

ポスター発表

Poster Presentations

三鷹市丸山 A 遺跡出土縄紋後期土器の年代と土器残滓物の研究

Dating and study of residual material in late Jomon pottery excavated from the Maruyama A site, Mitaka City, Japan

○小林謙一¹⁾, Danišik, M²⁾, 伊藤久敏³⁾, 米田穰⁴⁾, 大森貴之⁴⁾, 尾崎大真⁴⁾, 西本志保子¹⁾, 宮田佳樹⁴⁾
○ Kobayashi Kenichi¹⁾, Martin Danišik²⁾, Ito Hisatoshi³⁾, Yoneda Minoru⁴⁾, Omori Takayuki⁴⁾, Ozaki Hiromasa⁴⁾, Nishimoto Shihoko¹⁾, Miyata Yoshiki⁴⁾
1) 中央大学 (Chuo University), 2) Curtin University, 3) (一財) 電力中央研究所 (Central Research Institute of Electric Power Industry), 4) 東京大学総合研究博物館 (The University Museum, The University of Tokyo)

丸山 A 遺跡出土縄紋後期土器付着炭化物試料の炭素 14 年代測定および土器に含まれるジルコンの (U-Th)/He 年代測定 (略して He 年代測定)、土器片の植物遺体のレプリカ圧痕の検出と同定、残存脂質分析の研究状況を報告する。丸山 A 遺跡は神田川流域の台地上に位置する縄紋後期前葉から中葉の、大規模な墓壙群と居住施設を含む遺跡で、大量の堀之内式・加曽利 B 式土器が出土している。低地部には加工木などを出土した丸山 B 遺跡が近接する (三鷹市)。

¹⁴C 年代

にお焦げと考えられる加曽利 B 式粗製土器 3 点 (TKMTMA-101~103) から採取し、東京大学総合博物館の AMS で測定した。誤差の大きい 1 点を除き、IntCal20 による較正で 3730-3630cal BP (68~71%) と縄文時代後期中頃の年代として整合的な年代を得た。101 の付着物については IRMS により安定同位体比を測定し、 $\delta^{13}\text{C} = -26.6\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N} = 5.2\text{‰}$ 、C/N 比 12.6 と陸生 C3 植物の起源物質と推定される値を示した。

He 年代

土器を焼成する際に、それまでジルコンに蓄積されていた He が解放され (ゼロセットされ)、He 年代測定で土器が焼成された年代がわかることが期待される。丸山 A 遺跡の堀之内 2 式~加曽利 B1 式土器 3 点 (PO-1~3) についてヘリウム年代測定に適したサイズのジルコン結晶 135 個を摘出した。その中でゼロセットされたと期待できる、He 含有量が最も少ない 25 個の結晶を選択し、U と Th について分析した。He 年代測定結果は 2.8Ma から 3.7ka の範囲で、このうちの最も若い 4 結晶 (PO-1 と 3 に 2 点ずつ) を取り出し加重平均すると $4 \pm 1 \text{ ka}$ となる。結果として、後期前葉から後葉の ¹⁴C 年代とおおむね整合的な結果といえる。

その他の分析

調査続行中ではあるが、圧痕調査をおこない、うち 1 点にアズキ圧痕を確認した。加曽利 B 式期にアズキ垂属の種子圧痕が見つかるのは珍しい。また、13 点の土器片について、宮田が脂質組成をガスクロマトグラフ質量分析法 (GCMS) で測定し残存脂質分析を行っており、その結果を併せて南西関東地方後期前・中葉の食性復元・生業活動の時期的な変化を検討していきたい。

本研究は令和 2 年-6 年度学術変革領域研究 (A) 計画研究 B02 班「土器型式と栽培植物の高精度年代体系構築」(領域代表小畑弘己 (20A102)、研究班代表小林謙一 (20H05814))、の成果による。資料提供は三鷹市教育委員会、下原、土器図版作成は小林尚子、金子悠人、炭素 14 年代測定は坂本稔ら、種実圧痕は佐々木由香、山本華らの協力を得た。本稿は、炭素 14 年代は小林、米田、大森、尾崎、He 年代は伊藤、Danišik、種実圧痕は西本、残存脂肪酸は宮田が担当し、小林がまとめた。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

主要参考文献

小林謙一・山本真也・佐野隆・宮内信雄・堀内晶子・宮田佳樹 2020「中部高地の脂質分析—縄文時代前期から後・晩期にかけて—」セッション3「農耕開始期の食性を考える—土器残存脂質分析による学際的アプローチ—」『日本考古学協会第86回総会研究発表要旨』

小林謙一・金子悠人・東京大学総合研究博物館年代測定室 2021「三鷹市丸山 A 遺跡出土土器付着物の炭素14年代・同位体比測定」『三鷹市文化財年報・研究紀要』令和元（2019）年 3

西本志保子・小林謙一・金子悠人・山本華 2022「丸山 A 遺跡植物遺体圧痕調査」『三鷹市文化財年報・研究紀要』令和2（2020）年 4 三鷹市スポーツと文化部生涯学習課

試料番号	測定 ID	^{14}C 年代	補正用 $\delta^{13}\text{C}$
TKMTMA-101	TKA-23106	3443 ± 21 BP	-25.1 ± 0.3 ‰
TKMTMA-102	TKA-23107	3437 ± 23 BP	-23.6 ± 0.6 ‰
TKMTMA-103	TKA-23085	3576 ± 73 BP	-24.0 ± 2.1 ‰

 ^{14}C 測定結果

試料番号	測定 ID	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	炭素濃度	窒素濃度	C/N 比
TKMTMA-101	YL39502	-26.6‰	5.2‰	54.2%	5.0%	12.6

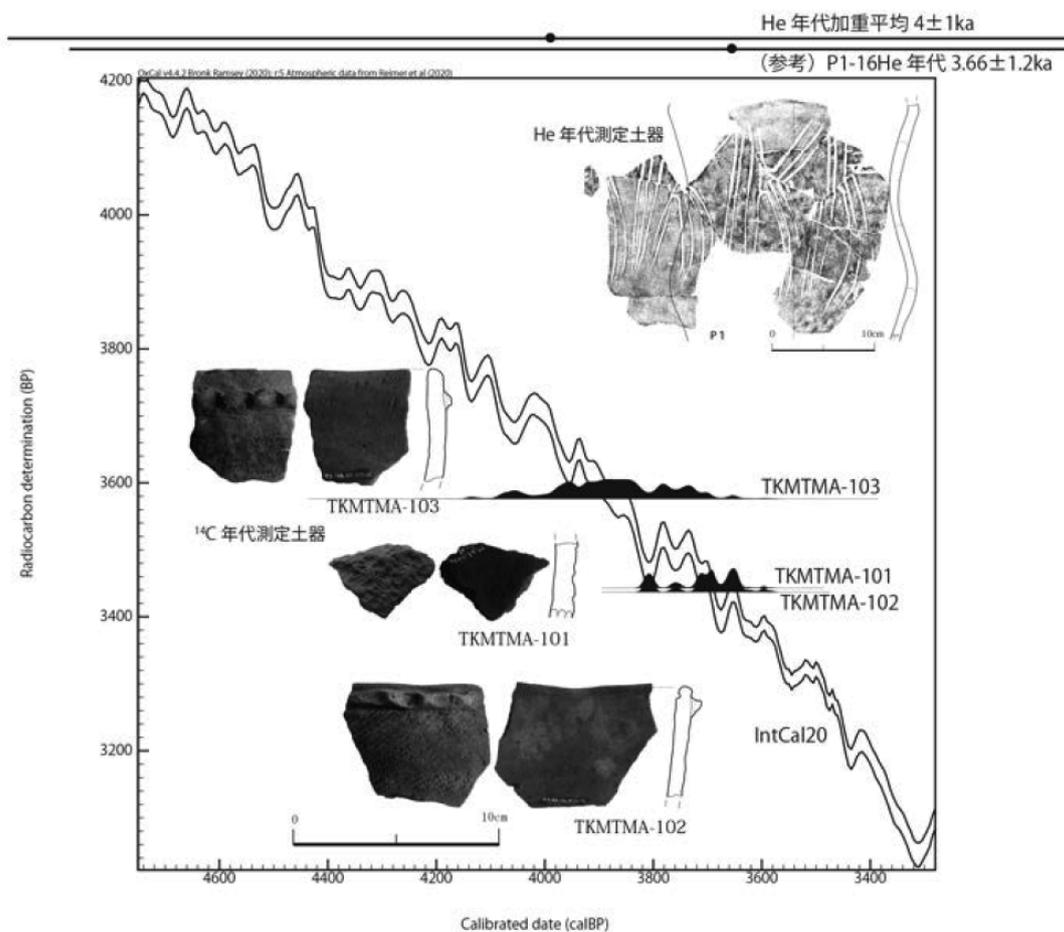


図 He年代と ^{14}C 年代測定値 (IntCal20・OxCal4.4)

曲物の年輪年代測定からみた平城宮・京跡出土遺構の数値年代 —土器の年代観との対応関係—

Dating of Archaeological Features of the Nara Palace and Capital Sites by Tree-Ring Dating of Bent-Wood Containers —Investigation on the Relationship between Tree-Ring Dates and Dates of Potteries—

○前田仁暉（京都大学大学院）、星野安治（奈良文化財研究所）、
浦 蓉子（同左）、高妻洋成（同左）

○Hitoki MAEDA (Kyoto University), Yasuharu HOSHINO, Yoko URA,
Yohsei KOHDZUMA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

8世紀の宮都である平城宮・京跡の遺構の年代は、考古資料と文献とを対応させて古代史を復元するために重要である。年代推定に大きく寄与してきたのは平城宮の土器群であり、I～VIIの7段階に分類されている¹⁾。各土器群の年代観は木簡の紀年等から推定されているが、木簡出土遺構に限られることや年代評価が複雑なことなどから、継続的な検証と事例蓄積が望まれる。

一方で、古代の遺跡から多量に出土することがある曲物の底板類には、年輪数が多く、年輪年代測定が実施可能なものがあるため、出土遺構の数値年代推定に資する可能性がある。そこで本研究では、曲物の年輪年代と伴出土器の年代観との比較により、それぞれの年代を相互検証し、遺構の年代推定のための有効性を検討した。

2. 試料と方法

平城宮・京跡の遺構出土の曲物底板類 117 点と付随した側板 3 点を試料として、年輪年代学の常法²⁾を用いて年輪年代測定を行った。年輪年代が特定でき、かつ辺材が確認できた曲物が出土した遺構のうち、伴出土器との対応が可能であった 15 遺構を抽出して年代を比較した。

3. 結果と考察

試料 90 点の年輪年代を特定した。年輪年代測定の統計的評価となる各試料年輪曲線の t 値³⁾は、平均年輪曲線に対して平均 10.1 を示し、十分高い値とみなされた。また、各対象遺構の上限年代とみなせる最新の最外年輪年代は CE791～668 を示した（図 1）。各伴出土器の年代観と比較したところ、5 遺構では土器群から推定される年代の範囲に年輪年代が収まり、極めて整合的な結果になった。4 遺構では年輪年代のほうが数年古く、ほか 6 遺構では 10 年以上古くなった。樹皮の残存しない曲物では、底板製作時に樹皮側の年輪が失われており、原木の伐採年はより新しく見積もることができる。実際の伐採年と土器の年代観との差はより小さくなると思われるため、矛盾のない結果である。このように曲物の年輪年代は、土器の年代観との相互検証において良好な整合性が得られ、遺構の数値年代推定に有効であることが示唆された。木簡等の数値年代定点が宮都よりも少ない列島各地の遺構や考古編年においても、本研究の応用が期待できる。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 21J20297、21H00610、17H02424 の助成を受けた成果の一部である。また、小田裕樹氏と福山博章氏に大変有益なご教示をいただいた。記して感謝申し上げます。

引用文献 1) 神野恵 2010 「平城宮土器の大別と略年代」『図説平城京事典』終風舎、西弘海 1986 『土器様式の成立とその背景』真陽社、2) Baillie, M.G.L., 1982. Tree-ring dating and archaeology. The university of Chicago Press. 3) Baillie, M.G.L. & Pilcher JR., 1973. A simple cross-dating program for tree-ring Research. Tree-Ring Bulletin, 33.

ポスター
発表

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

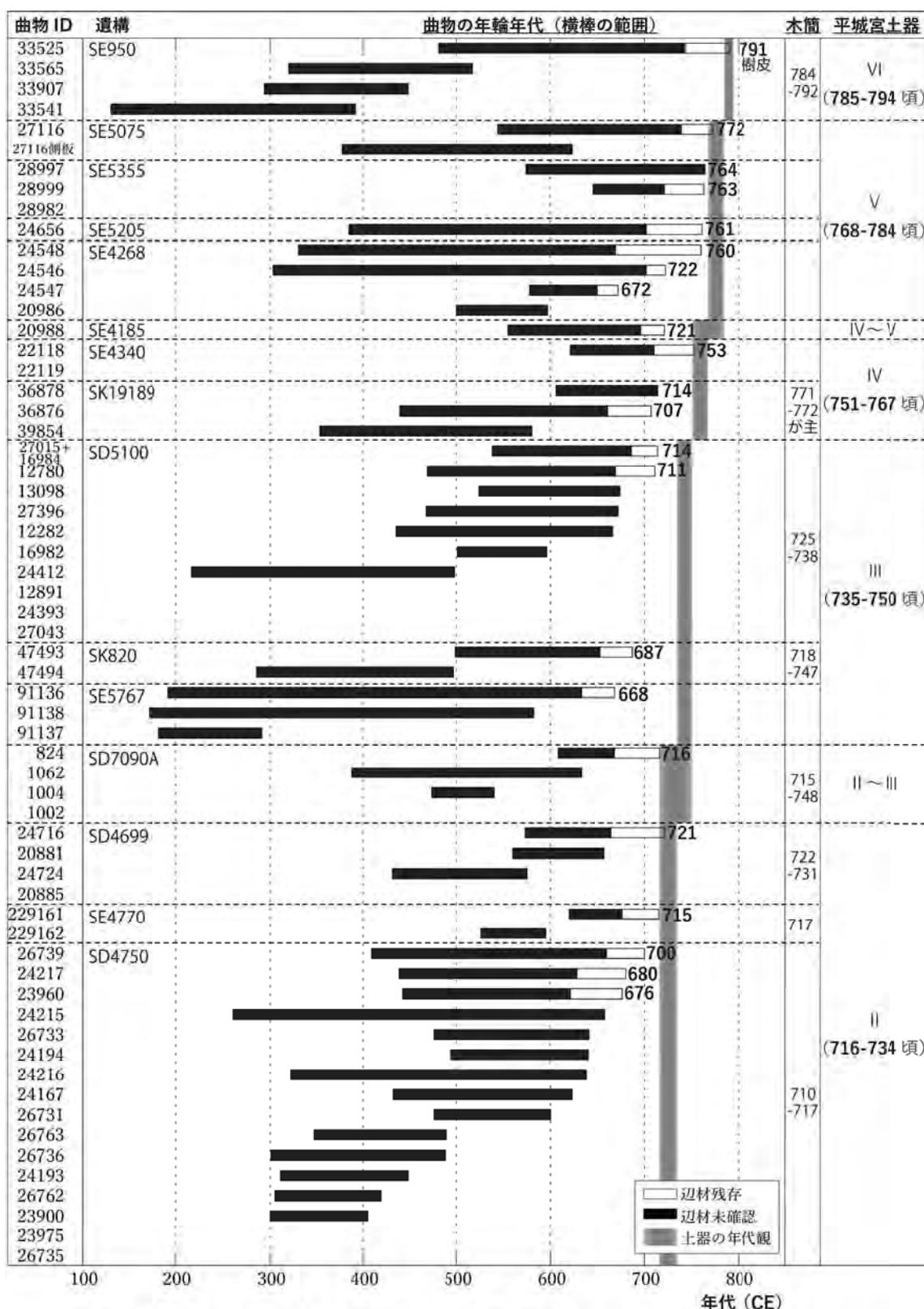


図1 各遺構における曲物の年輪年代と伴出土器の年代観との関係
 曲物 ID と遺構番号以外の数字はすべて年代 (CE) を示す。土器の年代観は報告書と注1 文献に従った。
 曲物の最外年輪年代は、土器の年代観 (灰色の網掛け) と極めて整合的であった。

愛知県萩平遺跡出土焼礫の熱ルミネッセンス年代測定による考察

Implication of thermoluminescence dating for Burnt Gravels

from Hagihira site, Aichi, Central Japan

○下岡順直（立正大学）、長井謙治（愛知学院大学）、川野良信（立正大学）

○Y. SHITAOKA (Rissho Univ.), K. NAGAI (Aichi Gakuin Univ.), Y. KAWANO (Rissho Univ.)

1. はじめに

先史遺跡で検出される礫ブロックは、多くの場合おおよそ原位置を保っている。そのため、礫ブロックが検出された層位は当時の地表面に近いとみなされる。よって、礫ブロックの年代が明らかになれば、遺物包含層の年代推定も可能になる。

礫ブロックを構成する礫の多くは、礫の表面が赤色化していることから被熱していると想定される。焼礫を用いた理化学的年代測定は、礫ブロックが帰属する遺物包含層の年代推定に有効である。そのなかでも、焼礫を用いた熱ルミネッセンス（TL）年代測定は、礫ブロック遺構の年代を推定するためには有効な手法の一つである。

その一方で、礫ブロックに共伴する炭化物もよく検出されるため、炭化物を用いた放射性炭素（¹⁴C）年代測定も礫ブロック遺構の年代を推定するのに有効な手法である。しかし、地表面に近く後世の攪乱を受けている地層では、攪乱によって混入したとされる炭化物が多く占めるために、放射性炭素年代データがばらついたり、想定される年代よりもより新しい年代値が得られたりするため、共伴関係に検討の余地が残る。

今回研究対象とした愛知県新城市川路に位置する萩平遺跡 A 地点隣接地においても、縄文時代草創期から後期旧石器時代終末期とされる 4 層、および後期旧石器時代後半期とされる 5 層から検出された炭化物を用いた放射性炭素年代測定がこれまでも試みられているが、年代値がばらついたり、より新しい年代値が得られたりしている。そのため、萩平遺跡 A 地点隣接地の遺物包含層に関連する数値年代は得られていなかった。

2021 年度発掘調査では、赤色化した礫を伴う礫ブロックが 4 層および 5 層において検出された。これまで検出された礫ブロックでは角礫が多用されていたのに対して、2021 年度に検出された礫ブロックでは円礫を用いており、礫ブロックの様相がこれまでの発掘成果とは少し異なる。そこで、礫ブロック中の礫について TL 年代測定を行い、4 層および 5 層に帰属する礫ブロックの TL 年代を求めたので報告する。

2. 試料処理

礫ブロックから礫表面の赤色化が著しい礫を焼礫とみなし、4 層では仮 1 号礫群から 2 試料

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

(No. 64、No. 66)、5層では1号礫群から3試料 (No. 171、No. 177、No. 181) を抽出して TL 測定を行った。試料は、まず岩石カッターで礫を半分に裁断し、礫の内部がどこまで焼けているかを肉眼で観察した。その結果、試料 66 については、礫の内部はまったく赤色化していなかった。そのほかの試料も礫表面のように顕著な赤色化は観察できなかった。よって、できるだけ赤色に変色している部分のみを岩石カッターで切り出して試料とした。試料処理は、万力を用いた粉碎と酸処理を行い、No. 66、No. 177、No. 181 は 75-150 μm の石英を、すべての試料で約 4-50 μm の多鉱物を抽出して TL 測定を行った。

3. 測定

TL 測定には、立正大学熊谷キャンパスに設置してある自動測定装置 NRL-99-OSTL2-KU を用いた。TL 測定条件は窒素雰囲気中で昇温速度 5°C/sec とし、100~500°C まで連続昇温法により測定した。TL の検出波長は、310~440 nm (半値幅) とした。

年間線量は、礫から年間 α 線量、年間 β 線量を評価し、年間 γ 線量は礫が埋没していた 4 層および 5 層の土壌から評価した。このとき、4 層は攪乱した土壌が混入していたが、礫の埋没環境を再現するためにあえて攪乱を含む土壌を用いて評価した。

4. 結果と考察

No. 64、No. 171 は約 4-50 μm の多鉱物を用いた TL 年代測定結果を、No. 66、No. 177、No. 181 は 75-150 μm の石英を用いた TL 年代測定結果を表に示す。

表 礫の TL 年代測定結果

No.	等価線量 (Gy)	Δ (Gy)	蓄積線量 (Gy)	年間線量 (mGy/a)	TL年代 (ka)
64	61.6 \pm 9.3	-12.3 \pm 11.2	49.3 \pm 14.6	4.26 \pm 0.12	12 \pm 3
66	-	-	-	5.00 \pm 0.08	-
171	181.4 \pm 39.1	-10.0 \pm 10.5	171.4 \pm 40.5	6.67 \pm 0.10	26 \pm 6
177	124.8 \pm 13.4	23.4 \pm 8.9	148.2 \pm 16.1	5.74 \pm 0.09	26 \pm 3
181	166.0 \pm 25.6	-10.6 \pm 14.0	155.3 \pm 29.1	6.21 \pm 0.08	25 \pm 5

4 層の No. 64 の TL 年代は、12 \pm 3 ka と得られた。No. 66 の TL 信号は飽和に近く、蓄積線量は過大評価された。このことから、No. 66 は焼けていない、もしくは加熱不十分であった。5 層の 3 試料 (No. 171、No. 177、No. 181) からは、25-26 ka の TL 年代が得られた。

今回、4 層焼礫から TL 年代を求めることができ、また 500°C 以上でよく被熱していた。ただし、4 層焼礫の TL 年代は 1 点のみであることから、遺物包含層の年代推定にはまだ十分とはいえない。しかし、萩平遺跡 4 層検出炭化物を用いた ^{14}C 年代は、後世の攪乱混入のために新しい年代しか得られていない。礫ブロックは原位置に近いと想定されることから、4 層出土の遺物を考察する上で得られた TL 年代は大変意義深い。以上のことから、土壌の攪乱等により複雑な履歴をもつ遺物包含層では、礫ブロック中の焼礫を用いた TL 年代測定による年代推定は大変有効である。5 層の測定結果では、一つの礫ブロック中の焼礫 3 試料において、ほぼ同一年代を得られた。このことから、礫ブロック中の礫が同時期に使用された可能性が確認できた。

炭素 14 年代法による誤差 0 年決定の現状と展望

Current status and future prospects of radiocarbon dating with one-year accuracy

○箱崎真隆（国立歴史民俗博物館）

○Masataka HAKOZAKI (National Museum of Japanese History)

1. はじめに

炭素 14 年代法は、測定方法の高度化（例：AMS 法の登場）や、暦年較正の確立と実用化、ウィグルマッチ法の発明、暦年較正曲線の度重なるアップデート（最新版は IntCal20 (Reimer et al. 2020)）などにより、70 年前の確立当初に比べて、格段の進歩を遂げ、今日の考古学、歴史学、地球惑星科学の関連諸分野にとって、欠くべからざる高精度年代法として認知されている。2012 年、名古屋大学三宅美沙らが Nature に発表した「ある発見」によって、炭素 14 年代法は新たな次元に導かれた。三宅らは、西暦 775 年の樹木年輪において、平年の 20 倍にも及ぶ炭素 14 濃度急増を発見し、同年に原因不明の宇宙線急増が起きていたことを初めて世界に知らしめた (Miyake et al. 2012)。この急増は発見者に因んで「Miyake Event」または「炭素 14 スパイク」と呼ばれ、現時点で南北半球 30 地点以上の年代既知の樹木年輪で再現されている (Büntgen et al. 2018)。この樹種も地域も問わない再現性の高い急増は、年輪年代法においても初めてとなる共通の年代マーカー（鍵層）と見なされた。これを応用することで、標準年輪曲線（年輪年代法の年代決定のものさし）が整備されていない地域・樹種の木材でも、急増を再現すれば 775 年の年輪を特定することができ、誤差 0 年の年代を求めることが可能となった。この方法は、炭素 14 年代法における初の誤差 0 年の年代決定法であり、「炭素 14 スパイクマッチ法」として様々な研究に利用され始めた。

2. 誤差 0 年決定の現状

炭素 14 スパイクマッチ法の代表的な応用事例は、白頭山 10 世紀噴火の年代決定である。この噴火は、過去 2000 年間で世界最大規模の噴火でありながら、発生年の記された公式記録が見つからず、非常に奇妙な噴火として世界中の年代学者・火山学者によって 1990 年代半ばから 20 年以上にわたり、その年代決定が試みられてきた (Yatsuzuka et al 2010 など)。しかし、多くが誤差を伴う炭素 14 ウィグルマッチ法による測定であり、再現性のある結果が十分得られなかったため、確定的な年代に絞り込まれていなかった。筆者と三宅らを中心とする日本の研究グループと、ケンブリッジ大学クライブ・オッペンハイマーを中心とする国際研究グループは、白頭山火山口周辺からそれぞれ別個に埋没木を採取し、1 年単位の炭素 14 測定を行なった。その結果、どちらの木からも 775 年急増が再現され、どちらの木も西暦 946 年に死んだことが

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

判明した。すなわちその年に噴火が発生し、火口周辺の木々が火砕流に巻き込まれたことが明らかとなった (Oppenheimer et al. 2017, Hakozaki et al. 2018)。炭素 14 スパイクは、こうして 20 年にわたる白頭山の噴火年代論争に、終止符を打った。このような応用は、アイスランドのカトラ火山 9 世紀噴火でも行われ、西暦 822 年-823 年に噴火が発生し、824 年の夏季の寒冷化とも関連づけられるといった報告がある (Büntgen et al. 2017)。一方で、文化財の年代決定にも応用が進んでおり、例えばスイスのヴァル・ミュスタイアにあるヨハネ修道院礼拝堂の天井材の伐採年が 775 年急増の再現によって決定されている (Wacker et al. 2014)。775 年急増に続いて発見された「西暦 993 年の急増 (Miyake et al. 2013)」を年代マーカーとする炭素 14 スパイクマッチ法の事例もある。カナダのニューファンドランド島の集落遺跡から出土した木片から 993 年急増が再現され、北欧のヴァイキングが 1000 年前に北米に定住していたことを示す有力な証拠とされた (Kuitens et al. 2022)。

3. 誤差 0 年決定の展望

樹木年輪中の炭素 14 急増は、地球に降り注ぐ宇宙線急増の履歴であり、極端宇宙気象イベントの記録でもある。その原因として最も有力視されているのは、太陽表面での爆発現象「SEP イベント」とされ、775 年急増の場合、太陽で「スーパーフレア」が発生した可能性も考えられている。太陽よりも大型の恒星でしか観測例のないスーパーフレアが、我々の太陽で発生したとすれば、太陽物理学の常識が覆るほどの異常現象であるため、議論は続いている。しかし仮に事実だとすれば、電子機器で支えられている現代社会にスーパーフレアの余波が来襲する可能性があり、全世界的な停電が 2-3 年続くなど、天体衝突に匹敵する規模の大災害が同時多発的に発生する恐れがある。太陽がいつ、どのような活動状態において SEP イベントを起こすのか、それを把握するには、炭素 14 急増の履歴を可能な限り見つけ出していかなければならない。三宅らの発見に続いて、世界中の炭素 14 分析機関が、先を争ってその発見に向けた研究を推し進めている (Pearson et al. 2020, Terrasi et al. 2020, Sakurai et al. 2020, Brehm et al. 2021, Miyake et al. 2021 など)。しかし、1 年輪単位の炭素 14 分析には多大なコストと時間がかかるため、年代既知の樹木年輪が存在する 12800 年間のうち、分析された年代範囲は 20%に満たない。これまでは、10 年輪ないし 5 年輪の炭素 14 データに基づく IntCal の形状から、急増の存在にあたりをつけて分析が進められてきたが、1 年輪単位で測定すると予測もしなかった年代から急増が見つかることも報告されており (Brehm et al. 2021)、太陽活動の詳細な把握には、全ての時代で網羅的に 1 年輪単位の測定が必要であることもわかってきた。筆者は三宅とともに、科研費基盤(S)「過去 1 万年間の太陽活動」など複数の研究プロジェクトを立ち上げ、日本のみならず世界中の樹木年輪試料を集め、網羅的な炭素 14 測定を実施している。新たな急増イベントを発見し、十分に再現性があると検証できれば、炭素 14 スパイクマッチ法の応用範囲も広げることができる。年輪年代法が適用できていない木材は、日本にも世界にも無数に存在し、そのなかには自然災害や文化財の年代決定に重要な役割を果たすものもある。喫緊かつ重要な課題として、筆者らは本研究に引き続き注力していく。

野生イネの生産量推定に関する基礎的研究 (I)

Basic research on yield estimation of wild rice using phytolith analysis (I)

○宇田津徹朗 (宮崎大学)、石川隆二 (弘前大学)、一谷勝之 (鹿児島大学)、志水勝好 (同左)

○Tetsuro UDATSU(University of Miyazaki), Ryuji ISHIKAWA(Hirosaki University),
Katsuyuki ICHITANI, Katsuyoshi SHIMIZU(Kagoshima University)

1. はじめに

「野生イネの栽培化」に関する研究は、今日でも、野生イネの植物遺体の出土に依存する状況であり、研究推進に不可欠な「地域と時代を網羅したデータの蓄積」に大きな限界がある。

本研究は、こうした現状と限界を打破するため、野生イネのプラント・オパール密度と形態からその生産性と栽培イネへの変化に関するデータを収集する手法構築を目指している (科研費課題番号 21K18118: 「野生イネはいつどのように食糧となったのか?」に挑戦する_研究代表者: 宇田津徹朗)。

ここでは、野生イネの生産性の推定・復元について取り組んだ基礎研究の概要と成果ならびに課題について報告を行う。



写真1 *O.rufipogon* の機動細胞珪酸体

スケールは 50 μ m

2. 取組の概要

下記の材料と方法を用いて、野生イネに栽培イネの生産量推定法 (藤原 1979、宇田津 2003) を適用できるのか、その可否を検討した。具体的には、推定に必要なイネの各部重量と葉身中の機動細胞珪酸体 (プラント・オパールの前身) 密度を調査し、両者の関係を分析した。

1) 材料 (供試した野生イネ)

アジアの栽培イネ (*O.sativa* L.) の祖先野生種である *O.rufipogon* とゲノムタイプが同じで生息域が重なっている *O.meridionalis* を供試した。各部重量の関係については各 2 系統、種実重量については、15 系統 (*O.rufipogon* : 7 系統、*O.meridionalis* : 6 系統)、各系統について 5 個体を用いた。これらは、鹿児島大学農学部にてポット栽培 (短日処理) したものである。



写真2 野生イネの種実の例 (左 W1230 (*O.rufipogon*)、右 W1631 (*O.meridionalis*))

※スケールは 5mm、芒 (のげ) の部分は長いいため、紙幅の関係でトリミングしている

ポスター発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

2) 方法

①各部重量の測定

収穫した野生イネを、系統個体単位で、葉身、種実、その他地上部に分解し、各部重量（80℃で48時間乾燥）を測定した。

②珪酸体係数（機動細胞珪酸体1個が代表する各部重量）の算定

珪酸体係数は、イネが生産する葉身中の機動細胞珪酸体の総数を求め、この値で各部重量を除することによって算定される。この係数を用いると、地層から検出されたイネの機動細胞由来のプラント・オパール（土壌密度から、地層の堆積期間に生産されたイネの各部、特に種実の生産量を推定することが可能となる。具体的には、系統・個体ごとに全葉身を電気マッフル炉で乾式灰化し、沈底法（ストークスによる）による粒径篩別を行い、抽出した機動細胞珪酸体数を定量する。定量は、同じ粒径組成と比重を持つガラスビーズを用いた間接法で行った。

3. 結果および考察

1) 各部重量間の関係について

各部重量について、相関分析を行った結果、葉身重量と稔実種子重量や地上部全重量には有意な正相関が確認された。これは、栽培イネ（藤原 1979）と同様であり、野生イネにも、珪酸体係数を設定することが可能であると考えられる。

2) 珪酸体係数について

表1は、今回供試した *O.rufipogon* と *O.meridionalis* および *O.sativa*（藤原 1979）の珪酸体係数である。野生イネと栽培イネを比較すると、個体による葉身重量は、葉身中の機動細胞珪酸体密度を直接反映したものであり、差異は小さい。一方、種実重量は、栽培イネと比べると小さいため、係数もそれを反映したものとなった。値の差は数倍程度で、大きな差は無かった。また、各珪酸体係数間の大きさの関係もよく似ていることが確認された。

表1 試算された珪酸体係数 (×10⁻⁶ g/個)

イネ (<i>Oryza</i>) 属	葉身重量	地上部全重	種実重量
<i>O.rufipogon</i>	0.66~1.55	3.33~6.61	1.55~3.40
<i>O.meridionalis</i>	1.17~3.07	6.56~17.04	2.70~6.39
<i>O.sativa</i>	2.65	13.46	6.25

※野生イネは、系統単位で試算したため、最小値～最大値で記載

4. まとめ

今回の取組の結果、プラント・オパールを用いた栽培イネの生産量推定を野生イネに適用できる見通しを得ることができた。

今後は、さらに系統数を追加して確認を進めるとともに、野生イネ群落の状態（個体密度や出穂など）の調査ならびに、より実際に近い状態を再現した栽培実験を計画実施して、生産量推定に使用可能なより実用性の高い珪酸体係数の設定を目指してゆきたい。

中世死馬の用途、利用集団と場面を解体痕から探る

Medieval dead horse utilization investigated from cut marks

植月 学 (帝京大学文化財研究所)

Manabu UETSUKI (Research Institute of Cultural Properties, Teikyo University)

1. はじめに

わが国ではウマの解体痕についての研究は少なく、個別の報告で触れられてきた程度である。筆者は最近、中世の2遺跡のウマ解体痕を比較する機会を得たが、解体痕パターンの差から死馬の用途や関わった集団、利用場面の差についても議論できる見通しを得たので報告する。

2. 資料と方法

以下の中世2遺跡出土のウマ遺体について年齢構成、部位組成、部位ごとの解体痕(主に切痕)出現頻度、技術の一貫性を比較した。

- ・由比ガ浜中世集団墓地遺跡(以下、由比ガ浜。植月2016) 鎌倉市。13世紀後半～15世紀。浜辺の墓地/死体遺棄場。全身が揃う例は希だが、中軸、前肢、後肢などのまとまりごとに交連して出土する例が多い。保存はきわめて良好だが、骨端にはイヌによる破壊が顕著。
- ・大光寺新城跡(以下、大光寺。植月2022) 青森県平川市。15世紀中葉～16世紀中葉が主体。城の外堀より集中して出土。部位が分離して出土するのが普通で、四肢骨は打割されている例が多い。保存はおおむね良好だが、イヌによる破壊も見られる。

3. 結果

(1) 年齢構成 両遺跡の大きな差は幼齢個体の割合で、大光寺では3割程度を2歳未満の幼獣が占める。由比ガ浜ではこの年齢群は存在しない。

(2) 部位組成 もっとも顕著な差は大光寺における脊椎骨の少なさである。逆に由比ガ浜は橈骨や距骨、踵骨、指骨などが相対的に少ない。

(3) 部位ごとの切痕出現頻度 大光寺の方が多く部位として頸椎、胸椎、上腕骨が挙げられる。由比ガ浜でより目立つ部位として橈骨、脛骨、指骨が挙げられる(図)。

(4) 技術の比較 定量的に表すことができていないが、由比ガ浜はより画一的である。解体痕の高率出現部位では以下のようにその位置も一貫していた。

- ①頭蓋骨: 切痕ではないが、頭頂～後頭骨を欠損する例がほとんど。この部分を切除した切痕が確認できる例も一例あった。
- ②環椎: 前関節腹面、③肋骨(後半に多い): 外側中～遠位部。
- ④橈骨: 骨幹内側、⑤脛骨: 骨幹内側、⑥基節・中節骨: 側面。

大光寺には以上のような一貫したパターンはなく、同じ部位でも切痕の付き方はまちまちで

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

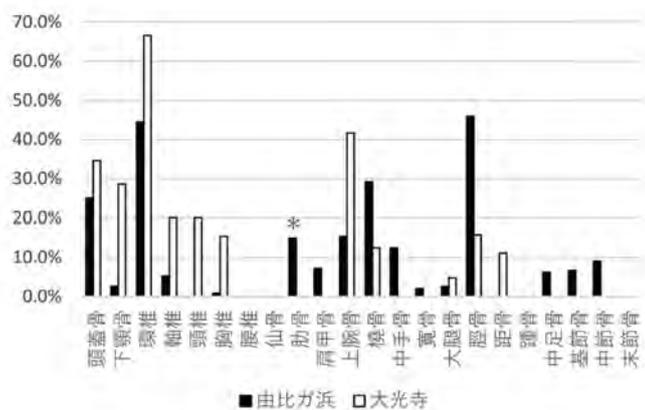
探査

文化財防災

文化財科学
一般

あった。技術的にみても、以下の例のように効率的とは言えない位置や切断方法が顕著であった。

- ・頭頂部に何度も切りつける。
- ・下顎枝部分で横位切断する。
- ・環椎背側を斜めに切断。
- ・上腕骨滑車側面になんども切り付ける。



4. 考察と結論

由比ガ浜では切痕パターンが一貫しており、目的は①が脳漿の摘出、②は頭部切断と推定される。脳漿の用途としては松井(1987)が指摘した皮の脳漿鞣しに関連する可能性が高い。③肋骨は位置的に除肉目的、④～⑥は青森県林ノ前において指摘したように腱の回収目的の可能性が高い(植月ほか2020)。本遺跡では橈骨・脛骨と指骨の交連標本の対応する位置で確認できたことからその蓋然性がさらに高まった。以上により少なくとも皮、肉、腱の一貫した、定型的利用が想定できる。

大光寺では以上のような一貫したパターンは認められず、位置もランダムで非効率的であった。肉以外の脳漿や腱などの素材を利用した痕跡は見られない。一方で、交連状態での出土はなく、四肢骨の破砕度合が高いことから、骨髄まで徹底して利用したと推測される。その利用はほぼ食用に限定されていたとみられる。

両遺跡の違いは由比ガ浜の計画的な解体・利用に対する、大光寺の場合当たりのな解体・利用と整理できる。年齢構成の差も由比ガ浜の成獣利用に対する、大光寺の年齢によらない手当たり次第の屠畜を示唆する。背景には集団差と利用場面の違いがあったと推察される。すなわち、由比ガ浜は日常的に死馬処理に従事した集団であり、効率的な処理を行っていた。大光寺は日常的に解体に関与していた集団とは考えにくく、非日常的で不慣れた行為と推測された。籠城のような非日常的場面において、普段解体をおこなわない集団(例えば城郭に居住した武士層や退避した農民など)がやむを得ず消費した可能性が想起されよう。解体痕パターンから死馬利用実態にどこまで迫れるのか、時期や地域を広げて今後も検証していきたい。

謝辞 資料調査に協力賜った鎌倉市教育委員会、平川市教育委員会に感謝申し上げます。

引用文献 植月学 2016「由比ヶ浜中世集団墓地遺跡から出土した動物遺体」『由比ガ浜中世集団墓地遺跡(No. 372)発掘調査報告書』株式会社博通

植月学 2022『津軽中世馬の研究—青森県大光寺新城跡遺跡出土動物遺体調査報告—』

植月学・覚張隆史・浅田智晴 2020「青森県における古代の馬利用—林ノ前遺跡出土馬の動物考古学・同位体化学的研究—」『研究紀要』25 青森県埋蔵文化財調査センター

松井章 1987「養老厩牧令の考古学的考察—斃れ馬牛の処理をめぐる—」『信濃』39-4

マルタニシの遺伝子解析をもとにヒトの移住を考える（その1）

Consideration on human migration based on the genetic analysis of pond snail (Part1)

○松本建速（東海大学）、倉持卓司（葉山しおさい博物館）

○Takehaya MATSUMOTO（Tokai University）, Takashi KURAMOCHI(Hayama Shiosai Museum)

1. はじめに：遺伝子解析を考古学に応用する

本研究の主題は過去のヒトの移住を読み取ることであり、考古学、人類学に属する。ただし、資料・試料とするのは発掘調査によって出土した考古学資料だけでなく、現生のマルタニシ *Cipangopaludina chinensis laeta* である。そして方法としては、次世代シーケンサーを用いた遺伝子解析をおこない、それによって得られたマルタニシの系統から、ヒトの移住の経路を読み取るという、文化財科学を応用した考古学としての試みでもある。

遺伝子解析をおこない過去のヒトの活動を読み取る試みは頻繁におこなわれており、実績もある。それらは移動する主体であるヒトを対象とした研究であり、方法として疑問を挟む余地はない。しかし、本研究の資料・試料となるマルタニシから、いかなる理由によりヒトの移住を読み取る情報を引き出せるというのか、それには説明が必要である。

本研究は2022～2024年度科学研究費（基盤研究C）「次世代シーケンサー解析によるマルタニシの遺伝子情報からヒトの移住を読む」（代表・松本建速）の開始段階のものであるが、背景・目的・方法・試料採集の現状を示し、その見通しを述べる。

2. 本研究の背景と目的

マルタニシは水田に生息する淡水性の巻貝である（写真1・2）。同種は日本列島の場合、本州島以南では縄文時代にはほとんど見られず、弥生時代以降の遺跡から多数発見されるようになることから、水稲耕作の導入に伴って移入したと推測されている（黒住2001）。ミトコンドリアDNAによる解析でも、朝鮮半島産と日本産とは遺伝的に近く（Hirano et al. 2015）、マルタニシは弥生時代以降に朝鮮半島から移入した可能性が高い。一方、現在の北海道にもマルタニシは生息しているが、考古学資料としては確実な出土例はない。また、先住民であるアイヌ民族はマルタニシ独自の呼称を持たない（知里1975）。以上のことから、北海道のマルタニシは近代の入植者による水田造営に伴い本州島以南から移入されたという仮説が立てられる。

そこで本研究では、北海道のマルタニシがどこからもたらされたかを分子生物学的な解析方法で明らかにする。マルタニシがヒトの移住、さらには水稲耕作の指標となるかを検証することにもなる。本件研究の成果は、過去におけるヒトの移住を証明する研究に、ヒトに共伴する

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

生物のゲノム解析が応用できることを示す一例となろう。

3. 試料・方法・研究の現状

(1) 試料・方法

北海道への移民の入植元が本州島以南の全域であり、日本列島全域に生息するマルタニシを試料とするのが理想である。ただし個体群が減少し絶滅危惧種に指定されている地域が多数あるので、それに配慮した採集を心がける。方法としては、次世代シーケンサーによる全ゲノム解析をおこない、北海道産マルタニシの遺伝的系統を読み取り入植者の動きと比較考察する。

(2) 研究の現状 (写真1・2・図1)

北海道への近代の入植があった本州島以南の46都府県のうち、絶滅危惧種II類、準絶滅危惧種指定がない17県のうち、東北から関東までの8県で採集が完了している。北海道では13地点から採集済である。1地点からの採集個体数は3点に限定している。

4. おわりに：今後の展望

2023年の夏までに全地域の試料を採集し、同年度のうちに解析を実施する予定である。また、各地から採集した試料の殻形態にもとづく種内変異の考察も試みる。

参考文献

- 黒住耐二 2001 「トキとタニシ-水田の変遷を示す動物たち」『Birder』171号 pp.30-33
 Hirano et al.2015 Phylogeny of freshwater viviparid snails in Japan, *Journal of Molluscan Studies*, Vol.81, PP.435-441
 知里真志保 1975 『知里真志保著作集 別巻I 分類アイヌ語辞典 植物・動物編』平凡社



写真1. マルタニシの生息地



写真2. マルタニシ

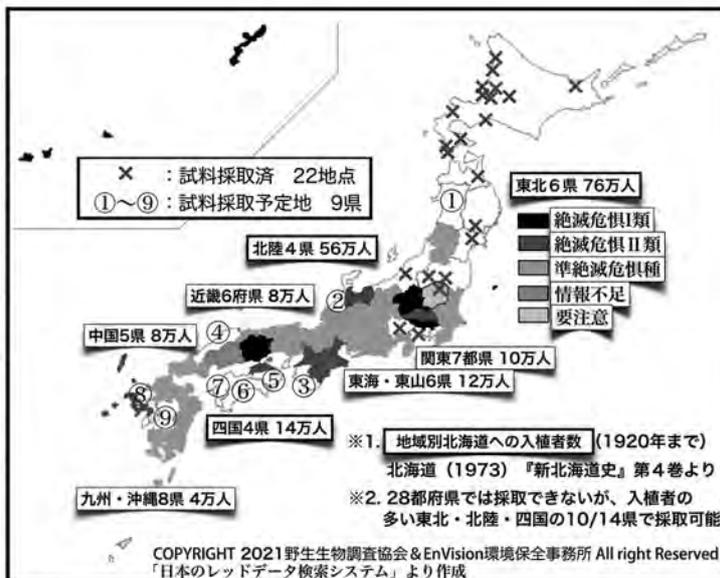


図1. マルタニシの生息状況と試料採集地

ミャンマー・バガン遺跡における煉瓦造寺院の保存修復効果

Conservation and restoration effect of brick temples in the archaeological zone of Bagan, Myanmar

○前川佳文（東京文化財研究所）、ダニエレ・アンジェロット（文化協会バスティオーニ）、デニス・ザネッティ（有限会社メッサドリンジェニエリア）、マリア・レティツィア・アマドーリ（ウルビーノ大学）、チー・リン（ミャンマー宗教文化省考古国立博物館局バガン支局）

○Yoshifumi MAEKAWA (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Daniele ANGELLOTTI (Associazione Bastioni), Denis ZANETTI (Mezzadringeria s.r.l.), Maria Letizia AMADORI (Urbino University), Kyi LIN (Ministry of Religious Affairs and Culture of Myanmar, Bagan branch of the Department of Archaeology and National Museums)

1. はじめに

本研究発表は、世界遺産バガン遺跡において2016年から取り組んでいるMe-taw-ya寺院の保存修復について、実施後の経過観察結果を報告するものである。昨年度の発表では¹、バガン遺跡に残る寺院の多くが、外壁や内壁に壁画やスタッコ装飾を有する煉瓦造寺院であることから、複合文化財として捉えることの重要性や、技法及び材料を選択するうえでも特別な配慮が必要であることを述べた。本研究発表では、保存修復後ある一定の時間が経過した状態について考察するとともに、文化財保存に係る国際協働の本質について考える。

2. 保存修復計画で掲げた課題

バガン遺跡にみられる煉瓦造寺院の多くは、煉瓦や目地材の損傷に伴い発生した亀裂から雨水が浸透し、外壁スタッコ装飾や寺院内壁に描かれた壁画の崩落に繋がっている。その主たる原因は、煉瓦を積む際の接合や表面仕上げに用いられた目地材料にある。接合に用いられた材料は、主に粘土に砂や樹液等を練り合わせたものだが、こうした材料は経年劣化とともに接合力を失う。これまで現地で進められてきた目地の損傷箇所における修復では、砂と消石灰の調合材が使われてきた。しかし、雨や気温差の激しいミャンマーの気候条件下においては、伸縮を繰り返す煉瓦の動きに対応できず、施工から1年にも満たない期間に傷みが生じるケースが多い。

こうした点に配慮して、保存修復を進めるうえで考慮すべき課題として掲げた項目は下記の通りである。

- A. オリジナル素材に適合し、かつ耐久性と柔軟性を有する目地材料への置き換え
- B. 接合力を失い粉状化した寺院内部の目地材料の補強
- C. 崩落が発生しやすい寺院上層部の補強
- D. 使用する修復材料選択時における寺院内壁に描かれた壁画への配慮

3. 各課題の対処方法

- A. オリジナル素材に適合し、かつ耐久性と柔軟性を有する目地材料への置き換え

現行の保存修復材料は、1970～1980年代に国際連合教育科学文化機関（ユネスコ）が主体となり実施された国際協力事業において、伝統的材料（オリジナルに近い素材）の使用が推奨されたことに端を発するが、それらの適合性については検証されることなく今日に至っている。また、都度目分量で調合されることから、同じ材料であっても材質的な斑が生じる問題を抱える。

本事業では、これまでに実施した視察調査や検証実験の結果を踏まえ、水硬化石灰をベースとし、亀裂耐性を向上させるためにマイクロファイバーが混入された材料に置き換えることとした（製品名：Mape-Antique Allettamento, Mapei社製）。また、事前調合型の材料（水を加えて練り合わせるだけのもの）を選択することで、材質的な斑を解消した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

B. 接合力を失い粉状化した寺院内部の目地材の補強

オリジナルの煉瓦が多孔質であることに配慮して、吸放湿特性の妨げにならないことを前提とし、浸透性が高く、塩の析出や紫外線に対して耐性を有する、パーサチック酸ビニル共重合体ベースの材料を選択した（製品名：Consolidante 8020, Mapei 社製）（写真1）。



写真1 寺院内部の目地材の補強 (Consolidation 8020)

C. 崩落が発生しやすい寺院上層部のリング状補強

先の地震において、揺れ幅が大きくなる上層部へのダメージが集中したことを受けて、壁の内部に補強材を注入し、リング状補強を行った。材料は、湿気や塩の析出に耐性を有する材料であることを前提とし、水硬化石灰をベースに微細な粒径の骨材が添加されたものを選択した（製品名：Mape-Antique F21, Mapei 社製）。

D. 使用する修復材料選択時における寺院内壁に描かれた壁画への干渉

選択した材料は、壁画を有する建造物の保存修復において使用実績のあるものに限定した。また、ミャンマーの環境下での機能性については、暴露試験を通じて確認した。



写真2 対処前の下層部のみに伸びた雑草

4. 対処後の効果

現状において本事業は、新型コロナウイルスの感染拡大及びミャンマー情勢の悪化に伴い、約2年間活動を休止している。定期的に開催しているオンライン会議では、現地専門家から経過状況について報告を受けているが、新しく導入した修復材料は良好な状態を保持しているという。またそれは、多くの寺院が降水量の多い雨季を経て、傷んだ目地の隙間から伸びた草に覆われているのに対し、美しい外観が保たれていることから裏付けられる（写真2）。

本事業における最も古い施工箇所は約5年の歳月が経過していることを考えると、当初掲げた課題を一定以上クリアし改善に繋がる効果が得られたと評価できる。

5. まとめ

東京文化財研究所の事業の一環として発表者が続けてきたバガン遺跡での煉瓦造寺院及び壁画の保存に係る技術支援や人材育成活動は、現地における遺跡保存体制の現状を理解し、また、現地からの要望に可能な限り応えることを念頭に実施してきたものである。それは、協力期間中の一時的なものではなく、その後も効果が持続される継続性を有するものでなくてはならない。

長引くパンデミックに加え、2021年に発生したクーデターによる混乱で、複数年に渡り当該人材育成事業に参加してきた現地専門家の中には失業を余儀なくされた者もあり、継続性は断たれたと言わざるを得ない。また、専門家の減少に伴い、これまでの遺跡管理体制が崩壊していることもまた事実である。未曾有の事態とはいえ、今のこの状況は受け入れ難いが、本事業において当初掲げた方針や目標が、結果的に混迷するバガン遺跡保存の一助に繋がったことは不幸中の幸いといえよう。一日も早い事業の再開に期待を抱きつつ、更なる遺跡保存の改善へと繋がる研究を続けていきたい。

¹ 前川佳文、ダニエレ、アンジェロットほか、『ミャンマー・バガン遺跡における複合文化財として捉えた煉瓦造寺院の保存修復』（2021）日本文化財科学会第38回大会

謝辞：長年に渡り本事業にご協力いただいているミャンマー宗教・文化省考古博物館局に厚く御礼申し上げます。

蛍光 X 線分析による天理参考館所蔵加彩武人俑の顔料分析

XRF Analysis of the Painting Materials on a Painted Pottery Warrior in the Tenri University Sankokan Museum Collection

○青木 智史 (奈良教育大学)

○Satoshi AOKI (Nara University of Education)

1. 目的

調査対象としたのは、天理大学附属天理参考館が所蔵する加彩武人俑である。明光鎧を身に付け兜鍪をかぶった武人俑で、甲冑は写実的に表現されている。甲の表面の文様は剥落のためやや判然としない部分もあるが、比較的良好に残存している。中国陝西省長武県に位置する張臣合墓（668 年埋葬）から大きさ造形ともに近似する作例が出土しており、ほぼ同時期かやや下る 7 世紀後半～8 世紀初頭の作品であると考えられる貴重な作例である。表面には植物文などの文様が描かれるが、退色や剥落により必ずしも色料は明らかとはいえない。そこで今回、蛍光 X 線分析による材質調査を実施することで将来的な彩色復元に資する情報の獲得を目指した。

2. 蛍光 X 線分析について

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 8kV）、管電流は Auto、測定部径は 3mm または 10mm、計測時間は 180 秒である。測定は博物館内で装置を三脚に固定して資料表面から 1mm 程度離れた状態で非接触かつ非破壊で実施した。今回は大気雰囲気下における分析であり、また試料表面には付着土壌などが残存していたため、正確な定量分析は困難であり定性分析を中心とした検討を行った。

3. 結果と考察

分析箇所および分析結果は、図 1 と表 1 に示した。分析箇所は計 64 点であった。まず、現状色で緑色（分析箇所 26 など）および青色（分析箇所 63）を呈する部位であるが、いずれの箇所からも強い Cu のピークが検出された。岩緑青（ $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ）および岩群青（ $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ）が色料として用いられていると考えられる。赤色部は、鮮赤色を呈する部分（分析箇所 5 など）と赤褐色の部分（分析箇所 30 など）、そして橙褐色の部分（分析箇所 32 など）の 3 種が確認できる。いずれの箇所からも Fe, Hg, Pb が検出されるが、鮮赤色部からは Hg が、赤褐色部からは Fe, 橙

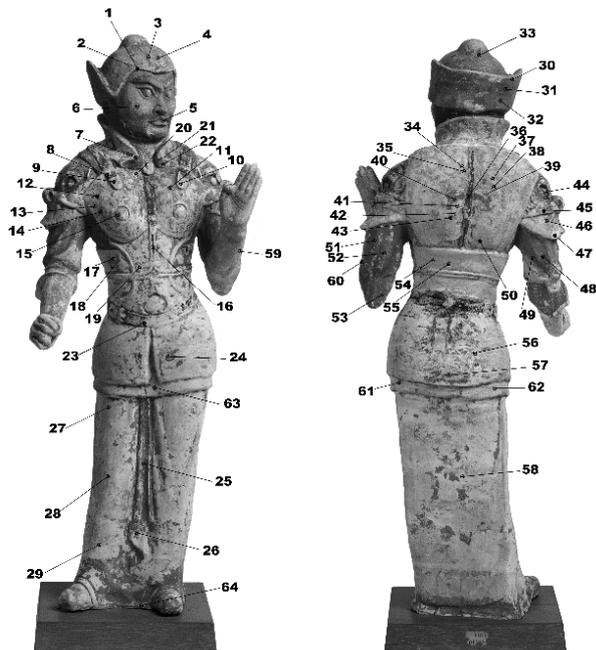


図 1. 蛍光 X 線分析箇所

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

褐色部からは Pb のピークが卓越する。このことから、それぞれ水銀朱 (HgS), ベンガラ (Fe₂O₃), 鉛丹 (Pb₃O₄) が主要な色料と考えられる。また、襦袍の袖の部分は水銀朱と鉛丹が交互にストライプ状に用いられていることが明らかとなった。黄色を呈する背面の袍の下端部 (分析箇所 61, 62) からは、強い Fe のピークが検出されている。詳細に観察すると黄色の微細な粒子が確認されるため、黄土 (FeOOH) が用いられていると考えられる。また、甲の金具部分を模した部位 (分析箇所 9 など) は現状色で金色を呈し、測定の結果、明瞭な Au のピークが確認される。箔状の様態が観察できることから金箔が用いられていると考えられる。絹甲の表現である可能性があるが、甲冑の表面全体に唐草文が描かれており、背甲中央には宝相華様の花文が配されている。この宝相華唐草文の部分は、全体として Pb のピークが強いものの、輪郭線などの赤色部で Hg が検出されることを除けば、色料を推定することは難しい。現状色で、唐草文などが白色を呈しており Pb の明瞭なピークが検出されることを考慮すると、鉛系白色顔料を具として有機色料が用いられていた可能性があるだろう。ただし、光学的調査でも有意な結果は得られておらず、現時点では不明と言わざるを得ない。なお、甲の唐草文部分からは広く弱い Cu ピークが検出されており、一部に岩緑青と推定される青色色料の残存が見られることから、岩緑青が用いられていた可能性もある。また、墨を最暗段とする Hg および Pb が検出される赤色暈縹が数カ所 (分析箇所 11) で確認できる。宝相華唐草文は複数の色系の暈縹彩色が施されていた可能性がある。現状色で暗灰色を呈する甲の地色も比較的強い Pb のピークが検出される以外に有意な情報は得られていない。さらに調査と検討を加える必要があるだろう。

以上のように、今回の調査によって、不明な点は残るものの多くの部分について彩色復元において有意な情報を獲得することができた。今後も調査を継続しながら、調査対象となった加彩武人俑の彩色復元を進めたい。

※本発表は天理大学附属天理参考館特別研究員として実施した調査成果の一部である。

表 1. 蛍光 X 線分析結果

測定箇所	部位	検出元素
1	兜・頓項・縁(金色部)	Al, Si, (P), S, (K), Ca, (Ti), Fe, As, Au, Pb
2	兜(兜体)	Al, Si, (P), S, (K), Ca, (Fe), As, Pb
3	兜(地板・縁)	Al, Si, (P), S, K, Ca, (Ti), Fe, (Cu), As, Hg, Pb
4	兜(地板)	Al, Si, S, (K), Ca, (Fe), (Cu), As, Hg, Pb
5	盔	Al, Si, P, S, K, Ca, (Ti), Fe, As, Hg, Pb
6	顔面	Al, Si, S, (K), Ca, (Fe), As, (Sn), (Hg), Pb
7	項圍(金色部)	Al, Si, S, K, Ca, (Ti), Fe, (Cu), As, Au, Hg, Pb
8	肩上(革帯)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Fe), As, Pb
9	革帯・金具(金色部)	Al, Si, S, Ca, (Fe), As, Au, Pb
10	革帯・金具(金色部)	Al, Si, (S), Ca, (Ti), (Fe), As, Au, Pb
11	甲・円護(唐草文・赤色部)	Al, Si, S, Ca, (Ti), (Fe), (Cu), As, Hg, Pb
12	甲・円護(地色部)	(Al), Si, (S), Ca, (Fe), (Cu), As, Pb
13	甲・円護(地色部)	(Al), Si, (S), (Ca), (Fe), As, Pb
14	甲・円護(地色部)	Al, Si, (S), (Ca), (Fe), As, Pb
15	甲・円護(中央・金色部)	Al, Si, (P), (S), (K), Ca, (Ti), (Fe), As, Au, Pb
16	甲・腹(中央部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), (Fe), As, Pb
17	袍肚(唐草文・赤色部)	Al, Si, S, Ca, (Fe), (Cu), As, Hg, Pb
18	袍肚(唐草文)	(Al), Si, (S), Ca, (Ti), (Fe), (Cu), As, Pb
19	甲・腹(唐草文)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), Fe, (Cu), As, Pb
20	甲・円護(唐草文)	Al, Si, (S), Ca, (Fe), (Cu), As, Pb
21	項圍(褐橙色)	Al, Si, (S), K, Ca, (Ti), Fe, As, Pb
22	項圍(赤色)	Al, Si, S, K, Ca, (Ti), Fe, (Cu), As, Hg, Pb
23	革帯	Al, Si, S, (K), Ca, (Ti), Fe, (Cu), As, (Hg), Pb
24	袍肚(唐草文)	Al, Si, S, (Ca), (Fe), (Cu), As, Hg, Pb
25	裳(赤色部)	Al, Si, S, K, Ca, (Ti), Fe, As, Hg, Pb
26	裳(緑色部)	(Al), Si, (S), Ca, (Ti), Fe, Cu , As, (Zr), Pb
27	裳(上部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), Fe, (As), (Pb)
28	裳(中部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), Fe, (As), (Pb)
29	裳(下部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), Fe, (As), (Pb)
30	頓項・裏(褐色部)	Al, Si, P, S, K, Ca, (Ti), Fe , As, Hg, Pb
31	頓項・裏(赤色部)	Al, Si, P, S, (K), Ca, (Ti), (Fe), As, Hg, Pb
32	頓項・裏(褐色部)	Al, Si, S, (K), Ca, (Ti), (Fe), As, Hg, Pb
33	兜(兜体)	Al, Si, (P), S, K, Ca, (Ti), Fe, (As), Hg, (Pb)
34	背甲(唐草文・白色部)	(Al), Si, (S), (Ca), (Fe), (Cu), As, Pb
35	背甲(唐草文・地色部)	(Al), Si, (S), Ca, (Fe), (Cu), As, Pb
36	背甲(中央部・褐色部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), Fe, As, Pb
37	背甲(花・唐草文・灰色部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), (Fe), As, Pb
38	背甲(花・唐草文・地色部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Fe), (Cu), As, Pb
39	背甲(花・唐草文・白色部)	(Al), Si, (S), Ca, (Fe), (Cu), As, Pb
40	背甲(花・唐草文・褐黄色部)	Al, Si, S, (K), Ca, (Fe), (Cu), As, Pb
41	背甲(花・唐草文・白色部)	Al, Si, S, (K), Ca, (Ti), Fe, (Cu), (As), Hg, Pb
42	背甲(花・唐草文・白色部)	Al, Si, S, Ca, (Ti), (Fe), (Cu), As, Pb
43	背甲(花・唐草文・地色部)	Al, Si, (S), Ca, (Fe), (Cu), As, Pb
44	肩吞・目	Al, Si, P, (S), K, Ca, (Ti), Fe, As, Pb
45	肩吞(赤色部)	Al, Si, P, S, (K), Ca, (Ti), Fe, As, Hg, Pb
46	披膊(灰色部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), (Fe), (Cu), As, Pb
47	披膊(褐色部)	Al, Si, (S), K, Ca, (Ti), Fe , (Pb)
48	襦袍(赤色)	Al, Si, S, K, Ca, (Ti), Fe, (Cu), As, Hg, Pb
49	襦袍(褐橙色)	Al, Si, (P), (S), (K), Ca, (Ti), Fe, As, Pb
50	背甲(花・唐草文・白色部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), Fe, (As), Pb
51	襦袍(赤色)	Al, Si, S, (K), Ca, (Ti), Fe, (As), Hg, Pb
52	襦袍(褐橙色)	Al, Si, (P), (S), (K), Ca, (Ti), Fe, As, Pb
53	襦袍(赤色)	Al, Si, (P), S, (K), Ca, (Ti), Fe, (Cu), As, Hg, Pb
54	袍肚・背面(緑色部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), Fe, Cu , Zr, (Pb)
55	袍肚・背面(緑色部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), Fe, Cu , Zr, (Pb)
56	袍肚・背面(赤色部)	Al, Si, S, (K), Ca, (Ti), Fe, As, Hg, Pb
57	袍肚・背面(黒色部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), Fe, (Cu), As, Pb
58	裳・背面	Al, Si, (S), K, Ca, (Ti), Fe, (As), Pb
59	左腕	Al, Si, (S), Ca, (Fe), As, Pb
60	襦袍(褐橙色)	Al, Si, (P), (S), (K), Ca, (Ti), Fe, As, Pb
61	襦袍(黄色部)	Al, Si, K, Ca, (Ti), Fe , (Cu), (As), Zr, Pb
62	襦袍(黄色部)	Al, Si, K, Ca, (Ti), Fe , (As), Zr, Pb
63	襦袍(青色部)	Al, Si, (S), (K), Ca, (Ti), Fe, Cu , As, Pb
64	裳(裾・赤色部)	Al, Si, P, (S), K, Ca, (Ti), Fe, As, Hg, Pb

※検出元素のうち、多い成分を太文字、少ない成分を()で表している。

国宝「初音の調度」のうち刀掛、寄り掛り、掛硯箱（胡蝶蒔絵）の

木地構造および制作技法の X 線 CT 調査

X-ray CT Analysis of the Wooden Base Structure and Manufacturing Techniques of Katana-kake, Yorikakari, and Kake-suzuribako (Kocho *Maki-e*) from the Hatsune *Maki-e* Lacquer Trousseau, a National Treasure from the Tokugawa Art Museum

○渡辺祐基（九州国立博物館）、川畑憲子（同左）、
板谷寿美（徳川美術館）、吉川美穂（同左）、
田中麻美（九州国立博物館）、木川りか（同左）

○Hiroki WATANABE, Noriko KAWABATA (Kyushu National Museum),
Nozomi ITATANI, Miho YOSHIKAWA (The Tokugawa Art Museum),
Asami TANAKA, Rika KIGAWA (Kyushu National Museum)

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

1. 緒言

徳川美術館と九州国立博物館では、共同で国宝「初音の調度」（徳川美術館所蔵）の構造調査を進めてきている。令和3年度には、刀掛、寄り掛りおよび掛硯箱（胡蝶蒔絵）の X 線 CT 撮影を実施し、その木地構造および制作技法を調査した。その主な成果を以下に報告する。

2. 方法

調査は九州国立博物館の文化財用 X 線 CT スキャナ（Y. CT Modular、YXLON International 社製）を使用して行った。撮影条件は、管電圧 170~190 kV、管電流 1.20~1.25 mA、プロジェクション数 1080、積分時間 400 ms とした。得られる断層画像の分解能は 0.09~0.35 mm/pixel とした。

3. 結果・考察

いずれの作品とも、木地には良質な針葉樹材（ヒノキか）が使用されていること、および虫損などは認められず、健全な状態にあることが明らかになった。以下、構造等の特徴について作品別にまとめた。

【初音蒔絵刀掛】

柱と上部の梁、柱と脚、および下部の梁と脚の接合方法はほぞ接ぎとなっており（図1）、幕板と脚や梁の接合方法は大入れ接ぎとなっている。また、脚は一木で作られている。

【初音蒔絵寄り掛り】

天板は三枚接ぎ（図2）、身および懸子の底板は二枚接ぎとなっている。身および懸子の底裏では、四周、および接ぎ目と割れに沿って布着せが確認でき、身および懸子の底表では、接ぎ目と割れに沿って布着せが確認できた。

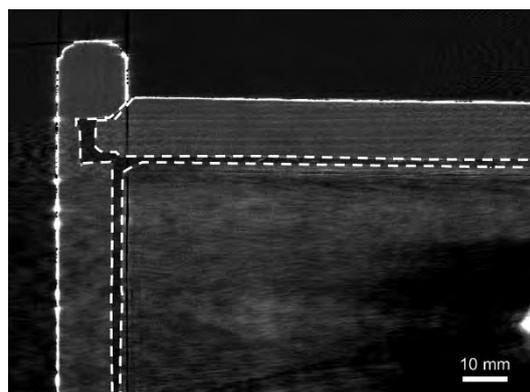


図1 左側の柱と上部の梁の接合は、ほぞ接ぎとなっている。破線は部材の輪郭を表す

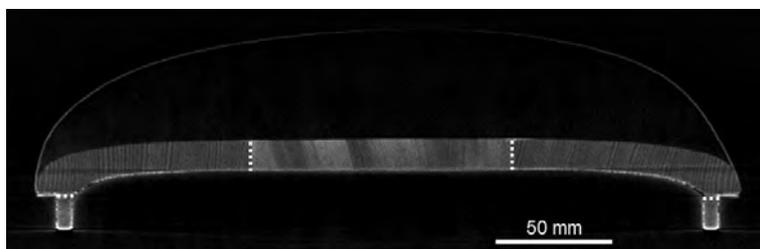


図2 寄り掛りの天板の鉛直断面。破線は部材の境界を表す。天板は三枚接ぎで、脚は別材となっている

【胡蝶蒔絵掛硯箱】

身の天板、側板、底板、および内部の仕切り板は二枚接ぎとなっている（図3）。天板と左右の側板の接合および底板と左右の側板の接合は、5枚の組接ぎであり、木釘によって留められる（図3）。奥側板と天板は、天板側から木釘で留めることで接合され、奥側板と左右の側板は、奥側板側から木釘で留めることで接合される。内部の仕切り板は、大入れ接ぎにより左右の側板と接合される。引出の前板、側板、向板および底板は一枚板である。下水板は一枚板、朱塗板は三枚接ぎである。錐の柄は一材で、刀子の柄は2材を合わせている。

〈謝辞〉

本研究に関して貴重な助言を賜りました、大西漆芸修復スタジオの大西智洋氏・後藤里架氏に謝意を表します。

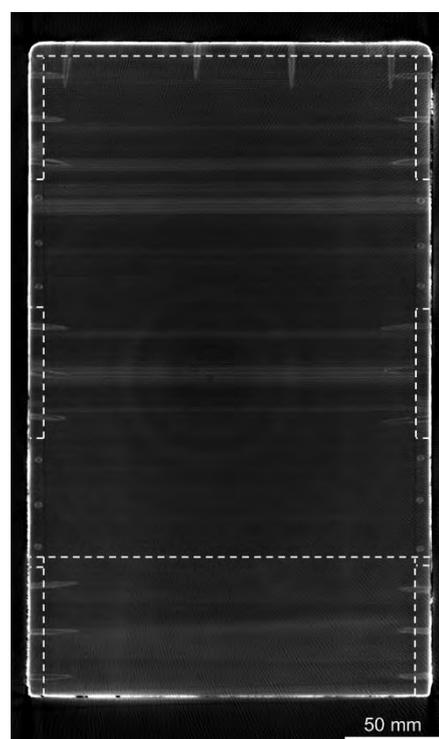


図3 身の底板の水平断面。破線は接ぎ目および部材の境界を表す。底板は二枚接ぎで、左右の側板とは組接ぎされている

陶磁器製作に使われる糊の効果 —焼成に伴う顔料の成分変化—

Effect of the organic materials used for ceramic production —Changes in composition of pigment during firing process—

○樋口智寛（東京都立産業技術研究センター）、新免歳靖（東京学芸大学）、
水本和美（東京藝術大学）

○Tomohiro HIGUCHI(Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute),
Toshiyasu SHINMEN(Tokyo Gakugei University), Kazumi MIZUMOTO(Tokyo University of the Arts),

1. はじめに

陶磁器の製作には、糊として膠やふのり等の有機物が用いられる。本研究は、焼成後の陶磁器から、用いた糊種や効果を解明することを最終目標としている。これまでに、特にフリット(白玉)成分に注目し、上絵付に用いた糊種によって、焼成時に異なる化学反応や化合物を経由し、焼成後の上絵層の成分に差異が発現することを明らかにした¹⁻³⁾。今回、上絵具に含まれる顔料に注目し、糊種と焼成による成分の変化をX線回折法(XRD)により追跡した。

2. 実験

糊材(乾燥時)と顔料の質量比が 1:1 となるよう、水を加えて湯煎により作製した糊溶液と顔料を混合した。乾燥後、大気下、電気炉にて一般的に上絵付が実施される 800℃まで昇温した。焼成品は、メノウ乳鉢で粉碎し、ガラス試料板に充填して、XRD(Rigaku 製、Ultima IV)分析を行った。焼成途中の変化を観察するため 500℃での焼成品、あわせて糊材を混合しない顔料のみの焼成品についても分析を実施した。なお、顔料の成分変化を確認しやすくするため、フリットを混合せず実験を実施した。あわせて XRD 分析により糊と顔料との化学変化を検出可能とするため、通常の上絵付と比較して数十倍の糊量を混合した。

糊材は、膠の主要成分であるゼラチン(富士フィルム和光純薬、和光一級)と、ふのり(伊勢久)を用いた。顔料は、酸化鉄(Ⅲ) Fe₂O₃(富士フィルム和光純薬、和光一級)、酸化銅(Ⅱ) CuO(富士フィルム和光純薬、化学用)、酸化コバルト(Ⅱ) CoO(富士フィルム和光純薬)、酸化マンガン(Ⅳ) MnO₂(富士フィルム和光純薬、和光一級)を用いた。

3. 結果および考察

表 1 に XRD 分析により得られた顔料の化学組成の変化を示した。酸化鉄(Ⅲ)については、糊材の有無や焼成温度に関わらず、成分の変化は見られなかった。酸化コバルト(Ⅱ)および酸化マンガン(Ⅳ)については、焼成温度の上昇に伴い、還元が進行する傾向が見られた。また糊材が存在すると、化学成分に差異が見られることから、焼成に伴う顔料の化学反応に糊材が関係していると推定される。酸化銅(Ⅱ)については、糊材としてゼラチンを用いた場合のみ、焼成に伴って還元が進行、他の顔料と異な

ポスター 発表

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

り、金属銅にまで還元されていた。

実験に用いた顔料のうち、酸化鉄以外の顔料については、上絵付焼成時にフリットと反応して発色するものである。そのため、糊材の違いにより、焼成時に顔料やフリットから異なる化学成分が生成することは、発色する色合いに差異が現れる可能性があることを示唆している。

表1 糊種および焼成に伴う顔料の成分変化 (XRD分析)

顔料	糊材	成分		
		未焼成	500°C焼成	800°C焼成
酸化鉄(Ⅲ)	ゼラチン	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
	ふのり	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
	糊無し	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
酸化銅(Ⅱ)	ゼラチン	CuO	Cu ₂ O, CuO, Cu	Cu ₂ O, CuO, Cu
	ふのり	CuO	CuO	CuO
	糊無し	CuO	CuO	CuO
酸化コバルト(Ⅱ)	ゼラチン	CoO	CoO, Co ₃ O ₄	CoO, Co ₃ O ₄
	ふのり	CoO	CoO	CoO, Co ₃ O ₄
	糊無し	CoO	CoO, Co ₃ O ₄	Co ₃ O ₄
酸化マンガン(Ⅳ)	ゼラチン	MnO ₂	Mn ₃ O ₄	Mn ₃ O ₄ , Mn ₂ O ₃
	ふのり	MnO ₂	Mn ₃ O ₄	Mn ₃ O ₄ , Mn ₂ O ₃
	糊無し	MnO ₂	MnO ₂	Mn ₂ O ₃

4. まとめ

上絵付焼成過程における糊と上絵具に含まれる顔料との化学反応の解明を目指し、XRD分析により追跡した。その結果、焼成に伴って顔料は還元される傾向がみられるものの、その程度は、顔料や糊の種類によって大きく異なることが明らかとなった。異なる化学成分の生成により、上絵の色合いに差異が現れる可能性を示唆している。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 20K01112 の助成を受けて行われた。

参考文献

- 樋口智寛、水本和美、新免歳靖、二宮修治、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による上絵層と釉薬層との界面の成分に関する検討—、日本文化財科学会第36回大会研究発表要旨集、324-325(2019)
- 樋口智寛、水本和美、新免歳靖、二宮修治、陶磁器製作に使われる糊の効果、日本文化財科学会第37回大会研究発表要旨集、178-179(2020)
- 樋口智寛、新免歳靖、水本和美、二宮修治、陶磁器製作に使われる糊の効果—焼成過程における上絵具の成分変化—、日本文化財科学会第38回大会研究発表要旨集、126-127(2021)

モンゴル国・突厥時代ザーマル古墳出土木製遺物の 彩色顔料に関する調査

A Study on Pigments of Turkish Era Colored Wooden Relics excavated from the Zaamar Tomb, Mongolia

○柳成煜 (奈良大学)、今津節生 (奈良大学)、成瀬正和 (東北芸術工科大学)、デ・ウランチメグ (ザナバザル美術館)、オユントルガ・メンドバザル (モンゴル国立文化遺産センター)

○Sungwook RYU (Nara University)、Setsuo IMAZU (Nara University)、Masakazu NARUSE (Tohoku University of Art and Design)、D.URANCHIMEG (The Fine Arts Zanabazar Museum)、Mendbazar OYUNTULGA (National Center For Cultural Heritage, Mongolia)

1. はじめに

本研究チームは、東アジアの文化交流を理解する上で重要な資料の一つである彩色美術の材料に関する研究を進めており、特にモンゴル国に注目して調査を行っている。2018年からは7世紀頃のモンゴル国における顔料の使用状況に関する調査を実施中であり、これまでにバヤンヌール古墳 (Bulgan 県 Bayannuur 村 UlaanKherem 遺跡) 出土塑像 1 点 (柳ら：2018)、同古墳出土塑像 7 点 (柳ら：2021)、ザーマル古墳 (Tuv 県 Zaamar 村) 出土塑像 12 点 (柳ら：2020) の調査結果を報告した。本研究では、ザーマル古墳出土彩色木製遺物の試料 8 点の調査を行い、前期の出土塑像に用いられた顔料との比較結果を報告する。

2. 調査対象

調査対象は、モンゴル国のザナバザル美術館が所蔵しているザーマル古墳 (7 世紀突厥時代) 出土彩色木製遺物 8 点 (SBW1~SBW8) であり、それぞれ鳥型の木製遺物の破片と推定される。彩色は全体として、白色、赤色、緑色、青色、黒色などが用いられている。

3. 調査方法

実体顕微鏡による表面および断面観察、走査型電子顕微鏡 (SEM) とエネルギー分散型 X 線分光分析 (EDX) による粒子観察と定性分析、エネルギー分散型蛍光 X 線分析 (XRF) による定性分析、X 線回折分析 (XRD) による結晶質物質同定を実施した。今回使用した装置は、奈良文化財研究所の実体顕微鏡 (LEICA 製：M205C)、エネルギー分散型 X 線分光装置付き走査型電子顕微鏡 (Hitachi 製：TM3000、Oxford Instruments 製：SwiftED3000)、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (EDAX 製：EagleIII)、X 線回折分析装置 (Rigaku 製：SmartLab) である。蛍光 X 線分析の条件は電圧 40kV、電流 30 μ A、測定時間 300 秒、ターゲット Rh、真空である。X 線回折分析は CuK α 、45kV、200mA、5°~89.99°、20°/min で実施した。

4. 分析結果

・**白色顔料**：SBW1 は XRD によって炭酸鉛 (Cerussite : PbCO₃) が検出され、XRF によって Pb、Ca、Fe、Si などが検出された。SBW3・SBW4 は XRD によって塩基性炭酸鉛 (Hydrocerussite : Pb₃(CO₃)₂(OH)₂) が検出され、XRF によって Pb、Cu、Ca、Fe、Si などが検出された。SBW2・SBW5・SBW8 は XRD によってカルサイト (Calcite : CaCO₃) が検出され、XRF によって Ca、Fe、Pb、Si、Cu などが検出され、カルサイト型炭酸カルシウムであることが確認できた。その他下地として、鉛化合物が SBW1・SBW2・SBW3・SBW4・SBW5・SBW7 から確認された。

・**赤色試料**：SBW1・SBW2・SBW4・SBW5・SBW7 は、XRD によって辰砂 (Cinnabar : HgS) が検出され、XRF によって Pb、Hg、S、Fe、Ca、Si が検出され、朱であることが確認できた。XRF によって検出された Pb は下地の鉛化合物由来と推定された。

・**緑色顔料**：SBW3・SBW4・SBW6・SBW8 は XRD によって、孔雀石 (Malachite : Cu₂CO₃(OH)₂)

ポスター
発表

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

が検出され、XRF によって、Cu、Ca、Si、Fe、Pb などが検出され、岩緑青であることが確認できた。XRF によって検出された Pb は下地の鉛化合物由来と推定された。

・**青色顔料**：SBW4 は XRF によって、Cu、Pb、Fe、Ca、Si などが検出され、XRD によって藍銅鉱 (Azurite: $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) が検出され、岩群青であることが確認できた。XRF によって検出された Pb は下地の鉛化合物由来と推定された。

・**黒色顔料**：SBW1・SBW2・SBW3・SBW5・SBW7 は、XRF によって Pb、Ca、Fe、Si、Ti などが検出された。XRD による黒色物質の確認は出来なかったが、XRF の検出元素から消去法的に炭素系物質と推定した。XRF によって検出された Pb は下地の鉛化合物由来と推定された。

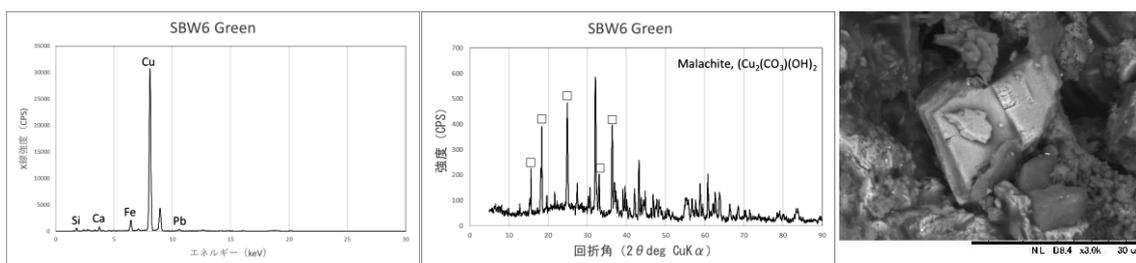


図 1. 岩緑青 (SBW6 緑色) の調査結果 (左) XRF スペクトル (中) XRD パターン (右) SEM 画像 (3,000 倍)

5. 考察と結論

今回の研究では、7世紀の木製遺物に用いられた多様な色の顔料の種類を明らかにすることができた。これまでの調査で確認された木製遺物の彩色は、匈奴時代（紀元前2世紀～紀元後2世紀）および鮮卑時代（紀元後3～4世紀）の漆器類については朱（辰砂）が、その他に鮮卑時代の小型木製破片から酸化鉄系赤色顔料、岩緑青、岩群青、カルサイト型炭酸カルシウムが確認されている。今回の研究では、木製遺物より朱、岩緑青、岩群青、炭酸鉛および塩基性炭酸鉛、カルサイト型炭酸カルシウム、炭素系黒色物質などの多様な顔料が確認された。このうち、古代モンゴルで7世紀に入ってから使用が確認されている炭酸鉛は、本研究チームのこれまでの研究（2018、2020、2021）を通じて土俑から確認されており、モンゴルの顔料の歴史においては最も早い時期の鉛系顔料であった。また今回の調査で確認された塩基性炭酸鉛は、本研究チームのモンゴル国の古代顔料研究において最も古い例になるため、先行研究や今回確認した炭酸鉛とともに鉛系顔料の使用例を示す資料になる。人工的に製造される鉛系顔料は、鉱物系天然顔料に比べて登場時期が遅いもの（日本では7世紀、韓国では4世紀）、モンゴル地域でも日本と同様な時期に様々な種類の文化財に広範囲に使われたという事は注目すべきである。

謝辞

本研究を行うにあたりプレブスヘ・バイガルマー館長（ザナバザル美術館）、奈良文化財研究所保存修復科学研究室の皆様のご協力を頂き、JSPS 科研費 21F21006 および公益財団法人ヒロセ財団より研究助成を受けました。篤くお礼申し上げます。

参考文献

- 柳成煜・デジマバトオチル・オユントルガメンドバザル 2018 「モンゴルハラホリン博物館所蔵 7 世紀突厥時代塑像の彩色顔料の研究 (I)」『韓国文化財保存科学会第 48 回秋季学術大会要旨集』173-174 (2)
- 柳成煜・オドフアンガラグスレン・今津節生・成瀬正和 2020 「モンゴル国突厥時代の Zaamar 古墳出土人型塑像顔料の調査」『日本文化財科学会第 37 回大会研究発表要旨集』30-31 (3)
- 柳成煜・オドフアンガラグスレン・今津節生・成瀬正和 2021 「モンゴル国・ハラホリン博物館所蔵 7 世紀騎馬人物像の彩色材料に関する調査」『日本文化財科学会第 38 回大会研究発表要旨集』148-149

古代エジプト新王国時代における ガラスの白濁技法の変遷の解明

Investigation of the transition in the opacification technique of glass in the New Kingdom of Ancient Egypt

○工藤 洋大(東京電機大学院), 阿部 善也(同左),
小野塚 拓造(東京国立博物館), 山花 京子(東海大学)

○Yodai KUDO, Yoshinari ABE(Tokyo Denki University),

Takuzo ONOZUKA(Tokyo National Museum), Kyoko YAMAHANA (Tokai University)

1. 緒言

ガラスは今から約 4000 年前にメソポタミアにて発明され、新王国時代の第 18 王国中期(B.C.15 世紀頃)にトトメス三世のアジアへの外征によりもたらされた。当時のガラスは現在と異なり、不透明で着色されたものが大部分を占め、白濁剤(アンチモン酸カルシウム)を用いて不透明なガラス製品を生産していた。そのアンチモン(Sb)原料はコーカサス地方で採掘されたものが利用されたと考えられている¹⁾。古代エジプトにおけるガラス生産は第 18 王朝の中・後期(B.C.15~13 世紀頃)では色鮮やかなガラスが多数生産されたが、第 19-20 王朝(B.C.13~10 世紀頃)には生産規模が激減して単調のものが増加する。先行研究では、青色ガラス製品における第 18 王朝末に原料や製法の変化があった可能性が示唆されているが²⁾、この第 19-20 王朝のガラス製品における理化学的な研究はきわめて少なく、この生産状況の変化に関して不明な点が多い。そこで本研究において、当時のガラス生産において重要である白濁剤を含むガラス製品に着目し、第 19-20 王朝の製品を中心として理化学的研究を行って、白濁技法の変化を検証することを目的とした。

2. 実験内容

本研究では、東京国立博物館(東京都台東区)と東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)に収蔵された古代エジプトのガラスコレクションを対象とした。第 18 王朝に年代付けられるものを 17 点(東京国立博物館: 3 点、東海大学: 13 点)、第 19-20 王朝に年代付けられるものを 36 点(東京国立博物館: 31 点、東海大学 5 点)分析した。代表的な資料の写真を Fig. 1 に示す。化学組成分析には、可搬型蛍光 X 線分析装置(アワーズテック株式会社製、100FA-IIL)を使用し、検量線法により計 21 元素について定量を行った。この装置に加え、顕微ラマン分光分析装置(B&W Tek 製 Miniram)およびデジタル顕微鏡(HIROX 製 VCR800)を東京国立博物館と東海大学に持ち込み、非破壊かつオンサイトで分析を行った。

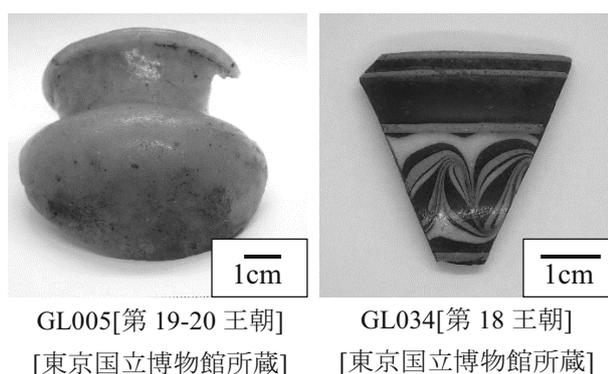


Fig. 1 分析したガラスの例

化学組成分析には、可搬型蛍光 X 線分析装置(アワーズテック株式会社製、100FA-IIL)を使用し、検量線法により計 21 元素について定量を行った。この装置に加え、顕微ラマン分光分析装置(B&W Tek 製 Miniram)およびデジタル顕微鏡(HIROX 製 VCR800)を東京国立博物館と東海大学に持ち込み、非破壊かつオンサイトで分析を行った。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

3. 結果と考察

顕微鏡を用いて、表面の観察・撮影を行った(Fig. 2)。第 19-20 王朝のガラスは第 18 王朝のものと比較して泡が大きく、白濁剤のアンチモン酸カルシウム由来と思われる粒子の存在を確認できないものが半数以上存在した。蛍光 X 線分析を行ったところ、粒子を確認できないものに関して Sb が検出されなかったことから、発泡による白濁であることが明らかとなった。

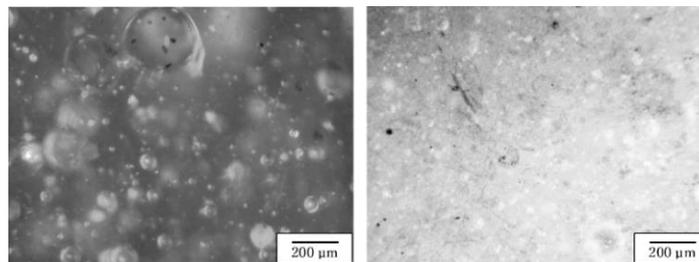


Fig. 2 白色ガラスの表面(200倍)
[東京国立博物館所蔵]
(左: GL005[第 19-20 王朝]、右: GL034[第 18 王朝])

第 18 王朝と第 19-20 王朝の蛍光 X 線分析により、Sb を含むもの、含まないものと、その両方を持つガラスを持つものの 3 種類に分類された。Sb を含むものは、第 19-20 王朝のガラスの半数以下だった。この Sb が先行研究で報告された 2 種類のアンチモン酸カルシウム($\text{Ca}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ 、 CaSb_2O_6)であることをラマン分光で同定した。一方、Sb を含む第 19-20 王朝の一部で上記 2 種類のアンチモン酸カルシウムとは異なるラマンスペクトルを示す資料が見つかり、現時点で報告のない白濁剤が使用されていることが示唆された。また第 18 王朝のガラスにおいても同様のラマンスペクトルを示す白濁剤が見つかった。

また、Sb を含む資料においては、共通して As が検出された。 Sb_2O_5 と As_2O_3 の濃度比においてプロットを作成したところ、量的相関が見られた(Fig. 3 参照)。この As は Sb 原料由来だと思われる、第 18 王朝と第 19-20 王朝では共通した Sb 原料を使用している可能性がある。

以上のことから、新王国時代において先行研究から報告されている 2 種類のアンチモン酸カルシウムとは異なる白濁剤が使用されていた。また第 18 王朝において白濁剤によりガラスを白濁させていたが、第 19-20 王朝では新たに気泡による白濁が開発されたと考えられる。

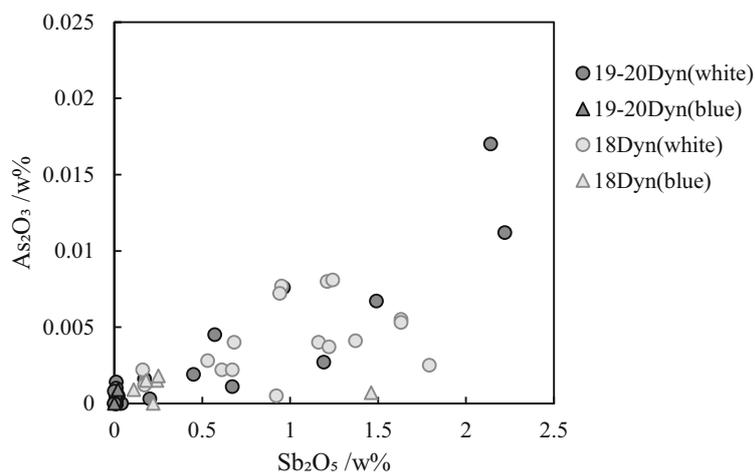


Fig. 3 Sb_2O_5 vs As_2O_3 プロット

4. 参考文献

- 1) A. J. Shortland, *Archaeometry* **44**, 517-530 (2002).
- 2) Y. Abe *et al.* *Journal of Archaeological Science* **39**, 1793-1808 (2012).

光ルミネッセンス特性を用いた被熱温度推定法の再検討

Re-examination of assessment of firing temperature using optically stimulated luminescence properties

○下岡順直（立正大学）、高井康宏（エネコム株式会社）

○Yorinao SHITAOKA (Rissho University), Yasuhiro TAKAI (Enecom Co. Ltd., Japan)

1. はじめに

光ルミネッセンス（OSL、IRSL）特性を用いた焼成考古遺物の被熱温度推定研究は、西村・長友（2007、日本文化財科学会 24 回大会、36-37）が初めとされる。この手法の原理は、OSL 信号は露光のみで加熱を生じなければ、放射線量に対する OSL 強度は変化せず（感度変化を起こさない）、加熱した場合は放射線量に対する OSL 強度が系統的に変化する（感度変化を起こす）という現象を応用したものである。そして、小畑・下岡（2015、地質技術 5、29-35）は、ルミネッセンス法による被熱温度推定法の手順を整理し、OSL 強度による感度変化を用いた方法を「OSL 感度変化法」とした。焼成考古遺物に適用した事例も報告されており、「OSL 感度変化法」による被熱温度推定の有効性も確認された。その一方で、①被熱温度を判断する OSL 感度変化点判定の客観性、②人為的な焼鈍時間の妥当性、③OSL 被熱温度推定法の適用可能な試料の目安、などの検討課題が挙がってきた。そこで、高精度な被熱温度推定を目指して再検討を行い、OSL 特性を用いて被熱温度を推定する「OSL 温度計」の有効性について検証を試みた。

2-1. 基礎実験

西村（2007MS）による基礎実験では、陶芸用粘土を使用して OSL 感度変化を観察した。その結果、焼鈍温度による OSL 強度の感度が系統的に変化することが明らかになった。今回、OSL 感度変化に対する鉱物ごとの特性をより詳細に調べるために、鉱物標本試料の曹長石、灰長石、正長石を用いて、等時焼鈍実験および等温焼鈍実験を行った。

等時焼鈍実験では、焼鈍時間を 1 時間に設定し、加熱なし（露光のみ）と 300～1,000℃まで 100℃間隔で焼鈍したときの OSL 信号の感度変化を観察した。

等温焼鈍実験では、焼鈍温度を 300、600、900℃に設定し、それぞれ 0（加熱なし）、0.5、1、3、6 時間で焼鈍したときの OSL 信号の感度変化を観察した。

2-2. X 線回折分析

「OSL 感度変化法」による被熱温度推定の確度を検証するために、X 線回折（XRD）分析を行った。供した試料は、すでに「OSL 感度変化法」で被熱温度推定した縄文土器片 3 試料、紀元

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

前後1世紀頃の瓦片1試料、須恵器窯壁片1試料の5試料である。XRD分析では、粘土鉱物が熱変性を受けて変質した鉱物や新しく生成された鉱物の有無を確認した。

3. 結果と考察

灰長石はOSL発光が観察されなかったため、曹長石と正長石の結果を示す。

等時焼鈍実験では、曹長石は700℃まではOSL感度はやや下がるもののほぼ一定、700℃以上で系統的にOSL感度が上がった。正長石は400～800℃（700℃以外）のOSL感度はほぼ一定、800℃以上で系統的にOSL感度が上がった。なお、正長石の700℃焼鈍のみ一時的にOSL感度が上がる原因は、離溶現象が生じた可能性も考えられるが不明である。実際に「OSL感度変化法」で測定した焼成考古遺物の結果でも、700℃焼鈍のみ一時的にOSL感度が上がる同じような現象が見られていたことから、この場合の測定試料は主に正長石であった可能性がある。

等温焼鈍実験では、曹長石は、300℃と600℃で焼鈍1時間までOSL感度が下がるものの、その後はほぼ一定であった。900℃は焼鈍0.5時間以降については感度が上がり、焼鈍6時間で2倍程度までOSL感度は上がった。正長石は、300℃で焼鈍1時間までOSL感度が下がるものの、その後はほぼ一定であった。600℃では焼鈍0.5時間までOSL感度が上がったあとはほぼ一定、900℃では焼鈍1時間までOSL感度が上がったあと、焼鈍3時間まではほぼ一定、焼鈍6時間で5倍程度までOSL感度は上がった。以上の結果より、「OSL感度変化法」では焼鈍時間を1時間で実験をしている目安としては妥当と考える。また、曹長石、正長石ともに、900℃で長時間焼鈍することでOSL感度が上がっていることから、高温で焼鈍された場合は被熱時間推定ができる可能性が示唆できた。

XRD分析の結果では、縄文土器片では粘土鉱物が検出されなかったことから、粘土鉱物が非晶質化するまで高温で焼成されたと推定される。「OSL感度変化法」でも、600～900℃程度の被熱があったと推定されることから、両手法間で見解に矛盾はない。瓦片も「OSL感度変化法」で700～800℃程度の被熱とされ、XRD分析ではイライトが検出されることからイライトが非晶質化しない温度までしか加熱されていないことから見解に矛盾はない。須恵器窯壁片では「OSL感度変化法」で1,000℃以上の被熱とされ、XRD分析でもムライトが検出されることから1,000℃以上の熱を被っており、両者に良い一致がみられた。以上の結果より、「OSL感度変化法」の結果をXRD分析結果と比較することで「OSL温度計」の確度を確認することができた。

4. おわりに

今回の基礎実験やXRD分析との比較より、被熱温度を判断する感度変化点判定は、OSL感度変化が測定のばらつきを含めて10%以上になった温度とするのが適切なようである。

試料が人為的に焼けているかどうかの有無の判定については、OSL特性よりも熱ルミネセンス（TL）測定でTL信号が熱でリセットされているか（TLグローカーブ形状法）で判断したほうが容易である。試料の温度情報をより多く得るためには、OSL測定とTL測定を併用するほうが有利だろう。以上の再検討より、「OSL温度計」の有効性を確認することができた。

平野塚穴山古墳出土の棺の科学分析

Analysis of coffin from *HIRANOTSUKAANAYAMA* Tomb

○本多貴之 (明治大学)、下大迫幹洋 (香芝市教育委員会)、宮路淳子 (奈良女子大学)
○Takayuki HONDA (Meiji University), Mikihiro SHIMOOSAKO (Kashibashi Board of education),
Jyunko MIYAJI (Nara women's University)

1. 平野塚穴山古墳の概要

史跡平野塚穴山古墳は、古代に「片岡」と称された奈良県香芝市北部の丘陵に位置する。7世紀代としては、屈指の規模を誇る6基の古墳から成る平野古墳群の西端に築造されている。令和元年度の史跡保存整備事業に伴う第2次調査の結果、上段一辺約17.4m、下段一辺25~30mの2段築成の方墳と推察される。主体部の石室は、二上山産の凝灰岩の切石29枚で構築した横口式石槨で、平野古墳群の石室の変遷観や構造等から7世紀第3四半期の築造時期とみられる。

凝灰岩を用いた墳丘の外装や盛土の構築技法をはじめ、槨子穴による石室の構築技法等の飛鳥の王陵級の古墳との共通点が明らかとなった¹⁾。第1次調査では、夾紵棺と漆塗籠棺の2種類の漆塗棺が出土しており、被葬者について、塚口義信氏は、皇極(斉明)天皇の父の茅渟王とする説を示されている。今回、分析の対象としたのは、漆塗籠棺の細片である。漆塗棺は、飛鳥時代の王陵の古墳の棺であり、6世紀末から7世紀にかけて、飛鳥と河内飛鳥で集中して見ついている。漆塗籠棺は、同古墳のほか、大阪府南河内郡河南町の平石古墳群のシシヨツカ古墳等の4例のみであり、夾紵棺との関係や漆塗棺の初現を研究する上でも重要な資料である。

2. 分析手法について

破片試料に対してあらかじめCT撮影を行い立体的な構造になっている部分には空洞があることが確認されていた。そこで、立体部分が崩れないようにあらかじめエポキシ樹脂(53型, Sankei)で空間を埋めた後ダイヤモンドカッターにて切断を行った。その後、再度試料をエポキシ樹脂によって包埋し観察したい面で切断、研磨後にスライドガラスに固定し10μm程度の厚さになるまで研磨を行い顕微鏡観察および蛍光X線によるマッピング測定を行った。

また、使用されている材料特定のために反応熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析(THM-GC/MS)を行った。反応試薬は水酸化テトラメチルアンモニウムを用い、500°Cにて反応熱分解後にガスクロマトグラフィーに導入した。使用カラムは30m×0.25mm×0.25mmのUltra ALLOY-1 (MS/HT) (株式会社フロンティアラボ)とし、測定はスプリットモードで行い、スプリット比は20:1とした。インジェクション温度とインタフェース温度は共に280°Cで維持し、オープン温度は40°Cで2分間保持した後、12°C/minで昇温、320°Cに達した後10分間保持した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

3. 結果と考察

空間を有する部分(No.14)と平滑部 (No.15) の断面透過像を図 1 に示す。No.14 は胎部分とそこに染み込んでいる塗料部分が交互に積層している事が確認出来た。一方, No.15 の断面からは積層構造は見てとれず, 最下層に No.14 と同様の胎が一層のみ確認出来るがその上に胎の積層は確認出来なかった。その代わりに平滑にするための塗りが一層もしくは二層施されていることが分かった。

次に No.14 について行った THM-GC/MS の m/z 151 におけるイオンクロマトグラムを図 2 に示す。漆として用いられる種々クロマトグラムと比較すると日本・中国で利用されている *Toxicodendron vernicifluum* に類似したクロマトグラムが得られたことから, 本試料には同種の漆液が利用されていることが分かった。

加えて, m/z 74 のクロマトグラム (図 3) からはパルミチン酸とステアリン酸, および種々ジカルボン酸のピークが検出され, 乾性油の利用も示唆された²⁾。

一方で, 植物由来のセルロースの熱分解物である D-アロース類は検出されなかったことから図 1 に確認される胎の部分の特定には至らなかった。

参考文献

- 1) 香芝市教育委員会編「国史跡平野塚 穴山古墳発掘調査報告書」2020
- 2) 石田康行, 尾川貴子, 亀谷将之, 加藤隆明, 武田邦彦, 大谷肇, 「反応熱分解ガスクロマトグラフィーによる伝統材料「油団」中の油脂成分の化学構造解析」, *BUNSEKI KAGAKU*, Vol. 61, No. 10, pp. 819-825, 2012

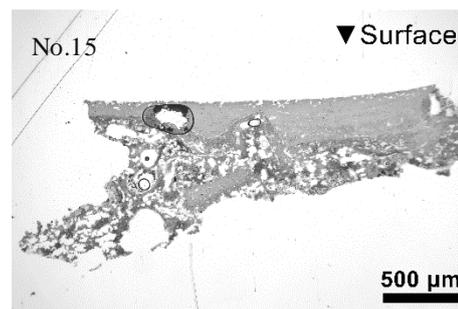


図 1 試料片の断面像

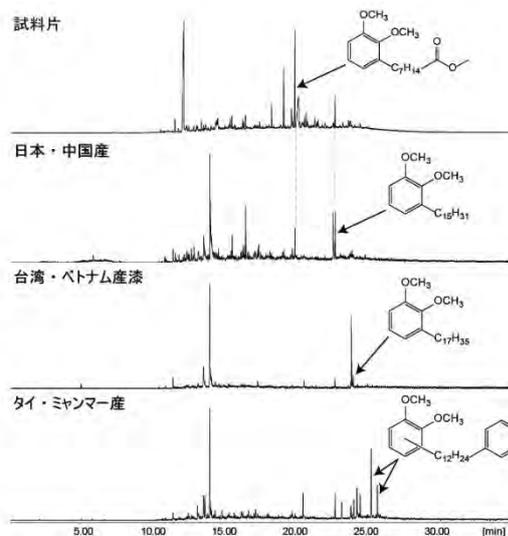


図 2 試料片の THM-GC/MS 測定結果(m/z 151)

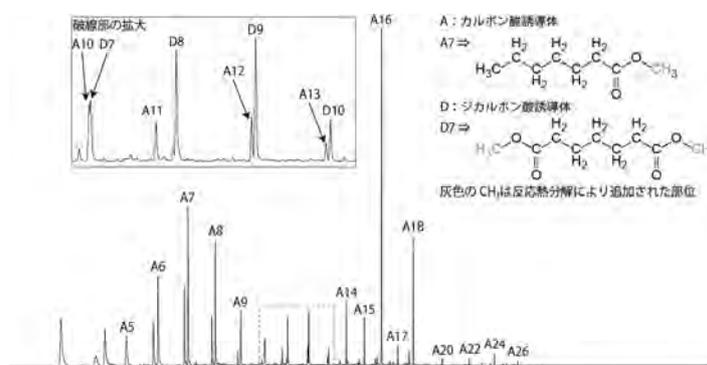


図 3 試料片の THM-GC/MS 測定結果(m/z 74)

明治期に用いられた初期合成染料と基礎情報の調査

Research on Synthetic Dyes Used in the Meiji Era and Their Basic Information

○片渕奈美香（東京文化財研究所）、谷田貝麻美子（千葉大学）

○Namika KATAFUCHI (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties),
Mamiko YATAGAI (Chiba University)

1. はじめに

近代染織品の文化財としての重要性の高まりに伴い、保存修復に関わる研究が求められている。こうした文化財に用いられている初期合成染料を始めとする新規な素材は、様々な外的要因に対する堅牢性に乏しいことが経験的に知られているが、詳細は明らかでない点が多い。

本研究では、初期合成染料が用いられた文化財の保存修復・展示に関わる外的要因の中でも、とくに重要であると考えられる光の影響評価に先立ち、露光試験の試料に用いることを目的として、明治期の日本で用いられた主要な初期合成染料の選定と、各染料の基礎情報について調査を行ったので報告する。

2. 調査方法

本研究で対象とする初期合成染料の選定には、欧米の先行研究^{1),2)}や明治期に刊行された染色技術書^{3),4)}、明治年間の輸入統計⁵⁾を用いた。また選定した染料について、英国染料染色学会 (The Society of Dyers and Colourists) と米国繊維化学技術・染色技術協会 (The American Association of Textile Chemists and Colorists) によって共同運営されている、染料類のデータベースであるカラーインデックス (Colour Index, C.I.) を用いて、染料ごとに個別に記載されている基礎情報 (歴史的名称、発明年代、染料部属、化学構造、堅牢性など) を収集した。

3. 結果と考察

合成染料は、種類や化学構造が多岐に渡る。カラーインデックスでは、染料や顔料および関連化合物について、染色性や色調に基づくカラーインデックス名 (C. I. Generic Name) と、化学構造に基づくカラーインデックス番号 (C. I. Constitution Number) を付与して合成染料を識別している。2022年6月10日時点では、10,919件のカラーインデックス名が登録されている。明治期に刊行された染色技術書などの文献では、商品名などの染料の慣用名が記載されているため、同一の染料であっても別の名称で呼ばれている可能性が考えられる。そこで本研究では、Schweppe¹⁾とBarnett²⁾が20世紀初頭のドイツの染料産業に関する文献に基づいて、最も重要な染料としてそれぞれ選定したリストを用いることにした。Schweppeのリスト(66点)は、歴史的名称または慣用名(Historic Name)とカラーインデックス名、カラーインデックス番号が記載され、Barnettのリスト(22点)には、さらに色調、適用する繊維、発明年代の情報が追加されて提示されてい

ポスター
発表

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

表 1 明治期の日本で用いられた主要な赤および紫系初期合成染料

Historic Name	C.I. Constitution Number	C.I. Generic Name	Date of Discovery
Rhodamine 6G	C.I. 45160	Basic Red 1	1892
Methyl Violet	C.I. 42535	Basic Violet (1)	1862
Rhodamine B	C.I. 45170	Basic Violet 10	1887
Fuchsin	C.I. 42510	Basic Violet 14	1858
Cochineal Red A	C.I. 16255	Acid Red 18	1878
Ponceau RR	C.I. 16150	Acid Red 26	1878
Crystal Ponceau 6R	C.I. 16250	Acid Red 44	1883
Cotton Scarlet	C.I. 27290	Acid Red 73	1882
Fast Red AV	C.I. 15620	Acid Red 88	1877
Congo Red	C.I. 22120	Direct Red 28	1884

る。明治期の日本は、合成染料をすべて海外からの輸入に頼っており、その大部分がドイツからであること⁵⁾から、これらの先行研究を用いることは妥当であると判断した。本研究で選定した初期合成染料を表 1 に示す。塩基性染料 4 点 (Basic Red 1, Basic Violet 1,10,14)、酸性染料 5 点 (Acid Red 18,26,44,73,88)、直接染料 1 点 (Direct Red 28) の計 10 点であり、前述の Barnett のリストの中から赤および紫色の合成染料を選定した。なお Eosin G も赤色であるが、カラーインデックスでは顔料 (Pigment Red 90) として分類されているため、本研究では除いた。次に、明治期に刊行された染色技術書と照合したところ、10 点すべての Historic Name の記載が確認でき、これらの染料が明治期の日本で用いられていたことを裏付けることができた。最後に、カラーインデックスを用いて、化学構造や堅牢性などの既存の知見を収集した。今後、これらの染料を用いて作成した試料布を対象に露光試験を行う予定である。

Mauve の発明 (1856) に始まる合成染料の登場から 150 年以上を経過し、初期合成染料は、染織文化財において、素材としてだけでなく修復材料としても使用されていることが分かっている。こうした現状をふまえて、初期合成染料について染色堅牢性や変退色に関わる知見や情報を蓄積することが重要であると考えられる。現在では手に入らない染料もあることから本研究は急を要する課題である。

*本研究は、東京学芸大学大学院学校教育学研究科博士論文「初期合成染料が用いられた着物地の染料分析と染色堅牢性評価」(2016) (未公開) の内容を含む。また科学研究費補助金「21K13145」および「12J04527」の助成により実施した。

引用文献

- 1) Schwappe H; Practical information for the identification of Early Synthetic Dyes: Practical Hints on Dyeing with Early Synthetic Dyes, Conservation Analytical Laboratory, Smithsonian Institute (1987)
- 2) Barnett J.C; Synthetic organic dyes, 1856-1901: an introductory literature review of their use and related issues in textile conservation, *Reviews in Conservation*, 8, p67-77 (2007)
- 3) 中島武太郎; 実用色染学 正編 改訂第 5 版、丸善株式会社・東京(1911)
- 4) 中島武太郎; 実用色染学 続編、丸善株式会社・東京(1910)
- 5) 後藤捷一編; 明治大正年間に於ける染料薬品並染織関係品輸出入統計、大阪繪具染料同業組合・大阪(1927)

吉備地方の埴輪胎土の岩石学的研究

Petrological study of the paste materials of Haniwa ware from Kofun tumuli in the Kibi province

○野坂俊夫（岡山大学）、大林直矢（同左）、杉浦香菜子（同左）、野崎貴博（同左）、松本直子（同左）、清家章（同左）

○Toshio NOZAKA, Naoya OHBAYASHI, Kanako SUGIURA, Takahiro NOZAKI, Naoko MATSUMOTO, Akira SEIKE (Okayama University)

1. はじめに

埴輪などの土器質考古資料について、主に産地の推定を目的として、これまでに多数の胎土分析が行われてきた。様々な分析手法のなかで近年最もよく用いられているのは蛍光 X 線分析法である。この分析法が優れているのは、試料全体のバルク化学組成（主成分元素および一部の副成分元素濃度）を効率よく求めることができるという点にある。しかし複数の原材料から成る混合物の特徴を正確に捉えるには主成分バルク組成だけでは不十分であり、特に材料物質が原形を留めて残存している場合には、個々の材料物質を詳細に観察し、分析する必要があるだろう。なかでも材料物質が主に珪酸塩鉱物であり、その多くが残存している土器質考古資料については、岩石学的分析手法が有効である。本研究では吉備地方の古墳に産する埴輪の胎土について岩石学的分析を行い、材料物質と焼成温度の推定を行った。

2. 分析試料と方法

円筒埴輪の一部と考えられる破片 14 点を分析した。うちわけは、造山古墳（岡山市）から 4 点、岩田 3 号墳（赤磐市）から 1 点、宮山 4 号墳（赤磐市）から 1 点、森山古墳（赤磐市）から 2 点、二万大塚古墳（倉敷市）から 6 点である。その多くは赤褐色で土師質だが、森山古墳と二万大塚古墳には灰色で硬い須恵質のものがある。各埴輪片から数センチ角を切り出し、その一部をスライドガラスに貼り付けて研磨薄片を作製し、残りを粉末にした。研磨薄片については光学顕微鏡（偏光顕微鏡）で観察した後に、電子線マイクロアナライザー（EPMA）を用いて反射電子線像の観察と鉱物化学組成の定量分析を行った。粉末試料の一部は X 線回折装置（XRD）による鉱物量比の半定量分析に供し、一部は融解してガラスビードを作製し、波長分散型蛍光 X 線分析装置（XRF）によるバルク化学組成分析に供した。

3. 結果

観察・分析の結果、主に以下のことが明らかになった。

偏光顕微鏡・反射電子線像観察：①全ての試料には、粘土鉱物を主体とするマトリックス中に石英、斜長石、アルカリ長石、角閃石、火山ガラス、および花崗岩の破片が含まれている。②鉱物片のうち粗粒な石英と長石の量比と粒径は花崗岩破片中のものと類似している。③角閃石は独立した単結晶粒子の破片であることが多いが、花崗岩片に含まれることや火山ガラスに

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

包有されて産することもある。④火山ガラスは微小だが個数は多く、広域テフラでよく見られるバブルウォール型の形状を持つ。⑤二万大塚産埴輪には、他の埴輪ではまれな石英岩質の細粒岩片と少量のクロム鉄鉱の粒子が含まれる。⑥須恵質試料では斜長石結晶の周縁がガラス化しており、また角閃石結晶の多くが不透明鉱物を含む微粒集合体に分解している。

XRD 分析：①全試料とも主な構成鉱物の量比は、石英>斜長石、カリ長石>角閃石であり、粒径によらず花崗岩的な量比と一致している。②須恵質試料では、顕微鏡観察と調和的に、角閃石が検出されない。③須恵質試料には高温で安定なムライトやスピネルが少量含まれる。

XRF 分析：①多くの試料は、やや Al に富む点を除けば、粘土質マトリックスを含めたバルク組成が花崗閃緑岩～花崗岩と類似している。しかし二万大塚の試料は、おそらく石英岩質の岩片を含んでいるために、普通の珪長質火成岩よりもシリカが多い。②全試料の主成分元素の含有量、および FeO/MgO 比と Na₂O/CaO 比は、いずれもシリカの増加に伴って単調に増加または減少している。③同一古墳から採取された複数の試料は類似したバルク化学組成を持っている。

EPMA 分析：①角閃石の Mg/(Mg+Fe) 比は、0.55 と 0.7 前後に最頻値を持つバイモーダルな頻度分布を示しており、花崗岩片に含まれる角閃石は前者、火山ガラスに包有されるものは後者のグループに属する。造山古墳と岩田 3 号墳では両グループの角閃石が産するが、二万大塚古墳、宮山 4 号墳、森山古墳では後者のグループのみ確認された。②火山ガラスの組成は、始良-丹沢テフラに類似したものと鬼界アカホヤテフラに類似したものの 2 種類があり、ほぼ全試料に 2 種類とも含まれている。③須恵質試料の斜長石結晶周縁のガラス化した部分は Ca、Na、K に乏しく、Mg、Fe に富んでいる。④須恵質試料ではカリ長石の結晶周縁部での Na、Ca の増加と、残留角閃石の結晶周縁部での Al の増加が認められる。

4. 考察

今回分析した埴輪の胎土はいずれも花崗岩ないし花崗閃緑岩起源の真砂土を主材料としていると考えられる。化学組成のバリエーションはマグマの結晶分化作用で説明可能である。胎土のバルク組成の違いは、古墳ごとに採土場所が異なっていたことを示唆している。特に二万大塚で特徴的に細粒石英岩とクロム鉄鉱の混入が認められることは、周辺の地質および高梁川上流の地質の影響を示している。一方、全試料が 2 種類の広域テフラ起源火山ガラスを多数含むことは、採土地ではテフラ堆積後の河川浸食の影響が比較的小さかったことを示唆している。以上のことから、埴輪の胎土はそれぞれの古墳の近隣の丘陵の麓に堆積した真砂土+テフラ混在層から採取したものと考えられる。

森山古墳と二万大塚古墳の須恵質試料におけるガラスの産状と化学組成は、斜長石結晶がマトリックス粘土鉱物と反応しながら溶融したことを示している。同じ試料中で見られる角閃石の分解、カリ長石の組成改変、およびムライトやスピネルの生成は、いずれも高温での焼成の結果であろう。斜長石のソリダス温度に基づいて須恵質試料における溶融温度条件を見積もった結果、最高焼成温度は 1100～1150℃に達したと考えられる。

謝辞

岡山市、赤磐市、倉敷市には分析試料を提供していただいた。

岡山県三須丘陵に分布する古墳の横穴式石室石材の岩石学的研究

Petrological study of the horizontal stone chambers of Kofun tumuli in the Misu Hills area, Okayama Prefecture

○野坂俊夫（岡山大学）、金子峻大（同左）、松本直子（同左）、清家章（同左）

○Toshio NOZAKA, Takahiro KANEKO, Naoko MATSUMOTO, Akira SEIKE (Okayama University)

1. はじめに

岡山県総社市から岡山市にまたがって広がる三須丘陵周辺には多数の古墳が分布している。この地域では古墳時代後期に横穴式石室を持つ古墳が数多く築造されている。それらの石室に使われた石材のほとんどは花崗岩質の岩石であるが、我々の予察的観察によれば、それらは等粒状組織を持つ普通の花崗岩とは異なっている。また石室石材として幅数メートルの巨石が使われていることもある。古墳築造に当たってそのような巨大な石材をどこから搬入したのだろうか？ この疑問を解決する手がかりを得るために、石室石材の花崗岩と古墳周辺に露出する花崗岩類の岩石学的特徴を比較した。

2. 古墳周辺の地質

三須丘陵と周辺の丘陵地には白亜紀の花崗岩と花崗閃緑岩（一部はトーナル岩）が露出しており、丘陵を取り囲む平野部には沖積層が広く堆積している（図1：産総研地質調査総合センター、2022）。小縮尺の地質図では花崗岩とされている岩石も、実際には岩相に多様性があることが多い。濡木ほか（1979）は岡山県中南部に分布する花崗岩類を、主にカリ長石の産状と粒径に基づいてI型、II型、III型、IV型、および細粒型の5グループに分類した。この分類と産総研の地質図に従えば、今回調査した古墳周辺の花崗岩類は、I型花崗岩、II型花崗岩、および花崗閃緑岩の3種類である。それぞれ次のような特徴を持つ：I型花崗岩は等粒状組織をもつ黒雲母花崗岩（狭義の“花崗岩”、長石の量比はアルカリ長石>斜長石）、II型花崗岩は斑状カリ長石の目立つ角閃石黒雲母花崗岩（アダメロ岩、量比はアルカリ長石≒斜長石）、そして花崗閃緑岩（量比はアルカリ長石<斜長石）は一般に花崗岩よりも苦鉄質鉱物がやや多い。古墳周辺には節理の発達した花崗岩類が多く、大型石材の採石には適した環境と言えるだろう。

3. 分析方法と対象

石室石材の表面の化学組成と帯磁率を、携帯型の蛍光X線分析装置と帯磁率計を用いて非破壊的に測定した。対象は、①鳶尾塚古墳、②緑山6号墳、③緑山8号墳、④⑤稲荷山古墳群、および⑥法蓮古墳群の古墳である（図1）。同じ方法で、古墳周辺の花崗岩類の露頭についても測定を行った。場所は、⑦庚申山、⑧下林、⑨緑山、⑩井尻野、⑪小寺、⑫見延、⑬宿（以上総社市）、⑭立田、⑮門前、⑯粟井（以上岡山市）である（図1）。

上記の露頭と、鳶尾塚古墳の天井石（風化剥離部）、および同古墳の羨道付近の転石から岩石試料を採取し、岩石薄片を作製した。薄片は偏光顕微鏡下で鉱物の同定、組織観察、およびポ

ポスター
発表

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

イントカウント法による鉍物体積比の測定を行った。一部の薄片は鏡面研磨し、電子線マイクロアナライザー（EPMA）による鉍物化学組成の分析を行った。

4. 結果と考察

鳶尾塚古墳の石材と周辺の転石は、鉍物量比測定により、アダメロ岩に属することがわかった。それらの岩石はカリ長石の斑晶に加えて角閃石と黒雲母の両方を含んでいるという点で、濡木ほか（1979）のII型花崗岩類の特徴と一致している。同様の特徴を持つ岩石は、庚申山、下林、緑山、立田の露頭に産する。

それらのアダメロ岩中の黒雲母と角閃石のMg/(Mg+Fe)比はほとんどが0.2~0.3の値を持つが、下林のものは0.4~0.6の高い値を持つ。また庚申山の角閃石は他に比べてMg/(Mg+Fe)比が小さくAlに富む傾向がある。カリ長石の組成についても、下林と庚申山のものはNa含有量の乏しいもの（Na長石成分 < 15モル%）が少ないという点で、他の試料とは異なっている。さらに鳶尾塚古墳の石材、緑山の露頭および立田の露頭の花崗岩類について、ジルコンの微量元素組成を比較すると、前二者についてはTiとHf含有量に比較的大きなばらつきと負の相関が認められるという点で類似性があり、立田のものとは若干の相違が認められる。

携帯型蛍光X線分析装置によって得られる化学組成は、岩石表面の風化、汚れ、苔などの影響を受け、特にSiやAlなどの軽元素のX線強度の減衰が認められた。一方、Fe、Ti、Ca、Rb、Sr、Zrには岩石の表面状態の影響がほとんど認められないため、花崗岩類の非破壊分析による分類に有効であると考えられる。特にRbとSrの量比は、一部のI型花崗岩類とII型花崗岩類の識別に有効であることが明らかになった。今回分析した古墳の石室石材はいずれもII型花崗岩類と組成が類似しており、また肉眼で観察した限りでは鉍物量比や岩石組織も類似していることから、近隣の類似した花崗岩類を使用した可能性が高いと考えられる。

岩石の帯磁率は磁鉄鉍や苦鉄質鉍物などの磁性を持つ鉍物の含有量を反映して変化する。古墳石室石材のほとんどは 0.5×10^{-3} SI以下の低い値を持つ。緑山と立田の花崗岩露頭も同様に低い値を示すが、下林と庚申山では $1 \sim 8 \times 10^{-3}$ SIとかなり高い。この帯磁率の類似性と相違性は、上記の分析結果と調和的である。しかし古墳石材の一部には比較的高い帯磁率を示すものがあり、採石場所の違いあるいは顔料塗布の影響などを今後検討する必要がある。

謝辞 総社市には鳶尾塚古墳の風化石材の採取と分析を許可していただいた。

文献 産総研地質調査総合センター（2022）

20万分の1日本シームレス地質図V2.

<https://gbank.gsj.jp/seamless>（2022年7月12日閲覧）

濡木輝一・浅見正雄・光野千春（1979）岡山県中・南部の花崗岩類. 地質学論集、17、35-46.



図1. 古墳・露頭位置
産総研20万分の1シームレス地質図を使用

幕末期の蒸気船に使われた銅板の外国製と日本製の組成比較

Comparison of the Composition of Foreign and Japanese Copper Plates Used on Steamships at the End of the Edo Period

○田端正明 (佐賀大学)

○Masaaki TABATA (Saga University)

1. はじめに

三重津海軍所跡 (佐賀市川副町・諸富町)は安政5年(1858年)に佐賀藩が設置した藩船運用施設である。そこでは、外国船の修理と国産の商用蒸気船の建造が行われたので、出土遺物は外国製と日本国製が混合しているかもしれないと考えられた。そのために、三重津海軍所跡からの出土した銅製品だけでなく、佐賀藩所有の電流丸と同じくオランダで同時期に建造された開陽丸の銅板の元素組成と比較した。外国製と日本製の違いについて検討した。

2. 実験

開陽丸と三重津海軍所からの出土銅製品を九州シンクロトロン光センターBL07で30 keV励起X線を照射し、蛍光X線分析を行った。LightStone OriginPro 2021を用いて蛍光X線のスペクトルのピーク分離と各ピーク面積を求めた。標準真鍮製品 (BS-4D (Alloy C3601)、BS-5D (Alloy C3605)、BS-6D (Alloy C3712)、BS-7D (Alloy C33771))、31X TB 1、31X TB 2、31X-TB3L (MBH Analytical Ltd.、UK)を用いて、検量線を作成した。

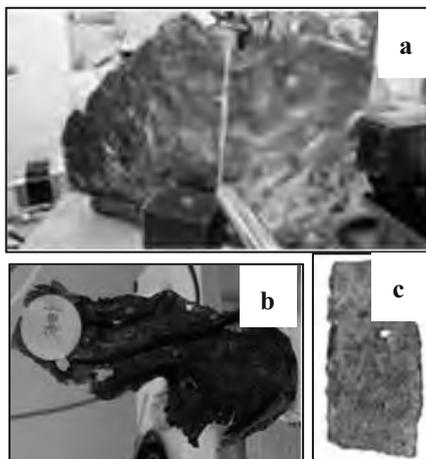


図-1 出土した銅板
(a) 開陽丸、三重津海軍所跡 (b, c).

3. 結果と考察

3. 1 純銅製品 (銅板)

幕末期の蒸気船は木製であるので、フナ喰い虫による被害を防ぐために船の汽水線の下には銅板が張られた。三重津海軍所でも蒸気船凌風丸を建造するために古文書「松乃落葉」巻三(1858)には、精煉方から銅板釘代として式百八拾両の見積がだされた。銅板180枚(120 cm x 40 cm x 0.72 mm)、銅板用帽子釘などである。開陽丸の銅板と三重津海軍所跡から出土した銅板を図-1に示す。いずれの銅板にも釘穴が空いている。開陽丸の銅板と三重津海軍所跡出土銅板(図-1a, 1b)の蛍光X線スペクトルを両者の違いが明確なエネルギー領域(10~14 keV)で図-2に示す。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

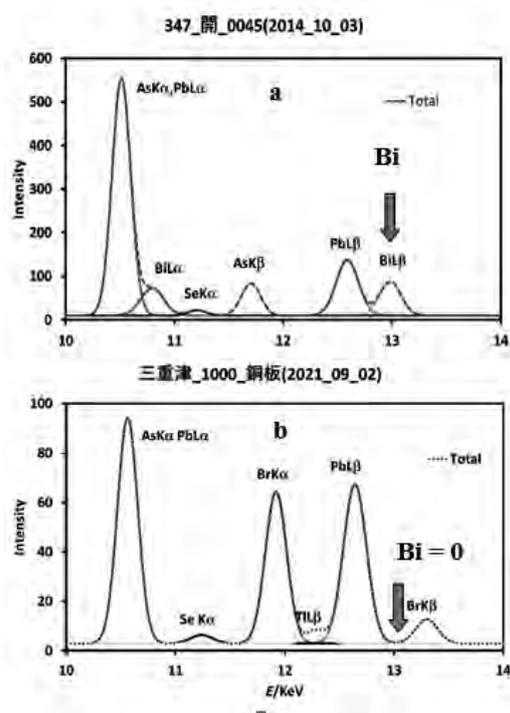
保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

開陽丸の銅板（図—2a）にはヒ素（As）とビスマス（Bi）がそれぞれ、12.73 keV (K_{β})と 13.02 keV (L_{β})に検出された。一方、三重津海軍所の銅板（図—2b）には As と Bi のピークは観測されなかった [1]。他の出土銅板についても同様であった（詳細な分析データは当日示す）。江戸時代に銅製品を製造し、国内で流通していた別子銅山で製造される銅製品の化学分析結果が最近報告された [1]。別子の床尻銅や三光銅山床尻銅に含まれる Bi の濃度はそれぞれ < 0.01%, < 0.001% であった。住友家伝来の丁銅、丸銅及び棹銅の Bi の含有量も非常に少なく、無視できるほどである。即ち、日本製の銅板には Bi は少なく外国製の銅板には Bi が含まれている。開陽丸の銅板は全て外国製（オランダ製）の銅板であることは言うまでもないが、三重津海軍所跡から出土した銅板には外国製と日本製の銅板が混合していた。三重津海軍所跡から出土した銅板（図—1a）と銅板（図—1b）にはいずれも釘穴が残っているが、前者には As と Bi が検出されず、後者には検出された。



図—2 銅板の蛍光 X 線スペクトル
(a) 開陽丸、(b) 三重津海軍所跡

それぞれ、日本製とオランダ製（外国製）の銅板である。三重津海軍所跡から出土したりボン状に結ばれた銅製品にも As と Bi が検出されなかった。即ち、日本製の銅板の切れ端である。

3. 2 真鍮製品

純銅製品については、開陽丸と三重津海軍所跡からの出土遺物中の Bi の含有量には違いが見られた。真鍮製品製造では亜鉛を加えるので、それと同時に不純物として鉛が混入し、あるときは銅の融点を下げるために意図的に少量の鉛が添加されるので、鉛と一緒に Bi が混入する可能性が高い。従って、Bi の含有量を指標とした産地（外国製か日本製か）の推定は難しい。多くの試料を現在測定中であるが、その一例を紹介する。開陽丸の真鍮製品についても、純銅製品と同様に Bi が含まれており（0.086%）、三重津海軍所跡の遺物には Bi にピークは観測されなかった（0.000%）。

文献

1. 田端正明、三重津海軍所跡、ドライドック渠底遺物の科学分析と同定、佐賀市教育委員会、佐賀市重要産業遺跡関係調査報告書、「幕末佐賀藩三重津海軍所跡」、印刷中（2022）。
2. 別子銅製錬技術研究会□近世住友の銅製錬技術、分析データ一覧、泉屋博古館、2017。

群馬県出土耳環の材質分析

Material analysis of ancient earrings in Gunma prefecture

○板垣泰之（(公財) 群馬県埋蔵文化財調査事業団）

西脇拓哉（群馬大学技術部）、林史夫（群馬大学機器分析センター）

○Yasuyuki ITAGAKI(Gunma archaeological research foundation)

Takuya NISHIWAKI(Gunma Archaeological Research Foundation)

Fumio HAYASHI (Center for Instrumental Analysis of Gunma University)

1. はじめに

群馬県内の耳環について、一部遺跡ごとに分析をおこなっているものもあるが、多くが「金めっき」や「金環」などの肉眼観察からわかることでの表現になっており、実際に分析でどのように分類されるのかははっきりとしていない。特に調査時期が古い遺跡についてはほとんど自然科学的分析をおこなっていないのが現状である。今回、当時（財）群馬県埋蔵文化財調査事業団での調査により出土した耳環を調査年度が古い順に分析をおこなった。

2. 分析方法

分析を実施した耳環は群馬県内の遺跡「清里・長久保遺跡」（前橋市）「金山古墳群」（沼田市）「太田東部遺跡群（塚井2号墳）」（太田市）「中里天神塚古墳」「奥原古墳群」（高崎市）の耳環76点、分析は群馬大学機器分析センターの蛍光X線分析装置（XRF、日立ハイテクサイエンス製エレメントモニタ SEA1200X）を用いて色調の異なる点を分析した。しかし、一つの資料中に様々な状態（劣化の進んだ部分、等）が存在するため、一つの資料に対してより多くの情報が得られるよう1つの耳環につき分析箇所を各5点とし、計380点の分析をおこなった。

3. 分析結果

分析の結果、現時点で分析をおこなった耳環は銅（Cu）、銀（Ag）がほとんどの耳環に含まれている。目視で金の色調を持つものは金（Au）を検出し、Auを含む耳環のほとんどが水銀（Hg）を検出することから水銀アマルガムでめっきをおこなっていることがわかった。その他、土壌成分と考えられるケイ素（Si）、カルシウム（Ca）、リン（P）や鉄（Fe）、マンガン（Mn）、チタン（Ti）、錫（Sn）、鉛（Pb）、亜鉛（Zn）、アンチモン（Sb）、セレン（Se）、ビスマス（Bi）が一部の耳環で検出されている。

4. 考察

今回の分析資料で特徴的な資料を以下に取り上げる。

奥原古墳群37号墳3753の耳環は金色の色調を持つ分析個体の中で唯一Hgが検出されず、金張りである可能性が指摘できる。古墳からの共伴遺物を確認すると、奥原古墳群の他の古墳と比較し長頸棘状関片刃鏃の刃部先端が大きくなっているタイプが多く出土していることが確認で

ポスター
発表

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

きた。37号墳からは耳環は2点出土しており、1点のみを分析しているため今後もう1点を分析し、この古墳の性格を検討していきたい。

表面の金めっきがはがれたものか、金めっきのない銀板貼りか判断することはできないが、銅芯に銀の色調のみ確認できるものでHgが検出されなかったのは奥原古墳群30号墳3048と金山古墳群2号墳6、中里天神塚古墳2、4となっている。他の耳環で銅芯銀板貼金アマルガムの耳環については銀板部分でHgを検出しないものを確認することができているため、一概には言えないが今後さらに調査をする必要があると考えている。

奥原古墳群15号墳1561と1562、1567と1568、奥原古墳群49号墳4930と4931は形状から対として考えられており、それぞれに微量元素としてPbが検出されたことから、元素分析の結果から見ても、対となる個体である可能性がある。同一古墳内から複数点の耳環が出土している場合もある中で、形状、検出された元素も同一であることは同一に作成されたことを示すことができるのではないかと考えられる。

奥原古墳群60号墳6008と6009、清里長久保1号墳8、清里長久保7号墳26、27からは微量元素としてSeが検出されている。前述したようにPbの検出と形状が似ていることから対になる可能性があることから、Seについても同様に考えると奥原古墳群60号墳6008と6009、清里長久保7号墳26、27で検出されたことは対として微量元素を検出した可能性が考えられる。

また、対になっていると考えられる耳環4点の形状を確認したところ、写真1となった。4点だけでははっきりとした事を述べ

ることはできないが、異なる古墳で4点が比較的似たような形状を持ち、Seが検出されたことは非常に興味深い結果であると考えている。

5. まとめ

群馬県内での調査によって出土した耳環は、特に調査時期が古いものは元素分析などをおこなっておらず、金環、銀環など見た目での判断しかしていなかったが、今回の分析調査によって金色光沢を持つほとんどの耳環が水銀アマルガムであることがわかった。また、対になると考えられる形状のものは分析結果も対になる可能性が高いことがわかった。

今回の発表は簡単な肉眼による観察ののちに蛍光X線分析による分析結果を中心に発表しており、顕微鏡観察などの調査が不十分であるため耳環の全体像を解明したとは言えない。また、使用した蛍光X線分析装置が金メッキや金貼についてどのぐらいの厚さまで透過するのかなどの使用機器の特性の把握などが必要と考えている。点数も当事業団での調査で発見された耳環の1/3程度しか調査していないため、今後も継続して群馬県内の耳環について調査をおこなっていく予定である。

本研究は群馬大学西脇氏のJSPS科研費、JP21H03870の助成による分析結果を検討したものである。

参考文献 渡辺智恵美「耳環小考-製作技法、材質からみた分類」『創立三十周年記念誌』（財）元興寺文化財研究所 1997
渡辺智恵美「百留横穴群ほか出土耳環の自然科学的研究」『百留横穴墓群』上毛町教育委員会 2010



写真1

首里城跡西のアザナ地区における非鉄金属生産に関する科学調査

Scientific research of non-ferrous metal production in the “*Iri no Azana*” area of Shuri castle site

著名 貴彦（国立科学博物館）・新垣 力（沖縄県教育委員会）
KUTSUNA Takahiko (National Museum of Nature and Science)
ARAKAKI Tsutomu (Okinawa Prefectural Board of Education)

はじめに

発表者らは、山梨県をはじめに戦国期の鉱山遺跡や城館跡、城下町遺跡などから出土した遺物への科学調査により金を中心とする非鉄金属生産の報告を行い、鉱山から城館、城下町への金の流通状況、国内各地の都市や城下町における非鉄金属生産の様相を明らかにしてきた。

今回、日本本土と異なる文化を有し、中世から近世に琉球王国として栄えた沖縄県の首里城に着目し、西のアザナ地区から出土した遺物に調査を実施した。その結果について報告する。

首里城跡西のアザナ地区について

首里城は那覇市の東側、首里台地と称される標高 150m 前後の琉球石灰岩丘陵上に築かれた沖縄県内最大規模のグスクで、かつて存在した琉球王国の王城である（図 1）。創建年代は不明だが、1427 年建立の『安国山樹華木之記』によると、尚巴志王代（1422～1439 年）に王城としての基本的な構造が確立していた可能性が高く、そして尚真・尚清王代（1477～1555 年）には外郭の拡張や周辺の整備が進み、現在の姿に近づいていったと推定される。

今回の調査資料は、平成 3 年度に西のアザナ地区の発掘調査で確認されたものである（図 1 斜線部）。同地区では、外郭城壁を構成する石積み遺構のほか、炉跡の検出、熔解炉・坩堝・鋳型・器物類・枝銭及び鋳棹・金属滓などの鍛冶・鋳造関連資料が大量に出土しており、15～16 世紀に城内で金属工房が操業していたことや、17 世紀以降には工房の廃止または城外への移転も想定される重要な成果が得られている。

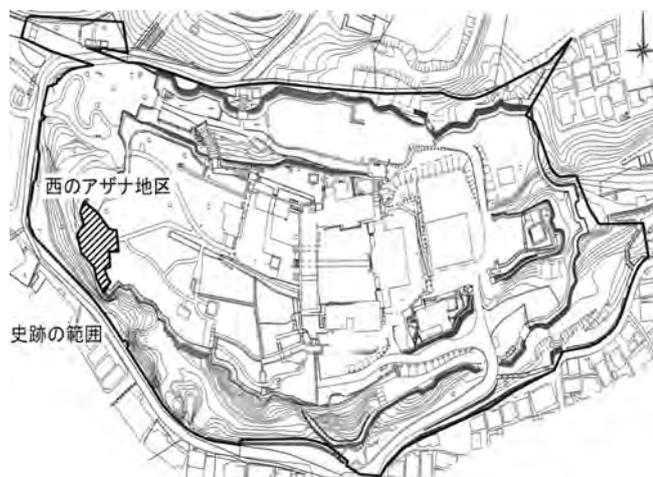


図 1 首里城跡の史跡範囲及び西のアザナ地区位置

調査について

紀要掲載の発掘調査概要に生産関連遺物が多数報告されているため、現地調査ではその確認を行った。詳細調査資料を選定し、借用して詳細調査を実施した。その後、未掲載遺物の存在が判明、再度現地調査を実施した。そして詳細調査資料を再選定し、詳細調査を実施した。

詳細調査方法は、これまでと同様に非破壊分析による手法を用いた。

- ・ X線透過装置による金属生産関連物質付着状況の確認
- ・ 蛍光 X線分析法（XRF）による金属生産関連物質付着状況の確認

結果及び考察

現地調査では、金や銀合金、銅合金といった非鉄金属生産に使用した資料を多数確認し、首里城西のアザナ地区における豊かな金工品生産活動が推測された。詳細調査資料を選定し、詳細調査を実施したが、ここでは注目すべき資料について詳述する。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

(a) 完形の極小型坩堝内部に金粒子が付着し、マッピング分析では金粒子とともに Cu や Zn の付着が検出された。金と銅合金(真鍮か)を用いた合金制作の可能性が考えられた(図 2.(a))。

(b) 完形の極小型坩堝で、把手付坩堝の様相を呈する。マッピング分析では、内部に Zn や Cu を検出した。把手付坩堝は、銅と亜鉛鉱物による真鍮生産用坩堝として考えられているが、この坩堝では用をなさない。そのため、真鍮熔解用に形状を似せて用いたと考えられる(図 2.(b))。

(c) 中型の碗型坩堝の一部で、内面は強く被熱した様相はみられない。マッピング分析で内面に広範囲で強く Zn を検出し、Cu や Pb はわずかである。状況から銅と亜鉛鉱物から真鍮生産用の坩堝本体と考えられ、把手付坩堝の一部の可能性が考えられる(把手は未確認)(図 2.(c))。

おわりに

今回、首里城跡西のアザナ地区出土の非鉄金属生産関連遺物の調査から、首里城内における金工品生産の一面が明らかになってきた。金銀とともに真鍮生産やその金工品生産がみえてきたことは、琉球王国における金工技術の水準や技術導入に、重要な示唆が得られたといえる。

更なる調査から、中世の琉球王国における金工品生産が一層明らかになると考えられる。

参考文献

上原 静「首里城西のアザナ跡の鍛冶・鑄造工房」『紀要 沖縄埋文研究』, 6, p71-111, 2009

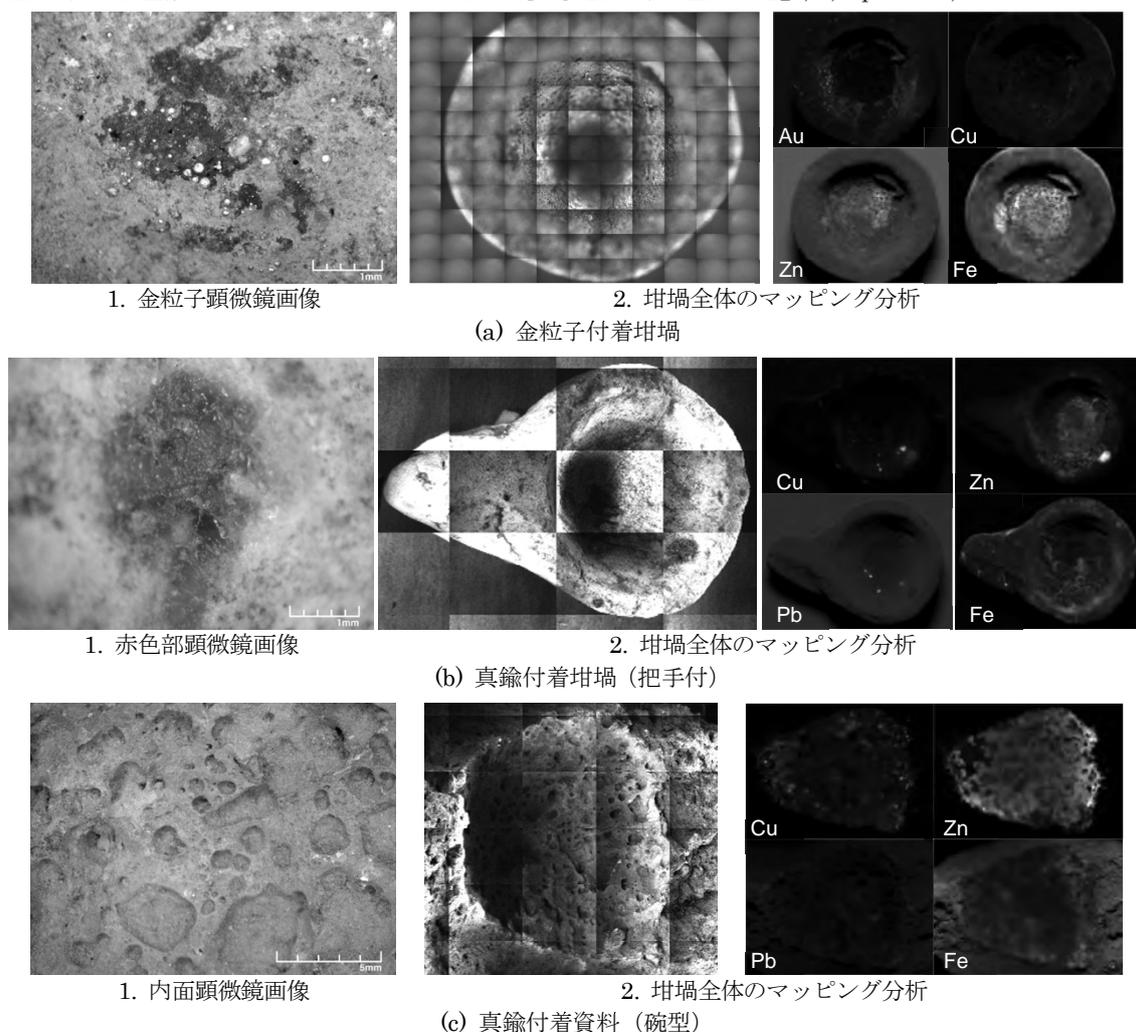


図 2 首里城跡西のアザナ地区出土非鉄金属生産関連遺物の調査結果

*本研究は、JSPS 科研費 JP26350385, JP20K01111 の助成を受けたものである。

出土品からみる古墳時代金工品の技術と材料 —藤ノ木古墳及び上塩冶築山古墳出土品を例として—

A Study of Techniques and Materials of Kofun Period Metalwork from Excavated Objects – Examples of Objects excavated from Fujinoki tumulus and Kamienyatsukiyama tumulus—

○奥山誠義（奈良県立橿原考古学研究所）、河崎衣美（同左）、小倉頌子（同左）、青柳泰介（同左）、北井利幸（同左）、平井洸史（同左）、重見泰（同左）、吉村和昭（同左）、卜部行弘（奈良芸術短期大学）、横須賀倫達（文化庁）、坂本豊治（出雲弥生の森博物館）、澤田正明（島根県立古代出雲歴史博物館）

○Masayoshi OKUYAMA, Emi KAWASAKI, Shoko KOKURA, Taisuke AOYAGI, Toshiyuki KITAI, Takeshi HIRAI, Yasushi SHIGEMI, Kazuaki YOSHIMURA (Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture), Yukihiro URABE (Nara College of Art), Tomomichi YOKOSUKA (Agency for Cultural Affairs – Japan), Toyoharu SAKAMOTO (Izumo Yayoinomori Museum), Masaaki SAWADA (The Shimane Museum of Ancient Izumo)

ポスター
発表

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

1. はじめに

国宝奈良県藤ノ木古墳出土品は、昭和 60（1985）年の第 1 次発掘調査以降、応急的な保存処置や保存処理が行われたが、前回の修理から約 30 年が経過し、経年による劣化が確認されていたため、今後の展示活用のために令和 3（2021）年度より再修理を開始した。我々は、修理に併せて出土品の構造や材料について調査する機会を得るとともに、藤ノ木古墳出土品をはじめとする古墳時代後期の金属製品の製作に係る技術や材料選択等の検討のため、関連遺跡（古墳）出土品についても調査を実施した。本稿ではこれらの調査成果の一部について報告する。

2. 研究の方法

本研究の方法は、出土品の透過 X 線写真撮影による非破壊調査の後、実体顕微鏡 (Leica S9 シリーズ) またはデジタルマイクロスコープ (Keyence VHX-970F) による詳細観察を実施した。その後資料の調査目的に応じて、蛍光 X 線分析 (Bruker Tracer 5g) または X 線回折 (Bruker D8 DISCOVER) による材質分析を行った。表面構造の調査および記録のため、三次元形状計測 (gom ATOS Compact Scan 12M) を実施した。

3. 研究対象

本研究では、奈良県藤ノ木古墳出土品と島根県上塩冶築山古墳出土品を古墳時代後期の金工品の一例として調査を実施した。調査した資料は表 1 に示す。

本稿では紙幅の都合から、検討対象の一部である奈良県藤ノ木古墳出土鉄刀子（以下、藤ノ木古墳鉄刀子）および島根県上塩冶築山古墳出土金銀装円頭大刀の柄頭（以下、上塩冶築山古墳出土柄頭）について述べる。藤ノ木古墳鉄刀子は 5 口の出土が確認されており、既刊の報告

書 [1] において「把頭と鞘自身をすべてを銀・鍍銀板で覆ってつくられている」と報告されている（註 1）。上塩冶築山古墳出土柄頭は、既刊書 [2] により「柄頭は、打ち出しにより匙面を作った厚さ 0.8mm の銀板で両側から挟み、その合わせ部を銀製の綾杉文入り細帯で留めている」と報告されている。

表 1 古墳時代後期の金属製品の製作に係る技術や材料選択等の検討対象とした資料

対象遺跡	対象資料
奈良県藤ノ木古墳	銅鏡、銀装鉄刀子、鉄地金銅張辻金具、金銅円形飾金具
鳥根県上塩冶築山古墳	金銅冠、金銀装鞍金具、金銀装鏡板付轡、金銀装雲珠、金銅装四脚辻金具、金銀装杏葉、金銀装六脚辻金具、銀装雲珠、銀装辻金具、銀装杏葉、銅鈴、鉄鏃、鞞金具、鉤状鉄製品、金銀装円頭大刀、鉄鉾、石突、大型刀子

4. 結果と考察

藤ノ木古墳鉄刀子は、観察により外装には既報の鍍銀を示す表面処理は認められず、単一の板から成ることを確認した。さらに蛍光 X 線分析を実施した結果、鉄刀子の外装は銀 (Ag) から成ることを確認した (図 1)。藤ノ木古墳鉄刀子には、一部に黄金色に見える部分があり、金 (Au) の検出、鍍金の存在が想定されたが、ほぼ銀 (Ag) のみの検出であることから銀装と考えて差し支えない。鉄刀子は出土状況の違いから鍍銀装と銀装の複数種類の存在が指摘されていたが、本研究からい

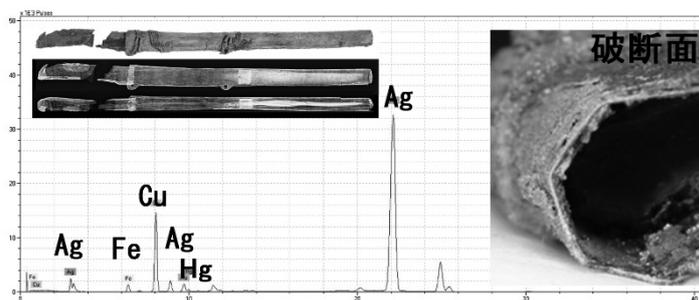


図 1 藤ノ木古墳鉄刀子の蛍光 X 線スペクトル

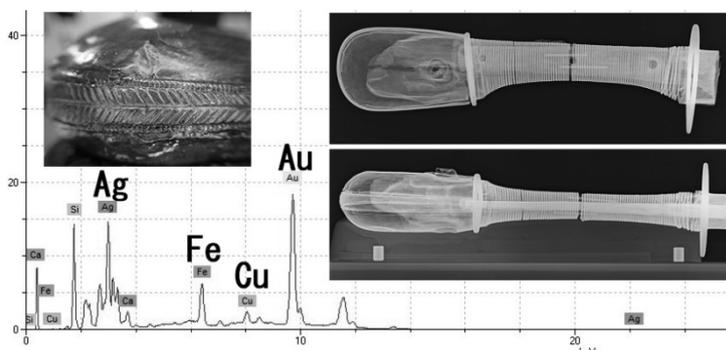


図 2 上塩冶築山古墳柄頭の蛍光 X 線スペクトル

ずれも銀装であると考えられる。上塩冶築山古墳柄頭は、観察および蛍光 X 線分析の結果、匙面は既報の通り銀装であったが、細帯は金製であることを確認した (図 2)。このことから上塩冶築山古墳出土柄頭は、金と銀の二色からなる構造であることが明らかとなった。この色使いは円頭柄頭と頭椎柄頭の違いはあるが、群馬県綿貫観音山古墳出土品 (金銀装頭椎大刀) にもみられることから、この時代に意識された色使いであるとも読み取れる。本研究より既往の見解に対し新たな知見を得ることができた。

謝辞

本研究は文化庁「国宝奈良県藤ノ木古墳出土品修理事業」ならびに「科学研究費補助金 (JSPS 科研費) 21H04369」の一部である。修理事業実施にあたり、国宝藤ノ木古墳出土品修理検討会の協力者である、高妻洋成氏、比佐陽一郎氏、辻田淳一郎氏、諫早直人氏、品川欣也氏に御指導いただきました。ここに感謝申し上げます。

参考文献および註

1: 奈良県立橿原考古学研究所『斑鳩藤ノ木古墳第二・三次調査報告書』1993

2: 出雲弥生の森博物館『上塩冶築山古墳の再検討』出雲弥生の森博物館研究紀要第 6 集、2018

註 1: 修理事業において、鉄刀子は最終的に 6 口分が確認された。

群馬県から出土した耳環、76 資料 380 点の XRF 測定と統計解析の

こころみ

A statistical approach using 380 XRF data from 76 ancient earring in Gunma prefecture

○西脇拓哉（群馬大学技術部）、林史夫（群馬大学機器分析センター）、
板垣泰之（群馬県埋蔵文化財調査事業団）

○Takuya NISHIWAKI (Engineering Department of Gunma University),
Fumio HAYASHI (Center for Instrumental Analysis of Gunma University),
Yasuyuki ITAGAKI (Gunma Archaeological Research Foundation)

1. はじめに

群馬県が所有し、公益財団法人群馬県埋蔵文化財調査事業団で保管・管理をおこなっている耳環は 267 点あり、これらの多くはこれまでの調査により、大きさや形状をはじめとした外観的特徴が非常に丁寧にまとめられている。一方で、耳環を構成する元素の種類・含有量など、科学分析機器を活用した調査は十分に行われてこなかった。今回、我々は 267 の耳環のうち、76 資料に対して、試料ごとに異なる 5 カ所、合計 380 カ所を蛍光 X 線分析装置（XRF）で測定し、各箇所における構成元素の種類と含有率を求めた。

380 点にも及ぶ XRF 測定は非常に特徴的で、これだけの測定結果があれば統計学的な解析が可能ではないかと考え、今回統計解析を試みた。

2. 分析資料と方法

群馬県内の遺跡「清里・長久保遺跡」（前橋市）「金山古墳群」（沼田市）「太田東部遺跡群（塚井 2 号墳）」（太田市）「中里天神塚古墳」「奥原古墳群」（高崎市）から出土した耳環 76 点を用いた。資料に対しては目視による中空もしくは中実かどうかの評価、実体顕微鏡観察による資料の階層構造（資料表面の一部が剥がれて表層と下層になっている構造）の評価や色調の評価を行った。

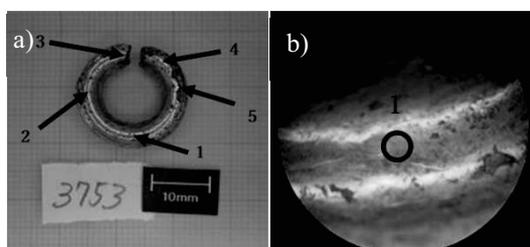


図 1 耳環の全体像と実体顕微鏡画像、a) 5 つの測定箇所は矢印で示した、b) 測定箇所 1 付近には階層構造が観られ、ここでは最上段の層を測定した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

XRF 分析には蛍光 X 線分析装置（XRF、日立ハイテクサイエンス製 エレメントモニタ SEA1200X）を用い、全構成元素を測定可能な条件で測定を行った。

統計解析を実施するためのデータベースは、報告書番号、遺跡名、遺構名、掲載ページ、図番号、資料番号、年代、中空/中実、測定番号、色調、検出された元素、その含有率を項目とした。統計解析には Excel 及び JMP を用いた。

3. 結果と考察

380 点から検出された元素は、Si, P, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Ag, Sn, Au, Hg, Pb の 14 種類であり、Cu, Ag, Au, Hg は高い含有率を示す資料が多く、主要な構成成分と考えられた。これらは中実の耳環においては芯部分が銅、下地に銀、表層が金アマルガムもしくは金との想定と一致した。

主要成分である Cu, Ag, Au, Hg の含有率を古墳群ごと（項目：遺跡名）に比較したところ、太田東部遺跡群は 5 つの資料ながら、銅が検出されない資料が 4 つあり（図 2）、これは表層の構造が残っている、つまり風化の進んでいない耳環が出土したと言える。

ここでは簡単な結果を 2 つ示したが、ポスターでは他の解析結果も報告する。

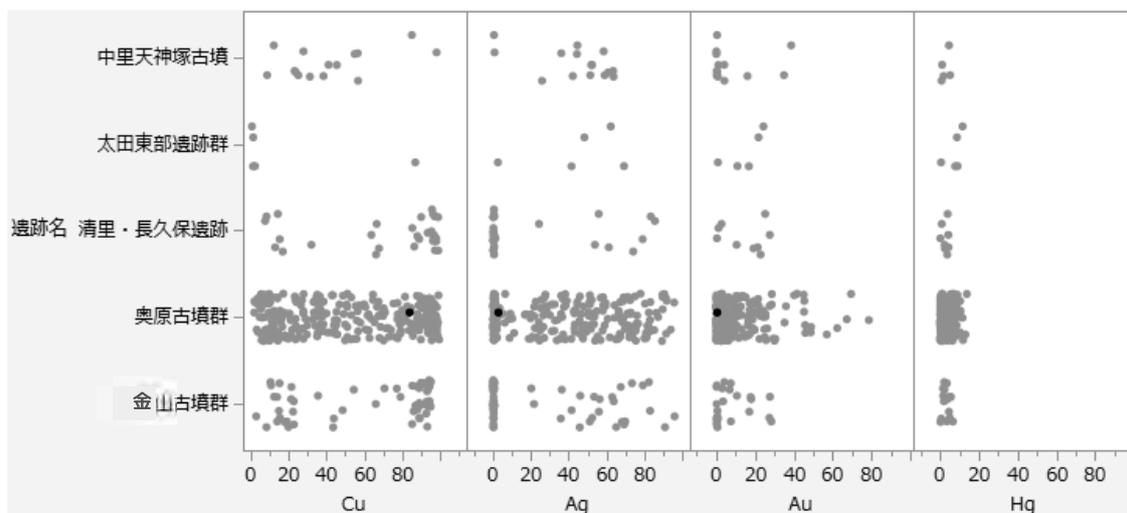


図2 各古墳群と Cu, Ag, Au, Hg 含有量の関係

4. おわりに

近年はビッグデータ分析やデータ駆動型解析といった取り組みが様々な分野で取り組まれている。今回 380 に及ぶ XRF データを取得したことから、統計学的な解析を試みることができ、可能性を示すとともにいくつかの改善や工夫が必要であることがわかった。今後はそれら改善や工夫を施し、このような手法でもこの分野の研究の発展に貢献できるよう努めたい。

尚、本研究は JSPS 科研費、JP21H03870 の助成を受けたものです。

- 1) 渡辺智恵美 1997 「耳環小考-製作技法、材質から見た分類-」元興寺文化財研究所 創立三十周年記念誌 p.73-83

高松塚古墳から出土した棺金具の付着物質に関する分析 Investigation for Materials Attached to the Surface of Coffin Fittings from the Takamatsuzuka Tumulus

○中田愛乃（独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所）、田村朋美（同上）、脇谷草一郎（同上）、柳田明進（同上）、廣瀬覚（同上）、石橋茂登（同上）、岡林孝作（奈良県立橿原考古学研究所）、奥山誠義（同上）、勝川若奈（公益財団法人福島県文化振興財団）、米村祥央（文化庁）、森井順之（同上）

○Akino NAKADA, Tomomi TAMURA, Soichiro WAKIYA, Akinobu YANAGIDA, Satoru HIROSE, Shigeto ISHIBASHI (Nara National Research Institute for Cultural Properties)
Kosaku OKABAYASHI, Masayoshi OKUYAMA (Archaeological Institute of Kashihara, Nara Prefecture)
Wakana KATSUKAWA (Fukushima Prefectural Cultural Promotion Foundation)
Sachio YONEMURA, Masayuki MORII (Agency for Cultural Affairs, Government of Japan)

1. はじめに 高松塚古墳からは漆塗木棺の破片とそこに装着されていたとみられる棺金具が出土している。このうち令和3年度に行った調査では、一部の棺金具にて黄白色物質と赤色物質の付着が確認された。そこで本研究ではこれらの付着物質について検討することを目的として表面観察、元素分析、結晶構造解析を行った。本稿では分析の結果とそれによって得られた所見について報告する。

2. 調査対象資料と調査方法 高松塚古墳からは金銅製透彫金具1点、金銅製六花形金具2点、金銅製円形金具が6点（大2点・小4点）、銅製座金具が6点出土している。このうち金銅製透彫金具と金銅製六花形金具は木棺の外側に装着されていたとされる飾金具で、棺材に軸棒を貫通させて取り付けられていたと推察されている^[1]。内側に突き出した軸棒の先端に銅製座金具が装着され、その上を金銅製円形金具が覆っていたとみられる^[1]。それぞれの金具の縁の部分には面取りが施されており、面取りのある面が表、無い面が裏であると想定される。本研究では①デジタル顕微鏡（キーエンス社製 VHX-7000）を用いた表面観察、②エネルギー分散型X線分析装置（ブルカー社製 M4 TORNADO PLUS、ターゲット：Rh、管電圧：50kV、管電流：299 μ A、雰囲気：He、スポットサイズ：20 μ m、ピクセルサイズ：100 μ m/1pixel、計数時間：15ms/1pixel、ならびにブルカー社製 M6 JETSTREAM、ターゲット：Rh、管電圧：50kV、管電流：299 μ A、雰囲気：大気、スポットサイズ：210 μ m、ピクセルサイズ：210 μ m/1pixel、計数時間：15ms/1pixel）を用いた元素マッピング、③微小部X線回折分析装置（リガク製 SmartLab、ターゲット：Cu、管電圧：45kV、管電流：200mA、コリメーター径：200 μ m、測定範囲：5-90°）を用いたX線回折分析を行い、棺金具付着物質について検討した。

3. 結果と考察 金銅製円形金具（大）1・2と銅製座金具10・11・12・13・14の表面に黄白色物質と赤色物質が付着していることを確認した。いずれも木棺の内側に取り付けられていたとされている金具である^[1]。付着していた2つの物質の位置関係についてデジタル顕微鏡を用いて観察したところ黄白色物質の層が赤色物質の層の上に存在していることを確認した（図1）。

次にエネルギー分散型X線分析装置の結果について述べる。得られた元素マッピング画像では黄白色物質と赤色物質が存在する部分からPb（鉛）とHg（水銀）が検出された（図2）。特に黄白色物質が観察される部分からはPbが、赤色物質が観察される部分からはHgが強く検出された。続いて銅製座金具13の裏面に付着した黄白色物質と赤色物質を対象にX線回折分析を行ったところ、黄白色の部分からは白鉛鉱（PbCO₃）と緑鉛鉱（Pb₅(PO₄)₃Cl）が、赤色の部分からは白鉛鉱に加えて辰砂（HgS）が検出された（図3）。また、銅製座金具10の表面に付着した黄白色物質からも白鉛鉱が検出された。高松塚古墳から出土した一部の棺材片では、漆の上に

ポスター
発表

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

鉛化合物と辰砂が塗布されていたことが報告されている^[2]。

顕微鏡観察による黄褐色物質と赤色物質の上下関係の観察結果を踏まえると、今回の調査で確認された黄白色物質と赤色物質は、棺材に塗布されていた鉛化合物と辰砂が、棺材と金具とが分離した際に金具に転写される形で付着したものと考えられる(図4)。一方で、銅製座金具13から検出された緑鉛鉱は、埋蔵環境中に存在していたP(リン)の影響を受けて白鉛鉱が緑鉛鉱に変質した可能性が考えられる。

続いて黄白色物質および赤色物質が付着している面に着目する。銅製座金具10・12・13では金具の表に、円形金具1・2と銅製座金具11・14では裏に付着していることを確認した。銅製座金具を設置するにあたり棺材と接する面が必ずしも統一されていなかった可能性がある。

4. まとめ 金銅製円形金具2点と銅製座金具5点で観察された黄白色物質と赤色物質は、棺材に塗布されていた鉛化合物と辰砂が転写される形で金具に付着したものと考えられる。銅製座金具では個体によりこれらが付着していた面が表・裏異なっており、金具の使用にあたって、棺材と接する面は必ずしも統一されていなかった可能性がある。

なお本研究にて得られた所見は令和3年度に「高松塚古墳昭和47年出土棺飾金具に関する新知見について」にて報告された成果の一部である^[3]。

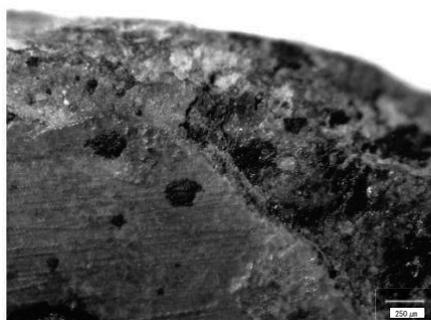


図1 銅製座金具13の顕微鏡拡大写真(100倍)

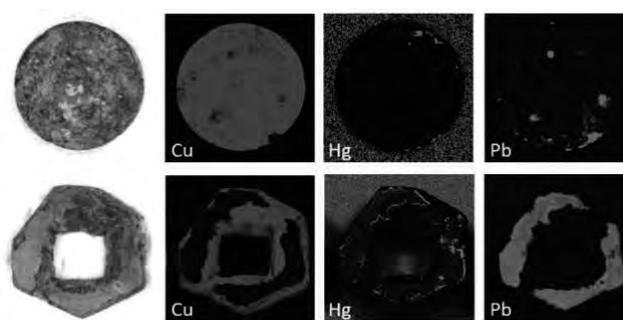


図2 元素マッピング画像(上: 金銅製円形金具2(裏) 下: 銅製座金具13(表))

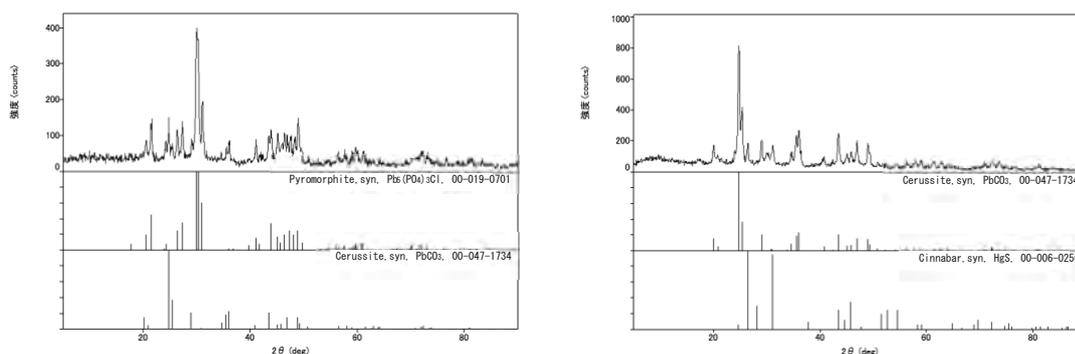


図3 銅製座金具13におけるX線回折分析の結果(左: 黄白色の部分 右: 赤色の部分)

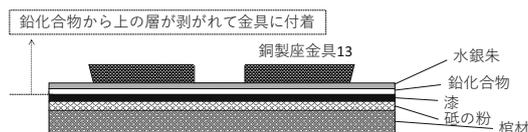


図4 銅製座金具13が木棺に装着されていた時の断面図

参考文献 [1] 独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所他『特別史跡高松塚古墳発掘調査報告』国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策事業報告書1、2017、[2] 北田正弘、奥山誠義「顔料が塗られた漆片の微細構造—高松塚古墳—」『奈良県立橿原考古学研究所紀要 考古学論叢』第44冊、pp.19-28、2021、[3] 独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所、奈良県立橿原考古学研究所、「高松塚古墳昭和47年出土棺飾金具に関する新知見について」、文化庁、(参照:2022/7/14)

船原古墳出土歩揺付飾金具(雲珠)の構造技法解析

Study on Structural Technique of Decorative Clasp with Pendants in Funabaru Tumulus

○加藤和歳(九州歴史資料館),小林啓(同左),甲斐孝司(古賀市教育委員会),西幸子(同左)

KATO Kazutoshi・KOBAYASHI Akira (Kyushu Historical Museum)

KAI Koji・NISHI Yukiko (Koga City Board of Education),

はじめに

福岡県古賀市に所在する船原古墳では、平成25年に大量の馬具・武器・武具が土坑に埋納され発見された。その中で、これまで類例のみない形状の歩揺付飾金具(雲珠)がある。これは、現場で遺物を土壌ごとブロックで取り上げ、そのままX線CTで内部構造を調査する手法により発見したもので、原位置を保持していることから精緻な復元が可能となっている。

本資料は、これまでX線CTによる形状把握についての発表を行ってきたが、今回は、悉皆的な調査により、構造と材質に関して得られた知見をまとめた成果を述べる。

1. 調査の方法

歩揺付飾金具(雲珠)は取り上げ後、そのまま室内に搬入し、X線CTスキャナ(九州歴史資料館設置 YXRON International Y.CT Precision S 撮影条件 電圧 225 kV / 電流 1.3~2.0mA / フィルター:Al / プロジェクション:540、900)により、全体の形状、内部構造等を調査した。解析は、VolumeGraphics VGStudio2.2を用いた。

材質はエネルギー分散型蛍光X線分析装置(九州歴史資料館設置 SPECTRO MIDEX 電圧:45 kV / 電流:0.3mA / 対陰極:Mo / 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:0.3 ミリ / 測定時間:300 秒)により含まれる元素を定性で調査した。分析は取り上げ単位ごとに10点、行った。

2. 調査の成果

X線CTスキャナによる構造調査の結果を図1に示す。基本的な構造は、心棒、吊手、筒金、歩揺、台座からなる。立柱部は唐草文を透彫した六角形の文様板の中央に花形の台座があり、中央には先端を断面六角形として溝を刻んだ心棒が立つ。心棒には端部が上方に反り上がる吊手がつき、その下に台形の筒金が心棒を覆う。歩揺は花弁型で端部を環状に曲げた吊手に引っ掛けられている。そして六角形の文様板の角から、中心よりも小型だが同じ構造の、心棒、吊手、筒金、歩揺で構成された立柱部がある。

次に蛍光X線分析の結果を図2に示す。材質は全ての部位に共通して、銅、金、水銀を主体に銀、鉛、鉄が含まれる。各部位の接合部分には接着のために使用された材料を示す元素はみられない。このことから銅を使って各部位を形づくり、鍍金を施したのち、組み立て、製作されたものとみられる。

全体の構造技法として、形状は特殊だが、これまでの類例との共通点をみることができる。

おわりに

本稿では、これまでに類例のない形状の歩揺付飾金具(雲珠)を調査対象に、基本的な構造や材質を把握し製作技法を検討した。今後は、こうした調査を船原古墳出土遺物全体に行い、構造と材質について明らかにすることで、船原古墳から出土した遺物の復元と、土坑での埋納方法の復元を試みていきたい。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

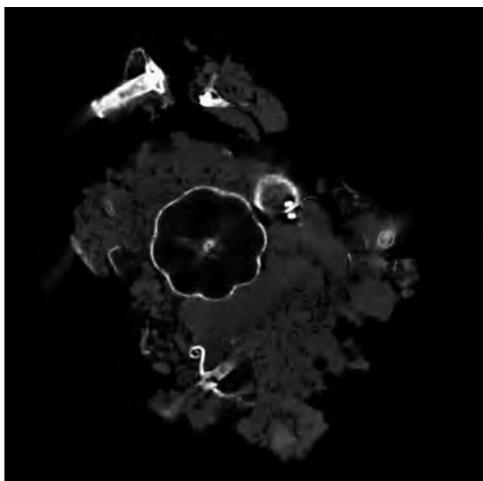


図1 断面像

取上No.	CTNo.	部位	検出元素	
1	46	46-1	吊手	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			步揺	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, (Pb), Ag, Fe
			心棒小	Cu, Au, (Hg), Ag, Fe
2	46	46-2	心棒大	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, Pb, Ag, Fe
			台座	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			吊手	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			心棒小	Cu, Au, (Hg), Ag, Fe
			吊手	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			台座	Cu, Au, Hg, Pb, Ag, Fe
3	46-3	46-3	心棒大	Cu, Au, Hg, Ag
			吊手	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, (Pb), Ag, Fe
			文様板	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
4	59	59	文様板	Cu, Au, Hg, Pb, (Ag), Fe
			吊手	Cu, Au, Hg, (Pb), Ag, Fe
			步揺	Cu, Au, (Hg), (Pb), Ag, Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, (Pb), Ag, Fe
			文様板	Cu, Au, Pb, Ag, Fe
			台座	Cu, Au, Hg, Pb, Ag, Fe
5	121	121	台座	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			吊手	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			心棒大	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
6	124	124	心棒大	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, (Pb), Ag, Fe
8	126	126-2	心棒小	Cu, Au, Hg, (Pb), Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			文様板	Cu, Au, Hg, Pb, Ag, Fe
			吊手	Cu, Au, Hg, Pb, (Ag), Fe
			步揺	Cu, Au, Hg, (Ag), Fe
			心棒大	Cu, Au, Hg, (Ag), Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, (Pb), Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, (Ag), Fe
			吊手	Cu, Au, Hg, Pb, (Ag), Fe
筒金	Cu, Au, Hg, Pb, (Ag), Fe			
9	129	129-2	心棒小	Cu, Au, Hg, (Ag), Fe
			吊手	Cu, Au, Hg, Pb, (Ag), Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, Pb, (Ag), Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, (Ag), Fe
			吊手	Cu, Au, Hg, (Pb), (Ag), Fe
			步揺	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
10	134	134	台座	Cu, Au, Hg, Pb, Ag, Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			步揺	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			吊手	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			心棒大	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			筒金	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
			心棒小	Cu, Au, Hg, Ag, Fe
筒金	Cu, Au, Hg, Ag, Fe			

図2 蛍光X線分析の結果

(カッコはわずかに含まれることを示す)

【参考・引用文献】 加藤和歳 2020 『X線CTスキャナによる船原古墳出土遺物の研究』九州歴史資料館 / 小林啓・加藤和歳・山崎悠都子・甲斐孝司・森下靖士・横田義章・今津 節生・輪田慧 2014 『福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土資料のX線CTスキャナによる調査』『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 / 古賀市教育委員会 2019 『船原古墳Ⅱ -1号土坑出土遺物概要報告編-』福岡県古賀市文化財調査報告書第73集 福岡県古賀市教育委員会 / 大久保奈奈 1996 『歩揺付飾り金具の系譜』『千葉県成東町馬ノ塚古墳発掘調査報告 東国における古墳の終末 附編』国立民族学博物館研究報告第65集 国立歴史民俗博物館 / 濱岡大輔 2003 『植山古墳出土歩揺付飾り金具について』『續文化財学論集』文化財学論集刊行会

【謝辞】 本研究の一部は、JSPC 科学研究費(課題番号:20H01366 研究代表者:加藤和歳)の助成によるものである。感謝申し上げます。

繊維遺物鑑別のための基礎研究

—現生縄標本を用いた繊維およびファイトリスの形態観察—

Microscopic study for identification of archaeological fibers

— Morphological observation of vegetable fibers and phytoliths using modern rope specimens —

○ 伊藤美香(昭和女子大学)、小原奈津子(同左)、
小林和貴(東北大学植物園)、佐々木由香(金沢大学)

○ Mika Ito, Natsuko Kohara (Showa Women's University),
Kazutaka Kobayashi (Tohoku University), Yuka Sasaki (Kanazawa University)

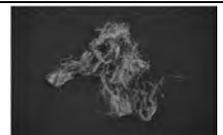
1. はじめに

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、先史時代より日本列島で使用されていたとされる、アサ(大麻)やカラムシ(苧麻)をはじめとする国内産繊維9種を試料として、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を報告した¹⁾。

今回、2020年度から始動した学術変革領域研究(A)「土器に残る動植物痕跡の形態学的研究」において、縄文時代の縄の素材植物種を同定するための現生植物繊維のリファレンスを構築するために、繊維の状態で収集されていた現生の縄標本について、植物繊維の形態観察ならびに含まれるファイトリスについて観察を行った結果を報告する。

2. 試料

東北大学植物園にて現生のカラムシとして収集されていた2点の表皮繊維(皮麻)と1点の韌皮繊維(精麻)、1点の縄標本(精麻)、および福島県昭和村で採集したカラムシの韌皮繊維(精麻)を試料とした。

TUSb349 (皮麻)	TUSb363 (精麻)	TUSb364 (皮麻)	TUSb380 (精麻・縄)	苧麻 (精麻:福島県)
				

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

3. 実験方法

【試料の炭化】炭化試料は熱分析装置(DSC6200:セイコーインスツルメント製)で1°C毎分と20°C毎分で450°Cまで加熱し作製した。

【試料の灰化】試料50mgを入れたるつぼを電気加熱炉(ROP-001:アズワン製)にて、100°Cで10分間、150°Cで5分間、200°Cで10分間と徐々に昇温させ、その後600°C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を用いた元素のマッピングによりファイトリスの形状を確認した。

4. 結果および考察

カラムシとして収集されていた現生植物繊維の未処理および炭化処理後の単繊維の断面形態を観察した。加えて単繊維50本の断面積および繊維幅を測定し、平均値と標準偏差を求めた。

目視の観察においても、他の試料より繊維が縮れていたTUSb349は他の試料よりも断面形態が丸みを帯びていた。さらに灰化物中のファイトリスを観察したところ、カラムシ繊維に認められる集晶のクリスタルも確認はできたが、クリスタル以外に特徴的なシリカが数多く観察された。これらの相違点が伝世的に収集されている現生標本の植物種の正確性を問うものなのか、繊維を採集する過程の人為的な違いであるのか現状では不明である。現生植物繊維の正確なリファレンスを作製していくためには、このような伝世的に収集されている現生標本についても、繊維およびファイトリス形態の確認と解剖学的評価を加えて改めて植物種の確認を行う必要がある。

各試料の未処理および炭化後の単繊維断面観察SEM像とファイトリスSEM像およびEDSマッピング像

試料名	未処理 繊維断面	炭化繊維(1°C毎分昇温) 繊維断面	炭化繊維(20°C毎分昇温) 繊維断面	灰化物中のファイトリス			
				クリスタル(Ca)のSEM像とEDSマッピング像		シリカ(Si)のSEM像とEDSマッピング像	
TUSb349							
TUSb363						(Diagonal line indicating no Si detected)	
TUSb364							
TUSb380							
芋麻 (福島県産)							

1) Mika ITO and Natsuko KOHARA (2021) Comparison of Phytoliths in Vegetable Fibers (植物繊維の生体鉱物の比較) 文化財科学 第82号 pp.49-62

本研究は科学研究費 学術変革領域研究(A) JP20H05811 の助成をうけた。

ウズベキスタン・ブハラオアシス内遺跡から出土した 初期イスラームガラスの化学分析 Chemical Analysis of Early Islamic Glass from the Bukhara Oasis sites, Uzbekistan

○新免歳靖（東京学芸大学）、遠藤綾乃（同左）、細川貴子（独立研究者）、竹田多麻子（横浜ユーラシア文化館）、二宮修治（東京学芸大学）、田村朋美（奈良文化財研究所）、Rocco Rante（ルーブル美術館）

○Toshiyasu SHINMEN(Tokyo Gakugei University), Ayano ENDO(Tokyo Gakugei University), Takako HOSOKAWA (Independent Researcher), Tamako TAKEDA (Yokohama Museum of Eurasian Cultures), Shuji NINOMIYA (Tokyo Gakugei University), Tomomi TAMURA(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Rocco RANTE (Louvre Museum)

1. はじめに

ルーブル美術館とサマルカンド考古学研究所の共同調査である The Franco-Uzbek Archaeological Mission in the Oasis of Bukhara (MAFOUB) は、2009年からブハラオアシス内の遺跡を対象として、人口動態と本地域の都市と文化を再考し、物質文化、商品の生産と輸出入、東西の商業交易などの解明を目指した調査・研究をおこなっている。2014年からは初期イスラームガラス製品の考古学研究を行い、オアシス内でのガラスの生産と分布を明らかにするとともに、物質文化の観点からガラスを通じた中央アジアでのイスラーム化と現地化を検討している。

本研究では、ブハラオアシス内の諸遺跡から出土した初期イスラームガラス研究の一環として、ガラス製品の化学分析を行い、ガラスの材質的な特徴を明らかにし、オアシス内でのガラス生産や近隣地域間でのガラス製品の流通に関する基礎的な情報を蓄積することを目的とした。

2. 分析資料

分析資料は、ブハラオアシス内のパイケンド遺跡（42）、ロミタン遺跡（2）、イシュキジュカット遺跡（2）、カキシトゥバン遺跡（3）、ブハラ遺跡（15）から出土した9～11世紀のガラス資料、合計64点である（括弧内の数は分析資料数である。以下同様）。種類は容器類（ボトルなど）や pane（窓ガラス）などのガラス製品（55）とスラグやカレットなどのガラス製作関連遺物（9）で、ガラス製作関連遺物はパイケンド遺跡の出土資料である。資料は色調から色ガラス（9）、無色透明ガラス（19）、自然着色ガラス（36）に分類した。色ガラスには青色（6）、黒色（2）、オリーブ色（1）がある。自然着色ガラスは薄緑色から濃緑色、青緑色など多様である。

3. 分析方法

分析にあたり、ED-XRF（日立ハイテクサイエンス製 SEA5120S）によって資料の非破壊定性分析を行ない、基本的なガラス材質の把握に努めた。本結果と過去の分析結果を参考に測定元素を決定し、ICP-OES（Agilent Technologies 製 720SE, 5100UbV）による定量分析を行なった。資料から微量試料を採取し、テフロン加圧分解容器を用いた酸分解法によって溶液化した。測定元素は主成分元素9元素(Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P)、微量成分元素5元素(Ba, Co, Cu, Sr, Zn)の計14元素である。ケイ素(SiO₂)は主成分元素(酸化物)の合計値を100%から引いた値を用いた。

ポスター
発表

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

4. 結果と考察

4.1. ガラスの基本材質

分析の結果、資料は全て植物灰製のソーダ石灰ガラスであり、遺跡間で資料の化学組成に大きな差は認められなかった（表 1）。従来の西アジアの植物灰ガラスと比較すると、 K_2O 濃度が高く、中央アジアの在来植物に由来する植物灰が使用された可能性が考えられる結果となった。

4.2. 色ガラスに用いられた着色剤

青色ガラスは着色元素によってCo系（5）とCu系（1）に分類された。黒色ガラスからはFeが顕著に検出されたため（ Fe_2O_3 濃度5.13%、2.88%）、Fe着色ガラスであった。オリーブ色ガラスは、Mnが顕著に検出され（MnO濃度2.27%）、Mn着色ガラスであった。現時点では中央アジア地域の色ガラスの分析データは不足しており、今回は基礎データを提示するにとどめた。

4.3. 無色透明ガラスと自然着色ガラスの比較

無色透明ガラスと自然着色ガラスには $SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 \cdot MgO \cdot Na_2O$ 濃度に違いが認められた。この点はシリカやナトリウム原料などの差が化学組成に反映していると考えられる。

無色透明ガラスには、精製されたシリカ原料によって消色化されたガラスと、Mn 消色ガラスの2種類の技法が認められた。前者は、考古学的な観察からイラン産ガラスの可能性が指摘されている。一方、後者はブハラ遺跡にのみ認められるため、ブハラ産の可能性はある。したがって無色透明ガラスには、外国からの搬入品と在地生産品の2種類の存在が示唆された。

オアシス内遺跡から出土したスラグなどのガラス製作関連遺物は、本地域におけるガラス生産の存在を示している。自然着色ガラスの製品と製作関連遺物の化学組成を比較すると良く類似しており、基本的に自然着色ガラスは本地域で生産されたと考えられる。ただし、サマルカンドなどの近隣都市で生産されたガラス製品の情報が少なく、他地域からの搬入品の存在も否定できない。今のところブハラオアシス内や各遺跡で生産された自然着色ガラスの判別は難しい。今後、近隣のオアシス都市から出土したガラスの分析データを増やすとともに、イランなどの資料との比較を通して、本地域や中央アジアにおけるガラスの生産や流通を検討する必要がある。

表 1 ブハラオアシス内の遺跡から出土したガラスの化学組成（wt%）

Site	All samples n=64		Paykend n=42		Romitan n=2		Iskijkat n=2		Kakishtuvan n=3		Bukhara n=15	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
SiO_2	64.08	4.88	63.05	4.97	64.93	4.95	67.83	8.51	62.22	3.12	66.70	3.63
TiO_2	0.12	0.07	0.13	0.06	0.25	0.21	0.14	0.12	0.15	0.07	0.07	0.02
Al_2O_3	3.67	1.68	4.02	1.66	2.62	1.64	3.20	2.98	4.10	0.90	2.83	1.50
Fe_2O_3	1.02	0.71	1.13	0.81	0.81	0.38	0.90	0.75	1.15	0.38	0.74	0.40
MgO	4.43	0.72	4.48	0.66	5.06	0.88	4.50	0.60	5.31	0.77	4.04	0.70
MnO	0.40	0.50	0.30	0.40	0.13	0.06	0.21	0.22	0.05	0.01	0.80	0.63
CaO	7.05	1.10	7.07	1.07	7.50	0.20	8.06	2.35	7.88	0.66	6.64	1.05
Na_2O	14.46	1.55	14.89	1.56	14.57	0.58	11.69	1.20	14.33	0.87	13.63	1.04
K_2O	4.22	1.40	4.44	1.49	3.47	1.87	3.26	1.73	4.42	0.34	3.82	1.15
P_2O_5	0.44	0.20	0.38	0.13	0.63	0.28	0.21	0.20	0.40	0.08	0.62	0.24
BaO	0.040	0.019	0.040	0.019	0.029	0.025	0.039	0.040	0.039	0.014	0.043	0.021
CoO	0.034	0.021	0.034	0.021	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
CuO	0.046	0.222	0.066	0.273	0.004	0.003	0.004	0.002	0.008	0.005	0.008	0.004
SrO	0.052	0.012	0.052	0.012	0.049	0.005	0.056	0.017	0.057	0.002	0.052	0.013
ZnO	0.008	0.005	0.008	0.005	0.005	0.004	0.006	0.004	0.007	0.001	0.008	0.005

カンボジアの前アンコール期の玄武岩造寺院と玄武岩の供給源に関する研究 Pre-Angkorean temples built of basalt and its provenance, Cambodia

○内田悦生（早稲田大学）、武山 達（同左）、小林宣允（同左）、斎藤 有（徳島大学）

○Etsuo UCHIDA, Toru TAKEYAMA, Yoshimitsu KOBAYASHI, Yu SAITO (Tokushima University)

1. はじめに

カンボジアの前アンコール期（7世紀頃）に建造された Ashram Maha Rosei 寺院と Kuk Preah Theat 寺院では主要建築材として玄武岩が使用されており、クメール寺院としては珍しい寺院である（図1および図2）。本研究では両寺院に使用されている石材の供給源を解明することを目的として、両寺院および周辺地域から採取した玄武岩に対して、帯磁率測定、偏光顕微鏡観察、全岩化学組成分析、鉱物化学組成分析および Sr-Nd 同位体比測定を行った。

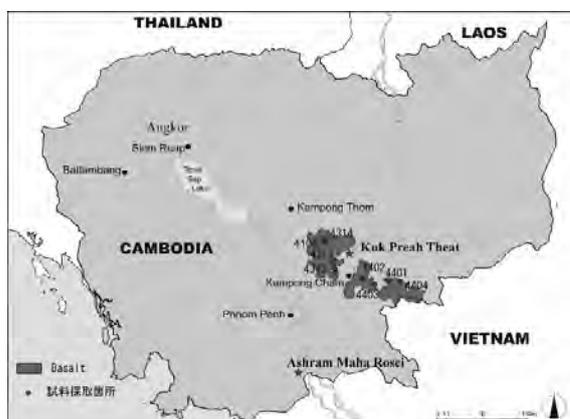


図1 Ashram Maha Rosei 寺院と Kuk Preah Theat 寺院の位置と周辺における玄武岩の分布



図2 Ashram Maha Rosei 寺院(上)と Kuk Preah Theat 寺院(下)の写真

2. 分析試料

玄武岩試料は、Ashram Maha Rosei 寺院から3試料、Kuk Preah Theat 寺院から2試料、Kampong Cham 州の玄武岩岩体から4試料および Tbong Khmum 州の玄武岩岩体から4試料を採取した。

3. 帯磁率測定、化学組成分析および Sr-Nd 同位体比測定

帯磁率測定には ZH Instruments 社の携帯型帯磁率計 SM-30 を使用した。採取した玄武岩試料をロッドミルを用いて粉砕し、全岩化学組成分析を Activation Laboratories, Ltd. に依頼した。構成鉱物の化学組成分析には、X線マイクロアナライザー（日本電子株式会社製 JSM-6360+Oxford 社製 INCA ENERGY）を用いた。Sr-Nd 同位体比測定は総合地球環境学研究所にて、Thermo Fisher Scientific K.K 社のマルチコレクター型 ICP-MS NEPTUNE を用いた。

4. 分析結果

図3に両寺院の玄武岩材および玄武岩岩体に対する $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs SiO_2 (TAS) 図を示す。また、図4に両寺院の玄武岩材および玄武岩岩体の帯磁率を示す。X線マイクロアナライザー一

ポスター
発表

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

析によるカンラン石の Mg/(Mg+Fe)モル分率を図 5 に示す。

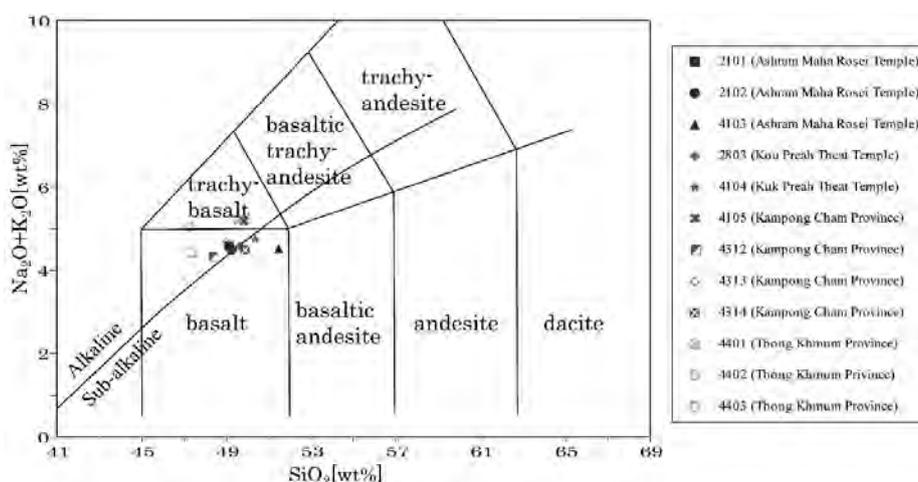


図 3 寺院に使用されている玄武岩材および玄武岩岩体に対する TAS 図

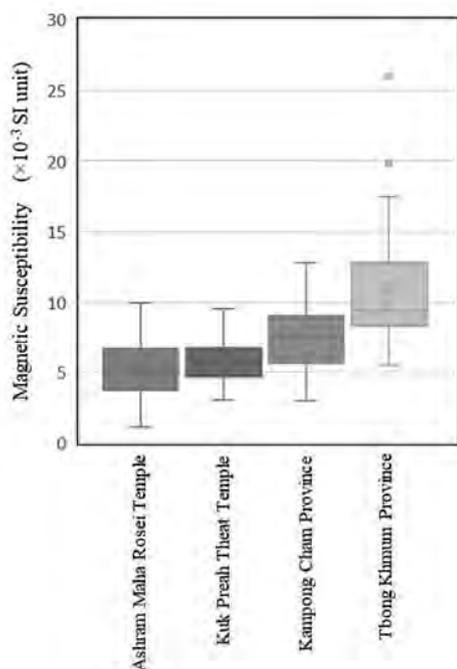


図 4 寺院に使用されている玄武岩材および玄武岩岩体の帯磁率

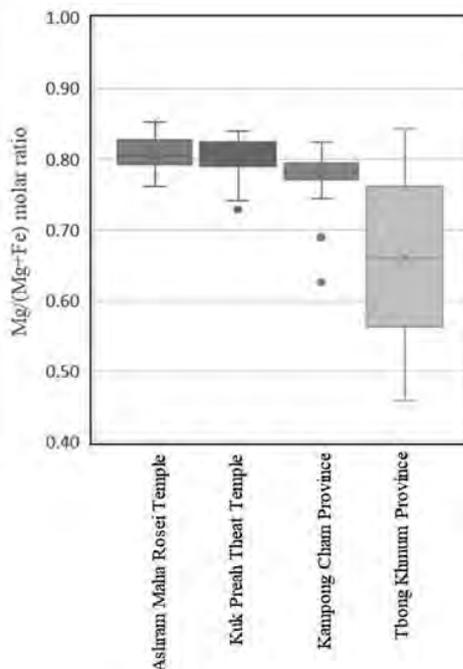


図 5 X 線マイクロアナライザー分析によるカンラン石の Mg/(Mg+Fe) モル分率

5. 考察

TAS 図において、採取した試料は玄武岩から粗面玄武岩に分類され、Tbong Khmum 州の玄武岩は他の玄武岩と比べてやや SiO₂ が少ない傾向を示した。帯磁率では、両寺院の玄武岩は同様な値を示し、Kampong Cham 州（北部）の玄武岩岩体と似た帯磁率を示した。カンラン石の Mg/(Mg+Fe) モル分率も両寺院の玄武岩は同様な値を示し、Kampong Cham 州の玄武岩に近い値を示した。これらのことから両寺院に使用された玄武岩材は共通の供給源を持ち、Kampong Cham 州の玄武岩岩体から切り出され、メコン川を利用して運搬されたことが推測される。

奈良時代の製塩土器の生産地推定

Estimation of pottery provenance for carrying salt in Nara Period

○神野恵 (奈良文化財研究所)、河西学 (山梨文化財研究所)

○Megumi JINNO(Nara National Institute for Cultural Properties), Manabu KASAI (Yamanashi Research Institute of Cultural Properties)

1. はじめに

我が国の古代国家が築かれた奈良盆地には海がない。膨大な都市民が消費する塩の確保は、国家の存亡に関わる重要課題であったに違いない。都に入ってくる塩は木簡を付され、税として貢納されたものと土器に詰められた交易品があったと推定している。土器に入れられた塩は、集積地ないし消費地で加熱(焼塩)して、保管ないし消費されたとみられる。本稿で指す製塩土器とは、生産地からの塩の運搬具と焼塩のための容器を兼ねた、いわゆる焼塩土器を指す。これら製塩土器の生産地を推定することで、文献資料からは知りえない交易による塩の流れを推定することができる。これが本研究の最終目標とするところである。本研究は、その第一段階として、考古学的手法によって分類した製塩土器群について、岩石鉱物組成からの検証を試みたものである。考古学的分類は神野恵がおこない、岩石鉱物学的分析は河西学がおこなった。

2. 分析資料と分析手法

分析に供した資料は、2005年度に奈文研がおこなった西大寺食堂院の発掘調査で出土した井戸SE950出土品⁽²⁾である。337kgに及ぶ出土資料を砲弾形のⅠ類、筒形のⅡ類に大別し、製作技法や胎土の肉眼観察、法量などから13種類に分類した。そのうち、Ⅰ-a類(4点)、Ⅰ-c類(3点)、Ⅰ-d類(3点)、Ⅱ-b類(10点)、Ⅱ-d類(3点)、Ⅰ-e類(3点)計26点について、プレパラートを作成し、岩石鉱物のカウントをおこなった。

試料はルーペによる肉眼観察の後、薄片を作成した。手順は切断機で4×2.5cm程度の大きさに切断し、エポキシ樹脂を含浸させて補強した後、器壁に対して鉛直方向に切断して断面切片(厚さ3mm)を作成、厚さ約0.03mmにまで研磨し、薄片を作成した。さらに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に浸してカリ長石を黄色に染色しプレパラートとした。岩石鉱物成分のモード分析は、以下の方法で行なった。偏光顕微鏡下において、ポイントカウンタを用い、ステージの移動ピッチを薄片長辺方向に0.3mm、短辺方向に0.4mmとし、各薄片で2,000ポイントを計測した。計数対象は、粒径0.05mm以上の岩石鉱物粒子、およびこれより細粒のマトリクス(「粘土」)部分とし、植物珪酸体はすべてマトリクスに含めた。

3. 分析結果(図1)

Ⅰ-a類、Ⅰ-c類、Ⅰ-d類は、いずれも播磨産と推定していたものである。岩石は花崗岩類を主体とし、重鉱物には多寡があるものの黒雲母、角閃石を中心にするなど点で類似性

ポスター
発表

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

が高いと見ることができよう。重鉱物については、混和材の多寡に起因する部分が多いとみられ、製作技法や形状、法量などと合わせて検討するならば、播磨地域のなかでの地域差を反映する可能性もあろう。

I-e 類については、変質火山岩類が最も多く、重鉱物がやや少なく、黒雲母と不透明鉱物を中心とするなど、グループ内での近似性が高い。これらについては、安芸など西部瀬戸内の生産地を推定していたが、特徴的な岩石鉱物を含むことから再検討が必要と考える。

II-b 類、II-d 類については、岩石鉱物に石英、長石が少なく、砂岩、泥質岩が多い点や、重鉱物が極めて少ない点で共通しているといえる。II-d 類は、変成岩が入るもの(404-593)や珪質岩が入るもの(404-591・591)があるなど、分類内でのバラツキが指摘できる。今後、この岩石鉱物組成を製塩土器の分類に還元し、生産地推定に向けた基礎研究を進めていきたい。

参考文献

河西学「古代製塩土器の胎土分析による産地推定-神奈川県小田原市内遺跡、山梨県南アルプス市内遺跡の事例から-」『帝京大学文化財研究所研究報告』16、2017年、pp.93-104
 神野恵「都城の製塩土器」『第16回官衙・集落研究会報告書 塩の生産流通と官衙集落』2013年、pp.145-180

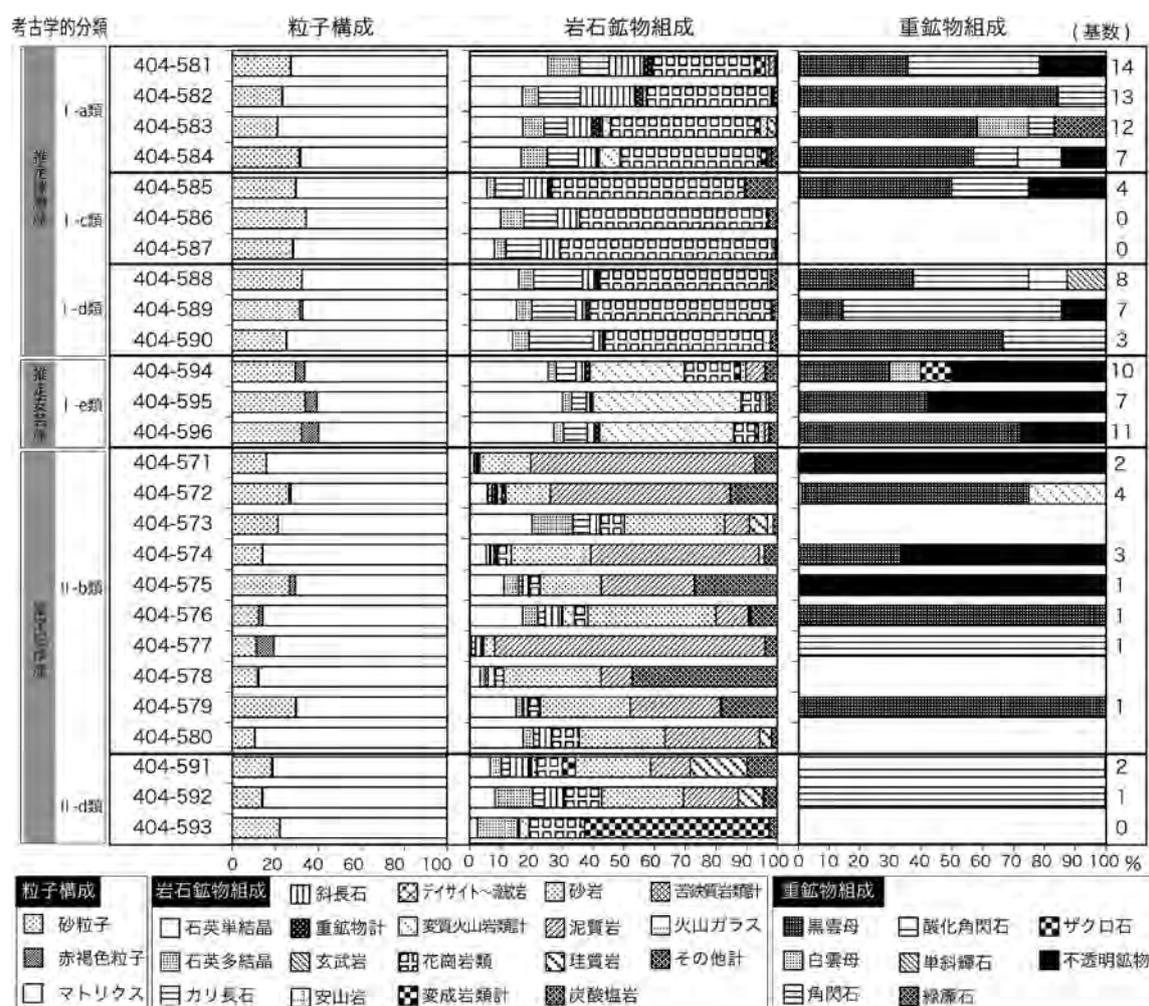


図1 製塩土器の岩石鉱物組成

いわき市と久慈市産琥珀の Pyro-GC/MS による分類について

Classification of amber from Iwaki city and Kuji city by Pyro-GC/MS

○植田直見（公益財団法人元興寺文化財研究所）、渡邊緩子（日鉄テクノロジー株式会社）

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

Hiroko WATANABE (Nippon Steel Technology, Co.,Ltd)

1. はじめに

これまで、古墳時代の遺跡出土琥珀について、自然科学的な分析により九州・関西・東日本、北海道と地域ごとの産地推定を行い、それらを比較し日本国内における古墳時代の遺跡出土琥珀の流通について検討した。しかし、これまで様々な分析方法で産地の推定を行ってきたが、いずれもいわき市と久慈市を区別することは難しく、成果が得られなかった。これは、いわき市と久慈市産の琥珀はその生成年代や由来する植物が同じであるため、赤外分光分析では指紋領域のピークのパターンがほぼ同じとなり、熱分解-ガスクロマトグラフ/質量分析(以下 Pyro-GC/MS)においても 550℃での熱分解成分はそのマスプロットのピークパターンがほぼ同じであることが分かっており、両者を区別する試みは成功しなかった。そこで、これまで劣化の影響を受けやすいと見られた、いわき市と久慈市周辺から産出した琥珀の Pyro-GC/MS の結果を再度見直す中で、350℃の熱脱着成分に着目し、マスプロットのピークパターンを再度検討し、分類を試みた。その結果、いわき市と久慈市が区別できる可能性を得たので報告する。

2. 分析資料

標準試料としてのいわき市（広野町、末続地区、南沢地区、人間沢地区）と久慈市（小久慈町、赤川地区、川代地区、和野地区）産の琥珀はそれぞれ市内4か所から産出したものを使用した。また、古墳時代の遺跡出土琥珀は関東（千福寺下32号墳、公津原古墳）、東北地方（羽黒神社西遺跡、沢田Ⅲ遺跡）と西日本（浅子谷古墳、井田川茶臼山古墳）から2点ずつ合計6点を対象として分析を行った。

3. 分析方法および条件

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 を組み合わせたものを使用した。Pyro-GC ではカラムとして Agilent J&W 製カラム DB-1ms 60m×0.25mmI.D.×0.25 m を使用、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。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

4. 結果および考察

久慈市といわき市から産出した標準琥珀のトータルイオンクロマトグラム (TIC) を図 1-1 に示した。さらに、 $m/z=95$ 、 $m/z=170$ 、 $m/z=245$ のマスクロマトグラム (MC) を図 1-2 に示した。さらに遺跡出土琥珀についても同様に TIC と MC をそれぞれ図 2-1 と図 2-2 に示した。

その結果、標準琥珀において、これらの MC ではいわき市と久慈市が異なったパターンを示し、区別することが可能であることが分かった。一方、遺跡出土琥珀は標準琥珀に比べて劣化の影響を受けている可能性が高いと考えられたが、今回対象とした 6 点は同じ MC において、大きく 2 種類に分類できることが分かった。標準琥珀のピークのパターンと比較すると完全に一致しなかったが、千福寺下 32 号墳、公津原古墳、羽黒神社西遺跡出土琥珀はいわき市産に、沢田Ⅲ遺跡、浅子谷古墳、井田川茶臼山古墳は久慈市産に比較的近似した結果となった。

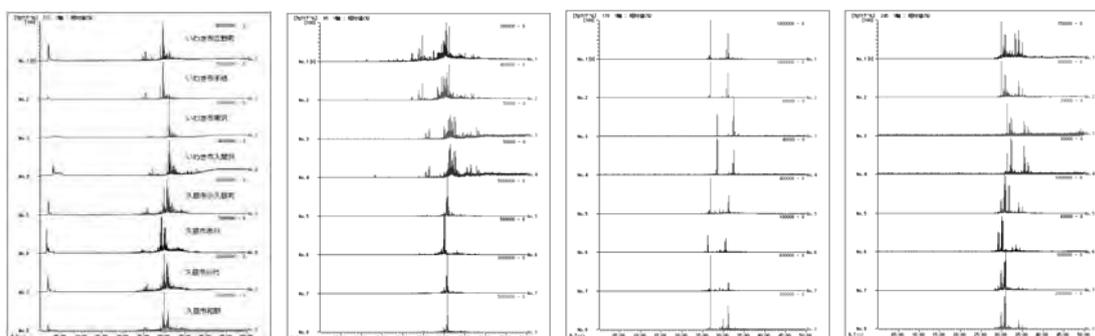


図 1-1. 標準琥珀の TIC 図 1-2. 標準琥珀の MC (左: $m/z=95$ 、中: $m/z=170$ 、右: $m/z=245$)

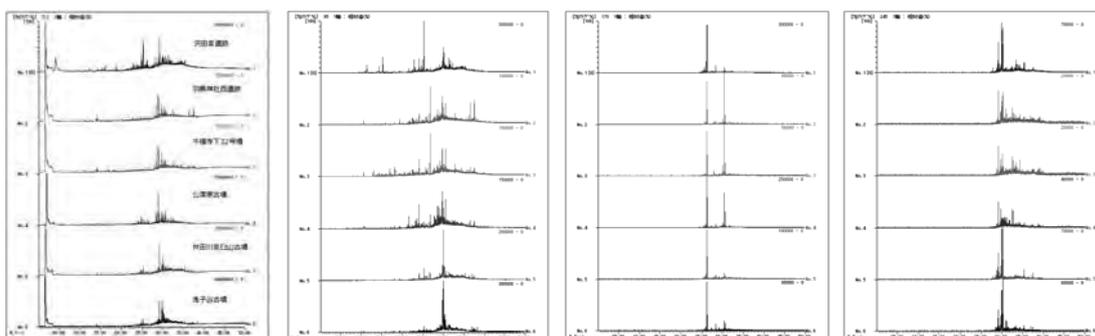


図 2-1. 出土琥珀の TIC 図 2-2. 出土琥珀の MC (左: $m/z=95$ 、中: $m/z=170$ 、右: $m/z=245$)

5. さいごに

今回、Pyro-GC/MS の 350°C における熱脱着成分に着目して産地推定を試みた。標準琥珀ではその一部にいわき市と久慈市のパターンが異なることが分かったため、出土琥珀についても応用できると考えた。ただ、出土琥珀は劣化の影響を受けるため、今後さらに劣化の影響の少ない条件を選択することで多くの出土琥珀の産地推定につなげたい。

葛西城址出土の鉄砲玉の材質と材料産地推定

Material and Provenance of Bullets Excavated from Kasai Castle

○三浦麻衣子（帝京大学文化財研究所）、藤澤明（同左）、畑大介（同左）、永越信吾（葛飾区郷土と天文の博物館）

○Maiko MIURA, Akira FUJISAWA, Taisuke HATA (Research Institute of Cultural Properties, Teikyo University), Shingo EIKOSHI (Katsushika City Museum)

1. はじめに

戦国大名にとって、軍事物資を入手することは戦を有利に進めるために重要だった。軍事物資の中でも鉛は加工が容易で柔らかく、銃身を傷めない素材であることから、鉄砲玉の材料として適し、多くの大名が求めた素材であった。近年、戦国時代の鉄砲玉に対して自然科学的研究が進められ、西国大名は外国産材料を使用し鉛製の鉄砲玉を利用していた一方で、東国の大名は鉛が手に入らなかったためか銅合金や鉄で鉄砲玉を製作していたことが明らかになってきた。本研究では小田原北条氏の支城であった葛西城（東京都葛飾区）から出土した鉄砲玉について自然科学的調査を行った結果を報告する。

2. 分析対象資料

葛西城址から出土した鉄砲玉 4 点である。出土状況から戦国時代のものと推測され、天正 18（1590）年の豊臣秀吉による小田原北条氏攻めの際、使用された可能性がある。資料の大きさ、重量、目視観察の色を表 1 に示す。

表 1 分析資料一覧

資料No.	最大径(mm)	重量(g)	色
No.1	13.9	13.4	黒
No.2	12.9	9.0	黒+白
No.3	12.3	7.5	白緑
No.4	14.1	9.4	白

3. 分析方法

蛍光 X 線分析による化学組成の調査と鉛同位体比分析による材料産地推定を行った。分析に用いた装置と分析条件を以下に示す。

【蛍光 X 線分析】可搬型蛍光 X 線分析装置（Innov-X Systems DELTA PREMIUM DP-4000）、分析条件（分析モード・2 Beam Mining Plus、管球・Ta、電圧・40kV,10kV、測定時間・90 秒、X線の照射径・約 10mm、FP 法により半定量値の算出が可能）

【鉛同位体比分析】表面電離型質量分析計（Finnigan MAT262）、試料条件（試料から分離した鉛 300ng をリン酸とシリカゲルと共にレニウムフィラメント上に塗布）、測定条件（フィラメント温度約 1200°C、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）

4. 分析結果と考察

【蛍光 X 線分析】No.1 と No.4 からは鉛と銅を検出した。半定量値で 2 点ともに鉛の濃度は 99mass%以上であり、微量の銅を含む純度の高い鉛であることが判明した。No.2 からは鉛、銅、亜鉛を検出した。半定量値は鉛が 50mass%、銅が 49mass%であり、亜鉛は微量含まれる。No.3 からは鉛、銅、スズ、亜鉛、アンチモンを検出した。半定量値は鉛が 59mass%、銅が 38mass%、スズが 2mass%であり、亜鉛とアンチモンは微量含まれることがわかった。

東国大名の拠点では銅合金製の鉄砲玉が多数発掘されているが、葛西城では 4 点中 2 点が鉛-銅合金製であった。筆者らは過去に小田原北条氏の支城である八王子城出土の銅合金製鉄砲

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

玉を調査しているが、八王子城では城内で銭貨や半鐘片などを材料として鉄砲玉を製作していたとみられ、青銅製の銭貨を材料としていることから鉄砲玉には平均で 20mass%の錫が含まれていた⁽¹⁾。しかし、葛西城出土の鉛-銅合金製鉄砲玉 (No.2, No.3) からは錫はほとんど検出されず、違いがみられる。

【鉛同位体比分析】結果を図 1 (A 式図) と図 2 (B 式図) に示す。No.1 と No.4 は B 式図ではどの領域にもプロットされないが、朝鮮半島産である可能性が高い。No.2 は両図ともに中国華南産に位置する。No.3 は A 式図では中国華南産、B 式図では産地領域から外れているが中国華南産の可能性はある。

No.1 と No.4 は化学組成と鉛同位体比値が一致しており、同一産地の鉛材料を使用して、加工されたものと考えられる。また、両図において、この 2 点がプロットされる値は葛西城と同時期の遺跡である大友氏遺跡 (豊後府内) で出土した鉛滓と近似する値を示す⁽²⁾。時代は下るが、島原の乱の舞台となった原城で出土した鉛製鉄砲玉の一部もこの値付近に集中する⁽³⁾。現段階では鉱山の特定には至っていないが、戦国時代から江戸時代初期にかけて稼働していた鉛鉱山の材料と考えられる。海外から金属材料を手に入れていた西国大名の大友氏が利用していた鉛材料と同一産地の材料が使われていることから、東国の大名より海外の物資を潤沢に入手できたとみられる豊臣勢が撃った鉄砲玉であること示唆する。

No.2 と No.3 の 2 点については、八王子城出土鉄砲玉のほとんどが中国華南産材料であることと一致している。

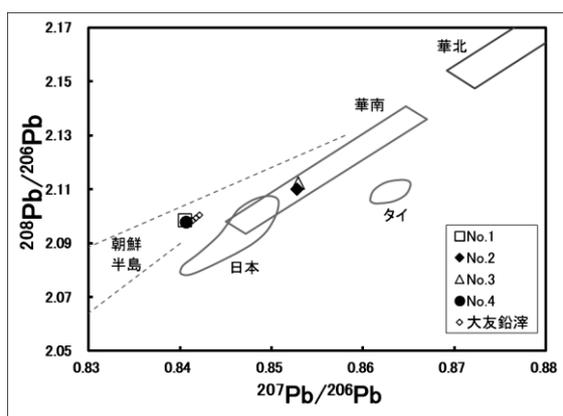


図 1 葛西城址出土資料の鉛同位体比 (A 式図)

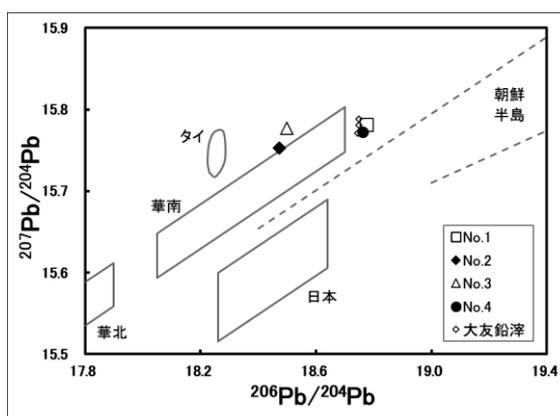


図 2 葛西城址出土資料の鉛同位体比 (B 式図)

5. おわりに

蛍光 X 線分析から鉄砲玉の材質が鉛製と鉛-銅合金製の 2 種類あることが確認できた。銅合金製鉄砲玉は東国大名の拠点で確認されることが多く、葛西城でも銅が含まれる鉄砲玉が検出されたことは先行研究に対応している。しかし、同じ小田原北条氏の支城である八王子城とは化学組成が異なっていた。このことは北条氏領国内での物資の流通状況を考える手がかりとなりうる。また、鉛製鉄砲玉は大友氏遺跡から出土した鉛滓や原城出土の鉛製鉄砲玉と同一産地の材料であることが判明した。戦国～江戸初期に稼働していた海外の鉛鉱山が産地と考えられ、今後産地の特定を行ってきたい。

【謝辞】本研究は公益財団法人高梨学術奨励基金・令和 4 年度若手研究助成を受けたものです。

【参考文献】(1) 三浦麻衣子・藤澤明・金子征史・村山修「八王子城出土鉄砲玉に使用された材料の鉛同位体比による推定」『文化財保存修復学会第 41 回研究発表要旨集』2019 (2) 平尾良光「鉛玉が語る日本の戦国時代における東南アジア交易」『大航海時代の日本と金属交易』思文閣出版 2014 (3) 三浦麻衣子・藤澤明・平尾良光・後藤晃一、石川優生「鉛同位体比による大友氏遺跡から出土した金属製品の産地推定」『日本文化財科学会第 37 回大会研究発表要旨集』2020

上越市下馬場遺跡出土黒曜石製石偶の石材原産地推定

Estimating the source of obsidian stone figure excavated from the Shimobaba site, Joetsu City

○森 貴教（新潟大学）、青木要祐（同左）、佐々木繁喜（岩手県一関市文化財調査委員）
○Takanori MORI, Yosuke AOKI (Niigata University), Shigeki SASAKI (Member of Ichinoseki City
Cultural Properties Survey Committee)

1. はじめに

新潟県上越市下馬場遺跡（弥生後期後半～終末期）から黒曜石製の打製石偶が1点出土している（尾崎編 2005、図1）。黒曜石製石偶は「四肢獣形」の石製品であり、北海道・東北部の縄文時代から弥生時代・続縄文文化期にかけて認められる特徴的な物質文化である。当該期における文化の広がりや地域間の関係を明らかにする上で重要な資料である。本発表では、本資料に対する石材原産地推定の分析結果を報告し、石材利用の観点から出土意義について考察する。

ポスター
発表

2. 資料と方法

下馬場遺跡は新潟県上越市下馬場に所在し、高田平野西側の西頸城丘陵から派生した標高約70～78mの尾根上に位置する集落遺跡である。対象とするのは、本遺跡出土の黒曜石製の打製石偶1点である。8GグリッドI層からの出土であり、出土状況から所属時期を判断することはできないが、遺物包含層からは弥生後期後半～終末期を主体とする土器が出土しており、本資料も当該期のものとみられる。

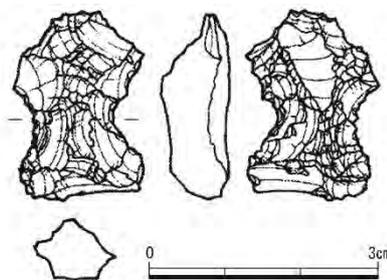


図1 下馬場遺跡出土石偶 (S=1/1)

測定には、公益財団法人岩手県南技術研究センターに設置されている上面照射型のエネルギー分散型蛍光X線分析装置（Bruker AXS社製M4 TORNADO）を使用した。石材原産地推定のための判別は、青木・佐々木（2021）で提示した判別図および分析方法に基づく。また、被熱や風化程度に応じた元素の変化傾向を加味した判別図も別に作成した。

3. 分析結果

分析の結果、2つの判別図（図2・3）でいずれも「和田峠系ⅢA」の領域に入ることが明らかになった。したがって、本資料の石材原産地は長野県の和田峠であると推定される。観察に基づく本資料は被熱を受けておらず、風化の程度も弱いとみられるが、被熱・風化検定による判別分析でも同じ領域に含まれることが分かった。

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

4. おわりに

これまでの研究で、本資料のような打製石偶は「四肢獣形」の動物意匠遺物の一つと考えられている（斎野 2005）。黒曜石製石偶は、北海道では縄文時代から続縄文時代にかけて存在し、弥生時代の東北北部では青森県八戸市是川中居遺跡、青森県むつ市二枚橋遺跡などで出土している。二枚橋遺跡出土の黒曜石製石偶は、鹿又ほか（2015）による石材原産地分析で「和田峠系 2」と推定されており、大局的にみれば、本研究同様に「和田峠産」と捉えられる。二枚橋例は、弥生中期初頭～前葉（二枚橋式）に位置づけられている。

本資料は本州南端の事例であることから、これまで同遺跡出土の続縄文土器 2 点（後北 C1 式～C2・D 式、弥生後期後半～終末期併行）とあわせて、「続縄文文化の南下」との関連が注目されてきた。

本研究の結果、本資料の黒曜石が「和田峠産」であると推定された。このことは信州産の黒曜石を用いて、石偶という北方系の狩猟儀礼に関連する石製品が製作されたことを示唆する。現在までの四肢獣形の動物意匠遺物（土製品・石偶）の分布状況からみると、その製作者は、「四肢獣形」についての知識を有しており、北海道もしくは東北北部方面に出自をもつ人物であった可能性が考えられる。

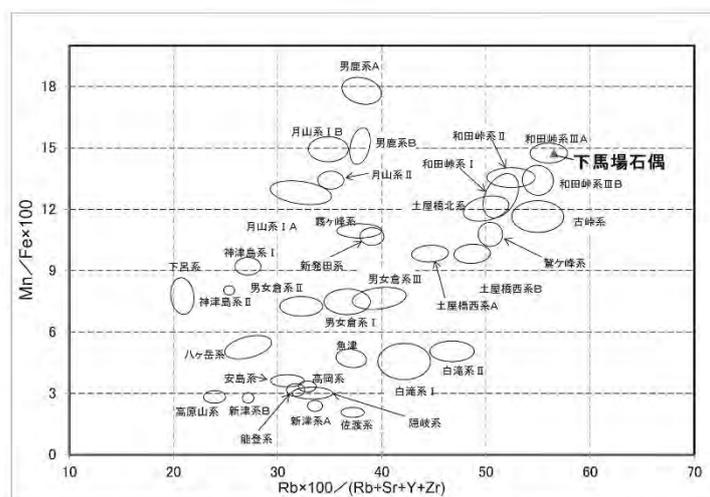


図 2 下馬場遺跡出土石偶の判別図（1）Rb 分率

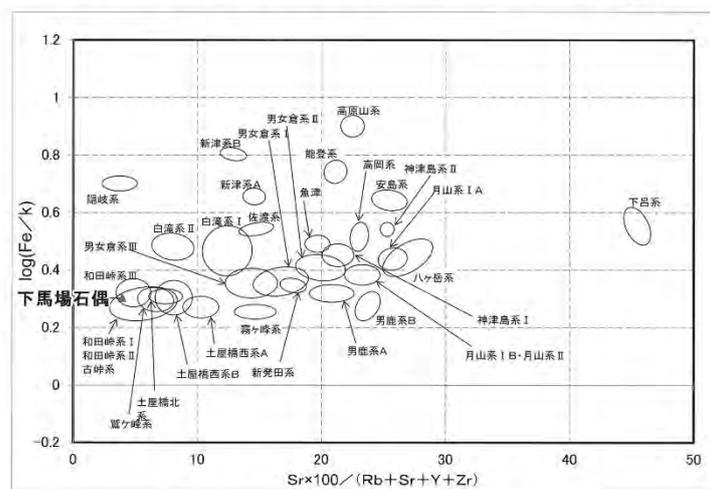


図 3 下馬場遺跡出土石偶の判別図（2）Sr 分率

参考文献

- 青木要祐・佐々木繁喜 2021「宮城県葉山 No.34 遺跡出土黒曜石製石器の原産地分析」『文化財科学』第 83 号、日本文化財科学会、91-107 頁。
- 尾崎高宏（編）2005『上信越自動車道関係発掘調査報告書Ⅸ 下馬場遺跡 細田遺跡』（新潟県埋蔵文化財調査報告書第 152 集）、新潟県教育委員会・財団法人新潟県埋蔵文化財調査事業団。
- 鹿又喜隆・井上 巖・柳田俊雄 2015「黒曜石原産地分析による先史時代の石材流通に関する基礎的研究」『文化』第 79 巻第 1・2 号、東北大学文学会、47-61 頁。
- 斎野裕彦 2005「東北における動物形土製品：四肢獣形の変容・消滅」『葛西勳先生還暦記念論文集 北奥の考古学』葛西勳先生還暦記念論文集刊行会、303-336 頁。

陶器における中間層の生成原因の研究－唐津焼を代表資料として

Study of the cause of middle layer formation in pottery-As a representative of *Karatsu* ware-

○隋藝博（東京藝術大学大学院）、小椋聡子（同左）、三上亮（同左）、桐野文良（同左）
○Zui Kihiro, Ogura Satoko, Mikami Ryo, Kirino Fumiyoshi (Tokyo University of the Arts)

1. はじめに

唐津焼の自然科学的研究では、これまで胎土や釉薬に関する研究が独立して行われてきた。しかし、胎土と釉薬との関係性の研究はほとんどなされていない。文化財資料である桃山時代の唐津焼を光学顕微鏡にて観察されたところ、一部の資料には、釉層と胎土層との界面付近に界面層（以下、中間層と呼ぶ）が存在している。中間層を有する資料では胎土の焼成温度がより高い。しかしながら、具体的な焼成条件は不明である。唐津焼資料の分析結果を踏まえ、焼成実験により中間層の生成条件の解明を試みた。本研究では、唐津焼陶片を研究資料とし、文化財資料と模擬実験を通し、胎土と釉薬との関係性を明らかにすることを目的とする。胎土と釉薬の性質、そして焼成中における両者の相互作用を明らかにすることで、伝統的な陶芸技法を知ることができ、さらなる発展が期待できる。本報告では焼成実験と分析実験の比較結果を述べる。

2. 研究方法

胎土の原料と配合比（%）：

（長石の粒子の大きさによる違いを調べるため、本焼き焼成条件：
#30 と #60 にふるい分けた）

赤土 5 号 ($\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$ 、 SiO_2 、 K_2O 、 FeO 、 CaO 、 MgO)	平津長石 (Na_2O 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 K_2O 、 FeO 、 CaO 、 MgO)		パターン	5	6	7
	#30	#60	焼成温度	1280°C		
			昇温速度	100°C/h	0 - 1150 °C 100°C/h 1150 -1280 °C 13 °C/h	
			ねらし時間	5 min		1 h
97	3	3				
90	10	10				
70	30	30				

釉薬原料：釜戸長石 60%、木炭灰（#80）40%

分析：

- ・光学顕微鏡による断面観察
- ・XRD による胎土結晶構造解析（40kV、50mA、スポットサイズ 10mm 角、走査速度が 5° /min）
- ・FE/SEM - EDS による胎土と釉薬の組成分析
（真空度： 10^{-9} Pa 以下、加速電圧：15.0 kV、エミッション電流：15μA 作動距離：15.0 mm）

3. 結果と考察

光学顕微鏡像より、すべての試料に中間層が観察される。中間層は胎土と釉薬が混合した色味を呈している。釉層が厚くなるとともに、中間層が厚くなる傾向がみられる（図 1. a）。パターン 6 において、焼成温度を 1280°C、また一般的に長石の熔融と言われている 1150°C から昇温速度を落とし、ねらし時間を 5 min にしたことで、中間層が生成している。このことは、焼成温度と昇温速度が中間層の生成に関与していることを示している。また、図 1. b に示すように、さらにねらし時

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

間を長くして、1hにすると、中間層がより発達した。よって、焼成温度と昇温速度が中間層の生成に参与することが明らかとなった。以上の観察結果に基づき、胎土中の長石が熔融したことで中間層を生成させたと考えられる。

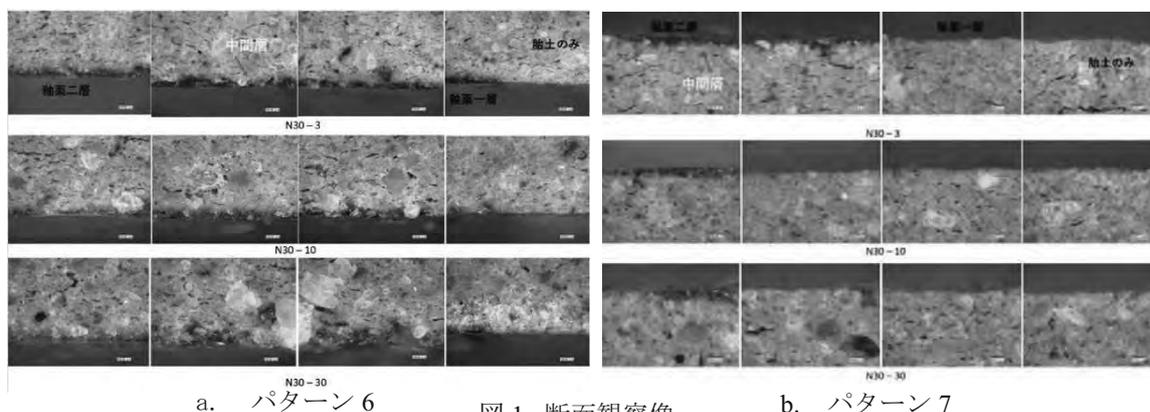


図1. 断面観察像

光学顕微鏡の観察結果をもとに、焼成中における胎土中の長石の結晶構造をX線回折測定により調べた。図2に示すように、長石の配合量と関係なく、すべての試料に長石が検出されない。これは焼成温度をより高く、昇温速度を低下し、さらにねらし時間を長くすると、長石が熔融し、融剤との反応などにより融剤との反応などにより新たな結晶相として成長し、もしくは非晶質となり長石の結晶として検出されないことが考えられる。

SEM - EDSによる試料元素分布分析より、各層におけるアルミナ濃度に違いがみられる。釉層のアルミナ濃度が最も高く、釉層から胎土層に向かってアルミナ濃度が減少する。これは焼成中に長石の熔融によりアルミナが活性化し、釉薬層から胎土層に拡散したと考えられる。生成原因や長石を融解する効果があるCaとの関係については今後詳しく検討していく。

4. まとめ

以上の焼成実験の結果に基づき、中間層の生成作用を助長するのに焼成温度・昇温速度・ねらし時間が重要であることを見出した。また、胎土中の長石が中間層の生成に参与していることが推測され、長石を融解する効果があるCaとの関係について、今後さらに詳しく検討していく。

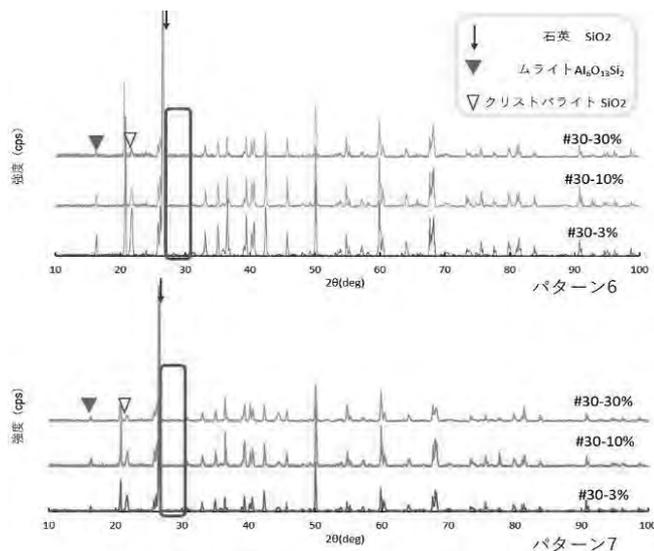


図2. X線回折像

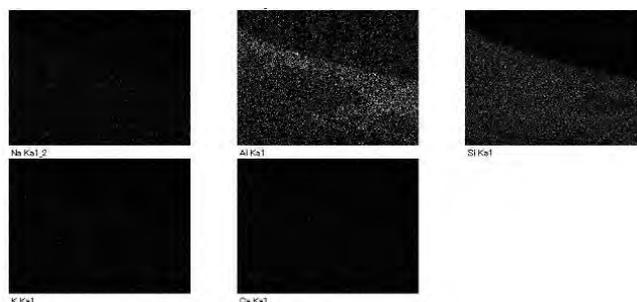


図3. 断面元素分布像

全天空写真による日射が石造文化財に及ぼす影響の推定

Estimating the effect of solar radiation on stone with hemispherical photographs

○杜之岩 (復旦大学)、脇谷草一郎 (奈良文化財研究所)、王金華 (復旦大学)
○DU ZhiYan (Fudan University), WAKIYA Soichiro (Nara National Research Institute for Cultural Properties), WANG JinHua (Fudan University)

1. はじめに

日射は屋外の石造文化財に生じる乾湿風化や熱風化などの誘因として知られ、石造文化財の劣化を促進する恐れがある。したがって、遺跡現地の外界気象を実測して、石造文化財の劣化に対して日射がおよぼす影響を検討することは、それらを現地保存する上で欠かすことができない。現在、石造文化財に当たる日射の影響を調査するとき、一般には日射計を用いて長期間の実測調査を実施する。しかし、石造文化財において日射計の設置や長時間の実測ができない場合もある。そこで、本研究は生態学などの分野によく利用される全天空写真撮影によって、全天空写真から効率的に積算日射量を推定する手法の提案を試みた。

2. 研究方法

2.1 開空度と全天空写真撮影

開空度 (sky view factor) はある点から天を見たときの天球の投影面積において、障害物に遮られない天空の割合を指す。生態学で葉面積指数や林内日射量の測定、気象学で山地内において太陽放射エネルギーの計算などの研究では、しばしば開空度が使用される。魚眼レンズを装着したカメラで撮影した全天空写真をソフトで計算し、開空度を得ることはその一般的な解析方法である。

2.2 調査 I : 全天空写真撮影による石船石棺の調査

高松市石船天満宮にある石船石棺は約 20 年前から保護用覆屋が設置され、その頭部側および足側に岩石が敷かれ、地盤とは接していない状態で保存されている(図 1)。近年、石棺の南側面の保存状態が悪くなり、特に下半を中心に表層の浮き、剥離が顕著に進行している(図 1)。一方、石棺の内側や他の側面には表面剥離は認められず、比較的良い保存状態を維持している。調査の結果、石棺の南側面は直達日射が当たることで乾湿繰り返しが生じており、その結果、表面の剥離が促進されていると予想された。

そこで、直達日射が石棺の南側面に当たることを明らかにするため、魚眼レンズ(Sigma 社 8mm F3.5 EX DG CIRCULAR FISHEYE)付きのカメラで石棺の直近から全天空写真を撮影した。得られた画像に対して、全天写真解析プログラム CanopOn2 を利用し、石棺直上の開空度を算出した。また、石棺の直近において日射計(Apogee 社製、シリコン日射センサー SE-SP-110)を設置し、日射量を実測した。

2.3 調査 II : 全天空写真撮影による賀蘭口岩画の調査

賀蘭山岩画は中国北方にある代表的な岩画で、1996 年中国重点文物保护单位(日本では国の史跡クラス)に登録された。賀蘭口岩画は賀蘭山岩画の一部であり、銀川市賀蘭口溝にある岩壁に分布している。岩画が彫刻された石は変質砂岩という非常に硬い岩石である一方、屋外の環境に数千年間さらされてきたため、賀蘭口岩画の一部は亀裂や表層剥離などの劣化が進行している(図 2)。賀蘭口岩画の劣化に対して日射がおよぼす影響を検討するため、異なる位置にあって日射条件が異なる複数の岩画に対して開空度の比較をおこなった。

図 3 に示すように賀蘭口溝の奥部(A)、中部(B)および溝外(C)に気象観測装置(FRT 社 FWS600)を設置し、日射量も実測した。また、それぞれの位置において、全天空写真を撮影し(Olympus 社 FCON-T02 Fisheye Converter)、CanopOn2 で A、B、C 直上の開空度を算出した。

3. 結果と考察

ポスター
発表

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

3.1 調査 I の結果と考察

石船石棺直上の全天空写真を図4に示す。また、春分・秋分、夏至、冬至の各日における太陽の軌跡も全天空写真中に示した。図4に示すように石棺直上の覆屋によって開空度が23%という低い値を示したものの、秋分以降、翌年の春までの比較的長い期間で、太陽の軌跡は覆屋を外れており、この間直達日射が石棺に到達し得ることが示唆された。

図5に日射量の実測結果と高松地方気象台が公表する水平面全天日射量を合わせて示す。石船石棺では夏季は日射量が極めて低い値を示しており、覆屋によって効果的に日射が遮蔽されている様子が認められた。一方、秋以降、翌年の春にかけては全天の日射量と概ね同等の日射が供給されており、全天空写真の結果と調和的な結果を得た。すなわち、石船石棺では秋から翌春にかけて限定的に直達日射が照射することが明らかとなった。

以上の結果から、全天空写真は日射量の実測と同じ、太陽高度の季節変化による石造文化財に当たる日射の有無の把握ができることがわかった。

3.2 調査 II の結果と考察

A、B、C箇所において実測した日射量の積算値(2021.7.24-2022.6.1)を図6に示す。3箇所の日射量積算値の比はA:B:C=2745MJ/m²:2990MJ/m²:3809MJ/m²=1:1.09:1.39。また、A、B、C直上の全天空写真と算出された各箇所直上の開空度を図3に示す。3箇所の開空度の比はA:B:C=45.3%:54.5%:86.5%=1:1.20:1.91となり、上述の日射量積算値とは一致しない。

一方、全天空写真から開空度を求めることは、まず障害物を黒に、天空を白に調整し、白黒の割合を計算したことである。しかし、日射量の実測は山などの障害物からの反射日射量も測っている。そのため、銀川市が位置する寧夏自治区について、先行研究で得られている地表面のアルベドの値0.31¹⁾を用いて、3箇所の開空度を開空度^{hk}に修正した。ここで、開空度^{hk} = 開空度 + (1 - 開空度) × 0.31である。修正した3箇所の開空度^{hk}の比はA:B:C=62.3%:68.6%:90.7%=1:1.10:1.46になり、日射量積算値の比と調和的な結果を得た。もちろん、この計算方法はおよその日射量の推定を期待しているもので、今後、他の調査結果も対象に更なる検討を要する。

4. まとめ

2つの現地調査の結果、全天空写真と算出される開空度から、石材に照射される日射量を季節ごとに推定することが可能である。日射実測の補足方法として、これから石造文化財の現地調査への活用が期待される。



図1 石船石棺とその南側面の劣化



図2 賀蘭口岩画に表面剥離が発生

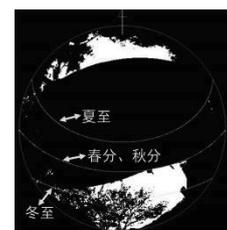


図4 石船石棺直上の全天空写真

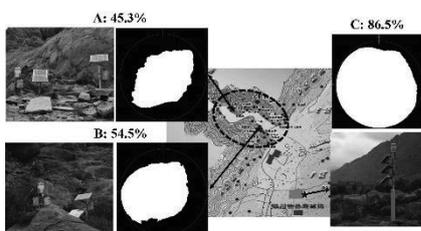


図3 A、B、Cの位置とその全天空写真

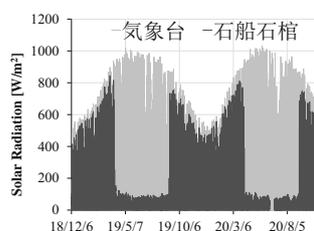


図5 日射量の観測値

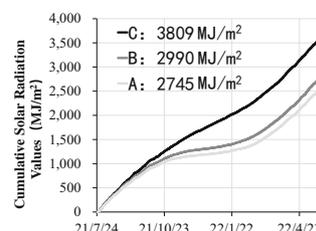


図6 日射量の積算値

謝辞:

本研究では高松市埋蔵文化財センターおよび賀蘭山岩画管理处の担当者に調査協力を賜りました。感謝申し上げます。

参考文献: 1) 郭建茂, 等. 宁南地区地表特征参数及辐射平衡区域分布[J], 地理研究, 2007, 26(6)

文化財建造物における障壁画の保存・公開に関する研究

—実環境下における障壁画の熱湿気性状を考慮した絵具の変褪色要因の検討—

Study on conservation and exhibition of Wall Paintings in Cultural Properties – Investigation of the cause of paint color change under installation environment—

○乙守倫太郎（京都大学）、高取伸光（同左）、小椋大輔（同左）、岡村知明（京都市）、
高林弘実（京都市立芸術大学）、貴田啓子（東京藝術大学）

○Rintaro Otomori, Nobumitsu Takatori, Daisuke Ogura (Kyoto University),
Tomoaki Okamura (The City of Kyoto), Hiromi Takabayashi (Kyoto City University of Arts),
Keiko Kida (Tokyo University of the Arts)

1. はじめに 本研究で対象とする二条城の本丸御殿における障壁画は現在行われている保存修理の後、御殿内で原画が展示・公開される予定である。障壁画に用いられる顔料や紙材料は温湿度の変化や日射・紫外線といった環境的要因、揮発性有機物質（VOC）による劣化が危惧されるが、現地で展示・公開される障壁画が実際にどのように劣化していくのかは不明な点が多い。

本研究では文化財建造物内部における障壁画の変褪色を抑制する適切な保存・公開方法を提案することを最終的な目標とし、展示環境下における障壁画ならびに障壁画に塗られた絵具の劣化・変褪色傾向とその要因の解明を目的とする。既報[1]では、支持体構造の異なる複数の模擬障壁画の暴露実験を行い、顔料ごとの変褪色傾向について検討を行った。本報では既報に引き続き、絵具の変褪色と暴露環境の温度・湿度の関係および、模擬障壁画の支持体構成の違いと絵具の変褪色傾向の関係について報告する。

2. 実環境下における模擬障壁画の暴露試験の概要

既報同様、図1のように試験体を二条城二の丸御殿白書院の西側廊下に設置し、暴露環境の環境測定および顔料の測色（土色計 SPAD-503 $L^*a^*b^*$ 表色系にて測定）を約1か月間隔で行った。試験体は壁貼り付けを模擬し、支持体構造の異なる計5つの試験体（図1に記載）を用意した。試験体は礬砂引き処理した本紙に顔料と膠を用い調製した計12種類の絵具が塗布されている。

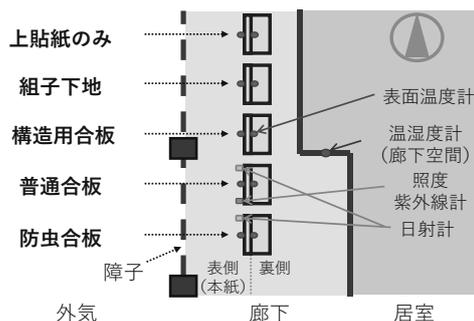


図1 模擬障壁画の暴露試験概要

3. 暴露試験の結果 本節では普通合板の支持体の結果を述べる^{*1}。図2より既報同様、丹や鎌倉朱極赤の色の変化が大きいこと、色差の変化量は年間を通じて一定ではなく、季節変化がある傾向が見て取れる。特に丹は1年周期的に変化をしており、年間の温度変化と負の相関がみられる。一方、天然群青10番など一部の顔料は、梅雨頃である2021年の6月ごろから急激な色の変化を示しており、湿度が顔料の色の変化に影響を及ぼしている可能性がある。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

丹は温度が高くなると赤く、低くなると黄色くなる傾向があることが明らかとなった。図3より丹は温度と色差に非常に強い負の相関がみられ、中でも色相差と明度差に強い相関が見られた。鎌倉朱極赤は温度と色差にはほとんど相関は見られず、丹同様、色相差との間に強い相関が見られた(図略)。なお、その他の顔料については丹や鎌倉朱ほど高い相関係数は得られなかった(図略)。どの絵具も梅雨期の2021年の6月までは変化が非常に小さいが、6月以降急激に色差が増加し、12月頃には色差が低下した(図略)。湿度が色の変化に影響を及ぼし、色の変化が可逆性を持つ可能性が考えられる。また、この時の色差の変化は彩度および色相の影響が大きくみられた。なお相対湿度と色差との関係は有意な相関は見られなかった(図略)。

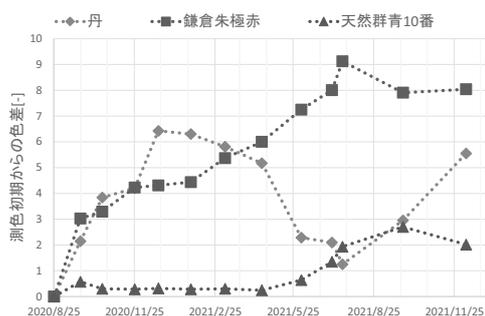


図2 普通合板における色差の変化

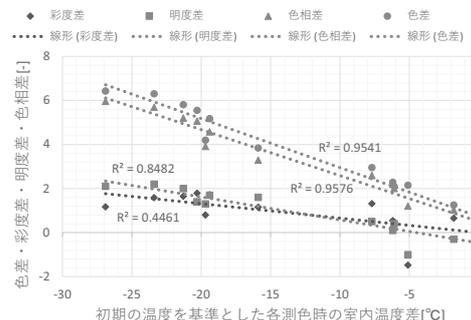


図3 丹の色と温度の関係(普通合板)

4. 支持体構成ごとの色の見えの変化 図4より鎌倉朱極赤は組子下地で色差の変化が最も大きく、図5より天然群青10番は組子下地で色差の変化が最も小さい傾向が得られた。また、その他の支持体では色差の変化傾向はほぼ一致した。これらの結果は、組子下地の支持体が格子構造になっているため、紙が支持体に全面貼りついていないため、日射による支持体表面の温度が上昇しやすくなったことが影響しているものと考えられる(図略)。

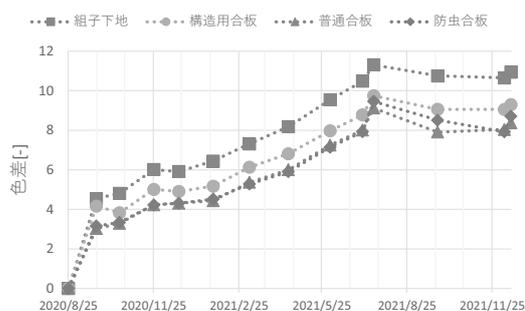


図4 各支持体の鎌倉朱極赤の色差の推移



図5 各支持体の天然群青10番の色差の推移

5. 結論 本報では支持体構造の異なる複数の模擬障壁面の暴露実験を行い、測定結果から模擬障壁面の色の変化と温度・湿度との関係および支持体ごとの変褪色傾向について検討を行った。丹や鎌倉朱極赤などの顔料は温度と色相に強い負の相関が、天然群青10番は湿度と彩度に相関がみられた。支持体構成ごとの比較では、組子下地のみ有意な差がみられ、鎌倉朱極赤は色差の変化が大きいに対し、天然群青10番は小さくなるという結果が得られた。

【注釈】※1 測色で得られた $L^*a^*b^*$ 値をCIE1976において定義される色差 ΔE_{ab}^* 、彩度差、色相差、明度差に換算した。
 【謝辞】本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究(B)(課題番号:21H01491、研究代表者:小椋大輔)の助成を受けたものである。また、模擬試験体作成にあたり京都市文化市民局元離宮二条城事務所のご協力を賜りました。ここに記して厚くお礼申し上げます。【参考文献】[1] 高取ら, “文化財建造物における障壁面の保存・公開に関する研究—実環境下に暴露された顔料の変褪色傾向の測定—” 日本文化財科学会第38回大会, pp.198-199, 2021

地下にある文化財収蔵庫におけるデシカント式除湿機による高湿対策の検討

Investigation of Measures Against High Humidity with Desiccant Type Dehumidifier in Underground Cultural Properties Storage Room

○黒瀬修一 (ダikinエアテック)、小椋大輔 (京都大学)、伊庭千恵美 (同左)、高取伸光 (同左)
北原博幸 (トータルシステム研究所) 浜口守 (ダikinエアテック)、滝田義規 (同左)

○Shuichi KUROSE (DAIKIN AIR TECHNOLOGY AND ENGINEERING CO., LTD)

Daisuke OGURA Chiemi IBA, Nobumitsu TAKATORI (Kyoto University)

Hiroyuki KITAHARA (Total System Lab.)

Mamoru HAMAGUCHI, Yoshiki TAKITA (DAIKIN AIR TECHNOLOGY AND ENGINEERING CO., LTD)

1. 研究の背景と目的 鉄筋コンクリート造の建築物の地下に位置する文化財収蔵庫にて、室内が高湿で文化財へのカビ付着が問題となり除湿対策が必要となった。改善対策としてデシカント式除湿機を導入した。本取組で導入した除湿機は小野寺ら¹⁾による事例はあるが文化財への適用事例が少なく、設計基準が明確になっていない。本稿では、デシカント式除湿機を地下収蔵庫に導入することによる除湿効果と課題を明確にすることを目的とし、約半年間地下収蔵庫の温湿度等の計測を実施した。その計測結果から除湿機が導入された地下収蔵庫の高湿度抑制に関する効果と地下収蔵庫が高湿となる要因の検討を行った。

2. 試験概要

2.1 収蔵庫について 平面図を図1に、断面図を図2に示す。東面は外壁で外気と接しており、南側壁面は地中壁となっている。この地中壁と収蔵庫の間に100mmのブロック壁があり、この地中壁とブロック壁の空間を共同溝と呼ぶ。共同溝は地盤からの浸透水の排出が目的となっており、地下収蔵庫においてはこの浸透水および地中壁に接する外壁面が結露した時に、地下排水ピットへ通じる結露水の流路となっている。収蔵庫の入口は2か所で扉下部にはガラリが設けられており空気の出入りがある。建物出入口は通常は閉まっているが、人の出入りにより開閉される。収蔵庫には空調設備はなく換気設備は設置されているが、稼働時の空気の流れが文化財に及ぼす影響について検討されていない為、未使用である。廊下は空調されていない。

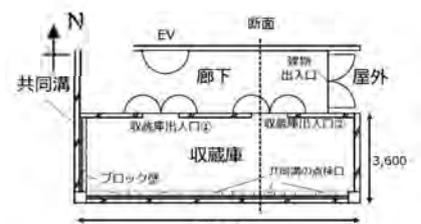


図1 収蔵庫平面図

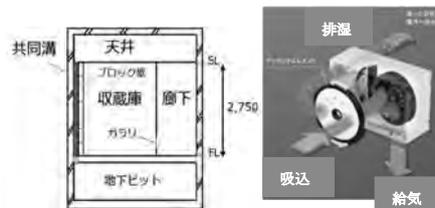


図2 収蔵庫断面図

図3 除湿機

2.2 試験に使用する機器 ダイキン工業製のデシカント除湿機(型式JKT10VS-W以下、除湿機)を2台使用した。本除湿機は図3に示すように室内から吸込んだ空気に含まれる湿分をデシカントに吸着させ除湿し室内へ給気する。尚、除湿した空気の一部はデシカントの再生側に使用され、内蔵された電気ヒーターにより加温しデシカントを再生し脱着水分はホースを通じ外気に気体で排湿する仕組みである。これにより対象室内は陰圧になる。

2.3 計測方法 収蔵庫内の空気の変化、流れを検証するために温湿度と差圧の計測を以下により実施した。図4に示す位置に温湿度センサーを設置した。図より除湿機に近い方から設置位置A1~C3(廊下側)、B1~D2(共同溝側)とし、平面に11箇所、高さ方向に6点(FL+100mm, FL+600mm, FL+1100mm, FL+1600mm, FL+2100mm, SL-100mm; FLは床面, SLは天井面)と共同溝、廊下、天井内の合計69点に設置し、1分間隔で記録した。微差圧センサーによる計測は収蔵庫内を基準とし、収蔵庫と接する廊下、天井、共同溝との差圧を10秒間隔で計測した。

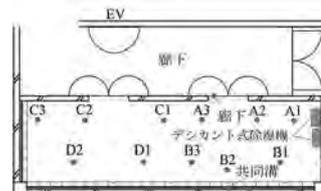


図4 計測位置

2.4 除湿機運転について 2021年6月15日より除湿機を運転した。運転については目標相対湿度を50%とするモードで24時間連続運転を実施した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

3. 計測結果と考察

3.1 温湿度計測結果と考察 (2021年6月から2022年3月までの計測結果)

図5～図7に収蔵庫内の除湿機に最も近い天井近くの計測点 A1-SL-100(以下 A1)、除湿機から離れ且つドアガラリ付近の床近くの C2-FL+100(以下 C2)、収蔵庫の環境に影響すると考えられる廊下と共同溝内、京都地方気象台で計測された外気の温度、相対湿度、絶対湿度をそれぞれ示す。図5より温度は6月15日の運転開始前の収蔵庫内のA1及びC2はほぼ同じ値であったが運転後A1はC2より4℃程度上昇した。また8月にかけて外気、廊下の変化に追従して全体的に上昇し、一方で共同溝は収蔵庫内と比較しておよそ5℃低い温度となった。10月中旬以降は外気の温度低下とともに、廊下の値が収蔵庫内よりも下がった。共同溝は収蔵庫に近い値となった。

図6より収蔵庫内は除湿機運転前の6月15日まではA1、C2とも相対湿度が70%～80%となっていたが運転開始後は5日から10日程度でそれぞれ50%台、60%台に下がった。A1は8月までは50%～60%の間で変化し、C2は70%～80%の間で変化した。A1とC2の相対湿度差は温度差によるものである。9月以降の収蔵庫内は50%台で変動していた。廊下の相対湿度は10月18日頃から50%台で安定しており、外気の変動の影響を大きく受けていない。また、共同溝の相対湿度は6月から9月にかけての90%台後半から10月以降は90%台前半の変化であった。図7より除湿機運転開始前の6月15日までは外気および収蔵庫内の絶対湿度はほぼ同じ値を示した。除湿機の稼働後は外気、廊下、共同溝の絶対湿度が上昇しても収蔵庫内の上昇幅は抑えられている。10月以降は外気・廊下・収蔵庫内の絶対湿度の変化はあるものの9月以前のような大きな差にならず近い値であるが共同溝は高い値を維持していた。共同溝が高湿となる要因として、除湿機の運転により収蔵庫内が陰圧となる影響を受け、共同溝と通じる地下ピットから高湿な空気が共同溝に流入していることが可能性の一つとして考えられる。

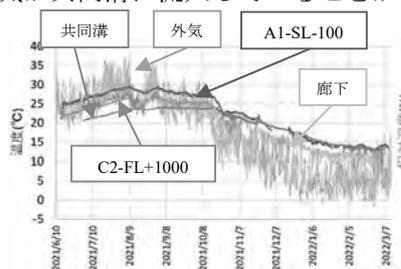


図5 収蔵庫内の温度変化

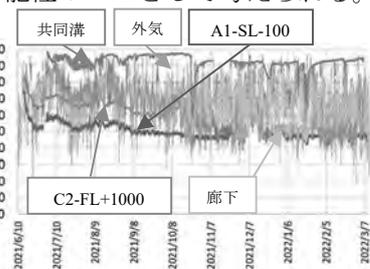


図6 収蔵庫内の相対湿度変化

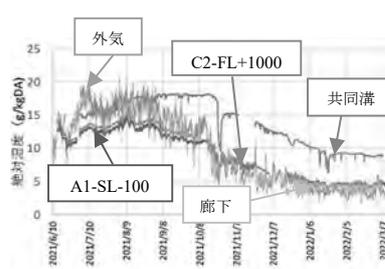


図7 収蔵庫内の絶対湿度変化

3.2 除湿機排湿による空気の流入について

前述の通り本機により陰圧となるため、排湿された風量分の空気は外部から収蔵庫内へ流入する。流入経路として①廊下の空気が収蔵庫扉のガラリを通して流入②共同溝から隙間・壁面コンクリートブロックからの透湿により流入、の2つが考えられる。建物入口扉は収蔵庫入口近傍の廊下にあり入退館の際の開閉により外気が流入する。この外気の影響を受け廊下、収蔵庫内、共同溝の差圧が変動すると考え、差圧の変化と建物入口扉の開閉の関係を確認した。

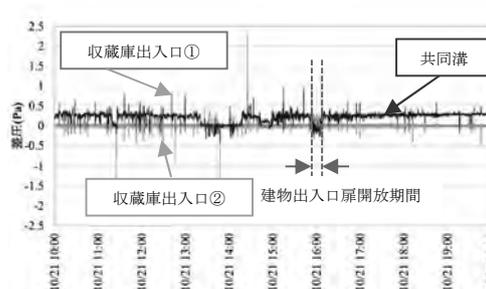


図8 差圧計測結果

図8に差圧計測結果を示す。図より入口扉が閉状態の時、共同溝の室圧が収蔵庫内よりも高い状態を保っているが、入口扉が開放されることで廊下に外気が流入し、廊下の圧力が上がる。また、除湿機の陰圧特性により収蔵庫入口扉のガラリを通じて廊下の空気が収蔵庫内へ流入し、収蔵庫から共同溝に空気が流入していることが分かった。建物入口扉は通常閉じているが、短時間だが頻繁に開かれており、特に梅雨・夏季の外気・廊下の絶対湿度が高い時期は、高湿の空気が収蔵庫内へ流入することにより湿度が上昇すると考えられる。

4. まとめ

本研究により確認された除湿効果と今後の課題を以下に示す。

- 1) 除湿機により収蔵庫内の絶対湿度が低下し高湿化は改善され除湿効果は確認できた。
- 2) 除湿機が陰圧であるため収蔵庫周辺の高湿な空気が収蔵庫内に流入し除湿負荷が増大する。特に6月から9月は高湿となるため外部空気の流入抑制等の対策が必要である。

参考文献 1) 小野寺裕子ら, 空調設備のない収蔵施設の保存環境調査—岐阜県関市春日神社の取り組み—, 保存科学 (60), 151-160, 2021年3月

蛍光 X 線を用いた多孔質材料表面近傍の塩濃度分析手法の検討

Investigation of a method for analyzing salt concentration near the surface of porous materials using X-ray

○酒井紘太郎 (京都大学)、高取伸光 (同左)、脇谷草一郎 (奈良文化財研究所)
小椋大輔 (京都大学)

○Kotaro SAKAI, Nobumitsu TAKATORI (Kyoto University), Soichiro WAKIYA (NABUNKEN)
Daisuke OGURA (Kyoto University)

1. はじめに

塩類風化の抑制は保存科学分野における重要な問題であるが、塩類風化研究の課題の一つに多孔質材料内部における塩分濃度を非破壊的に測定することの困難さがあげられる。エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置は固体に限らず液体試料についても分析可能であり、材料表面近傍の塩濃度を非接触・非破壊で測定できる可能性が期待される。ただし、材料中に固体として存在する塩結晶の測定事例はあるものの[1]、多孔質材料中の塩溶液の測定を行った例は無く、蛍光 X 線強度と材料中の溶液塩濃度に比例関係が認められるかは不明である。本研究では、多孔質材料中の塩濃度分布を測定する手法として、蛍光 X 線による測定手法の適用可能性を明らかにすることを目的とし、異なる濃度の塩溶液に含浸した凝灰岩表面の蛍光 X 線分析を行い、蛍光 X 線強度と塩濃度の関係について検討を行った。

2. 実験概要

実験では、①乾燥状態における試験体表面、②塩溶液表面、③塩溶液に含浸した試験体表面の測定を行った。試験体には 2cm 角の凝灰岩 (阿蘇火砕流堆積物) を用いた。塩溶液の溶質には塩化カルシウム (以下 CaCl_2) を用い、濃度は 12 種類とした。なお、 20°C における CaCl_2 の溶解度は約 $75\text{g}/100\text{g}(\text{H}_2\text{O})$ である。測定環境の計測はしていないが、実験中に飽和溶液でも析出はなく、 20°C 程度に保たれていたと考えられる。蛍光 X 線の元素マッピング分析には BRUKER 社の M6 JETSTREAM を用いた。ターゲットには Rh を用い、管電圧は 50kV 、管電流は $300\ \mu\text{A}$ 、雰囲気は大気、X 線のスポットサイズは $100\ \mu\text{m}$ とした。実験の手順として、まず①の乾燥状態における試験体表面の元素分析を行い、その後②および③の塩溶液を用いた測定を同時に行った。吸放湿による CaCl_2 水溶液濃度の変化を抑えるため、試験体はマイラーフィルムで覆った。なお、試験体は CaCl_2 水溶液に 90 分含浸した後、測定を行った。図 1 に実験風景を示す。

3. 実験結果と考察

図 2 に CaCl_2 水溶液に含浸した際の蛍光 X 線による元素マッピング分析結果のうち、Ca の結果を示す。画像の下半分が CaCl_2 水溶液の表面を、上半分が凝灰岩の表面の結果である。なお、元素の検出量は画像中の色の濃淡に比例している。 CaCl_2 水溶液の濃度の増加に伴い元素マッピング画像の濃度が濃くなっていることが分かる。ただし、一定濃度 (例えば

ポスター
発表

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

30.0 [g/100g (H₂O)] 以上では色の濃淡の違いが不明瞭になっていることが分かる。



図1 実験風景

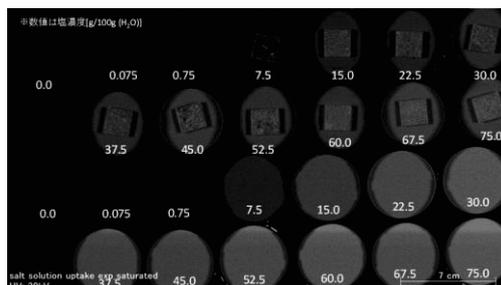


図2 蛍光X線によるCa元素の2次元解析結果

次に、材料表面の塩濃度の定量的評価について検討を行う。各実験におけるCaおよびClの解析[2]結果を図3, 図4に示す。まず、CaCl₂水溶液単体の結果を見ると、Ca, Clともに溶液濃度の上昇に伴い各元素の検出率がほぼ単調に増加している。一方、Ca, Clともに塩濃度増加に伴い検出率の勾配は低下している。次に塩溶液に含浸させた後の凝灰岩表面のCa, Clの元素分析結果を見ると、溶液濃度が15.0 [g/100g (H₂O)]までの濃度域では溶液濃度と各元素の検出率に線形的な関係がみられるが、この濃度を境に溶液濃度に対する検出率の勾配が急激に低下している。この原因としては、CaやClの場合、大気による蛍光X線の吸収の影響[3]は軽微と考えられるため、材料表面の塩溶液が吸湿したことで塩濃度が低下した可能性が考えられる。なお、15.0 [g/100g (H₂O)]以上の濃度域においても溶液濃度とCa, Cl元素の検出量は概ね比例関係が認められるため、測定対象とする材料を用い溶液濃度と検出率の校正曲線を予め作成しておけば、材料表面近傍の濃度を非接触・非破壊で取ることが可能と考えられる。

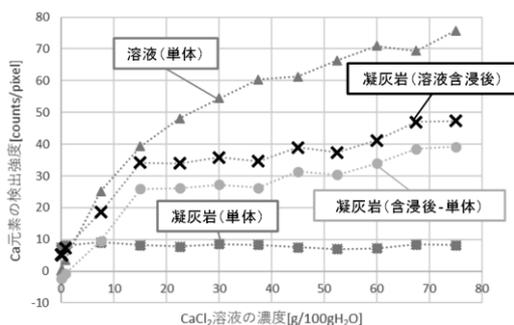


図3 含浸した溶液濃度ごとのCa元素の検出率

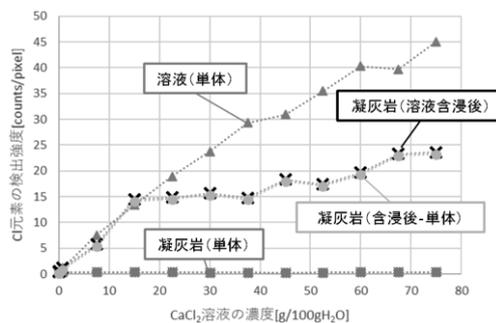


図4 含浸した溶液濃度ごとのCl元素の検出率

4. 結論

本研究では、多孔質材料中の塩濃度分布を非接触・非破壊で測定する手法として、蛍光X線を用いた手法の適用可能性を明らかにすることを目的とし、異なる濃度の塩溶液とそれらを含浸した凝灰岩表面の蛍光X線分析を行い、蛍光X線強度と塩濃度の関係について検討した。蛍光X線による元素マッピング分析結果より、Ca, Clの検出量とCaCl₂水溶液の塩濃度の間にはおおむね比例関係が認められ、この手法の有用性が示唆された。ただし、凝灰岩にCaCl₂水溶液を含浸した場合、塩濃度が15.0 [g/100g (H₂O)]程度の濃度域において濃度に対する検出量の勾配が急激に変化しており、この原因については今後検討を行う必要があると考えられる。

【参考文献】[1] 網野ら, “蛍光X線分析装置を用いた海洋コンクリート製再生細骨材中の塩化物含有率測定に関する検討”, コンクリート工学論文集, 第24巻, 第2号, pp.19-28, 2013 [2] 後藤ら, “エネルギー分散型蛍光X線分析法における各元素の相対感度の測定及びその定量分析への応用”, 分析化学, vol. 36, pp. 842-850, 1987 [3] 大阪府産業技術総合研究所, “エネルギー分散型蛍光X線分析装置”, Technical Sheet, No.12010, 2013

出土鉄製遺物の保存処理に使用されたアクリル樹脂の劣化

Deterioration of acrylic resin used to conservation of excavated iron objects

○植田直見、川本耕三、山口繁生、大橋有佳（公益財団法人元興寺文化財研究所）、
渡辺智恵美（別府大学）、山田卓司（龍谷大学）

○Naomi Ueda, Kozo Kawamoto, Shigeo Yamaguchi, Yuka Ohashi,
(Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

Chiemi Watanabe (Beppu University), Takashi Yamada (Ryukoku University)

1. はじめに

これまで出土鉄製品の強化と防錆のための含浸樹脂の変化に関してまとまった調査は実施されていない。そこで、長期間資料内部に含浸された樹脂の変化を、各種分析を通して確認した。特に、溶剤の有無が樹脂の機能に影響をおよぼす可能性が考えられたため、これまで検討されなかった遺物中の樹脂に含まれる溶剤の有無を調べた結果、長期に亘って内部に存在することが確認できた。

2. 分析資料および分析方法

2-1. 分析資料と前処理

資料は愛媛県松山市内と三重県四日市市内の遺跡から出土した鉄製品を対象とした。これらは保存処理後、少なくとも 20 年以上経過したものである。含浸樹脂は資料をアセトンに数時間浸漬し、表面や内部に存在する樹脂を抽出、アセトンを風乾することで透明から白色の試料を得た。

2-2. 分析方法および条件

分析は全反射フーリエ変換赤外分光分析（以下 FT-IR）、熱分解-ガスクロマトグラフ/質量分析（以下 Pyro-GC/MS）により、未使用の樹脂と比較し、その変化を調査した。測定は Spectrum Two（パーキンエルマー社製）を使用し、検出器 LiTaO₃、分解能 4cm⁻¹ で測定した。Pyro-GC/MS は熱分解装置として Double-Shot Pyrolyzer EGA/PY-3030D（Frontier Lab 製）を GC/MS 装置として JMS-Q1050GC 型 GC/MS（JEOL Resonance 製）を組み合わせたものを使用した。測定はヘリウムガス加熱雰囲気下、350、550 の 2 段階で加熱した。最終のマスクロマトグラムは得られた分子イオンを電子衝撃イオン化法（EI 法）により検出した。さらに、資料中の揮発成分の同定を発生ガス濃縮-加熱脱着-ガスクロマトグラフ質量分析 (MSTD-ATD-GC/MS) により行った。測定は MSTD258M-A 型発生ガス濃縮導入装置（ジーエルサイエンス社製）と Turbo Matrix 650ATD 型自動加熱脱着装置（パーキンエルマー社製）、JMS-Q1050GC 型 GC/MS（日本電子製）を使用、加温温度 40、ヘリウムガス雰囲気下、イオン化法としては EI 法、測定質量範囲は m/z 10-600 で実施した。

3. 結果・考察

FT-IR では分析した全ての試料は未使用の NAD10 のスペクトルと比較すると NAD10 に確認できる主なピークとほぼ同じ位置に吸収が確認できた。さらに酸化反応などによってピーク強度などが変化すると考えられる 1700cm⁻¹ および 1100cm⁻¹ 付近の吸収はその位置や強度がほぼ未使用の

ポスター
発表

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

NAD10 と変わらないことがわかった(図1)。次に Pyro-GC/MS では 350 における熱脱着成分において、主成分のピークは NAD10 のモノマーに由来するイソブチルメタクリレート(図2-③)で、未使用の NAD10 では保持時間 10 分のあたりに溶剤に由来するピークが確認できた。さらに、全ての資料で少量の 2 量体や分解物などが確認できた (図2)。MSTD-ATD-GC/MS では2種類の捕集材 (Tenax、Carboxen)を用いた結果(図3)、ナフサに由来すると考えられる多くの成分が検出された(表1)。

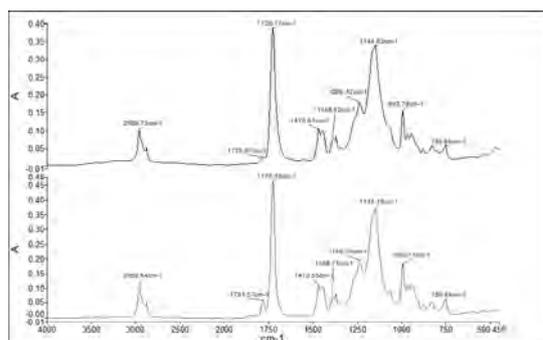


図1.抽出樹脂の FT-IR スペクトル
(上：抽出樹脂、下：未使用の樹脂)

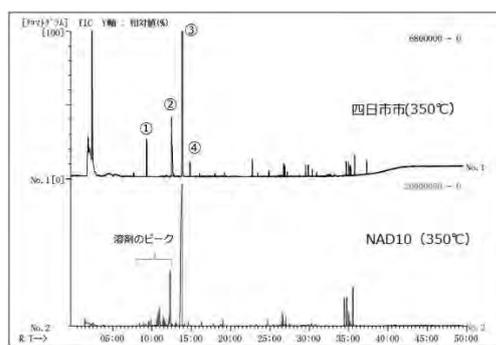


図2.抽出樹脂の Pyro-GC/MS 分析結果 (350)

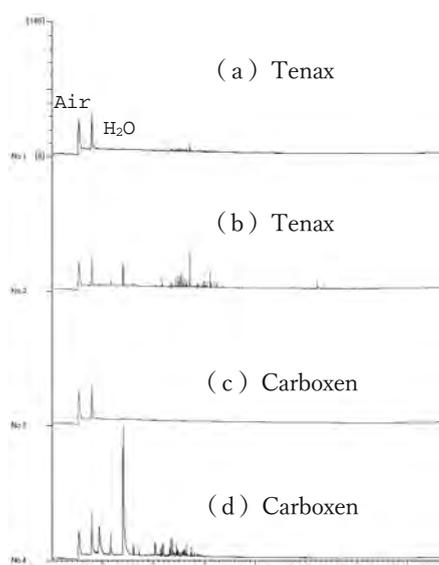


図3.樽味四反地4次出土鉄製品の MSTD-ATD-GC/MS の分析結果

表1. MSTD-ATD-GC/MS により検出された主な揮発成分

推察成分名	推察成分名
n-ヘキサン	o-キシレン
シクロヘキサン	エチルメチルシクロヘキサン
ヘプタン	ノナン
オクタン	1,2,3-トリメチルベンゼン
エチルシクロヘキサン	1,2,4-トリメチルベンゼン
エチルベンゼン	フタル酸ジエチルエステル
p-キシレン	ペンタン
2-メチルオクタン	ジメチルシクロヘキサン
3-メチルオクタン	トリメチルシクロヘキサン

5. さいごに

今回、含浸樹脂の劣化と考えられる変化の有無を2種類の分析方法で確認したが、いずれも大きな変化は認められなかった。さらに、資料中の樹脂に含まれる溶剤の有無と成分を分析したが溶剤の成分である脂肪族炭化水素や芳香族炭化水素が検出された。今後、残存溶剤が樹脂膜の機能にどのように影響するかを検討したい。

含浸樹脂の分析を許可いただきました(公財)松山市文化・スポーツ振興財団埋蔵文文化財センター、四日市市シティプロモーション部文化課文化財グループのみなさまに感謝します。Pyro-GC/MS および MSTD-ATD-GC/MS は日鉄テクノロジーに依頼した。本研究は JSPS 科学研究費 20H00038 の助成によるものである。

塩類風化に対する新規ガラス薄膜形成技術の効果

Effect of novel glass thin film formation technology on salt weathering

○星野玲子（鶴見大学）、岩宮陽子（株式会社超越化研）、里村一人（鶴見大学）

○Reiko HOSHINO¹⁾, Yoko IWAMIYA²⁾, Kazuhito SATOMURA¹⁾

1) Tsurumi University, 2) CHOETSU KAKEN Co., Ltd.

1. はじめに

近年、塩類風化による煉瓦製文化財の劣化が各地で懸念されている。そこで、発表者は横浜赤レンガ倉庫の現状調査をきっかけに、基礎実験にて煉瓦における塩類の析出過程を整理¹⁾しつつ、抑制対策としてガラス薄膜形成技術による効果を検証しているため、その一部を報告する。

2. ガラス薄膜形成技術の「超越技術」とは

「超越技術」は、基材表面の水や大気中の水蒸気と反応し、シロキサン結合により常温常圧下でガラス薄膜を形成する。主剤のアルコキシシランに有機金属化合物などを添加して形成させる特殊な化学構造であり、図1のように基材表面の保護に加え、混和する物質に応じて適度な撥水、抗菌、吸着、分解など多様な機能を付与できるバインダーの役割も果たす³⁾。



図1. 超越技術の反応模式図²⁾

3. 煉瓦の塩類風化促進試験と超越技術による効果の検証

半マスと呼ばれる 10×10×6 cmの赤煉瓦を用いて、塩類の析出状況の確認及び超越塗工による析出の抑制効果を検証した。煉瓦の空隙率は約 20%である。

3-1. 実験①底部から塩類を含む水溶液を供給した場合の効果

A 未塗工、B 全面塗工、C 底部以外5面塗工、D 角と縁に塗工、E 半分塗工の煉瓦を用意した。B～Eは予め超越塗工し、未塗工のAを加えた5条件の煉瓦底部からNa₂SO₄水溶液を供給後、自然乾燥させた。A・D・Eには3週間供給し、B・Cは変化がなかったため5週間供給を継続したが、それでも変化は見られなかった。供給期間は煉瓦の側面及び上部から水溶液が蒸発するようにし、実験開始から51日目に表面の結晶を物理的に取り除き、併せて水に浸漬させて塩類を洗浄・除去後、再び自然乾燥させた。

A 未塗工は底部から浸入した塩類が上面の角や縁から析出し、徐々に上面全体や側面の上方、そして下部へと広がり、最終的にほぼ全面が結晶の膜に覆われた。側面は空気層ができて内部が空洞になっており、煉瓦と結晶が密着していないため、結晶の除去が容易であった。供給が断たれて煉瓦内部の水分が減少すると、結晶は白色の粉状になった。結晶は粉状のまま周囲へ散在する場合と、更に針状に成長し、中には自重に耐えきれず周囲へ落下する2種の傾向があった。図2は供給開始から3週間後、図3は供給開始から51日後のA～Cである。図3のB・Cには底部に結晶が見られるが、これは煉瓦内部から析出したのではなく水溶液に漬かっていた所で、外側から付着した水溶液中の塩類が結晶化したものである。



図2. 供給開始3週間後 A・B・C



図3. 供給開始51日後 A・B・C

BやCのように超越塗工すると結晶は析出しなかったため、自然乾燥期間に上下を置き換えた。するとBは変化がなく、未塗工面が上になったCは、それまで内部に留まっていた塩類が析出した(図4)。水溶液の供給によりA未塗工は189g、B全面塗工は1.3g、C5面塗工は89.5gの重量の増加だった。つまり、上下を変えてもB全面塗工に塩類が析出しなかったのは、そもそも水溶液の浸入を防いでいたためである。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

初期に析出する角や縁に超越塗工した D は、塗工箇所から析出せず、未塗工面との境を縁取るように析出し始めた。その後、水溶液の供給期間は結晶が粒状に成長し、一部塗工部も白色化した(図5)。水溶液の供給停止時に結晶を物理的に除去した後の自然乾燥期間には、上面の塗工面にしみ出した塩類の結晶化が進行し、一部針状結晶が増加した。脱塩処理から1週間後を図5の右側に示した。再び未塗工箇所から塩類が析出し、自重に耐えられなくなると細かい粉状結晶が周辺に散在した。上面の半分及び側面2面だけ塗工したEも境目が明瞭であった。

なお、NaCl 水溶液でも同条件にて実験したが、析出傾向は同様であった。図は Na_2SO_4 供給試料である。

3-2. 実験②既に塩類を含んでいる場合の効果

B~Eにより、超越技術は新しい煉瓦に対して塩類の浸入を防いだり、内部に留めておく効果があることが明らかになったため、次に予め Na_2SO_4 を内部に浸透させ、後天的に全面塗工(F)、5面塗工(G)、半分塗工した煉瓦(H)の自然乾燥期の析出状況を経時的に観察した。

その結果、図6のように全面塗工したFは、水分の蒸発に伴って本来表面に析出する塩が煉瓦内に閉じ込められているものの、元々析出しやすい角や縁、比較的粗い目の隙間から析出した。上面以外5面塗工したGは、C同様上面から析出し、半分塗工のHは析出面との境が明確であった。

4. 考察

超越技術は空隙を完全に埋めないため通気性は保持し、水溶液を浸入しにくくする。例え浸入しても、煉瓦内に留めておく効果がある。これは未塗工面を上部にすると析出したGからも明らかである。このことから表面に文字や図柄のある面にのみ塗工し、その他の面に塩類を含む水溶液を逃がすようにすれば、主体となる面を守ることができると考えられる。ただ塗工面以外に出口がない場合、塩類の結晶圧が高いと塗工面が塩の動きの妨げとなり、表面層下で結晶化するサブプロセスを引き起こす可能性があるため、慎重な判断と様々な条件における試験を重ねる必要がある。

5. まとめ

現在、発表者は煉瓦の他にも石、木、紙、布、金属など、文化財の主要材料に塗工可能な超越技術を文化財分野に応用する取り組みを続けている。実験②のように、既に塩類を含む状態に対しても効果的だが、超越技術が最も効果を発揮するのは、実験①の新たな材料における予防である。そのため、例えば雨風や紫外線の影響を受ける遺跡の解説板、復元品の保護にも利用が可能である。これまでの研究では概ね良好な成果を得ている一方、課題もあるため、塗工条件の精査や液剤の調整を進め実用化を目指す。

本研究で使用した超越液剤は、鶴見大学が(株)超越化研から提供を受けたものである。

- 1) 星野玲子 (2021) 「煉瓦表面における塩類の析出」日本文化財科学会第38回大会ポスター発表
- 2) Yokonawa Masayoshi, Kawai Daikichi, Nishio Haruna, Misuhio Shibayama, Zenji Hori (2021) 「Modern Aesthemy Making "Plastics" from Paper」Industrial & Engineering Chemistry Research
- 3) 星野玲子・岩宮陽子・千葉敏江・石川美佐緒・里村一人 (2022) 「新規ガラス薄膜形成技術を応用した石材表面における生物劣化の抑制」文化財保存修復学会第44回大会ポスター発表、Ohtaki Tsutsumi, Aoi Yokonawa, Riko Hoshino, Chika Terada, Shunsuke Sejima, Kazuhiko Akutsu, Suyama Misuhio, Shibayama Zenji, Hori Riko, Tokuyama Fumi, Ryugawanjiya Kouhei, Ichi Toshi, Chibaard Kazuhiko, Satomura (2022) Surface Functionalization of Non-Woven Fabrics Using a Novel Silica-Resin Coating Technology for Antimicrobial Treatment of Non-Woven Fabric Resin Surgical Masks」International Journal of Environmental Research and Public Health



図4. 上下反転させた B・C

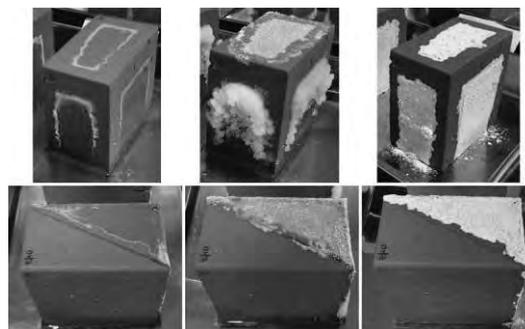


図5. 析出状況 上:D 下:E

左:供給2日後 中央:3週間後 右:58日後(脱塩処理後1週間)



図6. 析出状況 左:F 中央:G 右:H

法隆寺金堂飛天壁画の模擬下地材料を対象とした 湿潤・乾燥時のひずみの測定

Measuring humidity induced strain in simulated substrate material of wall paintings Hiten at Kondo in Horyu-ji Temple

○石川和輝（京都大学），小椋大輔（同左），伊庭千恵美（同左），高取伸光（同左），
脇谷草一郎（奈良文化財研究所）

○Kazuki ISHIKAWA, Daisuke OGURA, Chiemi IBA, Nobumitsu TAKATORI (Kyoto University),
Soichiro WAKIYA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

温湿度変動が原因となる資料の代表的な劣化現象として，吸放湿性をもつ材料から成る資料の変形を伴う機械的損傷が挙げられる．材料内に温度・含水率の分布がある場合や，膨張・収縮率が異なる材料が接着される場合，材料同士が互いの変形を拘束して応力が生じ，損傷につながると考えられる．本研究では，文化財資料の変形・損傷の予測に基づき保存環境の制御方法を提示することを最終的な目的とする．本報では法隆寺金堂飛天壁画を対象として，壁画下地の模擬材料に対して行った湿潤・乾燥時のひずみ測定について報告する．

2. 法隆寺飛天壁画について

法隆寺金堂内陣上部の小壁に 1-20 番の飛天壁画が描かれていた．飛天壁画は 20 枚とも現存し，重要文化財に指定されている．法隆寺金堂収蔵庫に保管されている飛天壁画を観察したところ，複数枚の表面にき裂，下部に剥離・浮きのように見える損傷が見られた．壁画は複数の層からなる土壁の上に描かれており，顔料の下地層には白土が使用され[1-3]，スサを含んでいる[1]．膠着材が加えられているかは明らかでないが，奈良時代の膠着材として米・膠が用いられていたことが先行研究[2]により明らかにされている．

3. 模擬白土の湿潤・乾燥時のひずみ測定

壁画表面に生じていたき裂（・剥離）は，環境温湿度変動時の厚み方向の温度・水分状態の分布，壁画材料間の膨張率の違いが原因である可能性がある．本報では壁画の変形・損傷予測に用いるため，模擬白土層材料を対象として湿潤・乾燥時のひずみを測定した．材料の配合割合が明らかにされていないため，配合割合に幅を持たせた試験体を作成して測定を行った．また，取得したデータをもとに，材料の配合割合が変形量に与える影響について分析した．

装置・試験体 ひずみの経時変化の測定にはひずみゲージ（共和電業 KFGS-5-120-C1-11 L3M3R），接着剤（共和電業 CC-36）とロガー（KEYENCE NR-600 と NR-ST04）を用いた．試験体作成にあたっては，柴田ら[3]が示した法隆寺金堂初重軸壁表面の土の成分分析の結果に対し，成分が近い天草陶石を用いた．スサは，文献[1]に基づき紙スサを用い，膠着材は，米粉を原料とした澱粉糊（米糊）を用いた．加えた水は蒸留水とした．紙スサは土に対して乾燥時の質量比を 0，1，3%，米糊は土に対する糊液中の米成分を 0.5，1，2%としたパターンを考えた．パターン毎に 2-3 体の試験体を作成した．練り土はシリコン型（56mm×56mm×厚み 5mm）に平らにならし，自然乾燥させた．乾燥した試験体を型から外し，ひずみゲージを張り付け，シャーレに載せるデシケータに入れた．
実験条件 23℃の恒温室に設置したデシケータ内の湿度を 53%RH に調湿し，平衡状態となった時点のひずみを 0 μ ST として測定を開始した．その後，調湿用水溶液を入れ替え，75%RH および 33%RH 時の測定を行った．同様に作成・調湿した試験体の質量経時変化も測定した．

実験結果 材料配合パターン毎のひずみ平均値の経時変化と開始時からの試験体質量の変化を図 1-6 に示す．75%RH 時（図 1-3）はいずれの配合パターンでも含水量の増加による試験体質量の増加

ポスター
発表

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

とともに、ひずみ平均値は正(引張)方向に増加し、おおむね一定となった。調湿用水溶液入れ替えと質量測定のためデシケータを開けた際に 40-48%RH 程度まで乾燥し一時的にひずみが減少した。図 3 の測定時は約 130-240 時間経過の間に恒温室の温度が 22°C 程度まで低下しており、そのときにいずれの試験体でもひずみの値が減少した。33%RH 時(図 4-6)は、含水量の減少に伴う質量減少とともにひずみ平均値は負(圧縮)方向に増加した。各測定時の時間当たりの質量変化が十分小さくなった時点において、10 時間のひずみ測定値を用いた紙スサ、米成分の配合量ごとのひずみの時間平均を示す(図 7: 75%RH, 図 8: 33%RH)。いずれの米糊配合量でも、紙スサ配合量の増加に伴い、ひずみ平均値の絶対値は増大した。一方で、米糊の配合量については、いずれの紙スサ配合量でも米成分が 0.5%から 1%に増えるとひずみが減少し、紙スサ 1%, 3%で米成分が 1%から 2%に増えたときは、14-43 μ ST 程度であるがひずみの絶対値は増大した。紙スサ・米糊の配合により、白土の剛性および水分保持特性が変化することが、ひずみに影響を与えると考えられる。紙スサの配合量が多いほど白土の剛性が低下し、ひずみの絶対値が増大している可能性がある。米糊の配合量とひずみの関係は単調でない可能性があり、変形挙動の把握・予測のために各材料配合パターンにおける白土の剛性および水分保持特性を把握する必要がある。

4. まとめ

本報では、法隆寺飛天壁画を対象として、下地を模擬した白土の湿潤・乾燥時のひずみを測定した。実資料に含まれる材料の配合割合が不明であったため、土に対する紙スサ・米糊の量を変えた複数のパターンで試験体を作成し、測定を行った。また、取得したデータをもとに、紙スサ・米糊の配合割合がひずみに与える影響を分析した。今後は、白土および壁画下層の土壁表土、中塗土を対象として温湿度に応じた変形量の測定を進める。また、平衡含水率関係などの材料物性を測定するとともに、数値解析を用いた乾湿に伴う材料変形挙動の予測に取り組む。

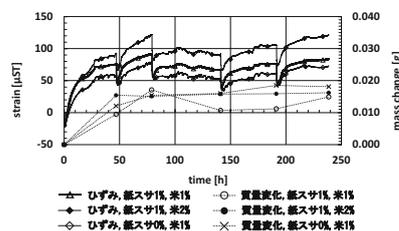


図 1 材料配合率毎のひずみの平均値と質量 (75%RH) ①

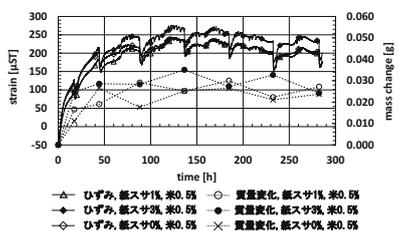


図 2 材料配合率毎のひずみの平均値と質量 (75%RH) ②

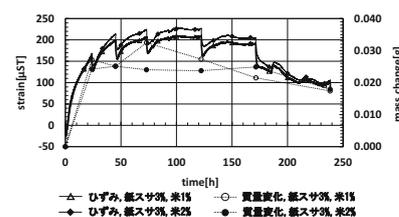


図 3 材料配合率毎のひずみの平均値と質量 (75%RH) ③

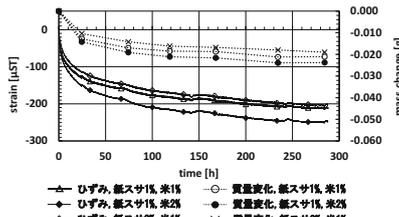


図 4 材料配合率毎のひずみの平均値と質量 (33%RH) ①

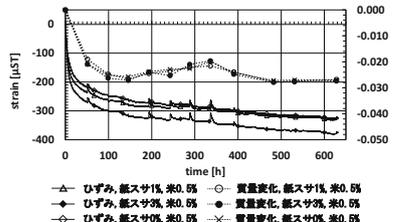


図 5 材料配合率毎のひずみの平均値と質量 (33%RH) ②

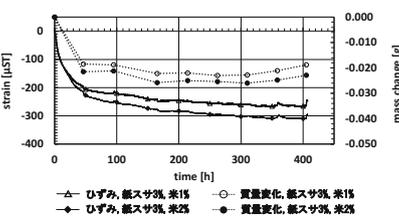
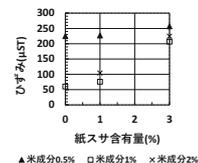
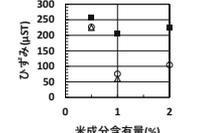


図 6 材料配合率毎のひずみの平均値と質量 (33%RH) ③

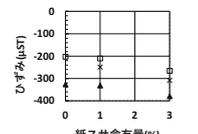


▲米成分0.5% □米成分1% ×米成分2%

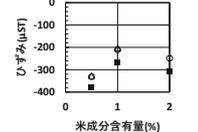


△紙スサ0% ○紙スサ1% ■紙スサ3%

図 7 紙スサ・米成分含有量とひずみの散布図 (75%RH)



▲米成分0.5% □米成分1% ×米成分2%



△紙スサ0% ○紙スサ1% ■紙スサ3%

図 8 紙スサ・米成分含有量とひずみの散布図 (33%RH)

【謝辞】本研究の遂行にあたり、法隆寺金堂壁画保存活用委員会事務局の法隆寺、朝日新聞社、文化庁、奈良県、保存環境ワーキンググループの方々には多大なご協力を賜りました。法隆寺壁画の壁体構成については、立命館大学准教授青柳憲昌博士に助言をいただきました。また、本研究は JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2110 の支援を受けたものです。記して厚く感謝申し上げます。

【参考文献】[1] 国寶・重要文化財建造物修理工事報告書集成 補完 4 法隆寺國寶保存工事報告書 第 14 冊 國寶法隆寺金堂修理工事報告、文生書院、1956. [2] 山田幸一、奈良時代における左官工事の文献的研究、日本建築学会論文報告集、第 65 号、129-134、1960. [3] 柴田、山崎、岩崎、法隆寺金堂壁画の火災後に於ける乾燥状態の観測及び同壁面実質の化学組成に就て、日本学士院紀要、第 8 巻、第 2 号、207-211、1950.

博物館内における遺構生物劣化と保存対策に関する検討 —遺構展示室における微生物調査—

Examination of the biodeterioration and preservation measures for exhibited remains in the museum

-Microbial survey in the remains exhibition room-

○渡邊英明¹⁾、佐藤嘉則²⁾、島田潤²⁾、藤井佐由里¹⁾、田中祐二¹⁾、川越光洋¹⁾、高妻洋成^{3,4)}

○Hideaki WATANABE¹⁾、Yoshinori SATO²⁾、Megumi SHIMADA²⁾、Sayuri FUJII¹⁾、Yuji TANAKA¹⁾、

Mitsuhiro KAWAGOSHI¹⁾、Yohsei KOHDZUMA^{3,4)}

1 福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館 (Ichijodani Asakura Family Site Museum)

2 東京文化財研究所 (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

3 奈良文化財研究所 (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

4 文化財防災センター (Cultural Heritage Disaster Risk Management Center)

1. はじめに

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館は、隣接地に展示・ガイダンス施設を新たに整備し、2022年10月に新博物館として開館を予定している。新博物館内の遺構展示室では建設予定地の発掘調査(2017年度・第150次発掘調査)によって見つかった戦国期の遺構(石敷遺構等)の展示を行う予定である。石敷遺構等は新博物館建設工事前に一度埋め戻しを行い、遺構展示室の躯体が完成した2021年8~10月に再発掘を行い現在に至っている。再発掘では石敷部分を完全に露出させた一方、劣化しやすい石敷遺構周辺の土部分は遺構面まで完掘せず、埋土(厚さ約20cm)を保護層として掘り残した。再発掘直後から保護層上面に白色菌類様物質が大量に発生し、遺構展示室の保護層全体を覆うまでに広がった。当初、白色菌類様物質はカビの一種と想定していたため、遺構の汚損のみならず、来館者への健康被害や文化財展示・収蔵エリアへの空気汚染等が懸念された。そこで白色菌類様物質の抑制・除去方法を検討するための基礎情報を得ることを目的に、白色菌類様物質の同定を行った。

本報では、保護層に大量に発生した白色菌類様物質の同定結果を報告し、その結果を踏まえて今後の遺構の保存対策について述べる。

2. 調査対象

展示室の遺構は盛土上に川原石を敷きつめて構築された戦国期の石敷遺構(幅5.6m、検出長38m)および同時期の遺構面から構成されている。石敷遺構は完全に露出させた状態で展示するが、塩類や蘚苔類・菌類等による劣化が生じやすい土部分の遺構面については、上部に保護層を残して展示する。今回の調査対象は、この保護層上面に発生した白色菌類様物質である。

3. 調査方法

滅菌綿棒を用いて保護層上面に発生した白色菌類様物質を採取した。試料採取箇所を図1に示す。採取した試料①~③を電子顕微鏡観察および分子生物学的解析に供した。電子顕微鏡観察では、試料の一部を検体とし、走査型電子顕微鏡(S-3700N、Hitachi)を用いて低真空モードで観察した。分子生物学的解析では、試料からDNAを抽出(ISOPLANT DNA Extraction kit、ニッポンジーン)

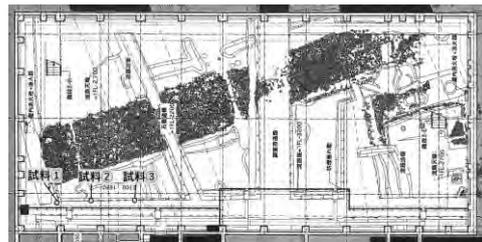


図1. 試料採取箇所

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

した後、カビおよび細菌が有している遺伝子領域（ITS 領域遺伝子、16S rRNA 遺伝子）を標的とした PCR（Polymerase Chain Reaction）を行った。その後、次世代シーケンス解析に供し、得られた DNA 配列を類似度からグルーピングし（存在比を基に出現頻度（%）を算出）、代表配列について公共のデータベースと照合して相同性検索（BLAST 検索）を行い、白色菌類様物質の微生物同定を行った。

4. 調査結果

走査型電子顕微鏡で得られた像を図 2 に示す。白色菌類様物質は菌糸状の形態をしており微生物であることが観察された。一方、菌糸は 1 μm 程度と非常に細く、カビではなく放線菌であると考えられた。

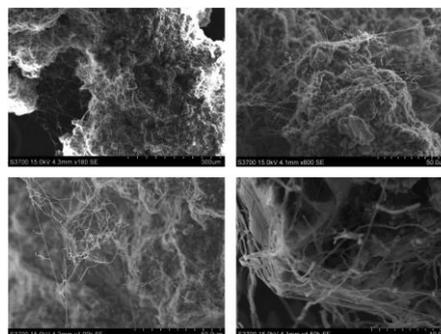


図 2. 白色菌類様物質の走査型電子顕微鏡画像

分子生物学的解析では、抽出した DNA を用いてカビおよび細菌が有している遺伝子領域（ITS 領域遺伝子、16S rRNA 遺伝子）を標的とした PCR を行ったところ、ITS 領域遺伝子では定量下限値以下であったが、16S rRNA 遺伝子では有意な定量値が得られた。このことから白色菌類様物質はカビではなく、細菌の 1 グループである放線菌である可能性が高いことが分かった。次に、細菌を対象とした次世代シーケンス解析の結果を表 1・2 に示す。門レベルで出現頻度が最も高いグループは Actinobacteria 門（放線菌門）で、次に多いのは Proteobacteria 門であった。種レベルでは、*Pseudonocardia spinosa*（Actinobacteria 門）、*Nevskia ramosa*（Proteobacteria 門）、*Pseudonocardia petroleophila*（Actinobacteria 門）が試料①～③に共通して多く認められ、いずれも人体に悪影響を及ぼす種ではないことが判明した。

表 1. 白色菌類様物質の細菌を対象とした次世代シーケンス解析（門レベル）

表 2. 白色菌類様物質の細菌を対象とした次世代シーケンス解析（種レベル）

RDP Classifierによる系統分類		構成比 (総リード数に対する割合)			リード数			RDP Classifierによる系統分類		構成比 (総リード数に対する割合)			リード数		
ドメイン	門	試料①	試料②	試料③	試料①	試料②	試料③	ドメイン	種	試料①	試料②	試料③	試料①	試料②	試料③
Bacteria	Actinobacteria	57.9%	70.2%	41.0%	31416	18613	21928	Bacteria	<i>Rseudonocardia spinosa</i>	37.7%	38.1%	23.2%	20431	10119	12418
Bacteria	Proteobacteria	40.8%	21.4%	58.0%	22110	5671	31020	Bacteria	<i>Nevskia ramosa</i>	34.4%	1.4%	50.7%	18669	367	27110
Bacteria	Others	1.3%	8.4%	1.0%	727	2244	543	Bacteria	<i>Pseudonocardia petroleophila</i>	11.3%	14.9%	9.5%	6111	3958	5107

5. 今後の対策

当初、白色菌類様物質はカビの一種と想定していたため薬剤による処置も検討していたが、同定の結果、放線菌を主とする細菌であることがわかった。放線菌は抗生物質を生産する種が多く、カビの増殖を抑制することでも知られており、薬剤の使用によってかえってカビの大発生を招く可能性も考えられた。そのため、遺構展示室内では薬剤による処置は行わないこととした。現在、放線菌による保護層の汚損を軽減するため定期的に噴霧器による散水等を行うことで、一時的に放線菌を目立たなくすることができており、開館後も同様の管理を継続していく予定である。

また、放線菌が卓越した現在の土壌生態バランスは、遺構の埋め戻しと再発掘による土壌の攪乱によって始まった長期的な微生物群集変化の過程にあり、時間とともに安定した状態まで変化していくものと考えられる。今後、昆虫の粘着トラップ調査等も実施し、土壌動物も含めた生態バランスの変化を継続的に監視していく予定である。

出土銅製品に施された漆塗膜の剥離メカニズムの検討（その1） —カールした塗膜とその金属下地の状態把握—

Study of the peeling mechanism of lacquer films on copper artifacts Part 1 —Assessing the condition of curled film and its metal substrate

○楊曼寧※¹、柳田明進※¹、奥山誠義※²、脇谷草一郎※¹

○Manning YANG※¹, Akinobu YANAGIDA※¹, Masayoshi OKUYAMA※², Soichiro WAKIYA※¹

※¹：奈良文化財研究所(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

※²：奈良県立橿原考古学研究所 (Archaeological Institute of Kashihara, Nara pref.)

1. はじめに

出土銅製品の安定化処理では、銅のインヒビターとして最も一般的なBTA (Benzotriazole C₆H₅N₃)が用いられており、その溶剤にはエタノール (Ethanol C₂H₆O) などのアルコールが使用されている。一方、一部の塗膜を伴う銅製品では、BTA・エタノール溶液に浸漬した際に、塗膜がカールするという問題が生じることが知られている。また、同工程で処理にもかかわらず、カールが生じないものも認められることから、カールが生じるかどうかに対しては塗膜の状態、下地金属の組成、および腐食状態が影響を及ぼしている可能性が考えられる。安定化処理中の塗膜のカールが発生する条件が把握できた場合、安定化処理を実施するかどうかの選別が可能になり、より安全的な保存処理法の選定が可能になると考えられる。そのためには、安定化処理中にカールが生じるものと、生じないものの塗膜の状態、下地金属の状態を把握することが不可欠である。

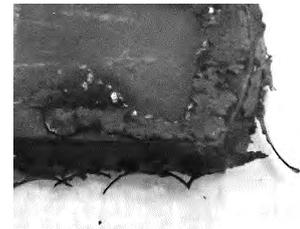


図1 カールした塗膜

本研究では、塗膜を伴う銅製品の塗膜と金属下地の基本状態を把握するため、安定化処理中に塗膜がカールした銅製遺物とカールが生じなかったものをそれぞれ調査対象とし、その状態を観察するとともに、フーリエ変換型赤外分光分析全反射測定法 (FT-IR ATR) 分析による塗膜の成分分析を行った。

2. 資料および分析方法

安定化処理中に塗膜がカールした銅製品（以下、資料A）およびカールが生じなかったもの（以下、資料B）の2点を調査対象とした。目視観察と実体顕微鏡による資料A、B塗膜の剥離状況、銅製品金属部の表面状態の観察を行うとともに、金属部の状態については、X線透過撮影による観察も併用した。また、資料Aでは、溶液から取り上げた後の塗膜の変形挙動をデジタルマイクロスコープ (Keyence VHX - 7000) による動画撮影で記録した。塗膜の成分同定では、資料A、Bからそれぞれ塗膜片を少量採取し、分析に供した。以下、資料A、資料Bから採取したものをそれぞれ試料a (0.2mm²)、試料b (0.15mm²) とする。保存処理で用いられたアクリル樹脂を除去するために、試料a、bをアセトンに浸漬して常温で一週間の洗浄を行った。FT-IR ATRはBruker Optics社製ALPHAを用い、分解能4cm⁻¹、積算回数2640 scansの条件で実施した。

3. 結果と考察

資料A（カール）では金属部の減肉が緩慢であり、塗膜は比較的厚く、若干の光沢を有する塗膜が残存していることが確認された。一方、資料Bの金属部は腐食により表面が荒れており、多くの領域で塗膜が剥離していることが観察された。なお、資料Aの膜厚は資料Bの約2倍以上であることが確認され、塗膜の劣化状態と金属の減肉状態との関連が認められる。資料Bにおいて、塗膜の剥離が進行していた要因として、埋蔵時に金属部が腐食により減肉するとともに

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

に、腐食層が成長することで塗膜と金属部との接着力が弱まったことが可能性の一つとして考えられる。

FT-IR ATR における塗膜の成分分析の結果を図2に示す。試料 a、b ともに出土漆塗膜で一般に認められる 2925 cm^{-1} 、 2850 cm^{-1} 付近のメチレン基、 1700 cm^{-1} 付近の C=O の伸縮振動、 1625 cm^{-1} 付近のベンゼン環に帰属される吸収帯が認められ、両者の IR スペクトルで明確な差異は認められなかった。

資料AではBTA・エタノール溶液に減圧含浸した直後に側壁の塗膜のカールが生じ、取り上げ後に乾燥が進むにつれて、カールした塗膜の反りが元に戻る傾向が観察された(図3)。

漆塗膜はエタノールなど、保存処理に用いられる有機溶剤に浸漬した際にカールが生じることが報告されている^{1,2}。有機溶剤中では漆塗膜の主成分ウルシオールと親和性の高い有機溶媒分子が漆の高分子鎖に吸着されることで、漆塗膜は膨潤(体積増加)した状態であったと考えられる。漆塗膜では厚さ方向の体積増加に拘束はないが、横方向では金属下地との接着により拘束された状態である。資料Aが浸漬された直後では、塗膜の表面が溶媒分子により先に膨潤するため、塗膜の内部との間に

膨張の差が生じ、塗膜内部に横方向の引張応力が生じると考えられる。その結果、塗膜の弾性に基づく垂直に上向きの応力(ポアソン効果)が生じることで、付着不良のところに応力が集中し、塗膜の剥離が生じると考えられる。塗膜の内部応力に関する先行研究では、膜厚が厚いほどその応力の値が増加する³ことが示されている。以上の結果を考慮すると、銅製品に施された塗膜の厚みとその変形に影響を与える可能性が考えられる。

また、水蒸気と塗膜変形の関係を検討した先行研究では、水分の拡散にともなうひずみの変化挙動が示されており、「初め表面付近で大きな膨張が生じるため内部が表面に引っ張られてひずみ、その後、水分が浸透し膨潤によるひずみが生じたため」⁴、最終的に付着界面付近の塗膜のひずみ量が表面より多いこと⁵が示されている。資料Aの塗膜表面と内部の間に膨張差が存在するため、溶媒吸着によって増加した体積が同じでも、内部が浸透初期に表面の膨張に引っ張られてひずみが生じ、結果的に塗膜内部の方のひずみ量が多くなり、剥離した箇所が表面方向にカールした現象が生じたと推測される。一方、取り上げ後に溶媒の蒸発の進行にともない、塗膜のカールがもとに戻る挙動は溶媒分子の脱着による脱膨潤が生じたことなどが考えられる。

4. まとめ

保存処理中の漆塗膜の変形挙動が異なる2点の出土銅製品を対象としてそれらの状態を調査した結果、カールが生じた資料Aの塗膜は資料Bより厚いことが認められた。エタノールによる塗膜の膨潤によって生じる応力は塗膜が厚い場合に大きくなること示されており、厚い塗膜でカールが生じやすい可能性があることを示した。また、溶媒の拡散につれ膨潤する塗膜の表面と内部のひずみ量が異なり、内部が表面より膨潤して塗膜全体がカールする可能性が示唆された。一方、有機溶剤と漆塗膜の相互作用、応力の発生と変形挙動に関する基礎データは十分に蓄積されていない。さらに検討をすすめて、塗膜のカール発生メカニズムを明らかにすることで、塗膜付き出土銅製品のより安全的な保存処理法が考案されると期待される。

【謝辞】本研究はJSPS科研費(22K01012)の助成によるものです。ここに記して感謝申し上げます。

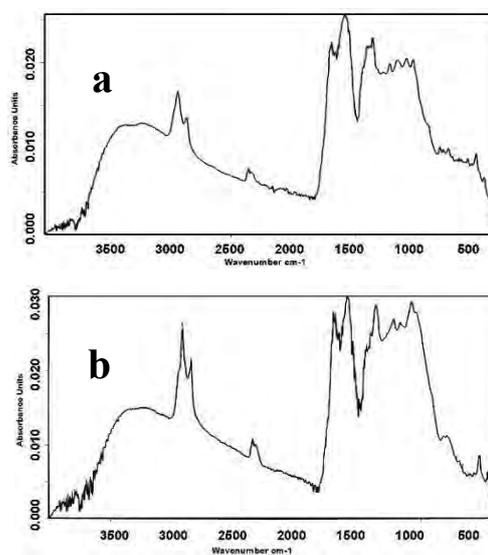


図2 FTIR分析の結果

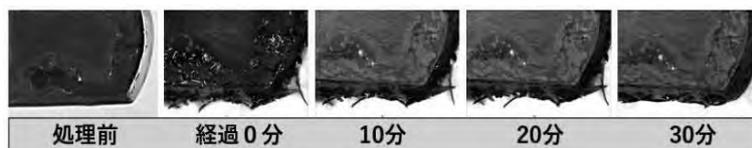


図3 塗膜の変形挙動

¹ 植田直見：出土漆の劣化について—保存処理薬剤が及ぼす影響—, 元興寺文化財研究所創立40周年記念論文集 pp.59—70 (2007)

² 六田慧美、服部哲則：保存処理後の出土漆製品の塗膜における劣化の研究、日本文化財科学会第37回大会研究発表要旨集 pp. 238-239 (2020)

³ 木下啓吾、坪田実、池本栄嗣：やさしい塗料物性-6-塗膜の付着性と内部応力-2、色材協会誌 68(8), 502-513 (1995)

⁴ ⁵ 小川俊夫、浜田嘉一：吸湿過程における塗膜内部の挙動、日本材料学会学術講演会 前刷り 41st 98 (1992)

溶媒蒸発速度の制御による水浸出土木製遺物の保存処理における 薬剤含浸の効率化(その3)

Acceleration of solute impregnation in conservation treatment for waterlogged wood by controlling solvent evaporation rate (Part 3)

○ 松田和貴(奈良文化財研究所)、脇谷草一郎(同左)、高妻洋成(同左)

○ Kazutaka MATSUDA, Soichiro WAKIYA, Yohsei KOHDZUMA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

水浸出土木製遺物の保存処理における薬剤含浸の効率化をめざし、表面からの溶媒蒸発を利用して速やかな溶質の導入と蓄積をはかる手法(以下、溶媒蒸発法)の検討を進めている¹⁾²⁾。既報³⁾では、難含浸性で変形が生じやすいとされる、アカガシ亜属の出土材に対して溶媒蒸発法を適用した実験により、固化工程に真空凍結乾燥法を併用することで、良好な寸法安定効果を得られる可能性を示した。本報では、溶媒蒸発法によって含浸させる溶液の最終濃度を十分高くし、冷却固化のみによる安定化を図った実験について報告する。

2. 試料と方法

既報³⁾と同様に、直径40cm程度のアカガシ亜属の出土材(Subgen. *Cyclobalanopsis* 最大含水率:700~900%程度)から、バンドソーを用いて40mm(接線方向)×40mm(放射方向)×80mm(繊維方向)の寸法としたものを試料(O-6)とした。試料の寸法安定効果を検討するため、図1に示す8つの頂点を基準に、直方体の辺にあたる部分の寸法をノギスで12箇所測定した。

以上の試料に対し、図2に示す装置³⁾を用いてPEG(三洋化成工業製PEG4000BCP、以下同じ)水溶液を含浸させた。本装置は、試料とPEG水溶液をいれる樹脂製の含浸容器(60°Cの恒温槽内に設置)とエアポンプ、電磁バルブ、および小型コンピュータ(Raspberry Pi)による測定・制御装置から構成される。含浸容器内には振動式粘度計(セコニック社製FVM70A-ST)と温湿度センサ(Sensirion社製SHT-31)を設置し、PEG水溶液の粘度と温湿度を測定可能とした。エアポンプから吐出される空気が図2中の矢印の方向に流れ、さらに電磁バルブの動作によって含浸容器への送気有無が任意に制御可能となるよう、各部をウレタンチューブで接続した。含浸容器内の空気の温度と相対湿度ならびにPEG水溶液の温度と粘度の記録、および電磁バルブの制御を5秒ごとにおこなった。

実験では、含浸容器にPEG水溶液をいれ、木口面を下に試料を立てて浸漬した。エアポンプを一定の流量(500mL/min.)で稼働させ、相対湿度が一定の範囲に維持されるよう、電磁バルブを自動制御した。含浸容器内の空気の相対湿度が上限値(99.8%)を超えた場合は、エアポンプから実験室内の空気を吹き込んで押し出すことで除湿した。反対に、含浸容器内の相対湿度が下限値(99.5%)を下回った場合は、この吹き込みを停止し、溶液からの水分蒸発による相対湿度の上昇をはかった。なお、含浸容器から排出された水蒸気は恒温槽外で結露させて取り除いた。この動作をPEG水溶液の粘度値から把握される濃度の上昇が停滞するまで継続する予定とした。しかしながら、実験開始直後に振動式粘度計に不具合が生じたことから、溶液量の減少が停滞し、含浸容器内の相対湿度が増加しない状態となったことをもって、溶媒の蒸発が十分進行したと判断し、蒸発含浸工程の完了とした。

なお、PEG水溶液は初期濃度を25%(W/W)とし、底面積約320cm²の含浸容器内で試料上部が液面から露出するよう、溶液量を2000gとした。含浸工程の完了後、試料を22°Cの実験室内に静置して、冷却固化させた。固化後の試料に対して、実験前と同様に寸法を測定し、次式により各測定箇所の実験前の寸法を基準とした収縮率を求めた。

$$\text{収縮率}(\%) = (\text{実験前寸法} - \text{実験後寸法}) / \text{実験前寸法} \times 100$$

ポスター
発表

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

3. 結果と考察

実験開始後、含浸容器内の相対湿度はあらかじめ設定した範囲で上下を繰り返しながら推移し、溶液面が徐々に低下した。含浸容器内の温度と相対湿度、PEG 水溶液温度の推移を図3に示す。実験開始42日目に含浸工程を完了した。

含浸工程中、試料の表面は濡れ色を保ち、顕著な収縮は認められなかった。既報^{1),2),3)}の実験と同様、試料表面からの水分蒸発にもなって内部に負圧が生じ、PEG 水溶液が液絡部から吸引されたと考えられる。一方、含浸工程の初期には、試料の下部が接線方向にやや膨張する様子が認められた。さらに、溶液面の低下がほぼ停滞した含浸工程の終盤には、試料の上部が接線方向に膨張した。なお、含浸工程終了時点で含浸容器内に残留していた PEG 水溶液の濃度は 67.7% であった (屈折計をもちいて測定した屈折率から推定)。

含浸工程の終了時 (以下、固化前) と固化工程の終了時 (以下、固化後) における、試料 O-6 の各寸法測定箇所 (表1に示す (表中の接線・放射・繊維は、測定方向を示す))。なお比較のため、PEG 水溶液に含浸せず、上記の実験装置を用いて 60°C RH 90-95% の環境下で穏やかに乾燥させた既報³⁾における試料 O-A についても再掲する。固化前では、各測定箇所の収縮率はごく小さいか負の値を示した。とくに、含浸工程中に明らかに膨潤した様子が認められた接線方向では、その収縮率が 3.5~4.5% 程度であった。一方、固化後では各部とも概ね ±2% 以内の収縮率となった。これは、固化工程中に試料全体が一定程度収縮したことを示しているが、最終的な寸法安定効果の観点からは、概ね良好に保存処理を実施できたものと考えられる。

4. まとめと今後の課題

以上から、溶媒蒸発法を用いた出土木製遺物の保存処理では、溶液の最終濃度を十分高くすることで、固化工程に真空凍結乾燥を実施せずとも良好な寸法安定効果を得られる可能性が示された。この手法では、含浸工程により長い時間を要するものの、工程が大変簡便となる利点があるといえる。なお、本実験の含浸工程において試料の膨潤が認められたことについては、溶質に用いた PEG の影響が考えられるものの、冷却固化の過程では一定程度の収縮を示していることから、そのメカニズムや保存処理における影響を含め、今後さらに検討を進めたい。

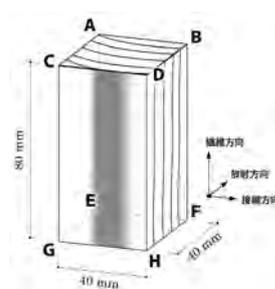


図1 試料の寸法測定基準点

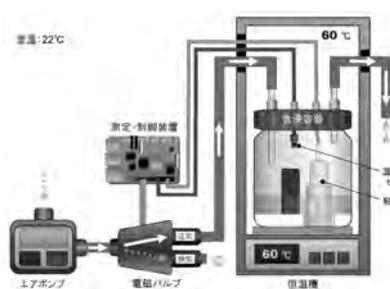


図2 実験装置模式図

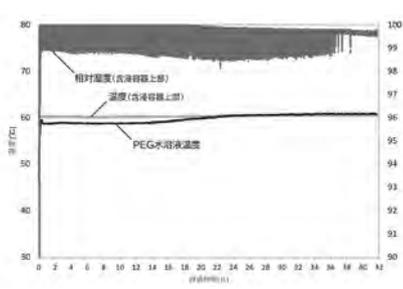


図3 試料 O-6 の含浸工程における温湿度の推移

表1 試料の各寸法測定箇所における収縮率

試料	A-B 接線	C-D 接線	A-C 放射	B-D 放射	E-F 接線	G-H 接線	E-G 放射	F-H 放射	A-E 繊維	B-F 繊維	C-G 繊維	D-H 繊維
O-A (乾燥後)	38.15%	59.18%	35.22%	58.96%	44.50%	58.11%	30.97%	54.29%	15.68%	15.47%	16.38%	15.89%
O-6 (固化前)	-4.03%	-3.52%	0.05%	-0.15%	-3.42%	-3.63%	-0.24%	-0.49%	-0.09%	0.01%	-0.11%	-0.19%
O-6 (固化後)	0.46%	0.47%	1.54%	2.90%	-1.03%	-2.17%	0.57%	1.32%	1.20%	1.05%	1.20%	0.98%

【謝辞】本研究の一部は JSPS 科研費 20K13252 の助成を受けたものです。また、試料に用いた出土木材は京都府埋蔵文化財調査研究センター様のご厚意によりご提供いただきました。記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 松田和貴・脇谷草一郎・高妻洋成 2019 「溶媒蒸発速度の制御による水浸出土木製遺物の保存処理における薬剤含浸の効率化 (その1)」『日本文化財学会第36回大会研究発表要旨集』pp. 54-55
- 2) 松田和貴・脇谷草一郎・高妻洋成 2020 「水浸出土木製遺物の保存処理における溶媒蒸発を用いた薬剤含浸の効率化の可能性」『保存科学 第59号』pp. 73-88
- 3) 松田和貴・脇谷草一郎・高妻洋成 2021 「溶媒蒸発速度の制御による水浸出土木製遺物の保存処理における薬剤含浸の効率化 (その2)」『日本文化財学会第38回大会研究発表要旨集』pp. 208-209

歴史的煉瓦造建築物の塩類風化対策に関する研究

- 塩を含む材料中の含水率、塩濃度の測定方法と電気的脱塩方法に関する基礎的検討 -

Research on salt weathering measures for historic brick buildings

- Fundamental study of methods for measuring water content and salt concentration in materials containing salt and methods of electrical desalination -

○采潤之介（京都大学）、小椋大輔（同左）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）、水谷悦子（文化財防災センター、東京文化財研究所）

○Junnosuke UNE, Daisuke OGURA (Kyoto University), Soichiro WAKIYA (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Etsuko MIZUTANI (Cultural Heritage Disaster Risk Management Center, Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

ポスター
発表

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

1. はじめに 1890年代に建造され、商業施設として再利用されている神戸煉瓦倉庫では塩の析出に伴う壁の風化が問題となっており、劣化メカニズムの解明を含めた対策が急務となっている。煉瓦への塩の蓄積を防ぐ方法の一つとして電気的脱塩があり、これについて複数の検討が行われている¹⁾²⁾³⁾が、材料内部の塩の移動メカニズムなど不明な点が多く更なる検討が必要と考えられる。本報では、現場での壁体内の含水率や塩濃度の状態の観測を目的として塩溶液を含ませた材料の含水率及び電気伝導率の測定から材料中の塩分量を推定する方法を検討する。また、神戸煉瓦倉庫において対策を行う場合も様々な手法について検討する必要があるが、ここでは電気的脱塩の基礎的な検討を行う。

2. 塩溶液を含ませた材料の測定実験 材料中の含水率及び電気伝導率の測定は、それぞれガンマ線透過型水分計と4極センサーを用いることにより可能であることが山本と長⁴⁾及び井上ら⁵⁾により確認されているが、これらは現場での実用が難しいため、現場において含水率と電気伝導率を測定することができるMETER社製TEROS12（以下T12）による測定から煉瓦中の含水率および塩分量を推定することを目的とし、含水率と塩分量の測定が容易な砂質土での測定実験による検討を行った。なお、この際に用いる塩は塩化ナトリウムとした。

Rhoadesら⁵⁾の作成したモデルによると、土壌の電気伝導率 EC_a [mS/cm]と土壌溶液の電気伝導率 EC_w [mS/cm]、土壌の電気伝導率のうち固相表面の寄与分 EC_s [mS/cm]、土壌の体積含水率 θ [cm³/cm³]の関係は定数 a, b を用いて、 $EC_a = EC_w\theta(a\theta + b) + EC_s$ と表すことができ、それぞれの測定結果（図2.1-2.4）から溶液の電気伝導率を計算し、実際に用いた溶液の電気伝導率との誤差率を算出した結果を表2.1に示す。電気伝導率は4極センサー、T12のどちらの測定値からの換算値から換算しても低い誤差率に抑えられておりある程度の確度で測定・換算が行えていることが分かる。一方、含水率はT12の測定値からの換算値を用いた場合のみ極端に誤差率が高くなり、T12による含水率の測定あるいは測定値の換算のどちらかに問題があると考えられる。

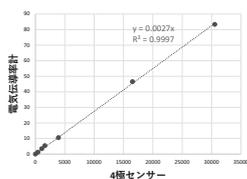


図 2.1 4 極センサーの測定値と電気伝導率

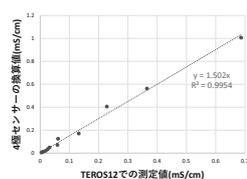


図 2.2 4 極センサーと TERS12 の電気伝導率比較

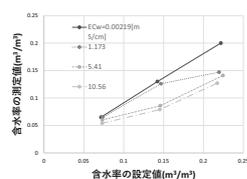


図 2.3 設定値と T12 の測定値の含水率比較

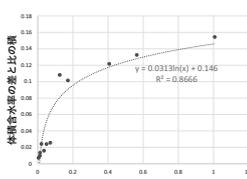


図 2.4 含水率の設定値と換算値の関係の比較

表 2.1 EC_w の誤差率

計算に用いた体積含水率	計算に用いた電気伝導率	EC _w の誤差率(%)
設定値	4 極センサー	9.78
設定値	T12	16.6
T12	T12	82.7

3. 通電時間を変化させた場合の脱塩量の比較 通電時間を変えながら塩化ナトリウム水溶液を含ませた煉瓦の電気的脱塩実験を行い脱塩効果の比較を行った。Ottoosen らの煉瓦を対象とした実験方法³⁾を基に実験を行う。対象となる試験体は 60mm×60mm×100mm の大きさの煉瓦（モルタル単体）を用い、電極付近の煉瓦の pH の急激な上昇または低下による煉瓦の劣化を防ぐために、炭酸カルシウム、カオリン、純水を重量比 4:1:4 で混合したものを湿布材に用いる。脱塩は a) 湿布材を付けた状態で通電なしで 3 日間、b) 20V で 3 日間、c) 20V で 7 日間の 3 つの条件で行う。また、実験の様子を図 3.1 に示す。実験結果について、図 3.2 に各条件での煉瓦からの塩の減少割合を示す。また、実験終了後の試験体を自然乾燥させたと図 3.3 に示すように抽出後の試験体内に残留していたと思われる塩が析出した。



図 3.1 実験中の様子

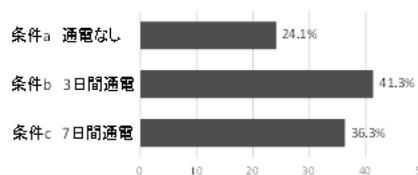


図 3.2 塩の減少割合の比較



図 3.3 実験終了後自然乾燥させた試験体 (a ~ c)

4. まとめ 本報では、塩溶液を含んだ材料の実態把握に向けた材料中の含水率と塩分量の現場での測定方法の検討と、塩類風化対策手法の一つである電気的脱塩について通電時間を変化させた実験による検討を行った。T12 での測定については、電気伝導率の測定及び換算はある程度の確度が見込めたが、含水率の測定及び換算ではあまり良い確度は得られなかった。また、電気的脱塩の検討については、通電による脱塩効果は確認できたものの、通電時間と脱塩量の関係については確認できなかった。

参考文献 1) 深見利佐子他：「電気化学脱塩工法を用いた煉瓦の脱塩への試み」、日本文化財学会第 37 回大会研究発表(2020)
 2) 深見利佐子他：「電気化学脱塩工法を用いた煉瓦の脱塩への試み 2」、日本文化財学会第 38 回大会研究発表(2021)
 3) Lisbeth Ottoosen, et al., "Electro-desalination of glazed tile panels-discussion of possibilities, International Conference Glazed Ceramics in Architectural Heritage GlazeArch (2015), pp115-127
 4) 山本太平他：「ガンマ線透過型水分計による土壌水分測定について」、鳥取大学農学部研究報告 26 号(1974)、pp.127-132
 5) 井上光弘他：「4 極法による土壌カラム内の電気伝導率測定とその応用」、土壌の物理性 70 号(1994)、pp.23-28
 6) Rhoades J.D., et al., "Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity, Soil Sci. Soc. Am. J. 40(1976), 651-655

謝辞 本研究は科学研究費補助金 基盤研究 (B) (課題番号: 18H01596、研究代表者: 小椋大輔)、基盤研究(C) (課題番号: 19K01135、研究代表者: 脇谷草一郎)、若手研究 (課題番号: 20K14892、研究代表者: 水谷悦子) の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

福岡県福岡市博多遺跡群から出土した鉄釘の腐食層構造

Structure of corrosion layer on iron nails from Hakata ruins, Fukuoka

○三ツ井誠一郎（日本原子力研究開発機構）、石寺孝充（同左）、
比佐陽一郎（福岡市経済観光文化局）

○Seichiro MITSUI, Takamitsu ISHIDERA (Japan Atomic Energy Agency),
Yoichiro HISA (Fukuoka City Economy, Tourism & Culture Bureau)

1. はじめに

一般に、土壌中での鉄製品の腐食速度は時間とともに低下し、腐食量の経時変化は概ね放物線則に従う¹⁾。これは腐食によって生成した表面皮膜（腐食生成物）内での酸化剤の拡散により腐食反応が律速されているためであり²⁾、腐食生成物の性状や分布は鉄製品の腐食挙動に大きく影響する。土壌中で鉄製品が腐食する場合、腐食生成物は鉄製品表面だけではなく、周囲の土壌の間隙に生成して土壌を固結させる³⁾。酸素の影響を受けやすい酸化的な条件では還元的な条件に較べて腐食速度が大きく、厚い土壌固結層が鉄製品を包み込んでいる状態となる場合もある。土壌固結層から金属鉄近傍までの腐食生成物の層状構造には埋蔵環境の推定など保存科学の観点から役立つ情報が記録されていると考えられるが、考古学や歴史学では鉄製遺物のオリジナルの形状が主たる調査研究の対象となるため、通常、保存処理の過程で鉄製遺物表面の土壌固結層は除去される³⁾。また、鉄製遺物は貴重な文化財であることから、基本的に分析は透過 X 線観察や X 線 CT 分析などの非破壊法のみで実施される。このような事情から、腐食生成物の層状構造を把握することが難しいことが多い。

今回、腐食生成物により固結した砂質土壌に覆われた状態の鉄釘 3 点について、バルク試料の X 線 CT 分析により試料全体の CT 値分布を取得するとともに、1 点については断面試料を空間分解能が高い顕微ラマン分光法で分析することで土壌固結層から金属鉄近傍までの腐食生成物の層状構造を把握できた。また、CT 値分布と腐食生成物の層状構造の対比結果に基づき、断面試料のない 2 点について CT 値分布のみから腐食生成物の層状構造の推定を試みた。

2. 研究対象

福岡県福岡市博多遺跡群の 165 次調査で出土した鉄釘 3 点を対象とし、うち 1 点については断面試料を作製した（図 1）。試料は福岡市埋蔵文化財センターの所蔵品であり、12～13 世紀頃の遺構から出土した遺物とされている⁴⁾。博多遺跡群は那珂川と御笠川に挟まれた南北 1.6km、東西 0.8km の範囲の博多湾岸に沿って形成された砂丘上に形成された大規模遺跡である。



図 1 断面試料を作製した鉄釘
(試料 0642_15622_2)

※断面試料は破線部から採取

ポスター 発表

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

3. 分析方法

- ①X線CT分析：医療用X線CT装置（キヤノンメディカルシステムズ製 Alexion TSX-033A）を使用した。管電圧 135 kV，管電流 100 mA，スキャン時間 1 秒，スライス厚 1 mm である。
- ②顕微ラマン分光法：顕微ラマン分光装置（Thermo Fisher Scientific 製 DXR2）を使用した。対物レンズ 10 倍又は 50 倍，励起レーザー532 nm，グレーティング 532 nm 用，スリット 50 μm である。照射変質防止のため，出力は 1.0 mW 以下とした。解析には CrystalSleuth⁵⁾を用いた。

4. 分析結果と考察

図 2(a)に試料 0642_15622_2 の断面の写真，図 2(b)に同一箇所の CT 断面像，図 2(c, d)には試料 0642_15622_1 及び試料 0642_15552 の CT 断面像を示した。図 2(a)には顕微ラマン分光法により同定した腐食生成物，図 2(b, c, d)には同一領域と推定される箇所の CT 値の平均値を付記した。図 2(a)に示すように，鉄釘側から土壌側に向かってアカガネイト，マグネタイト，ゲータイトの順で腐食生成物が検出された。マグネタイトは鉄釘の輪郭を維持し鉄釘を置換する状態で分布しているのに対し，ゲータイトは土壌粒子の間隙に生成して土壌を固結させている。このゲータイトは鉄釘の埋蔵環境が酸化的であったことを示唆する。図 2(a)と(b)の対比により，アカガネイト，マグネタイト，土壌固結層の CT 値はそれぞれ 5600, 10000, 4000 程度であることが分かる。この関係を図 2(c, d)の CT 値分布に適用することで，試料 0642_15622_1 及び試料 0642_15552 にも同様な腐食生成物の層状構造が存在すると推定できる。

今回，顕微ラマン分光法を用いた断面試料の分析により鉄釘の腐食生成物の詳細な層状構造を把握することができた。また，一部試料の破壊分析が可能な場合は，断面試料の分析と X 線 CT 分析との併用により非破壊法でも腐食生成物の層状構造を推定できることを示した。

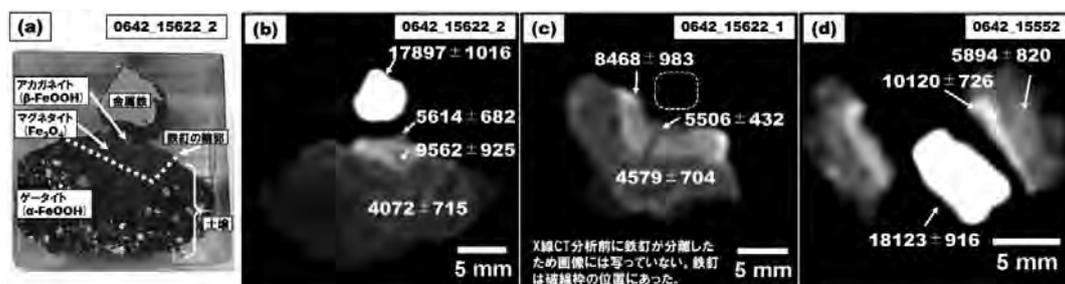


図 2 鉄釘試料断面の顕微ラマン分光法に基づく腐食生成物分布(a)と CT 値分布(b,c,d)

本研究は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和 2 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 (JPJ007597) (ニアフィールドシステム評価確証技術開発)」の成果の一部である。

【引用文献】

- 1) Crossland: Long term corrosion of iron and copper, ICEM05-1272 (2005).
- 2) 柴田ほか: 酸素欠乏地下環境における炭素鋼腐食モデリング, 材料と環境, 62, pp.70-77 (2013).
- 3) 松井: 出土鉄製品の保存と対応, 同成社, (2009).
- 4) 福岡市教育委員会, 博多 (123), 福岡市埋蔵文化財発掘調査報告書第 993 集, (2008).
- 5) CrystalSleuth Raman Quick Start Guide, https://rruff.info/about/downloads/CrystalSleuth_Raman.pdf

史跡名勝瑞泉寺庭園における庭石の風化状況に関する調査

Survey on the weathering condition of garden stones in the Zuisenji Garden, Historic Site Scenic Beauty Natural Monument

○ 莊旺璋 (京都大学)、脇谷草一郎 (奈良文化財研究所)、柳田明進 (同左)、高妻洋成 (同左)
 ○ Wangchang CHUANG (Kyoto University), Soichiro WAKIYA (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Akinobu YANAGIDA (〃) Yohsei KOHDZUMA (〃)



図1 含浸処理範囲図 (名勝瑞泉寺庭園保存整備事業より)

1. はじめに

瑞泉寺庭園は、鎌倉時代末期、夢窓疎石が瑞泉寺を興した時に作庭したとされる庭園である。池をはじめ全域にわたって埋没、荒廃していたが、昭和44~45年に発掘復原され、翌昭和46年に名勝として指定されている¹⁾。その後、長い時間を経て風化が進行し、強化処理された岩盤において再び碎片化、粉状化などの劣化が生じている。また、洞窟内の壁面の広い範囲で析出物による劣化が生じている。本調査では、劣化要因を究明

し、今後の保存対策を検討することを目的として、微気象観測、岩盤表面の析出物の同定、園池の水質分析を実施した。

2. 調査方法

2.1 調査地: 調査地は神奈川県鎌倉市二階堂にある臨済宗円覚寺派の寺院、瑞泉寺庭園である。瑞泉寺庭園を構成する岩盤の岩質は鎌倉石と呼ばれている。これは三浦層群池子層の岩石で、鮮新統下部の海成層であり、凝灰質砂質シルト岩—火砕岩互層や凝灰質砂岩で構成され、下位の凝灰質粗粒砂岩という逗子層とは整合関係にあることが知られている²⁾。

昭和44~45年に発掘復原されて以降、石材表面の粉状化、細片化などの石材の劣化が進行したため、昭和59~60年に合成樹脂を用いた含浸処理による保存工事が行われた(図1)。合成樹脂の含浸による保存工事については、岩石の表面の風化、岩石の接合度によって配合を変えて行われ、中之島は減圧方式による含浸処理、階段部は滴下方式による含浸処理、池周辺は散布処理が行われた³⁾。

2.2 微気象観測および岩石の表面温度の測定: 微気象観測では庭園の温湿度、岩盤の表面温度を測定した。庭園の温湿度測定は、地藏堂軒下において、Onset computer社製U23-002Aを用いておこなった。岩盤の表面温度は、中之島と階段部で実施し、U23-003を用いた。中之島では島の中心と端っこで2センサーを設定した。階段部では、階段の垂直面と平らな面で2センサーを設定した(図2、図3)。



図2 中之島に設置されたセンサー

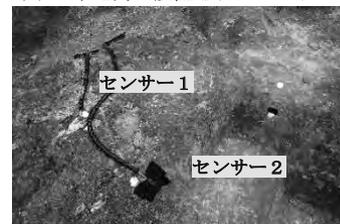


図3 階段部に設置されたセンサー



図4 降水量

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

2.3 岩盤からの析出物の同定と塩池の水質分析：岩盤に認められた析出物および洞窟壁面上の析出物を粉末 X 線回折分析により分析した。また、園池の水を採取し、イオンクロマトグラフィにより陰イオンの分析を行った。

3. 結果と考察

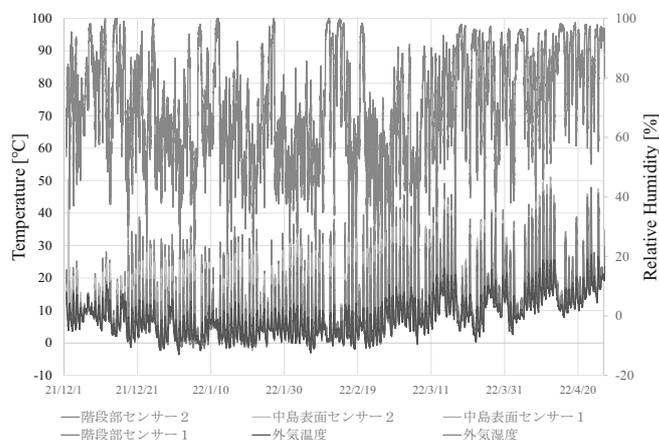


図5 名勝瑞泉寺庭園環境調査（全気象）

微気象観測（温湿度／降水量）と岩盤の表面温度

2021/12/01 から測定センサーを設置し、測定を開始した。日中の日射の影響により、中之島と階段部の表面温度は外気温度より高くなった。中之島は水に浸かっている状態にあり、比熱容量が高い水により熱が吸収されるため、岩石の表面温度差が階段部より小さくなったと考えられる（図4）。

図5により、12月から2月にかけて外気温度が零下まで下がることにより、水分量が高いと推測される中

之島では凍結破砕を生じている可能性がある。また、強化処置を実施した中之島、階段部、庭石の一部の岩盤において剝離、破砕の現象が観察された。これは、岩盤の表面において乾湿繰り返しが生じ、応力の発生に伴う劣化が生じたことが可能性の一つとして考えられる。

瑞泉寺の地質と岩盤表面の析出物の関係

2021/12/01 に洞窟内の壁面および地面に近い部分の合計4箇所採取した試料を粉末 X 線回折法により化合物の同定を行い、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ と $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を検出した。 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ は溶解度が高く、水和物への相変化による膨張率が高い特性があり、岩石を風化させる速度が速いことが知られている⁴⁾。一方、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の熱膨張率は高いが、水和反応による体積膨張率が低く、一般的には破壊性の低い塩である。しかしながら、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ は難溶性という特徴があり、析出した塩が水に再度溶解しにくく、析出表面に固着してしまうため、外観を損なうという問題がある。イオンクロマトグラフィにより、園池の水では Cl^- 、 SO_4^{2-} が顕著に検出された。硫酸塩の析出については、鎌倉の各層に作られているやぐら（註1）に含まれた水質の測定によると、逗子層では Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、池子層では Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- が顕著であるが、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} も多く溶出していることが知られている⁵⁾。鎌倉石は海成堆積岩で構成されているため、析出した塩は岩盤に含まれている海水起源の塩類のイオンに由来するものと考えられる⁵⁾。

4. まとめ

岩石の劣化要因を検討するため、瑞泉寺庭園の微気象観測と石材の表面温度の計測、および析出物の同定とその起源を検討し、以下の結論を得た。（1）外気温度は氷点下まで下がることあり、中之島は凍結破砕を生じている可能性がある。また、中之島と階段部の一部の強化層の岩盤からの剝離および破砕の現象が認められ、乾湿風化あるいは凍結破砕により階段部の強化層の劣化が進行し続けていると考えられる。（2）瑞泉寺における洞窟内には広い範囲で塩が析出している。特に結晶の相変化による膨潤率が高い硫酸マグネシウム水和物が検出されたことから、析出に伴い岩盤表面に破壊応力を与えていることが懸念される。

【謝辞】本調査にあたり瑞泉寺、環境事業計画研究所、松中造園の皆様にご多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】1) 史跡名勝天然記念物—国指定文化財等データベース：瑞泉寺庭園,2021/12/28 検索。2) 見上敬三（1986）：鎌倉市文化財総合目録地質・動物・植物篇、鎌倉市教育委員会,pp.8-56。3) 瑞泉寺（1986）：名勝瑞泉寺庭園保存処理工事報告書,瑞泉寺。4) GOUDIE, A.S.（1986）：Laboratory simulation of 'the wick effect' in salt weathering of rock, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 11, pp. 275-285。5) 川野辰康・小坂和夫（2002）：中世石窟遺構の塩類風化—鎌倉のやぐらの例—,応用地質,第43巻,第3号,p.124-133

註1：鎌倉におけるやぐらは鎌倉時代中期以降から室町時代前半にかけて作られ、横穴式の納骨窟または供養堂である。

特別名勝一乗谷朝倉氏庭園の景石保存に関する研究 —周辺環境が景石の劣化におよぼす影響—

Study on the preservation of ornamental stones in The Ichijodani Asakura Clans Gardens –Effect of the surrounding environment on the deterioration of ornamental stones–

○脇谷草一郎¹⁾、藤井佐由里²⁾、藤田若菜²⁾、柳田明進¹⁾、渡邊英明²⁾、川越光洋²⁾、高妻洋成^{1,3)}

○Soichiro WAKIYA¹⁾, Sayuri FUJII²⁾, Wakana FUJITA²⁾, Akinobu YANAGIDA¹⁾, Hideaki
WATANABE²⁾, Mitsuhiro KAWAGOSHI²⁾, and Yohsei KOHDZUMA^{1,3)}

1 奈良文化財研究所 (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

2 福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館 (Ichijodani Asakura Family Site Museum)

3 文化財防災センター (Cultural Heritage Disaster Risk Management Center)

1. はじめに

特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡には特別名勝の指定を受けた4つの庭園が存在する。今回調査を実施した諏訪館跡庭園はそれらの中で最大規模のもので、1967年に発掘調査が実施されて以降、55年にわたって露出展示されている(図1)。景石の保存状態は様々で、現在も極めて良好な状態を維持するものがある一方で、著しく劣化が進行しているものも認められ、それらの石材に対して劣化要因の把握と、それに基づく劣化抑制手法の策定が喫緊の課題である。本報では、庭園の周辺環境が景石の劣化におよぼす影響について検討するため実施した冬季の環境調査結果を報告する。



図1 諏訪館跡庭園全景(北から)

2. 庭園の概要と景石の劣化状態について

諏訪館跡庭園は尾根筋の中腹に位置する高台に築かれている。北側の谷筋を流れる諏訪川の上流部から導水しており、通常は庭園中央の池は湛水状態にある。池の周囲に配された景石は、福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館(以下、資料館と表記する)が過去に実施した調査から、火山砕屑岩が中心と報告されており¹⁾、その他に斑晶に斜長石および角閃石を含む安山岩質の溶岩(以下、安山岩と表記する)も多数認められる。火山砕屑岩の殆どは凝灰角礫岩に分類されるもので、それらの幾つかでは表層に形成された数ミリ厚の風化殻が剥離した様子が認められた。このように凝灰角礫岩では表層が僅かずつ失われてはいるものの、大規模な崩壊には至っておらず、景石としての形状を維持している。一方、安山岩は保存状態が様々で、極めて良好な状態を維持しているもの、板状節理が発達して十数センチ間隔で平行に発達したクラックが認められるものから、数センチ間隔で縦横にクラックが発達し、既に小片化が進行している極めて保存状態が悪いものまで認められた(図2)。これらの中には、景石の表層で数センチ大のブロック状に小片化が既に進行しており、表層の崩落が進行しているものも存在する。これらの景石に使用されている石材と同質の石材が、庭園北側の谷筋沿いに転石として認められること、また景石自体が比較的角張った形状であることから、これらの景石は山から運搬された石材で、石材自体に多数のクラックとして構造的弱部を残す石材と推察される。そして、マトリクス自体は緻密な構造を有しており、透水性は非常に低いと考えられることから、水はクラックに沿って石材内部に浸透しており、そこでの石材との相互作用によってクラックが拡大し、やがて大規模な崩壊に至ると考えられた。



図2 安山岩に見られる表層の小片化

3. 調査方法

2に記したように、景石に用いられた石材のうち、一部の安山岩は多数のクラックが既に発達していること、また図1に示すように、庭園直上は木に覆われておらず、開空率が高いと考えられることから、景石の劣化は冬季の凍結破砕によって主に引き起こされていると考えた。そこで、景石のクラック部とクラックに囲まれたブロック状の箇所において、石材表面の水分量を測定するとともに、厳冬期に限定して、景石のクラック内部の温度を測定した。石材表面の水分量測

ポスター
発表

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

定には赤外線水分計（Kett 科学社製、KJT-130）を用いて、水分量の相対的な多寡を推定した。

景石のクラック内部温度の測定にはサーミスタ温度計（TandD 社製、TR42）を用いた。温度センサーはφ2.2mm のフッ素樹脂被覆されたもので、これをクラック内部に挿入して測定した。外気の温湿度は Onset 社製、HOBO MX2302A を用いた。測定対象とした景石は図 3 に示すように隣接する 2 石で（図 4、図 5）、石材表面の水分量測定は 2022 年 1 月 28 日に実施し、クラック内部温度の測定期間は 2022 年 1 月 27 日から同年 2 月 8 日とした。



図3 調査対象の景石

4. 結果および考察

赤外線水分計により石材表面の水分量を測定した結果、景石の上部と下部で水分量が高く、さらにクラック近傍ではひととき高い値を示した。これらの結果から、雨水や雪によって供給される水と地盤から供給される水が、クラック内部に浸透していると考えられる。

景石のクラック内部温度の測定結果を図 6 に示す。外気温度は 1 月 27 日夜から翌日の明け方にかけて -3°C まで低下し、その後日中は約 10°C まで上昇した。景石 2 では外気の温度変化に対して僅かな位相差と日較差の低減が認められたものの、外気の温度変化を大略追従する結果を示した。石材は比較的熱伝導率が小さく、熱容量が大きいため、外気温度と比較して変化の遅れと振幅の低減を示したと考えられる。一方、景石 1 では 27 日深夜から 28 日にかけて温度は約 0°C で下げ止まりとなり、反対に 28 日の日中は外気温度や景石 2 では温度が上昇を示したのちも引き続き 0°C を示し続けた。これはクラック内部において、夜間は水から氷へ、翌日の日中は反対に氷から水へと相変化する際のそれぞれ凝固熱および融解熱の影響と考えられる。すなわち、諏訪館跡庭園では開空率が高いこともあって夜間放射が大きく影響しており、景石 1 のクラック内部では水の凍結が生じていることが示唆された。これらの結果から、安山岩に特徴的に認められるブロック状の崩壊は、山から採取された石材が有するクラックに沿った水の浸透と、景石が露出しているために夜間放射の影響を強く受け、クラック内部での水の凍結が繰り返し生じることで進行していると考えられた。

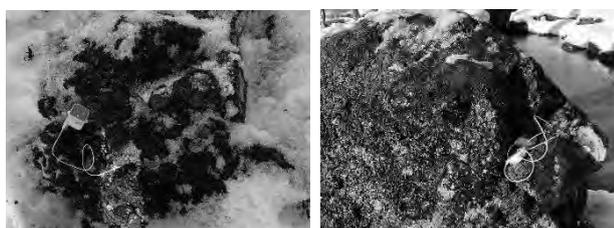


図4 景石 1

図5 景石 2

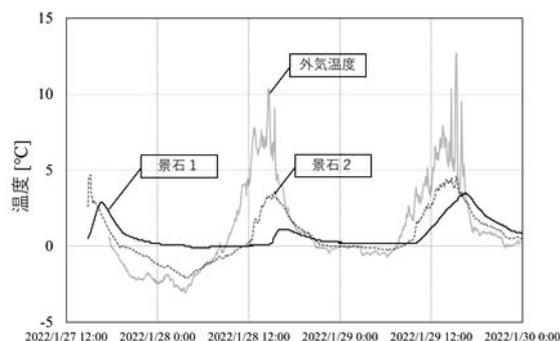


図6 景石クラックの内部温度

5. まとめ

諏訪館跡庭園に配された景石のうち、節理に沿ったクラックが発達したもの、とりわけ縦横にクラックが発達した安山岩では、ブロック状に小片化する石材の崩落が顕著に進行している。そこでこれらの景石の劣化要因を推定するため、クラック周辺の水分量測定とクラック内部の温度測定を実施した。測定の結果、クラックの近傍では水分量が有意に高いことから、クラック内部に選択的に水が浸透していること、そして、夜間放射の影響で強く冷え込んだ日でも、クラック内部の温度は 0°C で一定値を示したことから、クラック内部では浸透した水の凍結が促進されていると考えられる。このように景石の劣化は水の浸透と凍結が要因と考えられるが、一方で水の浸透を抑制することは困難であることから、凍結を抑制する、すなわち夜間放射が大きくならぬような方策を検討する必要があると考える。

【謝辞】 諏訪館跡庭園に使用された石材の同定およびこれらの劣化要因に関する検討では、福井大学教育地域科学部の山本博文教授から多くの助言を賜った。ここに記して感謝の意を表す。

【引用文献】 1) 三好雅也、2018、一乗谷朝倉氏遺跡の石製遺構調査結果報告一庭石の偏光顕微鏡記載一（受託調査研究報告書）

トレハロース処理法の寸法安定性に関する考察 1 - 接触角から推定される結晶形態による検討 - Dimensional stability of trehalose method 1: Examination of crystal morphology estimated from contact angle

○肖舒尹（京都大学大学院）、脇谷草一郎、松田和貴、柳田明進、
田村朋美、高妻洋成（奈良文化財研究所）

○Shuyin XIAO(Kyoto University), Soichiro WAKIYA, Kazutaka MATSUDA,
Akinobu YANAGIDA, Tomomi TAMURA, Yohsei KOHDZUMA
(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1.はじめに：トレハロース処理法の特徴の一つとして、保存処理の含浸工程において必ずしも薬剤濃度を100%としなくとも高い寸法安定性を得られることが挙げられる。伊藤らは含浸工程の最終濃度について、72%で十分な寸法安定性が付与されると結論づけている¹が、他の薬剤と比較して低濃度で含浸工程を終わらせて高い寸法安定性を得られるのが明らかになっていない。本研究はトレハロース含浸法のより効率的な工程を図るのを目的として、木材内部におけるトレハロース結晶形態から含浸を完了できる最低濃度とそのメカニズムについて検討を行う。

2. 溶液から結晶核の生成：トレハロース水溶液の中から固体の結晶が現れるのは、液相から結晶相に変化する「結晶成長」という現象であり、一般的にその最初には結晶核と呼ばれる非常に小さな結晶が形成される。固体状態の結晶核が液相に現れると、両者の間に新しく界面ができる（図1-1）。一方、溶液中に固体の不純物、容器壁などが存在すると、これらの表面に結晶が生成され、不純物固体・壁-結晶、液体-結晶の2つの異なる界面が生じる（図1-2）。前者は均一核形成と呼ばれ、後者は不均一核形成と呼ばれる。結晶核の出現は、固体の形成により自由エネルギーが低下する一方で、表面自由エネルギーの増加をもたらす。結晶が液体よりも安定した熱平衡状態を形成するために乗り越えなければならないエネルギー障壁 ΔG が存在し、下記の関係が成立する：

$$\Delta G_{\text{heterogenous}} = \Delta G_{\text{homogenous}} \times f(\theta) \quad (1)$$

$$f(\theta) = \frac{2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta}{4} \quad (2)$$

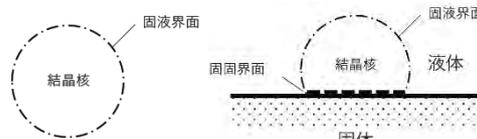


図1-1 均一核形成

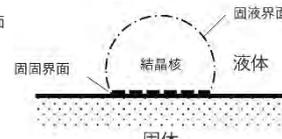


図1-2 不均一核形成

ここで θ は濡れ性を表す接触角で $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ に対して、 $0 \leq f(\theta) \leq 1$ となる。完全に濡れない、すなわち $\theta = 180^\circ$ では $\Delta G_{\text{hetero}} = \Delta G_{\text{homo}}$ である。固体の壁との界面で界面自由エネルギーが低い場合はエネルギー障壁が低下するために固体表面で核が生成しやすくなり、接触角が小さいほど固体表面で核生成をより強く促進する。また、壁に対する吸着形態が接触角によって異なり、接触角が小さいほど密着した結晶の生成に利すると思われる。したがって、含浸中の木材を溶液中の不純物と見ると、結晶も木材と溶液との界面で優先的に生成されるはずであり、生成した結晶の形態も接触角に大きく影響される。結晶で細胞壁の形を支えることができれば、細胞内腔のすべてを結晶が満たす必要はなく、より低い最終濃度で出土木材の寸法安定性を維持することが可能になると考えられる。結晶核の生成難易度を評価するために、トレハロース水溶液の出土木材に対する接触角を測定した。

3. 出土木材に対する接触角の算出：出土木材は大量の水分を含み、表面が凹凸を有する多孔質材料であるため、接触角計を直接用以て測定することはできない。そこで、Lucas-Washburnの式に基づいたSieboldらが提唱した測定方法²と下の式(3)から接触角を算出した。図2に示した装置を用いて50℃の雰囲気の下で乾燥した木粉に対する薬剤の浸透高さ h と測定時間を記録した。さらに η と σ を測定した。

$$h^2 + 2hl = \frac{Cr\cos\theta}{2\eta} t \quad (3)$$

h ：液体の浸透高さ l ：ガラスチューブの浸漬深さ r ：粉体間隙の毛細管の平均半径 σ ：液体の表面張力 C ：常数 θ ：接触角 η ：液体の粘度 t ：時間

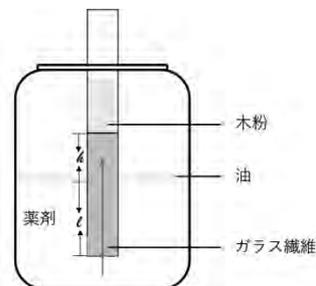


図2 実験装置模式図

¹ 伊藤幸司.トレハロースを用いた文化財保存の研究と実践-糖類含浸処理法開発の経緯と展望.三恵社,2020年.

² Siebold, Alain, et al. "Capillary rise for thermodynamic characterization of solid particle surface." Journal of colloid and interface science 186.1 (1997): 60-70.

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

4. 結果と考察：トレハロース溶液および PEG 溶液での h^2+2hl と t の関係をそれぞれ図 3、図 4 に示す。ただし、濃度が 50%以上のトレハロース水溶液と 30%以上の PEG 水溶液では、液面上昇が認められず、 $\cos \theta$ を算出することはできなかった。図 3、4 より、 h^2+2hl と t の間には明瞭な直線関係あることが認められる。この測定結果から出したの傾き K ($Cr\sigma\cos\theta/2\eta$)、 η 、 σ 、 $\cos \theta$ を表 1 に示す。なお、粉体の隙間に関する値である C 、 r は、同実験系での純水を用いた測定より 0.000191 とした。表面張力 σ は 3 回の測定の平均値である。測定値にはややばらつきが認められたが、 σ から得られた θ 値は溶液の濡れ性に関する傾向を示すものと考えられる。

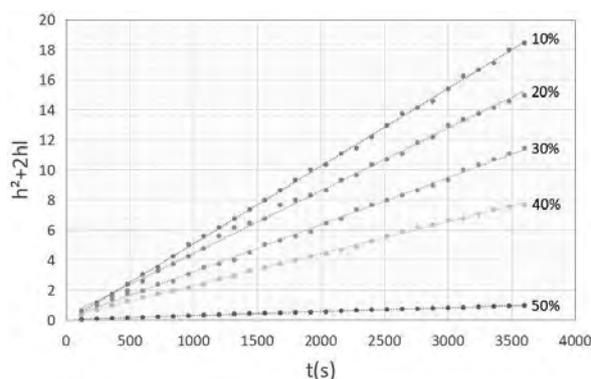


図3 トレハロース水溶液 h^2+2hl と t の直線関係

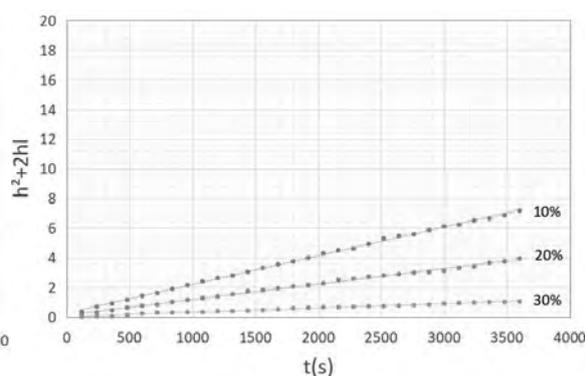


図4 PEG 水溶液 h^2+2hl と t の直線関係

表1 $\cos \theta$ の計算結果

	傾き K	粘度 (η)	表面張力 (σ)	表面張力 標準偏差	$\cos \theta$ [°]
トレハロース 10%	5.20E-03	0.84	50.0	1.3	0.91
トレハロース 20%	4.20E-03	1.14	58.4	1.5	0.85
トレハロース 30%	3.10E-03	1.55	50.4	2.1	0.99
トレハロース 40%	1.80E-03	2.53	48.7	0.2	0.97
トレハロース 50%	3.00E-04	5.67	51.0	3.4	0.34
PEG10%	1.90E-03	1.56	55.1	0.5	0.56
PEG20%	1.00E-03	4.39	54.9	0.5	0.83
PEG30%	3.00E-04	10.04	51.4	0.1	0.61

各試験溶液の $\cos \theta$ より得られた結果は以下の通りである。1) 濃度 10%~40%のトレハロース水溶液の $\cos \theta$ は 1 に非常に近く、木材に対する接触角が非常に小さいと推定できる。2) トレハロース水溶液は濃度 40~50%の間で $\cos \theta$ 値が大幅に低下し、接触角が急に上昇することが認められた。3) トレハロース水溶液は低濃度 (10~30%) の範囲で PEG 水溶液より高い $\cos \theta$ 値を示すことから、接触角がより小さいといえることができる。4) 濃度が 50%以上のトレハロース水溶液と濃度が 30%以上の PEG 水溶液では傾き K が 0 に漸近することから、これらの溶液では接触角は 90° 、もしくは以上になる可能性もあると考えられる。

5. まとめ 木材内部表面に密着したトレハロース結晶を形成させて良好な寸法効果を得る可能性を提案し、その評価指標の一つとなる接触角の測定方法を検討し、適応可能という結果が示された。接触角の測定方法自体についてはまだ検討すべきところが多いため、今回得られた $\cos \theta$ の結果はあくまでも参考値であり、より精確な設備や方法を用いることでより精度の高い測定結果がえられることが期待できる。トレハロース水溶液と PEG 水溶液の木材に対する接触角には明らかな差異が認められ、トレハロース水溶液では温度低下により速やかに多くの結晶が成長し、これらが細胞壁表面に優先して成長する傾向があると推察された。すなわち、細胞壁表面で積極的に結晶が形成されることが、トレハロース処理法において比較的低い含浸濃度で寸法安定性が得られる要因の一つである可能性がある。濃度が核生成に及ぼす影響から、50%以下で含浸が完了する可能性があることも考えられるが、細胞壁内部の表面でより密な結晶核を成長させるためには他に考慮すべき要素がある。今後、より精確な数値を得るために測定の温度範囲を拡大して多くのデータを収集するとともに、適切な濃度範囲を決定した上で、結晶の成長形態に対する過冷却度と冷却速度の影響を引き続き検討する予定である。

法隆寺金堂収蔵庫における壁画の保存・公開に関する研究 -2021年限定公開における収蔵庫内環境測定値の検討-

Study on conservation and exhibition of burnt wall paintings in Main hall, in treasure house at Horyu-ji Temple -Investigation of environmental measurements in treasure house during the limited opening to the public in 2021-

○今岡知晃（京都大学）、小椋大輔（同左）、木川りか（九州国立博物館）、和田浩（東京国立博物館）、吉田直人（文化財活用センター）、建石徹（東京文化財研究所）、秋山純子（同左）、佐藤嘉則（同左）、藤井義久（京都大学）、北原博幸（トータルシステム研究所）、森井順之（文化庁）、伊庭千恵美（京都大学）、高取伸光（同左）、石川和輝（同左）
○Chiaki IMAOKA, Daisuke OGURA (Kyoto Univ.), Rika KIGAWA (Kyushu National Museum), Hiroshi WADA (Tokyo National Museum), Naoto YOSHIDA (National Center for the Promotion of Cultural Properties), Toru TATEISHI, Junko AKIYAMA, Yoshinori SATO (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Yoshihisa FUJII (Kyoto University), Hiroyuki KITAHARA (Total System Lab.), Yoshiyuki MORII (Agency for Cultural Affairs), Chiemi IBA, Nobumitsu TAKATORI, Kazuki ISHIKAWA (Kyoto Univ.)

1. 研究の背景と目的 1949年、火災により法隆寺金堂は焼損した。焼損した金堂内部の壁画等は金堂収蔵庫にて保存されている。現在、収蔵庫には空調設備はなく原則非公開であり、扉・窓は常時閉鎖されている。この収蔵庫内では壁画表面におけるカビの生育、庫内における文化財害虫の生息が確認されている¹⁾。既報^{2,3,4)}により、金堂収蔵庫内の温湿度・二酸化炭素濃度の年間予測が可能となっており、2021年11月の限定公開を想定した入室人数や公開方法について収蔵庫内の温湿度・二酸化炭素濃度のシミュレーションによる検討が行われた。本研究は、法隆寺金堂壁画保存活用委員会における調査の一環として保存環境WGが行っているものである。2021年、今後収蔵庫内の保存環境を改善し、一般公開を可能とする建築設備等の改修を検討することを目的の一つとして、11月に金堂収蔵庫の限定公開が行われた。公開は、保存環境WGによる事前検討の結果²⁾を踏まえて行われた。これまで行われたシミュレーションでは十分検討が出来ていない、観覧者が連続して入室する場合の予測精度の検証等、一般公開に向けた基礎資料となる。本報告では、2021年11月の限定公開における収蔵庫内の温湿度・二酸化炭素濃度の測定値をもとに公開による庫内の環境への影響を考察する。また、それらを基に今後収蔵庫で限定公開を実施する際の課題を検討する。

2. 限定公開実施方法 保存環境WGにより、壁画に極力影響を与えず、かつ十分な新型コロナウイルス感染症対策が取れる限定的な実施が可能かどうか、事前に検討が行われ、室内環境に負荷を極力与えないような少人数での公開と、収蔵庫全体の窓等の隙間を通じた自然換気が想定された。こうした検討をもとに提案・実施された限定公開の公開期間・公開方法・入室人数・公開ルートを、表1に示す。展示に関係する室は壁画のある中央室と西室で、中央室南側の外気に接する大扉は閉鎖した。本公開では、雨天などの際に外気の湿気が直接流入しないようにするとともに、見学者の水分持ち込みを防ぐため前室を設置し、前室には再熱除湿空調設備を導入した。さらに、壁画への負荷の確認と、新型コロナウイルス感染症対策として、収蔵庫内の温湿度と二酸化炭素濃度を遠隔監視した。

3. 限定公開期間の実測温湿度・二酸化炭素濃度 まず、収蔵庫内の二酸化炭素濃度(CO₂濃度)の測定結果を述べる。図2に2021年11月1日から30日の収蔵庫各室のCO₂濃度の変動を示す。西室と中央室では、CO₂濃度は1日あたり約100ppm増加していたが、いずれの日も700ppm以下に維持されていた。中央室では、収蔵庫が閉鎖される夜間にCO₂濃度が減少したが、少量ずつ蓄積が見られ、15日に休みを設けることで蓄積が緩和されている。次に、収蔵庫内の温湿度の測定結果を述べる。図3から図5に、2021年11月1日から21日の外気と収蔵庫内1階の

表1 1994年と2021年の公開方法

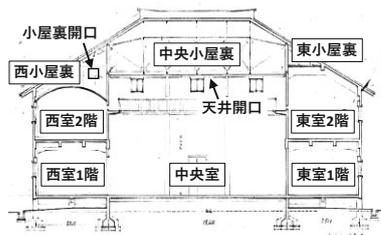


図1 収蔵庫断面図

	1994年	2021年
公開期間	11/1~23日 (23日間、休み不明)	11/10~21 (11日間、11/15休み)
公開方法 (実施計画)	1回50人 各回30分 1日10回で1日約500人	10~16時(13~14時は休憩) 30分間隔 各回5人で1日約50人 (ただし、案内・監視スタッフ常駐のため、同時に10名が施設内に滞在)
入室人数	1日約600人	期間中計481人(44人/1日)
公開ルート	南西室→西室→中央室	前室→南西室→西室→中央室

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

中央室・西室・南西室・前室の温度・相対湿度・絶対湿度をそれぞれ示す。中央室・西室いずれの室においても日変動は温度が約1℃以内、相対湿度が約1%以内で、期間中の上昇もなかった。壁画の置かれた中央室・西室で温湿度の変化は小さく、公開による壁画への影響を低く抑えることができたといえる。

4. 1994年特別公開との比較 1994年、焼損した金堂が修復され40周年を迎えることを記念して金堂収蔵庫の特別公開が行われた。公開期間・公開方法・入室人数・公開ルートについて表1に示す⁵⁾。1994年では中央室の温度の日変化は1~2℃で、相対湿度の日変動は2~3%であった⁵⁾。一方、2021年では中央室の温度の日変動は0.2℃ほど、相対湿度の日変動は0.5%ほどとなっており、1994年と比べると見学者の収蔵庫への入室が庫内の温度・相対湿度に与える影響は小さいといえる。CO₂濃度については、1994年では1日あたりおよそ1500ppm増加しており、期間中収蔵庫内のCO₂濃度は3500ppm程度まで上昇した日も見られた⁵⁾。1994年の特別公開と比較すると、2021年の限定公開では、一日あたりの公開人数は10分の1以下、公開期間は半分以下となっている。また、2021年では前室を設置し、前室に再熱除湿空調設備を導入するとともに、収蔵庫全体の窓等の隙間を通じた自然換気が想定された。そのため、温度・相対湿度の日変化は小さく、相対湿度の急激な変化もなく、壁画への負荷を大きく減らすことができた。CO₂濃度を基準としたとき、感染リスクについても低く保つことができたといえる。

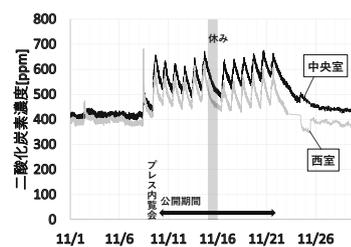


図2 二酸化炭素濃度[ppm]

5. 結論 2021年11月、法隆寺金堂収蔵庫では限定公開が行われ、公開期間中には温湿度・二酸化炭素濃度が計測され遠隔で監視が行われた。限定公開において庫内で計測された温湿度・二酸化炭素濃度の計測結果をもとに、公開による庫内環境への影響を考察した。また、それらを基にして今後の収蔵庫での限定公開における課題を検討した。

- ・本公開方法では、見学者の入室により中央室の温度は0.2℃、相対湿度は0.5%の日変化が見られた。また、二酸化炭素濃度については公開期間中いずれの日においても700ppm以下に抑えることができた。2021年の限定公開では、1994年と比較して人数が大幅に絞り込まれたことにより、見学者の入室による収蔵庫内の熱湿気、二酸化炭素の蓄積が大幅に抑制されたことと、自然換気により熱湿気や二酸化炭素が排出されたことで収蔵庫内の温湿度、二酸化炭素濃度の上昇が抑制できたと考えられる。加えて前室を設けて温湿度制御がなされたことにより収蔵庫内の外気流入や人の持ち込みの水分等の抑制に寄与したと考えられる。また、二酸化炭素濃度を基準としたとき、感染リスクについても低く保つことができたといえる。

- ・本公開は、シミュレーションによる事前検討により、入室人数や公開方法が決定された。今後の限定公開において、前室の考慮を含めて精度の高いシミュレーションを行えるよう、今回の限定公開の条件でのシミュレーションの精度を確認する必要がある。

- ・本公開は比較的外気が低湿な11月に公開人数を限定した形で行われた。また、上記の結果が得られた要因の一つとして公開期間中晴天に恵まれたことも挙げられる。今後は、限定公開としてより過酷な条件へ対応可能な前室や前室の空調方法についても検討が必要と考えられる。

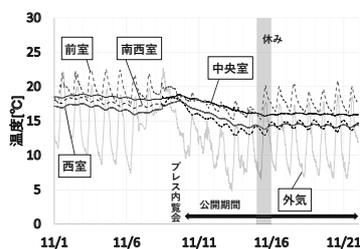


図3 各室温度[℃]

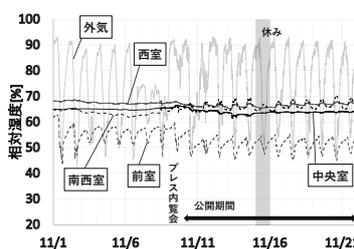


図4 各室相対湿度[%]

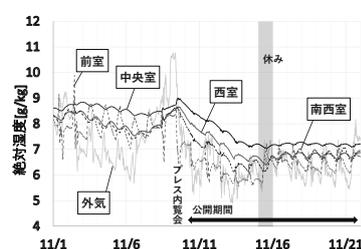


図5 各室絶対湿度[g/kg]

謝辞 実測調査にあたり、法隆寺金堂壁画保存活用委員会事務局の法隆寺、朝日新聞社、文化庁、奈良県のご協力を賜りました。記して厚くお礼申し上げます。

参考文献 1) 文化庁：法隆寺金堂壁画保存活用委員会について、古墳壁画の保存活用に関する検討会（第19回）資料7、2016、2)小椋大輔他：法隆寺金堂収蔵庫における壁画の保存・公開に関する研究—収蔵庫の限定公開時と建具隙間の気密化を考慮した非公開時の環境調整方法の検討—、日本文化財科学会第38回大会研究発表要旨集、p212-213、2021、3)藤原良輔他：法隆寺金堂収蔵庫における壁画の保存・公開に関する研究—実測調査と数値解析による収蔵庫内温湿度の現状分析—、日本建築学会近畿支部研究報告集 pp.169-172、2018、4) 和田拓也他：法隆寺金堂焼損部収蔵庫における壁画の保存・公開に関する研究—数値解析による小屋裏の吸放湿を用いた室の除湿による環境調整方法の検討—、日本建築学会近畿支部研究報告集、4063、2020、5)三浦定俊他：法隆寺「焼損金堂・壁画」特別公開における保存対策、保存科学、第34号、pp22-36、1995。

トレハロース法による
 海底遺跡出土大型木材の保存処理について (2)
 ー隔壁板の表面処理と鉄釘の経過観察ー
 Conservation treatment of large wooden object excavated from
 underwater sites using the trehalose method (2)
 - Surface treatment of bulkhead plank and
 observation of iron nails -

○安木由美 (松浦市教育委員会)、小林啓 (九州歴史資料館)、伊藤幸司 (東北芸術工科大学)
 ○Yumi YASUKI,(Matsuura City Bord of Education), Akira KOBAYASHI(Kyusyu Historical Museum)
 Koji ITO(Tohoku University of Art and Design)

1. はじめに

大型木製品保存処理に向けた研究として、自然エネルギーの利用、含浸槽の再検討などを行い、関わる機器の開発・実用化を図ってきた¹⁾。この成果を受けて、鷹島海底遺跡からこれまでに引き揚げられた元寇沈船の部材(隔壁板・外板)の含浸処理を行った²⁾。2021年12月に隔壁板の表面処理を開始し、現在その最終段階に入っている。表面処理中に隔壁板表面の一部が剥がれたり亀裂が発生したりしたが、その部分にトレハロースを補って回復を図った。また、作業は温湿度の制御ができない環境下で行っているが、鉄釘の腐食は進行していない。今回の保存処理から得られた情報は、今後大型木製品を保存処理する場合、そして海底遺跡出土遺物の保存処理を行う際に有益であると考えられるので報告する。

2. 隔壁板の表面処理

2-1. 方法

2021年12月、隔壁板の重量が一定程度安定したことを確認し(固化終了)、表面処理を開始した。木部に付着しているトレハロースはスチームや熱風で溶解し、ペーパータオルで吸い取り、除去した。また、スチームで濡れた箇所は送風機で風を当てて乾かした。鉄釘部は、表面にトレハロース水溶液 20 %Bx を塗り、熱風で加熱してガラス化させた。

2-2. 得られた知見

隔壁板の表面処理前後の様子を図1に示した。表面処理後は木部の色調が明るくなり、木目が見えるようになった。

一方で、作業中に木部の一部が剥がれたり、亀裂が生じたりした。これは、表面に浸み込んで固化しているトレハロースを過剰に除去したためである。事態が悪化することを防ぐために、問題が生じた部分にトレハロース水溶液 10 %Bx を噴霧し、熱をかけて水分を蒸発させた。この作業を繰り返すことで表面に必要な分のトレハロースを補った。その後、新たな問題は生じていない。

ポスター
発表

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

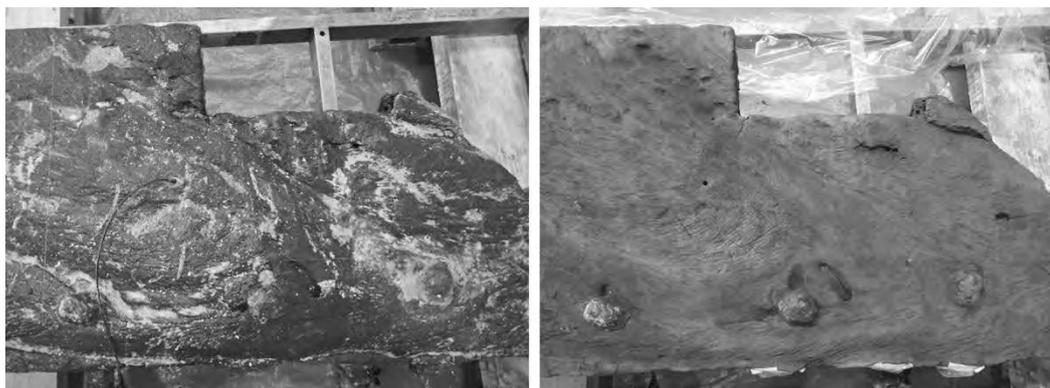


図1 隔壁板の表面処理前(左)と表面処理後(右)

3. 隔壁板に打たれた鉄釘の経過観察

隔壁板は固化の段階から現在に至るまで温湿度制御のできない環境に置いている。鉄釘の目視観察と写真撮影を週1回程度行っているが、外観上腐食の進行は見られない(図2)。

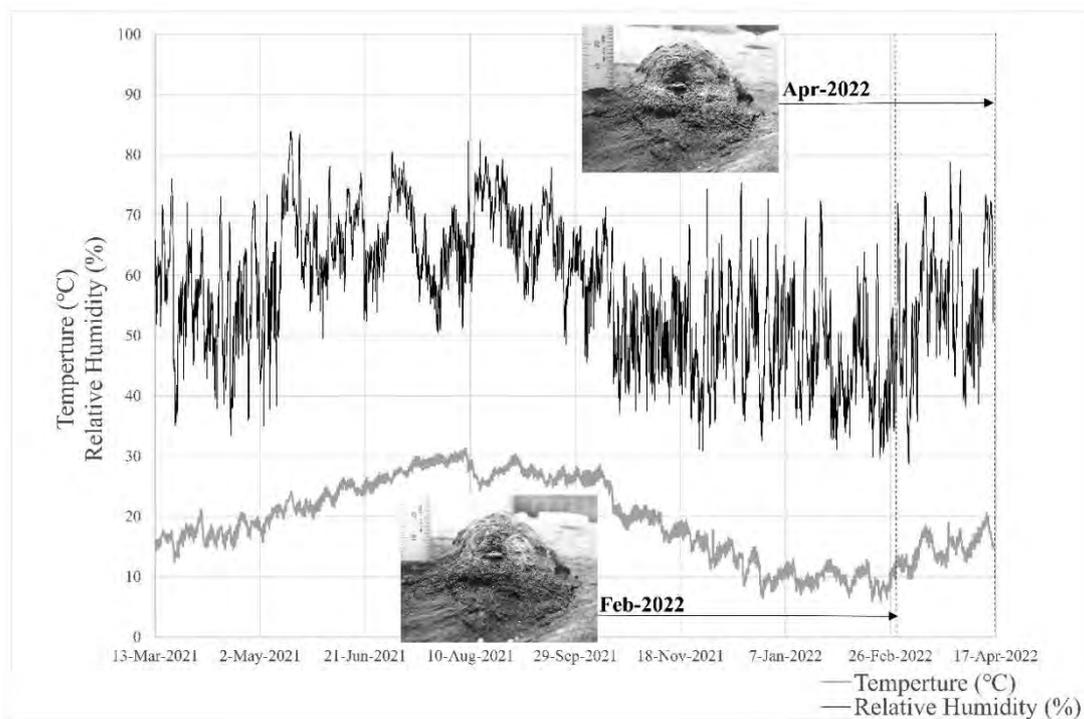


図2 表面処理作業場所の温湿度グラフと鉄釘の形状比較

4. まとめ

隔壁板の保存処理は、開始から3年をめどに終了する予定である。また、2022年10月には一石型木製椀(2000mm×1000mm×250mm)を海底から引き揚げる。今回得られた情報をもとに、効果的に保存処理を行うための計画を検討している。

1) 伊藤幸司 ほか 2020 「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6)ー大型木製品用太陽熱集熱含浸処理装置の開発と実施ー」『日本文化財科学会 第37回大会 研究発表要旨集』pp. 228-229

2) 伊藤幸司 ほか 2021 「トレハロース法による海底遺跡出土大型木材の保存処理について」『日本文化財科学会 第38回大会 研究発表要旨集』pp. 202-203

※当該研究は、JP18H00759(研究代表者:伊藤幸司)およびJP18H05220(研究代表者:池田榮史)の成果を含む。

電気化学的脱塩工法を用いた煉瓦脱塩への試み 3

Challenge of desalination of single brick by using method for electrochemical desalination 3

○深見利佐子（筑波大学大学院）、松井敏也（同左）

○Risako FUKAMI, Toshiya Matsui

1. はじめに

屋外環境に晒されている煉瓦造の文化財は塩類風化による劣化が日本各地で報告されており、劣化進行を抑制させるための対策が求められている。日本の煉瓦造の文化財の場合、劣化が見られる箇所は壁面の煉瓦全てではなく、いくつかの箇所に点在していることが多い。そのため壁面全体ではなく、劣化が見られる部分のみを処理することで、保存処理にかかる時間やコスト削減に繋がることが期待できる。これに対し、2020年より個々の煉瓦を対象とした簡易的な電気化学的脱塩（ED）モデルの開発を行ってきた。Na₂SO₄を含有させた煉瓦試料に対して粉末セルローズと銅板を電極とし、5V、1Aの通電条件下で8日間通電を行なった場合、73%のSO₄²⁻が煉瓦試料から除去されることがわかった[1]。本研究ではこれまで使用してきた銅板に代わり安価で入手しやすい素材である炭素棒を電極に使用しED試験を行なった。また通電後の煉瓦試験体を一定期間曝露し、その後表面を観察することで炭素棒がもたらす脱塩効果や影響を検討した。

2. 研究方法

2.1 試験体とEDモデル

試験体として用いた煉瓦は、明治初期に国内生産された煉瓦の物性を模して作成された煉瓦を使用した。明治期の煉瓦の物性は吸水率が約17%、圧縮強度は約9.5N/mm²と現代の煉瓦と比較して吸水率および強度ともに低かったことが分かっている[2]。この煉瓦をED試験用に5cm×5cm×11cm、曝露試験用に5cm×5cm×4cmに裁断し、35.5g/L(0.25M)のNa₂SO₄溶液に5日間浸漬させ、その後乾燥させたものをそれぞれの試験に使用した。

電極には、直径10mm、長さ4.5cmに切断した炭素棒（Keenso社製）を用いた。炭素棒の材質は純度99.9%のグラファイトであった。電極の周辺には粉末セルローズ（Holland Gwabo社製Arbocel BC1000）25gに対して、超純水を試験体の乾燥重量の20%の量加え、Arbocelが湿潤するまで混合したものを設置した。Arbocelに加える水分量は試験体の飽和水分量から20%とした。試験は煉瓦の小口を天地とし、上部に電極を設置した。なお、Arbocelの乾燥防止のために表面をプラスチックフィルムで被覆した。

2.2 炭素棒を用いたED試験

本試験ではEDによる煉瓦内のSO₄²⁻濃度の定量評価を行なった。電極を設置後、直流安定化電源を用いて電圧5Vの条件下で電流値が0.5Aになるように調整した。また無通電の試験体も用意した。通電期間は8日間とし、通電4日目には両極に設置したArbocelに超純水を追加した。通電終了後はイオンクロマトグラフィー（IC）分析および目視観察による評価を行った。

2.3 ED後の曝露試験

ED処理を行った試験体の曝露試験を行った。煉瓦表面状態の変化や、塩類の析出などの確認およびEDによる脱塩効果の検討をおこなった。通電後は温度25℃、相対湿度60%の環境下に7日間試験体を曝露させその後煉瓦表面状態の目視観察を行った。通電条件は5V、0.5Aとし、通電期間は8日間とした。また通電中において水の供給が脱塩の効果に影響を与えるのか確認するために、通電4日目に超純水を追加したもの（C-I）と通電期間中は水を与えなかったもの（C-II）を用意した。

3. 結果と考察

3.1 EDによるSO₄²⁻濃度の変化

[1] Risako Fukami, Toshiya Matsui, "Electrochemical Desalination Test of Bricks as a Building Material for Historical Buildings in Japan", *Journal of Engineering Research and Sciences*, Vol.1, No.5, pp. 79-87, 2022, DOI: 10.55708/jr0105009

[2] 深見利佐子, 修士論文「猿島砲台跡における明治初期の国産煉瓦保存のための物性調査」, 筑波大学大学院, 2019

ポスター
発表

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

試験体上部では陰極側から中間部分にかけて SO_4^{2-} 濃度の低下が顕著に見られた。特に試験体上部の陰極側ではコントロールのものと比較すると SO_4^{2-} 濃度の低減率は94%と高い。しかし陽極側で SO_4^{2-} 濃度が非常に高くなっていた。一方下部では、上部と同様に陰極側での SO_4^{2-} 濃度の低下は確認されたが、中間部分から陽極側にかけては SO_4^{2-} 濃度が上昇していた(図1)。さらに試験体全体の SO_4^{2-} の除去率が $39.6 \pm 6\%$ と低いことから、 SO_4^{2-} は陰極側から陽極側に向かって移動するが移動した SO_4^{2-} は陽極側の煉瓦内に滞留している可能性が高い。

通電後の目視観察では、通電条件 5V、0.5A で通電を行った試験体は3点のうち2点の試験体で塩の析出がほとんど見られないまたは陰極側に塩の析出が見られた。析出した塩は $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (thermonatrite) であった。塩が析出していない部分の表面状態は一部粒状となり崩壊している箇所が見られたが、大部分は良好であった。しかし通電した試験体の陽極側がやや黒く変色していた。この部分を XRD 分析したところ、炭素棒の成分であるグラファイトが検出された。白石によると炭素材料は化学的に安定しており、電気化学反応によっては変化しないことが分かっている[3]が、通電後の電極は湿潤部分が粉々に崩壊していたことから、通電により炭素棒が分解され、イオン化せずにグラファイトとして煉瓦内に流入した可能性が考えられる。しかしこのような現象が起きた要因やメカニズムは不明であり、これらの解明は今後の課題である。

3.2 ED 後の曝露試験

曝露試験後、コントロールは全体的に針状の塩の析出が見られ、煉瓦表面は粒状となり大部分で崩壊が見られた。一方で C-I、C-IIは共に陽極側から中間部に向けて試験体の色がやや黒く変色し、変色部分からはグラファイトが検出された。しかし変色部分に塩の析出は見られず、表面状態は良好であった。C-I、C-II共に変色部分以外の箇所に塩の析出が見られたが、コントロールと比較するとその量は減少していた。以上のことから、炭素棒を電極とした場合は塩の析出を抑制させる程度の脱塩効果が得られ、特に通電によりグラファイトが流入した箇所では塩が析出しない程度の脱塩効果があることを見出した。また通電中における水の供給は脱塩効果に大きな影響は与えないことがわかった。

4. まとめ

電極に炭素棒を使用し通電条件 5V、0.5A の場合 SO_4^{2-} は陰極側から陽極側に向かって移動し陰極側に SO_4^{2-} はほとんど残留しないことが分かった。しかし移動した SO_4^{2-} は陽極側の煉瓦内に滞留していることが示唆された。全体の SO_4^{2-} の除去率は $39.6 \pm 6\%$ と低い、通電後の目視観察及び曝露試験の結果、通電を行なった試験体は塩の析出を大幅に減少させることができていたことから塩の析出を抑制させるためには十分な除去率であることが考えられる。しかし、通電した試験体の陽極側に変色が見られ、変色部分からグラファイトが検出されことから、通電により電極として用いた炭素棒が分解され、それらが試験体内に流入した可能性が考えられる。しかしながら、現時点においては試験体内に流入した炭素の影響で曝露試験後もその箇所において塩が析出しなかったのか、その関係性や流入した炭素が煉瓦の物性にいかなる影響を与えるのか評価できないため、今後の課題として流入の要因解明と併せて検討していく必要がある。

[3] 白石壮志, “炭素材料の電気化学的特性の評価法 1.電気化学測定の基礎とサイクリックボルタンメトリー”, 炭素, No.193, 2000

この研究は JST SPRING (No. JPMJSP2124)により支援されました。この場を借りてお礼申し上げます。

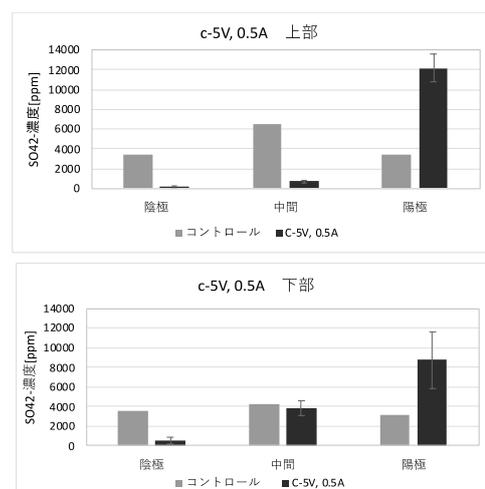


図1 炭素棒を電極として通電した場合の SO_4^{2-} 濃度変化

表1 ED 後の曝露試験結果

C	Immediately after energization	Day 7
control		
	<ul style="list-style-type: none"> ・全体的に針状の塩の析出あり ・剥離と崩壊あり 	
C-I (水の追加)		
	<ul style="list-style-type: none"> ・陽極側がやや黒く変色 ・陰極側から中間にかけてやや塩が析出 	
C-II (水の追加なし)		
	<ul style="list-style-type: none"> ・陽極側がやや黒く変色 ・陰極側に僅かに塩が析出 	

片貝家ノ下遺跡における地中レーダ探査を用いた集落遺跡調査

Survey of settlement remains using ground penetrating radar at the Katakai Ienoshita Site

○高瀬尚人（応用地質株式会社）、小林恵（同左）、村上義直（秋田県埋蔵文化財センター）

○Naoto TAKASE、 Megumi KOBAYASHI (OYO Corporation)、
Yoshinao Murakami (Akita Archaeological Center)

1. はじめに

片貝家ノ下遺跡は秋田県大館市に所在する平安時代の集落および生産（水田）遺跡で、十和田火山大噴火（915年）の火山泥流堆積物により集落と水田全体が埋没した災害遺跡である。この遺跡は被災当時の様子がそのままの状態に残されており、平安時代の生活様式や地域防災を考える上で重要な遺跡である。

発掘調査で見つかった“土屋根が残った竪穴建物跡”は稀にみる貴重な遺構であり、立体的に発掘することで建物構造を詳細に把握できるが、発掘調査は遺構の一部が失われることにもなる。そこで、遺構の損傷を避け、地下の状況を効率的に把握する非破壊調査手法の地中レーダ探査が有効である。我々は、片貝家ノ下遺跡において平成29年度から4ヶ年にわたり探査を実施している。その結果、竪穴建物跡や墳墓の分布状況を推定するとともに、土屋根建物跡の内部状況についても有効な情報が得られたので報告する。



写真1. 測定状況

2. 探査概要

本遺跡の推定範囲は60,000m²と広大であることから、探査は概査（5mグリッドの探査測線）と精査（1mグリッド）に分けて実施した。地中レーダ探査装置は、GSSI社製のSIR-3000及び400MHzアンテナを使用した。測定状況を写真1に示す。

3. 探査結果

測定記録例を図1～図3に示す。図1(a)は旧地表面から1m程度の掘り込みと両側にわずかな高まりが検出され、『竪穴建物跡の床面』および『周堤』と推定した。このような反射パターンは地下に埋没する竪穴建物跡の典型的な記録例である。一方、図1(b)は建物床面の上に傾斜面が検出されており、『土屋根』が残存している建物跡と推定した。周堤は土屋根の裾部と一体となっており、また床面の局所的な窪みは『柱穴跡』や『炉跡』の可能性もある。

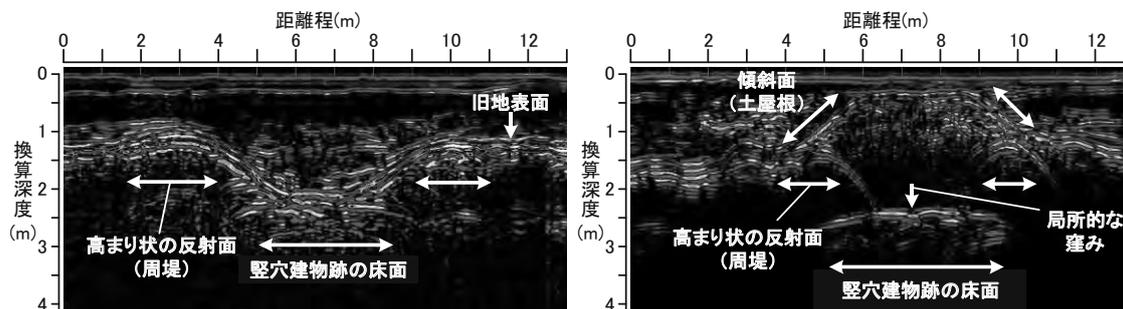
図2も図1(b)と同様に土屋根が残存している形状を示しており、この土屋根の外側に平坦面がつながっていることから『掘立柱建物跡』を伴う構造の可能性も考えられる。

図3は土屋根と似たような高まり状の反射面が検出されているが、床面が無く、周囲に掘り込

ポスター 発表

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

みが検出されていることから、溝が廻る『墳墓』と推定した。



(a) 土屋根が無い建物跡

(b) 土屋根が残った建物跡

図1. 竪穴建物跡の記録例-1

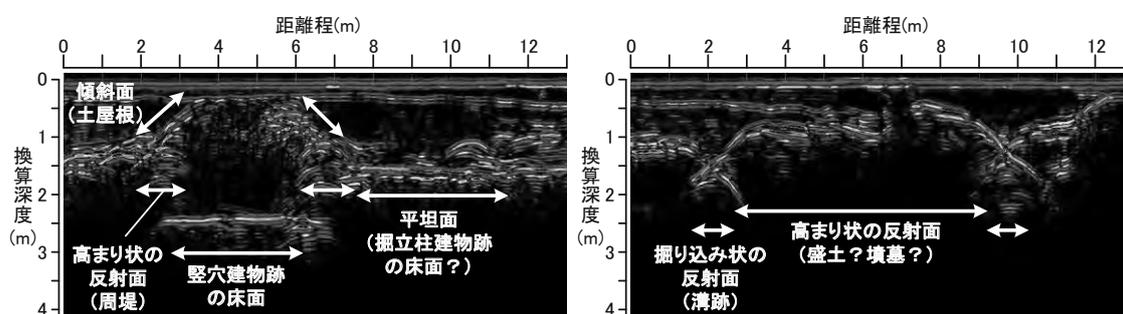


図2. 竪穴建物跡の記録例-2

図3. 墳墓の記録例

測定記録から遺構面の深度を読み取り、コンター図化した結果を図4に示す。

遺構面は現地表面から1～3mの深度にあり、当時の集落は東西方向に地盤の高い範囲に竪穴建物跡や墳墓が集中していることが判った。

また、深度3m以深の低位面は自然地形より急峻であり、人工地形（耕作地跡）の可能性が挙げられる。

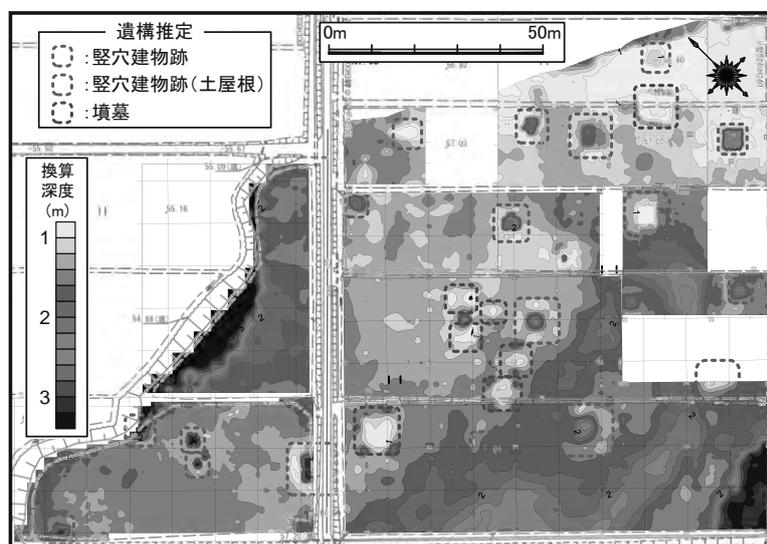


図4. 遺構面深度平面分布図

4. おわりに

広大な集落遺構に対して地中レーダ探査による概査と精査によって効率的に探査し、遺構面の地形を可視化することで遺構の立地環境を把握することができた。また、土屋根が残った建物跡等の状態を事前に把握できる事で、発掘調査計画等の検討や遺構の保護に役立つと考える。

このように、地下に埋没した災害遺跡における過去の生活痕跡を詳細に調査・研究することにより、地域の災害リスクの検討や防災意識の向上などにつながると考える。

文化財防災マニュアルのあり方

How to Make the Cultural Properties Disaster Manual

○李素妍（鳥取大学）

○Soyeon LEE (Tottori University)

1. はじめに

鳥取県は文化財防災マニュアルについて策定ができておらず、現状では鳥取県防災計画のなかに文化財災害対策が盛り込まれているのみである。文化財防災マニュアルを作成する際、必要な項目や内容を事前に調査すべきである。本研究では、日本の各地域で公開されている文化財防災マニュアルを調べて文化財防災のあり方を検討した。

2. 調査方法

本研究では神奈川県、長野県、兵庫県、三重県、岡山県、徳島県、愛媛県、熊本県の文化財防災マニュアルを読み、各県のマニュアル内容の特徴を確認した。UNESCO ICCROM の非常時における文化財の救出と保全の手引きを参考にして文化財防災マニュアルに必要とする項目や内容を検討した。この手引きは、ユネスコおよびイクロムの理解を得て、機構構成施設の一つである京都国立博物館が担当し、ハンドブックの日本語訳を刊行したものである¹⁾。本発表では、神奈川県、岡山県、熊本県の防災マニュアルの調査結果を報告する。

3. 結果および考察

各県のマニュアルにおける共通項目は、事前防災、災害時の対応、被災後の文化財の取扱いである。表1に岡山県、徳島県、熊本県のマニュアルの要点をまとめた。文化財防災マニュアルの内容をみると、神奈川県はインターネットを通じて県内の地図情報を発信している「e-かなマップ」を活用して文化財の防災マップを公表している。家庭で災害に備えて準備する物品のなかで、文化財が被災した際に活用できるものを示している。日頃の取組みや自主点検リストで事前防災に取り組んでいる²⁾。

岡山県は、文化財の素材によって災害時の対応策が大きく異なり、文化財素材の特性やその保存方法を調べるように呼び掛けている。岡山県における平成19年度から23年度の災害による指定文化財の主な被害を明らかにして災害対策の重要性を示している。参考資料編に文化財防災ウイールを参考にした水に濡れた文化財（建造物以外の有形文化財）の種類別の応急措置方法が書いている。文化財建造物や美術工芸品の防火・防犯対策チェックリストがあり、所有者が自ら点検を行うことができる。災害発生後の点検および定期的な自己点検が可能な取組みが行われている³⁾。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

表1 文化財防災マニュアルの要点

神奈川県	岡山県	熊本県
<ul style="list-style-type: none"> ・日頃の実施 ・発災時の対応 ・復旧に向けて 	<ul style="list-style-type: none"> ・岡山県内の災害と文化財被害 ・非常時の予防策と対応策 ・災害発生直後の対応 	<ul style="list-style-type: none"> ・防災対策と災害時の対応 ・各災害への対応 ・被災後の文化財の取り扱い

熊本県は、文化財の種別による防災対策や被災後の対応の違いや熊本県における災害事例を示している。国（文化庁）、県教育委員会、市町村文化財保護担当部局および文化財所有者等の役割に従う行動を呼びかけている。平成28年熊本地震で被災前の文化財の記録が不十分であったことが原因で、文化財のき損を正確に把握できなかった。この問題を解決するために文化財の三次元データ化に取り組んでいる。文化財防災ハザードマップを作成し、文化財の被災リスクを把握する。事前対策として過去の災害経験や日常点検によって確認された箇所について、事前に修理・補強等の対策を講じる⁴⁾。

文化財防災マニュアルは各県の現状や特徴を反映して作成することが重要である。マニュアル項目には事前防災、災害時の対応、被災後の文化財の取扱いが必要であり、熊本県のように地震の経験から学んだ教訓を取り入れることは大事である。過去に発生した災害に知見を得るためには、経年性（周期性があったか、いつごろに多かったか）、季節性（どの季節に多かったのか）、時間性（何時ごろに多かったのか）、地域性（どの場所で多かったか）などに関する情報が欠かせない⁵⁾。

文化財防災マニュアルの他に災害現場で活用できるマニュアルが必要である。2016年鳥取県中部地震の発生後に文化財被災を調査した際、専門家、県の職員および学生が参加した。調査をスムーズに行うためには、だれが（Who）、何を（What）、いつ（When）、どのよう（How）するかを示したガイドラインや手引きが重要であると考えた。手引きに専門用語を控えて写真を添付して分かりやすく作成し、内容どおりに練習をして改善することが求められる。災害現場向けの文化財防災マニュアルは、UNESCO ICCROMによる非常時における文化財の救出と保全の手引きが参考になる。この手引きのポイントは危機発生時に、いつ救出すべきか、どのようにして救出するかである。作業手順の流れおよび文化財の取扱いに関する写真や説明が分かりやすく災害時における適切なアプローチを示している。

4. 引用文献

- 1) 国際連合教育科学文化機関（2018）『UNESCO・ICCROMによる非常時における文化財の救出と保全の手引き』、大平印刷株式会社、
- 2) 神奈川県文化財防災対策マニュアル http://www.pref.kanagawa.jp/documents/30901/bunkazai_bousai.pdf（2021年10月28日閲覧）、
- 3) 文化財所有者のための防災対策マニュアル（岡山県）http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/503634_3765446_misc.pdf（2021年11月1日閲覧）、
- 4) 熊本県文化財防災マニュアル <http://sitereports.nabunken.go.jp/ja/71142>（2021年11月12日閲覧）、
- 5) 立命館大学「テキスト文化遺産防災学」刊行委員会（2013）『テキスト文化遺産防災学』学芸出版社、pp.30～31

令和元年東日本台風により被災した水損文書における 乾燥剤を用いた凍結乾燥法の応用とシリカゲルの吸着成分分析

Application of freeze-drying method using desiccant to flood-damaged books and analysis of silica gel.

○奥山誠義（奈良県立橿原考古学研究所）、中尾真梨子（同左）、鈴木雅文（本宮市立歴史民俗資料館）、斎藤由美子（本宮市白沢ふれあい文化ホール）、松井敏也（筑波大学）

○Masayoshi OKUYAMA, Mariko NAKAO（Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture）, Masafumi SUZUKI（Motomiya City Museum of History and Folklore）, Yumiko SAITO（Shirasawa Fureai Culture Hall）, Toshiya MATSUI（Tsukuba University）

1. はじめに

乾燥剤を用いた凍結乾燥法とは、資料を乾燥剤と共に密閉容器に入れ氷点下で乾燥させる、特殊な機器を用いない出土木製品の保存処理方法の一つとして筆者らが開発を進めている方法である。出土自然木を試料とした基礎的実験の結果、多量に水分を含んだ資料の乾燥に効果があることを明らかにしている [1]。また、乾燥過程において乾燥剤が臭気を吸収する「脱臭」効果を確認したことから、多量に水分を含み乾燥が必要で、かつ臭気を持つ被災水損文書に対して乾燥剤凍結乾燥法を応用した。これらの乾燥剤を用いた凍結乾燥により、脱臭効果を再確認すると共に、乾燥剤が吸収した成分の分析を行ったので、本稿にて報告する。

2. 乾燥剤を用いた凍結乾燥法の水損文書への応用

乾燥処理および脱臭の対象は、2019年10月6日に発生した令和元年東日本台風により被災した福島県本宮市歴史資料館所蔵の資料である。本宮市歴史民俗資料館は2019年10月13日未明から発生した阿武隈川の氾濫と安達太良川堤防の決壊により展示室内で1m以上浸水し、収蔵及び展示品である考古資料、写真や図面など発掘調査記録、民俗資料、古文書等が水損、汚損するなど甚大な被害を受けた。

被災資料のうち、水損し異臭が著しい古文書(以下、水損文書)について乾燥および脱臭を目的とし乾燥剤を用いた凍結乾燥法による処理を行った。乾燥には、冷凍ストッカー（TBCF-282-RH/株式会社テンポスバスターズ製）、A型シリカゲル（青色:SillicaGell, Medium Granular, Blue/和光純薬工業株式会社製、シリカゲルバルク/富士ゲル産業製）、ジッパー付き保存袋（商品名: Ziploc 等）を使用した。乾燥の手順は図1の通



図1：乾燥の方法と工程

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

り。乾燥処理は、2019年11月7日～2022年2月6日まで実施した（当該期間中シリカゲル交換無し）。乾燥処理後、水損文書は十分に乾燥し1頁ごとにめくることができ、被災直後に発していた鼻を刺す強い臭気もほとんど取り除かれていた。このことからシリカゲルが水損文書の臭気を吸収し、水損文書が脱臭されたものと考えられる。

3. 乾燥剤吸着物質の同定

水損文書の脱臭効果が認められたことから、シリカゲルが吸着した物質について検討するため、吸着物質の同定を行った。分析方法は、ガスクロマトグラフ質量分析計（GCMS-QP2010Plus；島津製作所）による定性分析である。具体的には、乾燥に使用したシリカゲルの吸着物を定性するため、吸着物をメタノールで抽出しGC-MS分析を行った。この方法では吸着物がメタノールで希釈されるため微量成分が検出できない懸念があったことから、微量成分を確認するため加熱による吸着物の抽出が可能なヘッドスペース法も試みた。なお、未使用のシリカゲルをブランク試料とし、使用済みシリカゲルと同様に溶媒抽出法およびヘッドスペース法で分析した。

4. 結果と考察

分析の結果を表1に示す。分析の結果、アルコール系の物質と果実臭を持つエチルエステル系の物質が吸着されていることが明らかとなった。このうち、プロピオン酸エチル、酪酸エチル、吉草酸エチルは難水溶性の物質である。この分析の結果は、シリカゲルが水溶性・難水溶性物質い

表1 シリカゲルの吸着物質の同定結果

溶媒抽出法
エタノール、イソプロピルアルコール、1-プロパノール、酢酸エチル、プロピオン酸エチル、酪酸エチル、吉草酸エチル
ヘッドスペース法
アセトアルデヒド、メタノール、アセトン 1-プロパノール、2-ブタノン（メチルエチルケトン）、2-ブタノール、カブロン酸エチル

ずれの物質も吸着していたことを示しており、シリカゲルが水溶性以外の物質に対しても吸着能を発揮することを示唆するものと考えられる。一方で当初想定されていた一般的な腐敗臭の原因の一つとされる窒素化合物（アミン類など）、硫黄化合物は確認されなかった。その原因について現時点で確認できておらず、今後の課題としたい。

5. まとめ

本研究により、水損文書に対し、A型シリカゲルを用いた凍結乾燥処理によって乾燥及び脱臭が行えることを明らかにした。また、乾燥処理後のシリカゲル吸着物質同定によりアルコール系の物質と果実臭を持つエチルエステル系が吸着されていることを明らかにした。今後、乾燥処理前の被災資料の吸着物質の分析や異なる分析法によるシリカゲル吸着物質同定の検討が必要であると考えられる。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、(株)島津テクノロジーの協力を頂戴しました。ここに記して感謝します。本研究はJSPS科研費JP20H00021の成果の一部である。

参考文献

1: 中尾真梨子・奥山誠義「出土木製品乾燥剤凍結乾燥における重量と寸法の変化について」『青陵』, 第148号(2016)

地震波を受けた博物館用独立展示ケースの振動解析

Vibration Analysis of Freestanding Museum Display Cases Subjected to Seismic Wave

○黄川田翔（文化財防災センター）、佐藤栄児（防災科学技術研究所）、福井弘久（同左）、川平孝雄（IMV 株式会社）、加藤久雄（同左）

○Sho KIKAWADA (CH-DRM), Eiji SATO, Hirohisa FUKUI (NIED), Takao KAWAHIRA, Hisao KATO (IMV Corp.)

1. はじめに

近い将来に発生する可能性が指摘されている首都直下型地震は、あらゆる室内空間に甚大な被害をもたらす可能性があり、博物館の展示室内においては、滞在する鑑賞者と展示品の安全を確保するために、被害低減に向けた対策を講じなければならない。特に、寸法が大きく、重量があり、移動や転倒する可能性がある独立展示ケースの地震時挙動を把握することは、人的および物的被害を低減するためにも重要である。そこで本研究では、博物館の展示空間を再現した振動台実験を実施し、地震波を受けた独立展示ケースの振動解析をおこなった。

2. 振動台実験の条件

実大三次元震動破壊実験施設（Eーディフェンス）の振動台に、内装を施した検証用実験ユニット（幅 8m、奥行 5m、床面積約 40 m²）を 3 基連結し、その中に独立展示ケースなどの展示設備や展示品（美術工芸品の展示を想定した試験体）を設置することで、博物館の展示空間を再現した[図 1]。表 1 に独立展示ケースの仕様と設置方法を示す。入力波には、JMA 神戸波、熊本本震波、JR 鷹取波などの観測地震波や、今後発生する可

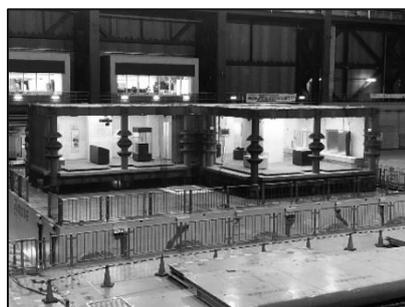


図 1 検証用実験ユニットの外観

表 1 独立展示ケースの仕様と設置方法

	独立展示ケースA	独立展示ケースB	独立展示ケースC
寸法	幅900 mm 奥行900 mm 高さ2100 mm	幅900 mm 奥行900 mm 高さ2050 mm	幅900 mm 奥行900 mm 高さ2050 mm
重量	約300 kg	約290 kg	236 kg
本体	スチール アクリル樹脂焼付塗装	スチール アクリル樹脂焼付塗装	スチール アクリル樹脂焼付塗装
展示床面	合板 t9 + フェルト貼	合板 + 布張り	合板 t12+ 布クロス貼り
ガラス	フロートガラス t10	高透過ガラス 10t	フロートガラス t10
設置方法	アンカーボルト固定 アジャスター径 M10	非固定 アジャスター径 M12	非固定 アジャスター径 M12
画像			

能性が指摘されている首都直下型地震の想定地震波（以下、想定首都圏地震波）などを使用しているが、本稿では想定首都圏地震波を入力した際の結果についてのみ取り上げる。この想定首都圏地震波は、防災科学技術研究所によるシミュレーションに基づき作成された波形であり、関東域での地盤や震源の特性などが考慮されている。

ポスター発表

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

3. 実験結果

ここでは一例として、想定首都圏地震波 75%を入力した際の結果について示す[図 2]。検証用実験ユニットの床面、各独立展示ケースの展示面および上面の加速度を振動

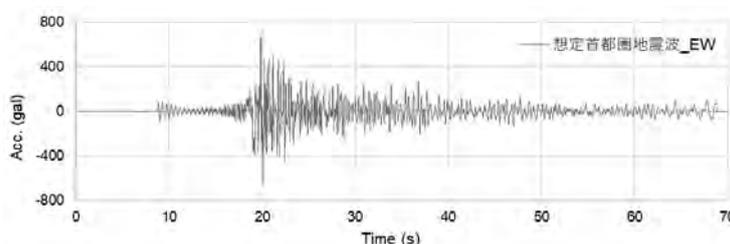


図 2 入力波に使用した想定首都圏地震波 75% (EW 成分)

センサ (VP-8013S) で測定したところ、すべての独立展示ケースにおいて高い位置ほど水平方向および上下方向の最大加速度が大きくなる傾向を確認した[表 2]。また、加速度の rms (実効) 値で振動レベルを評価すると、展示面では水平方向に比べて上下方向で増幅する傾向がより強く、床面と比較して 200%~300%ほど大きな振動が生じていることが明らかになった[表 3]。特に、振動センサを展示面中央部に設置した独立展示ケース A では、非常に大きな上下方向の増幅が確認されており、地震後しばらくの間は、一定の周波数の振動が継続している傾向が確認された。また、独立展示ケース A は床スラブからアンカーボルトを出して固定しているため、移動または転倒する可能性は極めて低い

表 2 各測定点の最大加速度

展示ケース	測定点	最大加速度		
		南北[gal]	東西[gal]	上下[gal]
独立展示ケースA	上面	1689.56	1703.44	2649.83
	展示面	1023.58	1480.75	2602.73
	床面	525.58	916.78	600.14
独立展示ケースB	上面	2257.18	2420.07	2685.89
	展示面	1359.72	1195.45	1949.58
	床面	612.79	926.6	616.52
独立展示ケースC	上面	1673.85	1673.31	2348.76
	展示面	1232.54	1375.83	2297.94
	床面	649.28	880.34	523.77

移動または転倒する可能性は極めて低い、上部に照明ユニットを搭載した筐体があるため、このような設置方法や構造が振動レベルの増幅に影響している

表 3 各測定点における加速度の rms (実効) 値

展示ケース	測定点	振動レベル		
		南北[gal-rms]	東西[gal-rms]	上下[gal-rms]
独立展示ケースA	上面	254.65(387%)	290.94(268%)	345.67(541%)
	展示面	94.70(144%)	130.40(120%)	196.15(307%)
	床面	65.74	108.74	63.89
独立展示ケースB	上面	175.60(268%)	235.17(243%)	151.33(266%)
	展示面	104.84(160%)	106.48(110%)	114.53(201%)
	床面	65.52	96.78	56.92
独立展示ケースC	上面	208.53(240%)	211.97(186%)	163.36(216%)
	展示面	94.93(109%)	119.53(105%)	143.75(190%)
	床面	86.96	113.83	75.47

※振動レベルのカッコ内は床面に対する増加率を表している

可能性もある。挙動としては、独立展示ケース A の上下パネル扉が加振中に開扉しており、独立展示ケース B および C ではロッキング、移動が確認された。

4. まとめ

博物館の展示空間を再現した振動台実験をおこない、想定首都圏地震波を受けた独立展示ケースの振動解析をおこなった。その結果、独立展示ケースの展示面および上面で振動の増幅が確認され、展示面に着目した場合、その傾向は水平方向よりも上下方向で顕著に表れた。振動の増幅が独立展示ケースや展示品にもたらす影響については、より詳細な評価が必要になると考えられる。

【謝辞】本稿は、「首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上プロジェクト サブ(c)非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備」の一部である。

千葉大学考古学研究室における文化財科学研究 -近年の事例から-

Archaeological science at the Archaeology Lab. of Chiba Univ.

○阿部昭典 (千葉大学)、山田俊輔 (同左)、建石徹 (東京文化財研究所)

○Akinori ABE, Shunsuke YAMADA(Chiba University),

Toru TATEISHI(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. 千葉大学考古学研究室の沿革

千葉大学考古学研究室は、1981年に麻生優先生によって開設されてから昨年で40周年を迎えた。考古学研究室は、文学部史学科に所属していたが、2017年4月から文学部人文学科歴史学コースに再編された。この間、麻生優(1981~1997年)、岡本東三(1987~2012年)、河原純之(1994~2001年)、柳澤清一(2001~2015年)、の諸先生が歴任してきた。現在は、山田俊輔(2013年~)と阿部昭典(2015年~)の2人体制である。

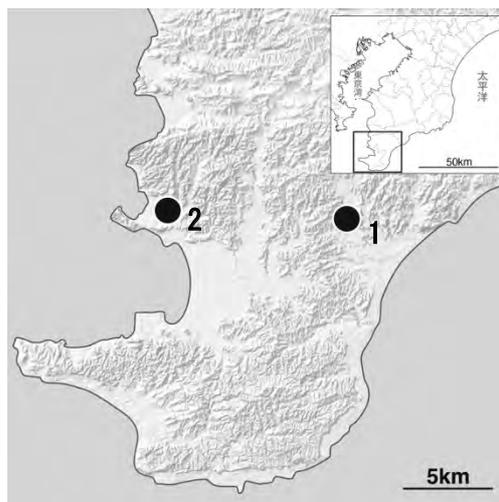
これまでの考古学研究室の調査研究は、房総半島南部を中心として、大寺山洞穴などの海蝕洞穴の悉皆的調査や、沖ノ島遺跡などの発掘調査を進めてきた。その後、北海道にフィールドを移して、擦文文化期の遺跡の調査研究を行っている。近年は、調査研究フィールドを再び房総半島南部に移して、2015~2016年に南房総市永野台古墳、2017~2019年に同市深名瀬島遺跡の発掘調査を実施している(2020年以降はコロナ禍の影響で現地調査を実施できていない)。

2. 永野台古墳と深名瀬島遺跡の概要

永野台古墳は、過去の東洋大学の発掘調査で埴輪が出土しているが、明確な墳丘が確認されていないことから、埴輪窯の可能性を考慮して調査に着手した。レーダー探査と磁気探査を実施した結果、埴輪窯の可能性が低いことが判明し、古墳の可能性を考えて発掘調査に取り掛かった。2次にわたる調査から、墳丘は削平されて残っていないと結論づけられた。その他にも、弥生時代の遺構や、縄文時代中期前葉~後葉の包含層が確認された。

深名瀬島遺跡は、縄文時代中期後半を主体とする集落遺跡で、集落構造と生業活動の解明を目的として、これまで3次にわたる発掘調査を実施してきた。

本遺跡は、安房地域で唯一の縄文集落であるとともに、土器や石器、石囲炉・埋甕等の様相から東京湾を挟んだ三浦半島以西地域や伊豆諸島(特に神津島)との関係性が指摘されてきた。



永野台古墳(1)と深名瀬島遺跡(2)の位置

ポスター
発表

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

3. 永野台古墳・深名瀬島遺跡における文化財科学研究

(1) 概要

永野台古墳・深名瀬島遺跡の発掘調査・整理の際に実施し、報告した文化財科学研究は次の通りである。永野台古墳では、地中レーダー探査・磁気探査（亀井宏行氏による）、黒曜石産地分析（建石徹・新免歳靖氏・濱田翠氏・二宮修治氏による）、土器胎土分析（建石徹・河西学氏・降幡順子氏・阿部昭典による）を報告した。深名瀬島遺跡では、土器附着炭化物の炭素・窒素同位体分析による食性分析（國木田大氏による）、動物遺体分析（阿部常樹氏による）を報告した。

(2) 地中レーダー探査・磁気探査

永野台古墳の地中構造を把握するため地中レーダー探査を、また窯跡等の磁気を帯びた遺構を検出するため磁気探査を実施し、過去の発掘調査のトレンチと考えられる痕跡等を確認した。

(3) 黒曜石産地分析・土器胎土分析

永野台古墳の遺物包含層（縄文時代中期阿玉台式（古））より出土した黒曜石資料の産地分析を実施し、大半が神津島産であることを確認した。これは当該期の南関東地域の諸遺跡における傾向とよく一致する。また産地分析を目的とした縄文土器（阿玉台式（古）、勝坂式（古）等）の胎土分析を実施した。胎土のうち粘土を主な対象とした分析と混和材を主な対象とした分析を実施し、両者をあわせて考察した。分析の範囲では全て遺跡周辺産と考えられる結果を得た。

(4) 土器附着炭化物の炭素・窒素同位体分析による食性分析

深名瀬島遺跡出土土器附着炭化物の分析結果は、分析点数が4点と少ないものの、陸域起源と水生（海生）起源に分類された。前者は縄文中期加曾利E3式、後者は縄文後期称名寺式と土器の帰属時期が異なっており、今後の類例の蓄積が注目される。

(5) 動物遺体分析

深名瀬島遺跡出土動物遺体は、被熱し同定が困難な資料が多かった。多くは哺乳類と考えられ、同定できたものはすべてニホンジカであった。魚類はコブダイの咽頭歯が多数確認された。

文献

- 朝夷地区教育委員会編 1982『丸山町石堂永野台古墳』朝夷地区教育委員会
 千葉大学文学部考古学研究室編 2016『永野台古墳 第1次発掘調査概報』千葉大学文学部考古学研究室
 千葉大学文学部考古学研究室編 2017『永野台古墳 第2次発掘調査概報』千葉大学文学部考古学研究室
 千葉大学文学部考古学研究室編 2018『深名瀬島遺跡 第1次発掘調査概報』千葉大学文学部考古学研究室
 千葉大学文学部考古学研究室編 2019『深名瀬島遺跡 第2次発掘調査概報』千葉大学文学部考古学研究室
 千葉大学文学部考古学研究室編 2020『深名瀬島遺跡 第3次発掘調査概報』千葉大学文学部考古学研究室
 富浦町教育委員会編 1987『千葉県富浦町深名瀬島遺跡調査報告書』富浦町教育委員会

千葉県中峠遺跡の文化財科学的研究—下総考古学研究会の活動—

Archaeological science at Nakabyo site, Chiba prefecture:

Research activities of Shimousa Archaeological Society

○菅頭明日香（青山学院大学）、植月学（帝京大学）、建石徹（東京文化財研究所）、大内千年（千葉県教育振興財団）、千葉毅（神奈川県立歴史博物館）、小澤政彦（千葉県教育振興財団）、大熊佐智子（野田市教育委員会）、金子悠人（石岡市教育委員会）、合田恵美子（東京都埋蔵文化財センター）、小林謙一（中央大学）、三門準（亜細亜大学）、大村裕（下総考古学研究会）

○Asuka KANTO(Aoyama Gakuin Univ.), Manabu UETSUKI(Teikyo Univ.), Toru TATEISHI(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Chitoshi OUCHI(Chiba Prefectural Educational Promotion Foundation), Tsuyoshi CHIBA(Kanagawa Prefectural Museum of Cultural History), Masahiko OZAWA (Chiba Prefectural Educational Promotion Foundation), Sachiko OKUMA(Noda City Board of Education), Yuto KANEKO(Ishioka City Board of Education), Emiko GODA(Tokyo Metropolitan Archaeological Center), Kenichi KOBAYASHI(Chuo Univ.), Jun MIKADO(Asia Univ.), Yutaka OMURA (Shimousa Archaeological Society)

ポスター 発表

1. 下総考古学研究会のあゆみと中峠遺跡の概要

下総考古学研究会は、1963年、千葉県松戸市中峠遺跡の学術的な発掘調査を契機として立ち上げられた民間研究団体である。創立以来、一貫して中峠遺跡の調査と、これに関連する縄文時代文化の解明を主眼とした共同研究を継続してきた。

中峠遺跡は、千葉県の北西部、東京湾に開口する真間川低地の奥部、標高約26mの台地上に位置する縄文時代中期の小貝塚を伴う集落址である。下総考古学研究会は、ここで、1963年から1973年までに8次にわたる自主的な発掘調査を実施し、その後、1987年の第10次調査まで継続した。第1～8次調査の成果の概要は、1976年、本会の研究誌（『下総考古学』6）に「発掘調査概要」としてまとめられ、その調査から導かれた「中峠式土器」の設定は、研究手順の適正さにおいて日本考古学史上高く評価されている。

一方、一連の発掘調査の本格的な報告については、現地調査から久しく時を経た後となった。第1次調査の報告が1991年（『下総考古学』12）、その後、順次報告を行い、第8次調査の報告は2020年（『下総考古学』25）であった。基礎的な報告の遅れは望ましいことではないが、発掘調査と報告作成作業との時間差によって、新たな分析等を駆使した報告が可能となった。

2. 中峠遺跡の発掘調査報告作成における文化財科学的研究の概要

中峠遺跡の調査報告の作成やそれに端を発する共同研究に際しては、現地調査時から目配りしていた事項に加え、様々な文化財科学的研究を試行してきた。成果の大小に関わらず分析を試みた項目を列挙すれば、年代の分析、人骨の分析、動物遺体の分析、植物遺体の分析、黒曜石の産地分析、土器胎土の分析、顔料や灰等の分析、GISを用いた遺跡間関係の解析等であり、日本

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

文化財科学会の研究分野の分類に従えば、年代測定、古環境、材質・技法、産地、文化財科学一般にまで及ぶ広範な内容といえる。本報告ではこれらの中から、動物遺体、黒曜石、土器胎土の分析の概要を中心に本会の活動を紹介する。

3. 動物遺体分析

いずれも小規模な調査だが、複数地点の分析を重ね、かつ水洗選別を徹底することで動物資源利用の特徴が浮き彫りになってきた。貝類組成はハマグリを主体に、イボキサゴ、アサリなど内湾砂泥底生息種を中心とし、地点によっては湾奥泥質干潟のハイガイ、マガキも混ざる。ハマグリはどの地点も殻長 30～34mm 程度の小形が主体であった。魚類は小型種や大型魚の幼・若魚サイズを主体とし、底魚類が目立つ。哺乳類はイノシシを主体とし、ノウサギ、タヌキの小型獣が加わるが、シカの利用は低調である。地点によってはイノシシ幼・若獣の割合が高いことも確認された。動物資源全般に高い採集圧、捕獲圧を窺わせる内容であり、下総台地の縄文時代中期中葉～後葉の人間活動が、環境収容力の限界近くに達していたことを示す一例と捉えている（『下総考古学』19）。第8次調査出土人骨の齧痕分析では、原因生物は特定できなかったが、部位と位置、動物遺体との比較から、埋葬環境の復元における意義を指摘した（『下総考古学』25）。

4. 黒曜石産地分析、土器胎土分析

第4～7次調査出土の黒曜石製石器について、出土状況や共伴する土器の型式学的検討や石器の技術形態学的な検討をふまえた産地分析を実施している。縄文時代中期の南関東における黒曜石資料の産地傾向は、加曾利 E2～E3 式期に神津島産から諏訪産に主体が変化することが知られているが、中峠遺跡での分析でもこうした傾向と概ね調和する結果が得られている。

土器の胎土分析においては、長年の研究会活動で培われてきた型式学的研究の成果を活かしながら分析を実施している。また、従来の胎土分析は主に土器の製作地や製作技法を推定する場が多いが、出土地点が異なり接合もしないものの、型式学的検討や胎土の肉眼観察による検討から同一個体の可能性が指摘された資料に対して、胎土分析からその是非を検討するという、一般的でない目的での応用も試みてきた（『下総考古学』25）。

5. 展望

本会現役会員が直接分析を担当してきた項目を中心に、中峠遺跡を舞台として本会が実施してきた文化財科学的研究の一端を紹介した。今後も中峠遺跡の整理・報告、研究を柱として、資料や時節に寄り添いながら、必要な項目を取り上げていきたい。その際に文化財科学の各分野の手法が有効となる場面は多々あるだろう。

例えば「中峠式土器」が設定された際（『下総考古学』6）や、その後研究が進展した際（『下総考古学』15）の論点であった当該地域における加曾利 E 式土器の成立に関して、標式資料やその類例の実年代にかかるデータはいまだ蓄積に乏しく、斯界の動向に鑑みれば、喫緊の課題の一つと考えられる。

デジタルカメラによる赤外線撮影の試み 大坊古墳を対象として

Tried of infrared photography with digital camera in Daibou ancient mound

玉名市教育委員会 石松 直

Tamana City Board of education Tadashi Ishimatsu

1. はじめに

考古学調査における記録作業は、非常に重要で、かつその記録が恣意的でなく、いかに客観的に記録するというのが一番の重要な課題であり、永遠の課題である。

写真撮影というものが19世紀中頃から一般的に普及して以降、わが国において写真を利用した文化財調査は、秋山光和氏がフランス留学中に学んだX線撮影と赤外線撮影の技術を東京国立文化財研究所において、日本の文化財調査に応用し、「光学的調査」という調査方法の枠組みを築いたことが始まりと言われている。

光学機器を利用する考古学調査の手段として、従来から行われている可視光線撮影（VR）の他に・赤外線撮影（IR）・色彩赤外線撮影（IRCL）・フォトルミネッセンス撮影（PL）蛍光反応を利用した色彩撮影（PRCL）といった多様な撮影方法があり、赤外線撮影は、可視光を吸収して赤外線を透過するフィルターを通すもので。解読しにくい古文書や布製といった文字資料、木簡資料において墨書を判別する手段として非常に有効で、フィルムカメラの時代から広く文字の解読に用いられている。

2. 撮影方法と撮影機材

正倉院事務所の北田氏の研究において赤外線撮影を行うことで、普段見えない文様や文字がはっきりと見えることをヒントに、装飾古墳の装飾が劣化や汚れなどで不鮮明部分が無理に洗浄せずに少しでも分かればと思い撮影を実施した。

今回は大坊古墳における撮影方法ですが、比較するために可視光線撮影と赤外線撮影の2つの方法で行った。

使用したカメラはSIGMA製SD Quattro Hを用いて撮影している。SIGMAの一眼レフカメラでレンズ交換可能な機種は、本体部分にある赤外線カットフィルターを外し、赤外線透過フィルターをレンズの先に装着するという小改造で赤外線撮影を行うことが可能であり、撮影後はRAW現像ソフトでTIFFにファイルを変換を行った。

今回は保護石室という環境から機材を持ち込む際には80%エタノールで消毒を行っており、撮影には光量が不足するため、LEDライトを用いて撮影を行っている。

使用カメラ：SIGMA SD Quattro H (2016年製)
使用レンズ：SIGMA 18mm～200mmレンズ
赤外線フィルター：ケンコー製赤外線フィルター PRO1D R72
その他の機材：三脚・LEDライト

3. 撮影結果

今回の撮影で分かったことは、可視光線で見えるものと、赤外線撮影によって別の視点で見ることができ、比較することができたという点であった。

そこから気づいたことは、装飾古墳の装飾を施す際に「枠」というものを重視していることである。例えば永安寺東古墳では、三角文や割付線を先にけがいて描いており、その枠の中を塗りつぶしていることが確認できるのだが、大坊古墳でも同様に先に三角や円文を描いてから中を塗りつぶしていることがわかっており、場所によっては色や文様が重なる部分に上から線を描いて割付を行っていることもわかった。

赤外線撮影は現在見えにくくなり、肉眼では観察できにくいものを無理に洗浄せず、非破壊調査が行えるのが大きな利点である。

特に装飾古墳における装飾部分の汚れについては、まだ洗浄方法が確立されていない。し

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

かし、年月が経ってしまうとどうしても今より劣化というものは進んでしまう。今のうちに記録できるものは文化財に直接的影響を与えることなく非破壊で行い、できる限り劣化を遅らせる環境で保存し、未来へ残していくことが重要であるので、赤外線撮影はその一つの手段としては有効であると思う。



大坊古墳可視光線撮影



大坊古墳赤外線撮影

参考文献

- 三井 猛 2010 「特殊光撮影による非破壊検査」『文化財の壺』創刊号 文化財方法論研究会
 北田仁司 2012 「デジタル一眼レフカメラによる近赤外線撮影2」『文化財写真研究』第3号
 北田仁司 2014 「デジタル一眼レフカメラによる近赤外線撮影3」『文化財写真研究』第5号
 三井 猛 2018 「トータルステーションと SfM/MVS による仏教岩窟遺構の3次元計測と記録」『文化財の壺』第6号 文化財方法論研究会
 石松 直 2020 「デジタルカメラによる赤外線撮影の試み」『日本文化財科学会』第37回大会研究発表要旨集

プラント・オパール分析による繊維土器の給源植物同定に関する 基礎的研究 (I)

Fundamental research on identification of plant fibers contained in earthenware by phytolith analysis (I)

○宇田津徹朗 (宮崎大学)、西田泰民 (新潟県立歴史博物館)、阿部昭典 (千葉大学)、
水ノ江和同 (同志社大学)

○Tetsuro UDATSU (University of Miyazaki) , Yasutami NISHIDA (Niigata Prefectural Museum of
History) , Akinori ABE (Chiba University) , Kazutomo MIZUNOE (Doshisha University)

1. はじめに

筆者らは、植物性混和材を用いた土器 (繊維土器) の製作技術復元 (科研費の課題「土器製作技術と植物性混和材」(課題番号 20H05812) 研究代表者: 阿部昭典) を目指している。その取組の一つとして、本研究では、プラント・オパール分析を用いて、植物性混和材の給源植物の解明を進めている。ここでは、その概要と現在までに得られた成果と課題を報告する。

2. 取組の概要 (材料と方法)

1) プラント・オパール分析と基本的な考え方

プラント・オパールは、その主組成が珪酸 (SiO_2) で、ガラスと同じ耐熱性があり、土師器以前の土器であれば、胎土内で溶融せず、同定ができる。そのため、土器胎土内のイネのプラント・オパールの存否を調べ、稲作が存在した下限の時代を決める「プラント・オパール胎土分析法」が確立されている (藤原 1982、宇田津 2003)。繊維土器にも、焼成温度の点からは、当該手法を適用できるが、検出されたプラント・オパールの由来が混和材と胎土のいずれであるかの識別が必要である。そこで、ここでは、在地の土器について、混和材が確認できるものと確認できないものの分析結果の比較から、その給源植物を推定する方法を試行し、その有効性について検討を行うこととした。

2) 供試試料と選定

分析試料には、先の考えに基づき選定した、宮ノ下遺跡出土土器 8 点を用いた。内訳は、肉眼観察に基づき、繊維が確認できるもの 4 点、確認できないもの 4 点である。

さらに、これらの土器について、CT 撮影を実施し、肉眼観察で把握できない内部の繊維の有無を調べた。その結果、繊維が確認できなかった 4 点のうち 2 点に繊維の存在が確認された (図 1 参照) ため、繊維を含む土器 6 点と含まない土器 2 点をプラント・オパール分析に供した。

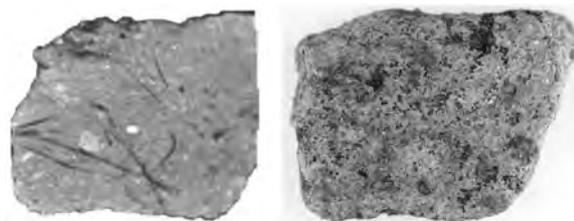


図 1 CT 観察により内部の繊維が確認された例
左: CT 画像 (黒い線が繊維) 右: 土器画像

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

3) 方法

供試した土器は、図2に示す工程により、プラント・オパール定量分析試料へ調整を行う。なお、工程1では、土器を2つに切断し（1つは分析、1つは追試用に確保）、土器胎土の試料汚染の影響を除くため、分析対象とする土器片の表面を削り取る。

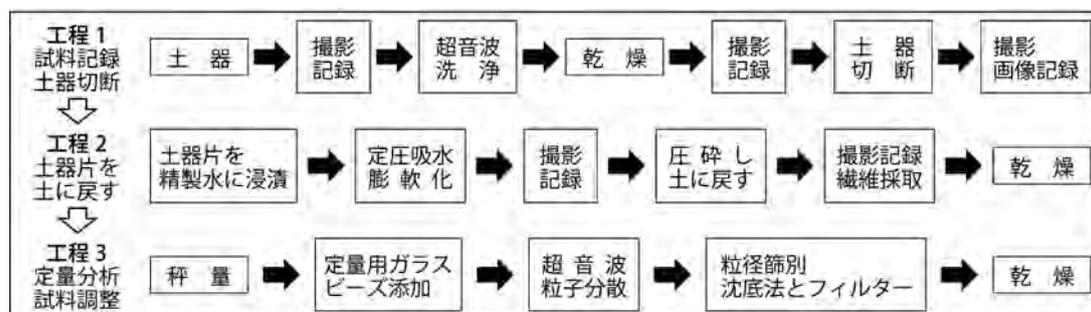


図2 土器胎土の定量分析試料への処理・調整工程

プラント・オパールの同定は、光学顕微鏡（100～400倍）で大きさ、形状、裏面の模様などを総合して行う。定量対象としたのは、イネ（*Oryza sativa* L.）、ヨシ属（*Phragmites*）、タケ亜科（*Bambusoideae*）、ウシクサ族（*Andropogoneae*）、キビ族（*Panicaceae*）および樹木である。

3. 結果および考察

1) プラント・オパール分析による給源植物の同定・推定について

定量分析の結果（表1）、繊維が確認されていないNo.7とNo.8の胎土中のプラント・オパール組成と密度には大きな違いが認められ、繊維が確認された土器と確認されない土器の定量分析結果の差異から単純に給源植物を絞り込むことは難しいと判断された。一方、違いはあるが繊維が認められなかったNo.7とNo.8の結果を、繊維が認められたNo.1～No.6と比較すると、No.1とNo.2のウシクサ族、

特に、No.6のタケ亜科の検出密度に差異が存在している。

以上、今回のプラント・オパール分析の結果からは、これら2つの植物が、植物性混和材として用いられた可能性が高いと推定された。

表1 土器胎土のプラント・オパール定量分析結果

No.	イネ <i>O.sativa</i>	ヨシ属 <i>Phrag.</i>	タケ亜科 <i>Bamb.</i>	ウシクサ <i>Andoro.</i>	キビ属 <i>Pani.</i>	樹木
1	0	0	0	1,097	0	548
2	0	0	365	1,095	0	365
3	0	793	396	396	0	0
4	0	0	0	380	0	0
5	0	0	2,281	0	0	0
6	0	0	36,830	0	0	0
7	0	0	2,340	0	0	0
8	0	1,829	915	457	0	457

単位（個/g）

2) 今後の課題と方策について

同一個体の土器片を除き、繊維の包含状況が異なる土器のプラント・オパール分析結果を比較して混和材の給源植物を絞り込むことは難しい。また、試行済みであるが、繊維がかなり多い土器でなければ、土器を分割して、破片から繊維を一定量分離することは困難である。そこで、今後は、CT観察によって、土器片中の繊維がある部分と無い部分を分割し、それぞれを分析比較することで、混和材の給源植物を同定する方法の検討を進めたい。

京都市御土居跡出土慶長丁銀極印^{たがね}鑽の自然科学分析

An analysis of the Keicho Chogin Gokuin Tagane from the Kyoto Odoi

○関晃史 ((公財)京都市埋蔵文化財研究所)、柏田有香 (同左)、
山口繁生 ((公財)元興寺文化財研究所)、山田卓司 (龍谷大学)

○Akifumi SEKI, Yuka KASHIWADA(Kyoto City Archaeological Research Institute),
Sigeo YAMAGUCHI(Gangoji Institute for Research of Cultural Property),
Takashi YAMADA(Ryukoku University)

1. はじめに

平安京右京六条一坊三町跡・御土居跡の発掘調査において、御土居の濠跡から出土した鉄製品は、錆を除去する際に「大黒天」と「常是」の陰刻を確認し、近世銀貨(丁銀や小玉銀)の製造に用いられた極印鑽(鑿)であることが判明した。印面の特徴から、元和・寛永期に製造された慶長丁銀前期と分類される丁銀に用いられたものと考えられる。銀貨幣の製造に使用された極印鑽はこれまで確認できず、現存する唯一の資料である可能性が高い。一方で、その時期に京都銀座が置かれていた両替町御池(京都市金吹町周辺)から直線で約2km離れた御土居濠からの出土は、銀座からの不正な持ち出しや、偽丁銀製造を目的としたものの可能性もある。



出土した極印鑽と印面

ここでは、この極印鑽の形態的分類や文献資料からの詳細な評価については既刊行の報告^{1・2)}を紹介することとし、極印鑽の印面に対して実施した分析成果について報告する。

2. 分析目的と方法

本来であれば金属の錆の除去作業は、X線透過撮影によって得られる情報を参考に行うことが望まれる。しかし、今回の極印鑽の様に全長112.45mm、印面幅33.97mm、印面縦17.41mmと厚みを持つ資料に対してはX線が透過せず、錆下の状態を知ることは難しい。やむなく注意を払って錆を除去したが、精緻な模様が想定される箇所(大黒天の担ぐ七宝袋と下の2つの俵)は、錆を残すこととした。また、鑽の最上部は錘の強打によって潰れており、実際に何度も使用されたと考えられ、打刻対象物の残滓が付着する可能性も想定できた。以上の状況から、錆下の模様を確認するためにCT撮影、印面に残る元素とその分布調査に蛍光X線及び、マッピング分析を実施した。

CT撮影は(公財)元興寺文化財研究所設置の「マイクロCTスキャナ TOSCANER-32300 FD (東芝ITコントロールシステム製)・CTデータ解析用ソフトウェア VGSTUDIO MAX Ver. 3.2.3 (Volume Graphics)」を用いた。撮影条件は管電圧:210kV、管電流:400 μ A、露光時間:266 μ sec/枚、撮影枚数:1200枚/360°、積算4回で行った。また、蛍光X線分析及び、マッピング分析は(株)

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

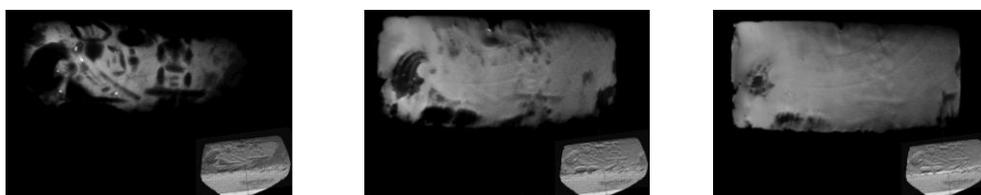
文化財防災

文化財科学
一般

掘場テクノサービス設置の「微小部X線分析装置 XGT-9000(掘場製作所製)・ソフト Ver. 1.2.1.10」を用いた。蛍光X線の分析条件は管電圧：50kV、管電流：自動設定 60~241 μ A、パルス処理時間：P4、フィルタ：None、X線導管の種類：高輝度用ビーム (ϕ 100 μ m)、測定時間：100 秒、試料雰囲気：全体真空（試料室及び光学系部分が真空状態）で行った。蛍光X線マッピングの分析条件は管電圧：50kV、管電流：150 μ A、パルス処理時間：P2、フィルタ：None、X線導管の種類：高輝度用ビーム (ϕ 100 μ m)、測定時間：1 時間 15 分、マッピング範囲：33.792mm \times 16.632mm、ピクセル数：256 \times 126、ピクセル分解能：132 μ m、試料雰囲気：全体真空で行った。

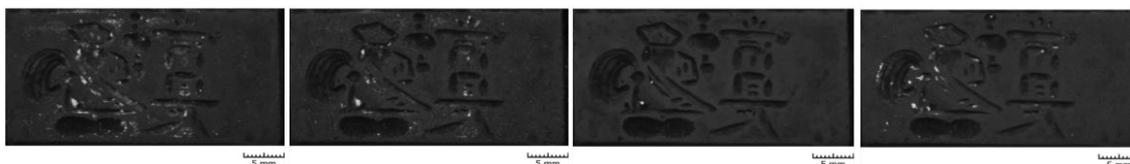
3. 結果と考察

CT 撮影では、凹凸差が小さいため明瞭ではないものの、鏽の残る俵と七宝袋の模様を確認することができた。また、大黒天の周辺に電子密度の高い箇所が複数観察された。



CT 撮影画像 (左から右へ表層から深層の断面像)

印面の蛍光X線分析において検出した元素は P (リン)、Mn (マンガン)、Fe (鉄)、Cu (銅)、Ag (銀)、僅かな Au (金)、Pb (鉛) である。このうち Fe は地金であり、P と Mn は土壌由来の元素と考えた。したがって Cu、Ag、Au、Pb を含む物体に対して打刻した可能性がある。マッピング画像では、大黒天から常是にかけては Cu、Ag の検出が強く、両元素の重複箇所が多くみられる。Au は 3 箇所を確認できるが、いずれも Cu、Ag と重複する。対して Pb は、大黒天から七宝袋付近にみられ、他金属との重複箇所は少なく、少し異なった分布を示している。また、CT 撮影でみられた電子密度の高い箇所が、Pb を強く検出する箇所と一致することも確認できた。



Fe と他元素とのマッピング重ね合わせ画像 (左から Fe+Cu、Fe+Ag、Fe+Au、Fe+Pb)

以上のように、印面からは様々な金属元素を検出できたが、慶長丁銀の主成分は Ag と Cu が概ね 8 : 2 といわれており、そこに銀製錬に伴う Pb が僅かに含まれても不自然ではないが、Pb 単体での強い検出は、可能性の一つとして Pb 含有率の高い物体への打刻も考えられる。今回の成果から、極印鑽で打刻した対象物についての情報を得ることができ、結果として偽丁銀の製造に用いられていた可能性は高まったと言える。ただし、極印鑽の使用や保管、廃棄方法など、当時の取り扱いに不明な点も多く、現段階では可能性を提示するに留め、この極印鑽によって打刻された丁銀の検索と共に今後の課題とする。

1) 柏田有香 2021 「平安京右京六条一坊三町跡・御土居跡」(公財)京都市埋蔵文化財研究所

2) 柏田有香・関見史・永井久美男・西脇康 2021 「京都市御土居跡出土の慶長丁銀極印鑽」『出土銭貨 第 42 号』出土銭貨研究会

橋野高炉跡水路石垣保存整備のための定点観測 (2)

The observation for the preservation and maintenance about the stonewall in Hashino Blast furnace remain (2)

○中静美波 (応用地質株式会社)、小林恵 (同左)、森一欽 (釜石市)

○Minami NAKASHIZUKA, Megumi KOBAYASHI (OYO Corporation), Kazuyoshi MORI (Kamaishi City)

1. はじめに

橋野高炉跡は、1858年に建設され、その後1860年ごろに2基の高炉が増設された日本現存最古の高炉跡であり、採掘場跡と運搬炉跡を含め橋野鉄鉱山としてユネスコ世界文化遺産「明治日本の産業革命遺産 製鉄・製鋼、造船、石炭産業」の構成資産となっている。橋野高炉跡は3基の高炉の他に、高炉の送風装置(ふいご)を動かすための水車の水路や、長屋、作業場等の平場等を築く石垣遺構が残っている。この水路や平場の石垣は、操業停止後に廃棄され手つかずの状態であったため、緩みや孕み出し、石材の劣化が見られ、崩落の危険性が指摘されている。

そこで、令和元年度より橋野高炉跡の保存整備の必要性や工法検討のため、「石垣の安定性評価」を目的とした水路石垣の定点観測を行った。本発表では、令和元年度から令和3年度にかけて行った3年間の定点観測の結果をもとに、二番高炉脇水路石垣(写真-1)の年間変位量から石垣の安定性を検討した結果を報告する。



写真-1 二番高炉脇水路石垣

2. 定点観測方法

隣り合った各石材にチップ(株式会社筑波丸東製)を設置し、マイクロストレインゲージMSG-D1(株式会社筑波丸東製)を用いて2点間の距離を計測した。測定精度は1/1,000 mm、測定可能な伸び縮み範囲は±2.5mmである。なお、変位幅が大きい箇所(測定可能範囲を超過)、チップの破損・落下箇所は再設置して計測した。計測頻度は毎月1回を基本とする。積雪期(1月、2月)は計測が困難であることから対象外とした。

3. 検討結果

最も孕みの大きい箇所の9点について、各年度の年間変位量を求め、3年間の変位量の推移を比較した(図-1)。グラフにおいて右肩上がりまたは右肩下がりの点は、2点間の距離が年々拡大または縮小し、かつ変位量が年々増大していることになるため注意が必要である。そのような

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

視点で見えていくと、定点 6-1 は右肩上がりで、かつ変位量が平均 3mm と大きいいため、今後も変位が拡大する可能性が高い。また、定点 3、4-2、7 も令和 2 年度、令和 3 年度は右肩上がりとなっているため、今後変位が拡大する可能性がある。

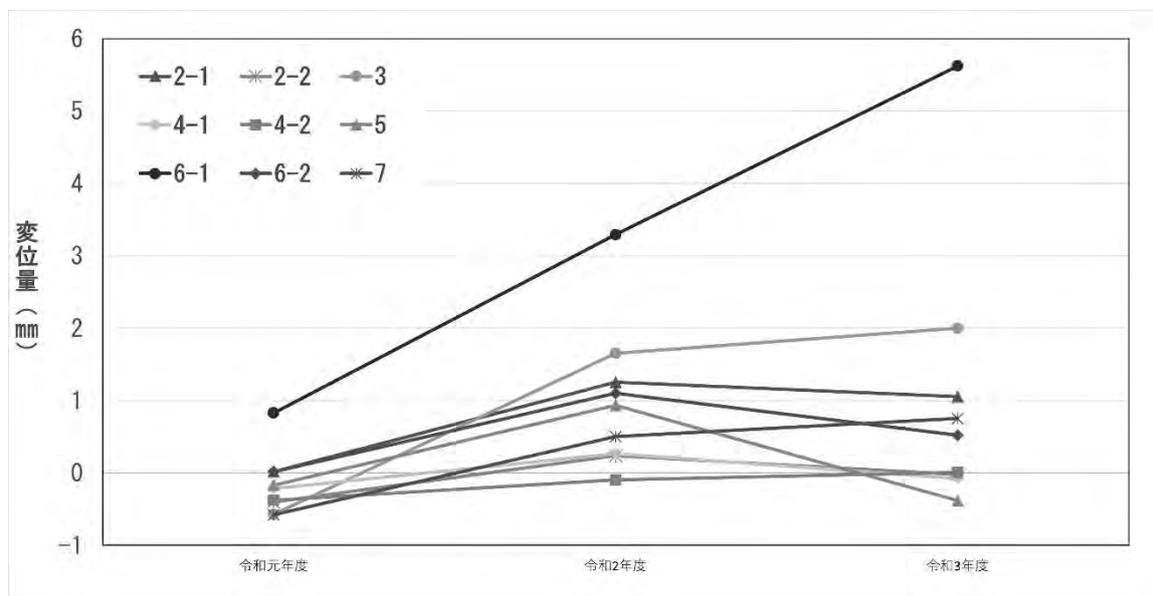


図-1 各定点の年間変位量の推移

写真-2 には、対象とした 9 地点のうち、年間変位量が増加傾向にある定点を赤色で示した。年間変位量が増加傾向にある定点は、最上段とその下部の石材間を観測した箇所であることがわかる。また定点 4-2、6-1 の変位量が増加傾向にあることから、○をつけた石材が孕み出していることが考えられ、その要因として平場から水路方向への降雨の流れ込みや背後に動物の抜け穴ができていること等が考えられる。

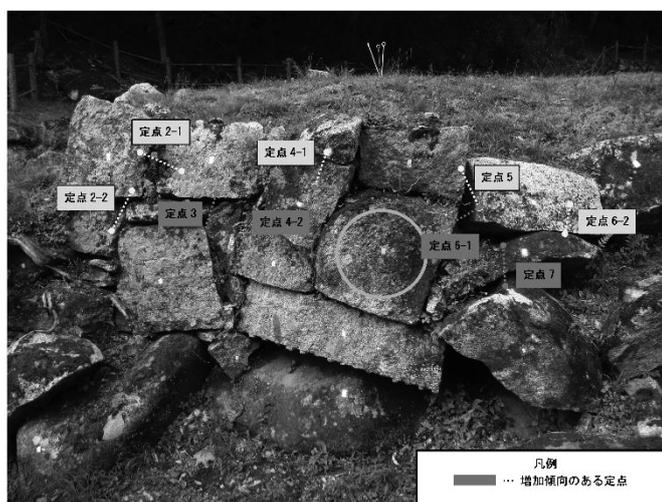


写真-2 年間変位量が増大している定点

4. おわりに

定点観測は、変状の進行箇所及びその変位量を客観的に把握することができるため、石垣の安定性評価に有効な手法である。ただし、得られたデータをその後のモニタリングや維持管理計画に活用しているケースはまだ少ない。我々は今後も継続して安定性評価に有効なデータの検証を行い、将来的な変動予測への適用性についての検討を進めていきたい。

染織品に対する赤外線画像の有効性の検討

Study on the effectiveness of infrared images for textiles

○秋山純子（東京文化財研究所）、桑原有寿子（九州国立博物館）、和泉田絢子（同左）

○Junko AKIYAMA(TOBUNKEN), Yuzuko KUWABARA,
Ayako IZUMITA (Kyushu National Museum)

1. はじめに

これまで、仏画などの絵画作品¹⁾²⁾や博物図譜などの歴史資料³⁾に対して赤外線画像から得られる情報について検討してきた。いずれの作品に関しても染料と顔料の使い分けにおいて、赤色以外では面の広がりや把握するのに有効であることが分かった。特に緑色に関しては顔料と染料を見分けるのに有効であると示された。一方で、赤外線画像だけでは彩色材料を特定することは難しく、点分析も同時に行う必要がある。点分析を行う際には、赤外線画像を確認しながら行うことで、効率よく必要な箇所を分析できるようになると考えられる。これらの研究成果を踏まえ、染織品に対しても赤外線画像は彩色材料を把握するのに有効であるか検討した。

2. 調査対象作品

今回、調査対象とした染織品は九州国立博物館所蔵の A:黄地竹垣薔薇文紅型裂（図 1）と B:黄絹地鳳凰牡丹扇面模様紅型裂（図 2）である。いずれも 19 世紀に琉球で製作された紅型で、黄色地に A は竹垣、薔薇が施され、B は鳳凰、牡丹、扇面の模様が一定の間隔で鮮やかに表されている。

紅型とは、型紙もしくは筒を用いて糊防染した生地に、顔料および染料を刷毛などで刷り込み捺染する技法のことを指す。製作工程は多岐にわたるが、主要なものは下記のとおりである。①しみ止めが必要と思われる生地には、呉汁（大豆の汁）を塗布する。しみが強い生地の場合、明礬水を引くこともある。②型紙、もしくは手描き用の筒を使い、塩を練り込んだ米糊で防染する。③色材を刷毛で刷り込む。④刷り込みは 2~3 度繰り返し、色材を生地に固着させる。⑤ぼかしや隈取りを施す。⑥十分に色が乗ったら糊を洗い流す。⑦着彩箇所を糊で伏せ、地染めを行う⁴⁾。使用する色材は主に、顔料系では辰砂・鉛丹・ベンガラ・石黄・黄土・群青・油煙・墨・鉛白・胡粉が、染料系では生臘脂・福木・藍・藍蠟などが用いられる⁴⁾⁵⁾。また時代が下るとプルシアンブルーも用いられるようになる⁵⁾。

このように顔料と染料が同時に存在する彩色方法がとられていることから、赤外線画像でここまで情報が得られるのか検討する対象とした。

3. 調査方法

カラーと赤外線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）で撮影した。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、ゆがみのない画像を得ることができる。顔料の成分を推定するため、蛍光 X 線分析（オリンパス製、



図 1 紅型 A のカラー画像（左側）と赤外線画像（右側）

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

デルタハンドヘルド蛍光 X 線分析計 Premium、Rh 管球、分析ソフトウェア：岩石鉱石モード、型式：DP-4000) を使用した。また、染料の種類を推定するため、可視分光分析 (分光光度計オーシャンインサイト社製 FLAME-S、タングステンハロゲン光源 同 HL-2000-LL、反射プローブ R-400-7-UV/VIS、φ400 μm、長さ 2m) で可視分光スペクトルを測定した。

4. 結果および考察

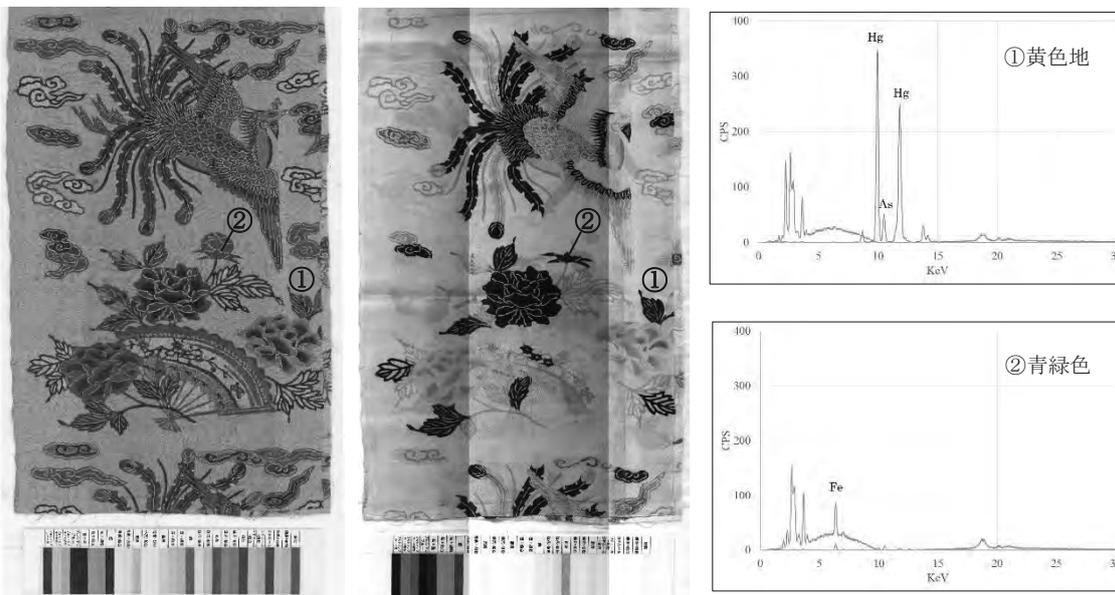


図2 紅型B (部分) のカラー画像 (左側) と赤外線画像 (右側)

図3 蛍光 X 線分析の結果 (上①、下②)

赤外線画像を見ると (図2)、彩色材料によって見え方が違う様子がうかがえた。黄色地は全体に白く抜ける様相を呈した。青、青緑、緑色の箇所はいずれも黒く写っていた。赤色箇所は完全に白く抜けていたが、紫色箇所は灰色を示し、塗られた図像を把握できた。そこで、赤外線画像から顔料と染料を区別できるのか確認するため、黄色地 (①) と青緑色 (②) の蛍光 X 線分析を行った (図3)。その結果、①の箇所からは水銀とヒ素が検出された。黄色の成分はヒ素と考えられ、石黄の可能性が高いと推測される。②の箇所からは鉄が検出された。赤外線画像と可視分光スペクトルの結果と合わせ、プルシアンブルーの可能性が高いと考えられる。

5. まとめ

今回の調査で染織品に対し、彩色材料の観点から赤外線画像の検討を行った。黄色地に関しては赤外線画像では白く抜けており染料の可能性を示したが、点分析と顕微鏡観察の結果、顔料であることが推測された。赤外線画像では青緑色箇所が黒く写り、点分析の結果と合わせてプルシアンブルーの可能性を見出すことができた。染織品に使用されている彩色材料は顔料と染料が混在しており、赤外線画像から情報を得るにはさらに検討が必要である。

参考文献

- 1) 秋山純子、森實久美子「赤外線撮影法による彩色材料調査の有効性に関する研究 1」『文化財保存修復学会第35回大会要旨集』 pp.254-255 (2013).
- 2) 秋山純子、森實久美子「赤外線撮影法による彩色材料調査の有効性に関する研究 2」『日本文化財科学学会第30回大会要旨集』 pp.418-419 (2014).
- 3) 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」『日本文化財科学学会第32回大会要旨集』 pp.312-313 (2016).
- 4) 吉岡幸雄『琉球紅型』 pp.280-285 (1980).
- 5) 與那嶺一子「紅型—多彩で華やかな夢のような世界」『展覧会図録：沖縄復帰 40 周年記念 紅型 琉球王朝のいとくたち』サントリー美術館 pp.20-27 (2012)

※本研究は科学研究費補助金基盤研究 (C) (課題番号：19K01136) により行われたものである。

数値制御切削加工による木製彫刻遺物の再現

- 木目に対する切れ刃侵入角度の影響 -

Study on restoration method of sculptured wooden relics using numerical control cutting - Influence of cutting edge penetration direction to grain -

○大野翔幹（龍谷大学大学院）、小川圭二（龍谷大学）

○Shoki OHNO、Keiji OGAWA (Ryukoku University)

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。再現・複製の際は、デジタルものづくり技術の活用⁽¹⁾が期待できる。しかし、一般的に用いられる樹脂積層型 3D プリンタを用いた造形物では、見た目の質感や肌合いといった触感、木そのものには及ばない。そこで本研究では、木そのものを再現・複製物の素材に用い、これを数値制御（NC：Numerical Control）切削加工することを提案している。先行研究⁽²⁾では、角錐台や半球といった単純 3 次元形状の切削加工試験を行った結果から、木目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示唆された。しかしながら、3D 自由曲面の加工に用いられるボールエンドミルを切削工具として用いたことで、工具の切れ刃と工作物との干渉状態が時々刻々変化して切削現象が複雑になり、要因分析を困難にしていた。そこで本報では、ストレートエンドミルを用い、かつ対象形状を 2.5 次元形状にすることで、加工品質に影響を及ぼす因子についてより詳細な検討を行った。

2. 実験方法

ストレートエンドミルを切削工具として用い、立形直交 3 軸制御の数値制御工作機械を使用して対象形状外周を加工した。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、木目が一方方向となるような工作物を準備した。加工モデルを図 1 に示す。まずは、木目に対する切れ刃侵入角度が加工品質に及ぼす影響を評価するために、当該角度が加工中に変化し続ける円柱形状（半径 30mm、高さ 5mm）を試験対象にした。その結果を踏まえて、特定角度の場合の評価を行うために、木目が辺に対して平行・垂直となるような四角柱モデル（辺の長さ 50mm の正方形：以降正方形と称す、高さ 5mm）と木目が辺に対して 45°（対角線に対して平行・垂直）となるような四角柱モデル（対角線長さ 50mm の正方形：以降ひし形と称す、高さ 5mm）を試験対象にした。表 1 は、共通の切削加工条件を示す。加工後に、デジタルマイクロスコープを用いた加工面観察を行った。

表 1 切削加工条件

工具径 (mm)	3
回転数 (rpm)	6500
送り速度 (mm/s)	10
パス間隔 (mm)	6

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

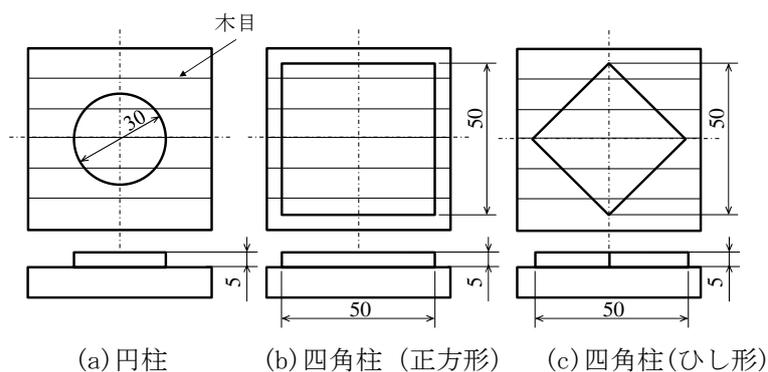


図1 加工モデル

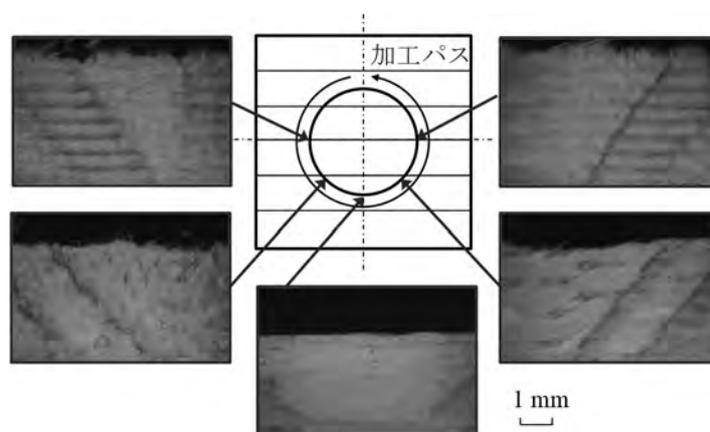


図2 円柱形状の加工結果（加工面の観察）

3. 実験結果

円柱形状の切削加工試験結果（図2参照）より、木目に対する角度によって加工面品質に差異が生じていることがわかる。すなわち、木目に対して平行方向に切削（工具送り）した加工面の荒れは小さく高品質であり、垂直方向、そして斜め方向の加工面の順に荒れが大きくなる傾向が見られる。そこで、四角柱形状の加工を行ったところ、正方形の加工結果から、木目に対して平行方向が高品質であることが明確になった。さらに、ひし形の加工結果から、切れ刃が木目に対して逆目の向きに侵入する場合に、荒れが顕著であった。すなわち、木目の方向だけでなく、木目に対する工具切れ刃侵入の向きも加工品質に影響することがわかり、高品質加工面を得るためには、木目に対する切れ刃侵入の向きも考慮した加工パスが望ましいことが示唆された。

4. まとめ

ストレートエンドミルを用いた2.5次元単純形状のNC切削加工試験により、木目の方向だけでなく、木目に対する工具切れ刃侵入の向きも加工品質に影響することがわかった。

参考文献

- (1) 河嶋ほか（2005）、考古学と自然科学、51、pp49-63.
- (2) 小川ほか（2018）、日本文化財科学会第35回大会研究発表要旨集、pp. 332-333.

新谷古新谷遺跡出土ガラス小玉の自然科学分析

An analysis of glass beads excavated from Niyakoniya site

○若杉勇輝（公益財団法人元興寺文化財研究所）、松村さを里（公益財団法人愛媛県埋蔵文化財センター）

○Yuki WAKASUGI (Gangoji Institute for Research of Cultural Property),
Saori MATSUMURA (Ehime Research Center for Buried Cultural Properties)

1. はじめに

新谷古新谷遺跡は愛媛県今治市に位置する、弥生時代から中世までの複合遺跡とみられている。公益財団法人愛媛県埋蔵文化財センターが発掘調査を行い、調査報告書は未刊である。遺跡から弥生時代後期と古墳時代後期の集落がみつき、土器や石器並びにガラス小玉が多数出土している。これまでの新谷古新谷遺跡出土ガラス小玉の分析調査により、出土したガラス小玉 31 点がカリガラスであることが報告されている。本発表においては、弥生時代後期の集落と古墳時代中期の古墳から新たに出土したガラス小玉を対象に蛍光 X 線分析（XRF）で得られた成果について報告を行う。

2. 分析資料と分析手法

分析資料は新谷古新谷遺跡出土ガラス小玉計 101 点である。XRF には「EA6000VX」（日立）を用い、ヘリウム雰囲気下、管電圧 15kV で測定し、さらに大気圧下、管電圧 50kV で測定を行った。その後、XRF により得られた蛍光 X 線スペクトルから各元素の酸化物重量を基準とする標準試料を用いない FP 法による定量計算を行った。なお、管球ターゲットはロジウム（Rh）である。

3. 結果および考察

ガラス小玉は用いる融剤によりカリウムを多く含むカリガラス（ K_2O-SiO_2 系）、アルミニウムを多く含む高アルミナソーダ石灰ガラス（ $Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$ 系）、カルシウムを多く含むソーダ石灰ガラス（ $Na_2O-CaO-SiO_2$ 系）に大別される。それぞれカリガラス 47 点、高アルミナソーダ石灰ガラス 25 点、ソーダ石灰ガラス 29 点とした（図 1）。また、ソーダ石灰ガラスはさらに K_2O と MgO の含有量によって植物灰ガラス（ K_2O, MgO が共に 1.5wt%以上）とナトロンガラス（ K_2O, MgO が共に 1.5wt%以下）に分けられる。分析資料はソーダ石灰ガラス 29 点のうち植物灰ガラス 24 点、ナトロンガラス 5 点に分けることができた。

分析資料はそれぞれカリガラスでは水色と青色、高アルミナソーダ石灰ガラスでは水色、黄緑色、黄色、青色、ナトロンガラスでは青色、植物灰ガラスでは無色と青色を呈した。青色系

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

の着色には Cu と Co の 2 種類の系統があるが、水色のガラス小玉は Cu を多く含み、青色のガラス小玉は Co を多く含む傾向が見られた。Co による青色の着色において、中国産のコバルト鉱石を用いると Co に加えて Mn を伴うことが報告されている（肥塚, 1995）。今回のガラス小玉において全ての青色カリガラスと一部の青色ナトロンガラスは Mn を多く含む傾向が見られた。Cu による青色の着色では、Pb と Sn を伴う青銅が着色剤である可能性があるが、水色のガラス小玉には Pb と Sn が少ないため、青銅以外の銅製品を着色剤として用いたことが考えられた。黄色のガラス小玉は Pb と Sn を多く含む傾向が見られた。これらの黄色のガラス小玉には人工着色料であるスズ酸鉛が使用されたと考えられた（肥塚ほか, 2010）。黄緑色のガラス小玉は Cu、Pb、Sn を多く含む傾向が見られた。これらの黄緑色のガラス小玉は Cu による青色にスズ酸鉛による黄色が加わったことで黄緑色を呈したと考えられた。無色のガラス小玉は Cu、Co、Fe、Pb、Sn のような着色剤に含まれる元素が少ない傾向が見られた。無色のガラス小玉は消色剤として Mn を添加する場合もあるが、今回の無色を呈したガラス小玉では着色剤を添加しなかったことにより無色になったと考えられた。

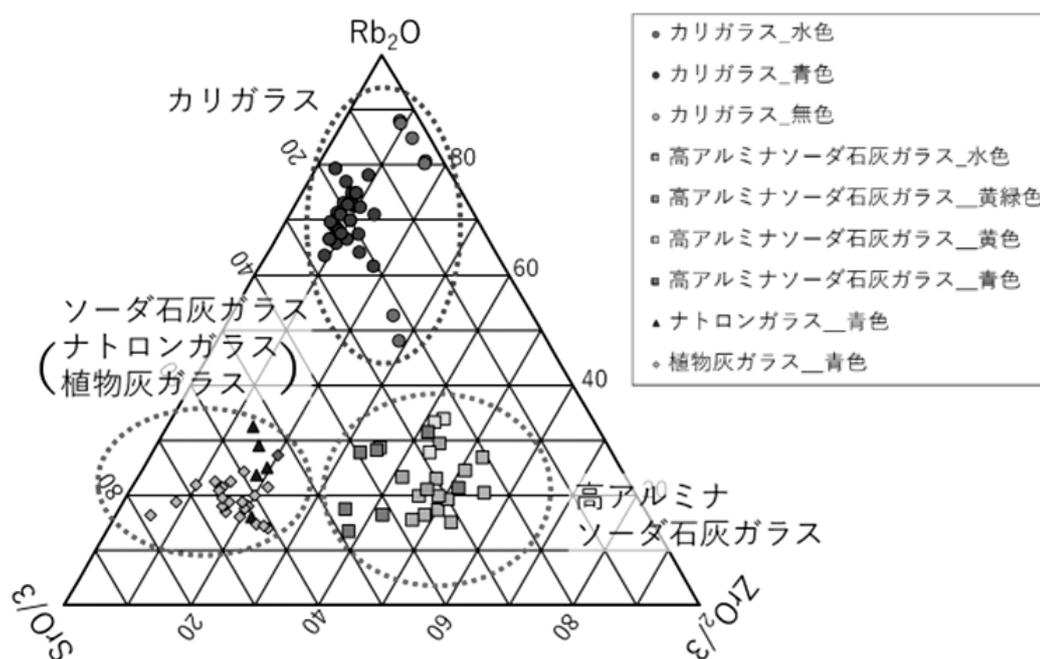


図1 新谷古新谷遺跡出土ガラス小玉の微量重元素による判別図

参考文献

肥塚隆保 1995 「古代珪酸塩ガラスの研究—弥生～奈良時代のガラス材質の変遷—」『文化財論叢 II(奈良国立文化財研究所創立 40 周年記念論文集)』

肥塚隆保・田村朋美・大賀克彦 2010 「材質とその歴史の変遷」『月刊文化財』566 PP.13-25

中井泉・狭間優哉・今井藍子・村串まどか・中野良一・石貫弘泰 2019 「愛媛県今治市出土のガラス小玉分析報告」『紀要愛媛：(公財)愛媛県埋蔵文化財調査センター研究紀要』15

PP.75-92

遮光空間・燃焼光下における壁画の見え方の再現 —ハイパースペクトル画像を用いた明度変換プログラムによる検証— Appearance of mural paintings in a shaded space under frame light: Verification by brightness conversion program using hyperspectral image

○末森薫 (国立民族学博物館)、川口拓哉 ((株)かたち)、安室喜弘 (関西大学)
○SUEMORI Kaoru (National Museum of Ethnology, Osaka),
KAWAGUCHI Takuya (Katachi Corp.), YASUMURO Yoshihiro (Kansai University)

1. はじめに

電気等による人工光源が開発される以前、太陽光（自然光）の光が届かない（届きにくい）洞窟などの遮光空間では、蝋燭、灯明などの燃焼光を頼りに壁画などの色が認識されていたはずである。そこで、先の研究においては光源による色見え方の違いを検証した。また、点光源である燃焼光の光は距離の二乗に反比例して減少するため、人間が対象物を捉える上で有効な照射範囲は比較的狭い。本研究では、洞窟などの遮光空間に描かれた壁画が燃焼光によってどう捉えられていたかを解釈することを目的として、画像情報と波長情報の多次元のデータを有するハイパースペクトル画像（HSI; hyperspectral image）に、任意に選択した光源の分光情報を適用するプログラムと、反射率を演算することによって画像全体の明度を変換するプログラムを適応し、彩色を再現した敦煌莫高窟の千仏壁画の見え方を検証した。

2. 明度変換プログラム

HSI の各ピクセルには、対象物の反射特性が記憶されており、ある特定の角度（ここではカメラの光軸に対する角度）に対する物体の反射率を表す立体角分光反射率を求めることができる。HSI より分光反射率を演算し、人間の目に対応する分光応答度（等色関数）と、任意の照射光源の分光スペクトルを演算することにより、任意の光源下における見え方を擬似的に再現する「光源選択式輝度変換プログラム」を作成し、HSI 画像解析ソフトウェア Spectron Pro (RESONON) に実装した。また、光源との距離による照度・明度の変化を擬似的に再現するために、HSI の反射率を演算し、画像の明度を調整するプログラムを作成し、上記のソフトウェアに実装した。用いた演算式は、波長ごとの反射率の強度が光から対象物への距離に反比例することに依拠している。HSI の各ピクセルが有する波長ごとの反射率に対して、0~1 の係数を乗算して画像化するプログラムであり、何段階に明度を分けるかを任意に指定することができる。例えば、5 段階を指定すると 0.2 刻みの係数を各波長の反射率に乗ずる演算がおこなわれ、そこで求められた反射スペクトルをもとに明度を変換した 5 枚の画像が出力される（図左）。また、出力された画像を繋げ、明度の変化を動画として出力する機能も実装した。

3. 使用データ

HSI は 900 画素のラインセンサーカメラである Pika L (RESONON 社製、測定範囲：385.7nm-1022.76nm、測定間隔：約 2.2nm (波長帯数 281、半値幅約 3.7nm)) を用いた取得した。照射光源は点光源であることを想定して 1 灯とし、キセノンを連続発光する人工太陽光源 (SOLAX XC-500AF セリック社製) を用いた。等色関数は、国際照明委員会 (CIE) が提示する CIE1931 (2°視野) と CIE1964 (10°視野) の XYZ 表色系等色関数データを使用した。光源の分光データは、ファイバマルチチャンネル分光器 FRAME-S (Ocean Optics 社、グレーティング 350nm-850nm、入射スリット 10 μ m) にて取得した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

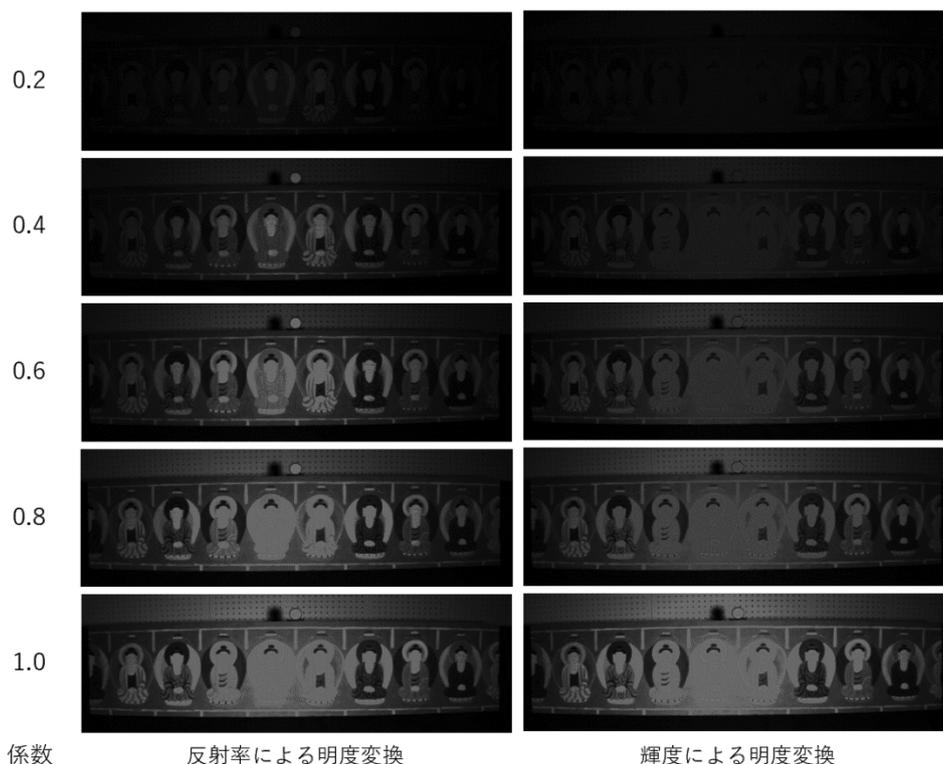


図 HSI を基に明度変換した画像

4. 再現千仏壁画へのプログラムの適用

中国甘肃省の敦煌莫高窟に描かれた規則的な配列・配色の千仏を再現した壁画を対象として、HSI を取得し、左記の2つのプログラムを適応した。図左は、HSI が有する反射率を用いて5段階の明度変化を指定して出力した画像、同右は、輝度変換をおこなったのちに、画像全体の明度を5段階で調整した画像である。双方の係数1.0の画像は同一であるが、係数が小さくなるほど双方に違いが認められる。図右は、係数が大きくなるにつれ、画像全体の明るさが一様に変化しているのに対し、図左は、係数0.2の画像において中心がぼんやりと明るくなり、係数が増えるにつれて画像の中心から外側に向けて明るさの変化が軽減されていることが確認できる。これは点光源である蠟燭を手を持ち、壁画に近づいていった際の見え方を擬似的に示した画像と言える。また、反射率を演算した画像では、彩色ごとの明度変化の違いが確認でき、例えば、係数0.4や0.6の画像では、アタカマイトを使用した緑色箇所（右から4体目の頭光、右から5体目の身光）の明度が高いこと、藍で描いた袈裟の襞（右から5体目）の表現が明確に示されていることなどが確認できる。

5. おわりに

本研究では、HSI が有する反射率を用いて明度を変換するプログラムにより、遮光空間・燃焼光下における壁画の見え方を擬似的に再現し、その有効性を確認した。ただし、本プログラムでは、暗い空間における目の色順応・暗順応については考慮できていない。今後、それらを考慮したプログラムの制作、検証を進めていく予定である。

 [備考・謝辞] 本発表は JSPS 科研費 (JP19H01364)、関西大学先端科学技術推進機構・文化遺産の修復・維持管理のための ICT 技術研究グループの研究成果の一部である。[註] 1) 末森薫, 川口拓哉, 森田吉嵩, 安室喜弘 2021 「光源選択式輝度変換プログラムを用いたハイパースペクトル画像 彩色情報の可視化 - 敦煌莫高窟再現壁画が有する視覚情報の検証」 『日本文化財科学会第38回大会 研究発表要旨集』 pp. 246-247.

簡易 3次元スキャンを用いた文化財資源情報の共有と活用 ～兵庫県猪名川町多田銀銅山遺跡への適用～

Sharing and Utilization of Cultural Property Information based on Simple 3D Scanning: A Case study at the Tada Silver Copper Mine Site at Inagawa

○安室喜弘(関西大), 松山昇司(同左), 関部奏恵(同左), 島津尚弥(同左), 青木美香(同左), 鶴田浩章(同左), 小山倫史(同左), 吹田浩(同左), 肥後時尚(金沢大), 末森薫(国立民族学博物館)
YASUMURO Yoshihiro, MATSUYAMA Shoji, SEKIBE Kanae, SHIMAZU Naoya, AOKI Mika, TSURUTA Hiroaki, KOYAMA Tomofumi, SUITA Hiroshi (Kansai University), HIGO Tokihisa (Kanazawa University), SUEMORI Kaoru (National Museum of Ethnology),

1. はじめに

遺跡などの現地における教育や観光の案内のために、AR(Augmented Reality)で情報提示するアプリの導入が進んでいる^{1,2)}。また、近年LiDAR(Light Detection And Ranging)と呼ばれる3次元スキャナを搭載した携帯端末が登場し、3次元点群データの取得が身近になりつつある。本稿では、遺跡現場にARアプリの導入や更新にLiDARを活用する方法を提案する。

2. LiDAR データの共有

本稿で対象とする多田銀銅山遺跡では、間歩と呼ばれる坑道内の様々な位置に見どころがあるが、案内が無いと気づき難く、また狭いスペースで、様々な方向について教示する案内板等の設置も容易ではない。本研究では、図1に示すように、開発者は初期の段階で、携帯端末のLiDARで展示現場の実寸3次元形状データを取得してお

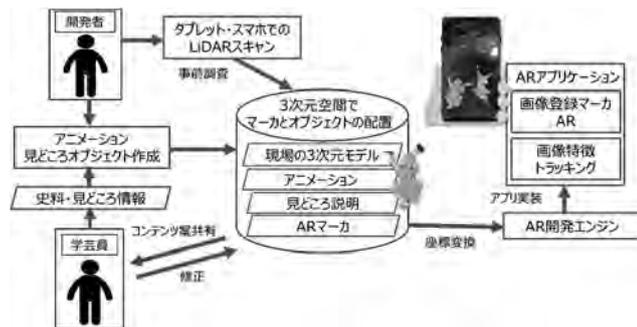


図1 提案するワークフロー

き、学術的な情報を監修する学芸員と共有するワークフローを提案する。ARアプリは、予め登録された画像をマークとして、これを携帯のカメラで写すと起動する。ここでは、文化財構造物の壁面にマークを敷設することは望ましくないため、現地にてプロジェクタで光学的に投影した模様をマークとして所定の位置に設定することとする。説明情報を付与する対象物や付加情報と表示位置などについては、現場の立体コピーとなる3次元データを媒介として、開発者と学芸員との間で提案と確認を遠隔で繰り返すことができる。

3. 使用データ

図2のように携帯端末のLiDARスキャナを用いて作成した青木間歩の3次元モデルに、ARアプリケーションとして実装する際に表示されるアニメーションや見どころ解説を示すオブジェクトを設置する。3次元データを編集できるソフトウェアCloudCompareに、LiDARで取得した間歩の点群データをインポートし、自らで作成したARマークの画像や見どころ解説の3次元モデルファイルをOBJ形式で用意し、同様にCloudCompareにインポートすることで、間歩の3次元モデルとARオブジェクトとして使用するオブジェクトが共存する状態となる。そこで、間歩の3次元モデル内でマークを照射する場所を定め、実寸で大きさを調節したマーク投影像やオブジェクトを設置することで、図3のように仮想空間である青木間歩内において、マークとデジタルコンテンツの空間的な配置を計画することができる。CloudCompare内での

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

座標系から AR アプリを実装するための開発環境である Unity 内での座標系への変換を算出し、実行することで、AR 開発環境へ間歩内でのオブジェクト配置デザインを反映させることができる。

4. 実装と結果

間歩の現場にて、光学プロジェクタとして CASIO CX-F1 を使用して壁面にマーカを照射し、明るくなり過ぎないように輝度調節をし、投影面に対して正対した図像となるように台形補正を適用した。図 4 に示すように現地にてプロジェクタで光学的に投影した模様をマーカとし、アプリケーションの実行端末には Google Pixel4a を使用した。アプリケーションを起動し、マーカにモバイル端末のカメラをかざすと、マーカのすぐ上には、近代に入ってから、機械で削られた跡を示す AR が表示され (図 5①,②), 振り返ると、堀り跡 (図 5④) の場所では、江戸時代の絵図の男性作業者が手掘り作業を行うアニメーションが表示される (図 5⑥)。その上方には目視で確認できる鉱脈の位置を指し示す AR が表示され (図 5⑦), さらにその上方には、目視では確認することのできない空洞が壁の向こうに存在することを示す AR が表示される (図 5⑧)。尚、同じ間歩内の別の見どころには、異なるマーカを加えれば同一のアプリに組み込むことが可能である。また、簡易的な 3 次元点群計測が可能な環境で、環境配置や形状が変わらない状況に対しては、ここで示したアプリの開発手法は適用可能である。



図 2 携帯端末でのスキャン



図 3 スキャンで得た 3 次元空間での AR コンテンツの配置



図 4 坑道内でプロジェクタでマーカを表示



図 5 AR による現場案内の例

5. おわりに

LiDAR を搭載した端末を用いて、現場のデジタルツインとも呼べる情報を、アプリ開発者と現場の学芸員が共有することにより、手戻りが少なく効果的かつ効率的なコミュニケーションを図る方法を示した。この方法は、LiDAR で手軽に計測できる場所であれば、屋内外を問わず実施可能である。今後は、複数の現場を含む広域での適用方法について検討を進めていく。

[備考・謝辞] 本発表は、関西大学先端科学技術推進機構研究グループ、猪名川町教育委員会の支援による研究成果の一部である。[註] 1) 観光庁「明日の日本を支える観光ビジョン」<https://www.mlit.go.jp/common/001126598.pdf> 2) Siang et al., "Augmented reality mobile application for museum: A technology acceptance study." In 2019 6th International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS), pp. 1-6. IEEE, 2019.

3次元点群データを直接利用した文化財資源の管理と活用 ～兵庫県猪名川町多田銀銅山遺跡への適用～

Management and Utilization of Cultural Heritage Resources by Direct Use of 3D Point Cloud Data: A case study at the Tada Silver Copper Mine Site at Inagawa

○安室喜弘 (関西大学), 島津尚弥 (同左), 青木美香 (同左), 鶴田浩章 (同左), 小山倫史 (同左), 吹田浩 (同左), 肥後時尚 (金沢大学), 末森薫 (国立民族学博物館)

YASUMURO Yoshihiro, SHIMAZU Naoya, AOKI Mika, TSURUTA Hiroaki,

KOYAMA Tomofumi, SUITA Hiroshi (Kansai University),

HIGO Tokihisa (Kanazawa University), SUEMORI Kaoru (National Museum of Ethnology)

1. はじめに

筆者らは、文化遺産の学術調査や保全活動において、属人的ではなく持続可能な仕組みづくりに資するよう情報の一元管理を目指したシステム化を検討している¹⁾。近年 LiDAR



図1 3次元点群の利用イメージ

(Light Detection And Ranging) と呼ばれる距離画像センサが携帯端末に搭載されようになり、3次元点群データの取得が身近になりつつある。構造物としての文化遺産の維持管理への活用として、本稿では、3次元点群データ、データベース、ウェブアプリケーションという3要素を組み合わせたシステム化手法を示す。

建設構造物の情報管理での導入が進む BIM (building information modeling) は、CAD のような図面に堪える形状モデリングを前提としており²⁾、考古遺跡や自然地形を含む複雑な形状の史跡や文化財への適用が難しい。また自治体によっては、限られた人的・予算的資源で導入可能な情報管理の仕組みが望まれる。本稿では、携帯端末に搭載された3次元スキャナで取得可能な3次元点群を直接活用することでモデリングのコストを要しないシステムを提案する。

2. 基本的な仕組み

本研究では、3次元点群データの取扱いと Web での可視化が可能な javascript のパッケージ Potree³⁾ を用いる。ユーザは可視化された3次元点群データの中を自由に閲覧でき、任意の点群を直方体で囲んだ領域 (BB; bounding box) で ROI (region of interest; 関心領域) を定義

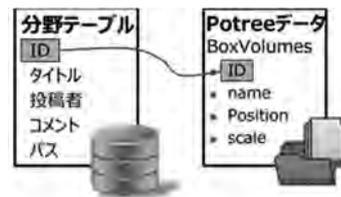


図2 3次元点群のデータベース属性情報

し、そこに関連付けた属性情報の登録を行うことで点群が示すオブジェクトをデータベース化できる。Potree は、膨大な3次元点群データに対して Octree データ構造を適用し、画面表示の視点からの距離や視野に応じて優先度をつけて解像度を調整し、画面表示やマウス操作でのデータアクセスを高速化している。サーバサイドでは、Potree の属性情報をファイルサーバに蓄積する。また、ユーザが作成した属性情報や ROI と ROI に付随する情報とを関連付ける属性データはリレーショナルデータベースによって管理する。BB には固有の UUDI (universally unique identifier) が付与され、図2に示すように、データベースで管理することで情報との関連付けを行う。データベースには分野ごとにテーブルを作成し、ファイルサーバに蓄積するデータファイルのパスやコメント、投稿者、タイトル、ROI を紐づける ID 等のデータファイルに付随するメタ情報を格納している。属性情報や ROI を設置し情報の追加を行うには、システムが起動する際に WEB ページと分野情報をサーバ側に送る。これにより情報の登録の際に属

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

性情報をドロップダウンメニューとして表示し選択することが出来る。その後 WEB ページを描画し、属性と情報を記述する。実装言語にはサーバサイドで PHP、クライアントサイドで HTML5、CSS、Javascript を用いた。点群、BB の描画は Potree を用いる。BB 情報やカメラ座標などの Potree のメタ情報は json ファイルで入出力することができ、ファイルサーバ上に更新していく。サーバ環境は XAMPP を用いて構築し、データベースには XAMPP 内の MySQL を使用した。

3. 多田銀銅山遺跡 青木間歩への適用

2015 年に国史跡に指定された多田銀銅山遺跡は、兵庫県川辺郡猪名川町の銀山地区にあり、坑道遺跡である青木間歩は内部の 60m ほどが公開されている。坑道内部は、細いコンクリート舗装で歩道が造られ、支保工や侵入防止柵がいたるところに設けられ、坑内照明も昼間は常時点灯しているが、案内や監視役の人員は配置されていない。多くの支保工は木製であったため、2020 年に改修がなされた。また、坑内には、江戸時代から近代にいたるまでの様々な堀跡や、鉱脈、他の坑道に繋がる空間など、多くの見どころがあるが、人によるガイドが無いと気付き難い。これらの構造物としての維持管理や、学術・観光としての情報など、多角的な情報を空間的に整理・保存・共有が必要である。今回は、Apple 社製 iPad(第 4 世代)の LiDAR とスキャンアプリ Scaniverse を使用して、坑内表面の 3 次元形状を取得し、提案システムの枠組みを適用した。新たな ROI を設置する場合は、図 3 に示す画面右側上部に情報追加用タブを選び、ROI 設置ボタンをクリックして、点群データを直接マウスで指定して BB を設置し、BB の位置や大きさ、向きを変更し任意の位置に設置する。入力フォームには属性情報を表す分野選択、タイトル、記入者名、情報を記述する。BB を選択した状態で情報の「閲覧」をクリックすることで情報をポップアップウィンドウで表示される。また、ROI の点群表示については、原色表示、ハイライト表示、ROI 内のみ表示の 3 モードを実装した(図 4)。

今回は、照明器具等の通常の管理対象のほか、改修に関する情報、および観光や教育資源として活用が期待される学術情報を 1 つのシステムに格納し、ウェブから閲覧・更新可能であることを確認した。今後は動画等の多様なメディア情報の紐づけが可能な拡張を図る予定である。



図 3 3次元点群に対する直接的な情報の付与・閲覧(明るいハイライト部分)

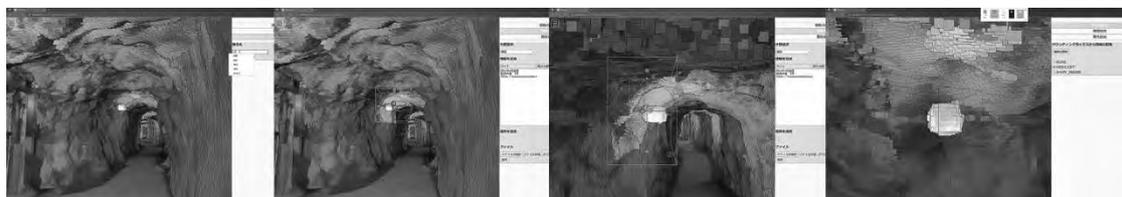


図 4 ROI の表示の切替機能

 [備考・謝辞] 本発表は、関西大学先端科学技術推進機構研究グループ、猪名川町教育委員会の支援による研究成果の一部である。[註] 1) 安室 喜弘, 吹田 浩, イドウトのmastabaにおける修復・保全のための3次元計測に基づいた情報共有, 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, pp. 113-132, 2018. 2) Pocobelli, D.P., Boehm, J., Bryan, P. et al. BIM for heritage science: a review. Herit Sci 6, 30 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0191-4> 3) Potree; < http://www.potree.org/getting_started.html >

プラント・オパール中の遺伝情報に基づいたイネタイプの検討 (III) Rice genotype based on DNA sequences from archaic-rice-phytolith (III)

○田中克典 (弘前大学)、宇田津徹朗 (宮崎大学)、
上條信彦 (弘前大学)、田崎博之 (愛媛大学)、石川隆二 (弘前大学)
○Katsunori TANAKA (Hirosaki Univ.), Tetsuro UDATSU (Miyazaki Univ.),
Nobuhiko KAMIJO (Hirosaki Univ.), Hiroyuki TASAKI (Ehime Univ.), Ryuji ISHIKAWA (Hirosaki Univ.)

1. 緒言

「時間と空間を網羅したイネ情報の体系的蓄積」は、稲作の発達段階を検討する研究において必要不可欠である。しかし、一般的に、遺跡から出土したイネ遺物、特にイネ種子は重要な試料であるものの、その検出頻度や量には限りがある。演者らはプラント・オパールが時代や地域に関係なく安定して遺存していることに着目して、地層に埋蔵されたイネのプラント・オパールから DNA を抽出して、抽出後の劣化、ならびにイネ亜種について前回大会で報告した。

本報では、プラント・オパールに内在する DNA の分析に基づいて、標的 DNA を復元できる可能性と発掘調査への実装について提示する。なお、本研究は、JSPS 科研費の助成によって実施された (課題番号 19H00542)。

2. 材料及び方法

研究材料は、第 1 図に提示した 5 つの遺跡の作土から抽出したプラント・オパールである。プラント・オパールは、比重 1.0~2.3 の分画溶液から抽出した。DNA 分析は、弘前大学農学生命科学部の古 DNA 分析室にて実施した。DNA は Mutou et al. (2014) の方法で個別に抽出し、3 つの葉緑体ゲノム領域 (*rps16* 遺伝子 *intron1*, *trnI* 偽遺伝子, *acoD* 偽遺伝子) と核ゲノムの *IDJ6* 領域を PCR 増幅した。PCR 増幅後、現生イネと同じ長さおよび塩基配列の DNA 断片を確認することによって、イネのプラント・オパールから DNA が復元されたことを判断した (第 2 図)。これらの作業はそれぞれの試料において 10 反復実施した。

3. 結果及び考察

各 DNA 領域において標的 DNA が検出できた数は 1~3 と低頻度であり、経年にもなって劣化を受けていた (第 1 表)。葉緑体ゲノムの DNA 分析によって、遺跡の単位では、程度は異なるが、全ての遺跡から検出を行うことができている。弥生時代の試料においては 7 地点のうち 3 地点において (④の遺跡で 1, ⑤で 2)、いずれかの領域が復元できた (第 1 表)。10 世紀の試料では 3 地点のうち 2 地点で葉緑体ゲノムが復元できた (①と②で 1)。葉緑体ゲノムが復元できた地点では土層を利用して栽培されていたイネについて亜種型が判別可能であった。一方、弥生時代の試料では 4 地点、10 世紀では 1 地点で葉緑体ゲノムが復元できなかった。

イネ・プラント・オパールの分布は土層において偏りがある。また、蛍光顕微鏡下での観察では DNA の遺存程度はプラント・オパールごとで異なっている。これら密度や DNA 遺存程度のばらつきは、標的 DNA の復元に大きく影響しており、DNA 抽出に利用するプラント・オパールを増やすなどの方法によって、イネの DNA 量を上げる必要性を示唆している。さらに、イネのプラント・オパールは、30~60 μ m 程度であるが、大きさによる復元の程度には特段の違いは認められなかった。この結果から、イネのプラント・オパールを選択的採集する必要はなく、その土壌に含まれる全てのプラント・オパールから DNA 抽出する方法が、イネの遺伝情報が復元できる可能性を高めると考えられる。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

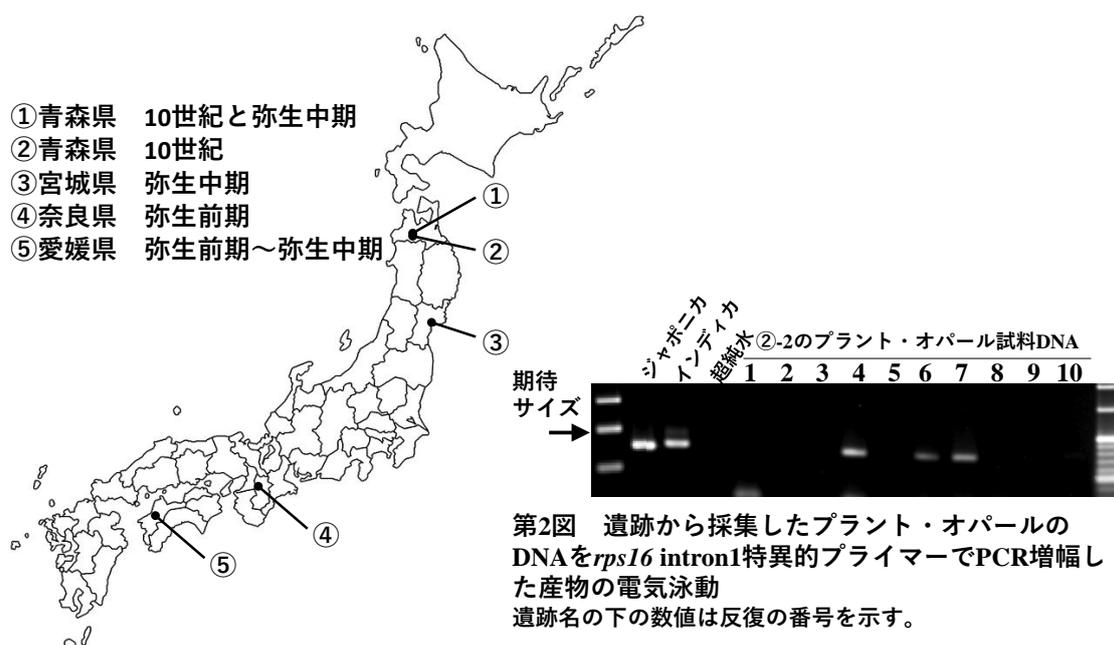
文化財防災

文化財科学
一般

4. 結論

以上のことから、反復を重ねることによって経年したプラント・オパールからイネの DNA 情報を復元することは可能であるが、DNA 抽出に用いるプラント・オパール試料の量やサイズも考慮に入れることによって、復元の可能性が上がることを分析結果は示していた。

また、核ゲノム領域についても復元できた試料があったことやこれまでの分析実績を考慮にいと、埋蔵したプラント・オパールから標的 DNA を復元できる確率は、抽出されるプラント・オパールによって高いものもあることが示唆された。



第1図 研究材料を収集した遺跡の所在と時代

第2図 遺跡から採集したプラント・オパールの DNA を *rps16* intron1 特異的プライマーで PCR 増幅した産物の電気泳動
遺跡名の下の数値は反復の番号を示す。

第1表 試料を採集した遺跡の地点や時代と標的DNAの復元数

遺跡	採集地点	時代 ²	反復数	DNAが復元された反復の数			
				<i>rps16</i>	<i>trnI</i> 偽遺伝子	<i>acoD</i> 偽遺伝子	IDJ6
①	1 南壁2a VIIb層	10世紀	10	0	0	1	0
	2 南壁3a VIIIa層	弥生中期	10	0	0	0	1
②	1 北壁3a VIa層	10世紀	10	0	0	0	1
	2 北壁3a VIa層 ¹	10世紀	10	3	0	0	0
③	1 5層	弥生中期	10	0	0	0	0
	2 9層	弥生中期	10	0	0	0	0
④	1 7-1層	弥生前期	10	0	0	0	1
	2 斜7-7-2層	弥生前期	10	2	0	0	1
⑤	1 SR-108トレンチ ⑪層 No.105	弥生中期	10	0	1	0	0
	2 SR-108トレンチ ⑭層 No.106	弥生前期	10	2	0	0	0

¹ 以上プラント・オパール。

² 時代は遺跡の発掘報告書に基づいて推定した。

矢本横穴出土鍔帯の復元模造作製

Reproduction of waist belt excavated from the Yamoto tunnel tombs

○岡田一郎(公益財団法人元興寺文化財研究所)、塚本敏夫(同左)、小村眞理(同左)、菅原弘樹(奥松島縄文村歴史資料館)

○Ichiro OKADA, Toshio TSUKAMOTO, Mari OMURA(Gangoji Institute for Research of Cultural Property), Hiroki SUGAWARA (Historical Museum of Jomon Village Okumatsushima)

1. はじめに

宮城県東松島市に位置する矢本横穴は、北東 4.5kmに位置する赤井官衙遺跡と合わせ、律令国家成立期の東北経営を理解する上で重要な遺跡である。2014 年の調査で矢本横穴から出土した鍔帯は、鉸具・巡方・丸軛・鉈尾・猪目形の金具といった帯金具が全て揃っていると考えられる上に、一部、巡方と丸軛が帯革に連結された状態で出土しており、他に例のない価値の高い遺物と言える。

2020 年度には、(公財)元興寺文化財研究所で保存処理と科学分析が行われ、そこで得られた情報を基に復元模造を作製することになった。

本報告では、この鍔帯の復元模造を作製する過程で判明した作製技術についての報告を行う。

ポスター発表

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



Fig.1 矢本横穴出土鍔帯(保存処理後)

2. 矢本横穴出土鍔帯の復元模造製作

2.1 製作方針と製作協力者の構成

科学分析による情報と、文献資料、当時の類例である正倉院宝物「革帯 第1号」を基に、できる限り同じ材料を用い、当時の製作技法に近いかたちで復元模造製作を行った。尚、科学分析については、今学会発表の「矢本横穴出土鍔帯の自然科学分析」(山口繁生他)を参照願いたい。



Fig.2 矢本横穴出土鍔帯復元模造

図面製作・発注・施工管理を(公財)元興寺文化財研究所が行い、復元模造製作は、革の縫製を辻之所恒久氏、漆工を黒飛亘氏、鋳造を有限会社和銅寛、金工・組上げを中村工芸が担当した。

2.2 復元模造の仕様

帯金具の材質: 科学分析に基づき、銅で作製した。CT 断面像から鋳造品と考えられたため、帯金具は鋳造で作製した。鋳造の型は、遺物を三次元計測して 3D プリントしたものを使用して作製した。

帯金具の表面加工: 帯金具の表面に確認された褐色薄膜は科学分析により漆と考えられたが、顕微鏡観察において透明度が高いことから、顔料等を含まない生漆と推測された。金属に漆を塗布しただけ

ではすぐに矧がれてしまうため、焼付漆が施されていたと考えられた。

帯革の材質： 原位置不明の革片を用いてコラーゲンの同定を行った結果、アミノ酸配列が牛のコラーゲンに一致したため、帯革は牛革を使用した。

帯革の表面加工： 科学分析からは革の着色の情報は得られなかったが、正倉院の類例において革は漆で黒く着色していると見られたため、漆に黒墨を混ぜたもので着色した後、拭き漆で仕上げた。

帯革の構造： 帯革片の観察と CT 断面像に基づき、帯革は長軸方向と平行に2本の糸で縫い留めた上で、長軸の端同士を縫製して袋状の革帯を作製した。また、これらの縫製は糸が外に出ないように作られていたため、復元模造もこれに倣って作製した。革を顕微鏡で観察したところ、革の銀面は見当たらなかったため、革の銀面と床面のどちらを表に使用していたか判断できなかった。だが、正倉院宝物[南倉 141 革帯残欠第 1 号]の調査において、銀面は消失しているが、銀面の下層の乳頭層をかなり残していると述べられていることから、革帯の革は銀面を表に使用していたことが推測された。¹⁾また、実際に銀面と床面、それぞれに漆を塗る試作を行ったところ、銀面は程よく漆を吸うため革がしなやかな仕上がりになるが、床面は漆を多く吸うため革が固くなることが判明したため、銀面を表に使用した。

全体： 巡方と丸鞆が帯革に連結された状態で出土した遺物を基に金具の間隔を決定した。それ以外の部分は、類例である正倉院宝物「革帯 第 1 号」に基づき金具の配置を決定し、全長を 170 cm にした。

2.3 復元模造製作

帯金具の帯革への固定方法は、一鑄で表金具から出ている鉸脚を帯革・裏金具に開けられた穴に通し、鑄帯の裏面でかしましていることが CT 断面像から確認されたため、この方法で固定した。

猪目形の金具は、鉸具の刺金を挿すために帯革に開けられた穴のハトメと考えられたが、猪目形のハトメの類例が、同時代の日本にも中国にも見当たらなかったため、推定で凸部を下にした。

2.4 復元模造で得られた知見

熱した帯金具に乳白色の生漆を塗布し、再度加熱する焼付漆を施すと帯金具は褐色に発色し、この作業を 10 回程度繰り返すと黒く発色した。また、養老衣服令には、六位以下初位以上・無位の「烏油(くろつくり)腰帯」という記述があり、復元対象の革帯がこれに相当することが考えられた。

組上げ作業において鉸脚をかしまる際、鉸脚に鑄造の巣が入っていると折れやすいことが判明し、当時の鑄造技術が高かったことが推測された。

3. おわりに

復元製作を通じ、科学分析によって得られた情報や、文献資料、類例を総合的にまとめることができた。また、実際に作製することで、技術的な細部にまで検証することとなり、当時の革の縫製技術や鑄造技術の高さを知る機会となった。

〈謝辞〉復元模造を作製するにあたり、御助言をいただいた奈良国立博物館の中川あや様、宮内庁正倉院事務所の山片唯華子様に厚く感謝申し上げます。

¹⁾、出口公長・竹之内一昭・奥村章・小沢正実 2006 「正倉院宝物特別調査報告 皮革製宝物品質調査」『正倉院紀要』第 28 号 宮内庁正倉院事務所 pp.26-28

LiDAR スキャナの教育活用の模索

Exploring Educational Applications for LiDAR Scanners

○三谷智広 (同志社大学文化遺産情報科学調査研究センター/(株)パレオ・ラボ)、白石哲也 (山形大学学術研究院)

○Tomohiro MITANI(Doshisha University/Paleo Labo Co.,Ltd.), Tetsuya SHIROISHI (Yamagata University)

1. はじめに

近年、3D 計測技術の進展により、文化財のみならず、様々なものが 3D へと変換・記録されつつある。特に、スマートフォンやタブレット端末に LiDAR スキャナが搭載されたことにより、誰でも簡単に、かつ短時間で計測が可能となり、3D モデルを製作することができるようになった。ただし、こうした機器の活用について、技術的な話題は多くみられるが、教育的に活用した例は少ない。そこで報告者らは、山形大学の主に 1 年生を対象とするフィールドワーク系授業内で LiDAR スキャナの教育活用の実践を行った。ここでは、本内容について報告を行う。

2. 目的と方法

LiDAR スキャナを通して、3D 技術の基本と計測の習得を目指し、3D 技術の将来的な活用を考えることを目的とした。3D スキャンの撮影技術の講義・講習を行った後、山形県日向洞窟や山形県立うきたむ風土記の丘考古資料館において現地実習を行い、3D の活用に関する議論を行う。使用する機材は、LiDAR スキャナの搭載された Apple 社の iPad Pro とし、使用するアプリは Scaniverse、Sitescape、WiDAR などを用いる。なお、授業履修者は 18 名で、学部は理学部、人文社会学部など様々である。事前に行ったアンケート調査では、文化財や医療分野などにおける 3D 技術の応用に関心を持ち、3 次元計測やその技術の体得に大きな期待を寄せていることがわかった。

3. 教育手順

事前アンケートの結果を踏まえ、以下のような計画をたてた (表 1)。

初日は、実際の計測に入る前に、近年実利用が進んでいる様々な 3 次元計測法を学ぶ。LiDAR の仕組みや特性のほか、アプリの特徴を学んでもらい、ここで得た知識をもとに、大学構内で計測の練習を行う。数ある 3 次元計測法の中における LiDAR による計測の位置付けや、練習を通して LiDAR スキャナが得意なものや不向きなものなどを把握してもらうのが目的である。

2 日目は、初日に習得した知識をもとに、実際の遺跡や遺物などで計測を行う。実際の計測

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

を通して、得た知識を体得してもらうのが狙いである。よりよい3Dモデルを得るために、対象物に合わせたアプリの選択が必要であり、アプリによっては出来上がる3Dモデルも違ったものになる(写真1・2)。計測にあたりどのような工夫が必要か、自ら考え試行錯誤を繰り返しながら、計測を実施してもらう。

最終日は、実際の計測で得られた3Dモデルをもとに、優れた点や改善すべき点などを議論する。その後、文化財や考古学における活用のほか、他の分野における利用例を紹介する。これまで得た知識と技術から、3Dモデルの将来的な活用の方向性について議論を深めることが狙いである。

表1 授業計画

	主な内容	備考
1日目 3次元計測・LiDAR の基礎	第2回 3次元計測とは？	3次元計測法のいろいろ
	第3回 LiDARとLiDARスキャナの特性	LiDARの仕組み、良い点・悪い点、できること・できないこと
	第4回 使用アプリの紹介・特徴	LiDARスキャンとフォトグラメトリ、メッシュと点群
	第5回 計測の練習(山形大学構内)	LiDARに不向きな対象物の計測
2日目 実際に計測して みよう	第6回	日向洞窟
	第7回 現地実習	・スキャンルートを意識した計測
	第8回 ・日向洞窟	うきたむ風土記の丘考古資料館
	第9回 ・うきたむ風土記の丘考古資料館	・屋外の展示物(復元住居など)の計測 ・屋内の展示物(小さな資料など)の計測
3日目 振り返り・まとめ	第11回	現地実習の振り返り
	第12回	
	第13回 3Dモデルの活用例	主に文化財・考古学での活用例
	第14回 これからの3Dモデルの活用	他分野での活用、今後どのように活用できるか議論
	第15回 アンケート調査	



写真1 復元住居の計測例(うきたむ風土記の丘考古資料館:Scaniverse/メッシュスキャン、滑らかに再現された3Dモデル)

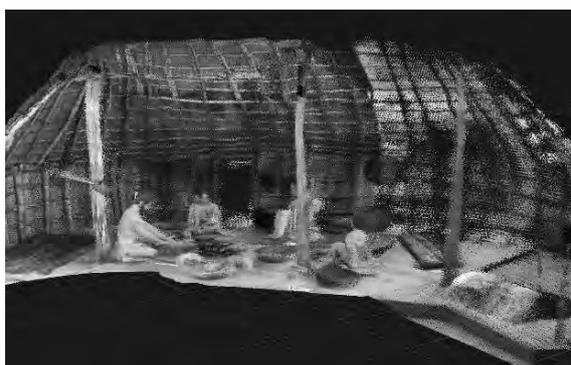


写真2 復元住居の計測例(うきたむ風土記の丘考古資料館:SiteScape/点群スキャン、荒く再現された3Dモデル)

3D 計測を活用した青銅鏡の修復

Restoration of bronze mirror using 3D measurement

○木林俊英 (別府大学 文化財研究所)、玉川剛司 (別府大学)、渡辺智恵美 (同左)
○Toshihide KIBAYASHI (Beppu University National Research Institute for Cultural Properties)
Tsuayoshi TAMAGAWA, Chiemi WATANABE (Beppu University)

1. はじめに

3D 計測は1990年代より考古学に活用され始め、今日までに古鏡の比較や文化財のレプリカの作成、デジタルアーカイブとしての記録など様々な用途で利用されてきたが、文化財の修復に直接的に活用される方法はあまり研究がおこなわれていない。

別府大学構内にある円通寺遺跡から仿製内行花文鏡が出土している。この銅鏡は図1・2のように鈕周辺が破損して本体から欠落しており、破片の散逸を防ぐためにも修復する必要があった。従来の接合は鏡面の凸面を目測により再現していたが、精密な接合は困難である。今回は3D 計測を銅鏡の修復に活用することで、従来では困難な鏡面の凸面を再現した精密な接合をおこなうことを目的とした。

2. 銅鏡の3D 計測・修復台の作製

鏡面の凸面カーブ(又は曲線)に沿わせながら鈕及び周辺の破片の接合をするため、本来の鏡面の凸面カーブを再現し精密な接合が可能となる修復用の台(図3・4)を作製した(以下修復台とする)。

その方法は、スキャニングレーザーを用いたものである。まず各銅鏡片を3D 計測でデータを取得し、PC 上で銅鏡の接合と欠損部の補填をして、復元した銅鏡の3D モデルの作製をおこなった。次にこの方法で作製した銅鏡の3D モデルを更に利用し、鏡面に円柱形の別の3D モデルを押し当て、鋳型の踏み返しの要領で3D モデルを作製することで、凸面カーブに密着する修復台の3D モデルを作製した。これを3D プリンターで出力し、鏡面の凸面に沿った修復台を作製するという方法である。

3. 鏡面の凸面カーブを再現した接合

銅鏡表面の泥等を除去した後、BTA 法による防錆処理、真空減圧樹脂含浸による銅鏡の強化をおこなった。その後、修復台を利用しボンド クイック5(エポキシ系接着剤:コニシ(株))を用いて接合をおこなった。欠損部はボンド クイック5に白色のガラス系マイクロバルーンを混合して補填した(図5・6)。補填した部分にはアクリル絵の具を用いて本体部分と違和感のない程度に彩色をおこなった。また、銅鏡のクラックにはシアノアクリレート系瞬間接着剤(セメダイン(株))を流し入れて強化した。

4. 結果

図7は修復前の鏡面(破損前の再現データ)の凸面を、図8は修復後の凸面をそれぞれ 0.2 ミリ間隔の等高線にて高低差を可視化したものである。二つの画像を比較すると、欠損し補填した部分を除く、修復台を利用し接合した部分については、ほぼ同一の等高線であることが確認できる。このことから修復台を利用した接合は、本来の鏡面の凸面カーブを再現することができ、精密な接合が可能となる。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

5. 考察・まとめ

鏡面の凸面カーブを再現した修復台を利用した銅鏡の接合は、3D 計測を活用する事でしかおこなえないものである。これにより従来方法では困難であった鏡面の凸面カーブを再現した精密な接合をおこなえるようになった。これは3D 計測の特性を活かした方法である。また「4. 結果」で示したように、接合がどれくらい精密に行なわれたかを修復後に客観的に確認できるようになった。

今後はより客観的で正確な修復をおこなうために、3D 計測を利用した修復方法を新たな選択肢としてあげることができるよう、継続した研究を進めていきたい。

<謝辞>

本研究をおこなうにあたり、別府大学 文化財研究所の種生優美氏、同大学院の吉倉菜々美氏にご協力いただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。



図1 保存処理前 銅鏡本体

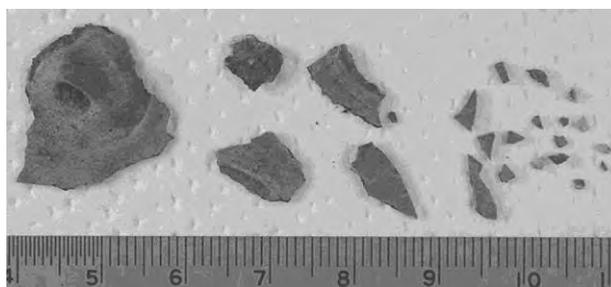


図2 保存処理前 鈕及びその周囲の破片

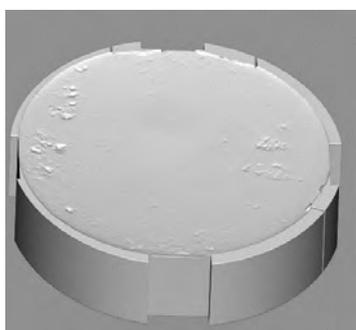


図3 修復台：3Dデータ



図5 鏡背面：接合・補填後



図7 鏡面：修復前

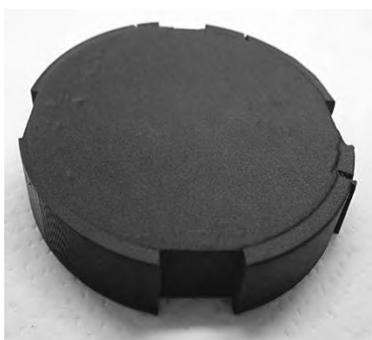


図4 修復台：実物



図6 鏡面：接合・補填後

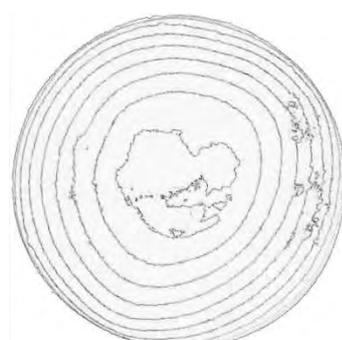


図8 鏡面：修復後

遺伝的アルゴリズムを応用した進化シミュレーション

Evolutionary Simulation Applying Genetic Algorithms

○大澤僚也（同志社大学）、岸本幹史（同左）、山口雄治（岡山大学）、
坂平文博（大阪工業大学）、津村宏臣（同志社大学）

○Ryoya OSAWA, Toshifumi KISHIMOTO (Doshisha University), Yuji YAMAGUCHI (Okayama University), Fumihiro SAKAHIRA (Osaka Institute of Technology), Hiro'omi TSUMURA (Doshisha University)

1. はじめに

近年の進化生物学の発展に伴い、文化や社会の進化についても、従来の段階発展論や史的唯物論から系統進化論の援用が進みつつある。その中で、連続的な進化では説明できない事象も数多く、その顕著な事例が、狩猟採集社会から水稻農耕社会への生業形態の転換（日本では縄文から弥生時代）である。生業形態の転換は社会や文化事象など多様な側面での変革を伴う歴史事象のメルクマールである。

本研究では、縄文から弥生時代の遺構データを用いて、計算機アルゴリズムを応用したシミュレーション方法を提案し、そのシミュレーション方法が文化進化すなわち生業形態の転換の特徴を捉えるために有効であることを検討する。

2. シミュレーション概要

本研究では遺伝的アルゴリズムを応用したアルゴリズムを使用してシミュレーションを行う⁽¹⁾。縄文から弥生時代の実際の遺構データを生物の遺伝子に見立てる（図1）。遺伝子に見立てた遺構データに対して、遺伝的操作（選択、交叉、突然変異）を行うことで新たな遺構データを生成する（図2）。



図1 遺伝子に見立てた遺構データ



図2 遺伝的操作

使用する遺構データは山口⁽²⁾が用いた遺構データであり、このデータは遺跡ごとの遺構情報が記録されており、その遺跡はそれぞれ縄文から弥生時代にいたるまでを0期から16期、弥生時代を17期としてカテゴライズされている。このカテゴリ情報に基づき、進化シミュレーション（遺伝的アルゴリズム）を実施する。遺伝的アルゴリズムのフローを図3に示す。図3における

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

遺伝子の評価は、生成された遺構データを一つ期の集合と仮定し、その集合が実際の各期事の遺構データ集合の中でどの期と最も近いかを評価する。

例えば8期の遺構データから9期への進化をシミュレーションする場合、8期の遺構データを初期値として生成し、それらに対して評価（何期の遺跡と最も近いか）を行う。その後、遺伝的操作を加え新たな遺構データを生成し、評価する。世代交代では、生成された遺構データと初期値のどちらがより9期と近いかを比較し、より近い遺構データを親として残す。これを繰り返し、9期が最も近くなる移行データ集合の獲得を目指す。

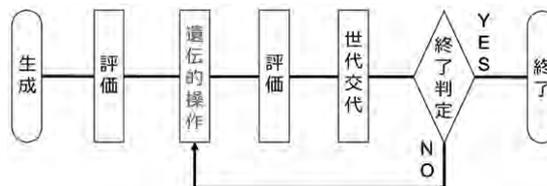


図 3 遺伝的操作フロー

3. 結果

本発表では、8期の遺構データから9期の遺構データへの進化シミュレーションを実施した。結果は図4に示す。遺構データは多次元であるため、主成分分析を行い、2次元空間で遺構データ集合を表している。青丸が初期値すなわち遺伝的操作を加える前の各期遺構データの集合、菱形はシミュレーションで生成された仮想遺構データの集合を示す。

8期からスタートした遺構データ集団は遺伝的操作を経ることによってPC1軸が正の方向へ移動し、最終的に生成された遺構データは9期が最も近くなっていることがわかる。以上から、本シミュレーションにおける遺伝的操作によって、遺構データを操作することで目的とした方向への進化が可能であることが示唆された。今後は、シミュレーションによって得られた進化の過程や結果のパラメータを分析することで、今まで明らかにすることが難しかった文化進化すなわち生業形態の転換の特徴を明らかにする。

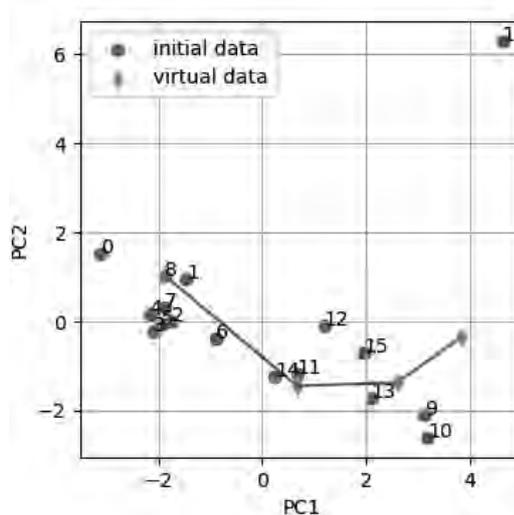


図 1 仮想遺構データの遷移

4. 参考文献

- (1) Fumihiro Sakahira, Yuji Yamaguchi, Ryoya Osawa, Toshifumi Kishimoto, Taka'aki Okubo, Takao Terano, and Hiro'omi Tsumura 2020. Generating Hypotheses on Prehistoric Cultural Transformation with Agent-Based Evolutionary Simulation.. Winter Simulation Conference(WSC), p.194-205.
- (2) 山口雄治 2012. 西日本縄文・弥生時代集落のGISデータベース化と時空間動態評価. 第17回公開シンポジウム「人文科学とデータベース」論文集, p.55-62.

文化的相転移の定量評価手法の提案

Proposal of quantitative evaluation method for “Cultural Phase Transition”

○岸本幹史(同志社大学)、大澤僚也(同左)、

山口雄治(岡山大学)、坂平文博(大阪工業大学)、津村宏臣(同志社大学)

○Toshifumi KISHIMOTO, Ryoya OSAWA(Doshisha University),

Yuji YAMAGUCHI(Okayama University), Fumihiro SAKAHIRA(Osaka Institute of Technology),

Hiro'omi TSUMURA(Doshisha University)

1. 研究目的

人文社会学における文化進化の大局的理解には、段階発展論と史的唯物論とが併存する状況が近代期からの特徴である。前者は系統的な連続進化を、後者は社会や文化の意思による断続止揚を、それぞれ過去の歴史世界の説明に用いてきた。2000年以降の欧米の文化進化研究では、進化生物学を援用した多系統進化(垂直進化)で、地域の歴史や文化が説明されはじめた。だが、こうした事例研究でも、実際の歴史事象で確認される断続事象は説明しにくく、また系統分岐事象もそれをひきおこす外圧・客体因子(≒止揚)の想定に止まっている。

本研究では、縄文から弥生時代の遺跡データを用いて、時代の転換・断続平衡進化事象を、機械的に特定する手法を提案し、その手法が、文化の相転移現象を、定量的に評価するために有効であることを検討する。

2. 評価手法概要

本研究では、階層型クラスタリングを応用したアルゴリズムを使用して、分類を行う。データは、表1の時期区分に記載のある時期の近畿以西の遺跡データを用いる。このデータは、山口⁽¹⁾や坂平⁽²⁾が用いたデータであり、遺構の内訳は、“住居”、“建物”、“柱穴”、“炉”、“環濠”、“土坑”、“溝上遺構”、“貯蔵穴”、“集積遺構”、“土器溜まり”、“土器埋設”、“陥穴”、“水田遺構”、“墓”の14項目である。クラスタリングでは、最小分散法という、試行後のクラスタの分散と、試行前の各クラスタの分散和との差が最小になるクラスタ同士を併合する。パラメータの“距離”(非類似度)は、ユークリッド距離を用いる。また、類似度としては、Cos類似度を用いた。

山口⁽¹⁾は、上記のデータを用いた主成分分析の結果から、縄文-弥生時代の文化・社会事象の断続性について、主成分分析の解釈とその時代の背景や様態の考察から、“縄文草創期から早期”、“中期末から後期初頭”、“晩期末から弥生時代前期”の3時期に、大きな断続平衡事象を評価している。また、9期以降は、0期から8期に比べて、変化の度合いが大きいことも評価している。今回、階層型クラスタリング手法を用いて、この3時期の断続性や9期以降の変化度合いについて検証する。

3. 実験結果・考察

各期におけるCos類似度の対応結果を図1に示す。この結果では、“0期から8期”と“9期から16期”では、類似度が低く、文化として異なっていると考えられる。また、8期から9期を境にして、類似度の正負が反転していることから、それぞれの性質が真逆に変化しており、ある系の相が別の相へ変わる

表1 時期区分

大別時期	時期	年代
0th	草創期	約11500~16000年前
1st	早期	約7000~11500年前
2nd		
3rd		
4th	前期	約5500~7000年前
5th		
6th	中期	約4500~5500年前
7th		
8th		
9th		
10th	後期	約3200~4500年前
11th		
12th	晩期	約2800~3200年前
13th		
14th		
15th		
16th	晩期/早期 弥生前期	約2350~2800年前

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

ることを示す相転移が起きていると考えられる。一方、山口⁽¹⁾の中で断続平衡事象とされていた0期から1期、15期から16期においては、異なる類似性は示されておらず、本結果からは、相転移を確認できなかった。

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	1.000	0.630	0.588	0.593	0.734	0.518	0.149	0.561	0.730	-0.712	-0.751	-0.485	-0.227	-0.570	-0.175	-0.658	-0.172
1	0.630	1.000	0.542	0.313	0.223	0.216	0.252	0.560	0.340	-0.308	-0.340	-0.087	-0.225	-0.688	-0.603	-0.439	-0.066
2	0.588	0.542	1.000	0.796	0.688	0.713	0.353	0.685	0.603	-0.409	-0.400	-0.251	-0.559	-0.607	-0.222	-0.543	-0.459
3	0.593	0.313	0.796	1.000	0.895	0.918	0.647	0.677	0.403	-0.513	-0.441	-0.237	-0.572	-0.581	-0.150	-0.403	-0.567
4	0.734	0.223	0.688	0.895	1.000	0.878	0.534	0.581	0.672	-0.668	-0.651	-0.385	-0.432	-0.493	-0.020	-0.547	-0.460
5	0.518	0.216	0.713	0.918	0.878	1.000	0.624	0.606	0.407	-0.470	-0.427	-0.368	-0.560	-0.544	-0.211	-0.358	-0.454
6	0.149	0.252	0.353	0.647	0.534	0.624	1.000	0.594	-0.015	-0.163	-0.080	0.136	-0.288	-0.508	-0.412	-0.173	-0.449
7	0.561	0.560	0.685	0.677	0.581	0.606	0.594	1.000	0.342	-0.546	-0.484	-0.300	-0.275	-0.586	-0.344	-0.450	-0.343
8	0.730	0.340	0.603	0.403	0.672	0.407	-0.015	0.342	1.000	-0.629	-0.732	-0.430	-0.262	-0.329	0.045	-0.678	-0.101
9	-0.712	-0.308	-0.409	-0.513	-0.668	-0.470	-0.163	-0.546	-0.629	1.000	0.553	0.584	-0.070	0.283	-0.210	0.361	0.050
10	-0.751	-0.340	-0.400	-0.441	-0.651	-0.427	-0.080	-0.484	-0.732	0.553	1.000	0.700	-0.118	0.232	-0.189	0.537	-0.030
11	-0.485	-0.087	-0.251	-0.237	-0.385	-0.368	0.136	-0.300	-0.430	0.584	0.700	1.000	-0.123	0.089	-0.129	0.457	-0.274
12	-0.227	-0.225	-0.659	-0.572	-0.432	-0.560	-0.288	-0.275	-0.262	-0.070	-0.118	-0.123	1.000	0.712	0.517	0.100	-0.126
13	-0.570	-0.685	-0.607	-0.581	-0.493	-0.544	-0.508	-0.586	-0.329	0.283	0.232	0.089	0.712	1.000	0.783	0.258	-0.050
14	-0.175	-0.603	-0.222	-0.150	-0.020	-0.211	-0.412	-0.344	0.045	-0.210	-0.189	-0.129	0.517	0.783	1.000	0.068	-0.225
15	-0.658	-0.439	-0.543	-0.403	-0.547	-0.358	-0.173	-0.450	-0.678	0.361	0.537	0.457	-0.100	0.258	0.068	1.000	0.181
16	-0.172	-0.066	-0.459	-0.567	-0.460	-0.454	-0.449	-0.343	-0.101	0.050	-0.030	0.274	0.126	-0.050	-0.225	0.181	1.000

図 1 各期における Cos 類似度の対応結果

次に、階層型クラスタリングの結果を図 2 に示す。縦軸はクラスタ間の距離を示している。閾値 12.24 で、大きく 2 つのクラスタに分かれる。内訳は“0 期から 8 期”と“9 期から 16 期”である。さらに閾値 10.91 にて、“9 期から 15 期”と“16 期”にクラスタが分かれた。また、0 期から 8 期をクラスタとする閾値 4.31 では、“0 期から 8 期”、“9 期から 10 期”、“11 期・15 期”、“12 期から 14 期”、“16 期”の 5 つのクラスタに分かれた。これらのクラスタ形成の結果から、8 期から 9 期、15 期から 16 期には、クラスタ間で大きな距離が開いており、連続的な変化(垂直進化)ではないと考えられる。これは、山口⁽¹⁾や坂平⁽²⁾の断続平衡事象の解釈とも一致している。

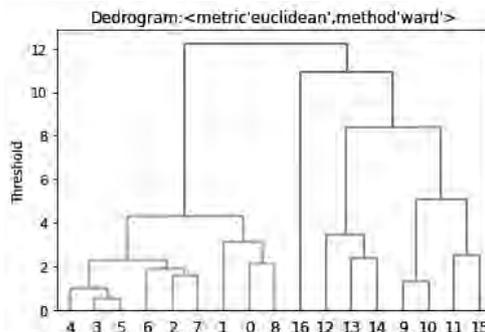


図 2 階層型クラスタリングの結果

さらに、類似度の評価を組み合わせることで、“8 期から 9 期”と“15 期から 16 期”の変化はそれぞれ全く異なるメカニズムによって引き起こされた可能性があると考えられる。一方、0 期から 1 期における断続平衡事象については、類似度や階層クラスタリングの評価から、その存在をうかがい知ることは難しかった。また、9 期以降の変化度合いについては、0 期から 8 期まで(閾値 4.31)と比べると、“9 期・10 期”、“11 期”、“12 期・13 期 14 期”、“15 期”、“16 期”のクラスタ間の前後で大きな距離の開きを確認でき、9 期以降では頻繁にその様相を変化させていたことが伺える。さらに、11 期と 15 期が同一クラスタを形成することから、“11 期”からの変化が“15 期”にかけて収束している可能性があると考えられる。

以上から、本手法によって、主成分分析の解釈・時代の背景や様態の考察から評価される断続平衡事象や文化変容の変化度合いについて、確認することが可能であると示唆された。このことから、一部の事象を確認できなかったものの、本手法は一定程度有効である考えられる。今後は本手法によって得られたパラメーターや閾値などを分析することで、断続平衡事象の特徴などを明らかにする。

4. 参考文献

(1) 山口雄治 2012. 西日本縄文・弥生時代集落の GIS データベース化と時空間動態評価. 第 17 回公開シンポジウム「人文科学とデータベース」論文集, p.55-62.
 (2) Fumihiko Sakahira, Yuji Yamaguchi, Ryoya Osawa, Toshifumi Kishimoto, Taka'aki Okubo, Takao Terano, and Hiro'omi Tsumura 2020. Generating Hypotheses on Prehistoric Cultural Transformation with Agent-Based Evolutionary Simulation.. Winter Simulation Conference(WSC), p.194-205.

三次元モデルを活用した鏡背文様可視化処理について

—和泉市惣ヶ池遺跡出土銅鏡の調査から—

Visualization of Ancient Mirror Designs Using 3D Models

-A Case Study of Bronze Mirrors Excavated from Sogaike Site, Izumi City, Osaka-

○須山貴史（株式会社イビスク）、上田裕人（和泉市教育委員会）

○Takafumi Suyama (IBISOKU Co., Ltd.), Hiroto Ueda (Izumi City Board of Education)

1. 緒言

惣ヶ池遺跡は大阪府和泉市の眺望の良い信太山丘陵頂部に位置する、弥生時代後期の高地性集落である。令和3年度の発掘調査で出土した小型仿製鏡は、泉州唯一の出土例であり、畿内では最古級の可能性がある。この銅鏡について、保存処理・分析に伴う調査の一環で3Dモデルを活用した可視化処理を行い、不鮮明な鏡背文様の観察が可能になった。

2. 遺物の所見

遺物は腐食やクラック（亀裂）が進行し、非常に脆弱であった。表面や鈕孔内には繊維等の有機質は認められなかった。酸化的雰囲気では有機質は残存しにくいため、埋納時の布や紐の有無については断定できない。

ハンドヘルド蛍光X線分析装置による非破壊分析では、主成分として銅（Cu）、スズ（Sn）、鉛（Pb）が検出された。また亜鉛（Zn）、ヒ素（As）、銀（Ag）、アンチモン（Sb）、ビスマス（Bi）が微量に検出された。

3. フォトグラメトリ（SfM-MVS）による3Dモデル作成

小型仿製鏡の鏡背文様は極めて不鮮明であり、肉眼のみでは観察・図化が困難だった。遺物の強度的に拓本は不可能なため、非接触的な観察手法を試みた。X線透過撮影は内部構造の造影が強く影響するため、表面観察には不向きである。写真撮影でもライティング次第で文様を観察できるが、斜光の方向によって、凹凸が可視化できる範囲が限られる。そこでフォトグラメトリ（SfM-MVS）による3Dモデルを作成した。

写真撮影にはAPS-Cセンサーのカメラと単焦点マクロレンズを使用した。金属質や樹脂コーティングによる光沢はアラインメント品質に悪影響を及ぼすため、光源側とレンズ側にフィルターを装着して交差偏光（Cross polarization）による無反射撮影で対策した。この手法は保存処理して光沢を帯びた遺物全般に有効である。ソフトはMetashape Professional（Agisoft）を用いた。なお、アラインメントは「高」、高密度クラウドは「最高」、メッシュ生成は「0（無制限）」である。段階ごとに精度の低い特徴点の除去、カメラ位置の最適化、高密度点群のノイズ除去、マスク処理等を行っている。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

4. 3D データによる起伏の可視化処理

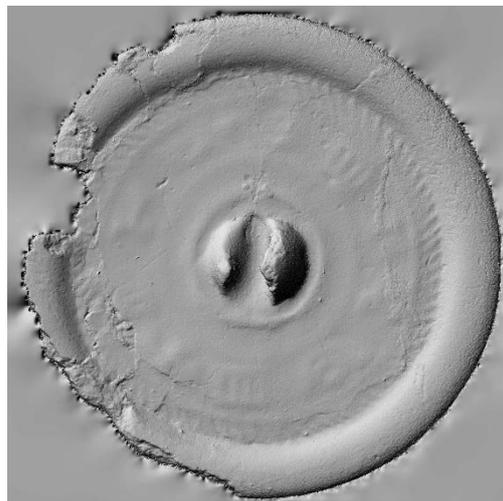
3D モデルを高低差によって色分けしたデジタルエレベーションモデル (DEM) では、文様の高さ 0.1mm 程度の起伏を可視化するのには不十分であった。そこで点群を CloudCompare で読み込んで Z 軸のスケールを 10 倍に拡張した。陰影強調のマスクをかけた上で光源位置を変化させた画像をレンダリングした。これを Adobe Photoshop 上で合成することで、不明瞭だった文様が容易に可視化できるようになった。



遺物写真

5. 生成した画像による鏡背文様の観察

鏡背の構成は狭縁—櫛歯文帯—擬銘帯—2 条の圈線の順である。左回りの斜行櫛歯文はシャープな細線で、内区の擬銘帯は「目」形と「Y」ないし「T」形の文様が特徴的である。異体字銘帯鏡だが、「十」形や「市」形の文様がなく、畿内周辺の弥生時代後期の類例（兵庫県青谷遺跡、大阪府山ノ上遺跡、大阪府亀井遺跡、大阪府八尾南遺跡など）と異なる要素がある。広島県真亀 C 地点遺跡出土の小型仿製鏡と類似点が見出されているが、現在調査中の段階である。

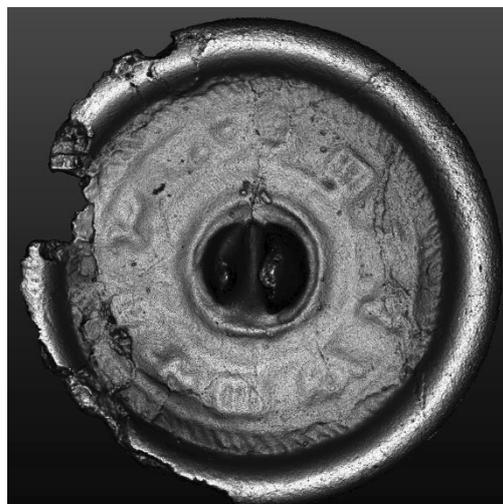


Metashape で生成した DEM

6. 結語

3D データの編集技術は地形図用途では一般化しているが、碑文の判読などにも近年活用されている。今回の試みでは仿製鏡の不鮮明な鏡背文様にも非常に有効であった。拓本で記録されてきた既存の資料についても、再調査が進むことが望まれる。

(遺物・遺跡の詳細については現在、発掘調査報告書刊行に向けて鋭意調査中である)



可視化処理した画像

東京国立博物館所蔵の古銀貨に関する調査

Research on old silver coins owned by Tokyo National Museum

○鳥越俊行（東京国立博物館）、西脇康、井出浩正（東京国立博物館）、清水健（同左）

○Toshiyuki TORIGOE (Tokyo National Museum), Yasushi NISHIWAKI,

Hiromasa IDE (Tokyo National Museum), Ken Shimizu (Tokyo National Museum)

1. はじめに

今年で開館150年となる東京国立博物館にはおよそ11万件に及ぶ多くの文化財が所蔵されており、金銀貨や銭貨などの古貨幣も多く所蔵されている。現在それらの一部に対して寸法や比重、金属組成などの再調査を進めつつあるが、今回はこれまであまり調査成果が公開されていない戦国期から江戸初期の銀貨を中心とした金属組成について報告する。

2. 調査資料と調査方法

調査資料は、これまでの分析事例が少ないことから、室町後半から江戸初期のものに限定して調査を行った。銀貨としては、萩古丁銀と名称のある丁銀（図1）や慶長丁銀（図2）、切銀や豆板銀などであり資料はすべて東博所蔵のものである。

調査方法は携帯型の蛍光X線分析計（オリンパス社製 DELTA Premium DP-4000、X線管球はRh（ロジウム）ターゲット、検出器はSDD（シリコンドリフト検出器））を用いた。測定条件は、X線出力 40kV、50 μ A、測定時間は約30秒、手持ちで測定したため資料と装置の距離は約1cm、照射径は約1cmである。



図1 萩古丁銀(長さ約12cm)

3. 調査結果とまとめ

いわゆる古丁銀や豆板銀に対するこれまでの分析事例^{1,2,3)}から、銀の品位は95%程度のものと80%程度のものがあることが知られており、当館の資料もこれに調和的である。萩古丁銀は石州銀と称するものとほぼ同一であり、微量元素の検討などにより銀の産出地が絞り込める可能性がある。

銀の品位が大きく2種類あるのは、銀鉱山の現地で製錬し灰吹した銀の品位(Ag95%前後)のものと、流通貨幣として銅を混ぜ硬くしたもの(Ag80%前後)に相当すると推定されるが、



図2 慶長丁銀(長さ約9cm)

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

出土例や分析例が少ないため詳細は不明である。御公用丁銀、御取納丁銀や石州文禄丁銀など、17世紀後半に鑄造年代が限定される古丁銀の多くについて島根県は石見銀山遺跡が世界遺産になる前後に購入しており、2012年にこれらを含む23点を分析したようであるが⁴⁾、これまで詳細な結果が公表されていないため詳細は不明である。

これまでにある程度の数の古丁銀が出土した事例としては、山口県山口市八幡馬場の今八幡宮(10点、盗難にあい行方不明)、山口県光市小周防(44点、毛利博物館蔵)、山口県萩市下田万鱈坊山(6点のうち4点散逸)、島根県仁多郡奥出雲町横田の岩屋寺址(20点、散逸)、山口県山口市阿東生雲東分字千頭(60点、散逸)、福岡県粕屋郡新宮町下府(109点、新宮町教育委員会蔵)などがある^{5,6,7)}が、いずれも分析がなされていない。

近年は携帯型の蛍光X線分析装置も性能が向上していることから、機器を所有する施設が古丁銀などを所有する博物館や教育委員会などと連携して分析し情報を蓄積することで、古丁銀の生産地や流通に関する知見が増えることを期待する。

参考資料

1. 葉賀七三男「阿武郡阿東町千頭出土切銀の分析結果について」『山口県地方史研究』第47号(1982年、山口県地方史学会)
2. 沓名貴彦「東京大学経済学図書館所蔵の古金銀貨幣の科学調査について」『東京大学経済学部資料室年報』3(2013年)
3. 大石徹・古山隆「古代貨幣材料の化学的考察(その3)」『資源・素材2014(春季大会)要旨集(Web)』(2014年、資源・素材学会)
4. 島根県大田市教育委員会『石見銀山遺跡世界遺産センター2012年報』(2014年)
5. 池上宥昭「石州銀と長州銀—古丁銀類の出土例に関わって」『出土銭貨』第39号(2019年)
6. 永井久美男「福岡県糟屋郡新宮町下府出土の古鑄銀錠」『出土銭貨』第41号(2021年)
7. 池上宥昭「山口県阿東生雲東分千頭出土の古鑄銀錠」『出土銭貨』第41号(2021年)

海水損した皮革文化財の保存修復に関する検討

Research on Conservation and Restoration of Leather Cultural Properties Damaged by Sea Water

○田口智子（東京藝術大学）、飯岡稚佳子（同左）、桐野文良（同左）

○Satoko TAGUCHI, Chikako IIOKA, Fumiyoshi KIRINO (Tokyo University of the Arts)

1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災において発生した津波により様々な文化財が被災したが、その中には皮革を材料とする文化財も多数存在した。しかし、津波により被災した皮革文化財の保存修復方法は未だ確立されていない。絵画や漆工品などの被災資料では水を使用した脱塩処理（安定化処理）が実施されている¹⁾が、皮革文化財では水分を与えることにより柔軟性や色彩等の皮革本来の特性が失われるおそれがある。また、皮革製品の製造過程では大量に塩分が使用されるため、安定化処理において指標とされている塩濃度が皮革では使用できない可能性が高い。そこで本研究では、皮革文化財の保存修復方法の確立を目指して、皮革サンプルを用いて海水損や洗浄処理の皮革文化財への影響を明らかにすることを目的に基礎実験を行っている。本発表では、これまでに実施した実験結果の一部を報告する。

2. 試料と実験方法

本研究では、3種の動物（牛・豚・鹿）について、それぞれ植物タンニン鞣し、クロム鞣しを施した計6種の皮革を入手し、16 cm×16 cmのサンプルを作製した。各サンプルについて（a）未処理、（b）人工海水への浸漬、（c）水による洗浄を行い、評価することで海水損や脱塩処理が皮革へ与える影響を調査した。（b）では人工海水（富士フイルム和光純薬株式会社）をイオン交換水に溶かし、サンプルを24時間浸漬させた後、エアストリーム法²⁾により乾燥させた。（c）洗浄については、イオン交換水にサンプルを1時間浸漬した後に取り出し、洗瓶を用いてサンプル表面をイオン交換水で洗い流す操作を計3回行った。さらに、海水損や洗浄の長期的な影響を明らかにするため、恒温槽（エスペック、LHL-113及びLHU-113）内の80度、80%RHの環境に336時間サンプルを保持することで加速劣化試験を行った。

各サンプルの評価のため、処理段階ごとに重量、長さ、厚さを測定した。また、見た目の変化を把握するため、写真撮影、目視及びデジタルマイクロスコープ（キーエンス、VHF-970X）観察、分光測色計（コニカミノルタ、CM-600d）によるL*、a*、b*値の測定を行った。機械的性質の確認のため引張強さを測定し、さらにクロム鞣しのサンプルに関しては示差走査熱量測定（DSC測定）を用いて熱安定性を評価した。また海水浸漬及び洗浄による塩分の変化を調べるため、蛍光X線分析装置（Thermo NITON、XL3t-900S-M）により、Cl濃度を測定した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

3. 結果

本発表では、牛・クロム鞣しのサンプルに関する結果を報告する。表1に各サンプル名及び実施した処理を示す。

未処理、海水浸漬、洗浄、劣化試験後について長さ、厚さ、重量測定を実施したが、大きな変化は見られなかった。見た目に関して

は、いずれのサンプルも加速劣化試験後に黄味を帯びた。図1の(A)はCc-SW、(B)はCc-SW336hの b^* 値と L^* 値の平均値をプロットしたグラフである。いずれのサンプルでも、 L^* 値については海水浸漬、洗浄後には大きな変化は見られなかったが、加速劣化試験後に明度が減少する傾向が見られた。 b^* 値では試験後に黄味が強くなった。また、デジタルマイクロスコーブ観察から、劣化試験を行ったサンプルでは試験前と比較して表面の亀裂の広がり確認された。引張試験については、Ccと比較してCc-336h、Cc-SWでは低い数値を示したものの、その他の試料では明確な傾向は見られなかった。DSC測定では、加速劣化試験を実施したCc-336h、Cc-S336h、Cc-SW336hについては、吸熱温度等の低下が見られ、劣化が進行していると考えられた。

4. まとめ

牛・クロム鞣しのサンプルでは、加速劣化試験後のサンプルにおいて表面の状態、色、引張強さなどに変化が見られた。しかし、海水浸漬や洗浄による影響については明確な結果は得られなかった。これは、動物種、鞣し剤種、個体や部位による差が大きいという皮革の特性や、水損前の皮革文化財の保存状態も影響していると考えられた。そこで、引き続き、サンプルの種類・点数を増やした実験を行うとともに、人為的に劣化させたサンプルについて各種処理を行い、海水浸漬や洗浄実験の影響を明らかにするための実験を実施している。

参考文献

- 1) (編)津波により被災した文化財の保存修復技術の構築と専門機関の連携に関するプロジェクト実行委員会ほか、『安定化処理 津波被災文化財保存修復技術連携プロジェクト』、津波により被災した文化財の保存修復技術の構築と専門機関の連携に関するプロジェクト実行委員会, 2015.
- 2) エバ・グルックほか、「エアストリーム乾燥法 大量の湿った紙を早く、平らに乾燥する」、株式会社資料保存器材, 2011. https://www.hozon.co.jp/report/post_7367 (2022-7-15 最終アクセス.)

謝辞 本研究は2019、2020年度については、陸前高田市からの受託事業として実施した。また本研究の一部は、公益信託吉田学記念文化財科学研究助成基金及びJSPS 科研費 JP22K00999 の助成を受けたものである。引張試験及びDSC測定については、一般財団法人日本皮革研究所において実施した。岩倉希美氏、神田詩子氏、杉原裕子氏には、実験補助として本研究に協力いただいた。厚く御礼申し上げる。

表1 牛・クロム鞣しサンプルの各名称及び処理

	サンプル名	海水浸漬(S)	洗浄(W)	加速劣化試験(336h)
(a)	Cc			
	Cc-336h			○
(b)	Cc-S	○		
	Cc-S336h	○		○
(c)	Cc-SW	○	○	
	Cc-SW336h	○	○	○

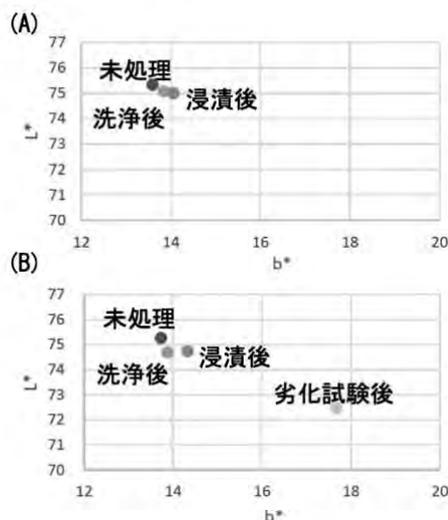


図1 b^* 値と L^* 値の平均値、(A)Cc-SW、(B)Cc-SW336h

新潟県の遺跡より出土した中・近世の漆器における材料の変遷

Changes in materials used for lacquerware in middle to early modern excavated from ruins in Niigata prefecture

○大野直輝 (明治大学大学院)、清水香 (新潟大学)、本多貴之 (明治大学)

○Naoki ONO (Meiji University graduate school), Kaori SHIMIZU (Niigata University), Takayuki HONDA (Meiji University)

1. 緒言

新潟県における中世及び近世の遺跡より出土した漆器に使用された材料を特定することで中世から近世にかけての新潟県の漆器に使用される材料の変遷を考察し、漆器製作当時の技術や材料の流通を解明することができる。そこで、本研究では、上記のことを研究目的として新潟県の遺跡より出土した椀や皿の試料片に対し、科学的分析を行った。

2. 実験

各遺跡の詳細と試料数は表にまとめた。これらの試料に対して、層構造の確認のためにクロスセクションによる断面の観察、顔料や下地由来の元素の特定のためにエネルギー分散型蛍光X線分析 (ED-XRF)、漆の樹種や用いられた材料の特定のために熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析 (Py-GC/MS) を行った。これらの分析より得られた分析結果を最後にまとめ、新潟県の中世から近世にかけての漆器製作における材料の変遷について考察した。

表 各遺跡の詳細

遺跡名	場所	種別	時代	漆器数	試料数
ばばやしき馬場屋敷	白根市	散布地	13世紀後半	4	8
こさかいづけ小坂居付	新潟市	城跡・田畑	13世紀末-14世紀末	7	15
おおさわやち大沢谷内	新潟市	集落	中世	1	3
わのうやかた和納館	西蒲原郡	城館	15-16世紀	1	4
きんせいにいがたまちあと近世新潟町跡	新潟市	集落	近世	20	40

3. 結果と考察

各遺跡の試料に対して、上記の分析を行った。今回は、近世新潟町跡より出土した椀の内側の試料において複数の顔料が検出されたため「7内」について詳細に報告する。

熱分解温度 500°C で Py-GC/MS を行った (図)。 m/z 108 のイオンクロマトグラム抽出の結果、3-heptylphenol (P7) を中心とした山型のピーク群および、3-pentadecylphenol (P15) が確認された。このことから、用いられた漆の樹種は、日本・中国・韓国系の *Toxicodendron vernicifluum*

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

であると示唆された¹⁾。また、 m/z 202 のイオンクロマトグラム抽出の結果、

Fluoranthene (Flu) および Pyrene (Pyr) が確認されたことから煤または炭粉の使用が推察された。そして、Hg の安定同位体が検出されたことから Hg を含んでいることが推察された。

クロスセクションによる断面の観察の結果、赤色粒子層 (a)+ 赤褐色層 (b)+ 黒色層 (c) からなる 3 層構造であった。透過光下において、柿渋と類似した茶色味が観察された。また、反射光下において、c 層から角ばった白色の物質が観察されたため、炭粉の使用が推察された。これらのことから、柿渋と炭粉を混ぜて用いられる渋下地の使用が推察された。そして、偏光下におい

て、a, b 層から鉱物由来の反射が観察されたことから赤色顔料の使用が推察された。

ED-XRF による元素マッピング分析の結果、a 層より Hg, S が b 層より Fe が検出された。クロスセクションの結果と合わせて赤色顔料として、a 層には水銀朱 (HgS)、b 層には弁柄 (Fe₂O₃) が使用されたことが示唆された。

今回分析した結果より用いられた材料には、中世では水銀朱を用いた試料が 23 点、近世では赤色顔料として弁柄を用いた試料が 26 点であることが示唆された。そして、中世と近世のどちらからとも下地として炭粉と柿渋を混ぜて使用される渋下地が多く使用されていることが示唆された。

中世では、赤色顔料として水銀朱が使用されているが、近世ではそのほとんどが弁柄であった。これは、弁柄の方が水銀朱に比べて、比較的入手しやすかったことや水銀朱の方が製作時に技術を要されるため、製作が水銀朱よりもしやすい弁柄が普及したことなどが考えられる。また、渋下地の他に炭粉を用いる下地として、炭粉と漆を混ぜる炭下地がある。渋下地を使ったものが多いのは漆に比べて柿渋は比較的安価で入手しやすかったことから、渋下地が広く一般的に普及していたことが考えられる。

4. 結言

新潟県中・近世の遺跡より出土した漆器に対し、科学的分析を行った。中世では皿や椀に対し赤色顔料として水銀朱が、近世では弁柄を用いることが見てとれた。

参考文献

- 1) R. Lu, T. Honda, Y. Kamiya, K. Yoshida, T. Miyakoshi, "Analysis of Japanese Jomon lacquer-ware by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry" *J. Anal. Appl. Pyro.* 103 (2013) 68-72

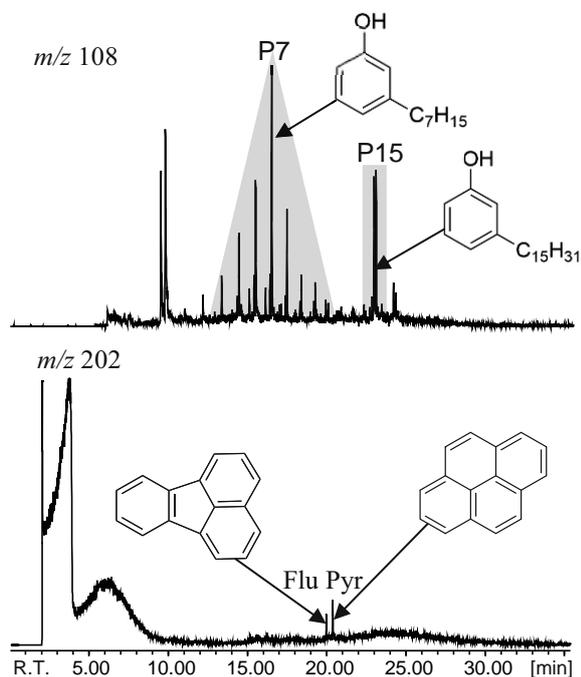


図 7 内のイオンクロマトグラム

東北北部における続縄文文化後半期（後北 C₂・D 式期）の食性分析

Analyzing food habits of the late Epi-Jomon culture (Kohoku C₂-D type pottery) in Northern Tohoku region

○國木田大（北海道大学）、佐藤由紀男（岩手大学）、井上雅孝（滝沢市埋蔵文化財センター）、
米田穰（東京大学）、設楽博己（元・東京大学）

○Dai KUNIKITA (Hokkaido University), Yukio SATO (Iwate University), Masataka INOUE (Takizawa
City Board of Education), Minoru YONEDA (The University of Tokyo),
Hiromi SHITARA (Former the University of Tokyo)

1. 研究の背景

本研究では、東北北部における続縄文文化後半期（後北 C₂・D 式期）の食性に関して、土器
付着炭化物の炭素・窒素同位体比、C/N 比等を用いて検討を行う。東北北部では、弥生時代後
期後葉・終末期並行期から古墳時代前期並行期にかけて、北海道の続縄文土器である後北 C₂・
D 式の出土例が報告されている。このような東北北部への後北 C₂・D 式の波及要因は、気候の
寒冷化・冷涼化や、鉄器等の入手を目的とした説が提示されているが、いまだ確定的な結論に
は至っていない（佐藤 2022 参照）。本研究では、土器付着炭化物から後北 C₂・D 式の生業を復
元し、その波及要因を考えてみたい。なお、筆者らは同手法を用いて、北海道の続縄文期以降
の検討も実施している（國木田ほか 2018）。また、近年では、レプリカ法を用いたイネ・ア
ワ・キビ等の穀類利用の解明が進められている（設楽編 2019）。

2. 分析試料

本要旨での分析試料は、大石渡Ⅲ遺跡、大石渡Ⅴ遺跡、大石渡遺跡（92 年度）、仏沢Ⅲ遺跡
（滝沢市）、大日向Ⅱ遺跡（軽米町）から出土した続縄文時代の後北 C₂・D 式、古墳時代中期
の引田式、古墳時代後期の栗圀式の土器付着炭化物である。大石渡Ⅲ遺跡 3 点、大石渡Ⅴ遺跡
1 点、大石渡遺跡（92 年度）2 点、仏沢Ⅲ遺跡 5 点、大日向Ⅱ遺跡 3 点の計 14 点の分析を実施
した。測定試料は、極微量の 2 点（HOT3-5, 8）を除いて、AAA 処理を行っている。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。年
代測定は、東京大学総合研究博物館で実施した。

3. 測定結果と考察

測定試料の炭素・窒素同位体比を図 1、年代測定結果を図 2 に示した。図 1 では、大石渡遺
跡（92 年度）の 1 点を除いて、全て窒素同位体比が約 9‰より低い値を示すことから、C₃ 植物

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

や陸上動物を主とした内容物の可能性が高い。点数は非常に少ないが、引田式や栗田式と比較しても大きな差はない。また、弥生時代後期後葉・終末期並行の赤穴式のデータ（國木田 2019）とも類似の結果である。佐藤（2022）では、北海道から東北部に波及した後北 C₂・D 式の集団は、在地の生業に適応したことを想定しており、今回の結果はその見解と矛盾しない。後北 C₂・D 式の東北部への波及・定着は、海生生物（サケ・マスも含む）に依存した生業との関連は低そうである。今後は、道南地域や石狩低地帯のデータを増やして、比較検討する必要がある。図 2 の年代測定結果では、大石渡遺跡（92 年度）の 1 点（2177 BP）が想定年代よりも大幅に古く、炭素・窒素同位体比から海洋リザーバー効果の影響が考えられる。大日向 II 遺跡の 1 点（1969 BP）も古い。同試料は炭素含有率（7.3%）が極端に低いことが影響しているかもしれない。先行研究では、後北 C₂・D 式の年代は約 1800～1700 BP 頃（約 2～5 世紀）であるため（熊木ほか 2017）、その他 2 点（1891, 1845 BP）も、多少古く年代が得られているかもしれない。これらの試料を除いた今回の後北 C₂・D 式の年代は、1794～1699 BP（235～405 calAD, 1 σ ）であり、既知の年代値と非常に整合的である。

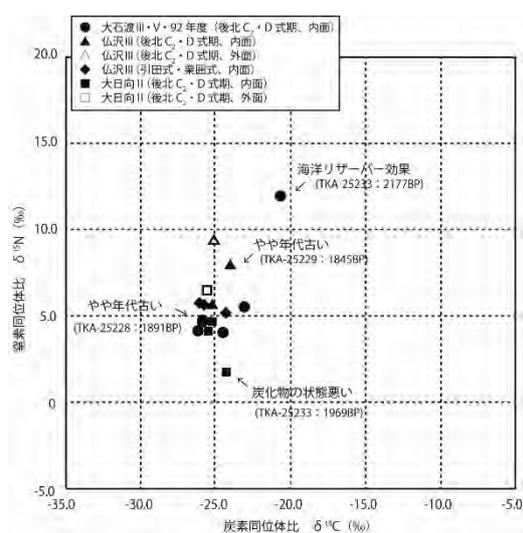


図 1 測定試料の炭素・窒素同位体比

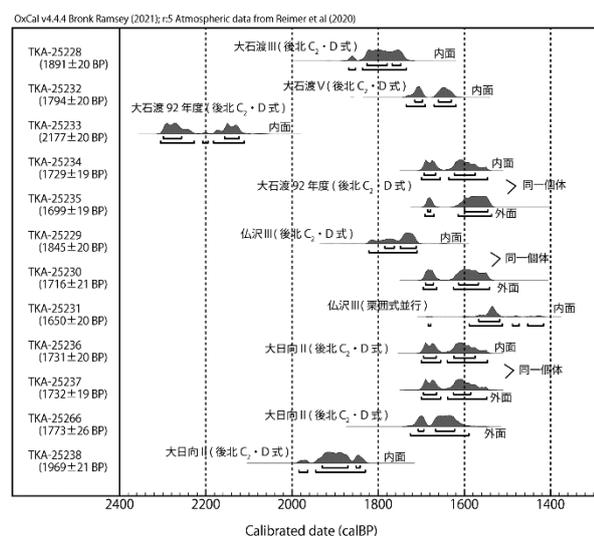


図 2 測定試料の暦年較正年代値

謝辞

試料採取に際して、滝沢市埋蔵文化財センター、公益財団法人岩手県文化振興事業団埋蔵文化財センター、分析では東京大学総合研究博物館放射性炭素年代測定室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

國木田大ほか 2018 『日本文化財科学会第 35 回大会要旨集』 350-351

國木田大 2019 『農耕文化複合形成の考古学①—農耕がもたらしたもの—』 雄山閣, 231-244

熊木俊朗・福田正宏・國木田大 2017 『国立歴史民俗博物館研究報告』 202, 101-135

佐藤由紀男 2022 『岩手大学文化論叢』 11, 45-56

設楽博己編 2019 『農耕文化複合形成の考古学①—農耕のはじまり—』 雄山閣 (①も同年発行)

敦煌文書の紙の漉き簀模様抽出とその分析

- 古代中国の製紙技法と敦煌偽写本問題について -

Papermaking Screen Analysis of Dunhuang Documents

- Ancient Chinese Papermaking Technique and Dunhuang Forgery -

○坂本昭二（龍谷大学）

○Shouji SAKAMOTO (Ryukoku University)

1. はじめに

20世紀初頭に敦煌莫高窟で発見された敦煌文書の総数は発見当初の経緯から正確な数は不明であるが4～5万点程度と推測され、その中には複数の紙を継いだ卷子本が多数含まれていることから、紙の総数は数十万から百万枚程度にのぼると推定される。これまでの紙の分析では、主に原材料（繊維や澱粉粒など）や簀の目の本数などが紙の特徴（属性）として分析されているが、これらの各属性の取りうる範囲が限られたものであって、多様性に乏しいものであることがわかってきている。従って、これらの属性を用いて紙の分類を試みても大量の紙（例えば敦煌文書のすべての紙）を細かく分類することはできない。一方で西洋紙の分析では透かし模様の多様性を利用した紙の制作地、制作年代の推定が行われているが、東洋やアラブの紙は通常透かし模様がないのでそのような分析はほとんど行われていない。しかし、東洋やアラブの紙にも漉き簀の模様がみられるものは多い。そこで本研究では多数の敦煌文書の紙から漉き簀模様の抽出し、漉き簀模様が多様性に富む紙の特徴であること、その中には二重の糸目模様を持つ紙が多数存在することを示し、それらが二枚の紙を重ね合わせた二層紙である可能性についても言及する。

2. 漉き簀模様分析

本調査ではペリオコレクションとスタインコレクションを対象として、目視またはデジタルカメラ（Nikon D800）による透過光撮影（光源は白色LED）により紙の簀の模様（簀の目、糸目）や刷毛目模様の観察を行った（目視観察では326点、透過光撮影をしたものはペリオコレクションより167点（目視観察数と重複）。また、卷子形式の写本は全紙を観察したわけではなく比較的簀の模様が明瞭な数枚を選んで観察した。）。しかしながら、すべての紙で簀の模様が明瞭に見えるわけではなく、全く見えないものや部分的にしか見えないものも存在する。透過光撮影によって簀の模様がみられる場合にはその模様を明瞭にするための画像処理を行った[1]。

3. 結果

- 多様な簀の模様が確認できた。（※糸目幅が等間隔に見える紙でも注意して観測すると、大抵の場合数mmから1cm程度の差が見られ等間隔でないものが多い。）また、隋、初唐時代には紙の中央部分だけ糸目幅が狭くなっているものが少なからず存在し、この場合も糸目幅の違いにより多様性が見られる。
- 糸目が紙の長辺に対して垂直な直線ではなく、若干斜めになっているものや直線ではなく湾曲している

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

ものなどが見られた。

●糸目が二重になっているものが多数見られた(図.1 参照)。これまでのところ最古の二重糸目模様の紙は506年の南朝の記年を持つS.81で、南朝(梁、陳)の記年を持つ写経(S.81, P.2196, P.2965, P.2160)の紙は二重糸目模様を持つ紙であった。北朝では西魏の頃から二重糸目模様を持つ紙が見られ始め(P.2189など)、その後は北周、隋、初唐、盛唐の時代の紙に二重糸目模様が多く見つかる。中唐以降では783年の記年を持つP.2132を除いて二重糸目模様を持つ紙は確認できていない。

●二重の糸目模様を持つ紙は、平行移動と回転によって糸目のパターンが一致することから同じ簀から作られた二枚の紙を重ねて作られた二層紙である可能性が高いことがわかった。(図.1 参照)(※すなわち、二枚の紙がずれて重ねられたことによって糸目が二重に見える。図.1の例では左側の赤色矢印で示した糸目と右側の黄色矢印の糸目模様は平行移動で一致する。また、二重に見える糸目模様のずれ方が一定していないものも多く、図.1はP.2160の第2紙の二重糸目模様であり、同第3紙も二重糸目模様を持つけれども二重になっている糸目の間隔(ずれ方)が異なる。(但し、第2、3紙とも同じ簀から作られた紙が使われていると見られ、二層紙として紙を重ねる時のずれ方が第2紙と第3紙では異なっている。)

●卷子本は同じ簀から作られたとみられる紙(同簀の紙)が継がれている場合が多い。北魏時代の511年～514年の記年を持つ令狐崇哲が関連する写経群であるS.1427, S.1547, P.2110, P.2179は同簀の紙からなると見られ、また、隋時代の593年の記年を持つ李思賢による写経群S.227, S.457, P.2199も同様である。また、記年を持たないS.246とS.422も同簀の紙を用いていると見られる。

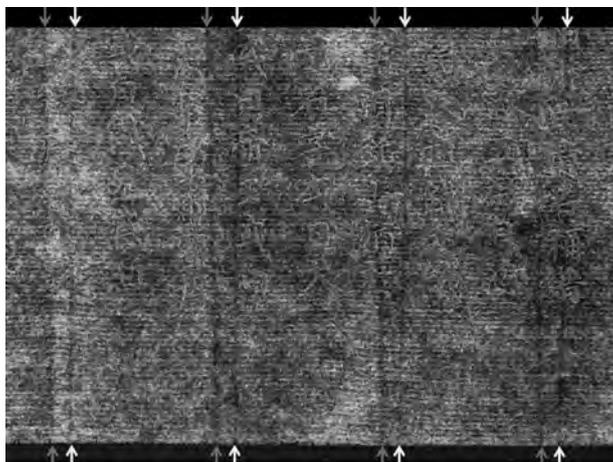


図.1 南朝写経 P.2160 の第2紙の簀の模様を一部拡大 (a*チャンネルの画像にコントラスト強調)

4. まとめ

敦煌文書の紙の簀の模様を抽出することによって、簀の模様に多様性があることと当時の製紙技法の一端を明らかにすることができた。簀の模様の多様性は大量の紙を細かく分類することを可能にするが、このことは敦煌学における偽写本判定問題に極めて有効に働くと考えられ、偽写本問題にブレイクスルーをもたらすであろう。

参考文献 [1] 坂本昭二他: 東アジアの古文書料紙の分析 ～簀の目と糸目模様の分析を中心として～, 情報処理学会研究報告, 2016-CH-111 No.2, p.1-8, 2016

動画による紙漉き動作解析とその多様性について

Papermaker's Motion and its Diversity through Digital Video Analysis

○坂本昭二 (Shouji SAKAMOTO)

龍谷大学 (Ryukoku University)

1. はじめに

世界各地の製紙技術に関してはダード・ハンターをはじめとしてこれまでに多数の報告がされている。しかし、紙漉き動作を調べるにはこれら報告中の記述や写真だけでは不明瞭である。これは日本語、中国語、英語などの自然言語が動作を記述することに向いていないためである。これまでに筆者はインターネット上に存在する 1,000 本を超える現代の紙漉き動画を調べ、抄紙方法に関してはインド、ヒマラヤ、東南アジア、インド、一部中国などユーラシアの中央部分で漉紙法が見られ、日本、韓国、中国と欧州では汲み込み法が普及していることを確認している。漉紙法での紙漉き動作は単に箕桁中の紙料液を指や混ぜ棒などで満遍なく分散させるだけであり、また欧州での抄紙方法はいわゆる溜漉きで単に箕桁で紙料液を掬うだけであるので、これらに関しては紙漉き動作の多様性は期待できない。一方で、汲み込み法が普及している日中韓の紙漉き動作に関しては紙漉工の箕桁の操作に多様性が認められるので、本研究ではこれらの全体把握と比較分析を行う。

2. 動作解析

インターネット上に存在する動画は撮影者が自由に撮影したものでカメラパラメータが不明なので動画中のオブジェクト（箕桁など）の絶対的なサイズの計測や3次元座標系での位置推定などは難しい。従って、本研究では調査した多数の紙漉工による動作（箕桁の操作と箕上の紙料液の流れ（波））を観察し、各地の紙漉工が行う動作の全体を把握する。（但し、すべての動画で紙漉き動作が記録されているわけではないので（編集されているものも多い）、紙漉きの一連の動作が記録されている動画に限って分析した。）同時に紙漉工が行う基本動作を抽出分類し、分類した各クラスを記号で表現（例えば、R（箕桁を右に移動）、L（左）、F（前方）、B（後方）など）し、一連の動作を記号列で表現することを試みる。すなわち、紙漉き動作を記述する形式言語の開発に必要な情報を収集する。（但し、言語の設計は今回で固定されるものではなく、試行錯誤しながらアップデートされていく予定である。）

3. 動画による紙漉き動作分析の結果

日本、韓国、中国の紙漉き動作などの概要を以下に示す。

●中国： 中国は国土面積が大きく、最も多様な紙漉き技法が存在する国である。また、気候区分でも熱帯、温帯、亜寒帯、高山帯、乾燥帯などがあり植生に多様性があり、材料に関しても竹、カジノキ、桑、青檀、稲藁、龍須草、雲南省では滇結香 (*Edgeworthia gardneri* (日本の三椏の近種))、莧花 (*Wikstroemia monnula*)、チベットでは狼毒花なども製紙原料として用いられ多様性に富む。以下に中国で代表的な宣紙

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

の紙漉き動作を例としてあげる。

宣紙：枠のない横長の箕桁を二人で操作する。二人の紙漉工は箕桁の各短軸を担当して短軸の左右を両手で掴み、二人で動作を合わせて、Step1:箕桁の長軸側（左側とする）から紙料液を汲み込み（→）、同じ左の（右側もあるがまれ）長軸側から流し去る（←）。Step2:反対の右側の長軸から紙料液を汲み込み、左の長軸側から流し去る（←）。この間 8 秒程度である。（※矢印（→、←）は箕上での紙料液の流れのおよその方向を表す。）

中国の紙漉きは全般的に汲み込み回数が少なく（2～3回程度）、短時間（10秒前後）で紙を漉く。その分、日韓と比較して紙料液の濃度が高いように見える。また、一部の竹紙製法で箕桁を斜め方向に動かす動作を確認した。（通常、前後左右など対称性のある動作が多いが、この竹紙製法の動作は独特である。）

●韓国： 韓国の伝統的な紙漉き法は、上枠のない縦長の箕桁（漉き箕も縦長）を使用し、箕桁の短軸の一方が紐などで上から吊るされ、紙漉工はもう一方の短軸の左右両端あたりで漉き箕を手で抑えながら箕桁を操作する。Step1:最初の紙料液の汲み込みは手前の短軸から汲み込み、手前の短軸を持ち上げて傾斜を作って前方の短軸方向に流し去る（↑）（Step1を2回繰り返す紙漉工もいた。）。Step2:左長軸から汲み込み、右方向に流し去る（→）。Step3:右長軸から汲み込み、左方向に流し去る（←）。以後、Step2と3を繰り返す。（最後の箕上の紙料液の流去方向だけ左前方（↖）の紙漉工や前方（↑）の紙漉工もいた。）以上の工程は紙漉工と汲み込み回数（5～11回程度）にもよるが概ね15～20秒程度である。この紙漉き法は箕桁を左右に大きく振るので紙漉槽のサイズが大きい。

また、韓紙では漉いた紙2枚を重ねる陰陽紙が有名であるが、重ねる際は紙の上下を逆にして重ねていた。漉いた湿紙を紙床に伏せて重ねる際に漉き箕の上を丸太を転がす動作も一部で見られた。韓国併合時代に日本が日本式の紙漉き法を普及させてしまったために、伝統的な紙漉きを行う紙漉工は少ない。

●日本： 海外と比べて手漉き紙の生産者も多く、消費者の多様な要求に対応して製法にも多様性が存在しており、一人の紙漉工や一軒の紙漉き工房が多様な紙を生産しているケースも見られる。上枠のある箕桁の操作が日本の紙漉きの特徴であるが、例えば、ある美濃の紙漉工は一枚の紙を漉くのに45秒かけ、この間7回紙料液を汲み込む。日本の場合、いわゆる溜漉き（名塩紙など）は別として、上枠の存在が時間をかけた箕上の紙料液の操作を可能にしており（中韓のように上枠が無い箕桁を使用する場合、箕上の紙料液はすぐに流れ落ちてしまうので時間をかけて箕桁を操作することはできない。また、いわゆる捨水の動作も発生しない。）、上枠による紙料液の波の反射や紙漉工によっては重力に逆らうほどの大きな紙料液の波を発生させるケースもあり、箕上で生じる現象は複雑であろう。

また、縦横に箕桁を動かす紙漉き法は美濃紙が有名であるが、美濃以外の地でも縦方向と横方向への動きを行う紙漉工が見られ、予想（文献だけから得た知識による思い込み）に反する結果であった。

4. まとめ

日本、韓国、中国の紙漉きを比較したが、各国独自の紙漉き法に変化（進化）しており、国をまたいだ共通点を見出すのが難しいくらいであった。今回の調査では各地の紙漉工が行う動作の把握程度でとどまってしまうが、紙漉き動作記述言語の生成における問題点（中国の一部地域での竹紙の製法の動作など）の把握もできたので、さらに言語開発を進めていく。

ガランドヤ2号墳における緑色生物に関する報告

Report on Green Organisms in Garandoya No. 2 Tomb

○松野美由樹（奈良文化財研究所）、渡邊隆行（日田市文化財保護課）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）

○Miyuki MATSUNO¹, Takayuki WATANABE², Soichiro WAKIYA¹

(¹Nara National Research Institute for Cultural Properties), (²Hita City, Cultural Properties Protection Division)

1. はじめに

大分県日田市に所在するガランドヤ古墳群は、6世紀中葉から後半に築造された3基からなる古墳群である。このうち1号墳・2号墳は石室内に彩色が施されている装飾古墳であり、国の史跡として指定されている。ガランドヤ1号墳・2号墳は定期的に環境調査が実施されており、2020年11月の調査にて2号墳石室内の側壁に緑色生物の存在が認められている。側壁は赤色顔料によって装飾されていることや今後側壁の周辺にまで繁茂する恐れがあることから、原因を把握し何らかの対処を行う必要があると考えられる。そこで本発表では、ガランドヤ2号墳石室内の側壁に緑色生物が繁茂した経緯と石室内照度の測定結果について報告する。

2. 調査対象と方法

ガランドヤ2号墳は石室内のほぼ全面が赤い顔料によって塗られているが、人物・同心円文・連続山形文といった文様が描かれているのは奥壁のみである。墳丘は大きく削平されており、玄室の天井石と石室右側半分が露出していたため、2019年12月以前は石室全体がビニールシートによって覆われていた。2019年12月頃に現在の覆屋が竣工しており、この際に防水シートが撤去された(図1)。2020年11月には覆屋内にて植物が繁茂しており、石室内の側壁には緑色生物の存在が認められている(図2, 3)。2021年8月になり、緑色生物が繁茂している範囲が広がっていたため、石室全体をビニールシートで覆い緑色生物の軽減を図った。これらの経緯から、覆屋が竣工した際にビニールシートを撤去したことにより石室内に光が到達し、光エネルギーを利用する藻類などの緑色生物が繁茂したものと推察される。

文化財に緑色生物が繁茂した場合、薬剤処理や物理的な除



図1 2号墳覆屋内(2019年12月)



図2 2号墳覆屋内(2020年11月)



図3 側壁の緑色生物(2020年11月)

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

去による対処法などが考えられるが、今回は装飾部付近に繁茂しているため環境制御による対処が適切だと考えられる。温湿度などの環境条件が揃っている場合、年間積算照度が 10^5 lxh を超える地点では緑色生物が顕著に繁茂し、 10^4 lxh のオーダーまで下げることによって軽減する傾向があると報告されている(朽津、2018)。そこで、現時点で玄室内にどの程度光が到達しているか、またビニールシートによってどの程度光を制御できるのか明らかにするためにデータロガー(MX1104, Onset 社)を用いて照度を測定した。データロガーは緑色生物が繁茂している付近に設置し、2022年5月11日から同年6月6日まで①ビニールシート全撤去、②ビニールシート簡易設置(2021年8月以降と同様の状態)、③ビニールシート完全設置(大型シート設置)の条件で約1週間ずつ測定した。

4. 結果と考察

石室内側壁付近の照度を測定した結果を図4に示す。①では、最高値で160 lxを超える値に到達しており、安定して高い数値を示していることがわかる。一方で、②では照度が大幅に低下し最高値でも0.59 lxと非常に低い値を示しており、③では全く測定されていないことがわかる。これらの結果により、ビニールシートの設置は光の抑制に大きく影響することがわかる。

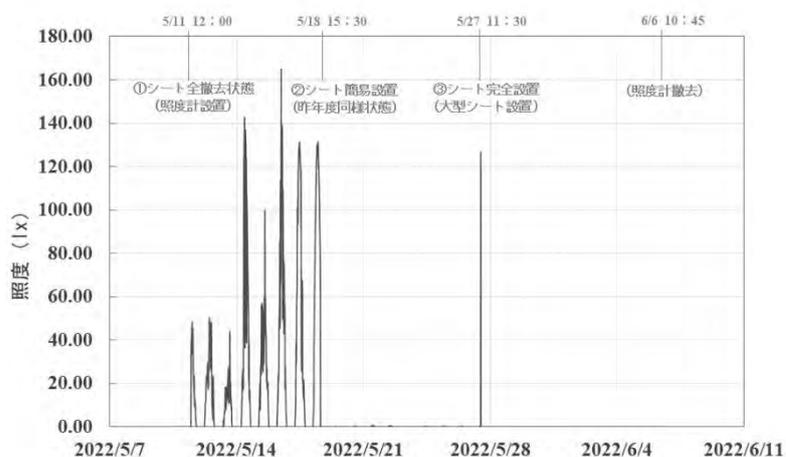


図4 石室内側壁付近の照度(lx)

5. まとめ

グランドヤ2号墳に緑色生物が繁茂した経緯と石室内照度の測定結果について報告した。測定結果からビニールシートの設置によって石室内への光の到達を十分抑制できることが確認された。したがって、引き続き石室をビニールシートで覆うことで緑色生物を軽減することが可能だと考えられる。今後は、測色計を用いた対策効果の評価や構成生物種の同定などを検討している。

謝辞

本研究に関し東京文化財研究所の佐藤嘉則室長にご助言を賜りました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日田市教育委員会：史跡グランドヤ古墳 ―史跡グランドヤ古墳の保存整備に伴う調査報告書―、2010
- 2) 朽津信明：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、科学研究費研究成果報告書、2018

千葉県養安寺遺跡から出土した縄文時代中期のシカ遺体を用いた 観察・計測分析について

Observation and measurement analysis of sika deer excavated from the Yoanji site, Chiba prefecture, in the middle Jomon period

○鬼崎 華 (日本大学大学院)、江口誠一 (日本大学)
○Hana ONIZAKI (Nihon University Graduate School),
Sei-ichi EGUCHI (Nihon University)

1. はじめに

養安寺遺跡は、千葉県中央部の東金市と大網白里市にまたがって所在し、九十九里平野に面する標高約 70m の台地上に立地する、縄文時代中期から晩期の集落跡である。斜面貝層中から大量の動物遺体が確認され、中期の遺跡としてはニホンジカ *Cervus nippon* (以下、シカと記載する) の出土量が特に多い。本地域は、追い込み猟や罟猟に有利な地形条件であることから、狩猟適地であったと考えられている。当時の狩猟活動と動物資源利用を明らかにするうえで重要な遺跡のひとつである。

服部・小川 (2017) では、本遺跡から出土した下顎骨を用いて、乳歯と永久歯の比率から幼若獣：成獣比を、萌出・交換段階から死亡時季と年齢構成を推定している。本研究では、これまで未検討であった、シカの年齢や性別にかかわる体格と成長段階の傾向を捉えることを目的として、部位骨の観察・計測による分析を行った。本発表ではその成果の一部を報告する。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

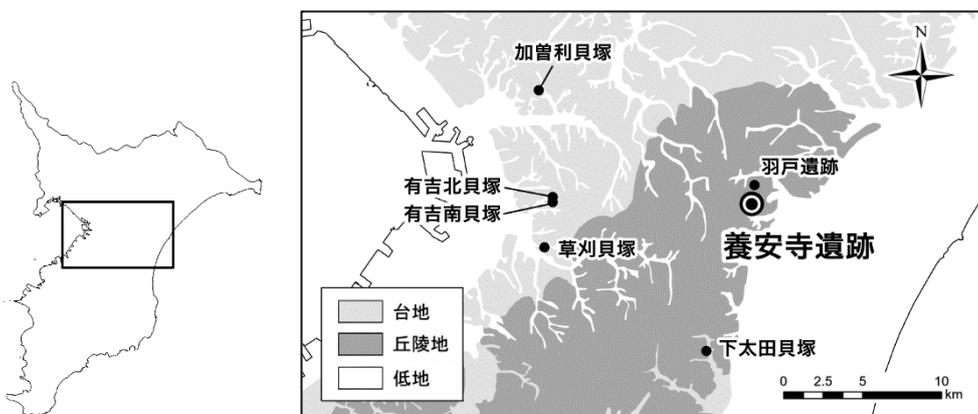


図1 養安寺遺跡の位置

2. 分析対象試料・方法

下顎骨・下顎歯と四肢骨骨端部の大きさや形状には、シカの体格差や成長過程が反映されることが知られている。そこで、各部位の肉眼観察およびデジタルノギスによる計測を行い、本遺跡から出土したシカの体格的特徴の把握を試みた。なお、分析試料は中期の貝層から出土したシカ遺体のみを対象とした。

下顎骨は、第2前臼歯の吻端側における下顎体の高さと同列の長さについて、頬側で計測を行った。四肢骨は、近位端あるいは遠位端の幅・長さ・高さを対象とし、可能なものについては最大長も記録した。併せて骨端の癒合状況を観察し、山崎（2016）の基準をもとに Score 0 ～ Score 2 の三段階に分類した。

3. 結果と考察

下顎骨における計測結果から、体格が大型のグループと小型のグループの二つに分類された。これに対して、四肢骨では同様の傾向はみられず、部位によって分布の偏りに差異がみられた。結果の一部である肩甲骨のデータを図2に示す。本遺跡では、西側に位置する東京湾沿岸部の集落と、物資の交流を行っていた可能性が指摘されている。運搬に適さない頭部がそのまま残されていたと仮定すると、それ以外の部位から特定の肉を選択して運び出していたことが、上述の相違が生じた要因のひとつとして考えられる。

四肢骨の癒合段階から得た年齢構成では、幼獣が少なく成獣が多い傾向にあった。このことから、少なくとも狙いやすい若い個体を優先的に狙った可能性は低いといえる。

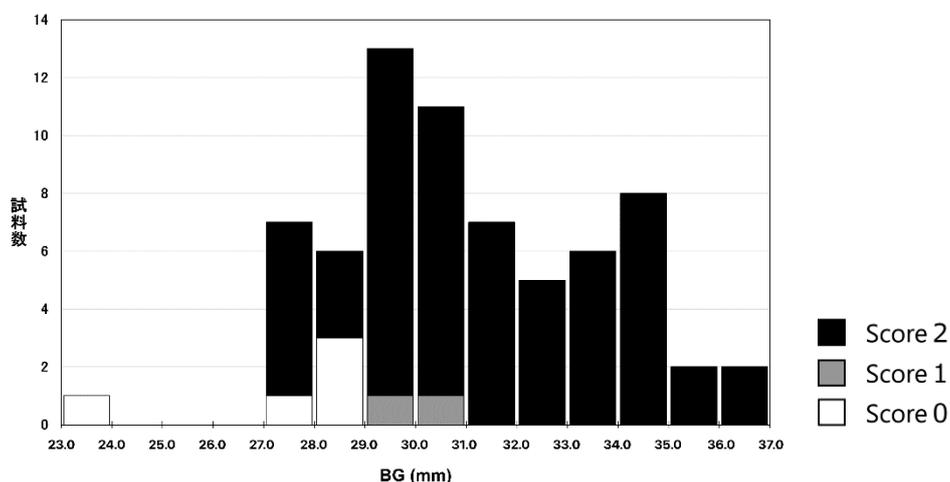


図2 肩甲骨関節窩幅 (BG) の計測値と癒合段階の分布

参考文献

- 服部智至・小川慶一郎（2017）「第6節 イノシシ・シカ」『首都圏中央連絡自動車道埋蔵文化財調査報告書 32 一東金市養安寺遺跡・大網白里市養安寺遺跡一』 624-633。
 山崎 健（2016）ニホンジカの骨端癒合時期. 動物考古学, 33号, 35-48.

低コストネットワーク型 RTK-GNSS の遺跡調査への利用

Use of low-cost RTK-GNSS for archaeological site research

○山口欧志（奈良文化財研究所）、岸田徹（同左）、金田明大（同左）

○YAMAGUCHI Hiroshi, KISHIDA Toru, KANEDA Akihiro (NABUNKEN)

1. 目的

遺跡の調査では、正確な位置情報の取得が重要である。位置情報の取得手段は、一般的にはトータルステーションに加えて GNSS の利用が普及した。しかし従来の GNSS 測量機器は導入費用および運用費用が高額であったため、地方公共団体や大学などの多くの文化財調査機関ではあまり普及が進んでいない。そこでこの課題を解決すべく廉価な高精度 GNSS の利用を進めた（金田ほか 2019）。今回は低コストネットワーク型 RTK を導入して、一層の簡便化を図った。

2. 方法

一般的にネットワーク型 RTK-GNSS 測量機器の導入費用は GNSS ((Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)の信号を受信する GNSS レシーバーが、運用費用は補正情報サービス利用料と情報通信料が大半を占める。

そこで GNSS レシーバーには廉価型 2 周波 RTK 搭載 GNSS レシーバーである Drogger DG-PRO1RWS を導入し、補正位置情報サービスには docomo IoT 高精度 GNSS 位置情報サービスを利用した。なお、GNSS 用アンテナは日本の衛星測位システム「みちびき」対応とした。



写真 1 3 級基準点の計測試験

3. 結果

まず、3 級基準点を利用して本システムの計測精度や計測時間を国土地理院の「作業規程の準則」（国土交通省国土地理院 2020）に則り試験した（写真 1）。その結果、基準点成果表の数値との違いは垂直方向で 1~2cm 程度であり、短時間に FIX 解を得ることができることから、十分に実用的であると評価した。

次に、地中レーダー探査機との接続試験を実施した。遺跡の地中レーダー探査は、地中に電

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

磁波を放出し、その反射波の様子から地中に埋もれた基壇や礎石・堀など遺構の痕跡を知ろうとするので、地中レーダー探査機器の位置情報もまた重要である。位置情報を確実に把握するためには探査と同時に正確な位置情報を取得することが理想的である。接続試験の結果、地中レーダー探査機と本システムは良好に連動し、探査中の自己位置を高精度に取得し、現在位置をリアルタイムに把握することができるようになった。また、従来方法と比較してシステムを小型軽量化することができ、地中レーダー探査の作業量の省力化を実現した。

さらにハンドヘルド型 LiDAR との接続試験を実施した。ハンドヘルド型 LiDAR は、近年車輛の運転支援や航空測量に導入されている LiDAR (Light Detection And Ranging) を利用して移動しながら広範囲に三次元計測するもので、森林内の群集墳などの計測に導入している (金田 2018)。

現状のハンドヘルド型 LiDAR の多くは、高精度な位置情報を取得する機能は内蔵していないため、計測後の処理で位置情報を追加する必要がある。また SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) という技術の特性上、環境によっては自己位置を見失い計測の成果が十分でない事例が生じる。そこで今回の低コストネットワーク型 RTK-GNSS システムをハンドヘルド型 LiDAR (Stencil2) と連動させ、これらの課題の解決を図った。その結果、LiDAR による広範囲の三次元計測と自己位置の高精度な位置情報の記録を同時に実施すること、また必要なデータ処理の一つであるループ閉合の確実性を格段に高め、全体の作業量の省力化につなげることができた。

参考文献

- 金田明大 2018 「SLAM 技術を用いた森林内遺構の迅速な計測」『第 35 回日本文化財科学会大会研究発表要旨集』 pp. 380-381
- 金田明大・山口欧志 2019 「廉価型 GPS の遺跡調査への利用」『第 36 回日本文化財科学会大会研究発表要旨集』 pp. 82-83
- 国土地理院 2020 「作業規程の準則」 (<https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/index.html>) 2022 年 7 月 1 日確認



写真2 地中レーダー探査機との接続試験



写真3 ハンドヘルド型 LiDAR 機器との接続

愛媛県平城貝塚出土縄文後期人骨 頭蓋骨形態の研究

A Morphometric Analysis of the Human Cranial Bones from the Hirajyo Shell Midden, in the Late Jomon Period, Ehime prefecture

○宇佐美礼恩（岡山理科大学）、富岡直人（同左）、松本安紀彦（愛南町教育委員会）

○Leon USAMI, Naoto Tomioka (Okayama University of Science),
Akihiko MATSUMOTO (Ainan Board of Education)

1. 経緯

愛媛県最南端に所在する愛南町平城貝塚では、縄文時代後期と推定される墓域より 14 体の人骨の出土が報告されている。筆者らは、中四国地方出土縄文時代後期人骨の比較分析を進める上で、本資料についても調査を実施する事とした。

2. 目的

山田・山本[1982]の報告した御荘町教育委員会第4次調査第1・2・3号土坑墓出土人骨（12・13・14号人骨）の頭蓋骨+上腕骨の計測値を、既報告当該時期中四国出土人骨と比較し、特徴を描出する事を目的とした。

3. 分析方法

津雲貝塚出土資料を中心に、中四国地方で縄文時代後・晩期人骨を集成した池田[1988]等の先行研究では、遺跡で比較的残存しやすい計測部分が選択されている事もあり、これを基準に分析を実施した。

4. 分析

第1号土坑墓被葬者は、出土状況は良好でなかったが、前頭骨（左側は大部分が欠損、右側は眼窩から前頭稜を残し冠状縫合まで残存）、頭頂骨（左側は大部分が欠損、右側は冠状縫合から2/3が残存）、側頭骨（左側は鱗部の頭頂縁の一部が残存し、右側は錐体が残存）、蝶形骨（トルコ鞍）、後頭骨（トルコ鞍と左側後頭顆）、下顎骨（左側はほぼ完形、右側は結合部のみ）、胸骨（胸骨柄）、頸椎（環椎を含む椎体5?点）、胸椎（椎体4点）、肋骨、鎖骨（L胸骨端の一部欠落）、肩甲骨（左側の肩甲棘関節下半分）、上腕骨（左側の骨頭と頸部を含む近位端と左側の遠位端関節端）、尺骨（右側遠位端）が出土していた。下顎骨左側の歯列はI{1:△2:△}C{△}P{1:△2:○}M{1:○2:○3:○}であった。冠状縫合と鱗状縫合は外板と内板が開放することから Schmid[1972]の基準により、30歳以下と推定された。また第3大臼歯の萌出により18歳以上、Brothwell[1989]による歯の咬耗度の分類の援用より25歳から35歳程度、鎖骨遠位端の未癒合から18歳から25歳

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

程度と判断され、総合して25歳前後と判断する事が調和的であると考えられた。前頭部の大きさは第3号土坑墓被葬者と近いが、眼窩上縁が薄く、上頭洞もあまり発達せず女性的であった。グラベラ・ブレジマは約9cmと小さかった。

第2号土坑墓被葬者の残存部位は、側頭骨(左錐体)、口蓋骨、後頭骨、頸椎(未癒合の環椎を含む)、肋骨であった。脛骨と書かれたビニール袋には別個体のヒトの脛骨とヒト以外の哺乳類骨片が入っていた。錐体の形態や、未癒合の環椎の状態と歯の萌出より4～6歳程度の幼児期と推定された。

第3号土坑墓被葬者は、頭蓋骨の乳様突起、外後頭隆起、眉弓、前頭結節、大座骨切痕の様相が女性的であり、第2大臼歯が萌出し、第3大臼歯が萌出を始めていることや、頭蓋骨の縫合が開放していること、骨端の骨化より13～15歳と推定された。右眼窩でクリブラ・オルビタリアがみられた。上顎切歯等にエナメル質減形成がみられた。

5. 結果・まとめ

頭蓋骨の再調査の結果、第4次調査出土人骨は女性2体、性別不明幼児1体が出土していた。1号土坑墓被葬者の骨格は、現在も土壌に埋もれ、顔面骨も不完全ではあるものの、図1の様に図面上で復元され、華奢な印象が指摘された。今後の検討によっては更に復元図に変更を加える必要が考えられる。

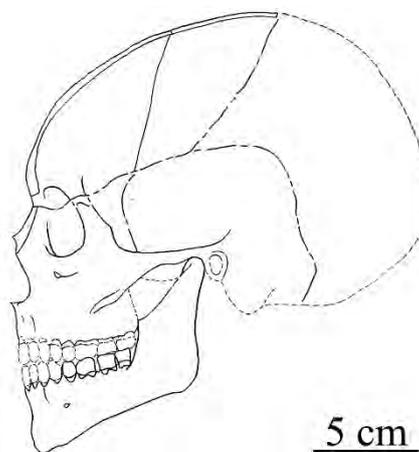


図.1 第1号土坑墓被葬者復元横断面観
(残存部分を一部左右反転し復元)

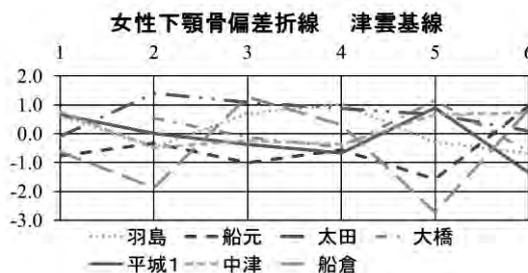


図.2 女性下顎骨偏差折線
(第1号土坑墓被葬者の計測値より作図)

文献

- Brothwell, D. R. 1981 "Digging up bones (3rd ed.)", Ithaca, NY: Cornell University Press. 208pp.
- Schmid, E. 1972 "Atlas of Animal Bones For Prehistorians", Archaeologists and Quaternary Geologists [Elsevier]

縄文後期の武蔵野台地における食生活：東京都三鷹市丸山 A 遺跡を

中心とした分子レベル炭素安定同位体分析

Dietary life on the Musashino Plateau during the Late Jomon

period: Compound specific carbon stable isotopic analysis

centered on Maruyama A site (Mitaka-shi, Tokyo)

○堀内晶子(前 国際基督教大学)、宮内信雄(東京大学総合研究博物館)、

小林謙一(中央大学)、宮田佳樹(東京大学総合研究博物館)

○Akiko HORIUCHI (ex International Christian University),

Nobuo MIYAUCHI (The University Museum, The University of Tokyo),

Kenichi KOBAYASHI (Chuo University),

Yoshiki MIYATANI (The University Museum, The University of Tokyo)

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

探査

文化財防災

文化財科学
一般

1. はじめに

東京都三鷹市丸山 A 遺跡は、神田川流域南岸の台地に位置する縄文後期の遺跡で、大規模な墓壙群、祭祀遺構、焼土遺構などを含む生活遺跡である。対岸には同時期の丸山 B 遺跡があり、舟形の木材、トチやクルミ、シカやイノシシの焼骨等が発掘されている。我々は丸山 A 遺跡から出土した 3 点の加曽利 B 式土器と 10 点の堀之内式土器胎土を分析し、そのうちの 5 点からデンプン質やセルロースなどの多糖類が加熱されると生成することが知られている levoglucosan (LG) を検出し、堅果類の調理を示唆することを報告した (1, 2)。しかし、LG の様にはっきりとしたバイオマーカーが検出できなかった試料をより明確にする為には、より具体的な分析手法が望まれていた。そこで本研究では、palmitic acid (C_{16:0}) と stearic acid (C_{18:0}) の分子レベル炭素同位体分析を行い、より鮮明な食の形を検討することにした。また、比較として同じ武蔵野台地に位置し、野川沿いの国分寺崖線に沿った武蔵野段丘面の縁に位置する縄文中期から後期にかけての三鷹市国際基督教大学 (ICU) 構内 Loc.1B 遺跡の試料を分析した。

2. 実験方法

丸山 A 遺跡試料は同一性を確保するため、2015 年に報告した同じ 3 点の加曽利 B 式土器と 10 点の堀之内式土器試料を用いて、既に確立されている酸抽出法 (Correa-Ascencio, 2014, Papakosta, 2015) を改変して有機物を抽出し、ガスクロマトグラフ燃焼炉付炭素安定同位体比質量分析法 (GC-

C-IRMS) を使って、palmitic acid・stearic acid の分子レベル炭素同位体分析を行った。また、ICU Loc.1B の試料は加曽利 E 式土器と堀之内式土器の胎土、計 60 点を、既に確立されている総脂肪酸分析法 (Evershed, 2014) を用いて有機物を土器から抽出し、脂肪酸を含む酸性画分を同様に GC-C-IRMS を使って分析した。

3. 結果と考察

測定結果を図 1 に示す。丸山 A 遺跡の 13 点のうち、12 点から十分量の脂肪酸を得ることができ、分子レベル炭素同位体測定を行うことができた。一方 ICU Loc.1B の試料は、残留有機物の抽出力が弱い総脂肪酸分析法を用いたため、60 点のうち、加曽利 E 式土器と堀之内式土器各 3 点ずつ、計 6 点しか GC-C-IRMS 測定ができなかった。両遺跡とも加曽利 B・E 式、堀之内式など土器型式毎の特徴は認められなかった。図 1 は、殆どの試料がイノシシなどの非反芻動物と海棲動物周辺に位置することを示している。つまり、魚や海獣などの海棲動物から、イノシシやシカなどの陸獣類、LG を含むため、植物など、様々な食材を煮炊きしていたと推定される。また、ICU Loc.1B は丸山 A 遺跡の広がり範囲内に位置しているので、二つの遺跡はほぼ同様の食生活を営んでいたと考えられるが、丸山 A の方が幅広く分布していることから、食材の多様性を示唆しており、より豊かな食生活が営まれていたと推測される。しかし Loc.1B は解析できた件数が少なかった為、分析数を増やして再検討する必要がある。なお、LG を含むデンプン質は脂肪酸量が少ない為、本分析結果には直接影響を及ぼしていないと思われる。さらに他の武蔵野台地に位置する遺跡土器や付着炭化物を分析することによって、縄文時代のより鮮やかな食の営みを描きたいと考えている。

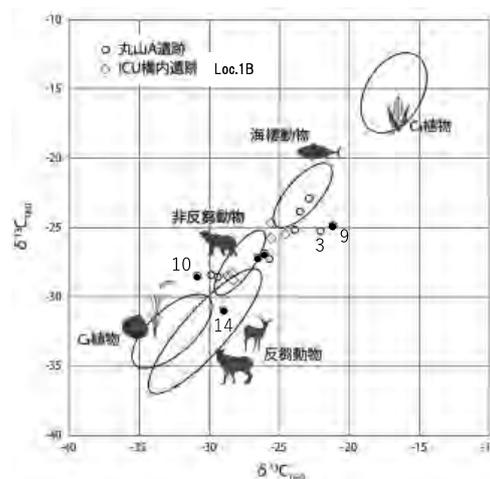


図 1. Palmitic acid (C_{16:0})と stearic acid(C_{18:0})の物質特異的炭素安定同位体比の分析結果 (1)
● : LGが検出された試料

参考文献

- 丸山 B 遺跡 東京都三鷹市井の頭丸山 B 遺跡における埋蔵文化財発掘、石井八洲、三鷹市教育委員会、三鷹市遺跡調査会 2015
- 松尾彩花、篠原香奈子、堀内晶子、宮田佳樹、川辺に住んでいた縄文人の食生活を垣間見る：東京都三鷹市丸山 A 遺跡の有機残存物分析、日本文化財科学会第 3 2 回大会研究は票要旨集、2015

謝辞：ICU Loc.1B、丸山 A 遺跡の試料を提供頂いた ICU の林徹、Richard Wilson 両氏と、三鷹市教育委員会の下原裕司氏、三鷹市埋蔵文化財調査室、そして一部の試料の測定をする機会を与えて下さった The Organic Geochemistry Unit, the School of Chemistry, University of Bristol, UK に感謝いたします。本発表は、文科省 科研費補助金 令和元-3 年度 挑戦的研究(萌芽)「高精度年代測定法の開発と適用可能な考古・歴史資料の拡大」(研究代表者 小林謙一：19K21654)、および、令和 2-6 年度 学術変革領域研究 (A)「土器の年代と使用法の化学的解明」(研究代表者 國木田大：20H05813) の成果の一部である。

X線CTによる北海道千歳市ウサクマイA遺跡出土蕨手刀の構造解析 Structural analysis by X-ray CT of a Warabitetō excavated from Usakumai A Site, Chitose City

○大江克己^{*1}、直江康雄^{*2}、和田由希絵^{*2}、茅原明日香^{*2}

(^{*1} 国立アイヌ民族博物館、^{*2} 千歳市埋蔵文化財センター)

○Katsuki OE^{*1}、Yasuo NAOE^{*2}、Yukie WADA^{*2}、Asuka CHIHARA^{*2}

(^{*1} National Ainu Museum、^{*2} Chitose Buried Cultural Property Center)

1. はじめに

蕨手刀は7~9世紀頃に生産された早蕨状の柄頭を有する鉄刀で、松浦武四郎の『撥雲余興』第2集に記載の「南都東大寺黒装蕨手刀」が名称の初現と言われている。東北地方に多く出土し、北海道では8~9世紀頃のもの石狩低地帯やオホーツク海沿岸等で発見されている。北海道出土の蕨手刀は本州との交易で入手した威信財とみられ、中でも、ウサクマイA遺跡出土蕨手刀は刀と鞘が共に残る稀有な品である。先行研究では茎の型式検討¹や出土状況の様子²から、8世紀後半の時期に帰属すると推測されている。

国立アイヌ民族博物館(以下、当館)では、断層画像を含む三次元データの取得や活用法の検討を目的にX線CT(以下、CT)の調査事例の集積を進めている。ウサクマイA遺跡出土蕨手刀(以下、本品)の当館での展示借用に伴い、CTによる構造解析を実施したので報告する。



図1 北海道千歳市ウサクマイA遺跡出土蕨手刀(千歳市指定有形文化財)

2. 形状概観

刀部³ 刀身と柄を一体で作る共鉄造りである。切先から関に向けて幅広となり関で最大幅となる。関から茎尻に向かうにつれて幅を減少させ茎先端を蕨手状に造り出す。全長は約560mm。刀身部は長さ約420mm・幅約36mm・厚さ約9mm、茎は長さ約140mm・幅(くびれ部分)約25mm・厚さ約7mmとなる。鉄製鐔は一部欠損するが小判形とみられる。

鞘部³ 鞘口から鞘尻に向かうにつれて幅を減少させる。全長約440mm、幅約53mm・厚さ約20mmを測る。鞘口に鉄製足金具(上部は欠損、環のみ残存)を有し、加えて責金具も付属する。本体は当初木製であったとみられるが、刀等の腐食の影響で錆化した状態で残っている。

3. 使用装置、測定条件

使用装置 当館設置のCT(コメットテクノロジーズ・ジャパン社製 Y. CT Modular)を使用した。

測定条件 本品は腐食の影響で本体密度が低下した状態と推測する。鮮明な断層画像を得るため、当館のCTで調査例のあるイコ(宝刀)の条件を基に、X線管球と検出器間の距離(以下、FDD)を調節し拡大率や空間分解能を調整した。使用した測定条件は次の通りである。管球: ミニフォーカス、電圧: 320kV、電流: 2.0mA、プロジェクション数: 900、インテグレーションタイム: 400m/s、資料位置: 300mm、FDD: 1600mm、フィルター: A1 0.5mm、拡大率: 2.96倍、空間分解能: 0.14mm、画像解析: VOLUME GRAPHICS社製 VGstudioMAX3.3。



図2 装置外観

4. 調査結果

刀部 図3上より、切先や中央等に過去の保存処理で補填した箇所、連結強化のためとみられる針金状補填材が確認できる。図4右にて茎を観察すると、腐食の下部から本来形状が観察で

ポスター
発表

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

き、柄縁には金具も残ることが確認できた。茎先端の蕨手状の柄頭には円形金具があり、図4左をみると、柄頭中央の孔を通し表裏から挟み取り付ける様子が観察できた。

鞆部 図3下より、鞆中央等に過去の保存処理で補填した箇所、連結強化のためとみられる針金状補填材が確認できた。鞆口の鉄製足金具は上部が欠損しているが、図5右・左上から上部に台状の金具痕が観察でき、台状双脚足金具であったと推測する。また、図5左上を観察すると、欠損部には白く映る高密度箇所が確認できる。鉄よりもX線が透過しづらい物質を接着材とし、台状板と環を連結して足金具を製作した痕跡が観察できる。

5. CTによる他の調査例との比較

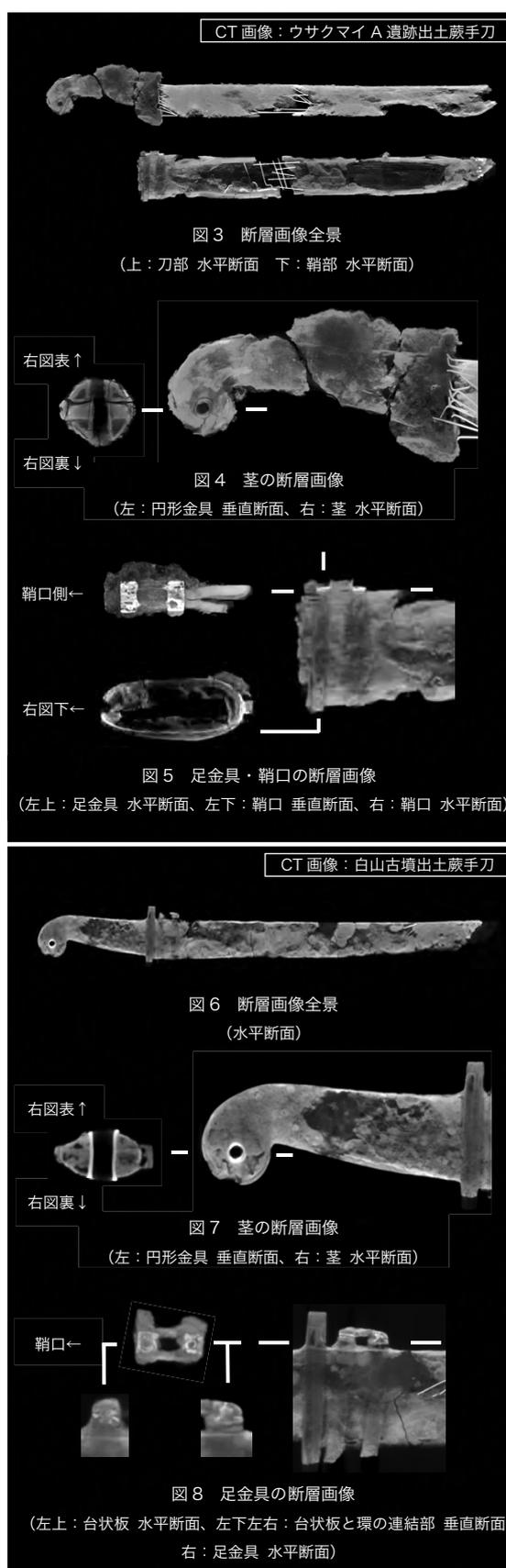
CTによる蕨手刀の調査例として、群馬県白山古墳出土蕨手刀(全景：図6 時期：7世紀末～8世紀前葉)がある^(4・5)。茎と足金具の断層画像をみると、図7左の茎先端の蕨手状柄頭の円形金具内部は密であり、図8左の鉄製台状双脚足金具は台状板と環に柄を付けて鑢付けしている。本品の同箇所と構造は異なり製作技術に違いがある。製作時期や製作地、工人集団など、構造差の所以は複数の可能性が考えられるが、現状は定かではない。CTによる調査例の集積や比較検討は、蕨手刀の製作技術を考える上での新規情報を得ることができた。また、北海道への流入背景の考察に資する情報にもなると期待できる。

6. まとめ

CTによるウサクマイ A 遺跡出土蕨手刀の構造解析を行った。腐食下部の茎の本来形状や柄縁の金具を確認し、茎先端の円形金具の連結構造を捉え、足金具は欠損部の観察から台状双脚足金具と推測した。白山古墳出土蕨手刀と断層画像を比較し、円形金具の構造や足金具の台状板と環の連結構造の違いを確認した。CTによる構造解析や画像比較から、蕨手刀の製作技術に関する新規情報を得た。

【注】1) 八木光則 1996「蕨手刀の変遷と性格」『考古学の諸相』坂詰秀一先生還暦記念会 2) 黒沢和彦 2018『蕨手刀の考古学』同成社 3) 便宜的に刀の方を刀部、鞆の方を鞆部と呼称 4) 諫早直人・大江克己・金宇大・降幡順子・山口欧志・吉澤悟 2019「群馬県白山古墳出土品の研究2」『鹿園雑集』第21号 奈良国立博物館 5) 上記4)よりCT画像抜粋

【※】国立アイヌ民族博物館令和3年度研究プロジェクト基幹研究 A「アイヌ民族資料の科学的保存に関する基礎研究」(2021A05)の成果を含む。



中世地変痕跡と断層活動履歴の文化財科学的研究
 —京都盆地北部西縁断層帯を例に—

中塚良(公益財団法人向日市埋蔵文化財センター)・辻本裕也(株式会社古生態研究所)

Cultural properties Investigation for Physical Dislocation
 on Medieval Sites and Faults Activity History
 - Case in Northwestern Marginal Active Fault zone of Kyoto Basin-

NAKATSUKA, Ryo (Muko City Archaeological center) / TSUJIMOTO, Yuuya (Paleoecological Research Institute Co., Ltd.)

近年、京都盆地北部西縁断層帯の東辺を構成する檜原断層が撓曲変位をあたえる高位段丘面において、地震活動性の地変現象に関わり形成されたとみられる中世遺構群が検出された。長岡京跡右京第1207次・五塚原古墳第10次の近接するふたつの調査地点においてである(中塚, 2020; 梅本ほか, 2020)。いずれも高位段丘層準(大阪層群上部・海成粘土Ma6・9間: 推定堆積面)以深の第四紀堆積物が格段に厚く、基盤岩深度-200~-250mT.P. に伏在する谷状地形縁辺の同一の地質・地形条件にある(図2)。右京第1207次では、圧縮・衝上運動にともない高位段丘層が東への撓曲斜面と逆傾斜で断裂的に変位し、上位に形成された凹面を埋める盛土と、盛土面において15世紀代土器資料をともなう土坑状遺構が確認された(図1)。盛土・土坑の炭質物の14C年代は各636±22・563±21BP、京都の中世土器型式編年観に整合する傾向を示す暦年較正年代の下限年代値が各1396・1358calADをしめす。

一方、高位段丘の堆積面頂部に位置する五塚原古墳第10次では、竪穴式石槨において伸展性の応力によるとみられる変形によって陥没坑が形成され、坑底への中世土師器の埋置と埋め立てを施す遺構が検出された。14C年代は土器直近の炭質物が568±22BP、暦年下限値1360calADをしめた。

右京第1207次・五塚原古墳第10次の各遺構が地盤の変形・変位といった地変とその復旧過程にかかわる痕跡とみた場合、当該期(1358・1360・1396calAD)に該当する歴史地震として「正平15(1360)年東南海地震」および「正平16(1361)年南海地震」を抽出しうる(『理科年表』)。連続するトラフ型津波地震に相当するとみられるが、これらに先だち文保元(1317)年の14世紀前半以降、前震活動と推察される京都・近江ほか内陸を中心とする地変記録を複数確認しうる。今回の推定地変痕跡群が、遺跡深層の基盤地形条件(図2)によって誘因されるトラフ型地震動の増幅、強震動化によって形成されたか、あるいは、京都盆地北部西縁断層の未知の断層活動に起因するものか、内陸盆地における14世紀代の地震履歴の実態を追究しうる事例について、周辺調査成果をもふまえ検討したい。

ポスター発表

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

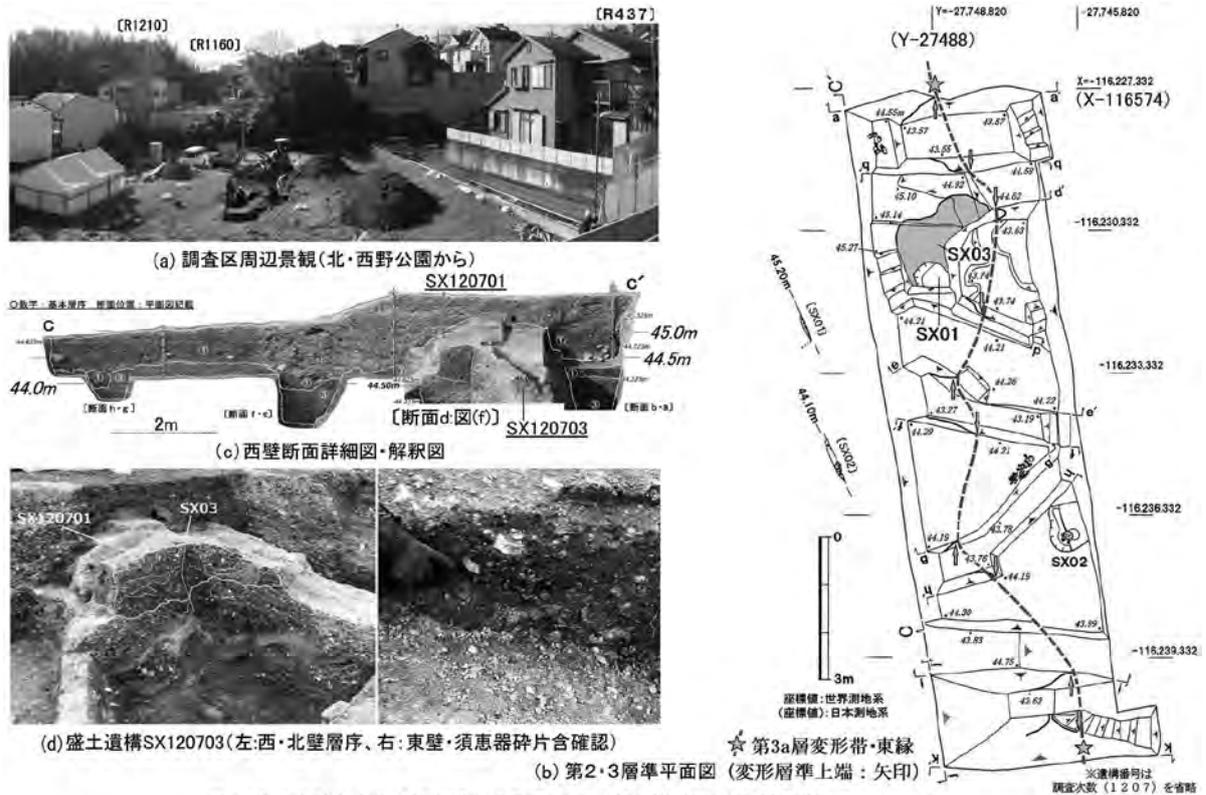
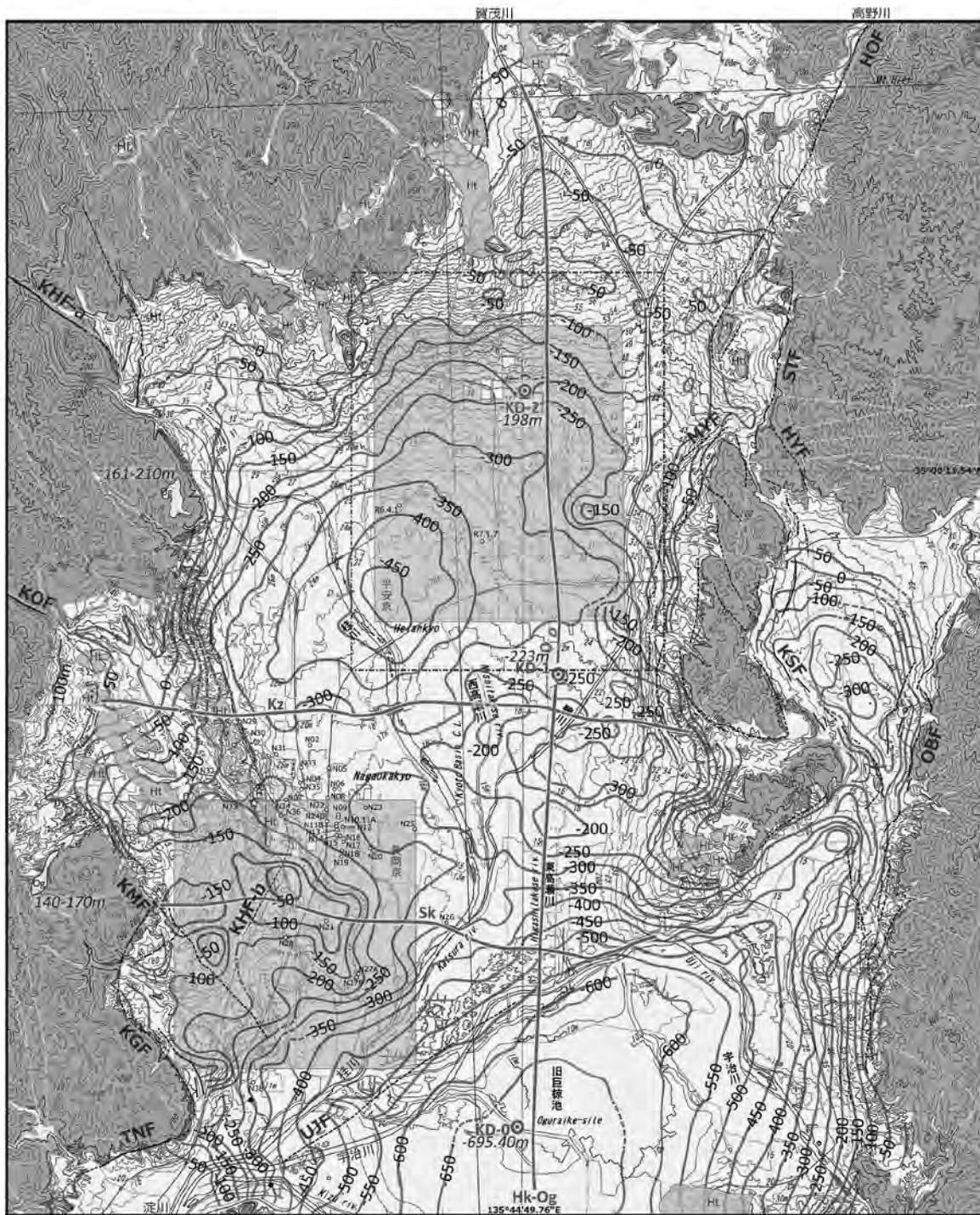


図1 長岡京跡右京第1207次調査成果図(中塚, 2020『年報都城』32調整)



右京第1207次
五塚原古墳第10次 (調査地位置)
高位段丘: Ht 大阪層群下部: Og
丘陵~低地(第四紀層)
都城遺跡

活断層・断層名コード
重力・反射法探査にとづく
基盤岩深度等高線 T.Pm
反射法探査測線・ボーリング調査地点KD
(京都市2003)

基盤岩(破線:地質断層) 【凡例】 白○:地震液状化痕跡ほか
輸出地点 (中塚1997)

平安京条坊復元図範囲
(古代学協会・古代学研究所編, 1994)

活断層名 [盆地東縁(HOF:花折断層 STF:鹿ヶ谷断層 MYF:桃山断層
HYF:花山断層 KSF:勤修寺断層 OBF:黄檗断層)
盆地西縁(KHF:櫻原断層* KOF:龜岡断層 NHFs:長岡宮北辺断層群
KMF:光明寺断層 KGF:金ヶ原断層)
盆地北部南縁(TNF:天王山断層 UJF:宇治川断層)]
* KHF-a・b:国土地理院,産総研の各断層分布図による。

中塚・釜井(2011)地形条件図と(財)京都市防災協会・京都市編(2003)資料を合成編集。

図2 京都盆地北部基盤岩深度・活断層分布図、調査地位置図