

ポスター発表

Poster Presentations

重要文化財堀家住宅部材の年代調査

Dating Pillars and Beams in the Hori Residence, An Important Cultural Property, Nara Prefecture

○中尾七重（山形大学）、箱崎真隆（国立歴史民俗博物館）、
鈴木あるの（京都橋大学）、坂本稔（国立歴史民俗博物館、総研大）

○Nakao Nanae (Yamagata Univ.), Hakozaki Masataka (National Museum of Japan History), Suzuki Arno (Kyoto Tachibana Univ.), Sakamoto Minoru (National Museum of Japan History, Sokendai)

1. 重要文化財堀家住宅について

奈良県五條市西吉野町（旧和田村）^{あ の う}賀名生の重要文化財堀家住宅は後醍醐天皇ゆかりの中世民家である。1996～1998年に文化財保存修理工事が行われ、江戸初期の姿に復原整備された。放射性炭素(¹⁴C)年代調査法と酸素同位体(¹⁸O)比年代法を用いて堀家住宅の復元研究を行った。

2. 堀家部材の年代調査

小屋裏保存非再用部材等の AMS 測定(山形大学高感度加速器質量分析センター)・解析(国立歴史民俗博物館解析ソフト RHC)を行った(表1)。また堀13は $\delta^{18}O$ 測定(国立歴史民俗博物館)を行い、クロスデーティングの結果、最外年輪の暦年代 AD1518年が得られた(図1)。この結果は¹⁴C測定による年代と整合する。以上より、堀家部材はI期(天文頃16世紀前半)、II期(室町末16世紀末期)、III期(江戸前期17世紀前半)の3つの年代に分類された。

表1 堀家¹⁴C測定データ

部材番号	部材名 番付	木取 樹種	年輪位置 (最外層を1)	測定番号	¹⁴ C年代 (yrBP±σ)	校正年代 calAD	ピーク値 (calAD)	建物変遷
堀1 NRGHR-1	天井貫 に三	芯持材 マツ	1-5	YU-10015	323±20	1499-1605 (75.0%)	1633	II
			9-13	YU-10016	335±20	1619-1643 (20.5%)	1527	
堀2 NRGHR-2	梁 ぬ又三〜ぬ七	芯持材 マツ	1-5	YU-10017	359±20	1478-1528 (60.4%)	1512	I 庫裏
			10-14	YU-10018	356±20	1593-1634 (35.0%)	1618	
			26-29	YU-10019	362±20			
堀3 NRGHR-3	天井貫 に七〜へ七	四ツ割材 辺材あり マツ	1-5	YU-12912	331±20	1547-1577 (95.4%)	1564	II
			16-20	YU-12913	252±20			
			24-28	YU-12914	277±20			
堀4 NRGHR-4	桁 は七	芯持材 マツ	1-5	YU-10023	333±20	1487-1535 (36.4%)	1626	III
			9-13	YU-10024	349±20	1558-1641 (59.1%)	1523	
堀5/NRGHR-5	棟束/又へ	芯持瓜割 マツ	1-5	YU-10025	326±20	1530-1644 (75.8%) 1651-1682 (19.6%)	—	III
堀6/NRGHR-6	柱/へ三	ヒノキ	1	YU-10026	324±20	1533-1645 (75.9%) 1655-1685 (19.6%)	—	II or III
堀9 NRGHR-9	柱 ち七	芯持材 ヒノキ	1-5	YU-10031	310±20	1523-1601 (72.5%) 1627-1649 (24.9%)	1538 1642	I 庫裏
			8-12	YU-10032	303±20			
			16-20	YU-10033	341±20			
堀10 NRGHR-10	小屋裏柱 へ四	四ツ割材 ヒノキ	1-5	YU-12915	313±20	1560-1592 (95.5%)	1571	II
			21-25	YU-12916	267±20			
			39-43	YU-12917	271±20			
堀11 NRGHR-11	柱 は四	四ツ割材 ヒノキ	1-5	YU-12918	269±20	1530-1561 (30.6%) 1638-1663 (64.8%)	1550 1649	II
			21-25	YU-12919	317±20			
			54-58	YU-12920	363±20			
堀7 NRGHR-7	柱 へ四 南面	ヒノキ	1	YU-10027	334±20	1528-1647 (75.6%) 1649-1681 (19.8%)	—	—
堀12 NRGHR-12	柱 へ四 東面		1-5	YU-12921	280±20	1534-1570 (47.5%)	1550	II
			12-16	YU-12922	282±20	1636-1662 (47.9%)	1649	
堀13 NRGHR-13	根継柱 ほ四	芯持材 ヒノキ	1	YU-13511	364±20	1503-1522 (95.4%)	1513	I 二階建
			21	YU-13512	368±20			
			35	YU-13513	347±20			
			50	YU-13514	395±20			
			69	YU-13515	450±20			

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 建物の変遷—建築調査

堀家住宅の二階柱と扱き柱(コキバシラ)と胴梁仕口の痕跡から、堀家住宅は、①扱き柱を用いた前身二階建て建物 A と妻入りの前身庫裏建物 B、②胴梁を用いた当初二階建て建物 C、③扱き柱・二階柱を切り縮めた平屋建て茅葺建物 D、の 3 回の変遷が推定された。

4. 屋敷地の変遷—発掘調査

文化財保存修復工事に付帯した発掘調査の結果、屋敷地および建物の変遷が判明した。

I 期：前身屋敷地、二階建て前身建物。前身建物の一部が焼失。II 期：火災後に 30 cm の盛土・整地・屋敷地西側拡大、当初建物。III 期：江戸時代前期に屋敷地南側拡大、長屋門建設。

5. 堀家住宅の変遷

建物変遷と屋敷地変遷と部材年代の対応から、【I 期：天文頃 16 世紀前半、建物 A・建物 B】、【II 期：室町末 16 世紀末期、建物 C】、【III 期：江戸初期 17 世紀前期、建物 D】となる。

I 期の建物 A は丹生川に面した景観を浄土庭園に見立てた庭園建築と考えられる。I 期の建物 B は堀家北側にあった^{けぞういんくり}華蔵院庫裏建物と考えられる。火災後、II 期に屋敷地が拡大され、前身建物 A の柱材と前身庫裏建物 B の土間部材を再利用して二階建て建物 C が建築された。III 期に和田村が幕領編入(1618 年)され、茅葺入母屋平屋建て民家建物 D に改造された。

以上、発掘調査情報、建築調査情報、年代調査情報を総合し、堀家住宅の変遷を解明した。

謝辞 (公財) 松井角平記念財団、重要文化財堀家住宅堀丈太様、名古屋大学中塚武先生、李貞先生、(公財) 重文民家の集い、阿部和建築文化研究所安井妙子先生に感謝申し上げます。

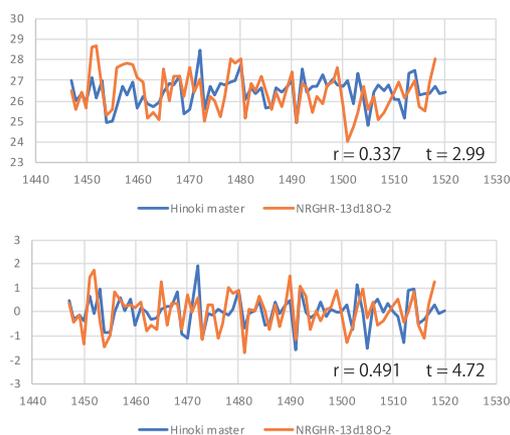


図 1 中部・近畿版標準年輪曲線と束柱根継ほ四南面のクロスデーティング結果(上：生データ、下：5 年移動平均残差)

図 1：堀 13/束柱根継ほ四の酸素同位体比年輪年代測定結果

箱崎真隆・坂本稔・李貞・中塚武・中尾七重

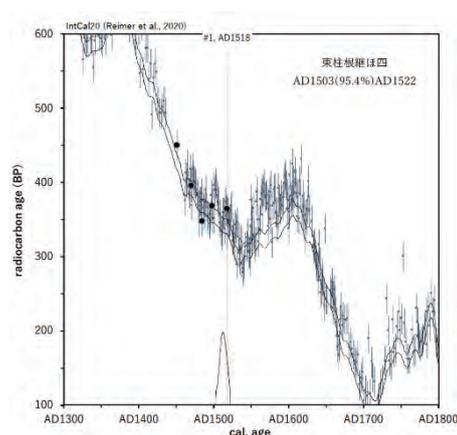


図 2：堀 13/束柱根継ほ四の年輪年代に合わせた単年輪の放射性炭素年代と、日本産樹木年輪の放射性炭素年代との比較

坂本稔・箱崎真隆・中尾七重

古代メソポタミア都市遺跡を飲み込む砂丘列の移動を解明する

: 三日月型砂丘の年代測定と風向解析から見てきた予察的考察

Elucidating migration of dunes rows swallowing

a Mesopotamian ancient city: Preliminary insights

from Dating and Wind Direction Analysis of Barchan dune

○下岡順直 (立正大)・Jaafar Jotheri (Al-Qadisiyah University)・安間 了 (徳島大)

中川清隆 (立正大)・長島秀樹 (立正大)・平田英隆 (立正大)

○SHITAOKA Yorinao (Rissho Univ.), Jaafar Jotheri (Al-Qadisiyah Univ.),

ANMA Ryo (Tokushima Univ.), NAKAGAWA Kiyotaka (Rissho Univ.),

NAGASHIMA Hideki (Rissho Univ.), HIRATA Hidetaka (Rissho Univ.)

1. はじめに

ウム・アル・アカリブ (Umm Al-Aqarib) の古代メソポタミア都市遺跡 (31° 36' 38.3" N, 45° 56' 10.9" E) は、イラクのディカール (Dhi-Qar) 県アルリファイイ (Alrifaiy) から西へ 15 km、ジョカ (Jokha) の南東 6 km の半砂漠地帯に位置する (以下、遺跡と記述する)。この遺跡は、紀元前三千年紀頃の重要な古代都市とされる (Almamori 2016 など)。遺跡の敷地は 5 km² 以上あり、広大な敷地の多くは現在砂丘に覆われている。これは、当該地域気候の乾燥化に伴い、遺跡が砂丘に侵食されて飲み込まれたためとされている。

この砂丘は航空写真より三ヶ月型砂丘 (バルハン) であり、砂丘列はその形状から北西から南東の方向に移動している。今回、遺跡から 100~200 m ほど北西に位置する 3 つのバルハンにおいて、風上側 (2ヶ所) と風下側 (1ヶ所) で砂丘堆積物を採取し、ルミネッセンス法を用いてその堆積年代を推定した。また、ECMWF が提供するデータセット ERA5 の再解析データ (Hersbach *et al.* 2020) から遺跡最寄りの格子点 (31.50° N, 46.00° E) の過去 42 年間 (1979~2020) の地点データ (1 時間間隔) を抽出し、風向・風速について解析を行った。そして、バルハンの移動 (飛砂量) に関与する風系について検討した。

2. 砂丘堆積物のルミネッセンス年代測定

試料調製では、砂丘堆積物から粒径 100 μm 程度の石英を抽出した。これを光ルミネッセンス (OSL) 測定したところ、年代測定 (線量評価) に用いる OSL 信号の fast component が観察できず、OSL 年代測定は難しいことがわかった。そこで、光ブリーチされない熱ルミネッセンス (TL) 信号 (残存 TL) を差し引くことで堆積年代を求める残存 TL 差し引き法 (下岡ほか

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

2008)で蓄積線量を見積もった。TLの検出波長は、380～550 nm(半値幅)とした。残存TLは、人工太陽システムを用いて8時間露光し、人為的ゼロリセット後にTL測定して評価した。年間線量は、砂丘堆積物に含まれる放射性同位元素(U、Th、K)濃度から見積もった。

TL測定の結果、3つのバルハンともに風上側の一部と風下側の試料では、抽出した石英のTL強度は残存TL強度と同じ、もしくは小さく、蓄積線量はほぼ0 Gyであった。このことから、バルハンは現在も活発に動いていることがわかった。ただし、3つのバルハンとも風上側の1ヶ所ずつにおいて、蓄積線量が0.23～0.31 Gyと見積もられた。年代に換算すると、140～170年前になる。TL測定がmultiple grain法によるので粒子ごとのTLのばらつきを考慮する必要があるものの、試料のゼロリセットが不完全であったか、得られた年代の時期に砂の移動速度が今よりも少しゆっくりだったものが溜まったのか、もしくは砂丘形成に意義ある年代を示している可能性もある。遺跡周辺の別地点で砂丘堆積物を採取して、さらに検証を試みたい。

3. 風向・風速の解析結果

近年42年間の当該地域の風向と風速を解析し、それぞれ頻度分布を作成した(図1)。その結果、1時間風向は305～310°が最多風向(第1ピーク)となり、第2ピークの風向は125～130°となった。前者が北西風に相当し、バルハンの形状形成に最も起因している。また、最多の時間平均風速は3.5 m/sであり、最大時間平均風速は14.8 m/sであった。風向・風速の解析結果に基づき、バルハンの飛砂量を数値シミュレーションした。いくつかの変数について推定値を用いているものの、バルハンの移動は3日間で約60 mとなった。長島(1991)で記載されている数値モデルでは、バルハンの移動は8日間で約20～30 mとなった。タクラマカン砂漠の観測例によると、高さ1 m程度で年間50 m程度移動であった(長島1991より引用)。飛砂量は風速や砂の粒径、砂丘高などの変数に因るものの、バルハンは1週間程度で少なくとも数十m移動可能であり、バルハンは容易に遺跡を横断して超えていく可能性が高いことがわかった。現在でも遺跡の風下側に大きな砂丘が航空写真で確認できることから、飛砂量の数値シミュレーションが大きく的外れしていないといえるだろう。

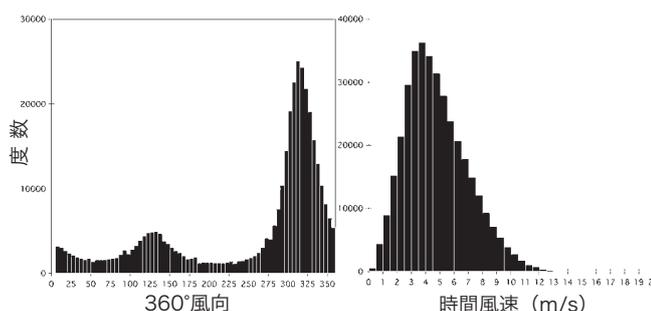


図1 42年間の1時間風向(左)と風速(右)の頻度

4. まとめ

Umm Al-Aqaribの遺跡周辺にあるバルハンは、ルミネッセンス年代測定結果から現在も活発に動いている。バルハンの移動には、風系の解析より風速3.5 m/sの北西風が最も起因している。そして、飛砂量の大まかな数値シミュレーションより、バルハンは容易に遺跡を横断して超えていく可能性が高いことがわかった。今回のデータは、遺跡の埋没過程を考える手がかりになるとともに、半砂漠地帯にある遺跡保護の方策を考える検討材料の一つにもなるだろう。

日本産樹木年輪の単年輪 ¹⁴C 測定—AD1600~1800

Annual radiocarbon dating of Japanese tree rings – from AD1600 to 1800

○坂本稔 (国立歴史民俗博物館・総合研究大学院大学),
中塚武 (名古屋大学), 門叶冬樹 (山形大学)

○Minoru SAKAMOTO (National Museum of Japanese History, The Graduate University for Advanced Studies), Takeshi Nakatsuka (Nagoya University), Fuyuki TOKANAI (Yamagata University)

1. はじめに

2020年に改訂された較正曲線 IntCal20¹には、複数の日本産樹木年輪の炭素14年代²が初めて採用された(図1)。較正曲線の整備には樹木年輪の測定が欠かせず、酸素同位体比年輪年代法³で年代の確定した年輪のデータが初めて採用されたことも画期的である。ただし、今回採用された日本産樹木年輪の多くは5年輪を1試料とした測定値である。宇宙線イベントを検出した Miyake⁴らの研究を受け、同様のイベント検出などを目的とした単年輪の¹⁴C測定の例が急増し、IntCal20にも多数採用された。結果として較正曲線の形状がIntCal13から見直された時期もあり、その微細構造や地域効果を議論するためにも、単年輪¹⁴C測定の蓄積が急がれる。

2015年の文化財科学学会大会で報告した伊勢神宮神域倒木スギ(以下、倒木スギ)の樹木年輪は、測定結果に不安定さが見られたこともあり、IntCal20に採用されなかった。その中には単

年輪¹⁴C測定を実施した16世紀後半のデータも含まれる。そこで改めて、17~18世紀について単年輪¹⁴C測定を実施し、その挙動を検討した。

2. 試料と測定

試料は歴博で、1mm程度の厚さに切り出した年輪を塩素漂白する板状抽出法により年輪セルロースを得、1年輪ずつガラスバイアルに分取した。セルロースから1mg程度のグラファイト炭素を得る操作、およびAMS-¹⁴C測定は山形大学高感度加速器質量分析センターで実施した。

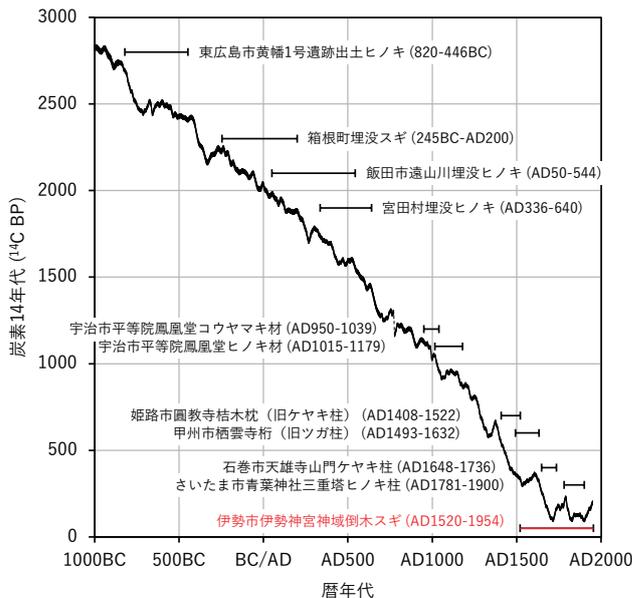


図1 IntCal20に採用された日本産樹木年輪の範囲
(伊勢神宮神域倒木スギを除く)

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 結果と考察

図2に、既報値を含む倒木スギの単年輪¹⁴C測定結果をIntCal20上に重ねて示す。背景は既報の5年輪ないし3年輪の炭素14年代で、誤差棒の縦は測定誤差(1 σ)、横は年輪数を表す。当該期、IntCal20はIntCal13に比べ若干(10炭素年前後)古く改訂されているが、倒木スギの炭素14年代は引き続き古い方

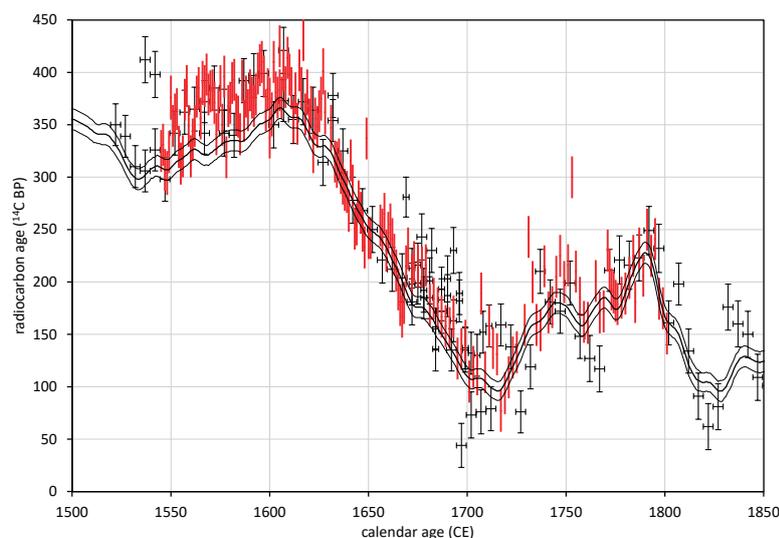


図2 倒木スギの単年輪炭素14年代とIntCal20との比較

向にずれている(図3)。このずれはアジアモンスーンの影響を受けた日本列島周辺への南半球的大気の進入と理解される。

16世紀後半から17世紀にかけて、倒木スギの炭素14年代には細かな周期的変動が見られる。この変動は大気圏上層における¹⁴C生成に関わる宇宙線強度が、太陽活動の周期的な変動を受けたものと考えられるが、17世紀は太陽活動が低下する時期(マウンダー極小期)でもあり、慎重な解釈が求められる。

IntCal20はBayesian splineにより平滑化されていて、太陽活動の周期に代表されるような微細な¹⁴C濃度の変動は再現されていない。しかしながら、少ない年輪数しか持たない木材の炭素14-ウィグルマッチ法による年代測定では、このような微細構造との合致が期待できる。単年輪¹⁴C測定が進展し、微細構造をもつ較正曲線が提案されれば、20~30年輪程度の試料でもマッチングが可能になると思われる。また、日本列島における較正曲線の地域効果を議論し、より確からしい較正年代を得るためにも、日本産樹木年輪の単年輪¹⁴C測定の継続が必要である。

本研究はJSPS科研費JP18H03594の助成を受けている。試料調製には国立歴史民俗博物館の箱崎真隆博士、山本里絵技術補佐員の助力を得た。記して謝意を表す。

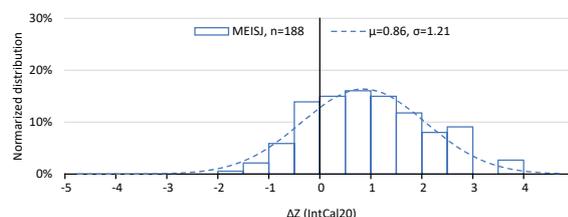


図3 倒木スギの単年輪炭素14年代とIntCal20を比較した ΔZ 値(差分を誤差二乗和の平方根で除した値)のヒストグラム。破線は最小二乗法による正規分布への近似。

¹ Reimer, P. J. et al., *Radiocarbon*, **62**, 725-757 (2020)

² Sakamoto et al., *Radiocarbon*, **45**, 81-89 (2003); Ozaki et al., *Radiocarbon*, **49**, 473-479 (2007); Sakamoto, M. et al., *Radiocarbon*, **59**, 1907-1917 (2017)

³ Nakatsuka, T. et al., *Climate of the Past*, **16**, 2153-2172 (2020)

⁴ Miyake, F. et al., *Nature* **486**, 240-242 (2012)

関東地方における弥生時代の穀類利用の年代研究（2）

Dating research of use of cereals from sites of Yayoi period in the Kanto region (2)

○國木田大（北海道大学）、佐々木由香（明治大学黒耀石研究センター）、山下優介（東京大学）、稲田健一（ひたちなか市埋蔵文化財調査センター）、設楽博己（東京大学）

○Dai KUNIKITA (Hokkaido University), Yuka SASAKI (Meiji University, Center for Obsidian and Lithic Studies), Yusuke YAMASHITA (The University of Tokyo), Kenichi INADA (Hitachinaka City Buried Cultural Property Research Center), Hiromi SHITARA (The University of Tokyo)

1. 研究の背景

本研究では、関東地方における農耕文化の定着時期の把握を目的とし、遺跡出土炭化種実の放射性炭素年代測定を行った。近年、土器種実圧痕と炭化種実の検討が進み、これまで弥生時代の畑作物として評価されてきたオオムギやコムギ等のムギ類は、土器種実圧痕としてはほぼ確認されないことが判明した。そこで筆者らは、穀類利用の確実な年代を議論するために、土壌水洗で得られた弥生時代と推定される穀類（イネ・ムギ類・アワ・キビ・ヒエ）の年代測定を進めてきた。青森県八戸市八幡遺跡では、イネは想定通り弥生時代の年代であったが、ムギ類、アワ・キビ・ヒエの雑穀は、古代以降の後世の混入であることを確認した（國木田ほか 2021）。昨年度の日本文化財科学学会では、東京都板橋区西台後藤田遺跡、四葉地区遺跡から出土した弥生時代後期～古墳時代初頭の炭化種実（イネ・コムギ・オオムギ）の年代測定を実施したが、ムギ類は中世末および近世以降の結果であった（國木田ほか 2020）。本発表では、昨年度に引き続き、茨城県ひたちなか市鷹ノ巣遺跡、半分山遺跡、武田石高遺跡出土の炭化種実の放射性炭素年代測定を実施し、関東地方における弥生および古墳時代の穀類利用の年代を検討した。

2. 分析試料

本要旨での分析試料は、鷹ノ巣遺跡第 35・47・55 号住居（弥生時代後期：ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社 2013）、半分山遺跡第 32 号住居（6 世紀：ひたちなか市文化・スポーツ振興公社 2005）、武田石高遺跡第 7・102 号住居（古墳時代中期・後期：ひたちなか市文化・スポーツ振興公社ほか 1999）から出土した炭化種実である。鷹ノ巣遺跡ではイネ 3 点、コムギ 1 点、オオムギ 3 点の計 7 点、半分山遺跡ではコムギ 1 点、武田石高遺跡ではイネ 1 点、コムギ 1 点、オオムギ 1 点の計 3 点の放射性炭素年代測定を実施した。試料は全て炭化しており、各 1 点で測定を行っている。年代測定は、東京大学総合研究博物館で実施した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 測定結果と考察

本測定結果を図1に示した。鷹ノ巣遺跡第35・55号住居出土のイネ2点が弥生時代後期の年代（ 1910 ± 22 BP・65-210 cal AD・ 2σ 、 1908 ± 21 BP・70-209 cal AD・ 2σ ）であったが、それ以外の5点は近世以降の年代であり、後世の試料が弥生時代の遺構覆土に混入したことが判明した。武田石高遺跡第102号住居出土のイネとコムギ（ 1614 ± 21 BP・415-538 cal AD・ 2σ 、 1560 ± 21 BP・433-567 cal AD・ 2σ ）は古墳時代中期の年代（5世紀代～6世紀前半）であった。半分山遺跡第32号住居出土のコムギと武田石高遺跡第7号住居出土のオオムギは近世以降の年代が得られた。今回の武田石高遺跡の年代は、関東地方におけるコムギ炭化種子の年代値としては最古になる。これまでに東日本を中心とした弥生時代のムギ類の年代測定を進めているが、いまだに弥生時代にさかのぼるデータは得られていない。今後は、弥生時代とあわせて古墳時代以降の資料も分析を実施し、穀類利用の実態解明を目指したい。

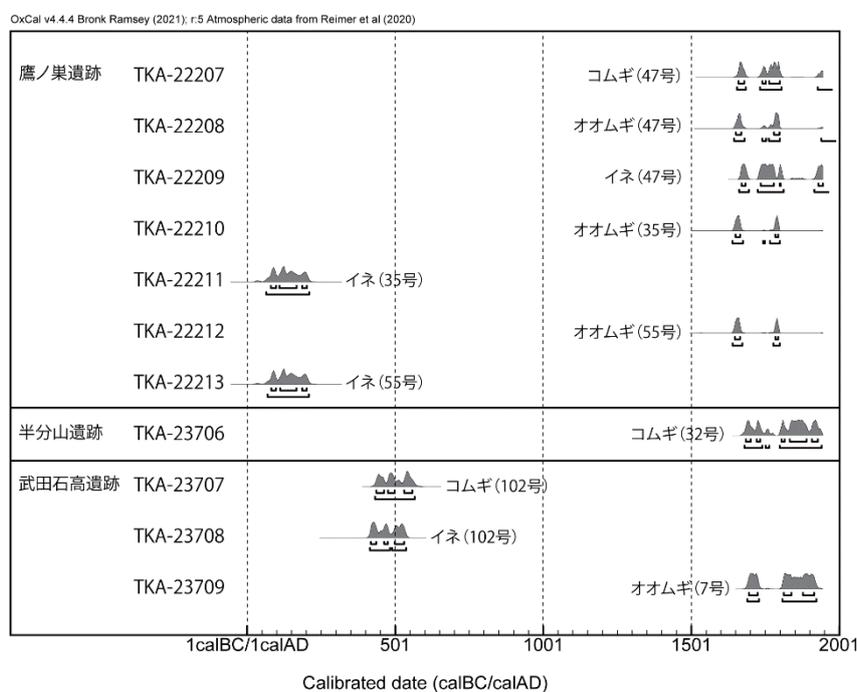


図1 鷹ノ巣遺跡、半分山遺跡、武田石高遺跡の炭化種実の暦年較正年代値

謝辞

試料採取に際して、ひたちなか市埋蔵文化財調査センター、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 2020 『日本文化財科学会第37回大会要旨集』 100-101

國木田大ほか 2021 『日本考古学』 52, 59-73

ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社 2013 『鷹ノ巣Ⅱ—第2・3次調査の成果—』

ひたちなか市文化・スポーツ振興公社 2005 『船窪遺跡』

ひたちなか市文化・スポーツ振興公社ほか 1999 『武田石高遺跡 古墳時代編』

酸素同位体比年輪年代法と炭素 14 年代法による

福井城跡出土木材の高精度年代決定

Accurate dating of the excavated woods from Fukui Castle Site by oxygen isotopic dendrochronology and carbon-14 dating

○箱崎真隆（国立歴史民俗博物館）、秋山綾子（福井県教育庁）、
木村勝彦（福島大学共生システム理工学類）、
李貞、中塚武（名古屋大学大学院環境学研究科）

○Masataka HAKOZAKI (National Museum of Japanese History),
Ayako AKIYAMA (Fukui Prefecture, Board of Education),

Katsuhiko KIMURA (Fukushima University, Faculty of Symbiotic Systems Science),

Zhen LI, Takeshi NAKATSUKA (Nagoya University, Graduate School of Environmental Studies)

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

1. はじめに

福井城跡では鉄道工事に伴って発掘調査が実施され、武家屋敷地であった調査区 15-5 では、部分的に掘られたトレンチの泥炭層から複数の倒木が検出された。本研究では、これらのうち 5 点の広葉樹材について、酸素同位体比年輪年代法と炭素 14 年代法による年代決定を試みた。

2. 方法

試料から 1 mm 厚の薄板を切り出し「板ごとセルロース抽出法 (Kagawa et al. 2015)」に従ってセルロース板を作成した。セルロースを 1 年輪単位で切り出し、銀箔梱包を施して、名古屋大学の熱分解元素分析計-同位体比質量分析計によって酸素同位体比を測定した。酸素同位体比時系列データを年代既知の日本海側版標準年輪曲線 (木村ほか 2014 および未発表データ) と照合し、年輪年代を決定した。

試料の最外 5 年輪または 10 年輪を切り出し、炭素 14 年代測定試料とした。測定は (株) パレオ・ラボに依頼し、AMS 法によって炭素 14 年代を得た。OxCal4.4 (Bronk Ramsey 2009) を使用して、IntCal20 (Reimer et al. 2020) に基づき較正年代を得た。

3. 結果と考察

各試料の酸素同位体比データを日本海側版標準年輪曲線とクロスデーティングした結果、最

外年輪の暦年代は紀元前 1593～1530 年と決定した（表 1、図 1）。AMS 法による炭素 14 年代測定と IntCal20 に基づく較正の結果、各試料の最外年輪から 1628-1518 cal BC～1607-1450 cal BC の較正年代が示され、年輪年代と整合した（表 1）。

年輪幅に基づく従来の年輪年代法では、ヒノキとスギで過去 3000 年間の年代決定が可能であったが、それ以外の樹種では縄文時代の木材に年代が与えられなかった。酸素同位体比年輪年代法の発展により、そのような木材にも誤差のない暦年代を与えることが可能となった。

4. 謝辞

国立歴史民俗博物館山本里絵氏、岡奈穂美氏には試料の前処理に尽力頂いた。本調査は JSPS 科研費 17H06118、18H00744、19K21654、20H00035 の成果の一部である。

引用文献

Bronk Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.

Kagawa A. et al. 2015. An optimized method for stable isotope analysis of tree rings by extracting cellulose directly from cross-sectional laths, *Chemical Geology*, 393-394, 16-25.

木村勝彦ほか. 2014. BC2300 年に達する年輪酸素同位体比物差しの構築と三瓶スギ埋没林の暦年代決定, 日本植生史学会大会第 29 回公演要旨集, 32.

Reimer PJ. et al. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725-757.

表1 福井城跡調査区15-5出土木材年代調査試料の概要

年代試料番号	遺構	遺物番号	樹種	樹皮	総年輪数	辺材年数	$\delta^{13}C$ 値 (vs 標準年輪曲線)	最内年輪年代 (BC)	最外年輪年代 (BC)	炭素14年代 (1 σ , BP)	較正年代 (2 σ , cal BC)
FKFJ001	TR1(155-45)	w1	クワ属	-	69	-	5.04	1604	1536	3266 \pm 20	1611-1458
FKFJ006	下層確認TR5	w4	トネリコ属	-	86	-	8.08	1615	1530	3254 \pm 20	1607-1450
FKFJ009	下層確認TR6	w1	オニグルミ	-	50	-	3.47	1607	1558	3283 \pm 21	1612-1504
FKFJ010	下層確認TR6	w2	ツバキ属	+	148	14	3.72	1740	1593	3322 \pm 20	1628-1518
FKFJ011	下層確認TR7	w1	トネリコ属	-	67	-	3.49	1599	1533	3301 \pm 20	1616-1516

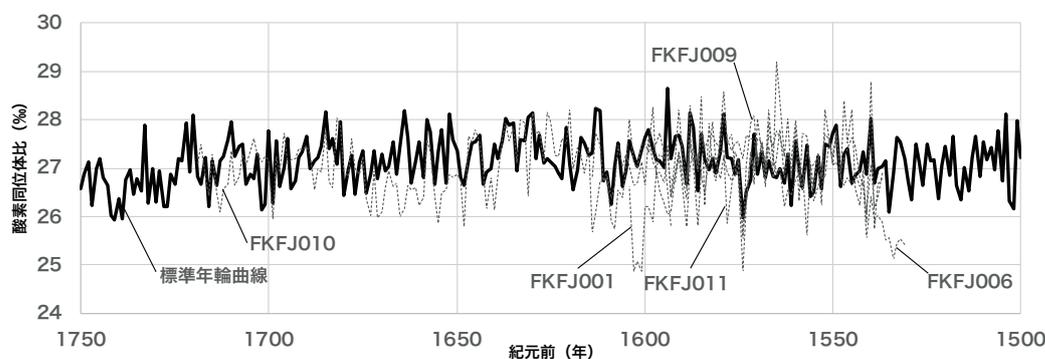


図1 福井城跡調査区 15-5 出土木材の酸素同位体比年輪年代解析結果

帯磁率測定による地層対比と旧石器包含層の年代決定

Dating of Paleolithic Cultural Layer based on Magnetic Susceptibility Stratigraphy

○上峯篤史 (南山大学)、村瀬早紀 (同左)、村井咲月 (同左)、岡 智康 (南山大学大学院)

○Atsushi UEMINE, Saki MURASE, Satsuki MURAI (Nanzan University),

Tomoyasu OKA (Graduate School of Nanzan University)

1. 研究の目的

考古資料の年代的な位置や文化様相の先後関係の判断において、層位学的方法が時に決定的な役割を果たす。テフラ層や古土壌帯を鍵層に、離れた遺跡・地点間で無層理のローム層を層序対比する方法は、関東地方のみならず他地域でも応用されている(柳田 2015 等)。他方、鍵層となるテフラ層の欠落やテフラの再堆積、土壌化による拡散が、しばしば石器群の年代決定を困難にする。近年、丹後半島北縁部で発見された上野遺跡の石器群も同じ課題の只中にあるが、幸いにしてテフラの降灰と再堆積に由来する帯磁率の層序変化が明瞭に把握できた(上峯 2020)。本研究では、関連する複数の地点で帯磁率の層序変化を調べて地層を対比する方法(星ほか 2003)に則って、この旧石器包含層の層序学的位置を定めることを目指す。

2. 研究の対象と方法

京丹後市の日本海沿岸には丹後半島の北縁をなぞるように海成段丘がひろがり、丹後町上野は、下末吉面に対比される中位段丘の模式地として知られる(植村 1981)。中新統の安山岩を海成の礫層や砂層が覆い、その上位に載るローム層に挟まれて DKP(大山倉吉軽石; 60ka)や AT(始良 Tn 火山灰; 30ka)が記載されている(石田ほか 2019)。近年、バイパス道新設に先立つ発掘調査において、ローム層中から旧石器が出土した。演者ら南山大学上峯研究室も隣接地で学術発掘を続けていて、同層準から旧石器を見いだしている。これら旧石器出土地点の西方約 50m の地点(京埋セ深掘地点)で火山灰分析が実施されて DKP や AT が記載されているが(京都府埋蔵文化財調査研究センター2020)、演者らの観察では、旧石器出土地点付近は削平が著しく、AT 層はおろか黒ボク土さえも視認できない。一方、遺跡西方の小谷をこえると、バイパス道工事で切断された丘陵部先端(丘陵部露頭)で、テフラをまじえるローム層と黒ボク土の堆積が確認できる。これを模式層序とし、京埋セ深掘地点および旧石器出土地点の堆積物を対比して、旧石器の出土層準の年代を推定する。

丘陵部露頭で単層として見いだされた二つの火山灰層から試料を採取し、京都フィッション・トラック社に同定を委託した。試料は同社の標準的な工程で処理され、全鉍物組成分析、重鉍物分析、火山ガラスの形態分類、火山ガラスと鉍物の屈折率測定が実施された。

丘陵部露頭および旧石器出土地点(演者らの発掘調査区北西隅)で、堆積物の帯磁率測定用試料を採集した。夏原技研製 7cc ポリカーボネート製キューブをなるべく間隙がないように打ち込み、堆積物の連続試料を得た。京埋セ深掘地点については、5cm 間隔で採取した試料(上峯 2020)を再測定した。測定の方法および分析値を求める手順は、既研究(上峯 2020)と同じである。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

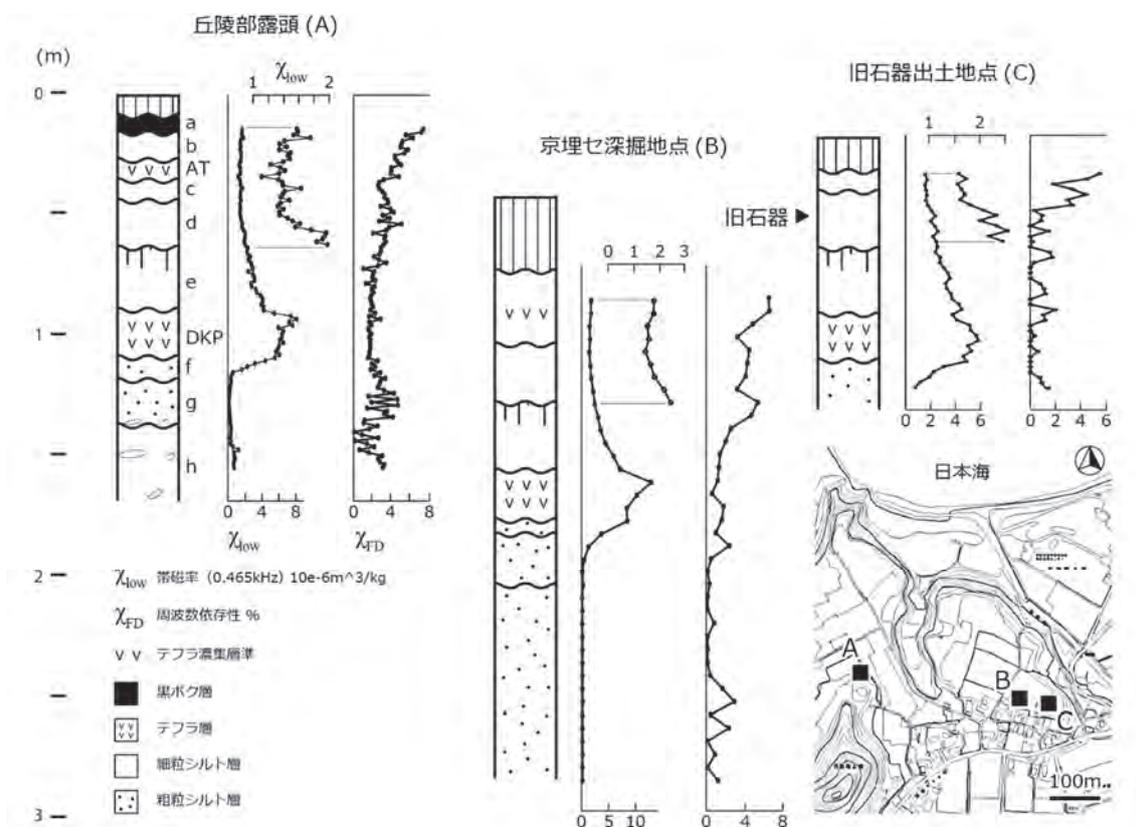


図 京都府京丹後市上野の層序と帯磁率(地図は国土地理院地図・空中写真閲覧サービスから改変して転載)

3. 研究の結果

丘陵部露頭で採取したテフラ試料のうち、下位の試料は軽石質テフラが粘土化したものと推定され、DKPに特定された。少量残存した火山ガラスの屈折率は $n=1.5036-1.5092$ (最頻値 1.507)、鉍物の屈折率は斜方輝石で $\gamma=1.701-1.708$ (最頻値 1.704)、普通角閃石で $n_2=1.677-1.685$ (最頻値 1.681)を示した。上位の試料はATに特定された。バブル・ウォール型火山ガラスを主とし、火山ガラスの屈折率は $n=1.4967-1.5008$ (最頻値 1.499)、直方輝石は $\gamma=1.729-1.735$ となる高屈折率の鉄シノ輝石をふくむ。この試料中にはDSs(大山笹ヶ平火山灰; 29ka)由来の鉍物が混在していると考えられた。

丘陵部露頭では、下位テフラ(DKP)で帯磁率が著しく高くなり、テフラ層上部でピークを取ったあと上位にむけて指数関数的に帯磁率が低下した。上位テフラ(AT)付近では、帯磁率と周波数依存性が上昇傾向に転じることがわかった。これらの傾向は、京埋セ深掘地点でも明瞭で、両地点の対比は比較的容易である。一方で旧石器出土地点では上位テフラに相当する堆積物がないが、旧石器出土層準付近は、帯磁率が低下、周波数依存性が横ばい傾向にあることから、丘陵部露頭のd層に対比される。

引用文献

- 石田志朗ほか 2019 「京都府、丹後半島の海成段丘堆積物」『地球科学』73, pp.195-204。
 植村善博 1981 「丹後半島の海岸段丘」『地表空間の組織』, pp.430-437。
 上峯篤史 2020 「京都府京丹後市上野遺跡における堆積物の帯磁率測定」『京都府埋蔵文化財情報』137, pp.1-4。
 京都府埋蔵文化財調査研究センター 2020 「上野遺跡第3次調査」丹後古代の里資料館配付資料。
 星 博幸ほか 2003 「陸上に露出する無層理堆積物の初磁化率(帯磁率)による対比」『地質学雑誌』109(12), pp.697-709。
 柳田俊雄 2015 『日本列島の東北地方と九州地方における後期旧石器時代石器群編年と比較研究』仙台共同印刷。

加速器質量分析法による鉄器類の放射性炭素年代測定

Radiocarbon dating of iron artifacts with accelerator mass spectrometry

○中村俊夫 (名古屋大学)、江藤孝一 (江藤刀研ぎ商店)、藤本隆雄 (STG 日本刀研究所)、
山田哲也 (元興寺文化財研究所)、南 雅代 (名古屋大学)

○Toshio NAKAMURA (Nagoya University), Koichi ETO (Eto Sword Refreshing),
Takao FUJIMOTO (Stichting Institute for Japanese Sword Craft), Tetsuya YAMADA (Gangoji Institute for
Research of Japanese Property), Masayo MINAMI (Nagoya University)

1. はじめに

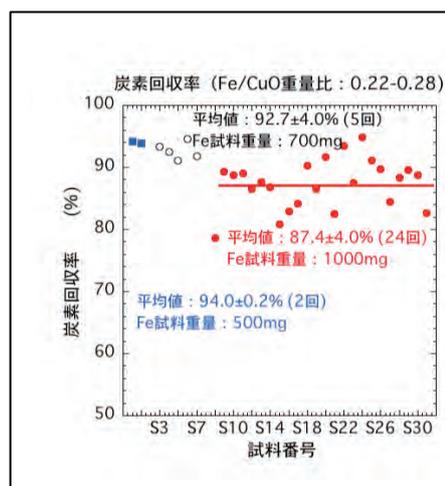
古代の鉄製品の製作年代は、鉄中に残存する、製鉄や精錬に用いられた木炭起源の炭素についての放射性炭素 (^{14}C) 年代測定の結果から推定される。古代の製鉄は、砂鉄や鉄鉱石などの酸化鉄を、木炭の燃焼により高温にして、 C や CO により、鉄に結合している酸素を分離して還元する方法で行われた。製鉄では、たくさん木炭を消費することから、炭焼きにより作られた木炭はほとんど直ぐに使用される。従って、古代の鉄製品中に残っている炭素は、製鉄や鉄製品を製作する際に用いられた木炭の残留物と考えられ、残留炭素を抽出し、 ^{14}C 年代測定を行うことで製鉄や鉄製品製作が行われた時期を推定することが出来る。

これまで、鉄中炭素の抽出方法について検討を進めてきた。現在検討中の方法は、石英管封管燃焼法による金属鉄中の炭素の抽出法 (Huls et al. 2004; Cook et al. 2001) である。また、古代遺跡で遺物として発掘されることが多いサビた鉄製品から抽出される炭素を用いて鉄製品の作成年代を推定する可能性に注目して、鉄サビから炭素を抽出するために、これまでに開発してきた方法を適用することを検討する。

2. 金属鉄からの炭素抽出の実験

炭素含有量が既知の金属鉄標準体を用いて、様々な条件下で炭素の回収率を調べてきた。これまでの実験からの結論として、石英管を用いる鉄中炭素抽出の最良の条件は、助燃剤 CuO の量を鉄試料の 10 倍程度用いて、 1000°C で 15 時間加熱することであった。しかし鉄試料の炭素含有率が低いために、1 [g] の試料を燃焼する必要がある場合には、 CuO が 10 [g] も必要になるが、現在の石英管の内容積では、1 [g] の鉄試料に加えて 10 [g] の CuO を詰め込む余裕はない。そこで、 CuO を標準鉄 Fe-030-7 (炭素含有率: 0.196) の 4 倍、すなわち、それ

ぞれを 4 [g] と 1 [g] 用いて (試料鉄と CuO の重量比を 0.25 に固定)、炭素抽出を 24 回繰り返し行った。その結果を、別条件の場合の結果と合わせて、図 1 に示す。図 1 の結果から、 CuO の量が最大で 4 [g] の時には、(1) 鉄試料の量が増えると、炭素回収率が悪くなること、(2) 同じ条件で 24 回の繰り返しでは、炭素回収率がかなりばらつくこと (80%~95%; 平均値: 87%) が明らかとなった。 ^{14}C 年代測



ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

定例が十分とはいえないが、炭素収率が良くない場合でも、 ^{14}C 年代に大きな影響はない。そこで、年代が未知の古代鉄の試料についても、 CuO の量を $4[\text{g}]$ を標準として用いることとした。

3. 日本刀から分取された鉄試料の ^{14}C 年代測定

日本刀の研ぎの過程で残された、削り状の金属鉄の数百ミリグラムを提供された。これらの ^{14}C 年代と日本刀に刻まれた文字の内容や形状から鑑定・推定された日本刀の製作年代と比較した。

提供された試料の数は 4 個である。これらの試料に、ETO-101～ETO-104 の番号を付けた。日本刀から削り取った鉄試料につき、アセトンを用いて超音波洗浄器で 3 時間断続的に洗浄した。次に室温で、0.24 規定塩酸を用いて 3 分間処理した。塩酸に浸すと鉄試料表面から泡が発生した。蒸留水でよくすすいで塩酸分を完全に除去し、 80°C で一晩乾燥した。鉄試料からの二酸化炭素抽出は石英管に封管して二酸化炭素を抽出した（中村ほか 2015）。生成された二酸化炭素は水素還元法によりグラフアイトに変えた。その炭素同位体組成 ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比) を名古屋大学に設置してあるタンデムロン加速器質量分析装置を用いて測定した。測定結果を表 1 に示す。

表 1 日本刀の ^{14}C 年代測定結果

試料番号	鉄試料の量(mg)	回収炭素量(mg)	炭素含有率(%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C age (yr BP)
ETO-101	356.76	0.88	0.16	-30.6	1714±73
ETO-102	557.38	2.53	0.45	-24.8	431±31
ETO-103	412.93	2.29	0.56	-28.6	612±38
ETO-104	628.72	1.11	0.18	-32.1	922±32

4. 錆びた鉄試料からの炭素抽出

錆びた鉄試料は、インドのデカン大学所蔵の巨石文化期の鉄金属器の分割試料につき榎原考古学研究所を介して入手したものである。今回は、4 個の錆びた釘試料につき、炭素抽出実験を行った。いずれの試料も、磁石に反応した。実際、試料を小片に分割した際に、金属鉄が試料内部に残存することが確認できた。錆びた鉄試料につき、アセトンを用いて超音波洗浄器で 3 時間断続的に洗浄した。その後、日本刀試料と同様に、水酸化ナトリウム水溶液、塩酸溶液を用いて洗浄処理を行った。酸化銅は、ほぼ $4[\text{g}]$ を用いたが、鉄の燃焼に用いた石英管がほぼ満杯になった。表 2 に CO_2 調製の結果を示す。錆びた鉄試料の炭素含有率は、金属鉄試料と同程度であることがわかった。

表 1 日本刀の ^{14}C 年代測定結果

試料番号	鉄試料の量(mg)	回収炭素量(mg)	炭素含有率(%)
Ind-Fe-1	1214.45	2.71	0.22
Ind-Fe-5	1226.74	5.72	0.47
Ind-Fe-6	1858.81	5.24	0.28
Ind-Fe-9	1181.21	4.36	0.37

5. まとめ

日本刀については、較正年代と日本刀の型式による鑑定は、検討の結果大きくはずれていないことがわかったが、日本刀は文化財であることから、年代が正確に決定されている日本刀の試料を得ることは難しい。錆び鉄試料については、 ^{14}C 年代測定を早く実施する計画である。

付着炭化物による京都大学総合博物館所蔵

中国青銅器の放射性炭素年代測定

Radiocarbon dating of a Chinese Bronze ware possessed by The Kyoto University Museum using charred adhesion

○横山 操 (京都大学大学院農学研究科・京都大学総合博物館)、
坂本 稔 (国立歴史民俗博物館)、村上由美子 (京都大学総合博物館)
○Misao YOKOYAMA (Graduate School of Agriculture, Kyoto University),
Minoru SAKAMOTO (National Museum of Japanese History),
Yumiko MURAKAMI (Kyoto University Museum)

1. 緒言

京都大学総合博物館所蔵の弦文鬲に付着した炭化物について、放射性炭素年代を行った。青銅器の年代測定は基本的に困難であるが、京都大学総合博物館所蔵の弦文鬲（登録番号 3412）の器面には使用に伴って付着したと思われる炭化物（煤）が残されており、この付着炭化物について放射性炭素年代測定を実施したところ、中国青銅器時代初頭、3600 年前～3800 年前の年代が得られた。当該弦文鬲は、京都大学文学部博物館考古学資料目録第 3 部（1963）によれば、濱田耕作将来の資料で、殷代中期のものとされる。測定に供した付着炭化物はごく微量であるため、本分析結果はあくまでも参考値となすべきではあるが、炭化物の付着を確認できれば青銅器資料についても年代測定の可能性があることを示す一事例として報告する。

2. 調査方法

当該資料の保存処理を実施するため、京都大学総合博物館から、(公財)元興寺文化財研究所に資料を移動した。薬剤処理を行う前の段階で（2019 年 10 月 28 日）、同研究所の研究員・植田直見氏らの立会いのもと、坂本が青銅器表面から付着炭化物を採取した。付着炭化物は 14mg であった。前処理および加速器質量分析計による炭素 14 年代測定(AMS-14C 法)を(株)地球科学研究所を経由して米 Beta Analytic 社に依頼した。ところが試料が微量だったために一般的な前処理である酸・アルカリ・酸処理を施すことができず、酸洗浄のみ行い測定に供された。

3. 結果

測定結果を表 1 に示す。記号は坂本による試料番号、機関番号は測定期間が付したもので、

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

BetaはBeta Analytic社の測定であることを表す。炭素14年代は試料中の炭素14濃度に相当し、その半減期を5,568年と仮定して計算したモデル年代である。較正年代は得られた炭素14年代を示しうる暦上の年代を確率密度で示したもので、較正曲線IntCal20 [Reimer et al. 2020]に基づき、較正プログラムOxCal v4.4.2 [Bronk Ramsey 2009]で計算された。確率密度分布をIntCal20上に配したグラフを図1に示す。5年刻みの較正年代は、表1に上限と下限の範囲を、図1のグラフ中に詳細を示す。

$\delta^{13}\text{C}$ 値は炭素の安定同位体である ^{13}C と ^{12}C の比に相当し、一般的な陸上植物の場合、-25%前後の値を示す。Beta Analytic社は $\delta^{13}\text{C}$ 値を安定同位体比質量分析計で測定した。

表1：測定試料と測定結果

記号	種類	機関番号	^{14}C 年代 (^{14}C BP)	較正年代の範囲 (cal BC)	$\delta^{13}\text{C}$ 値 (‰)
KUM3412-1	炭化物	Beta-579318	3442±24	1870-1850 (1 σ) 1880-1640 (2 σ)	-20.33

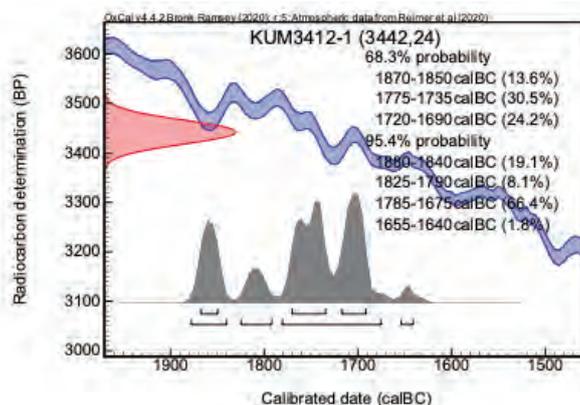


図1：較正年代の確率密度分布

4. 結言

博物館資料の数値年代を獲得することを目的として放射性炭素年代測定を実施した。京都大学総合博物館所蔵の弦文鬲は、考古学資料目録に記載される殷代中期と矛盾のない年代を得た。前述のように、本分析では、一般的な前処理が施すことができず汚染除去が十分でない可能性がある。また、付着炭化物がどのような物質に由来するものであるのか、使用環境下あるいは埋没環境に由来するのかなど、どのタイミングで付着した炭化物であるのかについては、慎重な議論を行なう必要がある。しかしながら、炭化物の付着を確認できれば青銅器資料についても放射性炭素年代測定の可能性があるものとして、今後検討を重ねたいと考えている。

5. 謝辞

本研究は科研費（挑戦的研究(萌芽)19K21650）の助成を受けたものである。

ベトナム中部の考古遺物を用いた考古地磁気学に関する予察的研究

Preliminary study of archaeomagnetism

using archaeological materials from central Vietnam

○北原優 (岡山理科大学)、山形真理子 (立教大学)、畠山唯達 (岡山理科大学)

○Yu Kitahara (Okayama University of Science),

Mariko Yamagata (Rikkyo University), Tadahiro Hatakeyama (Okayama University of Science)

1. はじめに

考古地磁気学とは、被熱した考古試料に記録された磁気的情報(熱残留磁化)に基づき、試料が最終焼成された年代や被熱状況を推定する考古学的な分析手法のひとつである。磁鉄鉱や赤鉄鉱に代表される強磁性鉱物を含む土壌や土製品などは、それらが被熱した際に周囲の地球磁場の方位や強度を記録する性質を持つことが知られている。また地球磁場は、地球深部に位置する溶融鉄を主成分とする外核で、その深度方向に存在する熱化学的勾配を動因として対流することによって生成されるため、さまざまな時間スケールにおいて複雑かつ不規則な変動を示すことが知られている。この中でも人類史スケールの(1年から数千年の周期を持つ)変動は地磁気永年変化と呼ばれている。従って、さまざまな年代の被熱遺物を採取して被熱当時の地球磁場を実験的に復元し、年代ごとにデータを集成して地球磁場の変動モデル(考古地磁気永年変化曲線)を構築すれば、年代が未確定の被熱遺物の年代値を考察するためのひとつの指標として活用することができる。

2. 東南アジアにおける考古地磁気学

東南アジアにおける考古地磁気学に関しては、これまでに日本の大阪大谷大学が主導して実施したカンボジアのクナ・ポー窯跡群とバ・コン窯跡群における研究成果、およびドイツのブレーメン大学の主導によるベトナムのゴー・オー・チュア遺跡における研究成果が報告されているが、これらはすべて考古地磁気方位に関するデータであり、強度に関するデータは未だ皆無である。

3. 本研究の概要

本研究では上記の現状を踏まえ、東南アジア、とくにベトナムの考古遺物を用いた考古地磁気強度研究を実施する上での基礎的知見を得ることを目的として、ベトナム中部・トゥーボン川流域に位置するゴーカム遺跡から出土した瓦片1試料(00GC)、およびホアジェム遺跡から出土した土器片3試料(10HD1K15M1chum, 10HD1K15M2, 10HD1P15O15M11)からそれぞれ1個ずつ試片を切り出し、綱川-ショー法による考古地磁気強度の予察的実験を行った。実験は、岡山理科大学・フロンティア理工学研究所の全自動交流消磁装置付きスピナー磁力計・熱消磁炉・低温

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

消磁装置を用いて実施した。

実験の結果として得られた綱川ーショー法のグラフ（代表例を図 1-a,b に示す）を見ると、実験中の試片の化学的変質が少なく ARM0-ARM1 グラフ（加熱前後の残留磁化の性質の変化を観察するためのグラフ）が比較的直線的なものと、化学的変質が大きく ARM0-ARM1 グラフが湾曲するものの双方が観察された。しかしながら、これら全 4 試片ともに先行研究において提示された合格基準を満たしていることから、ゴーカム遺跡とホアジェム遺跡の少なくとも一部の試片については、考古地磁気強度研究に利用可能であることが明らかになった。また、ゴーカム遺跡とホアジェム遺跡は、ともに紀元後 2 世紀の遺跡であることが考古学的情報に基づいて推定されている。このことを踏まえて、本研究で復元された両遺跡の考古地磁気強度値を検討すると、ゴーカム遺跡の強度値は $32.4 \mu\text{T}$ ($n=1$)、ホアジェム遺跡の平均強度値は $31.4 \pm 6.2 \mu\text{T}$ ($n=3$) であり、ホアジェム遺跡における変動係数は 19.7 % とやや大きいものの、両遺跡の強度値は標準偏差の範囲で一致するため、一定の妥当性を有するものであると判断できよう。

その他、実験試料に含まれる磁性鉱物を同定するために、岡山理科大学・総合機器センターの MPMS を用いて IRM 獲得実験を行った（代表的な実験結果を図 2 に示す）。実験の結果として、①10-30 mT 周辺と 1 T 周辺に卓越的なピークが観察されるもの、②20 mT 周辺のみに卓越的なピークが観察されるもの、③20 mT 周辺と 100 mT 周辺に卓越的なピークが観察されるものの三種類が見られた。このうち 10-30 mT 周辺のピークに関しては磁鉄鉱に由来するもの、1T 周辺のピークに関しては赤鉄鉱に由来するものと推察される。

4. まとめ

本研究では、ベトナム中部のゴーカム遺跡とホアジェム遺跡から採取された瓦片・土器片試料を用いて、綱川ーショー法による考古地磁気強度実験を行った。実験の結果、全 4 試片のデータは先行研究で提示された合格基準を合格し、ベトナム産の考古試料が考古地磁気強度研究に利用可能であることが明らかになった。また IRM 獲得実験の結果、試料の主要な磁性鉱物が磁鉄鉱であり、一部に赤鉄鉱を含む試料があることが判明した。

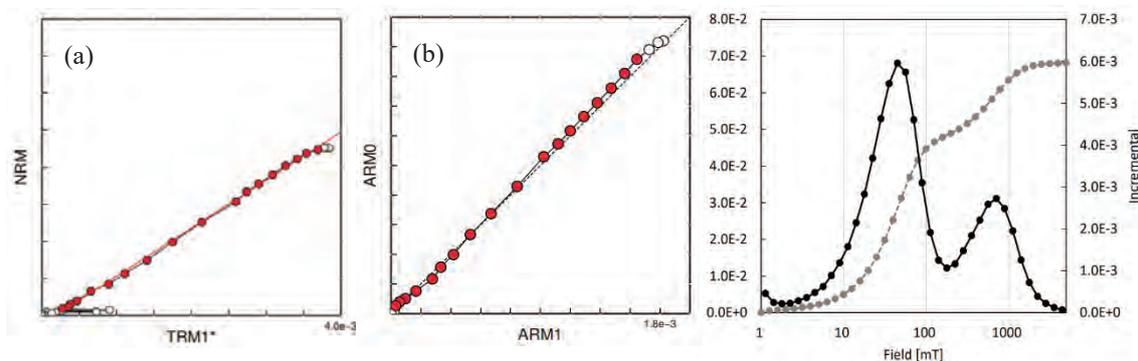


図 1. 試片 00GC-a の綱川ーショー法実験結果の一部 図 2. 試料 00GC の IRM 獲得実験結果

(a) NRM-TRM1* グラフ

(b) ARM0-ARM1 グラフ

プラント・オパール中の遺伝情報を利用した稲作史研究手法の構築 に向けた学際的研究（Ⅱ）

The interdisciplinary study for the construction of rice cultivation history research method using genetic information remained inside rice phytolith（Ⅱ）

○宇田津徹朗（宮崎大学）、田中克典（弘前大学）、田崎博之（愛媛大学）

○Tetsuro UDATSU(University of Miyazaki), Katsunori TANAKA(Hirosaki University),
Hiroyuki TASAKI(Ehime University)

1. はじめに

筆者らは、過去に栽培されたイネの遺伝情報を取り出すイネ遺物に、残留性と残留量に優れたイネのプラント・オパールを加えることで、稲作史研究の進展を制約してきた「時間と空間を網羅したイネ情報の体系的な蓄積」を克服する手法の構築を目指している（基盤研究A 課題番号 19H00542）。

本研究では、国内の主要な土壌や堆積環境に立地する稲作遺跡を網羅するとともに、上記の手法で得られるデータを用いて、稲作技術の歴史的な画期について、考古学、歴史学、農学の相互の視点による検証を試みている。今回は、西日本に広く分布する代表的な土壌である黒ボク土（黒色火山灰性土壌）を基盤に農業が営まれてきた宮崎県の柵田第1遺跡を対象に、水田土壌中のイネプラント・オパールの抽出と分析を行い、稲作に関する系統的な情報抽出の有効性の検証を行った。本大会では、この取組の概要とその成果について報告を行う。

2. 取り組みの概要(材料と方法)

1)材料

柵田第1遺跡は、宮崎県南西部の都城盆地に所在し、古代から近世・近代の水田遺構や水田包蔵層が確認されている（都城市教育委員会 2021）。現地調査と試料採取は、都城市教育委員会の協力の下、基本層序および水田包含層を対象に実施した。供試試料は、21 試料である。

2)方法

各時代の地層に含まれるプラント・オパールを以下の①～③の各種分析に供し、イネの生産量、栽培亜種・生態型、稲作の時代の情報収集を試みた。

①生産量の情報:プラント・オパール定量分析

土壌に含まれるイネ科植物の植物珪酸体の化石であるプラント・オパール密度から、生産量（地上部乾物重、籾重など）を算定復元する(宇田津 2003)。また、主要なイネ科草本のプラント・オパールも分析することで、分析対象である地層が堆積形成される期間の環境変化（検出草本種から乾湿環境を推定）から稲作の安定性についての情報も加え、生産量の評価を行う。

②栽培亜種・生態型:プラント・オパール形状解析とプラント・オパール中に残留する DNA の分析

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

【プラント・オパール形状解析】 土壤に含まれるイネのプラント・オパールについて、図1の形状値を測定し、以下の判別式を用いて亜種の判別と生態型の推定を行う(宇田津 2003, 2006)。

[亜種判別式]

$$\text{判別値} = 0.497 \times \text{縦長} - 0.299 \times \text{横長} + 0.136 \times \text{側長} - 3.815 \times (b/a) - 8.957$$

(判別値<0: インディカ、判別値>0: ジャポニカ) (王ら 1996)

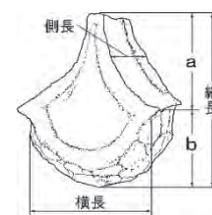


図1 形状の測定部位

【プラント・オパール中に残留する DNA の分析】 土壤中のイネのプラント・オパールを粒径分画と比重分画の組み合わせによって抽出し(宇田津ら 2014)、その内部に残留する遺伝情報から、亜種・生態型や形質を分析する。残留する DNA の抽出には、アルカリ抽出法を用い (Mutou et al, 2014)、抽出した DNA の葉緑体 DNA および核 DNA を PCR 法で増幅し、分析を行う。

③稲作の年代: プラント・オパール表面に残留する微細繊維を利用した年代測定

土壤からイネのプラント・オパールを抽出し、その表面に残留している繊維を材料として、加速器質量分析 (AMS) により C14 年代を測定 (米国の BETA 社) する。

3. 結果

1) 生産量の情報: プラント・オパール定量分析について

定量分析からは、中世～近世にかけて生産量の向上が認められた。また、考古学的所見にもとづく古代から近代までの水田作土を包含する地層からは、いずれも、一定の密度でイネプラント・オパールが検出され、矛盾無く、符合していた。

2) 栽培亜種・生態型: プラント・オパール形状解析とプラント・オパール中に残留する DNA の分析

プラント・オパール形状解析の結果からは、古代から近世まで、熱帯ジャポニカが栽培されていたことが推定された。一方、プラント・オパール中の DNA の分析からは、分析した全ての地層でジャポニカが検出されるとともに、インディカおよび熱帯や温帯のジャポニカといった複数の亜種や生態型が併存したことを示唆するデータが得られた。

3) 稲作の年代: プラント・オパール表面に残留する微細繊維を利用した年代測定

黒ボク土を基本とする地域では、同土に含まれるイネと分離抽出が困難なタケ亜科のプラント・オパールの年代値への影響が想定された。事実、高い密度でタケ亜科が検出された地層では、年代値が想定年代を大きく遡る値となった。しかし、層位の上下や同一層位の年代値には矛盾が認められないことから、母材由来のタケ亜科が主導的に結果に影響したと考えられる。

4. 考察とまとめ

昨年度報告した長野県での調査分析結果に加え、当該遺跡での分析の結果からも、栽培されたイネの情報 (亜種・生態型) は、形状解析と DNA 分析を併用することで、中心的に栽培されたイネと存在したイネの複眼的な情報を系統的に抽出可能であることが確認できた。しかし、年代測定については、調査地域の土壤の母材によっては、現在の抽出方法では、適用が困難な事例が存在することが明らかとなった。この点については、抽出手法の改良や母材の影響の程度を根拠に補正するなどの対策について検討を進めていきたい。

縄文犬の形態特徴における多様性の研究

—後期・晩期の東日本出土の犬骨を中心に—

Study of Jomon dog' s morphological variety. Focusing on
burial dogs from late and last Jomon site of east Japan.

○平良暁子(福井県立大学)、宮路淳子(奈良女子大学)

○Akiko TAIRA(Fukui prefectural university),

Atsuko MIYAJI (Nara women's university)

イヌは人類最古の家畜であり、人と動物の関係史を考えるうえで重要な存在である。日本最古のイエイヌの出土例は、縄文時代早期の神奈川県夏島貝塚のものである。

縄文時代において人々と共に暮らしていたと考えられるイエイヌ(以下、縄文犬)は、縄文人の動物利用や生業などの手がかりとなる存在として、多くの研究が行われてきた。縄文犬の詳細な頭骨の形態研究としては、茂原ら(茂原・小野寺,1986)による宮城県田柄貝塚出土の縄文犬を中心とする研究が挙げられる。この研究において、茂原らは田柄貝塚出土犬とその他の遺跡出土の縄文犬との比較を行っている。しかし、各遺跡出土の縄文犬の形態比較の際には、同一遺跡出土の縄文犬の計測値は平均値を用いており、遺跡どうしの差を正確に比較することを困難にしているほか、遺跡内での形態の多様性についても見逃されている。

本研究では、縄文犬の出土例が多い縄文時代後期および晩期の、東日本出土の縄文犬骨について発掘報告書や論文などから頭骨の計測値を収集し、フリー統計ソフト HAD を用いたクラスター分析を行った(図 1)。また、Excel を用いてグラフを作成し、データを可視化することによって各遺跡出土犬骨の頭骨形態の比較を行ったほか、各示数を算出して値の比較を行った。差の検定(t 検定)を行う際には Excel を用いた。

分析の結果、東北地方の遺跡から出土した縄文犬は、愛知県の遺跡から出土したものよりも大きい傾向(図 2)にあった。東北地方からは長谷部(1952)の分類における中級大の犬骨が出土することが指摘されていたが、それらだけではなく全体的な傾向として東北地方の縄文犬が大型化傾向にあることが本研究の結果から明らかになった。また、愛知県吉胡貝塚から出土した縄文犬は、雌雄それぞれで比較的統一性の高い頭骨のプロポーシオンを持つことが示された。吉胡貝塚に近隣の遺跡である同伊川津遺跡や同保美貝塚から出土する縄文犬は、吉胡貝塚犬が面長な傾向にあるのに対して、いずれも顔幅の広い傾向を持つ。特に保美貝塚出土犬は、これまでに報告されている縄文犬の特徴から著しく逸脱した特徴を持っていることが、クラスター分析及び示数分析から示された。本研究では、これらの縄文犬の形態の地域差あるいは遺跡差の要因について、遺伝的系統の分布(石黒,2007)や遺跡集団の生

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

業と分析の結果を照合しながら考察を行った。遺伝的系統の分布の様子と形態の遺跡差および地域差については、明確な関連性を見出すことが出来なかった。以前から狩猟のために人々が作出した可能性が指摘されてきた東北地方の中級大の縄文犬については、田柄貝塚と吉胡貝塚、伊川津遺跡、保美貝塚の生業の様子について立地、出土遺物の組成などから比較した結果、この4遺跡はみな狩猟を一つの重要な生業として行っており、東北地方における中級犬の人為的作出は積極的には支持できない。東北地方の縄文犬の大型化(あるいは愛知県縄文犬の小型化)については、別の要因を考える必要がある。また、保美貝塚は、特に北陸地方や近畿地方などの西日本との交流が盛んであった様子が出土遺物から窺える。これらの地域からの縄文犬の報告は少なく、その様相は明らかでない。保美貝塚出土の風変わりな縄文犬は、これらの地域との交流によってもたらされた可能性も考えられるが、このことについて検証するためには、西日本の縄文犬骨資料の増加が不可欠である。

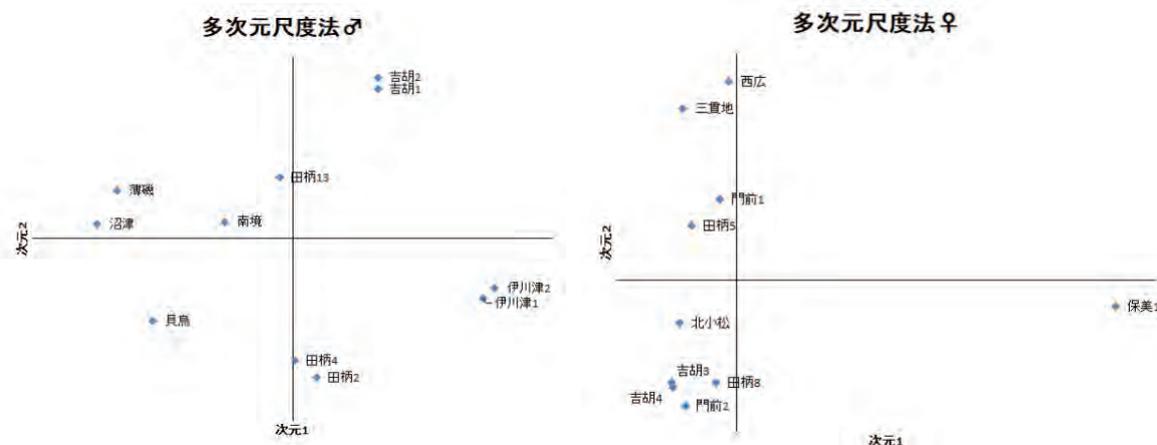


図1 クラスター分析の結果を示した多次元尺度法2次元展開図。左が雄、右が雌の結果。

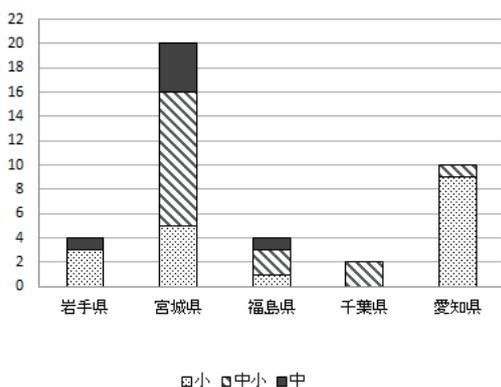


図2 各県の縄文後期・晩期の埋葬犬骨出土数に対する各サイズの割合

【参考文献】

石黒直隆 2007 古 DNA 分析からみた日本在来犬の系統とニホンオオカミとの関係『遺伝』61No.4 エヌ・ディー・エヌ pp.70-76

茂原信生・小野寺寛 1986「田柄貝塚出土犬骨の形態的特徴について」『田柄貝塚 I』 宮城県教育委員会 pp.589-619

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 (II) Rice genotype based on DNA sequences from archaic-rice-phytolith (II)

○田中克典 (弘前大学)、宇田津徹朗 (宮崎大学)、田崎博之 (愛媛大学)

○Katsunori TANAKA (Hirosaki University), Tetsuro UDATSU (University of Miyazaki),
Hiroyuki TASAKI (Ehime University)

1. はじめに

筆者らは、「時間と空間を網羅したイネ情報の体系的な蓄積」を克服できる研究手法の構築を目指しており (基盤研究 A: 課題番号 19H00542)、地層に埋蔵されたイネのプラント・オパールから DNA が抽出できることを前回大会で報告した。しかし、一般的に当該手法を運用するという点では、解決すべき課題は少なくない。その一つが保存による DNA の劣化であった。

通常、土壌試料から抽出されたプラント・オパールは分析がなされるまでの間、乾燥状態で常温保存される。DNA は常温において乾燥条件で保存するのであればあまり劣化しないと考えられている。故に、DNA (プライマー) は分析に利用されるまでの間、常温・乾燥の条件で扱われる。また、DNA 抽出の際にも揮発性物質を除去するために DNA を常温で乾燥する工程が採用されている。しかし、土壌から抽出されたプラント・オパールにおいて、ましてや既に経年劣化を受けている DNA において、常温・乾燥条件下での保存による劣化の進行は不明である。

そこで本報では、南九州の柵田第 1 遺跡 (宮崎県都城市) の地層に由来するイネのプラント・オパールを用いて、土壌からプラント・オパールを抽出した後に生じる DNA の劣化について検討した。

2. 材料および方法

分析材料は、柵田第 1 遺跡における古代から中性、近世・近代の基本層序、水田包含層ならびに水路を包含した土層から抽出されたプラント・オパールであり、DNA 抽出までは乾燥して常温で保存した (第 1 表、抽出方法は本大会で宇田津らの発表を参照)。土壌試料の採取は、都城市教育委員会の協力の下に実施した。

DNA は、土壌から抽出して 10 日後ならびに 180 日後のプラント・オパール (約 50 mg) から Mutou ら (2014) のアルカリ抽出法によって抽出した。DNA の遺存は、4 箇所の葉緑体ゲノム領域 (*rps16* 遺伝子, *Orf100*, *trnI* 偽遺伝子, *acoD* 偽遺伝子) および 1 箇所の核ゲノム領域 (IDJ6) を PCR 法で増幅した後に、電気泳動ならびに塩基配列を解読することによって確認した。DNA 抽出から電気泳動ならびに塩基配列解読までの一連の分析は 10 回実施した。なお、プラント・オパール抽出後の経過日数は、これまでの研究において、抽出から DNA 抽出までの最短期間の平均が 10 日間であったことに基づいて設定した。また、IDJ6 領域については 1 つの領域で 2 種類の DNA 断片を確認するために 2 セットの PCR プライマーを用いた。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 結果

土壌から抽出して 10 日後のプラント・オパールにおいて、標的 DNA 領域の復元数は、葉緑体ゲノムの *rps16* 遺伝子では、5-1 層を除いて 2~4 であったのに対し、残る 3 つの領域では 0 または 1 と、DNA の経年劣化が領域間で異なっていることを示した (第 1 表)。

土壌から抽出して約半年後の 180 日のプラント・オパールにおいては、*rps16* 遺伝子と残る 3 つの葉緑体ゲノム領域とでの DNA の経年劣化の差が再確認できた (第 1 表)。加えて、*Orf100* ではすべての試料で 0、*acoD* 偽遺伝子では 4 つの試料で 0 と、抽出してから 10 日後のプラント・オパールよりも、標的 DNA 領域の復元数は低下していた。また、核ゲノムの IDJ6 F1-R1 の DNA 断片ならびに DJ6 F1-R2 の DNA 断片も、3 層や 7a 上層より抽出された 180 日後のプラント・オパールでは検出できなかった (第 2 表)。

なお、プラント・オパールを抽出して 180 日後では、5-1 層の試料における *rps16* 遺伝子と *trnI* 偽遺伝子の復元、ならびに、4 層や 7-2 上層の試料における IDJ6 F1-R2 DNA 断片の復元は、標的 DNA 領域が検出されたことから、抽出 10 日後のプラント・オパールにおいても悉皆的調査によって DNA を復元できる可能性を示していた。

第1表 P.O.採集10日後および180日後における葉緑体ゲノム領域の復元頻度

地点	層位	供試数 ¹	<i>rps16</i> 遺伝子		<i>Orf100</i>		<i>trnI</i> 偽遺伝子		<i>acoD</i> 偽遺伝子	
			10日	180日	10日	180日	10日	180日	10日	180日
基本層序	3層	10	2	2	1	0	0	0	0	0
	4層	10	4	3	0	0	0	0	1	2
	5-1層	10	0	2	1	0	0	1	1	0
	7-2上層	10	3	0	1	0	0	0	1	0
水路脇	7a上層	10	4	4	1	0	0	0	1	0

¹供試数は反復数であり10日、180日とも同数である。

第2表 P.O.採集10日後および180日後における核ゲノム領域の復元頻度

地点	層位	供試数 ¹	IDJ6 F1-R1		IDJ6 F1-R2	
			10日	180日	10日	180日
基本層序	3層	10	5	0	1	0
	4層	10	1	0	0	3
	5-1層	10	0	0	0	0
	7-2上層	10	1	0	0	1
水路脇	7a上層	10	2	0	2	0

¹供試数は反復数であり10日、180日とも同数である。

4. 考察

以上の結果から、イネのプラント・オパールに内在する DNA は埋蔵中の経年劣化に加えて、土壌から抽出して常温で乾燥する間に劣化することがわかった。故に、長期的な利用という点では、未処理土壌での保存が最適だと考えられた。分析においては、土壌からプラント・オパールを抽出した後に速やかに DNA を分析する、あるいは、DNA 保存溶液中にプラント・オパールを保存することによって、劣化による DNA 復元の欠損を軽減できると考えられた。

ヒノキ科樹種年輪幅ネットワークの気候応答

Climate/radial growth relationships of Cupressaceae species in Japan

大山幹成（東北大学）、○米延仁志（鳴門教育大学）、星野安治（奈良文化財研究所）、鈴木伸哉（東京都埋蔵文化財センター）、藤原健（森林総合研究所）、安江恒（信州大学）、佐野雅規（早稲田大学）、庄建治朗（名古屋工業大学）

Motonari OHYAMA (Tohoku University), ○Hitoshi YONENOBU (Naruto University of Education), Yasuharu HOSHINO (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Shin'ya SUZUKI (Tokyo Metropolitan Archaeological Center), Takeshi FUJIWARA (Forestry and Forest Products Research Institute), Koh YASUE (Shinshu University), Masaki SANO (Waseda University), Kenjiro SHO (Nagoya Institute of Technology)

1. はじめに

気温や降水量の年周期性が明瞭な地域に生育する樹木は1年に1層の年輪を形成する。樹木は、その大気や立地環境の好・不適に応じて広狭の年輪を形成する。似通った環境条件下にある、同一の樹種では、共通の環境変動を記録するため、年輪変動時系列間の比較による年代決定が可能となる。樹木の成長に影響を与える様々な外的環境因子の中で気候変動は、競合や地形変動などに比して広域に作用するため、同一地域・多数個体の年輪時系列の平均的傾向（標準年輪曲線）から、その地域の過去の気温や降水量など気象因子の復元が可能である。その際、最も重要な基礎的知見となるのが年輪気候学において相関関数・応答関数とよばれる、気象・年輪の応答様式に関するデータセットである。

我が国では、これまでに多くの地域で現生木を用いた標準年輪曲線の整備が進められてきた。とりわけ、ヒノキ・スギをはじめとするヒノキ科樹種は、その蓄積量や伐採量ともに減少し、試料が得られにくい傾向ではあるが、日本各地に老齢現生木が点在し、気象データとの比較分析が可能な長期の標準年輪曲線が得られやすい。

本発表では、本州・四国・九州に広がるヒノキ科樹種の年輪幅標準年輪曲線ネットワーク全体を対象としてその気候応答について報告する。

2. 試料と方法

対象樹種はスギ (*Cryptomeria japonica*)、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)、ヒノキアスナロ (*Thujaopsis dolabrata* var. *Hondae*) である。これらの老齢現生木から年輪幅標準年輪曲線を構築した。対象地域は、スギでは秋田県、宮城県、新潟県（佐渡島）、富山県、奈良県、兵庫県、高知県（東部）、山口県、福岡県等、本州全体、四国、九州の日本海側・太平洋側を広くカバー

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

し、ヒノキでは長野県、滋賀県、および四国中部、ヒノキアスナロでは青森県である。標準年輪曲線は、試料毎に年輪幅時系列から加齢傾向を除去し、試料全体の積算平均から年輪幅指数を算出することで構築した。

各地域の標準年輪曲線と、その最寄りの気象観測地点の月別平均気温、降水量、相対湿度（各年輪形成の前年6月～当年10月）を用いて相関関数及び応答関数を求めた。前者は年輪幅指数と月別気象観測値との単相関（ピアソンの積率相関係数）であり、気候復元で対象となる気象パラメータの選択に有用な情報である。後者は、自己回帰成分を除去した標準年輪曲線と、月別気象観測地を用いた主成分分析であり、樹木の肥大成長の生理学的な環境応答等の解釈に有用な情報である。

3. 結果と考察

解析結果の例として図1にヒノキ科樹種年輪幅の相関関数（秋田スギ、木曾ヒノキ）を示した。全般的に一貫した傾向として、ヒノキ科樹種年輪幅は、年輪形成の前年の夏期、冬季～春季または春季のみの気温とそれぞれ負、及び正の相関を示した。これらの結果の解釈として、ヒノキ科樹種の年輪幅増減には前年夏期の高温・渇水による花芽形成量の増加に伴い春季の花粉生産の増大と肥大成長への負の関与、そして高い春季気温に早い成長開始と成長期間の増加が影響していることが示唆された。また、本邦産ヒノキ科樹種の年輪幅は他の温帯地域と同様、気候と強い相関を示すとは言えない。本邦産樹木では、密度や酸素同位体比など他の代理データでも応答関数が示す寄与率は年輪幅と大きく異なることはなく、気候復元の際には気象因子の選択や較正法、復元結果等の厳格な検証を要する。

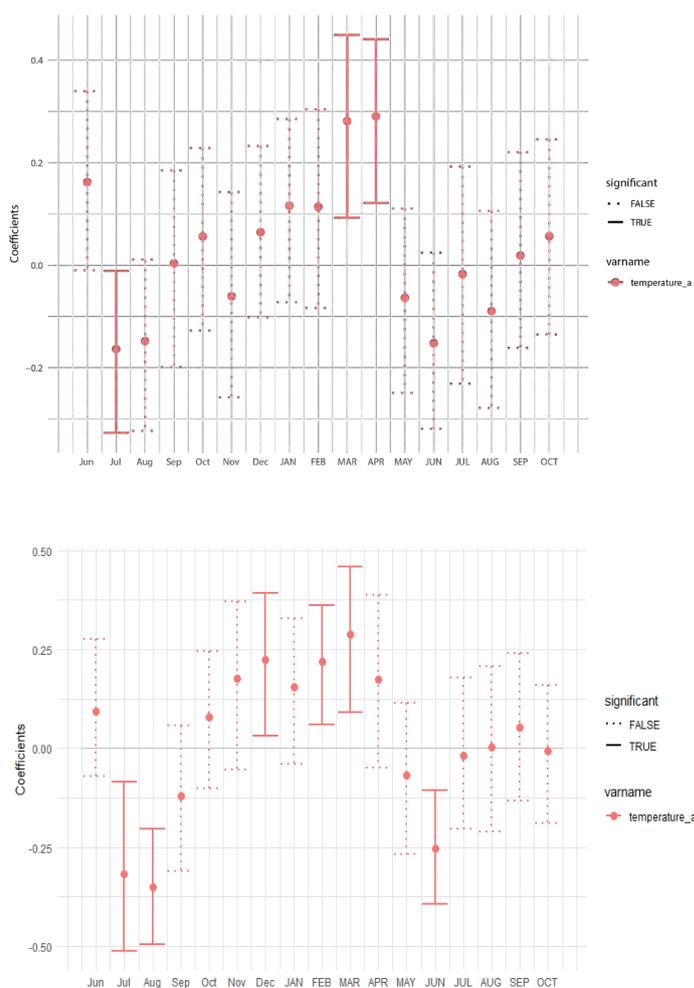


図1：相関関数（上：秋田スギ，下：木曾ヒノキ）

千葉県の縄文時代遺跡から産出したシカ類化石

Cervid Fossils excavated from Jomon period remains in Chiba Prefecture

○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

大量の貝殻が集積した貝塚は、酸性の土壌が中和されるため、ほかの動物化石も残存しやすい傾向にある。国内で報告された縄文時代貝塚のうち、全国で最多となる3割近くが集中している千葉県は、当時の主要な狩猟対象であるシカ類の産出量が特に多い地域である。しかしながら、数ある発掘報告の中でも、これに着目して詳細な分析を行ったものは少ない。

現生のニホンジカ *Cervus nippon* は高山よりも低山、あるいは深い森林内よりも里山の林やその林縁部などに多く生息している。千葉県では、南部に広がる房総丘陵を主な生息地としているが、かつては北部の台地にも広く分布していたとされる。

本研究では、千葉県全域における縄文時代遺跡を対象として、シカ類化石の産出状況と遺跡の立地について明らかにした。

2. 研究方法

既に刊行された発掘調査報告書などから、千葉県において陸生哺乳類が産出した縄文時代遺跡を抽出し、その所在地や時期、遺物の出土などに関するデータを収集した。それをもとに、GISを用いて地形分類図上で分布図を作成した。また標高や傾斜度など、遺跡の立地に関する情報を整理し、それらを時期ごとに比較した。さらに、シカ類化石の産出量や、推定される死亡時の成長度合いについても検討した。

3. 結果と考察

陸生哺乳類化石は、県内で250箇所以上の遺跡から産出していた（図1）。遺跡の立地については、およそ80%が北部の台地上、特に県の北西部に集中し、他は南部の丘陵地に点在していた。台地及び丘陵地を開析する小谷の緩傾斜面や谷頭付近など、比較的平坦な地に立地する傾向がみられた。このうち、シカ類化石は少なくとも7割以上の遺跡から産出しており、その立地は陸生哺乳類化石全体と同様の傾向にあった（図2）。当時の動物相から考えるとかなり高い割合を示していることから、縄文人にとって重要な狩猟対象であったことを裏付ける結果となった。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

縄文時代全般を通した産出量の分布図からは、県の中央部で特に多く産出していることがわかり、台地と丘陵地ではそれほど差が認められなかった。

時期間で比較すると、縄文時代の後半になるにつれて遺跡数が増加し、分布範囲も拡大していた。標高分布では、前期は0~30m未満を中心とした、相対的に低位な土地に立地していた。中期から後期においては分布の傾向が類似しており、60m以上の比較的高い地点にもみられた。晩期は、中期や後期と比べると高低差が少ない傾向にあった。また、シカと同様に主要な狩猟対象であったとされているイノシシとの比較では、中期以降は時代を経るとともに産出量が増加していた。前述した遺跡の立地と比べると、標高分布の推移とシカ狩猟が活発な時期との間には関連性があるといえる。さらに、推定される死亡時の年齢や成長度合いに関しては、縄文時代遺跡から産出したシカは、現生のシカよりも成獣・若獣の占める割合が多く、幼獣は少ない傾向にあることがわかった。

以上から、縄文時代では台地上縁部に立地する遺跡を中心に、周辺の地形を利用した狩猟が行われていたと考えられる。シカは特に中期以降で活発になり、比較的年齢を重ねた個体を中心に捕獲し利用していたといえる。

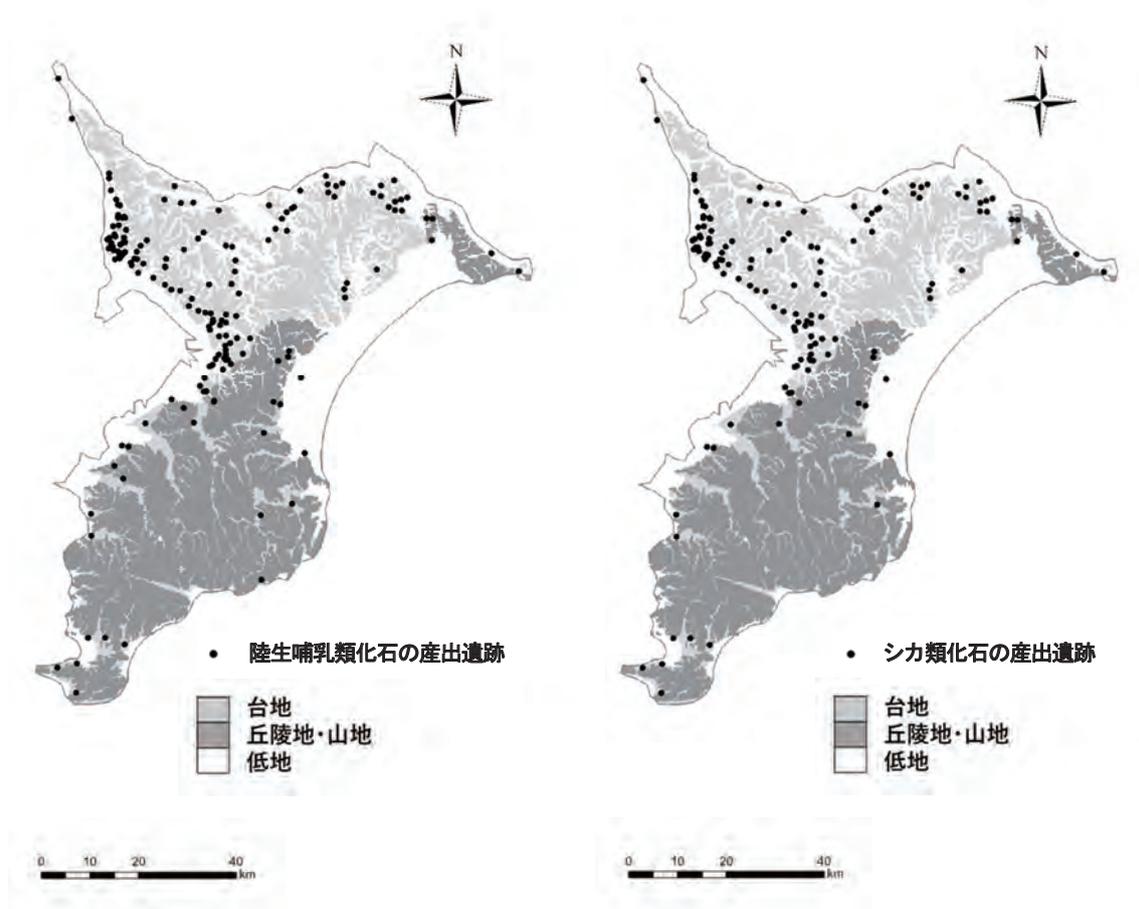


図1 陸生哺乳類化石が産出した千葉県の縄文時代遺跡

図2 シカ類化石が産出した千葉県の縄文時代遺跡

藤原京の便所遺構および水利における新知見

Knowledge of the ancient toilet site and water utilization in Fujiwara-kyo

○金原正子(文化財科学研究センター)、木村理恵(奈良県立橿原考古学研究所)、金原正明(奈良教育大学)

○Masako KANEHARA (Cultural assets scientific research center), Rie KIMURA(Archaeological Institute of Kasihara, Nara prefecture), Masaaki KANEHARA (Nara University of Education)

・はじめに

藤原京においては、金原ほか(1992)など植生や便所遺構や植生のデータが供出されてきた。近年行った藤原京左京北一条六・七坊 東六坊大路周辺および藤原京右京四・五条八・九坊の調査ではまとまった分析が行え便所遺構や水利における新たな知見が得られた。

・藤原京道路側溝の下水機能

粒度分析の結果から、東六坊大路西側溝では粗粒シルトが突出する正規分布を示しほぼ同じ速度で流水する。また南北溝3(水洗便所遺構)も同様で、側溝が雨水等の排水だけでなく水が流され、下水としての機能が有していたとみなされる。藤原京右京四・五条八・九坊の土坑2(水洗便所遺構?)においても、層準によって中粒砂から粗粒シルトが突出する正規分布を示し流水し道路側溝へ排水を行っており下水機能を有するとみなされる。このことは、藤原京がたれ流しではあるが計画的に下水があったことになる。

・藤原京域は、ヨモギ属、アカザ属、ナデシコ科、カタバミ属、チドメグサ属、シソ属、イヌホウズキ、スベリヒユ属など、やや乾燥を好み、路傍や庭など居住域周辺に雑草として生育する草本が分布し、溝などの周囲にはホタルイ属やスゲ属のカヤツリグサ科、コナギ、オモダカ属、サジオモダカ属、タデ属サナエタデ節、ギシギシ属、タガラシ、ガマ属の水田雑草も混ざる水湿地草本が生育していた。

・南北溝3(便所遺構)では、寄生虫卵の密度がやや高く特有の花粉が多い層準があり、便所遺構ないし糞便の投棄が考えられた。側溝から水を取り込み排水し、水洗式の便所遺構と考えられた。回虫卵、鞭虫卵、肝吸虫卵、横吸虫卵・異形吸虫卵および無・有鉤条虫卵の検出およびアブラナ科花粉、ウリ類とナスの種子の検出から、コイ科やアユの淡水魚やアブラナ科植物やウリ類やナスの食物が復元される。他に外来植物のゼニアオイ属(フユアオイ)やメボウキ属(バジル類)が検出され薬用に用いられたと考えられる

・無・有鉤条虫卵の検出から、累代飼育したブタの食用による感染が認められる。今までに藤原京から無・有鉤条虫卵の検出はない。渡来人の滞在や居住の可能性もある。無・有鉤条虫卵は最古の事例になる。ゼニアオイ属(フユアオイ)と6裂のメボウキ属(バジル類)が検出され、いずれも薬用植物となり外来植物であり最古の初出事例となる。ナスも最古の事例になり、いずれも律令期になって渡来してきた植物と考えられる。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

珪藻分析による古墳時代の製塩と海産物

Salt-making and marine products in the Kofun period

by diatom analysis

○森田梨恵子（奈良教育大学）、金原正明（同左）、橋本輝彦（桜井市教育委員会）

○Rieko MORITA, Masaaki KANEHARA (Nara University of Education),

Teruhiko HASHIMOTO (Sakurai City Board of Education)

1. はじめに、目的、方法

土器製塩は縄文時代の後半から行われ、弥生時代にも続いて行われるが、本格的に行われ具体例が増加するのは、弥生時代中・後期以降で、備讃瀬戸の岡山県児島地域を中心に、淡路を含む瀬戸内東部から大阪湾南岸、紀伊水道東岸で行われ、古墳時代になって北九州から能登や東海まで製塩遺跡が増加していった。製塩に関する文献は数多く残るが、『常陸風土記』等には、「焼く塩」「塩焼」「塩焼く海人」「藻刈り塩焼き」「名告藻」「藻塩焼き」「玉藻刈る」とあり、塩は焼いて作る、海藻を焼いて作ると読み取れる記述がある。実際に珪藻分析において、いくつかの愛知県や岡山県の遺跡出土の製塩土器から、海藻付着生珪藻の *Cocconeis scutellum* とその変種が検出され、7～8世紀の製塩に海藻を利用していたことが傍証された（森、1991）。この結果から、用いられた海藻は一極的に *Cocconeis scutellum* が付着する様相と極めて豊富に生育するアマモが該当すると考えられる。また、塩は製塩土器ごと流通し、内陸部の遺跡からも出土する。今回、少し時期の異なる古墳時代の製塩土器の分析の機会を得たのでその分析を行い、結果から製塩法の異なり示唆する。

資料は奈良県桜井市脇本遺跡の製塩土器片（5世紀後半）であり、小片が多いため土ごと取り上げられたものである。器壁の薄い丸底の形態のものである。方法としては土器の内面の土をかるく取り除き、2～3回ブラシでこすり、その残渣を過酸化水素水で処理し、マウントメディアで封入し顕微鏡観察を行った。

2. 結果と考察

観察できた珪藻は16種で以下のようなものである。

・真—中塩性種

Diploneis smithii, *Nitzschia plala*, *Navicula elegantoides*, *Paralia sulcata*, *Nitzschia levidensis*, *Navicula elegantoides*, *Amphora holsatica*, *Rhopalodia gibberula*

・貧塩性種

Cymbella sp., *Pinnularia* sp., *Ennotia* sp., *Pinnularia viridis*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula*

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

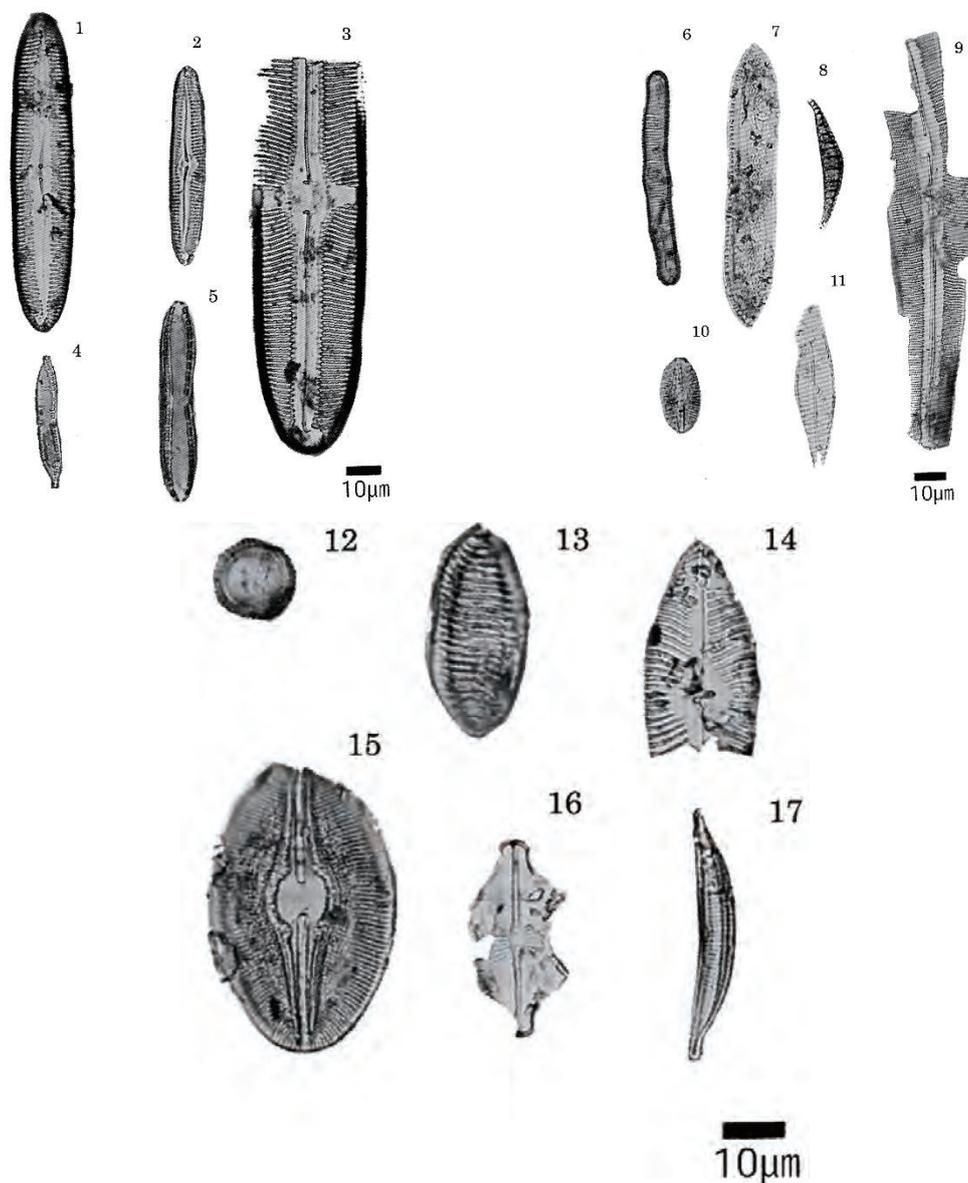
探査

文化財防災

cuspidate, *Diploneis yatukaensis*, *Navicula pusio*

以上の珪藻の中で、貧塩性種は埋没土に含まれたものと考えられるが、内陸の遺跡であるため、真一中塩性種のみは製塩土器に付着のものと考えられる。これら真一中塩性種は、浮遊生種ないし底生種であり、海藻および海草付着生種は観察されなかった。内湾の奥部に分布するも珪藻や干潟に分布する珪藻があり、内湾の奥部で小さな干潟状になった地点で製塩されたと推定される。

以上から、7～8世紀の藻塩焼く製塩法とは異なり、古墳時代の製塩法は海水から製塩する方法がとられたと考えられる。藻塩を焼く製塩法が、6世紀後半の仏教伝来以降律令にかかる時期に盛行した可能性があり、仏教や律令の伝来移入とともに朝鮮半島や大陸から伝わった技術である可能性が生じる。今後分析例を増加させていく。また、纏向遺跡から、*Cocconeis scutelumu* が検出され、塩の供献を考えたが、海藻の供献を考えなければならないことになる。



奈良県御所市秋津遺跡、弥生時代前期埋没水田の 土壌微細形態から推測されるイネ栽培の諸特徴 Characteristics of rice cultivation inferred from soil micromorphology of the Early Yayoi period buried paddy fields in Akitsu site, Gose City, Nara Prefecture.

○松田順一郎(関西大学非常勤講師)、辻 康男(株式会社パレオ・ラボ)、
 岡田憲一(奈良県立橿原考古学研究所)

○Jun-ichiro MATSUDA(Kansai University, part-time lecturer), Yasuo TSUJI (Paleo Labo Co., Ltd.),
 Kenichi OKADA(Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture)

奈良県御所市で実施された秋津遺跡(図 1)の発掘調査では、葛城川沖積扇状地緩斜面を構成する礫質砂・泥質砂層の累重中に挟在する有機質砂質シルトの 8 層準(図 3。柱状図地点では第 2-2 面を欠く。)で、弥生時代前期前半から後期の耕作地遺構が、発表者の一人岡田らによって検出された。そのうち、本研究では弥生時代前期前半(第 4-1 面)、前期後半(第 3-2 面)、前期末(第 3-1 面)水田におけるイネ栽培の、おもに物理的条件となる諸特徴を、堆積物・土壌薄片の堆積相・微細形態から検討したい。

水田の畦・圃面と水路の分布パターンは、図 2 に示した第 3-2 面で画然とするが、下位の第 4-1 面にはその祖型があり、上位の第 3-1 面に継承される。

第 4-1 面をつくる水田作土では、縄文時代晩期に累積的に生成された亜角塊状構造をなす土壤(図 4-1)に、それを浅く擾乱した腐植・凝集体に富

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

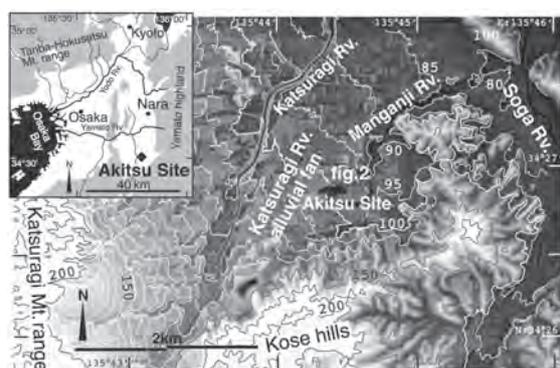


図 1 秋津遺跡の位置



図 2 秋津遺跡、第 3-2 面の水田遺構

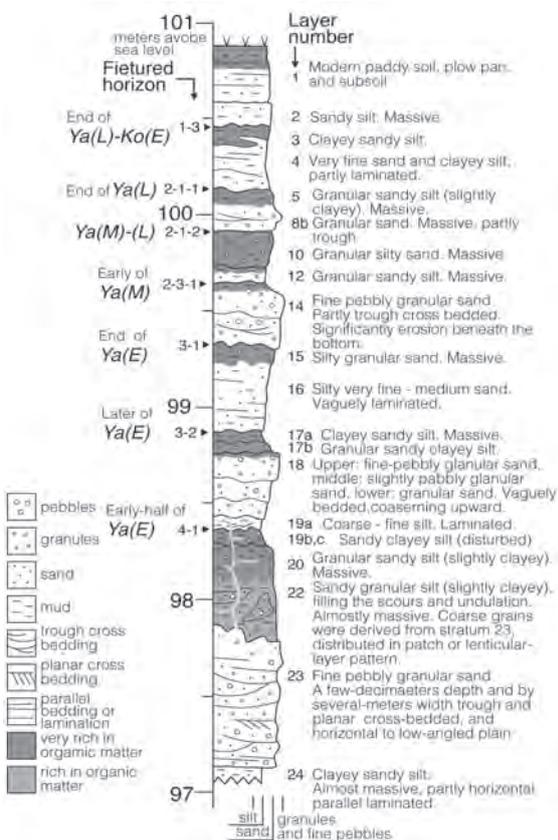


図 3 第 7 次調査区南東部の柱状断面図

む泥質土壌(図 4-2)、塊状構造の有機質シルトが載る(図 4-3・4)。第 3-2・1 面の水田作土は全般に塊状構造で、腐植・凝集体を多く含む粗粒な下部に、細粒で腐植含量がの少ない、低エネルギーの流れで堆積したと考えられる未分解植物片を含む上部の砂・シルトが載る(図 4-5・6、7・8)。また、所により砂礫が分布する。これらのことは数 cm の作土がさほど深くは攪拌・耕起されていないこと、第 4-1 面水田ではやや停滞的だが、第 3-2・第 3-1 面の水田では、恒常的に圃面を斜面下方に水が流動していたことなどを示唆する。しかし、作土の厚み、圃面の凹凸、植物片やその炭化物、泥フラグメントの含量も所によってかなり

変化する。また、第 4-1 面では下位の古い土壌が露出し、耕作地が造成されなかった領域や、第 3-2 面で草地の発達を推定できるような土壌構造で棲管も多く分布する、好氣的な非耕作領域がパッチ状に分布するらしいことが、これまでの薄片観察から知られる。その一部は、氾濫堆積物のわずかな高まりにあたる。これらのことが、イネ栽培システムにどう位置づけられるかはさらに課題となる。氾濫・河道の充填・下刻などの河川活動と水田土壌生成のタイミングを理解することもその際に必要である。

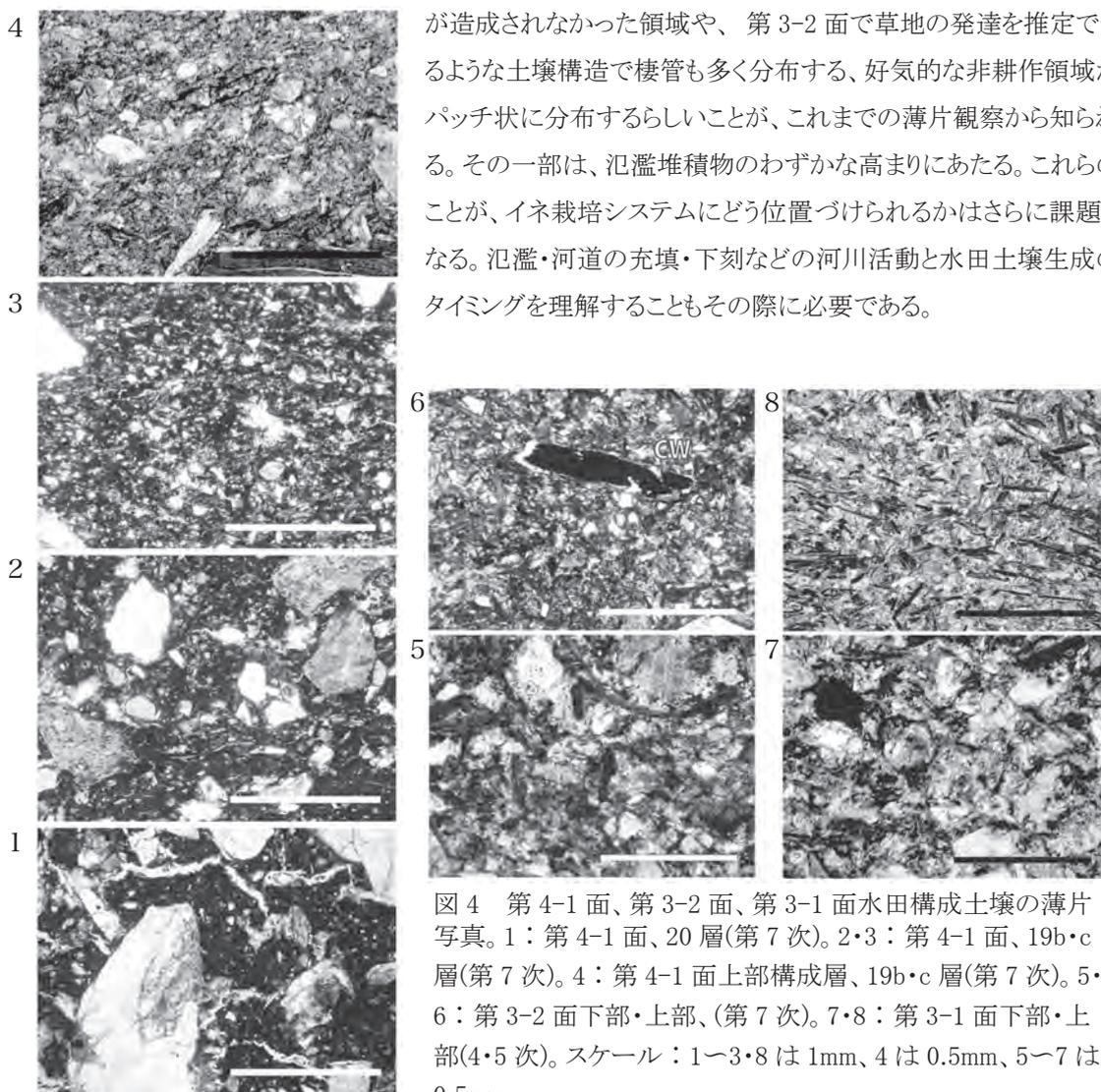


図4 第 4-1 面、第 3-2 面、第 3-1 面水田構成土壌の薄片写真。1：第 4-1 面、20 層(第 7 次)。2・3：第 4-1 面、19b・c 層(第 7 次)。4：第 4-1 面上部構成層、19b・c 層(第 7 次)。5・6：第 3-2 面下部・上部、(第 7 次)。7・8：第 3-1 面下部・上部(4・5 次)。スケール：1～3・8 は 1mm、4 は 0.5mm、5～7 は 0.5mm、

参考文献

岡田憲一・絹島歩編著(2021)「秋津遺跡 I (下層編) 一京奈和自動車道「御所区間」建設に伴う調査報告書(10)」奈良県立橿原考古学研究所調査報告第 128 冊, 奈良県立橿原考古学研究所, 788p.

本研究の一部は、平成 26～27 年度に科学研究費補助金・挑戦的萌芽研究(研究課題名:農耕空間の認識と認定要件の実証的研究、研究代表者:田崎博之)の研究成果を含む。

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

Conservation and restoration of a brick temple regarded as a compound cultural property 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・レティッツィア・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 (Mezzadringegneria 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2020年にかけてMe-taw-ya寺院を対象に取り組んできた煉瓦造寺院の保存修復事業について報告するものである。バガン遺跡に残る寺院の多くは、外壁や内壁に壁画やスタッコ装飾が施されている。しかし、それらの維持管理を目的とした保存修復では、「建造物」と「壁画」というように其々の対象を区分しながら進められることが一般化している。その結果、一方の問題を対処するために使用された修復材料が、もう一方の素材に悪影響を及ぼすなど、二時的被害ともとれる問題が発生している。本研究発表では、複数要素から構成される煉瓦造寺院を複合文化財として捉え、技法や材料に配慮しながら処置を進めた保存修復事業に経緯について解説するとともに、その重要性を問う。

2. 事業計画立案までの流れ

2016年に寺院内部に描かれた壁画の保存修復を主な目的として開始された本事業は、初期段階に実施した保存状態調査において、同遺跡内に共通して見られる傷みがプラスターの剥離および剥落であることを特定し、その原因が寺院外壁からもたらされる雨水にあることを明らかにした¹⁾。この結果を受けて、直接的な壁画の保存修復処置をはじめめる前に、雨水流入の原因となっている外壁の損傷箇所の処置を行うことが優先すべきであるとの判断から、これに特化した調査研究を開始する。しかし、その直後の2016年8月24日、バガン近郊でマグニチュード6.8の地震が発生し、バガン遺跡でも389基の仏塔寺院に被害が出る。Me-taw-ya寺院も北側の外壁の一部が崩落するなど、緊急性を要する処置が必要な状況となり、事業計画の変更を余儀なくされる。以上のように、寺院壁画の保存修復から損傷要因に対する対策に向けた外壁の保存修復、そして、予期せず発生した震災被害の対処と、状況に応じて事業計画に変更を加えながら立案に至った。

3. 事前調査により明らかとなった現状における問題点

Me-taw-ya寺院は煉瓦を積み重ねて造られた寺院である。事前調査では、過去に複数回に及ぶ修理がおこなわれた痕跡を確認することができたものの、それらの詳細を示す資料は残されていないことが明らかとなった。これを受けて、単なる保存修復事業とは異なり緊急性を要する復興事業としての要素も加わったことから、現地専門家に加え、文化遺産に登録された煉瓦造建築物を多く抱え、豊富な研究実績を有する欧州より煉瓦及び石材を専門とする保存修復士や震災復興事業を専門とするエンジニア、無機材料の分析を専門とする保存科学者等を招致し、国際チームを結成した。その後、実施した各種調査研究項目および、それによって明らかとなった問題点、判断理由の一部を表1にまとめる。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

調査研究項目：	
-建造時に使用された煉瓦の科学的調査 ²⁾	-建造時に使用された目地材の科学的調査 ²⁾
-現状における保存状態調査 ²⁾	-外壁に残存する漆喰装飾の科学的調査 ²⁾
-内壁に描かれた壁画の科学的調査 ²⁾	-現地における現行の修復技法調査 ²⁾
-現地における現行の修復材料調査 ²⁾	
調査により明らかとなった問題点：	
-現行の保存修復材料および保存修復技法 ²⁾	
問題点指摘に至る判断理由：	
-基本的には建立当時に使用された材料を伝統的材料と位置づけ使用されているが、保存修復材料としての効果は十分に得られていない。 -バガン遺跡の煉瓦造寺院の多くは、外壁にスタッコ装飾、内壁に壁画を有するものが多いにも係らず、使用されている修復材料は相互作用への配慮に欠けており、修復材料が起因となる損傷が起きている。	

表1 調査研究項目と問題点

4. 問題点の対処法

以上の調査研究結果を踏まえ、具体的に改善した煉瓦造寺院の保存修復方法に係る事項を表2にまとめる。なお、これらは大前提として人材不足を理由に十分なメンテナンスの実施が実現できていないとの現地専門家からの声を聞き入れ、修復材料としての適合性および安定性や耐久性を向上させ、実施間隔をあげられるよう配慮している。

1. オリジナルの形状を無視した差替え時の煉瓦を、物理的な安定性に配慮し、焼成方法や形状について見直した。
2. 安定性及び適合性に乏しい修復材料を見直し、煉瓦造文化財の保存修復に特化した既製修復材料を選定し、使用実績およびバガン地域の環境下における施工実験を経てその効果を検証し、欧州から輸入した。この結果、修復材料にみられた調合斑はなくなり、作業の効率化を実現させた。
3. 2.に関連して、寺院が複数の素材によって構成されていることから、保存修復材料は相互に作用せず、経年による風化作用も少ないものを選択した。
4. 分析調査の結果、材料の調合時に使われる水に含まれる成分が、文化財に悪影響を及ぼす危険性を有することから、水質の改善方法について提案した。
5. 修復処置を実施する際の技術的指導をおこなった。
6. オリジナルの煉瓦の積み方を調査した結果、地震が発生する際に崩落しやすい構造であったことから、積み直しに適した技法を提案した。

表2 調査研究結果をもとにした改善事項

5. まとめ

以上のことから、煉瓦造寺院を対象となる箇所を区分して捉えるのではなく、複合文化財として総合的に捉えたうえで保存修復方針を打ち立てることがいかに重要であるかが分かる。本事業を通じて、これまで同遺跡で繰り返し行われてきた保存修復事業や国際支援活動が結果として実を結んでいない（文化財の保存に生かされていない）原因のひとつが明らかとなった。

今回の成果は、バガン遺跡で活動するミャンマー国内外の専門家の間で共有するとともに、更なる現状の改善に向けた取組みとなるよう、これ以外の問題点についても具体的な解決策を提示すべく活動を継続していきたい。

参考文献：

- 1) 中山俊介、前川佳文ほか(2017)「ミャンマー・バガン遺跡における寺院壁画の保存に向けた外壁調査と保存修復方法の研究 平成28年度成果報告書」、東京文化財研究所
- 2) Maekawa, Y., et al. (2021). Me-taw-ya Temple Project Capacity Building; a Conservation Project for the Repair, Strengthening and Recovery of Temple 1205a Archaeological Area and Monuments of Bagan, Myanmar 2016-2020, Tokyo National Research Institute for Cultural Properties

鑄造青銅銭の鑄造地のつながりの推定のための クラスター分析

Cluster Analysis for Estimating the Linkage of Foundry Locations of Cast Bronze Coins

○小林淳哉（函館高専）、松英達也（新居浜高専）、山田誠（函館高専）、中村和之（同左）
○Junya KOBAYASHI (Hakodate Kosen), Tatsuya MATSUE (Niihama Kosen),
Makoto YAMADA (Hakodate Kosen), Kazuyuki NAKAMURA (Hakodate Kosen)

1. 背景と目的

金属材料の鑄造から仕上げに至るプロセスの違いは、金属の結晶化度や残留応力の違いとして現れる。そこでこれまで我々は、青銅貨の結晶化度や残留応力が鑄造地等を反映した技術的な分類指標となりうるか調べていき¹⁾。従来からの分類法としては他にクラスター分析があるが、本研究では寛永通寶（古寛永、新寛永）314枚と永楽通寶6枚の合計320枚についての元素分析値、各部のサイズ、質量をもとにおこない、古銭の鑄造地の推定・鑄造地間の関連性を推定することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 古銭の元素

元素分析は可搬型のエネルギー分散型蛍光X線装置Niton XL3tを使用し、古銭の各文字部4箇所を表裏の計8箇所について主成分である銅、鉛、スズ濃度を測定した。

2.2 銭のサイズ測定

3Dスキャナー（KEYENCE VR-3000、分解能0.1 μm）で図1に示した輪内径、郭内幅、郭外幅、銭厚を測定した。なお、輪外径は使用中の磨耗の影響を受けるので、測定していない。さらに銭の質量は電子天秤で1 mg単位まで測定した。使用した古銭のうち、新寛永は背面の文字から鑄造地が識別できるいくつかを含んでいるが、その他の大部分は鑄造地が不明である。

2.3 クラスター分析

元素分析値（Cu、Pb、Sn）、各所のサイズ、質量をデータとして、最長距離法による階層的な手法を用いるクラスター分析を行った。

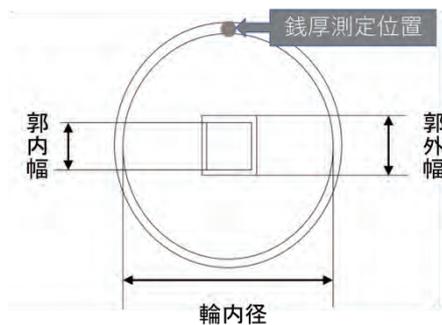


図1 測定位置

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 結果と考察

クラスター分析の結果のデンドログラムを図2に示した。図中横線を引いた位置で9つのクラスターに分け、クラスター間の関係性を検討した。左から各クラスターに番号をつけ、各クラスターに含まれていた鑄造地が明確な錢種など特徴を表1に示した。

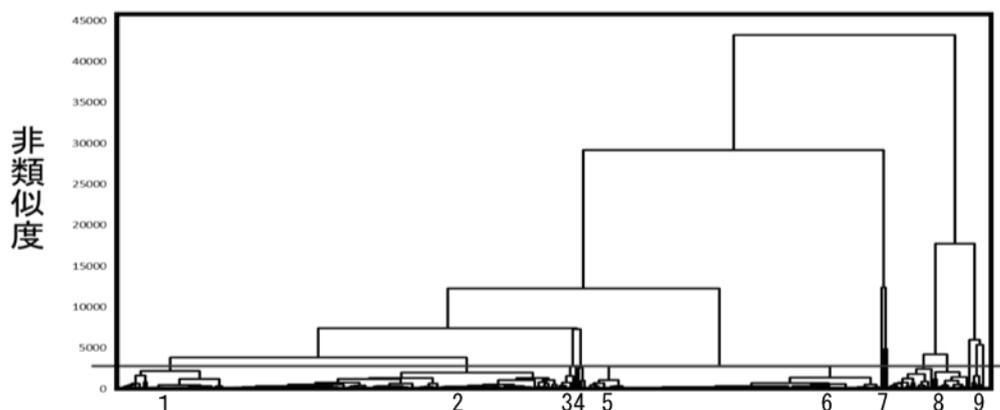


図2 クラスター分析によるデンドログラム

表1 各クラスターの特徴

クラスター1	クラスター2	クラスター3	クラスター4	クラスター5
新寛永(大阪)、 古寛永	新寛永(文銭) 新寛永(佐渡)	二十一波銭	古寛永	新寛永(足尾)、新寛永 (江戸小梅)、古寛永
クラスター6	クラスター7	クラスター8	クラスター9	
二十一波銭	古寛永	新寛永(長崎) 古寛永	新寛永(文銭)	

クラスター3と6は二十一波銭のみからなり、他の錢種は含まない。これは二十一波銭が真ちゅう銭であることによる。(なお十一波銭は今回分析していない)。クラスター5には栃木県足尾と江戸でそれぞれ1741年以降、1737年以降に鑄造された新寛永が含まれ、時代、立地的な近さから同一の技術・手法をもつ可能性が示唆される。クラスター1には1741年以降大阪で鑄造された新寛永があり、これと関係性が近いクラスター2には1862年以降佐渡で鑄造された新寛永があった。一方クラスター1とはかなり遠い関係性にあるクラスター8には1787年以降に長崎で鑄造された新寛永があり、地理的な遠さが鑄造技術の独自性として現れている可能性もある。なお、古寛永通寶だけでクラスターが形成されているものもあるが、産地が不明であり、現状としては十分な考察はできていない。

謝辞 本研究は科研費19K01130および20H01351の助成を受けて実施した。

参考文献

- 1) 小林淳哉, 松英達也, 山田誠, 中村和之, 元素分析と残留応力から見た青銅貨の分類に関する研究, 日本文化財科学会第37回大会研究発表要旨集, p122(2020)

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—

Effect of the organic materials used for ceramic production —Changes in composition of overglaze enamels 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）、二宮修治（東京学芸大学）

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

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、有機物である膠を用いた上絵モデルを飛行時間型二次イオン質量分析(TOF-SIMS)し、焼成後の上絵層に有機物が残存することを明らかにした¹⁾。また用いた糊種によって、上絵層の鉛成分の存在形態に差異が発現していた^{2,3)}。これらの現象が糊の使い分けの要因の一つとも推察された。今回、焼成に伴う上絵具に含まれる鉛成分の変化の過程をX線回折法(XRD)により追跡した。

2. 実験

糊材として、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1級)と、ふのり(伊勢久)を用い、水を加え、湯煎・攪拌し、糊溶液を調製した。上絵具は、鉛成分の変化を確認しやすくするため、主原材料である有鉛フリット(梶山工芸)をモデルとして用いた。糊材(乾燥時)とフリットの質量比が1:1となるよう、糊溶液とフリットを混合し、乾燥後、大気下、電気炉により10℃/分で所定の温度まで昇温し、焼成した。なお、XRD分析により糊と上絵具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。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、MultiFlex)分析を行った。

3. 結果および考察

本研究では、上絵付焼成を参考とした800℃焼成品の場合、上絵付に膠を用いると金属鉛が明確に検出され、ふのりを用いるとガラス等の非晶質由来のブロードなパターンが得られたことを報告した³⁾。今回、昇温途中の焼成品についてXRD分析を行い、焼成に伴う上絵具成分の変化の過程を追跡した。

図1に500℃焼成品と未焼成のフリットのXRDパターンを示した。ゼラチンまたはふのりを混合した焼成品から、共通して金属鉛(Pb)が検出された。フリットに含まれるシリカ(SiO₂)のピーク強度を基準とし、両焼成品の金属鉛のピーク強度を比較すると、ふのりと比較してゼラチンを用いた場合、優位に金属鉛が生成することが分かった。ふのりを混合した焼成品からは、硫化鉛(PbS)や硫酸鉛(PbSO₄)も検出された。これらから、糊の含有成分が、上絵付焼成に伴って発現する化学反応に大きく関わり、異なる反応経路を経て、上絵付最終段階へ到達し、さらに上絵層の化学成分へも差異を発現させるといえる。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

これらの現象は、完成した焼成品や、焼成途中に廃棄された資料等から、上絵付に用いられた糊の種類や焼成温度等の情報を得られる可能性があることを示唆している。

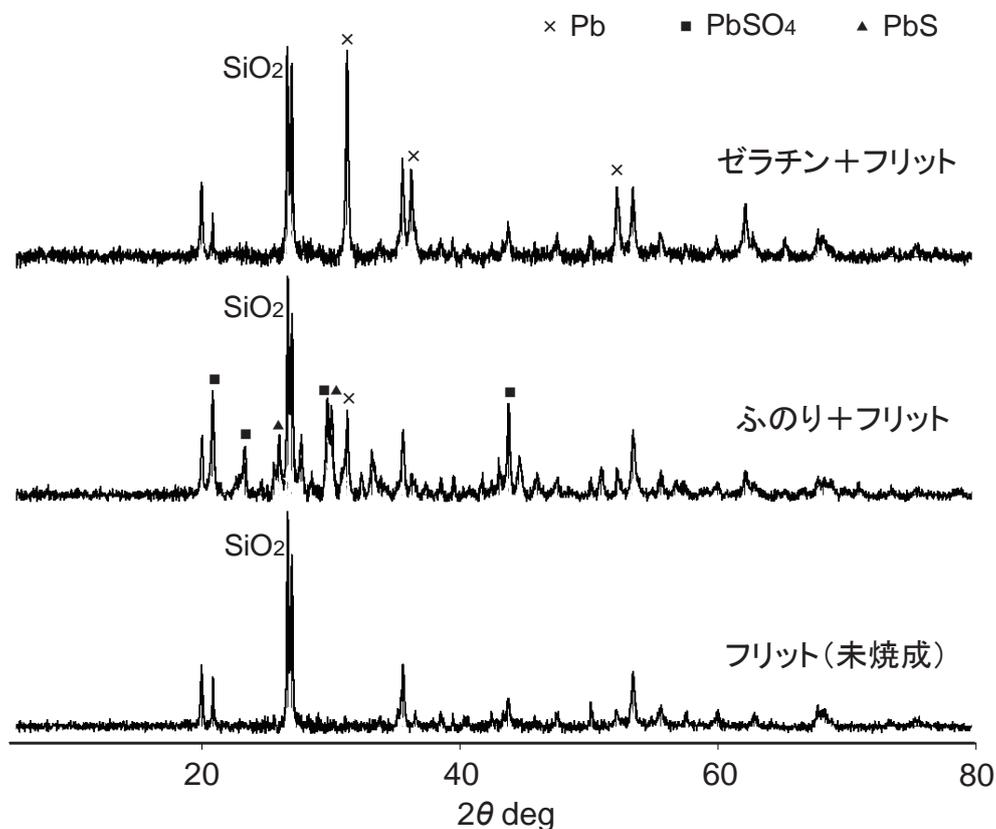


図1 XRD パターンの変化(焼成温度:500°C)

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鉛成分との化学反応の解明を目指し、昇温途中の焼成品を XRD 分析した。その結果、糊の含有成分によって異なる反応経路を経て、上絵付最終段階へ到達し、さらに上絵具の化学成分へも差異を発現させることが明らかとなった。これらの現象は、考古資料等から、上絵付に用いられた糊の種類や焼成温度等の情報を得られる可能性があることを示唆している。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 20K01112 および 16K01188 の助成を受けて行われた。

参考文献

- 1) 樋口智寛、二宮修治、陶磁器の上絵層における有機物分析の試み—焼成後における有機物材料残存の可能性について—、日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集、258-259(2014)
- 2) 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)
- 3) 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)

天理参考館所蔵クリス剣に見られる刃紋（パモール）の蛍光 X 線分析

XRF Analysis of the Pamor Pattern on the Kris Dagger in the Tenri University Sankokan Museum Collection

○青木智史（天理大学附属天理参考館），早坂文吉（同左）

○Satoshi AOKI, Bunkichi HAYASAKA (Tenri University Sankokan Museum)

1. はじめに

クリス (Kris) は、インドネシアを中心とする東南アジア地域における短剣の呼称である。特有の非対称の形状を呈し、刃には真っ直ぐなものと波形のものが存在する。天理大学附属天理参考館には数多くのクリス剣が収蔵されており、今回はそのうちの7点の資料 (図 1) を測定対象とした。

この中で Kris-02~05 は著名なコレクターであった岡野繁藏氏の旧蔵資料であり、収集時期 (20 世紀前半) や様式から 19 世紀後半に製作されたものと考えられる。図 2 に示したように、クリス剣の刀身にはパモール (pamor) と呼ばれる独特の刃紋を示すものが存在する。このパモールは、Ni の含有量の多い鉄合金 (ニッケル鉄) と鉄を合わせて鍛造することによって生じると考えられている。Ni の由来については諸説あるものの、隕鉄が用いられるものが存在することが知られている (プランバナン鉄隕石の利用など)。

しかしながら、クリス剣は欧米の著名なコレクションを初めとして数多く収集されているが、クリス剣の自然科学分析例は必ずしも多くない。そこで今回、日本における早い段階のコレクションである天理参考館所蔵資料を対象として、非破壊での蛍光 X 線分析による基礎的な自然科学分析調査を実施することにした。



図 1. 分析対象とした資料



図 2. 刀身にみられる刃紋 (パモール)

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 100 μ A (軽元素測定時は 200 μ A), 測定部径は 3mm, 計測時間は 60 秒である。測定は博物館内にて大気雰囲気下で、装置を三脚に固定し資料表面から 1mm 程度離れた状態で非接触かつ非破壊で実施した。測定箇所は、それぞれの資料について刃紋の銀灰色部と黒灰色部を、表面に付着物が

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

少ない箇所を選択して最低各3点以上測定を行い、金属標準試料との比較により主要元素 (Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As) の半定量分析を実施した。測定箇所は計 85 点であった。

3. 結果と考察

分析結果は表1に示したように、Kris-06を除き、パモールの銀灰色部分からはいずれも数%程度の Ni が検出された。図3は Kris-01 の銀灰色部の蛍光 X 線スペクトルであるが、非常に明瞭な Ni のピークを認めることができる。一方で黒灰色部はほとんど Ni を含まず、Kris-06 を除き基本的にはパモールは Ni の含有量の差により生じていると考えて大過なかるう。また Co についても、黒灰色部よりも銀灰色部の方が高い傾向が認められる。各測定箇所の分析結果には比較的バラツキが大きいものの、銀灰色部における Ni と Co の含有量には正の相関関係が認められる。このことから Ni と Co は共通の供給源が存在することを示唆する結果となった。なお、ほとんどの資料から As が検出されているが、これについては先行研究⁽¹⁾でも指摘されるように製作後に儀礼的に行われる刀身をヒ素化合物へ浸す処理に起因すると考えられる。

今回の調査により改めて確認できたクリス剣に添加されている Ni の由来については、先述したように従来から隕鉄に求める説がある。しかし、インドネシア地域に豊富に産出するニッケルラテライト鉱石なども有力な候補となるため、その由来を俄に判断することは難しい。一方で、Kris-01～04 のような比較的高い Ni 含有量を示すものに関しては単純にニッケル鉱石を添加したものとは考えにくい。隕石由来のニッケル鉄が用いられている可能性を考慮に入れるべきであろう。例えば、先述したプランバナ鉄隕石には Ni が 10%程度含まれており⁽²⁾、有意な Ni 供給源となり得るだろう。今後、測定例を増やしつつ、多角的に検討していく必要がある。最後に、1点だけ Ni を含まない結果が得られた Kris-06 については、天理参考館へ収蔵された時期や経緯が不明であり、表面に機械的な研磨の痕跡が見られ、パモールについても他の資料と比較して不明瞭で異質なものであることから、20世紀中頃以降に製作された模倣品とみなすべきであろう。

・参考文献

- (1) Necemer M. et al. 2013. "Study of the provenance and technology of Asian kris daggers by application of X-ray analytical techniques and hardness testing", *Acta Chimica Slovenica* 2013, 60(2), pp.351-357.
 (2) Kracher A. et al. 1980. "Chemical classification of iron meteorites—IX. A new group (IIF), revision of IAB and IIICD, and data on 57 additional irons", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44, pp.773-787.

表 1. 主要検出元素の半定量結果

資料名	部位	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	測定箇所数
Kris-01	銀灰色	94.8 ± 0.7	0.6 ± 0.1	3.5 ± 0.7	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.9 ± 0.2	6箇所
	黒灰色	98.9 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	3箇所
Kris-02	銀灰色	96.7 ± 1.1	0.4 ± 0.1	2.7 ± 1.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	-	5箇所
	黒灰色	99.7 ± 0.1	0.1 ± 0.1	-	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	-	3箇所
Kris-03	銀灰色	97.2 ± 0.8	0.5 ± 0.2	2.0 ± 0.6	-	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	7箇所
	黒灰色	99.6 ± 0.1	0.1 ± 0.1	-	-	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	3箇所
Kris-04	銀灰色	95.7 ± 0.9	0.5 ± 0.1	2.5 ± 0.8	-	0.1 ± 0.1	1.2 ± 0.5	5箇所
	黒灰色	98.6 ± 0.1	0.2 ± 0.1	-	-	0.1 ± 0.1	1.1 ± 0.4	12箇所
Kris-05	銀灰色	97.3 ± 0.6	0.5 ± 0.2	1.1 ± 0.6	-	0.1 ± 0.1	1.0 ± 0.4	8箇所
	黒灰色	97.8 ± 0.3	0.3 ± 0.2	-	0.1 ± 0.1	-	1.8 ± 0.6	9箇所
Kris-06	銀灰色	99.5 ± 0.1	-	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	-	0.2 ± 0.1	3箇所
	黒灰色	99.3 ± 0.1	0.1 ± 0.1	-	0.2 ± 0.1	-	0.4 ± 0.2	8箇所
Kris-07	銀灰色	97.9 ± 0.4	0.7 ± 0.2	0.8 ± 0.2	-	-	0.6 ± 0.3	5箇所
	黒灰色	99.0 ± 0.1	0.2 ± 0.1	-	0.1 ± 0.1	-	0.7 ± 0.3	8箇所

※単位は wt %。 - は検出限界未満を示す。

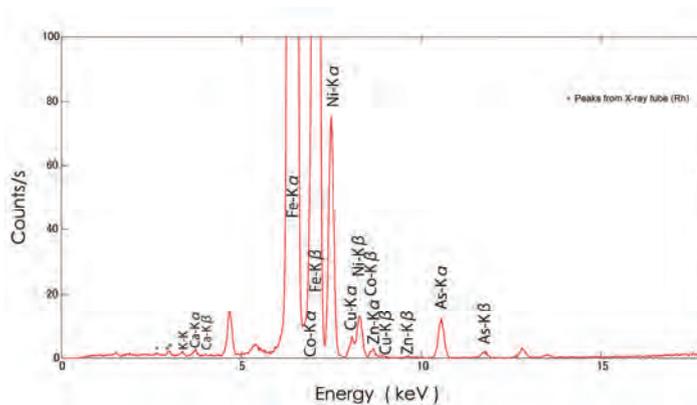


図 3. Kris-01 の刃紋部分（銀灰色部）の蛍光 X 線スペクトル

国宝「初音の調度」のうち貝桶、昆布箱、楊枝箱の構造および製作技法の X 線 CT 調査

X-ray CT Analysis of the Structure and Manufacturing Techniques of Kaioke, Konbu-bako, and Youji-bako 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）、吉川美穂（徳川美術館）、田中麻美（九州国立博物館）、木川りか（同左）

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

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2年度には、貝桶、昆布箱および楊枝箱の X 線 CT 撮影を実施し、その木地構造および製作技法を調査した。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 170~180 kV、管電流 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

【昆布箱および楊枝箱】

昆布箱および楊枝箱の木地構造については共通点が多くみられた。蓋天板、身底板、側板等の各部位には一枚板が使用されていた。蓋鬘同士および身の側板同士の接合方法は、両木口を 45°に切断してつなぐ留継となっていた（図1）。天板は蓋鬘の上に載り、身の側板は底板の上に載っていた。蓋および身の側面外側などに布着が確認された。

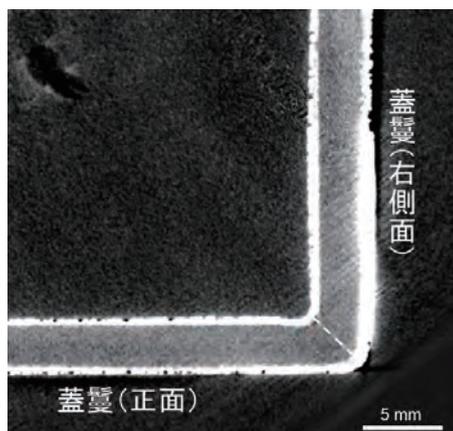


図1 楊枝箱蓋の水平断面。角において、蓋鬘同士が留継されている。破線は部材の境界を表す（以下同）

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

【貝桶】

貝桶 2 点の木地構造は蓋の一部を除き概ね共通していた。以下、共通事項を中心に述べる。

蓋の天板は四枚接で、柂目板が使用されていた。天板の一部を欠いて整形し、蓋鬘の上に乗せていた（図 2）。蓋鬘の角部分は、板に筋彫を入れ曲げている箇所（図 3）が多くみられたが、2 点のうち 1 点の作品には例外も確認された。

身の底板には二枚接の柂目板が使用されていた。側板は内側と外側の二重となっており、それぞれ上下に二枚接となっていた。外側の側板は底板を囲み、内側の側板は底板の上に乗っていた（図 4）。側板の角部分では、内・外の板とも、筋彫を入れて曲げていた。

盆の底板は、天板や身の底板と異なり、板目の一枚板であった。盆の側板は底板の上に乗り、接合部には木釘が見られた。側板の曲げ方は蓋および身と類似しているが、彫線の幅は蓋や身よりも広く彫られていた。

布着の範囲については、確認が困難な場合も多かったが、蓋鬘の外側および内側、身の側面外側、盆の側板外側などで確認できた。

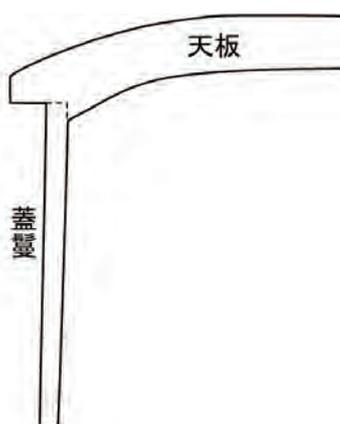


図 2 貝桶蓋の鉛直断面の模式図。
天板を整形し、蓋鬘の上に乗せている

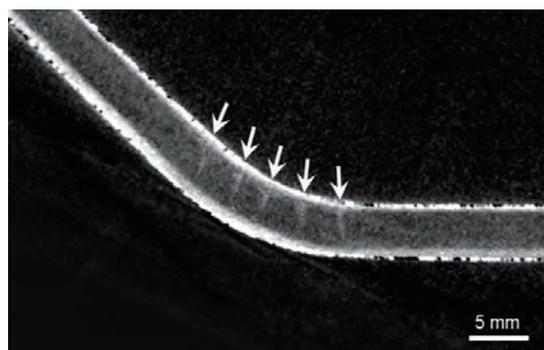


図 3 貝桶蓋の水平断面。蓋鬘の角部分にて、5 本の筋彫（矢印）を入れ曲げていることが確認できる

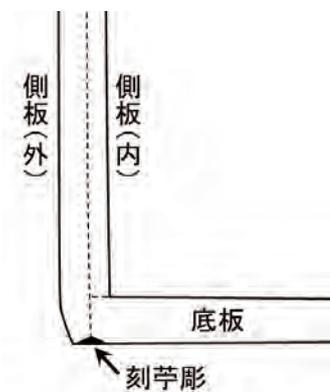


図 4 貝桶身（下部）の鉛直断面の模式図。外側の側板は底板を囲み、内側の側板は底板の上に乗る。また、接合部に刻苧彫が確認できる（矢印）

【謝辞】 本研究の一部は JSPS 科研費 JP18H03598 の助成を受けて実施された。

カッパドキア、アギオス・シメオン・スティリティス聖堂 (トルコ) の壁画の彩色材料、技法に関する調査 Painting materials and techniques of St. Simeon church (St. Simeon Stylites) in Cappadocia, Turkey

○谷口陽子 (筑波大学)、成田朱美 (愛知県立芸術大学)、高嶋美穂 (国立西洋美術館)、
柴田みな (建築専門家)、高橋香里 (東京藝術大学大学院)、菅原裕文 (金沢大学)、
ハティス・テムール (トルコ文化観光省・ネブシェヒール保存修復研究所)、
アイチャ・バシュトゥルクメン (同左)

○Yoko TANIGUCHI (University of Tsukuba), Akemi NARITA (Aichi University of the Arts),
Miho TAKASHIMA (National Museum of Western Art), Mina SHIBATA (Architect), Kaori
TAKAHASHI (Tokyo University of the Arts), Hirofumi SUGAWARA (Kanazawa University),
Hatice TEMUR, Ayça BAŞTÜRKMEN (Ministry of Culture and Tourism, Nevşehir Directorate
of Restoration and Conservation Regional Laboratory)

1. はじめに

聖シメオン教会 (アギオス・シメオン・スティリティス聖堂) は、中期ビザンティン初期 (アルカイック期にあたる 10 世紀初頭) に献堂されたと考えられる教会であり、ビザンティン様式の萌芽期の教会構造や壁画の様式を有している。ここには、他のビザンティン世界でもきわめて稀な柱頭行者シメオン伝の壁画サイクルがのこり、実際に、岩窟に上部構造があることから、地域的な信仰として柱頭行者との相関も考えられる重要な聖堂である。

2014 年より、筑波大学西アジア文明研究センターを拠点として本研究チームでは、レッドバレーに位置するニキタス聖堂 (ウズムル教会) の調査、微小環境計測による劣化機構の解析および壁画の保存修復を行ってきた。2019 年より、立地環境や壁画の様式の異なる聖シメオン教会にフィールドを変え、岩窟の劣化機構の解析、評価、風化抑制の実験とならんで、壁画の調査、修復を実施している。ここでは、保存修復活動を行う前に実施した、宗教的理由や観光により物理的損傷を受けている壁画の状態調査および彩色材料、構造の分析結果について報告する。

2. 壁画の状態調査

壁画は、主に宗教上の理由と観光によると考えられるヴァンダリズムで数多くの損傷を受けている。石窟については、マクロ写真測量法を応用した三次元測量 (図) と、紫外線励起蛍光、通常光、側光を用いた写真撮影によってベースを作成した。劣化現象ごとにヴィジュアルグロッサリーを作成し、OHP シートを用いて状態の記録を行った。状



図. 聖シメオン教会天井壁画の状態調査図の一例

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

態調査によって、支持体である岩盤からの亀裂や石膏層の剥離、穴、マイクロロス、生物の痕跡等により彩色層が損失していることや、暗色物質の堆積、ひっかき傷など機械的損傷、落書きなどがあることが分かった。ひっかき傷に関しては壁面に生じている損傷の大半であることが視覚化された。また、マイクロロスは暗い赤や深緑といった色に集中していた。

3. 壁画の材質分析

壁画は、ヴァンドリズム以外にも、変色・褪色などが生じており、当初の彩色の状態とは異なることが予想された。落下した破片を回収するとともに、現地から微小試料を採取した。落下片は、ELISA法（酵素結合免疫吸着検査法）およびLC/MS法による膠着材分析に供した。採取試料は、実体顕微鏡（Olympus社製BX51）下において通常光と紫外線蛍光による観察および観察表への記載を行い、1試料（SS14）のみXRDで分析、その他はポリエステル系樹脂（Struers社製冷間埋込樹脂No. 105）にて包埋のうえクロスセクションを作成した。試料は、4,000～12,000メッシュについてはMicro Surface社製のマイクロ・メッシュを用いて試料表面の乾式鏡面研磨を行った。クロスセクションは、通常光と紫外線蛍光にて観察・記載および撮影を行った。観察方法はPlesters（Plesters 1956）に準じた。その後、SEM/EDXにより観察と元素の同定を行った。

表. 聖シメオン教会壁画の彩色材料

試料番号	色	SEM/EDXによる検出元素	推定顔料
SS01	Red	Si, Fe, Al, K	Red ochre
SS02	Red	未実施	
SS03	Red	Ca, Fe, Si, Al, S	Red ochre
SS04	Red	未実施	
SS05	Red, yellow particles	Ca, S, Fe, Si	Red ochre, yellow ochre
SS06	Brilliant yellow	Si, Fe, Al, Ca, P	Yellow ochre
SS07	Gray, yellow particles	As, Si, Fe, Ca, Mg, Al, S	Orpiment (alteration)
SS08	Green	Si, Fe, K, Ca, Mg, Al, S	Green earth
SS09	Pale green	Ca, S, Si, Fe, K, Al	Green earth + gypsum
SS10	Pale yellow	Ca, S, Al, Si, Fe	Yellow ochre + gypsum
SS11	Orange yellow	Si, Ca, Fe, Al, S, K	Yellow ochre
SS12	Yellow	Si, Ca, Fe, Al, S, P	Yellow ochre
SS13	Gray	Ca, S, Si, Al, Na, Mg, K, Fe	Carbon containing black? + gypsum?

調査の結果、白色の下地層が1層あり、その上に彩色層が1層施されている構造であることを確認した。SS14のXRD分析により、下地部分からはcalcium sulfate, dehydrate, gypsumが、赤色の彩色層からはiron oxide, hematiteが同定されており、red ochreと考えられる。緑色はgreen earth（緑土）、黄色はyellow ochreとorpiment（石黄）と推定された。オーピメントはすべて灰色に変色しているが、現地における壁面の紫外線励起蛍光観察でも存在を確認することが可能であった。膠着剤分析は赤色と緑色の落下片について行い、ELISA法（卵、膠、カゼイン、植物ガムの検出が可能）により、彩色部分から植物ガムを検出した。したがって本壁画は、石膏を下地とし、その上に植物ガムを用いて顔料を塗布したセッコ技法によると考えられる。緑土は近隣のキプロスで大量に産出し、ビザンティンの彩色技法に調和的な結果と考えられる。

Plesters, J.: Cross-sections and Chemical Analysis of Paint Samples, *Studies in Conservation*, 2, 110-131, (1956)

「弓金具の保存科学的調査」 —福岡市を中心とする福岡県内の事例について— Conservation scientific survey of “Yumikanagu” (Metal parts to attach to the bow) —Cases in Fukuoka prefecture centered on Fukuoka city—

○比佐陽一郎（福岡市経済観光文化局）・小林啓（九州歴史資料館）
 Yoichiro Hisa（Fukuoka city Economy, Tourism& Culture Bureau）・Akira Kobayashi（Kyushu
 Historical Museum）

1. はじめに

弓金具は主に古墳時代後期の墳墓から出土する資料である。弓の弦をはじく際に、音響効果を高める目的で取り付けられたと考えられている小形の金具である。

弓本体は有機物であり、多くの場合、埋蔵環境下では腐朽して失われてしまうが、弓金具には弓の木質が付着、残存している。この木質を詳細に観察することで、その樹種を同定、推定することが可能である。

今回、福岡市を中心とする福岡県内の事例を対象に、弓金具の木質調査を行った。

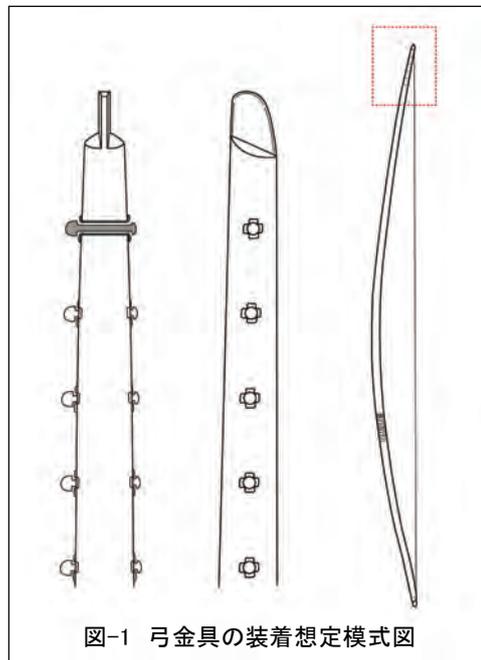


図-1 弓金具の装着想定模式図

2. 資料の概要と調査方法

弓金具は出土遺物として認識された当初は用途不明、あるいは馬具の一部などとされていた。しかし、事例の増加とともに出土状況の詳細な検討や、弓本体の木質が遺存する事例の発見により、本来の用途が明らかとなった経緯がある。以後、弓金具を取り付けた

飾り弓の出土する古墳の属性検討など考古学的な研究が行われてきた。近年、保存科学的調査の普及したことで弓金具もその対象となり、細部の構造や材質についての情報も示されている。

資料の基本的な構造としては、長さ2cm、直径0.5cm程の筒状の金具（皮金）に、そこから抜け落ちないように両端に膨らみを有した鉄アレイ状の部材（芯金）を組み合わせ、弓の上端（末弭の下部）や下端（本弭の上部）に複数個、取り付けられるものである（図-1）。材質は鉄が一般的であるが、鉄に加飾を施したものや、金銅製のものなども知られている。

今回は、特に皮金部分に残る弓の木質に着目し、その樹種の調査を行った。調査は実体顕微鏡や電子顕微鏡を用いた非破壊的手法により実施した。

3. 調査の結果

調査は福岡市内で出土した約100点と、福岡市を除く福岡県内の出土資料30点ほどを対象とした。

木質の残存が確認され、木材組織の観察が可能な資料を見る限り、道管の存在などからいずれも広葉樹である。今回の一連の調査においては、針葉樹は確認されていない。また芯持ち材は見られない。金具の取り付け方向は、放射組織の観察から、金具の長軸に年輪が並行するも

ポスター
発表

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

のと直行するものの両方が認められる。ただし、前者の方が割合が高い。以上が共通する要素として挙げられる。

更に木質の遺存状態が良好な資料を詳細に観察すると、広葉樹の中でも道管の分布によって、年輪に沿って環状に分布する環孔材、不規則に散在する散孔材がある。年輪に直交して並ぶ放射孔材は今回の資料の中には認められなかった。環孔材では、まず、直径が $300\mu\text{m}$ 程度の大きな目の道管が一行に並ぶものがある。一部の資料は電子顕微鏡で放射組織の特徴を観察したところ異性であった。これらの所見を総合すると、その樹種はケヤキである可能性が高い。また道管が複数列になる資料では、小導管が2～3個、放射状に複合し、放射組織が1～4列で同性という特徴が観察できる資料があり、トネリコ属と見られる。散孔材については、道管が単穿孔でらせん肥厚は見られず、放射組織は異性といった特徴が見られる。ムクノキ属やムラサキシキブ属などが候補となりえるが、樹種の特定には至らなかった。



写真-1 弓金具木質の実体顕微鏡画像

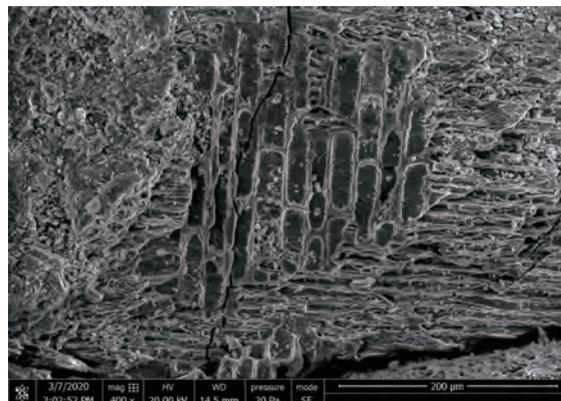


写真-2 弓金具木質の電子顕微鏡画像

4. まとめ

低湿地遺跡などから木製品として出土する弓の場合、縄文時代までさかのぼる事例も含めると、樹種はイヌガヤやイヌマキ属の針葉樹が多く、他にカバノキ属（アズサ）、ニシキギ属（マユミ）などが特に選ばれていたとされる（伊東ほか2012）。特に針葉樹が多い傾向と今回の調査結果とは必ずしも合致しない内容となっている。一方、樹種が明らかとなった資料では、ケヤキが古くは槻とも呼ばれ、槻弓という名称も知られており（嶋倉1985）、この点は共通する要素として指摘できる。

弓金具は、音響効果を期待して取り付けられると考えられているが、実際に資料を観察すると両頭金具の可動範囲はそれほど大きくないものが多く、そもそも金具自体も小さいため、どこまで効果があるのかは不明確でもある。また金具を取り付けた弓が儀仗用なのか、実戦にも使用可能なのかといった検証も行われていない。今回の金具に残る木質樹種に関するまとまった数のデータと、そこから導き出された傾向は、これらの課題解決に有益な情報になり得るものと考えられる。

一方で、今回の調査は九州の限られた地域の事例を対象としたものであり、その結果を全国的に敷衍させて考える事は難しいであろう。木製品の弓の樹種や木取りとの関係性も含めて、今後の課題である。

(参考文献)

伊東隆夫・山田昌久(編)2012『木の考古学 出土木製品用材データベース』海青社

嶋倉巳三郎1985「古代日本の武器武具に使われた木」『末永先生米寿記念献呈論文集』坤 末永先生米寿記念会

光ルミネッセンス法を用いた縄文土器資料の焼成温度推定 (2)

Assessment on firing temperature of Jomon pottery using OSL properties: Part 2

○下岡順直 (立正大学)・長井謙治 (愛知学院大学)・小林謙一 (中央大学)

○SHITAOKA Yorinao (Rissho University), NAGAI Kenji (Aichi Gakuin University),

KOBAYASHI Ken'ichi (Chuo University)

1. はじめに

縄文土器の焼成温度に関する文化財科学的研究は、これまでも数多く報告されてきた。先行研究成果のなかで、阿部 (1995) は縄文土器の製作実験を行い、器体が赤透色になるまで焼かず、器体の全面が赤化する程度の 10 分間のみ焼成とした場合、最高温度は 680°C を記録したが、焼成時間の大半は 500~550°C の間を記録したと報告しており、縄文土器の焼成温度は 500~600°C で 10~15 分程度の焼成であったという見解を示した。そして、器体の保水性と煮沸時の熱効率を高めるとされる土器断面の黒化層 (炭化層) は、「土器焼きの火」である土器の焼成時間と温度に相関し、「料理の火」で直接土器を焙って出来た赤化層が器体破損の要因になったと論じた。

筆者らは阿部 (1995) の論考を検討するため、縄文時代早期の土器片を用い、土器断面の色調が赤褐色と黒褐色に異なることと、焼成温度との相関関係について、光ルミネッセンス特性を用いて分析を行った。

今回対象とした試料は、山形県南陽市に所在する北町遺跡 5 層から出土した縄文時代早期末土器片 2 点 (大きさは 3 cm 以下) である (図 1)。2 点は、土器片断面が赤褐色を呈する試料 (土器 1) と黒褐色を呈する試料 (土器 2) である。



図 1 測定した縄文土器片

2. 光ルミネッセンス法を用いた被熱温度推定法

ルミネッセンス被熱履歴推定法の中でも、赤外光励起 OSL (IRSL) 感度変化法を使用した。長石の IRSL 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 IRSL 強度はほぼ変化しないとされている。具体的には、過去の被熱温度を T_0 、電気炉による人為的加熱処理温度を T_1 とする。同一試料で同じ被ばく放射線量であれば、電気炉による加熱処理温度が過去の被熱温度を超えない時 ($T_0 > T_1$ もしくは $T_0 = T_1$) の場合、OSL 強度の感度変化はほとんど生じない、もしくは小さい。これに対して、電気炉による加熱処理温度が過去の被熱温度を超えた時 ($T_0 < T_1$) の場合、OSL 強度は感度変化を生じ、系統的に変化する。このような特性を活かして、被熱温度推定を行った。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 試料処理と測定

測定前試料処理は、蛍光灯下で行った。まず、土器片表面は土壌などの汚染などを避けるためにモニターで軽く除去した。次に、乳鉢を用いて土器片を粉碎し、標準ふるいで 50 μm 以上の粒子のみを選別した。そして、10%過酸化水素水処理を 3 時間行って有機物の除去と、20%塩酸による処理を 60 分間行って炭酸塩鉱物を除去した後、超純水で洗浄して乾燥した。最後に、永久磁石を用いて磁性鉱物を除去し、非磁性鉱物のみを抽出した（「ナチュラル試料」）。

「ナチュラル試料」はガラスシャーレに移し、約 14~16 klx に設定した人工太陽システム（セリック社製 SOLAX XC-100B 形）を用いて 8 時間露光処理して、OSL 信号を人為的にゼロリセットした。「ナチュラル試料」は、露光処理のみで加熱処理無し測定試料（「露光試料」）と、「露光試料」を分取し、電気炉を用いて 400~800°C まで 100°C 刻みで 1 時間処理の段階加熱を行った測定試料（「加熱処理試料」）を用意した。

「露光試料」と「加熱処理試料」は 10 Gy 照射後、IRSL 測定を行った。IRSL 測定の条件は、励起波長 890 \pm 30 nm、検出波長 350~600 nm（半値幅）とし、160°C で 60 秒間プレヒート後、測定温度 60°C で 100 秒間行った。

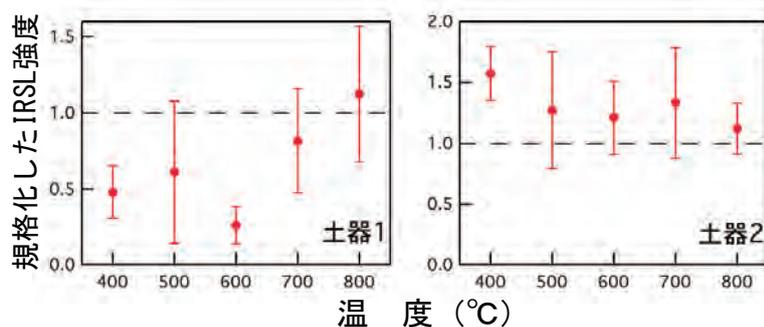


図2 土器片における段階加熱による IRSL 強度の感度変化

4. 結果と考察

測定した 40~80 秒間の IRSL 強度を積算し、「加熱処理試料」の IRSL 強度を「露光試料」の IRSL 強度で規格化した。測定した土器片ごとに、段階加熱による IRSL 感度変化の結果を図 2 に示す。土器 1 は、700°C まで IRSL 強度は 1 を下回るが、800°C で IRSL 強度が 1 を超えた。土器 2 は、400°C 以上ですべて IRSL 強度が 1 を超えていた。IRSL 感度変化の結果より、土器 1 では約 700~800°C 程度で被熱した可能性が示された。土器 2 の加熱実験では、400°C 以上に熱を被っていない結果となった。これらより、土器断面が赤褐色を呈する土器 1 は高温での被熱があったとされ、土器断面が黒褐色を呈する土器 2 では低温（400°C 未満）での被熱もしくは被熱はほとんどない可能性が示された。これら結果は、阿部（1995）の論考を支持するものであり、重要な傍証になる可能性があるのではないかと考える。今後、類例を増やしてさらに検証を進めたい。

引用文献：阿部芳郎 1995 「土器焼きの火・料理の火-縄文土器にみられる使用痕跡と器体の劣化構造-」『考古学研究』42-3、75-91.

繊維遺物鑑別のための基礎研究

—古代から日本で使用されていた植物繊維の人工劣化による形態変化—

Microscopic study for identification of archaeological fibers

—Morphological change by artificial degradation of vegetable fibers
used in Japan since ancient times—

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

1. はじめに

繊維遺物の鑑別には比較対象となる標品繊維との形態比較が最も簡便で有効とされているが、劣化分解した繊維や炭化した繊維など原形とかけ離れた形状となってしまった繊維遺物は鑑別が困難である。そのため、鑑別の指標となるように、標品繊維の未処理状態の形態把握に加えて、人工炭化した繊維や人工劣化した繊維の形態を走査型電子顕微鏡による観察ならびに単繊維の断面積および繊維幅の測定を行い、天然物ゆえの個体差のばらつきを考慮しながら、繊維種毎の特徴を捕えるためのデータを蓄積している。今回は、古代より日本で使用されていたとされる繊維(国内産)について、人工劣化前後の形態変化を比較した結果を報告する。

2. 試料

下記、9種の国内産の植物繊維を試料として用いた。

表1 国内産の植物繊維

番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
繊維種	大麻	苧麻	葛	科	藤	梶	楮	芭蕉	和棉
産地	栃木県	福島県	静岡県	山形県	京都府	徳島県	高知県	沖縄県	静岡県
生産年	H23	H23	H24	H25	不明	H21	不明	H26	不明

3. 実験方法

【劣化条件】

人工劣化試料は担子菌類由来のセルラーゼ・ヘミセルラーゼ・ペクチナーゼなどを含む細胞壁消化酵素であるドリセララーゼをpH4.8の50mMクエン酸緩衝液で2%溶液とし、前処理した試料を30℃の湯浴中で48時間反応させて作製した。

【観察・計測】

分析試料は、76カミソリ(フェザー安全剃刀株式会社製)により切断面を作製し、走査型電子顕微鏡(JSM-6010LA:日本電子製)を用いて観察した。各試料50本の単繊維について、断面積および繊維幅を観察ソフトウェア(In Touch Scope:日本電子製)で計測した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

4. 結果および考察

各試料の未処理繊維と人工劣化繊維各 50 本のそれぞれの断面積と繊維幅の平均値を求めた。

表2 未処理繊維と人工劣化繊維の単繊維50本の平均断面積ならびに平均繊維幅

	未処理繊維		人工劣化繊維	
	平均断面積(μm ²)	平均繊維幅(μm)	平均断面積(μm ²)	平均繊維幅(μm)
大麻	180 (74)*	25 (9)*	166(73)*	23(7)*
苧麻	286 (181)	30 (15)	246(117)	29(11)
葛	42 (16)	9 (2)	36(12)	9(2)
科	85 (43)	15 (4)	77(23)	16(3)
藤	29 (9)	8 (1)	20(10)	7(2)
梶	76 (29)	16 (4)	77(29)	16(4)
楮	173(114)	22(7)	118(63)	17(5)
芭蕉	51 (15)	16 (7)	33(14)	13(3)
和棉	148 (56)	22 (6)	130(44)	19(5)

()*: 標準偏差

形態観察において、人工劣化した試料は全ての繊維において分解が進み、繊維内部の空洞化が認められた。その分解の様子は、大麻のようにルーメンの同心円状に層が生じるものや、葛のように放射状にも層が生じるもの、藤、梶、楮のように層にならず全体的

にフィブリルの断面が観察できるようになるものなど、繊維によって異なる様子が観察できた。また、未処理の状態では単繊維が膠着して集合体となっていた繊維においては、酵素分解によってその膠着が中心部から乖離する芭蕉や繊維の外周から乖離する藤、その両方の葛や科など、それぞれ異なっていた。標品繊維の劣化分解の作用機序の違いの知見データを蓄積は、炭化時の繊維形態や生体鉱物の形状等と合わせて鑑別指標とすることで、繊維遺物の鑑別精度の向上が期待される。

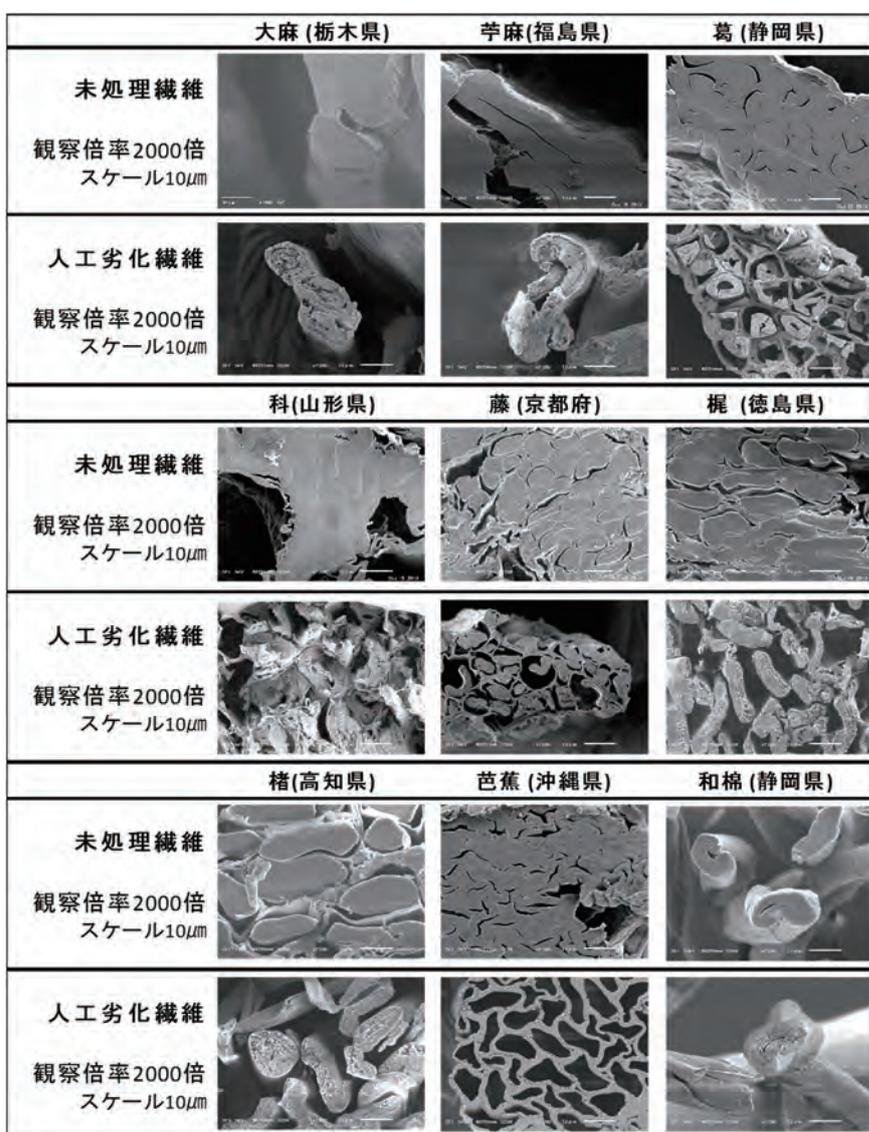


図1 未処理繊維と人工劣化繊維のSEM観察像

山梨県指定文化財稲荷塚古墳出土耳環の制作技法と産地推定

A study of manufacturing techniques and provenance of gold and silver earrings from Inariduka tumulus in Yamanashi Prefecture

○竹井良（帝京大学大学院文学研究科日本史・文化財学専攻）、藤澤明（帝京大学文化財研究所）
○Tsukasa TAKEI (Teikyo University Graduate School of Liberal Arts, Japanese History and Cultural Properties), Akira FUJISAWA (Research Institute of Cultural Properties, Teikyo University)

1. はじめに

山梨県甲府市下向山町 1271 番地の曾根丘陵公園内に所在する、稲荷塚古墳（6 世紀後半～7 世紀中頃）より出土した耳環 9 点（YID001～YID009）を研究対象とした。耳環には様々な形式および材料が使用されていることが明らかとなっている。そこで、本研究の目的は、耳環の材料・製作技法と材料産地との関係を明らかにすることである。

2. 分析方法

内部を含めた形態観察には、デジタル顕微鏡（HIROX 製 RH-2000）および X 線透過装置（日立製 MBR-1505TV-3L）、高精度マイクロフォーカスエックス線 CT 装置（東芝 IT コントロールシステム製 TOSCANER-30000 μ CM）を用いた。含有元素の分析には、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析計（Innov-X Systems DELTA PREMIUM DP-4000）を使用し、鉛同位体比による材料産地推定には表面電離形質量分析計（Finnigan 製 MAT262）を用いた。

3. 分析結果と考察

3.1 分析結果

図 1 に YID003 の顕微鏡観察像、図 2 に YID008 の X 線 CT スキャン像を示す。耳環 9 点中、YID008、YID009 は中空耳環、それ以外は中実耳環である。顕微鏡観察、X 線透過撮影によって YID001、YID002、YID004、YID005 の接面の仕上げ技法はたたみ込み技法、YID003 は絞り込み技法と推定される。なお、YID006、YID007 の接面部は剥落しているため判別不可能である。また、蛍光 X 線分析によって YID001、YID004、YID005、YID006、YID007、YID008、YID009、計 7 点の耳環から Hg が検出された。よって、これらの耳環に水銀アマルガム法が用いられていると推定される。X 線 CT スキャンによって YID008、YID009 の環体の接合部に銀鑢が用いられている可能性が高い。



図 1 YID003 の接面部顕微鏡観察像

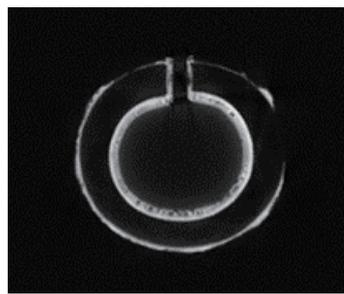


図 2 YID008 の X 線 CT スキャン像

3.2 鉛同位体比分析結果

表 1 に得られた鉛同位体比値を示す。また、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ を図 3 に示す。資料に含まれる鉛は微量であり、銅鉱石由来であると考えられる。9 点の耳環の材料産地は大きく 3 グループに分かれた。1 つ目のグループは YID001、YID003、YID004、YID005、YID008 が含まれる朝鮮半島領域であるが、YID001 とその他では同位体比値が大きく異なるため、朝鮮半島 A、朝鮮半島産 B と区別する。2 つ目のグループは YID002、YID007 が含まれる日本領域、3 つ目のグループは YID006、YID009 が含まれる遼寧・山東半島領域である。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

表 1 稲荷塚古墳出土土環の鉛同位体比値

資料番号	鉛同位体比値					分析番号
	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
YID001	18.827	15.725	39.746	0.8352	2.1111	TC0058
YID002	18.395	15.629	38.640	0.8496	2.1005	TC0059
YID003	18.345	15.646	38.693	0.8528	2.1091	TC0060
YID004	18.416	15.662	38.860	0.8505	2.1100	TC0061
YID005	18.367	15.653	38.492	0.8522	2.0957	TC0062
YID006	17.717	15.591	37.953	0.8800	2.1422	TC0063
YID007	18.375	15.612	38.683	0.8496	2.1052	TC0064
YID008	18.410	15.638	38.461	0.8494	2.0891	TC0065
YID009	17.548	15.546	37.506	0.8860	2.1374	TC0066
誤差(±)	0.010	0.010	0.030	0.0003	0.0006	

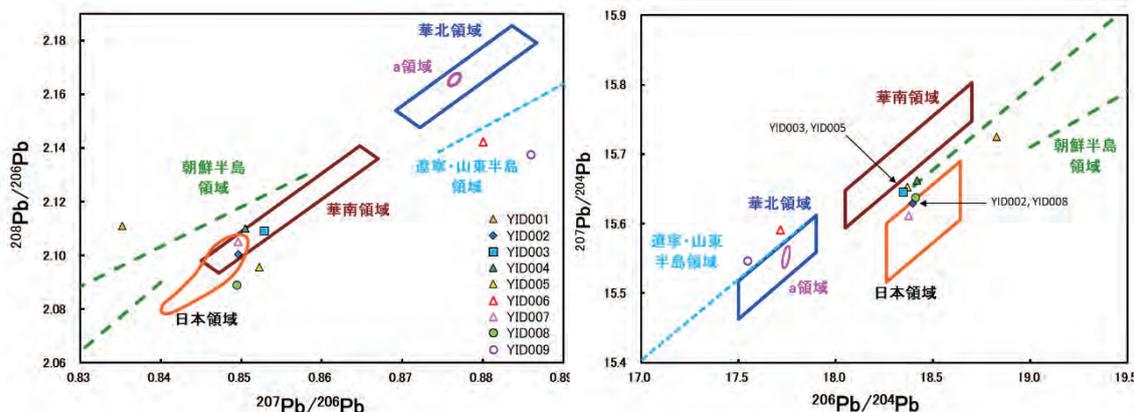


図 3 稲荷塚古墳出土土環の判別図

4. まとめ

本研究では、稲荷塚古墳出土土環 9 点を対象に、自然科学的手法を用いて製作技法調査と材料の産地推定を行い、その相関関係を検討した。得られた結果は以下である。

- ・最も多い土環は銅芯銀板巻鍍金であり、接面の仕上げ技法はたたみ込みである。
- ・材料産地は朝鮮半島領域 A・B、日本領域、遼寧・山東半島領域の 3 グループに分かれる。
- ・稲荷塚古墳出土の土環の材料産地は朝鮮半島領域 B に含まれるものが多い。

以上の結果を表 2 にまとめて示す。この表より対象とした土環の製作技法と材料産地に明確な相関関係がみられないことが分る。よって土環を製作していた工房と材料の産地に直接的な結びつきがないことを示している。

表 2. 稲荷塚古墳出土土環の材料・製作技法と材料産地

No.	分類	接面の仕上げ技法	産地	検出された主な金属元素	特徴的な不純物元素 【()内は1%未満】
YID001	銅芯銀板巻鍍金	たたみ込み技法	朝鮮半島領域A	Cu,Au,Ag,Hg,Pb,Fe	(Pb)
YID002	銅芯銀板巻	たたみ込み技法	日本領域	Cu,Ag,As,Fe	As
YID003	銅芯金板巻	絞り込み技法	朝鮮半島領域B	Cu,Au,Ag,Fe	
YID004	銅芯銀板巻鍍金	たたみ込み技法	朝鮮半島領域B	Cu,Au,Ag,Hg,Fe	
YID005	銅芯銀板巻鍍金	たたみ込み技法	朝鮮半島領域B	Cu,Au,Ag,Hg,Pb,Fe	(Pb)
YID006	銅芯鍍金	不明	遼寧・山東半島領域	Cu,Au,Ag,Hg,Fe	
YID007	銅芯鍍金	不明	日本領域	Cu,Au,Ag,Hg,Fe	
YID008	中空金銅環	薄板技法	朝鮮半島領域B	Cu,Au,Ag,Hg,Pb,Fe	Pb
YID009	中空銅地銅板巻鍍金	薄板技法	遼寧・山東半島領域	Cu,Au,Ag,Hg,Pb,Fe	Pb

5. 引用文献

- 1) 渡辺智恵美、「X線 CT スキャンと三次元データを利用した土環の調査—セット関係特定のための新手法の試み—」、史学論叢 48、pp1-9、2018

古代東アジアにおけるミツロウの検討(2):
韓国ソウル市の遺跡から出土した土器に埋納された
トウヨウミツバチ (*Apis cerana*) のミツロウ塊の同定

The studies of beeswax in ancient East Asia (2) :
Identification of beeswax lump of eastern honey bee (*Apis cerana*)
recovered from a pottery excavated from Seoul, Korea

○堀内晶子 (元国際基督教大学)、宮内信雄 (東京大学)、吉田邦夫 (同左)、宮田佳樹 (同左)

○Akiko Horiuchi (ex-International Christian University)

Nobuo Miyauchi, Kunio Yoshida, Yoshiki Miyata (The University of Tokyo)

1. はじめに

ソウル市鍾路区観水洞 104-2 番地遺跡の 1 号建物の朝鮮時代前期の文化層から、土器に入った直径約 10 cm、厚さ約 2 cm の乳白色の円形塊が出土した (図 1a,b)。この遺跡はソウル漢陽都城の中央部に位置し、遺跡周辺には宗廟・漢城府中部官衙址・水標橋・観水橋などの朝鮮時代の遺跡が分布し、その関連遺跡が残っている可能性がある地域である。1 号建物地からは、ドウム・青銅洗・青銅鉢・青銅皿・青銅燭台のような祭器や祭礼用品と一緒に出土された事から、建物はこの地域の官庁に配属された祠堂であったと考えられている⁽¹⁾。円形塊は出土当初、油塊と考えられており、油の由来を検討することが課題であった。まず塊が何か見当を付けるため、1) 糖の定性分析を行った。油脂であれば後から糖を添加しない限り、糖は検出されないと思われるが、例えば塊がミツロウであれば、微量のハチミツを含む可能性があり、ハチミツ由来の糖が検出されるはずと推測された。2) 炭素・窒素安定同位体比、C/N 比を求め、油塊状遺物の起源推定を行った。C/N 比が比較的小さいと窒素 (主にタンパク質由来) の多い肉・魚類、大きいと窒素の少ない植物類由来と推測できる。次により具体的に検討する為、3) ガスクロマトグラフィー質量分析法 (GC-MS) による有機物分析及び、4) ガスクロマトグラフィー燃焼炭素安定同位体比質量分析法 (GC-C-IRMS) を使った palmitic acid ($C_{16:0}$) と stearic acid ($C_{18:0}$) の炭素安定同位体比分析を行った。

2. 実験方法

試料と分析方法：試料は円形塊の断面 (図 1b) に示すように内部のハチミツ色のワックス状部分 (KRSK-1)、内部の白い斑点部分 (KRSK-2) 及び表面を覆っていると見える乳白色部分 (KRSK-3) を用いた。ミツロウの参考試料として、先行研究 (堀内ら、2020) を元にセイヨウミツバチ (*Apis*

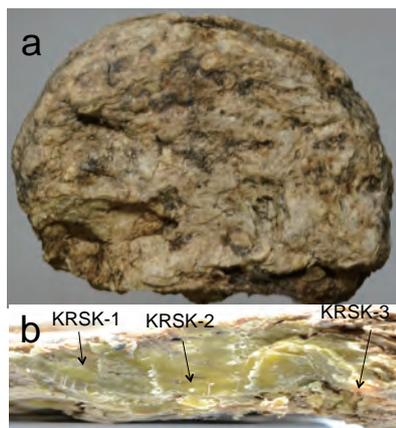


図 1.ソウル市鍾路区観水洞104-2番地遺跡出土の塊の俯瞰 (a) と断面 (b) 写真

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

millifera) と確認できた現生台湾産のミツロウ、日本産のトウヨウミツバチ (*Apis cerana*) 等を用いた。糖の定性分析には黄色～茶色の着色で糖の存在を示す DuBois (1956) の phenol/H₂SO₄ 法を用いた。炭素窒素安定同位体比、C/N 比は元素分析計安定同位体比質量分析装置 (EA-IRMS) を使用した。GC-MS と GC-C-IRMS 分析にはすでに確立されている酸抽出法 (Correa-Ascencio, 2014, Papakosta, 2015) を用いて有機物を抽出し試料とした。

3. 結果と考察

[油塊状遺物のおよその見当] 糖の定性分析の結果、分析した 3 試料はいずれも薄茶色に着色した。糖の含有が明らかになり、塊は油塊より、ミツロウの可能性が高い事が示唆された。C/N 比の結果から窒素はほとんど含まれず、タンパク質を含まない油もしくはミツロウの可能性を示唆した。

[より具体的な検討] 次に GC-MS を用いた有機物分析を行った (図 2)。Regert ら (2001) は GC-MS

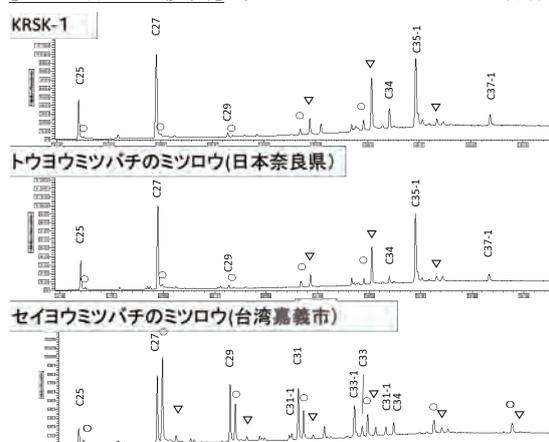


図 2. ソウル市鍾路区観水洞104-2番地遺跡出土塊(KRSK-1)と対象試料の部分クロマトグラム。C+数値：数値の炭素数を持つ直鎖alkane, C+数値-1：不飽和結合を1つ持つ直鎖alkane, ○：脂肪酸, ▽：長鎖alcohol. KRSK1は宮田らの報告(4)を改変。

を使ったミツロウの指標として 1. 奇数の炭素鎖を持つ直鎖の alkanes、2. 偶数炭素数の脂肪酸、3. Palmityl ester series (wax) などをあげている。我々はこれまでに、古代東アジアのミツロウ文化を検討する為の基礎試料として、6 か国の現生ミツロウを収集し、セイヨウミツバチ、トウヨウミツバチ、オオミツバチ (*Apis dorseta*) の識別が、上記のミツロウマーカに加えて、alkene 類から可能であることを示してきた (堀内ら、2020)。3 点の分析試料のクロマトグラムはほぼ同一で、いずれも Regert らのミツロウ指

標の他に、トウヨウミツバチ特有の炭素鎖 35 と 37 の不飽和結合を 1 つ含む alkene (C35-1, C37-1) が確認され、分析試料は油塊では無く、トウヨウミツバチのミツロウが主であることがわかった。GC-C-IRMS 分析の結果、分析した 3 点は共に現生のミツロウと同様の非反芻陸上動物領域に入ることがわかった。断面から、塊の表面は何か覆われているように見えたが、内部と表面との物質の差異は今回の分析手法では確認できなかった。韓国では約 2000 年前から養蜂が行なわれており、三国時代 (BC57-AD687) にその技法が日本にも伝わっている (Park ら、2012)。ミツロウは医薬品や化粧品の一部として、また鑄造用や工芸用、ろうソクとしても使用されていたが、朝鮮時代には朝鮮王朝の史料を記載した朝鮮王朝実録の一部に紙を保存する目的で塗布された事でもよく知られている。祠堂と考えられている建物から出土したミツロウ塊は、色も薄く、かなり精製されたものと思われる。使用する為に土器の中に保管されていたというよりは、供え物ではないかと考えられる。

本研究は JSPS 科研費 0H05813 「土器の年代と使用法の化学的解明」(研究代表者 國木田 大) の成果の一部である。試料提供者の皆様に深く感謝する。

1. The excavation report of Kwansu-dong 104-2, Jungro-gu, Seoul, Korea Research Institute of Military Heritage, 2020.

国宝教王護国寺五重塔内部彩色の材質と技法

Materials and Techniques of Coloring inside the Five-storied Pagoda of Toji Temple, National Treasure

○多田 牧央 (有限会社川面美術研究所)、森正和 (龍谷大学)、藤原学 (龍谷大学)

○Makio TADA (Kawamo Art Research Institute), Masakazu MORI (Ryukoku University), Manabu FUJIWARA (Ryukoku University)

1. はじめに

京都府京都市南区九条町に所在する教王護国寺(東寺)は、真言宗東寺派の総本山である。延暦 15(796)年に開創し、弘仁 14(823)年弘法大師空海の入寺以降、伽藍が整備された。現在の五重塔は、寛永 20(1643)年に上棟された三間五重、本瓦葺の塔婆である。総高約 54.8 m に及び、日本に現存する木造仏塔として最高最大の規模を誇る。

五重塔初重内部は、四天柱間に黒漆塗・散金具金鍍金の須弥壇高欄付を構え、その上に金剛界四仏を安置する。側柱に八大竜王または宝珠と波・雲、四天柱に両界曼荼羅尊像、板唐戸に護法八天、脇間板壁に真言八祖像、脇間腰貫下板壁に蓮池を描き、心柱・折上小組格天井・天井長押・横連子・内法長押・内法貫・台輪・頭貫・付鴨居・楣(まぐさ)・方立・腰長押・腰貫を文様等で悉く彩色する。絵師は長谷川等竹と伝わるが、経歴は未詳である。

京都市内には、江戸時代初期の木造塔婆(多宝塔を除く)として、他に寛永 9(1632)年の清水寺三重塔、寛永 11 年(1634)年の金戒光明寺三重塔、寛永 21(1644)年の仁和寺五重塔が現存している。とりわけ清水寺三重塔と仁和寺五重塔と教王護国寺五重塔は、初重内部彩色の文様の種類や配置構成が似ている。担当した絵師は異なる(仁和寺金堂・観音堂・五重塔の絵師は木村徳応と伝わる)ものの、同様の仏教的世界の表出を目指したと見られる。

本研究は、平成 29(2017)年に始まった初重内部彩色剥落止工事の中で観察した彩色の特徴について報告し、彩色仕様の合理化という観点から考察する。また修理仕様を検討するため、復旧不可能な剥落塗膜片を分析する機会を得たので、その中から緑色顔料の分析結果について報告し、緑色表現の多様性という観点から考察する。

ポスター 発表

2. 彩色技法の特徴

2-1. 型紙の多用

教王護国寺五重塔内部彩色は、矧目や割損部に目止めとして布着せ・漆下地が用いられる以外は、基本的に木地に白色下地を引いてから、下絵を転写するなどして地絵を描き、彫塗りで着彩をするという工程を経ている。これは、『文化財建造物保存技術資料集』記載の標準的な彩色復原仕様の手順(「骨描き」の後に着彩し、さらに「括り線書」を引く)と相違する。地絵を彫塗りで仕上げる仕様は、寛永 10(1633)年再建の清水寺奥院(京都府京都市東山区)等においても認められるⁱⁱⁱ。

山崎昭二郎は、「下画付け」の特殊な事例として教王護国寺五重塔を挙げ、「染色に用いる型紙の使用が確認され、近世における建築彩色文様の合理的技法の一端を知ることができる^{iv}」と述べている。台輪下端・内法長押・内法貫等の文様の地絵は、型紙特有の「吊り」^vを反映して破線状を呈しており、山崎の指摘を確かめることができた。

さらに、型紙を下絵転写の道具としてだけでなく、賦彩の道具としても使っていた^{vi}。天井小組・折上・格縁の花文様、外陣内法長押の七宝文様内唐草文様、横連子縁の唐草文様等は、地絵工程を省き型紙で粘度を高めに溶き下ろした絵具を刷って仕上げている。

その一方で、型刷り以外の下絵転写法も用いられていた。脇間板壁の真言八祖像の地絵や、付鴨居の条帯文彩色、四天柱の截金は、角筆で掻いたような陰刻ないし圧痕で転写された図様・見当に沿って施されていた。このような転写技法は、長享 3(1489)年上棟の慈照寺銀閣(京都府京都市東山区)、慶長 4(1599)年建築の金剛峯寺奥院経蔵(和歌山県伊都郡高野町)等で報告されている^{vii}。

2-2. 彩色仕様の合理化

型紙の多用以外にも、様々な彩色の省力化・効率化の工夫が観察された。

四天柱は中ほどを 5 区画に分けているが、目の届き難い最上段の区画は截金を金泥による線描で代用していた。また外陣台輪は一周約 34 m に及ぶ連続した画面に定型の牡丹唐草図を組み合わせて繋げているが、細部形態や配色で変化を付け、一見しただけでは構図が反復していることに気付かせない。これらは視覚効果を考慮した工夫と言える。

腰長押の亀甲文様中に、臍脂を意味すると推測される「ゑん」という墨書が散見された。組織的な彩色施工を前提とした配色指示であると推察される。

彩色面積が 400 m²を超えるという施工条件が、上記彩色仕様の合理化を推し進める動機となったことは想像に難くない。

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

3. 緑色顔料の蛍光 X 線分析(XRF)

3-1. 試料

内部彩色は元禄 5(1692)年に心柱及び初重側柱を短縮したことに伴い後補改変された幕板と天井長押を除き、過去に塗り替え・加筆等を経た記録や形跡は確認されず、基本的に寛永期のものであると考えられる。回収した剥落塗膜片の中から目視によって7箇所緑色顔料を選別し、試料とした。

3-2. 条件

分析装置 可搬型蛍光 X 線分析装置 100FA(アワーズテック株式会社)

分析条件 管電圧 40 kV、管電流 Auto、測定範囲 0-40 keV、測定時間 180 s

3-3. 結果と考察

表 1 に XRF による検出元素を示す。7 箇所全ての緑色顔料から、銅(Cu)と砒素(As)が検出された。

構造式 $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$ の花緑青(Emerald Green または Paris Green)は、一般に $\text{As-K}\alpha/\text{Cu-K}\alpha$ の蛍光 X 線強度比が 1 に近い値となる。しかし 7 つの試料の同比は 0.176~0.472 で、材料の相違が示唆された。また五重塔の彩色年代を考慮しても、19 世紀初頭にドイツで生産され始めた人工緑色顔料である花緑青が使用されたとは想定できない。

早川泰弘は、日本の美術工芸品等に用いられた緑色顔料には、花緑青とは異なるピーク比で Cu と共に Zn や As が同時に検出される例があることを報告し、それらには Rosasite, Zincrosasite, Adamite 等が含まれる可能性を示唆した^{vii}。

他方近世の絵画技法書^{viii}には、「萌黄」(白緑と藤黄の重色)、緑青と「草緑」(藍と藤黄の混色)の重色、「合せむぎ」(こいべろと石黄の混色)等の緑色系の調色法が記されているが、Cu と As を併用する技法は見当たらない。

したがって教王護国寺五重塔内部彩色の緑色顔料については、砒素を含む銅系緑色顔料であるという仮説と、銅系緑色顔料と砒素を含む顔料(石黄等)との混色あるいは重色であるという仮説が考えられる。前者であれば、As を含む銅系緑色顔料の化合物が明らかとなる可能性がある。また後者であれば、日光東照宮陽明門天井絵で緑青の下塗りとして石黄と藍の混色が推定された例^{ix}や、陽明門側面大羽目唐油蒔絵で緑青と石黄の混色が確認された例^x等、江戸時代後期以降の類例が多い中、このような調色色としては早い例になる可能性がある。いずれにしても、広大な五重塔内部空間の様々な部位・部材の緑色塗膜から Cu と As が検出されているという点に意義があろう。今後両仮説について検証を試みたい。

表 1 教王護国寺五重塔内部彩色における緑色顔料の XRF 検出元素と $\text{As-K}\alpha/\text{Cu-K}\alpha$ 強度比

位置	検出元素	$\text{As-K}\alpha/\text{Cu-K}\alpha$
外陣西面北脇間台輪下端	(S), <u>Ca</u> , Fe, <u>Cu</u> , As, (Pb)	0.391
外陣西面北脇間台輪	(Fe), <u>Cu</u> , As, (Pb)	0.274
外陣北面天井小組か	(S), <u>Ca</u> , (Fe), <u>Cu</u> , (Zn), As, (Pb)	0.207
外陣南面東隅腰長押	(Ca), (Fe), <u>Cu</u> , As	0.237
内陣南側内法長押	(Ca), (Fe), <u>Cu</u> , As	0.176
内陣南側内法長押上	(Ca), (Fe), <u>Cu</u> , As	0.224
不明	Cu, (As)	0.472

注: 検出元素は強度の高いものに下線、低いものに括弧を付けた。

ⁱ 京都府教育庁文化財保護課国宝教王護国寺五重塔修理事務所編『国宝教王護国寺五重塔修理工事報告書』京都府教育庁文化財保護課、1960、2頁。

ⁱⁱ 下絵(下図)は、本画とは別の支持体に描かれた下書き。地絵(地画)は、本画と同一の支持体に描かれた下書き。

ⁱⁱⁱ 京都府教育委員会編『国宝清水寺本堂ほか八棟修理工事報告書 第四集(奥院)』京都府教育庁指導部文化財保護課、2018、67頁。

^{iv} 赤穂市立歴史博物館編『文様彩色画師山崎昭二郎の世界:平成7年度特別展』赤穂市立歴史博物館、1995、65頁。

^v 吊りは、2枚の型地紙が離れないように型地紙を割り残して繋いだ部分。

^{vi} 大福光寺本堂(京都府船井郡丹波町)内部においても、地絵工程を省き型紙で賦彩する仕様が観察されるが、その彩色年代は未詳である。多田牧央・森正和「重要文化財大福光寺本堂彩色塗装の分析」(『文化財保存修復学会第37回大会研究発表要旨集』2015、276-277頁)。

^{vii} 京都府教育委員会『国宝慈照寺銀閣修理工事報告書』京都府教育庁指導部文化財保護課、2010、68-99頁。社団法人和歌山県文化財研究会編『重要文化財金剛峯寺奥院経蔵修理工事報告書』財団法人高野山文化財保存会、1978、58頁。

^{viii} 早川泰弘「銅系緑色顔料の多様性とその使用例」(『保存科学』平成20年度(48)、東京文化財研究所、2009)。

^{ix} 土佐光起『本朝画法大伝』元禄3(1690)年、狩野永納『本朝画史』元禄6(1693)年、画狂老人日『画本彩色通 初篇』弘化5(1848)年他。

^x 文政9年(1826)再建の平岡八幡宮本殿(京都府京都市右京区)内部彩色の一部は、銅系緑色顔料と石黄の混色と推定された。多田牧央・森正和「京都市指定有形文化財平岡八幡宮本殿彩色の調査」(『文化財保存修復学会第39回大会研究発表要旨集』2017、286-287頁)。

^{xi} 天井絵は狩野探幽(1602~1674)筆と伝承されるが、当該の緑色は当初から3回程度塗り重ねを経ている。財団法人日光社寺文化財保存会編『国宝東照宮陽明門』日光東照宮、1974、128-131頁・147頁。

^{xii} 大羽目唐油蒔絵の分析対象は、明和元(1764)年に描き直されたものと推定されている。浅尾和年「国宝 東照宮陽明門の平成修理―東・西両側面の装飾変遷と旧唐油蒔絵―」(『建築史学』64、建築史学会、2015)。

東北の弥生土器はどこで作られたか？ 類遠賀川系土器の胎土分析

Where was the Yayoi pottery in the northern Tohoku region made? The base soil analysis of the pottery style represented by Ongagawa type

○上條信彦（弘前大学）、柴正敏（同左）、福井麻里（同左）

○Nobuhiko KAMIJO, Masatoshi SHIBA, Mari FUKUI (Hirosaki University)

1. 研究の目的

青森県弘前市清水森西遺跡では、まとまった資料が少ない弥生時代中期前葉の五所式土器を主体とする遺物を検出した。またイネの粃圧痕やイネ種子から確実な出土イネの北限を更新した。稲作の普及には、その担い手が西からの移民か、縄文から続く在地の人々か、の2つの説がある。本遺跡では、在地系の五所式のほか、下北半島・南部地域の二枚橋式、西日本の弥生土器に類似する類遠賀川系土器を伴う。特に類遠賀川系土器は、直接的に遠賀川式土器の影響を受けた遠賀川系土器に対し、遠賀川系土器から必要な要素を取り込んだ土器で、在地系とは大きな違いがあるものの、近年の型式分析によって西からの二次的情報を得て在地の人々によって作られたとする説が有力である。そこで、形式的な違いだけでなく、胎土を検討することによって、直接的に製作地を検証することにした。特に粘土中の火山ガラスの化学組成に注目することで、製作地を火山灰降下域とその流域まで絞り込むことができる。これら土器由来を知ることによって、類遠賀川系土器の出現背景から北日本の弥生時代の構造を知ることにつながる。

2. 対象資料と方法

五所式土器 130 点、類遠賀川系土器 18 点、計 148 点を観察した。まず肉眼やルーペによって器面・破断面に火山ガラスや海綿骨針が顕著にみられた資料を選び、実体顕微鏡で再度観察した。結果、五所式土器 75 点（58%）、類遠賀川系土器 10 点（56%）を見出した。検出率は双方ともほぼ同率であった。これらのうち 29 点を偏光顕微鏡観察、火山ガラスを多数含む 7 点に対して EPMA 分析を実施した。

手順は試料 1 cm 角をダイヤモンドカッターで切断、エポキシ樹脂をつかって封入しながら研磨し、厚さ 0.02mm 以下まで研磨し、プレパラートを作成した。偏光顕微鏡観察では、土器胎土の構成鉱物やガラスの含有量を確認した。EPMA は日本電子製の JXA-8800 を用い、Si・Ti・Al・Fe・Mn・Mg・Ca・Na・K の 9 元素を定量分析した。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 結果

偏光顕微鏡観察の結果、12点(41%)に軽石が含まれ、そのほか、斜長石、石英、斜方輝石、普通輝石、ホルンブレンド、不透明鉱物が観察された。

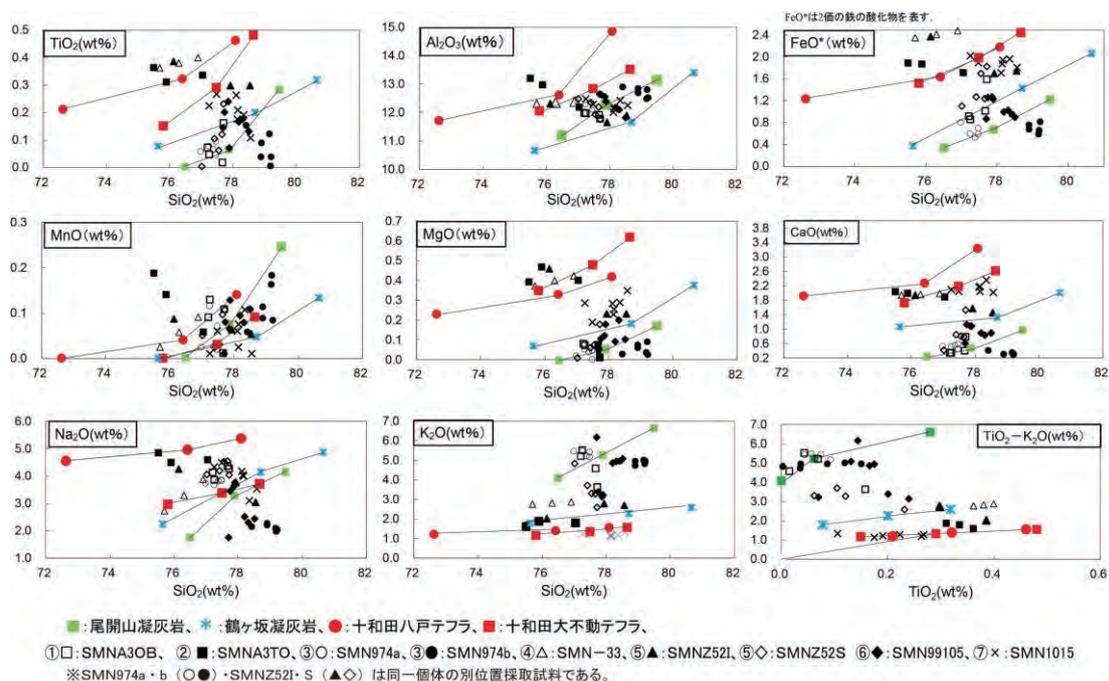
EPMA分析資料7点の胎土分析結果をHarker図(下図)に示す。ガラスの化学組成を考慮した各帰属火山ガラスの内訳は、①SMNA30B(□)、③SMN974a・b(○●)・⑥SMN99105(◆)は尾開山凝灰岩、②SMNA3TO(■)は十和田八戸テフラ、④SMN-33(△)・⑤SMNZ52I・S(▲◇)は八甲田第一期火砕流堆積物、⑦SMN1015(x)は十和田八戸テフラもしくは十和田大不動テフラであった。これらは八甲田カルデラや碓ヶ関カルデラに起源し、青森から秋田・岩手北部に分布する。

4. 考察

土器型式に注目すると、尾開山凝灰岩と判断された③、八甲田第一期火砕流堆積物と判断された④は、類遠賀川系土器の大型壺である。そのほかは五所式の甕や壺である。本結果からは両者の胎土に大きな差はない。顕微鏡観察の結果をふまえると、少なくとも中期初頭段階の類遠賀川系土器は、西日本を含む南東北以南で作られた土器ではなく、遺跡周辺で製作された可能性が高い。したがって、形式的に議論されている類遠賀川系土器は、遠賀川系土器のつくりを模倣したと推察される。

本研究はJSPS 科研費 19H01334「稲作北限域における農耕化プロセスの研究」の助成による。
上條信彦 編 2019『岩木山麓における弥生時代前半期の研究』弘前大学人文社会科学部北日本
考古学研究センター

柴正敏 2014「津軽の地質と縄文土器原料」『第四紀研究』53-5, pp.249-257



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

A Study on Pigments of 7th Century Horsemen Clay Figure in the Kharakorum Museum, Mongolia

○柳成焜（奈良文化財研究所）、オドフー アンガラグスレン（京都大学）、
今津節生（奈良大学）、成瀬正和（東北芸術工科大学）

○Sungwook RYU（Nara National Research Institute for Cultural Properties）、
Odkhuu ANGARAGSUREN（Kyoto University）、Setsuo IMAZU（Nara University）、
Masakazu NARUSE（Tohoku University of Art and Design）

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、2018 年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）、2020 年にザーマル古墳（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、バヤンヌール古墳出土塑像の試料 7 点の調査を行い、ザーマル古墳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、モンゴル国のハラホリン博物館が所蔵しているバヤンヌール古墳（7 世紀突厥時代）出土塑像 7 点（SB14～SB20）の人物像 4 点、騎馬像 2 点、騎馬人物像 1 点である。彩色は遺物によって、緑色、赤色、白色、青色、黒色、褐色などが確認された。特に、緑色顔料が多く用いられている騎馬像・騎馬人物像は、彩色の残存状態が人物像よりも比較的に良好である。

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：S8APO）、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：Eagle III）、X 線回折分析装置（Rigaku 製：SmartLab）である。

4. 分析結果

・**白色顔料**：SB14 は XRD によってカオリナイト（Kaolinite： $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ）が検出され、XRF によって Ca、Si、Fe、Mn、K などが検出された。SB15・SB16 は XRD によってアラゴナイト（Aragonite： CaCO_3 ）が検出され、XRF によって Ca、Fe、Si、K、S、Mn、K などが検出された。その他、下地としてカオリナイト（SB14、SB16）、アラゴナイト（SB15、SB17）、方解石（Calcite： CaCO_3 、SB18、SB19）が検出された。SB17・SB20 の下地は、XRD によって炭酸鉛（Cerussite： PbCO_3 ）が検出され、XRF によって、Pb、Ca、Si、Fe などが検出された。

・**赤色試料**：SB17 は XRD によって鉛丹（Minium： Pb_3O_4 ）が検出され、XRF によって Pb、Ca が検出された。SB15・SB18・SB19・SB20 は XRF によって、Fe、Ca、Si、Ti、K、Mn、Pb などが検出された結果より酸化鉄系の顔料と推定できる。そのうち SB15・SB20 は XRD によって赤鉄鉱（Hematite： Fe_2O_3 ）が検出され、酸化鉄が確認できた。

・**緑色顔料**：SB18・SB19・SB20 は XRD によって、孔雀石（Malachite： $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ）が検出され、XRF によって、Cu、Si、Fe、Ca、S などが検出され、岩緑青であることが確認できた。SB14・

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

SB16 は、XRD により緑色の由来となる結晶質物質の確認は出来なかったが、XRF により、Fe と K が顕著に検出され、かつ Cu が検出されないことから緑土と推定した。

・**青色顔料**：XRF によって、SB17 は Ca、Pb、S、Si、K、Fe などが、SB20 は Cu、Pb、Ca、Si、Fe などがそれぞれ検出されたが、XRD による色の由来となる結晶質物質は同定できなかった。前者は不明であるが、後者は岩群青と推定した。

・**黒色顔料**：SB15・SB16・SB17・SB18・SB19 は、XRF によって Ca、Fe、Si、Ti、Mn 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。

・**褐色顔料**：SB16・SB17・SB18・SB19 は、XRD によって、色の由来となる結晶質物質は同定できなかったが、XRF によって、Fe、Ca、Si、S、Mn、Ti、K などが検出された結果より酸化鉄系の顔料と推定した。

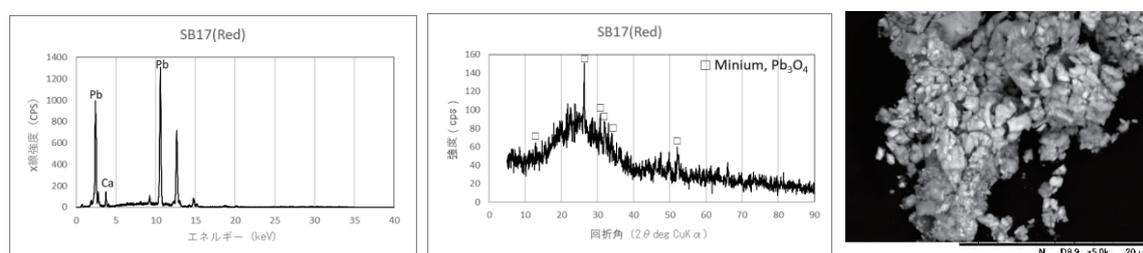


図1. 鉛丹 (SB17 赤色) の調査結果 (左) XRF スペクトル (中) XRD パターン (右) SEM 画像 (5,000 倍)

5. 考察と結論

モンゴル国の 7 世紀の突厥時代の古墳からは彩色された塑像が多数発見されている。本研究より調査したバヤンヌール古墳出土塑像は、以前調査したザーマル古墳出土塑像とともに鉛系の顔料が確認された事が特徴である。本研究チームの調査によると、モンゴル国における最も早い時期の鉛系顔料は 7 世紀の突厥時代の古墳であるこの 2 ヶ所で確認されている。注目すべきは、ザーマル古墳では白色顔料として炭酸鉛を確認したが、バヤンヌール古墳では炭酸鉛を下地として使用すると共に、赤色顔料である鉛丹を確認したことである。モンゴル国の顔料の歴史において、これまで最も古い時期の鉛丹の使用は慶陵の壁画 (11 世紀・契丹時代) で確認されていた (山崎：1987、アンガラグスレンら：2019)。しかし、バヤンヌール古墳の塑像に用いられた鉛丹は、既存の事例より 400 年ほど早い 7 世紀に遡ることが明らかとなった。この発見によって、鉛系の赤色顔料である鉛丹が、7 世紀頃に中国から日本や韓国に広がったのと同時期に、北方のモンゴル草原まで伝播していたことが判明した。これは中国で人工的に作られた鉛丹が、東アジアに同時期に広域的に広がっていたことを示す重要な資料である。なお、今回確認した鉛丹の粒子は、本研究チームの既存の調査で確認した角柱状の鉛丹 (柳ら：2020) と異なる形状を持ち、その製法や由来について更なる調査が必要である。

謝辞

本研究を行うにあたり L.Shinebat 館長 (ハラホリン博物館)、M.Oyuntulga 氏 (モンゴル文化遺産センター)、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、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

- (1) 柳成焜・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) 柳成焜・オドフーアンガラグスレン・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) 山崎一雄 1987 「古文化財の科学」163-166、思文閣出版
- (4) オドフー アンガラグスレン・古松崇志・松川節・高妻洋成 2019 「モンゴルの壁画に用いられた顔料の分析について」『日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集』178-179
- (5) 柳成焜・今津節生・成瀬正和 2020 「モンゴル国・ウグンヒド寺院遺跡出土の壁画顔料に関する科学的調査」『文化財科学』vol.81、37-48

重要文化財 唐招提寺「牛皮華鬘残闕」の彩色調査 — 文様復元について —

A study on color materials used in “Gohi-Keman” of Toshodaiji-Temple, Important Cultural Property. A restoration of colored patterns

○濱村美緒（奈良文化財研究所）、金原正明（奈良教育大学）、大山明彦（同左）、石田太一（唐招提寺）

○Mio HAMAMURA(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Masaaki KANEHARA,
Akihiko OYAMA (Nara University of Education), Taichi ISHIDA(Toshodaiji-Temple)

1. はじめに

重要文化財 唐招提寺「牛皮華鬘残闕」は、金堂所用と伝わる現存最古の牛皮製大型彩色華鬘である。華鬘両面には暈縹彩色により花・鳥・胡蝶等を描くが、これまで本格的な彩色調査は行われてこなかった。彩色文様の復元を最終目的とした本調査では、目視観察のほか、赤外線撮影装置や可搬型蛍光X線装置による測定を実施し、テストピースを用いた事前の基礎研究で得られたデータをもとに色料や文様の検討を行った。また、調査結果に基づいて実寸大の彩色復元図を制作し、奈良時代後期～平安時代初頭頃の暈縹彩色について考察した。

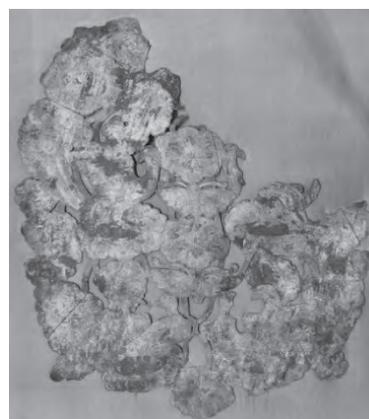


図1 牛皮華鬘残闕 呂号

2. 資料と方法

対象の華鬘残闕8片と小残闕片群は、漆下地と白色下地を施した牛皮上に、左右対称・表裏同文の彩色を施す。欠損や剥落は著しいが、伊・呂・波号の一部に当初の彩色が残っている。

【基礎研究】律令期に用いられたと考えられている主な色料を塗布したテストピースを作製。赤外線撮影や蛍光X線分析を行い、各色料が示す傾向やそのデータを収集した。

【彩色調査】全残闕片を目視観察した後、彩色が残る伊・呂号を中心に赤外線撮影、蛍光X線分析を実施した。また、参考までにUVライト下での蛍光の様子を目視観察した。

＜赤外線撮影＞PENTAX645D、富士フィルム社製光吸収・赤外線透過フィルター

＜蛍光X線分析＞OLYMPUS 社製ハンドヘルド蛍光X線分析装置 DELTA Premium DP-2000-CC
測定条件はX線管球：Rh、管電圧・管電流は Mining Plus Mode Beam1：40kV、100μA、Beam2：10kV、200μA。Soil Mode Beam1：40kV、100μA、Beam2：40kV、100μA、Beam3：15kV、200μA。
測定雰囲気：大気中、測定距離：約1～2mm、照射径：Mining Plus Mode はφ3mm、Soil Mode はφ9mm。非破壊・非接触で実施した。

【彩色復元】実寸大に出力した可視光写真¹から上げ写し技法を用いて文様・欠損状況等を模写し、それらを組み合わせて華鬘全体を可能な限り復元した下図を制作、本紙²への彩色を行った。

¹ 伊・仁号・鈴形：調査時撮影データ 呂号：調査時撮影、株式会社凸版印刷提供データを使用した。

² 今回の復元は、彩色文様および華鬘全体の形状の復元を重視したため、紙本著色での復元とした。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 調査結果と色料の考察

当華鬘には赤系2種・紫系・緑系・現状灰白～灰褐色（青系カ）の計5系統・各5段の暈縹、金箔や墨線等が認められ、科学的な調査の結果と合わせ、以下のように色料の検討を行った。

表1 調査結果および使用色料について（伊・呂号共通）

	文様	現状色（暈縹は濃色から）	主要元素(微量)	赤外線写真での主な傾向	使用色料の検討
各色 暈縹	赤系①	黒、鮮赤、橙、淡橙（～灰褐色）、 白又は黄	Pb,Hg,S	黒：低明度、鮮赤：高明度 橙・淡橙：灰色	黒：墨、鮮赤：水銀朱(HgS) 橙・淡橙：鉛丹(Pb ₃ O ₄)
	赤系②	黒、濃赤、橙、淡橙（～灰褐色）、 白又は黄	Pb	黒：低明度、橙・淡橙：灰色	濃赤：赤色有機色料カ 黄：黄色有機色料カ
	紫系	黒、濃紫、淡紫、淡橙、白又は黄	Fe,Pb,Si	黒：低明度、淡橙：灰色、 濃・淡紫：濃灰色	濃・淡紫：ベンガラ(Fe ₂ O ₃)
	緑系	黒、緑、淡緑、白又は黄	Cu	黒：低明度 粒子のある緑：低明度	緑：岩緑青(CuCO ₃ ・Cu(OH) ₂) 淡緑：白緑青
	青系カ	黒、灰白～灰褐色、緑み・青みの灰色	Fe,Ca,(Pb,Si)	—	金堂と共通する青系の色料カ
部位 名称 等	輪郭線	暗赤色・鮮赤色が混在	Fe,Hg,S	暗赤色の線：濃灰色	主にベンガラ、一部に水銀朱
	蔓・鈴	一部金色	Pb,Au	—	金箔
	雄鳥嘴・脚	一部金色	Pb,Au	—	金箔
	雌鳥嘴・脚	鮮赤色の下層に橙色	Pb,Hg,S	鮮赤色：高明度	鉛丹、水銀朱
	胡蝶	黄（粒子感無し）	Pb,Fe,(Si,Ca)	—	不明
	白色下地	白	Pb,Ca	—	Pb系白色色料、Ca系白色色料
	漆下地	黒	—	低明度	—
皮革露出部	—	—	—	—	

当華鬘には、青系や紫系暈縹の一部に黄色を用いたり、紫系暈縹の淡色の段に鉛丹を用いたりするなど、同時期の作例や暈縹彩色の法則とは異なる特徴が複数認められた。また、各個体で配色や筆致が異なっており、彩色工程だけでも複数の工人が携わっていたと推測される。

現状灰白～灰褐色、青みの灰色等に褪色する色料については、当寺金堂と共通の青系色料である可能性が高い。様々な現状色を呈する当色料に対しUVライトを照射したところ、いずれもピンク色に蛍光し、同一の色料であることが確認できた。また、暈縹の最淡色等に重ねられる黄色部分は、油の蛍光色と類似する黄～山吹色に蛍光した。当寺所蔵の国宝乾漆鑑真和上坐像（8世紀）の制作時に像表面に油を塗布した例もあるため、制作年の違い等考慮すべき点は多いが、今後の研究課題として検討していきたい。

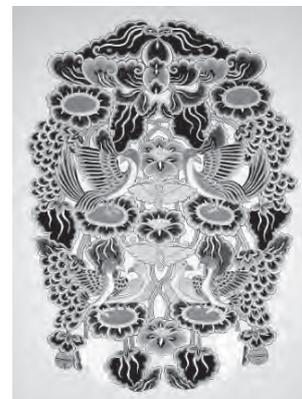


図2 彩色復元図

4. 復元図の制作とまとめ

伊号の配色と筆致を基に、欠損部をその他の残闕で補い復元した。特に伊・呂号に残らない華鬘下部については、欠損状況や文様構成の観点から検討を重ね、復元を試みた。なお、有力な結果が得られなかった胡蝶部分の黄色については、色味等が近い黄土を使用し、その他不明箇所は輪郭のみの空白にとどめた。文様構成の観点から、小残闕片中に残存する鈴形等の装飾品がさらに下に付属していたと考えられる。

科学的手法を取り入れた事前研究や調査、復元図制作を一連で行った本調査では、彩色文様の詳細や類例のない暈縹、金堂彩色との共通性などの点で一定の成果が得られた。今後さらに検討を進め、時代的背景や当寺建立の経緯等も加味しながら、さらなる研究を進めていきたい。

重要文化財 沖縄県斎場御嶽出土品の材質と構造の調査

Material and structural survey of artifacts of important cultural property, excavated at *Sayahautaki* in Okinawa Pref.

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

1. はじめに

沖縄県南城市にある斎場御嶽は、琉球国第二尚氏時代(15-19c)に整備された同国最高位の聖地である。1994-1998年度の南城市による発掘調査により、拝所の基壇下から17c末以降の埋納と推定される勾玉9箇、青磁10口、厭勝銭9枚、銭貨534枚が一括出土した(大城(編)1999)。2007-2009年度、南城市はこれら出土品の保存修理を(株)芸匠に委託し、修理は九州国立博物館文化財保存修復施設において行われた。九州国立博物館では、修理前の事前調査として、実体顕微鏡観察、蛍光X線分析(銭貨:Innov-X α -4000(Ta, 40kv, 30s)、その他:HORIBA XGT-5000(Rh, 50kv, 100s, 100 μ m))、X線回折(RIGAKU RINT UltimaIII(Cu, 40kV, 40mA, 平行法)等による科学調査を実施した。

2. 調査結果と考察

金製勾玉(第1図1-3) 3箇を調査。いずれも整った形態で、中空。長さ各4.1cm。表面に光沢があるものの、鍛金によるものと思われる緩やかで小さな凹凸が各所に見られる。側面中央には1条の凹んだ鑢付痕がめぐり、これに直交する盛り上がった鑢付痕が、表裏面へ7か所程度伸びている。鑢付痕は確認しづらい部分もあるが、元素分布(第2図)では明瞭である。概ね、鍛金により断面U字状の半裁形の勾玉1対を作成し、それを鑢付けして中空に仕上げたと推定される。金の成分(FP法)は、地金がAu91-93wt%, Ag7-9wt%の約22金、鑢がAu73-90wt%, Ag9-21wt%, Cu2-7wt%の約18-22金。鑢は融点を下げるため、AgとCuを多くしているのであろう。

中空の金製勾玉は、長さ5cm前後で帯状装飾の付くものが朝鮮半島の新羅王族墓や伽耶の墳墓(5c中-6c前)から出土している。同系統で長さ1.8cm、帯状装飾の無いのものが和歌山県の車駕之古址古墳(5c後)から出土している(前田(編)1993)。車駕之古址例の地金は、Au63-64wt%, Ag35-36wt%, Cu微量の約15金(村上1993)で、蝶形に切断した金薄板を鍛金し、勾玉凹部側の側面中央で鑢付けして中空としている(村上2003)。斎場御嶽例と形態は類似するものの、製作技術、大きさ、金の含有量は異なる。

石製勾玉(第1図4-6) 3箇を調査。いずれも整った形態で、両面穿孔。4は長さ6.0cm、暗黄緑色と黄白色の縞模様で半透明。丁子頭で頭部の刻線は2本。石材は葉蛇紋石 Antigorite を同定した(第3図4, 方解石 Calcite は埋蔵環境由来)。5は長さ3.4cm、白色と灰色で不透明。背面に網目様の亀裂状の染み?が見られる。石材は石英 Quartz と錫石 Cassiterite?を同定した(第3図5)。石の質は石英で、水晶、瑪瑙、碧玉等の宝石ではない。Pb, Zn, Sn等を含むことから鉱石か。6は長さ2.8cm、黒褐色で透明。石材は斜緑泥石 Clinocllore を同定した(第3図6)。

整った形態の石製勾玉は、日本本土では弥生・古墳時代に出土し、斎場御嶽例と同様に小形品と中形品を主体とする。石材には翡翠、碧玉、瑪瑙、水晶、滑石等が使用される。

琉球の石製勾玉は、グスク時代(12c)~近世に出土し(岸本2003, 谷川2004)、小形品と中形品を主体とする。女性司祭者であるノロや首長層の按司が所持したと伝わる民族資料の勾玉には、大形品が特徴的に含まれている。使用石材は、民族資料の大形品のみ調査が行われている。3点の肉眼観察と比重測定(約3.0)から、「所謂碧玉ではなく、寧ろ硬玉の一変種」(島田1933)、6点の肉眼観察と蛍光X線分析から軟玉と推定(早川2011)されている。この結果は、日本本土はもとより斎場御嶽のものとも異なっており、特に琉球のものは時期や大きさ等により、使用石材が異なっている可能性が考えられる。

ガラス製勾玉(第1図7-9) 3箇を調査。いずれも整った形態。7は長さ3.2cm、青色半透明。8は長さ2.3cm、黄緑色。9は長さ1.9cm、緑色。いずれもSi, Pbを検出したことから、鉛ガラス

ポスター
発表

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

と考えられる。そのほか、7はCu, Sn、8はFe, Cu, Sn、9はFe, Cu等を検出した。

日本本土の中近世のガラスは、カリ鉛ガラスとカリ石灰ガラスが一般的で、琉球では前者が中心となる(平尾ほか2011)。斎場御嶽では測定条件によるためか、Kが検出されなかった。

厭勝銭(第1図10) 9枚を調査。周囲は短い直線的な切断を円形に連結させて切断している。中央の方形孔は、切断によるものと、十字に切込みを入れ四方に折り返したのものがある。金の成分(FP法)は、Au81-82wt%, Ag17-18wt%, Cu1wt%の約19-20金。首里城出土の厭勝銭の成分(FP法)は、Au78wt%, Ag19wt%, Cu3wt%(沓名2018)の約19金であり、斎場御嶽の値に近い。

銭貨(第1図11) 有文銭127枚と無文銭8枚を調査。有文銭は、開元通宝(初鑄621年)~寛永通宝(初鑄1636年)の37種。ほぼ中国銭で、Cu, Pb, Snを含むものが主体。無文銭は琉球製と言われ、Cu, Pbを含むものが主体。首里城出土品でも同様な結果が報告(大澤1998)されている。

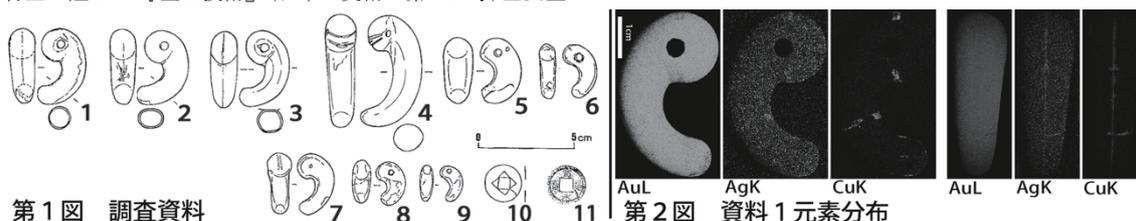
3. まとめ

おおよその時期の判明する一括資料の科学調査を行えた意義は大きい。特に、琉球の石製勾玉の石材については、これまでほぼ肉眼鑑定だけしか行われてこなかったが、今回の調査により日本本土の勾玉の石材とは大きく異なることが判明した。また、琉球国内においても時期や大きさ等により使用石材に特徴がある見通しも得ることができた。今後も調査を続けたい。

調査にあたり、遺物を所蔵する南城市教育委員会には大変お世話になりました。なお、本研究は、JSPS 科研費 JP18H03598 の助成を受けたものです。

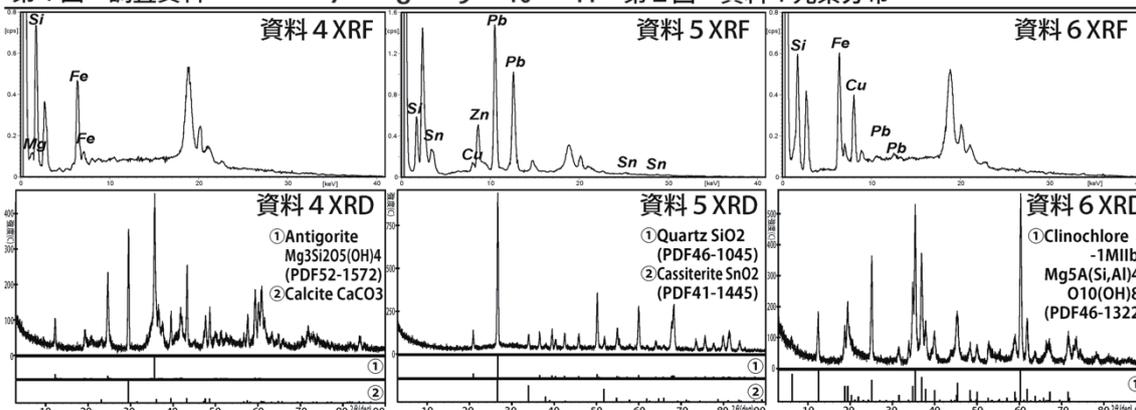
(引用文献)

- 大澤正巳 1998 「首里城跡出土の青銅器の科学分析報告」『首里城跡-京の内跡発掘調査報告書(1)-』沖縄県立埋文セ
大城秀子(編)1999『斎場御嶽 整備事業報告書(発掘調査・資料編)』知念村教育委員会
岸本竹美 2003 「グスク時代及び近世出土の玉製品に関する考察」『紀要沖縄埋文研究』1, 沖縄県立埋蔵文化財センター
沓名貴彦 2018 「銭貨状金製品の科学調査」『首里城跡-東のアザナ北地区発掘調査報告書』沖縄県立埋蔵文化財センター
島田貞彦 1933 「琉球勾玉考」『歴史と地理』31(1)
谷川章雄 2004 「沖縄県」『日本玉作大観』吉川弘文館
早川泰弘 2011 「ポータブル蛍光X線分析装置による沖縄県所在ガラス・玉製品の現地調査」『沖縄のガラス・玉等製品関係資料調査報告書』沖縄県教育委員会
平尾良光ほか 2011 「琉球王国のガラスの科学的調査」『沖縄のガラス・玉等製品関係資料調査報告書』沖縄県教育委員会
前田敬彦(編)1993『車駕之古址古墳発掘調査概報』和歌山市教育委員会
村上 隆 1993 「和歌山市車駕之古址古墳出土の金製勾玉の材質と製作技法について」『車駕之古址古墳発掘調査概報』
村上 隆 2003 『金工技術』(日本の美術 第443号)至文堂



第1図 調査資料

第2図 資料1 元素分布



第3図 石製勾玉のXRF・XRDスペクトル図

密教法具の科学的調査 -金勝寺所蔵品および京博所蔵品を中心に-

Scientific Research on Esoteric Buddhist Implements in Konyoji Temple and the Kyoto National Museum

○降幡順子(京都国立博物館)、末兼俊彦(同左)、古川史隆(滋賀県琵琶湖文化館)
田澤梓(同左)、久保智康(京都国立博物館名誉館員)

○FURIHATA Junko, SUEKANE Toshihiko (Kyoto National Museum),
FURUKAWA Fumitaka, TAZAWA Azusa (Museum of Shiga Prefecture Biwako-Bunkakan),
KUBO Tomoyasu (Curator emeritus, Kyoto National Museum)

1. はじめに

金勝寺および京都国立博物館所蔵の鎌倉時代に比定される密教法具について、科学的調査を実施した。とくに金勝寺の独鈷杵については、その構造について X 線 CT 調査を実施した結果、中型(中型)中心部の鉄芯の範囲を明確にし、新たに筭の存在や鑄掛の痕跡などを発見した。筭は、両鈷部の節近くに、鉄芯より小径の棒状のもので、鉄芯を避け、鉄芯とは直交する方向に確認できた。筭が中型を貫通し、鉄芯を避ける工夫がみられる本事例が中世に通有の技法であるのか判断は難しいが、京博所蔵の同時期の制作と考えられる独鈷杵を合わせて調査した。また非破壊分析にて表面の成分分析を実施し、特に微量元素に着目することで鎌倉時代における材質の特徴を明らかにすることを試みた。今後、さらなる類例調査を実施していくことで、中世における密教法具の制作技術の解明につながると考えている。

2. 調査資料および分析手法

調査資料は、鎌倉時代に比定される金勝寺所蔵の独鈷杵(図1)および五鈷杵、京都国立博物館所蔵の独鈷杵、三鈷杵、五鈷杵(平安時代)の5点である。

(1) X 線 CT 調査: 使用装置はマイクロフォーカス X 線 CT スキャン装置 TOSCANER-32300 μ FD、撮影条件は、照射 X 線電圧 220kV、電流 1000 μ A、スライス厚 0.9mm、1 画素サイズ 0.41mm、ビュー数 1200、ゲイン 1pF、積算時間 249ms、Cu フィルター 1mm厚を使用した。

(2) 蛍光 X 線分析調査: 使用装置は蛍光 X 線分析装置 EAGLE III を使用し、測定条件は、管電圧 40kV、管電流 700 μ A、大気中、測定時間 200 秒、装置と資料間距離は 10mm、ターゲット Rh、コリメータ径は 300 μ m Φ である。1 資料につき複数箇所測定し、軽元素の検出を目的とした箇所では管電圧 20 kV、管電流 1000 μ A、真空中で測定した。積分強度比による比較とともに、青銅標準試料を用いた定量分析をおこなった。

3. 結果

(1) X 線 CT 調査: 金勝寺所蔵独鈷杵は、損傷部で視認できる鉄芯は、X 線 CT 画像では独鈷杵の両端付近まで確認できた(図2)。鉄芯の断面形状は四角形(図3下)で、良好に残存している箇所では長辺が約 2.5mm、短辺が 2mm 程度と確認できたが、腐食劣化により形状が不定形を呈する箇所もある。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

銚部一方の先端近くには、内部の密度が高い箇所が存在し、立方体状の塊部とΓ状の部分が存在している(図2・図3上)。何故このような構造になるのか理由は判然としないが、銚掛け痕跡と考えるならば当時の銚掛け法による修理の一例として有用な情報となり得るのではないかと考える。また両銚部の節近くに、鉄

芯より小径の棒状のものが、鉄芯を避け、鉄芯とは直交する方向に確認できた。これらは筭と考えられ、再構成画像では丸印で示した箇所にあたり、方形状にその痕跡を確認することができる(図3右)。筭が中型を貫通し、鉄芯を避ける工夫がみられる本事例は、これまでのCT等の調査による報告事例もみられないため、中世に通有の技法であるのか判断は難しい。京博蔵の独銚所は中実であり、今後、さらに類例調査を実施していくことで、中世における密教法具の制作技術の解明につながると考えている。

(2)蛍光X線分析調査: 検出された主な元素は、銅・鉛・錫であることから、青銅製といえる。僅かに金が検出されることから鍍金の可能性が指摘できる。金勝寺蔵の独銚・五銚は、鑄造が一時期に実施されたとは明言し難いが、先に製作されていたもう一方を意識して製作された可能性もあり、金剛鈴や金剛盤も含めて法具が一具となった過程として興味深い。銅・錫・鉛以外の金属に着目すると、鉄・ヒ素が検出されている。12~14世紀の年記銘を持つ資料で、地金が青銅製の資料では、(1)鉄・ヒ素・銀・アンチモン、(2)鉄・ヒ素・銀が検出された資料があり、表面仕上げ(鍍金、彩色等)の見られる資料では(3)鉄、(4)鉄・ヒ素、地金が銅製の資料では(5)鉄・鉛、(6)鉄が検出されることが、資料数は多くないが調査報告がある。今回分析した資料は、(4)といえ、青銅製で表面仕上げのある資料として、これらの結果と整合しているといえる。今後も中世の金剛杵について継続的に調査し、製作技法の確認、地金の材質について事例数を増やしていきたいと考えている。

表1 蛍光X線分析結果

調査資料	銅	鉛	錫	その他
独銚杵(京博蔵)	82	8	8	As,Au,Hg
三銚杵(京博蔵)	87	6	4	As,Ag,Au,Hg
独銚杵(金勝寺蔵)	72	16	11	As,Au,Mn
五銚杵(金勝寺蔵)	78	11	10	As,Au,Fe,Ca,Mn
五銚杵(京博蔵・平安時代)	77	15	8	Ag,As

(wt%)



図1 独銚杵(金勝寺蔵)



図2 鉄芯



図3 再構成画像 上;Γ状部分、下;筭、右;方形状痕跡



埼玉・騎西城武家屋敷跡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 Kisai castle town site in Saitama Prefecture

杵名 貴彦 (国立科学博物館) ・ 嶋村 英之 (加須市教育委員会)
Takahiko Kutsuna (National Museum of Nature and Science)
Hideyuki Shimamura (Kazo city Board of Education)

はじめに

発表者らは、山梨県をはじめに戦国期の鉾山遺跡や城館跡、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、鉾山から城館、城下町への金の流通状況や、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¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。今回、戦国期に後北条氏と上杉氏が勢力を争った北関東に着目し、埼玉県加須市の騎西城武家屋敷跡の出土遺物をターゲットに調査を実施した。その結果について報告する。

(電子国土 Web を元に作成)

騎西城武家屋敷跡について

騎西城跡・騎西城武家屋敷跡は、埼玉県北東部の加須市南の騎西地区に所在し、加須低地内に立地する。遺跡の範囲は、江戸時代初期の絵図による。

騎西城は 15 世後半の享徳の乱では関東管領と対した古河公方方の最前線であった。16 世紀後半は後北条氏と上杉謙信との軍事的緊張の狭間にあり、1563・74 年に謙信に後北条方の城として攻略された。1590 年以降、徳川譜代の松平・大久保氏が二万石を賜わり、転封により 1632 年廃城となった。

当遺跡は、旧石器時代から近代までの複合遺跡で、遺跡の西 1/4 の土地区画整理事業に伴う発掘調査の成果が顕著である。主に 16~17 世紀初めの遺構・遺物が確認され、城郭を囲む堅固な二重の障子堀や、兜・馬鎧・腰刀・刀装具・100 点超の弾丸などの武器・武具、大量の漆椀・下駄・鉄鍋・茶の湯釜・金将駒・呪符などの生活遊戯用具、袋入り 708 枚銭貨・金貨 3 点・鉄鍋鋳型など多様な遺物が出土しており、小規模な地方城郭としては豊富な情報を有する。金・銀粒子等が確認された熔融物附着土器は、城郭の南エリアに集中して出土した。



図 1 騎西城武家屋敷跡範囲及び資料確認調査地点

ポスター発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学一般

探査

文化財防災

調査について

予備調査などにより、図 1 に示す騎西城武家屋敷跡の各調査次数で生産関連遺物を確認した。

調査は、実体顕微鏡を用いた現地調査を実施して詳細調査候補資料を選定し、その後借用して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附着状況の確認
- ・ 蛍光 X線分析法 (XRF) による金属生産関連物質附着状況の確認

結果及び考察

現地調査では、金や銀合金や銅合金といった非鉄金属生産に使用された資料を多数確認し、騎西城武家屋敷跡の複数箇所で、豊かな生産活動が推測された (図 1)。この確認資料を選定し、詳細調査を実施した。KB14 で確認した議論すべき資料について、ここでは詳述する⁵⁾。

1. 坩堝片に金粒子が付着し、マッピング分析から周囲に Pb や Bi が付着する様子が確認された (図 2(a))。各付着は資料の金粒子周辺に限り重なるように付着するため、金由来の不純物の可能性が考えられる。その場合、坩堝の金は金鉱石由来の山金とみられるが、同様の事例は

山梨県内の報告のみであり、歴史的背景や地理的条件など広範な検討が必要である¹⁾。

2. 坩堝片には、金粒子と銀粒子が付着する。マッピング分析により、金・銀粒子が個別に表面に付着する様子や、Cu,Asの付着が内面で広く確認された(図2(b))。この坩堝では、金銀銅を用いた合金の生産が行われたと考えられる。

3. 坩堝片に銅粒子が付着し、マッピング分析で内面に広くZn,Pbを検出する(図2(c))。真鍮生産に関わる坩堝と考えるが、把手付坩堝と異なる一般的な形状であり、銅と真鍮の合金化に用いたと考えられるが、より詳細な検討が必要である。

おわりに

今回、騎西城武家屋敷跡出土の非鉄金属生産関連遺物の調査から、北関東の小規模城郭における豊かな金属生産の様相が明らかとなり、様々な地点で金・銀・銅の生産工房の存在が推測される。更なる調査から、戦国期から江戸初頭の騎西の様相が一層明らかになると考えられる。

参考文献

- 1) 山梨県立博物館 調査・研究報告 5 『甲斐金山における金生産に関する自然科学的研究』 2011
- 2) 杏名・比佐 「中世末の非鉄金属生産に関する科学調査 ―博多遺跡群からの出土遺物について―」 日本文化財科学会第34回大会要旨集、p154-155、2017
- 3) 杏名・坪根 「中世大友内町跡における非鉄金属生産に関する科学調査」 日本文化財科学会第37回大会要旨集、p138-139、2020
- 4) 杏名・嶋谷 「堺環濠都市遺跡における非鉄金属生産に関する科学調査」 日本文化財科学会第37回大会要旨集、p140-141、2020
- 5) 杏名 「騎西武家屋敷跡出土金属生産関連遺物と金属製品の科学調査」 加須市埋蔵文化財調査報告書第14集 『騎西城跡・騎西城武家屋敷跡 KB14区調査 -中近世編-、『騎西城跡』遺物概観(ほうろく)』 p121-126、2021

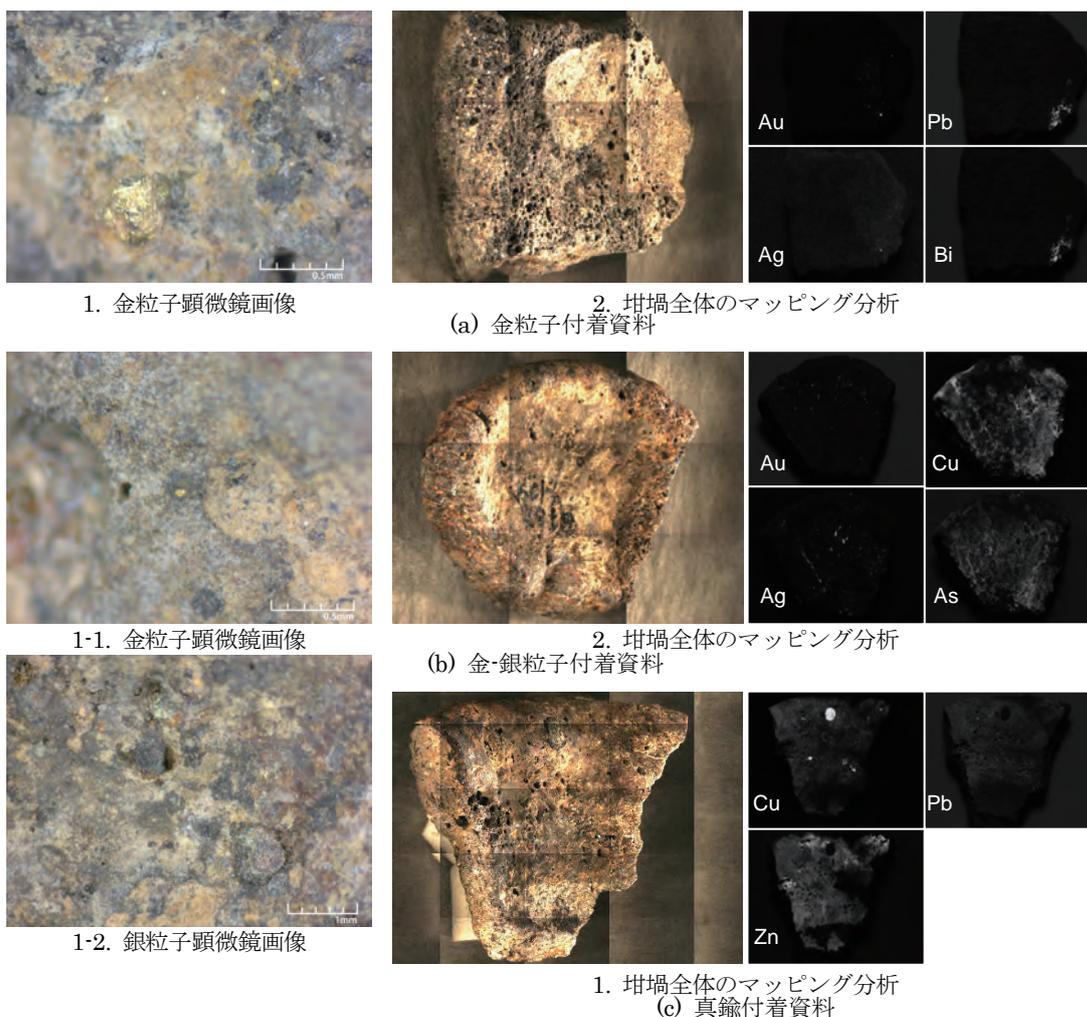


図2 騎西城武家屋敷跡出土生産関連資料の調査結果

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

平泉・志羅山遺跡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 Shirayama site in Hiraizumi

杵名 貴彦 (国立科学博物館) ・菅原計二 (平泉文化遺産センター)
Takahiko Kutsuna (National Museum of Nature and Science)
Keiji Sugawara (Hiraizumi Cultural Heritage Center)

はじめに

発表者らは、山梨県をはじめに戦国期の鉾山遺跡や城館跡、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、鉾山から城館、城下町への金の流通状況や、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¹⁾²⁾。今回は時期を少し遡り、平安時代末期に東北地方で一大黄金文化が開いた平泉に着目した。平泉には数多くの寺院や史跡、遺跡が存在するが、町内中心に位置する志羅山遺跡の一地点から多量の生産関連遺物が出土している³⁾。その調査結果について、今回報告する。

志羅山遺跡について

志羅山遺跡は平安時代末期、東北地方に勢力を誇った奥州藤原氏の拠点である平泉の中心部に広がる遺跡である(図1)。地形は町の中央を流れる北上川支流太田川の北側沖積地の平坦面に立地する。

昭和57年(1982)以降、これまで実施した調査回数は118回を数える。調査の結果、12世紀の屋敷地に伴うとみられる遺構・遺物を多く確認した。遺跡の北側では毛越寺方向から東へ続く大溝を検出し、板塀を伴う主要な道路側溝と推定されている。大溝は南北方向の溝跡や板塀跡と交差して、主要な建物を中心に井戸、土坑といった付属施設で構成された屋敷地を区画していたものと考えられる。

今回報告する非鉄生産関連遺物が集中して出土した80回調査区もこの一画で、南北方向の道路跡に隣接した区画の一部に当たる。



図1 志羅山遺跡範囲(黒線内)及び80次調査区(黒丸)

調査について

現地調査では実体顕微鏡で詳細調査候補資料を選定し、その後借用して詳細調査を実施した。詳細調査方法は、これまで同様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の元素調査

結果及び考察

現地調査では、金銀や銅合金といった非鉄金属生産に使用された資料を大量に確認し、志羅山遺跡80回調査区での豊かな非鉄金属生産を確認した。詳細調査に選定した坩堝に付着する金属元素を表1に大まかに示す。金・銀粒子を同一内で確認した金銀合金作成に使用とみられる資料が6点、金・銀粒子の付着資料は金15点、銀20点であった。一方、銅合金は純銅や銅鉛が中心で、青銅は1点と限られた。詳細調査により検討・議論すべき資料を、以降記述する。

1. 銀粒子には、Cuと共にAuを多くの資料で確認した(図2(a))。しかしその量は低く、銀への金添加よりも金銀の再利用過程での混入が第一に考えられるが、分析した銀粒子多くで確

(電子国土 Web を元に作成)

ポスター発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学一般

探査

文化財防災

表1 坩堝付着金属の種類

付着金属の種類	点数
Ag粒子	20
Au, Ag粒子	6
Au粒子	15
Cu系	14
Cu-Pb系	20
Cu-Pb-Sn系	1

認することから、僅かに金を含む銀鉱山産出の銀を用いた可能性も考えられないだろうか。

2.金銀粒子の分析の際、一部資料では Hg を検出した (図 2(b))。マッピング分析の結果、銀粒子の一部に存在が確認された。鍍金に使用した金銀の再利用による混入と考えられる。

3.金粒子付着資料には、金粒子周囲で W や Pb を検出するものがある (図 2(c))。Pb は付着状況などから、当時の混入と思われる。一方 W は、W の鉱物である重石類が岩手県南部で産出し、同地域での金産出も知られる⁴⁾。そのため、金は岩手県南部産の可能性も考えられる。

おわりに

今回、志羅山遺跡 80 次調査区出土の金属生産関連遺物の調査から、平泉における豊かな金属生産の様相が明らかとなった。詳細調査により付近には、金や銀、銅合金、鍍金など金工品を生産する非鉄金属生産工房の存在が推測される。銀には金を僅かに含むものが多いことが明らかとなり、使用した金には岩手県南部産の可能性も考えられた。

更なる調査から、一大黄金文化が花開いた平泉の非鉄金属利用が一層明らかになると考える。

参考文献

- 1)山梨県立博物館 調査・研究報告 5 『甲斐金山における金生産に関する自然科学的研究』2011
- 2)杵名・比佐「中世末の非鉄金属生産に関する科学調査 —博多遺跡群からの出土遺物について—」日本文化財科学会第 34 回大会要旨集、p154-155、2017
- 3)岩手県文化振興事業団埋蔵文化財調査報告書第 352 集『志羅山遺跡発掘調査報告書 (第 47・56・67・73・80 次調査)』2001
- 4)岩手県鑛業會編『岩手県鑛山誌』、1950

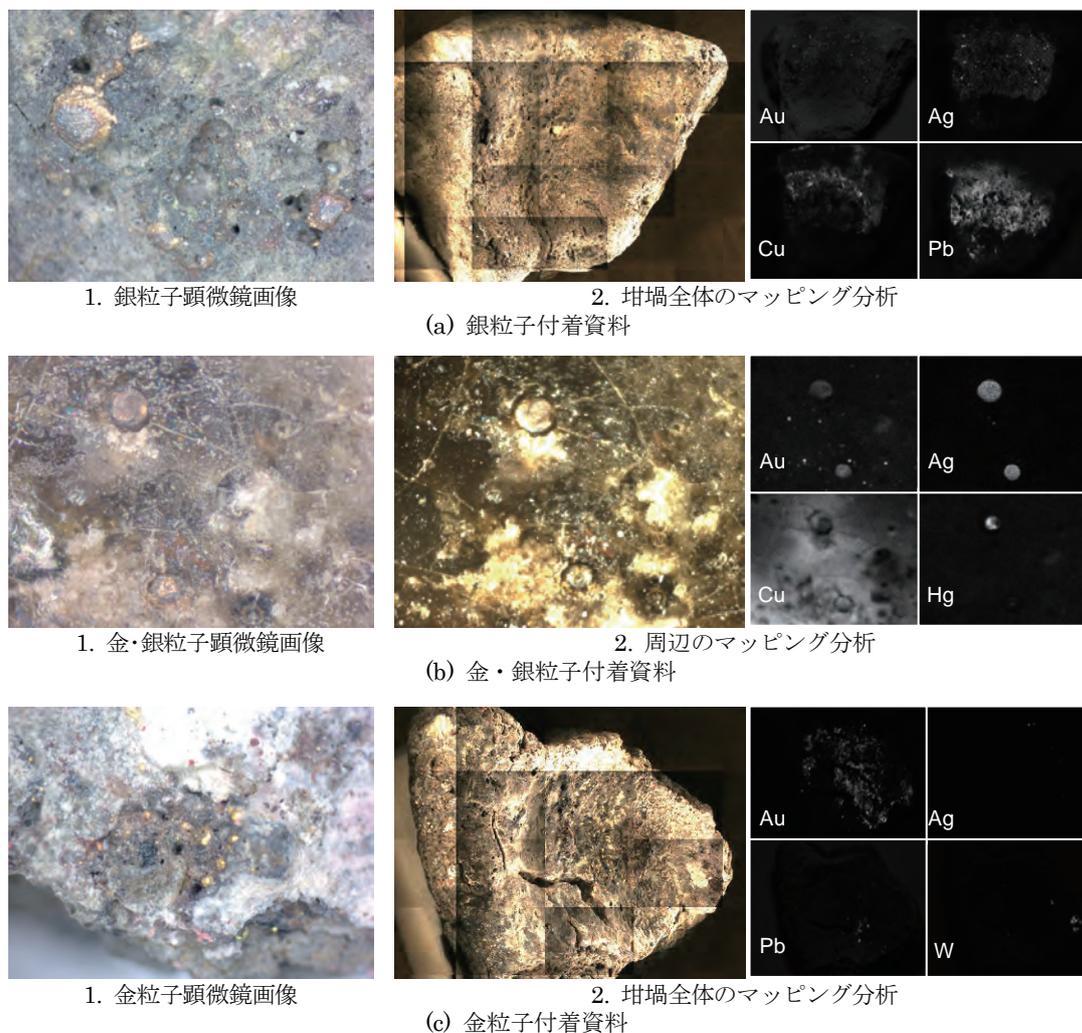


図 2 志羅山遺跡出土非鉄金属生産関連資料の調査結果

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

X線CTによる玉虫装飾をもつ杏葉の構造技法に関する検討

—船原古墳出土二連三葉文心葉形杏葉を事例として—

Study on Structural Technique of Pendant Horse Ornament with Jewel beetle decoration by the X-ray CT

—A case of Pendant Horse Ornament excavated 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),岩橋由季(同左),西幸子(同左)
輪田慧(合同会社2bit),村上浩明(株式会社とっぺん)

KATO Kazutoshi・KOBAYASHI Akira (Kyushu Historical Museum), KAI Koji・IWAHASHI Yuki・NISHI Yukiko
(Koga City Board of Education), WADA Kei (2bit.LLC), MURAKAMI Hiroaki(Toppen.inc)

はじめに

福岡県船原古墳では、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。現在、科学的調査、整理作業を進めているが、その中で、二連三葉文心葉形杏葉に玉虫装飾を施していることがわかった。こうした馬具は、これまで国内では未発見で、その構造技法については明らかとされていない。

そこで、主にX線CTによる、非破壊、非接触による調査を行ったので、その成果について報告する。

1. 調査の方法

二連三葉文心葉形杏葉は1号土坑の南側エリア、スギ材を釘で固定した箱内の中央付近で1点出土した。出土後、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: 225 kV/1.8mA/Filter: Al)により、全体の形状、遺物の内部構造等を三次元で記録した。

この後、付着する有機物を残しつつ、周囲の土壌を除去し、整理作業を行っていたところ、玉虫の上翅を見出した。そこで、デジタルマイクロスコープ(KEYENCE YHX5000 倍率×20~×250)で表面の観察を行った。CTデータの解析は、VolumeGraphics VGStudio2.2を用いた。

2. 調査の成果

2.1 基本的な構造

下部から順に、地板の上に、玉虫の上翅をのせ(上翅層とする)、文様板、縁金を重ねた4層構造である。固定する鉤は円形で6か所ある。文様板は透彫の二連三葉文であり、縁に蹴彫で外周線を刻む。また、地板、縁金の外径と比較して一回り小さい。したがって、鉤を貫通させて固定しているのではなく、地板と縁金に挟み込まれている。縁金は中空である。材質は縁金、文様板、立間、鉤表面は金銅である。

なお、裏面に繊維や木材が重層的に付着しているが、これらは別稿で報告したい。

2.2 玉虫装飾の方法

遺物および標本資料の拡大観察の結果、点刻や縦隆線の特徴から玉虫の上翅と判断された。

装飾の方法は、拡大観察およびCT画像から、地板の上に20枚強の上翅を配し、その上に文様板を載せている。したがって、玉虫は文様板の透かし越しにみえているもので、玉虫の色調を緑色とすると、金銅の金色とのコントラストはまばゆいことであろう。地板上に張り詰めるためなのか、上翅を切断した箇所がある。地板からはみ出る部分は切断し、形状を整える加工を施していると思われる。また、上翅の湾曲した断面形状を平滑にすることや、凹ませるような加工をしていると思われる痕跡もある。

なお、玉虫の種類や地板と上翅の接合方法は、現時点で不明である。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

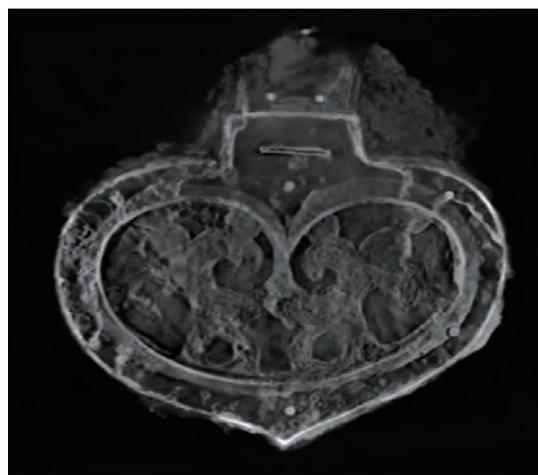
おわりに

現在、古代における玉虫装飾された資料のうち、国内において、馬具での確実な事例は本資料が初めての発見であるが、本報告では基本的な構造や玉虫の装飾方法について検討した。

今後は、玉虫の種類と同定、地板との接合方法といった課題の解決、朝鮮半島における類例との比較検討をつづじて、詳細な製作技法の復元、製作地や流通の解明を試みたい。



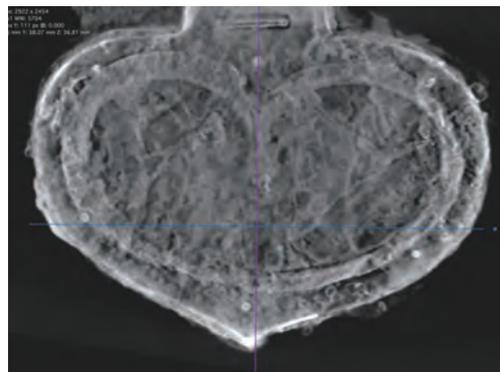
二連三葉文心葉形杏葉



平面像



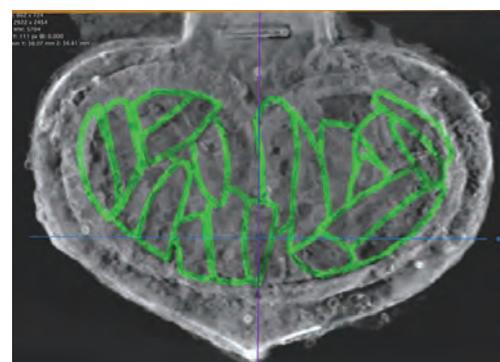
玉虫部分(×20)



文様板下部の玉虫上翅層 平面像



玉虫部分(×100)



推定される玉虫の配置

【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。

高精度文化財資料撮像装置の開発

High-precision imaging device for cultural properties

○米延仁志（鳴門教育大学），星野安治（奈良文化財研究所），大山幹成（東北大学）

○Hitoshi YONENOBU (Naruto University of Education), Yasuharu HOSHINO (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Motonari OHYAMA (Tohoku University)

1. はじめに

文化財の年輪年代決定では、先ず年輪幅や酸素同位体比等、何らかの年輪パラメータを測定し、資料の年輪時系列を得る。年輪幅の標準年輪曲線は豊富に存在し、測定が容易・迅速で、資料によっては非破壊での取得が可能である。従来文化財の年輪幅計測はノギスや専用の読取り器で行われてきた。デジタル撮像技術の進展により、容易に高精度な画像データが得られるようになり、測定の再現検証性が高いため現在では標準年輪曲線の構築にも積極的に活用されている。本発表では、文化財資料を対象に新たに開発した高精度撮像装置を紹介する。

2. 装置の概要

開発は（株）関野エンジニアリング（香川県多度津町）との共同で行った。装置の基本構成は3台の一軸ステージ（駆動部，XYZ軸），Cマウントで産業用カメラを接続したデジタル顕微鏡（撮像部），それらの制御用パーソナルコンピュータ（PC）からなる。室内設置型，ポータブル型の2タイプを考案した。前者では、長時間・安定環境での比較的大型な資料の撮像を想定して、独立したX軸に試料積載台を，YZ軸に顕微鏡を設置する。後者（図1）では、博物館等の搬出不可資料の撮像を想定して、一体化したXYZ軸に撮像部を装着し，装置下部に置いた試料を撮像する。

撮像技術の工夫点は、深度合成と画像連結があげられる。すなわち、撮像部を鉛直方向（Z軸）に移動させ、その都度撮影した複数の画像を深度合成法により合成し、全体にわたってフォーカスのあった1枚の画像が得られる。これを試料全体（YZ面）にわたって隣接した画像がある程度重なるように撮影し、画像連結法により1枚の画像を得る。この撮像方法により、細部の構造に関する情報を失うことなく鮮明な画像が得られる。

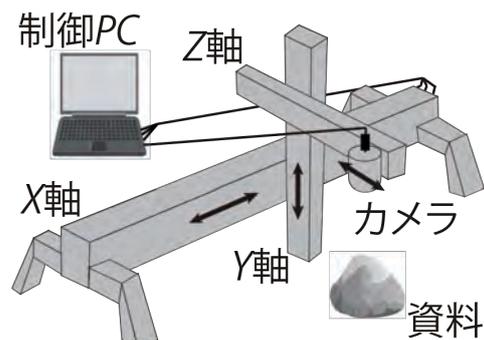


図1：撮像装置の外観（ポータブル型）

ポスター発表

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

3. 結果と考察

図2に年輪幅の狭い（1 mm 以下）ヒノキ古材に土器片（厚さ約 8 mm）を載せ、スケール込みで同時に撮影した画像を示す。実際の運用では予め顕微鏡対物レンズの倍率ごとに、精度の良いガラススケールを撮像し、スケールの実長と画素数で画素分解能を求めておくことで較正を可能としている。図に示したように古材の狭い年輪と同時に厚みを持つ土器片の表面形状や側面の細かな含有物も鮮明に再現されている。

年輪幅測定の精度を保証するためには、画素分解能と対物レンズの光学分解能を考慮する必要があり、両者のうち精度の低いほうがボトルネックとなる。今回用いた撮像系はデジタル顕微鏡（菊池光学、MP-ZE25-200）とカメラ（東芝テリーBU1203MCF, 1.2 Mega pix）では、前者の分解能が 4.2 $\mu\text{m}/200$ 倍、後者の画像精度が 14048 ppi（1.808 $\mu\text{m}/\text{pix}$ ）であった。

4. 今後の展望

本装置系の特徴は設計上のスケラビリティの高さである。すなわちステージ（長さ、運転パラメータ）やマイクロスコープ（対物レンズ）部分、カメラ（撮像素子）の組み合わせを適切に選択することで、サイズや要求解像度の異なる多様な文化財を対象に、細部から全体までシームレスにアクセスできる鮮明な画像が得られる。撮像系を制御用 PC と切り離して、デジタルカメラやビデオを装着し、インターバルタイマー撮影での画像や動画も取得できる。深度合成前の画像を利用して資料表面の 3次元形状を復元することも可能である。さらに、レーザ距離計等を装置系に付加的に組み込むことで精度の高い文化財資料の形状情報が得られ、3Dプリンタによるレプリカ作成等の発展が期待できる。

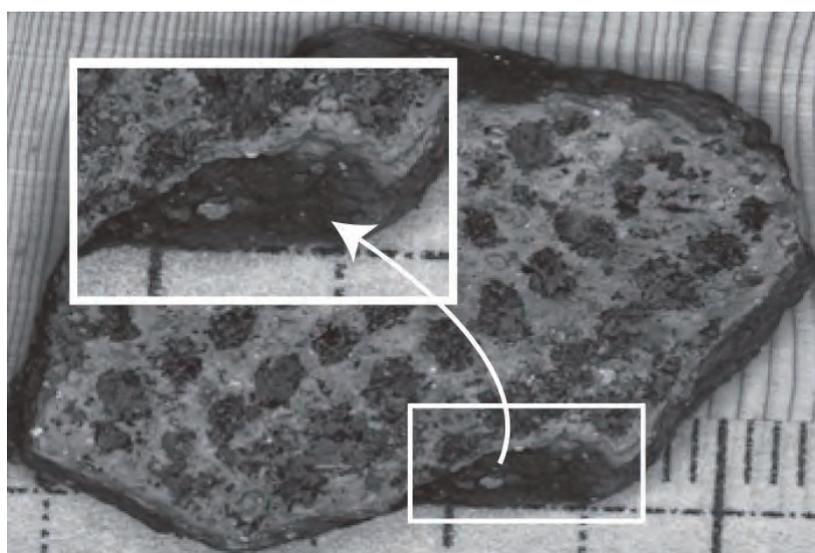


図2 撮像装置で得られた画像（室内設置型）

多変角測色計による貝類切片の分光分析 Spectroscopic Analysis of Sliced Shellfish Films by Using Multi-angle Spectrophotometer

○倉島玲央（東京文化財研究所）、早川典子（同左）、小林公治（同左）
○Reo KURASHIMA, Noriko HAYAKAWA, Koji KOBAYASHI
(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

構造色とは、その物質固有の色に関わらず、光の波長程度に極小な表面構造によって生じる干渉色のことであり、角度を変えることで色が変化して見える現象を引き起こす仕組みでもある。美しい構造色を呈す玉虫の羽は美術工芸品に利用されてきたが、螺鈿装飾に使われる貝殻内側の真珠層もそうした構造色を持つ物体の一つである。アジアにおける螺鈿装飾には真珠層を持つ夜光貝や鮑貝、白蝶貝等が広く利用されてきたが、一般に微細な文様形の切片として加工されるうえに、経年劣化が生じているため、貝種の同定は難しい。しかし、螺鈿技法に使用された貝種が特定されれば、製作当時の素材流通状況を知る手がかりとなるといった点に加え、保存修復材料判断の面から見ても非常に重要となる。そこで本研究では、分光分析の一つである多変角測色に注目し、貝種の同定を試みた。多変角測色とは、物体表面もしくは内部界面における散乱光を受光することが可能な測色方法であり、観測する角度によって反射率や色が変化するメタリックカラーや構造色を示す物体の測色に利用されている分析法である。本発表では、螺鈿材料として使用される夜光貝、鮑貝、白蝶貝それぞれの切片シートを試料として実施した、走査電子顕微鏡（SEM）観察と多変角測色分析による貝種同定の可能性について報告する。

2. 試料

研磨によって厚さを0.1 mm、0.2 mmのシート状に調整した貝切片（以降、薄貝）と1 mmに調整した貝切片（以降、厚貝）を試料とした（図1、表1）。

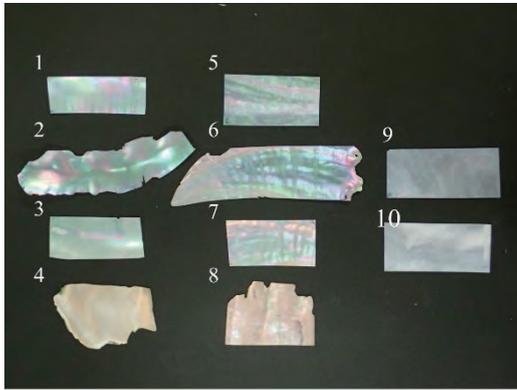


図1 貝切片試料

表1 貝切片試料

No.	貝種	厚さ	販売店
1	夜光貝	0.1 mm	A
2		0.1 mm	B
3		0.2 mm	A
4		1 mm	B
5	鮑貝	0.1 mm	A
6		0.1 mm	B
7		0.2 mm	A
8		1 mm	B
9	白蝶貝	0.1 mm	A
10		0.2 mm	A

3. 分析方法と条件

3-1. SEM 観察

SEM を用いて各試料の表面観察を行った。

SEM S3700-N/HITACHI（真空モード：低真空（30Pa）、印加電圧：15.0kV）

3-2. 分光測色

No.1-10 の試料を3枚ずつ用意し、試料1枚に対して、5点の測定を行った。貝切片には縞模様があり、光異方性があることを考慮し、縞模様に対して測色系の受光部分が平行、あるいは垂直になるよう、測定方向を変えた測定も併せて行った。測定は白色蛍光灯下、測定器の上に試料を置いた状態で行い、表色系 $L^*a^*b^*$ の a^*b^* 値を二次元プロットし、その分布と散布度を評価した。

分光測色計 CM-M6/コニカミノルタ（測定角度：（反射角 45°に対して）-15°, 15°, 25°, 45°, 75°, 110°、自動平均測定：3回、傾き検出：オフ、視野・光源：10°・D65、表色系： $L^*a^*b^*$ 、方向：Double-Path）

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

4. 分析結果と考察

4-1. SEM 観察

図2に薄貝 (a)夜光貝、(b)鮑貝、(c)白蝶貝)の反射電子像を示す。夜光貝と鮑貝からは類似した柱状の断面構造が確認された。矢崎の報告¹⁾にもあるように、マイクロ構造の比較による夜光貝、鮑貝の同定は困難であった。一方で、白蝶貝からは層状構造が交互に組み合わさった様相が確認でき、夜光貝、鮑貝との区別が可能であった。

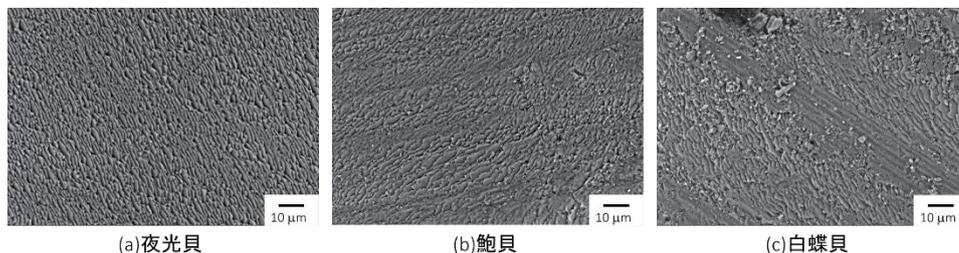


図2 貝切片のSEM画像

4-2. 分光測色

どの試料においても、反射角 45° に対して受光角度を増大させていくと、 a^*b^* 値を二次元プロットしたときの散布度が低下した。この性質に着目して、受光角度を 110° としたときの各試料の測色結果を図3~図5に示す。

夜光貝、鮑貝の薄貝 (No.1, No.5) の場合、夜光貝は第三象限、鮑貝は第二象限に a^*b^* 値が分布する傾向を確認できた (図3)。貝切片 No.2,3,6,7 から同様の傾向が認められ、薄さや貝の採取地域に関係しない、貝切片のナノ構造に起因する測色結果であると考えられる。夜光貝、鮑貝の厚貝 (No.4, No.8) の a^*b^* 値の分布は一部が重なり、薄貝の測定結果とはずれを示した (図4)。試料貝片の厚さによって貝殻自体の色が発色に強く影響したことが、 a^*b^* 値の分布を変化させた原因になったと推測される。以上より、特に薄貝に加工された夜光貝と鮑貝それぞれを特定する分析法として、多変角測色の有効性が示唆される結果が得られた。

また白蝶貝 (No.9,10) の場合、測色方向によって a^*b^* 値の分布と散布度が大きく変化し、一部夜光貝の薄貝の分布と重なったため、貝種の特定には SEM 観察の併用が必要であると考えられる (図5)。

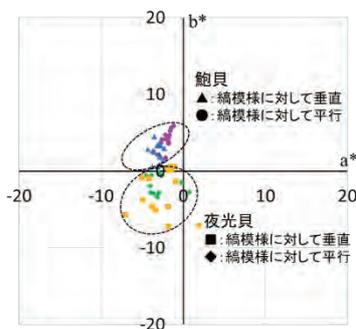


図3 夜光貝 (No.1) と鮑貝 (No.5) の測色結果

薄貝

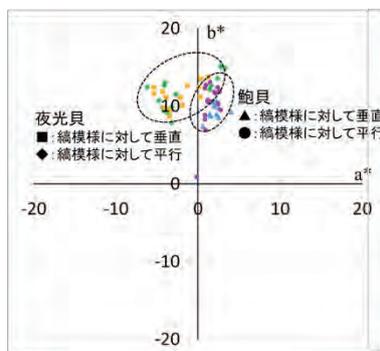


図4 夜光貝 (No.4) と鮑貝 (No.8) の測色結果

厚貝

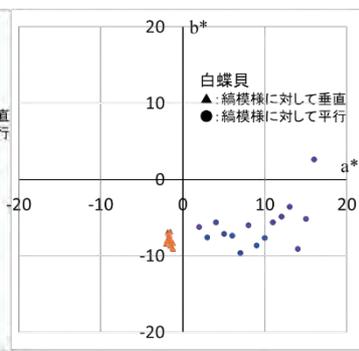


図5 白蝶貝 (No.9) の測色結果

5. まとめ

螺鈿に使用された貝種を非破壊で同定することを目的として、夜光貝、鮑貝、白蝶貝のシート状切片を試料として多変角測色計による測色を行った。夜光貝、鮑貝の多変角測色では、受光角度を大きくした場合、 a^*b^* 値が特定範囲に分布し、特に薄貝では貝種の同定に本分析法が有効であることが示唆された。白蝶貝の場合でも、SEM 観察の併用が必要となるものの、多変角測色によって貝切片からの貝種同定が可能であることが見出された。

【参考文献】1) 「螺鈿に用いられる貝殻の分析 —主にヤコウガイ、アワビについて」 矢崎ほか、宝石学会講演論文要旨 (2016)

本研究は科研費基盤研究(A)「アジア螺鈿文化交流史の構築—物質文化史の視点から」(課題番号:20H00037)の助成を受けたものである。

大宰府跡出土木簡削り屑の用材傾向

Trends of wood use from the analysis of wood shavings tablet from the Dazaifu site

○小林啓 (九州歴史資料館)・酒井芳司 (同左)・松川博一 (同左)
○Akira KOBAYASHI(Kyushu Historical Museum),
Yoshiji SAKAI,Hirokazu MATSUKAWA(Kyushu Historical Museum)

1. はじめに

九州歴史資料館では昭和 43 (1968) 年より大宰府跡の学術的な発掘調査を行っている。半世紀以上にわたる調査により出土した遺物は質・量共に膨大であり、その一部は国の重要文化財に指定されている。一方、科学的調査は特定の遺物に留まっており研究の余地が残されている。

本稿では大宰府跡から出土した遺物の中から木簡削り屑 (以下、削り屑) を対象として、削り屑の樹種や用材傾向について新たな知見が得られたため報告する。

2. 資料と方法

大宰府跡からは現在までに約 1,300 点の木簡が出土しており、それらの 90%以上となる約 1,100 点が削り屑である。本稿では「大宰府史跡出土木簡概報 (一)」(九州歴史資料館 1976) に掲載されている削り屑 130 点 (奈良時代・SK514 出土) を調査対象とした。

樹種同定は削り屑を直接顕微鏡で観察して行った。削り屑はごく薄い形状のため、観察面が墨書面 (柁目面又は板目面) に限定される (図 1)。本稿における樹種同定は資料の特性上、制限された条件下で行った結果であることを予め明示しておく。

3. 結果と考察

樹種同定の結果を表 1 に示す。削り屑 130 点のうち未同定の 3 点を除く 127 点は全て針葉樹、それら中で樹種を特定できたものが 71 点、スギ・ヒノキ科・コウヤマキの 3 分類を確認した (図 2・3)。内訳は、スギ 57 点、ヒノキ科 13 点、コウヤマキ 1 点である。スギが 80%以上を占める結果となり、スギに偏った用材傾向にある。

国内最多の木簡が出土している平城宮跡では、木簡に利用する針葉樹にはヒノキが最も多く、次いでスギを用いると報告がある (今泉 1998)。本稿の結果と比較すると、「平城宮跡:ヒノキ」、「大宰府跡:スギ」と同じ針葉樹であっても多用する樹種に異なる傾向が伺える。木簡にスギを多用する事例として隠岐・尾張国の貢進物付札が報告されており、スギに偏重した用材傾向が地域の特徴を示す指標として検討されている (岸・和田 1976)。削り屑の樹種にスギを多く用いる用材傾向は、大宰府跡の地域の特徴を示している可能性も考えられる。

この他、1 点ではあるがコウヤマキが確認されたことも興味深い結果である。コウヤマキは古代の柱材に多く用いられ、大宰府跡でも政庁内建物の柱材として利用が確認されている (伊藤 2002)。木簡での報告例は少なく、今回、悉皆的な調査により確認された稀有な事例である。

4. まとめ

本稿では、大宰府跡出土削り屑にスギを多く用いる用材傾向を確認した。大宰府跡の発掘調査では削り屑以外の木簡も多数出土している。それらについても悉皆的な調査を行ない、大宰府跡出土木簡の用材傾向や地域的特長を明らかにすることが今後の課題となる。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災



図1 削り屑の状態
(左：芯目材・右：板目材)

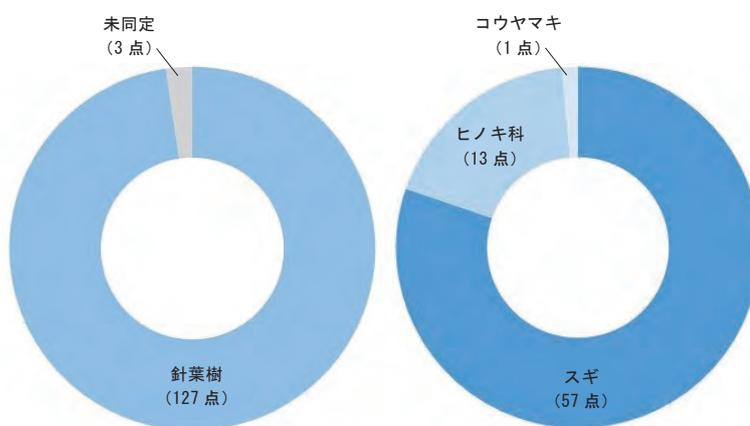
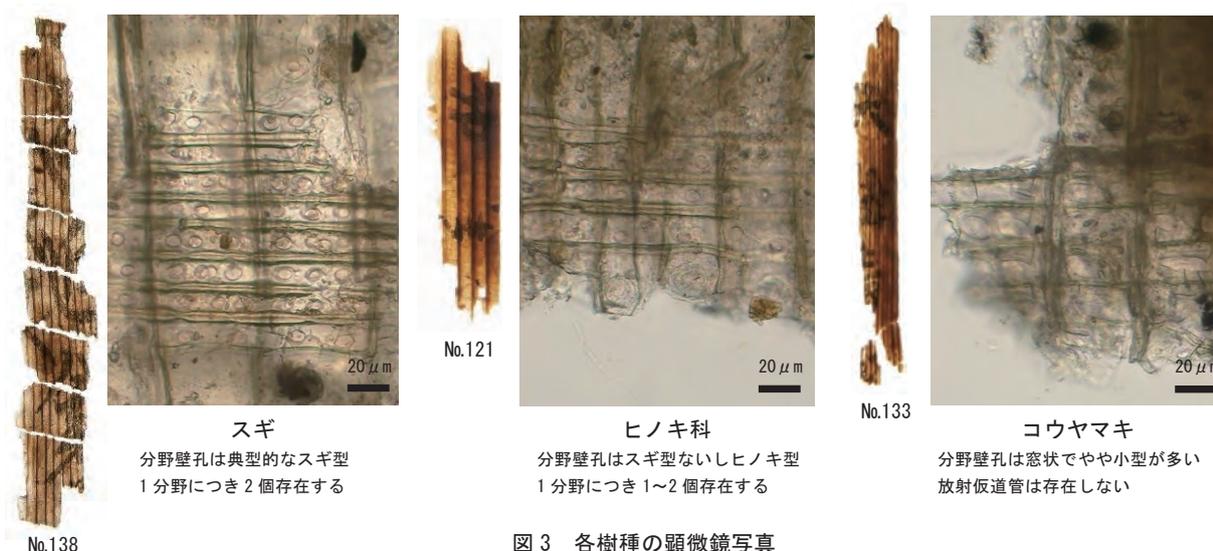


図2 同定結果と樹種の割合

※針葉樹の中で木取りが板目材ものは分野壁孔を正面から観察できず詳細な同定には至っていない。



スギ

分野壁孔は典型的なスギ型
1分野につき2個存在する

ヒノキ科

分野壁孔はスギ型ないしヒノキ型
1分野につき1~2個存在する

コウヤマキ

分野壁孔は窓状でやや小型が多い
放射壁道管は存在しない

図3 各樹種の顕微鏡写真

表1：削り屑の樹種同定結果一覧

板目	頁	No.	樹種	木取り	板目	頁	No.	樹種	木取り	板目	頁	No.	樹種	木取り	板目	頁	No.	樹種	木取り
1	29	12	スギ	板目	1	41	29	スギ	板目	1	65	95	針葉樹	板目	1	73	121	ヒノキ科	板目
1	29	13	針葉樹	板目	1	41	40	スギ	板目	1	65	96	針葉樹	板目	1	73	122	スギ	板目
1	31	14	針葉樹	板目	1	41	41	樹種不明	板目	1	65	97	スギ	板目	1	73	123	スギ	板目
1	31	15	針葉樹	板目	1	41	42	スギ	板目	1	65	98	スギ	板目	1	73	124	ヒノキ科	板目
1	31	16	針葉樹	板目	1	41	43	針葉樹	板目	1	65	99	スギ	板目	1	75	125	針葉樹	板目
1	33	17	針葉樹	板目	1	41	44	針葉樹	板目	1	65	100	針葉樹	板目	1	75	126	針葉樹	板目
1	33	18	スギ	板目	1	41	45	針葉樹	板目	1	65	101	スギ	板目	1	75	127	針葉樹	板目
1	33	19	スギ	板目	1	41	46	針葉樹	板目	1	67	102	針葉樹	板目	1	75	128	樹種不明	板目
1	33	20	ヒノキ科	板目	1	41	47	スギ	板目	1	67	103	針葉樹	板目	1	75	129	スギ	板目
1	33	21	スギ	板目	1	41	48	針葉樹	板目	1	67	104	針葉樹	板目	1	75	130	針葉樹	板目
1	33	22	スギ	板目	1	47	50	針葉樹	板目	1	67	105	針葉樹	板目	1	75	131	針葉樹	板目
1	33	23	ヒノキ科	板目	1	47	51	スギ	板目	1	67	106	針葉樹	板目	1	77	132	針葉樹	板目
1	35	24	スギ	板目	1	47	52	針葉樹	板目	1	67	107	針葉樹	板目	1	77	133	コウヤマキ	板目
1	35	25	スギ	板目	1	47	53	スギ	板目	1	69	108	スギ	板目	1	77	134	針葉樹	板目
1	35	26	スギ	板目	1	47	54	針葉樹	板目	1	69	109	スギ	板目	1	77	135	針葉樹	板目
1	35	27	ヒノキ科	板目	1	49	55	針葉樹	板目	1	69	110	スギ	板目	1	77	136	針葉樹	板目
1	35	28	ヒノキ科	板目	1	49	56	針葉樹	板目	1	69	111	スギ	板目	1	79	137	スギ	板目
1	35	29	スギ	板目	1	49	57	スギ	板目	1	69	112	スギ	板目	1	79	138	スギ	板目
1	37	30	スギ	板目	1	49	58	スギ	板目	1	71	113	針葉樹	板目	1	79	139	針葉樹	板目
1	37	31	スギ	板目	1	49	59	スギ	板目	1	71	114	針葉樹	板目	1	79	140	針葉樹	板目
1	37	32	スギ	板目	1	49	60	スギ	板目	1	71	115	針葉樹	板目	1	81	142	針葉樹	板目
1	37	33	スギ	板目	1	49	61	スギ	板目	1	71	116	針葉樹	板目	1	81	143	スギ	板目
1	39	34	スギ	板目	1	49	62	スギ	板目	1	71	117	針葉樹	板目	1	81	144	針葉樹	板目
1	39	35	スギ	板目	1	51	64	針葉樹	板目	1	71	118	針葉樹	板目	1	81	145	スギ	板目
1	41	37	スギ	板目	1	51	65	スギ	板目	1	71	119	針葉樹	板目	1	81	146	樹種不明	板目
1	41	38	ヒノキ科	板目	1	51	66	ヒノキ科	板目	1	73	120	ヒノキ科	板目	1	81	147	針葉樹	板目
1	55	69	スギ	板目	1	55	70	針葉樹	板目	1	55	71	スギ	板目	1	55	72	スギ	板目
1	55	70	針葉樹	板目	1	55	72	スギ	板目	1	55	73	スギ	板目	1	55	74	針葉樹	板目
1	55	71	スギ	板目	1	55	75	ヒノキ科	板目	1	55	75	スギ	板目	1	57	76	スギ	板目
1	55	72	スギ	板目	1	57	77	ヒノキ科	板目	1	57	78	スギ	板目	1	57	79	スギ	板目
1	55	73	スギ	板目	1	57	80	針葉樹	板目	1	57	81	針葉樹	板目	1	57	82	針葉樹	板目
1	55	74	針葉樹	板目	1	59	82	スギ	板目	1	59	83	針葉樹	板目	1	59	85	針葉樹	板目
1	55	75	スギ	板目	1	59	84	針葉樹	板目	1	59	86	針葉樹	板目	1	59	87	針葉樹	板目
1	55	76	スギ	板目	1	59	85	針葉樹	板目	1	61	87	針葉樹	板目	1	61	88	針葉樹	板目
1	57	77	ヒノキ科	板目	1	61	89	ヒノキ科	板目	1	61	90	スギ	板目	1	61	91	ヒノキ科	板目
1	57	78	スギ	板目	1	61	92	針葉樹	板目	1	63	93	スギ	板目	1	63	94	スギ	板目
1	57	79	スギ	板目	1	63	94	スギ	板目	1	63	95	スギ	板目	1	63	96	スギ	板目
1	65	95	針葉樹	板目	1	65	96	針葉樹	板目	1	65	97	スギ	板目	1	65	98	スギ	板目
1	65	96	針葉樹	板目	1	65	99	スギ	板目	1	65	100	針葉樹	板目	1	65	101	スギ	板目
1	65	97	スギ	板目	1	67	102	針葉樹	板目	1	67	103	針葉樹	板目	1	67	104	針葉樹	板目
1	65	98	スギ	板目	1	67	104	針葉樹	板目	1	67	105	針葉樹	板目	1	67	106	針葉樹	板目
1	65	99	スギ	板目	1	67	106	針葉樹	板目	1	67	107	針葉樹	板目	1	69	108	スギ	板目
1	65	100	針葉樹	板目	1	69	109	スギ	板目	1	69	110	スギ	板目	1	69	111	スギ	板目
1	65	101	スギ	板目	1	69	111	スギ	板目	1	69	112	スギ	板目	1	71	113	針葉樹	板目
1	67	102	針葉樹	板目	1	71	113	針葉樹	板目	1	71	114	針葉樹	板目	1	71	115	針葉樹	板目
1	67	103	針葉樹	板目	1	71	115	針葉樹	板目	1	71	116	針葉樹	板目	1	71	117	針葉樹	板目
1	67	104	針葉樹	板目	1	71	117	針葉樹	板目	1	71	118	針葉樹	板目	1	71	119	針葉樹	板目
1	67	105	針葉樹	板目	1	71	119	針葉樹	板目	1	71	120	ヒノキ科	板目	1	71	120	ヒノキ科	板目
1	67	106	針葉樹	板目	1	73	121	ヒノキ科	板目	1	73	121	ヒノキ科	板目	1	73	121	ヒノキ科	板目
1	67	107	針葉樹	板目	1	73	122	スギ	板目	1	73	122	スギ	板目	1	73	122	スギ	板目
1	67	108	スギ	板目	1	73	123	スギ	板目	1	73	123	スギ	板目	1	73	123	スギ	板目
1	67	109	スギ	板目	1	73	124	ヒノキ科	板目	1	73	124	ヒノキ科	板目	1	73	124	ヒノキ科	板目
1	67	110	スギ	板目	1	75	125	針葉樹	板目	1	75	125	針葉樹	板目	1	75	125	針葉樹	板目
1	67	111	スギ	板目	1	75	126	針葉樹	板目	1	75	126	針葉樹	板目	1	75	126	針葉樹	板目
1	67	112	スギ	板目	1	75	127	針葉樹	板目	1	75	127	針葉樹	板目	1	75	127	針葉樹	板目
1	67	113	針葉樹	板目	1	75	128	樹種不明	板目	1	75	128	樹種不明	板目	1	75	128	樹種不明	板目
1	67	114	針葉樹	板目	1	75	129	スギ	板目	1	75	129	スギ	板目	1	75	129	スギ	板目
1	67	115	針葉樹	板目	1	75	130	針葉樹	板目	1	75	130	針葉樹	板目	1	75	130	針葉樹	板目
1	67	116	針葉樹	板目	1	75	131	針葉樹	板目	1	75	131	針葉樹	板目	1	75	131	針葉樹	板目
1	67	117	針葉樹	板目	1	77	132	針葉樹	板目	1	77	132	針葉樹	板目	1	77	132	針葉樹	板目
1	67	118	スギ	板目	1	77	133	コウヤマキ	板目	1	77	133	コウヤマキ	板目	1	77	133	コウヤマキ	板目
1	67	119	スギ	板目	1	77	134	針葉樹	板目	1	77	134	針葉樹	板目	1	77	134	針葉樹	板目
1	67	120	スギ	板目	1	77	135	針葉樹	板目	1	77	135	針葉樹	板目	1	77	135	針葉樹	板目
1	69	108	スギ	板目	1	77	136	針葉樹	板目	1	77	136	針葉樹	板目	1	77	136	針葉樹	板目
1	69	109	スギ	板目	1	79	137	スギ	板目	1	79	137	スギ	板目	1	79	137	スギ	板目
1	69	110	スギ	板目	1	79	138	スギ	板目	1	79	138	スギ	板目	1	79	138	スギ	板目
1	69	111	スギ	板目	1	79	139	針葉樹	板目	1	79	139	針葉樹	板目	1	79	139	針葉樹	板目
1	69	112	スギ	板目	1	79	140	針葉樹	板目	1	79	140	針葉樹	板目	1	79	140	針葉樹	板目
1	71	113	針葉樹	板目	1	81	142	針葉樹	板目	1	81	142	針葉樹	板目	1	81	142	針葉樹	板目
1	71	114	針葉樹	板目	1	81	143	スギ	板目	1	81	143	スギ	板目	1	81	143	スギ	板目
1	71	115	針葉樹	板目	1	81	144	針葉樹	板目	1	81	144	針葉樹	板目	1	81	144	針葉樹	板目
1	71	116	針葉樹	板目	1	81	145	スギ	板目	1	81	145	スギ	板目	1	81	145	スギ	板目
1	71	117	針葉樹	板目	1	81	146	樹種不明	板目	1	81	146	樹種不明	板目	1	81	146	樹種不明	板目
1	71	118	針葉樹	板目	1	81	147	針葉樹	板目	1	81	147	針葉樹	板目	1	81	147	針葉樹	板目
1	71	119	針葉樹	板目	1	81	148	針葉樹	板目	1	81	148	針葉樹	板目	1	81	148	針葉樹	板目
1	71	120	ヒノキ科	板目	1	81	149	針葉樹	板目	1	81	149	針葉樹	板目	1	81	149	針葉樹	板目

※削り屑の木取りが板目材のため針葉樹としたものは、水平樹脂道や螺旋肥厚が存在しない

考古資料に残存する有機質痕跡を用いた器物の想定復元に関する研究

- 宮ノ本遺跡木炭木棺墓出土鉄釘を対象として -

Restoration of containers by observation of organic matter

attached to iron nails excavated from Miyanomoto site.

○小林啓（九州歴史資料館）・遠藤茜（太宰府市教育委員会）・宮崎亮一（同左）

○Akira KOBAYASHI(Kyushu Historical Museum),

Akane ENDO,Ryoichi MIYAZAKI(Dazaifu city board of education)

1. はじめに

考古資料の有機質情報は埋蔵中に大半が消失しているが、鉄や銅等金属との複合資料の場合には、有機質の一部が錆化し残存することがある。有機質痕跡が木材の場合、組織構造や木繊維の方向などから消失した有機質本来の形状や構造を想定復元することが可能である。

本稿では、平安時代の木炭柳木棺墓から出土した鉄釘に残存する有機質痕跡を用いて器物の想定復元を行った結果、新たな知見が得られたため報告する。

2. 資料と方法

資料は宮ノ本遺跡（9世紀代・福岡県太宰府市）の木炭柳木棺墓（ST045）から出土した鉄釘41点を対象とした。鉄釘は長さ約9～10cm、径は約0.5cm、頭部・体部共に方形である。木炭柳木棺墓は後世における盗掘を受けておらず、鉄釘の出土位置は概ね原位置元を保っている。

調査は、まず鉄釘に残存する木材を顕微鏡で観察し、3断面（木口面・柁目面・板目面）と木繊維の方向を特定する。顕微鏡観察は鉄釘の頭部側、先端部側でそれぞれ行い、両箇所における3断面の組み合わせ（以下、木質パターン）から器物の木取りを推定、出土位置等との比較検討により器物を想定復元した（図1・2）。

3. 結果と考察

鉄釘に残存する木材の観察結果を表1に示す。41点から、A型（小口板 - 側板）12点、B型（側板 - 底板）10点、C型（小口板 - 底板）6点を確認した。頭部又は先端部のみの8点については、詳細な絞り込みができないためA・B・C型とした。

鉄釘の木質パターンは、A型がA-I（頭部：柁目 - 木口・先端部：柁目 - 板目）、B型がB-II（頭部：柁目 - 木口、先端部：板目 - 木口）、C型がC-I（頭部：柁目 - 木口、先端部：木口 - 板目）、これに対応する器物の構造は①（底板・側板・小口板共に板目材）となる。釘の木質パターンと出土位置とを比較すると、A-Iは器物の四隅、B-IIは器物の長軸（側板側）、C-Iは器物の短軸（小口板側）に集中する。観察による木質パターンと出土位置とがほぼ矛盾なく一致することが確認できる（図3）。

この他、A-I・B-II・C-I以外の木質パターンが確認されないため、蓋板は底板と同様に板目材、器物には脚等の付属具が存在しない構造であることが想定できる。

宮ノ本遺跡の器物は全て板目材で構成されており木材の特性を活かした木取りである。一方、近隣の堀池遺跡（9世紀台・筑紫野市）の木炭柳木棺墓では、A型にA-I・A-IIを用いて小口板と底板を組み継ぎとしていたことが想定できる（2019 小林）。同時期・同地域であっても器物の構造や技法には異なる特徴が存在する可能性があり、今後も継続的な調査が必要である。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

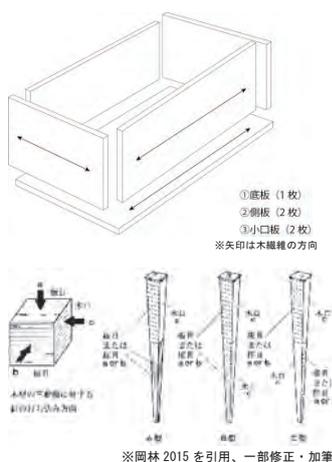


図1 器物の基礎構造と釘の打込み方向

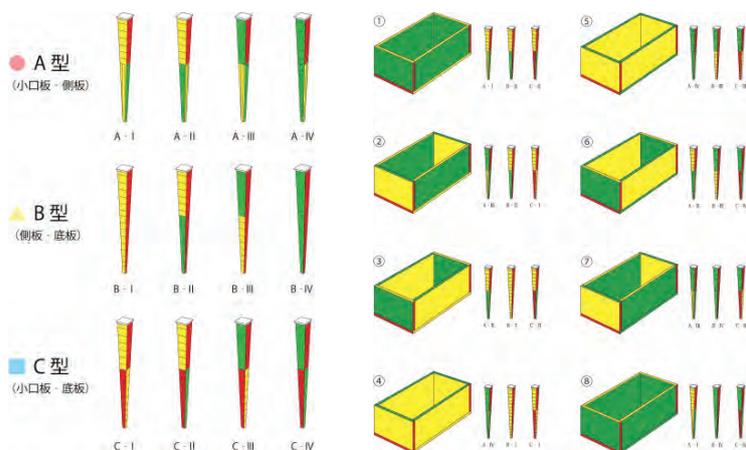


図2 木質パターンと器物の構造 (右)

No.	頭部側	先端部側	木質パターン	No.	頭部側	先端部側	木質パターン	No.	頭部側	先端部側	木質パターン
1	柁目-木口	柁目-木口	C-II	15	柁目-木口	柁目-板目	A-I	29	柁目-木口	板目-木口	B-II
2	柁目-木口	柁目-木口	C-II	16	柁目-木口	板目-木口	B-II	30	-	柁目-板目	A-I
3	柁目-木口	柁目-板目	A-I	17	柁目-木口	柁目-板目	A-I	31	柁目-木口	板目-木口	B-II
4	柁目-木口	板目-木口	B-II	18	柁目-木口	柁目-木口	C-II	32	柁目-木口	板目-木口	B-II
5	柁目-木口	柁目-板目	A-I	19	柁目-木口	柁目-木口	C-II	33	柁目-木口	-	A・B・C型
6	柁目-木口	柁目-板目	A-I	20	柁目-木口	柁目-板目	A-I	34	柁目-木口	-	A・B・C型
7	柁目-木口	柁目-木口	C-II	21	柁目-木口	柁目-木口	C-II	35	-	柁目-板目	A型
8	柁目-木口	柁目-板目	A-I	22	柁目-木口	板目-木口	B-II	36	柁目-木口	-	A・B・C型
9	柁目-木口	柁目-板目	A-I	23	柁目-木口	板目-木口	B-II	37	柁目-木口	-	A・B・C型
10	柁目-木口	柁目-板目	A-I	24	柁目-木口	板目-木口	B-II	38	柁目-木口	柁目-板目	A-I
11	柁目-木口	柁目-板目	A-I	25	柁目-木口	板目-木口	B-II	39	-	柁目-木口	B・C型
12	柁目-木口	柁目-板目	A-I	26	柁目-木口	柁目-木口	C-II	40	-	柁目-木口	B・C型
13	柁目-木口	板目-木口	B-II	27	柁目-木口	板目-木口	B-II	41	-	柁目-木口	B・C型
14	柁目-木口	板目-木口	B-II	28	柁目-木口	柁目-板目	A-I				

表1 木炭柳木棺墓 (ST045) 出土鉄釘の木質パターン

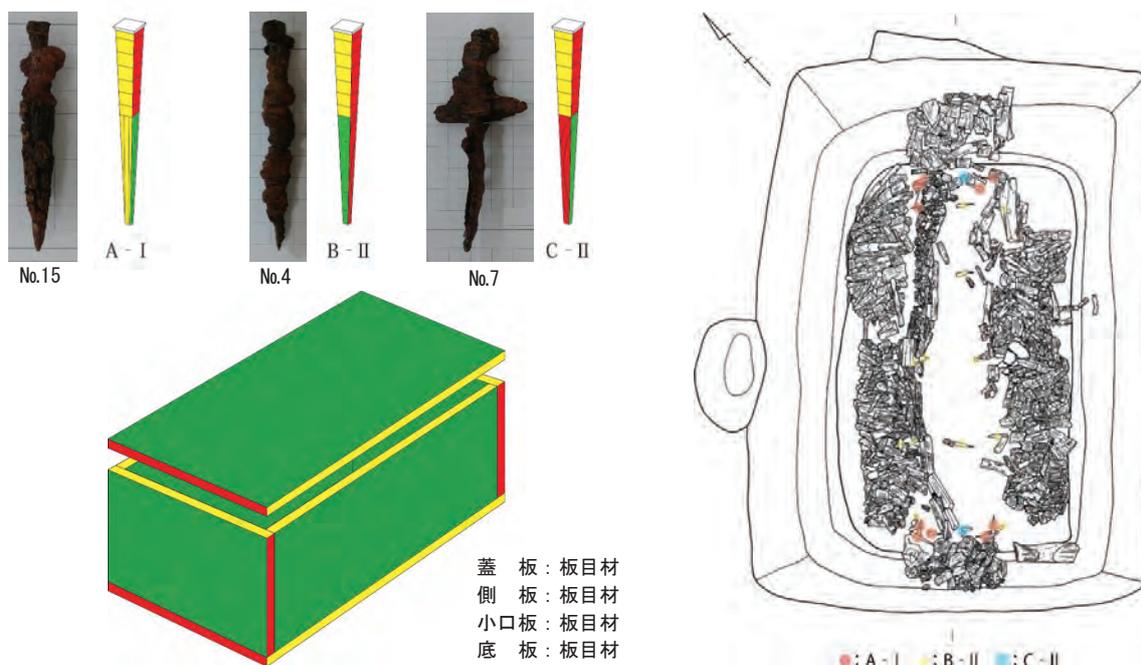


図3 木炭柳木棺墓 (ST045) の想定復元図 (左) と鉄釘の出土状況 (右)

木版印刷經典に付着した毛様物の観察

Analysis of fibers found in 15th-century Korean woodcut sutras

○瓜生翠(九州国立博物館)

○Midori URYU (Kyushu National Museum)

1. はじめに

重要文化財「多久頭魂神社高麗版一切経」(長崎県対馬歴史研究センター保管)は、高麗時代の版木で印刷された仏教經典群である。装訂は大型袋綴じ冊子装で、利用痕や劣化状態に鑑みるに、摺写及び渡来時期と推定される15世紀以降、改装を経ていない「初」な状態である。2018年から国庫補助事業による本格解体修理が始まり、その際に袋綴じ内部(印刷面の裏側)から多量の毛様物(写真1)が見つかった。材料等として漉き込まれたものではなく挟まった状態で、偶然に混入したにしては大量で、場所も特殊であった。また表面に何かが塗られたような様子や繊維状物質の付着から、製作時の道具の痕跡を示すものではないかと思われた。しかし当時の印刷技術については不明な点が多く、版木の材質や經典の紙質調査を除けば科学的調査もほとんど行われていない。このため、毛様物や付着物の形態と材質に関するデータを収集している。目視及び顕微鏡での観察調査を経て、蛍光X線分析(XRF)や走査電子顕微鏡(SEM)による調査の実施段階へと進んでおり、当要旨では材質の解明に向けた基礎的な観察調査の概要を述べ、詳細についてはポスターで紹介する。

2. 調査方法

調査対象として、修理を機に別置された毛様物(約140冊分)からランダムに100点を抽出し、No.1~100を付番した。目視及び光学顕微鏡(SUGITOH TS-8LEN-200)により、毛様物の形状(切断や分枝の有無)、毛根、毛先、長さ、太さ、色味、触感、付着物等を調査した。透過光での観察にはライトボード(MUTOH SLT-A4C)を、太さの計測にはデジタルノギス(Mitsutoyo No.547-301)を使用した。

3. 結果と考察

(1) 形態学的特徴

- ・全体の外観は直状または弧状で、縮れ、巻毛状を呈するものは見られなかった。ただし、折れ曲がり、破損、捻転、付着物による触感の変化等があり、自然な状態の観察結果は得られなかった。
- ・先端は、9割以上が欠失(斜断、横断、破損による分裂、擦り切れ)していた。毛先は1点(No.82、次項後述)を除き完存しないが、1割程度には針状に細くなってゆく形状が観察された。毛根の残存は3点(No.47, 55, 82)。No.47と55はヒトとは異なる細長い膨らみ(写真2)を呈し、長さも15cmを超えており、ウマ等の獣毛の可能性はある。表面観察結果は他の毛様物と共通する。No.82は100点中唯一完存するものだが、毛根はヒトと似た丸く膨らんだ形状で、先端が筆状に枝分かれしており、長さも7.5cm

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

と短く、表面の様子も他とはやや異なる特徴を備えていた。ただし、黒色粒の付着は共通しており、異なる種の獣毛が混在している可能性も想定される。

・長さは、最短 5.2cm (No.43)、最長 33.0cm (No.30)。先端が完存していればさらに長かったと考えられるが、9割が 10cm 超、3割以上が 20cm 超であり、平均長は 18.3cm であった。

・幅は両先端と中央付近を計測した。先端は分裂状態に破損したものが多く、付着物に覆われて計測困難なものもあった。中央付近の平均幅は 130 μ m と人毛 (50~100 μ m 程度) に比べやや太い。最小幅 80 μ m (No.77)、最大幅 210 μ m (No.1, 35, 90) と肉眼でも明らかに太さの異なるものが混在していた。

・色味は 5割以上が茶褐色、4割弱が薄茶色、残りが白色 (No.11, 32, 40, 43, 55, 83, 99) であった。茶褐色~薄茶色や薄茶色~白色と連続的に変化するもの、付着物により観察困難なものがあった。

(2) 付着物

・付着物は主に白色繊維、黒色粒、白色粒の 3種類が見られた。白色繊維は毛様物にぐるぐる巻きに絡んで容易に外れない状態であり、毛様物がつぶれて枝分かれした箇所にも、それぞれの分枝に巻き付いていた。植物性と思われ、料紙繊維(楮、藁)の一部と思われる。黒色粒は全点に確認されたが、一部のみ~ほぼ全面までと付着の仕方に差が認められた。黒色及び白色粒は白色繊維とも絡み合っており、同時期の付着と推定された。

・その他、金色粒、ビニル片、葉の小片等の付着が確認された。



写真1 経典付着物(毛様物を含む)



写真2 毛根(No.47)

4. おわりに

調査の結果、毛様物は動物性の毛であることが判明した。先端の切断と表面の付着物により、先行研究による獣毛の形態学的特徴に当てはまらない場合もあり、詳細な観察を要した。現段階での推測では、長さや毛根の形状等からウマ毛の可能性が高い。また外観形状や繊維状付着物から見て、料紙の上で何度も擦るような動作を要した道具、例えば刷毛等の材料の可能性が考えられる。今後はさらに毛様物及び付着物の科学的調査を進めてゆく他、日本及び韓国に所在する同時期の製作経典との比較調査を行い、当時の出版技術や製作技法の解明に向けた比較研究に役立てるため、より有用なデータとなるよう努めてゆきたい。

【謝辞】多久頭魂神社、長崎県対馬歴史研究センター、文化庁文化財第一課書跡・典籍、古文書部門、修理工房 幸匠株式会社に感謝申し上げます。併せて、本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究(A)(課題番号: 18H03598 研究代表者:伊藤嘉章)および日本科学協会の笹川科学研究助成によって実施した。

パイプ状ベンガラの基礎的研究

The comprehensive study of pipe-shaped bengara

○金原正明（奈良教育大学）、泉武（高松塚壁画館）、濱村美緒（奈良文化財研究所）、
大山明彦（奈良教育大学）、西村奏（岡山県古代吉備文化センター）、
青木智史（天理大学附属天理参考館）

○Masaaki KANEHARA (Nara University of Education),
Takesi IZUMI(Ancient Capital Asuka Preservation Foundation),
Mio HAMAMURA(Nara National Research Institute of Cultural Properties),
Kanade NISIMURA(Okayama Prefectural Ancient Kibi Cultural Center)
Satosi AOKI(Tenri University Sankokan Museum)

1. パイプ状ベンガラと鉄バクテリア

古代の赤色顔料の代表であるベンガラをとりあげ、特に多く使われるパイプ状ベンガラについて材料である鉄バクテリアの生成や発色の性質等の基礎的実験を行い検討した。

パイプ状ベンガラの材料である鉄バクテリア (*Leptothrix*) は、性格上鉄分と酸素の豊富な水中から空気にさらされる水面に生育し集積していく。細胞は径 1 μm で長さ 2~4 μm で長くつらなって生育する。三価になった鉄イオンから水酸化鉄を生成することでエネルギーを得てそれを周囲に排出し殻を作る。バクテリア自体が分解して消失しても水酸化鉄 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) の殻は残存する。褐鉄鉱と同成分であり、焼成することで赤鉄鉱と同じ酸化第二鉄 (Fe_2O_3) となり、パイプ状ベンガラとなる。また、中近世では、鉱物である緑礬 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) を焼いてベンガラを生成し、焼く温度によって明度が異なり、温度によって粒子の細かさが異なることが知られている。

2. 試料と方法

試料は奈良盆地周辺で採集した鉄バクテリアとその参考試料であり、これの焼成前と焼成後の顕微鏡観察、色差、蛍光 X 線分析を行い、色の違いの原因等の基礎的実験として行った。試料 0：奈良市地獄谷、試料 1：生駒市古平尾排水口、試料 2：生駒市古平尾、試料 3：宇陀市笠間川、試料 4：宇陀市菟田野町駒帰、試料 5：宇陀市菟田野町見田、試料 6：奈良市都祁野白石、試料 7：桜井市池之内、試料 8：香久山「古池」、試料 9：當麻寺奥院谷奥、試料 10：洞川吉野鉱山、試料 14：阿蘇市狩尾水路、試料 11：洞川吉野鉱山(鉱石)、試料 12：阿蘇市狩尾(リモナイト粉末)、試料 13：阿蘇市狩尾(リモナイト)、試料 17：阿蘇市狩尾(褐鉄鉱)、試料 15：大垣市金生山赤土、試料 16：大垣市金生山石灰岩表面。

各試料とも焼成前はわずかな差異はあるものの黄褐色をしていて、水酸化鉄の色彩である

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

が、顕微鏡観察した結果、パイプ状構造の著しく残るものと残らないものの差異があった。試料8は最もパイプ状構造が残っており、焼成の温度実験に用いた。

3. 結果と考察

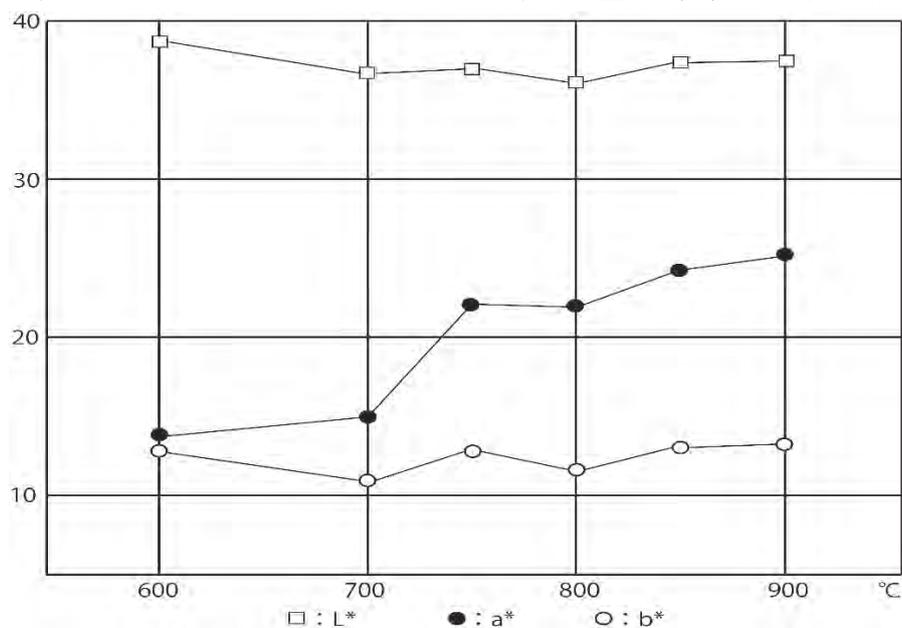
焼成の温度実験では、試料8の焼成温度による色差では、 L^* （明度）は焼成温度による変化はほぼないが、 a^* （+赤-緑）は700℃と750℃の間で大きく強く変化し、 b^* （+黄-青）は大きく変化しない。700℃から750℃の間で水酸化鉄から第二酸化鉄への変化が生じたとみなされ、その後も a^* （+赤-緑）は微増する。成分との関係では、鉄の含有量が多いほど L^* （明度）と a^* （+赤-緑）が強くなり、明るく赤みが増す。逆に鉄以外の元素、特にマンガンが多いほど L^* （明度）と a^* （+赤-緑）と b^* （+黄-青）がやや低くなり、暗く青および緑がやや強くなる。また、宇陀市の試料などからは、水銀が微量であるが検出され、産地の地質を反映すると考えられた。



試料1、2採取地点



試料8 生物顕微鏡写真（×800）



試料8における焼成温度と色差

統計的手法による古墳時代出土染織文化財の多様性評価に 関する研究—奈良県新沢千塚古墳群出土品を例として— Study on diversity evaluation of ancient textiles of the Kofun period using statistical method—Taking as an example, the Niizawa Senzuka Kofun Group in Nara—

○小倉頌子（奈良県立橿原考古学研究所）、奥山誠義（同左）、北井利幸（同左）、
 水野敏典（同左）、岡林孝作（同左）、河崎衣美（同左）

○Shoko KOKURA, Masayoshi OKUYAMA, Toshiyuki KITAI, Toshinori MIZUNO,
 Kousaku OKABAYASHI, Emi KAWASAKI (Archaeological Institute of Kashihara, Nara Prefecture)

1. はじめに

古墳からは武器・武具、馬具、鏡、農具といった金属製の副葬品に伴い、染織品や獣毛などの繊維製品が多く出土する。本研究では、出土染織文化財の材料選択および製作技法の変遷を明らかにし、古墳の考古学的性格と繊維製品との関係性を客観的に評価することを目的に、統計的な手法を用いた検討を試みた。新沢千塚古墳群は奈良県橿原市の南西部に位置する大型群集墳であり、古墳時代前期から後期までの約 600 基の古墳が確認されている。出土した金属製品は多様な繊維製品を伴っているため、染織文化財の多様性を検討する一例として、これらの織構造等の情報をもとにクラスター分析を行った。

2. 試料と方法

新沢千塚古墳群の織物など染織文化財を伴う出土品 43 点のうち、遺存状況の良好な 35 点を対象に、実体顕微鏡等を用いて繊維の種類や付着状況の観察を行い、観察記録を基にクラスター分析による統計分析を実施した。分析には統計解析向けプログラミング言語 R を使用し、データ間の距離をユークリッド距離、クラスタリング手法はウォード法により行った。分析に用いた項目は①古墳築造時期（世紀）、②織物の種類、③織物の 1cm 四方における緯糸の本数、④同緯糸の本数である。②は 1 種類ごとに番号（数値）を割り振り、獣毛または種類が特定できない場合は、③および④の項目は 0 とした。出土品 1 点につき複数箇所に織物が確認できる場合は、資料名の末尾に枝番号を付して区別した。また、1 箇所に織物等が複数層重なっている場合はそれぞれ 1 点の染織品と見なし、さらに末尾に（ ）で番号を付した。複数層あるもので、上層の織物に隠れているなどの理由から詳細な情報が得られないものは分析対象外とした。

3. 結果

観察の結果、統計分析に適用可能であった繊維製品は 86 種類であった。クラスター分析の結果を図 1 に示す。資料名先頭の数字は古墳の号数であり、織物の種類、古墳の築造時期（前・中・後期）、墳丘規模、墳形を【 】内に示した。大きく 3 つのグループに分かれ、一部例外（206・鉄鍬 0001(3)）を除き、第 1 グループは経糸が 40 本以上、第 3 グループは 40 本未満、第 2 グループは獣毛または不明繊維製品から成るグループであった。また、第 3 グループは全て緯糸が 30 本未満である。古墳の築造時期別に検討すると、前期よりも中期の方がやや織目が細かい傾

ポスター
 発表

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

向にある。ただし、前・中期の資料数は統計的に不十分であるため慎重な検討が必要である。一方で、後期の資料は3つのグループいずれにも見られることから、当該時期の繊維製品の多様性がうかがえる。また、墳形の違いによる明瞭な差異は見られないものの、方墳の資料は第3グループに多く含まれる。なお、繊維製品の種類や古墳の規模との相関はあまり見られず、織物の作りは古墳の規模によらず様々であることが確認できた。

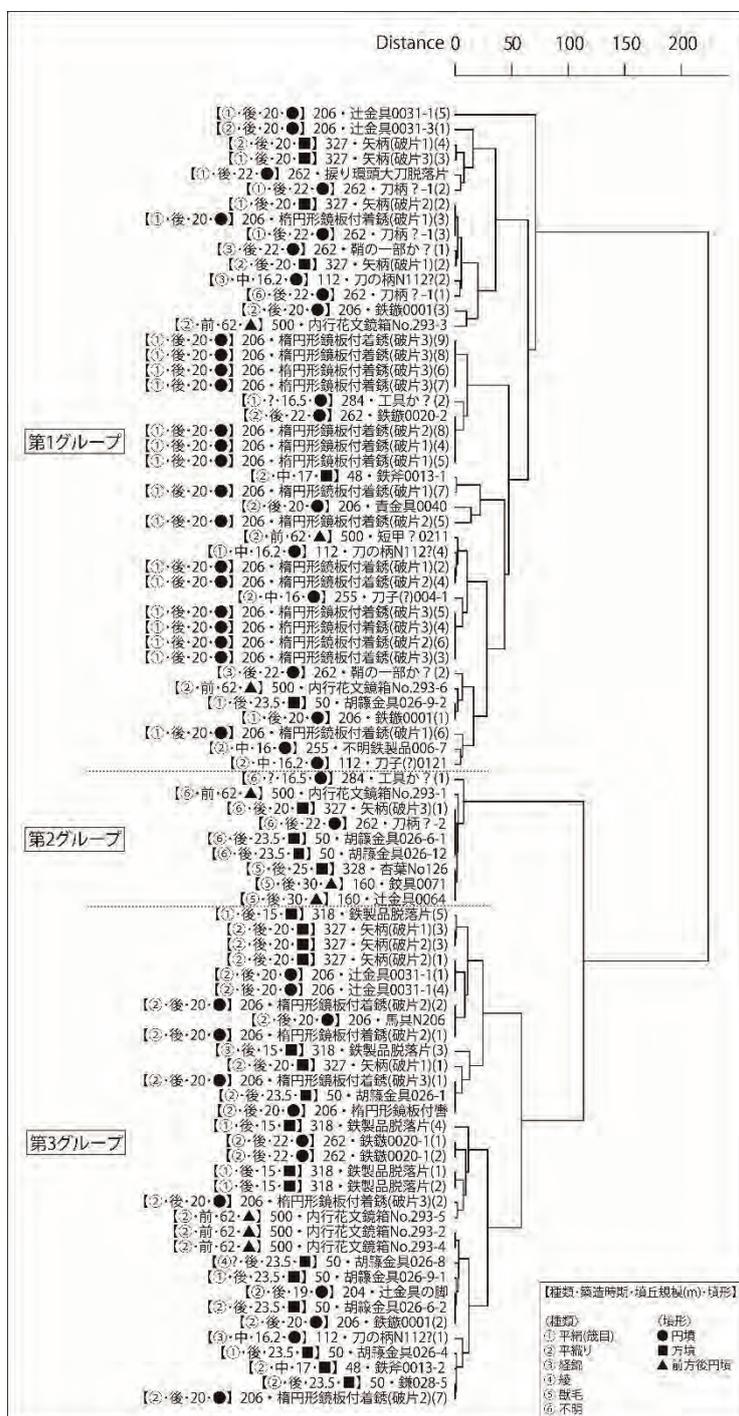


図1. クラスタ分析の結果

4. まとめ

本研究では、新沢千塚古墳群より出土した染織文化財について、それらの種類や構造といった技術的な側面から、統計的な手法を用いて古墳の考古学的性格との相関性の評価を試みた。クラスター分析の結果、織物の織密度から3つに分類でき、古墳の築造時期や墳形の違いと織密度との相関性を示しうる可能性を指摘できた。しかしながら、明瞭な分類がなされたわけではなく、相関性が認められない要素もあることから、慎重な検討が必要である。また、今回の分析対象は奈良県下の一つの群集墳であるため、分析結果が地域的な特徴か全国的な傾向であるかは不明であり、課題も多い。今後は分析対象を拡大するとともに、別要素を含めた分類を試みるなど手法の改良を行い、古墳時代における染織文化財の変遷を明らかにしていきたい。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、沢田むつ代氏、榎本恵美氏のご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。本研究は科学研究費補助金（JSPS 科研費）17H02023の成果の一部である。

X線CT装置によるアイヌ民族資料「樹皮衣」・「木綿衣」の模様の構造 Pattern structure on the Ainu ethnic materials (bark fiber garment・cotton garment) by X-Ray CT Scanner

○大江克己(国立アイヌ民族博物館)、北嶋由紀(同左)、八幡巴絵(同左)、古田嶋智子(同左)、霜村紀子(同左)

○Katsuki OE, Yuki KITAJIMA, Tomoe YAHATA, Tomoko KOTAJIMA, Noriko SHIMOMURA (National Ainu Museum)

1. はじめに

国立アイヌ民族博物館(以下、当館)では、第1回テーマ展示「収蔵資料展イコ-資料にみる素材と技-」(会期:2020年12月1日~2021年5月23日)を開催し、アイヌ民族資料に見られる6つの素材を取り上げ資料と共に科学分析の調査結果を公開した。公開した資料は植物製のござ、木製の小刀の鞘や柄、金属製耳飾りなど様々で、その中に模様が入った樹皮衣や木綿衣がある。公開した樹皮衣や木綿衣は、先行研究や複製事業などを通じて素材や模様等の調査が進められた資料である。調査が進む中で、目視観察のみでは布の縫い付け方法や刺繍などの模様構造がはっきりしない点が指摘され、詳細を知るには内部観察が必要であった。そこで、樹皮衣や木綿衣の模様構造の観察を目的とし、X線CT装置による調査を実施したので報告する。



図1. 樹皮衣① 外観



図2. 樹皮衣② 外観



図3. 木綿衣 外観

2. 調査視点

調査資料は当館所蔵の樹皮衣(2点)・木綿衣(1点)である。資料の調査視点を下記に記す。

- (1). 樹皮衣①(図1 寸法:上下1200mm×幅1230mm): 樹皮衣の模様を構成する布は端部を折るなど様々な処理法がある。特に模様の湾曲部分に特徴が出やすいため、背面の布の処理法と処理部分の固定法に注目し調査した。
- (2). 樹皮衣②(図2 寸法:上下1250mm×幅1270mm): 裾に模様を構成する樹皮糸の刺繍の縫い方が不明であった。刺繍の運針に注目し調査した。
- (3). 木綿衣(図3 寸法:上下1155mm×幅1280mm): 過去の事業で複製を作成したが、複製作成時の調査で布を継ぎ足して現在の模様を構成した可能性が指摘された。後補と見られる布の下部の様子に注目し調査した。

3. 調査条件

国立アイヌ民族博物館設置のX線CT装置を使用した。表1に調査条件を記す。

表1. X線CT装置での調査条件(装置:YXLON社製Y. CT Modular)

No.	資料	管球	管電圧(kV)	管電流(mA)	Projections	Integration(m/s)	FDD(mm)	拡大率	空間分解能(mm)
(1)	樹皮衣①	ミニフォーカス	320	2.0	900	400	1600	2.2	0.19
(2)	樹皮衣②	マイクロフォーカス	200	4.0	900	800	1200	2.6	0.15
(3)	木綿衣	ミニフォーカス	160	4.0	900	400	1350	2.5	0.16

※ ミニフォーカスX線管:Y.TU 320-D05を使用した。マイクロフォーカスX線管:FXT225.48を使用した。

※ FDD: X線発生器と画像検出器間の距離を示す。画像検出器はフラットパネルディテクタ(Y.XRD4343HE)を使用した。

※ 画像解析: VOLUME GRAPHICS社製VGstudioMAX3.3を使用した。

4. 調査結果

X線CT装置による調査結果を下記に記す。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

(1). 樹皮衣①: 図 4-1、図 4-2 に背面模様
の布の断層画像を示す。各断層画像は、模様
を曲げて方向を変える箇所の布である。袋状に
布を処理し糸で固定している様子が確認で
きた (図 4-1、図 4-1 矢印)。模様の方向を
変える箇所は、作り手によって様々な布の処
理法を用いている。製作上の特徴が表れやす
い箇所と推測され、製作に関する技術的な系
譜などの調査を進める上で意義深い。

(2). 樹皮衣②: 図 5-1、図 5-2 に裾模様
の刺繍の拡大画像 (表裏)、図 5-3、図 5-4 に同箇
所の断層画像を示す。拡大画像や断層画像で
樹皮糸の運針を観察すると、返し縫いによ
うに表から裏へ糸を返す際、裏糸を裂いて表
面へ運針する様子が見える。過去の調査で推
定されていたが、この技法の実証は本調査が
初めてである。資料の技術的背景や製作地な
どを考えるための一つの大きな情報である。

(3). 木綿衣: 図 6 の中央の赤布が後補と見
られる背面の布である。この箇所の断層画像
を図 6-1 に示す。断層画像を観察すると、後
補と見られる布の下部には、左右の模様の刺
繍が続いている様子が見える (図 6-1 矢印)。当
初より現在の模様を製作するとなると、不要
な位置の刺繍である。また、後補と見られる
布を横断する刺繍と布の下部の刺繍は縫い
方も異なっている。いつ頃に手が増えられた
かは定かでないが、断層画像から見ても後
に布を足して現在の模様とした可能性があり
、模様を作る上での工夫が確認できる。

5. まとめ

アイヌ民族資料の樹皮衣・木綿衣の模様
構造観察を目的に、X 線 CT 装置による調査
を実施し次の結果を得た。(1). 樹皮衣①では、
模様を構成する布が、端部を折って袋状に処
理し糸で固定している様子を捉えた。(2). 樹
皮衣②の裾の模様の刺繍は、返し縫いによ
うに表から裏へ糸を返す際、裏糸を裂いて表
面へ運針している様子を捉え、過去の調査の
実証を行った。(3). 木綿衣では、背面模様を
構成する布の下部に別の模様の刺繍が観察
された。布を足して現在の模様を作った可
能性があり、模様製作上の工夫を確認した。

今後、調査例の蓄積を図り樹皮衣や木綿衣
の技術的様相の把握と深化に努めたい。

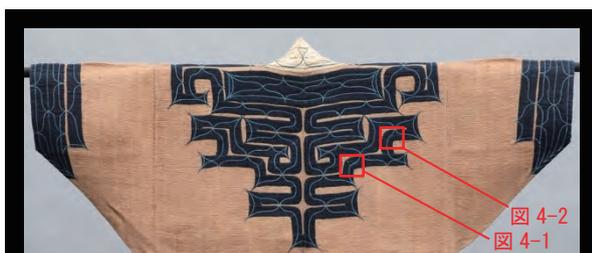


図 4. 樹皮衣①の背面模様の様子 (赤枠: 調査位置)

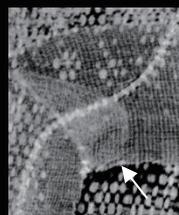


図 4-1. 背面模様
の断層画像
(水平断面)

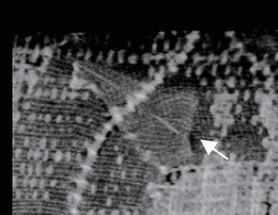


図 4-2. 背面模様
の断層画像
(水平断面)



図 5. 樹皮衣②の裾背面模様の様子 (赤枠: 調査位置)



図 5-1. 裾の刺繍
拡大画像 (表)
(デジタル
マイクロ
スコープ
使用)



図 5-2. 裾の刺繍
拡大画像 (裏)
(デジタル
マイクロ
スコープ
使用)



(表)
図 5-3. 裾の刺繍
の断層画像
(垂直断面)



(裏)
図 5-4. 裾の刺繍
の断層画像
(水平断面)

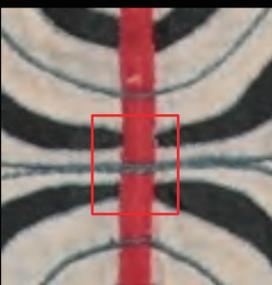


図 6. 木綿衣の背面模様
(赤枠: 調査位置)

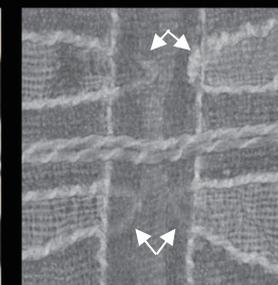


図 6-1. 背面刺繍
の断層画像
(水平断面)

志布志市上苑 A 遺跡出土土器に付着する白色物質の分析

—使用痕との関連を中心に—

The scientific analysis of white deposits on the surface of
pottery excavated at the Uenson A site, Shibushi city,
Kagoshima prefecture

- 鐘ヶ江賢二（鹿児島国際大学博物館実習施設）、大倉寛一（鹿児島大学機器分析施設）、
相美伊久雄（志布志市教育委員会）、松崎大嗣（指宿市教育委員会）
○Kenji Kanegae (Museum of the International University of Kagoshima), Hirokazu Okura (Division of
Instrumental Analysis Research Support Center, Kagoshima University), Ikuo Sagami (Shibushi City
Board of Education), Hirotsugu Matsusaki (Ibusuki City Board of Education)

ポスター 発表

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

1. はじめに

南九州の古墳時代の成川式土器は、西日本から中九州にかけて分布する丸底の布留式の土器様式とは異なり、長胴で脚台をもつ甕や突帯をめぐらす壺など、弥生土器の系譜を引くことが特徴として挙げられる。成川式土器の使用痕をみると、弥生土器の炊飯にともなうオキ火上転がしと共通の痕跡が確認でき、成川式土器の調理は、弥生土器による調理と同様にオキ火上転がしをとともなう湯取り法炊飯が大きなウェートを占めていたことが推測されている（鐘ヶ江・松崎 2014）。

一方、古墳時代後期や古代の成川式には、蒸し調理用の甑の出土も報告されている。志布志市上苑 A 遺跡出土の成川式は、甕形土器の口縁部や甑の下部に白色物質の付着がみられる。甑による蒸し調理が行われたとすると、甕は湯沸かし鍋として甑の下に設置されることになり、白色物質は、甕の上に甑を設置した場合双方が接する場所に付着するようである。その点を勘案すると、白色物質は蒸し調理の際に甕と甑を固定する目張りのような役割を果たしていたとも考えられる。

そこで、白色物質が付着する上苑遺跡出土の土器破片に対して、電子線マイクロアナライザ（以下 EPMA）による定量分析と定性分析を実施することで、化学的性質を把握するとともに土器の使用法について若干の検討を行いたい。

2. 分析方法

分析対象の甑の破片 1 点に対して、薄片を作成し、偏光顕微鏡下で白色物質が付着している

状況を確認した。鹿児島大学機器分析施設の EPMA(JEOL JXA-8230)で薄片の SEM 像と BSE (後方散乱電子) 像の記録を実施するとともに、白色物質 2 か所、土器部分 2 か所の元素組成を分析した。

3. 分析結果

白色物質と土器胎土部分の化学組成をみると、白色物質には炭素が多く含まれており、また SiO_2 と Al_2O_3 も高い値を示している。このことから、白色物質には炭素や粘土が多く含まれていると推測される。また白色物質は、主に長石類に由来するとみられる K_2O と Na_2O 、および有色鉱物等に由来する TiO_2 のピークが低く、 CaO や MnO 、 MgO 、 P_2O_5 が少量含まれている。

BSE 像では、白色物質には軽元素が多いことが確認でき、白色物質に炭素が含まれることはこの点からも支持される。

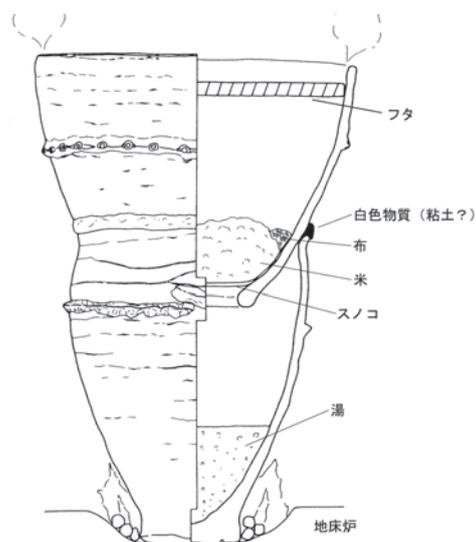
4. 考察

以上のように、上苑 A 遺跡出土成川式土器に付着する白色物質について EPMA 分析を実施し、その結果白色物質は主に炭素と粘土から構成されると推測した。白色物質は、有機物と粘土を混ぜた物質であり、調理時にそれを土器に塗布することで、二つの土器を固定する目張りとし、蒸気が漏れるのを防いだとも推測される。上苑 A 遺跡では竈は検出されていないことから、竈を使わない地床炉による蒸し調理技術の一端をうかがうことができる。

なお、白色物質に含まれる炭素について、藁などが混ぜられているとすれば K が含まれることが想定されるが、K はほとんど検出されていない。そこで、炭素は膠などの動物由来の接着剤の可能性も考えられるが、詳細な性質の把握のためにはさらなる分析が必要である。

文献

- 鐘ヶ江賢二・松崎大嗣 2014 「成川式土器の使用痕分析—南九州古墳時代の調理技術復元への試み—」『九州考古学』89: 24-39
- 相美伊久雄 (編) 2021 『上苑 A 遺跡 2』志布志市埋蔵文化財発掘調査報告書 (14)



上苑 A 遺跡における甑使用法想定図
(相美編 2021)

旧補修紙の材料に関する研究

Report on materials of old paper patches

○金旻貞(櫛修美)、大野恭子(同左)、四本広樹(同左)

○Minjung KIM, Kyoko OHNO, Hiroki YOTSUMOTO (SHUBI Co.,Ltd.)

1. はじめに

本研究は、過去修理に用いられた材料(以下、旧補修紙)について材料分析をした結果である。

調査対象の旧補修紙は、襖絵を修理のため解体した際に確認された。旧補修紙の変色具合や劣化の様子は熟練した技術者にとっても初めて遭遇する事例であった。旧補修紙に用いられた材料は間似合紙というもので、手抄き和紙の中でも、繊維の配列の他、填料の多様性を含むため、物性値について再現性が低いと言われている材料である。旧補修紙は除去対象になるため、本紙に異常がなければ旧補修紙の材料に関する調査を行うことはほとんどない。ただし、今回のように劣化した旧補修紙に接している本紙裏も相互に影響し、劣化が進行している可能性があることから、本件の修理は本紙修理だけで考えることができない。また、旧補修紙が本紙の重要な部分を構成している場合など、様々な理由で除去が困難であった。以上のように旧補修紙が修理に影響を及ぼす可能性が想定されたことから、調査の必要性があると考えた。

ポスター 発表

2. 分析方法

補修紙の填料に着目し、蛍光 X 線分析および X 線回折分析と走査型電子顕微鏡による調査を行った。蛍光 X 線分析(フルーハートヘルツ社製、Tracer5)は填料成分を調べるために、旧補修紙と周辺の本紙の裏について 37 ヶ所を測定した。測定条件は X 線管球:ロジウム(Rh)、管電圧と管電流:30 kV・50 μ A、X 線照射径:8 mm、測定時間:1ポイント約 30 秒であった。

X 線回折分析(株式会社島津製作所製、XRD-6100)は紙に充填されている鉱物組成調査のために行った。試料は微量であり、回収率を向上させるために、焼成後の残渣を蒸留水で回収し乾燥後に分析を行った。不定方位法は試料全体の含有鉱物の把握、定方位方は粘土鉱物の判定を目的とする。測定は JIS K0131 X 線回折分析通則(1996)に一部準拠し実施した。条件は、X 線ターゲット:銅(Cu)、管電圧と管電流:30kV・20mA、スリット系:1.00 度_1.00 度_0.30 mmであった。また、解析ソフトは株式会社ライストン社製 JADE PRO を、粉末回折データベースは、ICDD 製 PDF-4+を参照した。

走査型電子顕微鏡(SEM-EDX、日立 TM3000)は紙の繊維観察及び蛍光 X 線と X 線回折分析で得られた鉱物組成の観察を行った。また付属の EDX(Swift3000)で構成元素を分析した。

3. 分析結果と考察

蛍光 X 線分析の結果、全ての測定箇所から、紙由来のケイ素(Si)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、鉄(Fe)と金箔由来の金(Au)が確認できた。また部分的に銅(Cu)のピークが強く検出されたが、表側に柳の木が

描かれているためその色料に由来すると考えられた。旧補修紙からは鉄が特に強く検出された。

X線回折分析の結果、焼成前試料からは、シュウ酸カルシウム1水和物(Whewellite)、シュウ酸カルシウム2水和物(Weddellite)、シュウ酸鉄(Ⅱ)(Iron Oxalate)、石膏(Gypsum)と方解石(Calcite)が、焼成後試料からは、石膏(Gypsum)と方解石(Calcite)が検出された。シュウ酸カルシウム、シュウ酸鉄は、木材の生体内に普遍的に含まれているものであるⁱ。また、焼成前試料での石膏と方解石はセルロース成分のピークと重複しているため、判別は困難であったⁱⁱ。

走査型電子顕微鏡による観察の結果、シュウ酸カルシウムと考えられる特徴的な針状結晶と、方解石と考えられる直方体の結晶がみられ、前述のX線分析結果と一致した。

以上の分析結果から、旧補修紙の材質が確認できた。旧補修紙の特徴的な劣化現状は、類例のない填料の使用もしくは填料の変性由来であろうと考えられていたが、それらに由来する無機物質は確認できなかった。一方で、アルカリ性の填料が少ないことから、繊維が酸性化しやすくなること、繊維と空気の接触面積が大きいことで酸化しやすいことが考えられた。また、旧補修紙から鉄がより強く検出されたことから、シュウ酸鉄(Ⅱ)がⅢ価の酸化鉄に変化して褐色化ⁱⁱⁱした可能性が考えられた。



図1. 上. 本紙の表面/下. 裏面_旧補

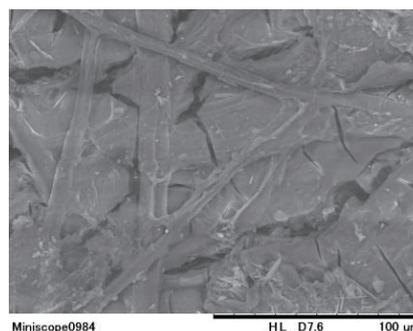


図2. 旧補修紙のSEM画像

4. おわりに

旧補修紙の劣化原因に関しては、同じ区間の襖の中でも、旧補修紙の中には劣化状態が異なるものがあることから、保管環境の影響によるものが考えられた。また今回の調査例のように、修理に用いられている材料の劣化を抑制するためには、その状態についての現状把握が必要であり、旧修理の材料やその劣化について調査し、データを蓄積が必要である。

謝辞 襖絵の調査は大覚寺様に、XRD 同定は㈱タケコンサルタント シェンジニアリング 事業本部の岸山碧氏にご協力いただきました。また、今回の成果は科研究若手 20K13251(2020-2023 年度)の助成によるものである。

ⁱ 古野毅・澤辺攻, 組織と材質, 第2版(木材科学講座)

ⁱⁱ 後藤俊幸・棚橋光彦・原田浩・樋口隆昌(1985):木材主要成分のX線回折とセルロース成分の結晶性の評価, 木材研究, 21, 102-107

ⁱⁱⁱ 星恵理子・北田正弘、江戸時代後期の絵画和紙資料のCuによる劣化、日本金属学会誌 第67巻、7号、2003 P336: Egerton は鉄などの重金属イオンは酸素と水が存在する環境下でヒドロペルオキシドやH₂O₂を発生し、これらの生成物によってセルロースの酸化反応が起こることを指摘している。

鉄製遺物の始発原料推定を目指した油山山麓周辺の 砂鉄の地域性解明

Study on Provenance Dependency of Iron Sand from Mt. Aburayama for Estimation of Raw Material of Archaeological Iron Artifact

○市川慎太郎（福岡大学）、石掛雄大（福岡大学大学院）、西 幸子（古賀市教育委員会）、
栗崎 敏（福岡大学）

○Shintaro ICHIKAWA (Fukuoka University), Yuta ISHIKAKE (Fukuoka University Graduate School),
Yukiko NISHI (Koga City Education Board), Tsutomu KURISAKI (Fukuoka University)

1. はじめに

北部九州は、製鉄開始期（6世紀後半～7世紀前半）に存在したとみられる遺跡が多い地域である。福岡大学が所在する油山山麓周辺でも、同様の時期を示す可能性のある製鉄関連遺跡が多数見つかっている。しかし、この地域の鉄製遺物は調査が不十分であり、始発原料の入手先が明らかにされていない。遺跡がある油山山麓は、砂鉄が豊富に含まれていることが多い花崗岩帯で構成されているので、製鉄の始発原料源であった可能性が高い。そこで、本研究では、油山山麓周辺から出土した鉄製遺物の始発原料推定を目指して、この地域の砂鉄の化学的特徴を明らかにした。

2. 試料

油山を源流とする河川のうち樋井川の5地点（柏原上原田公園付近、柏原峠第二橋付近、梅公園付近、山田橋付近、やかた橋付近）、那珂川の1地点（手打ち蕎麦蕎花付近）および片江川の2地点（風致公園付近、半田橋付近）から河川砂を採取した。柏原上原田公園付近および手打ち蕎麦蕎花付近の河川砂には、色の異なるものが存在していた。そこで、これらの2地点では、2種類の河川砂を採取した。また、採取地点付近に露頭のあった柏原峠第二橋付近および山田橋付近では、それらの土壌も採取した。

3. 実験

河川砂は純水で洗浄後、1週間風乾し、植物片などの異物を除去した。ポットミルで390 rpm、120分間粉碎した後、目開き500 μmのナイロン製の篩に通るまでアルミナ製の乳鉢および乳棒で粉碎した。試料粉末に純水を加え、攪拌機を用いて400 rpmで24時間攪拌した。攪拌後の懸濁試料を水簸および磁選して、砂鉄を分離した。土壌も同様に粉碎後、磁選して砂鉄を取り出した。

塩化ビニル製リングをステンレス製のダイスに載せ、砂鉄試料粉末1.9 gを充填してダイスで

ポスター
発表

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

挟んだ。その後、油圧式加圧機を用いて 200 kgf cm^{-2} で 1 分間圧力を掛けて粉末ペレットとした。

上記の粉末ペレットを、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (Rigaku NEX DE) を用いて He 雰囲気下で測定した。装置付属のソフトウェアによるファンダメンタル・パラメーター法 (FP 法) で、各成分の蛍光 X 線強度から定量値を算出した。FP 法は、4 種類の鉄鋼認証標準物質 (MBH 製の 12X355C, 12X353G, 12X15266V および 12X12749W) で較正したものを使用した。

4. 結果と考察

油山山麓周辺の砂鉄の化学的特徴を明らかにするために、茨城県、愛知県、岡山県、京都府、鳥取県、香川県および長崎県の岩石、島根県の河川砂から取り出した砂鉄の化学組成と比較した。油山山麓周辺の砂鉄中に含まれる V, Ti および Mn の量はそれぞれ $0.10\text{--}0.16 \text{ mass}\%$, $0.23\text{--}1.1 \text{ mass}\%$, $0.080\text{--}0.18 \text{ mass}\%$ であり、散布図を作成すると、油山山麓周辺とそれ以外の地域の砂鉄を明確に区別することができた (図 1)。したがって、これらの成分を利用すれば、油山山麓周辺の砂鉄とこの地域から出土した鉄製遺物との関係性を明らかにできるだろう。ただし、いずれの散布図においても、梅光園付近 (樋井川) の河川砂から採集した砂鉄のプロットは、他の油山山麓周辺のものから少し外れていた。この地点は、全ての河川砂採取地点のうち最も下流なので、油山山麓以外に由来する堆積物が混在している可能性がある。

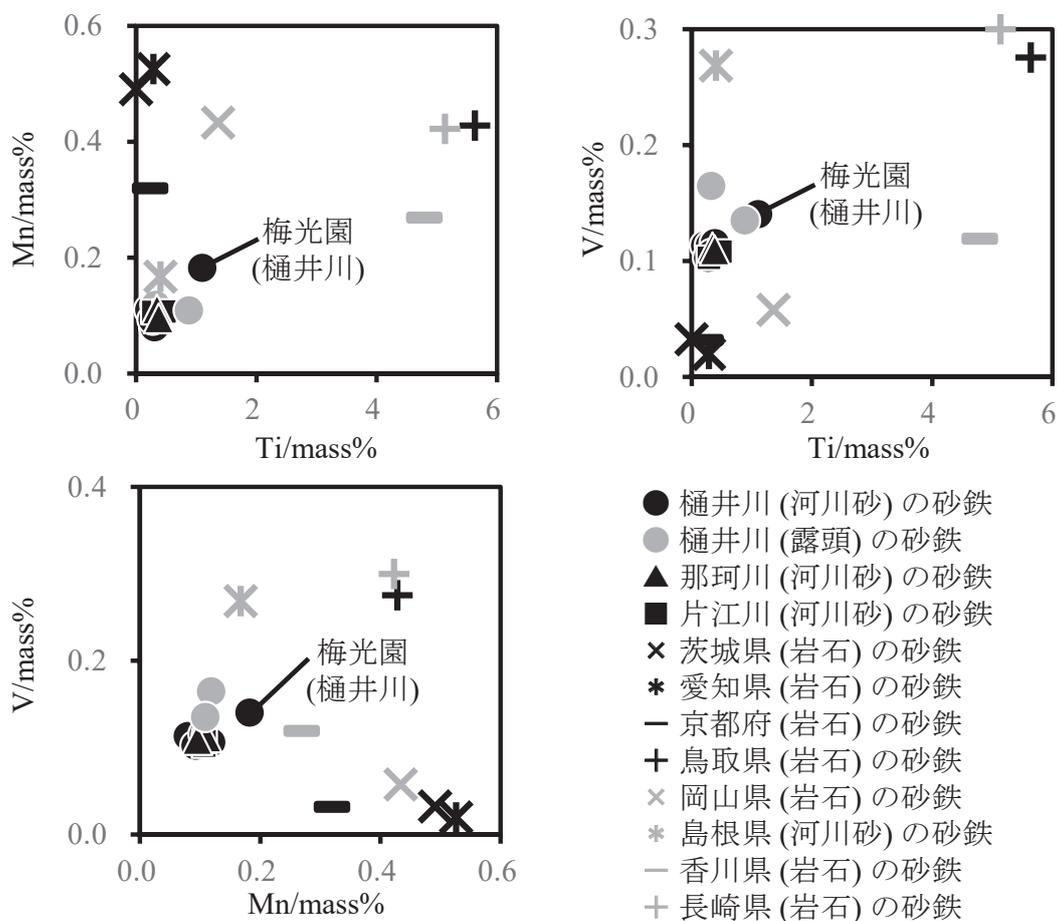


図1 油山山麓 (福岡県)と日本各地の砂鉄の比較

縄文時代の遺跡出土琥珀の産地推定

Provenance study of amber excavated from Jomon period sites

○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。今回、熱分解-ガスクロマト/質量分析を含めた総合的な分析が未実施であった縄文時代の遺跡出土琥珀について、赤外分光分析（以下 ATR-FTIR）と熱分析、熱分解-ガスクロマト/質量分析（以下 Pyro-GC/MS）により産地推定を行った。縄文時代の琥珀は中部地方から関東、東北地方にかけて出土しており、その地域内にある主産地の久慈市やいわき市、銚子市との関係に興味を持たれた。特に古墳時代の遺跡からの出土数が少なく、縄文時代の遺跡の出土数が多い新潟県は両時代の特徴を比較するうえで有効であると考えた。さらに、これらの結果をもとに縄文時代の遺跡出土琥珀が国内でどのように流通していたかについても検討したので報告する。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

2. 分析資料

出土琥珀は中部地方の遺跡（長野県上向 B 遺跡、同梨久保遺跡、新潟県和泉 A 遺跡、同馬高遺跡）と関東地方の遺跡（千葉県粟島台遺跡）、東北地方の遺跡（岩手県力持遺跡、同川目 A 遺跡、青森県三内丸山遺跡）から出土した 8 点について分析を行った。また、産地推定を行うための標準試料としてはこれまでも比較対象として使用した久慈市、いわき市、銚子市産琥珀を中心に分析を行った。

3. 分析方法および条件

ATR-FTIR は(株)パーキンエルマー製 Spectrum Two を使用し、LiTaO₃ 検出器を用い、分解能 4cm⁻¹ で測定した。Pyro-GC/MS は熱分解装置としてフロンティアラボ製 PY-3030D 型パイロライザー、GC/MS は日本電子（株）製 JMS-Q1050GC 型 GC-MS を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.×0.25μm を使用、ヘリウムガス加熱素囲気下、350℃、550℃の 2 段階の温度で加熱し、電子衝撃イオン化法（EI 法）により検出した。

4. 結果および考察

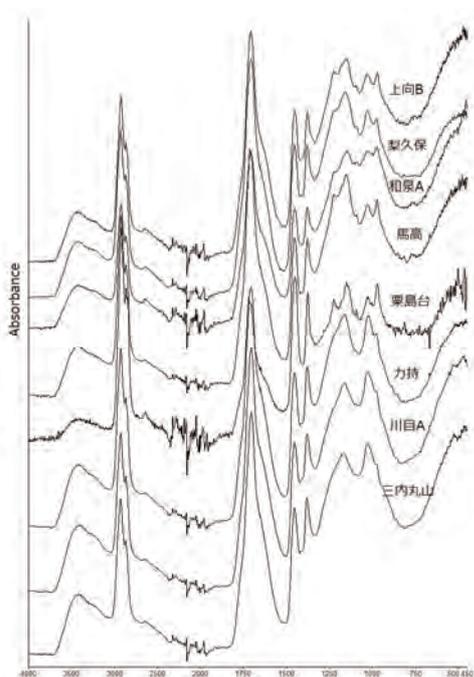


図1. 出土琥珀の赤外吸収スペクトル

出土琥珀の ATR-FTIR の結果を図 1 に示した。1200~700cm⁻¹ 付近の指紋領域のスペクトルを比べると、梨久保遺跡を除く中部地方の遺跡出土琥珀と栗島台遺跡出土琥珀出土琥珀 4 点と、梨久保遺跡出土琥珀と東北地方の遺跡出土琥珀 4 点の大きく 2 グループに分けることができた。前者は銚子

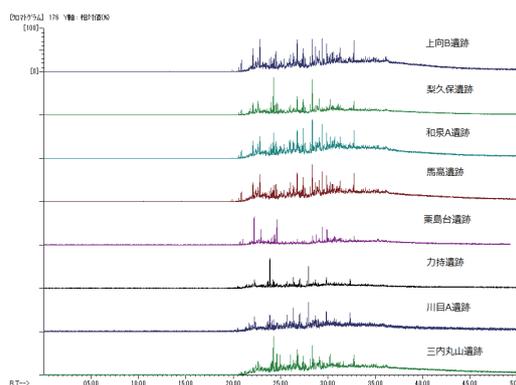


図2-2. 出土琥珀の Pyro-GC/MS(m/z=161)

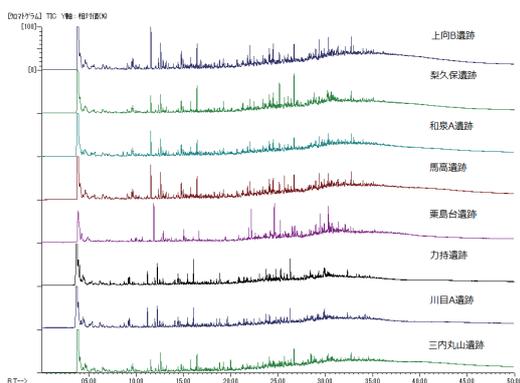


図2-1. 出土琥珀の Pyro-GC/MS(500°C : TIC)

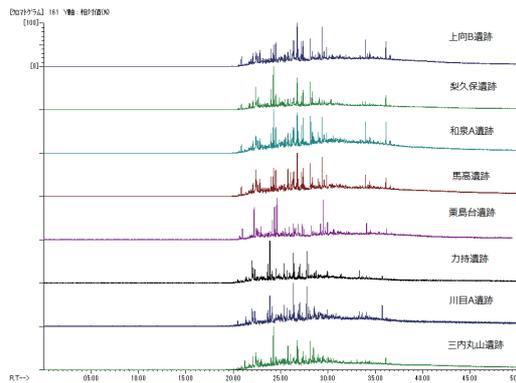


図2-3. 出土琥珀の Pyro-GC/MS(m/z=176)

市産琥珀に、後者は久慈市産あるいはいわき市産琥珀とよく似た位置と同じような強度のピークを持つスペクトルが得られた。次に、図2に Pyro-GC/MS の 550°Cにおけるトータルイオンクロマトグラム (TIC) とマスクロマトグラム (m/z=161、m/z=176) を示した。これらを、銚子市産琥珀、いわき市・久慈市産琥珀と比較することにより産地推定を試みた。その結果、全てのスペクトルのパターンが ATR-FTIR の結果と同様に 2 グループに分かれることが分かった。

5. さいごに

縄文時代の遺跡出土琥珀は、以前より考古学的な見地から中部地方の琥珀は地理的に近い銚子産であると言われてきた。しかし、その全てが同一の地域からもたらされたものではない可能性があることがわかった。ただ、現時点で発見されていない産地の可能性や、出土琥珀の劣化による影響などについても今後さらに検討が必要であると思われる。

下呂石の細分とその考古学的可能性

Subdivision of Gero Glassy Rhyolite for Archaeological Research

村瀬早紀 (南山大学)、○上峯篤史 (同左)、竹原弘展 (株式会社パレオ・ラボ)

Saki MURASE, ○Atsushi UEMINE (Nanzan Univ.), Hironobu TAKEHARA (Paleo Labo Co., Ltd.)

1. 本研究の背景と目的

湯ヶ峰(岐阜県下呂市)から産出するガラス質流紋岩、通称「下呂石」は、先史時代に石器石材として多用され、中部地方はもちろん、時期によっては関東地方や関西地方にまで運ばれた。下呂石の火山地質学的背景に関して、石崎ら(1998)は湯ヶ峰西側の大崩落地において、層状流紋岩をはさむ上下で下呂石の産出層準を記載している。演者らの観察によると、下部層に由来する下呂石(LOB)が光沢をもつ黒色の剥離面を見せるのに対して、上部層に由来する下呂石(UOB)の剥離面は灰色を呈し、LOBに比べて粗粒な印象を受ける。この産出層準に対応した外観の違いは、石器石材としての下呂石の流通状況はもとより、風化や石質など下呂石製石器の基礎的な理解(後藤 2002 等)を改めることに貢献する可能性がある。本研究では、産出層準の異なる二種の下呂石を考古遺物において非破壊で判別するための客観的指標として、比重が有効であることを示し、その意義を論じる。

2. 研究の対象と方法

石崎ら(1998)が岩相を記載した湯ヶ峰西側の大崩落地付近で、標高約 1050m の下呂石層(Loc.A)と約 900m の下呂石層(Loc.B)から下呂石試料を採取した(図 1)。両層の間は、軟質の灰色流紋岩で満たされている。これらの岩相は、石崎ら(1998)のいう UOB、LOB、BR(層状流紋岩)に対応する。

UOB、LOB から無作為に 3 点選び、粉碎して 1:5 希釈ガラスビードを作製した。これを波長分散型蛍光 X 線分析装置(フィリップス社製 MagiX PW2424)で化学組成を調べ、検量線法で定量した。ガラスビードの作製過程で、750°C で 6 時間加熱する強熱減量試験を実施した。

次に、UOB と LOB から 30 点ずつ無作為に抽出し、質量測定と、アルキメデス法による体積測定から比重を求めた。体積測定では、使用した水の温度を調べ、温度変化にともなう水の密度変化をとらえて、長倉ほか編(1998)が示す値をもとに測定値を補正した。体積測定前には試料を水に浸し、試料の凹凸に気泡が付着するのを抑制した。測定には電子天秤(A&D 社製 FZ-5000i)を使用し、付属の床下秤量金具を使って比重を測定した。この電子天秤は校正済で、最小表示は 0.01g である。比重測定の精確さを見積もるため、純度 99.99%の鉛チップ(佐々木半田工業株式会社製)を標準試料として用いて検定した。



図 1 下呂石試料の採取地点(地理院地図を改変)

ポスター 発表

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

表1 下呂石の強熱減量と化学組成 (mass%)

分析	LOI	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
No.	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
LOB1	0.10	3.94	0.21	14.02	74.72	0.037	3.54	1.65
LOB2	0.11	3.94	0.20	14.05	74.94	0.037	3.60	1.67
LOB3	0.15	3.93	0.20	14.06	74.84	0.037	3.56	1.66
平均	0.12	3.94	0.20	14.04	74.83	0.037	3.57	1.66
σ	0.03	0.01	0.01	0.02	0.11	0.000	0.03	0.01
UOB1	0.04	3.93	0.21	14.05	75.04	0.037	3.60	1.66
UOB2	0.03	3.94	0.21	14.12	74.93	0.037	3.60	1.67
UOB3	0.03	3.96	0.21	14.09	75.00	0.037	3.59	1.68
平均	0.03	3.94	0.21	14.09	74.99	0.037	3.60	1.67
σ	0.01	0.02	0.00	0.04	0.06	0.000	0.01	0.01

分析	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Total	Rb	Sr	Y	Zr
No.	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
LOB1	0.14	0.082	1.13	99.6	123	308	9	114
LOB2	0.14	0.081	1.14	99.9	124	310	14	107
LOB3	0.14	0.082	1.13	99.8	122	306	14	105
平均	0.14	0.082	1.13	99.8	123	308	12	109
σ	0.00	0.001	0.01	0.2	1	2	3	5
UOB1	0.14	0.081	1.14	99.9	124	307	13	109
UOB2	0.14	0.081	1.14	99.9	125	307	12	105
UOB3	0.14	0.080	1.13	99.9	124	309	10	105
平均	0.14	0.081	1.14	99.9	124	308	12	106
σ	0.00	0.001	0.01	0.0	1	1	2	2

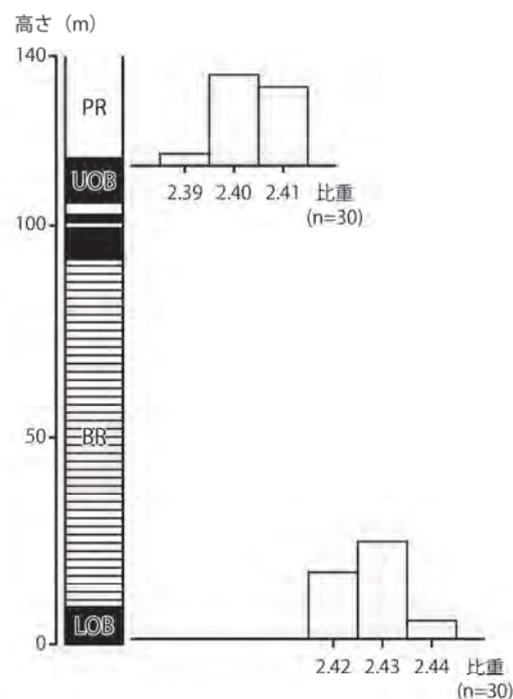


図2 湯ヶ峰西側斜面の層序と下呂石の比重

3. 分析の結果

化学組成は UOB と LOB で顕著な差はなく、既知の下呂石の化学組成(杉原編 2014)と概ね一致した。一方、強熱減量(LOI)は UOB で 0.01~0.03%、LOB で 0.10~0.15%となり、差が見られた(表 1)。

比重は UOB で 2.39~2.41(最頻値 2.40)、LOB で 2.42~2.44(最頻値 2.43)となり、排他的な分布を示した(図 2)。なお標準試料を用いた検定の結果、本研究の有効数字は小数点第 2 位までであった。

4. 比重による下呂石の細分と考古遺物への応用

UOB と LOB では化学組成こそ共通するものの、外観のみならず水分量に違いがあるとみられる。この違いは、本研究で示したような、水と電子天秤を用いた簡易な比重測定法によって十分に把握できる。

この方法によれば、下呂石製遺物を完全非破壊で、原材の産出層準に応じて区分することが可能となる。UOB が湯ヶ峰山頂付近でしか産出しないのに対し、LOB は湯ヶ峰中腹で産出し、低標高部へ崩落して随所で崖錐を作っている。UOB と LOB は採取できる場所と量に歴然とした違いがあり、これを考古遺物において区別しうること、石器石材原産地としての湯ヶ峰の開発史を高い解像度で描出することが期待できる。

引用文献

- 石崎泰男ほか 1998 「岐阜県下呂町東方、湯ヶ峰流紋岩とその供給岩脈の内部構造」『日本地質学会学術大会講演要旨』第 105 年学術大会(98 松本), p.351。
 後藤信幸 2002 「下呂石の風化と土壌」『大林遺跡試掘調査報告書』下呂町教育委員会, pp.50-51。
 杉原重夫編 2014 『日本における黒曜石の産状と理化学分析-(資料集)-』, 明治大学文学部。
 長倉三郎ほか編 1998 『岩波 理化学辞典 第 5 版』, 岩波書店。

新薬師寺実忠和尚御歯塔を構成する創建部材の産地推定

Provenance study of the original stone composing

Jicchukashogoshito at Shin Yakushiji Temple

○荒木徳人（東北芸術工科大学）

○Naruto ARAKI (Tohoku University of Art & Design)

1. 序 論

実忠和尚御歯塔は新薬師寺の境内にある五重石塔で東大寺二月堂の修二会を創めた実忠和尚の歯塔として伝承されている。2018年から石塔の歴史を明らかにするための人文学的調査や損傷状態および損傷原因を明らかにするための診断調査を実施してきた。この石塔は花崗岩および凝灰岩で構成されており、花崗岩製の部材には文化13年、明治31年と修復された年代が刻まれている。創建当初の部材として考えられる凝灰岩製の部材は平安時代まで石切場として使用されていた春日山原始林にある石仏凝灰岩と岩石記載が非常に類似している。そのため、石塔に使用されている凝灰岩が石仏凝灰岩であれば制作年代をある程度絞ることができる。したがって、本研究では実忠和尚御歯塔を構成する凝灰岩製の部材と石仏凝灰岩を対象に材料分析を行い、これらの分析データから石材の原産地を解析した。

2. 研究方法

石塔を構成する凝灰岩の剥落片および石仏凝灰岩の露頭から試料を採取して様々な分析を行なった。まず、各試料の鉱物学的組成や組織的特徴を把握するためにデジタルマイクロスコープおよび偏光顕微鏡による観察を行なった。また、構成鉱物の精密な同定を行うためX線回折分析も行なった。今回は粘土鉱物の同定も行うため、不定方位法だけでなく定方位法やエチレングリコール処理を行い分析した。X線管球にはCuのターゲットを用いて管電圧と管電流はそれぞれ45kVと40mA、不定方位法の 2θ の測定範囲を $5^\circ \sim 65^\circ$ とし、定方位法およびエチレングリコール法の測定範囲は $2^\circ \sim 65^\circ$ と設定した。

岩石の主要成分、微量および希土類元素の含有量を定量的に測定するため誘導結合プラズマ発光分光分析(ICP-OES)や質量分析(ICP-MS)を行なった。粉末状にした試料をメタホウ酸リチウムおよび四ホウ酸リチウムを含む融剤とともに熔融させ、ガラス化させた後、硝酸で分解した溶液試料を作成し分析を実施した。本研究ではX線回折分析および化学成分分析は住鉱資源開発株式会社に分析を依頼した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 結果および考察

顕微鏡観察の結果、石塔凝灰岩は火山灰などの火山碎屑物で構成されており、特徴的な構造はみられなかった。岩色は全体的に白色を帯び、細粒質の石英および長石類などの珪長質鉱物と黒雲母が確認され、石仏凝灰岩も同様の特徴がみられた。X線回折分析の結果も同様に各試料で石英、斜長石、カリ長石、黒雲母が検出され、定方位法やエチレングリコール処理ではスメクタイトも検出された。一方、石塔凝灰岩には石膏が検出された。これに関しては過去の診断調査の結果から、修復の際に使用されたモルタルが原因でエフロレッセンス現象が発生し、大気汚染等の影響を受け石膏に変質したという事が明らかとなっている。

次に、各試料の化学分析の結果について述べる。まず、試料の岩石系列を把握するため、 SiO_2 と $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ の構成比を利用したTAS (total alkali - silica diagram) 図にプロットした結果、成分的にどちらも流紋岩よりの石英安山岩であることが明らかとなった。また、化学組成の傾向を把握するため、ハーカー図にプロットした結果、ほとんどの主要成分は各試料ほぼ同じ領域にプロットされたが Fe_2O_3 においては石仏凝灰岩よりも石塔凝灰岩の方が高い含有量を示した。これに関して、過去に行われた修復の際に笠と軸部材の傾きを補正するために使用された鉄板が錆び、雨水によって石材に錆汁が供給されたのが原因であると考えられる。次に、微量元素および希土類元素の挙動特性を把握するために Govindaraju(1989)および Taylor & MacLennan (1985)が提示している値で規格化した結果、各試料の微量元素および希土類元素の挙動は同じ傾向を示した。

以上の結果から、各試料の鉱物学的組成および化学組成は類似しており、実忠和尚御歯塔の凝灰岩製の部材は春日山の石仏凝灰岩を使用したと推定できる。石仏凝灰岩を使用しているとなると石切場として使用されていたのが平安時代までという事から、凝灰岩製の部材が創建当初の部材であると判断でき、石塔が創建された年代も大幅に絞る事ができた。また、本研究では凝灰岩製の部材が創建当初の部材であるということが明らかになったことで、江戸時代および明治時代の石造物の修復理念についても考察することができた。この石塔は凝灰岩と花崗岩の部材が錠とモルタルで接着されている事から、オリジナルの部材を活用しようという修復理念がみられる。他にも、凝灰岩製の部材と花崗岩製の部材の様式が異なることから、創建当初の部材に合わせた様式ではなく当時の時代に合わせた様式で修復していることが明らかとなった。今後は実忠和尚御歯塔の大きな課題である保存方法の検討を行うため推定産地から試料を採取して保存に向けた様々な実験を行なっていく。

4. 参考文献

Govindaraju, K., 1989, Compilation of working values and samples description for 272 geostandards. Geostandards Newsletter, 13, 1-113.

Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312.

トレハロース含浸処理法における出土漆塗製品の 保存処理条件の研究(1)－X線CT画像を用いた比較－

Study of treatment condition on the trehalose method for excavated Lacquerware (1) -Verification by X-ray CT Imaging-

○千葉直美(東北大学埋蔵文化財調査室)、柴田恵子(同左)、佐々木理(東北大学総合学術博物館)
○Naomi CHIBA, Keiko SHIBATA (Archaeological Research office on the Campus, Tohoku University),
Osamu SASAKI (Tohoku University Museum)

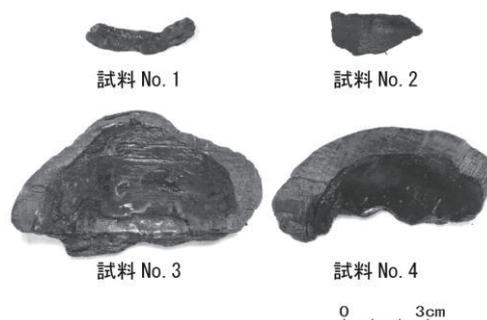
1. はじめに

出土漆塗製品(特に近世期)を保存処理する場合、漆膜がカールしたり剥離したりする可能性があることから、概して処理温度を高くできないという制約がある。これをクリアし、かつ満足のいく仕上がりに具合を得るための方法として、トレハロース含浸処理法においてディッピング方式が提唱されている。

このディッピング方式における適切な保存処理条件を確認するため、出土漆椀(近世期)の同一個体の破片を試料とし、いくつかの異なる条件で処理を行った。処理後の目視による試料の表面観察では、いずれも仕上がり具合に顕著な差は見られなかったが、X線CT撮影を行ったところ、試料内部の状態を三次元的に観察することができ、処理条件によって、トレハロース結晶等の形成・分布状態や木胎の状態が異なることが判明した。その結果を報告する。

2. 試料

仙台城跡二の丸北方武家屋敷地区第7地点から複数の破片に分割した状態で出土した漆椀(近世期)を用いた。木胎の樹種はブナ属。塗膜構造は外面・内面・高台ともに炭粉下地+透明漆一層塗り。



3. 方法

3-1. トレハロース含浸処理法による保存処理

20%濃度のトレハロース水溶液に試料を浸漬し、水溶液の濃度が不変となった時点で30%→40%→50%と次の濃度の水溶液へ試料を漬け換えた。55%濃度へは50%濃度の水溶液に試料を浸漬したまま水分蒸発によって濃縮した。なお、50%濃度以上は50℃加温をした。

含浸終了後、75℃で加温した70%濃度のトレハロース水溶液に試料を浸漬した(ディッピング)。ディッピング条件として、10秒浸漬のものと1晩浸漬のものに分けた。

ディッピング終了後、それぞれの条件で乾燥させた。乾燥条件として、扇風機の風を当てて乾燥させるものと、冷蔵庫内で乾燥させるものに分けた。

乾燥後、電気ゴテ等で試料表面のトレハロースの固化物を除去し、浮いた漆膜を木胎に固着した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

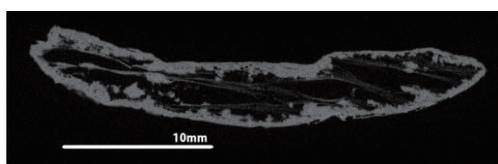
3-2. X線CT撮影

保存処理後の試料を、東北大学総合学術博物館の高出力大型標本用装置ScanXmate-D180R SS270(コムスキャンテクノ株式会社)で撮影した。

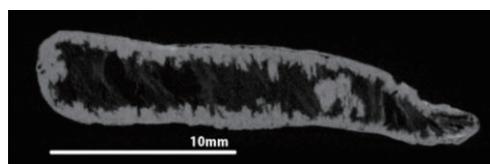
表1 処理条件とX線CT撮影条件

試料No.	遺物No.	部位	最終含浸濃度	含浸期間	処理条件			X線CT撮影条件			処理前重量	処理後重量
					ディッピング条件	乾燥条件	乾燥期間	X線管電圧	X線管電流	解像度		
1	u96-h	身	62.1%	33日	10秒	扇風機	7日	150kV	199 μ A	25.181 μ m	0.78g	0.67g
2	u96-f	身	57.9%	33日		冷蔵庫	9日	150kV	200 μ A	20.828 μ m	1.02g	0.88g
3	u96-a	身	55.4%	54日	1晩	扇風機	45日	150kV	199 μ A	50.256 μ m	24.04g	22.29g
4	u96-b	身	58.0%	53日		冷蔵庫	37日	150kV	199 μ A	50.256 μ m	16.72g	15.55g

4. 結果と考察



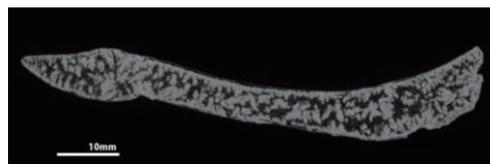
試料 No.1 処理条件(10秒/扇風機)



試料 No.2 処理条件(10秒/冷蔵庫)



試料 No.3 処理条件(1晩/扇風機)



試料 No.4 処理条件(1晩/冷蔵庫)

ディッピング条件の違いが顕著である。10秒のものは、トレハロース結晶等はほぼ試料表面付近に集結しており、内部の木胎に収縮が見られる。1晩のものは、トレハロース結晶等は試料中央付近まで樹枝状に縦横無尽に分布しており、木胎の大きな収縮は見られない。このことから、ディッピング10秒でも資料の形状を保持するという効果は認められるものの、資料によっては内部の木胎が収縮しており強度的な問題が生じる可能性も考えられる。ディッピング時間を長くすることで資料の強度を向上させることが期待できるが、資料によっては長時間の高温ディッピングに耐えられるかが課題となる。

乾燥条件の違いについては、ディッピング10秒のものは、扇風機乾燥のものの方が冷蔵庫乾燥のものに比べて木胎の収縮度合が大きい。ディッピング1晩のものは、扇風機乾燥のものの方が冷蔵庫乾燥のものに比べて概ねトレハロース結晶等の粒度が小さい。結晶粒は結晶化の速度が遅いと粒度が大きくなるという性質がある。扇風機乾燥のほうが冷蔵庫乾燥より乾燥速度が速いことから、これらの結果は試料内部のトレハロースの量と乾燥速度に関係していると考えられる。

5. おわりに

今回、出土漆塗製品をトレハロース含浸処理法で処理する場合の、目指すべき処理後の資料内部状態を知ることができた。今後は、その内部状態に近づくための保存処理条件を模索していきたい。

*本研究は、科学研究費助成事業(研究代表者:柴田恵子 基盤研究(C) 課題番号19K01123「基礎構造分析に基づいた近世漆塗製品の保存処理及び形態・組成に関する研究」)の成果の一部である。

約 2 年屋外暴露したこけら葺屋根モデルの屋根勾配および葺込銅板の葺足からの距離が葺足部分の銅元素分布に及ぼす影響

Effect of Roof Slope and Setback Distance for Inserted Copper Plates on the Distribution of Copper Elements on Traditional Japanese-style Shake Roof Models Exposed to the Outdoors for About 2 Years

○藤原裕子, 藤井義久 (京都大学),
森田麻由, 中野ひとみ ((株) 堀場テクノサービス)
○Yuko FUJIWARA, Yoshihisa FUJII (Kyoto University),
Mayu MORITA, Hitomi NAKANO (HORIBA TECHNO SERVICE Co.Ltd.)

1. はじめに

こけら葺きは厚さ約 3 mm に薄く剥いだ木材 (こけら板) を 30 mm ほどずらして重ね、竹釘で留めながら葺きあげてゆく伝統的な屋根工法の一つである。薄いこけら板にとって屋根は日射と降雨による乾湿の繰り返しがある過酷な環境であり、施工後 20-25 年で物理劣化 (損耗・割れ) や生物劣化 (腐朽・虫害) のため葺替えが必要になる。次の葺替えまでなるべく健全な状態を維持するための工夫の一つに腐朽の抑制を期待した「葺込銅板」がある。これは板を葺く際一定の段数 (一般的には 10 段) 毎に葺込まれる薄い幅細の銅板で、この銅板から雨水や結露水に溶出する銅成分がこけら板表面や内部に付着し腐朽抑制効果を発揮すると推定される。実際の屋根において葺足 30 mm (主に南面) は 10 年で損耗して無くなってしまいうため、銅板を葺足から出すと 10 年後には銅板がめくれ上がって見た目が悪くなったり、めくれた銅板が落ちてきたりする可能性がある。しかし葺足より奥に入れると雨水に触れる機会や時間が減るため銅成分が十分に溶出してこないことも考えられる。現場では葺足より 10 mm 出したり 5 分~2 寸下げたりと試行錯誤が続いているが、その効果が明らかになるのは数十年ほど先である。

本研究の最終目標はこけら葺屋根を健全な状態で長持ちさせることのできる葺き方を明らかにすることであるが、ここでは特に葺込銅板に着目しその効果的な配置を検討するための実験を行った。葺足先端から葺込銅板までの距離と屋根勾配が異なる屋根モデルを屋外暴露して、葺足に付着・蓄積する銅元素量の経時変化をハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置で測定した。

2. 実験方法

こけら葺屋根モデルは 6 体準備しすべて京都大学北白川試験地内の専用架台上に 2019 年 4 月 16 日に設置した (図 1)。各屋根モデルは寸法が約 900×600×130 mm, 全 20 段で軒先に水切銅板、軒先側から 10 段目の上に葺込銅板を配置した。銅板はどちらも厚さ 0.3 mm, 幅 60 mm とした。葺込銅板は 11 段目のこけら板で隠れるようにしたが、その 11 段目葺足先端からの距離は

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

15, 30, 60 mm (5分, 1寸, 2寸) の3種類とした(図2)。屋根モデル用の架台はモデルの軒先側が地面から約1mの高さで屋根勾配が緩い(約3寸勾配)ものと急(約8寸勾配)なもの2種類となるように作製した。各屋根モデルの全段について葺足の異なる3か所をハンドヘルド型蛍光X線分析装置(MESA-630, 堀場製作所製)で約3か月毎に測定した。測定条件は管電圧45 kV, 管電流40 μ A, 測定時間30sとした。各段3か所の銅元素ピークのカウント数の平均をその段のカウント数とした。



図1 こけら葺屋根モデルの屋外暴露状況

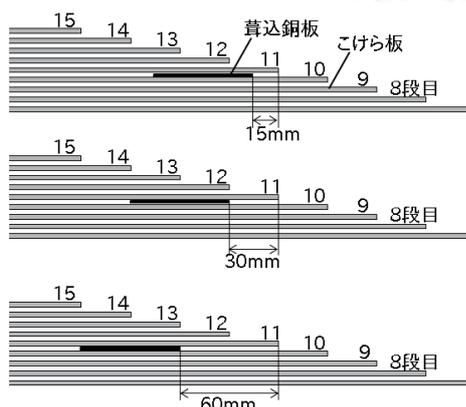


図2 屋根モデル葺込銅板付近の断面模式図

3. 結果の一例

図3は葺込銅板が載っている10段目葺足で測定した銅元素のカウント数の経時変化である。屋根勾配が緩く銅板が葺足の先端に近いほど、銅元素は葺足部分により早い段階で付着・蓄積した。屋根勾配が急なモデルは銅板が葺足先端から30mm(1寸)以上奥に配置されると、約2年の屋外暴露では銅元素はほとんど溶出しなかった。

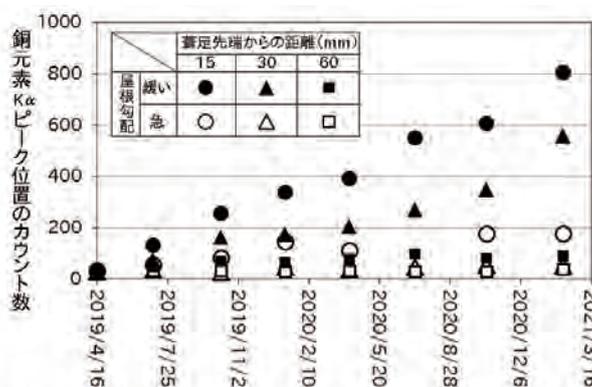


図3 各屋根モデルの10段目葺足の銅元素カウント数の経時変化

謝辞 本研究の一部は科研費(基盤研究(C)(一般)JP18K01089)の助成を受けたものです。こけら葺屋根モデルを作成して下さった有限会社宮川屋根工業様, こけら葺屋根についてご教示下さった(公社)全国社寺等屋根工事技術保存会に感謝申し上げます。

出土木材のマイクロ波加熱凍結乾燥法による保存処理の研究 8

Study on conservation of waterlogged wood

using freeze-drying method with microwave heating 8

○川本耕三 ((公財) 元興寺文化財研究所)、大橋有佳 (同左)

○KAWAMOTO Kozo, OHASHI Yuka (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

1. はじめに

研究代表者らはこれまでに出土木材のマイクロ波加熱凍結乾燥法による処理装置を作製し(図1)、本法が凍結乾燥法で取り除きにくい深層部に残る水分を取り除くのに有効であること、各処理工程で出土木材の重量、内部温度、X線CT像などがどのように変化するかを明らかにした。本報告では実際の出土木製品の保存処理を想定し実験を行った。

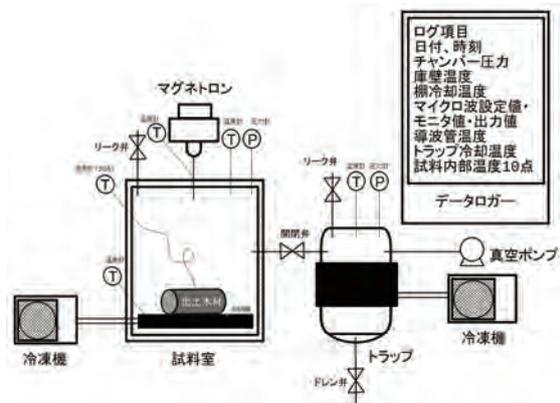


図1. マイクロ波加熱凍結乾燥処理装置模式図

2. 実用化処理の実験

含水率約440%の丸太状出土流木(図2)(マツ属マツ科、直径約16cm、長さ約25cm、含浸前約4.5kg)を20% PEG水溶液に約1月、40% PEG水溶液に約15月間含浸後、アルミホイルを敷いた冷却棚に木口面が接するように置き、ほぼ中心部に熱電対を挿し込んで-30℃で予備凍結した。ただし、実際の処理で試料温度を測定できるのは出土木製品の表面や亀裂内部に限られるため、本実験の温度測定は補助的なものと考えた。試料内部温度の測定に制限を受けることを考慮し、処理を中断して

表1. マイクロ波加熱凍結乾燥法の工程と測定項目の基準

工程	項目				判断基準
	試料温度	試料重量	トラップ水結水量	X線CT像	
凍結乾燥	恒率乾燥期間	◎	○		処理時間にほぼ比例して試料重量が減少する
	減率乾燥期間	◎	○		試料重量が次第に減少しにくくなる
	減率乾燥期間の終盤	◎	○		試料重量がほとんど減少しなくなる
マイクロ波照射	照射開始		○	◎	試料深層部に水分が局在している
	断続照射	◎			試料温度が上がれば中断下があれば照射を繰り返す
	照射終了	◎		◎	試料温度が上がりやすくなり水分の局在が無い
	処理終了	◎	○	○	出土木材内に拡散した水分が十分に減少した

※ ◎必ず測定すべき項目、○できれば測定すべき項目

行う試料の重量測定とX線CT撮影の回数を多くし(各々19回と12回)、表1のような基準で工程を進めた。ただし、表1の4項目は全工程で測定し、特に工程の進行に必要な項目を◎と○で示した。

図4に示すように試料の水分ははじめ急激に昇華したが、時間の経過とともに緩慢になり凍結乾燥処理時間が70日を超えるころになると取り除いた水分が1日あたり15g程度になった。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

X線 CT 撮影を行うと心材下部に水分の局在が見られたため(図 5)、概ね出力 60~80W のマイクロ波を 8 回計 194 分間照射した(試料温度 50℃以上でマイクロ波は自動停止)。その後 86 日目まで凍結乾燥を続け処理を終了した。

3. 結果

飽水状態だった試料の水分は表層部から深層部の順に取り除かれ、処理終了時には残留が見られなくなった。表面状態も良好だった(図 3、5)。



図 2. 出土木材試料 (予備凍結前)



図 3. 出土木材試料 (処理後)

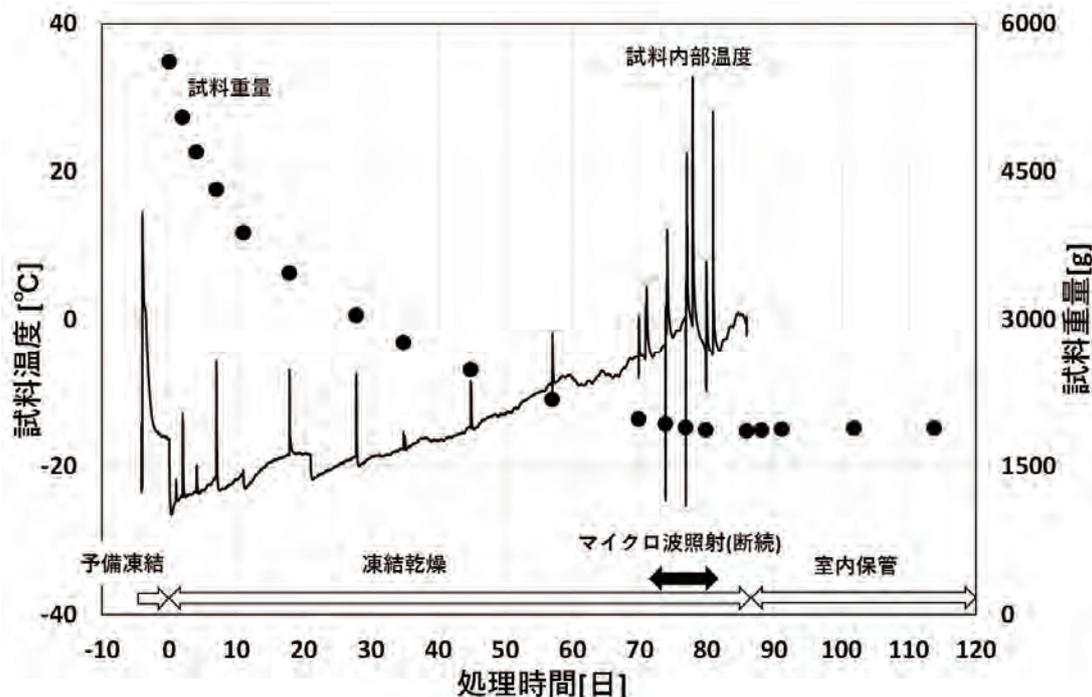


図 4. マイクロ波加熱凍結乾燥法による出土木材試料の温度と重量の変化

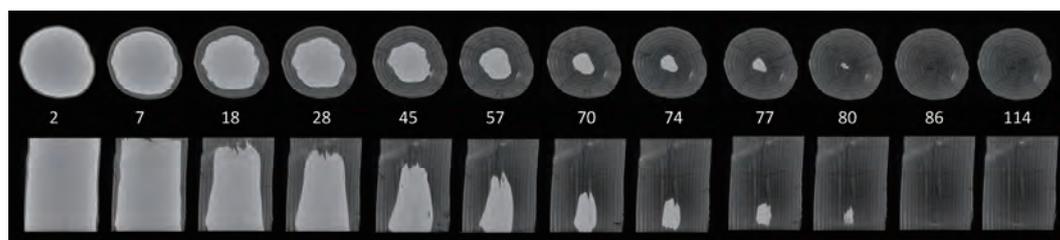


図 5. 出土木材試料の X 線 CT 像 (数字は処理時間 (日))

※本研究は 2017-2020 年度科学研究費補助金(基盤研究(B)課題番号 17H02021)により行った。

地盤に接する文化財の脱塩に関する研究

—多孔質材料中における塩溶液の移動特性の検討—

Study on desalination method for cultural heritages -Investigation of the transport properties for saline water in porous materials-

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

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

1. 研究の背景と目的

古墳や摩崖仏などの地盤に接する文化財は、塩類風化など乾湿の繰り返しに伴う劣化が懸念されている。温湿度の制御により塩類風化を抑制する方法は有用であるが、環境制御自体が困難な文化財もあるため、貼付材を用いた脱塩手法のように材料内部に蓄積する塩そのものを除去することのできる技術の開発が求められている。多孔質材料中の塩および塩溶液の移動量の予測は、脱塩量の定量的評価という観点で重要であるが、既往研究の多くは純水を想定した理論に基づいており、塩を含むことで溶液の移動係数と駆動力が共に変化する可能性があることを考慮していない。従って、これらの理論に基づいて脱塩量を定量的に評価できるかは議論の余地が残る。本研究では、貼付材を用いた文化財の脱塩量や文化財への塩の蓄積量を定量的に評価できる予測技術の開発を最終目標とする。本論文ではその第一段階として、多孔質材料中における塩溶液の飽和透水係数の塩濃度依存性を実験により把握することを目的とする。

2. 実験概要

本研究では変水位法により凝灰岩の飽和透水係数（以下透水係数）を測定する。変水位法による測定は土の透水試験規格である JIS A 1218[1]を参考とした。本実験に用いた変水位透水試験装置を Fig.1 に示す。本実験では試験体に元町石仏周辺で採取された凝灰岩（阿蘇火砕流堆積物）[2]を使用し、側面をパラフィンおよび気密防水テープにより断湿のうえ装置に設置した。実験では、JIS A 1218[1]の試験方法に従い、試験体を通じた溶液の量を目盛り付きの水槽の水位の差から測定した。水位はタイムラプス撮影（撮影間隔 2 分）により記録し、溶液が約 75[cm³]流れるまでの時間を測定した。また安定した測定結果を得ることを目的として測定は各塩濃度で計 8 回以上行った。透水係数の算出は JIS A 1218[1]を参考とした。実験条件は以下の通りである。

実験条件：測定は 23℃一定の恒温槽内で行い、湿度はなりゆきとした。溶液の溶質には塩化ナトリウム(以下 NaCl)を、溶媒には脱イオン水を使用した。なお、塩溶液の濃度は 23℃におけ

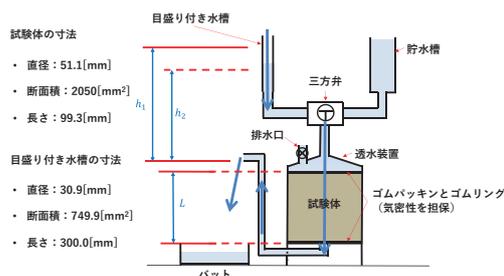


Fig.1 実験装置の模式図

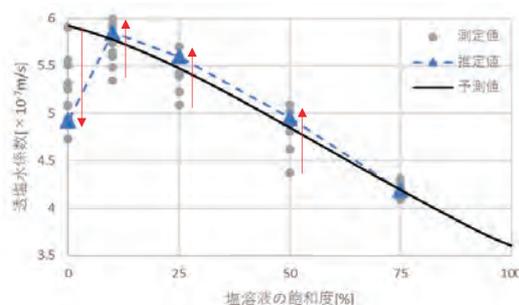
ポスター
発表

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

る溶解度に対する飽和度表記とし、飽和度 75%,50%,25%,10%,0%の溶液を使用した。また測定は塩濃度が降順となるよう行った。なお全ての実験を通して試験体は同一のものを使用し、貯水槽内の溶液を測定ごとに交換することで連続して測定を行った。

3. 実験結果と考察

測定結果およびハーゲンポアズイユ則に基づく予測式[3]から算出した予測値を Fig. 2 に示す。なお、透塩水係数の値は時間経過に伴い徐々に変化するため、図には同一濃度の透塩水係数の測定値の変化の様子を矢印で、一定時間経過後に安定した際の平均値を透塩水係数の推定値として示した。また、予測値は飽和度 75%



での値を基準として算出した。Fig.2 より、塩濃度を飽和度 75%から減少させていくと透塩水係数は増加していくが、飽和度 10%から純水に交換した際には透塩水係数は減少した。予測式との比較では、塩濃度が 10%以上の領域において塩濃度の増加に伴い透塩水係数が減少するという傾向は一致し、予測式より透塩水係数を大略再現できることが分かる。一方、純水と塩溶液にはこの関係が当てはまらず、予測式では説明できないことが明らかとなった。

この結果から、純水と塩溶液の間の透塩水係数の変化には溶液の密度と粘性係数以外の要因が影響を与えている可能性がある。本実験で用いた凝灰岩と類似の岩石である阿蘇山の岩石のゼータ電位分析結果[4]によると、これらの岩石は表面電荷を有する可能性がある。表面電荷を帯びた材料に接した溶液は電気二重層を形成し、材料内の溶液の移動はその影響を受けうる。また、電気二重層の厚さは溶液の塩濃度に依存する[5]ため、本実験結果は純水と飽和度 10%の塩溶液とで溶液の電気二重層構造が変化することが要因であると考えられる。

4. 結論

本論文では変水位透水実験により凝灰岩の飽和時における NaCl 溶液の透塩水係数を測定した。実験結果より本実験で用いた凝灰岩の透塩水係数は、塩濃度が飽和度に対し 10%以上の領域ではハーゲンポアズイユ則に基づく予測式により透塩水係数を十分再現出来ることを明らかにした。一方、純水と 10%溶液の比較ではこの予測式では再現できないことを明らかにした。この要因として、本実験で用いた凝灰岩の表面電荷および、表面電荷を有する材料の表面に形成される電気二重層が透塩水係数に影響を与えている可能性が考えられる。

【謝辞】本研究の一部は、科学研究費補助金 研究活動スタート支援(課題番号: 20K22445 研究代表者: 高取伸光), 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)の助成を受けたものである。記して謝意を表す。

【参考文献】 [1]日本工業規格,JIS A 1218,土の透水試験方法:2020 [2]大分市教育委員会,国指定史跡大分元町石仏保存修理事業報告書,1996 [3] A.Niocali, "Modelling and numerical simulation of salt transport and phase transitions in unsaturated porous building materials," Ph.D.thesis,2008 [4] 長谷英彰ら,阿蘇山における岩石のゼータ電位測定,京都大学防災研究所年報 第 45 号 B,2002 [5] T.Cosgrove (訳) 大島広行,コロイド科学 -基礎と応用-,東京化学同人,2014

文化財建造物における障壁画の保存・公開に関する研究

—実環境下に暴露された顔料の変褪色傾向の測定—

Study on conservation and exhibition of Wall Paintings in Cultural Properties -Measurement of color change tendency of pigments under installation environment -

○高取伸光（京都大学）、岡村知明（京都市）、小椋大輔（京都大学）

○Nobumitsu Takatori (Kyoto University), Tomoaki Okamura (The City of Kyoto),

Daisuke Ogura (Kyoto University)

1. 研究の背景と目的

障壁画は、絵画作品であると同時に建具や壁など建築物を構成する要素であり、近年では様々な状況から収蔵庫のような安定した環境に移すことが出来ず、文化財建造物内部で保存・公開される場合があり、その劣化や損傷が危惧されている[1][2]。中でも障壁画に用いられる顔料は紫外線や揮発性有機物（以下 VOC）などにより変褪色することが知られているが[3][4]、変褪色のメカニズムは顔料ごとに異なり[5][6]、実際の保存環境下で顔料がどのように変褪色するか予測することは困難である。本研究では障壁画の変褪色を抑制できるような保存・公開環境およびその支持体構造を明らかにすることを最終的な目的とし、実環境下において異なる支持体に貼り付けられた顔料の暴露試験を行い、顔料の種類および支持体の違いによる顔料の変褪色傾向について検討を行った。

2. 顔料の暴露試験

暴露試験は図 1 に示すように二条城二の丸御殿白書院の西側廊下にて行った。暴露試験体は実際の障壁画と同様、裏打ちされた本紙を、数種類の下貼紙で支持体に貼る構成とし、支持体として組子下地、構造用合板、普通合板、防中合板 の計 4 種類を用意し、白書院廊下の南北方向に並置した。各下地の仕様は表 1 に示す通りである。また本

表 1 各下地の仕様

名称	仕様
本紙	雁皮+楮裏打ち 2 回
組子下地	下貼（表）—組子下地（国産、杉白太） —下貼（裏）—構造用合板 ※下貼（表）：蓑縛（楮紙）、蓑貼 3 重（楮紙）、胴貼（間似合紙）、骨縛（楮紙） 下貼（裏）：骨縛（楮紙）、胴貼（間似合紙）、蓑貼 3 重（楮紙）、渋紙（楮柿渋染）
構造用合板	構造用合板 9mm（国産、ラワン材）
普通合板	普通合板 3mm（輸入、ラワン材）
防虫合板	構造用合板 9mm（国産、防虫処理）

紙には本丸御殿御常御殿一の間・四の間障壁画での目視調査の結果をもとに、朱の具（水銀朱+胡粉）、鎌倉朱極赤（水銀朱）、濃茶系（水干絵具混合：胡粉、黄土、焦茶、赤口朱土、赤口岱楮）、天然白群（銅化合物）、天然群青 10 番（銅化合物）、丹の具（鉛丹+胡粉）、丹（鉛丹）、淡茶系（水干絵具混合：胡粉、黄土、焦茶、赤口朱土）、天然白緑（銅化合物）、天然緑青 10 番（銅化合物）、胡粉（三号胡粉）、焼白緑（銅化合物）の計 12 種類の顔料（株式会社放光堂製）を塗布した。暴露試験は 2020 年 8 月 25 日より開始し、変褪色の定量的評価のため顔料の L*a*b*値を測色計により測定した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

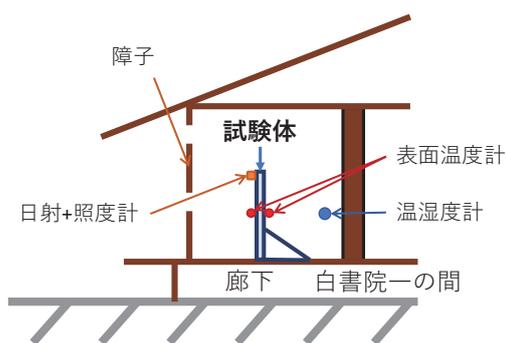


図1 測定位置の東西断面図

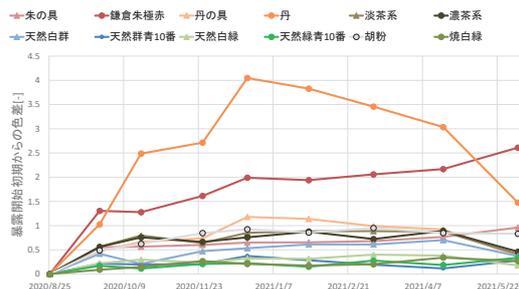


図2 試験体暴露開始からの色差の変化

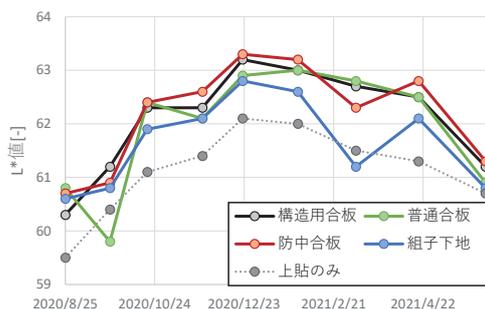


図3 各支持体上の顔料(丹)のL*値の変化

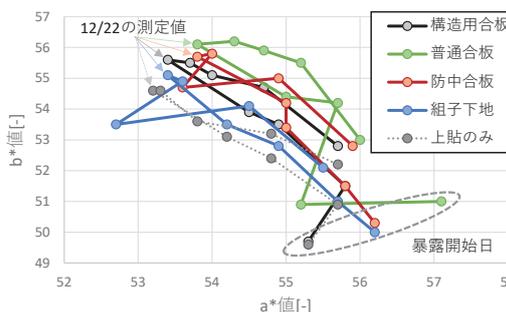


図4 各支持体上の顔料(丹)のa*b*値の変化

3. 測定結果と考察 図2に支持体の代表として構造用合板上の顔料の色差の結果を示す。なお、各日付における色差は暴露開始直後である8月25日の結果を基準とした。図より、丹が最も色差の変化が大きく、次いで鎌倉朱極赤の変化が大きいこと、天然群青10番や天然緑青10番といった銅化合物の顔料は色差の変化が小さいことが分かる。また、測定誤差の可能性はあるものの、暴露試験開始直後に色差が大きく変化する傾向にあること、色差の変化量は年間を通じて一定ではないこと、顔料によっては色差が小さくなりうる可能性があることが分かる。次に、図3および図4に各支持体上の丹(鉛丹)のL*a*b*値の変化を示す。図より、L*値の変化は色差同様12月頃までは上昇するものの12月以降は低下する傾向が見られ、全ての支持体で同様の傾向を示している。12月頃まではa*値が低下しb*値が上昇するなど、a*b*値も各支持体で同様の傾向が見られる。一方、3月の測定では組子下地および防中合板ではa*b*値の低下が見られるのに対し構造用合板および普通合板ではa*が上昇するように、支持体ごとに異なる変褪色の挙動も見られる。

4. 結論と今後の課題 本研究では障壁画の変褪色を抑制できるような保存・公開環境およびその支持体構造を明らかにすることを目的とし、実環境下において異なる支持体に貼り付けられた顔料の暴露試験を行い、顔料ごとおよび支持体ごとの変褪色傾向について検討を行った。その結果、顔料ごとに變褪色のしやすさは異なること、また色差の変化量は年間を通じて一定ではない可能性があるという知見を得た。今後、顔料にあたる日射や紫外線量などの環境因子や支持体から放出されるVOC濃度を分析することで、顔料の変褪色の原因について検討を行う予定である。

【謝辞】: 実測調査にあたり、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] 植松みさと, 日本建築学会計画系論文集, 第80号, 第717号, pp.2725-2733, 2015 [2] 陶器美詠ら, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第60号・環境系, pp.265-268, 2020 [3] 東京文化財研究所 保存科学研究センター, “美術館・博物館のための空気清浄化の手引き”, 2019 [4] 高林ら, 日本金属学会誌, 第69巻, 第7号, pp.538-543, 2005 [5] 朽津, 保存科学, No.36, pp.58-66 [6] A. Willeminen, Angew. Chem. Int. Ed., vol.52, pp.12568-12571, 2013

コーラ修道院聖堂と壁画・モザイクの保存

その1) 劣化と保存修復事業

Conservation of Wall Paintings, Mosaics, and the Chora Church Part 1: Deterioration and Conservation Project

○佐々木淑美(東北芸術工科大学) 箭野早耶華(近畿大学) 安福 勝(同左)

小椋 大輔(京都大学大学院)

○Juni SASAKI (Tohoku University of Art and Design),

Sayaka YANO, Masaru ABUKU (Kindai University), Daisuke OGURA (Kyoto University)

1. はじめに

コーラ修道院附属ソーテール聖堂(現カーリエ・ジャーミイ)では、2012年から建物外壁および内壁を対象とした保存修復事業が実施されてきた。2020年7月にモスクへと変更されたことで、現在この事業は中断している。しかし、堂内に残るモザイクやフレスコでは顕著な劣化が確認されており、修復事業の再開と保存環境の整備が必要である。本報では、2014年から現在まで継続して実施してきた調査研究の成果として、モザイクおよびフレスコの劣化状況と修復履歴ならびに現在の保存状況について報告する。

2. カーリエの修復履歴と保存修復事業

カーリエは設立以降、地震による崩壊や劣化を理由としてたびたび再建・修復されてきた。現在のカーリエの大部分は、1316-1321年頃に増築されたもので、内壁や天井にはモザイクやフレスコが数多く残っている。1766年にも地震による損傷のため修復され、この時に木造ドームが採用されたと考えられている¹⁾。Paul A. Underwoodらが1948年から1958年にかけて実施した調査・修復²⁾では、発掘調査や漆喰で覆われていたモザイクやフレスコの修復、壁やアーチの修理がおこなわれた。

2012年から始まった保存修復事業では、GPR(Ground Penetrating Radar)を用いた構造調査も実施され、建築を横断するクラックがみとめられた³⁾。2014年6月からは建築中央部に位置するナオスに足場が設けられ、大理石装飾板の洗浄や天井セメントの除去、接合モルタルの充填といった作業や、外壁の修復が進められた。同年8月には、建築全体を覆屋で保護したうえでナオスの木造ドームを完全に交換し、鉛屋根の葺き替えを実施した。

ナオスの修復完了と同時に、2019年1月からは建築東部に位置するパレクレシオンに足場が設けられ、同年5月からナオスと同様に、大理石装飾板の洗浄やフリーズ、モザイク、そしてフレスコ画の修復が実施された。しかし、同年に1945年の国定記念物への指定が無効化され、2020年7月に再びモスクに変更されたことで、長期計画であった保存修復事業は同年9月をもって完了(第二期)とし中断を余儀なくされた。2021年6月現在、パレクレシオンの足場はその

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

ままた、第三期開始のための入札が進まず保存修復事業は中断されたままである。また、今後モスクとしての利用が本格的に進む可能性も高く、モザイクおよびフレスコの保存修復事業ならびに保存・公開状況を注視していく必要がある。

3. カーリエでみとめられる劣化とその要因

カーリエで特に注視すべき劣化は、堂内ほぼ全域でみとめられる塩類析出とパレクレシオンのフレスコ画での退色、そして内ナルテクスのデイシス・モザイクでのテッセラの剥落である。まず、塩類析出は建築内壁の接合モルタルや煉瓦、モザイク(天井および壁面パネル)、フレスコでみとめられ、主に硫酸ナトリウム、硝酸ナトリウム、硫酸カルシウム、そして炭酸カルシウムが析出している。特に、デイシス・モザイクからの塩類析出は顕著で、これは1991年のイスタンブール保存修復研究所による調査の際にも確認されていた。パネル下部で下地モルタルが露出しており、この露出した下地モルタルからの塩類析出は特に進行している。また、季節や扉の開閉による塩類析出の変化といった保存環境の影響もみとめられた⁴⁾ことから、安定した環境を整備する必要がある。

パレクレシオンのフレスコでも、塩類の析出が顕著にみとめられ、特にアプシス右半分ではフレスコの退色が進行している。熱画像撮影の結果から、退色が著しい箇所での水分蒸発が進んでいることを確認した。さらに、屋根に鉛の欠損や隙間があることも確認した。屋根からの雨水の浸入が劣化要因であることは、内ナルテクスも同様であると考えられる。地震による構造的損傷や屋根の破損による雨水の浸入や植物の繁茂がモザイクを劣化させている可能性は先行調査の際にも指摘されており⁵⁾、これまでも何度か鉛が葺き替えられてきたが、現在まで継続して同箇所劣化が繰り返されている。この劣化の進行を食い止めるため、そして今後の劣化を抑止するためには、鉛の葺き替えだけでなく構造や環境からの対策が必要である。そこで、2017年には当時実施中の修復事業に対してこれまでの調査データを提供し、環境モニタリングの継続と屋根の修理を提案した。加えて新たに、構造上の問題がこれらの劣化にどのように影響しているのかを検討するため、3次元モデルを用いた解析も進めている。

4. 結論と今後の展開

カーリエでは2012年から保存修復事業が実施されている。修理の過程で、木製の屋根の交換やフレスコ画の修復も実施された。しかし、カーリエで特に注視すべき劣化である塩類析出の要因は、屋根からの雨水の浸入である可能性が高い。劣化の進行を食い止めるには、鉛の葺き替えだけでなく構造や環境からの対策も必要である。そこで、劣化に対する構造上の問題の検討に必要な3次元モデルを作成するため、過去の文献の図面情報の整合性と妥当性を、最新の実測値に基づき検討した。今後は、別報の構造解析結果もふまえ、保存修復事業の効果を検討するとともに、堂内環境の整備などに関する総合的な保存方策の提案を目指す。

【謝辞】本研究はJSPS科研費・基盤B(18H01596)、挑戦的研究(開拓)(19H05511)、若手研究B(26870897)の助成を受けて実施した学術調査の成果の一部である。

1) Robert G. Ousterhout, 1987, *The Architecture of the Kariye Camii in Istanbul*, p.46.; Wolfgang Müller-Wiener, 1977, *Bildlexikon zur Topographie Istanbul*, p.162. 2) Paul A. Underwood, 1966, *THE KARIYE DJAMI Vol. 1-3*. 3) C. Çağlar Yalçın, et.al., 2019, "Non-destructive damage analysis in Kariye (Chora) Museum as a cultural heritage building, *Journal of Applied Geophysics* 171, p.11. 4) 佐々木淑美ほか, 2015, 「ハギア・ソフィア大聖堂をはじめとした歴史的建築物の内壁の劣化と材料に関する調査」, 『保存科学 54』, pp. 221-224. 5) Ernest Hawkins, 1960, p. 106.

トレハロース法による海底遺跡出土大型木製品の保存処理について

Conservation treatment of large wooden objects excavated from underwater sites using the trehalose method

○伊藤幸司^{*1}、安木由美^{*2}、藤田浩明^{*1}、今津節生^{*3}、池田榮史^{*4}

○Kouji ITO, Yumi YASUKI, Hiroaki FUJITA, Setsuo IMAZU, Yoshifumi IKEDA

^{*1}一般財団法人大阪市文化財協会(Osaka City Cultural Properties Association)

^{*2}松浦市教育委員会(Matsuura City Board of Education)

^{*3}奈良大学(Nara University) ^{*4}國學院大學(Kokugakuin University)

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、処理済廃液の再利用、含浸槽の再検討などを行ない、関わる機器の開発・実用化を図ってきた。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部材の保存処理を進めている。2021年3月、元寇沈船部材の含浸処理を終えて取り上げ、固化段階に入っている。我が国において、海底遺跡出土木製品の保存処理例としては最大のもので、かつ、トレハロース法による保存処理、太陽熱集熱含浸処理装置を用いた事例としても最大の木製品である。今回の一連の作業で蓄積した情報は、今後大型木製品を保存処理する場合、また、海底遺跡出土遺物の保存処理を行なう際に有効な情報となるので報告する。

2. 保存処理対象の海底遺跡出土大型木製品の概要

平成14(2002)年の調査で鷹島海底遺跡より引き揚げられた元寇沈船の一部と考えられている部材2点で、鉄釘やその痕跡が残っている。それぞれの部位と樹種、寸法を以下に示す。

- ・隔壁板：クスノキ、長さ550cm、幅70cm、厚さ17cm
- ・外板：クスノキ、長さ310cm、幅50cm、厚さ15cm

3. 隔壁板の保存処理経過

3-1 含浸処理

隔壁板の重量を週1回測定し、恒量と判断出来てから濃度を上げた。トレハロース水溶液10%Bxから開始し、最終含浸濃度は70%Bx程度である。含浸処理期間は1年半(2019年8月～2021年3月)で当初の予定どおりであった。

3-2 風乾

隔壁板は含浸槽の上に傾斜させて置き、下から風を送って風乾することにした(写真)。作業の詳細は次のとおりである。全ての作業は隔壁板を架台に載せたまま行なった。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

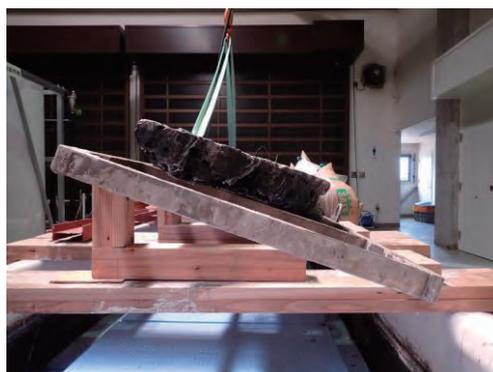
保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

- ① 下記⑧のエアバックを差し込むため、あらかじめそのスペースを確保した。
- ② 取上げ時の重量測定はクレーンスケールを用い、吊り上げた直後と3分後の2回を記録。
- ③ 隔壁板や架台に巻いてある不織布やフェルトを出来るだけ除去した後、重量を測定、固化開始時重量とした。
- ④ 表面に溜まっている余分な水溶液をキムタオルで吸い取り、除去。
- ⑤ 含浸槽内の水溶液を排出。
- ⑥ 隔壁板を載せるための台（木製の板、8台）を含浸槽に設置。
- ⑦ 隔壁板を含浸槽の上に静置。
- ⑧ 隔壁板のずり落ちを防止するため、エアバックを架台と遺物の間に差し込み空気を充填。
- ⑨ 架台がずれるのを防止するため、⑥で設置した台に角材を打ち付ける。
- ⑩ 支持台（5台）を用い、架台ごと傾斜状態で静置。
- ⑪ 風乾のための送風機を含浸槽内に置き、隔壁板に送風。
- ⑫ 週1回、クレーンスケールを用いて測定し、重量の減少を把握、固化・乾燥の進行を管理。



隔壁板 風乾の様子

4. まとめ

隔壁板の固化工程での重量減少をグラフに示した。順調に水分減少が続き、一次固化から二次固化に移行しているように見える。詳細、および最新の状況についてはポスターをご覧いただきたい。

外板はエアバッグ上に載せ、週1回の天地返しと送風により固化させている。

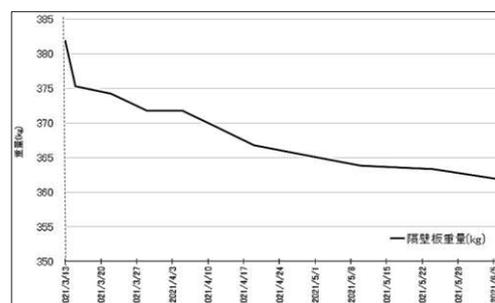
今回の含浸処理期間は1年半であった。同形同大の遺物ではないが、PEG法で10年かけて処理した鷹島海底遺跡出土大椀と比較すれば大幅な処理期間の短縮である。また、含浸処理に使用した大型木製品用太陽熱集熱含浸処理装置^{註)}の消費電力を把握するため、松浦市立埋蔵文化財センター保存処理施設全体の消費電力量を確認したところ、同装置を稼働し始めた2020年4月以前の1年間と以降の1年間ではほとんど増加していないことが判った。実作業においても自然エネルギーを使用する加熱方式の有効性が明らかになった。

トレハロース法について最も期待しているのは処理後の鉄部錆化抑制効果である。長期に渡る観察と、関わる情報の収集・公開を継続していく。これらの情報は、今後行なわれる海底出土遺物や大型木製品の保存処理方法・手法を検討するうえで有意な指標となるだろう。

註) 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

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

遺物の取り上げに際して、トレハロース含浸処理法研究会会員有志の協力を得た。



隔壁板 固化中重量変化

煉瓦表面における塩類の析出

Pattern of salt crystallization in the brick surface

○ 星野玲子 (鶴見大学)

○ Reiko HOSHINO (Tsurumi University)

1. はじめに

煉瓦製文化財は、現在も各地で100年以上経ったものが使われている。これらは傷んだ煉瓦の交換や洗浄、補修をしながら維持されているが、近年これらの保存対策が求められる状況にある。そこで影響の大きい塩類風化について改めて整理するため、煉瓦表面における塩類の析出状況と傾向に関する基礎実験を行った。その一部を報告する。

2. 塩類風化促進実験

2-1. 実験方法 10%のNa₂SO₄、NaClの水溶液を使用した。

- ①バットに煉瓦(10×10×6 cm)を並べ、水溶液を底部から1.5cmの高さまで注入した。水溶液がなくなっても1週間はそのままにし、1週間後に水溶液を追加した。
- ②22日目に供給を停止し、可能な限り表面の結晶を除去した後、自然乾燥させた。
- ③51日目に結晶を除去してから水に浸漬して脱塩し、その後再び自然乾燥させた。

試料の条件

A・a	1段(そのまま)
B・b	上面に覆いを付ける
C・c	2段重ね
D・d	アルミ箔で側面を覆う
E・e	L字型に配置
F・f	半分庇を掛ける
G・g	表面保護剤を塗布

※大文字はNa₂SO₄水溶液・小文字はNaCl水溶液を供給した試料

2-2. 結晶の析出状況について

底部から煉瓦内に浸入した塩類は上面の角や縁から結晶化し(図1)、徐々に中央部へと広がる傾向にある。供給が継続されている時のNa₂SO₄は曇状の半透明の結晶が徐々に全体を包み膜を作り、煉瓦と結晶の間に空気の間ができることもあった。膜状の結晶に全体が覆われるとそれ以上析出できず、結晶を除去すると再び析出した。温湿度が低下すると水分の減少と共に結晶は真っ白になり、場所によっては針状結晶が伸びたり渦状に成長する(図2)。この部分的な結晶の成長は、実際の石造文化財表面にも起こり、結晶の重みで石材や煉瓦表面層と一緒に剥離することもある。水溶液供給時のBはAより結晶量が少なかったが、供給を停止し自然乾燥期間になるとAより増加した。Dはさらに顕著で、アルミ箔を取るとそれまで覆われていた側面から針状結晶が多量に析出し続けた。また、条件を問わず結晶に煉瓦粒子が混じることがある。Cは下段が結晶に覆われた後上段に析出するのに対し、cは上段が結晶に覆われてから下段に析出した(図3)。当初E・eは上下の直角に交わる境付近に結晶がなく、後に析出した。これも実際の岩盤の床面と壁面の接点に見られることがある。NaClの細粒の結晶は煉瓦の凹凸に密着してブラシなどでの除去はできなかった。これも煉瓦建造物表面の状況と同じである。Na₂SO₄の曇状結晶は、膜を形成して煉瓦表面に残らず容易に除去できる場合と、硬く密着して除去できない場合がある。図2のような針状結晶は、煉瓦を持ち上げても落下することなくくっついており、自重に耐

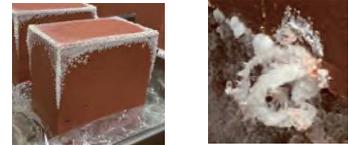


図1. NaClの析出 図2. 針状結晶の成長



図3. 左:C・右:c



上段左からA・B・C・D・E・F、下段左からa・b・c・d・e・f

図4. 51日目(供給停止30日)脱塩処理前

ポスター発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学一般

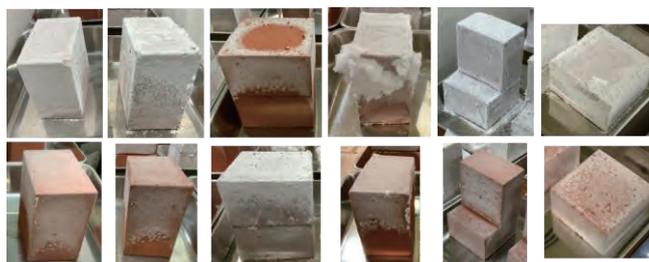
探査

文化財防災

えられなくなると落下する。粉状の結晶は表面から落下し、煉瓦周辺に堆積していく。また薄い結晶層を形成した場合は、時間の経過に伴って表面に亀裂が生じたり剥離や浮きも見られる。

全体的に NaCl 水溶液供給試料は、Na₂SO₄ 水溶液よりも析出量が少なく、また湿度が 70%を上回る状態が続くと結晶が潮解し見えなくなった。これは夏場の湿度が 90%台から 10 月下旬頃低下し始め、その後冬期に 40%台まで下がる期間にのみ石造物や煉瓦表面に多量の結晶が析出する各地の状況と合致する。

表面保護剤を塗布した G・g(図 6)は 100 日経過しても結晶が析出することなく良好な状態を保持し、脱塩処理前後の重量変化でも殆ど差がなく、水溶液の浸入を防いでいた。



上段左から A・B・C・D・E・F、下段左から a・b・c・d・e・f
図 5. 64 日目 脱塩処理後 13 日



図 6. g

2-2. NaCl 水溶液供給試料表面の Cl⁻測定

実験開始 34 日目(水溶液供給停止 13 日目)に表面の Cl⁻量を測定した。水溶液の供給は底部からのみだったが、塩類は底部には留まらず上部と側面へ移動したことを a・c・e の測定値から確認した。実際の石造文化財で 10000ppm を超える場所は、著しく摩耗している所が多い。f は底のある方が結晶の出現が遅く、Cl⁻濃度も低かった。また、B・b でも上部に覆い(煉瓦上面から 2 cm の高さ)がある方が結晶の析出が抑制されていた。b の覆い内外の湿度は 10%以上の差があり、覆いにより一時的に結晶化を抑制できる。ただ発表者の過去の現地調査では、岩盤表面にビニールシートや気泡緩衝材を密着させることで結晶化を止められたが、わずかでも隙間があると析出したため、隙間のある覆いは結晶量の減少に留まる。今回も、覆いを外すとそれまで煉瓦内部に閉じ込められていた塩類の結晶化が促進され、乾燥期間中は A より結晶量が増加した。これは D アルミカバーも同様である。

(ppm = mg/m²)

a 上面	25800
a 側面	22800
a 底部	120
c 上段上面	24600
c 上段側面	34200
c 上段底面	180
c 下段上面	180
c 下段側面	180
c 下段底面	0
e 上段上面	25800
e 上段側面	15000
e 上段底面	60
e 下段上面接合面	180
e 下段上面露出面	240
e 下段底面	180
f 底側	120
f 底のない側	24600
f 上面中央	60
g 上面	600

3. まとめ

塩類は存在していても、結晶化しない温湿度が保持されれば負担は小さいものの、実際の屋外にある文化財では安定した環境の維持は極めて難しく、また塩類の供給口の遮断が困難な場合、水溶液の蒸発面の中途半端な遮断は後々かえって内圧を高め、表面の破損につながる可能性がある。発表者は結晶の析出しやすい冬期のみ表面に覆いを密着させて設置することが効果的であると指摘した¹⁾が、高湿度に安定する前に覆いを取ると、B・D のようにかえって覆いをせず少しずつ析出が進む状況よりも、大きな負荷を与える可能性もあるため注意が必要である。

ある程度の通気性を保持する強化処理剤は結晶量の減少を期待できるが、完全に析出を止めることは難しく²⁾、また表面層への負担が懸念される。例えば図 7 のように撥水処理層が結晶圧によって表面を破壊することもあるため、表面処理剤の選定の際はこれらを考慮した方がいい。そんな中、G・g の表面保護剤は効果が期待できるため、これらについては現在行っている他の条件における試験の結果と併せて今後報告する。

1) 星野玲子・橋本直樹(2017)「石造文化財における析出物抑制対策の効果と課題」日本文化財科学会第 34 回大会
2) 星野玲子・永田勝久(2009)「石材強化と耐久性(2)―塩類風化について―」鶴見大学紀要第 46 号第 4 部 人文・社会・自然科学編



図 7. 撥水層の破壊

出土金属製遺物の保存処理に使用されたアクリル樹脂の劣化について

Deterioration of acrylic resin used to conservation of excavated metal objects.

○植田直見、川本耕三、山口繁生、大橋有佳（(公財) 元興寺文化財研究所）、
米村祥央（文化庁）、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), Sachio YONEMURA (Agency for Cultural Affairs),
Chiemi WATANABE (Beppu University), Takashi YAMADA (Ryukoku University)

1. はじめに

国内でアクリル樹脂（パラロイド NAD-10）が出土金属製品の保存処理における強化や防錆のために使われ始めて約 50 年が経過する。その間、出土金属製品の内部に含浸された樹脂の変化に関しては、まとまった調査や分析は実施されていない。変化が劣化であればそのまま放置すると貴重な文化財が崩壊することにつながる。近年、出土青銅製品の再処理を行う機会を得、内部の樹脂を分析し、多くの情報を得ることができた。中でも含浸樹脂は処理後も長期にわたり遺物内部に溶剤を含んだまま存在する可能性が高く、樹脂の機能に影響をおよぼすことが考えられた。特に溶媒の有無、種類、濃度などがガラス転移点に影響をおよぼし、樹脂の膜としての機能に差を生じさせる要因となると考えられる。そこで、今回は出土金属製品に含浸された溶媒を含む樹脂の熱的挙動を調べることを目的として、その変化を追跡した。その結果、溶媒の種類によってガラス転移点に変化が見られることが分かった。

2. 分析方法

2-1. 試料

市販の NAD-10（44%ナフサディスパージョン）をシート状にし、ナフサを蒸発させた。また、そのシートをアセトン、酢酸エチル、キシレンに再溶解させ再度溶媒を蒸発させシート状にしたものを分析試料として使用した。各種溶媒に再溶解させた試料は溶媒を数%残した状態で分析に用いた。

2-2. 示差走査熱量計（以下 DSC）

熱分析装置は（株）リガク製（DSCVEST）を使用し、7~8 mgの試料を-20°C~150°Cの温度範囲で、毎分 5°Cの変化で 2 回の上昇と下降を繰り返し、その時のエネルギーの変化を検出、試料のガラス転移点を測定した。試料は樹脂の中に溶剤を含むためアルミニウム製の容器に入れた後、溶媒が容器内に留まるように、シールしたものを測定した。

3. 結果・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

文化財科学
一般

探査

文化財防災

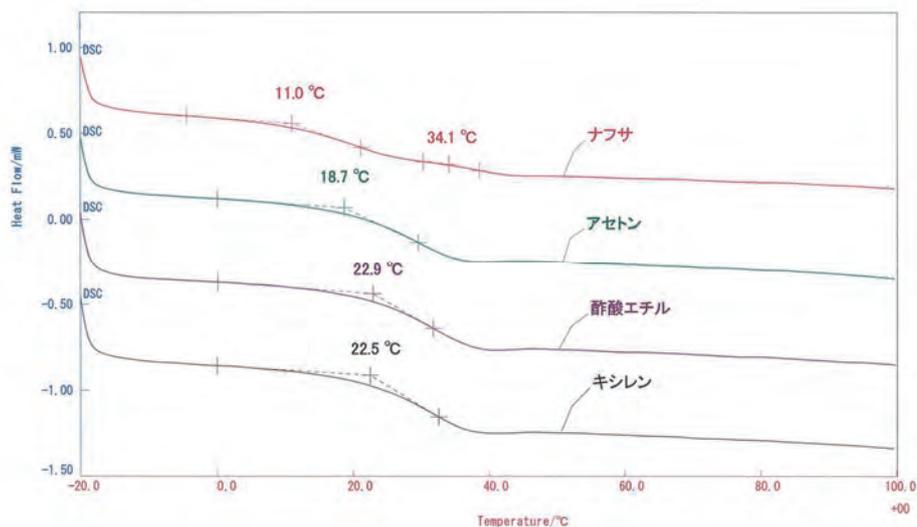


図 1. DSC による各種溶媒を含む樹脂のガラス転移点

NAD-10 はイソブチルメタクリレートを基本骨格とするポリマーであり、ガラス転移点は 35°C とされる。今回の DSC によるガラス転移点の測定において、ナフサでは 11.0°C と 34.1°C の 2 か所に変曲点があり、一方アセトン、酢酸エチル、キシレンではそれぞれ 18.7°C、22.9°C、22.5°C とガラス転移点が低温側にシフトしていることが確認でき、本来よりはかなり低い値であることがわかった。なお、ナフサの DSC の変曲点が 2 か所に見られたが、どちらがガラス転移点であるかは現時点では判断できなかった。特にナフサを含む樹脂は他の樹脂と比較してガラス転移点に大きな差が見られることがわかった。この要因の一つとして、溶媒を蒸発させる前のディスパーションの状態のナフサと溶液状態のアセトン、キシレン、酢酸エチルの違いが影響している可能性が考えられた。

4. さいごに

溶媒の違いによってガラス転移点に差が見られた。この結果は残存する溶剤が、樹脂の膜としての機能に差を生じさせる要因の一つとなる可能性が考えられた。一方、溶媒を取り除いた NAD-10 は膜としての機能が低下することが懸念され、出土金属の防錆や強化といった点でその機能が発揮できなくなる可能性が考えられた。そのため、膜内の溶媒の種類と含有量、NAD-10 が溶媒中に分散しているかあるいは溶けているかなどの違いが機能に影響をおよぼすことを実証する必要がある。さらにナフサは炭素数の異なる直鎖脂肪族炭化水素を含んでいるため、他の溶媒とは異なり幅のある沸点を有している。今後、様々な条件での熱的な挙動を調べ、膜としての機能の低下が遺物にどのような影響をおよぼすかを調査したい。さらに、膜としての機能の低下を知ることができる条件を探り、どのような要因が膜の機能としての低下を引き起こすかを解明したい。

本研究は JSPS 科学研究費 20H00038 による助成を受けた。

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)

Acceleration of solute impregnation in conservation treatment for waterlogged wood by controlling solvent evaporation rate (Part 2)

○ 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によって遺物内部に負圧を生じさせ、速やかな溶質の導入と蓄積をはかる新たな手法(以下、溶媒蒸発法)の検討を進めている^{1),2)}。溶媒蒸発法について、より実践的な知見を得るため、難含浸性で変形が生じやすく、保存処理の難度が高いとされる、アカガシ亜属の出土材を用いた実験をおこなったので報告する。

2. 試料と方法

直径40 cm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40 mm(接線方向)×40 mm(放射方向)×80 mm(繊維方向)の寸法としたものを試料とした。実験における寸法安定効果を検討するため、各試料について図1に示す8つの頂点を基準に、直方体の辺に相当する部分の寸法をノギスを用いて12箇所測定した。

以上の試料に対してPEG(三洋化成工業製PEG4000BCP、以下同じ)水溶液を含浸させる過程で、溶媒である水の蒸発速度を制御できるよう、図2に示す装置を構築した。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、およびシングルボードコンピュータ(Raspberry Pi)による測定・制御装置から構成される。含浸容器底部に厚さ30 mmのシリコンを敷いて試料台とし、これに溶液の溜まり部となる直径80 mmの穴を設けて振動式粘度計(セコニック社製FVM70A-ST)を設置した。また、含浸容器の上部には温湿度センサ(Sensirion社製SHT-31)を設置した。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るよう、各部をウレタンチューブで接続した。なお、エアポンプの直後に電磁バルブを接続し、含浸容器への送気有無を任意に制御できる仕様とした。測定・制御装置により、含浸容器内の空気の温度と相対湿度ならびに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で稼働させ、あらかじめ設定した条件に応じて電磁バルブを自動制御し、相対湿度を一定の範囲に維持した。すなわち、含浸容器内の空気の相対湿度が上限値を超えた場合は、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水溶液が60% (w/w)超の濃度となる粘度(50 mPa・s)に達するまで継続することとした。PEG水溶液の初期濃度と溶液量、エアポンプの流量、含浸容器内の相対湿度範囲は試料ごとに表1のとおり設定した。なお、PEG水溶液は、底面積約320 cm²の含浸容器内で試料上部が液面より露出する量とした。含浸後の各試料は、真空凍結乾燥機内で予備凍結として-40°Cにて24時間以上静置したのち、減圧して7日間乾燥させた。なお比較のため、PEG溶液を含浸させず、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る条件(試料O-A)と、真空凍結乾燥のみをおこなう条件(試料O-F)も設定した。乾燥後、実験前と同様に各試料の寸法を測定し、次式により各測定箇所の収縮率を求めた。

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

3. 結果と考察

O-1~O-5の実験開始後、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

ポスター
発表

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

推移し、溶液面が徐々に低下した。ただし O-1 の含浸工程では、制御プログラムの異常停止により電磁バルブの動作状態が固定される場合があった。都度プログラムを再稼働させたが、相対湿度が過度に上昇あるいは低下した期間がそれぞれ最長 30 時間程度、複数回あった。また O-2~O-4 の含浸工程では、粘度計に不具合が生じ、真値より高い値が表示されていたため、含浸工程終了時の溶液の粘度および濃度は必ずしも当初予定したものとならなかった。O-3~O-5 では、含浸終了時点の PEG 水溶液に対して、糖度計を用いてその濃度を簡易的に推定した。参考のため、測定・制御装置のプログラム、および粘度計が終始正常に動作した O-5 について、各測定値の推移を図 3 に示す。

以上の含浸工程中、各試料とも濡れ色を保ち、形状にも大きな変化は認められなかった。既報^{1),2)}の実験と同様、試料表面からの水分蒸発にともなって内部に負圧が生じ、PEG 水溶液が液絡部から吸収されたと考えられる。このとき試料表面から水が蒸発する速度を、試料内部への溶液の供給速度以下に抑制し得たといえる。なお、PEG を含浸させない O-A は、水分蒸発にともない著しく収縮した。

各試料の含浸工程に要した期間と完了時の PEG 水溶液濃度および寸法測定箇所における収縮率を表 2 に示す(表中の接線・放射・繊維は、測定方向を示す)。ただし O-F では、真空凍結乾燥中に大きな破片が生じたため、一部箇所収縮率を算定できなかった。O-1~O-3 では各部の収縮率が小さく、概ね良好に保存処理を実施できたといえる。一方、O-1 と同じ初期条件かつ電磁バルブが正常に動作した O-4 では、収縮率は比較的小さいものの、板目面と柁目面において、内部への凹み(落ち込み)が多少認められた。含浸工程における溶媒蒸発速度の差異が、遺物内部への溶質の浸透の良否に影響することを示唆するものと考えられる。なお、O-5 では上部の収縮率がやや大きく、また側面の落ち込みも認められた。これには、他と比べて初期の溶液の粘度が高く、また溶液量も少なかったために、溶質が試料全体に浸透しにくく、その蓄積も十分に進まなかったためである可能性が考えられる。

4. まとめと今後の課題

以上の実験の結果、溶媒蒸発法を用いた出土木製遺物の保存処理では、溶媒の蒸発速度などの諸条件を適切に設定し、さらに固化工程で真空凍結乾燥法を併用することによって、難含浸性の樹種による遺物であっても、良好な寸法安定効果を得られる可能性が示された。とくに真空凍結乾燥を実施する場合、事前に木製遺物に含浸させる溶液の最終濃度を 100%未満とできることから、含浸工程のさらなる短縮化にもつながるといえる。今後、溶媒蒸発法における適切な処理条件の策定法を確立するため、出土木材の種々の物性値が溶液の浸透性に及ぼす影響について検討を進める必要がある。

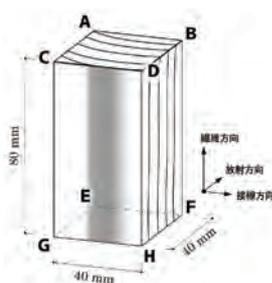


図1 試料の寸法測定基準点

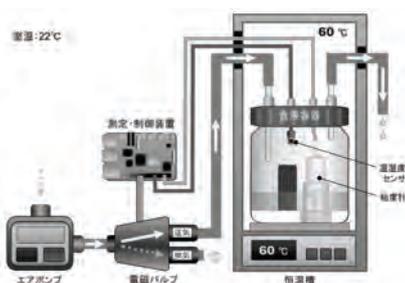


図2 実験装置模式図

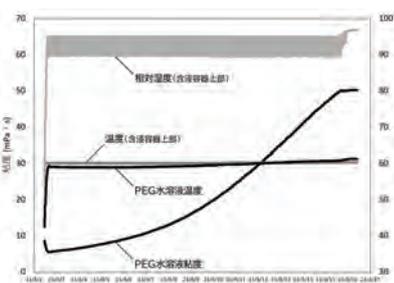


図3 試料 O-5 の含浸工程における各測定値の推移

表 1 各試料の実験条件

試料名	初期濃度	溶液量 (g)	ポンプ流量 (L/min)	下限RH	上限RH
O-1	20%	2000	1.0	90%	95%
O-2	20%	2000	1.0	85%	90%
O-3	20%	2000	0.5	85%	95%
O-4	20%	2000	1.0	90%	95%
O-5	30%	1300	1.0	90%	95%
O-A	-	-	0.5	90%	95%
O-F	-	-	-	-	-

表 2 各試料の含浸期間と含浸終了時の PEG 水溶液濃度および寸法測定箇所における収縮率

試料名	含浸期間 (日)	終了時濃度	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-1	16	61%	-0.88%	-1.57%	0.63%	0.91%	-2.07%	-1.75%	0.89%	1.13%	0.44%	0.61%	0.47%	0.36%
O-2	11	-	0.00%	0.58%	0.36%	1.02%	-3.08%	-1.51%	0.22%	0.68%	0.48%	0.83%	0.28%	0.24%
O-3	12	43%	-0.41%	-0.24%	0.56%	0.78%	-2.54%	-1.80%	0.39%	-0.94%	0.66%	0.33%	0.33%	0.49%
O-4	19	60%	0.42%	2.29%	1.73%	1.91%	-2.23%	-0.62%	1.99%	1.84%	0.99%	1.08%	1.10%	0.86%
O-5	14	65%	9.57%	6.19%	1.96%	4.69%	-2.15%	-2.58%	1.72%	1.64%	1.66%	1.78%	1.36%	1.57%
O-A	-	-	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-F	-	-	-0.59%	-1.97%	3.57%	2.54%	1.34%	-	-	2.84%	5.40%	4.90%	-	5.38%

【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)」『日本文化財科学会第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

壁画構成材料の乾湿による膨張、収縮の測定

Measurement of wet expansion and dry contraction of materials for murals

○水谷悦子(文化財防災センター)、犬塚将英(東京文化財研究所)、脇谷草一郎(奈良文化財研究所)、前川佳文(東京文化財研究所)
○Etsuko MIZUTANI (Cultural Heritage Disaster Risk Management Center), Masahide INUZUKA (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Soichiro WAKIYA (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Yoshifumi MAEKAWA (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

多層構造を有する壁画において、彩色が施された下地層の剥離が保存上大きな問題となる。剥離は下地層と基材の変形の違いが原因で境界層に生じる応力が付着強度を超える際に生じる現象であることから、剥離の抑制の観点から保存に適した適切な温湿度環境を提案するためには、まずは環境変化に対する個々の材料の変形特性とそれに影響する材料物性を明らかにすることが重要である。本報では漆喰を下地層とする壁画を想定し、研究の最初の試みとして乾湿による材料の経時的な変形特性の把握方法の確立を目指し、漆喰層に対して最もストレスがかかる状況を想定し、毛管飽和状態から材料内の水分が乾燥する過程の試験体重量と歪計測を行った。

2. 研究方法

2.1 試験体とその基礎物性 実験には湿式消石灰、川砂(粒形 0.3 mm以下)、珪砂(粒形 0.2~0.4mm)を容積比 1:1:1 で配合し、施工後 30 日以上風通しの良い場所で乾燥させた漆喰(100 mm × 100 mm × 5 mm, N=3)を用いた。側面からの水分蒸発を防ぐため、試験体の側面はエポキシ樹脂で断湿した。なお施工後 30 日後と 60 日後の試料を対象に水蒸気吸脱着測定を行い、両者に差が見られなかったことから、施工後 30 日でも十分に炭酸化しているものと考えられる。今回作成した試料の物性値を測定した結果、漆喰の密度は 1906 [kg/m³]、飽和含水率は 0.225 [m³/m³]、空隙率は 0.380 [m³/m³]であった。図 1 に水銀圧入法(オートポア V 9620)による細孔径分布の測定結果を示す。空隙径と材料中で生じる水分の輸送現象には対応関係があり¹⁾、今回作成した試料は毛管力による液水輸送が生じる領域(1-1000 μm)と毛管凝縮水の吸脱着が生じる領域(1 μm以下)の双方を有している。

2.2 漆喰の熱湿気による変形特性の測定 試験体は 2 日間、温度 23℃、相対湿度 55%の環境下で養生し、毛管飽和に至るまで大気圧条件で 30 分純水に浸し、その後温度 23℃、相対湿度 55%の環境下で乾燥させた。湿潤、乾燥過程における材料の変形量は歪ゲージ(KFGS-30-120-C1-11

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

L3M2R, ゲージ長 3 cm) を材料の中央と端部の 2 か所に貼り付け 5 分間隔で測定した (写真 1)。乾燥過程における試料の重量変化は電子天秤 (秤量 1100g, 最小表示 0.001g) を用いて 5 分間隔で計測した。

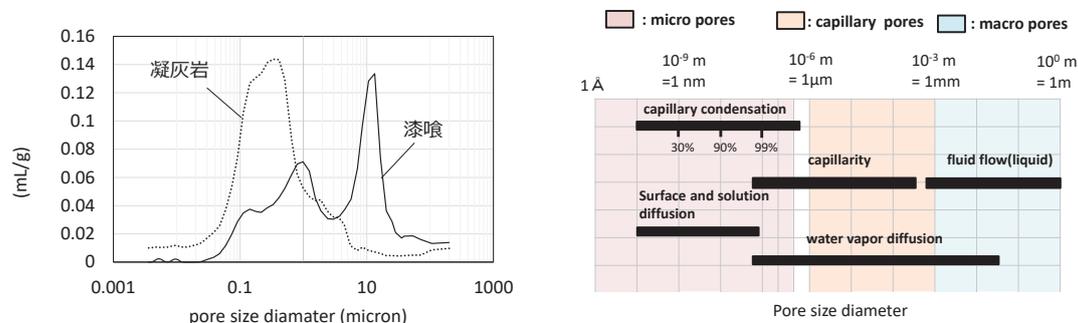


図 1 細孔径分布 (左) と空隙径と生じる輸送現象の関係 (右) ¹⁾

3. 測定結果

写真 1 に実験の様子、図 2 に湿潤乾燥過程の漆喰の歪と試験体の重量変化を示す。図より吸水に伴う歪の増大 (膨張)、乾燥に伴う歪の減少 (収縮) する様子が確認された。また乾燥時の材料の収縮は水分の蒸発が進み試料の重量がある程度減少してから生じていることが分かる。一般に多孔質材料からの水分の蒸発は大きく分けて 2 つのフェーズに分類され、初期段階は蒸発速度が速く毛管力による液水の移動が主に生じ、乾燥の進行に伴い液水の連結性が途切れると蒸発速度が著しく低下し毛管凝縮水の脱着と蒸気拡散による水分移動が支配的になる ²⁾。このことを踏まえると材料の収縮は乾燥の後半段階において生じていると考えられ、水分の吸脱着特性が材料の膨張、収縮に大きく影響することを示唆している。

以上の結果から保存環境を考えるうえで材料中の水分の特に毛管凝縮水の吸脱着速度と材料変形との関係を明らかにすることが肝要であり、今後より詳細に検討を行う。また壁面の基材についても同様の実験を行うことにより、環境条件と材料境界層にかかる最大応力の関係が明らかになることが期待される。

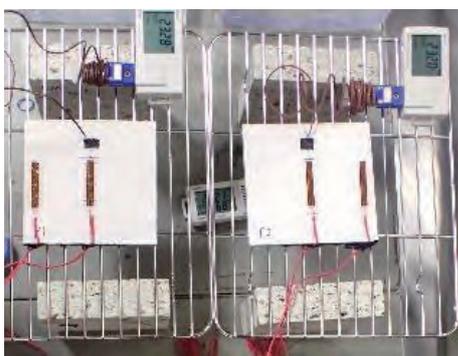


写真 1 実験の様子

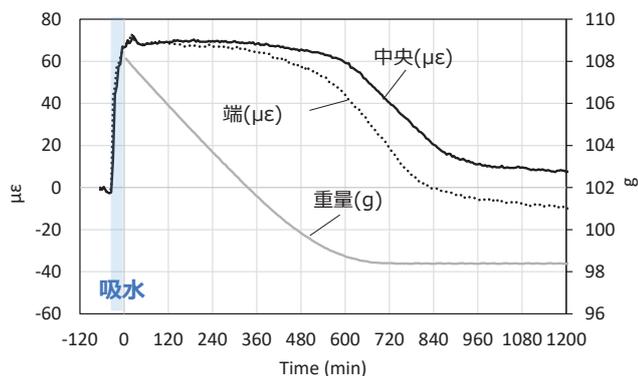


図 2 漆喰の歪と重量変化 (乾燥開始を 0 分)

[参考文献] 1) Siegesmund S., Snelthage R., Stone in Architecture, Porosities, Durability, 2014, pp110-121 2)

Scherer, G. W. 1990. Theory of Drying, American Ceramic Society, 73 [1] 3-14

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—

Study on conservation and exhibition of burnt wall paintings in Main hall, in treasure house at Horyu-ji Temple -Investigation of environmental control methods of temporary exhibition and conservation in a closed treasure house considering sealing the gap-

○小椋大輔 (京都大学)、和田拓也 (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)、秋山純子 (東京文化財研究所)、佐藤嘉則 (同左)、藤井義久 (京都大学)、銚井修一 (同左)、伊庭千恵美 (同左)、森井順之 (文化庁)

○Daisuke OGURA, Takuya WADA (Kyoto University), Rika KIGAWA (Kyushu National Museum), Hiroshi WADA (Tokyo National Museum), Naoto YOSHIDA (National Center for the Promotion of Cultural Properties), Junko AKIYAMA, Yoshinori SATO (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Yoshihisa FUJII, Shuichi HOKOI, Chiemi IBA (Kyoto University), Yoshiyuki MORII (Agency for Cultural Affairs)

1. 研究の背景と目的 法隆寺金堂収蔵庫では、火災により焼損した壁画・柱梁、小壁画等が保存されている。現在、収蔵庫には空調設備はなく常時閉鎖されているが、今後一般公開を検討している。庫内ではカビ・文化財害虫の発生が懸念されており¹⁾、虫の侵入・移動の経路となる室の建具隙間への対策として、隙間の気密化を検討している。しかし、気密化を考慮した室内環境の変化や長期的な文化財の保存環境の調整方法は明らかでない。また、将来の一般公開に向けたデータ収集を目的として期間を限定した公開

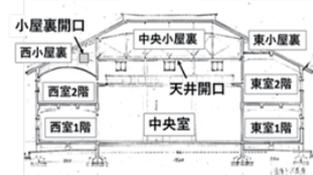


図1 収蔵庫断面図

を行うことが考えられている。本報告では、既報²⁾で再現性が確認された金堂収蔵庫の熱水分・二酸化炭素濃度の解析モデルを用いて、現状の収蔵庫を小人数で限定的に公開した場合の室温湿度と空気質(二酸化炭素濃度)に関する検討と、今後、非公開時において収蔵庫を長期間低湿度に保つために必要な換気・除湿による環境調整の検討を行った。なお、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。

2. 金堂収蔵庫実測温湿度 収蔵庫の室詳細は既報²⁾にて記載のとおりである。収蔵庫温度は冬季に中央室は他室より高く、夏季は上層室ほど高い。相対湿度は55-70%程度を変動しており、室の換気量は小さく壁体等の吸放湿によって変動幅は小さい。

3. 収蔵庫の熱水分・二酸化炭素濃度解析のモデル化²⁾ 既報²⁾と同じ要領で収蔵庫をモデル化し、熱水分同時移動方程式³⁾等を用い収蔵庫の各室の温湿度と二酸化炭素濃度の数値シミュレーションを行った。開口部換気量は圧力仮定法⁴⁾を用いて求めた。外気温湿度は2018年12月7日から1年分を用いた。

4. 小人数の入室時の温湿度と二酸化炭素濃度変化 法隆寺では収蔵庫の限定的な公開を考えている。現状の収蔵庫には空調設備等はないため、多人数の入室による熱水分発生の処理や空気質の制御が難しい。入室の際に、感染症予防のため適切な換気を行う必要があるが、外気流入により急激に相対湿度が変化することで材料の膨張・収縮による損傷を引き起こす可能性が懸念される⁸⁾。そのため、室内環境に負荷を極力与えないように小人数での公開を考え、収蔵庫全体の窓等の隙間を通じた自然換気を想定した。公開は1993年の特別公開⁹⁾とほぼ同時期の11月1日から一月間の9-15時を想定し、入室は中央室・西室1Fに各5名が常時滞在するものとした。図2, 3に公開時の中央室、西室1階の温湿度、二酸化炭素濃度の変動をそれぞれ示す。図2に入室がない場合の結果も併せて示す。図より、両室の温度は入室がない場合とほぼ一致し、相対湿度(RH)は、公開終了時に入室がない場合より2%程度高くなるものの現状の70%以下を維持し、公開終了後2ヶ月で、入室がない場合と等しい値に戻る。二酸

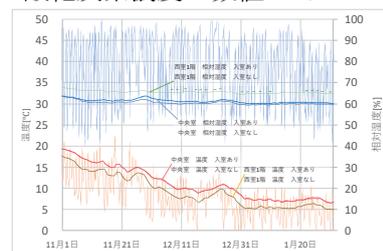


図2 公開時の室内温湿度変動

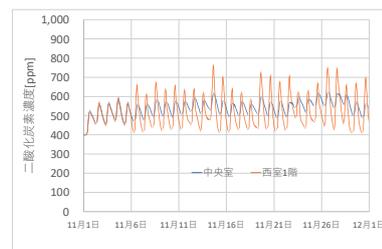


図3 公開時の二酸化炭素濃度変動

ポスター
発表

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

化炭素濃度は 800ppm 以下である。入室に伴う高湿化は小さく、自然換気により空気質は十分維持できている。

5. 非公開時における環境調整方法の検討 非公開時における検討では、懸念される文化財害虫の移動・侵入の経路となるすべての窓・扉の気密化を前提とした。非公開時に長期間に渡って庫内で現状よりカビの発生を抑制するために RH60%以下に保つことが望ましい³⁾⁴⁾。また前述の通り、急激な相対湿度の変化による材料の損傷⁵⁾を防止するため、庫内は恒湿に保つ必要がある。本報では室内の目標値を RH50-60%とした。非公開時の環境調整方法として、Adaptive Ventilation (AV)⁷⁾、小屋裏除湿システム、除湿機をそれぞれ用いた場合の結果の比較を行う。AVとは外気と室内に設置された温湿度センサーの指示値の関係によりファンが稼働・停止し換気を行うシステムであり、ここでは外気絶対湿度(以下 AH)が指定した室よりも低い場合に室空気を排出し外気を取り入れ、室内を乾燥させるものとする。以下に計算方法を説明する。

①AVの中央室への導入：中央室の窓を用いてAVを行った場合を想定した。外気 AH が中央室よりも低い場合に、中央室-外気間の換気を行い RH55%になるまで除湿する。風量は給排気ともに 600m³/hとした。

②小屋裏を用いた除湿システムの利用：図4に示すように、外気 AH が小屋裏よりも低い場合に小屋裏に外気を取り入れ乾燥させる。給気口は中央小屋裏東面に設置し、排気は西小屋裏から行う(風量 900m³/h)。また中央室が RH55%になるまで小屋裏と中央室の空気を入れ替え、中央室を乾燥させる(風量 300m³/h)。小屋裏を乾燥状態に保ち、外気湿度が高い場合にも中央室を除湿する。

③除湿機の使用：中央室への除湿機の設置を想定した。除湿機の処理熱量は 535W 一定とした。

図5に非公開時の各環境調整実施時の中央室の RH を示す。中央室に AV を用いた場合、夏季外気 AH の高い時期において室内 RH は上昇するものの、55-60%の間を年間で変動した。小屋裏除湿を用いた場合、中央室に AV を用いる場合と同様に、夏季に RH が上昇した。しかし、外気 AH が上昇し、直接室に AV を用いている場合では相対湿度が上昇する期間においても、小屋裏除湿を用いた場合の室相対湿度は低湿度に維持され、夏季に相対湿度が上昇するタイミングは直接室に AV を用いた場合に比べ遅くなった。また、年最高相対湿度も低くなった。除湿機を用いた場合、60日ほどで RH55%となりその後も安定した。

6. 結論 本研究では法隆寺金堂収蔵庫において限定公開と長期の保存を想定した環境調整方法について数値シミュレーションによる検討を行い、以下の結果を得た。

1) 11月に公開することを想定して、収蔵庫の中央室、西室1階に、9-15時の間にそれぞれ5名づつ入室する場合、相対湿度は現状の70%以下で安定しており、二酸化炭素濃度も最大でも800ppm以下であった。入室に伴う熱水分発生の蓄積は非常に小さく、自然換気により空気質は十分維持できていることが分かった。

2) 文化財害虫の出入りを防ぐため建具を気密化し非公開時の環境調整方法の検討を行った。中央室に AV・小屋裏除湿システムを用いる場合、夏季に RH が上昇するがおよそ60%以下となり、小屋裏除湿システムの方が AV より、夏季は低湿度となった。除湿機を導入した場合、相対湿度は60日ほどで55%となりその後も安定した。小屋裏除湿システムを用いる方法は、潜熱処理にエネルギー消費を伴う除湿機を必要とせず、室内相対湿度が55%-60%の範囲内で変動が抑えられており、有効な環境調整手法と考えられる。

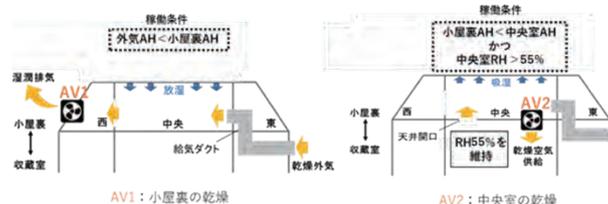


図4 小屋裏を用いた除湿システム

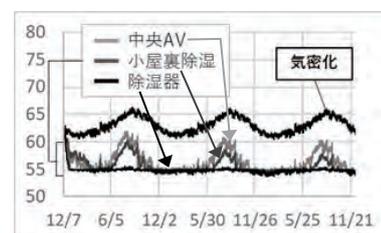


図5 非公開時中央室相対湿度の変動(3年間)

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年3月、2) 和田拓也他、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—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—、日本文化財科学会第37回大会、2021、3) 文化庁文化財部美術学芸課文化財(美術工芸品)保存施設、保存活用施設設置・管理ハンドブック、2016、4) A. Hukka, H. A. Viitanen, "A mathematical model of mould growth on wooden material", Wood Science and Technology, vol.33, pp.475-485, 1999、5) 松本衛、新建築学体系10環境物理、湿気、朝国社、1984、6) 松下敬幸、火災時における避難安全評価のための煙の伝搬予測に関する研究、京都大学博士論文、1993、7) Broström et al., "Humidity Control in Historic Buildings through Adaptive Ventilation - A Case Study." 9th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, June 2011、8) 三浦、佐野、木川、文化財保存環境学第2版、朝倉書店、2016、9) 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、No.34, pp.22-31, 1995

地震で被災した釜尾古墳の一時的保護を目的とした 保護シートによる墳丘の乾燥抑制に関する研究 —その2 保護シートに対する1次元水分移動モデルによる解析— Study on Prevention of Mounds from Drying by Protective Sheet in Kamao Tumulus for Temporary Preservation Damaged by The 2016 Kumamoto Earthquake - Part 2: Analysis By One-dimensional Moisture Transfer Model For Protective Sheet-

○中川正貴（京都大学）、小椋大輔（同左）、澤田茉伊（同左）

○Masataka NAKAGAWA, Daisuke OGURA, Mai SAWADA (Kyoto University)

1. 研究の背景と目的 熊本市に位置する国史跡釜尾古墳は、石室に装飾が施された装飾古墳である。2016年熊本地震により被災し、墳丘に亀裂が生じる等の被害を受けた。外気や雨水の影響による墳丘や石室の装飾等の更なる損傷を防ぐため、地震直後から墳丘はブルーシートで被覆されていたが、シートによる雨水遮断により墳丘の乾燥化による崩落が懸念されていた。既報¹⁾では、ブルーシートの代替として一定の透水性を有する防草シート(以降シートと呼ぶ)の使用を提案し、熱水分同時移動モデルを用いてシートの簡易なモデル化による墳丘の乾燥抑制に対する効果を確認したが、用いたモデルはシートの透水性に関して更なる検討が必要である。最終的な目的は、被災した古墳の一時的保護において墳丘の含水状態や石室環境を適切に維持するための保護方法の提案を行うことである。本報告では、シートの特性の理解とシートと墳丘土との接触が無い箇所の浸透挙動を把握するために、既報²⁾で行った実験結果を紹介し、シートのみに対して行った降雨実験の数値解析検討結果を報告する。

2. 降雨実験の概要・測定方法・実験結果 シートの透水性を把握する目的で、既報²⁾では室内にて雨水透水実験を行った。実験は、シートを傾斜面に置き、上方から疑似的な雨を降らせ、シートの透水挙動に関して行った実験結果を紹介する。実験では、表面を伝う水量(図1のA)と水平方向の透水量(図1のB)の和(以下「水平透水量」と)、鉛直方向の透水量(図1のC)(以下「鉛直透水量」)を測定した。本報では、墳丘とシートが直接接触していない箇所の透水性を把握する目的で行った、シートのみを対象とした実験の結果を紹介する。

図2に、単位時間当たりの流量[g/min]の時間変化を示す。なお「供給降雨量」とは、毎実験前に校正を行って測定した、降雨装置からの供給雨量を示す。鉛直透水量は実験開始直後に急激に増加し供給降雨量にかなり近い値でピークに達した後減少し、最終的にはほぼ透水しなくなる。これに対し水平透水量は、実験開始直後から増加量が大きくなり、最終的には一定の増加量を保ちながら増加し、供給降雨量に漸近することが確認できる。

3. シートの1次元水分移動モデルと計算条件 実験結果を踏まえ、非定常1次元水分移動のモデル化を行った。本報では、シートのみが降雨を受ける場合に関して述べる。モデルのシートは第三種境界条件とし、温度13°C一定、相对湿度60%一定、湿気伝導率 2.9×10^{-8} [kg/m²s(kg/kg(DA))]³⁾とした。厚さは4mm、セル数11、セル幅は最上層・最下層のみ0.2[mm]とし、その他のセルは全て0.4[mm]とした。時間刻みは 1.0×10^{-7} [s]である。水分収支式は式(1)を、透水シート内部の全水分流は式(2)を用いた。

$$\rho_w \frac{\partial \psi}{\partial \mu} \frac{\partial \mu}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \lambda'_{\mu} \left(\frac{\partial \mu}{\partial x} - g \right) \quad (1)$$

$$J_{(n,t)} = -\lambda'_{\mu} \left(\frac{\partial \mu}{\partial x} - g \right) \quad (2)$$

また本解析では、計算の安定性の向上を目的として、隣接する差分点の状態量を定数とした水分収支式を立て、その常微分方程式の解を用いた計算を行う³⁾。シートの主な物性値に関しては本報の最後に示している。飽和平衡含水率は、実験終了後の含水率を与えた。平衡含水率曲線に関して、相对湿度が98.4%以下の範囲では、蒸気吸着量測定装置の測定値をもとに近似曲線を定めた。相对湿度が98.4%以上の範囲では、飽和時に飽和平衡含水率の値に一致するよう、境界点の勾配を考慮して二次曲線近似を行った。水分化学ポテンシャル(以降 μ)の勾配に関する液相水分伝導率は、透水時にシートの透水係数に一致するように、グラスウールで同定された物性値⁴⁾に定数 a_3 を掛け合わせて用いた。

ポスター
発表

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

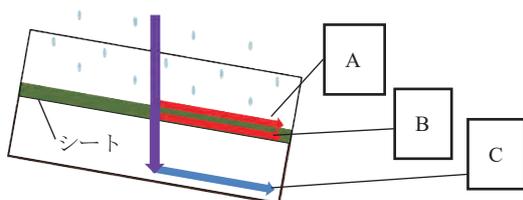


図1 水平透水量と鉛直透水量の説明図

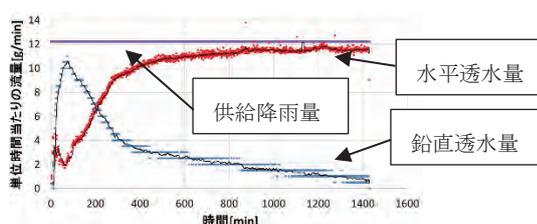


図2 降雨実験の結果

4. 解析結果と考察 図3～図5にシート内部の水分化学ポテンシャル(以下 μ)、試料内体積含水率、全水分流の時間変化を示す。図3では μ のマイナス値を取り、反転させた対数軸で示している。計算結果は、シート上面から奇数番号目のセルに関して算出した。

図より、全ての変数(μ 、含水率、全水分流)が一定となる定常状態は、計算開始から約10分で得られることが分かる。図4より収束後の体積含水率は $0.230[\text{m}^3/\text{m}^3]$ であり、この値は飽和平衡含水率に等しいため、定常状態では降雨実験終了時の状態に相当すると考えられる。また、図5より全水分流は、収束に至るまでは上層の方が大きい値を示した。収束値は供給降雨量と一致しており、定常状態では降雨のほぼ全てを透過することが確認できる。実験結果との比較としては、最下層での全水分流が「鉛直透水量」に相当すると考えられる。降雨実験では開始直後、鉛直透水量が供給降雨量の値に近づくという現象が見られた(図2)。本解析では、最下層における全水分流の収束値が供給降雨量に達しているため、降雨実験における序盤の傾向を再現できていていると考えられる。「水平透水量の増加に伴って鉛直透水量の減少する」という降雨実験の傾向を再現するには、2次元の解析モデルに拡張する必要がある。

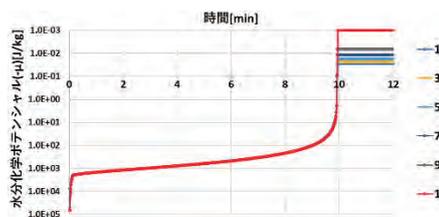


図3 μ の時間変化(片対数グラフ)

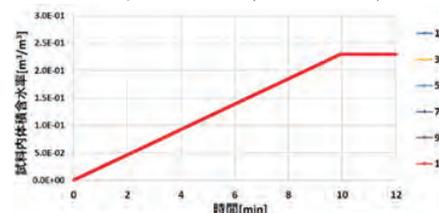


図4 試料内体積含水率の時間変化

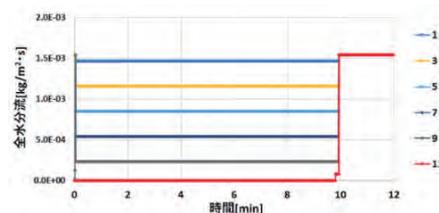


図5 全水分流の時間変化

5. 結論 本報では、シートのみが降雨を受けた際の透水挙動に関して考察した。降雨実験の結果を示した後、シートの1次元解析のモデル化と、シートの平衡含水率と透水性を考慮した解析結果を示した。1次元解析では、降雨実験序盤の鉛直透水量の傾向を再現できたと考えられる。今後、作成したモデルを元に2次元の解析モデルを作成し、地盤との接触の有無の影響の検討を行う予定である。

参考文献 1) 森口友寿、小椋大輔、伊庭千恵美：地震で被災した釜尾古墳における修復前の一時的保存に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp.205-208、2019。 2) 中川正貴、小椋大輔、澤田茉伊：地震で被災した釜尾古墳の一時的保護を目的とした保護シートによる墳丘の乾燥抑制に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp.257-260、2020。 3) 中沢康明、岡田康郎：時変係数熱的系の遷移行列による解法 日本建築学会近畿支部研究報告書、pp. 105-108、1975。

4) S. Hokoi and M.K. Kumaran. 『Experimental and Analytical Investigations of Simultaneous Heat and Moisture Transport through Glass Fiber Insulation』. Journal of Building Physics, 1993.

記号一覧 μ : 水分化学ポテンシャル [J/kg] , h : 相対湿度 [-] , $J_{(n,t)}$: 時刻 t ・第 n 層の水分流 [kg/m²s]
 λ'_{μ} : μ の勾配に関する気相+液相水分伝導率 [kg/(m・s(J/kg))] , ρ_w : 水の密度 [kg/m³]、 ρ_s : シートの密度 [kg/m³]
 g : 重力加速度 [m/s²] , w : 体積基準の含水率 [m³/m³]
シートの物性値及び式に含まれる定数・関数 密度: $\rho_s = 150$ [kg/m³]、平衡含水率: $\psi_0 = 0.21368$ [m³/m³]

$$\text{平衡含水率曲線: } w = \begin{cases} (a_1 h^{b_1} \exp[c_1(1-h^{d_1})]) / \rho_w & (h < 0.984) \\ (a_2 h^2 + b_2 h + c_2) / \rho_w & (0.984 \leq h) \end{cases} \quad [\text{m}^3/\text{m}^3]$$

$$\mu \text{ 勾配に関する液相水分伝導率: } \lambda'_{\mu} = \begin{cases} 0 & (w < 0.002) \\ a_3 \rho_w g(w) K' & (0.002 \leq w < 0.004) \\ a_3 \rho_w K' & (0.004 \leq w) \end{cases} \quad [\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}(\text{J}/\text{kg}))]$$

$$a_1 = 3.961957, b_1 = 0.8111155, c_1 = -1.232856, d_1 = 12.41181, a_2 = 819686.85, b_2 = -1613101.44, c_2 = 793628.27, a_3 = 48.931, p = 4.0 \times 10^{-10}, q = 4.0 \times 10^{-7}, r = 24.0, K' = p + q \cdot \exp[r(w - 0.21368)][s], g(w) = \left[\frac{(w - 0.004)^2}{4.0 \times 10^{-6}} - 1 \right]^2$$

その他の解析条件 シート内の水分化学ポテンシャル μ が -0.001 [J/kg]を超えた場合は飽和として取り扱い、飽和の状態として μ は -0.001 [J/kg]の値を用いる。最下層にて飽和状態($\mu = -0.001$ [J/kg])の場合は、上部から流入した水分がシート最下層の裏側から流出されるものとする。

文化財建造物の障壁画の保存・公開時における環境調整方法に関する研究

—透明雨戸の日射・紫外線透過特性と廊下温湿度環境の測定—

Study on environmental adjustment methods for the conservation and exhibition of wall paintings in cultural properties -Measurement of Solar Radiation and Ultraviolet Radiation Transmission Characteristics of Transparent Shutters and Corridor Temperature and Humidity -

○米田昌弘（京都大学）、小椋大輔（同左）、岡村知明（京都市）、伊庭千恵美（京都大学）、高取伸光（同左）

○Masahiro YONEDA, Daisuke OGURA (Kyoto Univ.), Tomoaki OKAMURA (The City of Kyoto),

Chiemi IBA, Nobumitsu TAKATORI (Kyoto Univ.)

1. はじめに 文化財建造物内の障壁画の周辺環境は日射、外気の温湿度の影響を大きく受ける。障壁画の現地保存については、保存環境と管理状況を通じて劣化損傷の実態と要因を検討した先行研究¹⁻⁴⁾があるが、温湿度解析を含めて、定量的に環境調整手法を検討した事例研究はない。本研究の最終的な目的は、障壁画の公開・非公開時の温湿度環境を予測し、障壁画の保存と公開における適切な環境調整手法を提案することである。研究対象は、修理後に公開を予定され、公開整備に伴い屋外建具等の検討を行っている二条城本丸御殿の障壁画である。本報告では、城内で既に公開が行われている二の丸御殿の屋外建具および廊下周辺の温湿度環境を把握し本丸御殿における解析に用いる建具の日射透過特性の算出を目的とする。ここでは二の丸御殿大広間の外周および廊下において、2020年の夏から測定を行っている温湿度と夏季に測定した建具の紫外線と日射の透過量の結果に基づき考察を行う。

2. 二の丸御殿の透明雨戸と計測の概要 写真1は二の丸御殿大広間で、屋外建具に樹脂製の透明な雨戸（以下、「透明雨戸」）を設置し、内側を障子とする。透明雨戸は通常の雨戸と比較し外側からの景観を損なわないことから常時設置が可能であり、毎日の雨戸の開閉によって文化財建造物の柱や敷居などに負荷をかけず、雨戸の機能として日中含めて風雨から御殿内部を保護することも可能となっている。障壁画が公開予定である本丸御殿では、二の丸御殿と同様に透明雨戸の設置が検討されている。この大広間を対象とし温湿度、日射・紫外線量の計測を行った。用いた計測機器を表1、2に計測場所を図1にそれぞれ示す。測定点の1~6は、透明雨戸と障子の間の空気層（以下、「透明雨戸空気層」）に設置されており、それぞれ高さが異なる。測定の目的は透明雨戸などの建具の熱湿気性状、日射・紫外線透過量を把握し、それが廊下の温湿度に及ぼす影響を把握すること、建具の熱湿気挙動予測モデル作成にこれら測定値を用いることである。

3. 計測実験の結果および考察

3.1 温度 図2、3に夏季、冬季における西廊下および南廊下における温度の比較を示す。外気の温湿度は京都地方気象台の観測データを用いた⁵⁾。図2より夏季に西面透明雨戸空気層で55℃まで温度が上昇している。図3より冬季には南面透明雨戸空気層で45℃まで温度が上昇している。また廊下側については、夏季の8月11日において西廊下梁上で、最大40℃付近にまで達しており、9℃程度の日較差が確認できる。

3.2 相対湿度 図4に廊下の相対湿度の変動が最も大きい2020年10月31日から11月7日の西廊下および南廊下における相対湿度の変動を示す。図より廊下における相対湿度の日較差の最大値は11月3日で、35%程度と大きな変動である。これは前日まで絶対湿度が上昇しており、11月3日に絶対湿度が下がり続けていることと温度の日較差により引き起こされている（図省略）。相対湿度は、1日単位では、18時から翌朝6時まで上昇し、6時から15時ごろまで減少する。また1日単位の周期だけでなく、数日周期でも上下している。

3.3 絶対湿度 図5、6に夏季および冬季における南廊下および西廊下における絶対湿度の比較を示す。夏季には透明雨戸空気層と廊下側にはあまり差が見られない。また外気よりも変動幅が小さくなっている。冬季では廊下側は外気に追従して変動していることが確認できる。しかし夏季とは異なり、透明雨戸空気層と廊下側の変動の差が大きく、日中、廊下の絶対湿度は上がり、透明雨戸空気層の絶対湿度は下がっている。南面からの日射が、西側透明雨戸空気層内の温湿度センサー一部に直接あたっていた可能性が考えられ、現在検討中である。また廊下側の変動幅は外気よりも小さくなっている。透明雨戸空気層と廊下側の変動が小さくなる理由としては、建具等の吸放湿性によると考えられる。

3.4 日射量・紫外線量 図7に西面の外気側、透明雨戸障子間、廊下側の日射量を、図8、9に

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

それぞれ長押上の欄間障子の内外の日射量および紫外線量を示す。透明雨戸および、障子、長押上の欄間障子の日射透過率はそれぞれ 0.85[-]、0.19[-]、0.47[-]であり、透明雨戸および、長押上の欄間障子の紫外線透過率はそれぞれ 0.00[-] (図省略) および 0.06[-] (図 9) であった。これら透過率は、透明雨戸、障子については、8月5日～8月10日迄の10～18時の平均値、長押上の欄間障子については8月12日～8月17日迄の6～18時の平均値である。透明雨戸は紫外線を通さず、長押上の欄間障子は紫外線を若干透過することが分かった。また温湿度と日射量の測定結果より、日射が透明雨戸を透過した後、透明雨戸空気層の温度を上昇させていることがわかる。障子、長押上の欄間障子の日射透過率はそれぞれ 0.19[-]、0.47[-]であり、廊下に入射する日射量は減少している。

4. 計測実験の結果および考察 二条城二の丸御殿大広間における温湿度および日射量・紫外線量測定結果から以下の事が分かった。

1)透明雨戸および、長押上の欄間障子の紫外線透過率はそれぞれ 0.00[-]および0.06[-]であり、透明雨戸および、障子、長押上の欄間障子の日射透過率はそれぞれ 0.85[-]、0.19[-]、0.47[-]であることが分かった。

2)透明雨戸空気層について、夏季に日射の影響を受け西面で55℃付近まで温度が上昇する。

3)夏季において西面で、最大40℃付近にまで達しており、9℃程度の日較差が確認できる。また、相対湿度の日較差の最大値は35%程度と大きな変動である。絶対湿度については、外気に追従して変動しているが変動幅は外気よりも小さくなっている。理由としては、空気層に接する建具の吸放湿性が考えられる。

今後は、これらの測定結果を用いて公開が予定されている本丸御殿の障壁画周辺の温湿度を予測するための解析を行う予定である。



写真1 透明雨戸とその空気層 図1 温湿度計設置位置

表1 計測手法 (温湿度)

測定機器	T&D社製の温度・湿度ワイヤレスデータロガー RTR-503L
測定間隔	30分
測定期間	2020年8月4日から現在も継続

表2 計測手法 (日射、紫外線)

測定内容	日射量	紫外線量
測定機器	英弘精機社製の ML-01	T&D社製の TR-74Ui
測定間隔	30分	
測定期間	2020年7月28日から8月4日は大広間南面において、8月4日から11日は西面において、透明雨戸および障子を透過する日射量を計測した。7月28日に大広間南面において透明雨戸および障子を透過する紫外線量を計測した。8月11日から18日は長押上の欄間障子を透過する日射量・紫外線量を計測した。	

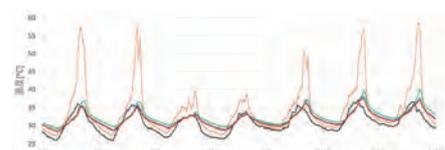


図2 夏季の西廊下における温度

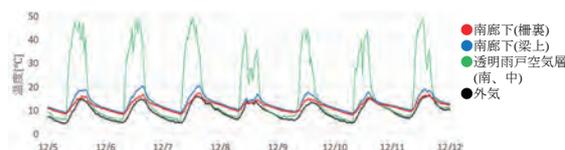


図3 冬季の南廊下における温度

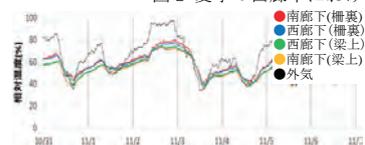


図4 南、西廊下における相対湿度

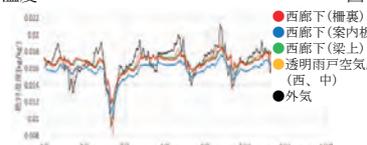


図5 夏季の西廊下における絶対湿度

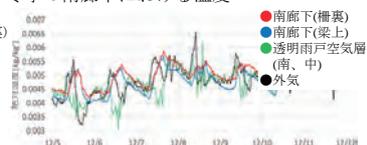


図6 冬季の南廊下における絶対湿度

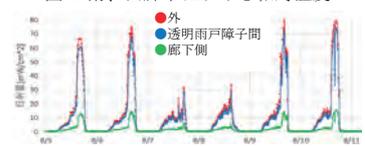


図7 大広間西面透明雨戸、障子における日射量

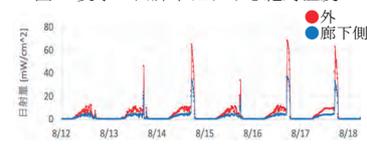


図8 大広間西面欄間障子における日射量

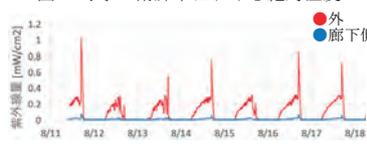


図9 大広間西面欄間障子における紫外線量

謝辞:実測調査にあたり、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)植松みさと(2013)「文化財建造物における障壁画保存と公開手法に関する研究 1:文化財建造物における障壁画保存の現状」日本建築学会関東支部研究報告書集II第83号、pp605-608 2)植松みさと(2013)「文化財建造物における障壁画保存と公開手法に関する研究 2:障壁画への保存対策の実態と課題」日本建築学会関東支部研究報告書集II第83号、pp609-612 3)植松みさと(2015)「文化財建造物の室内環境と障壁画の経年劣化-水戸偕楽園内好文亭奥御殿を事例として-」日本建築学会計画系論文集第80巻第707号、pp213-220 4)石川睦朗(1974)「書院内の保存環境について」保存科学第12号、pp5-17
 5)気象庁-過去の気象データ:http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/ctrn/select/prefecture.php?prec_no=61、(2021年6月9日)

DTPA を用いた海底出土木材の脱鉄処理に関する基礎的研究

Basic study on iron removal treatment of water-logged wood found on the seabed using DTPA

○島袋花子（奈良大学）、溝口侑希（同左）、今津節生（同左）

○Hanako SHIMABUKURO, Yuki MIZOGUCHI, Setsuo IMAZU (Nara University)

1. はじめに

沈没船をはじめとする海底出土遺物には、保存処理を終えた木材と鉄からなる複合遺物に深刻な問題が発生している。遺物が海底に埋蔵されている間、硫酸還元菌（SRB）によって木材と鉄の接触面に硫化鉄が蓄積される。海底から引き揚げられ、保存処理を終えた遺物を大気環境下で展示すると、硫化鉄は吸湿・酸化し、硫酸鉄や硫酸が生成される。硫化鉄が硫酸鉄に変化すると、8～10倍に体積膨張し、遺物の表面に黄白色の析出物となって現れる（図1）。さらに、硫酸による木材組織の加水分解によって木材と鉄の劣化が進行する。

また、PEGは鉄を触媒として分解・低分子化することが報告されている。PEGは低分子であるほど吸湿性を増すため、PEGの分解が進んだ箇所では硫化鉄の酸化と木材の劣化がさらに促進する。

この劣化現象はPEGで保存処理された木材に顕著に現れ、Vasa号、Mary Rose号、Batavia号、新安沈没船など、世界的な問題となっている。我が国でも、PEGや高級アルコールで保存処理した鷹島海底遺跡遺物に同様の現象が現れている。現状の対策として、Vasa号やMary Rose博物館では館内の湿度を硫化鉄の反応湿度以下の53%RHに維持している。海底出土遺物にはこのような劣化サイクルがあり、PEGで木材の保存処理を行うためには十分な脱鉄処理が必要である。



図1 遺物表面に析出した黄白色の結晶 (PEG 処理後の鷹島海底遺跡出土遺物)

2. 硫化鉄が引き起こす劣化現象の解決に向けた研究

2000年以降、黄白色の析出物が世界中で確認され、Vasa号博物館をはじめとする各国の保存処理機関は問題解決に向けて模索し始めた。当初は、硫酸による影響で強酸性を示した木材を中和するため、アンモニアガス等を用いた中和処理が行われた（Lovisa 2003, Fors 2006）。2003年には、この問題の原因が硫化鉄の酸化であると判明し、木材内部から硫化鉄などの鉄化合物を可能な限り抽出する必要性が生じた。そこで、電気泳動やDTPA（ジエチレントリアミン五酢酸）、EDDHMA（エチレンジイミノビス酢酸）などのキレート剤を用いた脱鉄処理が実施された（Sandström 2003）。その後の研究で、電気泳導よりもキレート剤を使用した方が脱鉄効果が高いことや、中性で使用できるDTPAが脱鉄処理に最も安全で効果的であると確認された。DTPAで脱鉄処理を行うことにより、硫化鉄などの鉄分を抽出すると同時に木材の表面処理・強酸性の中和に関する有望な結果が報告されている（Klemens 2015）。

日本では従来から出土木材の「脱色剤」として、キレート剤・EDTA（エチレンジアミン四酢酸）が使用されている。これは木材表面の鉄分を抽出することは可能だが、木材内部の鉄分まで抽出することはできない。本研究では、長崎県松浦市の鷹島海底遺跡から発見された木材と鉄の複合遺物を対象に、DTPAとEDTAを用いた脱鉄処理の比較実験を実施した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 実験と結果

3-1. DTPAとEDTAの脱鉄効果

DTPA と EDTA の 2 種のキレート剤を用いて、それぞれの抽出能力を比較した。鉄釘の痕跡がある鷹島海底出土木材を、釘穴を中心に分割し鉄錆部分（硫化鉄などの鉄化合物）とキレート剤との接触面積を大きくすることで、各キレート能力の差を明確にした。

【実験試料】鉄釘跡のある鷹島海底出土木材

【実験試薬】DTPA：PC-45（キレスト株式会社）、EDTA：EDTA・2Na（同仁科学研究所）

【実験手順】木材にある釘穴を中心に分割した6点の試料を2群に分け、DTPA1%溶液、EDTA1%溶液に浸漬して室温環境下で静置した。浸漬から2日、1週間、2週間、1ヶ月ごとに溶液を採取・交換した。硫化鉄は、溶液中に鉄イオンと硫酸イオンとして検出される。そこで、鉄イオンと結合している硫酸イオンをイオンクロマトグラフィー(Dionex ICS-900、Thermo Fisher Scientific)で定量分析した。

実験の結果、DTPAは硫酸イオンの溶出が継続して見られた(図2)。一方で、EDTAは1週間程度の短期間では、溶出が低濃度に収まることが明らかとなった。1ヶ月間の浸漬による硫酸イオンの総量を比較すると、DTPAはEDTAの約1.5倍の抽出量であった。

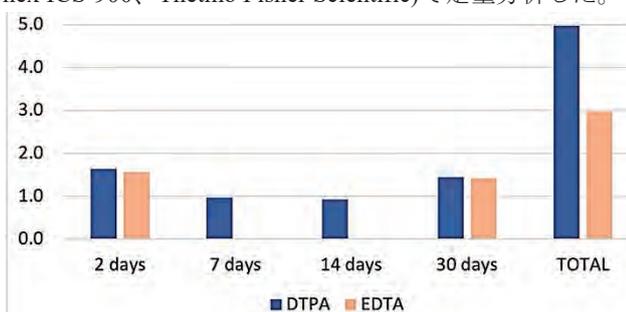


図2 溶液に抽出された硫酸イオン (mg/L)

3-2. 木材表面の硫化鉄と劣化状態

PEG処理した木材の鉄釘部分の劣化の進行状態をマイクロフォーカスX線CTで観察した。その結果、黄白色の結晶（硫酸鉄）が膨張して粉体化している状況が確認された。CTによる断面の観察の結果、鉄釘の穴から噴出した酸化物（硫酸鉄結晶）は木材内部に進行しているのではなく、空気と接触する木材表面付近に存在が限定されていた(図3)。

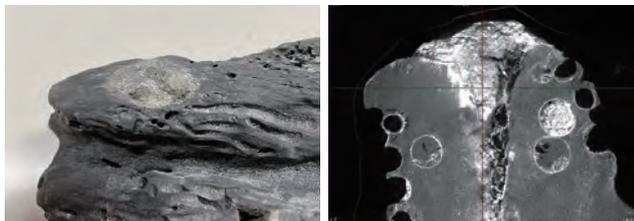


図3 釘穴から噴出した結晶とCT断面

3-3. 考察

DTPAはEDTAと比較して約1.5倍の硫酸イオンを抽出した。48時間後の抽出量こそDTPAとEDTAは遜色ないものの、EDTAはその後の抽出が進まなかった。一方で、DTPAは硫酸イオンを継続的に抽出した。DTPAの有効性は明確になったが、硫化鉄を完全に抽出するには数ヶ月以上の浸漬が必要となる。また、鉄釘の劣化の進行状態をX線CTで観察した結果、硫化鉄の酸化による硫酸鉄結晶は、空気に接触する木材表面付近から生じていることが明らかとなった。そのため、木材の表面付近の硫化鉄を完全に抽出するか、これ以上の酸化を防止することができれば、硫化鉄などの鉄分が木材内部に残存していたとしても、劣化を沈静化できる可能性がある。

- ・ Magnus Sandström他 (2003) 「The sulphur threat to marine archaeological artefacts acid and iron removal from the Vasa」 Archetype Publications
- ・ Yvonne Fors, Magnus Sandstrom (2006) 「Sulfur and iron in shipwrecks cause conservation concerns」 PubMed
- ・ ÅkeHenrik-Klemens(2015) 「Urlakning av järn ur arkeologiskt trä med dietyltriainimpentaättiksyra (DTPA): undersökning av koncentrationens påverkan på extraktionstakten」 Gothenburg University
- ・ Lovisa Dal, Ingrid Hall Roth (2003) 「Conservation of the Warship Vasa -the Treatment and the Present Problems-」 『遺物の保存と調査』クバプロ pp.47-60

レンガ造煙突の脱塩方法に関する基礎的研究

その1) イオンの拡散を利用した脱塩

FUNDAMENTAL STUDY ON DESALINATION METHODS FOR BRICK CHIMNEYS

PART 1 DESALINATION BY ION DIFFUSION

○木村藍香 (近畿大学)、安福勝 (同左)、麓隆行 (同左)、
宇野朋子 (武庫川女子大学)、伊庭千恵美 (京都大学)

○Aika KIMURA (Kindai University), Masaru ABUKU (Kindai University), Takayuki FUMOTO (Kindai University), Tomoko UNO (Mukogawa Women's University), Chiemi IBA (Kyoto University)

1. はじめに

近代以降に造られたレンガ造煙突の多くは劣化が進み、中には塩類風化が起こっているものも存在する。本報では、塩類風化により劣化した煙突を対象とした脱塩のための基礎的研究として行った、硫酸ナトリウムを含んだレンガの脱塩に関する実験室実験を報告する。

2. 塩イオンの拡散を利用した脱塩実験の概要

レンガ (100×60×210 mm³) から 100×60×30 mm³ の試験体 (重量: 373.3 g、密度: 2018 kg/m³) を切り出し、試験体表面のうち 60×30 mm² の面を除く 4 面に断湿処理を施した。この試験体を用いて、まず塩を含まない試験体の水分拡散係数を測定するため、試験体の 60×30 mm² の 1 面より純水を吸収させる実験を行った。X 線 CT (Computed Tomography) 装置 [1] を用いて、吸水試験前後の試験体の CT と吸水中の試験体のラジオグラフィーを撮影した (図 1(a))。次に、同じ試験体を対象として塩を含んだレンガを脱塩する実験を行った。実験手順と手順に対応する測定内容を図 1(b) に示す。純水の吸水試験と同様に、試験体に硫酸ナトリウム飽和溶液 (18.2 wt%) を吸

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

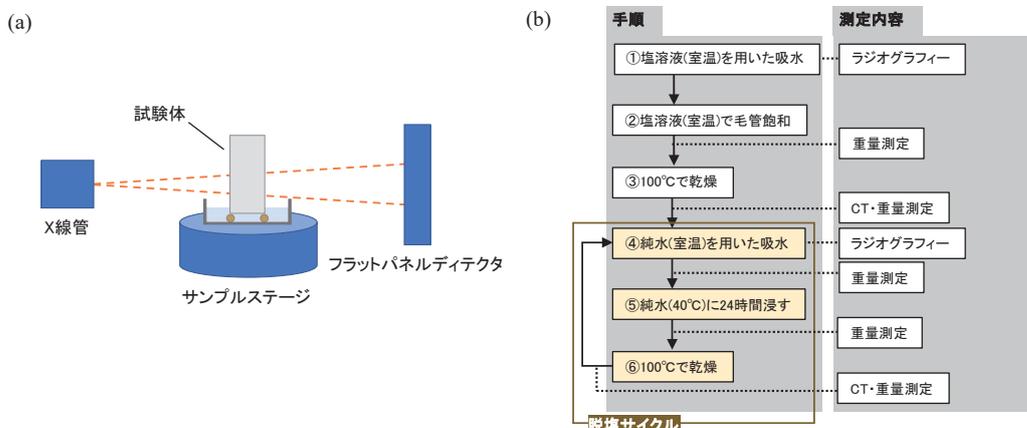


図 1 (a) X 線 CT 装置を用いた吸水実験の模式図 (b) 実験の概要

収させ、その過程における試験体のラジオグラフィ撮影を行った（手順①）。溶液の吸収が概ね完了した後、同じ溶液を上面から吸収させ、試験体を毛管飽和状態にした（手順②）。その後、試験体を 100℃で乾燥させ、乾燥後の重量測定から試験体内の塩分量を求めた（手順③）。以上により、試験体内部に硫酸ナトリウムの結晶を充填させた。次に、試験体の脱塩を行った。乾燥した試験体に純水を吸水させ、吸水過程のラジオグラフィ撮影と試験体の重量測定を行った（手順④）。その後、試験体を 40℃の純水に 24 時間浸した（手順⑤）。最後に、試験体を 100℃で乾燥させ、重量測定を行った（手順⑥）。手順④⑤⑥のサイクルを 5 回、その後手順④を省略し、手順⑤⑥のみのサイクルを 10 回行った。また各段階で残存溶液とそこに含まれている塩の重量を測定した。

3. 脱塩効果の測定結果と水分拡散係数の変化

脱塩実験初期には 6.13 g 充填された試験体内の硫酸ナトリウムの量の変化（脱塩量）の結果を図 2(a)に示す。図中には、各サイクル中の手順④⑤それぞれの脱塩量（g）とその合計値、積算脱塩率（%）が示されている。はじめの純水あるいは塩溶液の吸水試験と脱塩過程の吸水試験の X 線の透過画像から求めた 8000 秒の時点の水分拡散係数をまとめて図 2(b)に示す。

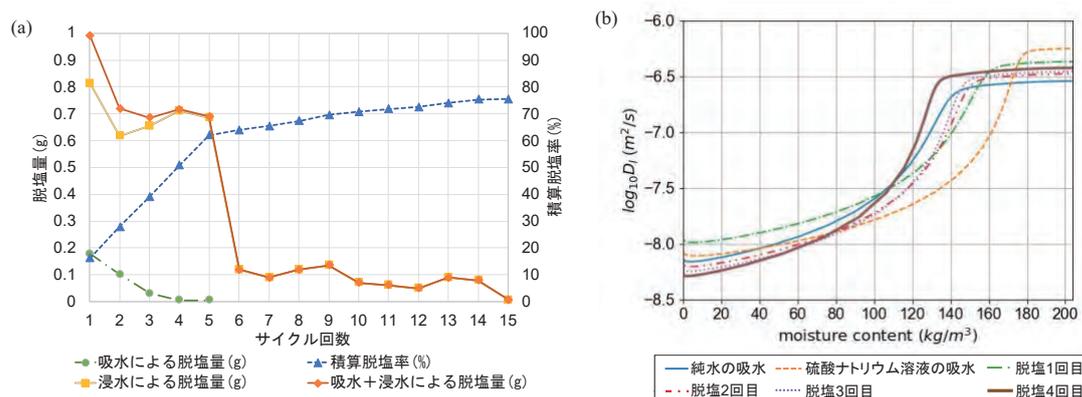


図 2 (a) サイクルごとの脱塩量とその合計値 (b) 水分拡散係数 D_1 の比較 (8000 秒)

4. まとめ

硫酸ナトリウムを含んだレンガに純水を吸収させ、溶解したイオンが表面に拡散する現象を利用した脱塩の効果を実験を行った。本実験の実験条件下では、15 サイクルの脱塩過程の繰り返しにより試験体に含まれる塩分のうち約 75%を脱塩することができた。はじめの 5 サイクルに比べ、試験体を純水に浸水させるだけの 6 サイクル目以降では脱塩量が大幅に減少することが分かった。本実験の条件下においては、実験中の水分拡散係数の変化は、溶液に溶解するイオンに大きく影響されるが、材料内部に結晶として残存する塩分によってはあまり大きく変化しない結果となった。

謝辞

本研究は JSPS 科研費・基盤研究(B) (18H01596)、挑戦的研究(開拓) (19H05511)、および基盤研究(C) (20K04821) の助成を受けた。

参考文献

[1] 麓隆行. 2013. 新しい機構の X 線 CT の開発とポリマーコンクリートの圧縮試験への適用, JSCE E2, 69(2), pp.182-191.

コーラ修道院聖堂と壁画・モザイクの保存

その2) 建築的特徴と保存上の問題に関する考察

Conservation of Wall Paintings, Mosaics, and the Chora Church Part 2: Discussion on Architectural Characteristics and Problems Related to Conservation

○箭野早耶華 (近畿大学)、佐々木淑美 (東北芸術工科大学)、安福 勝 (近畿大学)、
小椋 大輔 (京都大学大学院)

○Sayaka YANO (Kindai University), Juni SASAKI (Tohoku University of Art and Design),
Masaru ABUKU (Kindai University), Daisuke OGURA (Kyoto University)

1. はじめに

コーラ修道院附属ソーテール聖堂 (現カーリエ・ジャーミィ、以降「カーリエ」と略記) は、建物全体として構造上の損傷を抱える一方、壁体の表面に数多く存在する壁画・モザイクの劣化は、構造的要因による場合と、塩類風化などの環境的要因による場合とがあり、その劣化と保存に関する総合的な検討を行う必要があると考えられる。本報では、文献調査に基づきカーリエの建築的・材料的特徴について分析し、文献情報の比較検証の結果に基づいて、建物の3次元モデルの作成、建物の劣化要因を考察するための静的構造解析を行う。特に、建物南東部の多数のフレスコ画を有するパレクレシオンや、最も建設年代が古く過去にドームが崩壊したナオスに着目し、応力分布と壁画・モザイクの劣化状況との対応について考察する。

2. カーリエの特徴

建物の上部構造の大半は14世紀に建設されたが²⁾、この建物は数度の大地震に苛まれ³⁾、崩壊と修復が繰り返されている。また、傾斜地に建設されているため、建物北側では不同沈下による天井部分の損傷も発生している¹⁾。地盤調査のための発掘を経て、過去の修復の際に葺き替えられたナオスや、屋根の鉛板の隙間からの浸水による内部装飾の劣化が顕著なパレクレシオンなどを対象とした修復工事が2012年に行われた。

また、カーリエの主要建築材料は、レンガ、石材とモルタルであり^{1),2)}、各層が交互に積載されている。また、間を満たす厚いモルタルには、主に石灰、砂、砕いたレンガが使用されている。一般にモルタルの弾性係数はレンガに比べ極端に小さく、両者で構成される層の変形特性はモルタルの特性が支配的である⁴⁾ため、特に目地モルタルの割合が多いカーリエの壁体の物理的挙動を検討するには、この特徴をとらえた扱いが重要になると考えられる。

3. 静的構造解析

今回使用した Ousterhout の図面²⁾の整合性に関する検討結果に基づき、三次元 CAD ソフトウェア Rhinoceros を用いて建物全体の3次元モデリングを行った。次に、作成した3次元データを活用し、Simcenter Femap with Nastran Version 2020.2 MP2により、表1に示した有限要素モデ

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

ルを作成し、静的構造解析を行った。パレクレシオンを全 48 部位で構成した Model A、ナオスと後に増設された Flying Buttress (FB)を含めた全 41 部位で構成した Model B、さらに Flying Buttress を除いた Model B1、ドーム(D)を除いた Model B2 の 4 つの場合を解析した。有限要素は 300mm の四面体要素で構成した。また、作成した部位ごとの有限要素に、表 2 に示すレンガ層（レンガとモルタルで構成される層）あるいは石材層（石材とモルタルで構成される層）の物性を与えた。これらの値は、青木⁵⁾が同地域のハギア・ソフィアの構造解析で使用した値であるが、こちらの壁体はカーリエに比べるとモルタルの割合が少ない。

表 1 有限要素モデルの要素数および節点数と

Model B の解析対象部位					
有限要素モデル	要素数	節点数	N	FB	D
Model A	227564	50810			
Model B	280664	59577	○	○	○
Model B1	264455	56020	○	×	○
Model B2	274589	57761	○	○	×

表 2 材料定数

層	ヤング率	ポアソン比	密度
レンガ層	4.5 GPa	0.167	1700 kg/m ³
石材層	6.8 GPa	0.167	2000 kg/m ³

4. 解析結果および考察

解析結果の一例を示す。図 1(a)に示す Model A のミーゼス応力分布は、建物形状と材料物性の分布に応じた応力分布を示す。応力は最大 0.4 MPa 程度であり、この値が強度（ハギア・ソフィアを対象にした青木⁵⁾による研究ではモルタル圧縮強度 25.4 MPa、引張強度 2.16 MPa）を上回ることはなく、自重による損傷は発生しにくいと考えられる。また、床面付近の高さにおける壁体内部の応力分布から、変位が大きいドーム東部のアーチ頂上部は、現地調査で劣化要因として確認された屋根からの漏水個所と対応するため、構造的問題に関わる可能性があると考えられる。Model B の応力分布（図 1(b)）から、建設後に崩落した¹⁾Flying Buttress の中央アーチや、部材が集中するドーム下部の応力が大きくなっている。紙面の都合上図は割愛するが、Model B1 と Model B2 の解析結果と Model B との結果の比較から、Flying Buttress とドームそれぞれの応力分区に及ぼす影響が明らかとなった。

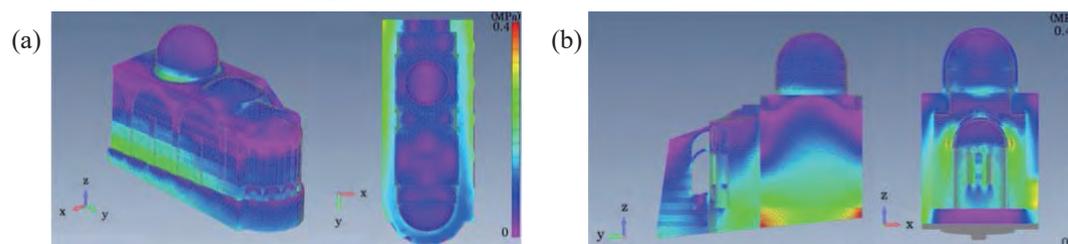


図 1 応力の分布 ((a) Model A、(b) Model B)

5. 結論と今後の展開

パレクレシオンを対象とした静的構造解析により、アーチ部周辺や材料の境界に応力が集中しており、変位の大きい箇所と実際の漏水個所との対応が明らかになった。今後、現実の劣化に近づけるため、構造解析においては、解析モデルの範囲拡大、材料物性の異方性、含水率に応じた物性変化、境界条件などの再検討を行う予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費・基盤 B(18H01596)、挑戦的研究(開拓)(19H05511)、若手研究 B(26870897)の助成を受けて実施した学術調査の成果の一部である。

参考文献 1) C. Demir. 2007. Preliminary structural assessment of Kariye Monument- Northern Annex, International Symposium Studies on Historical Heritage, pp. 511-518. 2) R. Ousterhout. 1987. The architecture of the Kariye Camii in Istanbul, Dumbarton Oaks Research Library and Collection. 3) A. Ilki. 2006. An Outline of the Seismic Behavior of Historical Structures in North Western Anatolia, Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, pp.1633-1640. 4) 中浜貴生. 2011. 煉瓦および煉瓦壁の強度特性に関する基礎的研究, 三重大学博士論文. 5) 青木孝義. 1998. ハギア・ソフィア大聖堂の崩壊機構に関する考察—固定荷重の場合—, 日本建築学会構造系論文集, 63(508), pp. 79-85.

虎塚古墳の壁画剥落片に形成された独特な微生物叢

A unique microbiome formed on the small piece of mural painting in the Torazuka Tumulus

○松野美由樹(奈良文化財研究所)、片山葉子(東京文化財研究所)、犬塚将英(東京文化財研究所)、稲田健一(ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社)、矢島國雄(明治大学)、佐藤嘉則(東京文化財研究所)

○Miyuki MATSUNO(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Yoko KATAYAMA, Masahide INUZUKA, Yoshinori SATO (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Kenichi INADA (Hitachinaka City Lifestyle, Culture and Sports Corporation), Kunio YAJIMA (Meiji University)

1. はじめに

茨城県ひたちなか市に所在する虎塚古墳は、7世紀初頭に築造された前方後円墳である。後円部にある横穴式石室内には赤色顔料で描かれた彩色壁画を有している。壁画は毎年春と秋に一般公開がされており、それに伴い石室内部の定期点検を実施している。壁画面に殺菌剤などの散布はされていないが、目視で確認できる顕著な微生物劣化は報告されていない。このような状態の壁画における微生物叢の情報は壁画の現地保存を考える上で重要である。これまで発表者らは、虎塚古墳壁画表面に形成されている微生物叢の様態を明らかにすることを目的とし、壁画から自然落下した微小な剥落片を対象試料として遺伝子解析を実施してきた。前報¹⁾では、培養法による菌数測定および微生物叢解析の結果について報告した。本発表では、新たに非培養法である次世代シーケンス解析による微生物叢解析を実施したため、その結果を報告する。

2. 方法

(1) 供試試料

石室内部の床面にはポリカーボネート製の平板が壁面に沿うように敷かれており、定期点検の際に平板上の落下物を回収し、落下物の重量・種類・落下箇所などの調査が行っている。今回使用した試料は、2019年11月18日に実施された一般公開後の定期点検時に採取したものである。落下物の中から白色下地や赤色顔料の壁画剥落片を目視によって選抜し、滅菌綿棒を用いて滅菌チューブに回収した。回収後、保冷剤を入れた断熱バッグで10°C以下に保ったまま東京文化財研究所まで運び、分析に供するまで4°Cで冷蔵保存した。

(2) 次世代シーケンス解析

試料からのDNA抽出および精製にはExtrap Soil DNA Kit Plus Ver.2(日鉄環境エンジニアリング)を使用した。抽出したDNA溶液を用いてリアルタイムPCR法を行い、16S rRNA遺伝子と18S rRNA遺伝子のコピー数を確認した。次に、16S rRNA遺伝子領域(プライマー: U515F, 926R)とITS領域(ITS1F, ITS2)を標的としたPCR増幅を行い、得られたPCR増幅産物を精製した後、Miseq(Illumina)にてシーケンス解析を行った。16S rRNA遺伝子については得られた塩基配列の両側から約250塩基ずつペアエンド解析を行い、2つの配列解析データの末端をオーバーラップさせ、約410塩基の配列情報を得た。カビのITS領域は種によって塩基配列長が異なるため、得られた塩基配列長は不定である。97%以上の相同性を持つ塩基配列情報をひとつのOTU(操作的分類単位)にまとめ、国立生物工学情報センターが提供するBLASTプログラムでデータベース上のDNA塩基配列と相同性検索を行い、既知近縁種を推定した。

3. 結果と考察

次世代シーケンス解析の結果、細菌からは41,777配列、菌類からは134,576配列が得られた。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

細菌叢では、Proteobacteria 門に属する *Nordella oligomobilis* に近縁な配列の出現頻度が最も高かった(12.4%)。本種の基準株はアメーバ共培養法によって分離されており、自由生活型アメーバに捕食された後、アメーバ細胞内で増殖することが知られている²⁾。先行研究³⁾においても *N. oligomobilis* と同様の性質を持つ *Reyranela massiliensis* が多く検出されていることから、壁画面でアメーバの捕食による選択圧が生じ、このような菌種が優占している可能性が考えられる。カビの菌類叢では、Ascomycota 門に属する *Leptobacillium leptobactrum* に近縁な配列の出現頻度が最も高かった(52.9%)。 *L. leptobactrum* は、土壌や昆虫、他の菌類や石材表面からの分離報告例があり石材の風化作用を促進することが知られている⁴⁾。本種による虎塚古墳の石材表面への影響は不明であることから、生理学的な諸性質について実験を行う必要がある。

4. まとめ

次世代シーケンス解析による微生物叢解析を行った結果、培養法では分離されなかったアメーバを利用して増殖する *Nordella oligomobilis* に近縁な配列が多く出現し、カビでは石材の風化作用を促進する *Leptobacillium leptobactrum* に近縁な配列が多く存在することが明らかとなった。今後は、本研究で得られた微生物叢の情報や分離された菌株を用いて、それぞれの生理生化学的特性を推定し、あるいは実験的に確認して石室内の複雑な生物間相互作用を明らかにしていく必要がある。また、石室内での細菌やカビの存在量の調査、さらには石室内に存在する土壌動物も含めた生物群集との相互作用を明らかにしていく基礎的研究を継続する必要がある。

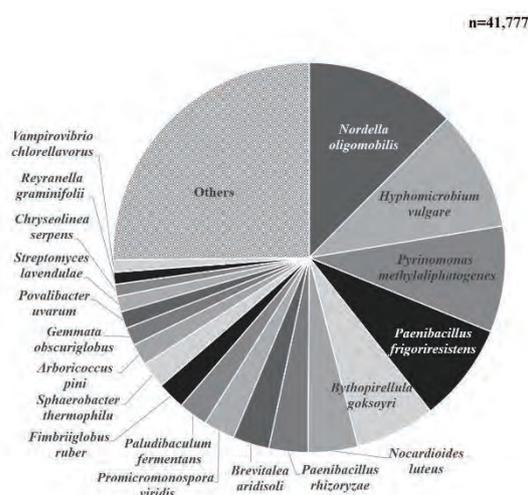


図1 非培養法による細菌叢

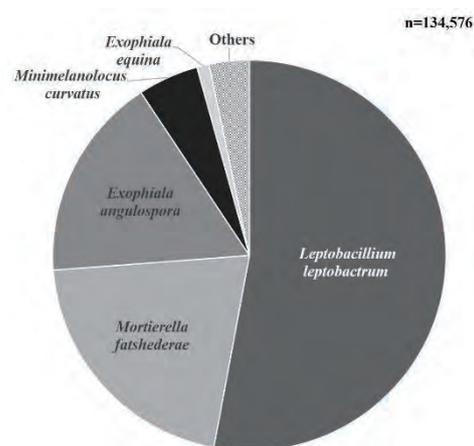


図2 非培養法による菌類叢

【参考文献】

- 1) 松野美由樹、片山葉子、犬塚将英、稲田健一、矢島國雄、佐藤嘉則、『虎塚古墳の壁画剥落片から分離された微生物の群集構造解析』、日本文化財科学会第37回大会研究発表要旨集、p.52-53
- 2) Bernard la Scola, Lina Barrassi, Didier Raoult: A novel alpha-Proteobacterium, *Nordella oligomobilis* gen. nov., sp. nov., isolated by using amoebal co-cultures, *Research in Microbiology*, 155(1), 47-51. (2004)
- 3) 佐藤嘉則、松野美由樹、犬塚将英、稲田健一、矢島國雄、『虎塚古墳の壁画剥落片の微生物群集構造解析』、保存科学、59、9-21 (2020)
- 4) Stefania Daghino, Francesco Turci, Maura Tomatis, Mariangela Girlanda, Bice Fubini, Silvia Perotto: Weathering of chrysotile asbestos by the serpentine rock-inhabiting fungus *Verticillium leptobactrum*, *FEMS Microbiol Ecol*, 69, 132-141. (2009)

劣化した焼成煉瓦における微生物調査

Microbial Investigation of Deteriorated Fired Bricks

○河崎衣美 (奈良県立橿原考古学研究所)、片山葉子 (東京文化財研究所)、
松井敏也 (筑波大学)、結城雅則 (富岡市)、川本真由美 (横須賀市)

○KAWASAKI Emi (Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture), KATAYAMA Yoko (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), MATSUI Toshiya (University of Tsukuba), YUKI Masanori (Tomioka City), KAWAMOTO Mayumi (Yokosuka City)

1. はじめに

焼成煉瓦(以下、煉瓦と称する)は粘土等の天然原料を混成して成形し、焼成することで人工的に作られるが、その劣化は自然の岩石の風化と同様のメカニズムにより進行すると想定されている。これまでの研究では塩類風化や凍結破砕といった物理的な要因が主要な劣化と考えられてきた。発表者らを含む研究グループではカンボジア・アンコール遺跡群の砂岩材の劣化に対して、微生物が関与しなければ生じ得なかった深刻な劣化現象を明らかにしてきた。それは、硫黄 - 硫酸系の硫黄循環やアンモニア - 硝酸系の窒素循環に関わる微生物の活動による砂岩の破砕¹⁾である。この研究成果を受け、素材も環境も異なる日本の煉瓦における劣化への微生物の関与について調査を開始した。日本における煉瓦造建造物は19世紀半ばから20世紀初頭の期間に多く建造された時代を象徴する建造物である。中でも初期の煉瓦は、現在、粉状化等の深刻な劣化現象が観測され、対策が求められている。

2. 方法

調査対象は富岡製糸場および猿島砲台跡の煉瓦構造物である。富岡製糸場(所在地:群馬県富岡市)は明治5年(1872年)に竣工・操業開始し、1987年に操業を終え、2014年に世界遺産となった。木骨煉瓦造建造物である東西置繭所および繰糸所では一部の煉瓦や礎石に劣化が認められ、局所的に著しい粉状化が生じている部分もある(図1)。猿島砲台跡(所在地:神奈川県横須賀市)は無入島内に建設された軍事施設であり、明治17年(1884年)に竣工した。サンプルは2020年8月に採取した。サンプル1は富岡製糸場繰糸所内部の粉状化した煉瓦(析出塩類未検出)、サンプル2は東置繭所内部の粉状化した礎石(砂岩、析出塩類としてCalcite検出)、サンプル3は猿島砲台跡の第二砲台



図1 富岡製糸場の粉状化煉瓦

第二砲側弾薬庫の粉状化した煉瓦(析出塩類としてCalcite他検出²⁾)を採取した。これらのサンプルよりDNAを抽出・精製し、16S rRNA遺伝子のV4-V5領域(細菌、アーキア^{注1}を対象)ならびに18S rRNA遺伝子のITS領域(真菌を対象)をPCR増幅し、次世代シーケンス解析を行い、QIIMEパイプラインを用いて微生物相解析を行った。得られた配列データは相同性97%以上のものについてGreengeneの16S rRNA遺伝子データベース、あるいはUNITEの真菌ITSデータベースに対する相同性検索を行い、系統分類を推定した。さらにこの中から硫黄 - 硫酸系の硫黄循環やアンモニア - 硝酸系の窒素循環に関わる微生物について解析した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 結果と考察

細菌、アーキアおよび真菌の遺伝子のコピー数を表1に示す。サンプル量は0.25g~0.4gと少量であったが、解析に十分な遺伝子数が得られた。表2にアンモニア-硝酸系の窒素循環に関わる微生物を抽出して示す。粉状化した煉瓦であるサンプル1および3からアンモニア酸化、亜硝酸酸化に関わる細菌およびアーキアが検出され、サンプル1および2からは硝酸還元能を持つ細菌およびアーキアが検出された。サンプル1では粉状化した煉瓦の中で窒素循環が成立している可能性のあることが明らかとなった。これは微生物の活動が連続して起こり、窒素の供給が続くことで硝酸塩が蓄積し、劣化が進行する危険性があることを示している。サンプル2で検出された *Halococcus hamelinensis* は好塩性のアーキアであり、構成比が約7割と大きいにも関わらず硝化細菌は不検出であることから、窒素循環が成立する可能性は低いと考えられる。

表1 細菌、アーキアおよび真菌の遺伝子数

試料名	定量結果 (copies/g)	
	細菌、アーキア 16S rRNA 遺伝子	真菌 18S rRNA 遺伝子
サンプル1	2.8.E+05	2.1.E+06
サンプル2	4.5.E+06	1.7.E+05
サンプル3	1.5.E+08	1.4.E+07

表2 アンモニア-硝酸系の窒素循環に関わると予想される微生物 [構成比、リード数]

	サンプル1 煉瓦(析出物なし)	サンプル2 砂岩(CaCO ₃ 析出)	サンプル3 煉瓦(CaCO ₃ 他析出)
硝化細菌	アンモニア酸化	—	<i>Nitrososphaera viennensis</i> * [1.1%、262]
	亜硝酸酸化	—	<i>Nitrolancea hollandica</i> [3.9%、972]
硝酸還元細菌	<i>Arthrobacter parietis</i> [5.5%、1065] <i>Halococcus hamelinensis</i> * [9.1%、1756]	<i>Halococcus hamelinensis</i> * [72.2%、28823]	—

—:不検出、*アーキア

4. まとめ

日本の煉瓦における劣化への微生物の関与について、アンモニア-硝酸系の窒素循環や硫黄-硫酸系の硫黄循環に関わる微生物の調査を行った。富岡製糸場の粉状化した煉瓦、礎石(砂岩)、猿島砲台跡の粉状化した煉瓦からDNAを抽出し、微生物群集構造解析を行った。この結果、粉状化した煉瓦からアンモニア酸化、亜硝酸酸化、硝酸還元能をそれぞれ持つ細菌およびアーキアが検出され、粉状化した煉瓦の中で窒素循環が成立している可能性のあることが明らかとなった。これは微生物の活動が連続して起こり、窒素の供給が続くことで硝酸塩が蓄積し、劣化が進行する危険性があることを示している。今後は周辺環境の調査を行うことで、窒素源の特定を行い、微生物の関わる煉瓦の劣化の様相を明らかにしていきたい。

謝辞：本研究の一部は、JSPS 科研費 17H01628、21H00619 の助成を受けて行った。筑波大学の深見利佐子氏に助言をいただきました。感謝の意を表します。

注1 アーキア(古細菌)は細菌、真核生物と共に、生物界を3分するドメインのうちの一つである。

【引用文献】

- 1) Meng H, Katayama Y, Gu JD, 2017: More wide occurrence and dominance of ammonia-oxidizing archaea than bacteria at three Angkor sandstone temples of Bayon, Phnom Krom and Wat Athvea in Cambodia. *Int. Biodeter. Biodeg.*, 117, 78-88.
- 2) 深見利佐子 他, 2018: 猿島砲台跡における明治期の煉瓦造弾薬庫内の劣化と環境の研究. 日本文化財科学会第35回大会発表要旨集, 256-257

トレハロースを用いた漆塗膜を保持した処理法の試み

The study of lacquer films retention using Trehalose

○片多 雅樹(長崎県埋蔵文化財センター)、伊藤 幸司(一般財団法人大阪市文化財協会)

○KATATA Masaki (Nagasaki Prefecture Archaeological Center),

ITO Kouji (Osaka City Cultural Properties Association)

1. はじめに

遺跡から出土した漆塗り木製品の保存処理では、木胎の保存処理だけでなく漆塗膜をいかに保持した状態で処理するかが課題となる。PEG 含浸処理法では長期間加熱することで塗膜の遊離やカールすることが問題となっていたため、常温で PEG を含浸した後、真空凍結乾燥を施す方法や、比較的短期間の加熱で処理できる糖アルコールを用いた処理法など、多くの処理事例が報告されている。

伊藤はトレハロース含浸処理法を用いて漆塗り木製品の保存処理を実施する際に、50%Bx[50℃]を含浸し、固化の直前に高濃度 70%Bx[80℃]にディッピングする方法や、塗膜がカールしてしまった資料に対してハンダ鏝を用いて漆塗膜を軟化させ木胎に接着する手法などを採用してきた。

片多はトレハロース固化の工程に着目し、含浸後、漆膜が柔軟なうちにペーパーウエスを表打ちし固化する手法を試みたところ良好な結果が得られたため、その有効性を検証したので結果を報告する。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

2. 表打ち手法(作業工程)

- ① 資料をトレハロース水溶液に浸漬する。初期濃度 20%Bx から開始し 50℃設定の恒温乾燥庫内で含浸した。
- ② 50%Bx 程度まで含浸した資料を漆塗膜が柔軟なうちにペーパーウエス(キムワイプ S-200: 日本製紙クレシア社製)で表打ちし、塗膜を木胎に圧着させた状態で風冷しながら固化した。
- ③ 表面処理は、表打ちの上からスチームクリーナー(SC4 プレミアム: KAERCHER 社製)で表面の固化物を取り除き乾燥後、ハンダ除去用熱風装置(リワークステーション: HAKKO 社製)を用いてペーパーウエスを部分的に取り除いた。



含浸中に塗膜がカールした漆椀片



カールした個所を木胎に圧着させるようにペーパーウエスで表打ち



表打ちした状態で固化

3. 表打ちやディッピングの有無との検証

ペーパーウエスによる表打ちの有無、及びディッピングの有無による差異を検証する目的で、長崎奉行所跡（江戸時代）から出土した漆塗り木製品 25 点（板材 17 点及び漆碗の破片 8 点）に対して、いずれも最終濃度を 50%Bx[50℃]まで含浸した後、以下の 4 パターンで固化を実施し比較した。

- ①含浸後、固化
- ②含浸後、表打ちして固化
- ③70%Bx[80℃]にディッピング後、固化
- ④70%Bx[80℃]ディッピング後、表打ちして固化

結果、①～④パターンで固化した漆塗り木製品のほとんどは、塗膜がカールしたり遊離するようなことはなかった。ただし、ディッピングを施さなかった①・②に関しては、③・④に比べて固化するまでに時間を要した。

表面処理の詳細はポスターにて報告する。

4. まとめ

今回、トレハロース含浸処理法において、ペーパーウエスで表打ちする方法を行なった結果、塗膜を保持した状態で処理することができた。ディッピング法においても同様の結果が得られたが、一度に多くの資料に対して作業を施す際は、表打ちを行なうことで時間を短縮することが見込める。

展示等に供する予定のない資料は表面処理を行わず、固化物がついたまま保管することにより安定した状態が保たれる。漆塗り木製品の小破片などは、表打ちした状態のままにすれば、更に安全性が高い。

ただし、表打ちするということはそれを剥がす際にリスクが生じるため、漆塗り木製品全てに適用するのではなく、塗膜の破損が激しい資料など従来のディッピング法では不安を感じる資料の処理制度をあげるために用いるとよいだろう。

（参考文献）

伊藤幸司2020『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



ペーパーウエスの上からスチームクリーナーで表面の固化物を除去



乾燥後、ハンダ除去用熱風装置で部分的にペーパーウエスをはがしていく

神奈川県大日野原遺跡における縄文中・後期の昆虫及び種子圧痕

Insects and seed impressions in pottery of the middle and late Jomon period at the obino[^]para site in Kanagawa prefecture

○小林謙一(中央大学)、西本志保子(同左)、金子悠人(石岡市教育委員会)、佐々木由香(金沢大学)、山本華(株式会社パレオ・ラボ)

○Kennichi Kobayashi, Shihoko Nishimoto (Chuo University), Yuto Kaneko (Ishioka City board of education), Yuka Sasaki (Kanazawa University), Hana Yamamoto (Paleo Labo Co., Ltd.)

縄文時代中期から後期前葉の植物利用の実態を探るために、2012～2016 年度中央大学で発掘調査を実施した(中央大学文学部考古学研究室 2020)、神奈川県相模原市大日野原遺跡の土器資料に対して圧痕調査をおこなった。

1. 資料と方法

今回の対象資料は第 4 調査発掘土器資料及び表採土器資料を合わせた 7486 点である。圧痕採取の手順は、先ず目視で土器を観察し、種実圧痕の可能性がある土器について、窪みを筆で洗浄し泥などを丁寧に取り除く。次にパラロイド B72 の 9%アセトン溶液で作った離型剤を圧痕とその周辺に塗布する。その後、圧痕にシリコン樹脂(JM シリコン インジェクションタイプ)を充填して、乾かし、レプリカを作製する。レプリカ作製後に、圧痕に塗布した離型剤をアセトンで除去しておく。作製したレプリカは実体顕微鏡で観察し、種実の可能性のあるレプリカについて、走査型電子顕微鏡(KEYENCE 社製 VHX-D500/D510)を用いて写真を撮影した。

2. 結果

同定できたのは、縄文時代後期前葉の堀之内 1 式期の土器から甲虫のコクゾウムシ 1 点、植物由来の圧痕としては、中期中葉の勝坂 1(猪沢)期の土器から草本植物のササゲ属アズキ亜種種子 1 点、堀之内 2 式期の土器からダイズ属?種子 1 点であった。

3. 考察

コクゾウムシは、小畑弘己氏の調査によれば九州では検出例が多い家屋害虫である。関東ではここ数年の圧痕調査の普及によって報告例が増えて、千葉県千葉市加曽利貝塚(未報告のため詳細不明)(小畑 2018)、船橋市取掛西貝塚(早期前葉)1 点(佐々木・山本 2021)、埼玉県春日部市犬塚貝塚(前期中葉)1 点(山本ほか 2018)、東京都清瀬市野塩外山遺跡(中期)2 点(山本・佐々木 2020)、下野谷遺跡 1 点の検出例があり(西東京市教育委員会 2019)に、大日野原遺跡の後期前葉 1 点が増えることになる。北関東では今のところ検出例がない。コクゾウムシが発見される遺跡は、定住性の高い大きな集落であると指摘されている(小畑 2016)。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

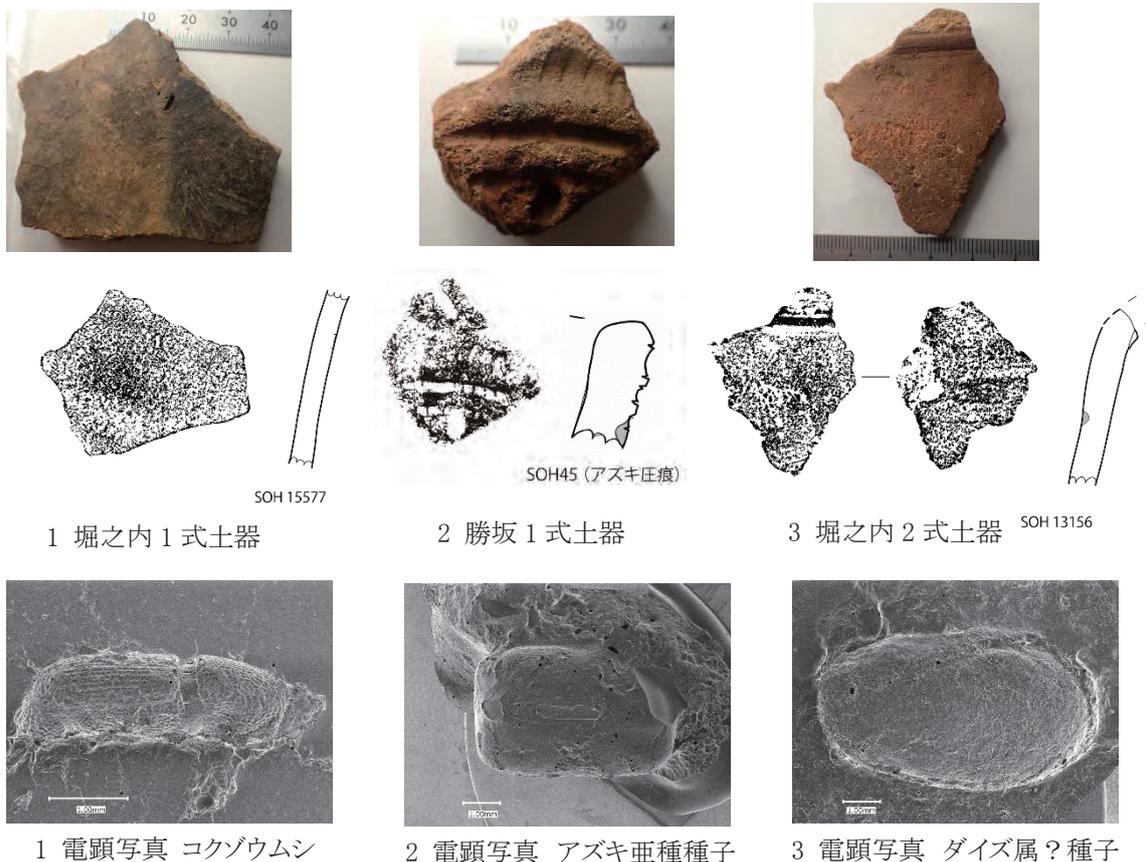
保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

縄文時代のアズキ亜属種子圧痕は、最古のものは長野県北相木村栃原岩陰遺跡の縄文時代早期表裏縄文系土器期のものであるが(佐々木 2020)、アズキが栽培化するのは中期中葉勝坂 2(藤内)期以降とされている(中山 2020)。相模原市田名塩田遺跡の勝坂 1(貉沢)期のアズキ(中山・佐野 2015)と併せて、大日野原遺跡の事例も今後検討していく必要があるだろう。



本報告は、科学研究費基盤研究(B)(18H00744)、学術変革領域研究(A)(20H05814)の成果による。

引用文献

- 中山誠二・佐野隆 2015「ツルマメを混入した縄文土器—相模原市勝坂遺跡等の種子圧痕—」『山梨県立博物館研究紀要』9 集
- 小畑弘己 2016『タネをまく縄文人—最新科学が覆す農耕の期限—』吉川弘文館
- 小畑弘己 2018『昆虫考古学』角川選書
- 山本華ほか 2018「埼玉県犬塚遺跡の種実圧痕から見た縄文時代前期の利用植物」『古代』第 142 号早稲田大学考古学会
- 西東京市教育委員会 2019『土器圧痕分析から知る下野谷遺跡の植物利用』
- 中央大学文学部考古学研究室 2020『大日野原遺跡—第 4 次発掘調査—』中央大学文学部考古学研究室調査報告書 5
- 佐々木由香 2020「栃原岩陰遺跡における縄文時代早期の植物資源利用」『北相木村考古博物館研究紀要』第 1 号
- 山本華・佐々木由香 2020「レプリカ法による土器圧痕の同定」『縄文時代未報告資料および縄文土器圧痕調査報告』清瀬市史資料報告 2 清瀬市史編さん専門部会
- 佐々木由香・山本華 2021「レプリカ法による土器圧痕の同定」『取掛西貝塚総括報告書—東京湾東岸部最古の貝塚—』船橋市教育委員会

三次元計測データで比較する同紋瓦と同範瓦 —東大寺式軒丸瓦の検討—

Did they share the pattern or the mold? 3D measurement investigation on Todaiji type eave-end roof tiles

○中村亜希子（奈良文化財研究所）、今井晃樹（同左）、林正憲（同左）、岩永玲（同左）

○Akiko NAKAMURA, Kouki IMAI, Masanori HAYASHI, Rei IWANAGA

(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

軒瓦の研究において紋様構造が類似する瓦は「同紋瓦」とされるが、その中でも同じ型（瓦範）を用いて施紋した瓦は「同範瓦」と呼称され厳密に区別される。従来、同範瓦は主に目視観察によって識別され、範の使用に従い生じた共通する傷の痕跡（範傷）の存在等が同範瓦の根拠とされてきた。

本研究は、「東大寺式（6235 型式）」と呼ばれる一群の軒丸瓦について、同紋瓦および同範瓦の三次元計測データによる比較検討を通して、「同紋異範」の軒瓦の生産背景を明らかにすることを目的とする。6235 型式の同紋瓦の中には紋様の平面分布が類似するものの、断面形態が異なる一群の瓦が存在することは以前報告したが（中村・林 2018 「同範瓦」と「異範瓦」—東大寺式軒瓦の三次元計測と検討—『奈良文化財研究所紀要 2018』）。今回は、計測資料を増やし分析手法を洗練させることで、この同紋異範瓦の作出背景を検討する。

2. 三次元計測の手法

三次元計測には SfM-MVS（Structure from Motion and Multi-View Stereo）の手法を用いた。写真はカメラ OM-D E-M1 Mark II（オリンパス社）に、マクロレンズ（30 mm/F3.5、一部 30 mm/F2.8）をつけ、絞りを 10 もしくは 11 に固定して撮影した。計測は紋様面のみとし、完形瓦当 1 点につき 80 枚程度の写真を撮影した。画像サイズは 5,184×3,888pixel で、RAW から TIFF に現像して解析に使用した。

解析ソフトは Metashape professional Windows 64bit 版 ver.1.7（Agisoft 社）である。「最高」で写真のアラインメントをおこない、2 枚の画像から生成されたタイポイントは削除した。高密度クラウド生成も「最高」とし、信頼度がおよそ 2 以下の点群はフィルタリングで削除、残った高密度点群をソースデータとして、「高」のメッシュ構築をおこなった。テクスチャーサイズは 4,096pixel である。物理ターゲットをもとに入れたスケールバーのトータルエラーは、ほとんどのモデルで 0.0002m 未満である。生成したメッシュデータは.obj 形式で書き出した。

3. 三次元データによる紋様の復元と解釈

メッシュデータの比較には、ソフト CloudCompare（ver.2.11）の位置合わせ機能（Aligns two clouds by picking（at least 4）equivalent point pairs）を用いた。図 1 に示したもののうち 6235A

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

は3次元モデル1点の画像であるが、6235MとJ、6234Aは複数のモデルを接合した復元図であり、彫り直しの段階が異なる部分は淡色で表示している。いずれも、中央の3つの蓮子と外区の珠紋、2つの複弁の中央のくびれを通る線（基準線）が確認され、図からも平面的な紋様構成が極めて近いことがわかる。作範する際に同じ紋様下図を用いた可能性が極めて高いと考える。

4. 瓦範の劣化と彫り直しの特徴

なお、6235A・M・6234Aの範は彫り直しながら使用したことが、先学により指摘あるいは推測されていたが、複数の三次元モデルを、範の劣化の状態が近いものから順に位置合わせすることによって、範の劣化と彫り直しの過程を復元・提示した。図2では6235Aの変遷を示すが、第2段階では蓮弁と間弁の輪郭をつなげて彫り直し、第3段階ではさらに同じ部分を彫り直すとともに、蓮子や珠紋も彫り広げる。段階が進むごとに範傷が顕著になるが、その方向には規則性があり、瓦範の素材である板材の木目等に起因すると考えられる。

6. 小結

同範瓦および同紋異範の瓦の三次元計測データを比較・検討することによって、紋様下図を共有する複数の瓦範の存在が明らかになった。この同紋異範瓦の研究は、紋様の型式学的研究というマクロな瓦研究と、範傷の進行具合の検討というミクロな瓦研究の間隙を埋める新たな瓦研究の手法になり得る可能性があると考えられる。

*本研究は科研費（19H01355 研究代表者：林正憲）の研究成果の一部である。

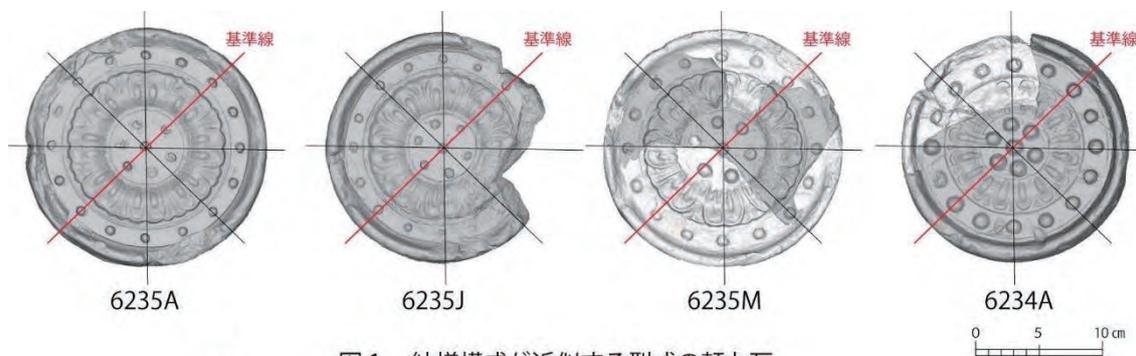


図1 紋様構成が近似する型式の軒丸瓦

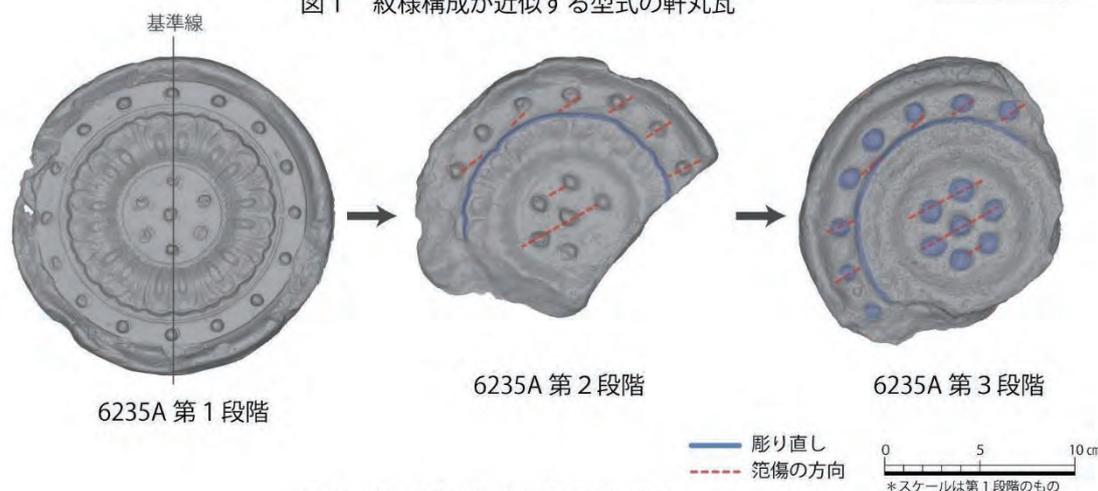


図2 軒丸瓦の範の劣化と彫り直し

数値制御工作機械を用いた彫金文様の再現

—毛彫り微小加工サイクルを有する特殊ツールの試作—

Reproduction of chasing patterns with a numerically controlled machine tool — Prototype of a special tool to realize micro machining cycle operation simulating “KEBORI” —

○小川圭二（龍谷大学）、本田尚義（同左）、河嶋壽一（同左）

○Keiji OGAWA, Hisayoshi HONDA, Hisakazu KAWASHIMA (Ryukoku University)

1. はじめに

彫金とは、鑿（たがね）を用いて銅板などに精細な文様を彫る日本の伝統工芸の一つである。彫金技法として毛彫りや蹴り彫りなどがあるが、本研究で対象としている毛彫りは、一筆書きのような滑らかな線を彫る技法である。彫金文様の創製は、彫金師による匠の技によって具現化されるが、その技の継承が困難になってきているのが現状である。そこで、著者らは数値制御工作機械を用いた強制切込みによる機械加工に着目し、まずは非回転工具と6軸制御加工の必要性や有効性について検討した⁽¹⁾。そして、非回転工具として旋削加工用のインサートチップを用いた直線や円といった単純形状の溝加工試験に加えて、実際の彫金文様の再現を試みた結果、再現精度は高いものの加工溝部にバリが発生し、文様としての風合いを損ねることが課題として顕在化した⁽²⁾。そこでバリ抑制を目的とした新型工具を提案し、実際に設計製作して加工試験を行うことで、その効果を単一の直線や円で検証した⁽³⁾。さらに、彫金師には創製困難であるが、数値制御工作機械が得意とする幾何学文様の加工を試み、その優位性を見出すに至った⁽⁴⁾。しかしながら、文様溝表面の再現性をさらに高めるには、加工面の色艶や光沢、彫金師の工具捌きもたらす文様溝の微細な断続毛彫り面にも注目する必要があると考えられた。そこで新たに工具刃先の進行方向への切削速度を向上させ、彫金師の工具捌きを模した断続加工面の再現をも実現する微小加工サイクル機能を有する毛彫り特殊ツールの開発することにして、その機構を考案した⁽⁵⁾。本報では、特殊ツールの試作状況について報告する。

2. 特殊ツールの設計と試作

彫金師が創製した毛彫り面を詳細観察した結果、著者らが開発した毛彫り特殊工具⁽³⁾による機械加工では、加工時の送り速度が一定であるため加工溝側面の色艶や光沢など煌めきが不足していた。また、実際の彫金師の工具捌きを分析した結果、鑿を打ち付ける際に、金槌と持ち手により毛彫り方向を刻一刻と変化させながら彫る断続彫刻が特徴であることが判明した。すなわち、再現性向上へ方策として、工具刃先の進行方向への切削速度の向上と断続切削の実現を両立

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

することが有効と考えられた。しかしながら、これを数値制御工作機械の軸制御で実現することは困難であるため、軸制御動作とは独立させて、切込・前進・退避・復帰の微小な高速加工サイクルを実現することにした。そこで先行研究⁽⁶⁾の蹴り彫り用空圧工具で使用した空圧ピンシリンダを毛彫りでも同様に彫金の金槌の代用として利用することにして、工具軸方向のピストン運動から工具進行方向への微小加工サイクルに変換する特殊ツールを考案した⁽⁵⁾。

図1は、毛彫り微小サイクルを実現するための特殊ツールの構造を示す。図に示すように数値制御工作機械（マシニングセンタ）の主軸に装着する工具ホルダの内部に空圧ピンシリンダを組み込み、排吸気による空気圧変化によってシリンダピンを工具軸方向に上下運動させる機構になっている。シリンダピン下降時には上下スライドブロックが左右スライドブロックを移動させ、その後工具を保持した前後スライドブロックが前方に押し出される。これに伴って前方に移動した工具は、左右スライドブロックの下端の微小加工サイクル形状を有するガイドに従って、工具先端が微小加工サイクル動作を行う仕組みとなっている。シリンダピン上昇時には、左右スライドブロックの工具ガイドが外れ、前後スライドブロックとともに工具が復帰する仕組みとなっている。図2は、実際に試作した特殊ツールの外観を示す。設計通りに特殊ツールが製作できていることが確認された。

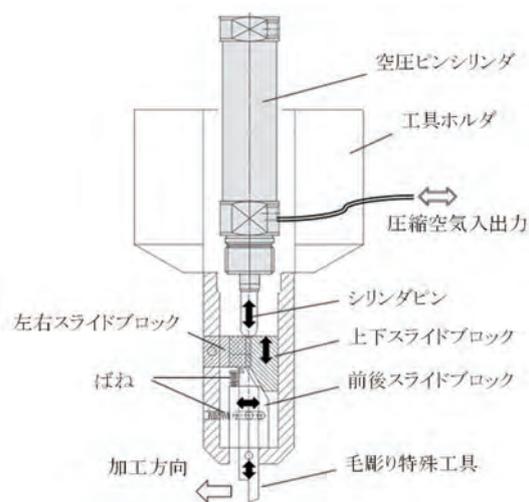


図1 特殊ツールの内部構造

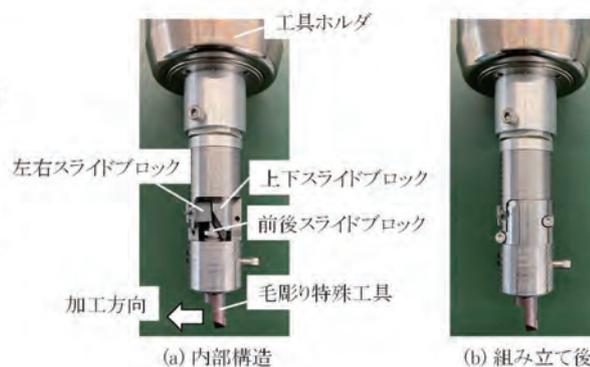


図2 試作した特殊ツールの外観

3. まとめ

毛彫り特殊工具を効果的に用いつつ彫金溝品位を向上させるために、彫金師が創製した彫金面の詳細観察と彫金師の工具捌きの分析の結果をもとに提案した特殊ツールの試作ができた。

参考文献

- (1) 本田ほか (2017)、日本機械学会講演論文集 NO. 174-1、pp. 89-92.
- (2) 山田ほか (2018)、日本機械学会機械材料・材料加工部門講演会講演論文集、801、pp. 1-5.
- (3) 小川ほか (2019)、日本文化財科学会第36回大会研究発表要旨集、pp. 280-281.
- (4) 小川ほか (2020)、日本文化財科学会第37回大会研究発表要旨集、pp. 134-135.
- (5) 本田ほか (2020)、日本機械学会 2020年度年次大会講演論文集 NO. 20-1、S04202、pp. 1-5.
- (6) 本田ほか (2019)、日本機械学会 2019年度年次大会講演論文集 NO. 19-1、S04105、pp. 1-5.

蛍光 X 線分析による泥に覆われたキトラ古墳壁画の調査

Investigation of the Wall Paintings of Kitora Tumulus by X-ray Fluorescence Analysis

○犬塚将英（東京文化財研究所）、早川典子（同左）、紀芝蓮（同左）、中田愛乃（奈良文化財研究所）、亀井亮子（国宝装演師連盟）、辻本与志一（奈良文化財研究所）、早川泰弘（東京文化財研究所）、高妻洋成（奈良文化財研究所）、宇田川滋正（文化庁）、森井順之（同左）

○Masahide INUZUKA, Noriko HAYAKAWA, Chih lien CHI, Yasuhiro HAYAKAWA (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Akino NAKADA, Yoshikazu TSUJIMOTO, Yousei KOHDZUMA (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Ryoko KAMEI (The Association for Conservation of National Treasure), Shigemasa UDAGAWA, Masayuki MORII (Agency for Cultural Affairs, Government of Japan)

1. はじめに

キトラ古墳壁画は漆喰下地層の上に描かれており、各側壁の中央に描かれた四神、各側壁に三体ずつ描かれた獣頭人身の十二支、天井に描かれた天文図、日像、月像から構成される。十二支のうち、子・丑・寅・午・戌・亥の六体の像は存在を確認することができる。しかし、卯・未・酉に該当する箇所は漆喰ごと完全に失われており、残りの辰・巳・申に関しては、該当する箇所の表面が泥に覆われている。

辰・巳・申の図像の存在を確認するために、X線透過撮影による調査を行ったところ、辰に関しては何らかの図像が描かれているように見えるX線透過画像が得られたものの、多くの課題が残された¹⁾。そこで本研究では、非破壊・非接触な調査手法として蛍光 X 線分析を選択し、辰・申が残存している可能性のある壁画片についての分析調査を実施した²⁾。ここでは、十二支像を描くために彩色材料として辰砂が使用されていると想定し、Hgの検出量の分布に関する調査結果を報告する。

2. 調査方法

辰と申が描かれている可能性のある壁画片について、図像が描かれていると推定される位置を中心に、縦横 2cm 間隔で分析箇所を設定した（図 1）。BRUKER 社製ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置（Tracer5i）を用いて、以下の条件で分析を実施した。

- ・管電圧・管電流：40 kV・20 μ A
- ・X線照射径： ϕ 8 mm
- ・測定時間：120 秒
- ・測定ヘッドー壁画間距離：約 5 mm

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

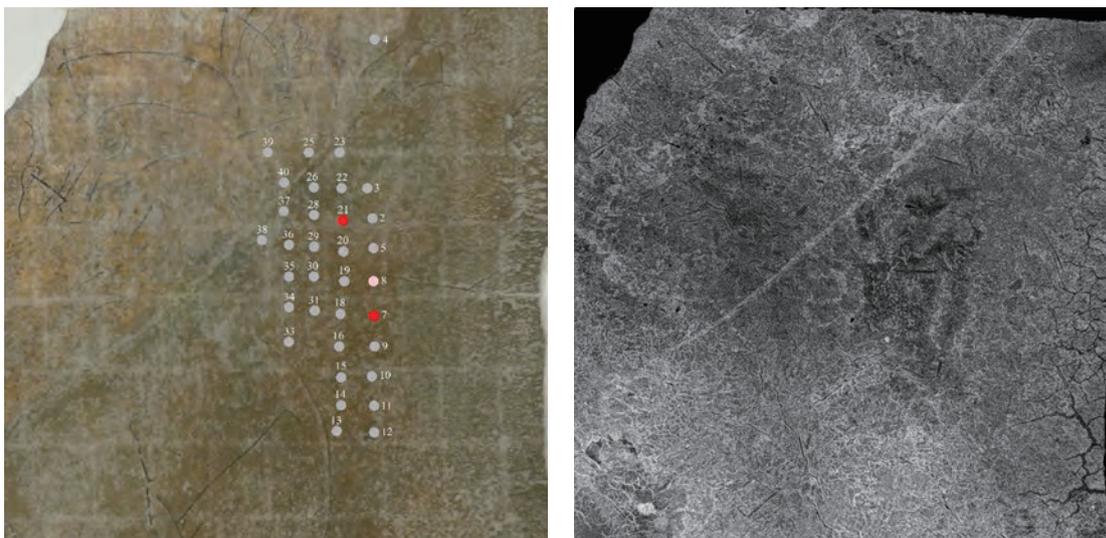


図1 信号強度の分布と X 線透過画像

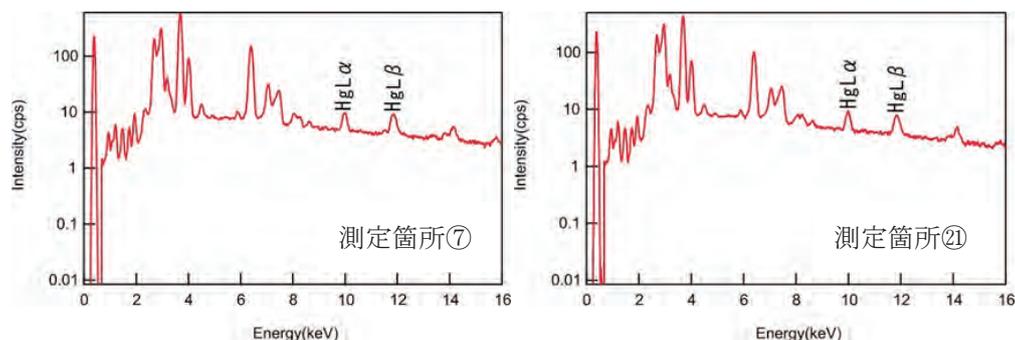


図2 Hg が検出された箇所における蛍光 X 線スペクトルの例

3. 調査結果

ここでは、紙面の都合上、辰に関する調査結果のみを紹介する。図2に、Hgが検出された箇所における蛍光X線スペクトルの例を示す。これらのスペクトルからバックグラウンドを考慮し、Hgの信号強度を算出した。このようにして得られた信号強度の大きさに応じて色分けをして、図1中に示す。Hgに帰属する強い信号が2ヶ所で検出された。申に関しては、辰の2ヶ所と同レベルの信号強度を示す箇所は無かったが、Hgが検出された箇所は辰よりも広く分布していた。

以上のように、これらの壁画片からHgが検出されたことにより、辰・申の図像の残存の可能性が示された。今後、巳についても同様の調査を実施する予定である。

参考文献

- 1) 犬塚将英、早川典子、大場詩野子、早川泰弘、高妻洋成：X線透過撮影による泥に覆われたキトラ古墳壁画の調査、保存科学、59、103-114（2020）
- 2) 古墳壁画の保存活用に関する検討会（第28回）資料4-3、文化庁（2021）

永安寺東古墳保護石室における微生物について

Microbe in the eianji-higashi burial mound protection room

○石松 直 (玉名市教育委員会) 日吉 章 (玉名市健康福祉部)

○ISHIMATSU Tadashi (Tamana City Board of Education) HIYOSHI Akira (Tamana City Health and Welfare Department)

1. はじめに

永安寺東古墳は玉名市永安寺に存在する装飾古墳である。平成 28 年に発生した地震では、石室の石材の剥離や墳丘の亀裂などの損傷が確認された。災害復旧作業中、保護石室内において白い物質を確認したので、2020 年 8 月に培養と単離作業を行った (採取地点 1)。11 月には白い物質やくもの巣状の様なものを確認して (採取地点 1 と 3)、これがカビと仮定して遺伝子分析を行った。12 月頃に採取地点 2 で白い物質が確認されたため、これについても調査を行った。

2. 永安寺東古墳の環境

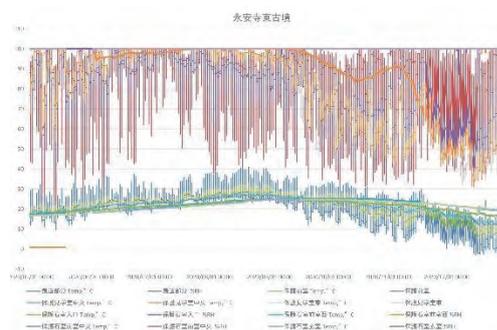
永安寺東古墳の環境は Onset 社の温湿度計 U-23 によって記録され、設置場所は古墳の外羨道部に 1 台・保護前室に 1 台、保護見学室に 2 台、保護石室に 4 台の合計 8 台設置している。白い物質が発生する 5 月から 12 月までのグラフを抽出して記録している (図 1) (表 1)。

3. 培養サンプル採取・生育菌観察

採取地点 1 のサンプルは、火炎滅菌した針金を用いてポテトデキストロース寒天培地に 2 回試料を採取し、永安寺古墳見学室内において容器に入れ培養(RT.20-25°C)を行った。数日間温湿度計で管理されている環境において観察し単離作業を実施した。作業実施には、ガス器具による対流を利用して 80%エタノールで噴霧して周辺を除菌し、ポテトデキストロース寒天培地に他の菌が付着しないように注意を行いながら作業を実施している。



(図 1) 微生物採取地点図



(表 1) 温湿度グラフ

4. 解析結果

菌種を特定するために、微生物を 18S rRNA と 5.8S rRNA 間のスペーサー領域 (ITS1) のシーケンスを行い、遺伝子解析を実施し、保護石室内より採取した菌は 204bp が解析でき、その結果、土壌生息性糸状菌である *Fusarium oxysporum* と 100%一致した。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

5. 新しい調査

令和2年11月19日に東京文化財研究所の佐藤嘉則生物科学研究室長が来市され、エアースンプラー及びパーティクルカウンターを用いた微生物の採取を行った（採取地点1と3）。更に12月29日には採取地点2からカビの培養を行わず直接DNAを採取し、東京文化財研究所にて解析を実施した。

調査結果のデータからは以下のとおり、出現率の高いものを数値順で表すことができた。まず11月の調査であるが、場所は調査地点1と3である。保護前室（調査地点1）では、カビは *Penicillium levitum*26.0%、*Fusarium solani*19.0%、*Fusarium pseudensforme*16.7%、*Gibberella fujikuroi*16.8%で、その他は1.3%から6.0%で、出現率1.3%以下その他に分類されるものは10.7%であった。これに対しバクテリアでは *Frankia alni*19.2%、*Anycolatopsis vastitatis*14.0%である。そのほかの出現率は2.0%から3.5%で、2.0%以下その他に分類ものが40.5%であった。保護玄室（調査地点3）においてカビは *Simplicillium sp*54.8%、*Lecanicillium saksenae*19.5%でその他は0.8%から7.7%であり、0.8%以下その他に分類が4.8%であった。バクテリアは *Paraburkholoderia susongensis*92.9%、*Burkholderia lata*5.2%、その他は0.1%から0.4%で0.1%以下に分類されるものは0.6%であった。

12月の調査で採取された保護前室（調査地点2）では以下の通りであった。*Leptobacillum symbioticum*69.1%、*Capronia coroata*15.1%、その他が0.1%から7.7%であり、0.1%以下その他に分類されるものが2.0%の構成であった。バクテリアは *Leptobacillum symbiotium*92.9%、その他が0.1%から1.9%であり、0.1%以下その他に分類されるものが1.1%であった。

まとめ

今回の調査では、普段疑問に思っていた永安寺東古墳の保護石室内における白い微生物が、*Fusarium oxysporum* であることがわかった。

新しい調査において微生物の種類が複数存在することが確認できた。興味深いことは同日採取されたものであるが、保護前室部分と保護玄室部分では構成される微生物は異なっていることがわかった。一方12月に採取されたものはあまり構成比が変化していない。これは同時期に近くで発生しているため、どちらか一方から分かれて成長したものと考えられる。

〈謝 辞〉

永安寺東古墳の微生物の解析データにつきましては、東京文化財研究所生物科学研究室長の佐藤嘉則氏から資料の提供を受けました。さらにお忙しい中ご相談いただきまして大変恐縮いたします。ここで厚くお礼を申し上げます。

温湿度データに関しましては、熊本県立装飾古墳館並びに国立文化財機構奈良文化財研究所から温湿度計の設置を含めた多大の支援をいただいております。ここで厚くお礼申しあげます。

永安寺東古墳の温湿度計グラフ作成については、緒方麻依子氏にご尽力いただきました。ここで改めて感謝いたします。

古代社会ネットワークの数値解析と COVID19 研究への応用

Study of network in ancient society and its application to COVID19

○石黒勝己(*,**) 長縄直崇* 西藤清秀** (*名古屋大学 F 研究室 **奈良県立橿原考古学研究所)

○Katsumi Ishiguro, Kiyohide Saito, Naotaka Naganawa

1. 目的

考古学において古代社会における各集落、都市間コミュニケーションの評価は重要な課題であるが定量的な評価方法は確立されていない。一方で複数の古代集落間で出土した類似土器等のグループ分け研究はしばしば行われている。そのため今回、このようなデータをもとに集落間の関係を定量化する研究を行い、その量のランキング付け等をした。また、当研究は 2020 年初頭からの新型コロナウイルス感染症流行期間中に行われた。本研究の研究材料である土器出土量を現代の感染症発生件数に置き換えて考えれば現代の感染症研究にもなることは容易に想像されることであり、行われるべきであると考えたためその成果も最後にまとめた。

2. 手法、内容

共通の出土土器量の和(正確には今回は割合の和を用いた)が大きな集落同士はなんらかの関係があると定義する。その仮定のもとで、ある種類の土器の出土量の和が特に高い集落同士を結び付けることができる(閾値モデル)。例として古代九州の集落に関していろいろな土器(図 1 左上)に対してこれを行うことで集落 A~G に関して図 1 左下のような関係図を得た。B から D は直接には結ばれていないが E や F を経由することで結ばれている。各集落ごとの関係の度合いは 2 者間以外を経由する経路も考えて図 1 右上のような相対値を得た(値が小さいほど関係が浅い)。これは集落間の線を電気回路の抵抗であるとして、各集落間の抵抗値を測って逆数をとると数学的に同じ評価をしている。今回は実際に回路を組んで電圧計で抵抗を測ることで数値を得た。同様の評価を古代の東海および東海圏の地域についても行ったのが図 2 である。さらに 2020 年冬期の新型コロナウイルスおよび他の感染症の発生件数を用いて都市間でどのような感染ネットワークを築いてしまっているのかを評価した(図 3)。

3 結果、考察

それぞれのネットワークを以下のように図示できた。さらに各地域(遺跡)ごとの関係の深さの数値を得(値が小さいものほど関係が浅い)、順列化した。今回 3 つのケースで関係の評価を行ったが、古代のネットワークより現代のものの方がハブ化されていて、Fu(福岡)からすべての都市に対して強いルートが形成されている。さらにその他の 2 都市間に関しても迂回路が多いことがわかった。このためランダムにあるルートを除いてもネットワークがこわれにくい難しい構造になっていることが解る。現代の感染症予防の観点から言うと、関係の深い順位にあるものの数値を優先的に下げるようにルートを抑制していくことが政策としてあり得ると考えられる。

ポスター発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

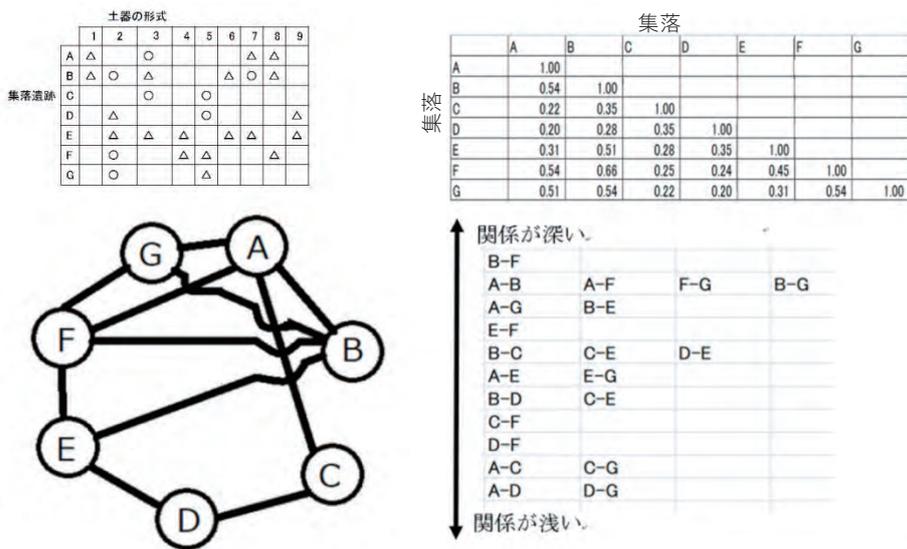
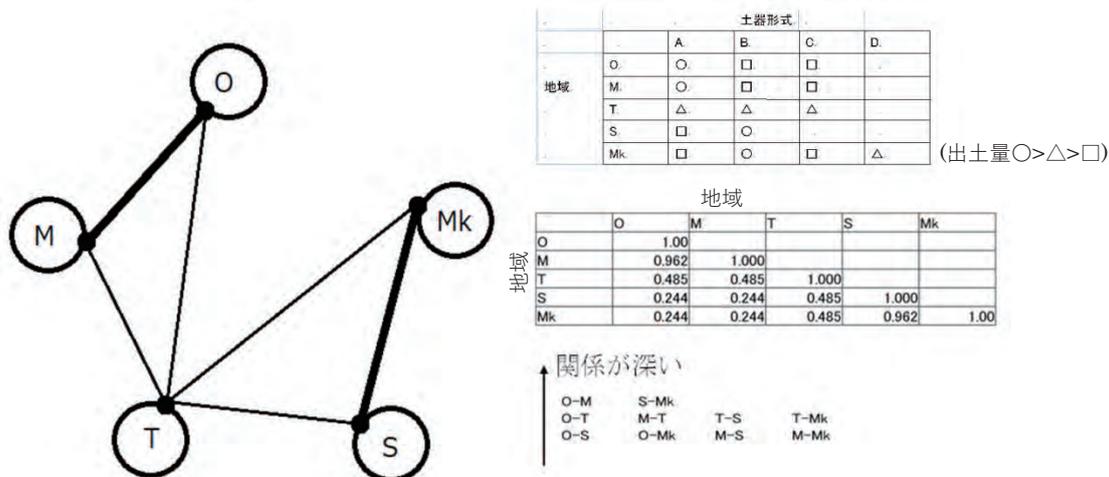


図 1:古代九州集落遺跡のネットワークと関係値(左上:各集落遺跡での類似土器の出土量, 左下:作成したネットワーク図, 右上:集落ごとの関係の強さ, 右下:関係の強さのランキング付け)



*太線は細線よりも強い接続

図 2:古代、東海、東海圏の集落遺跡の場合

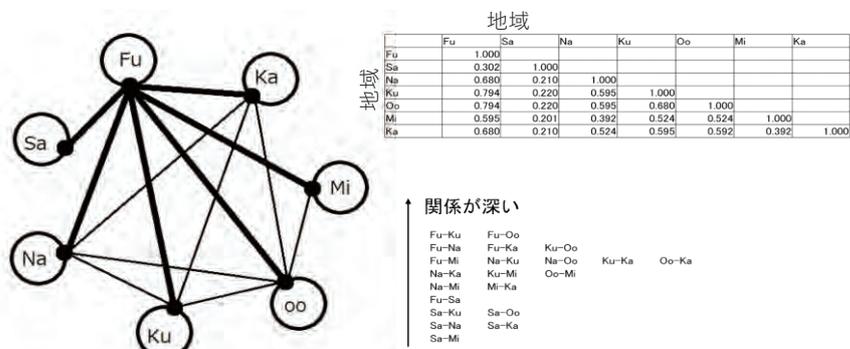


図 3:現代の九州地方の感染症ネットワークの場合

江戸時代の奈良絵本と浮世絵に使用された青色色材

Blue dyes and pigments used in “Nara-ehon” and “Ukiyoe” in the Edo period

成田 陽乃助(龍谷大学), ○藤原 学(同左)

Yohnosuke NARITA, ○Manabu FUJIWARA(Ryukoku Univ.)

1. 緒言

日本絵画の歴史は飛鳥時代の仏画に始まり、室町時代後期から江戸時代前期まで製作された**奈良絵本**など、貴族社会を中心に発展してきた。江戸時代後期から明治時代初期に製作された**浮世絵**の普及により、裕福な庶民が楽しむことができるようになった。絵画における赤色は生命を表す重要な色であり、赤色顔料として鉛丹や辰砂が古代から現代まで使用されている。それに対し、青色はラピスラズリ、藍銅鉱、コバルトブルー、スマルト(奈良絵本での使用を確認)、ペロ藍など短い期間で使用される顔料が次々と入れ替わっている。そこで、本研究では、江戸時代前期に製作された奈良絵本「平家物語」と江戸時代後期に製作された浮世絵の青色彩色部分に着目し、青色顔料の変遷とそれぞれの年代によって青色鉄系顔料の使用の有無を調査し、新たに合成した鉄系顔料との比較を蛍光 X 線分析(XRF)、X 線光電子分光法(XPS)、X 線回折法(XRD)、紫外・可視分光法(UV-vis)を用いて行った。

2. 実験

奈良絵本および浮世絵において青色を中心にそれぞれ特徴的な彩色ポイントを選択し、X 線顕微鏡(HORIBA 製 XGT-2700, X 線源:Rh K α)を用いて点分析と面分析を行った。また、光ファイバー接続反射率測定装置(オーシャンオプティクス製)を用いて彩色された各ポイントの反射スペクトルと吸収スペクトルを測定した。本研究で対象とした奈良絵本断片は、思文閣出版(京都)より購入した。これらは、「平家物語」として作られた冊子本の挿絵断片である。すべての絵は金、銀、赤、青、緑などでかなり華やかに彩色されており、品位はかなり高いと判断できる。題材は「平家物語 忠度都落」で、由来より延宝頃(1673~1681年)に製作されたとされている。浮世絵は原書房

ポスター
発表

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



奈良絵本①



浮世絵①



浮世絵②

Fig. 1 Pieces of “Tadanori miyakoochi, Heike Monogatari” (奈良絵本①), “The Tokaido Upright, Kuwana, from Gojusan tsugi meisho zue” (浮世絵①) and “Shishigashira nikawa no zensei” (浮世絵②).

(東京)より購入した。1855年に製作された「広重 五十三次名所図会 四十三 桑名 七里の渡船」と1872年に製作された「芳幾 獅子王二和賀全盛遊」である。これらの画像をそれぞれ奈良絵本①、浮世絵①、浮世絵②として Fig. 1 に示す。

3. 結果と考察

奈良絵本①の衣装の青色部分、浮世絵①の海の濃青色部分および浮世絵②の獅子王の濃青色と淡青色部分（いずれも Fig. 1 の丸で囲んだポイントでの点分析）の XRF スペクトルを測定した。その結果を Fig. 2 に示す。奈良絵本①では、Cu K α , K β 線によるピークが明瞭に現れているため、銅系顔料である藍銅鉱が使用されていると考えられる。浮世絵①と浮世絵②の濃青色部分では、Fe K α , K β 線によるピークが明瞭に現れた。鉄系顔料のプルシアンブルーが使用されていると考えられる。また、ともに K の K α 線によるピークも確認できた。FP 法を用いた簡易定量ではそれぞれ Fe 43-46%、K 6-8%という結果が得られ、反射スペクトルからも同種であることが確認できた。一方、浮世絵②の淡青色部分は、XRF スペクトルのバックグラウンドが丘状に現れており、重元素が含まれておらず有機物が主成分であることを示唆している。彩色には、染料の藍が使用されていると考えられる。市販のプルシアンブルー (Sigma-Aldrich, Iron(III) ferrocyanide)、Fe(II)および Fe(III)より合成したプルシアンブルーについて同様の分析を行ったところ、浮世絵の青色部分で使用された鉄系顔料は市販のプルシアンブルーと最も類似していたことが明らかとなった。ただし、K の存在については Fe(II)から合成した顔料も考慮する必要があると思われる。今後は、条件(フェロシアン化カリウムまたはフェリシアン化カリウムと Fe(III)または Fe(II)塩の混合比、混合する際の濃度など)を変えて合成した顔料について詳細に検討する予定である。

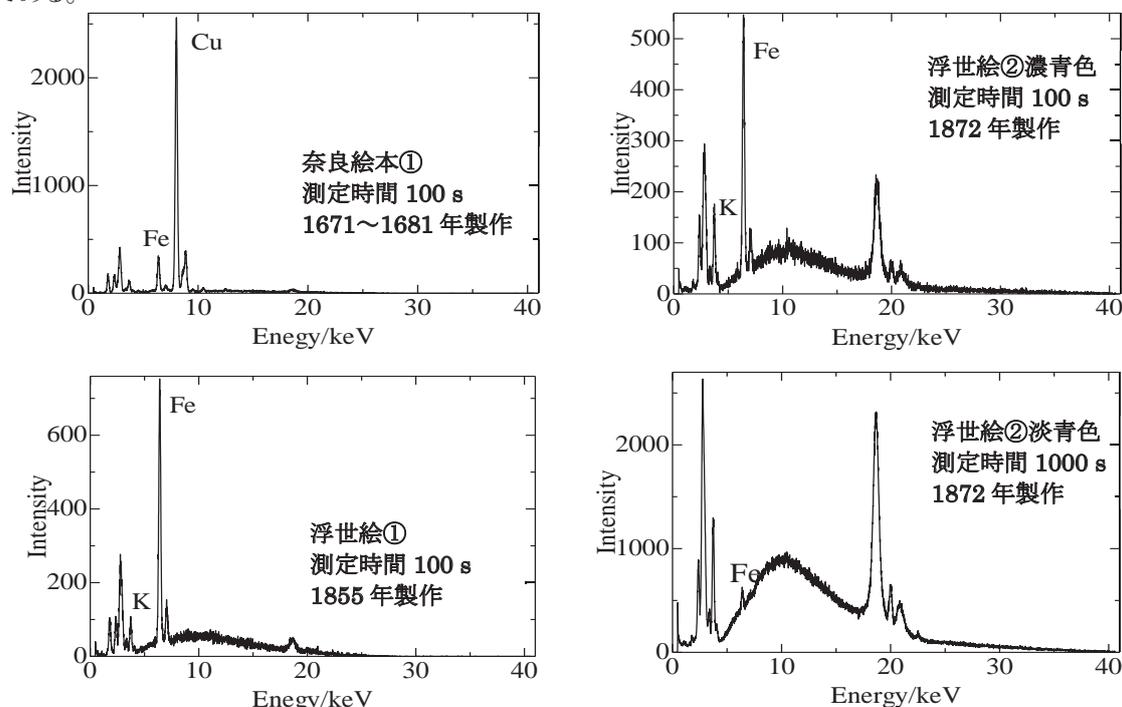


Fig. 2 X-ray fluorescence spectra on the blue-painted parts in “Tadanori miyako-ochi, Heike Monogatari”, “The Tokaido Upright, Kuwana, from Gojusan tsugi meisho zue” and “Shishigashira nikawa no zensei”.

VR を活用した戦争遺跡踏査と参加体験型学習

—鹿児島県を対象として

Fieldwork and workshop of war ruins at Kagoshima using VR

○石田智子（鹿児島大学）、兼城糸絵（同左）、佐藤宏之（同左）

○Tomoko ISHIDA, Itoe KANESHIRO, Hiroyuki SATO (Kagoshima University)

1. はじめに

アジア太平洋戦争から 76 年が経過した現在、失われてゆく戦争の「記憶」の記録・継承・活用は喫緊の課題である。鹿児島県は、特にアジア太平洋戦争末期においては最前線として本土部から島嶼地域に至るまで各種の軍事施設が数多く構築された場所であり、現在も多数の戦争遺跡が非常に良好な状態で残存している。戦争を語る資料として、戦争体験者の証言、歴史資料に基づく戦争記録、デジタルアーカイブの公開・活用が注目されるが、過去と直接対峙できる実物存在としての戦争遺跡はかけがえのないものである。近年は、戦争遺跡の調査研究、整備公開、平和教育・生涯学習などの教育現場や観光での活用も進められている。

しかしながら、戦争遺跡の活用を推進するには課題も多い。鹿児島県の場合、本土部や島嶼地域の広範囲に戦争遺跡が点在しているため、すべてを見て回ることが容易ではない。また、整備公開されている戦争遺跡は見学可能であるが、大半は山間部に所在するためアクセスが困難である。さらに、安全性の問題（未整備、崩落、ハブなど）やコロナ禍の状況を考慮すると、現地を訪れるタイミングが制約される。そこで、地域の歴史・文化や戦争遺跡に関するレクチャーと組み合わせて VR（Virtual Reality）を用いた戦争遺跡を体験する機会を提供することで、戦争遺跡に対する理解や関心を深め、参加体験型の学びにつなげる取り組みを進めている。本発表では、VR 体験で得られた成果と課題を踏まえた今後の展開について報告する。

2. VR 体験の成果と課題

鹿児島大学で実施した VR を用いた戦争遺跡体験イベントの成果を報告する。大隅半島や奄美群島（奄美大島、加計呂麻島、徳之島など）に所在する戦争遺跡や関連する場所の 360 度画像を RICO THETA V で撮影し、遺跡踏査に準じたストーリーを構築して画像を編集した。VR ヘッドマウントディスプレイは Oculus Quest 2 を使用した。体験者はヘッドマウントディスプレイを装着し、コントローラを用いて自由に画像を閲覧した。転倒などの事故防止のため着席形式で実施したが、回転イスのため身体は自由に動かすことができる。安全確認を兼ねてナビゲータが傍に立ち、画像内容や観察ポイント、時代背景などを適宜解説した。体験者が閲覧している画像は PC にミラーリングして会場のスクリーンに投影した。体験後にアンケートを回収した。

ポスター
発表

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



奄美大島の戦争遺跡（西古見の弾薬庫）



VR体験の様子

VR体験の効果として、没入感・臨場感があげられる。対象の戦争遺跡以外にも周囲の風景や植生も自由に観察することができ、解説をリアルタイムで聞くことで自分なりの気付きも得やすい。体験者の所作を観察したところ、左右に首をふって周囲を見回したり、上を仰ぎみたり下をのぞき込んだりするような身体の動きがかなり大きかった。特に、地下壕などの容易に入ることができない屋内の画像は、自分がまさに現地で内部に入っている感覚をもちやすいようである。また、体験者の視点をスクリーンに投影することで、会場内の他者との体験の共有や一体感の醸成につながった。

一方で、視力や目の疲労度には個人差があるため、臨機対応が求められる。ヘッドマウントディスプレイを装着することで自分の居場所を不安定に感じる体験者も存在したため、自然に画像内に入り込めるように撮影画像の目線の高さを工夫して、現実世界とのギャップを減らす意識も必要である。なお、静止画よりも動画が好評であった。風や葉擦れなどの周囲の環境音をあえて記録することで、現地にいる感覚を強化できると思われる。

3. 今後の展開

鹿児島県は、島嶼をはじめとする多様な地域社会における複雑な戦争の実相を探究できる場所である。これからは「戦争を知らない世代」がアジア太平洋戦争の記憶や記録を継承する主体となる。戦争遺跡のVR体験は、現在の自分と地続きの過去として戦争を理解する糸口になるとともに、多様な世代や立場の人が情報を共有する契機にもなる。戦争遺跡に対する考古学研究や文化財保護の推進だけでなく、教育や観光における具体的な活用・展開方法についても引き続き検討する。

本研究は、JSPS 科研費 19K21652 「奄美群島の戦争に関する「記憶」の記録と継承をめぐる学際的研究」、平成 28～令和 1 年度教育研究活動（プロジェクト等）概算要求事項「南九州・南西諸島を舞台とした地域中核人材育成を目指す新人文社会系教育プログラムの構築」および令和 2 年度「世界自然遺産候補地・奄美群島におけるグローバル教育研究拠点の形成」（鹿児島大学法文学部）の助成を受けて行った。

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

Visualization of hyperspectral image color information by light source selective radiance conversion program: Verifying visual information of the reproduced mural painting of Dunhuang Mogao Grottoes

○末森薫 (国立民族学博物館)、川口拓哉 (関西大学)、森田吉嵩 (同左)、安室喜弘 (同左)
○SUEMORI Kaoru (National Museum of Ethnology, Osaka),
KAWAGUCHI Takuya, MORITA Yoshitaka, YASUMURO Yoshihiro (Kansai University)

1. はじめに

人間の目が捉える色の情報は、照射する光の特性により異なる。現在普及している白熱灯、蛍光灯、LED などの人工光源は、それぞれで発光特性が異なり、色温度や演色性もさまざまである。また、人工光源が登場する以前は、太陽光（自然光源）の他、蠟燭、灯明などの燃焼光源が利用され、それらを照らした際の色を元に彩色材料や技法が選択されたと推測される。そこで、光源による色の違いを比較するために、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）に、任意に選択する光源の分光情報を適用して輝度を変換するプログラムを作成し、彩色を再現した敦煌莫高窟の千仏壁画を対象として、光源による色の差異を擬似的に可視化し、同図が有する視覚情報を検証した。

2. 光源選択式輝度変換プログラム

通常、人間は物から反射してきた光を目で感知し、脳で形や色の情報に変換している。原理的には、対象物の反射特性、人間の目の感度特性、そして対象物にあたる光の特性が分かれば、目で捉える色を擬似的に演算できる。そこで、プログラム言語 Python を用いて、1) HSI より算出した分光反射率、2) 人間の目に対応する分光応答度（等色関数）、3) 照射光源の分光スペクトル、の3つのデータを演算する「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 (図1) ¹⁾。このプログラムにより、1nm あるいは 5nm 間隔で三刺激値 (XYZ) を演算し輝度を変換した XYZ 色空間の二次元画像を作成できる。そして、XYZ から RGB に色空間を変換することで、目で捉える色を擬似的に示す二次元画像が得られる。

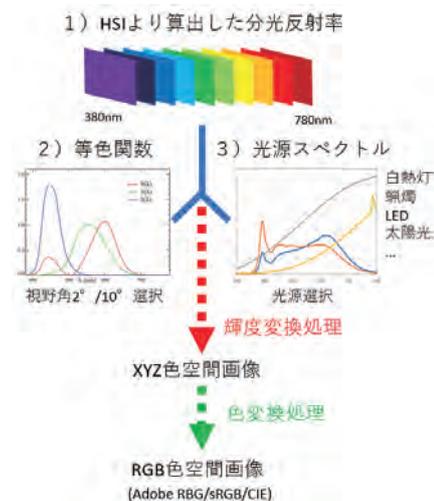


図1 光源選択式輝度変換プログラム模式図

3. 使用データ

HSI の取得には 900 画素のラインセンサーカメラである Pika L (RESONON) を用いた。測定範囲は 385.7nm-1022.76nm、測定間隔は約 2.2nm (波長帯数 281、半値幅約 3.7nm) である。オペレーションをおこなう PC と連動する回転スキャニングステージにカメラを固定し、ハロゲン灯 2 灯を照射して撮影をおこなった。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 ²⁾。視野角および演算波長間隔 (1nm/5nm) は輝度変換の処理時に選択することができる。また、光源のデータとして、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

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

350nm-850nm、入射スリット 10 μ m) を用いて、太陽光 (昼光)、白熱灯、LED、蝋燭などの分光スペクトルを取得した。

4. 再現千仏壁画へのプログラムの適用

中国甘肅省にある敦煌莫高窟には、規則的な配列・配色を有する千仏壁画が描かれている。これまでの研究により、同壁画は窟空間を装飾するとともに、礼拝を導くなど宗教空間を機能させる役割を担っていたことが理解された³⁾。千仏図の彩色は、その役割を具現化する上で重要な要素であるが、物理的な劣化や変退色により、その視覚的特徴は大きく変化している。そこで、彩色材料・技法を再現した千仏図の制作を進めた⁴⁾。図2は、再現壁画の HSI を元データとして、上述のプログラムの視野角 2°、波長間隔 5nm に設定して、太陽光 (5590K/Ra97)、LED (3191K/Ra97.5)、蝋燭 (1954K/Ra99.2) の分光スペクトルを適応したものである。三者を比較すると、蝋燭の分光データを適応した画像は、他の 2 つと画面全体の印象が大きく異なる。特に、赤を基調とする背景 (岱赭+臙脂) や、顔や胸などの肉身部の肌色 (白土+鉛丹) に明確な差異が認められる。暗い窟内では、蝋燭や灯明を頼りに壁画制作や礼拝がおこなわれたことが想定され、空間を照らす光と壁画の彩色は相依相関する関係にあったと考えられる。窟内を照らす光の特性に合わせて、制作材料や技法が意図的に選択された可能性が示唆される。



図2 光源選択式輝度変換プログラムで作成した RGB 画像 (上: 太陽光、中: LED、下: 蝋燭)
*明所視の等色関数に合わせてあり、画像の明るさはすべて同じである。

5. おわりに

光源選択式輝度変換プログラムを用いて、再現千仏壁画の彩色情報を照射光源ごとに擬似的に可視化した。ただし、本プログラムで作成した画像は、明所視の等色関数により演算したものであり、見る環境や照度などは考慮に入れてない。今後は、洞窟の環境を想定した薄明視 (明所視+暗所視) の等色関数を検討するなど、さらなる検証を進めていく必要がある。

〔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。再現壁画は敦煌研究院の協力を得ながら、京都市立芸術大学の正垣雅子氏に作成していただいた。〔註〕1) Spectron Pro に実装されたツール“CIE Colorspace Conversion”を参照した。2) Colour Matching Functions (<http://cvrl.ioo.ucl.ac.uk/cmfs.htm>) に掲載されたデータを用いた。3) 末森薫『敦煌莫高窟と千仏図—規則性がつくる宗教空間』、法蔵館、2020年。4) 末森薫、正垣雅子、高林弘実、張梁、園田直子、日高真吾「敦煌莫高窟に描かれた規則性を備える千仏図の再現」、『文化財保存修復学会第42回大会 研究発表集』pp. 214-219。

トビニタイ文化期における土器を用いた調理について

Cooking pods in the tobinitai culture

○村本周三（北海道教育庁）、宮内信雄（東京大学総合研究博物館）、堀内晶子（国際基督教大学）、吉田邦夫（東京大学総合研究博物館）、宮田佳樹（同左）

○Shuzo MURAMOTO (Hokkaido Office of Education), Nobuo MIYAUCHI (The University Museum, The University of Tokyo), Akiko HORIUCHI (International Christian University), Kunio Yoshida, Yoshiaki MIYATA (The University Museum, The University of Tokyo)

1. はじめに

トビニタイ文化（10～13世紀）は、サハリンから南下し道北・道東地域沿岸にかけて展開したオホーツク文化（5～9世紀）が、本州の土師器文化の影響を受けて道央・道南地域で成立した擦文文化（7世紀～13世紀）の影響を強く受け、同化する途上にある文化と評価されている。

本発表では、トビニタイ土器と、それと共伴する擦文土器を土器残存脂質分析し、先行するオホーツク文化の土器と比較することで、トビニタイ文化における土器調理の特徴を検討した。

2. 試料の概要

試料は古道第6遺跡、伊茶仁ふ化場第1竪穴群遺跡、伊茶仁カリカリウス竪穴群遺跡、チャシコツ岬下B遺跡、ウトロ遺跡、須藤遺跡出土のトビニタイ1・2・4式土器（榊田 2016）及び同一遺構出土の擦文土器の内面から採取したカサブタ状の炭化物である。HDSR37と46、HDSR49と60、HDSR45と48、HDST6と17が同一遺構から出土したトビニタイ土器と擦文土器から採取した試料である。

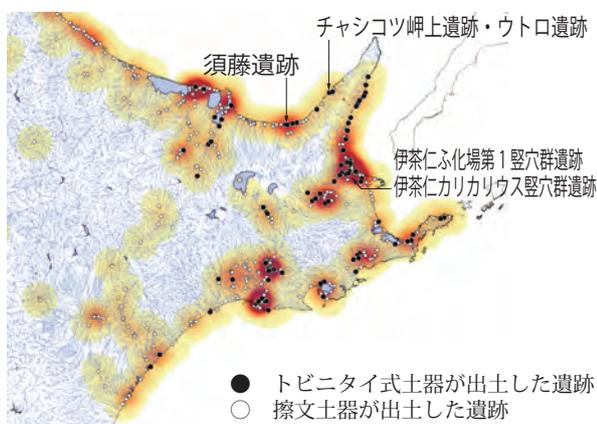


図1 トビニタイ文化及び擦文文化の遺跡分布と須藤遺跡

3. 結果

トビニタイ1・2・4式の分子レベル炭素同位体組成は、海棲動物からC₄植物の領域に近い範囲に分布し、非反芻動物から海棲動物の領域に広く分布するオホーツク文化貼付文期と比べて分布範囲が狭い（図1）。また、トビニタイ1式→2式→4式とC₄植物の領域へと近づく傾向がある。擦文土器も同一遺構から出土したトビニタイ土器と同様に、時代が下るにつれてC₄植物の領域へと近づく傾向がある。

ポスター
発表

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

バイオマーカー解析では、すべての土器附着炭化物で水棲動物のバイオマーカーである phytanic acid、pristanic acid、TMTD(trimethyltridecanoic acid)などのイソプレノイド類とともに、加熱調理のバイオマーカーである APAA(alkylphenyl alkanolic acids)-C₁₆、C₁₈、C₂₀、C₂₂が検出された。また、HDSR37と45からキビ (*Panicum miliaceum*) のバイオマーカーであるミリアシンが検出された。海産魚類や海獣類などの海棲動物とキビの影響がうかがわれ、分子レベル炭素同位体組成の測定結果と調和的であった。

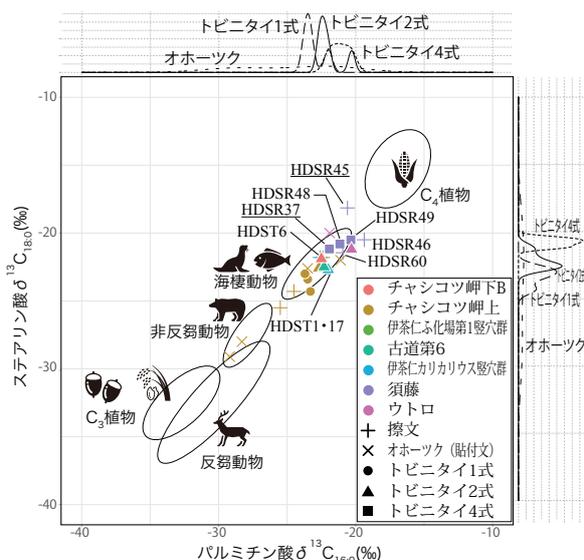


図2 土器附着炭化物から抽出したパルミチン酸・ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成と現生試料から推定した領域図

4. 考察

既報のウトロ遺跡、チャシコツ岬上遺跡出土土器の土器胎土の分析結果（宮田他 2020）をオホーツク文化貼付文期～トビニタイ2式の比較資料として検討に加えた。

擦文土器とトビニタイ土器の分子レベル炭素同位体組成及びバイオマーカー解析では、同一遺構・時期で大きな差異は認められず、時代が下るにつれて C₄ 植物の領域へと近づく傾向も共通することから、トビニタイ土器と擦文土器の違いにより調理食材が異なる可能性は低い。

オホーツク文化貼付文期は分子レベル炭素同位体組成にばらつきが大きく、陸獣と C₃ 植物のみを煮炊きしたのももあった。一方で、トビニタイ文化期では海棲動物または海棲動物と C₄ 植物が多くを占めていると考えられるとともに、先行するオホーツク文化期に比べて土器で煮炊きした食材のバラエティーが低下している可能性がある。

オホーツク文化期では少量ながら土壤水洗によりキビとヒエが検出されているが、チャシコツ岬上遺跡ではミリアシンは検出されなかった（宮田他 2020）。そのため、オホーツク文化期では C₄ 植物の利用は極少量に留まり、トビニタイ文化期後半から利用量が増加した可能性がある。

謝辞

本研究は、科学研究費 学術変革領域研究(A)「土器の年代と使用法の化学的解明」(20H05813；研究代表者 國木田 大)の成果の一部である。また、試料採取にあたり標津町歴史民俗資料館、斜里町立知床博物館の協力を得ました。

引用文献

- 榊田朋広 (2016) 「トビニタイ式土器の編年と系統」『擦文土器の研究』 215-256 北海道出版企画センター
 宮田佳樹・宮内信雄・堀内晶子・吉田邦夫・村本周三・小林克也・平河内毅 (2020) 「北海道斜里町チャシコツ岬上遺跡出土土器の残存有機物分析」『知床博物館紀要』 42 29-37

SfM/MVS モデルとレーザースキャナーモデルの手法と精度の比較

3D measurement of human skeletal remains in the Odake shell midden and the Kuma-Nishioda site : A comparison of photogrammetry (SfM-MVS) and laser scanning

金田明大 (奈良文化財研究所)、中川朋美 (南山大学)、野下浩司 (九州大学)、田村光平 (東北大学)、中尾央 (南山大学)

○Akihiro KANEDA, (Nara National Research Institute for Cultural Properties),
Tomomi Nakagawa, (Nanzan University), Koji NOSHITA, (Kyushu University),
Kohei TAMURA, (Tohoku University), Hisashi NAKAO, (Nanzan University)

1. はじめに

近年、考古学では三次元計測が活用されている。特に、利便性の高さから、SfM/MVS (Structure from Motion/Multi-View Stereo) は、遺構・遺物の記録・保存、公開、教育、研究といった様々な面で用いられている。しかしながら、利便性が高い一方で、現状は技術的・精度的な指標が曖昧であるのも事実である。どのような対象を、どのような設定で取れば、どれくらいの精度の計測データが得られるのか、また対象によってどの程度の精度が必要とされるのか、などといった点は、必ずしも明確ではない。

そこで本発表では、SfM/MVS とレーザースキャナーを用いて、同一資料を計測し比較する。これによってまずはどのような対象を、どのような設定で取れば、どれくらいの精度の計測データが得られるのかという点を検討する。

2. 対象資料と分析方法

資料は、小竹貝塚および隈・西小田遺跡の古人骨を対象とする。両遺跡の古人骨は、当該期の遺跡の中でも多数の古人骨が出土しており、保存状態が良好な事例も多い。小竹貝塚は富山県富山市に所在する縄文時代前期の遺跡であり、隈・西小田遺跡は福岡県筑紫野市に位置する弥生時代中期～後期の遺跡である。時期・地域は異なるが、方法の検討であることから、良好な状態の資料を選択した。

先述の通り、本発表では SfM/MVS とレーザースキャナーを用いて、同一資料を計測し、作成したモデルを比較する。SfM は、ここでは、撮影機材は Cannon の Eos Kiss x8i を用い、マニュアル設定で ISO100、f 値は 13 以上にし、シャッタースピードは資料ごとに調整した。撮影に当

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

たつては、三脚、Foldio360の撮影背景とターンテーブル、背景、ライトを用いた。ターンテーブルは1回転あたり25枚の写真を撮影できるように設定し、同様の作業を計6つのアングルで行った(図1)。そのため、一資料あたり、合計で約150枚撮影して



図1 写真のアングル

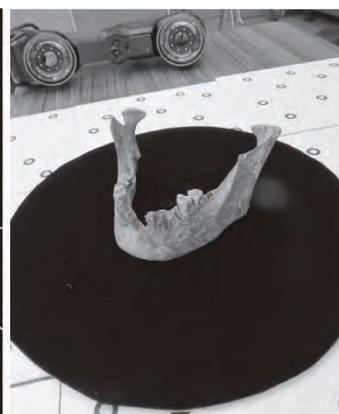


図2 レーザースキャナーを用いた計測

いる。撮影後はtifデータでMetashape (Metashape Professional Version 1.6.5.11249)を使用し、モデルを作成した。

レーザースキャナーは、Creaform社のHandySCAN BLACK™ | Eliteを用いた¹。計測に当たり、現場での作業効率とデータの容量に鑑み、メッシュサイズは基本的に0.2mmで撮影している。また、アクリル板にマーカーシールを貼り、それを計測対象の下に敷くことで計測した(図2)。1回の計測ではレーザーが届かない部分もあるため、資料の据え方を変えながら2~3回に分けて計測し、付属のソフトで合成した。

このようにして作成した3Dモデルの誤差を検討するため、GOM (GOM Inspect Suite2020)²を用いて比較した。

3. 分析結果

結論から言えば、上記の設定で古人骨を計測した場合、手法によってモデルに大きな差異は確認できなかった。レーザースキャナーで計測したモデルでは、色情報はないものの、割れなどの細かい凹凸部分まで詳細に計測できた。一方で、SfM/MVSのモデルは、レーザースキャナーのモデルと比較すると、縫合線などの細かい凹凸部分は色情報がなければ確認できないが、大きな差異はなかった。

4. 結論と今後の課題

このように、古人骨を対象として、上記の設定でSfM/MVSで作成したモデルと、レーザースキャナーで計測したモデルを比較すると、全体的な形状については大きな差異は確認できなかった。ただし、細かい凹凸部分などを観察するにはSfM/MVSでは色情報が必要であった。そのため、全体的形状を対象とする場合は上記の設定でも事足りるかもしれないが、より細かい凹凸部分を対象とする場合では枚数やカメラの設定など、より工夫を要すると考えられる。

¹ ハンディタイプのレーザースキャナーであり、元は工学製品の設計・製造・測定のために開発されたものである。最大精度は0.025mm、容積精度は0.020mm+0.040mm/mである。付属のマーカーボードを読み込ませることでスケール情報を付与することができ、本来は計測対象に付属のマーカーシールを貼って計測する。

² GOM Inspectは3D計測データを解析するソフトウェアであり、工業用製品などの検査・品質管理や、開発などに用いられている。後述するように、3Dモデルを重ね、誤差を検討することなどが可能である。

MR を利用した発掘調査支援システムの試行

Experimental implementation of an archaeological excavation support system using Mixed Reality (MR).

○金田明大（奈良文化財研究所）、村田泰輔（同左）、山口欧志（同左）、上相英之（同左）
○KANEDA Akihiro, MURATA Taisuke, YAMAGUCHI Hiroshi, UESUGI Hideyuki (Nara National Research Institute for Cultural Properties.),

1. はじめに

本研究では、MR (Mixed Reality) を活用した発掘調査支援システムの試行を紹介する。

近年、新しい現実 (xR) の活用が多く分野で注目を浴びている。文化財においても成果の表示などの面での活用が模索されている。

我が国の発掘調査は近年 9000 件弱と件数は横ばいであるが、それを担う職員や費用は大きく減少しており（文化庁 2020）、従来型の次世代の育成・技術伝達や調査方法の維持は困難さを増している。他方、近年の情報関連機器やインフラ環境の向上により、同様の課題を有する土木・建築分野においては BIM/CIM などの導入による省力化や洗練が進められている。

発掘調査では、担当者が調査状況に合わせて情報収集や作業を即時に判断する必要があるが、それに必要な知識を個人が全て保持することは現実的ではない。このため、個人の専門や能力、目的意識が成果の多寡に反映する問題がある。それに対しては、遠隔地において他の研究者や個別分野の専門家との密接な連携を可能にする手段の確立が必要である。

また必要な局面で専門家の参加が可能である場合でも、調査現場の明確な状況の情報共有や、具体的な事前の意見交換が不十分である結果、調査担当者と専門家との間で 1) 発掘調査全体の工程、2) 専門家が必要とする調査要件、3) 調査のための現場の準備に対する認識の細かなズレや誤解が生じ、作業の手戻りや準備完了後の再訪が必要となるなど機会を有効に活用できないという課題も克服する必要がある。

そこで、MR 技術を活用し、担当者と他の研究者が遠隔で発掘調査現場上で実際の調査現場に情報を付加し、議論、検討、知見共有や作業指示をおこない、また、適切な段階で現地に赴くことを可能とする遠隔での情報交換を可能とするシステムを考え、試行をおこなった。本技術は、更なる発掘調査の洗練、成果向上と知見の拡大に資すると考える。

2. 方法、機材と成果

本研究では MR 機材として Hololens2 (Microsoft 社) を用いた。ソフトウェアとして Dynamics365 RemoteAssist および Microsoft Teams を使用した。通信環境は WiMAX 回線を用いた。調査現場および研究室双方とも Speed Wi-Fi NEXT W03 (UQ mobile 社) を利用した。最大

ポスター 発表

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



図) 本試行の目的と想定される連携

通信速度は受信最大 370Mbps/送信最大 25Mbps である。まず、室内で接続や個々の作業に応じたデータ取得試験をおこない、その後平城宮内の発掘調査現場において試行をおこなった。

この結果、FPS や画質の伝送を支える回線の強化、炎天下での機器の熱暴走や異常作動の対策、明所での視認性の改善、指示をおこなうツールの洗練といった課題が得られた。MR により直接遠隔地から複数の専門家が現地の地表面に作業の指示を表示させることが可能となることで、即時的に検討を共有できる調査現場における情報交換ツールとしての有効性は検証できた。また、内蔵のカメラによる写真の撮影と共有により、より解像度の高い情報を共有できることも明らかになった。

書き込まれたデータは何度も再び MR デバイスを通じて現地に表示が可能のため、必要な作業の欠落や指示を確認し、作業を複数人の視点で共有しつつ進めることが出来る。今後も複数の知を発掘現場に結集することを通じて発掘調査を洗練する技術として確立したい。

参考文献 文化庁 2020 埋蔵文化財関連統計資料（令和 2 年度）

https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/pdf/r1392246_13.pdf （20210603 確認）

X線CTを用いた蔵骨器のデジタル発掘の可能性

Possibility of digital excavation of bone storage using X-ray CT

○村田裕介（公益財団法人元興寺文化財研究所）、大矢祐司（松原市教育委員会）、
佐藤亜聖（滋賀県立大学）

○Yusuke MURATA(Gangoji Institute for Research of Cultural Property),
Yuji OOOYA (Matsubara City Board of Education), Asei SATO (University of Shiga Prefecture)

1. はじめに

平成2年の発掘調査により、松原市立部遺跡において出土した蔵骨器として使用された平安時代の須恵器壺について、考古学的及び自然科学的な調査が行われ、その内容について明らかになった（松原市教育委員会 2021）。調査のうち、壺内部の人骨の埋納状況を明らかにするため、X線CT装置による調査が行われた（図1）。このX線CT調査により得られた三次元デジタルデータを用いた、デジタル環境での人骨の発掘を試みた。

2. 使用機材

X線CT撮影には東芝製 TOSCANER-32300- μ FD-GCR を用いられ、撮影条件は、180kv、1000 μ A、1000ビュー数、積算回数1、フラットパネル設定は、ゲイン値0.5 pF、積分時間266msである。データの編集は、三次元データ編集ソフト VGSTUDIO MAX（VolumeGraphics製）を用いた。

3. 結果と展望

三次元デジタルデータをCT値を基に内部の人骨と、容器である壺とに分離し、埋納時の人骨のみの状況を抽出することが出来た（図2）。さらに人骨の中から状態の良好なものを選んで個々の骨について抽出を行った（図3・4）。骨表面の滑らかさは弱いですが、この原因については、資料的な要因と器械的な要因と考えられるが明らかではないため、これの改善については今後の課題としたい。抽出したデータについてはコンピュータ上での計測を行うことも可能である。今回は行っていないが、人骨の接合関係についても行うことが可能であり、その埋納時の位置関係についても明らかにすることが出来るため、人骨の埋納にあたってどのような手順で行われたかを復元する手掛かりとなることに期待が出来る。

今回試みた手法を使用すれば、事前にX線CTによる調査を行えば、内部から取り上げた後でもその本来の出土位置の復元、さらに接合関係と埋納位置の相関について検討が可能である。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

さらに、蔵骨器で言えば、高僧などの伝承があり現在も信仰の対象となっているもので人骨への接触など直接的な調査が難しく、実際に内部の骨を取り上げるような調査が出来ないものであっても、X線CT撮影を行うことで現状を変えずに調査を行うことが可能となり、この分野のさらなる研究の進展を期待することが出来ると思う。

参考文献

松原市教育委員会2021『松原市文化財報告第9冊立部遺跡・立部古墳群跡松原市立大塚青少年運動広場施設整備工事に伴う立部遺跡F7-2-4・5発掘調査報告書』



図1 X線CT画像(器高=23.6cm)



図2 人骨埋納状況



図3 人骨1(全長107mm)

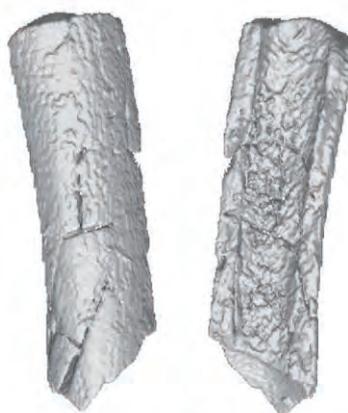


図4 人骨2(全長91mm)

特定波長域を遮光した光照射下における黄色系染料の変退色挙動

Color Degradation of Textiles with Yellow Dyes under Specific Portions of D65 Sources Using Optic Filters

○秋山純子（東京文化財研究所）、相馬静乃（同左）、吉田直人（文化財活用センター）
佐野千絵（東京文化財研究所名誉研究員）

○Junko AKIYAMA, Shizuno SOMA (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties),
Naoto YOSHIDA (The National Center for the Promotion of Cultural Properties),
Chie SANŌ (Emeritus Researcher of Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

染織品は非常に脆弱であり、光に晒されると変退色および劣化を引き起こしやすい。これらの変退色度合いは文化財に入射する光の波長によって異なり、一般的には紫外線が顕著であることが報告されている。これまでの研究で可視光域の波長であっても資料に損傷を与える可能性が懸念されているが、文化財保存の観点から明確な報告はなされていない。

そこで本研究では、染料の中でも退色しやすいといわれている黄色系染料を使い、可視光波長域において染料の変退色に影響を与える波長域を調べた。これまでクルクミン、サフラローイエロー、カルミン酸で染めた絹に対し、D65光源から各種光学フィルターで抽出した特定波長域による曝露試験を行い、吸収スペクトルを測定したり。今回は別の吸収波長帯を持つ黄色系染料のルチンと天然染料のタマネギ外皮（以下、ケルセチン）を使って、染料の変退色に影響のある波長領域を明らかにすることを目的に行った。

ポスター 発表

2. 実験方法

今回使用した試料はルチン(R0035 東京化成工業)とケルセチン(有限会社葎科銘茶杉山園製)である。使用した絹布、染料の調整、媒染液、染色方法は先の研究で行った3種類の試料と同様である¹⁾。ただし、ルチンは粉体をエタノール(99.5%)に、ケルセチンは純水に溶かして使用した。

曝露装置は、D65標準光源蛍光ランプ(以下D65)を取り付けた光源装置(PANTONE x-rite)内の底部から80mmの高さに放熱性の高い網状の試料台を設置した。分光放射照度計(CL-500A コニカミノルタ(株))を用い、試料表面の照度が2,500~2,600 lxになる様に調整した。

全波長照射試料および対照としてアルミ箔で被覆し完全に光を遮断した試料(全波長遮光試料)、光学フィルター(340 nm、370 nm、440 nm、530 nm、540 nm、600 nm (HOYA 株式会社))の8パターンを3枚ずつ供した。曝露試験は28日間行い、7日毎に各試料の表面を観察した。

試料の吸収スペクトルの変化を確認するため、積分球(LISR-3100(株)島津製作所)を取り付けた紫外可視近赤外分光光度計(UV-3101PC(株)島津製作所)を用いて曝露前後の試料を測定した。さらに、変退色の挙動を検討するため、色彩色差計(TCR-200 TIME Group)を用い、各試料の四隅と中心部分の5箇所を測色した。試料の色差は、試料を曝露前後で測色し、色差 ΔE^*_{ab} をCIE $L^*a^*b^*$ 表色系による色差式(JIS Z 8730)から算出した。

3. 結果および考察

3.1 曝露試験前後の吸収スペクトルの比較による評価

本実験で用いたルチン試料は350 nm~500 nmの波長帯でブロードな吸収を示した。ケルセチン試料では350 nm~420 nmと430 nm~470 nmに吸収が見られ、特徴的なスペクトルを示した。

ルチン試料の曝露試験前後のスペクトルを検討すると、全波長照射および340 nm、370 nm、440 nmのフィルターを通した試料で吸光度が減少した。一方、530 nm、540 nm、600 nmのフィルターを通した光のもとでは吸光度の減少はそれほど大きくはなかった(図1-a)。

ケルセチン試料の28日間曝露後では、全波長照射および370 nm、440 nmのフィルターを通した試料の変化が大きく、特に430 nm~470 nmの波長帯で吸光度が減少した。(図1-b)。

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

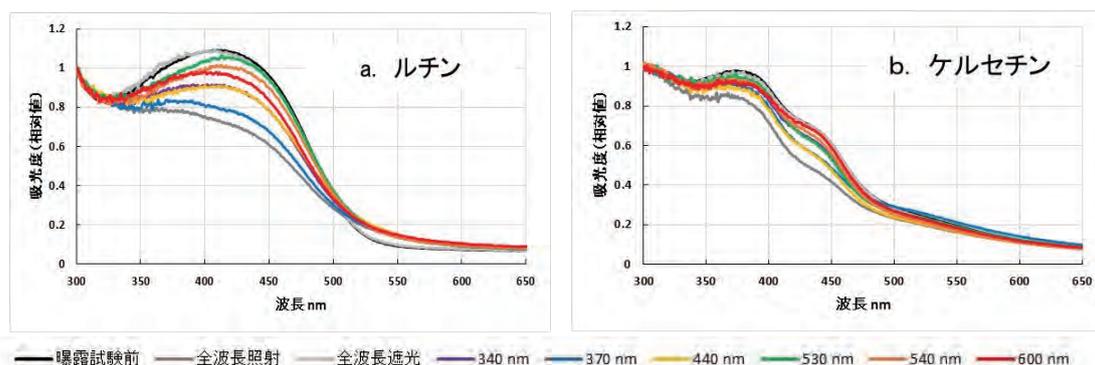


図1 各種試験試料の吸光度（曝露試験前、28日間曝露後）

3.2 色差による評価

ルチン試料では全波長照射、440 nm、370 nm、340 nm のフィルターを通した試料の順に色差が大きかった。長波長側の 530 nm、540 nm、600 nm のフィルターを通した試料は比較的色彩差が小さかった（図 2-A）。

ケルセチン試料では全波長照射、440 nm、340 nm のフィルターを通した試料の順に色差が大きかった（図 2-B）。

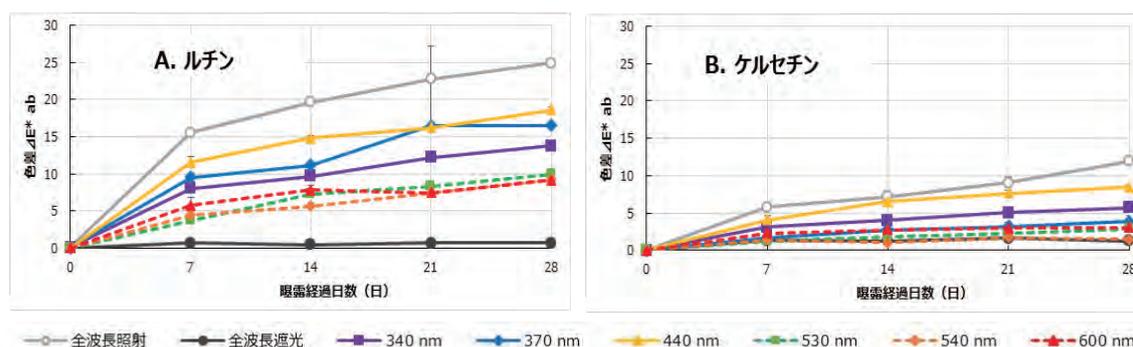


図2 各種試験試料の色差（光照射曝露試験前、7日毎の曝露試験後）

いずれの試料も全波長照射の次に 440 nm の波長域の光を照射した試料の色差が大きかった。これは以前の研究結果¹⁾と同様に本実験で使用した蛍光灯の特性として、440 nm の分光照射エネルギー積算値が大きいことに由来すると思われる。

ルチン試料に関しては、黄色系染料のサフラワイエロー試料の測定結果¹⁾と同じで、340 nm と 370 nm で色差の度合いが逆転する傾向が見られた。これは分光照射エネルギーが 340 nm より 370 nm のほうが大きいと考えられるが、ケルセチン試料ではその逆転現象は見られなかった。ケルセチン試料の色差の傾向は分光照射エネルギーとは合致しない結果であり、その他の変退色要因について今後さらに検討が必要である。

4. まとめ

ルチン、ケルセチンで染色した絹布を、D65 光源から各種光学フィルターで抽出した特定波長域による曝露試験を行い、吸収スペクトルを測定した。その結果、分光照射エネルギーの高い 440 nm で色差が大きいたことが確認された。このことから特定波長の照射が染料の変退色に大きく寄与することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 相馬静乃、吉田直人、佐野千絵：特定波長域を遮光した光照射下における黄色系染料を主とした有機染料の変退色挙動、保存科学、60、pp.51-60（2021）

屋外石造文化財の保存処理経過の記録における SfM の有効性に関する検証 — 青森県黒石市指定文化財「獅子が沢のしし石」の保存処理を通して — Verification of SfM for the preservation of outdoor stone monuments

○片岡太郎 (弘前大学)、田坂里穂 (黒石市教育委員会)、関根達人 (弘前大学)、
弘前大学人文社会科学部文化財科学研究室、黒石市教育委員会
○Taro KATAOKA (Hirosaki University), Rio TASAKA (Kuroishi city board of education),
Tatsuhito SEKINE (Hirosaki University) and Kuroishi city board of education

1. 研究目的

青森県黒石市大字上十川字長谷沢の上流域に所在する「獅子が沢のしし石」は、長谷沢上流から北に進んだ山中に位置している。大きさの異なる2基のしし石があり、いずれも自然石に大小様々な形の「しし頭 (鹿頭)」が刻まれており、この地域が江戸時代から「獅子が沢」と呼ばれていたことから「獅子が沢のしし石」と呼ばれるようになった。しし石の正確な由来については、未解明であるが、しし石に関する現存する最古の記録は、江戸時代の紀行家・菅江真澄が寛政10年(1798)に記した『追柯呂能通度』である。菅江真澄は寛政4年(1792)から青森に長期滞在しており、寛政10年の7月に黒石市を訪れている。その際に村人から「しし石」の存在を聞いて興味を抱き、現地を訪れてスケッチを残している。

しし石は2基とも2018年6月時点の状態が、緑色や青白色を呈した着床生物の影響で「しし頭」の彫り込みが不明瞭となっており、しし石周囲の地面にはしし石の石材と同質の薄片が多く散在している状態であった。

本研究では、「獅子が沢のしし石」の保全と活用を図ることを目的として、弘前大学人文社会科学部文化財科学研究室と黒石市教育委員会とが共同研究を実施し、特に、クリーニングならびに現状の記録を行った結果について報告する。

2. 研究対象と研究方法

獅子が沢のしし石は「しし石 (小)」と「しし石 (大)」の2基存在する。いずれも、スギの植林に囲まれた環境にある。本要旨では、「しし石 (大)」について報告する。「しし石 (大)」(写真1)は、円錐状の形を呈しており、最大幅307cm、最大高さ126cm、最大奥行き246cmである。しし頭をモチーフにしたとされる線刻が、背面以外の面に確認できる。正面は南に面しており、2006年に設置された背面に壁がある覆屋に置かれている。石材は、溶結凝灰岩といわれている。

保存状態の検査は、肉眼観察ならびに触診による劣化診断を行った。保存処理前後の記録では、保存科学的な記録だけでなく、描かれたしし頭の頭数の調査を目的とした。デジタルカメラ (OLYMPUS TG-4) による写真撮影と同カメラを使って Structure From Motion (SfM) を利用したフォトグラメトリから三次元形状の記録を試みるとともに、特に、保存処理後の記録については、拓本を利用して記録した。フォトグラメトリにおけるデジタルカメラの撮影条件は、プログラムオートモード、発光禁止、ISO感度100、解像度を16Mと設定した。SfMでは、しし石の表面を拡大撮影しながら、しし石全体を水平方向と斜め方向から撮影した。拡大撮影の際、60%以上のオーバーラップさせながら撮影した。その後、すべての写真を Adobe Lightroom を使って1280pixelに調製した後、Metashape Pro (AgiSoft LLC) を使って、写真のアラインメント、高密度クラウドとメッシュの構築を行って、しし石の三次元モデルを作成した。拓本は、湿拓を実施した。画仙紙を霧吹きと棒状のタオルを使ってしし石表面に密着させて、油墨を塗布しながら凹凸を浮かび上がらせたのち、画仙紙を剥がして拓本を得た。

ポスター
発表

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

3. 保存処理経過と結果

着生生物の除去には、刷毛や竹串などを使って物理的にクリーニングしたのち、地衣類・藍藻類除去剤（コレトレール 東海コンクリート株式会社）を塗布する化学クリーニングを実施した。2018年6月14日に除去剤を散布、約4か月後の10月19日の観察では、着床生物は枯死が進み、一部は残留したものの大部分が消失していた。また、この4か月の間に新たな着床生物が繁殖してくる様子はみられず、2020年現在、除去剤の効果が維持できている（写真2）。

4. しし頭の頭数の観察結果について

しし頭の頭数の観察は、化学クリーニング後に実施した。現地で画仙紙をしし石に密着させ油墨を叩いた後、参加者全員で行った。結果、しし石（大）でこれまで確認されていたしし頭数は8頭であったが、拓本による観察から頭数が大幅に増加し、20頭のしし頭が描かれていることが判明した（写真3）。SfMによるフォトグラメトリで作成した三次元モデルにおいても、拓本による記録を参考にしつつ、同数のしし頭が確認できた（図1）。

5. まとめ

着床生物が繁殖した屋外石造文化財の現状記録と保存処理後の記録活用に関し、SfMを使ったフォトグラメトリを導入した。地衣類・藍藻類除去剤の防除効果が確認したとともに、SfMによるフォトグラメトリの利用した保存処理経過の記録における有効性が示された。

参考文献

黒石市教育委員会・弘前大学人文社会科学部文化財科学研究室編『獅子が沢のしし石の活用に係る保存科学的研究調査報告書』2021



写真1 獅子が沢のしし石（大）2018年の様子（クリーニング前）



写真3 拓本を使ったしし頭の観察



写真2 獅子が沢のしし石（大）2020年の様子（物理・化学クリーニング後）

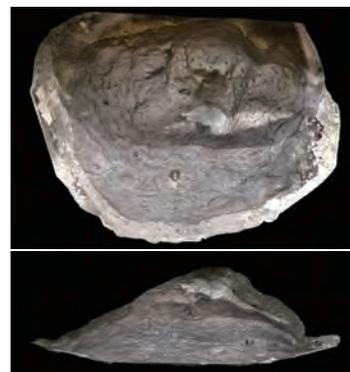


図1 フォトグラメトリを使ったしし頭の観察

遺跡発掘調査記録のDXの試行

Digital Transformation of Archaeological Excavation Record

○山口 欧志 (奈良文化財研究所)

○Hiroshi YAMAGUCHI (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. 目的と目標

このプロジェクトは遺跡の発掘調査の質の向上を目指す。この目的を達成するための目標として、①記録作業の迅速化および記録に要する時間の平準化を図り、観察・解釈・調査方法を熟考する時間の増加、②できるだけ反証可能・再検討可能な発掘調査にするための情報の収集、③様々な方面に活用しやすい形式での記録、の3点の実現を設定した。

2. この研究の背景

近年、建設土木・医療・農林水産・防災・教育・物流など様々な分野がICTを高度に利用したDX(Digital Transformation)を進め、事業や組織、作業プロセスの変革を起こす取り組みを推進している。くわえて日本政府が提唱するSociety5.0や国連が掲げるSDGsではDXが実現手段の1つであることから、今後さらにDXは加速化・本格化すると予想する。

文化財の分野でもICTを活用した調査例の蓄積が進んでいる。少子高齢化等による慢性的な人手不足といった日本社会全体の課題を背景に、ICTを活用した調査手法の需要は近年一層高まり、今や多くの地方自治体を進めている。さらに文化財の確実な保存を図りつつ教育や観光などでの活用を展開する上でも、文化財のデジタルデータの活用は今後一層期待される。

3. 試行対象

文化財の調査方法は様々だが、なかでも遺跡の発掘調査は遺跡に不可逆的な大きな変化をもたらす要因であり、そのうえ遺構や遺物に関する情報には発掘調査時にしか収集できないものも多数ある。その遺跡の発掘調査は日本全国で年間8997例を数え、このうち学術目的調査を除く行政目的調査が8564件を数える(文化庁文化財第二課2021)。したがって発掘調査の記録の向上は文化財調査の質の向上や前述の社会動向との対応に大きく寄与すると考えた。

試行対象は、奈良文化財研究所が2020年に平城宮跡東方官衙地区において学術発掘調査を実施した平城第621次調査である。調査区の規模は南北30m×東西26mの面積780㎡である。平城第615次調査で確認した大型基壇建物SB19000の西隣にあたり、平城宮跡基幹排水路SD2700が調査区中央やや西側を南北に貫流する(奈良文化財研究所2021)。当該調査地区では、これまでの継続的な調査から遺物の多量の出土や排水施設など複雑な遺構の検出が予測された。

そこで検出した遺構や地層断面などの記録について、より本格的に三次元計測を導入しながら従来記録方法との融合も図り、記録作業の迅速化や記録作業時間の平準化、不安定な環境下

ポスター
発表

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

など崩落の危険性のある地点での作業の安全対策、土の色や質感など文字や線画だけでは記録しきれない情報の収集を進めたほか、今後の展開に向けた課題の洗い出しなどを行った。

4. 方法と結果

記録はフォトグラメトリの一種である SfM-MVS を用いた三次元計測を中心に実施した。写真撮影では主に約 5m まで任意の長さに伸縮する一脚とリモート撮影用のタブレットなどを利用した。たとえば今回の調査区全体の撮影に要した時間は約 1 時間であった。撮影後は直ちに撮影の遺漏の有無を仮解析して確認し、図面作成用の本解析に進め、翌調査日開始時にはその成果を元に実物を観察しながら平面図の作成を進めた (図 1)。

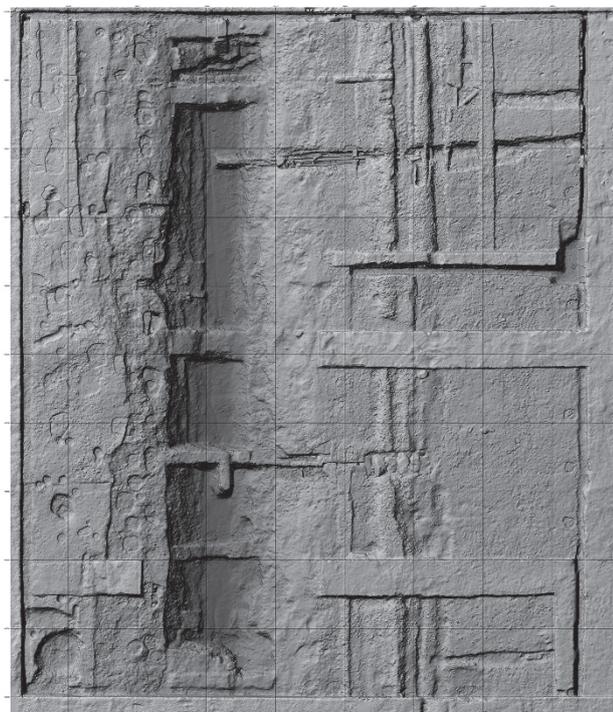


図 1 調査区全体の平面図下図

5. 利点と課題

本試行の利点は次のとおりである。長さや形状などを測る作業の時間の短縮と平準化を実現し、観察・解釈などの時間につなげた。また堆積状況などの把握に資するような詳細なデータを取得するとともに、構築した三次元モデルから動画作成なども行った。

いっぽう課題もある。たとえばより迅速かつスマートな計測を実現するには、高速通信網を用いた現場データの送受信、セキュアなデータクラウドサービスの導入、解析処理のスピードアップ、計測・解析技術の全所的な共有などの実現が必要だ。デジタルデータと観察所見のシームレスな融合も解決する必要がある。また現場に臨む調査者と現場と離れた支援者をリアルタイムに結び調査支援を実現するリモート視覚・音声共有システムの開発も必要である。

6. 謝辞

本プロジェクトは奈良文化財研究所都城発掘調査部および同埋蔵文化財センター遺跡・調査技術研究室の協力を得て実施した。

7. 参考文献

文化庁文化財第二課 2021 「埋蔵文化財関係統計資料 ―令和 2 年度―」

https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/pdf/r1392246_13.pdf (2021 年 6 月 10 日)

奈良文化財研究所 都城発掘調査部 (平城地区) 2021 「004 平城宮東方官衙地区の調査 (平城第 621 次調査)」 <http://hdl.handle.net/11177/8306> (2021 年 6 月 10 日)

京焼登り窯の三次元計測③ -河井寛次郎窯の事例-

The 3D modeling of kyoto style climbing kiln -The case of Kawai Kanjiro's kiln-

○ナワビ矢麻（埼玉県立さきたま史跡の博物館）、木立雅朗（立命館大学）、
余語琢磨（早稲田大学）、田畑幸嗣（同左）

○Yama NAWABI (Museum of the Sakitama Ancient Burial Mounds),
Masaaki KIDACHI (Ritsumeikan University), Takuma YOGO, Yukitsugu TABATA (Waseda University)

1. はじめに

京都の五条坂に立地する京式登り窯を対象に、立命館大学と早稲田大学のチームで継続的な調査を実施している。窯の基礎情報を得る手段として三次元計測を行っており、聞き取り調査等の成果との照合を模索している。本発表では、五条坂に立地する河井寛次郎窯の調査報告を行う。

2. 河井寛次郎窯について

河井寛次郎窯は、河井寛次郎(1890-1966年)が、1920年、京都市五条坂の大仏鐘鋳町にあった五代清水六兵衛の登り窯を譲り受けて以後、長く使った京式登り窯である。

河井透・久氏によると、寛次郎は主に二の間を使用し、作品によっては四の間・五の間の一部を使用したという。それ以外の部屋は多くの陶工に貸され、ロージを通して登り窯に作品が持ち込まれた。1961年には電気窯の普及などで窯を借りる陶工が減少したため、部屋を一つ減らし窯幅も短くしたという。京式登り窯は作業を続けながら修復や積み直しされることが一般的であり(岡田 2020)、1961年以前にも何度か修復・改築がなされていたと想定される。

1973年に河井寛次郎記念館が開設され、自宅・工房とともに登り窯が公開された。奇跡的に残された6つの京式登り窯の中で河井寛次郎窯は唯一、常時公開された貴重な事例である。また、ロージの奥に潜んだ巨大な登り窯は京式登り窯の典型例であり、個性的な陶芸家・河井寛次郎の記念館とセットになった景観は大変貴重な文化遺産である。しかし、近年は大阪北部地震(2018年)の影響などで痛みも目立ちはじめている。

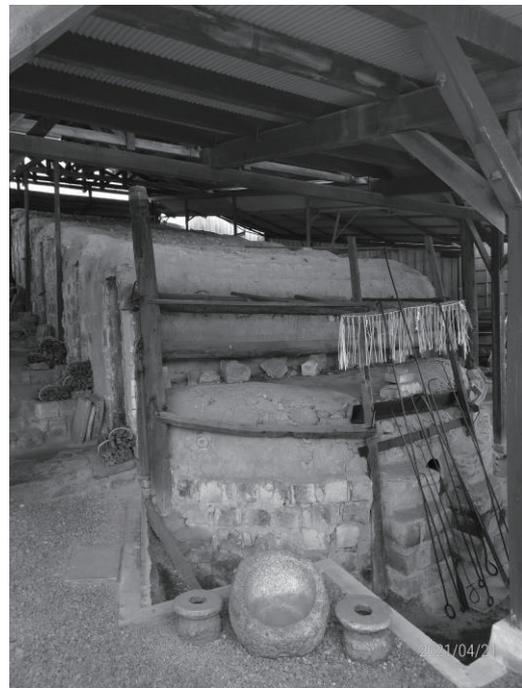


図1 河井寛次郎窯

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 三次元計測の課題と成果

登り窯の計測には、複数枚の写真から三次元モデルを生成する SfM-MVS を用いた。調査は 2019 年 6 月、2 日間の日程で実施した。あらかじめ座標を与えたマーカーを配置し撮影を行い、解析によって色情報をもった三次元データを取得した。

撮影は、①天井、②側面、③～④焼成室（一の間・二の間）、⑤胴木間で分け、場所毎に作業を行った。現地での調査終了後、解析により窯全体のモデルを生成できたが、窯尻（煙出し）および胴木間のデータがうまく合成しなかった。原因として、煤の付着や光量の不足（窯尻）や手持ち撮影による手ブレ（胴木間）等が想定された。

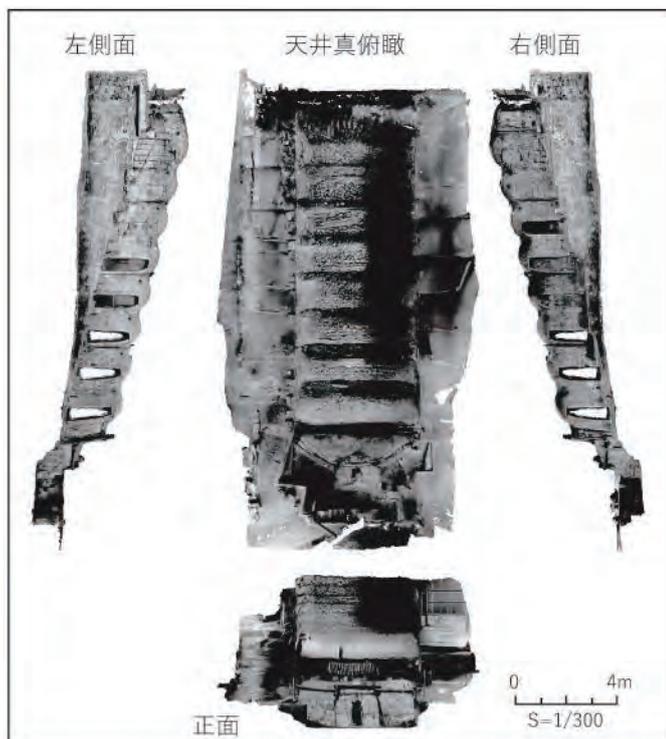


図2 河井寛次郎窯 展開図

この結果を受け 2021 年 4 月、補足撮影調査を実施した。補足調査では、黒色を呈し参照点の取得が困難であった窯尻壁面に、十分な光が当たるよう大型リングライトを導入し撮影した。胴木間の撮影では、焚口から一脚に据えたデジタルカメラを差し込み、カメラに写った画角を画面共有設定したスマホで確認しながらブレが起きないように撮影した。補足撮影した画像によるデータは、現地で解析処理・確認しながら作業を行い、適宜再撮影した。補足で生成されたデータは、ソフト上でマスク処理を行ったうえで、座標をもった全体のデータに統合し、不足のないデータを作成することができた。このモデルを基に、聞き取り調査や文書の調査などを合わせることで、築窯や窯焚きの復元的な解釈を行うことが可能となった。

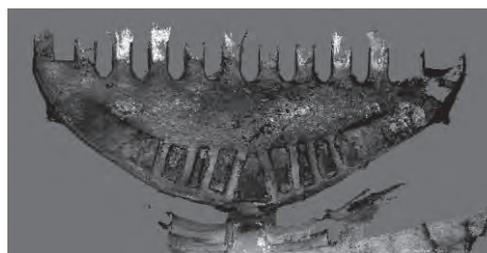


図3 河井寛次郎窯胴木間 平面図

謝辞

調査の際は、河井寛次郎記念館に多大なるご協力をいただきました。記して感謝の意を表します。

本研究は JSPS 科研費 18K01073 の助成を受けたものです。

参考文献

岡田麻衣子 2020 「京焼の登り窯を掘る 一道仙窯・浅見五郎助窯・井野祝峰窯」『五条坂の登り窯—京焼 今むかし』京都市埋蔵文化財研究所

鷺珠江 2018 「運命の出会い～柳宗悦と河井寛次郎～」『柳宗悦と京都 民藝のルーツを訪ねる』光村推古書院

AR アプリによる遺物鑑賞の拡張の試み

A prototype AR app for archaeological artifacts

○門林理恵子（大阪電気通信大学）、森善龍（同左）

○Rieko KADOBAYASHI, Yoshitatsu MORI (Osaka Electro-Communication University)

1. はじめに

文化財の保存や活用には一般市民の理解が欠かせないが、そのためには興味を喚起し文化財の持つ魅力を体感してもらう必要がある。一般市民が文化財に接する主な機会は博物館であるが、遺物の鑑賞の自由度は低く、自らの興味に基づく積極的な関わりは難しい。

そこで、遺物の 3D モデルを自在に拡大縮小や回転を行いながら鑑賞できる AR アプリを試作した。展示解説のリーフレットを想定した小冊子を作成し、遺物の写真をスマートフォンで読み取ると遺物の 3D モデルが表示され、自由な視点で詳細まで観察できるようにした。小冊子を配布することで遺物鑑賞が博物館外でも可能となる。

ところで、SfM-MVS による三次元計測技術の普及により、遺物の詳細な 3D モデルを作成して文化財の調査・研究に用いることが可能となっている。本アプリで使用した 3D モデルもこの成果に基づくものである。調査・研究の成果が一般市民への成果展開へも容易に活用できる点が期待できる。

2. 試作した AR アプリ

2-1. 概要

本 AR アプリは画像をマーカーとして使用するスマートフォン用アプリである。8 種類の遺物の写真をスマートフォンのカメラで読み取ることで、それぞれの 3D モデルを自在に拡大縮小や回転を行いながら鑑賞できる。博物館の展示解説のリーフレットを想定して、マーカーとなる遺物写真と解説からなる小冊子を作成した。小冊子を配布することで遺物の 3D モデルの鑑賞が博物館外でも可能となる。

2-2. 操作方法

アプリを起動しスタートボタンをタップすると画像マーカー認識画面に遷移する。この状態で小冊子の遺物写真（図 1a）にスマートフォンをかざすと、写真がマーカーとして認識され、当該遺物の 3D モデルが表示（図 1b）される。遺物モデルが表示された状態でピンチアウトまたはピンチイン操作をすることで遺物の拡大縮小（図 1c）が可能な直感的な操作とした。遺物の回転はスワイプ操作（図 1d）で行える。冊子をめくり、新しい写真をアプリが認識するとその遺物の 3D モデルに切り替わる。

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災



a. 冊子

b. 3D モデル表示

c. 縮小/拡大操作

d. 回転操作

図1 操作の流れ

3. 開発環境

今回利用した遺物の3Dモデルは、スマートフォン用VRアプリ[1]のために作成したものを利用した。まず、SfM-MVSの市販ソフトウェアを利用してテクスチャ付きの3Dモデルを作成する。次にBlenderでポリゴン数の削減を行った。遺物によってポリゴン数の削減率は異なるが、いずれもおよそ2万ポリゴン、ファイルサイズが1MB（FBX形式）程度にした。ARアプリの開発はUnityを使用した。

4. おわりに

今回試作したARアプリで、一般的に普及しているスマートフォンでもかなり高品質な3Dモデルを表示し操作することが可能であることを確認した。配布用の冊子に画像マーカを埋め込むことで、利用者自身が興味を持ったタイミングで自由に遺物を鑑賞できるようになる。たとえば、博物館内で実物を見ながら本アプリで詳細なテクスチャの観察する、冊子を自宅を持ち帰ってゆっくりと3Dモデルの観察をするといった応用が可能である。さらに冊子体ではなく、遺物の画像をWebサイトに一覧表示すれば、博物館訪問の前にも展示への興味喚起が可能となる。学校教育における博物館訪問の事前事後の学習、発掘調査の速報展のように博物館以外で開催される成果展示の機会などでも活用が期待できる。

今後は一般参加者が体験可能な場において有効性の検証を行いたい。

謝辞

石室・遺物の3次元モデルを提供頂いた株式会社島田組に謹んで感謝の意を表す。本アプリで使用した古墳および遺物の3Dモデルは株式会社島田組が3次元計測を実施して作成した。また遺物は福岡県上毛町が所有するものである。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

[1]門林理恵子, 森善龍: 考古学イベントにおけるスマートフォンVRの活用, 考古学研究会第67回総会・研究集会 講演・研究報告資料集, p.57 (2021)

秋津遺跡出土焼成粘土塊の被熱温度推定

Heat temperature estimation of burnt clay from Akitsu site

○小畑直也（岡山理科大学），岡田憲一（奈良県立橿原考古学研究所）

○Naoya OBATA (Okayama university of science),

Ken-ichi OKADA (Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture)

1. はじめに

焼成粘土塊は，しばしば先史時代の遺跡から出土する焼け締まった粘土の塊である．数 cm 程度の小塊から数 10cm 厚のブロック状のものまで形態は多岐に渡り，その素材には土器胎土の混和材に似る鉱物粒子などを含むこともあることから土器製作に関連する遺物としての可能性が指摘されているものの，その用途や目的の解明には至っていない．しかしながら，それら焼成粘土塊からその形態的特徴および土器の胎土や焼成環境との比較など基礎的な性質を検討することにより，土器製作に関連するものを抽出できれば，土器の生産や供給体制を究明するための足掛かりとなることが期待される．そこで本研究ではその一助となる焼成粘土塊の焼成温度を検討するため，ルミネッセンス法による被熱温度推定を行った．

ポスター
発表

2. 試料

試料は秋津遺跡第 2 次調査（奈良県立橿原考古学研究所，2021）の土坑状遺構 SX021330 より出土した粘土塊 3 点である．切断した粘土塊の断面を観察したところ，橙色～黄灰色～黒色と，色調の違いが確認できた（図）．また試料ごとの色調の分布では，土-8（小）は黄灰色部分が薄く黒色部分に漸移するが，土-8（大）では黄灰色部分が厚く黒色部分は見られなかった．一般的に，赤色の強い部分が被熱面に近いと考えられるが，黄灰色の厚薄も熱に起因するものなのかは不明である．そこで，色調と被熱温度の関連を検討できるように合計 6 箇所分析試料を設定した．ルミネッセンス年代測定法で用いられる微粒子法による試料処理手順を参考に，それぞれ過酸化水素水，塩酸で処理した後 4～51 μm に粒度を調整し，測定試料とした．

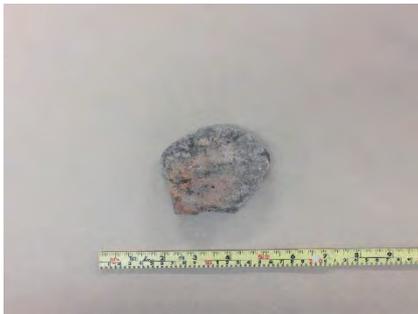


図 土-8（小）とその断面

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

3. 方法

ルミネッセンス法による被熱温度推定のうち、赤外光ルミネッセンス (IRSL) 感度変化法 (西村ほか, 2007; 小畑・下岡, 2015) では、同一試料へ一定量の放射線を照射した場合でも、被熱温度によって IRSL 強度が変化することを利用する。IRSL 強度の変化は、①約 600°C まで感度が一度下がった後に 800°C 付近で最大値となり、以降の温度で低下する場合が多く、②過去の被熱温度までは一定で変化しない、③過去の被熱温度以上であればより高温の場合の IRSL 強度に更新されるという性質がある。この時の IRSL 強度が変化する温度を観察し、被熱温度を推定した。

IRSL 強度を人工的に変化させる加熱処理条件は、電気炉による 300°C~1000°C 間の加熱とし、加熱時間は 60 分間、温度間隔は 100°C ごとを基本に変化点と見られる温度付近については 50°C 刻みの温度も追加した。加熱しない状態での放射線感度測定試料 (ベース試料) は人工太陽光源によって約 60 klx で 8 時間露光した。各々につき X 線を 5.4 Gy/分の線量率で 20 Gy 照射した後、IRSL 測定した。IRSL 強度の比較には、加熱した試料についての IRSL 強度をベース試料の IRSL 強度で規格化し、加熱温度に対してプロットした強度比較図を用いた。また変化点の妥当性を検討するため、800°C に加熱した試料を再度 400°C で加熱した試料、300°C に加熱した試料を再度 700°C で加熱した試料も同様に測定し、被熱温度を総合的に判定した。

4. 結果と考察

いずれの試料においても 800°C で加熱後に再度 400°C で加熱した試料の IRSL 強度は 800°C でのみ加熱した試料の IRSL 強度と、300°C で加熱後に再度 700°C で加熱した試料の IRSL 強度は 700°C でのみ加熱した試料の IRSL 強度と、概ね誤差の範囲で一致した。このことから、方法の②および③の性質を確認できた。各試料の測定の結果、土-8 (小) の黒色部分は 500~550°C 程度、黄灰色部分は 550~600°C、橙色部分も 550~600°C 程、土-8 (大) の黄灰色部分は 500~550°C、薄い橙色部分も 500~550°C 程度、土-13 の下の橙色部分は 550~600°C 程度に被熱した可能性が示された。6 箇所分析の結果、推定した被熱温度は 500~600°C と近い値を示した。試料表面が被熱時の表面を残しているのか検討することは必要だが、推定した被熱温度は粘土塊の大きさに関わらずどの部位も同程度の値だったことから、粘土塊が被熱した最高温度とも大きな差は無いと考えられる。また、色調の違う部位の比較でも被熱温度に大きな差が現れなかったことから、色調の違いは被熱温度以外の要因である可能性が示唆された。

参考文献

- 小畑直也・下岡順直 2015 「ルミネッセンス法による被熱履歴推定の概要」地質技術 5 pp. 29-35
奈良県立橿原考古学研究所 2021 「秋津遺跡 I (下層編) - 京奈和自動車道「御所区間」建設に伴う調査報告書 (10) -」『奈良県立橿原考古学研究所調査報告第 128 冊』奈良県立橿原考古学研究所
西村誠治・長友恒人・鐘ヶ江賢二・長友朋子 2007 「IRSL 法による弥生土器の被熱温度推定」『日本文化財科学会第 24 回大会研究発表要旨集』pp. 36-37

重要文化財 文殊菩薩騎獅像（京都・大智寺）の X 線 CT 調査

X-ray CT Research of Monju-bosatsu-kishizo statue (Important Cultural Property) at Daichiji Temple, Kyoto

○鳥越俊行（東京国立博物館）、山口隆介（奈良国立博物館）、岩井共二（同左）、
内藤航（同左）、安藤真理子（同左）

○Toshiyuki TORIGOE (Tokyo National Museum), Ryusuke YAMAGUCHI, Tomoji IWAI,
Wataru Naito, Mariko ANDO (Nara National Museum)

1. はじめに

京都府木津川市の大智寺が所蔵する重要文化財の文殊菩薩騎獅像は、本堂の改修に伴い 1 年限定で奈良国立博物館に寄託され展示公開された（2021 年 4 月に大智寺へ返却）。その際、現状把握のため X 線 CT による調査を行ったところ、像内に多くの納入品が確認された。頸部には厨子に納められた小さな文殊菩薩坐像が、また体部には卷子状の品など複数の納入品が確認された。また長方形の品の包紙には朱と推測される顔料で文字が記されており、像内から品物を取り出すことなく文字を判読できたことから多くのことが明らかとなった。これらの成果について、その調査手法を中心に発表を行う。

ポスター 発表

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

2. 調査資料と調査方法

大智寺の本堂厨子内に安置される本尊の木造文殊菩薩騎獅像（図 1）は同寺創建期にさかのぼる鎌倉時代 14 世紀の作品で、像高（坐高）66.2cm。獅子や持物は後補。

調査には奈良国立博物館の大型文化財用 CT (YXLON International 社製 Y.CT Precision 320 FPD) を用い、X 線出力 320kV、2mA、焦点寸法 0.4mm、1 回転当たりの撮影数は場所により 900~1260 枚、1 撮影あたり約 0.4 秒の条件で撮影した。なお、データの解析には VolumeGraphics 社の VGStudioMAX3 を用いた。



図 1 文殊菩薩騎獅像

3. 調査結果

納入品は、首柄内に厨子が一基、体部の内割り部に卷子状の品を中心に十数点が確認された（図 2）。像本体は保存状態が大変良好で過去に解体された痕跡がないため、像内は納入時の状況が保たれているとみられる。

厨子は布製とみられる巾着に入れられた断面楕円形・観音開きのもので、内部に像高約 2.7 cm の文殊菩薩坐像【②】を納めている（図 3）。

体部には、掛軸と推測される巻物【③】、紐で束ねた卷子状の品々や、後方に長方形の品がみ

える【④】。下方には短冊形の木札【⑤】があり、「諸仏所深種善根為」の文字が読み取れる（図4、5）。恐らく朱を用いて文字が書かれていると推測される。

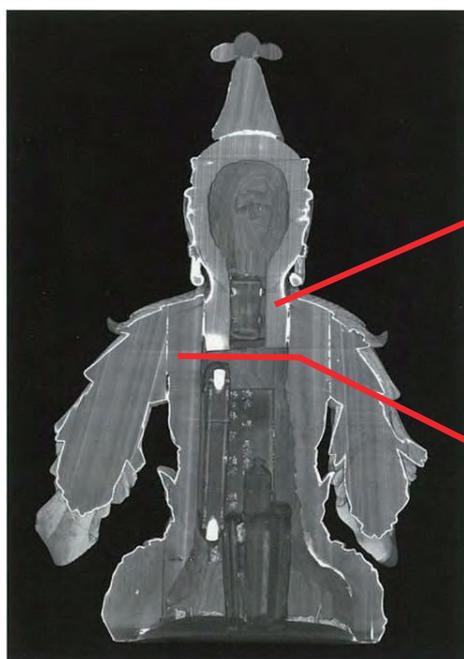


図2 文殊菩薩騎獅像の三次元垂直断面画像

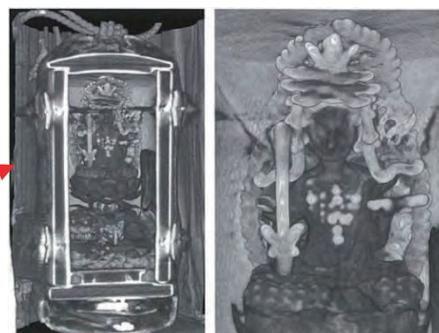
掛軸と推測される巻物【③】には、水晶製と思われる六角形の軸端と金属製の鑲がふたつ付く。今後この巻物の展開を試みる予定である。背面側に見える長方形の品【④】は、包紙に朱や金泥などで文字を記すと推測され（図6）、『金剛般若経』の注釈書に記される真言であることから、包まれている品は同経の可能性も考えられよう。なお、図6は平面として展開しているが、像内では卷子などに押され下方が湾曲および屈折していた。VGStudio MAX 3には曲面などを展開する機能（非平面ビュー）があり、変形した面を平面に展開したものである。

4. まとめ

本像は保存状態が非常に良好なため、納入品を直接目にはできないが、X線CTによる調査で厨子内の小像の存在を確認し、納入品に記される文字を解読することが可能となった。これらは像とともに後世へと伝えてゆくべき貴重な文化財である。

参考資料

奈良国立博物館編集『文殊菩薩騎獅像(京都・大智寺所蔵)のX線CTスキャン調査』特別公開リーフレット 2020年6月



① ② (①の拡大)

図3 厨子【①】内の文殊菩薩坐像【②】

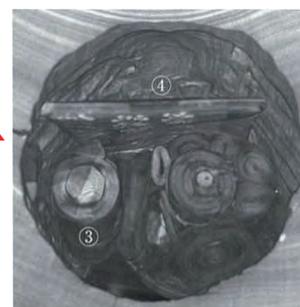


図4 体部の納入品(3D断面)

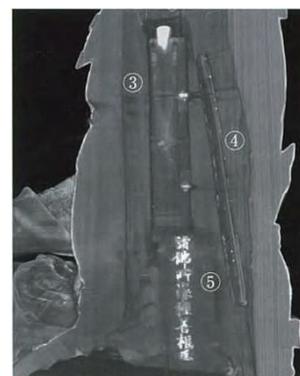


図5 体部の納入品(3D断面)



図6 包紙に記される文字

大和・額安寺出土忍性骨蔵器の科学調査

Scientific Investigation of the Bronze Cinerary Urns of the Priest Ninsho, excavated at Kakuanji Temple, Nara

○鳥越俊行（東京国立博物館）、吉澤悟（奈良国立博物館）、安藤真理子（同左）

○Toshiyuki TORIGOE (Tokyo National Museum),

Satoru YOSHIZAWA, Mariko ANDO (Nara National Museum)

1. はじめに

奈良国立博物館では、社会的弱者の救済に尽力したことで知られる鎌倉時代の律宗の僧忍性（にんしょう）にちなむ特別展を2016年夏に開催した。忍性は鎌倉の極楽寺で87歳の生涯を閉じたが、ゆかりのある奈良の額安寺と竹林寺にも遺骨が納められており、本展覧会ではこれら3墓所から見つかった骨蔵器を一カ所に集めて公開した初めての展覧会となった。展覧会終了後に蛍光X線分析やX線CT（コンピュータ断層撮影）スキャナによる調査を行った結果、銅製容器の金属組成が明らかになるとともに、表面から見えない容器底部にも陰刻のあることが初めて明らかになった。鎌倉時代の骨蔵器を考える上での基本資料として非常に重要であることから報告を行う。

2. 調査資料と調査方法

調査したのは、奈良県大和郡山市の額安寺より見つかった忍性骨蔵器と付随する骨蔵器群（図1、文化庁所蔵）、奈良県生駒市の竹林寺より見つかった骨蔵器のうちの忍性骨蔵器（図2、竹林寺所蔵）である。額安寺と竹林寺の忍性骨蔵器はともに同形・同工品で、総高は約30cm、総重量は約2kgである。

調査に用いた機器は、奈良博のハンドヘルド蛍光X線分析計（Spectro社製 xSORT Combi XHH03_H）とX線CTスキャナ（YXLON International社製 Y.CT Precision 320 FPD）である。蛍光X線はRh管球、SDD検出器の構成で、X線出力は50kV、50 μ A、資料から約1cm離し手持ちで測定を行った。CTはX線出力320kV、2mA、焦点寸法0.4mmで、1回転当たりの撮影数900枚、1撮影あたり0.8秒の条件で撮影した。なおCTデータの解析にはVolumeGraphics社のVGStudio MAX3を用いた。



図1 額安寺忍性塔納地品

図2 竹林寺
忍性骨蔵器

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 調査結果

額安寺と竹林寺から見つかった忍性骨蔵器の蛍光 X 線分析結果については、表面のさびの影響や手持ちでの測定のため数値がある程度ばらついているが銅・錫・鉛の三成分よりなる青銅であり、両者とも身の地金については銅 75%前後、錫 10%程度、鉛 15%前後と似た傾向を示した。額安寺の忍性骨蔵器に付随する 10 個の骨蔵器の分析では、一つが青銅製で、大半は銅製であった。いくつかは水銀が検出されたことより鍍金や鍍銀が施されていたことも確認された。

CT については、身と高台の接合を調べる目的で立たせた状態で撮影した結果、両者は 3 本の鉸で留められていることが判明した。しかし底部の水平に近い箇所がノイズの影響で不鮮明なため、横に寝かせて撮影を行ったところ、受座の底部と高台に未知の銘文が刻まれていることが明らかとなった。この部分は湾曲しており通常の断層像の観察では判読が困難なことから、VGStudio MAX 3 の曲面などを展開する機能（非平面ビュー）を用いて平面に展開し確認した

ところ、名前と思われる 2~3 文字が井桁上に配置されていること

（図 3）、刻まれた銘文は両者で一致するものもあるが多くは異なっていること、またそれらの筆跡もまちまちであることが明らかとなった（図 4）。



図 3 額安寺忍性骨蔵器の高台上面の CT 画像（局面を平面に展開）



図 4 額安寺忍性骨蔵器の受座・高台の構造と銘

4. まとめ

奈良博で開催した展覧会で借用・展示した骨蔵器に対して、携帯型蛍光 X 線分析装置と X 線 CT スキャン装置を用いた科学的調査を行い、新しい知見を得た。これまで形態観察から額安寺と竹林寺の忍性骨蔵器は同一工房の可能性が指摘されていたが、今回の調査で組成もほぼ同一であることが明らかとなった。また、額安寺の忍性骨蔵器に付随する骨蔵器群についても組成や鍍金の有無が判明した。CT による調査では、構造が判明するとともに、大型の忍性骨蔵器については受座の底部と高台に銘が刻まれていることも初めて明らかとなった。

極楽寺の骨蔵器などについても今後調査をすすめ、知見の蓄積をはかる必要がある。

本研究の一部は JSPS 科研費 JP17K03086【基盤研究(C)「叡尊・忍性による中世的救済ネットワークの研究」(研究代表者 吉澤悟)】の助成を受け実施した。

参考文献

吉澤悟：「二つの忍性骨蔵器 —大和・額安寺と同・竹林寺出土の銅製骨蔵器の調査—」『鹿園雑集』、22、p. 49-73、2020

吉澤悟・鳥越俊行：「大和・額安寺の忍性五輪塔に納められた骨蔵器群」『鹿園雑集』、23、p.45-74、2021

伝統木材建築の殺虫を目的とした湿度制御温風処理時における 温湿度制御条件に関する研究

—その2：木材の熱水分物性値の測定と湿度制御温風処理実験の熱水分解析—

A Study on Temperature and Humidity Control Conditions for Humidified Warm Air Treatment to Kill Insects in Traditional Wooden Buildings Part2: Measurement of Hygrothermal Properties of Wood and Analysis of Hygrothermal Behavior of the Humidified Warm Air Treatment Experiment

桑原摩周（京都大学）、○小椋大輔（同左）、
北原博幸（トータルシステム研究所）、藤井義久（京都大学）、
Kiyohiro KUWAHARA, ○Daisuke OGURA (Kyoto University),
Hiroyuki KITAHARA (Total System Laboratory), Yoshihisa FUJII, (Kyoto University)

1. はじめに 近年、木造建築物や木質美術工芸品に対する害虫駆除法として、湿度制御した温風処理が欧州中心に普及しつつある。これは材温を55~60℃程度まで上げ、タンパク質を変性させることで、卵から成虫に至る全ての例の甲虫類を駆除する方法¹⁾である。木材は湿潤膨張・乾燥収縮する性質をもつため、含水率が変化するとひずみ・変形が生じる可能性があるため、温度を変化させる際には同時に湿度を制御して含水率を一定に保つ必要がある。既報²⁾では試験体を作成してその内部に温湿度センサーを設置し、実際の温風処理を模した実験を行い、処理時の温湿度の挙動について把握を行った。本報告では、実験対象木材の熱湿気物性値の測定と上記実験時の木材内部の温湿度の1次元熱水分移動解析による計算結果を述べる。

2. 物性値の測定 既報²⁾で実験に用いたケヤキ試験体の以下の物性値を測定した。熱伝導率、平衡含水率、全乾・気乾・飽水密度、真空飽和含水率を測定した。

2.1. 熱伝導率 熱伝導率は、熱線法を用いた迅速熱伝導率測定装置（京都電子社製, QTM-500）を用いて実験に用いた試験体と同木材から切り出した試験片について測定を行った。図1に測定結果と近似式を示す。測定値の詳細は既報³⁾にて参照されたい。繊維方向、繊維直交方向間で1.5~2.5倍の差があり、その値の傾向は文献値⁴⁾に一致した。熱伝導率は密度と含水率の関数であり、木材の細胞組織の配列と水分の出入りは繊維方向・直交方向で異なる⁵⁾ため、熱伝導率も異なると考えられる。また飽和状態の値は気乾状態の約2倍であった。

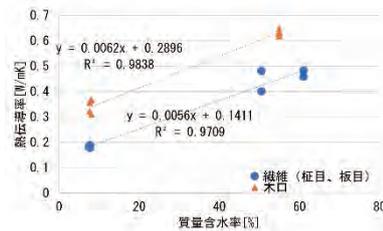


図1 熱伝導率の含水率依存性

2.2. 平衡含水率 平衡含水率は常温域では相対湿度で一意に決められることが多いが、60℃の高温環境下には温度の依存性も考慮する必要がある³⁾。この温度依存性を確かめるため、実験で使用する20℃・60℃と、その中間の35℃の3つの温度環境下で平衡含水率の測定を行った（図2）。20℃・35℃については蒸気吸着計測器（MicrotracBEL社製, BelsorpMax）を用いて、60℃についてはデシケータ法によって等温吸着線を測定した。図より、吸着過程と脱着過程では吸放湿履歴が確認され、温度の上昇に伴う含水率の減少が全領域にて確認された。

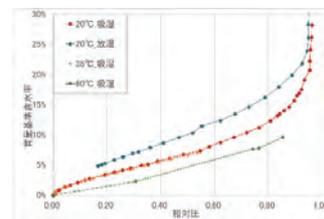


図2 平衡含水率

2.3. 密度、真空飽和含水率 2.1で用いた気乾状態の木材を44日間かけて脱気し飽水状態にした後、60℃の恒温槽に入れ絶乾状態にした。それぞれの状態での質量と絶乾状態で各辺の長さから求めた体積から密度を求め平均値を算出したところ、既存の文献値⁴⁾とほぼ一致する結果であった。

3. 数値解析 3.1. 基礎方程式 数値解析は以下の温度と水分化学ポテンシャルを駆動力とする熱水分同時移動方程式を用いる。

$$\rho_w \frac{\partial \psi}{\partial h} \left(\frac{\partial h}{\partial \mu} \frac{\partial \mu}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} \right) = \nabla \cdot (\lambda'_{\mu} \nabla \mu) + \nabla \cdot (\lambda'_{T} \nabla T) \dots (1), c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot \{ (\lambda + R \cdot \lambda'_{Tg}) \nabla T \} + \nabla \cdot (R \cdot \lambda'_{\mu g} \nabla \mu) \dots (2)$$

なお、含水率の時間微分項で通常無視することが多い温度微分項の(1)式の左辺の $\frac{\partial h}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$ の項を計算では考慮している。

3.2. 物性値 文献より取得した物性値³⁾と2節で示した繊維方向の熱伝導率と、平衡含水率曲

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

線は齋藤の式⁸⁾の温度の変数に、対象の温度を+40Kを与えたものを用いた。

3.3. 計算結果と実測値の比較 既報²⁾にて実施した温風処理実験の測定結果を図3~5に、計算結果を図6~8に温度、相対湿度、絶対湿度の順にそれぞれ示す。表面、中間、内部の順に、材表面に近いセンサーである。図より、温度、絶対湿度ともに実測値と比較して計算値の変化は緩やかで、変化幅も小さい。その傾向は特に相対湿度変化にて顕著であり、温風処理前後にて、表面付近のセンサー部にて僅かに数値が上昇するに留まった。

3.4. 考察 相対湿度の計算値が測定値と一致が不十分であった理由は主に二つあり、一つは、透湿率の温度依存性を考慮できていない点と考えられる。温風処理中の高温時においてはより高い値を示すと考えられ、温風処理中の水分移動速度はより大きい値である可能性がある。もう一つは2あるいは3次元性である。温風処理実験にては1次元性を確保するため断熱材を四周に貼り付けていたが、木口面は熱移動、水分移動ともに柱目面より大きく、無視できないため、その影響による可能性が考えられる。

3.5. より大きな透湿率による追加検討 上記二点を踏まえ、透湿率が大きい場合の検討を行う。図9~11に透湿率の値を30倍とした場合の温度、相対湿度、絶対湿度の解析結果をそれぞれ示す。図より透湿率を大きくすると温度、絶対湿度の応答が速くなり、相対湿度についても数値の変化のみに着目すれば実測値に近いものとなった。なお、平衡含水率の温度依存性が考慮できていない点も要因の一つとして考えられ、今後検討が必要である。

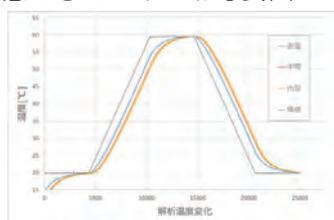


図3 温度の測定結果

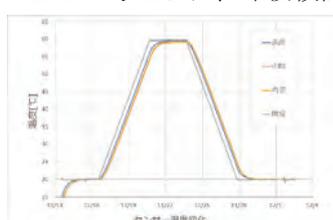


図6 温度の計算結果

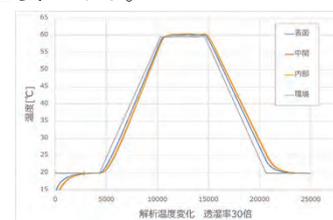


図9 透湿率30倍の温度の計算結果

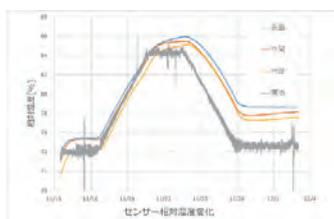


図4 相対湿度の測定結果

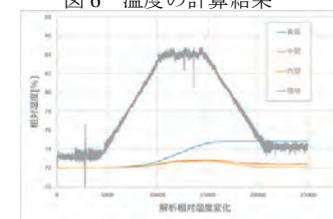


図7 相対湿度の計算結果

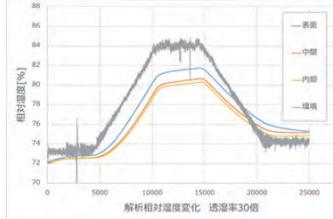


図10 透湿率30倍の相対湿度の計算結果

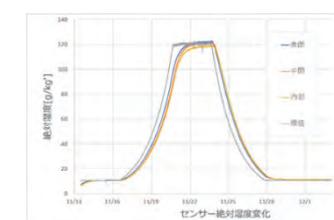


図5 絶対湿度の測定結果

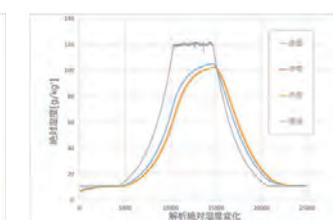


図8 絶対湿度の計算結果

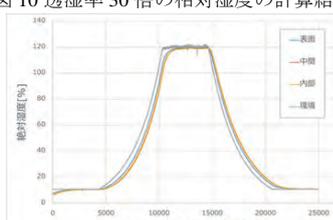


図11 透湿率30倍の絶対湿度の計算結果

4. まとめ 加湿温風処理実験に対して現状の物性値を使用した1次元解析では熱水分移動の予測に不十分であることが今回の研究にて把握できた。

5. 結論 加湿温風処理実験に対して現状得られている物性値を用いた1次元解析では木材内部の温湿度挙動の再現が不十分であることが分かった。今後は異なる温度域における透湿率の測定、平衡含水率の温度依存性の考慮、及び2次元での解析による検討を行う予定である。

参考文献: 1) 小峰幸夫ら、湿度制御した温風処理における殺虫効果の検証: 保存科学 58号, p21-28 (2019), 2) 小椋、野村、北原、藤井、歴史的木造建造物の殺虫を目的とした加湿温風処理時における温湿度制御条件に関する研究—実験による木材内部の温湿度挙動の把握—、文化財科学会第37回大会, 2020, 3) 桑原摩周ら、伝統木造建築の殺虫を目的とした加湿温風処理時における温湿度制御条件に関する研究その2: 木材の熱水分物性値の測定と加湿温風処理実験の熱水分解析 日本建築学会近畿支部研究報告集 (2021) 4) 木材工業ハンドブック改訂4版, 森林総合研究所監修, 村田誠史郎, 丸善, 2004 5) 新建築学大系10 環境物理, 第3章 湿気, 彰国社, 松本衛他, 1984, p111 6) 新編熱物性ハンドブック, 日本熱物性学会, 養賢堂, 2008, p233 7) 田中俊六ら 最新建築工学 改訂2版 株式会社井上書院 1999, p242, 8) 齋藤ら、日本の気候値平衡含水率、木材学会誌 Vol. 62, No. 5, p182-189(2016)

橋野高炉跡水路石垣保存整備のための定点観測

The observation for the preservation and maintenance about the stonewall in Hashino Blast furnace remain

○小林恵（応用地質株式会社）、高瀬尚人（同左）、森一欽（釜石市）

○Megumi KOBAYASHI, Naoto TAKASE (OYO Corporation), Kazuyoshi MORI (Kamaishi City)

1. はじめに

国史跡橋野高炉跡は江戸時代末期に完成した現存する日本最古の洋式高炉跡で、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」の構成資産の一つである「橋野鉄鉱山 橋野高炉跡及び関連遺跡」の一部である。

橋野高炉跡には3基の高炉を中心に、高炉の送風装置（ふいご）を水車によって動かすための水路や長屋や作業場等があった平場等の遺構が残っている。この水路や平場を構築するために石垣が築かれているが、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、石材の劣化等が多く見られ、崩落の危険性が指摘されていた。そのため釜石市では史跡の保存整備に先立ち、保存整備の必要性や工法等を検討するため、「石垣の安定性評価」を目的として令和元年度より水路及び平場の石垣について定点観測をおこない、石垣の変位を観察している。本発表では、このうち二番高炉脇水路石垣（写真-1）における定点観測結果について報告する。



写真-1 二番高炉脇水路石垣

2. 定点観測の方法

計測に使用した測定器はマイクロストレインゲージMSG-D1（株式会社筑波丸東製）である。隣り合った2つの石材に長さ変化を測定するためのチップ（株式会社筑波丸東製）を約30cm間隔になるように設置し、測定器の接点（窪み）を石垣に設置したチップの突起部分に合わせ、デジタル表示される数値を読み取るしくみである。測定精度は1/1,000mm、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回を基本とし、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。また、釜石市の地震観測点で震度4以上が確認された場合、釜石市で大雨警報が発令された場合（1回の降雨量が50mm以上）には、適宜追加観測を実施した。

3. 定点観測結果

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

水路石垣東面②地点の令和元年7月から令和3年6月までの観測値の変化を図-1に示す。定点6-1（写真-2の白枠）は令和2年3月から変位が増加し、6月以降は落ち着いていたが、令和3年3月より再び変位が拡大している。定点6-1の令和元年7月と令和3年6月の測定値の差は+8.872mmである。

その他にも定点2-1、定点3、定点6-2（写真-2のグレー枠）では令和2年4月以降に変位が増加し、

その後は落ち着いていたが、令和3年3月より変位が再び拡大する傾向がみられる。定点2-1、定点3、定点6-2の令和元年7月と令和3年6月の測定値の差は+1.5～3mm程度である。

変位が大きい石材はいずれも水路石垣の最上段の石材であり（写真-2の○で囲んだ石）、特にこの位置では平場が水路方向に傾斜していることによる降雨の流れ込みや、背後に動物の抜け穴ができていないこと等の理由により変位が拡大しているものと考えられる。

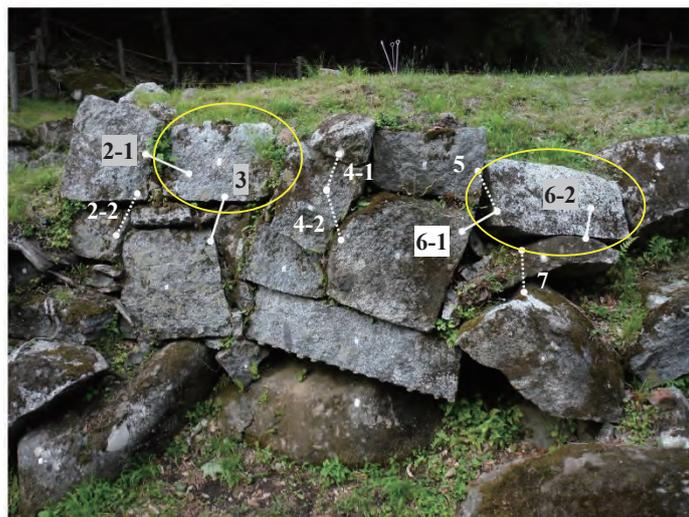


写真-2 変位が大きい石材（東面②地点）

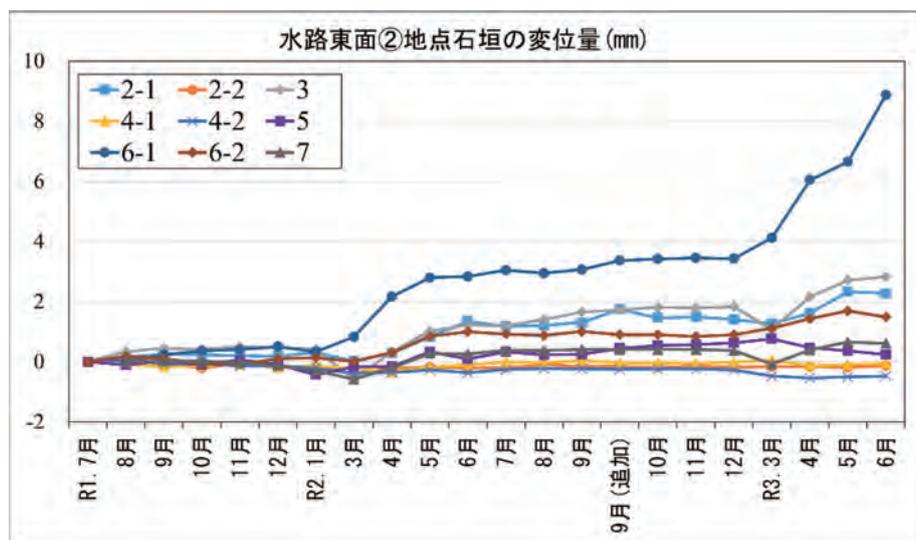


図-1 水路石垣東面②地点の変位量（令和元年7月～令和3年6月）

4. おわりに

史跡の保存整備において、修復を最小限かつ効果的に実施することが求められる中で、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定点観測は大変有効である。橋野高炉跡では、定点観測の結果を踏まえ変位が拡大している水路東面②地点石垣の積み直しを検討している。なお、地震や雨などの外的要因のほか、季節変動（気温変化）による周期的な変動もあることから、その兆候を知る上でも2年間程度の観測期間が必要と考える。

土器残存有機物と使用痕跡から見た先史時代の煮炊き

Reconstruction of prehistoric pottery cooking by organic residue & pottery use-wear analysis

○宮田佳樹（東京大学総合研究博物館）、福井淳一（（公財）北海道埋蔵文化財センター）、福田裕二（函館市教育委員会）、宮内信雄（東京大学総合研究博物館）、堀内晶子（前国際基督教大学）、吉田邦夫（東京大学総合研究博物館）、村本周三（北海道教育庁）

○Yoshiki MIYATA (The University Museum, The University of Tokyo), Junichi Fukui (Hokkaido Archaeological Operations Center), Yuji FUKUDA (Hakodate City Board of Education), Nobuo MIYAUCHI (The University Museum, The University of Tokyo), Akiko HORIUCHI (Former International Christian University), Kunio YOSHIDA (The University Museum, The University of Tokyo), and Shuzo MURAMOTO (Hokkaido Office of Education)

ポスター発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

はじめに

土器で調理をすると、土器内面の表面には調理食材の残渣が付着して炭化し（「コゲ」）、土器胎土には脂質が吸着する。土器外面の表面には、燃料材から生じた微細な炭素粒が付着・積層した「煤」と調理内容物が「吹きこぼれ」て炭化し付着する。調理の方法により土器内面に付着・吸着する有機物は、液体「汁」中に個体「実」があり喫水線が上下するスプーン状の料理、炊飯のように「実」が多くを占めて喫水線が下降する炊飯、土器内には水があり内容物が溶け出した液体が滴り落ちる蒸し料理では、土器内面に付着・吸着する有機物の分布は異なることが予想される。そのため、土器残存有機物分析では試料採取部位の選定や分析結果の検討にあたって、土器の使用痕跡の観察から推定される調理方法の検討が必要であると考えている。

そこで本研究では、北海道南部の函館市にある長期継続集落遺跡大船遺跡、垣ノ島遺跡（函館市教育委員会所蔵）から出土した縄文土器について使用痕跡を観察し、土器胎土の脂質濃度や組成、同位体組成といった残存有機物との関係を検討した。

1. 試料と方法

試料は、北海道函館市大船遺跡、垣ノ島遺跡で出土した縄文時代中期後半の土器から採取した土器胎土である。粉末状にした土器胎土から、メタノールと硫酸を用いる酸触媒直接メチル化法（Correa-Ascencio & Evershed (2014); Papakosta et al. (2015)）で脂質を抽出し、ガスクロマトグラフによって、脂質濃度を定量し、ガスクロマトグラフ質量分析装置によって、脂質組成を分析し、バイオマーカー解析を行った。さらに、パルミチン酸・ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成（ $\delta^{13}\text{C}_{16:0}$ (‰), $\delta^{13}\text{C}_{18:0}$ (‰)）を燃焼炉付ガスクロマトグラフ質量分

析装置によって分析し、残存有機物の起源推定を行った (Horiuchi et al. 2015)。

実験操作は、全て東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室 (MALT) で行った。

2. 結果と考察

大船遺跡、垣ノ島遺跡出土土器胎土の平均脂質量は $40.0 \mu\text{g/g}$ -pottery (N = 49) であった。そのうち、大船遺跡出土榎林式土器 HDMK-144 は土器残存脂質量が $90 \mu\text{g/g}$ 以上と高濃度で、使用痕跡も明瞭なため、使用痕跡と土器胎土の残存脂質量との関係を検討した。

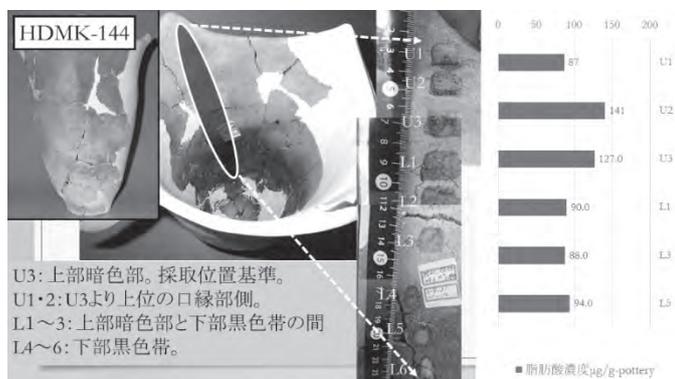


図. HDMK-144 の使用痕跡と残存脂質量との関係

使用痕観察の結果、HDMK-144 は土器上部に調理時喫水線が存在し、吸着した有機物が加熱されたことで上部暗色部が形成されたと考えられた。また、その後の盛り付けで、喫水線は胴下部に下がり、加熱により下部黒色帯が形成されたと推定された。そこで、口縁部 (U1) から胴下部 (L6) まで、土器胎土を 9 ヶ所連続採取し、残存脂質量の関係を比較した (図参照)。

脂質濃度は、調理時喫水線由来の暗色部とその上部にあたる U2, 3 で $141, 127 \mu\text{g/g}$ と高濃度であった。それ以外の U1・L1・L3・L5 では $90 \mu\text{g/g}$ 前後と一定であった。

一方で脂質組成は 9 試料で非常に似通っていた。フィタン酸、プリスタン酸、TMTD (4, 8, 12-trimethyltridecanoic acid) などの水棲動物のバイオマーカーであるイソプレノイド類、炭素数 16 の不飽和脂肪酸が 270°C ないし、 300°C まで加熱された際に生成される APAA (アルキルフェニルアルカン酸)、炭素数 28 以上の超長鎖飽和脂肪酸などの植物性マーカー、炭素数 18 から 24 までの不飽和脂肪酸、炭素数 11 から 22 までの二塩基酸、植物に含まれるカリオフィレンアルコール (caryophyllenyl alcohol) やカダレン (4-isopropyl-1,6-dimethyl-naphthalene) などが共通に検出された。さらに、分子レベル炭素同位体組成は、 $-22\sim-23\%$ でほぼ一定であった。したがって、HDMK-144 の残存有機物は、遺跡で埋没し発掘されるまで、長期間にわたって微生物などによる分解を受けてきたにも関わらず、非常に均質な有機物組成を保っていたことがわかった。さらに、土器の部位による残存脂質量の関係が、調理段階とは大きく異なっていないと仮定すれば、今回の結果は、縄文時代に典型的と考えられているスープ状の煮込み系調理の様相を、複数の土器残存有機物の情報を用いて、具体的に復元することができた事例と考えられる。つまり、使用痕跡の観察結果と残存脂質量が整合的であり、おそらく、4,000 年の時間を経て残存脂質量の違いが保存されている可能性高い。また、土器胎土については、脂質濃度や組成の局所性がそれほど高くない可能性を示唆する結果と言えよう。

謝辞 本研究は、文科省科研費 20H05813 「土器の年代と使用法の化学的解明」 (研究代表者 國木田 大) の成果の一部である。また、平野千枝学芸員をはじめ函館市縄文文化交流センターの皆様には試料採取をはじめ、大変お世話になりました。末筆ながら記して謝意を表します。

アイヌ文化期におけるガラス玉の時期変遷に関する考古科学研究 —化学組成と鉛同位体比分析—

Archaeometrical investigation on the chronological transition of glass beads during the Ainu culture: compositional and isotopic analysis

○高橋 美鈴（様似町教育委員会）、田村 朋美（奈良文化財研究所）

○TAKAHASHI Misuzu (Samani Board of Education),
TAMURA Tomomi (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. 研究の目的

アイヌ文化期の北海道ではガラス製の玉類が多く出土するが、化学組成の詳細や時期変化については不明な点が多い。そこで、本研究では恵庭市カリンバ2遺跡（15～16世紀）から出土したガラス玉について材質調査を実施し、筆者らがこれまでに調査した12～17世紀初頭のガラス玉と比較することで、アイヌ文化期の北海道におけるガラス玉の化学組成のバリエーションおよび時期変化について検討した。さらに、昨年報告した余市町大川遺跡出土のカリ鉛ガラス製の玉¹⁾について鉛同位体比分析を実施し、12世紀を中心に14世紀まで流通したカリ鉛ガラス玉と比較することで、カリ鉛ガラスに用いられた鉛原料産地の時期変化について検討した。

2. 資料と方法

本研究で検討対象としたのは、12～17世紀初頭の北海道から出土したガラス玉である。前年度までに調査をおこなった資料に加えて、今回新たに恵庭市カリンバ2遺跡土壙墓 AP-5 から出土したガラス小玉について材質調査を実施した。本遺構からは270点が出土しているが、今回の調査では、このうち92点について測定した。

材質調査には蛍光 X 線分析法を適用した。測定に用いた装置は、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（エダックス社製 EAGLEIII）である。測定は真空中で実施し、測定結果は、測定試料と近似する濃度既知のガラス標準試料を用いて補正した理論補正法（FP法）により、検出した元素の酸化物の合計が100%になるように規格化した。

鉛同位体比分析を実施した資料は、余市町大川 GP-600 から出土したガラス玉7点である。内訳はカリ鉛ガラス（材質Ⅰ）4点、カリ石灰鉛ガラス（材質Ⅱ）3点、カリ石灰ガラス（材質Ⅲ）が1点である。測定は、日鉄住金テクノロジーに委託し、熱イオン化質量分析（Finnigan 製 MAT262）によった。

3. 結果と考察

蛍光 X 線分析の結果、カリンバ2 AP-5 出土のガラス玉92点のうち88点がカリ石灰ガラス（ $PbO < 1\%$ ）で、 PbO を多く含有する個体は4点のみであった（ $PbO : 30.5-36.1\%$ ）。カリンバ遺跡のガラス玉は、近接する時期に帰属すると考えられる大川 GP-600 出土品と比較すると、構

ポスター
発表

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

成に明らかな相違がある。大川 GP-600 では、PbO を 10%以上含有するカリ鉛系のガラスが過半数を占めている。カリ石灰ガラスについても淡青色不透明のみの単純な色構成であるのに対し、カリンバ2 AP-5 のものは多彩である。カリ石灰ガラスの材質的特徴もやや異なっており、Al₂O₃ および TiO₂ の含有量が多い (図 1 上)。さらに、大川 GP-600 では亜鉛を伴うガラスが多くみられたが (ZnO>0.1%)、カリンバ2 AP-5 のカリ石灰ガラスにおける ZnO 含有量は極めて少ない (図 1 下)。すなわち、時期が近接するとみられる大川 GP-600 とカリンバ2 AP-5 出土のガラス玉は、構成比率が異なるだけでなく、同じカリ石灰ガラスについても化学組成の特徴が異なっており、類似性が乏しい。僅かな時期差に起因するのかさらに検討が必要である。なお、同時期の本州で出土するガラス玉とも種類や構成が異なる。

次に、鉛同位体比分析の結果について考察する。

北海道には 12 世紀頃に一度カリ鉛ガラスが流入するが、13~14 世紀になると急速に減少する。その後、15~16 世紀に再び増加する。ただし、16~17 世紀初頭のカリ鉛ガラス (大川 GP-600 材質I) は、先行する時期のものと比較すると PbO がやや少なく、CaO をわずかに伴う点など化学組成の特徴が異なることが判明していた¹⁾。12 世紀を中心に流通したカリ鉛ガラスは対州鉱山産の鉛を原料としていたが²⁾、今回の鉛同位体比分析の結果、大川 GP-600 のカリ鉛ガラスはこれらとは異なる鉛同位体比をもつことが判明した。現状では日本列島の中に候補となる鉱床が見いだせないことから、日本列島外の鉛原料が用いられている可能性が高い。

- 1) 高橋美鈴・田村朋美 2020 「中世アイヌ文化期におけるガラス玉の時期変遷に関する予備研究」『文化財科学会第 37 回大会発表要旨集』
- 2) 田村朋美・高橋美鈴 2020 「擦文末期~アイヌ文化期初期におけるガラス玉の起源と流入経路」『北海道考古学』第 56 輯

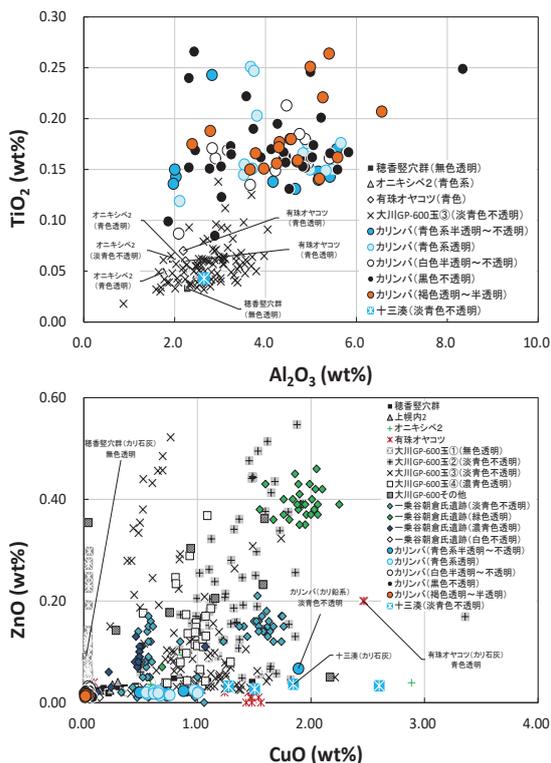


図 1 カリンバ2 AP-5 出土ガラス玉の化学組成の特徴

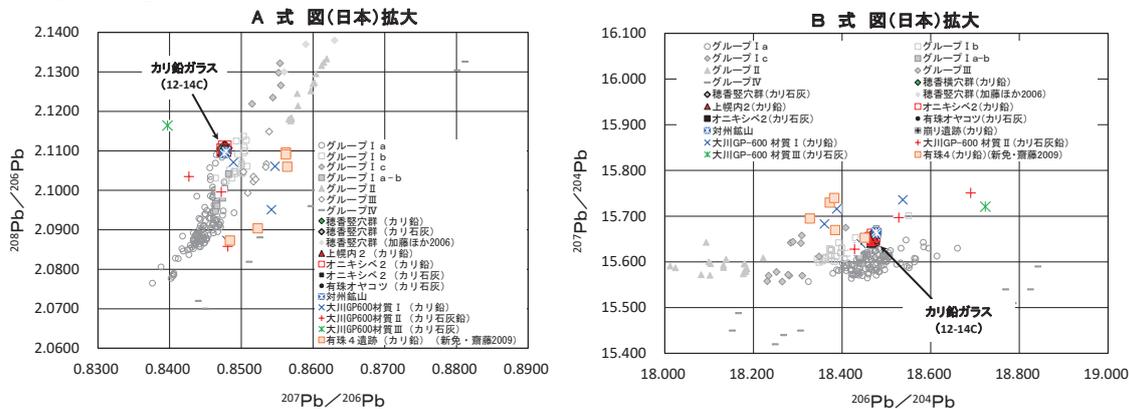


図 2 大川 GP-600 出土のカリ鉛ガラスと日本列島産鉱石との鉛同位体比の比較

鶏卵紙に貼られている粘着テープ除去に関する研究

Methods for removing adhesive tape from albumen paper using organic solvents

○金旻貞 (株 修美)、刀谷公子 (同左)、市宮景子 (同左)、宇都宮正紀 (同左)

○Minjung KIM, Kimiko TOTANI, Keiko ICHIMIYA, Masaki UTSUNOMIYA (SHUBI Co., Ltd.)

1. はじめに

近現代の歴史資料としての写真は、機能を異にする多層構造であり、19世紀以降の多様な技法や材料が混在している。その多様性から、筆者らは写真の修理に必要な材料や修理方法などを模索している。現存する19世紀の写真の約80%は鶏卵紙ⁱである。鶏卵紙はセロハンテープなどの粘着テープ類にて補修された痕跡が多く見られ、著者らは鶏卵紙から粘着テープⁱⁱを除去ⁱⁱⁱするための研究を進めている。鶏卵紙の取扱いが難しいⁱⁱⁱことから、水溶液による処置は適さないと考えられている。一方で、写真の裏面に貼られている粘着テープ^{iv}の除去を想定した場合、細筆などを用いることで特定の部分にのみ溶媒を塗布することができること、溶媒であれば除去したい部分に対して浸透しやすいこと、粘着テープ^vの粘着層と支持体の界面で液が留まる溶媒であれば、粘着テープ^vの効果的な除去が望めることから、補修手法の一つとして検討すべきであると考えた。本稿では有機溶媒を用いた場合の鶏卵紙の各層への影響や、作業する際の注意点などをまとめた。

2. 粘着テープの除去試験

2.1. 試料片

鶏卵紙試料は劣化した資料を想定し、購入した試料を使用した。粘着テープについては、文房具として市販されている2種類の粘着テープ(グループA;天然ゴムを主成分とするグループB;セロハンテープ、アクリル系を主成分とするメンディングテープ)を鶏卵紙の裏面に貼付し、基準試料とした。また、基準試料を用いて粘着テープを劣化させた対照試料は強制熱劣化試験^{iv}(温度:50°C、湿度:45%RH、74%RH、85%RH期間15日、8週間)で調製した。

溶媒を用いた除去作業は筆を用いて少しずつ塗布しながら判断するのが一般的だが、今回は溶媒の液量によって、どの層構造まで浸透し、また化学変化が生じるのかを確認するため、注射器を用いて実験を行った。使用した溶媒は、ヘキサン、トルエン、エタノール、酢酸エチル、テトラヒドロフラン、アセトンの6種類である^v。

2.2. 評価方法

鶏卵紙に対して負担をかけない条件を検討するため、基準試料及び経年劣化に近い状態の試料を作製した。これらに対して有機溶媒を浸透させ鶏卵紙各層の構造変化を観察した。観察には走査型電子顕微鏡(SEM-EDX、日立 TM3000)を使用した。またSEM付属のEDX(Swift3000)を用いて鶏卵紙の画像層を構成する元素を分析し、溶媒浸透後に検出される元素の違いを検証することで試

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

料への影響を評価した。

3. 結果及び考察

溶媒による液の浸透量の規則性は見出だせなかったが、最大の使用量の時にバインダー層の安全性を確認することができた。各条件での作業結果の確認は、SEM-EDXにて観察を行った。支持体の紙の上にバインダー層の役割を果たす卵白層が表面を覆って一つの層を形成している鶏卵紙の基本的な2層構造が確認できた。バインダー層は1 μ mほど薄い膜で、支持体をふくめて60 μ mの厚さのものである(図1)。溶媒の選択と作業安全性に関しては、図2と3に示したように、溶媒処理後に支持体と粘着剤の界面がよく剥離したものを○、不十分と判断したものを△とした。また、効果が高いと考えられる溶媒は、ハセン溶解度パラメータに基づくTeas Graphを用いて評価し、まとめた。溶媒の頭文字を使って表記する。加速劣化条件の異なる場合は各種の溶媒選択の差異が確認できた。図3に、結果の一例を示す。グループA-1(無調製)に対してテープ除去効果が認められた溶媒は、セロハンテープには酢酸エチルが、メンディングテープにはテトラヒドロフランがテープ支持体及び粘着剤の高い除去効果が認められた。当然ながらテープの劣化進行に伴い、溶媒の選択も変化していくことが考えられる。

以上、まだ実際の資料へ適用するためには早い短報であるが、模索中の状態にある写真の修理分野に関する保存科学からのアプローチが修理技術をより確実なものとすると考えている。

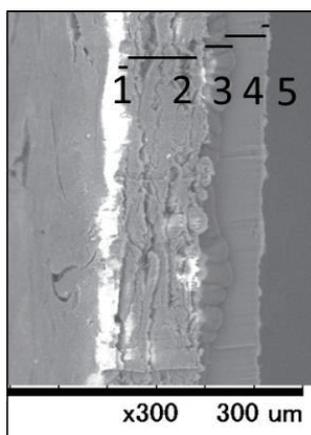


図1. SEMによる断面構造。

1, 2は鶏卵紙, 3~5は粘着テープ構造(300倍)

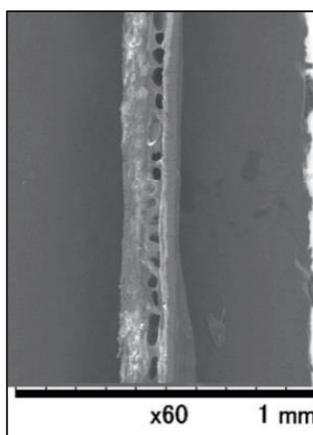


図2. 支持体の界面と粘着テープの

粘着剤部分から溶解し、剥離した様子(60倍)

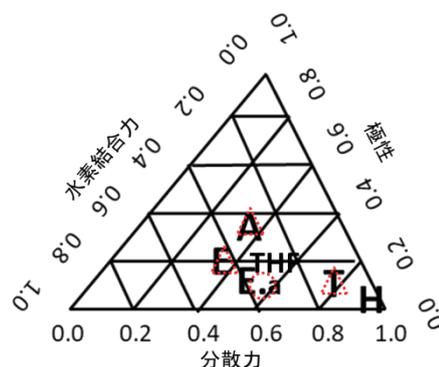


図3. 酸化していない天然ゴム系に溶媒を用いた場合の高い除去効果が得られた溶媒。

10回(1滴, 40ml)まで行を行った。

ⁱ紙ベースに塩化カリウムを含む卵白溶液を均一に塗布し、これを乾燥した後に硝酸銀溶液中で処理し塩化銀を感光要素とした印画材料である。1850年代から1890年代中期まで、最も多く利用された写真印画法である。

「写真の保存・展示・修復」日本写真学会画像保存研究会編、1996

ⁱⁱ「紙に付着した天然ゴム系粘着テープ除去方法の検討」内田優花・早川典子、文化財保存修復学会誌62、1~13、2019;粘着テープの除去方法は、消しゴムなどで削り取る方法、加熱や冷却による物理的な方法、有機溶媒を用いた化学的な方法、ゲルによる方法などがあげられる。

ⁱⁱⁱ支持体に非常に薄い紙が用いられていること、支持体の紙の上にバインダー層の役割を果たす卵白層があり、そこに銀画像のもととなる銀粒子が保持されていることから取り扱いに注意が必要である。「鶏卵紙の歴史と保存に関する研究」、宮西みおり、日本大学大学院芸術学研究科、平成27年学位論文

^{iv}Test methods and evaluation of preservative properties of photographic images

^vPressure-sensitive tape and techniques for its removal from paper, Merrily A. smith., The Book & Paper Group annual. 1983, 2. P 101-113

書画文化財の修理における補彩の見え方とその定量化

The visualize and quantification of toning in restoration of paintings and calligraphy

○宇都宮正紀 (株 修美)、金旻貞 (同左)

○Masaki UTSUNOMIYA, Minjung KIM (SHUBI Co., Ltd.)

1. はじめに

人がどのような仕組みで色を知覚するかは古くから興味の対象となり、今までに多くの説が提案されてきた。また色の定量化は測色学(Colorimetry)で、色の定性化は測光学(Photometry)の分野で多く報告ⁱされているが、書画文化財における色の定性及び定量は、材料を調べるための分析結果であることが多い。また、色の客観的な記録は写真を用いることが一般的である。紙本書画の修理には、料紙と同質の補修紙を作製し、欠失部分を補填して補紙部分に補彩する工程がある。補彩は欠失が鑑賞の妨げにならないように行われるが、修理後に寺社の建物内や展示ケースなどで鑑賞位置を変えて鑑賞された場合、補彩部の色が周囲と調和せず、違和感を呈する事がある。補彩に関する研究は施工における倫理論ⁱⁱが重視されている一方、技術や材料の側面で研究された例はない。そこで本研究では紙本書画の鑑賞時に生じる補修補彩部の色の見え方について検証し、基本的に修理技術者の感覚に頼っている修理工程に正確な指針を設けることを目的とする。

2. 実験方法

複数方向における色の見え方の変化に関する調査には、分光測色計(ポータブル、コカミナルタ CM-M6)を用いた。明度を L^* 、色相と彩度を示す色度を a^* 、 b^* として、色の見え方を数値化した。照明は1方向(45°)、受光角度は6方向(-15° 、 15° 、 25° 、 45° 、 75° 、 110°)とした。

調査は大きく分けて3つのアプローチで行なった。①修理後の作品ⁱⁱⁱを用いて、料紙と補彩場所を選択して分光測色計で測定した。②補修紙の表面粗さによって色の見え方は変化することから、実験的に#120~#2500までの粗さが異なる紙やすり表面の色差を分光測色計で測定した。③日本においては図像や線が欠失していても、基本的に修理技術者が復元的な描画を足すことはないが、本紙基調色に合わせるため補修紙に水彩絵具を使用する。そこで、補修紙に水彩絵具で彩色した試料表面の彩色を分光測色計で測定した。また粒子の大きさは走査型電子顕微鏡(SEM-EDX、日立TM3000、SwiftED3000)で観察した。

3. 結果及び考察

① 料紙と補修紙の補彩の評価について

図1に得られた結果の一部を示す。すべての測定値において a^* 、 b^* の挙動幅は料紙と補彩では数値の違いはわずかであった。欠失が鑑賞の妨げにならないように本紙基調色に合わせている修理技術者の補彩に対する感覚というものが実験結果によって裏付けられた。一方で6方向の受光度

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

が 45° (以下、正面) から 110° に変わった場合に、料紙の明度は $L^* 54.62$ から $L^* 52.02$ 、 $\Delta L^* -2.6$ であった。補彩は $L^* 60.57$ から $L^* 47.14$ で $\Delta L^* -13.4$ となり、角度によっては料紙に比べ補彩がより暗くみえることがわかった。また正面から -15° への挙動幅も料紙は $\Delta L^* +20.32$ に比べて補彩は $\Delta L^* +27.5$ で補彩の方が明るくみえることがわかった。このように料紙と補彩の L^* 挙動幅は一貫性がないことがわかった。

② 表面の粗さが見え方に与える影響について

図2に、6方向受光度方式により得られた L^* を粗さ順に示す。補修紙の表面を料紙表面の状態に近づけるため、表面粗さのみ検討した。表面粗さが細くなるに従って -15° への挙動幅は低下するが、正面から 110° への規則性は見られなかった。一方で、図1の料紙に近いものを選定するならば、正面から 110° に変わった場合は $\Delta L^* -1.89$ 、 -15° の場合は $\Delta L^* 22.5$ である #800 の粗さに近い補修紙の表面を製作することで明度問題を抑えることができる可能性があることがわかった。

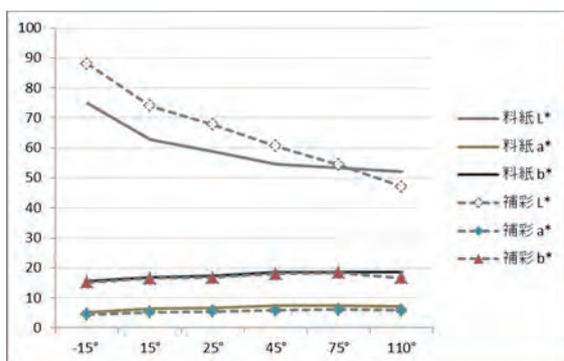


図1. 受光角度による料紙と補彩の L^* 、 a^* 、 b^* 値

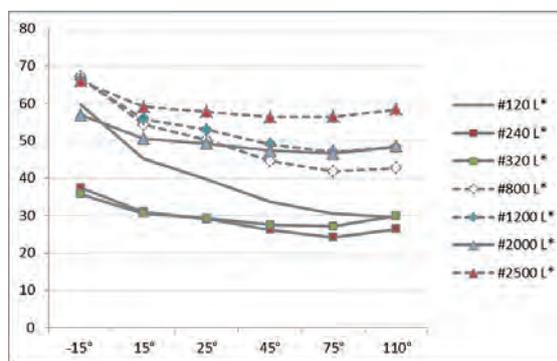


図2. 受光角度による表面粗さの L^* 値

③ 補彩絵具や絵具粒度の影響について

補彩絵具(赤色・黄色・青色)を調べたところ、正面から -15° の ΔL^* は、 $32.05 \sim 34.21$ で、正面から 110° の ΔL^* は、 $-12.33 \sim -13.61$ の図1と同様な傾向が確認できた。補修紙のみの測定結果で正面から -15° の ΔL^* は $39.36 \sim 36.69$ 、正面から 110° の ΔL^* は、 $-10.24 \sim -11.07$ であることから既存の補彩絵具は ΔL^* にほとんど影響がないことがわかった。さらに、下塗に用いられている絵具の粒子と各種和紙を組み合わせたカプルの計測を行い、粒度の影響についても確認した。

上記の①~③結果より、料紙と補彩の見え方の違いは色の明るさによるものであり、明るさの違いは補修紙の表面粗さに起因していることがわかった。このことから、料紙の変動幅に近い条件を策定し、補修紙を作製することで複数方向からの生じる見え方の違いを最小限に抑えられると考えられる。今後も継続的に検証する予定である。

謝辞 ご協力賜りました大樹寺様、麟祥院様、エコミルタジヤパン、(株)ミツフロンテックの谷口様に感謝致します。

ⁱ「彩色工学」、大田 登、東京電機大学、1993

ⁱⁱ補彩の倫理については、「Retouching of art on paper」、Tina grette poulsson, Archetype publications。「紙に描かれた芸術作品の補作品」、鳥海秀実 監訳、岡墨光堂、杉下彩翻訳版が出版されている。

ⁱⁱⁱ大樹寺様(愛知県岡崎市)、麟祥院様(京都府京都市)の襖絵を調査した。

ユーラシア大陸での製紙技術の伝播と多様性について

Research on Diversity of the Ancient Paper Manufacture in Eurasia

○坂本昭二 (Shouji SAKAMOTO) †1、 Léon-Bavi VILMONT †2

†1 龍谷大学 (Ryukoku University)

†2 Centre de Recherche sur la Conservation (CRC, USR 3224), Muséum National d'Histoire Naturelle, Ministère de la Culture et de la Communication, CNRS

1. はじめに

これまでに、日本、朝鮮、中国（楼蘭、トルファン、敦煌文書、宋元版など）、カイロ・ゲニザ文書（東はインドから西はスペインまで中東地域や地中海周辺地域を主とする様々な場所で作成された文書を含むコレクション）、そして、ヨーロッパの古文書などの紙を分析してきた。蓄積されたこれらユーラシア全域に渡る分析データ（原材料、サイジング手法、紙に残る特徴など）を比較分類する。さらに、現代の手漉き紙の製作動画を収集、分析することによって製紙技術の伝播と紙の多様性について検討する。

2. 現在のユーラシア大陸での紙漉きの概要

過去に行われていた紙漉きの動作に関しては文献や紙資料文化財を調べても不明瞭であるので、インターネット上に存在する 900 本を超える現代の紙漉き動画を調べた。この結果はおおよそ以下のようなものであった。

- 原材料に関して、インド、ヨーロッパでは（コットン）ラグが原材料であるが、ヒマラヤではダフネ、ロクタなど、東南アジアでは楮や竹、東アジアでは楮、竹、青檀、稻藁、雁皮、三桮など様々な植物の繊維から紙が作られている。
- 抄紙方法は大きく 2 種類（漉紙法と汲み込み法）に分類できるが、漉紙法はインド、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見られる。一方、日本、韓国、中国とヨーロッパでは汲み込み法が普及している。
- 抄紙後の湿紙を重ねる（紙床）方法に関して、日本、韓国、中国、ベトナムは湿紙の上に湿紙を重ねる。一部ベトナムとインドでは湿紙と湿紙の間に薄布を挟む。この際に抄紙後の質の上に形成された湿紙を薄布の上に押し付ける。ヨーロッパも同様であるが、薄布がフェルトである点が異なる。紙床がある程度の量になると紙床を圧縮して脱水する。この際に紙表面には薄布やフェルトの模様が残る。
- 上桁枠の種類（上桁の有る無し）に関して、漉紙法では上桁のあるものが使用されていた。汲み込み法では上桁の有るものの使用がヨーロッパと日本、そして、上桁の無いものの使用が韓国、中国、ベトナムで見られた。さらに、長方形の 4 辺の上桁の一部が欠けているもの（具体的には、長方形の左右と下には上桁が有るが上には無いもの、または、左右にだけ上桁が有るが上下には無いものが見られた。）の使用が中国とベトナムで見られた。
- 湿紙の乾燥に関して、大きく 3 種類（板（壁）干し、吊るして乾燥、簀と共に乾燥）に分類できる。日本、韓国、中国、ベトナムは板（壁）干しが普及している。ヒマラヤ、東南アジア、一部中国で行われている漉紙法で漉かれた紙はそのまま（紙床を作ることなく）簀と共に乾燥される。（従って、簀は大量に用意されている。）インドの漉紙法では薄

ポスター 発表

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

布を挟んだ紙床を作ったのち、吊るして乾燥（一部では板（壁）干し）される。ヨーロッパでは吊るして乾燥し、一部中国とベトナムでも見られる。

※その他注意事項として、日本式の紙漉き法がインド、ヒマラヤ、東南アジア、中国、韓国で普及していることも確認できた。

3. 紙分析の結果

これまでに筆者が行ってきた古い紙の分析結果と新たに分析した結果の一部を以下に示す。

●原材料

樹皮紙が存在したことは少なくとも日本から中国まで確認できた。ウイグル文字や西夏文字の書かれた楮紙の存在も確認されている。文献上では13世紀のイエメンでFicus（イチジク）の樹皮から紙を作るレシピが確認できるがそのような紙の実物は確認されていないようである。[1]

竹紙に関しては、中国の宋版や元版が竹紙に印刷されている。（敦煌文書にはこれまでのところ竹紙は見つかっていない。）また、17世紀のレンブラントの銅版画にも中国製と見られる竹紙が見つかっている。

ラグペーパー（本稿では紙に糸屑や布片が確認できたものをラグペーパーとして同定している。）の存在に関しては、中国からヨーロッパまで確認できた。文献上では日本の延喜式にも布から紙を作る方法が確認できる。

亜麻、大麻などの繊維から作られる麻紙は日本からヨーロッパまで確認できる。但し、そのような麻紙がラグペーパーなのか麻植物から直接繊維を抽出して作られた紙かの判断は困難である。

●デンプン粒の混入

日本、中国、ホータンでは紙の填料として大量のデンプン粒入りの紙が確認されている。一方でゲニザ文書や洋紙の紙には若干のデンプン粒と思われる粒状物が存在するものは確認できるが、大量にデンプン粒と思われる粒状物を含む紙はこれまでのところ見つかっていない。この若干のデンプン粒が混入している理由の一つとして、サイジングに用いた小麦デンプン糊由来が考えられる。

●紙に残る特徴

ゲニザ文書の10～13世紀頃の東はイランから西のスペインから来た紙330点を調べたが、洋紙に見られるフェルト模様は確認できなかった。また、刷毛を使って湿紙を板や壁に紙を貼り付けて乾燥することがあるが、この際に紙表面に残る刷毛の模様も同様に見られなかった。このことは当時のこれらの紙の製作にはフェルトで湿紙を挟んで圧縮脱水する工程や、湿紙を刷毛で板や壁に貼り付ける工程を含んでいなかったことを示唆している。

4. まとめ

ユーラシア大陸に広がるおおよその現在の製紙技法の比較分類結果と、これまで行ってきた古い紙の分析結果は製紙技法と紙そのものに多様性があることを示している。さらに、古い紙の分析結果は文献資料による研究だけでは知り得なかった製紙技法の伝播に関する新しい知見を示している。

参考文献

[1] Gacek, Adam : On the Making of Local Paper: A Thirteenth Century Yemeni Recipe, La tradition manuscrite en écriture arabe, p. 79-93, 2002

オランダ東インド会社の記録文書の調査 2

～ウォーターマーク分析から見た紙の多様性と歴史的事象の関係性～

Research on the Archives of Dutch East India Company II

- Relation between Diversity of Paper and Historical Events through Filigranology -

○坂本昭二 (龍谷大学)

○Shouji SAKAMOTO (Ryukoku University)

1. はじめに

これまでの調査によってオランダ東インド会社 (VOC) の記録文書には様々な国や地域 (フランス (Angoumois 地域など)、オランダ (Zaan 地域、Veluwe 地域)、イギリス、ドイツ、アメリカ、日本、中国、インドネシアなど) で作られた紙が使用されていることがわかっている。本報告では西洋紙のウォーターマークとイニシャルから製紙工場や製紙工をより詳細に推定し[1,2,3]、その結果として VOC の記録文書に多様な紙が存在し、時代によって紙が変化していることを示し、その理由についても考察する。

2. ウォーターマーク分析

LED 光源による透過光を用いて紙のウォーターマーク (以下 WM)、簀の目、糸目模様の観察を行なった。この結果、Strasburg Fleur de Lis, Pro Patria, Lion (VRYHEYT), Arms of Amsterdam, Bee Hive, Coat of Arms, Fools Cap などを中心に不明なものも含めると 20 数種類の WM が存在した。(但し、すべての紙を調べていないので今後さらに新たな WM が見つかると思われる。) また、カウンターマークなどには関係者 (商人や職人) のイニシャルや会社名などが少なくとも 49 種類存在した。以下にいくつかの例 (Fig.1-3) と、年代と WM の関係 (Fig.4) を示す。



Fig.1 Strasburg Fleur de Lis
GVH (Gills van Hoven)



Fig.2 IHS (Iesus Hominum Salvator)
PB



Fig.3 Pro Patria

およそ、鳥子紙 (17 世紀前半) → フランスの Angoumois 産の紙 (17 世紀後半) → オランダの Zaan 産の紙 (18 世紀) → オランダの Zaan 産及び Veluwe 産の紙 (19 世紀) のように変化している。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

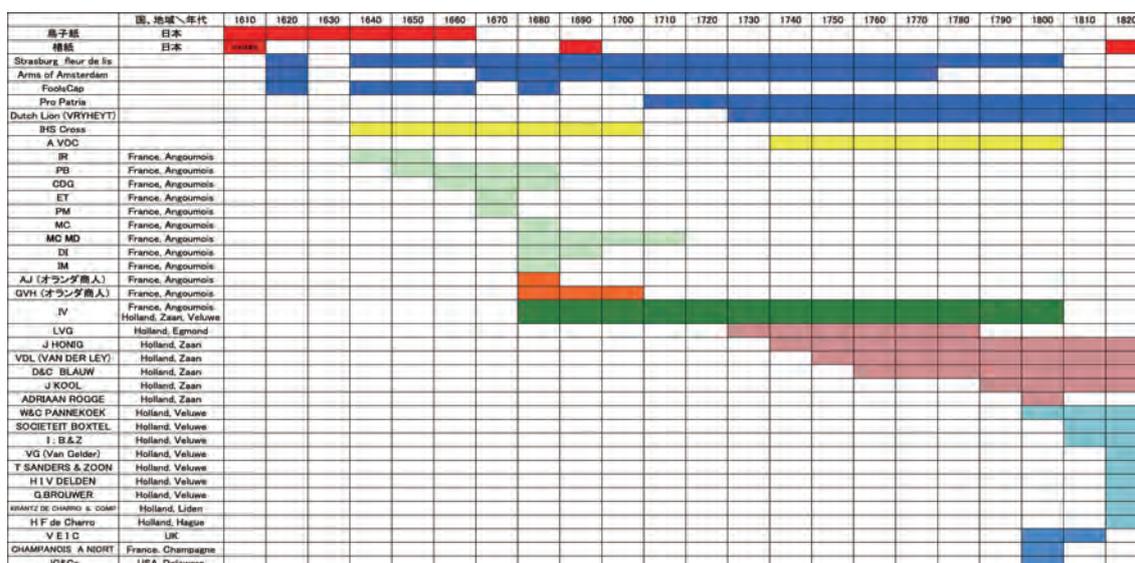


Fig. 4 年代ごとの主なウォーターマーク

3. 紙の変化に関する考察

1) 鳥子紙が1660年代以降使用されなくなった理由

VOCの一般報告書(Generale Missiven)によると、1660年頃のバタヴィアでの1年間の紙にかかる経費が40,000～50,000グルデンにのぼることが報告され、各商館での紙の経費削減と紙不足(ペン、インク、筆記者も不足)が問題となった。この解決策としてバタヴィアでの製紙工場の設立が決定され、洋紙に比べてはるかに高価であった鳥子紙は経費削減の理由により使用されなくなったと考えられる。

2) フランスのAngoumois産の紙(17世紀後半)からオランダ産の紙(18世紀)へ変化

●スペインとのオランダ独立戦争によるオランダ南部から北部への技術者の移動。 ●当時のフランスでのユグノー(カルヴァン派のプロテスタント)の弾圧による製紙工を含むユグノー技術者のオランダやイギリスへの流出。 ●1670年代頃のZaan地域でのホーランダールビーターの発明。従来から用いられていたスタンパーを置き換え、オランダ製紙業の飛躍に貢献。

以上の要因が当時のオランダを欧州一の出版国、良質の紙を輸出する国に変貌させたと考えられている。

3) 19世紀の紙の種類増加

18世紀末頃のフランス革命軍のオランダ占領によりVOCは1799年12月31日に解散。オランダ本国及びVOCが無くなり、本国から船が来なくなったバタヴィアはアメリカ船など中立国の傭船を雇って貿易を続けていた期間にアメリカDelawareのJoshua Giplinの工場で作られた紙の使用が見られる。さらに、1811-1816年にはバタヴィアが英国のラッフルズによって占領されていた時期のイギリスインド会社の紙の使用も見られる。1815年に本国がネーデルラント連合王国として独立を回復すると、Zaan地域だけでなく、Veluwe地域の紙も見られるようになった。

参考文献

- [1] Nicolai, Alexandre : Histoire des Moulins à papier du Sud-Ouest de la France (1300-1800) - tome 1, REGIONALISMES, 2005
- [2] Heawood, Edward : Watermarks, Mainly Of The 17th And 18th Centuries, Martino Pub, 2003
- [3] Churchill, W. A. : Watermarks in Paper in Holland, England, France, Etc., in the XVII and XVIII Centuries & Their Interconnection, MENNO HERTZBERGER & CO., 1965

ペルーアヤクーチョ盆地における Sr 同位体比ローカル値の検証

Estimation of local Sr isotope ratio in Ayacucho, Peru.

○瀧上舞（山形大学） Takigami Mai, 土井正樹（関西外国語大学） Doi Masaki

○Mai TAKIGAMI (Yamagata University), Masaki DOI (Kansai Gaidai University)

1. はじめに

Sr 同位体比を用いた在地個体と外来個体の識別は、古代社会の実態を知る上で重要な情報である。南米のアンデス山脈周辺で栄えたアンデス文明では、多様な環境間を人が移動することで様々な資源を入手し、資源や文化の交流から社会が発展してきた。

紀元後 7 世紀から 10 世紀にペルー南部高地を中心に栄えたワリ帝国では、首都ワリ遺跡が存在するアヤクーチョ地域と、ペルー各地に飛び地のように点在した政治拠点の間を人と資源が移動していた。これまでワリ中心地への人の移動の推定に Sr 同位体比分析を用いた報告がなされてきたが、ローカル値の設定が不十分であることが指摘される。ローカル値推定に用いた現生テンジクネズミの飼育地や餌の産地情報が不確かであったことや、アヤクーチョ地域は多様な地質構造で構成されているにも関わらず鮮新世の火山岩帯（ワリフォーメーション）の地点のみをローカル値と設定していることが、問題点として挙げられる。すなわち、限られた資料の分析結果がアヤクーチョ地域という地域全体を代表するものとして扱われており、その妥当性には疑問の余地がある。そこで本研究では、アヤクーチョ地域に対する人の移動を検証するための基礎データの充実を目的とし、アヤクーチョ地域内の 3 地点で採取した現生テンジクネズミの試料を分析し、先行研究で示されているアヤクーチョ谷の特徴を示すとされている Sr 同位体比の値との比較を行った。

2. 試料と分析方法

アヤクーチョ地域の 3 地区の集落で、テンジクネズミ（食用モルモット）を入手した。各地区で 3 つ飼育施設を選び、各施設から 1 匹ずつ購入したため、試料は全部で 9 個体となった。購入に際しては、飼育者から餌の種類と産地をヒアリングし、地元産のアルファルファを餌に飼育したことを確認した。テンジクネズミは現地で一般調理を行って可食部を食し、軟部組織が残らないようにしっかり洗浄した後、骨の一部を日本に持ち帰った。

骨の表面を削り落とし、内側の綺麗な部分から約 10mg の骨粉を採取した。骨粉は 2.5% NaOCl に 12 時間浸し、超純水で洗浄した後、0.1% 酢酸に 10 分浸して、再び超純水で洗浄した。洗浄済み骨粉を一度乾燥させてから硝酸で溶解し、の Sr 樹脂（Eichrom）を用いたカラムクロマトグラフィーで Sr を回収した。ICP-MS で濃度測定を行い、濃度調整を行った後、MC-ICP-MS で Sr 同位体比測定を行った。Sr 分離までの前処理は東京大学総合研究博物館の年代測定室において、装置を用いた測定は総合地球環境学研究所において実施した。測定誤差は国際

ポスター 発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

標準試料 NBS-987 で確認した ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71019 \pm 0.00002$)。

3. 結果

トリゴパンパ地区の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は 0.70689 ± 0.00158 (2σ)、パンパチャクラ地区は 0.70604 ± 0.00014 (2σ)、ルリコチャ地区は 0.70785 ± 0.00184 (2σ)を示した (図 1)。

4. 考察

先行研究のアヤクーチョ市の市場で購入されたテンジクネズミの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は 0.7063 と報告されており、本研究のパンパチャクラ地区とトリゴパンパ地区の中間的な値であった。ワリ帝国中心遺跡の 1 つであるコンチョパタ遺跡の単体埋葬の個体の中央値は 0.70584 ± 0.00074 であり、パンパチャクラ地区の値に近い。コンチョパタ遺跡とパンパチャクラ地区は共に鮮新世の火山岩帯 (ワリフォーメーション) の地質構造であり、微高地の地形に位置する。一方、完新世の沖積層である谷間地形に位置するトリゴパンパ地区 (谷底) やルリコチャ地区 (谷側面の斜面中腹) では、微高地よりはやや高い $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を示している。Tung & Knudson (2008, 2011) は現生テンジクネズミと、コンチョパタの単体埋葬個体の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を基に 0.70626 をローカル個体と非ローカル個体の境目と仮定していたが、本研究で分析したトリゴパンパ地区やルリコチャ地区は、その境目の値を上回っている。すなわち、先行研究で指摘されたワリ帝国首都で埋葬された外来個体には、遠隔地ではなく、首都近郊の山間部出身の個体が含まれていたこととなる。特に首級 (trophy heads) となった個体については戦闘で負けた飛び地の捕虜と解釈されていたが、本研究の結果から、何らかの理由で首都近郊のアヤクーチョ山間部出身者が首級とされていた可能性も考えられる。このことは、ワリ帝国首都の社会構成員の見解が少し変化する可能性が含まれる。また、出身地推定を行う際には、在地と外地の空間的定義をしっかりと定め、在地と在地周辺、遠隔地という視点で多様な地質構造を踏まえて、「ローカル値」を慎重に推定することが必要であると思われる。

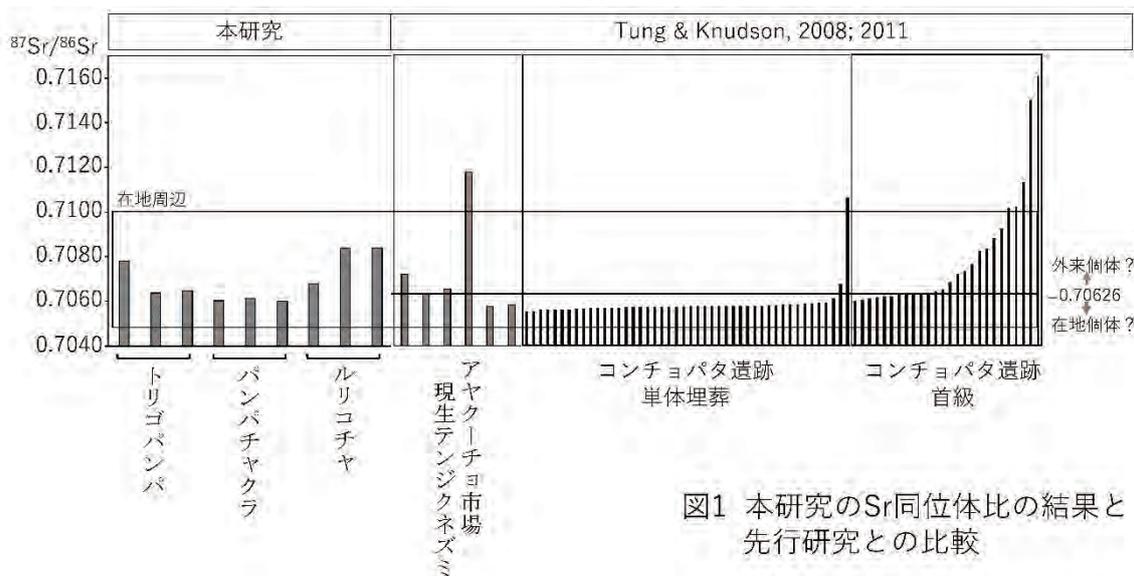


図1 本研究のSr同位体比の結果と先行研究との比較

引用文献 : Tung, T.A, and Knudson, K.J., *Curr. Anthropol.*, 49: 915-925, 2008. Tung, T.A, and Knudson, K.J., *J. Anthropol. Archaeol.*, 30:247-261, 2011.

中世城館遺跡の文化財科学的研究

—丹波周山盆地西部の組織・変動地形発達史と上中城跡の形成過程—

Cultural Properties Investigation of Medieval Fort Site

—Structural and Neotectonic Geomorphological Development

in Western Syuzan Basin, Tamba Highland,

and Site Formation Process of “KAMINAKA-JO”—

○中塚良(向日市埋蔵文化財センター)・國下多美樹(龍谷大学)
 ・中村賢太郎(株パレオ・ラボ)

○NAKATSUKA.Ryo(Muko city Archaeological Center,Kyoto),
 KUNISHITA.Tamiki(Ryukoku University), NAKAMURA.Kentaro(Paleo・Labo Co.,Ltd.)

1. 緒言

京都北郊、おもに中生代付加体堆積物で構成される断層地塊山地、丹波高地には、褶曲をともなう不連続な地質条件と第四紀断層活動の双方が複合することによって形成された小盆地が点在する(図1・2)。組織地形的鞍部と盆地群を縫うように古来、日本海と都は物流の回廊たる街道で結ばれてきた。丹波高地中央部の周山盆地は、南端において宮都に森林資材を供給した桂川水系の主・支流、上桂川・弓削川が合流し、東・西二つからなる盆地をのびる街道が結節する。地政上の要を形成し、中世以降、戦略的拠点をおさめるに至った。

ここでは、盆地北西に位置する中世城館遺跡、上中城の掘調査(國下担 21年)を契機とする自然地理学的調査成果(中塚, 21 周山盆地西部・弓削川低地の地形と上中城跡の地条件 <https://youtu.be/awf3E9jG> 龍谷大学編『上中城跡の研究』)をベースに、周辺遺跡や露頭に地形・地質層序的比較の場を広げ、また、遺跡採取試料にあらたに放射性炭素年代測定(中村担)をおこなうことで、城館遺跡の形成過程と景観変遷史について検討をくわえたい。

2. 周山盆地西部の地形発達と上中城跡周辺の地形条件

図3に空中写真実体視にもとづく地形面区分図、図4に低地・段丘面高度投射図を示す。また図3北部の図郭範囲を、図5:上中城跡周辺における地形条件図として示す。

〔高位段丘面高度分布からみる盆地の変動履歴〕写真判読に露頭・トレンチ層序成果を補い、段丘を高位面(H)、低位面(L)、H・L間の未区分面の2ないし3面に、また、沖積低地を沖積1面(L1:条里地割遺存)・2面(L2:流路帯形状)の2面に、さらに支谷からの緩斜面を扇状地面(F)に区分する。H面は開析が進み、活構造に関わる先行研究(岡田・東郷編『近畿の活断層』2年 四谷 図幅)に僅かに点在が示される。今回、周山合流点に近い比較的保存の良好なH-E15の高度・層序(赤色風化顕著な河成堆積物を確認)を手がかりに、面区分対象域を広げた。H面の分布(図4)は北から順に、上中城背後のH-W3付近から一旦高度を下げ凹面をなし、H-W8から以南のH-W13にかけ凸形に転ずる。前出文献は盆地を東南東走向に通過する東西性の活断層(殿田・三峠断層系相)を2か所記載する。H面が高度を下げる盆地中央の凹面の南北両肩付近がこれに相対する。H面形成後の撓曲的変形履歴にあたる可能性が示唆される。上下変位量3 > m、面形成後の垂直変位速度 . 6 . 8m/1 年(満池谷不整合: . 9Ma. 上限規準案)であり、北向き圧縮(吉岡1987)を伴う横ずれ断層帯としての丹波高地の第四紀後期の変動を示すと推察される。沖積面との比較では、断層通過が想定されるH面の 肩 付近におけるL1・2面境界の低崖が目立つ。完新世段丘形成と地殻変動の関わりが注目される。

〔上中城跡と周辺の地形条件〕図5中央、北西主軸の馬蹄形の土塁に縁取られる範囲が現存する上中城跡である。傾斜が連続的な扇状地 F/沖積低地 L1境界に構築される。L1面側を中心に方格状の暗色帯が判読される。遺跡基盤について、13世紀代遺構が検出される郭内および土塁下部における層序はやや固結する礫質シルトで構成される。京都盆地の遺跡層序対比から、低位段丘層と推察される。他方、北東隣接地の上中太田遺跡(京都府埋文センター1996)では、傾斜する段丘層と暗色系軟質シルト層の積層と古墳時代・奈良時代遺構群が確認され、地形面境界における利用が看取された。大会 表では遺跡周辺の微地形・層序年代の議論を深めたい。

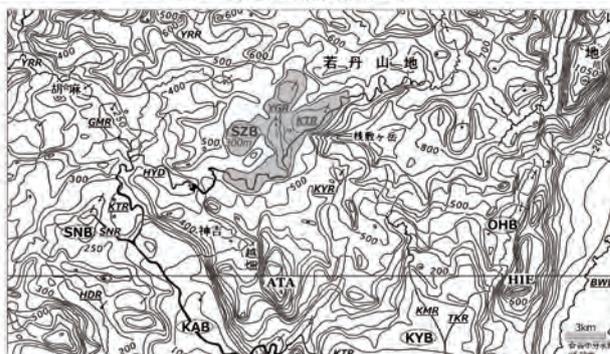
ポスター
発表

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



活断層名〔HNF:花折断層 TNF:殿田断層 KAF:亀岡断層 KSF:越畑断層 MTF:三峠断層 IKF:生畑断層 SZF:周山断層 SIF:芹生/祖父谷断層群〕
 *産総研(2021)、岡田・東郷編(2000)をレイヤ、調整

図1 地形・地質条件図



盆地名〔SZB:周山盆地 SNB:園部盆地 KAB:亀岡盆地 KYB:京都盆地〕
 河川名ほか〔KMR:賀茂川 KTR:桂川 TKR:高野川 KYR:清滝川 YGR:弓削川 SNR:園部川 HDR:半田川 GMR:胡麻川 YRR:由良川水系 BWL:琵琶湖 HYD:日吉ダム ATA:愛宕山 HIE:比叡山〕*井本・清水(1989)に加筆・調整

図2 埋積切峰面図・水系図



図3 地形面区分予察図
 ・高位段丘面配置検索図



図5 範囲

弓削川:YGR

地形面コード
 (段丘(H:高位面 L:低位面
 *:未区分,図cにプロット)
 沖積低地
 (AL1:沖積1面,完新世段丘可能性
 AL2:沖積2面,流路帯状
 AL1-2:未区分 AF:支流性扇状地)

図3 地形面区分予察図
 ・高位段丘面配置検索図

〔備考〕
 ・面高度平均値をプロット
 ・E:弓削川東岸 W:同・西岸
 *未区分面(参考,H/L間隔)

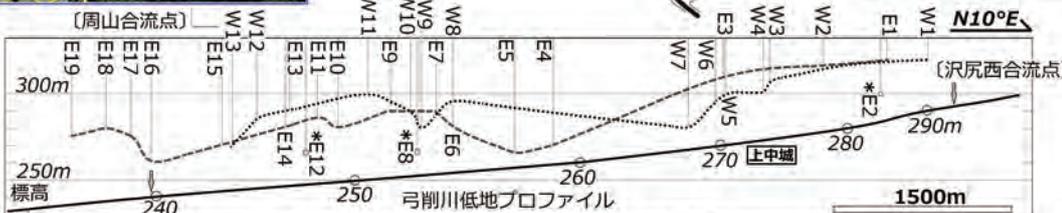


図4 高位段丘面高度分布図(投射断面図)

千石コレクションの古代中国銅鏡の科学的研究（2）

Scientific study of ancient Chinese bronze mirrors of Sengoku collection 2

○渡邊緩子（日鉄テクノロジー株式会社）、難波洋三（国立文化財機構 奈良文化財研究所）、
種定淳介（兵庫県立考古博物館）、隅英彦（日鉄テクノロジー株式会社）

○Hiroko WATANABE, Hidehiko SUMI (Nippon Steel Technolgy Co.,Ltd),

Youzou NANBA(Nara National Research Institute for Cultural Properal)

Junsuke TANESADA (Hyogo prefectural museum)

1. はじめに

2014年に兵庫県立考古博物館に寄贈・寄託された316面の古代中国鏡を核とする千石コレクションは、夏から宋までの幅広い時代の銅鏡を網羅し、歴史的にも美術的にも高い価値を有している。この世界的コレクションについて、科学的調査を実施し、青銅器研究の基礎・道標となるデータを蓄積することを目的とし、2018年度より千石コレクション調査研究委員会と日鉄テクノロジーで共同研究を行っている。19年度は、迅速・簡便に測定可能な蛍光X線分析のFP法による定量分析値と精密測定である高周波誘導結合プラズマ発光分光分析（ICP）法による定量分析値とを比較し、蛍光X線分析の有効性の範囲について検討した結果を報告した。今年度は、先秦時代からICP分析事例の少ない隋唐時代までの銅鏡について分析を行ったので、以下に報告する。

2. 分析資料

先秦時代の渦紋(図録7・8、写真1)、春秋併行時代の多鈕粗紋鏡(図録17)、春秋戦国の龍紋透彫鏡(図録19(写真2))、前漢の異体字銘帯鏡(図録107・109)、南北朝-隋の六神像鏡(図録174)、隋の四神十二支紋鏡、唐の海獣葡萄鏡(図録202・203・210・212・213・221・)、貼銀鍍金15面のうちの1面とされている貼銀鍍金禽獸紋六稜鏡(図録251、写真3)、盛唐から中唐期の狩獵紋八稜鏡である図録264、同時期の瑞鳥紋八花鏡の図録270(写真4)中唐期の三楽鏡(孔子榮啓期間答鏡)の図録287について測定を行った。



写真1 図録8



写真2 図録19



写真3 図録251



写真4 図録270

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

3. 結果及び考察

先秦時代から晩唐時代の18面について、ICP-AES分析およびICP-MS分析による定量分析を行った。同時に蛍光X線分析を行い、ICP分析結果との比較を行い、正確度について検討を行った。この18面の内、12面は鉛同位体比分析も実施したが、今回はICP分析結果のみ報告する。詳細については、「千石コレクションの科学的研究成果報告」で報告する。

- (1) 分析に供した18面の銅鏡は、いずれも青銅の主元素である銅・錫・鉛の3元系であった。これら元素以外にヒ素、アンチモン、ニッケル、コバルト、銀、金などが微量含まれており、15元素の存在が確認できた。これらの微量元素は主原料である銅・錫・鉛に不純物として含まれていたものと推察された。
- (2) 先秦時代の図録7・8は、漢時代や隋唐時代の銅鏡に比して錫濃度が低く、アンチモン濃度が漢時代以降の銅鏡に比してやや低い傾向が確認できた。
- (3) 初唐時代の海獣葡萄鏡は、図録202・203と図録212・213は、それぞれ同型鏡である。同型鏡で、主元素である銅・錫・鉛の3元系は類似した濃度であった。微量元素については近似した値を示すものの完全には一致していなかった。
- (4) 海獣葡萄鏡は、千石コレクションの銅鏡以外にも同時測定を行い、唐時代の海獣葡萄鏡、唐時代以降の海獣葡萄鏡の複製品、近年の海獣葡萄鏡の贋作についての結果も得られた。これら結果から、ICP分析によってこれらの識別が有効であることが確認できた。近年製作された海獣葡萄鏡の贋作は、鉛同位体比分析で唐時代のものとは異なる産地の鉛を使用していることが判った。このことから、近年の贋作の識別には、ICP分析と併せて鉛同位体比分析を実施することが望ましいことが判った。
- (5) ICP分析に供するために採取した部位と同一部位について、XRF分析を行い、得られた結果の比較を行った。XRF分析はFundamental Parameter (FP)法により定量値を算出した。検出された元素を合計100%として各元素の組成比を表すものである。ICP分析値もFP法に合わせて、再計算した値を用い、ICP分析結果を真値としてXRFの正確度を平均二乗誤差 (Root Mean Square Error, RMSE)により計算した。その結果、銅は60-86wt%の濃度範囲で4.0wt%、錫は7.7-32wt%の濃度範囲で4.7wt%、鉛は3.7-17wt%の濃度範囲で2.0wt%であった。それぞれの偏り (Bias) は-1.55wt%、3.05wt%、-1.17wt%であった。つまり、蛍光X線分析によるFP定量値は、ICP分析による定量値と比して、4.7~2.0wt%程度のズレがあることが判った。

5. まとめ

今回得られたICP分析結果から、これまで不明であった微量に含まれている元素の種類と量を把握することができた。また、唐時代の海獣葡萄鏡、唐時代以降の海獣葡萄鏡の複製品、近年の海獣葡萄鏡の贋作の分析結果から、ICP分析によって識別が有効であることが確認できた。これらデータは、中国の銅鏡の生産や流通を考えるうえで、貴重な基礎資料となるだけでなく、真贋の重要な客観的な判断基準を提供するものと考えられた。

サンボール・プレイ・クック遺跡（カンボジア）のレンガ材表面に 析出した石こうに対する Sr および S 同位体分析

Sr and S isotope analyses of gypsum deposited on the brick surface in the Sambor Prei Kuk monuments, Cambodia.

○内田悦生（早稲田大学）、河西彩（同左）、陳秀テイ（同左）、齋藤有（同左）、申基澈（地球研）
○Etsuo UCHIDA, Aya KAWANISHI, Xiuting CHEN, Yu SAITO (Waseda University), Ki-Cheol SHIN
(Research Institute for Humanity and Nature)

1. はじめに

カンボジアのサンボール・プレイ・クック遺跡は、首都プノンペンの北北東約 150km のところに位置しており、2017 年にユネスコの世界文化遺産に登録されている。前アンコール時代の建造物群であり、主として 7 世紀に建造されたと考えられている。100 以上のレンガ造の祠堂から構成され、東側の寺院区と西側の都城区とに大きく区分される。本研究では、建造物の保存状態の良い寺院区において調査を行った。祠堂内部では石こうやリン酸塩の析出に伴う塩類風化が顕著に認められる。そこで、本研究では、塩類の中でも石こう ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) に対し、その起源物質を明らかにすべく、石こうの主要構成成分である S に対して同位体分析を行うとともに、同じく石こうの主要構成成分である Ca と同様な挙動をすると考えられている Sr に対して同位体分析を行った。

2. 分析試料

S および Sr の同位体分析に用いた塩類試料は、主として C1 塔および S1 塔から採取した 16 試料である。これに加えて、S1 塔、N1 塔および Z1 塔から採取したレンガ材に対して Sr 同位体分析を行った。なお、レンガにはほとんど S が含まれていなかったため S に対する同位体分析はできなかった。

3. 化学組成分析および同位体分析装置

採取した試料に対する分析は京都にある総合地球環境学研究所において行った。採取した試料に対して ICP-MS (7500cx, Agilent) を用いて Mg、Al、Ca、Ti、Fe、P および K 成分の分析を行った。S の同位体分析では S-IRMS (Flash EA2000-ConfloIV-delta V plus, Thermo Fisher Scientific) を、Sr の同位体分析では MC-ICP-MS (Neptune, Thermo Fisher Scientific) を用いて行った。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

4. 分析結果

図1および図2に石こうおよびレンガ材に対する Sr および S の同位体比を示す。図中のコウモリの排せつ物に対する S および Sr 同位体比および雨水に対する Sr 同位体比はアンコール遺跡における Hosono et al. (2006)の値を引用した。また、雨水に対する S 同位体比はその起源が主として海水にあると仮定し、Rees et al. (1978)の値を引用した。

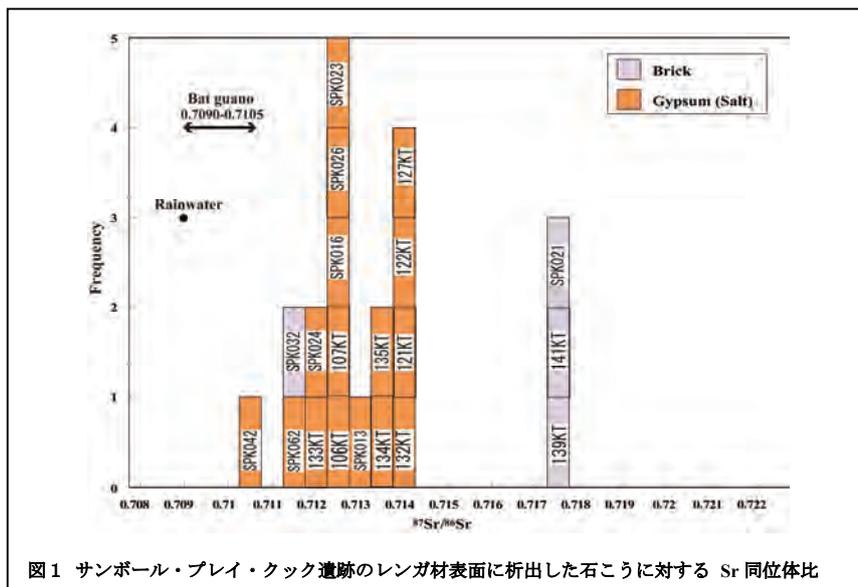


図1 サンボール・プレイ・クック遺跡のレンガ材表面に析出した石こうに対する Sr 同位体比

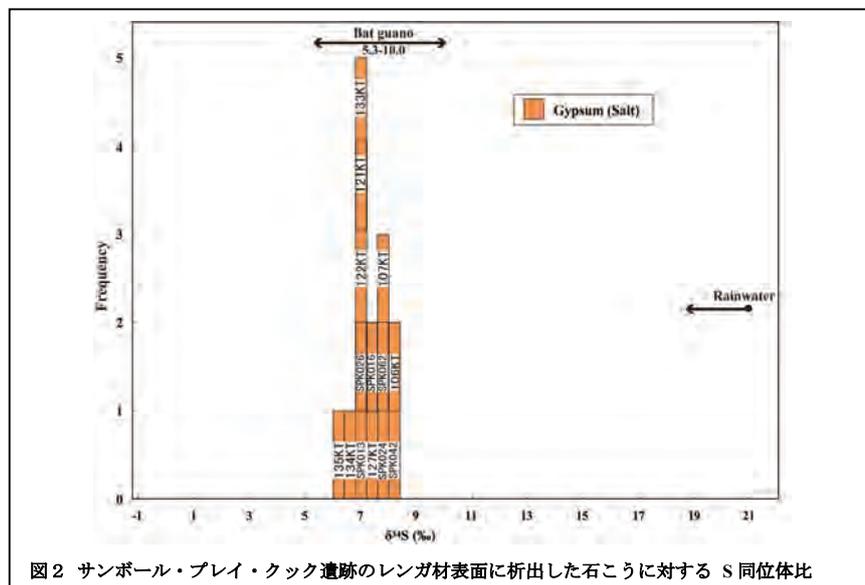


図2 サンボール・プレイ・クック遺跡のレンガ材表面に析出した石こうに対する S 同位体比

5. 考察

Sr 同位体比に関しては、石こうの Sr 同位体比はコウモリの排せつ物とレンガ材の間の値を示しており、コウモリの排せつ物とレンガ材がその起源物質であることを示している。他方、レンガに含有されていない S の同位体比から石こうを構成する S の起源物質はコウモリの排せつ物であると結論付けられる。

沼田城跡における地中レーダ探査を用いた堀跡調査

The Ruins of Numata-jo Castle's moat using Ground Penetrating Radar

○高瀬尚人（応用地質株式会社）、小林恵（同左）、永井三郎（沼田市教育委員会文化財保護課）
 ○Naoto TAKASE、 Megumi KOBAYASHI(OYO Corporation)、
 Saburoou Nagai (Numata city Board of Education, Cultural Properties Division)

1. はじめに

地下浅部の遺構を調査する物理探査手法として「地中レーダ探査」が広く用いられている。これまでの地中レーダ探査機器は深度 2m 程度までの遺構検出に有効であるが、深部の遺構に対して適用性の低いことが課題とされている。しかし近年、レーダアンテナのデジタル化およびスタッキング技術によって SN 比を向上させた深部探査機器の開発が進められている。沼田市史跡沼田城跡は戦国・近世大名の真田家ゆかりの城として知られており、発掘調査によって堀や石垣・建物等の城郭関連遺構が一部で確認されているが、大正時代に公園整備された影響によって全容は明らかとなっていない。

今回、調査・保存整備事業の一環として沼田城跡東側のグラウンドにおいてレーダ探査を実施し、深部探査機器によって深度 5m の堀底面まで検出することができた。堀跡の探査結果と江戸期絵図を比較したところ、整合性の良い結果が得られたので報告する。

2. 探査概要

本調査における測線配置および江戸期絵図による堀跡想定位置を図 1 に示す。調査範囲は沼田城の本丸、二の丸、三の丸、保科曲輪が接する位置であり、複数の堀跡が想定されている。

使用した探査装置は SIR System 4000（米国・GSSI 社製）、アンテナは深部探査用“200HS”（中心周波数：200MHz）であり、測定状況を写真 1 に示す。従来の 200MHz アナログアンテナに比べて探査深度が 1.5 倍以上に向上し、また Wifi 通信によりケーブルレスを実現した。

ポスター
発表

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

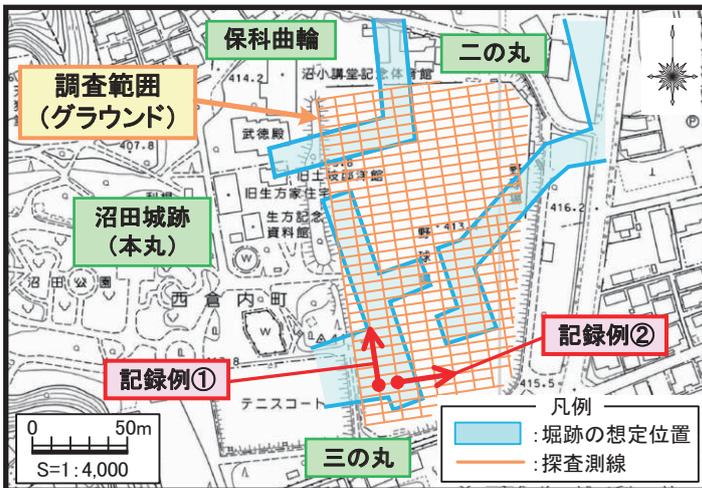


図 1. 測線配置と堀跡想定位置

写真 1. 測定状況

3. 探査結果

測定記録例を図2に示す。当該記録例の位置は図1の赤矢印である。

記録例①では、幅22m・深さ5mの掘り込み状の反射面を検出し、堀跡と推定した。

記録例②では、幅15m・深さ3mの掘り込みと、幅13m以上・深さ5mの掘り込みを検出した。距離程40m付近では掘り込みが途切れており、土橋状の構造を推定した。

探査結果の一例として、深度スライス平面図を図3に示す。探査結果では、反射振幅の強弱を任意の深度

で切り出すことにより、遺構の分布状況を平面的に把握することができる。図3における暖色系（赤色）の範囲は反射振幅が相対的に強く、掘り込み（堀跡）の分布形状を捉えている。江戸時代の絵図に記された堀跡と比較すると、堀幅や主軸の傾きに多少の違いはあるが、概ね類似する結果となった。

4. おわりに

本調査で使用したアンテナ（200HS）は、地中レーダ探査手法としては深部探査に特化しており、換算深度5m前後の堀底まで明瞭に検出することができ、その有効性を確認できた。

このアンテナは一般的に用いられる機材よりも分解能が低いことから、『礎石』や『柱穴』『石列』等の比較的小規模な遺構の検出は困難である。しかし『堀』のような大規模な構造物には適用性が高いことが確認できたことから、調査目的に応じて使い分けることによって、遺跡探査の有効性が高まるものと考えられる。

謝辞：調査の実施に際し多大なるご助力を賜った沼田城跡調査・保存整備委員会専門部会に記して深く御礼申し上げます。

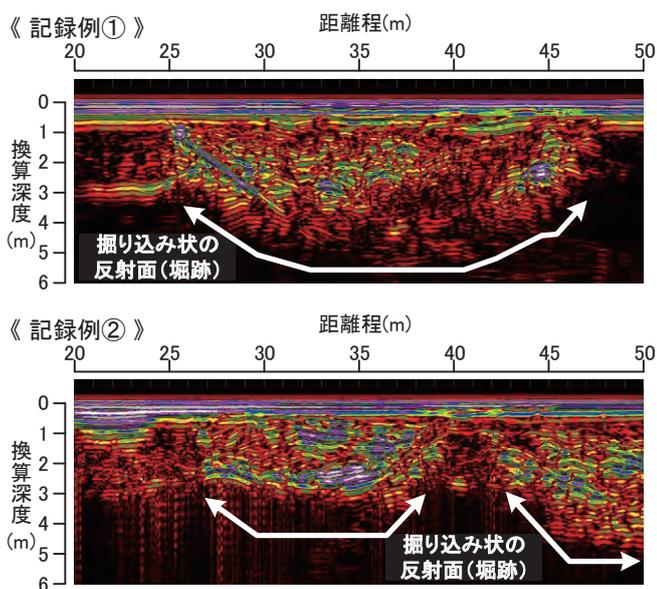


図2. 測定記録例

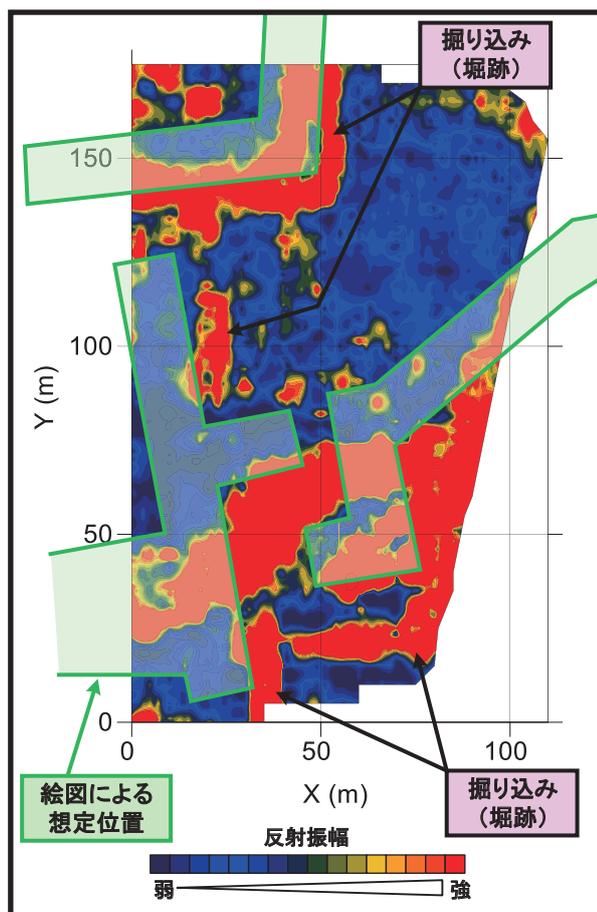


図3. 探査結果（スライス深度：2.0m～2.5m）

地震動を受けた屏風の挙動に関するシミュレーション

Simulation of the Behavior of Folding Screens Under Seismic Motion

○和田浩（東京国立博物館）、松井敏也（筑波大学）

○Hiroshi WADA (Tokyo National Museum),

Toshiya MATSUI (University of Tsukuba)

1. はじめに

発表者らは地震発生時の展示資料の損傷予防を目的として、文化財の3次元データを利用したシミュレーションに関する基礎的な研究を行っている。土器、彫刻、陶磁器といった立体物の地震対策については比較的注目度も高く、多くの研究事例が存在する。一方で、本発表で取り上げる屏風構造を持つ文化財は、展示形態は立体的であるものの、地震対策の対象物として取り上げられる事があまり多くなかった。また、地震動を再現しての実大実験はコストと時間の観点から実施回数が制限されるという課題は両者ともに共通のものである。そこで発表者らは屏風の3次元モデルに様々な地震動を与え、振動を受けた屏風がどのような挙動を示すのかを検証した。本発表は上記の検証結果について発表するものである。

2. シミュレーションの仕様

CADを用いて、4曲の屏風モデル1種（図1）と支持具モデル3種（図2）を作成した。屏風は1曲の寸法が590×1,750mmで質量約4kgの剛体と設定し、120度の開き角度で陳列された状態を再現した（図3）。これを、支持具無し・支持具ありの状態を作り加振した。支持具は床面に固定したが、屏風は固定していない。加振に用いた加振波は図4に示すようなサイン波であり、振幅は9,000mm/s²、周波数2Hz、加振時間は10秒である。



図1 屏風モデル

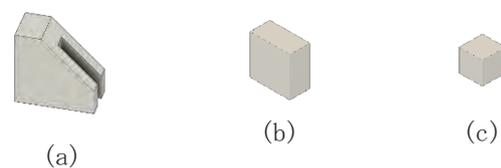


図2 支持具モデル

3. 結果と考察

図5にシミュレーションを実施した屏風モデルの支持パターンの一例を掲載した。これらの

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

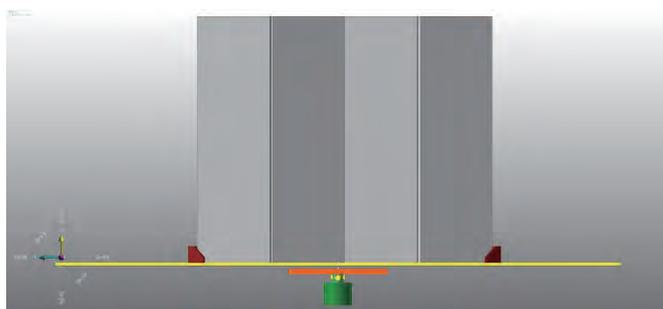


図3 シミュレーション時の様子

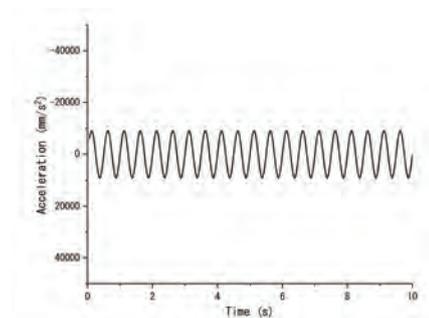


図4 加振波

<p>(1) 支持具無し</p>	<p>(2) 両端に支持具(a)</p>
<p>(3) 両端支持具(a) + 背面支持具(b)</p>	<p>(4) 蝶番前後に支持具(c)</p>

図5 シミュレーション時における支持パターンの例

パターンで設置した屏風を加振し、10秒後にどのような状態になっているのかを観測した。その結果の一例を図6に示す。横方向の加振によって支持具から屏風が外れてしまい、転倒は免れたが、不安定であり、さらなる加振によって転倒する可能性が大きくなると考えられる。こうした様々な条件下で耐震性評価を実行できるのがシミュレーションの利点である。

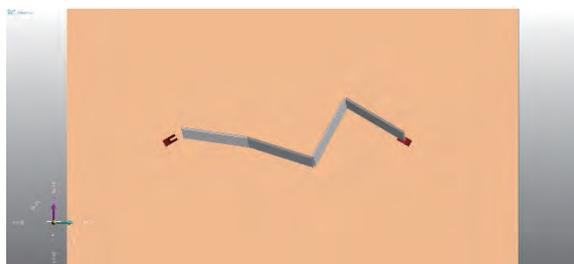


図6 図5(2)の横方向加振後の状態

5. 謝辞

本発表ではRecurDyn（ファンクションベイ株式会社）を機構解析ソフトとしてシミュレーションに用い、同社からカスタマイズ機能の設計につきましてご協力いただきました。本研究はJSPS 科研費 20H00021 および JSPS 科研費 20H01383 の助成を受けたものです。感謝申し上げます。

陸前高田市立博物館所蔵津波被災資料安定化処理改善のための研究

Improvement of stabilization processing of tsunami-damaged cultural assets owned by Rikuzentakata City Museum - Amount of chloride contained in old books -

○佐野千絵（東京文化財研究所）、林美木子（同左）、内田優花（森絵画保存修復工房）、古田嶋智子（国立アイヌ民族博物館）、浅川崇典（陸前高田市立博物館）、熊谷賢（同左）

○Chie SANO, Mikiko HAYASHI (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Yuka UCHIDA (Mori Art Conservation), Tomoko KOTAJIMA (National Ainu Museum) Takanori ASAKAWA, Masaru KUMAGAI (Rikuzen-takata City Museum)

1. 目的

2011年3月東北地方太平洋沖地震に伴う津波被害の後、陸前高田市立博物館所蔵資料のレスキューが実施され、一時保管施設として旧生出小学校が充てられ、校舎1Fでは脱塩、脱脂、真空凍結乾燥などの保存処理作業が行われている。安定化処理作業において、脱塩作業終了の目安として塩化物イオン濃度が「旧生出小学校の水道水と同じ塩化物イオン濃度（6 ppm [6 mg/L]以下）であること」とされてきたがその根拠はなく、その厳しさゆえに脱塩処理に長時間を要し、紙資料に負担がかかっているのではと懸念された。

本報では、2019年度陸前高田市受託「被災資料有害物質発生状況調査業務」における脱塩の終了点を決定するための調査研究として実施した、脱塩終了の根拠に資すると考えられる、通常環境下で保管されてきた古書が含む塩分量に関する試験について発表する。

2. 試験1__古書の含む塩分量

市販の古書から塩分等を抽出し、検討することとし、陸前高田市被災資料にも多く含まれる教科書を対象とした。選択の理由は①発行所、発行年が明確であること、②発行年ごとの差異はあるものの、紙質がその時代を代表していると考えられること、③陸前高田市立博物館所蔵資料と同時代の資料を入手しやすいこと、である。使用した資料を表1に示す。

抽出手順は以下のとおりである。①400 mLの水道水に資料を3時間浸漬（安定化処理作業で推奨する浸漬時間）、②バットに載せたザルの上で余剰水を自然落下させる（約300 mL落下）、このうち100 mLを分別採取（絞り水A）、③バットに載せた状態で減圧し、その絞り水（サクシオン）の全液量を採取（絞り水B、液量20 mL）。コントロールは、①～③の手順を古書なしで行ったコールドランで得られた水である。試験に用いた書籍の一部はすでに真空凍結乾燥して復し、残りは乾燥処理を待ち冷凍庫で保管されている。

絞り水Aと絞り水Bを混合した混合試料を各成分検量線範囲に入る濃度に希釈し、1.0 mLを分析に用いた。測定には、イオンクロマトグラフDionex ICS-5000を使用した。分離条件は表2のとおりである。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

結果は表1のとおりである。これは、約300 mLの自然落下水のうち100 mLを分取した絞り水Aと、サクシオンで得られた絞り水B 20 mLを混合した溶液中の塩化物イオン濃度である。この方法では書籍全体の塩化物量について正確に算出できないが、単純に400 mL中の絞り水の濃度が分かると仮定すると、書籍中の塩化物量は6~16 mgであった。表紙にコーティングのあった試料では47~80 mgの塩化物量が見積もられた。以上より、通常的环境下で保管されていても、書籍中には一定量の塩が含有されていることは明らかになった。

3. 試験2_現代の紙の含む塩分量

現代の紙について、楮紙（名称不明、2000年代前半に購入、以後「楮紙」と呼称）、楮紙（細川紙、以後「細川紙」と呼称）に含まれる塩分含有量を求めた。JISP8144:2006「紙、板紙及びパルプ—水溶性塩化物の測定方法」を参考に、しかし試料量の限界から紙0.25 gを水50 gに常温で浸漬し、24時間後に攪拌し、試験液1 mLをイオンクロマトグラフで分析した（各3サンプル、2回・別日に計測）。結果は表3のとおりである。100 gの紙の塩分量に換算すると、楮紙、細川紙では28~48 mgの塩分が含まれていることがわかった。

4. まとめ

脱塩の終了点を決定するため、古書の含有する塩化物濃度を定量した。定量できた濃度は書籍によって異なったが、通常的环境下で保管されていたいずれの古書も、すでに塩化物を含有していることが明らかになった。脱塩の終了点を決定するにはより詳細な検討が必要である。

表1 試料の概要および抽出水中の各イオン濃度 (mg/L)

	発行年月	重量/g	Cl ⁻	Br ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
小学音楽 六年生	昭和24年10月	57.2	42.4	21	20.4	26.2	14.6	5.4	5.3	26.4
コントロール			24.2	12.2	18	20.9	n.d.	3.1	5	22.5
水道水			25.7	12.6	18.2	20.6	n.d.	2.7	5	22.3
算術書第一学年	明治38年2月	104.8	46.5	n.d.	172.4	40.9	31.7	27	8	42.2
算術書第二学年	明治38年2月	104.4	42.2	n.d.	164.2	39.2	24.4	22.3	7.5	43.5
算術書第四学年	明治38年2月	105.3	63.8	n.d.	181.1	58.8	37.7	39	7.3	43.7
高等国語二下	昭和22年9月	54.6	41.7	n.d.	85.3	28	27.5	9.8	11.4	30.3
高等国語二下	昭和22年9月	57.9	37.6	n.d.	97.1	31.5	39.5	9.9	11.3	30
新女子音楽教科書 第一編	昭和9年3月	217.4	221.4	n.d.	227.9	125	37.1	49.5	14.7	117.2
新女子音楽教科書 第二編	昭和9年3月	216.1	138.5	n.d.	233.2	87.3	138.4	35.4	8.2	122.8

表2 分離条件

	anion	cation
分離カラム	IonPac AS20	Ion Pac CS12A
溶離液	水酸化カリウム	メタンサルホン酸
グラジエント	0.003 mol/L (0-6 min)	0.020 mol/L
	0.003-0.030 mol/L (6-15 min)	
	0.030-0.040 mol/L (15-20 min)	
	0.040 mol/L (20-23 min)	
流量	1.0 mL/min	
試料導入量	25 µL	
サプレッサー	AERS500	CDRS600
検出器	電気伝導度検出器	

表3 現代の紙から抽出した anion 量(mg/L)

	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
機械漉き楮紙	0.793	n.a.	0.113	0.902	0.008
楮紙	1.440	0.065	0.666	1.766	0.593
細川紙	2.390	0.027	0.274	0.714	0.479

鳥取県の三大河川からみる文化財の防災対策

Disaster Prevention Method of Cultural Properties from Three Major Rivers in Tottori Prefecture

○李 素妍 (鳥取大学)

○Soyeon LEE (Tottori University)

1. はじめに

鳥取県の自然環境の特性は、①直下型地震発生による三大河川流域の被害、②地震発生による津波、③土砂崩れの発生、④大雨による被害、⑤風水害や雪害による被害、⑥火災発生の警戒の6つに分けることができる。鳥取県に直下型の地震が発生した場合、千代、天神、日野の三大河川の流域に形成された平野部や弓ヶ浜半島は地盤が軟弱で揺れやすいことから、甚大な被害が発生することが予想されている¹⁾。鳥取県三大河川の流域に所在する文化財に対する防災対策が必要であると考え、本研究では三大河川流域の文化財を把握してその所在地における津波浸水や洪水浸水想定データをもちいてハザードマップを作成した。その結果、鳥取県の文化財が置かれている現状、課題および防災対策に必要な情報を得たので報告する。

2. 研究方法

本研究ではGISフリーソフトのQGIS、鳥取県指定文化財および国土数値情報を用いて鳥取県の三大河川における文化財のハザードマップをつくった。ハザードマップには国土数値情報における鳥取県の津波浸水想定データ²⁾と洪水浸水想定区域データ³⁾を利用し浸水想定区域を示し、三大河川周辺における文化財の種類や所在地を落とし込んだ。QGIS操作方法や鳥取県指定文化財リストの作成方法は日本文化財科学会第37回大会研究発表要旨に示している⁴⁾。三大河川の災害歴史を確認してその流域周辺に対する自然環境の特性を調べた。本発表では鳥取県三大河川流域における過去の洪水記録および洪水浸水想定区域に関する結果を報告する。

3. 本文

鳥取県の三大河川には東部の千代川、中部の天神川、西部の日野川があってこれらに関する洪水記録をみると、千代川流域では江戸時代から明治に至る約250年間におおよそ100回、明治以降の今日に至る約100年間におおよそ130回を数える⁵⁾。天神川は洪水が発生しやすい特性を持って中部の暴れ川といわれてきた⁶⁾。日野川は古代から盛んに行われた砂鉄の採取によって山を裸にして洪水記録は天文8年(1539)以降数多く書き残されている⁷⁾。災害歴史の洪水記録をとおして三大河川流域では洪水が起こりやすく文化財の防災計画が必要であると考えた。

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

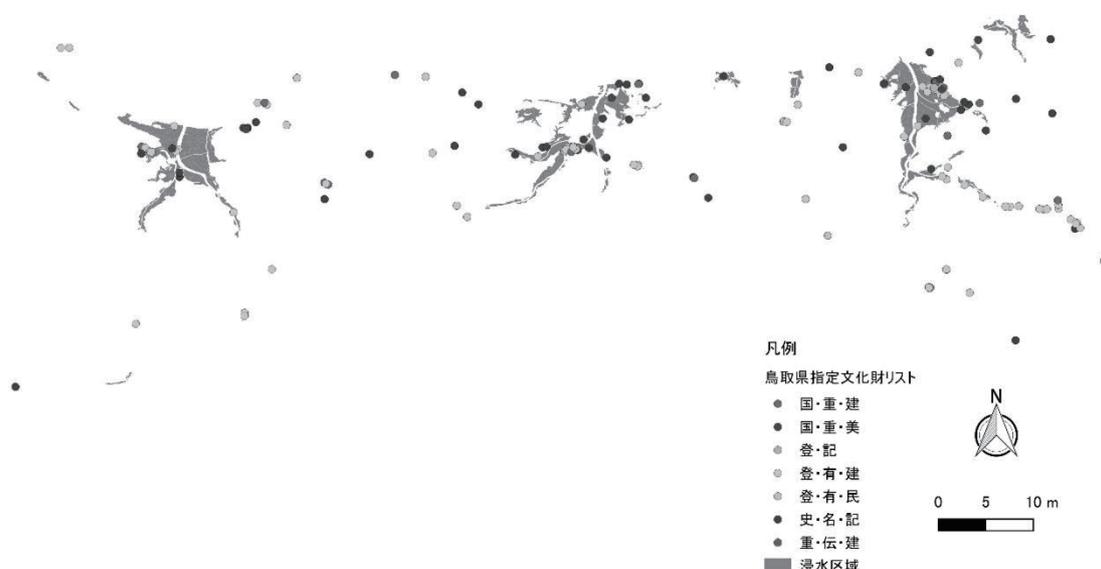


図1 鳥取県三大河川流域および洪水浸水想定区域における文化財種類

千代川流域および洪水浸水想定区域に所在する文化財は12件であり、登録有形文化財建造物10件、登録記念物1件、史跡名勝記念物1件である。天神川流域および洪水浸水想定区域に所在する文化財は13件であり、登録有形文化財建造物7件、史跡名勝記念物3件、国宝・重要文化財美術工芸品1件、重要伝統的建造物群保存地区1件、登録記念物1件である。日野川流域および洪水浸水想定区域に所在する文化財は9件であり、登録有形文化財建造物7件、国宝・重要文化財建造物1件、史跡名勝記念物1件である(図1)。鳥取県三大河川流域および洪水浸水想定区域には有形文化財建造物が多く所在していた。鳥取県文化財保存活用大綱における文化財の保存・活用に関する課題をみると、有形文化財の建造物に対しては保存状況に変化を来して後継者等が今後継続して管理する体制を築けるなど問題、修理や日常管理などに対する財政負担も少なくない⁸⁾。これらの問題は平成28年10月に発生した鳥取県中部地震で被害を受けた打吹玉川伝統的建造物群保存地区で確認されている。しかし、鳥取県の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⁸⁾。防災・防犯対策に対する課題では、県内各自治体で、洪水や土砂災害など各災害に対するハザードマップを作成しているが、これらに文化財所在地の落とし込みができていない⁸⁾。本研究をとおして鳥取県三大河川には数多くの洪水が発生した記録があり、その流域および洪水浸水想定区域に所在する文化財への防災マニュアルが必要であるが、文化財ハザードマップの未作成、防災計画および日常管理への負担が課題になっていることがわかった。

本研究は鳥取大学地域価値創造研究教育機構戦略3の助成金を受けた成果の一部です。記して感謝いたします。参考文献 1)鳥取県地域防災計画 <https://www.pref.tottori.lg.jp/31574.htm> (令和2年1月閲覧) 2)国土数値情報津波浸水想定データ <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmpltA40.html#prefecture31> (令和2年5月7日閲覧) 3) 国土数値情報洪水浸水想定区域データ <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31v21.html#prefecture31> (令和2年5月11日閲覧) 4) 李 素妍「地域の歴史文化財保存のためのハザードマップ」、日本文化財科学会第37回大会研究発表要旨 p.348-349, 2020 5) 藤島弘純 編『千代川の自然』、富士書店、p.1~33, 1994 6) 藤島弘純 編『天神川の自然』、富士書店、p.1~36, 1997 7) 藤島弘純 編『日野川の自然』、富士書店、p.1~37, 2000 8) 鳥取県文化財保存活用大綱、p.32~55 <https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/1200715/00%20taiko02.pdf> (令和2年4月30日閲覧)

陸前高田市立博物館被災動物考古学標本・剥製標本
 東北地方太平洋沖地震 9 年後の返還
 Restoration of Damaged Zooarchaeological Specimens and Taxidermy
 Specimens to the Rikuzentakata City Museum, 9 Years after the 2011 off
 the Pacific coast of Tohoku Earthquake

富岡直人（岡山理大）、○宇佐美礼恩（同左）、熊谷賢（陸前高田市博）

Naoto TOMIOKA, ○Leon USAMI (Okayama Univ. of Sci.), Masaru KUMAGAI (Rikuzentakata City Museum)

1. はじめに

巨大津波で損壊した陸前高田市博・海と貝のミュージアム（以下市博）所蔵の剥製標本・動物考古学標本に対し、2011年に整理保管事業を開始し、トリアージ・剥製修復は、①山階鳥研 ②倉敷自然史博 ③西尾製作所 ④上野剥製所に協力を頂いた。2020年8月に全資料を返還し、2021年3月に報告書を作成のちに保管整理事業を完了した。この被災文化財救援事業の問題点と課題を論じる。

た。整理番号の重複は番号を1つに絞ることにより対応し、結果として欠番が生じた。2020年の整理作業では市博に遺跡名の略称の問い合わせ、判明したものは情報を追記した。2021年2月には未登録だった過去の整理作業写真を登録した。2月に完成したDBを抽出し、紙ベースの報告書を10部市博に納入した。

3. 返却事業

2020年8月に大教室を借り、C2号館7階標本庫スチール棚に収納されていた資料群を運び込み、再整理した。この過程で、登録・洗浄・安定化処理が済んでいない資料の発見があった。洗浄未了資料は再洗した。錆びた鉄製針金が残っていた剥製では、それを除去し仮剥製に仕上げた。整理番号3405メガネカイマンは革を和紙で裏打ち補強し、欠損箇所を石膏と紙粘土で復元した。最終段階で岡山理大に残された全資料を確認し、終了写真を撮影した。標本収納ケースには、標本情報を書き込んだラミネートテープを貼った。これは耐水性、耐擦性、耐薬品性、耐候性²⁾のあるbrother社テープライターTZeシリーズを使用した。鳥類仮剥製では芯材の木棒に標本情報をカーボンインクで記入した和紙を貼り付けた。剥製を収納したケースや袋には防虫・防カビ剤を同封した。防虫・防カビ剤はネオパラエース（エステー社）やピレパラアース（アース製薬）を用いた。鳥類・哺乳類の本剥製は中性紙箱、仮剥製はプラスチックコンテナや段ボール箱に収納し、その他の資料はタッパーやスチロール角型ケースに梱包した。8月20~24日に2tトラックで移送した。岡山理大で資料を搭載後、西尾製作所・山階鳥研預かり資料を集荷し、23日に市博へ移送した。移送中の貨物室は気温30度未満、湿度60%未満となるようにした。倉敷自然史博に鳥類

2. データベース作成

本事業に伴い2011年より作成されたデータベース（以下DB）は、Excelを利用して画像も1000点近く格納したが、動作が不安定な為、File Maker Proで構築し直した[富岡他2015]。その後、友野印刷に外部サーバー（SAKURA internet社）を利用したDBシステム構築を依頼し、データの吸い上げを行った。それは「陸前高田市立博物館所蔵剥製・動物遺存体資料修復管理データベース」として、1年程試用後の2016年12月にWEB¹⁾で公開した。本DBは、何処からでも編集が可能で、寄せられた意見を参考に、ブラッシュアップを行っている。DBの記載は、市博が採用していた生物分類を利用し、残されたラベルがあった場合には情報を転記した。資料には市博が従来使っていた「登録番号」の他に、レスキュー作業時にシステムが自動的に割り当てた「整理番号（TNo: Temporary Numbers）」、各機関に処理を依頼した時に割り当てた「納入番号」、高田からの移送時に割り当てた「搬出番号」、西尾製作所に処理を依頼した時に割り当てた「作業番号」がある。これらの番号の一部は作業の過程で紛失したり、同時並行に作業が行われたことにより番号の重複が発生し

ポスター
発表

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

本剥製から作り変えを依頼した羽根標本は、強度も十分にあり宅急便にて送付した。いずれも市博にて燻蒸を実施した。

4. まとめ

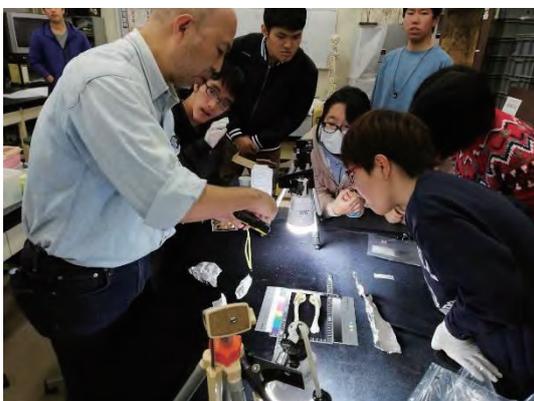
発災 9 年後にあたる 2020 年に返却を終了し、2021 年 3 月に DB 登録を完了し、報告書を納入した。今後も岡山理大が DB の運用を実施し、継続したケアを検討する。

引用文献

富岡直人・熊谷賢・江川達也・岩尾真二 2015
「陸前高田市立博物館津波被災剥製資料データベース構築の方法論的検討」『日本文化財科学会第 32 回大会研究発表要旨集』：pp.20-21

註 1) <http://takatacitymuseum-ss-ar-db.jp>

2) 対候性は、紫外線や温湿度変化、風雨等に耐性があり、劣化や変質しにくいこと。



第 1 図 資料撮影 (於 岡山理大)



第 2 図 修復後のメガネカイマン
(於 岡山理大)



第 3 図 トラックへの集荷 (於 西尾製作所)



第 4 図 一時保管室への搬入 (於 市博)



第 5 図 避暑中の中型トラック
(於 市立竹駒小学校)

地震対策の評価を目的とした美術工芸品の振動台試験について

Shaking Table Tests of Art Objects for Evaluation of Earthquake Preparedness

○黄川田翔（東京国立博物館）

○Sho KIKAWADA (Tokyo National Museum),

1. はじめに

博物館・美術館における美術工芸品の展示手法に関して、地震対策としての効果を検証することを目的とした振動台試験を実施する場合がある。しかしながら、美術工芸品を対象とした試験方法については、他分野と異なり、まだ十分に確立されていない。ここでは、一次元振動台および三次元振動台を用いた美術工芸品の振動試験の結果から、地震波や加振方向の違いによる挙動を比較し、地震対策としての効果をいかに評価すべきか検討する。

2. 試験条件

展示台および敷板の上に、土器・皿・花瓶といった展示品を数種類の支持具などを用いて設置し、2011年東北地方太平洋沖地震で観測されたK-NET 築館（ハイパス 2Hz で加工した波形、加速度 75%および 100%）を三次元振動台で、また 2004年新潟県中越地震で観測されたK-NET 小千谷（EW 成分、加速度 100%）を一次元振動台で再現した際の展示品挙動を観察した。また、展示品挙動を詳細に評価するため、3次元リアルタイムモーション計測システム「VENUS3D R」（ノビテック社）を用いて、展示品の変位・速度・加速度・回転を解析した。

3. 試験結果の比較

試験体の条件と振動試験の結果を表1に示す。同じ展示手法で設置した場合でも、地震波の種類や一次元または三次元といった加振方向の違いによって、展示品の挙動は異なっていた。土器の展示方法に関しては、五徳型よりも支柱型の支持具の方が転倒防止の効果が高いこと、五徳型の支持具は滑りやすく、敷板から転落しやすいことが共通する傾向として確認された。また、支柱型の支持具は敷板ごと大きく滑り動いてしまうため、敷板を展示台へ固定するなど、移動防止対策を講じる必要があることがわかった。今回使用した木製皿立ては、敷板上で滑りやすく、最終的に皿が落下・破損する様子がいくつか確認された。一方、皿を皿立てに設置した上で、テグスによる固定を施した展示手法では、皿の落下・破損は生じておらず、転倒防止効果と移動防止効果が高いと考えられる。花瓶については、テグスを首元で交差させて四方に引っ張る方法と、首元で環状に結んだテグスを四方に引っ張る方法の二種類を比較した。前者では、K-NET 築館 100%を再現した際、花瓶が上下左右に小刻みに動き、次第に不安定な状態に傾きながら転倒に至ったが、後者では最後までテグスによって花瓶は固定されており、残

ポスター
発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学
一般

探査

文化財防災

留変位も小さかった。K-NET 小千谷 EW 波 100%では、どちらの展示手法でも転倒していないが、3次元リアルタイムモーション計測システムによる解析の結果、後者の方が花瓶は回転しておらず安定していることがわかった。その他にも、三次元振動台を用いた試験では、振動によって支持具の構成部材が緩んだり、展示品がその場で回転したりする事象が多く見られた。

表1 試験体の条件と振動試験の結果

名称	土器1	土器2	皿(磁器)	花瓶(磁器)		
画像						
寸法 (mm)	高さ: 256 幅: φ253 (最大) 底面: φ58	高さ: 256 幅: φ253 (最大) 底面: φ58	幅: φ215 高さ: 30	高さ: 209 幅: φ91 (最大) 底面: φ52		
重量 (kg)	2.85	2.85	0.50	0.55		
K-NET 小千谷 一次元 振動台	グループ A	展示手法	スチール製支持具A (上部抑えアーム、 下部円形アーム)	スチール製五徳A(三脚)	木製皿立てA(脚狭)	テグス4点張り (首元交差、張り間隔狭)
		試験結果 EW成分100%	△(△)	×(×)	×(▲)	○(○)
	グループ B	展示手法	スチール製支持具C (半円アーム)、テグス	スチール製五徳B (円形台座)	木製皿立てB(脚広)	テグス4点張り (首元交差、張り間隔広)
		試験結果 EW成分100%	○(○)	×(△)	△(△)	○(○)
	グループ C	展示手法	スチール製支持具B (円形アーム)、テグス	スチール製五徳B (円形台座)、 下部小径3点、錘(鉛玉)	アクリル製皿立て(脚広) ※敷板にビス固定	テグス4点張り (首元環状、張り間隔狭)
		試験結果 EW成分100%	○(△)	×(×)	○(○)	○(○)
	グループ D	展示手法	スチール製支持具C (半円アーム)、テグス、 下部小径3点	アクリル製パイプ	木製皿立てB(脚広)、 テグス3点張り	テグス4点張り (首元環状、張り間隔広)
		試験結果 EW成分100%	○(○)	×(×)	○(○)	○(○)
K-NET 築館 三次元 振動台	グループ A	展示手法	スチール製支持具A (上部抑えアーム、 下部円形アーム)	スチール製五徳A(三脚)	木製皿立てA(脚狭)	テグス4点張り (首元交差、張り間隔狭)
		試験結果 75%/100%	▲/▲	▲/×	▲/×	△/×
	グループ B	展示手法	スチール製支持具C (半円アーム)、テグス	スチール製五徳B (円形台座)	木製皿立てB(脚広)	テグス4点張り (首元交差、張り間隔広)
		試験結果 75%/100%	▲/▲	▲/▲	△/×	△/×
	グループ C	展示手法	スチール製支持具B (円形アーム)、テグス	スチール製五徳B (円形台座)、 下部小径3点	木製皿立てB(脚広)、 アクリル製L型4点	テグス4点張り (首元環状、張り間隔狭)
		試験結果 75%/100%	▲/▲	△/×	○/×	○/△
	グループ D	展示手法	スチール製支持具C (半円アーム)、テグス、 下部アクリル製L型2点	スチール製五徳B (円形台座)、 下部小径3点、錘(鉛玉)	木製皿立てB(脚広)、 テグス3点張り	テグス4点張り (首元環状、張り間隔広)
		試験結果 75%/100%	△/▲	△/▲	○/△	○/△

【試験結果について】○:変化なし/△:滑動、回転/▲:大きく滑動、回転/×:転倒
※K-NET小千谷のカッコ内は敷板固定した際の結果であり、それ以外はすべて敷板非固定の結果を示している。



図1 振動試験の様子
上:モーションキャプチャー映像
下:実際の映像

4. 展示品に対する振動試験について

通信機器に関する耐震試験については、日本産業規格(JIS)、NTT ドコモ規格、NEBS 規格などが知られており、家具の振動試験方法に関しても JIS で定められている。転倒限界加速度や移動限界加速度の評価、それらに起因する転倒・転落の挙動を検証する場合は、家具の振動試験に関する JIS 規格と同様に、一次元振動台を用いた正弦波掃引振動試験などで対応できると考えられる。今回の振動試験においても、五徳型の支持具が転倒しやすいこと、皿立てが容易に移動することなどは、一次元振動台の試験で確認することができた。一方、支持具やテグスの緩み、展示品の回転といった挙動については、三次元振動台での試験で多く確認された。これは様々な要因が考えられるため、今後より詳細な分析が必要である。また、前述した複数の規格でも定めているように、地震波を入力する加振試験の前後で、ランダム波や正弦波を用いて支持具やテグスを含む展示品の固有振動数の変化を確認することも有用であると考えられる。さらに、今回は合板にクロス貼りした敷板や展示台を使用しているが、博物館・美術館によっては、ガラスやアクリルなどの多様な展示台が使用されているため、適切に展示条件を再現した上で振動試験を実施しなければならない。