弥生時代高地性集落の立地と古環境変遷

—長岡市島崎川流域を対象として—

Location and Paleoenvironmental Changes of Upland Settlements in the Yayoi Period : Examination of the Shimazaki River Basin

○森　貴教（新潟大学）、卜部厚志（同左）、石崎智美（同左）、青木要祐（同左）
○Takanori MORI, Atsushi URABE, Satomi ISHIZAKI, Yosuke AOKI (Niigata University)

1. 本研究の目的

弥生時代中期後半から後期・終末期に、「高地性（環濠）集落」とよばれる、水稲耕作に適さないとみられる高所立地の集落が列島各地に認められ、新潟県域はその分布範囲の最東端にあたる。高地性集落は沖積地に面した、比高差約30m以上の丘陵部に立地するものが多く、本地域では弥生後期後半（紀元２世紀後半頃）に盛行する。沖積地や丘陵裾部の微高地から高所へと集落の立地が変化した要因については、この時期に生じた社会的緊張の高まりに求める見解が通説であり、高地性集落は防御的・軍事的機能をもつものであると評価されてきた。

しかしながら近年、樹木年輪セルロースの酸素同位体比分析によって、弥生中期末（紀元前１世紀後半）は前後の時期に比して急激な湿潤･寒冷化の時期であることが明らかになっている（中塚 2022）。降水量が多い時代には水害の被害を避けるため比較的高所に居住地を移動させた可能性もあるが、遺跡周辺の居住環境の変遷はこれまでほとんど検討されていない。

そこで本発表では、新潟県長岡市（旧三島郡和島村）の島崎川流域の丘陵上に立地する赤坂遺跡のＶ字溝埋土と沖積低地部の土壌堆積物を対象として、縄文後期から弥生時代後半期にかけての古環境変遷を明らかにすることで、上記の内容について考察したい。

2. 調査地の立地と分析試料の年代

①赤坂遺跡（標高約90m、丘陵裾部との比高差約80m）

新潟県の中越地方、信濃川左岸の東頸城丘陵の主稜線上に立地する。第１次・第２次調査で弥生時代の高地性集落に伴うＶ字溝（溝 SD01）を確認した。溝は弥生後期後半から終末期（紀元２世紀後半から３世紀前半頃）の比較的短い期間に存在し埋没したもので、その規模は上端幅約7.3m、深さ約3.6mを測ることが判明した（森編 2023）。土壌試料はこの溝の下層（７～11層）から採取した。なお出土した土器の型式は法仏式（弥生後期後半）である。

②沖積低地部（標高約14m）

赤坂遺跡から南西約800mに位置する島崎川流域の沖積低地（長岡市上桐地区）で土壌ボーリング調査を実施した。調査地の東約100mの丘陵裾部（標高約22m）には、弥生中期後葉～末（紀

元前１世紀）の時期を主体とする上桐の神社裏遺跡が立地する。弥生後期・終末期の時期に明確に比定できる遺物は僅少であるため、高所の赤坂遺跡へと居住地を移動した可能性が高い。

KG1～KG3 の３地点の休耕田を対象として、地表下４ｍ、５ｍまで掘削し土壌を採取した。このうち良好な試料が得られた KG3 のボーリングコアから年代測定用、自然科学分析用の土壌試料を５点抽出し、縄文後期前葉（2,236-2,131cal BC）から弥生後期・終末期（64-209cal AD）までの計５層準分（上位から KG3-①～KG3-⑤）のデータを取得した。

3. 花粉分析・植物珪酸体分析の結果

①赤坂遺跡（標高約 90m、丘陵裾部との比高差約 80m）

Ｖ字溝の埋没初期（弥生後期後半、紀元２世紀後半）、調査地の周辺には針葉樹のマツ属、スギ属、落葉広葉樹のハンノキ属、コナラ亜属の森林が広がり、林床にはチマキザサ節などのササ類が生育していた。また、近傍の開けた場所にはススキ属をはじめとするイネ科やヨモギ属などの草本がまばらに生育していたと推定される。溝からはごく少量の炭化イネも確認され、これらの粒形質的検討および炭素・窒素安定同位体比分析の結果の検討から、水利がうまくいかない水田での栽培、あるいは陸稲であった可能性が指摘されている（上條 2023）。

②沖積低地部（標高約 14m）

縄文後期から弥生中期（KG3-②～⑤）は、おもにハンノキ属からなる湿地林、周囲の湿潤地や周辺の丘陵地の沢沿いなどにはサワグルミ属、オニグルミ属、コナラ亜属、トチノキ属、トネリコ属などが林分を形成していた。一方、弥生後期・終末期（KG3-①）になると、湿地林が減少し、イネ科草本類が生育する開けた空間が拡大したと推定される。KG3-①では、イネの植物珪酸体が 3,400 個/g の密度で認められた。弥生中期（KG3-②）から後期・終末期（KG3-①）にかけブナ（*Fagus crenata*）の花粉化石がやや増加しており、この時期の寒冷化の傾向を示唆する。

4. 考察

沖積低地部周辺では、丘陵上に赤坂遺跡が展開する時期である弥生後期・終末期（KG3-①）の花粉分析・植物珪酸体分析の結果から、弥生中期以前よりも湿地林領域が狭くなり、イネ科草本類の生育する開けた空間が拡大したと推定された。このことから、弥生中期から後期・終末期の間に周辺の植生に大きな変化があったことが示唆される。植物珪酸体分析の結果から、沖積低地部周辺では水田稲作が行われていた蓋然性が高いため、生産域としての土地利用は広がったと評価される。遺跡の分布状況からみて、こうした沖積低地部における土地利用は高所に居住した集団と無関係ではなく、生業活動の一部をなしていたと考えられる。

このように沖積低地部周辺における生業活動とそれに伴う植生変化が認められる一方で高所に居住する現象から、集落立地の変化と高地性集落の機能・性格には社会的な背景も想定する必要があるといえる。

紙幅の都合上、参考文献は省略した。

野生イネの生産量推定に関する基礎的研究（Ⅱ）

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

○宇田津徹朗（宮崎大学）、一谷勝之（鹿児島大学）、志水勝好（同）、石川隆二（弘前大学）
○Tetsuro UDATSU(University of Miyazaki), Katsuyuki ICHITANI(Kagoshima University), Katsuyoshi SHIMIZU(Kagoshima University), Ryuji ISHIKAWA(Hirosaki University),

1. はじめに

「野生イネの栽培化」に関する研究は、現在も、限られた植物遺体の出土に依存しているため、本来は網羅的であるべき地域と時代が、限定的かつ偏在的にならざるを得ない。

本研究は、この現状を打破するため、野生イネのプラント・オパールの密度と形態からその生産性と栽培イネへの変化を分析する手法構築を目指している（科研費課題番号 21K18118：「野生イネはいつどのように食糧となったのか？」に挑戦する　研究代表者：宇田津徹朗）。

ここでは、野生イネの生産性の推定・復元ならびにプラント・オパールの形状による野生イネの判別に関する基礎研究の概要と成果について報告を行う。

2. 材料と方法

以下の材料と方法を用いて、野生イネの生産量推定（栽培イネの生産量推定法（藤原 1979、宇田津 2003）の適用の可否）の検討とプラント・オパール形状による野生イネの判別（栽培と野生、野生イネの種間）に関する基礎研究（形状特性と栽培イネとの相違の検討）を行った。

1）材料（供試した野生イネ）

アジアの栽培イネ（*O.sativa* L.）の祖先野生種である *O.rufipogon* を 7 系統、ゲノムタイプが同じで生息域が重なっている *O.meridionalis* を 8 系統、合計 15 系統を供試した。これらは、鹿児島大学農学部にてポット栽培（短日処理）したものである。



写真 1　野生イネの種実の例（左 W106（*O.rufipogon*）、右 W1297（*O.meridionalis*））
※スケールは 5mm、芒（のげ）の部分は長いため、紙幅の関係でトリミングしている

2）方法

【生産量推定について】

推定に必要なイネの各部重量と葉身中の機動細胞珪酸体（プラント・オパールの前身）の密度を調査し、両者の関係を分析した。各部重量は、乾燥（80℃で 48 時間）後、系統毎に個体単位で、葉身、種実およびその他の地上部について測定した。また、珪酸体係数（機動細胞珪酸

体 1 個が代表する各部重量）は、葉身中の機動細胞珪酸体の総数を求め、この値で各部重量を除することによって算定した。具体的には、系統・個体ごとに全葉身を電気マッフル炉で乾式灰化し、沈底法による粒径篩別を行い、機動細胞珪酸体数を定量した。

【プラント・オパール形状による野生イネの判別について】

画像解析装置を用いて、栽培イネと同様に、各系統、ランダムに選んだ 50 個の機動細胞珪酸体について、各形状（図 1 に示す縦長、横長、側長、a、b）の長さを測定した。

各系統を代表する形状値は、縦長、横長、側長ならびに縦長の分割比（b/a）の測定値の平均値とした。

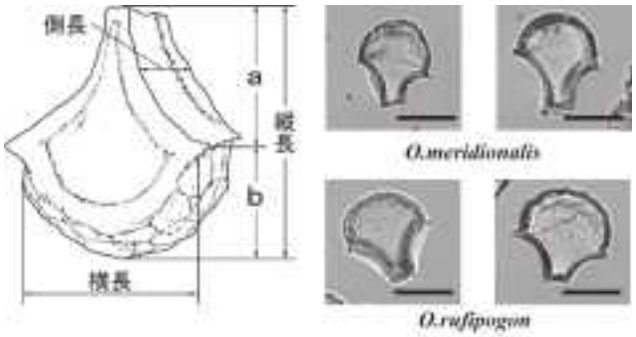


図 1　形状の測定部位と野生イネの機動細胞珪酸体
※写真中のスケールは 25 μ m

3. 結果および考察

1）生産量推定について

各部重量について、相関分析を行った結果、限られた試料数であった昨年度の結果と同様、葉身重量と稔実種子重量や地上部全重量には有意な正相関が確認された。この結果、野生イネも、栽培イネ（藤原 1979）と同じように珪酸体係数を設定することが可能であると判断された。

珪酸体係数を求めた結果（表 1）、*O.rufipogon* と *O.meridionalis* は、ほぼ同様な値であった。野生イネと栽培イネ（藤原 1979）の間でも、種実重量以外は、値の差は数倍程度で、大きな差は無く、各珪酸体係数間の大きさの関係もよく似ていることが確認された。

表 1　試算された珪酸体係数　（$\times 10^{-6}$ g ／個）

イネ（*Oryza*）属	葉身重量	地上部全重	種実重量
O.rufipogon	0. 66～4. 37	2. 63～13. 90	0. 32～6. 11
O.meridionalis	1. 07～4. 53	5. 43～17. 13	1. 10～6. 39
O.sativa	2. 65	13. 46	6. 25

※野生イネは、系統単位で試算したため、最小値～最大値で記載

2）プラント・オパール形状による野生イネの判別について

形状値について主成分分析を行った結果、野生イネも栽培イネ同様に、その形状特性が「断面の大きさ」と「断面の形状」に要約されることが明らかとなった。結果、栽培イネと野生イネを機動細胞珪酸体の形状から算定した共通の主成分値を用いることで、両者を比較判別できる見通しを得ることができた。

4. まとめ

今回の取組の結果、プラント・オパールを用いた栽培イネの生産量推定および形状判別を野生イネに適用できる見通しを得ることができた。今後、生産量については、野生イネ群落の状態（個体密度や出穂など）の調査ならびに、より実際に近い状態を再現した栽培実験を計画実施して、より実用性の高い珪酸体係数の設定を目指してゆきたい。また、形状判別については、さらに系統数を増やして、判別の精度や限界について検討を進めることとしたい。

ハマグリの成長速度に基づく古海況の変遷 —関東地方貝塚を中心として—

Paleo-oceanic changes based on shell growth speed of *Meretrix lusoria* excavated from shell midden, Kanto region

○畑山智史（船橋市飛ノ台史跡公園博物館）
○Satoshi HATAKEYAMA (Tobinodai historic site park museum)

貝殻の成長速度は、棲息していた環境要因の影響を反映しており、特に海水温度との強い相関が知られている（Koike1980）。この特性を利用することで、その貝が棲息した海水温度が現在のどの地域のものに比定されるかおおよその見当をつけることができ、古海況の変遷を考える上で有効である（小池 1982）。この貝殻の成長速度を示標とした、南関東の 11 地点のハマグリを分析では、縄文時代中期・後期における成長速度の低下が報告されている（小池 1982）。しかしながら、1980 年代における年代測定方法の限界や分析した遺跡数は少例であることから、本研究では、既報における帰属年代の整理や新たに同一試料を用いた高精度年代測定と貝殻成長線分析を実施し、新規データ追加したうえで、再検討をした。

１．分析試料と分析方法

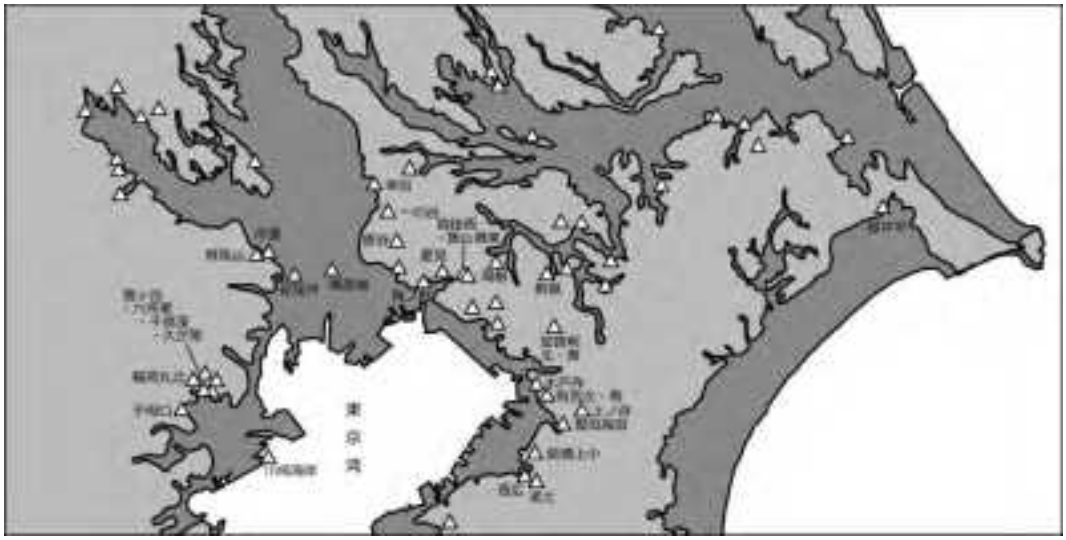
試料は、約 9,000 年前から現在までの貝塚出土ハマグリの貝殻である。貝殻成長分析により、冬輪の殻高を計測、Wolford 法により、各年齢の平均殻高を算出する。貝殻成長線分析は常法（Koike1980）に基づく。土器型式の較正年代値は小林謙一の論稿（2008）を参考とした。

２．結果と考察

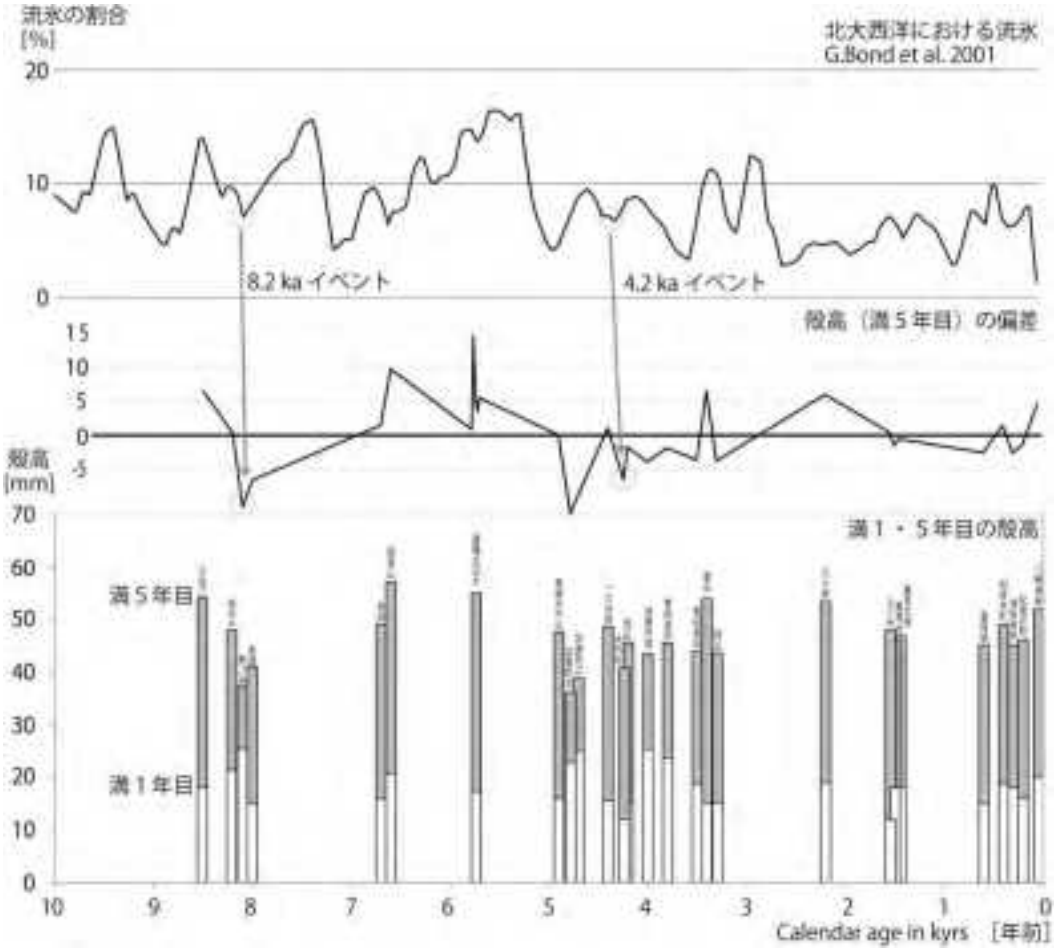
既報（小池 1982）では少例であった縄文時代早期後葉の事例３遺跡を新たに分析した結果、8.2 ka イベントの影響が示唆される成長速度の低下がみられた。同遺跡ではイボキサゴの螺線数の減少より、海況の寒冷化の可能性が指摘されており（畑山 2021）、貝殻の成長に影響を及ぼす環境変化を補強する結果が示唆された。新たに追加した縄文時代前期前葉においては、成長速度の向上がみられ、縄文海進の影響が示唆される。既報（小池 1982）でも指摘されている縄文時代後期の低下は、4.2ka イベントに相当する可能性があり、追加データ（例えば、樋泉 1999 など）からも同様の指摘ができそうである。

３．おわりに

貝殻の成長速度を示標とする古海況の変遷は、可能である。これまで海況の変遷に関する議論は、陸産由来の試料に基づく間接的なものであったが、貝殻のような海産由来の試料でも議論できることを再認識できた。また高精度年代測定や土器の細別編年などを加味することで、高解像度な古海況の復元ができることから、先史社会の議論に新たな証拠を提示できよう。



第１図　分析対象の遺跡



第２図　関東産ハマグリにおける成長速度の変遷

主な引用文献
Bond, G. et al. 2001「Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene」『Science』294(5549) 、2130 - 2136
Koike, H. 1980「Seasonal dating by growth line counting of the clam, Meretrix lusorig」『The University Museum, The University of Tokyo, Bulletin』18、104 p.
小池裕子 1982「日本海北陸地域産ハマグリ類の貝殻成長線分析」『第四紀研究』21 (3)、273 - 282
小林謙一 2008「縄文土器の年代　（東日本）」『総覧　縄文土器』896 - 903
樋泉岳二 1999「加曽利貝塚における貝層の研究」『加曽利貝塚博物館紀要』176 p.
畑山智史 2021「イボキサゴの形態変異からみた古環境復元への試案」『動物考古学会第８回大会抄録集』

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

○田中克典（弘前大学）、宇田津徹朗（宮崎大学）、
上條信彦（弘前大学）、田崎博之（愛媛大学）、石川隆二（弘前大学）
◯Katsunori TANAKA (Hirosaki Univ.), Tetsuro UDATSU (Miyazaki Univ.),
Nobuhiko KAMIJO (Hirosaki Univ.), Hiroyuki TASAKI (Ehime Univ.), Ryuji ISHIKAWA (Hirosaki Univ.)

1. 緒言

「時間と空間を網羅したイネ情報の体系的蓄積」は、稲作の発達段階を検討する研究において必要不可欠である。しかし、一般的に、遺跡から出土したイネ遺物、特にイネ種子は重要な試料であるものの、その検出頻度や量には限りがある。演者らはプラント・オパールが時代や地域に関係なく安定して遺存していることに着目して、地層に埋蔵されたイネのプラント・オパールからDNA を抽出して、抽出後の劣化、ならびにイネ亜種について前回大会で報告した。

本報では、プラント・オパールに内在する DNA の分析に基づいて、標どの程度の試料を採集して、どの程度の分析を実施すれば結果が得られるかという、新たな遺跡資源の活用にむけた実質的情報を提示する。なお、本研究は、JSPS 科研費の助成によって実施された（課題番号 19H00542）。

2. 材料及び方法

研究材料は、愛媛県松山市にある遺跡の水田層の土壌から抽出したプラント・オパールである。なお、当該試料を採集した箇所での層厚が約 5 cm 程度であったので、上側半分と下側半分とに分けて、それぞれ、0.2100 g および 0.2023 g の土壌をプラント・オパール採集に用いた。これらの作土の年代は室町時代である。プラント・オパールは、作土の比重が 1.0～2.3 の分画溶液において 75 μm 以下の大きさの粒子から抽出した。DNA 分析は、弘前大学農学生命科学部の古 DNA 分析室にて実施した。DNA は Mutou et al.（2014）の方法で個別に抽出し、3 つの葉緑体ゲノム領域（*rps16* 遺伝子 intron1, *trnI* 偽遺伝子, *acoD* 偽遺伝子）と核ゲノムの IDJ6 領域を PCR 増幅した。PCR 増幅後、現生イネと同じ長さおよび塩基配列の DNA 断片を確認することによって、イネのプラント・オパールから DNA が復元されたことを判断した (第 1 図)。これらの作業はそれぞれの試料において 10 反復実施した。

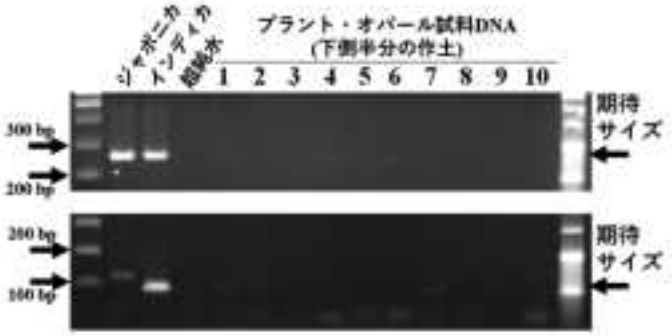
3. 結果及び考察

2 地点の試料において、標的 DNA が検出できた数は *rps16* intron で 4、IDJ6 の F1-R2 領域で 3 と低頻度であり、また、残りの領域では復元できなかったことから、経年にともなって劣化を受けていた (第 1 表)。葉緑体ゲノムの *rps16* intron 領域では、地点ごとの復元数が 10 反復のうち 3 または 1 であった (第 1 図)。これらの領域は現生のジャポニカの配列と同じであり、10 回分析すればいずれかの試料で亜種を判別できることがわかった。IDJ6 F1-R2 領域では、地点ごとの復元数が 10 反復のうち 1 または 2 であり、復元された DNA 断片の塩基配列が熱帯ジャポニカや

インディカと同じであった。このことから、生態型の判別も 10 回分析すればいずれかの試料において判別可能であることがわかった。

4. 結論

以上のことから、反復を重ねることによって経年したプラント・オパールからイネの DNA 情報を復元することは可能であった。一方、復元数の少なさは、DNA 抽出に用いるプラント・オパール試料の量や分析する反復の数、あるいは、亜種型や生態型などにわけることができる塩基配列の領域を増やすことによって、復元の可能性が上がることを分析結果は示していた。



第1図　遺跡から採集したプラント・オパールのDNAを特異的プライマーでPCR増幅した産物の電気泳動
上側は*rps16* intron1領域のPCR産物、下側はIDJ6領域のPCR産物。遺跡名の下の数値は反復の番号を示す。

第1表　作土から採集したプラント・オパールにおける標的DNAの復元数

作土区分	作土採集量（g）	分析反復数	DNAが復元された反復の数			
			rps16	*trnI* 偽遺伝子	*acoD* 偽遺伝子	IDJ6
上半分	0.2100	10	3	0	0	1
下半分	0.2023	10	1	0	0	2

[1]75 μm以上プラント・オパール。

東京都新宿区四谷一丁目南遺跡より産出した植物珪酸体化石群

Opal phytolith assemblage data during the Jomon to early modern period from the Yotsuya 1-chome Minami site, Shinjuku, Tokyo

○江口誠一（日本大学）、鈴木伸哉（東京都埋文センター）、清永丈太（東京都建設局）
Sei-ichi EGUCHI (Nihon University), Shinya SUZUKI (Tokyo Metropolitan Archaeological Center), Jota KIYONAGA (Tokyo Metropolitan Government Bureau of Construction)

１．はじめに

過去の植生景観は、おもに低地域から得られた植物化石を材料として復原されることが多い。これを空間的に補う観点で、台地上の堆積物について、保存性の高い化石である植物珪酸体を利用した研究事例が期待される。植物珪酸体は、植物が生育時に吸収した珪酸分が表皮細胞内に沈積したもので、枯死し分解の後も土壌中で細胞の形状を保ちながら残るとされている。特長として、イネ科内で詳細に分類でき、母植物からの移動距離が小さく、保存性に優れていることがあげられる。これにより、台地上の古植生分布を対象とする場合、調査地を中心とした母植物の立地が検討され、現地性の高い復原が可能となる。

また、乾性の堆積物を直接分析できることからも、保存面での利点を活かすこととなる。そこで、東京都内の台地上遺跡におけるローム上の黒ボク土層、およびそこに築かれた近世初期遺構の空間的同位層準について植物珪酸体分析をおこない、武蔵野地域における縄文時代以降の植生景観を明らかにした。

２．方法

調査地である四谷一丁目南遺跡では、東京都新宿区南東端の若葉東公園内における、新たな赤坂迎賓館前公園施設の整備事業にともなって、埋蔵文化財発掘調査が進められた。江戸城外堀普請が完成した寛永 13（1636）年の盛り土を除去した後に、江戸時代初期の遺構面が広く認められ、一部で方形区画の溝が配された耕作跡とみられるものも検出された。その構成層を含めた深掘地点 A・B およびその周囲地点 C～F にて、層相観察するとともに植物珪酸体分析用の試料を採取した。

植物珪酸体分析は、乾燥試料を過酸化水素水による有機物分解、濃塩酸を加えた脱鉄、超音波洗浄機による分散処理で進めたのち、沈降法で得られた画分試料を希釈調節して乾燥させた。観察用プレパラートは、キシレンを溶剤に用いたオイキットを封入剤として作成し、同定および計数は、200 倍光学顕微鏡下の直線視野法で主要な分類群について、堆積

物 1g 中の個数を小数第 1 位まで求めた。

３．堆積物の概要

地点 A 下位より、試料 A1 は黄褐色細砂質シルトでローム層、試料 A2 は暗褐色細砂質シルトで黒ボク土層の下限で、放射性炭素年代は 9,535-9,468 calBP であった。試料 A3 も同様に暗褐色細砂質シルト、A4 は褐色細砂質シルト、試料 A5 は炭化物混じり黒色細砂質シルトで 2,339-2,157 calBP の年代値、試料 A6 は炭化物混じり暗褐色細砂質シルト、試料 A7 は炭化物混じり暗褐色シルト質細砂であった。同地より 5m ほど東南東側の地点 B 地点の層相もほぼ同様であった。また、地点 C～F は、何れも近世初期遺構面の 1 点のみで、試料 C、D、E は暗褐色シルト質細砂炭化物含む、試料 F は褐色シルト質細砂炭化物含むであった。地点 G では、試料 Ga は 26.8ｍで暗青灰色有機質シルト高師小僧含み、その土壌有機物の放射性炭素年代が 1,700±20yrBP (PLD-42140)、試料 Gb は 27.0ｍで暗青灰色有機質シルト高師小僧含むであった。

４．結果および考察

地点 A は、植物珪酸体化石群を下位層より Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ、Ⅳに分帯した。Ⅰ帯は標高約 25.5m まででササ属が多産した。それは約 26.2ｍまでのⅡ帯でも傾向は続き、加えてススキ属とネザサ節が増加した。Ⅲ帯は標高 26.5m までで、ササ属は減少、ススキ属とネザサ節は変わらず多産した。Ⅳ帯は 26.9ｍまでで、それらに加えシバ属が多産し、イネ、ヒエ属、ヨシ属がみられた。またⅢ帯のススキ属とⅣ帯のシバ属は、植物珪酸体が連なった組織の状態で産出した化石もみられ、母植物が調査地点か隣接する場所に生育した可能性が高い。これは、化石が運搬されずに安静を保ったまま堆積し、組織として検出されたことによる現地性の高さを示す。

地点 B も地点Ａと同様の傾向で、下位よりⅠ～Ⅳに分帯した。標高 25.3ｍまでの 1 帯でササ属が多産し、25.8ｍまでのⅡ帯でススキ属とネザサ節の増加、26.4ｍまでのⅢ帯でササ属の減少、26.9ｍまでのⅣ帯でシバ属の増加とイネ、ヒエ属、ヨシ属に加え、スゲ属が出現した。地点 G については、地点 A、B のⅣ帯と同様で、イネ、スゲ属、シバ属、ヨシ属が産出した。また地点 B、G ともに、Ⅳ帯のイネとスゲ属で組織状の珪酸体がみられた。

地点 C、D、E、F については、近世初期の遺構面図に地点 A の試料 A7 と地点 B の試料 B7 とともに、産出したイネ、ヒエ属、スゲ属のみを図 5 に示す。イネ（泡状細胞）は地点 F 以外産出し、特に地点 B では 5,000 個／g と多産した。イネ（短細胞）は地点 B と E、ヒエ属およびスゲ属は地点 B と D でみられた。

以上より、縄文時代のササやススキ草原が広がる様子とともに、その後の近世初期にいたるまで耕地として稲作をおこなっていたことが示唆された。また、風成層が堆積する台地上において、侵食で削られた小規模な谷の谷頭部が湿地化することで、水生植物も生育する耕作地として水分の得られやすい環境となったと考えられる。

クロボク土を対象とした花粉分析は可能か？

Is the Pollen analysis for the andosoil a possible?

○渡辺正巳（文化財調査コンサルタント(株)）
○Masami WATANABE (Archaeological Research Consultant, Inc.)

1. はじめに

埋蔵文化財発掘調査に伴って、対象とされる時期の古植生（農耕）、古気候を推定するために花粉分が実施されることがある。一方で、花粉分析実施の対象は「湿地」に堆積する水成堆積物がほとんどであり、「クロボク土」などの風成層が対象とされることはほとんど無い。「農耕」に視点を移すと、「水田」作土での花粉分析は行われるが、「畑」作土で花粉分析が行われることはほとんど無かった。

花粉分析は、泥炭地や干潟などの湿地や、湖沼、海域で実施されてきた。これは、堆積物中での花粉化石の保存状態が良く、多量の花粉化石が含まれている（ただし、洪水堆積物などの例外もある）ことと、処理が容易であることによる。また、一般的な花粉分析処理では「エルドマン氏液（硫酸：無水酢酸＝1：9)」を用いた脱水処理（通称：アセトリシス処理）により、植物片が溶かされる。塚田（1974）が示す 1ml の試料を用いる方法や、松下（1993）が示す試料 1-2g（乾燥重量）の方法は、水成堆積物に含まれる花粉化石の特性（量：密度）を活かした手法と言える。また現在、多くの研究者がこの手法を用いていると考えられる。

一方、「クロボク土」などの風成層には、「微粒炭」が多く含まれている。しかし、前述の脱水処理では「クロボク土」などの風成層に多量に含まれる微粒炭は溶けずに残る。実際に「クロボク土」の処理を行うと、多量の炭片の間に、僅かに花粉・胞子粒が確認できる程度である。通常の水成堆積物であれば、作成したプレパラートを数ライン観察（封入の濃さにもよる）すれば、統計処理に十分と言われる木本花粉 200 粒を計数可能であるが、「クロボク土」の場合、全面を観察しても数粒しか計数出来ない状態となる。このようなことから、「クロボク土」では花粉・胞子粒が検出されない（花粉・胞子粒が含まれない）として、花粉分析が行われてこなかったと考えられる。

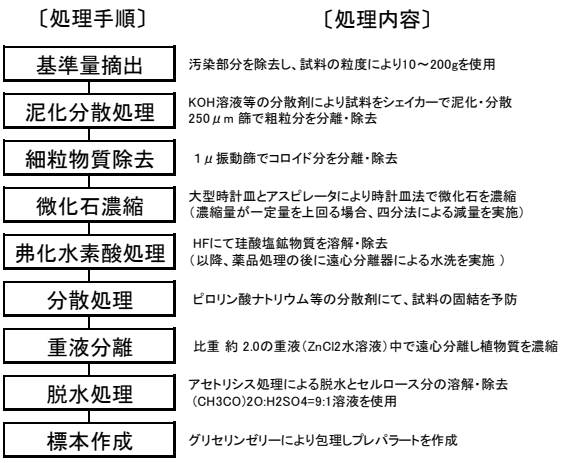


図 1 花粉分析処理フローチャート

2. 「クロボク土」に含まれる花粉・胞子粒子の実態

表 1 漸移層とクロボク土中の花粉・胞子含有量

試料No.	層相	検鏡面積 (mm^2)	木本花粉		草本花粉		シダ類胞子		合計	
			検鏡粒数	含有量	検鏡粒数	含有量	検鏡粒数	含有量	検鏡粒数	含有量
1	漸移層	45	215	1,945	43	389	295	2,669	553	5,003
2	漸移層	137.7	180	1,028	145	828	1,131	6,460	1,456	8,316
3	クロボク	145.8	107	3,176	175	5,194	60	1,781	342	10,151
4	クロボク	45	209	11,266	107	5,768	52	2,803	368	19,837

含有量：粒数/g

今回、「クロボク土」及び「漸移層（暗色層）」各 2 試料を対象とした花粉分析処理を、図 1 のフローチャートにしたがって実施した。この結果、表 1 に示す結果（花粉・胞子化石含有量）を得た。ただしフローチャートに示した様に、「微化石濃縮」処理を 1 回行っており、処理を行わなかった場合に比べ、同面積の顕微鏡観察を行った場合の検出量が多かった可能性がある。また、濃縮が進んだ場合には、含有量が過小に示される可能性がある。また、同様の処理を実施した水成層からは、通常数千～数万粒/g の花粉・胞子化石が含有されており、大差ない量の花粉・胞子化石が含まれていることが明らかになった。

従って「クロボク土」中にも、水成堆積物とほぼ同量の花粉・胞子化石が含まれていることが分かった。

3. 「クロボク土」を花粉分析の対象とする目的

「クロボク土」では植物珪酸体分析が主に行われてきた。しかし、植物珪酸体分析では、イネ科植物のほか、幾つかの木本が判別される程度である。このため、「クロボク土」が「イネ科草本を主体とする草原植生」での生成されたものと理解されている（例えば、細野・佐瀬(2015)）。草原の主要構成種は「イネ科草本」であるが、草原にはイネ科以外の様々な草本も生育している。従って、現状の植物珪酸体のみによる植生復元では、ごく限られた情報しか得られないことが確かである。更にクロボク土からは、風を媒介として運ばれてきた木本花粉も多く検出され、草原周囲の森林植生を明らかにすることも可能である。クロボク土の生成時の環境について「メダケ率（ネザサ率）」を用いて論じられることが主流であったが、花粉分析を実施することによって、別視点からの気候変化考えることも可能となる。

4. 「クロボク土」を花粉分析の対象とするために

前述の様に、「クロボク土」中には多量の花粉・胞子化石が含まれていることが明らかになった。一方で「クロボク土」を花粉分析の対象とするためには、「クロボク土」に多量に含まれる微粒炭を除去が必要である。今回の発表では「クロボク土」から微粒炭を除去する手法と、その効果について述べる。

引用文献

塚田松雄（1974）古生態学Ⅰ-基礎編-. P.149, 共立出版.

松下まりこ（1993）花粉・胞子. 第四紀試料分析法 2, 228-235. 東京大学出版.

細野　衛・佐瀬　隆（2015）クロボク土の生成史：人為生態系の観点からの試論. 第四紀研究, 54(5), 323-339.

突厥馬の動物考古学的研究

Zooarchaeological study of Turkic horses

◯植月学（帝京大学）、新井才二（東京大学）、Aida ABDYKANOVA (American University of Central Asia), Kubatbek TABALDIEV (Kyrgyz-Turkish Manas University)

◯Manabu UETSUKI (Teikyo University), Saiji ARAI (University of Tokyo), Aida ABDYKANOVA (American University of Central Asia), Kubatbek TABALDIEV (Kyrgyz-Turkish Manas University)

1. はじめに

中央アジアのキルギス共和国ではウマ遺体の全身骨格の分析例はなく、体高や利用法については不明な部分が大きい。このたび、Kyrgyz-Turkish Manas 大学博物館収蔵の突厥（テュルク）時代とされる全身骨格を含むウマ 9 個体を調査する機会を得たので報告する。

2. 資料と方法

資料は同国中部 Naryn 州（A, B）および東部 Issyk-kul 州（C, D, E）の 5 遺跡より出土した（表）。多くはクルガン（墳墓）出土で、いずれもテュルク時代（紀元 7〜9 世紀頃）に属するとみられていたが、7 個体について放射性炭素年代測定を実施した結果、新旧 2 群に分かれた（7 世紀前後 3 個体、10 世紀前後 3 個体。1 個体は近現代）。分析項目は部位・種の同定、性別・年齢査定、四肢骨の計測による体高推定、古病理学的観察である。

3. 分析結果

犬歯の有無による性別判定では判別できた 6 個体すべてが雄であった。年齢推定は切歯咬耗状況（Goody 1976）、臼歯高（西中川・松元 1991）、骨端癒合状況（Schmid 1972）によった。結果は 3〜4 歳の若齢が 4 個体、12 歳以上の高齢が 2 個体、その中間の成獣が 3 個体であった。体高は四肢骨の最大長（GL）から推定した。基準とした品種や推定式により差があったが、大別すると、大型（140cm 前後、B1,B2）、中型（135cm 前後、A1, D）、小型（130cm 前後、C1, C2, C3, E）の 3 群が存在する（図）。

古病理学的検討は鋏痕の観察と計測（Bendrey 2007a）、および中手・中足骨骨間靭帯の骨化程度の記録（Bendrey 2007b）をおこなった。鋏痕は下顎第 2 前臼歯（P_2）が観察できた 6 個体中 5 個体で確認できた。4 個体では近心エナメル質の顕著な露出、あるいは Bevel（咬合面の傾斜。Anthony & Brown 1991）が確認された。さらに個体 D では左右 P_2 ともに咬合面中央が深く抉れ、摂食ではなく、鋏による咬耗異常と推定された。中手・中足骨の骨化は 7 個体中 3 個体で観察された。骨化は加齢によっても進行するが、3 つの年齢階級すべてで確認されたことから、加齢だけが原因ではない。なお、若齢で唯一骨化が確認された個体は、鋏痕が存在しないことが明らかな唯一の個体でもあった。以上の他に 2 頭（B2 と D）の脊椎骨に関節炎が観察された。いずれも比較的高齢の個体であった。

表　資料一覧と分析結果

*Radiocarbon dating by Paleo Labo Ltd., Co.

Site		ID	Fea-ture	Period	cal AD*	Sex	Age		W. height		Pathology			Analysis No.
							class	age	class	mean (cm)	bit wear	mc2:4 (L/R)	mt2:4 (L/R)	
A	Altyn-Aryk	A1	K-12a	Turk	1668-1954 cal AD	?	yg	3	M	134.3	Y	-/0:0	-/0:0	4
		A2	K-12b	Turk	-	m	ad		?	-	-	-	-	5
B	Aigyrzhal-2	B1	K-1	Turk	588-650 cal AD (95.45%)	m	yg	3	L	138.5	N	2:0/-	-	1
		B2	K-24a	Hun/ Turk	775-787 cal AD (10.55%) 826-902 cal AD (43.07%) 915-975 cal AD (41.83%)	?	ad		L	137.0	-	-	0:2/0:0	2
C	Boz-Adyr	C1	K-6	Turk	892-990 cal AD (95.45%)	m	old	15+	S	127.3	Y	-	-	7
		C2	K-16	Turk	599-653 cal AD (95.45%)	m	yg	4	S	129.0	Y	0:0/0:0	0:0/0:0	6
		C3	K-19	Turk	596-652 cal AD (95.45%)	m	yg	4	S	128.9	Y	0:0/0:0	0:0/-	3
D	Kosh Dobo	D		Turk	-	m	old	12+?	M	132.5	Y?	2:0/2:0	0:0/0:0	9
E	Kashat 2	E	-	Turk	892-993 cal AD (95.45%)	?	ad		S	129.5	-	0:0/0:0	0:0/0:0	8

4. 考察

今回の分析結果から、墳墓に殉葬された馬の特徴として、雄で乗用とされたことが挙げられる。年齢や体高の変異は大きかったが、7 世紀の 3 個体（B1, C2, C3）はいずれも若齢であったことから時期的特徴の可能性がある。体高には年代との相関は認められなかった。

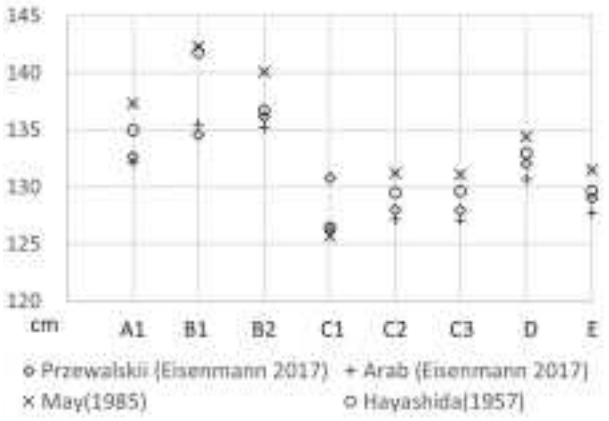


図　推定体高

次に墳墓主体の今回の資料群とは異なる都市遺跡の廃棄物であるキルギス共和国アク・ベシム遺跡の馬（8〜12 世紀）と比較する。アク・ベシムでは全地区のウマの推定体高の平均は約 135cm であった。今回の分析では大型とした 2 個体だけが、アク・ベシムの平均を上回った。予想に反して、墳墓に殉葬された馬は必ずしも大型ではなかった。なお、大型 2 個体がいずれも比較的西方の Aigyrzhal-2 遺跡出土で、これに次ぐ個体 A1 も西部出土である点はむしろ地域差の存在を示唆する。アク・ベシムとの明確な差は、墳墓出土馬における明確な銜痕である。アク・ベシムでは明確な銜痕を持つ個体は確認できず、交易都市において荷駄用に使用された個体の多さと推測したことがある（植月・新井 2020）。遊牧民の遺跡と考えられる同時代の墳墓での対照的な乗用馬主体のあり方は、その推測を裏付ける。

本研究は JSPS 科研費 23H03924、21H04984 による成果の一部である。

引用文献は紙数の都合上、省略させていただいた。

中世鎌倉出土馬の来歴-ストロンチウム同位体比分析による検討-

Life history of medieval Kamakura horses examined by strontium isotope analysis

金井拓人（帝京大学文化財研究所）、○植月学（同左）、覚張隆史（金沢大学）、矢野萌生（千葉工業大学次世代海洋資源研究センター）、町田嗣樹（同左）

○Takuto KANAI, Manabu UETSUKI (Teikyo University), Takashi GAKUHARI (Kanazawa University), Moei YANO, Shiki MACHIDA (Chiba Institute of Technology)

1. はじめに

近年、遺跡出土馬歯の同位体比分析によりウマの産地や移動に関する詳細な議論が可能となってきた。本研究では鎌倉市内の中世遺跡より出土したウマ臼歯エナメル質のストロンチウム（Sr）同位体比分析により中世都市鎌倉で利用されていたウマの由来や飼育環境の変化について検討した。

2. 試料と方法

分析対象としたのは由比ガ浜中世集団墓地遺跡の 2012 年調査（株式会社博通 2016）で検出された14世紀代の獣骨集積土坑より出土したウマ 3 個体である。タングステンカーバイト製ドリルを利用して後臼歯 3 本の歯冠、中間、歯根 3 箇所の約 5 ㎜四方の範囲よりエナメル質を約 7.5mg 採取した。次に覚張・米田（2016）による 0.1M 酢酸バッファーを利用した方法で二次的に沈着した炭酸塩の除去を行い、カラム分離用の溶液を作成した。次に、Sr を分離するために金井ほか（2023）による 2 段階のカラム分離を行った。第一カラムでは陽イオン交換樹脂（Bio-Rad 社製 AG50W-X8 200-400 mesh）に 2.5M 塩酸 2.5mL を流して重元素などのマトリックス除去を行った。第二カラムでは Sr レジン（Eichrom Technologies 社製 Sr 樹脂 粒径 100-150 μm）に 2.0M 硝酸 2.5mL を流して Sr のみを分離した。分離した Sr は 80℃12 時間で蒸発乾固させて $^{87}Sr/^{86}Sr$ 同位体比分析用試料とした。

$^{87}Sr/^{86}Sr$ の測定には千葉工業大学次世代海洋資源研究センター所有の表面電離型質量分析装置（Thermal Ionization Mass Spectrometer: Thermo Fisher Scientific 社製 Finnigan TORITON）を使用した。乾固させた試料は 2.5M 塩酸で溶解し、Ta 活性剤を塗布した Re シングルフィラメントに塗布した。フィラメントは焼き付け後に TIMS に導入し、^{88}Sr のイオンビーム出力が 3.0V に達するか、フィラメントへの電流が 3.1A に達したら測定を開始した。分析回数は 1 ボックスあたり 20 回の分析を 5 ボックス繰り返す全 100 回とした。測定した試料の通常モードでの測定誤差は±0.000007 以内であった。

3. 分析結果

馬歯エナメル質の Sr 同位体比は 0.70553～0.70731 の値を示した（表）。図には 3 個体の Sr 同位体比の経年変動を示した。形成時期（月齢）はエナメル質の採取箇所をもとに覚張（2015）の推定式により求めた。比較対象として、中世鎌倉の範囲内採取の現生植物、鎌倉市周辺域の現生植物と河川水、由比ヶ浜南遺跡出土の中世ウマ、ウシ、イヌ、ネコ（覚張 2014）、および青森県根城跡出土中世馬の Sr 同位体比（植月ほか 2021）も示した。今回の 3 個体は個体 A と個体 B は変動が小さく、互いの同位体比

の差も大きい。一方、個体 C は個体 A に近い値から個体 B に近い値へと変動する。さらに 3 個体ともに最後の試料(4 歳半前後)でそれまでの値から変動し、0.7065 前後に収束した。

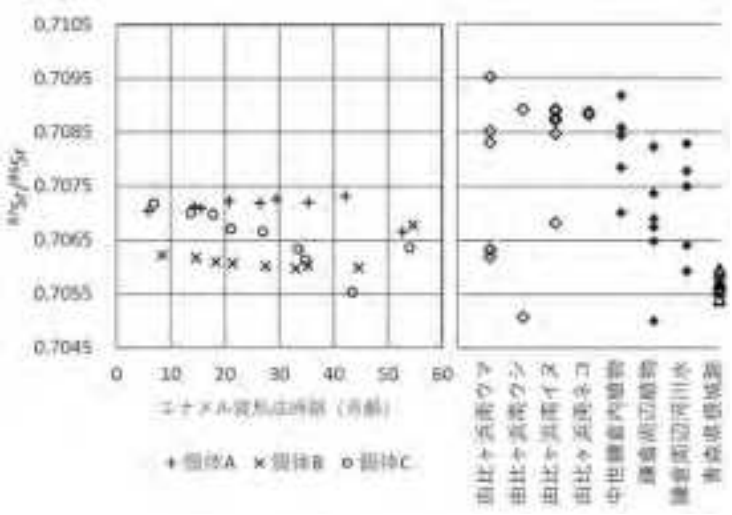


図　ストロンチウム同位体比の比較

4. 考察

覚張(2014)では本研究の分析対象遺跡に近い由比ヶ浜南遺跡において、在地型動物であるイヌ、ネコ遺体が中世鎌倉内の現生植物の Sr 同位体比の範囲内(0.70701～0.70918)に収まるのに対し、移動型動物のウマとウシの一部個体がその範囲から外れることから移入個体の可能性が指摘された。本研究の個体 B と個体 C(後半)も上記範囲から逸脱することから、移入個体の可能性がある。

変動パターンに着目すると、個体 A と B は比較的変動が少なく、4 歳頃までは産地にとどまっていたと推定される。これに対して、個体 C は変動が大きかった。偶然の一致の可能性も排除できないものの、個体 A の産地から個体 B の産地に移動したともみなせる結果であった。3 個体ともに 4 歳半頃に近い値に収束する点はこの頃に同一地域に集積された可能性を示し、中世都市鎌倉へのウマの流通経過を検討する上で興味深い。とはいえ、わずか 3 個体の分析結果であり、発表時には分析個体を追加してさらに考察を加える予定である。Sr 同位体比のみでは産地を特定することは困難であることから、今後酸素同位体比など異なる指標による検討も進める必要がある。

表　試料と測定結果

個体	歯牙	遺構	取上No.	整理番号	歯種	位置	長さ mm	月齢	$^{87}Sr/^{86}Sr$	測定誤差
A	1面	歯骨2	No.5 No.6	3733	M1	冠	53.1	5.8	0.707039	±0.000023*
						中	26.5	14.3	0.707122	±0.000013*
						根	6.95	20.8	0.707221	±0.000003
					M2	冠	60.7	15.6	0.707081	±0.000006
						中	29.9	26.5	0.707190	±0.000003
						根	29.9	35.3	0.707203	±0.000003
					M3	冠	29.9	29.4	0.707260	±0.000002
						中	29.9	42.1	0.707309	±0.000007
						根	29.9	52.7	0.705650	±0.000004
B	3面	歯骨13	No.6	3008	M1	冠	29.9	8.4	0.706216	±0.000002
						中	29.9	14.7	0.706172	±0.000003
						根	29.9	21.4	0.706066	±0.000006
					M2	冠	29.9	18.3	0.706093	±0.000002
						中	29.9	27.5	0.706012	±0.000003
						根	29.9	35.2	0.706019	±0.000003
					M3	冠	29.9	33.0	0.705967	±0.000003
						中	29.9	44.6	0.705977	±0.000002
						根	29.9	54.6	0.706774	±0.000005
C	1面	歯骨3	No.6	3085	M1	冠	29.9	6.9	0.707171	±0.000003
						中	29.9	13.8	0.707002	±0.000003
						根	29.9	21.1	0.706700	±0.000002
					M2	冠	29.9	17.8	0.706975	±0.000003
						中	29.9	27.0	0.706649	±0.000003
						根	29.9	34.7	0.706132	±0.000003
					M3	冠	29.9	33.4	0.706334	±0.000003
						中	29.9	43.5	0.705930	±0.000003
						根	29.9	54.0	0.706346	±0.000003

「長さ」：歯根から計測位置の距離。*測定モードでの測定

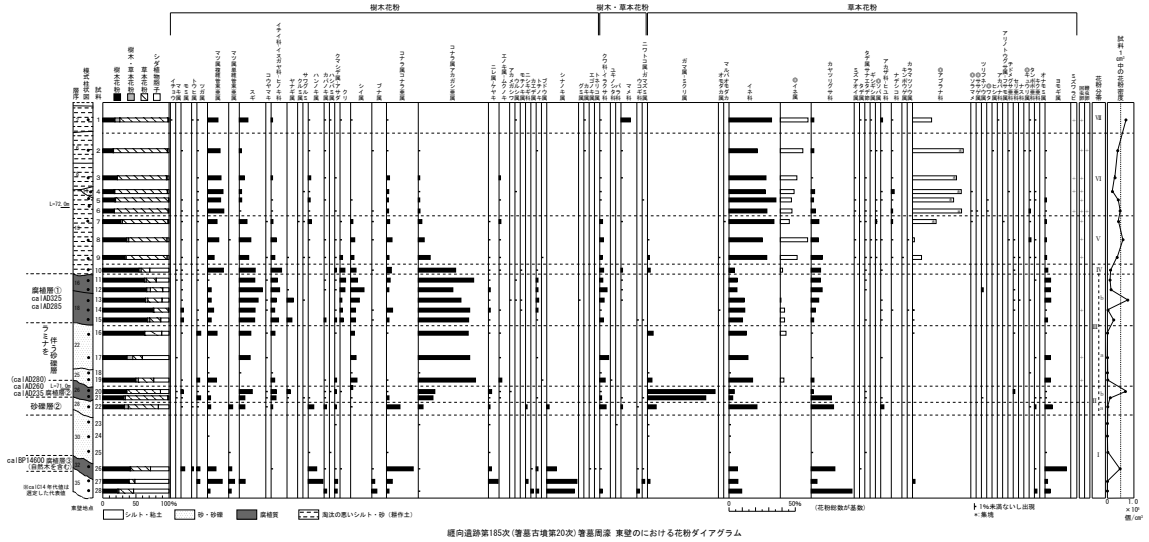
謝辞：分析を許可いただいた鎌倉市教育委員会に深く感謝申し上げます。本研究は JSPS 科研費 22H00722 による成果の一部である。引用文献は紙数の都合上、省略させていただいた。

植生・生業の関連分析の枠組みの検討　－奈良盆地および佐賀東名遺跡および能登真脇遺跡をケーススタディとして－

Examination of the Frameworkof　Analyses of related Vegetation and Subsistence
－The Nara Basin, Saga-Higashimyou Site, and Noto-Mawaki Site as Case Studies－

○金原正明（奈良教育大学）
○Masaaki KANEHARA(Nara University of Education)

植生と生業に関連する分析は、生物地学や物理化学にわたり多様である。植生と生業を復元する方法の大きな枠組みとして、自然と人為を分けることが必要で、データが普遍的に大枠で検出しやすい植物遺体分析の自然環境データが基調となり、次にこれらと相違するデータを生業、農耕として抽出でき、さらにより細かな分子や原子レベルの化学分析へと進んでいき、形態ではなく機器を使用するデータは二次的データとも位置付けられる。理論的な検討の後、ま

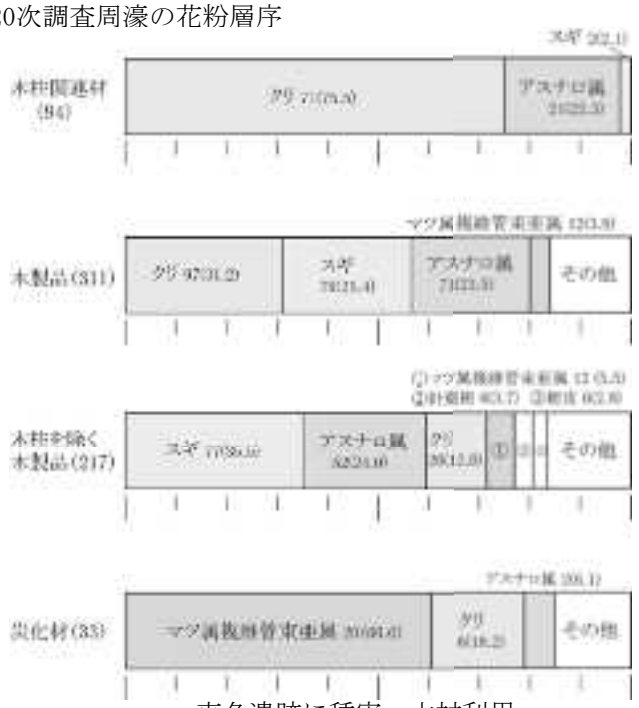


箸墓古墳20次調査周濠の花粉層序

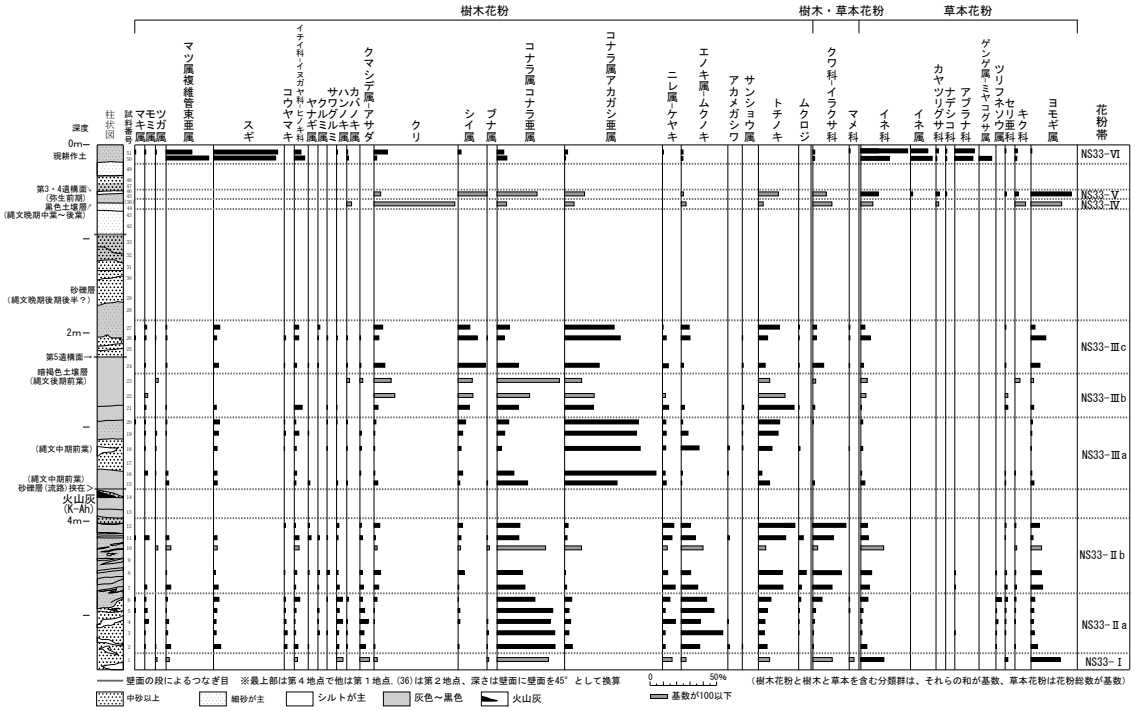
とまりのあるデータの地域と遺跡をケーススタディとして、関連する分析を階層的にとらえ、植生しいては生業の復原をしていく。

奈良盆地では多くの遺跡があるが、連続試料が少なく、近年分析する機会を得た。まず箸墓古墳の周濠では、古墳時代以降の植生と下部の上部更新世の花粉層序が明らかになり、特に上部は中近世の農耕要素が分析された。中西遺跡においては、アカホヤ火山灰を挟む完新世の植生変遷が復原され、トチノキの弥生時代まで豊富に繁茂もし、縄文時代を通して主要な食糧資源であるとみられた。北部ではやや異なる植生が断片をつなぎ合わせ組み立てられる。

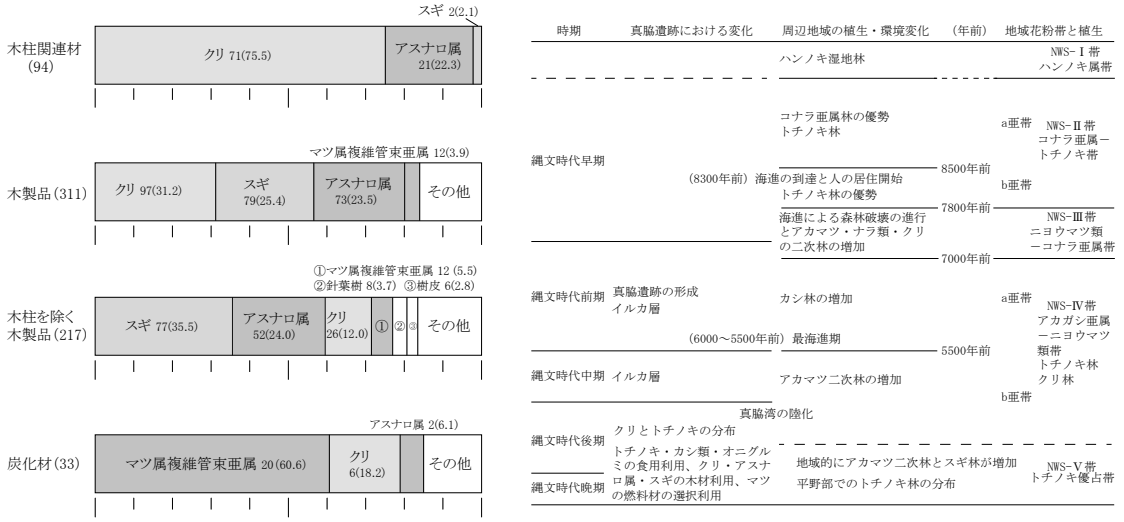
東名遺跡においては、縄文時代の早期後半の時期であるが、花粉分析と貯蔵穴のドングリから、後背の豊富なイチイガ



東名遺跡に種実・木材利用



中西遺跡22次調査における花粉層序



真脇遺跡における木材利用と変遷

シ林が主要な植物性食糧であり、燃焼炭化材ではクヌギ節が多く、二次林で回復の速いクヌギ節を利用し、自然の循環を利用している。能登真脇遺跡では、周囲の植生の中で、花粉と種実の検出が多いトチノキが生業の中心となり、晩期の利用木材はアスナロ属とスギ属と特殊にクリが用いられ、食用となるトチノキはまったく用いられない。燃焼消費材である炭材には、海進の変化とともの増加した二次林要素の成長回復の速いニヨウマツ類が中心をなし、自然の分布とサイクルを利用した生業が行われる。

地震の水平圧縮応力によると推定される堆積物の変形構造

Deformation structures likely induced by the seismic horizontal compressive stress

松田順一郎（関西大学非常勤講師）
Jun-ichiro MATSUDA (Kansai University part-time lecturer)

遺跡の地層中に認められる古地震痕跡として、堆積物の液状化を示唆する砂脈・噴砂丘、皿・柱状構造などの脱水構造、泥質堆積物の含水塑性変形、未(非)固結堆積物に生じる大小の断層を主とする脆性破壊などが知られている。これらの変形構造に加え、近年の遺跡堆積物の断面観察で、水平方向の圧縮応力によって生じたと考えられる、波長数 mm ～数 m(あるいはそれ以上)、高さ数 mm ～数 10cm の弧状上凸の形状が、側方に数 m 以上連続する地層境界や、平行葉理(あるいは盛土の積層単位境界)が、堆積物の自然・人工、粗・細、淘汰の良否にかかわらずいくつもの遺跡で認められた。

砂礫・泥混合相で土壌孔隙も多い堆積物(いわばふつうの土)の場合、上凸円弧状の変形単位が、一断面の複数の層準で相似的に異なる大きさで生じることもあれば、相対的に大きな変形単位がより小さな相似的形状の変形単位で構成されていることもある。一種の座屈褶曲とも呼べるが、地層境界では比較的なだらかな上凸形状でも、その下位の内部構造は押しつぶされているように見えることもある。その際、上凸形状の基底中央部に変形を免れた初生の堆積構造が残されていることがある。

上凸形状の連続は、座屈の分岐が下位堆積物に妨げられ、下方には反転できず、封圧が相対的に小さい上方にのみ発達し、向斜部(弧の隣接し合う脚部)が尖り気味になったと考えられる。この向斜部が幅広く開くと、上位の堆積物で充填された凹部をなし、発掘する観点からは、溝や土壙、畝間の溝、根系の抜け痕などに誤認される可能性がある。また砂質堆積物で向斜部が滑らかな曲線の場合、堆積構造の観点からは、上凸形状がデューンやリップルなどの河床形あるいはトラフ型斜交層理の変異に見えるかもしれない。

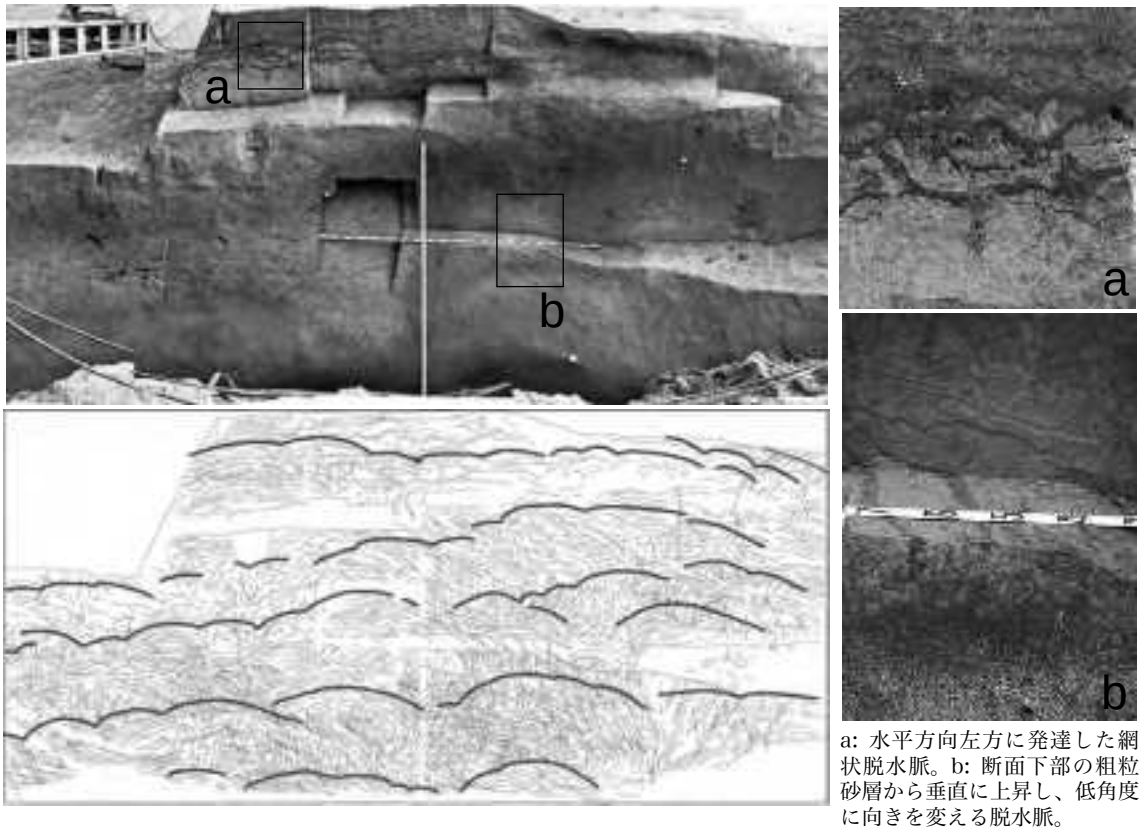
含水塑性変形を生じる飽和・過飽和状態の泥質堆積物(有機質泥を含む)で、上下に充分に変形を収容する厚みがあれば、座屈の分岐は上下両方への撓みとして発達し、滑らかな波状をなす。向斜・背斜が比較的対称なものもあれば、向斜部の波長が狭く、より上凸弧状の連続に似たものもある。このような滑らかな波形構造は、下位の泥が定在波頭からさらに引きずり上げられ、塑性流動の渦をつくり、さらにその上位で堆積物が著しく撹拌される、垂直的に一連の変形ゾーンの最上部に見られることがある。

変形した層界が上凸弧状の連続でも、滑らかな波状でも、座屈分岐で区分される変形単位が、向斜部で隣接する変形単位に衝上した事例をしばしば見かける。後者では、背斜部のヒンジ軸面が将棋倒しになり、さらに軸面付近でせん断されて衝上するパターンも見られる。また、一旦衝上した上下盤がいくらか引き戻されたと考えられるものもある。

上述のような水平圧縮応力にともなって、下位の帯水層上面付近から発生した網状の脱水脈

が認められた。いまだ観察事例がごく少ないので、両者の機構的な関係は不明だが、脱水脈は分岐・結合する数〜数 10cm のセグメントの集まりで、垂直方向よりは侵入される堆積物の構造(葉理)に制約され、水平〜斜め上方に発達する部分が多い。層理・葉理にシル状に分布する部分では、初生の構造と誤認されるかもしれない。脈はほとんど面状・板状で、脈の起点となる下部ほど密集し、上方に分岐して分布域を広げる。少量の細粒の砂がまじる粘土・シルトで充填されており、ノジュールをなしてはいないが酸化鉄が濃集していた。また脈の壁が周囲の堆積物と同様に水平圧縮によって波状をなす事例もあった。

変形した堆積物の層相からは、スランプ構造などの斜面上のマスムーブメントや、河川流水下の同時・準同時的変形構造を想定できず、変形を生じさせる外力として地震動の可能性がもっとも高い。固結堆積岩体のなかで、長時間、高圧下で生じた座屈褶曲の事例は数多く研究されてきたが、それらのなかで、固結以前に地震動で生じた構造を識別することは容易ではないといわれている。しかし遺跡堆積物はつねに未固結であり、構造地質学の室内実験成果や、土質工学的な地震動に対する土壌の応答データを利用して、遺跡の変形を解釈できるかもしれない。また、いまだ数値的には解析していないが、変形のパターンモデルとして、自己相似および自己アフィンを想定できるようである。発表者の経験では、遺跡でもっとも頻繁に見られる地震痕跡だと思われる。



a: 水平方向左方に発達した網状脱水脈。b: 断面下部の粗粒砂層から垂直に上昇し、低角度に向きを変える脱水脈。

島根県江津市、江の川河畔の森原下ノ原遺跡(2 区北辺、北向き断面。2010 年 10 月撮影)で観察された上凸円弧状の層界と各層内部の葉理・脱水脈などの写真とトレース図。写真横倒しのスケールは 2 m。断面中位やや上の暗色層準は縄文時代前期〜晩期、最上部は弥生時代前期から古墳時代の遺物包含層。断面下半部は礫質砂、上半部は概ねシルト質砂で、暗色ほど有機質シルトがち。上半部脱水脈はより上位の近世堆積層を切って発達しているので、1872(明治 5)年の浜田地震による変形と考えられる。

弥生時代前期水田面で検出された微起伏の成因について
－奈良県秋津遺跡での土壌微細形態学的検討－

Formation process of slightly relief excavated on the surface of a paddy field in the early Yayoi period
- Soil Micromorphological study at Akitsu site in Nara Prefecture -

○辻　康男（(株)パレオ・ラボ）、岡田憲一（奈良県立橿原考古学研究所）
○Yasuo Tsuji (Paleo Labo co., Ltd.), Ken-ichi Okada (Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture)

1. はじめに

奈良県御所市の秋津遺跡第 7 次調査で検出された弥生時代前期前半の小区画水田面では、調査区北半部の小畦畔に囲まれた田面において、不規則な凹凸が顕著に認められた（岡田・絹畠編, 2021）。一方で、南半部の小畦畔間の田面では、凹凸が顕著ではなかった。本研究では、調査区の北半部と南半部の田面で土壌薄片を作成して、水田表層の堆積物（水田作土相当層）の詳細な土壌・堆積構造の観察から、田面において凹凸の差異が生じた成因を考察する。

2. 遺跡の位置と採取試料

秋津遺跡は、奈良盆地西南縁部の葛城川の谷口前面に発達する緩傾斜の沖積扇状地上に立地する。土壌薄片試料は、第 4-1 遺構面で検出された弥生時代前期前半の小区画水田面で採取した。第 4-1 遺構面の水田遺構は、弥生時代前期中葉の流路・洪水堆積物である中西遺跡・秋津遺跡の共通基本層序の NA8C 層（18 層、19a 層：第 7 次調査区の局地的層序名）のシルト～砂礫層に被覆される。第 4-1 遺構面の構成層は、弥生時代前期前半の NA8D 層に対比される細礫を含む砂混じりシルト層（19b 層、19c 層）を主体としており、水田作土などに相当する。水田基盤層は、暗色帯をなす古土壌の縄文時代晩期後葉～弥生時代前期前半の NA8E 層（20 層）の腐植質細礫を含む砂混じりのシルト層である。

本研究で示す試料採取地点は、調査区北側に位置する田面の凹凸が顕著な領域の 9 地点と、凹凸がほとんど認められない 8 地点である。観察層準は、NA8C 層最下部から、NA8D 層と NA8E 層最上部である。

3. 観察結果

土壌薄片と顕微鏡画像を図 1 に示す。水田基盤層（NA8E 層）では、8 地点で壁状構造、9 地点で亜角塊状の微細構造が形成される。水田基盤層を構成する有機細粒質物質には、褐色を呈する微細な亜角塊状の集合体とみられる構造が 8、9 地点で共通して発達している（以下、集合体とする）。また、集合体のなかには、黒褐色の点班状の物質が多く含まれる（写真 1）。水田層（NA8D 層）では、8 地点と 9 地点の双方で細礫を含む中粒砂～極粗粒砂を多く含む薄層が 1 枚ないし 2 枚挟在しており、シルト主体の層準と互層を形成する。8 地点と 9 地点では、堆積・土壌構造に差異が生じている（図 1）。8 地点は、水田面被覆層の直下まで壁状の微細構造をなす堆積物が層状に積層する。最上部には、砂粒子間に腐植を多く含む細粒質物質が充填する壁状の極細粒砂～細粒砂が堆積する。9 地点では、下半部で 8 地点と同様の堆積状況を示す。一方で、上半部では、亜角塊状の微細構造を伴い、下に凸型を示す構造（以下、下に凸型構造）が特徴的に発達する。

水田層では、上述の堆積・土壌構造の層位的な差異と同調した土壌微細構造の変化が認められる。8 地点の下部～上部と 9 地点の下半部では、水平方向に伸びる微細な面状孔隙が多く挟在する。さらに、細粒質物

質も薄層をなして、層状に積層する(以下、層状構造)。層状構造が形成される細粒質物質では、水田基盤層で発達した集合体が認められない(写真 2)。9 地点の上半部では、層状構造が存在せず、砂礫粒子の粗粒質物質と細粒質物質が混在した堆積状況を示す。さらに層内には、扁平や亜角塊状の細粒な砂からなる微細な集合体が含まれる。上半部の細粒質物質には、下半部よりも黒褐色の腐植物質が多く含まれる。ただし、水田基盤層のような集合体は認められない(写真 3)。なお、NA8E 層～NA8C 層にかけては、地震動による変形構造が生じている。

4. 考察

砂質と泥質の互層をなす層相から、水田層については、1 回のイベントの供給量や流況が穏やかで浮流を主体する洪水による堆積物供給を受けながら、上方付加的に形成されたと考えられる。微細構造から、水田基盤層では、8 地点の方が 9 地点よりも相対的に湿性であった捉えられる。8 地点と 9 地点の下半部の層状構造は、浅く湛水した水田面において人為を主体とする地表撹乱営力で撹拌および再沈積して形成されたと解釈できる。9 地点の上半部では、下半部に比べ乾燥化と土壌生成作用が強まったと推定できる。一方で、8 地点では、NA8C 層によって埋没する段階まで、湛水状態が維持されていた可能性が高い。9 地点での田面での凹凸の主たる成因については、人の踏み込みの集中による可能性が考えられる(岡田, 2020)。よって、9 地点上半部の下に凸型を示す構造は、人の踏み込みが大きく作用しているとみられる。上述の水田層での地表環境の変化をふまえると、9 地点では、堆積物に凹凸をなす塑性変形が保持されるような塑性状の土壌水分状態であったと考えられる。一方で、8 地点では、連続的な湛水状態にあり、液状の土壌水分状態が維持されていたと認識できる。以上、8 地点と 9 地点での田面の凹凸の差の要因の一つとしては、田面の土壌水分条件の違いが作用している可能性がある。また、第 4-1 遺構面の等高線分布をふまえると、田面の土壌水分条件の局地的差異については、基盤層の微地形が影響していると推測される。発表では、地点による田面の凹凸の差異について、より詳細な発掘調査結果や土壌薄片の観察結果にもとづき、水田上での耕作活動および水田層の形成過程といった人間の局地的な行動も視野に入れて、さらに解析を進めていく予定である。

引用・参考文献

岡田憲一(2020)眼前の水田遺構に当時の水田の何を見ているのか？. 人類誌集報, 14, 1-7. 岡田憲一・絹畠歩編(2021)秋津遺跡Ⅰ. 788p, 奈良県立橿原考古学研究所.

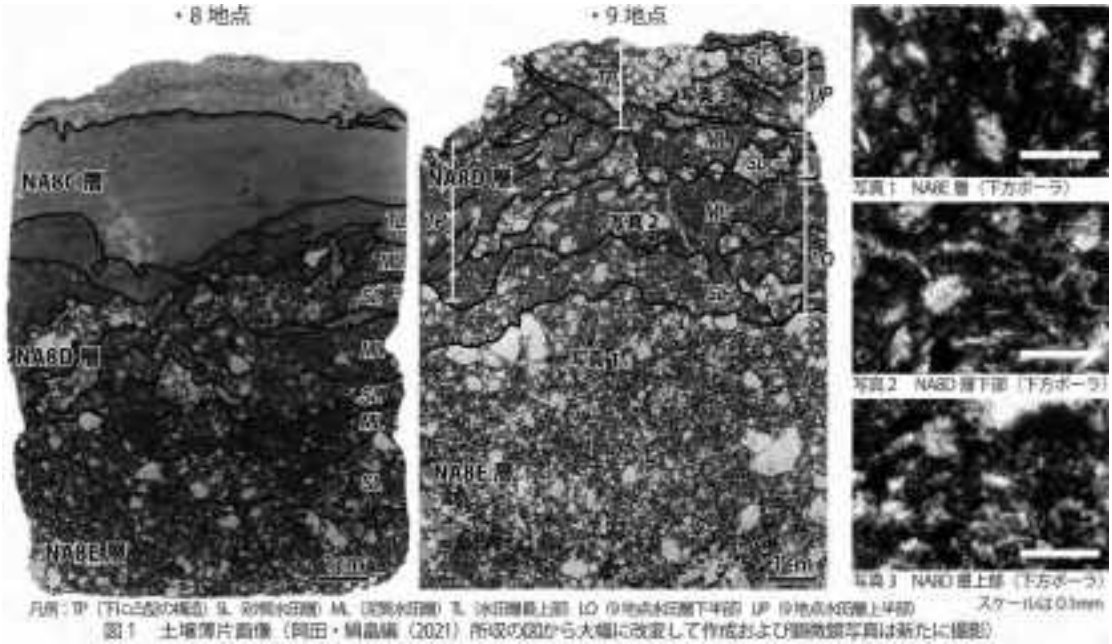


図 1 土壌薄片画像（岡田・絹畠編（2021）所収の図から大幅に改変して作成および顕微鏡写真は新たに撮影）

旧補強剤の除去が壁画の保存状態に及ぼす効果
Effects of removal of old consolidation materials on the conservation status of wall paintings.

○前川佳文（東京文化財研究所）、モニカ・マルテッリ・カスタルディ（スオル・オルソラ・ベニカーザ大学）、グイド・ボッティチェッリ（元フィレンツェ国立修復研究所）・ステファーニア・フランチェスキーニ（文化協会バスティオーニ　フィレンツェ）
○Yoshifumi MAEKAWA (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo),
Monica Martelli CASTALDI (Suor Orsola Banincasa University of Naples),
Guido BOTTICELLI (former Opificio delle Pietre Dure), Stefania FRANCHESCHINI (Associazione Bastioni - Firenze)

１．はじめに

本研究発表は、カンパーニア州ナポリ県（イタリア）のポンペイ遺跡内に位置するアポロの家（写真１）において 2019 年に実施した壁画のクリーニングがもたらす効果について報告するものである。ポンペイ遺跡は、1748 年に発掘調査がはじまって以降、壁面を彩る多くの壁画が発見され、様々な修復処置が施されてきた歴史をもつ。その中でも特徴的なのが、彩色層の補強・保護を目的に塗布された蜜蝋やシェラック樹脂などの補強剤である。これらの補強剤は、漆喰層の吸放湿性能を著しく低下させるだけでなく、塩の析出時には結晶化により壁画の表層面に物理的な破壊をもたらす原因となっていた。発表者は、この補強剤を安全に除去するための新たな技法を開発すべく研究を開始し、その効果を検証すべく実際の保存修復に導入した[1]。その後、約 3 年が経過した現在、壁画の保存状態には顕著な効果が現れ始めた。



写真１　アポロの家に描かれた壁画



写真２　アポロの家　外壁の様子

２．壁画の構造と傷みの関係

２−１．壁画の構造と技法

壁画の支持体に相当する壁は石積みで築かれており（一部に煉瓦を使用）（写真２）、その表面に漆喰が２層に分けて塗られている。漆喰層は厚い部分で５㎝ に達しており、ポンペイの壁画の特徴のひとつである多層塗り工法が採用されている可能性が高い。彩色に関しては、大部分をブオン・フレスコ画技法で描いたのち、人物や建築装飾といった細密描写にはビアンコ・ディ・カルチェ技法を採用している。

２−２．構造と傷みの関係

使用されている石材の多くは多孔質な凝灰岩だが、こうした材質であることが土壌や建材中の可溶性塩類を毛細管現象により壁画表面へともたらす原因となっていることは疑う余地もない。また、ポンペイの壁画は、もともと仕上げ層であるイントナコを密度高く仕上げる傾向が強いことから吸放湿性が低い構造をもつ。過去に塗布された補強剤はこれに拍車をかけて放湿経

路を遮断し、細孔中での結晶化を促すことで物理的な圧力を生み（写真３）、結果、重度の塩類風化を引き起こしている（写真４）。



写真３　旧補強剤の層を突き破り結晶化した塩



写真４　進行した塩類風化

３．旧補強剤除去後の経過観察

2019 年 10 月に旧補強剤の除去を主な目的とする新たなクリーニング方法を導入した箇所について、約３年が経過した 2022 年 9 月に経過観察をおこなった。その結果、ところどころに塩の析出はみられたものの、彩色層下での結晶化による物理的な破壊は認められなかった。また、彩色に関しても壁画本来の鮮やかな色彩が保持されていることから、旧補強剤を除去する効果のみならず、その後の保存状態にも悪影響を及ぼす心配のない安全基準を満たすものであることが確認できた（写真５、６）。



写真５　クリーニング前の状態（2019 年撮影）



写真６　クリーニング後の状態（2022 年撮影）

４．まとめ

壁画の保存修復におけるクリーニングでは、処置を行なった直後に効果が認められるのは当然のことであり、正しい評価は一定の経過観察を経て下す必要がある。温湿度が管理された美術館・博物館環境とは異なり、現地保存が優先されることの多い壁画は、制作技法・材料はもとより、支持体の素材や構造、周辺環境等に考慮したうえで傷みの診断、修復技法・材料の選定を行わなくてはならない。新しく考案したクリーニング方法を導入した直後に新型コロナウイルス感染症が蔓延し、現地での研究が進められないまま 3 年が経過した。しかし、その結果クリーニングによる効果が確認できたことは、不幸中の幸いといえよう。塩の結晶化による彩色層の破壊を抑制できたということは、表面を覆っていた旧補強剤を良好な保存状態と評価できるレベルまで十分に除去できたことを裏付ける。今後は、解放した吸放湿経路を維持しつつ、彩色層や漆喰層を補強するための技法を開発すべく、研究を継続していく。

[1] 前川佳文、モニカ・マルテッリ・カスタルディほか (2020). 『ポンペイ遺跡「アポロの家」における壁画クリーニング法の施工実験』, 日本文化財科学会第 37 回大会.

＊本研究は、科学研究費助成事業［基盤研究(B)(課題番号：20H01379)]の成果の一部である。

ＡＩによる深層学習を活用した‘縄文’の素材同定

Identification of Jomon materials using AI

◯髙野紗奈江（国立文化財機構奈良文化財研究所）、杉山淳司（京都大学大学院農学研究科）
◯Sanae TAKANO (Nara National Research Institute of Cultural Properties),
Junji SUGIYAMA (Kyoto University)

1. はじめにー‘縄文’の素材は何であったのか？ー

縄文時代の土器には、その時代の代名詞と言える‘縄文’が器面に施されているが、これらの‘縄文’を生みだした素材がどのような素材であったのかは、ほとんど解明されていない。長年の謎であった縄文原体を体系的に研究した山内清男は、縄文原体の素材について「動物の腱とか、細切りにした皮とかが用いられて居たであろう。又、樹皮もあったであろう。」（山内 1979、34頁）と述べたが、縄文の素材に関する追究は、ほとんど進展してこなかった（小薬 2008、髙野 2020、藤井 2000）。そこで本研究では、民族・民俗誌を参照して縄文の素材に用いられたと考えられる植物性/動物性素材を収集し、加工した素材から実際に縄文原体を製作して‘縄文’をつくり、素材の痕跡から‘縄文’を分類した。また、人工知能（AI）を用いた機械学習によって、素材ごとの違いを認識させて、人間が肉眼観察によって識別分類した結果と人工知能が識別した結果を比較検討した。



図１　本研究課題の問い

2. 素材の収集

植物性素材 10 種と動物性素材 11 種を用意した。植物性素材は草本植物（カラムシ、タイマ）、木本植物（ウリハダカエデ、シナノキ、ヒメコウゾ、ムクノキ、ヤマグワ、）、蔓植物（クズ、フジ、ヤマブドウ）である。動物性素材は髭（シロナガスクジラ、ナガスクジラ、ニタリクジラ、イワシクジラ、ミンククジラ）、腱（シカ）、毛（人間の毛髪、イノシシの短毛と長毛）、皮/革（シカ、イノシシ、ヤギ、ブタ、水牛）である。動物性素材では当時日本列島に生息していなかった種も含むが、類似した素材を用いていた可能性も考慮して採用した。

3. 植物性/動物性素材による‘縄文’の肉眼観察

植物性素材による縄文（○13）と動物性素材による縄文（●24）を肉眼観察で比較した（図２）。縦軸は節の中にみられる素材の繊維（筋）の精粗を 10 段階で表している。横軸は繊維（筋）が節の中で同一方向に整列しているものを「整」とし、反対に節の中で同一方向を向いていないものを「乱」として 10 段階で表記している。その結果、植物性の縄文と動物性の縄文は巨視的に

は次のような傾向がある。植物性素材による縄文は細かく整ったものが多く第１象限を中心に分布する。市販の革（シカ、ヤギ、ブタ）と表面がコーティングされた水牛革紐による縄文は、ほとんど繊維（筋）が観られないため第４象限に分布した。なめし皮（成獣・幼獣シカ、幼獣イノシシ）による縄文と大部分のクジラ髭製の縄文では筋が様々な方向を向く傾向が強く、繊維は細かいが整列の乱れた第２象限を中心に分布する。毛髪による縄文は、植物性でもっとも細かく整ったタイマ製の縄文と同程度の細かさであるが、わずかに筋の整列方向に乱れがある。入手したクジラ髭の中で一番大型のシロナガスクジラの髭による縄文は、他のクジラの髭製縄文と異なり、髭１本が１㎜以上と太く弾力があるため、粗いが整列した圧痕を生みだしている。

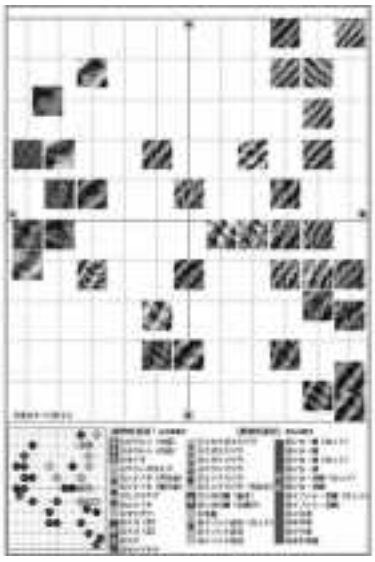


図２　植物性/動物性素材の比較

4. 人工知能（AI）を用いた‘縄文’の素材識別

節の中にみられる繊維痕跡（シワ・筋）を人工知能（AI）で解析するにあたり、実体顕微鏡による撮影方法など、いくつかの機材を使用して画像を作成して検討した結果、微細な細部形状の認識も可能にする画像として、被写界深度合成写真が最適であるとの結論に至った。被写界深度合成写真から節の輪郭を一つずつ手書きでトレースし、節の領域とそれ以外の領域を自動抽出できるようにするための教材（マスク）を製作した。植物性/動物性素材による縄文の画像データより個々の節を抽出して、タイプごとの縄文素材データベースを作成した。このデータベースを元に、① 縄文(節)を自動的に検出して抽出する、② 植物性と動物性素材の縄文を判別する（大別)、さらに③ 植物性素材の個体判別と動物性素材の個体判別（細別）という、さまざまな学習モデルについて検討した（図３)。

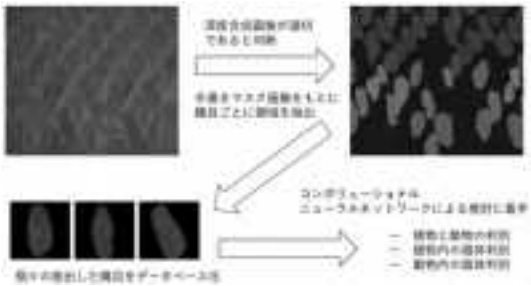


図３　機械学習による縄文素材の解析経過

5. おわりに

実際の縄文土器は摩耗や混和材の影響などを受けているため、こうした付加条件も考慮できるモデルに発展させるため、現在も開発を続けている。将来的には、肉眼観察にもとづき人間（筆者）が縄文素材を主観的に配置した結果と、深層学習によって客観的に配置された解析結果を比較考察することが目標である。

なお、本研究成果は科学研究費助成事業（課題番号：21K20060)、(課題番号：22H00713）の成果の一部である。

[主要参考文献]
小薬一夫　2008「なわと縄文」『縄文時代の考古学７』同成社、73-84 頁
髙野紗奈江　2020「縄文原体の素材選択」『縄文時代』第 31 号、縄文時代文化研究会、143-162 頁
藤井義範　2000「縄文原体の素材に関する実験考古学的考察」『筑波大学先史学・考古学研究』11、65-81 頁
山内清男　1979『日本先史土器の縄紋』先史考古学会

岩手県九戸城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 Kunohe Castle Ruins, Iwate Prefecture

○沓名貴彦（国立科学博物館）・柴田知二（二戸市教育委員会）
KUTSUNA Takahiko (National Museum of Nature and Science)
SHIBATA Tomoji (Ninohe 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鉱山遺跡や城館跡、城下町遺跡などから出土した遺物への科学調査により、金銀など非鉄金属生産に関する報告を行い、鉱山から城館、城下町への金の流通、各地の都市や城下町における非鉄金属生産の様相を明らかにしてきた。

今回、豊臣秀吉天下統一に至る最後の戦場と知られる岩手県二戸市九戸城跡に着目し、城内や武家屋敷跡から出土した生産関連遺物へ調査を実施した。その結果を報告する。

九戸城跡について

九戸城跡は、岩手県北端二戸市福岡に所在する（図1.参照）。馬淵川右岸の河岸段丘上に立地し、九戸氏の本城として築かれた。築城は15世紀末と推定され、天正19年（1591）に豊臣秀次を総大将とする奥羽再仕置によって落城し、その後は福岡城として南部氏の居城となる。この時に在府小路（遺跡）は、福岡城の家臣団居住地として二ノ丸大手前に整備され、寛永13年（1636）に廃城となった。

平成元年（1989）以降、史跡整備に先立ち本丸及び二ノ丸地区の内容確認調査、武家屋敷跡である在府小路遺跡の調査を実施した。調査から主に16世紀～17世紀にかけて遺構や遺物を確認、竪穴状遺構、石囲炉、地焼炉の他、坩堝、銭貨、羽口、金属滓等の生産関連遺物が出土している。

金粒子付着の坩堝をはじめとする坩堝類は、九戸城期（16世紀以降～1591）の二ノ丸地区、福岡城期（1591～1636）の本丸地区、在府小路遺跡第7次調査で出土した。



図 1.　九戸城跡史跡範囲と坩堝出土地区位置

非鉄金属生産関連遺物の調査について

現地調査では、生産関連遺物の確認を行い、併せて詳細調査資料を選定した。借用による詳細調査は、X線透過装置や実体顕微鏡、蛍光X線分析装置などを用いて実施した。

結果及び考察

坩堝や破片は、九戸城跡本丸地区56点、二ノ丸地区65点、不明2点の合計123点出土し、在府小路遺跡では28点出土した。そのうち、九戸城跡本丸地区32点、二ノ丸地区9点、在府小路遺跡1点に、金粒子の付着を確認した。他にも銀銅合金用坩堝や真鍮用坩堝など、多様な金属生産の様相をみることができる。このうち重要とみられる資料を、個別報告する。

図2.(a)は、九戸城跡本丸地区出土の金粒子付着の坩堝の詳細調査の結果である。厚手の陶器製で、本丸地区の金粒子付着坩堝は1点を除き全てこの形式である。金粒子周囲には、様々

な元素を確認し、一部を図化した。ランタンやセリウム、タングステンは、モナズ石や灰重石などの鉱物が知られるが、詳細は不明である。ほかの坩堝では、金とともにタングステンやクロムなど不純物を確認するものもある。図2.(b)は、二ノ丸地区出土の銀粒子付着坩堝である。内面に広く銅と鉛の付着を確認した。銀ー銅合金の製作と考えられた。図2.(c)は、在府小路遺跡出土坩堝である。金と銀の粒子を個別に確認しており、金ー銀合金を作成したと考えられる。金粒子周囲に広く鉛が付着し、金鉱石の不純物、もしくは灰吹法の可能性が考えられる。

おわりに

今回、岩手県二戸市の九戸城跡、在府小路遺跡で出土した坩堝の非破壊分析結果の一部を紹介した。坩堝は多数出土し、戦国末における豊かな非鉄金属生産の一端を窺えた。金は多様な不純物を含み、近隣の三陸産が考えられた。今後の調査検討が、非常に重要である。

参考文献
・二戸市教育委員会（2017）『史跡九戸城跡発掘調査総括報告書』
・二戸市教育委員会（2021）『在府小路遺跡総括調査報告書』



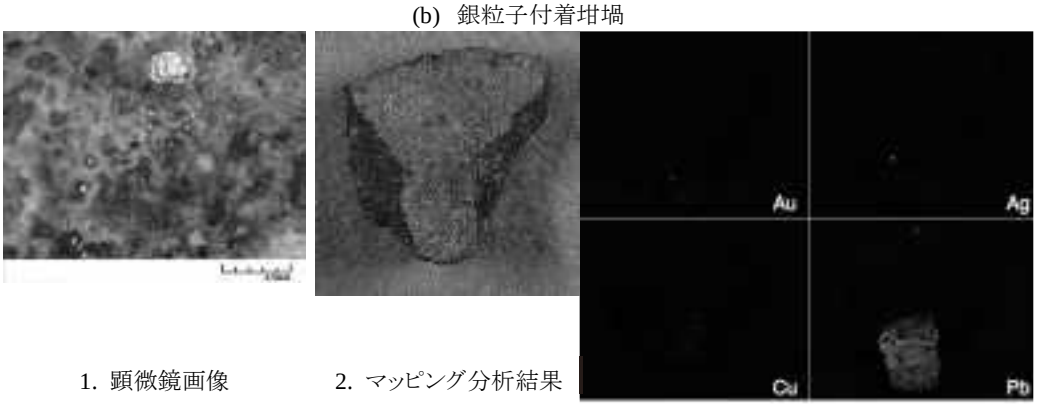
1. 顕微鏡画像　2. マッピング分析結果

(a) 金粒子付着坩堝



1. 顕微鏡画像　2. マッピング分析結果

(b) 銀粒子付着坩堝



1. 顕微鏡画像　2. マッピング分析結果

(c) 金粒子付着坩堝

図 2. 九戸城跡・在府小路遺跡出土非鉄金属生産関連遺物の詳細調査結果

青森県聖寿寺館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 Shojujidate Ruins, Aomori Prefecture

○沓名貴彦（国立科学博物館）・ 布施和洋（南部町教育委員会）
KUTSUNA Takahiko (National Museum of Nature and Science)
FUSE Kazuhiro (Nanbu Town Board of Education)

はじめに

発表者らは、山梨県をはじめとする戦国期の鉱山遺跡や城館跡、城下町遺跡から出土した遺物への科学調査により、金銀など非鉄金属生産に関する報告を行い、鉱山から城館、城下町への金の流通、各地の都市や城下町における非鉄金属生産の様相を明らかにしてきた。

今回、江戸時代に盛岡を本拠地とした南部氏発祥の地である青森県南部町の聖寿寺館跡に着目し、城館内から出土した生産関連遺物に調査を実施した。その結果を報告する。

聖寿寺館跡について

聖寿寺館跡は、青森県南東部の南部町に所在する馬淵川左岸段丘上に築かれた室町・戦国期の三戸南部氏の本拠地で、奥州街道と鹿角街道の結節点に立地する（図 1.参照）。城館は北：東西 300m、東：南北 250m、南：東西 200mの堀で区画されている。聖寿寺館は 1539 年（天文 8）に炎上したと伝えられ、その後三戸城へと本拠地を移転したと考えられる。

平成 5 年に開始した発掘調査では、南北 18 間、東西 21 間の大型掘立柱建物跡や礎盤石建物跡、16 世紀前半が想定される長さ約 29mの版築土橋跡など確認された。城館内から 5,000 点以上の中世陶磁器が出土し、藍釉水注や青磁酒会壺、青磁鉄斑文瓶、青磁不遊環付瓶、青磁花生など高級陶磁器もみえる。中世アイヌ文化特有の骨角製品やシロシ付染付皿が出土し、アイヌ文化の担い手が長期的に滞在したことも想定される。発掘調査は継続しており、今後も様々な遺物の出土が期待される。

坩堝は倉庫や工房と考えられる竪穴建物跡を中心に出土し、城館全般に分布する。なかでも把手付真鍮生産坩堝は、中心建物群北側で出土した。坩堝の年代は出土遺物や遺構の新旧関係から、15 世紀後半から 16 世紀前半の数十年間に収まると想定されている。



図 1.　聖寿寺館跡と坩堝出土位置

非鉄金属生産関連遺物の調査について

現地調査では生産関連遺物の確認を行い、詳細調査資料を選定した。借用による詳細調査は、X線透過装置や実体顕微鏡、蛍光X線分析装置などを用いて実施した。

結果及び考察

坩堝40点を非鉄金属生産から分類すると、金粒子付着9点、銀粒子（銀–銅合金含）3点、銅合金系26点、付着元素未確認2点であった。このうちの重要とみられる資料を、個別報告する。

図2.(a)は、真鍮生産用坩堝の調査結果である。この坩堝はいわゆる把手付坩堝であり、内面全体は亜鉛と銅の付着を強く確認し、鉛は若干であった。内面全体に亜鉛が広がる様子から、

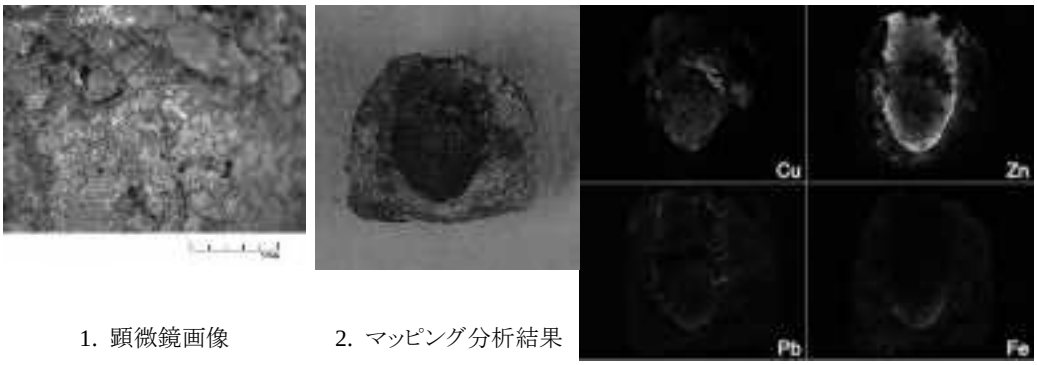
亜鉛蒸気が付着したと考えられる。図2.(b)は、金粒子付着坩堝である。分析では鉄・チタンの付着を確認し、チタン鉄鉱と考えられる。三陸ではチタン鉄鉱の産出が知られるため、聖寿寺館近隣採集砂金の可能性が考えられた。図2.(c)は、銀粒子付着坩堝である。銀粒子とともに銅粒子、銅や鉛の内面への付着がみられ、銀ー銅合金生産に用いたと考えられる。また、口縁部に僅かに亜鉛が点状に付着する。これは、周囲で亜鉛を用いたために付着したと考えられ、図2.(a)で確認された真鍮生産を裏付ける有力な証拠といえる。

おわりに

今回、青森県南部町の聖寿寺館跡で出土した坩堝の非破壊分析結果の一部を紹介した。坩堝は出土しており、戦国期における豊かな非鉄金属生産の一端を窺うことができた。金は近隣の三陸産が考えられたが、銀の入手元は不明である。特に、清洲城下町遺跡以西の確認であった把手付坩堝が関東を越え北東北で確認したことは極めて重要であり、今後が期待される。

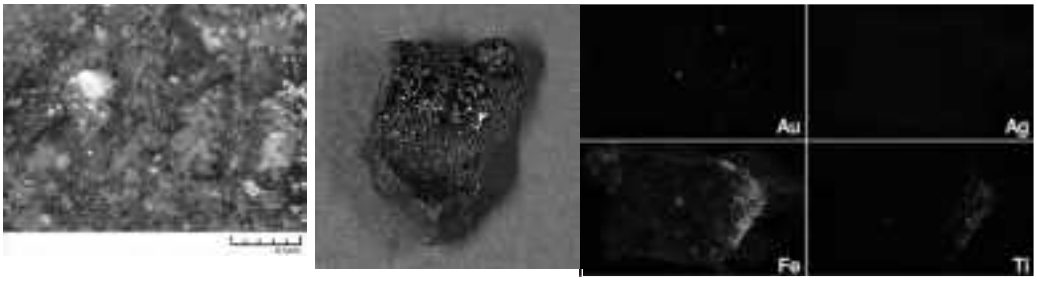
参考文献

・南部町教育委員会（2022）南部町埋蔵文化財調査報告書第14集『国史跡聖寿寺館跡』



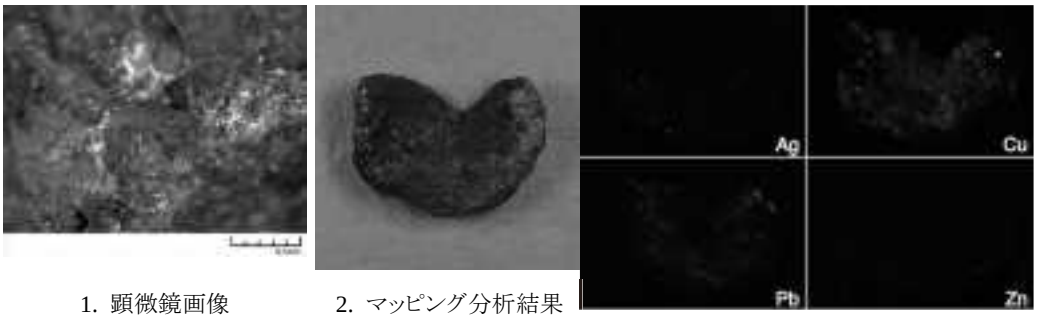
1. 顕微鏡画像　2. マッピング分析結果

(a) 把手付坩堝



1. 顕微鏡画像　2. マッピング分析結果

(b) 金粒子付着坩堝



1. 顕微鏡画像　2. マッピング分析結果

(c) 銀粒子付着坩堝

図 2. 聖寿寺館跡出土非鉄金属生産関連遺物の詳細調査結果

青森県十三湊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 Tosaminato Sites, Aomori Prefecture

○沓名貴彦（国立科学博物館）・ 榊原滋高（五所川原市教育委員会）
KUTSUNA Takahiko (National Museum of Nature and Science)
SAKAKIBARA Shigetaka (Goshogawara 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鉱山遺跡や城館跡、城下町遺跡などから出土した遺物への科学調査により、金銀など非鉄金属生産に関する報告を行い、鉱山から城館、城下町への金の流通、各地の都市や城下町における非鉄金属生産の様相を明らかにしてきた。

今回、『廻船式目』に三津七湊の一つに数えられ、中世北日本の重要港湾であった十三湊遺跡に着目し、重要地点から出土した生産関連遺物に調査を実施した。その結果を報告する。

十三湊遺跡について

十三湊遺跡は、『廻船式目』の中で「奥州津軽十三湊」と、日本十指（三津七湊）の一つに数えられた貿易港である。青森県の日本海に面した津軽半島ほぼ中央に位置し、十三湖の西側、半島状に発達した東西500m、南北2㎞の砂洲上に立地する。津軽海峡を挟んだ中世国家の境界領域で勢力を誇った安藤氏の嫡流が、南北朝～室町時代に十三湊を北方交易の拠点港とした。

平成3年度～17年度まで158次に及ぶ発掘調査が行われた結果、中世十三湊は13世紀初め～15世紀中葉の約250年間にわたり機能したことが判明した。松前藩の家記『新羅之記録』によれば、嘉吉二年（1442）南部氏が十三湊安藤氏を攻撃し、安藤氏が蝦夷島へ退去したとする事件があり、十三湊廃絶時期に符合する。

今回報告する非鉄生産関連遺物は、隣接する90,120次調査区から集中して出土した。十三湊最盛期（14世紀中頃～15世紀前葉）、砂洲中央に十三湊都市域の南限を区切る大土塁と堀が築かれる。その「土塁北側地区」において十三湊中心区画の領主館が想定される場所で、旧十三小学校舎隣接の北側である（図1.参照）。



図 1.十三湊遺跡と遺物出土地区位置

非鉄金属生産関連遺物の調査について

現地調査は生産関連遺物の確認を行い、詳細調査資料を選定した。詳細調査は、X線透過装置や実体顕微鏡、蛍光X線分析装置などを用いて実施した。

結果及び考察

坩堝片は、120次調査区から出土した計14点である。その3点に銀粒子の付着を確認した。銅塊や銅片など一括は、90次調査区で出土した。重要と見られる資料について、個別報告する。

図2.(a)は、銀粒子付着の坩堝である。直径3mm程度の銀粒子を、顕微鏡画像やマッピング分析で確認する。銀粒子周辺は銅が広く付着するため、銀ー銅合金の可能性が考えられる。この

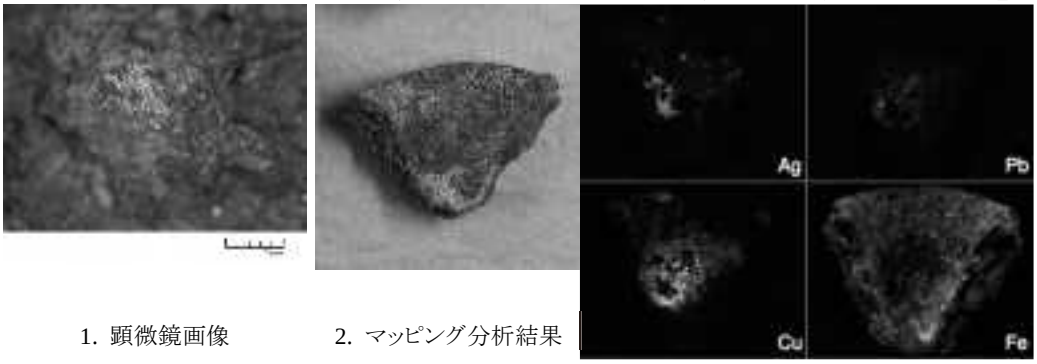
銀の入手先は、現時点で不明である。図2.(b)は、銅と亜鉛、鉛が付着する坩堝である。銅と亜鉛は強い検出ではないが坩堝の同一部位で付着し、鉛は周囲に弱く確認する。真鍮熔解に用いた可能性が考えられた。図2.(c)は銅片で、銀や鉛、ヒ素を検出した。マッピング分析で亜鉛の付着を確認する。反対面も一部に亜鉛が付着し、真鍮から生じた亜鉛蒸気が付着した可能性が考えられるが、断定できない。図2.(b)の真鍮生産を、裏付ける可能性が考えられる。

おわりに

今回、青森県五所川原市の十三湊遺跡で出土した坩堝や銅片の非破壊分析結果の一部を紹介した。金粒子付着の坩堝は確認されず、現時点では主に銀製品製作と考えられた。今回坩堝と銅片から付着元素に亜鉛を検出したことは、真鍮製品生産の可能性が考えられ、これまでの認識を大きく変える可能性があり、興味深い事例と考える。今回の調査により、中世の境界領域における非鉄金属生産の一端を窺うことができた。今後の調査検討が非常に重要である。

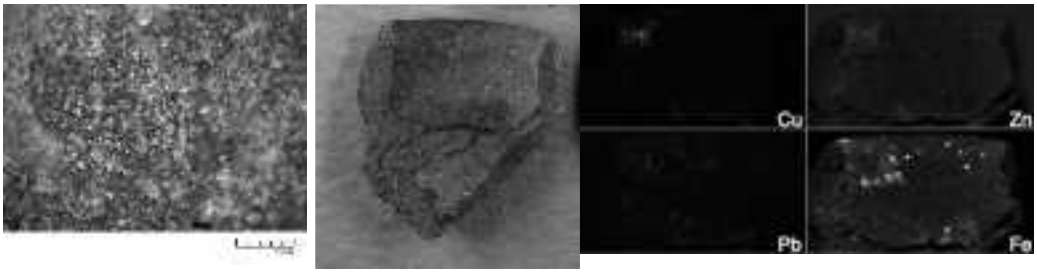
参考文献

・青森県市浦村教育委員会(2001)『十三湊遺跡　～1999･2000年度　第90･120次調査概報ほか～』



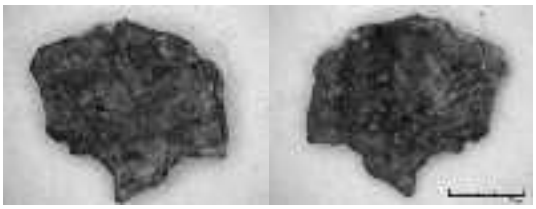
1. 顕微鏡画像　　2. マッピング分析結果

(a) 銀粒子付着坩堝

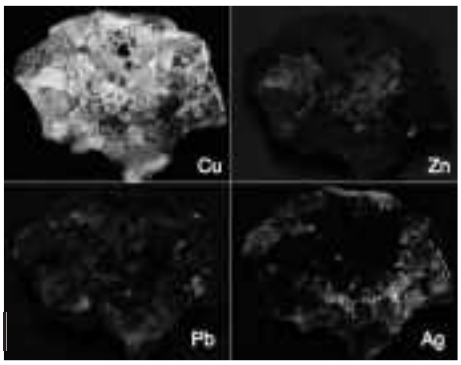


1. 顕微鏡画像　　2. マッピング分析結果

(b) 銅ー亜鉛ー鉛付着坩堝



1. 資料画像(両面)



2. マッピング分析結果

(c) 亜鉛付着銅片

図 2. 十三湊遺跡出土非鉄金属生産関連遺物の詳細調査結果

物理化学分析で拓く紙文化財の科学研究

Science of Paper Historical Materials Advanced by Physicochemical Analysis

◯渋谷綾子[1]、高島晶彦[1]、山口悟史[1]、丹羽尉博[2]、
石田正紀[2]、平澤加奈子[1]、広田克也[2]、尾上陽介[1]
◯Ayako SHIBUTANI[1], Akihiko TAKASHIMA[1], Satoshi YAMAGUCHI[1], Yasuhiro NIWA[2],
Masaki ISHIDA[2], Kanako HIRASAWA[1], Katsuya HIROTA[2], Yosuke ONOE[1]
[1] 東京大学史料編纂所　Historiographical Institute, the University of Tokyo
[2] 高エネルギー加速器研究機構　High Energy Accelerator Research Organization

1. はじめに

古文書や古記録類など紙を用いた歴史資料「紙文化財」の物質的研究は、近年、用いられた紙（料紙）の繊維素材や添加物に関する科学情報が注目され、古文書学や歴史学の分野だけでなく、植物学、製紙科学、文化財科学など他の研究分野でも形態情報や物理的性質に関する検討が進められ、分析手法の開発とともに進展してきている。ただし、非破壊調査を原則とする史料調査では、物理化学分析を実施する機会が制限されている。さらに、近年多発する自然災害で被災した紙文化財への修理・保存の要望は極めて高く、保存科学に携わる若手の研究者・技術者の育成も重要な課題である。

東京大学史料編纂所と高エネルギー加速器研究機構は、2022 年度から連携研究事業を進めており、紙文化財の非破壊調査に向けた計測環境の整備・効率化を行い、物理化学分析を用いた研究の可能性を確認、成果を上げている。本報告では、現在まで得られた成果を紹介するとともに、紙文化財の非破壊調査に向けた計測環境の整備・効率化、現況に即した保存科学の方法の検証・実践について検討を行う。

2. 対象とした試料と分析方法

分析対象とした試料は、実験製作した楮・米粉入り楮・雁皮・米粉入り雁皮・三椏の紙、東京大学史料編纂所所蔵『中院一品記』の紙片（宿紙）2 点、関義城『古今紙漉紙屋図絵』の見本紙 80 点（天平～明治時代）である。『中院一品記』は、南北朝期の貴族中院通冬が記した日記であり、現在重要文化財に指定されている。修理時の紙片を用いて、サンプルの大きさとしてどこまで対応可能か、計測環境の整備・効率化について検討を行った。『古今紙漉紙屋図絵』は関義城が収集した見本紙であり、天平時代から江戸時代を主体とし、明治大正などの和紙、中国・朝鮮・オランダ・フランス・ドイツ・イギリスの古い手漉き紙 175 種、パーチメント

（羊皮紙）、タラハ、パピルス茎、楮・三椏・雁皮の繊維が添付されている。

これらの試料に対し、3 次元 X 線顕微鏡（X 線 CT）やフーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR）等を用いて、料紙の構造・成分を非破壊で分析した。X 線 CT は全体像・広視野・高倍率撮影を行い、FT-IR は Thermo Scientific Nicolet iS50 を用いて、全反射測定法（ATR：Attenuated Total Reflection）を実施した。

3. 計測分析の結果

X 線 CT の構造解析の結果、料紙の製造過程の添加物に由来するデンプン粒や繊維素材に由来する細胞組織などを非破壊で観察することができた（図 1）。さらに、楮・三椏・雁皮の各繊維の形状が明瞭に識別でき、楮を原料とする試料においては、煮熟剤（木灰や石灰などのアルカリ性溶液）由来の物質が結晶化したものも確認された。

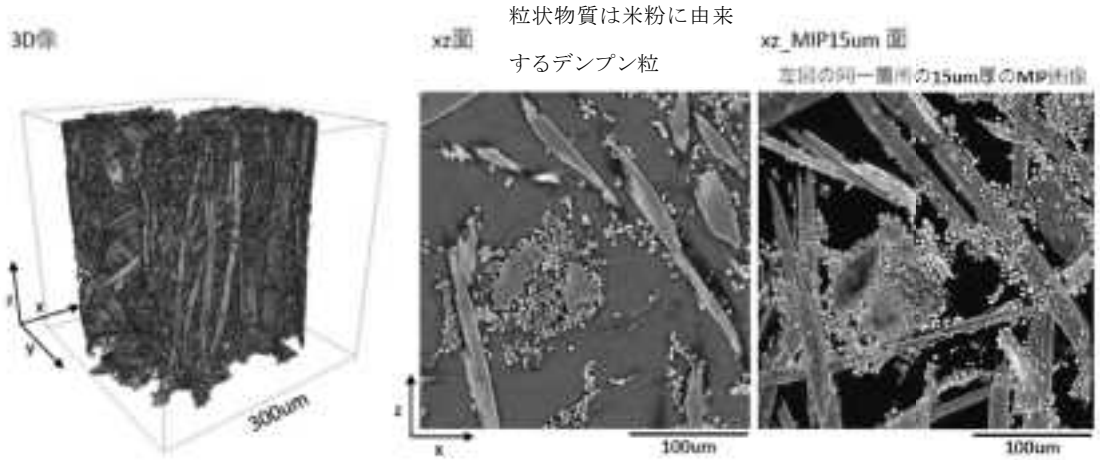


図1　X線CTによる米粉入り楮紙サンプルの高倍率撮影画像

FT-IR による成分比較の結果、楮・三椏・雁皮の紙試料については、スペクトルのピークに大きな差異は確認できなかった。ただし、統計解析などを用いて紙質の特徴を識別できる可能性があり、現在検討中である。『中院一品記』の紙片や『古今紙漉紙屋図絵』の見本紙については、素材の楮や雁皮などのスペクトルのピークを示しつつも、宿紙（再生紙）はさまざま紙質の成分の混合がピークに現われ、藍などの染色液や金泥、雲母などが含有／塗布された紙はそれらの成分に起因するピークが見られた。

4. 物理化学分析の応用に向けて

今回、物理化学分析を非破壊で実施した結果、各料紙の繊維の形状、紙質の識別、含有物の特定を行うことができた。今後、分析事例を拡充するとともに、紙の種類ごとの特徴、時代的・地域的特徴、含有物による差異などを解明するため、統計解析を行ってデータの標準化を進めることが必要である。さらに、これらの成果を紙文化財の修理・保存へ還元すれば、修理材料の選択の幅を拡げ、修理対象物へのアプローチ方法の効率化に貢献することができるだろう。既存の研究成果をふまえつつ、紙文化財の総合的な科学研究の展開へつなげたい。

北海道の続縄文文化期から出土したガラス玉の様相について
-北大Ⅰ式期におけるガラス玉の特徴について-
Aspects of glass beads excavated from the Epi-Jomon period in Hokkaido-Distinctive glass beads from the Hokkaido University Ⅰ style period-

◯髙橋美鈴(余市町教育委員会)、田村朋美(独立行政法人奈良文化財研究所)
◯Misuzu TAKAHASHI(Yoichi Board of education), Tomomi TAMURA(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

北海道では、東北以南の弥生～古墳時代に相当する続縄文文化期にガラス玉が出現する。

続縄文文化期後葉にあたる後北C_2・D式期になると、石狩低地帯及び沿岸部を中心に北海道各地の遺跡から出土するようになる。その後、北海道では、後続する北大Ⅰ式期までガラス玉が出土するが、遺構出土品が乏しく北大Ⅰ式期に該当するガラス小玉の様相の把握には至っていない。

なお、後北C_2・D式期のガラス玉の組成及び流通経路について、大賀克彦は組成について、「組成的には弥生時代後期後葉を特徴付ける組成であるが、関東を中心とした東日本では古墳時代前期前半までは普遍的に出現する。」とし、また、東北地方全域では出現しないことから南関東からの北海道への直接的な流入を想定している（大賀2021)。

さらに、上記とは異なる事例として、厚真町朝日遺跡、柏木B遺跡71土壙墓から出土したものを挙げ、前者を古墳時代中葉前半の典型的な組成、後者を後北C_2・D式期に一般的なガラス小玉に植物灰タイプのガラス小玉が加わった変則的な組成と述べている。これら朝日遺跡P-18、柏木B遺跡71土壙墓は、口縁に片口状の突起を持つ土器が共伴していることから北大Ⅰ式期として範疇として考えることができる。このことから、北海道道央部において後北C_2・D式期から北大Ⅰ式期に変遷する過程で材質に変化が生じることが推定される。

そのため、本研究では道央部における北大Ⅰ式期のガラス小玉の全体様相の把握を目的として、これまで詳細な分析調査が実施されていなかった当該時期にあたる札幌市K39 遺跡北大構内ポプラ並木東地区出土第１号墓（北大構内遺跡）から出土したガラス玉の製作技法と化学組成の自然科学的調査を実施した。３点のガラス小玉が続縄文文化期の北大Ⅰ式期の遺構から出土している。

2. 観察及び分析手法について

顕微鏡観察による製作技法の推定と、蛍光X線分析による化学組成の調査を実施した。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。

3. 結果と考察

顕微鏡観察の結果、本遺跡出土のガラス玉３点のうち２点（No.1299、No.1300）は濃紺色、１点（No.1314）は紺色を呈している。外形の丸みが強く、側面の気泡筋が孔と平行に伸び

ながらも螺旋状に並んでいることから連珠法で製作されたと考えられる。No.1314 は端面が研磨されている。

次に、これらのガラス小玉３点について蛍光 X 線分析を実施した結果、いずれも植物灰タイプのソーダガラス（Group SIII）であった。No.1299 と No.1300 は典型的な Group SIIIB の材質的特徴を有するが、No.1314 は上記２点と比較して MgO と K_2O が多く、Al_2O_3 が少ない傾向が認められた（図１）。

Group SIIIB は古墳時代中期後葉（大賀 2020 による様相９）に出現するガラス材質であるが、一般に引き伸ばし法によるガラス小玉から設定されたグループである。引き伸ばし法以外の植物灰ガラスについては様相９よりも遡る事例も存在しており、大阪府風吹山古墳（様相７）などにおいて包み巻き法や融着法などに先行して出現している（大賀・田村 2017）。

本遺跡出土品には典型的な引き伸ばし法による Group SIIIB が含まれていないため、位置付けに決め手を欠くものの、Group SIIIB に先行して出現する植物灰ガラス玉（コバルト着色）については、典型的な Group SIIIB よりも高 MgO・K_2O、低 Al_2O_3 であり、本遺跡出土の No.1314 と類似する。すなわち、No.1314 のみ様相７に遡る可能性を残すが、全体としては様相９に相当すると判断される。また、先行して流入した可能性のある No.1314 については端面が研磨されており、それ以外の典型的な Group SIIIB の材質的特徴を有する No.1299 と No.1300 は端面の研磨が認められない点でも矛盾しない。

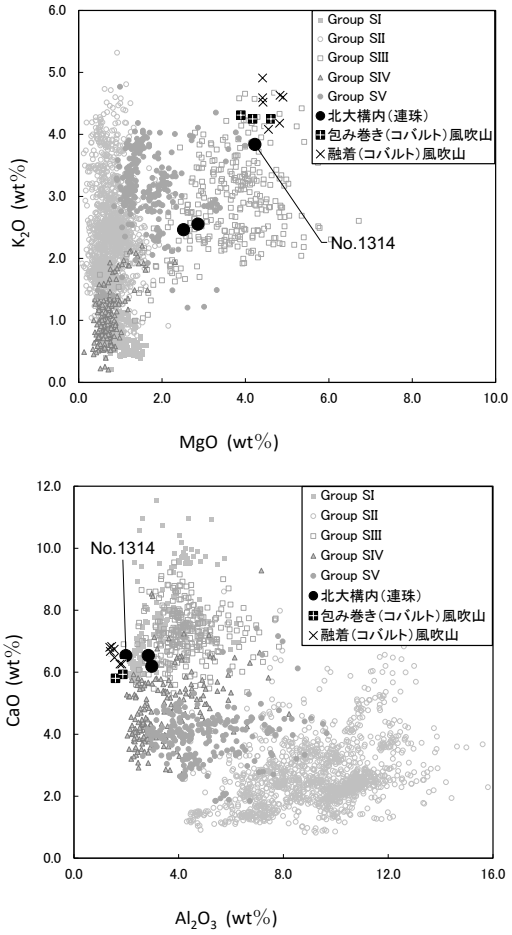


図１　北大構内遺跡出土のガラス小玉の化学組成の特徴

4. まとめ

本資料と同タイプの植物灰タイプのソーダ石灰ガラスは柏木 B 遺跡でも出土している。しかし、引き伸ばし技法で製作された典型的な Group SIIIB で両端の研磨が顕著な柏木 B 遺跡のものと比較し、本資料は連珠法によって製作されている点で異なる様相を示した。また、典型的な古墳時代中期前半のガラス玉の組成を有する厚真町朝日遺跡の様相とも異なる。北大Ⅰ式期はガラス玉の出土数が少ないだけでなく、個々の遺跡から出土するガラス玉についても様相の差異が大きいことがわかった。流入の経路についても単純でない可能性も想定される。今後は、連珠法の類例も含め道内・北東北の北大Ⅰ式期のガラス玉の調査を進め、遺跡の性格とともに北大Ⅰ式期の傾向把握に努めたい。

【謝辞】

発表にあたり資料借用をご快諾いただきました北海道大学埋蔵文化財調査センターにお礼申し上げます。

【参考文献】

大賀克彦 2021「猪ノ鼻（１）遺跡出土の玉類」『猪ノ鼻（１）遺跡』pp190-202

大賀克彦 2020「ガラスの材質分類と時期区分」『いにしえの河をのぼる（古川登さん退職記念献呈考古学文集）』pp.55-64

大賀克彦・田村朋美 2017「植物灰ガラスの多様性と生産地に関する考古科学的研究」『文化財科学会第 3 回大会研究発表要旨集』pp.126-127

鋳造関連民具の考古学・文化財科学的調査

Archaeological and scientific research of casting folk materials

○丹羽崇史、村田泰輔（奈良文化財研究所）
○NIWA Takafumi, MURATA Taisuke (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

１．はじめに

報告者（丹羽）はこれまで、中国の商周時代の青銅器製作技術の解明のため、青銅器の製品とともに土製鋳型など冶金関連資料について調査・研究を進めてきた。近年は東周時代の一大鋳銅遺跡である山西省侯馬鋳銅遺跡出土鋳型（以下、侯馬鋳型）について着目してきた。2020年以降、現地渡航がかなわない中、日本国内の関連する考古資料や民具資料の調査を進めてきたが、高岡市立博物館所蔵の鋳造関連民具の中に侯馬鋳型と類似した特徴の資料があることを確認した。そのため、侯馬鋳型と対比可能な構造・材質上のデータを得ることを目的に、同館より３点の資料を借用し、奈良文化財研究所にて、実測、Ｘ線ＣＴ、三次元計測、蛍光Ｘ線分析、顕微鏡観察等の非破壊調査を実施した。成果の一部を報告する。

２．調査の概要

（１）資料の概要

対象資料は富山県高岡市の須賀月真工房にて用いられた蝋原型成形のための土製型（抜き型）である。初代須賀松園氏が入手し、それらが須賀松園工房から分かれた須賀月真工房に引き継がれたものである（三船ほか2021）。以下、博物館の管理番号をもとに記述する。

①須賀月真工房陶製型90（縦6.2、横6.8、厚1.3）
②須賀月真工房陶製型237（縦6.3cm、横10.0cm、厚1.2cm）
③須賀月真工房陶製型238(縦6.8cm、横10.4cm、厚1.4cm)

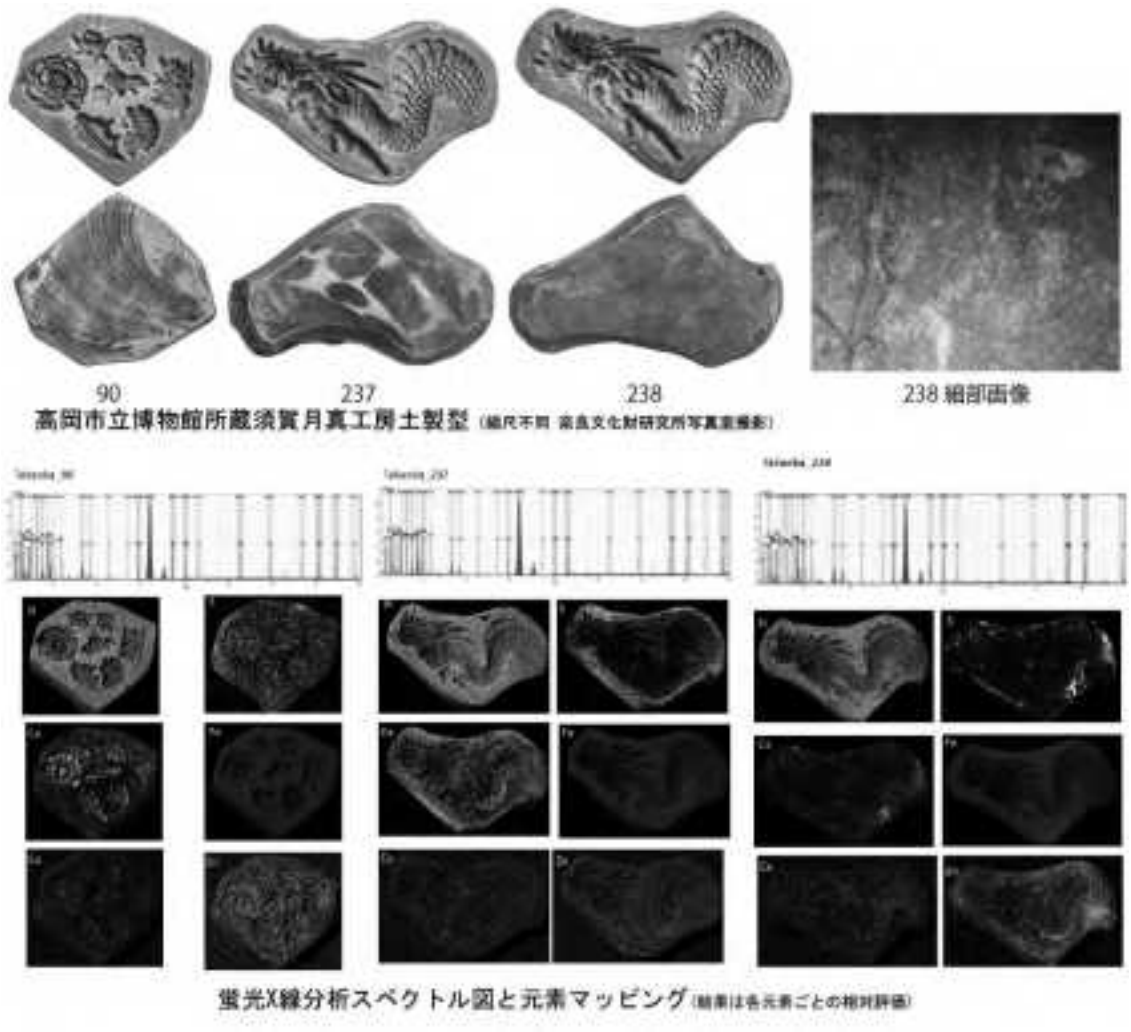
３点とも土の目の細かく、硬めに焼締まり、文様が鮮明に転写されている。237・238は部分的に白色物質の付着が見られる。外面の調整は糸切りや削りが確認できる。

（２）蛍光Ｘ線分析・顕微鏡観察

M4 TORNADO PLUS（Bruker社）により元素のマッピング分析をおこなった。測定条件は管電圧、管電流がそれぞれ50 kV、300 μA、元素マッピングのピクセルサイズは 300 μmとした。

90・237：CaとSを全体から検出。Caは凹部でも検出される。

238：局所的にCa、Sが同一箇所で検出。この領域が白色を呈していることも考慮すると、石膏（$CaSO_4・2H_2O$）を含む可能性がある。顕微鏡観察でも白色物質の付着を確認した。



（3）X線ＣＴ・三次元計測

土製型の内部構造や空隙量を明らかにするため、Ｘ線ＣＴによる測定を行うとともに、形状の記録、密度や質量を明らかにするため、三次元計測も行った。

3.まとめ

調査によって明らかになった高岡市立博物館所蔵土製型の材質を中心とした特徴を述べた。今後さらに内部構造や製作技法に関する解析を進めるとともに、考古資料・民俗資料の鋳型・土製型の調査事例を増やし、侯馬鋳型をはじめとした東アジアにおける鋳型技術の歴史的変遷を明らかにしていきたい。

須賀月真工房資料の調査では高岡市立博物館の仁ヶ竹亮介氏、山本成子氏にお世話になった。須賀正紀氏からは資料の由来についてご教示を頂いた。蛍光 X 線分析では柳田明進氏（奈良文化財研究所）と田中佑以子氏（大阪公立大学）の協力を得た。御礼申し上げます。

本研究は JSPS 科研費 JP20H01365 の助成を受けたものである。

【引用文献】三船温尚ほか 2021「蠟と青銅の技　蠟型鋳造　須賀松園工房の聞き取り記録」『鋳物モダン　花を彩る銅のうつわ』泉屋博古館、105 - 217 頁

失原型鋳造実験試料・鋳型の金属学的調査

：失錫法実験試料を対象として

Metallography research of lost model casting experimental samples and molds

: Focusing on lost tin casting experimental samples

○丹羽崇史（奈良文化財研究所）　長柄毅一（富山大学芸術文化学部）
○NIWA Takafumi(Nara National Research Institute for Cultural Properties),
NAGAE Takekazu (University of Toyama)

1．はじめに

報告者（丹羽）は過去の時代においてさまざまな消失原型が存在した可能性を視野に入れ、蝋・錫・鉛など消失原型を用いた対照鋳造実験を進めてきた。このうち失鉛法による実験試料に対して金属学的調査を実施し、実験鋳物や鋳型に鉛が残存することを明らかにした（丹羽編 2020）。

本報告では、失錫法による実験試料を対象とした金属学的調査の成果を報告する。分析対象資料は 2012 年度に芦屋釜の里にて実験鋳造した Cu-Sn-Pb 三元系合金鋳物と鋳型である[註1]。錫原型による失錫法（非分割鋳型）で実験鋳造した鋳物（試料①）とともに、石膏原型による込め型法（分割鋳型）の鋳物（試料②）を比較試料とし、それぞれ切断した断面を研磨、鏡面仕上げすることで観察試料とした。錫原型を用いて鋳造した際の鋳型片の表面についても、電子顕微鏡による成分分析を行い、錫の残留がないかを確認した。金属組織観察ならびに分析については、EDX 付き卓上走査型電子顕微鏡（SEM-EDX、日立ハイテク TM3000 ）により実施した。加速電圧は 15kV である。なお、本装置は常時試料室を低真空にして観察する方式を採用しており、試料表面に照射された電子が帯電しにくい設計になっており、鋳型片も導電用コーティングをすることなしに、表面観察と分析が可能である。

２．調査の結果

実験鋳物の金属組織と分析結果　表１に SEM-EDX による定量分析データを示す。試料の上部、中央部、下部のそれぞれ３か所において分析をおこない、その平均値を示した。試料②が 0.5%程度、含有鉛量が高いが、鉛は非常に偏析しやすい元素であり、分析位置や分析点数を増やすことで、結果がまた違ってくる可能性はある。

試料①、②の中央部における金属組織はいずれもα相、α+δ共析相および鉛相からなる。α相は Cu の FCC 結晶を基本とする組織であり、Sn を最大 15%程度まで含む。本試料においては、10%程度が固溶していることを確認した。α+δ共析相はα相と金属間化合物δ相がそ

表 1　実験鋳物の定量分析結果（質量%　SEM-EDX にて分析）

	試料①（鋳型型使用）			試料②（石膏原型使用）		
	Cu	Sn	Pb	Cu	Sn	Pb
上面	83.8	13.8	2.4	83.9	13.7	2.3
中央	82.9	13.8	3.3	83.3	13.7	3.0
下面	83.1	13.7	3.2	84.2	13.7	2.1
平均	83.3	13.8	3.0	83.8	13.7	2.5

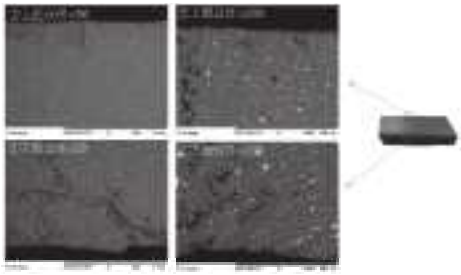


図 1　試料①の表面近傍における金属組織

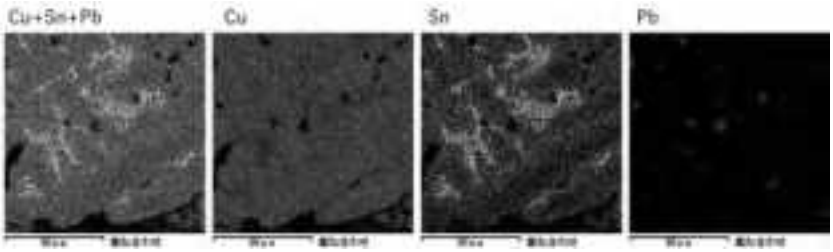


図 2　試料①の表面近傍における X 線像

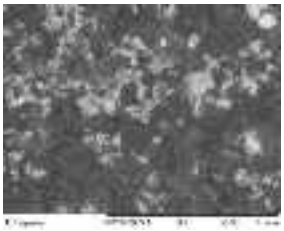


図 3　鋳型試料の表面における組成像

れぞれ微細になり入り混じっている相であり、その平均組成は Cu が 75-76%程度、Sn が 24-25%程度である。鋳造された本合金は、その凝固過程において、まず、α相が結晶化してデンドライト（樹枝状晶）とよばれる結晶を成長させる。その結晶の隙間に低融点である共析相が凝固し、さらに温度が低下すると最終的に鉛相が凝固する。試料①の方が試料②よりも、鉛が目立っている様子が見られるが、α相や共析相の形態に大きな違いは認められない。

鋳物の表面近傍において、錫の濃化域はあるのかを確認した。図 1 は試料①における表面近傍の金属組織で、典型的なデンドライト組織である。表面近傍においては、α相が表面部分にでている様子が観察され、錫の濃度が高いα＋δ共析相は表面部分にはあまり認められない。図 2 は試料①の組織の X 線像であるが、表面近傍には錫の濃度が低い状態になっていることを確認した。したがって、鋳物表面に錫が濃化している領域は認められない。

鋳型表面の分析結果　鋳型片の表面の組成像を図 3 に示す。確認された白色付着物について定性分析を行ったところ、鉛が多いことが明らかになった。この白色付着物は鉛酸化物ではないかと考えられ、錫あるいは錫酸化物の残存は認められなかった。

3．まとめ

本報告では失錫法による鋳造実験試料・鋳型の表面近傍の組織あるいは成分の特徴を比較したところ、鋳物表面に錫が濃化して分布しておらず、その鋳型表面にも錫が残存していないことを確認した。鋳物表面、その鋳型表面に、鉛が残存した失鉛法試料とは異なる結果となり、用いた消失原型により残存状況が異なることを明らかにすることができた。

本研究は JSPS 科研費 JP16H05946、JP20H01365 の助成を受けたものである。

註 1　実験の詳細は科研費報告書（丹羽編 2020）を参照。

【引用文献】丹羽崇史編 2020『対照実験を主軸とした東アジア鋳造技術史解明のための実験考古学的研究』奈良文化財研究所

「伝統的修復材」ガンゼキの製作と再現について

Reproduction and restoration of traditional material “Ganzeki “

○石松　直（玉名市教育委員会）
Tadashi ISHIMATSU　(Board of Education Tamana City)

はじめに

ガンゼキは熊本県内で用いられる「伝統的修復材」で、いわゆる自然素材で構成されたパテである。使用例として、宇土市の轟泉水道や、上益城郡山都町に架橋されている通潤橋においても使用しているが、作成記録が口承のみで実態はよくわかっていない。

このガンゼキをその他の文化財に安定的に使用・製作できないかと考え、その材料と製法をレシピ化することを考え、材料は近隣で調達できるものとし、手軽に作成できないか検討した。

1．ガンゼキの製作（轟泉水道管理組合作例）

材料：赤土、貝灰、塩、松汁

1　赤土を乾燥させ、ふるいにかけ、できるだけ不純物を取り除き、礫や根を排除する。
2　赤土に少し松汁を混ぜ、ある程度水分を含ませてから、貝灰・塩を混ぜていく。
3　おおよそ耳たぶのやわらかさになるまで、杵で衝いて叩く。ここで天気や乾燥状況によって松汁を加えていき、硬さを調整する。
4　作成後に叩いて空気を抜いて一つの塊に成形し、急激な乾燥を防ぐためビニール袋などで覆い、急激な硬化を防ぐ。


ガンゼキ材料


材料をしっかり混ぜる


叩いて空気を抜く

2．ガンゼキの再現実験

作り方と材料が判明したので、まずデッドコピーを作成することとした。赤土は市内周辺で確保できるが、土の品質を揃えることと植物の根などの有機物が混じり、微生物の発生することが想定されるため、今回はあえて陶土を使用した。陶土・貝灰・塩はホームセンターなどで購入することができるが、松汁については、松の枝や葉を２時間ほど煮出したものであるが、業務上火を使用する環境にないため、成分が同じものに置き換える必要が生じた。

松の枝や葉を煮出すことで松脂を取り出す方法は古くから知られており、言葉通り「樹脂」である。松脂の成分は 85%が固形の樹脂で、残り 15%弱はテルピン油である。固形の松脂はバイオリンやロジンバッグのような滑り止めとして広く使われている。テルピン油はロケットの液体燃料や油絵具の洗浄や薄め液としても使われている。

固形の松脂を砕いて粉状にしてテルピン油で溶くと、ベタベタとした粘りのある松脂となっている。ガンゼキの再現においてベタベタの松脂では赤土としっかり混ざらないため、テルピン

油の量を松脂の３倍ほどに増やしてさらさらとした薄黄色の液体松脂を作成した。

材料が揃ったところで、液体松脂は水に溶けることはないので、材料を混ぜる際に少し工夫が必要と考え、以下のとおりガンゼキを作成した。

材料の配合比は、熊本県立宇土中学校・宇土高校の実験を参考にして、土 100g、塩 15g、貝灰 20g、水が 40 cc、液体松脂 10 ccである。

１　土と塩、貝灰も均一になるようにしっかりと混ぜる。

２　混合した土に少しずつ水を混ぜて少しぼそぼそした粘土になるまで混ぜる。

３　液体松脂を少しずつ混ぜ、おおよそ耳たぶのやわらかさになるまでしっかり衝いて叩く。作成後は叩いて空気を抜いて一つの塊に成形する。

ガンゼキ作成後、試験体にガンゼキを挟んで固定するかどうか実験を行った。



ガンゼキ再現材料



材料を混ぜているところ



試験体

３．実験結果と課題

実験の結果、再現したガンゼキはデュロメータＡ型で計測すると、０~100 までの数値中 40 から 80 前後を出しており、硬化し固定していることを示している。ガンゼキを剥がした際にガンゼキの一部が試験体の石材に付着することはあっても、石材がガンゼキに付着することはなかった。また、水中にガンゼキを入れても溶けずに嫌水性であることを確認している。

しかし、懸念材料も確認している。試験体を観察すると、石材の表面に水分の移動が顕著に現れ、試験体の表面には塩と考えられる析出物を確認し、大きな亀裂も確認している。水分の移動による乾湿の繰り返しや塩の析出は風化に繋がり、装飾古墳で使用すると顔料部分に何かしらの影響が現れることが考えられ、最悪、涙痕のように白い筋状の塩の析出物が出てしまうことが想定される。

この問題を解決するためには、塩の代替材料を探すとともに、亀裂の起こる原因を気象条件によるものか、材料に起因する問題なのかを把握する必要がある。

最後になりますが、硬度計（デュロメータＡ型）の使用などについて、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所参与・文化財防災センター長髙妻洋成氏からアドバイスを賜り、ガンゼキの使用例や作成ポイントについては、熊本県立装飾古墳館坂口圭太郎氏からアドバイスをいただいた。轟泉水道管理組合藤原栄一氏には、ガンゼキ作成記録写真の掲載に快諾していただきました。厚く御礼申し上げます。

〈参考文献〉

2017　坂口圭太郎　伝統的修復部材である「ガンゼキ」を用いた装飾古墳修復の試み　熊本県立装飾古墳館研究紀要第 13 集

2021　熊本県立宇土中学校・宇土高校「ガンゼキはなぜ水中で崩れないのか？~レシピ化のメカニズム解明に挑む～

2020　熊本県立宇土中学校・宇土高校「伝統的修復材「ガンゼキ」の科学的考察」

2018　熊本県立宇土中学校・宇土高校「伝統的修復材「ガンゼキ」の科学的考察」～松の煮汁に注目して

蛍光X線分析および光学的調査による天理参考館所蔵江戸期絵馬の顔料研究
XRF analysis and Optical research of the painting materials used on Ema in the Edo period (Tenri Sankokan Collection)

○青木智史（奈良教育大学）、幡鎌真理（天理大学附属天理参考館）
○Satoshi AOKI (Nara University of Education), Mari HATAKAMA (Tenri University Sankokan Museum)

1. 目的

絵馬は神社あるいは仏閣において祈願や報謝を目的として奉納される板絵で、馬や武者、船など願いに関連する内容の図様が描かれる。天理大学附属天理参考館は質量ともに豊かな絵馬資料を収蔵している。本研究では天理参考館が所蔵する絵馬資料の中から、特に江戸時代初期の紀年銘のある絵馬2点を調査対象とし、蛍光X線分析および近赤外線撮影調査を実施し、この時代の絵馬に用いられている彩色材料について明らかにすることを目的とした。

2. 調査対象と分析方法

調査対象とした絵馬は2点である。まず1点目は、唐獅子の描かれた絵馬である（以降，絵馬①と呼ぶ)。いわゆる興福寺絵馬の一つで、土坡の上で振り返る様の唐獅子が描かれ、大きさは縦29cm、横40.3cmである。保存状態は良好で、わずかに剥落が見られるものの概ね表面状態は健全でよく色彩が残されている。「寛永二拾年」の紀年銘があり、それに従えば1643年頃の絵馬と考えられる。2点目は源平合戦の一場面である鏑引き図の描かれた絵馬（絵馬②と呼ぶ）で、大きさは縦33.5cm、横45.6cmである。保存状態はいくつかの欠損部が認められるなど絵馬①と比べると必ずしも良くないが、絵馬の絵画そのものの残存状態は良好といえ、汚損箇所を避けることで有意な分析調査を実施することは可能である。「元禄三年」の紀年銘があり、1690年頃に描かれた絵馬と考えられる。

蛍光X線分析に使用したのは可搬型蛍光X線分析装置OLYMPUS DELTA DP-2000 Premiumである。測定条件は、励起用X線ターゲットがRh、管電圧は40kV（軽元素測定時は10kV)、管電流はAuto、測定部径は3mm、計測時間は270秒である。調査に際しては、装置を専用の固定具を用いて三脚取り付け、資料表面から2mm程度離した状態を維持して非接触・非破壊にて測定を行った。光学機器としてRICOH社製中判デジタル一眼レフカメラPENTAX 645D IRを利用した。近赤外線撮影時には富士フイルム光学フィルタ（IR-78）を用いて撮影を行った。近赤外線撮影時の光源として浜松ホトニクス製赤外線投光器を用いている。近赤外線撮影時の撮影波長域はおよそ780-1100 nmである。

3. 結果と考察

分析箇所は図1および図2に、分析結果は表1および表2に示した。絵馬①と絵馬②はともに江戸時代初期に制作された絵馬と考えられるが、蛍光X線分析結果からは様々な技術的な相違点が確認できる。例えば、下地に関していえば絵馬①は測定箇所のほぼ全てでCa（カルシウム）が非常に多く検出されている。これは絵馬の表面に彩色のための下地として貝殻胡粉（$CaCO_3$）が施されているためと考えられる。一方絵馬②では下地層として、鮮やかな黄色を呈する粒子を確認することができる。近赤外線画像では僅かに吸収を示し、蛍光X線分析では明瞭なFeのピークを確認することができる。このため絵馬②は下地として黄土が用いられている可能性が高い。また背景部分が絵馬①は黒灰色、絵馬②は金色を呈しているが、前者からはAg、後者からはCuおよびZnの明瞭なピークが検出される。この結果から、絵馬①には銀泥が施されており、絵馬②には真鍮泥が用いられている可能性が高い。絵馬に真鍮箔や真鍮泥が用いられている例はこれまでにもいくつか見出されているが、自然科学分析で明らかにされた例は多くない。真鍮泥の使用は、本研究で明らかとなった注目すべき成果の一つといえる。ま

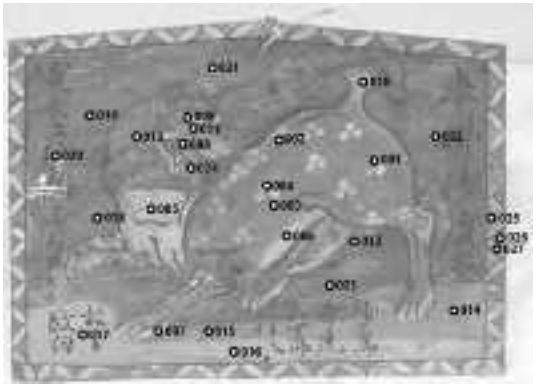


図 1　絵馬①の蛍光 X 線分析箇所

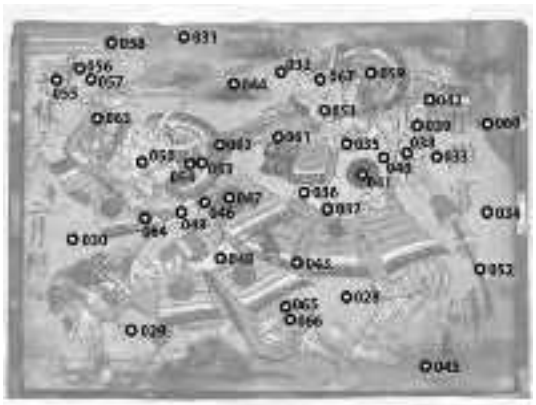


図 2　絵馬②の蛍光 X 線分析箇所

た、その他にも絵馬①では白色顔料として鉛系白色顔料と貝殻胡粉の併用が推定されるのに対し、絵馬②では貝殻胡粉のみが用いられていると考えられる。赤色顔料でも、絵馬①では辰砂が主に利用されているのに対し、絵馬②では鉛丹、ベンガラ、有機色料が用いられていると考えられる。

今回調査したのは、天理参考館の所蔵する膨大な絵馬資料の中から僅か 2 点のみであるが、紀年銘からいずれも 17 世紀に位置づけられる貴重な資料であり、本研究により明らかにできた成果は重要である。分析結果から、両絵馬には多彩な彩色材料が用いられていることが明らかとなっている。絵馬には、専門の絵師に限らず、奉納者自身を含む多様な制作者が存在し、その制作背景は複雑であることが知られている。今回の結果から見える色料の多様性はその一端を窺わせるものである。

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

表 1　絵馬①の材質分析結果

測定箇所	部位	顕微色	検出元素
001	額部・頭巾	白色	Al, Si, (P), (S), (Cl), **Ca**, (Ti), (Fe), (Hg), (Pb)
002	額部・頭巾	白色	(Al), Si, (P), (S), (K), **Ca**, (Ti), (Fe), (Cu), (Hg), (Pb)
003	額部	赤褐色	(Al), Si, (P), S, **Ca**, (Ti), (Fe), (Zn), Hg, (Pb)
004	額部・頭巾	白色	(Al), Si, (P), (S), **Ca**, (Fe), (Zn), (Hg), (Pb)
005	額額飾金	黄色	Cl, (P), (K), **Ca**, (Fe), (As), Pb
006	額部	赤色	Si, **Ca**, (Fe), (As), Pb
007	前髪下部	白色	Si, (P), (S), **Ca**, (Fe), (As), Pb
008	髪	緑色	(Al), Si, (P), **Ca**, (Fe), Cu, (Pb)
009	上瞼	白色	(Al), Si, (K), **Ca**, (Ti), (Cu), (As), Pb
010	髪	白色	Si, (P), (S), **Ca**, (Fe), (Cu), (As), Pb
011	眉	金色	(Al), Si, P, (S), Ca, (Fe), As, (Pb)
012	髪	緑色	(Al), Si, (S), **Ca**, (Ti), Cu, (As), (Pb)
013	額部赤色	赤色	(Al), Si, (S), **Ca**, (Fe), Cu, (As), (Pb)
014	士頭	緑色	Si, (P), (S), Ca, (Fe), Cu, (As), (Pb)
015	士頭	緑色	(Al), Si, (S), **Ca**, (Fe), Cu, (As), (Pb)
016	士頭	黒色	Al, Si, (K), **Ca**, Fe, (As), (Pb)
017	士束	黒色	Al, Si, (K), **Ca**, Fe, (As), (Pb)
018	背景	黒緑色	Al, Si, (K), **Ca**, (Fe), (Hg)
019	背景	黒緑色	Al, Si, (P), **Ca**, (Fe), (Ti), (Hg)
020	「絵」字	黒色	Si, (P), (K), Ca, (Fe)
021	背景	黒緑色	Al, Si, (K), **Ca**, (Fe), (Cu), (Ag)
022	背景	黒緑色	Al, Si, (K), **Ca**, (Fe), (Ag)
023	背景	黒緑色	Al, Si, (K), **Ca**, (Fe), (Cu), (Ag)
024	空	淡色	Al, Si, (P), S, (K), Ca, (Fe), **Hg**
025	狩・七宝繋ぎ文	緑色	Si, (K), **Ca**, (Fe), Cu, (As), (Pb)
026	狩・七宝繋ぎ文	赤色	(Al), Si, (K), Ca, (Fe), (Zn), (As), **Hg**
027	狩・七宝繋ぎ文	白色	Si, (K), **Ca**, (Fe), (Cu)

※明瞭な元素のうち、多い順に主成分元素、少ない順に副成分（）で表す。

表 2　絵馬②の材質分析結果

測定箇所	部位	顕微色	検出元素
028	背景	白色	Al, Si, K, (Ca), (Ti), Fe, Cu, Zn, (Pb)
029	背景	白色	(Al), Si, (K), (Ca), (Ti), Fe, Cu, Zn, (Pb)
030	背景	白色	Al, Si, K, (Ca), (Ti), Fe, Cu, Zn, (Pb)
031	背景	白色	Al, Si, (P), K, (Ca), (Ti), Fe, Cu, Zn, (Pb)
032	背景	白色	Al, Si, K, (Ca), (Ti), Fe, Cu, Zn, (Pb)
033	背景	白色	Al, Si, (K), (Ca), (Ti), Fe, **Cu**, Zn, (Pb)
034	背景	白色	Al, Si, K, (Ca), (Ti), Fe, Cu, Zn, (Pb)
035	馬体　胸前	黄色	(Si), **Ca**, (Fe), (Cu)
036	馬体・前脚裏	白色	(Si), **Ca**, (Fe), Cu, Zn, (Pb)
037	馬体・前脚後	白色	(Si), **Ca**, (Fe), (Cu)
038	馬体・蹄下・冑	淡褐色	(Al, Si), **Ca**, (Fe), Cu, Zn
039	鬼面・前半頭髪	黄色	(Si), **Ca**, (Fe), (Cu), (Zn), (Pb)
040	馬体・前	淡緑色	(Si), (K), Ca, (Fe), Cu, (As), (Pb)
041	馬体・前・お玉	褐色	(Si), (K), Ca, (Fe), Cu, (As), (Pb)
042	馬体・前後脚	褐色	(Al), Si, (K), Ca, (Fe), Cu, As, Pb
043	馬体・体	緑色	(Al), Si, (K), Ca, (Fe), **Cu**, (Zn), (As), (Pb)
044	松葉	緑色	Al, Si, K, (Ca), (Fe), **Cu**, (As), (Pb)
045	土坡	淡褐色	Al, Si, (K), **Ca**, (Fe), Cu, (As), (Pb)
046	四天・天狗	淡青色	(Si), **Ca**, (Fe), (Cu), (Pb)
047	四天・天狗・天王	藍色	(Si), **Ca**, (Fe), (Cu), (Pb)
048	四天・前脚脚	白色	(Si), **Ca**, (Fe)
049	四天・髪干・冑	淡褐色	(Si), **Ca**, (Fe)
050	四天・顔・冑	淡青色	(Si), **Ca**, (Fe), (As), Pb
051	四天・顔・冑	淡青色	(Si), **Ca**, (Fe), (As), Pb
052	馬体・刀	淡青色	Al, (Si), **Ca**, (Fe), Cu, Zn, (Pb)
053	四天・顔	淡青色	(Si), **Ca**, (Fe), (Pb)
054	四天・顔	藍色	(Si), **Ca**, (Fe), (Pb)
055	下ヤリ霞	白色	(Al), Si, **Ca**, (Fe), (Cu), (Zn)
056	下ヤリ霞	淡褐色	(Al), Si, **Ca**, (Fe), (Cu), (Zn)
057	下ヤリ霞	白色	(Al), Si, **Ca**, Fe, Cu, Zn, (Pb)
058	下ヤリ霞	赤褐色	Si, (Ca), (Fe), (Cu), (Zn), As, **Pb**
059	馬体・顔	赤褐色	Si, (Ca), (Fe), (Cu), (Zn), As, **Pb**
060	毛の枠	赤褐色	Al, Si, K, (Ca), (Ti), **Fe**, (Cu), (Zn), (Pb)
061	馬体・顔後髪	淡褐色	(Si), (K), **Ca**, (Fe), Cu, (Zn), (As), (Pb)
062	馬体・手綱	赤褐色	Al, Si, (P), (Ca), **Fe**, (Cu), (As), (Pb)
063	馬部・前後髪	赤褐色	Si, (Ca), (Cu), As, **Pb**
064	馬前・顔	赤褐色	Al, Si, (K), (Ca), **Fe**, (Cu), (Zn), (Pb)
065	鞍前・後	赤褐色	Si, (Fe), (Cu), As, **Pb**
066	鞍前・後・前脚	白色	(Si), **Ca**, (Fe), (Cu), As, Pb
067	馬体・鼻先	黄色	(Si), **Ca**, (Fe)

※明瞭な元素のうち、多い順に主成分元素、少ない順に副成分（）で表す。

明治期に用いられた初期合成染料の耐光性評価

Light Fastness Evaluation of Early Synthetic Dyes Used in the Meiji Period

○片渕奈美香（東京文化財研究所）、谷田貝麻美子（千葉大学）

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

1. はじめに

近代染織品に用いられている初期合成染料を始めとする当時の新規素材は、様々な外的要因に対する堅牢性に乏しいことが経験的に知られているが、その変化の詳細については明らかでない点が多い。本研究では、文化財の保存修復・展示に関わる外的要因の中でも、とくに重要である光の影響評価を行った。評価に先立ち、多数ある初期合成染料の中から、予め文献等を用いて明治期（1868-1912）に用いられた主要な赤および紫色初期合成染料を選定した [1)]。本発表では、作成した染色布を対象に耐光性試験を実施し、生じた変退色について評価したので報告する。

2. 実験

2.1 試料布

塩基性染料 4 点（Basic Red 1、Basic Violet 1、10、14）、酸性染料 5 点（Acid Red 18、26、44、73、88）を用いた。合成染料は部属（種類）ごとに染色方法が異なるため、染料便覧 [2)]の染色方法に準じて、どちらも濃色（3%o.w.f.）の染料濃度で絹布を染色したものを試料布とした [3)]。またブルースケール 1 級から 6 級を比較試料とした。

2.2 耐光性試験

JIS L0843:2006[4)] の第 5 露光法に準じて、依頼試験により行った。試験条件を表 1 に示す。JIS 記載のブルースケールが標準退色するまでの放射露光量（表 2）に達するまで試料布を露光した。なお各級の放射露光量に達した時に、試料布は取り出さず、露光面にアルミテープを貼付した白厚紙で覆いをし、6 級が標準退色する放射露光量まで露光を継続した。

表 1　キセノンアーク灯光照射条件

使用機器	キセノンアーク灯光式ウェザーメータ（NX75、スガ試験機）
ランプ	水冷式7.5kWキセノンランプ
フィルタ	内側：石英、外側：＃320
放射照度	50±3W/m^2 (300-400nm)
ブラックパネル温度	63±2°C
相対湿度	50±5%RH

表 2　放射露光量（参考表）

級	放射露光量 kJ/m^2（300～400nm）
1	76
2	302
3	1500
4	3800
5	7100
6	10600

2.3 耐光性評価

評価には、*L*a*b**表色系における *L*a*b**値、これらから算出した色差 [5)]、分光反射率を用いた。分光測色計（CM-2600d、KONICA MINOLTA）を用いて、D_{65} 光源、2° 視野、360~740nm 波長範囲で、任意の 3 カ所を測定、平均値を算出した。なおここでは、SCI と SCE の両値がほぼ相違がないことを確認し、SCI の値を用いた。

3. 結果と考察

試験後の目視観察の結果、酸性染料は積算露光量が 1500kJ/m² を超えるあたりから退色する傾向が観察された。一方で、塩基性染料は、積算露光量が 76～302 kJ/m² から変化が観察され始め、暗色化するなど複雑な変退色の傾向が見られた。図 1 に、塩基性染料染色布の露光による分光反射率の変化を示す。本研究で用いた塩基性染料では、未露光布の 360~460nm の間に見られた特徴的なピークが露光により低下したことから、青系の波長成分が吸収されたことが分かった。また Basic Red 1, Bacic Violet 10, 14 では、600nm 付近で反射率が低下する変化も見られた。

塩基性染料は、合成染料としては最も長い歴史を持つ重要な染料であるが、鮮明な色相と高い染着性を持つ一方で、耐光堅ろう度が低いため、現在では染色対象物は限定されており、変退色挙動が明らかでないものもある。現存する近代染織品には、こうした染料が用いられているため、保存修復の観点から初期合成染料の変退色に関わる知見を蓄積していく必要がある。

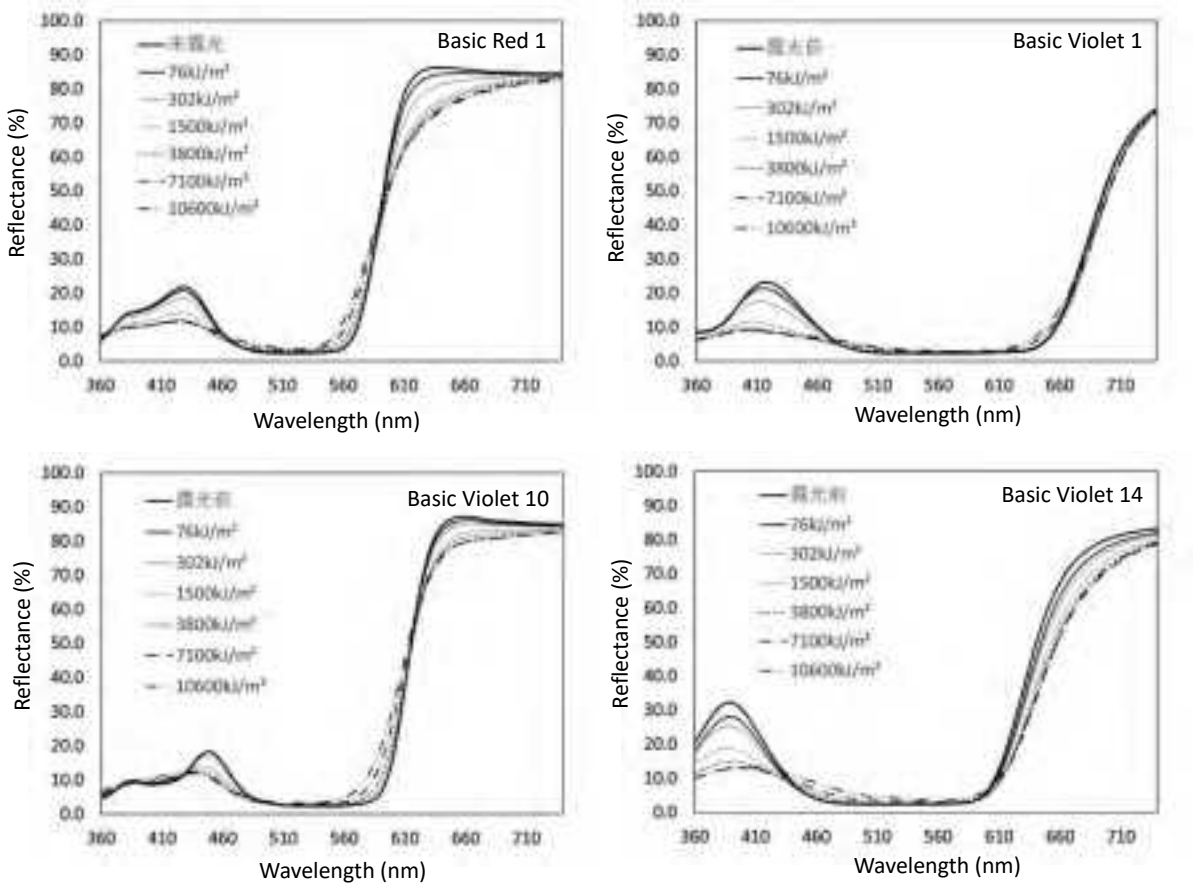


図 1 塩基性染料染色布の露光による分光反射率の変化(360~740nm)

＊本研究は、JSPS 科学研究費「21K13145」および「12J04527」の助成により実施した。

引用文献

1) 片渕奈美香、谷田貝麻美子；明治期に用いられた初期合成染料と基礎情報の調査、日本文化財科学会第 39 回大会研究要旨集、p128-129 (2022)
2) 有機合成化学協会編；新版 染料便覧、丸善株式会社・東京、p108-123 (1970)
3) 片渕奈美香；初期合成染料が用いられた着物地の染料分析と染色堅牢性評価、東京学芸大学大学院学校教育学研究科博士論文 p50 (2016)
4) JIS L 0843:2006「キセノンアーク灯光に対する染色堅ろう度試験法」
5) JIS Z 8730:2009「色の表示方法－物体色の色差」

国宝「初音の調度」のうち机、色紙箱、長文箱（胡蝶蒔絵）の木地構造および制作技法のX線CT調査

X-ray CT Analysis of the Wooden Base Structure and Manufacturing Techniques of *Tsukue*, *Shikishibako*, and *Naga-fubako* (Kochō *Maki-e*) from the Hatsune *Maki-e* Lacquer Trousseau, a National Treasure from the Tokugawa Art Museum

◯渡辺祐基（九州国立博物館）、川畑憲子（同左）、
板谷寿美（徳川美術館）、吉川美穂（同左）、
田中麻美（九州国立博物館）、木川りか（同左）
◯Hiroki WATANABE, Noriko KAWABATA (Kyushu National Museum),
Nozomi ITATANI, Miho YOSHIKAWA (The Tokugawa Art Museum),
Asami TANAKA, Rika KIGAWA (Kyushu National Museum)

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4年度には、机、色紙箱、および長文箱（胡蝶蒔絵）のX線CT撮影を実施し、その木地構造および制作技法を調査した。その主な成果を以下に報告する。

2. 調査方法

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180 kV（机のみ210 kV）、管電流1.25 mA、プロジェクション数1080、インテグレーション時間400 msとした。得られる断層画像の分解能は0.09～0.30 mm/pixelとした。

3. 結果・考察

いずれの作品とも、木地には良質な針葉樹材（ヒノキか）が使用されていること、および虫損等は認められず、また割れ等も少なく全体として健全な状態にあることが明らかになった。以下、木地構造の特徴について作品別にまとめた。

【初音蒔絵机】

天板は一材で、端に台形の部材および長方形から台形を除いた部材（はしばみ）を接いでる（図1）。筆返しは別材となっている（図1）。脚は上部、下部ともほぞ組となっている（図2）。

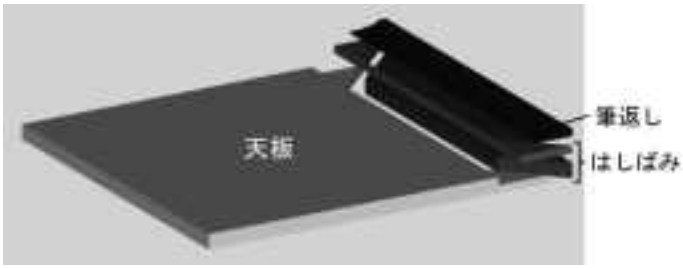


図 1　天板右端の構造の模式図

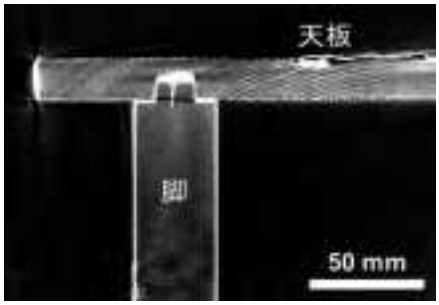


図 2　天板と右脚の接合部。ほぞ組となっている

【初音蒔絵色紙箱】

天板は三枚接で、側板の上に天板が載っている（図 3)。蓋身とも側板同士の接合の仕方は留継で、蓋合口部分の角には小さな三角柱状の部材を入れている（図 4)。底板は一枚板で、底板の上に側板を載せている。身の側板と立ち上がりは一体となっている。蓋天板の布着は蓋裏に確認でき、側板では器表側から身内側に渡っている。身の布着は底裏から側板の内側にかけて渡っている。

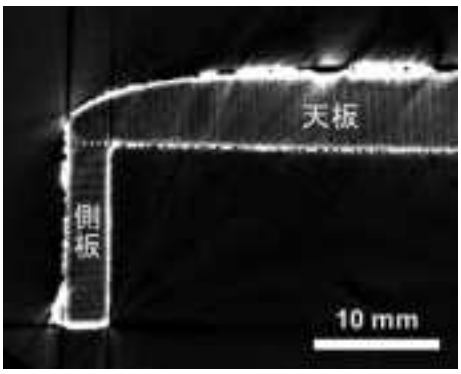


図 3　天板と側板（奥）の接合部

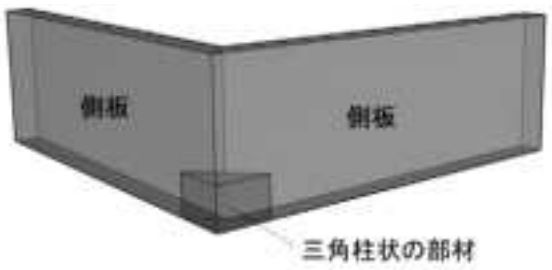


図 4　蓋側板同士の接合部の模式図

【胡蝶蒔絵長文箱】

天板は一枚板で、天板と側板の接合部では、側板の上端を L 字形に欠いて甲板が載っている（図 5)。蓋身とも側板同士の接合は、台形柱状の部材を介した丸角の作りとなっている。底板は一枚板で、底板の上に側板を載せている。蓋の布着は器表側に見られ、側板から天板にかけて渡っているが、天板全面に渡っているかは不明である。身の布着は側板器表側のみと考えられる。

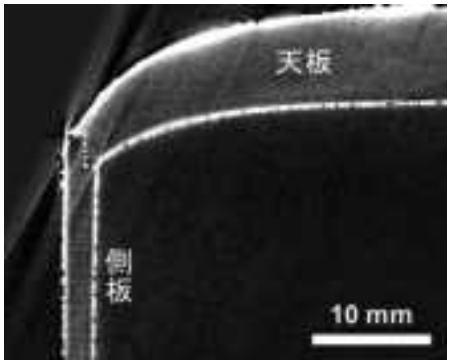


図 5　天板と側板（正面）の接合部

<謝辞>

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

藤田美術館所蔵の国宝「曜変天目茶碗」の非破壊オンサイト光学調査

Nondestructive and on-site spectroscopic analysis of the *Yohen Tenmoku* tea bowl, a national treasure in the collection of the Fujita Museum

◯阿部 善也（東京電機大学），村串 まどか（明治大学・東京電機大学），
小林 仁（大阪市立東洋陶磁美術館），藤田 清（藤田美術館），中井 泉（東京理科大学）
◯Yoshinari ABE (Tokyo Denki Univ.), Madoka MURAKUSHI (Meiji Univ. / Tokyo Denki Univ.),
Hitoshi KOBAYASHI (The Museum of Oriental Ceramics, Osaka),
Kiyoshi FUJITA (Fujita Museum), Izumi NAKAI (Tokyo Univ. Science)

1. 序

日本には中国宋時代の喫茶用の黒釉茶碗，いわゆる天目茶碗（天目）の優品が数多く伝世している。中でもその最高峰にあるのが曜変天目であり，その伝世品は世界でわずか 3 点，いずれも日本にあり，その全てが国宝に指定されている。これらの 3 点は，大阪の藤田美術館，東京の静嘉堂文庫美術館，京都の大徳寺塔頭龍光院にそれぞれ所蔵され，いずれも由緒正しい伝来を有する。曜変天目は現在の中国福建省北部の水吉鎮にある建窯で宋時代につくられたと考えられ，夜空に広がる星に喩えられる青色を中心とした多彩な光彩と星のような斑紋を有することが特徴である。建窯では黒釉茶碗（建盞）が大量に作られたが，曜変天目はその中でもきわめて稀少であった。建窯窯址から採集された陶片を対象とした理化学的研究は古くから行われているが[1][2]，日本伝世の曜変天目について理化学的な分析調査が行われたことはなかった。

このたび，日本伝世の国宝の曜変天目のひとつ，藤田美術館所蔵の「曜変天目茶碗」について，非破壊・非接触の理化学的な光学分析調査を初めて実施する機会に恵まれた。この分析調査は，限られた時間の中で行われたものであったが，複数の可搬型分析装置を藤田美術館に持ち込む形で，同館内で実施された。釉薬部分で得られた主要な分析結果についてはすでに学会誌「文化財科学」で論文[3]を報告したが，この発表では同論文に掲載済のデータを含め，一連の研究成果をまとめて報告させていただく。

2. 実験方法

分析資料は，藤田美術館所蔵の国宝「曜変天目茶碗（以下，藤田曜変）」である。かつて徳川 家康が所蔵しており，その後水戸徳川家を経て藤田家に入ったという由緒ある来歴を有する。日本伝世の曜変天目で唯一，口縁部に金属製の覆輪を伴う。可搬型の蛍光 X 線分析装置，光ファイバー反射分光分析装置，デジタル光学顕微鏡を藤田美術館に持ち込み，藤田曜変を非破壊かつ非接触で分析した。蛍光 X 線分析には，アワーズテック（株）製の可搬型装置 100FA を用いた。光ファイバー反射分光分析装置は，発表者らと（株）東京インスツルメンツの共同開発品である。顕微鏡観察では，（株）ハイロックス製のデジタルファインスコープ VCR800 を用いた。

3. 結果と考察

蛍光 X 線分析の結果，藤田曜変の釉薬は Al, Si, K, Ca, Fe を主成分とし，Ti, Mn, Ga, Sr, Zr などの微量元素を含んでいることが明らかとなった。光彩部分と黒色地部分で組成上の違いは見られず，現代の曜変天目風の作品で添加されているような重金属（Ag, Sn, W, Bi など）も検出されなかった。光ファイバー反射分光分析では，青色をはじめとした光彩部分で波長 420～500 nm の反射ピークが検出され，デジタル顕微鏡を用いた高倍率観察で見られた色調ともよく対応した。以上より，この碗の釉薬部分に見られる青色をはじめとした光彩は，表面近傍に形成された鉄化合物の周期的構造に由来する「構造色」によるものである可能性が高いと推定された。

釉薬部分で得られた蛍光 X 線スペクトルを解析して化学組成の定量を行った結果，先行研究[2]で報告されている建盞釉の化学組成と良い対応が見られた。さらに，建窯を含む中国の複数の窯址で表採された陶片（個人蔵）の釉薬部分について蛍光 X 線分析を実施し，藤田曜変との比較を行った。その結果，藤田曜変の釉薬部分は，建窯窯址で表採された陶片と微量元素まで類似した組成的特徴を持つことが明らかとなった。以上の結果は，日本伝世である藤田曜変が，従来の指摘どおり中国・建窯に起源づけられる可能性を強く示唆するものである。

藤田天目の覆輪について，「金覆輪」とする報告もあれば，「銀覆輪」とする説明が行われたこともあり，外観的特徴だけでは判別が難しいものであった[4]。本研究の蛍光 X 線分析の結果，Ag を主成分とし，少量の Cu が添加された合金であることが明らかとなった。また，微量の Pb および Bi を含み，Hg は検出されなかったことから，混汞法（アマルガム法）ではなく灰吹法による精銀が行われたものと考えられる。陶磁器の覆輪装飾の起源は中国にあり，宋時代の中国で出土した天目にも銀製あるいは錫製，または銅製の覆輪を持つものが散見される。一方，日本国内においても，鎌倉時代末（14 世紀初頭）には中国より伝来した天目に金属製の覆輪をかけることが行われていた。藤田曜変の覆輪がいつ，どこで取り付けられたものなのか，今回の分析結果のみでは判断することは難しいが，今後，中国出土および日本伝世の天目を対象として覆輪の材質分析が進むことで，さらなる議論が可能となるだろう。

以上のように，日本伝世の国宝の曜変天目のひとつ，藤田美術館所蔵「曜変天目茶碗」を対象として非破壊・非接触で光学分析調査を実施し，その材質と技法を理解する上で重要な実験データを初めて提示したと同時に，その製作地を中国・建窯と理化学的に結びつける初のデータを示すことができた。

謝辞　本研究を実施するにあたり，多大なご協力をいただいた元・豊田工業大学の福嶋 喜章先生，素山窯の長江 惣吉様，東京理科大学大学院生（当時）の馬場 慎介様，和泉 亜理沙様に厚く御礼申し上げます。本研究は JSPS 科研費（21KK0003, 20H01372 ほか）の助成を受けたものです。

[1] 山﨑 一雄:「曜変天目」『東洋陶磁』**4**, 35‐40 (1977). ほか
[2] 張 福康:「鉄系高温瓷釉綜述」『中国古代陶瓷科学技術成就』上海科学技術出版社, p. 253 (1985).
[3] 阿部 善也 ほか:「藤田美術館所蔵の国宝「曜変天目茶碗」の理化学的研究 ―釉薬の光彩の発色に関して―」『文化財科学』**84**, 31‐44 (2023).
[4] 小林 仁:「天目と覆輪」『中近世陶磁器の考古学 第 12 巻』雄山閣, pp. 49‐62 (2020).

本間美術館所蔵天目茶碗の材質に関する研究

A Study on the Materials of Tenmoku tea bowls in the Collection of the Honma Museum

○村串 まどか（明治大学・東京電機大学）、阿部 善也（東京電機大学）、
鄭 銀珍（大阪市立東洋陶磁美術館）、小林 仁（同左）
○Madoka MURAKUSHI (Meiji Univ. / Tokyo Denki Univ.), Yoshinari ABE (Tokyo Denki Univ.),
Eun Jin JUNG, Hitoshi KOBAYASHI (The Museum of Oriental Ceramics, Osaka)

1. はじめに

山形県酒田市にある本間美術館は、江戸時代の出羽庄内・酒田の豪商として有名な本間家の旧別荘「清遠閣」と庭園「鶴舞園」を開放し、昭和 22（1947）年に戦後初の「私立美術館」として開館した。収蔵品は約 3,000 点にのぼり、中国宋時代の天目茶碗をはじめ酒田の茶の湯文化の黄金時代を担った本間家旧蔵の茶の湯関連の貴重な美術品も多く見られる。

天目茶碗とは、鎌倉時代以降にもたらされた福建省の建窯で宋時代につくられた黒釉茶碗をはじめとした喫茶用茶碗に対する日本独自の名称である。日本には国宝の「曜変天目」や「油滴天目」をはじめ様々な天目茶碗が古くから伝来しており、天目茶碗の世界的な宝庫となっている。しかしながら、これまでこうした伝世の天目茶碗に関する本格的な理化学的調査はほとんど行われていない。そこで、発表者らは、日本伝世の天目茶碗の産地同定やその理化学的特徴の解明などを目的に、日本の伝世資料から発掘資料などの理化学的分析調査を行い、データの蓄積を進めつつある。

今回、本間美術館の協力により、同館所蔵の代表的な天目茶碗などについて、はじめて本格的な理化学的分析調査を実施した。本発表では、可搬型分析装置を用いて行った、本間美術館所蔵の天目茶碗 3 点の材質に関する調査の成果概要を報告する。

2. 方法

本研究で対象としたのは本間美術館に所蔵される、図に示した（A）「禾目天目茶碗　附 堆朱屈輪文天目台」、（B）「虹天目茶碗」、（C）「古瀬戸天目茶碗」の 3 点である。これら 3 点の天目茶碗に対して、デジタル顕微鏡による観察と蛍光 X 線分析による化学組成分析を実施した。各資料それぞれ胎土部分を 1 箇所、釉薬部分を 2～3 箇所、金属覆輪を 1～2 箇所を測定、観察した。用いた顕微鏡は（株）ハイロックス製のデジタルマイクロスコープ VCR-800 で 50 倍、200 倍、400 倍で撮影した。蛍光 X 線分析装置はアワーズテック（株）製の可搬型蛍光 X 線分析装置 100FA-Ⅲである。胎土および釉薬の化学組成は検量線法により、金属覆輪については FP 法によって求めた。



図　本研究の調査対象

3. 結果および考察

蛍光 X 線分析の結果、胎土については（A）～（C）の 3 点いずれも Al、Si、K、Fe を含む長石質の粘土と考えられる。特に Fe については釉薬にも多く含まれ、釉薬の主な発色は Fe によるものと考えられる。なお、（A）の釉薬は黒色に見える箇所と褐色に見える箇所が存在するが、Fe の量に顕著な違いは認められなかった。また、胎土と比較して Mg や Ca が多く含まれていることから、長石と石灰を含む釉薬であることがわかった。

次に、3 点の胎土および釉薬のデータを、既報[1)]や個人蔵の表採資料のデータと比較した。まず胎土について、（A）と（C）は建窯採集資料の化学組成に近しい傾向がみられた。釉薬についても同様な傾向が確認できたことから、（A）と（C）は建窯産と推定される。（C）についてはこれまで鎌倉～室町時代の古瀬戸天目茶碗と考えられてきたが、今回の調査による外見的な特徴からの判断同様、日本産ではなく、中国宋時代の建窯産の可能性が高いことが化学組成から裏付けられた意義は大きい。（B）については胎土と釉薬ともに建窯採集資料の組成範囲から外れることから、建窯以外の製作地（窯）を考える必要がある。（B）の製作地については、今後他の製作候補地のデータを蓄積していきながら明らかにしていきたい。

続いて、（A）～（C）の金属覆輪のうち、（A）と（C）には継ぎ目が確認されたため、母材と継ぎ目それぞれを測定した。その結果、母材は 3 点すべて Ag 合金、継ぎ目の部分は Cu 合金であることがわかった。また、（A）と（C）の継ぎの部分は Zn の量に違いがあり、覆輪の継ぎに用いた金属が異なることがわかった。覆輪の材質研究はまだ緒についたばかりであるが、日本伝世の天目茶碗の覆輪は日本でつくられたものと考えられており[2)]、今後データを蓄積していくなかで、覆輪の年代や加工地を明らかにする手がかりが得られるものと期待される。

本研究にて、本間美術館に伝えられる天目茶碗 3 点の調査から、その材質を明らかにし、一部は中国建窯で製作されたものである可能性を指摘した。引き続き、国内に限らず中国や韓国の関連資料も見据えて、調査を進めていきたい。

謝辞　貴重な天目茶碗の調査にご協力くださった公益財団法人 本間美術館の田中章夫館長をはじめ皆様に御礼申し上げます。本研究は JSPS 科研費 21KK0003 の助成を受けたものです。

参考文献

1) 陳顕求ほか 1983「宋代建盞的科学研究」『中国陶瓷』58-65. 等

2) 小林 仁 2020「天目と覆輪」『中近世陶磁器の考古学 第 12 巻』雄山閣 49-62.

製造方法による鉛丹の違いについて

Differences in Red Lead according to Manufacturing Method

◯山田卓司（龍谷大学）、石川純歌（東近江市）、大野真未（龍谷大学）、北野信彦（龍谷大学）
◯Takashi YAMADA (Ryukoku University), Sumika ISHIKAWA （Higashiomi-City）, Manami OONO (Ryukoku University), Nobuhiko KITANO (Ryukoku University)

はじめに

建築物の赤色塗装や絵画の赤色顔料である鉛丹は、橙色に赤みや黄みの違いが認識されてきた。彩色顔料が鉛丹である推定は、蛍光 X 線分析による鉛の検出をもって行われている。赤橙色や黄橙色の鉛丹は彩色部分の色合いにより選択され、建築彩色に用いられた顔料を記述した文献では丹や光明丹として記述されてきた。現在の建築彩色においては嵩高鉛丹（赤橙色鉛丹）が一般的に使用されている。今回、鉛丹製造社への聞き取りと、走査型顕微鏡観察や X 線回折分析、鉛丹を呈色材として用いた油性塗料の未硬化成分滲出評価により、製造方法による鉛丹の違いが明らかになったので報告する。

１.嵩高鉛丹と光明丹

嵩高鉛丹と光明丹は同じ四酸化三鉛（Pb_3O_4）であるが、色味が赤みと黄みをもつ橙色とに視認できる違いがあり、従来から製造方法と粒子径が異なるとされてきた。今回、鉛丹製造社へ聞き取りを行い製造方法の違いを確認すると、嵩高鉛丹は鉛に炭酸を吹き込み作製した鉛白を焼成し粉末としたものであったのに対して、光明丹は鉛と亜鉛鉱石から作製した鉛ペレットをクラッシャーにて粉末化し、６～７００℃で焼成したものであった。製造原料や焼成温度に起因した科学的な違いが嵩高鉛丹と光明丹にあり得ると考え調査した。

２．嵩高鉛丹と光明丹の科学的な違いについて

嵩高鉛丹と光明丹の結晶構造の違いを走査型顕微鏡（以下 SEM）と X 線回折分析（以下 XRD）から調査した。また、製造方法の聞き取りは未実施であるが、岩絵具として市販される丹を比較した。なお、高林らにより、江戸後期の鉛丹には四酸化三鉛（Pb_3O_4）と酸化鉛（β-PbO）が混入し、酸化鉛が多いほうが黒色化しやすいと報告されている[(1)]。

SEM 画像から、嵩高鉛丹と丹は六角柱形状を含むが、光明丹は粒状結晶や結晶の凝集体であった。また、嵩高鉛丹と丹は３μｍより大きな結晶粒が観察されるが、光明丹は３μｍを超える結晶は観察されなかった。よって、製造方法の違いによって、結晶の径だけでなく、形状も異なることが分かった（図 1）。

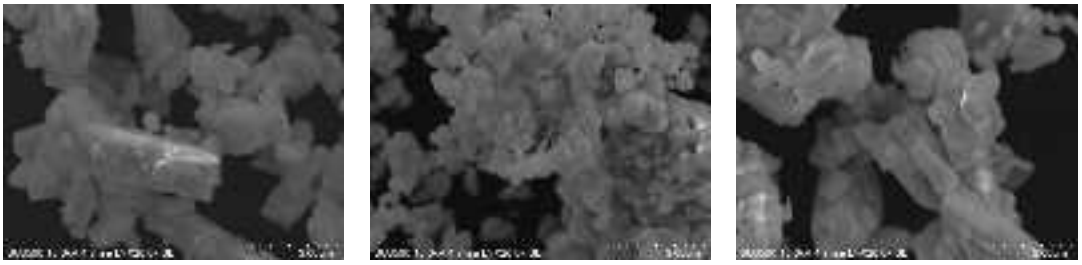


図 1. 左から嵩高鉛丹、光明丹、丹の SEM 画像(Hitachi SU3500：画像幅 10μm)

XRD スペクトルパターン（2θ＝28.6, 32.0）に違いが観察された（図 2)。SEM 画像で観察された結晶構造の違いが影響している可能性もあり更なる検討が必要であるが、光明丹と比較し、嵩高鉛丹と丹は四酸化三鉛（Minium）と酸化鉛(Litharge)を加算したパターンに類似していた。

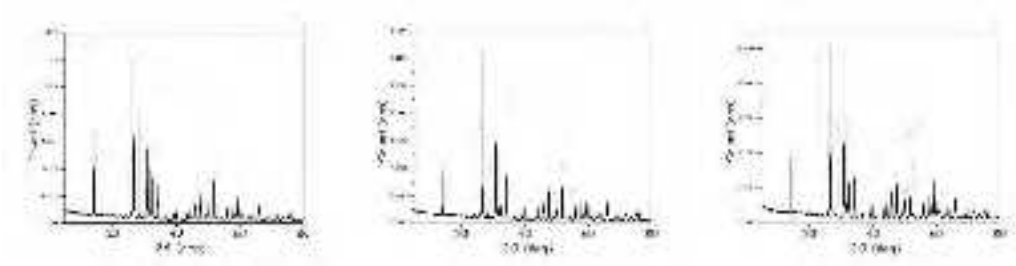


図 2. 左から嵩高鉛丹、光明丹、丹の XRD 結果（Rigaku MiniFlex600,Cu 管球,40 kv,15 mA）

３．嵩高鉛丹と光明丹による油性塗料の硬化の違い

嵩高鉛丹と光明丹を呈色材として用いた油性塗料（桐油と荏油に松脂と密陀僧を加えて加熱したもの）の未硬化成分滲出評価を実施した。油性塗料をヒノキ材へ塗布したところ嵩高鉛丹を含む油性塗料の硬化が遅く、紙片付着試験において紙片落下に要する時間も長かった。塗布後の塗膜表面では嵩高鉛丹を使用した塗膜面が光明丹を使用した塗膜面より光沢を生じた。

４．まとめと今後の課題

これまで SEM 画像では違いがないとされてきた鉛丹であるが、鉛白から製造した鉛丹と鉛鉱石から製造した鉛丹には結晶構造に違いがあることが分かった。本報告で取り上げた鉛丹は現在修理に使用される鉛丹であり、今後、過去に使用された鉛丹の SEM 画像や XRD 結果を蓄積することで、製造方法による鉛丹の違いについて知見を蓄積していきたい。

謝辞

鉛丹の製造方法について非常に有益な情報を提供いただいたＮＩケミテック株式会社 林隆夫氏に厚く御礼申し上げます。

（1）高林弘実、北田正弘、辻本勝浩、「江戸時代後期木版画に使われた鉛丹の変色と化学組成の変化」、『日本金属学会誌』第 69 巻、第 7 号、538-543

備前焼中世古窯復元窯における内部温度の時間変化

Temperature Changes in Reconstructed Old-type Bizen Earthenware Kiln

◯畠山唯達（岡山理科大）、平川忠、赤井夕希子（備前焼平川忠工房）、足立達朗、加藤千恵（九州大）
◯Tadahiro HATAKEYAMA (Okayama University of Science), Tadashi HIRAKAWA, Yukiko AKAI (Hirakawa Studio), Tatsuro ADACHI, Chie KATO (Kyushu University)

1. はじめに

土師器・須恵器以降、陶質土器の製作過程で窯を用いるようになった結果、品質が向上し、大量生産と安定供給が行われるようになった。日本国内で数多の土器窯跡が発掘調査されてきたが、土器の製作過程とその進化については、とくに窯内における焼成環境の推定にはまだまだ未解明の問題が多い。我々は、土器焼成環境の理解を進めるために、基礎的なデータを取得し解析することを目的とし、備前焼の復元窯に温度計（熱電対）を複数設置し、各部位における温度の変化を測定している。本発表では、初期測定結果の紹介と窯内環境の推定を行う。

2. 備前焼中世古窯復元窯

備前焼は、古代末～中世初頭に備前国邑久窯跡群北方の熊山周辺にて須恵器から進化したと考えられている。両者の最大の違いは還元焔焼成から酸化焔焼成へと工程が変わり、単純な灰～黒の表面色から赤系の表面色に変化したことである。無釉の炻器であることは変わらないものの、表面の色彩や風味に関する工人たちの研究と工夫が続き、現代の多彩で表情豊かな備前焼へと進化してきた。それらを焼成していた窯については、須恵器～備前焼の接続期には大きな変化は見られないものの、のちに横焚き用の穴が追加され、さらに近世～近代にかけて全長30m を超える大窯やレンガを用いた連房式の登り窯へと発展し、生産性が向上した。

岡山県備前市の陶芸家平川忠が行う土窯プロジェクトでは、鎌倉期～室町期初頭の備前焼の復元と洗練を目指し、窯、土、焼成法などの研究を行ってきた。窯については、横焚き用の穴を 2 つ程度備えた直線式の半地下式登り窯を復元し、雑木を中心とした薪材による３～５日間での焼成を行っている。工房内にはこれまでに１号窯（全長約８ｍ）、２号窯（約 4.5m）を作成し「土窯（つちがま）」と名付けた。また、これらに引き続き米国等での土窯築窯とその土地の薪材と土を活かした炻器制作も行ってきた。

3. 新復元窯の築窯と温度測定

2021 年度より経済産業省の伝統的工芸品産業支援補助金制度を利用して、土窯２号を改修し独自の構造的工夫を加えた新土窯（３号）を築窯した。土窯３号は全長が約６ｍと伸び、単純な直線的登り窯ではなく、中央部にくびれを持つ瓢箪型になった（最大部の幅は約 1.5m）。明確な連房ではなく、くびれ部にも作品を置くことができる。2022 年 2 月に竹材の上に土を載せ



図１：焼成時に窯先端から炎が出る様子

た状態で形が完成し、全体を焼き締めるための火入れを行った。その際に煙道部より３本の熱電対を試験的に投入し、温度監視の可能性について確認した。この時は横穴が設定されておらず、前面焚口からの薪投入のみで最高温度はくびれ部分床面での約960℃であった。引き続き、2022 年 3 月に実際に作品を入れた初回焼成が行われ、この際には、合計７か所（床面３か所、側面３か所、天井１か所）に熱電対を設置した。線の太さや取り回しの問題があり、最高温度到達時までに 3 本が、窯焚き終了時までに２本が、冷却時に１本が破断した。2022 年 10～11 月に行われた２回目焼成では、熱電対の太さ、保護管、取り回し、等を改良し、9 か所（床面５か所、側面３か所、天井１か所）に設置をした。３日間の火入れ期間とその後４日間の冷却期間に断線した熱電対はなく、全チャンネルでの測定ができた。

今回の発表では、２回目焼成の熱電対９本（それぞれ１秒値）と窯元による焼成部前後２か所の天井付近の温度計（それぞれ１時間値）、合計 11ch の温度測定結果を紹介する。同時多点観測により窯内の温度分布の３次元構造と熱流の流れについてある程度検討できる結果を得た。結果をもとに予察的な解析を加えて考察を試みる。

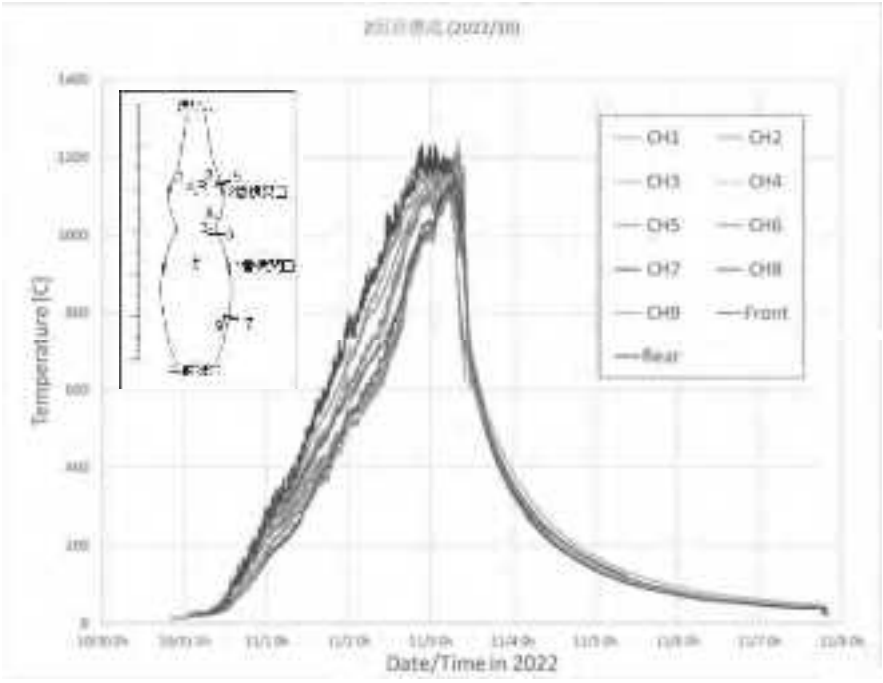


図２：窯内温度計の配置と時間変化の様子

古墳時代刀剣類の保存科学的調査（１）
―吉備塚出土三累環頭大刀の材質―

Conservation Scientific Research of Swords from the Kofun Period (1)
- Material Analysis of the Triple-Ring Pommel Sword from KIBIZUKA Tomb -

○須山貴史（(株)イビソク）、金原裕美子（(一社)文化財科学研究センター）、
青木智史（奈良教育大学）、金原正明（奈良教育大学）
○Takafumi SUYAMA(IBISOKU Co.,ltd.), Yumiko KANEHARA(Cultural assets scientific research center),
Satoshi AOKI(Nara University of Education), Masaaki KANEHRA(Nara University of Education)

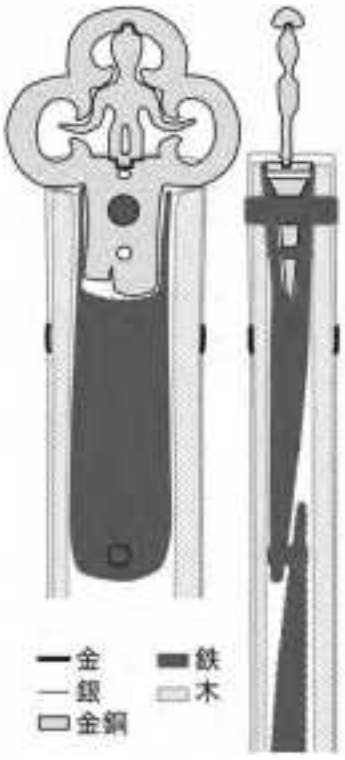
1. 緒言

吉備塚古墳は奈良市の奈良教育大学構内に所在する古墳である。三累環頭大刀、貝装馬具、挂甲、画文帯環状乳神獣鏡などが出土している。三累環頭大刀は環頭内に人物像を配する類例のない形式で、刀身には表裏に人物像（仙人）、龍虎文、植物文の銀象嵌を施すきわめて貴重な資料である。現在この大刀の保存処理を行っており、それに伴う構造調査と象嵌・刀身・刀装具の分析を行った。また柄及び鞘に用いられた樹種を同定したのでここで報告する。

2. 吉備塚出土三累環頭大刀の構造

資料は出土時の調査でＸ線透過撮影されているが、改めてイメージングプレートでデジタル撮影し、構造を精査した。

① **環頭把頭**：金銅製の三累環と人物像は別造りである。上環と　基部の内側に凹みを設け、人物像が頭頂と足元で固定されている。環頭茎部は目釘孔が３か所あるが、中央１孔で固定される。茎部先端はわずかに潰れて広がり、断面はくさび状となる。これを袋状の鉄製茎に挿し込み、木製柄や把筒金まで貫通する鉄製鋲で固定する。なおこの鉄製茎は刀身本体とは別造りであり、柄間で刀身本体が鉄製鋲で連結されていたと考えられる。(PL. 1)



PL. 1

② **柄**：環頭が把筒金に食い込む古式である。把筒金は銀製で断面八角形、キャップ状で蓋板が小口面を塞ぎ、下環の食い込みに接する。金製の双連珠菱形文責金具を伴う。柄間には刻み目の銀線を巻く。柄縁金具は銀製で断面楕円形、端部は玉縁に成形されている。

③ **鞘**：鞘は呑口様式で、柄縁金具に銀製の鞘口金具が重なる。鞘尻金具は断面八角形で鉄地

に銀被せである。先端を蓋板で塞ぐ。蟹目釘は確認できない。鞘口と鞘尻には金製の双連珠菱形文責金具を伴う。鞘は木製で絹織物を伴う。鞘材と鞘尻材で異なる木材が用いられている。佩表には帯状の鞘飾りを施す。金の薄板を下地に銀板を重ねたものと考えられる。銀板には菱形の透かしと円孔、点刻文を施す（PL.2）。



PL.2

④ **刀身**：茎部は破損するが、環頭側の鉄製茎と柄間で鋲留されていたと考えられる。銀象嵌は既知の通り佩表・佩裏に人物像（仙人）、龍虎文、植物文を配する。象嵌線は幅 0.3～0.4㎜ で、剥離部から裏面を観察したところ、断面はU字でタガネ痕の単位はなかった。

3. 材質分析

金属部はハンドヘルド蛍光X線分析計による半定量分析、象嵌は脱落片をSEM-EDXによる半定量分析を行った。また柄・鞘・鞘尻の樹種同定と鞘の塗膜観察を行った。

PL.3 SEM-EDX半定量結果（mass%）

試料No.	測定部位	C 炭素	O 酸素	S 硫黄	Cl 塩素	Fe 鉄	Ag 銀
A2-2	象嵌線上（花形）	ND	ND	0.60	23.84	1.70	73.86

使用機材：SU-3000（日立ハイテクノロジーズ）・Octane Plus（アメテック）

PL.4 樹種同定結果

試料No.	採取部位	樹種
1	柄間	カエデ属
2	鞘	シイ属
3	鞘尻	カエデ属

PL.5 蛍光X線分析半定量結果（mass%）

試料No.	測定部位	Ti チタン	Mn マンガン	Fe 鉄	Cu 銅	Zn 亜鉛	As ヒ素	Ag 銀	Sn スズ	Sb アンチモン	Au 金	Hg 水銀	Pb 鉛	Bi ビスマス	備考
1	象嵌（花形）周辺			64.33	0.22	ND	0.03	**10.30**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	銀製
2	柄間 銀線巻			42.08	0.21	0.11	ND	**35.92**	**3.62**	ND	0.14	0.10	ND	ND	銀製
3	鞘口金具			24.70	0.27	0.03	0.03	**57.70**	**6.02**	ND	0.20	0.54	0.05	0.21	銀製
4	鞘口 責金具			13.04	0.90	0.22	ND	**8.30**	0.86	ND	**39.97**	1.59	ND	ND	金製
5	鞘飾金具 銀装			73.61	**1.17**	0.12	0.01	**10.93**	**1.17**	ND	**1.18**	0.37	0.01	0.01	銀製
6	鞘飾金具 金装			5.67	0.30	ND	ND	**2.35**	0.25	ND	**26.50**	ND	ND	ND	金製
7	刀身鉄地露出部	ND	ND	**96.56**	0.00	ND	ND	ND	ND	ND	0.00	ND	0.02	ND	鉄製
8	環頭 鉄茎 目釘	0.08	0.01	**97.60**	0.16	0.01	ND	0.06	0.01	ND	0.00	0.01	0.01	ND	鉄製
9	環頭 鉄茎	0.84	0.06	**92.96**	0.34	0.08	ND	0.28	0.03	ND	ND	0.02	ND	ND	鉄製

使用機材：DELTA Professional（オリンパス）およびNiton XL2 Plus（Thermo Scientific）

4. 考察

構造について

環頭の装着方法は一見すると古式だが、一連の刀装具は大谷氏の形式I段階（TK10以前、6世紀第２四半期）に相当し、従来の遺構年代観と一致する。把筒金と責金具は珠城山１号墳出土三葉環頭大刀と酷似し、鞘飾りは武寧王陵出土単鳳環頭大刀に近い意匠である。また再調査により、大刀と環頭が柄間で別造りの鉄茎を介する点など、新たな知見が得られた。刀身の象嵌は５世紀後半の意匠とする山岸氏の美術史学的見解とともにさらなる検討を要する。

材質について

今回の分析結果は一部にとどまるが、銀装は銀 Ag を主成分にわずかにスズ Sn や銅 Cu を検出した。金装は金 Au に銀 Ag を少量含む。象嵌線は劣化により塩化物が析出しているが、純銀が用いられていると考えられる。木質は柄間と鞘尻にはカエデ属、鞘にはシイ属が用いられていた。カエデ属は布留遺跡の刀把、シイ属は藤ノ木古墳の大刀鞘などの類例がある。

今後は保存処理作業を継続するとともに、本資料の位置付けについて考察を深めたい。

富貴寺大堂外陣北壁画断片の自然科学的調査

Scientific Reserch on Mural Painting the north side of the gejin in Fukiji Temple Odo Hall

○荻山琴美（大分県教育委員会）、玉川剛司（別府大学）
○Kotomi OGIYAMA(Oita Prefecture, Board of Education),Tsuyoshi TAMAGAWA (Beppu University)

１．資料の概要

富貴寺は大分県豊後高田市大字蕗にある寺院で、宇佐大宮司家の祈願所として 12 世紀後半に建立されたと考えられている。中でも大堂は、阿弥陀如来を本尊として建てられた九州最古の木造建築で、大堂内の壁や柱には極彩色で極楽浄土の世界が描かれている。大堂壁画は昭和 53 年（1978）に重要文化財に指定されている。今回調査の対象としたのは大分県立歴史博物館（以下博物館とする）所蔵の富貴寺大堂外陣北壁画断片である。本資料は弥勒浄土図が描かれる外陣北小壁の一部とみられ、現地には中央の約２ｍが残る。縦 29.5 ㎝、横 123.2 ㎝、厚さ 2.5 ～4.8 ㎝の本資料には、音声菩薩８躰と舞踊菩薩２躰、供養菩薩１躰が描かれている。

２．調査の方法

今回の調査では、顕微鏡観察、赤外線写真撮影法、蛍光Ｘ線分析法（ＸＲＦ）、Ｘ線透過撮影法を用いた。実体顕微鏡観察では Nikon SMZ-10 をフレックスアームに取り付け観察した。赤外線撮影には SONY Cyber-shot を使用（NIGHT SHOT モード/富士フイルム光吸収・赤外線透過フィルター（IR78）をレンズに取り付け撮影）。ＸＲＦは別府大学の OLYMPUS ハンドヘルド蛍光 Ｘ線分析計 DELTA Professional DPO-4000-cc を使用した（Ｘ線管球：Ta/測定モード：Soil Mode（固定）/管電圧・管電流：40 kV・100 μA（Beam1、Beam2）15 kV・200 μA （Beam3）/測定時間：90 秒/Ｘ線照射径（接射）：φ3 ㎜/装置先端から資料までの距離：約１ ㎜）。今回は比重の重い顔料についてＸＲＦのポイント測定に加え、面的な使用を検証するために博物館のリガク社製 Radioflex-200EGS-2 硬Ｘ線照射装置を用いて、Ｘ線透過撮影を実験的に試みた（70 kV（最低電圧）・5 mA（固定）/照射時間：4 秒間/照射距離：50 ㎝/Ｘ線フイルム：富士フイルム社製 IX100）。

３．調査の結果と考察

ＸＲＦでは全体的に約 500 counts/秒の強度で Br（臭素）の検出が確認されたが、過去の燻蒸薬剤中の Br が残留したものと考えられるため、今回は色料由来ではないと判断した。

【白色下地について】赤外線写真において図像の描写がないことを確認した白色箇所を、ＸＲＦで数箇所測定した。その結果、軽元素の検出がわずかに確認できるのみで Pb の検出はないことから、下地に鉛白（$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$）を使用した可能性は低いと考える。また鉛白以外の白色系顔料としては胡粉（$CaCO_3$）と白土（$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$）が挙げられるが、Ca の強い検出がな

いことから、白土使用の可能性が高まる。しかし白土の使用については、今回の調査では判断ができない。軽元素の検出が可能なＸＲＦ装置やＸ線回折分析等での更なる調査が必要と考える。

【赤色色料について】本資料は全体的に彩色面が暗く、現状において色が視認できる箇所が少ない。その中で鮮明な赤色と、黄色を帯びた赤色（橙色）の２種類の赤色を確認することができる。鮮明な赤色を呈す菩薩の元結紐［もとゆいひも］や琵琶を弾く音声菩薩の衣に残る鮮明な赤色は、ＸＲＦでHg（水銀）が検出されたことから、水銀朱（HgS）が用いられたと推測する。また琴を弾く音声菩薩の衣は、やや黄色を帯びた赤色（橙色）を残す箇所が確認でき、ＸＲＦで Pb が検出されることから、鉛丹（Pb_3O_4）の使用が推測される。臙脂などの染料の使用については、可視分光分析等の調査が必要である。

【鉛丹の黒色化の可能性について】本資料において、現状で黒色を呈す菩薩像の着衣や頭光、太鼓側面など、多くの箇所からＸＲＦで Pb の強い検出がみられた。該当箇所の顕微鏡観察においては、黒色層の下に黄味を帯びた赤色（橙色）粒子を確認している。Ｘ線透過撮影では、琴を弾く音声菩薩の袖はやや白く（やや不透過）写り、太鼓側面は白く（不透過）写ることから、共に比重の大きい顔料が塗られていることが分かる。そして前述の通り下地に鉛白が存在するとは考えにくいことからも、この黒色層については鉛丹の変色の可能性を考えている。鉛丹は変色しやすい色料として知られ、文化財資料における事例報告もある[1)]。鉛丹中には赤色の鉛酸化物である Pb_3O_4 および黄色の鉛酸化物の β-Pb0 が混在しており、これらは黒色に変色する[2)]。本資料の黒色層について現段階で鉛丹の黒色化と断定することはできないが、今後、Ｘ線回折分析による同定を実施することで、新たな知見が得られると考える。

今回の調査結果のみで壁画に使われた色料の全貌を知ることはできないが、これまでに科学的調査の報告が少ない富貴寺大堂壁画について、本調査では貴重なデータが得られたと考える。また、富貴寺大堂壁画について今後さらなる調査が必要であると思われる。

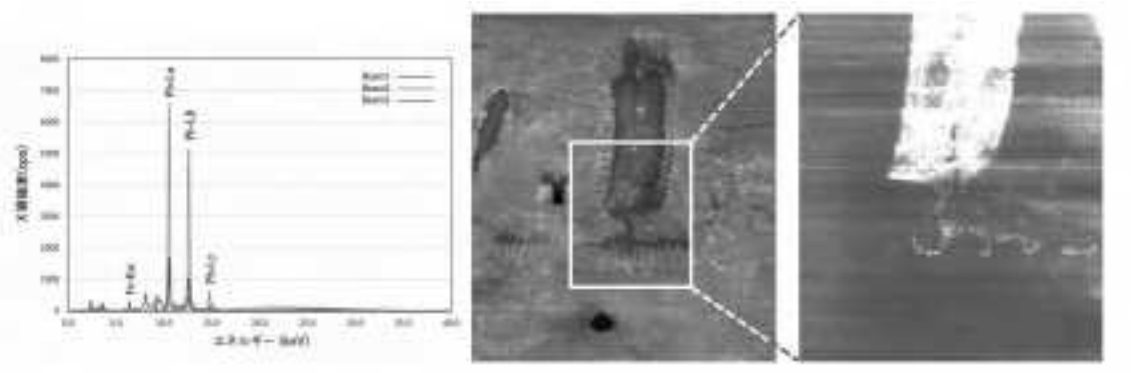


図１　太鼓側面 黒色部（左：ＸＲＦスペクトル、中：可視光写真、右：Ｘ線透過画像）

註
1)朽津信明 1997 「鉛丹の変色に関する鉱物学的考察」『保存科学』 36 pp. 58-66
2)高林弘実、北田正弘、辻本勝浩 2005 「江戸時代後期の木版画に使われた鉛丹の変色と科学組織の変化」『日本金属学会誌』 第 69 巻 第 7 号 pp. 538-543

主要参考文献
藤征司郎 2002 『顔料の事典』 朝倉書店
大分県立歴史博物館 2004 「壁画再現-富貴寺大堂壁画の復元-」明治印刷株式会社
大分県立歴史博物館 2011 開館 30 周年記念特別展『仏さまの“ひみつ”』 pp. 50-51
早川泰弘、松島朝秀、三浦定俊 2006 「根津美術館所蔵燕子花図屏風のＸ線分析」『保存科学』45 pp. 157-166

北部九州における古代の玉石材に関する新たな知見
New Findings on Ancient Gemstone Materials in Northern Kyushu

○比佐陽一郎（奈良大学）、小林啓（九州歴史資料館）
○Yoichiro HISA (Nara University)、Akira KOBAYASHI（Kyushu Historical Museum）

１．はじめに

縄文時代以降に本格的となる石製装身具には、弥生、古墳時代を含め、緑や青といった色調のものが多く用いられている。その中でもよく知られているのがヒスイ輝石（硬玉）で、先行研究では産地分析が行われ、新潟県糸魚川地域の石材が広く全国、更には国外にまで流通していたことが明らかとなっている（藁科 1988）。またクロム白雲母は 2000 年代以降、その存在が明らかとなった石材である。ヒスイ輝石の存在が強かったこともあり、緑と白が混じる色調から肉眼で安易に「ヒスイ」とされていたものの多くが、実際にはクロム白雲母など異なる石材であったことが明らかにされ、玉の石材研究に大きな転換をもたらした（大坪 2015）。

演者はこれまでに福岡市を中心とする北部九州の玉用材について材質分析を行ってきた。その中で、これまで知られていた緑や青系統の石材とは異なる種類の石があり、それが突発的、例外的なものではなく、ある程度まとまって存在する可能性が見えてきたことから、ここにその内容を報告する。

２．調査の方法と石材の概要

石材調査はまず肉眼観察により、その特徴を捉える。次に比重測定を行い、概ねの傾向を把握する。更に蛍光 X 線分析による含有元素の確認や、X 線回折による結晶構造の同定を行い、石材種を明らかにする。過去に知られている玉の用材としては、ヒスイ輝石、クロム白雲母、アマゾナイト、碧玉が一般的である。これらの判断根拠については本学会の 25 回大会で概要を示している。

新たに認識した石材は、葉蝋石と緑色石英である。葉蝋石はこれまでに行ってきた調査の中で、福岡市金隈遺跡 1 次調査、久留米市良積遺跡、大宰府政庁跡出土の 3 点を確認した。緑色石英は福岡市西区今宿五郎江遺跡 11 次調査の 1 点である。

３．個別の状況

金隈遺跡は福岡市博多区の丘陵上に広がる弥生時代の甕棺墓群である。玉は 1 次調査の甕棺墓 ST30 の副葬品として出土した。濃い緑色を呈し、平面形は歪んだ楕円形で最大幅 23.7mm、厚さ 11.0mm と比較的大型の部類に属する。良積遺跡は福岡県南部、久留米市北野町に所在する、縄文から鎌倉時代までの大規模集落遺跡である。資料は径 10mm を超える丸玉で、やや青みを帯びた緑色である。周囲の状況から縄文時代後晩期の所産と考えられている。大宰府政庁跡は古代における九州の政治の中心として知られる。資料は 188 次の観世音寺境内地の出土で

ある。色調は濃い緑色であるが、長さ 31mm、太さ 8mm 程の丸棒状で孔は無く、時代や用途は不明である。これらの 3 点は、比重は 2.8 程度の数値を示し、蛍光 X 線分析ではケイ素を主として、アルミニウム、クロム、チタン、カルシウム、鉄のピークが検出され、X 線回折分析では pyrophyllite（葉蝋石）のデータと一致するピークが得られている。

今宿五郎江遺跡は福岡西区の今宿平野に所在する弥生時代後期の環濠集落である。資料は 11 次調査で出土した勾玉であるが、板状を呈し、形も通有のものとは異なる。緑と白が混ざった色調で、一見、硬玉のようにもみえる。比重は 2.38 とかなり低い。蛍光 X 線分析ではケイ素が非常に強く、それ以外ではアルミニウム、カリウム、クロム、鉄などがみられるが、いずれも微弱である。X 線回折分析では Quartz の明瞭なピークが検出され、他のピークはみられない。

４．類例について

葉蝋石は通常、淡黄色や乳白色といった色調で、濃い緑色のものは珍しいとされる。しかし清水慎也氏、大屋道則氏が埼玉県内の石製玉類の X 線回折分析を行った中で、小玉 3 点と垂飾状の資料 1 点は、濃緑色で pyrophyllite とされている（清水、大屋 2005）。

緑色石英は、三澤裕之氏が化学分析も取り入れながら、山形県最上町材木遺跡をはじめとして、秋田、岩手、宮城の東北 4 県で 19 遺跡に事例のあることを示している（三澤 2022）。また演者が調査を行った、熊本県山鹿市三万田東原遺跡で出土した玉の原材料の可能性がある石材も、組成や結晶構造が共通する（比佐 2022）。

現状確認した事例はごく少数ではあるが、先行研究による事例も含めると、これらが突発的、例外的なものではないと考えられるのである。

５．まとめ

今回取り上げた葉蝋石と緑色石英は、九州北部で数例が確認され、その類品が関東、東北に存在している。まだ事例が限られる中で、列島の西端と東や北を直接的に結びつけることには無理があるが、無視できるような特例的存在ではないことも事実と考える。今後、これら石材の認識が広がり調査が進むことで、産地や流通の議論が可能になることを期待したい。

（参考文献）

大坪志子 2015『縄文玉文化の研究－九州ブランドから縄文文化の多様性を探る－』雄山閣

清水慎也、大屋道則 2005「収蔵石製品の鉱物名の同定(1)－平行ビーム法を利用した X 線回折による非破壊での鉱物の同定－」『研究紀要』第 20 号　財団法人　埼玉県埋蔵文化財調査事業団

比佐陽一郎 2022「熊本県三万田東原遺跡出土玉未製品ならびに関連資料の保存科学的調査」『三万田東原遺跡の研究－縄文時代後期後葉の石製装身具製作遺跡－』2017 年度～2021 年度科学研究費補助金基盤研究(B)研究成果報告書　熊本大学埋蔵文化財調査センター

三澤裕之 2022「緑色石英製玉類の生産と流通」『最上地域の縄文時代』山形県立うきたむ風土記の丘考古資料館

藁科哲男 1988「ヒスイの原産地を探る」『古代翡翠文化の謎』新人物往来社

※参考文献は紙幅の関係上、主要なものにとどめている。

大宰府出土ガラスの保存科学的調査
Conservation Scientific investigation of Glass materials Excavated from Dazaifu

◯比佐陽一郎（奈良大学）、遠藤茜（太宰府市教育委員会）、小林啓（九州歴史資料館）
◯Yoichiro HISA (Nara University)、Akane ENDO（Dazaifu city bord of education）Akira KOBAYASHI（Kyushu Historical Museum）

１．はじめに

日本においてガラスは弥生時代に海外から移入され、本格的な使用が始まる。次の古墳時代にかけて墳墓の大量副葬など多くの出土事例が知られている。これらの資料は材質分析や製作技法を含む保存科学的調査研究が行われ、歴史的な意義が明らかにされてきている。

しかし古墳時代の終焉後、一次生産を示す出土資料や文献史料は見られるものの、習俗の変化や墳墓の薄葬化によって出土事例は減少する。このため古代から中世にかけてのガラスは、それ以前の時代に比べて研究が進んでいない現状がある。

そのような状況下で、福岡市の博多遺跡群では古代末～中世前半期における一次生産を含むガラスの生産痕跡が確認されている（比佐 2022）。当該期のガラスの様相を明らかにするため、博多遺跡群の近隣で関係も深い大宰府におけるガラスについて調査を行った。

２．調査対象資料と調査方法

大宰府は古代における九州の政治の中心として知られている。主要部分は国の特別史跡に指定されており、指定地内は福岡県の九州歴史資料館が、そのほかの地域については太宰府市教育委員会などが発掘調査を行っている。

今回は、九州歴史資料館と太宰府市教育委員会が所蔵するガラス製品と生産関係資料 183 点を対象とし、蛍光 X 線分析による材質調査と顕微鏡などを用いた拡大観察による製作技法調査などを行った。

九州歴史資料館所蔵の資料は 43 点で、うち 42 点は観世音寺境内部分の出土資料である。形態別の内訳は、小玉を中心に丸玉や連玉、管玉を含む玉類が 31 点、容器片とみられるものが 11 点、不定形板状品が 1 点である。太宰府市所蔵の 140 点は、大宰府条坊跡のほか、市域内の遺跡で出土した古代～中世の資料も対象としている。このうち、条坊跡 71 次調査出土の 28 点は未報告資料である。小玉を中心とする玉類が 125 点、容器やその破片とみられる板状品が 13 点、不定形塊 1 点のほか、生産用具として坩堝が 1 点ある。

調査機器は福岡市埋蔵文化財センター、九州歴史資料館が所有するものを使用した。

３．調査結果

まず九州歴史資料館所蔵の資料であるが、分析を行った 43 点のうち 9 割を超える 40 点が、

器種に関係なくカリウム鉛ガラスとみられるチャートを示している。残りの３点中２点はソーダ石灰ガラスで、うち１点は組成や形状、製作技法などから古墳時代の資料に類するものと見られる。混入か伝世かについては、今回そこまで調査を行えていない。もう一つのソーダ石灰ガラスは容器とみられる破片であるが、色調が茶褐色透明で、古代～中世の資料にはあまり例がないもので、近現代製品など、後世の混入品の可能性もあるかもしれない。

太宰府市所蔵資料の中で宝満山 11 次調査の資料は、12 世紀中頃～後半の墳墓から出土した小玉の一括資料である。赤色２点、青紺色 46 点、無色 54 点の計 102 点があるが、いずれも形状や製作技法に大きな差異はなく、各色調から 2 点ずつを抽出し分析を行っている。それらも含め大半がカリウム鉛ガラスで、異なる組成はソーダ石灰ガラス（条坊跡 222 次出土、淡紫色半透明の容器片）とカリガラス（条坊跡 71 次出土、青紺色小玉）が各１点のみであった。前者は厚さが１㎜に満たない薄づくりで、材質や色調も合わせると類例を知らない。後者は弥生～古墳時代に見られる資料と差異が見いだせない形状である。また宝満山４次調査出土の坩堝は、博多遺跡群で出土するガラス坩堝の I-a 類とするものと同じで、その存在は知られていたが内容物の分析は今回初めて行った。水注体部の湾曲した内面に溶解したガラスが付着しており、据え置き型の分析装置では作業が行えず、可搬型の装置を使用した。大気環境下で行ったため細かい元素は十分に捉えきれていないが、鉛が明瞭に検出されており、博多出土資料と比較してもカリウム鉛ガラスの溶解に使用したものとみて問題ないと考える。

４．まとめ

大宰府で出土するガラスの材質調査を行った結果、その多くが古代末以降に盛行するカリウム鉛ガラスであった。政庁跡出土の資料では、過去に調査を行った容器片が、鴻臚館跡などで出土するソーダ石灰ガラスと組成や色調が類似するものであったが、今回の調査でそのような資料は見られなかった。概括的な表現ではあるが、大宰府のガラスは、奈良時代的な要素が極めて希薄で、平安末期以降、中世的な要素が強いといえる。

このことは役所としての大宰府の盛衰と連動しないようにも見えるが、周辺の様相とはつながっており、また当時のガラス製品の在り方を考えるうえで示唆的な結果とも捉えることができる。福岡市内でも鴻臚館跡を含め、奈良時代に遡るガラス製品の事例は非常に少ないが、博多遺跡群において 11 世紀後半以降、生産活動を含めてガラス資料の事例が激増する。そして古代末以降のガラスの在り方を研究した井上暁子氏は、仏教や貴族社会との関係を指摘しており（井上 2011）、政庁部分で観世音寺境内にガラス製品が集中することとも符合する。

今後、更なる検討は必要であるが、現状で見る限り大宰府のガラスは「博多」と「仏教」との関りで考えることができるのかもしれない。

（参考文献）

井上暁子 2011「平安時代のガラス関連資料と博多出土ガラス」『GLASS 』55　日本ガラス工芸学会

比佐陽一郎 2022「福岡市博多遺跡群における中世のガラス生産」『九州考古学』第 97 号　九州考古学会

Pyro-GC/MS 法による琥珀の分子構造解析の試み

Attempt to Analyze the Molecular Structure of Amber by Pyro-GC/MS

○植田直見（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 Cultural Property),
Hiroko WATANABE (Nippon Steel Technology, Co.,Ltd)

1. はじめに

出土琥珀の産地推定は赤外分光分析法により、地質学的な標準試料の結果と比較することで実施されてきた。しかし、出土琥珀の劣化や産地による差が見られない試料の存在などで、これまで多くの出土琥珀の産地推定をあきらめてきた。そこで、これらの問題を解決するために熱分解-ガスクロマトグラフ/質量分析（Pyro-GC/MS）法による分析を試みた結果、出土琥珀の劣化の影響を排除するための２段階法（350℃、550℃）での測定を実施、決まったマスクロマトグラムのピークパターンを比較することで、赤外分光分析では判断できなかった資料の産地推定が可能となった。しかし、ピークパターンの比較だけでは全ての出土琥珀の産地が推定できないことも分かった。そこで、より精度の高い産地推定に向けて、トータルイオンクロマトグラム（TIC）の結果から琥珀の主成分である高分子化合物を構成する基本骨格となる分子構造を同定する試みを行った。

2. 分析試料・分析方法

今回は国内で最も産出量の多い岩手県久慈市周辺の産出地のうち赤川地区産の琥珀を対象とした。分析は熱分解-ガスクロマトグラフ/質量分析法により行った。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、ヘリウムガス加熱雰囲気下、350℃、550℃の２段階の温度で加熱し、電子衝撃イオン化法（EI 法）により検出した。

3. 結果・考察

久慈市赤川産琥珀の Pyro-GC/MS によるトータルイオンクロマトグラム（TIC）の分析結果を図２に示す。非常に多くのピークが確認され、複雑な分子構造を持つことが分かっているが、これらのピーク１本ずつの同定を試みた結果、全てのピークを同定することはできなかったが多くの化合物の分子構造が同定できた。代表的な化合物を図 2 に示した。今回検討したピーク

の多くは図２に示すように５員環、６員環、７員環およびそれらが縮合した分子構造を持つことが分かった。6 員環が２個縮合した分子構造は、琥珀の主成分であるラブダン型ジテルペン Communic acid（図１）の基本骨格である。図２において、同定できたピークの中で、保持時間が短い領域（７分まで）では多くの直鎖脂肪族炭化水素に加えて

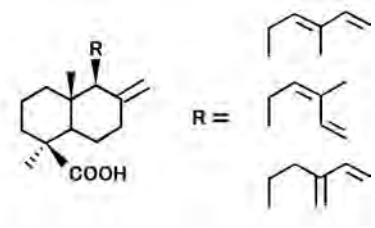


図１. Communic acid の分子式

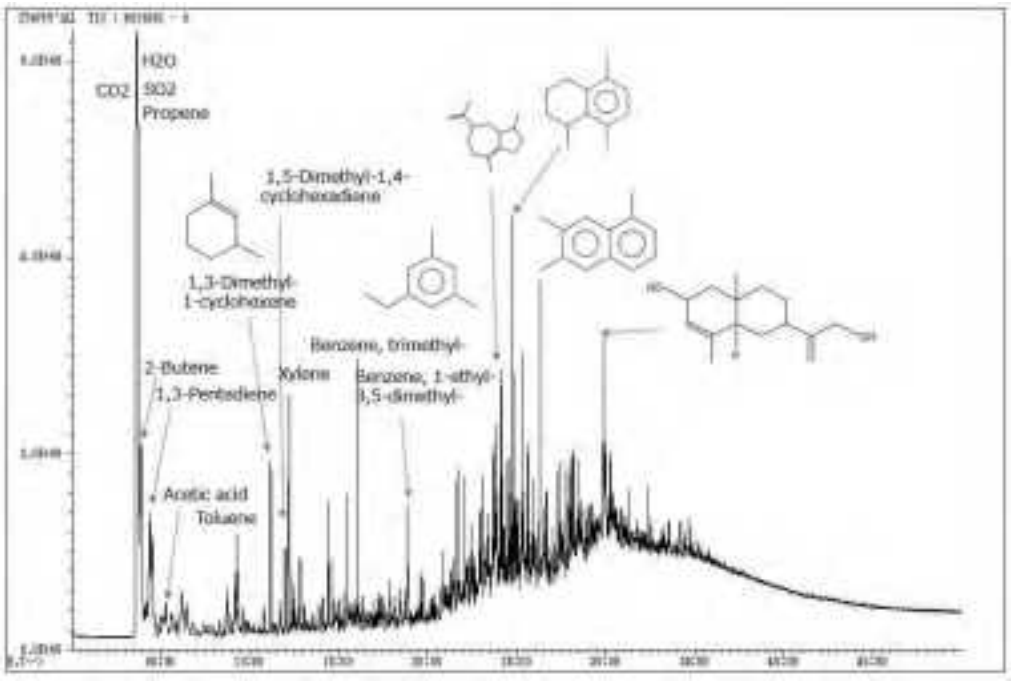


図２．久慈市赤川産琥珀のトータルイオンクロマトグラムと主なピークの帰属

酢酸が検出された。続いて約 23 分までは環式脂肪族炭化水素および芳香族炭化水素の誘導体が、それ以降では主に 2 環式脂肪族炭化水素および縮合芳香族炭化水素が検出された。そのほとんどは炭化水素であるが一部には水酸基やカルボニル基が結合したものも確認できた。その中で今回保持時間の最も長いピーク（29.52 分）として確認できた化合物（図 3）に注目した。他の標準試料（久慈市、いわき市、銚子市産琥珀）についても同様の保持時間付近に検出できるピークを解析した結果、久慈市、いわき市ではそのほとんどが図 3 に示した化合物が検出されたのに対し、銚子市産の琥珀は犬吠埼産の琥珀を除き、ほぼ同じ保持時間にピークは確認されたが、図 3 とは異なる化合物であった。

4. まとめ

今後、これまでに Pyro-GC/MS で分析した標準琥珀および出土琥珀の TIC についても今回と同様な分子構造解析を行い、産地ごとの特徴を掴むことによって、より詳細な産地推定が可能となると考える。

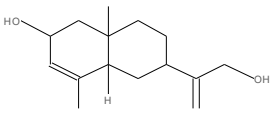


図３．TIC で保持時間 29.52 分のピークとして確認された化合物

常陸中部の外海沿いにおける古墳時代後期の五遺跡で出土したガラス小玉への蛍光 X 線分析

Portable X-ray fluorescence analysis of the glass beads in the five sites of Late Kofun period in Pacific side of Hitachi

○鎌田　涼（筑波大学），谷口陽子（同左）

○Ryo Kamata, Yoko Taniguchi (University of Tsukuba)

1.はじめに

ガラス製遺物は蛍光 X 線分析による元素組成から，産地推定およびそれに基づくタイプ分類の調査が盛んである。分類には軽元素や微量な遷移金属が用いられており，詳細な分類のためには高性能な元素分析ができる分析機器を必要とする場合が多い。しかし，ガラス小玉は出土遺跡が多く，各々の遺跡ごとの出土数も多い傾向にあることから，より簡易的な測定方法でタイプ分類ができれば，全国の分析事例の増加を促進することができる。そこで今回の調査では，世界的に普及している可搬型蛍光 X 線分析を分析機器に採用し，短時間かつ現地での測定によってガラス小玉のタイプ分類をおこなうことを試みた。

今回調査対象とした常陸地域は，装飾古墳や漆仕上土師器の共通性から，現在の熊本県にあたる肥後地域と海を介した流通がおこなわれていた可能性が示唆されている（稲田 2019）。常陸の内陸側に位置する，霞ヶ浦周辺のいわゆる内海側で出土したガラス小玉については，すでに可搬型蛍光 X 線分析による調査がおこなわれており（加藤 2015），そのタイプ分類が明らかになっている。一方，太平洋側で出土したガラス小玉は，一部観察によるタイプ分類がされている遺跡もあるが（大賀 2020），そのほとんどで化学分析がおこなわれていない。そこで今回は，常陸地域の太平洋側に位置する後期古墳，5 遺跡で出土したガラス小玉に対して分析調査を実施した。前期から後期にかけてガラスタイプごとの出土分布の変遷を把握し，肥後地域（熊本県）における先行研究の結果（白瀧 2012）との比較から太平洋を介した流通の可能性を探ることを目的とする。

2.資料と方法

今回の調査では，大平古墳群第一号墳から 8 点，十五郎穴横穴墓群指渋支群 VI 区第 101 号墳から 152 点，磯崎東古墳群磯崎小学校敷地内第一号墳から 37 点，磯崎東古墳群磯崎小学校敷地内第一号石室から 241 点，磯崎東古墳群 1990-1 号墳東側石棺から 26 点の合計 464 点を分析対象とした（図 1：地図）。小玉以外の玉類としては，切子玉や土製小玉も出土している。

本研究では，成分分析に可搬型蛍光 X 線分析（Thermo Fisher Scientific 社製 Niton-XL3t-950s）を適用した。測定時間を検討したところ，60 秒以上では検出限界などの測定結果に影響がなかったため，60 秒で統一した。測定モードは Mining Cu/Zn，定量は FP 法を用いた。また今回のガラス小玉のタイプ分類は村串（2019）および田村（2013）における材質の分類を参考におこなった。しかし，田村（2013）とは使用した装置が異なることから定量値にずれが生じている可能性が高いため，今回は含有量を相対的に比較することでガラスタイプの傾向を捉えた。



図 1. 古墳時代常陸地域水域復元案をもとに作成した調査資料出土遺跡の分布図
（淺野孝利 2023「古墳時代の「常陸の内海」水域復元に関する一試論」,『埋葬施設からみた常陸地域の地域構造』荒井啓太ほか を参考に作成）

3.結果

5 遺跡で出土したガラス小玉を，カリガラス小玉，高アルミナソーダ石灰ガラス小玉，植物灰ガラス小玉，および二次的な製作技法によるガラス小玉に分類した（表 1）。それぞれの原産地について，カリガラスは中国南部からベトナム，高アルミナソーダ石灰ガラス小玉はインドから東南アジア，植物灰ガラス小玉はメソポタミアから中央アジアとされている（Oga・Tamura 2013）。また二次的な製作技法によるガラス小玉は，前述した原産地で一度成形されたガラス小玉やその破損品を鋳型によって再加工したものと考えられており（田村 2013），その外観においては不規則な色むらがみられることから判別をおこなった。

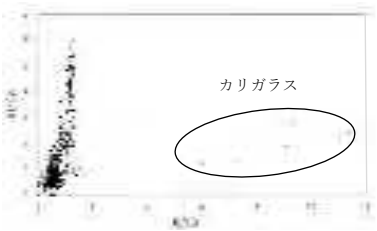


図 2. 測定した資料（464 点）の K/Ca vs. Al/Ca プロット図

今回分析をおこなった 464 点のうち，カリガラスが合計 5 点含まれていた（図 2）。また，磯崎東古墳群の一号石室から出土したガラス小玉のうち 9 割が二次的な製作技法によるガラス小玉であると想定されている（大賀 2020）。分析データを先行研究のデータと比較すると，Al_2O_3 の含有量が少なく（定量値でおよそ 6 wt%以下），K_2O の含有量が多い（定量値でおよそ 1.5 wt%以上）という分布の傾向がみられる。ナトリウムとマグネシウムは Niton の検出限界であることから測定不可であるが，カリウムの含有量が多いことからこれらのガラス小玉は植物灰ガラスを主体としたガラス製品を再加工したことが予想される。

表 1.調査資料の出土遺跡の情報と分析結果

	墳墓	年代	墳形	埋葬施設	調査資料のガラスタイプ（左から出土量の多い順に記載）
1	十五郎六横穴墓群第四支群Y1(正面)1号横	8世紀前半？		横穴墓	高アルミナソーダ石灰ガラス小玉，植物灰ガラス小玉
2	大平古墳群第一号墳	7世紀前半	前方後円墳	横穴式石室	植物灰ガラス小玉，カリガラス小玉（2 点）
3	磯崎東古墳群　磯崎小学校敷地内第一号	7世紀前半	円墳	横穴式石室	高アルミナソーダ石灰ガラス小玉，植物灰ガラス小玉
4	磯崎東古墳群　磯崎小学校敷地内第一号石室	7世紀前半	円墳	横穴式石室	二次的な製作技法によるガラス小玉，カリガラス（2 点）
5	磯崎東古墳群1990-1号墳　東側石室	8世紀前半？		横穴式石室墓	高アルミナソーダ石灰ガラス小玉

4．考察

常陸地域の前期古墳において，加藤（2015）による分析結果の分布を常陸の水域復元案上で概観したところ（図 3），内海沿いおよびその支流沿いの地域でカリガラス小玉が多く出土しており，高アルミナソーダ石灰ガラス小玉は常陸中部で出土している様子がうかがえる。後期古墳については，今回分析をおこなった 5 遺跡に加えて加藤（2015）による甲山古墳および玉里舟塚古墳の分析結果も合わせて分布を確認した。前期古墳でカリガラスおよび高アルミナソーダ石灰ガラス小玉の流通が主流だったのに対し，後期古墳ではカリガラスの流通が途絶え，植物灰ガラスの流通が増加する点において，日本列島における全体的な傾向と一致する。

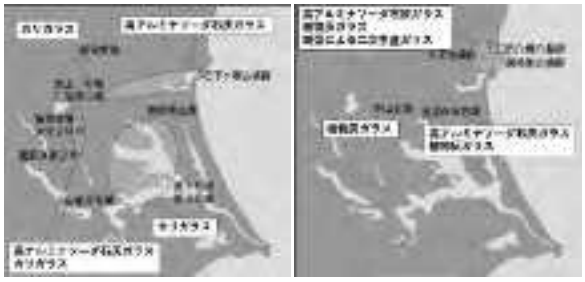


図 3. 常陸出土ガラス小玉の分析結果の分布図
（左：古墳時代前期，右：古墳時代後期）

古墳時代前期では，霞ヶ浦周辺とその北側でそれぞれ明らかなガラスタイプの偏りがみてとれたのに対し，今回調査をおこなった古墳時代後期の 5 遺跡では，分布が密集しているにも限らず，ガラスタイプや製作技法にばらつきがあったことから，ガラス小玉の流通が前期古墳より様々な経路を用いて盛んにおこなわれていたことが予想される。このように想定される流通の様相の違いは，古墳時代の前期後期における時期的差に由来するものであるのか，もしくは霞ヶ浦周辺と太平洋側といった地域的差に由来するものであるか，今後，周辺地域のガラス小玉の分析を進めていくことで明らかにしていきたい。

また，肥後の調査結果と比較したところ，どちらの地域でも古墳時代後期に流通が途絶えていたカリガラスが数点紛れ込んでいた。一方，肥後で出土しているナトロンガラスの出土が，現時点では常陸地域で一点も確認されなかった。ナトロンガラスは弥生時代および古墳時代中期前半において，カリガラスと共に海回りのルートで南アジア以北まで伝来し，中国を経由していくつかのルートで流入してきたと考えられている（田村 2013）。特に古墳時代中期前半では，出土品の類似性から朝鮮半島南部を経由地としたとされている。肥後の中・後期古墳でナトロンガラスが出土したのは，カリガラスと共に流入した搬入品がその時期まで出回っていたためと考えられる。このようにして，肥後の周辺地域ではカリガラス同様ナトロンガラス小玉が植物灰ガラス小玉や高アルミナソーダ石灰ガラス小玉に紛れて数点出回っていたとすると，肥後と常陸の間で交流があった場合，搬送されたガラス小玉のなかにナトロンガラスが混ざる可能性があると考える。しかし，今回の調査では常陸でナトロンガラスの出土が確認できなかったことから，現段階では肥後と常陸の流通があったとは言い切れない結果となった。

参考文献 稲田健一（2019）『装飾古墳と海の交流 虎塚古墳・十五郎穴横穴墓群』p.78-86，加藤千里（2015）『ガラス製品の流通からみた弥生時代・古墳時代における関東の動態―太平洋沿岸地域を中心に―』，修士（人文学），大賀克彦（2020）『埋文だより 52』p.14-18，白瀧絢子，中井泉ほか（2012）『熊本県出土の古代ガラスの考古化学的研究』p.29-52，村串まどか（2019）『非破壊オンサイト分析による日本およびシルクロードの古代ガラスの化学組成と流通に関する研究』p.42,49-50，東京理科大学，博士（理学），田村朋美（2013）『日本出土アルカリ珪酸塩ガラスの考古科学的研究-弥生～古墳時代に流通したガラス小玉の再分類-』京都大学，博士（人間・環境学）p.71-73, p.78-92，Oga, Tamura (2013)"Ancient Japan and the Indian Ocean Interaction Sphere Chemical compositions, chronologies, provenances and Trade Routes of Imported Glass Beads in the Yayoi Kofun Periods(3rd Century BCE 7th Century CE)"

御室仁清窯跡出土陶片の胎土に関する調査

Investigation on the clay of ceramics shards excavated from Ninseis's Omuro kiln site

◯降幡順子（京都国立博物館）、降矢哲男（同左）、尾野善裕（同左）
◯Junko FURIHATA, Tetsuo FURIYA, Yoshihiro ONO (Kyoto National Museum)

1. はじめに

京焼を代表する野々村仁清の御室窯は、「仁清」印が残る陶片が採集された仁和寺門前にその存在が比定されている。ここからの表採資料のうち、京都国立博物館が所蔵する御室窯跡出土陶片を対象に、胎土の化学組成について非破壊調査を実施した。京焼の特徴の一つに当時流行している陶器の模倣がある。出土陶片も多様な胎土が観察できるため、分析データと技法書「陶工必用」記載の名称等を比較検討し、その特徴の抽出を試みたので報告する。

2. 調査資料と分析手法

本調査では、京都国立博物館所蔵の仁清窯跡出土資料のうち 250 点の調査結果について報告する。分析に供した資料一例を図 1 に示す。胎土色調は、灰白色、灰色、暗褐色の資料が多く、大型・厚手のものは水指、小型・薄手のものは茶碗を多く含むものである。

胎土の化学組成は、非破壊による蛍光 X 線分析法でおこない、定量値は標準試料（JRRM121-135 他）を使用して FP 法にて求めた。出来るだけマトリックス部を選択し分析を実施している。測定装置は、アメテック製 EAGLEⅢを使用、測定条件は管電圧 30kV、管電流 1000μA、コリメータφ0.3mm、測定時間 300 秒、ターゲット Rh、真空雰囲気中での測定である。



図 1　分析資料一例（左から、高麗茶碗を模したもの、粒子が多い素焼胎土、暗褐色胎土）

3. 結果と考察

図 2 には、蛍光 X 線分析結果の三角ダイアグラム（Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3）を示す。また表 1 には陶工必用に記載されている土の名称を示し、記載のある場合は、混合比、水簸・篩の別を示す。図 2 から、バラつきはあるが、まずは大きく 3 つに大別する。ここで SiO_2 が少ない資料群は、器種は水指を含む厚手の素地資料で、胎土色は灰白色である。山科石（珪酸分が多い）を混合しないことを反映していると考えると、「大道具土」、「瀬戸くハんにう手土」が候補である

表 1　『陶工必用』「本窯焼土の覚」にみられる名称等

名称	本窯焼土	並白土	五器手土	いらぼ土	大道具土	加らつ手土	瀬戸くへんにう手土	白絵べに皿手土
黒谷土	○水簸	○1斗・水簸	○1斗・水簸	○赤土・1斗・篩	○水簸	○白土+赤土・篩	○上白土・篩	○赤土・水簸+篩
遊行土	—	—	○5升・篩	○5升・篩	○細篩	—	—	—
山科石	○水簸	○3升・水簸	○6升・水簸	○3升・篩	—	—	—	—

が、器種が茶碗ではなく、厚手の資料であることから「大道具土」の蓋然性が高いと考える。次に Fe が多い資料群は、胎土色が暗褐色を呈し、器種は茶碗以外も含む。表 1 から、胎土に赤土を混合する「加らつ手土」、もしくは「いらぼ土」、「白絵べに皿手土」が候補となりうると考える。これらの資料群は SiO_2 量によって、さらに大別できそうであり、今後の検討課題としたい。最後に多くの資料がプロットされた資料群（N）を詳細に検討すると、高麗茶碗を模したと考えられる資料群は、SiO_2 が多い傾向が認められる。高麗茶碗を示す土の名称としては「五器手土」、「いらぼ土」が挙げられる。この二種類の土は、水簸と篩の別があり、さらに山科石の混合比が異なる。高麗茶碗を模したと考えられる資料群の SiO_2 量には差異も認められることから、これらの違いを反映している可能性もある。このように、非破壊分析であっても、記載内容と胎土の化学組成の傾向に、ある程度の特徴を示すことができた。一方、陶工必用の解説とは異なる結果も得られた。「大道具土のこしらえ方」の欄には、乾山の朱書きとして、「水指、花生などに使うのが良い土」とあるが、本調査では、水指・花生の一部は、碗類と分布が重複する。このため、より詳細な器種の検討が必要であると考えており、今後は、御室窯跡出土陶片のうち、碗類底部のような、詳細な分類が可能な陶片を調査し、陶工必用に記載されている名称と非破壊分析結果の相関を明らかにしていきたいと考えている。

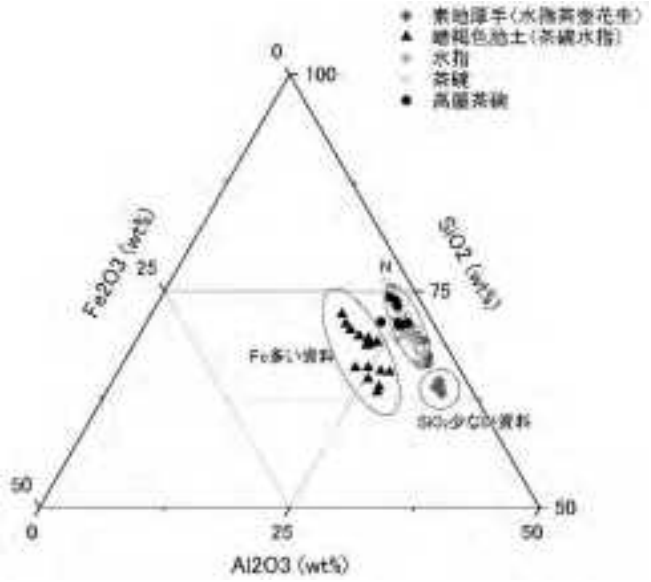


図 2　三角ダイアグラム（Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3）規格化により 3 成分の和が 1 となるように表示

【参考文献】大和文化館『尾形乾山直筆「陶工必用」並解説』, 1964. 田賀井秀夫『乾山陶法の秘伝−入門・乾山自筆「陶工必用」』JED 新書, 1980. 降幡順子・降矢哲男「重要文化財「色絵釘隠（伝野々村仁清）」の胎土・彩色材料に関する研究」『文化財保存修復学会第 44 回研究発表要旨集』2022.

本研究は JSPS 科研費 JP20K01113 の助成を受けたものです。

三次元計測データを用いた木製および陶製瓦当笵の分析

Analysis of Wooden and Ceramic Roof-Tile Molds Using 3D Measurement Data

○中村亜希子（独立研究者）
○Akiko NAKAMURA（Independent Researcher）

1. はじめに

日本の古代瓦の研究は、紋様を施紋した瓦当笵が木製であることを前提に進められてきた。瓦当表面に現れる瓦当笵の劣化痕(笵傷)の進行具合と、笵の彫り直しの状況等から、瓦の生産時期の先後関係を特定する方法が、同笵瓦研究の主な手法となっている。しかし、素材の特質上、これまで遺跡で木製瓦当笵の出土が報告されたことはない。

いっぽう、視野を広げると中国大陸や朝鮮半島では陶製瓦当笵の出土が多数報告されており、同じ紋様の瓦当も出土している。日本でもコジヤ遺跡出土例をはじめ陶製瓦当笵と考えられる遺物が若干数報告されているが、それらで施紋した製品の瓦当が未発見であるため、陶製瓦当笵が使用の過程でどのように変化するかを検討した研究はほとんど存在しない。

本研究では、中国杭州の南宋時代の瓦窯から出土した陶製瓦当笵とその製品、江戸時代後期以降に奈良の藤澤瓦屋で実際に使用された伝世の木製笵および陶製笵について、三次元計測データを使用し、作笵の方法や劣化痕跡の特徴について検討する。

2. 瓦当笵の素材と想定される技法

瓦当笵の素材は木製と陶製以外に、石製や金属製も存在した可能性があるが、ここでは主要な素材である木製と陶製の笵に着目する。木製笵は木板に紋様を下描きし、もしくは下図等を転写し、それに従って彫ったと考えられる。紋様下図を転写した場合、瓦当の紋様分布の一致度は極めて高くなる（石田他 2022;中村他 2022)。陶製笵の場合は、木製笵同様に素材となる粘土板に直接紋様を彫り込んだもの以外に、製品と紋様の凹凸関係が同じ型(母笵)を用いて複数の同紋の陶製笵(子笵)を製作した場合が想定できる。

3. 分析の対象資料と方法

木製笵は、奈良市埋蔵文化財センター所蔵の藤澤瓦屋の伝世瓦当笵 13 点、陶製笵は、同藤澤瓦屋の伝世瓦当笵 9 点に加え、東京大学駒場博物館が所蔵する中国浙江省杭州所在の南宋時代の瓦生産遺跡と考えられる石塔頭出土の瓦当笵 3 点と、同遺跡出土の製品の瓦当 13 点を対象とした(東京大学美術博物館 2010)。

これら資料は SfM-MVS の手法によって三次元計測後、ソフト CloudCompare を用いて三次元モデルの一致度を分析した。SfM-MVS のソフトは Agisoft 社の Metashape pro(ver.2.0)を用い、

同笵の比較には深度マップ(品質：最高)から生成したメッシュデータを使用した。写真撮影にはカメラ OM SYSTEM OM-1(オリンパス社)にマクロレンズ(30mm F3.5 Macro)を装着した。

4. 観察と分析の所見

木製笵について、従来の研究では、同笵瓦当の紋様に対して裏面の丸瓦の接合位置に規則性が認められる場合、瓦当笵の形は方形ないしは長方形であると考えられてきた。しかし、伝世品の木製瓦当笵はすべて円形であり、ほぼすべてに天地を示す刻み目や釘が打たれていた。また、一木造りの笵は１点のみであり、多くは紋様部分と外側の周縁部分を別造りにし嵌め込んだ笵であることが判明した。周縁部分が劣化した際に、紋様部分を取り外して再利用するための工夫と考えられる。劣化痕については、前稿(中村他 2022;石田他 2022)で指摘した瓦当表面の木目に沿った細い笵傷や珠紋間に生じる笵傷等が、実際の木製笵においても確認できた。

陶製笵については、藤澤瓦屋の伝世品に、乾燥した粘土板を彫り込んで作笵した母笵と、それを押捺することで製作したと考えられる複数の子笵と考えられるものの存在を確認した。さらに、南宋の小型の陶製笵には、中型の製品の瓦当を踏み返して作笵された可能性が高いものが存在することも判明した（右図)。

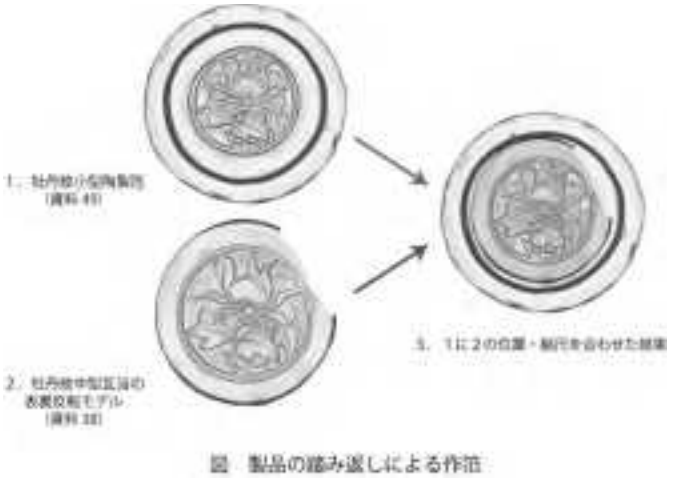


図　製品の踏み返しによる作笵

5. おわりに

日本古代の瓦当には、同笵とされる瓦が多数出土するものの、目立った笵傷等が確認されない型式が存在する。藤澤瓦屋の伝世陶製笵や中国南宋の陶製笵に母笵・子笵が存在すること、製品の踏み返しによる作笵が行われた可能性が高いことを考えると、今後は陶製笵の使用の可能性も考慮して日本の古代瓦の同笵関係を検討していく必要があると考える。

【謝辞】

本研究を遂行するにあたり、東京大学駒場博物館の折茂克哉氏と、奈良市埋蔵文化財センターの原田憲二郎氏には多大なるご協力を賜った。記して謝意を表したい。

本研究は公益財団法人髙梨学術奨励基金令和４年度若手研究助成「型の検討を通した東アジア古代瓦の量産体制化の解明」の助成を受けておこなった研究成果の一部である。

【引用文献】

石田由紀子他 2022「変形忍冬唐草文軒平瓦 6647C の再検討」『奈文研論叢』(3)、pp. 133-152

東京大学総合文化研究科・教養学部 美術博物館 2010『東京大学総合文化研究科・教養学部 美術博物館資料集 4-米内山庸夫コレクション（瓦）-』

中村亜希子他 2022「「瓦様」と瓦笵」『奈文研論叢』(3)、pp. 1 - 37

岩石学的手法による埴輪の原材料および焼成温度の推測
:作山古墳・天狗山古墳の例

Raw material and firing temperature of Haniwa ware from Sakuzan and Tenguyama Kofun Tumuli: A petrological case study

戸田悠貴（岡山大学）、○野坂俊夫（同左）、杉浦香菜子（同左）、木村理（同左）、
野﨑貴博（同左）、清家章（同左）
Yuki TODA, ○Toshio NOZAKA, Kanako SUGIURA, Osamu KIMURA,
Takahiro NOZAKI, Akira SEIKE (Okayama University)

１．はじめに

埴輪などの土器質考古資料の多くは珪酸塩鉱物を主材料としており、その理化学的分析には岩石学的手法が有効である。野坂ほか(2022:日本文化財科学会第 39 回大会)では、吉備地方の造山古墳、岩田 3 号墳、宮山 4 号墳、森山古墳、二万大塚古墳から出土した埴輪片の岩石学的分析を行い、胎土材料の産地と焼成温度を推定した。本研究では作山古墳(5 世紀前半)および天狗山古墳(5 世紀後半)に産する埴輪片試料について同様の分析を行い、近隣の古墳に産する埴輪と比較した。

２．分析試料と方法

分析した試料は円筒埴輪の一部と考えられる破片 7 点(作山古墳から 3 点、天狗山古墳から 4 点)である。それらは茶褐色から赤褐色で土師質だが、切断する際には試料ごとに硬度(破壊強度)が様々であることが定性的に確認された。各試料から数センチ角を切り出し、その一部をスライドガラスに貼り付けて研磨薄片を作製し、残りを粉末にした。研磨薄片については偏光顕微鏡で観察した後に、電子線マイクロアナライザー(EPMA)を用いて反射電子線像の観察と鉱物化学組成の定量分析を行った。粉末試料の一部は X 線回折装置(XRD)による鉱物量比の半定量分析に供し、一部は融解してガラスビードを作製し、波長分散型蛍光 X 線分析装置(XRF)によるバルク化学組成分析に供した。

３．結果

観察・分析の結果、主に以下のことが明らかになった。

偏光顕微鏡・反射電子線像観察:① 作山古墳の試料 3 点全てにおいて、粘土鉱物を主体とするマトリックス中に石英、斜長石、アルカリ長石、火山ガラス、および花崗岩の破片が含まれている。また、3 点中 1 点のみに角閃石が含まれ、他 1 点のみに白雲母、黒雲母、緑簾石が含まれる。② 天狗山古墳の試料 4 点全てにおいて、粘土鉱物を主体とするマトリックス中に石英、斜長石、アルカリ長石、白雲母、火山ガラス、および花崗岩の破片が含まれている。中には角閃石と黒雲母、泥岩の破片が含まれている試料もある。③ いずれの試料においても、鉱物片のうち粗粒な石英と長石の量比と粒径は花崗

岩類と類似している。④ 角閃石は独立した単結晶粒子の破片として存在しており、岩片には含まれない。⑤ 火山ガラスは微小だが個数は多く、広域テフラでよく見られるバブルウォール型の形状を持つものが多い。⑥ 作山古墳の試料のうち 1 点ではアルカリ長石結晶の周縁がガラス化している。

XRD 分析: 全試料において、顕微鏡で確認した鉱物に加えて少量のジルコンが検出された。

XRF 分析: ① 多くの試料のバルクシリカ含有量は花崗閃緑岩～花崗岩と類似している。② 天狗山古墳の FeO/MgO 比と $Na_2O + K_2O$ 値は、いずれもシリカの増加に伴って単調に増加しているが、近隣の二万大塚古墳産埴輪の示す増加トレンドとは異なっている。

EPMA 分析: ① 角閃石の Mg/(Mg + Fe)比はすべての試料で 0.6 より大きい。これは古墳周辺の花崗岩の値より大きく、三瓶山起源のテフラの角閃石の値と類似している。② カリ長石の組成は全ての試料において、近隣の花崗岩類中のものと類似している。③ 斜長石は曹長石および中性長石に近い組成のもの 2 種類が存在する。中性の斜長石はすべての試料で存在し、組成は三瓶山テフラやその他の広域テフラ中の斜長石と類似している。④ 火山ガラスの組成は、姶良－丹沢テフラに類似したものと鬼界アカホヤテフラに類似したものの 2 種類があり、両者ともほぼ全試料に含まれている。⑤ 作山古墳の試料に産するカリ長石結晶周縁のガラス化した部分は、ガラス化していない部分に比べて Ca、Na、K に乏しく、Mg、Fe に富んでいる。⑥ 花崗岩類破片中の白雲母は泥岩破片中の白雲母よりも Fe 含有量が多い。また、花崗岩破片中の白雲母の Fe 含有量は Al/Si 比の増加に伴って短調に減少するが、泥岩破片中の白雲母にはそのような傾向は見られない。

4. 考察

分析結果より、作山古墳と天狗山古墳の埴輪は花崗岩起源の風化生成物を主原料としていると考えられる。花崗岩類の岩体は各古墳周辺に分布しており、それらが胎土原料の供給源であった可能性が高い。また、いずれの試料も複数の広域テフラが混入しているという共通点がある。しかしながら天狗山古墳と二万大塚古墳の埴輪の組成変化トレンドはマグマの結晶分化作用の違いを示しており、これは古墳ごとに採土場所が異なっていたことを示唆している。つまり、近隣地域で約半世紀程度の年代差であっても、古墳ごとに採土場所は異なっていたと考えられる。さらに作山古墳では試料によって鉱物の種類と量比が変化することから、同一古墳でも採土場所が異なっていた可能性がある。

分析試料によって硬度が異なっており、また長石の溶融が認められる試料と認められない試料があることから、焼成温度にはばらつきがあったとみられる。作山古墳の試料 1 点に産するカリ長石結晶周縁のガラス化した部分とその化学組成は、カリ長石結晶がマトリックスの粘土鉱物と反応しながら溶融したことを示している。長石のソリダス温度を見積もった結果、この試料の焼成温度は 1060～1100℃に達したことが明らかになった。長石の溶融が認められない埴輪は、それ以下の温度で焼成されたものであり、埴輪によって焼成温度にばらつきがあったと考えられる。

謝辞

総社市には分析試料を提供していただいた。

東京国立博物館所蔵カトリック・メダルの金属組成

Metal Composition of Catholic Medals in Tokyo National Museum

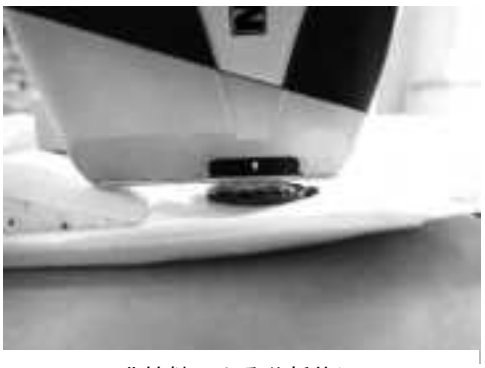
○片多雅樹（長崎県埋蔵文化財センター）、浅野ひとみ（長崎純心大学）、
今野春樹（東京藝術大学）、中島金太郎（長崎国際大学）、
野中昭美（東京国立博物館）、西木政統（同左）、増田政史（同左）
○Masaki KATATA(Nagasaki Prefecture Archaeological Center), Hitomi ASANO(Nagasaki Junshin Catholic Univ.), Haruki IMANO(Tokyo University of Arts), Kintaro NAKAJIMA(Nagasaki International Univ.), Terumi NONAKA, Masanori NISHIKI, Masafumi MASUDA(Tokyo National Museum)

１．はじめに

東京国立博物館所蔵「キリシタン関係遺品」（以下、東博「キリシタン遺品」）は、禁教期に信徒から没収された長崎奉行所旧蔵品を中心とする。開国直前の日本では、いまだ禁教令は続いていたが、1864 年にパリ外国宣教会が長崎にフランス人居留者のために大浦天主堂を建て、翌年、浦上の潜伏キリシタンたちの存在が明らかになると、宣教活動は地下で活発に行われるようになった。その時期に信徒たちに配布されたロザリオ、メダル、スカプラリオのような信仰具は、浦上四番崩れ（1867 年の迫害）、総流配（1868-1870）を経て奉行所の宗門蔵に収蔵されることとなった。本発表で扱うメダルは、この時期にフランスで製作されたものを中心とする。19 世紀フランスでは、フランス革命を経て共和制政府による宗教迫害が続いたが、その間隙を縫うように「聖母の顕現」の奇跡が起きている。東博所蔵品の中には、最初の「不思議のメダイ」（1830）、「ラ・サレットの聖母」（1846）、「ルルドの聖母」（1856）に関連した図像が認められるが、「ポンマンの聖母」（1871）のメダルは含まれていない。従って、これらのメダルが製作されたのは、1860 年頃から 1871 年頃と考えられる。また、形状、金属組成の特徴から、パリ、およびリヨンを始めとする地方の複数の工房が製作にあたったと考えられ、中でも宗教的中心であったパリの愛徳修道会、リヨンの信徒会等の関与が推定される。

２．資料と調査方法

今回は東博「キリシタン遺品」に含まれる 19 世紀製の単体メダルの中で、他館に長期貸出中の一部を除く資料を調査対象都市、それぞれ担当に分かれて計測（寸法、重量）、写真撮影、図柄の観察（解読・記録）、そしてハンディ型蛍光Ｘ線分析装置【BRUKER 社製 TITAN(S1)】を用いて非接触、非破壊で成分分析を実施した。装置の仕様はロジウム(Rh)管球、分析範囲は長軸 8㎜ の楕円形で、検出元素はナトリウム(Na)～ウラン(U)、管電圧 40kV で実施した。



非接触による分析状況

３．結　果



真鍮製（亜鉛 10%前後）
【c916】



真鍮製（亜鉛 30%前後）
【c932】



純亜鉛製
【c967】

調査対象のうち登録番号の異なる 48 点を中心に 89 ポイントに関して分析を実施した結果、大きく 3 グループに分けられることが分かった。

①銅（Cu）濃度が 80～85%で、亜鉛（Zn）濃度が 10%前後の真鍮製【11 点】

②銅（Cu）濃度が 57～69%で、亜鉛（Zn）濃度が 30%前後の真鍮製【34 点】

③銅（Cu）濃度が 1%未満で、亜鉛（Zn）濃度が 97%以上の純亜鉛製【3 点】

４．まとめ

今回の調査では、分析対象としたメダルのほとんどが真鍮製であることがわかり、純亜鉛製の資料が散見される結果となった。真鍮の亜鉛濃度にはある一定の傾向がみられ、亜鉛濃度の高低差から、製作年代あるいは製作工房の違いが推定さる。純亜鉛製のメダルが含まれることも確認されたが、純亜鉛資料の表面は滑らかでなく、また、ヨーロッパ製のメダルには耐久性の低い純亜鉛は用いられないため、打刻製原品をもとに日本で鋳返したものと考えられる。東博「キリシタン遺品」の中には、流配先で没収された信徒手製とみられる「紙製ロザリオ」が含まれるが、メダルもオリジナルから日本で複製を作り、信仰のよりどころを保った可能性があるだろう。フランス本国では、革命に伴う弾圧で一切の信仰具が破却され、現存作例は非常に少ない。また、製作年代が推定できる例はほとんど無いため、東博「キリシタン遺品」は 19 世紀フランスの宗教的高揚を伝える極めて貴重なコレクションと言える。

参考引用文献

1) 神庭信幸・和田浩・土屋裕子・山口俊也・岡泰正・歌田眞介・坂本満2004「東京国立博物館所蔵キリシタン遺物メダイの製作地及び製作年代に関する調査」『文化財保存修復学会第26回大会要旨集』

2) 稗田優生・浅野ひとみ2018「バチカン図書館所蔵メダルの金属組成」『日本文化財科学会第35回大会研究発表要旨集』

3) 石川優生・浅野ひとみ・片多雅樹・後藤晃一2019「キリシタン信仰具の金属組成」『東アジア文化遺産保存国際シンポジウム2019（韓国大田大会）研究発表要旨集』

※本発表は JSPS 科研費 JP12345678 の研究成果の一部である。

中央アジア ソグディアナの植物利用

―カフィル・カラ遺跡シタデル出土炭化木材の調査から―

Use of Plants in Sogdiana of Central Asia: Investigation of Carbonized Wood Excavated from the Citadel of Kafir-Kala

◯村上智見（北海道大学）、渡邊陽子（同左）、ベグマトフ・アリシェル（ニューヨーク大学）、ベルディムロドフ・アムリディン（サマルカンド考古学研究所）、ボゴモロフ・ゲンナディ（同左）、寺村裕史（国立民族学博物館）、宇野隆夫（帝塚山大学）

◯Tomomi MURAKAMI (Hokkaido University), Yoko WATANABE (Hokkaido University), Alisher Begmatov (Ner York University), Amridhin BERDIMRODOV (Samarkand Archaeological Institute), Gennady BOGOMOLOV (Samarkand Archaeological Institute), Hirofumi TERAMURA (National Museum of Ethnology), Takao UNO (Tezukayama University)

1. はじめに

日本・ウズベキスタン共同調査隊が実施するカフィル・カラ遺跡シタデルの発掘調査では、多数の木製品が炭化した状態で出土している。本稿では 2018 年度までに出土した木製品の樹種同定を実施し、当該地域における植物利用について考察した。

2. 資料について

カフィル・カラ遺跡のシタデル（城）から出土した 17 点の試料について樹種同定を実施した。試料は 8 世紀初頭のイスラーム勢力の攻撃により、完全に炭化し激しく損傷した状態で出土した。用途は建物の柱や柱礎、梁などに用いられたと考えられる建築材、家具、ゾロアスター教の木彫板などであり、用途不明の加工された木材も含まれる。

3. 調査方法

炭化試料から、木口面、柾目面、板目面観察用の小片を切り出し、SEM 用試料台に導電性接着剤で固定し、金・パラジウムをコーティングして導電性を付与した。その後、走査型電子顕微鏡（JSM5310LV, JEOL, Tokyo）を用いて３断面の観察を行い、樹種識別を行った。樹種同定は渡邉が、用途考察は村上が担当した。

4. 結果

17 点の試料を観察した結果、ヤマナラシ属、ヤナギ属、トネリコ属、ヌルデ属、散孔材の 5

種類と単子葉植物を確認することができた。中でも建築材にはヤマナラシ属が多く用いられていることが分かった。木彫板もヤマナラシ属であり、大きな一枚板が得やすく彫刻しやすい材が選択されたとみられる。一方で家具とみられる資料にはヤナギ属が用いられていた。建築材にヤマナラシ属が多く使用されている点、屋根材には単子葉植物が葺かれている点など、今日のウズベキスタンの伝統建築に共通点がみられた。一方で、木彫板や宝飾品類などが出土したカフィル・カラ遺跡シタデルにおいて最も重要な部屋からは用途不明の小枝類が見つかっており、ヌルデ属、木本植物の根、単子葉植物、広葉樹の稚樹の茎とみられるもの等が確認された。部屋の特殊性から、これらの資料はゾロアスター教の儀式に関連するものである可能性もある。今後も当該遺跡出土木製品の分析を重ね、当該遺跡における植物利用の実態を明らかにしていきたい。

本調査は高梨学術奨励基金若手研究助成(2019,2020 年度)および日本学術振興会科学研究費補助金(19K13397)の交付を受けて実施した。



図 1　ゾロアスター教木彫板出土状況

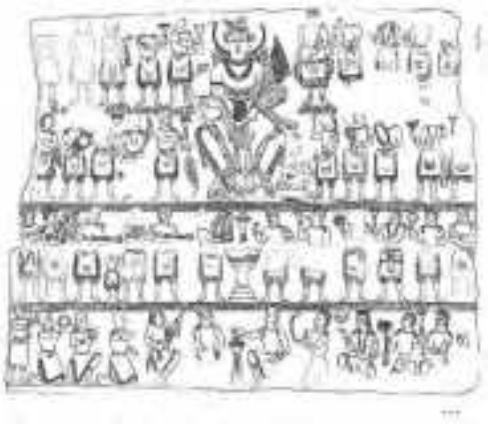


図 2　同木彫板書き起こし図

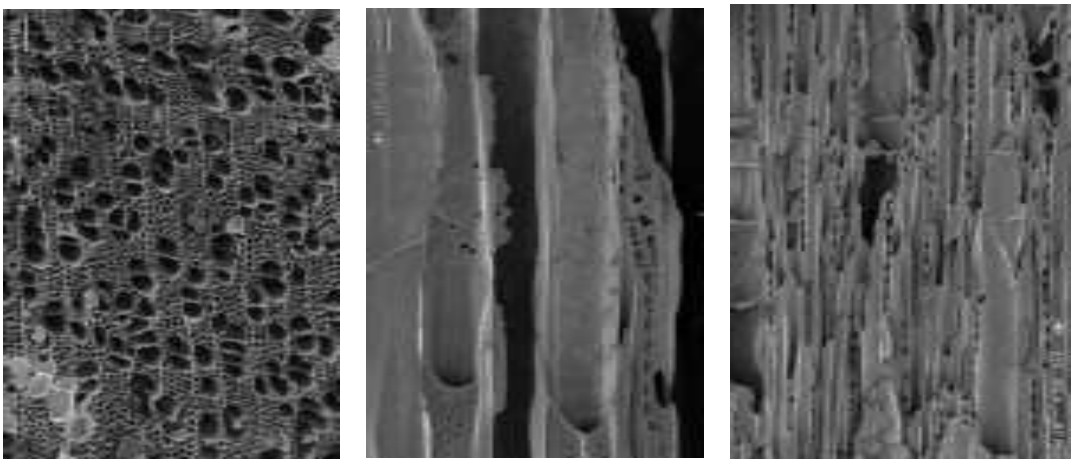


図 3　同木彫板（ヤマナラシ属）　左から小口、柾目、板目

科学分析による金属製アイヌ民族資料「宝刀(イコロ)」の材質及び構造調査

Research on the material and structure of Metal Ainu Artifacts "*Ikoro*" by scientific analysis

○大江克己、竹内隼人、八幡巴絵
(国立アイヌ民族博物館)
○Katsuki OE , Hayato TAKEUCHI , TomoeYAHATA
(National Ainu Museum)

1. はじめに

国立アイヌ民族博物館（以下、当館）は、アイヌ民族の歴史・文化等に関する正しい知識と理解の促進を目的とした博物館である。旧石器時代から現代までを対象に、北海道を中心とした周辺地域との関わりを含めた展示を行い、研究・情報発信の拠点としての役割が求められている。



図１　宝刀外観

アイヌ民族資料は多くの調査研究の蓄積がある一方で目視観察が主であり、科学分析による不可視領域の調査例は少ない。中でも、金属製のアイヌ民族の宝刀(イコロ)は、木製の鞘木や柄木に覆輪や足金具などを付して製作された資料であり、金属部分等の素材や構造に関する調査が実施された事例はほぼない実状がある。アイヌ民族資料をこれまで以上に知るため、当館では科学分析による調査の適応を検討しており、断層観察や元素分析の事例集積を進めている。今回、金属製のアイヌ民族資料の宝刀を対象に材質及び構造調査を実施したので報告する。

2. 使用装置、測定条件

下記の装置を使用し調査を実施した。



図２　装置外観（X 線 CT 装置）



図３　装置外観（蛍光 X 線分析装置）

構造調査　[使用装置] X 線 CT 装置（コメットテクノロジーズ・ジャパン社製 Y.CT Modular)、[測定条件] 管球：ミニフォーカス、電圧：320kV、電流：2.0mA、プロジェクション数：900、インテグレーションタイム：400m/s、資料位置：300mm、FDD：1200mm、フィルター：Al 1.5mm + Cu 0.5mm、拡大率：1.82 倍、空間分解能：0.22mm、画像解析：VOLUME GRAPHICS 社製 VGstudioMAX3.3

材質調査　[使用装置] 蛍光 X 線分析装置(BRUKER 社製 M4 TORNADO PLUS)、[測定条件] 管球：Rh、電圧：50kV、電流：300μA、測定雰囲気：大気中、測定時間：120sec、フィルタ：なし

3. 資料概観

調査対象とした宝刀は当館収蔵品 1 点である。全長約 750mm(柄：194mm)、幅約 40mm・厚さ約 19mm を測る金属製外装を有する宝刀で、腐食により外装全体が黒色化しているが、木製本体に装飾板を配し覆輪や責金具、足金具で固定し装飾していると推測する。鍔が付随していた可能性はあるが現状は付随していない。今は失われているが、かつて多数の俵鋲を付して装飾していたとみられる柄が特徴的な品である。



図４　外観拡大（柄部分）

4. 調査結果

構造調査　柄に焦点を当てX線CTによる構造調査を実施した。図5の断層画像を観察すると、木製本体に短冊着のように装飾板を配し、覆輪で挟み固定している様子が観察できる。覆輪は柄口金具や柄頭金具で固定する構造であり、俵鋲は柄木に打ち込み直に固定している。なお、覆輪がやや表裏に広くなる外観上の違いはあるが鞘も同様の構造であった。

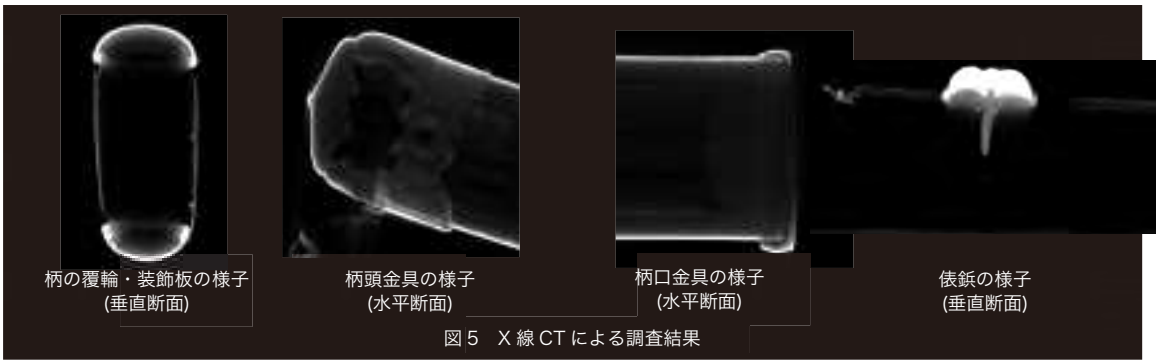


図5　X線CTによる調査結果

材質調査　柄頭金具、鵐目金具、短冊着のように配した柄と鞘の装飾板の元素分析を実施した図 6 に調査結果(一部)を示す。

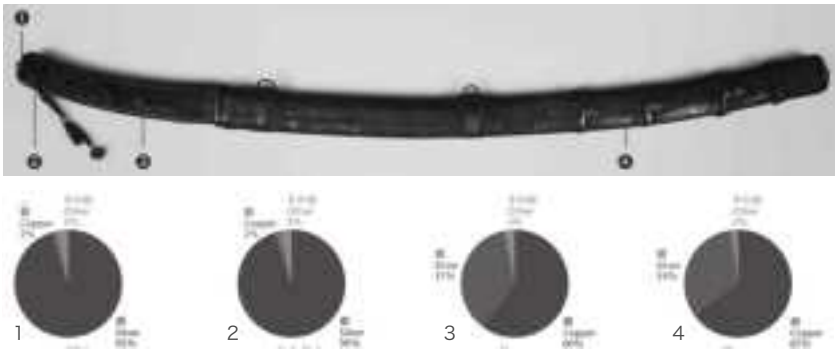


図6　蛍光X線分析による調査結果
[上：測定位置　下：検出元素(番号:測定位置)]

柄頭金具は主に銀を検出し、若干の銅等が含まれる結果であった。剥離面の観察を踏まえ、銅の地金に銀による装飾を施したと推測する。鵐目金具は主に銀を検出し、若干の銅等が含まれる結果であった。柄頭金具と同様に銅の地金に銀による装飾と推測した。柄や鞘の短冊着のように配する装飾板は主に銅と銀を検出した。地金が露出する箇所を観察してもメッキの様子はなく、銅と銀の合金による作りの可能性がある。

5. 類例

調査資料は柄が特徴的な宝刀である。柄を中心に出土品や伝世品での形状の類例を調査した。出土品では、14〜15 世紀頃の船浜遺跡出土品、17 世紀頃の遠矢第 2 チャシ出土品、有珠 4 遺跡出土品、入舟遺跡出土品に近い形状の資料が確認できる。また、伝世品では、12〜15 世紀頃とみられる白長覆輪太刀(重要文化財)が近い形状を有する。類例の様子から、中世〜近世に製作された太刀外装を元に製作した模倣品の可能性を推測する。

6. まとめ

アイヌ民族資料の宝刀を対象に調査した。X 線 CT による調査から、木製の本体に装飾板を配し覆輪等を嵌めた構造を捉えた。蛍光X線分析による調査では、柄頭金具等は銅製の地金に銀の装飾を施し、短冊着の装飾板は銀と銅の合金の可能性がある結果を得た。柄は白長覆輪太刀等と形状が近く、中近世に製作された太刀外装の模倣品の可能性を推測した。科学分析は形状の類例と併せてアイヌ民族資料を知る上での基礎情報が得られる。今後も継続的に調査を実施する。

※ 国立アイヌ民族博物館令和 3 年度調査研究プロジェクト「アイヌ民族資料の科学的保存に関する基礎研究」(2021A05)の成果である。

鷹島海底遺跡出土元寇沈船の用材傾向

Trend of materials used for Mongolian sunken ship, excavated from the Takashima Underwater Site.

◯小林啓（九州歴史資料館）、安木由美（松浦市教育委員会）、伊藤幸司（東北芸術工科大学）
◯Akira KOBAYASHI(Kyushu Historical Museum), Yumi YASUKI(Matsuura City Board of Education), Kouji Ito(Tohoku University Art & Design)

1. はじめに

鷹島海底遺跡出土元寇沈船（以下、元寇船）の用材について、先行研究ではクスノキやコウヨウザン等の樹種が報告されている（光谷 1996・2001、伊東 2008）。しかし、元寇船の部位や用途毎の用材傾向は詳細に検討されておらず不明な点が多い。本稿では引揚げられた元寇船の部材を考古学的型式分類により整理し、部位毎の樹種調査から用材傾向の再検討を行なった。

2. 資料と方法

資料は鷹島海底遺跡から出土した元寇船の部材のうち、既刊調査報告書（松浦市教育委員会 2011）に掲載されている 61 点を対象とした。これらの部材は形状や用途により板材・角材・掟に分類できる。更に板材・角材は材の厚さにより細分した。

樹種調査は、先行研究の結果を元に目視及び実体顕微鏡による観察を行なった。また、未同定の資料は新たに木材切片を採取して樹種を同定した。

3. 結果

3-1 板材

板材（31 点）の樹種は、マツ属複維管束亜属・コウヨウザン・シイ属・クスノキなど針葉樹 5 種、広葉樹 3 種を確認した（図 1)。クスノキが 18 点と最も多く、次いでマツ属複維管束亜属・マツ属単維管束亜属が各 3 点である。材の厚さが 10cm 以上ではクスノキが 9 割以上を占め、樹種はクスノキを含め 3 種である。一方、厚さが 10cm 以下では突出して多い樹種はなく何れも 2〜3 点程度であり、コウヨウザン・スギ属・ヒノキ属など 7 種を確認した。

3-2 角材

角材（21 点）の樹種は、マツ属複維管束亜属・コウヨウザン・ニレ属・クスノキなど針葉樹 3 種、広葉樹 4 種を確認した。クスノキが 6 点と最も多く、次いでコウヨウザン・スギ属・ニレ属が各 2 点である。材の厚さが 15 ㎝以上ではクスノキが 5 点と最も多く、次いでマツ属・ニレ属が各 2 点、樹種は 6 種を確認した。一方、厚さが 10 ㎝以下では板材と同様に突出して多い樹種はなく、スギ属・コウヨウザン・シイ属など 6 種を確認した。

3-3 掟

掟（9 点）の樹種は、アカガシ亜属・クスノキ・クヌギ節など広葉樹 6 種を確認した（図 2)。アカガシ亜属が最も多く、次いでクスノキ・ニレ属となる。掟は形態により一石型と二石型があり、その部位は掟身・掟歯・掟擔・楔・棍・挟板に細分できる。アカガシ亜属は挟板を除く各部位で最も多く用いられている。一方、挟板はクスノキが最も多く、次いでニレ属となる。一石型掟は 1 点のみであり、掟身・掟歯（掟身と一体型）・棍の樹種はクヌギ節である。

4. まとめ - 元寇船の用材傾向 -

板材・角材は考古学的分類において、厚い材は船体の下部構造（隔壁板・外板等）、薄い材は船体の上部構造（上回り）と推測している（松浦市教委 2011）。本稿の樹種調査により下部構造ではクスノキを多用し、上部構造ではコウヨウザンやヒノキ属など使用樹種が増加する傾向が明らかとなった。元寇船の部位毎に異なる用材傾向を確認した。この他、錠ではアカガシ亜属を多用する傾向にあり、全て広葉樹という点も特徴的である。本稿の成果は、鷹島沖の海底に現地保存している 1 号・2 号沈船の今後の調査研究において活用が期待できる。

【参考文献】
光谷拓実 1996「鷹島海底遺跡（神崎港）出土木材の樹種」『鷹島海底遺跡Ⅲ』鷹島町文化財調査報告書第 2 集
光谷拓実 2001「鷹島海底遺跡（神崎港）出土木材の樹種」『鷹島海底遺跡Ⅴ』鷹島町文化財調査報告書第 4 集
伊東隆夫 2008「出土木製品の樹種同定」『松浦市鷹島海底遺跡平成 13・14 年度』松浦市文化財調査報告書第 2 集
松浦市教育委員会 2011『松浦市鷹島海底遺跡　総集編』松浦市文化財調査報告書第 4 集

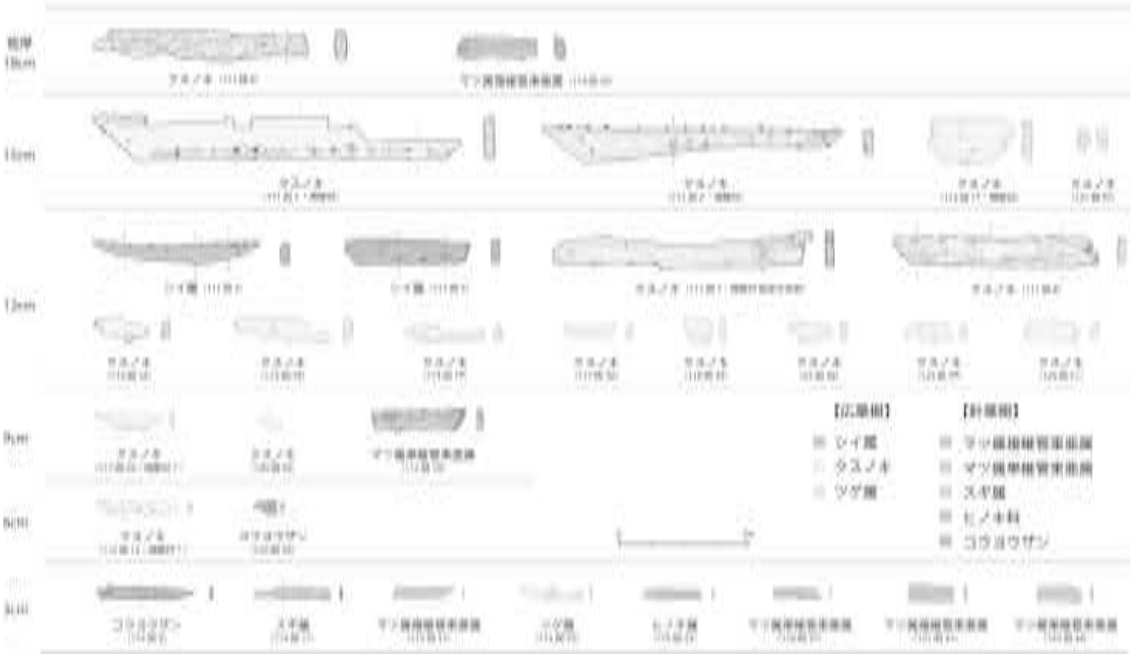


図 1　板材の樹種

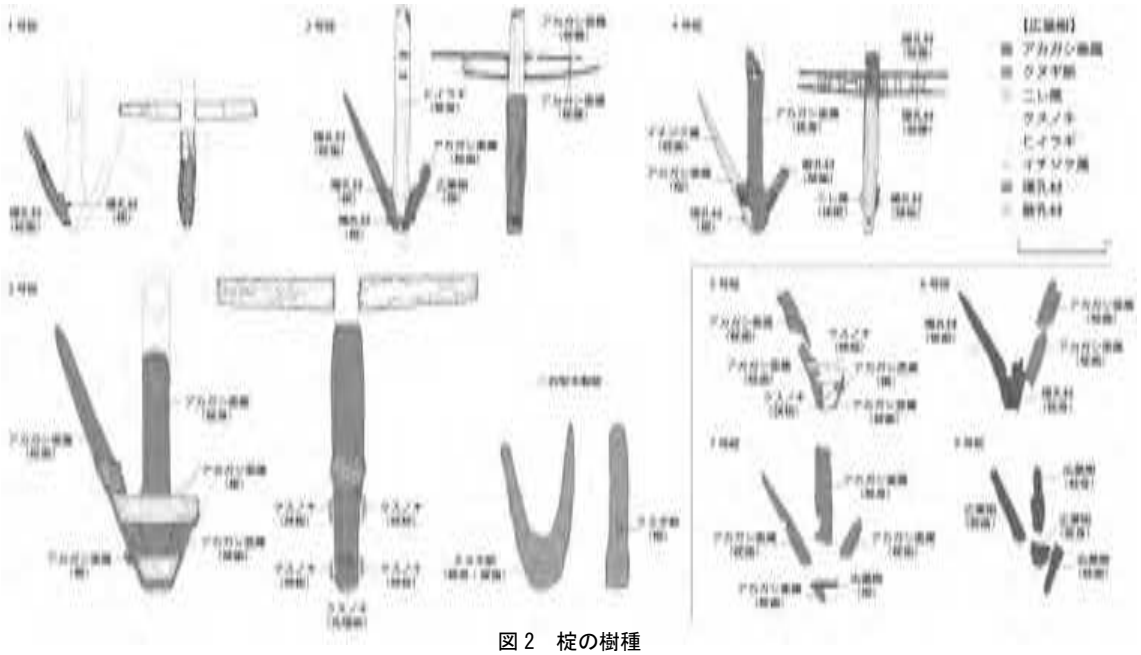


図 2　錠の樹種

鉄釘に残る木材痕跡による木棺の想定復元
- 東中谷遺跡木炭槨木棺墓を対象として -
Reconstruction of a wooden coffin using traces of wood remaining on iron nails.

◯小林啓（九州歴史資料館）
◯Akira KOBAYASHI(Kyushu Historical Museum)

1. はじめに

考古資料の多くは有機物と無機物の複合体だが有機物は埋蔵中に腐朽し大半が消失する。そのため、考古学では土器や石器などをはじめとする無機物を主体とした研究が盛んであるが、残存する有機物の痕跡から資料本来の姿を復元・検討する研究も重要な課題である。

本稿では、東中谷遺跡木炭槨木棺墓（奈良県高取町・9 世紀後半）出土の鉄釘を対象に、鉄釘に残存する木材を解剖学的形質により分類し、木棺を想定復元した結果について報告する。

2. 資料と方法

資料は東中谷遺跡木炭槨木棺墓から出土した鉄釘（28 点）を対象とした。鉄釘の頭部側の木材（以下、貫通材）と先端部側の木材（以下、貫入材）を実体顕微鏡（Leica S9i）及びデジタルマイクロスコープ（KEYENCE VHX-7000）で観察し、木材の断面（木口・柾目・板目）や木繊維の方向、年輪の向きなどを特定した（図 2）。

木棺の基礎木構造及び鉄釘の使用箇所、鉄釘の木質パターンは先行研究の調査手法を基本とした（図 1）。これにより鉄釘の木材パターンは A～C 型で各 4 種類、木棺構造は 8 種類と定義できる。この定義を元に、実資料の観察結果と比較・検討することで木棺を想定復元した。

3. 結果

鉄釘の観察調査の結果、A 型 12 点、B 型 9 点、C 型 7 点を確認した。各資料の木質パターンを表 1、出土位置を図 3 に示す。

3 - 1　A 型（側板 - 小口板）

A 型（12 点）の木質パターンは全て A - Ⅰである。№1～6 の貫通材（南側板）は年輪が釘の頭部側に内向し、№7～12 の貫通材（北側板）は年輪が先端側に内向する。南北側板両端の貫通材において、年輪の向き・傾きが一致していることから両側板は一枚板の板目板と想定できる。側板の木取りは、南側板は木裏が木棺の外側、北側板は木表が木棺の外側となる（図 4）。

3 - 2　B 型（蓋板・底板 - 側板）

B 型（9 点）の木質パターンは全て B - Ⅰである。№13・14・17・19・21・23 の貫通材（底板）は年輪が先端側に内向し、№16・18 の貫通材（蓋板）は年輪が頭部側に内向する。底板と蓋板で年輪の向きが異なるため両者を区別できる。蓋板・底板共に一枚板の板目板で、木取りは、底板は木表が木棺の外側、蓋板は木裏が木棺の外側となる（図 4）。

3 - 3　C 型（蓋板・底板 - 小口板）

C 型（7 点）の木質パターンは全て C - Ⅰである。№25・27 の貫通材（底板）は年輪が先端側に内向し、№26・28 の貫通材（蓋板）は年輪が頭部側に内向する。B と型と同様に底板・蓋板で貫通材の年輪の向きが異なっており両者を区別できる。材の木取りも B 型で示した通りである。この他、№15・22・24 は木棺の長軸側から出土しており、出土位置からは B 型が適当である。木棺に何らかの構造が存在した可能性を推測できるが現段階において詳細は不明である。

4. まとめ

木材の解剖学的形質を元に鉄釘の木質パターンを特定することで、木棺の具体的な構造や木取りの想定復元を可能にした。一方、本手法による木棺の想定復元には、鉄釘の出土位置や出土層位など発掘調査における考古学的な情報が備わっていることが前提となる。考古学・文化財科学どちらか一方の結果のみでは詳細な復元には至らない。今後も両者の研究成果を合致させて、新たな事例を増やしながら研究を進めていくことが重要である。

【参考文献】
北山峰生 2013『東中谷遺跡・松山城跡』奈良県文化財調査報告書第 158 集
岡林孝作 2018『古墳時代木棺の構造と系譜』同成社

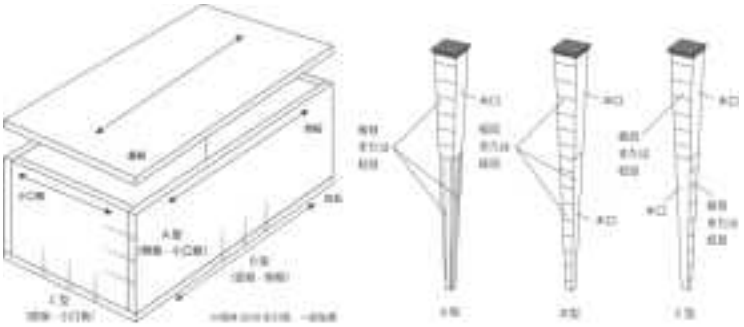


図 1　木棺の基礎構造と釘の木質パターン

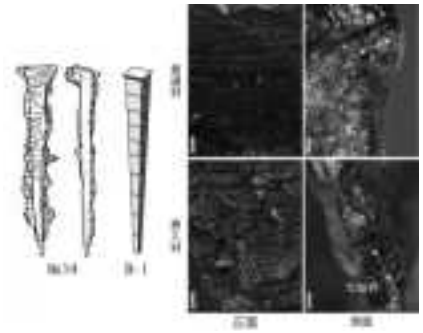


図 2　鉄釘の観察結果

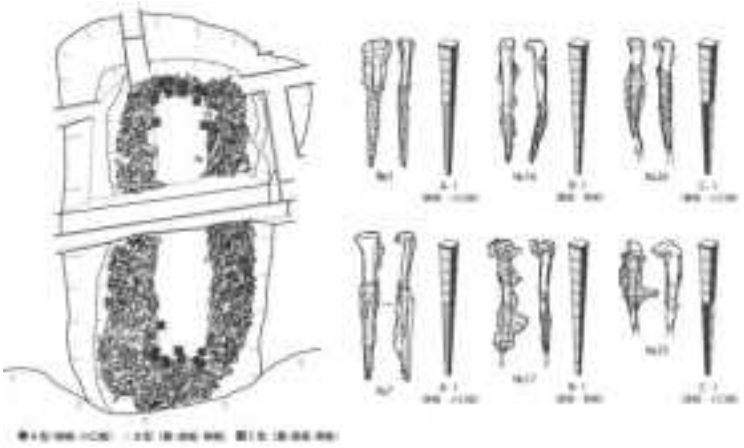


図 3　鉄釘の出土位置と木質パターン

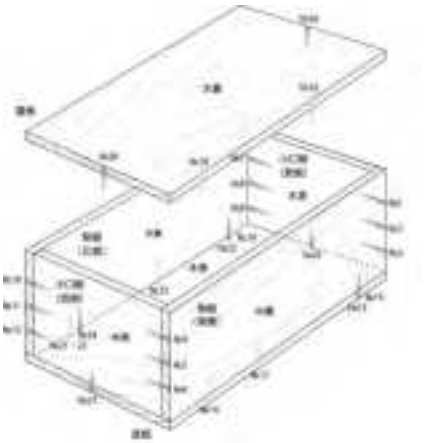


図 4　木棺の想定復元図

表 1　鉄釘の観察結果

No.	図番号	貫通材	貫入材	木質パターン	No.	図番号	貫通材	貫入材	木質パターン
1	図20-10	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	15	図20-24	柾目-木口	木口-柾目	C - Ⅰ
2	図20-11	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	16	図20-25	柾目-木口	柾目-木口	B - Ⅰ
3	図20-12	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	17	図20-26	柾目-木口	柾目-木口	B - Ⅰ
4	図20-13	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	18	図20-27	柾目-木口	柾目-木口	B - Ⅰ
5	図20-14	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	19	図20-28	柾目-木口	柾目-木口	B - Ⅰ
6	図20-15	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	20	図20-29	柾目-木口	-	B - Ⅰ
7	図20-16	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	21	図20-30	-	柾目-木口	No.20と接合
8	図20-17	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	22	図20-31	柾目-木口	木口-柾目	C - Ⅰ
9	図20-18	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	23	図20-32	柾目-木口	柾目-木口	B - Ⅰ
10	図20-19	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	24	図20-33	柾目-木口	木口-柾目	C - Ⅰ
11	図20-20	-	柾目-板目	A型	25	図20-34	柾目-木口	木口-柾目	C - Ⅰ
12	図20-21	柾目-木口	柾目-板目	A - Ⅰ	26	図20-35	柾目-木口	木口-柾目	C - Ⅰ
13	図20-22	柾目-木口	柾目-木口	B - Ⅰ	27	図20-36	柾目-木口	木口-柾目	C - Ⅰ
14	図20-23	柾目-木口	柾目-木口	B - Ⅰ	28	図20-37	柾目-木口	-	C型？

※当該研究は JSPS22K01013（研究代表者：小林啓）の成果を含む。

擦文文化の竪穴住居址でみられる主柱穴平面形と柱材との関連

The perspective of how to build main post holes and pillars inside pit-dwellings in the Satsumon culture

○守屋豊人（北海道大学埋蔵文化財調査センター）
○Toyohito MORIYA (Archaeological Research Center, Hokkaido University)

1. はじめに

本発表の目的は、擦文文化（約 8 世紀から約 13 世紀）の竪穴住居址にみられる主柱穴を取り上げ、主柱穴に柱材を設置した方法、その多数を明らかにすることである。以下では、本発表で対象とする竪穴住居址を示し、当該竪穴住居址で発見された柱材の樹種、断面形、規模を確認し、最後に、当該竪穴住居址で確認された主柱穴の平面形と柱材の断面形とを比較、検討する。

2. 対象とする竪穴住居址の形態

本発表では、平面ほぼ四角形の竪穴で、柱穴４基が設定された竪穴住居址を取り上げる。擦文文化では、真上から見た場合、ほぼ四角形の竪穴が設けられた竪穴住居が多数建築されていた。それらの竪穴住居では、竪穴内に柱穴が設けられる場合と柱穴が設置されない場合がある。柱穴が設けられる場合には、床面に柱穴が６基、柱穴が４基、柱穴が１基～３基の事例が存在する。本発表の対象は、竪穴住居址の床面に柱穴 4 基が設けられた事例である。ほぼ四角形の竪穴に対して、四隅から約 1m 内側に、総計 4 基の柱穴がある状況を、当時に利用した梁、桁を支えた柱穴と判断した。そのことから、竪穴住居の屋根荷重を支えた主柱穴と本発表で呼称する。

擦文文化の石狩低地帯の遺跡では、上下端の平面形がほぼ円形（全形が円柱状）の主柱穴が設けられた竪穴住居址として、札幌市 H519 遺跡第 16 号竪穴住居跡（札幌市教育委員会 2006）など、上下端の平面形がほぼ四角形（全形が角柱状）の主柱穴が設置された竪穴住居址として恵庭市柏木川 13 遺跡 H4（北海道埋蔵文化財センター2004）などがある。

3. 竪穴住居址で発見された柱材の樹種、断面形、規模

石狩低地帯の遺跡では、主柱穴が床面から深さ約 70cm 以上掘削され、柱材が設けられた場合、広葉樹を加工した柱材が発見される。その理由は当低地で地下水位が比較的高いためである。

札幌市 C504 遺跡の第 1 号竪穴住居跡では、断面四角形に加工され、底面が平坦の柱材 4 点（すべてトネリコ属）が、平面ほぼ四角形の主柱穴で確認されている（札幌市教育委員会 2005）。主柱穴は角柱状に設けられていたと推測した。恵庭市中島松 7 遺跡の第 2 号住居址では、平面ほぼ円形の主柱穴 1 基で、断面四角形に加工された柱材 1 点（広葉樹：トネリコ属）が発見されてい

る（恵庭市教育委員会 1988）。その報告書では主柱穴全形の詳細は不明であるが、各柱材の底面は平坦に加工されていたと示されている。

また、擦文文化の竪穴住居址では、平面ほぼ円形の主柱穴で、断面ほぼ円形の柱材が、石狩低地帯の遺跡で多数確認されている。柱材には、トネリコ属、キハダ、ハンノキ属、ヤナギ属といった広葉樹がみられる。主柱穴は、円柱形状に設けられたと各発掘調査報告書から推測されるとともに、各柱材の底面は平坦に加工されていたと示されている。

4. 擦文文化の竪穴住居址の主柱穴における柱材設置方法とその種類

石狩低地帯の擦文文化の遺跡では、柱材が竪穴住居址の主柱穴から発掘調査され、多数の柱材は断面がほぼ円形、底面が平坦（全形が円柱状）である。当該地域では、全形が円柱状の主柱穴、柱材が準備・設置される方法が一般的だったと推測される。

恵庭市柏木川 13 遺跡の H4（擦文文化中期：9 世紀後半）では、上下端がほぼ四角形の主柱穴（全形が角柱状）4 基が確認されている。同時期の恵庭市中島松 7 遺跡の第 2 号住居址では、主柱穴内で断面がほぼ四角形の柱材が発見されている。よって、柏木川13遺跡のH4の主柱穴では、断面がほぼ四角形の柱材が設置されていた可能性がある。

札幌市 N434 遺跡の第 1 号竪穴住居跡では、主柱穴 4 基が調査で確認された（札幌市教育委員会 2019）。それらの主柱穴の内、床面から深さ約 70cm の PH03 では平面形の上端がほぼ四角形で、下端がほぼ円形であった。平面形の上端がほぼ四角形で、下端がほぼ円形である場合、主柱穴の掘削を、ある深さで断面四角形から円形に変更したと考えるより、主柱穴を角柱状に掘削し、円柱状の柱材を設置したため、当該主柱穴の下端の平面形がほぼ円形になったと考える方が自然と思われる（平面四角形の主柱穴下端ではその四角形の内側に、断面円形柱材の底面痕跡があった可能性があると考えた）。ただし、竪穴住居の廃絶後に崩れている可能性の考慮も必要である。

上記のことから、擦文文化の主柱穴に柱材が設置される場合、広葉樹の幹の形状を利用して断面円形（ほぼ円柱状）に柱材を整え、床面で平面が円形の主柱穴（全形は円柱状となる）に柱材を設置した方法が多数で、それ以外に、断面ほぼ四角形に広葉樹を加工した柱材を、上下端がほぼ四角形の主柱穴（全形が角柱状）に設置する方法、上下端がほぼ四角形の主柱穴（全形が角柱状）で、広葉樹を利用して、断面ほぼ円形に加工された柱材を設置する方法が少数例あったと考える。

【引用文献】

恵庭市教育委員会，1988，中島松 6・7 遺跡発掘調査報告書.
札幌市教育委員会，2005，C504 遺跡．札幌市文化財調査報告書，77.
札幌市教育委員会，2006，H519 遺跡．札幌市文化財調査報告書，80.
札幌市教育委員会，2019，N434 遺跡．札幌市文化財調査報告書，106.
北海道埋蔵文化財センター，2004，恵庭市　柏木川 13 遺跡．北埋調報，第 203 集.

御所市二光寺廃寺出土三彩陶器の胎土分析
－個体間および出土遺跡間における比較検討－
Analysis of tricolored glaze potteries excavated from Nikoji-Haiji in Gose city, Nara prefecture
- Comparative study between individuals and between excavated sites -

○小倉頌子（奈良県立橿原考古学研究所）、奥山誠義（同左）、廣岡孝信（同左）
○Shoko KOKURA, Masayoshi OKUYAMA, Takanobu HIROOKA
(Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture)

1. はじめに

奈良県御所市の二光寺廃寺は、金剛山東山麓の葛城地域に所在する古代寺院遺跡である。代表的な出土遺物として大型多尊・方形三尊といった塼仏や多量の瓦がある。塼仏のうち大型多尊には「甲午□五月中」の銘があり、「甲午」は西暦 694 年を指す可能性が高いことや、軒瓦の同笵関係より、当寺は 7 世紀後半の創建と考えられる。また、軒瓦の同笵関係からは渡来系氏族との密接な関わりが指摘されている(1)。三彩陶器は基壇建物跡周辺の遺物包含層から出土した。すべて破片であるが、外観から複数個体あると考えられる。本研究では、二光寺廃寺より出土した三彩陶器片の胎土分析を行い、個々の破片の外観的特徴との整合性、他遺跡より出土した三彩資料と比較した際の特徴について検討した。

2. 試料

分析試料は三彩陶器片 6 点である。接合可能な破片はなく、部位から推測できる器種や施釉の違いなどから複数個体あると考えられる。いずれも胎土は精緻で焼成がやや軟質、胎土の色調は概ね白色に近い淡黄白色であるが、褐色を帯びた破片もある。釉は劣化が進んでいるものの残りが良く、6 点中 4 点は緑釉・褐（黄）釉・透明（白）釉の 3 種類が明瞭に確認できる。

分析は、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 JSX-3100RII（日本電子）を用いて非破壊で行った。測定条件は、管電圧：30kV、照射径：3mm、測定時間：300sec／1 測定、測定雰囲気：真空である。なお、本装置の管球は Rh であり、管電流は計数率が最適となるよう自動調整した。分析面は平滑な無釉面または破断面を対象とし、表面の土等の付着物は除去した。

3. 結果と考察

3－1. 蛍光 X 線分析の結果

図 1 は、主要元素の割合を試料ごとに示したグラフである。なお、各試料間において胎土組成を比較することを目的としているため、ここでは FP 法により算出した半定量値を用いた。分析の結果、nikoji-3 は酸化鉄(Fe_2O_3)、酸化マグネシウム(MgO)、酸化マンガン(MnO)の含有量が他と比較して多い特徴が見られた。この試料は他の 5 点と異なり胎土がやや褐色を帯びていることから、外観的特徴の違いとも整合する結果が得られた。

3－2. 他遺跡出土資料との比較

二光寺廃寺出土三彩陶器の胎土組成を、平城京跡および豊浦寺跡より出土した三彩資料と比較した。分析時の測定条件により生じる誤差を考慮し、各元素の積分強度を SiO_2 の積分強度で規格化した値により比較を行った。二光寺廃寺の三彩陶器は、K, Ca, Al などの含有量が平城京跡や豊浦寺跡の三彩資料とやや異なることが示された（図 2）。クラスター分析では大きく 2 群に分類でき、平城京跡と二光寺廃寺の 1 点（nikoji-4）が A 群に分類された（図 3）。また、

nikoji-3 は B 群の中でも他のクラスターとの併合距離が大きく、他の試料との類似性が低いことが分かる。よって、二光寺廃寺の三彩陶器には複数種類の原料粘土が存在することが示唆されるとともに、少なくとも平城京跡の三彩陶器とは種類が異なる可能性が考えられる。

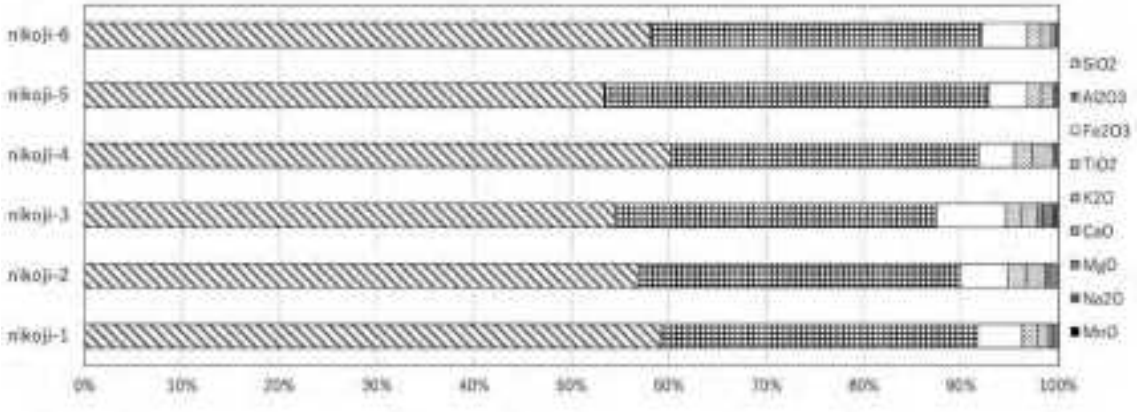


図 1. 胎土の元素組成

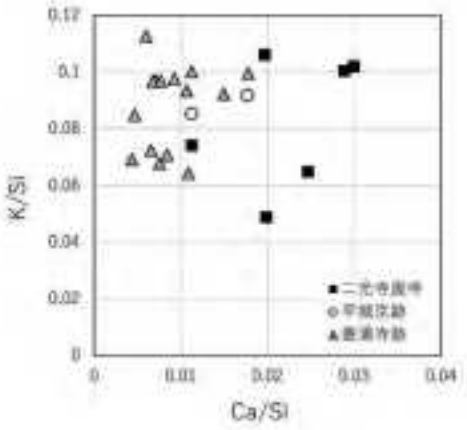


図 2. K-Ca 分布図（上）

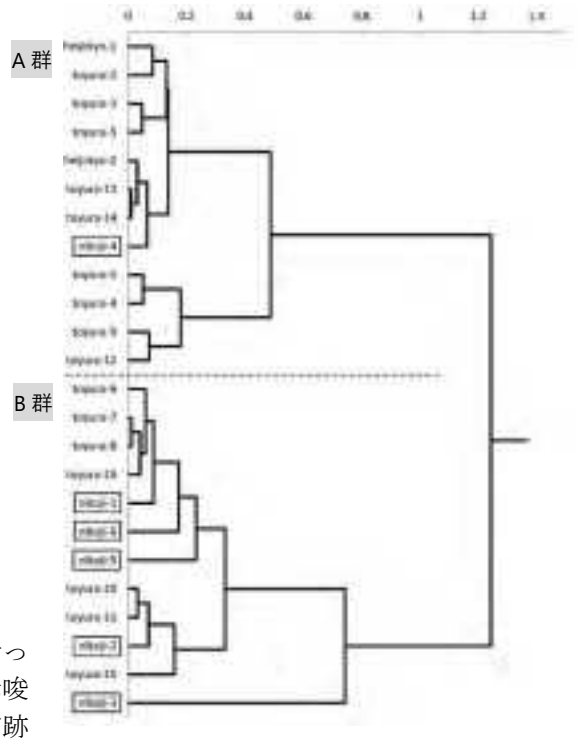


図 3. クラスター分析結果（右）

4. まとめ

二光寺廃寺出土三彩陶器片の胎土分析を行ったところ、複数種類の異なる胎土の存在が示唆され、外観の違いとも概ね一致した。平城京跡および豊浦寺跡の三彩資料と比較すると、K, Ca, Al などの含有量に差異があり、クラスター分析の結果から少なくとも平城京跡とは胎土の元素組成がやや異なる可能性が考えられる。ただし、平城京跡の試料は 2 点と少ないため、分析点数が増加すると結果が変わる可能性があり、慎重な判断を要する。なお、今回差異が確認できた二光寺廃寺の三彩陶器については、他の手法を用いた分析・観察等により引き続き検討を重ねたい。

謝辞　本研究は科学研究費補助金（JSPS 科研費）22K20068 の助成を受けたものである。

〈引用・参考文献〉

(1)廣岡孝信　2006「二光寺廃寺」『奈良県遺跡調査概報』2005 年度第二分冊　奈良県立橿原考古学研究所

(2)小倉頌子・奥山誠義・河﨑衣美・大西貴夫・山田隆文・小栗明彦・杉山真由美　2021「蛍光 X 線分析法を用いた奈良県内出土三彩陶器および三彩瓦の胎土分析」『文化財科学』第 83 号　日本文化財科学会

文化財建造物の塗装彩色材料・技法変遷の画期に関する調査事例

The Study on the Restoration of coating and decoration materials and technique change Points on Heritage Architecture

○ 北野 信彦・山田 卓司・生駒 萌・森岡 志保・岩本萌愛・春田柚月（龍谷大学）
○ Nobuhiko KITANO・Takushi YAMADA・Moe IKOMA・Shiho MORIOKA・Moa TWAMOTO・Yuzuki HARUTA（Ryukoku University）

1. はじめに

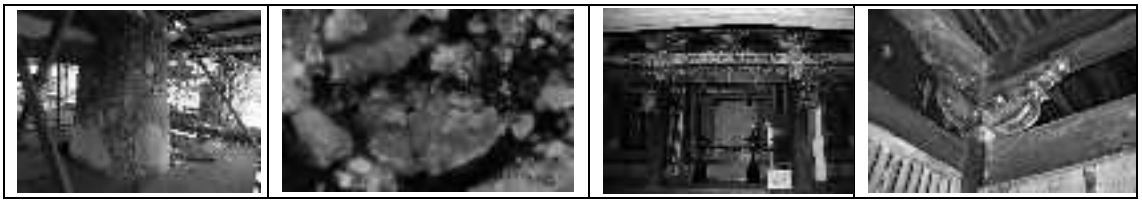
文化財建造物、特に有力社寺建造物では、建造物の内外面に部材保護と荘厳を兼ねた赤色塗装や漆塗装、繧繝彩色などの極彩色装飾が施されてきた場合が多い。このような文化財建造物、とりわけ桃山文化期以降の近世社寺建造物の塗装彩色修理では、現状維持修理と書き落とし・新規塗り直し修理、それぞれの時代の状況に応じて実施されてきた。現在の平成期～令和期の塗装彩色修理の場合、基本的には文化庁の指導のもと、建造物外部は部材保護を優先した塗り直し修理、内部は現状維持修理が基本となる場合が多い。その際、造営当初はもとより、その後の修理期に使用された塗装彩色材料・技術変遷に関する文化財科学的調査と塗装彩色復元図の作成が工事に伴い実施される事例が増えてきた。これは、現在僅かに痕跡として残存している希少な旧塗装彩色材料は現状でも劣化が極めて著しく、数十年後に実施されるであろう次期の塗装彩色修理期には、近年の自然環境の急速な変化（悪化）に伴う経年劣化により現状で僅かに痕跡として旧塗装彩色材料自体が消滅してしまう危険性が高いと懸念されるため、文化財建造物ごとに現時点でできるだけ可能な基礎資料作成を実施して次世代にその結果を継承する責務が現時点にはあると判断されるためである。報告者らもこのような国（文化庁）の基本方針に則り、これまで幾つかの近世社寺建造物の塗装彩色変遷に関する文化財科学的調査を実施してきた。その結果、近世～今日に至るまでの塗装彩色修理に伴う材料・技術の変遷にはいくつか画期があり、その傾向は地域を超えて共通点が多いことが明らかになってきた。

2. 塗装彩色彩色材料・技術の変遷

① 嚴島神社大鳥居は、明治 6 年の造営当初は白木（明治初年の神仏分離令に則り、神社部材は白木が基本とする認識のもと、その他の嚴島神社社殿は江戸期の赤色部材塗装を掻き落として白木の状態とした)、昭和期修理は鉛丹塗装、平成期以降は環境負荷を考慮した朱 S-4（合成塗料）の塗装修理が実施されている。令和期修理の事前調査では、古社寺保存法施工後の明治 30 年代の明治期修理では朱＋乾性油塗装が行われたようであり、その痕跡が確認された。

② 兵庫県丹波市に所在する柏原八幡宮社殿は天正期に再建され、元禄期以降に数度の塗装彩色修理が行われており内外組物には繧繝彩色が見られる。昭和期修理では軸部柱に塗装痕跡が見出されなかったため現状維持修理が基本方針である。ただし次期修理時には特に外部の彩色痕跡は消滅する危険性が高いため、令和期修理では科学調査と復元彩色図作成が実施された。

その結果、①天正期当初の外部柱はベンガラ塗装、②江戸期には内部拝殿側は繧繝彩色、内陣（神域）側は彩色なしの白木の塗分け、外部長押・組物は内部拝殿と同じ繧繝彩色で軸部柱は鉛丹塗装、③明治期修理では軸部下は旧ベンガラ塗装痕跡の上を古色塗り、軸部上は白木磨き上げ、内外部の組物彩色は一部塗り足しが為されていた。

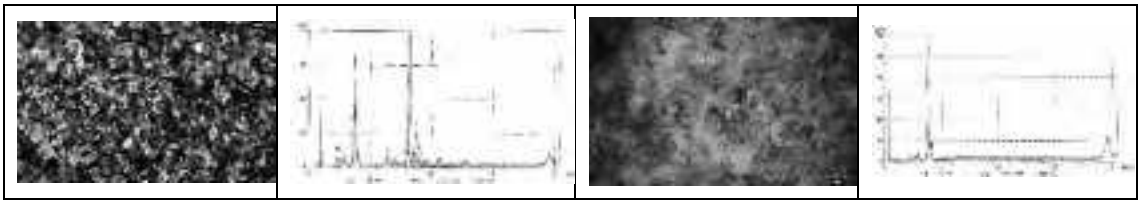


厳島神社大鳥居令和期修理　同 明治期の朱＋乾性油塗装　柏原八幡宮社殿内部の装飾　同 本殿内陣側の様子

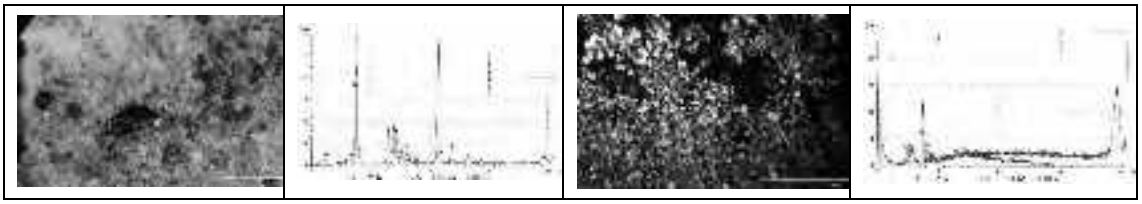


柏原八幡宮本殿外部当初塗装痕跡（ベンガラ塗装）　同 軸部柱表面の江戸期塗装痕跡（鉛丹塗装）

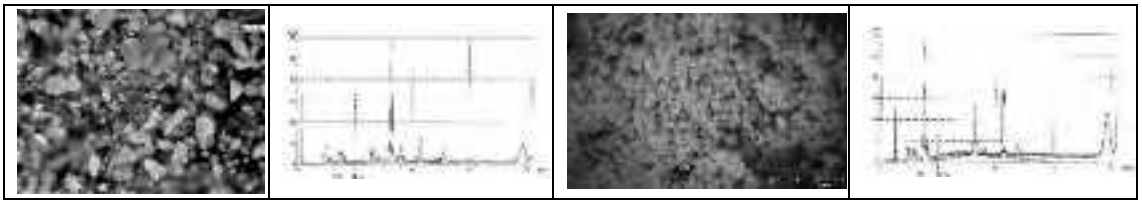
③　京都府八幡市に所在する石清水八幡宮摂社狩尾社は、慶長年に室町期の旧部材を用いて再建され、内外部材には塗装彩色が為されていたが、昭和 40 年代の昭和期修理では旧塗装彩色痕跡を無視した修理が為されていた。令和期修理に伴い科学調査と復元彩色図作成が実施されている。その結果、青色彩色材料では、岩群青・胡粉＋植物藍・スマルト・ウルトラマリンブルー、緑色彩色材料では緑青・エメラルドグリーンなどの異なる色材の使用が確認された。ウルトラマリンブルーとエメラルドグリーンの使用は近代以降の彩色修理に伴うと考えられる。



石清水神社摂社狩尾社社殿外部江戸期の青色彩色①（群青）　同 江戸期の青色彩色②（胡粉＋植物藍）



同 江戸期の青色彩色③（スマルト）　同 近代以降の青色彩色（ウルトラマリンブルー）



石清水神社摂社狩尾社社殿外部江戸期の緑色彩色（緑青）　同 近代以降の緑色彩色　（エメラルドグリーン）

（本調査はいずれも「JSPS 科研費 19H02334 代表者北野信彦」の交付を受け、文化庁と協議のうえ実施しました）

ボソンピーク測定による琥珀産地推定の試み

Provenance Study of Excavated Amber by the Observation of Boson Peaks.

○山口繁生（元興寺文化財研究所）、中川洋（日本原子力研究開発機構）、
植田直見（元興寺文化財研究所）、秋葉宙（東京大学）、山室修（同左）
○Shigeo YAMAGUCHI (Gangoji institute for cultural properties), Hiroshi NAKAGAWA (JAEA), Naomi UEDA (Gangoji institute for cultural properties), Hiroshi AKIBA, Osamu YAMAMURO (Tokyo University)

1. はじめに

琥珀は縄文時代、古墳時代、奈良時代、平安時代の遺跡から多数出土する埋蔵文化財である。日本において琥珀が産出される地域は限られているため、出土琥珀の産地に関する情報は、当時の物流・交流の実体を明らかにする考古学研究において重要な知見となりうる。琥珀は産地によって原材料となった植物種や地質年代が異なるため、それらの違いから生じる物性の違いを測定することで自然科学的に産地を推定することが可能である。これまで、FT-IR や熱分析などを用いた産地推定が行われ、多くの成果が得らえている。しかし、産地毎による違いが明確に現れない場合や、産地推定に十分なデータが得られない資料もあった。一方、考古学的な知見から行われた、出土琥珀の産地に関する研究報告もなされている。しかし、それらの報告に記載された産地は地理的な立地から考察された結果であり、自然科学分析で得られている結果と異なるものも多くある。よって、より信頼性の高い出土琥珀の産地推定法を確立すること、また、これまでは推定が難しかった琥珀の産地推定を可能にすることは、出土琥珀を通じて当時の様相を明らかにするうえで必須の研究課題である。そこで本研究では新規の出土琥珀の産地推定法を確立することを目的として、中性子非弾性散乱実験で得られる物性値を指標とした琥珀の産地推定を試みた。

2. 試料と方法

岩手県久慈市、福島県いわき市、千葉県銚子市、岐阜県瑞浪市、福岡県北九州市で採取された現代の琥珀を標準試料として中性子非弾性散乱実験を行い、各標準試料の中性子散乱スペクトルを測定した。中性子非弾性散乱実験には日本原子力研究開発機構 JRR-3 に設置されている東京大学物性研究所の高分解能パルス中性子分光器 AGNES[1)]を用いた。測定は中性子波長 4.22Å、エネルギー範囲-4 ~ 20 meV（分解能 120μeV）、運動量範囲 0.2 ~ 2.7 $Å^{-1}$、温度 5, 100, 300 K の条件で行った。

3. 結果及び考察

温度 100K の中性子非弾性散乱実験で得られた中性子散乱スペクトルを図 1 に示す（比較のため弾性散乱のピーク強度が一致するようオフセットしている）。これらのスペクトルにおいて 1meV 付近でボソンピークが観察され、産地によりそのピーク位置が異なることが確認された（図 1）。ボソンピークはガラス形成物質にみられる数 meV の低エネルギー励起であり、試料の物質密度でピーク形状が変化すると考えられている [2]。琥珀は数億年から数千万年前の植物の樹脂が地中の高圧・高温環境下に長時間さらされることで、樹脂中のテルペン類が重合して化石化したものである。産地によって形成年代が異なることから、その重合度は産地によって異なると考えられる。今回得られた産地毎でボソンピーク位置が異なるという結果は、重合度の違いによる物質密度の違いがピーク位置に反映された結果と考えられた。また、図 2 の赤外吸収スペクトルに示すように、これまでの分析方法では久慈市産といわき市産の琥珀を区別することはできなかった。それに対し、今回観測されたボソンピーク位置は両者で異なり、その区別が可能であった。

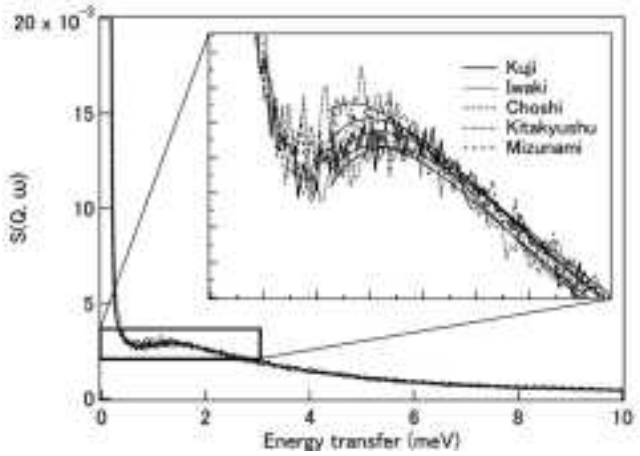


図 1 中性子散乱スペクトル

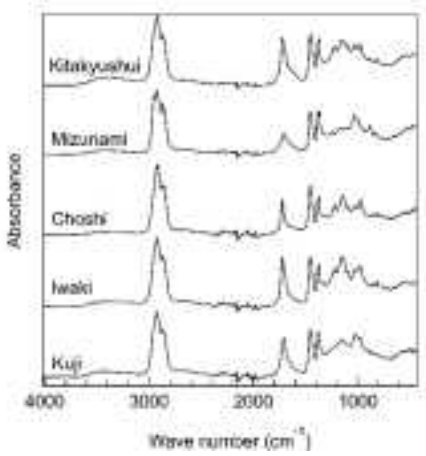


図 2 赤外吸収スペクトル

4. まとめ

ボソンピーク位置の測定により、琥珀の産地を推定できる可能性が確認された。特に、これまでの分析方法では区別できなかった久慈市産といわき市産の琥珀が区別できる可能性も示された。今後は未測定の産地の標準試料、及び出土琥珀の測定を行い、ボソンピーク位置による出土琥珀の産地推定の可能性について詳細な検討を行っていく予定である。

1) 高分解能パルス冷中性子分光器 AGNES の改造、山室修、稲村泰弘、波紋、17、85-89、(2007)

2) Universality and structural implications of the Boson peak in Proteins. Nakagawa H., Joti Y., Kitao A., Yamamuro O., Kataoka M. Biophysical journal, 117, 229-238 (2019)

＜謝辞＞本研究は日本学術振興会 科学研究費助成事業（課題番号：22H00733）の助成を受けて行っております。ここに記して感謝申し上げます。

本州における原産地不明黒曜石の探究

Study of the unidentified source obsidian in Honshu, Japan

○青木要祐（新潟大学）、傍島健太（富山県教育委員会）、佐々木繁喜（一関市文化財保護委員）、
坂口忍（魚津岳友会）、高澤栄一（新潟大学）
○YOSUKE AOKI (Niigata University), KENTA SOBAJIMA (Toyama Prefectural Board of Education), SHIGEKI SASAKI (Ichinoseki City Cultural Property Researcher), SHINOBU SAKAGUCHI (Uozu gakuyukai), EIICHI TAKAZAWA (Niigata University)

1. はじめに

日本列島において産出する黒曜石および遺跡出土の黒曜石製石器はこれまで様々な方法で原産地分析がなされてきたが、非破壊分析という利点から、近年はエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（EDX）による元素分析が主流となっている。原産地で採取した原石試料を基準とするため、遺跡からまとまって出土するものの原産地が特定できない石器試料も先学によって確認されており、NK 群（藁科・東村 1995）などとして設定されてきた。本発表では、これまで原産地不明とされてきた試料の原産地分析結果のほか、発表者らの分析で新たに原産地不明とした試料を報告する。

測定は岩手県南技術研究センター所管の EDX（Buker AXS 社 M4 TORNADO）で行った。測定及び分析の方法は筆者らの前稿（青木・佐々木 2021・2023）に準ずる。

2. 本発表で扱う試料

先行研究で報告されている原産地不明試料では、NK 群〈長野県中ッ原第 5 遺跡 B 地点（藁科・東村前掲、堤・望月 2014）〉、AC1～3 遺物群〈新潟県アチヤ平遺跡（藁科 2002）〉、TYX1～3 群〈富山県向野池遺跡（望月 2000・古川 2002）・早月上野遺跡（パレオ・ラボ 2012）・小竹貝塚（望月 2014）、岐阜県宮ノ前遺跡（青木ほか 2023）〉、MM2 群〈岐阜県宮ノ前遺跡（青木ほか前掲）〉、ODN 群〈岩手県大台野遺跡（傍島ほか 2022、青木・傍島 2023）、山形県丸森 1 遺跡（青木・傍島前掲）〉を扱う。このほか、新たに新潟県樽口遺跡 A-KH 文化層（立木編 1996）出土試料を測定した。

上記の原産地不明試料の原産地判別のため、各地の原石試料から構成される青森県中泊系・岩木山系・深浦系、秋田県男鹿系・田沢湖系、山形県月山系・寒河江系・飯豊系、新潟県新発田系・佐渡系・新津系、長野県和田峠系・古峠系・鷲ヶ峰系・土屋橋西系・土屋橋北系・男女倉系・八ヶ岳系・霧ヶ峰系、岐阜県下呂系（下呂石）、富山県魚津系・高岡系、石川県能登系、福井県安島系の各判別群と対照した。東京航業研究所から新たに借用・測定した能登市松波産原石で構成される能登系以外は、筆者らの前稿（佐々木 2019、青木・佐々木 2023、青木ほか前掲など）で各系統の判別群細分及び原石採取地等を示している。上記に加え、坂口が富山県魚津市釜谷山の標高約 1900m地点において確認した黒曜石露頭から採取された原石試料を測定し、釜谷山系として新たに設定した。

3. 分析結果（図1・2）

アチヤ平遺跡の試料（藁科前掲）をもとに設定されていた AC1 遺物群は飯豊系 A、AC3 遺物群は寒河江系 I と判別できた。小竹貝塚（望月 2014）で確認されていた TYX3 群は能登系と判別できた。樽口遺跡 A-KH 文化層（立木編 1996）出土試料は ODN 群（青木・傍島前掲）と判別でき、ODN 群の分布が岩手県・山形県のほか新潟県北部まで拡がることが明らかになった。富山県魚津市釜谷山採取の原石から新たに設定した釜谷山系に該当する遺物試料は確認されなかった。

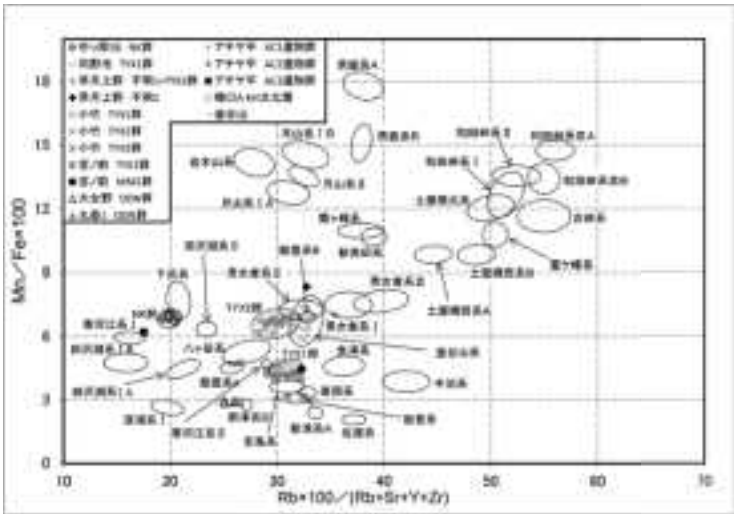


図1　Rb 分率判別図

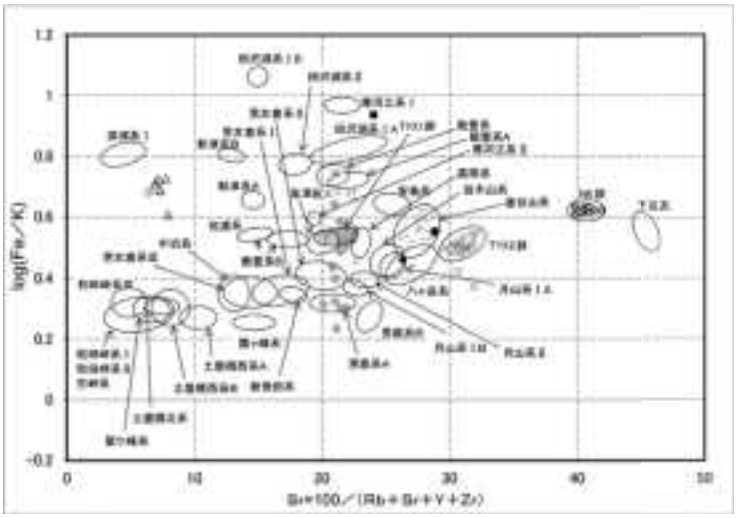


図2　Sr 分率判別図

4. まとめ

本発表では先行研究で設定された AC1・3 遺物群、TYX3 群についてその原産地を判別することができた。EDX による原産地分析は機器間での測定結果共有ができないことが課題として挙げられてきた。金井拓人ら（2022）によって非機器依存の手法も考案されているものの、測定条件が異なる環境での対応可否などクリアすべき点は多い。地道ではあるが、現段階では本研究のように原石試料を充実させたうえで過去の原産地不明試料を再測定することが一つの手段として有効である。また、並行して新たな原産地の踏査も必要と考える。本発表で新たに報告した釜谷山産黒曜石で製作された石器は確認できなかったが、今後も他地域を含め踏査を進めていく必要があるだろう。

紙幅の都合上文献一覧は割愛した。本発表は青木が受けた日本科学協会 2022 年度笹川科学研究助成及び JSPS 科研費（23K12309）の成果を含む。分析試料の借用にあたっては、堤隆氏（八ヶ岳旧石器研究グループ）、野田豊文氏（縄文の里・朝日）、吉井雅勇氏（村上市教育委員会）、松井広信氏（富山県埋蔵文化財センター（当時））、鹿島昌也氏（富山市埋蔵文化財センター）、石川蕗氏・三好清超氏（飛騨市教育委員会）、菊池強一氏（岩手県立大学）、高橋竜也氏（西和賀町教育委員会）、鹿又喜隆氏（東北大学）、池谷信之氏（明治大学黒耀石研究センター）、宅間清公氏（東京航業研究所）にご協力いただいた。記して御礼申し上げます。

Rb-Sr 同位体系分析による緑色凝灰岩材の産地推定の可能性

Potential of Rb-Sr isotope analysis in green tuff provenance study

◯若木重行（国立歴史民俗博物館）、山田琴子（総合研究大学院大学）、松木武彦（国立歴史民俗博物館・総合研究大学院大学）、齋藤努（同左）

◯Shigeyuki WAKAKI (NMJH) , Kotoko YAMADA (The Graduate University for Advanced Studies), Takehiko MATSUGI, Tsutomu SAITO (NMJH, The Graduate University for Advanced Studies)

1. はじめに

緑色凝灰岩や碧玉を材料として製作された管玉は、弥生時代から古墳時代に至る長い期間にわたって日本列島内の広域で墳墓への副葬品として用いられてきた。西日本においては、弥生時代より北陸および山陰を中心として碧玉材料の産地周辺に玉作を行う遺跡が複数所在していたことが知られている。これらの地域では、北陸では古墳時代前期後半まで、山陰では古墳時代後期まで玉の製作が続けられていたことが確認されている。

一方東日本では、古墳時代前期中頃から緑色凝灰岩を材料として管玉の製作を行う遺跡が出現する。こうした玉作工房の中には近隣に緑色凝灰岩の産地が所在していないものもあり、石材をどのように供給していたのか明らかではない。また、東日本における玉作は、弥生時代から玉作をおこなってきた北陸や山陰など西日本からの技術移転により開始されたと考えられるが、その技術がどの地域に由来するものか不明である。東日本地域の玉作工房址出土の石材の産地を明らかにすることで、東日本地域における石材の供給の様相、玉作の技術の由来や伝播過程の解明につながる可能性が高い。このような研究を進めるためには、緑色凝灰岩の産地を列島の規模で区別し推定するための手法が必要となる。

本研究では、緑色凝灰岩の産地推定を行うための新たな手法として、Sr 同位体分析を中心とした Rb-Sr 同位体系分析に着目し、緑色凝灰岩試料の分析を通じて、産地推定の実現可能性を検討する。これまでに用いられた手法である主成分化学組成や鉱物組成は同一岩石種内では大きな差異が生じにくいが、Rb-Sr 同位体系は岩石の起源物質および形成プロセスの差異によって顕著な違いが生じるため、解像度の高い産地推定の実現が期待される。

2. 分析資料の概要

本研究では、東日本および北陸、山陰地域における玉作遺跡の近傍より緑色凝灰岩を採取し、分析に供した。試料の採取地は、神奈川県厚木市および埼玉県東松山市、石川県小松市、石川県金沢市、島根県松江市の 5 ヶ所で、それぞれの地点で複数の岩石試料を分析した。

3. 分析手法

岩石試料は、粉末化ののちにフッ酸および硝酸の混酸を用いた酸分解で溶液化した。試料溶液の一部を分取して、微量元素である Rb および Sr の定量分析を行なった。分取した試料溶液は、希釈ののち内標準法を用いて ICP 質量分析計（NexION 2000B, Perkin-Elmer 社）で測定をおこなった。Rb および Sr の定量は検量線法で行なった。次に、Sr 抽出樹脂を利用したカラムクロマトグラフィーによって Sr を単離抽出し、マルチコレクターICP 質量分析計（Neptune plus, Thermo Fisher Scientific 社）もしくは表面電離型質量分析計（Triton XT, Thermo Fisher Scientific 社）を用いて Sr 同位体分析を行った。いずれの機器でも、機器的質量分別作用の補正には、内部補正法と $^{86}Sr/^{88}Sr = 0.1194$（Steiger and Jäger, 1977）を用いた。

4. 結果および考察

緑色凝灰岩の Sr 同位体比分析結果を、図 1 に示す。緑色凝灰岩試料は、それぞれの産地において $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比は同一の値を取らず幅を持った分布を示した。これは、緑色凝灰岩の形成年代を考慮すると当然の結果と考えられる。また、5 ヶ所の産地のうち、東松山・金沢・松江の試料は $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比の分布域が重複し、互いに区別することは困難であった。一方で、$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比を ^{87}Sr の親核種である ^{87}Rb と ^{86}Sr の比（Rb と Sr の定量値より算出）に対してプロットする、所謂 Rb-Sr 放射壊変系アイソクロン図（図２）においては、緑色凝灰岩試料は、それぞれの産地ごとに特有の直線状の分布を示した。この分布は、それぞれの試料の地質学的由来を反映していると考えられる。金沢を除く 4 地点の試料の示す傾きは 1500 万年程度の形成年代を示唆するが、これはこれらの試料を産する地層がいずれも中新統であるという地質学的観測と矛盾しない。本結果は、緑色凝灰岩の産地推定法として、Rb-Sr 同位体系分析が有用であるという可能性を強く示すものである。

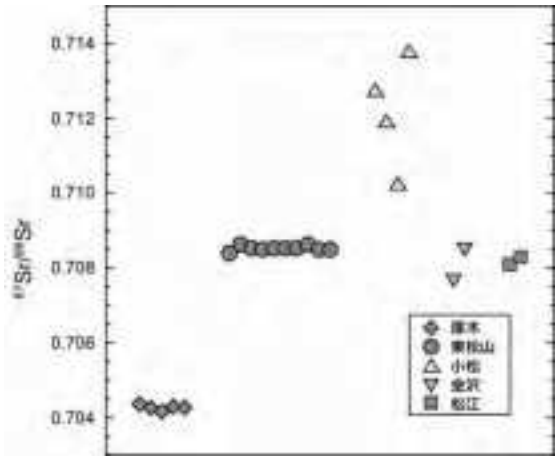


図１　緑色凝灰岩の Sr 同位体比の比較図（横軸は試料番号順）

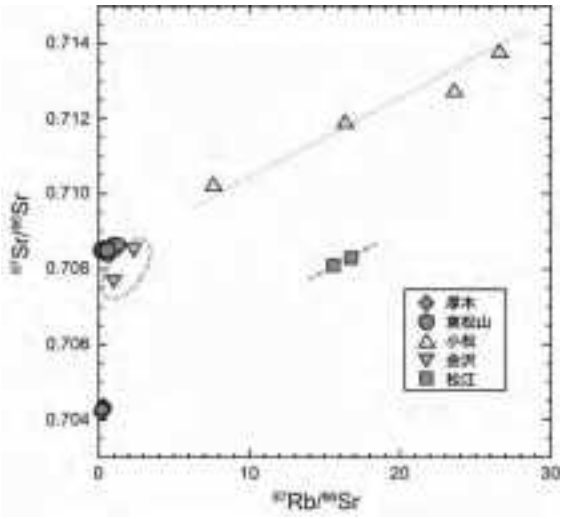


図２　Rb-Sr 放射壊変系アイソクロン図における緑色凝灰岩の比較

携帯型蛍光 X 線分析装置による"白頭山(長白山)黒曜岩"の追跡と方法論的試行

Trace and Methodological Challenge of "Paektsusan (Changbaishan) Obsidian" in Korean Palaeolithic Site with HHXRF

○上峯篤史（南山大学）
○Atsushi UEMINE (Nanzan University)

1. 背景

中国東北部や朝鮮半島の旧石器～新石器時代遺跡では黒曜岩製石器がしばしば出土し、その産地は中国／北朝鮮国境に位置する白頭山(長白山)周辺と推定されている。しかし主要な産出地が北朝鮮国内にあり、産地既知の原礫試料が乏しいこと、国によって研究伝統や使用する分析装置が異なることが要因となって、互換性のない測定値に基づく議論が席巻している。本発表では、携帯型蛍光 X 線分析装置(HHXRF)の測定値を、異なる方法による測定値と比較可能な値に変換する試みと、それにもとづいて韓国の旧石器に使用された黒曜岩の化学組成を調べた結果を報告する。

2. 方法と対象

東京航業研究所地球化学分析室が取りまとめた、日本列島の黒曜岩のデータセット(TAS2020)には、据置型蛍光 X 線分析装置(LXRF)による測定値と、検量線法で求められた元素濃度が掲載されている(Ref.1)。細分の可能性が乏しい判別群のうち、鍛冶屋、上多賀、柏峠、安島、湯ヶ峰、加茂、岸浜今津、腰岳、椎葉川、牛ノ岳 A(淀姫)、大崎半島、姫島、小国の 13 判別群については、演者が原礫を入手可能であった。これらの剝片試料を Bruker 社製 HHXRF Tracer 5i (#900F4669)にて測定し、装置にプリインストールされた obsidian 検量線で元素濃度を求めた。管電圧・管電流、フィルターは自動設定、測定時間は 60 秒、X 線照射面径は 8mm とし、大気雰囲気で実施した。次に、別途用意した黒曜岩原礫(腰岳、淀姫)から作成した剝片試料、Giho Culture Heritage Research Center および Gyeore Institute of Cultural Heritage 所蔵の後期旧石器時代遺物(韓国)を HHXRF で測定した。

3. 結果

TAS2020 と HHXRF による測定値から、判別群ごとに平均値を求め、両者の相関関係を調べた(Fig. 1)。Mn と Y 以外の 5 元素では相関係数が 0.99 をこえ、HHXRF による測定値を、TAS2020 に網羅された測定値と比較可能な値に変換可能と考えられる。既往の文献から、「白頭山黒曜岩」に関連する原礫の測定値と、同一条件で測定された腰岳、淀姫神社の黒曜岩の測定値を収集し、変換した HHXRF の測定値と比較した(Table 1)。分析方法や測定者の違いにもかかわらず、両者は近似する。

以上の手続きで、遺跡出土の黒曜岩製遺物から「白頭山黒曜岩」を抽出し、既知の判別群(PNK1・2)に対比できる。韓国抱川市の Jung-ri Neulgeori 遺跡、Jung-ri Youngsujaeyul 遺跡は、漢灘江を挟んで向かい合う位置にありつつも、黒曜岩の利用傾向には違いが見られた。PNK1 の産出地は北朝鮮側、PNK2 の産出地は国境周辺と考えられている(Ref.8)。朝鮮半島の黒曜岩の悉皆的分析によって、黒曜岩採取地の時期差が抽出できる可能性が示唆される。

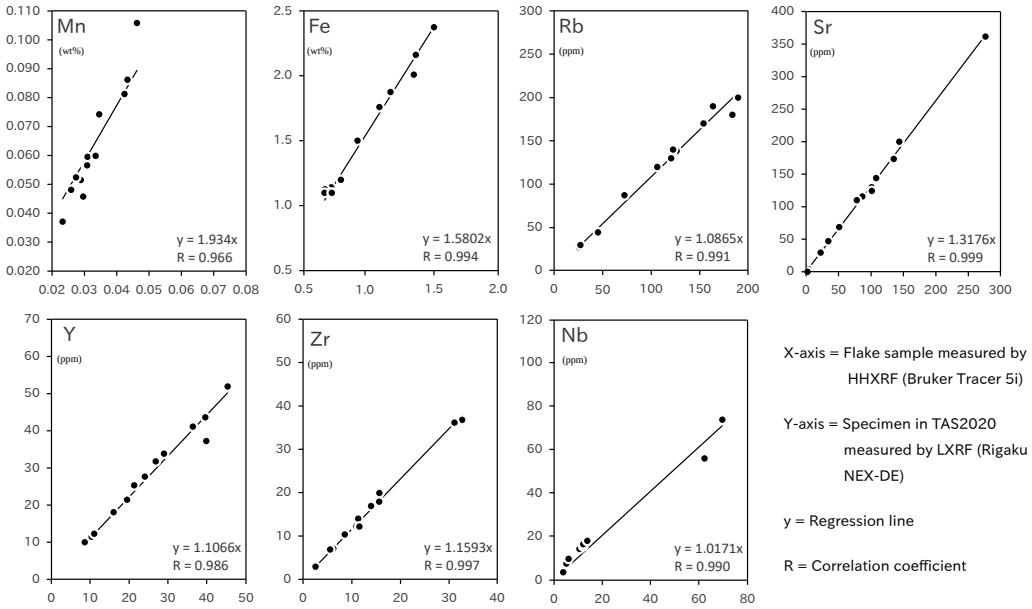


Fig. 1. HHXRF concentration (Bruker/MURR Calibration) versus LXRF concentration (TAS2020).

Table. 1. Summary of concentration of Paektsusan and Japanese (Kyushu) obsidian.

Category	Source/Series	Method	Sample size (n)	Mn (wt%)	Fe (wt%)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)
Geo. Samp.<Ref.2>	PNK1	NAA	2	-	-	233 ± 9	-	-	256 ± 9	-
	PNK2	NAA	3	-	-	305 ± 64	-	-	1746 ± 142	-
	PNK3	NAA	3	-	-	132 ± 5	-	-	506 ± 19	-
Geo. Samp.<Ref.3>	Chongjin	PIXE	2	-	1.42 ± 0.04	256 ± 16	17 ± 2	-	232 ± 22	-
Geo. Samp.<Ref.4>	PNK1	NAA	38	0.031 ± 0.001	1.08 ± 0.02	236 ± 9	28 ± 6	-	251 ± 12	-
	PNK2	NAA	5	0.099 ± 0.004	2.96 ± 0.10	285 ± 6	-	-	1247 ± 37	-
	PNK3	NAA	3	0.104 ± 0.003	3.7 ± 0.06	132 ± 5	-	-	506 ± 19	-
Geo. Samp.<Ref.5>	PNK2	LA-ICP-MS	-	-	-	352	4	-	1961	-
	PNK3	LA-ICP-MS	-	-	-	133	16	-	600	-
	Koshidake	LA-ICP-MS	-	-	-	184	43	-	75	19
	Chongjin	LA-ICP-MS	-	-	-	233	28	-	226	83
	PNK1	LA-ICP-MS	-	-	-	236	28	-	252	112
	PNK2	LA-ICP-MS	-	-	-	352	4	-	1961	260
	PNK3	LA-ICP-MS	-	-	-	111	30	-	506	73
Geo. Samp.<Ref.6>	Southern flank of Mt. Paektsusan	LA-ICP-MS	7	0.029 ± 0.011	0.818 ± 0.230	223 ± 22	11 ± 2	44 ± 5	189 ± 21	88 ± 7
	Trachytic lava layer	LA-ICP-MS	1	-	0.029	364	0.4	154	2444	295
Geo. Samp.<Ref.7>	Korea	LA-ICP-AES	19	0.013 ± 0.013	1.408 ± 0.594	-	17 ± 2	-	366 ± 32	-
Geo. Samp.<Ref.8>	Chongjin	NAA	1	-	1.040	220	30	-	249	-
Geo. Samp.<Ref.9>	Koshidake	LA-ICP-MS	1	-	0.632	175	33	19	51	17
	Yodohime	LA-ICP-MS	1	-	-	137	103		156	20
	PNK1	LA-ICP-MS	6	-	0.787	226	20	42	201	84
	PNK2	LA-ICP-MS	6	-	3.015	307	1	96	1483	169
Geo. Samp.	Koshidake	HHXRF	2	0.057 ± 0.013	1.026 ± 0.031	173 ± 6	45 ± 2	22 ± 1	62 ± 1	14 ± 3
	Yodohime	HHXRF	3	0.055 ± 0.009	1.510 ± 0.042	134 ± 4	134 ± 3	16 ± 1	133 ± 1	16 ± 1
Arch. Samp. (Neulgeori Site)	PNK1	HHXRF	44	0.049 ± 0.008	1.666 ± 0.174	232 ± 19	28 ± 10	54 ± 5	233 ± 17	77 ± 8
	PNK2	HHXRF	17	0.138 ± 0.031	4.562 ± 0.681	313 ± 29	< LOD	109 ± 8	1432 ± 212	159 ± 10
Arch. Samp. (Youngsujaeyul Site)	PNK1	HHXRF	6	0.051 ± 0.007	1.624 ± 0.100	221 ± 10	33 ± 10	59 ± 4	231 ± 11	70
	PNK2	HHXRF	12	0.123 ± 0.035	4.512 ± 0.675	316 ± 25	< LOD	113 ± 7	1465 ± 130	160 ± 10

<Ref. 1> Tokyo Air Survey Co., Ltd. (2020) *Arch. Res. Bull.* 1.
<Ref. 2> Popov, V. K. et al. (2005) *Doklady Earth Sci.* 403.
<Ref. 3> Kim, J. C. (2007) *Indo-Pacific Prehistory Assoc. Bull.* 27.
<Ref. 4> Kuzmin, Y. V. et al. (2014) *Methodological Issues for Characterisation and Provenance Studies of Obsidian in Northeast Asia*.
<Ref. 5> Kim, J. C. (2016) *Report the Excavation of jing-ri Neulgeori Site in Pocheon (Appendix)* (Korean).
<Ref. 6> Jwa, Y. J. et al. (2019) *Open Arch.* 5.
<Ref. 7> Liu, S. (2019) *The Provenance of Obsidian Artifacts from the Upper Paleolithic Sites in Northeast China*. Science Press (Chinese).
<Ref. 8> Popov, V. K. (2019) *Quat. Int.* 519.
<Ref. 9> Kim, J. C. et al. (2021) *J. of Arch. Sci.: Reports*, 39(46).

鉢形城跡から出土した鉄砲玉の材質と材料産地推定
Material and Provenance of Bullets Excavated from Hachigata Castle

○三浦麻衣子（帝京大学文化財研究所）、畑大介（同左）
○Maiko MIURA, Taisuke HATA (Research Institute of Cultual Properties, Teikyo University)

1. はじめに

戦国時代、戦いに鉄砲が導入されて以降、戦い方は大きく変化した。戦いにおいて鉄砲は重要な兵器であり、戦国大名は鉄砲関連の物資を手に入れることに奔走していたと考えられる。戦国時代の合戦場や戦国大名の拠点では鉄砲玉が出土しており、近年自然科学的な研究が進んできている。先行研究から西国大名は鉄砲玉に適した材質である鉛製の鉄砲玉を使用していたが、東国大名は銅合金製や鉄製の鉄砲玉を使用していた傾向が徐々に明らかになってきている。

本研究では埼玉県寄居町に位置する小田原北条氏の支城である鉢形城跡から出土した鉄砲玉について、蛍光 X 線分析による材質調査と鉛同位体比分析による材料産地推定を行ったので、結果を報告する。

2. 分析対象資料

鉢形城跡から出土した鉄砲玉 6 点であり、現段階で出土している全ての資料である。天正 18（1590）年の豊臣秀吉による小田原北条氏攻めの際に使用された可能性が高いとみられる。資料の大きさ、重量を表に示す。

表．分析資料一覧

資料No.	寸法（㎜）	重量（g）
No.1	13.8×11.9×12.0	9.45
No.2	12.8×12.6×12.4	10.27
No.3	12.2×11.6×10.7	8.50
No.4	12.4×12.1×11.6	9.66
No.5	14.9×13.4×10.0	10.93
No.6	11.6×11.3×11.3	5.10

3. 分析方法

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

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

【鉛同位体比分析】表面電離型質量分析計（Finnigan MAT262）、試料条件（試料から分離した鉛 300ng をリン酸とシリカゲルと共にレニウムフィラメント上に塗布）、測定条件（フィラメント温度約 1200℃、測定値は同一条件で測定した標準鉛試料 NBS-SRM-981 で規格化）

4. 分析結果と考察

【蛍光 X 線分析】No.1～5 までの 5 点は鉛を強く検出し、半定量値で鉛の濃度は 99mass%以上であった。また、不純物程度の銅が 5 点中 4 点の資料から検出された。No.6 からは銅、スズ、鉛、亜鉛を検出し、鉛を含む青銅製であることが判明した。半定量値は銅が 57mass%、スズが 21mass%、鉛が 21mass%であり、亜鉛は微量に含まれる。

東国大名の拠点では銅合金製の鉄砲玉が多数出土している。筆者らは過去に鉢形城と同様の小田原北条氏の支城である八王子城跡（東京都八王子市）と葛西城跡（東京都葛飾区）で出土した鉄砲玉の自然科学的な調査を実施し、銅合金製鉄砲玉の化学組成を把握している[1, 2]。八王子城から出土した鉄砲玉は鉛を含む青銅製であり、No.6 と化学組成が類似している。一方で葛西城出土品はスズをほとんど含まない鉛－銅合金製であり、同じ大名領域内でも、銅合金製鉄砲玉の化学組成は多様なものが存在していることがわかった。

【鉛同位体比分析】結果を図 1（A 式図）と図 2（B 式図）に示す。図 1、2 から No.3 は日本産、No.4 は朝鮮半島産、No.6 は中国華南産と推定される。No.2 と 5 は各産地領域には含まれていないが図 1、2 の両図で朝鮮半島産ラインの延長線上に位置しているため朝鮮半島産の可能性が高い。No.1 は現段階では産地不明である。

鉢形城出土の鉛製鉄砲玉 3 点が朝鮮半島産の可能性が高い。葛西城跡からも鉛製の鉄砲玉が 2 点出土しており、2 点ともに材料産地は朝鮮半島産と推定されている[2]。鉢形城も葛西城も 1590 年に小田原北条氏攻めが行われた城であり、この戦いの際には、朝鮮半島産の材料から製作された鉄砲玉が少なからず使用されていたと推測できる。これまでに材料産地推定が行われた戦国時代の鉄砲玉で朝鮮半島産と推定されているものは全国的に見ても少ないため、小田原北条氏攻めに使用された鉄砲玉の特徴であろうか。

蛍光X線分析で鉛を含む青銅製であると確認された No.6 は中国華南産であり、先行研究において東国大名の拠点から出土する銅合金製の鉄砲玉はほとんどが中国華南産であることから、結果が一致している。

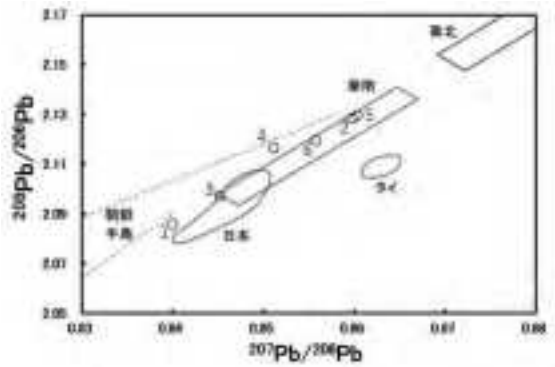


図 1. 鉢形城跡出土資料の鉛同位体比（A 式図）

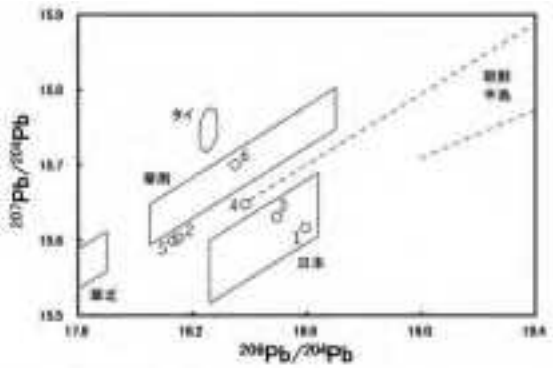


図 2. 鉢形城跡出土資料の鉛同位体比（B 式図）

5. おわりに

東国大名北条氏の支城である鉢形城跡から出土した鉄砲玉の調査を実施した。これまでに行った北条氏の支城である八王子城跡、葛西城跡の調査結果と比較することで、当時の戦の状況を少しずつ把握することができるようになってきた。今後も継続的に戦国大名の拠点から出土する鉄砲玉の調査を行い、軍事物資である鉄砲玉材料の入手ルートを検討していきたい。

【協力】本研究は鉢形城歴史館のご協力のもと行われたものです。

【謝辞】本研究は公益財団法人髙梨学術奨励基金・令和 4 年度若手研究助成を受け実施しました。

【参考文献】（1）三浦麻衣子・藤澤明・金子征史・村山修「八王子城出土鉄砲玉に使用された材料の鉛同位体比による推定」『文化財保存修復学会第 41 回研究発表要旨集』2019（2）三浦麻衣子・藤澤明・畑大介・永越信吾「葛西城址出土の鉄砲玉の材質と材料産地推定」『日本文化財科学会第 39 回大会研究発表要旨集』2022

観音院における三次元微動トモグラフィ探査を用いた地盤調査

Ground investigation using 3D microtremor survey at Kannon-in Temple

○高瀬尚人（応用地質株式会社）、小林恵（同左）、中静美波（同左）、市原健（同左）、
奥村信一（株式会社都市景観設計）
○Naoto TAKASE、Megumi KOBAYASHI、Minami NAKASHIZUKA
Ken ICHIHARA (OYO Corporation)、Shinichi OKUMURA (TOSHIKEIKAN SEKKEI INC.)

1. はじめに

文化財建造物は、立地条件や構造・維持管理等により、変状や耐震上の問題を有するものがあり、本来の価値を損なわない範囲での対策・補強工事が推奨されている。立地条件に起因する変状に対しては建物直下を含めた周辺の地盤調査が必要となるが、建物が存在することでボーリング調査等の適用も困難となる。そのような条件下で我々は独立型微動計 McSEIS-AT を用いた三次元微動トモグラフィ探査を用いることにより、建物床下での探査も可能としている。

鳥取県鳥取市に所在する観音院は、江戸時代初期に開創された寺院であり、境内に造られた国指定名勝・観音院庭園によって広く知られている。この本堂基壇の一部に亀裂が確認されたことから、建物直下および周辺の地盤調査を実施した。

その結果、変状の起因となる地盤構造について立体的に把握することができ、三次元微動トモグラフィ探査の有効性を確認したので報告する。

2. 探査概要

地盤の硬さを示す物理量「S 波速度」を測定する物理探査手法として「微動探査」がある。

これまでの微動探査は、深度方向に対する一次元探査が一般的であった。しかし近年、微動計の小型化と価格の低下、操作性・耐久性が向上し、多数の微動計を用いた二・三次元の微動トモグラフィ探査の調査が増えている。

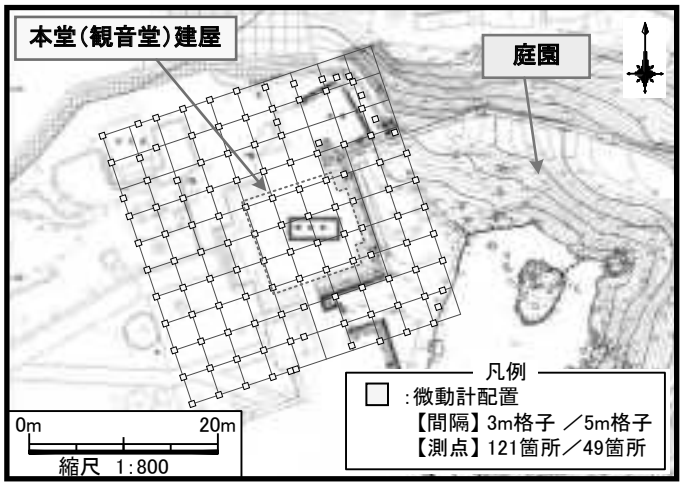


図 1. 観音院本堂と微動計配置

本調査における微動計配置を図 1 に示す。本堂建屋を中心として 3m 格子および 5m 格子の 2 パターンで測定を行った。使用した機器は Geometrics 社の独立型地震探査装置（Mc-SEIS AT：ATOM）と固有周波数 2Hz の速度型地震計（36 台を使用）であり、本殿周辺および床下での測

定状況を写真 1 に示す。



写真 1. 三次元微動トモグラフィ探査測定状況（左：屋外、右：床下）

3. 探査結果

三次元微動トモグラフィ探査の解析例として、本堂の南側および北側の代表地点における周波数－位相速度イメージを図 2 に示す。微動探査では低周波数（長い波長）ほど深部の速度を反映していることから、南側の地山（基盤）は北側よりも深いと推定される。また地盤の硬軟を示す物理量であるＳ波速度と相関する位相速度は南側の方が遅いことから、Ｓ波速度も遅い（地盤が軟らかい）と推定される。

解析結果のＳ波速度構造立体図を図 3 に示す。これによると、調査地は谷地形を埋め立てた造成地盤であり、本堂の南側一部はこの軟弱地盤上に位置することが推定された。このことから対策工は限定的で済むと判断することができた。

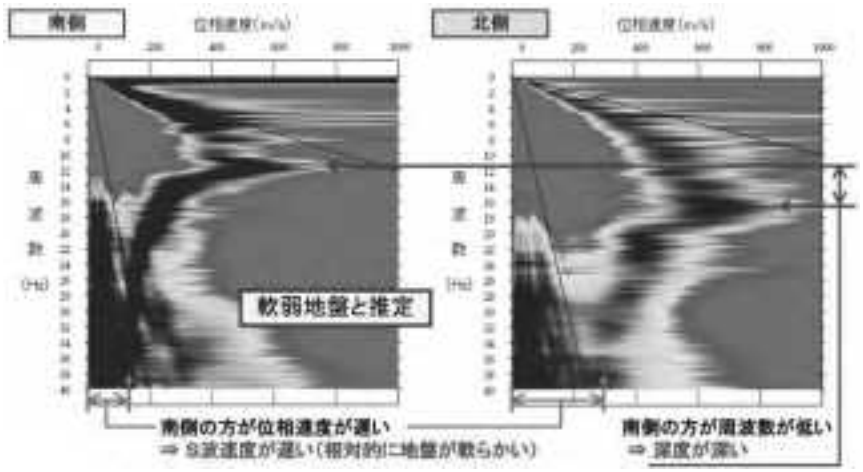


図 2. 解析例（周波数－位相速度イメージ）

4. おわりに

文化財建造物の地下に対して三次元微動トモグラフィ探査を適用し、建造物周辺の地下構造を可視化することで立地環境を把握することができた。

建造物を解体や移動させることなく軟弱地盤等の変状原因を把握できるため、文化財の価値を損なうことなく、対策・補強工事を効率的に検討することができる有効な手段と考える。

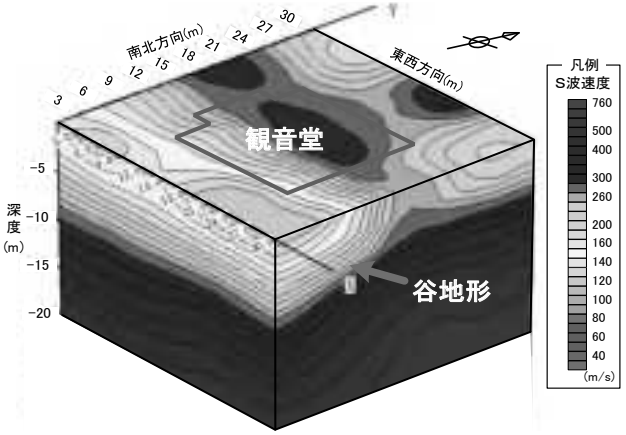


図 3. Ｓ波速度構造立体図

京都府久津川車塚古墳における物理探査

Geophysical Survey at Kutsukawa-Kurumazuka Tomb in Kyoto prefecture

◯岸田徹（天理大学）、小田木治太郎（同左）、桑原久男（同左）、橋本英将（同左）、岸本直文（大阪公立大学）、長友朋子（立命館大学）、浅井猛宏（城陽市教育委員会）

◯Toru KISHIDA, Harutaro ODAGI, Hisao KUWABARA, Hidemasa HASHIMOTO (Tenri University), Naofumi KISHIMOTO (Osaka Metropolitan University), Akiko NAGATOMO (Ritsumeikan University), Takahiro ASAI (Joyo Municipal Board of Education)

１．はじめに

京都府城陽市に所在する久津川車塚古墳（国指定史跡）は、５世紀前半に築造されたと考えられる山城地域最大の前方後円墳である。墳丘全長は約 175ｍを測り、周囲には周濠、外堤、外堀がめぐる。後円部からは長持形石棺をはじめ、銅鏡、玉類、鉄製武器、武具など多くの副葬品が出土している。

同古墳においては、2015 年度に西側くびれ部において物理探査を実施し、造り出しの位置、形状並びに造り出しに設けられた埋葬施設の探査を実施、良好な成果を得ている（岸田ほか、2016）。今回は探査対象を周濠及び外堤として、その位置や深度を推定することを目的として探査を行った。



図１　物理探査範囲（A・B・C 区）

２．探査の概要

探査は 2022 年 3 月に行った。本年度は、地中レーダ（GPR）探査、電気比抵抗探査の２種類の探査手法を用いたが、電気比抵抗探査は隣接する JR 奈良線の漏洩電流の影響であろうか、有効なデータが取得できなかったため、本稿では地中レーダ探査の結果について述べる。地中レーダ探査範囲を図 1 に示す。後円部の東側にＡ、Ｂ、Ｃ区の 3 か所の探査区を任意に設定した。探査に使用した機器は米国 GSSI 社製 Sir-3000 及び中心周波数 200MHz のアンテナである。

３．探査結果

後円部北東側の周濠の検出を目的として設定したＡ区では、GPR profile に外堤の立ち上がりを示すような明瞭な構造は認められなかった。過去の周辺の発掘調査より予想された周濠の位

置から東に 5m程度離れた位置に帯状に続く異常は認められたが、この異常を直ちに周濠と解釈することは難しかった。B、C区も同様に異常応答は捉えられるものの、墳丘および外堤斜面や周濠底、または葺石等を明瞭にとらえているような結果ではなかった。

４．発掘結果との対比

そこで探査後に城陽市教育委員会により実施された発掘調査の成果と探査結果を比較検討することとした。A区の範囲内に設けられたトレンチ（22-2tr）の成果から、外堤は削平の影響を受け、上部の残存状態は良好ではないが、地表下約 1.2～2.8mまでは斜面葺石が確認されている。また、周濠内には洪水堆積物が厚く堆積していることが判明した。この成果を受け、A区の探査データの再解析・再解釈を行った。図２が深度約 1.14～2.66mにおける time-slice 図である。探査区西側の矢印で示した破線以西に反射の強い領域（黒色で示す）が認められるが、これは周濠内に堆積した洪水堆積物を示していると考えられる。B区においても同様に洪水堆積物の分布を探ることで周濠と考えられる範囲を間接的にではあるが推定することができた。C 区についてはトレンチ調査の結果、洪水堆積層が地表下約 0.5m から墳丘裾部まで 3～4m 厚で堆積しており、ほぼ洪水堆積層中を探査する結果であったため、墳丘の立ち上がりを捉えることができなかったと思われる。

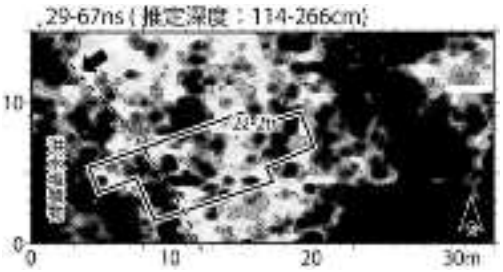


図２　A 区における探査結果（深度 29-67ns までの異常を重ね合わせた図）。破線以西が洪水堆積物を示す異常と考えられる

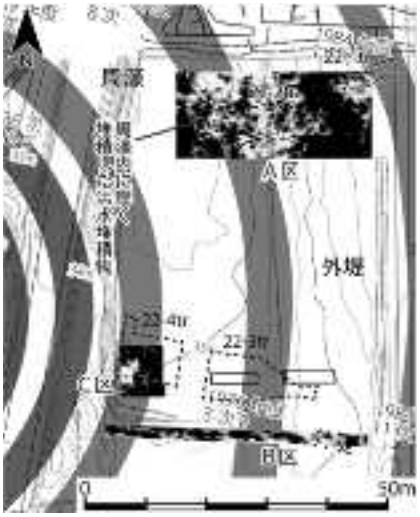


図 ３　代表的な探査結果と発掘調査から推定されている周濠及び外堤の位置

５．まとめ

本研究では、探査後の発掘調査の成果をもとに、地中レーダ探査が何を捉えており、それが遺構とどのような関係にあるかを検討したうえでデータの再解析と再解釈を実施した。遺構の削平の状況や埋没環境を把握することで、当初困難であったデータの解釈を進めることが可能となった。同古墳における探査は今後も続けていく予定であるが、このような検証作業を地道に進めていくことで、今後の探査結果の精度が向上し、非破壊調査の有用性が増していくことが期待される。

＜参考文献＞

・岸田ほか（2016）京都府城陽市久津川車塚古墳における物理探査，日本文化財科学会第 33 回大会研究発表要旨集，日本文化財科学会，pp. 352-353.

・城陽市教育委員会（2023）城陽市埋蔵文化財調査報告書第 81 集，京都府城陽市教育委員会, 21pp.

地球温暖化による劇的環境変動に適した石造文化遺産の調査・保存法の総合的研究（2）－竹田城花屋敷曲輪での物理探査の試行

Comprehensive research on survey and preservation methods for stone cultural heritage suitable for dramatic environmental changes due to global warming (2)-Archaeological Prospection trial at the Hanayashiki enclosure of Takeda Castle

○金田明大（奈良文化財研究所）、塚本敏夫（元興寺文化財研究所）、植田直見（同左）、雨森久晃（同左）、山口繁生（同左）、坂本俊（同左）、若杉勇輝（同左）、田邊征夫（同左）、三村衛（GRI 財団）、朽津信明（東京文化財研究所）、大川拓也（朝来市教育委員会）、池野祐希（朝来市教育委員会）、松田篤（滋賀県）

○Akihiro KANEDA(Nabunken), Toshio TSUKAMOTO, Naomi UEDA, Hisateru AMENOMORI, Shigeo YANAGUCHI, Shun SAKAMOTO, Yuuki WAKASUGI, Ikuo TANABE(Gangoji Institute for Research of Cultural Property),Mamoru MIMURA(GRI Foundation),Nobuaki KUCHITSU(Tokyo National Research Institute for Cultural Property), Takuya OKAWA, Yuki IKENO(Asago City) , Atsushi MATSUDA(Shiga Prefecture).

1. 研究の概要

石造文化財の保護を主眼として実施している本研究では、城郭における石垣の保全が主な課題の一つとなっている。兵庫県朝来市竹田城は、室町時代に築城され、江戸時代初頭に廃絶された山城であり、雲海に浮かぶ石垣群の美しさから多くの観光客をひきつけている。近年、遺跡の保全などの課題も指摘されており、これに資する情報収集手段として、物理的手法における探査が有効と考え、本研究では試行した。研究の全容については、関連する別の発表に譲るが、この一環として試行の成果を報告する。

2. 対象と方法

本研究では竹田城の花屋敷曲輪地区について主に試行をおこなった。今回の試行では、石垣を主眼として、活用が可能な複数の物理的手法を用いた探査を実施し、その有効性と限界を確認すること、個別の対象に応じた情報取得方法の確立すること、を目的としている。まず、基礎情報の取得として、地区全体の平面部分の探査を実施した。試みた機材は地中レーダー（GPR）として GSSI 社 SIR-3000 に 70MHz／270MHz アンテナ、電磁（EM 法）探査として GF Instruments 社 CMD-Miniexplorer を使用した。

3. 結果と課題

ここでは、270MHz アンテナによる GPR 探査の成果を示す。東部の石垣は変形や一部崩落が確認されており、石垣に平行方向に段差を生じている部分が地表で観察できるが、これに対応するようにレーダーの断面でも変化が捉えられる。この成因としては地滑りによるもの、石垣の積直しによるもの、平坦面の拡張によるものなど複数の可能性が指摘でき、今後それを検証していきたい。また、続いて石垣表面からの GPR 探査を試みており、現在解析を進めている。

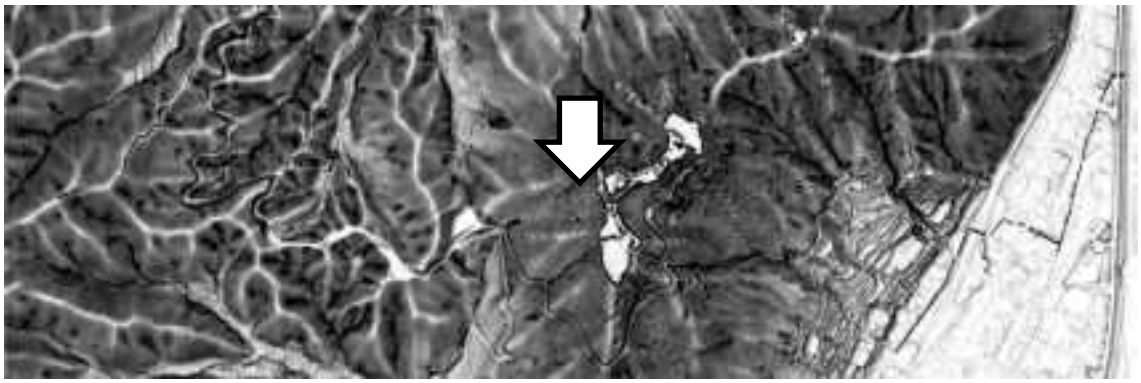


図１）竹田城及び周辺地形と花屋敷曲輪の位置（矢印）　兵庫県高精度３次元データより

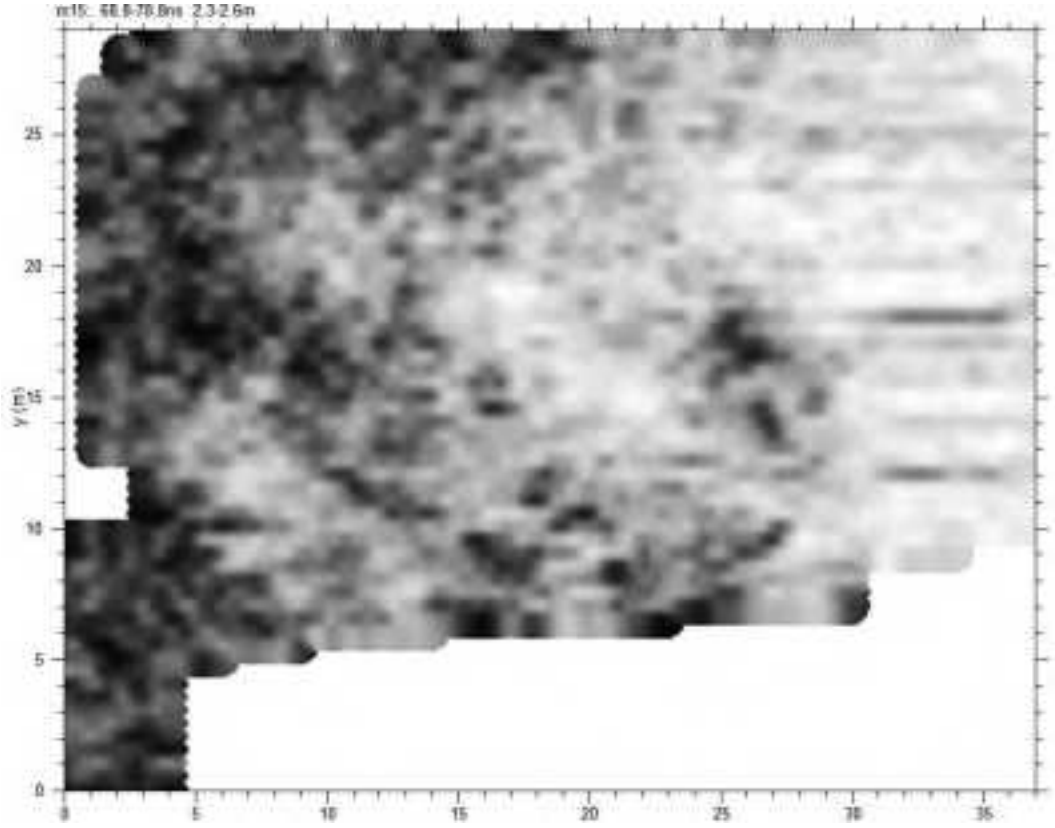


図２）花屋敷曲輪地区 GPR　Time-Slice 図（68~78ns 付近）

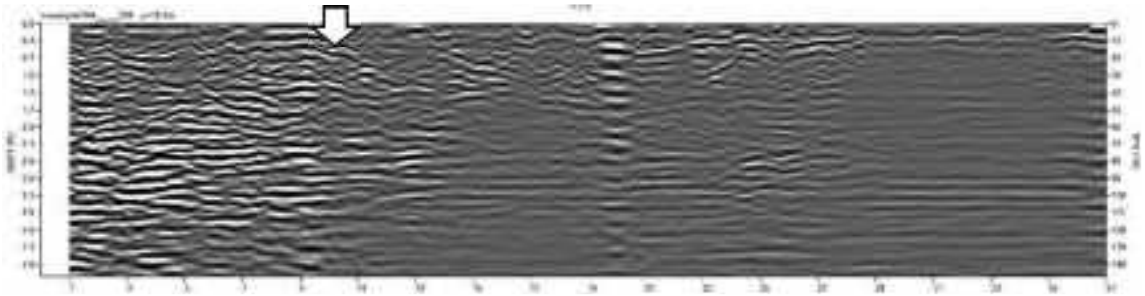


図３）GPR　Profile 図（東西方向・南より 18.5m ライン）

左端に石垣が存在する。矢印部分は地表で確認される段差の位置。

本研究は JSPS 科研費 JP22H00029 の成果の一部である。

熱ルミネッセンス年代測定法を用いた
新潟県内近世近代窯業址の操業時期解明に向けて

Estimation of the Date of Modern Ceramic Kilns
in Niigata Prefecture Using Thermoluminescence Dating

◯西田泰民（新潟県立歴史博物館）、下岡順直（立正大学）
長友恒人（奈良教育大学名誉教授）
◯Yasutami NISHIDA (The Niigata Prefectural Museum of History), Yorinao SHITAOKA (Rissho University), Tsuneto NAGATOMO (Emeritus professor of Nara University of Education)

1. はじめに

新潟県内では 19 世紀から 20 世紀にかけて窯業が盛んに行われていたが、窯跡は残っていても史料がほとんどなく、年代が特定できない事例も多く存在している。現在、新潟県内窯業址を調査記録する作業を継続しており、124 窯を集計している（西田 2022a）。しかし、必ずしも埋蔵文化財としての保護対象ではないことから、失われた窯跡も多い。2022 年より、関原焼清水窯（西田 2022b）や三光焼深谷窯において発掘調査を行い、窯の位置なども判明しつつあるが、限られた情報データでしかない。もし、発掘調査で炭化物が得ることができれば放射性炭素年代測定も可能であるが、炭化物は現在得えられていない。また、出土炭化物では最外輪の炭化試料が得られない場合が多く、ある年代以降という形でしか年代推定ができない。そこで、新潟県内の近世近代窯業址の操業時期を推定するために、熱ルミネッセンス（TL）年代測定を試みた。TL 法は、数百～数十万年程度の試料に最適な年代測定法とされる。しかし、TL 年

表１　窯業址の閉窯年と TL 年代測定結果

窯業址	試料	等価線量 (Gy)	低線量域補正 (Gy)	蓄積線量 (Gy)	年間線量 (mGy/年)	TL年代 (年前)	閉窯年
関原焼清水窯	窯壁	0.37±0.20	0.10±0.10	0.47±0.22	3.86±0.06	120±60	1910年頃
	窯壁	0.29±0.09	0.11±0.04	0.40±0.10	3.66±0.06	110±30	1910年頃
金ヶ崎窯	窯壁	0.25±0.11	0.05±0.02	0.30±0.11	3.90±0.10	80±30	1944年
丸山窯	焼台	0.55±0.20	0.19±0.10	0.73±0.23	4.13±0.05	180±50	1863年？
村岡焼高橋窯	窯壁	0.38±0.11	0.11±0.12	0.49±0.16	4.48±0.11	110±40	1915年
麻生田窯	窯壁	0.23±0.08	0.15±0.10	0.38±0.13	3.15±0.09	120±40	1903年頃
深谷窯	窯壁	(0.31±0.08)	(-0.02±0.11)	(0.30±0.13)	4.41±0.07	(70±30)	近世末？

※ 括弧の値は、過小評価の可能性が考えられる。

代測定における若い試料の測定例としては、原爆線量評価のバックグラウンドとなる自然放射線量評価のために瓦の製造年を明らかにする必要から、Ichikawa and Nagatomo (1983)が屋根瓦を TL 測定して、67.5 年前(誤差５%)という結果を得ている。このことから、TL 法による近世近代における窯業址の窯壁や焼台（以下、試料）を用いた蓄積線量評価も可能と考えた。

試料に焼台など窯道具や窯壁を試料とする利点としては、陶磁器の製品と異なり、他地域で使用されたものが持ち込まれることが考えにくい。また、陶磁器の製品と違って表採されることなく現地に残される可能性が高いことも TL 年代測定の試料としやすい。ただし、窯壁の場合は最後の使用時の年代を反映していると考えられるが、窯道具の場合は操業中のいつの時点でもありうるので、得られた TL 年代も検討が必要になるだろう。

TL 年代測定で試料とした６つの窯業址の情報と、史料や聞き取りから推定される閉窯年代を表１にまとめた。関原焼清水窯からは、２試料を測定した。６つの窯から合計７試料について、TL 年代測定を行った。

2. 試料処理と TL 年代測定

試料処理は、万力を用いて粉砕後、酸処理と磁気分離を行って、粒径が 50〜150 μm の石英に純化した。TL 測定は、自動測定装置 NRL-99-OSTL2-KU を用いた。TL 測定条件は、窒素雰囲気で昇温速度 5℃／sec とし、100〜500℃まで連続昇温法により測定した。TL の検出波長は、380〜550 nm（半値幅）である。年間線量は、Ge 半導体検出器で放射性元素濃度を求め、線量への換算式（Guérin *et al.* 2011）を用いて、年間β線量と年間γ線量を見積もった。

3. 結果と考察

TL 測定で求めた蓄積線量を年間線量で除することで TL 年代を求めた（表１）。深谷窯の TL 年代は、推定される閉窯年代とされる 1915 年？（西田 2022a）よりも過小評価となった。要因として、複雑な熱履歴などが想定される。なお、深谷窯の焼台に対して予備 TL 測定の結果として 140 年前という仮の数値年代が得られており、想定された操業時期の可能性は示唆できる。三光焼深谷窯は 2023 年に発掘調査を行い、操業が明治時代前期まで下ることが明らかになっている。可能であれば、一つの窯で複数試料を TL 測定することも必要だろう。丸山窯の TL 年代 180 年前は、推定される閉窯年代の 1863 年？よりもやや古い年代となった。丸山窯の試料は焼台であることから、前述したように窯道具の場合は操業中のいつの時点でもありうるので、丸山窯の TL 年代は操業時期の範囲内だろう。その他の５試料の TL 年代については、史料や聞き取りから推定される閉窯年代と整合的な結果を得ることができた。今回の測定により、TL 年代を用いた新潟県内近世近代における窯業址の操業時期推定は可能であるといえる。

参考文献：Guérin, G. *et al.* (2011) Ancient TL, 29, 5-8. Ichikawa, Y. and Nagatomo, T. (1983) Radiation Effects Research Foundation, 104-114. 西田泰民（2022a）新潟県立歴史博物館研究紀要、23、19-36. 西田泰民（2022b）新潟県立歴史博物館研究紀要、23、115-122.

木材の年層内同位体比を用いた年代決定の分析法開発

Intra-annual isotope data utilized for tree-ring dating

◯佐野雅規（名古屋大学）、李貞（同左）、中塚武（同左）

◯Masaki SANO, Zhen LI, Takeshi NAKATSUKA (Nagoya University)

1. 研究の背景と目的

年輪セルロースに含まれる酸素同位体比は、生理生態の影響をほとんど受けず、専ら夏季の相対湿度と降水量によって規定されるため、個体間での変動パターンが年輪幅に比べ良く一致する。樹種依存性が低いこともあって、これまで年代決定に不適であったサンプルも酸素同位体比を測ればその年代が定まることが分かってきた。一方で、30 年ほどの少ない年輪数のサンプルの年代を照合すると、明瞭な相関のピークが検出されず候補年代が複数出現するケースも確認されている。遺跡から出土する圧倒的多数の木質遺物は年輪数が 30 年に満たないため、これらの年輪年代を決定できれば飛躍的に分析対象が広がる。その実現には、年層を分割してデータ数を増やすアプローチが有効であると考えられる。これまで年層内分割による酸素同位体比の測定は、気候の季節変動を研究する目的で試みられてきた。一方、年代決定への応用という視点では、詳しく研究されていないのが現状である。そこで、本研究では、年層を複数に分割して酸素同位体比を測定し、年代決定に用いるデータ数を増やすことで年代照合に有効となりうるか検討した。

2. 材料と方法

本研究では、年層内データを用いた年代照合手法の開発のため、年代既知の現生サンプルを分析対象とした。具体的には、京都市のケヤキ（1972-1995 年）、長野県伊那市のスギ（1941-2020 年）、長野県上松町のヒノキ（1839-2005 年）を分析対象とした。まず、1mm 厚の薄板の形状を保ったままサンプルのセルロースを抽出したうえで、顕微鏡で観察しながら、通常の年代決定で用いる年輪単位でサンプルを切り分けた。次に、年層内分析のため、1 枚の年層に対して、ケヤキは最大 9 つ、スギは 4 つ、ヒノキは 2 つに均等分割した。

年層内分割の位置別に P1, P2, … P9（スギは P1 から P4、ヒノキは P1 と P2）とグループ分けし、それぞれの年単位の時系列と月別の気候要素との相関を算出して各部位がいつ形成されたのか推定した（年層内の位置関係は、P1 を春の成長開始直後とし、順に P2, P3, … P9 と位置番号を割当）。その後、過去 167 年間のヒノキの 2 分割データを標準年輪曲線と見立て、ケヤキやスギの年層内データを用いてパターンマッチングを実行し、その年代決定能力を評価した。

3. 結果と考察

ケヤキとスギの年層内での酸素同位体比の変動特性を図 1 に示す。ケヤキについては、成長初期の孔圏部（P1, P2）で低く、P3 と P4 の部位で極大値を示したのち、それ以降、成長の終

盤に至るまで減少する傾向を示した。一方、スギについては、成長初期の P1 で極大値を示し、それ以降は一貫して減少した。ケヤキの場合、道管を構成する孔圏部は、前年の光合成産物を利用して形成されるため、スギとは異なった年層内の変動パターンを示すと考えられる。年層内の各部位を抽出した年単位の酸素同位体比と月別の気象要素を比較した結果、相対湿度や降水量と有意な相関を示す時期が、成長の初期では 5 月、それ以降では、6、7、8 月と順に後ろの月にずれていくことを確認した。

スギ年層データを前・後半に 2 分して両者の差分を求め、同様に差分を求めた上松ヒノキをマスタークロノロジー（1839-2005 年）と見立てて、スギ 30 年分（1941～1970 年）を取り出しその年代を照合した（図 2)。その結果、分割法は、正解の 1970 年で従来の年輪全体を用いた年代照合よりも高い相関を示した。いずれの方法でも正解の年代で最も高い相関を示しており、従来法と分割法を併用することで、候補年代の絞り込みが可能になることが示唆された。

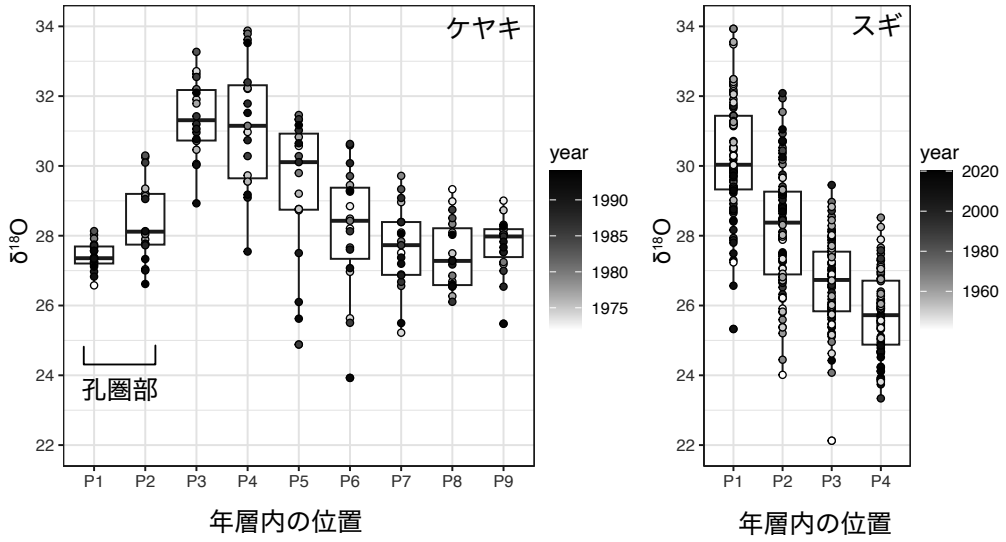


図 1. 年層を複数に分割して得られた酸素同位体比の年層内変動.（左）ケヤキの 19 年分について年層を 9 分割.（右）スギの 80 年分について年層を 4 分割.

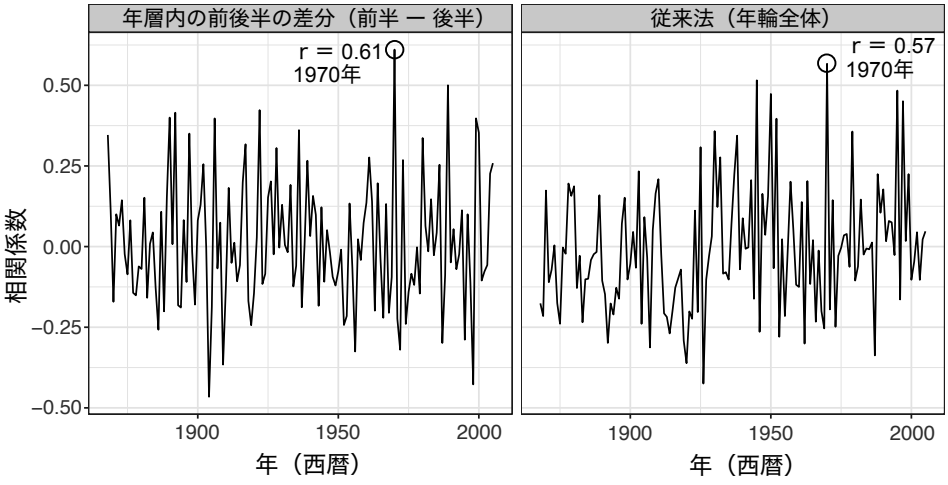


図 2. （左）分割法（前・後半の差分）と（右）従来法（年輪全体）による年代照合の比較.

人骨の年代測定とゲノム解析によるヤポネシア人の諸相

Radiocarbon dating and genome analysis of human remains to elucidate the history of the Yaponesian

○坂本稔（国立歴史民俗博物館／総合研究大学院大学）、瀧上舞（国立科学博物館）、
藤尾慎一郎（国立歴史民俗博物館／総合研究大学院大学）、篠田謙一（国立科学博物館）
○Minoru SAKAMOTO (NMJH / SOKENDAI), Mai TAKIGAMI (NMNS),
Shin'ichiro FUJIO (NMJH / SOKENDAI), Ken-ichi SHINODA (NMNS)

1. はじめに

文部科学省新学術領域研究「ゲノム配列を核としたヤポネシア人の起源と成立の解明」(2018～2022 年度，領域代表：斎藤成也）は，日本列島に居住する人類集団「ヤポネシア人」の姿の解明を目的とする。B01 考古班（研究代表：藤尾慎一郎）は，A02 古代人ゲノム班（研究代表：篠田謙一）とともに，年代測定とゲノム解析をもとに先史時代の人の動きと交流の諸相を追究した。

先史人骨のゲノム配列は，本来は年代を伴って解析されるべきである。しかしながら，これまでは年代測定に必要な試料採取が敬遠され，形質，あるいは発掘所見や共伴資料による時期比定に頼る傾向にあった。「ヤポネシアゲノム」では可能な限り同一個体の年代測定とゲノム解析を実施し，より実質的な議論を心がけた。

ゲノム配列解析では側頭骨内側から粉末状の試料を採取することがあり，十分な量が確保できれば同一試料の年代測定が可能である。一方，歯をゲノム配列解析の試料とする場合は別に年代測定用の試料を採取しなければならず，同一個体に由来することを担保する必要がある。

2. 人骨の年代測定

炭素 14 年代法による人骨の年代測定で課題となるのは，測定試料となる抽出コラーゲンの品質，ヒトが生前摂取していた食物，そして適用すべき較正曲線である。

コラーゲンは，収率が 1%以上であれば良好な試料とされる ()。また，埋没を経験しない現生骨のコラーゲンの炭素／窒素の物質量比は 2.9 から 3.6 の値を示す ()。これらの指標を満たさないコラーゲンは，埋没中に汚染や劣化を経験している恐れがある。

海岸域や海産資源利用の痕跡がある遺跡では，ヒトが一定量の海産物を摂取していたことが想定され，年代測定における「リザーバー効果」の影響が懸念される。平均的な表層海水の炭素 14 年代は同時期の大気より古く（グローバルリザーバー効果)，それに基づいた較正曲線 Marine が提案されている。ただし大気との違いは海域によって異なり，Marine からの差（Δ

R：ローカルリザーバー効果）を加味する。海域ごとのΔRは http://calib.org/marine/ を参照するが，日本列島周辺のデータは必ずしも十分ではない。そのため，遺跡周辺で同時性の認められる陸産物と海産物の炭素14年代を測定して，その海域のΔRを見積もる必要がある。

雑食性であるヒトの体組織の炭素・窒素同位体比は，摂取した食物の割合を反映する。コラーゲンの炭素・窒素同位体比から炭素源における海産資源の寄与率を見積もり，その割合で（ΔRを加味した）海産資源の較正曲線Marineを陸産資源の較正曲線IntCal（北半球の場合）と混合し，較正年代を算出する。

なお，海産資源寄与率はヒトがその海産・陸産資源を摂取していたと仮定した場合の値であり，ΔRはその海産資源が遺跡近くで獲られたと仮定した場合の値である。B01考古班が対象とした人骨の海産資源寄与率の多くは数%から50%前後と，見積りのぶれが直ちに測定結果を左右するものではないが，較正年代がある前提に基づいていることは意識すべきである。

プロジェクト期間中の2020年には較正曲線の改訂があった。IntCal20には日本産樹木年輪の炭素14年代が採用され，日本の資料についてはより確からしい較正年代が得られるようになった。一方，Marine20はそれまで400年としていた大気の炭素14年代との差が500年に見直され，較正年代の再計算が必要になった。

3.年代とゲノム

「ヤポネシアゲノム」プロジェクト期間中にB01考古班が実施し，国立歴史民俗博物館研究報告（第219集，第228集，第229集，第237集，第240集，第242集）で報告した日本国内の人骨の炭素14年代は，54遺跡，138測定に上る（重複測定を含む可能性があり，また不良コラーゲンの参考値を除いているため，実数は再集計中）。

現代日本人の起源として形質人類学の立場から受け入れられているのは，南方に起源を持つ基層集団（縄文人）と，弥生以降に大陸から渡来した集団の混合で形成されたとする「二重構造モデル」（K. Hanihara, *Japan Review* **2**, pp.1-33, 1991）である。その後急速に進展したヒトゲノムの解析でも，現代日本人が北東アジアの大陸集団と縄文集団との混合で成立したことが支持されるが，そのプロセスはより複雑なことが明らかになりつつある。その解明には弥生開始期の日本の人骨と，渡来人と目される同時期の大陸側の人骨の解析が必要だが，ゲノム配列解析の実例は未だ限られ，炭素14年代測定もその時期に至っていない。今後も解析・測定の蓄積が求められることは言うまでもない。

「ヤポネシアゲノム」は，熊本大学医学部をはじめとする資料所蔵機関，大学，教育委員会などのご理解を賜り，分析を進めることができた。改めて感謝申し上げます。炭素14年代測定の一部は，東京大学総合研究博物館放射性炭素年代測定室との共同研究の一環である。

国立歴史民俗博物館における酸素同位体比年輪年代法の新拠点形成

Establishment of a new center for oxygen isotopic dendrochronology at the National Museum of Japanese History

○箱﨑真隆（国立歴史民俗博物館）、佐野雅規（同左）、篠崎鉄哉（同左）
木村勝彦（福島大学）、山下優介（国立歴史民俗博物館）、土山祐之（同左）、坂本稔（同左）
○Masataka HAKOZAKI, Masaki SANO, Tetsuya SHINOZAKI (National Museum of Japanese History), Katsuhiko KIMURA (Fukushima University), Yusuke YAMASHITA, Yushi TSUCHIYAMA, Minoru SAKAMOTO (National Museum of Japanese History)

1. はじめに

近年、日本の高精度年代研究は、急速な発展を遂げている。2010 年代に実用化した「酸素同位体比年輪年代法(Nakatsuka et al. 2020, 中塚 2021, Sano et al. 2022)」、屋久杉で発見され、世界中の樹木で再現された過去 3000 年間で最大の炭素 14 急増イベント「西暦 775 年宇宙線イベント（Miyake et al. 2012, Nature)」、それを年代測定に応用した誤差 0 年の炭素 14 年代法「炭素 14 スパイクマッチ法（箱﨑ほか 2016, Hakozaki et al. 2018)」、日本産樹木の炭素 14 データが初採用され、格段に精度が上がった北半球標準暦年較正曲線「IntCal20（Reimer et al. 2020)」の公開など、世界最先端の成果が次々に生み出されている。

このなかで酸素同位体比年輪年代法は、日本および東アジアの年輪年代法に革命を起こした。従来の年輪幅の年輪年代法の様々な弱点を克服し、樹種を問わず（従来はスギ、ヒノキなど一部の針葉樹のみ)、500-1000km もの距離を超越し（従来は 200-300km が限界)、30-50 年輪（従来は 100 年輪が最低条件）でも年代決定できるようになり、適用範囲が飛躍的に拡がった。筆者らは、同法の創始者である名古屋大学中塚武教授とともに、日本列島および北東アジアの考古学・歴史学・地球惑星科学に関連する様々な資料に、同法によって誤差 0 年の年代を与えてきた（中塚ほか 2021, 箱﨑 2021 など)。

2. 酸素同位体比年輪年代法の研究拠点の現状と課題

しかしながら、急速な発展の裏で、いくつかの重大な課題が生じている。喫緊の課題は、樹木年輪に特化した酸素同位体比測定機関の少なさと、その後継者の問題である。これまで樹木年輪の酸素同位体比測定は、名古屋大学（中塚武研究室）と福島大学（木村勝彦研究室）の 2 機関によって支えられてきた。しかし、中塚氏、木村氏両名の年齢から鑑みて、現状の測定体制を維持できる年数には限りがある。また、両機関がこれまで蓄積してきた膨大な数の年輪試料と酸素同位体比データは学術的価値が極めて高い。これらをきちんと継承し、活用できる新

しい拠点を国内に早急に整備する必要がある。

一方、全国の考古学者、地質学者などから寄せられる新規の測定依頼は、酸素同位体比年輪年代法の認知と評価が高まるにつれ、急速に増加している（筆者らには、週に 1-2 件のペースで何らかの相談が寄せられている)。このような観点からも新しい研究拠点を構築し、年代測定需要に応えつつ、次代を担う人材育成を推し進めていく必要がある。その手始めとして、国立歴史民俗博物館に、酸素同位体比年輪年代法の国内第三の拠点を形成する。

3. 令和 5 年度概算要求および令和 5-9 年度学術変革領域研究（A）の採択

筆者らが中心となって申請した令和 5 年度概算要求が採択され、今年度内に国立歴史民俗博物館に酸素同位体比測定装置が導入できる見通しとなった。また、令和 5-9 年度学術変革領域研究(A)「日本列島域における先史人類史の総合的復元方法の研究」が採択され、筆者らを中心とする計画研究「日本列島域における古環境変遷の研究」が始まった。これらの機器・財源を基盤とし、できるだけ早く名古屋大学、福島大学に比肩しうる酸素同位体比測定体制を国立歴史民俗博物館に構築する。同時に、福島大学に保管されている様々な時代・地域の木材試料群について、国立歴史民俗博物館への移管を進め、年代測定や産地推定、気候復元などの基盤データを安定的に生産できる体制を築く。

4. 国立歴史民俗博物館に研究拠点を構築する意義

国立歴史民俗博物館には、最先端の研究に取り組む考古学者、歴史学者が多数在籍しており、遺跡出土木材や古建築材など、年輪年代測定を適用できる資料の情報が集まりやすい。また、20 年以上にわたって、炭素 14 年代研究も継続しており、IntCal20 へのデータ提供など、重要な役割も果たしている。酸素同位体比年輪年代法によって暦年代を決定できた木材資料は、炭素 14 測定に用いることで、太陽活動復元や炭素 14 スパイクの検出にも活用できる。酸素同位体比に基づく気候復元も、時空間的観点からはまだまだ空白だらけであり、日本列島に限定しても、明確になっていないことが多い。歴史学、考古学は、環境変動を重んじる方向に舵を切りつつあり、高精度な気候復元データの需要はますます高まる見込みである。また、巨大噴火や巨大地震、巨大津波など、極端災害の年代に関しても、まだまだ未決定のものが多く、人類の歴史との対応がついていない。

筆者らは、国立歴史民俗博物館に酸素同位体比年輪年代法の新拠点を形成することにより、こうした諸問題を一つ一つ解決していく所存である。

古環境復原と可視化の研究　―関ヶ原合戦を事例に―

Research on paleoenvironmental restoration and visualization

-The Case of the Battle of Sekigahara-

○木村寛之（関ケ原町歴史民俗学習館サポータ『不破ふわ塾』)、
飯沼暢康（関ケ原町歴史民俗学習館)、宇田晃（有限会社アシストコム）
○Hiroyuki KIMURA(Sekigahara Town History and Folklore Learning Center Supporter "Fuwa Fuwajuku")
Nobuyasu IINUMA(Sekigahara Town History and Folklore Learning Center)
Akira Uda (Asistcom Co., Ltd.)

ポスターセッション

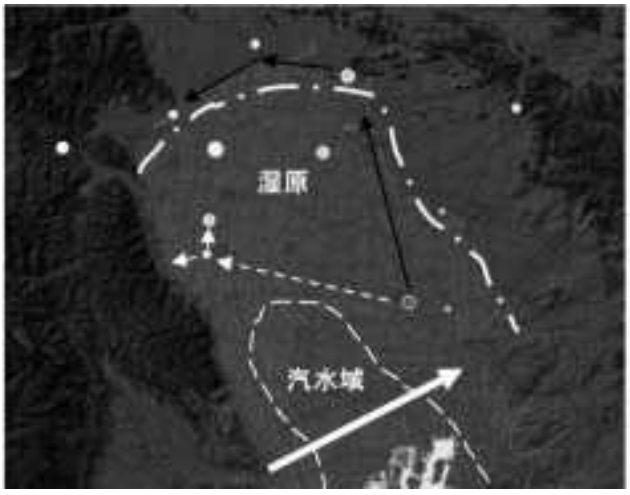
古環境
材質・技法
産地
探査
年代測定
文化財科学一般
文化財防災
保存科学

1. 関ヶ原合戦の情報を可視化

関ケ原町歴史民俗学習館（以下　学習館）で開催される関ヶ原合戦に関するイベント「If 武将たちの関ヶ原」で濃尾平野における両軍の動きを調査・検討する中で、関ヶ原合戦の東軍の進軍経路と過去の濃尾平野で起きた大きな戦いも同じ地域で起きている。その理由の検討材料の一つとして 1600 年当時の地形及び環境に注目した。

2. 濃尾平野の環境復原と関ヶ原合戦を検討

濃尾平野の環境復原するにあたり、尾張太古図「郷土誌かすがい 49 号」（春日井市)、揖斐川町北方 森前川湊（揖斐川歴史民俗資料館)、江戸期の美濃の図（羽島市歴史民俗資料館)、縄文・弥生の遺跡分布及び古墳の分布、信長期と関ヶ原合戦時の城郭位置などを参考に、水面標高シミュレーション（国土地理院 電子国土 Web）で各時期の海岸線を想定した。



画像１：1600 年の濃尾平野の環境

画像１の説明　1600 年当時の濃尾平野は、白一点破線まで湿原（濃尾湿原)、白破線は汽水域の湾が存在した。

この陸上部分を利用し関ヶ原合戦（東軍）と承久の乱（鎌倉幕府軍）では黒線で移動、小牧長久手の戦いは、逆ルートで秀吉軍が進軍した。

白破線での大軍の移動は難しく、水運（船）が必要となった。白線（太線）は東海道の七里の渡し（江戸期)。

3. 濃尾湿原から濃尾平野へ

昭和４０年代の大垣城周辺には堀田が残っていた。写真１は海津市歴史民俗資料館に復元された堀田。明治時代までの河川は網目状になり、自由に船で往来できた。輪中が発達し渡し船が重要な交通手段であった。



写真１：堀田（復元）

江戸時代から治水工事により土地を乾燥させ陸地化してきた。特に明治以降に急速に陸地化が進んだ。

濃尾平野で行なわれた古代の壬申の乱から関ヶ原合戦までを考えるに古環境復原は大きな意味があった。

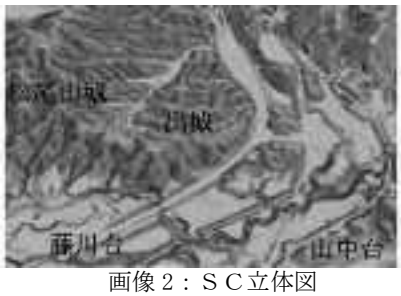
4. 情報を四次元で表現

学習館主催のイベント「If 武将たちの関ヶ原」では、立体的な地形と時間を重視している。地形情報は「ジオラマ」や「立体地図」を利用する。岐阜県では岐阜県森林研究所のＣＳ立体図が Web で公開されており、立体的な陰影地図として利用した。





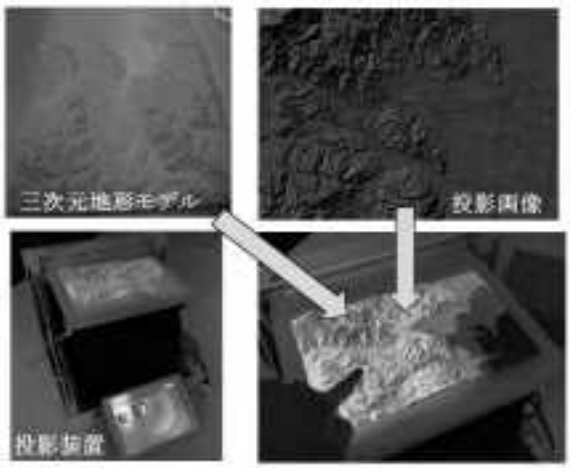
写真 2,3：イベント「If 武将たちの関ヶ原」の開催風景



画像 2：ＳＣ立体図

5.　プロジェクションマッピングを利用した情報の可視化

合戦情報を立体的に見せる技術でプロジェクションマッピングを利用した。装置はジオプロボックス（有限会社アシストコム）[注1]を採用した。採用理由は 3D-CG に時間軸を取り入れた 4 次元ウォークスルーを共同開発（第 24 回発表)と内部投影式で説明時に手で画像が消えない点である。



画像 3：ジオプロボックスの仕組み

この技術は防災で被害想定を、時間による水位の変化や地震波を可視化する技術で利用された。今回は歴史で利用し、投影映像（スライド動画）は「濃尾平野の時代と地勢の変化」（日本情報考古学会第 47 回）と「関ヶ原合戦 濃尾平野の戦い」を作成した。

注 1：【事業計画名　ＩＣＴを活用した最先端の防災教育システムと防災コンテンツの開発】（補助金「令和元年度補正ものづくり・商業・サービス生産性向上促進補助金」）

浮世絵の黄色および緑色彩色部分に使用されている砒素系顔料の X 線分析

X-ray analysis of arsenic pigments used in yellow and green colored parts of “Ukiyo-e”

○藤原 学(龍谷大学)，吉岡 玲央(同左)

○Manabu FUJIWARA，Reo YOSHIOKA (Ryukoku Univ.)

１．緒言

江戸後期から明治時代に製作された**浮世絵**の普及により、裕福な庶民が芸術を楽しむことができるようになったとされている。これまで、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の挿絵断片および浮世絵について、赤色（辰砂、鉛丹およびその混合物)、白色（胡粉)、青色（藍銅鉱・岩群青、スマルト、ベロ藍および染料）などについて検討し、X 線分析顕微鏡(XGT)、X 線光電子分光法(XPS)、X 線回折法(XRD)、紫外-可視分光法(UV-vis)を用いて顔料を特定するとともに、それらの分布および化学状態を明らかにしてきた。本研究では、浮世絵の**黄色**および**緑色**彩色部分に着目し、これまでの手法を用いて測定を行った。その結果、黄色彩色部分のほとんどから砒素と硫黄が、緑色彩色部分の一部から砒素、硫黄、鉄が検出された。奈良絵本挿絵の緑色彩色部分は主に孔雀石（松葉緑青）が使用されていることがわかっているが、江戸末期からの浮世絵ではその使用例は少ない。XGT 面分析より、江戸末期からの浮世絵の緑色に使用された顔料を推定したいと考えている。

２．実験

分析対象として、**Fig. 1** に示した背景の広い部分が特徴的な黄色で彩色されている歌川芳虎の「外国人物図畫 英吉利人」（**浮世絵 ①**）と舟や欄干など多くの部分が鮮やかな黄色で彩色されている橋本周延の「雪月花の内 桜花遊覧」（**浮世絵 ②**）を選択した。これらの浮世絵は、いずれも原書房(東京)より購入した。



浮世絵 ①　　**浮世絵 ②**

Fig. 1　Photos of Ukiyo-e, “Gaikokujin Zuga, Igirisujin” and “Setsugetuka no Uchi, Ouka Yuran”.

３．結果と考察

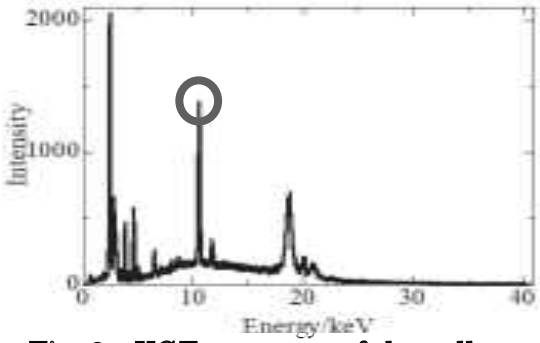


Fig. 2　XGT spectrum of the yellow painted part of Ukiyo-e ②.

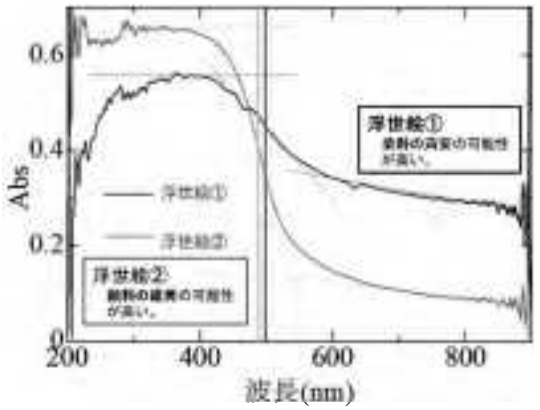


Fig. 3　UV-vis absorption spectra of the yellow painted parts of Ukiyo-e ① and ②.

浮世絵 ①の背景の黄色彩色部分の XGT スペクトルからは、顔料由来のピークが認められず、染料が使われている可能性が高い。一方、**浮世絵 ②**の黄色彩色部分の XGT スペクトル（**Fig. 2**）からは、高強度の As Kα線が観測された。その他に、S, Ca, Fe の Kα線が中程度の強度で現れている。Ca, Fe は紙本体由来と考えられ、黄色彩色部分には雄黄（Orpiment, As_2S_3）が使われていると判断できる。紫外 - 可視吸収スペクトル（**Fig. 3**）が互いに異なっており、また参照データより**浮世絵 ①**では染料の苅安が使用されているのではないかと考えている。

面分析を行うことにより、各元素の分布を明瞭に示すことができた。その例として、**浮世絵 ②**の舟および欄干の部分の結果を**Fig. 4**に示す。高濃度領域が一致している元素の組合せより、使用された一つの顔料および顔料の混合を特定することができる。As が検出された領域からは、すべて高濃度の S が存在しており、これらの部分に使用された色材は顔料の As_2S_3 であると判断できる。柱・欄干のところでは、明るい部分と少し暗い部分にそれぞれ色分けされているが、面分析の As の分布からではその差が明瞭ではない。なお、点分析測定結果では、As のピーク強度に差（明るい部分：1250、暗い部分：2600）が認められた。いずれの緑色彩色部分においても、As_2S_3 と青色色材が混合されている。Fe によるピークが高強度で明瞭に現れているところ（鉄系顔料であるベロ藍と混合）と、紙の彩色されていない部分と同程度しか現れていないところ（青色染料と混合）があった。

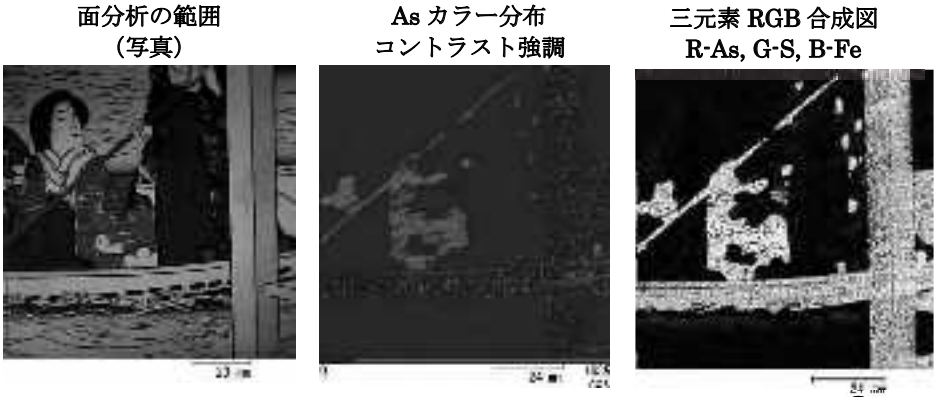


Fig. 4　Images of XGT mapping measurements of Ukiyo-e ②.

博物館資料における３Ｄ化の特徴と活用

Characteristics and Applications of ３Ｄ in Museum Materials

◯風間智裕（駒澤大学）、畑山智史（船橋市飛ノ台史跡公園博物館）、福井淳一（(公財）北海道埋蔵文化財センター）、柳瀬由佳（同左）村本周三（北海道教育庁）、
宮田佳樹（東京大学総合研究博物館）

◯Tomohiro KAZAMA (Komazawa University),Satoshi HATAKEYAMA (Tobinodai Historic Site Park Museum),Junichi FUKUI, Yuka MURASE (Hokkaido Archaeological Operations Center),Shuzo MURAMOTO (Hokkaido Office of Education),Yoshiki MIYATA (The University Museum, The University of Tokyo)

１．はじめに

令和5年4月1日より施行された「博物館法の一部を改正する法律」により、博物館の事業として新たに「博物館資料のデジタル・アーカイブ化」が努力義務とされた。しかしながら、具体的な方法等は明示されておらず、博物館を運営する地方自治体としては急務な課題であるものの、現状においては個々での試行段階である。そこで本発表では、博物館資料の3D 化に注目し、特徴と展示や調査研究、教育普及等に関する活用について報告を行う。

２．試料と方法

3D 化を実施した博物館資料は、船橋市飛ノ台史跡公園博物館所蔵の縄文土器や骨角器、動物遺存体、骨格標本、種子標本である。具体的には器高 50cm 程度の縄文土器から、1mm 程度の微小貝類や種子標本の3D 化を実施し、作成時間や精度などのそれぞれの方法による特徴を比較検討した。

方法は、①Scaniverse、②Agisoft社 Metashape を用いた。①撮影・処理機は 12.9inch iPad Pro 2022 モデル RAM8GB を使用した。②撮影機器(カメラ)は、NikonD3200(40.0 mm f/2.8 、解像度 6016×4000jpeg)、処理機(パソコン)は、CPU・Core i7-12700K、RAM・96GB、GPU・NVIDIA GeForceRTX 2060 を使用した。

３．結果

①Scaniverse による3D 化

LiDAR の Scaniverse は、無料且つ短時間で手軽に 3D 化することができる(図1)。また、アプリ内での編集や計測、共有などを備えている(図2)。3D 化に掛かった時間として、器高 50cmから 15cmの縄文土器では撮影 20～50秒、処理30秒～1分であった。一方、裏表面を一



図１　Scaniverse による縄文土器の３Ｄ

度にとれないことや小さい資料には向かないため、対象資料や用途を選定する必要がある。

②Agisoft社 Metashape による3D 化

SfM/MVS の Metashape は、高いカスタマイズ性を持ち、低品質から最高品質の様ざまな用途に合わせた3D を作成することができる。そこで考古学的研究における細部観察の実用化を目的として、今回、縄文土器、骨角器や鹿角、魚骨、種子などより検討した。3D 化の所要時間は、撮影 25 分、処理 70～90分である。その結果、縄文土器の輪積み痕や紋様は確認できた。一方、鹿角の細部加工痕跡の3D モデルは表現できなかった(図3)。なお1mm 程度の資料(魚骨や種子) も試みたが作成できなかった。今後の課題として、カメラの性能や撮影方法の変更など、取り組む必要がある。

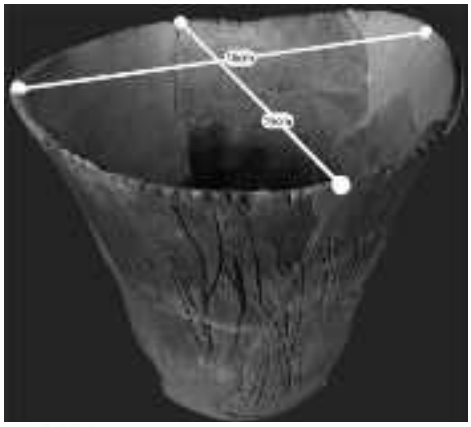


図２　Scaniverse 内での計測機能



図３　鹿角の擦り切り痕の比較(左３Ｄ・右写真)

４．考察

Scaniverse と Metashape では3D 作成可能の大きさや所要時間が異なることが明らかになった(図4)。Scaniverse は対応する iPhone/iPad を用意できれば、短時間で3D 化することができる。Metashape は裏表精密な3D を作成でき、博物館資料のアーカイブ化に適しているが、ミクロな表現が課題である。よって、業務の効率化を求める上で、大きさや用途に合わせて、双方を使用することが重要である。博物館に限らず、来館者にとっても無料且つ短時間が特徴である Scaniverse で博物館資料の 3D モデル化、さらに鑑賞時に得られる形や色などの情報を時間や場所に制限なく、見返すことができる。つまり、これからの来館者のアクティビティは、学芸員が準備した展示物を鑑賞する受動的な体験から、新たに博物館資料のキュレーションをする能動的な体験へと変わることとなる。博物館としても、そのような ライトユーザーに配慮した展示物を準備する必要がある。

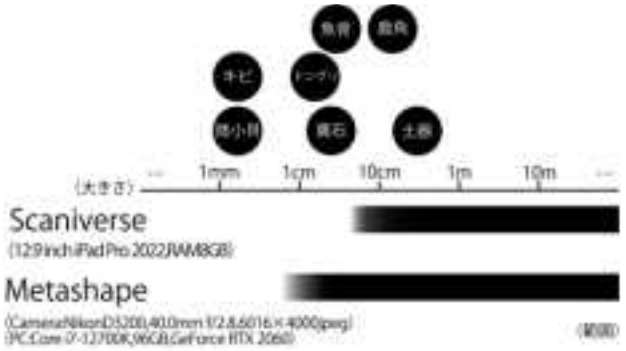


図４　Scaniverse と Metashape の特徴

５．まとめと今後の課題

①Scaniverse および②Metashape はともに、来館者や学習者などのライトユーザーに提供する資料としては十分な精度を保った3Dモデルが作成可能である。また、作成した3Dモデルは、展示や調査研究、教育普及において、十分に活用できる見通しがついた。 しかしながら、ライトユーザーへの3Dモデルの配布などの周知方法とその活用方法が今後の課題である。

謝辞　本研究は、MEXT 科研費 20H05813、JSPS 科研費 23H00708 の成果の一部である。

鼓胴の用材樹種とその物理的性質

Timber selection of Japanese hand drum “*Tsuzumi*”

○横山　操（応用科学研究所）、金森　主祥（京都大学大学院理学研究科）
坂本　稔（国立歴史民俗博物館）

○ Misao YOKOYAMA（Institute for Applied Science）, Kazuyoshi KANAMORI (Graduate School of Science, Kyoto University), Minoru SAKAMOTO (National Museum of Japanese History)

1. はじめに

鼓は、古代から現代に至るまで、さまざまなジャンルの邦楽の構成要素として欠かすことのできない楽器のひとつである。鼓の名称をもつ楽器には、伎楽の腰鼓、唐楽の鼓、能楽の小鼓・大鼓などがあり、鼓胴の形状は、中央で細くくびれた砂時計型のほか、樽型もあり、その大きさも様々である。また鼓胴の素材については、陶製、金属製、木製が報告されているが、ここでは、広義における鼓、小型の膜鳴楽器における木製鼓胴を対象とする。

楽器用材となる木材は、打楽器や弦楽器、木管楽器それぞれについて、物理的性質に応じた樹種が選択されることが報告されているが[1)]、鼓胴の用材となる樹種とその物性については、未だ十分な知見は得られていない。鼓胴の用材となる木材については、古くは常陸國風土記に「常陸国記云、採二大谷村之大榛一、本[木戈]（ママ）造レ皷末[木戈]（ママ）造レ瑟俗云二比佐頭一、卜云ヘリ」の記述が認められるが[2)]、その詳細は不明である。

そこで著者らは、楽器および歴史資料としての鼓の理解を深めることを目的とし、鼓胴用材について木材の組織学的特徴に基づく樹種識別を行い、ケヤキ(*Zelkoba serrata*)、ヤマザクラ(Subgen. Cerasus spp)、ホオノキ(*Magnolia obovata*) 等が使用されていることを示した[3)]。そこで本研究では、これらの用材樹種に特有の物理的性質を明らかにすることを目的として、固体伝搬に大きく寄与する材質密度（比重）について評価を行った。

2. 調査実験方法

著者らは、国立歴史民俗博物館所蔵生田コレクション(H-1796)[4)] を対象とし、室町時代から江戸時代にかけて制作・使用されたとされる能楽の小鼓および大鼓の鼓胴それぞれについて、鼓胴革口のスキャン画像を取得した。木材木口断面の組織学的特徴に基づき、用材樹種には、ケヤキ、ヤマザクラ、ホオノキなどの広葉樹があることを明らかにした[3)]。

また、最古の鼓の遺存例とされる上野学園大学日本音楽史研究所蔵・ 法隆寺伝世揩鼓[5)] 、正倉院宝物にある漆鼓胴および彩絵鼓胴[6)]は、いずれも欅とされている(目視による判断)。

そこで本研究では、広葉樹・環孔材であるケヤキ(*Zelkoba serrata*)、広葉樹・散孔材である

ヤマザクラ(*Subgen.* Cerasus spp)およびホオノキ(*Magnolia obovata*)、比較として、針葉樹・ヒノキ（*Chamaecyparis obtusa* Endl.)それぞれの現生材について、ヘリウムピクノメーター（マイクロトラック・ベル株式会社）BELPycno を用いて骨格密度（真比重）を測定した。

3. 結果と考察

木材の密度（比重）は、試料寸法（３方向）と重量測定から算出され、ケヤキ、ヤマザクラ、ホオノキ、ヒノキの全乾比重（平均値）についての報告値は、それぞれ、0.60、0.66、0.43、0.38 である[6)]。また木材の真密度は、樹種によらず一定で、約 1.5 である[6)]。

木材は、軸方向に伸長した紡錘形かつ中空の死細胞の集まりであり、多くの空隙を有することから多孔質材料(セル構造体)として取り扱われる。多孔質材料における空隙は、材料の構造に幾何的特徴を与えるだけでなく、熱や音などのエネルギー伝播の媒体としての役割を果たす。

そこで本研究では、木材中に存在する空隙を樹種の特徴量として評価することを目的として、ヘリウムガスを用いた気体容積置換法により、それぞれの密度を計測した。その結果、広葉樹ケヤキ、ヤマザクラ、ホオノキの密度は、いずれも 1.2 から 1.3 の値を示した。このことは、木材中にヘリウムガスで置換可能な空隙（開気孔）と、ヘリウムガスがアクセスできない空隙（閉気孔）があること、また空隙（開気孔）と材料実質（閉気孔を含む）の容積比が、環孔材のケヤキと、散孔材のヤマザクラ、ホオノキでほぼ同程度であることを示唆する。

これまで、楽器用材の選定根拠とその合理性について、音響特性の観点から密度やヤング率、また切削加工性や寸法安定性によって議論されてきた。今後、膜鳴楽器である鼓、木製鼓胴の用材選択については、振動媒体となる材料内部の微細空隙構造にも注目したいと考えている。

4. 引用文献

１） Bucur, Acoustics of Wood, Springer 1995

２） 国立国会図書館デジタルコレクション　常陸國風土記 https://dl.ndl.go.jp/pid/2541382/1/39

３） M Yokoyama & M Sakamoto, Traditional Japanese hand drums “*Tsudumi*”collection stored in the National Museum of Japanese History - Wood Identification of tsudumi bodies, Proceedings of ICOM 2019, 2019

４） 国立歴史民俗博物館 生田コレクション鼓胴 https://khirin-ld.rekihaku.ac.jp/rdf/nmjh_kanzousiryou/H-1796

５） 日本音楽史料叢刊　陽明文庫蔵舞絵（舞楽散楽図）・法隆寺旧蔵　鞨鼓　上野音楽大学日本音楽史研究所編　2016

６） 日本の美術　正倉院の楽器　阿部弘編　至文堂 1976

７） 改訂４版　木材工業ハンドブック　森林総合研究所監修　丸善株式会社刊 2004

5. 謝辞

鼓の伝世資料についてご教示くださった国立歴史民俗博物館 日高薫先生、京都市立芸術大学 渡辺信一郎先生、東北芸術工科大学 成瀬正和先生、上越教育大学 茂手木潔子先生、材料試験についてご指導下さった京都大学大学院農学研究科 上高原浩先生、杉村和紀先生、澤田豊先生に深く謝意を表します。また本研究における資料調査は、国立歴史民俗博物館共同研究「年代情報に基づく木材の利用・活用に関する横断的研究」（平成 25～27 年度）の助成を得ました。

‘ひかり拓本’、縄文土器に光をあてる

Identification of the Jomon pottery using Optical Rubbing

○千葉豊*1、髙野紗奈江*2、上椙英之*2、金田明大*2、山口欧志*2、
小出来恒平*1、堂坂美仁*1

○Yutaka CHIBA*1, Sanae TAKANO*2, Hideyuki UESUGI*2, Akihiro KANEDA*2,
Hiroshi YAMAGUCHI*2, Kouhei KODEKI*1, Mihito DOSAKA*1

＊1 京都大学（Kyoto University） ＊2 奈良文化財研究所(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

はじめに

‘ひかり拓本’は石碑の碑文や文様の解読を目的として上椙英之によって開発された技術であるが[(1)]、スマートフォンによるアプリ版が公開され、文化財一般への本格的な応用が始まっている。本研究では、縄文土器の代名詞とも言える“縄文”の同定に‘ひかり拓本’がどの程度有効であるのかの分析を実施した。複雑な縄文の同定は‘拓本’を用いることが一般的であるが、‘拓本’よりも、はるかに解像度の高い画像が短時間で効率的に得られ、“縄文”の同定に有効な技術であることが分析を通して明らかになった。

1.方　法

“縄文”の同定に‘ひかり拓本’がどの程度有効であるのかを検証するために、同一の縄文土器を用いて、油墨と画仙紙による一般的な拓本をスキャンして得られた画像と‘ひかり拓本’によって得られた画像を比較した。また、‘ひかり拓本’は解析の設定を変更させることで、得られる画像の見え方も変化するため、同一の撮影画像で解析の設定のみを変えた画像を作り出して、“縄文”の同定に適した‘ひかり拓本’ソフトの設定も検討した。

一般的な拓本は、通常の方法を用いた。湿らせた画仙紙を資料の上に密着させ、墨を打って得られた拓本を 1200dpi.でスキャンし、デジタル画像とした。

‘ひかり拓本’は以下の道具と手順でおこなった（図１）。Windows 版‘ひかり拓本’アプリをインストールしたＰＣとデジタルカメラを接続し、テザー撮影ソフトの OM キャプチャーを用いてＰＣに転送した。カメラは OM SYSTEM OM-１を使用した。撮影時の設定は IOS200、撮影モードＭ（マニュアル）、シャッタースピードは絞り優先のオートで、絞りは F22 である。

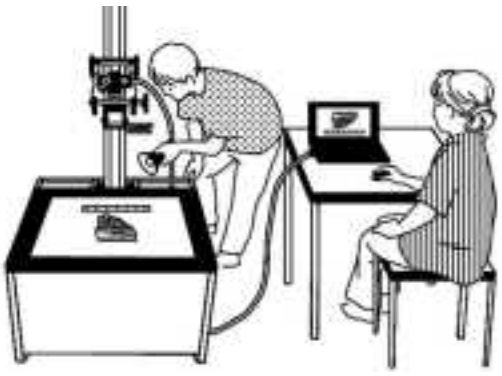


図１‘ひかり拓本’撮影風景

撮影手順は、スマートフォン用として公開されているマニュアルとほぼ同様の方法で、基準となる背景画像を撮影したのち斜光画像を撮影した。

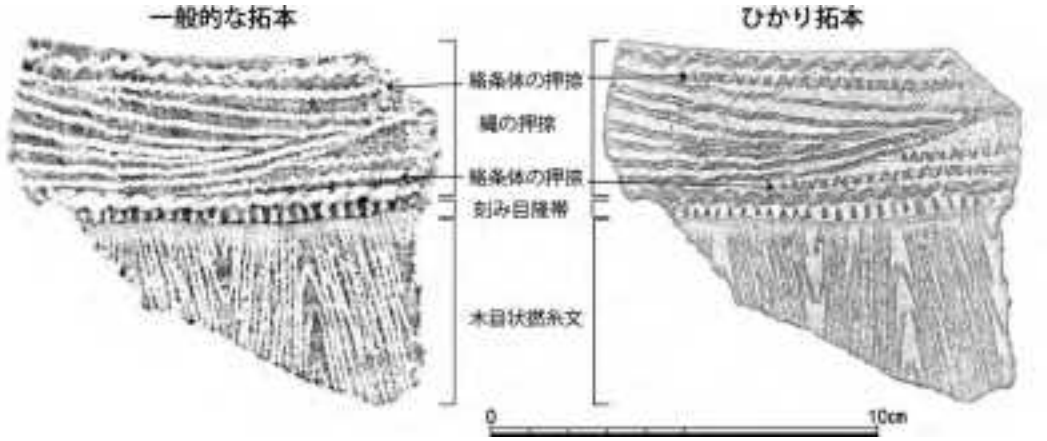


図２　一般的な拓本と‘ひかり拓本’の比較

光源には、OLIGHT Marauder Mini 懐中電灯（LED ライト）を使用した。１回の撮影枚数は合計８枚で、同一資料で光源の伏角を変えた撮影もおこない、生成された‘ひかり拓本’を比較検討した。検討対象とした縄文土器は、奈良文化財研究所が所蔵する山内清男コレクションで、山内が縄文原体を解明するのに用いた資料である。対象とした資料は 11 点である。

２.結　果

図２に示した資料は、刻み目を付した隆帯で口縁部と胴部を区画した円筒形の深鉢である。口縁部には縄および絡条体の側面押捺、胴部は絡条体を縦位施文している。円筒下層式に属する。出土地は不詳だが、東北北部の遺跡から出土したものであろう。

一般的な拓本では、口縁部に縄および絡条体の側面押捺、胴部に絡条体を利用した木目状撚糸文が施文されていることは判読できるものの、節の形状などを読み取ることは、ほとんどできない。一方、‘ひかり拓本’では節の形状はもちろんのこと、口縁部に用いられた絡条体が単軸で、細い棒に撚り紐を交差するように巻き付けている状況も判読することが可能である。

ここで例示したように、11 点中 10 点の土器について、縄文原体の同定に有効な画像を得ることができた。ただし、1 点の資料については、光源の伏角や‘ひかり拓本’の解析の設定を変更しても、一般的な拓本と同様に、縄文原体を判読できる画像を生成することが困難であった。

３.今後の展望

一点の資料の拓本を採るのに、10～20 分はかかる一般的な拓本と比較して、‘ひかり拓本’は機材の設定さえできてしまえば、１分とかからず画像を生成できる。またその画像も一般的な拓本と比較して解像度が高く、“縄文”の同定にきわめて有効な技術であることが明らかになった。その一方で、上述したように、光源や解析の設定を変えても、“縄文”が同定しにくい個体があることも明らかになった。今後はこうした個体も含めて、縄文土器研究者が求める‘ひかり拓本’を生成できるように、工夫と改良をおこなっていく必要がある。

(1) 上椙英之　2023　「ひかり拓本」『月刊文化財』179 号 pp.40-42

＊本研究は、科学研究費補助金（課題番号：22H00713）による成果を含む。

文化財三次元計測のためのリアルタイムフォトグラメトリの実現

Real-time photogrammetry of cultural properties

○山口欧志（奈良文化財研究所）

○YAMAGUCHI Hiroshi(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

本研究により、文化財のためのフォトグラメトリの迅速化と確実性の向上を実現した。

SfM-MVS（Structure from Motion and Multi-view Stereo）は、対象を撮影した画像群から対象の三次元モデルを構築する技術である。フォトグラメトリ（写真測量）の範疇に位置づけられるため、フォトグラメトリとも称することも多い。

この技術は、従来の一般的な三次元スキャナーよりも初期導入費用が低く、また大小様々な大きさの対象に対応できるため、文化財分野においても三次元計測技術の１つとして広く普及している。しかし一方で三次元レーザースキャナーと比べて解析結果の表示までに手数や時間を要することが課題であった。そこでこの課題の克服を図った。

2. 方法

文化財の調査は、二度と同じ状態の調査ができないから、可能な限りその場その時に結果を確認する必要がある。そこでSfM-MVSによる三次元計測を実施する時には、負荷の小さな仮解析を実行し、現場でデータに欠損や不備の有無を確認している。従来の方法では、(1) 撮影、(2) 解析機器への画像データのコピー、(3) SfM（Structure from Motion：特徴点の抽出、対応点の計算、撮影位置等の算出等)、(4) MVS（Multi-view Stereo：高密度点群の構築、三次元メッシュの構築、テクスチャーマッピング等）という手順で進めていたため、結果の確認作業に時間を要していた。そこで、撮影と並行してSfMを実行し、撮影後間もなくSfMを終える仕組みを構築した（図1)。その仕組みの構成は、以下の通りである。

・デジタルカメラとレンズ（Olympus社 OM-D E-M1 Mark IIおよび30mm macro レンズ）
・遠隔撮影用赤外線発信機能付き電動回転台および簡易スタジオ（Foldio360およびFoldio3）
・電動回転台操作用スマートデバイス（iPad mini）および専用アプリ（foldio360）
・SfM-MVS実行用PC（製造年月：2018年2月、OS：Windows10 64bit、CPU：Intel Corei7-6700K、GPU: NVIDIA GeForce GTX 1080、メモリ：32GB）
・SfM-MVS実行プログラム（Capturing Reality社Reality Capture ver1.2.2）
・テザー撮影プログラム（OMデジタルソリューションズ製 OM Capture）
・デジタルカメラ-PC間データ通信用USBケーブル（OM-D E-M1 Mark II附属純正ケーブル）
・USB型赤外線受信モジュール（Flirc USB）およびUSBハブ
・Reality Capture自動実行用Pythonスクリプト

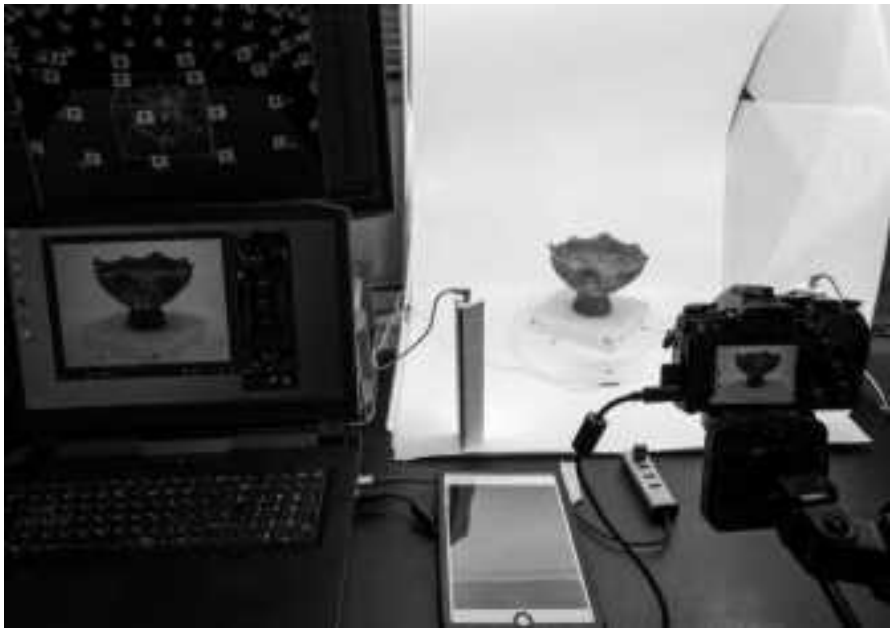


図１　リアルタイムフォトグラメトリの様子

3. 結果

この仕組みにより次のような手順で動作するリアルタイムフォトグラメトリを実現した。

①資料を設置した電動回転台が任意の設定で回転し、シャッターを切る命令を赤外線で送信

②SfM-MVS 実行用 PC に接続した USB 型赤外線受信モジュールが命令を受信

③テザー撮影プログラムが動作し自動的に合焦、撮影、PC 上に画像データを保存

④自作の Python スクリプトが任意の数の画像が追加されしだい SfM-MVS を実行

その結果、撮影と解析の同時進行を実現し、手作業を減らして、限られた時間の効率な利用と計測作業全体の迅速化を果たした。また、SfM の結果が撮影作業中に分かるので、万一撮影が不足する場合には即時対応できるようになり、計測の確実性が向上した。本来の資料調査の最優先事項である実物資料の観察や検討の時間をこれまで以上に確保できるようになった。また撮影時に撮影データのバックアップも取得できるようになった。

4. 展望

この仕組みは、赤外線通信機能をもたないデジタルカメラでも、テザー撮影可能であれば利用できるから、現行の一般的なデジタルカメラの多くに対応している。また高価な機器を必要としないので、導入の壁は低い。低コストで現状の課題を克服できる方法だと評価する。

現在は自動実行用 Python プログラムの機能追加や発掘調査現場における利用のための試行を進めている。今後はプログラムやユーザーインタフェースなどの洗練と動作検証を繰り返した上でその成果を公開したい。

※本研究は JSPS 科研費 JP22K18252, JP22H00022, JP22K00887, JP21H04903, JP21K18389 の助成を受けたものです。

The homogenization and isolation of historic site management in Japan

○LIU LU (University of Tsukuba)

1. Introduction

In Japan, the management of historic sites are confronting challenges stemming from homogenization and isolation. Despite individual regions having their unique histories, a trend towards a standardized approach to historic site management has been observed, often overshadowing local characteristics. Historically, cost-effective methodologies, such as the "Heijo Method" became prevalent, potentially pushing many sites towards a more standardized presentation. During Japan's rapid economic growth era, the urgency to preserve historic sites intensified. However, the chosen methodologies frequently leaned towards a one-size-fits-all approach, which inadvertently caused many historical sites to become disconnected from their immediate surroundings, leading to isolated and disjointed presentations.

Recent shifts in management philosophy, coupled with legislative changes, highlight the active utilization of historic sites, emphasizing their integration into tourism and local revitalization initiatives. No longer are they seen merely as relics to be conserved; they're envisioned as living spaces that reflect regional histories and engage with local communities and more potential stakeholders. The overarching challenge persists: how to effectively communicate the value of historic sites to the public and bridge the gap between stakeholders and the sites in an era emphasizing their utilization and regional integration. As a result, the role of stakeholders in shaping and reimagining the future of already homogenized and isolated sites has become more crucial than ever.



図 1 平沢官衙遺跡 柱位置表示
出典:文化遺産オンラインHP－平沢官衙遺跡



図 2 志太郡衙跡 柱位置表示とパーゴラ表示
出典：文化遺産オンラインHP－志太郡衙跡



図 3 正道官衙遺跡 パーゴラ表示
（筆者自撮）



図 4 水子貝塚遺跡 復元竪穴住居
出典:文化遺産オンラインHP－水子貝塚



図 5 大串貝塚遺跡　復元竪穴住居
（筆者自撮）



図 6 陸平貝塚遺跡　復元竪穴住居
（筆者自撮）

2. Value explanation and presentation

While the discovery and designation of historic sites are significant, their interpretation, aiming not just for academic insights but also to enhance public awareness and understanding, is equally crucial. This involves conveying the site's excavation process and its diverse values to people of different ages and capabilities, facilitating connections between past and present. Japan's historic site conservation philosophy, initiated in 1919 with the "Law for the Protection of Historic Sites, Places of Scenic Beauty, and Natural Monuments," once emphasized aesthetic and commemorative values over authenticity and integrity. Post-Meiji archaeological studies were restricted by a nationalistic view, often missing insights into ancient commoners' lives. This historical context led to the degradation and partial preservation of sites, and a biased valuation, contributing to the homogenization and isolation in current historical site preparations. The 2013 Burra Charter recognizes the multifaceted values of cultural heritage, encompassing history, aesthetics, science, society, and spirituality. Modern research emphasizes comprehensive site valuations, ensuring a solid foundation for future site presentations.

3. Stakeholders in historic site management

The stakeholder concept, which originated in the field of business management and strategic management, relates to entities or individuals that influence or are influenced by organizational objectives. Recently, this concept has been increasingly applied to historic site management. In Japan, local government officials responsible for this management often specialize in archaeology. Conversely, the historic site management division of the Cultural Affairs Agency is primarily staffed by technical experts in landscape. Despite the strenuous efforts of staffs from the central to the local levels, however, their numbers are insufficient to handle the vast demands for historic site management. Yet, theoretical frameworks in archaeology and landscape studies don't always align with modern management requirements. Since 1977, the Nara Institute for Cultural Properties has provided continuous training, and the Cultural Affairs Agency has issued comprehensive guidelines. While each site possesses distinct attributes, an overemphasis on standardized best practices might result in homogenized outcomes. In the future, recognizing and analyzing a broader range of stakeholders may lead to an expansion of ideas.

4. Conclusion

Managing historic sites can enhance the understanding and response to the public's interest in humanity's past. For a domain that serves the public, our knowledge of the stakeholders remains limited. In this study, a stakeholder analysis approach is proposed as a new strategy for historic site management. Through this, not only existing expert partners but also stakeholders with different natural and societal backgrounds can be identified. This helps explore how they can actively participate in the historic site management process. By doing so, collaboration with local regions could be strengthened, so as to address the homogenization and isolation issue in historic site management.

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（Ⅲ）

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

◯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）、上條信彦（弘前大学）

◯Tetsuro UDATSU(Univesity of Miyazaki), Katsunori TANAKA(Hirosaki Univesity),
Hiroyuki TASAKI(Ehime University) , Nobuhiko KAMIJYO(Hirosaki Univesity)

1. はじめに

筆者らは、科研費の助成を受け、2019 年より、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るイネのプラント・オパールを加え、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きた（基盤研究 A 課題番号 19H00542）。

当該研究計画の最終年にあたり、本大会では、これまでの成果と課題をまとめるとともに、今後の研究の展望についても述べてみたい。

2. 取り組みの概要（材料と方法）

1）材料

本州、四国、九州の弥生時代から近世までの水田遺構土壌を供試した。これまでに調査分析を実施した遺跡は、19 遺跡におよび、その多くが、複数の時代の水田遺構が検出されている複合遺跡であった。採取分析の対象としたのは、基本層序および水田遺構土壌である。

土壌の採取は、基本層序について、プラント・オパール定量分析用に数十 g、水田遺構土壌は、プラント・オパールの抽出と再分析に対応できるよう、2～5kg を目安に行った。また、堆積状況を詳細に分析するために、地層の切り取り（柱状にブロックで採取）も実施した。

2）方法

採取土壌は、以下の各種分析に供し、イネと稲作の情報を収集した。

【プラント・オパール定量分析】

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）。イネだけでなく、他の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、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。

【プラント・オパール形状解析】

土壌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）。



図 1 形状の測定部位

［亜種判別式］　判別値＝0.497×縦長-0.299×横長＋0.136×側長-3.815×(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）

なお、形状解析は、水田土壌が形成する期間に栽培された全てのイネの形状を反映している。そのため、その結果は、最も一般的（多く）に栽培されたイネを意味している。

【プラント・オパール中に残留する DNA の分析】

粒径分画と比重分画の組み合わせによってプラント・オパールを抽出し(図 2)、その内部に残留する遺伝情報を復元する。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。

粒子子分散 → 粒径分画(篩・沈底法・粒子分散・沈底法) → 低圧乾燥 → 比重分画(2.3→1.8)
→ 低圧乾燥 → 粒径分画(フィルター・53μm・41μm・20μm→沈底法) → 低圧乾燥

図 2　一般的な生産遺構土壌からのプラント・オパール（年代測定用）の抽出工程

【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】

土壌からプラント・オパールを 300mg 以上抽出し、加速器質量分析（AMS）により、その表面に残留している微細繊維について、C14 年代測定（米国の BETA 社）を実施する。

3. 結果および考察

1)イネ情報(栽培されたイネ)について

遺伝情報の復元については、94%（18 遺跡中 17 遺跡）という高い確率で、葉緑体や核の遺伝情報が確認（田中・宇田津ら 2020・2021・2022）され、今後、埋蔵文化財調査で検出される水田土壌のほとんどから、遺伝情報の復元が可能となることが期待される。また、近世の水田において、遺伝情報からは「ジャポニカとインディカのイネの栽培」が、形状解析からは「ジャポニカのイネが中心に栽培されていた」という結果が得られ、両者を組み合わせることで、より詳細なイネの多様性の情報が収集できることが明らかとなった。

2)イネと稲作の年代について

年代測定を試行した水田土壌については、全て年代値を得ることができた。得られた年代は層位に矛盾するものはなかったが、想定年代よりも古いものが認められた。この原因としては、下層の土壌中のプラント・オパール等の影響が考えられ、今後、サンプリング方法を改善することで解消可能と考えられる。また、δ13Cの値が、イネと同じか近い水田土壌の年代は、考古学的な年代とよく調和している結果が得られている。この結果から、年代の精度向上にはさらに、イネプラント・オパールの純度を高めることが有効であると判断された。

4. まとめと今後の展望

これまでの研究の成果から、栽培されたイネの遺伝情報と年代情報を同時に収集する分析を運用することがおおむね可能な段階まで進めることができた。今後は、当該分析手法の埋蔵文化財調査で検出される水田遺構土壌への適用事例を増やしながら、「時間と空間を網羅したイネ情報の体系的な蓄積」の実質化を進めてゆきたい。

文化財展示における NeRF の活用方法の提案

Proposal for the Use of NeRF in Cultural Heritage Exhibitions

花田卓(関西大学)，○安室喜弘(同左)，角田直嵩(同左)，村岡叶夢(同左)，
末森薫(国立民族学博物館)
Taku HANADA, ○Yoshihiro YASUMURO, Naotaka SUMIDA, Tomu MURAOKA (Kansai University),
Kaoru SUEMORI (National Museum of Ethnology)

1. はじめに

文化庁が推奨する博物館資料のデジタル・アーカイブ化は，画像や映像メディアで進められることが多いが，これらは実体から2次元で切り取った情報である．現行の3次元技術では，限定的な表面形状や彩色の情報しか記録できない．本研究では，深層学習により，映像から空間内の光の放射輝度分布を獲得するニューラルレンダリングを導入することで，文化遺産を自由な視点から対話的かつ高解像度で再現し，関連情報と共に的確に提示する手法を提案する．

2. ニューラルレンダリングの導入

これまでにも博物館や文化財保存修復の専門家によるデジタル・アーカイブ化の実施例は多数ある[1)]．3D レーザスキャナは高精度ながら煩雑な計測作業が難点であったが，複数画像から3次元形状を復元するフォトグラメトリが発展し普及している．その方法は，画像集合から視点推定と3次元形状復元をするSfM(Structure from Motion)とMVS(Multi-View Stereo)の組合せ[2)]である(図1(左))．近年，多視点画像を使って深層学習で3次元の放射輝度分布を求めるニューラルレンダリングとしてNeRF(Neural Radiance Field)[3)]が注目を集めている(図1(右))．この技術は，薄明光線のような媒質中の光のふるまいや，微細な構造による光学特性や質感等を，任意視点で高解像度に画像化できる．



図 1. フォトグラメトリ(左)とニューラルレンダリング(右)の原理

3. 提案手法

NeRF は，大量の画像の正確な撮影位置の情報を必要とし，そのための処理に SfM が利用される．SfM で決まる 3 次元座標の中で，視点の設定と，学習済みのデータからボリュームレンダリングの技法で図化する．そこで，図 1 に示すように，SfM の処理で得られる 3 次元座標系を把握しておき，この空間中で対象物体の位置関係を把握しながら付加情報を配置することで，ユーザ視点で表示される NeRF の結果に追従する形で，AR(Augmented Reality)のようにアノテーションを付与できる．ここでは，NeRF のレンダリングに，API として公開されている nerfstudio[4)]を利用する．nerfstudio は，ニュー



図 2　提案手法

ラルレンダリングのための深層学習と，学習結果を利用したボリュームレンダリングによる CG 生成の，負荷のかかる処理をサーバで行う仕様になっており，CG 出力をソケット通信で送信し，クライアントのビューワソフトウェアが受信してユーザに提示する．NeRF の前処理で SfM を実行して得られる 3 次元再構成の座標系と，被写体の 3 次元点群を保存しておく．追加して表示する矢印状の円錐や，説明の文章提示するための案内板をテクスチャ付きの 3 次元ポリゴンモデルとして用意し，SfM の 3 次元座標系で被写体形状に対応させて配置する．nerfstudio のクライアントアプリケーションは javascript の Three.js パッケージで CG 描画や 3 次元の計算を行っており，そこにを追加実装する形で，上記機能を実現した．

3. ケーススタディ

本稿では 3 種類のケースについて提案手法を適用した．収蔵品を想定したモルフォ蝶の標本，中規模の文化遺産内部を想定した兵庫県猪名川町多田銀銅山遺跡の坑道，そして大規模な石造構造物の文化遺産であるエジプト・サッカラ遺跡である．SfM には Metashape (AGIsoft)を使用し，入力画像や処理時間は，モルフォ蝶で，iPhone 11(レンズ 26mm)，解像度：1200 万画素，画像 62 枚，学習時間約 12 分，坑道遺跡で，iPhone 14 Pro(レンズ 13mm)，解像度：1200 万画素，画像 62 枚，学習時間約 20 分，サッカラ遺跡で，iPhone 13(レンズ Pro 26mm)，解像度：1200 万画素，画像 966 枚，学習時間約 12 分となり，比較的容易に実行可能であった．図3にそれぞれの結果を示す．フォトグラメトリでは 3D モデル化が不可能な，見る角度で変化する構造色の効果や，網目や岩肌等の複雑な構造，日差しや雲などが表現され，視点に追従して適切な位置と方向に付加情報を示すアノテーションが可能となった．

4. おわりに

ニューラルレンダリングを博物館展示や文化財のアーカイブとして用いる試みを報告した．フォトグラメトリやレーザスキャンでは記録や表示が難しい対象にも有効であり，展示として説明やオブジェクトの付加表示が可能となった．今後は，表示内容の品質や精度の検証を進めるとともに，博物館等を主体に容易に運用可能なプロセスやシステム化を検討する予定である．



図 3　実装例：モルフォ蝶の構造色（上），鉱山遺跡内の鉱脈と史料（中），エジプトの遺跡での観光案内（下）

［謝辞］本研究の一部は，関西大学先端科学技術推進機構，JSPS 科研費（23H00720, 23H00694, 21H04366）の補助による．

［註］ 1) I. Aicardi, et al., Recent trends in cultural heritage 3D survey, J of Cultural Heritage, Vol. 32, pp.257-266, 2018.
2) J. L. Schönberger et al., Structure-from-Motion Revisited, CVPR2016, pp.4104-4113, 2016.
3) Mildenhall,B.,et al., NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis, ECCV, pp.405-421, 2020.
4) Nerfstudio <https://docs.nerf.studio/en/latest/>

坂本城跡出土瓦の蛍光 X 線分析
X-ray Fluorescence Analysis of Excavated Tiles from Sakamoto Castle Site in Otsu, Shiga

◯橋本沙知（国立民族学博物館）、日髙真吾（同左）、河村友佳子（同左）、和髙智美（合同会社文化創造巧芸）、椎野博（アワーズテック株式会社）、田中久雄（大津市埋蔵文化財調査センター）

◯Sachi HASHIMOTO, Shingo HIDAKA, Yukako KAWAMURA (National Museum of Ethnology) , Tomomi WADAKA (LLC Bunkasozokogei), Hiroshi SHIINO (Ourstex Co.,Ltd), Hisao TANAKA (Otsu City Archaeological Research Center)

１．はじめに

元亀 2（1571）年、滋賀県大津市に明智光秀が築いた坂本城は、琵琶湖の水を城内に引き入れた水城であり、大天守と小天守を持ち、その姿は非常に豪壮であったとされる。坂本城跡からは、暗灰色と赤褐色の瓦が出土しており、赤褐色の瓦は天正 10（1582）年の坂本城炎上時に被災して変色したものであるとされてきた。しかし 2022 年に大津市によりおこなわれた瓦の再整理において、全体が均一に赤褐色である瓦は、焼成当初からの色であると推測され、このたび大津市埋蔵文化財調査センターの依頼により、国立民族学博物館共同利用型科学分析室において蛍光 X 線分析をおこなった。本発表では、瓦の蛍光 X 線分析の測定結果をもとに、瓦の色味や形状による成分の違いを比較、検証した結果を報告する。

２．対象試料および分析条件

分析は表 1 に示す 11 点の出土瓦（いずれも坂本城炎上時に被災）を試料とした。各試料の測定箇所は、凹凸が少なく、肉眼で観察できる範囲で土の粒子の大きさが揃っている箇所を選び、各 1 箇所を測定した。試料 1、2、11 には大部分を占める色合いとは異なる色の箇所があり、また試料 10 には表面の風合いが異なる箇所があったことから、これら 4 点はそれぞれ特徴的な 2 箇所を測定した。

表１　対象試料と測定箇所

No.	試料	測定箇所
1	三巴文軒丸瓦（暗灰色）	暗灰色
		赤みをおびた箇所
2	三巴文軒丸瓦（赤褐色）	赤褐色
		灰色味をおびた箇所
3	丸瓦（暗灰色）	
4	丸瓦（赤褐色）	
5	平瓦（暗灰色）	
6	平瓦（赤褐色）	
7	被災三巴文軒丸瓦	
8	被災丸瓦（暗灰色）	
9	被災平瓦（暗灰色）	
10	被災丸瓦	滑らかな面
		側面
11	被災平瓦	暗灰色
		赤褐色の箇所

測定に使用した装置は可搬型蛍光 X 線分析装置 100FA（アワーズテック株式会社）である。装置の仕様は、X 線発生装置の管球はパラジウム（Pd）、照射径 3 ㎜、測定元素範囲はナトリウム（Na）からウラン（U）までである。測定は、管電圧 40kV、管電流 0.5mA（Auto）、測定時間 100 秒（X 線の数え落としを補正した時間）の条件で、大型試料室内に試料を設置しておこなった。

定量分析は標準試料として土壌岩石標準物質 JMS-2（産業技術総合研究所）を用い、FP（ファンダメンタルパラメータ）法により検出元素から、主成分となる酸化物（酸化ナトリウム（Na_2O）、酸化マグネシウム（MgO）、酸化アルミニウム（Al_2O_3）、二酸化ケイ素（SiO_2）、五酸化二リン（P_2O_5）、酸化カリウム（K_2O）、酸化カルシウム（CaO）、二酸化チタン（TiO_2）、酸化マンガン（MnO）、酸化鉄（Fe_2O_3））および微量元素（硫黄（S）、塩素（Cl）、クロム（Cr）、ニッケル（Ni）、銅（Cu）、亜鉛（Zn）、ヒ素（As）、ルビジウム（Rb）、ストロンチウム（Sr）、イットリウム（Y）、ジルコニウム（Zr）、スズ（Sn）、アンチモン（Sb）、バリウム（Ba）、鉛（Pb））の合計が 100wt%になるよう成分比率を求めた。

３．結果と考察

11 点の試料を色味によるグループに分けて、定量結果を比較したところ、色味による特徴的な傾向は見られなかった。そこで、瓦の形状により、三巴文軒丸瓦、丸瓦、平瓦の 3 グループに分けて定量結果を比較した。なお、酸化ナトリウム（Na_2O）と酸化マグネシウム（MgO）の値については、主成分となる酸化物のバランスの合計の比率が崩れないよう含めて計算しているが、データの信頼性に欠

けることから今回の評価からは外した。また、硫黄（S）が検出された試料ではいずれも鉛（Pb）が検出されており、硫黄（S）の Kα線と鉛（Pb）の Mα線のピーク位置が重なることから、ここで算出された値は硫黄（S）のものではなく鉛（Pb）由来のものと判断した。以下に瓦の形状毎の所見について述べる。また、各形状の主成分の酸化物の成分比率を表 2～表 4 にまとめる。

３．１．三巴文軒丸瓦（試料 1、2、7：表 2）

試料 1 の暗灰色箇所、試料 2 の赤褐色箇所、試料 7 は、主成分の成分比率の傾向が非常に似ている（表 2）。試料 7 は、微量成分として鉛（Pb）が 0.01 wt%検出された。試料 1、2 は同一試料のなかで色味が異なる箇所における主成分の成分比率の傾向が異なったことから、試料全体が均一ではないことがわかった。

３．２．丸瓦（試料 3、4、8、10：表 3）

試料 3、4、8、10 は主成分の成分比率の傾向がおおむね似ている（表 3）。試料 10 は、滑らかな面では微量成分として鉛（Pb）が 0.65 wt%検出されたが、側面では検出されなかった。ここで検出された鉛は、瓦の胎土自体に含まれるものではなく、また瓦の表面に釉薬が使用されていないことから、何に由来するものかは特定できなかった。

３．３．平瓦（試料 5、6、9、11：表 4）

試料 5、6、11 は酸化アルミニウム（Al_2O_3）の値に若干の差が見られるが、他の主成分の成分比率はおおむね同じ傾向を示している（表 4）。試料 11 は、赤褐色箇所では微量成分として鉛（Pb）が 0.03 wt%検出されたが、大部分を占める暗灰色部分では鉛は検出されなかった。先述の通り、瓦に釉薬は使用されていないことから、赤褐色箇所で検出された鉛が何によるものか特定できなかった。試料 9 の主成分の成分比率は、他の平瓦の試料や、他の形状の試料と比較しても、共通する傾向は確認できなかった。

表 2　三巴文軒丸瓦 主成分の酸化物の成分比率（単位 wt%）

No.	1		2		7
	暗灰色	赤みをおびた箇所	赤褐色	灰色味をおびた箇所	
Na_2O	1.87	1.38	2.63	0.43	0.84
MgO	4.38	4.63	4.10	2.49	0.84
Al_2O_3	13.73	20.96	13.72	17.11	14.76
SiO_2	65.67	57.93	66.30	63.31	66.05
P_2O_5	1.36	1.98	1.34	1.61	1.51
K_2O	5.87	5.19	5.38	6.99	8.00
CaO	0.06	0.33	0.00	0.20	0.28
TiO_2	1.01	0.92	1.08	1.08	1.01
MnO	0.09	0.19	0.11	0.16	0.14
Fe_2O_3	5.87	6.16	5.23	6.05	5.98

表 3　丸瓦 主成分の酸化物の成分比率（単位 wt%）

No.	3	4	8	10	
	暗灰色	赤褐色	暗灰色	滑らかな面	側面
Na_2O	1.12	0.84	1.78	0.00	0.00
MgO	3.01	3.14	3.93	0.27	5.08
Al_2O_3	18.11	20.94	19.95	21.39	20.10
SiO_2	61.10	57.45	59.56	59.69	59.02
P_2O_5	1.75	1.46	1.10	1.08	1.31
K_2O	6.52	7.17	5.98	5.75	6.90
CaO	0.13	0.07	0.14	0.11	0.15
TiO_2	1.12	1.21	1.23	1.02	1.07
MnO	0.18	0.17	0.05	0.07	0.06
Fe_2O_3	6.77	7.38	6.18	6.06	6.18

表 4　平瓦 主成分の酸化物の成分比率（単位 wt%）

No.	5	6	11		9
	暗灰色	赤褐色	暗灰色	赤褐色の箇所	暗灰色
Na_2O	2.64	1.76	0.00	0.00	1.87
MgO	3.88	3.43	2.35	2.17	3.94
Al_2O_3	12.72	15.67	15.16	17.58	23.12
SiO_2	66.01	62.68	66.10	62.41	57.23
P_2O_5	1.61	1.38	2.09	2.71	1.23
K_2O	6.29	6.79	7.05	7.15	4.22
CaO	0.04	0.25	0.09	0.29	0.04
TiO_2	1.05	1.18	1.01	1.04	1.06
MnO	0.11	0.24	0.16	0.21	0.10
Fe_2O_3	5.52	6.50	5.84	6.24	7.07

４．おわりに

以上の蛍光 X 線分析の結果から、どの形状の瓦においても、暗灰色と赤褐色の箇所の主成分の成分比率に顕著な違いは見られなかった。しかし、肉眼観察やこれまでの理化学的分析により、坂本城には暗灰色の瓦とは別に赤褐色系の瓦が存在したことは明らかとされていることから[1)]、瓦の色の違いは焼成方法の違いなどによるものと考えられる。少なくとも、主成分の成分比率が同様の傾向を示す試料については、同じ場所から採取した土を使用して製作された、同じ材料の配分により製作された、あるいは同一の生産所において製作されたことなどが推測される。いまだ謎が多い坂本城の姿を明らかにするには、焼成方法や瓦の生産地などの解明が今後の課題である。

本研究は人間文化研究機構広領域連携型基幹研究プロジェクト「地域文化の効果的な活用モデルの構築」（代表：日髙真吾）の成果である。

1）　『大津市埋蔵文化財調査報告書(160)　坂本城跡出土瓦の再整理』大津市、2023 年

三次元計測を活用した盛巌寺の津波碑の判読困難な文字情報取得の検証
Application of 3D measurement to obtain information on illegible text on Tsunami stone at Seiganji temple

○河村友佳子（国立民族学博物館）、日髙真吾（同左）、橋本沙知（同左）
和髙智美（合同会社文化創造巧芸）、天野真志（国立歴史民俗博物館）
○Yukako KAWAMURA, Shingo HIDAKA, Sachi HASHIMOTO(National Museum of Ethnology),
Tomomi WADAKA (LLC Bunkasozokogei), Masashi AMANO(National Museum of Japanese History)

1. はじめに

地震や津波の災害を記録し、将来の備えを人々に伝える石碑は全国各地に残されている。このなかには、経年劣化などにより碑文が読み取りにくい状態となっているものもある。発表者らは、このような石碑を対象に、可搬型 3D スキャナーによる三次元計測で取得したデータから碑文を判読する検証をおこない、その成果を本学会などで報告してきた[1、2]。

今回、研究対象とした岩手県釜石市の盛巌寺境内に建立されている津波碑は、卯花政孝氏（東北大学）により調査がおこなわれ、1991 年に碑文の記録が報告されているが、その一部は不明、難読とされていた[3]。そこで、本調査では 3D スキャナーを用いて取得したデータをもとに、不明、難読とされていた碑文の解読を試みるとともに、屋外で三次元測定をおこなう際に周辺光の干渉を抑える新たな方法を検証した。本発表では、新たに判読できた碑文について報告し、3D データを活用した碑文判読の可能性を示す。

2. 計測対象と計測方法

盛巌寺には、明治 29 年の明治三陸地震津波の津波碑が二基、昭和 8 年の昭和三陸地震津波の津波碑が一基建立されている。これらのうち、判読困難とされた箇所が多く、また裏面や側面の碑文の記録が残されていない明治三陸地震津波の津波碑「海嘯溺死霊供養碑」（写真 1）と「海嘯紀念碑」（写真 2）の二基を計測対象とした。



写真 1
海嘯溺死霊供養碑



写真 2
海嘯紀念碑

計測には可搬型 3D スキャナーArtec Eva（Artec 社）を用いた。対象の津波碑の周辺は作業場所を確保することが難しかったため、複数の方向から分割して計測した。また、情報を補完するために、デジタルカメラで写真を撮影した。

なお、使用したスキャナーの測定方式はパターン光投影方式であるため、屋外の測定では日光など周辺光の干渉により正しい測定データが取得できない場合がある。これまでの経験で、周辺光の干渉を抑えるために、測定箇所に傘で影を作ることが有効であった。今回は、新たな試みとして、津波碑の表面を水で濡らすことで、周辺光の干渉を抑える効果が得られるかを検証したが、水で濡らした状態では、データを取得することが難しかった。これは、石碑の表面や付着した地衣類の上に水滴が生じたため、計測がおこなえなかった可能性などが考えられるため、津波碑の表面が乾いた状態で計測をおこなった。

3. 碑文の判読について

取得した 3D データは、3D データ編集用ソフト（Artec Studio）を用いて結合し、陰影や色情報を取り除き、凹凸を強調する編集をおこない、データ上で碑文を判読しやすくした。また、実際の碑文の判読では、3D データと写真データを照らしあわせて作業を進めた。

この結果、石碑の碑文が目視では確認がしづらい状態であっても、ある程度、碑文の刻線の凹凸が残っていれば、3D データから判読することが可能であった。また、碑文の刻線の凹凸が摩耗しており、編集した 3D データでも判読しにくい場合は、コンピューター上で 3D データの角度や方向を変えながら、それぞれの文字が見えやすい条件を見いだすことで、判読できた部分があった。このように、初見では読み取れなかった場合でも、現地に行かなくとも様々な角度から碑文を読み返せることは、3D データで碑文を判読する大きな利点である。

4. 3D データをもとにした判読結果について

4-1.「海嘯溺死霊供養碑」

本津波碑の表面では、年号の「明治二十九年」の下に続く文字が不明とされていたが、3D データから「十一月六日」と判読した（図 1）。津波が発生したのは明治 29 年 6 月 15 日であることから、この日付は津波碑の建立日などの可能性が考えられる。次に現地で目視確認した際、表面下部にこれまで記録されていない碑文が見られ、写真と 3D データ（図 2）から、一行目に「導師真言宗」、二行目に「能入行者■昇」、三行目に「大■六名」と記載されていると判読した（■は不明の文字）。また、表面下部の二行目にある「昇」の下と台座との境目に凹凸があるものの、文字であるかは判別できなかった。

津波碑の裏面については、新たな碑文は確認されなかった。また、津波碑の表面に対して向かって左側面は現地で目視確認した際に碑文があるかが判断できなかったが、3D データを確認した結果、碑文がないことが確認できた。

4-2.「海嘯紀念碑」

本津波碑は、これまで記録がなかった裏面の碑文のみ計測した。3D データを確認した結果、詳細な文字の判読はできなかったが、人名と数字と思われる文字が確認できた（図 3）。これは、津波碑を建立する際に寄進した人の名前と金額ではないかと推測している。また、表面の年号で「明治弐十■九年」と一部不明とされていた文字については、写真から「有」と判読した。これは 20 と 9 年を意味しており、津波が発生した明治 29 年であることが分かった。



図 1
海嘯溺死霊供養碑
表面「十一月六日」



図 2
海嘯溺死霊供養碑
表面下部　三行の碑文　左：写真　右：３D データ



図 3
海嘯紀念碑
裏面　碑文の一部

5. まとめ

今回の計測で対象とした津波碑はすでに調査と記録がおこなわれていたが、一部は判読されていない文字があった。今回、改めて、三次元計測をおこなったところ、取得した 3D データから判読できる文字があり、石碑の 3D データを取得する有効性を実感した。また、取得した 3D データは、歴史学など関連する多分野の研究者と共有することにより、碑文の判読や内容の理解についてより多くの情報を得られた。

今回の調査で新たに判読できた碑文について盛巌寺の住職に報告したところ、「海嘯溺死霊供養碑」については、盛巌寺は曹洞宗であるため碑文に真言宗の名が刻まれていることに驚かれた。この点については、盛巌寺では周辺の宗派が異なる寺との協力関係が以前からあることが関係しているのではないかとのことであった。このように、地域の文化財について調査した結果を地域の方と共有することで、今後も、地域の歴史、文化の再発見に貢献していきたい。

謝辞

本調査と発表にあたり、盛巌寺の三宅俊禅住職、釜石市文化スポーツ部文化振興課文化財係の手塚新太氏に多くのご教示とご協力をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

本研究は人間文化研究機構広領域連携型基幹研究プロジェクト「地域文化の効果的な活用モデルの構築」（代表：日髙真吾）の研究成果の一部である。

1　河村友佳子、日髙真吾、園田直子、末森薫、橋本沙知、和髙智美、日尾紀暁、余語珠未、山本彩乃「3D スキャナーを活用した津波碑の文字情報取得についての検証－高知県地震津波碑の事例から」『第 35 回日本文化財科学会要旨集』P. 328-P. 329、2018 年

2　和髙智美、日髙真吾、河村友佳子、橋本沙知「3D スキャナーによる判読困難な津波碑の文字情報取得の可能性『第 41 回文化財保存修復学会大会要旨集』P. 204-P. 205、2019 年

3　卯花政孝「三陸沿岸の津波石碑－その１・釜石地区」『津波工学研究報告第 8 号』東北大学工学部災害制御研究センター、P. 225- P. 227、1991 年

三次元計測を応用した「同型鏡」生産に伴う収縮条件の研究

Research on shrinkage conditions associated with the production of "same type bronze mirrors" by applying 3D measurement

◯水野敏典（奈良県立橿原考古学研究所）、わけびき真澄（中部大学）、古谷　毅（京都国立博物館）、岡林孝作（奈良県立橿原考古学研究所）、奥山誠義（同左）、北井利幸（同左）、
◯Toshinori Mizuno (1.Archaological Institute of Kashihara) , Masumi Wakebiki (2.Tyubu University)、Furuya Takeshi(3.Kyoto National Museum),Kosaku Okabayashi, Masayoshi Okuyama,Toshiyuki Kitai(1)

1. はじめに

古墳時代中期後半から後期にかけて、同一文様を持ちながら鏡径に差を持つ中国製とされる「同型鏡群」が出土する。この鏡径収縮の再現を目指して、同型技法による銅鏡作成を行ってきたが、収縮を再現できなかった（水野編 2021）。これまでの実験を踏まえ、鏡径収縮の発生条件として分厚い肌真土の鋳型を採用し、鋳型乾燥を砂の上で行った。

2. 鋳型構造と乾燥状況

鏡径収縮の再現には、鋳型が中心に向かって均等な収縮することが必要である。そのため、従来の乾燥段階で異なる粘土を組み合わせた多層構造の鋳型は乾燥時の収縮を抑えると考え、今回は単独で乾燥可能な厚い真土をもつ鋳型を採用し、玉状の粘土に原鏡を押し付けて銅鏡の細部文様を踏み返すことに成功した（図 1,2）。（鋳型原料は、真土 1.5 kg＋埴汁 1.6 kg（真土：信楽粘土＋遠州灘砂を 1：1、埴汁：水 7 kg＋信楽粘土 7 kg 100 メッシュ通し、植汁 7.7kg）を使用。真土は、砂を敷いた上で乾燥させた。その結果、真土の収縮に伴って砂は鋳型縁に沿って 3 ㎜前後の隙間が生じた（図 3）。これにバックアップを設け鋳造を行った。

3. 鋳型の三次元計測と鏡径の収縮

鋳型の変形を確認するために、**①原鏡、②乾燥前鋳型、③乾燥後鋳型、④鋳造実験鏡**に対して三次元計測（ドイツ GOM 社 ATOS５M　MV-70 使用）を行い、鈕頂部を起点として 4 種のデータを重ねて、断面図および 2 点間距離の比較を行った。その結果、原鏡と実験鏡間に 5.97 ㎜の収縮（収縮率約 97.1%）を確認できた（表 1,図 4,5）。

4. まとめ

厚い肌真土を砂上で固定しない状態で乾燥させることで、出土資料である同型鏡間の収縮現象に極めて類似した直径約 6 ㎜の鏡径収縮の再現に成功した。今後、実験鏡と出土鏡との笵傷等の比較分析を進め、鋳型材料や条件を変えて収縮率の変化を確認したい。

参考文献

水野敏典編 2021『三次元デジタル・アーカイブを活用した青銅器製作技術解明の総合的研究』

本研究は、JSPS 科研費 21H00606 の成果の一部であり、徳平千尋の研究協力を受けた。



図１　玉状の粘土を使っての原鏡からの踏み返しての鋳型造り



図２　原鏡鏡背と同型技法による鋳型（三次元計測画像）と鋳型拡大写真

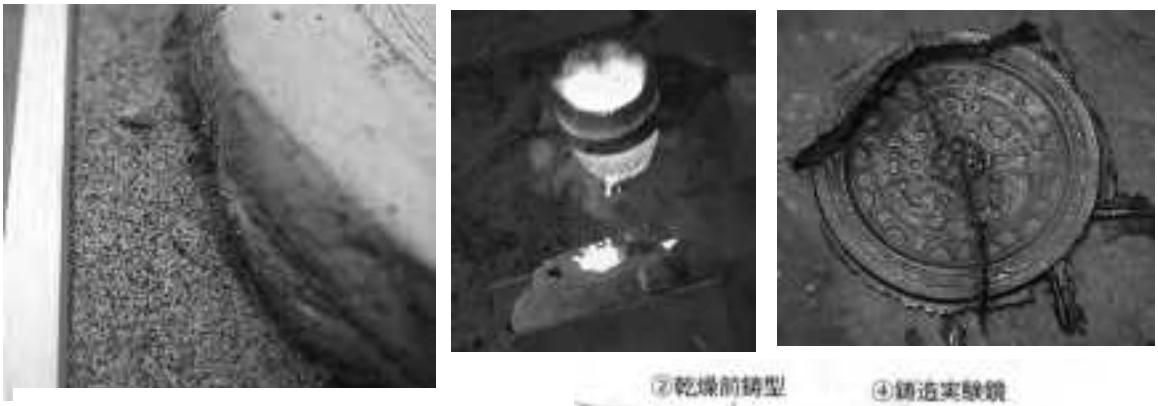


図３　砂の上での鋳型収縮（左）、鋳造実験（中）、鋳造実験鏡（右）

表１　断面の２点間計測値

原鏡	乾燥前鋳型	乾燥後鋳型	鋳造実験鏡
171.575	170.872	167.039	166.612
			単位㎜



図４　鏡縁部断面拡大図にみる収縮状況

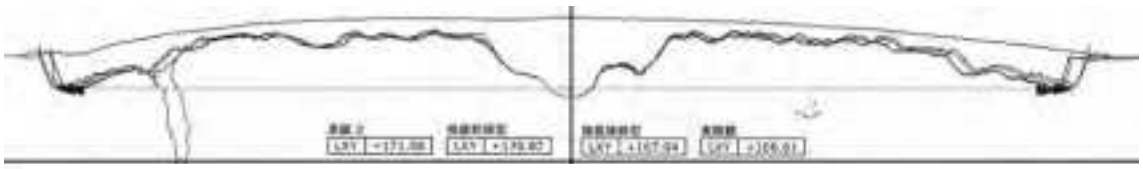


図５　三次元計測データによる原鏡、乾燥前鋳型、乾燥後鋳型、鋳造実験鏡の 2 点間距離

土器付着物を用いた奥尻島における先史文化の食性分析

Analyzing food habits using charred remains on pottery from the prehistoric culture in the Okushiri Island

◯國木田大（北海道大学）、高瀬克範（同左）、
稲垣森太（奥尻町教育員会）、米田穣（東京大学）
◯Dai KUNIKITA, Katsunori TAKASE (Hokkaido University), Shinta INAGAKI
(Okushiri Town Board of Education), Minoru YONEDA (The University of Tokyo)

1. 研究の背景

本研究では、奥尻島の先史時代の食性に関して、土器付着炭化物の炭素・窒素同位体比、C/N 比を用いて検討を行う。近年、北海道島の離島における食性研究が注目されている。礼文島の香深井 1・2 遺跡や浜中 2 遺跡では、炭素・窒素同位体分析とあわせて残存脂質分析が実施され、オホーツク文化期の食性変遷等が議論されている（Junno *et al*. 2022）。筆者らも、香深井 1 遺跡の擦文文化を検討し、その内容物がオホーツク文化に類似した傾向を示すことを指摘した（國木田ほか 2023）。

奥尻島における先史時代の生業は、主に出土動物遺体をもとに復元されてきた（木村・金子 2003 等）。青苗遺跡では、魚類はフサカサゴ科、カジカ科、マダラ等の沿岸で捕獲可能な種の割合が高い。一方、海棲哺乳類は、北海道島沿岸の主たる狩猟獣であるキタオットセイではなく、二ホンアシカが多数を占めており、その特徴的な海獣利用が注目されてきた。最近では、土器種実圧痕分析により、イネ・キビ・アワの穀類が確認されており、その入手経路や育成技術等の課題も指摘されている（高瀬ほか 2023）。土器数に対する種子圧痕の検出率は、道央部を上回るほど高く、島内での雑穀栽培も否定できない。このように、奥尻島は、動物遺体から復元される海洋資源利用のほかに、土器種実圧痕から推測される穀物利用といった課題も存在するため、食性研究を行う上で重要な地域である。

2. 分析試料

本要旨での分析試料は、奥尻町青苗 B 遺跡（続縄文文化前期、木村編 1999）7 点、青苗遺跡（擦文文化、佐藤編 1979 等）10 点、青苗砂丘遺跡（オホーツク文化、皆川ほか 2003 等）6 点の計 23 点であり、全て内面の土器付着物である。青苗遺跡については、擦文文化のどの時期か明確にするために、木炭の放射性炭素年代測定を実施した（2 点）。炭素・窒素同位体比、C/N 比の測定は AAA 処理済試料を昭光サイエンスに依頼した。年代測定は、東京大学総合研究博物館で実施している。

3. 測定結果と考察

測定試料の炭素・窒素同位体比を図 1、炭素同位体比・C/N 比を図 2 に示した。全ての試料で、炭素・窒素同位体比がともに高い傾向を示すことから、海生生物由来の内容物の可能性が高い。各遺跡の比較では、続縄文文化（前期）、擦文文化（後期）、オホーツク文化（十和田式期と刻文期）の間で非常に類似した傾向があり、煮炊きの内容物に大きな違いはなかったと考えられる。これまでの筆者らの研究では、札幌市内の遺跡や常呂川河口遺跡の擦文文化試料で C_4 植物の影響が推測される傾向があったが（國木田ほか 2023 等）、今回はそのような試料は確認できなかった。ただし、図 2 において擦文文化は、C/N 比が高い試料が多いため、他の文化とは多少異なる内容物の可能性があるかもしれない。いずれにしても、今回の擦文文化の結果は、オホーツク文化のような海産物に強く依存した特徴がある点が注目される。

なお、青苗遺跡の木炭の年代値は、965±20BP（TKA-27297）、960±20BP（TKA-27298）であり、11 世紀半ば～12 世紀前半の結果であった。土器編年の区分では、宇田川編年後期に相当する段階で、これまでの考古学的な見解とも整合的である。

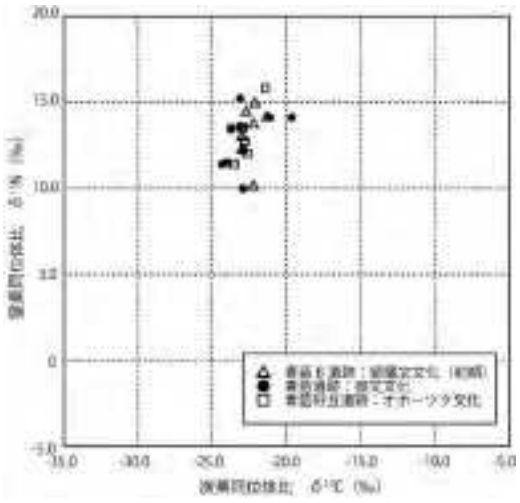


図 1　測定試料の炭素・窒素同位体比

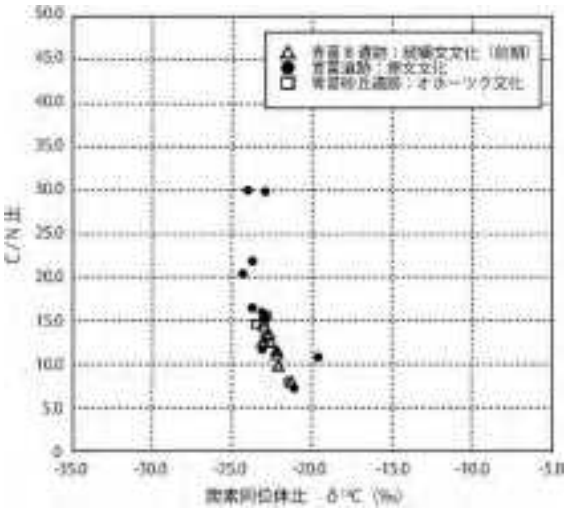


図 2　測定試料の炭素同位体比・C/N 比

謝辞

試料採取に際して奥尻町教育委員会、年代測定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

木村哲朗編 1999『青苗 B 遺跡』奥尻町教育委員会

木村哲朗・金子浩昌 2003『青苗貝塚における骨角器と動物遺体』奥尻町教育委員会

國木田大ほか 2023『第 22 回北アジア調査研究報告会要旨集』61-64

佐藤忠雄編 1979『奥尻島青苗遺跡　図版編』函館土木現業所・奥尻町教育委員会

高瀬克範ほか 2023『第 22 回北アジア調査研究報告会要旨集』21-24

皆川洋一ほか 2002『青苗砂丘遺跡』北海道立埋蔵文化財センター

Junno, A. *et al*. 2022. *Quaternary International* 623, 19-34.

古墳時代鍍金の色調計測の可能性

Possibility of measuring color tone of plating of Kofun period

◯田中由理（公益財団法人 元興寺文化財研究所）
◯Yuri TANAKA (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

1. 目的

考古資料において、色調を客観的に計測すること自体が多くなく、特に金属製品のうち金製品、銀製品や鍍金製品については「金色」「銀色」などと表記される程度である。その理由は光沢により金属色の測色自体が難しいうえに、錆が覆っていて一部しか見えなかったり、金属自体が退色や変色することによって本来の色の評価が難しいためである。

古墳時代の金属製品で多用された鍍金技法は、５世紀中頃以後、東アジアより我が国にもたらされた技術の一つであり、対外交流や日本列島の文化の発展過程を明らかにする重要な要素である。その一方で奈良県の珠城山１号墳出土透三葉文杏葉など一見銀色を呈し、比率の異なる金－銀合金による鍍金が行われていることが成分分析から分かったものもあるものの、その色差などの客観的な評価はまだ十分になされていない状況である。

申請者はこれまで施釉陶器において分光測色計を用いた色調分析を行っており、従来目視により指摘されていた、釉薬の色の違いが生産地の違いや時期差を反映することを反射スペクトルの分析から客観的に証明した。その経験を生かして、鍍金製品の色調計測を行い、比率の異なる金－銀合金による鍍金の判別をはじめとして、それらの色調を客観的に評価することを目指しており、その研究の可能性や展望について述べる。

２．研究の経緯

筆者は大阪大学考古学研究室において発掘調査が行われた京都府亀岡市篠窯跡群の報告書作成にともなう検討（田中 2012)を端緒として、平安期緑釉陶器をはじめとした施釉陶器の釉調の色彩学的検討を行っている。これらの研究において、反射スペクトルの比較、特に絵画資料の顔料の分析で用いられている二次微分スペクトルの比較を行うことにより、釉の薄さと釉調・胎土の色の関係など目視で感じることのできる色の特徴を、グラフ上から見出せる可能性を確認し、産地に特徴的な釉薬や胎土色の傾向をある程度見出せ得ることが分かった。また一方で、鉄釉の青磁やコバルト釉の染付の反射スペクトルを調べると、鉄やコバルトに特徴的な反射スペクトルを見出すこともでき、材料や成分の違いを色からもある程度は推定できる可能性があることを見出した。

また筆者はかねてから、出土した金属製品の鍍金の色には青みがかったものや赤みがかったものなど多様なものがあるのではないかと感じていた。金箔について知る機会を得た際､金箔は金と銀の含有比率の違いによって、何種類も分類されて、色味も異なっていることを知り、出土資料の保存処理に携わる申請者の経験としても、銀色に見える箇所も必ずしも銀張や鍍銀とは限らず、成分分析の結果、金が一定量含まれ､「鍍金」との分析結果が出たことから､出土した古墳時代の資料についても､多様な色合いの鍍金が存在するのではないかと考えた。一方、施釉陶器の色調計測を行うなかで、施釉陶器は土や釉薬など多様な成分、窯内雰囲気など多様な要素から発色しており、それぞれの反射スペクトルが混ざり、解釈が曖昧になることが問題になっていた。その解決策のためにも、成分や発色要因がある程度単純な金属についての色調計測は意義があると考え研究を開始した。

３．現代の金箔の測色

金箔には、金の純度（主に銀との比率）の違いにより、異なった名前が付けられており、純度の高い方から、24K、5 毛、1 号、2 号、3 号、4 号、三歩、定色である。24Kから 4 号まで 100%から、１%刻みで下がっていく程度であり、金が 94.4%となる 4 号でもあまり色味に違いを感じない。一方で、三歩（金：銀がおよそ４：１）と定色（金：銀がおよそ３：２）は、肉眼でも容易に判別できるほど色が異なる。これらは工業製品として均一に作られ、金と銀の比率が明らかになっているものであるため、まずこれらを基準資料として、分光測色計で測色したところ、金や銀に特徴的な反射スペクトルを確認し、金や銀の比率の違いによって、強さやピークが変化することが分かった（図１）。また金箔を貼る素材や表面状態を変えても、分光測色計の測定条件をＳＣＩ（正反射光含む）とすることで、金箔にある程度厚く覆われていれば、同様の反射スペクトルが得られることが分かった（田中 2021）。

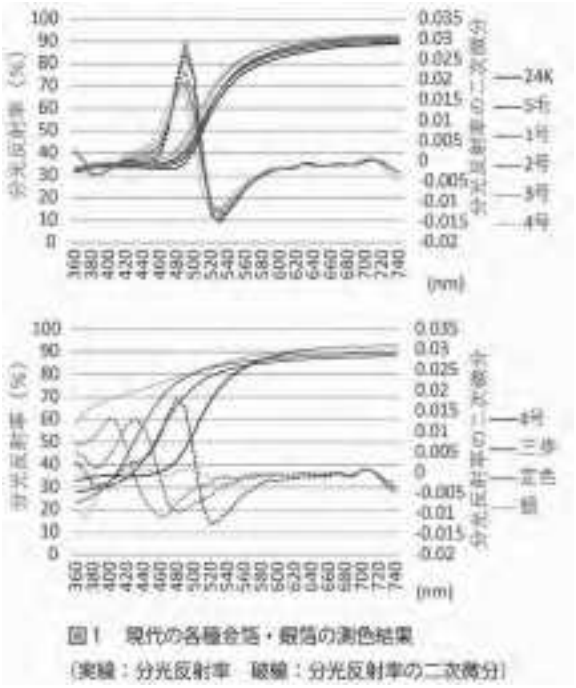


図１　現代の各種金箔・銀箔の測色結果
（実線：分光反射率　破線：分光反射率の二次微分）

４．古墳時代の鍍金の色調計測

そこで奈良国立博物館所蔵の珠城山 1 号墳出土馬具をはじめとした古墳時代の鍍金の色調計測を行い、分析を試みた（田中 2022）ところ、反射スペクトルおよび、その二次微分スペクトルを分析することで、金色を呈する鍍金と銀色を呈する鍍金の差異を判別できるようになり、上述の金箔の色との比較を行うことができた。まだ鉄錆との判別をどのようにするかなど課題が残るものの、金銀の比率などの成分の情報を推定していける可能性があると考えられた。

５．課題と今後の展望

このように、実際の考古資料も調査したところ、金銀の比率の異なる鍍金が存在することも確認できたが、錆や形状の複雑さにより、接触型の分光測色計で色調計測できる対象が限定的になることも問題となった。そこで､今後その評価方法としてハイパースペクトルカメラを導入することを検討している。ハイパースペクトルカメラは対象物からの反射光を、数十から数百もの波長に分光し、解析できる分光画像技術であり、色調の客観・定量的な評価や、対象物の物性・成分を特定することができるという（エバ・ジャパン株式会社高良洋平氏のご教示による)。接触型の分光測色計では測定の困難な複雑な形状の資料も含めて、客観的定量的に計測することができるようになるため、鍍金製品の成分比率の差などの色調の評価を、科学的根拠を持って提示できるようになると考える。今後も資料の対象を広げて調査を行っていきたい。

【参考文献】

田中由理 2012「緑釉陶器の色彩学的検討」『篠窯跡群大谷 3 号窯の研究』大阪大学考古学研究室
田中由理 2021「金属の色調計測の可能性について」『技と慧眼-塚本敏夫さん還暦記念論集-』
塚本敏夫さん還暦記念論集事務局
田中由理 2022「鍍金の色調計測の可能性」『鹿園雑集』第 24 号 奈良国立博物館

木簡観察の定型化に向けて

Formulation of observations on the Wooden tablet

畑野吉則（立命館大学）、山本祥隆（奈良文化財研究所）、〇浦蓉子（同左）
Yoshinori HATANO (Ritsumeikan University), Yoshitaka YAMAMOTO, 〇Yoko URA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

本報告は、東アジア各国で近年陸続と増加する出土木簡、とりわけ中国木簡の形態観察について、その定型的な観察手順と観察ポイントを検討したものである。

木簡という資料体には、記載内容だけでなく、形状や加工・使用の痕跡、さらに表面状態等の多様な形態情報が内在する。しかし、既存の木簡研究では、実見観察によってそれら形態情報を十分に抽出できていない。そこで本報告では、木簡の形態情報を研究資料として抽出するための定型的な観察・記録手法を提案する。なお、本報告は、JSPS 科研費 JP22H00022, JP22K00887 の助成を受けておこなった研究成果の一部である。

2. 木簡における形態観察の意義と問題点

中国木簡の形態分析の視点は、日本の籾山明によって提起された。籾山 1995 では、木簡の側面に刻みのある簡牘を発見し、文面に記載された数値と対応する改竄防止の工夫を解明した。また籾山・佐藤 2014 では、漢代木簡 145 点の書誌情報・法量データ・スケッチおよび所見を作成し、他の研究者に形態情報を共有する試みがなされた。

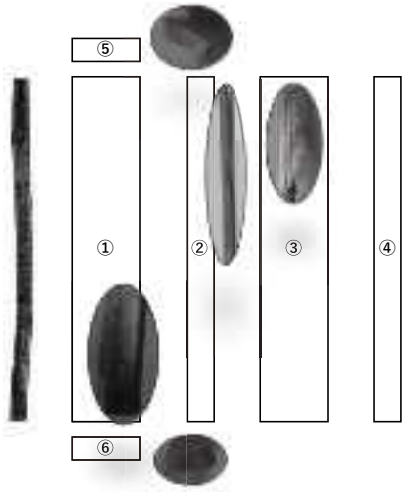
如上の先行研究はいずれも、木簡の実測図（あるいはスケッチ）と形態に係る所見から成る。中国木簡は、国外機関の所蔵する重要文化財であるため、資料体に直接アクセスできる研究者が限定されるため、報告書から読み取れない形態情報の共有は、重要な意義を持つ。

如上の意義を踏まえ、2019 年、筆者らは、中国甘粛省文物考古研究所所蔵漢代木簡の実見調査を実施し、実測図 1 点を作成した。当該調査では、報告書掲載画像からは読み取れない多くの形態情報が確認できた。その一方で、形態の観察所見を記録しながらの実測図作成には多くの時間を費やした。そのため、すべての調査対象についての実測図作成は現実的ではないと考えた。

筆者らの調査を含め、従来の観察・記録手法には、問題点が２つある。第１に、実測図に示された形態情報は、あくまでも調査者の問題関心に基づく「解釈」ということである。考古遺物の取り扱いに不慣れな中国木簡研究者は、えてして示された情報以外は形態的特徴が存在しないと誤認する傾向にある。第２に、実測図の作成には専門的技術が必要であり、かつ観察所見を付与しながらの作図に多くの時間を費やすことである。

上述する意義や問題点を踏まえ、本研究では「木簡形態観察表」の導入を検討している。

資料名	簡番号	長	幅	厚
懸泉漢簡	Ⅵ F13C②：10	244mm	9mm	



全体	・上部・下部が浮き上がり歪む（出土後の乾燥によるものヵ） ・正面・背面共に節あり
①正面	・上部左側に折損（縦3×横1mm） ・下部右側（200～219mm）削跡
②右側面	・樹皮残存（43～73mm） ・墨跡（78～130mm）
③背面	・割り裂いたまま
④左側面	・樹皮残存（111～140mm）
⑤上端面	・平滑に切断
⑥下端面	・平滑に切断

図　木簡形態観察表のサンプル

3. 木簡形態観察表の特徴

木簡形態観察表は、資料の書誌情報・法量データ・報告書掲載画像・展開図・各面の観察所見から構成される。詳細な実測図は作成せず、展開図上にメモする形式で特徴の個所を記録する。さらに、観察所見を定型的なチェック項目化することで、時間の短縮と記録内容の安定化を図る。なお、所蔵機関の許可を得て、記録写真を撮影・添付することが望ましい。

形態情報は、報告書や調査者が撮影した写真ではわかりにくい表面の状態、とりわけ製作・加工・使用の痕跡を各面について注意深く観察・記録する。例えば、表面調整の有無、樹皮や節の残存状況、各面における刃物等の痕跡の有無、麻紐等の付着物の有無、が挙げられる。

これらの形態情報を機械可読可能なデータとして蓄積すれば、類似する特徴の木簡を効率的に検索・比較できる DB システムが構築できる。

4. 課題と展望

木簡形態観察表をもとに形態情報を記録・共有するためには、課題が２つある。第１に、例えば「ハツリ痕」「切り折り技法」といった観察所見用語の共有、第２に各面における観察ポイントの共有である。調査者がこれらに基づいて実見調査を実施すれば、木簡形態に係る情報量は格段に増加すると考えられる。さらには他の研究者による２次的な活用さえも期待される。

そして、今後より簡便に効率的に形態情報を抽出するためには、フォトグラメトリ等の三次元デジタル計測技術の活用や記録デバイスの開発、Web アノテーション等、文化財科学や情報工学の手法を活用し、汎用性の高いデジタルデータとして共有することが望ましいと考える。

参考文献

・籾山明「刻歯簡牘初探―漢簡形態論のために」（『木簡研究』17，1995，のち同『秦漢出土文字史料の研究』，創文社，2015 に再録）
・籾山明・佐藤信編『文献と遺物の境界Ⅱ―中国出土簡牘資料の生態的研究―』（東京外国語大学アジア・アフリカ言語研究所，2014）

江戸時代後期の雛道具に用いられた漆塗膜の分析

Analysis of lacquer paints from miniature furniture during Late Edo period

○越智悠太(明治大学大学院)、本多貴之(明治大学)
○Yuta OCHI (Meiji University graduate school), Takayuki HONDA (Meiji University)

1. はじめに

江戸時代において，日用品として用いられる漆工技術とは異なると考えられる技法が雛道具などに利用され，多くの雛道具が製作された。数ある雛道具の中でも，江戸時代後期に上野池之端に店を構えた七澤屋（ななさわや）の雛道具は，極小かつ黒漆に金蒔絵で施された牡丹唐草模様が特徴で，「其値は実に世帯をもつより貴し」[1] と言われる高級品であった。しかし，このような作品群に対して科学的手法を用いて分析を行なった例はこれまでに報告されていない。今回の発表では，江戸時代後期の七澤屋製と思われる作品群から採取した微量破片に対して，熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析法 (Py-GC/MS) やエネルギー分散型蛍光 X 線分析 (ED-XRF)，クロスセクション観察を行ったので報告する。

2. 分析に供した試料・分析手法について

雛道具研究家である川内由美子氏協力の下，修復が必要とされる状態で保存された雛道具の微量破片に対して調査を行った。対象としたのは，江戸時代後期の七澤屋製と思われる葵紋が施された高坏，松竹梅が施された高坏，厨子棚から採取された微量破片である。

分析に用いた手法はこれまでに用いてきた漆塗膜の分析手法に準じて行った[2]。

3. 結果と考察

葵紋の施された高坏の微量破片に対して断面分析と Py-GC/MS による材料となっている有機物の同定を行った。断面の観察写真および Py-GC/MS 測定結果から，最表面 (写真 a 層) にはナフタレンと長鎖炭化水素を混ぜたものが塗布されていると考えられ，その下に漆でできた黄褐色層、掃き墨と思われる厚さのあまりない黒色層，植物層の 4 層構造が確認

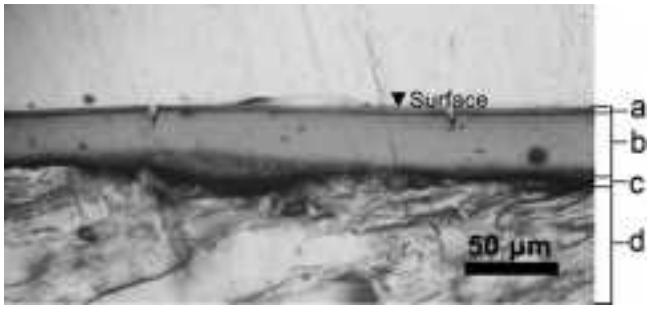


写真　葵紋の高坏の断面

された（写真）。Py-GC/MS の結果から樟脳が検出された (図)。あわせて，日本・中国・韓国産の“*Toxicodendron vernicifluum*”の主成分であるウルシオールや乾性油由来と思われるパルミチン酸やステアリン酸の存在も確認できた。

さらに松竹梅の施された高坏，厨子棚に関しても Py-GC/MS の測定を行ったところ，葵紋の高坏と同様に樟脳の存在が確認できた。このことは，樟脳が当時七澤屋の雛道具において頻繁に利用されていたことを示唆する結果であると言えよう。

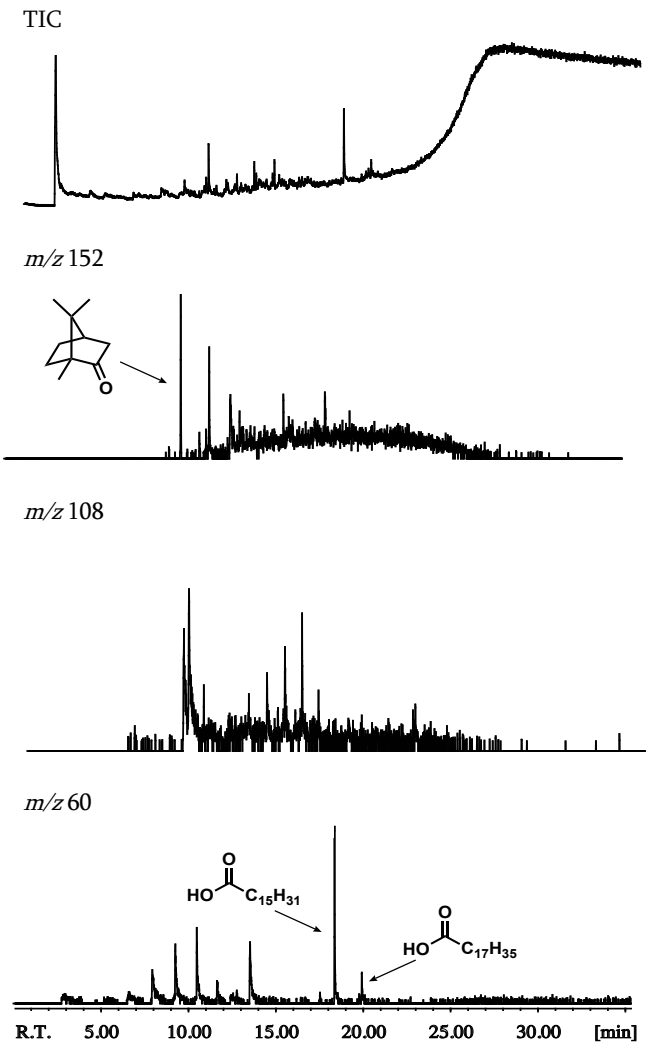


図　葵紋の高坏の Py-GC/MS

4. おわりに

今回は江戸時代後期の七澤屋製と思われる雛道具に対する科学分析を行った。その結果，いずれの雛道具についても樟脳の成分が確認された。このことから七澤屋の雛道具には「延漆」[3] と呼ばれる技法が用いられていたと推測される。この技法は，生漆を樟脳で希釈することで粘度を調整するというものであるが，今回の結果においては、粘度の小さい生漆を用いたことで，雛道具特有の薄い漆塗膜が実現できた可能性がある。今後の課題とし樟脳を固体からあるいは乾性油に溶解させてから用いたか不明であるため，これを明らかにすることで当時の利用法をより明らかにすることが出来るであろう。

＜謝辞＞

本研究の遂行にあたり、ご協力いただいた雛道具研究家である川内由美子氏および前野嵩弘氏に感謝申し上げます。

＜参考文献＞

1)　四壁庵茂蔦，「わすれのこり下」,『続燕石十種』，国書刊行会, p. 460（1908）
2)　本多　貴之，玉城　靖,「百按司墓三号木棺 a の塗布手法およびその年代について」,『浦添市美術館紀要』14 号，pp. 15-29（2019）
3)　漆工史学会，『漆工辞典』，株式会社角川学芸出版, p.324（2012）

ハイパースペクトルカメラによる絵画作品の色と材料の解析―高松松平家博物図譜（香川県立ミュージアム保管）を事例として
Analysis of Color and Material in Painting Artwork Using Hyperspectral Camera - A Case Study of the “Takamatsu Matsudaira Family Illustrated Book on Natural History” of the Kagawa Museum

○紀芝蓮（東京文化財研究所）、秋山純子（同左）、犬塚将英（同左）、高木敬子（香川県立ミュージアム）

○Chihlien CHI, Junko AKIYAMA, Masahide INUZUKA (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Keiko TAKAGI (The Kagawa Museum)

1. はじめに

文化財の科学調査では、非破壊かつ非接触な手法が要求されることが多く、特に文化財の移動が困難な場合、可搬型の装置を用いた現地調査が必要である。反射分光分析は、分析対象の反射スペクトルを既知の材料と比較し、材料の同定を行う方法である。従来はポイント分析が多く、特定箇所からの情報が全体を代表するものであるかは常に注意が必要だった。しかし、近年では、ハイパースペクトルカメラの導入により、2 次元の位置情報と反射スペクトル情報を結びつけ、類似した反射スペクトルの分布を示すマッピング画像を生成できるようになった。これより、作品の色とスペクトル特性を包括的に評価し、使用材料や表現手法を面的に検討することが可能となる。この研究では、香川県立ミュージアムにて、高松松平家伝来の博物図譜を対象にハイパースペクトルカメラを用いて反射分光分析を実施した。この博物図譜は、江戸時代半ばに制作されたとされ、魚や植物などさまざまな事物が詳細に描写されている。ここでは、分析調査を実施した 9 点の中から写生画帖の「きやうちさ」に注目し、その使用材料と色の表現についての結果と考察を報告する。

2. 方法

この調査では、エバ・ジャパン社製ハイパースペクトルカメラ NH-1S を使用し、400 nm から 1000 nm の波長領域における反射分光分析を行った[1)]。カメラは作品から 20 cm の距離に設置され、1 回の撮影での視野範囲は横 7 cm × 縦 5 cm となった。光源としては、河北ライティングソリューションズ社製の高色温度ハロゲンランプを 2 台使用し、白色補正にはスフィアオプティクス社製の標準白色板ゼニスライト SG3151 を使用した。撮影条件は、スキャンレートを 5、ゲインを 30、露光時間を 150 ms と設定した。得られた反射スペクトルと既知の材料で作成した手板資料の反射スペクトルを比較し、使用材料に関する考察を行った。

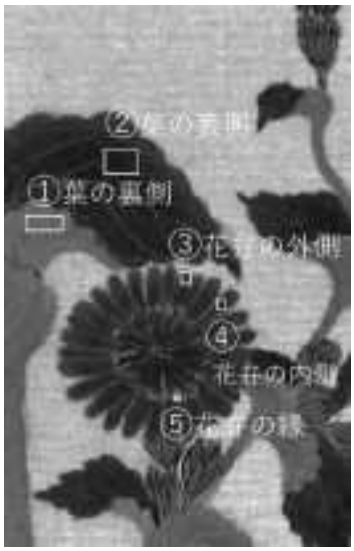


図1「きやうちさ」の画像

3. 結果と考察

3-1. 色表現と反射スペクトル

「きやうちさ」の撮影範囲を**図 1** に示し、反射分光分析の解析データの取得箇所を図中の番号で示す。作品内の緑色と青色の部分に着目すると、葉は主に彩度の低い緑色をしており、葉の裏側（①）は表側（②）よりも明るい緑色を示す。一方、花は花弁の外側（③）が青く、内側（④）に向かうほど赤みが増し、二重花弁の縁（⑤）は明るい青色である。これらの異なる緑色と青色の部分から得た反射スペクトルを**図 2** に示す。

葉の反射スペクトル（①と②）は、主に 520 nm を中心に滑らかな反射を示し、680 nm 付近で吸収がみられ、その後反射率が急激に上昇し、740 nm 以降で高い反射率を示す。①と②を比較すると、スペクトルの形状は同じであるが、①の反射率は全波長域で高いことから、①には反射率を上昇させる材料（白色顔料）が添加されている可能性が考えられる。花の反射スペクトル（③～⑤）も 740 nm 以降で高い反射がみられた。短波長側では、③と④は 500 nm よりも波長が短い側で反射率の上昇が見られ、これは紫がかった青色を示している。一方、⑤は 480 nm を中心になだらかな反射がみられ、これは青色を示す。③と④の短波長側をさらに比較すると、④では 580 nm と 620 nm で小さな反射が比較的明確に見られ、これは赤みによるものと考えられる。したがって、④の箇所で見られた赤みが③の上に塗布されている可能性が示唆される。また、⑤の全波長域の反射率は高いため、青色の材料に高反射率の特性をもつ材料が添加された可能性が考えられる。

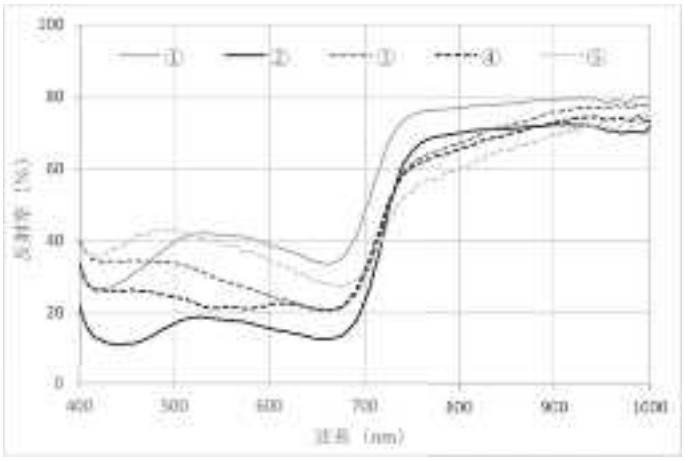


図 2 葉（実線）と花（破線）の解析領域の反射スペクトル

3-2. 既知材料の反射スペクトルを用いたマッピング画像

色材の検討では、既知の材料で作成した手板資料を使用し、長波長域で反射を示す特性をもつ藍、藤黄、キハダの黄色染料、臙脂、コチニール、蘇芳、茜の赤色染料、さらにこれらと胡粉を組み合わせた材料から得られた反射スペクトルを基準として、線形判別分析を実施し、マッピング画像を生成した（**図 3**）。その結果、葉の表側は、藍と藤黄を組み合わせた材料の反射スペクトルに近似していた。葉の裏側については、藍と藤黄、もしくはキハダに胡粉が組み合わされた反射スペクトルに近いことが確認された。今回の分析では藤黄とキハダの反射スペクトルの形状が類似していたため、黄色の色材を明確に区別することはできなかった。花に関しては、花弁は藍の特徴に似た部分と、藍に加えて臙脂の組み合わせに似た部分が確認された。また、花の縁は藍と胡粉を組み合わせた反射スペクトルと似ていることも確認された。



図 3 既知材料の反射スペクトルを用いたマッピング画像

4. まとめ

この調査から、「きやうちさ」の使用材料と色表現について以下の結論が得られた。葉においては藍と黄色染料の使用が示唆され、花においては藍と臙脂の使用が考えられる。また、葉の裏側や花弁の縁には白色顔料が含まれている可能性が示唆された。線形判別分析によるマッピング画像を通じて、作品の色表現と反射スペクトルの特性から推測された使用材料を面的に評価できた。今後は、博物図譜の他の作品にも同様の手法を応用し、作品群の色表現と使用材料の関連性を更に探求していく予定である。

【引用文献】1)紀芝蓮・犬塚将英：文化財の 2 次元的な分光分析を行うためのハイパースペクトルカメラの性能評価、保存科学、61、93-107(2022)

本研究は公益財団法人松平公益会様のご協力を得て実現しました。ここに記して感謝申し上げます。
本研究は JSPS 科研費 JP 15K01144、JP 19K01136 の助成を受けたものです。

金漆（ごんぜつ）と呼ばれた樹液の成分分析

Component analysis of tree sap called “*Gonzetsu*”

○保戸塚俊希 (明治大学大学院)、永野天大 (同左)、本多貴之 (明治大学)
○Shunki HOTOZUKA, Tendai NAGANO (Meiji University graduate school),
Takayuki HONDA (Meiji University)

1. はじめに

金漆とは奈良時代から平安時代において日本や中国、朝鮮半島で使用されていた塗料である。鎌倉時代後期頃に使用されなくなり、江戸時代から多くの研究者によって考証されたが、その実態についてはよくわからず謎とされている。金漆について記されている文献によると鎧や太刀の鞘飾り、鉄鏃に塗られており、錆止めの効果がある [1)]。また、光により重合する性質を持ち、塗膜にしたときの黄金色から金漆と名付けられたと考えられる。金漆の呼称は様々で、「ごんぜつ」「きんしつ」「きんうるし」等があり、その原料は「コシアブラ」「カクレミノ」「タカノツメ」の樹液またはそれらが混合したものとされている [2)]。

近年、中国と朝鮮半島で使用されていた黄漆がカクレミノと同一であると結論付けられた [3)]ことや「延期式」等の文献から金漆はカクレミノである可能性が高いことが明らかになったが、いまだに多くは解明されていない。そこで本研究ではコシアブラ (*Chengiopanax sciadophylloides*)、カクレミノ (*Dendropanax trifidus*)、タカノツメ (*Evodiopanax innovans*)の樹液の成分を分析し、それぞれの比較を行うことで実際に金漆を利用したとされる作品に対するデータベースとすることを目的とする。

2. 実験

カクレミノ、コシアブラ、タカノツメの樹液にクロロホルムを加えて可溶成分と非可溶成分に分けた。可溶成分にアセトンを加えてガスクロマトグラフィー質量分析法 (GC/MS) で測定した。その後、可溶成分をカラムクロマトグラフィーで分離を行った。このとき、充填剤はシリカゲル、溶媒はヘキサン/酢酸エチル (3:1) を用いた。得られた成分を電界脱離質量分析法 (FD-MS)、核磁気共鳴分光分析法 (NMR) を用いて測定した。

3. 結果と考察

カクレミノ、コシアブラ、タカノツメの GC/MS の結果と検出された主な成分を図 1~3 に、その化合物名と検出された全成分に対するピーク面積比を表 1~3 に示す。これらの結果からカクレミノ、コシアブラ、タカノツメの主な成分はいずれもセスキテルペン類であるものの、その構造は大きく異なることが確認された。これらの成分比の詳細についてはポスターに記す。

表 1 カクレミノのピーク面積比と化合物名

	Peak area ratio (%)	Component(*m/z*)
A	2.172	(-)-β-elemene
B	17.418	(E)-germacrene D
C	1.481	n.i.(79, 93, **105**)
D	1.702	n.i.(93, 107, 133, **189**, 204)
E	1.578	α-muurolene
F	1.843	(R)-γ-cadinene
G	2.941	δ-cadinene

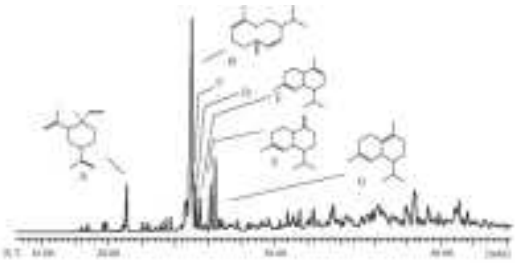


図 1 カクレミノの GC/MS 測定結果と検出された主な成分

表 2 コシアブラのピーク面積比と化合物名

	Peak area ratio (%)	Component(*m/z*)
A	35.794	β-cubebene
B	1.194	n.i.(161, **207**)
C	1.092	1-hydroxy-1,7-dimethyl-4-isopropyl-2,7-cyclodecadiene
D	1.158	n.i.(**81**, 93, 136)
E	3.610	n.i.(41, 77, 91, 123, **191**)
F	1.637	n.i.(41, 91, **128**, 175, 193)

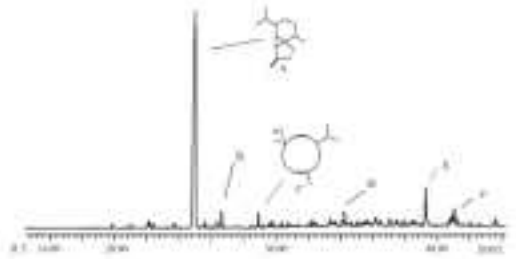


図 2 コシアブラの GC/MS 測定結果と検出された主な成分

表 3 タカノツメのピーク面積比と化合物名

	Peak area ratio (%)	Component(*m/z*)
A	3.184	cherry propanol
B	2.642	n.i.(**93**, 11)
C	1.864	(E)- β-farnesene
D	3.359	n.i.(43, 135, **158**)
E	2.963	n.i.(43, **159**)
F	22.149	n.i.(55, **91**, 115)



図 3 タカノツメの GC/MS 測定結果と検出された主な成分

4. おわりに

今回の実験ではカクレミノ、コシアブラ、タカノツメから得られた樹液の成分分析を行った。その結果、この 3 つの樹液の主成分は大きく異なることが確認された。このことから成分を調べることで、金漆として使用された樹種を見分けることに利用できる結果であろう。

今後、これら 3 種の他の成分や塗膜の性質、特徴を調査することで文化財に使用された金漆の識別も可能になるだろう。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 22K18491 (研究題名:忘れられたアジアの古代塗料「金漆」の復元研究)の助成を受けたものです。今回の分析資料の収集に当たりご協力いただきました富永 司 氏, 神長 正則 氏, 掛澤 明弘 氏, 本間 幸夫 氏にこの場を借りて御礼申し上げます。

＜参考文献＞

1) Akira Terada, Yasuhiro Tanoue, Seiji Shimamoto, “Photopolymerizable golden-varnish in the ancient East-Asian countries, and KOSHIABURA of Japan”, *Progress in Organic Coatings*, 31(1-2), pp. 81-86 (1997)

2) 増田 昌弘, 古文献に見る「金漆」について, *東北芸術工科大学紀要*, 13 号, pp. 37-52 (2006)

3) 寺田 晃, 日本の金漆, *科学史研究*, 159, pp. 129-136 (1987)

厚岸湖周辺における土器を用いた調理について

Cooking pods excavated from around Lake Akkeshi

〇村本周三（北海道教育庁）、福井淳一（公益財団法人北海道埋蔵文化財センター）、
宮内信雄（東京大学総合研究博物館）、小澤仁嗣（同左）、堀内晶子（元国際基督教大学）、
宮田佳樹（東京大学総合研究博物館）

〇Shuzo MURAMOTO (Hokkaido Office Education),
Jyunichi FUKUI (Hokkaido Archaeological Operation Center), Nobuo MIYAUCHI, Hitoshi OZAWA(The University Museum, The University of Tokyo), Akiko HORIUCHI (International Christian University), Yoshiki MIYATA (The University Museum, The University of Tokyo)

1. はじめに

本発表では、北海道厚岸湖周辺の遺跡、特に続縄文文化期と擦文文化期の土器付着炭化物について脂質分析し、村本他(2020・2023)のうち知床半島北岸、斜里平野、標津湿原周辺、胆振・日高地方の分析結果と比較した。

2. 試料の概要

測定した試料は厚岸湖周辺から出土した土器から採取した土器付着炭化物で、続縄文文化期前半 16 点（下田ノ沢Ⅰ式 13 点、下田ノ沢Ⅱ式 2 点、宇津内Ⅱｂ式 1 点）、続縄文文化期前半 1 点（後北 C_1 式 1 点）、擦文文化期 6 点、トビニタイ文化期（トビニタイ 2 式）1 点である。

3. 測定結果

パルミチン酸、ステアリン酸とも-25～-20‰の海棲動物の領域に分布し、続縄文、擦文で大きな差はみられなかった。すべての試料で海棲動物のバイオマーカーであるイソプレノイド類及び植物に由来すると考えられる超長鎖飽和脂肪酸が検出されたことから、海棲動物を主体に、植物も煮炊きしたと考えられる。また、擦文文化期の土器から採取した試料 4 点からはキビ（*Panicum miliaceum*）のバイオマーカーであるミリアシンが検出された（図 1）。



図 1　厚岸湖周辺出土土器の土器付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. 道内各地の試料との比較

続縄文文化期では、胆振・日高地方で海棲動物の領域より低い値が目立ち、反芻動物の領域に寄る傾向が見られる。胆振・日高地方は続縄文文化期初頭の試料で、他の地域は続縄文文化期前半が中心であり、時期差の可能

性もあるが、これまで分析した縄文時代後期などの分布と近いわけではない（図 2）。

擦文文化期では、C_4植物の領域に寄る値がみられる。続縄文文化期と比べるとばらつきは小さい。厚岸湖周辺でミリアシンが検出された試料の分子レベル炭素同位体組成は、図 3 に示していないウトロ遺跡出土のオホーツク文化貼付文期 2 点と近似していた。ミリアシンが検出されている北海道の試料は、パルミチン酸、ステアリン酸ともに−22.0‰以上であり、当該地における雑穀と海棲動物の混合調理の状況を示すものとして興味深い。また、現段階ではその意味は不明だが、知床半島北岸、斜里平野、厚岸湖周辺のいずれも、$\delta^{13}C$が 2‰程度高い試料と低い試料に二分されているようにみえる。

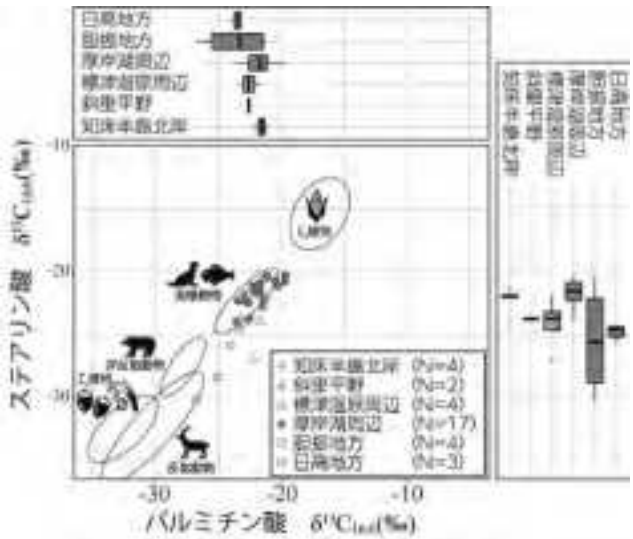


図 2　続縄文文化期の土器から採取した土器付着炭化物から抽出したパルミチン酸・ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成と現生試料から推定した領域図

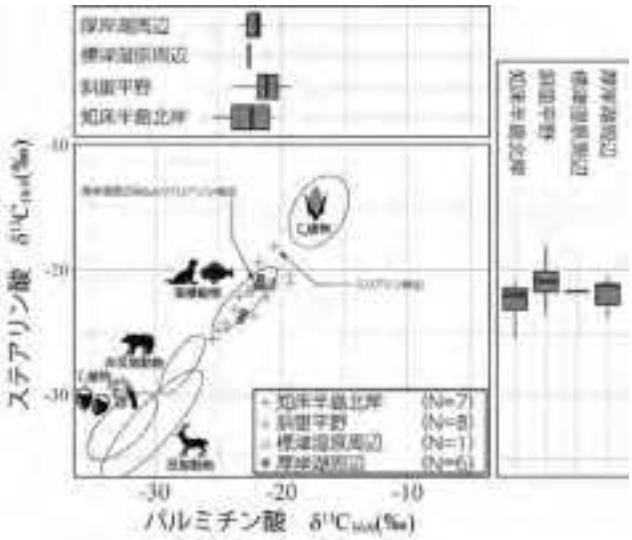


図 3　擦文文化期の土器~採取した土器付着炭化物から抽出したパルミチン酸・ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成と現生試料から推定した領域図

5. まとめ

厚岸湖周辺遺跡の採取試料の分子レベル炭素同位体組成は、海棲動物の領域に集中し、時期の違いによる大きな差異は認められなかった。バイオマーカー分析では、いずれの試料でも海棲動物に加えて植物も調理していた痕跡が検出された。知床半島周辺や胆振・日高地方で測定した結果と比較すると海棲動物主体の傾向が類似する。

キビのバイオマーカーであるミリアシンは擦文文化期の試料 4 点から検出されたが、これまでの分析結果と総合すると、オホーツク文化貼付文期及び擦文文化期以降については、今後も一定の頻度で検出される可能性が高い。

謝辞

本研究は、科研費 学術変革(A)（20H05813）、及び、基盤(B)（23H00708 ）の成果の一部である。また、試料採取にあたり厚岸町海事記念館の協力を得ました。

引用文献

村本周三・宮内信雄・堀内晶子・吉田邦夫・宮田佳樹（2020）「北海道太平洋沿岸地域における続縄文文化期の古食性」『日本文化財科学会第 37 回大会研究発表要旨集』p.338−339

村本周三・福井淳一・宮内信雄・堀内晶子・國木田大・宮田佳樹（2023）「北海道東部における古食性分析」『一般社団法人日本考古学協会第 89 回総会研究発表要旨』p.54

神奈川県間口洞穴遺跡出土土器の脂質分析

Lipid Analysis in Pottery Excavated from the Makuchi Cave Site, Kanagawa Prefecture

○白石哲也（山形大学）、佐藤兼理（神奈川県立歴史博物館）、堀内晶子（国際基督教大学）、宮内信雄（東京大学総合研究博物館）、小澤仁嗣（同左）、宮田佳樹（同左）

○Tetsuya SHIROISHI(Yamagata Univ.), Kenri SATO(Kanagawa Prefectural Museum of Cultural History), Akiko HORIUCHI(International Christian Univ.), Nobuo Miyauchi, Seiji OZAWA, Yoshiki MIYATA（The University Museum, the University of Tokyo）

1. はじめに

報告者らは、これまでに間口洞穴（図 1）を含めた相模湾沿岸における弥生遺跡から出土した土器胎土残存脂質のパルミチン酸とステアリン酸の分子レベル安定同位体分析を行ってきた（1 次調査）。その結果、逗子市池子遺跡や藤沢市引地脇遺跡などの集落遺跡では、現生試料と比較すると、おおむね海棲動物に近い値を示した。相模湾沿岸部の遺跡では、出土魚介類の多くが海産のものが多い傾向にあり、この結果は比較的整合する。一方、間口洞穴出土土器は C3 植物～淡水魚類寄りにプロットされ、集落とはやや異なる状況を示した（白石ほか 2021）。図 2 は、1 次調査の同位体組成の図である。洞穴と集落の違いをより鮮明にするため、間口洞穴の試料数を増やして解析したので、ここに報告する。



図 1　間口洞穴の位置（神沢 1973 改）

2. 神奈川県間口洞穴の概要

間口洞穴が位置する神奈川県三浦半島は、日本でも有数の海蝕洞穴遺跡が群在する地域である。弥生時代から古墳時代の遺跡が多く、墓域や居住域など時期や洞穴によって、その利用方法が異なる。弥生時代の場合は、骨角製の釣り針や離投銛など漁撈に関連する道具が出土することが多いため、漁撈具の製作址や海人集団の利用場所などであったと想定されている。

そうしたなかで間口洞穴は、標高 5.5m で、入口は幅 4m、高さは 6m、奥行き 18m ほどで、東向きに開口しており、前庭部は平場になっている。1949 年～1950 年の横須賀考古学会によりはじめて調査が行われ、その後、1971 年～73 年に神奈川県立博物館が調査している。なお、すべて洞穴内の調査であり、前庭部の調査は行われていない。今回分析した試料は、神奈川県立歴史博物館による調査時に出土したものである。

調査した表土下の堆積土は、鎌倉時代～室町時代、古墳時代～奈良時代、弥生時代後期、弥

生時代中期の 4 層に分層され、特に弥生時代の層は堆積が厚い。堆積土は貝と灰が混じった混貝灰層とされ、土器のほか、骨角製の釣り針、ヤス、貝輪、卜骨などが出土している。

3. 調査報告

今回、新たに 10 点の試料を追加し、前回（第一次調査）の分析と合わせて、計 20 点の土器片を解析する予定である。土器の時期は、中期後葉 10 点、後期 9 点、古墳前期 1 点である。器種別では、壺形土器 2 点（中期後葉 1 点、後期 1 点)、甕形土器 18 点（台付き 1 点、平底 17 点）であり、基本的に甕形土器を優先して分析し、概ね一次調査に近い結果が得られると推測される。現時点では、間口洞穴の食性は、魚介類に特化するような状況は見せていない。むしろ、比較的まとまっており、集落が水棲生物を含みつつバリエーションを持つことに対して、やや異なる状況である。この差が、集団を示すのか、利用場所としての機能によるものなのかは、現時点では判断がつかない。おそらく、間口洞穴を含めた海蝕洞穴の中心に位置する三浦半島最大の拠点集落・三浦市赤坂遺跡が重要な鍵を握っているものと考えられ、今後の調査が待たれる。

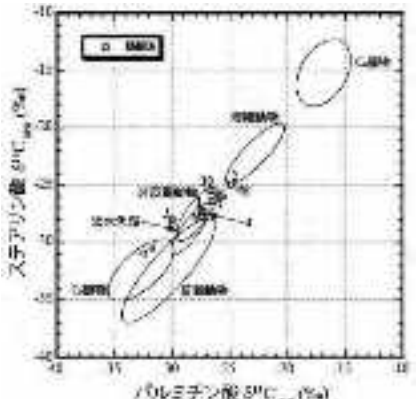


図 1　間口洞穴のステアリン酸・パルミチン酸分子レベル同位体組成（白石ら 2021 改）

本研究は、JSPS 科研費 20K13229・ 23K12306（研究代表者 白石哲也)、公益財団法人カシオ科学振興財団第 40 回（令和４年度）研究助成（研究代表者　白石哲也)、 MEXT 科研費 20H05813（研究代表者 國木田 大)、JSPS 科研費 23H00708（研究代表者 宮田佳樹）の成果の一部である。

引用文献

神沢勇一（編）(1973)『神奈川県立博物館発掘調査報告書 7：間口洞窟遺跡　本文編』神奈川県立博物館

白石哲也・宮内信雄・堀内晶子・國木田大・宮田佳樹（2021)「相模湾沿岸における土器調理から見た弥生時代の魚食」『日本考古学協会第 87 回総会研究発表要旨』,90

白石哲也・藤田三郎・柴田将幹・宮内信雄・堀内晶子・吉田邦夫・宮田佳樹（2020)「清水風遺跡出土土器の脂質分析から見えてきたもの」『日本考古学協会第 86 回総会研究発表要旨』,90

中村　勉 2017『三浦半島の海蝕洞穴遺跡』新泉社

Horiuchi, A., Miyata, Y., Kamijo, N., Cramp, L. and Evershed RP. (2015) A dietary study of the Kamegaoka culture population during the final Jomon period, Japan. using stable isotope and lipid analyses of ceramic residues. Radiocarbon 57, 721-736.

石英製石器のレプリカ作成と使用痕分析への応用

Use-wear analysis of quartz artifacts using replicas

吉田真優（南山大学大学院）、○上峯篤史（南山大学）
Mayu YOSHIDA（Grad. School of Nanzan University）， ○Atsushi UEMINE（Nanzan University）

1. 研究の背景と目的

本研究では、石器の使用痕分析において、レプリカの観察の有効性を論じる。精密なレプリカを用いた観察は、通常では観察が困難な石材による石器の高倍率分析を可能にする、石器使用実験の途中状態の型を作成して痕跡の形成過程を論じるなど、様々な応用が期待される。

試料の型を取ることは、歯のマイクロウェア研究では一般的で、石器の使用痕分析でもいくつかの試みがなされている（Ollé & Vergès, 2014 など）。しかし、その手順と使用材料の説明には、複製の再現性や詳細を公開されていない部分がある。また、高倍率での表面複製の正確さにも疑問の声があがっており（Macdonald et al. 2018 など）、レプリカ作成時のエラーの原因や使用痕分析への影響を精査する必要がある。そこで本研究では、レプリカの作成手順や仕様材料の試行錯誤に加え、光学的な観察における使用痕の再現性を調べることとした。

2. 研究の方法

まず、石英製実験石器 4 点を作成し、使用実験を行った。脱脂綿・綿棒とエタノールを用い、実験石器の表面の脂分を拭き取った。紙コップの底に練消しゴムを置き、その上に実験石器を置いて（図 1）、シリコンゴム液（アグサジャパン株式会社製ブルーミックスソフト）を流し込んだ（図 2）。シリコンが固まったら、紙コップから固化したシリコンを取り出し、練消しゴムを取り除いた後、石器をシリコンから取り出した（図 3）。これで石器の型が完成する。次に、型にレジン（日新レジン株式会社製超低粘度・注型用ウレタン樹脂ホビーキャストＮＸノンキシレン アイボリー）を流し込んでレプリカを作成した（図 4）。固化を待ち、型からレプリカを取り出した（図 5）。

レプリカの正確さを検証するため、実験石器およびそのレプリカを 100～500 倍で観察し、比較した。また、複数のレプリカを比較して、複製のエラーがどの程度あるのかを検討した。高倍率での観察には、金属顕微鏡 OLYMPUS BXFM（南山大学上峯研究室所有）を、顕微鏡写真の撮影には、WRAYCAM-NOA2000（山田しょう氏より借用）を使用した。

3. レプリカの正確さの検証の結果

顕微鏡観察において、実験石器とレプリカとの相違はほとんどなかった（図 6）。複数のレプリカの比較においても、観察において支障をきたすような差が生じることもなかった。ただし、レジンが固化する際に気泡が入ることがあった。レプリカに穴ができてしまった場合は、作成しなおしたり別のレプリカでその部分を観察したりする必要がある。

4. 和知白鳥遺跡出土石器への応用

遺物観察は現在進行中で、広島県三次市の和知白鳥遺跡で出土した石器（広島県立埋蔵文化財センターの所蔵品）のレプリカを作成し、顕微鏡観察を行っている。石器は、後期旧石器時代前半期に属する石英製の台形様石器、ナイフ形石器、剝片である。

引用文献

Macdonald, D.A., Harman, R., Evans, A.A., 2018. Replicating surface texture: Preliminary testing of molding compound accuracy for surface measurements. Journal of Archaeological Science: Reports. 18, 839-846.

Ollé, A., Vergès, J.M., 2014. The use of sequential experiments and SEM in documenting stone tool microwear. Journal of Archaeological Science. 48, 60-72.

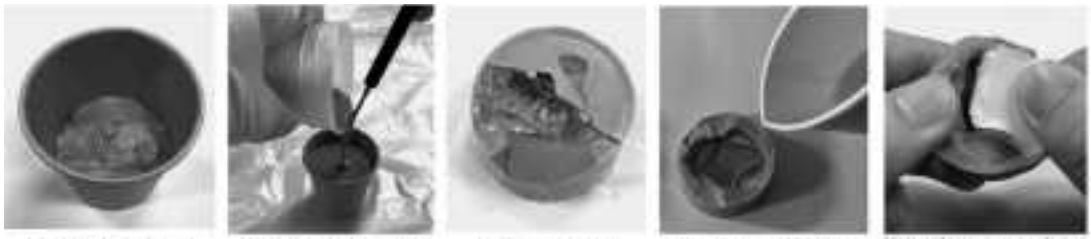


図1 実験石器を紙コップに置く　図2 シリコンゴム液を流し込む　図3 固化したシリコン型　図4 型にレジンを流し込む　図5 型からレプリカを取り出す

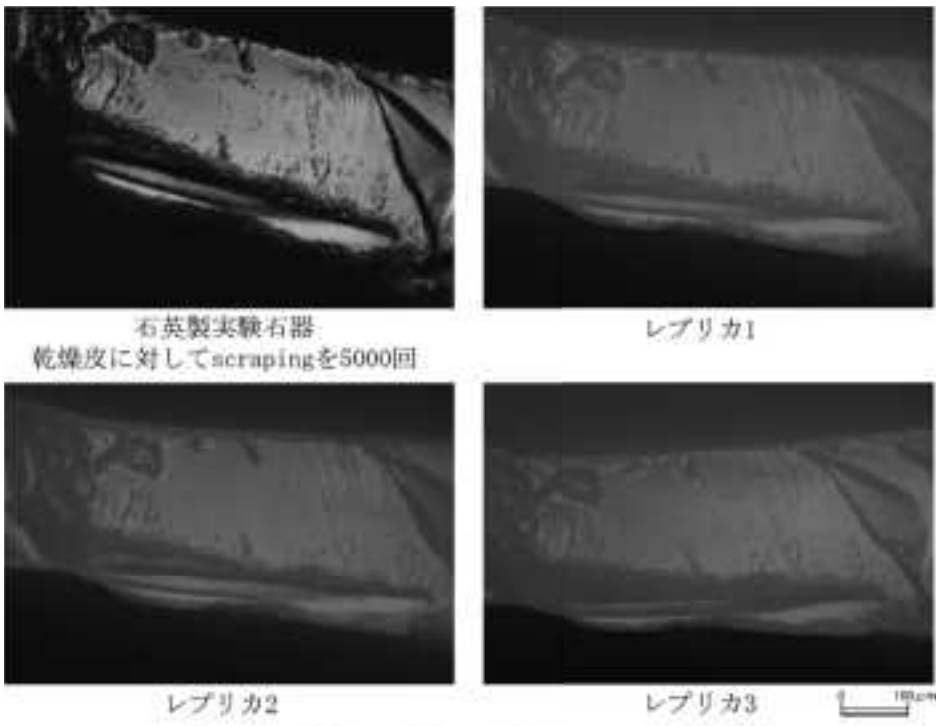


図6 実験石器とレプリカにおける同一部分の比較

泥に覆われたキトラ古墳壁画の元素マッピング調査
Investigation of Wall Paintings of Kitora Tumulus by Large Area μ-XRF Scanner

○犬塚将英*1、大迫美月*2、脇谷草一郎*2、田村朋美*2、柳田明進*2、松田和貴*2、
早川典子*1、倉島玲央*1、紀芝連*1、辻本與志一*2、亀井亮子*3、小笠原具子*3、山本記子*3
建石徹*1、金田明大*2、早川泰弘*1、高妻洋成*2、森井順之*4、伊藤久美*4、米村祥央*4
○Masahide INUZUKA*1, Mizuki OSAKO*2, Soichiro WAKIYA*2, Tomomi TAMURA*2,
Akinobu YANAGIDA*2, Kazutaka MATSUDA*2, Noriko HAYAKAWA*1, Reo KURASHIMA*1,
Chih lien CHI*1, Yoshikazu TSUJIMOTO*2, Ryoko KAMEI*3, Tomoko OGASAWARA*3,
Noriko YAMAMOTO*3, Toru TATEISHI*1, Akihiro KANEDA*2, Yasuhiro HAYAKAWA*1,
Yohsei KOHDZUMA*2, Masayuki MORII*4, Kumi ITO*4, Sachio YONEMURA*4
*1 東京文化財研究所（Tokyo National Research Institute for Cultural Properties）
*2 奈良文化財研究所（Nara National Research Institute for Cultural Properties）
*3 国宝修理装潢師連盟（The Association for Conservation of National Treasures）
*4 文化庁（Agency for Cultural Affairs, Government of Japan）

1. はじめに

キトラ古墳壁画には、石室を構成する凝灰岩に漆喰下地が塗布され、四神と十二支が描かれている。十二支のうち、「辰」「巳」「申」が描かれていると想定された箇所は、泥に覆われているため、目視では図像が認められず、これまで、X 線透過撮影や蛍光 X 線分析（XRF）により図像の有無を確認する調査が行われてきた [1,2]。XRF による調査では、図像推定箇所から赤色顔料の辰砂〔HgS〕に由来すると考えられる水銀（Hg）を検出し、図像の存在を示唆する結果を得ている [2]。しかしこれは、ハンドヘルド型装置による点分析であったため、大まかな Hg の検出箇所はわかったものの、図像の明瞭化には至らなかった。本調査では、大型資料の元素マッピングが可能な蛍光 X 線分析装置を用い、Hg の分布を明らかにすることで、泥に覆われた図像の可視化を試みた。ここに結果を報告する。

2. キトラ古墳壁画 十二支「辰」「巳」「申」の概要

キトラ古墳壁画は 2004～2010 年にかけて石室から漆喰部分が取り外された。一連の修復作業を経て、大部分は再構成されたものの、「辰」「巳」「申」は、図像推定箇所とその周囲を残し、表面をレーヨン紙と和紙で保護した状態で別置保管されている。壁画（漆喰）の厚さはおよそ 1～2 mm で、泥の厚さは 1～4 mm 程度、壁画の寸法は一辺およそ 30～40 cm 程度である。参考に、分析時に取得した可視画像（モザイク画像）を示す（**図 1**）。

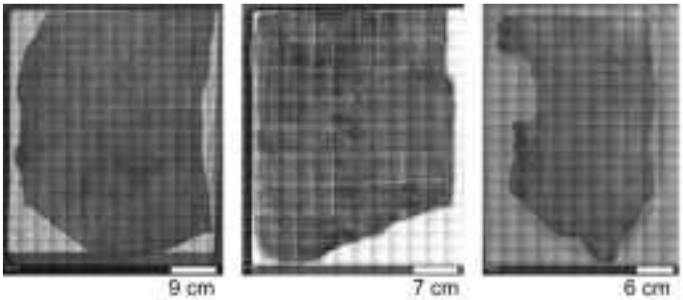


図 1　キトラ古墳壁画：(左から)「辰」「巳」「申」

3. 分析方法

全資料型蛍光 X 線分析装置（Bruker 製、M6 JETSTREAM）により分析を行った。調査に先立ち、先行研究 [1,2] で使用した模擬試料を用いて分析条件の検討を行った。泥に覆われた顔料（辰砂）に由来する Hg を高解像度で検出でき、且つ壁画の安全性を考慮した結果、**表 1** に示す条件が適当であることを確認した。本条件では、模擬試料に塗布した 2 mm 以

表 1　M6 JETSTREAM を用いた分析条件

X線管球	ロジウム（Rh）
管電圧, 管電流	50 kV, 600 μA
積算時間	30 ms/pixel
フィルター	Apperture1000μm
スポット径と ワーキングディスタンス （WD）	・壁画全体の測定　：580 μm（WD：約26 mm） ・十二支箇所の測定：350 μm（WD：約20 mm） ・十二支の顔の測定：100 μm（WD：約12 mm）

下の厚さの泥であれば、下層に存在する Hg を検出できる。なお、壁画はレーヨン紙と和紙で保護された状態のまま分析した。

4. 結果と考察

4-1 Hg に着目した図像の可視化

十二支推定箇所を分析して得た Hg の元素マップを示す（**図 2 左列**）。「辰」「巳」「申」の壁画すべてに有意な Hg の分布を確認した。「辰」では、衣服の襟や袖と、武具・顔の一部に、「巳」では、衣服全体と武具の一部及び顔・舌の部分に、「申」では、襟と袖口、裾、顔全体に顕著な分布がみられた。特に、五色の赤に対応する南壁に描かれた「巳」では、衣服全体に Hg の分布が認められたため、鮮明な図像が得られた。また、辰砂の使用を仮定すると、服装をはじめ、「巳」の舌や、「申」の顔全体を赤色で描いたことが示唆され、十二支の可視化に加え、図像の表現に関する新たな知見も得られた。

4-2 その他、色材由来の元素分布

Hg 以外に色材に関連する元素として、銅（Cu）も検出され、特徴的な分布が認められた（**図 2 右列**）。Cu に由来する顔料としては藍銅鉱〔$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$〕を主成分とする青色顔料の群青や、孔雀石〔$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$〕を主成分とする緑色顔料の緑青が考えられる。Cu のマップは、Hg のマップから得られた図像からは主に下方へ広がりを持った分布を示した。このような現象が生じたメカニズムについてはさらなる検討が必要である。なお、同時期の高松塚古墳壁画には、絵画部分の広範囲に鉛（Pb）の検出量が多いことが知られるが [3)]、本調査では、他のキトラ古墳壁画から得られた結果と同様に、Pb の有意な検出・分布はみられなかった。

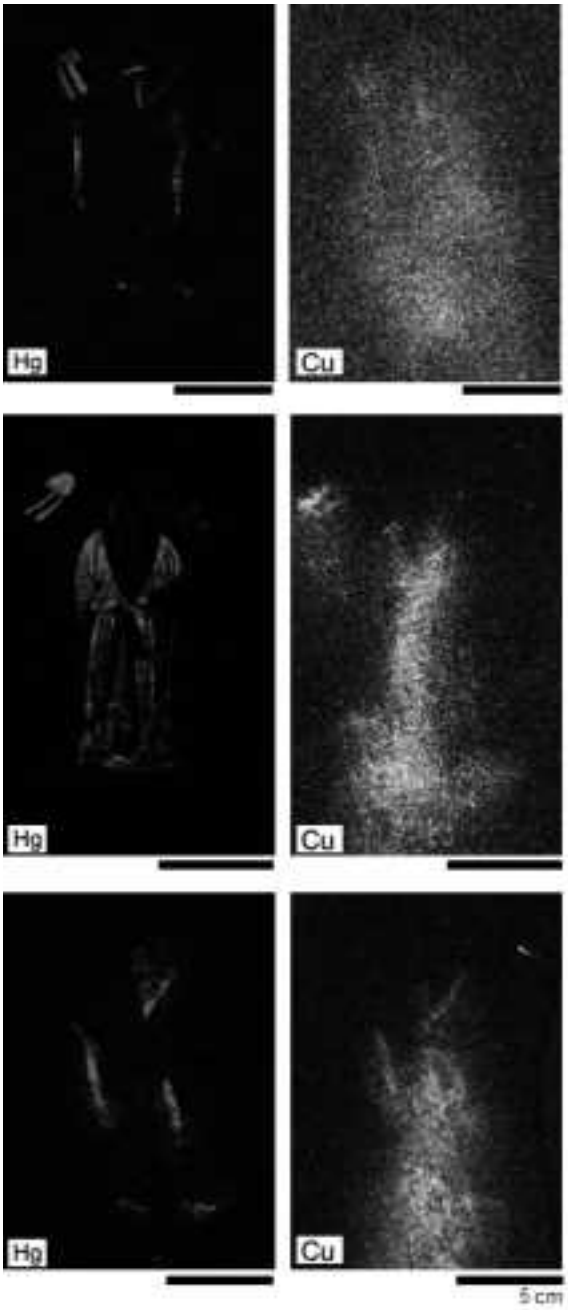


図 2 Hg と Cu の元素マップ：（上から）「辰」「巳」「申」

5. まとめ

泥で覆われたキトラ古墳壁画の「辰」「巳」「申」に対し、元素マッピング調査を行った。いずれの壁画も、有意な Hg の分布が認められ、これらの図像を明らかにすることができた。また、その他の元素情報として、Cu のマップからも特徴的な分布を確認した。なお、Pb については、有意な検出・分布は認められなかった。

【引用文献】

[1] 犬塚ほか 2020「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』No.59. pp.103-114.

[2] 犬塚ほか 2022「蛍光 X 線分析によるキトラ古墳壁画の泥に覆われた部分の調査」『保存科学』No.61. pp.57-64.

[3] 文化庁・奈良文化財研究所・東京文化財研究所 2019『国宝高松塚古墳壁画 蛍光 X 線分析調査データ集』

残存有機物分析からみた古代祭祀とキビ料理

—カザフスタン南西部 2 遺跡を事例に—

Ancient Ritual and Millet Cuisine at Two Sanctuary Sites in Southwest Kazakhstan : Insights from the Organic Residue Analysis

◯村上夏希（奈文研）、Akhan ONGGARULY（マルグラン考古研）、Galymzhan KIYASBEK（同左）、Aidos CHOTBAYEV（同左）、Helen M. TALBOT（ヨーク大）、Alexandre LUCQUIN（同左）、Oliver E. CRAIG（同左）、庄田慎矢（奈文研、ヨーク大）

◯Natsuki MURAKAMI, Akhan ONGGARULY, Galymzhan KIYASBEK, Aidos CHOTBAYEV, Helen M. TALBOT, Alexandre LUCQUIN, Oliver E. CRAIG and Shinya SHODA

1. はじめに

中央アジアの初期鉄器時代は、いわゆる Food Globalizaion in Prehistory が進んだ紀元前 2 千年紀の直後にあたり、西からコムギ・オオムギとヒツジ・ウシ・ヤギなどの家畜、東からはアワやキビがこの地において混淆し、新たな食文化を生み出しつつあった。こうした食文化の動向は動植物遺体や人骨のコラーゲンに注目した研究が比較的蓄積されてきてはいるものの、土器に残存する脂質などの有機物に注目した研究事例は十分ではない（庄田ほか 2021, Murakami et al. 2022）。そこで本研究では、同時期のカザフスタンにおいて近隣に併存した初期鉄器時代の 2 つの祭祀遺跡から出土した土器および炭化物を対象に、残存有機物分析をおこなった。

2. 試料と分析方法

分析試料はカザフスタン南西部に位置する Akpan 遺跡および Kyzyluyik 遺跡から出土した初期鉄器時代の土器胎土および土器内面で確認された付着炭化物である（Akpan：土器 24 点、Kyzyluyik：土器 11 点、炭化物 2 点）。試料からの抽出法について胎土は酸抽出および溶媒抽出法を用い、炭化物は試料量の理由から酸抽出法のみとした（Craig et al. 2013, Evershed et al. 1990）。抽出試料は誘導体化した後、ガスクロマトグラフ質量分析計を用いて残存脂質濃度の評価と化合物の検出および同定をおこなった。さらに、十分な残存濃度をもつ試料についてはヨーク大学に設置されたガスクロマトグラフ安定同位体質量分析計を用いて個別脂肪酸の安定炭素同位体比を測定した。

3. 分析結果と考察

分析結果についてキビの生物指標であるミリアシンが検出された試料に注目する。ミリアシ

ンが検出されたのは Akpan 試料が土器 3 点、Kyzyluyik 試料が土器 4 点、炭化物 1 点である。本試料群の個別脂肪酸の安定炭素同位体比について $\Delta^{13}C$（$\delta^{13}C_{16:0}$ と $\delta^{13}C_{18:0}$ の差）をみると、Kyzyluyik 試料の多くは乳製品の存在を示す－3.3 ‰以下にプロットされた（Craig et al. 2012, Cubas Morera et al. 2020）。一方、Akpan 試料は反芻・非反芻動物の脂肪、水生生物が重なる領域にプロットされ、遺跡によってキビとその他の食材との組み合わせが異なる傾向にあることが示唆された。

4. まとめ

本研究ではカザフスタン南西部に位置する 2 つの祭祀遺跡から出土した土器および土器内面に付着した炭化物の残存有機物分析をおこなった。分析の結果、キビの生物指標が検出された試料は、その他食材との組み合わせについて遺跡ごとに異なる傾向が認められた。本結果は、同時期に存在し地理的にも近い両地域でキビの調理法が異なっていた可能性を示唆している。以上、古代カザフスタンにおける儀礼祭祀や地域文化のあり方を解明する上で重要な知見が得られた。

謝辞

本研究は JSPS 科研費　学術変革領域研究(A)（20H05820）「植物考古学から探るイネ、雑穀、ムギ食文化の交流と変容（代表：庄田慎矢）」、文化庁委託事業「令和 2 年度文化遺産国際協力拠点交流事業『カザフスタンにおける考古遺物の調査・記録・保存に関する技術移転を目的とした拠点交流事業』」の支援を受けたものである。

参考文献

庄田慎矢・Edward Standall・村上夏希 2021「キビの起源と拡散をめぐる考古生化学的探求」『雑穀研究』36, pp. 1-8.

Craig, O. E., et al. (2013). Earliest evidence for the use of pottery. *Nature*, 496(7445), pp. 351–354.

Craig, O. E., et al. (2012). Distinguishing wild ruminant lipids by gas chromatography/combustion /isotope ratio mass spectrometry. *Rapid communications in mass spectrometry*, 26(19), pp. 2359-2364.

Cubas, M., et al. (2020). Latitudinal gradient in dairy production with the introduction of farming in Atlantic Europe. *Nature communications*, 11(1), pp. 1-9.

Evershed, R. P., Heron, C., & John Goad, L. 1990. Analysis of organic residues of archaeological origin by high-temperature gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. *The Analyst*, 115(10), pp. 1339–1342

Murakami, N., et al. (2022). Lipid residues in ancient pastoralist pottery from Kazakhstan reveal regional differences in cooking practices. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1032637

壁画におけるアズライトの緑色化に関する研究
—アズライト顔料に生じた塩基性塩化銅の判別と有用性の検討—
Green Degradation of Azurite in Wall Paintings: Distinction of Basic Copper Chloride Polymorphs as Degradation Products of Azurite Pigment and its Usefulness

○大迫美月（奈良文化財研究所）、塚田全彦（東京藝術大学）
○Mizuki OSAKO (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Masahiko TSUKADA (Tokyo University of the Arts)

1. はじめに

壁画に用いられた青色顔料アズライト〔$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$〕には、塩化物イオンが原因で、塩基性塩化銅をはじめとする緑色の劣化生成物を生じ、緑色化する現象が知られる（以下、「アズライトの緑色化」と記す）。塩基性塩化銅には、〔$Cu_2(OH)_3Cl$〕の組成をもつアタカマイト、クリノアタカマイト、ボタラカイトなどの多形が、また、類似化合物として Cu の一部を他のカチオンに置換し、より複雑な組成を示すパラタカマイト等が知られるが、組成が同一、類似するが故にこれらの違いは重視されてこなかった。一方、先行研究には、多形の安定性の差異を基に、生成した多形の判別が、金属や壁画の劣化進度の指標になる可能性を指摘するものもある[1)]。アズライトの緑色化でこのような指標が成立するならば、壁画の状態の把握や今後の対策を考えるうえで有用な情報になると考えられる。そこで、アズライトの顔料粒子に生じた緑色化生成物の判別が、前提として可能であるか、また判別により有用な知見を得られるか、基礎的検討を行った。

2. アズライトの緑色化で報告される塩基性塩化銅

アズライトの緑色化生成物として報告される塩基性塩化銅は、主にアタカマイト、クリノアタカマイト、パラタカマイトである。アタカマイト、クリノアタカマイトは、トリヒドロキシ塩化銅〔$Cu_2(OH)_3Cl$〕の多形で、ボタラカイトも同じ組成の多形である。オストワルド段階則に基づく安定性の順序はボタラカイトで最も不安定で、クリノアタカマイトで最も安定と知られる[1)]。

一方パラタカマイトは上記の多形よりも複雑な組成〔$Cu_3(M,Cu)\ (OH)_6\ Cl_2$〕を持つ。これは、Cu の一部を他のカチオンに置換することで結晶構造を安定させているためで、タイプ標本が Zn を含むことから、組成は〔$Cu_3(Zn,Cu)\ (OH)_6\ Cl_2$〕で表される。また、すべて Zn に置換した端成分にハーバートスミサイト〔$Cu_3Zn(OH)_6Cl_2$〕がある[2)]。パラタカマイトは、タイプ標本が原因で分類上多くの議論と混乱が生じていたことが知られ、登録当初はアタカマイトの多形〔$Cu_2(OH)_3Cl$〕とされたが、一連の研究により現在の組成をもつことが明らかになった。これによりパラタカマイトは多形の枠から外れ、新たにクリノアタカマイト〔$Cu_2(OH)_3Cl$〕が定義された[3)]。この経緯から、かつてパラタカマイトと同定された結果はクリノアタカマイトであった可能性が高いことが指摘されている[3)]。

3. 方法

塩基性塩化銅の多形には上記のように分類上複雑な背景があり、混乱も見受けられるため、まず既往研究を整理して判別に注目すべきピークをまとめた。次に、置換元素の有無によりアズライト上の緑色化生成物に違いが生じるか実験を行った。塩化ナトリウム〔NaCl〕および塩化マグネシウム〔$MgCl_2 \cdot 6H_2O$〕の各水溶液、また NaCl と $MgCl_2$ 水溶液を 1：1 で混合した水溶液（$Na^+ : Mg^{2+} = 2 : 1$）にアズライト顔料を浸漬させた。$MgCl_2$ は海水に、Mg は壁画を構成する土壌や下地の不純物としても含まれ、Cu の一部を Mg に置換したパラタカマイトも鉱物として報告されている[4)]。各浸漬溶液濃度は、塩化物イオンにモル数を合わせ 0.6 M, 1.8 M とした。これらは各々、海水、海水の 3 倍の Cl^- 濃度に相当する。顔料は、天然岩群青の 9 番（平均粒径約 66 μm）、11 番（約 24 μm）、13 番（約 12 μm）、白番（約 8 μm）の粒径を用いた。顔料 0.20 g と溶液 5 mL をガラスシャーレに入れ、密閉し、室温で 10 週と 20 週間浸漬した（混合溶液の試料は 10 週間のみ）。評価はデジタル顕微鏡と SEM を用いた観察と元素分析を行い、劣化生成物の判別には粉末 X 線回折分析（XRD）、フーリエ変換赤外分光分析（FT-IR）、顕微ラマン分光分析（μ-Raman）を使用した[注1]。

4. 結果と考察

4-1 既往研究の整理

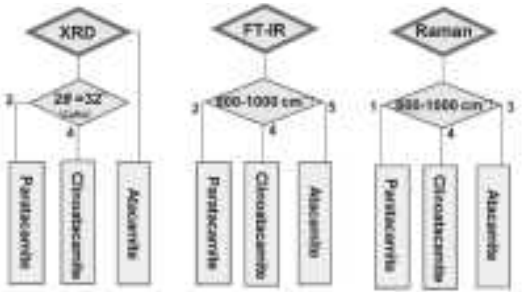


図 1　アズライトの緑色化生成物の判別チャート
（数字は、着目する範囲に現れる主要ピークの本数を示す）

アタカマイト、クリノアタカマイト、ボタラカイト、パラタカマイトのうち、アタカマイトやボタラカイトは各々特徴的なパターンを示す。クリノアタカマイトとパラタカマイトは、XRD パターンは類似するが、判別に利用できるピークも示され[3,5]、IR や Raman のスペクトルでは違いが明確である[2,5]。なお、パラタカマイトとその端成分のハーバートスミサイトとは、粉末 XRD では区別ができず、IR や Raman では可能とされる[2,5]が、形状が著しく類似するため、正確な構造解析を目的としない分析手法では判別が困難であるといえる。図 1 に各分析手法によるアズライトの緑色化生成物の判別チャートを示す。ここでは判別に着目すべき角度・波数範囲と、その横に主要ピークの本数を示した。XRD，FT-IR，Raman でそれぞれ Chu ら[5]，Braithwaite ら[2]，Frost ら[1]のパターンとスペクトルを参照した。

4-2 浸漬実験の結果と考察

すべての浸漬条件で塩基性塩化銅の生成が確認でき、各分析手法で十分な S/N 比のピークが得られれば、顔料に生じた微細な生成物が判別できた。NaCl 水溶液に浸漬した試料では、後述の一部の試料を除き、クリノアタカマイトを生成した。一方、混合水溶液と、$MgCl_2$ 水溶液に浸漬した試料では、すべてパラタカマイトが生成した[注2]（図 2）。生成物のクリノアタカマイトとパラタカマイトでは各々異なる形状を持ち、パラタカマイトを検出した試料の元素マップからは、劣化生成物に Mg の分布が認められた（図 3）。なお、白番を 0.6 M の NaCl 水溶液に浸漬した試料ではパラタカマイトを検出したが、これは、白番が最も不純物の多い顔料であるためだと推測される。以上から、Cu に置換しうる元素が存在する場合、パラタカマイトのような類似化合物を生成する可能性が示唆された。

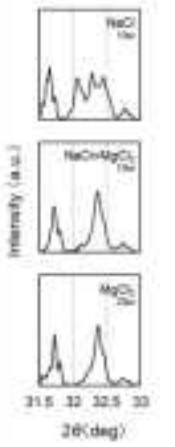


図 2 溶液の違いによる XRD パターン
（9 番/ 1.8 M）

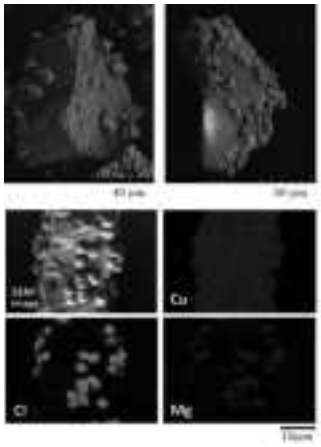


図 3　劣化生成物の SEM 像（9 番/ 1.8 M/20w）
（SEM 像 左：NaCl　右：$MgCl_2$）
（元素マップ：$MgCl_2$）

4-3 判別の有用性の検討

顔料の周囲に Cu に置換しやすい元素が存在する場合、その影響を受けた緑色化生成物が生じうることを踏まえると、多形や類似化合物の判別で単純に劣化進度を把握することは難しいと考えられる。一方で、置換した元素から壁画の環境や構成材料の情報が得られるともいえる。また、本実験やこれまでの著者らの研究では、アタカマイトやボタラカイトは検出されなかった。これら 2 種の多形は限定された条件での生成が推測される。以上より、判別による劣化進度の把握は難しいが、壁画の周辺環境などの有用な情報が得られる可能性がある。

5. まとめ

文化財分野で用いられる XRD、FT-IR、μ-Raman で十分な S/N 比のピークが得られれば、アズライトに生じた微細な生成物の判別が可能であることがわかった。また、Cu に置換しやすい元素が存在する場合、パラタカマイトのような Cu の一部が置換した塩基性塩化銅が生成される可能性が示唆された。緑色化生成物の判別で劣化進度を単純に把握することは難しいが、壁画の周辺環境などの有用な知見を得られる可能性が示唆された。

【引用文献】[1]Frost et al (2003) *spectrochimical acta* 59,6, p.1195-1204. [2] Braithwaite et al (2004) *Mineral.mag.* 63, 3 p.527-539. [3] Scott (2002) Copper and Bronze in Art. [4] Kampf et al (2013) *Mineral.mag.* 77, 8, p. 3113–3124. [5] Chu et al (2011) *Applied physics letters*. 98.

注1 分析条件は以下の通りである。XRD（ULTIMAⅢ，リガク製，Cu 管球，加速電圧 40 kV，管電流 50 mA，走査範囲 2θ=5°-80°，サンプリング幅 0.010°，スキャンスピード 5.0°/分）。一部、S/N 比の高いピークを得るため走査範囲 2θ=31°-34°，積算回数 20 回，サンプリング幅 0.0010°，スキャンスピード 0.5°/分で分析した。FT-IR（Nicolet iZ10，Thermo Fisher Scientific 製，分解能 4 cm^{-1}，波数範囲 4000-675 cm^{-1}，スキャン回数 128）顔料表面に生成した劣化生成物の粒子を採取し顕微透過法で分析した。μ-Raman（LabRam, Horiba 製, 514.5 cm^{-1}励起，波数範囲 4000-200 cm^{-1}，倍率 100 倍）。

注2 パラタカマイトとその端成分ハーバートスミサイトの IR，Raman スペクトルは著しく類似するため、判別は困難であった。ここでは、SEM-EDS の Mg と Cu の原子数濃度比の結果から、Mg 側の端成分まで反応が起きてないことが示唆されたので、パラタカマイトとした。

モンゴル国における博物館及び収蔵庫の環境改善

～ザナバザル美術博物館の収蔵庫内温湿度の現状分析調査～

Improving the environment of museums and storage facilities in Mongolia
～Analysis survey of the current temperature and humidity inside the storage room of Zanabazar Art Museum～

○アマル・ノミンエルデネ（奈良大学）、今津節生（奈良大学）
NOMINERDENE AMAR （NARA UNIVERSITY）SETSUO IMAZU(NARA UNIVERSITY)

1. はじめに

モンゴルは亜寒帯もしくはステップ気候に属し、年間を通じて乾燥している。気温は年較差が非常に大きく、夏は40℃近くまで上がり、冬は-30℃近くまで下がる。このような気象条件の中で、博物館の展示や収蔵庫での保管を行っている。多くの博物館は歴史的建造物など既存の施設を利用しており、専用の空調設備や収蔵庫環境は完備していない。このような現状ではあるが、近い将来に向けて、モンゴルの博物館の保存環境を改善する事を目的に研究を開始した。先ずは、モンゴルの博物館の資料保存環境の現状を正確に把握するために、年間の温湿度変化を測定した。

2. 概要

モンゴルの首都のウランバートル市にあるザナバザル美術博物館は、元々は博物館専用の建物ではなく、専用の空調の設備もない。この建物は、1905年にロシア人の商人の家として建てられた。その後、1930年に「ウンテゥルホルソ-」と呼ばれるスーパーマーケットになった（当時のモンゴルには2階建ての建物がなかったため高いビルという意味）。その後、1964年までにどのように使用されていたかは不明であるが、1965年以降モンゴルの初代活仏(ダライラマの生まれ代わり)で、モンゴル初の神政為政者でもあったザナバザル氏を記念して「ザナバザル美術博物館」となった。ザナバザル美術博物館は設立当初は、300点の遺物を展示していたが、長年の間に収集活動をおこない、現在では約２万点の文化財を保存し、それらの２割を11のホールで展示している。博物館の１階には、墳墓の中から掘り出された木製品を展示している。２階には主に仏教関係の作品が置かれており、ほとんどはザナバザル自身が作製した作品である。

3. 調査方法

温湿度データロガー（HANWELL HB-4000 Humbug）を博物館の外側に１台、収蔵庫に１台、展示ケースに１台、展示室に２台の合計5台のデータロガーを設置して、2018年05月から１年間温湿度変化の調査を行なった。測定場所は、①建物外（outside）、②収蔵庫内（storage）、③展示ケース（case）、④展示室内の窓側（window）、⑤展示室の壁側（wall）である。

1）建物外と展示室の比較

測定を行った1年間の温度はマイナス28℃～30℃、湿度は8%RH～80%RHの間を上下していた。ザナバザル美術博物館の展示ケースの温度は14℃～25℃、湿度は19%RH～56%RHであった。展示ケースの温度は夏には55%RHになり、秋季から冬季の間に23%RHまで下がり、春季には乾燥して18%RHであった。外気の平均湿度は46%RHであり、展示ケースの平均湿度は30%RHであった。

2）建物外と収蔵庫の比較

外気の湿度は8%RH～80%RH（年間の平均湿度は46%RH）であるが、収蔵庫の湿度は24%RH～60%RH（年間平均湿度は41%RH）であった。外側の温度はマイナス27℃～33℃（年間平均温度はマイナス5℃）であるが、収蔵庫の温度は20℃～26℃（年平均温度は23℃）であった。8月中旬から気温が下がり、湿度も下がっている。モンゴルでは、全ての建物は10月中旬から4月中旬の間、公

共暖房されている。したがって、収蔵庫の温度は安定しているが湿度は8月中旬まで上がり、9月から5月の間には下がっている。

3）展示室の窓側と壁側の比較

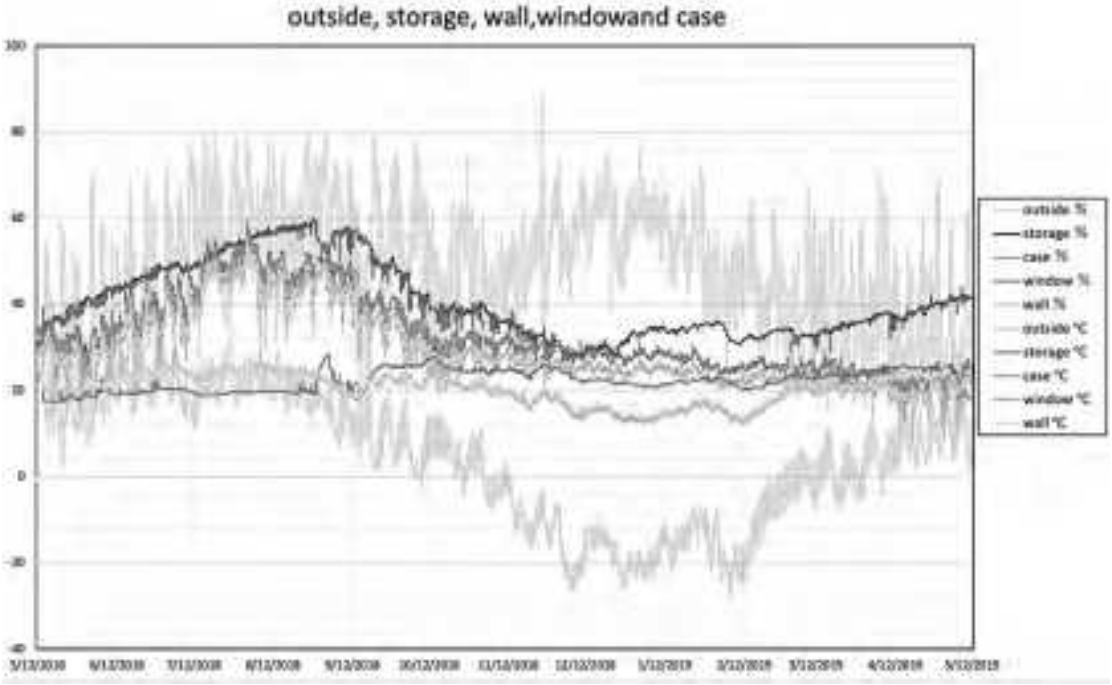
外気の湿度は8%～80%RH（年間平均湿度は46%RH）であるが、壁側の湿度は24%RH～60%RH（年間平均湿度は41％RH）である。建物外の温度はマイナス27℃～33℃（年間平均温度はマイナス5℃）であるが、展示室の温度は13℃～25℃（年間平均温度は22℃）である。壁側と窓側には大きな温度差はなかったが、窓側の湿度は壁側より高くなっていた。

4）建物外と展示ケースの比較

外気の湿度は8%RH～80%RH（年間平均湿度は46%RH）であり、収蔵庫の湿度は24%RH～60%RH（年間平均湿度は41%RH）であった。展示ケース内では19%RH～56%RHである。建物外の温度がマイナス27℃～33℃（年間平均温度はマイナス5℃）に達するが、収蔵庫の温度は13.7℃～33.3℃（年間平均温度は22℃）であった。また、展示ケースの内側は13℃～25℃であった。展示ケースの温度は収蔵庫の温度より安定している。しかし、展示ケースの内側は常に低湿度である。春季になると、展示ケースの内側の湿度が最も下がる。しかし、公共暖房の使い始めから終わりまで、収蔵庫の湿度は展示ケース内の湿度より徐々に上がっている。

4. まとめ

ウランバートル市にあるザナバザル美術博物館において、2018年５月から１年間、5箇所の温湿度データを測定した。これは、モンゴル国内の博物館で年間を通して温湿度を計測した初めての事例となった。今回の調査結果から、ザナバザル美術博物館では、建物外（外気）の年間温度差が50℃以上あった。これに対して、収蔵庫と展示ケース内の年間温度差は小さく6℃であった。これは、秋季から冬季の間に公共暖房を使用するためである。しかし、公共暖房の影響で秋季から冬季の間は展示室と展示ケース共に湿度は30％RH前後に下がる。これは博物館内に温湿度を制御できる空調システムが無いこと、建物の断熱効果が十分ではないことに起因していると思われる。現状では、温湿度を制御できる空調システムの導入は期待できないが、ザナバザル美術博物館を中心に、モンゴルの博物館の環境改善に努力して行きたい。



栗塚古墳出土埴輪を対象としたハケメの年輪年代学的検討

Dendrochronological analysis of *haniwa hakeme* excavated from Kurizuka kofun

○ 星野安治（奈良文化財研究所），木村理（岡山大学）
○ Yasuharu HOSHINO (Nara National Research Institute for Cultural Properties)
and Osamu KIMURA (Okayama University)

1. はじめに

土器などの表面には，ハケメ(刷毛目)と通称される筋状の痕跡が認められ，中でも埴輪のハケメは，針葉樹とみられる細かな木目の擦痕が明瞭に残る場合が多い。このハケメの照合は，埴輪流通の決定的な証拠とされ，古墳時代の考古学研究に今や欠かすことのできないものとなっている。しかしながら，その照合方法は，膨大な埴輪資料群について縮尺をそろえた写真や拓本を用いて直接比較し，ハケメの配列パターンを肉眼で識別する「人間バーコード識別法」とも呼ばれる極めてアナログな手法がとられ，特殊技能を要するということや，客観性に欠けること，また検討数が限られるなど，様々な問題点が指摘されている。

そこで発表者らは，近年，木簡の接合などで成果をあげている年輪年代学的同一材推定（例えば，星野ほか 2018）を埴輪ハケメ痕跡の照合に応用し，埴輪同工品の抽出数を格段に増加させるとともに，ハケメの検討に客観的・定量的視点を導入し，古墳時代の考古学研究を飛躍的に進展させることを目指した研究を進めている。本発表では，大阪府・古市古墳群に属する栗塚古墳出土埴輪を対象とし，ハケメの年輪年代学的検討を実施した成果を紹介する。なお本発表は，JSPS 科研費 JP21K18389 の助成を受けて行った研究成果の一部である。

2. 調査対象と検討方法

調査対象とした埴輪が出土した栗塚古墳は，誉田御廟山古墳の後円部東側の外堤に接する一辺 43m の方墳で，世界遺産「百舌鳥・古市古墳群－古代日本の墳墓群－」の構成資産となっている。栗塚古墳出土埴輪については，木村（2022）において考古学的なハケメパターンの検討が行われており，本研究では木村（2022）で使用されたハケメ痕跡の写真を用いて年輪年代学的な検討を行った。同倍率で撮影された埴輪の写真から，年輪幅の計測と同様にコンピュータ上でハケメ幅を計測し，計測したハケメ幅時系列について片対数グラフにプロットしたハケメ幅曲線の目視評価と統計評価をあわせて行った。

3. 結果

栗塚古墳出土埴輪を対象としたハケメの年輪年代学的検討では，これまでに 9 組についてハケメの照合を行うことができた。そのうち 5 組は同一の埴輪内の組み合わせであるが，4 組については埴輪間でのハケメの照合であった。これらは，木村（2022）において行われた考古学的なハケメパターンの検討と比べて，8 組については整合的な結果であったが，1 組は考古学的な検討では見出されていなかった組み合わせである（図）。木村（2022）では，ハケメ 20，21 とされたハケメパターンのグループが示されているが，今回の年輪年代学的な検討により，ハケメ 21 は上下を反転させると，ハケメ 20 と照合することを明らかにすることができた。

このように，埴輪ハケメの年輪年代学的検討により，これまでの考古学的なハケメパターンの検討に客観的な裏付けを示すことができるとともに，埴輪ハケメの年輪年代学的検討を進めることにより照合するハケメの抽出数を増加させることが期待される。

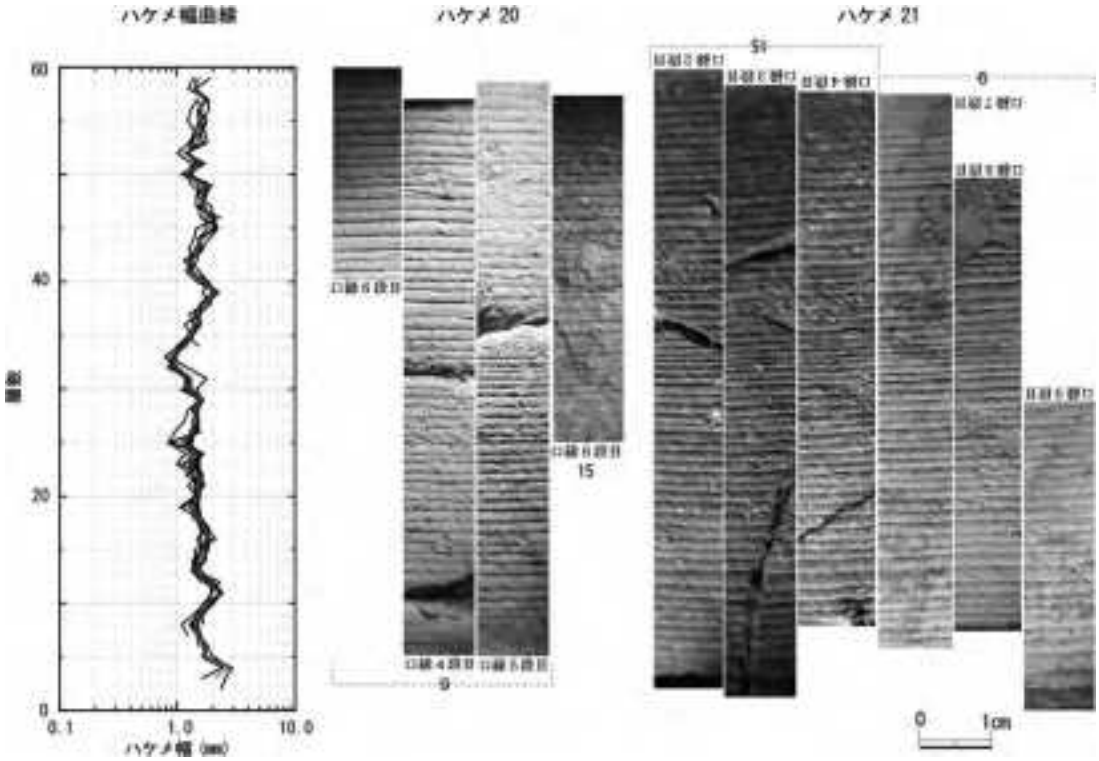


図　栗塚古墳における埴輪ハケメの年輪年代学的検討例

（木村 2022 に加筆・修正して作成）

引用文献

- 星野安治，浦蓉子，山本祥隆「年輪年代学的手法による木簡研究の可能性」『木簡研究』40，115-130，2018。
- 木村理「古市古墳群における小規模古墳の埴輪生産－栗塚古墳の事例から－」『埴輪論叢』11，39-54，2022。

乾湿繰り返しによる石造文化財の劣化メカニズムの解明に関する基礎研究
Basic Research on the Mechanisms of Deterioration in Stone Cultural Heritage due to Wetting-drying cycles

○莊旺璋（京都大学)、脇谷草一郎（奈良文化財研究所)、永尾大二郎（近畿大学)、麓隆行（同左)、柳田明進（奈良文化財研究所)、高妻洋成（同左）

○Wangchang CHUANG (Kyoto University), Soichiro WAKIYA (Nara National Research Institute for Cultural Properties) , Daijiro NAGAO(Kindai University),Takayuki FUMOTO (") , Akinobu YANAGIDA (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Yohsei KOHDZUMA (")

1. はじめに

乾湿風化は、岩石などの多孔質材料において、乾燥と湿潤が繰り返される環境下で、その表層と内部で含水率の差異が生じた際に、これらの間で異なる体積変化の挙動を示す。一方で、互いに体積変化を拘束するため、引張あるいは圧縮の応力が発生する。しかし、このような応力の発生についての定量的な評価は、まだ不明確な点が多い。本研究では、高松市内に所在する刳抜式石棺の調査から推定した乾湿風化の事例を取り上げた後[1]、乾湿繰り返しを再現する実験を行った。乾湿風化の劣化メカニズムを明らかとするためには、石材内部のひずみ量とひずみ分布を定量評価することが必要と考えられ、この目的のためには石材の乾燥時と湿潤時において XCT 撮像をおこない、それらの画像に対して画像相関法（DVC）を適用することが有効と考えた。一方で、DVC では XCT 画像において輝度値が異なるボクセルが必要となるが、当該の安山岩を XCT 撮像したところ、輝度値分布が得られなかった。そこで、密度が異なる粒子を分散させた模擬岩石を作成し、乾湿繰り返し実験に供することとした。

2. 実験概要と解析方法

2.1 模擬岩石

石船石棺の劣化プロセスを再現するため、石棺と同質の鷲ノ山石の基礎データを基に、空隙構造と機械特性が類似した材質的に均一な模擬岩石を調製した。材料の配合を表 1 に示す。また、乾湿繰り返し試験において石材表層の弱部を再現するため、模擬岩石は一度調製した供試体上部に再度モルタルを打ち込み作成した。このとき 2 回目に打ち込んだモルタル厚は 0mm、2mm、5mm の 3 種類としてφ75 mm×L 150mm の寸法で調製した[2]。

表 1 乾湿繰り返し試験用の試料の配合

置換率	単位量(kg/m³)						
	水	早強ポルトランドセメント	シリカフューム	増粘剤	消泡剤	減水剤	鉄粉
10%	547	1231	137	16.4	8.2	2.7	157
註：細孔構造を再現するため、シリカフューム（細孔径 0.1 μm程度）によるセメントの置換をおこなった。							

2.2 乾湿繰り返し実験系

実験は、温度 20±1℃の恒温室内で実施した。20g の水を供試体表面に散布してから 6 時間を吸水過程、続く 42 時間を乾燥過程とした。合計 48 時間を 1 サイクルとして、20 サイクル実験を継続した。供試体を均一に乾燥させるため、供試体の表面から 625 mm の距離に扇風機(幅 14.9×奥行 5.8×高さ 18cm)を設置し、供試体上端面での風速が 0.2-0.3 m/s の条件で稼働させた。ターンテーブル（180° 往復回転、回転速度：63 s/cycle）を用いて、供試体を回転させることで、乾燥時の条件を揃えた。

2.3 XCT（Computerized Tomography）撮影

模擬岩石に対して乾燥と湿潤時におけるひずみ分布、およびひずみ量を定量的に評価するために、0,7,14,20 サイクル終了後に湿潤過程と乾燥過程の両方において供試体の XCT 撮像を実施した。撮像条件を表 2 に示す。

表 2　撮影条件の詳細

起電力	**管電圧**：170 kV、**管電流**：100 μA
画像再構成マトリクス数 (piexl)	1792×1792
分解能 (mm)	0.062

2.4 デジタル体積相関法(Digital Volume Correlation, DVC）解析

デジタル画像相関法とは、デジタル画像の輝度値の分布から供試体の表面の三次元の変形分布や移動方向などを求める手法である。変位前後のデジタル画像において、ひずみ量を求めるため、検索窓、相関窓、検索格子の距離などを設定した。検索窓は変形前画像の相関計算点座標を中心とした立方体を基本とした。この格子内検索点を 1Voxel ずつ移動させ、パターンマッチングをおこなった。相関窓は検索窓の範囲内で変形前のサブセットの輝度値分布と高い相関性を示すサブセットを推定した。検索格子は検索点間の間隔である。[3]。本研究の計測には、Tudiscoらが開発した計測範囲全体のひずみ分布を高精度に求めることができるソフトウェアである TomoWarp2 を用いて内部のひずみ分布を評価した [4]。相関係数を算出するために対象領域を約 1mm の立方体に分割し、隣り合う 1mm ごとの図心間隔で計測した。

3.　結果と考察

7、14、20 サイクルの吸水後の X 線 CT 像を 0 サイクルのものと比較して計測した結果、供試体の表面から深さ 2mm までの深部の層において比較的大きな膨張ひずみが発生したことが明らかとなった。体積ひずみの変化について、打ち継ぎのものは打ち継ぎのないものより体積ひずみが大きいことを確認した(図１-図３)。各供試体は 20 サイクルを終了後、乾燥状態の時点で、打ち継ぎ厚が 0mm のものでは 0.008 με、2mm のものでは 0.013 με、5mm のものでは 0.009 με の体積ひずみが生じた。一方、湿潤状態では、打ち継ぎ厚が 2mm と 5mm の供試体は体積ひずみがそれぞれ 0.017 με と 0.014 με が計測された（図４）。DVC による計測結果から、供試体の表層から約 2mm の深さが湿潤・乾燥前線として、乾湿に伴う含水率が大きく変動することにより大きなひずみのギャップが生じ、供試体の表層に応力が集中していることが示唆された。

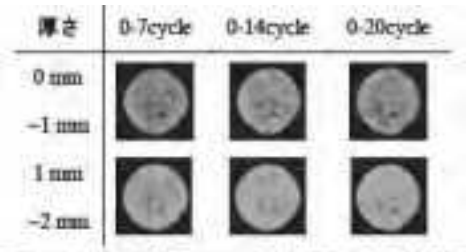


図１　打ち継ぎ厚 0mm 吸水過程の計測結果

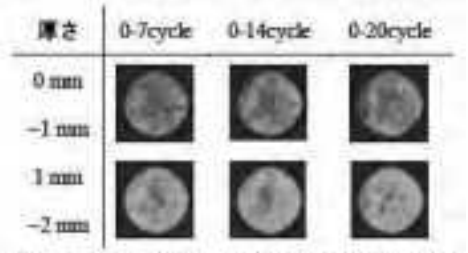


図２　打ち継ぎ厚 2mm 吸水過程の計測結果

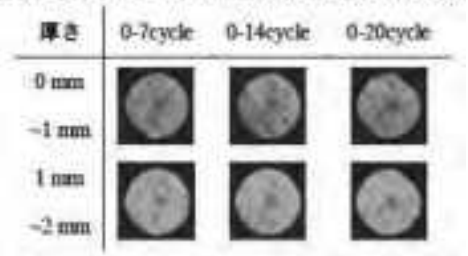
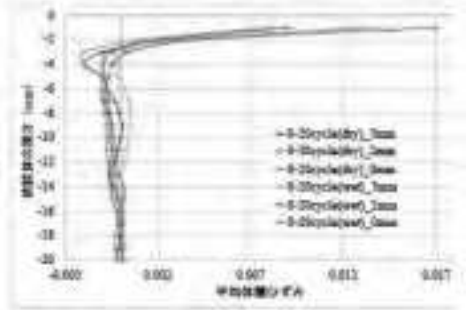


図３　打ち継ぎ厚 5mm 吸水過程の計測結果


図４　乾燥、湿潤状態のひずみ変化

上記の結果から、乾湿繰り返しにともない岩石内部の含水状態のギャップが発生し、表面から 2mm の深さにひずみが生じ、剥離応力を引き起こす可能性が示唆された。今後は乾湿繰り返しにより岩石の表面における剥離やクラックの劣化に関する定量的な評価を進める。

【謝辞】本研究は、JSPS 科研費 19H05511・20K20436 の助成と JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2110 の支援を受けたものです。

【参考文献】 **1)** 高松市教育委員会・独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所. (2022). 高松市内所在刳抜式石棺調査報告書 II, Vol. 235, 高松：高松市教育委員会出版。 **2)** 永尾大二郎、(2023), 石舟石棺におこる表層剥離のメカニズムの推定とその再現実験、卒業論文、近畿大学。 **3)** 肥後陽介ら, (2010)、三次元 DIC による不飽和砂の三軸圧縮試験におけるひずみ場の定量化. 土木学会第 65 回年次学術講演会,493-494. **4)** Tudisco, E. et al. (2017), TomoWarp2: A local digital volume correlation code. SoftwareX, 6, 267-270.

非接触 3D レーザー計測・情報処理システムを活用した石造五輪塔の刻銘の可視化について -京都市伏見区安楽寿院五輪塔(重要文化財)の調査から-

Visualization of inscription of the Gorinto by using Non-Contact 3D Laser Measurement and Information Processing System - Investigation of the Gorinto (Important Cultural Property) at Anrakuju-in, Fushimi, Kyoto

○西村和也（KYOTO's 3D STUDIO 株式会社)、栖原健太郎（デンカ株式会社)、
村口寿仁（京都府教育庁 指導部文化財保護課）

○Kazuya NISHIMURA (KYOTO's 3D STUDIO Inc.）, Kentaro SUHARA (Denka Co., Ltd.),
Hisato MURAGUCHI (Kyoto Prefectural Board of Education Cultural Properties Division)

1. はじめに

京都市伏見区に位置する鎌倉時代中期に造立された安楽寿院五輪塔を構成する地輪の北面には、経年の風化・磨滅によりその判読が困難となっている 7 行の刻銘があり、現在では痕跡から「弘安十年丁亥二月□」および一部の文字が視認できる程度である。

今回、当該五輪塔の解体移設修復工事に伴う調査の一環として、分解能が２０μｍの多関節アーム型の非接触式３Ｄレーザースキャナによる３Ｄ計測と刻銘の可視化を試みた。３Ｄデータ化した各刻銘の深度方向の範囲を限定したコンタ表示および畳量表示により、これまで判読できなかった文字を判読できる可能性があることを示した。

３Ｄレーザースキャナによる計測手法および情報処理手法による刻銘文字の凹凸情報の取得・記録・保存・調査研究および刻銘の判読方法について提案するとともに判読結果について報告する。

2. 安楽寿院五輪塔及び刻銘

安楽寿院五輪塔は鳥羽上皇により創建される安楽寿院の境内に位置し、昭和 30 年に重要文化財に指定されたものである [1]。花崗岩製の安楽寿院五輪塔は高さ約 3 メートルに達し、構造及び形式から鎌倉時代の雄渾な特徴をよく表しており、地輪北面に弘安十年（1287）の刻銘がある [1]。



図 1
安楽寿院五輪塔



図 2
地輪基礎刻銘（北面）[1]

3. 計測手法および情報処理手法

3-1. 計測手法および情報処理手法

計測手法では、判読が困難となっている刻銘文字に対し凹凸情報を取得するため、３Ｄレーザースキャンによる計測時のレーザー照射量および照射角度、点群を取得する際の密度および間隔、計測する向きを変えて重ね合わせることにより、立体文字の高さ又は深さ方向の情報を抽出している。



図 3　3D レーザースキャンによる計測

情報処理手法では、点群が多いほど線の解像度は高くなるが、物体表面の座標の算出および表面画像の生成等の処理の負荷が大きくなり、また細かい起伏によるノイズが増加する。この現象を抑えるため、点群の間隔を文字のサイズに応じて適切に変動させることで、点群の間隔を固定する場合と比較し、物体表面の座標の算出および表面画像の生成等の処理の負荷を抑えつつ文字の解像度を高めることができる。

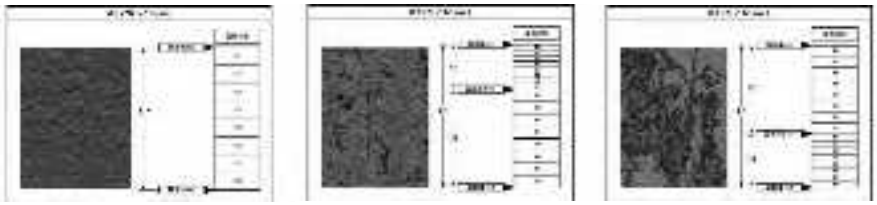


図 4　造形可視化システム画面

文字の向きが認識された場合に、文字の縦方向と横方向とで点群の間隔を異ならせる。漢字の場合、縦方向の線に比べて横方向の線が細い箇所が多い傾向が見受けられる。文字の向きが認識された段階で横方向の点群の間隔に比べ縦方向の点群の間隔を小さくすることで、物体表面の座標の算出および表面画像の生成等の処理に掛かる負荷を抑えつつ横方向の線を見えやすくすることができる。



図 5　3D レーザースキャンによる計測

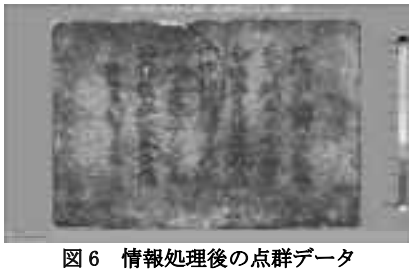


図 6　情報処理後の点群データ

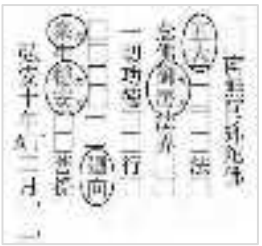


図 7　新たに判読された地輪刻銘（北面）[1]

3-2. 結果

以上に述べた計測手法に加え、点群の間隔を決定する処理を繰り返すことにより、点群の間隔が文字の線が見えやすいよう最適化を図り、点群の間隔が固定されている場合に比べて可視化された文字がより見えやすくなることによって、経年の風化・磨滅によりその判読が困難となっている7行の刻銘から今回新たに9の文字が判読でき追加できた。このことにより、浄土教的内容であること、刻銘の全体像が把握できたことは大きな成果と言える [1]。摺拓・湿拓等の方法では対応できない情報についての調査方法として、様々な可能性を提案できるとともに判読結果を報告する [1]。

4. おわりに

石造物などの歴史的建造物の刻銘は、風化や水流などによる摩耗・溶出などの経年劣化によってその輪郭が不明瞭となり、判読が困難となる場合がる。これら不明瞭となった刻銘の判読手法として、分解能が２０μmの多関節アーム型の非接触式３Ｄレーザースキャナを用いた計測と、３Ｄデータ化処理による可視化の手法について、鎌倉時代中期に造立された京都市伏見区内の安楽寿院五輪塔の解体移設修復工事において検証した結果、各刻銘の深度方向の範囲を限定したコンタ表示および畳量表示により、刻銘の判読可能範囲を格段に広げることができ、建造物の歴史的背景や文化などを理解する上で重要な手掛かりの一つとして評価できることを明らかとした。

引用・参考文献

1 村口 寿仁・中居 和志 (2023)『重要文化財安楽寿院五輪塔修理工事報告書』京都府教育庁指導部文化財保護課

数値制御工作機械を用いた彫金文様の再現

－6 軸制御マシニングセンタによる曲面上の毛彫りの場合－

Reproduction of chasing patterns
with a numerically controlled machine tool
- In case of “KEBORI” on a curved surface
using a 6-axis control machining center -

○小川圭二（龍谷大学）、矢羽田聡志（龍谷大学大学院）、
本田尚義（龍谷大学）、河嶋壽一（同左）
○Keiji OGAWA, Satoshi YAHATA, Hisayoshi HONDA, Hisakazu KAWASHIMA (Ryukoku University)

1. はじめに

彫金とは、鏨（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。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彫金技法である。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、彫金文様の再現を試みてきた。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、非回転工具加工時の課題として顕在化したバリ[(2)]の抑制を目的とした新型工具を提案し、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、これらは平面上への文様再現であり、実際には曲面上に彫金が施されている物も数多く存在する。そこで既報[(5)]では、曲面上への毛彫り文様再現の可能性を示した。本報では、彫金文様の向きが、工作機械運動軸の挙動に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

加工に使用する数値制御工作機械として、先行研究と同様に並進 3 軸と回転 2 軸を有する 5 軸制御マシンングセンタに工具の回転制御軸（Cs 軸）を付加した 6 軸制御マシニングセンタを用いた（図 1 参照）。再現対象とした文様（平面上）の外観写真を図 2 に示す。葉脈を表現している 6 つの毛彫り線を、右から順に、①、②、･･･、⑥とし、曲面上の加工を行うための工作物形状として、円柱（半径 100 ㎜）の一部を蒲鉾状（100 ㎜×100 ㎜）に切り出したものを用いた。文様の中心位置は固定し、その向き（文様の中心まわりの回転角度）

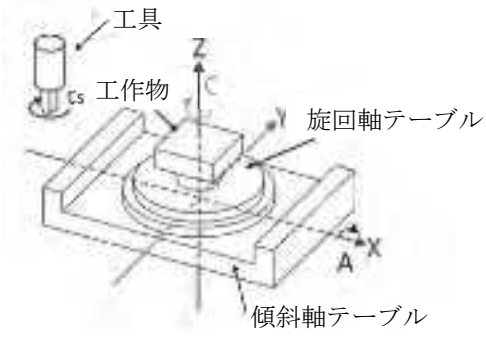


図 1　6 軸制御マシニングセンタの軸構成

が各運動軸の挙動に及ぼす影響を調べることにした。そのために、CAM システムを用いて生成される NC プログラムデータから刻々と変化する軸座標指令値を取得して、その時間変化を示し、回転角度の影響を考察することにした。

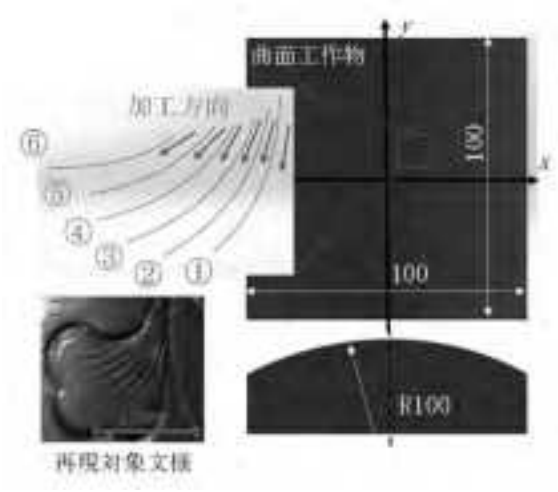
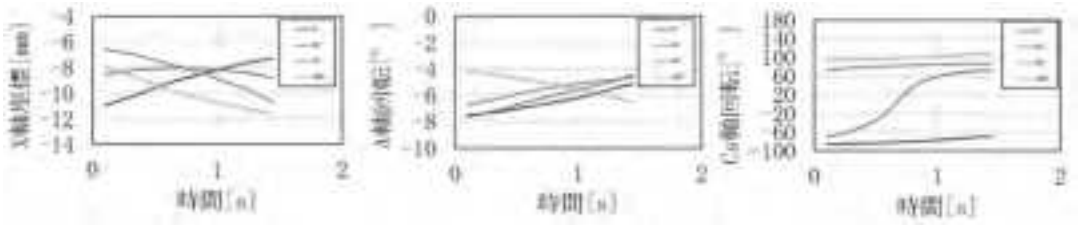


図 2　再現対象文様および加工方法

3. 実験結果および考察

送り速度指令値 250 mm/min の場合の文様③の結果について、特に軸運動変化が大きい X 軸と A 軸、そして Cs 軸の座標の時間変化を図 3 に例示する。回転角度 0°（図 2 の状態）の場合に対して、回転角 180° の場合は、X 軸と A 軸は座標増減の時間変化傾向が逆転するが Cs 軸は同じである。回転角 90° の場合は、X 軸のみ座標増減の時間変化傾向が逆転するが A 軸と Cs 軸は同じである。回転角 45° の場合は、X 軸の座標増減の時間変化傾向が異なり、A 軸と Cs 軸の座標増減の時間変化傾向は同じである。このときの Cs 軸の変化量は、他の角度の場合に比べて大きいことがわかる。以上の通り、回転角度によって、工作機械運動軸の挙動が異なることが明らかになった。



(a) X 軸　　(b) A 軸　　(c) Cs 軸

図 3　文様回転角度が軸制御に及ぼす影響（送り速度指令値 250 mm/min、文様③）

4. まとめ

6 軸制御マシニングセンタによる曲面上の毛彫り加工の場合、同一文様であっても、その向きが異なると工作機械運動軸の挙動が大きく異なる。したがって、向きの異なる文様が多数ある場合の彫金加工においては、非常に複雑な運動軸制御が必要になることが示唆された。

参考文献

(1) 本田ほか（2017）、日本機械学会関西支部第 91 期定時総会講演会論文集、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) 矢羽田ほか（2023）、日本機械学会 2023 年度年次大会予稿集、S041-01、pp. 1-5.

海水損した皮革文化財の保存修復に関する検討

-摩耗による影響に着目して-

Research on Conservation and Restoration of Leather Cultural Properties Damaged by Sea Water

-Effects of Surface Abrasion on Leather-

○田口智子（東京藝術大学）、飯岡稚佳子（同左）、倪雪（同左）、
桐野文良（東京藝術大学、横浜国立大学）
○Satoko TAGUCHI, Chikako IIOKA, Xue NI (Tokyo University of the Arts),
Fumiyoshi KIRINO (Tokyo University of the Arts, Yokohama National University)

1. はじめに

2011 年の東日本大震災の際に発生した津波によって被災した文書や漆といった文化財では、水を使用した脱塩処理（安定化処理）が実施されてきた[1)]。しかし、皮革文化財では柔軟性や色彩といった皮革本来の特性への影響が明らかではないこともあって、水を使用した脱塩処理方法が未だ確立されていない。

前報[2)]では、被災した皮革文化財の保存修復方法の確立を目的に、クロム鞣しの牛の皮革サンプルを用いて海水損や洗浄処理による影響を調査した。加速劣化試験後のサンプルでは表面の状態、色、引張強さなどに変化が見られたが、未処理のサンプルと比較したところ海水浸漬や洗浄による影響に関しては明確な差は得られなかった。この原因として、皮革は動物種、鞣し剤種、個体差や部位による差が大きいことや、海水損前の皮革文化財の保存状態が影響している可能性が考えられた。そこで本研究では、皮革文化財の保存状態による影響を明らかにすることを目的として、摩耗試験機により人為的に劣化させた皮革サンプルを作製し、海水浸漬及び高温高湿環境下での加速劣化試験を実施した結果を報告する。

2. 試料と実験方法

実験には、動物種は牛、鞣し剤はクロム鞣しの皮革を購入してサンプルとして使用した。摩耗試験は、多機能型摩擦測定機(トリニティーラボ、TL201Tt)を利用した。スピード 40mmps、移動距離 40mm、往復数 1 万回とし、荷重 300g と荷重 1500g の 2 種類の条件で皮革サンプルを作製した。試験後、各サンプルを 4cm×4cm に切断し、海水浸漬及び高温高湿環境下での加速劣化試験に使用した。作製したサンプルを人工海水(富士フイルム和光純薬、ダイゴ人工海水 SP)に３時間浸漬した後、水損文化財の乾燥方法として使用されるエアストリーム法[3)]を用いて 24

時間乾燥させ、津波による被災状況を再現した。その後、恒温恒湿槽(エスペック、LHU-113)内で 80℃、80%RH の環境に 336 時間保持し、長期的な影響を確認した。各サンプルは、試験後に長さ、厚さ、重量測定を行い、デジタルマイクロスコープ(キーエンス、VHF-970X 及び AnMo Electronics、DINOAF4915ZT)、分光測色計(コニカミノルタ、CM-600d)、蛍光 X 線分析(Thermo NITON, XL3t-900S-M)、フーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR、Agilent、小型 FT-IR 5500a)、pH 計(ハンナインスツルメンツ、紙・皮革用 pH/℃計、HI99171D)を使用して各種評価を行った。

3. 結果と考察

皮革サンプルの摩耗試験の実施にあたり、個人蔵の皮革文化財等の熟覧調査及びデジタルマイクロスコープによる表面観察を行い、擦れや圧迫を受けた皮革文化財の毛穴の状態を確認した。これらの資料では、鞄等では手による接触、馬具等では乗馬時の荷重と揺れといった長期間の使用により摩耗が生じたと考えられた。皮革サンプルでは、荷重 300g 及び 1500g の条件で摩耗試験を実施した後に、毛穴が押し潰されたような劣化が確認され、これは摩耗した皮革文化財の表面の様子と類似していた。代表的な実験結果として、図 1 に摩耗試験を行った皮革サンプルの各処理段階における色の変化を示す。グラフには 300g、1500g ともに 4 点の平均値をプロットした。多くの処理段階で L*値の低下と、a*値の増加が確認され、特に加速劣化試験後に大幅な色変化が見られた。また、荷重 300g と比較して 1500 g のサンプルの方が大きな色変化が確認された。これは被災前の皮革文化財の保存状態が水損後の劣化に影響を与えるという可能性を支持する結果となった。

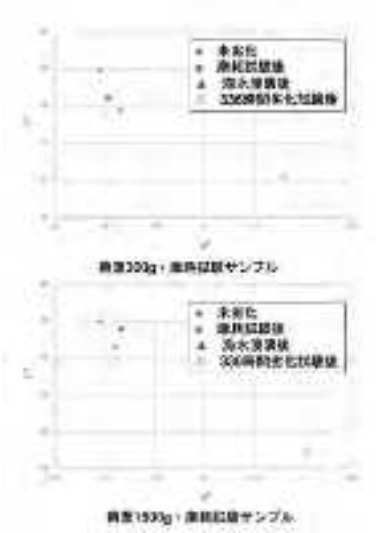


図 1　摩耗試験サンプルの色測定結果

4. まとめ

本研究では、皮革文化財の被災前の劣化状態(摩耗)に着目し、皮革サンプルへの海水損の影響を明らかにすることを目的に実験を行った。摩耗試験により人為的に劣化させたサンプルの実験結果からは、色変化をはじめとして水損前の劣化状態が長期的な保存に影響を与える可能性を示唆する結果を得た。今後は動物種や鞣し剤種による違いにも注目して、引き続き研究を行っていく予定である。

参考文献 1) (編)津波により被災した文化財の保存修復技術の構築と専門機関の連携に関するプロジェクト実行委員会ほか.『安定化処理 大津波被災文化財保存修復技術連携プロジェクト』, 津波により被災した文化財の保存修復技術の構築と専門機関の連携に関するプロジェクト実行委員会, 2015.
2) 田口智子, 飯岡稚佳子, 桐野文良.「海水損した皮革文化財の保存修復に関する検討」, 日本文化財科学会第 39 回大会要旨集, pp. 248-249, 2022.
3) エバ・グルックほか.「エアストリーム乾燥法 大量の湿った紙を早く、平らに乾燥する」, 株式会社資料保存器材, 2011. https://www.hozon.co.jp/report/post_7367 (2023-9-5 最終アクセス.)

謝辞 本研究の一部は陸前高田市からの受託事業として実施した。また本研究の一部は、公益信託吉田学記念文化財科学研究助成基金及び JSPS 科研費 JP22K00999 の助成を受けたものである。尚、摩耗試験は、東京都立産業技術研究センターにおいて実施した。厚く御礼申し上げる。

土器残存脂質分析法による製塩に関する研究

The study of salt making pottery by lipid residue analysis

○小澤仁嗣（東京大学 総合研究博物館 タンデム加速器分析室）、岩崎郁美（奈良県立橿原考古学研究所）、宮内信雄（東京大学 総合研究博物館 タンデム加速器分析室）、堀内晶子（元国際基督教大学）、宮田佳樹（東京大学 総合研究博物館）

○Hitoshi OZAWA (Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator, The University Museum, The University of Tokyo), Ikumi IWASAKI (Nara Prefectural Kashihara Archaeological Institute), Nobuo MIYAUCHI (Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator, The University Museum, The University of Tokyo), Akiko HORIUCHI (Formerly of International Christian University), Yoshiki MIYATA (The University Museum, The University of Tokyo)

１．はじめに

これまでの土器残存脂質分析法による研究の積み重ねにより、土器に残存する脂質を①バイオマーカー解析し、②分子レベル炭素同位体組成を測定することで、土器で煮炊きした食材を具体的に推定することができるようになってきた。本研究では、この手法を、通常の煮炊きとは異なる考古学的に製塩を行ったとされる土器に適用して、土器による製塩プロセスを化学的に復元できるかどうか検討した。

２．製塩土器試料

奈良県天理市布留遺跡出土の古墳時代と奈良時代の製塩土器を主体として、19 点の胎土試料を分析対象とした。分析した布留遺跡から出土した土器の写真を図１に示す。



図１．古墳時代(a)と奈良時代(b)の布留遺跡から出土した製塩土器など

３．抽出方法及び測定方法

土器残存脂質の抽出には酸メタノール法を用いた。抽出した脂質について、以下の機器分析を行った。単位土器重量当たりの脂肪酸量（パルミチン酸、ステアリン酸）の定量には GC-

FID（Gas Chromatography – Frame Ionization Detector）、バイオマーカー解析には GC-MS（Gas Chromatography – Mass Spectrometry）、パルミチン酸とステアリン酸の炭素同位体組成の測定には GC-C-IRMS（Gas Chromatography – Combustion – Isotope Ratio Mass Spectrometry）を用いた。GC-FID、GC-MS、GC-C-IRMS は、いずれも東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室設置の機器を用いた。

４．結果

４－１．バイオマーカー解析

GC-MS 測定により、中・長鎖炭化水素（炭素数 21 以上）は全 19 点中 18 点（94.7%）、超長鎖飽和脂肪酸（炭素数 26 以上）は全 19 点中 14 点（73.7%）で検出され、ワックス類（高級脂肪酸エステル）は全 19 点中 8 点（42.1%）で検出され、多くの試料で植物性のバイオマーカーが含まれていることを確認できた。TMTD（4,8,12-tetramethyltridecanoid acid）は全 19 点中 10 点（52.6%）で含まれていることを確認できた。また、1 試料（古墳時代）で APAA（alkylphenyl alkanoic acid）-C_{18} が含まれていることも示唆された。

４－２．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

GC-C-IRMS 測定により、4 試料のパルミチン酸、ステアリン酸の分子レベル炭素安定同位体組成（$\delta^{13}C_{16:0}$ (‰), $\delta^{13}C_{18:0}$ (‰)）を求めた。その結果、2 試料で非反芻動物の領域に位置しており、他の 2 試料で非反芻動物と海棲動物の中間に位置していた。

５．まとめ

植物性のバイオマーカーは多くの試料で検出された。また、フィタン酸、プリスタン酸、TMTD などのイソプレノイド類は、水棲動物が含まれていることを示唆する指標であり、葉緑体のクロロフィルに結合しているフィトールを原料として生合成されることが一般的に知られている。特に、TMTD が多くの試料から検出された。また、不飽和結合を持つ脂肪酸が 270℃ないし、300℃以上に加熱されると生成するアルキルフェニルアルカン酸（APAAs）の存在は、加熱を受けた土器片が存在することを示唆する。また、4 試料から、パルミチン酸とステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成のプロットが得られた。現生の生態試料と比較すると、非反芻動物あるいは非反芻動物と海棲動物の中間領域に位置していた。

今後は、分析した土器の器形や使用痕観察などの製塩土器の考古学的な情報も加えて、脂質分析結果を読み解き、これまで考古学的に推定されてきた採鹹、煎ごう、焼塩、運搬、藻塩などの各製塩プロセスという視点も加えて、具体的な検討を加えたい。

謝辞

本研究は科研費学術変革領域研究(A) 20H05813（研究代表者　國木田大）および、基盤研究(B) 23H00708（研究代表者　宮田佳樹）の成果の一部である。

三内丸山遺跡出土土器の残存脂質分析

-縄文時代前期から中期への煮炊き内容物の変遷-

Lipid residue analysis in pottery excavated from Sannai-maruyama site

○宮田佳樹（東京大学総合研究博物館）、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（元国際基督教大学）、
福井淳一（（公財）北海道埋蔵文化財センター）

○Yoshiki MIYATA (The University Museum, The University of Tokyo), Shuzo MURAMOTO (Hokkaido Office of Education), Nobuo MIYAUCHI (The University Museum, The University of Tokyo), Akiko HORIUCHI (Former International Christian University), Junichi FUKUI (Hokkaido Archaeological Operations Center)

はじめに

三内丸山遺跡（青森県青森市）は、縄文時代前期中葉から中期後葉にかけて（5900～4200 年前)、約 1700 年もの間、存続した大規模集落遺跡であり、2021 年 7 月、UNESCO 世界遺産に登録された「北海道・北東北の縄文遺跡群」を構成資産となっている縄文時代の代表的な遺跡である。多くの竪穴建物跡や大型掘立柱建物跡、盛土、大人や子供の墓のほか、大量の土器や石器、木製品、骨角器、動植物遺体などが出土している。土器に関しては、円筒形の土器である「円筒土器」が縄文前期中葉から中期中葉までの 1300 年間出土することが特徴的である（三内丸山遺跡ガイドブック、2022)。

本研究では、土器付着炭化物に含まれる脂質組成（①バイオマーカー分析、②分子レベル炭素同位体分析）と炭素・窒素安定同位体組成を測定し、三内丸山遺跡において、縄文時代前期から中期にかけて、土器による煮炊き内容物の選択とその変遷について検討する。

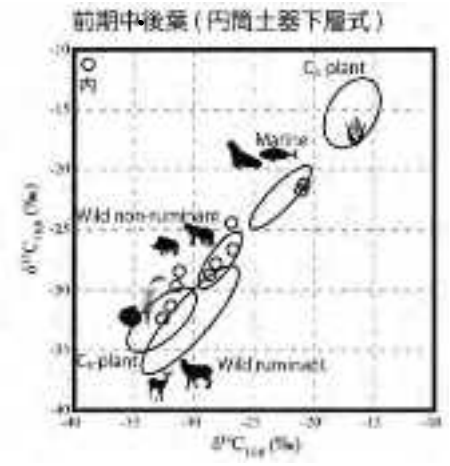


図１．パルミチン酸、ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成を、現生日本産生物データと比較。現生生物から推定される各端成分の領域を楕円で示した（宮田ら、2023 改)。

1. 土器試料と実験方法

「前期中・後葉」（円筒土器下層式)、「中期前・中

葉」（円筒土器上層式）、「中期後葉」（榎林式、最花式、大木 10 式併行期の土器）の 3 つの時期について、主として完形土器に付着する内・外面土器付着炭化物を採取した。次に、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、土器に残存する脂質を抽出し、バイオマーカー解析を行った。さらに、抽出した脂質の 70-80%程度を占めるパルミチン酸・ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成を分析し、現生生物から推定される各生物グループと比較して、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。

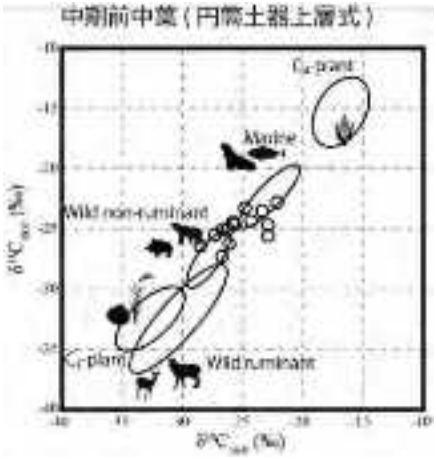


図２．パルミチン酸、ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成を、現生日本産生物データと比較。（宮田ら、2023 改）。

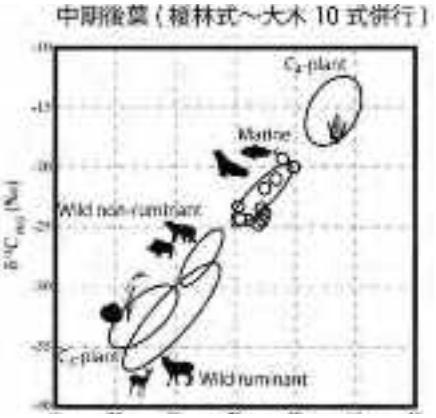


図３．パルミチン酸、ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成を、現生日本産生物データと比較。（宮田ら、2023 改）。

2. 結果と考察

三内丸山遺跡から出土した内面土器付着炭化物の分子レベル炭素同位体組成を、通時的に検討して、縄文時代前期中葉から中期後葉における煮炊き内容物の選択に関して検討した（図１～３）。クリやドングリなどの堅果類、陸獣などの陸棲の動植物から、魚類や海獣類などの海棲動物まで、多様性のある食材選択を行っていた「前期中・後葉」から、「中期前・中葉」、「中期後葉」にかけて、植物や陸獣などの陸上生物利用が減少し、海産物利用が通時的に強まっていくことが初めて明らかになった（植物質マーカーは通時的に検出されているため、若干量の植物の影響は常にある）。また、花粉分析の結果、「前期中・後葉」から「中期前・中葉」にかけて、クリの栽培・利用の可能性が指摘されており（吉川ら、2006）、さらに、「前期中・後葉」の円筒土器下層式に付着した炭化物の炭素・窒素安定同位体組成と C/N 比から、クリなどの堅果類の利用が強く示唆されている（Heron et al., 2016 など）。したがって、円筒土器下層式と上層式における煮炊き内容物の変化は、例えば、堅果類の煮沸利用が減少したという土器利用の変遷などを示唆しているのかもしれない。さらに、非反芻動物であるシカ、カモシカの影響が検出されていないのは（図１～３）、三内丸山遺跡の動物遺体の出土状況とも極めて、整合的である（宮田ら、2023）。今後、土器使用痕観察などの観点からも、煮炊き内容物の選択とその変遷に関して検討を加えたい。

謝辞　試料採取は、舘山友香理氏、茅野嘉雄氏をはじめとする三内丸山遺跡センターの方々の協力の賜物である。本研究は、令和４年度　三内丸山遺跡特別研究、科研費学変（A）「土器の年代と使用法の化学的解明」（研究代表者　国木田大；20H05813）、及び、基盤（B）「キビと水棲動物利用マップの作成－脂質バイオマーカー分析から探る弥生時代の食性－」（研究代表者　宮田佳樹；23H00708）の成果の一部である。

縄文中期中葉から後期にかけての武蔵野台地の生活の変化：ICU 遺跡群を中心として

Changes in lifestyle of the Musashino Plateau from the Middle to Late Jomon period: Centered on the ICU Archaeological Complex

○堀内晶子（元国際基督教大学）、宮内信雄（東京大学）、小澤仁嗣（同左）、宮田佳樹（同左）
○Akiko HORIUCHI(ex International Christian University), Nobuo MIYAUCHI, Hitoshi OZAWA, Yoshiki MIYATA (The University of Tokyo)

１．はじめに

ICU 遺跡群は古代多摩川が武蔵野台地を削り取ってできた国分寺崖線沿い（通称ハケ）に位置する東京都三鷹市にある国際基督教大学（ICU）内の縄文時代遺跡群である。40 以上確認されている遺跡の中から、崖線の台地に位置する 2 遺跡（Location (Loc) 1, Loc 10）と崖線の下、野川沿いに位置する 1 遺跡 (Loc 30)（図 1）から出土した縄文中期中葉から後期にかけての土器、計 26 点及び炭化物 3 点に残留する有機物についてガスクロマトグラフィー質量分析法(GC-MS)を使ったバイオマーカーの検出と、ガスクロマトグラフィー燃焼炭素安定同位体質量分析法（GC-C-IRMS）を使った palmitic acid ($C_{16:0}$)・stearic acid ($C_{18:0}$)の分子レベル炭素安定同位体分析を行った。また炭化物は、さらに元素分析計安定同位体質量分析装置（EA-IRMS）を使って炭素窒素安定同位体比及び炭素・窒素（C/N）比を分析し、武蔵野台地周辺の人々の食生活が、時代と共にどの様に変化したかを検討した。

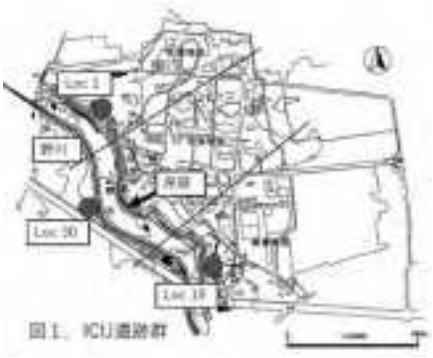


図 1．ICU 遺跡群

２．試料と実験方法

表 1 は各遺跡の土器形式、土器年代、及び特徴をまとめたものである。試料は崖線の下、野川沿いの Loc 30 から縄文中期中葉（阿玉台）、崖線上の Loc 10 から主に中期中葉から後葉にかけて（勝坂、加曾利 E、曽利）、Loc 1 から主に後期（堀之内、加曾利 B）の土器胎土試料と一部に付着した炭化物を分析した。分析は、既に確立されている酸抽出法（Correa-Ascencio, 2014, Papakosta, 2015）を使って有機物を抽出し、東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室設置の機器を用いて測定、分析した。

3. 結果と考察

遺跡名 (Location)	試料番号	土器型式	土器年代
30	TKICU-26	阿玉台	縄文中期中葉
30	TKICU-27	阿玉台	縄文中期中葉
10	TKICU-08	勝坂　口縁	縄文中期中葉
10	TKICU-10	勝坂　口縁	縄文中期中葉
10	TKICU-12	勝坂	縄文中期中葉
10	TKICU-14	勝坂	縄文中期中葉
10	TKICU-09	勝坂　口縁 #10と同じ土器	縄文中期中葉
10	TKICU-11	勝坂	縄文中期中葉
10	TKICU-13	勝坂　口縁。	縄文中期中葉
10	TKICU-15	勝坂	縄文中期中葉
10	TKICU-01	加曾利E	縄文中期後葉
10	TKICU-01b	外面炭化物	縄文中期後葉
10	TKICU-03	加曾利E　口縁	縄文中期後葉
10	TKICU-20	加曾利E、有孔つば付き	縄文中期後葉
10	TKICU-05	加曾利E	縄文中期後葉
10	TKICU-02	加曾利E	縄文中期後葉
10	TKICU-04	加曾利E　口縁	縄文中期後葉
10	TKICU-06	曾利	縄文中期後葉
10	TKICU-07	曾利	縄文中期後葉
1	TKICU-16	加曾利　E3?	縄文中期後葉
1	TKICU-28	堀之内　口縁	縄文後期
1	TKICU-24	堀之内	縄文後期
1	TKICU-23	堀之内	縄文後期
1	TKICU-28a	内部付着炭化物。	縄文後期
1	TKICU-22	堀之内	縄文後期
1	TKICU-25	堀之内	縄文後期
1	TKICU-18	堀之内　口縁	縄文後期
1	TKICU-19	加曾利B	縄文後期

表1．分析試料のリスト

バイオマーカー分析：ハケ下の Loc 30（縄文中期中葉），ではすべての胎土試料から、isoprenoidal acid 類 (phytanic acid, pristanic acid, 4,8,12-trimethyltridecanoic acid)が検出された。isoprenoidal acid 類は陸棲・水棲動物共に存在するが、含有割合は水棲動物の方が多い。野川からの食材を頻繁に利用していた可能性が示唆される。一方、ハケ上の中期中葉から後期にかけての Loc 10 では、分析した 16 胎土試料と 1 炭化物の内、isoprenoidal acid 類が検出された試料は炭化物を含めて 2 点に止まった。中期中葉と中葉から後期にかけての、ハケ下とハケ上に住む人々の食に差がある傾向が見られるのは興味深い。後期の Loc 1 では分析した 8 胎土試料と 1 炭化物の内、isoprenoidal acid 類が検出された試料は炭化物を含めて 5 点であった。時代を経るに従って台地上の遺跡でも崖線下に降りて、野川の魚等を利用する頻度が増加した可能性も考慮される。分析したほとんどの試料から植物性の炭素鎖 23 以上の alkane と精油成分が検出された。精油成分は保管用木箱由来の可能性があるため、現在検討中である。

$C_{16:0}$・$C_{18:0}$ の分子レベル炭素同位体分析：回収された残留有機物量が 10 ng/mg 以上の試料結果を現代日本の試料分布と比較すると、Loc 30 はおおむね水棲動物範囲、Loc 10 は中期中葉、後葉共に C_3 植物と陸棲動物の範囲、Loc 1 は C_3 植物と陸棲動物と共に水棲動物が混ざった状態であることが示唆され、バイオマーカー分析と相補的である。

試料番号	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	C/N
TKICU-1b	−27.0	8.7	41.3
TKICU-25a	−28.9	0.6	42.4
TKICU-28a	−25.3	5.5	9.4

表２．炭化物の炭素・窒素安定同位体比とC/N比結果

炭素窒素安定同位体比及び炭素・窒素比：試料と分析結果を表 2 に示す。この結果を現代試料の値と比較すると、Loc 10 の外面付着物である TKICU-1b は、陸棲動物と C_3 植物の混合で植物が主、Loc 1 の TKICU-28a は内部付着物で、陸棲動物と C_3 植物の混合で動物が主と推測される。また、Loc 1 の内部付着物 TKICU-25a では $\delta^{13}C$・$\delta^{15}N$ が典型的な漆（吉田、2021）に近いが、C/N 比は漆よりはるかに小さい。TKICU-25a は試料量が少なかった為、残留有機物分析は行なわれていない。

4. まとめ

武蔵野台地の国分寺崖線周辺に分布する ICU 遺跡群では、縄文中期中葉、崖線下の水辺に住む人々は水棲動物をよく食していたが、中期中葉から後葉にかけて崖線上に住んだ人々の食生活は、水棲動物の食材利用が少なく、植物や陸棲動物主体であったと推測される。しかし縄文後期になると、崖線の上に住む人々も頻繁に崖線を降りて川から食材を調達し、植物・陸棲動物と共に水棲動物の恵を食していたと考えられる。

謝辞: ICU 遺跡群の試料を提供して下さった林徹氏に感謝する。この研究は科研費学術変革領域研究（A）（20H05813）、 基盤研究(B)（23H00708）の成果の一部である。

レンブラントとオランダ東インド会社が使用した紙の比較分析

Comparative Analysis of Paper Used by Rembrandt and the Dutch East India Company

◯坂本昭二
◯Shouji SAKAMOTO

1. はじめに

オランダ東インド会社（VOC）が残した記録資料はアジア各地や南アフリカの各商館で作成された膨大な量（推定 2500 万ページ）からなる文書群で、これらを構成する媒体である紙やインクなども多種多様である。レンブラントの銅版画作品に使用された日本の鳥子紙の調査に端を発して、VOC アーカイブ中の鳥子紙に関する調査がされていたが[1]、鳥子紙以外の紙についてはほとんど知られておらず不明瞭であった。一方で、レンブラントの銅版画作品については印刷された紙に関しても詳細に調査されており、Hinterding らによるカタログが出版されている[2]。本研究では共にアムステルダムに拠点のあった VOC のアーカイブとレンブラントの銅版画作品の間での紙の関係性について報告する。

2. 日本紙（鳥子紙）

VOC アーカイブとレンブラント作品に見られる鳥子紙を比較する。

使用期間： ●VOC : 1610〜1666 年代（コスト削減のため、1660 年代以降は洋紙に比べて高価な鳥子紙は採用されなくなったようである。） ●レンブラント：1647 年頃〜1665 年頃

大きさ： ●VOC : 2 クラス（高さ 38cm 前後、幅 48cm 前後（一般的な鳥子紙のサイズ）、と、高さ 38cm 前後、幅 65cm 前後（いわゆる、屏風間似合のサイズ）が存在。 ●レンブラント：小さな作品サイズのものが多く、紙を切断しているのでオリジナルの紙のサイズは不明なものが多い。

厚さ： ●VOC： 平均 0.18mm（サンプル数 61、Min: 0.12mm, Max: 0.25mm） ●レンブラント：未計測（作品が厚いボード紙で囲って保護されているため）

多層性： ●VOC： 多層構造を成しているものがある。 ●レンブラント：不明（同上の理由による）

紙表面の特徴： ●VOC：紗の目模様と板目模様の見える紙が多い。 ●レンブラント：切断によって紙のサイズが小さいことと印刷によるインクによって紙表面の特徴が分かりにくいが、紗の目模様が見えるものもある。 ●VOC&レンブラント（共通）：一部に不明瞭な糸目模様？が見えるものがある。刷毛目の見えるものがある。

材料： ●VOC : 未確認 ●レンブラント : 雁皮紙。米粉と見られる粒状物の入っているものもある（顕微鏡観察で確認）。これまでのところ、名塩の泥間似合（鳥子紙）で見られる鉱物や針状結晶の混入は確認できていない。

VOC の記録によると、VOC の商館が平戸にあった時代（1609〜1641）は平戸商人の平野屋作兵衛からの購入履歴（1636 年）が見られるが、商館を出島に移転させられ、日本人との自由な接触を禁止された時代（1641 年以降）になると、1644 年に出島乙名の海老屋四郎右衛門に 3000 枚の書写用紙（鳥子紙）を発注、

1649 年には出島乙名の馬田九郎左衛門を通して京都に紙を発注したことが記録されている。従って、出島時代には書写用紙は乙名を通して京都で入手手配をしていたことが伺われる。また、15〜16 世紀の京都で記された歴史的文献資料の調査では、越前鳥子の記述が多く見られる（加賀鳥子も若干あり）。

3. 中国紙（竹紙）

●VOC：中国の竹紙はアジア地域で鳥子紙よりはるかに大量に流通していたにも関わらず、VOC は積極的に記録用紙として採用していない。1693 年に VOC は中国紙（竹紙と思われる）の採用に関しては薄くて脆いので記録用の保存用紙として向かない旨を報告している。しかしながら、紙不足等の理由と思われるが、VOC 記録資料の中に竹紙と思われる中国紙の使用が確認できる。

●レンブラント：鳥子紙に印刷された作品ほど多くはないが、竹紙に印刷されたものが存在する（顕微鏡観察で確認）。糸目幅の違いなど簀の模様の多様性から異なる産地の竹紙に印刷されていると思われる。

4. 洋紙

●VOC：オランダでは 1630 年頃まで主に Bovenland 地域(ドイツやスイス)の紙が輸入され、次に、1630 年頃からフラマン商人（Janssen、Vincent など）がフランス南西部の Angoumois 地域に入植して製紙工場経営を開始し、Angoumois 産の高品質紙がオランダや英国などに大量に流入、その後、フランスでのユグノー（カルヴァン派のプロテスタント）弾圧（1685 年のナントの勅令の廃止など）が激しくなると製紙工を含むユグノーのフランス国外（アムステルダムなど）への大量流出が生じてフランスでの紙生産が衰退、逆に 1670 年頃のアムステルダム北部の Zaan 地域でのホーランダービーターの発明もあり、Zaan 地域での紙生産(出版業も)が飛躍的に向上した。Watermark 分析によって同様の紙の変化（Bovenland 産 → Angoumois 産 → Dutch (Zaan 産 or Veluwe 産)）が VOC の平戸、出島商館で使用された洋紙についても見られる。

●レンブラント：一方で、レンブラントの銅版画作品は 1625 年頃から 1665 年にかけて製作されているが、レンブラントの死後に印刷されているものも多い。アムステルダムの工房で製作されたレンブラントの作品も上記の紙の変化の影響を受けており、生前の作品の紙はスイスのバーゼル産（Bovenland 産）が多く見られ、続いて Angoumois 産の紙も多く使用されている。レンブラントの死後に印刷された作品には Zaan 産を含む紙の使用が確認できる。

5. まとめ

VOC アーカイブの記録用紙とレンブラント銅版画作品の印刷用紙の間に時系列的な観点から紙の生産地など幾らかの相関があることを示した。実際には、両者の間には同じ簀桁で漉かれた紙（mouldmate）（例えば、Angoumois 産の生産者のイニシャル PB（Pierre Bernard？）のある紙など）の存在が確認されている。上述したようにレンブラント作品の紙は小さく裁断されているものが多く、断片的な紙の情報しか持たないが、VOC アーカイブの紙はほぼオリジナルの形状（紙の情報）を残しているものがほとんどで、紙の mouldmate 関係を通した間接的な紙の分析も可能であろう。

＜参考文献＞

[1] 安田智子 : 一七世紀オランダ東インド会社のアーカイブにみられるオリエンタルペーパーについての考察, 和紙文化研究, 第 24 号, p.20-51, 2016

[2] Hinterding, Erik and Rutgers, Jaco: The New Hollstein Dutch & Flemish Etchings, Engravings and Woodcuts 1450-1700. Rembrandt. Sound & Vision Publishers, 2013

北海道の大川遺跡および入舟遺跡から出土した漆器の科学的分析

Scientific Analysis of Japanese lacquer ware excavated Ōkawa ruins and Irihune ruins in Hokkaido

○正田勇人（明治大学大学院）、本多貴之（明治大学）
○Yuto SHODA (Meiji University graduate school), Takayuki HONDA (Meiji University)

1. はじめに

大川遺跡および入舟遺跡は北海道余市町の余市川河口周辺にある。大川遺跡は縄文時代晩期後葉から捺文時代、中世から近代にかけての遺物が出土されている遺跡である。遺跡の迂回路地点からは縄文時代晩期から続縄文時代前葉の墓壙を主体として、住居址、土壙、壕状遺構、柱穴群、石組炉、貝塚、木枠、焼土などが発掘され、土器、石器、フレイク、骨角器など多くの遺物が出土している。近世に属する墓壙が 9 基検出されているが、その形態や副葬品の状況からいずれもアイヌ墓であると考えられている[1]。入舟遺跡は続縄文時代から捺文時代、近世・近代にかけての遺物が出土されている遺跡である。住居址、焚き火跡、貝塚、集石、などが出土している[2]。本研究では大川遺跡から出土した墓壙の副葬品である漆器や入舟遺跡から出土した漆器椀に対して種々の科学的分析を行い、本州からアイヌへ渡った遺物製作当時のモノの流れを考察することで考古学研究へ寄与することを目的とした。

2. 分析に供した試料・分析手法について

分析の対象としたのは、大川遺跡迂回路地点Ｐ－12 から出土した近世アイヌ墓と考えられている墓壙の遺体の頭部に配置された漆器椀、および 6.98’入舟 7G から出土した漆器椀である。なお、大川遺跡の漆器椀は異なる 2 点が重ねられていたと推察され、片方は沈金技法が施されており、この塗膜片について分析を行った[1]。試料に対して、層構造を観察するためにクロスセクション観察、顔料や下地由来の元素の特定のためにエネルギー分散型蛍光 X 線分析 (ED-XRF) 、漆の樹種の同定や用いられた材料の特定のために熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析 (Py-GC/MS) および誘導体化試薬として Tetrametylammoniumhydroxide pentahydrate を用いた反応熱分解ガスクトグラフィー質量分析 (THM-GC/MS)を行った。

3. 結果と考察

大川遺跡の漆器椀についてクロスセクション観察および断面の ED-XRF による分析を行った結果、褐色層 (a) + 黄土色層 (b) + 褐色層 (c) + 黄土色層 (d) の 4 層構造が観察され、褐色層 (a) において水銀朱の使用が示唆された（写真）。THM-GC/MS の結果からタイ・ミャン

マーに生育する *Gluta usitata* の主成分であるチチオールが検出された（図）。これらのことから褐色層 (a) には水銀朱と漆を混ぜた赤色の漆が塗布されていることが分かった。入舟遺跡の漆器椀についてクロスセクション観察および断面の ED-XRF による分析を行った結果、緑色層 (a) + 下地層 (b) の 2 層構造が観察され、緑色層 (a) において硫化ヒ素の使用が示唆された（写真）。Py-GC/MS の結果から日本・中国・韓国に生育する *Toxicodendron vernicifluum* の主成分であるウルシオールが検出された（図）。これらのことから緑色層 (a) には藍とヒ素を混ぜた緑色の漆が塗布されていることが分かった。

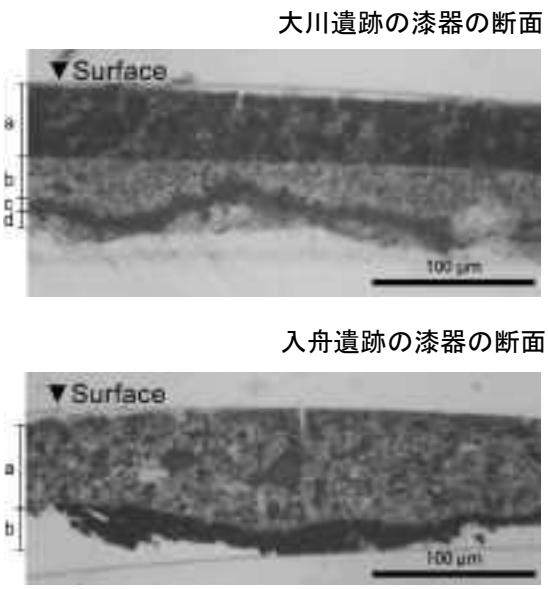


写真　断面の様子

4. おわりに

今回は大川遺跡から出土した沈金技法が施された漆器椀および入舟遺跡から出土した漆器椀に対する科学的分析を行った。その結果、異なる樹種の漆が使用されたことが分かった。

5. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 21H00565 (研究課題名：モノ資料からみる近代アイヌ社会と文化) の助成を受けたものです。分析試料を提供していただいた余市町教育委員会の皆様にこの場を借りて御礼申し上げます。

＜参考文献＞

1) 北海道余市町教育委員会,「余市町大川遺跡 (2000・2001 年度)」,（2002）
2) 北海道余市町教育委員会,「1998 年度入舟遺跡・大川遺跡発掘調査概報」, (1999)

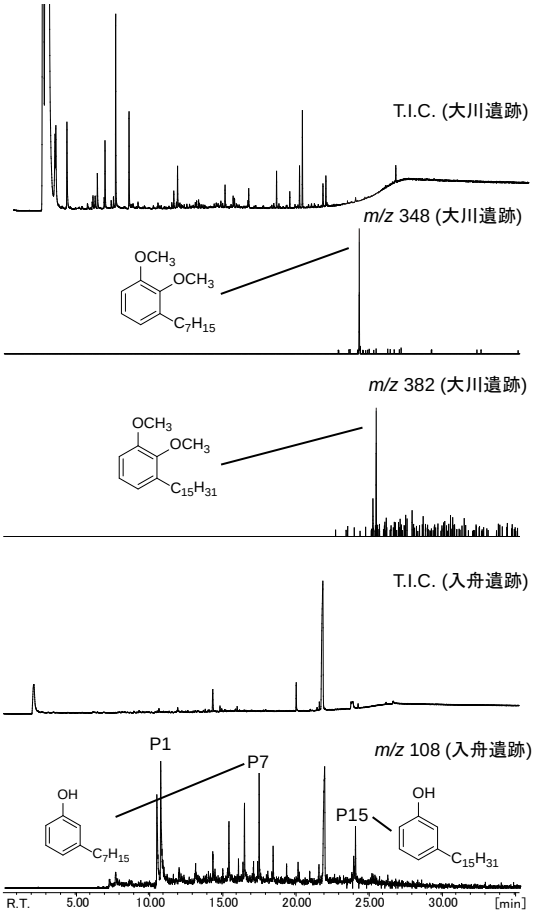


図 Py-GC/MS および THM-GC/MS

浄瑠璃寺九体阿弥陀阿弥陀修理完成記念 特別展「聖地 南山城」に伴う科学調査

Scientific Research for the special exhibition “Minamiyamashiro” at Nara National Museum

○鳥越俊行(奈良国立博物館)、山口隆介(同左)、内藤航(同左)、岩井共二(同左)、
中川あや(同左)、三本周作(同左)、加藤沙弥(同左)
○Toshiyuki TORIGOE, Ryusuke YAMAGUCHI, Wataru NAITO, Tomoji IWAI,
Aya NAKAGAWA, Shusaku MIMOTO, Saya KATO (Nara National Museum)

1. はじめに

奈良国立博物館では 2023 年 7 月 8 日から 9 月 3 日まで特別展「聖地 南山城」を開催した。本展では、京都府南部の南山城地域に在する寺社から、彫刻、絵画、書跡、工芸品や考古資料など多くの文化財を展示したが、これまで科学的な調査がなされていない貴重な資料を展示のために博物館へ輸送したことから、事前に所蔵者へ X 線 CT や蛍光Ｘ線分析などの科学調査の許可を申請し、承諾が得られた資料について調査を実施した。

彫刻については X 線 CT 調査を、考古資料や工芸品については蛍光 X 線分析調査を行ったが、木彫像では新たに像内納入品が確認されるなど多くの知見を得た。今回は南山城展に伴う科学調査について報告する。

2. 調査対象と調査方法

南山城展に伴い調査した資料は、彫刻 23 点、考古 4 点、工芸 1 点である。調査は、展覧会開幕前、会期中の休館日(毎週月曜日)、展覧会閉幕後の撤収などに実施した。

木彫像の調査には奈良国立博物館が所有する X 線 CT(コメットテクノロジーズ(旧 YXLON International)社製)、銅像や考古資料、梵鐘に対しては携帯型蛍光Ｘ線分析装置(AMETEK 社製 xSORT XHH03)を用いた。

3. 調査結果

木彫像については、X 線 CT 調査により構造、制作技法、保存状態や修理履歴などの把握が可能となり、また京都 常念寺所蔵の釈迦如来坐像の内部からは小形の仏像や紙製納入品などが確認された。また、脇侍の文殊菩薩坐像と象の内部にも紙製と思われる納入品が確認された。

考古資料について実施した蛍光Ｘ線分析により、高麗寺跡から出土した飾金具は銅製鍍金、井手寺跡から出土した海獣葡萄鏡は鉛を含む銅アンチモン合金と判明した。また、笠置寺経塚から出土した鋳造の銅製経筒は青銅製で、補修部は銅であることが明らかとなった。本資料は

蓋が外れないことからCT調査も行い、内部に経巻の断片と思われる物を確認した。工芸資料の笠置寺の梵鐘については、銅が約80%で鉛と錫を含み、音の響きの良いとされる組成であることを確認した。

4. まとめ

文化財は、調査を目的とした移動は容易ではないが、展覧会では多くの文化財を博物館施設へと輸送し展示する。このため、展示担当者と保存科学担当者が連携し、所蔵者の理解が得られれば、多くの資料を博物館で科学調査をすることが可能となる。文化財の現状把握を目的としたX線CTや、材質を知るための蛍光X線分析を、多くの文化財が集まる展覧会において実施することは大変重要であるといえよう。

謝辞：本展にあたり科学調査のご承諾をいただいた寺社の皆様ならびに木津川市教育委員会に感謝申し上げます。



図1　納入品の確認された常念寺釈迦如来坐像と像内納入品のCT画像

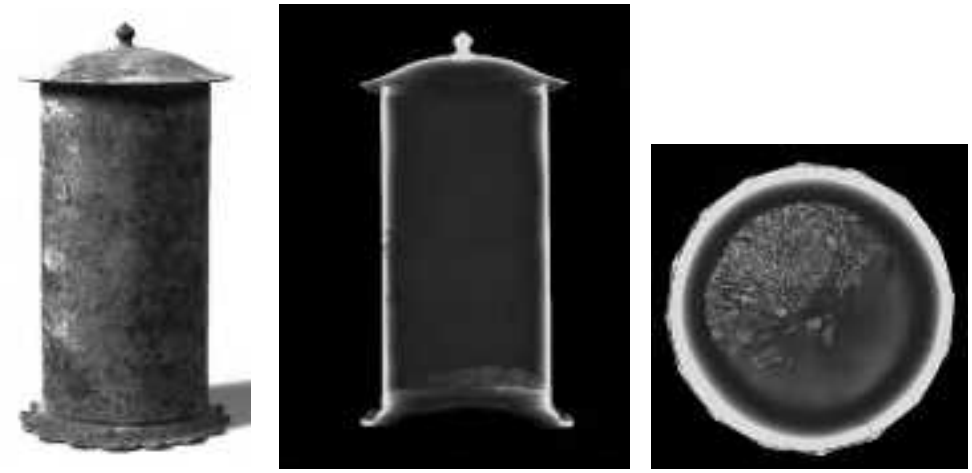


図2　海住山寺の経筒と内容物のCT画像

Using collagen fingerprinting for fish taxa identification from archaeological sites in the Ryukyu Archipelago

Clara BOULANGER[1 2 3], ○Takashi NAKAZAWA[4], Rintaro ONO [2], Chiaki KATAGIRI [5], Atsuko MIYAJI [4]

[1] Japan Society for the Promotion of Science International Research Fellow; [2] National Museum of Ethnology, Japan; [3] UMR 7194 Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum National d'Histoire Naturelle, France; [4] Nara Women's University, Japan [5] Okinawa Prefectural Archaeological Center, Japan

1. Context and aims

After the Wallacean region, the Ryukyu Islands, situated between Taiwan and the island of Kyushu, Japan, hold one of the earliest evidence worldwide for intentional maritime long-distance voyaging. Human occupation has been recorded from 35,000 years Before Present (BP), indicating the presence of fisher-gatherer populations who likely arrived on these islands before the Last Glacial Maximum and adapted to insular environments by the end of the Pleistocene. Moreover, genetic and linguistic studies highlight the complex demographic history of Ryukyuans, who are descended from an admixture of Asian populations. Archaeologists are still actively debating the Holocene period, particularly the Neolithic era. There is an argument about whether the South Ryukyu Islands were colonized by Austronesian populations coming from Taiwan and the Philippines, while the North and Central parts of the region are believed to be related to the Jomon culture. To test these various peopling scenarios, it is essential to examine the maritime skills of the populations involved. In this study, we employed ichthyoarchaeology and collagen fingerprinting (ZooMS) as tools to shed light on this aspect of Ryukyuan prehistory and history and to determine if they can provide insights into this matter.

2. Method

Peptide mass fingerprinting of Type I collagen, also called ZooMS (Zooarchaeology by Mass Spectrometry), is a minimally destructive method based upon the pattern of masses observed in the mass spectrum of tryptic digested collagen. The collagen proteins are extracted from bone specimens, followed by trypsin digestion into peptides that are measured using matrix-assisted laser desorption/ionization time of flight mass spectrometry (MALDI-TOF-MS). Peptide peaks observed on the spectra are specific to taxonomic groups and can therefore be considered as biomarkers that can be used to identify the species.

We found two major limitations to using ZooMS on Pacific samples. First, the collagen peptides need to be authenticated before being used for ZooMS. There has been very little work done on the authentication of markers for Teleosts specifically in the Pacific Islands. The second limitation is the degree of collagen

preservation at the study sites. During burial, the organic fraction of archaeological bones undergoes important alterations, such as deterioration and contamination, that often lead to poor collagen preservation. In light of this challenge, we chose to analyze 44 modern fish specimens representing families and genera commonly encountered at Pacific coastal archaeological sites. These specimens were sourced from the reference collection at the National Museum of Ethnology. Additionally, we examined 57 archaeological samples from various Okinawan archaeological sites, including Shimotabaru and Oodomarihama on Hateruma Island. These samples cover distinct cultural periods, encompassing the Shimobataru (4200-3500 BP) and Aceramic culture (2500-900) periods, along with samples from the medieval Gushikawa sites (900-500 BP) on Okinawa Island.

3. Results

Only a limited number of **modern specimens** produced usable spectra. Intriguingly, the specimens that provided a full range of peaks belong to specific families, such as Lutjanidae (snappers), Scaridae (parrotfishes), and Haemulidae (grunts). In most cases, the extraction of peptides was successful with acetonitrile:0.1% TFA = 4:6 (v/v) rather than 1:9 (v/v). In a few instances, as observed in *Siganus doliatus* (barred spinefoot), *Plectorhinchus polytaenia* (ribonned sweetlips), or *Sargocentron rubrum* (redcoat), peptides with *m/z* values of up to ~2200 were detected, potentially indicating their hydrophilic nature.

Of the 18 **archaeological samples** that we sampled and analyzed at this stage of the study, nine samples yielded some peaks that we tentatively interpret as collagenous, resulting in a 50% success rate. Five of these samples belong to the oldest site, Shimotabaru. Two of the samples were morphologically and taxonomically unidentified, while three were previously identified at the family level (Labridae, Scaridae, and Diodontidae, i.e., wrasse, parrotfish, and porcupinefish). Two samples belong to the Gushikawa sites, one of which was previously unidentified, and one was identified as belonging to the Muraenidae (moray eel) family, whose modern sample representative failed. Only one specimen, identified as belonging to the Lethrinidae family (emperor), yielded peaks at the Oodomarihama site.

4. Discussion and future directions

In this study, we observed that the archaeological material yielded more promising results compared to the reference material. This disparity may be attributed to methodological limitations requiring defatting of the specimens and/or longer decalcification, or it may result from the conditions of the reference collection, where strong detergents are often used in the preparation of skeletons, potentially damaging the collagen within the bones. Conversely, the archaeological material exhibited good collagen preservation, as evidenced by the successful identification of peaks from all three sites. ZooMS, therefore, presents a valuable tool to address the challenges posed by the lack of a comprehensive reference collection and the limitations of naked-eye identification in Ryukyu Archipelago archaeological sites with favorable collagen preservation. Nonetheless, further efforts are needed to enhance the database of Pacific tropical fishes.

京焼登り窯の三次元計測④　-五条坂京焼登り窯（旧藤平）の事例-

The 3D modeling of kyoto style climbing kiln

-The case of Fujihira kiln-

◯ナワビ矢麻（埼玉県文化資源課）、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 (Saitama Prefecture), Masaaki KIDACHI (Ritsumeikan University),
Takuma YOGO, Yukitsugu TABATA (Waseda University)

1. はじめに

旧藤平陶芸登り窯は、京都の五条坂に存在する京式登り窯の一つである。立命館大学と早稲田大学のチームは、登り窯を対象に三次元的な計測調査を継続的に実施しており、これまで４基の登り窯の記録を実施してきた。窯の基礎情報を取得するとともに、関係者への聞き取り等の民俗学的調査を通し、登り窯のもつ情報を様々な形で記録し、それを結びつける方法を模索している。本発表では、旧藤平窯の三次元計測調査の成果を報告する。



図１　旧藤平窯

2. 旧藤平窯について

1909（明治 42）年に京都陶磁器合資会社の窯として築かれた旧藤平窯は、1943（昭和 18）年に藤平窯業有限会社に所有が移って以後、修築を重ねながら使われた京式登り窯である。京焼の他、理化学陶磁器や民芸陶器など時代に応じて多種多様な製品を焼いた記録が残る。しかし、登り窯のばい煙が社会問題となり 1968（昭和 38）年に操業を停止した。五条坂に現存する登り窯の中では大規模であり、消失した窯の記録を含めても最大であると想定されている。

登り窯を対象に発掘調査が行われており、当初は２基の登り窯が背中合わせで築かれていた点が指摘されている（東の窯・西の窯）。煉瓦で造られた煙突が現存しているが、煙突が築造当時から存在していた記録は残っておらず、増築された可能性もある。現存する窯（東の窯）は９つの焼成室を持つ連房式の登り窯であり、人工的に作られた傾斜を利用して築かれている。これは自然地形とは逆の傾斜であり、西の窯が地形を活かして築かれた事実と対照的である。胴木間部分の地面は深く掘り込まれており、京式登り窯の特徴をよく示している。窯は、オオゲタと呼ばれる大型レンガと、クレと呼ばれる円柱状の部材から構築され両者を組み合わせることで天井の曲線を形作っている。

3. 三次元計測の成果と課題

これまでの調査と同様、三次元計測の方法にはSfM-MVSを採用した。SfM-MVSは、異なる画角で撮影した複数枚の写真からその撮影位置復元し、高密度点群を生成する方法で、文化財の記録方法として現在一般的に使用されるようになっている。

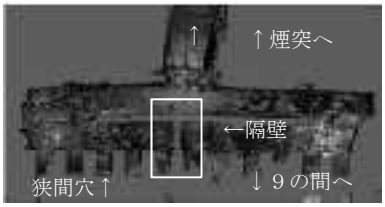


図２　煙室（上から）

調査は2021年10月下旬、５日間の日程で実施した。16点の基準点から、窯の周辺や焼成室内に設置した88点の標定点を回収し、世界測地系の座標を付与した。窯に対し釘等を使用した標定の固定を行えなかったため、対象の規模に対し標定を多く設置し、剥落した標定は排除した。撮影時、各設定を合わせたOlympus TG-6を３台使用し、３班体制で各部位ごとに実施した。写真は撮影部位ごとに処理をかけ、各データに写しこまれた標定を基準として合成した。各データに必ず５点以上の標定を設置した。総撮影枚数は5919枚に及ぶ（うち整列した写真は5674枚）。狭小な焼成室や煙室の撮影は、一脚に取りつけた360°カメラ（RICOH Theta X）を使用した。撮影の過程で新たに明らかになった、９の間に接続する煙室～煙突内部の構造についても追加で撮影を行い、全体のデータに合成した。この時、煙室内部に間仕切りとなる壁が存在することが新たに判明している。解析にはAgisoft社製Metashapeプロフェッショナル版を使用し出力した。

焚口や狭間穴、煙室など、窯の内部構造についても詳細な記録を残すことができた。三次元モデルを基礎資料として、更なる調査研究と保存・活用に役立てられることが望まれる。

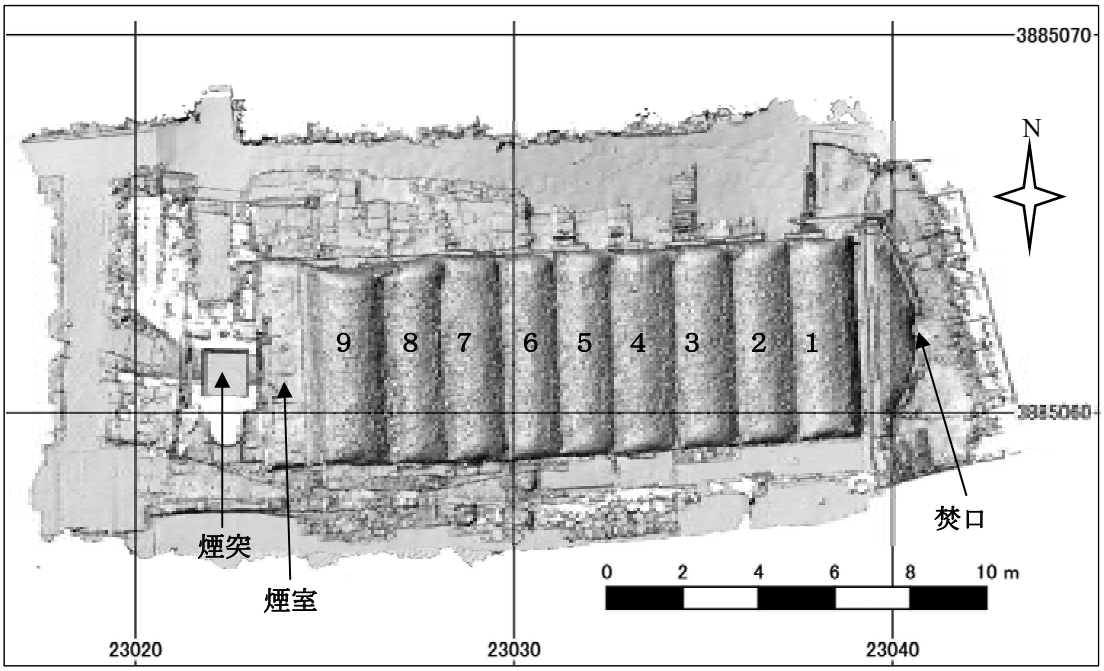


図３　旧藤平窯三次元モデル（上から）（S=1/200）

※本研究はJSPS科研費18K01073の助成を受けたものです。

参考文献

木立雅朗2015「元藤平陶芸登り窯について-遺構と記録-」『元藤平陶芸登り窯の歴史的価値等調査研究報告書』京都市

水無瀬離宮・越谷遺跡(2022年トレンチ)の文化財科学的研究
ー地形発達史と人間活動履歴ー

中塚良(公益財団法人向日市埋蔵文化財センター)・辻康男(株式会社パレオ・ラボ)
・山中章(公益財団法人古代学協会)

Cultural properties investigation of Koshitani site excavation (2022) in "MINASE RIKYU"
- Perspective to the History between Landform Development and Human Activity -

NAKATSUKA.Ryo(Muko City Archaeological center) / TSUJI.Yasuo(Paleo Lab.)
/ YAMANAKA.Akira(Paleological Association of Japan)

〔１〕はじめに

2022年秋季、演者らは島本町越谷遺跡の発掘調査に参加した。伝大慈寺池跡(鎌倉市)との比較庭園史的研究(前川,2021ほか)から、後鳥羽院水無瀬離宮の池庭景観が遺るとされる地点であり、遺跡の層序・微地形について検討する機会を得た。遺跡の層序年代については出土土器の型式年代観と多数の14C年代測定結果(AMS年代測定による暦年較正値,パレオ・ラボ社)間の交差年代的照合がなされ、詳細な成果が開示された(島本町教委・島田組編,2023.5)。他方、遺跡周辺域を対象に作成した、地形発達史的かつ土地利用史的検討をおこなう上で不可欠の地形面区分図は未開示であり、発掘調査結果の公開を機に今回、自然・人文双方の成果の文化財科学的統合をこころみたい。(中塚・辻・山中)

〔２〕越谷遺跡(2022)周辺域における地形面区分と遺跡層序ー水無瀬離宮「池庭景観」の解釈ー

米軍空中写真(M157-A-6-39・40)を基本に1961年写真(MKK612-C13-219・220)を併用し交差法ステレオグラフィにて地形面区分をおこなった。段丘地形は上位から順にth(高位面)・t1～t3(高位面下位の更新世段丘面)・t4(完新世段丘面)の５面に、沖積低地は西からdv(開析谷)、AF(扇状地)、Rrv(天井川地形)、AL(沖積面)の各面に区分する。変動地形区分について既知の成果では、調査地西方に京都盆地西山断層系に連なる神内(こうない)断層が断層組織地形(リニアメント)として記されるが、今回、越谷池西縁、越谷谷口(バンド山西縁)、御所が池東縁に北ないし北北東走向で分布する、２ないし３列の断層群を予察した。dv/t4面境界にあたるバンド山西縁は、西・東双方からの落差が認められ、また、調査地北方t1面には西下がりの逆向きの変位がみられる。断層凹地・グラーベンの存在が示唆される。さて、今回調査区は池庭痕跡(pen：岬形地形また舌状地形)を南北に横断する形で設けられた。調査報告は舌状地形の成因を、人工的な岬形地形の構築ではなく土石流扇状地の形成に求めるが、壌土質砕屑物中の中世資料の良好な遺存条件、さらに遺構と被覆する砕屑物の年代の同期性(1274：1273calADの各暦年較正下限年代、1260～1290年、私見13世紀中葉の土器型式年代観。ポスト後鳥羽院時代相当)から、「土砂入り」直後の集落域における人為的再整理・加工の可能性をかんがえる。例えば岬ないし舌状地形に類似する微地形を、御所が池の南の堰堤に見いだせる。岬を東に延伸することで、凹地をなす段丘面上に皿池を増設することが可能と推察される。土石流扇状地末端部、また扇状地形成後の水利施設的活用を図る痕跡といった、オールタナティブな解釈の案出が要請される。(中塚・辻)

〔３〕越谷遺跡の歴史学的評価

越谷遺跡は、ある東洋史研究者が、歴史地理学とは無縁ながら、当該地域の地形を「岬形地形」と解釈したことに始まる。「岬」とはその先に海浜、河川、池などの水のある地形や人工施設の存在を前提とした表現である。当該地に海浜の存在はあり得ないから、当然「河川または池」の存在が前提となった。さらに、当該地が水無瀬殿(水無瀬離宮)推定地に近接することから、「岬形地形」はこの歴史遺産との関係へと飛躍し、その価値が高められ、関心を呼ぶことになった。

ところが、「地形」の正確な調査が行われることなく解釈が先行し、行政との摩擦を生み出すこととなり、対応は後手に回った。「地形」の自然地理学的な調査、分析が行われたのは、調査予定期間の最末期になってからであった。調査の結果は上記〔２〕の通り、「地形」は人工の工作物に相当すると推察される。「苑池」に突出した施設ではなく、別目的の施設である可能性が高くなった。その歴史的評価は、今後、当該地域の開発史の分析などから進めなければならないが、少なくとも当初に解釈されたような「水無瀬殿（水無瀬離宮）に伴う施設」でないことは確実となった。

発掘調査過程で発見される遺跡の評価、その保護、保存の判断は常に多くの課題と衝突することになる。それを確実なものにするためには、多くの専門家による科学的な分析が不可欠である。越谷遺跡評価の混乱は、出発点からこの大前提を軽んじた結果にあると思う。(山中)

〔文献〕
・前川佳代(2021)「鎌倉市・伝大慈寺池跡と島本町・越谷遺跡御所池周辺地区の関係～源実朝と後鳥羽院の交流を示す遺産～」『日本庭園学会緊急提言書』２頁
・島本町教委・㈱島田組編(2023)『島本町文化財調査報告書ー越谷遺跡(K22-1バンド山)発掘調査報告書ー』第49集 100頁

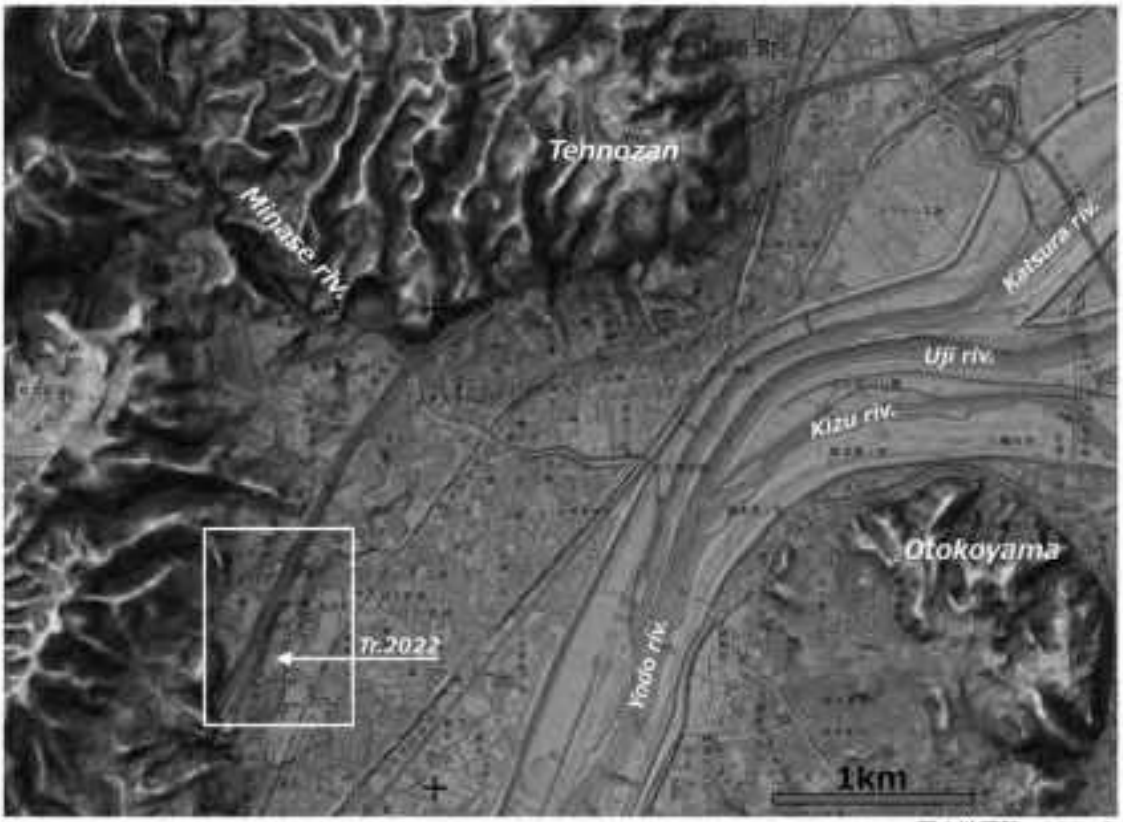


図1 地形面区分図範囲と越谷遺跡の位置

国土地理院・RRIM©



図2 越谷遺跡周辺ステレオグラフ・地形面区分図

USA-M157-A-6-39,40
地形面名称コード：本文〔2〕参照

水損した紙資料の救済法について

Examination of Restore Water Damaged Documents

◯李素妍（鳥取大学）
◯Soyeon LEE (Tottori University)

1. はじめに

各県が作成した文化財防災マニュアルには、事前防災の方法には日頃の取組みや自主点検リスト等が書いている。災害発生後の対応策には、スクウェルチ・ドライイング法が紹介されていることがある。スクウェルチ・ドライイング法の説明や必要な道具が書いているが、注意点等に関する情報が足りない。本研究では、水損した紙資料を用意してスクウェルチ・ドライイング法による乾燥をおこなった。実験をとおしてスクウェルチ・ドライイング法を実施するための注意点や課題が得られたので、その結果について報告する。

2. 実験方法

スクウェルチ・ドライイング法は、イギリスの保存修復材料機器の会社コンサベーション・バイ・デザインの創始者であるスチュアート・ウェルチ氏によって考案された。濡れた本を水取り紙（新聞紙など）でくるみ、酸素バリア性のあるプラスチックの袋に入れ、脱気して袋を熱圧着する脱水方法である[1)]。本研究の実験方法は、文献１の内容にもとづいて実施した。酸素バリア性のあるプラスチックの袋の代わりに市販の布団圧縮袋を使用した。

水道水に本（縦 300 ㎜×横 210 ㎜、厚さ約 5 ㎜）を 2 日間浸漬して水損した試料をつくった。必要な道具は、新聞紙、不織布、市販の布団圧縮袋、掃除機である。不織布の上に濡れた本を置き、不織布で巻く。この試料を新聞紙の上に置き、新聞紙で本をくるむ。試料は一冊ずつ新聞紙でくるんだ。新聞紙でくるんだ本を布団圧縮袋に入れて圧縮袋のチャックを閉じる。圧縮袋を掃除機で吸引して空気を抜く。試料が乾燥するまで新聞紙を取り替える。

本 1 冊に 3 日分の新聞紙をくるんだ。本が乾燥していく様子をみて 1 回に使用する新聞紙を 2 日分、1 日分に変更した。不織布は濡れている場合のみ交換した。新聞紙の取り替えは平日のみ実施した。新聞紙の取り替え方法は 2 つにわけて実施した。試料 1 は毎日新聞紙を取り替えた。試料 2 は 2 日間に 1 回に新聞紙を取り替えた。試料の重量減少をみて乾燥を確認した。

3. 結果および考察

試料 1 と試料 2 は、新聞紙の取り替え 1 回目では約 100 g 前後の重量が減少した。取り替え 2 回目では、試料 1 と試料 2 は 1 回目に比べると約半分ぐらいの重量が減少した。試料 1 は、取り替えの回数が増加するにしたがって重量が減少した（図 1)。試料 2 は、取り替え 3 回目では

前回に比べて約半分ぐらいの重量が減少した。4 回目から取り替えの回数が増加するにしたがって徐々に重量が減少した。

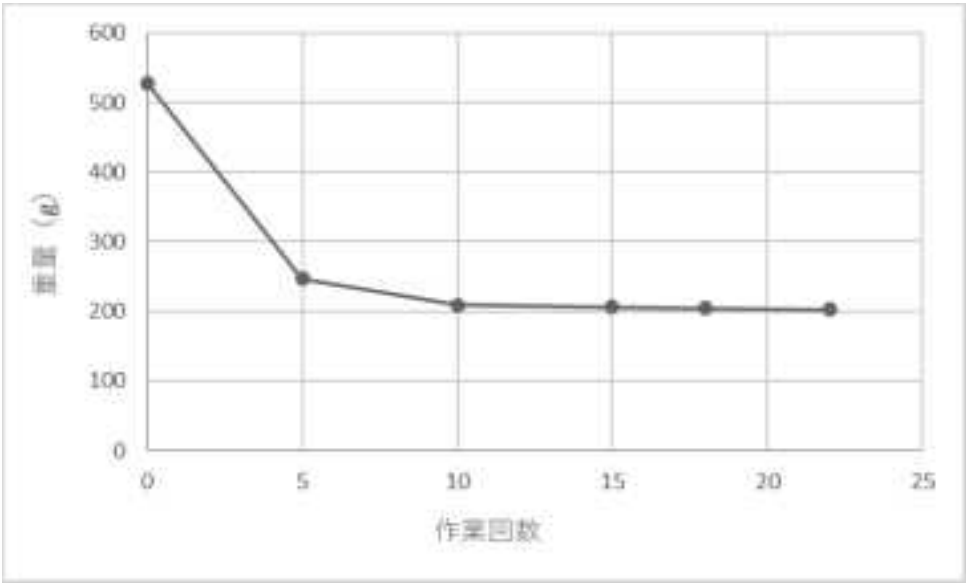


図 1　試料 1 の重量の推移

乾燥後、試料 1 と試料 2 の表紙と紙に波打ちが発生した。一部の試料は表紙が破れたり剥がれたりして、表紙に紙が付いていることが観察された。試料の製本形式は無線綴じである。無線綴じでは、ペラ（単葉紙）または折丁を順に重ねて接着剤で綴じる [2)]。圧縮袋が十分に吸引できなかったことが波打ちの原因であると考えられる。圧縮袋に試料を入れた翌日、袋の中に空気が入っていることが確認された。掃除機で圧縮袋を吸引する際、チャック部分を手前に引きながら吸引すると圧縮袋の中の空気を完全に抜くことができる。

新聞紙の取り替え期間によって乾燥後の試料状態に変化がみられなかった。1 回に使用する新聞紙の量が同じであれば、毎日新聞紙を取り替えた方が早く乾燥する。2 日間に 1 回に新聞紙を取り替えても問題はない。新聞紙の取り替え作業の際に圧縮袋の中が湿っている場合があるので、新しい圧縮袋を用意した方が望ましい。本研究は 7 月に行い、梅雨の間に保管中の新聞紙が湿ったことがある。新聞紙は水を吸収するものとして優れていが、災害時に備えて大量の新聞紙の保管が難しい。災害後に新聞紙を取り集めることが難しいと考えられるので、新聞紙の代わりに使えるものが必要である。

4. 引用文献

1）小野寺裕子、佐藤嘉則、谷村博美、佐野千絵、古田嶋智子、林　美木子、木川りか（2012）「津波等で被災した文書等の救済法としてのスクウェルチ・ドライイング法の検討」『保存科学』No. 15、pp. 135～155. 2）フランツィスカ・モーロック、ミリアム・ヴァスツェレフスキー（2019）『製本大全』、グラフィック社、pp. 141～142.

地球温暖化による劇的環境変動に適した石造文化遺産の調査・保存法の総合的研究（1）

－竹田城花屋敷曲輪での危険個所の状態調査・モニタリング計画の概要-

Comprehensive research on survey and preservation methods for stone cultural heritage suitable for dramatic environmental changes due to global warming (1)

- Overview of the status survey and monitoring plan for dangerous spots in Hanayashiki Kuruwa of Takeda Castle -

○塚本敏夫（元興寺文化財研究所）、植田直見（同左）、雨森久晃（同左）、山口繁生（同左）、坂本　俊（同左）、若杉勇輝（同左）、田邊征夫（同左）、三村　衛（GRI 財団）、朽津信明（東京文化財研究所）、金田明大（奈良文化財研究所）、大川拓也、池野祐希（朝来市教育委員会）

○Toshio TSUKAMOTO,Naomi UEDA,Hisateru AMENOMORI,Shigeo YANAGUTI,Shun SAKAMOTO,Yuuki WAKASUGI,Ikuo TANABE(Gangoji Institute for Research of Cultural Property), Mamoru MIMURA(GRI Foundation),Nobuaki KUCHITSU(Tokyo National Research Institute for Cultural Property),Akihiro KANEDA(Nara National Research Institute for Cultural Property), Takuya OKAWA,Yuki IKENO(Asago City Board of Education)

1. はじめに

近年の地球温暖化にともなう気候変動は文化遺産の保全環境に変化をもたらしている。特に、集中豪雨や大型台風が恒久的に発生して、大規模災害となりつつある。

本研究では、石造文化財が急速に劣化が進行している点に着目して、観光資源として注目される近世城郭の石垣を研究対象とする。石垣の孕みは、土圧に過度な豪雨による水圧の付加が主原因で、石材の劣化による強度低下が崩壊の起点と捉え、過去の修復の不備が副次的な要因と考え、①崩壊危険個所を予測する調査方法とモニタリング法を開発、石垣防災ハザードマップの試作。②解体が難しい根石や付近の積石の新しい石材強化法の開発とその施工法の確立。③崩壊個所の修理履歴を比較検討し、新たな石垣修復法の提案。この 3 点を研究目標とした。

本報告では研究目標①に関して、兵庫県朝来市竹田城跡の花屋敷曲輪地区をモデルケースとして、昨年度から開始した研究の進捗状況と今後の研究計画の概要を報告する。

２．研究対象城郭と調査対象地区（モデルケース）の選定

研究対象城郭の選定：モデルケースの選定では①高い石垣のみで天守郭他の上屋建物が現存しない。②過去に修復痕跡があるが正確な修復情報がない。③過去の豪雨被害で石垣が壊れたことがある。以上の３点を重視して、調査対象城郭を絞り込み、朝来市竹田城跡を候補とした。



写真１　気象ステーション

調査対象地区（モデルケース）の選定：研究メンバーで竹田城跡を踏査して、協議の結果、石

垣が最も孕み、破損個所が有、平坦面の端部が緩んで段差ができており、補修の可能性が認められ、現在見学コースから除外されている花屋敷曲輪地区を調査対象地区に選定した。

3. 危険個所予測のための石垣状態調査

（１）石垣状態調査の研究項目（開始した研究）

①環境データの収集（継続中）：花屋敷曲輪地区での局所的な環境データ（特に雨量）を得る目的で気象ステーション（写真 1）を曲輪南西部に設置し、石垣には温湿度データロガーを 8 か所設置し計測を開始した（3 年間計測予定)。



写真２　石垣の 3D レーザ計測

②石垣及び曲輪平坦面の 3D レーザ計測（継続中）：朝来市教委の協力で、曲輪に基準点を設定。石垣及び曲輪平坦面の 3D レーザ計測を FARO 製 Focus Premium を使用して行った（写真２)。今後は 1 年毎に 3D レーザ計測を行い、得られた 3D データで差分解析（福井コンピュータ社製 TREND-POINT 使用）を行い、変位箇所の同定と定量化を行う予定である。

③物理探査による石垣地盤構造の解明（継続中）：

曲輪平坦面部と西側石垣犬走り部の物理探査（終了）：曲輪平坦部と石垣西側犬走り部の地下構造を知る目的で地中レーダ探査（以下ＧＰＲ）を行った。使用機器は GSSI 社製　SIR-3000、アンテナを GSSI270MHz と Radarteam 製 SUBECHO70（70MHz）を用いて、南北に測線 50 ㎝間隔で１ｍピッチで行った。また。電磁気法探査（EM 法探査）を GF Instruments 社製の CMD Mini Explorer を用いて行った。

石垣面の物理探査（継続中）：石垣の裏込め状況を知る目的で、西側石垣面のＧＰＲを行った。使用機器は MALA 製 X3M、アンテナ 250MHz を用いて、石垣高 10m を東西に測線 1m間隔で１ｍピッチで行った。

今回、石垣面の GPR を円滑に行うため、カーペット垂下法を考案して電動ウインチで凹凸面をスムーズに昇降可能となった（写真３)。



写真 3　石垣面の GPR

４，今後の研究計画

①地盤ボーリング調査：石垣面の GPR 結果と３次元計測結果を基に地盤ボーリング調査を行う地点を決定する。各所の合意を得た後に、地盤ボーリング調査を行う予定（今年度)。

②3D 構造図の作成と構造解析シミュレーション：３D レーザ計測での地表の３Ｄデータ、ＧＰＲ他での地中の３Ｄデータと地盤ボーリングデータにより 3D 構造図を作成して、石垣の３Ｄ可視化を行う。地盤データをもとに構造解析シミュレーションで危険個所の予測を行う予定。

③危険個所モニタリング法の開発と石垣防災ハザードマップ試作：３D レーザ計測の差分解析、赤外線サーモグラフィによる定点観測、ＡＥ法他による危険個所モニタリング法の研究開発を行い、最終的に石垣防災ハザードマップの試作を目指す。

尚、本研究は JSPS 科研費 JP22H00029 の成果の一部である。

赤星直忠による関東大震災被災機関への復興支援

Reconstruction Assistance to Institutions Affected by the Great Kanto Earthquake by Naotada AKAHOSHI

○千葉 毅（東京文化財研究所）、釼持輝久（赤星直忠博士文化財資料館）、斉藤彦司（同左）、
高橋 健（横浜ユーラシア文化館）、佐藤兼理（神奈川県立歴史博物館）

○Tsuyoshi CHIBA (Tokyo National Research Institute of Cultural Property),
Teruhisa KENMOTSU, Kenji SAITO (Dr. Naotada AKAHOSHI Cultural Heritage Museum),
Ken TAKAHASHI (Yokohama Museum of EurAsian Cultures),
Kenri SATO (Kanagawa Prefectural Museum of Cultural History)

1. はじめに

赤星直忠（1902〜1991 年）は、大正から昭和、平成にかけて、三浦半島を中心とした神奈川県域で発掘調査を重ねた在野の考古学研究者である。赤星の考古学的な調査研究は広く知られているが、関東大震災（1923 年）で被災した東京帝室博物館、東京帝国大学、神奈川県師範学校（現・横浜国立大学教育学部）に対し、赤星が自身の発掘調査による出土品の多くを寄贈していることはあまり知られていない。

2021 年、神奈川県立歴史博物館と赤星直忠博士文化財資料館は、赤星の研究手記『赤星直忠考古学研究資料』をオンライン公開した（赤星 2021）。その中には、赤星が各被災機関に寄贈した資料リストが含まれている。この度、発表者らはこのリストをもとに、各機関の所蔵資料との突合調査を行ったので、その概要を報告する。

2. 赤星直忠と神奈川県師範学校、東京帝室博物館、東京帝国大学の関係及び資料の寄贈

横須賀出身の赤星は、地元の旧制中学校を卒業後、小学校の代用教員を経て、神奈川県師範学校に学んだ後、自らも神奈川県師範学校で訓導を勤めた。教務のかたわらで、赤星は独学で考古学を学び、発掘調査も行っていた。また、考古学の指導を乞うため、しばしば東京帝室博物館に高橋健自や後藤守一、石田茂作を訪ねた（赤星 1970 ほか）。

赤星は横穴や洞窟遺跡調査も多数行っているが、横須賀市鴨居鳥ヶ崎横穴群（1922 年発見）及び鳥ヶ崎洞窟遺跡（1924 年発見）はその最初期の調査である。鳥ヶ崎洞窟遺跡は三浦半島で初発見の洞窟遺跡で、その重要性に赤星は「何も分からない我々が手をつけないほうがいい」として、東京帝国大学人類学教室に連絡し、同教室の小松真一が来跡、同年 7 月に発掘調査している（赤星 1970）。その後、赤星自身も同洞窟未調査部分の調査、鳥ヶ崎横穴群の調査を進めた。

これらの調査は、既に関東大震災発災後ではあるが、赤星は上記のような経緯の中で各機関に恩義を感じ、「昭和四年鴨居鳥が崎横穴出土の全遺物は、大正十二年の大地震で資料を失った東京帝国大学考古学研究室と東京帝室博物館とに寄贈された」（赤星 1970、p. 89）。

3. 寄贈資料の現状調査

赤星の自伝的著作『穴の考古学』には、寄贈資料として鳥ヶ崎横穴群出土資料、寄贈先には帝国大学、帝室博物館のみが記されているが、研究手記にはそれらに加えて馬堀横穴、佐島横穴の出土資料、寄贈先には師範学校も記載されていた（**写真 1**）。記載時期は 1929 年 8 月 31 日～11 月 9 日の間である。今回、この記載をもとに各機関所蔵資料との突合調査を行った（**表**）。

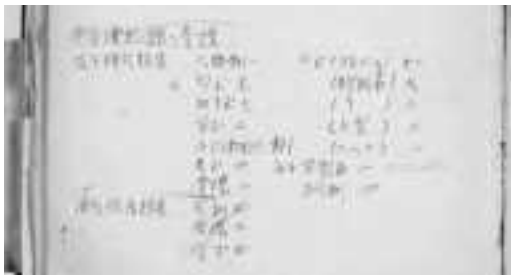


写真 1　赤星による寄贈資料リスト（部分）
（赤星直忠考古学研究資料デジタルアーカイブより）



写真 2　突合できた資料の一部（左）と注記（右）
（東京大学文学部考古学研究室所蔵）

表　『赤星直忠考古学研究資料』記載リストと所蔵機関資料との突合調査結果

所蔵機関	突合できた資料件数	方法
東京国立博物館	35 件	図版目録（東京国立博物館編 1986）との突合 ＊受理：1930 年 3 月 25 日
東京大学 文学部考古学研究室	68 件 （**写真 2**）	実物資料及び『原簿』との突合 ＊受理：1930 年 3 月 27 日
横浜国立大学 教育学部	1 件	実物資料との突合

4. まとめと課題

1891 年の濃尾地震以降、義損金や日用的慰問品による復興支援は浸透しつつあったが、関東大震災当時、一民間人による学術資料の寄贈という形での支援事例は管見にして他に知らない。赤星による寄贈と同時期、東京帝室博物館は多数の寄贈受入を行っており（東京国立博物館編 1973）、それらが復興支援的側面を有していた可能性は否定できない。ただ、当時の寄贈の経緯や意図が記録に残ることは稀で、また公表されることも少ないため、調べるのは容易ではないが、引き続き類例を検索し、災害復興支援の多様性にも目を向けていきたい。

謝辞　赤星直忠寄贈資料の調査にあたり、金崎由布子氏、新井才二氏、多和田雅保氏、山下順也氏、久我谷渓太氏、東京大学文学部考古学研究室、横浜国立大学教育学部、横浜国立大学教育学部附属鎌倉小学校にご協力を賜りました。記して感謝申し上げます。

引用文献

赤星直忠　1970『穴の考古学』学生社（https://dl.ndl.go.jp/pid/12211645/1/20、最終閲覧：2023 年 9 月 7 日）
赤星直忠　2021『赤星直忠考古学研究資料　第 2 巻』千葉 毅・神野祐太・武田周一郎編、神奈川県立歴史博物館・赤星直忠博士文化財資料館（https://sitereports.nabunken.go.jp/101888、最終閲覧：2023 年 9 月 7 日）
東京国立博物館編　1973『東京国立博物館百年史　本編』東京国立博物館
東京国立博物館編　1986『東京国立博物館図版目録・古墳遺物篇（関東Ⅲ）』東京国立博物館

シミュレーションを用いた彫刻作品の転倒防止に関する研究 －框の形状に着目して－

Research on the fall Prevention of Sculpture Artworks Using Simulations: Focusing on Dais Frame Shapes

○中屋菜緒（国立文化財機構文化財防災センター）、淺湫毅（追手門学院大学）、
竹下繭子（京都国立博物館）、降幡順子（同左）
○Nao NAKAYA(Cultural Heritage Disaster Risk Management Center, Japan)
Takeshi ASANUMA(Otemon Gakuin University), Mayuko TAKESHITA,
Junko FURIHATA(Kyoto National Museum)

1. はじめに

動産文化財の中でも、地震による転倒が原因で破損するリスクが高いものは、高さのある立体文化財である。発表者らはこれまでに、立体文化財の転倒防止対策を検討する一手法として、シミュレーション解析を用いた方法の調査研究をおこなってきた。なかでも彫刻作品については、修理時に框を新補することで、作品の安定性を高めることが可能である。そこで本研究では、京都国立博物館所蔵の彫刻作品のうち、修理によって框を新補する神像 2 躯について、框の形状に着目し転倒シミュレーションを実施した。この結果から、より安定性の高い框について検討をおこなったので、その結果について報告する。

2. 調査資料

本研究では、京都国立博物館所蔵の宇賀御霊神像（図 1)、猿田彦男神像（図 2）の神像 2 躯を調査対象とした。像の特徴を以下に示す。



図 1：宇賀御霊神像



図 2：猿田彦男神像

出典：ColBase（https://colbase.nich.go.jp/）

【宇賀御霊神像】像高 125.8 cm、質量 14.1 kg。神像が像底に差込まれた枘により、狐の上に立つ。修理に伴い、幅 53.9 cm、奥行 80.3 cm、高さ 5.5 cm、質量 11.2 kgの新補框を製作。像と框は框上につくられた枘によって固定される。

【猿田彦男神像】増高 99.1 cm、質量 13.0 kg。立ち姿の神像。修理に伴い幅 63.6 cm、奥行 48.3 cm、高さ 6.5 cm、質量 5.5 kgの新補框を製作。像と框は框上につくられた枘によって固定される。

3. 解析手法

まず、調査対象となる神像 2 躯の三次元形状情報をフォトグラメトリにより取得した。使用した解析ソフトは Agisoft 社製 Metashape professional である。三次元データ処理は 3D SYSTEMS 社製 Geomagic Design X を使用した。今回取得した三次元データはデータ量が大きく解析に向かないことから、三次元データをもとにした凸包形状に一様に質量が分布すると仮定し、摩

擦係数は摩擦が大きい場合を 0.60、摩擦が小さい場合を 0.33 としてシミュレーションを作成した。重心位置は、三次元データの点群座標情報から簡易的に求めた。

今回のシミュレーションで使用した入力地震波は、JMA 神戸波震度 6 強で、入力方向を 0 度と 90 度としている。挙動タイプは転倒（転倒角が 70 度以上)、ロッキング（転倒角が 3 度以上)、滑動（転倒角が 3 度未満で、重心最大移動量が 1 cm 以上）の 3 タイプに大別する。

表 1：宇賀御霊神像の転倒シミュレーション結果一覧

框	摩擦係数	入力地震波	入力方向	挙動タイプ	最大転倒角（度）	重心最大移動量（cm）
なし	0.33	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	ロッキング	3.9	34.9
			90度	滑動	1.4	31.9
	0.60	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	転倒	≧90	51.3
			90度	転倒	≧90	53.7
新補框	0.33	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	0.2	35.3
			90度	滑動	0.2	34.0
	0.60	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	0.7	14.4
			90度	滑動	0.4	12.1
新補框＋幅2cm追加	0.33	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	0.2	34.7
			90度	滑動	0.1	33.8
	0.60	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	0.8	11.9
			90度	滑動	0.2	11.8
新補框＋質量3kg追加	0.33	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	0.2	35.3
			90度	滑動	0.3	34.2
	0.60	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	1.0	13.8
			90度	滑動	0.3	12.3

4. 結果と考察

1）宇賀御霊神像のシミュレーション結果（表 1）から、框がない場合、震度 6 強で転倒することがわかった。一方新補框は、震度 6 強では転倒しないが滑動した。

表 2：猿田彦男神像の転倒シミュレーション結果一覧

框	摩擦係数	入力地震波	入力方向	挙動タイプ	最大転倒角（度）	重心最大移動量（cm）
仮設框	0.33	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	0.5	34.5
			90度	滑動	0.5	36.3
	0.60	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	ロッキング	6.1	20.7
			90度	転倒	≧90	52.6
仮設框＋幅8cm追加	0.33	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	0.3	35.3
			90度	滑動	0.3	33.8
	0.60	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	0.4	14.2
			90度	ロッキング	0.8	14.0
仮設框＋質量7kg追加	0.33	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	0.5	34.0
			90度	滑動	0.4	34.4
	0.60	JMA神戸波振幅1倍（震度6強）	0度	滑動	0.5	13.9
			90度	ロッキング	11.0	13.4

2）猿田彦男神像のシミュレーション結果（表 2）では、仮設框が震度 6 強 90 度方向の揺れで転倒することがわかった。そこで、転倒防止対策として、框の形状について検討をおこなった。猿田彦男神像は、90 度方向の揺れで転倒していることから、左右の揺れに弱いことがわかる。そのため、框の横幅を 8 cm 大きくした場合を検討したところ、転倒せずロッキングすることがわかった。さらに、框の質量を 7 kg 重くした場合も、ロッキングすることがわかった。

以上の結果から、仮設框に横幅を 8 cm、もしくは質量を 7 kg 追加することで像の転倒を最低限防げることがわかったので、新補框に反映することができた。框の形状を大きくすることや質量を重くすることで、像全体の重心が低くなり、より安定性を高めることができる（表 3)。本シミュレーションによって、その下限値を確かめることができた。

表 3：框の違いによる重心高さの変化

宇賀御霊神像	框なし	新補框	新補框＋幅2cm追加	新補框＋重量3kg追加
重心の高さ（cm）	43.4	34.7	34.4	32.3

猿田彦男神像	仮設框	仮設框＋幅8cm追加	仮設框＋重量7kg追加
重心の高さ（cm）	36.5	34.6	27.2

謝辞：本研究に関し、作品調査には公益財団法人 美術院国宝修理所、シミュレーション作成には株式会社 構造計画研究所のご協力を賜りました。厚く感謝申し上げます。

風土記の丘展示施設における窒素ガス供給式展示ケースの運用実態
—金錯銘鉄剣及び銀錯銘銀装円頭大刀の展示環境の維持管理—

Nitrogen-filled cases for archaeological metal objects: a comparison of operation situations in Saitama Prefecture and Shimane Prefecture

○杉崎佐保惠(福島県立博物館)
○Sahoe SUGIZAKI (Fukushima Museum)

1. はじめに

昭和 41(1967)年 3 月に文化財保護委員会(昭和 43 年 6 月より文化庁)が正式発表した風土記の丘設置構想[引用 1]を受けて、翌 42(1968)年 4 月以降に、全国各地で風土記の丘が開園・開所する。風土記の丘展示施設において、不活性ガスとして窒素ガスを供給する仕様設計の展示ケース(以下、「窒素ガス供給式展示ケース」と記す。)を設置する展示施設[引用 2, 3]もあり、その運用は、令和 5(2023)年で最長 43 年目である。運用の実態について整理した比較表を、展示施設の合意を得て本稿にて報告する。

2. 調査方法及び調査結果

全国の風土記の丘展示施設より、窒素ガス供給式展示ケースを運用して銘文入の考古資料(金属製象嵌製品)を常設展示している展示施設を抽出した結果を表 1 に示し、訪問によるヒアリング調査を行った結果を表 2 に示す。被調査施設の両館ともに、窒素ガス雰囲気下における保存展示環境の維持を重視しているため、「保存管理のために展示ケースから取り出して展示資料を目視点検することはない。」とのことである。なお、両館ともに、調湿剤方式の展示ケース等も多数運用しているため、ヒアリング調査の対象とした窒素ガス供給式展示ケースは、運用している展示ケース全数のうちの一台である。

表 1 被調査施設の基本情報

風土記の丘の名称	さきたま古墳公園(昭和 51 年より) ※開園当初は、さきたま風土記の丘	島根県立八雲立つ風土記の丘
展示施設の名称	埼玉県立さきたま史跡の博物館	展示学習館
所在地	埼玉県行田市	島根県松江市
開園・開所の時期	昭和 42(1968)年〔全国で 2 番目〕	昭和 47(1972)年〔全国で 6 番目〕
公開・活用の対象となる史跡	特別史跡埼玉古墳群(令和 2 年より) ※開園当初は、史跡であった	大庭地区・竹矢地区の東西 5 ㎞、南北 4 ㎞の範囲に所在の史跡山代二子塚、史跡出雲国府跡、史跡出雲国分寺跡、史跡岡田山古墳など
運営形態	県直営	指定管理制度による運営[註 1]

註釈

1. 設置者は島根県(主務課は県教育委員会文化財課)であり、指定管理者は公益財団法人しまね文化振興財団である。
2. 国指定文化財等データベース(https://kunishitei.bunka.go.jp/bsys/index)より引用。〔2023-8-15 閲覧〕
3. 引用文献 2 を読むと、展示室の床下を経由して展示ケース下部まで配管を引いているように見える。
4. 経験的に、窒素ボンベを交換してから 3 カ月経過すると圧力調整器の圧力計の指示値が僅かに低下することが判明しているため、予め 3 カ月毎に窒素ボンベを交換するように年間計画を立てている。

表 2　窒素ガス供給式展示ケースの運用実態に関する比較表

ヒアリング調査訪問日		令和 5(2023)年 3 月 22 日	令和 5(2023)年 3 月 25 日
被調査施設		埼玉県立さきたま史跡の博物館	八雲立つ風土記の丘展示学習館
展示資料について	展示資料の名称	国宝金錯銘鉄剣	銀錯銘銀装円頭大刀(額田部臣銘文入大刀)
	文化財指定の区分	国宝(種別は考古資料)[註 2]	重要文化財(種別は考古資料)[註 2]
	指定文化財の名称	武蔵埼玉稲荷山古墳出土品(指定番号 36)一括のうちの金錯銘鉄剣[註 2]	出雲岡田山古墳出土品(指定番号 413)一括のうちの銀錯銘銀装円頭大刀[註 2]
	所有者名	国(文化庁)[註 2]	六所神社[註 2]
	保管施設の名称	埼玉県立さきたま史跡の博物館[註 2]	島根県立八雲立つ風土記の丘[註 2]
	出土地	稲荷山古墳(前方後円墳)	岡田山 1 号墳(前方後方墳)
窒素ガス供給式展示ケースによる展示環境の維持管理について	展示ケースの設置	昭和 55(1980)年 10 月	昭和 63(1988)年 1 月
	展示ケースの運用	昭和 55(1980)年 11 月より	昭和 63(1988)年 1 月より
	展示ケースの構造	二重ケース構造	二重ケース構造
	窒素ガスの供給方法	バックヤードに配置した窒素ボンベより配管を経由して供給[註 3]。	展示ケースに格納した窒素ボンベより配管を経由して供給。
	温度調整	展示室の温度に自然同調させる。	展示室の温度に自然同調させる。
	湿度調整	湿度調整の機構なし。	湿度 60%以下に保つ設計[引用 3]であり、ビーズ状の調湿剤を併用。
	展示環境の監視方法及び記録方法	不定期で日中に、窒素ボンベに接続の圧力調整器(調整器[引用 2])の圧力計の指示値を読み取り、読み取りの日時、数値、記録者を紙ベースの台帳に手書きで記録。	展示ケースに備え付けの印字式ロガーにより、1 時間おきに酸素濃度の数値を専用紙に自動記録。(展示ケースへの酸素の混入を 3%以下に保つ設計[引用 3]としている。)
	展示環境のふりかえり	(1)読み取りの都度、直近の記録と同程度で推移していることを確認。(2)3 カ月毎の窒素ボンベの交換[註 4]のときに、直近 3 カ月間の記録を確認している。	毎月初めに前月の印字記録を指定管理者が確認し、指定管理者から設置者へ印字記録を送付している。
	展示ケースの修理・改修	していない。	していない。
	室内汚染物質の監視	していない。	していない。

引用文献

1. 島根県立八雲立つ風土記の丘 2022「沿革」『島根県立八雲立つ風土記の丘 50 周年記念誌』島根県立八雲立つ風土記の丘 pp.8-13
2. 江本義理 1982「第 3 章 模型製作と展示収蔵 第 2 節 展示ケース、展示・収蔵棟について」『埼玉稲荷山古墳 辛亥銘鉄剣修理報告書』埼玉県教育委員会 pp.24-27
3. 島根県立八雲立つ風土記の丘 1988「風土記の丘ミニミニニュース」八雲立つ風土記の丘 85・86 p.16

謝辞　本研究は JSPS 科研費 JP20H00691 の助成を受けたものです。

文化財保存に用いられるバインダー17 の漆塗膜保護効果の調査

Study on Protection Effect of Binder17 Applying on Lacquer Films for Preservation of Cultural Assets

○望月香里(明治大学大学院)、本多貴之(明治大学)
○Kaori MOCHIZUKI (Meiji University graduate school), Takayuki HONDA (Meiji University)

1. はじめに

漆塗膜の保護、劣化抑制のため、近年では化学的に安定で流動性、接着性に優れているアクリルエマルジョンが使用されている[1]。そのうちの一つにメタクリル酸とアクリル酸エチルの共重合体を主成分とするバインダー17 がある。分散媒が水であるため有機溶媒に溶かす必要のある Paraloid^{TM}B-72 よりも環境や人体への負荷が小さいといった利点がある。これまでにバインダー17 や漆塗膜単独での紫外線劣化に関する研究は行われてきたが、バインダー17 を塗布した漆塗膜についての研究は十分に行われていない。そこで本研究では、バインダー17 を塗布した漆塗膜に対する状態変化および化学構造の変化を分析しバインダー17 の漆塗膜保護の有効性の調査をした。

2. 実験

2. 1. 試料の作製

本実験では、中国産生漆、第一合成株式会社製バインダー17 を使用した。生漆をフィルムアプリケーター 76 μm (wet) でガラス板に製膜し自然硬化 (4 カ月以上) させ漆塗膜を作製した。この漆塗膜にバインダー17 をバーコーター 19 μm (wet) で塗布し自然乾燥 (24 h 以上) させた。これらの試料に対して、0, 8, 16, 24, 48, 72, 120, 168 h の紫外線照射を行った。ランプ出力は 800 W、主波長 365 nm、紫外線照射距離 15 cm とした。

2. 2. 分析手法

まず、漆塗膜にバインダー17 を塗布及び未塗布の試料に対して断面観察を行った。次にソックスレー抽出により漆塗膜に塗布したバインダー17 を除去し、Py-CG/MS による測定を行った。

3. 結果と考察

3. 1. 断面観察

紫外線未照射及び 168 h 照射後の観察結果を写真に示す。バインダー17 塗布の有無に関

わらず紫外線照射によって漆塗膜表面に凹凸が発生したが、塗布有の方が少ないことが確認された。これより、バインダー17 は漆塗膜の劣化抑制効果があると示唆された。

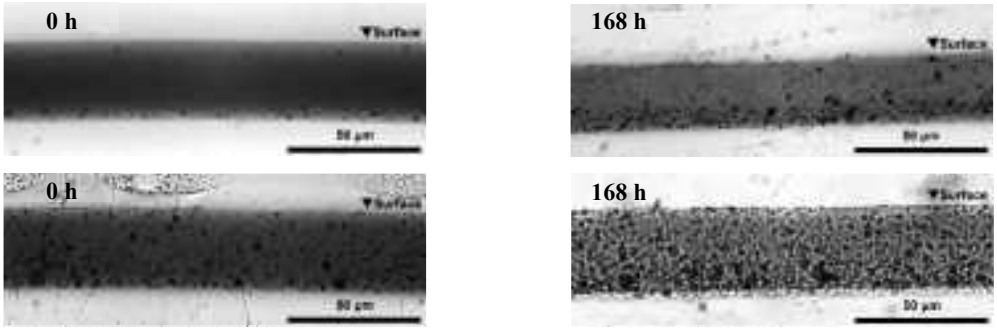


写真.　漆塗膜の断面 (上段: バインダー17 塗布なし, 下段: 塗布あり, ×1000)

3. 2. Py-GC/MS

バインダー17 塗布無、塗布有の試料に対して、側鎖に炭素数 15 の構造を持つ 3-pentadecylphenol (P15) と 3-pentadecylcatechol (C15) のピークと、試料の総ピークに対するピーク面積比を算出した (図 1, 図 2)。その結果、どちらの試料にも紫外線照射時間の増加に伴い P15, C15 のピーク面積比が減少傾向にあったことから、漆塗膜の紫外線照射による化学構造の変化が確認された[2]。また、塗布の有無による P15, C15 のピーク比の減少速度には有意な差異が見受けられなかった。この結果より、バインダー17 を塗布した場合でも漆塗膜の化学構造の変化を防ぐことができなかったことが示唆された。

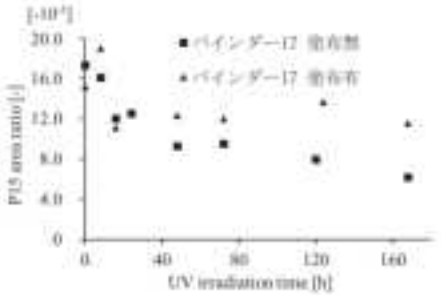


図 1.　P15 のピーク面積比の変化

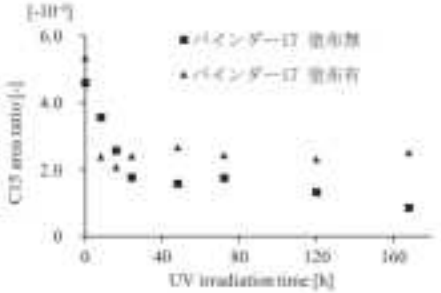


図 2.　C15 のピーク面積比の変化

4. おわりに

本研究では、バインダー17 を塗布した漆塗膜に対する、紫外線照射による状態変化および化学構造変化を調査した。その結果、バインダー17 は漆塗膜の劣化に伴う凹凸の発生への抑制効果はあるが、化学構造の変化は確認された。以上の結果から、バインダー17 は漆塗膜に対する物理的な変化に対する抑制効果があることが確認された。

＜参考文献＞

1) 樋口清治,「障壁画の合成樹脂による剥落どめ処置の問題点」,『保存科学』12 号, pp. 59-65 (1974)

2) 渡部修, 長井勝利,「漆塗膜の内部構造と光劣化反応」,『日本化学会誌: 化学と工業化学』2 号, pp. 113-121 (1999)

蛍光Ｘ線を用いた多孔質材料表面に蓄積する塩の濃度の測定

Measuring the concentration of accumulated salt on the surface of porous materials using X-ray fluorescence

○酒井紘太郎（京都大学）、髙取伸光（同左）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）
小椋大輔（京都大学）
○Kotaro SAKAI, Nobumitsu TAKATORI (Kyoto University), Soichiro WAKIYA (NABUNKEN)
Daisuke OGURA (Kyoto University)

1. はじめに

塩類風化が懸念される不動産文化財保存の現場では、材料表面近傍の塩濃度を測定する技術は塩類析出の予測につながるため極めて重要である。既報[1]では非破壊での測定かつ現場での適用可能性が期待される蛍光Ｘ線を用いた手法に注目し、塩濃度が既知である石材表面の塩濃度と蛍光 X 線強度が比例関係にあることを示した。本報では蛍光Ｘ線を用いて塩の蓄積による石材表面の塩濃度変化を経時的に測定する手法について検討を行った。

2. 実験概要

実験では M6 JETSTREAM（BRUKER 社）を用いて蛍光Ｘ線による二次元元素分析を行った。ターゲットは Rh、管電圧は 15kV、管電流は 300 μA、X 線のスポットサイズは 580 μm、雰囲気は大気とした。また、定量的な元素の検出強度は二次元分析結果において手動で定めた領域内の元素のカウント値を平均化することで求めた[2]。実験は設定温度 23℃の空調機で室温を制御した部屋で行い、湿度はなりゆきとした。

はじめに、異なる濃度の NaCl 水溶液に含浸した凝灰岩表面の蛍光 X 線分析を行い、蛍光 X 線強度と塩濃度の較正曲線を作成した。試験体には 2cm 角の凝灰岩（阿蘇火砕流堆積物）[3]を使用した。実験では、同一試験体に対して乾燥状態および塩溶液に含浸した状態の試験体表面の蛍光Ｘ線測定を行った。溶液濃度は純水から飽和（6.15[mol/kg]）までの 15 種類とした。

次に凝灰岩底面から NaCl 水溶液を吸水させ、上面を大気に開放した状態で水分を蒸発させることで材料表面に塩を蓄積させ、この過程における凝灰岩表面の Cl の検出強度の経時変化を蛍光Ｘ線により測定した。Fig.1 に実験装置を示す。試験体には円柱形の凝灰岩を使用し、サンプル数は４とし、1 つは表面温度および溶液温度測定用のリファレンスとした。NaCl 水溶液の濃度は 0.0615[mol/kg]とし、実験期間は約 2 週間、蛍光 X 線の測定間隔は約 24 時間とした。また、実験中は電子天秤を用いて重量変化を測定し、試験体上面からの水の蒸発量を算出した。

3. 実験結果と考察

凝灰岩表面の塩濃度ごとの Cl の検出強度を Fig.2 に示す。Fig.2 より溶液含浸時の Cl の検出強度と NaCl 水溶液の塩濃度の間に概ね比例関係があることが確認された。なお、塩の蓄積実験では Cl の検出強度が主に 0.8[counts/pixel]程度までの範囲内であったため、その範囲内の 0.0

から 1.23[mol/kg]の塩濃度で較正曲線を作成した。

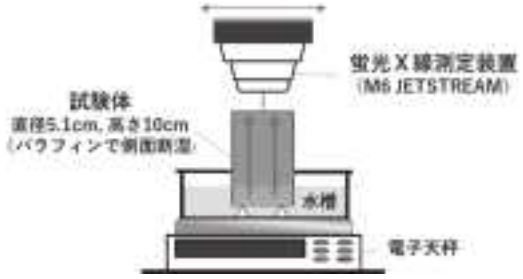


Fig.1 塩蓄積実験における実験装置

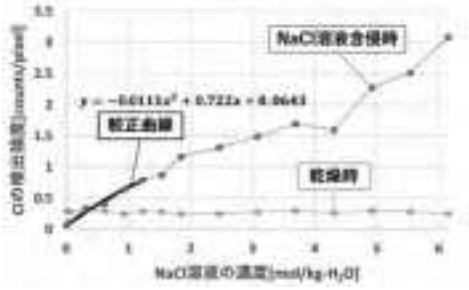


Fig.2 塩濃度ごとの Cl の検出強度

Fig.3 に Fig.2 の較正曲線を用いて求めた塩蓄積実験における各試験体表面の塩濃度の経時変化を示す。なお、試験体 2 では 260 時間後以降の結果は試験体 1、3 と値が大きく異なるため除外した。全ての試験体で時間経過に伴い表面の塩濃度が増加し、試験体 1 はほぼ一定に増加したが、試験体 2、3 ではある時点から塩濃度が急増した。なお、試験体 2、3 では実験期間中に表面に塩の析出を写真で確認している。Fig.4 に塩蓄積実験における累積蒸発量を示す。どの試験体も蒸発速度はほぼ一定であり、差は微小であった。よって表面の平均の塩濃度はどの試験体もほぼ同じ速度で増加すると予想されるが、ある時点から各試験体の塩濃度が異なる速度で増加しており、塩析出により局所的に Cl の検出強度が増加した可能性がある。分析結果より、蛍光X線を用いることで材料表面近傍の塩濃度変化を測定できる可能性が示されたが、凝灰岩のような不均質な材料では局所的に塩濃度や塩の析出しやすさが異なる可能性があり、細かく分けたエリアごとに蛍光 X 線の検出強度を塩濃度に換算する必要があると考えられる。

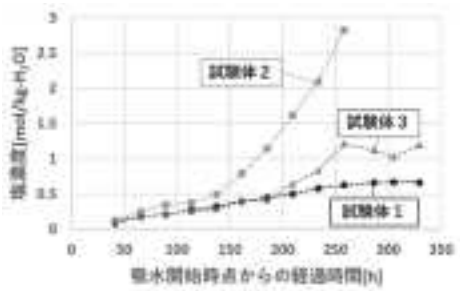


Fig.3 塩蓄積実験における塩濃度の経時変化

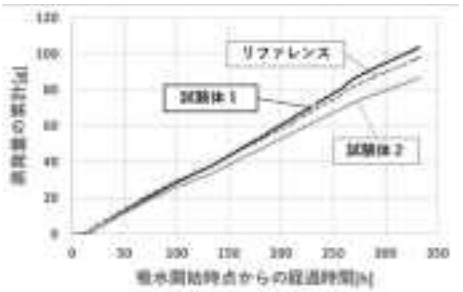


Fig.4 塩蓄積実験における蒸発量

4. 結論

本研究では、蛍光X線を用いて塩の蓄積による石材表面の塩濃度変化を経時的に測定する手法について検討した。はじめに、異なる濃度の NaCl を含浸させた凝灰岩表面の蛍光 X 線分析を行い、Cl の検出強度と NaCl 水溶液濃度の較正曲線を作成した。また、NaCl 水溶液を底面から吸収させ、上面から水分を蒸発させることにより、表面の Cl の検出強度の変化を蛍光 X 線により測定し、材料表面付近に蓄積する塩の濃度変化を求めた。分析結果から、蛍光X線を用いることで材料表面近傍の塩濃度変化を測定できる可能性が示されたが、凝灰岩のような不均質な材料では局所的に塩濃度や塩の析出しやすさが異なる可能性が示唆された。

【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：髙取伸光)、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] 酒井紘太郎ら，“蛍光 X 線を用いた多孔質材料表面近傍の塩濃度分析手法の検討”，日本文化財科学会第 39 回大会，千葉大学, 2022. [2] 後藤正志ら，“エネルギー分散型蛍光 X 線分析法における各元素の相対感度の測定及びその定量分析への応用”，分析化学, vol. 36, no. 12, pp. 842-850, 1987. [3] 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.

X線CT画像の輝度ヒストグラム解析法を用いた水浸出土木材の強化剤含浸における定量的分析

Quantitative analysis of solute impregnation in waterlogged wood using brightness histogram analysis method of X-ray CT images

○棟方舞（弘前大学）、片岡太郎（同左）

○Mai MUNAKATA, Taro KATAOKA (Hirosaki University)

1. 研究の背景と目的

本研究は、出土木製品の保存処理における強化剤含浸について、強化剤の充填率や処理前・処理後の状態変化をX線CT画像から得られる輝度値により定量的に分析することを目的とする。既往の研究では、X線CTスキャナを用いることで視覚的に処理薬剤の分布状況を観察することが可能であると示されている[1, 2]。また、X線CT画像における輝度と画素数を集計した輝度ヒストグラム分析は、理工学分野や医療分野で内部性状を定量化する際に用いられてきた手法である[3, 4]。本報告では、強化剤含浸の効率化について有効性が期待されている溶媒蒸発法[5]を用いてPEG・トレハロースを含浸したサンプルについて、X線CT画像から得られる画素数と輝度値(256階調のグレー値)から、強化剤の含浸状況をヒストグラム化し比較を行うことで、X線CT画像を用いた含浸状況の分析を行った結果について報告する。

2. 実験方法

健全なスギ材(*Cryptomeria japonica* D.Don、最大含水率280～350%程度)から電動ノコギリを用いて切り出した30個の試料をサンプルとした。この中から無作為に選出した15個のサンプルにPEG（三洋化成工業 PEG-4000S）水溶液、残りの15個のサンプルにトレハロース（林原商事 TREHA®）水溶液を、溶媒蒸発法の装置を用いて含浸させた。木材内部の含浸状況を比較する為、保存処理前・保存処理後にサンプルの重量・寸法の測定、及び、X線CTマイクロスキャナ（Bruker SkyScan 1174）を用いてCT画像の撮影を行った。撮影設定は、X線管電圧50ｋV、X線管電流800μAとし、断層像（CT像）の再構成は装置付属のNReconを用いた。撮影されたCT画像は、各サンプル450枚ずつ抽出し、Adobe Photoshop（adobe社製）を用いて輝度値ごとの画素データ数を抽出する処理を行い、得られたデータから、横軸を輝度値、縦軸を画素データ数としてヒストグラム化した。

3. 結果と考察

上記の分析から得られたヒストグラムを図版1に示す。上段はPEG・トレハロースをそれぞれ円柱状に成型したもの、中段は保存処理前のサンプルの平均値、下段は保存処理後のサンプルのうち空隙充填率が30%を超えたサンプルの平均値である。それぞれヒストグラム右上にサンプルのCT画像を添付した。

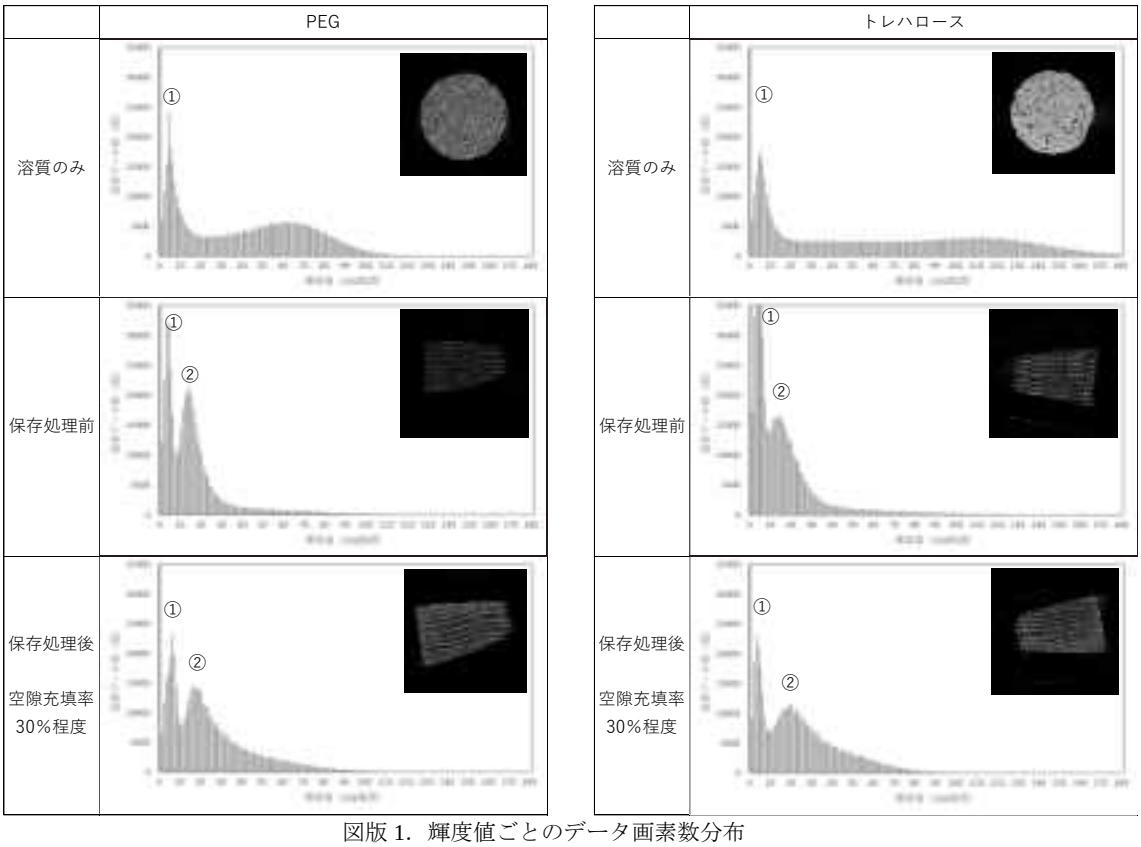
まず、すべてのヒストグラムにおいて、輝度値0～10の間に最も大きなピーク①がある。①は、階調が低く最も画素数が多いところであるため、CT画像に見える黒い部分、つまりサンプル内部の空洞部分であると推測できる。この①について中段のヒストグラムを比較すると、トレハロースを含浸するサンプルの方が大きなピーク①を持つと読み取ることができるが、これは全空隙（cm^3）の値がPEG含浸サンプルで

6.21 ㎟、トレハロース含浸サンプルで 6.83 ㎟であることに起因する。次に、溶質のみで撮影したヒストグラム（上段）は、PEG は輝度値 20～110、トレハロースは輝度値 20～180 の範囲に輝度値が分布している。トレハロースは PEG と比較して密度の高い部分が広範囲にあり、結晶化との関連が考えられる。また、木材を含めて撮影したヒストグラム（中段・下段）には、輝度値 10～20 程度に二番目に大きなピーク②がある。②は、溶質のみを撮影したヒストグラムには存在せず、保存処理前と保存処理後で変化が小さいことから、空洞部分を含む木材組織を表すピークであると推測できる。

以上のことから、強化剤含浸前・含浸後を比較すると、空洞部分であるピーク①が含浸前に比べて小さくなっていること、また、木材組織と考えられるピーク②の後、PEG・トレハロース共に輝度値 80 程度まで広がりが存在することが特徴としてあげられる。この二点から、保存処理後の木材では、空洞が減少していること、強化剤が充填され密度が増加していることがわかる。

4. まとめと今後の課題

以上の結果から、輝度値ヒストグラム解析を用いて、強化剤の含浸状況を定量的に分析・評価することは可能である。また、CT 画像を抽出する部位を絞ることで、薬剤の含浸が部位ごとに偏っていないかなど検討する方法にもなりえると考える。今後は、保存処理に求められる 60%やそれ以上の大きな空隙充填率のサンプルを解析し、空隙充填率ごとにどのような差異が現れるのかを確認する。



図版 1. 輝度値ごとのデータ画素数分布

参考文献　1）山田哲也「MRI を用いた水浸出土木材の内部性状の可視化に関する基礎的研究」『科学研究費助成事業研究成果報告書』2015　2）小林啓 ほか「X 線 CT スキャナを活用した出土木製品の構造解析に係る基礎研究Ⅱ-保存処理後の木製品内部における処理薬材の分布について-」『日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集』2014　3）大竹可那 ほか「AP 系コンポジット推進薬における X 線 CT の輝度ヒストグラム分析」『平成 27 年度宇宙輸送シンポジウム：講演集録』2015　4）三輪邦弘 ほか「輝度ヒストグラム解析法を用いた顎下腺超音波像の定量的分析」『歯科放射線 Vol.42』2002　5）松田和貴 ほか「溶媒蒸発速度の制御による水浸出土木製異物の保存処理における薬材含浸の効率化（その 3)」『日本文化財科学会第 39 回大会研究発表要旨集』2022

トレハロースによる銅・木質複合遺物の保存処理手法

Conservation Method for Copper-Wooden Artifacts with Trehalose

◯須山貴史（株式会社イビソク）
◯Takafumi SUYAMA(IBISOKU Co.,Ltd.)

1. 緒言

出土水浸木製品の保存処理において、国内ではPEGを置換薬剤とする方法と、トレハロースを置換薬剤とする方法が広く用いられる。難処理材とされる鉄製品が複合した木製品については、トレハロースが腐食抑制の点から効果的であることが先行研究により周知されている。しかし、銅製品が複合する木製品については研究事例が報告されていなかった。

天徳寺寺域第５遺跡（東京都港区）からは銅製品が付属する木製品が複数出土しており、それらを保存処理する機会を得た。そこでトレハロースを用いる際の処理条件を実験・検討したのでここで報告したい。

2. 試料と方法

PEGやトレハロースを用いる手法の問題点として、PEG含浸法については、水溶液が酸性のため銅製品の緑青部分が損傷するおそれがあった。吸湿性も高いため、保存処理後も腐食リスクが残る。またPEG含浸の真空凍結乾燥法は、乾燥過程で部材が剥離するおそれがあった。

トレハロース法については耐湿性や強度がPEGより優れる点、メイラード反応や溶液の劣化が生じにくいとされる点、鉄製品についての先行研究からも有効性が高いと考えられたが、溶液が酸性化した場合の銅製品の腐食リスクは報告がなく、検証すべき課題であった。このため、腐食銅板と出土木材サンプルを用いた処理実験を行った。

使用した試料は銅板（ケニス製）に塩類（塩化ナトリウム、硫酸アンモニウム）を用いて表面に緑青を発生させた腐食銅板３種類と、遺跡出土の木材破片である。これらをPEG#4000BCP 40wt%水溶液、トレハロース40brx%水溶液、純水にそれぞれ浸漬させ、温度条件などを変えながら試料の状態変化とpHの変動を経過観察した。



PL.1 試料の実験風景

3. 実験結果

半年間の含浸実験の結果、PEG溶液は腐食銅板の浸漬中に溶液の褐変と酸性化が生じ、木質を加えて加熱後はさらに溶液の褐変と酸性化、銅板の緑青溶出が進んだ。溶液がpH5程度まで

下がると緑青が溶出するが、長期の加熱含浸では銅板の一部に新たな腐食が生じた。

トレハロース溶液では腐食銅板の浸漬中はわずかに溶液が青く着色する程度で、木質を加えて加熱後も当初は安定していたが、加熱温度を 65℃まで上げると急速に溶液が酸性化し、銅板の緑青が顕著に溶出して失われた。長期の加熱後は、PEG よりも顕著に溶液の褐変や銅板の再腐食が進んだ。pH は３～４程度と強い酸性を示した。対照試料の純水は最終的に若干の pH 低下にとどまった。

3. 処理条件の考察と実践

上記の結果から、トレハロースは通常安定した物性を有するが、条件・期間によっては顕著な pH 低下により、銅製品の腐食リスクが示された。対策として、温度条件を最高でも 60℃以下にとどめ、溶液の酸性化を抑制＝銅製品の腐食劣化を抑制しながら、短期間で含浸するのが重要と結論付けた。



PL.2 保存処理後の遺物

この結果にもとづき、実際の出土遺物は常温で 40％程度まで含浸後、50℃～60℃に加温して最終含浸濃度 55％～60%で取り上げた。濃度が低いため 10℃以下～−10℃の低温で結晶化を促し、さらに真空凍結乾燥で残存水分を除去した。その後は風乾と表面処理を行った。

追試験として、遺物の含浸溶液（pH５～６程度）について、イオンクロマトグラフィーで分析したところ、複数の有機酸に由来するピークを検出した。銅イオンと木質有機質の存在下においてトレハロースが分解し、有機酸を生成したと推測される。

今後は有機酸の定量分析や、処理条件の改良などに取り組みたい。

PL.3 腐食銅板と木質の含浸実験結果

サンプル群	試料の初期状態	1.PEG#4000 40wt%水溶液	2.トレハロース40brx%水溶液	3.純水浸漬
銅板A NaCl 3%水溶液浸漬腐食加工	黒色皮膜状・わずかに青白色腐食	加熱で溶液の褐変、沈殿 木質添加後に緑青やや溶出	加熱後しばらく褐変なし 木質添加後にpH低下と緑青溶出進む 長期加熱で褐変と銅板の再腐食	加熱で沈殿と酸化物 木質添加後にわずかに褐変
銅板B (NH4)2SO4 3%水溶液腐食加工	黒色皮膜・緑青色～青色の細粒状腐食	加熱で溶液の褐変 木質添加後に緑青溶出顕著	加熱後しばらく褐変なし 木質添加後にpH低下と緑青溶出進む 長期加熱で褐変と銅板の再腐食	木質添加後にわずかに褐変
銅板C NaCl 3%+(NH4)2SO4 3%混合水溶液腐食加工	厚い黒色皮膜・青色の鱗状腐食	加熱で溶液の褐変	加熱後しばらく褐変なし 木質添加後にpH低下と緑青溶出進む 長期加熱で褐変と銅板の再腐食	木質添加後にわずかに褐変
銅板D 腐食加工なし	ブラスト研磨・脱脂洗浄のみ	加熱で溶液の褐変、沈殿 長期加熱で銅板腐食	加熱後しばらく褐変なし 木質添加後にpH低下 長期加熱で褐変と銅板の腐食	加熱で沈殿と酸化物 木質添加後にわずかに褐変
①腐食銅板のみを溶液に浸漬、常温10日間 → ②溶液を65°Cに上げて10日間加熱 → ③出土木材破片を添加し50°Cで14日間加熱 → ④溶液を65°Cに上げて10日間加熱 → ⑤さらに３ヶ月の加熱継続後		初期pH6→ph4.5～5付近	初期pH7→pH5→pH3～4付近	初期pH7→ph5.5付近

謝辞：本発表は港区教育委員会の資料提供のご協力によります。ここに感謝の意を表します。

臼杵磨崖仏における雨水対策工事とその効果

Confirmation of rainwater countermeasure work and its effects at Usuki Cliff Buddha

○芳賀 文絵(東京文化財研究所)、朽津信明(同左)、鎌谷涼平(臼杵市教育委員会 文化・文化財課)

○HAGA Ayae, KUCHITSU Nobuaki (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), KAMATANI Ryohei(Usuki City Board of Education Culture and Cultural Properties Division)

1. はじめに

国宝・特別史跡臼杵磨崖仏は阿蘇熔結凝灰岩の崖面に彫刻された石仏群である。これら磨崖仏の一部で凍結破砕や塩類風化による劣化進行が課題となり、覆屋の設置と磨崖仏背面に流れる伏流水の制御のための工事、風化により生じた剥落片の貼り戻し作業が行われてきている。特にホキ石仏第二群第一龕においては、地下水排水工事、覆屋設置等の工事を経て環境改善が試みられてきた。それらの工事後、現在の含水率上昇要因が、雨水が表流水となって同龕南側から浸入するためであると判明し、第3期工事にて覆屋に袖壁を設置した。ここでは、当該工事後に環境調査を行った結果と、今後の運営への調査結果の活用について報告する。



図1 測定地
a．土壌含水率測定場所
b．仏体接触部含水率測定場所

2. 調査方法

調査は土壌水分センサーを使用した。特に水分量が多く、周辺環境からの影響が確認されてきた龕南側空洞部の非熔結部土壌（**図1a**、以下土壌含水率）と仏体への影響を確認するため仏体下部（**図1b**、以下仏体接触部含水率）の体積含水率（以下含水率）を計測した。また、現地覆屋施設背面に設置されている側溝排水ドレン(**図2**)からの排水量を簡易的に計測した。調査期間、調査機器等について**表1**に示す。比較対象には、臼杵地域雨量観測所(臼杵市大字諏訪字北ヶ迫)における降水量を使用した。



図2 測定地遠景
側溝排水ドレン採水箇所

表1 調査期間と調査方法

調査期間	2021年10月20日～2022年10月2日
含水率計測	土壌水分センサー（TDR方式）TRIME-ES
排水ドレン　排水量計測	100mlカップが満水となるまでの秒数の2回の平均値を記録

3. 結果及び考察

3−1. 土壌含水率と降水量の比較

土壌含水率の調査結果を**図3**に示す。土壌含水率には、明確な日変動は確認されず、また1日積算降水量40㎜、最大時間降水量24㎜程度までは、著しい変動が確認されなかった。**1**に示した防水施工が十分に効果を示し、磨崖仏が存在するエリアへの降雨の影響少ないことが明らかになった。ただし、著しい変動はなくとも、3日間の積算降水量が10㎜を超えると、含水率の変化が確認されるようになり、3日間の積算降水量が約50㎜となると含水率の増加が確認された。加えて、調査期間中に発生した大雨（2022年9月19日から20日にかけての台風14

号被害、1 時間降水量 33 ㎜、1 日積算降水量 160 ㎜）の際には急激な含水率上昇を計測した。

調査期間中含水率の急激な変化が確認されたのは上記大雨時のみであったため、安易な判断はできないが、1 日積算降水量 50 ㎜前後までは降雨の影響を著しくは受けないと考えられる。



図 3　土壌含水率と臼杵市降水量

3−2. 仏体接触部含水率の調査結果

仏体接触部含水率は、この度の調査では降水量よりも、降雨継続時間の影響をより受ける結果となった（**図 4**）。1 日の降雨継続時間が約 5 時間を上回ると、含水率の上昇が確認された。また、仏体接触部含水率は土壌含水率では確認されなかった日変動が確認され、おおよそ朝 8-9 時に日最大値を示し、その後 14-15 時頃に日最小値を示した。ホキ石仏第二群第一龕は東に面しており、含水率の日変動は、仏体表面に日射があたることによる温度上昇等の影響を受けたために生じたと考えられ、土壌や周辺環境からの水分移動による影響とは異なると予想される。

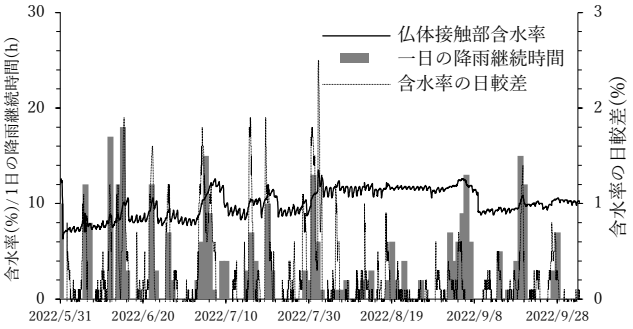


図 4　仏体接触部含水率と臼杵市の 1 日降雨継続時間

降雨による影響は、本調査期間中の最大降雨（2022 年 9 月 19 日）であっても仏体接触部含水率では確認されなかった。上記程度内の降雨であれば、周辺土壌等からの直接的な水分供給はみられず、龕内部の仏体が外部の降雨環境からは一定程度隔離されていることが改めて確認された。

3−3. 現地側溝排水量と土壌含水率の比較

側溝排水ドレンからの排水量調査は、降雨量により排水量が異なることを体感してきた現地職員からの発想によるものであり、特別な機器等がなくとも周辺環境から龕内部への影響を確認できる方法である。排水量は、この度の土壌含水率調査結果と、特に含水率上昇時等に類似した傾向を得ることができた（**図 5**）。一部測定値が土壌含水率調査結果と異なる調査点については、今後検証が必要となるが、土壌含水率の傾向を得る手段として活用できると判断できた。

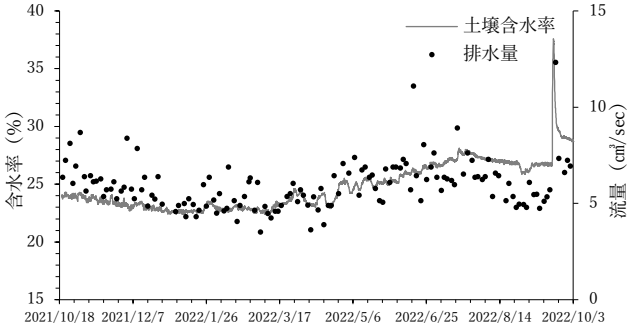


図 5　土壌含水率と現地側溝排水量

4. おわりに

この度の調査で、ホキ石仏第二群第一龕の第 3 期工事により、龕内、石仏表面に対して雨水の影響を非常に小さくできたことを確認することができた。特に仏体接触部の調査により、調査年の最大降雨時においても、仏体付近への降雨影響が小さいことが明らかになった。今後の保存活用においては、1 日積算降水量 50 ㎜を前後に土壌含水率変化が生じることから、これ以上の降雨が生じた場合は、磨崖仏周辺環境について注意喚起することで、土壌からの水分については安全に文化財資料を管理することができると考えられる。さらに温湿度、照度の定期測定とともに、引き続き側溝における排水量を定期的に計測することにより、土壌含水率の傾向を得ることが可能であることとも明らかになった。

参考文献　臼杵市(2021).『国宝臼杵磨崖仏保存活用計画』

木質材料の循環的活用による省エネ型文化財保存環境構築のための基礎調査（１）－空間の気密性と木質材料の温湿度への影響について－

Basic investigation of energy-saving cultural property preservation environment by circulating system of wood-based materials (1)

-Temperature and humidity survey results by airtightness of space and wood installation-

○芳賀　文絵 (東京文化財研究所)、及川　規 (宮城学院女子大学)、
森谷　朱 (東北歴史博物館)、嵯城　花佳 (同左)
○HAGA Ayae (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), OIKAWA Tadashi (Miyagi Gakuin Women's University), MORIYA Aya, SAJO Hanaka (Tohoku History Museum)

1. はじめに

木材の調湿性を活用した収蔵環境構築の取組みは行われているが、特に無人収蔵施設においては時間の経過とともに高湿で安定するという問題点があり、発表者らはその点を改善する方法を検討している。今回、モデル空間を作製し、そこに木質材料を設置した場合の温湿度挙動について調査することとした。それに先立ち、実際の施設空間やモデル空間の換気回数を測定し、実験条件を策定した。本報告では、これらにおいて得られた知見を報告する。

2. 属性の異なる空間の換気回数の調査

温湿度の挙動は当該空間の気密性に大きく依存すると考え、まず実際の属性の異なる空間の換気回数を調査した(**表 1**)。換気回数は、一般室、教室はほぼ建築基準法の指針値(0.5 回/h)に近い値を示した。それに対し、収蔵庫施設はいずれもかなり小さい値を示した。この度調査を行った収蔵庫施設は、老朽化しているものの一般室と比較して高い気密性を保持していた。

表 1 属性の異なる空間の換気回数*1

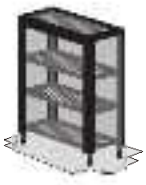
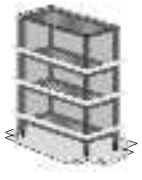
空間	収蔵庫 1*2	収蔵庫 2*3	一般室 A*4	教室*5	(参考　教室)*6
換気回数(回/h)	0.07	0.11	0.52	0.58	2.4-4.6

*1　JIS A1406 に準じて実施した。*2　旧文化財施設の収蔵庫 5.8×9.8×4.4 m、250.1 m³ 扉 1 箇所. *3 収蔵庫 1 と同じ旧文化財施設の収蔵庫 6.0×10.2×4.4 m、269.3 m³扉 1 箇所. *4 収蔵庫 1 と同じ旧文化財施設の一般室 4.3×2.7×2.8 m、32.5m³扉 1 箇所・窓あり　*5 文化財の収蔵施設と使用している廃校の教室 7.7×8.4×3.0 m、197.3m³、扉(引き戸)2 箇所、窓あり　*6 文部科学省学校環境衛生管理マニュアルでの推奨値

3. 気密化仕様の異なるモデル空間の換気回数と湿度変動挙動の調査

木材設置による湿度環境変化について検証するために、モデル空間を作成した。金属製シェルフ(943×500×2028mm)を骨格とし、2 枚のポリ塩化ビニルシートルを上から十字に被せモデル空間とした。被覆の仕様を変えて換気回数を測定した(**表 2**)。

表 2 モデル空間仕様

種類	a. 全面封止	b. 床上 10 cmから封止	c. バンド固定	d. バンド固定(嵩上げ)
条件	床面含め全体を養生テープで封止	床から 10 cmより上を養生テープで封止	樹脂バンドによる締め付けのみ	同右(キャスターまたは台にて床面より 12 cm嵩上げ)
換気回数 (回/h)	0.005	1.25	1.66	4.29
				

次に、モデル空間の外側の湿度が変動した場合の、モデル空間内の挙動について調査した。

モデル空間を恒温恒湿槽内に設置し、温度一定(23℃)で、相対湿度を 6 時間間隔で 50→80→50%RH と変化させた(**図 1**)。実測値と、換気回数による水分収支式から予測される相対湿度の値を**図 1** に示した。

モデル空間内部の湿度の応答速度は気密化の仕様により異なった。[d]ではほぼ外部の湿度に連動した。一方換気回数が小さい[b]では除湿局面で、換気回数から計算された値よりも湿度低下の遅れが大きくなった。一旦加湿されてしまうと除湿に時間を要する可能性があることが示唆された。

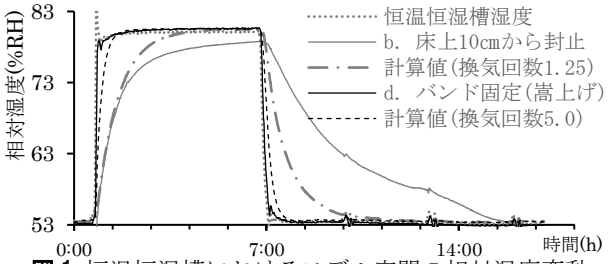


図 1 恒温恒湿槽におけるモデル空間の相対湿度変動

4. モデル空間における温湿度及び木材設置効果の調査

モデル空間における温湿度の挙動と木材設置効果を検証した。モデル空間は、**表 2** [d] の仕様(廃校などの教室をそのまま収蔵施設として利用する場合を想定し、文科省の指針値に近い換気回数)とし、**表 1** の一般室 A(以下実空間)に設置した。木材は、スギ板(12×150×800 mm)5 枚を 1 組とした(**図 2**)。モデル空間を 3 つ設定し、それぞれ木材なし(木 0)、木材 10 組(木 10)、20 組(木 20)として、木材をモデル空間内に置いた。



図 2 木材の組み方

4−1. 温湿度の挙動

結果を**図 3** に示す。実空間とモデル空間(木 0)の測定値の最大較差は、温度は±0.6℃に対し、湿度は±7.5%であった(調査全期間中)。特に高温期における木 0 内の湿度は明らかに実空間より高く、**3** の調査結果と同様に除湿されにくい傾向を示した。逆に低温期には実空間よりも低湿度傾向であり、気密化の方法には注意が必要であった。

4−2. 木材設置効果

木材の設置効果について、木 0 と木 10、20 を比較すると、木材を設置した場合の湿度平均値は実空間や木 0 よりも 1〜2%RH 程度低く、相対湿度日較差も小さかった。しかし月平均値は常に 65 %RH 以上となり、文化財の保存のためには高湿であり、木材設置効果を十分に示すには今回の気密化仕様(文科省推奨換気率の教室を収蔵庫として使用する場合)では困難と考える。

木材「量」については、設置木材が乾燥状態から一定量吸湿するまでは、相対湿度は木材量が多い方が湿度低減効果が大きかったが、その後は木材量による違いは確認されなかった。木材量は、一定量吸湿するまでの期間には影響するが、その後の低湿維持期間の持続や、湿度変動抑制等には効果が確認されなかった。木材設置による文化財の保存に適した湿度の維持には一定量吸湿するまでの期間の制御が課題と考える。

5. おわりに

本報告では、モデル空間被覆仕様のちがいによる気密度、温湿度の挙動の差、木材を設置した場合の効果について調査した。木材設置が一定期間湿度低下及び安定性に寄与することが改めて確認されたが、文化財収蔵のための湿度としては、高湿となった。今後は、その点を改善し、長期間「適湿」を維持することを目指し、空間の気密性、設置木材量や設置時期等に着目し検証する予定である。

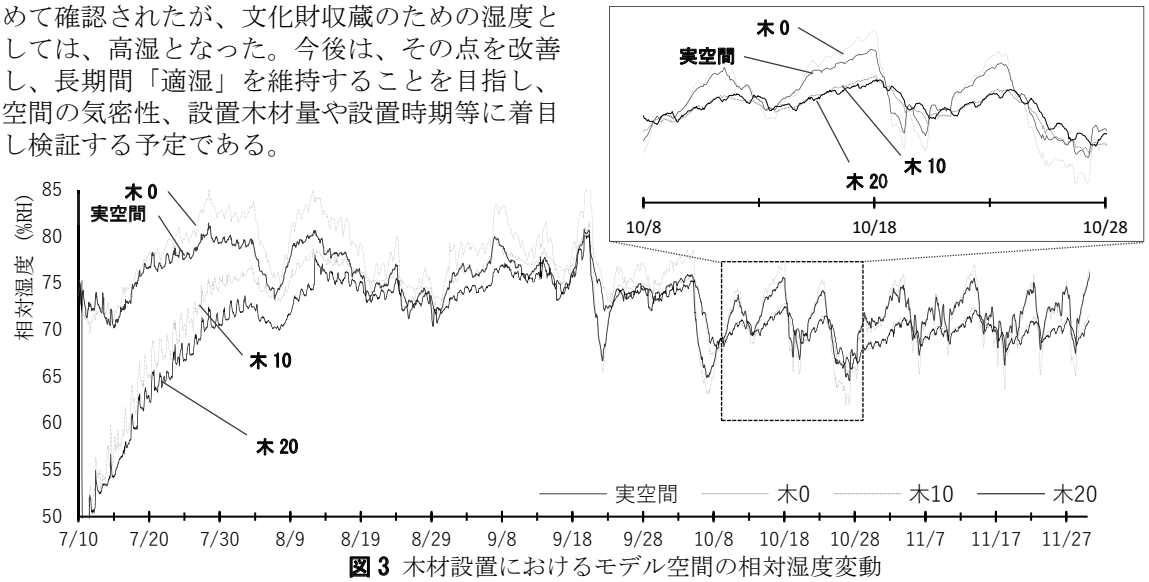


図 3 木材設置におけるモデル空間の相対湿度変動

【謝辞】本研究は JSPS 科研費 JP22K12509 の成果の一部を含んでいる。ここに記して感謝いたします。

保存処理後に劣化した木製品の再処理の試み
－PEG 処理した鎌倉市遺跡出土木製品の場合－
Attempts to Re-conserve Wooden Objects with Advanced Deterioration after Conservation Treatment
－PEG-Treated Wooden Object Excavated from Kamakura City－

○植田直見（元興寺文化財研究所）、川本耕三（同左）、山口繁生（同左）、
米澤雅美（鎌倉市教育委員会）、永田史子（同左）、北野信彦（龍谷大学）
Naomi UEDA, Kozo KAWAMOTO, Shigeo YAMAGUCHI（Gangoji Institute for Cultural Properties）
Masami YONEZAWA, Fumiko NAGATA (Kamakura City Board of Education),
Nobuhiko KITANO (Ryukoku University)

1. はじめに

鎌倉市武蔵大路周辺遺跡出土木造地蔵菩薩立像（以下立像）は 14 世紀後半ごろの池状遺構から出土し、ポリエチレングリコール 4000（以下、PEG）で保存処理が行われたが、経年変化によりその一部が白色化し、白色部分の強度の低下が観察された。

再処理のためには立像の状態を把握することが必要であった。そのための調査や分析を行い、その結果を基に、立像の安定化に向けた処理方法を検討し、実施した。

2. 調査・分析

当初、立像を入れた容器の底には黄色の液体が溜まっており、立像は空気中の水分を吸湿し、表面がべとついた状態であった。そのまま放置するとさらに吸湿し、含浸された PEG が溶け出す恐れがあった。また、酸性臭を発していることより PEG の劣化が懸念された。そのため、密閉容器に立像とシリカゲルを封入し脱水しながら、必要な調査・分析を行った。

2-1. 表面状態の観察



図１．乾燥前後の立像（左：脱水前、右：脱水後）

図１に脱水前後の立像を示した。立像は約１か月後には表面のべとつきは無くなったが、水を含み濡れ色であった部分は水分の減少に伴い、白色に変化した。白色部は表面の質感が本来の材質とは異なり、劣化により柔らかくなっていることが確認できた。その後 23 か月間、重量減少は続いたが、表面状態や形状の大きな変化は確認できなかった。

2-2. 重量変化

立像の重量変化を測定することで、水分の減少を確認した。結果を図２に示す。当初 146 g 余りの重量は、約 1 か月後には約 141 g となり、その後も重量減少は進み、減少がほぼ確認できなくなる（131 g）まで、約 23 か月を要した。

2-3. 赤外分光分析

含浸された PEG が化学変化を起こしているかどうかを赤外分光分析により調べた。分析は全反射フーリエ変換型赤外分光光度計（パーキンエルマー製 Spectrum Two）を使用し、検出器 $LiTaO_3$、分解能 $4cm^{-1}$ で測定した。その結果、新たな位置に吸収が確認され、ピークのブロード化が見られたことより、PEG の劣化が進行していることがわかった（図３）。

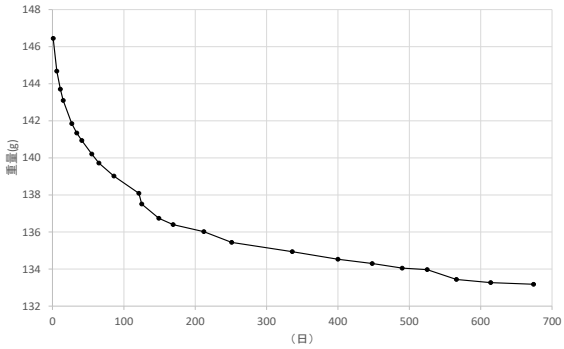


図２．立像の重量変化

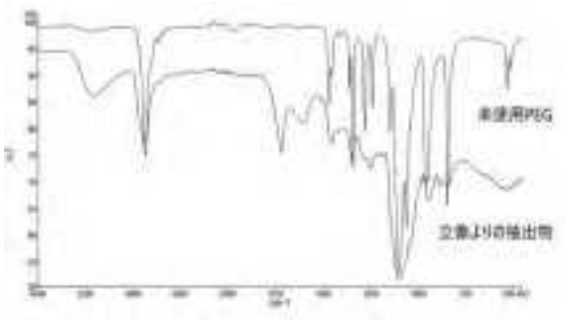


図３．立像抽出物の赤外吸収スペクトル

2-4. ATP 拭き取り検査

立像の白色部分が腐朽菌などによる生物的な劣化であるかを調査するため、ATP 拭き取り検査を実施した。資料の表面を足、上半身、顔の 3 か所に分けて拭き取り、評価した結果、数値はさほど高い値ではなかったが、白色部と褐色部で明らかに差が見られたことより、腐朽菌の存在が疑われた。

3. 再処理

観察や分析から再処理が必要であることが分かった。しかし、水溶性の薬剤を使用した水系の処理法は腐朽菌の活動を再び活発にさせる可能性がある。そこで、立像に含浸された PEG を除去し、代わりに非水溶性の薬剤を含浸、強化する方法を選んだ。PEG は非水系の有機溶剤にも溶けるため、非水系有機溶剤や含浸薬剤を用いた処理法での再処理を検討した。

除去する薬剤（PEG）と新たな含浸薬剤の両者を溶解させる溶剤としてクロロホルムを選択、含浸薬剤は脂肪酸エステルを用いた。方法を以下に記す。

② 立像をクロロホルムに浸漬し、内部の PEG を除去、数回繰り返す。
③ 室温でクロロホルムに脂肪酸エステルを溶かし 20%溶液とし、立像を浸漬する。
④ クロロホルムを徐々に蒸発させながら、脂肪酸エステルを少しずつ投入する。
⑤ 脂肪酸エステル溶融液(65～70℃)に浸漬、クロロホルムと脂肪酸エステルを置換する。
⑥ 溶融液から取り出し、クロロホルムを蒸発させた後、クロロホルムでの表面処理を行う。

以上、立像中の PEG をほぼ除去後、脂肪酸エステルを含浸し、安定化することができた。

文化財建造物における障壁画の保存・公開に関する研究

－二条城二の丸御殿における模擬障壁画周辺の温湿度環境の実態把握－

Study on conservation and exhibition of Wall Paintings in Cultural Properties

-Evaluation of the hygrothermal environment around the mock wall painting inside the Ninomaru-goten Palace of Nijo-jo Castle-

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

◯Nobumitsu TAKATORI, Rintaro OTOMORI, Daisuke OGURA (Kyoto University),
Tomoaki OKAMURA (Kyoto city), Hiromi TAKABAYASHI (Kyoto City University of Arts),
Keiko KIDA (Tokyo University of the Arts)

1. はじめに　本研究ではこれまで二条城二の丸御殿白書院の廊下にて、実際の障壁画を模した模擬障壁画を設置し、その暴露環境が絵の変褪色に与える影響の検討を行ってきた[1][2]。本報告では、模擬障壁画を取り巻く温湿度環境として、模擬障壁画の表面温度や下地内部の温湿度、障壁画に入射する日射量、廊下空間の温湿度やその放射環境について環境計測を行った。

2. 測定の概要　測定の概要を図 1 に示す。測定は 2023 年の 7 月 18 日から 8 月 3 日の期間に実施した。障子は日射の透過の大部分を抑制するが、熱容量が小さく温度が上昇しやすい。模擬障壁画を取り巻く放射環境は複雑なものになると考え、廊下空間の温湿度に加え、障子の紙および木部、床の表面温度の測定を行った。また、組子下地内部の温湿度の測定も併せて行った。

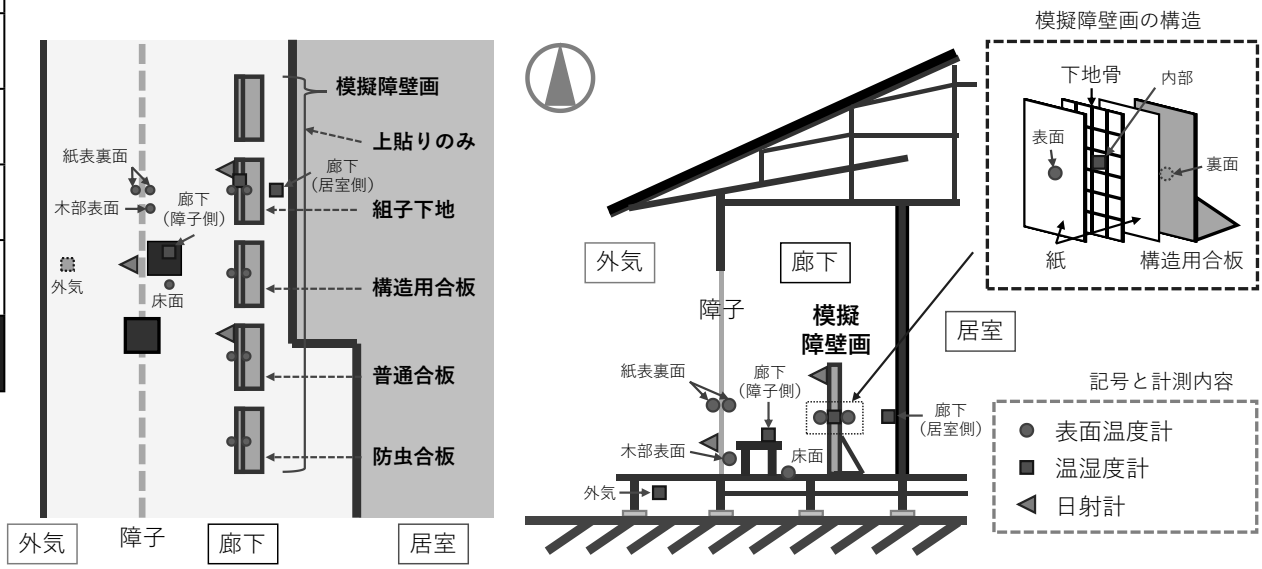


図 1　廊下空間の環境計測の概要（左：平面図、右：断面図）

3. 測定結果と考察　代表例として、2023 年 7 月 29 日から 31 日までの温度・絶対湿度と相対湿度の結果を図 2，図 3 に示す。また、晴天日である 7/29 の結果を図 4 に、曇天である 7/31 の結果を図 5 に示す。なお、二条城では夜間は雨戸が閉まっており、本測定期間中では 8 時半頃から 16 時半頃まで雨戸が開いていた。考察を以下に示す。１）組子下地内部の相対湿度変動は廊下空間に比べ緩やかであった。一方で、絶対湿度の変動傾向は廊下空間と大きく異なるため、下地骨などの構造材や紙からの吸放湿が強く作用していると考えられる。２）障子の紙表面は、廊下空間と比較すると日中温度が高く、夜間は低くなる。夕方は西日により、日中は地表面の反射日射により温度が上昇するものと考えられる。３）夜間は、外気より城内の温度が高くなっている。建物の熱容量あるいは雨戸を閉じたことによる気密性の向上の影響が考えられる。

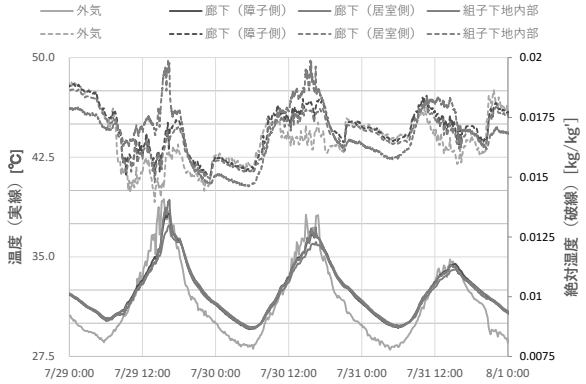


図 2　温度・絶対湿度の測定結果（7/29～7/31）

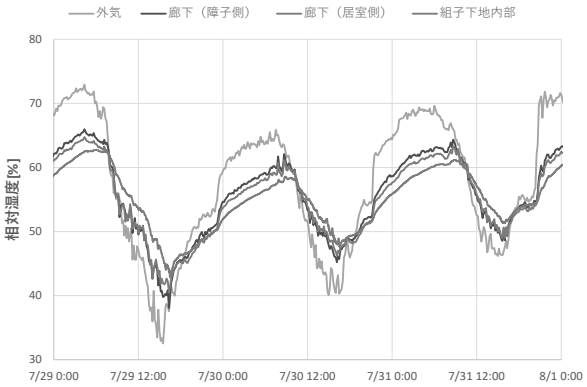


図 3　相対湿度の測定結果（7/29～7/31）

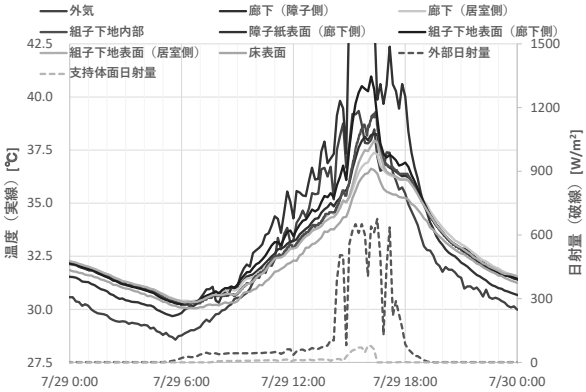


図 4　晴天日の温度・日射量の測定結果（7/29）

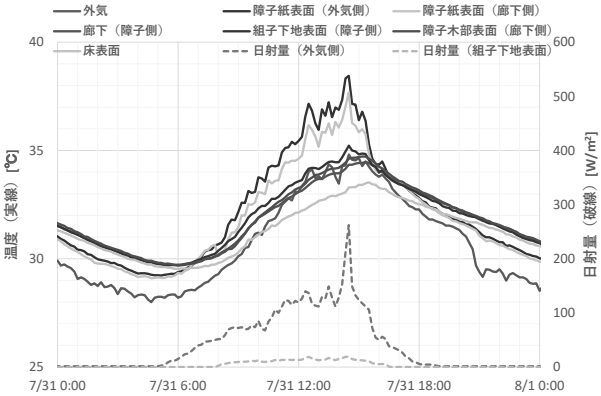


図 5　曇天日の温度・日射量の測定結果（7/31）

4. まとめ　本研究では二条城二の丸御殿白書院の廊下に設置した模擬障壁画を取り巻く環境測定の結果を示した。廊下内に入射する日射は障子により遮られるが、日射熱による障子の紙部分の温度上昇は著しく、廊下空間の放射環境に影響を与えること、組子を下地とした模擬障壁画内部の相対湿度変動は緩やかであり、構造材や紙からの吸放湿が寄与することを明らかにした。

【謝辞】本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究（B）(課題番号: 21H01491、研究代表者：小椋大輔)の助成を受けたものである。また、二条城二の丸御殿白書院の環境計測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] 髙取ら，“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―”日本文化財科学会第 38 回大会，pp.198-199, 2021, [2] 乙守ら，“文化財建造物における障壁画の保存・公開に関する研究―実環境下における障壁画の熱湿気性状を考慮した絵具の変褪色要因の検討―”，日本文化財科学会第 39 回大会，2022

須賀川特撮アーカイブセンター収蔵映画フィルムの保存に関する調査

Case Study for Conservation of Movie Film in Sukagawa Tokusatsu Archives Center

〇佐々木淑美（東北芸術工科大学）、竹谷優菜（同）、井戸博章（同）
〇Juni SASAKI, Yuna TAKEYA, Hiroaki IDO (Tohoku University of Art and Design)

1. はじめに

須賀川特撮アーカイブセンター（福島県須賀川市）が収蔵する映画フィルムの中には、酢酸臭、フィルムの縮み、反り、捩れ、べたつきなどが生じたフィルムが混在している。TAC（トリアセテートセルロース）ベースフィルムは、経年や加水分解により劣化（ビネガー・シンドロームを発症）することが知られている。そこで、適切な保存方策を検討するために、A-D strips を用いた劣化程度の分類と各種吸着剤の検討を実施したので、その結果と今後の保存方策について報告する。

２．須賀川特撮アーカイブセンター収蔵映画フィルムと調査の概要

須賀川特撮アーカイブセンターには、約 600 点もの映画フィルムが収蔵されている。1987 年から 2009 年に撮影された特撮作品の 16 ㎜フィルムや 35 ㎜フィルムで、多くがビニール袋に包まれ保存缶に収められた状態で、温度 20℃、相対湿度 50%程度に空調管理された閉架資料室で保管されている。



図 1 フィルム調査の様子

保存缶も様々な形状、状態のものが混在しており、フィルムも、主に 1950 年代から 90 年代に使用された TAC フィルムと、それ以降に使用された PET（ポリエステル）ベースフィルムの両方が混在していると考えられるが、各フィルムベースの材質は識別されていない。

調査は、令和５年３月 15 日、16 日の２日間で実施した（図１）。対象としたフィルムは、計 109 点で、公開年不明のフィルム 86 点と、1992 年公開フィルム５点、1994 年公開フィルム１点、1995 年公開フィルム１点、1994～1995 年公開フィルム２点、1996 年公開フィルム２点、1997～1998 年公開フィルム５点、1998 年公開フィルム８点、2001 年公開フィルム１点であった。

まず目視で、TAC ベースフィルムと PET ベースフィルムとを判別し、外箱と保存缶、フィルム、一緒に入っているメモ書き等をすべて写真撮影した（図 2)。

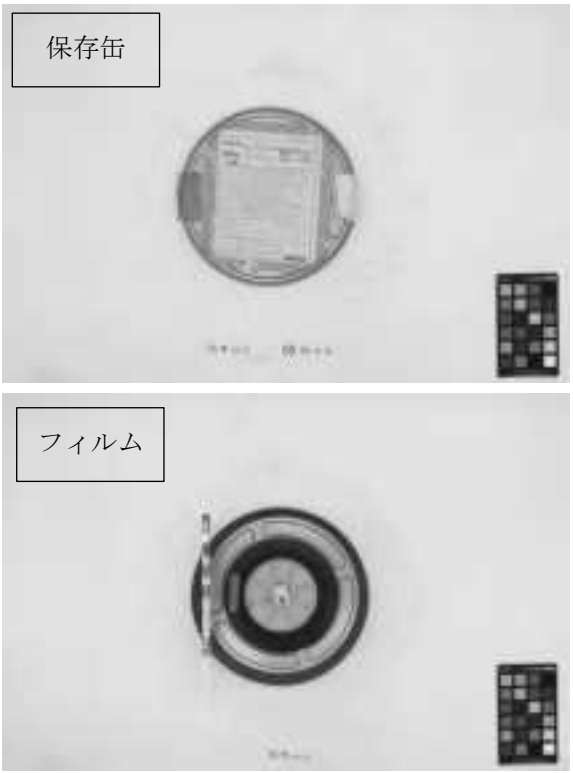


図 2 調査例（1994-1995 年, TAC フィルム）

３．フィルムの劣化と各種吸着剤の検討

ビネガー・シンドロームを発症したフィルムは、フィルム自身が発する酸化ガスによってさらに劣化が進行し、周囲の健全なフィルムにも影響を及ぼしてしまう。したがって、劣化度に応じて分けて保管し、劣化の進行が顕著なものからデジタル化するなどの検討が必要である。

空気中の酢酸濃度の計測では、個別のフィルムの劣化度を判定することは難しい。そこで、フィルム調査では、A-D Strips を使用した劣化程度の分類を行うことが多い。A-D strips は、劣化したフィルムが発する酸の検出のために開発されたもので、ph 指示薬がコーティングされている用紙を 24 時間フィルムの上に置き、空気中の酸を計測し、その色調変化から劣化度を４段階で判定する。リトマス試験紙のように水分を用いないことから、フィルムに影響を与えず安全かつ局所的に酢酸濃度を計測でき、日本でも、国立国会図書館や国立近代美術館フィルムセンター、国立民族学博物館などでフィルム調査に使用されている。この A-D strips から判定したフィルムの劣化度に基づき、フィルムを分類し、特に劣化程度が高いフィルムについては他フィルムから隔離するよう提案した。

また、フィルムの保存方策としては、酸吸着剤や調湿材の利用が検討される場合も多い。モレキュラーシーブやポリアクリル酸ナトリウム、シグロプロ、炭酸ナトリウム、シリカゲル等がどの程度酢酸濃度を低下させるのかを実験し、実際に利用可能かどうかを検討した。

４．課題と今後の展望

A-D Strips による分類の結果、劣化程度が高いものについては、他のフィルムから隔離することを提案したが、判断が難しいのが、劣化程度が中程度、つまり劣化が進んでいるが顕著ではないフィルムの保管方法である。かなりの数がこれにあたり、限られたスペースである資料室内では健全なフィルムと分けて保管することは難しい。実験から、炭酸ナトリウムや市販品の高吸水・高吸湿繊維乾燥剤による酢酸除去効果が高いことを確認した。より詳細な実験を継続し、適切な酸吸着剤の提案につなげたい。

法隆寺金堂飛天壁画下地の模擬材料を対象とした圧縮・引張強度と弾性率の測定

Measurement of compressive and tensile strength and elastic modulus of simulated substrate material of wall paintings Hiten at Kondo in Horyu-ji Temple

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

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

1. はじめに

温湿度変動が原因となる文化財資料の劣化現象として，吸放湿性をもつ材料から成る資料の機械的損傷が挙げられる．材料内に温度・含水率の分布がある場合や，膨張・収縮率が異なる材料が接着される場合，材料同士が互いの変形を拘束して応力が生じ，損傷につながる．このような文化財の損傷を予測するために，資料の構成材料の機械特性を把握する必要がある．本研究では法隆寺金堂飛天壁画の損傷予測に用いるため，下地白土を模擬した試験体を作成し，割裂試験により引張強度を，圧縮試験により圧縮強度，Young 率，Poisson 比を取得する．

2. 法隆寺金堂飛天壁画の下地模擬材料

壁画の現状と壁体構成については前報[1]を参照する．壁画下地の白土については，文献[2-4]により材料が推測できるが，それらの構成比は不明である．また，白土は土粒子間のメニスカスにより構造が支えられるため，水分状態による機械特性の変化が予想された．本研究では材料配合率と平衡湿度を変えた 36 通りの試験体を作成し，機械特性をそれらの関数として近似した．

3. 模擬白土を対象とした割裂試験と圧縮試験

原理と試験体　割裂試験，圧縮試験の原理はそれぞれ地盤工学会基準 JGS 2551-2020，JGS 2521-2020[5]を参照する．両試験とも試験体は円柱形とし，半径は約 30mm，割裂試験では高さ 35mm，圧縮試験では 55mm とした．材料には化学的成分が近いとされる天草陶石を使用した．材料配合率は天草陶石に対する質量で紙スサが 0，1，3%，米糊中の米成分が 0.5，1，2%の組み合わせで 9 通りとした．平衡湿度は 0%RH とみなす炉乾(105℃で 2 週間以上)と 33，53，84%の 4 通りとした．合計 36 通りの組み合わせに対し，N 数は割裂試験，圧縮試験でそれぞれ 5，3 体とした．

試験装置と方法　両試験とも容量 5kN の力学試験機(EZ-LX，島津製作所)を用いた．Poisson 比取得のため，圧縮試験用試験体には 2 軸のひずみゲージを接着した．載荷速度は割裂試験，圧縮試験でそれぞれ 0.1，0.05mm/min とした．割裂試験では，手違いにより一部の試験体で 1mm/min で試験を行った．本研究では載荷速度による影響は小さいと考え，結果を合わせて示している．それぞれ試験開始から 10，20 分後に底面，側面の割れを確認して載荷を停止した．

試験結果　割裂試験で紙スサなしの場合，変位/直径に対する試験力は直線的に増加した後，速やかに減少した(図 1(a)，[註])．一方，紙スサありの場合，変位/直径に対する試験力が極大値ののちに再度上昇または傾きが減少しつつ上昇し続けた(図 1(b)，(c))．本研究では前者については最大試験力，後者については初期の傾きの直線から変位/試験力が 0.1%を超えた時点から引張強度を算出した．圧縮試験では紙スサの有無に関わらず応力-ひずみ関係の傾きが減少した後に最大応力となるか(図 2(a))，傾きが減少しつつ応力が上昇した(図 2(b))．圧縮試験では，いずれも初期の傾きの直線からひずみが 0.1%を超えた時点の応力を強度とした．

材料配合率ごとの引張強度，圧縮強度，Young 率の平均値は，それぞれ 78.5-1170(kPa)，3.58-36.7×10^2(kPa)，3.94-27.4×10^4(kPa)程度となった(図 3-5)．いずれも相対湿度とともに減少する傾向であり，さらに，三者とも紙スサの配合率の増加とともに減少，米成分の配合率の増加とともに増加する傾向となった．いずれの材料配合率・平衡湿度においても引張強度は圧縮強度の 10-43%であり，引張に弱い材料であることが確認できる．表 1 に材料配合率と平衡湿度に依存した引張強度と Young 率の近似関数を示す．また，材料配合率・平衡湿度ごとの Poisson 比の平均は 0.10-0.44(-)であった(図 6)．材料配合率への依存性は明らかでないものの，33%に比べて

84%RH 時に大きくなる傾向であった．表 1 に平衡湿度に依存した近似直線を示す．

4. まとめ

模擬白土を作成し，引張・圧縮強度，Young 率，Poisson 比を取得した．試験体の平衡湿度は炉乾から 84%，材料配合率は土質量に対する紙スサが 0-3%， 米成分が 0.5-2%とし，それぞれの関数として取得した機械特性を近似した．本論文で示した白土に関する知見は，対象とする壁画をはじめ，白土が用いられる他の文化財建物や塑像などの保存，修繕にも適用可能である．

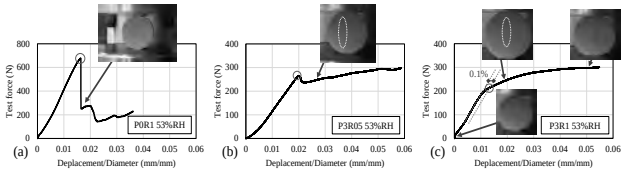


図 1 割裂試験の典型的な試験力-変位/直径関係

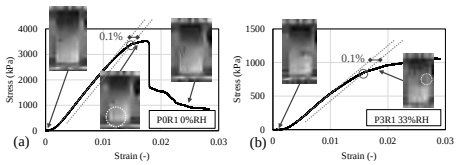


図 2 圧縮試験の典型的な応力-ひずみ関係

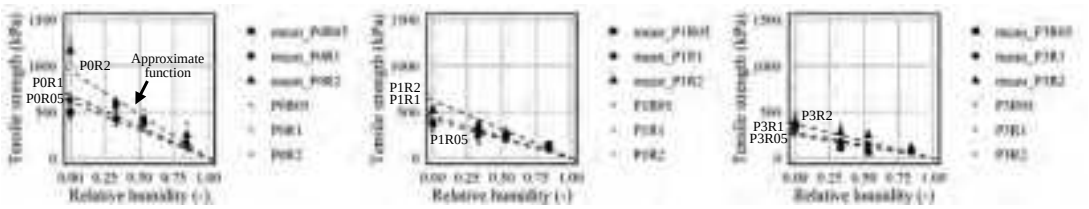


図 3 平衡湿度と材料配合率ごとの引張強度の測定値と平均値

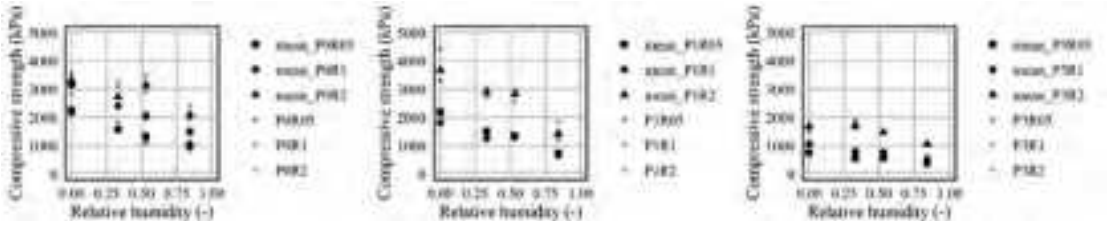


図 4 平衡湿度と材料配合率ごとの圧縮強度の測定値と平均値

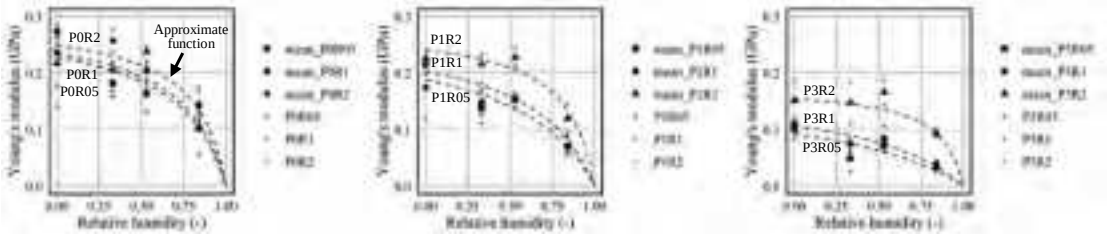


図 5 平衡湿度と材料配合率ごとの Young 率の測定値と平均値

表 1 引張・圧縮強度と弾性率の近似関数

引張強度(kPa) (R^2= 0.85)	$\sigma_{ten} = \alpha(1-h)$
	$\alpha = 589.9 - 229.1p + 38.18p^2 + 88.75r^2 - 38.79pr^2 + 6.466p^2r^2$
Young率(GPa) (R^2= 0.90)	$E = \dfrac{\beta_1(1-h)}{1-h+\beta_2}$
	$\beta_1 = 0.2969 - 0.01346p^2, \beta_2 = 0.3410 + 0.2704p - 0.07377r - 0.1441pr$
Poisson比(-) (R^2= 0.49)	$\nu = 0.2557h + 0.08476$

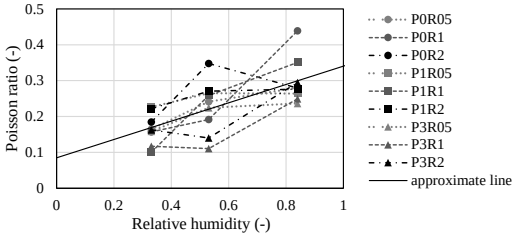


図 6 平衡湿度と配合率ごとの Poisson 比の平均値

※hは平衡相対湿度(-)，p, rは，それぞれ天草陶石質量に対する紙スサ，米の配合率(%)である．

[註]図 1-6 の P は紙スサ，R は米成分を表し，続く数字は土質量に対する配合率を表す．例えば，P1R05 ならば，紙スサ 1%，米成分 0.5%の配合パタンを示す．

[謝辞]本研究の遂行にあたり，法隆寺金堂壁画保存活用委員会事務局の法隆寺，朝日新聞社，文化庁の方々には多大なご協力を賜りました．法隆寺壁画の壁体構成については，立命館大学准教授青柳憲昌博士に助言をいただきました．厚く感謝申し上げます．また，本研究の一部は日本学術振興会特別研究員奨励費(JP22J15027，JP22KJ1975)と JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2110 の支援を受けたものです．併せて厚く感謝致します．

[参考文献][1]石川ら:法隆寺金堂飛天壁画の模擬下地材料を対象とした湿潤・乾燥時のひずみの測定,日本文化財科学会第 39 回大会,P-40,2022.[2]法隆寺國寶保存員会『國寶・重要文化財建造物修理工事報告書集成 補完 4 法隆寺國寶保存工事報告書 第 14 冊 國寶法隆寺金堂修理工事報告』,文生書院,1956.[3]山田:*日本建築学会論文報告集* 1960;**65**:129-134.[4]柴田ら:*日本学士院紀要* 1950;**8**(2):207-211.[5]地盤工学会『地盤材料試験の方法と解説[第一回改訂版]』,丸善出版,2020.

文化財建造物における障壁画の保存・公開環境に関する研究
―温湿度環境に起因する戸襖の反りメカニズムの検討―
Study on conservation and exhibition of wall paintings in cultural properties ―Investigation of the relationship between temperature and humidity changes and warping of sliding doors―

○伊豆藏栞莉（京都大学大学院）、髙取伸光（同左）、小椋大輔（同左）、岡村知明（京都市）
○Shiori IZUKURA, Nobumitsu TAKATORI, Daisuke OGURA(Kyoto University), Tomoaki OKAMURA(Kyoto City)

1. はじめに　本研究では二条城本丸御殿にある戸襖に描かれた障壁画を対象とする。戸襖とは屋内外を仕切る襖のことであり、両面がそれぞれ室内側と外気側に曝されるため、一日を通して温湿度環境が変動しやすく、表面と裏面で温度差・湿度差が生じやすい環境にある。また、戸襖の両面で熱膨張あるいは湿潤膨張・乾燥収縮の度合いが異なることで、戸襖の反りや障壁画の亀裂が生じることが知られている[1]。図１に戸襖の構成の概要を、図２に詳細を示す。戸襖の支持体部分には伝統的に紙のみが用いられてきたが、近年は支持体として合板やカーボンシートを取り入れることが検討されており、その検証が現在求められている。小椋ら[1]は、模擬戸襖を作成し、二室の異なる温湿度を設定可能な二室型環境試験機内で実験を実施し、一方の室の温湿度をステップ変化させることで戸襖の反りを計測した。二室の温湿度を変化させた３つの実験条件を表１に示す。支持体は合板とカーボンの２種類とし、合計６パターンの実験が行われた。この実験より条件１および条件２では戸襖は高湿側が凸に反り、条件３では高温側が凸に反ることが明らかとなった。

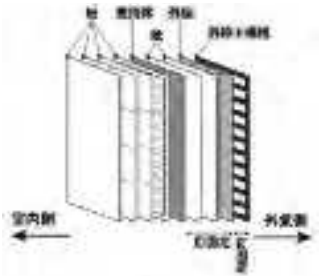


図１ 戸襖構成要素の概要

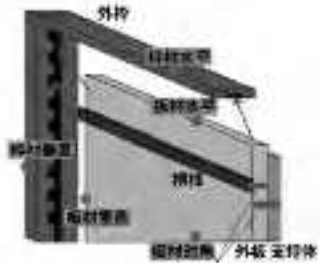


図２ 戸襖構成要素の詳細

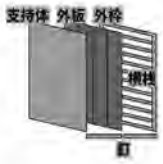
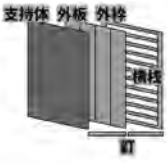
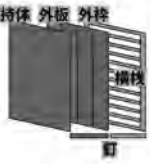
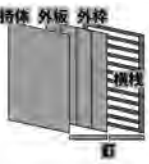
表１ 実験室実験における環境条件

	室内側	外気側
開始前	養生室保管 20℃55%RH	
条件１	20℃50%RH	20℃90%RH
条件２	20℃90%RH	20℃50%RH
条件３	20℃50%RH	40℃50%RH

本研究の最終目標は、文化財建造物内部において保存・公開される障壁画の劣化を抑制することのできる環境調整方法を明らかにすることである。本研究では戸襖の反りに着目し、反りのメカニズムの解明および保存公開に適した戸襖の構成材料及び接合方法を明らかにするため、戸襖の変形解析を行い、建具を構成する各部材の力学的な役割と反りのメカニズムの関係を明らかにする。

２．数値解析概要　戸襖の変形解析には有限要素解析ソフト Abaqus を用い、初期の含水状態からある含水状態へ変化した際の材料の体積膨張・収縮挙動について解析した。本研究では、図２に示すように戸襖の構成材料のうち紙を除いた外枠、支持体、外枠、横桟、それらを繋ぐ釘のみモデル化を行う。表 2 に数値解析の解析条件を示す。戸襖を構成する部材ごとに分け、単一の部材あるいはそれらを組み合わせたモデルについて解析を行った。なお、表１に示す条件１、条件２の環境条件を想定のもと、解析の再現性の検証は合板、カーボンそれぞれを対象とし、戸襖を構成する部材の役割については合板支持体のみを対象とし検討を行った。

表 2 戸襖の解析モデル（検討したモデル部位は茶色で示す）

モデル①外板のみ	モデル②支持体のみ	モデル③外板＋支持体	モデル④外枠のみ	モデル⑤外枠＋横桟
				
モデル⑥ 外板＋外枠	**モデル⑦ 外板＋外枠＋横桟**	**モデル⑧ 外板＋外枠＋横桟＋釘**	**モデル⑨ 全て**	
				

3. 数値解析の結果と考察

3.1 実験結果の再現性の検証 図 3 に表 1 の条件 1 における数値解析の結果と小椋ら[1]の実験結果との比較を示す。合板支持体については反り量の絶対値としては若干の差があるが、水平方向に対する垂直方向の反りの比率など、各部の反りについては概ね一致していると言える。

3.2 外枠による戸襖の反り抑制効果 図 4 に合板支持体の条件 1 における各モデルの反り量を示す。モデル④～⑨の反り量は外板（モデル①）や支持体単体（モデル②）に比べ小さいことが分かる。また、モデル④の外枠のみと、モデル⑤～⑨の外枠と他の部材を組み合わせたモデルでは、反り量は大きく変わらない。これら解析モデルでは外枠が含まれることから、外板や支持体の反りを外枠が抑制していると考えられる。外枠は単体での反り量が小さく（モデル④）他の部材の反りの影響を受けにくいため、戸襖全体の反りの抑制に外枠が大きく影響していると考えられる。

3.3 横桟による戸襖の反り抑制効果 図 5 にモデル④から⑨における解析結果を示す。モデル⑨の比較より、条件 2 より条件 1 の方が反り量は小さい。垂直方向の反りは各条件で等しいことから、この差は水平方向の反りに起因していると言える。また、モデル④と⑤、あるいはモデル⑥と⑦の結果を比較すると、横桟を追加することで水平方向反りが大きく減少している。従って条件 1 では横桟が水平方向反りを抑制する役割を担っていることが分かる。横桟は外枠と同じ材であり、外板や合板に比べて弾性係数が大きいため、横桟があることで戸襖全体の水平方向の反りを抑制するものと考えられる。また、反りの向きによって横桟の役割が変わる。すなわち横桟のある外気側が凸に反るときは横桟により戸襖の反りが抑制されるが、室内側が凸に反るときは横桟は戸襖の反りに特に影響しないものと考えられる。

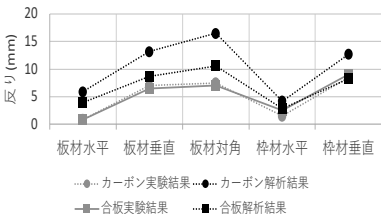


図 3 実験結果と解析結果の比較

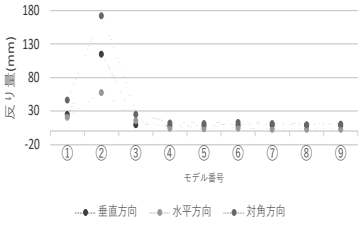


図 4 条件 1 における各モデルの反り量

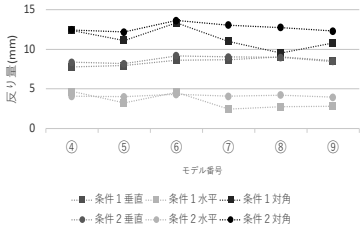


図 5 横桟の有無と結果の比較

4. まとめ 本研究では、有限要素解析ソフト Abaqus による材料の変形解析を行った。戸襖を構成する各部材の力学的な役割として、外枠および横桟による反り抑制効果が大きいこと、横桟は外気側に反るときに効果があること、合板支持体は室内側に反るときに限り反りを抑制する効果があることを示した。

【謝辞】本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究（B）（課題番号:21H01491、研究代表者：小椋大輔）の助成を受けたものである。また、模擬試験体作成にあたり京都市文化市民局元離宮二条城事務所のご協力を賜った。また、京都大学大学院助教・高塚康平氏には Abaqus の使用方法に関しての多大なる助言をいただいた。ここに記して厚くお礼申し上げる。

【参考文献】[1] 小椋大輔、陶器美詠、岡村知明、伊庭千恵美、髙取伸光：文化財建造物における障壁画を有する戸襖の材料変形に屋内外温湿度が及ぼす影響、日本文化財科学会第 38 回大会研究発表要旨集、pp. 78-79、2021

トレハロース含浸処理法を用いた出土彩色木製文化財の保存研究

Conservation Study of Excavated Painted Wooden Cultural Properties Using Trehalose Impregnation Treatment

◯藤田浩明（一般財団法人大阪市文化財協会）、柳成煜（奈良文化財研究所）

◯Hiroaki FUJITA(Osaka City Cultural Properties Association), Sungwook RYU(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

モンゴルやロシアなど、ユーラシア大陸草原地帯の墳墓等を発掘すると、彩色を施された木製文化財が出土する。しかし、これらの地域では木製文化財の形状を維持するための保存技術が確立していないため、多くの貴重な文化財が失われてきた。そのため、このような彩色の施された遺物に対する最適な保存処理方法を確立する必要がある。今回は、トレハロース含浸処理法を用いた保存処理方法を検討するため、彩色部分に及ぼすトレハロースの影響の確認試験、および彩色木製文化財を想定した含浸手法検討実験の結果等について報告する。

2. 確認試験に供する彩色顔料の分析

(分析試料)

確認試験に使用する顔料については、出土資料に施されている顔料と同種のものが必要となる。よって、現在市販されている天然顔料について成分分析を行ない、顔料の種類について確認を行なった。比較対象資料はモンゴル鮮卑時代の墳墓より出土した彩色片等であり、それらの分析結果と比較検討を行なった[1)]。

(分析方法)

市販されている天然顔料６種について、奈良文化財研究所のエネルギー分散型分光器付走査型電子顕微鏡（Hitachi 製の TM3000 と Oxford Instruments 製の SwiftED3000）を用いて顔料粒子の観察および元素分析を行なった。

(結果)

検出元素の結果から、市販されている天然顔料には、これまで古代モンゴルより出土した彩色遺物顔料の構成元素と、ほぼ同様の元素を検出しており、同種の顔料であると考えられる。

3. トレハロースの影響確認試験

含浸処理を実施するにあたり、含浸薬剤としてのトレハロースが、彩色部分の変色等、悪影響を及ぼす可能性の有無を確認するために、以下の条件で確認試験を行なった。

試料：ヒノキ材（現生材）　6×5×１ｃｍ

条件：10%膠水溶液（三千本膠）　トレハロース 40%Bx 水溶液　PEG40%水溶液 の 3 種で比較

使用顔料：岩群青(青)・松葉緑青（緑)・辰砂（赤)・黄土（黄)・石黄（黄)・岩胡粉（白）

それぞれの溶液と顔料を混ぜ合わせた後、手板に塗布。1 昼夜風乾後、小型分光測色計（Variable 社製 Spectro1）にて L*、a*、b*を測定、膠液のみの場合と比較し、変色の程度を確認した。

（結果）

図１に測色結果を示す。JIS Z8721 に基づく許容色差三級（⊿E＝2.5）を指標とし、⊿E 2.5 以上を色差有りと判断した。PEG よりもトレハロースのほうが色差は小さいが、岩群青、辰砂、岩胡粉においては色差を確認した。

	岩群青	松葉緑青	辰砂	黄土	石黄	岩胡粉
トレハ⊿E	3.74	1.02	4.41	1.89	2.16	3.36
PEG⊿E	4.30	1.41	10.89	8.57	0.86	2.67

図１　測色結果

4. 含浸手法の検討

彩色木製文化財の保存処理を行なうためには、彩色部分の保護と木材部分の形状安定化をはかること、これらを同時に満たす必要がある。そこで土付き遺物等の処理で実績のあるトレハロース法による「半浸漬法」に着目し、以下の条件で浸漬と半浸漬の比較実験を行なった。

試料：針葉樹（スギ出土材）・広葉樹（ムクノキ出土材）　4×5×１ｃｍ

条件：トレハロース水溶液濃度 20%Bx、熱風乾燥機内（濃度＋10℃設定）で加熱浸漬開始

重量測定：各試料の重量を 1 日 1 回測定。測定時はペーパータオルで表面の液を吸い取る。恒量に達した時点で濃度を 10%Bx 上昇させた。

（結果）

図２に実験開始から 40%Bx 浸漬終了までの重量変化率を示す。浸漬、半浸漬の増加率を比較すると、半浸漬のほうが重量増加のスピードは遅いものの、変化率に大きな差は認められなかった。このことから、半浸漬においても、試料全体を浸漬させた場合と同様の浸漬効果があると考えられる。

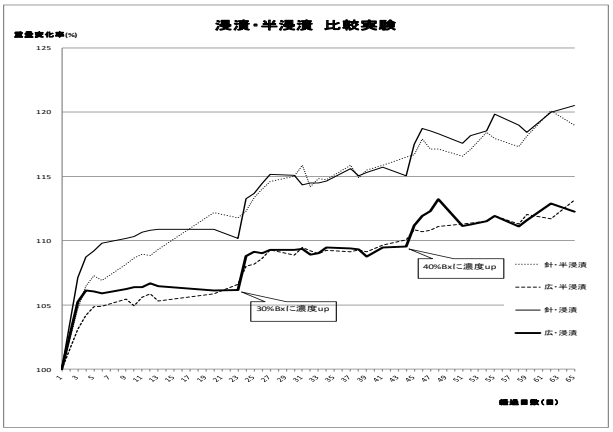


図２　浸漬・半浸漬重量変化率

5. まとめ

今回行なった実験結果から、薬剤としてのトレハロースの有効性及び半浸漬法の有効性等を確認できた。今後は適正な保存処理方法を提案すべく、含浸手法を検討していく。

1） Sungwook Ryu, Odbaatar Tserendorj, Oyuntulga Mendbazar, 「A Study On Pigments Excavated From 2-3C Mongol Xianbei Tomb」, The Korean society of Conservation Science for Cultural Heritage, Sep, 2016

謝辞　本研究は JP20K01114(研究代表者：藤田浩明)の成果を含んでいる。また出土彩色木製文化財の調査にあたり、モンゴル国立文化遺産センターのメンドバザル・オユントルガ氏、ウランバートル大学のバチメグ・ボロマー氏には多大なるご協力をいただいた。記して感謝を申し上げます。

新規開発した分子量分布の異なるシリケート系強化剤と硬化触媒の違いがもたらす硬さと吸水率への影響

Effects of Newly-developed Silicate Consolidating Agents with Different Molecular Weight Distribution and Curing Catalysts on Hardness and Water Absorption

○森彬（コルコート技研株式会社）、長谷川稔（コルコート株式会社）、松井敏也（筑波大学）
○Akira MORI (COLCOAT R&D CENTER CO.,LTD), Minoru HASEGAWA (COLCOAT CO.,LTD), Toshiya MATSUI (University of Tsukuba)

1. はじめに

シリケートを主成分とする石材強化剤は、世界的に製品が存在する一方でその素性は明確でなく、硬化触媒との混合一液型として販売されている。そのため石種や劣化状況が多様な石造文化財に対し、一つ一つに合わせた最適な保存を行うことは困難である。また、触媒種類については、従来多用されてきた有機スズ系触媒は環境規制が強まり[1]、代替品が望まれている。

このため、シリケート主剤の物性や硬化触媒の違いにより生じる硬化体の差異を明らかにするとともに、これを石材へ適用した際の影響を包括的に検討することは重要である。

本報では、分子量分布の異なる 3 種類のシリケート主剤と、有機スズ系・有機チタン系の 2 種類の触媒の計 6 種の組み合わせについて、主剤と硬化触媒の組み合わせから生じる石材強化効果への影響について調査を行った。

2. 実験

2.1 使用する材料

使用したシリケート主剤は表 1 の通りであり、テトラエトキシシランモノマーおよびオリゴマーの混合物である。サイズ排除クロマトグラフィー(SEC)分析により得た分子量分布を図 1 に示す。

表 1　各シリケート主剤の特徴

シリケート主剤	モノマー:オリゴマー比*	平均分子量	揮発性成分	溶媒
ER-501	8 : 2	低い	多い	EtOH(40wt%)
ER-601	5 : 5	〃	〃	無溶媒
ER-701	3 : 7	高い	少ない	無溶媒

*SEC積算分布値による

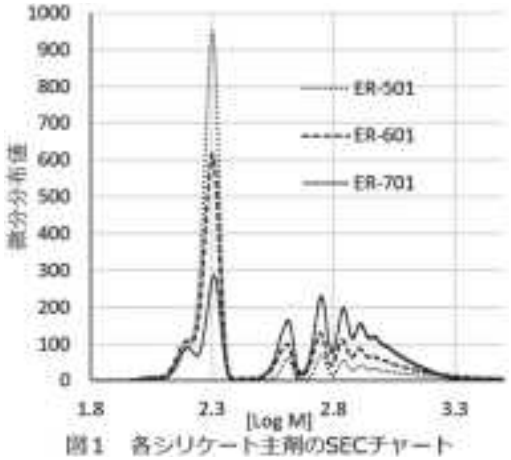


図 1　各シリケート主剤のSECチャート

硬化触媒には有機スズ系（触媒 C）および、有機チタン系（触媒 TX-3）の二種類を用いた。

2.2 シャーレ上での硬化実験

シャーレに各シリケート主剤 25 g と硬化触媒を取って混合し、55±10 %RH, 23±2 ℃環境下開放状態で静置し、時間経過による重量減少および硬化過程を観察した。

2.3 大谷石への浸漬処理実験

新鮮な大谷石ブロック(5 cm×5 cm×7 cm)を各薬液にそれぞれ 20 時間浸漬させた後、同上の環境下で 1 ヶ月間乾燥させ、重量増加率およびリーブ硬さ、吸水性を調べた。リーブ硬さは全 6 面に対する単打法で得た計 168 点の平均値とし、処理前と処理後で比較した。吸水性試験は約 1 cm の高さの足を持つ網に試験体を載せて完全に水没させ、吸水による重量増加を測定した。

3. 結果と考察

3.1 シャーレ上での硬化実験

触媒 TX-3 混合液は触媒 C 混合液よりも速く固化した。また重量は速やかに減少したが、早期に一定となったため、硬化後の重量は比較的重くなった。

この要因は、触媒寿命によるゾル - ゲル反応の進行度(EtOH 脱離による重量減少)の差と、反応速度による揮発性成分の高分子化(不揮発化による残留 Si 量の増加)の程度に差が生じているためと推察される。

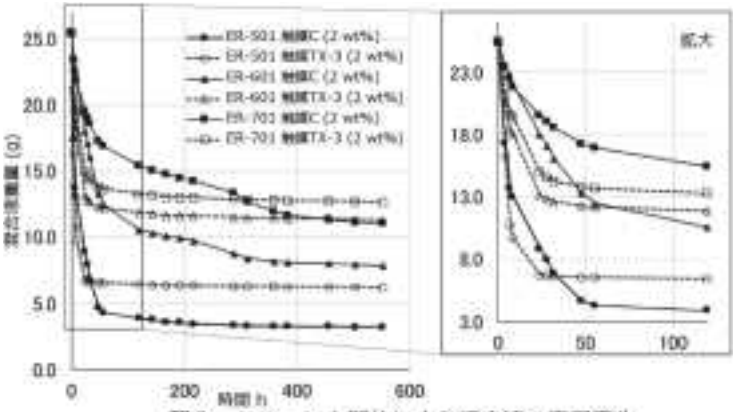


図２　シャーレ上開放による混合液の重量変化

3.2 大谷石への浸漬処理実験

ER-501 の結果を表２に示す。硬化後重量増加率は、触媒 C 使用品と触媒 TX-3 使用品で差がみられており、シャーレ実験と同様に、混合液の硬化後の重量に差があることを示している。

表２　ER-501, 硬化触媒混合液にて浸漬処理した大谷石の物性

主剤	ER-501						未処理
硬化触媒	触媒C			触媒TX-3			-
触媒濃度(wt%)	2	3	4	2	3	4	-
硬化後重量増加率(%)	2.5%	2.7%	2.9%	3.3%	3.6%	3.6%	-
リーブ硬さ（試験前）	298	323	300	311	323	321	308
リーブ硬さ（試験後）	407	408	420	505	488	499	320
強度変化（倍）	1.36	1.26	1.40	1.62	1.51	1.55	1.04
168 h浸水吸水率(%)	14.8	14.4	14.6	13.7	13.8	13.4	16.7

リーブ硬さは、触媒 TX-3 使用品では 1.6 倍程度の向上がみられた一方、触媒 C 使用品では 1.3~1.4 倍程度に留まった。

168 h 浸水による吸水率においては、未処理品（17%）に対し触媒 C 使用品で 14~15% を維持している一方、触媒 TX-3 使用品ではやや低下（13~14%）した。

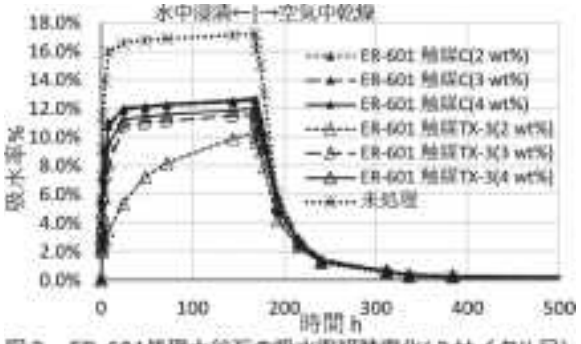


図３　ER-601処理大谷石の吸水率経時変化(２サイクル目)

ER-601 および ER-701 の結果については、硬化後重量増加率は触媒濃度 2, 3, 4 wt% の 3 実験の平均値として、ER-601+触媒 C で 7.8%、ER-601+触媒 TX-3 で 9.5%、ER-701+触媒 C で 9.7%、ER-701+触媒 TX-3 で 8.9% と、含有オリゴマー量が多い主剤では、シャーレ上での硬化ほど大きな差とはならなかった。

リーブ硬さの向上が最も大きいものは、ER-601+触媒 TX-3(2 wt%)の 1.67 倍であった。

吸水率については、ER-601 および ER-701 と触媒 TX-3 の組み合わせでは初期吸水率が低いものがあったが、乾湿サイクルを繰り返すと吸水率は増加し、効果が安定する傾向が見られた（図３）。最も吸水率が低かったものは ER-601+触媒 TX-3(2 wt%)で、2 サイクル目の吸水率は 10.3%であった。

処理後の外観は軽度に暗色化するが、光沢は発生せず石材の質感を良好に維持していた。

4. まとめ

シャーレ上硬化実験での混合液の硬化後重量は、オリゴマー量の多い主剤かつ有機チタン系触媒の組み合わせが最も大きく、モノマー量の多い主剤と有機スズ系触媒で最も小さくなった。大谷石への浸漬処理実験においてもこの傾向は認められたが、モノマー：オリゴマー量比が 5:5 のもの(ER-601)と 3:7 のもの(ER-701)ではシャーレ上での硬化ほど大きな差とはならなかった。混合液の硬化後の重量が大きいほど強度が高く、吸水率が低くなる傾向が見られた。

大谷石を用いた処理検討の結果、主剤・触媒の選択により、処理後の石材硬さおよび吸水率を制御できることが示唆された。

参考文献：1) 森田昌敏 "有機スズによる環境汚染について" *環境化学* 2.2 (1992): 169-179.

保存処理に起因する出土木製品の強度低下について

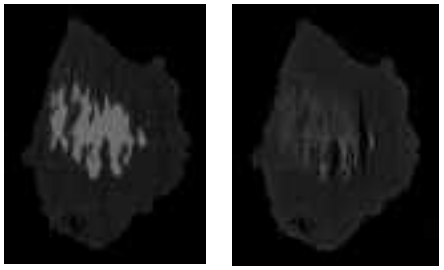
Decrease in Strength of Excavated Wooden Objects Caused by Conservation Treatment

◯川本耕三、桃井宏和、若杉勇輝（元興寺文化財研究所）、金澤雄太（御所市教育委員会）
◯Kozo KAWAMOTO, Hirokazu MOMOI, Yuki WAKASUGI (Gangoji Institute for Cultural Properties), Yuta KANAZAWA (Gose City Board of Education)

1. はじめに

水浸出土木材が数多く出土する日本では、遺物に含まれる水を段階的に薬剤に置き換え大気中で安定な状態にする保存処理が数多く行われてきた。厚さのある遺物では深層部に水が残留したまま処理を終えたり、深層部の水を取り除いた後に薬剤と置換できなかったりし、内部に変形・収縮・亀裂・空洞等が生じる場合があった。強度が低下した遺物は経年劣化により破損する可能性が高くなる。

研究代表者らが以前行った出土流木のマイクロ波加熱凍結乾燥処理法による処理実験※1でも、処理終了時木材深層に残留した水分（白く見える部分）が室内保管後に減少し、木材の空洞（黒く見える部分）が拡がったことをＸ線ＣＴ断層画像で確認できた（参考図）。



参考図．CT 像（左：処理終了時、右：室内保管後）

本発表ではＸ線撮影等により保存処理済み出土木製品の調査を行ったので報告する。

2. Ｘ線調査

御所市教育委員会と静岡県埋蔵文化財センターでのＸ線透過試験による調査４例を以下に示した。

①横槌（弥生時代）　樹種コナラ節（芯持）

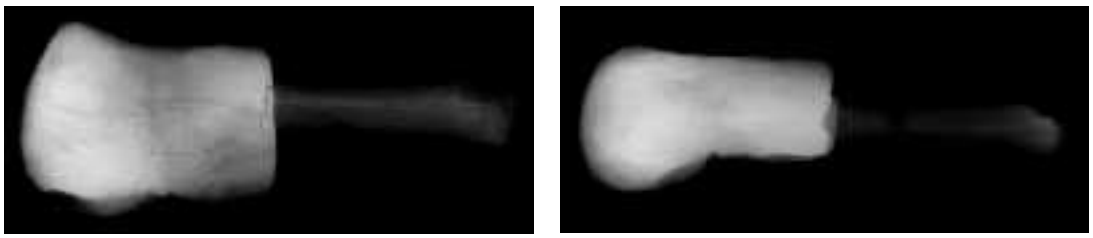


図１．①横槌のＸ線透過試験像

横槌の頭部内層に比較的狭い亀裂が複数観察された。

②臼未製品（弥生時代）　クスノキ（芯持）

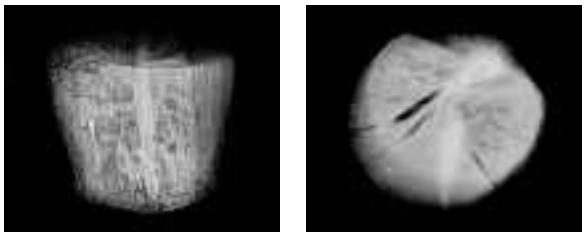


図 2. ②臼未製品の X 線透過試験像

臼未製品の芯部分から放射方向に延びる比較的広い亀裂など、所謂ミカン割れ状の亀裂が複数観察された。エポキシ樹脂で充填されているため、十分な強度が保たれているものと考えられた。

③用途不明品（弥生時代中期）　クスノキ

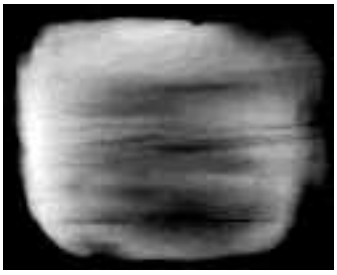


図 3. ③用途不明品の X 線透過試験像

寸法が 42.5×35.2×15.8cm（厚さ）ある大きな用途不明品の中央部には繊維方向に多数の亀裂や凹凸がみられた。厚みがある遺物なので強度は保たれているが、X線透過試験等により今後も定期的に遺物内部を観察することで経時変化に注意したい。

④用途不明品（弥生時代中期）　クスノキ（芯持）

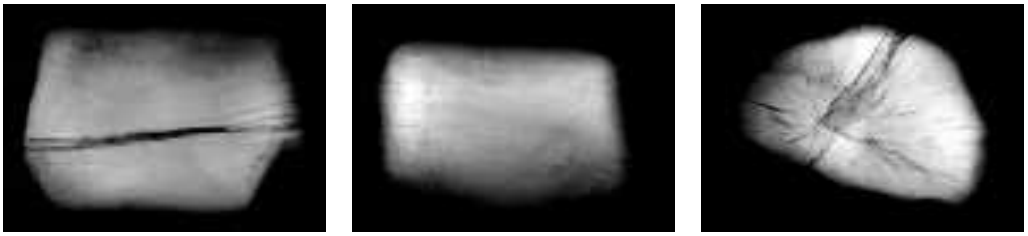


図 4. ④用途不明品の X 線透過試験像

芯から放射方向に大小複数の亀裂があるが、エポキシ樹脂により修復されているため強度不足になることはないと考えられた。

3. まとめ

本調査では、放置すると経年変化により強度不足に陥るような表面から見えない空洞は見つからなかった。適切な保存処理、収蔵・保管が行われていると考えられた。

謝辞：多大なご協力をいただいた静岡県埋蔵文化財センターの中川律子氏に深謝します。

本研究は科学研究費補助金 基盤(B)21H00623「保存処理に起因する出土木製品の強度低下について　－調査と対策－」による成果の一部です。

※1　川本耕三，大橋有佳，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，日本文化財科学会 研究発表要旨集，第 38 回大会，194-195，(2021)

出土金属製品の保存処理に使用する樹脂について

Resins Used for Conservation of Excavated Metallic Objects

○植田直見（元興寺文化財研究所）、川本耕三（同左）、山口繁生（同左）、
渡辺智恵美（別府大学）、山田卓司（龍谷大学）
○Naomi UEDA, Kozo KAWAMOTO, Shigeo YAMAGUCHI (Gangoji Institute for Cultural Properties),
Chiemi WATANABE (Beppu University) ,Takashi YAMADA (Ryukoku University)

1. はじめに

これまで出土金属製品の含浸処理に使用されたアクリル樹脂の経年変化について、各種分析装置を用いて分析を行った。また、樹脂と使用する溶媒との関係についても調べてきた。今回、NAD10 の製造中止に伴う代替樹脂の検討のため、NAD10 に加えてパラロイド B72、アクアトップの２種類の樹脂と溶媒について、水分の透過性、膜形成時における樹脂と溶剤の関係、ガラス転移点と溶剤との関係など含浸樹脂の挙動を比較したので報告する。

2. 実験試料

50 年以上にわたり、出土金属製品の含浸樹脂として使用してきたアクリル樹脂（パラロイド NAD10-V　ダウ・ケミカル日本(株)、以下 NAD10）と出土金属製品だけでなく文化財全般に広く使用されてきたアクリル樹脂（パラロイド B72　ダウ・ケミカル日本(株)、以下 B72）、さらに現在当研究所で出土金属製品の含浸樹脂として使用しているフッ素樹脂・アクリル樹脂の共重合樹脂（アクアトップ F クリヤー　大同塗料株式会社製、アクアトップ）を実験試料として用いた。また、溶媒として NAD10 には 2 種類のナフサ（ナフサ B はナフサ A よりキシレンの含有率が高い）を、B72 はアセトン、酢酸エチル、キシレンを、アクアトップはナフサ A を用いた。

3. 水分透過試験

3 種類の樹脂とそれぞれに使用する溶媒を用いて、樹脂濃度 30％の溶液を調整し（アクアトップのみ 27％）、アプリケーターを使用して薄膜を作製した。膜の作製に使用する樹脂と溶媒の組み合わせ、作成した膜の厚みなどを表 1 に示した。No. 1 ～No.6 に示した 6 種類の膜は透過性試験用カップ（BYK-Gardner 社製）を用いて恒温装置内での水の重量変化から水分の透過性を調べた。その結果、溶媒の違いによる影響が認められた。水分透過度は、B72 が最も高く、NAD10、アクアトップの順に低下することが分かった（図 1）。アクアトップは膜厚が薄いにもかかわらず最も水分が透過しにくい特徴を持つことが分かった。

表１．作製した樹脂薄膜の物性

No.	樹脂	溶媒	膜厚（μm）	ガラス転移点（Tg）（℃）		
				①	②	③
1	NAD10	ナフサA	270	19.2	27.3	29.3
2		ナフサB	250	19.3	20.4	23.7
3	B72	アセトン	140	35.5	42.0	41.7
4		酢酸エチル	240	22.3	23.0	26.5
5		キシレン	240	12.0	17.4	18.3
6	アクアトップ	ナフサA	120	18.7	19.2	19.3

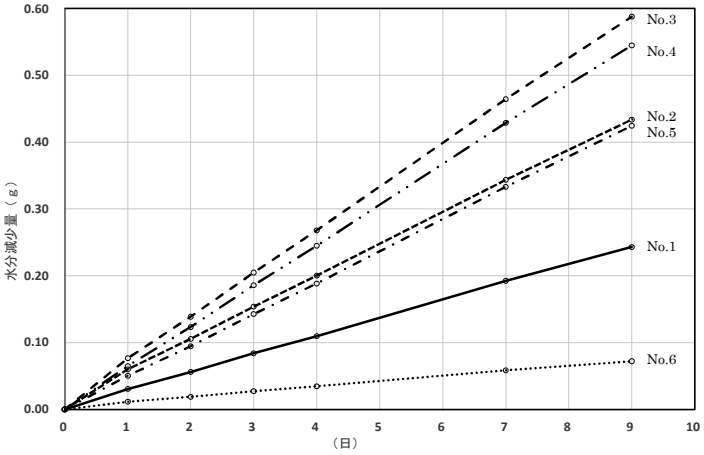


図１．水分量の変化から見た膜の水分透過性

4．樹脂のガラス転移点

表 1 に示した薄膜を、ガラス転移点（Tg）の測定に使用した。測定は示差走査熱量計 DSC（リガク製　DSCvesta）を用い、-20～150℃の温度範囲で、毎分 5℃の変化で 3 回の昇温と降温を繰り返し、その時のエネルギーの変化を検出、資料の Tg を測定した。3 サイクルの結果を表 1 に示す。

同一樹脂でも溶媒によって Tg が異なることが分かった。特に B72 は NAD10 に比べると溶媒の種類に大きく依存することが分かり[1)2)]、膜としての機能に影響を及ぼすと考えられた。

5．　樹脂中に残存する溶媒

溶媒キャスト法により厚みのある樹脂膜を作製し、樹脂中に残存する溶媒の挙動を調べた。表２に示したように、いずれの樹脂も長期にわたって溶媒が残存し、溶媒の種類によって重量減少率が異なることが分かった。特にナフサを溶媒とする樹脂膜は 2 か月後でも 20%程度の溶媒が残存し、膜としての機能に影響を与える可能性を示唆した。

表２．樹脂膜内部の溶媒の残存率

樹脂	溶媒	溶媒残存率（１か月後）（%）	溶媒残存率（2か月後）（%）	膜厚（mm）
NAD10	ナフサA	20.2	18.1	4.8
	ナフサB	24.8	23.3	5.2
B72	アセトン	6.4	5.2	8.8
	酢酸エチル	7.9	6.7	5.2
	キシレン	15.4	13	4.3
アクアトップ	ナフサA	19.6	15.8	4.2

6．おわりに

３種類の樹脂と処理に使われる可能性の高い溶媒を用いて作製した樹脂膜の物理化学的な性質を調べた。それぞれ特徴があり出土金属製品の保存処理樹脂としての適性は今回の調査だけでは決められないため、今後も調査・分析を実施したい。

参考文献

１）Helen Velonika Farmakalidis,et al.,Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol. 16, No 3, (2016), pp. 213-228.

２）岡本駿、早川典子、本多貴之、日本文化財科学会第 33 会大会要旨集、pp.258-259(2016)

謝辞　本研究は科学研究費助成事業 基盤研究（A）（課題番号：20H00038）の助成を受けました。

組積造建造物の電気的脱塩に向けた煉瓦内の塩分布の定量化と可視化の試み

Quantification and visualization of salt distribution in bricks for the development of electrodesalination techniques for masonry structures

○水谷悦子（東京文化財研究所・文化財防災センター）、小椋大輔（京都大学大学院）、
脇谷草一郎（奈良文化財研究所）
○Etsuko MIZUTANI（Tokyo National Research Institute for Cultural Properties）, Daisuke OGURA (Graduate School of Engineering, Kyoto University）, Soichiro WAKIYA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに　本研究は煉瓦造建造物の劣化要因のひとつである塩類風化の抑制策として、電気的脱塩工法に焦点を当てる。電気泳動を利用した脱塩手法である電気的脱塩工法は港湾部のコンクリート構造物の維持管理に用いられる工法であり、先行研究により[1, 2]煉瓦単体に対しても高い脱塩効率を有することが確認されている。組積造建造物に対する実用化に向けては、壁体構成、含水率、塩の供給状況に応じた適切な脱塩条件、実施頻度の検討が必要であるが、通電に伴う塩類輸送に関しては明らかではない点が多い。そこで本報では、IC と蛍光Ｘ線による２次元元素マッピングの２つの手法を用いて、電気的脱塩を行った煉瓦の塩分布の定量化と可視化を試みた。

２．煉瓦の電気的脱塩実験の方法と分析手法

2.1 実験方法　図 1 に実験の模式図を示す。実験には焼成煉瓦（60 ㎜×60 ㎜× 100 ㎜）を用い、側面をパラフィルムで断湿した。事前に純水で水洗いし乾燥させた煉瓦に NaCl 塩溶液（10 wt%）を大気圧条件下で飽和になるまで含浸させ、実験装置にセットする。煉瓦の両端には、陽極側での pH の低下を防ぐために、先行研究同様[1, 2]炭酸カルシウム、カオリン、純水を重量比 4：1：4 で混合させた炭酸カルシウムペーストを流し入れる。電極には白金電極（100 ㎜×100 ㎜×1 ㎜）を用い、直流電源装置を用いて一定電圧下で通電させる。本報では、a）通電なし、67 時間、b）20V で 18 時間、c）20V で 67 時間の 3 条件で実験を行った。

2.2 塩分の分析方法　実験後の煉瓦を乾式コンクリートカッターで通電の向きと並行に 2 分割し、それぞれ IC と XRF によって分析する。IC 分析に用いるものは 1 ㎝間隔（中心のみ 2 ㎝）で分割し、ミルで粉砕し微粉体にする。微粉体と超純水を重量比 1：50 で混合させたものを振とう、ろ過、希釈したものを分析に供した。IC 分析には日本ダイオネクス社製の ICS-5000 を

使用し、陽イオン、陰イオンの分析にはそれぞれ IonPac CS12A、IonPac AS22A を用いた。陽極、陰極側の炭酸カルシウムペーストに関しても IC 分析を行い、脱塩した塩分量を分析した。XRF 分析はブルカー社の M4TORNADO を使用して分析を行った。分析の際は装置内をヘリウムガスで置換した。

３．実験結果と考察　図 2 に実験後の炭酸カルシウムペースト内に含まれる塩分量、図 3 に煉瓦内に含まれる塩分布の分析結果を示す。図 2、3 より、通電せず濃度拡散のみ生じる場合と比べ、通電した場合は同じ脱塩時間でもより多くの塩分が脱塩できることが分かる。また通電した場合は、陽極側の炭酸カルシウムペーストに Cl イオンと Ca イオン、陰極側に Na イオンが多く含まれていることが見て取れる。通電時に陽極側で Ca イオンが増加するのは、水の電気分解により陽極側で発生する H^+を中和するため炭酸カルシウムの溶解が生じるためと考えられる。図 3 を見ると、通電した場合 Na イオンは陰極側、Cl イオンは陽極側に向けて移動している。また c . 通電あり 20Ｖ、67 時間の条件では、Cl はほとんど脱塩されているのに対して Na が残存しており、Na が脱塩しづらいことが分かる。XRF による元素マッピングの結果でも、Na の分布特性については IC 分析と同様に陰極側に寄って分布する傾向が見られた（図省略）。また元素マッピングでは、 c . 通電あり 20Ｖ、67 時間の条件で、上下分布差が確認された。長時間脱塩を行う際は、炭酸カルシウムペーストの分離や重力の影響といった要素も考慮する必要性を示唆している。

４．まとめ　電気的脱塩を行った煉瓦の材料内の塩分布を IC と XRF の 2 種類の方法で分析した。電気的脱塩を行った煉瓦内の塩分布特性は、通電なしで濃度拡散のみ生じる場合と明確に異なることが示された。両手法の定量評価の妥当性については検討課題が残るものの、2 種類の分析手法を組み合わせることでより詳細に材料内での塩分布の特徴が分析可能になった。

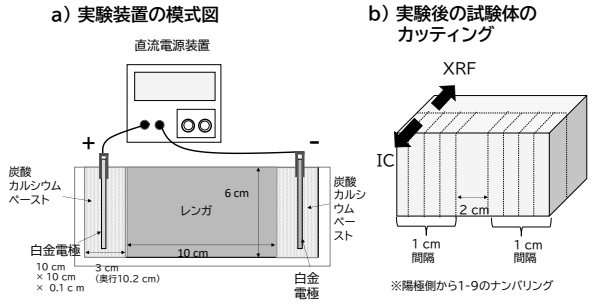


図１実験の模式図と試験体のカッティング方法

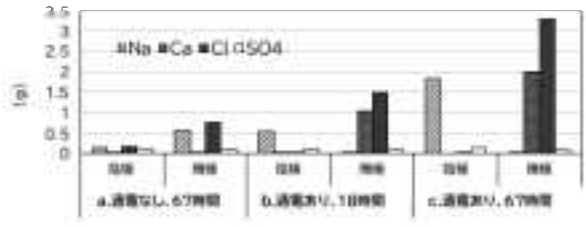


図２実験後の炭酸カルシウムペースト内の塩分

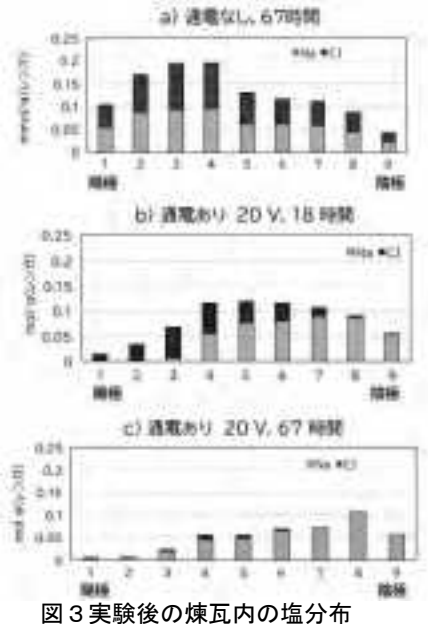


図３実験後の煉瓦内の塩分布

【謝辞】本研究は科学研究費補助金　基盤研究（B)（課題番号：18H01596，研究代表者：小椋大輔)、若手研究（課題番号：20K14892, 研究代表者：水谷悦子）の助成を受けたものである。また京都大学大学院生采氏の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】1) Lisbeth M. Ottosen, Inge Ro¨rig-Dalgaard, “Desalination of a brick by application of an electric DC field”, Materials and Structures 42 (2009), pp961-971.　2) Lisbeth M. Ottosen, Célia Dias-Ferreira, Alexandra B. Ribeiro, “Electro-desalination of glazed tile panels-discussion of possibilities”, International Conference Glazed Ceramics in Architectural Heritage GlazeArch (2015), pp115-127.

古墳石槨の発掘調査時における遺物・遺構の保存のための覆屋の環境調整に関する研究
（その１）覆屋の断熱性状、覆屋内外の換気量による結露量の抑制

Study on the method of temperature and humidity adjustment by outer roofed structure for the conservation of artifact remains during the excavation of tumulus.
Part1: Investigation of suppression of condensation by thermal insulation of the roof and the ventilation rate

○森田健斗（京都大学）、小椋大輔（同左）、髙取伸光（同左）

○Kento MORITA, Daisuke OGURA, Nobumitsu TAKATORI　(Kyoto University)

１.研究の背景と目的　闘鶏山古墳は未盗掘の竪穴式石槨 2 基を有し、発掘調査を実施して副葬品を取り上げることが計画されている [1)2)]。その際には、外気の影響による石槨内の環境の変動や、それに伴う遺物・遺構の急激な劣化を抑えるための覆屋の設置が不可欠であり、必要に応じた空調システムの導入の検討が求められている。既報 [3)]では発掘調査時の空調制御を前提とした検討を行ったが、現地では地形の問題等により大規模な空調制御を行うことが難しい。本研究では、空調システムの導入を前提とせず、覆屋の断熱・気密・防湿性状による、発掘調査時の石槨内、覆屋内の温湿度変動抑制方法について、数値解析を用いて検討する。

2. 数値解析概要

2.1 解析モデル　解析対象は図 1 に示す、石槨、覆屋を含む墳丘部とする。石槨は第 2 石槨を考え、幅 1.2m、高さ 1.5m とする。地盤表面から 0.9m までの深さを発掘空間とし、上部に幅 3.2m、高さ 5.1m の覆屋を配置した。なお、覆屋の壁体は 1 次元の熱水分移動を考慮する。また、石槨と覆屋内空間の間は 7.5cm の石槨天井石の上に厚さ 2.5cm の土が盛られた状態で仕切られているものとする。

2.2 解析方法　基礎方程式は既報 [3)]と同様に熱水分同時移動方程式を用いる。土壌中の熱水分移動は 2 次元系とし、石槨及び覆屋内空間の空気は室空気を 1 質点で代表させた熱水分収支を考慮した。石槨から水平方向に十分離れた地盤境界は断熱・断湿とした。

2.3 解析条件　外界気象条件は 2018 年 4 月 1 日から 2019 年 12 月 31 日の 1 時間ごとの現地の計測値 [4)]（温度・相対湿度・日射量・降水量）を用い、地盤深さ 15m での温度は 17.4℃、水分化学ポテンシャルを-5.0J/kg 一定とする。また、発掘調査は 2019 年 10 月 1 日から開始され、それ以前には覆屋・は無いものとする。既報 [3)]の検討結果を踏まえ、1 年半の助走期間の内、最後の半年間では、石槨上部の地表面に厚さ 100mm 水平方向 3.2m の断熱材を敷き、その上に 100mm の土を被せる。被せた断熱材と土は 10 月 1 日の覆屋設置時に取り外すものとする。10 月 21 日に石槨天井石が取り外され、以降、作業が行われる 9 時～17 時の間は石槨と覆屋内空間との 換気量を 0.03 ㎥/s(換気回数 6.67 回/h)とする。また、10 月 1 日以降の 9 時～17 時の間は覆屋内と外気との換気を表 1 に示す換気量で行うものとする。

2.4 計算条件　解析において比較、検討を行う計算条件を表 1 に示す。Case1 を基準として比較検討を行った。Case2 は、外気から覆屋への水分供給を抑制するため、外気の絶対湿度が覆屋内を上回った場合には、換気量を 0.0138 ㎥/s に下げた。Case3 は、覆屋内温度の温度低下を防ぐため、覆屋外壁の断熱材厚さを 100mm に変更した。Case4 は、地盤からの水分供給を抑制するため、覆屋の地下側面、底面の室内側表面を断湿した。

2.5 解析結果の評価方法　石槨内の温湿度の変化は、副葬品の遺物や遺構の急激な劣化を引き起こす恐れがある。古墳内部に安置される文化財の保存のためには、特に「1.高湿度の維持、2.結露の抑制、3.温度上昇の抑制」の３つの条件が求められる [5)]。遺物の劣化に影響を得絶える結露として、石槨内での結露に加え、覆屋天井面における結露の２点について検討を行った。本検討では、すべての計算条件で石槨内の相対湿度 95%以上の維持が達成されること、温度は発掘調査

開始時が最も高いことから、結露量の抑制について評価、検討を行う。なお、覆屋、石槨壁体を構成する土壌や天井石では水分化学ポテンシャルの値が-5.0J/kg より大きくなった際の壁体への水分流入量、地上部分では覆屋壁体の室内側表面温度における飽和水蒸気圧を超えたときの壁体への水分流入量を結露量とした。

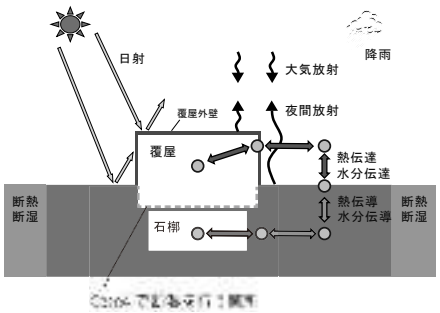


図 1 解析モデルの概要

表 1　計算条件

	覆屋内空気と外気との換気量	覆屋断熱材厚さ	覆屋地下部分の断湿
Case1 (基準条件)	一定【作業時間:0.33 ㎥/s (換気回数 4.27 回/h) 夜間: 0.0138 ㎥/s (隙間風を考慮)】	25mm	なし
Case2 (換気抑制)	外気の絶対湿度が覆屋内より大きい場合は 0.0138 ㎥/s とする	25mm	なし
Case3 (断熱)	一定(Case_1 と同じ)	100mm	なし
Case4 (掘削面の断湿)	一定(Case_1 と同じ)	25mm	あり

3. 数値解析の結果と考察

図 2、図 3 にそれぞれ覆屋天井面、石槨内における日積算結露量を示す。覆屋天井面では、Case 2 は Case1 に比べ、結露量が抑制あるいは増加する時期が存在するが、石槨内では結露量が増加している。Case3 は、覆屋天井面と石槨内は共に 10 月 20 日以降の全期間で結露量が抑制されている。Case4 は覆屋天井面で、12 月 10 日前後の結露が抑制出来ているが、10 月 12 日、12 月 2 日では結露量が増加した。石槨内では、10 月 14 日以降のほとんど全ての期間において結露量が増加した。以上より、Case2,4 では結露量が増加する場合が存在したが、Case3 では結露量が抑制された。

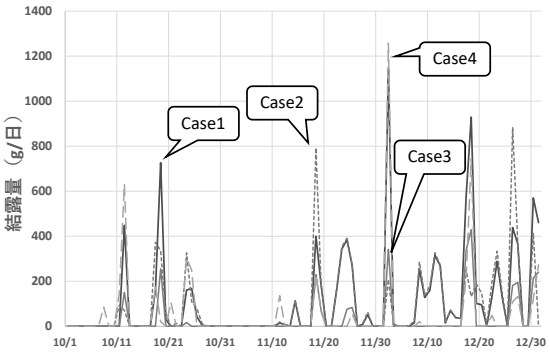


図 2　覆屋天井面結露量の比較

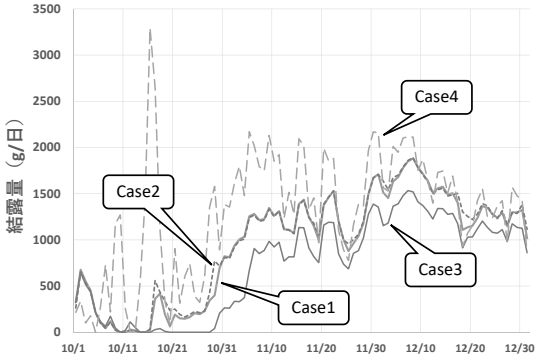


図 3　石槨内結露量の比較

4. 結論

闘鶏山古墳を対象に、覆屋を用いた環境制御による発掘調査時の覆屋、古墳内の結露抑制効果を明らかにすることを目的として、本報では石槨と覆屋空間を含む地盤をモデル化し材料内と空気中の熱水分移動解析を行うことで、覆屋の断熱性能や気密性、地盤の断湿による影響を明らかにした。得られた主な結果を以下に示す。発掘調査時では、石槨内・覆屋共に結露が発生する。覆屋・石槨内の両方の結露抑制のためには、断熱性能を上げることが有効である。換気量の抑制や掘削面の断湿を行うことは、石槨内の結露量を増加させる場合があるため、注意が必要である。

【参考文献】1)闘鶏山古墳石槨画像・環境調査報告書、高槻市教育委員会(2007)　2)高槻市教育委員会：高槻市文化財調査報告書 第 34 冊「史跡闘鶏山古墳 第 1・第 2 石槨の保存環境と副葬品等の状況」(2019)　3) 小椋大輔ら：闘鶏山古墳の石槨内部発掘調査時の空調制御方法に関する研究、保存科学第 50 号 pp.23-33 (2011)　4) 環境総合テクノス：史跡闘鶏山古墳 保存環境調査業務委託報告書(2018,2019)　5)脇谷草一郎ら：模擬古墳から検討した埋蔵環境下における遺物保存に関する研究－石室内環境が金属製遺物の腐食におよぼす影響について、奈良文化財研究所紀要(2015)

木質材料の循環的活用による省エネ型文化財保存環境構築のための基礎調査（２）—湿潤化した木材の乾燥挙動について—

Basic investigation of energy-saving cultural property preservation environment by circulating system of wood-based materials (2) —Drying behavior of moistened wood—

○森谷朱（東北歴史博物館）、及川規（宮城学院女子大学）、
芳賀文絵（東京文化財研究所）、嵯城花佳（東北歴史博物館）

○Aya Moriya(Tohoku History Museum),Tadashi Oikawa(Miyagi Gakuin Women's University),
Ayae Haga(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties),Hanaka Sajo (Tohoku History Museum)

1. はじめに

木材の調湿性を活用した収蔵環境構築の取組は行われているが、特に無人の収蔵施設においては時間の経過とともに高湿で安定するという問題点があった。発表者らは、その点を改善する方法を検討しており[1)]、木質材料の乾燥材と湿潤材を循環させて収蔵空間に設置することで空間の適湿を維持する保存環境システムの構築を構想している。今回、湿潤化した木質材料を有人施設にて乾燥させる際の最適な乾燥条件を明らかにするため、乾燥場所、時期、期間等に着目し、乾燥効率について検討した結果を報告する。

2. 調査の対象と方法

2-1. 調査対象空間の特徴

湿潤化した木材の乾燥場所として想定した調査対象空間の特徴を**表１**に示す。

表１　調査対象空間の特徴

対象空間	施設		用途*2	内装仕様	温湿度制御	階	外接面	
記号　略称	有無*1	築後		内装材			数*3	向き*4
A　廊下(明)	有	25	開	コンクリート ガラス	なし	1・2 吹抜	1	南 窓:ガラス張
B　廊下(東)	有	25	開	コンクリート ガラス	なし	1	1	東 窓:ガラス張
C　廊下(暗)	有	25	開	コンクリート	なし	1	-	なし
D　一般室(有)	有	25	室	コンクリート ガラス	空調 (在室時)	1	3	南・北 東(窓)
E　一般室(無)	無	49	室	石膏ボード	なし	1	1	北(窓:暗幕)

*1 有=有人施設、無=無人施設。築後=築後経過年数(竣工年:47=1974、25=1998)*2 本来の用途:開=開放空間、室=一般室
*3 数=外と接する面の数。*4 向き=外に面している面の向き。

2-2. 調査方法

調査対象空間に木質材料試験片(スギ，20×9×1.4cm，2 片，調査前に定温乾燥機で 80℃、3 日間乾燥しその重量を測定，含水率はこの初期重量をもとに算出)を設置し毎月 1 回重量を測定した。試験片は通気性を確保するため、側面及び底面が格子状ですき間のあるプラスチック製の網カゴに入れ、カゴ上面は塵埃予防としてテフロンシートで被覆した。対象空間では温湿度を計測した。調査対象空間の A では、試験片重量の連続測定(一定期間 1 時間毎に測定)も行った。

3. 結果と考察

対象空間の湿度が年間を通じて最も低く推移したのは A 廊下(明)(30～50%程)、高く推移したのは E 一般室(無)(60～80%程)だった(**図 1**)。A 廊下(明)は 3～4 月で最も低湿となった。次いで D 一般室(有)で 1～2 月頃に低湿となった。D 一般室(有)で 2 月に最も低湿となるのは、暖房の使用によるものと思われる。D 一般室(有)は夏季には湿度が他空間よりも高めに推移し、季節依存性が大きいことがわかった。試験片の含水率が年間を通じて最も低く推移したのは A 廊下(明)だった(**図 2**)。試験片の含水率が低く、乾燥度が最も大きかったのは D 一般室(有)の 2 月だった。E 一般室(無)の含水率は年間を通じて高く推移しており、有人施設と無人施設では乾燥効率が大きく異なり、無人施設ではほとんど乾燥しないことが確認された。

試験片の含水率と対象空間の月平均相対湿度・絶対湿度との相関はいずれの空間においても相対湿度の方が大きかった(**表 2**)。湿潤化した木質材料の乾燥場所を選定する際は、対象空間の相対湿度から判断してよいと考える。

表 2　試験片の重量変化と湿度(月平均)との相関係数

場所	A	B	C	D	E
相対湿度	0.56	0.92	0.94	0.83	0.62
絶対湿度	0.42	0.88	0.88	0.75	0.45

A 廊下(明)の 1 時間毎の相対湿度の変動と試験片の重量変化(吸水量を反映)を**図 3** に示す。重量は日単位の湿度変動に追随して変化した。木材の乾燥度は、相対湿度の長期間の季節的な変動に加え、短期間の日単位レベルでの変動の影響も大きいことがわかった。

湿潤化した木材を乾燥させる場所としては A 廊下(明)のような空間が望ましいが、対象空間の乾燥度が同程度の時期も確認されたことから、有人施設であれば木材循環のタイミングを考慮することで A 廊下(明)以外の場所も乾燥場所として活用可能と考える。また、1 日の温湿度の変動が著しく大きい A 廊下(明)のような場所では、循環のタイミングは、相対湿度の年単位の長期的な傾向だけでなく日単位レベルでの変動を勘案して決定するのがより効果的と考える。

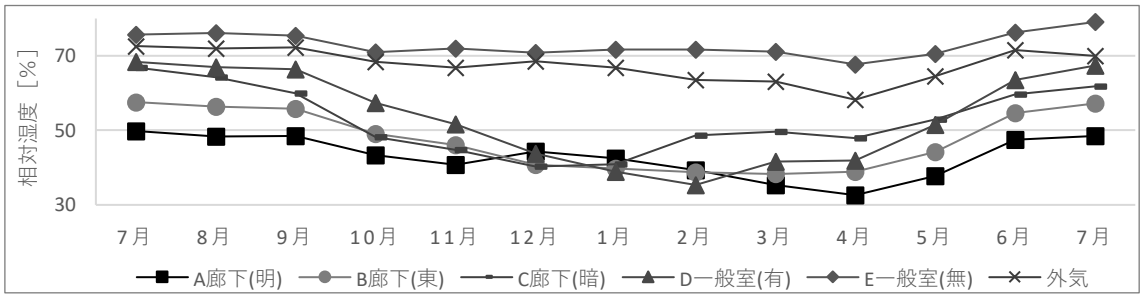


図 1　対象空間の月平均相対湿度の推移

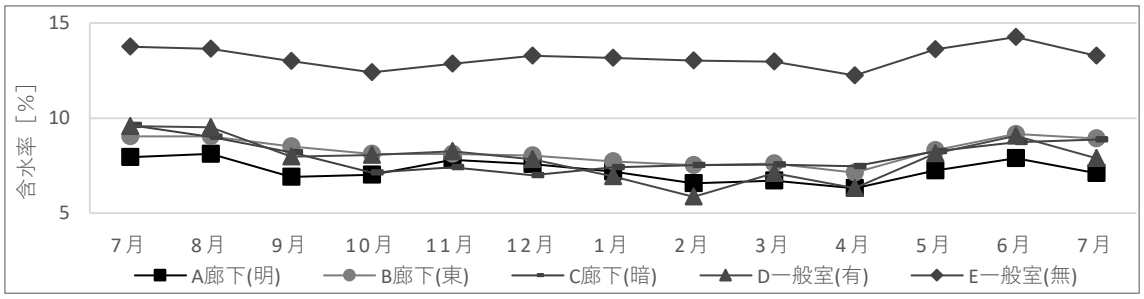


図 2　対象空間における試験片の含水率推移

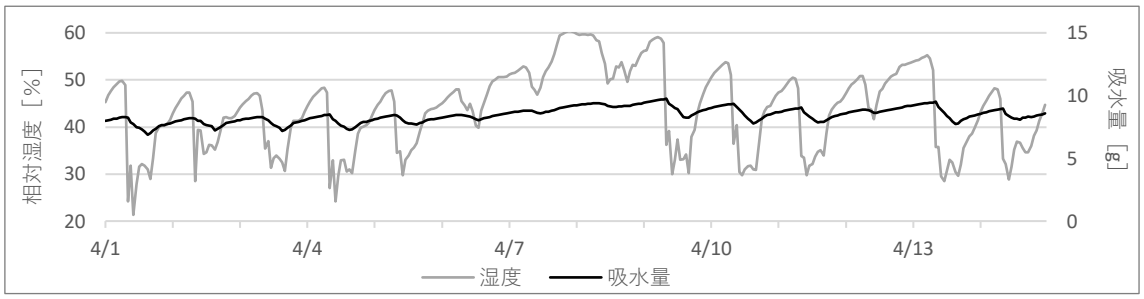


図 3　A 廊下(明)における 1 時間毎の相対湿度変動と試験片の吸水量変化

4. おわりに

今回の調査により、湿潤化した木質材料の乾燥は、無人施設では困難だが、有人施設であれば空間に置いておくだけで実現できることを確認した。最適な乾燥条件について、今後も傾向の一般性を検証するため調査を継続していく予定である。

【参考文献】1)及川規、森谷朱「木質材料の循環による低エネルギー・低コストの文化財保存環境構築のための基礎調査－湿る収蔵庫・乾く収蔵庫Ⅱ－」『東北歴史博物館研究紀要 23』(2022)p. 49.

【謝辞】本研究は科学研究費補助金　基盤研究 (C)［課題番号：22K12509，研究代表者：及川規］の助成を受けたものです。ここに記して感謝の意を表します。

トレハロース処理法の寸法安定性に関する考察 2
- 結晶化効率がトレハロース処理法の寸法安定性に及ぼす影響 -
Dimensional stability of trehalose method 2 : Impact of crystallization efficiency on dimensional stability of trehalose method

○肖舒尹（京都大学大学院）、脇谷草一郎、松田和貴、柳田明進、
田村朋美（奈良文化財研究所）、高妻洋成（文化財防災センター）
○Shuyin XIAO(Kyoto University), Soichiro WAKIYA, Kazutaka MATSUDA,
Akinobu YANAGIDA, Tomomi TAMURA(Nara National Research Institute for Cultural Properties),
Yohsei KOHDZUMA(Cultural Heritage Disaster Risk Management Center)

1. はじめに：トレハロースを用いた保存処理では薬剤濃度を 100%まで上げることなく高い寸法安定性を得られる[1]。本研究はトレハロース処理法の寸法安定性メカニズムを解明することを目的として、トレハロースの結晶成長の視点からトレハロース処理法の有効性について検討を行った。既報[2]では、毛管上昇法を導入して木材実質部分に対する接触角を計算したところ、トレハロース水溶液の方が PEG-4000 水溶液よりも木材実質表面で結晶核が生成しやすいことを示した。さらに、粘度が接触角の変化に比較的大きな影響を与えることが示唆された。これらの結果に基づいて、木材実質表面におけるトレハロース結晶の結晶化効率を促進することを試みた。

2. 冷却速度が結晶化に及ぼす影響：結晶化では、過冷却度が大きいほど結晶核が生成しやすくなる。冷却速度の増加は過冷却度の増加をもたらすので、通常、冷却速度が早い場合、速やかに大量の微小結晶が生成される。反対に、冷却速度が遅い場合、少数の大きな結晶が緩慢に成長する[3]。出土木材は細胞壁の成分が劣化して失われているため、残っている木材実質部分と大小の空隙からなる。効率的に細胞壁を強化できれば、結晶物を木材内部に完全に充填しなくても充分な寸法安定効果が得られる可能性がある。そして冷却速度を高めて短時間で大量の結晶を生成することが細胞壁の補強に有利だと考えられる。加速冷却の方法としては、高温含浸の場合では溶液の粘度が低下するという効果も得られることから、最終含浸段階の含浸温度を高める方法を検討した。

3. 実験方法：試料は出土広葉材(40㎜×30㎜×15㎜)を使用した。トレハロース含浸の最終段階の温度を高温グループ（80℃）と低温グループ（50℃）に分け、最終含浸濃度は 40%と 50%とした。所定の温度での加熱含浸後に室温（25℃）で風乾と冷却を行い、乾燥過程の重量変化、寸法変化および内部構造変化から寸法安定性を評価した。

4. 結果と考察：取り上げ後 50℃の低温含浸グループで試料に亀裂が発生した。亀裂の発生前に試料の外観に明らかな変化は認められず、重量と寸法の変化にも異常は認められなかった。亀裂部分を観察すると、両側とも内向きに凹んだ状態（図 1）を呈し、亀裂は内部から変形し始め、表面を破砕するまでに拡大したものと推測される。ファンを用いた乾燥により試料表面の水分蒸発が促進され、トレハロース結晶が迅速に析出、固化することで表面の寸法安定性が向上する。一方で、表面での水分蒸発に伴って、木材内部の水分が表面に移動する際に、水の表面張力によって木材内部は座屈がすすみ、収縮が促進される。しかし、固化された表面によって内部での収縮が抑制されるため、引張応力が発生すると考えられる。そして、劣化が比較的深刻で木材実質の量が少ない部分や、結晶が形成されず固定できなかった部分では亀裂が拡大し、破断するに至ったと推察される[4]。

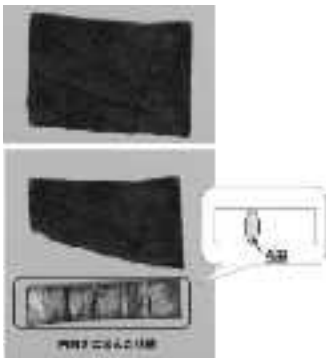


図 1　亀裂した試料

X 線透過撮影による内部構造の変化を観察した結果、いくつかの微小な亀裂があるにもかかわらず、高温含浸したグループの内部は良好に寸法を維持した（図 2）。先に結晶化して固定された表層が内部の収縮を抑制することによって引張応力が発生する現象は高温含浸グループにも現れるものと考えられるが、内部には亀裂が生じなかった。可能性としては、冷却速度の増加により結晶効率が大幅に増加し、内部でも非常に迅速に結晶を形成して構造を補強したと推察される。また、含浸温度が高くなるため、トレハロースの分子活動もより激しくなることで、トレハロース水溶液の粘度が低下し、含浸過程においてトレハロースが道管や細胞内腔に留まるだけで

最終含浸濃度：40%		最終含浸濃度：50%	
高温グループ(80℃)	低温グループ(50℃)	高温グループ	低温グループ(50℃)
			

図 2　試料の X 線透過写真

なく、細胞壁内部に拡散するのに有利となった可能性も考えられる。光学顕微鏡で試料を観察すると、低濃度で高温処理された試料にはっきりとした空隙が存在していることが明らかになり、木材内部のかなりの部分が結晶で充填されておらず、周囲の木材実質を強化することで細胞の形状を維持している状況が確認された（図 3）。これらの理由から、高温含浸および急速冷却の場合、トレハロース溶液中で迅速に結晶を生産して細胞壁を強化するとともに、水分蒸発による収縮変形を抑制することができたことが考えられる。

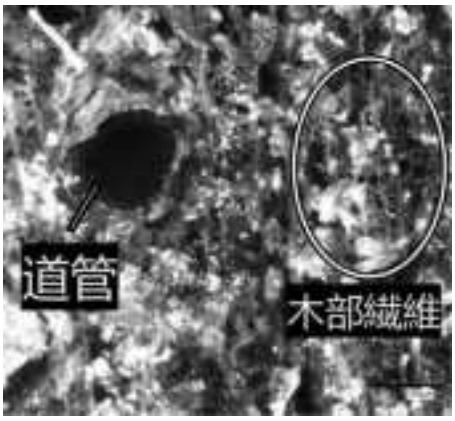


図 3　光学顕微鏡写真（木口面）
（最終含浸濃度 40%・温度 80℃）

実験に用いた常温乾燥のほか、低温インキュベーターなどを利用して冷却速度を高める方法も有効と考えた。そこで、トレハロースの最終含浸濃度 40%・温度 80℃で処理した試料を 4℃に調整した低温インキュベーターに静置して乾燥を試みた。図 4 に示したように 1 か月ほど乾燥工程が経過した時点で亀裂が発生し、最終的には著しく破壊が進行した。溶液中の結晶成長の条件に応じて、トレハロース分子が木材の実質部分に絶えず接近してこそ結晶核を形成し、さらに結晶化することができる。常温での乾燥と比べて、冷却速度がさらに速くなるものの、周辺の温度が低すぎると分子の運動にも影響を与え、逆に結晶生成を阻害する。これが良好な処理効果が得られない原因だと考えられる。したがって、トレハロースの冷却・固化過程において、温度環境は高すぎても低すぎても結晶生成に不利な影響を与えると考えられる。すなわち、結晶化効率と溶液の移動性との適切なバランスを維持する含浸と冷却・固化過程の最適温度が存在する可能性が示唆された。



図 4　著しく破壊した試料
（最終含浸濃度 40%・温度 80℃）

5. まとめ：高温含浸および急速冷却によって結晶化効率を高めることで水分蒸発による木材の収縮変形を抑制できると考えられ、低濃度含浸でも細胞の形状が維持されている様子が認められた。このように、トレハロースの結晶が迅速に形成され木材実質に優先的に吸着し、細胞壁を強化することで内部構造を維持することができるというメカニズムを提示した。また、冷却速度を高めることはトレハロース処理法に有利な手段であることが確認された。一方で、同じ冷却速度を高める方法であっても、過度な低温環境下で固化をおこなうと、遺物の破壊に至る危険性があると推測された。結晶化効率と溶液の移動性を両立できる最適温度を確認するためには、今後追加実験が必要である。

[1]伊藤幸司．トレハロースを用いた文化財保存の研究と実践-糖類含浸処理法開発の経緯と展望．三恵社, 2020
[2]肖舒尹、脇谷草一郎、松田和貴、柳田明進、田村朋美、高妻洋成．トレハロース処理法の寸法安定性に関する考察 1 - 接触角から推定される結晶形態による検討 - ．日本文化財科学会第 39 回大会ポスター発表（P-48）．千葉大学．2022 年 9 月
[3]齋藤幸夫．結晶成長．裳華房, 2013
[4]信田聡・河崎弥生編．木材科学講座 7　木材の乾燥 I 基礎編．海青社, 2020

近代日本の劣化した焼成煉瓦における微生物調査
Microbial Investigation of Deteriorated Fired Bricks Manufactured in Modern Japan

○河﨑衣美（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）、木本孝周（牛久市）
○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), KIMOTO Takachika(Ushiku 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[2]。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、その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東京湾要塞遺跡、牛久シャトー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。東京湾要塞遺跡の猿島砲台跡（所在地：神奈川県横須賀市）は無人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。同千代ヶ崎砲台跡は明治28年(1895年)に竣工した。牛久シャトーは旧ワイン醸造場施設で明治36年（1903年）に竣工した。サンプルは2020年8月と2021年8月に採取した、剥落片や粉状化堆積物であり、一覧を表1に示す。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[3]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叢解析を行った。得られた配列データは相同性97%以上のものについてSilva Living Tree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。さらに硫黄循環や窒素循環に関わる微生物について解析した。



図1 千代ヶ崎砲台跡煉瓦の劣化状況

表1 サンプル一覧

番号	場所		
21-1	千代ヶ崎砲台跡	第二隧道	塩析出
21-2	千代ヶ崎砲台跡	第二交通路	塩析出
21-3	富岡製糸場	繰糸所	外壁剥落片下
21-4	富岡製糸場	繰糸所	内壁
21-5	牛久シャトー	記念館地下	柱下部
21-6	牛久シャトー	記念館地下	21-5上堆積物
21-7	牛久シャトー	記念館上階	塩析出
20-1	富岡製糸場	繰糸所	
20-2	富岡製糸場	東置繭所	砂岩礎石
20-3	猿島砲台跡	第二砲術指揮隊	塩析出

3. 結果と考察

表2にアンモニア・硝酸系の窒素循環に関わる微生物および，特出して検出された特徴的な微生物を示す。21-7を除く全サンプル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21-1，21-2，21-3，21-4からは硝酸還元能を持つ細菌が検出された。サンプル21-1~4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21-3で特徴的に検出された*Bacillus*属は細胞外にカルシウム塩を生成する種があることが知られている。サンプル21-4の*Stigonematales*目はシアノバクテリアで窒素固定を行う。サンプル21-1，21-2，21-3，21-4，21-5，21-7からは好塩性の微生物が特徴的に検出されており，煉瓦内で特異な微生物叢が形成されていることが明らかとなった。特に硝酸還元細菌として挙げた*Rubrobacter bracarensis*は塩要求性の細菌[3]であり，塩の存在と微生物の活動との関わりを示している。

表2　窒素循環に関わる微生物と特徴的な微生物［構成比，リード数］　　－：不検出，*アーキア

		富岡製糸場		千代ヶ崎砲台跡	牛久シャトー	
		サンプル21-3 煉瓦(析出物なし)	サンプル21-4 煉瓦(析出物なし)	サンプル21-1 煉瓦(Na_2SO_4析出)	サンプル21-5 煉瓦(析出物なし)	サンプル21-7 煉瓦(Na_2SO_4析出)
硝化細菌	アンモニア酸化	*Nitrososphaera viennensis** [0.1%, 42]	*Nitrososphaera viennensis** [0.1%, 40]	*Nitrososphaera viennensis** [0.1%, 26] *Nitrosoarchaeum oceani* [0.2%, 48]	－	－
	亜硝酸酸化	*Nitrolancea hollandica* [0.1%, 62]	*Nitrolancea hollandica* [0.1%, 36]	*Nitrolancea hollandica* [10.9%, 3394]	*Nitrolancea hollandica* [0.2%, 60]	－
硝酸還元細菌		*Rubrobacter bracarensis* [0.3%, 122]	*Rubrobacter bracarensis* [2.4%, 732]	*Rubrobacter bracarensis* [14.6%, 4548]	－	－
S_2O_3, NO_2などの酸化		*Nitrilruptor alkaliphilus* [0.1%, 47]	－	*Nitrilruptor alkaliphilus* [5.2%, 1616]	*Nitrilruptor alkaliphilus* [0.7%, 212]	*Nitrilruptor alkaliphilus* [0.0%, 6]
その他		*Bacillus* sp. [61.7%, 28807] *Halorarcus hamelinensis** [0.7%, 324]	*Stigonematales* sp. [11.6%, 3499] *Halomonas muralis* [7.2%, 2165] *Halococcus hamelinensis** [0.1%, 17]	*Halomonas muralis* [0.6%, 191]	*Gracilimonas* sp. [22.6%, 7230] *Halactinopolyspora alba* [4.9%, 1562]	*Halalkalicoccus tibetensis** [97.4%, 25639]

4. まとめ

近代日本の焼成煉瓦における劣化への微生物の関与について，調査を行った。対象となる富岡製糸場，東京湾要塞遺跡，牛久シャトーの煉瓦の粉状化物等から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微生物(アーキアを含む)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。他にも，好塩性や塩要求性の微生物が検出されるなど，煉瓦内で特異な環境が形成されていることが明らかとなった。サンプルの観察や含有塩類の調査等を実施し，周辺環境の調査を行うことで，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。

注1　「アーキア（古細菌）」は「細菌」，「真核生物」と並んで，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) 河崎衣美 他, 2021: 劣化した焼成煉瓦における微生物調査，日本文化財科学会第38回大会発表要旨集, 226-227
3) Valme Jurado et. al., 2012: *Rubrobacter bracarensis* sp. nov., a novel member of the genus *Rubrobacter* isolated from a biodeteriorated monument. Systematic and Applied Microbiology 35, 306--309

障壁画の劣化の定量的評価に関する研究
-変褪色と設置位置の相関性-

Study on Quantitative Evaluation of Deterioration in Wall Panel Paintings -The discoloration correlated with the position and the facing direction

◯貴田啓子（東京藝術大学）、高林弘実（京都市立芸術大学）、乙守倫太朗（京都大学）、
岡村知明（京都市文化市民局元離宮二条城事務所）、髙取伸光（京都大学）、小椋大輔（同左）
◯Keiko KIDA (Tokyo University of the Arts), Hiromi TAKABAYASHI (Kyoto City University of Arts), Rintaro OTOMORI (Kyoto University), Tomoaki OKAMURA (The City of Kyoto), Nobumitsu TAKATORI, Daisuke OGURA (Kyoto University)

1. はじめに

二条城本丸御殿では、保存修理事業として、障壁画については解体修理を行う本格的な作業が進められている。障壁画の保存を検討するにあたり、その設置環境と劣化状況との相関性の把握は、重要な課題である。障壁画の劣化調査は非破壊を基本とし詳細な調査が困難であるため、本研究では、城内に障壁画（図 1）と同様に設置されているが、数度の取り替えを経ている唐紙（図 2）に着目し、修理時に取り外された本丸御殿御書院の唐紙について、その変褪色の調査から、障壁画の劣化の定量的評価を試みた。


図 1　二条城本丸御殿内の障壁画


図 2　二条城本丸御殿内の唐紙

2. 分析　　2.1. 対象資料

御書院の北側に位置する雲鶴 一之間、雲鶴 二之間、雲鶴 三之間およびその周囲の廊下の襖または建具に張られた唐紙（雲鶴）は、1895（明治 28）年頃から現在の修理で取り外すまでここに設置されていたと考えられる。取り外された約 50 面の唐紙のうち、14 面を分析に供した（図 3）。



図 3　本丸御殿御書院における調査対象の唐紙の位置を示した図面

2.2. 測色

唐紙 1 面につき、地色緑色部 5 か所（図 4）について、土色計 SPAD-503（KONICA MINORUTA）を用いて測色した（光学条件 8 °、測定径約 φ 8 mm）。各唐紙の引手金具を取り外した部分図 4(A)は変褪色が極めて小さいため、この測色値を変褪色前として、各部の測色値との色差 ΔE^*_{ab} 算出した。各唐紙の変褪色は、図 4(D)の ΔE^*_{ab} を使用し、設置位置との相関性を検討した。一方、同唐紙面内の変褪色は、各唐紙の図 4(B)～(E)の ΔE^*_{ab} で評価した。

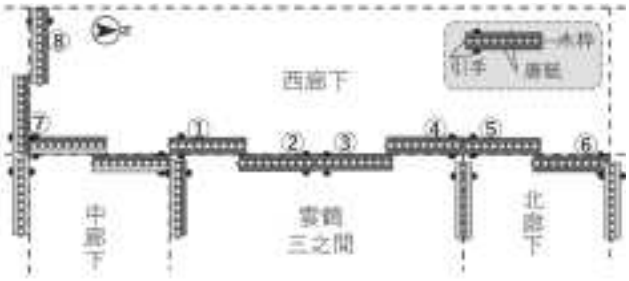
3. 結果と考察　　3.1. 襖の位置が変退色に及ぼす影響

図 3 の西廊下と雲鶴 三之間の襖について、閉開時の位置をそれぞれ図 5(a), (b)に示す。各唐紙の色差 ΔE^*_{ab} を図 6 に示す。全ての襖において、図 5(b)に示す開時に、建具外側の唐紙よりも建具内側の唐紙は変褪色が小さかった。一方、襖の両面が廊下に面する唐紙（廊下-廊下）は、襖の片面が室内に面する唐紙（廊下-室内）よりも建具外側の変褪色が顕著に大きかった。従って、開時の襖が重なった環境の影響を強く反映し、建具内の内側よりも外側の唐紙で、また、室内よりも廊下に設置された唐紙で変褪色の進行が早いと考えられる。また、各唐紙の図 4(A)の測色値 14 面の平均値は L^* = 49.9、a^* = -17.1、b^* =12.7 であり、その色味はやや暗い緑色を示す。目視観察で、変退色後の唐紙は黄色味を帯びており、ほぼ全ての唐紙で Δa^*の増加を確認した（図 6）。今後、 ΔE^*_{ab} との相関性を検討する。



図 4　唐紙の測色箇所

(a) 閉時の襖の位置



(b) 開時の襖の位置

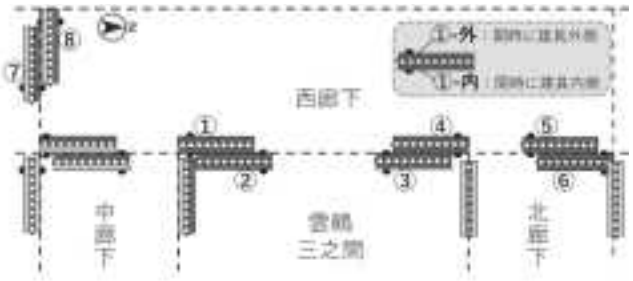


図 5　御書院雲鶴三の間およびその周辺の襖の位置

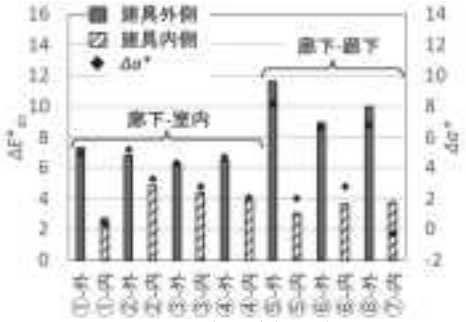


図 6　各設置位置の唐紙の変退色（ΔE^*_{ab}）

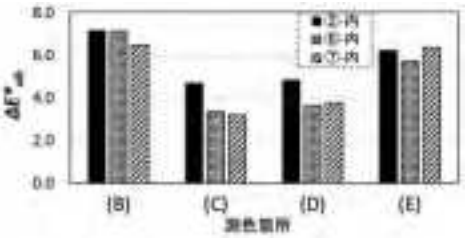


図 7　３種の唐紙面内各部の ΔE^*_{ab}

3.2.　襖面内における変褪色の傾向

開時に建具内側の唐紙における図 4(B)～(D)の代表的な測色値（図 7）より、引手に近い(B)の変褪色が最も大きく、次に反対側の端(E)が大きい。中央寄りの(C)と(D)は変褪色が小さかった。(B)の位置は開時に外側に位置することがその要因として考えられる。(E)の位置は、建具内での環境として特殊な状況にある可能性が示唆された。

４．結論

本丸御殿御書院におよそ 130 年ほど設置されていた唐紙について、その変褪色と設置位置を調査した結果、廊下に位置する面で変色が大きいこと、襖の開時の影響を強く反映し、開時に建具外側に面している唐紙は変色が大きいこと、面内の変色は、端のほうが大きいことが明らかとなり、襖の位置は劣化現象のうちの変色と強く相関性があることがわかった。

【謝辞】測色データの解析は岩田直美様（東京藝術大学教育研究支援員）にご助力頂いた。本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究（B）(課題番号: 21H01491、研究代表者：小椋大輔)の助成を受けたものである。

障壁画の劣化の定量的評価に関する研究

-カビによる着色の分布解析-

Study on Quantitative Evaluation of Deterioration in Wall Panel Paintings: Distribution Analysis of Mold Staining

◯高林弘実（京都市立芸術大学)、貴田啓子（東京藝術大学)、乙守倫太朗（京都大学)、岡村知明（京都市文化市民局元離宮二条城事務所)、小椋大輔（京都大学)、髙取伸光（同左）
◯Hiromi TAKABAYASHI(Kyoto City University of Arts), Keiko KIDA(Tokyo University of the Arts), Rintaro OTOMORI(Kyoto University), Tomoaki OKAMURA(The City of Kyoto), Daisuke OGURA, Nobumitsu TAKATORI (Kyoto University)

1. 背景と目的

文化財建造物内に現地保存される障壁画の保存環境を最適化するためには、障壁画の現状をもとに環境が劣化に与えた影響を正確に把握することが望まれる。しかし、障壁画は部屋ごとに制作時期、作者、画題などが異なることが多く、初期状態が一様ではないため、劣化と環境の関係の詳細な評価が難しいことがある。この課題に対処するため、本研究では二条城本丸御常御殿に使用された唐紙を取り上げることにした。対象とした唐紙は同一の仕様の紙が広範囲に使用されており、状態の比較が容易である。本研究の目的は、御常御殿の建具表面に張られた紙の劣化の特徴を定量的に明らかにし、劣化に影響を与えた要因を検討することである。

2. 研究対象と方法

本研究の対象は、二条城本丸御常御殿の御茶所およびその周辺の廊下の襖と板戸に使用されていた唐紙「朽木雲」（胡粉地引きキラ押し）の 46 点である（図 1)。これらの唐紙は平成元年に張られ、令和元年 8 月に取り外された。劣化状況を目視で確認した上で、カビによる着色の分布を画像解析（ImageJ 1.53t）によって定量的に評価した。解析には、同一条件で撮影した紫外線蛍光写真（光源：蛍光管型ブラックライト、フィルター：FUJIFILM SC-46）を使用し、閾値法で画像を二値化して発光領域を抽出し、発光面積の割合を算出した。各唐紙の寸法や引手の位置の違いを考慮し、キラ押しの文様が一致するように解析領域を設定した。

3. 結果および考察

唐紙に生じている劣化を観察すると、御殿外周の雨戸に使用されていた唐紙は襖に使用されていた唐紙と比較してキラが多く欠損していた。加えて、キラの固着が弱くなっていることも観察された。設置状況の違いがキラの固着低下の度合いに違いをもたらしたと考えられる。また、多くの唐紙には胡粉地にカビによる茶色の着色が広く認められ、紫外線を照射するとその

部分は発光した（図 2)。また、雨戸の唐紙には、水滲みの痕が観察され、滲みの周囲にはカビによる黒色の着色が特異的にみられた。温湿度環境の違いにより複数種のカビが発育している可能性がある。特に目立ったカビの発生状況を考察するため、紫外線照射による発光面積の割合を比較した（図 3)。御茶所室内に面して襖に張られていた唐紙は、廊下に面して襖に張られていた唐紙と比較して発光面積の割合が高い傾向にある。このことから、御茶所室内が廊下と比較してカビが発育しやすい環境にあったことが示唆される。廊下に面していた唐紙では、襖の唐紙の方が板戸の唐紙よりも発光面積の割合が高い傾向にある。襖と板戸におけるカビの発育の違いには、唐紙の温湿度差が関与している可能性が示唆される。設置空間の熱・湿・光環境や、組子下地と板の熱水分特性が影響を与えた可能性が考えられる。

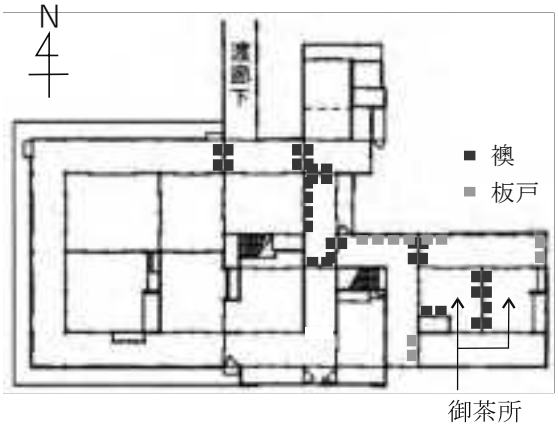


図 1　画像解析に供した唐紙の設置箇所

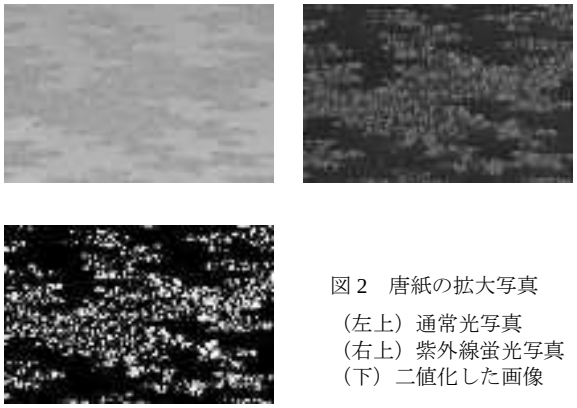


図 2　唐紙の拡大写真
（左上）通常光写真
（右上）紫外線蛍光写真
（下）二値化した画像

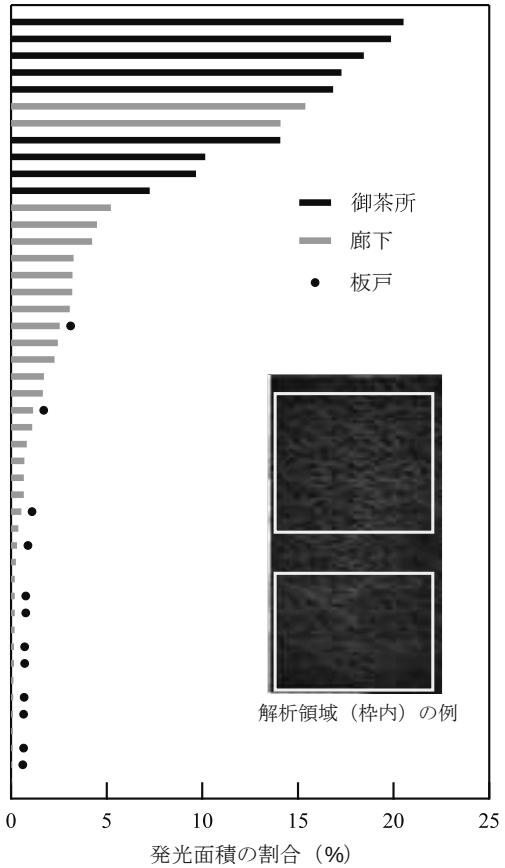


図 3　紫外線照射で発光した面積の割合

4. まとめ

本研究では、二条城本丸御常御殿に使用された唐紙について、その初期状態の一様性を基に、劣化の違いを比較した。唐紙の多くに胡粉地にカビによる着色が観察され、画像解析から御茶所室内は廊下と比較してカビが発育しやすい環境にあったと考えられる。また、廊下では板戸と比較して襖の方が多くカビが発生しており、襖と板戸では唐紙の温湿度に差があった可能性がある。その要因の解明には、設置空間の熱・湿・光環境や、組子下地と板の熱水分特性を考慮する必要がある。

【謝辞】本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究（B）(課題番号: 21H01491、研究代表者：小椋大輔)の助成を受けたものである。

三次元計測に基づく宝塔寺塩なめ地蔵奉納台の劣化状態評価

Evaluation of deterioration of the Shioname Jizo Dedication Table at Hotoji Temple Based on 3D Measurements

白石明香、朽津信明(東京文化財研究所)
○Sayaka SHIRAIASHI, Nobuaki KUCHITSU (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

１）初めに

参詣者の身体健康を祈願し地蔵のご身体に塩を盛って参拝するという風習が各地で見られる。塩が清めとして古来より用いられたことに由来し、その地蔵は塩地蔵と呼ばれている。各地の塩地蔵は長期間塩を与えられたことで例外なく劣化しており、上部が痩せている。江東区宝塔寺の塩なめ地蔵も歴史的に塩がかけられていたため、像は元の造形が定かではない程劣化している。

そのため、1996 年以降像前の花崗岩製の奉納台に袋入りの塩を奉納する形に変更されたが、今回の調査によりその奉納台が著しく劣化していることが明らかとなった。

本研究では、宝塔寺の塩なめ地蔵の花崗岩製の奉納台の劣化状況を、三次元計測を用いた分析で定量的に評価することで、塩の奉納が奉納台に与える影響を検証した。併せて複数の塩地蔵の保存環境や塩類対策を調査して、塩かけ地蔵の保存について考察するものである。

２）宝塔寺塩舐め地蔵

東京都江東区の宝塔寺の塩なめ地蔵は、17 世紀後半に制作されたと伝わる江東区登録有形民俗文化財である。下総国行徳の塩を小名木川で江戸に運んでいた行商が商売繁盛を祈って塩をかけた他、供えられた塩を疣に塗ると治る疣取り地蔵として親しまれ、現在まで塩が奉納されている[1)]。



図 1.宝塔寺塩なめ地蔵

1994 年に地蔵堂を西側に置く現在の場所に、南向きの地蔵堂と花崗岩製の奉納台が新設され、像はその上に安置されている。像の更なる劣化を危惧し、1996 年頃から奉納台に袋入りの塩を納める形式となった。奉納台は賽銭台と花受、その後ろの奉納台と焼香台、最奥の台座で構成されており、賽銭箱の東側には賽銭の取り出し口がある。参拝方法を記載した注意板が立て掛けられている他、奉納台には塩から台を守るシートが設置され、塩の回収と清掃が定期的に行われているが、賽銭台奥側の塩の堆積が著しい。

3)三次元構築・分析方法

2022 年 11 月に賽銭台を中心に、現在の三次元形状を CANNON 社の EOS M6MarkⅡで 313 枚撮影し Agisoft 社の Metashape を用いて構築した。定量評価、劣化傾向はフリー点群ソフトの Cloud Compare を使用した。制作当初の寸法は不明なため、床の目地や損傷の少ない箇所から寸法を推定し、それを基に劣化箇所の差分を求めた。劣化傾向の算出は、各面に正対した際の奥行き方向を Z 軸とし、基準位置からの距離に応じて色付けされる仕組みを応用した。



図２．奉納台

４）結果

奉納台の面ごとの奥行き方向の推定当初の寸法との差と、劣化が顕著な位置を表 1 に示した。全ての面で劣化が見られたが、賽銭台正面上部や側面手前側の劣化が少なく、奥側が最も劣化しており、西側より東側の劣化範囲が広いという方位性が見られた。また、側面は両側共に奥側

ほど劣化傾向にあり、側面上部は逆円錐の形状に残存している。賽銭台と焼香台の正面には当初浮かし彫りで『賽銭』の文字、円に梵字が彫られていたが[2]、現在は層状の風化により文字は判別できず、周囲の石材の残存状態でその位置が分かる程度である。賽銭台正面は下から10.74cmと27.05cmの位置で劣化が顕著で、焼香台は溝を中心に正面部分に劣化がある。

表1.奉納台　各面の風化量と風化箇所の高さ

	推定当初の寸法との差（cm）	風化量の多い箇所の高さ(cm)
賽銭台裏	2.45	21.84
賽銭台上部	0.9.2	-
賽銭台側面(東)	0.89	19.96
賽銭台側面(西)	0.82	23.26
賽銭台正面	1.24※	10.74 /27.05

※隣接する類型の賽銭台の浮かし彫りが1mmのため差分から差し引いた。

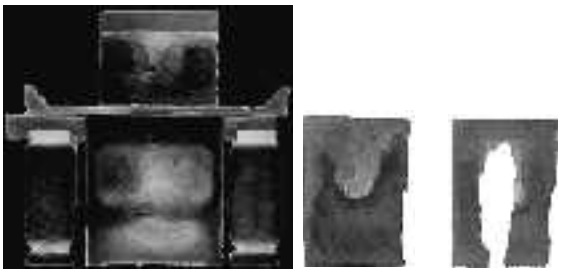


図3.奉納台の劣化傾向
黒色になるほど浸食量が多い。色は各点群全体の奥行から相対的に算出されるため基準面からの距離と色は対応しない。

5）考察

宝塔寺塩なめ地蔵の奉納台は、堂内に設置されてから28年間吹き込む風雨や差し込む日射に晒されてきたと考えられる。奉納台の劣化は塩の堆積が多い奥側程著しいことから、破れた袋から供給された塩と吹き込む雨に起因した塩類風化が示唆される。今回確認された花崗岩の風化量を1年間に換算すると年約0.044～0.09cm以上の風化速度となり、花崗岩の塩類風化の事例と比較しても非常に速い浸食量である[3]。戸口に近い賽銭台上部や側面手前側などの劣化が乏しいのは、風雨で石材表面の塩が洗われたためであり、賽銭台正面や上部の局所的な劣化は浮かし彫りの淵や注意板が塩の受け皿になり堆積したためと推測される。西側で浸食量が少ないのは、隣接する六地蔵堂により日射や雨の吹込みが軽減されるためと考えられる(図1)。また、雨天時には床石に溜まった雨水が目地を伝い奉納台奥側に水分が供給されると考えられ、さらに吹き込む風で石材表面の水分蒸発が促進されることで劣化が卓越したと推測される。側面の上部の残存状況は、花受けからの湿度供給と献花の影で蒸発が抑制されたためだと考えられる。日射と風の影響は多くの塩地蔵に共通し、塩に囲われた下部と比較すると石材表面が露出する上部の劣化が著しい。上部は日射などを遮るものが無いことで塩類風化が促進されるのに対し、下部は周囲の塩の壁が日射や風を遮断することで蒸発量が抑えられていると推測される。

以上を踏まえ、宝塔寺塩なめ地蔵の劣化の軽減には塩に体積する塩と水分の供給量や水分蒸発を軽減する方向性が考えられる。塩類風化に対しては各地で対策がされており、同型の地蔵に代替わりさせる事で風習を継続させている大田区智福寺の事例や、像をアクリル板で囲い塩かけを禁じているさいたま市の例もある。しかし、像を守るために塩の奉納を途絶えさせることは塩なめ地蔵の無形文化財的価値を損なう事に繋がる。比較的状態が良い西新井大師では、地面より高い位置に小さく戸口が設けられ、周囲には塀が巡らせてある。これにより屋根からの水跳ねや堂内への水分と日射、風の供給量が軽減されている。塩なめ地蔵は奉納台上に安置されていることから、奉納台と比較すると雨や日射の供給量は少ないと考えられるが、塩なめ地蔵の直ぐ下まで塩袋が積まれており、袋が破れ風に舞った塩が像表面に堆積することが想定される。このことから、塩の奉納台の位置を低くしたり、常置されている塩袋の量を減らすことで塩袋と像に距離ができ堆積量が減ると考えられる。また、軒を長くしたり戸口を狭くすることで日射や雨、風の吹込みを減らすことが出来る。こうした対策により、風習を継続させながら像の劣化を軽減することが可能になると考える。

参考文献：1）東京都江東区教育委員会社会教育課(1986)江東区の文化財,有形文化財・有形民俗文化財P199 (2)翠雲堂(2020)翠雲堂年報 1u.67
(3) 松倉公憲(2001)光明寺墓石外柵に使用された花崗岩の風化について, 筑波大学陸域環境研究センター報告P31-36 他

湿潤過程の違いが硫酸ナトリウムによる材料の変形挙動に与える影響の比較

Comparison of the Effect of Different Wetting Processes on the deformation of materials by Sodium Sulfate

◯磯村隆正（京都大学）、髙取伸光（同左）、小椋大輔（同左）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）

◯Takamasa ISOMURA, Nobumitsu TAKATORI, Daisuke OGURA (Kyoto University), Soichiro WAKIYA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. 研究の背景と目的

塩類風化、特に硫酸ナトリウム（Na_2SO_4）による多孔質材料の破壊は、屋外文化財に共通した問題である。硫酸ナトリウムは周囲の温湿度によって、無水和物や十水和物などの相状態をとる。古典的には、水和に伴う結晶の体積膨張が破壊の原因であると考えられており[1]、水和は周囲の温湿度環境の変化のみで発生すると考えられる。一方、近年では、水が塩結晶に供給され、過飽和な塩溶液が発生することで破壊が生じるとされている[2][3]。本研究では塩類風化を抑制する適切な保存環境を明らかにすることを最終的な目標とし、本報告では、異なる湿潤方法による材料の塩類風化挙動の差異を明らかにした。

2. 実験概要

実験装置の概要を図 1 に示す。試験体をポリスチレン製シャーレに乗せ、23℃程度に保たれた恒温槽内のデシケーター内に設置した。吸水過程では、シャーレの上に紙ウエスを敷き、紙ウエスに吸わせた水分を試験体下部から吸水させた。測定内容はひずみ、温度、湿度とした。ひずみゲージは試験体上部中央に、試験体である凝灰岩の火砕流が堆積した面と平行な面に貼り付けた。温湿度は温湿度計と熱電対を用いて計測した。デシケーター内の調湿には、飽和塩溶液を用いた。吸湿過程の放湿時と吸水過程では、硝酸マグネシウム（$Mg(NO_3)_2$）、吸湿過程の吸湿時には、硫酸ナトリウム（Na_2SO_4）を用いた。

試験体には凝灰岩（阿蘇火砕流堆積物）を用い、寸法は各辺 3cm の立方体とした。各実験条件における試験体のサンプル数は 4 とし、うち 3 つには塩を含ませ、残り 1 つは塩を含ませないものとした。試験体を純水に 3 日以上含浸させた後、105℃の乾燥炉で質量が一定となるまで乾燥した。23℃で 12g/100g(H_2O)の Na_2SO_4 溶液に含浸し、毛管飽和させ、再び 105℃の乾燥炉で乾燥した。その後、3 日以上 $Mg(NO_3)_2$ で調湿したデシケータ内に放置した。乾燥状態と飽和状態でそれぞれ重量測定を行った。

吸湿過程では、$Mg(NO_3)_2$ で調湿したデシケーター内で 4 日以上放置した後、調湿材を Na_2SO_4 飽和塩溶液に変更し、3 日以上デシケーター内で放置した。この手順を合計 4 回繰り返した。なお、各手順の終了時に試験体の重量測定ならびに写真撮影を行った。

次に吸水過程では、$Mg(NO_3)_2$ 飽和塩溶液で調湿したデシケーター内に試験体を設置し、その底面から脱イオン水を吸水させ、3 日以上放置した。吸水させる水の量は 1.0g, 3.5g, 7.0g の 3 条件とし、それぞれ別の試験体で行った。吸水の前後で重量測定および写真撮影を実施した。

3. 実験結果と考察

図 2 に吸湿過程における各試験体のひずみの推移を示す。なお、恒温槽内の温度変動によるひずみの影響を無視するために温度補正を行った[注釈)]。4 回の吸湿におけるひずみの変化は、塩なしで平均 5$\mu\varepsilon$、塩ありで平均 35$\mu\varepsilon$となった。ただし、放湿時のひずみは実験開始初期と同じ値には戻らず、ひずみが徐々に残留している可能性がある。また、吸湿による乾燥状態からの試験体の重量変化は、塩ありで平均 0.018 [kg/kg]に対し、塩なしでは平均 0.0030 [kg/kg]と、塩ありの方が大きくなった。塩の有無による重量変化に差は析出塩による細孔構造の変化や蒸気圧降下、あ

るいは Na_2SO_4 の水和反応などが原因と考えられる。また、追加実験として Na_2SO_4 飽和塩溶液で調湿した環境下で 91 日間吸湿を行なった実験の結果を図 3 に示す。10 日を超えたあたりからひずみが徐々に上昇し、最大で 300$\mu\varepsilon$から 700$\mu\varepsilon$と、前述の乾湿繰り返し実験より大きな値が得られた。この結果より、乾湿繰り返し実験では塩が平衡状態に達していなかったと考えられる。

図 4 に吸水過程における各試験体のひずみの推移を示す。なお、吸水量 7.0g の条件は、2 日経過した後のデータに一部欠損が生じた。塩なしの試験体では吸水後速やかにひずみが増加し一定の値に達し、塩ありの試験体では試験体ごとにひずみの推移に差が生じることが分かる。吸水量が 3.5g, 7.0g の場合では、ひずみの最大値が塩なしで約 120$\mu\varepsilon$であるのに対し、塩ありでは 200$\mu\varepsilon$から 700$\mu\varepsilon$となった。一方、1.0g の吸水量では、塩あり、塩なしともに最大で 10$\mu\varepsilon$から 20$\mu\varepsilon$程度と小さく、底面から吸水した液水がひずみゲージが貼り付けてある試験体上面まで到達しなかったことが原因と考えられる。

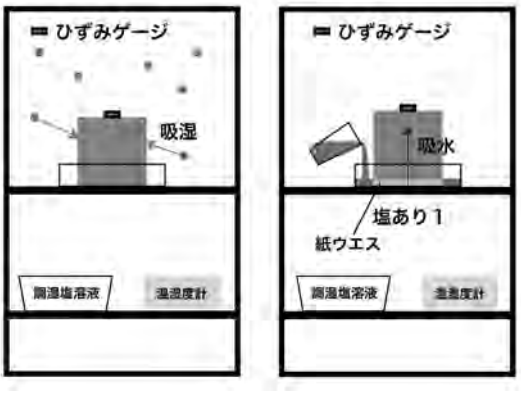


図 1 実験装置模式図

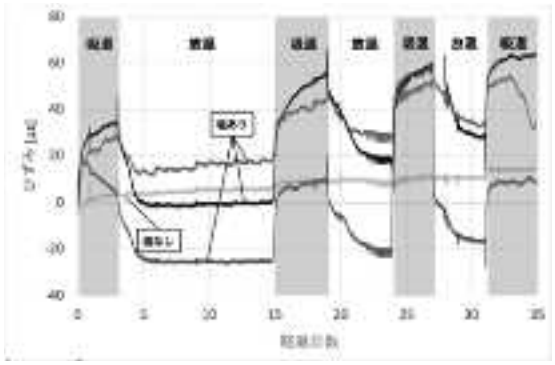


図 2 吸湿過程のひずみ推移

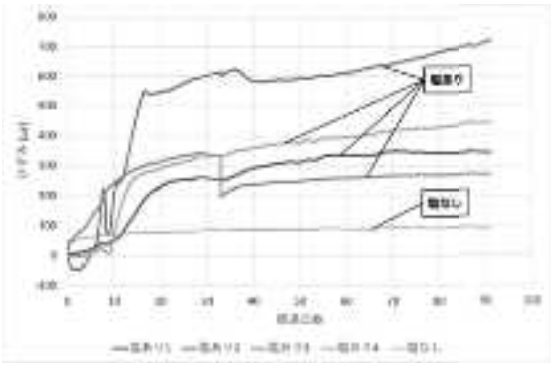


図 3 吸湿過程のひずみ推移（長期）

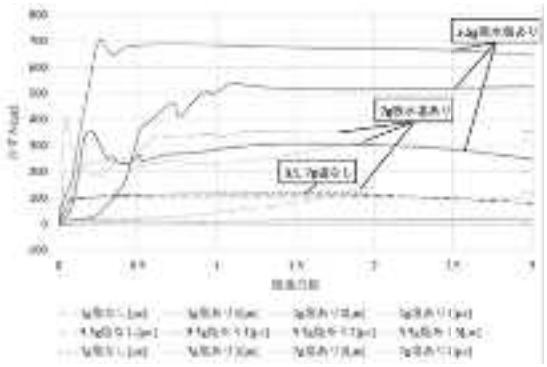


図 4 吸水過程のひずみ推移

4. 結論

本研究では、硫酸ナトリウム塩により発生する材料を破壊するほどの応力が、無水和物から十水和物へと変化する過程で発生することについて、吸湿による潮解と吸水による溶解という異なる湿潤方法での比較を行った。吸湿により塩を潮解させた試験体では、今回設定した 3 日という吸湿期間では試験体内の塩が平衡状態には至らず、吸水により塩を溶解させた試験体ほど大きなひずみは発生しなかった。一方で、吸湿および吸水時のひずみは単調に増加するわけでは無く、試験体ごとのばらつきも大きかった。この原因については今後さらなる検討が必要だと考えられる。

【注釈】各試験体について、6.25 日から 14.75 日にかけてのひずみの安定している状態において、デシケータ内温度とひずみの関係を線形近似することでひずみの温度依存性を補正した。【謝辞】本研究の一部は，科学研究費補助金 若手研究(課題番号: 21K14301 研究代表者：高取伸光)の助成を受けたものである.【参考文献】[1] 松倉公憲, 地形変化の科学―風化と浸食―, 朝倉書店, 2008. [2] Scherer, G. W., Stress from crystallization of salt: Cement and Concrete Research, vol. 34, pp. 1613-1624, 2004. [3] Flatt, R. J., Salt damage in porous materials: how high supersaturations are generated: Journal of Crystal Growth, vol. 242, pp. 435-454, 2002.

乾燥剤を用いた凍結乾燥における密閉容器内の温湿度変化

The change of temperature and humidity in closed container in the freeze-drying method using desiccant.

○中尾真梨子（奈良県立橿原考古学研究所）、奥山誠義（同左）

○Mariko NAKAO, Masayoshi OKUYAMA（Archaeological Institute of Kashihara,Nara prefecture）

1. はじめに

乾燥剤を用いた凍結乾燥とは、水分を過剰に含んだ文化財の乾燥を対象とした、市販の乾燥剤と冷凍庫、密閉容器等を用いる簡便な乾燥方法である。これを便宜的に「乾燥剤凍結乾燥法」と称する。

これまでの研究により、乾燥剤凍結乾燥法は、密閉容器内が乾燥剤により常に乾燥した環境下となり、わずかに減圧状態で凍結乾燥が行われていることがわかっている[1]。また、密閉容器内の相対湿度は乾燥開始直後から大幅に低下し、試料の重量変化率は乾燥開始直後から 24 時間後の変化が大きいことが分かっている[2,3 ほか]。密閉容器内の相対湿度は、乾燥剤の吸湿限界以降はわずかに上昇またはほぼ変化がない [2]。このため、乾燥剤凍結乾燥法における乾燥時の試料への影響は、乾燥開始から約 24 時間以内に発生する急激な温湿度変化が最も大きいと推測される。これまでの研究では、乾燥剤に A 型シリカゲルを使用してきた。A 型シリカゲルは、低湿度環境でも吸湿し乾燥状態を保つ特性があり、これは低温環境下でも同様であることを確認している[2]。一方、高湿度環境下においては水分を吸着し、低湿度環境下においては水分を放出する特性をもつB型シリカゲルや、シリカゲルと比較し安価に手に入る活性炭等の乾燥剤について、低温環境下での挙動を確認していない。そこで本研究では、異なる特性を持つ乾燥剤を用いて、氷点下における密閉空間内の温湿度変化を計測し、乾燥剤の吸着特性を確認した。

２．実験の方法

実験に使用した乾燥剤は、A 型シリカゲル(以下、A 型)、B 型シリカゲル(以下、B 型)、粒状ヤシガラ活性炭(以下、活性炭)である。

それぞれ-20℃、-30℃、室内環境の 3 つの条件下において乾燥を行い、密閉容器内の温湿度を計測した。実験条件は表 1 の通り。

乾燥剤凍結乾燥法は、水浸出土木製品や水損文書への適応を想定している。そのため、容易に手に入る市販のシールウェアおよびチャック付ポリエチレン袋を密閉容器として選択した。なお、空間そのものの挙動を確認するため、密閉容器内には乾燥剤と温湿度データロガーを封入したのみである。

表 1:実験条件

乾燥環境	実験条件	乾燥剤使用量	密閉容器
室内環境	A 型シリカゲル封入	90g	シールウェア/450ml
	B 型シリカゲル封入		
	Brank	−	
-20℃	A 型シリカゲル封入	90g	シールウェア/450ml
	B 型シリカゲル封入		
	活性炭封入		
	Brank	−	
−20℃	A 型シリカゲル封入	50g	チャック付 ポリエチレン袋 205 ㎜×180 ㎜×0.06 ㎜
	B 型シリカゲル封入		
	活性炭封入		
	Brank	−	
-30℃	A 型シリカゲル封入	90g	シールウェア/450ml
	B 型シリカゲル封入		
	Brank	−	

３．結果と考察

結果を図 1～6 に示す。図 3～6 の相対湿度変化率は、乾燥剤封入前の相対湿度平均値を基準とした。

シールウェア内の A 型、B 型の相対湿度は低温環境下でも低下するが、それらの低下速度や低下傾向に大きな違いはないことが分かった(図 3,4)。活性炭の-20℃環境下における相対湿度変化率は、乾燥開始から約 15 時間後に-35%となり、その後は緩やかに低下していく。活性炭は、A 型、B 型と比較し、

24 時間以内に相対湿度が 0RH%まで低下することはなかった(図 3)。これが投入量によるものか経過時間によるものかは、今後検討が必要である。

本研究により、A 型、B 型、活性炭を用いた凍結乾燥における乾燥初期の温湿度変化を確認した。しかし、本研究で使用した乾燥剤は 3 種のみである。また、限定的な条件下における結果とも考えられる。今後、同様の実験を乾燥剤、温度、容器容量、乾燥剤の封入量などを変更して行い、乾燥剤凍結乾燥法により適した条件を検討する。

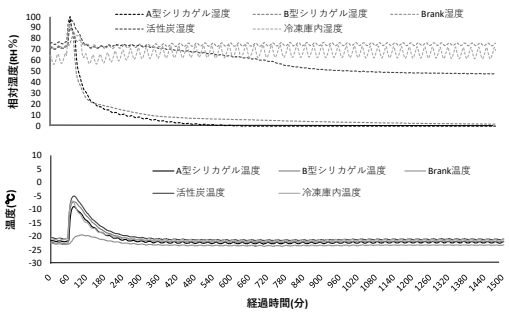


図 1：-20℃環境下における密閉容器内(シールウェア)の温湿度変化

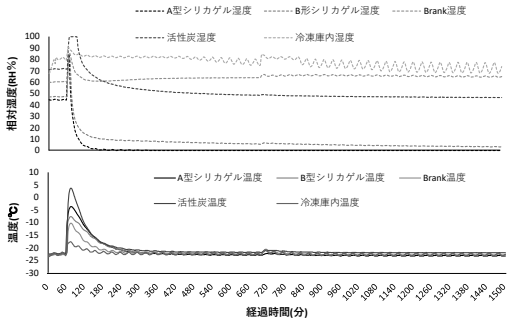


図 2：-20℃環境下における密閉容器内(チャック付袋)の温湿度変化

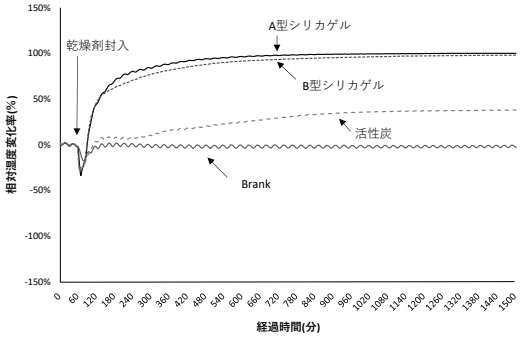


図 3：-20℃環境下における密閉容器内(シールウェア)の相対湿度変化率(各 3 計測値平均)

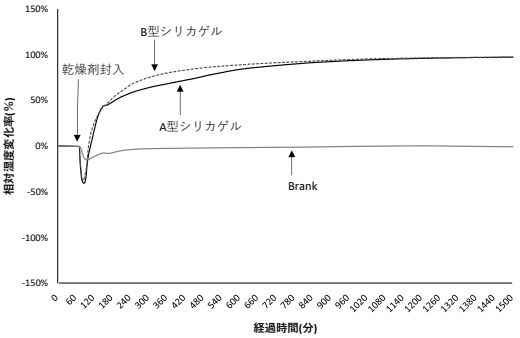


図 4：-30℃環境下における密閉容器内(シールウェア)の相対湿度変化率(各 3 計測値平均)

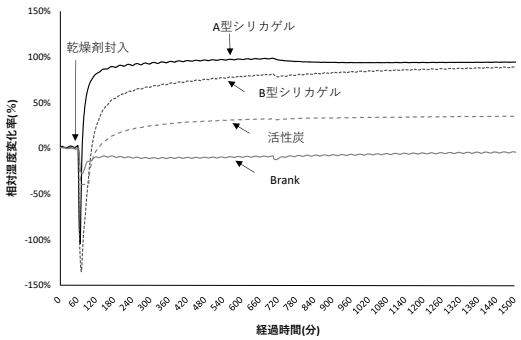


図 5：-20℃環境下における密閉容器内(チャック付袋)の相対湿度変化率(各 3 計測値平均)※活性炭については、1 計測値を示す。

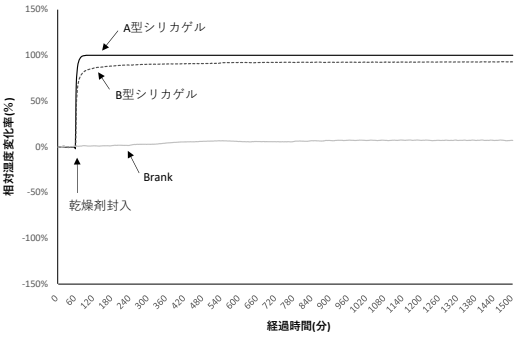


図 6：室内温湿度環境下における密閉容器内(シールウェア)の相対湿度変化率(各 3 計測値平均)

【謝辞】本研究は JSPS 科研費 JP23K00953 および JP20H00021 による成果の一部です。

【引用・参考文献】

[1]奥山誠義、中尾真梨子『氷点下における乾燥剤と共に密閉した出土木材の変化（2）－内部圧力と重量の変化－』日本文化財科学会第 35 回大会要旨集　2018 年
[2]中尾真梨子、奥山誠義『出土木製品乾燥剤凍結乾燥における重量と寸法の変化について』青陵 148 号　2016 年
[3]中尾真梨子、奥山誠義『氷点下における乾燥剤と共に密閉した出土木材の変化（1）－形状と重量の変化－』日本文化財科学会第 35 回大会要旨集　2018 年

虫損を受けたマキリ（小刀）鞘の保存・活用にむけた三次元情報の整備

The attempt to accumulate three-dimensional information for the conservation and utilization of Makiri (small knife) sheath damaged by woodboring beetles

北澤珠璃花（奈良大学）、後藤瑞希（同左）、篠原志織（同左）、湯澤香奈（同左）、渡邉廉（同左）、
長田佳宏（平取町立二風谷アイヌ文化博物館）、鳥越俊行（奈良国立博物館）、
今津節生（奈良大学）、〇杉山智昭（同左）

Zyurika KITAZAWA, Mizuki Goto, Shiori SHINOHARA, Kana YUZAWA, Ren WATANABE (Nara University), Yoshihiro OSADA (Nibutani Ainu Culture Museum), Toshiyuki TORIGOE (Nara National Museum), Setsuo IMAZU, 〇Tomoaki SUGIYAMA (Nara University)

1. はじめに

虫損の履歴を有する文化財については、その取扱いおよび保存に関してきわめて慎重な判断が要求される。特に文化財の利活用への取組みが一層奨励されつつある現況においては、虫損を受けた文化財のさらなる劣化や破損を招く要因を的確に把握した上で、適正な保存・活用を実施していかなければならない。しかし、生物劣化（虫菌害）を受けた履歴を有する文化財においては、外部観察のみでそのコンディションを十分に把握することが困難であり、搬送や展示、環境管理等において、想定外の事故を招く可能性を有している。特に文化財を構成する素材を積極的に食害するシバンムシなど文化財害虫による脆弱化は、見かけ上の健全さとは異なる深刻な状態を引き起している事例も多い。従来、文化財表面に出現している成虫脱出孔（大きさ、数）をもとに脆弱化の程度を類推することも行われてきたが、この指標自体、決定的な判断基準とはなりえない。このような状況を打開するためには、文化財を所蔵する施設、機関、個人に対して正確な脆弱化情報を提示し、対象の保存・活用において継続的に参照できる体制を整備しておくことが望ましい。本研究では、表面に虫損が認められる平取町立二風谷アイヌ文化博物館が所蔵するマキリ（小刀）の木製鞘について、その虫損状況の全容を解明し、今後の保存・活用に資する情報を入手することを目的とし、X 線 CT スキャナによる調査を実施した。

2. 資料と方法

2.1 調査資料

本研究においては、平取町立二風谷アイヌ文化博物館所蔵のマキリ（小刀）の木製鞘【資料番号 KT074-7】について調査を実施した。

2.2 調査方法

文化財用 X 線 CT スキャナ（YXLON International 社製）による資料の撮影を行い、Volume

Graphics 社製の三次元データ解析ソフト MyVGL 3.4.3 を用いてデータを三次元化し、対象資料内部の文化財害虫による食害状況を立体的に観察した。さらに資料の脆弱性を評価するための客観的指標として連続して作成した断層画像ごとに食害によって生じた空隙の割合を欠損率として算出し、情報を蓄積した。

3. 結果および考察

X 線 CT スキャナを用いて調査を行った結果、対象資料内部には表面より観察される虫孔の分布からは推測することのできない空隙が広範囲に広がっていることが明らかとなった（図 1)。また、空隙には資料表層にきわめて近接した領域に及んでいるものも多く観察され、同程度の欠損率を有する断面においても、空隙分布が表層か深層かにより、外から加わる力に対する抵抗性は異なることが示唆された（図 2)。したがって、本研究で得られた資料内部の空隙分布パターンおよび欠損率は、対象資料の展示や調査研究に伴う取扱い、搬送の際の梱包方法、展示・保管用支持具の設計、保存修復作業等を行う上で、これまで得られなかった有益な情報を提供するものと考えられる。文化財を適切に保存・活用していくためには、その現状における脆弱性を客観的に評価することが不可欠である。X 線 CT スキャナによって得られる内部構造情報はその要求に応える指標として重要であり、将来における資料の劣化・破損リスクの大幅な低減に資するものと考えられる。本研究結果は、地域の文化財を守り伝えていく上でより高度な三次元情報の蓄積が喫緊の課題であることを示唆するものであるが、現在、X 線 CT スキャナによる調査は限られた機関でのみ実施可能となっている。機器の運用については設置施設の運営方針に沿って決定されるが、今後はその有用性に鑑み、地域の小規模施設に所蔵されている民具など、これまで顧みられることの少なかった貴重な文化財についても大局的な視点から積極的に調査が展開されていくことを期待したい。



図 1　食害による空隙分布の調査例
（長軸平行方向）

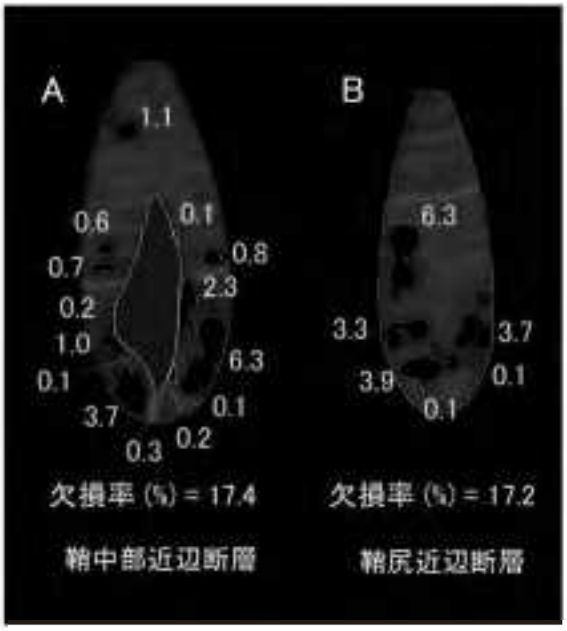


図 2　食害による空隙分布および欠損率調査例
（長軸垂直方向）