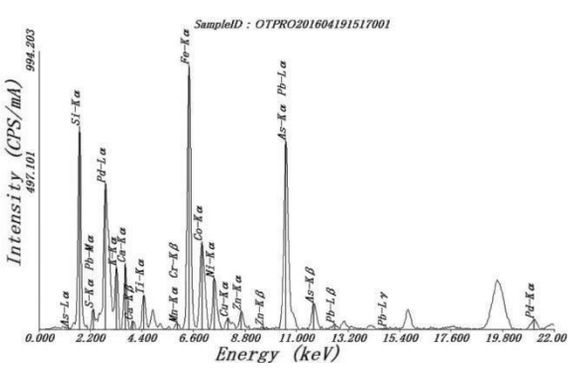


図 2　扉絵内陣側青色（スマルト）の蛍光 X 線分析結果

[i] 大阪府教育委員会編集『重要文化財泉穴師神社々殿修理工事報告書』、大阪府教育委員会、昭和三十三年

[ii] 早川典子・酒井清文・山中勇人・川野邊渉「ポリビニルアルコール分解酵素の彩色・絵画修復への適用」、『文化財保存修復学会第 39 回大会研究発表要旨集』、平成二十九年

[iii] 昭和五十四年修理銘板「重要文化財泉穴師神社本殿修理記」（本社外陣に設置）

[iv] 修復技術部「昭和 54 年度修復処置概報」、東京国立文化財研究所編『保存科学』No.19、昭和五十五年

中世イングランドにおける銀貨の組成について

On the metallic composition of silver pennies in medieval England

○松園菜穂(福岡市埋蔵文化財センター)・比佐陽一郎(同左)・鶴島博和(熊本大学)
Naho Matsuzono・Yoichiro Hisa (Fukuoka City Archeology Center)
Hirokazu Tsurushima(Kumamoto University)

１．はじめに

貨幣を他の貴金属から区別する特徴は、貨幣がそれ自体の「顔」と「体」を持つことである。「顔」とは意匠であり、「体」とは形態と量目と品位である。この「顔」と「体」の二つの特性が、現代の国家のような強力な権力機構をもたない前近代において、貨幣が人々に受け入れられ、流通した「秘密」であった。

今回は、7世紀後半から16世紀前半までの中世ヨーロッパにおいて、基準通貨的な役割を担った、イングランドのペニーと称された銀貨を対象として、その品位についての定性分析を行い、金属組成という質の側面から銀の品位を検証し、ヨーロッパ全域でペニー貨が受容され流通した「秘密」の一端を示したい。そのために金貨が消滅した7世紀から８世紀後半の初期ペニー、ピピン・シャルルマーニュの改革と連動した移行期のペニー、エドガー以降の改革ペニー、そして13世紀後半以降のより権力の統制下におかれた後期ペニーの品位を検証した。さらに、形態と量目といった「体」の残りの部分との検証や、ヨーロッパ大陸の他の銀貨やイスラームのディルハム銀貨などとも品位を比較して、イングランドのペニー貨の特性に触れて、本研究の目的に応えた。

２．資料と調査方法

今回調査した資料は、発表者の鶴島が所蔵するペニー銀貨61枚と比較資料として他地域の銀貨33枚、計94枚である。非破壊で材質の傾向を知るために、蛍光Ｘ線分析法を用いて調査を行った。定量方法については、ＦＰ法を採用した。使用機器は、福岡市埋蔵文化財センター設置の微小部領域用エネルギー分散型蛍光X線分析装置(AMETEK　EDAX社製　Orbis)で、分析条件は以下の通り。

電圧:50KV/電流:任意/対陰極：ロジウム(Rh)/検出器：シリコンドリフト検出器/測定雰囲気：大気/測定範囲：1㎜/測定時間：120秒。

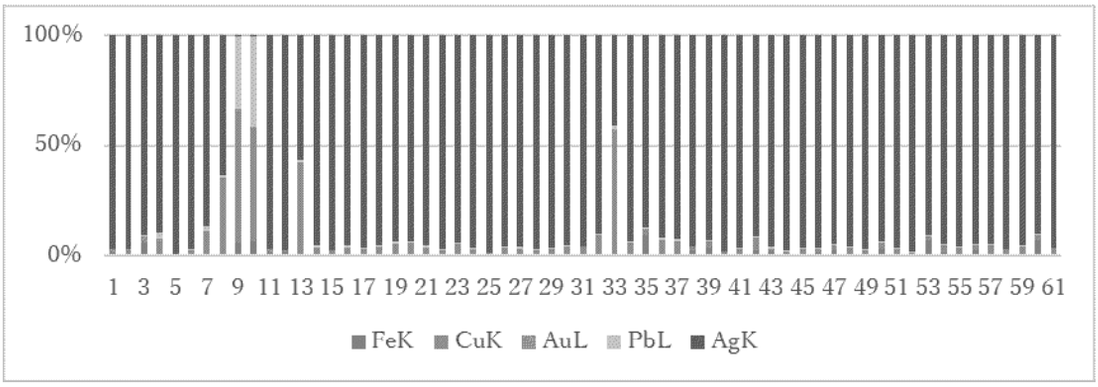
３．結果

今回の資料は銀貨であることから，主体であるAgと銀貨の素材(銀鉱石や銀貨、銀製品)に伴う元素としてCu、Pb、Au、Feに着目して検討を行った。本調査では各時代の銀貨の点数が少ないことを踏まえて，今回の結果はその時代の大まかな傾向として捉えたい。

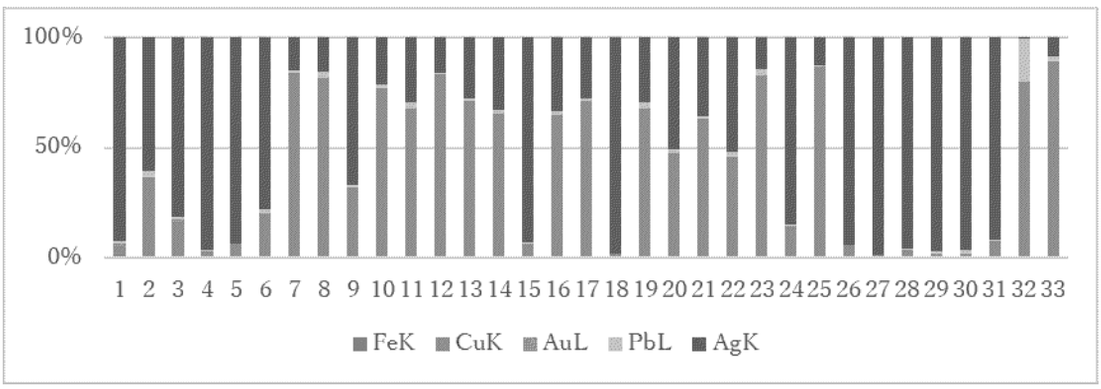
中世イングランドのペニー銀貨における全体的な傾向として、長期的な期間Agが安定して90%を超える値を示していることが指摘できる。他地域の銀貨の分析結果のバラつきが大きい点を踏まえると、ペニー銀貨の安定性は特異であると考える。銀貨においてAg含有量が90%を超えるというのが高品位を示す指標であるため、今回の分析したペニー銀貨は高品位である

と判断したい。

ペニー銀貨を、最初に示した時期区分で見ていくと、初期ペニーは90%を超える値を示す。しかし次の移行期ペニーでは、ある時点において時代を経るごとにAgの減少が認められるがその後、銀の含有量は回復する。改革ペニーに移るとそのバラつきはほぼなくなり，後期ペニーでは安定的に90%を超える値を示している。安定して高品位を示しているが、ある時期においては、Ag含有量が下がる傾向が認められる。その時期は、ヨーロッパ全体の銀の採掘量が減少した時期と重なるが、今回は同時代における分析点数が少ないため言及は控える。また、Agの含有量が低い値を示す場合、反比例的にCuが増える傾向が認められる。しかしその他のPb、Au、Feの挙動は一定の傾向を示さないため今回は検討しない。



イングランドペニー銀貨の分析結果



他地域の銀貨の分析結果

４．考察

調査の結果、イングランドのペニー貨が、7世紀後半から16世紀前半まで、ヨーロッパ世界のなかで、高い銀の組成率をもっていたという通説を支持することとなった。しかし、これまで、一度にこの長い時間幅で検証したデータは存在しないことを考えると、そこに本研究のもつささやかな意義があろう。当日の報告では、これに併せて、「顔」や「体」のその他の部分の特性との若干の比較検証も行い、なぜペニー貨が基準通貨的に中世ヨーロッパで流通したかを示したい。

清水寺の剥落顔料の顔料分析

Pigments analysis of peeled pigments of Kiyomizu temple

○森　正和（龍谷大学）、多田　牧央（川面美術研究所）、荒木　かおり（川面美術研究所）、
小川　圭二（龍谷大学）

○Masakazu MORI (Ryukoku University), Makio TADA (KAWAMO Art Research Institute),
Kaori ARAKI (KAWAMO Art Research Institute), Keiji OGAWA (Ryukoku University)

1. 研究目的

文化財建造物の彩色材料には経年劣化や破損などが多く生じている。これらの保存修復にあたり、蛍光 X 線分析や顕微鏡観察などの種々の手法を用いた現地における分析や、剥落顔料の分析が実施されてきた。彩色材料の調査結果は、実施される保存修復において重要な知見である。また、それらの継続的な蓄積は、将来的な保存修復や彩色技法に関する研究に対して重要であると考えている。これまでに本研究室では、川面美術研究所と連携し、西本願寺の障壁画などを対象とした現地分析や、剥落顔料の分析調査を継続的に実施してきた[(1) (2)]。現地分析では、調査対象の形態に応じ、より正確・短時間で調査を実施するための測定機構を設計・製作するなどの工夫を行いながら、可搬型蛍光 X 線分析装置ならびに金属顕微鏡観察による調査を行ってきた。また、剥落顔料の状態・形態に応じた調査を実施するため、X 線分析顕微鏡（XGT）や走査型電子顕微鏡（SEM）を用いた形態観察や、剥落顔料（塗膜）の断面観察・元素分析にも取り組んできた。本発表では、現在の保存修復のためではなく、継続的・網羅的に彩色材料を調査することを目的として、清水寺における現地分析の実施時に頂戴した、剥落顔料（清水寺子安塔）を対象とした分析結果を報告する。

2. 分析対象および分析方法

清水寺子安塔の剥落顔料の一覧を表 1 に示す。また、剥落顔料の外観写真の一例を図 1 に示す。剥落顔料は 109 点あり、外観で分類したところ、白色・黄土色・黒色・黄色・橙色・緑色・紫色・赤色の 8 種類に分類できた。剥落顔料は、図 1 に示すように、それぞれ小袋に入れられ、採取場所ならびに、彩色の情報が記述されていた。上述した剥落顔料の分析を行った。分析方法を以下に示す。まずは、剥落顔料をそのまま、可搬型蛍光 X 線分析装置（OURSTEX・100FA）による元素分析を実施した。測

表 1　清水寺子安塔　剥落顔料一覧

番号	色彩	試料番号
01	白色	No.1 など
02	黄土色	No.5 など
03	黒色	No.19 など
04	黄色	No.67 など
05	橙色	No.68 など
06	緑色	No.92 など
07	紫色	No.105 など
08	赤色	No.143 など

定条件は、管電圧 40 kV、管電流 Auto、測定時間 180 秒とした。次に、ミクロトーム（ライカ・RM2125RTS）を用いて断面試料を作製した。その後、金属顕微鏡、X 線分析顕微鏡（堀場製作所、XGT-5000WR）ならびに走査型電子顕微鏡（日本電子・JIB-4601F）を用いた断面観察ならびに、元素分析を実施した。

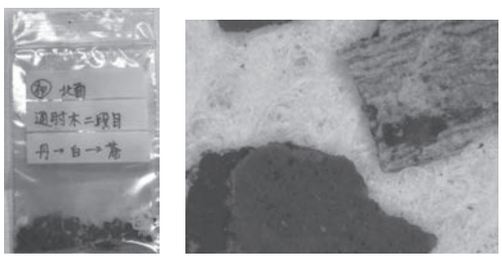


図 1　剥落顔料の一例

3. 分析結果

分析結果の一例を以下に示す。分析試料は、「No.161　三重頭貫北面 726」と記されていた。可搬型蛍光 X 線分析の結果からは、カルシウム（Ca）、鉛（Pb）が検出された。図 2 にミクロトームで作製した断面試料の観察結果を示す。観察結果より白色の層、赤色の層、白色の層という三層の塗膜となっていることがわかった。組成分析の結果から、白色の層はカルシウム，赤色の層は鉛が主成分であることが分かった。

図 2　「No.161　三重頭貫北面 726」の断面観察結果

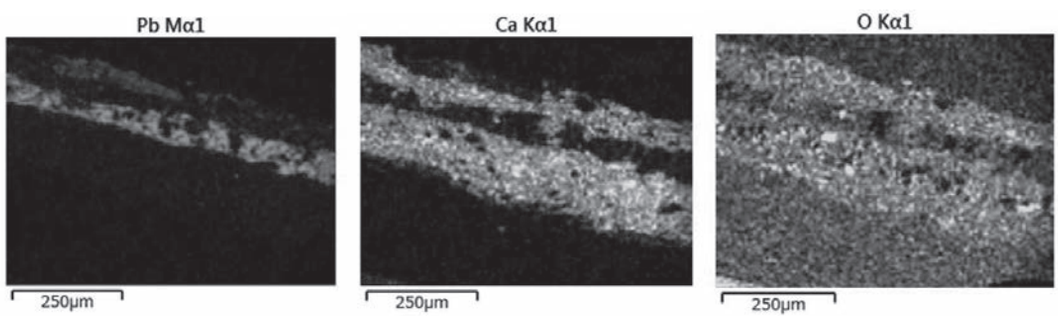


図 3　「No.161　三重頭貫北面 726」の断面における元素分析結果

謝辞

清水寺の彩色材料調査は，国宝・重要文化財清水寺本堂ほか８棟保存修理工事（彩色調査工事）を機会に実施した．調査にあたっては，清水寺の関係者の皆様と，京都府教育庁指導部文化財保護課に御理解と御高配を賜った．また，本研究の一部は龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター（学内プロジェクト、平成 29－31 年）の支援を受けて実施している。現地での分析では，川面美術研究所の岩元陽子氏に御協力頂いた．ここに感謝の意を示す．

繊維遺物鑑別のための基礎研究

―国産植物繊維のクリスタル(シュウ酸カルシウム結晶)の比較―

Microscopic Study for Identification of Archaeological Fibers
－Comparison of Crystals(Calcium oxalate crystal) in Ashed Specimens of Japanese Vegetable Fibers－

○　伊藤美香(昭和女子大学)、小原奈津子(同左)
○　MIKA ITO，NATSUKO KOHARA (Showa Women's University)

1. はじめに

繊維遺物の鑑別には標品繊維との形態比較が最も簡便で有効とされているが、劣化分解した繊維や炭化した繊維など、原形とかけ離れた形状となってしまった繊維遺物は鑑別が困難である。一方、加熱灰化した植物中の生体鉱物(ファイトリス)は劣化に影響されないため、鑑別への応用が期待されている。植物内のファイトリスには非結晶のケイ酸体(シリカ)と結晶質のシュウ酸カルシウム(クリスタル)が存在する。

先に、古代より日本で使用されていたとされる、大麻、苧麻、葛、科、藤、梶などの国内産繊維を試料として、走査型電子顕微鏡による形態観察と EDS 分析を行い、これらの繊維のクリスタルの形態が植物繊維の鑑別の有用な手段となる可能性のあることを報告した。前回は 500 ㎎の試料を加熱灰化して観察を行ったが、今回は試料重量を 50 ㎎、1 ㎎とスケールダウンしても同様の結果が得られることを検証し、微量の繊維であっても鑑別方法として利用できる可能性について検討した結果を報告する。

2. 試料

下記、8 種の国内産の植物繊維を試料として用いた。

表 1　国内産の植物繊維

番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
繊維種	大麻	苧麻	葛	科	藤	梶	芭蕉	和棉
産地	栃木県	福島県	静岡県	山形県	京都府	徳島県	沖縄県	静岡県
生産年	H23	H23	H24	H25	不明	H21	H26	不明

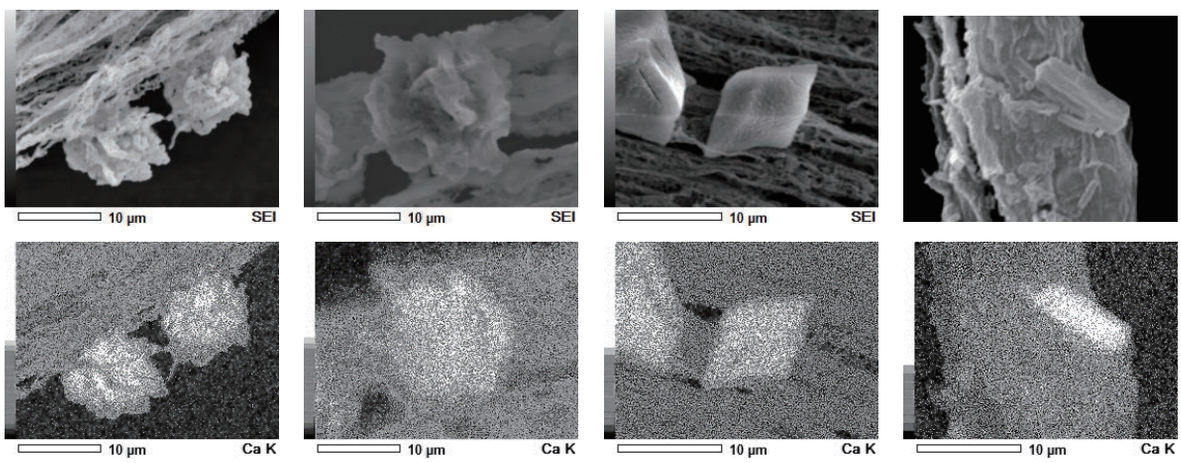
3. 実験方法

【試料の灰化】近藤らの方法[1)]を参考に、試料を入れたるつぼを電気加熱炉(ROP-001:アズワン製)にて、100℃で 10 分間、150℃で 5 分間、200℃で 10 分間と徐々に昇温させ、その後 600℃で 6 時間加熱して得られた灰化物を観察に用いた。

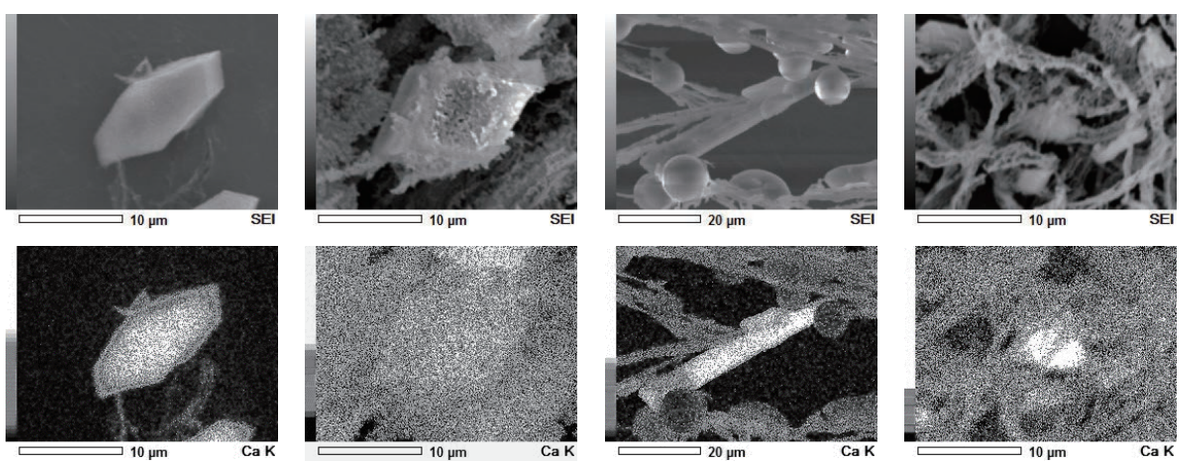
【走査型電子顕微鏡観察および EDS 分析】灰化前および灰化後の各試料は金蒸着の後、走査型電子顕微鏡(JSM-6010LA:日本電子製)で観察した。さらに灰化物については顕微鏡に付属の EDS を用いた Ca の元素のマッピングによりクリスタル形状を確認した。

4. 結果および考察

各試料 1 ㎎を灰化して得られたクリスタルの走査型電子顕微鏡観察像および EDS マッピング像を以下に示す。



① 大麻　② 苧麻　③ 葛　④ 科



⑤ 藤　⑥ 梶　⑦ 芭蕉　⑧ 和棉

試料量 1 ㎎でも 500 ㎎を灰化して観察されたクリスタルの形状[2]と同じくそれぞれに特徴的なクリスタルの形状を観察できた。しかし、その大きさは、全ての試料で 500 ㎎を灰化したときに比べ小さくなり、特に科の場合 500 ㎎の試料を灰化した際には約 80 μm の長さであったものが、10 μm 程度に著しく小さくなっていた。今回は 500 ㎎の試料と同条件の 600℃で 6hr 灰化したが、シュウ酸カルシウムは 500℃付近を超えると熱分解し始めるため、スケールの小さい試料においても常に一定のクリスタル形状を観察するためには、試料量に応じた灰化温度や灰化時間の条件を検討する必要があることが分かった。一方、1 ㎎の試料であっても、クリスタルの観察は可能であり、試料量が少ない場合においても、鑑別の指標となり得ることが確認できた。

【参考文献】1）近藤錬三『プラント・オパール図譜』北海道大学出版会 (2010) p.200
2）伊藤美香・小原奈津子『日本文化財科学会第 34 回大会 研究発表要旨集』(2017) p.159

東奈良１号銅鐸鋳型をモデルとした石製鋳型の鋳造実験

Stone mold casting experiment modeled on Higashinara site No.1 dotaku mold

○清水邦彦（茨木市立文化財資料館）
○Kunihiko SHIMIZU (Ibaraki City Cultural Properties Museum)

1. はじめに

大阪府東奈良遺跡では、唯一のほぼ完全な形を保った銅鐸鋳型が出土している。本発表では、この東奈良１号銅鐸鋳型をモデルとして実施した鋳造実験について紹介し、弥生時代鋳造技術の検討、および実際に出土する遺物の観察への援用を試みることにしたい。

2. 鋳造実験

鋳型石材には島根県で採取した白来待石を用いることにし、実際の１／２サイズで実験をおこなった。鋳型のサイズ同様、鋳型に彫り込む文様の線も１／２とし、具体的には文様の線で 0.4㎜前後、太い飾耳の線で 1.0㎜とした。中子は土製のものを使用することにし、２回連続で鋳造できるよう全く同様のものを２点用意した。型持は鋳型と中子の隙間が 1.5㎜となるよう製作した。

製作する銅鐸の金属比率については、同時期の銅鐸の分析結果を参考に、銅 87.9%、錫 4%、鉛 7%、銀 0.1%、ヒ素 0.5%、アンチモン 0.5%とした。

鋳込んだ際に発生するガスの抜けを良くするため、事前に鋳型内の水分を完全に除いた。使用した白来待石を熱していくと、700℃近い温度以上で重量の減少が認められないことから、この温度で完全に石材中の水分を除去できたと考えることができる。なお、土製の中子については常温のまま使用した。

白来待石製の鋳型と中子を合わせようとしたところ、熱したことにより鋳型が収縮したため、中子がはまらず、完全に合わせることができなかった。型持を紙ヤスリで若干削ることでこの問題の解決を図ったが、鋳型と中子の隙間は当初予定していた 1.5㎜よりも狭くなった。

鋳造は２回連続でおこなった。鋳込んですぐに銅鐸を取り出すとともに、用意していたもう一つの中子を用い、ほぼ合間をおかずに鋳造した。２回目も１回目同様、鋳型の収縮により、型持を削ることになった。また、湯を注いだ方向は２回ともほぼ同じである。

3. 製作した銅鐸と使用した鋳型の観察

鋳造した２点の銅鐸（写真左・中）ともに、ガスが抜けきらず、鋳造欠陥が認められる。興味深いのは両銅鐸ともにＡ面から見た左側に鋳造欠陥が集中している点である。使用した鋳型（写

真右）を観察すると、銅鐸の鋳造欠陥の箇所は、変色が少ないことを確認できる。とりわけ、A面からみて、鈕の左側つけ根付近の外縁は２点とも湯がまわらず鋳造欠陥となっており、鋳型でも同箇所はまったく変色していない。

１点のみではなく、２点ともに類似した箇所に鋳造欠陥が認められる点からは、その原因となるガスの発生が類似したメカニズムで起こっていた可能性を想定できる。この場合、鋳型に問題があった可能性がある。

4. 遺物の観察への援用

石製鋳型の認定について、難波洋三氏により以下の２点の有無について検討する必要性が指摘されている。①鋳造時の被熱時で鋳型面に生じた亀甲状の細かいひび、②被熱などによる鋳型面の黒変の浸透である（難波 2009）。

今回、使用した鋳型を観察すると、両者ともあまり認められなかった。使用する石材による違いも想定されるが、使用回数が少ない場合、上記の認定基準のみでは判断が難しい可能性もあると考える。

写真　製作した銅鐸（A面）と使用した鋳型（A面）
（左：１回目に鋳造した銅鐸　中：２回目に鋳造した銅鐸　右：使用した鋳型）

謝辞　鋳造実験は有限会社和銅寛で実施し、小泉武寛・小泉裕司の両氏に多大なお世話になった。また、難波洋三氏には実験の監修をしていただいた。末尾ですが、厚く感謝申し上げます。

参考文献

難波洋三 2009「銅鐸の鋳造」『銅鐸-弥生時代の青銅器生産-』奈良県立橿原考古学研究所附属博物館　80-87 頁

科学分析を用いた琉球漆器の構造と材料の特定

Identification of structure and materials of Ryukyu lacquerware using scientific analysis

◯佐々木美保（明治大学大学院）、本多貴之（明治大学）、宮里正子（浦添市美術館）

◯Miho SASAKI (Meiji University graduate school), Takayuki HONDA (Meiji University), Masako MIYAZATO (Urasoe Art Museum)

1. 緒言

伝統工芸品の一つである漆器は、漆特有の優れた美観や耐久性を持ち、日用品として多くの人々により使用されてきた。また、漆器に施された技法は日本各地で異なり、地域の特色が表れている。14–16 世紀の琉球王国では、中国や東南アジアとの中継貿易が行われており、その際の交易品の一つとして琉球漆器が製作されていた [1]。漆器に施された技法も独特で、堆錦、螺鈿、沈金、さらには鮮やかな朱色、木地の軽さなども特徴の一つであり、特に堆錦は日本の他の地方では見られない沖縄だけの独特な技法である。しかし、琉球漆器の一部は、琉球王国の崩壊や近代期の混乱、沖縄戦などで消失し、現存する漆器も伝来や由来が不明なものが多い。また、琉球漆器の製作に用いられた材料、製作工程については未だ不明な点が多く、明らかにされていない現状がある [2]。

本研究では、琉球漆器の剥離片に対して科学分析を行うことで、使用された材料や制作工程を解明し、科学の観点から当時の貿易ルートの推定などの考古学調査へ寄与することを目的とする。

本稿では、黒漆龍鳳凰虎堆彩漆文庫と黒漆楼閣人物螺鈿卓の剥離片を用いて分析を行い、用いられた材料および製作工程の特定を行った。

2. 実験

試料は、文庫の蓋の合口部の黒色漆膜から採取した剥離片 (Sample A) および剥落箇所不明の黒色漆膜 (Sample B)、底部分の赤色漆膜から採取した剥落片 (Sample C)、剥落箇所不明の赤色漆膜 (Sample D)、螺鈿卓の剥落箇所不明黒色漆膜 (Sample E) である。これらの試料に対して、クロスセクション分析、エネルギー分散型蛍光 X 線分析(ED-XRF)、誘導体化試薬として Tetramethylammonium- hydroxidepentahydrate (TMAH・$5H_2O$) を用いた、反応熱分解 (THM)-GC/MS を行った。

3. 結果と考察

3.1. クロスセクション分析

文庫の黒色部である Sample A は上から褐色層、黒色層、下地層の 3 層、Sample B は上から黒色層、生漆層、黒色層、下地層の 4 層であると示唆された。文庫の赤色部である Sample C, Sample D はどちらも赤色層、生漆層、下地層の 3 層であると示唆された。Sample E は上から生漆層、黒色層、2 層の下地の 4 層であった。また、反射偏光下において黒色層に鉱物の使用が確認された。

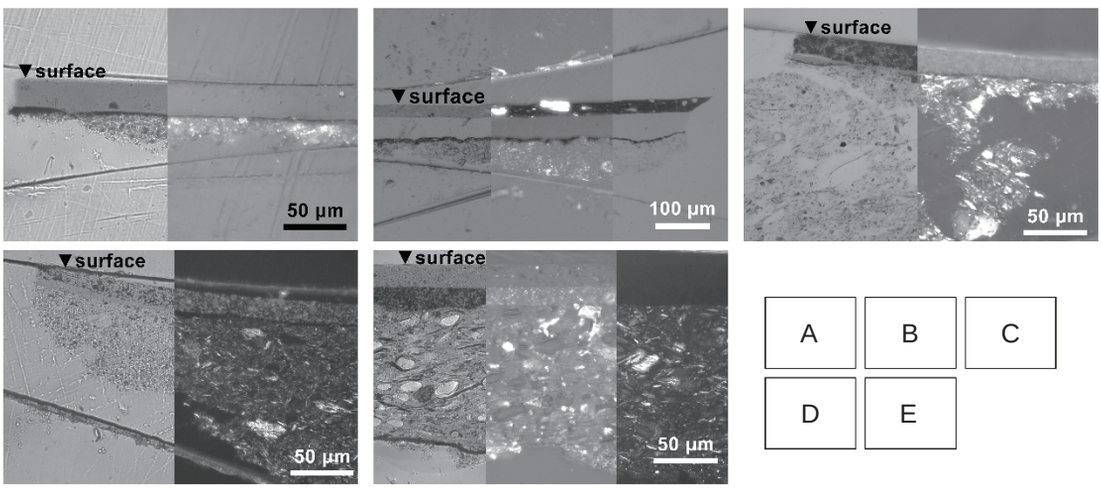


Figure Cut surfaces of Samples

3.2. ED-XRF

試料表面に対する多点元素分析より、Sample B では Zn が顕著に検出されたことから、文庫本体の表面の文様に用いられた顔料は酸化亜鉛 (ZnO) であると示唆された。

クロスセクション試料に対する元素マッピング分析より、Sample C, Sample D の赤色顔料層から Hg が検出された。よって、二つの試料では、赤色顔料として水銀朱が用いられていると推察された。

3.3. THM-GC/MS

黒色部分の Sample A, Sample B において用いられた漆の樹種は *Gluta usitata*、黒色層に用いられた顔料は煤であると示唆された。赤色部分の Sample C, Sample D において用いられた漆は *Toxicodendron vernicifluum* と *Toxicodendron succedaneum* の混合、または *Toxicodendron vernicifluum* のみであると示唆された。また、赤色層において用いられた顔料は水銀系赤色顔料であると示唆された。Sample E において用いられた漆の樹種は *Toxicodendron vernicifluum*、黒色層に用いられた顔料は煤であると示唆された。

4. 結言

クロスセクション分析より黒漆龍鳳凰虎堆彩漆文庫において、黒色部同士で製作工程が異なることが確認された。黒漆楼閣人物螺鈿卓において、異なる二層の下地が確認された。

THM-GC/MS より、黒漆龍鳳凰虎堆彩漆文庫において、黒色部の漆の樹種は *Gluta usitata* であったが、赤色部の漆の樹種は *Toxicodendron vernicifluum* と *Toxicodendron succedaneum* の混合、または *Toxicodendron vernicifluum* のみであったことから、本体と加飾部分では異なる樹種の漆が用いられたことが示唆された。琉球王国が中国や東南アジアと中継貿易を行っていたと前述したが、各試料片からそれぞれ *Toxicodendron vernicifluum*、*Toxicodendron succedaneum*、*Gluta usitata* といった、産地の異なる漆が確認されたことから、輸入した漆を活用して漆器を作成していたことが示唆された。

参考文献

1) 金正華、漆工芸の産業としての発展可能性.法政大学大学院紀要. 2013:69-94

2) 宮里正子、アジアの漆文化.文化財情報研究室. 2011:8:91-99

前 2 千年紀における古代エジプトおよびメソポタミアの銅赤ガラス製法の比較

Comparison of Production Technique of Copper-Red Opaque Glass in Ancient Egypt and Mesopotamia during Second Millennium BC

○阿部 善也（東京理科大学・理学部）・日髙 遥香（同左）・中井 泉（同左）・
四角 隆二（岡山市立オリエント美術館）・菊川 匡（古代エジプト美術館）
○Yoshinari ABE, Haruka HIDAKA, Izumi NAKAI (Tokyo University of Science),
Ryuji SHIKAKU (Okayama Orient Museum), Tadashi KIKUGAWA (Ancient Egyptian Museum)

1. 序

Cu によるガラスの赤色着色技術を「銅赤（どうあか）」と呼ぶ [1]。人工的なガラス生産は前 3 千年紀末のメソポタミアに起源を発し，前 15 世紀にメソポタミアから古代エジプトへと技術が伝わったとされる [2]。そのため，古代エジプトのガラス生産で利用された技術の大部分は，メソポタミアのそれを踏襲したものであった。しかし銅赤ガラスについては，前 2 千年紀中期の時点で古代エジプトとメソポタミアの両地域で利用が見られるものの [2,3]，その技術がメソポタミアから古代エジプトへの技術伝搬の時点で存在していたのか，あるいはそれ以降に発明されたのかは不明である。そこで本研究では，前 2 千年紀の古代エジプトおよびメソポタミアで作られた銅赤ガラス製品に着目し，非破壊の X 線分析によってこれら 2 地域における銅赤ガラス製法を推定し，その地域差について考察した。

2. 実験内容

分析試料として用いたのは，古代エジプト美術館に収蔵された古代銅赤ガラス製品，計 5 点である。古代エジプト製品は新王国時代のモザイクガラス容器片（E1：前 15 世紀）と管型ビーズ 2 点（E2，E3：前 14～12 世紀），メソポタミア製品は筒型ビーズ製品 2 点（M1，M2：前 15～13 世紀）である。蛍光 X 線分析（XRF）により各試料の化学組成を明らかにした後，高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーへと各試料を持ち込み，放射光 X 線分析を行った。まず BL-9C において Cu-K 吸収端 X 線吸収端近傍構造（XAENS）解析を行い，各試料中の Cu の化学状態を調べた。さらに BL-4A において，縦横約 5 μm に集光した単色 X 線を用い，μ-XRF イメージングにより主要な元素の分布を，Cu-K 吸収端 μ-XANES 解析により局所的な Cu の化学状態を分析した。また，μ-XRF イメージングを行った範囲について，デジタル顕微鏡（KEYENCE VHX-2000）を用いて高倍率の顕微鏡写真を撮影した。測定は全て非破壊で実施した。

3. 結果と考察

非破壊の XRF により，今回分析した 5 試料全てから著量の Cu が検出された。ただし，古代エジプト製品とメソポタミア製品では Cu 含有量に明確な違いがあり，古代エジプト製品の Cu 含有量が酸化物濃度で 10 wt%程度であったのに対し，メソポタミア製品にはその倍以上の Cu が含まれていた。また，メソポタミア製品には 10 wt%を超える Pb が含まれていたが，これは高温中で過剰量の Cu をガラスに融解

させるための起分極剤[4]として，意図的に添加されたものと考えられる。なお，前 2 千年紀のメソポタミアで出土した粘土板文書[3]の中には，銅赤ガラスの製造工程における Pb の添加を示唆する記述があり，今回の分析結果はこの記述と対応している。さらに古代エジプト製品からは Sn，メソポタミア製品からは Sb が特徴的に検出され，これらはガラス焼成中に熱的還元剤として機能したものと考えられる[4]。ただし古代エジプト製品に見られた Sn に関して，Cu と Sn を別々に添加したのではなく，Cu 原料として青銅を再利用したために混入したものであった可能性が高い[1,2]。

古代エジプト（E2）およびメソポタミア（M1）の銅赤ガラス各 1 点に対してμ-XRF イメージングを行い，得られた Cu-Kα線の分布を **Fig. 1（a）**および**（c）**に示す。各イメージング範囲の顕微鏡写真を **Fig. 1（b）**および**（d）**に示した。どちらのガラスにおいても，Cu の分布は透明ガラス中に散在している赤色物質の分布とよく対応していた。この赤色物質部分で Cu-K 吸収端μ-XANES 解析を実施した結果，どちらのガラスにおいても Cu_2O が同定された。すなわち，前 2 千年紀の古代エジプトとメソポタミアで銅赤ガラスの基本的な製法は共通しており，過剰に添加した Cu を高温でガラス中に溶かした後，冷却過程で Cu_2O 結晶として析出させたものと思われる。ここで **Fig. 1** からわかるように，古代エジプト製品では Cu_2O 結晶の大きさが 1～10 μm オーダーだったのに対して，メソポタミア製品では 100 μm 以上にまで樹枝状の Cu_2O 結晶が成長していた。この結晶の大きさの違いは，先述した Cu 添加量，さらには起分極剤である Pb の有無に起因すると考えられ，両地域における銅赤ガラス製法の違いを反映したものといえる。

4. 結論

前 2 千年紀の古代エジプトおよびメソポタミアで作られた銅赤ガラス製品に対して非破壊 X 線分析を適用した結果，その製法（Cu の添加量および原料，Pb の添加の有無，還元剤の種類）に明確な違いがあったことが初めて明らかとなった。今回，生産の最初期段階から製法に明らかな地域差が見られたという点はきわめて興味深く，あるいは銅赤という技術自体が前 2 千年紀の古代エジプトとメソポタミアで別々に発明され，独自に発展したものであった可能性を示唆するものである。

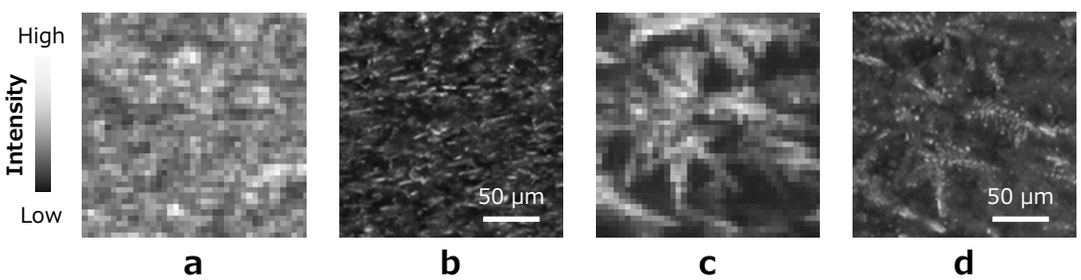


Fig. 1 前 2 千年紀銅赤ガラス製品の放射光 μ-XRF イメージングの結果：
古代エジプト製品（E2）の Cu-Kα 線の分布（a）および顕微鏡写真（b），
メソポタミア製品（M1）の Cu-Kα 線の分布（c）および顕微鏡写真（d）

参考文献

1) 菊川 匡, 阿部 善也, 中村 彩奈, 中井 泉 :「分析化学」, **63**, 31 (2014).
2) P.T. Nicholson, J. Henderson: In *"Ancient Egyptian Materials and Technology."* Edited by P.T. Nicholson and I. Shaw, p. 195 (2000), (Cambridge University Press, Cambridge).
3) A.L. Oppenheim, R.H. Brill, D. Barag, A. Saldern: "G*lass and Glassmaking in Ancient Mesopotamia*." p. 63 (1970), (Corning Museum of Glass, New York).
4) 伊藤 彰 :「ガラスにおける炎と色の技術」, p. 81 (1997), (アグネ技術センター, 東京).

弥生時代青銅器鋳造技術の一事例

- 和歌山県田辺市後口谷銅鐸にみる鋳掛け -

One case of the bronze casting technology in the Yayoi period

- The tinkering of the Bronze bells excavated from the Ushirodani,Tanabe-shi,Wakayama -

◯北井利幸（奈良県立橿原考古学研究所附属博物館）、水野敏典（奈良県立橿原考古学研究所）、奥山誠義（同左）、柳田明進（奈良文化財研究所）、中川　貴（田辺市教育委員会）、勝川若奈（奈良県立橿原考古学研究所附属博物館）

◯Toshiyuki Kitai（The Museum,Archaeological Institute of Kashihara,Nara prefecture）,Toshinori Mizuno,Masayoshi Okuyama（Archaeological Institute of Kashihara,Nara prefecture）,Akinobu Yanagida（Nara National Research Institute for Cultural Properties）,Takashi Nakagawa（Tanabe City Board of Education）,Wakana Katsukawa（The Museum,Archaeological Institute of Kashihara,Nara prefecture）

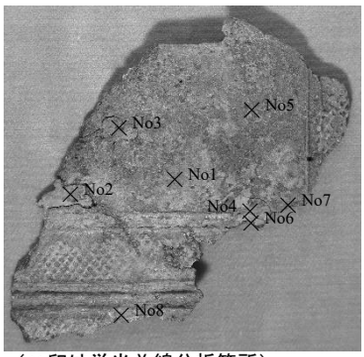
1. はじめに

鋳掛けは、鋳損じてできた孔や欠損部分に青銅を流し込んで補填・補修する技術である。弥生時代の青銅器にも確認できる。鋳損じた部分の周囲に足掛かりとなる穴や刻みを施すものと施さないものがある。補填する金属は本体と色調が同じものと異なるものがある。鋳掛け後、文様を鏨等で補刻するものもある。対象とした後ロ谷銅鐸は田辺市三栖谷出土の突線鈕５式銅鐸で、発見時に破片化している。総高 100 ㎝以上とされる。2013 年 12 月に橿原考古学研究所で三次元形状計測、透過 X 線撮影、蛍光 X 線分析を行った際に鋳掛けを確認した。その成果を報告する。

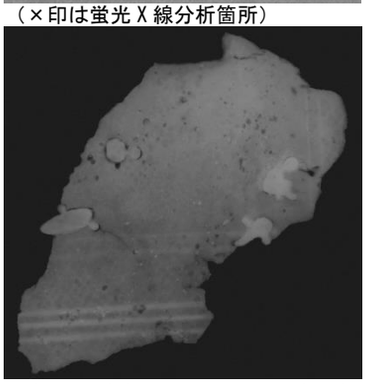
2. 後ロ谷銅鐸の鋳掛けと蛍光 X 線分析

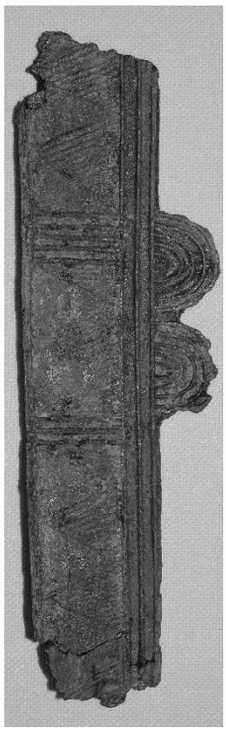
鐸身部片と鰭部片に鋳掛けを確認した。鐸身部片の鋳掛けは穴の周囲に足掛かりを施したものと施さないものがある（写真 1)。鰭部片は突線内側に大きな欠損が生じたのか、突線内側部分を片面ごとに鋳掛けしている（写真 2～5)。鋳掛け後に鰭部片を鐸身部に接合するため鐸身内面側から接合部に青銅を流し込み固定している（写真 5)。

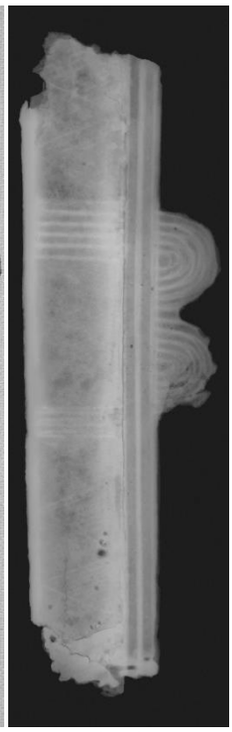
鐸身部片（写真 1）の鋳掛け部（No2・3・4・6）とそれ以外の部分を対象に携帯型蛍光 X 線分析計（Innovx α-2000）により材質調査を実施した。Cu（銅)、Sn（錫)、Pb（鉛）を主成分とし、Ag（銀)、As（ヒ素）をわずかに含むことが確認できた。鋳掛け部とそれ以外で明瞭な成分差を認められなかった。



（×印は蛍光Ｘ線分析箇所）







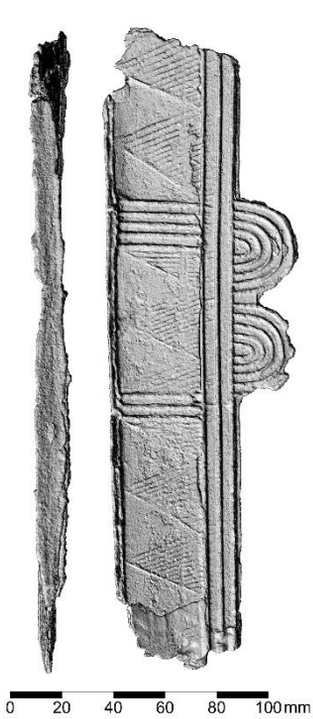


写真１ 鐸身部片（下は透過Ｘ線写真） 写真２ 鰭部片（中央は透過Ｘ線写真、右は三次元形状計測画像）

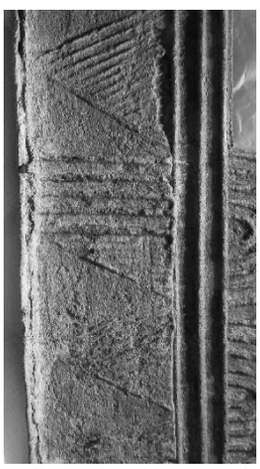


写真３ 鰭部鋳掛け（鋸歯文の下に鋸歯文が見える）

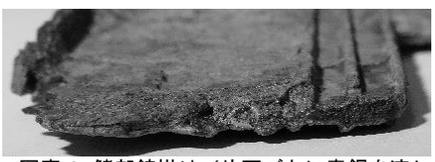


写真４ 鰭部鋳掛け（片面ごとに青銅を流したため端部断面に境目を確認できる）

写真５ 鰭部鋳掛け（矢印部分）鐸身部と鰭部の接合

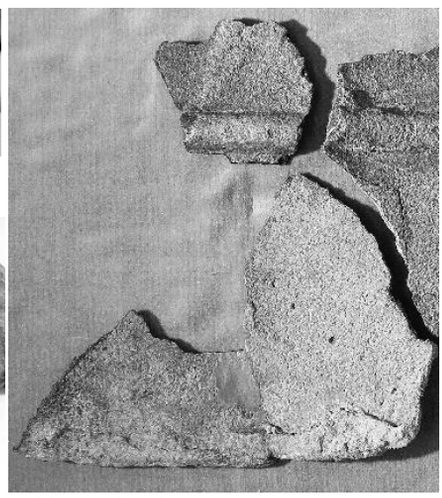


写真６ 裾部内面

3. まとめ

複数の方法による鋳掛けを確認した。特に鰭部片では両面で広範囲にわたる鋳掛けと、鰭部と鐸身部を接合・固定させるため鐸身部内面から青銅を流していることを確認した。裾部は鐸身部と比べ厚く、鏨等の工具で切断される前の鋳放し状態である（写真 6）。鋳放し銅鐸は辰馬 434 号鐸しかなく、この資料にみられる内型の裾を斜めに削り込む工夫が本鐸でも確認できた。複数回に分けて行う鋳掛けや内型の加工は弥生時代後期の鋳造技術解明に繋がることが期待される

【謝辞】三次元形状計測と資料の観察においては田辺市教育委員会の協力を得て、増永光令より技術的な協力を受けた。本研究は JSPS17H02423 の成果の一部である。

船原古墳遺物埋納坑出土馬具の科学的調査

-金銅装鳳凰文心葉形杏葉・金銅装忍冬唐草文鏡板付轡の材質と技法-

Scientific research of harness excavated from Funabaru Tumulus

○小林啓（九州歴史資料館）、加藤和歳（同左）、岩橋由季（古賀市教育委員会）、甲斐孝司（同左）、輪田慧（合同会社 2bit）

○Akira KOBAYASHI, Kazutoshi KATO（Kyushu Historical Museum）, Yuki IWAHASHI, Koji KAI（Koga City Boaed of Education）, Kei WADA（2bit,LLC）

1. はじめに

福岡県古賀市に所在する船原古墳遺物埋納坑からは古墳時代後期(6 世紀末から 7 世紀初頭)の馬具･武具･武器類が未盗掘の状態で発見された。報告書らは 2013 年の遺物埋納坑発見から継続して調査を実施しており、これまでに金銅製歩揺付雲珠やガラス装辻金具など学術的･資料的価値の高い稀有な遺物が数多く発見されている。

本稿ではこれら遺物の中から金銅製鳳凰文心葉形杏葉と金銅製忍冬唐草文心葉形鏡板付轡について構造と技法を中心に遺物の基礎的な情報について報告する。

2. 資料と調査方法

資料は金銅装鳳凰文心葉形杏葉（以下、鳳凰文杏葉）と金銅装忍冬唐草文鏡板付轡（以下、忍冬唐草文鏡板)、両者は同じ馬装と考えられている。類似資料には珠城山古墳（奈良県）出土の杏葉・鏡板があり関連性が示唆される。

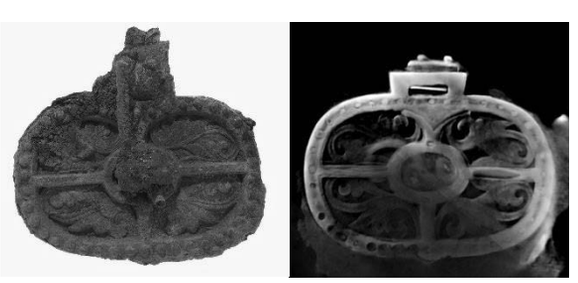
調査方法は各種顕微鏡観察や保存処理（クリーニング）により資料の形状や構造を確認、内部構造については X 線 CT により詳細を明らかにする調査を行なった。

3. 結果と考察

【鳳凰文心葉形杏葉】

鳳凰文杏葉は、縁金・鳳凰の文様板・文様板の地板・鉄製地板の 4 層構造である。最下層の鉄製地板以外は金鍍金が施されており、これら 4 枚を鋲で固定している。鋲は 48 箇所確認でき

金銅製鳳凰文心葉形杏葉



金銅製忍冬唐草文心葉形鏡板

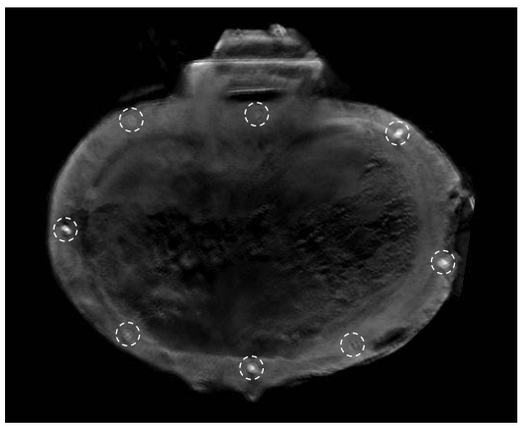
るが、このうち 40 箇所は最上層の縁金のみに取り付けられた飾鋲である。縁金と最下層の鉄製地板を貫通・固定させる鋲は 8 箇所であり、これらの鋲は何れも文様板と文様板地板には鋲は貫通しておらず、中間の 2 層は縁金と鉄製地板に挟み込まれて固定されている。鋲脚は X 線 CT により角型であることが確認できる。飾鋲の存在や鋲脚の形状は珠城山古墳出土の杏葉で指摘されており（大江 2017）、本資料とは形状や鳳凰文のデザイン等の見た目だけではなく、構造的にも類似点が多いことが明らかとなった。鳳凰文の文様板は立体感をもたせた薄肉彫りであり精緻な作りであるが、珠城山資料と比較すると線刻の幅や数などにやや粗さが認められる印象を受ける。

【忍冬唐草心葉形鏡板】

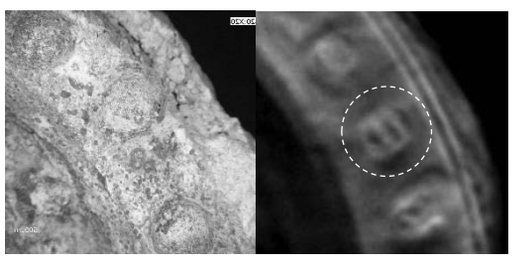
鳳凰文心葉形杏葉は、縁金・忍冬唐草の文様板・文様板の地板・鉄製地板の 4 層構造、最下層の鉄製地板以外は金鍍金が施されこれらを鋲で固定している。縁金には 42 箇所の鋲が確認できるが 34 箇所は縁金のみに取り付けた飾鋲である。最下層の鉄製地板まで貫通する鋲は 8 箇所、鋲脚の形状は角型である。基本的な構造は上記した鳳凰文杏葉と同じであり、構造面からも両者がセット関係にあることが推測できる。この他、忍冬唐草の文様板も、鳳凰文杏葉と同様、端部等に立体感をもたせた薄肉彫りで表現されている。

4. まとめ

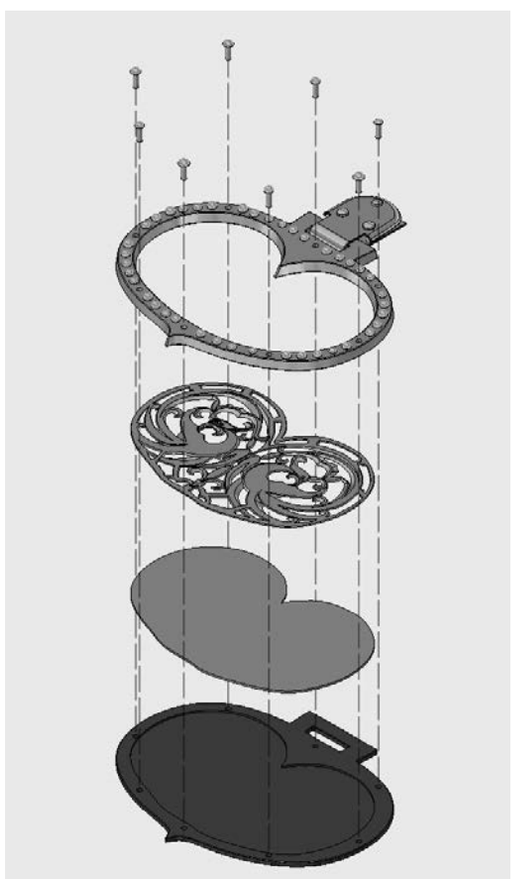
鳳凰文杏葉と忍冬唐草文鏡板の構造面について基礎的な情報を明らかにすることができた。両資料共、珠城山古墳の出土資料と形状や意匠だけではなく構造的にも類似点が多いことが確認された。両者は同じ技術体系のもと製作された可能性が推測される。今後は文様板の加工技法技など細部の構造や技法についてより詳細な検証と比較検討が課題となる。



鋲の位置（鳳凰文杏葉）



鋲脚の形状



鳳凰文杏葉の構造模式図

国宝 「初音の調度」 −耳盥・輪台、渡金箱、旅眉作箱−の Ｘ線ＣＴによる構造・技法調査

Examination of structures and techniques used in Hatsune-no chodo, National treasure urushi wares: Mimidarai / wadai, Watashigane-bako and Tabimayutsukuri-bako from the collections of The Tokugawa Art Museum

川畑憲子（九州国立博物館）、吉川美穂（徳川美術館）、田中麻美（九州国立博物館）、大橋有佳（九州国立博物館）、志賀智史（九州国立博物館）、大西智洋（大西漆芸修復スタジオ）、赤田昌倫（国立アイヌ民族博物館設立準備室）、秋山純子（九州国立博物館）、
○木川りか（九州国立博物館）

Noriko KAWABATA (Kyushu National Museum), Miho YOSHIKAWA (The Tokugawa Art Museum), Asami TANAKA, Yuka OHASHI, Satoshi SHIGA (Kyushu National Museum), Tomohiro ONISHI (Onishi lacquer art restoration studio), Masanori AKADA (National AINU Museum), Junko AKIYAMA, ○Rika Kigawa (Kyushu National Museum)

1. はじめに

徳川美術館と九州国立博物館は共同で徳川美術館所蔵「初音の調度」（千代姫婚礼調度）の構造調査を進めてきている。平成 29 年度にはＸ線ＣＴスキャナを用いた耳盥・輪台、渡金箱、旅眉作箱の調査を実施し、それらの構造や製作技法について知見を得たので、以下に主な結果について報告する。

2. 測定方法

エクスロンインターナショナル株式会社製大型 X 線 CT スキャナを用い、管電圧 320ｋV、管電圧 2.0mA の条件、および管電圧 225ｋV、管電圧 1.3mA の条件により計測を行った。

3. 結果

＜耳盥・輪台＞

輪台については、薄い木の板を曲げて２重構造（板の端部分は３重で合わさる）とし、円柱形の曲線を出していることがわかった（図１、水平断面および垂直断面）。2013 年に調査を実施した初音蒔絵輪台においても同様の構造がみられることから、初音の調度の輪台は、２点とも同様の技法で作製されていると考えられる。

＜初音蒔絵渡金箱＞

X 線 CT 画像により、図２にみられるような木地構造であることがわかった。また、箱の身と蓋の木目の年輪巾を詳細に観察したところ、身と蓋の材は同一材から木取りした可能性が推測された。

＜初音蒔絵旅眉作箱　化粧水入＞

花形の化粧水入を計測し、詳細に断面を観察したところ、側面の花びら状の部分と、台の上部と台下部それぞれ別の材を組み合わせていることが明らかとなった（図３）。

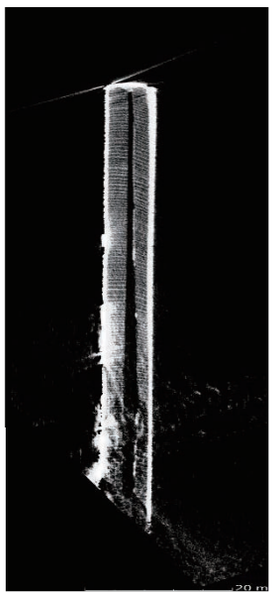
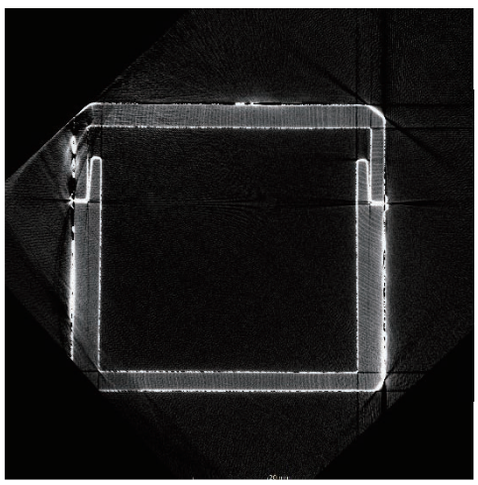


図１．　耳盥の輪台の水平断面の例(上)と、垂直断面の例（右）



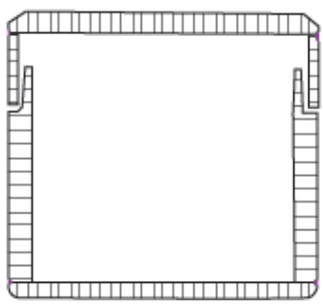
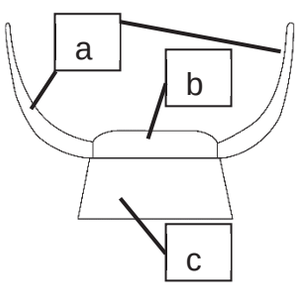


図２．渡金箱の垂直断面の例（左）と、木取りの模式図（右）



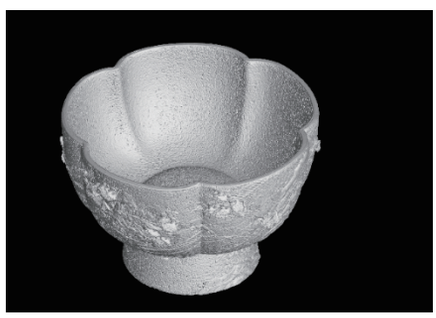


図３．　旅眉作箱化粧水入の垂直断面の例（左）、材の構造の模式図（中央）（abc の三種類の材が組み合わせられている）、三次元表示図の例（右）

謝辞　　本 X 線 CT における調査につきまして、エクスロン・インターナショナル株式会社、川田真也氏に貴重なご助言をいただきました。記して感謝いたします。

北部九州地域から出土した盛矢具の材質・技法に係る科学的調査

-古墳時代の靫を対象として-

Scientific research of ancient quiver in the North Kyushu Area

○小林啓（九州歴史資料館）、比佐陽一郎（福岡市埋蔵文化財センター）、松園菜穂（同左）
片多雅樹（長崎県埋蔵文化財センター）、稗田優生（大分県立歴史博物館）
○Akira KOBAYASHI（Kyushu Historical Museum）, Yoichiro HISA・Naho MATSUZONO
（Fukuoka City Archaeology Center）, Masaki KATATA（Nagasaki Prefecture Archaeology Center）,
Yuki HIEDA（Oita Prefectural Museum of History）

1. はじめに

靫は古墳時代前期頃から出現する矢を持ち運ぶための容器である。箱形の体部と数条の帯金具で構成されていたと考えられている。遺跡出土の靫は埋蔵中に体部の大半が消失しており、残欠から木材や繊維等の有機質であったことが確認できる。しかし、残欠すら失われている事が殆どのため、靫の形や構造は埴輪や古墳に描かれた壁画から類推するほかない状況にある。

一方、帯金具の裏面（体部と接する面）には錆化した有機質が比較的良好な状態で残存している場合があり、これらは靫の構造や技法の推定に有益な情報になり得る。本稿では帯金具に残存する有機質を個々に分類・同定し、失われた靫の形状や構造を推定復元する。

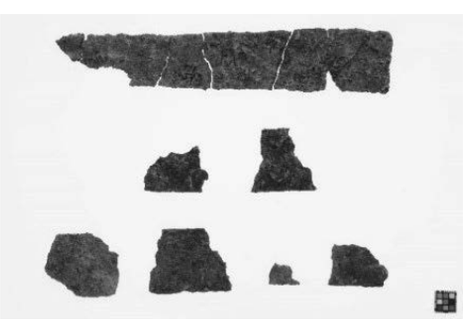
2. 資料と調査方法

資料は北部九州地域を対象に選定した。該当地域では 5 箇所の遺跡から靫が出土しており、本稿では善一田 18 号墳・菟ギ塚古墳・宇美観音山古墳・双六古墳の資料を対象とした。

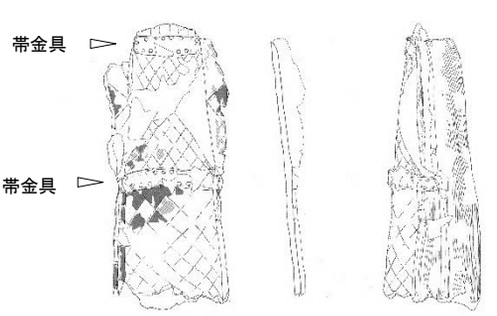
調査は各種顕微鏡により有機質を観察、個々に分類・同定した後、それらの重複状況等から構造や技法を検討した。この他、X 線透過撮影と蛍光 X 線分析により帯金具の材質や加飾の有無について調査を行なった。

3. 結果と考察

有機質の顕微鏡観察及び帯金具の X 線透過撮影・蛍光 X 線分析の結果について表 1 に示す。



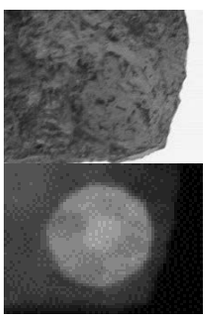
靫の現状（善一田 18 号墳）



靫形埴輪（神谷迫古墳）

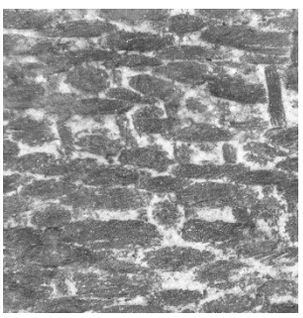
表 1：帯金具の観察・分析結果

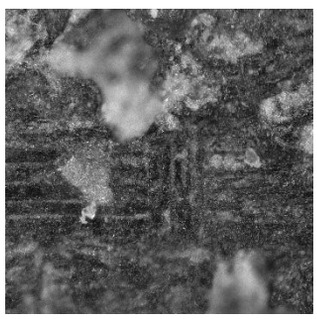
遺跡名	X 線透過撮影	EDX	加飾材料・技法	黒色塗幕膜	織物	木質
善一田 18 号墳	加飾確認	Ag ・ Sn	鉄地銀張り・鉄地錫張り	有り	平絹・経錦	有り
菟ギ塚古墳	加飾確認	Ag	鉄地銀張り	有り	平絹・経錦	有り
宇美観音浦古墳	加飾確認	Ag	鉄地銀張り	–	–	–
双六古墳	加飾確認	Ag ・ Sn	鉄地銀張り・鉄地錫張り	有り	経錦	有り



鋲の X 線透過像

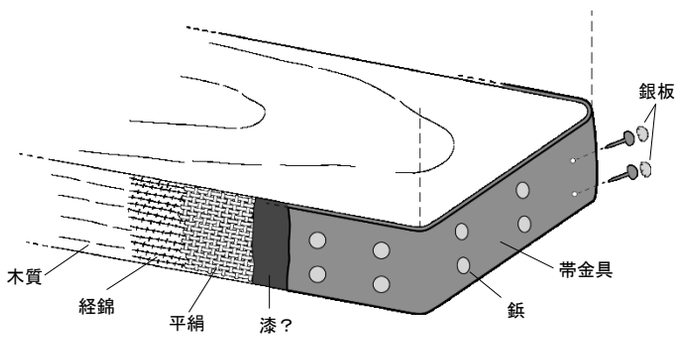
織物（左：平絹　右：経錦）





木質（柾目面）

X 線透過撮影では帯金具の鋲頭に吸収の異なる箇所を確認、薄板を折り畳んだ様子から加飾の痕跡と推測された。同箇所の蛍光 X 線分析では、銀や錫が検出された。薄板を折り畳んだ状態や水銀が未検出なことから、鋲頭の加飾技法は鍍金ではなく銀張り・錫張りであることが分かる。



靱（底部）の構造模式図

帯金具裏面の有機質は、黒色塗膜・織物・木質が確認された。善一田 18 号墳・菟ギ塚古墳の帯金具には、平織と綟錦の 2 種類の織物があり、帯金具側から平織に縦錦を重ねる 2 層構造になっている。また、織物と帯金具の間に黒色塗膜が確認された。黒色塗膜はごく一部のため未分析であるが漆塗膜の可能性が考えられる。木質は全て針葉樹で、木繊維（柾目面）は帯金具の長軸に平行している。以上のことから、靱は内側から木質・織物（経錦・平織）・黒色塗膜（漆？）・帯金具で構成されることが分かる。木質は帯金具の長軸方向と木繊維が平行である木取りを考慮すると、何れの帯金具も靱の底部に装着されたものである可能性が高い。また、織物は経糸の方向が前・背面と側面で異なっていることが報告されている。（沢田 2017）織物は靱の四方に巻き付けたのではなく、各面毎に裁断したものを張り付けたと推測される。(註)

4. まとめ

靱の構造や技法について帯金具に残存する有機質を検証し、その結果を元に一部構造について推定復元した。本稿で対象とした帯金具は何れも靱底面に装着された可能性が高いことから、上部構造については不明である。今後も継続的な調査で詳細を明らかにしていきたい。

註：織物の詳細については（沢田 2017）を参照、観察結果を追加したものである。

A Comparative Study on the Manufacture and Characteristics of a Kitchen-Knife Applying Traditional Refining and Hammer-welding Technique of East Asia

○Sung Mo Cho(Kongju National University), Nam Chul Cho (Kongju National University)

1. Introduction

In ancient Korea and Japan, the direct iron smelting process was used to produce iron blooms by smelting sand iron or iron ore. However, iron blooms are unsuitable for making tools or weapons since they contain a large quantity of impurities. Accordingly, impurities were removed from iron blooms by refining and hammer-welding processes to improve the strength of the material. The material produced in such a way is called an iron bar (鋼塊) in Korea and Tamahagane (玉鋼, たまはがね) in Japan. In the present study, kitchen knives were fabricated using material produced through the traditional iron-making process.

Knife-making begins by forging the material into the shape of a knife and then grinding it. Afterward, tempering is done using soybean oil followed by the etching process in which patterns are drawn. Finally, fine grinding is done to produce kitchen knives. The purpose of the present study is to perform metallurgical analysis on the produced kitchen knives and to compare their characteristics.

2. Subjects

Seven materials were analyzed including Gyeongju Gampo sand iron (GS) used in smelting; one type of iron bar produced using the traditional steel manufacturing process; two types of applied materials made by welding iron bars into carbon steel and nickel steel, respectively; and three types of kitchen knives made with iron bars and applied materials.

Sand iron, a raw material, was collected at the waterfront of Gampo-eup in Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-Do Province based on the records of the Annals of King Sejong of the Joseon Dynasty. Afterward, the collected Gyeongju Gampo sand iron was smelted to make iron blooms, and then iron bars were produced through refining and hammer-welding processes.

Three types of materials were used. Material 1 (M-1) is an iron bar produced by smelting sand iron. Material 2 (M-2) is an applied material made by integrating and then hammer-welding the iron bar and carbon steel (Carbon 1095; 0.90~1.04%C/0.60~0.90%Mn) together. Material 3 (M-3) is an applied material made by integrating and then hammer-welding an iron bar and nickel steel (0.30~0.40%C/0.15~0.35%Si/0.35~0.65%Mn/1.00~2.50%Ni).

The kitchen knives were made using the three materials described above. Knife 1 (K-1), knife 2 (K-2), and knife 3 (K-3), were made using M-1, M-2, and M-3, respectively. The fabrication of knives was carried out under the same conditions described in the Introduction.

3. Research Method

For material analysis of Gyeongju Gampo sand iron, WD-XRF (S4 Pioneer, Bruker, Germany) and XRD (X' pertPRO MPD, Philips, Netherlands) were used.

The three types of materials and kitchen knives were cut using a water-jet mounted on epoxy resin, and then finely ground with sandpaper. The microstructure was then observed using a metallurgical microscope (DM 2500M, Leica, Germany). After observation through the metallurgical microscope, the specimens were coated with platinum and the microstructure and components were analyzed using SEM (MIRA3, TESCAN)-EDS (QUANTA300, BRUKER).

To measure the hardness of the knife edge, a microhardness tester (JP/MMT-7, Matsuzawa, Japan) was used. Lastly, a rubbing tester (NR-RB1, NURISC, Korea) was used to measure the wear rate of the knife edge.

4. Results and review

The purpose of this study is the improvement of the production characteristics and materials of a total of seven specimens through metallurgical analysis.

The analysis of Gyeongju Gampo sand iron compound using WD-XRF showed that it had high Fe content with 66.1 wt% total Fe, while the TiO_2 content was low. In addition, analysis using XRD detected magnetite and hematite, which were assumed to be deposited by the weathering of magnetite-series ore.

The analysis of three types of materials and three types of knives using metallurgical microscope and SEM-EDS showed that these were hypoeutectoid steel materials with high carbon content despite the differences in content in all specimens. As nonmetallic inclusions, SiO_2-Al_2O_3-CaO series glassy slags were observed, and fayalite was observed on wustite or glassy matrix.

5. Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government (Ministry of Science and ICT) (No. NRF-2016M3C1B5906955).

Table 1. WD-XRF analysis results of Gyeongju Gampo sand iron (GS)1

Sample	Major composition (wt%)							
	T·Fe	FeO	SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	TiO_2	V_2O_5
GS	66.10	90.34	5.23	2.96	0.28	0.24	0.58	0.38

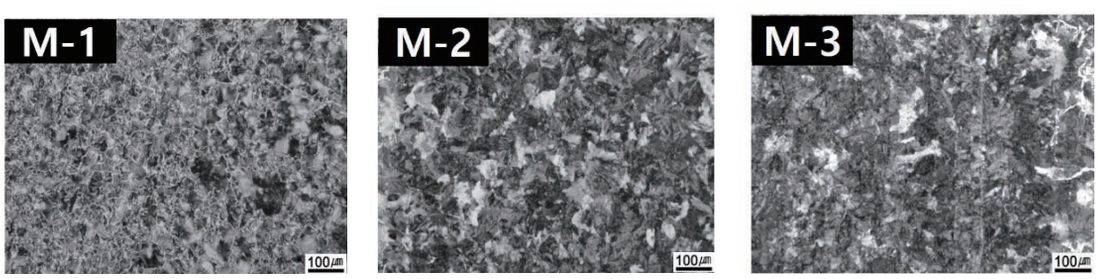


Figure 1. SEM images by material1

X 線 CT スキャナによる奈良県五條猫塚古墳出土鉄地金銅製冑の構造調査
Structural research of Iron covered gilt bronze helmet excavated from Gojo Nekozuka Tumulus by X-ray CT Scanner

○大江克己（国立アイヌ民族博物館設立準備室）、鳥越俊行（奈良国立博物館）、
吉澤悟（奈良国立博物館）、中川あや（奈良国立博物館）
○Katsuki OE (Preparatory Office for National Ainu Museum), Toshiyuki TORIGOE (Nara National Museum), Satoru YOSHIZAWA (Nara National Museum), Aya NAKAGAWA (Nara National Museum)

1. 五條猫塚古墳と鉄地金銅製眉庇付冑

五條猫塚古墳は奈良県五條市西河内町に所在する古墳時代（5 世紀）の方墳である。大陸や朝鮮半島の影響を受けた遺物を含む多量の金属製品が出土し、当時の対外的な文化交流を考察する上で重要な位置を示す古墳である。

図 1　五條猫塚古墳出土
眉庇付冑（蒙古鉢形冑）

本古墳からは 3 点の鉄地金銅製眉庇付冑が出土し、内 1 点は本発表で扱う蒙古鉢形と表される冑（以下、蒙古鉢形冑（図 1））となる。眉庇付冑は、5 世紀に導入された新来の金工技術を駆使して製作された、国内のみに事例を持つ冑である。通常、野球帽の様な外観を有するが、本冑は頭頂部が高く盛り上がる特異な外観から、北方騎馬民族の間でみられる冑との折衷品として注目されてきた。また、近年刊行された報告書の中では、製作技術を主にした金銅製眉庇付冑の変遷内で、系統分化後の初期例に位置すると考察されている(1)。

蒙古鉢形冑は以上の様な周縁を持ち様々な論議の的となってきたが、これまで検討例の少ない属性が一つある。それは鋲留に係る内容である。銅製鍍金の鋲の使用や鋲脚を折り曲げて固定する一部の鋲の指摘等あるが、鋲孔形状を含めた検討例は少ない。そこで本稿では、鋲孔の様相に着目し蒙古鉢形冑の鋲留技術について考察を進めたい。ここでの問いは二つあり、穿孔工具の推定と鋲脚を折り曲げた固定の所以である。以下、X 線 CT スキャナによる構造調査にて検証した。

2. 蒙古鉢形冑の形状概観と X 線 CT 調査の諸条件

蒙古鉢形冑の形状概観：鍍金された青銅製の受鉢と伏鉢を有する。胴巻板と腰巻板、一部の地板は鉄地金銅張である。庇部は透彫りのある花弁状金銅板を L 字状鉄製金具に鋲留し、さらに本体へ鋲留する。寸法は高 222㎜・全長 301㎜・最大幅約 200㎜（復元値）で、冑鉢本体は前後径 209㎜・左右径 182㎜ を測る。鋲は全て銅製鍍金で鋲頭径 3㎜・鋲頭高 2㎜ である。同質であるが庇部を本体に固定する鋲はやや小型で、鋲頭径 2㎜・鋲頭高 1㎜ となる。

X 線 CT 調査の諸条件：奈良国立博物館設置 Y.CT Solution 320 FPD（YXLON International 社製）を用いた。撮影条件は、電圧 320kV、電流 2.00mA、Projections 900、Integration 1000 で、空間分解能は約 0.2㎜ となる。解析は VGStudio MAX3.0（Volume Graphics 社製）を使用した。

3. 結果と考察

X 線 CT 調査の結果を基礎に下記の検証を行った。取得した画像の一部を示し考察を記す。

鋲孔形状と穿孔方向：図 2 より、伏鉢の鋲孔断面形状は外面が短辺のテーパ状とわかる。断面形状より内面から外面へ穿孔したと推測される。図 3、図 4 の位置①より、鉄地の鋲孔断面形状は方状に近い緩やかなテーパ状と観察される。図 4 の位置①を細かくみると、外面にやや開く形状が確認されるため、外面から内面へ穿孔したと推測される。図 4 の位置②をみると、鉄地と金銅板の間に隙間が確認できる。金銅板と鉄地は重ねて同時に穿孔したのではなく、個別に穿孔し鋲で留めたのであろう。

穿孔工具の推定：鋲留技術の先行研究で、当時の穿孔は錐状工具又はポンチ状工具の使用が想定されている(2)。伏鉢の鋲孔は、図 4 と図 5 の比較や図 6 から形状に差が確認できる。鋲孔左右の勾配に最大 18 度の差がある孔もみられた。伏鉢は鋳造製で厚さ 1.5㎜ 程となるが、ポンチ状工具を用いた場合は鋲孔の形状や左右勾配に差が少ないと推測されるため、錐状工具での穿孔と推測する。図 3 や図 4、図 5 より鉄地の鋲孔形状は近似しており、鉄地は鍛造製で腐食を含む 1〜2㎜ 程の厚さとなる。ポンチ状工具での打抜きによる穿孔と推測できる。

鋲脚を折り曲げた固定の所以：本冑の内面をみると鋲脚を折り曲げ固定した鋲がわかる。この鋲の位置を観察すると、伏鉢と鉄地の連結部に多く分布していた(図 7)。図 8 横の鏡板の鋲の様に(3)、固定には、鋲孔幅に対して鋲脚が密な必要があるが、図 8 をみると鋲脚に対して鋲孔幅が広い。本冑のかしめ鋲は図 3 の様になるが、鋲脚を折り曲げた鋲は鋲孔の隙間が広い様である。冑の組立順を推測した時、伏鉢の連結は終盤かと推測する。恐らく、板金誤差を修正しつつ連結を強固にするための工夫であろう。新来技術の到来を表す鋲留技術導入初期の所産であり、製作技術の様相を伝える貴重な作例と言える。

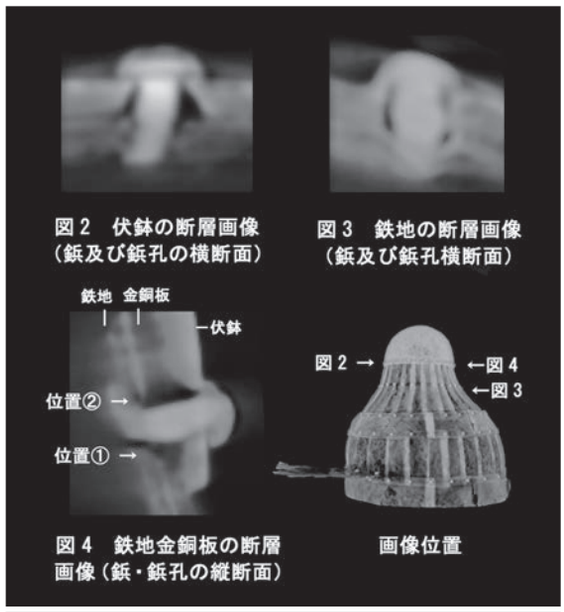


図 2　伏鉢の断層画像（鋲及び鋲孔の横断面）

図 3　鉄地の断層画像（鋲及び鋲孔横断面）

図 4　鉄地金銅板の断層画像（鋲・鋲孔の縦断面）

画像位置

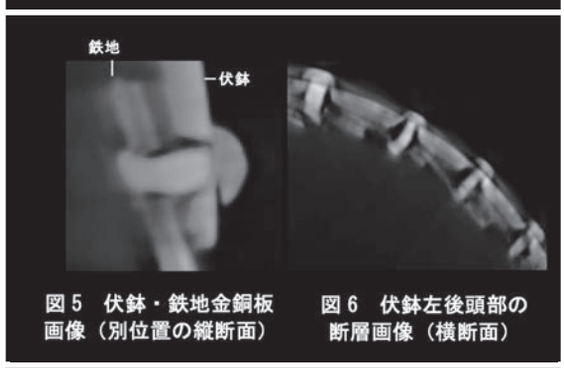


図 5　伏鉢・鉄地金銅板画像（別位置の縦断面）

図 6　伏鉢左後頭部の断層画像（横断面）

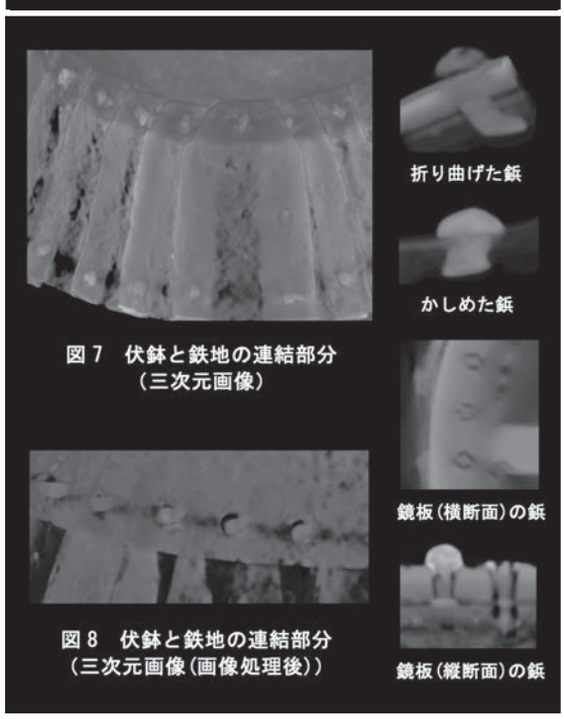


図 7　伏鉢と鉄地の連結部分（三次元画像）

図 8　伏鉢と鉄地の連結部分（三次元画像（画像処理後））

【註】(1). 奈良国立博物館編 2015『五條猫塚古墳の研究』奈良国立博物館
(2). 塚本敏夫 1993「鋲留甲冑の技術」『月刊 考古学ジャーナル』No.366　ニューサイエンス社
(3). 大江克己・鳥越俊行・吉澤悟・中川あや 2017「奈良県珠城山三号墳出土馬具の科学的調査
〜双鳳文杏葉並びに忍冬唐草文鏡板を中心として〜」日本文化財科学会第 34 回大会　ポスター発表より抜粋
(※. 図 1：国立慶州博物館編　2015『日本の古墳文化』より抜粋)

韓國高城文岩里出土新石器時代土器の科学的な研究

A Scientific analysis of neolithic pottery from Munam-ri site Goseong, Korea

○金秀京(韓国国立文化財研究所)，張誠允(左同)，韓旼洙（韓国傳統文化大学）
○Sukyoung KIM, Sungyoon JANG(National Research Institute of Heritage, Korea),
Minsu HAN(Korea National University of Cultural Heritage)

1. はじめに

高城文岩里(地名：コソン・ムンアムリ)遺跡は韓国の新石器時代に置いて耕作遺構である畑が国内初めて発掘された所である。ここは新石器時代初期から中期までの土器文様の変化の様子を知ることができ、土器文化の研究で重要な遺跡である。高城文岩里遺跡の土器は朝鮮半島内の新石器時代の中部東海岸文化を代表しており、隆起文土器が出土する前期文化と南海岸・西海岸地域の沈線文土器が流入する中期文化が共存している。本研究の分析対象は、1999 年から 2002 年までの住居地や指標、野外路地で発掘された新石器の初期・前期土器（隆起文土器、竹管文土器、朱彩土器）と 2011 年から 2012 年まで発掘された新石器時代中期の土器（横走魚骨文土器、短斜線紋格子紋土器、太線沈線文土器)、計 24 点(GS-1~24)を対象にした。本研究では高城文岩里で出土された異なる文様の土器の材料や製作上の特性を比較する。

2. 試料と分析方法

対象試料は隆起文土器(GS-1,5,7)，竹管文土器(GS-2,3,4,6)，朱彩土器(GS-23,24)，走魚骨文土器(GS-8,9,11,12,13,20)， 短斜線紋格子紋土器(GS-10,14,15,16,17,18,19)， 沈線文土器(GS-21,22)である。色度は土器の表面にSpectro-guide(BYK-Garder、Light Source C2) を使用して 3 回測定し、平均値を算出した。土器の構成鉱物はX線回折分析(Empyrean、Netherlands、Panalytical)で、土器の組織と鉱物の構成成分は光学顕微鏡(Axiotech、Germany、Zeiss)と偏光顕微鏡(Leica、DE/DM2500P)で観察した。土器の主成分分析は蛍光X線分析機(SuperQ、Netherlands、Panalytical)を利用した。

3. 分析結果

高城文岩里土器の表面部は殆ど赤色と黄色系の土器として確認される。酸素が完全に遮断されない酸化環境で焼かれたと考えられる。 朱彩土器は、赤色度(a*)が 14.89~19.31 で他の土器に比べて高かった。これは表面に赤い色の酸化鉄を塗ったためだと考えられる。
この土器の比重は 1.62~1.90、吸収率は 12.99~19.31%である。また、文様別土器の比重や吸収率の分布図(図１)では GS-12 のように高い吸収率を示す土器もあるが、24 点いずれも同じような分布範囲を示す。断面観察を通じて土器のテクスチャ-と空隙、含まれた鉱物の大きさと分布形態を確認した。実体顕微鏡と偏光顕微鏡で観察した結果、細長い形の気孔が観察され(GS-2、

5、9、16)、特に GS-16 と 19 の場合、組織が非常に粗かった。また、多くの土器の鉱物は大きさと分布が一定しておらず材料である土壌を精製しないままそのまま使用した可能性がある。偏光顕微鏡と X 線回折分析での観察結果、構成鉱物は石英、長石、雲母のほかにも多くの試料から多量の岩片(rock fragments)が観察された。朱彩土器の一部では赤鉄石(hematite)が検出された。鉱物の構成や組織は、土器文様によって区別されなかった。

X 線回折分析で検出された鉱物で土器の焼成温度を推定した。すべての土器にはカオリナイト(kaolinite)が現れず、雲母が消滅されていない。ムライト(mullite)のような高温指示鉱物の同定されていないことを考慮すると土器の焼成温度は 550~900℃と判断される。

土器の化学分析の結果、SiO_2 は 49.54~68.41wt.%、Al_2O_3 は 16.47~20.84wt.%、Fe_2O_3 は 1.79~7.55wt.%、MgO は 0.17~1.34wt.%、CaO は 0.14~0.60wt.%、Na_2O は 0.27~2.24wt.%、K_2O は 2.41~5.01wt.%である。また高城文岩里土器は、L.O.I が 10wt.%以上の土器も一部存在した(GS-2、3、6、7、10、11、12、17、20)。全体的に土器は同じような化学分布範囲で、竹管文土器 (GS-2,3) は他の土器に比べて SiO_2 が低く、Al_2O_3 が高い特徴を示す(図２)。

４.まとめ

土器の色、吸収率、断面の特性、焼成温度、化学成分の結果を通じて、高城文岩里の土器は時期や文様によって製作特徴が大きく変わらなかった。 特に胎土はこの地域の土壌を精製しないで使用したと考えられていており、550~900℃の温度での酸化環境(露天焼成)で焼成されたものと判断される。また一部を除けば殆どが同じような化学成分を持っており、含有量による文様別土器の差は明確に確認されなかった。したがって、土器の製作に使用された原料が時代や文様別によって違った可能性はあり得るが、原料の産地が違った可能性は低いと判断される。

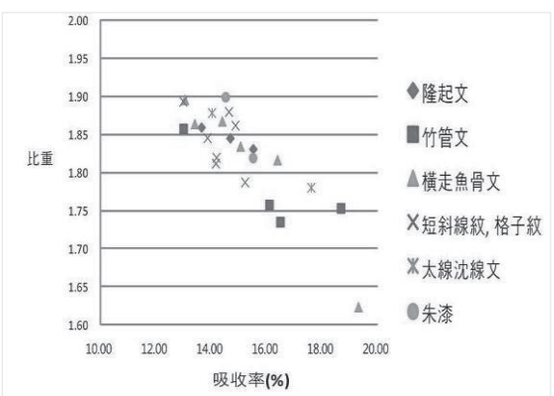


図1. 土器の比重や吸収率の分布

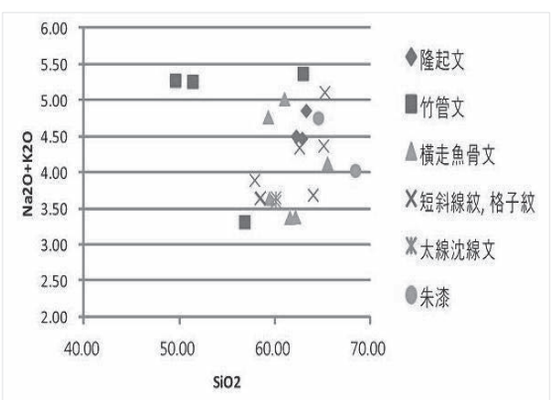


図2。土器の化学組成

地下式板石積石室墓の金属製品の調査

－熊本県北園上野古墳群出土遺物の保存処理における知見－

Study on the burial metalware excavated from Flagstone-piling chambered tumulus - Knowledge from Kitazonoueno Tumulus -

◯須山貴史（株式会社イビソク）、池田朋生（熊本県教育庁文化課）

◯Takafumi SUYAMA (IBISOKU Co.,Ltd.), Tomoo IKEDA (The cultural department office of Education Kumamoto Prefecture)

ポスター発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学一般

探査

文化財防災

１．はじめに

地下式板石積石室墓とは、肥前から天草、芦北、球磨、薩摩半島北側に存在する、古墳時代の南九州地域独特の墓制である。「シラス台地上に竪穴を掘り、内部に板状の石材を積み、屍床に玉砂利を敷き、追葬が行われる」といった点が特徴的である。

北園上野古墳群は、熊本県水俣市に位置する地下式板石積石室墓で、25 基の墓坑（過去調査を含めると 30 基以上）が検出されている。今回、同遺跡で出土した金属製品（鉄鏃、刀剣類、銅製品）を保存処理・分析調査する機会を得た。

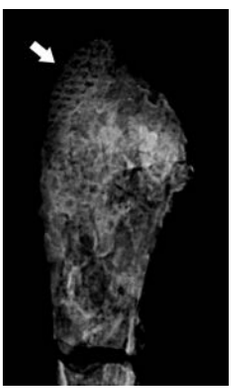
地下式板石積石室墓の発掘調査は近年では事例がないため､得られた情報は貴重な知見となるため、本稿ではその一部を紹介したい。

２．事前調査と有機質痕の表出過程

事前調査の X 線透過撮影の段階で、一部の遺物には織物痕が確認できた。このため特に表面の土砂のクリーニング作業は慎重を期して対応した。エアブレイシブ、精密グラインダーを用いたオーソドックスな手法による。研磨剤は#240 のガラスビーズで当たりを和らげ、脆弱部位にはあらかじめ樹脂による補強を施すなど、各遺物に適した処置を心がけた。

保存処理の過程において、鉄製品の表面から、地下式板石積石室墓では初の発見例となる織物と昆虫痕（ハエ囲蛹殻痕）を検出した。特に囲蛹殻痕の存在は、遺体埋納時に石室の内部空間が保たれていたことを示す証拠である。

北園上野古墳群から出土した鉄鏃の一例



X 線透過画像に写った織物痕

３．遺物の出土状況

出土遺物は鉄鏃が主体で、圭頭式、腸抉柳刃式、定角式などが出土した。鉄剣も大小５点が出土している。矢柄の樹皮巻や刀の木鞘、柄の有機質が良好な遺存状態で認められた。

出土状況の記録と照らし合わせたところ、付着物の出土時の位置（墓坑内での位置、上／下面）は全点は検証できなかったが、織物痕・ハエ囲蛹殻痕ともに墓坑の中央付近で検出された鉄鏃の、上面に付着している例が確認できた。織物痕はいずれも遺物の片面のみ付着していることとあわせると、織物は副葬品を包む用途ではなく、遺体を包んでいた可能性がある。

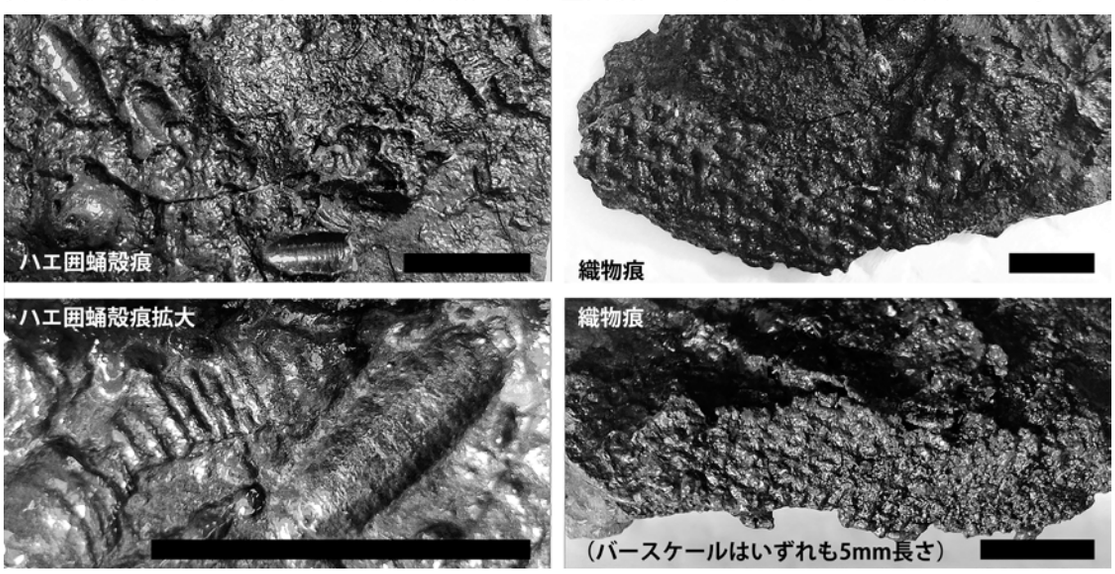
遺構と遺物の検出状況

４．有機質の観察・記録

有機質痕は、サンプル採取のかわりにマクロ撮影と型取り用シリコーン樹脂によるレプリカ法で記録を行った。織物痕は２種類あり、織密度 1cm あたり約 10 本の粗い織物と、織密度 1cm あたり約 20 本の密な織物が確認できた。またハエ囲蛹殻痕は約 4mm×1.5mm ほどの大きさで、１か所あたり３個～10 個程度が確認できた。

５．まとめ

当遺跡は、地下式板石積石室墓として副葬品が良好な状態で出土した数少ない事例である。付着物からは、当時の葬送儀礼の解明に迫ることができる可能性がある。今後の詳細な調査で材質・技法を明らかにすることで、古代南九州の歴史復元の一助になることを期待したい。



有機質痕の拡大写真

バチカン図書館所蔵メダルの金属組成
Metallic component of the devotional medals in the Vatican Library

◯稗田優生（大分県立歴史博物館）、後藤晃一（同左）、浅野ひとみ（長崎純心大学）
◯Yuki Hieda, Koichi Goto (Oita Prefectural Museum of History),
Hitomi Asano (Nagasaki Junshin Catholic University)

1　はじめに

ローマン・カトリック総本山であるバチカン教皇庁立図書館古銭部は、古代から現代までおよそ 30 万点のメダル・コレクションを誇る。今回は、16-17 世紀の祈念メダル 19 点、教皇メダル１点について蛍光 X 線分析による金属組成分析を行った。本発表では、国内に伝世例が確認される「グレゴリウス 14 世」メダルを中心にこれらの分析結果を以下に示す。

2　調査方法

上記 20 点のキリスト教メダルを対象として、同所にハンドヘルド蛍光 X 線分析計（オリンパスイノベックス社製 DP2000）を持ち込んで蛍光Ｘ線分析を行った。測定条件は測定時間 30 秒、Rh ターゲット、X 線照射径９㎜φ である。

3　分析結果

メダル 20 点の化学組成は、真鍮製 18 点、銀・銅合金製１点、純銅製１点であった。真鍮製 18 点は亜鉛濃度にばらつきが見られ、亜鉛濃度 20%以上：２点、10%以上：10 点、10%以下：６点に区分された。これら 18 点は銅、亜鉛以外には、スズ、鉛も検出された。亜鉛濃度が高い場合には鉛濃度が低く、亜鉛濃度が低い場合には鉛濃度が高くなる傾向がみられた（図１）。

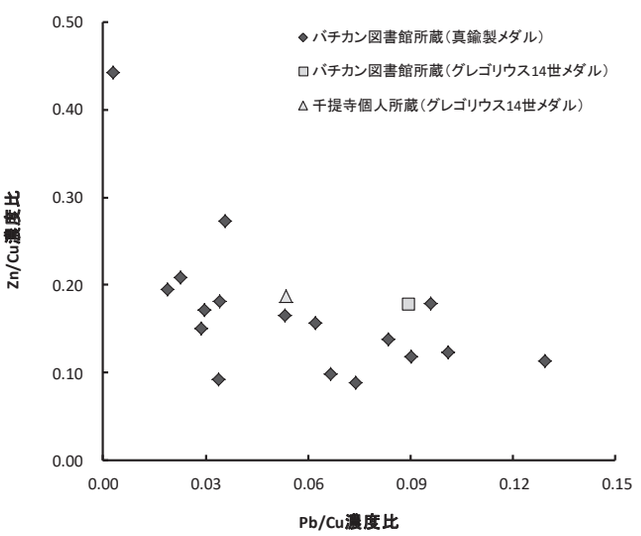


図１　銅、鉛、亜鉛の濃度比

4　「グレゴリウス 14 世（在位 1590-1591）」メダルについて

表面に「教皇グレゴリウス 14 世」、裏面に「キリストと聖母マリア」が描かれた正円メダルは径 3.6㎝と大ぶりで、ROMAE と銘があることから、教皇庁制作メダルと考えられる[1)]。また、「IN GRA(TIA)M PHILIPPINA/RVM」という銘文から、1591 年、奴隷となっていたフィリピン

のキリスト教徒の解放を命じた勅書の発布記念に鋳造されたものと推定される。同型のメダルは、国内伝世品（千提寺個人蔵）にも認められる（写真１）。これら２点の化学組成[2)]はほぼ一致し、鉛濃度にばらつきは見られるものの同じ真鍮製であった（図１）。その他、マドリードの公立施設所蔵の教皇メダルを集大成したM.カーノ・クエスタによると、国立考古学博物館に２点、王立アカデミーに１点が確認されている[3)]。しかしながら、著者は、それらの材質について、従来からの「青銅製」との見解を支持している。

写真１　「グレゴリウス 14 世」メダル（千提寺個人蔵）

５　まとめ

膨大なコレクションのうちのわずか 20 点の分析にすぎないが、これまで金属組成分析が行われていないバチカン図書館所蔵メダルの特性を保存科学の立場から掘り下げることができた。さらに、制作年が明らかな教皇メダルは基準作となり得るが、豊富な文献資料に比して材質に関する先行研究は皆無であり、国外作例を対象とした金属組成の比較は近世のメダル制作の実態を解明する端緒となろう。

引用文献

1）浅野ひとみ「いませ考」，『平成 27 年度特別展キリスト教王国を夢見た大友宗麟』，大分県立歴史博物館，2015，p. 67

2）後藤晃一『キリシタン遺物の考古学的研究－布教期におけるキリシタン遺物流入のプロセス－』，溪水社，2015，p. 334

3）Cano Cuesta, Marina : *La　medalla papal en las colecciones públicas madrireñas*, Madrid, 2012, núm. 203.

本発表は科学研究費助成事業（研究代表者：浅野ひとみ　基盤研究Ｂ　課題番号：16H03514 「覚醒する禁教期キリシタン文化」）の研究成果の一部である。

マイクロフォーカス型X線CT撮影を用いた保存処理済み木製遺物の観察
Observation of conserved wooden remains using micro focus type X-ray CT imaging

◯山田 哲也・大國 万希子・木澤 直子・山口 繁生・塚本 敏夫
(公益財団法人 元興寺文化財研究所)
◯Tetsuya YAMADA・Makiko OKUNI・Naoko KIZAWA・Shigeo YAMAGUCHI・Toshio TSUKAMOTO
(Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

１．はじめに

近年のX線CT撮影を用いた文化財の構造調査は大きな研究成果をあげている。その中で木製品の調査では、仏像を中心とした伝世してきた文化財の構造調査での大きな成果が報じられているが、それに対して、埋蔵文化財である出土木製品の調査での成果はあまり報じられていないのが現状である。

本報告では、真空凍結乾燥法で保存処理をおこなった漆塗膜に覆われた出土木製品を撮影対象として、保存処理後の出土木製品の内部性状の把握について、昨年度に公益財団法人元興寺文化財研究所が導入したマイクロフォーカス型X線CTシステムによる撮影がどの程度の有効性を有しているのかを検証する目的でおこなった撮影の結果について報告する。

２．資料と方法

２－１．調査資料

マイクロフォーカス型X線CTシステムによる撮影をおこなった木製品は、熊本市上代町遺跡群より出土した赤漆塗木製銅剣柄（11.5×5×4cm）と盤１（7.7×4×0.9cm）、盤２（6.6×3×0.7cm）である。赤漆塗木製銅剣柄は、８割程度の残存率で、破損部分以外は漆塗膜にしっかりと覆われて木胎自身の劣化状態や木取りを確認することは困難な状態の遺物であった。盤は２点とも全体の半分ほどの残存率であり、木製品表面に塗布されていた漆膜の剥落が著しく、また、破損している木口面からは木取りを確認できる状態であった。

これらの木製品は、３点ともポリエチレングリコール（以下PEG）40%水溶液までPEG含浸をおこなったのちに真空凍結乾燥法により保存処理を実施して遺物の安定化を図った。そして、保存処理後にマイクロフォーカス型X線CTシステムによる撮影をおこなった。

２－２．X線CT撮影

X線CT撮影は、元興寺文化財研究所に導入された文化財用マイクロフォーカス型X線CTシステム（東芝社製TOSCANER-32300μFD-GCR）を用いた。

各々の木製品のX線CT撮影の撮影条件は下記の通りである。

赤漆塗木製銅剣柄　：　管電圧：90Kv、管電流：1000μA、スライスピッチ：0.05mm。

盤１・２　　：　管電圧：90Kv、管電流：1000μA、スライスピッチ：0.18mm。

３．X線CT撮影結果

図１に赤漆塗木製銅剣柄の柄部の２方向からの縦断面と鐔部の横断面の中心部分の断層画像を、図２に盤１・２の横断面の中心部分の断層画像をそれぞれ示した。

赤漆塗木製銅剣柄については、赤漆の赤色顔料が朱（辰砂）であるために木材とのX線吸収係数のコントラストが大きくハレーションが生じた断層画像となった。当初、表面が漆膜に覆われているために一部の破断面からでは木胎の木取りを確認することができなかったが、鐔部分の横断面像から年輪を観察することができたことから、木取りを確認することができる。しかし、漆塗膜の様子については十分には確認することはできなかった。また、中子の加工形状、保存処理前から木胎に生じていた空隙、真空凍結乾燥にともなう木胎の収縮により生じたと考えられる亀裂、亀裂部分に溜まってしまったPEGを確認することができる。

盤については、外部からは確認することのできなかった漆膜直下の空隙や亀裂部分や道管内に沿ってPEGが析出している様子を確認することができる。

X線CT撮影をおこなうことで漆塗膜に覆われた木胎部分の詳細な可視化か可能となり、これまでX線写真撮影による透過観察では観察しきれなかった木製品内部全体の精密な観察が可能であることが確認することができた。

４．まとめ

漆塗膜に覆われた木製品を保存処理後にX線CT撮影をすることによって、外観からは確認することの出来なかった木胎の内部を可視化することが可能となった。そのため、従来のX線写真撮影での２次元画像では詳細な観察の難しかった部分の詳細な観察が可能となり、木胎内部の状態を捉えることができたことは、木製品の構造や保存処理後の木製品の取り扱い方などを判断していく資料として有効的な方法である。

謝辞　：　本調査をおこなうにあたり、熊本市文化振興課埋蔵文化財調査室には、貴重な資料を調査する機会をいただきました。ここに記して感謝いたします。

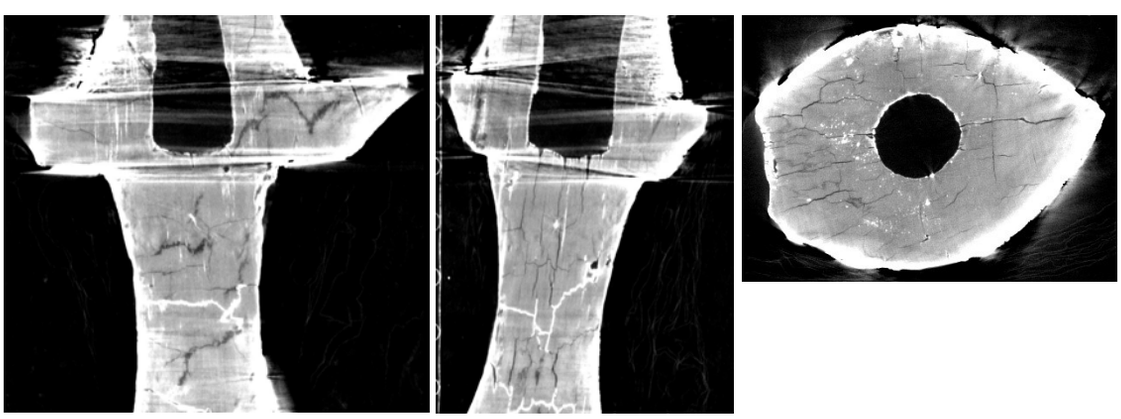


図１．赤漆塗木製銅剣柄（縦断面１）　（縦断面２）　鐔部（横断面）

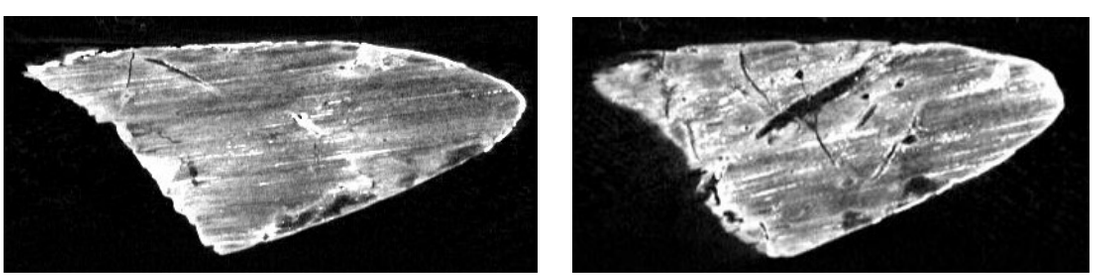


図４．　盤１（横断面）　　図５．　盤２（横断面）

南蛮文化館所蔵南蛮漆器類のＸ線ＣＴ調査

X-ray CT Investigation of Namban Lacquer owned by Namban Bunkakan Museum

◯鳥越俊行（奈良国立博物館）、小林公治（東京文化財研究所）、能城修一（明治大学）、
北村　繁（漆芸家）、清水　健（奈良国立博物館）、田澤　梓（同左）、
安藤真理子（奈良大学）、矢野孝子（南蛮文化館）
◯Toshiyuki TORIGOE, Koji KOBAYASHI, Shuichi NOSHIRO, Shigeru KITAMURA,
Ken SHIMIZU, Azusa TAZAWA, Mariko ANDO, Takako YANO

1. はじめに

南蛮文化に関する専門美術館として著名な大阪の南蛮文化館には、多くの南蛮漆器類が所蔵されている。これまで南蛮漆器類に対する科学的な調査はさほど行なわれておらず、構造や製作技法については不明点が多かった。このたび、奈良国立博物館文化財保存修理所において、出光文化福祉財団から助成を受けた南蛮文化館所蔵南蛮漆器類書見台２基の修理機会を捉え、同館が所蔵する南蛮漆器３件を加えてＸ線ＣＴ調査を実施した。その結果、木材樹種や製作技法を始めとする重要な知見が得られたため、今後の調査研究に資するべく報告を行なう。

2. 調査作品と調査方法

調査した作品は、同館所蔵で 17 世紀前半の IHS 木彫箔絵螺鈿書見台(図１)、IHS 花鳥蒔絵螺鈿書見台、IHS 葡萄唐草蒔絵螺鈿聖餅箱、IHS 幾何学蒔絵螺鈿聖餅箱(図２)、幾何学蒔絵螺鈿水注の５件である。調査には、奈良国立博物館の大型文化財用Ｘ線ＣＴスキャナ(Y.CT Solution 320 FPD：YXLON International 社製)を用いた。撮影条件は、Ｘ線出力 320kV、2mA、焦点寸法 0.4mm、１回転当たり約 6 分の測定時間で、書見台は約 0.6mm、聖餅箱は約 0.2mm、水注は約 0.3mm の空間分解能にて測定した。なおデータの解析には Volume Graphics 社製 VGStudioMAX 3 を用いた。

3. 調査結果とまとめ

書見台は、木目の連続性から 2 基ともに一枚の針葉樹厚板材を板目方向に縦挽きにし、蝶番部分を刳り抜いて造っていることが明らかとなった（図３）。聖餅箱は縦木取りの広葉樹材で造られており、特に IHS 幾何学文聖餅箱の蓋と体部は同一材であることが判明した（図４）。水注は首や胴の中央など複数の部材で構成されていた。

今回の調査では、博物館における修理の際にＣＴ装置による調査を活用実施することで、修理に有益な情報も得られたほか、関連作例の調査により学術的にも有効な新たな情報を得ることができた。こうした知見が今後の南蛮漆器の調査研究に資することを期待したい。

図１　IHS 木彫箔絵螺鈿書見台

図３　木彫箔絵螺鈿書見台の断層画像

図２　IHS 幾何学蒔絵螺鈿聖餅箱

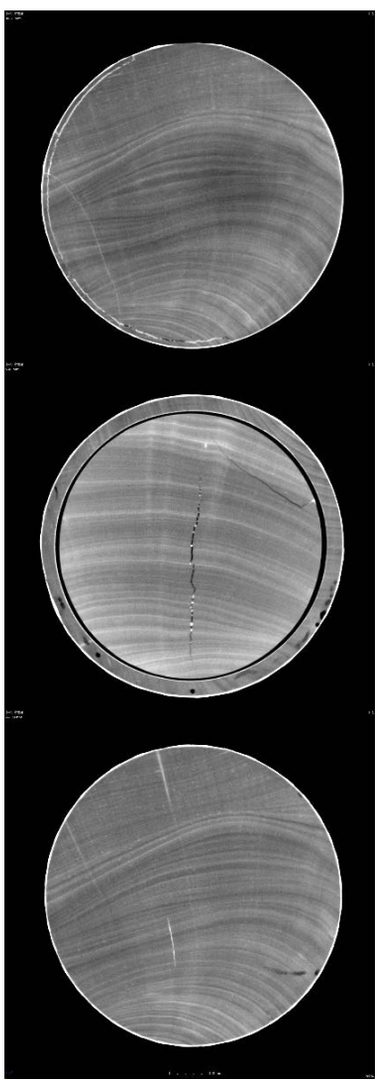


図４　幾何学文聖餅箱の断層画像
（蓋（上）・掛子（中）・体部底面（下））

川口市戸塚立山遺跡発掘の鉄鍋の分析

Analysis of iron pots excavated from Totsukatateyama site in Kawaguchi city

○田口智子（東京藝術大学）、水本和美（同左）、小林克（日本大学）、
黒済和彦（川口市役所）、桐野文良（東京藝術大学）
○Satoko TAGUCHI, Kazumi MIZUMOTO (Tokyo University of the Arts),
Katsu KOBAYASHI (Nihon University), Kazuhiko KUROZUMI (Kawaguchi city office),
Fumiyoshi KIRINO (Tokyo University of the Arts)

1. はじめに

本発表では、川口市戸塚立山遺跡の発掘によって発見された2点の金属製鍋の分析結果を報告する。資料提供は川口市遺跡調査会である。この鍋は、近世初頭の墓跡からの出土で、病変などの理由による特殊な埋葬方法として採用された「鍋被り葬」の状態にあったことで、鍋の全体形が良く残っていた。本遺跡の別地点では多数の土壙墓が発見されており、江戸時代には当該地に存立していた新義真言宗東福寺の墓域に形成されていたと考えられている（川口市遺跡地調査会2007)。鍋被り葬については考古学、民俗学的見地からの研究が報告されている。近世は和釘をはじめとして金属のリサイクルが盛んであり、完全な形を残す鍋が出土する例は少ない。そのため、鍋の材料学的調査はこれまで十分には行われていない。そこで、前述のとおり、全体形をよく残した戸塚立山遺跡で発掘された鍋について、X線透過像撮影及び蛍光X線分析を行い、形状や材料を明らかにした。

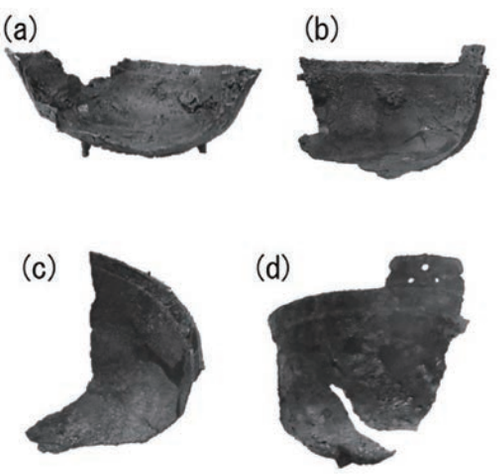


図1　資料外観像

2. 資料と実験方法

分析を行った資料の外観像を図1に示す。今回分析を行った鍋は2点あり、資料(a)に示す小型の鍋と、資料(b)～(d)からなる大型の鍋である。資料は保存処理済みであり、アクリル樹脂の含浸・充填及び彩色が行われている。これらの資料について、X線透過像撮影(撮影条件170kV、4.5mA、10秒)による構造の把握及び可搬型蛍光X線分析装置(XRF)による組成分析を行った。

3. 結果

4点の資料についてX線透過像撮影を行った。代表的な結果を図2及び図3に示す。撮影結果から、材料の厚みや腐食の状態、保存処理が行われた箇所が確認された。鍋の吊り下げ部分については別材を接合したのではなく、同一の材から製造されていることが明らかになった。また、資料(b)、(d)の側端部に、別材からなる部分が見られた。これは鍋が使用された時代の修理痕と考えられた。

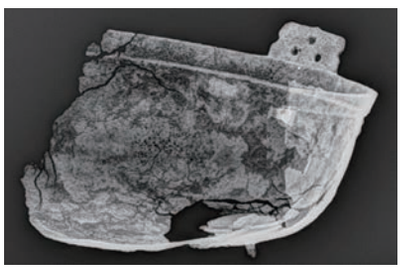


図2　資料(b)のX線透過像

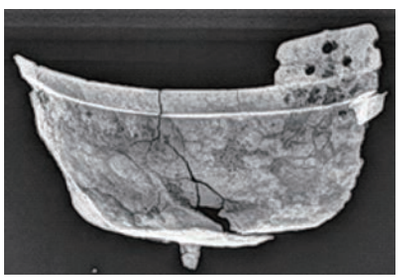


図3　資料(d)のX線透過像

鍋の材料を明らかにするため、XRFによる組成分析を行った。図4は資料(a)の地金部分の分析結果である。鍋の主成分はFeであり、その他にAg、Ca、Si、Clが検出された。AgはXRFの管球由来であり、Ca、Siは土壌の成分由来と考えられる。ClはFeと結合して塩化物として存在している可能性がある。資料(b)～(d)の地金についても、同様の結果が得られた。図5に資料(b)の修理痕と考えられる箇所の分析結果を示す。地金部分で得られた元素に加えCuが検出されたため、修理の際に使用された材料がCuであることが明らかになった。

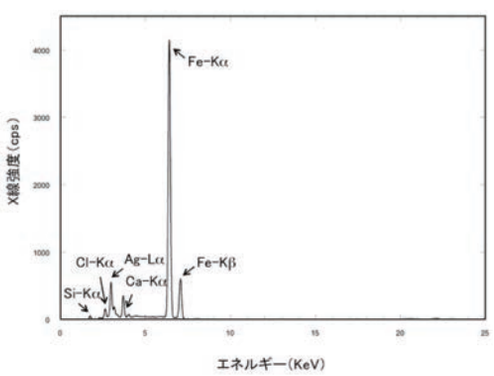


図4　資料(a)地金部分のXRFスペクトル

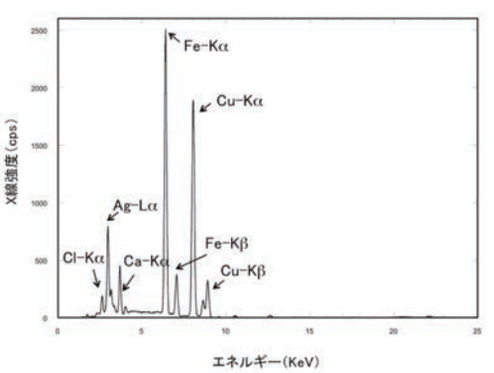


図5　資料(b)修理痕のXRFスペクトル

4. おわりに

川口市戸塚立山遺跡発掘の鉄鍋2点について、X線透過像撮影及びXRFによって製造技法や材料を明らかにした。今後さらに資料の分析を進め、製造時の金属加工技術や、資料に含まれる微量成分から鉄素材の由来を調査したい。本研究の成果は、近世初頭の鍋に関する基礎データを提供するとともに、鋳物の町として名高い川口市の鉄と鋳物の歴史を科学的に紐解く端緒となると考えられる。

Sr 同位体比と科学的手法による百按司墓内の木棺に使用された材料とその産地の推定

Estimation of materials and provenance of wooden coffin in *Mumujanabaka* by Sr isotopes ratio and scientific methods

◯中川理夢（明治大学大学院理工学研究科）、玉城靖（今帰仁村教育委員会）、
宮里正子（浦添市美術館）、仲宗根久里子（浦添市美術館）、
中井俊一（東京大学地震研究所）、本多貴之（明治大学理工学部）
◯Rika NAKAGAWA (Graduate School of Science and Technology, Meiji University), Yasushi TAMASHIRO (The board of Education of Nakijin Village), Masako MIYAZATO (Urasoe Art Museum), Kuriko NAKASONE (Urasoe Art Museum), Shun'ichi NAKAI (E.R.I., The University of Tokyo), Takayuki HONDA (School of Science and Technology, Meiji University)

1. 緒言

文化財によく用いられる塗料である漆の産地の大別には熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析法 (Py-GC/MS) による樹種同定が広く用いられている。しかし、この手法では同じ樹種において塗膜を形成する脂質の主成分が同一なので原産国の特定ができない問題点がある。そのため本研究ではマルチコレクター型誘導結合プラズマ質量分析法 (MC-ICP-MS) を用いた Sr 同位体比 ($^{87}Sr/^{86}Sr$) 測定による漆の産地識別を進めている。しかし、文化財は様々な有機無機材料の複合体であるため、他の材料が漆の分析に影響を与えることが考えられる。そのため、強い酸を用いて漆以外の材料を除去する前処理法の検討を進めている。今回の実験では琉球工芸技術を知るうえで貴重な資料である百按司墓の木棺を用いた。百按司墓は沖縄県国頭郡今帰仁村に位置し、16 世紀以前の有力な一族の葬られた墓で琉球を代表する古墓である。本研究では百按司墓の木棺に使用された材料及びその産地を特定したので前処理法の検討と併せて報告する。

2. 実験

百按司墓の木棺から赤色塗膜片 (Red_P)、黒色剥落片を試料として用いた。黒色剥落片は塗膜片 (Black_P) と素地の木片 (Black_W) に分けとった。各塗膜片に対してクロスセクション分析、Py-GC/MS を行った。また、Black_P, Black_W に対して MC-ICP-MS による Sr 濃度・同位体比測定を行った。Sr 濃度・同位体比測定の前処理として、Black_P をテフロンビーカーに入れ $HF : HNO_3 = 1 : 1$ の混合溶液を加えて 24 時間静置した後に水洗いをした。この操作を褐色に変色していた混合溶液が無色透明になるまで繰り返し、乾燥後 Sr 濃度・同位体比測定に用いた。

3. 結果と考察

3.1. クロスセクション分析

層構造の観察及び前処理の有無による変化を観察するためにクロスセクション分析を行った。Red_P は赤色顔料層、生漆層、炭粉下地層、素地の木胎層からなる四層構造であることが確認された。また、Black_P は生漆層、炭粉下地層、素地の木胎層からなる三層構造であることが確認された。前処理を行った Black_P は素地の木胎層の厚さの減少が確認されたため、前処理は塗膜に残存する素地の木胎の除去に有用であることが示唆された。

3.2. Py-GC/MS

使用された材料を特定するために Py-GC/MS を行った。Red_P, Black_P ともに、*m/z* 60 のイオンクロマト抽出より、炭素鎖の少ない脂肪酸とパルミチン酸とステアリン酸が確認されたため、油脂が用いられたことが示唆された。また、*m/z* 202 のイオンクロマト抽出より、ピレンとフルオランテンのピークが検出されたため、下地層に炭粉が使用されていることが示唆された。また、Red_P は水銀の七つの同位体を表すピークが確認されたため、赤色顔料として水銀朱が使用されていることが示唆された。*m/z* 108 のイオンクロマト抽出より、3-ヘプチルフェノールを中心とする山型のピーク群が確認されたため、使用された漆の樹種は日本・中国・韓国産の漆である *Toxicodendron vernicifluum* と示唆された。

3.3. MC-ICP-MS による Sr 同位体比・濃度測定

使用された材料の産地の特定及び前処理の効果を調査するために MC-ICP-MS による Sr 同位体比・濃度測定を行った (Table)。日本産漆と中国・韓国産漆の境界値 $^{87}Sr/^{86}Sr$: 0.711 [-] [1] をもとに識別を行うと低い値を示したため、Black_P に用いられていた漆は日本産漆であることが示唆された。また、Black_W は Black_P と同様の値を示したため、木胎は日本産であることが示唆された。しかしながら、現在報告されている各種漆膜の Sr 濃度が約 2-5ppm であるのに対し、Black_P の Sr 濃度は 35.0ppm と高い値を示した。よって、漆の産地特定に木棺製作に用いられた他の材料が影響を及ぼしている可能性がある。Black_W よりも高い Sr 濃度を示していることから素地の木胎の影響は小さく、炭が高い Sr 濃度 (65.1ppm) を示すことから塗膜中に含まれる炭粉の影響が大きいと考えられる。

Table Sr ratio and concentration of samples

sample	$^{87}Sr/^{86}Sr$ [-]	Sr [ppm]
Black_P	0.70996	35.0
Black_W	0.70935	33.7
Japanese lacquer film	0.70561	2.2
Chinese lacquer film	0.71483	2.5
Charcoal	—	65.1

4. 結言

木棺に使用された材料が特定された。また、木棺には日本産の木材の使用が示唆され、琉球王朝と日本に交易関係があったことが確認された。HF と HNO_3 の混合溶液による前処理が黒色塗膜に対しては有用でない可能性が示唆されたので、さらに調査を行っていく予定である。

【参考文献】

1) T. Honda, R. Lu, Y. Kamiya, S. Nakai, T. Miyakoshi, J. Anal. Applied Pyrol. 117, pp. 25-29, 2016.

九州における古墳時代の遺跡出土琥珀の産地推定

Provenance study of amber excavated from the sites of Kofun period in Kyusyu

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

1. はじめに

古墳時代の九州地域出土琥珀は以前に報告した全反射赤外分光分析（以下 ATR-FTIR）では岩手県久慈市、福島県いわき市産琥珀のスペクトルと近い結果が得られた。しかし、距離的に見て近くに産地があれば、材料はそこで調達することが充分に考えられる。一方、これまで九州地域で産出する地質学的標準琥珀の化学分析は全く行われていない。北部九州産の琥珀の生成年代は主産地の久慈市や銚子市に比べると比較的新しく、北海道や山口県宇部市周辺などの地層と同年代である。今回新たに北部九州を中心に数か所の産地の琥珀について ATR-FTIR および熱分解ガスクロマト質量分析（以下 Pyro-GC/MS）を実施した。同時に九州地域の 4 遺跡 6 点の古墳時代出土琥珀を同様の条件で分析し、すでに報告されている主産地の琥珀も含めた標準試料の分析結果と比較した。その結果、以前の報告を裏付ける結果が得られたので報告する。

2. 資料

出土琥珀は古墳時代の遺跡（福岡県壱岐市対馬塚古墳、同双六古墳、福岡県筑前町鳥毛 1 号墳、宮崎県高原町立切 35 号墳）から出土した 6 点を分析した。また、標準試料としては久慈市、いわき市、銚子市産琥珀に加えて福岡県直方市から採取した試料も新たに分析した。

3. 分析方法および条件

分析は ATR-FTIR と Pyro-GC/MS を実施した。ATR-FTIR は装置として(株)パーキンエルマー製 Spectrum Two を使用し、$LiTaO_3$ 検出器を用い、分解能 $4cm^{-1}$ で測定した。Pyro-GC/MS は熱分解装置としてフロンティアラボ製 PY-3030D 型パイロライザー、GC/MS は日本電子（株）製 JMS-Q1050GC 型 GC-MS を使用した。測定はヘリウムガス加熱雰囲気下、350℃、550℃の 2 段階の温度で加熱し、電子衝撃イオン化法（EI 法）により検出した。

4. 結果および考察

出土琥珀の ATR-FTITR および Pyro-GC/MS の分析結果は 6 点ともほぼ同じであったことから産地は同一である可能性が高いことが分かった（図 1 、図 3)。さらに ATR-FTIR の標準琥珀との比較では出土琥珀は久慈市およびいわき市と比較的よく似たスペクトルのパターンを示した。

次に、Pyro-GC/MS で 350℃における熱脱着および 550℃の熱分解によるトータルイオンクロマトグラム（以下 TIC）では両条件とも出土琥珀は久慈市、いわき市産の琥珀と比較的よく似たパターンを示すことが分かった（図 2、図 4)。これらのことを考慮すると、今回分析した九州地域の古墳時代の出土琥珀は久慈市あるいはいわき市産の可能性が高いと推定した。

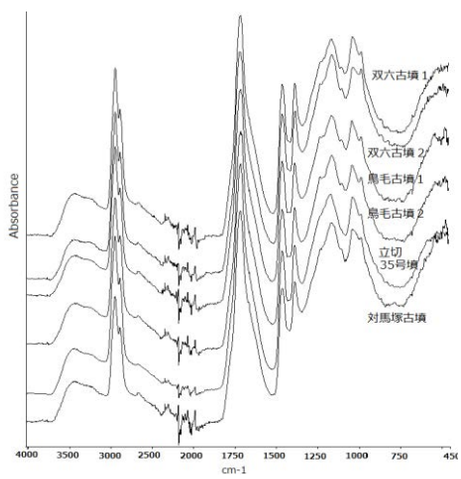


図１．出土琥珀の赤外吸収スペクトル

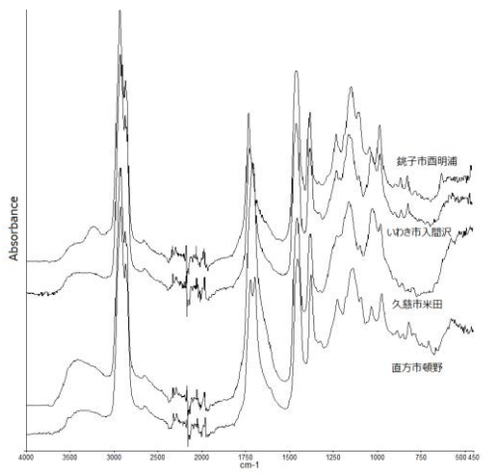


図２．標準琥珀の赤外吸収スペクトル

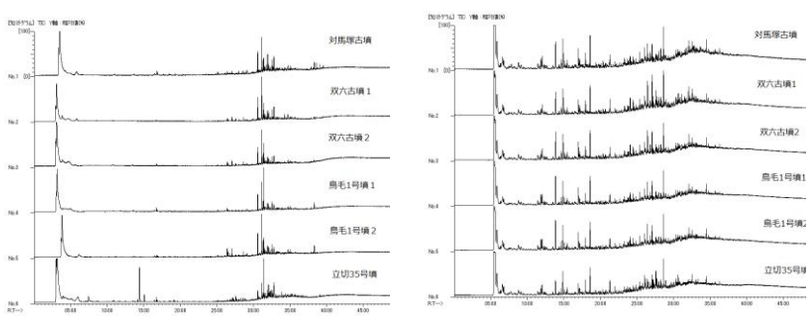


図３．出土琥珀の TIC（左：350℃　右：550℃）

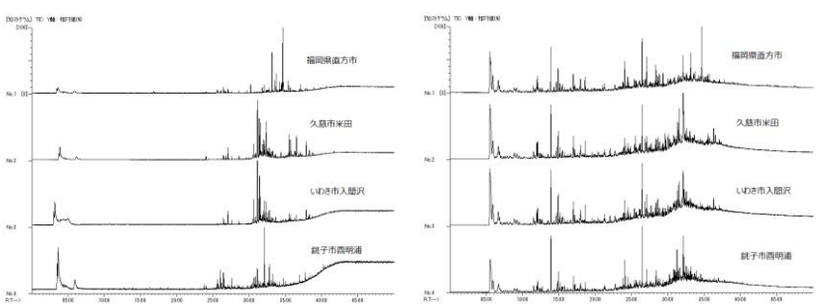


図４．標準琥珀の TIC（左：350℃　右：550℃）

5. さいごに

今回、新たに九州地域から産出した標準琥珀をこれまでと同様に分析した結果、国内で主産地として知られている久慈市、いわき市、銚子市とはATR-FTIRおよびPyro-GC/MSの結果が異なり区別がつくことが明らかとなったが出土琥珀の結果とは異なることもわかった。

しかし、現時点で発見されていない産地や国外の産地、さらに出土琥珀の劣化による影響などについて、今後も検討が必要であると考える。

さいごに九州地域の琥珀をご提供いただきました黒河雅文様、北九州市立自然史・歴史博物館上田恭一郎様および森康様に感謝いたします。

北アイルランド海岸から引き上げられたスペインの難破船「ジローナ」号のキリスト教メダルの鉛同位体比測定

Lead Isotope Ratio of Christian Medals from a Spanish Ship Wreck from Northern Ireland

○渡邊緩子、隅英彦（日鉄住金テクノロジー株式会社）
後藤晃一、稗田優生（大分県歴史博物館）
浅野 ひとみ（長崎純心大学）、平尾良光（帝京大学文化財研究所）
○Hiroko Watanabe、Hidehiko Sumi (Nippon Steel & Sumikin Technology Co.,Ltd.)
Yuki Hieta、Koichi Goto (Ooita Prefectural Museum of History)、
Hitomi Asano(Nagasaki Junshin Catholic University)、Yoshimitsu Hirao (Teikyo University)

1. はじめに

スペインとイギリスのアルマダの海戦で、スペイン船ジローナ号が北アイルランド沖で 1588 年に沈没した。この沈没船の遺物が現代において引き上げられ、北アイルランドのベルファストにあるアルスター博物館に所蔵されている。ジローナ号の遺物の中にはキリスト教徒が首にかけて信仰を深めるメダルがある。これらメダルは、真鍮や鉛製のもので、宗教的に重要な意味を持つと言われている。

これまでの研究で 16 世紀以降、西洋の経済活動が活発化すると、東洋へ進出し、東洋の珍しい物資が西洋へもたらされるようになったと言われている。また、同時にキリスト教の宣教師による布教活動も始まり、中国や日本などの東洋諸国にもキリスト教が伝来した。それに伴い東洋でも中国や日本で銅、真鍮、鉛製のキリスト教メダルが作られるようになり、東洋で作られたキリスト教メダルが西洋へもたらされた可能性が考えられる。ジローナ号がスペイン船であることから、キリスト教メダルの材料が東洋産材料であることが確かめられると、この時代における東西交流の直接的な証拠の一つになると考えられる。そこで、ジローナ号のキリスト教メダルの材料の産地を推定することを試みたので、以下に報告する。

２．資料

アルスター博物館へ赴き、キリスト教のメダル 12 資料（スズ製４種、鉛製２種、スズ-鉛製４種、銅-亜鉛(真鍮)製２種）から少量のサビを採取した。この他に、比較資料として、イギリスの古い銀貨１つ、イタリアのサルデーニャ島の遺跡から紀元前一千年前の銅鉱物１つを資料とした。

３．調査方法

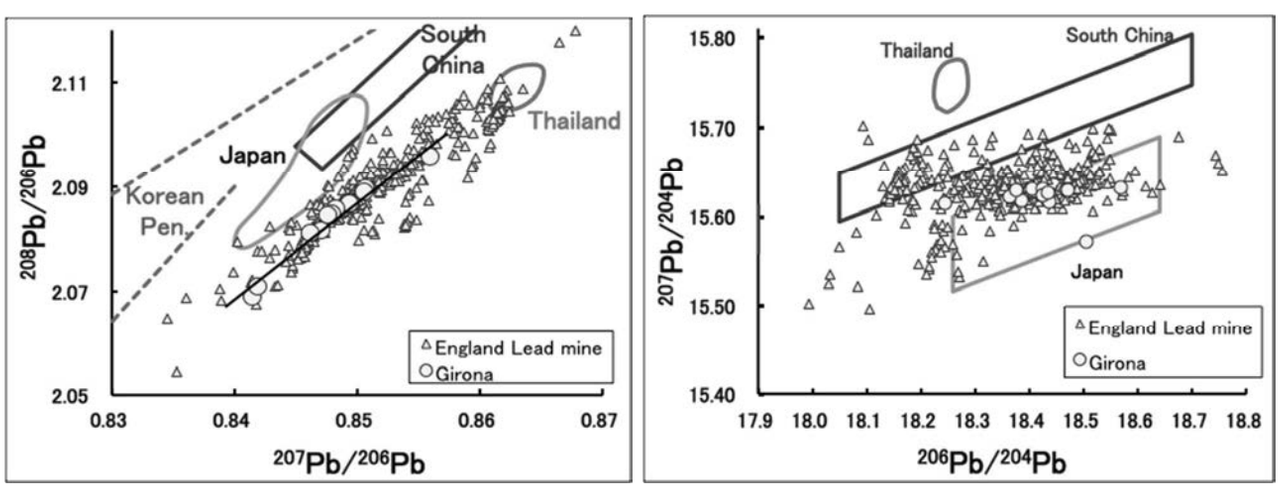
資料のサビに含まれる鉛を電気分解法で化学的に分離し、表面電離型固体質量分析計で鉛同位体比を測定した。装置は、Finnigan 製 MAT262 を用いた。測定値は同一条件で測定した標準鉛試料 NBS-SRM-981 で規格化した。得られた鉛同位体比を $^{207}Pb/^{206}Pb$–$^{208}Pb/^{206}Pb$ 図、および $^{207}Pb/^{204}Pb$–$^{206}Pb/^{204}Pb$ 図として表し、過去に測定された資料との関係性から材料の産地を推定した。

４．結果と考察

ジローナ号のキリスト教のメダルの鉛同位体比は、異なる元素組成にも関わらず、12 種がほぼ一直線上に並び、同じ鉱山または地質学的に関連した鉱山が、全てのメダルの鉛源であったことが示唆された。比較資料として測定したイギリスの銀貨とサルデーニャ島の銅鉱物は、ジローナ号のメダルとは異なった値を示した。また、日本、中国、朝鮮、及び、タイの鉛とも異なっていたため、ジローナ号のキリスト教のメダルは、東洋産材料ではない可能性が高いことがわかった。

約 400 点が公表されているイギリスの鉛鉱床と比較すると、ジローナ号のメダルは、イギリスの鉛鉱床の広がりの中に完全に含まれることが明らかとなり、イギリスの鉛鉱床を利用している可能性が示唆された。ただし、当時のヨーロッパ地域の鉛鉱床の鉛同位体比については未だ不明な点も多いため、今後、さらに詳細に調査を行う必要はある。

現時点では、ジローナ号のキリスト教メダルの材料産地は、イギリスであると特定はできないが、可能性の一つとして考えられる。



(a)A式図　　(b)B式図

図１　ジローナ号のキリスト教メダルが示す鉛同位体比

トルコ・ビュクリュカレ遺跡出土プラスターの産地推定

Provenance study of sealing plasters excavated from Büklükale, Turkey

○岩本 翔汰（東京理科大学）、阿部 善也（同左）、中井 泉（同左）、
松村 公仁（アナトリア考古学研究所）
○Shota IWAMOTO, Yoshinari ABE, Izumi NAKAI (Tokyo University of Science),
Kimiyoshi MATSUMURA (Japanese Institute of Anatolian Archaeology)

【序】　ビュクリュカレ遺跡は、トルコ共和国の中央アナトリアに位置し、トルコ最長の川であるクズルウルマック川の西端部の西岸に接する遺跡である（図１）。遺跡が立地する場所は、クズルウルマック川が最も狭くなっているため渡河するのに最適であり、戦略的かつ経済的に重要な場所であったと考えられる[1)]。本遺跡では、これまでの発掘調査により、第Ⅰ層：イスラム時代、第Ⅱ層：後期鉄器時代、第Ⅲ層：中期・後期青銅器時代、第Ⅳ層：前期青銅器時代の４つの文化層が確認されている[2)]。本遺跡は古代に特に第Ⅲ層は巨石で造られた建築遺構を有する、本遺跡の中でも特徴的な層である。本研究では、その第Ⅲ層のアッシリア商業植民地時代の層から大量に出土したプラスター（例：図１写真）の産地推定を試みた。

本研究の対象遺物であるプラスターの多数には印影が残されており、土器の口縁部に付着していた。これらのプラスターは、何らかの商品を中に入れ、交易の対象となった土器に封をする目的で用いられていたと考えられる。しかし、プラスターに施されていた印影は劣化して文様が読み取れず、プラスターによる封が本遺跡で行われたのか、プラスター付の土器が遺跡外から持ち込まれたものか判断できない。一方で、本遺跡からは大量のプラスターが入った大型土器も出土しており、遺跡内でプラスターが利用されていたことは確実視されている。これらのプラスターの産地を化学的に推定できれば、本遺跡と他遺跡との交易関係について新たな知見が得られると考えられる。そこで本研究では、化学組成分析及びSr同位体比分析を通して、本遺跡出土プラスターの産地推定を試みた。

【方法】　分析対象遺物はビュクリュカレ遺跡第Ⅲ層出土のプラスター28試料（内27試料：産地未知試料、1試料：在地品）である。プラスターの産地推定では、土器の封に用いられていた27点を「産地未知」試料、大型土器に貯蔵されていた1点を「在地品」とし、これらの元素組成、特に微量元素情報を比較することで、在地品か搬入品かを考察した。化学組成分析にはICP-MS（Agilent Technologies製, Agilent 7500）を用いた。地球化学標準物質（GSJ JsL-1）により信頼性の確認のできた13元素（Li, Mg, V, Cr, Mn, Cu, Zn, Rb, Sr, Cd, Cs, Ba, Pb）の濃度を用いて比較を行った。さらに本遺跡から35 km程離れたバーラ地域にある石膏採掘場から石膏原石を入手し、この原石と本遺跡出土プラスター4試料のSr同位体比を比較した。Sr同位体比の分析にはMC-ICP-MS（Nu Instruments製, Nu Plasma HR）を用いた。

【結果と考察】　まず産地未知のプラスター試料 27 点の元素組成をみると、各元素の含有濃度は試料によりばらつきが見られたが、多くの元素間で顕著な相関関係が示された。プラスターは水簸等の前処理を経てから使用されたと考えられるため、その工程や混合物の程度に応じて、プラスター中の各元素の濃度は変動する。しかし、ある特定の元素の濃度だけが選択的に増減するとは考えづらく、元素の濃度比を見れば、加工前後で変化しづらいものと考えられる。今回、産地未知試料の多くの元素間で相関が見られたことから、これらのプラスターは同一または狭域の産地の原料を用いた可能性が考えられる。そこで、プラスター試料 27 点について各元素濃度の平均を算出し、プラスター原料と考えられる在地品 1 点の元素組成と比較したところ、図 2 に示すように良い一致が見られた。よって、土器の封に用いられていたプラスター試料 27 点は、全て大型土器に貯蔵されていたプラスター原料と同じ産地であった可能性が高く、これらプラスターはビュクリュカレ遺跡内で利用された在地品であるという結論に至った。

次に、プラスター試料 4 点とバーラ地域にある石膏採掘場から採れた石膏原石の Sr 同位体比を比較したところ、図 3 に示すように、両者は近い値を示した。現段階では測定点数の関係から断定には至らないが、このバーラ地域を候補の一つとして、本遺跡の周辺から採られた石膏が土器の封として用いられていた可能性が高い。以上より、土器に封をする目的で用いられていたプラスターは、本遺跡内で土器の中に何かを貯蔵するため、または本遺跡から外部に持ち出す際に施していたものであったと推察できる。

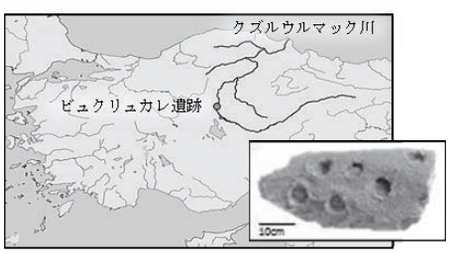


図１．ビュクリュカレ遺跡の位置と出土したプラスター

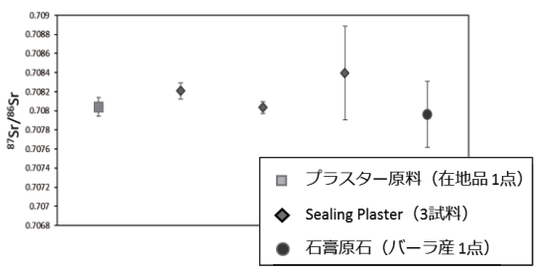


図３．プラスター試料の Sr 同位体比の比較

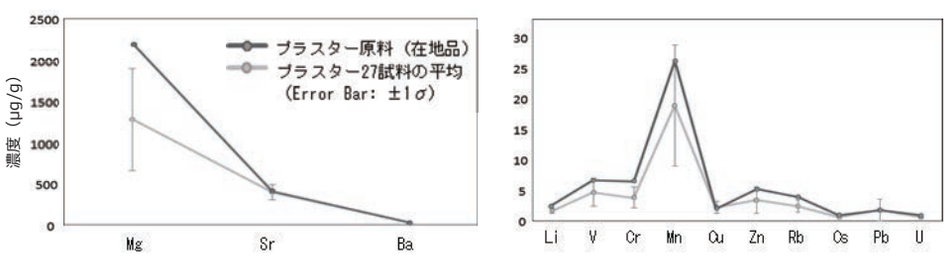


図２．プラスター27 点とプラスター原料（在地品）の微量元素組成の比較

【謝辞】　貴重な資料をご提供頂き、現地の発掘調査では様々なご指導を頂いたアナトリア考古学研究所所長の大村幸弘先生に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

１）橋本一茉 東京理科大学大学院 修士論文. 2013

２）JIAA Büklükale HP 〈http://www.jiaa-kaman.org/jp/excavation_buklukale.html〉（2018. 5. 2）

栃木県堀込遺跡出土縄文早期土器の岩石鉱物組成からみた原料産地

Provenance estimated from rock mineral composition of Initial Jomon pottery excavated from Hokkome site in Tochigi Prefecture

○河西学（帝京大学）、小林謙一（中央大学）、中村信博（茂木町教育委員会）
○ Manabu KASAI(Teikyo University), Kenichi KOBAYASHI(Chuo University),
Nobuhiro NAKAMURA(Motegi-machi Board of Education)

はじめに

河西（2012）は、栃木県内の縄文早期土器（井草式・夏島式）の胎土分析を行い、地元原料を用いた在地的な土器をもつ遺跡と搬入土器のみで構成される遺跡の存在を明らかにした。中村（2014）は、河西（2012）の分析試料の型式分類の誤りを指摘し井草式～天矢場式に修正した。修正された型式分類で河西（2012）の結果を見直すと、栃木県中央部の井草式・夏島式は、火山岩類が多く、地元地質に類似した胎土組成を示すものが多いが、胎土の多様性も認められるのに対し、栃木県東部市ノ塚遺跡の稲荷台式・稲荷原式の胎土は、花崗岩類とその構成鉱物から大部分が構成され、多様性に乏しい特徴を示し、筑波花崗岩体周辺地域が有力な原料産地候補のひとつと推定された。今回、栃木県東部市貝町堀込遺跡から出土したより新しい稲荷原式～天矢場式期土器を分析し、原料産地を推定し、土器作りのあり方や資源利用、土器の移動などについて考察を試みた。

試料と分析方法

試料は、堀込遺跡から中村が表採し分類した土器で、稲荷原式 7 点、天矢場式 11 点、天矢場式に先行する繊維を含む無文土器（品川台 2 群 3 類）3 点の合計 21 点である。拓本・断面実測図は、小林および中央大学考古学研究室が作成した。分析は、土器をエポキシ樹脂で包埋補強してから薄片を作製し、フッ化水素酸蒸気でエッチングし、コバルチ亜硝酸ナトリウム飽和溶液でカリ長石を黄色に染色しプレパラートとした。偏光顕微鏡下で、ポイントカウント法で粒径 0.05mm 以上の岩石鉱物粒子およびマトリクスを試料ごとに 2000 ポイント計数し、岩石鉱物組成を算出した。

結果と考察

分析結果のうち試料全体の砂粒子・赤褐色粒子・マトリクスの割合（粒子構成）、砂粒子の岩石鉱物組成および重鉱物組成を図 1 に示す。ほかに主要岩石のポイント総数を基数とし、各岩石の構成比を示した岩石組成折れ線グラフ、および非類似度にユークリッド平方距離を用いウォード法で算出したクラスタ分析樹形図を作成し、周辺河川砂や他遺跡の土器胎土などと比較した。

堀込遺跡の胎土は、①花崗岩類とその構成鉱物が優占する胎土、②花崗岩類とホルンフェルスを主体とする変成岩類が多く堆積岩を伴う胎土、③変質火山岩類、花崗岩類、堆積岩、ホルンフェルスのほか試料によってはデイサイト・安山岩を伴い、重鉱物組成では単斜輝石・斜方輝石・角閃石が多い特徴の胎土、に大別される。胎土①は、稲荷原式の過半数と天矢場式の全試料が該当し、粒子構成に占める砂粒子割合（以下含砂率）が高めで、岩石鉱物組成における重鉱物含有率が低く、重鉱物組成では黒雲母・白雲母・角閃石・不透明鉱物などを主要鉱物として試料ごとに組成が多様である。胎土①は、火山岩類が主体をなす新第三系の地元地質と異なること、クラスタ分析において筑波周辺の桜川・筑輪川・川又川・恋瀬川などの河川砂と類似性が高いこと、白雲母の含有率が高いこと、筑波岩体は最短距離にある大規模岩体であることなどから、筑波山周辺地域が有力な原料産地候補と推定された。市ノ塚遺跡稲荷台式・稲荷原式胎土は、岩石組成では類似性が高いが、重鉱物組成で白雲母がみられない点が堀込遺跡と異なり、原料産地の微妙な違いが推定される。桧の木遺跡の中期阿

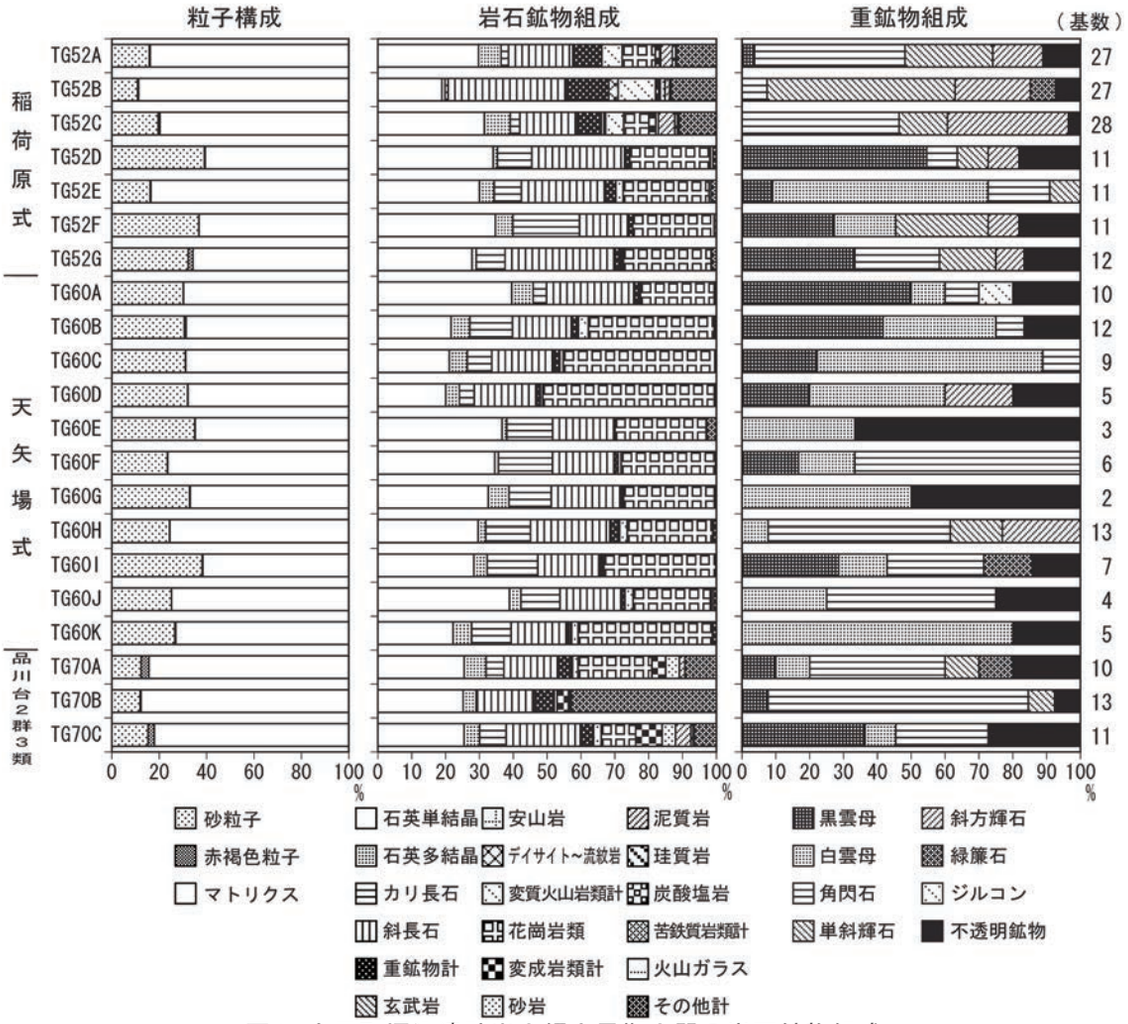


図1　市貝町堀込遺跡出土縄文早期土器の岩石鉱物組成

玉台Ⅰｂ～Ⅳ式は、岩石組成では類似性が高いが、重鉱物含有量が高く、白雲母が少ない点で胎土①と異なる（河西ほか 2014）。

胎土②は、品川台 2 群 3 類土器に認められる。クラスタ分析では大田原市品川台遺跡周辺の箒川・那珂川河川砂との類似性は乏しく、黒川、巴川、筑波山周辺河川砂などとの類似性が示された。胎土②は、白雲母を含む重鉱物組成の特徴が胎土①と共通することから、TG70A・TG70C は原料産地も胎土①と類似する可能性がある。

胎土③は、稲荷原式の一部（TG52A ～ C）に認められ、火山岩類や単斜輝石・斜方輝石が多いことなどから地元地質と調和的な胎土組成であると考えられる。このうち TG52B は、クラスタ分析で同地域桧の木遺跡縄文中期加曽利E 1 式で在地的胎土と推定される土器 No.71（河西ほか 2014）との類似性が強く示されることから、地元原料を用いた土器作りの可能性が示唆される。

今回の結果は、栃木東部の稲荷台式～天矢場式において筑波山周辺地域が原料産地と推定される花崗岩類主体土器が広く分布していること、堀込遺跡の稲荷原式には地元原料を利用した土器作りの存在が推定されること、および胎土中の白雲母の含有率が筑波岩体における白雲母分布の偏在性を反映した原料産地の多様性を示している可能性などが示された。これらは、この時期およびこの地域の土器作りと資源利用において積極的地域と消極的地域とが偏在していた可能性を示唆する。

本研究は、科学研究費補助金基盤研究（C）（課題番号 15K02988）の成果の一部である。

北部九州地域における窯跡出土須恵器の胎土分析

Chemical compositions of the Sueki from kiln remains in the northern Kyushu

◯足立達朗、田尻義了（九州大学）、甲斐孝司、岩橋由季、森下靖士（古賀市教育委員会）
◯Tatsuro Adachi, Yoshinori Tajiri (Kyushu Univ.), Koji Kai, Yuki Iwahashi, Yasushi Morishita (Koga City Education Committee)

【はじめに】

土器はその形態，文様，製作技術などが，地域や時期によって変化することが知られており，それらの結果に基づき，在地の土器とは異なる土器の搬入が認識され，交易や地域間交流などが議論されてきた．しかし，形態，文様などは「情報」であり，その情報があれば，異なる地域に特徴的な土器を在地で再現できる可能性があるため，厳密にはこれらの差異だけを搬入の根拠とすることは難しい．これを検証するために，土器の胎土の材質としての特徴に着目した分析が有効である（例えば三辻，2013）．土器の胎土は，天然の粘土や砂などの混合物であり，採取した地点の地質環境を反映するため，その土地特有の化学組成を示すと考えられる．これに基づけば，土器胎土の化学組成上の特徴から，土器の生産地を推定できることになると期待される．

今回は，北部九州に所在する須恵器窯跡関連遺跡から出土した資料について地球科学的分析を実施した．窯跡出土資料は，出土した窯跡で生産され，窯跡近傍から得られた材料を使用したと想定される．これに基づき，資料胎土の化学組成について遺跡ごとの特徴を見出し，さらにそれらと遺跡周囲の地質環境との関係を考察することを目的とした．

【分析手法と分析対象資料】

分析手法は，九州大学大学院比較社会文化研究院設置の波長分散型蛍光 X 線分析装置（XRF，リガク製 ZSX Primus Ⅱ）およびレーザー溶出型誘導結合プラズマ質量分析計（LA-ICP-MS，レーザー：New Wave Research 製 UP-213，ICP-MS：アジレント・テクノロジー製 Agilent7500cx）を用いた主要・微量元素，希土類元素を含む全岩化学組成分析である．約 15g の試料を採取し，内外面の風化部分や自然釉を研削してから洗浄し乾燥させたのちに粉砕した．得られた粉末試料を用いてガラスビード試料を作成し，XRF および LA-ICP-MS を用いて分析を実施した．測定条件の詳細は，中野ほか（2009）および中野ほか（2012），Nakano et al.（2010）を参照されたい．

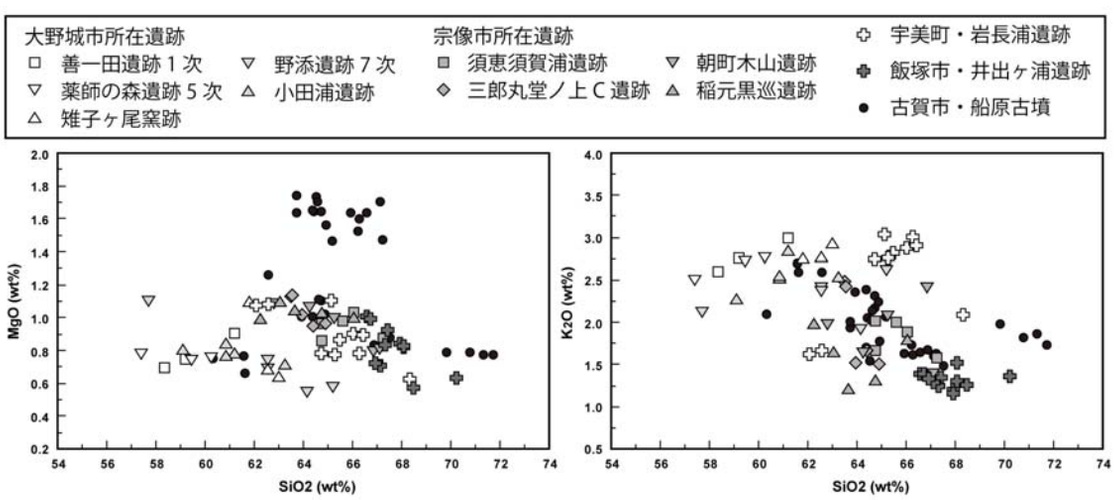
分析対象資料は，福岡県内の大野城市・乙金地区窯跡群（大野城市教育委員会，2017）と牛頸窯跡群の野添遺跡および小田浦遺跡，飯塚市・井出ヶ浦窯跡群（飯塚市教育委員会，2018），宗像市・須恵須賀浦窯跡と三郎丸堂ノ上 C 窯跡，朝町木山遺跡および稲元黒巡遺跡，宇美町・岩長浦遺跡から出土した須恵器資料である．これらに加え，古賀市・船原古墳出土須恵器の分析を実施し，窯跡出土資料の胎土化学組成と比較することで，生産地の解明と流通の復元を考察した．

【結果と考察】

窯跡関連遺跡から出土した須恵器資料の胎土化学組成は，地域ごとに区分可能であることが明

らかとなった．大野城市所在の乙金地区窯跡群および牛頸窯跡群は，相対的に低い SiO_2（57-65wt%），MgO（0.5-1.1wt%），TiO_2（0.7-1.1wt%）を示し，相対的に高い Al_2O_3（25-30wt%），K_2O（1.9-3.0wt%）を示す．宗像市所在の窯跡群は，やや高い SiO_2（62-67wt%），MgO（0.8-1.1wt%），TiO_2（1.0-1.3wt%）を示し，やや低い Al_2O_3（21-25wt%），K_2O（1.2-2.4wt%）を示す．飯塚市所在の井出ヶ浦窯跡群では，相対的に高い SiO_2（67-70□□%），TiO_2（1.2-1.3wt%）とやや低い Al_2O_3（22-25wt%），MgO（0.6-1.0wt%）を示し，K_2O は低い値（1.2-1.5wt%）を示す．宇美町所在の岩長浦遺跡は，やや高い SiO_2（62-68wt%），MgO（0.8-1.1wt%），K_2O（1.6-3.0wt%）を示し，やや低い Al_2O_3（20-25wt%），TiO_2（0.8-1.3wt%）を示す．

この区分に，船原古墳出土須恵器計 30 点から得られた胎土化学組成を重ねると，大野城市所在窯跡の領域と宗像市所在窯跡の領域に重なる資料が認められたが，大半の資料は，高い MgO（1.5-1.7wt%），TiO_2（1.3-1.5wt%）含有量を示し，既知の窯跡の領域には入らなかった．これらの資料は，主要元素以外でも，Cr や Ni など超苦鉄質岩に特徴的な元素の含有量が高い値を示す．船原古墳の近傍には，超苦鉄質岩の一種である蛇紋岩が分布している．このことは，船原古墳近傍には未知の窯跡が存在し，船原古墳から出土した大半の須恵器は，その窯で生産された可能性が示唆される．



図．北部九州の須恵器窯跡関連遺跡および船原古墳出土資料の胎土化学組成．

【引用文献】

飯塚市教育委員会編，2018，『井出ヶ浦窯跡群Ⅱ』飯塚市文化財調査報告書第 52 集．

三辻利一，2013，『新しい土器の考古学』，同成社．

中野伸彦・角縁進・小山内康人・米村和紘・桑原義博，2009，『比較社会文化』第 15 巻，pp. 1-15．

中野伸彦・小山内康人・足立達朗・米村和紘・吉本紋・Nugroho SETIAWAN，2012，『比較社会文化』第 18 巻，pp. 81-94．

Nakano, N., Osanai, Y., Adachi, T., 2010, Jour. Miner. Petrol. Sci., 105, 268-273.

大野城市教育委員会編，2017，『乙金地区遺跡群 22』大野城市文化財調査報告書第 158 集．

奈良県内遺跡出土三彩瓦の胎土分析

XRF analysis of the glazed tile from remains of Nara Prefecture

◯小倉頌子、岡田雅彦（奈良県立橿原考古学研究所）
◯Shoko KOKURA, Masahiko OKADA（Archaeological Institute of Kashihara, Nara Prefecture）

1. はじめに

三彩瓦は平城京内でも限られた箇所にのみ使用された極めて特殊な瓦であり、文献資料から8世紀に使用が開始されたと考えられている。三彩瓦を含む奈良三彩が唐三彩を模して作られたことは広く知られており、文献資料の記録からも日本国内で生産されていたことが分かっているが、具体的な生産地については未だ明らかにされていない。これまでに自然科学分析による奈良三彩の産地分類に関する研究が行われているが、分析例は統計的に十分な数ではない。また、奈良県内遺跡より出土した三彩瓦は胎土や施釉法が異なるものが見られるため、生産地が複数存在する可能性が示唆される。よって本研究では、三彩瓦の生産・供給体制を考察するための基礎的研究及び分析データの蓄積を目的として、平城京跡をはじめとする奈良県内の遺跡より出土した三彩瓦資料について胎土の蛍光X線分析を実施した。

2. 分析試料と分析方法

分析に用いた試料は、平城京跡より出土した三彩瓦5点である。ほとんどが細片であり、全体の大きさが分かるものや接合できるものはない。胎土は淡黄色や灰白色を呈し、焼成はやや軟質である。また、径0.5～1㎜程度の鉱物粒や金属光沢を有する微細な粒子を含んでいる。凹面には透明釉、緑釉、褐釉がいわゆる鹿の子斑紋状に塗り分けられている。

分析には、日本電子社製のエネルギー分散型蛍光X線分析装置JSX-3100RⅡを使用した。本装置のX線管球はロジウム(Rh)である。測定条件は、真空雰囲気下で管電流を30kVとし、1試料あたり3ヵ所を測定した。管電流は自動調節である。いずれの試料についても、釉薬や変色などが見られない平滑な面を分析の対象とし、分析面を十分にクリーニングした後に測定を行った。X線の照射径は3㎜とし、1ヵ所につき300秒間測定した。各元素の濃度は標準試料を用いないファンダメンタル・パラメータ(FP)法により定量し、3回の測定値の平均値を元素濃度とした。

3. 結果と考察

三彩瓦胎土中の元素濃度を表1に示す。試料番号44-1はFeが他の4点と比べて多い特徴を示しているが、それ以外はいずれの元素濃度も近似した値を示している。奈良県内の他の遺跡より出土した三彩瓦胎土と元素濃度を比較してみると（図1および図2)、平城京跡の三彩瓦はSrが多く、CaとZrもやや多いという特徴があることが分かった。一方でAlはやや少ない傾向が認められた。特にSr濃度には有意差が見られ、Sr-Zr分布図では1点を除き重複することなく分布している。三彩瓦が使用された期間は非常に限定的であることから、胎土組成に差異が見られ

る要因としては、経年による原料採取地の変遷によるものではなく、同時に複数の採取地から原料を入手したことによるものと考えられる。また、参考として先行研究の奈良三彩の陶片に比べ、平城京跡の三彩瓦はCaが少なく、一方でAlやKがやや多い傾向が見られた。両者の胎土を肉眼観察により比較すると、三彩瓦はやや灰色味が強く鉱物粒子を含んでいるものが多い。もっとも、分析に用いた機器や測定条件が異なるため、両者の直接的な比較はできないが、胎土組成に差異が現れるとすれば、瓦と陶磁器類は異なる原料が使用された可能性が考えられる。今後機会があれば陶磁器類の胎土分析データを蓄積し検討したい。

表1. 三彩瓦の胎土分析結果(wt%)

試料番号	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	ZnO	Rb_2O	SrO	ZrO_2
19−1	0.71	22.24	67.31	0.14	0.093	3.57	0.46	1.28	0.033	4.04	0.032	0.019	0.015	0.074
19−2	n.d.	22.12	67.87	0.17	0.11	3.13	0.59	1.39	0.020	4.42	0.041	0.023	0.022	0.095
19−4	0.68	24.93	65.15	0.34	0.13	2.46	0.30	1.47	0.012	4.35	0.053	0.014	0.015	0.089
44−1	0.94	25.97	61.76	0.51	0.16	2.48	0.48	1.37	0.044	6.10	0.044	0.019	0.019	0.089
44−2	0.81	25.59	63.68	0.48	0.12	2.58	0.48	1.43	0.031	4.61	0.067	0.016	0.018	0.082

※n.d.は不検出

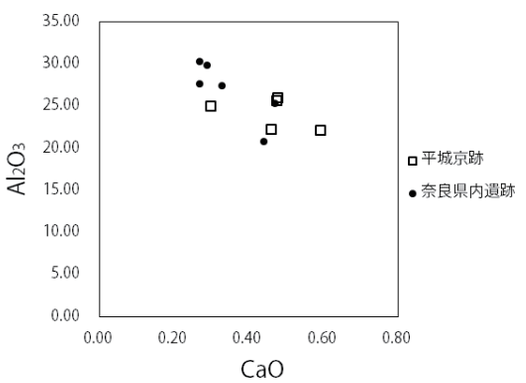


図1. AlおよびCaの元素濃度比較

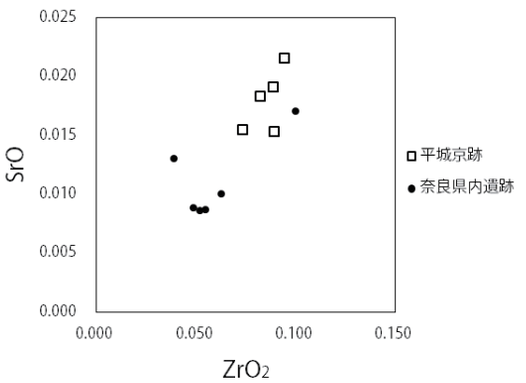


図2. SrおよびZrの元素濃度比較

4. まとめ

今回分析を行った三彩瓦の数は非常に少なく統計的に不十分であるため、今後の測定点数の増加により、今回とは異なった結果が得られる可能性も十分に考えられる。しかし、今回の分析の結果、平城京跡と奈良県内の他の遺跡出土三彩瓦は複数の含有元素濃度に差異が見られ、原料採取地が複数存在する可能性が示唆された。今後は測定点数を増やすとともに、さらに検討を重ねたい。また、瓦以外の陶磁器類についても胎土分析を行い、瓦との違いが示されるか否かを検討したい。

≪参考文献≫
「平城京左京三条三坊八坪－東三坊坊間路西側溝の調査－」『奈良県文化財調査報告書』第76集　奈良県立橿原考古学研究所　1998
『新薬師寺旧境内－奈良教育大学構内遺跡の埋蔵文化財発掘調査報告書－』　奈良教育大学　2012

長崎県寺島で採取された黒曜岩とその化学組成
Occurrence and Chemical Composition of Obsidian collected from Terashima-Island, Nagasaki Pref.

◯上峯篤史（京都大学），朝井琢也（川西市／同志社大学大学院）
◯ Atsushi UEMINE (Kyoto Univ.), Takuya ASAI (Kawanishi City&Grad. Sch. of Doshisha Univ.)

1. 研究の背景と目的

原産地から消費地へと運搬された石器石材は、広範囲にわたる直接的な移動・交易資料であり、過去の情報流動や集団間・地域間関係の雄弁な証言者となる。とりわけ蛍光X線分析装置（XRF）などを用いた成分分析にもとづく原産地推定研究は、文化財科学においても活発な研究領域となっている。200ヶ所以上知られる日本列島の黒曜岩産出地は火山地質・岩石化学的関係が整理され、原産地推定のためのデータベースにまとめられた（杉原編 2014）。近年では分析者も多様になり、地域・分析者ごとの原石データの充実、原産地内での細分可能性の追求や、考古遺物の原産地推定事例の蓄積がはかられている。

当該研究の重点地域である九州北部は、日本列島でも有数の黒曜岩原産地密集域である。かつて坂田邦洋（1982）が網羅した産出地は、長岡信治ら（2003）や金成太郎ら（2011）によって地質学的脈絡が解明され、全岩化学組成や記載岩石学的特徴が報告された。その一方で、実態が解明されていない黒曜岩もある。長岡らが取りあげた伝・寺島産黒曜岩はその代表例で、ユニークな外観と化学組成が注目されながらも、原産地や産状はまったく不明であった。発表者らは、この黒曜岩の原産地を特定し、産状についても記載し得たので、これを報告する。

2. 研究の対象と方法

成分分析のために、黒曜岩原産地にて原石を採取した。採取地点は長崎県佐世保市寺島東部の寺島坂遺跡（縄文時代？）範囲内の空閑地（161010-1 地点）、宇久島厄神鼻海蝕崖（160725-1 地点）と、壱岐（久喜流紋岩・初瀬流紋岩）、佐賀県腰岳（有田流紋岩）、大分県西小国（山甲川流紋岩）、姫島観音崎（城山流紋岩）など既知の原産地である。寺島では黒曜岩原石が、厄神鼻ではマレカナイト型の黒曜岩が採取できた。厄神鼻のマレカナイトは採取過程で現れた新鮮面を、その他については打ち割って露出させた新鮮面を測定面とし、アルコールとメラミンスポンジでぬぐってから蛍光X線分析に供した。

成分分析には Bruker Cooperation 製携帯型蛍光X線分析装置 Tracer 5i（#900F4669）を用いた。この装置はロジウム・ベースの X 線管とシリコンドリフト検出器を装備している。管電圧・管電流の設定は、黒曜岩の成分分析に最適化された測定アプリケーションによる自動設定とし、スポット径 8mm の絞りを装着して、大気雰囲気にて 180 秒間測定した。得られたスペクトルは内蔵プログラムで解析・較正され、元素の種類と濃度が出力された。これを既知のデータや異なる原産地のデータとの比較に用いた。

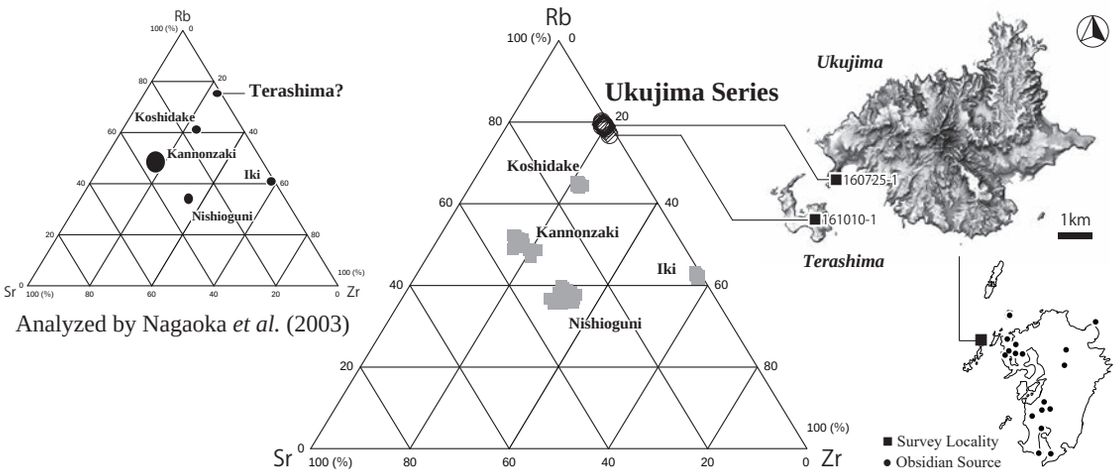


図 1　寺島・宇久島の黒曜岩と代表的な原産地の黒曜岩の Rb-Sr-Zr 図

3. 分析の結果と議論

Mn、Fe、Zn、Rb、Sr、Y、Zr、Nb の 8 元素について発表者らが得た半定量分析値は、長岡らの WDXRF による定量分析値との間で強い正の相関を示す（R^2 値 0.93 ～ 0.99）。しかしながら測定値の相対誤差は 7 ～ 54%、Rb、Sr、Zr に限っても 7 ～ 18%と小さくない。これは測定試料が同一の流紋岩に由来するといえども同一試料ではないこと、測定試料の表面形状や内部の不均質などの妨害要因が働いたことを示唆する。

上の検討を受け、発表者らの半定量分析値と長岡らの定量分析値を Rb-Sr-Zr の三角ダイアグラムにプロットし、3 元素の比を比較した（図 1）。既知の原産地である壱岐、腰岳、西小国、観音崎は明瞭に判別でき、発表者らと長岡らのデータに矛盾はない。寺島と厄神鼻の黒曜岩は酷似した組成を示し、かつ長岡らの伝・寺島産黒曜岩とも極めて似たユニークな組成を示す。このデータから、①長岡らが測定した伝・寺島産黒曜岩は、発表者らが寺島や厄神鼻で採取した黒曜岩と同じ給源に由来する、②寺島や厄神鼻の黒曜岩は、他の黒曜岩とまったく異なる化学組成をもつ、を導ける。

in situ の産状を見せる厄神鼻では、寺島や宇久島の基盤をなす寺島玄武岩が枕状溶岩～ハイアロクラスタイトに遷移し、サージ堆積物がこれを被覆する（小阪ほか 1995）。黒曜岩はハイアロクラスタイト中にマレカナイトとして見いだされることから、海底で急冷されたマグマのうち含水量の少ない核が、黒曜岩として固結したと考えられる。

以上に述べた岩石化学・火山地質学的特徴は、XRF による石器石材原産地推定のための新たな系（判別群）として「宇久島系」を設定する根拠となる。この系は日本列島最西端で産出する黒曜岩であるとともに、西北九州に点在する青灰色黒曜岩の新例となる。

引用文献

金成太郎ほか 2011「隠岐・九州地方産黒曜石の記載岩石学的・岩石化学的検討」『環境史と人類』4、pp.3-40。
小阪哲也・永尾隆志 1995「長崎県宇久島のソレアイト質火山岩類」『地質学論集』44、pp.139-154。
坂田邦洋 1982「九州の黒曜石」『史学論叢』13、pp.71-216。
杉原重夫編 2014『日本における黒曜石の産状と理化学的分析』明治大学文学部。
長岡信治ほか 2003「野首遺跡における石器の石材と原産地推定」『野首遺跡』附編、pp.1-101。
＊　本研究の一部は JSPS 科研費（16K13292）の助成を受けて遂行した。

三次元計測による土器製作の詳細記録
—民族考古学的コンテクストにおける三次元計測と検討—

Three-Dimensional Documentation for Recording of the Pottery Making Process and Potters' Interindividual Variation

○太郎良真妃（鹿児島国際大学大学院）、平川ひろみ（同志社大学文化遺産情報科学調査研究センター／鹿児島国際大学）、若松花帆（鹿児島国際大学大学院）、中園　聡（鹿児島国際大学）
○Maki TARORA (The International University of Kagoshima Graduate School), Hiromi HIRAKAWA (Research Center for Knowledge Science in Cultural Heritage, Doshisha University/ The International University of Kagoshima), Kaho WAKAMATSU (IUK Graduate School), Satoru NAKAZONO (IUK)

1. はじめに

土器の製作工程を復元する場合、遺跡出土の「完成品」としての土器から製作工程等を推定するアプローチが一般的である。しかしより適切に工程を復元し、より深く理解するには、製作工程が確認できる現代の伝統的土器製作の調査が不可欠である。我々は、北タイの土器製作を細かな工程ごとに三次元計測・記録を行っており、その成果を発表する。

2. 経緯

民族調査において、土器製作の工程は普遍的に記録されている。我々が対象としている北タイでは、すでに徳澤・小林（2008）などによって一連の工程が記録されており、筆者らも同様に素地土の作成から土器製作の工程の観察などを行ってきた（中園ほか 2012a，b；平川 2017）。しかし、その多くは図解や写真などであり、過去の土器製作のより高次の解明に役立てるためには、さらに詳細な記録が求められる。そこで、三次元計測・記録を実施し、2014 年にモーナム（水甕）の蓋の製作工程をハンディタイプの簡易型 3D スキャナ（3D Systems 社 Sense 3D Scanner）で記録した（太郎良ほか 2014）。その結果、工程の多くは製作者間で共通したが、その中にあっても、各工程で形態やサイズ、成形の痕跡などに個人差がみられ、個人内では安定していることが判明している。また、作り始めに明らかに異なる技法を用いた製作者の土器であっても、完成形は同様であり、製作工程の違いを見出すことは困難であることなどもわかった。こうして民族考古学的調査においても三次元計測・記録が有効であることが示された。

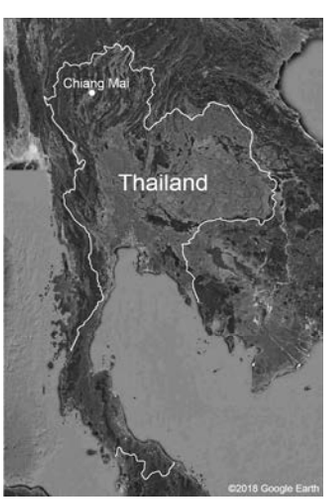


図 1　調査地

3. 試料と方法

我々が 2009 年から観察を継続してきた北タイの伝統的土器製作村（図 1）で、モートム（鍋）を対象として熟練者 2 名と非熟練者 2 名の計 4 名の製作者の各工程を撮影した。三次元計測・記録には多数の写真を解析し三次元モデルを生成する SfM-MVS（Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0）を使用した。よって、3D スキャナの

ような専用機器は必要としない。なるべく短時間に済ませるため、各工程で 70～150 枚程度撮影した。また、本発表では簡易型 3D スキャナで計測したモーナム（水甕）の蓋の製作工程の例も示す。

4. 結果と考察

三次元計測・記録によって、一連のシークエンスの中で刻々と変化する土器の形態を詳らかに記録できた。製作者 4 名で、1 人あたり 8～9 工程を記録した。使用する粘土帯についても記録した。

三次元記録と観察から、製作工程は概ね製作者間で共通していることが理解できる。また、製作工程は大きく 2 つに分かれ、敷板の上で粘土帯を積み上げて口縁部までを作る工程（図 2）と、この後、乾燥がより進んだ段階で敷板を外し、底部を叩いて丸く仕上げる工程がある。前者の工程ではナデ具による内面のナデなどがあり、製作者 4 人ともに概ね共通するが、同じ製作法をとりつつも、製作者によって回数の違いや、ナデ痕、最下段の粘土帯の上端に内面のナデ上げで生じるフリルなど、各段階で個人の動作に対応する個人的形態差が確認された。

口縁部や全体のプロポーションなど完成形の土器に個人差が現れることは、2011 年から数年間にわたり製作者のわかる土器の三次元計測を行い、個人間・個人内の変異を検討した研究からも明確に指摘できる（e.g.中園ほか 2014）。しかし、上述の製作過程に現れた個人差の多くは、工程の中で逐次更新されて消失するものである。三次元計測・記録によってはじめて詳細な形態的記録を残すことができ、データとして提示できたことになる。実施したモーナムの蓋の工程の三次元計測例（太郎良ほか 2014）とも矛盾がないが、より精度の高い記録となった。

5. おわりに

製作過程の土器を三次元化することによって、ナデ痕や指の圧痕など製作過程で残る様々な痕跡を記録することができた。これらは土器製作者の身体技法と形態情報との対応関係を明らかにできる重要な痕跡であり、同時に記録したビデオとの照合により、どのような道具・動作が、どのような痕跡で製作中の各段階に生じるかという困難な問題の研究に極めて有効な材料を提供する。これにより土器製作技法の理解だけでなく、製作者の個人差がいつどのように現れるかを解明し、ひいては、「究極の産地」ともいえる土器製作者個人の性質のより確固とした理解に寄与することが可能であると考える。

※JSPS 科研費・基盤研究（B）（課題番号：26284124）の成果の一部である。

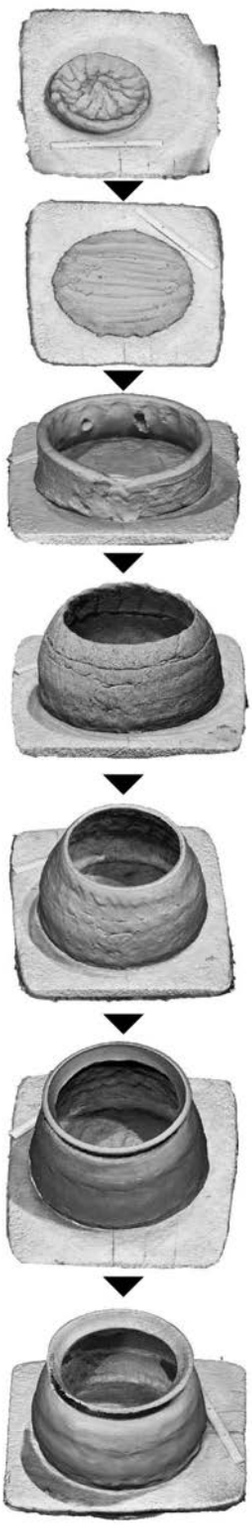


図 2　土器製作の一連のシークエンスと 1 人の製作者による工程の三次元モデル（抜粋、テクスチャ表示）

古代土器（縄文、弥生土器、土師器、埴輪）の産地問題に関する基礎研究

Fundamental studies on the provenance problems of ancient pottery (Jomon, Yayoi, Haji ware, and haniwa)

○三辻利一（大阪大谷大学）、犬木　努（同左）、中園　聡（鹿児島国際大学）
○Toshikazu MITSUJI, Tsutomu INUKI (Osaka Ohtani University), Satoru NAKAZONO (The International University of Kagoshima)

1. はじめに

窯跡出土須恵器の地域差の原因が母岩を構成した主成分鉱物、長石類であれば、自然界に広く分布する粘土にも長石系因子からみて地域差があると考えられる。そうであれば、窯跡が残っていない縄文土器、弥生土器、土師器、埴輪などにも長石系因子からみて地域差があることが予想される。もし、このことが実証されれば、窯跡が残っている須恵器や中世陶器のみならず、すべての土器の産地問題の研究に長石系因子が活用できる訳である。問題は窯跡が残っていない土器の地域差をどのようにして実証するかである。

須恵器に地域差があることが実証されたのは、窯跡（群）という「くくり」があり、そこから大量の須恵器片が出土したからである。「くくり」ができてはじめて、そこから分析試料が採集できたのである。窯跡（群）が残っていない土器にどのようにして「くくり」を作るかである。窯跡（群）出土須恵器の分析化学的研究で得られたデータの中に、そのヒントがあった。窯跡出土須恵器は両分布図上でまとまって分布し、地域差を示したが、窯跡群出土須恵器もまとまって分布し、地域差を示した。須恵器窯跡は 1 基単独で在る場合は殆どなく、数キロメートル四方の地域内に多数の窯跡が集まり窯跡群を形成している。窯跡群を形成している、個々の窯跡出土須恵器の化学特性は必ずしも一致する訳ではないが、類似した化学特性を持つことを示した。全国各地の窯跡群出土須恵器は窯跡群としてまとまって分布し、地域差があることが実証されていた。例外はなかった。このことは同じ母岩に由来する粘土が窯跡群を形成している地域内に広がって分布していることを意味する。他方、古墳も単独で在る場合は殆どなく、古墳群を形成している。古墳群を形成する個々の古墳には多数の埴輪が並べられていた。もし、古墳群を形成する個々の古墳に並べられた埴輪が在地産の粘土を素材としておれば、古墳群出土埴輪胎土の化学特性も類似していることが予想される。こうして、「古墳群」という「くくり」ができ、試料採集も可能となる訳である。「古墳群出土埴輪の分析化学的研究」が生産地である窯跡が残っていない土器の産地問題の研究の最初の研究テーマとして取り上げられた。

2. 畿内の古墳群出土埴輪の分析化学的研究

畿内には、大阪府高槻市に三島野古墳群、堺市に百舌鳥古墳群、羽曳野市に古市古墳群など大きな古墳群があり、その他にも、大小様々の古墳群がある。これらの古墳群の中には、埴輪窯跡群が

残っている場合もある。その場合には、古墳群出土埴輪を窯跡群出土埴輪の化学特性と比較することもできる。まず、高槻市の三島野古墳群とその中に在る新池窯跡群出土埴輪が分析対象となった。

3. 三島野古墳群および新池窯跡群出土埴輪の化学特性

まず、三島野古墳群の後背地を構成する花崗岩類を分析した。K が比較的多く、Ca が比較的少ない花崗岩であることを確認した。さらに、新池窯跡群の後背地の地山土も分析したが、後背地の花崗岩に対応する化学特性をもっていることも確認された。

三島野古墳群内にある総持寺古墳群の 4 号、8 号、9 号、10 号、11 号、12 号、13 号、15 号、16 号、17 号、19 号、21 号、23 号、24 号、27 号、28 号、29 号、30 号、31 号、38 号、39 号、41 号墳から出土した大量の埴輪を分析した。「土器領域」の第II象限から第III象限にかけてまとまって分布した。さらに、太田茶臼山古墳、今城塚古墳、昼神車塚古墳、狐塚 1、2 墳、番山古墳、南塚古墳、梶原古墳群、青松塚古墳、前塚古墳、弁天山 C1 号墳、紅茸山 C3 号墳、萩之庄 1、2 号墳、郡家車塚古墳、ツゲノ 1、2、3 号墳、西福井 1、2、3、4、6、9 号墳などの多数の古墳出土埴輪も分析された。いずれも、「土器領域」の第II象限から第III象限にかけて分布し、三島野古墳群としてまとまって分布することが示された。さらに、三島野古墳群内にある新池窯跡群から出土した埴輪胎土も類似した化学特性をもつことが示された。古墳群出土埴輪も在地産の粘土が素材となっていた訳である。しかし、郡家車塚古墳から出土した「ヒレ付き円筒埴輪」は三島野古墳群の埴輪胎土とは異質の胎土をもつことが明らかになった。外部地域から搬入された埴輪である。考古学の情報をもとに、藤井寺市の古市古墳群内に在る津堂城山古墳出土埴輪胎土に対応することが判明した。古市古墳群から供給された埴輪である。このようにして、古墳群出土埴輪の化学特性を把握しておくと、外部地域から搬入された、異質の胎土をもつ埴輪を検出することができる。元素分析法による埴輪の生産・供給問題の研究が可能であることが示された訳である。

生駒山西麓遺跡群からは大量の縄文土器、弥生土器、土師器（庄内式甕を含む）が出土している。後背地の地質を構成する斑糲岩（玄武岩系の岩石）に由来する粘土が素材として使われており、K が少なく、Ca、Fe が多いという特異な化学特性をもつ。生駒山西麓土器群が花崗岩類を後背地にもつ地域に伝播していると容易に検出できる。長石系因子は生駒山西麓土器群の伝播に関する研究にも十分役立つ。今後の研究課題である。

参考文献

1）三辻利一（2013）『新しい土器の考古学』，同成社.

2）三辻利一・大船孝弘・森田克行・笠井敏光（1998）「統計学の手法による古代・中世土器の産地問題に関する研究（第四報）―摂津と河内の埴輪の胎土研究―」『情報考古学』4（1）：1–32.

3）三辻利一・福永信雄・原田昌則（2008）「統計学の手法による古代・中世土器の産地問題に関する研究（第 24 報）―生駒山西麓遺跡群出土の軟質土器の化学特性―」『情報考古学』13（2）：10–23.

地域差の原因は何か？（花崗岩類の分析化学的研究）

What is the origin of regional differences in the chemical characteristics of Sue ware from kiln sites? (Analytical studies of granitic rocks)

◯三辻利一（鹿児島国際大学）、中園　聡（同左）

◯Toshikazu MITSUJI, Satoru NAKAZONO (The International University of Kagoshima)

1. はじめに

土器の素材は粘土であり、粘土は岩石の風化生成物である。土器、粘土、岩石は外形が異なるが材質としては同じアルミノケイ酸塩である。材質が同じであるという点で土器、粘土、岩石中に含まれている主成分元素の分析には蛍光 X 線分析法が有効である。

1916 年、ハデイングらによって粉末試料の X 線回折法が開発されて粘土鉱物の結晶学研究が進み、その理論化学式は（SiO_2・mAl_2O_3・nH_2O）で与えられることになった。粘土鉱物の集合体が粘土である。しかし、自然界に広く分布する粘土には岩石同様、多くの元素が含まれていることは周知の事実である。粘土鉱物の結晶構造から、粘土のもつ特異な性質は解明されたが、粘土の地域差に関する地球化学的研究は行われていなかった。元素分析による土器の産地問題の研究には、粘土の地域差に関する研究は不可欠である。行政発掘によって各地で須恵器窯跡が発掘調査され、そこから出土した大量の須恵器片が粘土に代わって、地域差に関する研究の分析対象として選択された。

2. 窯跡（群）出土須恵器の分析化学的研究

窯跡出土須恵器の地域差に関する分析化学的研究では膨大な量の土器試料の分析が必要であるため、伝統的な「均質系の分析化学」の考え方で、検量線法で含有量を求める方法は不適当である。土器試料の蛍光 X 線強度を同じ日に測定した岩石標準試料、JG-1 の各元素の蛍光 X 線強度で標準化する方法が採用された。JG-1 による標準化値は普遍化された蛍光 X 線強度である。JG-1 による標準化法の検量線も直線性があることが確認された。JG-1 による標準化値と含有量の間に比例性がある訳である。この結果、JG-1 による標準化法で窯跡出土須恵器の地域差に関する分析化学的研究を推進することができる。30 年を超える年月をかけて、全国各地の窯跡（群）から出土した須恵器片試料は K-Ca、Rb-Sr の両分布図上で窯（窯群）ごとにまとまって分布し、かつ、地域差を示すことが実証された。地域差は 2 次元分布図上で比較する方法が定性的ではあるが、最も便利な方法である。窯跡（群）出土須恵器に地域差があることが実証されてはじめて、元素分析法による土器の産地問題の研究への道が開かれる。しかし、この方法を土器の産地問題の研究に定着させようとすると、地域差の原因を解明しておかなければならない。

自然界に広く分布する粘土が粘土鉱物の理論化学式で表されるようなものであれば、粘土を素材とした土器胎土にも地域差は期待できないはずである。それにも関わらず、窯跡（群）出土須恵器に地域差があるという実験データは粘土の母岩と関係があることが予測された。須恵器窯跡の後背

地の地質を構成する岩石は花崗岩類であることが多い。地域差の原因を探るためには、花崗岩類の分析化学的研究が必要であることは明白であった。

3. 花崗岩類の分析化学的研究

全国各地の花崗岩類の岩片試料を大量に分析した結果、花崗岩類は K-Ca 分布図上で逆相関の関係をもつ「花崗岩類のベルト帯」にまとまって分布し、かつ、地域差を示した。花崗岩類にも地域差があった訳である。花崗岩類を構成する主成分鉱物は石英（SiO_2）と長石類（一般式は WZ_4O_8 で表す。W は Na、K、Ca、Z は Si と Al）である。角閃石、雲母などの鉄化合物が比較的少ない白色系の岩石である。花崗岩類が K と Ca の間で逆相関の関係をもつことは灰長石（$CaAl_2Si_2O_8$）と曹長石（$NaAlSi_3O_8$）間で（Ca＋Al）と（Na＋Si）の対イオン置換が、また、曹長石（$NaAlSi_3O_8$）とカリ長石（$KAlSi_3O_8$）の間で Na と K のイオン置換が起こることで説明できる。全イオン置換過程で種々の化学組成をもつ完全固溶体が形成されるが、両端にある Ca と K の間には逆相関の関係が生じる訳である。各地の花崗岩類は種々の化学組成の長石類からなるので、「花崗岩類のベルト帯」で地域差を表すことになる。「花崗岩類のベルト帯」で K が比較的多く、Ca が比較的少ない領域に分布するのが花崗岩であり、逆に、K が少なく、Ca が多い領域に分布するのが花崗閃緑岩である。両者を合せて花崗岩類と呼ぶ。さらに、微量元素 Rb と Sr は主成分元素 K と Ca と正の相関性をもっていた。長石類の結晶格子に、K、Ca に代わって一定量の Rb と Sr が配置されたので、正の相関性をもつことになった。その結果、Rb-Sr 分布図でも「花崗岩類のベルト帯」が形成され、K-Ca 分布図での分布と類似した分布をすることになった。両分布図は地球化学的意味をもつ分布図である。かくして、花崗岩類の両分布図上における地域差の原因は花崗岩類を構成した主成分鉱物長石類であることが理解できた。他方、水に解け難い Fe は風化過程で長石系因子とは別の挙動をする。Fe 因子も地域差を示すが、その地域差は十分に整理されていないので、産地推定では主として、長石系 4 因子が使用される。

4. 窯跡（群）出土須恵器の地域差の原因

K、Ca、Rb、Sr の長石系 4 因子は岩石の風化過程で流出する元素であるので、分析値は JG-1 による標準化値にして 1 以下の値をもつ。その結果、土器は両分布図では両軸が 1 以下の領域に分布することになる。この領域を「土器領域」と呼ぶ。「土器領域」は通常、4 つの象限に分割される。窯跡群出土須恵器の化学特性は後背地の岩石の化学特性によく対応した。花崗岩を後背地にもつ窯跡群出土須恵器は「土器領域」の第II象限から第III象限にかけて分布し、花崗閃緑岩を後背地にもつ窯跡群出土須恵器は第IV象限から第III象限にかけて分布した。この結果、窯跡（群）出土須恵器の地域差の原因も母岩の長石類であると考えられた。長石類が花崗岩類や窯跡群出土須恵器の地域差の原因であった訳である。

参考文献

1）三辻利一（2013）『新しい土器の考古学』，同成社.

土器における個人様式
—その考古学的解釈をめぐる再検討—

Potters' Individual Styles: Re-Examination of the Traditional Interpretations in Pottery Archaeology

○平川ひろみ（同志社大学文化遺産情報科学調査研究センター／鹿児島国際大学）、
太郎良真妃（鹿児島国際大学大学院）、中園　聡（鹿児島国際大学）
○Hiromi HIRAKAWA (Research Center for Knowledge Science in Cultural Heritage, Doshisha University / The International University of Kagoshima), Maki TARORA (The International University of Kagoshima Graduate School), Satoru NAKAZONO (The International University of Kagoshima)

1. はじめに

出土資料から土器製作者個人を高確度で同定する方法として、民族考古学、実験考古学、考古科学（蛍光 X 線分析、粘土接合の可視化、土器・製作者の身体技法の三次元記録など）を総合した多角的研究を長期的に行ってきた。その過程で製作者の個人様式の性質が明らかになるにつれ、考古学上の理解を更新する様々な手がかりが得られてきた。その一端として、特に北タイの伝統的土器製作村での調査から、完成品は同一型式であっても、完成に至るまでに製作者間で明確に異なる技術が長期的に並存する事例を提示する。そして、同時期の同一集団に複数の製作技法が共存する意味を論じることで、従来の考古学的解釈でしばしば年代差や製作者集団の系統差と短絡されてきたことについて再考を促し、ひいては考古学的解釈の確実性の向上に寄与したい。

2. 水甕口縁部製作における異なる技法

北タイの土器製作村の代表的な器種として水甕（モーナム）がある。村中でかなり斉一的で、形態、技法ともに変異は小さいが、口縁部の製作技法が異質なものが存在する（図 1・2）。伝統的な製作技法は、粘土帯の輪積み後、その上端を布を持った指や木製ナデ具でヨコナデし、口縁部が成形される。他の器種はそうして作出されたくの字口縁をもつが、水甕はいったんくの字口縁にした後、利き手に長いナデ板を持ち、もう一方の手を肩部内面に当て、口縁を軽く叩いて潰し密着させる（「折り返し技法」）。最後にヨコナデで仕上げる。ところが、もう一方の技法は、くの字口縁の作出工程がなく、あたかも轆轤で引き出すように回転ヨコナデ（もしくは製作者が周囲を回る“人間轆轤”）で引き出され作出される（「作り出し技法」）。どちらの技法でも肥厚口縁が達成される。外見上、両者は類似し、製品から正確に見分けるには、破片断面の観察や蛍光樹脂含浸法（中園ほか 2011、2012 ; 図 2 右）、CT スキャンが必要となる。

図 1　口縁部作出技法の異なる 2 者
左：折り返し技法、右：引き出し技法

長期にわたる観察と聞き取りでは引き出し技法が後出であるが、少なくとも十数年前から存在し、両技法は長期間併存している。なお、両者ともに新規参入者が継承しており、今後いずれに

集約される／されないか予測できない。両技法はどちらの技法を持った人に習ったかという学習関係を示すが、村では基本的に同じカテゴリーとして扱われ、特段の意味も見出しがたい。

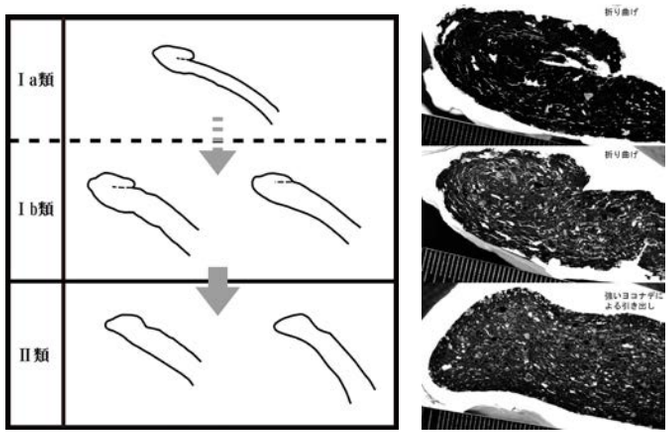


図２　想定されがちな型式学的変化（左）と蛍光樹脂含浸法による口縁部作出技法の可視化（右）

3. 時間的変化か“異系統”技法か

折り返し技法をⅠ類、作り出し技法をⅡ類とする。Ⅰ類は折り返し後、軽くヨコナデをするにとどまり外面の接合痕が明瞭なⅠa類と、強度の強いヨコナデにより外面の接合痕が一部しか見えず外面の口縁部と肩部の間にヨコナデで面が生じたⅠb類がある。Ⅱ類は作り出しで、本来強度の強いヨコナデであるうえ仕上げ時にもヨコナデが施されるため、口縁部の形態や肩部との境目に面が生じ、Ⅰb類と類似した形態的特徴を示す。

これが出土遺物であれば、日本の考古学者の多くは技法と形態からⅠa類→Ⅰb類→Ⅱ類という型式学的変遷を想定し、Ⅰb類はⅠa類とⅡ類をつなぐと見なすと思われる（図2）。一方、Ⅰ類とⅡ類という異系統の技法が同じ遺跡／村に共存したと考えることもあろう。Ⅰb類の存在に気付かず両者の介在と見なさなかった場合は、両技法を対立的なカテゴリーと考えることもありがちである。上の事例は、考古学者は系統的な要素として理解される形態、特に技法の差異を見出すと、背後にそれぞれ対応する社会的集団を想定し、外来／在地集団のような技法を異にする集団差と見なす過ちを犯しかねないことを教えている。実際に、出土資料の解釈での実例は多い。

4. おわりに

民族考古学的実例から、考古学、特に文化史的考古学の脈絡において陥りがちな解釈上の問題点、すなわち土器の変異を時期差とし、異系統の技法を集団の違いとすることについて指摘した。以上のような考古学者の解釈には一定の理由や根拠があるとしても、適切な理解という点においては、これまで情報・知識が不足してきたといえよう。民族考古学は我々の常識や想像力の及ばない過去の復元・理解に重要なものであり、考古科学的調査研究と並んで重視されるべきである。

なお、製作技法やスタイルの採用や維持には、製作者の誇りやアイデンティティなどが投影している可能性も高く、個々の製作者が置かれた社会的地位や個人的パーソナリティーなども関係していると思われる。また、採用・維持は必ずしも意識的であるとは限らず、無意識・半意識の場合もあろう。日本の考古学者はしばしば社会的規制を要因として挙げるが、そのような規制は考古学者が想定するほど高くないかもしれないことも、民族考古学的調査の現場から実感されることである。実際の考古資料の操作・解釈に当たっては、民族考古学的調査を含む多角的検討のループが重要となろう。

※JSPS 科研費・基盤研究（B）（課題番号：26284124）の成果の一部である。

弥生時代における金山産サヌカイトの獲得地
Acquisition place of kanayama's sanukite in the Yayoi period

◯朝井琢也（川西市教育委員会事務局／同志社大学大学院）
◯ Takuya ASAI (Kawanishi City Board of Education & Grad. Sch. of Doshisha Univ.)

1. はじめに

金山産サヌカイトは、西日本で広く用いられた石器石材であり、広域流通の代表的存在である。しかし、原産地の利用という面では、同じサヌカイトの原産地である二上山北麓地域と比べると豊富とはいいがたい。本発表では、金山産サヌカイトの獲得地ごとの自然面の様相を整理したうえで、遺跡から出土するサヌカイトの自然面を観察し、金山産サヌカイトの獲得地について考察する。

2. 金山産サヌカイトの自然面

金山産サヌカイトの研究は比較的歴史が浅く、存在が広く知られるようになったのは 1980 年前後のことである。藁科哲男らによる蛍光 X 線を用いた石器原産地推定の研究によって、自然科学分析から推定されたことがきっかけであった (藁科ほか 1977)。

自然面の記載では、上地博文が金山産サヌカイトの表面には、朽木状のものや虫食い状のものがみられると指摘している（上地 1995)。その後、長井謙治によって、金山の地質環境に南北差があることが明らかにされた (長井 2004)。金山の北側は筋状の流理が発達した角柱礫を多く含み、南側は著しく発泡したサヌカイトを含んでいる。その他、全体が粘土状の被膜に覆われているものや、直径数 mm のくぼみが多数ある平滑な面と、それらが平行縞状に沿って並ぶ面を持つものなどが採取することができる。また、金山から北東に 1 ㎞ほどの距離を流れる綾川の河川敷では、自然面や剝離面が水磨したサヌカイトを採取することができる。亜円礫から亜角礫のものが大半である。自然面が水磨したサヌカイトは、筋状の溝など本来の形状がほとんど判別できないものと、稜が著しく潰れて滑らかになっているものの溝などが判別できるものがある。まれに、ほとんど水磨しておらず本来の形状をとどめているものも認められる。

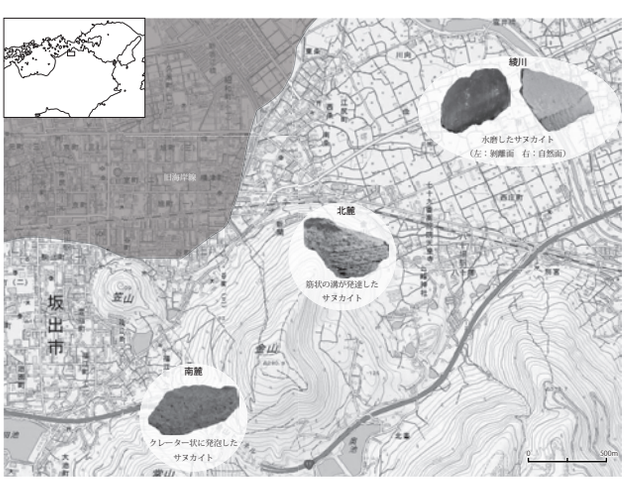


図 1　金山周辺で採取できるサヌカイトの自然面の様相

これらを整理すると、おおむね下記の五つに大別できる。粘土状被膜のもの（Ⅰ類)。筋状の溝のもの（Ⅱ類）で、溝が発達したもの（a 類）と、溝があまり発達していないもの（b 類)。クレーター状に発泡したもの（Ⅲ類)。直径数ミリのくぼみが平行縞状に並ぶもの（Ⅳ類)。水磨によって表面が滑らかになったもの（Ⅴ類）で、剝離面が水磨したもの（a 類）と、自然面が水磨したもの（b 類)。

3. 遺跡で使用される石材の自然面

多様な自然面の様相を示す金山産サヌカイトは、遺跡ではどのような傾向を示すのだろうか。本発表では、讃岐平野の遺跡[1]を対象に、石材の使用状況について検討する。川津一ノ又遺跡（坂出市）・東坂元北岡遺跡（飯山町）は、金山の南西に位置する。金山に近い立地からか多量のサヌカイトが出土し、原石も出土する。過半数が筋状の自然面を呈するが、2 割から 4 割近くを水磨した自然面のサヌカイトが占めている。さらに、その中には 全面が水磨して滑らかになった原石が含まれている（図 3）。矢ノ塚遺跡（善通寺市）は、出土するサヌカイトの量は先の 2 遺跡に比べると少なく、大きさも小さい。自然面の半数近くに水磨したものが認められる。

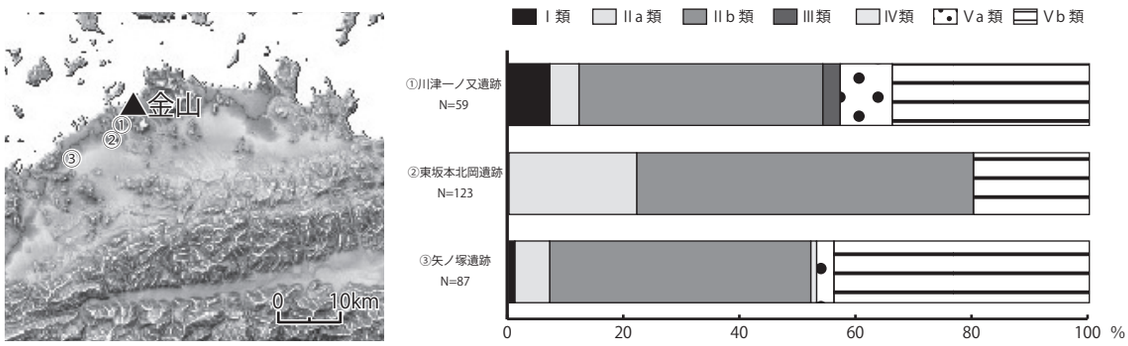


図 2　遺跡から出土するサヌカイトの自然面の様相

図 3　遺跡から出土する水磨したサヌカイトの原石（S=1/3）

4. おわりに

遺跡では河川など水流によって運ばれたサヌカイトを多用していることが明らかになった。今後、サヌカイトの利用状況や獲得地の違いなどから遺跡の性格や集団関係などを検討する必要がある。

註 1　本発表で扱う資料は、全て香川県埋蔵文化財センター所蔵である。

引用文献

上地博文 1995「讃岐岩の産状について」『香川県自然科学館研究報告』第 17 巻、香川県自然科学館、pp. 17-23。

長井謙治 2004「金山の地質環境」『香川考古』第 9 号、香川考古刊行会、pp. 1-18。

藁科哲男・東村武信・鎌木義昌 1977「蛍光 X 線分析法によるサヌカイト石器の原産地推定（Ⅲ）」『考古学と自然科学』第 10 号、日本文化財科学会、pp. 53-81。

覆屋の藻類繁茂軽減効果に関する研究

Study on the effect of shelter for reducing luxuriant growth of algae.

○朽津信明、森井順之、犬塚将英（東京文化財研究所）
○Nobuaki KUCHITSU, Masayuki MORII, , Masahide INUZUKA
（Tokyo National Research Institute for Cultural Properties）

1. はじめに

屋外にある石造文化財の表面には藻類や蘚苔類などの着生生物が沈着しやすく、銘文や彩色を鑑賞するためにはそれが問題になる場合も少なくない[1)]。そうした屋外石造文化財の保存を意図して覆屋が設けられることがあり、石材風化に対する覆屋の保護効果については既に論じられている[1)]が、一方で覆屋の存在は着生生物の繁茂を軽減する効果も期待される。本研究では、発掘後に強化ガラス製の透明な覆屋が設けられて保存公開が図られている、和歌山城穴蔵状遺構において、覆屋が存在する箇所と存在しない箇所とでの石材表面の状態を調査することから、藻類の繁茂軽減という観点から覆屋の保護効果について検討を試みた。

図１．和歌山城穴蔵遺構と覆屋（2016 年）

図２．石室内部側壁（雨天時）

2. 穴蔵状遺構

和歌山城穴蔵状遺構は、2003 年から始まった御橋廊下の復元工事に伴う発掘調査で確認された、江戸時代の一時期に利用されて放棄されたと考えられる石室である[2)]。石室は和泉砂岩の切石で構築されているが、御橋廊下の復元工事に伴って一部石材が和泉砂岩の新材に取り換えられて復元され、2006 年から上に覆屋を設けた状態で公開・活用に至っている。覆屋は、屋根が二重の強化ガラス製で透明になっており、ステンレス製の柱のみで支えて壁はない状態で石室を覆っている（図１）。

石室最上部を構成する石材の上面に着目すると、覆屋直下の石材上面には藻類の沈着は肉眼では確認できず石材本来の色を示すのに対して、屋根の範囲から外れた場所にある石材の上面は藻類で覆われ、黒色を呈している。両者の境目は極めて明瞭で、直線状に認められる（図１）。石室内部側壁石材表面には、一般には藻類は認められないが、局所的に緑色の藻類が認められる部分がある（図２）。なお、降雨時には、境目のラインよりもさらに内側に、石材が濡れ色になるラインが発生し、そのラインも屋根の縁のラインと平行な直線上に認められた（図４）。

3. 計測方法と結果

3.1. 方法　屋根の縁から下げ振りを下ろし、屋根のラインと藻類沈着域との位置関係を把握した（図３）。また、降雨時に、石室石材上面で藻類の沈着が乏しい箇所（図４の①）、範囲外で繁茂が顕著な箇所（同②）、濡れ色の箇所（同③）で、赤外線水分計による水分計測と測色計による色彩調査を試みた。さらに、晴天時に内部側壁の緑色藻類繁茂域付近（図２の④）と石室石材上面（図４の①②付近）とで、照度計測も行った。

図３．下げ振りによる計測風景

3.2. 結果　石室石材上面では、藻類繁茂は覆屋の縁のラインよりも約 9 ㎝内側に入った場所まで認められ、その限界ラインは屋根のラインと平行な直線上に認められた（図３）。降雨時にはこのラインよりもさらに 9 ㎝程度内側まで濡れ色（③）に観察され（図４）、色も水分も通常の石材表面とは明確に区別可能な測定値となった（表１）。緑色生物繁茂域（図２の④）は覆屋の下でも降雨時に雨水の流れ込みが認められ、晴天時の照度は、黒色域の 10 分の 1 以下だった（表１）。

図４．降雨時の石材上面の状況

4. 考察

石材には当初の刻印や加工痕が認められる場合もあるため、本来の表面を観察できる状態を良好な状態と見做すとすれば、覆屋の存在は藻類繁茂を軽減することで石材の表面状態を良好に保っていると評価できる。ただし、壁が存在しない透明な覆屋の効果は覆う範囲とイコールにはならず、藻類は屋根に覆われたエリアにまで一部広がっている。この広がりは降雨時に水が拡散する範囲とイコールにはならず、乾燥過程も含めた複雑な水分条件に起因していると予想される。石室内部でも雨水の供給がある部分では藻類繁茂が起きるが、照度条件の違いが生物種の違いに影響を与えている可能性があり、黒色ではなく緑色エリアができているのだろう。このことから、各覆屋の保護効果については雨水防止効果だけでなく、照度条件のコントロールという観点まで含めて評価する必要があると考えられる。

地点	水分※	L*	a*	b*	照度
①	0.1940	41.71	-1.63	7.59	58.28klx
②	0.9699	18.98	1.53	3.64	76.28klx
③	0.7968	26.53	-1.44	5.31	-
④	0.0750	42.88	-4.33	16.44	4742lx

表 1．計測結果　（①～③の水分・色彩値は降雨時、④及び各照度値は晴天時（　が晴天時）。※: 赤外線吸光度）

文献 1）朽津信明他（2012）保存科学，51，97、2）和歌山市まちづくり推進室和歌山城管理事務所 編（2007）史跡和歌山城御橋廊下復元及び二之丸西部・西之丸第一期整備報告書

なお本研究の一部は、JSPS 科研費 15K01140「環境制御による古墳に繁茂する緑色生物の軽減法に関する研究（研究代表者：朽津信明）」により行われたものである。

猿島砲台跡における明治期の煉瓦造弾薬庫内の劣化と環境の研究

Study of the deterioration and the environment in the brick ammunition depots built in the Meiji period in Sarushima

○深見利佐子（筑波大学）、松井敏也（同左）、川本真由美（横須賀市）
○Risako FUKAMI, Toshiya MATSUI(University of Tsukuba), Mayumi KAWAMOTO (Yokosuka City)

1. はじめに

猿島砲台は明治 14 年に建設された東京湾要塞の一つである。現在、遺跡を活用するために整備計画が行われており、整備にあたり測量調査等が進められている。構造物の多くは煉瓦造であり、東洋組（愛知県）の煉瓦が使用されていることが判明している。東洋組は明治 15 年から大正に至るまで煉瓦製造を行った陶業会社だ（野内 2014）。そのため、明治期の代表的な煉瓦試料となり得る。

煉瓦造構造物としての形は保たれている一方で、煉瓦一つ一つの劣化や損傷は激しい。猿島砲台跡に建設された構造物の多くは軍事施設としての機能を果たすものであり、中でも弾薬庫が多く設置されている(図 1)。弾薬庫は弾薬を保管することを目的とした場所であるため、本来は換気がなされ、温湿度も厳しく管理されていた可能性が高い。しかし、現在の弾薬庫内の環境は非常に高湿であり煉瓦壁面の劣化も著しい。本研究では、遺跡の整備や活用を行うために煉瓦の劣化状況を把握し、劣化がみられる弾薬庫内環境の解明を目的とする。

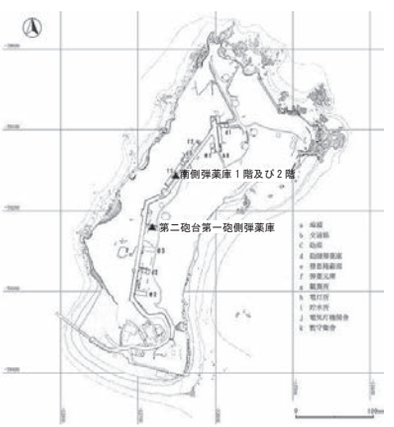
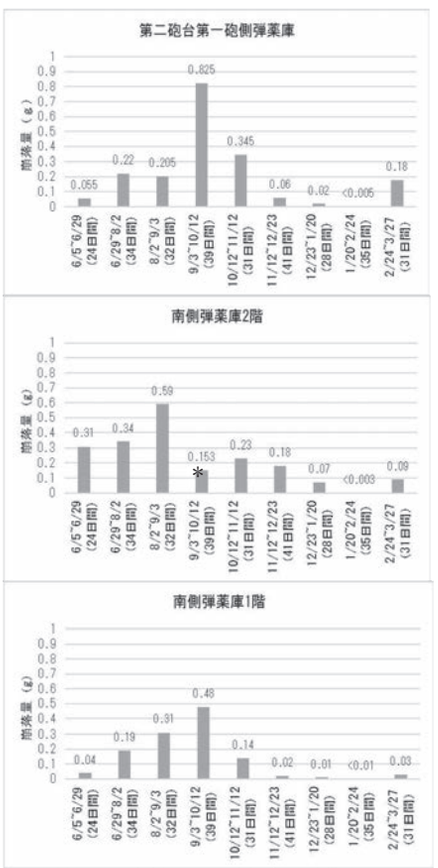


図 1 猿島砲台跡遺構配置図（横須賀市）

2. 研究方法

2017 年 6 月より目視観察、温湿度調査そして煉瓦面崩落量の計測を第二砲台第一砲側弾薬庫内、南側弾薬庫 1 階及び 2 階の計 3 地点にて実施した。さらに得られた崩落物は XRD 分析を行った。目視観察では塩類の析出場所や範囲、結露しているか否かの確認を行った。また、煉瓦壁面の崩落量調査においては、塩類風化による煉瓦表面の劣化が確認された壁面にて実施した。調査を実施した壁面における煉瓦量は約 10～20 個である。



＊設置トレーの転倒より、正確なデータ取得が不可。

図 2　崩落量の変化

3. 結果と考察

（1）弾薬庫内の劣化現象と環境の現状

弾薬庫内の主な劣化現象は、塩類の析出、煉瓦の粉状化及び崩落や欠落であった。また冬季には第二砲台第一砲側弾薬庫内の北面にて多量の塩類が析出していた(写真 1)。弾薬庫内の環境は外気よりも温度がやや低く、温度差も小さい。夏～秋にかけて清涼な環境が保たれている(表 1)。一方、相対湿度は高く、夏季は壁面に結露が発生するほど高湿な環境である。特に 6 月～10 月にかけて湿度は約 100%の状態が続くが、この期間は湿度センサーに結露が発生していたため、正確なデータであるとは断言できない。しかし、この期間において崩落量は増加している。そして湿度の低下と共に崩落量も減少し、湿度が再び上昇する 2 月以降、崩落量は再度増加する(図 2)。このことから煉瓦の崩落には季節性がみられる。現時点では湿度変化が崩落に影響を与えていると考えられるが、4 月以降の崩落量の変化よりさらに考察を深める必要がある。

（2）崩落物の XRD 分析

崩落物より煉瓦を構成する鉱物と、塩類と思われる Gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)、Calcite ($CaCO_3$) が検出された。さらに冬季には Thenardite(Na_2SO_4)が検出された。これらの塩類は温湿度変化に伴い、析出と潮解を繰り返すことで煉瓦の崩落を誘発していると考えられる。特に Gypsum と Calcite は 6 月から現在に至るまで常に検出されている。これらは高湿な環境下に存在する塩類であり、弾薬庫内の湿度が 100%付近に達すると煉瓦内に潮解し煉瓦の脆弱化を招く。その後弾薬庫内が乾燥することで崩落が生じると考える。また Calcite が溶解し再結晶する際に SO_x と結合することで Gypsum が生成される。猿島の場合 Calcite は目地が溶出したものである可能性が高く、それらが SO_x と結合したことで Gypsum へ転化した可能性が考えられるが、SO_x の発生源が現時点では分かっていない。今後の研究にて発生源について追及する予定である。また、本来 Calcite は水に溶解しにくい性質であるが、水が酸性傾向にあると溶解が促進される。しかし現地の水質調査は未実施なため、今後の調査項目に加える必要がある。

これまでは Thenardite が危険性の高い塩類と考えられていたが、猿島の場合 Thenardite が析出する時期における崩落量は少ないため Calcite と Gypsum が煉瓦の崩落に影響を与えている可能性が高い。そのため優先して対策を講じる必要があると判断する。

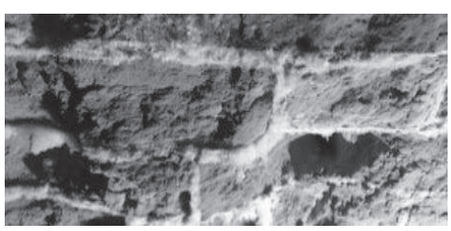


写真 1　冬季に塩類が析出した様子

表 1　温湿度の挙動

場所	温湿度		6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月*
第二砲台第一砲側弾薬庫	温度(℃)	平均	17.6	21.9	22.7	20.4	17.2	13.4	9.5	7.5	6.9	9.8
		σ	1.23	0.84	0.77	0.77	1.58	1.55	1.26	1.43	0.86	1.10
		最高	23.4	23.4	24.3	24.3	22.6	16.3	12.5	10.4	8.7	13.2
		最低	15.7	19.6	21.1	18.5	13.5	10.1	6.0	3.3	4.1	7.5
	湿度(%)	平均	99.7	100.0	100.0	99.8	96.1	88.7	76.7	73.2	75.2	90.4
		σ	1.22	0.00	0.00	0.94	5.12	8.26	8.22	11.21	9.28	8.22
		最高	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	93.8	100.0	92.7	100.0
		最低	87.9	100.0	100.0	76.6	74.3	66.6	57.8	50.8	52.9	67.8
南側弾薬庫2階	温度(℃)	平均	17.9	22.4	23.0	21.0	17.5	13.6	9.7	7.7	6.8	9.9
		σ	1.23	1.04	0.75	0.78	1.91	1.78	1.41	1.55	1.00	1.68
		最高	21.4	25.2	25.4	24.4	26.8	18.2	13.2	12.3	9.2	14.8
		最低	15.8	19.9	21.2	18.8	13.4	9.3	6.5	2.8	3.6	5.1
	湿度(%)	平均	98.2	100.0	100.0	99.6	97.9	89.6	79.8	78.2	80.2	93.3
		σ	3.65	0.11	0.32	1.43	4.82	8.55	9.11	10.19	9.78	6.64
		最高	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.0	100.0
		最低	74.0	98.0	94.2	88.1	73.8	63.5	55.9	48.7	55.2	64.3
南側弾薬庫1階	温度(℃)	平均	17.5	20.8	22.0	20.4	17.1	13.1	9.1	6.9	6.1	8.6
		σ	0.54	0.97	0.45	0.55	1.54	1.52	1.22	1.07	0.50	0.94
		最高	19.3	22.7	23.2	22.3	25.9	16.2	11.8	9.6	7.5	11.4
		最低	16.2	18.5	20.9	18.7	13.8	10.1	6.4	3.9	4.4	6.9
	湿度(%)	平均	94.3	95.6	96.3	95.6	93.8	89.8	85.5	85.3	87.0	92.3
		σ	0.63	0.32	0.14	1.10	2.62	3.66	3.53	4.65	3.58	2.43
		最高	94.9	96	96.5	96.6	96.6	95.9	94.2	94.5	93.1	95.7
		最低	91.8	94.9	96	90.1	84.1	77.9	75.6	69.9	73.6	83.8
外気	温度(℃)	平均	9月より屋外における温湿度調査を開始したためデータなし			23.1	17.9	14.1	9.0	6.9	6.8	11.5
		σ				2.57	3.56	3.42	2.83	3.30	2.92	3.91
		最高				31.6	29.0	23.4	17.5	16.2	16.1	21.1
		最低				17.8	11.2	6.3	2.2	-1.3	0.1	2.1
	湿度(%)	平均				83.2	83.9	69.9	60.9	59.8	61.6	74.2
		σ				11.59	14.93	15.09	13.94	17.50	17.08	15.28
		最高				100.0	100.0	98.7	95.9	99.2	97.8	99.5
		最低				41.9	39.3	37.2	24.3	22.5	27.8	35.4

*3 月は 3 月 1 日～3 月 27 日までのデータである。

塩化物イオンによる岩石表面の凹凸の形成

The formation of the uneven of the rock surface by the chloride ion

○星野玲子　（鶴見大学）
○Reiko HOSHINO　(Tsurumi University)

1. はじめに

神奈川県逗子市にある国指定史跡お猿畠の大切岸は、中世から近世に築かれた長さ 800m、高さ 3～10m の遺構である。石を切り出し続けた結果、垂直に聳える崖が形成されたが、現在の大切岸の上部は所謂タフォニ（tafoni）と呼ばれる数十㎝の楕円形の穴が連続した凹凸状で、下部はさらに侵食が進み最大 140 ㎝の窪みを形成している（図１）。タフォニの一部は底面が崩落して連なっている光景も目にする。こうした地形変化は、塩類風化によって形成されると言われていることから、大切岸における塩化物イオン濃度とこの形状の関係について考察した。

２．大切岸の Cl^- 濃度測定

以下の手順で岩石表面の Cl^- 濃度を測定した。

① ビーカーの中に入れた 150 ㎖の水でガーゼ（30 ㎝×30 ㎝）を濡らしてよく絞る。
② 石材表面の 5 ㎝×5 ㎝をガーゼで縦横合計 50 回拭き取り、ビーカー内の水でガーゼを濯いでよく絞る。これを１サイクルとし、５サイクル行う。
③ ５サイクル後、ガーゼを濯いだ水に塩素イオン検知管（光明理化学工業株式会社製 201SC）を入れ、変色した部分の値を読み取り、換算式に入れて Cl^- 濃度（ppm＝㎎/㎡）を算出する。

$$Cl^-\text{濃度} = (\text{読取値} - \text{使用した水の読取値}) \times \text{水量}(\ell) \times \frac{1}{\text{面積}(m^2)}$$

調査では49か所を測定したが、今回の発表ではこのうち4エリア計15箇所について報告する。測定地点と結果は図 1～5 の以下の通りである。凹部は●、凸部は★、窪みの側面（内側）を▌で示した。

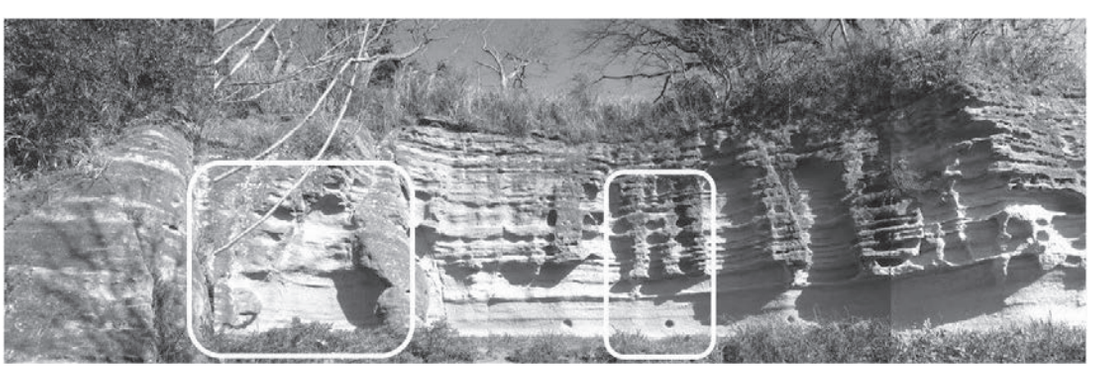


図１．大切岸　測定地点１（左口内）・測定地点２（右口内）

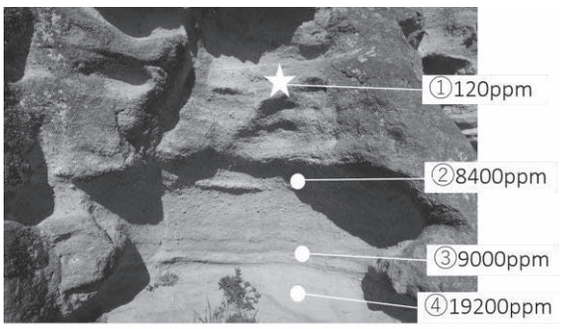


図２．測定地点１

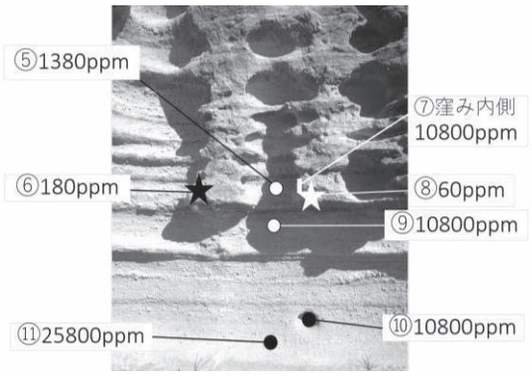


図３．測定地点２

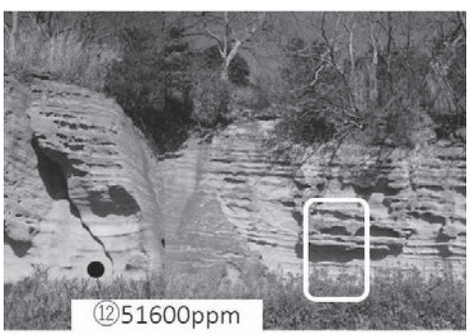


図４．測定地点３（⑫）・測定地点４（口内）

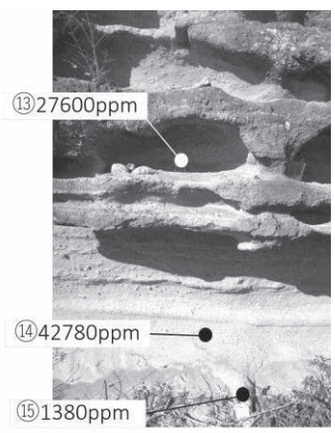


図５．測定地点４

下部の大きな窪みや楕円形内壁の凹部●▮は濃度が高く、最高で 50000ppm（mg/㎡）を超えるのに対し、残存率の高い凸部★は 60～180ppm と低い値を示した。発表者はこれまで各地で調査を実施しているが、40000ppm 以上というこれほどまでに高い値を示す場所はない。また、全体的に下部から上部に行くに従って値がやや低くなる傾向にある。⑮は下部だが岩盤が摩耗せず残存する部分で、窪みより低い 1380ppm であった。下部の大きな窪みはいずれも 10000ppm を超え、これは類似した形状の他地域でも同様の結果を得ている。大切岸周辺や上部のタフォニ内部には母岩から落下した岩石片も見られるが、主に粉状化による摩耗が急速に進行し、地面やタフォニ内部に細粒の砕屑物が堆積している。

３．まとめ

岩盤の凹部は濃度が高く、残存する凸部は低く、表面の形状の形成には Cl^- が深く関与していることが明らかとなった。温湿度の低下する冬場には、硫酸塩鉱物の結晶が一部の場所に確認できるものの、殆どの岩盤表面には結晶が見られない。こうした場所は塩類風化が起きていることに気付きにくく、また海から離れた場所では塩類風化が疑われないことも多い。現段階において、凸部は強固で今後も摩耗の可能性は低いと判断できる一方、凹部周辺は急速に塩類風化による粉状化と摩耗が進んでいるため、いずれさらなる崩落の危険性を否定できない。今回の結果は、今後の保存対策の検討材料として貢献できるものと期待している。

謝辞　本研究にご協力を賜りました橋本直樹氏（逗子市教育委員会）、山崎正彦氏（光明理化学工業株式会社）に厚く御礼申し上げます。この研究は科研費（16K16341）の助成を受けたものです。

ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置を用いた こけら葺き屋根の銅元素の現場測定

In-situ measurements of copper distribution on traditional Japanese shake roof by hand-held X-ray fluorescence analyzer

◯中野ひとみ（株式会社堀場テクノサービス）、駒谷慎太郎（同左）、
藤原裕子（京都大学）、藤井義久（同左）
◯ Hitomi NAKANO, Shintaro KOMATANI(HORIBA TECHNO SERVICE Co.Ltd.),
Yuko FUJIWARA, Yoshihisa FUJII (Kyoto University)

1. はじめに

日本の伝統的なこけら葺屋根は、厚さ 3 mm ほどに薄く剥いだ木材（こけら板）をずらしながら重ねて並べ、竹釘で留めてゆく。こけら葺屋根は一般的に 25 年ほどで葺替えが必要な状態になるが、この耐用年数を少しでも長くする目的で、現在では数段毎に銅板を葺込む手法が用いられている。これは葺込銅板と呼ばれ、銅の防腐効果による屋根の耐久性向上を期待して施工される。既往の研究では、屋根の修理工事の際にこけら板を採取し、施工後数十年の屋根における銅元素分布を明らかにした例[1]や、モデル屋根を用いた測定例[2]はあるが、葺替えから数年後の実際の屋根において銅元素がどの程度広がっているのかを調べた例はない。本研究では、屋根替え後約 6 年の葺込銅板が施工されたこけら葺屋根において、携帯型の蛍光 X 線分析装置を用いての銅元素分布を調べるとともに、銅元素量を定量評価した。

2. 実験

測定は冷泉家住宅（京都市上京区）のこけら葺屋根（図 1）で行った。屋根は 2012 年に葺替えが終了し、葺込銅板は 10 段毎に施工されている。この屋根の東または西に面した 2 つの異なる流れについて、それぞれ軒先から 10 段目までの各段の葺足を異なる 3 か所で測定した。測定にはハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置（MESA-630、堀場製作所製）を用い、管電圧 45 kV、管電流 40 μA、測定時間 30s とした。

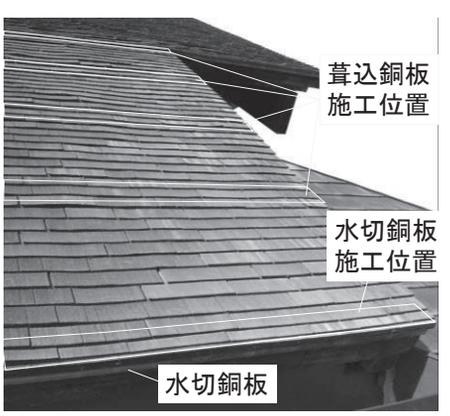


図 1　東向きの流れ

屋根における測定結果から銅元素を定量的に評価するため、異なる濃度の硫酸銅水溶液（1、0.5、0.25、0.008、0.002 %）に 5 分間浸漬後、乾燥したサワラ材を用い、装置で得られるカウント数と銅濃度に関する検量線を作成した。サワラ材を硫酸銅水溶液に浸漬する前後の重量から材料表面および表層に付着した水溶液の重量を算出して表面に付着した銅元素量を求め、それを試料の表面積で除して単位面積当たりの銅元素付着量を算出した。また、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置による測定は管電圧 45 kV、管電流 40 μA、測定時間 50 s とした。

3. 結果

図 2 は硫酸銅水溶液を用いて作成したサワラ材標準サンプルの単位面積当たり銅元素量（g/m²）とカウント数の関係である。この結果から、銅元素量とカウント数にはほぼ線形の関係があると考えられたので、以下の式(1) を用いて測定されたカウント数（y(カウント)）から単位面積当たりの銅元素量（x(g)）の推定値を求めた。

$$y = 79600x + 778 \quad (1)$$

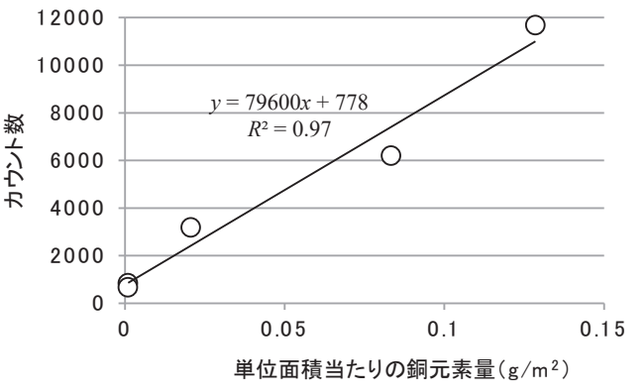


図 2　サワラ材標準サンプルの単位面積当たりの銅元素量とカウント数の関係

図 3 はハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置の測定カウント数から換算した各段の単位面積当たりの銅元素量(g/m²)である。葺込銅板直下の 10 段目では銅元素量が多く、銅板から離れると銅元素量は減少する傾向が認められた。ここで、1 段目と 2 段目では葺込銅板から離れているにもかかわらず銅元素量が多くなっているが、これは測定位置の直下に水切銅板が配置されており、その銅板表面からの反射成分が含まれているためと考えられる。東面（東向きの流れ）と西面（西向きの流れ）を比較すると、いずれの段でも西面の銅元素量の値が大きい。これについては、方位による風雨や日照条件の違い、軒先から棟までの距離が東面は約 4m、西面は約 5m で西面の方が 1 m 程長く、軒先までの葺込銅板の枚数が 3 枚ほど多いこと等が影響を及ぼしている可能性がある。

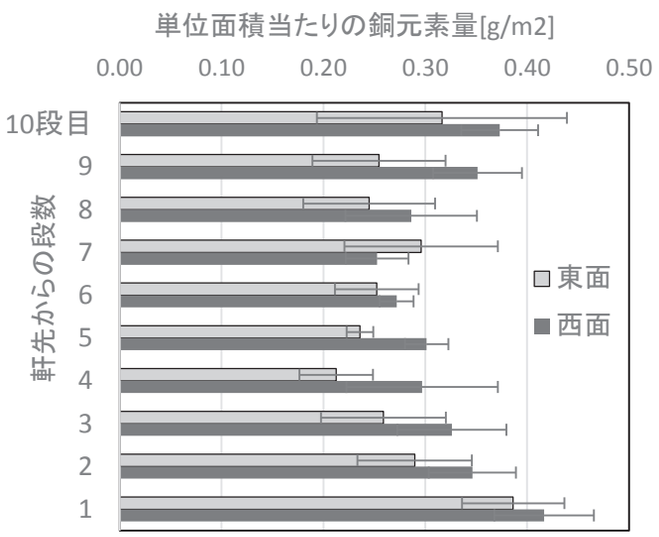


図 3　軒先からの段数，測定位置と単位面積当たりの銅元素量の関係

謝辞

本研究の測定にご協力いただいた冷泉家に感謝申し上げます。

引用文献

1）例えば、村上奈央, 藤原裕子,藤井義久,高妻洋成,中野ひとみ,西川智子:こけら葺屋根に用いた銅板の防腐効果ついてー屋根の高さ方向及びこけら板厚さ方向における銅元素分布ー, 第 66 回日本木材学会年次大会要旨集, p137 (2016)

2）村上奈央, 藤原裕子,藤井義久,高妻洋成:葺込銅板のあるこけら屋根モデル外暴露試験ーこけら板表面への銅付着量経時変化ー,第 32 回日本木材保存協会年次大会要旨集, p26-27(2016)

出土木材のマイクロ波加熱凍結乾燥法による保存処理の研究５

Study on conservation of waterlogged wood using freeze-drying method with microwave heating 5

◯川本耕三((公財)元興寺文化財研究所)、山田哲也(同左)、大国万希子(同左)、山口繁生(同左)
◯Kozo KAWAMOTO, Tetsuya YAMADA, Makiko OOKUNI, Shigeo YAMAGUCHI (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

1. はじめに

出土木製品の凍結乾燥処理法では遺物の中心部と周辺部で含水率の差が生じ、木材深部の残留水分や、表面のクラックが観察されることがある。そこで発表者らは通常の凍結乾燥装置のチャンバーにマグネトロンを取り付けたマイクロ波加熱凍結乾燥装置を作製した。本学会第 29～32 回大会において、この処理法が木材深部に残る水分を除くのに有効であるため、含水率の差が少なくクラックが生じ難いことを報告した。

これらを通して最適な出土木製品の処理を行うには処理の状況や遺物の状態をきめ細かく知る必要があることがわかったため、処理中の温度・圧力・マイクロ波出力等を測定・表示・記録できる装置を新たに作製し、今般その効果を確認したので報告する。

2. マイクロ波加熱凍結乾燥装置

装置模式図を図１に示した。

チャンバー容量約 30L（箱型 420×550×350㎜、棚１段）、棚温度－30～30℃、到達圧力 10Pa 以下、マイクロ波出力 2kW（周波数 2455MHz、無段階調整）、トラップ除湿量約 3L（円筒縦型φ200×300㎜）、冷却温度－80℃（冷凍機 500W×2）、である。

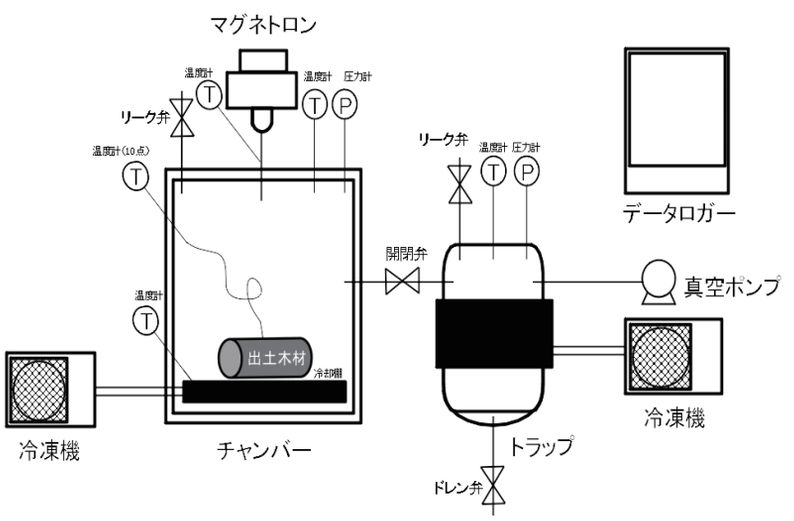


図1. マイクロ波加熱凍結乾燥装置模式図

データロガーは５秒間隔で、日時、チャンバー圧力、庫壁温度、棚冷却温度、マイクロ波出

力値、導波管温度、トラップ温度、試料内部温度（10 箇所）等を記録する。

3. 実験

まず、出土木材（丸太材）を分割して試料とした。分割試料を常法通り PEG4000（平均分子量 3000）の 20、40%水溶液に含浸後、マイクロ波加熱凍結乾燥装置チャンバー内で熱電対を差し込み（図２）－30℃で予備凍結した。

次に、試料の水分を通常の凍結乾燥法で除いた（①）後、凍結乾燥しながら数回に分けて出力 100Wのマイクロ波を照射した（②、③）。

再び、凍結乾燥法を行い（④）処理終了とした。

その後、処理工程①～④後に取出した試料各部位（図２）の含水率を絶乾法により求めた。

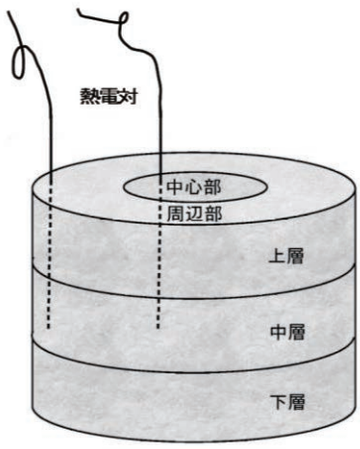


図2. 出土木材試料

4. 結果・考察

上記②③の工程およびその前後のログをグラフ化した（図３）。

工程と工程の間（①と②、②と③、③と④）には試料を 1 個ずつ取り出したため、試料温度測定値が途切れた。

凍結乾燥時には試料内部温度変化により含水率の減少を知ることができた。

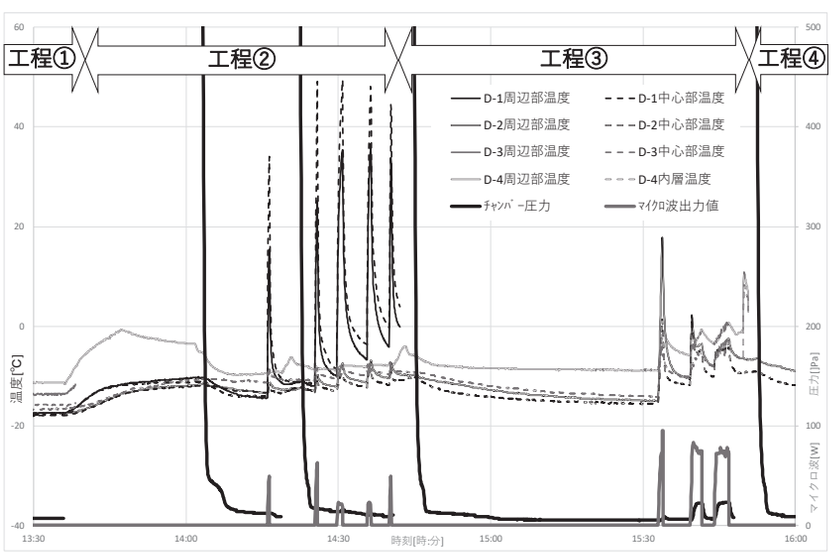


図3. マイクロ波加熱凍結乾燥処理ログ

さらにマイクロ波照射時にはマイクロ波出力値によりその時間と出力を知ることができるため、試料温度が 50℃を上回らないようマイクロ波出力を調整できた（工程②で 5 回、③で 3 回）。ただし、試料 D-1 に繋がる熱電対の大きな温度上昇は、熱電対位置やマイクロ波偏在の影響を受けた可能性があった。

なお、本研究は平成 29～32 年度科学研究費補助金(基盤研究(B)17H02021)により行った。また、本装置はエルシーサイエンス(株)、東京理科機械(株)、(株)廣電に作製を依頼した。

バーレーン王国、バルバル神殿遺跡の保存・活用を目的とした調査

Survey for Conservation and Utilization of Barbar Temple in Kingdom of Bahrain

○末森薫、吹田浩、西浦忠輝、伊藤淳志、鶴田浩章、安室喜弘、肥後時尚（関西大学）
アフマド・シェイブ、マイーサ・マンスール（カイロ大学）、アデル・アカリシュ（エジプト国立研究センター）
サルマン・アルマハリ（バーレーン王国文化・文化財局）
○Kaoru SUEMORI, Hiroshi SUITA, Tadateru NISHIURA, Atsushi ITO, Hiroaki TSURUTA, Yoshihiro YASUMURO, Tokihisa HIGO (Kansai University),
Ahmed Shoeib, Maisa Mansour (Cairo University), Adel Akarish (National Research Center, Egypt),
Salman Almahari (Bahrain Authority of Culture and Antiquites)

1. はじめに

バーレーン島北西部に位置するバルバル神殿は、紀元前 2200 年頃に起源を辿れる同国最大の神殿遺跡であり、メソポタミア等との海上交易で栄えたディルムン文明の様相を伝える重要な文化遺産である。1950、60 年代にデンマーク隊によって本格的な発掘調査がおこなわれ、造営年代は大きくⅠ、Ⅱ、Ⅲ期に分かれることが知られている［Andersen and Højlund 2003］。1970、80 年代に遺跡の整備がおこなわれ、現在はユネスコ世界文化遺産の暫定リストに掲載されるなど、観光資源としての活用が計画される。関西大学国際文化財・文化研究センターは、2015 年度より同遺跡の保存・活用を目的として、1）遺跡の現状調査、2）遺跡および周辺の環境調査、3）三次元計測によるドキュメンテーション、4）石材の科学分析、5）石材の劣化診断、6）生物劣化調査の各項目を進めてきた［関西大学国際文化財・文化研究センター2018］。

2. 調査概要

1） 遺跡の現状調査

遺跡の現状を包括的に把握するために、発掘報告書の記録写真と現状との照合・比較を行った。その結果、235 点中 140 点の記録写真との照合をおこなうことができ、移動・損失した石材や、石材の損傷・劣化など、遺跡の経時変化を確認した（Fig.1）。

Fig. 1　写真比較照合の例：石柱に確認される劣化
左：1961 年撮影［Andersen and Højlund 2003］、右：2017 年 3 月撮影

2) 遺跡および周辺の環境調査

遺跡の保存環境を把握するために、遺跡周辺の踏査および環境調査をおこなった。遺跡の三箇所にデータロガーを設置し温湿度を測定した結果、特に外部に露出した部分では、温湿度ともに日較差が激しく、保存上過酷な環境にあることが想定された。また、乾燥気候にありながら、比較的湿潤な環境にあり、飽和状態に近い環境に置かれる場合があることを確認した。

3）三次元計測によるドキュメンテーション

バルバル神殿では、発掘および埋め戻しが繰り返しおこなわれており、露出遺構がどの造営時期に属するかを把握することは難しく、全体像をつかみ難い状況にあった。そこで、ドローン空撮による写真測量およびレーザスキャナにより遺構全体を確認できる三次元モデルを生成した（Fig. 2）。また、過去の記録写真の撮影位置を推定し、生成した三次モデルと記録写真を重ね合わせること（重畳表示）で、発掘時と現在における経時変化を詳細に確認した。

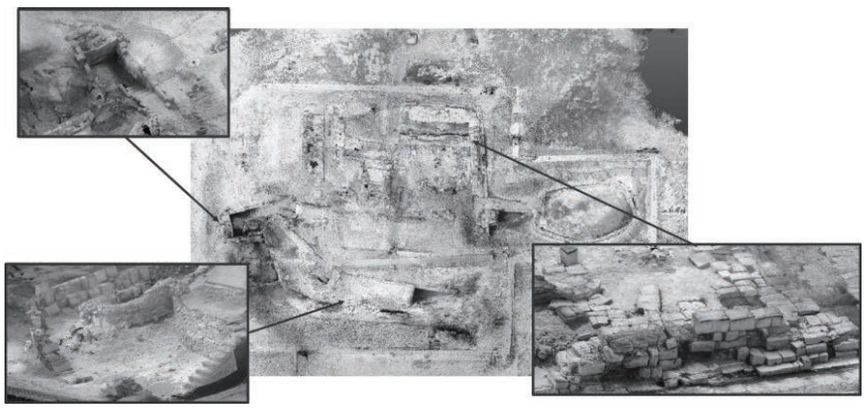


Fig. 2　遺跡全体を網羅した三次元点群データ

4）石材の科学分析

バルバル神殿の築造に用いられた石材は石灰岩を主とすることが知られるが、造営時期等により、その特性が異なることが想定される。また、石材の固定に用いられていたモルタルが部分的に残るが、その特性は知られていなかった。そこで、石材およびモルタルの計 11 点を試料とし、X線回折による元素分析および鉱物顕微鏡による形態観察をおこなった。その結果、造営時期により異なる種類の石灰岩が用いられていること、モルタルは石膏を主原料とし、少量の砂および石灰が混ぜられていることが明らかとなった。

5）石材の劣化診断

バルバル神殿に用いられた石材について、打診試験装置を用いた周波数・波形測定をおこなった。その結果、Ⅰ期がⅡ、Ⅲ期に比べ低い値を示したが、全体的には状態は悪くないと判断された（Table 1）。また、テストハンマーおよびリバウンド式硬さ計により、強度・弾性係数・変形係数などの物性値を測定し、周波数測定の結果と比較したところ、三種類の測定結果については、明確な相関性を認めることはできなかった。測定条件や方法等について、検討する必要がある。

Table 1　周波数測定結果

造営時期	測定数	平均値（Hz）	標準偏差（Hz）
Ⅰ期	8	2.889	450
Ⅱ期	29	3.668	203
Ⅲ期	14	3.448	166

*各測定の打診回数は五回以上。

6）生物劣化調査

バルバル神殿の石材には、部分的に微生物の着生やその痕跡が認められる。生物劣化の対応策を検討するために、石材より微生物を隔離し、実験室にてカビおよび藻類の培養をおこなった。カビについては形態学的な特徴より、カワキコウジカビ、クロコウジカビなど、好乾性、耐乾性のカビが複数種同定された。藻類については、同定はできなかったが形態学的特徴を確認した。

3.　今後の課題

上記の調査にて、バルバル神殿の保存・活用に向けた基礎的なデータを得ることができた。これらのデータを用いて、具体的にどのような施策を講じていくかについては、まだ検討段階にある。今後、現地の担当者とともに、詳細かつ実践的な計画立案を予定する。

［文献］1) Andersen, H. H. and F. Højlund 2003. *The Barbar Temles*, Moesgaard. 2) 関西大学国際文化財・文化研究センター 2018 『最終成果報告書　国際的な文化遺産の保存・活用に関する総合的研究』。
［謝辞］本研究・調査は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「国際的な文化財活用方法の総合的研究」（2013-2017 年度、関西大学受託）により実施しました。
［備考］末森は 2018 年 4 月より国立民族学博物館学術資源研究開発センターに所属。

テラヘルツイメージングによる
高松塚古墳壁画のしっくいの状態の調査

Investigation of the plaster of Takamatsuzuka mural paintings using terahertz imaging technique

○犬塚将英（東京文化財研究所）、高妻洋成（奈良文化財研究所）、杉岡奈穂子（同左）、
福永香（情報通信研究機構）、建石徹（文化庁）、小笠原具子（国宝修理装潢師連盟）、
早川典子（東京文化財研究所）
○Masahide INUZUKA (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties),
Yousei KOUZUMA, Nahoko SUGIOKA (Nara National Research Institute for Cultural Properties),
Kaori FUKUNAGA (National Institute of Information and Communications Technology),
Toru TATEISHI (Agency for Cultural Affairs, Government of Japan),
Tomoko OGASAWARA (The Association for Conservation of National Treasures) and
Noriko HAYAKAWA (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

テラヘルツ波を用いると、その物質内の透過に関する性質により、対象物の表面に近い部分の層構造等を非破壊・非接触な方法で調査をすることが可能となる。このため、テラヘルツイメージング技術は文化財調査に適した分析手法のひとつであると言える。そして、同技術を用いた高松塚古墳壁画の分析調査も進められてきた[1)]。

本研究では、しっくいが石材から浮いている可能性があると思われる箇所についての調査を実施した（2016 年 11 月 14 日～16 日）西壁男子群像が描かれている壁画についてのテラヘルツイメージングデータを選び、修理技術者の触診との比較を行うことにより、しっくいの状態を総合的に検討することを開始した。ここでは、その途中経過を報告する。

2. 調査方法

図 1 に示すように、パイオニア株式会社製ハンディヘッド型テラヘルツスキャナーを用いて調査を実施した[1)]。

周波数領域が 0.1THz から 10THz にあるテラヘルツ波は、図 2 に示すように、屈折率が異なる物質の界面において反射率が高くなる、という性質がある。この性質を利用して、石材としっくいとの間の空隙の有無を調べた。

図 1　調査の様子

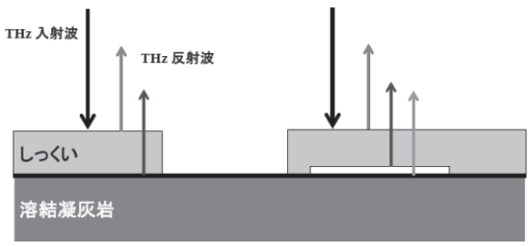


図 2　テラヘルツ波としっくいの状態

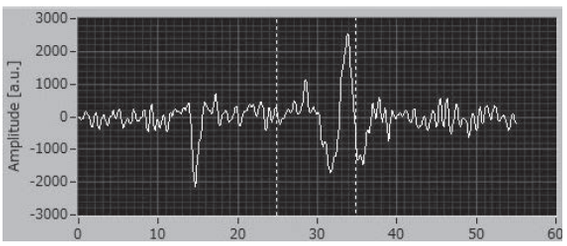


図 3　テラヘルツ反射波の波形の例

3. テラヘルツイメージングデータの検討

しっくいと石材との間に空隙があると推測される箇所の典型的なテラヘルツ反射波の波形を図 3 に示す。しっくいの表面での反射による信号から 10～20 ps 遅れて、空隙に由来する信号が観測されたことから、このような時間領域の信号強度の和を計算し、その 2 次元的な分布を示したのが図 4 左である。信号強度が強い箇所（図中で白く示した箇所）の波形をさらに詳細に調べ、空隙が存在する可能性が高い箇所を図中の丸印で示す。

一方、修理技術者の触診によって作成された損傷マップを図 4 右に示す。両方の結果を照らし合わせると良い一致を示す部分もあったが、テラヘルツイメージングのデータ解析方法にはさらなる改良が必要なこともわかった。現在、二つの結果を補完し合うことにより、より精度の高い空隙の分布図の作成を進めている。

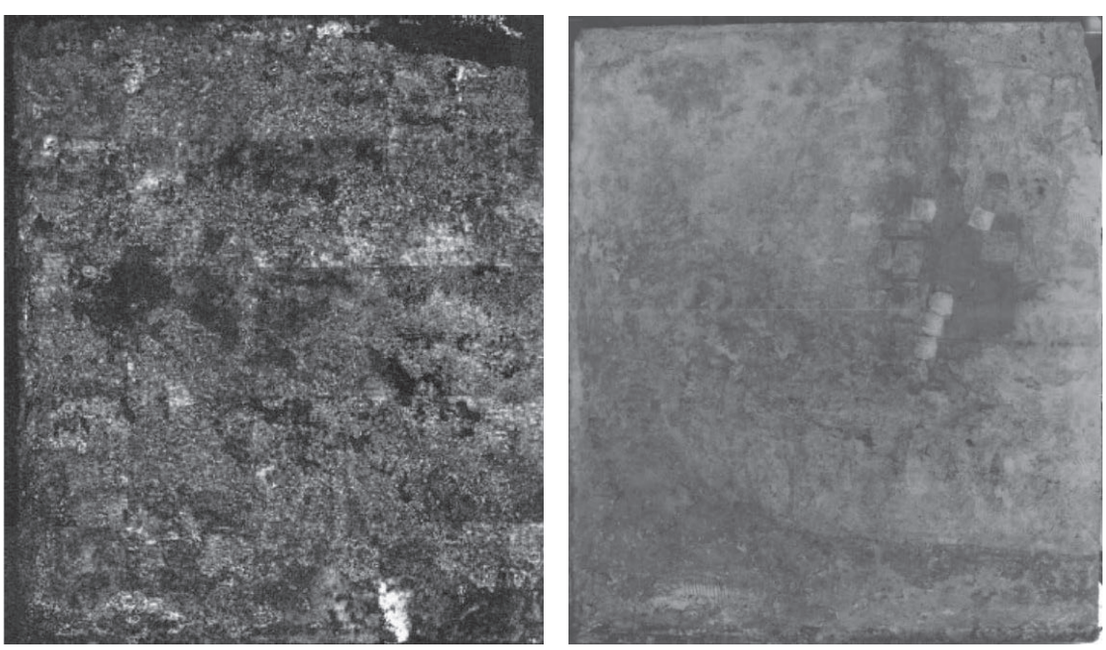


図 4　テラヘルツイメージング画像としっくいの浮きに関する損傷マップ

参考文献

1）M.Inuzuka et al.: Investigation of Layer Structure of the Takamatsuzuka Mural Paintings by Terahertz Imaging Technique, Journal of Infrared Millimeter and Terahertz Waves, 38(4), 380-389 (2017)

名越切通におけるやぐらの天井部復元補強

Celling repair of Yagura cave in Nagoe Kiridoshi

○小林恵（応用地質）、橋本直樹（逗子市）、
高松誠（鴻池組）、海老澤孝雄（ざエトス）、倉橋和也（新成田総合社）
○Megumi KOBAYASHI (OYO Corporation), Naoki HASHIMOTO (Zushi City),
Makoto TAKAMATSU (KONOIKE CONSTRUCTION CO.,LTD.),
Takao EBISAWA (The Ethos CO.,LTD.), Kazuya KURAHASHI (Shinnaritasougousya Co.,Ltd.)

1. はじめに

国指定史跡名越切通に所在するまんだら堂やぐら群は、鎌倉時代に凝灰質砂岩を切り出して造られた横穴式の葬送遺構である。このうちの No.35 やぐらは、保存工事を実施した後も天井の一部が落盤した不安定な形状のままとなっており、景観としても天井部に穴が開いた状態であった。そこで、穴を閉塞するとともに、残った岩盤や土砂の補強とやぐらの景観の保存を目的として、保存対策を行ったので紹介する。

2. 史跡の概要

国史跡名越切通（神奈川県逗子市）の指定地内に所在する「まんだら堂やぐら群」は、2m 四方程度の小規模なものを中心に 150 穴以上の存在が確認されている有数のやぐら群である。これだけまとまった数のやぐらを保存のよい状態で見ることのできる遺跡は鎌倉市内にも少なく、大変貴重であることから、現在、期間限定で公開されている。

まんだら堂やぐら群では、やぐらの壁面が長年風雨に曝されて脆弱化したり、樹木の根が岩盤に入り込んで亀裂を拡大することにより、不安定化して崩落の危険性が高い箇所も見られる。このため、①亀裂を充填して岩盤を一体化させる“亀裂充填工”, ②落盤や落石が懸念される箇所を地山に縫い付けて固定する“ピンニング工”, ③岩盤表面に薬剤を含浸させて強化し風化作用を軽減する“基質強化処理工”, ④亀裂充填箇所やピンニングの頭部を景観に馴染むように修景する“擬岩処理工”などを実施している。

3. やぐら天井部の補強工事

No.35 やぐらは天井の一部が落盤し、その上部に堆積していた土砂が樹木の根などによって垂れ下がるように残った不安定な状態であった。そこで、覆土の発掘調査を行い、不安定部分を除去したのちに前述の保存工事を実施した。しかし、覆土中から“かわらけ”が多数出土したため、覆土の撤去を必要最小限にとどめた結果、周囲の土砂がほぼ垂直に残るとともに、やぐら天井の手前中央部に幅 1.0m、奥行き 0.7m、厚さ 0.5～0.6m 程度の穴が開き不安定な状態であった。また、やぐら上部は基本的に来訪者を歩かせないが、日常管理等で人が歩いた場合に落下する可能性が危惧された。そこで、やぐら天井部の構造上の補強とやぐらの景観の保存、上部に人が載った場合の安全確保を目的とした補強工事を実施した。

やぐら天井部の補強は、穴を閉塞し、残っている岩盤と土砂を補強することが目的であるため、やぐら本来の形状には復元しない方針とした。また、閉塞材料には、天井部の岩盤に負荷がかからないよう、軽量で整形が容易な発泡ウレタンを用い、発泡ウレタンは紫外線により劣化するため、表面を FRP で被覆することとした。天井部補強の手順を以下に示す。断面の清掃、土層強化をしたのち、FRP 防水（ガラスクロス 2 層貼付け）を行い、ピンニングを足掛かりにトラスを設置した。トラスについては、固定後に溶接部検査、強度検査を行った。その後トラスを足掛かりに発泡ウレタンを充填し、整形したのち、ウレタンを FRP 防水で包み、表面を擬岩・擬土処理した。また、やぐら上部に人が載った時の安全措置として、上部に梁構造物（ステンレス製の足場板のようなもの）を設置した。

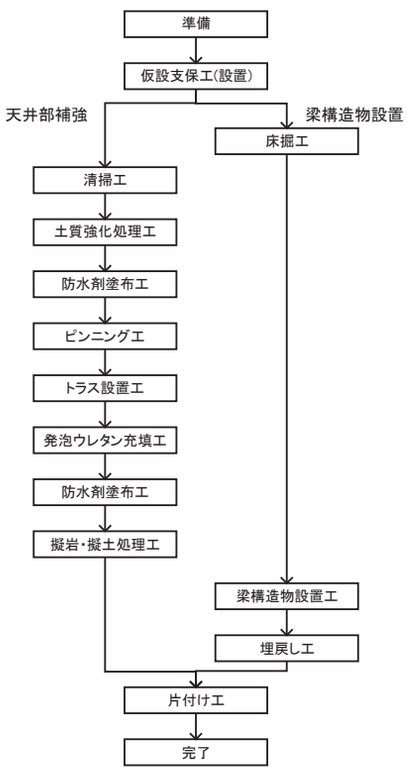


図-1　施工フロー図

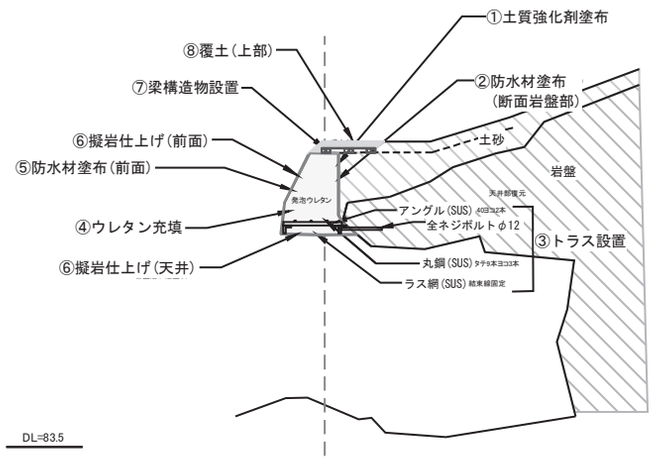


図-2　No.35 やぐら施工断面図

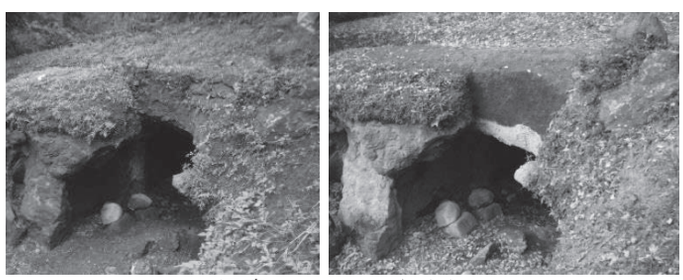


写真-1　No.35 やぐら
左：施工前（土砂撤去後）　右：施工後

4. おわりに

やぐら天井部の補強方法として、発泡ウレタンによる充填と表面の擬岩・擬土処理を行った。施工から 1 年以上が経過した現在は、擬土部分に植生が繁茂し、より自然な仕上がりとなっている。欠損部分の閉塞、補強方法として、他の石造文化財にも応用できるものと考える。

謝辞

施工方法の検討にあたりご指導いただいた、東北芸術工科大学の沢田正昭先生に記して深く御礼申し上げます。

木質文化財における銅製および銅一亜鉛合金製金具周辺の木部白色化現象に対するメカニズム研究：銅/亜鉛溶液で含浸された木粉の劣化促進試験）

Mechanism study for whitening phenomenon of wood adjacent to copper/Cu-Zinc alloy components in the case of wooden cultural properties: monitoring degradation of copper/zinc-impregnated wood powders

◯周 怡杉（筑波大学）、松井敏也（同左）
◯Zhou Yishan, Matsui Toshiya (University of Tsukuba)

1. Introduction

The whitening phenomenon of wood adjacent to metal components is commonly observed in Japanese historic architectures. In previous research, through the investigation for whitening wood adjacent to metal components of the Old Iwasaki-ke Suehiro-bettei Villa (旧岩崎家末廣別邸, Tomisato City, Chiba Prefecture), existence of zinc oxalate hydrate (ZnC_2O_4•$2H_2O$) particles among wood tissues were evidenced. The formation of which was assumed relevant to contents of metal and oxalate ions in wood. In recent studies of wood with Fe (II) content, reduction of tensile strength and formation of Oxalic acid under condition of high temperature and humidity has been confirmed. On this base, this study was established to discuss the correlation between Cu/Zn contents, degradation degree of wood and formation of oxalate compound. The degradation of wood constituents and formation of oxalate ion/compound was monitored by FTIR analysis, quantitation of oxalate ion and monosaccharide content in water extraction, in comparison with filter paper samples, which is consist of pure cellulose constituent.

2. Method

The powder samples (177-250 um) of health fresh Sugi (Japanese cedar) and Keyaki (Japanese Zelkova), filter paper with certain metal content were prepared by mixing with $ZnCl_2$ and $CuCl_2$ solution then naturally drying. The samples were exposed in 60°C, RH 90%. FTIR analysis was conducted with an FTIR-ATR spectrometer (PerkinElmer, Spectrum One (B), 4 cm^{-1} resolution). The water extraction was prepared with wood powders in 5 ml distilled (48hs). The oxalate ion was quantitated by Ion chromatography analysis (Methrohm 883 Basic IC Plus, METRO A Supp 5 25/4.0 column). Monosaccharide contents included arabinose, galactose, glucose, xylose and mannose were determined with Dionex ICS 3000 Ion Chromatography system (CarboPac PA 1 column.)

3. Discussion

After 30 days exposure, significant changes could only be observed in the cases of wood powder samples while not in filter paper samples, especially, which have metal content.

The ion chromatography (IC) confirms oxalate ion accompany with formate ion in the wood samples with metal contents (Fig.1.a). Although the formate ion present more significant content ratio than the oxalate ion, a strong correlation could be observed between these 2 ions in the case of all wood samples. (Fig.1.b).

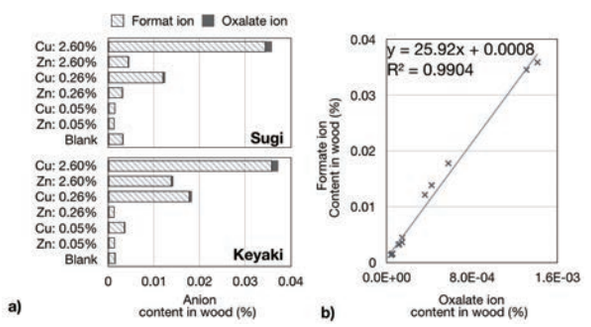


Fig 1. a) IC analysis results of formate ion and oxalate ion content for 30 days exposed sample; b) graph of oxalate ion content versus formate ion content.

The formic acid and oxalic acid are considered as degradation products of wood constituents. The results of FTIR analysis and monosaccharide analysis could provide some clues of chemical change of wood constituents accompany with formation of oxalate content.

The existences of metal oxalate compound could also be reflected in FTIR spectrum by the characteristic bands: 1630 cm^{-1}, 1360 cm^{-1}, 1320 cm^{-1}, 822 cm^{-1} (vibrations belong to oxalate group), 510~400 cm^{-1} (Cu-O or Zn-O vibration)[1]. The integrated area of the band around 822 cm^{-1}, which is not easily be interfered by bands of wood constituents, is selected to monitor the existences of oxalate compounds, and plotted versus the

oxalate ion content of Sugi and Keyaki samples respectively (Fig. 2.b). It appears that, both of the cases of Sugi and Keyaki samples oxalate ion content seems positively correlates with the integrated area of 822 cm^{-1} band. The 822 cm^{-1} bands would not be noticeable enough when oxalate ion content under 0.001% in the case of Sugi samples.

The IR Crystallinity Index (area ratio of A_{1422}/A_{896}) was applied to evaluate the degradation of wood, for which is positively correlated with crystalline cellulose content[2]. The graph (Fig.2.c) of A_{1422}/A_{896} of 0 days and 30 days exposed samples displays that, noticeable increase tendencies could only be observed in the case of Keyaki samples with Cu content and Sugi samples with Zn content. These may implicate the preferential degradation of amorphous cellulose, which could results in increase of the crystallinity. However, the A_{1422}/A_{896} with more slight change of the other cases also suggest homogenous degradation of both crystalline and amorphous cellulose accompany with the formation of formate and oxalate compound should not be neglected, even through crystalline cellulose is consider more stable than the amorphous part.

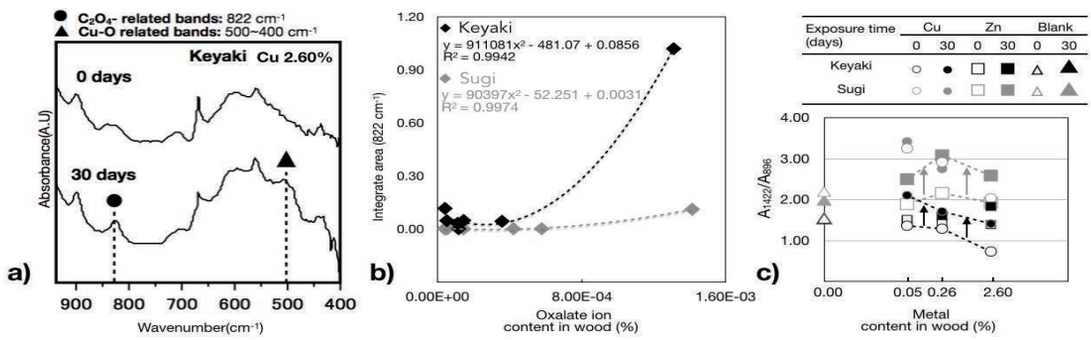


Fig.2 a) FTIR spectrum of the Keyaki sample with 2.60% Cu content; b) graph of oxalate ion content in wood versus integrated area of 822 cm^{-1} band; c) the graph of A_{1422}/A_{896} for 0 days and 30 days exposed samples.

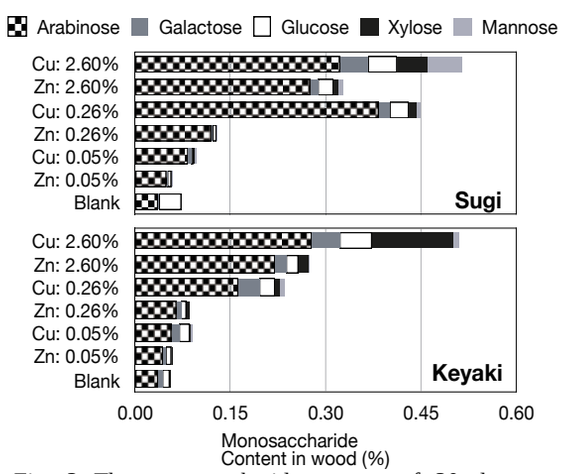


Fig. 3 The monosaccharide content of 30 days exposed samples.

As shown in the graph of monosaccharide contents of 30 days exposed samples (Fig.3), the arabinose is the most noticeable monosaccharide content of all samples, followed by mannose, galactose and glucose for Sugi samples, xylose and glucose for Keyaki samples, all of which could be ascribed to degradation of hemicellulose components in wood. The monosaccharide content, as well as formate and oxalate ion content seems positively relevant to the metal content in wood. Samples with Cu content are likely degraded more severely since the higher monosaccharide, formate and oxalate ion content in comparison with samples with the same level of Zn content. The correlation ship between oxalate ion content and individual monosaccharide contents are discussed with the correlation coefficient (R^2). As the results, glucose content in the case of Keyaki samples (R^2=0.9855), galactose and xylose content in the case of Sugi samples (R^2=0.9540, 0.9861) present the highest correlation coefficient. This difference may be attributed to the primary hemicellulose components in wood of different species (glucuronoxylan in hard wood, galactoglucomannan and arabinoglucuronoxylan in soft wood, while further monitoring and reaseach are essential to evidence the connections.

Acknowledgment: We would like to acknowledge to warm-hearted assistances and kind supports in the monosaccharide contents analysis from Prof. Nakagawa Akiko of Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba.

References

1. Fan, Y., Zhang, C., Wu, J., Zhan, J. and Yang, P. 2010 "Composition and morphology of complicated copper oxalate powder" Transactions of Nonferrous Metals Society of China Vol. 20(1) pp. 165-170
2. Kataoka, Y. and Kondo, T. 1998 "FT-IR Microscopic Analysis of Changing Cellulose Crystalline Structure during Wood Cell Wall Formation" Macromolecules Vol. 31(3) pp. 760-764

人工劣化による擬似出土木材の調製(3)

Preparation of quasi buried wood by artificial degradation III.

○山口繁生（元興寺文化財研究所）
○Shigeo YAMAGUCHI (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

1. はじめに

出土遺物の保存処理や保存科学的研究の課題の一つは、適当なテストサンプルを用意することが難しい点にある。処理前に出土遺物から得られる情報は限られており、その情報から最適な処理方法を選択することは非常に難しい。また、保存科学的研究においては出土遺物のモデルとなりうる均一な試料群がないため比較実験を行うことは困難である。しかし、出土遺物を模したサンプルを調製することができれば、保存処理前のシミュレーションや、標準試料を用いたより精密な研究が可能となる。この課題を解決するため、現生材を劣化させて擬似的な出土木材を調製する研究や、鉄粉圧縮体を錆化させ出土鉄製品のモデルとする研究がこれまでに行われてきた[1, 2]。しかし、任意の遺物モデルを調製できるには至っていない。そこで本研究においては、木質分解酵素が持つ基質特異性や反応が制御しやすい点に着目し、酵素を用いた擬似出土木材調製方法の開発を試みた。

これまでに、フェントン試薬とセルロース分解酵素を併用することで現生材を人工的に劣化させられることを示してきてた[3]。この方法を用いることで、ホロセルロース含有量を優先的に減少させながら、含水率を上昇させることが可能となった（図1）。しかし、擬似出土木材の表面と内部では劣化の進行が大きく異なり、劣化処理を重ねると表面が極端に脆化し、形状が大きく変化してしまうという問題が生じた。さらには、調製に要する時間が長く、20×20×10mm^{3}の試料を用いた場合、200 - 400%含水率を上げるのに約1ヶ月程度を要した。このため、擬似出土木材調製方法の改良が必要であった。

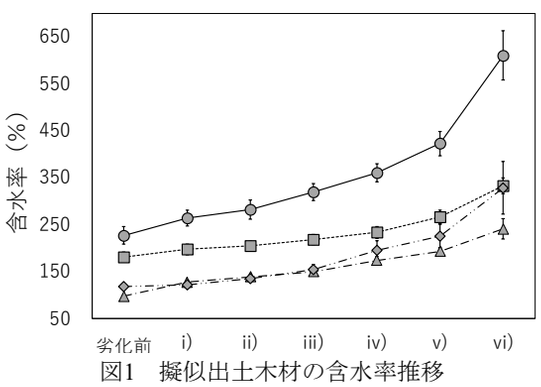


図1　擬似出土木材の含水率推移
○：スギ、□：ヒノキ、△：ケヤキ、◇：イチイガシ

2. 試料及び方法

試料中の劣化状態の不均一性の改善、及び処理時間短縮のため、前処理として水蒸気処理、又は熱処理を加えた調製方法を試みた。スギ（*Cryptomeria japonica*）、ヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）、ケヤキ（*Zelkova serrata*）、イチイガシ（*Quercus gilva*）の心材より切り出した大きさ20×20×20mm^3（接線方向×半径方向×軸方向）の立方体を試験片とし、次の手順で調製を行った。各工程において試料を減圧含浸し、飽水状態にして含水率を測定した。

i) 水蒸気処理試料：ベンゼン・エタノール混液（2：1）による抽出を行った後マイクロリアクターを用いて200℃で水蒸気処理、熱処理試料：恒温槽を用いて200℃で熱処理
ii) フェントン反応による劣化処理48h
iii) セルロース分解酵素による劣化処理96h
iv) フェントン反応処理24h→セルロース分解酵素処理96hの繰り返し

3. 結果及び考察

水蒸気処理、及び熱処理が含水率に及ぼす影響を調べるため、水蒸気処理試料・熱処理試料と未処理試料を用いて擬似出土木材の調製を行い比較した。含水率の推移を図2に示す。ただし、スギ・ケヤキ・イチイガシは劣化前に十分に含水できなかったため、劣化前の含水率が過大評価されている。実験結果より、全ての樹種において水蒸気処理試料、熱処理試料が未処理試料より高い含水率を示した。ただし、熱処理試料と未処理試料の差は小さかった。今後、処理を重ねることで差がどのように変化するか確認を行う必要がある。セルロース分解酵素処理とフェントン反応処理に対する水蒸気処理の影響を比較したところ、セルロース分解酵素処理での含水率増加量に対する影響の方が有意に大きかった。水蒸気処理による試料の微視的な構造変化が酵素の分解能に影響を及ぼしたものと考えられた。

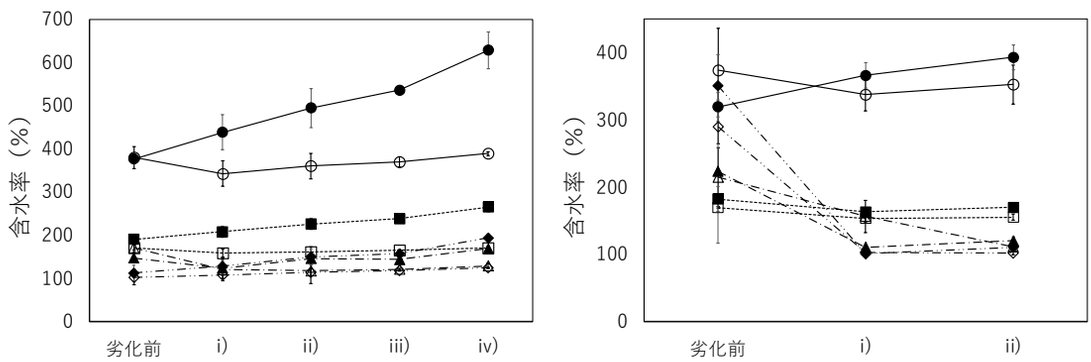


図2　含水率推移の比較
左：水蒸気処理試料と未処理試料の比較、右：熱処理試料と未処理試料の比較
○：スギ、□：ヒノキ、△：ケヤキ、◇：イチイガシ
塗潰し：処理済み試料、白抜き：未処理試料

4. まとめ

前処理として水蒸気処理・熱処理を行うことで劣化を促進させられることが明らかとなり、特に水蒸気処理を行った試料での促進が顕著であった。今後は前処理の温度条件のスクリーニング、高含水率の擬似出土木材の調製、化学組成分析、擬似出土木材内部と表面での含水率の比較を行う予定である。

＜謝辞＞本研究はJSPS科研費17K1206の助成を受けたものです。また、本研究で用いた現生材試料は、奈良県森林技術センターよりご提供いただきました。ここに記して謝意を表します。

1) 高妻洋成, 人工劣化木材の調製とそれを用いた出土木製品の保存処理の適正化, 博士論文（京都大学）, (2010)
2) 増澤文武, 鉄器の保存処理の研究 錆びた鉄粉圧縮体へのアクリル樹脂の減圧含浸, 元興寺仏教民俗資料研究所 保存科学研究室紀要, 2, 15-31 (1972)
3) 山口繁生, 人工劣化による疑似出土木材の調製(2), 日本文化財科学会第34回大会要旨集, (2017)

The effect of a new electro- migration inhibitor for conservation of historic reinforced concrete structures

○Ling Shen, Hui Zhang (Department of Cultural Heritage and Museology, Zhejiang University)

1. Introduction

Electrochemical technique is considered as a repair technique aimed at conservation of carbonated and chloride attacked reinforced concrete structures. In addition to the removal of chloride ions and realkalisation, the use of corrosion inhibitors that can be applied on a concrete surface has been suggested. But these inhibitors are mostly the surface-applied inhibitors, which can hardly penetrate the cement and concrete protection layer and reach the rebar.

Recently, electrochemical corrosion inhibitor migration has been reported as an effective method, which can remove the chloride ions, recover the alkaline environment and inject the inhibitor to the surface of the steel at the same time. The inhibitive compounds applied in this technique are required to migrate to the cathode (steel rebar) under an external electric field. Most of the studied inhibitive compounds are amines and alkanolamines, which mainly exist as cationic in alkaline solutions of pH<pKa [1]. According to the requirements for electro- migration, silicone quaternary ammonium salt (SQAS) could be considered as a new multifunctional inhibitor. Its molecular structure (Fig. 1) include the nitrogen, which could bind the surface of metal due to its high electronegativity. Besides, it can exist as cations in solution. Moreover, its silane group forms silicic acid by hydrolysis reaction generating silicon-oxygen bonds, which brings consolidating effect and the alkyl groups provide hydrophobicity. This study investigated the corrosion inhibitive effect of SQAS in simulated pore solution (SCP) through electrochemical measurements and surface analysis.

2. Experiment

The polished plain surface of Q235 carbon steel rods with 6 mm diameter were prepared and then immersed in the SCP solution. The pH of the solution was adjusted to a value of 7.5 to simulate the carbonated concrete pore solution and 0.3mol/L aggressive Cl^- ions were added to the solution. 0.1mol/L Octadecyldimethyl[3-(trimethoxysilyl)propyl] ammonium (65wt% in isopropanol, Shanghai Macklin Biochemical Co.) was added and for comparison the blank one without SQAS was prepared.

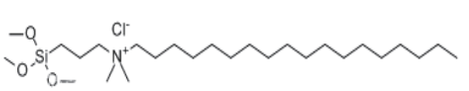


Fig.1 The Molecular of Octadecyldimethyl[3-(trimethoxysilyl)propyl] Ammonium (One kind of SQAS)

The potential dynamic polarization tests were performed from-0.5V to 1.2V (SCE) vs. OCP with sweep rate: 0.5 mV/s. Cyclic voltammetry was tested from-0.6V to 0.5V (SCE) at 50mV/s sweep rate. The surface of the rebar was analyzed by FTIR-ATR (Bruker-Alpha) and observed through scanning electron microscope (SEM, JSM-IT 300) after 7 days immersion. The electrochemical experiments were tested by IVIUM Vertex workstation.

3. Results and discussion

From polarization curves (Fig. 2), SQAS shows obvious passivation range from -600mV to -480mV comparing to blank. Corrosion current density i (obtained through Tafel fitting) was declined as SQAS was added. Fig. 3 shows the second cycle of cyclic voltammetry of rebars tested in SCP with and without SQAS. In solution without SQAS (Blank), two anodic peaks (-370mV, 50mV) and one cathodic peaks (-450mV) could been seen. The anodic peaks could be explained by the reaction described in reference (Fig3)[2] . Compared with the cyclic voltammetry obtained in blank, the shapes of cyclic voltammetry in SQAS solution, show that anodic peaks are significantly reduced and a wide passivation range appears. Both the result of polarization curves and cyclic voltammetry indicate that SQAS can efficiently enhance corrosion resistance and keep passive film.

SEM observation (Fig. 4) demonstrates that a film has formed on the surface of steel after immersion. The FTIR analysis (Fig.5) shows that Si-O-C or Si-O-Si structure has been identified, which infers the SQAS binding to the metal surface. From this study, it could be concluded that SQAS has inhibitive effect in carbonated and-aggressive environment with chloride ions.

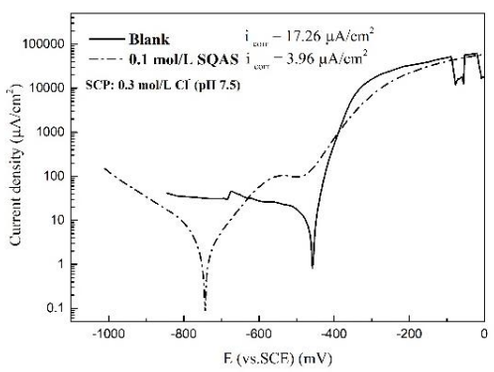


Fig. 2 Polarization curves of steel in SCP with and without SQAS

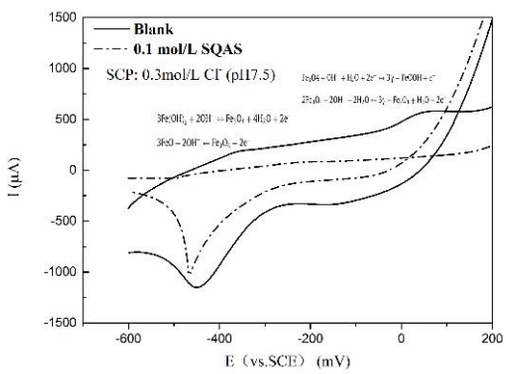


Fig. 3 CV (2nd) of steel in SCP with and without SQAS

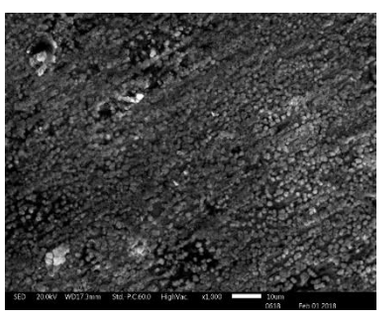


Fig. 4 SEM image of steel immersed 7days in SCP with 0.1mol/L SQAS

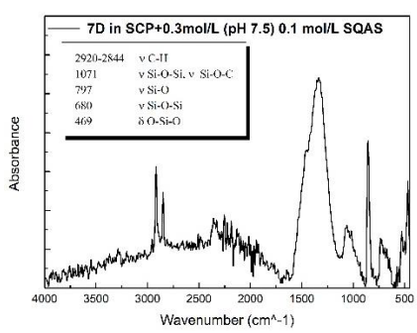


Fig. 5 FTIR spectra of the surface after 7days immersion in SCP with SQAS

References:

[1]. Sawada, S., et al., Electrochemical injection of organic corrosion inhibitors into carbonated cementitious materials: Part 1. Effects on pore solution chemistry. Corrosion Science, 2007. 49(3): p. 1186-1204.

[2]. Liu, M., et al., Effect of carbonation on the electrochemical behavior of corrosion resistance low alloy steel rebars in cement extract solution. Construction and Building Materials, 2017. 130: p. 193-201.

硫化鉄を含む鉄製遺物の劣化に及ぼす湿度の影響
Effect of humidity on deterioration of iron artifacts with iron sulfide

○柳田明進（奈良文化財研究所）、脇谷草一郎（同左）、髙妻洋成（同左）
Akinobu YANAGIDA (Nara National Research Institute for Cultural Properties),
Soichiro WAKIYA (″), Yohsei KOHDZUMA (″)

1. はじめに

保管時において一部の鉄製遺物は内部の硫化鉄が硫酸鉄に酸化され、さらに硫酸鉄の潮解にともない強酸性の水膜が生じることで劣化する。このような鉄製遺物は沿岸域に位置する遺跡などの富栄養化した堆積物中において、木製遺物と接触した状態で埋没していたものに頻繁に認められる[1)]。木製遺物をともなう鉄製遺物は木質の寸法維持を目的として発掘後に保存処理が施されるため、ポリエチレングリコール（以下、PEG と表記）などの吸湿性を有する薬剤をともなう場合が多い。したがって、硫化鉄をともなう鉄製遺物の保管時の劣化を抑制するには、湿度環境が鉄製遺物の劣化に及ぼす影響を把握することに加えて、木製遺物の保存処理に用いられる薬剤が硫化鉄の酸化に及ぼす影響についても検討する必要がある。ここでは、２種類の硫化鉄とこれらに一定量の PEG、トレハロースを加えた試料を異なる湿度環境に設置し、その重量増加および状態の変化をＸ線回折分析により評価することで、硫化鉄をともなう鉄製遺物の劣化に対する湿度の影響を検討した。

2. 実験方法

試薬には FeS（硫化鉄（II）、和光純薬工業）、FeS_2（Iron pyrite、Stream Chemicals）をもちい、それぞれ約３ g、２ g を内径 13×5 mm の塩化ビニル製のリング状の容器に充填した後、粉体圧縮成形機にて、2000 kg で２分間、圧縮することで錠剤に成形した。なお、実験に用いた硫化鉄のＸ線回折分析（XRD）では FeS からトロイリ鉱（Troilite：以下、FeS_t と表記）、FeS_2 からは黄鉄鉱（Pyrite；以下 FeS_{2p} と表記）のみが検出されている。さらに、硫化鉄のみの試料に加えて、PEG、トレハロースの５ wt%水溶液をそれぞれ 200 μL 滴下した後、シリカゲルとともにデシケータ内で充分に乾燥させた試料（それぞれ、PEG 試料、Tre.試料と表記）も調製し、実験に供した。これらの試料を K_2SO_4、NaBr の飽和塩溶液にて異なる相対湿度（RH）（それぞれ、25℃で RH97.30%、RH57.57%[2)]）に調湿したデシケータ内に設置した。実験中は各試料について電子天秤を用いて定期的に重量の変化を計測するとともに XRD を用いて硫化鉄の変化を検討した。重量の測定では、試料の初期重量に対する増加量を百分率として算出し、各試料（n=3）の平均値を求めた。XRD ではリガク社製 SmartLab による微小部 XRD 分析を実施し、105 日、210 日経過した試料について、試料を採取せずに直接分析に供した。なお、実験は 25℃に空調を設定した室内において実施した。なお、実験期間のデシケータ内の温度は 25 ±3 ℃、湿度は RH97%に設定したもので RH97 ±2 %、RH57%に設定したもので RH57 ±3 %である。

3. 結果および考察

XRD によって各試料から検出された化合物を表１、RH97%、RH58%での重量の増加率をそれぞれ図１、図２に示す。なお、別に測定した PEG、トレハロースのみの吸湿による重量増加は硫化鉄試料のそれに比べて顕著に低く、試料の重量の増加は主に硫化鉄の化学的な変化の影響を示すと考えられる。以下、FeS_t 試料および FeS_{2p} 試料の状態の変化について記述する。

3.1 FeS_t 試料　FeS_t 試料の重量は RH97%では、40 日が経過するまでに速やかに増加し、その後も徐々に増加する傾向が認められた。XRD より、105 日、210 日経過した試料では、トロイリ鉱に加えて、針鉄鉱（Goethite: α-FeOOH）が検出されており、FeS_t 試料の重量増加は針鉄鉱の形成に起因すると考えられる。また、FeS_t 試料に比べ、FeS_t-PEG 試料では重量の増加が顕著な一方、FeS_t-Tre.試料ではその増加は緩慢な傾向を示しており、保存処理に用いる薬剤が FeS_t の酸化に影響を及ぼしていると考えられる。また、FeS_t の重量増加は RH58%では、RH97%に比べて約 1/10 であり、RH の低下によって FeS_t の化学変化が抑制されていると考えられる。FeS_t では、針鉄鉱の形成にともなう体積変化が生じることで遺物の劣化が生じる可能性があるものの、硫酸鉄の形成は認められず、FeS_{2p} に比べて鉄製遺物への劣化への影響は軽微であると推察される。ただし、

沿岸の堆積物中で一般的に形成されるマッキーノ鉱（FeS_m）は FeS_t に比べて、化学的に不安定であることが指摘されており[3]、さらに FeS_m の酸化に及ぼす湿度の影響についても検討する必要がある。

3.2 FeS_{2p} 試料　FeS_{2p} 試料の重量は実験開始から徐々に上昇するものの、80 日以降に減少し、100 日を経過してから再び上昇する挙動を示した。さらに、同様の挙動を繰り返した後、190 日経過した試料では、FeS_{2p} 試料に水膜が形成されていることが観察され、その水膜の pH を pH 試験紙で測定したところ、１～２の強い酸性を示した。XRD では 105 日、210 日経過した時点では、黄鉄鉱に加えて、ローゼン石（Rozenite: $FeSO_4 \cdot 4H_2O$）、緑礬（Melanterite: $FeSO_4 \cdot 7H_2O$）の硫酸鉄が検出されており、FeS_{2p} 試料では高湿度環境において FeS_{2p} が空気中の O_2 によって酸化され硫酸鉄が形成されることで重量が増加したと考えられる。硫酸鉄の飽和塩水溶液と平衡する RH は 23℃で 92%[4] であることから、RH97%では生成した硫酸鉄が潮解することで強酸性の水膜が形成されたと考えられる。FeS_2 試料の初期の重量増加は FeS_t に比べて緩慢であるものの、酸化によって一度生じた硫酸鉄が潮解して吸湿することで、時間の経過にともなって急激に重量が増加する挙動を示したと推察される。また、FeS_2-PEG、FeS_2-Tre.試料では FeS_2 試料に比べて重量増加が緩慢であるものの、190 日経過した時点では FeS_2 試料と同様に強酸性の水膜が生じていることが認められた。したがって、PEG、トレハロースの有無にかかわらず、RH97%の高湿度環境では、FeS_{2p} を含む鉄製遺物は著しく劣化すると考えられる。一方で、RH57%においては、FeS_{2p}、FeS_{2p}-PEG、FeS_{2p}-Tre.試料ともに、重量の増加は極めて緩慢であるとともに、XRD において硫酸鉄が検出されなかった。190 日経過した時点での RH57%での重量増加は RH97%に比べて、約 1/26 と顕著に低く、FeS_{2p} を含む鉄製遺物では低湿度環境において保管することでその劣化は顕著に抑制されると考えられる。

4. まとめ

RH97、57%での硫化鉄、さらに PEG、トレハロースをともなう硫化鉄の挙動から、硫化鉄を含む鉄製遺物の劣化に及ぼす湿度の影響について検討した。その結果、（１）FeS_t では劣化の過程で硫酸鉄が形成されず、鉄製遺物への劣化への影響は FeS_{2p} に比べて軽微であり、（２）PEG およびトレハロースの有無に関わらず、高湿度環境下に設置された FeS_{2p} からは硫酸鉄が形成され、さらに強酸性の水膜が形成されることで著しく劣化が進行し、（３）RH57%の湿度環境下において、FeS_t、FeS_{2p} を含む鉄製遺物を保管することで、その劣化は緩慢になると推察された。

表１　FeS_t 試料から検出された化合物

試料	RH(%)	処理	検出された化合物	
			105 日経過	210 日経過
FeS_t	97	未処理	トロイリ鉱、針鉄鉱	トロイリ鉱、針鉄鉱
		PEG	トロイリ鉱、針鉄鉱	トロイリ鉱、針鉄鉱、鱗鉄鉱
		Tre.	トロイリ鉱、針鉄鉱	トロイリ鉱、針鉄鉱
	58	未処理	トロイリ鉱	トロイリ鉱
		PEG	トロイリ鉱	トロイリ鉱
		Tre.	トロイリ鉱	トロイリ鉱

表２　FeS_{2p} から検出された化合物

試料	RH(%)	処理	検出された化合物	
			105 日経過	210 日経過
FeS_{2p}	97	未処理	黄鉄鉱、緑礬	黄鉄鉱、ローゼン石
		PEG	黄鉄鉱、緑礬	黄鉄鉱、ローゼン石
		Tre.	黄鉄鉱	黄鉄鉱、ローゼン石
	58	未処理	黄鉄鉱	黄鉄鉱
		PEG	黄鉄鉱	黄鉄鉱
		Tre.	黄鉄鉱	黄鉄鉱

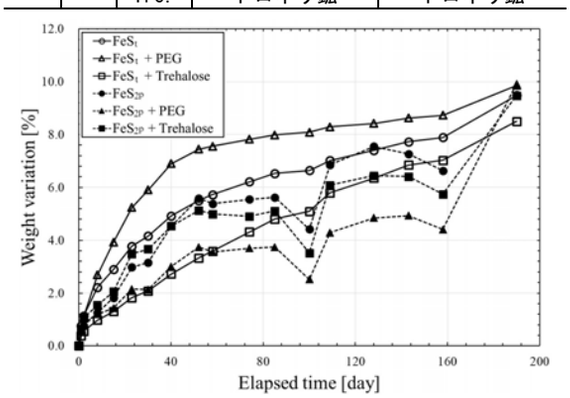


図１　RH97%での FeS_t、FeS_{2p} の重量変化

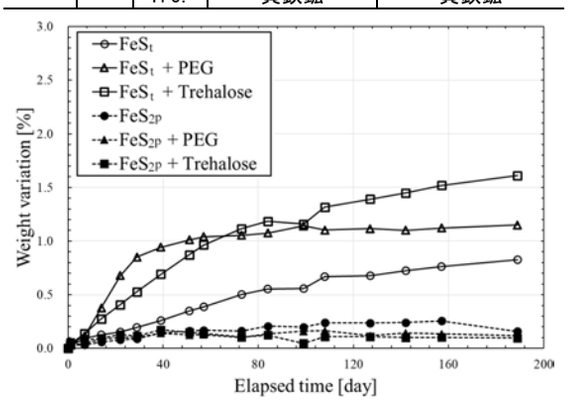


図２　RH58%での FeS_t、FeS_{2p} の重量変化

参考文献　1) Y. Fors and M. Sandström 2005 “Sulfur and iron in shipwrecks cause conservation concerns” Chemical Society Reviews 35 pp.399-415　2) 日本工業規格 2004 「JIS A 1475」　3) D.Rickard and G. W. Luther 2007 “Chemistry of iron Sulfide” Chemical Reviews 107 p.514-562　4) 腐食防食協会編 2002『金属の腐食・防食Q&A　電気化学入門編』丸善 p.199

七本官軍墓地に用いられた下浦砂岩の劣化メカニズムに関する検討
Study on Deterioration Mechanism of Shimoura-sandstone used in the Government Army Cemetery in Nanamoto

○杜之岩（京都大学）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）、髙妻洋成（同左）
○DU ZhiYan(Kyoto University), Soichiro WAKIYA and Yohsei KOHDZUMA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

熊本県熊本市に所在する七本官軍墓地は、西南戦争中に起こった田原坂の戦いにより戦死した政府軍の兵士を埋葬するために建設された墓地である。建設後、約 140 年が経過している墓地にある下浦砂岩製墓石の保存状態は近年悪化し、墓石表面に亀裂が発生している。既報[1)]では、フィールド調査および墓石破片の薄片観察から亀裂の発生原因は乾湿風化によるものとされた。先行研究[2)]では、乾湿の繰り返しに伴う砂岩内部で生じた応力によって砂岩の表面に亀裂が発生し得ることが示されている。そこで、本報では、下浦砂岩製墓石表面において上記のメカニズムで亀裂が発生するのか検討した結果を報告する。

2. 既報[1)]の結果より推測した墓石面の亀裂の発生メカニズム

粘土鉱物を含む砂岩が乾湿の繰り返しを受けるとき、石材の表面から比較的浅い範囲にわたり含水状態が変化する。砂岩を弾性体と仮定すると、石材深部の含水状態が変わらない部分は表面付近の含水状態が変化する部分を拘束し、結果として石材の表面付近などの比較的浅い範囲で表面と平行な方向に応力が生じる。これは、表面が湿潤する際には、石材の内部に圧縮応力が生じ、逆に表面が乾燥する際には、石材の内部に引張応力が生じることによるものである。一般に、岩石は圧縮応力に対して非常に大きな強度を有する一方で、引張応力に対しては極めて弱い[3)]。したがって、乾燥過程において、石材内部の浅い範囲で生じた引張応力が石材の引張強度を超えると、表面の直交方向に亀裂が発生する結果に至る[2)]。石材内部に生じる最大応力の理論値は下記の Eq.(1)より求められる[2)]。

$$\sigma_{max} = \frac{E_{dry}\varepsilon_s}{1-\nu_{dry}} \quad \text{Eq.(1)}^{2)}$$

σ_{max} : 石材内部に生じる引張応力の理論的な最大値
E_{dry} : 絶乾状態における石材のヤング率
ε_s : 無拘束雰囲気下で石材の絶乾状態から飽水状態までの最大膨潤率
ν_{dry} : 絶乾状態における石材のポアソン比

上記のメカニズムにより下浦砂岩製墓石表面に亀裂が発生し得るかどうかを検討するため、天草地方産下浦砂岩試料を使用し、下記の試験をおこなった。

3. 試験方法

3.1 圧裂試験　下浦砂岩試料をΦ5cm×3cm の円柱状に整形した。絶乾試料については試料を 105℃で 24 時間以上ろ幹し、飽水試料については試料を脱イオン水を用いて減圧状態で 72 時間以上飽水処理した。精密万能試験機（島津オートグラフ AG-100kNXplus）を用いて、加圧板の変位速度を 1μm/sec に設定し、絶乾試料と飽水試料に対して圧裂試験を行ない、引張強度 S_t を算出した[4)]。なお、下浦砂岩試料の最小引張強度を測定するため、石材の層理と直交する方向の引張強度を測定した。また、試験中、試料の水分蒸発を抑制するため、圧裂試験中は各飽水試料をラップフィルムで包んだ。

3.2 最大自由膨潤率の測定　下浦砂岩の層理面と直交方向に長軸方向をとり 1cm×1cm×10cm の正四角柱状に試料を整形した。105℃で 24 時間以上ろ幹した正四角柱状試料を脱イオン水に浸漬し、デジタルインジケータ（三豊工業製 ABS Digimatic Indicator ID-SX）を用いて、無拘束状態で試料の側辺が膨潤する最大値の測定をおこなった。また、試料内部への水の浸透を充分におこなうため、正四角柱の上面を水面から露出し、マリオット瓶を用いて水位を試料上面から 1mm 内の範囲に保持した。測定は 20℃に設定したインキュベータ内で実施し、各試料に対して、4 回実施した。なお、各試料は毎回浸漬する前にろ幹した。測定値の平均値を用いて最大自由膨潤率 ε_s を算出した。

3.3 一軸圧縮試験　下浦砂岩試料を Φ5cm×10cm の円柱状に整形した。絶乾試料については試料を 105℃で 24 時間以上ろ幹し、飽水試料については試料を脱イオン水を用いて減圧状態で 72 時間以上飽水処理した。その後、各試料に軸方向に 3 箇所、円周方向に 1 箇所ひずみゲージ（(株) 東京測器研究所, PL-60-11,ゲージ長:60mm）を貼付し、精密万能試験機(島津オートグラフ AG-100kNXplus)を用いて、加圧板の変位速度は 1μm/sec に設定し、絶乾試料と飽水試料のいずれも層理面に対して直交方向に一軸圧縮試験を実施した[4)]。試験機の最大試験力であっても砂岩試料の破壊に至らなかったため、試験より得られた 3 つの軸方向ひずみの平均値と軸方向応力から応力−ひずみ曲線をプロットし、平均勾配法から試料のヤング率 E を求めた[5)]。また、軸方向の最大ひずみの平均値と円周軸方向の最大ひずみから試料のポアソン比 ν を算出した。なお、試料の水分蒸発を抑制するため、試験中は飽水状態の円柱試料の側面をラップフィルムで包んだ。

4. 結果と考察

試験の結果を表1に示す。圧裂試験と一軸圧縮試験の結果は測定値の平均値である。また、得られた最大自由膨潤率 ε_s、絶乾状態のヤング率 E_{dry}、絶乾状態のポアソン比 ν_{dry} を Eq.(1)に代入し、石材内部に生じる引張応力の理論的な最大値 σ_{max} を算出した。算出した σ_{max} と測定した絶乾状態におけ

る下浦砂岩の引張強度 S_t を図 1 に示す。図 1 の結果から最大引張応力 σ_{max} は引張強度 S_t より大きいことが示された。このことから、表面の乾燥に伴って石材内部の浅い範囲で生じた引張応力によって、下浦砂岩製墓石の表面に亀裂が発生し得るものと考えられる。

一方、屋外にある下浦砂岩製墓石の場合、降雨などの影響によって、図2に示すように石材の表面から内部 (L_a+L_b)の範囲内で高含水状態になり得る。なお、水分は墓石の内部へ浸透するため、(L_a+L_b)よりさらに石材の内部 L_c の範囲内での含水状態は連続的に変化しており、グラデーションができる。その後、石材の表面が乾燥しはじめ、表面から L_a の範囲内（以下、L_a 内を表記）で含水状態のグラデーションができる。González ら[6]は下記方法で図2と同じ砂岩モデルの乾燥過程において、L_a 内に生じる最大引張応力を計算した。

表面の乾燥に伴う砂岩内部に生じる引張応力[6]

石材の表面が乾燥するときの模式図を図 2 に示す。なお、X と Y 軸は石材の表面と平行し、Z 軸は表面に直交する。また、この模式図は Z 軸方向の1次元の水分移動を示しているが、X と Y 軸方向の水分移動は考えない。

石材内部の任意点 a の含水率を φ とし、a 点で X 軸方向に生じるひずみ ε_x は Eq.(2)より計算できる。また、石材に働く正味の力が 0 であるため、(L_a+L_b+L_c)の範囲で Eq.(3)が成り立つ。一方、石材の表面と平行する X-Y 面に外部拘束がないため、$\sigma_x = \sigma_y$、$\sigma_z = 0$。石材内部の任意点 a の X 軸方向に生じる引張応力 σ_x は Eq.(4)より計算できる。

$$\varepsilon_x = \varepsilon_{f(\varphi)} + [\sigma_x - \nu_{f(\varphi)}(\sigma_y + \sigma_z)]/E_{f(\varphi)} \quad \text{Eq.(2)}^{6)}$$

$$\int_0^{L_a+L_b+L_c} \sigma_x dz = 0 \quad \text{Eq.(3)}^{6)}$$

$$\sigma_x = E_{f(\varphi)}(\varepsilon_x - \varepsilon_{f(\varphi)})/1 - \nu_{f(\varphi)} \quad \text{Eq.(4)}^{6)}$$

$$\sigma_x = \frac{E_{dry}\varepsilon_s}{1-\nu_{dry}}\left(\frac{E_{sat}/E_{dry}}{E_{sat}/E_{dry} + (L_a+L_c)/L_b}\right) \quad \text{Eq.(5)}^{6)}$$

$\sigma_x(\sigma_y, \sigma_z)$: a 点に X 軸(Y 軸、Z 軸)方向に生じる応力
$E_{f(\varphi)}$: 含水率 φ における石材のヤング率
$\varepsilon_{f(\varphi)}$: 含水率 φ における無拘束雰囲気下で石材の膨潤率
$\nu_{f(\varphi)}$: 含水率 φ における石材のポアソン比
E_{sat} : 飽水状態における石材のヤング率

仮に、L_b の中に $E_{f(\varphi)}$ と $\varepsilon_{f(\varphi)}$ は飽水状態の値と同じ，L_a と L_c の中に $E_{f(\varphi)}$ と $\varepsilon_{f(\varphi)}$ は絶乾状態の値と同じ，各含水状態で石材のポアソン比は絶乾状態の値と同じとすると、L_a の中にある a 点において X 軸方向に生じる引張応力 σ_x は Eq.(5)に示す。

なお、もし(L_a+L_c)/L_b は無限小と仮定すると、Eq.(5)は Eq.(1)へ式変換ができ、計算結果は L_a 内に生じる最大引張応力になる。

González ら[2),6)]は上記の方法より計算した L_a 内に生じる最大引張応力と絶乾状態における石材の引張強度を比較し、石材に亀裂が発生し得るのかを検討した。一方、自然条件下で石材の表面が乾燥するとき、L_a 内の含水状態は連続的に変化しており、L_a 内の任意箇所の力学特性は当該箇所の含水状態によるものと考えられる。本研究では、L_a 内の不飽和領域の石材に亀裂が発生し得るのかを検討したい。そのため、仮に、L_b の中に石材の各力学特性は飽水状態の値と同じ，L_a と L_c の中にある任意箇所の石材の各力学特性は当該箇所の含水率 φ によるものとすると、Eq.(3) と Eq.(4)から Eq.(6)が導出される。

$$\sigma_x = \frac{E_{f(\varphi)}(\varepsilon_s - \varepsilon_{f(\varphi)})}{(E_{f(\varphi)}/E_{wet})\{(L_a+L_c)/L_b\}(1-\nu_{sat}) + (1-\nu_{f(\varphi)})} \quad \text{Eq.(6)}$$

ν_{sat}: 飽水状態における石材のポアソン比

Eq.(6)より、表面の乾燥に伴う L_a 内の各箇所に生じる引張応力は、当該箇所の含水状態における石材の各力学特性と(L_a+L_c)/L_b によって変化する。一方、圧裂試験の結果から、含水状態の増加による下浦砂岩の引張強度が激しく減少した。したかって、図2に示すように L_a 内で石材の引張強度は表面から L_a まで減少すると考えられる。その結果、L_a 内のある箇所で生じる引張応力がその箇所の含水状態における石材の引張強度を超えると、亀裂が発生し得ることが示された。

また、L_a 内の含水状態の分布と(L_a+L_c)/L_b は、表面から内部への水分浸透速度と表面からの水分蒸発速度から決まる。室内で石材の水分伝導率と各含水状態における石材の各力学特性が得られれば、石材に亀裂の発生を引き起こす環境条件の推定が可能となる。

本報では Eq.(6)の妥当性の検証に至らないが、今後は、Eq.(6)の妥当性の検証および下浦砂岩に対して各平衡含水状態における上記の各物性値の測定を行なう。

表1 各実験の結果

実験方法	力学特性	含水状態	試料数	結果
圧裂試験	引張強度 St (MPa)	絶乾状態	10	6.81
		飽水状態	10	2.66
最大自由膨潤率の測定	最大自由膨潤率 εs (um/m)	絶乾状態から測定	4	469
一軸圧縮試験	ヤング率 E(MPa)	絶乾状態	7	18118
		飽水状態	8	15906
	ポアソン比 ν	絶乾状態	7	0.08
		飽水状態	8	0.17

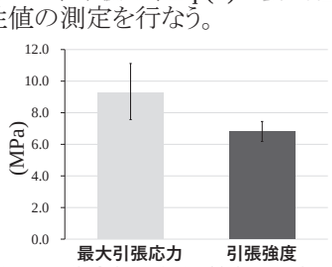


図1 砂岩内部に生じる最大引張応力と砂岩の引張強度の比較

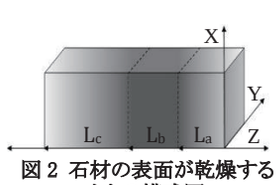


図 2 石材の表面が乾燥するときの模式図

参考文献 1) 杜之岩･脇谷草一郎･髙妻洋成 2016「砂岩製文化財の劣化に及ぼす環境因子の影響－七本官軍墓地下浦砂岩製墓石を例としてー」『文化財科学会第 33 回大会研究発表要旨集』pp278-279 2) I. J. González, G. W. Scherer, “Effect of swelling inhibitors on the swelling and stress relaxation of clay bearing stones”[J] Environmental Geology, 2004, 46:364–377 3) 山口梅太郎, 西松裕一『岩石力学入門』pp184-185 4) JGS 2551-2009:圧裂による岩石の引張り強さ試験方法 5) JGS 2521-2009: 岩石の一軸圧縮試験方法 6) I. J. González, C. R. Navarro, G. W. Scherer, “Role of clay minerals in the physicomechanical deterioration of sandstone”[J] Journal of Geophysical Research, Earth Surface, 2008, 113(F2)

野外に露出されたストロマトライト(Stromatolite)の損傷度評価および保存方法の研究

A Study on Conservation Scheme and Deterioration Evaluation of Stromatolite in Exposed Field Condition

○李圭蕙 · 朴埈亨 · 李讚熙[1](国立公州大学校文化財保存科学科)

○Lee Gyu Hye · Park Jun Hyoung · Lee Chan Hee[1]

(Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Korea)

1. 研究背景と目的

韓国慶山の大邱カトリック大学(Daegu Catholic University)のキャンパス内に位置するストロマトライト(Stromatolite)は陸上環境で形成されたドーム型ストロマトライトで、露出されている状態と規模が世界的に異例であり、その古生物的価値から韓国の天然記念物第512号に指定されている。しかし、特別な保護施設はなく野外に露出されているため、様々な原因による損傷が発生しており、保存管理が必要な状態である。したがって、本研究ではデジタル的な記録を行い、様々な非破壊的方法を活用して研究対象のストロマトライトの損傷度を評価し、保存処理に適用する強化剤の評価実験を行った。

また、本研究の対象は日本の北九州で産出されるストロマトライトと同時期に形成されたと報告されており、自然遺産の保存科学的研究は世界的に少ないため、本研究結果は今後、韓国だけでなく化石など日本の地質資源の保存管理にも重要な参考資料として活用されることが期待される。

2. 研究方法

まず、ストロマトライトを3次元スキャニング(Leica, ScanSation C10)および写真測量を行い記録し、その結果を通じて精密な図面を作成した。そして、作成した図面を活用して肉眼観察、赤外線サーモグラフィー(FLIR, ThermaCam T640)、超音波速度の測定(Preceq, Pundit Lab)などの方法を通じて表面損傷度と位置による相対的物性を評価した。一方、研究対象と同時期に同じメカニズムで形成されたストロマトライトを対象に、室内で適切な強化剤を選定するための実験を行った。実験は強化剤にストロマトライトのサンプルを含侵した後、時間の経過につれてサンプルの重量、色度(Minolta, CR-300)、超音波速度の測定を行った。

3. 結果および考察

韓国の天然記念物第512号のストロマトライトは低い柵で囲まれており、およそ22×26mの保護施設の内部に多数分布されているが、本研究では、主に中央に大規模で露出されているストロマトライトを対象に調査を行った。このストロマトライトは長さ約10m、幅約4．5m、高さ約1．2mである(図1)。研究対象のストロマトライトは剝落、剝離、土壌化、亀裂、そして様々な生物による表面被覆など、損傷は方位に関係なく全面で発生していた。特に、打診法を通じて剥離の範囲を調査した結果、全表面で剝離が発生しているため、本研究では一般的な岩石の剝離メカニズムにしたがって、総4段階に剝離の状態を分類し、二段階および四段階の剝離に関しては赤外線サーモグラフィー撮影を行い、定量的に面積を算出した。

各損傷別に図面を作成し定量的に損傷率を算出した結果、研究対象は方位によって異なる損傷タイプおよび損傷率を示した。その中でも、南側は約40%の剝落と生物被覆が確認され、西側は相対的に高い段階の剝離と剝離状石灰質層の占有率が高いことが明らかとなった。一方、超音波速度を通じた物性評価の結果、平均速度は 2,875 ㎧で風化度指数に換算した結果、やや高い風化段階(HW)であること

が確認された。その中でも、高段階の剝離の占有率が高い西側が一番弱い物性を示しており、剝落の占有率が高い南側の物性は一番良好であり、これは剝落によって新鮮な部分が露出した結果と判断できる。

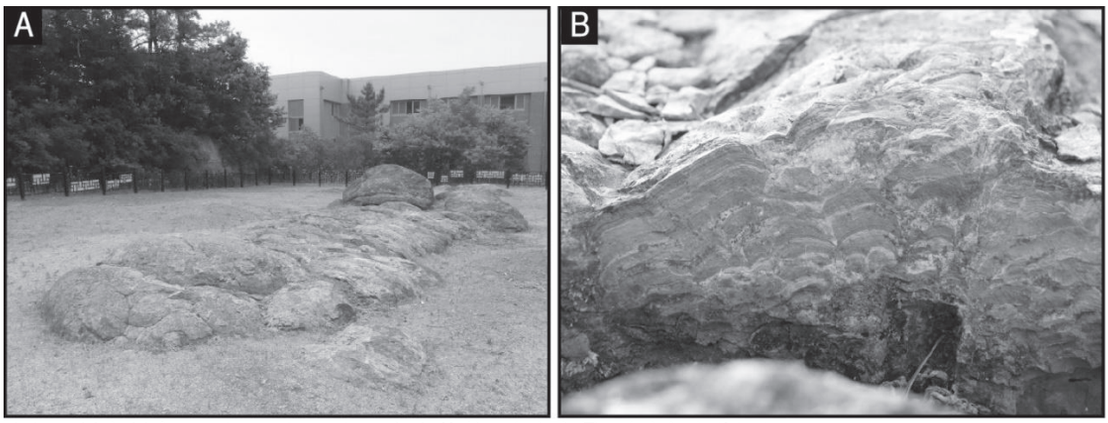


図1. 研究対象のストロマトライトの産出状態。(A) 全景 (B) 細部断面

ストロマトライトは地質時代に生息していた微生物の新陳代謝活動によって形成された有機堆積構造で薄い有機層(organic-rich layer)と石灰質層(sediment-rich layer)が持続的に交互している。一般的に自然遺産としても様々な生物の足跡を始め、各種の化石は石造文化遺産と共に原型を保つ保存処理を行うことになる。しかし、ストロマトライトは同一な情報を持つ堆積構造が持続的に繋がるため、表面の一部の構造が脱落してもそれが持つ古生物的情報や価値は変わらない。そして、表面の損傷は内部の損傷へ繋がる可能性があるため、現在、観察できる損傷の中で、高段階の剝離と剝離状石灰質層を除去し、弱くなった物性を回復した後で強化処理を行う方が適切であると判断できる。

次に、適切な強化剤を選定するために韓国の石造文化遺産に一般的に使用されている OH 100、KSE 300 などの Ethyl Silicate 系の強化剤と堆積岩の膨脹性制御に使用される膨潤阻止剤である Antihygro を適用して室内で実験を行った。実験に使用したサンプルは研究対象と同時期に同一なメカニズムで形成されたストロマトライトである。各強化剤で処理した後、時間の経過につれてサンプルの重量、色度の変化、超音波速度を測定した結果、Antihygro と OH 100 を適用した場合、一番安定的な物性強化が示された。また、処理後およそ5～6日過ぎてから物性の強化が行われるのが確認できた。したがって、本研究対象のストロマトライトは Antihygro と OH100 を用いて、強化処理を行うのが、最も適切であると判断できる。しかし、これは室内での実験結果であり、実際の現場処理の時には雨天などを考慮し、処理する必要がある。

氷点下における乾燥剤とともに密閉した出土木材の変化（３）
－乾燥条件による形状変化－

The changes of excavated waterlogged woods sealed with desiccant agents in below freezing conditions (3)
－Study on shape changes caused by drying condition－

○奥山誠義(奈良県立橿原考古学研究所)　中尾真梨子(公益財団法人福島県文化振興財団)
○Okuyama　Masayoshi(Archaeological Institute of Kashihara , Nara Pref.)
Nakao Mariko (The Culture Promotion Organization of Fukushima Prefecture)

1. はじめに

筆者らは、特別な機器や薬品を使用しない保存処理方法として、乾燥剤を用いた出土木製品の凍結乾燥の研究を進めている（【1】～【4】）。これを便宜的に「乾燥剤凍結乾燥法」と称する。現在実験段階ではあるが、この乾燥剤凍結乾燥法は寸法安定性において一定の効果があること等の結果を確認している。しかし、未だに課題は多く、保存処理方法としての適応性についてはさらに検討が必要である。本研究では、課題の１つである乾燥条件が試料に与える影響について、複数の乾燥条件を設定し乾燥条件と乾燥処理前後の形状等の差異について検討した。

2. 実験の方法

実験は、乾燥条件を２通り設定し比較検討した。試料全体を乾燥剤で覆い密閉する方法（A方式とする）と密閉容器底面に乾燥剤を敷き詰め試料をトレーに載せ乾燥剤と直接接触させず乾燥させる方法（B方式とする）である(図１、2)。試料は、広葉樹材(コナラ/含水率約1300%)を使用し、心材を含む径約2.5cmの丸太状水浸木材を厚み約1.0cmに加工し、各方式共に3点準備した。なお、本研究では、木材そのものの変形挙動を確認するため、通常の木製品保存処理でおこなわれる薬剤含浸はおこなっていない。乾燥処理前後の形状変化を視覚化するため処理前後に三次元計測を行うとともに、非破壊的に内部状況を観察するためX線透過撮影を行った。乾燥剤は、青色シリカゲル(中粒/三商製)を使用し、その使用量は、A方式、B方式共に130gとした。乾燥は、家庭用冷凍庫内で行い、設定温度は-20℃とした。また温湿度の挙動確認のため、それぞれ温湿度データロガーによる記録を行った。重量変化は24時間毎に計測した。実験終了点は、試料の推定絶乾重量に近く、また重量変化がなくなった時点とした。

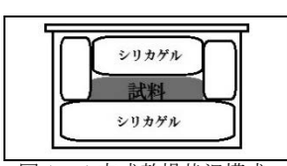


図１：A方式乾燥状況模式

図２：B方式乾燥状況模式

3. 結果と考察

2 通りの乾燥実験において、処理期間は A 方式で 27 日間、B 方式で 75 日間であった。乾燥前後の色調はいずれも明白色化を示した。色調の変化は乾燥条件によらずほぼ同様であった。試料の重量変化は、A 方式が実験開始後 24 時間で - 1.337g 変化した。一方、B 方式では実験開始後 24 時間で - 0.3g 変化したに過ぎない。その後も B 方式の重量変化は - 0.08g～ - 0.04g 程度であった(図 3)。A 方式・B 方式共に実験開始時の密閉容器内部は 35%RH 程度であった。A 方式では、実験開始 80 分後に 10%RH 以下となり、1 週間後には試料周囲の湿度はほぼ 0%RH となった。B 方式では、実験開始 2 時間後に約 80%RH まで上昇し、その後徐々に減少し処理 2 日後から乾燥終了まで 30%RH±5%RH を保っていた。なお、冷凍庫内の温湿度は-20℃±5℃、65%RH±10%RH であった。　乾燥処理後に肉眼観察によって試料の外観を観察した結果、A 方式および B 方式共に良好な結果が得られていると視認できた。しかし、X 線透過撮影画像を確認すると、A 方式における処理後試料内部には大きな亀裂・変形が生じていた。これに対し、B 方式における処理後試料内部の亀裂・変形はわずかで、試料中心部に X 線の吸収が強い領域を確認した（図 4,5)。

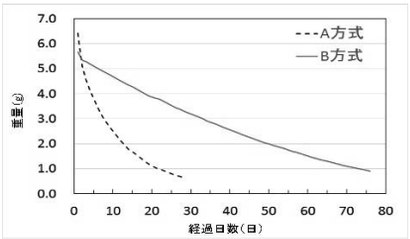


図 3 ：重量変化（24 時間毎)比較

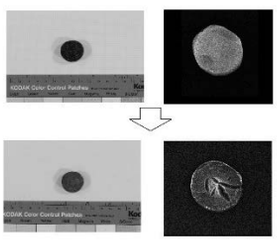


図 4：A 方式処理前後写真(上：処理前、下：処理後)

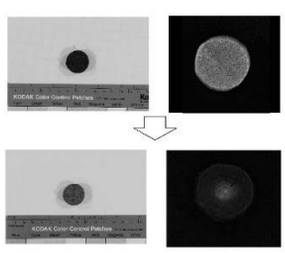


図 5：B 方式処理前後写真(上：処理前、下：処理後)

本研究より A 方式と B 方式を総合的に検討すると、A 方式は処理期間が短いものの急激な重量変化による変形が起きやすいことが分かった。B 方式は、処理期間が A 方式に比較して長くなるものの、24 時間ごとの重量変化は小さく、試料の内部構造も維持され、試料の収縮変形のリスクが A 方式よりも小さいことが確認できた。しかし、B 方式においてはトレー接触面において乾燥が緩慢である状況が視認できた。これによりトレー接触面よりも試料が物体と接触しない開放面の乾燥が迅速に進み、開放面とトレー接触面との間に乾燥速度の差を生じさせている可能性が示唆された。本研究より B 方式においては接触面が大きい資料を乾燥剤凍結乾燥する場合、乾燥期間中に試料の反転が必要と考えられる。なお、補足実験として、広葉樹材(含水率約 1200%)を用いて板状に加工した試料で乾燥剤凍結乾燥を行ったところ、乾燥期間中に反転させた試料は表面が均一に乾燥したのに対し、反転しなかった試料は接地面の乾燥が著しく遅い、という結果が得られた。本研究により、乾燥条件の違いにより乾燥処理の仕上がりに差異が生じることが確認できた。A 方式、B 方式共にメリットデメリットが確認できたが、乾燥剤凍結乾燥法の保存処理への適応性には未だ課題が多い。今後も継続して各種の実験を行い、保存処理への適応性について検討したい。

※本研究は、平成 29 年度日本学術振興会科学研究費補助金（挑戦的萌芽:No.15K12448）の成果の一部である。

参考文献

【1】中尾真梨子、奥山誠義、西山要一日本文化財科学会第 29 回大会(2012)【2】中尾真梨子、奥山誠義、『青陵』第 148 号(2016)【3】中尾真梨子、奥山誠義、日本文化財科学会第 34 回大会(2017)【4】奥山誠義、中尾真梨子、日本文化財科学会第 34 回大会(2017)

考古学調査からみた遺跡出土有機質遺物の保存処理方法の選択性について

～　土壌ごと保存処理された縄文時代の漆器のX線CT観察を通して　～

The way of method for wet organic archaeological material preservation in the point of view of archaeology

○片岡太郎（弘前大学）、上條信彦（同左）、鹿納晴尚（東北大学総合学術博物館）、佐々木理（同左）

○Taro KATAOKA and Nobuhiko KAMIJO (Hirosaki University),

Harumasa KANO and Osamu SASAKI (The Tohoku University Museum)

1. はじめに

縄文時代の低湿地遺跡の調査では、籃胎漆器、櫛、漆塗り糸玉などの有機質材料で作られた遺物がしばしば発見される。筆者らは、北東北地方を中心とした縄文時代後期から晩期にかけてのこれらの漆器について、X線CTを使った非破壊内部構造調査から、表面観察で分からない内部の編組技法や撚り紐を使った櫛歯の固定方法を立体的に視覚化することで、製作技法に関する考古学的な研究を進めてきた（片岡ほか2015、2017）。一連のX線CT調査では、技法研究と並行して、保存科学的な観点からの劣化状態の観察を行なってきた。籃胎漆器のX線CT調査を例に挙げる。籃胎漆器とは、植物質の素材を編組してカゴ状とした後、漆で表面を固め、さらに赤色顔料で彩色した容器である。低湿地遺跡から水浸しの状態で出土する籃胎漆器は、一見、容器として判別できるほど良好に形状を保っている。しかし、X線CTによって内部の構造を観察すると、編組の素材自体が埋土中の劣化により大部分消失しており、現状の形状が主に表面の漆塗膜によって保たれていることが観察された。その他、櫛、漆塗り糸玉など、植物質の素材を胎とする漆器の大半の劣化状態は籃胎漆器と共通していた。

このように、縄文時代の低湿地遺跡から発見される漆器は、植物質の素材部分が空洞化または漆部分よりも相対的に低密度化しており、形状および剛性が漆塗膜だけで維持しているため、遺跡の土壌から取り上げられないほど軟らかい状態であることが多い。このような劣化状態に対して保存科学者は、遺跡から土壌ごと切り取った後、(1)土壌から切り離して樹脂で固める、(2)土壌とともに遺物を樹脂で固める、といった2種類の保存処理方法を採用している。(1)の方法では、漆器自身の劣化状態の見極めが難しく、糸玉や籃胎漆器のように小破片が多い場合、それぞれの原位置がわからなくなり、遺物全体の形状を損なう恐れがある。(2)では、現状保存の観点から有効な方法である反面、一度保存処理されてしまえば、考古学的には土壌面より下部分の観察が不可能となることが課題であった。

本研究では、こうした保存と考古学調査の現状の課題を踏まえて、遺跡の土壌とともに保存処理された赤漆塗りの糸玉や漆櫛などの縄文時代の漆器についてX線CT調査し、土壌面より下のCT観察が考古学的にどの程度有効であるかの検討を行なった。

2. 観察資料と観察方法

2.1　観察資料

保存処理済みの新潟県新発田市青田遺跡出土の糸玉（新潟県教育委員会所蔵、新潟県埋蔵文化財発掘調査報告書第133集図版番号255-6）を観察対象とした。

2.2　観察方法

X線CT装置は東北大学総合学術博物館の高出力大型標本用CT装置（コムスキャンテクノ株式会社ScanXmate-D180RSS270）を使用した。撮影条件は、X線管電圧：160kV、X線管電流：200μA、解像度：35.5μmである。断層像の再構成はconeCTexpress（有限会社ホライトラビット社製）を使用した。撮影データの表示と3次元解析はCTAn/CTvox/CTviewer（Bruker Corporation Skyscan1174）を使用した。

3. 結果と考察

図1aにCT像からボリュームレンダリング法によって1点透視投影した表面の3次元像を示す。土壌のほか、ベンガラ漆が施された糸玉の表面が立体的に観察される。糸玉部分のCT像（図1b）をみてみると、表面のベンガラ漆と比べて内部の胎部分は相対的に低密度化しているものの、土壌面より下の糸玉が良好に保存されていることがわかった。そこで、糸玉の胎の構造を観察するために、しきい値を胎と同程度に調節後、糸玉全体に関心領域を設定して、関心領域内における胎の3次元像を作成した（図1c・d）。これにより、土壌中に埋まった部分の糸玉の胎の構造が観察できた。

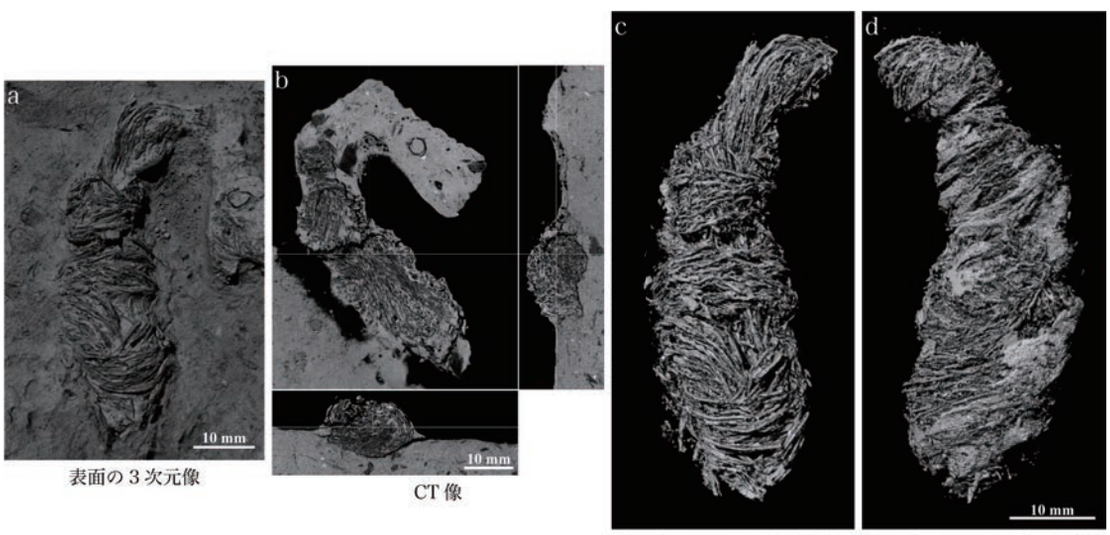


図1　土壌とともに保存処理された青田遺跡（新潟県新発田市）出土の糸玉の

4. まとめ

土壌とともに樹脂で固められた漆器の場合、土壌と有機質の密度差を利用して、漆器だけを抽出した3次元像の観察から、十分考古学的な観察な可能であった。縄文時代の脆弱な漆器について、土壌から切り離すことで原位置がわからなくなったり損壊する恐れがあったりする懸念がある場合、土壌ごと保存処理することが有効であり、X線CT調査を利用すれば、漆器が土壌に埋まった状態であっても十分考古学的な調査に耐えうることがわかった。

本研究は、科学研究費補助金（平成28年度若手B）「X線CTを使った縄文時代の漆器製作技術の体系化」（課題番号16K16338）による成果の一部です。

引用・参考文献

片岡太郎・上條信彦『亀ヶ岡文化の漆工芸 II 北日本における先史資源利用の研究』弘前大学人文学部北日本考古学研究センター、2015

片岡太郎・上條信彦・鹿納晴尚・佐々木理「X線CT観察による北東北の縄文時代晩期の漆櫛の製作技術」『考古学と自然科学』72巻（pp. 29-43）、2017

加藤和歳・小林啓・今津節生・輪田慧・村上浩明・森下靖士・甲斐孝司・横田義章「X線ＣＴスキャナの活用による遺跡で発見される豊富な遺物情報を得る調査（II）-福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土遺物の有機質情報および埋納方法復元に向けて- 」『日本文化財科学会第32回大会研究発表要旨集』、pp. 44-45、2015

新潟県埋蔵文化財調査事業団・新潟県教育委員会『新潟県埋蔵文化財発掘調査報告書第133集 日本海沿岸東北自動車道関係発掘調査報告書Ⅴ 青田遺跡』、pp. 295、2004

謝辞

本研究を遂行するにあたり、新潟県教育委員会ならびに栗原市教育委員会には資料の借用ならびに調査協力に多大なるご協力を賜りました。心より感謝申し上げます。

水浸出土木材保存処理における含浸時間の短縮化

Shortening of impregnation time in waterlogged wood preservation treatment

○ 立石翔大・今津節生(奈良大学)
○ Shota TATEISHI, Setsuo IMAZU (Nara University)

１．はじめに

出土木材を保存するために、トレハロースやPEGなどの薬剤を溶かした加熱含浸槽を用い段階的に濃度を上げながら長期間にわたって浸漬する方法が用いわれている。PEG含侵法では1970年代にデンマークのB.B.クリステンセンがPEGの酸化分解に伴う腐食性を懸念して銅製の加熱含侵法を使用したのを契機にこのシステムが広がり、日本でもPEGによって腐食しないステンレス製の加熱含浸槽が各地に設置された。一方、スクロース・ラクチトール・トレハロースなどの糖類は腐食性が無いので容器を選ばないものの、加熱装置の中で溶液に浸漬する方法とPEG同様の加熱含浸装置に浸漬する方法が行われてきた。

沈没船のような大型木製遺物の保存を想定すると、保存処理に伴う設備・期間・薬剤・環境・安全性・エネルギーなど様々な課題について従来の方法を見直す必要がある。たとえば、含浸期間について、PEG 2step含浸法の開発で有名なPer.ホフマンが実施したドイツのBremen Cog号でさえ1981年から1999年まで19年間にわたる含浸期間が必要であった。そこで沈没船のような大型遺物の保存処理をできるだけ小規模な設備で、薬剤も少なく、安全性も高く短期間で保存処理することを目標に研究開発を進めることにした。本研究では、含浸時間の短縮を目的として基礎実験を開始したので報告する。

２．実験方法

実験資料：直径6cmの木材（イチイ材）から繊維方向に3cmの厚さで連続的に採取した。実験材の飽和含水率（Umax）は400%である。

含浸薬剤：トレハロース（分子量：342）とPEG#4000（平均分子量：3,800～4,200）を用いた。

含浸濃度：木材内部への含浸効率を比較するために分子量の差による木材内部の収縮や乾燥を起こしにくい劣化の少ない針葉樹を用いた。しかし、PEGの50%溶液では含浸中に木材内部が乾燥する現象が起こった。そこで、PEG溶液は30%とした。トレハロース溶液は含浸中に木材内部が乾燥する現象は起こらなかったので50%溶液とした。

実験環境：溶液は実験用オーブン内に入れて40℃前後で保温した。

濃度測定：試験木材は成長錘を使って外皮から中心に向かって刳り抜き、1cm毎に切断したものを搾って溶液を屈折計で測定した。トレハロースは2日毎、PEGは、3日毎に試料を採取して測定した。測定法は姜他1997（今津1999），Per Hoffmann 2013を参考にした。

含浸方法：従来一般的に行われているように溶液中に試料を浸漬する方法（浸漬法）に対して、溶液を循環させて流れの中に置く方法（流動法）を比較した。循環ポンプは風呂の排水に用いる簡易なポンプ（12L/揚程 0m，10L/揚程 1m）を用いた。

3. 結果と考察

実験材をトレハロース 50% 水溶液に含浸した場合は、浸漬法では 14 日間を経過しても木材内部は外部の溶液と同一の濃度（46%）に達していない。しかし、流動法では 10 日目には完全に外部の溶液と同一の濃度に達した。含浸の途中経過を見ると、流動法は、２日目で浸漬法の 4 倍早く、４日目で２倍早く含浸していることになる。

一方、PEG 30%水溶液に含浸した場合は、浸漬法では 30 日間を経過で、浸漬法の規定濃度である 20%に達した。しかし、流動法では 15 日目で完全に流動法の規定濃度に達した。含浸の途中経過を見ると、流動法は、3 日目、9 日目で 2 倍近く早く含浸していることになる。これは日数を見ても 2 倍早い。

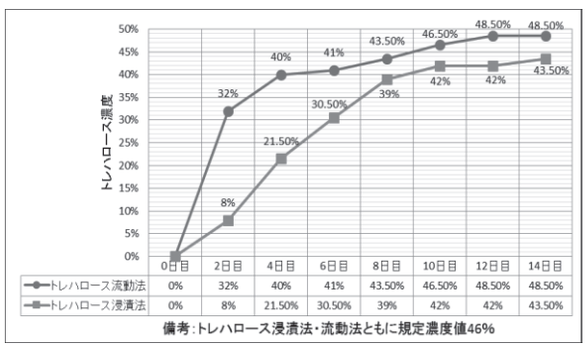


図 1. トレハロース 浸漬法と流動法の比較

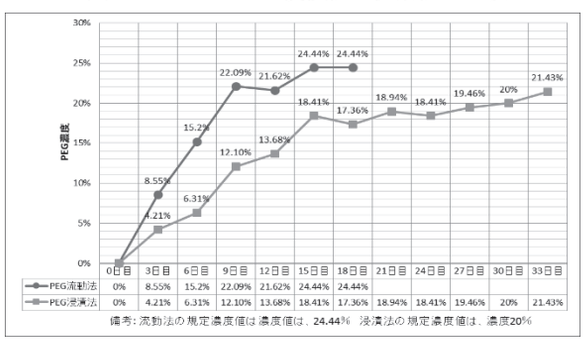


図 2. PEG#4000 浸漬法と流動法の比較

従来のように試料を溶液中に置く浸漬法と溶液を循環させて流れの中に置く流動法を比較すると、トレハロース、PEG ともに含浸効率が 2 倍に達している。従来の浸漬法で分子量の大きい PEG#4000 を含浸すれば 30 日以上含浸して外部の溶液と同一の濃度に達するのに対して、分子量の小さいトレハロースを流動法で含浸すれば 10 日間で外部の溶液と同一の濃度（46%）に達することが判明した。上記の実験結果から、浸漬法を用いて分子量の大きい PEG を含浸させる従来の方法よりも、流動法を用いて分子量の小さいトレハロースを含浸すれば、従来の数倍の早さで含浸を終了できる可能性が生まれてきた。

4．まとめと今後の課題

沈没船のような大型木製遺物の保存を想定すると従来の方法から改良しなければならない項目は多い。特に含浸期間の短縮化は重要な課題である。今回の実験では流れる溶液の中に試料を入れて含浸を行う流動法が含浸期間の短縮化に効果的であるとの結果を得た。しかし、流動法による含浸を実用化するためには、装置の耐久性や素材、安全性など解決しなければならない課題は多い。

参考文献

今津節生 1999：『出土木製品の保存的研究』　奈良県立橿原考古学研究所

Per Hoffmann 2013:“Conservation of Archaeological Ships and Boats －personal experiences －” British Library Cataloguing

出土青銅製文化財の保存処理に使用されたアクリル樹脂の劣化について（4）

Deterioration of Acrylic Resin used to Conservation of Excavated Bronze Cultural Properties（4）

○山田卓司（公益財団法人 元興寺文化財研究所）、山口繁生（同）、川本耕三（同）、塚本敏夫（同）、植田直見（同）

○Takashi Yamada, Shigeo Yamaguchi, Kozo Kawamoto, Toshio Tsukamoto, Naomi Ueda (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

1. はじめに

国宝荒神谷遺跡出土銅剣に含浸されたアクリル樹脂（パラロイド NAD-10）の状態を確認するため、全反射フーリエ変換赤外分光分析（以下 ATR-FTIR）や熱分解-ガスクロマトグラフ/質量分析（以下 Pyro- GC/MS）、ゲル浸透クロマトグラフィー（以下 GPC）を実施してきた。これまでの分析で、未使用の樹脂と比較し異なる結果が得られ、同時に保存処理で使用された接着剤の混入を示唆する結果が得られた[1]。本報告では、先に核磁気共鳴分光分析（以下 NMR）によるアクリル樹脂の混在を明らかにする。

一方、アクリル樹脂の劣化を明らかにするために、未使用の NAD-10 を高温度や高湿度下において劣化促進実験を行い、ATR-FTIR や Pyro-GC/MS、GPC 結果を以前に報告した[2]。アクリル樹脂は共存する溶剤により大きく物性を変えることから[3]、溶剤存在下の加圧高温で劣化促進を行い、各種分析結果による NAD-10 の熱安定性を明らかにする。

これら含浸された樹脂の分析と促進実験を詳細に検討することは、変化の少ないアクリル樹脂を解析するための有益な情報を提供すると考えられる。

2. 分析対象

NMR の構造解析には、国宝島根県荒神谷遺跡出土銅剣からアセトンで抽出した試料を用いた。劣化促進試験では、NAD-10 をディスパージョン状態のまま 100 ºC の条件下で、392 時間加圧加温した。加圧加温前後、溶剤を常温で蒸発乾固したアクリル樹脂を ATR-FTIR、Pyro-GC/MS、GPC で比較した。

3. 分析方法

NMR は核磁気共鳴装置（日本電子製 ECA-600）を使用し、テトラメチルシランを含む重クロロホルムに溶解させた試料を測定した。

ATR-FTIR は赤外分光光度計（パーキンエルマー製 Spectrum Two）を用い、検出器に DLATGS を用い、分解能 4 cm^{-1} で測定した。

Pyro-GC/MS は GC/MS（日本電子製 JMS-Q1050GC）を使用し、熱分解装置（フロンティア・ラボ製 EGA/PY-3030D）を使用した。測定は試料をヘリウム雰囲気下 350、550 ºC の 2 段階でガス化した後、アジレント J&W 製カラム（DB1ms 60 m×0.25 μm×0.25 mmϕ）を用い分離し、得ら

れた分子を電子衝撃イオン化（EI）法により測定した。

GPC は高速 GPC 装置（東ソー製 HLC-8320GPC）にカラム TSKgel SuperGMHxlSP30 cm×2 本、5 mM リン酸/テトラヒドロフラン溶離液、RI 検出器を用いてポリスチレン標準（分子量範囲 LogM：2〜6）にてサンプリングピッチ 100 m 秒で測定した。

4. 結果・考察

銅剣抽出試料の NMR 結果から、δ3.5、δ3.7、δ4.1にシグナルを検出した。δ3.7は、NAD-10 の構成要素ブチルメタクリレート由来の-OCH_2に帰属でき、δ3.5 とδ4.1 は、エチルメタクリレートとメチルメタクリレート由来の-OCH_2、-OCH_3に帰属できた。よって、抽出試料は他のアクリル樹脂（パラロイド B72）を含むことが明らかになった。銅剣抽出試料への混在が明らかになった B72 は、従来の ATR-FTIR、Pyro-GC/MS、GPC 結果の解析を阻害するため、抽出物を分取後分析するなど対策が必要になると考えられた。

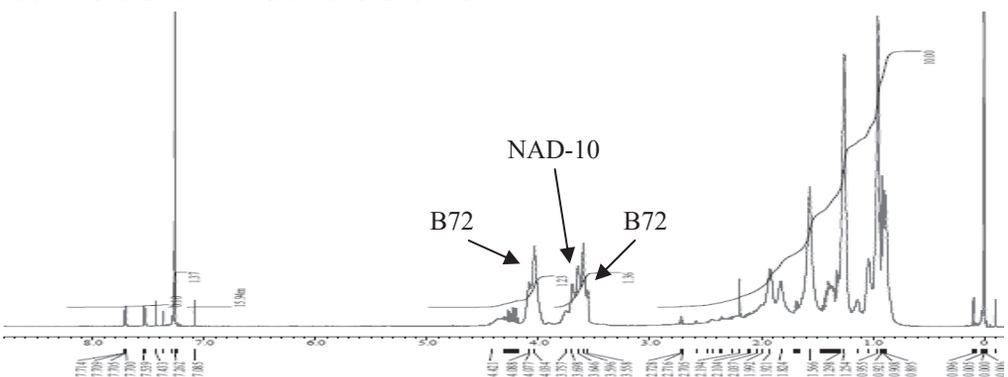


図 1. 国宝島根県荒神谷遺跡出土銅剣アセトン抽出試料の NMR スペクトル

加圧加温にて処理した NAD-10 と常温保管した NAD-10 を ATR-FTIR と Pyro-GC/MS、GPC で比較した結果、相違は観察されなかった。溶剤存在下の加圧加温で、NAD-10 は安定であった。現在、アクリル樹脂の構造変化を明らかにするため、銅剣由来の劣化促進因子（銅などの金属）や環境因子（水分や酸素）を用いた溶剤存在下の劣化促進実験を計画している。

最後に本研究を発表する機会を与えていただきました文化庁文化財部美術学芸課、島根県立古代出雲歴史博物館、および国宝荒神谷遺跡出土品修理事業に関する修理検討委員会の委員の皆様に感謝いたします。Pyro-GC/MS と NMR は日鉄住金テクノロジー株式会社渡邊様にお願いしました。加えて感謝致します。

本研究は JSPS 科研費 26282072 の助成を受けたものです。

1：植田直見　他、「出土青銅製文化財の保存処理に使用されたアクリル樹脂の劣化について」、2015、東アジア文化遺産保存国際シンポジウム、ポスター発表、**2：**山田卓司　他、「出土青銅製文化財の保存処理に使用されたアクリル樹脂の劣化について（２）」、2016、日本文化財科学会第 33 回大会、ポスター発表、**3：**岡本駿　他、「文化財保存修復に用いられる Paraloid^{TM} B-72 と溶剤の相互作用に関する研究」、2016、日本文化財科学会第 33 回大会、ポスター発表；植田直見他、「出土青銅製文化財の保存処理に使用されたアクリル樹脂の劣化について（３）」、2017、日本文化財科学会第 34 回大会、ポスター発表

キトラ古墳天井・星宿図の蛍光 X 線元素分析調査

X-ray fluorescence analysis of ceiling in the KITORA tumulus

○降幡順子（京都国立博物館）、辻本与志一（奈良文化財研究所）、金旻貞（同左）、
高妻洋成（同左）、早川泰弘（東京文化財研究所）、建石徹（奈良県）、宇田川滋正（文化庁）
○Junko FURIHATA(Kyoto National Museum), Yoshikazu TSUJIMOTO, KIM Minjeong,
Yosei KOZUMA(Nara National Research Institute for Cultural Properties),
Yasuhiro HAYAKAWA(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties),
Toru TATEISHI(Nara Prefecture), Shigemasa UDAGAWA (Agency for Cultural affairs)

1. はじめに

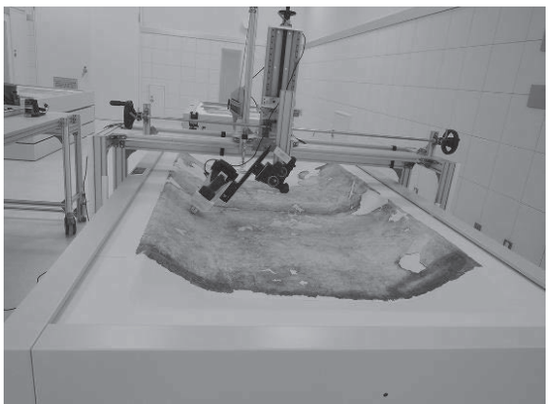
これまでキトラ古墳壁画に対する材料調査を継続的におこなってきた。しかしキトラ古墳石室の天井は内側が屋根形に加工してあり、これまでの分析フレームでは屋根の傾斜部を測定することができなかった。そこで、傾斜部を安全に測定することができるフレーム改良をおこない、天井部の蛍光 X 線分析をおこなった（写真 1）。これまでのキトラ古墳壁画の調査は、石室石材から取り外した図像周辺部のみの調査であったが、今回は再構成後の壁面全体をメッシュ状に測定するという、キトラ古墳では初めての試みについて報告する。

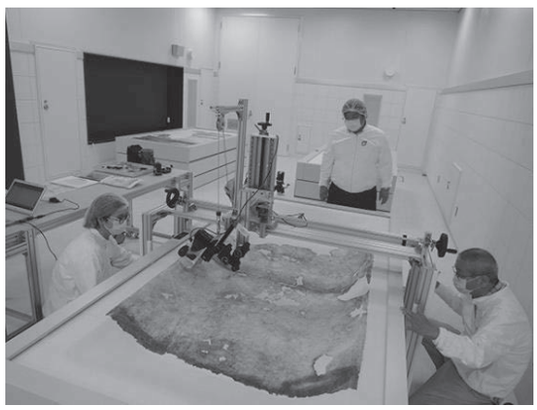
2. 測定手法

フレーム上部に三方向にスライド可能なアームを取り付け、壁面の傾斜角度に合わせてアーム角度を調整し、このアーム先端に携帯型蛍光 X 線分析装置オリンパス Delta Professional を取り付けて測定をおこなった。測定条件は、管電圧 40kV、電流 Auto（約 43μA）、測定時間 60 秒、X 線照射範囲 9mmφ（試料間距離 10mm時）である。操作はすべてフレームの外からおこない、壁画面上での作業をおこなうことなく安全に測定できるようにしている。測定は星宿部については縦横 5cm間隔、余白漆喰部については縦横 10cm間隔でおこない、漆喰が完全に剥落している箇所については測定を実施していない。測定箇所は 299 点である。

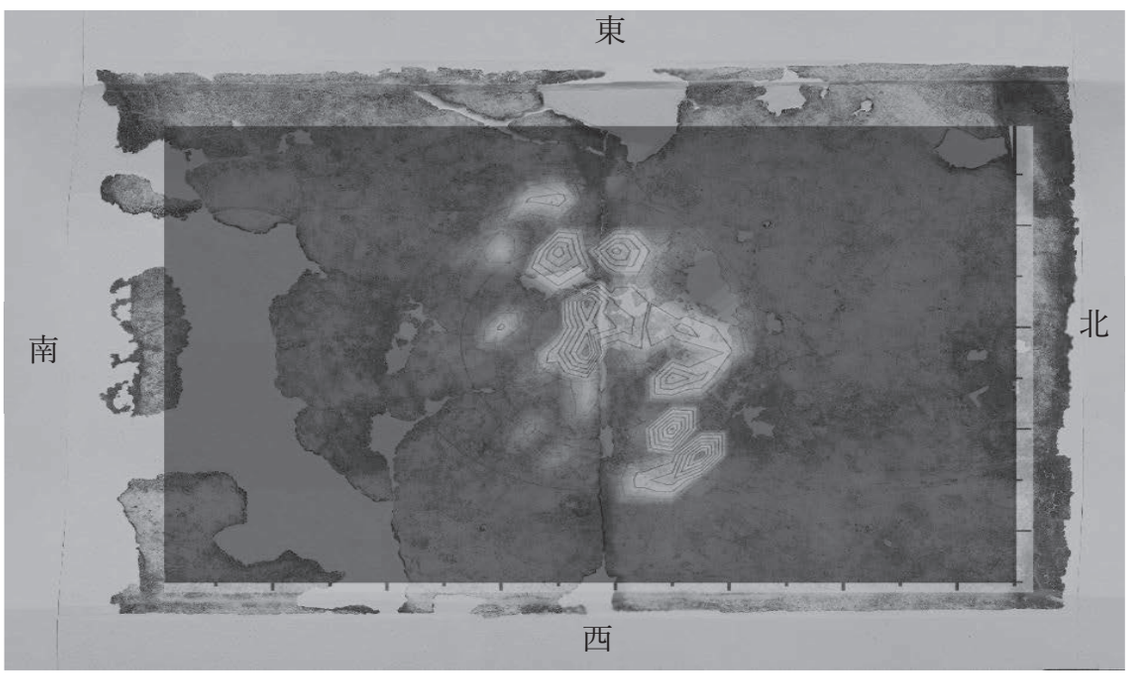
3. 測定結果と考察

これまで調査を実施している再構成前の十二支と四神の図像周辺部の測定では、図像周辺および余白漆喰からは鉛をほとんど検出していなかった。このためキトラ古墳壁画は、図像周辺および余白漆喰に鉛を含んでいないと考えられていた。しかし今回の測定では星宿図の中心から北西部分にかけて鉛が検出される領域が広がっていることがわかった（図 1）。さらに、太陽・月の朱線雲周辺から銅を検出し、天井の広範囲な領域に微量の水銀を検出した。キトラ古墳壁画玄武でも、図像部から少量の鉛を検出しており、今後は他の壁面でも再構成後の壁面全体を測定し、鉛の分布を検討する必要がある。

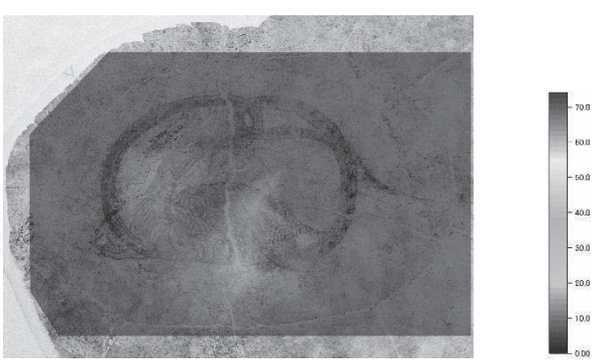




（写真 1）改良した分析用フレームと測定風景



（図 1）キトラ古墳壁画・再構成後の天井部分　鉛検出強度の分布状況



キトラ古墳壁画・再構成前の玄武　鉛検出強度の分布状況（2012 年度実施）

タンニン酸を用いた出土鉄製品腐食生成物安定化のための基礎的研究

The basic studies for stabilization of corrosion on excavated iron artifacts with tannin acid

○大谷直矢（株式会社イビソク保存処理センター）、服部哲則（東京学芸大学）
○Naoya OTANI (Conservation center IBISOKU Co.,Ltd.), Akinori HATTORI(Tokyo Gakugei University)

1．研究の概要

現在、出土鉄製品の保存処理では脱塩処理に重点が置かれており、表面のさびの安定化についてあまり注目されて来なかった。そこで本研究では自然由来の有機物であり環境にやさしいタンニン酸を用いて、鉄製品に生じた腐食生成物を安定したさびである四酸化三鉄（Fe_3O_4）に変換する方法について検討した。実験では、どのような条件とプロセスで赤さびから黒さびに変化したのかについて、試験体のタンニン酸処理を処理溶液のタンニン酸濃度および pH、処理時間等の条件を変えて行い、それぞれについてどのような変化があるか目視観察や重量測定試験、X 線回析分析を行った。その結果、タンニン酸による保存処理によってオキシ水酸化鉄（FeOOH）等を四酸化三鉄に変換させることが可能であると判断された。本発表は、これら実験の成果について報告するものである。

２．実験

下記方法で作成した鉄板試料を各種濃度およびアルカリ度数のタンニン酸水溶液に浸しオートクレーブで一定時間加温処理した。その後エタノール洗浄し、恒温乾燥器で乾燥させてから鉄板上の腐食生成物の変化を目視観察、重量測定、X 線回折分析*1 を用いて調査した。

*1:リガク MultiFlex サンプリング幅 0.02,電圧 40V,電流 20A,スキャンスピード 2.00, 受光スリット 0.3mm

(1)実験用試料の作成

鉄板(圧延鋼板(JISG3141)を 25mm×75mm×1mm の大きさに切断して作成)の表面をやすりで研磨して腐食生成物を除去したのちアセトンとエタノールで洗浄。これを 3%の食塩水に浸したのち軽く水気を落し、1 日以上相対湿度 60%以上の環境内に放置し腐食させたものを実験用試料とした。

(2)実験条件

タンニン酸濃度、アルカリ度数、加熱処理時間の違いによる実験条件の種類は以下に示す 16 種類である。(鉄板 A-60～H-240)

処理時間	液性(アルカリ度数)	タンニン酸濃度	
		タンニン酸 0.05%	タンニン酸 0.1%
60 分	pH5-6 程度*2	鉄板 A-60	鉄板 B-60
	pH8 程度*3	鉄板 C-60	鉄板 D-60
	pH10-12 程度*4	鉄板 E-60	鉄板 F-60
	pH12-14 程度*5	鉄板 G-60	鉄板 H-60
240 分	pH5-6 程度	鉄板 A-240	鉄板 B-240
	pH8 程度	鉄板 C-240	鉄板 D-240
	pH10-12 程度	鉄板 E-240	鉄板 F-240
	pH12-14 程度	鉄板 G-240	鉄板 H-240

*2:純水のみで作成　*3:炭酸水素ナトリウムで調整　*4:炭酸ナトリウムで調整　*5:水酸化ナトリウムで調整

(3)実験結果(一部)

紙面の都合から、タンニン酸濃度 0.05%、加熱処理時間 60 分の条件下でのアルカリ度数の違いによる実験結果のみ報告する。

鉄板 A-60:黒色の皮膜に鉄板全体が覆われているが粉状に剥離しやすい、赤さびもほとんど黒色に変化させたが一部でまだ赤さび部分が残っている。Fe，Fe_3O_4 を検出。

鉄板 C-60:赤さびの大部分は黒色に変化したが、一部赤さびが残っている部分がある。腐食していない部分は灰色に変色した。また、黒色に変化した赤さびの部分でところどころでさびが剥落し、地金部分と考えられる白色部分が見られる。Fe，FeO・Fe_2O_3 を検出。

鉄板 E-60: 赤さびを全体的に茶色のさびに変化させたが、鉄板 A-60 と鉄板 B-60、鉄板 C-60 と鉄板 D-60 に比べると赤みがあり、黒色とは言えない。また腐食していない箇所は被膜等が形成されていない。Fe，Fe_3O_4，Fe_2O_3・H_2O，FeOOH を検出。

鉄板 G-60: 赤さび部分はほとんど変化していない。腐食していない箇所にも被膜は形成されていない。Fe，FeO(OH)，Fe_2O_3 を検出。

重量変化は、水溶液の pH 値が高くなるほど減少率が小さくなる傾向が見られた。

３．考察

上記の結果から以下の考察が導き出せる。

①アルカリ度数が低いほど、赤さびが黒色に変化しやすい。

②pH8 以下では腐食していない箇所で黒色の被膜が形成される場合や色調に変化が生じやすい。

③重量変化はアルカリ度数が低いほど減少率が高くなる。

①③の要因として pH 値が低いほうが Fe から Fe^{2+}を生成しやすく水溶液に溶出しやすかったことが考えられ、オキシ水酸化鉄を四酸化三鉄に還元させるのに Fe^{2+}が必要なのではないかと考えている。②の要因も Fe^{2+}が関与していると考えている。pH5~6 程度の水溶液で生成された黒色皮膜は Fe^{2+}とタンニン酸の錯体が酸化したものではないかと考えており、pH8 程度の水溶液による腐食していない箇所の色調の変化も Fe が酸化した結果生じたものではないかと考えている。

出土木製品保存処理の省コスト・省エネルギー化に向けた研究（その５）
-太陽熱集熱含浸処理装置と含浸処理液再生装置の効果-
Study of saving cost and energy of the waterlogged wood conservation treatment (5) - Effect of solar thermal collectors impregnation system and regeneration system of impregnation solution

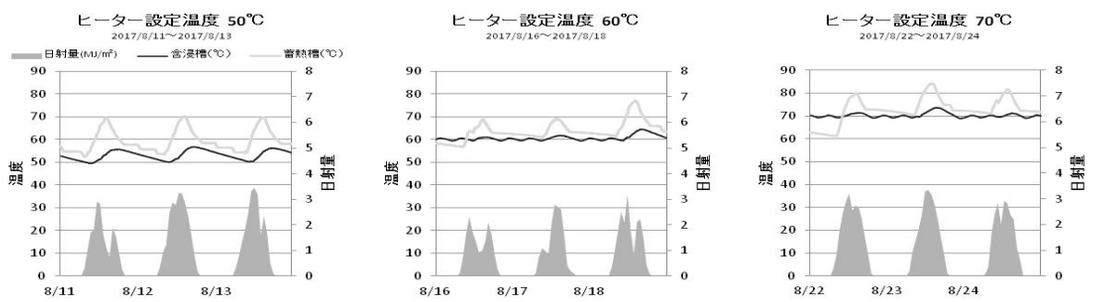
○伊藤幸司（大阪文化財研究所）、藤田浩明（同左）、
三宅章子（株式会社林原）、小林啓（九州歴史資料館）
○Kouji ITO, Hiroaki FUJITA (Osaka City Cultural Properties Association),
Akiko MIYAKE(Hayashibara.co.,Ltd.), Akira KOBAYASHI(Kyushu historical museum)

1. はじめに

自然エネルギーを利用した含浸処理機器や、使用済み廃液の再生利用、滴下による含浸など新たな切り口から保存処理方法を再考してきた。これにより大きな成果が得られた反面、いくつかの問題も明らかになってきた。今回の発表は現在明らかになっている功罪両面を紹介し、ご意見をいただく機会としたい。

2. 太陽熱集熱含浸処理装置

松浦市立鷹島埋蔵文化財センター（以下、「鷹島」）に設置、ご協力を得て試験的な稼動を続けてきた。機器性能を十分に引き出すための設定温度を検討するのに時間を要したが、含浸処理槽設定温度55℃程度まででであれば電気ヒーターを使用することなく加熱･保温できることが分かってきた。もちろん日照時間などに左右されるが、当初予想していたよりも太陽熱集熱の効果は大きい。今後、鷹島で水漬け保存されている船材など大型木製品の保存処理実施に向けて新たな設備を設計、来年度の完成を目指している。



3. 廃液再生装置

これまでに発表したように､大阪文化財研究所で１年程度使用した廃液を中空糸膜を用いて分液して、黒色物質を除去することで再生・再利用を可能にした。より実際的に検討するために鷹島および九州歴史資料館（以下、「九歴」）で使用された廃液を用いて再生実験を行なった。鷹島廃液は３万分画の中空糸膜では十分な透明度が得られず､得られた再生液を更に１万分画で分液することで再利用を可能にした。また、九歴廃液は中空糸膜の目詰まりが生じ、大阪・鷹島と

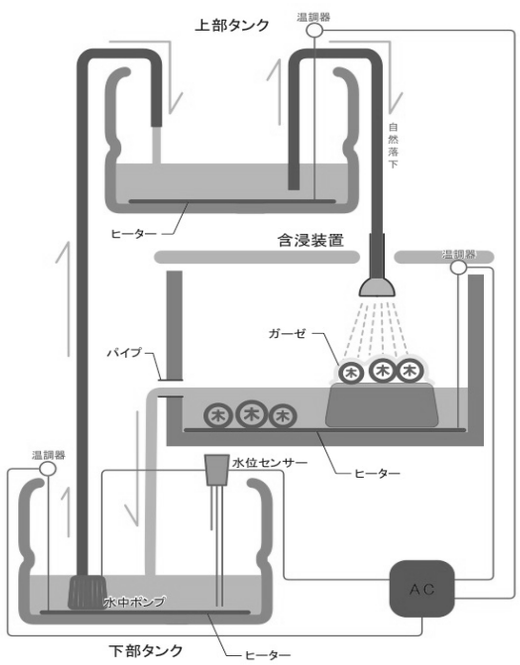
同等の処理量を得ることができなかった。林原で行なった分析（下表）によって九歴廃液が著しく分解していることが判明した。九歴で保管している幾つかの廃液を確認したところ、今回再生に供した廃液は一見して分かるほど他のものと状態が異なっていた。どのような原因によってこれほど分解が進んだのか非常に興味深い。今後は他機関から協力を得ることで検体を増やし、原因を究明する。

分画分子量	対象	サンプル名		
		鷹島	大阪	九歴
	原液	TK01	OS01	KR01
30,000	再生液	TK02	OS02	KR02
	濃縮液	TK03	OS03	KR03
10,000	再生再生液	TK04		
	再生濃縮液	TK05		

サンプル名	糖組成(Bx2%に調整後測定、%)		
	トレハロース	グルコース	その他
TK01	97.571	1.274	1.155
TK02	97.055	1.407	1.538
TK03	94.437	2.897	2.666
TK04	96.846	1.535	1.619
TK05	97.006	1.678	1.316
OS01	96.786	0.941	2.273
OS02	97.155	0.655	2.190
OS03	94.237	2.910	2.853
KR01	78.179	9.923	11.898
KR02	78.007	9.894	12.099
KR03	78.083	9.881	12.036

4. 滴下による含浸

サンプル材を用いた実験によりその効果が明らかになったことから、実際の出土資料への含浸試験を開始した。加熱したトレハロース溶液を間断なく資料に滴下するように右図の装置を組み、稼動した。加熱温度 40℃段階で少量の菌類（未同定）の発生を確認、除去したのちに 50℃に昇温したところ、表面への付着によって資料の重量測定が正確に行なえないほど菌類が大量に発生した。以後、幾つかの方法で殺菌・滅菌を試み、その都度溶液を交換したが、程度の差はあるが再発生を抑えることはできなかった。今後は菌の同定を行ない、有効な抑止方法を検討する。



5. まとめにかえて

鷹島海底遺跡出土遺物への適用事例により、海底遺跡出土遺物へのトレハロース法の有効性が確認されている。しかし、科学的に明確な裏付けを得るには至っていない。この有効性は先行する糖アルコール法でも得られている。つまり、トレハロースばかりでなくラクチトールでも同様の結果が得られているのである。このことから「糖類」という括りでその要因を考え、糖液の電気伝導率に注目した。現在、研究を進めている。

当研究の遂行にあたり、松浦市立埋蔵文化財センター合澤哲郎氏のご協力を得た。また、当研究は平成 27～29 年度科学研究費助成事業（研究代表者：伊藤幸司　基盤研究Ｂ）「トレハロース法による海底遺跡出土文化財の保存処理研究－自然エネルギー利用に向けて－」の成果を含む。

モンゴルで出土する有機遺物の保存に向けた研究（その1）
―トレハロース含浸処理法適応のための試み―

Conservation study of organic objects excavated in Mongolia(1)
-Adaptation of trehalose method-

○藤田浩明（公益財団法人大阪市博物館協会大阪文化財研究所）、伊藤幸司（同左）、
メンドバザル・オユントルガ（奈良大学）
○Hiroaki FUJITA, Kouji ITO (Osaka City Cultural Properties Association),
Oyuntulga MENDBAZAR (Nara University)

1. はじめに

出土水浸木製文化財の保存処理研究は日本をはじめ世界各国で進められている。研究対象となる木製文化財は過剰に水分を含んでいるものが中心である。しかし、シベリアやモンゴルなどの草原地帯で出土する木製文化財は半乾燥状態で見つかる。これは墳墓の木廓内など地下の空間が常に低温かつ飽和水蒸気環境を維持していたことによる。モンゴルではこのような状態で出土する木製文化財を保存するための方法や、出土地の気候環境の問題に対処するための研究が進んでおらず、多くの木製文化財が失われてきた。また、一般的な出土水浸木製文化財とは性状が異なり、非常に脆弱なために通常の保存処理方法をそのまま適応することはできない。

現状を打開して貴重な木製文化財を後世に伝えるため、有志の研究者 (註) と 2016 年にモンゴルに赴き、現地研究者に向けた講演会およびワークショップを行なった。さらに、出土遺物の状態調査とトレハロース含浸処理法の適応性に関わる試験的な保存処理を行なったところ、良好な結果を得ることができたので報告する。

2. 講演会およびワークショップ

２班体制でモンゴルを訪問した。第１班は、2016 年 11 月 2 日から 5 日間、モンゴル科学アカデミー考古学研究所および国立文化遺産センターにおいて講演会とワークショップ、遺物の状態調査と試験的な保存処理を行なった。

初日にモンゴル研究者に向けた講演会を開催した（写真 1）。考古学研究所、文化遺産センターをはじめ、国立博物館、国立カラコルム博物館など、モンゴル各地から約 50 名の参加があった。続いて文化遺産センターにおいて有機遺物保存のためのワークショップを行なった。モンゴルでは、布や革製品などが良好な状態で多数出土している。しかし、これらへの有効な保存処理方法が確立していないため、技術移転を目的とした保存処理の実施を求められた。トレハロース含浸処理法が布製品に効果的な保存処理方法であることは実証済みである（第 33 回大会発表）。原材料の違いはあるが、現地担当者の目前で短時間のうちに保存処理を行なうことで、その有効性を示した。

3. 遺物の状態調査

考古学研究所・文化遺産センター・国立博物館で保管されている出土木製文化財を実見し、状態の調査を行なったところ、仮保管されている未処理遺物の大半が出土時の形状を維持していないことが判明した。モンゴルで出土時から保存処理に至るまでの間、遺物状態を維持するための技術を有していないことが明らかとなった。

4. 保存処理の実施

トレハロース含浸処理法の適応性を確認すべく、試験的な保存処理を開始した。

対象とした木製品は半乾燥状態なので、いきなりトレハロース溶液に含浸すれば収縮・崩壊を生じる可能性が高い。そこで、水馴染みをよくしてから含水処理をおこなって水浸状態にし、トレハロース 20%溶液から含浸処理を開始した。

第２班は 2016 年 11 月 9 日から 3 日間、考古学研究所および文化遺産センターにおいて、試験的な保存処理を継続すると共に経過観察を行なった。

考古学研究所において第１班が開始した木製文化財の試験的な保存処理を継続し、すべての保存処理を終了した（写真 2)。現地担当者によって含浸濃度が 40%に上げられていたので、初日に 45%に、3 日目には 70%のトレハロース溶液にディッピングし、表面的に高濃度溶液を含浸、被覆した。本来であれば高濃度溶液に含浸すべきところであるが、使用した含浸処理槽は 50℃程度までしか温度が上がらないため、ディッピングによって対処した。結果、形状変化はなく、モンゴル特有の半乾燥木製文化財にもトレハロース含浸処理法は非常に有効であることが明らかとなった。含浸処理終了後１年半程が経過した現在、現地担当者に遺物の現状を問い合わせたところ、形状変化などの問題は生じていないとの報告を受けた。

前週、文化遺産センターにおいてトレハロース含浸処理を実施した布や革製品の経過観察を行なったところ、全く問題はなかった。現地担当者からは処理時間が短いこと、形状の変化がないこと、普通に手で持てるほどの強度が得られたこと、色調が変わらないことに対して高い評価を得た。今後は有効な保存処理方法のとして自分たちで基礎的な実験を行ない、トレハロース含浸処理法採用を検討するとのことであった。

5. まとめ

モンゴルでは出土時の遺物状態を保持するための技術を有していないこと、破損していない木製品の保存処理経験がないことが明らかとなった。他方、半乾燥状態の木製品および布や革製品等の有機遺物に対してトレハロース含浸処理法の有効性を確認するため試験的に実施したところ、良好な結果を得ることができた。今後は、出土直後の遺物の保全措置、移送、保存処理、保管・活用という基本的な流れを計画的に行なうことの重要性とその効果を示すべく、さらなる研究協力を続けていく。

註）降幡順子、片多雅樹、小林啓、稗田優生、金原裕美子、安部まりの諸氏の参加を得た。

写真１　講演会

写真２　保存処理

当研究は平成 27～29 年度科学研究費助成事業（研究代表者：伊藤幸司　基盤研究Ｂ）「トレハロース法による海底遺跡出土文化財の保存処理研究－自然エネルギー利用に向けて－」の成果を含む。

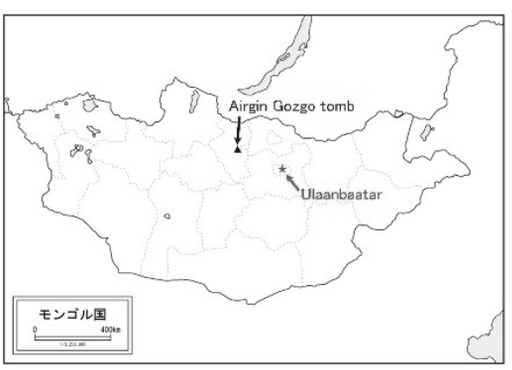
モンゴルで出土する有機遺物の保存に向けた研究(その 2)
－出土直後の保全方法とトレハロース含浸処理法の実施－
Conservation study of organic objects excavated in Mongolia (2)
-Immediately conservation after excavation and practice of Trehalose method-

○伊藤幸司、藤田浩明（公益財団法人大阪市博物館協会大阪文化財研究所)、片多雅樹（長崎県埋蔵文化財センター)、小林啓（九州歴史資料館)、稗田優生（大分県立歴史博物館)、メンドバザル・オユントルガ、今津節生（奈良大学）

○Kouji ITO, Hiroaki Fujita(Osaka City Cultural Properties Association), Masaki KATATA(Nagasaki Prefecture Archaeological Center), Akira KOBAYASHI(Kyushu historical museum), Yuki HIEDA (Oita Prefectural Museum of History), Oyuntulga MENDBAZAR, Setsuo IMAZU (Nara University)

１．概要

2016 年 11 月にモンゴルで行なった基礎調査の結果､ふたつの改善すべき点が明らかになった。ひとつは出土時の現場での対応である。7 月頃に行なわれる発掘調査で出土する遺物は、20℃・90%RH の地下の恒温高湿度空間から短時間のうちに 35℃・25%RH の高温低湿度の地上の環境にさらされる。このため木製品など有機遺物は瞬く間に乾燥、変形してしまう。もうひとつは、保存処理担当者は乾燥・変形した木製品しか扱ったことがないため、出土時のまま形を保った木製品の保存処理技術が全くないことである。これらを改善するべく第１班は 2017 年 7 月に発掘現場へ、第２班は 8 月に国立文化遺産センターに於いて保存処理方法の研究・技術移転などの活動を行なった。発掘直後の保全措置として新たな材料を取り入れて完全に乾燥を抑え、出土時の姿を損なうことなく文化遺産センターに移送して、続いて現地研究者と共にトレハロース含浸処理に着手した。



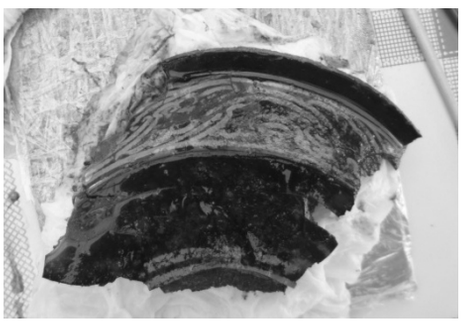
2. 発掘現場での応急処置

第１班は 2017 年 7 月 26 日から 5 日間、アイリギーンゴゾゴル遺跡（所在地：エルデネト市近郊・1 世紀代）の地下式墳墓から出土した脆弱な遺物を数百キロ離れたウランバートルの博物館施設まで安全に移送するための応急処置を行なった。

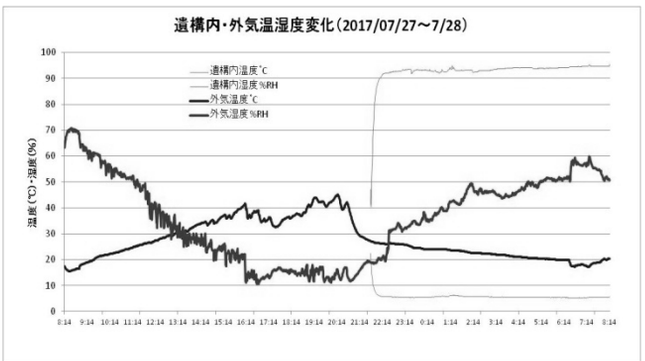
発掘現場の日中の外気温は 30～35℃、20～25%RH と高温低湿の環境にある。一方、地下 5～6 mの墓室内は 5℃、90%RH である。加えて、出土する木製品はいわゆる水浸木製品とは状態が大きく異なり、わずかに湿り気を感じる程度で非常に軽く、含水率は 100%以下、取り上げ直後から急速に乾燥、変形してしまう。取り上げ後の迅速且つ適切な応急措置が極めて重要である。幸い、水馴染みは良好で出土後に吸水させることができる。現場での応急処置として、取り上げ直

後に霧吹き等で十分に湿らせエアタイトシールラップ（GLAD 社 Press'n Seal）で梱包、チャック袋に入れて現状を維持する仮処置を行なった。

これらの木製品はおよそ 10 日後に文化遺産センターで開封したが、出土時の良好な状態を保っており、発掘現場での迅速な対応の重要性と方法の有効性を確認することができた。



出土遺物



温湿度変化グラフ

３．半乾燥木製品の保存処理

第２班は 2017 年 8 月 7 日から 1 週間、文化遺産センターで木製品のトレハロース含浸処理を実施した。出土直後の応急処置によって変形・破損することなく移送された木製品の遺存状態や構造調査と並行して、水に浸漬して徐々に含水させつつクリーニングを行なった。含水重量が恒量に達した後、トレハロース溶液を含浸、保存処理を進めた。我々の帰国後はモンゴルの文化財担当者の手によって保存処理作業が継続されている。

４．まとめ

出土直後から保存処理に至るまで連続して行なった今回の作業は、現地担当者と共に進めることで技術を移転することができた。この成果はすぐに現れ、第１班が現場を離れた後に出土した大量の有機遺物は彼らの手によって梱包・保全が図られ、全く損傷することなく文化遺産センターに移送された。

出土した脆弱遺物を安全に保存するためには専従する担当者が必要不可欠であるが、現時点でそれは叶っていない。現在、文化財調査・保存に関わる体制づくりが進められている。今後の展開に期待するとともに、技術協力を継続していきたい。

講義

技術移転

出土漆器のトレハロース処理

当研究は平成 27～29 年度科学研究費助成事業（研究代表者：伊藤幸司　基盤研究Ｂ）「トレハロース法による海底遺跡出土文化財の保存処理研究－自然エネルギー利用に向けて－」及び平成 29～31 年度科学研究費助成事業（受入研究者：今津節生　特別研究員奨励費）「モンゴル国出土木製遺物の科学的保存処理研究」の成果を含む。

有機質文化財の経年劣化状態の指標化に関する研究　2

Research on indexing of aged deterioration state of organic cultural properties　2

◯佐々木良子（嵯峨美術大学），　佐々木健（京都工芸繊維大学）

◯Yoshiko SASAKI (Kyoto Saga University of Arts), Ken SASAKI (Kyoto Institute of Technology)

1.　はじめに

発表者らはこれまで、文化財染織品に用いられた染料の分析を行ってきた。文化財染織品には種々の染料が用いられ，その解析には一般に非破壊分析が求められる。しかしながら，破壊分析を用いると非破壊分析では得ることのできない多様な情報が得られる。例えば，ベルベリンを主成分とする黄色染料黄檗が用いられた染織品の場合，非破壊分析でベルベリン特有の可視分光スペクトル及び蛍光スペクトルにより，プロトベルベリン含有植物を用いた染色がなされたことが分かる。これを破壊分析に供することにより，植物種の特定[1)]，さらに黄檗の場合にはベルベリンに対するパルマチンとヤトロリジンの成分比により産地の特定ができることを明らかにしてきた[2)]。また，黄檗の主成分であるベルベリンを由来とする劣化生成物に着目することで，染織品の経年や保存状況に由来する黄檗の劣化状況を数値化することを試みてきた[3)]。

昨年本学会で，染織資料の劣化の指標として，ベルベリン分子周りの環境変化を表す非破壊分析である蛍光寿命と資料の年代について報告した[4)]。ここでは，強制劣化した試料を用いて，劣化状態の再現を試みたので，報告する。

2.　実験

黄檗（田中直染料店）を用いて染色した絹布及び和紙を退色実験に供した[1)]。

強制退色実験は，促進耐光性試験機：キセノンウェザーメーターTable Sun XT1-15(スガ試験機製)を用い、1.5kW キセノンランプで所定時間照射して行った。分光測色計を CM-2022（ミノルタ製）を用い，退色の変化を非破壊で測定した（Fig. 1)。

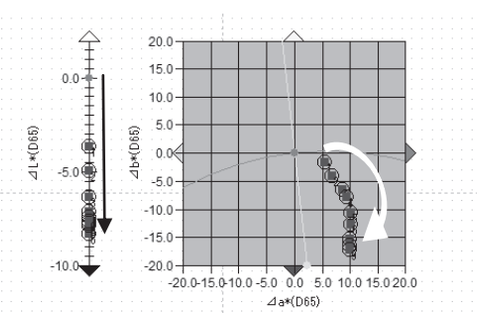


Fig. 1　黄檗染め絹布の退色実験結果

可視反射スペクトル及び蛍光分光スペクトルは Ocean Optics USB4000 ファイバー誘導可視スペクトロメーターを用い、試料表面に可視光を照射し、吸光度に換算された反射スペクトルを，また励起光に 450nm の高原を用いて蛍光スペクトルを非破壊測定した。

高速液体クロマトグラフ（HPLC）分析[1,2)]は強制劣化させた試料の一部についてメタノールを用いてプルトベルベリンアルカロイドを抽出し，HPLC に供した。PDA 検出器として JASCO MCD 2010 を用い，カラムには Cosmosil 5Ph-MS (Nacalai)，移動相溶媒には 0.01%

トリフルオロ酢酸を MeOH/H_2O（1：1）系移動相で流速 1mL/min で使用した。

3. 結果と考察

黄檗染色絹布及び和紙に促進耐光性試験機を用いて可視光を 6 時間から 15 日間照射し，強制的に退色させた。退色具合を分光測色計で測定し（Fig. 1），可視スペクトルと蛍光スペクトルを測定した。その後 HPLC でその成分比の変化を追跡した（Fig. 2　HPLC の拡大図）。その結果，文化財資料で見られたベルベリンの劣化生成物 X1 及び X2 の生成が確認できた[5]。そこで，これらベルベリン劣化生成物のベルベリンに対する量比について，照射時間との関係をまとめた（Fig. 3）。その結果，照射時間が長くなるに従ってその生成量が増加していることが明らかになった。今回の可視光照射がもたらした黄檗の劣化の一部の過程が，文化財染織品に見られた劣化過程の一部と同じであると考えられる。

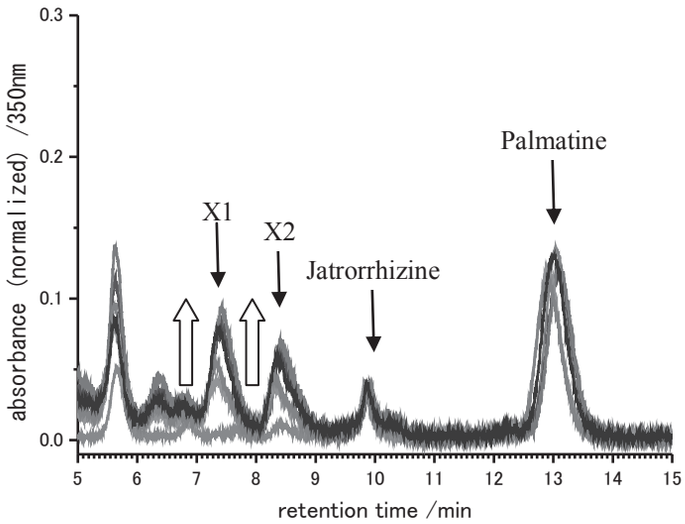


Fig. 2　可視光照射による劣化黄檗染絹布から抽出したプロトベルベリンアルカロイドの HPLC 分析結果（拡大）

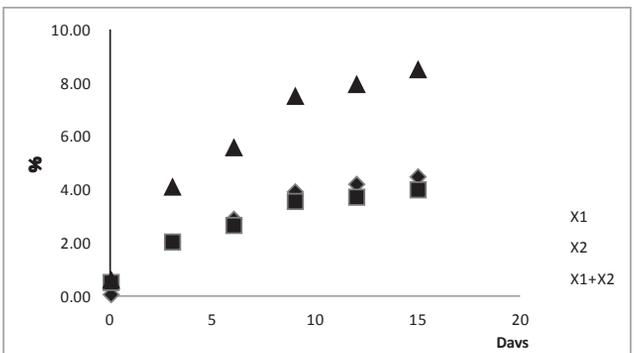


Fig. 3　可視光照射による強制劣化黄檗染絹布から抽出したベルベリン劣化生成物のベルベリンに対する量比と照射時間の基づく関係

◆：X1，■：X2，▲：X1+X2

参考文献

1) 佐々木良子，佐々木　健，文化財科学会誌（考古学と自然科学）2012, **63**, pp.53-69

2) Yoshiko SASAKI, Ken SASAKI, *the journal e-PRESERVATION SCIENCE*, **10**, 83-89 (2013)　Morana rtd

3) 佐々木良子，藤井健三，深江亮平，佐々木　健　文化財科学会誌（考古学と自然科学）2017, 73, 15-28

4) 佐々木良子，佐々木健，日本文化財科学会第 34 回大会研究発表要旨集，2017 年，pp. 200-201

5) 佐々木良子，藤井健三，深江亮平，佐々木　健　文化財科学会誌（考古学と自然科学）2015, 68, 21-31.

謝辞：本研究は，科学研究費補助金（基盤研究（C））課題番号 16K01179 の成果の一部である。促進耐光性試験を行って下さった東京藝術大学美術研究科文化財保存学研究室，塚田全彦准教授に感謝の意を表する。

タイ国パノム・スリン沈没船出土遺物の保存 （Ⅰ）

Conservation of artifacts from Phanom-Surin Shipwreck, Thailand （Ⅰ）

○ 今津節生（奈良大学）、ソピットパヤカーン（タイ芸術局国立博物館）、サネマハポール（同左）、
伊藤幸司（公益財団法人大阪市博物館協会 大阪文化財研究所）
Setsuo Imazu (Nara University), Sopit Panyakhan, Saneh Mahaphol (Office of National Museums,
The Fine Arts Department), Koji Ito (Osaka city Cultural Properties Association)

1. はじめに

バンコクから西に 30㎞ ほど離れた海岸部に位置する Samut Sakhon 州の海成平野の堆積土壌から 2013 年 9 月にペルシャの交易船が発見された。発見地の地名から命名されたパノム・スリン沈没船は、中国から東南アジアやインドを経てペルシャに至る 9 世紀のアジアの海上交易の実態を知るために極めて貴重な情報をもつ沈没船である。タイ国最初の王朝であるスコータイ王朝が 13 世紀に成立する以前に 9 世紀のタイ湾（シャム湾）沿岸地域ではモン族の港市国家としてドヴァーラヴァティー王国が繁栄していた。これまでもタイ湾沿岸ではペルシャ陶器や中国陶器が発見されていたことから、パノム・スリン沈没船の発見はタイ国の古代史の実体を解明する点で極めて重要な発見である。

沈没船の船体は長さ 25m と推定される。船体の周囲からは船の背骨となる 17mの竜骨と共に帆を張るマストが発見されている。船体構造の特長は外板をヤシの繊維で縫い合わせた縫合船であり同時代のペルシャ船の特徴と一致している。船体の中からは多くの積荷が発見された。タイ古代の陶器や中国唐王朝の陶器、ペルシャのアッバース朝の陶器などと共に香木やロープ・織物・象牙などの有機遺物が発見されている。現在、船体の発掘調査は中断されているが、近々に発掘調査を行い、将来は船体の保存処理を実施した後に発見地周辺に新しく博物館を建設する予定である。

図１ パノム・スリン沈没船（推定全長 25m）

2. 沈没船出土遺物保存プロジェクト

パノム・スリン沈没船出土遺物に関する保存処理技術研究プロジェクトはタイ芸術局からの要請により住友財団文化財保存修復事業を基礎として 2015 年度から開始した。タイ国ではこれまで水浸出土遺物の保存処理経験が無かった。タイ芸術局に属する国立博物館保存科学部では、タイ国の実情に適する出土木材の保存処理方法を検討した。その結果、高温多湿環境での安定性・設備の経済性・作業の安全性・保存処理期間の短縮化の可能性、廃液などの環境汚染のへの配慮などからトレハロース含浸法に注目して 2016 年から研究を開始した。日本側も保存科学の技術移転を含む国際協力事業としてパノム・スリン沈没船出土遺物の保存に協力することにした。

3. 保存処理に向けての検討

北欧で生まれヨーロッパを中心に使用されてきたPEGは最も普及した方法ではあるが、沈没船を保存する際には様々な問題が指摘されている。近年、問題になっているのは、鉄イオンが触媒となって木材強化のために含浸したPEGを分解して吸湿性の強い低分子の物質を生成することである。船体に使われた鉄釘の周囲に鉄錆から生成する硫酸と PEG の分解による吸湿性物質の発生によって黄白色に変色し周囲の木材も加水分解を起こして劣化する。沈没船を保存処理して博物館に展示しているWasa号（スウェーデン）やMeary Rose号（イギリス）、新安沈船（韓国）ではこの問題が深刻化している。博物館では対応策として巨大な沈没船の展示空間全体の湿度を、年間を通じて常に53%RH以下に制御するなどの対策が実施されている。高温多湿の東南アジアでは上記のような劣化の連鎖のリスクがさらに高まることが予測された。

そこで、日本で開発が進んでいるトレハロース含浸法を用いて保存処理を実施することにした。トレハロースの耐湿性によって保存処理した木材は湿度95%RHに達するまで吸湿しないので、東南アジアのような高湿度環境でも安定して保管できる可能性が高い。さらにトレハロースは鷹島海底遺跡の保存処理遺物の安定性が証明しているように、イオン化した金属元素を含む不安定な物質とトレハロース2水和物（$C_{12}H_{22}O_{11}.2H_2O$）が共存することによって、木材中に残存する塩類によって生じる金属イオン化合物の潮解性や酸化作用を抑制する効果が期待できるからである。

4. 流水による脱塩

出土木材を保存処理する前には、真水の流水に浸して塩類を取り除くことが必要である。海水に含まれる塩類の中で塩素系化合物は比較的水に溶け出しやすいが、鉄・カルシウムなどの硫酸塩や硫黄の結晶は取り除きにくい。流れの無い溜め水に浸漬するだけでは脱塩効率は低く硫化物イオンの多くが硫酸塩となって木材中に残存することが懸念される。そこで塩類および他の汚染物質を効率的に木材から除去するために流水を循環させることにした。水質改善のためのフィルターを通してプール内の水を循環させることによって脱塩の効率化を図っている。

図2　流水循環による脱塩

5. トレハロースを用いた保存処理

船体の大部分はまだ土中にあり本格的な発掘調査を待っている。いま、緊急の保存を必要とするのは脆弱な土器や陶器、船体の部材、積載された有機遺物などである。大量のロープや船体に使われた板材をはじめ様々な穀物・香木・象牙・積荷の容器として用いられたバスケットなどが、脱塩を終えた遺物から徐々にトレハロースを使って保存処理を実施している。

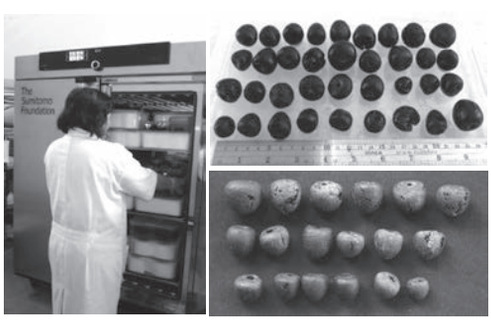


図3　betel nuts（ヤシ科）の保存処理
左：オーブンを使った加熱含浸の状況
右上：保存処理前　右下：保存処理後

参考文献：*Study of Phanom-Surin Sipwreck,2017*

X線CTの特性に起因する画像への影響からみた構造技法解析のあり方に関する検討

-庚寅銘大刀のX線CT調査を事例として-

Study of the way of structural technique analysis from the influence on the image caused by the characteristics of X-ray CT

○加藤　和歳(九州歴史資料館)・小林　啓(同左)・比佐　陽一郎(福岡市埋蔵文化財センター)
○Kazutoshi KATO・Akira KOBAYASHI(Kyushu Historical Museum)
Yoichiro Hisa(Fukuoka City Archaeology Center)

1. はじめに

文化財の調査にX線CT(以下CT)が利用され、内部構造に関する多くの情報を可視化できるようになった。特に立体視できるところに大きな威力があり、製作技法や保存状態等、多くの研究に寄与している。

しかし、CTの特性に起因する現象から、画像に影響が生じ、構造技法解析に支障を来す場合がある。。これに対して、撮像の最適条件や阻害要因の追求は、進められつつも、具体的な事例を知る機会は限られている。

そこで、福岡市元岡G-6号墳出土庚寅銘大刀のX線CT調査で生じた画像への影響を報告し、博物館等においてCTを利用した文化財の構造技法解析のあり方について検討する。

2. 調査の方法

撮像は、九州歴史資料館設置の文化財用X線CTスキャナシステム(YXRON International Y.CTPrecision S)を用いた。方法は大刀を梱包材で養生し、収納箱に納めたのち、ターンテーブルに載せ、線源と検出器とのストロークを確保し、撮像した。なお、目視にて安全確認できるよう収納箱の蓋は開け、大刀の一部が見える状態にした。撮像条件は、出力:225kV 2.0mA　/プロジェクション数:900 / フィルター:Al 1.0mm / 線源とのストローク:692mm である。

調査の結果、金象嵌による19文字を有する、銘文大刀であることがわかった。図1に銘文部分のCT画像を示す。

図1　銘文部分CT画像

3. CTの特性に起因した画像への影響

図2に「作」のCT画像、表出状態の顕微鏡画像、透過画像を示す。CT画像は象嵌線1本ごとの嵌め込んだ位置や単位が把握しやすい。一方、表出状態の文字および透過画像との比較では、文字が丸みを帯びたように見え、輪郭のシャープさが異なる。また、「作」の5画目と、6、7画目の間隔は、顕微鏡画像、透過画像では離れているが、CT画像は、かなり接したように見える。文字の形状は、透過画像の方が実物を反映しているといえる。

このようにCT画像は、文字、象嵌線の位置情報を得ることができるが、形状は実物を反映しているとは言い難い。これは、アーチファクトの影響によるものと考えられ

CT 画像　　表出状態の文字　　透過画像

図2 「作」部分 画像の比較

る。なかでも、象嵌線断面放射状を呈しているように、メタルアーチファクトが発生しており(図3)、外形の確認や物質間の境界の識別に支障を来している。この要因は、物質のX線透過率の違いによる再構成計算が適切に行われていないことが考えられている。文化財を被写体とした時のメタルアーチファクト低減方法の研究が進んでいない現状であるが、複合素材による資料において発生し得るだろう。本調査対象の庚寅銘大刀の文字は金象嵌であるため、文字の金と刀身の酸化鉄では、透過率が異なるがゆえ、発生したのだろう。一方、象嵌線や刀身の保存状態は、錆やクラックを平面、断面という立体視できるCT画像の方がより多くの情報を得られるといえる。

図3 象嵌線断面 CT 画像

4. CTを利用した構造技法調査のあり方とは

以上、銘文大刀の調査事例では、文字(象嵌線)の平面的な観察は透過X線、位置情報や保存状態の把握にはCTが有効であるといえる。このことから、立体的な観察を要する資料はX線CT、平面的な観察を要する資料は透過X線が有効であることが示される。資料の内部構造に関する情報を得る場合、資料の詳細な観察を基としつつ、対象資料の特性、調査目的に応じて、原理や装置の特性、機能をよく鑑みる必要があると考える。実践では、CT撮像と透過撮影を選択、または組み合わせる方法を考える、ということである。

5. おわりに

本発表では、CT の特性に起因する画像への影響について、事例を報告し、構造技法解析のあり方を検討した。まだ課題として、アーチファクトの低減方法の検討があり、それには撮像条件や再構成上の改善が考えられる。今後、医療、産業分野の動向を見つつ、文化財の構造や材質等の特質を踏まえ、研究に取り組んでいきたい。

【参考・引用文献】 比佐陽一郎 2018「元岡古墳群 G-6号墳出土庚寅銘大刀象嵌文字の保存科学的調査」『元岡・桑原遺跡群 30 -元岡古墳群 G-6号墳・庚寅銘大刀の考察』37-53pp 福岡市埋蔵文化財調査報告書第1355集 福岡市教育委員会 / 加藤和歳 2018「X線 CT スキャナを用いた庚寅銘大刀の内部構造解析に関する成果と保存処理への応用」」『元岡・桑原遺跡群 30 -元岡古墳群 G-6号墳・庚寅銘大刀の考察』79-88pp 福岡市埋蔵文化財調査報告書第1355集 福岡市教育委員会 / 山口功 市川勝弘 辻岡勝美 宮下宗治 共編 2011『放射線技術学シリーズ CT 撮影技術学』オーム社

元町石仏における塩類風化抑制に関する研究
―脱塩技術の定量的評価を目的とした材料内水分・塩移動モデルの比較―

Study on suppressing salt damage of the Buddha statue carved into the cliff at Motomachi - Comparison of salt and moisture transfer models in a porous material for quantitative evaluation of desalination-

○高取伸光（京都大学）、小椋大輔（京都大学）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）、
安福勝（近畿大学）、桐山京子（京都大学）、髙妻洋成（奈良文化財研究所）

○Nobumitsu Takatori(Kyoto University), Daisuke Ogura(Kyoto University), Soichiro Wakiya(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Masaru Abuku(Kindai University), Kyoko Kiriyama(Kyoto University), Yohsei Kohdzuma(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに　元町石仏のように現地で保存公開される環境下で塩類風化による劣化が懸念される文化財が多く存在する。この劣化防止のため文化財表面（以下”基材”）に材料（例えば和紙など）を貼付することにより基材内部の塩を除去する脱塩手法は非常に有益であるが、十分分かっていない事の一つとして浸透圧の影響がある。例えば脱塩を行う際、表面貼付材に塩が蓄積することで基材との間に塩濃度差が生じることで浸透圧が生じ、貼付材の塩の蓄積が促進されるという報告[1)]があるが、多孔質材料内で浸透圧が生じうるかどうか、浸透圧が脱塩に具体的にどのように寄与するかは不明である。そこで本研究では安福らの熱水分塩移動モデルを用い、上述の報告の再現には多孔質材料中において浸透圧が生じることを明らかにし、浸透圧による脱塩が行える可能性があることを示す。

2. Voronina らによる脱塩実験

Voronina ら[1)]は図 1 に示すように純水か塩溶液で満たされた試験体の一面を相対湿度 5%の空気に曝す 1 次元の蒸発実験を行った。なお、材料間の接着面は、接触をよくするため、カオリナイトが入れられている。実験では上面以外を断湿とし、表 1 に示す 3 条件の実験を行った。CaseA, B は純水による蒸発実験、CaseC は浸透圧の影響を確かめるため同一の材料を異なる塩濃度で配置した。測定には NMR を用い含水率を測定した。

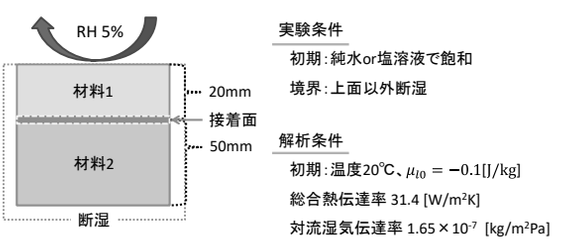


図 1 Voronina et. al.[1)]の実験概要

表 1　実験条件

	材料 1	材料 2
Case A	Limestone：純水	Sandstone：純水
Case B	Sandstone：純水	Limestone：純水
Case C	Sandstone：NaCl 5.0[molal]	Sandstone：NaCl 2.0[molal]

3. 解析概要　本解析では安福ら[2)]の提案した多孔質材料中の熱・水分・塩の同時移動モデルを用い、Voronina ら[1)]の行った実験結果の再現を行う。本モデルでは塩溶液移動が反射係数σに大きく依存する。反射係数とは溶媒―溶質―材料ごとに固有の係数[3)]であり、材料が溶液の移動に対して”半透性”（ここで”半透性”とは、材料空隙中における溶媒と溶質の透過性の違いから、溶媒と溶質で移動速度が異なることを指す）を有するかの指標となる。本解析では材料ごとに反射係数σを与え、材料が半透性を有するかどうかについて検討を行った。Case1 では材料全体に均一な反射係数を与え、Case2 では材料間の接着に用いられたカオリナイト影響を検討するため接着

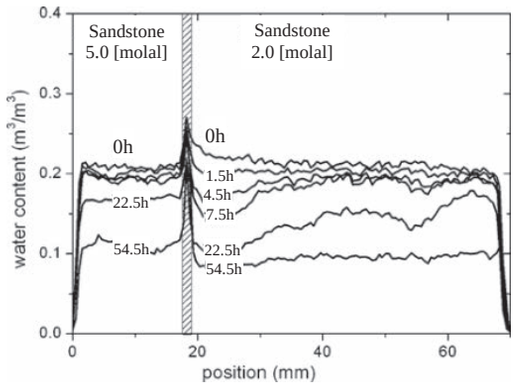


図 2 実験での含水率分布 [1)]

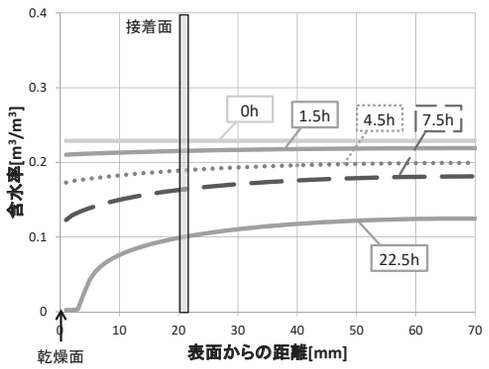


図 3 純水(Case0)での含水率分布

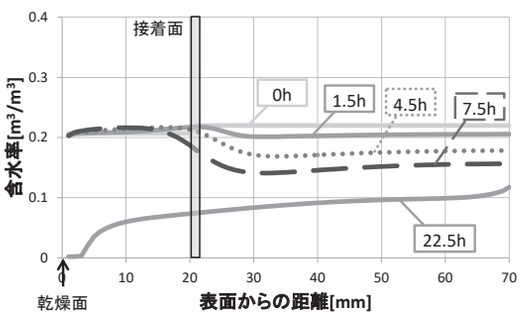


図 4 Case1 での含水率の解析結果

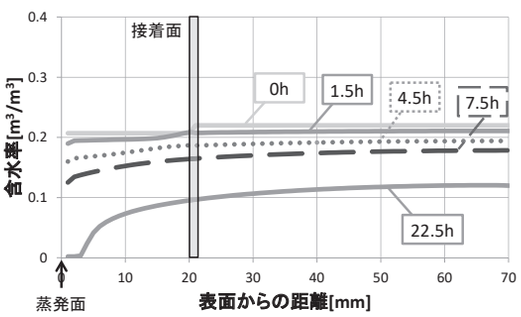


図 5 Case2 での含水率の解析結果

面のみに反射係数を与えた。なお浸透圧がかからない場合の結果と比較するため Case0 として純水における解析を行った。なお平衡含水率は論文 [1)]記載の測定値を用い、水分拡散係数は数値解析の結果が CaseA,B の純水での実験結果と一致するように同定した。

4. 解析結果と考察 図 2 に Voronina et.al.[1)]の行った Case C の実験結果を、図 3 に純水(Case0)の解析結果を示す。純水の解析結果（図 3）は乾燥面から順に含水率が減少していくのに対し、塩濃度差のある実験（図 2）では内部の含水率が先に減少し、乾燥面側の材料の方が、含水率が高くなり含水率分布が異なる。これは浸透圧による影響であると考えられる。図 4 に Case1 における含水率の解析結果を示す。Case1 は Case0 と異なり材料内部よりも表面の含水率の方が高くなり、材料内部の含水率が先に低下し、乾燥面側の材料の方が内部より含水率が高くなるという傾向を大略再現できている。次に図 5 に Case2 における含水率の解析結果を示す。Case2 では浸透圧の影響は殆ど見られず Case0 と同様の結果が得られた。浸透圧とは一般に溶液が移動する際、その間に半透性を有する膜が存在する場合にかかる力と考えられているが、Case1, 2 の結果から本実験では Sandstone の空隙が半透性を有し浸透圧を生じる可能性が示唆された。

5. 結論 本研究では安福らの提案した熱水分塩移動解析モデルを用い、Voronina ら [1)]による浸透圧による塩の蓄積実験の再現を行った。実験では塩濃度の小さい材料内部から先に含水率が低下し、これは浸透圧の影響と考えられた。数値解析では反射係数を材料全体に均一に与えることで含水率の実験結果を大略再現でき、多孔質材料中において浸透圧が生じる可能性を示した。

参考文献 1) V. Voronina et.al.：The influence of osmotic pressure on poulticing treatments for cultural heritage objects, Materials and Structures, vol.46, pp221-231, 2013, 2) 安福勝ら：塩の影響を考慮した布における熱・水分同時移動 第 2 報―熱・水分・塩の同時移動モデルと浸透・蒸発過程の解析, 空気調和・衛生工学会論文集, No.131,pp1-9,2008, 3) O. Kedem et. al.: Thermodynamic analysis of the permeability of biological membranes to non-electrolytes, Biochimica et biophysica acta, Vol.27, pp229-246, 1958

有機質遺物の再修理と 3 次元データを用いた安定台作製

―会津大塚山古墳出土靱を事例として―

Second conservation of organic relics and Production of support base using three dimensional digital data
― Case study of Yugi excavated from Aizu Otsukayama tomb ―

○塚本敏夫、山田哲也、岡田一郎（公益財団法人　元興寺文化財研究所）
五十嵐純一（会津若松市教育委員会）、高橋満（福島県立博物館）、横須賀倫達（文化庁）
○Tsukamoto Toshio、Yamada Tetsuya、Okada Ichiro（Gangoji Institute for Research of Cultural Property）
Igarashi Junichi（Aizuwakamatsu City Board of Education）
Takahashi Isamu（Fukushima Prefectural Museum）
Yokosuka Tomomichi（Agency for Cultural Affairs）

1．はじめに

会津大塚山古墳南館出土の有機質製靱は発掘時に漆膜が良好に残存していた。そのため、取り上げに際して、福島県工業試験場の協力を得てポリエステル樹脂で出土面を被覆して剥ぎ取りを行った。

1977 年に一括して重要文化財に指定された際に、最初の修理が行われ、出土時裏面を見せる形の見取り加工での安定台と箱が作られた。その後、経年劣化で漆膜の劣化が進み、今回の再修理に際して、靱は平成 27～29 年度の3ヵ年の工程で保存修理を行った。

今回、保存修理に伴い、有機質製靱の表面（出土時裏面）をアクリル樹脂（パラロイド B72 アセトン溶液/Rohm&Haas 社）で剥落留め、および強化を行なった。しかし、遺物に合わない安定台であったため、強化したポリエステル樹脂が変形して漆膜本体が剥落したことから、遺物にフィットする展示台を兼ねた安定台の製作が求められた。

そこで、再修理に際して遺物の安全性を考慮して、非接触の 3 次元計測により得られた 3D デジタルデータを用いて遺物にフィットする展示台を兼ねた安定台を製作したので報告する。

2．靱の再修理

（1）表面（出土時裏面）の再修理

漆膜の剥離部分の隙間に応じて、樹脂濃度を調整したアクリル樹脂（パラロイド B72・4%・7%・13%・26%アセトン溶液）を筆で流し込んだり、注射器で注入してから竹篦などで押させながら漆膜の剥落止めを行なった。一部の剥離部分については、漆膜の裏面側に典具帖紙をアクリル樹脂（パラロイド B72・13%アセトン溶液）で裏打ちを行なってから剥落止めを行なった。表面漆膜端部の浮きかけている部分には、アクリル樹脂（パラロイド B72・13%及び 26%アセトン溶液）を差して漆膜端部の保護強化を図った。

また、クリーニング時に取り上げた漆膜片について、本来の位置が確認できたものについては、元の位置にアクリル樹脂（パラロイド B72・13%アセトン溶液）で貼り戻した。

（2）裏面（出土時表面）の再修理

有機質製品（靱）を反転させるために、表面の漆膜部分に保護紙（キムワイプ/日本製紙クリシア株式会社）を兎膠（PG509　GLUE/ホルベイン工業株式会社）で貼り付けて養生をおこなった後に、薄葉紙や綿布団、反転用の板を用いて、慎重に靱の反転作業をおこなった。

会津若松市・文化庁美術学芸課・元興寺文化財研究所による検討会を実施し、考古学的・科学的見地から修理方針の検討をおこなった。その結果、裏面の発掘時のポリエステル樹脂に覆われていない漆膜部分を強化するためにアクリル樹脂（パラロイド B72・13%アセトン溶液）の塗布と、前回の修理時の補填部分の彩色を除去して、彩色し直した(写真 2)。

３．遺物の 3 次元形状計測と保管台・保管箱の作製

（１） ３次元計測

保管台作製のため、靱の裏面（出土時表面）の 3 次元形状計測を行った。計測には非接触のレーザスキャン方式であるコニカミノルタ製 RANGE7 を使用した。 計測精度は最小分解能で約 0.08 ㎜と高精細である。

靱の裏面（出土時表面）はポリエステル樹脂に覆われているため、計測に際して、保護紙（キムワイプ；日本製紙クリシア株式会社）を水で貼り付けて養生をおこなった後に、3次元計測を行った(図 1)。

3 次元データ処理ソフトウェア RANGE VIEWER（コニカミノルタ製）により RGV 形式で取得して、データ編集用のソフト PolyWorks Modeler（カナダ InnovMetric 社製）でポリゴンモデルに統合した。

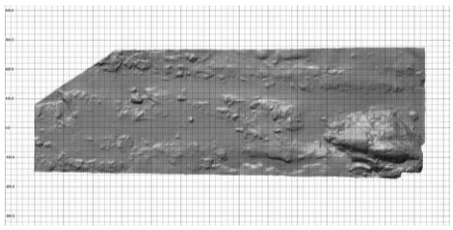


図１ 靱の３D データ（裏面）

写真１ 安定台の調整加工

（２）NC 切削加工

RANGE7 で得た 3 次元データをデータ編集用のソフト PolyWorks Modeler（カナダ InnovMetric 社製）でモデリングしてSTLデータに変換した。STLデータをCAD/CAM用のモデリングソフトMastercam（Cnc 社製）で NC データに変換して、NC 工作機 VM-82（EMC 社製）で桐製支持台を切削した。支持台は桟状に計 5 箇所のブロックとして各々データを基に切削加工した。

（３）保管台・保管箱の作製

靱の裏面の支持位置の形状にあわせて切削加工した５台の桐材製支持台をそれぞれの支持位置に配して、その周囲を桐板で囲みこんだ落とし込み式の保管台（1,380x488x155㎜、12.05kg）を作製し、あわせて、この保管台ごと収納可能な会津産の桐材を用いた保管箱（1,505x660x205㎜、9.64kg）を作製した（写真 3）。

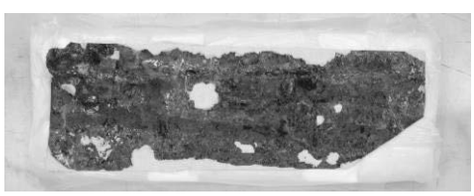


写真２ 靱裏面の状況（修理後）

写真３ 完成した桐製安定台

４． おわりに

今回、従来の見取り切削加工ではできない複雑で脆弱な有機質製遺物の展示安定台を最新の 3 次元デジタル技術を用いて製作した事例を紹介した。今まで展示できなかった遺物の展示活用が可能となったことの意義は大きい。保存修理は資料的価値を失わないように延命処理を行うことから、更に一歩進んだ、資料の公開・活用を行えるように、より良い展示方法も視野に入れて、伝統的な修復技術をベースに新しい修復技術を開発・改良してゆくべきであろう。

参考文献

会津若松史出版委員会 1975『会津大塚山古墳』株式会社学生社

塚本敏夫他 2004「3 次元デジタルデータを用いた遺物安定台の作製」『文化財保存修復学会第 26 回大会発表要旨集』pp120-121

塚本敏夫他 2012「3D データを用いた桐展示台の製作」『日本文化財科学会第 29 回大会要旨集』 pp278-279

塚本敏夫他 2017「3 次元デジタルデータを用いた脆弱な有機質遺物の安定台作製」『日本文化財科学会第 34 回大会要旨集』 pp302-303

遺跡出土縄の保存処理

Preservation processing of the rope unearthed from remains

○金原裕美子（一般社団法人文化財科学研究センター）、田中友貴恵（同左）
○Yumiko KANEHARA, Yukie TANAKA(Cultural assets scientific research center)

はじめに

植物質の出土遺物の中で、編成品、縄製品は遺物がある土壌ごと保存することが多い。土壌ごとの保存処理を行うことの弊害として、土壌の持つ湿気から保存処理後の劣化の促進につながり、また湿気のためにカビが生えやすく、土壌が割れてしまうことで遺物もともに割れてしまう点がある。また土壌自身からのにおいも保存処理後に起こる弊害である。

これらの弊害に対して土壌を取り除くことが理想であるが、それが難しい遺物がほとんどである。そのため、これらの弊害をできる限り減らすためにまず土壌を削って減らし、土壌を固定した縄製品の保存処理例をここで発表したい。

１．試料

試料は江戸時代より出土した縄製品であり、土壌と癒合しているものではないが、土壌にまだ埋没している部分がある。３本の紐から縄は結われており、その形状を保っている。また縄以外に炭化材が土壌中に含まれている。縄表面の土壌を筆などで拭おうとすると縄表面が剥離してしまう。土壌には中央に大きな亀裂が確認され、また底部は丸みを帯びるため支えなくては亀裂が入り支えなければ形状が保たれない。

２．方法

１）土壌の固定

土壌の側面を余分な部分を削り側面をビニールテープなどで固定した後、底部を平らに削りながら園芸用の PP 製の網板を差し込む。その後土壌の固定を行う。これには簡易に固定する方法として石膏包帯を採用した。石膏包帯は密封した固定にならないため、水分を透過し、また蒸発させることも容易になる。また、余分な部分は安価なホットカッターによって簡単に切断することが可能である。石膏包帯を側面および底面の網板も含めて巻き、固定を行う。

２）含浸

含浸は浸漬すると縄がほどけてしまう可能性があるため、縄の含浸には 30%トレハロース水溶液の噴霧および温風を与えながら濃度の上昇をうながすことによって行った。土壌には 40%および 50%のトレハロース水溶液を塗布し、風乾を行いながら様子を確認し最後に 70%トレハロース水溶液を塗布した。

３）風乾

風乾は扇風機の風を当てながら１ヵ月程度様子を確認しながら行い、場合によっては温度管理が行われる人が作業する場所で静置した。

４）表面処理

縄の表面処理は砂糖が白く浮き出た部分のみに半田ごてを利用して取り除き、土壌の表面処理には半田ごてとホットエアを利用しながら、表面の砂糖が固まるように行う。この時に土壌中に空隙がある場合は空隙にパテ状のエポキシを充填する。

５）風乾

表面処理でいくらか水分を与えているので、１週間程度様子を確認しながら行う。

６）仕上げ

外観が石膏包帯では悪いため、側面の石膏包帯をエポキシ樹脂で埋めるようにし彩色を行う。

３．考察

土壌の固定がしっかりしているため、手に持つことが容易であり運搬などには適している。また縄の状態は良好であるが、保存処理後に土壌から水分がまだなお蒸発している可能性があるため、結晶の表出が起こると考えられる。そのため底部からも水分が蒸発できるように底部は網板と石膏包帯である。しかし蒸発が行われる限り水蒸気が滞留しないように保管中に遺物底部に空間を作らなくてはならないため、地震などの災害に対しては不安定のため、保管に対してどのように固定するのが良いか思案中である。

模擬古墳から検討した埋蔵環境下における遺物保存に関する研究（その 5）4 年間の測定結果による石室内環境の把握と数値解析による石室内温湿度の再現

Study on preservation of buried cultural properties in the stone chamber by means of the simulated tumulus Part5: Understanding of the environments in the stone chamber measured for 4 years and reproduction of its hygrothermal environment by numerical simulation

○謝華栄（京都大学）、小椋大輔（同左）、高取伸光（同左）、鉾井修一（同左）、

脇谷草一郎（奈良文化財研究所）、柳田明進（同左）、髙妻洋成（同左）

○Huarong XIE, Daisuke OGURA, Nobumitsu TAKATORI, Shuichi HOKOI (Kyoto University),

Soichiro WAKIYA, Akinobu YANAGIDA, Yousei KOUZUMA

(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1．序論　日本には、多くの古墳が存在し、石室内部には遺物が埋蔵された状態の場合も多い。遺物の劣化は温度、水分、空気質など関係があることは分かっているが、これらの環境因子が遺物の劣化に及ぼす具体的な影響については不明な点が多い。また、周辺環境と石室内部の環境との関係も明らかになっていない。その為、本研究では石室内の環境の変動とそれが遺物の劣化へ与える影響を把握することにより、埋蔵環境下における遺物の適切な保存対策を提案することを目的としている。既報 [1)]では、模擬古墳と称して実際の古墳を模した石室を丘陵地の林内に埋設し、林内気象、地盤内部、石室の環境計測を行い、遺物として金属製品を想定し、石室内部で金属の腐食実験結果を示した。本報では模擬古墳設置から 4 年の測定結果を元に代表的な年を取り上げ、石室内温湿度、酸素、二酸化炭素など環境の把握を行う。また石室内環境予測の第一段階として熱水分同時移動方程式を用いた数値解析による石室温湿度再現を検討する。

2．模擬古墳と計測の概要　模擬古墳は京都市京都大学桂キャンパス内の丘陵地の林中に位置する（図 1、2）。ここでは林内気象、地盤、石室内の環境の計測を 2014 年 1 月末から行っている。測定項目の詳細は既報 [1)]に記す通りである。

図 1 模擬古墳

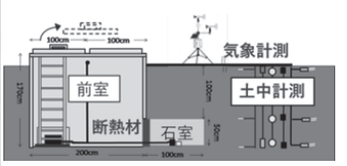


図 2　模擬古墳断面図

3．模擬古墳の環境把握

3.1．林内気象（図省略）林内温度の年平均は外気より約 1℃低く、年較差は約 3℃小さい。相対湿度の年平均は 77%であり、外気より約 3%高い。林内への日射の透過量は冬季に段々と増加し、春先から減少する。これは樹木の葉の密度が冬季に少なくなる影響と考えられる。降雨量は、冬の方が雨を透過しやすく、年平均の降雨の透過率は約 0.5 である。

3.2．石室内の温湿度　石室内温度の挙動は近い深度の地盤と大略一致している(図 3)。年較差は約 12℃、年平均温度は約 15℃である。4 月から 9 月にかけて天井面付近の空気温度は床面付近より高く、一方 11 月から 3 月にかけて床面付近の空気温度は天井面付近より高くなった。石室内の相対湿度は一年中ほぼ飽和状態を維持している。

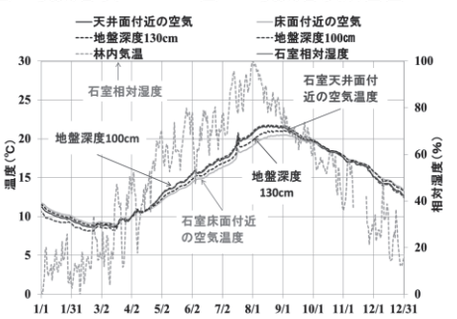


図 3　石室の実測温湿度（2015）

3.3．水分化学ポテンシャル（図省略）地盤と石室床面の水分化学ポテンシャルは年間を通じて概ね飽和近傍の値を推移する。降雨量が少ない日が続くと値は徐々に下がり、降雨時には値が急に上がる。一方、地盤深度が深くなるほど降雨量の影響は小さくなる。石室床面の水分化学ポテンシャルは周辺地盤より高く安定している。

3.4. 結露性状　本計測で用いている濡れセンサーは、出力値が 460 より高い時、センサーが濡れていると判定される。天井面の濡れセンサーの値の変動を図 4 に示す。4 月から 9 月にかけて天井面の濡れセンサーの値は低く、10 月から 3 月にかけては高くなる。これは冬季に天井面の温度が床面より低くなり、結露が生じやすくなっているためと考えられる。床面に設置したセンサーは天井面から落ちる結露水が付着しないよう傘付きのものと天井面での結露水の滴下を測定する為傾斜させたものの二つのセンサーがある。傾斜したセンサー（実線）は年間を通じて大きな出力があるが、一方で傘付きセンサーの値（点線）は通年を通して低い（図 5）。その為、傾斜したセンサーの値はそれ自体への結露ではなく、天井面からの落下水が原因と考えられる。冬期は天井面への結露水が滴下することによると言えるが、天井面に結露が少ない時期でも、傾斜したセンサーが急激に濡れることがある（図 5 の○囲み）。その時期に雨水が石室の天井面に浸透した可能性が考えられる。

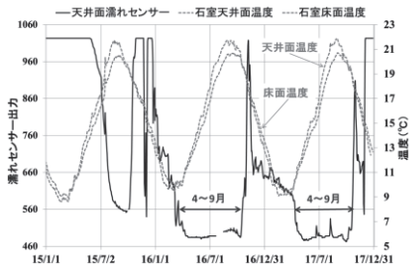


図 4　天井面における濡れセンサーの出力

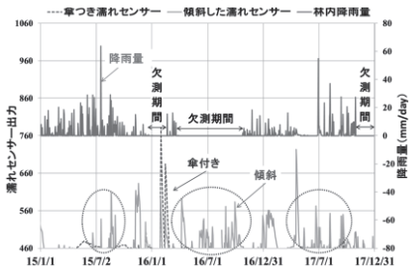


図 5　床面における濡れセンサーの出力

3.5. 酸素(O_2)、二酸化炭素(CO_2)濃度　石室内の O_2 濃度は 12～20%の間で変動する。一方で CO_2 濃度は O_2 濃度と逆相関の挙動であり、2～10%の間で変化している（図 6）。これは周辺土中及び石室内の微生物及び植物根の呼吸作用による O_2 消費と CO_2 生成が原因と考えられる。O_2 濃度は温度と逆の相関を示している。これは温度が高いほど微生物の O_2 の消費量が多く、結果として CO_2 濃度が上がるためと考えられる [2]。また、夏季に O_2 濃度が上昇することも見られるが、これは降雨と関係があると考えられる。雨がない日が続くと、地盤含水率が低くなる（図 7）。低い含水率が微生物の呼吸作用を抑制する可能性があると考えられる。一方で降雨時には、土壌の含水率が増加し、O_2 濃度が下がる（図 7）。これは含水率の増加が微生物の呼吸を促進すること [3) 4)]、また、含水率の上昇に伴い土壌の空隙内での O_2 濃度が低下することが要因の一つとなっている可能性が考えられる。

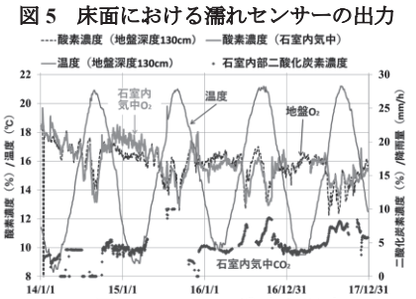


図 6　O_2、CO_2 濃度と温度

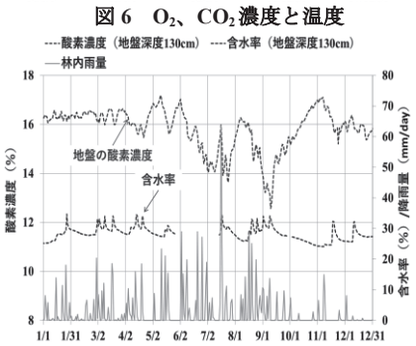


図 7　O_2 濃度、含水率と降雨量

4. 模擬古墳内部の温湿度環境の再現

解析は熱水分同時移動方程式を用い、石室空間を 1 質点、地盤を 2 次元としモデル化を行った。解析期間は 2014/10/1～2015/10/1 の一年間である。下面境界は温度 15℃、水分化学ポテンシャル-5J/kg で一定とし、両側面は断熱断湿とした。模擬古墳の石室温度の解析値は、その位相は実測値と一致しているがやや低く、特に夏季は約 2℃低い。相対湿度は、夏季に解析値が若干低い（図 8）。これは 3 次元を 2 次元でモデル化している影響に加え、地表面の枯葉層が熱・湿気伝達抵抗を変化させ、地表面での水分の蒸発や雨水の浸透に影響を及ぼすこと、また枯葉層における微生物の活動による発生熱などが原因と考えられる。また、深度ごとの土壌の物性の違いが水分の変動に影響を与えると考えられる。これらの影響は現在検討中である。

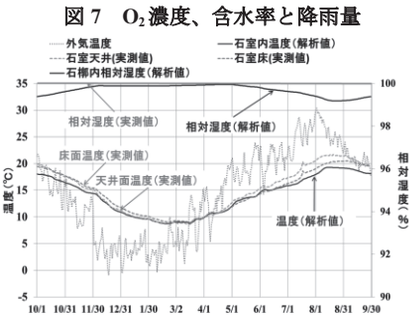


図 8　石室内温湿度の解析値

【参考文献】1）安井洋之、小椋大輔、鉾井修一、脇谷草一郎、柳田明進（2014）：古墳の周辺および内部環境が遺物の劣化に与える影響に関する研究(その１)模擬古墳を用いた土中空間の環境計測とその性状の把握、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.297-298.　2) David Risk et al., 2002. Carbon dioxide in soil profiles: Production and temperature dependence. Geophysical research letters, 29, 1087-1090.　3) M.Maier et al., 2011. Soil CO_2 efflux vs. soil respiration: implication for flux models. Agricultural and Forest Meteorology, 151, 1723-1730.　4) R.Jassal., Andy Black & Mike Novak. et al., 2005. Relationship between soil CO2 concentrations and forest-floor CO2 effluxes. Agricultural and Forest Meteorology, 130, 176-192.

歴史的煉瓦造建築物の塩類風化に関する研究
－室内環境調整がレンガの劣化に与える影響の検討－

Study on salt weathering of historic brick building
-Indoor environment control on the deterioration of brick -

西村奏香（京都大学）、○小椋大輔（同左）、水谷悦子（同左）
Kanaka NISHIMURA, ○Daisuke OGURA, Etsuko MIZUTANI (Kyoto University)

1. 研究の背景と目的　日本において明治に始まった煉瓦造建築の歴史は非常に短く、災害や建て替えにより多くが壊されており、現存するものはかなり少なくなっている。近年、その建物自体の歴史的価値が注目され、商業・観光への再利用がなされているものも多くあるが、中には経年や環境の変化によって劣化が進み、外観や歴史的価値が損なわれつつあるものも見られる。特に塩の析出による煉瓦の物理的破壊は内外壁の剝落を引き起こし、早急な対策が必要である。しかし現状として、環境条件と塩類風化の関係を明らかにする研究は少なく[1)]、前者が後者に与える影響を解明できれば、煉瓦造建物の利用と保全の両立を可能にする策の提案につながると考えられる。そこで本研究では、建物として利用し環境調整を行っている歴史的煉瓦建造物を対象に、環境条件と塩類風化の関係を明らかにすることを目的として、第一段階として現地調査から建物内環境と塩類風化の進行状況を調査し、熱水分移動解析を行い、建物の環境条件が内壁に与える影響を検討し、塩類風化の進行状況との関係について考察を行う。

2. 研究対象について　本研究で対象とする建物は明治時代に建設された最大 5 階建の煉瓦造建築で、耐震補強と 1 階の内装整備の工事を経て、現在 1 階部分がカフェや展示室、イベントスペースとして公開利用されている。非公開となっている 2 階以上のスペースにおいて、内壁の煉瓦材や表面の仕上げ材が塩の析出によって劣化し、またそれに伴い壁在が剥落している箇所が多く見られている。それに対し、公開部分であり空調が行われている 1 階部分ではそれほど劣化が進行していないという現状から、建物の室内環境が壁体の状態に影響を与えている可能性を考え、ここではまず 2 階における現状の劣化現象について検討を行う。

3. 実地調査概要　3-1, 温湿度測定　本研究では、まず対象建物内部の置かれている温湿度環境の把握を目的として、公開されており空調が行われている 1 階及び、非公開であり空調の行われていない 2 階のそれぞれ数カ所に温湿度ロガーを設置し、2016 年 9 月から温湿度を測定している。以下では 2016 年 12 月から 1 年間の測定結果について検討を行う。ここでは解析にも使用している、1 階展示室通路・2 階南東室・2 階中央室、及び外気の 4 点の実測値を示す。温度（図 1）は、公開部で空調している 1 階の展示室通路は年中 20～25℃の範囲で安定し、一方、2 階の各部屋は外気温に近い挙動を示しており、特に南に面する南東室では夏季の温度上昇が著しく、日射の影響と考えられる。相対湿度（図 2）は、空調している 1 階部でも夏季にはかなり高湿となり、2 階部分は年間を通じて高湿で、年間平均湿度は南東室 69.4%、中央室 76.4%となっている。特に中央室において、4 月～5 月に 80%以上、7～8 月には 90%以上の高い値になっている。

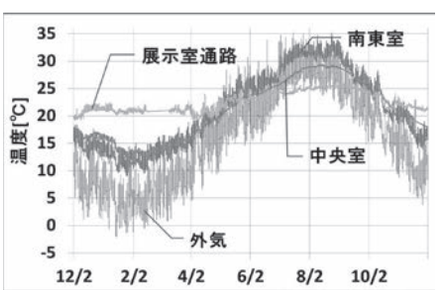


図 1 温度の年間変動

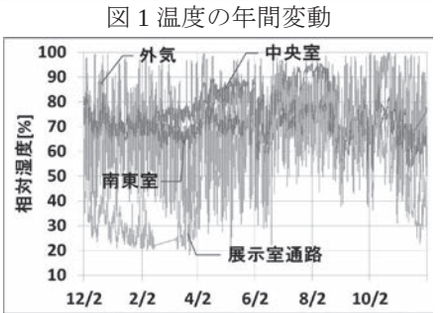


図 2 相対湿度の年間変動

3-2, 南東室内壁の観察　南東室（南側）と中央室（北側）を隔てる内壁について、南東室に定点カメラを設置し約 1 年を通じた劣化状況の観察を行った。観察箇所の穴の内部及び周辺において塩の析出が著しく、壁材の剥落も観察されている。採取した塩の X 線回折による分析からこの析出塩は硫酸ナトリウム(Na_2SO_4)である事を確認した。

2016 年 12 月 2 日から 2017 年 12 月 18 日にかけての撮影データ（一部欠測期間あり）の分析から、この内壁において 12 月中旬頃より表面の塩の析出が拡大し始め、1 月から 2 月にかけて最もその析出が盛んになり、そして 2 月後半から表面の塩が減少することがわかった。

4. 壁体モデルにおける熱水分移動解析　4-1. 解析概要・条件

塩の析出メカニズムの考察と室内環境の与える影響の検討を行うため、南東室内壁を 2 次元モデル

化し、実測調査で得られた温湿度と劣化条件をもとに熱水分移動解析を行う。基礎方程式は、温度、水分化学ポテンシャルを用いる熱水分同時移動方程式である[2)]。

壁体材料は煉瓦のみとし、壁体は厚さ 0.92m、高さ 10.54m、基礎深さ 3.3m とし、地下 10m の土壌までを解析対象領域とする。スラブとの接合部及び地盤の水平方向の境界については断熱・断湿条件を与え、地盤底部には年平均外気温より 16.45℃を一定条件とし、それ以外の境界条件には室内外の温湿度測定値を与える。また、地下水位（GL-1.36m）以下の範囲には水分化学ポテンシャル μ =-0.1(J/kg) を与える。煉瓦の熱水分物性値は、比熱 840(J/kgK)、密度 1600(kg/m^3)、水分伝導率は文献値[3)]を用いる。土壌は、比熱 835(J/kgK)、密度 1253(kg/m^3)、水分伝導率は文献値[4)]を用いる。

4-2. 解析結果：煉瓦の熱水分物性の検討　煉瓦の熱水分物性値は、文献値を元に 3 種類の値（モデル①：透水性の低い煉瓦[3)]、モデル②：①の透水係数を 10 倍[3)]、モデル③：透水性の高い煉瓦目地材料[3)]）を用い、塩析出が確認された壁体上部の塩移動に不可欠となる液水の存在の有無について物性値の影響を検討した。

3 か月毎の温度・相対湿度・含水率の壁体断面分布を比較検討した結果、モデル①（飽和含水率：21.6%）については地下水の吸い上げの影響が 2 階部分ではほとんど生じず、隣接する室空間からの水分の供給による相対湿度の変動は見られたものの、塩析出に関係する液水移動は生じない低い含水率分布であった。モデル③については、地下水の吸い上げの影響と考えられる含水率の上昇が 2 階部分でも見られた。また、モデル①と③の材料と現地で採取したレンガ試験体について簡易的な吸水実験を行った結果、モデル①よりも③の方が現地の材料に近い吸水挙動を示すことが確認できた。これらのことから、対象建物の内壁中に存在する液水の由来に関しては地下水の吸い上げが支配的であると考え、以下の解析ではモデル③の物性値を用いて考察を行う。

4-3. 解析結果：壁面の蒸発量及び温度変化　壁表面での蒸発によって壁体中の液水に溶解していた塩が析出するという過程について検討を行うにあたり、ここでは、表面から室空間への蒸気流量(kg/m^{2}s)を蒸発量(kg/m^{2}s)と定義する。代表高さ（2FL+3m）における 1 時間ごとの蒸発量の月積算値（図 3）を見ると、8～10 月に蒸発量は大きいが、12 月は壁で吸湿し 1、2 月は蒸発量が少ない。またひと月毎の壁表面の含水率は、9/1～11/1 と低下が続き（図省略）、蒸発量が増加することで表面の含水率が小さくなることと対応している。蒸発量が増加する原因は、7 月に室空間からの吸湿により壁表面近傍の含水率が上昇した後、室温が上昇し蒸発が促進された為と考えられる。また年積算蒸発量は 0.56kg/m^2 と正の値であり塩が表面で蓄積しやすくなっている。以上より、壁表面からの蒸発で塩が蓄積する傾向にあるが、蒸発量は 8 月頃に最も大きく、冬季に小さくなり、塩の析出時期と蒸発量の多い時期は一致しない。

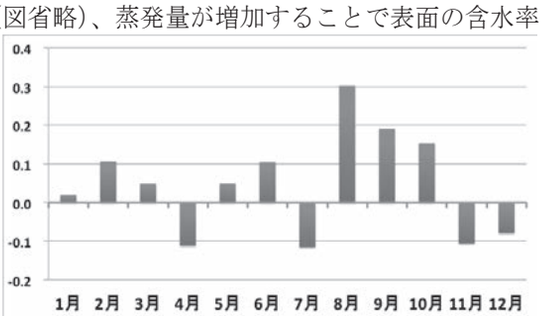


図 3 **蒸発量の月積算値**（kg/m^2）

次に内壁表面温度の計算値は、8, 9 月に約 30℃まで上昇し、2 月に 10℃近くまで低下するという結果が得られた。析出塩である Na_2SO_4 は約 32℃以下において温度低下に伴い溶解度が大きく低下する性質があり、この温度低下が塩析出の要因となっていると考えられる。

5. 結論　塩の析出及び壁の劣化が確認されている対象建物の 2 階の南東室内壁について、定点カメラを用いた観察から、1、2 月にかけて最も塩の析出が進行し、2 月後半頃から表面の塩が減少していること、また析出塩が Na_2SO_4 であることが明らかとなった。また、温湿度の実測値を用いた壁体モデルの熱水分解析から、地下水の吸い上げによって内壁内部に液水が存在し塩が移動し得ることや、壁表面からの蒸発量が最も大きくなるのは 8 月頃であること、現状として塩の析出が進行している冬季については比較的蒸発量が少ないことが分かった。壁の表面温度は 9 月に約 30℃まで上昇、2 月に 10℃近くまで低下することがわかった。

以上から、地下水による壁体内部の含水率が上昇し、表面での蒸発による塩の濃縮と温度低下に伴う溶解度低下が塩析出を生じさせているというプロセスの可能性が高いと考えられる。

今後は、煉瓦の物性値の測定に加え、1 階で塩析出が小さい現状の理由について検討を行う。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究(S)(課題番号:16H06363 研究代表者：青木孝義)の助成を受けたものである。記して謝意を表す。

参考文献：1)中川陽大：煉瓦の塩類風化メカニズムの解明に資する基礎研究、三重大学工学研究科修士論文、2008 2) 松本衛ら：新建築学大系 10　環境物理, 彰国社刊, 1984 3) 水谷悦子：雨水の浸透がハギア・ソフィア大聖堂の壁画の劣化に与える影響と対策、京都大学大学院工学研究科修士論文、2016 4) 李永輝：発掘時における古墳壁画の保存環境に関する研究、京都大学博士論文、2010

多層漆塗膜を対象とした紫外線劣化の深さ方向分析

Depth profiling of deterioration due to ultraviolet concerning multi-layer lacquer film

○五十嵐佑磨（明治大学大学院理工学研究科）、本多貴之（明治大学理工学部）
○Yuma IGARASHI (Graduate school of Science and Technology, Meiji University),
Takayuki HONDA (School of Science and Technology, Meiji University)

1. 緒言

漆は古くから塗料や接着剤として利用されてきた天然高分子材料である。漆の塗膜は美しい色彩と高い物性をあわせもつことから、現在も工芸品や文化財建造物などに使用されている。しかし、漆の塗膜は光に長時間曝されると割れや剥がれなどの劣化を生じることが報告されている。劣化した文化財建造物や工芸品に対して、様々な保存修復手法による保全が行われてきた。漆塗装に対しては、劣化を起こした部分と同種もしくは代替材料を用いた再塗装が修復として行われる。再塗装においては、表面の汚れを取り除いて塗装を行う方法、下地以外を取り除いて塗装を行う方法、下地ごと取り除いて塗装を行う方法など様々である。そのため、修復した後、用いた手法によって劣化の進行度合いに差が生じてしまうことが現状として挙げられる。よって、これらの再塗装した漆塗膜の劣化度合を判別し、再度修復を行う時期を検討することが重要である。

そこで、本実験では修復したことを想定した試料 (多層漆膜) に対して促進劣化を行い、層ごとの劣化を定量化する指標の確立を目的としている。今回の実験では、劣化後の試料に対して、クロスセクション分析や色差光沢度測定、ATR-FT/IR、画像編集ソフトによる色相変化解析を行った。

2.実験

中国城口産生漆を、バーコーターを用いて膜厚 41.1 μm でガラス板に成膜し、温度 25°C、湿度 75% に設定した恒温恒湿機に 2 日間静置して硬化させた。製膜した漆膜上に再度同じ条件で製膜を行い、硬化させた。成膜作業を合計 3 回繰り返すことで 3 層の漆膜をガラス板上に形成させた。製膜した漆膜を 1 か月静置した後、高圧 UV ランプ (出力: 800 W, 放射照度: 1000 W/m^2, 照射波長: 365 nm を主波長とする 254-436 nm) を用いて 0 時間から 96 時間の紫外線照射 (0, 2, 4, 8, 24, 48, 72, 96 h) を行い、促進劣化を行った。劣化させた試料に対して、膜表面の色差光沢度測定を行った。また、促進劣化させた試料をエポキシ樹脂に包埋、スライドガラスに接着、研磨することで試料断面を作製し、同断面に対してクロスセクション分析、ATR-FT/IR を行った。また、クロスセクション分析により得られた断面像を用いて、画像編集ソフト (ソニー製デジタル一眼カメラ用ソフトウェア Imaging Edge (Viewer / Edit)) によって R, G, B, Y を対象とした色相変化解析を行った。

3.結果

3.1 色差光沢度測定による表面の色相変化測定

色差光沢度測定の結果、紫外線照射時間が増加するとともに明るさを示す L^* が増加し、光沢度を示す G 値が減少する傾向が確認された **(Table)**。また、黄色青色を示す b^* は紫外線照射時間の増加とともに、青色方向に増加していることが確認された。しかし、赤色緑色を示す a^* に紫外線照射時間との相関は得られなかった。

Table Changes in coloration at surface

Irradiation time	L^*	a^*	b^*	G
0 h	3.56	0.01	-0.10	33.1
2 h	4.67	-0.02	-0.59	27.7
4 h	6.06	0.14	-0.88	21.0
8 h	11.0	0.35	-0.45	14.3
24 h	11.9	0.10	-1.76	8.71
48 h	15.6	-0.41	-1.97	5.98
72 h	20.9	0.14	-2.38	1.47
96 h	23.4	-0.44	-2.95	1.01

L^* : Lightness, a^* : +red/-green, b^* : +yellow/-blue, G : Gloss

3.2 クロスセクション分析による断面像観察

クロスセクション分析の結果、3 回の成膜により 3 層の多層膜が形成していることが確認された。また、紫外線照射時間が増加するとともに、層ごとに表面側の明度が上昇することが確認された。これは、紫外線照射によって、層ごとに脂質や酵素、糖タンパク類などの漆膜中の成分が相分離していることに起因しているものだと推測された。

3.3 ATR-FT/IR による各層の分析

ATR-FT/IR の結果、全ての試料において、紫外線照射時間の増加とともに、3400 cm^{-1} 付近の O-H 基由来のピーク強度の増加が確認された。

3.4 画像解析ソフトによる色相変化分析

クロスセクション分析で得られた断面像に対して、Imaging Edge を用いて色相変化解析を行った結果を **Figure 1, 2** に示す。横軸の番号は膜表面から数えた測定箇所の深さを示している **(Figure 3)**。紫外線照射時間の増加に伴い、各層において上部から下部に向かって赤色および緑色の成分値が減少していく傾向があることが確認された。青色、黄色の成分では一定の傾向は得られなかった。

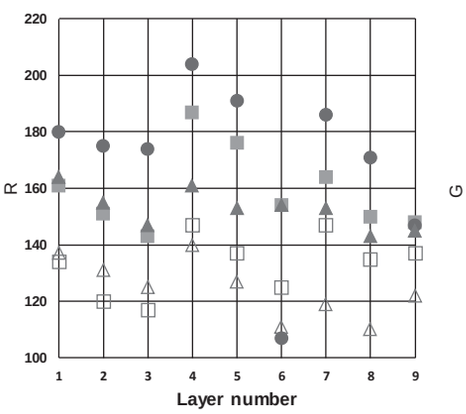


Figure 1 Changes in coloration of red (R)

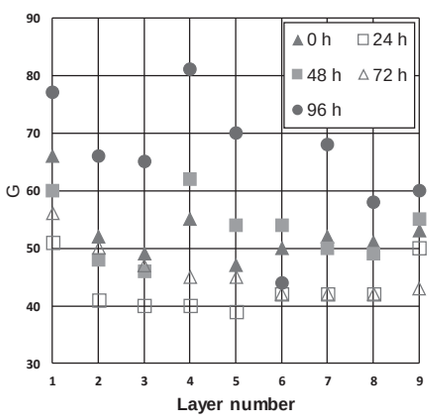


Figure 2 Changes in coloration of green (G)

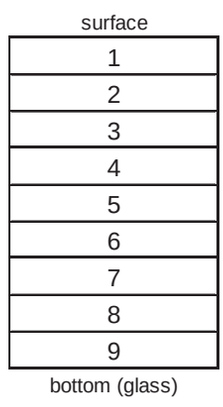


Figure 3 Layer number

4.結言

多層漆膜に対して促進劣化を行い、種々の科学分析を行った。色差光沢度測定、ATR-FT/IR では紫外線照射時間に対して何らかの傾向は得られているが、劣化度合を定量化できるようなパラメータの特定には至らなかった。しかし、クロスセクション分析と色相変化解析の結果から、紫外線照射時間の増加に伴って各層の相分離が進行していることが推測されたことから、多層漆膜では相分離の程度で劣化の大まかな予測はできると推測された。

染料と顔料の組み合わせによる緑色漆の作製

Production of green lacquer by combination of dye and pigment

◯増田隆之介（明治大学大学院）、本多貴之（明治大学）、宮腰哲雄（左同）
◯Ryunosuke MASUDA (Meiji University graduate school), Takayuki HONDA, Tetsuo MIYAKOSHI (Meiji University)

1. 緒言

緑色系の塗りを持つ漆塗椀は、18 世紀代以降の江戸中・後期を中心として多く出土している[1)]。緑色系漆は、漆製法書などの文献史料やクロスセクション分析等の目視観察から、主に植物染料である藍蝋（青色）と石黄（黄色）を混ぜて緑色の発色を得る技術により作成されたことがわかっている[2)]。しかし、緑色系漆塗椀の研究は分析事例が少なく、製作地や製造方法が特定された報告が少ないのが現状である。また、出土資料は劣化や変形によって形状など正しく把握することが困難であることから、考古学的分析と科学分析を合わせて総合的に検討することが求められる。そこで、本研究では微量の緑色系漆椀の小片を用いて科学分析を行った結果から、材料や製作過程を推定し、考古学などに貢献するために緑色系漆の基礎データの構築を目的として研究を行った。今回は東京大学本郷構内から出土した緑色系漆椀の分析結果をもとに緑色系漆を作成し、材料の混合比と色の変化の関係について検討したので報告する。

2. 試料と実験方法

東京大学本郷構内の遺跡より出土した緑色系漆椀の微小片を試料とした。今回の試料は出土した後に水中保管されていたため、デシケーター内で約 2 日間の真空乾燥を行った。その後、試料に対してクロスセクション分析、エネルギー分散型蛍光 X 線分光分析 (ED-XRF)、熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析 (Py-GC/MS) による測定を行った[3)]。

また、分析結果をもとに漆と顔料を混合させて、緑色漆を作成しガラス板にアプリケーターを用いて製膜し、約 1 ヶ月間暗室で静置した。その後、静置した膜に対してクロスセクション分析を行い、出土した試料と作製した塗膜との比較を行った。また、製作した緑色漆塗膜のみ色差光沢度測定を行った。

3. 結果と考察

3.1. クロスセクション分析および ED-XRF

出土した緑色系漆椀は緑色顔料層 + 下地層の 2 層構造であることが確認された。塗膜の厚みは緑色顔料層部分が約 35 μm であり、緑色顔料層には黄色を呈する塊と紺色のスポットがいくつか観察された。また、ED-XRF の元素マッピングの結果より緑色顔料層部分から同じ位置に

As および S が検出された。よって緑色顔料には硫化ヒ素 (As_xS_y) が用いられていることが推察された。下地層には偏光観察で鉱物類のような観察は見られなかった。文献情報と合わせると緑色顔料には石黄と藍、下地には木炭粉が用いられていることが推定された。

3.2. Py-GC/MS

熱分解温度 500°C で測定を行った。*m/z* 108 のイオンクロマトにおいて 3-Heptylphenol を中心とする山型ピークと 3-Pentadecylphenol のピークが検出された。これは日本・中国・韓国産漆の主成分であるウルシオールを熱分解した時に得られる特徴的なピークである。よって用いられた漆の樹種は日本・中国・韓国産の *Toxicodendron vernicifruum* であると示唆された。また、*m/z* 300 のイオンクロマトよりヒ素ピークが検出されたことからヒ素の使用が示唆された。

3.3. 色差光沢度測定

作成した膜に対して色差光沢度測定を行った結果、藍の比率が大きくなる程、L*, a*, b* 値が減少することが分かった。また、藍の比率が 0.25 である Entry3 と 6 は b*値が低く、Entry3 に関しては a*値が最も低い値になった。出土した緑色系漆椀の外観を目視で比較すると Entry3 が一番類似した色を得ることができた。

Table The color difference glossiness of the prepared green lacquer film

Entry	Compounding ratio	Lightness and Coloration[1)]			Gloss[2)]
	lacquer : orpiment : indigo	L*	a*	b*	
1	1 : 1 : 0.10	23.48	4.30	22.05	34.28
2	1 : 1 : 0.20	20.63	0.73	17.39	36.08
3	1 : 1 : 0.25	19.5	-3.04	13.10	29.60
4	2 : 1 : 0.10	17.23	7.45	18.4	39.66
5	2 : 1 : 0.20	16.62	5.83	16.45	33.08
6	2 : 1 : 0.25	14.16	4.21	13.95	38.90

1) L* : Lightness, a* : +red/-green, b* : +yellow/-blue, 2) Lncident angle : 65°

4. 結言

出土した緑色系漆椀に対して分析を行った結果、緑色層には硫化ヒ素と漆の使用が示唆され、用いられた樹種は *Toxicodendron vernicifluum* であることが明らかになった。今回の分析結果と文献の情報を合わせると緑色漆には石黄と藍ならびに漆を混合させ緑色を製作していることが推定された。また、分析結果を踏まえて実際に緑色漆を製作し、クロスセクション分析により出土した緑色系漆椀と比較した結果、類似した塗膜断面を得ることができた。

謝辞

研究の実施に当たり本試料を提供して下さった東京大学埋蔵文化財調査室 清水香様にこの場をかりて御礼申し上げます。

参考文献

1) 北野信彦, 肥塚隆保：文化財保存修復学会誌 第 45 号, 118—127 (2001)

2) 北野信彦：近世漆器の産業技術と構造, 62—79 (2004)

3) 本多貴之, 増田隆之介, 宮腰哲雄：東京大学埋蔵文化財調査室紀要 10 紀要編, 257—275 (2017)

奈良絵本で用いられている辰砂と鉛丹の混合試料の色と電子状態の関係

Relationship between color and electronic state for mixed samples of cinnabar and red lead used in “Nara-ehon”

高橋　瑞紀(龍谷大学)，村林　侑(同左)，○藤原　学(同左)

Mizuki　TAKAHASHI，Yu MURABAYASHI, ○Manabu FUJIWARA(Ryukoku Univ.)

１．緒言

考古資料において多様な赤が存在している。本研究では、赤色顔料の中で江戸初期に製作されたことが判明している奈良絵本に使用されていた辰砂(HgS)と鉛丹(Pb_3O_4)に着目した。深紅色である辰砂は高価であるため、単独ではなく赤橙色である鉛丹と混合して使われていることが多い。色の違いが混合や加熱操作、膠の添加などによって生じる化学的変化に由来していると考え、光学顕微鏡、蛍光 X 線分析(XRF)、X 線光電子分光法(XPS)、X 線回折法(XRD)、紫外-可視分光法(UV-vis)を用いて色と電子状態との相関を検討した。それらの結果より、我々の以前の報告(日本文化財科学会第 32 回大会、東京学芸大学)に加えてさらに基礎データの取得し、使用された顔料の特徴を明らかにすることを目的とした。

２．実験

奈良絵本においてそれぞれ特徴的な彩色ポイントを選択し、X 線顕微鏡(HORIBA 製 XGT-2700, X 線源:Rh Kα)を用いて点分析と面分析を行った。また、光ファイバー接続反射率測定装置(オーシャンオプティクス製)を用いて彩色された各ポイントでの反射スペクトルと吸収スペクトルを得、使用されている顔料の色についての情報をまとめた。本研究で対象とした奈良絵本断片は、思文閣出版(京都)より購入した。これらは、御伽草子を題材として作られた絵入りの冊子本からの断片である。すべての絵は金、銀、赤、青、緑などでかなり華やかに彩色されており、大切に保管されていたためか保存状態はかなり良好である。描写様式より、江戸時代前期の貞享(1684～1687)・元禄(1688～1704)期の製作であると鑑定されている。題材は「竹取物語」(**Fig. 1** にその一部を示す)と「伊勢物語」であり、「竹取物語」の方が「伊勢物語」よりも豪華なつくりであることがわかる。

竹取物語 A　　竹取物語 C

Fig. 1　Pieces of “Taketori Monogatari, Nara-ehon”.

３．結果と考察

奈良絵本断片の XRF スペクトルを測定した。まず種々の彩色箇所について点分析(測定時間:100 s)を実行し、使用されている顔料を推定した。「伊勢物語」の第 14 段「くたかけ」の女性の赤

い着物部分における点分析の結果を **Fig. 2** に示す。その後、その彩色箇所を含む任意の範囲を選択し、面分析により各元素の分布を明らかにした。赤色系顔料は、着物やもみじ部分などに用いられており、Hg と Pb(共に Lα線、Lβ線)が検出された。目視で赤色と判断できた全ての彩色箇所で Hg と Pb の 2 元素の存在が確認された。しかし、それぞれの質量濃度はかなり異なり、最も高い Hg 質量濃度(%)を示した測定ポイントでは、Hg:62.15, Pb:26.65 という値が得られた。水銀系 HgS と鉛系 Pb_3O_4 の 2 種の赤色顔料によって混色されていることがわかったが、顔料を彩色前混合・一度塗りまたは 2 種の単独顔料を重ね塗りの二通りの彩色法が考えられる。これらのことを点分析のみで判別することができず、また面分析からも彩色法の特定が困難であることがわかった。そこで、いくつかの重ね塗りの試料を作成し、UV-vis 反射スペクトルによる色と XRF スペクトルによる定量結果の相関を検討した。膠添加し層状に彩色した試料の反射スペクトルの波長位置と XRF スペクトルより求めた質量濃度値との相関を検討すると、2 種の赤色顔料の順番に関係なく上より一層目と二層目の顔料が反射スペクトルの波長位置と質量濃度値共に大きな影響を示すことが明らかになった。三層目と四層目の顔料では、Pb_3O_4 よりも HgS の影響が強く現れる傾向が認められた。混合顔料の反射スペクトルは、ほぼ 2 つの単独顔料のそれらの平均であった。XPS スペクトルでは、ピーク位置と形状に変化が認められたのに対し、XRD 分析では大きな変化が認められなかった。このことより、混合操作を行うことによって結晶構造が大きく変化することは起きていないものの、顔料表面の間で予想以上に強い相互作用が生じることにより、それぞれの化学状態に影響を与えていると考えられる。

膠添加試料の反射スペクトル測定より、HgS に膠を加えると赤橙色に、Pb_3O_4 に膠を加えるとわずかに深紅色に近づくことに対応する結果が得られた。XRD 分析の解析結果より、顔料結晶の一部の格子面間隔が伸びていることが明らかとなった。これは、顔料中の Hg および Pb が膠中の S とそれぞれ相互作用し、顔料中の結合が弱くなっているためだと考えられる。顔料を加熱していくとその際の色の変化は大きいが、試料を常温に戻すと加熱前に近い色に戻った。しかし、加熱前後の XPS スペクトルにかなり大きい変化が認められた。また、この加熱操作による顔料の状態変化は、それぞれ単独の場合よりも混合顔料の方が大きいことが明らかになった。

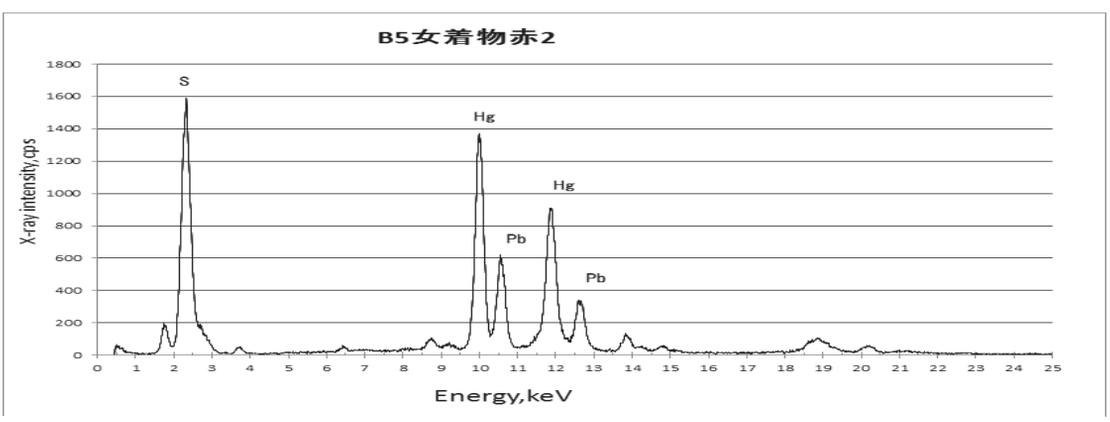


Fig. 2　X-ray fluorescence spectrum on the red-painted part in No. 14 "Kutakake" of "Ise Monogatari, Nara-ehon".

津波被災した写真プリントの再生について

Restoration of Tsunami-damaged Photographic Prints

武田昭子(昭和女子大学)、赤沼英男(岩手県立博物館)、荒木臣紀(東京国立博物館)、
熊谷賢、浅川崇典(陸前高田市立博物館)
Akiko TAKEDA(Showa Women's University), Hideo AKANUMA(Iwate Prefectural Museum),Tominori ARAKI,
(Tokyo National Museum),Masaru KUMAGAI, Takanori ASAKAWA(Rikuzentakata City Museum)

１．はじめに

2011 年 3 月 11 日に発災した東日本大震災では、膨大な数の博物館資料が津波被災した。写真プリントもその一つで、地域の歴史や文化、自然環境の変遷を解明するうえでの重要な情報が記録されている。津波で被災した写真プリントは多量の塩分を含み、津波によってもたらされた様々な物質が固着していた。直ちに乾燥し、くん蒸後クリーニングして保管した場合、資料の多くは残留する塩分によって再び吸湿し、劣化が進む可能性が極めて高い。筆者らは、2014 年 3 月から通常の資料保管環境下で、写真プリントの長期にわたる安定的保管と活用を可能にする安定化処理法の構築を目的に基礎調査を行ってきた。本稿ではこれまでの調査結果をふまえ、2017 年度に行ったレジンコート紙を支持体とする被災写真プリントの安定化処理について報告する。

２．調査資料

調査資料はカラー写真 1 枚（No.1）、モノクロ写真 4 枚（No.2～No.5）の合計 5 枚である。左記資料はいずれも救出後、画像情報保存のため、画像面に密着していた透明フィルムごとアルバムから切り取られ、デジタル化が行われた。その後、中性紙に挟み整理、冷凍保存されてきたが、2017 年度 3 月から自然乾燥した後、状態確認を行い、脱酸素剤を入れたガスバリアフィルム製保存袋に入れて室温で保管した。

No.1（ID44-2-1）の画像層の一部は溶出していた。残った画像層も乾燥することなく、整理時に挟んだ中性紙に固着していた。No.2、No.3（ID60-4-1、ID60-9-1）、No.4（ID13180-2-1）の画像層も一部は溶出し、表面に泥や砂が食い込むように固着していた。No.4 の画像層は No.2、No.3 に比べ堅牢で、変色や溶出は少なかった。No.5（ID220-13-3）の支持体は調査資料の中で最も厚く、表面に細粒の砂がわずかに付着していた点を除き、特段の損傷はみられなかった。なお、処理対象資料に黒色や赤色等を呈するカビが発生していたため、NPO 法人カビ培養センターに菌種の同定を依頼した。その結果全資料にアオカビ(*Penicillium*)の発生が確認された。

３．安定化処理方法

資料に相当量の青カビの発生が確認されたため、資料を自然乾燥し酸化プロピレン（商品名：アルプ）によるくん蒸を実施した。くん蒸後再び培養試験してカビの死滅を確認した後、No.1 及び No.5 については医療用中性洗剤（商品名：ホワイトセブン 7-P）を投入し 0.3%に調整した水溶液 200 ml に 15 分間浸漬し、油分や泥を除去した後、流水で 20 分洗浄した。その後、資料面積 1 ㎠あたり 2ml の精製水に 30 分毎に浸漬液を換えながら 3 時間浸漬した。No.5 については No.1 と同様に中性洗剤処理と精製水による浸漬を行い、引き続き当日と翌日、2 時間おきに 2 回浸漬液を交換しながら、合計 24 時間精製水に浸漬を続け、残留する塩分の除去を図った。画像層に多量の土砂が固着していた No.2～No.4 については、筆で表面をクリーニングした後、検鏡

下でメスやピンセットを用い、細心の注意を払いながら固着した泥や砂を取り除いた。画像が無い部位については、綿棒で湿式クリーニングし、可能な限り表面の汚れを除去した。

４．安定化処理結果ならびに考察

安定化処理の基本は、脱脂・脱臭、除泥、除菌、脱塩の 4 工程である。今回安定化処理した写真資料は、資料ごとに劣化状況が異なるため、画一的処理はできない。そこで、画像層を残すことを第一に、ア．くん蒸後、中性洗剤による洗浄を施した上で精製水に浸漬し処理する資料(No.1・No.5)と、くん蒸後、検鏡下で固着する土砂を可能な限り取り除く資料(No.2・No.3・No.4)とに分けて処理を進めた。アの精製水への浸漬時間は 3 時間(No.1)と 24 時間(No.5)とした。これは、これまでの実験結果（Akiko TAKEDA et al. 2017）をふまえ決定した時間である。

No.1 の洗浄開始直後および洗浄終了時の洗浄液、No.5 の洗浄終了時の洗浄液に含有される Cl^-濃度および pH 値を表 1 に示した。表 1 には No.1 と同じ収納ケースに収蔵されていた他の 3 資料(Rf1～Rf3)の値も示してある。No.1 の脱塩終了時の浸漬液に含有される Cl^-濃度は使用した精製水とほぼ同じで、脱塩開始時の溶液中濃度の 100 分の 1 近くまで減量することができた。Rf1～Rf3 もほぼ同様の傾向を示している。No.5 の洗浄終了時における洗浄液の Cl^-濃度も精製水とほぼ同じであった。この調査結果は、別途行われた蛍光 X 線分析法による測定結果ともよく整合する。一連の結果は、画像層の状態に応じ決定した安定化処理方法がほぼ妥当であることを示している。なお、蛍光 X 線分析の結果、No.1~No.5 の 5 資料から Ba は検出されず、高濃度の Ti が検出された。肉眼観察結果を加味すると、調査した写真プリントはレジンコート紙で、画像層の下は酸化チタンの白色層で構成されていたものと推定された。No.1 の洗浄終了時の pH は 6.32 と精製水に比べやや高い。浸漬液に微生物が増殖した可能性がある。一方、Rf3 の pH 値は 4.24 と精製水に比べ低く、何らかの酸性物質が生成した可能性があるが、これらの点については今後の課題としたい。

表 1. 脱塩効果の比較

No.	写真の種類	写真プリント ID	処理前		処理後	
			Cl^- (mg/l)	pH	Cl^- (mg/l)	pH
No.1	カラー レジンコート紙	44-2-1	14.9	5.63	0.16	6.32
Rf1		44-2-2	19.5	5.96	0.22	5.59
Rf2		44-2-4	13.5	5.47	0.21	5.90
Rf3		44-3-5	15.6	5.48	0.21	4.24
No.5	モノクロ レジンコート紙	220-13-3	—		0.10	5.44

ex.使用した精製水の Cl^- (mg/l)→0.1002、pH→5.32

引用文献

Akiko TAKEDA, Hideo AKANUMA, Tominori ARAKI, Masaru KUMAGAI, Takanori ASAKAWA. 2017. Formulation of Treatment Methods for Tsunami-Damaged Photographs, Traditional Techniques and Modern Technology. The Sixth Symposium of the Society for Cultural Heritage in East Asia:111.

栽培作物の特定のための作物痕跡の検出と大根の放置実験による検証

Tracing and Identifying Archaeological Crop Plants from the Scope of Burial Experiments of Japanese Radish

○青野友哉（伊達市噴火湾文化研究所）・渋谷綾子（国立歴史民俗博物館）・添田雄二（北海道博物館）
○Tomoya Aono (Date City Institute of Funkawan Culture)、Ayako Shibutani (National Museum of Japanese History)、 Yuji Soeda (Hokkaido Museum)

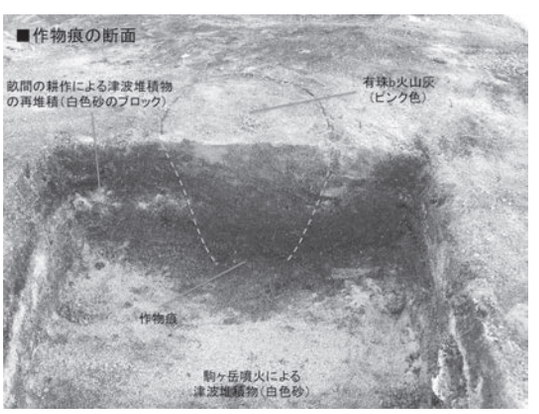
1. 本研究の目的

1990 年代から盛んとなった北海道における畑跡研究は、17 世紀のアイヌ民族が畝立てによる畑作を行っていたことを明らかにした。一方で、小氷期と呼ばれる世界的な寒冷期に、アイヌ民族がどのような作物を栽培していたかについては、文献記録にも残されておらず不明であった。また、フローテーションによる炭化種子の検出も、交易による搬入品である可能性を排除できないため、栽培作物だと断定できていない。そこで、私たちは畑跡に残る作物痕跡を検出し、その形状から栽培作物を特定することを試みた。対象は 1640 年の駒ケ岳噴火に伴う津波堆積物（白色砂）と 1663 年の有珠山噴火による火山灰（有珠 b）に挟まれた伊達市カムイタプコプ下遺跡の畑跡である。また、畝上に見られる窪みの成因を把握するために、約 4 年間現代の畑に放置した大根の埋没過程を観察した。あわせて、作物由来のデンプン粒が遺跡の土中で検出できるかどうかを検証するために、17 世紀の畑跡の土壌と、大根を放置した現代の畑の土壌の残存デンプン粒分析を行い比較・検討した。

2. 栽培痕跡の検出方法

カムイタプコプ下遺跡では 1640〜1663 年に限定できる畑跡を対象にして畝上の栽培痕跡を検出した。

① 畑跡の畝上に堆積した有珠 b 火山灰を水平に除去し、褐色砂上に残る直径 10 ㎝前後の火山灰の窪みを検出する。
② 窪みの下部が作物痕跡であると想定し、半分を断ち割って土層断面を記録する。
③ 土層断面において作物痕跡の内外の土壌を残存デンプン粒分析用に採取する。
④ 津波堆積物（白色砂）上で作物痕跡を平面的に確認し、配列を記録する。

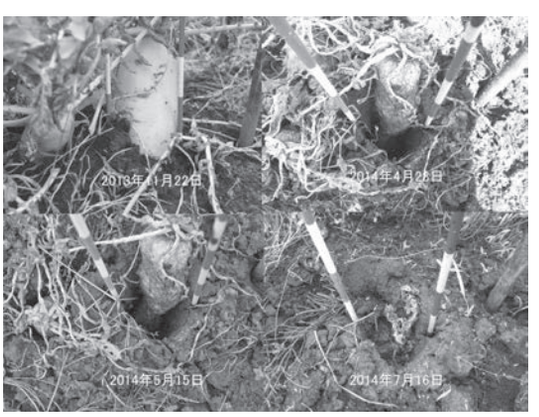


▲伊達市カムイタプコプ下遺跡の畑跡の作物痕跡

3. 大根の放置実験

作物痕跡及びデンプン粒が遺跡でどのように検出されるかを把握するために、現代の畑において根菜類を放置する実験を行った。

場所：北海道伊達市北黄金町
期間：2013年11月22日〜2017年10月10日
環境：最高気温30.2℃・最低気温-9.5℃・年間平均気温9.5℃・積雪少量
作物：大根
土質：耕作土は暗褐色土壌。基盤は黄褐色ローム。
方法：栽培された大根の両脇に金属製ピンポールを差して目印とし、大根の腐朽過程と穴の埋没過程を写真で記録した。



▲現代の畑における大根の放置実験

発掘：約4年を経過した畑において、かつて大根が存在した部分を掘り下げて断面の観察と残存デンプン粒分析用の土壌を採取した。
結果①：放置した大根は6か月後まで収縮し、7か月後に消失した。作物の穴は6か月後まで空隙を保っており、7か月後には地表面から−3㎝、12か月後は−2㎝、17か月後は−0.5㎝まで埋まり、完全に埋まり切るには18か月を要した。
結果②：大根を放置して3年11か月後に発掘したところ、土層断面の色調や質から作物の痕跡を判断することはできなかった。これは空洞に入り込んだ土は周囲の土と同質であったためと考えられる。
小結：畑に放置した大根は腐朽とともに収縮し、空洞を生じさせた。このことは、火山灰で覆われた場合には、作物部分の下部にまで火山灰が入り込むことを示している。また、腐朽後の窪みは1年6か月以上経っても完全には埋まりきらないことから、休耕後に火山灰が降下した場合も若干の窪みとして観察される可能性が考えられた。よって、遺跡から検出される畝上の火山灰の円形の落ち込みは、作物痕跡であると考えられるが、火山灰の降下までの年数によりその断面形状に違いが生じるといえる。なお、作物の窪みの埋没速度には土質を考慮する必要があり、有珠地区の遺跡に多い砂質土では放置実験よりも早く埋没した可能性がある。

4. 放置実験後の畑における土壌の残存デンプン粒分析

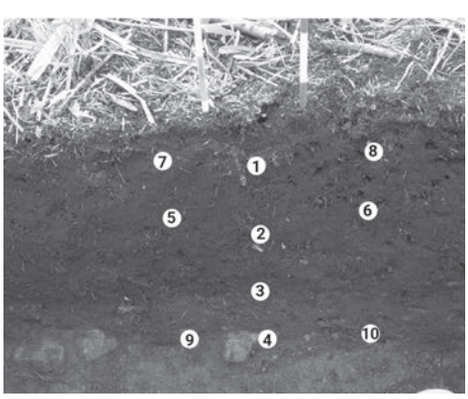
現代の畑の土壌試料は合計 10 箇所選択し、それぞれ約 1cm 四方の量の土壌を採取した。本分析では重液分離は行わず、精製水を添加するのみで分析を行った。それぞれ試料チューブ 2 本に 249〜250mg を取り分け、精製水各 40ml を添加し遠心（13500rpm、1 分)、試料 8μl をグリセロール・ゼラチン（屈折率 1.46〜1.48）8μl で封入し、試料 1 点につき 2 枚のプレパラートを作製した。プレパラートは、光学顕微鏡（Olympus BX53-33Z、簡易偏光装置付）を用いて、接眼レンズを 10 倍、対物レンズを 10〜40 倍、総合倍率 100〜400 倍の視野条件で、簡易偏光装置の直交・開放双方のニコル（偏光・複屈折特性を観察する状態）で観察し、顕微鏡カメラ（WRAYCAM-G500）で撮影した。

分析の結果、No.2 から 8 個、No.3 から 2 個、No.4 から 1 個、No.5 から 1 個、No.10 から 2 個の残存デンプン粒を検出した。いずれのデンプン粒も粒子の部分的な損壊や偏光十字の消失などが見られたが、No.2 の 3 個、No.3 の 1 個のデンプン粒は現生ダイコンのデンプン粒の形態（円形や卵形、粒径分布範囲 2.6〜29.9μm）と類似していた。これらのデンプン粒の由来する植物としてダイコンをあげることができる。他のデンプン粒については、楕円形や半楕円形などの形態を呈しており、球根類などのダイコンのデンプン粒とは異なっている。

5. 考察

カムイタプコプ下遺跡で検出された作物痕跡は平面が円形で、断面がU字形であることから、蕪などの根菜類の痕跡である可能性が高い。有珠山は1663年8月（旧暦7月14日）に噴火したことから、畑に作物が生育していた上に火山灰が降下したと考えられ、作物が腐朽した部分に火山灰が流入した可能性がある。あるいは、噴火の数年前まで使用されていた畑において、根菜類を収穫した後の窪みや未収穫のまま残されたものが腐ってできた窪みとの考えも成り立つ。また、遺跡で検出した作物痕跡からは根菜類や球根類のデンプン粒を検出しており、根菜類と考えると平面・断面の形状とも整合する。

一方、現代の畑から検出したデンプン粒は、実験に用いた作物の大根に由来するものと、それ以前に栽培されたものの混在が考えられるが、何れにしても土壌を対象にした残存デンプン粒分析の有効性を示す結果となった。



▲大根の放置実験後の断面と試料採取箇所

6. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 15H03272「小氷期最寒冷期と巨大噴火・津波がアイヌ民族へ与えた影響（基盤研究（B）代表者：添田雄二)」の助成を受けている。

縄紋土器付着炭化物の同位体分析の検討

ー縄紋前期における C4 植物の調理痕跡の可能性ー

Characterization of Charred Materials on Postsherds by Means of Stable Isotope Analysis

◯小林謙一（中央大学）
◯Kobayashi kenichi (chuo University)

本研究では，土器に調理の際の煮焦げや煮こぼれ，または燃料材の煤として付着している炭化物（以下，土器付着物）について炭素 14 年代測定および安定同位体比，炭素量・窒素量について科学的な分析を加え，主として土器を使用した調理の際の調理物または加工物，燃料材のあり方について検討する。今回は縄紋前期土器付着物（ウルシを除く）IRMS 測定 199 例を集計した。

IRMS によって炭素 13 安定同位体比を測定するとともに，AMS 測定による年代値のあり方も併せみる。特に土器内面土器付着物において共伴炭化物と著しい年代的な差異があり，安定同位体比でも異常がみられる場合は、海洋リザーバー効果の影響と捉えられ、海産物による海産物の利用が想定できる（小林 2014、小林・坂本 2015）。

$\delta^{13}C$ 値が 22‰より重い試料をみると，東北・北海道の試料は年代値が 100 炭素 14 年以上古い値を示し海洋リザーバー効果の影響が疑われる。それに対し、中部山地堰口遺跡 YNHS-46 例（山梨県・神ノ木式胴内面付着）は，安定同位体比で $\delta^{13}C$ 値が-15‰で極度に重いのに AMS 炭素年代はおおむね整合的で海産物とはいえず，$\delta^{15}N$ 値や C/N 比からは植物性由来の可能性があり，雑穀類などが想定される C_4 植物の調理痕が考えられる。これまで弥生時代の土器付着物について C_4 植物と考えられる結果を得てきた（小林 2014）が，はじめて縄紋前期の土器付着物にその可能性が考えられる検出例を得た。報告書作成中のため，土器の詳細報告を待ち検討していきたい。

縄紋時代の海産物や陸生植物の調理の痕跡の比率を検討し地域や時期による差異を検討する上で，土器付着物の安定同位体比は炭素 14 年代測定値と併せ見ることで有効性を増すといえる。

堰口遺跡の土器付着物については北杜市教育委員会の提供を受けた。遺跡・遺物については佐野隆、試料処理については歴博坂本稔、測定においては東京大学総合博物館他の協力を得た。

参考文献

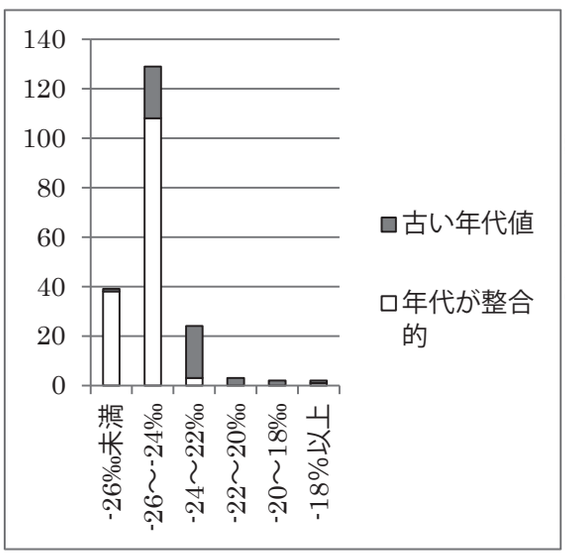
小林謙一 2014「弥生移行期における土器使用状況からみた生業」『国立歴史民俗博物館研究報告』第 185 集

小林謙一・坂本稔 2015「縄紋後期土器付着物における調理物の検討」『国立歴史民俗博物館研究報告』第 196 集

小林謙一 2017『縄紋時代の実年代-土器型式編年と炭素 14 年代-』同成社

表 1　炭素 14 年代が古い値を示す縄紋前期土器付着炭化物の $\delta^{13}C$ 値ごとの出現頻度

$\delta^{13}C$値(‰)	IRMSによる測定						
	-26‰未満	-26～-24‰	-24～22‰	-22～20‰	-20～18‰	-18‰以上	小計
測定数	39	129	24	3	2	2	199
整合的な試料	38	108	3	0	0	1	150
炭素14年代の古い試料	1	21	21	3	2	1	49
	3%	16%	88%	100%	100%	50%	25%



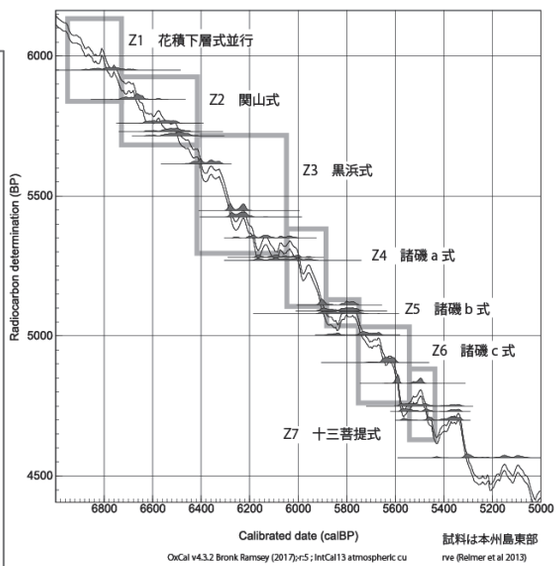
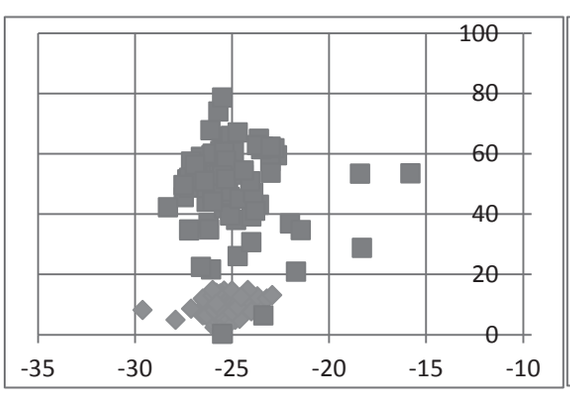
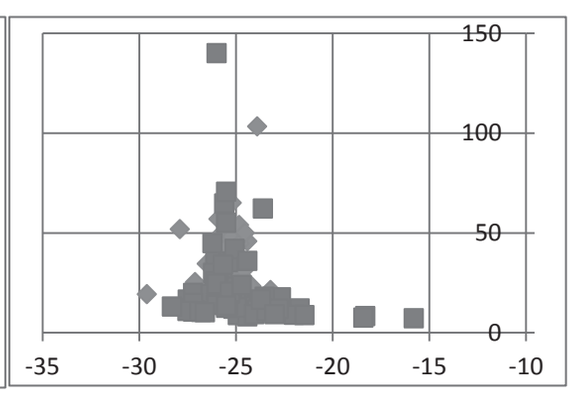


図　前期測定データと較正曲線 IntCal 13 (小林2017より)





^{13}C 値（横軸‰）と ^{15}N 値（縦軸‰）　　^{13}C 値（横軸‰）と C/N 比（縦軸）　■内面・◇外面

測定試料名	地域	遺跡	種類	土器型式	時期	14C			評価	δ13C(IR	δ15N	C%	N%	C/N
YNHS-46	5中部	堰口遺跡	胴内	中越・神ノ木	Z1～2期	6067	±	36	?	-15.8	4.4	53.4	8.8	7.1
AOKH-3 (rt)	2東北	東道ノ上（3）	底部内面	円筒下層a?式	Z4期	5505	±	35	古い	-18.3	12.2	28.7	4.1	8.2
AOMB-87	2東北	二股(2)遺跡	内面	円筒下層d2	Z7-C1期	5050	±	25	古い	-18.4	14.8	53.3	8.4	7.4
AOS-003	2東北	笹の沢(3)遺跡	底部内面	円筒下層d1式	Z7期	4730	±	40	古い	-21.5	12.7	34.6	4.6	8.7
AOMB-78 a	2東北	二股(2)遺跡	内面	円筒下層d1	Z7期	5065	±	30	古い	-22.0	12.5	36.8	4.8	8.9
NT-41	4北陸	下モ原Ⅲ遺跡	胴内下	布目式	Z1期	6420	±	40	古い	-22.7	7.5	59.5	4.0	17.6
AOMB-79 a	2東北	二股(2)遺跡	内面	円筒下層c	Z6期	5500	±	25	古い	-22.8	14.3	61.8	6.0	12.0
HDMB-309b	1北海道	館野6遺跡	胴下外	円筒下層b	Z5期	5158	±	23	古い	-22.9	13.1	57.8	5.8	11.5
AKT-1	2東北	物見坂Ⅲ遺跡	口縁内面	早稲田6類	Z2期	5780	±	20	古い	-23.0	11.8	53.7	6.6	9.5
AOMR-5628	2東北	三内丸山遺跡	胴内下	円筒下層a式以前	Z3期	5580	±	50	古い	-23.0	15.7	62.3	7.9	9.2
ISK-6 A	4北陸	上安原遺跡	口縁内	大歳山式	Z7期	4950	±	40	古い	-23.0	9.2	57.4	6.4	10.4
IW-42	2東北	力持遺跡	胴外	前期前葉	Z	5330	±	50	古い	-23.2	11.9	64.5	3.5	21.2

表 2　^{13}C 値の重い試料　（縄紋前期土器付着物の IRMS 安定同位体比および AMS ^{14}C 年代を測定した試料）

3D スキャナーを活用した津波碑の文字情報取得についての検証
ー高知県地震津波碑の事例からー

Analysis of textual information acquired through utilization of a 3D scanner on tsunami monuments: Case study on the monuments of earthquake and tsunami in Kochi prefecture

◯河村友佳子（河村　文化財保存・環境リサーチ）※、日髙真吾、園田直子（国立民族学博物館）、末森薫（関西大学国際文化財・文化研究センター）※、橋本沙知（橋本文化財企画）※、和髙智美（合同会社文化創造巧芸）日尾紀暁、余語珠未、山本彩乃（株式会社データ・デザイン）
◯Yukako Kawamura(Kawamura Bunkazai-hozon Kankyo-research),Shingo Hidaka, Naoko Sonoda (National Museum of Ethnology), Kaoru Suemori (Kansai University Center for the Global Study of Cultural Heritage and Culture),Sachi Hashimoto(Hashimoto Bunkazai kikaku),Tomomi Wadaka(LLC Bunkasozokougei), Noriaki Hio,Tamami Yogo, Ayano Yamamoto (Data Design Co.)

1. はじめに

国立民族学博物館では、東日本大震災後、震災の記録を後世に伝えることを目的とし、全国各地に残された津波碑などの情報を収集したデータベース「津波の記憶を刻む文化遺産ー寺社・石碑データベースー」を作成しウェブ上で公開している[1)]。津波碑の所在調査をおこなうなか、一部の石碑の碑文は経年劣化により、目視では読み取りにくい状態であることが確認された。そこで、発表者らは、このような津波碑を対象に、可搬型で非接触測定が可能な 3D スキャナー（以下、スキャナー）（Artec 社製 Eva 3D scanner : 解像度 0.5 ㎜（最大）、計測対象の大きさ 0.4～1m）を用いて碑文の 3D データを取得し、このデータを編集することで、目視では読み取りにくくなった文字が判読できるかを検証した。

2. 碑文の 3D データの取得と編集について

今回の検証では、高知県所在の地震津波碑 14 点を対象とした（表 1）。使用した機材はスキャナー本体と制御用のノート PC で構成され、現地で大掛かりな機材を設置する必要がない。ただし、測定方式がフラッシュバルブ（パターン光投影方式）であるため、対象物の反射が強い場合や、日光などの周辺光が干渉する場合は、パターン光が投影されにくく正しい計測ができない（基本仕様：許容周辺光量 5000lx）。

このため、石碑表面の反射が強い場合は、計測箇所に傘で影を作り反射を軽減した（写真１）。対象の石碑が大きい場合は、計測者の作業動線の確保が難しいことや、制御用のノート PC の処理能力に対してデータ量が大きくなりすぎるため、表面、裏面、側面など複数に分割して全体の 3D データを取得した。取得した 3D データはスキャナーに付属の編集用ソフト（Artec Studio）を用いて、対象物以外の部分やノイズを除去して結合し、点群を結んだメッシュデータを作成した。これは、モノクロのメッシュデータで表示することで、陰影や色情報を取り除き、凹凸が強調されることで碑文が判読しやすくなるかを確認するためである。

表１　3D データ取得　地震津波碑

石碑名	石碑数
琴平神社玉垣地震碑	9
上岡八幡宮地震碑	1
西山観音寺地蔵台座	1
仁井田神社玉垣地震碑	1
萩谷安政地震の碑	1
夜須観音山碑	1

写真１　作業の様子

3. 結果と考察

碑文の3Dデータをメッシュデータで表示した場合と、デジタルカメラで撮影した写真画像(以下、写真）を比較した例を図 1、図 2 に示す。図 1 の写真では、石碑表面が地衣類で斑点状に白みがかった部分や、強い陰影の差が邪魔になり碑文が判読しにくい。一方で、メッシュデータでは碑文の刻線が明確になった。なお、メッシュデータで碑文の刻線が太く見えるのは、メッシュデータ作成の際、エッジなどを優先して形状の特徴を際立たせるシャープメッシュ化というデータ加工をおこなった効果による。

次に、メッシュデータで碑文が確認できなかった例を図 2 に示す。写真の、丸囲みの部分の碑文については、メッシュデータでは確認できない。原因については、この石碑の 3D データ取得時は日差しが強く、傘で対象個所に影をつくりながら作業を実施したが、周辺光の影響を十分に抑えられなかったため、スキャナーのパターン光が干渉され、正確な測定が行えなかったと考えられる。

以上の結果から、周辺光の干渉を抑える方法については工夫が必要ではあるが、石碑表面の劣化や、地衣類の付着により目視では碑文が読み取りにくい場合でも、ある程度、刻線の凹凸が残っていれば、3D データを取得し、メッシュデータで表示することで、刻線が際立ち碑文が判読しやすくなることが確認できた。

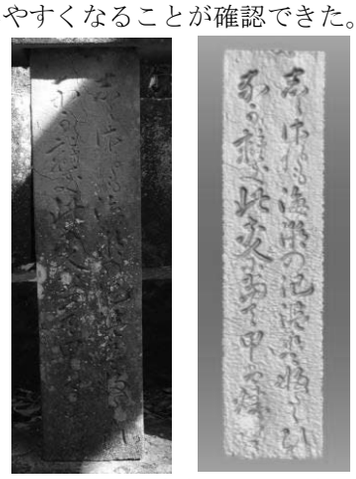


図 1　琴平神社玉垣地震碑
左：写真　右：メッシュデータ

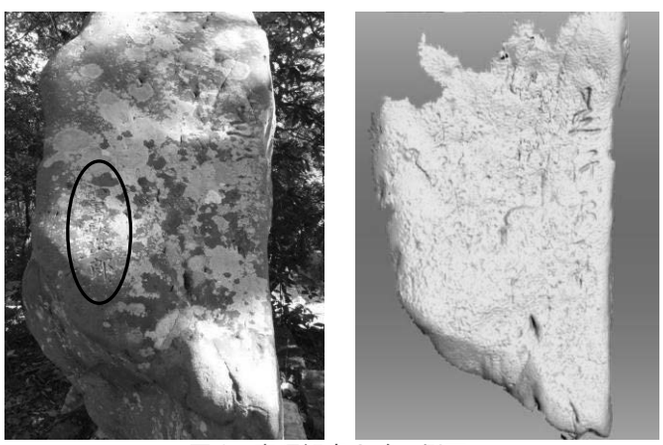


図 2　夜須観音山碑　側面
左：写真　右：メッシュデータ

4. 今後の課題と展望

今回の検証の結果、判明した課題の一つは、現地での最終的なデータ確認が難しいことである。3D データの取得はプレビュー画面で見え方を確認しながら実施するが、最終的なメッシュデータの作成は研究室に持ち帰っておこなう。図 2 で示した石碑の場合などは、プレビュー画面ではデータがとれているように見えており、正確な 3D データが取得できていないことが確認できなかった。このため、デジタルカメラによる写真なども併用し、目視で確認した状況を記録する必要がある。なお、3D データ取得の際に、分割するデータの重なり部分を多くすることで、不正確な箇所を補完できる場合もあるが、データが重くなるため編集用に高い処理能力をもった PC が必要となる。そこで、今後の展望として 3D データの取得対象を石碑全体ではなく、碑文のみとし、測定可能範囲が短く、高解像度の 3D スキャナーを用いることで、より有効に碑文が判読できるかを検証したい。

1）http://sekihi.minpaku.ac.jp/（2018 年 4 月 20 日アクセス）

本研究は下記の研究課題による成果の一部である。
人間文化研究機構基幹研究「日本列島における地域文化の再発見とその表象システムの構築」
（代表：日髙真吾）JSPS（18H00760 代表：日髙真吾）
※河村友佳子、末森薫、橋本沙知は平成 30 年 4 月 1 日より国立民族学博物館に所属変更

イネプラント・オパール中に内在する遺伝情報抽出手法の実用化に向けた研究（第3報）

Study for practical use of the technique of salvaging the genetic information existing in the rice phytolith (III)

○田中克典（弘前大学）・宇田津徹朗（宮崎大学）
○Katsunori TANAKA (Hirosaki Univ.), Tetsuro UDATSU (Univ. of Miyazaki)

1. はじめに

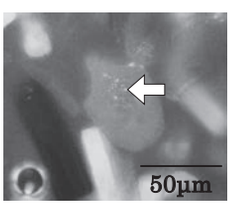
遺跡から出土したイネ遺物は稲作の発達段階を検討する研究において重要な資料である。中でもイネ種子は好適な資料であるが、検出が偶発的で、その頻度や量に限りがある。一方、プラント・オパールは時代や地域に関係なく安定して遺存しているので、演者らはプラント・オパールに内在する遺伝情報（DNA）に着目してきた（第 1 図）。これまでの研究により、プラント・オパールの抽出工程や分析手法を開発しながら遺伝分析まで実用可能な一歩前まできている。

実用化にむけて、前回大会では分析手法の開発と抽出工程や量の最適化について検討結果を報告した。本大会では、分析手法の実用性とイネのプラント・オパールについて多様を評価すべく、下記の課題を検討した結果を報告する。

課題 1：第 3 者による分析手法のクロスチェック

課題 2：日本のイネの多様性を評価できるマーカー開発

なお、本研究は JSPS 科研費の助成を受けたものである（課題番号 25560137、16H03104）。

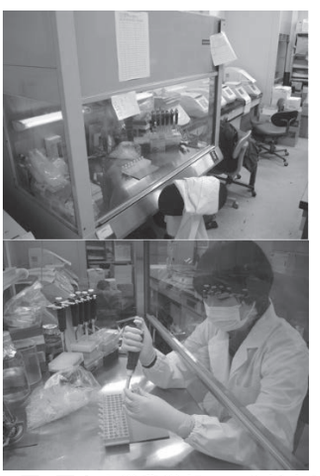


第 1 図　DAPI 染色したプラント・オパール
試料は 40℃未満で乾燥処理後に DAPI 染色し、蛍光顕微鏡で撮影した。図中の矢印は DAPI で染色されたイネの DNA。

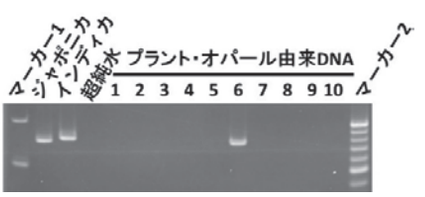
2. 課題 1：第 3 者による分析手法のクロスチェック

〈供試材料〉 供試材料は前回大会にて利用した N 遺跡の水田土壌（四国地方，古代末～中世）に由来するプラント・オパールである。試料は、宇田津ら（2017）により、粒子付着物除去、40℃未満で乾燥、プラント・オパール抽出の工程を経た後に、夾雑物処理により採集、または 20 μm ファイルター処理でイネプラント・オパールの純度が高まるように採集された。プラント・オパールに付着した DNA は 10mg の試料を超純水で洗浄し、DNaseI（Takara Ltd, Japan）で分解した。その後の分析は、岡山大学農学部 植物遺伝育種学研究室にて DNA 分析が初めての学生により実施された（第 2 図）。内部の DNA は Mutou et al（2014）の方法により抽出した。DNA の遺存は葉緑体ゲノムに特異な 2 セットのプライマーを用いて 2nd PCR 法で増幅後に、PCR 産物をアガロース電気泳動することで確認した。反復の数は 10 とした。

〈結果〉 20 μm ファイルターで採集した試料において、葉緑体ゲノムの *rps16* 領域ならびに *Orf100* 領域を PCR 増幅したところ、期待サイズの DNA 断片はそれぞれ 1 反復の試料において確認できた（第 3 図,復元率: 10%）。また、DNA 抽出に利用する試料を 3 倍にすると、5 反復のうち 1 反復で DNA 断片は復元可能であった (復元率: 20%)。なお、夾雑物処理の試料では DNA の遺存は確認できなかった。



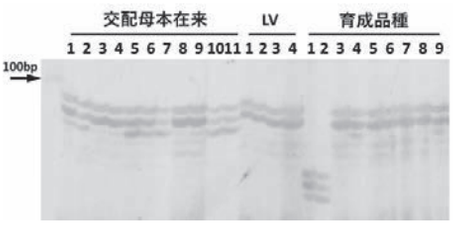
第 2 図　岡山大学農学部での分析室と分析の様子



第 3 図　葉緑体ゲノム *rps16* 領域に特異的プライマーで増幅した産物の電気泳動
マーカー1: 100bp DNA ladder (NEB), マーカー2: 20bp DNA ladder (Takara)

3. 課題2:日本のイネの多様性を評価できるマーカー開発

<供試材料> 供試材料は日本の現生イネをカバーしうる24系統である。内訳は、11系統の交配母本在来品種グループ(育種に利用)、4系統の非交配母本在来品種グループおよび9系統の育成品種グループである。日本に由来するプラント・オパールである。試料は、農研機構中央農業研究センター 北陸拠点より分譲され、弘前大学農学生命科学部にて増殖されたイネである。DNAは各系統1個体について抽出し、15のイネSSRマーカーにてPCR増幅した。PCR産物はポリアクリルアミド電気泳動により分画し、銀染色により各系統のDNA断片のタイプを確認した(第4図)。DNAタイプに基づいて、各マーカーやイネのグループにおける対立遺伝子座数(DNA断片の種類数)、遺伝子多様度(遺伝的多様性)および系統間の遺伝的距離の算出ならびに主成分分析はGenAlEx v6.502(Peakall and Smouse 2006, 2012)で実施した。



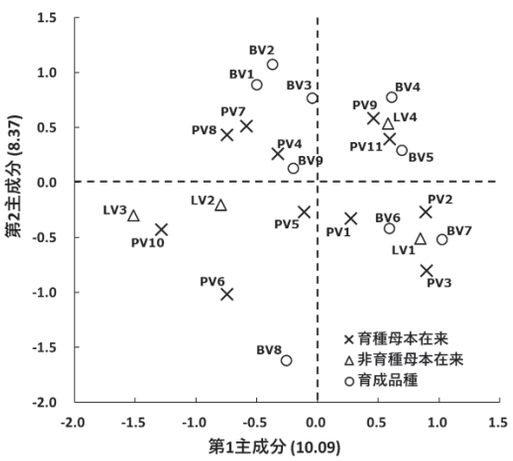
第4図 イネRM125マーカーでPCR増幅した産物の電気泳動図
LV: 非育成母本在来, マーカー1: 100bp DNA ladder (NEB)

<結果> 24系統のイネにおいて、系統内で対立遺伝子座は認められなかった。各SSRマーカーにおいて対立遺伝子座数が2から9と、24系統のイネのうちいずれかのイネは、他のイネとDNAタイプが異なっていた(第4図, 第1表)。遺伝子多様度は0.431から0.813と高かった。グループ内においても、0.298から0.864でその平均は、0.642以上と高かった。特に、2つのSSRマーカー(RM5586, RM257)は交配母本在来品種、非交配母本在来品種および育成品種のいずれの集団においても対立遺伝子座数が多く、供試した品種を識別可能であった。また、主成分分析では、第1主成分から第3主成分までの累積寄与率は26.11%と低く、各系統の固有値は散在的であった(第5図)。

以上の結果から、主成分分析も供試したSSRマーカーが品種群内の違いを識別できることを示していた。

第1表 24系統のイネにおけるSSRマーカーの多様度

グループ名	系統数	対立遺伝子数 (*Na*)	遺伝子多様度 (*He*) マーカー当たり	平均
交配母本在来	11	2 - 9	0.298 - 0.860	0.742
非交配母本在来	4	2 - 4	0.375 - 0.750	0.642
育成品種	9	3 - 8	0.370 - 0.864	0.715



第5図 イネ24系統におけるSSR多型に基づいた主成分分析

4. まとめ

本研究により以下のことがわかった。

・前年に開発した分析手法はDNA分析が初めての学生でも結果を得ることが可能であった。

・開発したSSRマーカーは供試した品種を識別できたことから、付近で様々な種類のイネが栽培されている畑のイネやそこに由来するプラント・オパールであれば、多様性を評価できると考えられた。

5. 今後の課題

プラント・オパールに内在するDNAは、土壌から採集された後に乾燥するため劣化する可能性がある。この劣化は分析可能な期間を制約することにつながるため、プラント・オパールからのDNAを利用するに当たり、留意しておくべきことである。今後は、分析結果の再現性の確認やプラント・オパールが抽出されてからDNAが劣化せずに遺存する期間の検討を進めたい。

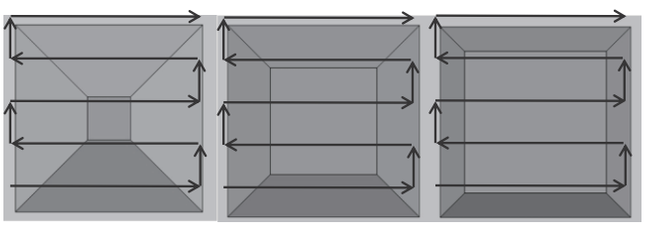
数値制御切削加工による木製彫刻遺物の再現に関する基礎的研究

Fundamental study on restoration method of sculptured wooden relics using numerical control machining

◯小川圭二（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（同左）
◯Keiji OGAWA, Masakazu MORI (Ryukoku University Digital Archives Research Center)

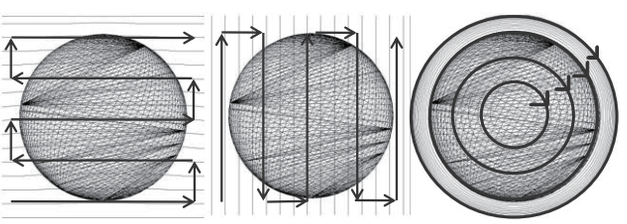
1. はじめに

学術的に、また芸術的に価値の高い遺物を次世代に残し伝えるためには、遺物の再現や複製を行い、形を守り保存する必要がある。また、遺物の複製の際には、その実物のマクロな 3 次元（3D）輪郭形状とミクロな 3D 表面粗さの高精度計測技術、そして高精細な加工技術が望まれる。ここで、遺物には、素材に木を用いたものが多く存在するが、時間や環境による劣化により、再現や複製に高度な技術と技能が必要とされる。そこで、復元複製の際は、近年注目されるデジタルものづくり技術の活用[(1)]が期待できる。しかし、3D デジタルデータ化と 3D プリンティングによる復元複製技術レベルの向上は目覚ましいものの、一般的に用いられる樹脂積層型 3D プリンティングでは、見た目の質感や肌合いといった触感は、木そのものには及ばない。そこで本研究では、木製遺物の再現・複製の方法として、木そのものを素材に用い、これを数値制御（NC：Numerical Control）切削加工することを提案する。本報では、その基礎的な取り組みを行った結果について報告する。



(a)斜面角度 30°　(b)斜面角度 45°　(c)斜面角度 60°

図 1　角錐台形状木目平行加工パス（矢印が加工パス）



(a)平行パス　(b)垂直パス　(c)等高線パス

図 2　半球形状加工パス（矢印が加工パス）

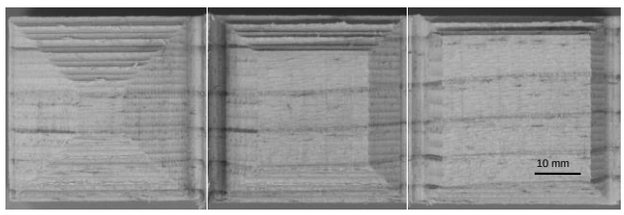
2. 実験方法

仏像や建築に多く用いられているヒノキ材を供試材とした。木材は不均一な材料であるため、その不均一性が加工品質に及ぼす影響を把握することにした。そこで、まずは単純形状の切削加工を行うこととし、その荒加工条件において切削加工条件が加工品質に及ぼす影響を把握することにした。3D 自由曲面の加工に用いられる切削工具であるボールエンドミル（φ4 mm）

表 1　切削加工条件（荒加工）

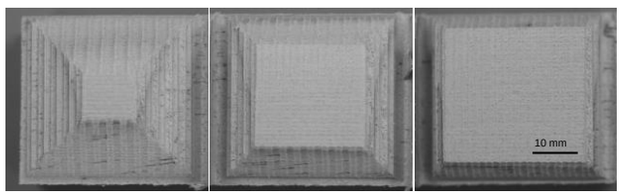
回転数（min^{-1}）	6500
送り速度（mm/min）	680
パス間隔　（mm）	1.7
仕上げ代　（mm）	0.1

を用い、立形直交 3 軸制御の数値制御工作機械を使用して、高さ 7.5 mm の角錐台形状及び半径 10 mm の半球形状を種々の加工パス（加工する際の工具移動パターン）で切削加工した。工具軸方向に工作物を上面から見た図を、それぞれ図 1 と図 2 に示す。また、切削加工条件を表 1 に示す。加工面外観をデジタルマイクロスコープで観察し、加工品質として評価した。



(a)斜面角度 30°　(b)斜面角度 45°　(c)斜面角度 60°

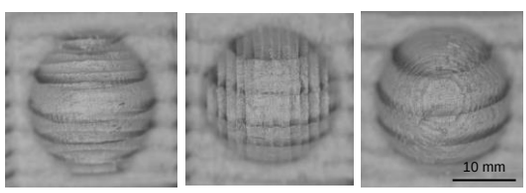
(A) 木目平行方向加工パスの場合



(a)斜面角度 30°　(b)斜面角度 45°　(c)斜面角度 60°

(B) 木目垂直方向加工パスの場合

図 3　角錐台形状加工面の観察写真



(a)木目平行方向パス (b)木目垂直方向パス (c)等高線パス

図 4　半球形状加工面の観察写真

3. 実験結果

切削点角度一定の角錐台形状の加工面（図 3）は、斜面角度が小さいほど表面が滑らかで、斜面角度が大きいほど表面が粗くなる傾向にあった。また、木目平行方向加工アップカット面（図 3(A)中の下面）で木目に沿って欠けが生じた。

切削点角度が変化する半球形状の加工面（図 4）では、いずれの加工パスの場合でも同じ箇所（図 4 中の各図の加工部右上と左下）に毛羽立ちが生じて加工品質が良くなかった。木目平行方向パスと木目垂直方向パスで、品質低下が生じている箇所は、木目に対してアップカットかつ半球上側から下側へと下る方向での加工を行った箇所で同じであった。また、等高線パスの場合は、年輪に沿って欠けが生じ、工具の刃が年輪に対して概垂直方向に侵入する箇所で荒れが生じた。

以上より、荒れや欠けの発生には年輪の方向とそれに対する工具切れの侵入方向が影響していることがわかった。なお、いずれの形状でも、仕上げ加工まで行えば、外観上は良好な加工面が得られることは確認した。

4. まとめ

NC 切削加工（荒加工条件）で木材の単純形状加工を行うことで、木目の方向と年輪の位置、それらに対する工具切れ刃の侵入方向が加工品質に影響することがわかった。

参考文献

(1) 河嶋壽一ほか (2005) 遺物の 3 次元デジタルデータ保存と復元システム, 考古学と自然科学 : 日本文化財科学会誌, 第 51 号, pp49-63.

三次元計測による「塔の森 十三重石塔」の調査

Research on "Tonomori, thirteen story stone pagoda" by 3D measurement

◯佐野宏一郎（奈良教育大学）、金原正明（同左）
◯Koichiro SANO, Masaaki KANEHARA (Nara University of Education)

1. はじめに

「塔の森 十三重の石塔」は、奈良時代の制作とされる唯一の六角型石塔である。十三重とされているが、野外に露出していることや比較的軟質な凝灰岩製であることから、風化の影響が激しく劣化が著しい。現在は第六層までが積み重ねられているが、周囲に断片が散乱している状況である。

本研究では、三次元計測が石造物の復元を検討するに有効であることを考察するため、塔の森十三重石塔を対象に、石塔と周辺に散乱する断片を三次元計測し、石塔の現状をデジタル化した。そして、得られたデータを部材ごとで仮想的に切り抜いて整理し、復元のための検討を行った。

2. 三次元計測調査

(1)使用機器

計測にはArtec Eva 3Dscanner(Artec社製)を用いた。この計測機器は、前面に3台のカメラとフラッシュバルブ光源を搭載し、光源から格子状のパターンを投光することで対象の三次元情報を取得する、ストラクチャライト方式と呼ばれる方法で計測する。また、3D モデルの編集と検討には、Artec studio 11(Artec社製)を用いた。このソフトウェアには、3Dデータの編集機能の他、３Dモデルの断面作成や距離計測などの機能がある。

(2)調査について

屋外での計測では電源が確保できないため、バッテリー駆動で計測を行った。3Dモデル作成には、対象に対して全方向からスキャニングを行い、三次元情報を過不足なく取得することが必要である。そのため、3Dスキャナを手で持ちながら角度や位置を変え、対象の周りを計測者が歩き、複数回に分けてデータを取得した。周囲に散乱した断片も同様に計測を行った。

図１：塔の森 十三重石塔 3Dモデル

3. 結果

記録したスキャン数は 74 だった。その内、編集に使用したスキャン数は 51 である。編集に使用したスキャンにおける、記録した総ポリゴン数は 532,516,460 で、頂点の数は 289,195,024 であった。不要部の削除、位置合わせ、メッシュ化、テクスチャマッピングという一連の行程で 3D モデルを構築した(図 1)。

4. 考察

構築した３D モデルに、Artec studio 11 で編集を加えることで、非接触の状態で仮想的に文化財を解体し、様々な検討ができる。一例として、計測した塔の 3D モデルから笠部を抜き出し、散乱する断片の笠部との比較例を示す。比較対象は、本体の初層から第五層と、周囲に散乱した断面のうち、最東部に置かれた断片の、計 6 つである(図 2)。

本対象は逓減率が一定であると推定した報告がされている(2001 奈良国立文化財研究所)。本稿でも、逓減率が一定であると推定して考察を行った。初層から順に笠の直径を仮想的に復元し、コンピュータ上で計測したところ、初層 115.3 ㎝、第二層 108.1 ㎝、第三層 102.3 ㎝、第四層 97.6 ㎝、第五層 101.4 ㎝、最東部断片 86.9 ㎝であった。このことから、一層ごとの逓減率は、約 0.945 であると考えられる。最東部断片の直径は 86.9 ㎝なので、第六層の可能性がある。しかし、第五層の想定直径が、第四層よりも大きく、第三層程度になってしまった。これは、断面(図 3)から判断すると、上下層の塔身の大きさが一定でないことから、後の時代に石塔が崩壊し、それらが積み直され、逓減率が一定になるように形成され直した可能性が考えられる。

5. まとめ

塔の森十三重石塔を三次元計測し、現状の記録を行った。また、得られた 3D データの特性を活かした検討を行った。本対象は劣化が著しく崩壊の恐れもあるため、直接解体し、調査することは、最大限避けるべき対象である。三次元計測技術によって非接触で情報を収集し、検討することが可能である。このように、石造物、とりわけ崩壊の危険性のある石造物には、このような手段が有効だと考えられる。

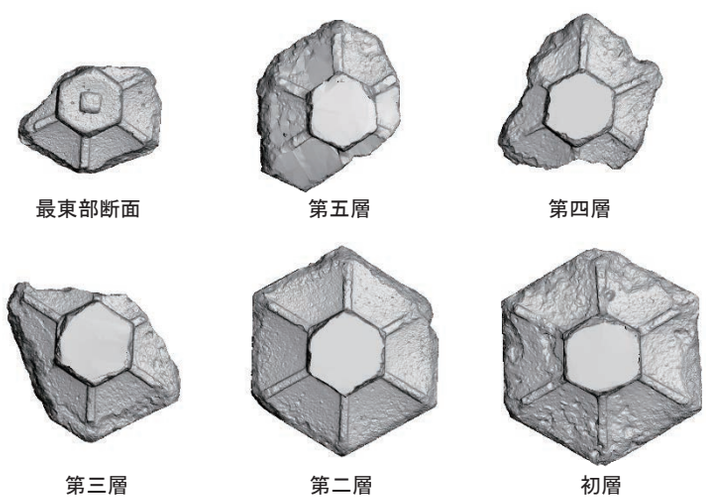


図 2：笠部の抜き出しデータ （上方向から）

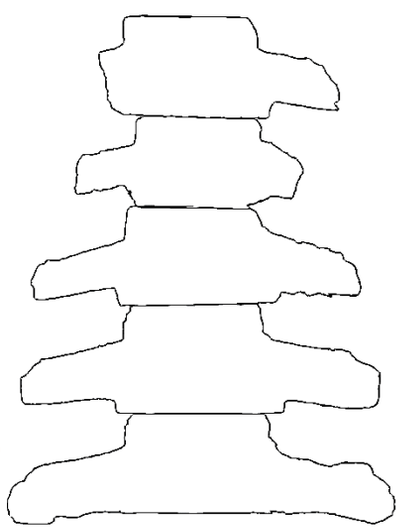


図 3：笠部断面(東西方向)

ミャンマー・バガン考古遺跡群における
壁画の保存管理に関する調査
The Research on Conservation and Management of Mural Paintings in Bagan Archaeological Site, Myanmar

○鴫原由美、前川佳文（東京文化財研究所）
○Yumi SHIGIHARA, Yoshifumi MAEKAWA
(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

ミャンマー・バガン考古遺跡群には、ビルマ族最初の統一王朝であるパガン王朝期（11～13 世紀）に建てられた煉瓦造りの仏塔寺院が立ち並び、建造物の内部を装飾する仏教壁画の質の高さもよく知られている。バガンの壁画に関しては、材料の科学分析や環境条件の測定、あるいは美術史的視点による研究が行われてきたが、保存管理に着目した調査研究はこれまでに例がない。バガン遺跡は近い将来に世界遺産への登録を見据えていることもあり、保存管理体制の確立が極めて重要となることは疑う余地がない。本発表では、ミャンマー宗教文化省・考古国立博物館局バガン支局の協力の下、現地調査によって明らかとなった壁画保存管理の問題点と現状について報告する。

仏塔寺院が立ち並ぶバガン考古遺跡群

2. 問題点

2-1. 気候条件と災害

バガンはミャンマー内陸部の乾燥地帯に位置し、乾季と雨季では温湿度が大きく変動する。屋外にあるバガン遺跡の煉瓦造建造物は、このような厳しい気候条件の影響を直接受けることで膨張と収縮を繰り返し、亀裂や割れを引き起こしている。建築内部に描かれた壁画にとりわけ甚大な損傷を与えるのは、このようにして生じた外部の破損箇所より浸潤した雨水であることが明らかになっており[1]、壁画を構成する漆喰層の剥離や剝落の原因となっている。また、バガンでは過去に大地震が繰り返し発生しており、脆弱性が高まった壁画にさらに深刻な被害を与えている。最近では 2016（平成 28）年 8 月 24 日の地震が記憶に新しい。これらの諸条件に対し、どのように保存管理を実現するかは大きな課題である。

2-2. 人的被害

バガン遺跡の建造物の多くは現在でも信仰の対象として、かつ観光資源として一般に開放されている。基本的に人の出入りをコントロールすることができないため、壁画への人的被害は後

を絶たない。バガン遺跡の世界遺産登録が想定されていることを鑑みると、将来的には観光客の増大による被害の急増が懸念される。

2-3. 保存管理の対象件数

バガンの壁画は確認できるものだけでも 500 箇所を数えるとされている。保存状態を把握し維持管理を行うには適切な人員と予算の確保が不可欠であるが、現状では十分な対応ができていないと判断できる。

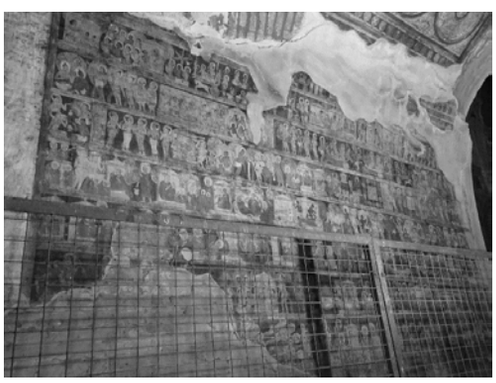
2-4. 保存管理概念の不在

ミャンマー人の大多数は敬虔な仏教徒として知られ、寺院に参拝する信者の姿は日常的な光景である。バガンにも今なお信者を集める寺院が少なくない。しかし、祭壇に仏花や果物などが供えられていても、堂内にはごみなどが散乱し、または物置のように使われているのを目にすることがある。保存管理の基本概念が徹底されていないことの表れと考えられる。

3. 対策の現状

3-1. 監視人の配置

参拝者や観光客が多い寺院には監視のための人員を配置している。近隣の住民か、もしくは寺院に僧院が附属している場合は僧侶に鍵を預けて入口の開閉を任せることもある。しかし、十分な人員の確保には至っておらず、参拝者の少ない寺院では、入口を施錠して人の立ち入りを禁じているところも多い。



金属製保護フェンスの設置例

3-2. 保護設備

接触の危険性が高い部分に金属製のフェンスやアクリル板を設置し、物理的に壁画を保護している。主に壁画の人気が高い寺院に採用されているが、接触の防止を完全に保証できるものではなく、鑑賞の妨げとなっている例も少なくない。

アクリル保護板の設置例

4. 今後の課題

現地調査により、バガンの壁画保存管理を困難にしている諸問題が浮上した。今日では国際機関や諸外国の専門家とのネットワークづくりがようやく始まる兆しを見せていることもあり、保存管理のあり方に対する現地の専門家の意識は徐々に高まってきている。文化財保護活動において適切で効率的な手法を確立させするためには、専門知識や技術の導入だけでなく、保存管理意識を高揚させることが不可欠である。今後も追跡調査を実施し、情報収集に努めるとともに対策方法を模索していく。

参考文献 [1] "*A Conservation Project for the Repair, Strengthening and Recovery of Temple 1205. Archaeological Area and Monuments of Bagan, Myanmar*", Tokyo National Research Institute for Cultural Properties, March 2018, p.17.

糸は、なぜ右撚り（S 字方向）なのか
ー福井県一乗谷朝倉氏遺跡で出土した紡織資料を事例としてー

Why are threads spun in the S direction? : As an example of weaving and spinning artifacts from Ichijodani Asakura Family site in Fukui prefecture

◯東村純子（福井大学）、魚津知克（大手前大学）、松本泰典（福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館）
◯Junko HIGASHIMURA(Fukui University), Tomokatsu UOZU(Otemae University), Yasunori MATSUMOTO(History Museum of Ichijodani Asakura Family Site)

1. はじめに

福井県一乗谷朝倉氏遺跡は、戦国大名朝倉孝景の代、1467～77 年の応仁・文明の乱後に栄え、1573 年に織田信長の軍勢により滅亡するまでの 100 余年にわたり存続した城下町の跡である。1967 年に始まる発掘調査で出土した主要な遺物は、2007 年に国の重要文化財に指定されている。

紡織にかかわる遺物として糸に撚りをかける紡錘、整経し布に織る糸を巻く糸枠、藍染めの布片があり、また紺屋跡と推定される遺構が検出されている。これらは個別に概要報告がなされ、中世の染織技術を復元する物的証拠として貴重であることが認識されているものの、考古学的な分析に基づいた技術史的な考察は十分に行われていない。そこで、本報告では一乗谷朝倉氏遺跡から出土した紡錘の実測、及びマイクロスコープ等を用いた布片の観察により、糸の績み・撚りの実態を明らかにし、その方向性に着目して麻糸作りの技術史的な考察を行う。

2. 鉄製紡茎にみる S 字状の捩り

一乗谷朝倉氏遺跡から出土した紡錘はすべて鉄製である。鉄製紡錘は全国的にみると 6 世紀後半に現れ、７～８世紀にかけて分布域が広がる（東村 2011）。福井県内では古代の出土例が少なくその分布の広がりは明確ではないものの、近世の福井城址の出土例を下限とする（東村 2018）。なかでも、一乗谷朝倉氏遺跡出土の紡錘は、紡輪・紡茎ともほぼ完形に近く残る貴重な資料である（図１左）。

紡錘は、表面全体に緑青が析出するものの、内部に鉄錆が認められることから、銅分の多い鉄素材からつくられた可能性がある。紡輪は直径 4.2㎝でレンズ状に湾曲し、中央に現存長 18.5㎝ほどの紡茎が直交して装着される。紡輪の内部には紡茎を嵌め込んだ際の鍛接痕が認められる。紡茎の上端部は、糸を引っ掛ける鈎がつくられていたと推定されるが、現状では欠損している。一方、下端部は使用時に欠損したようだ。同時代の他地域の例と比較すると、紡輪が湾曲する点は共通するが、紡茎の上半部（紡輪との鍛接部から先端部まで）が S 字状に捩じられる点でやや特異な形態である。

既に報告された紡錘（福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館 1982）の再実測を行ったところ、紡茎の上半部は断面方形で、全体を S 字状に捩ること、下半部は捩りがなく断面円形に整形されていることがわかった。この紡茎の捩りに着目すると、紡錘の回転方向が確定でき、その使用状況が推測できる。すなわち、撚りをかける糸は、S 字状の捩りに沿うように巻き付けてぶら下げたと考えられ、糸には必然的に S 字方向の撚りがかかる。事実、古代から中世の麻布には、S 字方向の撚糸が使われていることが多く、同じ一乗谷朝倉氏遺跡で出土した布片においてもそれが確認できる。

3. 布片にみる「糸績み」と「糸撚り」

一乗谷朝倉氏遺跡では､織密度の異なる数種類の平織の布片や横編法による編布片が出土している。これらの編み・織り製品についてデジタルマイクロスコープによる観察を行い、組織の形態的特徴を確認した。以下、現在も水漬け状態で保管されている藍染めの平織の布についてみる。経（たていと）は太さが均一で織密度は約 15 本/㎝、織耳部分のみ約 20 本/㎝とより緊密である。緯（よこいと）は太

さにばらつきがあり、織密度も一定ではなく約 10～15 本/㎝である。その特徴から管大杼で緯を打ち込む地機（じばた）で織られたと考えられる。経、緯とも全体にＳ字方向に緩く撚りがみられ、さらに部分的に太さの異なる糸がＳ字状に強く撚り合う「糸績み」の痕跡が確認できる（図１右上）。

「糸績み」とは、細長く裂いた苧麻や大麻などの繊維を指で撚りつなぎ、１本の長い糸に作ることを指す。木綿や羊毛は、細かく絡み合った繊維を少しずつ引き出しながら撚りをかけて糸に紡ぐが、草皮や樹皮の繊維は、まず細長く裂いて指で撚りつなぐ「糸績み」、次に紡錘などで糸全体に撚りをかける「糸撚り」という２つの工程がある。日本を含むアジアでは「糸績み」の技法として２本の繊維を揃え、１本の糸に撚りつなぐ「２本揃え」（図１右下）などがあるが、どの技法においても多くの場合、双方の繊維に右指でＺ字状に撚りをかけた後、左指でＳ字状に撚り合わせるという基本は共通する（東村 2013）。この布片は、材質分析は行われていないが、製糸の技術的特徴から苧麻、もしくは大麻製と推定でき、前項でみた紡錘の回転方向との整合性、そして糸枠や紺屋跡など織り・染めに関わる遺物・遺構との関連性を考慮すると遺跡周辺で生産された可能性がある。

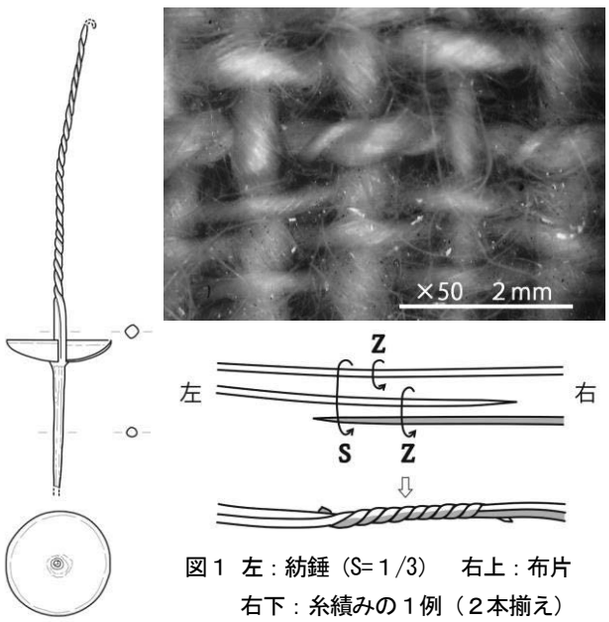


図１　左：紡錘（S=１/3）　右上：布片
右下：糸績みの１例（２本揃え）

３．麻糸作りの技術史的考察

福井県勝山市では現在も 80 代の高齢女性により、大麻の糸績みから地機で布を織るまでの技術が継承されている（東村 2018）。「糸績み」は、上記の２本揃えの方法で最終の撚りはＳ字方向である。ただし、次の工程の「糸撚り」には紡錘ではなく、近世以降に普及した糸車を使用する。「糸績み」から紡錘による「糸撚り」までの一連の作業については、新潟県小千谷縮・越後上布の事例や岩手県北上山地での調査報告（名久井 2001）がある。これらの事例を踏まえると、中世の麻の製糸においてもＺ字からＳ字状に諸撚りに績み、紡錘を右手で回転させてＳ字方向に撚るという一連の工程が復元できる。すなわち、紡錘の撚り手は、紡茎のＳ字状の捩りに沿うように糸をかけ、身体の右側で紡錘を前方へ押し出すように転がすのである。

Ｓ字方向の糸績みと撚りは、弥生～古墳時代前期の麻布において確認でき（東村 2013）、古墳時代から古代・中世にかけてＳ字状の鉤をもつ鉄製紡錘が存在する（東村 2011）ことから、通時的な技術であることがわかる。麻の繊維は、機で布に織るときの糸（経）の毛羽立ちや絡みを防ぐため、糸を績むときには必ず茎の根元から末端へと方向を揃えて作る。そして、同一の撚り方向に作った糸を輪状に整経し、その糸（経）の撚り方向を揃えて機に配置する必要がある。麻の糸績み・撚りには、右の利き手が多用されたことから、必然的にＳ字方向に統一されたと考えられる。

〈参考文献〉

名久井文明・名久井芳枝 2001『山と生きる』一芦舎／東村純子 2011『考古学からみた古代日本の紡織』六一書房／同 2013「弥生・古墳時代における麻布の製作技術」『平成 24 年度保存科学研究集会 古代の繊維－古代繊織技術研究の最近の動向－』奈良文化財研究所／同 2018「博物館における紡織資料の活用－紡錘の考古学的研究に基づいて－」『博物館学集報５』福井大学博物館学研究室／福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館 1982『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡ⅩⅢ 昭和 56 年度発掘調査整備事業概報』／同 1997『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡発掘調査報告Ⅵ』

地方行政における文化財保存について

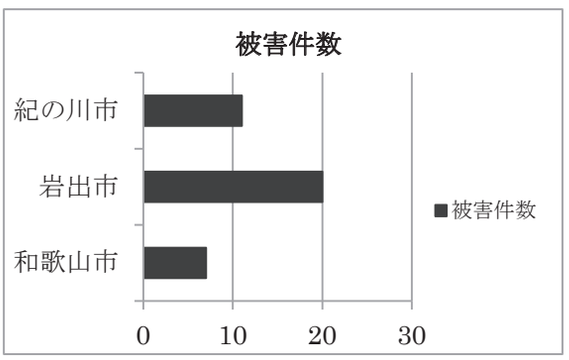
ー　地域文化財は護れるのか？ー

Local cultural preservation in the local administration

関根俊一（奈良大学）、大河内智之（和歌山県立博物館）、
○清水梨代（和歌山市）、奈良大学文化財学科
Syunich Sekine（Nara University）、Tomoyuki Okouchi（WakayamaPrefectural Museum）、
○Riyo Shimizu（wakayama city）、Nara Universitycultural assets subject

1.　盗難被害の実情

近年日本各地で地域の人々が大切に護ってきた文化財が盗難の被害にあっていることが数多く報告されている。特に、和歌山県南部では以前から文化財の盗難の報告が多数あったが、最近は和歌山市内を含む和歌山県北部でも多発している。これらの盗難文化財は闇市場に流れていると考えられ、非常に深刻な問題となっている。



平成 29 年 1 月～30 年 4 月の仏像盗難被害件数

和歌山市周辺での仏像盗難被害状況

2.　文化財防災としての地域文化財の調査と保存　～盗難防止への取り組み～

被害が著しい無住の寺院や神社の文化財は未指定品であることが多く、どのようなものであったかを照合する写真すらないのが現状である。和歌山市では被害拡大を防止するために、奈良大学文化財学科美術史研究室および和歌山県立博物館の協力を得て、被害多発地域から文化財盗難の際に照合できるように文化財の調査及び記録保存

をおこなっている。また、今後必要に応じて、保存科学研究室の協力も要請し、調査時に現地で文化財科学的調査や簡易的な保存処置もおこなうことを考えている。

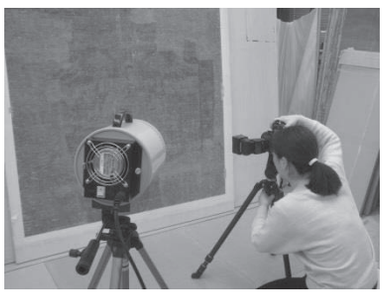
しかしながら、もっとも有効な盗難防止対策は地域での監視体制であることから、文化財の所有者だけでなく、文化財へのイタズラ被害や盗難に対して地域で協力して被害を未然に防ぐための見守り等を強化してくれるよう、地域住民への注意喚起をおこなっている。

盗難にあった文化財

3. 民間助成金による文化財保存修理

地方の社寺にとっては文化財の修復の費用負担は重く、所有者単独では修理をおこなうことが困難になりつつあるのが現実である。和歌山市では指定文化財の所有者に民間助成事業の紹介をおこない、公共からの補助金と併用する形で所有者の文化財修復にかかる費用の負担軽減を図っている。

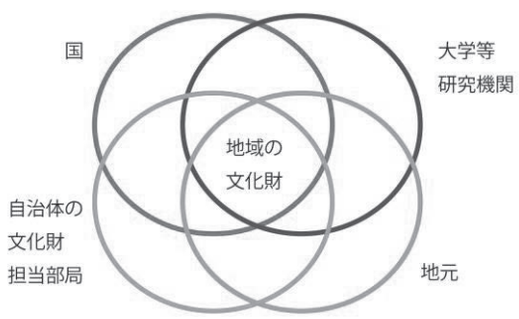
和歌山市指定文化財である総持寺当麻曼荼羅の修理事業が平成 28 年度出光文化福祉財団美術品修理助成事業に採択されたことから、平成 29 年、30 年の 2 ヵ年で修復事業をおこなっている。



4. 地域文化財の調査と保存における問題点　～財政基盤と制度的処置の欠如～

近年の、文化財の盗難やイタズラによる文化財のき損事件の多発にもかかわらず、防犯という意味での財政的処置は国指定文化財を除けばきわめて難しいのが現実である。2 のような文化財の調査にしても地方公共団体の文化財担当者だけでの調査は負担が大きく、大学等の協力が不可欠である。

しかしながら、このような官ー学連携的な取り組みも、現状ではほとんどが大学側の好意に頼ったものであり、国による何らかの財政的・制度的処置が必要であると考えられる。



奈良市内出土琥珀の劣化調査

Degradation investigation of archaeological amber in Nara city

○安木由美（奈良大学大学院）
Yumi YASUKI (The graduate school of Nara University)

1.はじめに

琥珀は出土時に状態が健全であれば、強化などの処置はせずに収蔵庫で保管される。琥珀は樹脂化石であるため、紫外線や温湿度等の影響により褐色化や粉状化等が発生することが既往の研究で明らかになっている[1)]。そのため、収蔵庫での保管環境が悪ければ劣化が進行する可能性があり、今後琥珀資料の活用を考えた場合、保管環境も重要である。

今回は比較的条件の悪い環境で10年以上保管されていた保存処理の施されていない出土琥珀の劣化状態と劣化傾向の調査、保管環境に関して検討した。

2.調査概要

今回は（独法）奈良文化財研究所平城地区の発掘調査で奈良市内から出土した資料で、発掘後10年以上経過したものについてのみ結果を報告する。出土遺構の時代は全て奈良時代で詳細は表1に示す通りである。資料の収蔵庫環境は温度は20℃前後で保たれているのに対し、湿度は短期間で大きな変動は無いが、下限約18%RH、上限約70%RHで推移しており決して良い環境とは言えない。各資料はそれぞれポリエチレン製のチャック付き袋またはボクセルに収納され、さらに調査区ごとに紙箱に収納されている。

観察にはルーペ（Nicon 製 10x）と奈良文化財研究所所有のデジタルマイクロスコープ（KEYENCE製 VHX-900）を使用し資料の劣化状態を調査した。また、デジタルカメラ（ORYMPUS製 TG-4）で適宜記録した。また、今回報告する資料のほとんどは実測図や写真が報告書に記載されていないため、出土当時と現在の状態ついて比較することができないことをあらかじめ断っておく。

3.結果および考察

出土琥珀の劣化状況として挙げられる亀裂が発生している資料はあまり見られなかったが、琥珀本来の透明度が失われているもの（失透）、程度はそれぞれ異なるが資料の一部が粉状化しているものがほとんどであった。右京北辺二坊二坪から出土した資料は30年以上経過しているが、粉状化は見られたものの劣化層の剥離や強度の低下は無く、状態はまだ健全な部類であると判断した。頭塔から出土した玉（片）は他の資料と比べ失透はもちろんのこと亀裂や粉状化の症状の程度が重いものが多かったのだが、この劣化度合いの差異は何が関係しているのかについては今後さらに資料調査を行い検証すべき問題であると考える。

以上の結果から出土当時の状態を見ていない、報告書に遺物の状態について記述が無いため現在と比較することはできないが、今回の事例のように暗所で温度が安定している保管環境であれば湿度による影響で著しく劣化が進行することは無いことが判明した。また、今回調査した資料は　直接外気に曝されていないこと、資料自体が展示等であまり活用される機会が無く収蔵庫からほとんど動かされていないことも今回の結果に影響していると推察する。

そして、今回実見させて頂いた頭塔から出土した玉（片）はボクセルに収納されていたが、ボクセルは面で押さえつけて物を固定するため蓋を開閉した時の衝撃が亀裂にかかり、破損する可能性が考えられる。亀裂の多い資料に用いる場合は注意が必要であると考える。

表1 各資料の詳細

遺跡名	出土地点	出土年	形状	点数	色調
右京北辺二坊二坪	東西大溝、黒褐粘質土層	1978	原石	1	黒褐色
左京二条三坊十六坪	西端南北溝	1982	原石	4	赤色
左京二条二坊五坪	東西大溝、木屑層	1989	原石	1	黄～茶褐色
左京三条二坊八坪	南北溝(畦)、木屑層	1989	原石	6	黄褐色、黒褐色、赤褐色
式部省東方官衙	井戸筒内、井戸抜取、木屑層	1997	細片	小片多数	黄褐色
頭塔	心礎直上、頂上トレンチ	1997	玉(片)	10	黒褐色
西大寺食堂院	井戸枠内、木屑層	2006	加工片?	2	黄褐色
平城宮東方官衙地区	炭層	2007	原石	3	黄色、赤褐色

図 1 右京北辺二坊二坪出土琥珀

図 2 頭塔出土琥珀

4.おわりに

琥珀は温度 10-15℃、湿度 45-55%RH で保管することが望ましいとされている[2)]が、今回の結果を受け、暗所で極端な温湿度変化が無く直接外気に曝されない保管環境であれば、出土琥珀は著しく劣化が進行することはないと思われる。ただし、今後出土琥珀を展示等で活用するとなった場合、照明や温湿度、資料との接触により失透や褐色化、亀裂が発生する可能性がある。最悪の場合、劣化した部分が表層剥離する等、形状が損なわれる可能性が考えられるため、資料を展示する際は照度や温湿度、展示期間等に留意されたい。

また、今回の調査では琥珀の劣化度について、形状や色、埋蔵状況による傾向や関係性を見出せず、何が劣化度の差異を生み出すのか言及できなかった。この点に関して今後調査事例を増やし、要因の追及を行う。

註

1)植田直見(2001)「琥珀の劣化」『こはく』3, 日本琥珀研究会, pp.7-11

2)Janet Waddington.,(2011) “Identification and Care of Amber” Conserve O Gram 11/17, National Park Service, pp.1-5

謝辞：今回の調査にあたり、(独法) 奈良文化財研究所考古第一研究室（平城地区）研究員の皆様、木器整理室の皆様にご協力いただきました。心より感謝申し上げます。また、この調査に関して奈良大学今津節生教授、(財) 元興寺文化財研究所植田直見氏にご助言を頂きました。この場をお借りして感謝申し上げます。本発表は平成 29 年度律宗戒学院特別奨励金に係る研究成果の一部です。

RTI と三次元計測を用いた文化財形状記録

Recording of cultural properties using RTI and 3D scanning

○岡本篤志（大手前大学史学研究所）
○Atsushi Okamoto (Otemae University Institute of History)

1. はじめに

文化財の微細形状を観察記録する方法の一つとして、三次元レーザ計測が用いられることが多い。しかし、目視観察できる微細形状が三次元計測データでは、十分に形状を捉えることができないことがある。三次元レーザ計測は、立体形状を得ることができるが、一方において高解像を求めると機材が高価になり常用することが難しい。

今回使用する RTI (Reflectance Transformation Imaging)は、カメラと特定方向からの光源を設定し法線を求めることで微細形状を捉えることができる。レーザ計測に比べ安価・簡便に微細形状を観察することができる。今回は、RTI 技術と三次元計測技術を併用し、双方の欠点を補完した観察手法を試みた。

2. RTI (Reflectance Transformation Imaging)

RTI は Hewlett-Packard Labs の Tom Malzbender と Dan Gelb によって 2001 年に発明された。観察対象の表面形状と色を取得し、任意方向の光線を照射することで、陰影をシミレーションすることができる写真手法である。

原理は、面と光源の方向が固定されているならば、面の明るさはどの方向から見ても同じになる。面の向きと明るさの関係（反射率分布図）を用いて観測された面の明るさから面の向きを知ることができるが、直ちに決定することができない。そこで部分的に向きの分っている面を見つけ、その面が滑らかであるとして内挿して求めたり、光源の位置を変えて面の明るさを観測し連立することで、観測物の法線を求めている。

3. 使用機器・撮影対象

RTI ドーム（直径 50・80 ㎝、64 灯 3W-LED）
一眼レフカメラ:Nikon D500
撮影対象：銅鏡レプリカ、黒曜石片、土器片、版木、野苧麻布
比較用レーザ計測機:コニカミノルタ Range7、COMET L3D 8M

4. RTI 撮影

今回制作した撮影ドームは、ドーム直径に対して半分の大きさの対象物を撮影することができる。（50 ㎝ドームの場合、縦・横 25 ㎝、高さ 12.5 ㎝）真球度の高い鋼鉄製ボールを校正装置として用い、各光源の位置検出と校正を行っている。

校正完了後、デジタルカメラと光源を連動させながら自動撮影を行うことができる。撮影した画像を、専用ソフトを用いて、法線マップと RTI データを作製した。

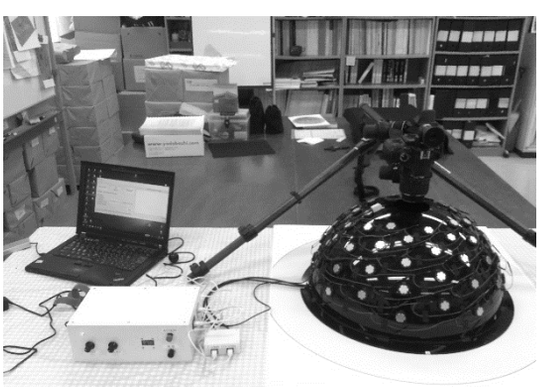


図 1 ：RTI ドーム撮影風景

5. RTI 撮影データと計測データとの比較

RTI は、微細形状や繊維のようにレーザでは計測しにくい対象において微細な形状凹凸を捉えることができた。陰影図を比較すると、レーザ計測の陰影図よりも鮮明にとらえることができている。鏡では、レーザ計測ではポリゴン化する際に鋳肌が平滑化される傾向があるが、RTI では鋳肌を反映した画像が作成されている。また、繊維においても倍率の高いレンズを使用することで、繊維の撚りや織目を観察することが可能である。

図２：鏡レプリカ形状比較（拡大）
左：レーザ計測（点間距離 0.042㎜）
右：RTI 画像

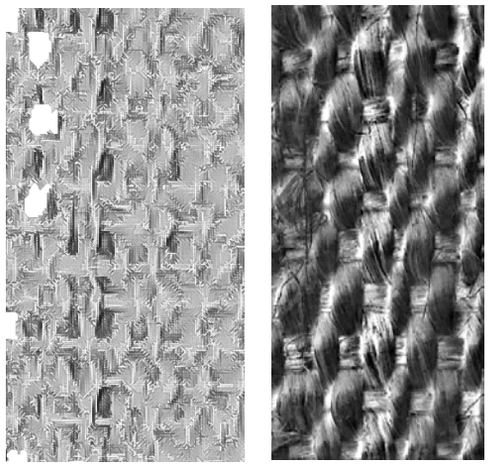


図３：野苧麻布形状比較（拡大）
左：レーザ計測（点間距離 0.1 ㎜）
右：RTI 画像

6. RTI を用いた三次元モデルの作成

RTI によって得られた法線マップは、CG 制作において低密度のポリコンデータを用いて詳細な見た目を実現する方法として用いられている。三次元モデルと組み合わせることで任意方向からの観察、光源移動による陰影観察が可能となる。今回は、計測した三次元データに RTI で得られた法線マップを反映させることにより、より詳細な形状を描画することを試みた。（図４ 左：３D データのみ　右：３D データに法線マップを反映）

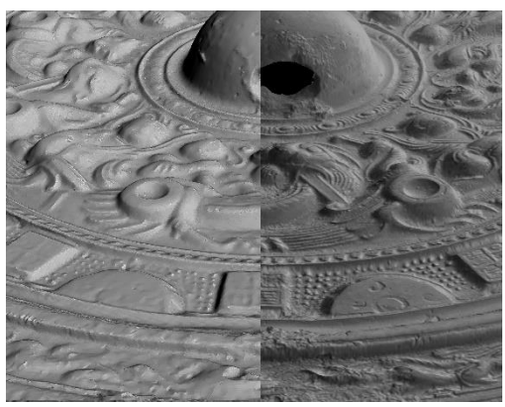


図４法線マップを用いた三次元モデル

7. おわりに

三次元計測は、レプリカ制作や断面、差分解析などを求める際には有効であるが、計測解像度によって計測できない微細な形状が出てくる。特に、三次元計測した陰影図を用いた比較においては今回利用した RTI のほうが微細凹凸を十分に取得できることが確認でき、形状観察において RTI は有効な方法であると言える。

法線ベクトルを用いた三次元化は、詳細な見た目を実現するための手法であるため、詳細な形状を記録した三次元モデルではない。したがって現状では三次元モデルと組み合わせることで疑似的な立体モデルを作成している状況である。現状では、平面的な物の法線マップを反映させることができるが、仏像など複雑な形状の場合、RTI を用いた法線マップを作製することが困難で完全な三次元データを作成できておらず、今後の課題である。

本研究は、科研費 16H02826 の助成を受けたものである。

文化施設における文化財害虫防除を目的とした ライトトラップの有効性について ― ヒメカツオブシムシの光応答性から見て ― On the possibility by using light trap for intergrated pest management control. ～ About light reactions of *Attagenus japonicas* ～

○木村文香（弘前大学）、片岡太郎（弘前大学）

○Ayaka KIMURA, Taro KATAOKA (Hirosaki University)

1. はじめに

モントリオール議定書（2005 年）において、今まで燻蒸剤として使用されていた臭化メチルが、オゾン層を破壊する物質として使用が全廃された。それ以降我が国では、文化施設の資料の維持管理を目的とした大規模な薬剤燻蒸が見直され、新たな燻蒸剤の開発だけではなく、被害前の予防的な対策が重視されるようになった。その取り組みとして害虫や菌類などの発生を抑制するのではなく、被害が生じない程度の密度に管理する総合的有害生物管理(IPM)が実施されている。もとは農業分野で提案された害虫管理の取り組みで、実際に農業の現場では農薬に頼らず、昆虫の生理的特性を利用した害虫防除の方法が数多く行われてきた。中でも光を利用した害虫管理は、LED の開発により経費コスト削減、環境保護に貢献する方法として注目されている。

本研究では農業分野の IPM を参考に、文化財の IPM において光を利用した害虫対策の有効性について検証することを目的とし、文化財害虫として知られるヒメカツオブシムシ(*Attagenus japonicas*)の光に対する反応を調べた。

2. 研究方法

2.1 調査種

本研究では、文化財害虫の代表例であるヒメカツオブシムシを使って光に対する反応を調べた。ヒメカツオブシムシは硬タンパク質（ケラチン）の分解能を持ち、幼虫期に毛織物や羊皮紙、乾燥した動物・植物標本などを直接加害する。光に対する反応としては、幼虫が負の光走性を示すのに対し、成虫は正の光走性を示すことが知られている。（中村 1992）.本実験では成虫と幼虫両方の反応を調べた。

2.2 試験容器・試験光の作成

前処理として実験容器と試験光を作製した。実験容器は①プラスチック容器の底に白画用紙を張り付けた容器と②壁面にも画用紙を張り付けた 2 種類の容器を作製した。さらに試験光は白色 LED をカラーセロファンに照射することで計 4 種類（ピーク波長 : 青色 ＝453nm、緑色 ＝539nm、黄色 ＝576nm、赤色 ＝622nm）の波長の光を作製した。実験では照度が一定となるように光源の位置を設定した。

2.3　昆虫の行動解析

試験容器内にヒメカツオブシムシを 1 個体入れ、暗室で 30 分～1 時間安置させた。その後容器の一方向から 4 種類の試験光を当て、それぞれ光に対する反応を調べた。さらにコントロールとして暗所の反応を調べ比較した。計測はインターバル撮影を 30 秒間隔で 1 時間行った。

実験で得られた画像を元に、ヒメカツオブシムシの軌跡を測定した。さらに移動距離を算出し、30 秒あたりの移動距離平均を Tukey-Kcrmer 法による多重比較検定により評価した。

3.　結果および考察

幼虫の軌跡解析による結果を見ると、試験容器に関わらずどの光環境においても動きが活発になることが分かった。また移動距離の結果から、試験光のうち青色光を当てたとき有意に移動距離が長くなることが分かった。（図 1）これに対し成虫は、黄色、緑色の光を当てたとき有意に移動距離が長くなることが分かった。（図 2）

これは幼虫が負の光走性を示すのに対し、成虫は正の光走性を示すことが知られていることから、明らかな光応答性の違いが示されたと考えられる。特に幼虫期の青色光に対する反応は、種は異なるが、青色光の殺虫効果がショウジョウバエの蛹で検証されている。（Hori et al. 2014）このことから忌避や逃避反応により活発な行動が見られたのではないかと推察される。

4.　まとめと今後の展望

本実験の結果から同種において成長ステージにより、光応答性が異なることが明らかとなった。これは他の文化財害虫においても同様の反応が考えられ、より詳細に光応答性を調べていく必要性がある。今後はこの結果を参考に、実際の文化施設を利用し光トラップの有効性について検証していきたい。

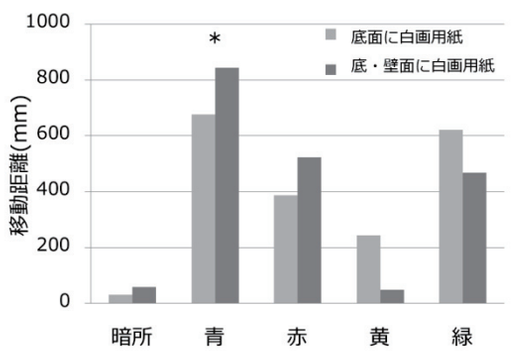


図 1. 幼虫の移動距離(N=3)

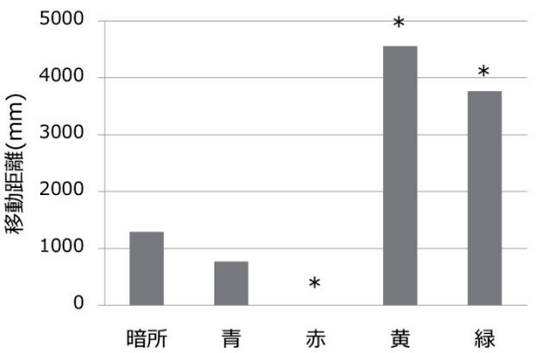


図 2. 成虫の移動距離（①容器、N=1）

引用・参考文献

中村茂子「繊維害虫の周辺」『繊維製品消費科学』33 巻 1 号（pp. 17-23）、1992

Masatoshi Hori, Kazuki Shibuya, Mitsunari Sato & Yoshino Saito: Lethal effects of short-wavelength visible light on insects. *Scientific Reports*, 4, 7383 (2014).

アケメネス朝ペルシアにおけるガラスの生産と流通に関する研究

Investigation of production and distribution of Achaemenid glass

○吉田 健太郎（東京理科大学　理学部）、阿部 善也（同左）、四角 隆二（岡山市立オリエント美術館）、菊川 匡（古代エジプト美術館）、中井 泉（東京理科大学　理学部）

○Kentaro YOSHIDA, Yoshinari ABE (Facility of Science, Tokyo University of Science), Ryuji SHIKAKU (Okayama Orient Museum), Tadashi KIKUGAWA (Ancient Egyptian Museum), Izumi NAKAI (Facility of Science, Tokyo University of Science)

1. 目的

アケメネス朝（前 550 年～前 330 年、Fig. 1）は、古代オリエント世界を統一した大帝国である。同領土内では、リュトンやフィアレ杯などの金属器を模して作られた技術力の高いガラス容器が複数発見されている。また角型の香油瓶（コホル瓶）は、同帝国内でもイラン北部において特徴的に見られる独自の製品である [1]。その一方で、アケメネス朝におけるガラスの生産および流通に関しては不明な点が多く、世界的に見ても現存資料数が限られているために、理化学的な研究例がきわめて少ないのが現状である。

Fig. 1 アケメネス朝の領土（最盛期）

そこで本研究では、国内の博物館に収蔵されたアケメネス朝のガラス製品のうち、この地域・時代に特徴的な角型コホル瓶に着目し、非破壊の分析手法を複合的に用いた研究を行い、その生産および流通状況を科学的に解明することを目的とした。まずは可搬型の蛍光 X 線分析装置および顕微ラマン分光分析装置を使用して、非破壊の化学組成分析と顔料同定を行った。またこれらのガラス製品の内、人工黄色顔料アンチモン酸鉛（$Pb_2Sb_2O_7$）により着色されたと考えられる黄色ガラスに着目し、放射光 X 線を用いた分析から製法を考察し、実際に黄色ガラスの再現も試みた。また、高エネルギー放射光 X 線分析により得られた微量元素組成を指標として用い、地中海沿岸やメソポタミア出土の古代ガラスと比較し、その生産および流通に関しても考察を行った。

2. 方法

分析資料は、古代エジプト美術館および岡山市立オリエント美術館所蔵の、角型コホル瓶である。蛍光 X 線分析（XRF）装置には可搬型のアワーズテック（株）製 100FA-IIL[2,3]を用いた。この装置は東京理科大学中井研究室が文化財分析のためにメーカーと共同開発したものであり、Na までの軽元素の分析と、ppm レベルの微量重元素分析が可能である。顕微ラマン分光分析（MRS）装置には B&W TEK 製の MiniRam（励起波長 785 nm）を用い、専用の顕微ユニットに接続することで、ガラスに添加された着色顔料の相同定を行った。さらに、一部の資料を高エネルギー加速器研究機構（つくば市）の

Photon Factory（PF）に持ち込んで、BL-4A において放射光 X 線マイクロビーム（縦横約 5 μm）を用いたμ-XRF イメージング、および Fe-K 吸収端のマイクロビーム X 線吸収端近傍構造解析（μ-XANES）を行った。本研究で示された知見に基づき、実験室において市販の試薬および電気炉を用いた黄色ガラスの再現実験を行った。再現試料についても、同様に BL-4A において放射光実験を行った。また、大型放射光施設 SPring-8 の BL08W において、116 keV に単色化した放射光 X 線を励起源に用い、高エネルギー放射光蛍光 X 線分析（HE-SR-XRF）により、希土類元素を中心とした微量重元素組成を非破壊で分析した。本研究の測定は全て非破壊で行われた。

3. 結果と考察

昨年度に開催された大会[4]で、アケメネス朝の領域内で製造されたガラスは、ソーダ石灰ガラスであることを報告した。透明ガラス容器については、使用されたソーダ系融剤の種類などから、東地中海沿岸で製作されたものと推定されたが、コホル瓶では無着色のものも含めて植物灰をソーダ系融剤として使用していた。植物灰ガラスはユーフラテス以東で作られたものと考えられるが、前 2 千年紀および後 1 千年紀にガラスの生産拠点となったメソポタミアのガラス製品[5]とは異なる組成的特徴を有する可能性が示された。よってこれらの植物灰ガラスに関しては、アケメネス朝独自の原料（砂・植物灰）を用いて、メソポタミア以外の地域で生産された可能性も考えられる。

また試薬を使用して黄色ガラスの再現実験を行った。XRF と MRS により、アケメネス朝の黄色ガラスはアンチモン酸鉛（$Pb_2Sb_2O_7$）による黄濁であることが確認された。さらに、不純物元素として、Pb 原料である方鉛鉱由来と考えられる不純物元素の Fe を特異的に検出した。また放射光実験の結果から、アケメネス朝の黄色ガラスは「予め黄色顔料を合成した後に、透明ガラスに添加して着色する」製法で製造されていると推定された。そこで、推定された製法に基づいて再現された黄色ガラスについて XANES を測定したところ、実資料ときわめてよく似た化学状態が示された。さらに、焼成温度や焼成回数など数種類の異なる合成条件で得られた再現試料についても分析・比較したところ、アケメネス朝の黄色ガラスに関して「焼成回数は1～2回程で、1000℃以下での焼成」であったとする結果が示された。

以上のように、アケメネス朝の領土内で特徴的に見つかっている角型コホル瓶に対し、使用された原料から製造拠点を考察し、さらに黄色ガラスについては詳細な製法まで考察することができた。当日は、SPring-8 で実施した HE-SR-XRF の結果を含め、生産および流通に関して考察を行う予定である。

【謝辞】

本研究の放射光実験は高エネルギー加速器研究機構放射光共同利用実験（課題番号：2016G112）および高輝度光科学研究センターSPring-8 社会・文化利用課題（課題番号：2016B1810、2018A1709）として行われた。

【参考文献】

1) 谷一 尚 「ガラスの考古学」同成社 (2007).

2) K. Tantrakarn, *et al.* : *X-Ray Spectrometry* **38**, 121-127 (2009).

3) Y. Abe, R. Shikaku, I. Nakai : *Journal of Archaeological Science: Reports*, **17**, 212-219 (2018).

4)「アケメネス朝ペルシアにおけるガラス生産と製法に関する研究」日本文化財科学会第３４回大会

5) A. J. Shortland, *et al* : *Archaeometry* **48**, 581-603 (2006).

土器付着物を用いた北海道における続縄文時代以降の食性分析

Analyzing food habits using charred remains on pottery after the Epi-Jomon culture in Hokkaido

○國木田大（東京大学）、高瀬克範（北海道大学）、熊木俊朗（東京大学）、松崎浩之（同左）
○Dai KUNIKITA (The University of Tokyo), Katsunori TAKASE (Hokkaido University), Toshiaki KUMAKI, Hiroyuki MATSUZAKI (The University of Tokyo)

１．研究の背景

本発表では、北海道における続縄文時代以降の食性に関して、土器付着物の炭素・窒素同位体比、C/N 比を用いて検討を行う。昨年度は、札幌市および北見市常呂町の擦文文化に関して発表を行った。現状で、擦文文化はオホーツク文化と同様に海洋資源に強く依存した食性の可能性が高く、雑穀類等の C_4 植物の影響も確認できる（國木田ほか 2017、國木田 2018）。今回は、さらなる議論の深化を目指し、続縄文文化・オホーツク文化・トビニタイ文化等との比較検討を行った。北海道における各文化の食性変遷を解明し、文化間の共通性や独自性を浮き彫りにし、文化形成過程を考えてみたい。

２．分析試料

本要旨での分析試料は、続縄文文化の深鉢 16 点、注口土器 7 点（後北 C_1〜C_2D 式）、鈴谷式 5 点、北大式 1 点、オホーツク文化 11 点、擦文文化 32 点（内 1 点は片口土器）、トビニタイ文化 7 点の計 79 点である。試料は全て内面付着物である。当該試料は、これまで常呂川河口遺跡、大島 2 遺跡（北見市）、利尻富士町役場遺跡（利尻富士町）、札幌市の遺跡（K39、K518 遺跡等）等の分析結果を公表している（國木田 2016、熊木ほか 2017）。今回、続縄文文化 7 点、擦文文化 1 点が追加の公表となる。現在も分析は継続中であるが、データが比較的蓄積してきたため、その傾向に関して概要をまとめてみたい。なお、炭素・窒素同位体比、C/N 比は、AAA 処理済試料を昭光サイエンスに依頼して測定を行った。

３．測定結果と考察

図 1・2 の結果から、続縄文文化の一部（4 点）を除いて、全て窒素同位体比が約 9‰より高い値を示し、水性生物の内容物の可能性が高い。また、大部分で炭素同位体比が-24‰より高い傾向にあるため、海生生物の影響が高いと判断できる。続縄文文化の 4 点（窒素同位体比 5.8〜7.4‰）は、陸上生物の可能性が高く、海生生物の影響が強い北海道ではめずらしい値である。同試料は、全て常呂川河口遺跡のものである。各文化間の比較では、オホーツク文化と鈴谷式の傾向、擦文

文化とトビニタイ文化の傾向が類似している。いずれも海生生物の影響が高いと判断できるが、その内容物の構成は文化間で多少異なるようである。続縄文文化は、オホーツク文化と擦文文化の中間付近に分布する傾向にある。擦文文化の分布は、図 1 で右下がり傾向、図 2 でも炭素同位体比が高い方向に幅広く分布することから、C_4植物の影響があると考えられる。

最後に器種の違いに関して若干ふれておきたい。今回、続縄文文化で深鉢と注口土器との比較を行った。現状で両者の間に大きな差はないため、注口の有無は内容物に関係しない可能性が高い。また、擦文文化の片口土器に関しても測定を行った。まだ 1 点であるが、炭素同位体比が高く、C/N 比が非常に低い値である。今後測定数を増やして検討を進めていきたい。

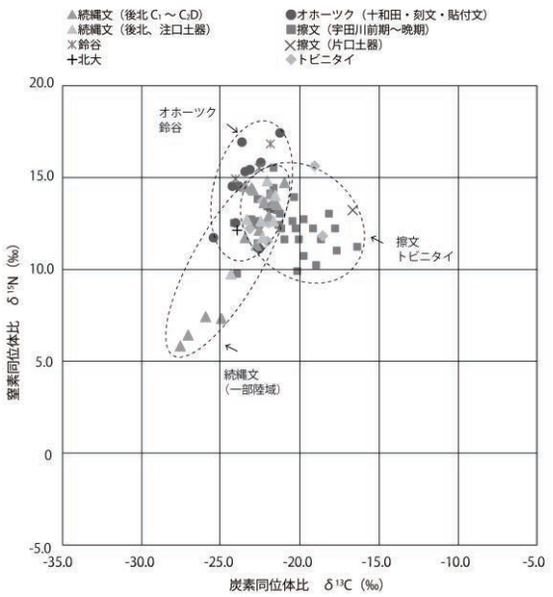


図 1　炭素・窒素同位体比

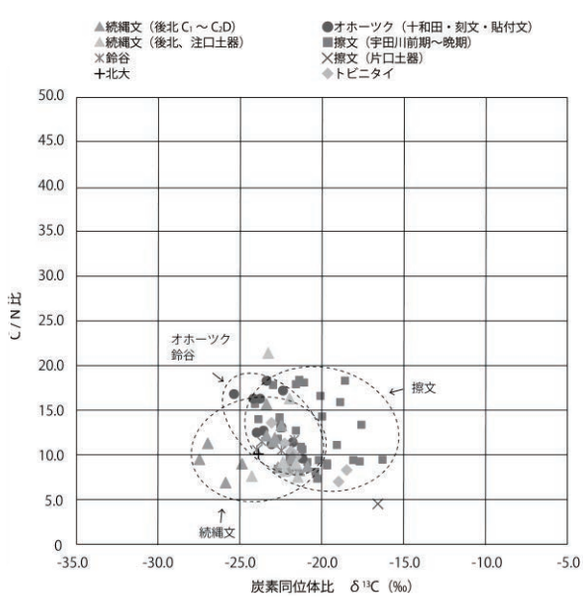


図 2　炭素同位体比と C/N 比

謝辞

試料採取に際して、札幌市埋蔵文化財センターの仙庭伸久氏、藤井誠二氏、利尻富士町教育委員会の山谷文人氏、北見市教育委員会の武田修氏、山田哲氏、中村雄紀氏、市川岳朗氏に大変お世話になりました。記して感謝申し上げます。

参考文献

國木田大 2016「大島 2 遺跡出土炭化材試料の放射性炭素年代測定および土器付着炭化物の炭素・窒素同位体分析」『東京大学常呂実習施設研究報告』14, 90-99

國木田大ほか 2017「土器付着物を用いた擦文文化の食性分析」『日本文化財科学会第 34 回大会要旨集』74-75

國木田大 2018「土器付着物を用いた続縄文時代以降の食性分析」『第 19 回北アジア調査研究報告会要旨集』51-54

熊木俊朗・福田正宏・國木田大 2017「鈴谷式土器とその年代－柳田國男の「樺太紀行」に寄せて－」『国立歴史民俗博物館研究報告』202, 101-135

蛍光 X 線分析を用いた中近世極東ロシアにおける遺跡出土ガラスビーズの考古化学的研究

Archaeometric chemical study of excavated glass beads in medieval-early modern period from far east Russia using X-ray fluorescence analysis

○新井 沙季（東京理科大学）、中村 和之（函館工業高等専門学校）、今井 藍子（東京理科大学）、村串 まどか（同左）、中井 泉（同左）、ラプチェフ・セルゲイ（MIHO MUSEUM）、小嶋 芳孝（金沢学院大学）、越田 賢一郎（札幌国際大学）、高橋 美鈴（様似町教育委員会）、田村 朋美（奈良文化財研究所）、マキシム V. ゴルシコフ（ハバロフスク地方博物館）、ユーリ G. ニキーチン（ロシア科学アカデミー極東支局）、アレクサンダー A. ヴァシレフスキー（サハリン国立大学）、オルガ A. シュービナ（サハリン郷土誌博物館）、小口 雅史（法政大学）

○Arai Saki (Tokyo University of Science), Nakamura Kazuyuki (National Institute of Technology, Hakodate College), Imai Aiko, Murakushi Madoka, Nakai Izumi (Tokyo University of Science), Sergey Lapteff (MIHO MUSEUM), Kojima Yoshitaka (Kanazawa Gakuin University), Koshida Kenichiro (Sapporo International University), Takahashi Misuzu (Samani Board of Education), Tamura Tomomi (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Makism Valeryevich Gorshkov (Khabarovsk Regional Museum), Yuri Gennadyevich Nikitin (Russian Academy of Science Far Eastern Branch), Aleksandr Aleksandrovich Vasilevski (Sakhalin National University), Olga Alekseevna Shubina (Sakhalin Regional Museum), Oguchi Masashi (Hosei University)

１．研究背景・目的

我々は，極東ロシア，北海道における遺跡出土ガラス流通を解明することを目的として研究を行っている．本研究では、17 世紀に始まる山丹交易の舞台であった沿海州，ハバロフスク地方，サハリン島に着目した．これらの地域の遺跡からはキセルや陶磁器、紙幣など，中国や日本由来のものが多数出土している．その 3 地域にある遺跡出土ガラスビーズの化学組成分析を行うことで，中近世極東ロシアのガラス流通の一端を解明することを目的とした．ガラスビーズに関しての研究は，関根ら [1]によってされているが，本研究では，軽元素～微量重元素まで詳細に分析・定量し，比較した．さらに，本研究で得られたデータと当研究室が過去に分析した同時代の北海道の遺跡出土ガラスのデータ [2]を比較し，考察を加えた．

２．分析資料・分析装置

分析資料は，沿海州，ハバロフスク地方，サハリン島にある遺跡出土ガラスビーズ計 273 点である．いずれも 10～19 世紀の遺跡であり，沿海州 116 点，ハバロフスク地方 99 点，サハリン島 58 点を分析した．色調は乳濁水色が最も多く，青色，緑色，紫色，黒色など様々存在した．また，製作技法は巻き付け技法と管切り技法の 2 種類が存在した．同時代の北海道には，あまり流通が見られない技法である管切り技法を用いたガラスが流通していることが特徴であ

る．

本研究で用いた分析装置は，可搬型蛍光 X 線分析装置 2 台(OURSTEX 100FA-Ⅱ，OURSTEX 100FA-Ⅳ)である．これらの装置は当研究室(東京理科大学)が OURSTEX(株)と共同開発したエネルギー分散型の分析装置である [3,4]．アルカリ系ガラス資料は検量線を用いて全 22 元素を定量し，高 PbO 含有量のガラス資料に対しては，補正検量線を用いた定量 [5]を行った．資料の密度を用いて PbO 含有量を算出し，求めた PbO 含有量を用いて補正検量線から全 17 元素を定量した．これらの可搬型蛍光 X 線分析装置を資料の収蔵施設へ持ち込み，ガラスビーズを非破壊で組成分析した．

３．結果と考察

分析した資料を化学組成に基づき分類すると，カリ鉛ガラス（K_2O-PbO-SiO_2）とアルカリ石灰ガラス（Na_2O,K_2O-CaO-SiO_2）に分類された．

中近世のガラスタイプに多く見られる組成である，K_2O *vs.* PbO プロットを作成した．Fig. 1 にそのプロットを示した．本研究では，PbO 含有量 5wt%以上の資料をカリ鉛ガラスとした．当研究室の分析調査により，それぞれの地域のガラスの鉛含有量は，北海道は 30～60wt%，サハリン島は 30～40wt%，沿海州・ハバロフスク地方は 5～30wt%であることが判明した．

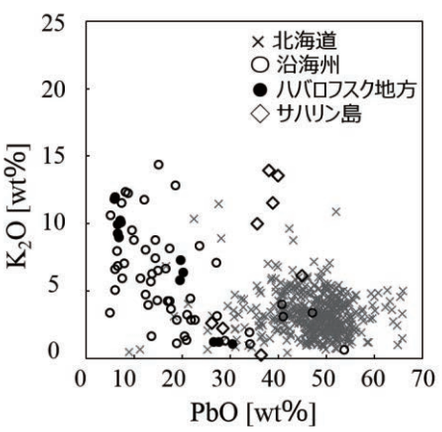


Fig. 1 K_2O *vs.* PbO プロット

地域ごとに流通したカリ鉛ガラスの鉛含有量に差が見られることが解明された．これは，流通したカリ鉛ガラスに，高 Pb タイプと低 Pb タイプの 2 種類が存在していた可能性や，ガラスが伝わる過程でリサイクルが行われていた可能性も考えられる．一方，アルカリ石灰ガラスに関して，いずれも中国起源であることが示唆された．

以上本研究により，中近世極東ロシアにおけるガラスビーズ流通に関する重要な知見を得ることができた．

【謝辞】

貴重な資料を提供してくださった，ハバロフスク郷土誌博物館，ロシア科学アカデミー極東支部，サハリン国立大学，サハリン州立郷土誌博物館の関係者各位のご協力に感謝いたします．尚，本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(B)26303006, 17H02380, 15H03245）の支援により実施されました．

【参考文献】

1) 関根達人ほか：中近世北方交易と蝦夷地の内国化に関する研究（2014). 2) 新井沙季ほか：函館工業高等専門学校紀要，**52**，48-67 (2018). 3) 菊川 匡ほか：X 線分析の進歩, **40**, 325-337 (2010). 4) K.Tantrakarn et al.：*X-Ray Spectrometry*, **38**, 121-127 (2009). 5) 権代紘志ほか：X 線分析の進歩, **42**, 325-340 (2011).

赤外線画像と彩色材料の成分との比較について
On comparison between infrared image and components of coloring material.

○秋山純子(九州国立博物館)、上野進、鹿間里奈、髙木敬子(香川県立ミュージアム)
○Junko AKIYAMA（Kyushu National Museum）
Susumu UENO, Rina SHIKAMA, Keiko TAKAGI（The Kagawa Museum）

１．はじめに

本研究では、これまで香川県立ミュージアムと共同で香川県指定有形文化財に指定されている高松松平家伝来の博物図譜を対象に赤外線画像の検討を進めてきた[1),2)]。この博物図譜は魚類を集めた「衆鱗図」、鳥類を集めた「衆禽画譜」、植物を集めた「衆芳画譜」「写生画帖」と多岐にわたっている。それぞれ多彩な色で詳細に描かれており、博物図譜の製作に関わる彩色材料の部分を科学的に明らかにすることが目的である。赤外線画像の濃淡から彩色材料の顔料・染料を見分けることができ、「衆鱗図」と「衆禽画譜」では顔料が多く使用され、植物が描かれる「衆芳画譜」「写生画帖」では染料が多用されていることが分かった。今回の研究では、「写生画帖」の緑色に注目し、赤外線画像の濃淡と顔料・染料の成分について科学的に調査した。

２．調査方法

博物図譜のカラー画像と赤外線撮影は非接触大型画像取得装置 Niji-H（高精細スキャナ、株式会社サビア製）を使用した。高精細スキャナは一定の光と間隔で対象をスキャンすることができるため、ムラのない一枚の画像を得ることができる。赤外線撮影はモノクロカメラ（レンズ Aro-Podagon-N 80mm f/4）を用いて、近赤外領域の光で行った（IR-LED 光源、紫外線吸収フィルタ SC70)。撮影した画像の解像度は 500dpi である。

赤外線画像と彩色材料の成分とを比較するため、非破壊で分析できる簡易型の蛍光 X 線分析装置（デルタハンドヘルド蛍光 X 線分析計、機種:Premium、Rh 管球、分析ソフトウェア:岩石鉱石モード、型式：DP-4000）および可視分光スペクトル分析装置（分光光度計 Oceanoptics 社製 USB-2000 外部光源 同 LS-1 ハロゲンランプ）で彩色材料の成分を測定した。

３．結果および考察

今回、緑色に彩色された箇所に重点を置いて調査した。緑色の染料は青色と黄色を混合して作り出される。以前、自作の染料カラーチャートの赤外線画像について報告したが[2)]、黄色の藤黄・黄檗はいずれも白く抜け、青色の藍・プルシャンブルーでは濃淡の違いはあるが黒く写った。博物図譜の赤外線画像を確認したところ、同じ緑色に彩色された箇所で、濃淡に違いが見られた。これまでの調査から、同じ緑色でも顔料と染料の違いが赤外線画像の濃淡の違いを示していると推測された。そこで赤外線画像で黒く写っている緑色箇所（図 1、2）の蛍光 X 線分析と可視分光スペクトル分析を行った。同様に赤外線画像で白く抜けた黄色の糸瓜の花についても分析した。赤外線画像で黒く写った箇所からは銅が主成分元素として検出された（図 3)。おそらく緑青などの緑色顔料と推定される。分光スペクトルでも緑色を示す波長領域（550nm 付近）に反射ピークが見られた（図 5)。一方、黄色の花の部分はカルシウムが主に検出された（図 4)。可視分光スペクトルでも黄色領域（570-650nm）に反射ピークが見られ、近赤外領域(780-1000nm)にも反射を示し、黄色の染料が使用されていることが分かった（図 6)。

また、赤外線画像において緑色が白く抜けている部分（図 7、8）ではカルシウムが主に検出された（図 9)。同様に青色の花の部分でもカルシウムが主に検出され、わずかに銅が確認された（図 10)。可視分光スペクトル分析からそれぞれ緑色（530nm 付近）と青色(460nm 付近）に反射ピークが見られた。両者ともに近赤外領域にも反射が確認され、赤外線画像の濃淡と一致した（図 11、12)。青色では、自作のカラーチャートで藍とプルシャンブルーの赤外線画像を確認している[2)]が、両者では近赤外領域の反射に違いがあり、藍は比較的近赤外領域に反射が見られることから、黄色と藍の染料の混色である可能性が示唆される。

図 1 カラー画像
（「写生画帖」菜蔬 裏 16）

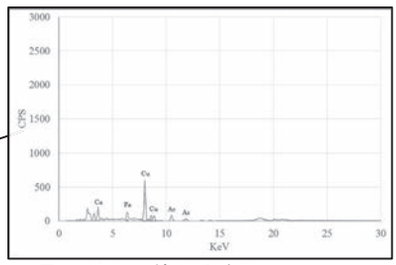


図 3 蛍光 X 線分析結果
（左側下の緑色糸瓜の葉の下部）

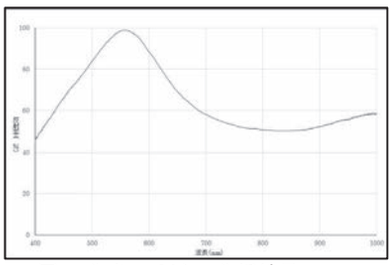


図 5 分光スペクトル分析結果
（同左）

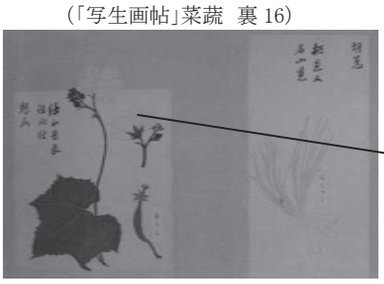


図 2 赤外線画像
（同上）

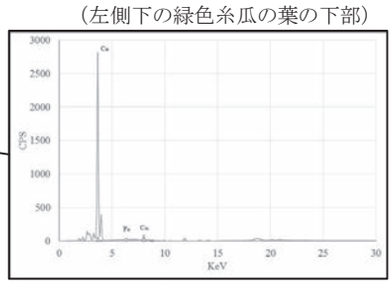


図 4 蛍光 X 線分析結果
（左側上から 2 つ目の黄色糸瓜の花）

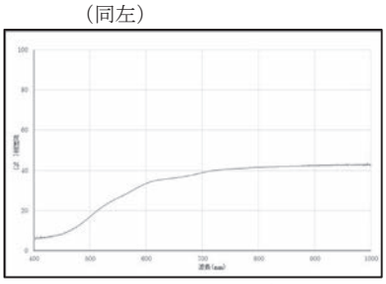


図 6 分光スペクトル分析結果
（同左）

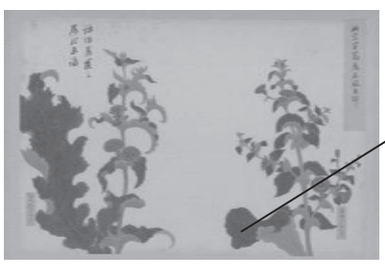


図 7 カラー画像
（「写生画帖」菜蔬 裏 5）

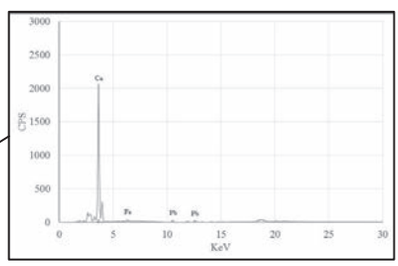


図 9 蛍光 X 線分析結果
（右側一番下の濃い緑色の葉）

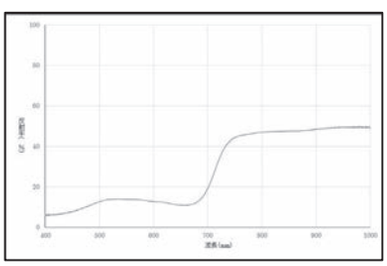


図 11 分光スペクトル分析結果
（同左）

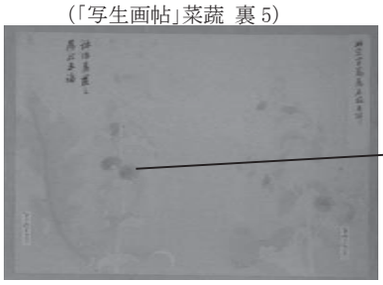


図 8 赤外線画像
（同上）

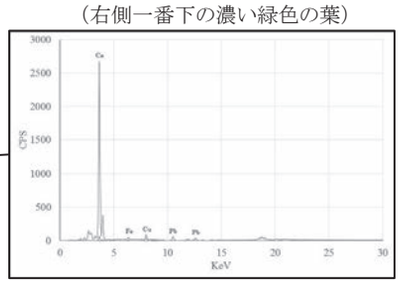


図 10 蛍光 X 線分析結果
（左側の上から 3 つ目の青色の花）

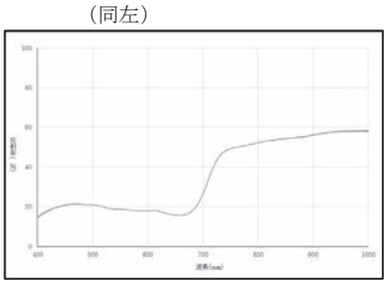


図 12 分光スペクトル分析結果
（同左）

4. まとめ

今回、緑色に彩色された箇所に関して科学的に調査した。赤外線画像の濃淡と点分析の結果を照らし合わせると、顔料・染料の違いを示しているといえる。しかし、顔料・染料を混合して使用している場合は明確に見分けられないため、別の科学調査による検討が必要である。

協力：公益財団法人松平公益会
※本研究は科学研究費補助金基盤研究（C）（課題番号：15K01144）により行いました。

参考文献

1）秋山純子, 三好賢子, 高木敬子, 森實久美子, 一瀬智：歴史資料に使用された彩色材料の調査研究, 日本文化財科学会第32回大会要旨集, pp. 312-313（2016）
2）秋山純子, 三好賢子, 高木敬子：赤外線画像を使った彩色材料の面的調査, 日本文化財科学会第33回大会要旨集, pp. 280-281（2017）

平城京出土木製人形の同一材検討

Dendrochronological research on wooden human-shaped effigy excavated from the Nara Capital Site

○浦 蓉子（奈良文化財研究所）、星野安治（同左）
○Yoko URA, Yasuharu HOSHINO (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

奈良文化財研究所平城第 122 次調査では、平城宮の南面東門（壬生門）および二条大路、南面大垣の調査をおこなっている。調査では二条大路北側溝 SD1250 より、約 200 点の人形が鳥形や斎串等の木製祭祀具とともに出土した。これら多量の木製祭祀具は、平安時代に編纂された『法曹類林』にみられる、毎年 6・12 月の晦日に「大伴壬生二門間大路」でおこなわれる大祓の儀式に使用されたものである可能性が指摘されている [1)]。今回の分析では、これらの一括で出土している良好な木製人形について、年輪年代学的手法による同一材の検討をおこなった。

2. 分析対象

二条大路北側溝 SD1250 は幅 4.2m、深さ１m 弱の東西方向の溝であり、人形は最下層の暗灰砂あるいは暗灰粘土からの出土である。人形は全長７～16cm のものを中心に５cm前後の小型のものから、31 cmの大型のものがある。顔の表現や冠、顎鬚、衣服などを表現したものがあり、形状も多種多様である。中には、形状や顔の表現が類似するものがあり、それらは２枚あるいは３枚が折り重なって出土したという [2)]。今回、同一材の分析を行ったのは図１の９点であり、それぞれ形状や顔の表現の類似から、対あるいは組として認識されてきたものである。

3. 分析結果

年輪幅の計測は，分析対象を接写撮影し，Cybis 社製年輪計測ソフト CooRecorder を用いておこなった。クロスデーティングは，SCIEM 社製年輪分析ソフト PAST を用いておこない，年輪曲線をプロットしたグラフの目視評価と，統計評価をあわせておこなった。図２に示すように、類似する人形どうしの組み合わせの年輪曲線は、年輪幅の前年に対する増減のみならず絶対値も酷似していると判断され、同一材由来の可能性が高い。また、すべての組み合わせについて、年輪がほぼ重複する関係となっている。

4. 同一材で作られた人形

今回の分析において、壬生門前の二条大路北側溝 SD1250 出土の形状・顔の表現の類似した人形について、同一材であるという知見を加えることができた。このことは、材の分割、成形、墨

書き、そして同一グリッドから出土していることから使用もしくは廃棄についての一連の作業が近接しておこなわれたことを示す。要するに、人形の製作から使用（廃棄）が同一主体によっておこなわれたと指摘できる。また、人形の形状や顔の表現は多様であり大量生産品とは考え難い。そのため、これらの人形について各人が木を削り、対や組となる人形を作り、顔を描き、使用（廃棄）するという一連の行為を復元したい。木製人形を用いた祭祀行為の一端について新たな知見を加えることができた。

註

1）奈文研『昭和55年度　平城概報』３-10頁。
2）金子裕之「平城京と祭場」『国立歴史民俗博物館研究報告』　７、1985。
3）本研究はJSPS科研費JP16K16951およびJP17H02424の成果の一部である。

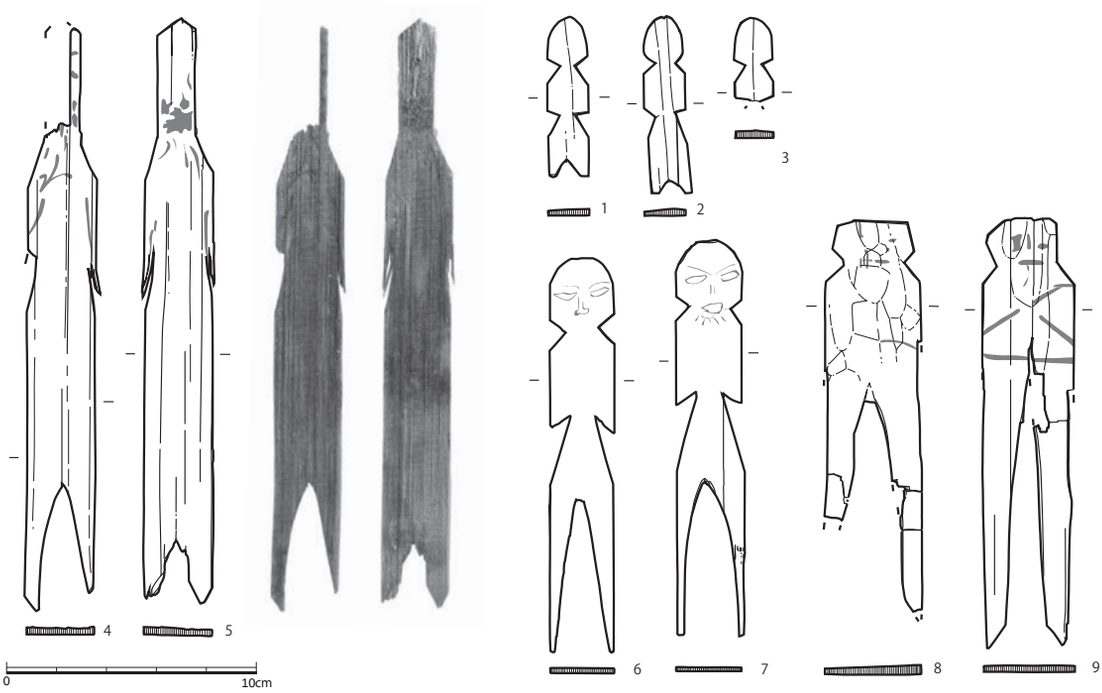


図１　分析対象の人形

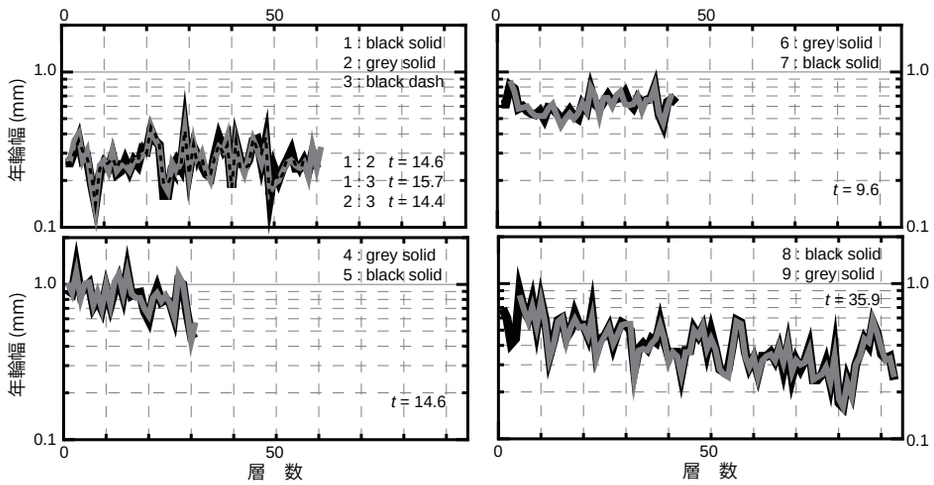


図２　年輪曲線の照合結果

埋蔵文化財修復の一事例
ー福岡市元岡・桑原 42 次調査出土木製容器の欠損補填を中心としてー

A Case of Repair An Archeological Objects

-About Wooden Container of Excavated from Motooka･Kuwabara 42th Site in Fukuoka City -

○比佐陽一郎・松園菜穂（福岡市埋蔵文化財センター）
Yoichiro Hisa・Naho Matsuzono（Fukuoka city Archeology Center）

1. はじめに

文化財の保護は保存を前提とした活用によって成り立っている。活用とは人々に文化財を見せ、その存在意義や価値を広く周知することといえる。そこには文化財の見せ方、見え方が大きく関与するものと考える。

絵画や仏像といった伝世文化財は美術品といった側面もあり、修復に際しては「見た目」の部分にも十分配慮した処置が施されるとともに、それに関する議論も活発に行われている。一方で埋蔵文化財は、土中で形状や性質が本来のものから大きく変化している場合が多く、まずは状態を維持する保存のための処置が重視され、そこに用いられる材料や方法については研究が進んでいる。しかし、保存の後の活用、つまりどの様に見せるかという修復の部分は、それほど重視されていないように感じられる。その要因の一つには、埋蔵文化財は考古資料であり、その研究には線画化された実測図が用いられるため、実物の修復には目が行き届かないことが挙げられよう。しかし、考古資料も博物館に展示され一般の目に触れる文化財である。そこには、資料をよりよく活用するために付加価値を与える観点が必要と考える。

本発表では、埋蔵文化財修復における一つの事例をもとに、その見せ方について考えてみたい。

2. 対象資料について

今回修復を行った資料は、福岡市西区の元岡・桑原遺跡群 42 次調査で出土した木製の容器である。弥生時代中期後半の土器とともに出土した。一木を刳り抜いて作られた身と蓋があり、樹種や形状からセットになるものと考えられる。大きさは平面が概ね 13× 5 cm、高さは身と蓋を合わせた状態で復元すると最大で 10cm 程となる。

樹種同定は行っていないが、非常に目の詰まった堅い木を素材とし、身と蓋を固定するための突起や底面に設けられた脚など、精緻な加工が施されている。何よりも蓋の形状が特徴的で、国内に類例を見出すことはできず、海外からの将来品である可能性も想起される希少な資料である。しかし特に身の方は上半が大きく欠損し、蓋との合わせ目は残っていないため、そのままの状態では身と蓋を合わせることはできなかった。

なお、当該資料は平成 28 年度に保存処理を行った。処理方法は PEG 含浸法で、アルコールによる表面処理を施している。

3. 作業の内容

類例のない希少な木製品である本資料は、今後も広く活用されることが予想され、それには大きく欠損した身の部分の修復が必要と考えた。しかしこれまで当センターで行ってきた欠損部の補填は、エポキシ樹脂を資料に直接結着させる方法であり、復元部分は将来にわたって固定化されることとなる。底部と側面の一部しか残存していない状況で、この方法により復元すると、特に高さ情報は推測に頼らざるを得ず、正しい姿に復元される保証は無い。将来的な再

修理の可能性を想定するならば、従来の方法で行うことはためらわれた。

身の内部に一回り小さなアクリル、あるいは発泡樹脂などの枠や塊を置き、蓋を載せるといった展示方法も考えられるが、欠損を補填する場合に比べ視覚的な違和感が大きいことは否めない。そこで、欠損を補填しつつ、それに可逆性を持たせる方法を考え、実践した。

資料の破断面に複製資料製作の際に実物資料の保護に用いる錫箔を貼り、そこに補填用の樹脂を置く。樹脂は可塑剤を多く含む粘土状のエポキシ樹脂（ナガセケムテックス社製エポキシレジン／XNR6105・XNH6105）を用い、FRP 板を芯にして肉付けを行った。樹脂が硬化したら錫箔を離型材として補填部分は実物から分離する。その状態でサンドペーパーなどを用いて形を整えた後、アクリル絵の具で単色彩色を施した。

写真1. 着手前の状態

写真2. 錫箔による破断面の保護と離型

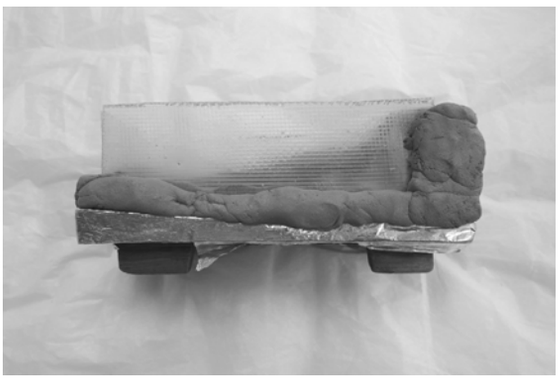


写真3. エポキシ樹脂と FRP 板による補填

写真4. 完成状態

4. 結果とまとめ

今回の方法により、資料そのものの状態は何ら変化させることなく欠損の補填を行うことができた。また、欠損補填により資料の全体像をよりわかりやすく呈示することが可能となった。

これまでの埋蔵文化財修復における欠損の補填では、補填材が実物と色調、質感が大きく異なることによって妙に目立つ、あるいは補填材と実物の境目が不明瞭となることで違和感のある外観となる、それを防ぐ目的で補填部分に凝った着色を施すことで、あたかも完形品であるかのような誤解を招く、などの問題があった。しかし、今回の資料に関しては、実物と補填部分の境が明確で、且つ補填部分を実物の色味に近い単色彩色とすることにより、資料を見る人が欠損の補填を違和感なく認識した上で、資料全体の姿を知ることができるものになったと考える。

資料としての真正性を保持した修復は、その価値を高め、より広くその価値を伝えることにつながるという相乗効果が期待される。

庚寅銘大刀の保存処理
－福岡市元岡 G-6 号墳出土金象嵌大刀のその後－
Conservation of a sword with an inscription of Ko-In
- After that gold inlaid sword excavated from Motooka G-6th tomb -

○比佐陽一郎・松園菜穂（福岡市埋蔵文化財センター）・上角智希（福岡市埋蔵文化財課）
Yoichiro Hisa・Naho Matsuzono（Fukuoka city Archeology Center）・Tomoki Kamikado（Fukuoka city Archaeological Property Section）

1. はじめに

庚寅銘大刀は平成 23 年に福岡市西区の元岡 G-6 号墳から出土した。石室からの取り上げ直後に行われた透過 X 線調査で 19 文字の象嵌が発見され、そこに書かれた紀年銘からこの名で呼ばれている資料である。

終末期古墳から出土した本資料は、単なる紀年銘に止まらず暦の使用についても研究に一石を投じるものとして、考古学や古代史において大きな意義を持つ発見とされた。

保存処理に向けた事前調査として、九州国立博物館や九州歴史資料館の協力のもと X 線 CT による調査も行われ、その内容は本学会の第 29 回大会で発表されている。その後、資料は象嵌の表出を中心とする保存処理作業により、全 19 文字の金象嵌が全容を表した。更に全体のクリーニングを行い概ねの作業が完了した。

ここでは、前回の発表以後に行われた保存処理作業と、象嵌表出後に行った調査について報告するものである。

2. 保存処理作業

文字象嵌を有する資料の保存処理は福岡市において初めての経験であった。そのため、作業にあたっては専門家で構成される指導委員会を設置し、その指導を受けながら進めることとした。世紀の発見と評される埼玉県稲荷山鉄剣の保存処理を行い、その後、象嵌資料研究の第一人者となった西山要一氏を委員長とし、保存科学や考古学、古代史の専門家 6 名で構成された委員会の存在は、貴重な資料の保存処理を進めるにおいて不可欠なものであり、保存処理成功の大きな要因となったことは言うまでもない。

象嵌の表出は上角が担当し、X 線 CT による情報を手がかりとしながら、グラインダーで文字の直上まで削り、タングステン製のタガネで文字上の錆を剥がす作業を繰り返した。特に象嵌が金であったことは、資料の価値を高めるだけでなく錆の除去においても有利に働いた。表出作業は平成 24 年 6 月に開始し、同年 12 月に「作」の一部を表出、分析により金であることを確認。そこから随時範囲を広げ、一文字目の表出など節目ごとに委員会を開催、意見を聞きながら作業を進め、平成 27 年 1 月、全 19 文字の表出に至った。

更に刀身全体の錆取りやアクリル樹脂（パラロイド NAD-10）による強化処置を行い、平成 28 年 12 月に概ねの処置が完了した。

保存処理終了後の全体像

保存処理によって表出された象嵌文字

3. 象嵌文字の調査

象嵌文字についてはデジタルマイクロスコープや透過 X 線による拡大観察と、蛍光 X 線分析による材質分析を行った。調査に用いた装置や条件は紙幅の関係上割愛し、ポスターに譲る。

先行研究によれば、古墳時代の象嵌では異金属を埋設するための線を彫る際に、蹴り彫りの技法が用いられていることが示されている（西山 2003）。デジタルマイクロスコープによる表面情報ではそれほど明確に見えないが、透過 X 線画像では特に 3 文字目「庚」、6 文字目「月」、15 文字目「凡」などの文字に顕著に見ることができる。

また蛍光 X 線分析では、19 文字に対して字画を意識して一文字あたり数カ所、120 を超える場所の分析を行ったが、大きく異なる数値が出た箇所は存在せず、きわめて均質な結果となっている。正確な数値ではないが、概ねの目安として、金 92%、銀 6 %、銅 2 %程度である。埼玉稲荷山古墳出土の辛亥銘鉄剣の分析（早川ほか 2003）で見られたような文字による違いは無く、同じ素材が全文字に用いられたと見られる。

4. まとめ

庚寅銘大刀は発見直後、あまりの資料価値の高さに、象嵌資料の保存処理実績を有する専門施設への委託という方法も選択肢として上がった。しかし、保存処理施設を有し専門職員が配置された状況下で、その存在意義を維持するためにも自前での作業は必要であった。何より、地元の資料を地元で保存処理する地産地消的作業は、成果を常に市民に還元しながら行える利点があり、保存処理された成果品のみならず、その過程も含め総体で情報や資料が残ることは、福岡県あるいは九州の保存科学の今後においても大きな意義があったものと考えている。

また、当初、透過 X 線や CT により文字の情報は得られたことから、無理に表出作業は行わず将来に託すべきという意見もあった。これについても保存処理作業によって象嵌が金であることが確認され、資料の価値が高まることはもちろん、その表出によって見る人に大きなインパクトを与えることができた。今後も文化財としてその輝きを保ち、多くの人に歴史を伝える役割を果たすものと期待される。

（参考文献）

大塚紀宜 2018『九州大学統合移転用地内埋蔵文化財調査報告書　元岡・桑原遺跡群 30-元岡古墳群 G-6 号墳・庚寅銘大刀の考察-』福岡市埋蔵文化財調査報告書第 1355 集　福岡市教育委員会

西山要一 2003「象嵌－古墳時代の金工技術（2）－」『考古資料大観』7　弥生・古墳時代　鉄・金銅製品　小学館

早川泰弘・三浦定俊・大森信宏・青木繁夫・今泉泰之 2003「埼玉県稲荷山古墳金錯銘鉄剣の金象嵌銘文の蛍光 X 線分析」『保存科学』第 42 号　東京文化財研究所

奈良女子大学所蔵正倉院模造宝物黄金瑠璃鈿背十二稜鏡の材料とその製作背景の研究

Study on Reproduction of Shosoin imperial treasures,On the fabrication technique of Cloisonné decoration metal mirror(Nara Women's University Collection)

◯六車美保（京都大学)、武藤夕佳里（京都造形芸術大学)、新免歳靖（東京学芸大学)、山田卓司（元興寺文化財研究所)、二宮修治（東京学芸大学)、宮路淳子（奈良女子大学)

◯Miho Muguruma(Kyoto University), Yukari Muto(Kyoto University of Art and Design), Toshiyasu Shinmen(Tokyo Gakugei University), Takashi Yamada(Gangoji Institute for Research of Cultural Property), Shuji Ninomiya(Tokyo Gakugei University), Atsuko Miyaji(Nara Women's University)

1. はじめに

奈良女子大学は、前身である奈良女子高等師範学校時代から、一万点を超える教育教材資料を所蔵し、保存・管理・活用に取り組んでいる。そのうち、正倉院模造宝物(以下、模造宝物)及び関連資料は 51 点あり、吉田包春(明治 11 年・1878-昭和 26 年・1951)による作品は 40 点にのぼる。

図 1　正倉院模造宝物
黄金瑠璃鈿背十二稜鏡（奈良女子大学蔵）

本研究で着目する模造宝物「黄金瑠璃鈿背十二稜鏡(1)」も包春の作と伝わる。意匠的特徴から正倉院宝物「十二稜鏡 黄金瑠璃鈿背 第 6 号(2)」を模したものと考えられ、金属製鏡の背面に七宝釉薬が施されている。七宝技法による加装についてはご遺族への聞き取り調査で、包春が京都の「並河」に依頼したと伝わることが分かったが、模造宝物の製作年代及び経緯については不明である。そのため、同時代の京都の七宝家・並河靖之(弘化 2 年・1845-昭和 2 年・1927)の製作技法の先行研究を手掛かりに、本鏡の製作背景を探っていくこととする。

2. 吉田包春と並河靖之について

包春は奈良市手貝町の塗師、吉田陽哉の三男で、長兄の立斎、次兄の久斎（後に北村姓）らと奈良漆器の振興に努め、正倉院宝物を始めとする数々の文化財の修復で活躍した人物である(3)。明治 23 年(1890)に東京の蒔絵師の小川松民に師事。一時奈良に戻り、兄である立斎が工場長を務める「温古社」で、正倉院宝物や南都寺社所蔵の漆芸を模した「奈良漆器」の製作に携わるが、明治 28 年(1895)には再び上京、保井抱中に師事する。明治 36 年(1903)には宮内省のご用品、明治 41 年(1908)には奈良市より天皇への献上品製作を用命される。大正 2 年(1913)、包春は東京(本郷区駒込動坂町 216 番地)に居を移し、皇室への献上品を数多く手がける。大正 5 年(1916)には「金銀鈿荘唐太刀」、大正 8 年(1919)には「平文螺鈿白銅鏡」などの模造宝物の製作も行っている。先立つ明治 45 年(1912)には、奈良及び京都帝室博物館長であった久保田鼎の配慮によ

る特別拝観手続きを経て、正倉院宝物を熟覧している。大正 7 年(1819)に包春は奈良に戻り自宅兼工房の「天平舎」（奈良市水門町 51 番地）を構え、大正 10 年(1912)より正倉院宝物の修復に携わり、昭和 3 年(1928)10 月には宮内省より正式に正倉院宝物の模造を命じられたと伝わる。その後も数々の製作を行うも、晩年には「天平舎」を閉め、昭和 26 年(1951)に大阪にて没した。

平成 28 年、東京の深大寺に昭和 7 年(1932)に奉納された春日厨子一式が、調布市有形文化財（工芸）に指定された(4)。白鳳時代の銅造釈迦如来倚像（国宝）を納めた厨子で、厨子の製作顧問であった安田靫彦から指名され包春が製作したものである。密陀絵や研出蒔絵など正倉院宝物にみる技法が施されている厨子で、近年、包春の持つ高度な工芸技法が改めて評価されている。

一方、靖之は明治 6 年 (1873)から七宝業を始め、国内外の博覧会で名声を博し、明治 26 年(1893)に緑綬褒章、明治 29 年 (1896)に帝室技芸員となった人物である。大正 7 年(1918)年頃に隠居に入り、並河七宝の工場を大正 12 年(1923)に廃業し、昭和 2 年(1927)に亡くなる。

包春との接点の可能性を広げれば、明治 39 年(1906)から靖之は賞勲局の命で、東京に勲章工場を開業(下谷区上根岸 8 番)している。包春は大正 2 年(1913)から大正 7 年(1918)まで東京本郷に居を移し活躍していることから、何らかの交流をもった可能も考えられるが、現況では積極的な接点をみることはできていない。

３. 自然科学的調査の概要と分析結果

本鏡が「並河」に製作を依頼したものであれば、使用された釉薬から並河七宝の釉薬と類似したデータが得られると考え、蛍光 X 線分析に着手した。ハンドヘルド蛍光X線分析装置（オリンパス製 DELTA Professional)を用い、釉薬(緑色・茶色・黒色)の分析を行った。分析の結果、全釉薬からは Pb が強く検出され、鉛釉薬であることが判明した。釉薬の着色元素として、緑色では Cu・Cr、茶色では Fe、黒色では Mn・Fe・Co が主に検出された。全てから Cu と Sb が検出されたが、隣接する金線や釉薬に由来するか、各釉薬に含まれるかは不明である。

本鏡の釉薬の分析結果から並河七宝との関係性を読み取る際に重要となるのが黒色の材質である。並河七宝の黒色には様々な組成を持つ釉薬が確認されたが、ほぼ共通して認められた元素が Co である(5)。本鏡の黒色では Mn・Fe・Co が検出されているが、Mn、Fe、Co の順で X 線強度が強く、Co 含有量は３元素の中で最も低い。本鏡の黒色釉薬の蛍光X線スペクトルは天然呉須のものと類似しており、着色剤として天然呉須の使用も考えられる。本鏡の黒色は、これまでに分析した並河七宝の黒色とは異なる着色がなされている釉薬といえる。この結果だけをもって本鏡と並河七宝の関係性を否定するのは性急であり、本鏡の釉薬の化学組成を明確にするには、今後より詳細な調査・研究が必要である。

参考文献
(1)奈良女子大学記念館『奈良女子大学所蔵資料正倉院模造宝物』奈良女子大学 2016 年
(2)宮内庁ホームページ http://shosoin.kunaicho.go.jp/ja-JP/Treasure?id=0000014638
(3)六車美保「奈良女子大学所蔵正倉院模造宝物と吉田包春」奈良女子大学大学院人間文化研究科年報第 32 号 p167-p176 2017 年
(4)調布市郷土博物館「よみがえる天平のいぶき―深大寺白鳳厨子と吉田包春―」調布市郷土博物館 2016 年
(5)二宮修治他「明治期の並河七宝（並河靖之七宝記念館蔵）の七宝釉薬に関する調査報告―黒色釉薬を中心に―」日本文化財科学会第 29 回大会要旨集 2012 年、武藤夕佳里他「 明治期の七宝釉薬に関する研究―尾張、京都、東京にて展開された七宝技法を中心に」文化財保存修復学会第 37 回大会発表要旨集 2015 年

朝鮮時代のライムモルタルの材質特性の分析

Analysis of Material Characteristics of Lime Mortars in Joseon Dynasty

◯Eunkyung Kim, Sunah Ahn, Soyeong Kang (Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Korea)

1. Introduction

Lime is a traditional construction material used in various fields such as buildings, city walls and tombs in Korea. The mixture with lime, sand and soil was used as the material for official construction, which greatly increased the utilization of lime in the Joseon Dynasty. In 'The annals of the Joseon Dynasty' and 'Yeonggeon-Uigwe (Construction reports)', there are records of architectural use in which the lime mortars were mixed with pulp fiber and sticky rice as additives. One of the representative architectural monuments used with lime mortars is the Namhansanseong. It is a World Heritage Site listed in UNESCO and is one of the fortresses of the Joseon Dynasty. Namhansanseong is located in Gyeonggi-do, near Seoul, the capital of Joseon. Namhansanseong consists of a main castle and an outer castle. The outer castle is a place where the restoration has not been done and there remains a castle and Yeojang (parapet) made in the Joseon Dynasty. Yeojang is a low walled fence on the perimeter of the castle to protect the fortress from enemies. The lime was used as pointing and an inside filling material of the Yeojang fence body. The purpose of this study is to analyze the lime mortars used in the Yeojang of the outer castle to identify the characteristics of traditional lime.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

The lime mortars were obtained from Bongamseong and Hanbongseong Yeojang which is the outer castle of Namhansanseong. The samples were taken from 3 points at different sites of the Bongamseong and Hanbongseong Yeojang. All of the samples were estimated to be pointing from the surface of the Yeojang fence body because they have a smooth finished surface.

2.2. Methods

Thin sections were analyzed using a polarization microscope (DE/DM2500P, Leica) to identify the minerals in the lime mortars. The X-ray diffraction (XRD) of powder of the samples was carried out with a X'pert MPD (Philips). The X-ray fluorescence (XRF) analysis was performed on a MXF-2400 (Shimadzu) to investigate the chemical composition of lime mortars.

Fig. 1. Yeojang (parapet) of Namhansanseong.

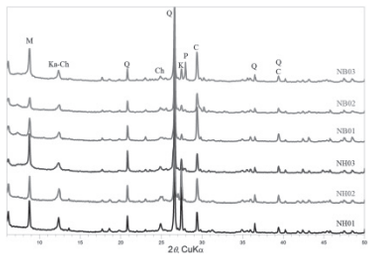


Fig. 2. XRD data of lime mortars

3. Results

As a result of observations under a polarizing microscope, the lime mortars from Yeojang of Bongamseong and Hanbongseong are composed of quartz, K-feldspar, plagioclase, mica, pyroxene and opaque minerals. In XRD analysis, calcite which is a major mineral of the lime and kaolin, chlorite appearing in soil was additionally confirmed. According to the results of the analysis, the lime was distributed in the matrix and the soil was mixed with mortar through kaolin and chlorite. The chemical composition analysis by XRF showed CaO of lime and SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 and K_2O appeared in the soil. The content of SiO_2 is 49.69 ~ 56.46 wt%, which is about 50 % of the mortar, whereas the content of CaO is 9.60 ~ 14.74 wt%. Therefore, the lime mortars used in the Yeojang were estimated of using a higher proportion of soil rather than the lime.

4. Conclusion

The material characteristics of the lime mortars used in the Joseon Dynasty were investigated through the samples taken from the outer castle of Namhansanseong. The identification of the lime mortars was analyzed by polarization microscopy, XRD and XRF analysis. As a result, it was confirmed that the Yeojang of Bongamseong and Hanbongseong was a mixture of lime and soil. This is the same composition as the mixture of lime, sand and soil recorded on ‘The annals of the Joseon Dynasty’ or ‘Sanneungdogamuigye (the construction of the royal tomb in the Joseon Dynasty)’. Therefore, it was confirmed that the lime mixture was used for Yeojang construction. In addition, it is estimated that the content of Ca was relatively lower than Si in XRF analysis. It is presumed that the soil content was higher than lime when building the Yeojang. It is considered they were manufactured by using the same materials and techniques because there were no differences in the constituent minerals, and chemical compositions according to the location of the Yeojang.

5. Acknowledgment

This research was supported by the National Research Institute of Cultural Heritage of Korea. Also, we really appreciate the UNESCO World Heritage Center of Namhansanseong in Gyeonggi-do providing the samples for this research.

須恵器窯床断面の岩石磁気学的研究

Rock magnetic study on baked floor of Sue ware kiln

○畠山唯達（岡山理科大学）
○HATAKEYAMA, Tadahiro (Okayama University of Science)

1. はじめに

土器や瓦、炭などを焼いた窯跡の内部（床面や天井）に残る物質はその窯を形成する土壌や塗布した粘土、釉や燃料物質等に由来するが、窯操業時や埋没後の酸化還元状態や温度などによって形態が変化する。そのため、操業時の各種条件を知ることは、窯業形態そのものに関する研究のみならず、物質に関する研究にとっても重要な事項である。

酸化還元状態に対し最も敏感に反応し状態を変えるものとして鉄酸化物が挙げられる。鉄酸化物、とくに磁鉄鉱（Magnetite: Fe_3O_4）や赤鉄鉱（Hematite: α- Fe_2O_3）は酸化状態とその履歴によって鉱物種のほか、粒径や産状なども大きく変化する。その様子は焼物・窯体の化学・鉱物分析などからも推定できるが、状態に強く依存する磁気的性質（磁性）の分析も有力な方法である。

本研究では、岩石磁気学的手法を用いて窯跡床面断面について鉄酸化鉱物の種類や粒径などの情報を取得し、窯の状態について考察することを試みた。岩石磁気学は岩石等の中に含まれる磁性鉱物（主に鉄を含む鉱物）について低温・常温・高温にて磁性を測定し、その特徴をつかむ研究である。最近では環境磁気学等の分野で非常に多彩な測定が行われ、環境変動の推定に成果を上げているが、土器等を焼いた窯の各種条件を推定するためにも本手法は有効だと考えられる。

2. 窯と試料

本研究では、題材として邑久窯跡群・佐山東山窯跡（岡山県備前市）の床面から試料を採取した。佐山東山窯は全長約 16m ある半地下式の登窯で、8 世紀中後葉に操業したと考えられる（亀田ほか, 2014, 2017）。窯床面の 4 箇所―A: 焼成部中上部（焚口から約 7m: BY12）、B: 焼成部下部（焚口から約 5m: BY32）、C: 焚口付近（船底状ピットの手前: BY41）、D: 窯焚口のすぐ外側表面（BY45）―から採取した約 10cm のブロック状試料について、切断して断面を観察したところ、色や形質から A では 5 層(L1~L5)、B では 3 層(L1~L3)、C では 4 層(L1~L4)、D では 2 層に分離することができた。そこで、各層の試料を粉末状にして事項の各測定を行った。なお、熱を受けていない土壌層はこれらの層のさらに下にある。

3. 岩石磁気的測定

本研究では、MPMS（高感度磁化率計）による 2 種類の低温磁性測定（①低温で着磁したものを常温まで温度を上げながら消磁、②常温で着磁した残留磁化を低温まで下げて再び上げる低温消磁）および③常温での等温残留磁化段階着磁、④熱磁気天秤による常温～高温下における低真空中での飽和磁化測定、および⑤VSM（振動磁力計）による常温での磁気ヒステリシス測定、の各種岩石磁気学測定を行った。①、③、④は磁性鉱物種の特定、①は磁鉄鉱結晶の均質性と細

粒（超常磁性）磁鉄鉱の存在、②は粗粒（多磁区）磁鉄鉱の存在、⑤は磁鉄鉱の主たる粒径分布について調べることを主目的としている。①より細粒磁鉄鉱は被熱面から下層へいくほど量が多く、②より粗粒磁鉄鉱は最上層と最下層で多くなりがち、③より下層では高保磁力物質があること、④よりそれが磁赤鉄鉱（Maghemite: γ- Fe_2O_3）と思われること、⑤より全体としては中程度の粒度（疑似単磁区粒子サイズ）のものが卓越していることがわかった。また一部の最上層では③にて高保磁力の磁性鉱物があることが言えるが、これは赤鉄鉱である可能性が高い。

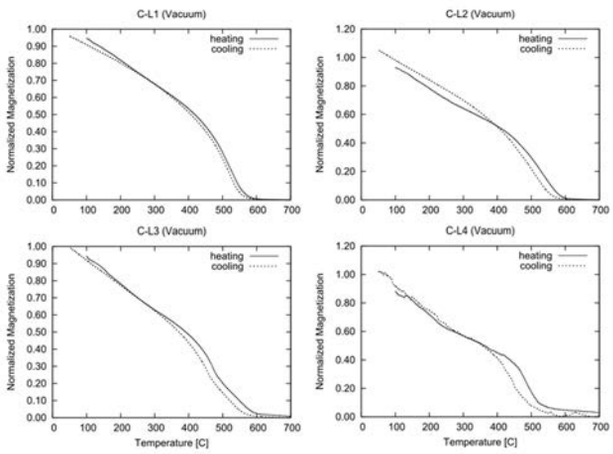


図 ④熱磁気天秤による真空中での高温飽和磁化の測定例。400℃付近での折れ曲がりは土中の磁赤鉄鉱を表す。左上(C-L1)が窯床表面を含む最上層である。

4. 各鉄鉱物の起源に関する考察

本研究の結果より須恵器窯床面において、3 種類の磁性鉱物（磁鉄鉱、赤鉄鉱、および磁赤鉄鉱）の存在が確認された。磁赤鉄鉱はもともと土壌中に存在すると推測され、赤鉄鉱は焼成最終段階で蓋がされる入口すぐ近くの表面に見られることから、高温（1000℃以上）の最終段階にも少しの酸素が供給されたことによって生成されたと考えられる。いっぽう、磁鉄鉱にはいくつかの起源が考えられる。それは、細粒な（超常磁性の）もの、残留磁化を主に担っているサイズのもののうち、もとからあったものと焼成時にできたものに分けられる。残留磁化に寄与する疑似単磁区サイズの磁鉄鉱結晶については、森永(2008)は土壌中の針鉄鉱（Goethite: α-FeOOH）が赤鉄鉱を経由して磁鉄鉱になったと主張し、Yamamoto et al. (2015)は非磁性の粘土鉱物などから高温下で晶出したものと推定している。一方で本研究の測定結果からは、土壌中の磁赤鉄鉱が窯内で還元したものと土壌中に存在した細粒の磁鉄鉱が高温下で焼きなまされて結晶が大きくなったものの両方があるのではないかと考えられる。

本研究の測定は焼成時の温度についても示唆を与える。たとえば、④熱磁気天秤による高温測定を利用すると、窯床断面における熱に不安定な磁赤鉄鉱の残存状況によって、約 400℃まで温度が上がったかどうかの判定をすることができる。これは、窯操業時の条件制約に対する貢献が期待できる。

参考文献：亀田修一ほか (2014) 備前邑久窯跡群の研究 -西日本における古代窯業生産の研究-; 亀田修一ほか (2017) 佐山東山窯跡群第 6 次発掘調査概報; 森永速男 (2008) まぐね, 3, 314-323; Yamamoto et al. (2015) Earth, Planet and Space, doi:10.1186/s40623-015-0229-8.

「同笵瓦」と「異笵瓦」の比較－瓦当三次元計測データの検討

Examining the Identification of the Molds in Nara Period Using 3D Measurement

○中村亜希子（奈良文化財研究所）、林正憲（同左）
○Akiko NAKAMURA, Masanori HAYASHI (Nara National Research institute for Cultural Properties)

1. はじめに

奈良文化財研究所では、現在、平城京・藤原京出土軒瓦の基準資料(奈文研・奈良市 1996)のSfM-MVS(Structure from Motion and Multi-View Stereo)による三次元データ化を進めている。2017 年度は、東大寺式軒瓦と呼称される軒丸瓦 6235 型式を中心に計測・分析をおこなった。本発表では、それらの計測データを用いて、同じ型（瓦笵）による製品と認識されてきた「同笵瓦」と、異なる瓦笵による製品とされてきた「異笵瓦」のうち文様が類似するものについて、比較・検討した結果について報告する。

2. 三次元データの取得方法と手順

SfM-MVS は、多視点から撮影した複数の画像の撮影位置を推定し、高密度の点群を生成、メッシュやテクスチャーを貼り付けることで、被写体の詳細な三次元モデルを構築する技術である。近年では遺構・遺物をはじめとした埋蔵文化財の記録にも多用されるようになってきており、本研究所における瓦当文様の記録についても、効果的かつ効率的な記録方法を検討した上で(中村・山口 2017)、撮影・解析作業を進めている。

笵傷等の微細な痕跡を記録するために、カメラは OM-D E-M1 MarkⅡ(オリンパス社)本体にマクロレンズ(30 ㎜ F3.5 Macro)を装着し、絞りを 11、ISO を 200 に設定、完形の軒丸瓦 1 点につき約 30～40 枚の瓦当面の画像を撮影した。画像は RAW 形式で記録し、グレーカードを写し込んだ上でホワイトバランスを補正し、TIFF 画像に現像した。

解析に用いたソフトは Agisoft 社の PhotoScan Professional Edition(Windows 64bit 版)であり、2018 年 2 月の段階におけるバージョンは 1.4.0 である。画像の位置推定(Align Photos)を Highest、高密度点群の構築(Build Dense Cloud)を Ultrahigh、メッシュの構築(Build Mesh)を High、テクスチャー構築(Build Texture)を 4096pix×1 枚でおこなった。

完成した三次元データは.obj 形式で書き出し、三次元データの編集・比較ソフト CloudCompare(Windows 64bit版2.9.1)を用いてXYZ軸を調整、平面のオルソ画像や断面画像等を作成した。

3. 三次元モデルの比較

今回提示する資料は、「同笵瓦」の異段階とされる 6235 型式 Ma と Mb、M 種と文様構成が類似するものの「異笵瓦」とされる A・J の計 4 種とする。いずれも外縁素文の複弁 8 弁蓮華文であ

り、中房の蓮子は 1+6 個、外区の珠文は 16 個である。Ma は東大寺と新薬師寺で、Mb は東大寺・頭塔・西大寺で、A と J は興福寺で出土が確認されている。

三次元モデルの比較は CloudCompare の位置合わせ機能を用い、参照点は中房(3 点)と珠文帯(4 点)の平坦部に置いた。この時、瓦笵の形状を比較することを目的とするため、一方のモデルに対しもう一方のモデルの大きさを合わせた。その結果、「同笵瓦」である Ma・Mb の比較では、蓮子・蓮弁・珠文の分布や形態がほぼ完全に一致したが、Ma では明瞭な中房区画線が Mb では緩やかな高まりと化しており、蓮弁の輪郭線では一部彫り直しの可能性がある痕跡が確認できた。

一方「異笵瓦」の A・J・Mb の比較では、断面では「同笵瓦」程の一致が認められないものの、蓮子や蓮弁の立ち上がり位置が近く、平面でも文様配置がほぼ重なるため、何らかの関連性が窺える(図 1)。現時点では、A・J・M 種間で同一のデザイン画を共有していた可能性を考えている。これらはみな 8 世紀半ばの製作とされており、当該時代の東大寺と興福寺の関係を解明する上で重要な鍵になるのではないかと考える。

4. 課題

計測データの蓄積によって、従来の記録では不可能であった三次元での瓦の比較・検討が可能となってきたが、以下のような課題もある。まず、土製品である瓦は乾燥・焼成時における収縮が大きいため、鏡などの金属製品に比べ個体差が生じやすく、比較基準の設定が困難である。また、ひとつの瓦笵で膨大数の瓦を製作する過程で瓦笵の劣化・補修が生じるため、同一瓦笵による製品であっても、コンピューターの計算上一致しないと判断され得る。現段階では参照点の抽出において人間の判断に依拠するところが大きい。

今後は、同一瓦笵で製作したと考えられる瓦の三次元データの蓄積を通じ、より科学的な「同笵瓦」の定義について考察するのと同時に、多種多様な瓦当文様の構造を分析することで、瓦当文様のデザインの方法やその伝達のあり方について検討していきたい。

【引用文献】

中村亜希子・山口欧志 2017「瓦当の三次元計測法の検討」『奈良文化財研究所紀要 2017』奈良文化財研究所

奈良国立文化財研究所・奈良市教育委員会 1996『平城京・藤原京出土軒瓦型式一覧』

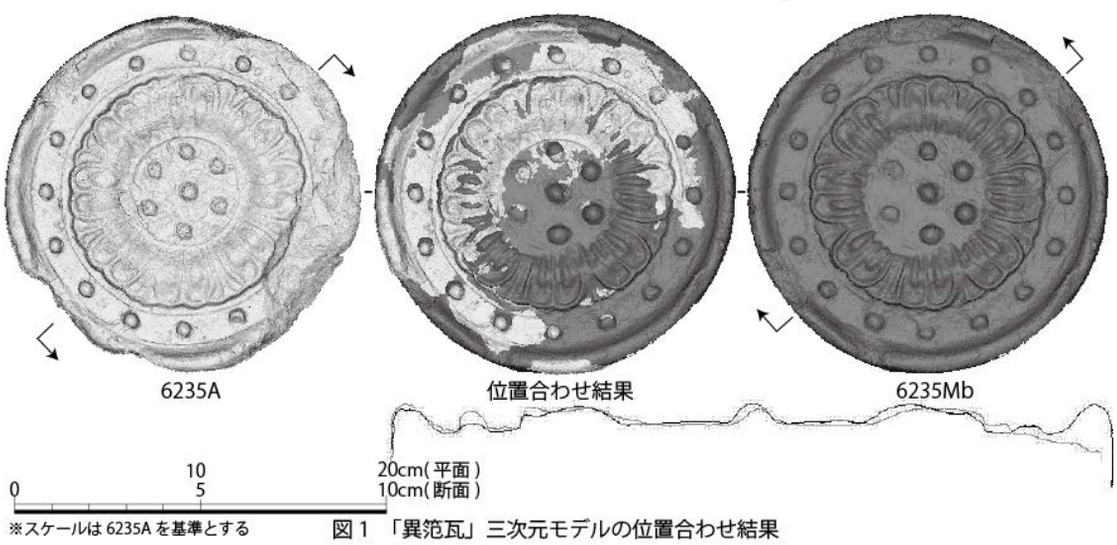


図 1 「異笵瓦」三次元モデルの位置合わせ結果

稲作文化定着時期の食生活を八日市地方遺跡出土調理用土器の残留有機物分析から検討する

A dietary study of the period during establishment of rice cultivation using organic residue analysis of cooking ceramics from Youkaichijikata site

○　堀内晶子（国際基督教大学）、宮内信雄（東京大学）、吉田邦夫（同）、
下濱貴子（小松市）、 宮田佳樹（金沢大学）

○　Akiko HORIUCHI, Nobuo MIYAUCHI, Kunio YOSHIDA, Takako SHIMOHAMA, Yoshiki MIYATA

１．　はじめに

これまでに、土器胎土や土器付着炭化物から古代の食生活や土器の用途を検討する研究は、イソプレノイド型脂肪酸や環構造を持つ脂肪酸などに代表される海洋性動物由来の脂質が有効なマーカーとして利用できるため、主に動物起源の残留有機物を中心に進められてきた。しかし重要な栄養素であり、人々が狩猟採集生活から作物栽培・農耕生活への移行を示唆する穀類の検出は、国内土器ではまだ試みられていない。石川県小松市八日市地方遺跡は大陸の稲作文化が列島内に定着する中で誕生した弥生時代中期の大規模環濠遺跡である。花粉分析の結果から，八日市地方４期から５期にかけて（弥生 II 期，前 4 世紀後半から前 3 世紀はじめ）イネ科の花粉も増え，５期では確実に稲作がはじまっていたとされている。また，土器のススコゲ使用痕観察からも，５期はコメを土器で炊いていた（炊飯）と推定されている（小林，2010)。そこで、八日市地方遺跡から出土した炭化物を伴う深鉢（甕）と炭化物が付着していない未使用と推測される深鉢に残留する有機物のガスクロマトグラフィー質量分析(GC-MS)とガスクロマトグラフ炭素同位体比質量分析（GC-C-IRMS）を行い、現生の穀類と比較しながら、当時の食環境を検討した。

２．　試料と実験方法

4 期～5 期の土器 4 点(土器 A～F)から計 10 ヶ所と、7 期（弥生 III 期，前三世紀から前二世紀はじめ）の土器（土器 G) 1 点、1 ヶ所からそれぞれ少量の土器片を採取し試料とした(表１)。また、穀類、マメ類、堅果類の現生植物試料計２２点を比較として用いた。実験は、すでに報告されている分析方法(Correa-Ascencio, 2014、Papakosta, 2015)に基づき、粉砕した試料約 100 mg に H_2SO_4/MeOH を加えて加熱後、ヘキサンで残留有機物を抽出し、トリメチルシリル化(TMS 化)した後、1．残

土器	試料番号		系統	コメント	テルペン類
A	ISYZ 211a		条痕紋系	外面スス、内面コゲ、フランパン？	
B	ISYZ 1001a	5期	櫛描紋系	土器に焼成痕あり。未使用土器?。口縁。ススコゲなし	
B	ISYZ 1001b	5期	櫛描紋系	未使用土器?。焼成痕あり。胴上部。ススコゲなし。	
C	ISYZ 1002a	5期	櫛描紋系	口縁。内面コゲ、外面スス。	
C	ISYZ 1002b	5期	櫛描紋系	胴上部。おき火上パンド2か所あり。コゲ、スス。	
D	ISYZ 1004-2	5期	櫛描紋系	胴下部上。コゲ。	○
D	ISYZ 1004-3	5期	櫛描紋系	胴上部。不明瞭だがおき火状コゲあり。	○
E	ISYZ 1008a	5期	櫛描紋系	小さい土器（約1．7L）。胴上部。外面スス、内面コゲ（オキ）。	○
E	ISYZ 1008b	5期	櫛描紋系	胴中央部。外面スス、内面なし。	△
F	ISYZ 2008a	4期	櫛描紋系	底部。コゲがよく残っている。全体によくコゲあり。	
G	ISYZ 10T-C46a，b	7期	櫛描文系無文	部位不明（底部？）。上から見た写真と実測図あり。	○

表1. 八日市地方遺跡の分析土器とテルペン類

留有機物分析を GC-MS 法を使って、2. palmitic acid（$C_{16:0}$）と stearic acid（$C_{18:0}$）の炭素安定同位体比を GC-C-IRMS 法を使って分析した。この試料調製方法は、従来の chloroform/MeOH 抽出法より試料量が少なく脂質の回収率も高いが、糖類など酸分解される化合物は検出できない。（GC-MS の分析条件：Thermo Scientific TRACE GC ULTRA-ISQ LT, カラム：HP-1　50 m x 0.32 mm x 0.17μm，初期温度：50℃で 2 分間維持, 300℃まで 10℃/min で昇温, 15 分間維持。GC-C-IRMS の分析条件：Agilent7890B-GC5−Isoprime, 他の条件は GC-MS と同様）。

3. 分析結果と考察

炭化物付着土器は脂肪酸と、植物に多く含まれる triterpene 類を多く含む D,E,G,（表1）と、ほとんど有機物を含まない土器 A,C,F に分かれた。Triterpene 類を多く含む試料は、分析した現生植物結果と一致せず、キビのバイオマーカーとされている miliacin（Heron, 2016）も検出されなかった。今後さらに現生植物データを集める予定である。未使用とされる土器 B（IYZ1001a,b）から、わずかではあるが海洋生物に特異的な isoprenoid acid である 4,8,12-trimethyltridecanoic acid (TMDA), pristanic acid, phytanic acid が検出され（図1）、炊飯用の土器が何らかの理由で転用され、加熱しない、魚などの保管・保存に使われたのであろうか。 次に分子レベル炭素安定同位体比分析結果を図2に示す。Triterpene 類を含む IYZ10T46 は米と同じ C_3 植物領域に入っているが、IYZ1001a,b は残留有機物分析では植物性を示唆しているにもかかわらず、陸棲動物領域にある。意外なことに参考として測定した炭化米（愛媛県文京遺跡）も陸棲動物近くにあり、C_3 植物領域にある現生ミドリ米と比べると炭素安定同位体比が重くなっている。ミドリ米を炭化すると、重くなる傾向が確かめられているので（図２）、加熱によって同位体の分別が起きているのかもしれない。今後さらなる検討をおこなう予定である。IYZ1008a は他と大きく離れた乳脂肪の領域（領域は図 2 に未表記）に入っている。この試料に関しては再度実験を行う予定である。

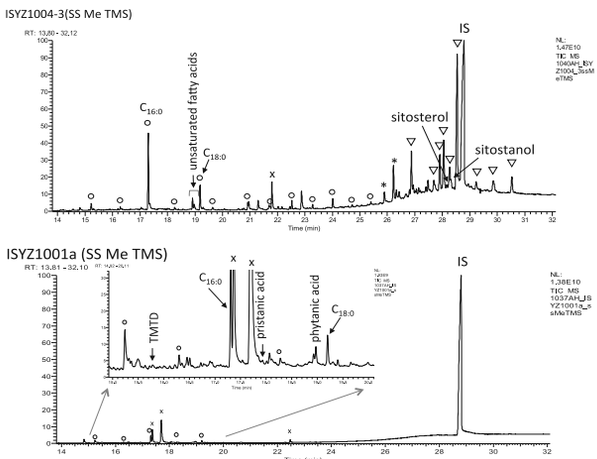


図1. Triterpene類を多く含むISYZ1004-3と残留有機物がわずかなIYZ1001aのクロマトグラム. IYZ1001a(炭化物の付着なし)からはisoprenoidsが検出された。ISは内部標準物質であるtetratriacontane，○は脂肪酸，▽はtriterpene，xは不純物,*は不明ピークを示す。

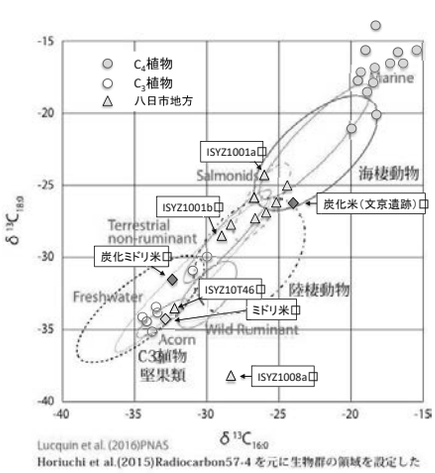


図2. 八日市地方遺跡土器と現生植物試料の炭素安定同位体分析結果（$\delta^{13}C_{16:0}$ vs $\delta^{13}C_{18:0}$）

謝辞：文京遺跡炭化米は愛媛大学埋蔵文化財調査室から提供を受けた。科研費基盤研究（A）”科学分析手法と土器使用痕観察を組み合わせた古食性と調理形態復元に関する学際的研究”（研究代表　宮田佳樹; 16H01824）及び、科研費基盤研究（B）”縄文土器で煮炊きしたものと土器の使い分けについての研究″（研究代表　吉田邦夫; 15H03262）の助成を受けた。

装飾古墳の石室環境と公開時期についてⅢ

The environment of the stone chamber in Decorated Tumulus of public time　Ⅲ

○坂口圭太郎(熊本県教育庁文化課)・菊川知美(熊本県立装飾古墳館)

○Keitaro Sakaguchi (Kumamoto Prefectural Office),Tomomi Kikukawa(Kumamoto Prefectural Decorated Tumulus　Museum)

1　はじめに

日本列島に約 700 基あるとされる装飾古墳の中でも保存管理施設を設置して装飾の保存を図りつつ、公開・活用を実施してきたものは未だ多くはない。熊本県内では県と市町教育委員会が連携し秋と春の装飾古墳一斉公開を実施している。その公開時期を決定するにあたっては、各装飾古墳の年間及び公開時の温湿度変化のデータを基にしている。近年の公開では、おおよそ秋の公開は 10 月下旬で春の公開は 3 月下旬に実施している。

四季の変化に富んだ日本列島では、1 週間の温度変化の波が激しく、気温の予想は難しい。

装飾古墳館で収集した、およそ 1 年間のデータから適切な公開方法を検証した。

2　調査方法

調査対象とする装飾古墳（山鹿市所在・県史跡　馬塚古墳・和水町所在・国史跡　塚坊主古墳・玉名市所在・国史跡　永安寺東古墳・国史跡　大坊古墳・八代市所在・県史跡　田川内 1 号墳）は装飾古墳館とこれらの装飾古墳の管理団体である県内各市町教育員会により装飾古墳モニタリングを実施している保存施設を対象とした。

このモニタリングでは、1 時間ごとのデータ計測と公開時の 5 分間ごとのデータを組合せている。このように 2 パターンでの記録収集はより公開における入室の影響を検討するためのものである。なお、本調査で使用した機材はオンセット社ＨＯＢＯデータロガーprov-2U23-001 と 002 である。

3　装飾古墳モニタリングの解析

馬塚古墳（山鹿市所在・県史跡　3 月 25 日　試験公開）

平成 29 年春に試験公開を実施した。この時の入室者 174 名である。この馬塚古墳の保存室は外扉のみであることから、公開時には冷たい外気が流入する事で、石室内の温度が下降している。羨道部の最低温度は 10.3℃、前室の最低温度は 12.65℃であった。この温度低下は半日程度で解消している。

また石室に直接見学者が入る構造のため、装飾された石材に見学者が接触しない様に解説者が配慮して見学を実施している。平成 29 年 3 月は試験公開であり、今回の入室による装飾への影響を見るために継続してモニタリングを実施している。

なお公開終了後のモニタリング結果では、カビ等の菌類や塩類は確認していない。

（２）塚坊主古墳（和水町所在・国史跡　10 月 29 日公開）

29 年秋の公開では入室者 95 名である。公開中、見学室の最高温度は 22.6℃であった。見

学室の温度下降は１日半程度で解消した。

塚坊主古墳は他の保存施設と比較して、保存室が他の施設と比較するとやや高温になりやすい構造であるため、見学による温度上昇抑制のためにエアコンを用いて見学室を冷却している。その結果、他の保存施設とは異なり見学終了後に温度上昇を生じる。

カビや菌糸類の繁茂を抑制する意味でエアコンによる見学室の冷却は効果的であると考えるが、２℃程度に抑えている。なお、公開終了後、石室においてカビ等の菌類や塩類は確認していない。

（３）永安寺東古墳（玉名市所在・国史跡　10 月 29 日公開）

保存室の扉が外気交換を受動的に行う構造のため、見学室は外気温に左右されやすい構造といえる。29 年秋は台風 22 号の接近に伴い公開を一時中止したが、天候の回復により再開した。この時の公開では、入室者は 65 名、公開中、保存室の最高温度は 23.35℃であった。保存室（石室入口）の温度上昇は１日半程度で解消した。

この施設での公開においては見学室への入室を調整することが急激な温度変化を抑制している。なお、公開終了後、石室においてカビ等の菌類や塩類は確認していない。

（４）大坊古墳（玉名市所在・国史跡　10 月 29 日公開）

発泡ウレタン製の見学室は蓄熱しやすい構造といえる。この時の公開では、入室者は 98 名であった。公開中の保存室の最高温度は 21.27℃であった。また見学室の最高温度は 21.98℃であった。この装飾古墳の保存室の温度上昇は１日半程度で解消した。

この保存施設では平成 24 年の一斉公開から、外気に直接触れる外扉を開放することで、見学に起因する蓄熱の抑圧に努めている。

なお、公開終了後、石室内においてカビ等の菌類や塩類は確認していない。

（５）　田川内１号墳（八代市所在・県史跡　10 月 29 日公開）

墳丘の西側のやせのため、入口から見て石室左側が比較的乾燥しやすくなっている。29 年秋の公開では入室者は３２名であった。公開中の玄室（石屋形上）の最高温度は 21.08℃であった。玄室（石屋形上）の温度上昇は半程度で解消した。

馬塚古墳の石室と構造が似ており、石室に直接見学者が入る構造のため、石障に立ち入らないように配慮して見学を実施している。

なお、公開終了後、石室内においてカビ等の菌類や塩類は確認していない。

4　まとめ

平成２９年秋は気温が例年に比べて低い傾向を示したので秋の公開時期は例年通りに設定した。また 30 年春の公開においても、例年に比べて外気温が低い傾向が認められることから、3 月下旬の公開とした。

本稿では、5 分データを基に公開の影響を検討した結果をまとめた。次年度以降もこの装飾古墳モニタリングを継続して実施していくが、今後の課題として、保存室（石室）内の蓄熱の影響を可視化することを検討していかなければならない。

マイクロフォーカス型 X 線 CT システムの導入と今後の展開について

The introduction and the future development of the Micro-focus X-ray Computed Tomography System

○尾崎誠（公益財団法人　元興寺文化財研究所）、初村武寛（同左）
○Makoto OZAKI, Takehiro HATSUMURA (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

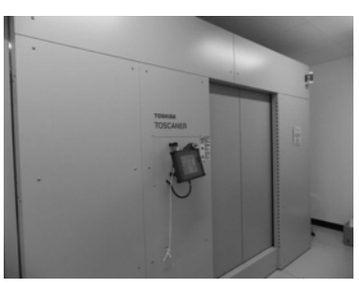
1. はじめに

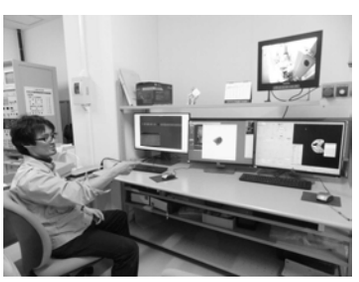
文化財の調査・修理における非破壊構造調査の必要性は、従来のフィルム撮影においても非常に重要視されていた。そして、昨今の急速なデジタル化に伴い、フラットパネルを用いたＸ線ＣＴ装置が普及し、文化財の調査・修理の現場において大いなる成果を上げている。

元興寺文化財研究所では、平成 30 年 1 月末に、民間の文化財修理修復機関としては最初にマイクロフォーカス型 X 線 CT システムを導入することとなった。これまでの非破壊調査では見過ごしてきたかもしれない文化財の微細な構造や製作技法についてリアルタイムで明らかにすることが期待される。

今発表では、システムの概要と撮影状況の報告、現時点での有効性や問題点について報告し、あわせて今後の活用方法についての展開を考える。

2. 装置の概要

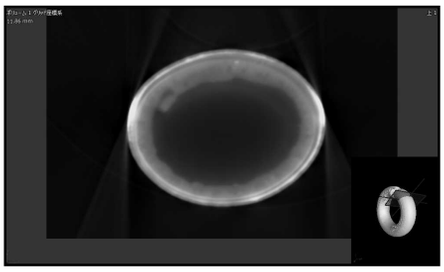




名称	文化財用マイクロフォーカスX線CT　TOSCANER-32000μFD-GCR（東芝製）
X線発生装置	最高管電圧230kv　最高管電流1mA　X線焦点寸法4μm
X線センサー	16インチFPD　有効エリア約400×400mm　有効画素数2000×2000画素
空間分解能	5μm(JIMA RT CT-01ファントムにより確認)
搭載可能な非検査物	最大外形寸法：φ600×H1400mm（微調テーブル搭載時：φ170×H1330mm
最大CT撮影領域	約φ240mm（ハーフスキャン・フルスキャン）
	約φ480mm（オフセットスキャン）
	約φ600mm（Wスキャン）
	約H1100mm（φ600mm時）、約H1150mm（100mm時）
FCD	0～650mm（X線焦点とCT試料テーブル回転中心との距離）
FDD	1000mm（X線焦点とX線検出器入力面との距離）

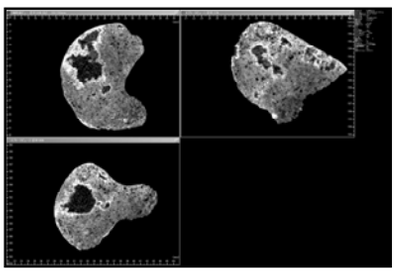
3. 事例報告

耳環(山ノ下 B21 号墳:津市教育委員会所蔵)



中空の耳環で、銅製の板を巻いて管状にしているのが確認できる

土玉(山ノ下 B20 号墳:津市教育委員会所蔵)



微細な砂粒までが詳細に確認できる。

蔵骨器(立部遺跡:松原市教育委員会所蔵)

内容物を取り出す前に内部の様子が確認できる。

4. 現状での課題と今後の展開

システム導入後、出土品(金属や木器、土器)や仏像等、様々な資料の撮影を行っているが、管電圧と管電流の総出力が 10W を超える場合は、出力に応じて焦点が大きくなるため、金属器等の X 線吸収率の高い資料や大型の資料については、解像度や分解能が低くならざるをえない。ただし、資料の内部情報が非破壊で得られることは修理修復の現場において非常に有効である。

今後は、修理修復の現場から、積極的に成果報告を行うことで製作技法等について、考古学的・保存科学的な情報を提供できればと考える。また、X 線 CT を所有する各研究機関との連携を深め、将来的には、象嵌資料のデータベース化や研究会等の開催も視野に入れる。

5. おわりに

本報告を行うにあたり、津市教育委員会ならびに松原市教育委員会には多大なるご配慮をいただきました。ここに記して感謝いたします。

微細痕跡の資料化：SfM-MVS と深度合成を用いた可視化

Documentation of small trace using SfM-MVS and Focus Stacking

○山口欧志（奈良文化財研究所）
○ Hiroshi YAMAGUCHI(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

遺跡・遺構・遺物の三次元計測にSfM-MVS（Structure from Motion and Multi-view Stereo）を利用し、その計測データを元に研究成果を挙げる事例の蓄積が着実に進んでいる（中園 2017・文化財方法論研究会 2016・早稲田大学総合人文科学研究センター 2016）。しかし、およそ 10 ㎛から数cmの微細な対象物の事例は未だ少ない。このスケールに適した方法の開発と洗練は、製作技術や使用痕跡、年輪を対象とする年輪年代学や種子圧痕の同定など、様々な応用可能性がある。そこで微細痕跡の資料化を可能にする方法を考案し、すでに土器底部の圧痕や種子圧痕の三次元モデル構築を実現した（山口 2017）。さらに洗練を進めているので、これを報告したい。

2. 課題

SfM-MVS は、複数のデジタル画像から三次元モデルを構築する技術である。適切な三次元モデルを構築するために最も必要な基礎資料は、必要な部分が欠損することなく記録された画像群であり、それら画像はブレとボケが無く、できるだけ影が無く、適正な露出であることを条件とする。

スケールの小さな対象を撮影する場合、マクロレンズを装着したカメラや顕微鏡を用いることが多い。これらの方法では被写界深度が非常に浅くなるため、ボケの無い写真を得ることはできない。また、撮影機器から被写体までの距離が近くなる傾向があり、通常のマクロフラッシュや LED 照明等では適切な照明の実現が難しい。また屈曲が大きい資料の場合、たとえば建築部材の大斗などは年輪年代を明らかにできる可能性をもつ資料だが、単純にマクロレンズを装着する撮影方法では撮影した画像にボケが生じるため、コンピュータ上で年輪幅を計測できるような三次元モデルを構築することは難しい。

これらの課題は、CT やデジタルマイクロスコープ等の高価な機器を用いることでも検討可能だが、誰もが着手でき持ち運び可能な方法を実現するため、小型・軽量・廉価を条件とした。

3. 解決方法

ボケの無い画像を得るには深度合成（Focus Stacking）を用いた。深度合成は、合焦位置を前後にずらしながら撮影した複数の画像から、合焦しているピクセルのみを抽出し合成し、手前から奥まですべてに合焦した（ボケの無い）画像を得る方法である。この方法は、精密工学（白石・三井 1994）をはじめ、昆虫学や鉱物学の分野で普及している（日本自然科学写真協会 2017）。

また、接写時（対象物からレンズまでの距離約 2 ㎝）の適切な照明の確保には、マクロレンズに装着可能な高輝度 LED リング照明を開発しこれを使用した。

4. 試行結果

・種子圧痕

昨年の発表（山口 2017）で扱った土器の断面に種子圧痕を観察できる資料（加藤・浅川 1997）を対象とした。この資料は、通常のマクロフラッシュ等では資料の一部に照明を当てにくい。写真は 14 地点から深度合成用写真を 50 枚を撮影した。撮影時間は約 5 分、画像から三次元モデル構築までの PC の稼働時間は約 20 分であった。三次元モデルの分解能は約 6.3 μm /pixel であった。このモデルを確認すると不整合無く構築できたことが分かる（図 1）。

図 1　土器圧痕の三次元モデル

・斗

建造物古材の斗 1 点（奈良文化財研究所所蔵）を対象とした。この資料の撮影準備には星野安治氏（奈良文化財研究所）に御協力いただいた。写真は 30 地点から深度合成用に 1 地点につき 20 枚撮影した。撮影時間は約 10 分、画像から三次元モデル構築までの PC の稼働時間は約 1 時間半であった。三次元モデルの分解能は約 0.025mm/pixel であった。この三次元モデルは、年輪の 1 つ 1 つを認識でき、任意の箇所の計測も可能である（図 2）。

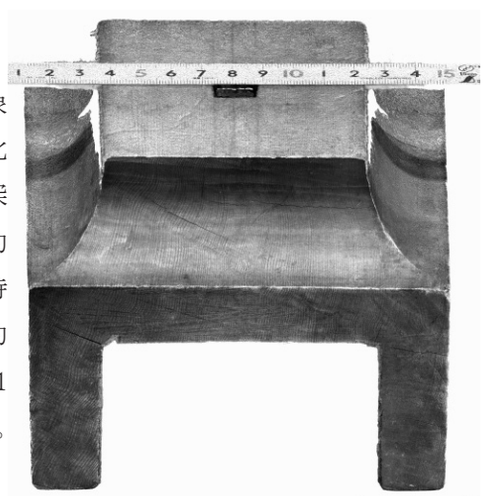


図2　年輪を確認できる斗の三次元モデル

5. 今後の課題

隣接関連分野の研究と連携して、土器底部の網代痕や金工品等の制作技術の検討、種子圧痕の同定や年輪年代学への応用など、微細痕跡の三次元モデルデータを活かした研究の蓄積を進める。

引用・参考文献

加藤眞二・浅川滋男 1997「大乗院の調査一第 275 次・第 278 次」『奈良文化財研究所年報』1997- Ⅲ pp.66-70

白石利治・三井公之 1994「画像処理による長焦点深度光学顕微鏡画像の合成：長焦点深度画像の合成と三次元表示」『精密工学会誌』60 巻 8 号 pp.1112-1116

中園聡（編）2017『季刊考古学　特集 3D 技術と考古学』第 140 号　雄山閣

日本自然科学写真協会（監修）2017『超拡大で虫と植物と鉱物を撮る：超拡大撮影の魅力と深度合成のテクニック』文一総合出版

文化財方法論研究会 2016『文化財の壺　特集　研究するモノに三次元を：SfM/MVS を用いた考古資料計測』第 4 号

山口欧志 2017「土器圧痕の超適応的な三次元デジタルレプリカ法」『日本文化財科学会第 34 回大会研究発表要旨』pp.64-65 日本文化財科学会

早稲田大学総合人文科学研究センター 2016『3D 考古学の挑戦：考古遺物・遺構の三次元計測における研究の現状と課題』

群馬県渋川市金井東裏遺跡出土甲冑類の保存処理と安定台製作

The conservation and the stand production for an excavated lamellar armor from the Kanai Higashiura site in Shibukawa City, Gunma Prefecture.

○初村武寛（公益財団法人元興寺文化財研究所）、尾崎誠（同左）、
尼子奈美枝（同左）、岡田一郎（同左）、松井義昭（同左）
○Takehiro HATSUMURA, Makoto OZAKI, Namie AMAKO, Ichiro OKADA, Yoshiaki MATSUI
(Gangoji institute for research of cultural property)

1. 群馬県金井東裏遺跡と出土甲冑

2013 年、群馬県渋川市において、榛名山二ツ岳の火山灰に埋もれた遺跡である金井東裏遺跡より、人骨や遺物などが当時の状態を保ったまままきわめて良好な状態より出土した。

古墳時代の甲冑類については、これまで多くの事例が副葬品として知られるのみであったが、本例では日本列島内ではじめて人が装着した状態で確認された（写真１）。また甲冑は完全な状態で遺存するものであり、構造を解明できる稀少な事例としても注目される。

元興寺文化財研究所では幸いにも小札甲２領および錣・頬当を伴う衝角付冑の保存処理および安定台を製作する機会を得た。本発表ではその概要について報告する。

写真１　１号甲の出土状況

写真２　有機質遺存部位のメモ

2. 金井東裏遺跡出土甲冑の保存処理

甲冑本体に鉄のメタルが遺存しないことおよび有機質が良好に遺存することから、脱塩処理は行わないこととした。また有機質および小札の並びなどが良好に確認できたため、保存処理時に有機質が遺存部位を確認するための図を作成した（写真２）。

遺物自体はしっかりとした状態であったが、非常に大型でゆがんだ形状をしているため、支持台なしでは遺物が崩れる恐れがあった。以前の下馬周辺遺跡出土鎧はシリコンと発泡ウレタンおさめた木枠を用いて支持台を作って支持・反転を行ったが（初村ほか 2014）、この事例についても同様の作業を行った（写真３）。

樹脂含浸を行うに際しては、樹脂に対して劣化しない構造であり、かつ樹脂の溜まりをなくす必要性があった。そのため、エポキシ樹脂とガラスクロスを交互に３層張りした支持台を作製し、ホ

ールソーで樹脂抜き穴を設けたバックアップ材とし、樹脂含浸を行った（写真４）。

3. 安定台の製作

保存処理完了後、遺物を安全に保管および展示公開するための安定台を、遺物の形状に合わせて製作した。

１号甲については、搬入時に分割された状態であったが、扱いやすい形状とするため接合して１個体にするということはせず、７分割で仕上げた。安定台についても、個々の部材の甲の内面および外面が良好な状態で観察可能とすることから、甲の内面を見せる台および外面を見せる台の２種類を製作した（写真５）。

衝角付冑および２号甲については、遺存状況こそ良好であるが、すべてが一体に錆着した状態で非常に重量があり、かつ扱いづらい形状をしていることから、甲の前面を見せる安定台を製作した。ただし、遺物を手で持って安定台に設置することは難しいため、先の木枠内で遺物の上に安定台を置き、反転させることで設置するものとした。

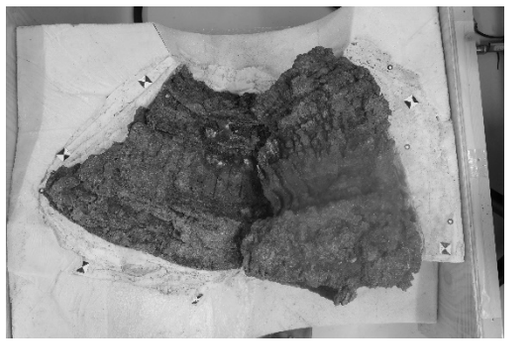


写真３　ウレタン支持台と２号甲

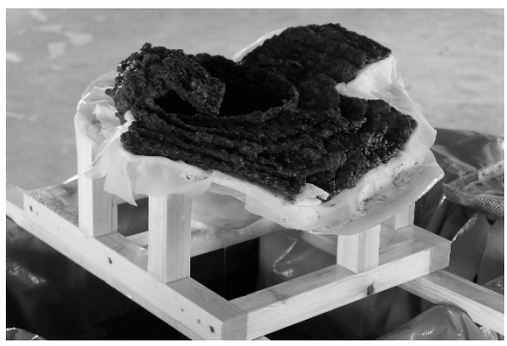


写真４　含浸支持台と衝角付冑

写真５　安定台に設置した１号甲

4. おわりに

ここでは、大型遺物の保存処理の工程について概観した。紙幅の関係により詳細すべてを記せていないが、遺物が大型になることにより扱い・強度などに関して様々な問題が出てくる。今回の内容がすべてに応用できるものとは思えないが、他の事例の参考になれば幸いである。

本発表を行うに当たり、公益財団法人群馬県埋蔵文化財調査事業団および群馬県教育委員会に保存処理時の工程および資料の掲載についてお世話になった。記して感謝申し上げます。

参考文献

初村武寛ほか 2014　「下馬周辺遺跡出土鎧の調査・保存処理」『日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集』　日本文化財科学会

SLAM 技術を用いた森林内遺構の迅速な計測

Rapid measurement of archaeological sites in forest using SLAM technology.

○金田明大（奈文研）

○Akihiro KANEDA (Nara National Research Institute for Cultural Properties.)

1. はじめに

遺跡の状況を観察する上で、まず基本になるのは地形の観察とそれに基づく計測である。しかし、植物の繁茂により、地上における平板測量では伐開や作業の煩雑さが課題となってきた。

近年、空中 LiDAR による森林下の地形計測が古墳や山城などを主な対象としておこなわれている。レーザー光の特徴を利用して地表面を広域に計測することで、以前は困難に近かった大規模な遺構や未発見の遺跡・遺構の確認において画期的な成果をあげている（西藤・藤井 2010)。

近年、UAV（空中ドローン）の利用など、多様な計測が提案されているが、微地形の検討においては、より高密度な計測が可能で低コストな技術の利用が期待される。しかし、従来の地上据え付け型のレーザースキャナーでは、多くの場合、周辺の樹木によりレーザーが遮られ、良好な計測成果の取得が困難であることが多い。この課題に対して、本研究では、手持ち型の SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)技術を用いて森林内の遺構の高密度な計測を試みた。

2. 使用機器

今回使用した機器は Velodyne 社の VLP-16 および KAARTA 社の Stencil を用いた。測定範囲は 100m、6DoF の IMU を持っており、GPS による補正せずに森林内や室内の計測が可能である。精度は±3cm（1σ@25m)であるが、今回の目的に際しては十分な精度と考える。計測データは PLY 形式で出力される。解析は Cloudcompare2.9.1 を用いた。安定した計測のため、カメラ用の一脚を用いた。

3. 計測試験の成果と課題

計測試験は、条件を異にした様々な対象と条件で実施している。一例として、奈良県佐紀瓢箪山古墳の例について述べる。佐紀瓢箪山古墳は、全長 96mの前方後円墳で、現在は公園緑地として公開されている。墳丘の周辺には園路が廻っており、墳丘及び周辺は樹木が密生している。

計測に際しては、園路を一周し、墳丘の長軸中軸線および段築部分を廻った。計測時間は約 15 分である。日光などによるノイズがあるため、まず SOR（Statistical Ourlier Removal）フィルターでノイズを除去したのち、CSF（Cloth Simulation Filter）を適用して樹木・植生を除去した。その後、EDL（Eye-dome Lighting）フィルターで環境光を調整し、輪郭を抽出し表示をおこなった。

この結果、灌木類の除去が不十分ではあるものの、樹木下の微地形を高密度で計測することができた。今後、他のより廉価な SLAM 技術や提案されている導入コストの低い後処理ソフトウェアの利用の検討をおこない、普及を目指したい。

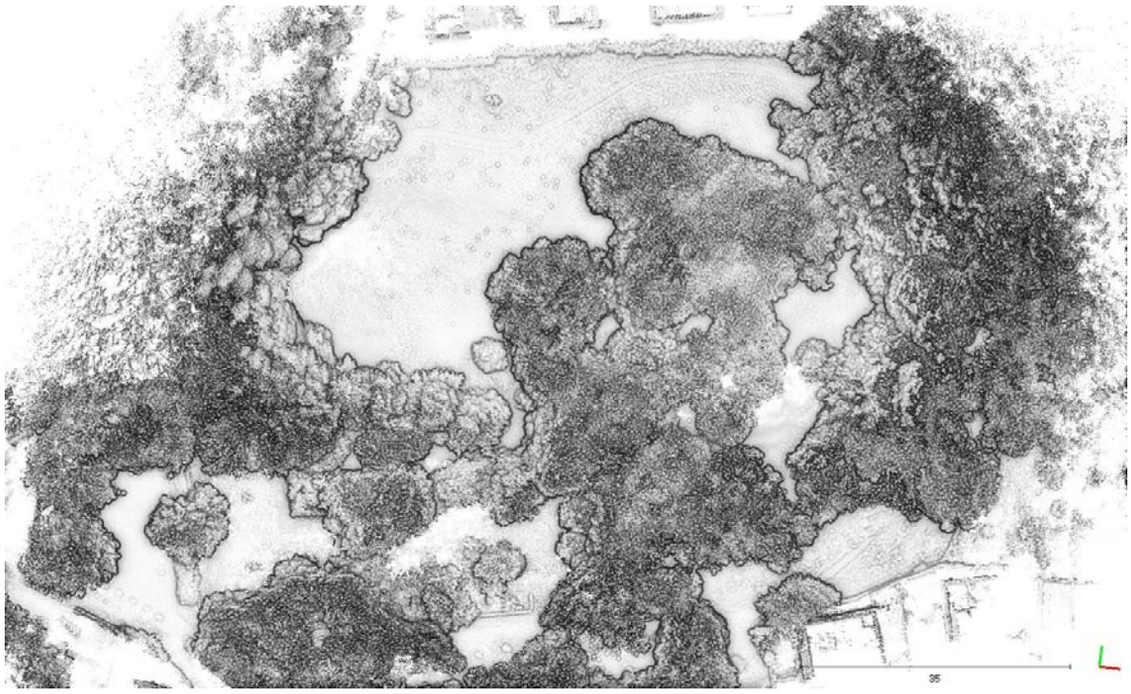


Fig.1)瓢箪山古墳計測成果（計測データ）

Fig.2)瓢箪山古墳計測成果（樹木除去後）

参考文献：

西藤清秀・藤井紀綱　2010　新時代を迎えた大型古墳測量　『日本文化財科学会第 27 回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会

金田明大　2017　大変だったので仮想空間で伐採してみました『文化財の壺』5　文化財方法論研究会

本州から出土した縄文時代人骨の安定同位体分析による食性解析

Dietary reconstruction on human skeletal remains from Honshu of the Jomon period using stable isotope analysis

○日下宗一郎（ふじのくに地球環境史ミュージアム）
○Soichiro KUSAKA (Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka)

1. はじめに

先史時代の遺跡から出土した古人骨の炭素・窒素同位体分析によって，当時の食性を調べることができる。とくに炭素・窒素同位体比は，生物の栄養段階を反映し，陸上生態系と海洋生態系において大きく異なる値を示すため，人類の海産物依存度の推定に利用することができる。日本列島の縄文時代に居住していた人々の食生態を調べることは,彼らの環境利用とその時期的な変遷を明らかにする上で重要である。本州における縄文時代人の食性の地域間変異とその要因を明らかにすることを目的として，本州の８つの遺跡から出土した古人骨の炭素・窒素安定同位体分析を行った。

2. 資料と方法

分析に用いた資料は，本州の３つの地域（東海・近畿・山陽地域）から出土した縄文時代に帰属する古人骨である。成人骨を分析の対象とし，性別や死亡年齢の鑑定を行った。蜆塚人骨は，京都大学理学研究科自然人類学研究室所蔵の資料であり,そのほかの資料は大阪市立大学医学研究科に所蔵されている資料である。

古人骨から試料約 0.5g を採取し，骨コラーゲンを抽出する実験を行った。まず，資料を純水中で超音波洗浄し，水酸化ナトリウム（0.2mol/L）で洗浄することによって土壌有機物を除去した。凍結乾燥後にミルを用いて粉砕し，セルロース透析膜の中に試料を入れ，塩酸（1mol/L）により脱灰し，純水で透析を行うことで中性に戻した。そして凍結乾燥後に，90 度で 12 時間加熱してコラーゲンをゼラチン化させ，遠心分離した後の上澄み液を凍結乾燥することで，コラーゲン試料を得た。試料（約 0.5mg）を錫カップに包み，元素分析装置−質量分析装置（EA-IRMS）を用いてその炭素・窒素の元素濃度と同位体比を測定した。同位体比の測定精度は 0.2‰以下であった。

歯のエナメル質が得られた試料については，炭素同位体測定を行った。デンタルドリルを用いて，エナメル質を約 3mg 切削した。試料を酢酸緩衝液(0.1mol/L)で 30 分洗浄し，乾燥させた。試料約 0.5mg を GasBenchII-質量分析装置を用いることで，その炭素同位体比を測定した。測定精度は 0.2‰以下と良好な結果であった。

3. 結果と考察

新たに分析した古人骨の炭素・窒素同位体比の結果を図１に示す。食物資源の同位体比は Kusaka et al.(2010)より引用し，食物資源に一栄養段階に相当する同位体分別の値（δ^{13}C,+4.5‰；δ^{15}N，＋3.4‰）を加えている。

東海地域の蜆塚人骨，西の宮人骨，本刈屋人骨は，陸上植物と陸上哺乳類を中心とした食生活であることが分かり，知多湾沿岸での陸上資源と海産資源の両方の獲得に特徴があると考えられる。

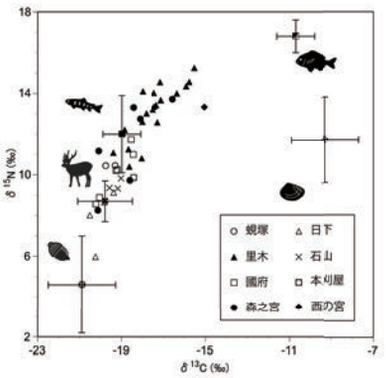


図１　炭素・窒素同位体分析の結果

近畿地域の石山人骨は，陸上哺乳類を中心とし，陸上植物や淡水魚も組み合わせた食生活であることが推定され，琵琶湖周辺の食生態を示している。森之宮人骨は，陸上生態系に依存し，海産物にも依存した可能性がある。國府人骨や日下人骨は，陸上・淡水生態系に依存していたと考えられる。縄文時代の大阪平野には河内湾が広がっており，海退とともに汽水湖から淡水湖へと移行していったことが関係していると考えられる。

山陽地域の里木人骨は，陸上資源と海産資源の混合食であることが同位体比から分かった。山陽地域の大田人骨や津雲人骨の同位体比と比較してみると，里木人骨もそれらと同じくらい高い窒素同位体比であるが，低い炭素同位体比を示したことが特徴である。窒素同位体比が高いことは，瀬戸内海の海洋生態系全体の高い窒素同位体比が影響している可能性がある。

最後に，歯のエナメル質の炭素同位体比は，食事全体のエネルギー源を示す（Kusaka et al., 2015）。蜆塚人骨では，比較的高い同位体比を示し，エネルギー源として海産物も寄与していたと考えられる。しかし，ほかの遺跡では草食動物と同様に低い値を示し，陸上植物と陸上哺乳類の脂質をエネルギー源としていたために，低い炭素同位体比を示していると考えられる。

4. まとめ

これらの検討から，縄文時代人の食性の地域間変動が明らかとなり，それは各地域の古環境と密接に関わっていると考えられる。より詳細に縄文時代の食性を調べるためには，さらにそれぞれの地域で分析する個体数を増やすことと，放射性炭素年代測定により時期的な食性の変遷を調べることが必要である。

5. 謝辞

本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金（若手研究(B)，17K12962）及び総合地球環境学研究所同位体環境学共同研究事業の補助を受けています。ここに御礼を申し上げます。

6. 引用文献

Kusaka S, Hyodo F, Yumoto T, Nakatsukasa M. 2010. Carbon and nitrogen stable isotope analysis on the diet of Jomon populations from two coastal regions of Japan. J Archaeol Sci 37:1968–1977.

Kusaka S, Uno KT, Nakano T, Nakatsukasa M, Cerling TE. 2015. Carbon isotope ratios of human tooth enamel record the evidence of terrestrial resource consumption during the Jomon period, Japan. Amer J Phys Anthropol 158:300–311.

天野山金剛寺木製小五輪塔のX線CT調査

X-ray Computed Tomography survey of wooden small pagodas called gorinto owned by Amanosan (Mt. Amano) Kongoji Temple (Kawachinagano City, Osaka)

○初村武寛（公益財団法人元興寺文化財研究所）、狭川真一（同左）、川本耕三（同左）

○Takehiro HATSUMURA, Shinichi SAGAWA, Kozo KAWAMOTO

(Gangoji institute for research of cultural property)

1. はじめに―木製小五輪塔の概要と調査の目的―

大阪府河内長野市に所在する金剛寺は、天平年間創建と伝える古刹である。この寺院に小型の木製小五輪塔が約 1000 基保管されている。塔は高さ 7～8cm の小さなもので、形態から 16 世紀前後のものと考えられ、水輪の側面もしくは地輪の底部から小孔を穿ち、木栓をして奉納品を納めているようであった。

奉納の趣意を記載した史料は未確認のため目的の詳細は不明だが、塔の形が同じことからほとんどが同時に製作されたものとみられ、一括して奉納された可能性が高い。木製五輪塔内部の奉納品の実態を知り、奉納の趣意を考察することを目的とし、Ｘ線ＣＴによる調査を実施した。

2. Ｘ線ＣＴ機器について

調査に使用した機器および条件は以下の通りである。

・装置：東芝ＩＴコントロールシステム（株）製　TOSCANER-32300μFD

・電流値/電圧値：160μA/60kv（その他詳細な条件は紙幅の関係により割愛）

・調査対象：木製小五輪塔　四基（No.0683，0899，1029，1044）

3. 木製小五輪塔のＸ線ＣＴ調査

No.0447　空輪から地輪までを一木から作り出す。全体に顔料が遺存しており、Ｘ線透過画像およびＸ線ＣＴ画像には表面が白く写る。

水輪の側面２方向に木栓が存在する。Ｘ線ＣＴにより、内部にＸ線の透過率の高いものが納められていることを確認した。繊維・紙などが候補として考えられる。

No.0683　空輪から地輪までを一木から作り出す。空輪・火輪・水輪の表面には顔料が遺存。

水輪に横方向から詰められた木栓があった。Ｘ線ＣＴにより、内部には無作為に詰められたもの（繊維もしくは紙か）が確認できた。また、その内部にはＸ線が透過しにくい密度の高いものが包まれていることを確認した。骨片（舎利？）と思われる。

No.0899　空輪から地輪までを一木から作り出す。火輪の表面には顔料が遺存している。

地輪の下方向から詰められた栓があった。この穿孔は水輪にまで至っており、内部には１本の筒を４等分に折りたたんだものが確認された。先の No.0683 の内容物とは異なり、筒状に巻

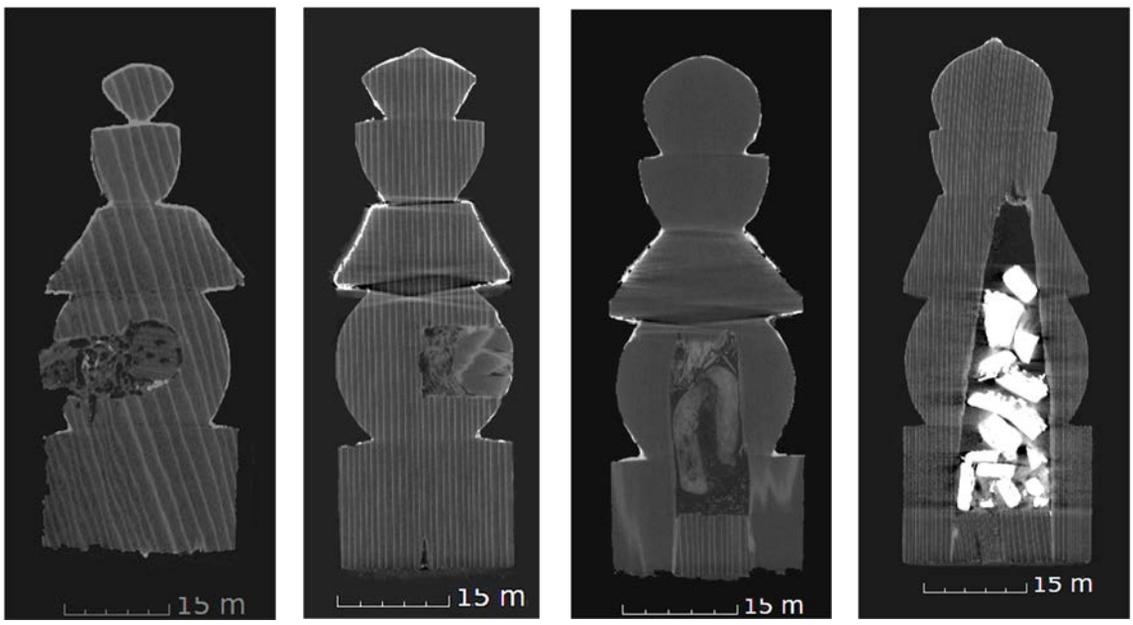


図１　木製小五輪塔のＸ線ＣＴ画像（左より No.0447, NO.0683, No.0899, NO.1029）

かれていることを考えると、経典もしくは願文などと推定される。

No.1029　空輪から地輪までを一木から作り出す。表面の顔料は遺存していない。

地輪の下方向から詰められた栓があった。この穿孔は地輪から火輪まで至っており、内部には密度の高いものが多数納められていた。ただし、これらにはそれぞれに密度の高い箇所と低い箇所があり、骨（舎利）片と思われる。

4. おわりに

木製小五輪塔内部の奉納品については、これまで木栓欠失の資料から一辺７cm 余りの用紙に宝篋印陀羅尼を書写したものを取り出している。しかし今回の調査により、用紙以外に骨や繊維状のものが含まれていることを確認した。

この資料のように、小塔に経典を納めた事例は、室生寺（奈良県宇陀市）の籾塔がある。籾塔は経典とともに籾を舎利と見立てて奉納し、五穀豊穣を願ったものである。今回の資料が実際に骨片とみられるものが奉安されており、籾塔とは異なる造営背景を想定する必要がある。

Ｘ線ＣＴを用いた文化財の調査は今回確認されたような内容物を解体することなく確認することができるとともに、文化財の構造や劣化状況等を確認・検討するための多量の情報を提供することができる。当研究所にＸ線ＣＴが導入されてからまだ日も浅く、これから本格的に稼働していくところであるが、こうした成果を蓄積し一つでも多くの文化財の調査・研究に寄与できれば幸いである。

今回の調査に当たり、天野山金剛寺に調査および成果の公開に関して便宜を図っていただいた。記して感謝申し上げます。

大木戸遺跡から出土した繊維製品の科学分析

Analysis of fiber products excavated from Ōkido ruins

◯原由宇稀（明治大学大学院）、阿部芳郎（明治大学）、本多貴之（同左）
◯Yuki HARA (Meiji Graduate University), Yoshiro ABE, Takayuki HONDA (Meiji University)

1. 緒言

大木戸遺跡は埼玉県さいたま市に位置する縄文後期の集落遺跡である。18 次と 20 次の調査対象地区は縄文時代後期を中心とした集落周辺の谷部で泥炭層中より大量の後期の土器と共に豊富な木質遺物が出土した。本研究ではその中でも出土報告例が少ない繊維製品に着目した。縄文時代に作製された繊維製品として知られているものには、飾弓や漆糸が存在する。飾弓は、縄文時代前期以降で東日本を中心とする各地の遺跡で発見されている。その中でも大木戸遺跡の飾弓には糸巻きの下部に半球形の物質を埋め込んだ象嵌が認められ、飾弓では初例である。漆糸は糸や繊維束を巻き付けその上に漆塗りが施されたものである。このような糸は他の時代には認めることができず、縄文時代独自の加工技術を用いて作製されたとされている。本発表では大木戸遺跡出土の飾弓や漆糸の素材と製作技術を解明するために各種分析を行ったので報告する。

2. 実験方法

試料は大木戸遺跡から発掘された飾り弓 12 点、漆糸 2 点である **(Table)** 。全ての試料は縄文後期に作製されたもので樹種はニシキギ属であり木取りが芯持丸木であると確認されている。全ての遺物で特徴的な装飾部分においてサンプリングを行い、得た破片を試料とした。試料の塗装構造を確認するためクロスセクション分析を行った。また材料についての知見を得るため、エネルギー分散型蛍光 X 線 (ED-XRF) 、熱分解 (Py)-GC/MS を用い分析を行った。

Figure 1 Sample 439
(Decorative bow)

3. 結果と考察

3.1. 試料観察 (**Figure 2**)

赤と黒が確認できた 278 においては反射光で観察した結果、塗料層において光を反射したため顔料を用いていると推察された。439 を除いた全ての試料において塗膜部分において塗料がしみ込んだ後に繊維が消失してできる繊維痕が確認できた。そのため、これらの試料においては糸、もしくは繊維が利用されたと考えられる。象嵌の認められる 439 においては、明確な塗料層は確認できなかった。象嵌部断面を偏光下で観察した結果、鉱物特有の干渉色が観察され黒色塗料に砂を混ぜて飾弓に象嵌を施していたことが明らかとなった。今回分析した資料は、塗膜断面に差が見られ塗料層の数も異なる。このため、個体によって漆工技術に差があると確認された。

3.2. ED-XRF

試料に用いられた顔料を特定するため、ED-XRF を行った。赤色が目視で確認された試料においては、赤色部において Hg、Fe が検出された。一方で、黒色部において特徴的なピークは検出されなかった。そのため、飾り弓、漆糸の赤色部においてはベンガラ (313, 391) もしくは水銀朱 (278) の使用が示唆された。

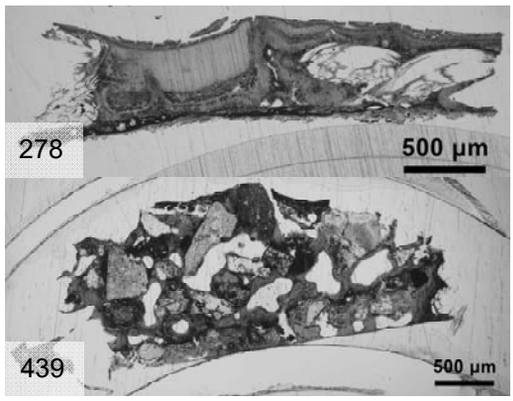


Figure 2 Cut surfaces of Sample

3.3. Py-GC/MS

試料に用いられた材料を特定するため、熱分解温度 500°C で Py-GC/MS を行った (**Figure 3**) 。*m/z* 108 のイオンクロマトグラムを抽出した結果、全ての試料で P7 を中心とした山型のピークと P 15 が確認された。よって、全ての試料で用いられた漆種は日本・中国・韓国産である *Toxicodendron vernicifluum* であると示唆された。278 においては *m/z* 202 のイオンクロマトグラムを抽出した結果、水銀由来のピークが確認されたため赤色顔料として水銀朱が用いられたと示唆された。

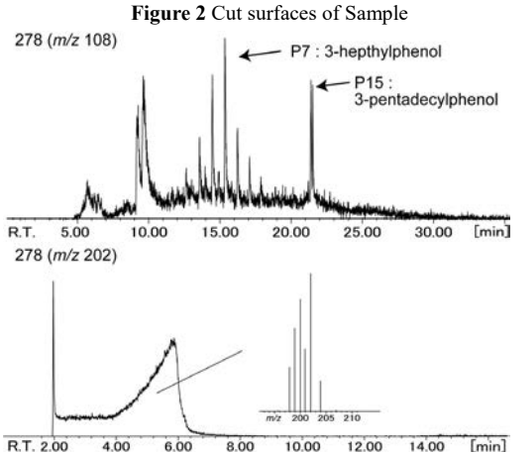


Figure 3 Ion Chromatogram of Sample 278

4. 結言

大木戸遺跡から出土した飾り弓の試料片に対して各種分析を行った (**Table**) 。これらの結果から、飾弓や漆糸の製作技術が 1 遺跡においても多様であると明らかになった。製作方法として主となるのは、繊維や糸を装飾的に巻き付けて漆で塗装を行うものである。さらに飾弓の装飾として漆と砂で象嵌する技術があると初めて確認できた。また赤色の顔料では水銀朱とベンガラの使い分けがあった。これらの成果は飾弓の製作技術の解明や用途の推定に資すると思われる。

Table Results of analysis

Sample No.	Type of tool	Apperence	*Toxicodendron vernicifluum*	Pigment	Fiber streak	Remarks
278	Decorative bow	Red and Black	○	Cinnabar	○	
279	Decorative bow	Black	○	-	○	
281	Decorative bow	Black	○	-	○	
282	Decorative bow	Black	○	-	○	
283	Decorative bow	Black	○	-	○	
286	Decorative bow	Black	○	-	○	
288	Decorative bow	Black	○	-	○	
289	Decorative bow	Black	○	-	○	
290	Decorative bow	Black	○	-	○	
313	Decorative bow	Red	○	Bengal	○	
391-a-1	Lacquer Fiber	Red	○	Bengal, Cinnabar	○	
391-c-1	Lacquer Fiber	Red	○	Bengal, Cinnabar	○	
438	Decorative bow	Black	○	-	○	
439	Decorative bow	Black	○	-	×	Contain mineral

【謝辞】本研究を行うにあたり、埼玉県埋蔵文化財調査事業団から試料を提供していただきました。ここに記して謝意を表します。

X 線 CT スキャナを用いた刻苧の調査と解析

Survey and analysis of *Kokuso* using X-ray CT scanner

○赤田昌倫（国立アイヌ民族博物館設立準備室）
○Masanori AKADA (Preparatory Office for National Ainu Museum)

1. はじめに

近年、九州国立博物館をはじめとして各国立博物館に X 線 CT スキャナが導入され、非破壊非接触による文化財の状態調査、構造調査が活発に行われている。CT データは多くの情報量を含んでおり、塗膜の下層の構造や材料などこれまで観察にはサンプリングが必要であった部位についても CT データから観察することができる。一方で CT データは肉眼では観察が困難な内部構造の比較を行うため、文化財に使用される材料の基準データが無い場合、十分な解析結果が得られないことがある。著者はこのような背景から様々な文化財材料に対して CT データの蓄積を行っている。本稿では刻苧について CT データを解析し様々な検証を行ったので報告する。

2. 刻苧

刻苧は漆や膠に対して、繊維、木粉、骨粉を練り混ぜたもので、主として漆塗りの下地の合わせ目・割れ目など充填や接着などに用いられる。練り混ぜる材料や製法、粉末の目の細かさ（粒度）は用途に応じて異なるが、本研究では漆工芸品や木彫仏の接合や空隙の充填剤としての刻苧を想定し、①麦漆（小麦粉５：水 2.2：生漆３）に麻繊維と木粉を練り合わせたもの、②膠に麻繊維と木粉を練り合わせたもの、③上記の①の試料とともに骨粉を練り合わせたものを試料とした。骨粉は牛骨を炭火で焼成後に油分を除去しすり鉢で粉末化（最大で 300μm）したものを使用した。また木粉の粒度による見え方の比較を行うため、10~20 メッシュ（1000μm 前後）・40 メッシュ（460μm 前後）・80 メッシュ（200μm 前後）の木粉がそれぞれ入った試料を作製した。

3. 調査条件

CT 撮影はマイクロフォーカス X 線 CT スキャナ YXLON International 社製 FF35 を使用した。撮影条件は管電圧 60kV、管電流 110μA、プロジェクション数 1080、ボクセルサイズ 7 μm であった。データ解析には VolumeGraphics 社製 VGStudioMAX 3.1 を用いた。

4. 結果と考察

図１に①の試料の CT 像を、図２に②の試料の CT 像を示す。膠着材を比較すると麦漆は木粉や繊維よりも高密度であるため白く見えるのに対して、膠は木粉などに吸着されており、密度も木粉と大きな差がないためか膠着材として膠を確認することは困難であることがわかった。一方で膠については膠着材の特性から練り混ぜた各材料は凝集しているものの良好に観察できることがわかった。図３に③の試料の CT 像を示す。骨粉は木粉や漆などと比べて高密度であるため、骨粉の有無を判断することは容易であった。また①の試料と比べると凝集性が高

いことがわかった。次に図 1 において木粉の粒度に着目し試料の CT 像を比較すると、①の試料の、木粉粒度が 1000μm と 460μm の CT 像からは断面の様子からも木粉の柾目や木口の様子を確認することができた。一方で木粉粒度が 200μm の試料については麦漆とコントラストが近しいため図 1 で示した平面からのスライス像からは木粉の確認は困難であったが、他の断面を詳細に解析した結果、柾目や木口の特徴を確認することができた。また、木粉粒度が小さくなるほど麻の繊維と木粉の区別が困難になることがわかった。特に木粉粒度が 200μm の試料については繊維の形状を認識するのに複数の断面から詳細な解析と観察が必要であり、CT 撮影の分解能等のパラメーターによっては繊維の有無に関する判別は極めて困難である。また③の試料の木粉粒度が 200μm の CT 像については膠着材が凝集したことや麦漆と木粉や繊維のコントラスト差がほとんど認められなかったため、観察が特に困難であった。

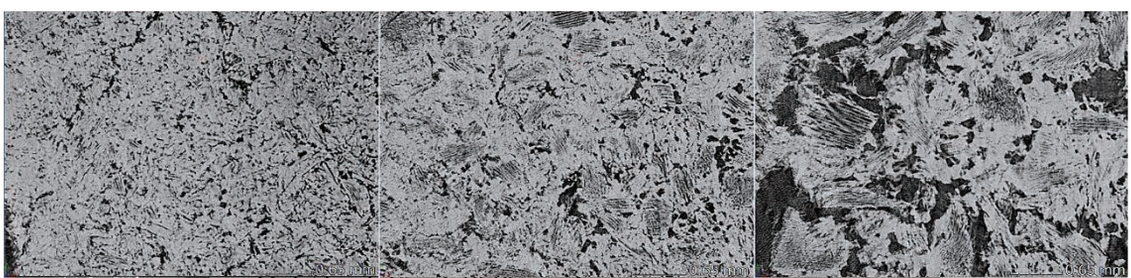


図1　①麦漆+木粉+麻繊維　　左:200um 中:460um 右:1000um

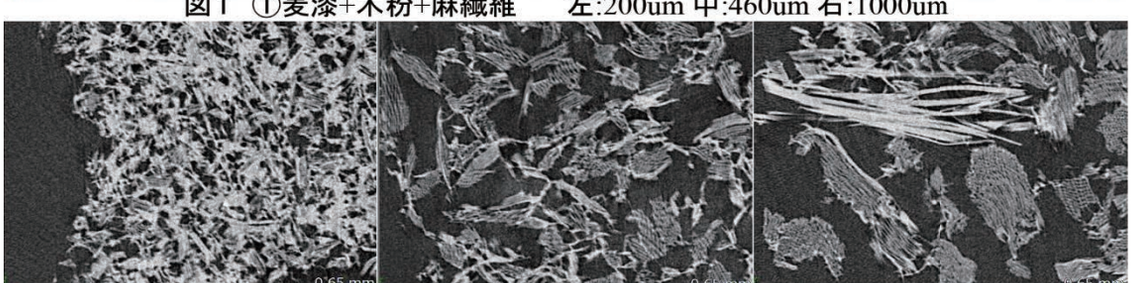


図2　②膠+木粉+麻繊維　　左:200um 中:460um 右:1000um

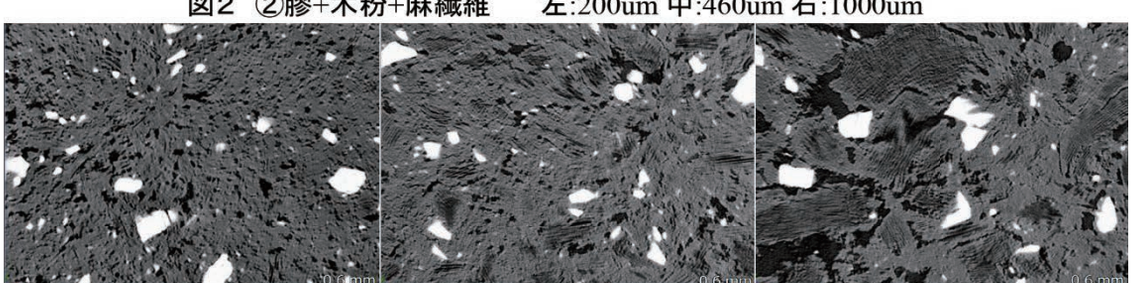


図3　③麦漆+木粉+麻繊維+骨　　左:200um 中:460um 右:1000um

5. まとめ

複数の刻苧試料についてマイクロフォーカス X 線 CT スキャナによる見え方の違いを比較した。その結果、ボクセル分解能が 7 μm あれば練り混ぜた材料の木粉の違いや粒度などを区別して解析と観察できることがわかった。今後は実際に文化財に使用された刻苧に対して同様の調査を行い、基準データを蓄積する予定である。

刻苧試料は合同会社大西漆芸修復スタジオ 大西智洋氏に作製を依頼した。またデータ解析には九州国立博物館の解析用 PC を使用した。記して感謝いたします。
本研究は研究課題 16K01192 基盤研究(C) 「X 線 CT を用いた有機質材料の同定方法の確立」の一部である。

群馬県金井東裏遺跡出土人骨安定台製作事例報告-3D 計測技術の応用-
Case Report on Stabilized Platform for Human Skeltal Remains from Gunma Prefecture Kanaihigashiura Site- Application of 3D Measuring Technique -

○石原道知(武蔵野文化財修復研究所)、田子寿文(株式会社アイテック〔3D Net work Japan〕)、
大道寺覚(株式会社ニシムラ精密地形模型)、芝原暁彦(地球科学可視化技術研究所) 、
関邦一(公益財団法人群馬県埋蔵文化財調査事業団)、板垣泰之（同左)、
舟橋京子(九州大学) 、 米元史織(九州大学総合研究博物館)

○IshiharaMichitomo (Musashino Cultural Property Restoration Laboratory),
TagoToshifumi(ITEC co.ltd 〔3D Net work Japan〕), Shibahara Akihiko (Research Institute For Earth Science Visualization Technology), Daidoji Kaku(Nishimura Topographical Modeling Campany) ,
Seki Kuniiti, Itagaki Yasuyuki (Gunma Archaeological Research Foundation),
Funahashi Kyoko(Kyushu University), Yonemoto Shiori(The Kyushu University Museum)

1. はじめに

遺物は埋蔵中の劣化が激しく展示はおろか移動すら難しい状態である場合が少なくない。本報告の出土人骨もこの例である。この資料の保管管理を行うために形状に合わせた安定台を作成した。作成には３Ｄデジタル計測による技術を応用した。得られたデジタル３Ｄデータを反転させ受け皿のように実物を載せる治具を作成する。そしてこの治具を受ける人骨各部位を安全に設置し保管するトレーを作成した。一旦このトレーに設置されれば、資料に直接触らずに移動、観察、保管ができるように設計した。この安定台は群馬県教育委員会の委託事業により製作したものである。

2. 金井東裏遺跡と出土人骨について

榛名山北東麓の小規模扇状地上に位置する金井東裏遺跡は6世紀初頭の榛名山の噴火によって埋没した。遺跡からは、この時に被災した古墳時代人骨が４体発見され、そのうちの一体は小札甲を１体は首飾りを着装した状態であった。このような状態で人骨が発見された例はなく、４体の人骨は極めて稀少な資料である。ただし、火山灰の影響で残存部位は脆弱であった。

3. 作業工程

①３D測量、実測、寸法データ収得

資料の配置は舟橋京子、米元史織が可能な限り解剖学的位置関係を考慮した通常の展示の形態になるように並置しそのまま実測作業を行った。この時の並び順で展示・保管されることになる。細部(重要部材)についてはデジタイザ(RANGE7)による3D計測をおこない、大枠はフォトクグラメトリを利用し、田子寿文が行った。

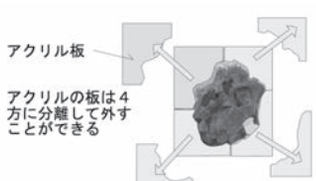
②治具データ作成

３D測量で得られたデータを使用可能な状態に整理し加工する。形を反転させ受け皿のように実物を載せることができる治具のデータを大道寺覚が作製した。

写真 1. １号人骨出土状況

写真 2. 計測作業状況

写真 3. ４号人骨安定台設置状況



トレーの構造図

③治具作成

上記設計図からNC切削機で削りだし、造形した。素材は窒素発砲のポリエチレン発泡体（アンモニア等の腐食性ガスを発生させない。商品名：ソフトロンZ）で作成した。この工程は大道寺覚が切削加工し、展示方法は芝原暁彦が監修した。

④トレー作成（安定台）

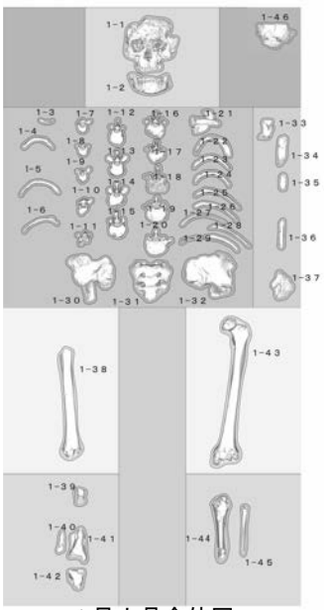
３D計測で得られた実測値から全体の骨格のアウトラインを作成した。このアウトラインをガイドにアクリル板を切り抜き、上記で作成した緩衝具を設置できるトレーを作成した。加工は有限会社エクセルの高木健次、大坪慎輔が行った。

⑤保管ケースの作成（内箱）

資料に将来的に影響を与えない素材と考えられる中性紙で保管ケースを作成した。商品名アーカイバルボードを利用。トレーの振動防止や衝撃緩衝に治具の素材と同じポリエチレン発泡体を使用した。ケースの作成は株式会社資料保存器材。

⑥収納箱作成（外箱）

ランバーコア合板等を使用し上記保管ケースを収める収納箱を作成した。形状はできるだけ簡素にし、積み重ね等収蔵に配慮した。表面はシリコン・アクリル系塗料等で塗装した。



１号人骨全体図

写真 4. 安定台並置状況

写真 5. 収納状況

4. まとめ

形、大きさが全て違う人骨各部位を安全に設置し保管するトレーの設計に苦慮した。発表者の石原は考古資料のレプリカ作りで培ったシリコン型を取る技術を応用し所謂「ヌケ勾配」でトレーの壁（アクリル部分）を安全に外すことができるよう考えた。トレー側面を取り除けば資料の出し入れは容易に安全に行うことができる。

資料が設置される緩衝材部分は精密さが要求される。３D測量技術の一つフォトグラメトリを応用しデジタイザ計測と2つの方法を使い分けることにより、作業時間短縮とコストも抑えられた。安定台完成後初の活用として、1号・3号人骨が群馬県立歴史博物館の企画展「海を渡ってきた馬文化」（2017年9月30日－11月26日）で展示された。現在本資料は公益財団法人群馬県埋蔵文化財調査事業団にて人骨の保管管理に使用されている。

謝辞

甲着装人骨を含める 4 体の調査を主導された九州大学の故田中良之氏、田中氏の招致から昨年県立博物館でのお披露目まで企画、計画に多大の助言をいただいた群馬県立歴史博物館長の右島和夫氏、本計画の進行管理に群馬県教育委員会文化財保護課の松原孝志氏、展示面で群馬県立歴史博物館の深澤敦仁氏、その他大勢の群馬県関係者にお世話になりました。記して御礼申し上げます。

参考文献

塚本敏夫　江野朋子　青木政幸　森田稔(2004)「3 次元デジタルデータを用いた遺物安定台の作成」『文化財保存修復学会第 26 回大会発表要旨集』pp.120-121 文化財保存修復学会

大島 孝博(2010)「文化財のレプリカ作成における手法の検討」『文化財保存修復学会第 32 回発表要旨集』pp.286-287 文化財保存修復学会

大島孝博　石原道知　近藤敏(2014)「3D プリンターを用いたレプリカ作成の事例報告~市原市稲荷台遺跡出土記年銘土師器皿~」『文化財保存修復学会第 36 回発表要旨集』pp.88-89 文化財保存修復学会

塚本敏夫　山田哲也　岡田一郎　福田友里子　横須賀倫達(2017)「3 次元デジタルデータを用いた脆弱な有機質遺物の安定台作製-雪野山古墳出土靫を事例として-」『日本文化財科学会第 34 回大会研究発表要旨集』pp.302-303 日本文化財科学会

公益財団法人群馬県埋蔵文化財調査事業団編集(2017)『金井東裏遺跡甲着装人骨等詳細調査報告書』群馬県教育委員会

ソウル、奉恩寺の木造釈迦如来三仏坐像 科学的調査・分析

A Scientific Analysis and Investigation of Wooden Seated Sakyamuni Buddha Triad of Bongeunsa Temple, Seoul

○Junghae PARK, Jinseo OH, Jeongeun OH, Inseon Hwang, Yeonju SEO, Soochul KIM
(Korea National University of Cultural Heritage, Wood Cultural Heritage Conservation Lab)

ABSTRACT: Bongeunsa Temple is a Buddhist temple in Samseong-dong, Gangnam-gu, Seoul. And it is a branch temple of Jogyesa Temple which headquarter Jogye Order of Korean Buddhism. Wooden Seated Sakyamuni Buddha Triad has been enshrined in Bongeunsa Temple Daeungjeon. In 2016, it was carried out a scientific investigation and analysis (Species Identification, Gilding layers) on the Bongeunsa Temple Wooden Seated Sakyamuni Buddha Triad through the recording of the Important Buddhist Statues' Documentation.

1. Introduction

Bongeunsa Temple was built in 794(Goryeo Dynasty). Its first name was Gyeonseonsa Temple and renamed Bongeunsa Temple in 1498(Joseon Dynasty. In 1692, Joseon Royal entombed Wooden Seated Sakyamuni Buddha Triad. Wooden Seated Sakyamuni was completed by a group of monk-sculptors. But according to a prayer written at the time of the 1765(re-guilding project), original Sakyamuni Statue of the triad was destroyed fire in 1689. But its robe style and symbolic hand gesture showed the influence of Buddihist sculpture of the mid-seventeenth century. So it was designated for Treasure 819.

Today, it need to make a database for conservation and management about important Buddhist Statues' Documentation. So it carried out scientific analysis and investigation of wooden seated sakyamuni buddha triad of Bongeunsa Temple, Seoul

Figure 1. *Wooden Seated Sakyamuni Budda Triad of Bongeunsa(Yaksa, Sakyamuni, Amita).*

2. Object and Method

2.1. Object: Wooden Seated Sakyamuni Buddha Triad of Bongeusa Temple is consisted with Sakyamuni, Amita, Yaksa. The condition of the damaged was differed by tree statue of the Buddhas. Sakyamuni had a many of cracks in bottom and peeled of lacquer in partly. It was observed crack and peeled of lacquer in Amita. But it was better than Sakyamuni. Yaksa also was observed peeled of lacquer on the bottom and even had gold damaged. So it seemed to need for scientific analysis and investigation for conservation.

2.2. Method

2.2.1. Species Identification: Sampling wood from by tree statue of the Buddhas was carried out tis bottoms or inside part of arm. Then creating slice of samples three section of wood and identificated with optical microscope.

2.2.2. Gilding Layers: Sampling is same with species identification. And smples were coated with epoxy to observe gilding layer's section. Optical microscope was used for observing layers. Analysis for the gilding layer's component was carried out with SEM-EDS.

3. Results

3.1. Species Identification: The result of tree statued of the Buddhas's species was *Alnus* spp. all.

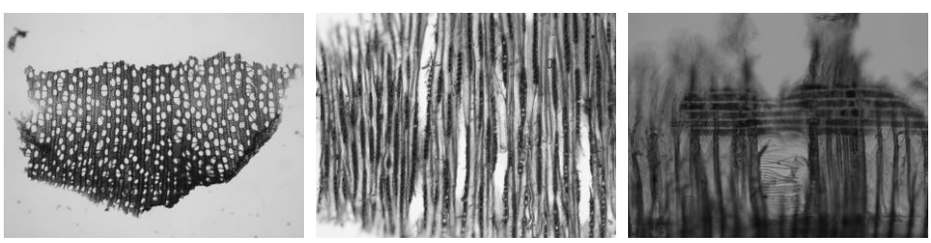


Figure 2. *Anatomical characteristics of Alnus* spp. *(Cross-Tangential-Radial).*

3.2. Gilding Layers: Sakyamuni had 3 layers of in its 8 layers. Accordingly, it is believed to have been repaired several times. Amita had 12 layers and base layer's composition was Si. It seemed that Amita's Gilding layers was based on soil powder layer. Yaksa had 9 layers and base layer was lacquer absorbed soil layer.

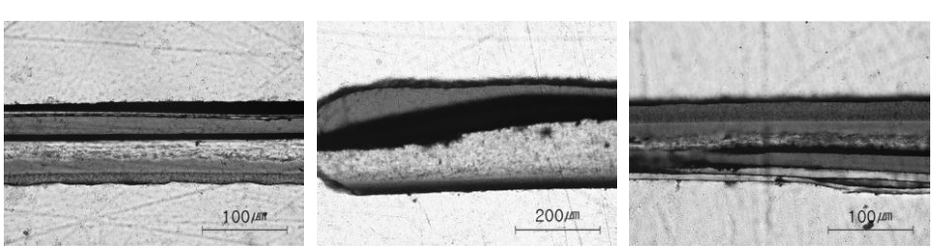


Figure3. *Gilding Layers of Wooden Seated Skyamuni buddha tirad(Y-S-A).*

漆器文化財を保存するため、塗料分析研究

Analysis on Varnishes for Conservation of Lacquerware Cultural Heritage

◯Soochul KIM, Jaewan CHOI, Uicheon LEE
(Korea National University of Cultural Heritage, Wood Cultural Heritage Conservation Lab)

ABSTRACT: Traditional lacquer has been used for the production, conservation, and restoration of lacquerware. But with the inflow of Western civilization through modernization, the trends are that synthetic resin varnish such as cashew nut shell liquid(CNSL) is being used as well due to their convenience. However, the problem is that even experts have difficulties differentiation lacquer and CNSL as they have similar components, color and odor. Therefore, this study selects the natural varnishes and synthetic resins varnishes used in the scenes of Korean cultural heritage and tries to find the keywords.

1. Introduction

The Venice charter, Nara document, and Ethical Guides for Cultural Conservators state that material identical to the original must be used when preserving cultural heritage. Therefore, natural lacquer should be used when preserving lacquerware. So to identify each varnish, it carried out by analyzing the differences shown through chromaticity measurement, surface observation, cross section observation, Infrared spectroscopy analysis, Raman spectroscopy analysis, and Py-GC/MS analysis.

2. Materials and Method

2.1. Material

Table 1. Materials of Experiment

Base	Type	Varnish	Storage Environment
Wood (Hard pine)	Natural varnish	Korean lacquer	Temperature: 22℃
		Chinese lacquer	
	Synthetic resin varnish	Korean CNSL	Relative humidity: 60%
		Japanese CNSL	

2.2. Method

2.2.1. FT-IR(Alpha, Bruker, Germany): Organic Analytical Condition mode was ATR. And spectral resolution 4cm^{-1}, measuring range 400~4000^{-1}, 48 times scans optical microscope.

2.2.2. Pyrolysis-GC/MS(HP6890N Series GC/MSD system, Agilent, USA): Thermal decomposition temperature was 600℃, oven temperature was 40℃(5 min) and raise temperature to 300℃ at a rate of 20℃ per 1 min. Inlet temperature was 250℃ and mass spectrometer's ion source was EI 70Ev. Mode was split and carrier gas was *He*. The detected compounds in the analysis were compared with the values of the library.

3. Results

3.1. FT-IR: Lacquer and CNSL's spectrum was very similar by main element. But lacquer's peak was 720cm^{-1} and CNSL's peak was 750 cm^{-1}, 720 cm^{-1}, 700 cm^{-1} in finger print range on spectrum. It seemed by differ from lacquer's 1,2,3-Trisubsituted benzene and CNSL's 1,2-Disubstituted benzene.

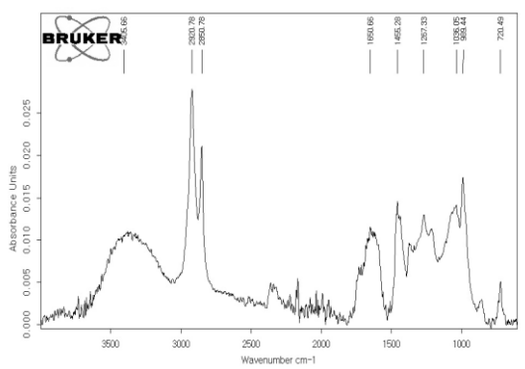


Figure 1. *Spectrum of Lacquer.*

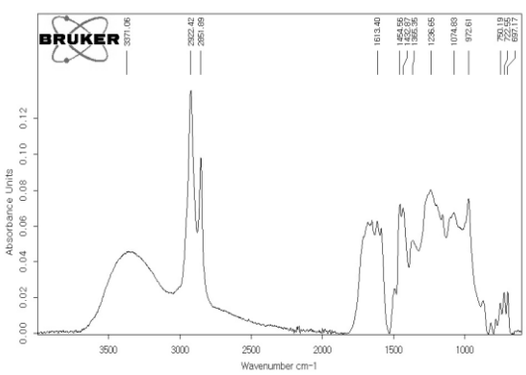


Figure 2. *Spectrum of CSNL.*

3.2. Pyrolysis-GC/MS: In EIC modes, CSNL(Korean, Japanese) appeared Retention time 5 min by Hexanoic acid(MW: 116). It is known as a desiccant of varnish. And CSNL also can't dry in air. So it seemed that Hexanoic acid was added as desiccant in CSNL.

A Study on the Surface Properties of Excavated Bronze Artifacts

◯ SuKyoung Park, NamChul Cho (Kongju National University)

1. Introduction

Although numerous studies have been carried out on excavated bronze artifacts in order to identify their provenance and isolate the techniques used in their manufacture via analysis of their chemical composition including lead isotope ratios, few have investigated the corrosion characteristics of these objects using surface analysis. Amongst known bronze artifacts, Traditional Forged High Tin Bronze in Korea(Bangjja Yougi) and cast examples usually have a black corrosion layer because a patina layer of this color was artificially created for decoration using materials such as Red Copper(烏銅) bark during the Joseon Dynasty. Artifact surfaces are therefore black in color if corrosion products such as tenorite (CuO), chalcopyrite ($CuFeS_2$), and bornite (Cu_5FeS_4) have formed. It is difficult to determine whether, or not, such a black layer formed on the surface of an artifact is due to the presence of corrosion products or an artificial patina when examined with the naked eye. Layers were therefore distinguished in this study using a surface analysis methodology. A further aim of this research was to determine differences in the creation of black layers by comparatively analyzing the black patina made via Red Copper dyes as well as the black corrosion product found on excavated bronze artifacts.

2. Research Method

2-1. Sample Selection

The sample analyzed here was collected from a bronze lidded bowl. In order to enable comparisons with the black corrosion product layer, this sample was then further analyzed in tandem with gold corrosion products found on the same artifact, as well as in comparison with a Red Copper layer that comprised the artificial patina layer. This Red Copper patina was created on a copper-gold (20:1) alloy by producing a black color on the metal plate by wrapping it with traditional Korean paper sufficiently soaked in human urine which was then left for between two hours and three hours in a warm area.

2-2. Analytical Method

The samples analyzed here comprised black and gold areas on excavated bronze artifacts with the naked eye, in addition to an artificial black patina. The remaining impurities on the surface were removed with ethanol and these artifacts were subsequently dried.

Sample chromaticity was measured using a spectrum colorimeter (Minolta, CM-2600d) via naked eye observations before surface corrosion properties were examined with a scanning electron microscope (SEM,

TESCAN) following fixation on a carbon tape. In order to subsequently examine the microstructure and corrosion characteristics of artifacts, surfaces were further examined using a metallographic microscope (DM-2500M, Leica) and a SEM (TESCAN) once cross sections had been mounted with epoxy resin, micropolished, and etched with corrosive acid. The chemical bonding properties of bronze artifacts and the black patina were then analyzed using a photoelectron spectrometer (XPS, VG, ESCALAB 220).

3. Results and Discussion

Metallographic microscope examination revealed the presence of a needle-like α-form martensite. The presence of twin boundaries within this form reveal that this Bangjja Yugi artifact was tempered and heat-treated after being welded at a high temperature of over 586℃. Analysis of the black and gold corrosive products on the bronze lidded bowl using SEM-EDS revealed that bronze artifacts with black surfaces also exhibit a similar copper-tin content at Cu-1.76wt% and Sn-1.75w%, while gold areas had copper and tin contents of Cu-5.86wt% and Sn-16.49wt%. These results reveal that this difference in tin content acted as a factor in the development of black color on the surface of bronze artifacts; similarly, analysis of the artificial black patina surface using SEM-EDS revealed sulfur and gold compositions of S-0.19wt% and Au-0.42wt%, which indicates that the black color developed due to sulfur content. Additional research on the surface properties of bronze artifacts will be conducted in the future by analyzing the chemical bonding state of these two sample surfaces.

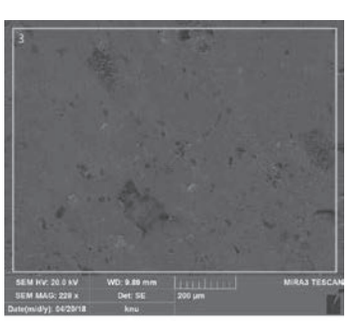


Figure 3. Surface SEM image of a patina surface revealed via experimentation

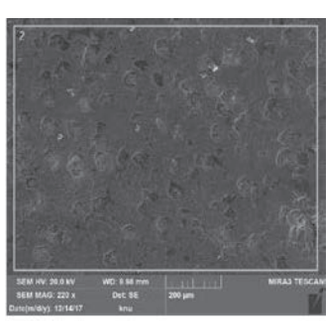


Figure 2 Surface SEM image of a bronze artifact with a gold surface color

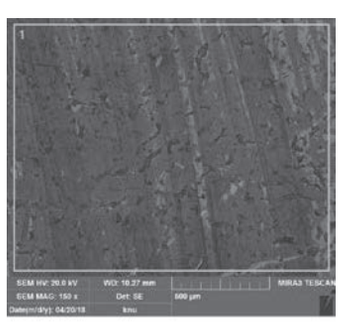


Figure 1 Surface SEM image of a bronze artifact with a black surface color

Table 1. EDS analytical results

Chemical Composition (wt%)														
No.	C	O	Al	Si	Cl	K	Ca	P	S	Fe	Cu	Sn	Au	Pb
1	78.07	17.63	0.19	0.16						0.25	1.76	1.75		0.09
2	20.60	50.30	3.71	2.60				0.18		0.25	5.86	16.49		
3	32.64	26.94	0.52	0.31	0.07	0.20	0.33		0.19	0.28	38.09		0.42	0.02

中国北部における現代人的行動の出現
Emergence of Modern Human Behavior in Northern China

◯上峯篤史（京都大学），渡邊貴亮（関西大学），朝井琢也（川西市／同志社大学大学院），
髙木康裕（京都大学大学院／日本学術振興会），王法崗（河北省文物研究所）

◯ Atsushi UEMINE (Kyoto Univ.), Takaaki WATANABE (Kansai Univ.), Takuya ASAI (Kawanishi City&Grad. Sch. of Doshisha Univ.), Yasuhiro TAKAGI (Grad. Sch. of Kyoto Univ.&JSPS) and Fagang WANG (Cultural Relics Institute Hebei Prov.)

1. 研究の背景と目的

私たち現生人類の起源がアフリカに由来することを明らかにした人類学・遺伝学の諸研究は、世界各地の地域史がアフリカに端を発する現生人類の移動・定着の歴史として描けることを明確にした。考古資料をめぐっても、文化伝統の変化や拡散、後期旧石器文化の開始期の様相が、現生人類の動向や各地に先住していた先行人類との関係を加味しながら議論されている。現代人的行動とは、この 10 数年来の当該研究の鍵概念となっている着眼点で、石刃技法や象徴行動、遠隔地資源の獲得など現生人類を特徴づける行動要素を指す (McBrearty *et al.* 2000)。発表者らは東アジアにおける現生人類の起源と拡散の実態解明をめざし、平成 29 年度より共同研究に着手した。そのなかで中国北部における現代人的行動の初現的様相を把握し得たので、これを報告する。

2. 研究の対象

水簾洞遺跡は、河北省石家荘市郊外の沕沕水生態風景区に位置する洞窟遺跡である。河北省文物研究所による発掘調査の概要は、中国の一般読者を想定した刊行物として公表され（張献中編 2010 など）、日本語では、発表者らによる記載論文がオンラインで利用できる（上峯ほか 2018）。洞窟内の堆積物は水成の砂質粘土と炭化物層の互層からなり、何れもほぼ水平に堆積している。各層から得られた炭化物（焼骨）からは、北京大学による C^{14} 年代測定で、31 ～ 34ka の値（未較正）が得られている（較正年代では 33 ～ 37ka）。この年代は、田園洞など中国国内の新人化石の初現的な事例より新しい。

3. 水簾洞遺跡の指標的遺物

遺物群の大半は、石英の破砕片や種同定が困難な骨片からなるが、丹念に観察すると重要な指標的遺物が抽出される。図 1-1 ～ 3 は鹿角などによる小型の磨製骨角器で、周辺の後期旧石器時代遺跡ではほとんど見られない。図 1-4 は弧状の刃部をもつ掻器に分類できる。ほかに典型的な後期旧石器である石刃も 1 点出土している。

水簾洞遺跡の石製資料のほとんどは石英製である。遺跡から直線距離で 2.5km の地点で石英脈が確認されており（張編 2010）、付近には同層が広がっていると考えられる。石英製石器にのこされた原礫面の特徴や想定される原材の大きさは、これらが石英脈に由来するという考えを支持する。一方、黒曜岩製剝片も 1 点出土している（図 1-5）。周辺には既知の黒曜岩原産地はなく、遠隔地か

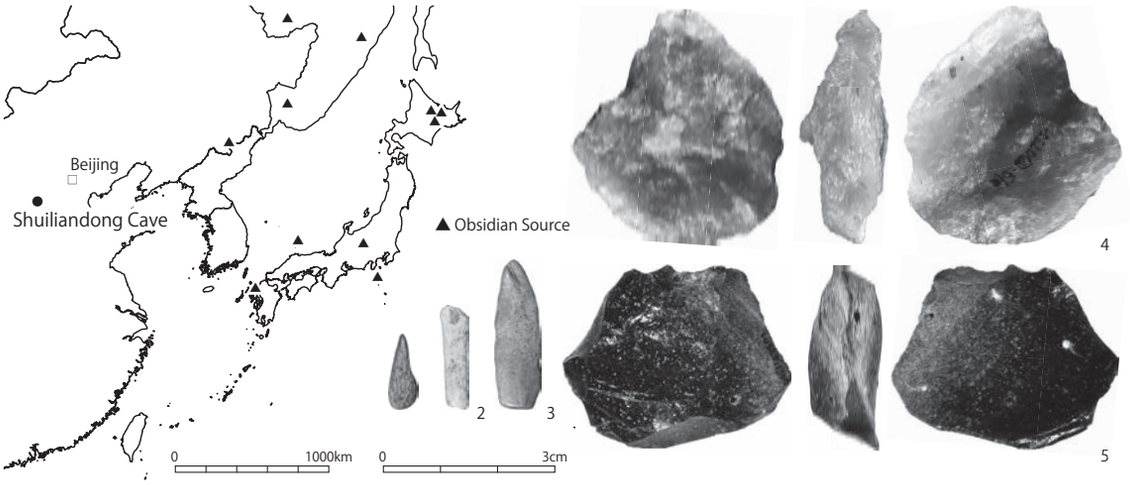


図 1　水簾洞遺跡の位置と現代人的行動を示す遺物

らの搬入を考えざるを得ない。携帯型蛍光X線分析装置（Bruker Tracer5i）による測定では、マンガンがやや少なくルビジウムが非常に多い、特徴的な化学組成が得られた。同一条件で測定した朝鮮半島や九州北部の代表的な黒曜岩と比較を続けているが、今のところこれと一致するものはない。

4. 現代人的行動の出現年代

水簾洞遺跡の遺物群から見いだされた磨製骨角器、石刃、遠隔地石材の利用は、現代人的行動の構成要素である。後期旧石器時代的な掻器についても、これに準じて理解できよう。加藤真二（2013）は中国北部の石器群を整理するなかで、石刃や装身具の出現、遠隔地石材の利用開始などの文化的な画期が、未較正年代で 35ka 頃に見いだせると指摘する。また Tongli *et al.* (2013) の集成では、中国北部での磨製骨角器類は 35ka 頃（較正年代）から明確化しており、同じく現代人的行動にあげられる装飾品が 33ka 頃（較正年代）に現れている。石材利用については、吉林省寿山仙人洞遺跡上層に黒曜岩製石器の出土事例があり、磨製骨角器もともなっている（陳ほか 2007）。同層からは、34ka（較正年代で 36.8ka）という C^{14} 年代測定値が得られている。

以上の事例からすれば、水簾洞遺跡で見いだされた現代人的な行動要素は中国北部における出現期の事例であり、これらが較正年代で 37ka 頃から現れるという考えを補強するものと結論される。

引用文献

張献中 編（2010）『水簾洞揭秘　探訪沏沏水石家荘先民之家』、河北美術出版社。

陳全家・趙海竜・王法崗（2007）「吉林樺甸仙人洞旧石器遺址 1993 年発掘報告」『人類学学報』26(3)、pp.222-236。

加藤真二（2013）「考古学からみた中国における旧人・新人交替劇」『ホモ・サピエンスと旧人』六一書房、pp.129-142。

McBrearty, S and Brooks A. S. (2000) The revolution that wasn't: a new interpretation of the origin of modern human behavior. *Journal of Human Evolution* 39(5), pp453-563.

Tongli, Q., Bar-Yosef, O., Wang, Y. and Wu, X. (2012) The Chinese Upper Paleolithic: Geography, Chronology, and Techno-typology. *Journal of Archaeological Research* 21(1), pp.1-73.

上峯篤史・王法崗・菊地大樹・渡邊貴亮・朝井琢也・髙木康裕（2018）「中国河北省水簾洞遺跡の旧石器時代資料」、『パレオアジア文化史学 A01 班 2017 年度研究報告』、pp.24-32。

＊　本研究は JSPS 科研費（17H05129）の助成を受けて遂行した。

近世大坂城・城下町より出土したメロン種子のサイズおよび果実形質関連遺伝子の分析
Analysis of seed size and fruit traits-related gene in melon seed remains excavated at the Osaka Castle and the castle town

○田中克典（弘前大農生）・大庭重信（大阪文化財研究所）・加藤鎌司（岡山大院環境生命）
○Katsunori TANAKA (Hirosaki Univ.), Shigenobu OBA (Osaka City Cult. Prop. Assoc.) Kenji KATO (Okayama Univ.)

１．緒言

演者は種子タイプや細胞質型の分析結果に基づいて、近世の大坂城・城下町にて利用されていたメロン仲間 (*Cucumis melo* L.)の遷移について論じてきた（第 33 回大会）。特に、豊臣期頃には既にモモルディカ型やマクワ・シロウリ型の種子を有したメロンが利用されたこと、それらのメロン仲間が主に Ia 型の母系から普及しており、現生メロンの育成系譜と関連があることを提示した。メロン仲間においては果実が食されるので、果実形質は選抜対象の 1 つであると考えられる。メロンでは果肉の色や酸味に関連する遺伝子が単離されている (*CmOr*, *CmPH*)。特に、有機酸の代謝関連遺伝子（*CmPH*）の機能はショ糖の蓄積量に影響しており、甘いメロンでは塩基配列の挿入により低下している (Cohen et al. 2014)。そこで、本報では大坂城跡や大坂城下町跡 (以下、「城下町跡」)における近世の種子遺存体の 8 集団について *CmOr* と *CmPH* の配列変異を分析し、近世の大坂城跡や城下町跡におけるメロン仲間の選抜を検討した。

２．材料及び方法

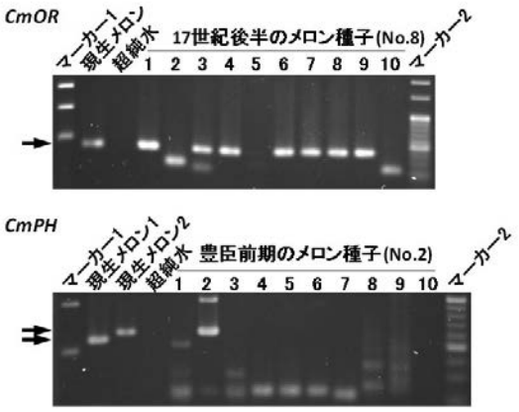
材料は大坂城跡の 5 集団 (No. 1, 2, 4, 5, 6)、ならびに城下町跡の 3 集団 (No. 3, 7, 8)で、各集団 20 粒の計 160 粒である (第 1 表)。DNA は古 DNA 分析室にて Mutou et al. (2014)の改変アルカリ法で抽出した (第 1 図)。*CmOr* や *CmPH* の分析はそれぞれ一塩基多型（G/A）および 12bp の挿入を含む領域を特異的 PCR プライマーで増幅した。1 回目の PCR 増幅産物を鋳型に用いて 2 回目の PCR 増幅を行い、アガロースゲル電気泳動によって増幅を確認した後に、ダイレクトシーケンス法により塩基配列を決定した。その後、現生メロン 101 系統や既報の分析結果を含めて、大坂城跡や城下町跡におけるメロン仲間の選抜を考察した。

３．結果及び考察

CmOr に特異的 PCR プライマーを利用した増幅では期待サイズの DNA 断片が 160 粒のうち 49 粒において復元できた (第 2 図, 第 1 表, 30.6%)。このうち、39 粒は徳川初期を含む 17 世紀の地層から採集したメロン種子であった。これらの DNA 断片において一塩基多型の配列は A と、緑または白色の果肉である日本の在来メロンと同じであった。*CmPH* に特異的 PCR プライマーを利用した増幅では、期待サイズの DNA 断片が 11 粒において復元できた (6.9%)。このうち、6 粒は先の *CmOr* 領域も増幅できた試料であった。塩基配列の解析により、1 粒の DNA 断片は 80bp で、酸味があるシロウリや雑草メロンにおいて認められる配列であった。また、この配列を有する種子の集団は (豊臣前期の試料 No.4)、種子長が 8.4 ± 0.8mm と、大型であった。残る 10 粒の DNA 断片は挿入を有する 92bp で、酸味の低い欧米のメロン、マクワおよび日本のシロウリで認められる配列であった。また、92bp の DNA 断片は雑草メロン型 (種子長: < 6.10 mm)、マクワ・シロウリ型 (同: 6.10 ～8.09mm)およびモモルディカメロン型 (同: ≥8.10mm)の種子タイプにおいて認められた (第 3 図)。

以上の結果は、大坂城周辺において豊臣期以降、徳川期の 17 世紀後半までは酸味が低く緑色または白色の果肉のメロンが主に好まれていたこと、それらのメロン仲間が日本在来のマクワやシロウリと関連があることを示していた。

第1図　分析で利用した弘前大学の古DNA分析室



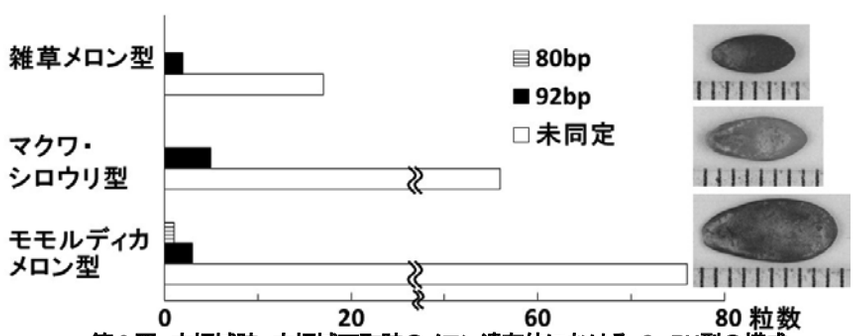
第2図　特異的プライマーでPCR増幅した産物の電気泳動

マーカー1: 100bp DNA ladder (NEB), 超純水: 非対称区, マーカー2: 20bp DNA ladder (Takara)。左側の矢印は現生メロンにおける期待サイズ。

第1表　大坂城跡・大坂城下町跡のメロン仲間における遺伝子型の構成

集団番号	時代	年代/メロングループ	出土地点/採集地域	供試数[1]	*CmPH*						
					A	G	未同定	80	H[2]	92	未同定
No.1	豊臣前期	1580〜1598	大坂城跡西部	20	0	0	20	0	0	0	20
No.2	豊臣前期	1580〜1598	大坂城跡西部	20	1	0	19	0	0	1	19
No.4	豊臣前期	1580〜1598	大坂城跡西部	20	0	0	20	1	0	0	19
No.6	豊臣前期	1580〜1598	大坂城跡南部	20	9	0	11	0	0	2	18
No.3	豊臣後期	1598〜1615	大坂城下町跡	20	0	0	20	0	0	1	19
No.5	徳川初期	1615〜1624頃	大坂城跡南部	20	13	0	7	0	0	3	17
No.7	徳川期	17世紀前〜中	大坂城下町跡	20	13	0	7	0	0	2	18
No.8	徳川期	17世紀後半	大坂城下町跡	20	13	0	7	0	0	1	19
		小計		160	49	0	111	1	0	10	149
	現生	Cantalupensis	欧米, 日本	27	19	8	0	0	0	27	0
		Inodorus	欧米	17	13	4	0	0	0	17	0
		モモルディカ	南アジア	6	0	6	0	4	2	0	0
		マクワ	東アジア	19	19	0	0	3	1	15	0
		シロウリ	東アジア	9	9	0	0	7	0	2	0
		雑草メロン	南・東アジア	23	23	0	0	20	0	3	0
		小計		101	83	18	0	34	3	64	0

[1]大坂城跡・大坂城下町跡のメロン仲間では粒数、その他の現生メロンでは系統数である。
[2]Hは80bpと92bpのDNA断片を保有するヘテロ型。



第3図　大坂城跡、大坂城下町跡のメロン遺存体における *CmPH* 型の構成

多色摺り板木における形状計測の試み

The trial of the form measurement in multicolor woodblocks

◯安藤真理子（同志社大学文化遺産情報科学研究センター）、今津節生（奈良大学）
◯Mariko ANDO (Research Center for Knowledge Science in Cultural Heritage),
Setsuo IMAZU (Nara University)

1. はじめに

木版印刷は東アジア共通の文化であるが、特に日本は浮世絵に代表されるように主版と色版の板木を用いた高度な多色摺りの技術を有する。板木は摺るにつれて摩滅して彫られた輪郭が鈍くなる。その結果、摺る際に絵の輪郭と色がズレたり絵の具が凭れる等の不都合が生じる事がある。本研究は奈良大学図書館所蔵の文政十三年『出雲物語』の挿絵主版、挿絵薄墨色版とその板木で摺られた版本（挿絵部分）を研究対象とし、高精細デジタイザによる形状計測の結果と版本の該当挿絵を比較検討する事により、版本が摺られた時期の推測だけでなく「多色刷りはどのような技術でおこなわれたのか」についての解明を目指す。

Fig.1 奈良大学図書館蔵　『出雲物語』主版と薄墨版

2. 研究資料

奈良大学図書館所蔵の文政十三年『出雲物語』板木（横 39.5×縦 18.3×厚 1.8cm）を研究対象とする（Fig.1）。1枚の板木の表に主版、裏に薄墨色版が彫られており、薄墨色版は墨の濃淡のみで絵に陰影をもたらす効果を狙っている。絵師は江戸時代後期京都の浮世絵師　森川保之（江戸時代後期）である。

3. 調査方法

最小 0.02 ㎜の精度での計測が可能な九州国立博物館　高精細 3 次元デジタイザ（ATOSⅢ Model400　GOM）を使用し、測定データの解析は Volume Graphics 社 VGStudio MAX を使用した。

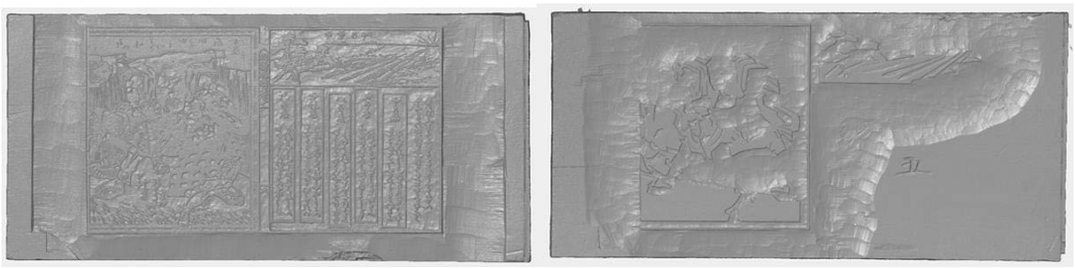


Fig.2 奈良大学図書館蔵　『出雲物語』主版と薄墨版の高精細３D スキャナ画像

4. 調査結果

研究対象の『出雲物語』板木の彫りは、摺る際に余分な顔料が溜まりにくく摺りに対して強固な台形（薬研彫り）になっており、一定の方向で角度が緩やかになっている事は前回に報告した。また、薬研彫りはＶ字形と思われがちだが、摺刷の凸が台形になっている事こそが重要である事を示した（日本文化財科学会第 34 回大会）。彫師は絵の具が溜まりにくい工夫を板木に施していたが、一方摺師の痕跡は板木にどのように残されているのか。何百枚と摺るうちに彫りの凸凹は摩滅していき、特に角は摩滅して摺刷物に現れる線が鈍くなる。現在残っている板木は最終形態であるため、版本に摺られた線の太さ・輪郭の鋭さと板木の線の凸凹の摩滅を比較する事は、版本が摺られた大まかな時期の推定に有効な情報となる。今回、板木の断面情報を比較したところ、特に挿絵の顔の部分は凸凹の摩耗が大きく、板木上部の摩耗は少ない傾向にあった。彫りの凸凹の摩耗具合は均一に起こってはおらず、部分的である事が分かった。

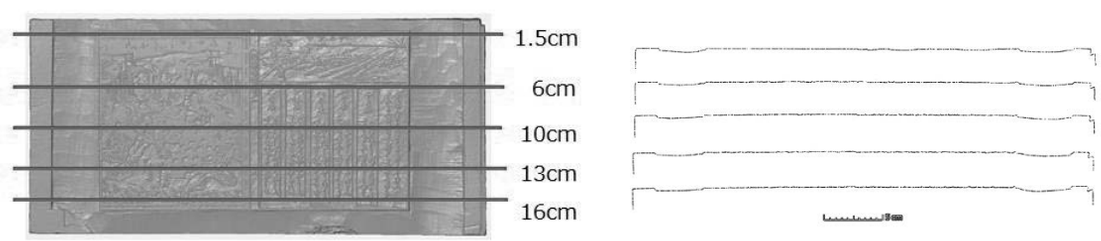


Fig.3『出雲物語』断面図

5. まとめ

今回、挿絵の部分が特に摩耗が大きく（凸凹の角が鈍くなっている）のは、重要な部分（顔や細かい表現等）には意図的にバレンを動かす回数が増えるため、角の摩耗が多くなったためと考えられる。さらに部分的に摩耗の大きさが変わるものの、板木上部の摩耗が少なかったのは、中央部がより意識的に摺っていた他に、摺師が摺る際に使用する前傾した机も関係していると推測される。前傾した机を使用する事で、摺る際に効率よく力が加えられる為、上部はさほど摺り具合に意識を向けていなかった可能性がある。今後は研究対象を増やし、浮世絵の多色摺り板木についても同様の研究をおこなう。

【謝辞】

本研究は 2017 年度 DNP 文化振興財団助成により実施されました。関係各位に感謝申し上げます。

SfM-MVS による石室測量の精度と実用性
Precision and utility of the Stone chambers surveying by SfM-MVS

◯朝井琢也（川西市教育委員会事務局／同志社大学大学院）・
繰納民之（同志社大学）・井村舜也（同志社大学）・菊池　望（京都大学大学院）
◯ Takuya ASAI (Kawanishi City Board of Education & Grad. Sch. of Doshisha Univ.),
Tamino SONO (Doshisha Univ.), Shunya IMURA(Doshisha Univ.), Nozomu KIKUCHI(Grad. Sch. of Kyoto Univ.)

1. はじめに

SfM-MVS（Structure from Motion -Multi View Stereo) は、撮影した動画や画像から三次元のモデルを生成する技術である。三次元計測に関する様々なコストを大幅に低減させる画期的技術であり、考古学の分野でも様々な実践例がある。中でも、Agisoft 社の PhotoScan は多くの研究に用いられている（金田・高橋 2015 ほか)。しかし、価格は安いとは言い難く、気軽に購入できるものではない。

本発表では、有料ソフトと無料ソフトを用いて作製した石室の実測図を、従来の手測り測量によって作成されたものと比較し、その精度と実用性を検討する。

2. 研究の対象と方法

西芳寺川古墳群は京都府京都市西京区に所在する古墳時代後期の群集墳であり、松尾山の谷間を流れる西芳寺川沿いに存在する複数の単位群により構成されている。京都大学考古学研究会による石室の測量成果 (京大考古研 1971) などで知られているが、基礎データの集積と現代的精度による情報更新が課題であった。近年では、同志社大学考古学研究会が西芳寺川上流部に位置する単位群、B 古墳群 5 基の墳丘測量を実施している（長池・菊池 2017)。そのうち、保存状態が良く最大規模の石室を有する B1 号墳を本発表の対象とする。嵯峨野の石室編年において、畿内的で定型化した 4 期 (6 世紀中頃～後半) に位置付けられている石室である (広瀬 2013)。

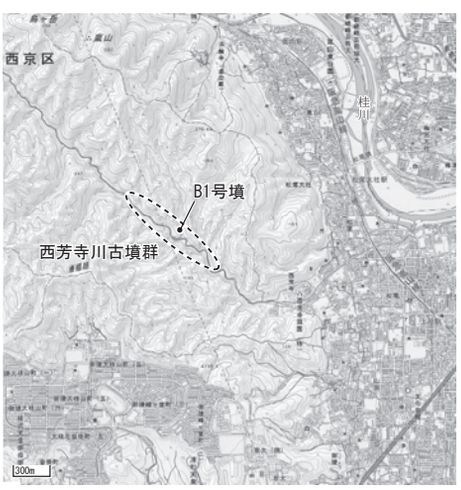


図 1　西芳寺川古墳群の立地
（国土地理院の地理院地図を利用）

解析には PhotoScan Professional（以下 PhotoScan）と、無料の VisualSfM・MeshLab・CloudCompare をそれぞれ使用した [1]。写真撮影には、Nikon D5500（標準レンズ 18-55mm）を用いた。石室内は光量が不足するため、カメラ付属のストロボを使用して撮影した。3D モデル生成には、Windows10Home・Corei5-6200U・メモリ 8GB のノート PC を使用した。写真から 3D モデルを生成するには、VisualSfM を用いて点群を生成し、MeshLab でメッシュを生成しテクスチャマッピングを行った。その後、Cloud Conpare でスケールを挿入した。これらを PhotoScan でも同様に行い、モデルを生成した。そこから作成した図を下図にして、Adobe 社の Illustrator でトレースをし、実測図を作製した。

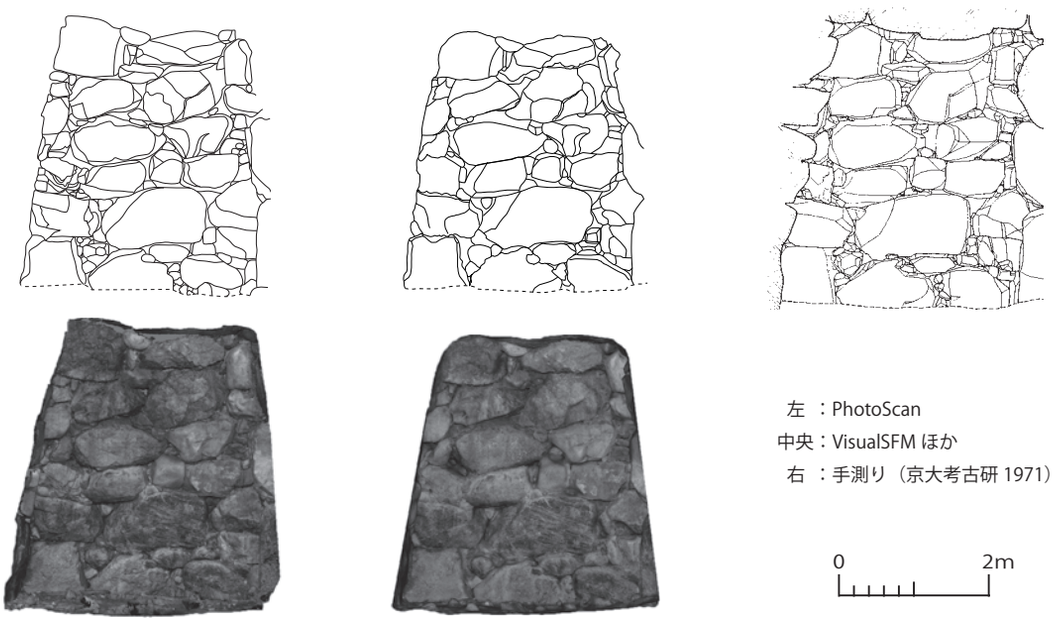


図 2　西芳寺川古墳群 B1 号墳　玄室左側壁実測図の比較（S=1/100）

3. 結果

PhotoScan および VisualSFM ほかで作成した図は、双方ともおおむね石材の配置などを捉えることができている。しかし、大きな石材の間にある奥まった小さな石材や細かな稜線を捉えることは難しく、無料ソフトで作成したものはより顕著である。ただし、この問題は撮影の際の工夫である程度改善する可能性がある。

4. おわりに

SfM-MVS による石室測量の最大の利点は短時間で測量が可能な点である。無料のソフトでもある程度の精度の測量は可能であり、崩落の可能性がある場所などでは、特に効果を発揮するであろう。ただし、ソフトは無料でも処理をするパソコンには性能が求められる。枚数を多くすると処理できなくなると場合があった。

※本発表は、同志社大学考古学研究会の協力の下実施した。

註 1　各ソフトの使用に際しては、文化財方法論研究会「研究するモノに三次元をⅡ―SfM-MVS を用いた考古資料計測 Workshop」資料及び、山口欧志氏の「VisualSFM と MeshLab と CloudCompare によるドローン撮影画像を用いたデジタル地図作成」https://www.slideshare.net/HiroshiYamaguchi5/visualsfmmeshlabcloudcompare-ccby（最終閲覧日 2018.4.30）を参考にさせていただいた。

引用文献

金田明大・高橋幸治　2015「岩屋山古墳の三次元計測から－作業の概要と課題－」『明日香村文化財調査研究紀要』14、明日香村教育委員会文化財課、pp. 57-62。

京都大学考古学研究会　編 1971『嵯峨野の古墳時代』京大考古学研究会出版事務局。

長池嗣則・菊池　望　2017「西芳寺川 B 古墳群測量調査報告」『同志社考古』14 号、同志社大学考古学研究会、pp. 5-26。

広瀬和雄　2013「山城・蛇塚古墳をめぐる二、三の問題」『国立歴史民俗博物館研究報告』第 178 集 、国立歴史民俗博物館、pp. 143-175。

古墳出現期遺跡の文化財科学的研究

- 京都盆地 平安京七条大宮・城陽市下水主遺跡の地形形成過程と人間活動 -

The Study of Ancient Cultural Property for Sites of boundary among Yayoi/Kofun Period -Land and Site Formation Process on Sites of Heiankyo Nanajo Omiya and Shimomizushi, Kyoto Basin-

○中塚良(向日市埋蔵文化財センター)、國下多美樹（龍谷大学）、
高野陽子(京都府埋蔵文化財調査研究センター)
NAKATSUKA,Ryo(Muko city Archaeological Center), Tamiki KUNISHITA(Ryukoku University),
Yoko TAKANO(Kyoto prefectural Archaeological Center)

１.はじめに - ^{14}C 暦年較正年代成果にもとづく比較地形・遺跡形成過程研究の契機 -

図１で演者らが今年度頭に調査成果を上梓した古墳出現期(庄内式期および前後)遺跡群を俯瞰する。淀川集水域を境界に京都盆地北/南(付加体堆積岩質/風化花崗岩質)の砕屑性状の異なる基盤地質・発達史条件下に形成された沖積低地に遺跡がそれぞれ展開する。年代測定結果を集約し、時系的に対比し併せて土器型式学的年代との比較検証をおこない、共通の年代分析的尺度にもとづく弥生/古墳時代境界における発達史を詳しく編む機会が今回到来したのである。

２.^{14}C 暦年較正年代的成果にもとづく地形形成過程と人間活動、そして課題

図２上段に表題２遺跡と京都盆地中西部(長岡宮周辺域)の標識的年代測定成果を IntCal/J-Cal 暦年較正年代比較グラフ(春成・小林ほか 2011)にプロットし、演者ら(各調査主担)の年代較正結果への所見を記し、図下段に地形/遺跡形成過程モデルを整理、対比する(図責:中塚)。

〔１〕 京都盆地北部遺跡の庄内式期前葉の暦年較正年代と相対年代の相互比較

3 箇所の調査事例の暦年代を検証する。平安京七条大宮（左京七条二坊五町）下層、庄内式期前葉の旧鴨川本流性堆積休止面で ^{14}C 年代測定を行った。上下の層位で AD98y（IntCal）・AD２世紀中葉（J-cal）、AD179y（IntCal）・AD３世紀中葉（J-cal）の成果を得た(中心年代値)。動的環境から離水後に構築された庄内式後葉の土坑資料との年代関係に着目し、岩倉忠在地遺跡・東土川遺跡における既往の暦年代結果と土器型式の関係、当該期の研究成果を援用して庄内式前葉の型式的暦年代が整合的と推定し、IntCal データが古く出る傾向を改めて認識する。J-cal よりの新しい測定値が実際と近似する傾向を認める(國下)。

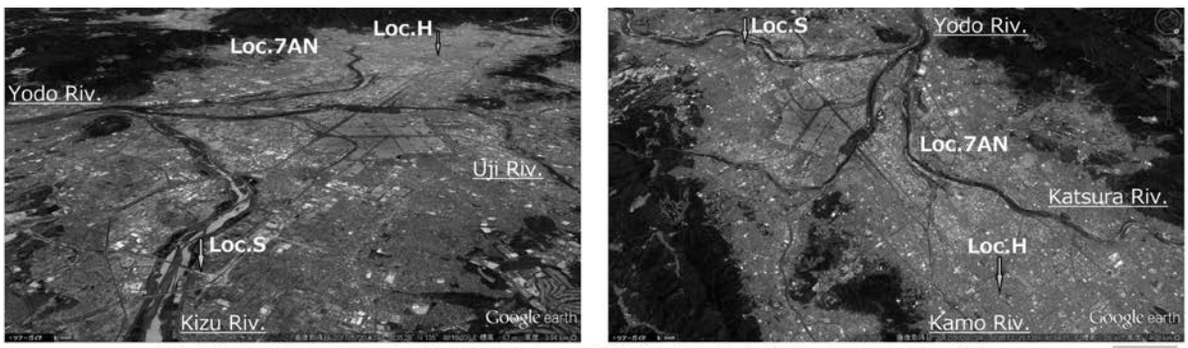
〔２〕下水主遺跡における ^{14}C 年代・酸素同位体比年輪年代・相対編年比較と地形形成過程

理化学年代値と、対象試料と共伴する土器群の相対編年のクロスチェックを試みる。弥生時代後期以降に氾濫的に埋没する流路ＳＤ 22 を再掘削した層位出土の自然木を用い 162 ＡＤの酸素同位体比年輪年代分析値が得られた。他方、同試料のウイグルマッチング法 ^{14}C 年代値は最外年輪 89－135calAD（２σ）であり、中間値で約 50 年古い値を示す。試料と同層準の土器群は編年的に庄内式前葉と位置づけうる。古墳時代初頭の IntCal 暦年較正は年輪年代より古い値を示すことが知られ、本例も京都盆地北部と同様、暫定 J-cal の年代値ゾーンにより近い(高野)。

〔３〕「暦年較正再構成年代モデル 2018」にもとづく古墳出現期地形・遺跡形成過程

IntCal/J-Cal カーブが乖離する古墳出現期年代ゾーンでの 14C 年代値について、遺構にともなう土器型式年代(庄内式新相)との照合によって遺跡・基盤地形年代間の連続・近接性を解釈した平安京七条大宮トレンチを契機に、下水主遺跡成果において ^{14}C 暦年較正年代 IntCal の年代幅の末年もしくは J-Cal ゾーンと酸素同位体比年輪年代値が整合する傾向を今回作業で確認しえた。この見地を**「暦年較正再構成年代モデル 2018」**と仮称し地形・遺跡形成過程を具体的に暦年表上に記した。遺跡地形発達史的時間目盛と土器型式年代観の再解釈に相当する(中塚)。

〔文献〕國下多美樹編『平安京左京七条二坊五町（東市跡）発掘調査報告書』龍谷大学 2018, パレオ・ラボ AMS 年代測定グループ（伊藤茂・佐藤正教・廣田正史・山形秀樹・小林紘一）「龍谷大学大宮学舎東黌調査に伴う放射性炭素年代測定」・中塚良「平安京跡左京七条二坊五町における地形形成過程と人間活動−古墳出現前後の放射性炭素年代測定成果から−」（前掲報告書収載）. 久住猛雄 2017「３世紀のチクシと三韓と倭国」『ふたかみ邪馬台国シンポジウム 17 資料集』. 筒井崇史・高野陽子・中塚武・パレオ・ラボ AMS 年代測定グループほか『京都府遺跡調査報告集』第 173 冊（公財）京都府埋蔵文化財調査研究センター 2018. 春成秀爾・小林謙一・坂本稔・今村峯雄・尾嵜大真・藤尾慎一郎・西本豊弘「古墳出現期の炭素 14 年代測定」『国立歴史民俗博物館研究報告』第 163 集 2011.



〔H:平安京七条大宮(龍谷大学大宮学舎トレンチ2016) S:下水主遺跡 7AN:長岡宮・京〕

図1 研究対象地域・遺跡位置

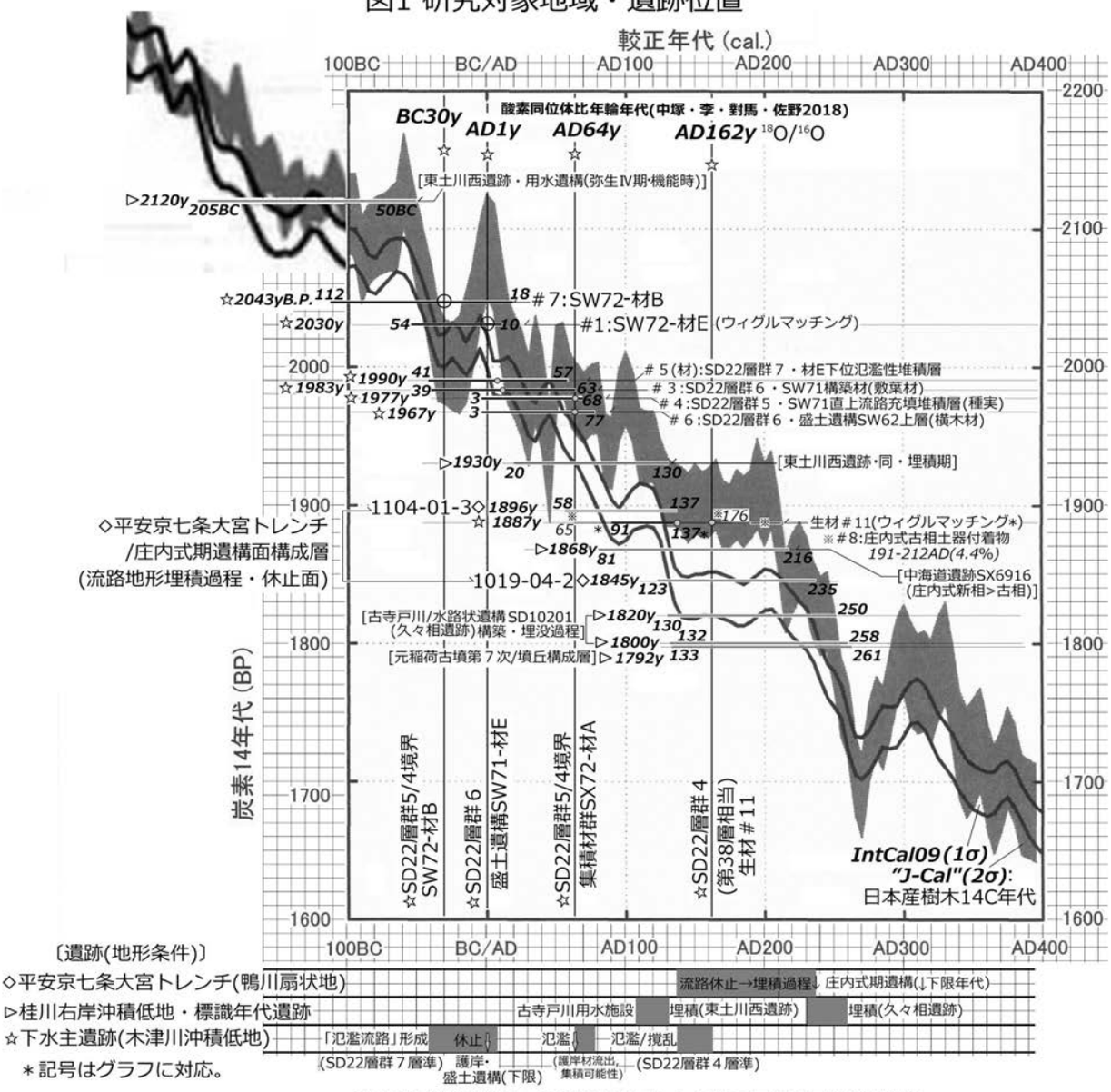


図2 暦年較正年代比較(IntCal/J-Cal)にもとづく遺跡における地形形成過程

(春成・小林ほか(2011)較正年代比較図に、國下ほか(2018)・高野ほか(2018)掲載
14C年代測定成果をプロット。図責中塚)

香川県本山寺五重塔の用材調査 Ⅲ

Wood identification of architectural members of the five-story pagoda, Motoyama-ji temple, Kagawa prefecture Ⅲ

◯横山　操（京大農）、ルオ ベイ（西南林業大学）、伊東隆夫（奈文研）、
長田実生（本山寺）、長田実健（本山寺）、
多田善昭（本山寺五重塔整備委員会）、大西有加里（同左）
田島徹也（伸和建設）、平良次（同左）

◯ Misao YOKOYAMA, Luo Bei, Takao Itoh, Jissho Nagata, Jikkenn Nagata,
Yoshiaki Tada, Yukari Ohnishi, Tetsuya Tajima and Yoshitsugu Taira

1. はじめに

香川県本山寺は、大同二年（807）平城天皇の勅願として空海により創建されたと伝わる四国霊場第七十番札所の真言宗寺院である。嘉永七年（1854）の火災などにより一時荒廃していたが、明治二十二年（1889）に住職に就任した頼富実毅により復興がすすめられ、現在は、国宝・本堂、国指定重要文化財・仁王門などの堂塔が境内に並ぶ。本研究において対象とした本山寺五重塔は、明治四十三年（1910）に建立された、三豊市の市指定文化財である。

著者らは、本山寺五重塔の平成大修理に際して、2016 年 5 月より、建築用材の樹種調査を行ってきた。明治四十三年（1910）に建立された本山寺五重塔は、全国的にも類例の少ない明治期に完成した五重塔建築の一基である。解体修理に伴うこれまでの調査によって、懸垂構法の心柱にコウヤマキ材の利用が認められるなど、特徴的な用材選択が行われていることを明らかにしてきた。本報では、本山寺五重塔の主要構造材についての用材調査をさらに進めるとともに、本山寺が所有する古記録から得られた情報と合わせて考察を行う。[*1]

2. 実験方法

解体修理現場において、所有者立会いの下、修理技術者の協力を得て、それぞれの用材から数ミリ四方程度の試料を採集した。部材・番付が異なる約 100 点の試料それぞれから、光学顕微鏡用プレパラートを作成し、組織観察により樹種識別を行った。

また、本山寺および本山寺五重塔整備委員会を通じて、同寺が所有する古文書や関連資料における用材に関連する記載、とくに創建当初について情報を精査し、樹種識別の結果との比較検討を行った。

3. 結果と考察

木材の外観的特徴は、経年によって判別が困難となる場合が多く、目視あるいは経験的にヒノキ科であると思われる用材も、光学顕微鏡を用いた組織的特徴の把握は必須である。本調査においても、ヒノキであると考えられていた用材が、コウヤマキ(*Sciadopitys verticillata*)であるなど、樹種識別を通じて初めて得られた知見は多い。

著者らは、これまで、飛鳥期から江戸期に創建され現存している社寺建築における用材調査において、主要な構造材はヒノキ材(*Chamaesyparisu obtusa*)であるが、17 世紀以降は様々な樹種が用いられる傾向が認められること、また、過重負荷が大きい斗などの部材にはケヤキをはじめとする広葉樹材が選択的に用いられる適材適所の傾向があることを明らかにしてきた。加えて、明治期以降は、外国産材を含む様々な樹種が用いられることを報告してきた。

その文脈上において、本山寺五重塔の用材選択の特筆すべき点は、コウヤマキ材の利用である。木曽五木の一つであるコウヤマキは、耐湿性・耐朽性に富む良材であり、古くは平城宮跡の出土宮柱材に検出例が多い。しかしながら、平等院鳳凰堂の屋根材の一部に使用が認められるほかは、中世以降の建築材としてのまとまった報告例は極めて少ない。

本山寺五重塔では、心柱の４本のうちの一本、二層目に当たる部位にコウヤマキ材が認められ、心柱のその他の３本は、いずれもヒノキ材であった。また、五層のうち三層目における４本の四天柱にはいずれもコウヤマキ材が用いられていたが、一層目はケヤキ材、五層目はヒノキ材であった。このことからも、本山寺五重塔には、材料強度や加工性に配慮した適材適所だけではなく、意図的な用材選択あるいは建築時における用材調達の背景のあることが示唆される。

ここで寺伝によれば、明治期に同寺五重塔を再建した頼富実毅は、高野山大学林創立など仏法興隆に尽くした後、高野山から本山寺への住職拝命を受け、高野山との関わりは密接であったとされる。心柱に認められる墨書にも、発願主として頼富実毅の名が認められる。また心柱には、施主として紀州高野山 林木業 東藤吉の名が記されており、この名は用材の送り券や書状にも多く登場している。五重塔に用いられたコウヤマキ材が、いずれも高野山方面からの入手であろうと考えられている所以である。

加えて、本山寺五重塔の再建は、着工から三重（三層目）までで施行されたのち、一旦中断し、その後、あらためて着工し、落慶に至ったことが文書等からも知られている。そのため、建築部材も、着工時に全て計画的に準備・購入されたものであるとは考えにくく、階層ごとに（あるいは、初重から三重までと、四重および五重）計画され、用材を調達・選定したであろう。このことは、用材樹種が各層で特徴的に異なることからも推察される。

これまで、歴史的木造建築の用材樹種調査を通じて、時代・地域・建物種別による用材の変遷、あるいは用材樹種ごとの物理的特性に応じた適材適所という視点で論じてきたが、今後、五重塔再建事業にかかわる寺文書と合わせて、建築部材の用材樹種が建造物の歴史的文化的背景の検証材料となりうる事例としても位置付け、その理解を深めたいと考えている。

*1　本研究の一部は、第６８回日本木材学会大会（京都）において“香川県本山寺五重塔の用材調査Ⅱ”として発表を行った。

モンゴル国ハルゲント村出土馬鞍（１３－１４世紀）の研究

Species identification of animal skin objects from equestrian saddle excavated from the Harugent village in the 13th - 14th century Mongol Empire.

◯河原一樹（大阪大学）、アルブタンダゴラ（内蒙古集寧師範大学）、中沢隆（奈良女子大学）、宮路淳子（奈良女子大学）

◯Kazuki KAWAHARA (Osaka University), Dagula ARBATAN (Inner Mongolia Jining Normal University), Takashi NAKAZAWA, Atsuko MIYAJI (Nara Women's University)

1. はじめに

モンゴル帝国は強力な軍事力をもって世界の陸地の五分の一にもおよぶ広大な版図を獲得した。彼らの勢力拡大には、戦力および移送手段としてのウマの存在が欠かせなかった。文献史学により、版図拡大のために繰り返された戦闘内容の解明は大きく進められてきたが、その一方で、軍事力の基礎となった武器・馬具の具体的な様相については、明らかにされていない部分も多い（白石編 2015)。我々は、モンゴル国科学アカデミー考古学研究所と共同研究体制を組み、武器、馬具、皮製品などの様々な所蔵品・遺物の先端科学分析を通じて、モンゴル地域に居住していた古代住民の動物利用の実態、文化産業、さらには手工芸品の発展の経緯の解明に向けた研究を行っている。本発表では、モンゴル国ボルガ郡ハルゲント村の岩陰墓から出土したカラコルム博物館所蔵の馬鞍（13-14 世紀）について、鞍を構成する動物素材を、マトリックス支援レーザー脱離／イオン化（MALDI）質量分析の方法によって調べた結果を報告する。

２．試料と方法

今回分析対象とした馬鞍は、モンゴル国ボルガ郡ハルゲント村に所在する岩陰墓から出土した。共に出土した鉄製鏃などから、時期は 13-14 世紀と考えられる。分析試料は、馬鞍を覆う皮革部分（図 1 a および b）から２点を採取した。各試料（約 10 mg）を 1 mL の超純水に浸し、90 ℃で 1 時間半振盪した後、遠心分離により上清を回収した。その後、遠心式フィルター（Amicon Ultra-0.5 mL 3K、ミリポア株式会社）を使用し、液量を約 50 μL に濃縮した。濃縮後の溶液を 60 ℃で 30 分間振盪し、5 μL のタンパク質分解酵素トリプシン溶液（0.2 μg/μl）を加えて、37 ℃で約 24 時間、酵素消化した。消化後の溶液に対して適量の 1.0%トリフルオロ酢酸水溶液を加えて溶液を弱酸性にした後、チップ型 C18 樹脂充填カラム（ZipTip-C18、ミリポア株式会社）で脱塩・濃縮を行い質量分析に供した。試

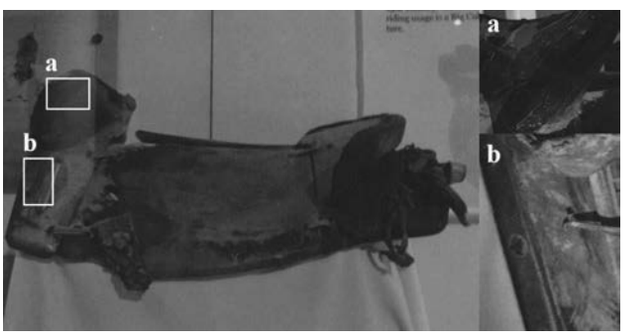


図１　岩陰墓から出土した馬鞍（13-14 世紀）

料溶液 0.5 μL を 0.5 μL のマトリックス溶液（α-シアノ-p-ヒドロキシ桂皮酸のアセトニトリル溶液）と混合し、MALDI サンプルプレート上で乾燥させ、MALDI タンデム飛行時間型（TOF/TOF）質量分析装置（JMS-S3000 SpiralTOF、日本電子株式会社）を用いて質量分析を行った。

３．結果と考察

動物皮の主成分である I 型コラーゲンは、動物種ごとに若干のアミノ酸配列の差（近縁種の場合数%程度）があり、MALDI 質量スペクトルにおいて明確なピーク質量差として観測できる。その為、各動物種に特異的なピークを動物種判別のマーカーとして用いることが可能である（宮路ら 2013 ; Buckley et al. 2009）。馬鞍から採取した 2 点の試料（部位 a および b）は、質量分析の結果、各々が I 型コラーゲン由来の多数のピークを示し（図２）、詳細な解析の結果、それぞれウマおよびシカの I 型コラーゲンに特徴的なピークが観測され、比較試料としたウシ膠のスペクトルとはピークの分布に明瞭な違いが認められた。これら質量分析の結果から、岩陰墓から出土した馬鞍は、異なる動物素材が用途別に使い分けられていることが明らかになった。

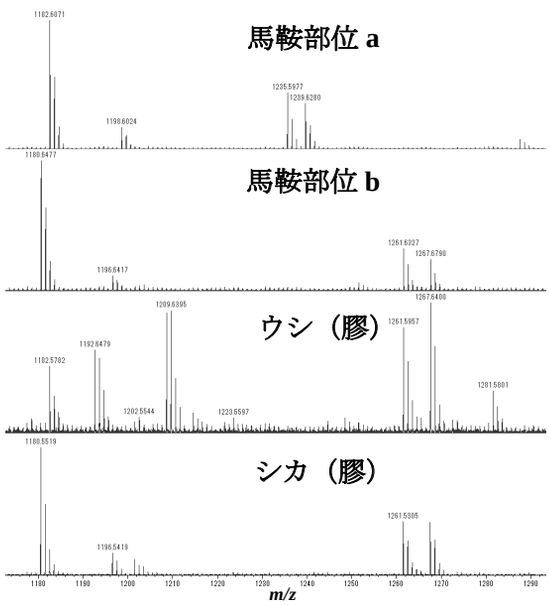


図２　各試料の MALDI-TOF 質量スペクトルの例．比較対象としてウシ、シカを原料として製造された膠の分析結果も示した。

モンゴル帝国の人々が動物素材の物性を熟知し、それらを最大限に生かした戦闘物資の生産に臨んでいたことは、彼らが使用した複合弓の存在からもわかる。複合弓とは、シラカバ、ウシ・シカ角、腱などの動植物異素材を膠で貼り合わせて作られたモンゴルの強靭な武器である。その弓を引く力は 70kg 以上とされ、日本の弓道の 20kg、洋弓の 45kg を大きく上回る。その弓をウマに騎乗しながら弾き、鉄製の鏃を射るため、モンゴルの武器や馬具はでき得る限り機能的であるように工夫されてきた。我々の分析から、ウマに装着する鞍においてもそうした工夫が施されていることが明らかとなったことは、今後のモンゴル帝国の武器・馬具研究にとって重要な知見と考えられる。

参考文献

・白石典之編 (2015)『チンギス・カンとその時代』

・日本馬具大鑑編集委員会編 (1990)『日本馬具大鑑　中世』日本中央競馬会

・宮路淳子、河原一樹、松尾良樹、舘野和己、鈴木孝仁、高田将志、山崎雄三 (2013) 『考古学と自然科学』、**64**、p.47-57.

・Buckley M., Collins M., Thomas-Oates J., and Wilson J. C. (2009) *Rapid Commun. Mass Spectrom*. **23**, 3843-3854.

京都府京丹後市網野銚子山古墳における物理探査

Ground Penetrating Rader Prospection and Electrical Prospection at Amino-Choshiyama tomb, Kyoto Prefecture

○岸田徹（天理大学）、小田木治太郎（同左）、桑原久男（同左）、橋本英将（同左）、岡林峰夫（京丹後市教育委員会）
○Toru KISHIDA, Harutaro ODAGI, Hisao KUWABARA, Hidemasa HASHIMOTO (Tenri University), Mineo OKABAYASHI (Kyotango City)

１．調査の目的と概要

京都府京丹後市に所在する網野銚子山古墳は、日本海側最大の規模を誇り、当該地域のみならず、日本列島の古墳時代前半期を考える上でも重要な古墳である。しかし、埋葬施設などの内部構造は不明であり、それらについて幾ばくかでも情報が得られれば、その意義は大きい。

本研究では同古墳の埋葬施設についての情報を得ることを主目的として後円部頂、前方部頂で地中レーダ探査と電気比抵抗探査を行った。さらに、墳丘主軸に沿って電気比抵抗探査を行い、墳丘の内部構造も探ることとした。

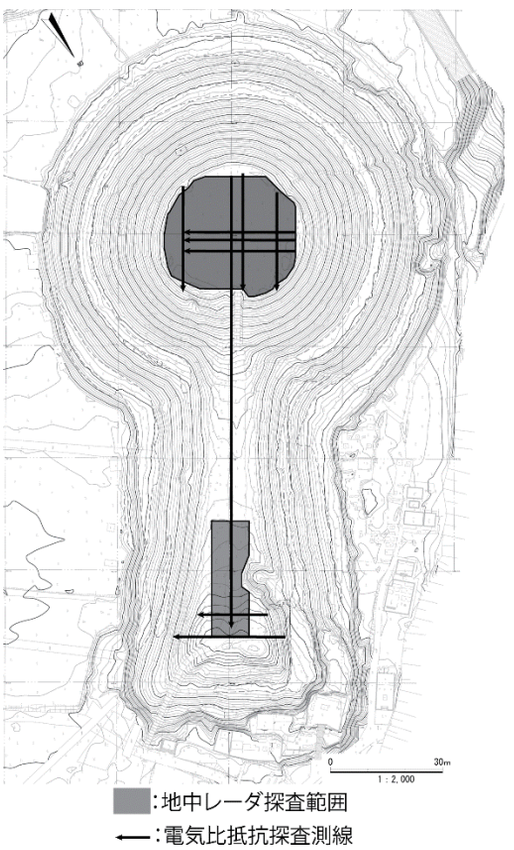


図１　網野銚子山古墳測量図
及び探査実施箇所

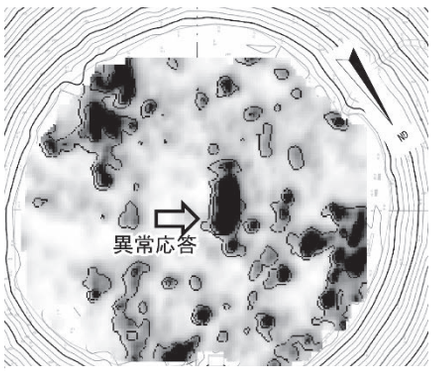
２．探査の概要

探査は 2017 年９月に実施した。地中レーダ探査に使用した機器は、GSSI 社製“Sir-3000”である。アンテナは中心周波数 200MHz のものを用いた。墳丘上における地中レーダ探査範囲を図１に示す。後円部上では、南北 32m、東西 35mの範囲に測線間隔 0.5mで格子状に測線を設定した。前方部上には南北 31m、東西 10mの範囲に測線間隔 0.5mで南-北の一方向の測線を設定した。

電気比抵抗探査に使用した機器は応用地質(株)社製 Handy-ARM、および同社製 Scanner-32 である。後円部上に 6 本、墳丘主軸上に 7 本、前方部上に 2 本の計 15 本の測線を設定した（図１）。電極配置はウェンナー法を採用し、後円部上の測線は最小電極間隔 1m から最大 12m まで 1m 毎に電極間隔を広げ地下の比抵抗分布断面図を作成した。

３．探査結果

後円部上で得られた地中レーダ探査の代表的な結果（time-slice 図）を図２に示す。深度 31ns（146cm）から深度 38ns（178cm）に、後円部中央にまとまった異常応答が捉えられた。GPR プロファイル（図３）から読み取った異常応答の大きさは長さ約 5.5m、幅約



2.5mである。反射強度は強く、土中の石材を捉えたものと考えられる。墳丘のほぼ中央にあり、古墳主軸と同じ長軸を持つため、何らかの埋葬施設をとらえた異常と考えられる。

前方部における地中レーダ探査では、特に埋葬施設の存在をうかがわせるような異常は認められなかったが、前方部前端へ向けて下がっていく3層の土層構造が認められた。

図２　後円部で得られた代表的な地中レーダ探査結果（time-slice 図，深度 31-38ns）

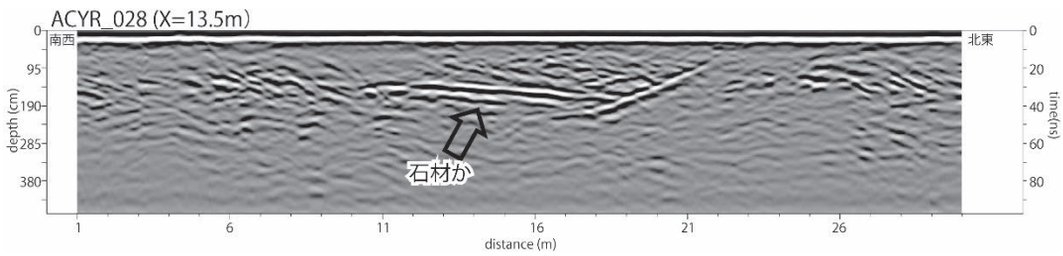


図３　後円部における代表的な GPR プロファイル

古墳の主軸上を探査した電気比抵抗断面図を図４に示す。巨視的に概観すると測線距離約 75m を境として前方部端側は低比抵抗の領域が多く占め、墳丘の基礎を形成する土質が異なっていると考えられた。

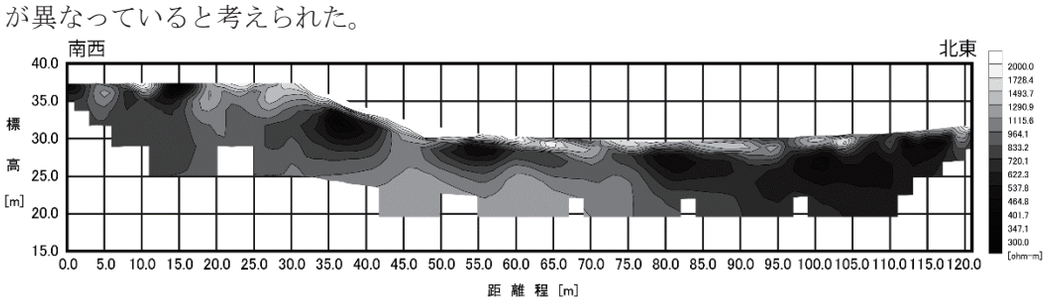


図４　古墳主軸上の測線で得られた比抵抗断面図

４．まとめ

後円部中央で検出した異常応答は、その位置や方向から埋葬施設の可能性が高い。しかしその規模は舟形石棺直葬としては大きく、また竪穴式石室としては小さい。裏積みの少ない竪穴式石室の可能性も考えられるが探査結果からはこれ以上の解釈は難しい。異常応答の位置は墳丘主軸からやや西にずれており、墳丘主軸を挟んで２基の埋葬施設が存在する可能性もある。対となる箇所は周囲より電磁波の反射が弱く、また比抵抗が低くなっており、周囲と土質が異なっている。盗掘坑の可能性もあるが、石を用いない埋葬施設の可能性も考慮すべきである。

前方部では顕著な異常部は確認できなかったが、墳丘内部が前方部前端に向けて傾斜する３層構造をなすこと、また前方部側と後円部側とで墳丘の基礎を形成する土質が異なることが予想できた。埋葬施設以外に墳丘の構造についての情報を得られたことも、今回の重要な成果と言えよう。

江戸時代 富士山宝永噴火埋没の遺構の地中レーダ探査

GPR survey for archaeological site buried by Hoei eruption of Mt.Fuji in A.D.1707

○杉山浩平（東京大学）、吉村藤子（東京工業大学）、亀井宏行（同左）、
沖原高志（同左）小林雅明（同左）、宮前知佐子（同左）

○Cohe SUGIYAMA(1), Fujiko YOSHIMURA(2), Hiroyuki KAMEI(2) ,Takashi OKIHARA(2), Masaaki KOBAYASHI(2), Chisako MIYAHARA(2)　(1)Univ. of Tokyo　(2)Tokyo Institute of Tech.

はじめに

本研究は、活火山地域における人類の活動の文化環境を復元し、火山噴火活動との共生史を描く研究である。なかでも、富士山に着目し、その周辺地域における噴火罹災状況を考古学・火山学・情報科学・歴史学などの協業による学際的な研究を実践している。本研究では、静岡県駿東郡小山町上横山遺跡地内において実施した、地中レーダ探査の結果報告と、この調査結果が意味する人類活動の意義について述べるものである。

1. 目的

富士山の火山噴火は新期富士の形成以降、文字資料に見られるだけでも古代以降に 10 回の火山噴火の発生が記されている。その最新の火山噴火が、1707 年（宝永四年）の宝永噴火であり、富士山の噴火史のなかでも大規模な噴火であり、社会への影響の大きさは、各地の文書や絵図に残されている。

宝永噴火の噴出源に近い地域では、スコリアや火山砂の厚い堆積が確認されている。本研究の対象地である上横山遺跡と隣接する横山遺跡では昭和 50 年代の発掘調査で、宝永火山灰下に畑の畝が検出されている。本研究にて、宝永噴火以前の畑の畝と推定されるものも新たに確認され、その規模等を検討する必要が生じた。これまでの発掘調査で検出されていた遺構とも併せて近世社会における噴火罹災と人類の活動を検討する。

2. 地中レーダ探査

地中レーダ探査は全て，Pulse EKKO PRO，アンテナ周波数：250MHz（カナダ Sensorand Software 社）を用いて、東京工業大学 亀井宏行研究室と杉山が行った。データの解析は主に亀井の指導の下で吉村が行い、現地の測量等は杉山が行った。

地中レーダ探査は、2018 年 2 月 19 日から 2 月 22 日まで静岡県駿東郡小山町に所在する上横山遺跡で行った。当初、既発掘調査区で検出されていた延暦・貞観噴火（9 世紀）火山灰下の溝状遺構の検出を目的として調査計画を企

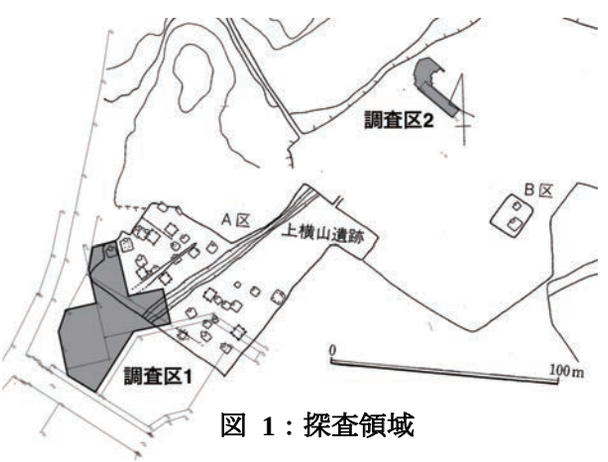


図 1：探査領域

画した故、その走行方向に合う範囲で調査区を設定した。

3. 解析結果

図 1 中の調査区 1・2 において、現在の地表面からそれぞれ 67ns（推定深度約 2.3m）、30ns（推定深度約 1m）において、60cm～70cm 間隔で起伏のある畝立て状のものが確認された。調査区 1 の 67ns におけるレーダ平面図（タイムスライス図）を図 2 に示す。レーダ探査で検出された大きさは、既発掘区で検出されていた畝の間隔 75cm とほぼ一致しており、その正確性を確認することができた。また、今回、新たに探査範囲を拡大したため、新たに広大な畑遺構が存在したことが明らかとなった。畝の走行方向を詳細に観察すると、調査区 1 で検出された畝は、N-80° -E であるのに対して、調査区 2 で検出された溝は N-40° -E である。

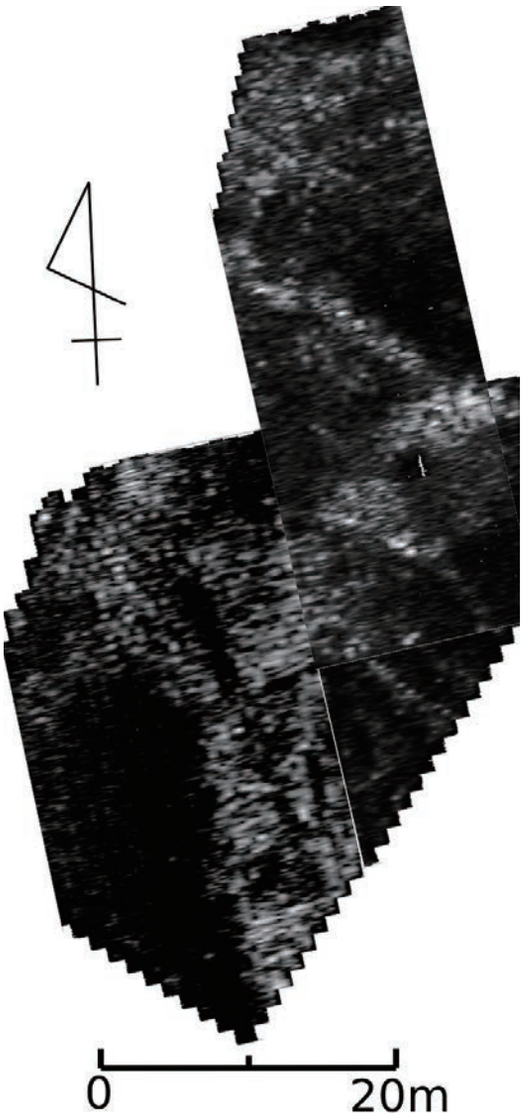


図 2：調査区 1（部分）平面図（67ns）

4. 富士山宝永噴火における復興の境界

近年、静岡県および神奈川県下では、宝永噴火の堆積物土、罹災した遺構が検出されている。静岡県下では、小山町の湯船城址遺跡で埋没した畑遺構が検出されている。一方神奈川県下では、山北町河村城遺跡、前述した秦野市横野山王原遺跡のほか、同市東田原象ヶ谷戸遺跡において、天地返しを行った痕跡が検出されている。前者の静岡県下の遺跡は、すべて火山灰で埋没し、その後の現地における復興を放棄しているが、神奈川県下の遺跡は、天地返しを行うことで、現地での復興を試みている。当時の人々の噴火罹災からの復興については、単純に火山灰の堆積量に比例するものではなく、財政・地域の社会性に起因する可能性もあるが、遺跡から見た場合には、静岡県と神奈川県の境に伸びる丹沢から箱根への山岳地帯を境界としている。これまで、火山学においては、火山灰の等層厚線図などが公表されているが、そこからは見えない放棄と復興の境界が遺跡から見えてくる。

5. まとめ

本研究では、江戸時代の宝永火山噴火で埋没した畑遺構を地中レーダ探査でほぼ正確に検出することができることを確認した。また、今回検出された近世の畑遺構は、広大な面積で火山灰に直接被覆されたまま放棄されており、静岡県下における宝永噴火の被害の様相を残している。この技術を用いることで、火山灰堆積下の埋設物・埋蔵物をほぼ正確に検出することができる。

本研究は三菱財団 平成 28 年度人文科学研究助成「富士山考古学の提唱と実践」の研究成果の一部である。

古墳築造解明の一方法としての非破壊レーダー探査

Nondestructiveness radar exploration as the one side method of the old burial mound construction elucidation

○坂口圭太郎(熊本県教育庁文化課)・青池邦夫(応用地質株式会社)・木崎康弘、井形秀一、柗山建(八洲開発株式会社)

○Keitaro Sakaguchi (Kumamoto Prefectural Office),Kunio Aoike(OYO Co,Ltd.),Yasuhiro Kizaki, Syuichi Igata, Takeshi Matsuyama (Yashima-Kaihatsu Co,Ltd.),

1 探査に至る経緯

熊本県立装飾古墳館(*以下古墳館とする)は平成 4(1992)年に開館した考古系博物館である。古墳館は文化庁の風土記の丘構想に基づき整備された「肥後古代の森鹿央地区」にあり、隣接して国史跡岩原古墳群(いわばるこふん)がある。古墳館は県立の博物館として史跡を保護管理する役割を担っている。岩原古墳群は整備にあたっては、最小限の確認調査に留めている。現在は現存する墳丘に保護盛土を行い、芝を張っている。

今回の探査では、掘削による構造確認に依らない非破壊によるレーダー探査の可能性を探るものである。

2 探査する古墳の選定

国史跡岩原古墳群には 13 基の古墳が現存している。しかしながら残存状況は一様ではなかったため、整備にあたって、墳丘の大部分を復元盛土によるものもある。今回選定した馬不向(うまむかず)3号墳は墳丘の残存が良好とされてきた古墳である。そこで、築造時の墳丘と復原した盛土の境界が明瞭に検出されると想定されることから選定した。

3 馬不向3号墳の現況

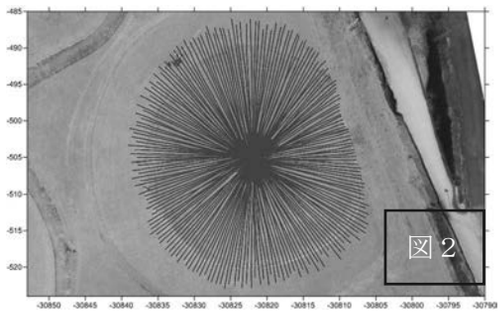
馬不向3号墳は、高さが約3．6mの円墳である。これまでレーダーなどによる探査を行っておらず、また墳丘のトレンチ調査*註1)の記録も残っていない。3 号墳の主体部は周辺の円墳と同様に舟形石棺を直接墳丘に埋納している可能性が高いと考えている。

4 探査方法

探査では図1のカート型の地中レーダを使用した。HS350 は GSSI 社の地中レーダーでリアルタイムに解析が視認できるシステムを搭載している。この地中レーダーには GPS が踏査されており、位置情報も同時に取得できるものである。探査にあたっては、円墳の形状に合わせて、等高線に対して直行する方向に走査し、円墳の中央を起点に放射状に探

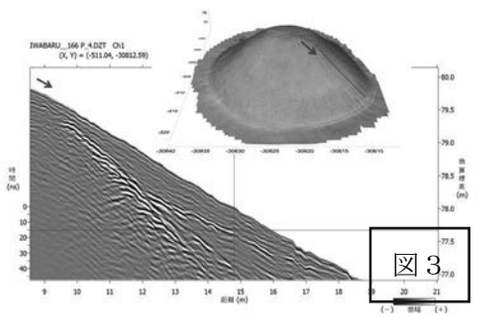
図1

査した。図2が走査の軌跡である。
次がその探査結果である。



5　探査結果

図3は法面の測定結果例である。馬不向3号墳は整備時に盛り土による復元が試みられている。このオルソ画像で法面直下に見られる連続した層境界と考えられる反射波は、盛土層の下面と考えられる。そうなると、この乱反射は築造当初の葺石（または貼石）が散乱している可能性を示す。この馬不向3号墳ではこのような石張りは想定外であった。



6　今後の可能性

今回の探査で得られた情報を基に、さらに精度の高い測位によるマイグレーション解析を青池氏は試みている。この解析では石棺の形状を再現できる可能性もあり、さらなる古墳の埋葬施設の解明に有益な情報を得ることが出来ている。この解析報告については2018年の物理探査学会で青池氏による報告を参照されたい。

このように、従来の物理的手法による古墳調査とは異なる、非破壊による埋蔵文化財調査は今後新たな調査手法となり得る可能性を持っている。

このような日進月歩の技術革新を文化財調査に有効的に活用するべく、今後も取り組んでいきたい。

註1）トレンチ調査とは、遺構に対し、長方形の掘削を行うことで、遺構の情報を収集する物理的手法であり、遺跡の調査において、遺構への横断面を観察することで、構造を知る手掛かりとするものである。

＊本要旨における画像データ及び解析結果は、全て青池邦夫氏からの提供である。

特別名勝一乗谷朝倉氏庭園における地中レーダ探査

Ground Penetrating Radar in the Ichijodani asakura clans garden ruins

◯高瀬尚人（応用地質株式会社）、藤田若菜（福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館）
◯Naoto TAKASE (OYO Corporation), Wakana FUJITA (Fukui prefectural history museum of Ichijodani asakura family site)

1. はじめに

特別名勝一乗谷朝倉氏庭園は、現在の福井県である越前国を治めた戦国大名・朝倉氏が本拠地とした一乗谷（福井県福井市、特別史跡 一乗谷朝倉氏遺跡）に所在し、「朝倉館跡庭園」「湯殿跡庭園」「諏訪館跡庭園」「南陽寺跡庭園」の 4 つの庭園遺構で構成されている。

これまでの発掘調査では、いずれの庭園も園池などの庭園主要部は調査が実施されていたが、湯殿跡庭園と諏訪館跡庭園は建物があったと想定される平坦面の調査は、未実施もしくは部分的なトレンチ調査に留まっていた。一方、南陽寺跡庭園と朝倉館跡庭園では敷地の大部分が調査されているが、発掘調査は遺構面の最上面、すなわち最も新しい時期で掘り止めしていることから、古い時期の遺構を把握するには至っていなかった。

この特別名勝一乗谷朝倉氏庭園において、平成 27 年度・28 年度の 2 ヶ年にわたって非破壊調査手法である地中レーダ探査を実施した。高密度の測線配置による探査及び立体的な解析を行うことによって、これまで不明であった下層遺構の分布状況などの詳細を把握することができた。

2. 探査の概要

庭園遺構と測線設定状況を写真 1 に示す。探査範囲内の地表面には庭石群や礎石があるため、これらを傷めないような探査測線を設定した。近傍に基準点がない庭園については、デジタル画像による三次元形状復元技術「Structure from Motion：SfM」を用いてオルソモザイク画像を作成し、正確な測線位置を平面図に投影した。

地中レーダ探査装置は、G.S.S.I 社製の SIR-3000 及び 400MHz アンテナを使用した。

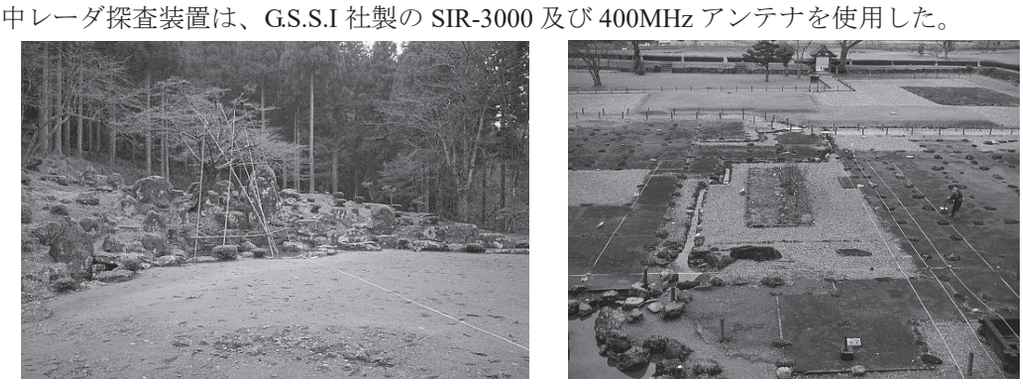


写真 1. 庭園遺構と測線設定状況（左：諏訪館跡庭園、右：朝倉館跡庭園）

3. 探査結果

プロファイル測定記録の例を図 1 に示す。当該記録例は湯殿跡庭園で測定した記録であり、現地表は平坦面である。図 1 の上に示した記録では、反射面の窪みを検出し、埋没した池と推定した。この埋没池に重なるような斜めの反射面は、ある時期の池を埋め、庭園の平場を拡張するための盛土と推定した。

また、下に示した記録では反射振幅の強い範囲が台形状に検出され、埋没した土塁と推定した。

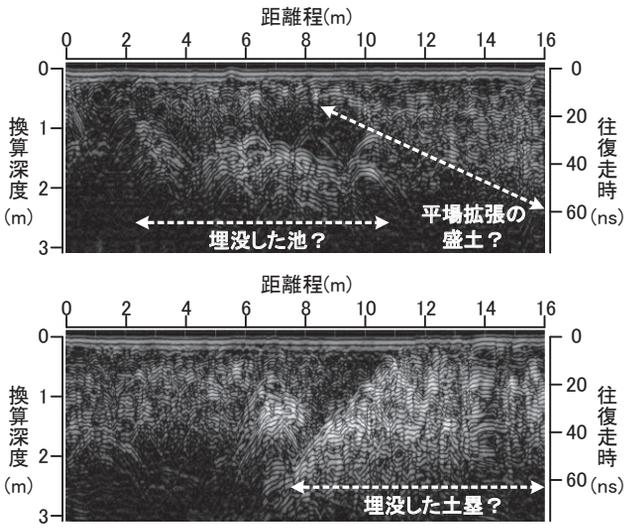


図 1. 測定記録の例

探査結果の一例として、諏訪館跡庭園における深度スライス平面図を図 2 に示す。ベースマップは SfM で作成したオルソモザイク画像である。現在の園池及び庭石群の周囲では、建物遺構や石列、平坦面を拡張した際の盛土等と推定される反射を検出し、庭園遺構を損傷することなく、下層遺構を推定することができた。

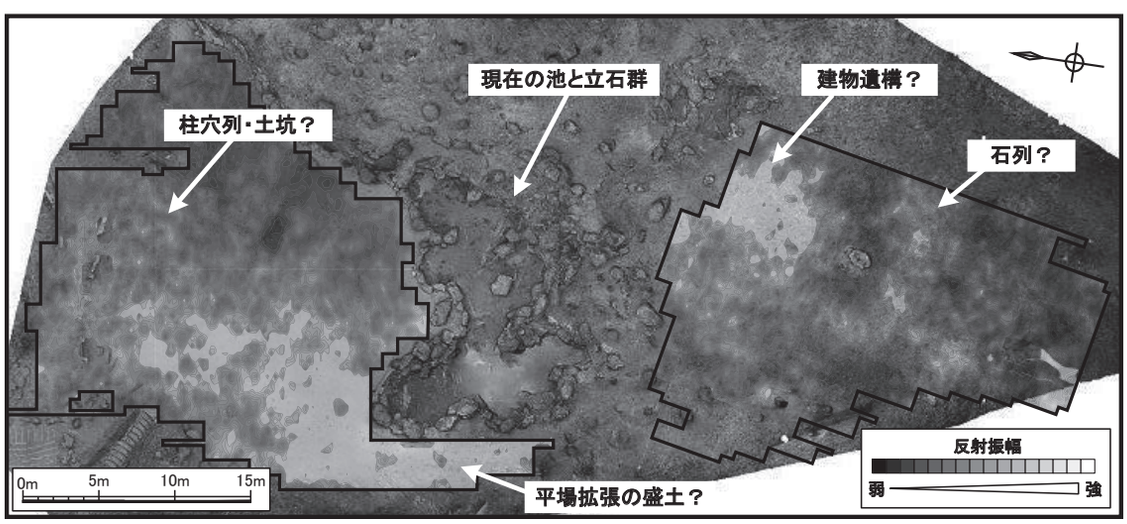


図 2. 諏訪館跡庭園の探査結果（スライス深度：1.0m～2.4m）

4. まとめ

現存する庭園及び庭園遺構、あるいは遺構確認面よりも下層の遺構を発掘することは、ある時期の遺構を破壊することになり、また特に特別名勝に指定された庭園の発掘調査は修理に伴う限定的なものが多く、下層の遺構等の残存状況を広く捉えることは難しい。さらに、多くの観光客が訪れる遺跡では安全確保や景観保護などに配慮する必要があることからも、遺構の損傷を避け、かつ効率的に地下の状況を把握する非破壊調査手法として地中レーダ探査が有効であるといえる。

葛籠尾崎湖底遺跡調査の概要

A Brief Report of Tsuzuraozaki Underwater Site

◯矢野健一（立命館大学）、近藤芽衣（同左）、川村貞夫（同左）、
島田伸敬（同左）、坂上憲光（東海大学）
◯Kenichi YANO, Mei KONDOU, Sadao KAWAMURA,
Nobutaka SHIMADA (Ritsumeikan University), Norimitsu SAKAGAMI (Tokai University)

1. 葛籠尾崎湖底遺跡の概要

葛籠尾崎湖底遺跡は琵琶湖北岸の葛籠尾崎周辺の水域に存在する湖底遺跡である。最深部は水深約 80ｍにおよぶ。昭和初期から多数の土器がイサザ漁などに伴い、漁網で引き揚げられてきた。土器の多くは完形土器もしくは大型の破片で、縄文時代早期（約 1 万年前）から平安時代末までほぼ連続して出土している。他の琵琶湖底遺跡のほとんどの成因は、水位上昇や地震などの地盤変化により陸地が水没したことで説明できるが、この遺跡の成因には諸説あり、定まっていない。何度も水位が上昇し集落が流出した（小江慶雄説）、湖岸で使用した土器を廃棄した（小笠原好彦説）、葬送や祭祀のために土器を沈めた（丸山竜平説）、1185 年の大地震で集落が沈んだ（秋田裕毅説）、何度も舟が転覆して土器が沈んだ、などの説がある。

成因が解明されない原因の一つは、遺跡の水深が深いために遺跡の現状を視認できず、遺物の存在状況を十分に把握できないためである。矢野・川村・坂上らは遺物の存在状況の位置情報と画像を取得することを目的として、2010 年から川村が開発する水中ロボットを主として使用する調査を 18 回継続してきた。当初は市販のロボットに改良を加える形のものを使用していたが、第 5 回調査（2012 年 11 月 10 日）から独自に設計したロボットを使用した。第 8 回調査（2015 年 6 月 13 日）から水流の激しいこの湖底遺跡調査専用に開発したロボットを使用するようになり、成果があがるようになった。2016 年度までに 5 地点で須恵器などの土器を確認しており、最深部は水深 45m だった。

2. 2017 年度の成果

2017 年度の調査では水深 50ｍを超える画像の取得に初めて成功した。第 15 回調査（2017 年 6 月 18 日）では、北緯 35 度 26 分 20.814 秒、東経 136 度 8 分 55.308 秒、水深 49m の地点で、直径 12cm 程度の須恵器または土師器の画像取得に成功した。同日、北緯 35 度 26 分 20.34 秒、東経 136 度 8 分 58.43 秒、水深 58m の地点で直径 18cm 程度の須恵器坏の画像取得に成功した。第 17 回調査（2017 年 9 月 10 日）では、北緯 35 度 26 分 17.79 秒、東経 136 度 9 分 7.23 秒付近から半径約 60m の範囲内の水深 73m の地点で、直径 10-20cm 程度の須恵器または土師器の画像取得に成功した。発見した土器については、島田の指導の下、取得した土器の水中画像の画像処理を

行ない、土器の直径等を推定した。

2017 年 12 月 13 日、矢野と熊谷道夫（立命館大学琵琶湖Σ研究センター）は、水中ロボットを利用して第 18 回調査を行い、北緯 35 度 26 分 18.96 秒、東経 136 度 9 分 2.16 秒、水深 71.5m の地点で、7 世紀頃の土師器甕の画像取得に成功した。これについては記者発表を行い、新聞各紙で報道された。

以上、地点や水深が特定できる形で最深部に近い地点での器の画像取得に成功した。葛籠尾崎南端付近という限られた水域での事例が蓄積し、8 世紀以降の須恵器杯などが多いというある程度の傾向を把握することが出来た。これは、従来、縄文土器や弥生土器などが引き上げられてきたことがわかっている葛籠尾崎東側の水域とは出土する遺物に違いがあることを推測させる。また、葛籠尾崎東側の水域から引き揚げられた縄文土器や弥生土器には湖成鉄と呼ばれる鉄分と泥土が癒着した被膜が顕著に認められるものが多いのに対し、葛籠尾崎南端付近で我々が取得した土器の画像を見る限り、湖成鉄の付着は顕著とはいえない。

したがって、従来、指摘されてきた湖成鉄の付着の差は、遺物の水没時期だけではなく、地点差をも反映している可能性がある。ただし、土器の詳細な特徴は時期の推定も含めて十分とはいえないため、画像処理を進める必要がある。

3. 湖底地形図作成と出土土器調査

2017 年 4 月 15～18 日に（株）ウィンディネットワークに依頼して高性能マルチビーム音信測深器 R2Sonic2024 型（米国 R2Sonic 社製）を用いた湖底地形測量調査を実施し、遺跡範囲のほぼ全体に及ぶ湖底地形地図の完成を目指した。天候不良のため、一部未作成の水域が残ったが、地形図作成も 8 割程度進めることが出来た。ただし、当初予定したように、取得した湖底地形の画像や土器発見地点の画像を湖底地形図の中に配置することは技術的に困難であることがわかった。我々が土器を発見してきた葛籠尾崎南端付近は、葛籠尾崎東側の水域とは異なり、南に伸びる尾根の斜面で、岩が露出している。水中ロボットの画像観察による湖底地形の詳細も図化していく予定である。

近藤・矢野が実施している琵琶湖底遺跡出土土器の湖成鉄付着の状況調査を進めると同時に、縄文土器・弥生土器の実測図作成を行っている。土器表面に付着している湖成鉄の元素分析と年代測定も試みたが、分析点数を増やす必要がある。遺跡成因の分析は湖成鉄の分析が有効と考えており、種々の角度から調査を進めたい。

参考文献

中川永 2017「葛籠尾崎湖底遺跡の再検討」『日本考古学協会第 83 回（2017 年度）総会・研究発表要旨』

矢野健一・川村貞夫・島田伸敬・坂上憲光・三ツ井友輔・妹尾一樹・加治木太郎 2016「水中ロボットを用いた葛籠尾崎湖底遺跡調査の中間報告と課題」『一般社団法人日本考古学協会第 82 回（2016 年度）総会・研究発表要旨』