ポスター発表
Poster Presentations

会場：WEB 開催特設ホームページ

日時：9 月 5 日（土）9：00 ～ 9 月 13 日（日）17：00

プラント・オパールの表面に残留する微細繊維による年代測定法の開発（Ⅲ）

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

○中村俊夫(名古屋大学)、宇田津徹朗(宮崎大学)、田崎博之(愛媛大学)

○Toshio NAKAMURA (Nagoya Univesity), Tetsuro UDATSU (Univesity of Miyazaki), Hiroyuki TASAKI (Ehime University)

1. はじめに

発表者らは、プラント・オパールの表面に残留する有機質繊維から、遺構の年代を測定（加速器質量分析計による C14 年代測定） する技術の開発を進めてきた。これまでの研究により、安定して年代測定が可能な量のプラント・オパールを抽出する技術は確立できたが、測定値が想定年代よりも古い値を示す傾向が強かった。その改善策として、抽出プラント・オパールに含まれるイネの比率を高めたところ、想定年代に近づく傾向が認められた（第 36 回大会にて発表）。

この結果を受け、これまで測定実績のある遺跡土壌について、新しい抽出工程を適用し、抽出したプラント・オパールの年代測定を実施し、改善効果の検証を実施した。その結果、測定値は全体的に新しい年代値を示し、大きく遡って古い値が出ることはなくなったが、測定値は考古学的な年代と調和的なものばかりではなく、一定のズレが認められた。

本大会では、現段階でのプラント・オパールによる年代測定の実用性の現状と残された課題について報告を行いたい。なお、本研究は JSPS 科研費（17K18513）の助成によるものである。

2. 取り組みの概要

この 3 年間の取り組みで構築したプラント･オパール年代測定手法の実用性と限界を検証するため、下記の 2 つの抽出と年代測定を実施した。年代測定は BETA 社(米国)で行い、また、測定結果の再現性をチェックするため、主要な試料については、名古屋大学でも実施した。

1）新旧の抽出工程によるプラント・オパール年代測定結果の比較検討

昨年度に構築した下記の抽出工程をこれまでに測定実績のある生産遺構土壌に適用し､測定値の変化の有無と傾向について検討を行った。

粒子分散→**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 1　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

2）複数の時代に帰属する水田作土を供試した比較検討

上記の検討に加えて、長野県の石川条里遺跡（資料提供：長野県埋蔵文化財センター）や宮崎県の橘通東 1 丁目遺跡（資料提供：宮崎県埋蔵文化財センター）の複数の時代の異なる生産遺構土壌（水田作土）について、プラント・オパールによる年代測定を実施し、考古学的年代との調

和だけでなく、上下層の年代値の矛盾の有無とその程度についても検討を行った。

3. 結果および考察

1）新旧の抽出工程によるプラント・オパール年代測定結果の比較について

表1に、4遺跡について新旧の抽出工程によるプラント・オパールの年代測定結果をまとめた。3遺跡については、昨年度に報告した試行例と同様に、年代値が新しくなる傾向が認められた。想定年代との関係は、CとI遺跡はかなり近い年代値、他の2遺跡でもより調和的な値となった。

表1　新旧の抽出工程による年代測定結果（左が旧、右が新）

K遺跡（BC375～BC195→BC213～ BC88）	C遺跡（BC3760～BC3640→BC3952～BC3777）
A遺跡（BC910～BC805→BC809～BC748）	I遺跡（ AD975～AD1030→AD1224～AD1292）

2）複数の時代に帰属する水田作土の年代測定結果の比較について

表2は、各遺跡の水田作土から抽出したプラント・オパールによる年代測定の結果である。水田作土は耕作により攪拌されるため、各地層のプラント・オパールの年代値は、地層の堆積期間に生産された各年代のプラント・オパール数によって決まる重心の年代となる。

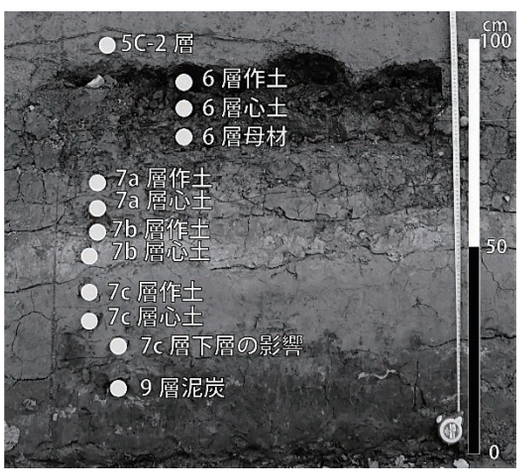


図2　石川条里遺跡の試料採取断面

橘通東1丁目遺跡については、報告書に6層の年代が AD1280～AD1320（47.8%）AD1350～1390（47.6%）で、12層の年代がBC375～BC203(95.4%)とあり、今回測定した7層と9層の年代値は、層位的には矛盾がなかった。一方、石川条里遺跡については、考古学的には6層が平安時代（AD794～AD1192）に帰属すると推定されており、今回の測定値は、200年程度古い年代値となっているが、図2に示した6層～7C層の作土の年代値には逆転するような違いは認められなかった。

表2　水田作土の年代測定結果（石川条里遺跡・橘通東1丁目遺跡）

遺跡名	地層	^{14}C 年代（BP±1σ）	暦年代校正※	δ ^{13}C
橘通東1丁目	7	1400±30	AD598 ～ AD669	−24.02
	9	1540±30	AD426 ～ AD588	−26.60
石川条里遺跡	6	1450±30	AD562 ～ AD651	−27.57
	7a	1880±30	AD66 ～ AD222	−28.19
	7c	2060±30	BC171 ～ AD4	−27.53

※2σ（95.4%）probability

4. まとめ

現段階の測定値は、想定年代よりも数百年古い年代が出る場合があるが、上下の地層の年代値には矛盾がなく、また、BETA 社と名古屋大学の結果は、ほぼ一致しており、測定値の再現性も確認できた。精度については課題が残るが、イネのプラント・オパールの純度が高い試料は、想定年代とよく調和する傾向を示していることから、今後、比重や粒径に加えて、材質や形態による分画ができれば、イネの純度がさらに高まり、より実用的な年代値を得ることが可能と考える。

関東地方における弥生時代の穀類利用の年代研究

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

◯國木田大（北海道大学）、佐々木由香（明治大学黒耀石研究センター）、山下優介（東京大学）、守屋亮（東京都埋蔵文化財センター）、隅田眞（板橋区教育委員会）、設楽博己（東京大学）

◯Dai KUNIKITA (Hokkaido University), Yuka SASAKI (Meiji University, Center for Obsidian and Lithic Studies), Yusuke YAMASHITA (The University of Tokyo), Ryo MORIYA (Tokyo Metropolitan Archaeological Center), Shin SUMITA (Itabashi City Board of Education), Hiromi SHITARA (The University of Tokyo)

１．研究の背景

本研究では、関東地方における農耕文化の定着時期の把握を目的とし、遺跡出土炭化種実の放射性炭素年代測定を行った。近年、土器種実圧痕と炭化種実の検討が進み、主に土器圧痕からイネとアワ、キビの普及時期が突帯文土器期を遡らなく、アワとキビについては突帯文土器以降の受容時期に地域差が見られる点が明らかになってきた（設楽編 2019 等）。また、弥生時代の畑作物として評価されてきたオオムギやコムギ等のムギ類は、レプリカ法による土器種実圧痕としてはほぼ確認されないことも判明した。筆者らは、昨年度の日本文化財科学会において、八幡遺跡（青森県八戸市）の弥生時代前期（砂沢式期）の竪穴住居から出土した炭化ムギ類（オオムギ・コムギ）の年代測定を実施したが、8 世紀以降の結果であった（國木田ほか 2019）。この他にも、庄・蔵本遺跡（徳島県徳島市）で弥生時代の遺構から出土したムギ類が、年代測定の結果、後世の混入と判明する事例もあり、年代の見直しが急務となっている（パレオ・ラボ AMS 年代測定グループ 2017）。本発表では、西台後藤田遺跡、四葉地区遺跡（東京都板橋区）出土の炭化種実の放射性炭素年代測定を実施し、関東地方における弥生時代の穀類利用の検討を行った。

２．分析試料

本要旨での分析試料は、西台後藤田遺跡第 10・13・14・21・49 号住居（弥生時代後期：都内第二遺跡調査会ほか 1999）、四葉地区遺跡 221A・B 号住居（弥生時代後期末～古墳時代初頭：板橋区四葉遺跡調査会ほか 2000）から出土した炭化種実である。なお、西台後藤田遺跡第 13 号および 21 号住居は焼失住居である。両遺跡ともに、フローテーションによって検出された炭化種実を、板橋区教育委員会が保管していたものである。西台後藤田遺跡では、イネ 2 点、コムギ 3 点、オオムギ 4 点の計 9 点、四葉地区遺跡では、イネ 1 点、コムギ 1 点、オオムギ 1 点の計 3 点の放射性炭素年代測定を実施した。試料は全て炭化しており、各 1 点で測定を行っている。年代測定は、東京大学総合研究博物館で実施した。

３．測定結果と考察

測定結果を図 1 に示した。西台後藤田遺跡の第 13 号住居出土のイネ 1 点が弥生時代後期の年代（1870±20BP、1870-1733calBP、2σ）であったが、それ以外の 11 点は中世末および近世以降の年代であり、後世の試料が弥生時代の遺構覆土に混入したと判明した。その中で最も古い年代は、四葉地区遺跡のイネ（345±20BP、1467-1635calAD、2σ）で 15 世紀後半～17 世紀前半、最も新しい年代は西台後藤田遺跡第 21 号住居のオオムギ（115±20BP、1682-1930calAD、2σ）で 17 世紀後半以降であった。今回の結果のように、同一コンテキストのフローテーションによって検出された炭化種実であっても、異なる年代を示す事例がある。昨年度報告した八幡遺跡でも、イネの年代が弥生時代であるのに対して、ムギ類は後世の年代であった。そのため、炭化種実を根拠に穀類利用の議論を行う場合、必ず年代測定を行う必要がある。今後も、関東地方の弥生時代出土のムギ類を中心に年代測定を実施し、穀類利用の実態解明を目指したい。

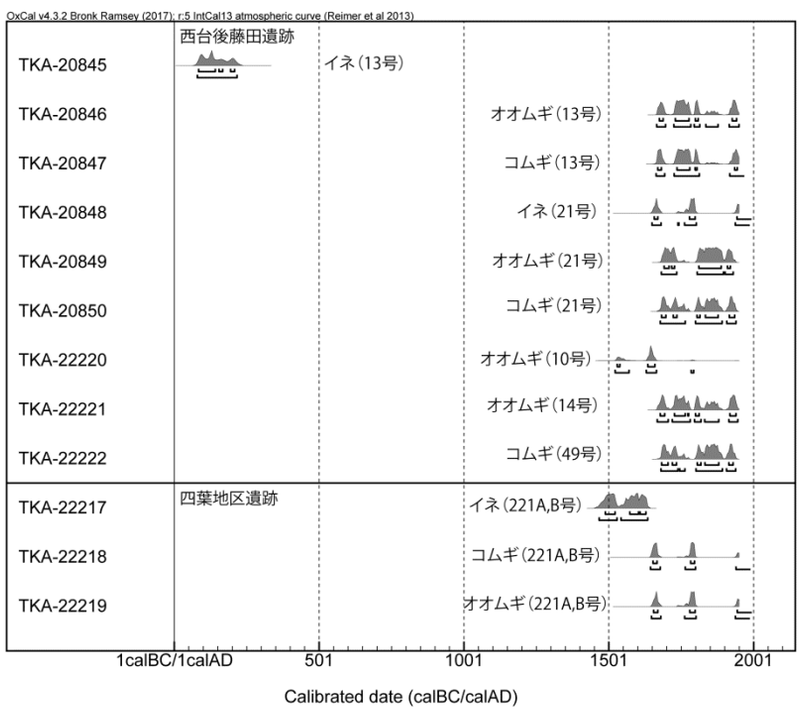


図 1　西台後藤田遺跡と四葉地区遺跡の炭化種実の暦年較正年代値

謝辞

試料採取に際して、板橋区教育委員会、分析では東京大学総合研究博物館放射性炭素年代測定室に大変お世話になりました。記して感謝申し上げます。

引用文献

板橋区四葉遺跡調査会・東京都建設局 2000『四葉地区遺跡平成 11 年度本文編』

設楽博己編 2019『農耕文化複合形成の考古学㊦』雄山閣

國木田大ほか 2019『日本文化財科学会第 36 回大会要旨集』62-63

都内第二遺跡調査会・西台遺跡調査団 1999『西台後藤田遺跡第 1 地点発掘調査報告書』

パレオ・ラボ AMS 年代測定グループ 2017『徳島大学埋蔵文化財調査室紀要』3,　67-77

遺跡出土材を対象とした年輪セルロース酸素・水素同位体比年層内変動の検討

Intra-ring variations of cellulose oxygen and hydrogen isotope ratios in archaeologically excavated woods

○中島公洋[1)]　李貞[2)]　中塚武[2)]　渡邊裕美子[1)]　田上高広[1)]

[1)] 京都大学理学部地球惑星科学 Division of Earth and Planetary Sciencies,Kyoto University

[2)] 名古屋大学大学院環境学研究科 Department of Earth and Environment Sciences,Nagoya University

○Kimihiro NAKASHIMA[1)], Zhen LI[2)], Takeshi NAKATSUKA[2)],Yumiko WATANABE[1)] and Takahiro TAGAMI[1)]

1. はじめに

「年輪幅」に比べてより個体間相関の良い「年輪セルロース酸素同位体比$\delta^{18}O$」を用いて縄文時代から現在までの遺跡出土材の年代決定が行われるようになってきた(中塚ら、2017 など)。特に$\delta^{18}O$ 経年変動の master chronology が得られている近畿東海地方においては年輪数が 30～50 年以上の大型サンプルであれば明確に年代が決まる可能性がある。しかし年輪数が 10 年程度の小径木では年代決定が困難であるため、さらに細かい年層内変動の活用が模索されてきた。一方、樹齢効果として知られる長期的な年輪セルロース$\delta^{18}O$ の低下と水素同位体比δD の上昇は、葉内で光合成された有機物がセルロースとして年輪に固定されるまでの生合成過程で発生する、「気候要因とは別の樹木生理学的要因」によって起こる(Roden ら、2000)と言われており、$\delta^{18}O$ だけでなくδD を同時測定することの重要性が認識されつつある。そこで今回は、master との比較によって年代既知となった 2 つの大径木について、1 年輪を手作業で 6 分割することで、$\delta^{18}O$ の年層内変動をδD と共に観察し、その応用として小径木の年代決定を試みたので報告する。

2. $\delta^{18}O$ とδD の年層内変動

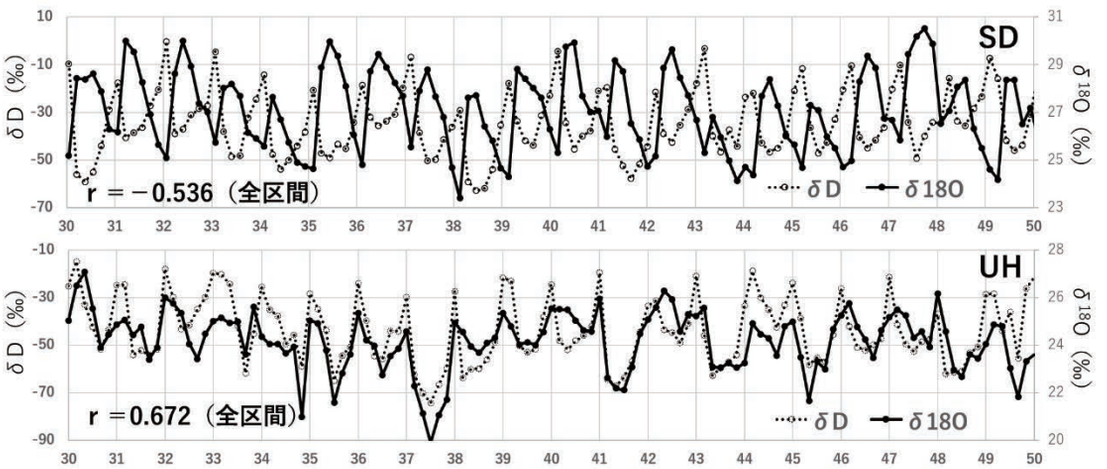


図1. SD(上)とUH(下)のδDとδ^{18}Oの年層内変動パターン（AD30～50を例示）

大阪府瓜破北遺跡出土の 118 年輪の広葉樹ＵＨ（クヌギ、BC4–AD114）および奈良県新堂遺跡出土の 180 年輪の針葉樹ＳＤ（ヒノキ AD12~AD191）について、$\delta^{18}O$・δD 年層内変動を観察した結果、UH 全体では$\delta^{18}O$ 値とδD 値の相関係数が r ＝0.672 と強い正相関を示したのに対して、ＳＤ全体では r ＝–0.536 と強い逆相関を示した。簡便のため図 1 には 20 年分の年層内変動を例示した。一般に光合成後の樹木生理学的要因により$\delta^{18}O$ とδD は逆方向に変化することが知られているので、数百年単位で見られる樹齢効果と同様の現象が、特に SD の年層内においても起きている可能性が示唆された。

3.　小径木の年代決定

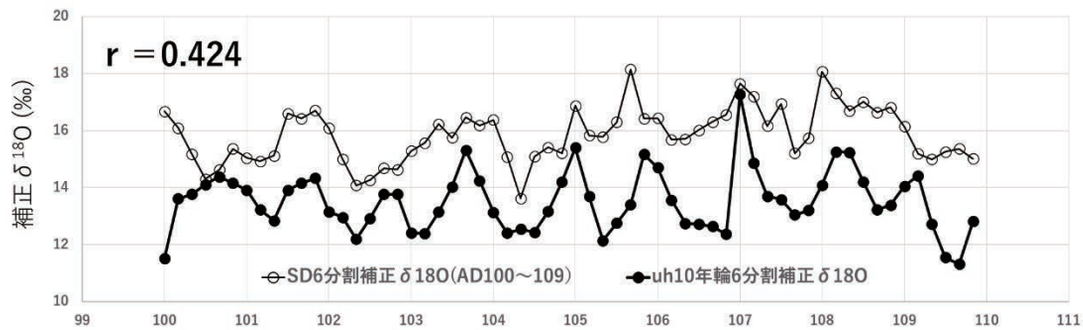


図2. uh(クヌギ)とSD(ヒノキ)の補正$\delta^{18}O$の変動パターン（AD100~109の区間で表示）

UH のすぐ下層から出土した年輪数が 10 年の小径木 uh の年代決定を試みた。まず 1 年輪 1 データの$\delta^{18}O$ の経年変動を用いた従来の方法により uh の最外年輪候補年代を AD63,94,102,109 の 4 つに絞った。次に uh を 1 年輪 6 分割してδ^{18}O とδD を測定した。樹木生理学的要因を消去して気候要因だけを抽出する目的で、δD を用いた$\delta^{18}O$ の補正式が提唱されている（Nakatsuka ら、2020）ので、補正式$\delta^{18}O = (\delta D + 10\times\delta^{18}O)/15$ を UH の 118 年輪、SD の 180 年輪、uh の 10 年輪の各 6 分割データにも適用し、補正した$\delta^{18}O$ の比較によって、uh の候補年代 4 つの中から AD109 を正解年代とした。図 2 に示したように、SD の 6 分割補正$\delta^{18}O$ の AD100～AD109 のデータと、uh の 6 分割補正$\delta^{18}O$ の 10 年分のデータとの間で、他の年代よりも有意に高い相関係数 r ＝0.424 を得た。

4.まとめ

遺跡出土材の$\delta^{18}O$ とδD の年層内変動パターンは樹種によって異なっている可能性がある。その原因となる樹木生理学的要因を除外する目的で提案された$\delta^{18}O$ 補正式を用いて、$\delta^{18}O$ 年層内変動を補正してやることで、小径木の年代決定に寄与できる可能性がある。

引用文献

中塚ら(2017)　大阪府文化財センター調査報告書　第 285 集 pp138-143,

Roden et al.(2000)　Geochim. Cosmochim. Acta 64, 21-35

Nakatsuka et al. (2020) Climate ofthe Past Discussion, doi: http://org/10.5194/cp-2020-6)

日本産樹木年輪の単年輪 ^{14}C 測定－AD1158～1436

Annual radiocarbon dating of Japanese tree rings - from AD1158 to 1436

◯坂本稔（国立歴史民俗博物館／総合研究大学院大学）、箱﨑真隆（国立歴史民俗博物館）、横山操（京都大学）、門叶冬樹（山形大学）、光谷拓実（奈良文化財研究所）

◯Sakamoto Minoru (National Museum of Japanese History / The Graduate University for Advanced Studies), Hakozaki Masataka (NMJH), Yokoyama Misao (Kyoto University), Tokanai Fuyuki (Yamagata University), Mitsutani Takumi (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

三重県津市に所在する専修寺は，高田派中興の真慧が伊勢各地を教化した 15 世紀に「無量壽院」として認められ，17 世紀以降には専修寺と称した。1645（正保 2）年に伽藍が全焼し，御影堂は 1666（寛文 6）年に再建された。2007（平成 19）年度に完了した保存修理工事を経て，御影堂は如来堂とともに 2017（平成 29）年，国宝に指定されている。

修理工事の際に，御影堂の柱の一部で床下部分にあたるヒノキの根継材が得られた。辺材を含む直径約 80cm の芯持材である。炭素 14-ウィグルマッチ法による年代測定が既に実施され［横山ほか 2012］，基準とした年輪層（西暦 1234 年）の較正年代が西暦 1227～1242 年（94.9%）と，矛盾のない結果が得られている。

このヒノキ材には 300 層を超える年輪があり，これまで測定が手薄だった日本産樹木年輪による 12～15 世紀の ^{14}C 濃度の挙動を知るのに適した資料である。そこで，本資料の単年輪炭素 14 年代測定を実施した。

2. 処理と測定

炭素 14 年代測定に先立ち，改めて年輪幅の計測を行った。372 層の年輪幅を中部日本のマスタークロノロジーと照合し，t=7.9 の相関で最外層が西暦 1439 年と判明した。表皮は残存せず伐採年は不明だが，辺材らしきものが数層確認できる。

板ごとセルロース抽出法［Kagawa et al. 2014, Sakamoto et al. 2017］を用いて，年輪セルロースを抽出した。国立歴史民俗博物館の年代実験室で，木口面から厚さ 1mm，長さ 10cm，幅 2cm 程度の年輪板を切り出した。水および有機溶媒（アセトン，クロロホルム・メタノール混液）による超音波洗浄を施し，テフロン製パンチングシートに挟んで培養管中で塩素漂白（70℃×4 回），およびヘミセルロース分解（17.5%水酸化ナトリウム溶液，80℃×3 回）を実施した。中和・水洗したセルロースは凍結乾燥し，写真袋に入れてスキャン画像を撮影した上で，実体顕微鏡下で 1 層ずつ切り分けた。年輪セルロースは予め焼出したバイアル瓶に保管し，山形大学高感度加速器分析センターで試料のグラファイト化と加速器

質量分析計による炭素 14 年代測定(AMS-^{14}C 法)を実施した。なお，測定は隔年の 140 層，280 年分について行った。

3. 結果と考察

測定結果を較正曲線 IntCal13 [Reimer et al. 2013]と比較したグラフを図 1 に示す。二重曲線は IntCal13 の範囲を表す。下図には炭素 14 年代から計算された ^{14}C 濃度の，西暦 1950 年の値からの千分率偏差(Δ^{14}C)を示す。

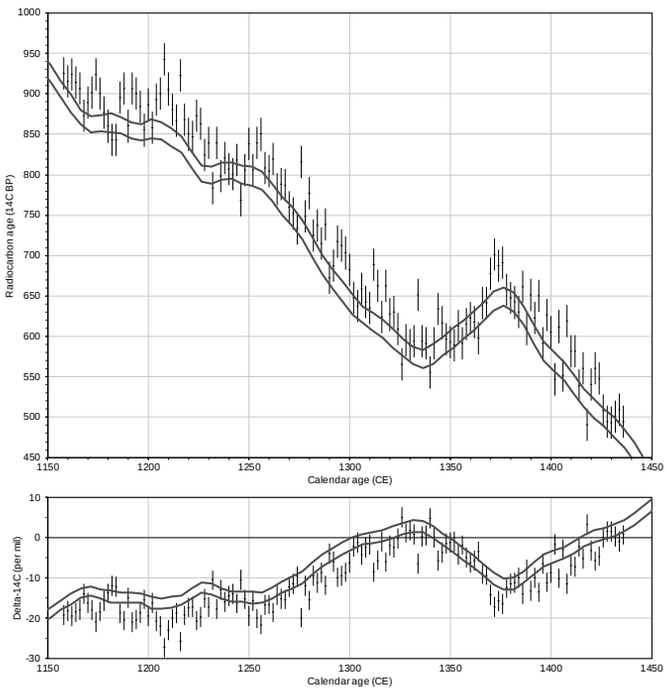


図 1 専修寺ヒノキ材と IntCal13 との比較

専修寺ヒノキ材の炭素 14 年代は基本的に IntCal13 に沿っているものの，若干上方に位置し，わずかに古い値を示していることがわかる。乖離を評価するため，両者の差を測定誤差と IntCal13 の誤差の二乗和の平方根で除した値(ΔZ)をヒストグラムにし，最小二乗法で正規分布に近似した。中央値が 1.02，標準偏差は 1.17 であった(図 2)。

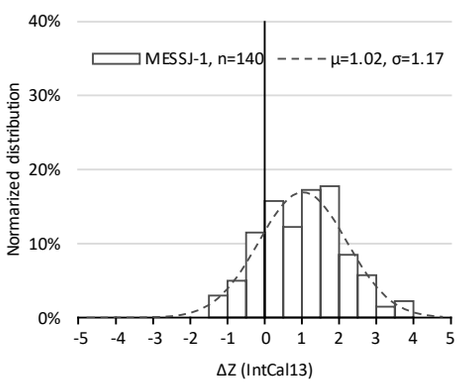


図 2 ΔZ 値のヒストグラム

時期にもよるが，日本産樹木年輪の炭素 14 年代は IntCal13 よりも古い値を示す傾向にあり，^{14}C 濃度の低い南半球大気の日本列島周辺への進入が示唆されてきた[Nakamura et al. 2013]。しかしながら，2020 年 8 月に公開が予定される新しい較正曲線 IntCal120 では多くの新規データが追加され，統計処理の見直しもあって形状が変更される見込みである。改めて，日本産樹木年輪の炭素 14 年代の位置づけを図る必要がある。

試料調製に際し，国立歴史民俗博物館技術補佐員の山本里絵氏の助力を得た。記して謝意を示す。本研究は科学研究費補助金(18H03594)による成果の一部である。

横山操ほか，*国立歴史民俗博物館研究報告* **176**, pp.57-79, 2014.
Kagawa A. et al. *Chemical Geology* **292-294**, pp.16-25, 2014.
Sakamoto M. et al. *Radiocarbon* **59**, pp.1907-1917, 2017.
Reimer P. J. et al. *Radiocarbon* **55**, pp.1869-1687, 2013.
Nakamura T. et al. *Radiocarbon* **55**, pp.763-770, 2013.

東アジアにおける年輪酸素同位体比データの拡充とその利用による年代決定の可能性

Tree-ring oxygen isotope records over East Asia and their dendroarchaeological potential

◯佐野雅規（早稲田大学）、李貞（名古屋大学）、箱崎真隆（国立歴史民俗博物館）、Jeong-Wook SEO（忠北大学）、I-Ching CHEN（成功大学）、安江恒（信州大学）、木村勝彦（福島大学）、中塚武（名古屋大学）

◯Masaki SANO (Waseda University), Li Zhen (Nagoya University), Masataka HAKOZAKI (National Museum of Japanese History), Jeong-Wook SEO (Chungbuk National University), I-Ching CHEN (National Cheng Kung University), Koh YASUE (Shinshu University), Katsuhiko KIMURA (Fukushima University), Takeshi NAKATSUKA (Nagoya University)

1. 研究の背景と目的

温暖・多湿な東アジアでは、気候に加え生態的な要因も樹木の成長に大きく寄与する。そのため、特定の地域・樹種において、多数の年輪数を有する木材でなければ、年輪幅に基づいて木材の年代を決定することが出来なかった。しかし近年、樹木年輪セルロースに含まれる酸素同位体比が、年輪幅に基づく分析で要求されてきた上記の条件に拘束されずに年代決定に利用できることが明らかとなってきた。これまで著者らは、日本や台湾、韓国など、東アジア各地において、年輪酸素同位体比データの広域ネットワーク化を進めてきた。本発表では、国際共同研究として続けてきた年輪データ拡充の現況を報告するとともに、産地の異なるデータの相関解析から見えてきた酸素同位体比による年代決定の潜在力と課題について説明する。

2. 材料と方法

本研究では、年輪幅に基づく研究で蓄積されてきた年輪サンプルを積極的に再利用して、酸素同位体比のデータを収集した。具体的には、日本や台湾、韓国において採集済みの膨大な年輪サンプルの中から、各地域当たり、どの時代についても 5 個体程度のサンプルサイズが確保できるようにサンプルを選別した。次に、木材サンプルを樹軸方向に 1㎜ 厚の薄板に加工したのち、各種の化学処理によって薄板の形状を保ったままセルロースを抽出した。その上で、実体顕微鏡で薄板を観察しながら、精密ナイフを使って年層毎にサンプルを切り出し、熱分解式元素分析計を直結させた同位体比質量分析計を用いて年輪の酸素同位体比を測定した。複数個体の酸素同位体比データを地域別に平均して、その地域を代表する標準年輪曲線を構築したうえで、地域間での変動の同調性を相関解析により評価した。本研究では、計 7 地域で得た年輪サンプルを分析の対象とした（北日本：ヒバ、スギ、ケヤキ，中部日本：ヒノキ、コウヤマキ，立山：キタゴヨウ，屋久島：スギ，台湾北部：タイワンヒノキ，台湾南部:タイワンベニヒノキ，韓国：イチイ）。

3. 結果と考察

各地で収集した年輪酸素同位体比の時系列データ（図 1）を地域間で比較した結果、産地が近いほど高い相関を示した（図 2）（注: 時系列長の短い韓国のみ図 1, 2 から除外）。時系列長の最も長い中部日本産のデータ（過去 2,600 年間）は、北日本から屋久島にかけて高い相関を示す一方で、台湾まで南下すると相関が著しく低下することが分かった（図 2a）。他方、分析の対象とした 7 地域の中で、ちょうど中間の緯度に位置する屋久島の年輪データは、北日本をのぞき、立山から台湾南部に至る広い範囲で有意な相関を示した。さらに、韓国南部で出土した木材試料の年輪酸素同位体比を測定し、北日本の年輪データとの比較によって、それらの年輪年代を正確に決定することに成功した。また、台湾産の年輪データは、台湾と同じ緯度帯である中国本土産の現生木サンプルとも経年変動パターンが良く同調していた。このことから、緯度の制約は受けるものの、中国本土産の考古材の年代も精度良く決定できる可能性が示唆された。以上の結果から、国内外で酸素同位体比データのネットワークを整備することにより、韓国や台湾、さらに中国の考古材や古建築材の年輪年代も決定できることが明らかとなった。

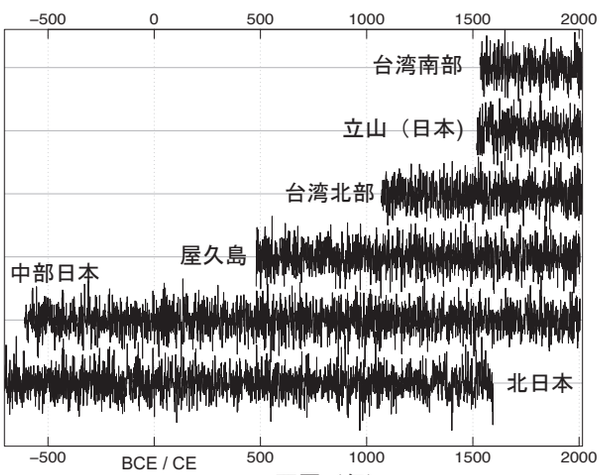


図 1. 各地で取得した年輪酸素同位体比データ（ただし、時系列長の短い韓国のデータは除外）。

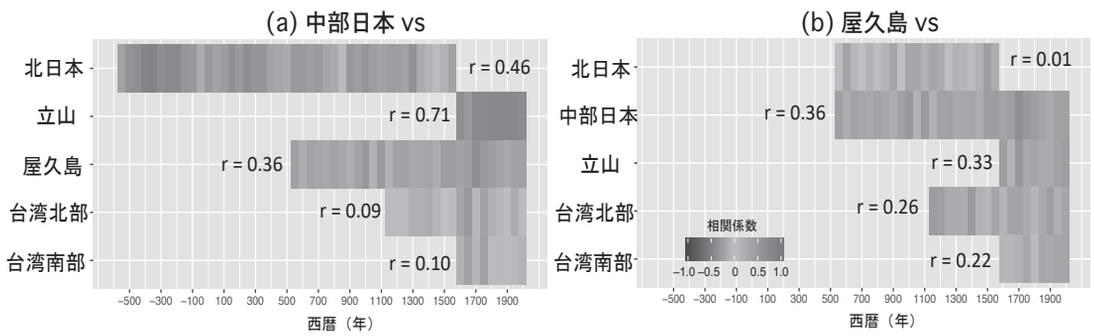


図 2. (a) 中部日本, (b) 屋久島の年輪酸素同位体比データと、その他の地域で作成した年輪デー

全区間を対象にして算出した。

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
Rice genotype based on DNA sequences from archaic-rice-phytolith

○田中克典（弘前大学）、宇田津徹朗（宮崎大学）、
田崎博之（愛媛大学）、上條信彦（弘前大学）、石川隆二（弘前大学）
◯Katsunori TANAKA (Hirosaki Univ.), Tetsuro UDATSU (Miyazaki Univ.),
Hiroyuki TASAKI (Ehime Univ.) Nobuhiko KAMIJO (Hirosaki 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重要な作業である。その研究において、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、これまで、プラント・オパールを従前よりも簡便且つ大量に抽出する方法を開発し、また、プラント・オパールに内在する DNA を DAPI 染色法や PCR 増幅法によって確認して試料の有益性を示した。そこで本報では、イネの DNA 情報を蓄積するために、新規のプラント・オパール試料について DNA の遺存を調査しつつ、栽培イネの亜種・生態型を推定するための塩基配列を解析した。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、長野盆地の石川条里遺跡、愛媛県道前平野の北竹ノ下 I 遺跡ならびに宮崎平野の橘通東一丁目遺跡の作土からそれぞれ抽出したプラント・オパールである（第 1 表）。作土の採取に当たっては、それぞれ、長野県埋蔵文化財センター、愛媛県埋蔵文化財センターと宮崎県埋蔵文化財センターの協力を得た。プラント・オパールは、同一の作土に由来する比重 1.0〜2.3 と同 1.8〜2.3 の 2 つの分画溶液から抽出した。プラント・オパール抽出の詳細については、本報連名の宇田津 氏のポスター「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（I）」を参照いただきたい。

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、4 つの葉緑体ゲノム領域（*rps16* intron1, *Orf100*, pseudo *trnI*, pseudo *acoD*）と核ゲノムの IDJ6 領域を PCR 増幅した（第 3 図）。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。これらの作業はそれぞれの試料において 5 反復実施した。

3. 結果及び考察

比重 1.0〜2.3 と比重 1.8〜2.3 から抽出したプラント・オパールでは、葉緑体ゲノムの *rps16* intron1 領域、Pseudo *trnI* 領域および Pseudo *acoD* 領域において、いずれかの反復試料から現生イネのジャポニカと長さおよび塩基配列が同じである DNA 断片を確認できた（第 1 図, 第 1 表）。特に *rps16* intron 領域では、3 反復や 4 反復の試料から DNA が復元された試料があり、復元率は高かった（それぞれ、60%および 80%）。一方、*Orf100* 領域や Pseudo *trnI* 領域では現生イネに相当する DNA の復元がほとんどの試料において認められなかった。また、Pseudo *acoD* 領域では比重 1.0〜2.3 の分画から集積したプラント・オパールでのみ標的 DNA が検出されており、DNA の復元はプラント・オパールにおいて遺存しやすい DNA 領域やイネのプラント・オパールがやや軽い比重の分画液に集積する可能性を示唆していた。

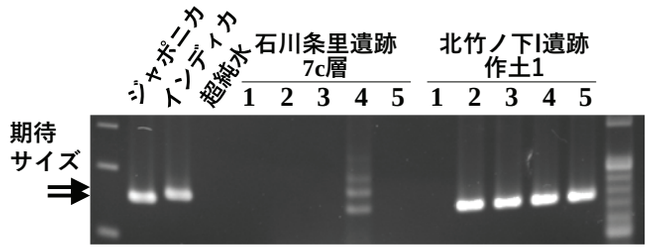
IDJ6 領域における DNA 復元では、F1–R1 領域の DNA 断片は現生の温帯ジャポニカと同じ塩基配列であった（第 1 表）。また、F1–R2 領域の DNA 断片は、インディカまたは熱帯ジャポニカと同じ配列であった。これらの結果は核ゲノムにおいて IDJ6 領域意外の領域も依存している可能性を示していた。

4. 結論

以上のことから、プラント・オパールからイネの DNA 情報を蓄積するに際して、プラント・オパールの抽出や解析対象の DNA 領域について検討するための情報を取得することができた。一方、幾つかの試料や領域ではイネの DNA を復元できなかったことから、反復を重ねるべきことを分析結果は示していた。

第1表　2種の比重において採集されたプラント・オパールにおけるDNAの復元

遺跡名	地点	層位/区分	供試数	葉緑体ゲノム				核ゲノム	
				rps16 intron1	*Orf100*	Pseudo *trnI*	Pseudo *acoD*	IDJ6 F1–R1	IDJ6 F1–R2
比重: 1.0〜2.3									
石川条里遺跡	CD地点	6層	5	1	0	0	1	0	0
	CD地点	7a層	5	1	0	0	1	0	1
	CD地点	7b層	5	0	0	0	1	0	0
	CD地点	7c層	5	4	0	0	0	1	0
北竹ノ下I遺跡	北地点	作土1	5	3	0	0	1	0	0
	北地点	作土2	5	1	0	0	0	0	0
橘通東一丁目遺跡		7層	5	0	0	0	0	0	1
		8層	5	2	0	0	1	1	1
		9層	5	3	0	0	0	3	0
比重: 1.8〜2.3									
石川条里遺跡	CD地点	6層	5	1	0	0	0	0	0
	CD地点	7a層	5	1	0	0	0	0	0
	CD地点	7b層	5	3	0	0	0	0	1
	CD地点	7c層	5	1	0	0	0	0	1
北竹ノ下I遺跡	北地点	作土1	5	2	0	0	0	0	1
	北地点	作土2	5	4	0	0	0	0	0
橘通東一丁目遺跡		7層	5	4	0	0	0	0	0
		8層	5	0	0	1	0	0	0
		9層	5	0	0	0	0	2	0



第1図　2つの遺跡の作土に由来するプラント・オパールを*rps16* intron1特異的プライマーでPCR増幅した産物の電気泳動
遺跡名の下の数値は反復の番号を示す。

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（Ⅰ）

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

◯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、炭化米など、過去に栽培されたイネの遺伝情報を取り出す対象となる試料に、優れた残留性を持つイネのプラント・オパールを加えることで、稲作史研究の進展を制約してきた「時間と空間を網羅したイネ情報の体系的な蓄積」を克服できる研究手法の構築を目指している。研究初年度である 2019 年度は、国内の稲作遺跡を対象として、水田が埋蔵されている複数の地層について、土壌中のイネプラント・オパールを対象として各種分析を実施し、生産量、栽培イネの亜種・生態型について、系統的かつ悉皆的な情報抽出の可否と効果の検証を試行した。ここでは、取組の概要とその成果と課題について報告する。

なお、本研究は、JSPS 科研費の助成により実施したものである（課題番号 19H00542）。

2. 取り組みの概要（分析試料と方法）

1）分析試料

本研究では、近世までの水田遺構や水田包蔵層が確認されている遺跡を調査対象としている。今回は、長野盆地の石川条里遺跡と宮崎平野の橘通東 1 丁目遺跡で調査と分析試料の採取を行った。現地調査と試料採取は、それぞれ長野県埋蔵文化財センターと宮崎県埋蔵文化財センターのご協力の下、実施した。供試試料は、石川条里遺跡：15 試料、橘通東 1 丁目遺跡：7 試料である。なお、遺跡の概要は紙幅の関係で本要旨では割愛する。

2）方法

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

①生産量の情報：プラント・オパール定量分析

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

今回、定量を行ったイネ科植物は、イネ（*Oryza sativa* L.）、ヨシ属（*Phragmites*）、タケ亜科（*Bambusoideae*）、ウシクサ族（*Andoropogoneae*）、キビ族（*Paniceae*）である。

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

【プラント・オパール形状解析】 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)。

［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）

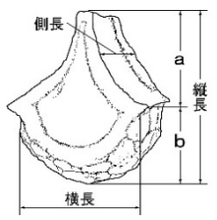


図 1 形状の測定部位

【プラント・オパール中に残留する DNA の分析】 土壌中のイネのプラント・オパールを粒径分画と比重分画の組み合わせによって抽出し(宇田津ら 2014)、その内部に残留する遺伝情報から、亜種・生態型や形質を分析する。残留する DNA の抽出にはアルカリ抽出法を用い (Mutou et al, 2014)、抽出した DNA の葉緑体 DNA および核 DNA を PCR 法で増幅し、分析を実施した。抽出と分析の方法については、本報連名の田中氏の要旨（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）を参照いただきたい。

③稲作の年代:プラント・オパール表面に残留する微細繊維を利用した年代測定

土壌からイネのプラント・オパールを抽出し、その表面に残留している繊維を材料として、加速器質量分析（AMS）により C14 年代を測定するものである。手法の詳細は、宇田津・田崎が連名発表者である中村俊夫氏の要旨（プラント・オパールの表面に残留する微細繊維による年代測定法の開発（Ⅲ））を参照いただきたい。なお、年代測定は、米国の BETA 社で実施した。

3. 結果

1)生産量の情報:プラント・オパール定量分析について

生産量とその変遷は、両遺跡とも水田利用の盛衰の考古学的な所見とよく符合していた。また、石川条里遺跡では、堆積相分析による水田の作土や心土にも対応した結果が得られた。

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

両遺跡ともイネの亜種は、形状解析、DNA 分析いずれもジャポニカであるという結果が得られた。生態型は、石川条里遺跡では、両分析とも熱帯ジャポニカという結果、DNA 分析では、2 つの層では、温帯ジャポニカも混在したという結果を得た。橘通東 1 丁目遺跡では、DNA は増幅されず、形状解析から熱帯ジャポニカが推定された。

3)稲作の年代:プラント・オパール表面に残留する微細繊維を利用した年代測定

測定を実施したすべての地層から年代測定値を得ることができた。年代値は、考古学的な推定値よりも数百年古いものがあったが、地層の上下関係に矛盾するものは無かった。

4. 考察とまとめ

今回の結果から、年代については精度の課題が残るものの、亜種と生態型については、形状解析と DNA 分析を併用すれば、土壌から抽出したプラント・オパールから、生産量とその変化、イネの亜種・生態型、稲作の年代に関する情報を系統的に抽出することが可能であることを 2 つの遺跡で確認することができた。今後は、調査分析事例を加え、さらに、情報抽出の悉皆性についても検討を進めたい。

栽培植物のモモとマメ類の遺体の検討

Examination of peach and legume remains of cultivated plants

○金原美奈子,金原裕美子(一般社団法人文化財科学研究センター),金原正明（奈良教育大学）
○Minako KANEHARA(Cultural assets scientific research center)
Yumiko KANEHARA(Cultural assets scientific research center)
Masaaki KANEHARA(Nara university of education),

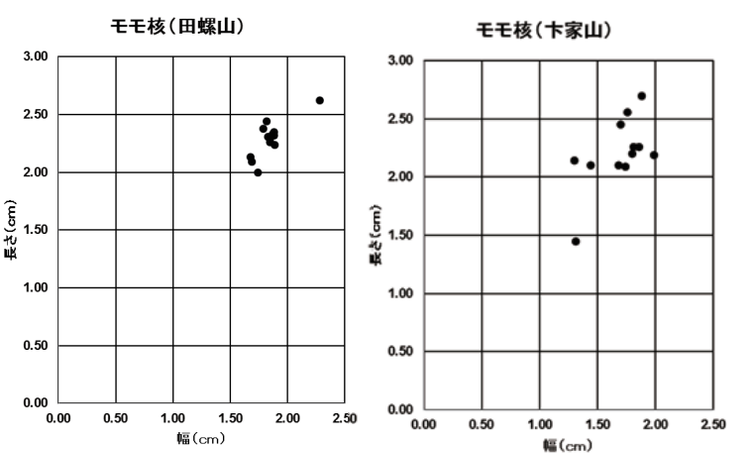
１．前提

栽培化については、近現代の品種改良と同様に、ヒトの選択の継続によって、栽培植物の栽培特性が獲得されるものとして、研究が進められてきた。遺跡出土の栽培植物の栽培化様相をみる指標として大型化などは最も重要な点として考えられてきた。筆者らが科学研究費で調査行ってきた中国南東部の新石器時代では、河姆渡文化期から良渚文化期の約 2000 年間について、イネ（炭化米)、モモ、ウリ類、大きさがほぼ変わらないか、農耕の中心となるイネ（炭化米）では短粒化し横幅が広くなるという異なる現象がみられた。これらの現象は、栽培化による形質の異なりがあるのか、種類によってその形質が異なるのなど、栽培化を再考する必要性があることを示している。ここでは、モモとマメ類をとりあげ検討の緒とする。

２．出土モモ核について

モモは長らく中国北部西安周辺が原産地ではないかと言われてきたが、長江下流域の新石器時代から出土をみて、この地域がウメやスモモと並び南部が原産地である可能性が高くなった。

以前に日本のモモ核については、金原正明が故粉川昭平氏と検討を行った際、栽培による形質の変化というよりは、時代によって形質が異なる様相が示される結果となり、当時は嫌地現象に伴う栽培の特殊なケースではないかとも



（河姆渡文化期）　（良渚文化期）

卞家山遺跡出土モモ核（良渚文化期）

考えたが、否定的な意見も出された。モモ核についてはその後も検討を続けてきた。当初の分類は弥生時代から古墳時代の古式土師器の時期に多く出土するズングリとして厚みのあるＡ類と分類したもの５世紀に入り須恵器の出現と期を同じくする大型のひだの深いＢ類、先端が特徴的に尖るＣ類、平安時代を中心する左右が非対称で厚みが薄く軽いＤ類、中世には長いＥ類と大型のＦ類、それらは近世まで続き近代に置き換わる上海水蜜桃に近いものもみられるようになる。また、Ａ類はやや変異しながら平安時代まで続くとした。他に小孔の有無等も分類の基準となる。大きさの変異については、時代が経ても順次大きくなる傾向がなかった。現在、弥生時代のモモ核については、弥生時代名はやや左右対称にならないいびつなもので大型にもなるものが認められている。これは、長江下流域の新石器時代のモモ核と形態的には共通し、モモやウメが稲作と伴に日本に伝播することからも、稲作とともに挙動を伴にしてきたものと思われる。７世紀から８世紀にかけては先端が曲がるずんぐりしたものが認められる。新たな様相も含めたが、モモ核は従来からの栽培化の過程で順次大きくなることはなく、形態的に時代によって変化が認められ、日本の海外からの文化導入の画期にもたらされた品種（品種は栽培品種を指す場合が多いが、同じ種の中でも変異のあるものを指しておく）が栽培されたと考えておく。なお、同じ栽培植物やその品種でもどこの形態や大きさに個体差による変異があるかは重要で、纒向遺跡の古式土師器の時期においても側面のひだが異常にはるものなどが認められ、個体差とみられる。

Ａ類　　Ｂ類　　Ｃ類

纒向遺跡出土モモ核

３．出土炭化マメ類

マメ類は種類によっては、縄文時代の半ばから大きくなることなどが今まで示されている。炭化しなければ残らないこともあり、炭化時の乾燥、炭化、腐朽による大きさに変異があるかなど慎重な検討が必要である。現生種子の炭化変異も含め検討を行う。アズキやササゲの仲間では、へそは欠落しているものがほとんどで、分類することができない。中世ではやや大きく細形でササゲに類するものが出現する。

現生ダイズ種子（ふやかし腐朽して炭化）

利根川流域の 17 世紀民家のスダジイについて

Castanopsis wood of 17th-century Minka around the Tone River

○中尾七重(山形大学)、坂本稔(国立歴民博、総研大)、箱﨑真隆(国立歴民博)
○Nanae NAKAO (Yamagata Univ.)、 Minoru SAKAMOTO (National Museum of Japanese History、SOKENDAI)、 Masataka HAKOZAKI (National Museum of Japanese History)

1. 利根川流域民家

茨城県と千葉県の県境に分布する利根川流域民家の ^{14}C 年代調査を行った結果、1660～1710 年頃に一斉に建てられた事が判明した。

江戸と太平洋を結ぶ水路開発と関東平野東部の新田開発を目的に、江戸幕府は 17 世紀に利根川を付替えた。それまで東京湾に流れていた利根川は銚子に至る現在の流路となった。利根川流域民家は香取海の水際微高地に立地しており、新田開発の水利管理を担う新田会所で、幕府の御用役屋と考えられる(3)。

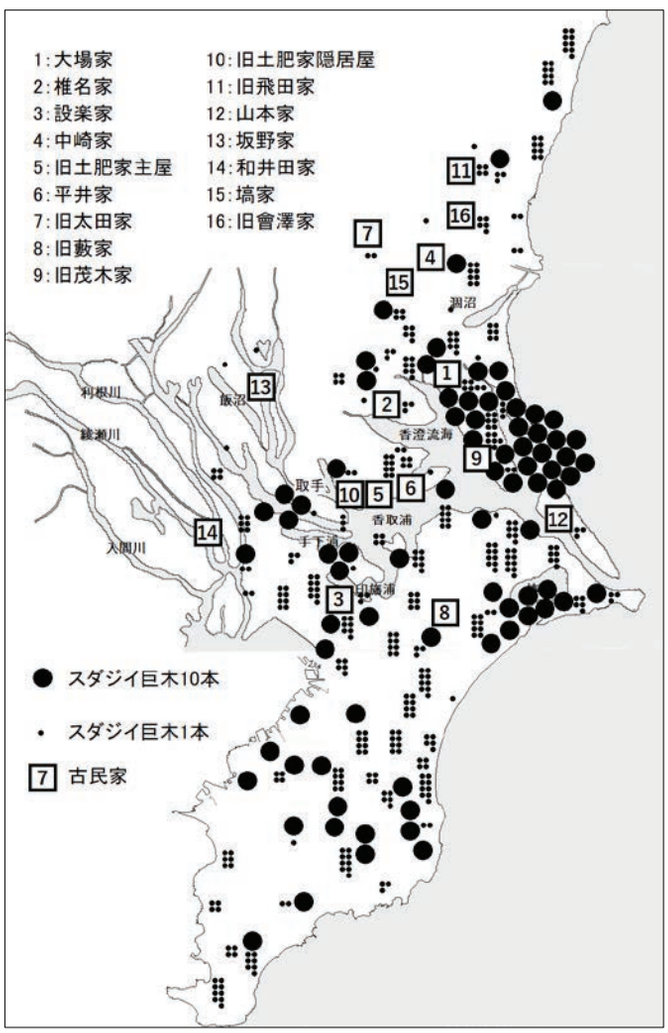


図 1 付替え以前の流路(1)、スダジイ巨木分布(2)、古民家立地

2. 古民家のスダジイ

利根川左岸の古民家は、年代が古いほどスダジイの良材が多用されている。17 世紀後期建築の大塲家郷士屋敷 1、椎名家住宅 2 は霞ケ浦沿いの立地で、シイが野物や側柱に用いられている。17 世紀末の旧土肥家主屋 5、平井家住宅 6 には年輪幅の大きい良質のスダジイがふんだんに用いられている。18 世紀後期に板川に移築された旧藪家住宅 8 も前身は利根川流域民家と考えられ、スダジイ使用の手法が共通する。18 世紀に民家のスダジイは次第に材質が悪くなる。旧茂木家住宅 9 では、木理が捩れて辺材が内部に入り込んだスダジイが多用されている。旧土肥家隠居屋 10 は細材のシイが多い。山本家住宅 12 や

坂野家住宅 13 のように 19 世紀以降にはスダジイは使用されなくなる。また、千葉県側の設楽家住宅 3 や、茨城県中部の中崎家住宅 4、旧太田家住宅 7、旧飛田家住宅 11、塙家住宅 15、旧會澤家住宅 16 など利根川から隔たった民家は建築年代にかかわらずシイを用いない。

3. 新田開発民家建設とスダジイの枯渇

幕府役屋の利根川流域民家は量産型で、17 世紀後期～18 世紀初期に大量に建設されたと考えられる。旧香取海沿岸にシイ巨木が少ない。「スダジイは取手市から利根川下流に行くほど少ない。」(4)のは、建築資材調達による乱伐でスダジイ林の多くが消滅したためと考えられる。

現在スダジイ群落は神社林に残されているだけである。スダジイを含むシイ属は、関東南部の低湿地遺跡において先史・歴史時代を通じて検出される樹木で(5)(6)、スダジイは平野部の極相林を構成していたと推定される。利根川東遷と新田開発という大規模事業の建築用材として伐採されたため、スダジイを含む極相林が消滅し、スダジイが枯渇したことが推測される。

古民家の年代調査と樹種調査から近世前期の関東南部の古植生の一端を明らかにした。

表 1　利根川流域民家の使用樹種

No.	民家名	所在地	建築年	指定	上屋柱	側柱	梁・大引	その他構造材	化粧材
1	大場家郷士屋敷	茨城県行方市玉造甲4533	1661-1676	県指定	スギ マツ	スギ・マツ **シイ**	**シイ** スギ・ソヨゴ	スギ マツ	スギ カキノキ
2	椎名家住宅	茨城県かすみがうら市加茂4148	1674	重文	ケヤキ **シイ**	スギ・マツ ケヤキ	マツ	マツ	マツ
3	設楽家住宅	千葉県佐倉市青菅134	17世紀後期	未指定	ツガ スギ	スギ	マツ	マツ	
4	中崎家住宅	茨城県水戸市鯉淵2897	1688	重文	マツ	マツ	マツ	マツ	マツ ケヤキ
5	旧土肥家主屋	茨城県稲敷市下太田680 （国営常陸海浜公園に移築）	1661-1700	県指定	**シイ**	**シイ**	**シイ**	**シイ**	
6	平井家住宅	茨城県稲敷市柴崎155	1688-1703	重文	ツガ	スギ	マツ **シイ**	マツ スギ	マツ ツガ
7	旧太田家住宅	茨城県笠間市片庭2149 （川崎市立日本民家園に移築）	17世紀末期	重文	クルミ クリ	クルミ	マツ ヒノキ	マツ・クルミ スギ	スギ
8	旧藪家住宅	利根川流域から千葉県山武郡山武町板川707に移築 （山武郡芝山町芝山414-1 芝山公園に移築）	17世紀末期	県指定	**シイ** スギ	**シイ** スギ	**シイ** スギ・マツ	スギ・マツ **シイ**	マツ
9	旧茂木家住宅	茨城県潮来市島須345 （茨城県立歴史館に移築）	1700頃	県指定	**シイ**		マツ	マツ	
10	旧土肥家隠居屋	茨城県稲敷市下太田680 （国営常陸海浜公園に移築）	1706	県指定	**シイ** スギ	**シイ**	**シイ**	**シイ** スギ	**シイ** スギ
11	旧飛田家住宅	茨城県常陸太田市岩手町774 （古河公方公園民家園に移築）	1661-1750	重文	マツ	マツ	マツ	マツ	マツ スギ
12	山本家住宅	茨城県神栖市奥野谷4281	1661-1750	重文	ヒノキ	ヒノキ マツ	マツ	マツ ヒノキ	ヒノキ
13	坂野家住宅	茨城県常総市大生郷町2037 水海道風土博物館	18世紀初頭	重文	ツガ	スギ	マツ	スギ マツ	マツ スギ
14	和井田家長屋門	埼玉県八潮市大字八條1377-1	18世紀前期	重文	ツガ		マツ スギ	ツガ・スギ マツ	マツ ツガ
15	塙家住宅	茨城県笠間市安居2009	1701-1800頃	重文	スギ ケヤキ	スギ ケヤキ	マツ	マツ	マツ
16	旧會澤家住宅居住部	茨城県那珂市鴻巣1435 （国営常陸海浜公園に移築）	18世紀後期	市指定	スギ	スギ	マツ	スギ マツ	スギ

謝辞：設楽富彦様、国営常陸海浜公園、佐倉市教育委員会に感謝申し上げます。

注

(1) 国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所ホームページ掲載の図を元に作成。
https://www.ktr.mlit.go.jp/tonejo/tonejo00185.html

(2) 環境庁編、第 4 回自然環境保全基礎調査、日本の巨樹・巨木林　関東版　　、大蔵省印刷局、1992
千葉県ホームページ https://www.pref.chiba.lg.jp/kkbunka/b-shigen/05shizen/index.html
300 年以下すなわち江戸時代の巨樹が多く正確ではないが、17 世紀植生の参考とした。

(3) 中尾七重、「九間」を持つ関東平野の民家と古河公方の関連について、建築史学 72、2019

(4) 取手市の巨木と名木、取手市緑化推進委員会、2010

(5) 鈴木三男・能城修一、千葉市村田服部遺跡(古墳時代前期)出土木材の樹種、金沢大学教養部論集自然科学篇、22、11-69、1985.

(6) 能城修一・鈴木三男、木材化石の樹種、千葉市神門遺跡-縄文時代早・前期を主とした低湿地遺跡の調査-、千葉市教育委員会・財団法人千葉市文化財調査協会編、178-190、1991.

関西地方の縄文遺跡より検出されるマメ類の炭化種実と土器圧痕

The seeds of legumes shown as carbonized organic remains and impressions on the potsherds unearthed at Jomon archaeological site in Kansai region.

○柳原麻子（大津市教育委員会）

○Asako YANAGIHARA, (Otsu city Borad of Education)

1. 目的

関西地方では縄文時代中期後葉以降に集落数や住居址数の増加が、後期以降に耕作具・採取具と想定される打製石斧の出土数の増加が認められるが、これらの現象の背景には縄文時代前中期に東日本を中心に発展したマメ類(主にアズキ亜属・ダイズ属)や根茎類などの植物利用技術や、それよって増加した人口の影響があるとされている。しかしながら関西地方では、これらの現象について植物質食料、特にマメ類から検証されることはほとんどなかった。そこで今回は東西の要衝である滋賀県域の縄文時代中期から晩期の遺跡を対象とした土器圧痕調査の結果と、現在関西地方で炭化種実・土器圧痕として報告されているアズキ亜属・ダイズ属の検出状況から当該時期の関西地方の植物利用の状況を把握することを目的とした。

2. 滋賀県域における縄文遺跡より出土した土器圧痕の調査

①赤野井湾遺跡湖岸堤法竜川水門調査区（守山市赤野井町）

縄文時代の包含層などが検出されている。縄文時代中期末の深鉢１点より不明種子を検出。

②小川原遺跡（甲良町小川原地先）

縄文時代後期の住居、配石・集石遺構、貯蔵穴などが検出されている。縄文時代後期前半（北白川上層式)深鉢よりカヤツリグサ科種子１点、浅鉢よりアブラナ科種子１点を検出。

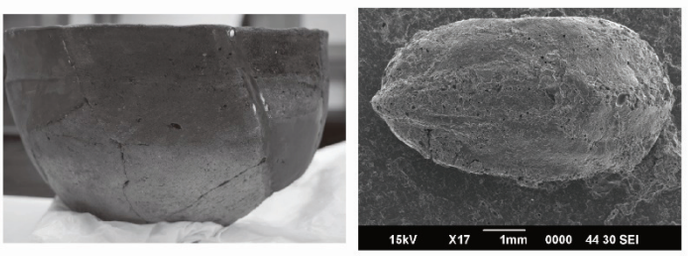


図１　滋賀里遺跡出土縄文土器より検出したアズキ種子圧痕

③滋賀里遺跡（大津市見世二丁目・滋賀里二丁目）（図１）

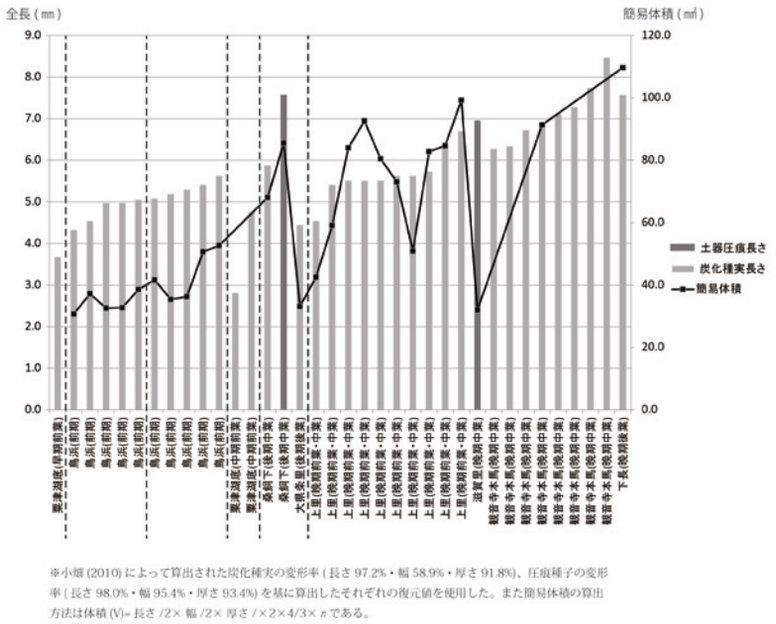
縄文時代後晩期の土器棺墓や甕棺、小貝塚が検出されている。縄文時代晩期中葉(滋賀里Ⅲ式)深鉢よりアズキ亜属種子１点を検出。長さ 6.8 ㎝、幅 3.6 ㎝、厚さ 2.5 ㎝。

④下仰木遺跡（大津市仰木町・衣川三丁目）

縄文時代後期の旧河道などが検出されている。縄文後期前葉（北白川上層Ⅱ式）深鉢底部よりダイズ属種子１点を検出。長さ 11.8 ㎝、幅 5.5 ㎝、厚さ 5.4 ㎝。

3. 関西地方の縄文遺跡におけるアズキ亜属・ダイズ属の炭化種実と土器圧痕

発掘調査や圧痕調査によって炭化種実や土器圧痕として検出されたマメ類を集成したところ、関西地方の縄文遺跡では現段階でアズキ亜属はそれぞれ炭化種実が８遺跡、土器圧痕が３遺跡から検出されており、ダイズ属は炭化種実が１遺跡、土器圧痕が２遺跡から検出されている。炭化種実の検出事例を時期ごとに振り分けると、アズキ亜属は早期１例、前期２例、中期１例、後期３例、晩期３例、ダイズ属は晩期が１例のみであり、総数は多くはないが後期・晩期に検出事例が多い。また植物の栽培化の指標となる現象のひとつとして種子の大型化が想定されているが、検出事例の多いアズキ亜属について、報告書や論文に記載されている計測値から復元値や簡易楕円体積を算出したところ、時期が下るにつれ種子の長さ・簡易楕円体積が増加していく現象が認められた（図２）。特に簡易体積 60~70 ㎣以上のアズキ亜属は現生の栽培種のサイズに近い「栽培型」とされるが（那須 2015）、これらの個体もまた後期以降に認められる。



※小畑 (2010) によって算出された炭化種実の変形率 (長さ 97.2%・幅 58.9%・厚さ 91.8%)、圧痕種子の変形率 (長さ 98.0%・幅 95.4%・厚さ 93.4%) を基に算出したそれぞれの復元値を使用した。また簡易体積の算出方法は体積 (V)= 長さ /2× 幅 /2× 厚さ /×2×4/3× π である。

図２　関西地方の縄文遺跡より検出されたアズキ亜属の長さと簡易楕円体積

4. まとめ

関西地方では縄文時代後期以降にはアズキ亜属やダイズ属の検出数や種子のサイズの変化が認められることから、縄文時代前中期の東日本に見られるような植物利用技術の変化があった可能性が指摘できる。しかしながら、関西地方では後期以降に磨石類の出土数や貯蔵穴の検出数が増加する遺跡、つまり堅果類利用が強化したと考えられる遺跡も多く存在する。関西地方では新しい植物利用技術を受容しても、植物利用の度合いや生業の体制に東日本と差異があったと考えられる。

主要参考文献

丑野毅・田川裕美 1991「レプリカ法による土器圧痕の観察」『考古学と自然科学』24

小畑弘己.2010「.縄文時代におけるアズキ・ダイズの栽培について」.先史学・考古学論究Ⅴ

那須浩郎・会田進・佐々木由香・中沢道彦・山田武文・輿石甫 2015「炭化種実試料からみた長野県諏訪地方における縄文時代中期のマメの利用」『資源環境と人間　第５号』

12 世紀～18 世紀の北海道東部の遺跡でみられる低地利用の一様相

The Study of the Sites at the Easten Area of Hokkaido to Reveal How to Use the Low-lying wet lands between 12th Century and 18th Century

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

1. はじめに

本発表の目的は、北海道東部における低地利用の変遷を考察することである。そのためにまず、北海道北見市常呂川河口遺跡で木製品が発見された低地（低地および低湿地を含む、以下低地と略記）を取り上げ、低地でみられた地層堆積の理解を示し、各層で発見された資料による年代測定結果を提示して、最後に各層で発見された木製品の特色を説明する。

2.常呂川河口遺跡の低地に堆積した土層

常呂川河口遺跡では、約 2000 ㎡（W～CC-24～51 グリット）の範囲に存在した低地が発掘調査され、2008 年に報告された（武田修 2008）。低地では、上位から 7 層、10 層、12 層、13 層、14 層の大枠で 5 つの地層が分けられ、各地層から木製品が出土した。7 層および 10 層の上位の地層では、樽前山 a 火山灰（Ta-a と略記：1739 年噴火）が確認され、出土した木製品は 18 世紀前半以前の資料と位置付けられている。12 層はさらに二細分（12 層・12a 層）、13 層は三細分（13a 層、13b 層、13c 層）、14 層は二細分（14b層、14d 層）された地層から、木製品が確認された。約 800 点確認された木製品の内、372 点の木製品について分類、樹種同定が行われている（花里ほか 2019）。

3.各地層の年代測定結果

各地層から出土した木製品の内、北見市教育委員会の許可を受けて、8 点を選び、放射性炭素年代測定を実施した（表 1）。その結果、上位から 10 層の木製品では 12 世紀～17 世紀、12a 層の木製品では 12 世紀～14 世紀、13b 層の木製品では 12 世紀～13 世紀の年代値が得られた。大枠では、下位の地層（13b 層）の資料が古く、上位の地層（10 層）の資料が新しく位置づけられる点は、地層堆積と年代値とに整合性がみられた。概ね、擦文文化後期（12 世紀～13 世紀）～アイヌ文化期（14 世紀～17 世紀もしくは 18 世紀）に位置づけられる。

4.各層から確認された木製品

常呂川河口遺跡における木製品は、主に 7 層～14 層で発見され、それらの内、10 層で最も多く木製品が確認された。分類を行うと、土木材・建築部材と大別され、さらに、柱状・杭状木製品と細別された資料が全体の約 7 割以上であった。樹種同定を実施した結果では、9 割以上が広葉樹で、針葉樹は

数％であった。広葉樹では、樹種同定できた範囲で、ヤナギ属が 139 点（約 37％）、コナラ属 67 点（約 18％）、トネリコ属 30 点（約 8％）と順番に多く見られた。

5.まとめ

常呂川河口遺跡の低地における地層堆積の理解、各地層から発見された資料の年代測定結果、各地層から発見された木製品の主要分類群と樹種同定結果によって、北海道東部の遺跡では、12 世紀～18 世紀にかけて断続的に低地を利用している様子が推測できた。

引用文献

武田修　2008 「常呂川河口遺跡(8)」北海道北見市教育委員会（ところ埋蔵文化財センター）.

花里貴志,守屋豊人,渋井宏美,渡邊陽子,武田修,佐野雄三　2019 「北見市常呂川河口遺跡から出土したアイヌ文化期の木質遺物の樹種同定」北海道大学演習林研究報告,71-1,pp.11-37.

謝辞

本研究は、北見市教育委員会から資料を提供していただいて実施した。ご配慮にお礼を申し上げます。併せて、本研究は科研費補助金（JSPS22500973）の助成によって実施した。

表1　常呂川河口遺跡出土資料の放射性炭素年代測定及び暦年較正の結果

測定番号 遺物番号 層位	$\delta^{13}C$ (‰)	暦年較正用年代 (yrBP±1σ)	^{14}C 年代 (yrBP±1σ)	^{14}C年代を暦年代に較正した年代範囲	
				1σ暦年代範囲	2σ暦年代範囲
PLD-17051 遺物番号 T163：10層	-25.86±0.17	635±20	635±20	1296AD(25.5%)1315AD 1356AD(42.7%)1388AD	1288AD(38.8%)1325AD 1345AD(56.6%)1394AD
PLD-17052 遺物番号 T403：10層	-28.43±0.17	927±20	925±20	1044AD(12.0%)1059AD 1064AD(29.8%)1103AD 1119AD(26.4%)1154AD	1035AD(95.4%)1159AD
PLD-20205 遺物番号 T423：10層	-27.13±0.14	741±19	740±20	1265AD(68.2%)1280AD	1240AD(1.1%)1245AD 1251AD(94.3%)1289AD
PLD-20207 遺物番号 T355：10層	-26.72±0.13	358±18	360±20	1471AD(43.1%)1520AD 1592AD(25.1%)1620AD	1459AD(50.7%)1524AD 1558AD(44.7%)1632AD
PLD-17053 遺物番号 T472：12a層	-25.28±0.25	636±23	635±25	1295AD(26.0%)1315AD 1356AD(42.2%)1388AD	1286AD(39.5%)1327AD 1343AD(55.9%)1395AD
PLD-20208 遺物番号 T439：12a層	-27.08±0.14	949±19	950±20	1031AD(17.2%)1048AD 1086AD(38.4%)1123AD 1138AD(12.6%)1151AD	1025AD(95.4%)1155AD
PLD-20209 遺物番号 T747：13b層	-30.61±0.13	895±19	895±20	1051AD(31.8%)1082AD 1125AD(8.1%)1136AD 1152AD(28.3%)1180AD	1045AD(38.5%)1095AD 1119AD(56.9%)1212AD
PLD-17054 遺物番号 T770：13b層	-27.93±0.18	930±21	930±20	1041AD(12.4%)1058AD 1075AD(26.4%)1109AD 1116AD(29.4%)1154AD	1034AD(95.4%)1158AD

ポルトガル船ノッサ・セニョーラ・ダ・グラサ号（1610 年沈没）引き揚げ亜鉛インゴットの蛍光 X 線分析

XRF Analysis of a Zinc Ingot from the Portuguese Ship Nossa Senhora da Graça (Sank off Nagasaki in January 1610)

○青木智史（天理大学附属天理参考館），幡鎌真理（同）
○Satoshi AOKI，Mari HATAKAMA（Tenri University Sankokan Museum）

1. はじめに

ノッサ･セニョーラ･ダ･グラサ号（マードレ・デ・デウス号とも呼ばれる）は，朱印船貿易に関連してマカオで家臣を殺された肥前日野江城主の有馬晴信が,その報復として 1610 年 1 月（慶長 14 年 12 月）に長崎沖で爆沈させたポルトガル船である。このポルトガル船爆沈事件は，その後のポルトガル交易の衰退の要因となり，かの岡本大八事件にもつながる大きな出来事であった。この歴史的に重要な沈没船については断続的に積載物の引き揚げ等が行われてきたが，近年では 1928 年に柴田英一郎氏によって船体引き揚げが試みられ，航海用アストロラブ（mariner's astrolabe）や大砲などの様々な関連遺物が採集された。1930 年には引き揚げ資料が天理大学附属天理図書館に寄贈されている（1959 年に天理大学附属天理参考館に一部が移管）。2020 年秋に開催予定の天理参考館創立 90 周年特別展においてこれらの資料の展示が企図され，2019 年に改めて詳細な調査を実施した。調査の結果，引き揚げられた航海用アストロラブは 16 世紀第 4 四半世紀から 17 世紀第 1 四半世紀に分類される型式に該当するポルトガルの航海用アストロラブである事が確認され[(1)]，1610 年沈没のノッサ･セニョーラ･ダ･グラサ号由来のものとみなして問題ないことが明らかとなり，これらが歴史的に重要な資料であることが改めて確かめられた。さらに，この調査の際，「鉄片」として登録・収蔵されていた金属塊についても詳しく検討を行ったところ，明らかに鉄とは異なった材質であることがわかった。そこで当該資料について，蛍光 X 線分析による材質分析を行うことにした。

2. 蛍光 X 線分析について

蛍光 X 線分析には，OLYMPUS 製ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置 DELTA DP-2000 Premium を用いた。測定条件は，励起用 X 線ターゲットが Rh，管電圧は 40kV（軽元素測定時は 8kV），管電流は 100μA（軽元素測定時は 200μA），測定部径は 3mm または 10mm，計測時間は 60 秒である。測定は博物館内にて大気雰囲気下で，装置を三脚に固定し資料表面から 1mm 程度離した状態で非接触かつ非破壊で実施した。また，測定箇所については，表面の剥離部分や破断面などの付着物が可能な限り少ない部分を 16 箇所，および付着物が多い部分を 7 箇所選択し，計 23 箇所で分析を行った（Fig.1）。なお，金属標準試料との比較による主要元素の半定量分析を実施した。

3. 結果と考察

半定量分析結果は Table.1 で示したが，付着物の少ない部分からは，主要元素として Zn，Pb が検出され，他にも Si，Ca，Ti，Fe，Cu の弱いピークが得られた（Fig.2）。特に Zn のピーク強度は極めて大きく，半定量分析の結果，16 箇所の平均値として Zn が約 93%，鉛が約 5%，Fe と Cu がそれぞれ 1%程度である事が明らかとなった。今回の分析で，「鉄片」として登録・収蔵されていた金属塊が，実際には Zn 塊であることが判明した。この事から当該資料は金属亜鉛のインゴットと考えるのが妥当であろう。17 世紀初頭は，未だ欧州での金属亜鉛の生産は行われていない時期であり，中国・インドで生産された金属亜鉛が欧州に輸出され始め，南蛮貿易を介してようやく日本にもたらされるようになったと考えられる時期である。また，日本における金属亜鉛を用いた真鍮生産の開始は本資料の年代と近い時期が想定され，今回確認された亜鉛インゴットは最古級の資料として注目される。また，本資料の形状と寸法は和漢三才図絵に見える亜鉛インゴットとの共通性も認めら，日本に於ける金属亜鉛の導入と冶金史の研究にとって重要な発見と考えられる。

謝辞

本研究を実施するに当たり，奈良教育大学の金原正明教授から惜しみないお力添えとご指導を賜った。ここに記して御礼を申し上げます。

参考文献

(1)Castro, F.,Jobling, J., and Budsberg, N., 2018, Marine Astrolabes Catalogue. ShipLAB Report 16.2. Texas A&M University, College Station, TX.

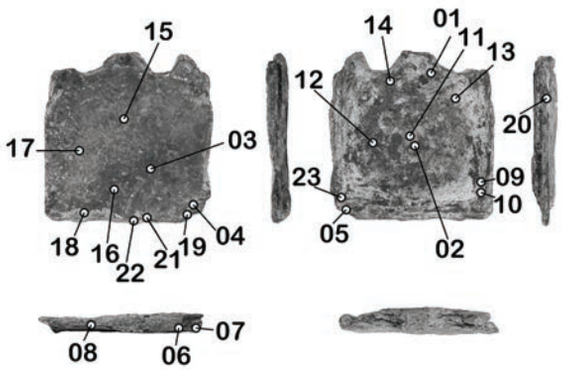


Fig.1 分析箇所

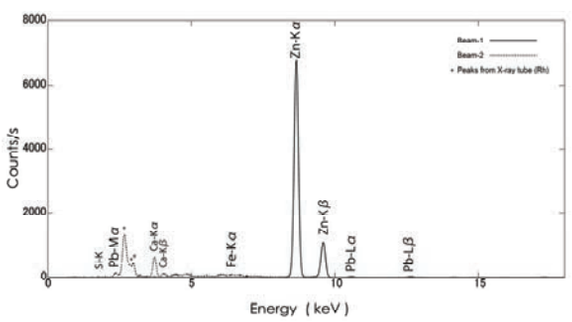


Fig.2 測定箇所 01 の蛍光 X 線スペクトル

Table.1　半定量分析結果（単位：%）

測定箇所	Fe	Cu	Zn	Pb	
01	0.1	0.1	97.7	2.1	
02	1.2	0.2	94.6	4.0	
03	4.4	15.7	13.5	66.5	※
04	0.9	0.1	97.1	1.8	
05	0.1	0.1	95.4	4.3	
06	0.4	0.5	93.1	6.0	
07	0.2	0.6	91.8	7.4	
08	2.5	0.5	87.0	10.0	
09	0.3	0.8	93.3	5.6	
10	0.3	0.6	94.4	4.8	
11	0.4	0.1	96.9	2.6	
12	3.9	0.5	77.0	18.5	※
13	4.0	5.7	45.5	44.8	※
14	3.4	7.0	36.1	53.5	※
15	2.9	12.3	9.0	75.9	※
16	12.7	16.5	17.3	53.4	※
17	7.4	14.4	14.3	64.0	※
18	1.7	0.2	92.5	5.5	
19	0.6	0.3	97.0	2.2	
20	0.4	0.7	94.5	4.4	
21	3.8	0.2	89.9	6.1	
22	1.6	0.2	92.6	5.6	
23	0.8	1.7	86.3	11.2	

※は付着物あり

元素分析と残留応力から見た青銅貨の分類に関する研究

Study on Classification of Bronze Coins from Elemental Analysis and Residual Stress

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

1. 目的

出土した青銅貨に対する元素組成分析は原料産地などの判別などを可能にするが、サイズや文字部の鮮明さなど鋳造技術もまた鐚銭の判別などでは重要である。われわれは、鋳造プロセスは当時の鋳造者集団（鋳造地）によりある程度規格化されたものであり、鋳造銭の出来栄えはその集団の技術力を反映する指標であると仮説を立てている。一方、金属の鋳造～仕上げ加工にいたる間に加えられた力は残留応力や結晶粒子の大きさなどの特徴として残る。したがってこれらによって時代や集団（地域）に共通の「鋳造・加工技術の特徴」の分類も可能になると考えている。そこで、本発表では古銭の鋳造過程を反映する金属の結晶化の状態や残留応力の特徴化を行う。また年代による青銅古銭の主成分濃度の推移を確認することを目的とした。

2. 実験方法

(1) 結晶化の状態および残留応力測定

金属粒子の結晶化の状態および残留応力は、X 銭回折装置を用いて行った（Cu Kα線、40 kV、20 mA)。X 線は多層膜ミラーでφ0.5 mm に集光し、検出器として二次元検出器(PILATUS 100K)を用いた。残留応力は d-sin$^2\Psi$法により算出した。測定は寛永通宝に対して行い、測定点は図１に白丸で示した文字の上４箇所、中央（郭部)、文字間の平坦部、周辺（輪部）である。

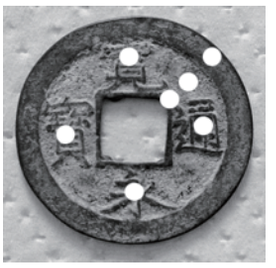


図１測定点

(2)青銅古銭の主成分分布

時代が古い順に、開元通宝 10 枚、永楽通宝６枚、寛永通宝 56 枚に対して文字部４箇所とその裏面について、携帯型蛍光 X 線分析装置(Niton XL)で銅、スズ、鉛の分析をした。

3. 結果と考察

(1) 結晶化の状態

図２は、寛永通宝の「寛」の文字上の二次元イメージと XRD パターンである。二次元イメー

ジのデバイ環の中に光点や濃淡が現れるのは、粒子が粗大化していることを、連続環になっている場合は微細結晶が形成されていることを意味する。図2では、2θが大きい領域ではデバイ間に濃淡があるが、全体としては均一な連続環であった。これは仕上げ工程として研磨作業が行われ、その結果として結晶が微細化していることを示唆しており、詳細な検討によって文字部への仕上げ加工が時代や銭種により施される特徴として分類指標になりうることを示す。

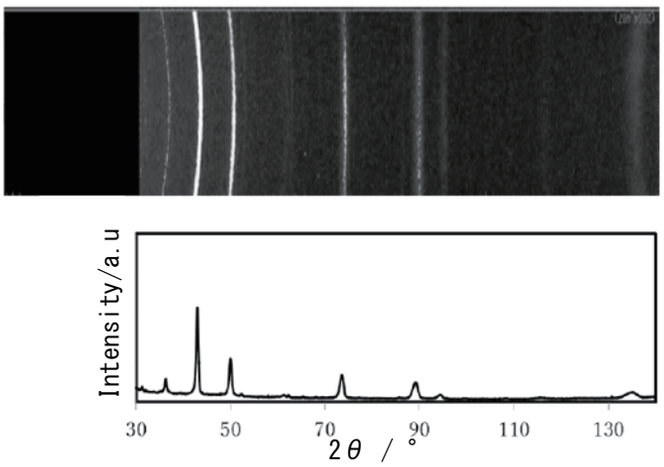


図2 X線回折の2Dイメージ(上)と回折パターン(下)

(2) 残留応力の状態

「寛」の上にはσ_{11}、σ_{22}方向に-200 MPa未満の残留応力があったが、残留応力分布は等方性ではなく異方性があった。一般に研削加工ではせん断破壊が起こるため、せん断残留応力も生ずるが、古銭において仕上げ加工を行いそうな文字部、郭部、輪部の$\sin^2\Psi$線図からは、せん断応力の存在が推定でき、詳細に部位や銭種による特徴を抽出することで加工プロセスが推定できると考えている。

(3) 時代による主成分濃度推移

図3に開元通宝、永楽通宝、寛永通宝の銅、スズ、鉛の濃度をプロットした。(a)から時代が新しくなるにつれ、スズ濃度が少なくなっていることがわかる。(b)の銅と鉛の関係からは、三種類の古銭が別々の回帰直線の上にあることがわかり、同一銭種でこの回帰直線から大きく外れる場合は鐚銭と推定できる。(c)の鉛とスズの関係では寛永通宝でばらつきが大きいが、古銭による濃度域が異なることがわかる。この時代による元素濃度の推移と残留応力や結晶化の状態を相関づけることで当時の原料・鋳造技術など多面的な検討が可能になると考えている。

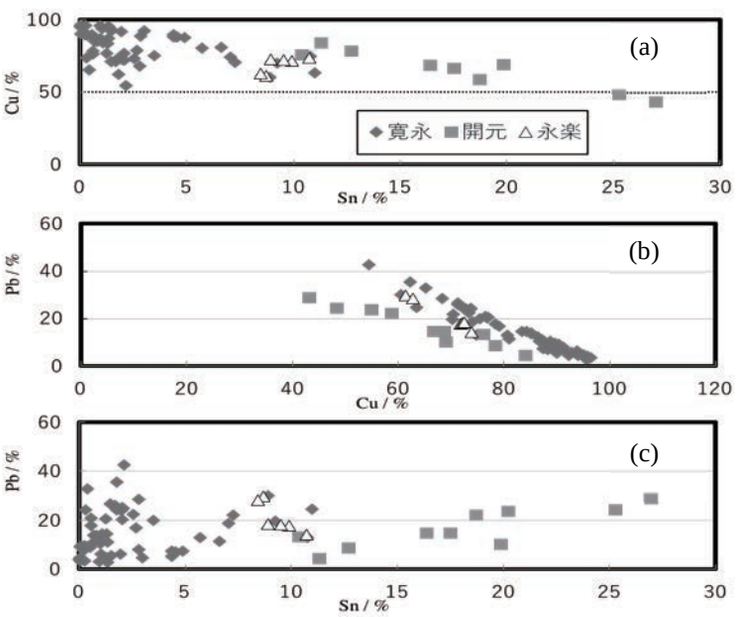


図3 古銭の主成分濃度

(謝辞) 本研究はJSPS科研費基盤研究(C)19K01130「古銭や青銅製品の残留応力や組成の特徴から製作年・地域・集団を分類する研究」によって行われた。

考古資料としての金属製指輪
Metal rings as archeological materials

○比佐陽一郎（福岡市経済観光文化局）・松園菜穂（大分市教育委員会）・沓名貴彦（国立科学博物館）
Yoichiro Hisa（Fukuoka city Economy，Tourism& Culture Bureau）・Naho Matsuzono（Ooita city Board of Education）・Takahiko Kutsuna（National Museum of Nature and Science）

1. はじめに

日本の歴史の中で人々が身を飾る装身具には、耳に装着する耳飾りや耳環、頭部や頸回りを飾る玉類がよく知られている。指輪もその一つであるが、他の装身具に比べると事例は限られる。しかし、耳飾りや玉類が概ね古墳時代以前に限られるのに対して、指輪は系譜の一貫性は別として、断続的に中世、近世を経て現代まで使用が続く息の長い装身具といえる（春成 1997）。

その起源は縄文時代に遡り、当初は骨や貝などが素材として用いられていたが、弥生時代以降、金属製の指輪が登場する（星野 2001）。指輪に金属を用いる目的としては、造形的な部分もあるが、やはり金属の色や光沢も重要な要素であったと考えられる。しかし、考古資料としての金属製指輪は、金を除けば埋蔵環境下での経年変化によって、色や形が当初と異なっている。錆の色によってある程度の材質推定はできるかもしれないが、合金の内容まで肉眼観察のみで明らかにすることはまず不可能である。

ここでは、福岡市を中心とした地域の、様々な時代の金属製指輪を対象として、その材質調査を行い、特定の器種における金属使用の傾向を明らかにするものである。

2. 対象遺跡と調査手法の概要

今回調査対象としたのは、福岡市内で出土した弥生時代以降の資料８点と、他地域の事例として青森県、茨城県、広島県の資料３点の、合計 11 点である。

調査にはエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（AMETEK・EDAX Orbis）や可搬型蛍光 X 線分析装置（Niton XL3t, AMETEK SPECTROSCOUT at-line+）を使用し、非破壊による表面分析により行った。

3. 調査の結果

最初に福岡市内の調査事例を紹介する。今回の調査対象で唯一弥生時代の以降から出土している比恵遺跡の事例は、現状、やや紫味を帯びた黒銀色を呈している。調査の結果、銀を主体として、僅かに銅を含んでいた。発掘調査担当者は楽浪との関連性を想定している（常松 1996）。

古墳出土の事例は３点ある。干隈 D-1 号墳例は、環に捻った状況が看取され、一部が瘤状に盛り上がっている。環の部分は銅に僅かな鉛、瘤状部分はこれらに加え錫が明瞭に認められた。これは既に報告書でも記したとおり、環の接点を鑞付けしたものと考えられる（比佐 2006）。ただ、報告当時、捻りの痕跡は何らかの有機物（この時は麻紐を想定）を芯にして、その表面にリボン状に加工した銅板を螺旋に巻き付けた製作技法を想定した。しかし、この資料を改めて X 線 CT で調査した結果、細い銅の針金が３本束になった状態が認められ、針金を束ねて捻ったものであることが明らかとなった。ここに製作技法に関する所見を訂正するものである。

他の２点は、細部は異なるものの、断面 D 字形の金属を幾重に巻いた形状を呈する。いずれも緑青が覆っており、銅を主体とすることが推測された。分析の結果、羽根戸古墳群例では銅の他に亜鉛、鉛、ヒ素が、元岡例は亜鉛、ニッケル、鉛が検出された。

元岡例のニッケルは別にしても、亜鉛と鉛を含む組成や、螺旋状に素材を巻いた形状は中世

の資料と見られる博多 111 次例に共通する。また、組成だけで見れば、博多 60 次や博多 78 次の例にも共通している。なお、博多 89 次例は高錫青銅であった。

他地域の事例では、広島県明官地廃寺跡と茨城県柏木古墳群、青森県根城跡の計 3 件について調査を行った。前二者は古代の事例で、指輪は共に石座（もしくは台座）部を持つ形状であるが、明官地廃寺跡は薄板、柏木古墳群は立体的な構造である。根城跡は中世末の事例で、指輪は薄板環状である。いずれの指輪も、錆によって表面は茶褐色から黒暗色を呈している。

分析の結果、古代の指輪はどちらも銅と亜鉛を主体した成分で柏木古墳では鉛などは殆ど検出されず、明官地廃寺ではニッケルを検出し、僅かに鉛と銀、錫を検出した。根城跡では銅、亜鉛が主体で僅かに錫、鉛を検出した。

4. まとめ

調査の結果、弥生時代の銀製品、古墳時代の銅製品、中世の高錫青銅製品の３点を除くと、銅を主体として亜鉛、鉛を含む材質が多くを占めていることが明らかとなった。これらを真鍮製品と呼べるか否かは、真鍮の出自がもう少し明らかになるのを待つ必要があると考える。近年、東北の末期古墳でも銅に亜鉛を含む資料が確認されるなど（赤沼 2018）、古い時代に遡る含亜鉛銅合金の例が増えつつある。羽根戸例や元岡例も、その中に加わる可能性も否定はできない。しかし、特に羽根戸例は古墳墳丘の出土であり、元岡例も石室内の出土ではあるが、石室は後世に破壊され、周辺では寛永通宝も出土している。形状や材質の共通する資料が中世後期を主体とする博多 111 次で出土していることなどからも、古く遡らせることは厳しいと考える。

柏木古墳は遺構の自然堆積埋土からの出土であり、遺構時期からどこまで新しいかは判断できないものの、その後の遺構周辺の利用はみられない。明官地廃寺跡も溝中の埋土であるが、古代の共伴遺物がほとんどのため、寺院利用時期に近いとみられる。根城跡も廃絶した堀の表土中の出土のため廃絶後としかいえないが、その後の利用は付近に道がある程度である。いずれの資料も明確な時期はみえないが、遺構からそれほど下らない時期の遺物とみている。

過去に博多遺跡群の出土資料を対象に行った中世～近世の金属製品の材質調査では、含亜鉛銅合金が一定量確認されており、施錠具や匙、耳かき、刀装具などの器種に多く見られる傾向も認められた（比佐ほか 2019）。今回の調査でも指輪にこの種の材質が多いことが示された。日本における真鍮製品の利用や生産を考える上で、新たな検討材料が得られたものと考える。

なお、資料の X 線 CT 撮影は、エクスロン・インターナショナル(株)のご厚意によるものである。末筆ながら記して感謝申し上げます。

（参考文献）

赤沼英男 2018「八戸市丹後平古墳出土非鉄金属器の材質と製作技法－獅噛三累環頭大刀柄頭に視点をあててー」『丹後平古墳群と蝦夷の世界－重要文化財青森県丹後平古墳群出土品指定品図録－』八戸市博物館

常松幹雄 1996「出光美術館所蔵の伝楽浪系装身具と北部九州の関連遺物」『福岡考古』第 17 号　福岡考古懇話会

春成秀爾 1997『歴史発掘④　古代の装い』講談社

比佐陽一郎 2006「干隈古墳群 D-1 号墳出土銅製環状装飾品の保存科学的調査について」『干隈古墳群-D-1 号墳の調査-』福岡市埋蔵文化財調査報告書第 904 集　福岡市教育委員会

比佐陽一郎・松園菜穂・沓名貴彦 2019「中世後期における真鍮加工の一様相－福岡市博多遺跡群の事例についてー」『日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会

星野惠美 2001「G-3 号墳出土指輪状青銅製品について」『羽根戸南古墳群第 3 次調査』福岡市埋蔵文化財

岐阜県可児市所在　熊野古墳出土装飾付き大刀の分析報告（速報）
Analysis report of a decorated sword from Kumano Tumulus in Kani City, Gifu Prefecture (flash report)

◯杉本和江（古美術修理すぎもと）、長江真和（可児市文化財課）、大谷晃二（島根県三刀屋高校）、川本耕三（(財）元興寺文化財研究所）、酒井温子（奈良県森林技術センター）、鈴木瑞穂（日鉄テクノロジー株式会社）

◯Sugimoto Kazue (the Conservation and Restoration,Sugimoto),Nagae Masakazu (Kani City Cultural assets section) ,Otani Koji(Mitoya High School), Kawamoto Kozo (Gangoji Institute for Research of Cultural Propaty),
Sakai Haruko(Nara Forest Research Institute), Suzuki Mizuho(NIPPON STEEL TECHNOLOGY Co. Ltd.)

１、はじめに

岐阜県可児市所在　熊野古墳出土装飾付き大刀に遺存する様々な部材について、分析を行った。本発表は、速報で有り、詳細な検討は今後の課題であるが、データを公開する事により、より多くの類例報告が喚起される事を願っている。

２、古墳の概要

熊野古墳は、現在は盛土の多くが失われ一枚岩の玄室天井石が露出した状態であり、昭和 63 年、平成 11 年に発掘調査を行っている。調査では墳形が円形か方形かは確認できなかったが一辺もしくは直径が 31m 程度、高さは約 4m の古墳であることが判明した。石室は南西方向に開口し、単室の胴張の強い片袖式横穴式石室である。石室の残存長は 13.33m であり、玄室部分の長さは約 4.49m、最大幅 2.10m、床面からの高さは 2.84m を測る。副葬品は須恵器や土師器、鉄鏃、刀子、直刀、金銅装大刀等が出土し、副葬品から 7 世紀前半に築造年代が求められる。熊野古墳の名前の由来は墳丘上に熊野神社が祀られていることに起因している。可児市最後の首長墳で、岐阜県史跡に指定されている。（長江真和）

３、「破壊された刀剣」について

熊野古墳の大刀は、柄頭は失われているが、外装の特徴と鳩目金具の存在から圭頭（または円頭）大刀と考えられる。柄間は列点で蕨手文を描いた金銅板で包み、柄元責金具、無窓の小型板鍔、鏃の金銅製の装具をもつ。刀身は約 19 ㎝がのこり、その先は欠損する。興味深いのは、鍔から８㎝のところで刀身がＶ字形に折り曲げられており、鏃の上に鞘の責金具が上下反転して押し込められていることである。これは、鞘を抜き、責金具を押し込めた後、刀身を折り曲げたと考えられる。金銅装大刀の破壊は報告されているが、それが経年変化による破損ではなく、意図的な破壊行為によるものか否かは、慎重に判断する必要がある。本例は、意図的な破壊の例であろう。他に、鳥取県石州府 1 号墳の頭椎大刀でも、責金具の中で刀身を 180 度回転させている例がある。（大谷晃二）

４、数点の金銅製刀装具の材質分析

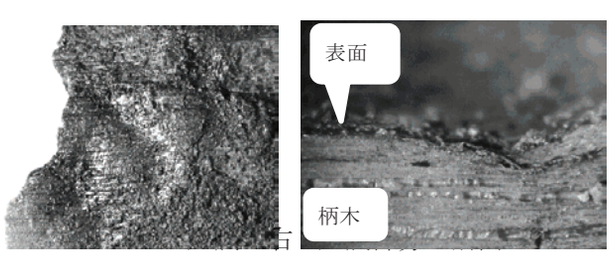
責金具、鍔、筒金具、柄（金銅装）、柄頭片（？）、鳩目金具を蛍光Ｘ線分析法で測定したところ、各刀装具により材質が異なっていた。（川本耕三）

	検出元素	推定された材質
遺物番号2 責金具その1	銅・ヒ素・スズ・金・水銀	青銅地金・鍍金（ヒ素を含む）
遺物番号2 責金具その2	銅・ヒ素・スズ・金・水銀	青銅地金・鍍金（ヒ素を含む）
遺物番号2 鍔	銅・金	銅地金・鍍金
遺物番号2 筒金具	銅・金・水銀	銅地金・鍍金
遺物番号3 柄の金銅装	銅・金・水銀	銅地金・鍍金
遺物番号7-2 柄の金銅装	銅・銀・金・水銀	銅地金・鍍金（銀）
報告書遺物番号35 柄頭?その1	銅・水銀・鉛	鉛を含む銅地金
報告書遺物番号35 柄頭?その2	銅・ヒ素・銀・ビスマス	銅地金・鍍銀（ヒ素・ビスマスを含む）
報告書遺物番号36-1 鳩目その1	銅・水銀・鉛	鉛を含む銅地金
報告書遺物番号36-1 鳩目その2	銅・金・水銀・鉛	鉛を含む銅地金・鍍金
報告書遺物番号36-2 鳩目?	銅・ヒ素・銀・水銀・ビスマス	銅地金・鍍銀（ヒ素・ビスマスを含む）

表１　蛍光Ｘ線分析法による金銅製刀装具からの検出元素と、推定された材質

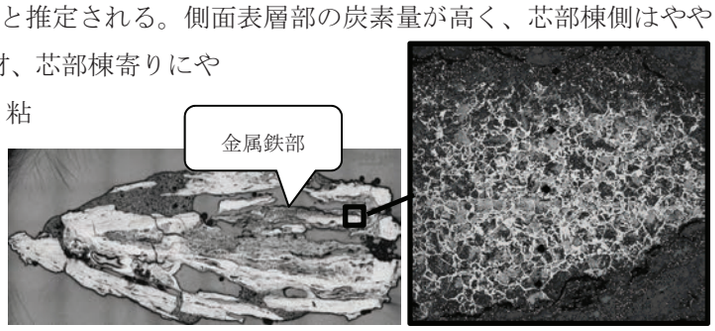
５、柄木の樹種鑑定と圧痕の観察

表面および切片の顕微鏡観察で、柄木の樹種はカエデ属と推定された。圧痕部分については、表面および圧痕面に垂直方向の切断面を実体顕微鏡で観察したところ、木材の細胞がほとんど変形しておらず、削り取られたように見える。復元実験の結果（圧縮・圧縮による切断）と合わせ、精査してゆく必要がある。（酒井温子）



６、刀身の分析

刀身の断面を顕微鏡観察した。内部の金属鉄部はフェライト・パーライト組織で、パーライトの面積率から、約 0.5～0.7%C の鋼と推定される。側面表層部の炭素量が高く、芯部棟側はやや低めであった。側面表層に高炭素材、芯部棟寄りにやや炭素量の低い材を配置し、硬さと粘り強さを持つ構造にした可能性がある。またこの金属組織から、刀身の鍛打成形後に、水焼入れはされていないことが確認された。このため、折り曲げた時に刀身が折れなかったと推測される。（鈴木瑞穂）



写真左：刀身断面全体像

写真右：金属鉄部（棟側）拡大（3%ナイタルで腐食）

７、柄の金銅板の製作技法の推定

メープル（北米産カエデ属の木材）に 0.3ｍｍ厚の銅板と被せた。施文方法は①木材に彫刻した文様を銅板へ転写②銅板を被せ、直接鏨で文様を打刻。２つの方法を行った。（杉本和江）

志段味大塚古墳出土騎馬武人の復元模造製作

Restoring imitation production of equestrian warriors excavated from Shidami Otsuka tumulus

◯塚本敏夫（元興寺文化財研究所）、初村武寛（同左）、岡田一郎（同左）、小村眞理（同左）
深谷淳（名古屋市教育委員会）
◯Tsukamoto Toshio, Hatsumura Takehiro, Okada Ishirou, Omura Mari (Gangoji Institute for Research of Cultural Property) , Fukaya Jun (City Board of Education).

1. はじめに

2019 年４月に名古屋市守山区上志段味にオープンした「体感！しだみ古墳群ミュージアム」（SHIDAMU）は志段味古墳群の調査成果をもとに保存と活用を図る目的で作られたガイダンス施設である。この展示室の目玉として志段味大塚古墳被葬者の騎馬武人像の復元製作を名古屋市から展示工事を受注した㈱乃村工藝社の受託事業として元興寺文化財研究所が請け負った。

この騎馬武人像の復元製作にあたって、志段味大塚古墳第一埋葬施設の出土遺物の調査・分析を名古屋市教育委員会から受託して行い、その成果を基に、できる限り古代の技術を再現して、武器・武具・馬具の復元を試みたのでその成果の一部を報告する。

2. 武人と馬の復元製作

武人模型　発掘調査成果から埋葬者の情報は得られていない。性別は副葬品から男性とし、身長は古墳時代埋葬人骨の平均値から 162 ㎝とした。顔は滋賀県高島市打下古墳の復顔模型を、髪形は大阪府高槻市今城塚古墳出土の武人埴輪を参考に下げ美豆良とした。

馬模型　大阪府四条畷市蔀屋北遺跡出土のウマの全身骨格から大阪府近つ飛鳥博物館が復元した成体模型を３次元計測し、そのデータを利用して製作した。

尚、製作はスチロール原型・FRP 樹脂による成形で、名古屋市教育委員会監修の下、宝島造形有限会社が製作した。

3. 騎馬武人の装着品の製作

3-1　武装部品の製作

甲冑　遺物整理から甲冑は甲が小札甲に小手と臑当の付属具を製作した。頸甲と肩甲については製作しなかった。冑は遺物から推定して竪矧広板式衝角付冑とし、同時代の類例調査から地板枚数を推定復元した。また、付属具として小札錣と小札頬当を製作した。

材質は小札も冑もステンレス製で、威・綴は鹿革とし、技法は現物を参考に推定した。

小札甲の段構成や使用枚数は、大坂府藤井寺市長持山古墳出土品を参考に推定復元した。

表面塗装は現品の調査から白磨とした。ワタガミ緒は布製で製作した。

帯金具　現品の分析と調査から帯金具は鉄地金銅装で波状列点紋等の彫金を施し、現存遺物と破片から 20 個を作製した。鉸具は銅製、帯は革製とし、帯金具を糸で縫いつけた。

3-2　馬装部品製作

鞍 鞍金具のみが残存し、木製鞍に鞍金具を付けた鞍と推定した。鞍金具の付着痕跡から鞍は黒漆塗とした。居木は有一残っている福岡県福岡市元岡遺跡出土品を参考にし、鞍橋は類例を参考に推定復元した。製作には居木、鞍橋ともに木地はアカガシを用いて黒漆で仕上げた。

組上げには革紐を用いて、最後に鞍金具を装着した。

障泥 現品が無いため、同時期の奈良県橿原市四条古墳出土馬形埴輪の障泥を参考に製作した。

材料は牛革に周囲に革紐で紋様を編んで製作した。

轡 現物を基に製作は銜・引手・遊環は鉄製で製作した。

輪鐙 現品と X 線写真から製作図面を作成した。

製作は木芯部をスギ材で作成し、鉄板を鉄製で製作し鉄製のリベットで組上げた。

鈴付鏡板・三環鈴・鈴杏葉 青銅製鈴付製品は現品の３次元計測データから３次元プリンターで原型を製作し、その原型を基に炭酸ガス型鋳造法で製作を行った。

鋳造は現品のケイ光 X 線分析の結果と類例の分析データを基に成分比を銅 80%：錫 15%：鉛 5%で鋳造した。
鋳造後にバリを取り、バフ仕上げをして完成した。

写真１　復元騎馬武人像

大刀　大刀は現品が行方不明のため、残された図面を基刀身の形状から同時期の刀剣の柄を宮崎県えびの市島内 139 号墳出土大刀を参考に製作図面を作成した。展示品のため刀身はステンレス製で刃は付けずに復元した。束木はヒノキ製として製作した。装飾は柄が糸巻とし、直弧紋を施し、カシュウで赤に着色した。

３-３　騎馬武人の装着

出来上がった復元模造品を馬と武人模型に装着させて復元騎馬武人を完成させた（写真１）。

4. おわりに

今回、騎馬武人のリアルな復元模造が製作できた。

特に、馬の模型を古墳時代中期から出土した馬骨を基に復元し、鞍の居木も出土品から復元したことにより、馬装での鞍金具と雲珠を繋ぐ尻繋との関係性が正確に判明し、今までの復元では繋は鞍金具から下向きに来ると想定していたが、馬の骨格の関係から上向きに来ることが判明した。このことは出土品でも上向きの姿勢のものが散見できることの理由が判明した。

参考文献

名古屋市教育委員会編 2017『埋蔵文化財調査報告 77　志段味古墳群Ⅲ-志段味大塚古墳の副葬品』名古屋市教育委員会

名古屋市教育委員会編 2019『史跡志段味古墳群整備事業報告書』名古屋市教育委員会

昌寧校洞及び松峴洞古墳群出土武具の製作技法研究

A study on Arms Making technique Excavated from Tumulus of Gyodong and Songhyun-dong, Changnyeong

○ 朴芝然 （国立加耶文化財研究所）、韓

ポスター発表

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

鉄斧

Ⅳ. 結論

昌寧校洞及び松峴洞古墳群出土武具類の製作技法に関して分析及び考察した結論は、

1) 鉄斧の表面部分から過熱組織であるwidmanstätten組織が確認でき、39‐14の身部や孔部からは一部浸炭組織が確認できた。これは形態加工のため高い温度から成形を行い、刃部に対し孔部の方を強化したものだと推定できる。
2) 鉄鏃の場合、すべて有頸式であり、鏃頭の形態による製作技法の差異は断定し難いが、39-2、39-16、39-59を除外したすべての刃部や身部から浸炭の痕跡が確認できた。従って、製作技法では鍛接-形態加工-浸炭による製作技術体系を用いたことを推定できる。
3) 今回の研究では、多様な試料の確保が困難であったため、副葬用や実使用などの使用形態は断定し難いが、今後の加耶古墳群出土の遺物の分析及び研究により類似研究に活用できると考えられる。

Ⅴ. 参考文献

崔鐘圭、張恩晶、朴長植、三国時代鉄器研究：微細組織分析でみた鉄器製作技法の体系、ソウル大学博物館、2001
Jeasung Lee、微細組織分析からみた柳葉形鉄鏃の製作技術体系類型分類、(私)韓国大学博物館協会、2014

幕末期の開陽丸と三重津海軍所跡（佐賀）の出土銅製品の組成比較

Comparison of the composition of copper relics found at KAIYO Maru and Mietsu NaVal Facility Site (Saga）

○田端正明（佐賀大学）
○Masaaki TABATA(Saga University)

ポスター発表

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

1. はじめに

幕府の長崎海軍伝習所が閉鎖されると、佐賀藩は独自の海軍訓練施設として三重津海軍所（佐賀市、2015 年世界遺産登録、1858～1871 年稼働）を設立した。施設では、佐賀藩所有の蒸気船電流丸（オランダ製）の修理や日本初の実用蒸気船「凌風丸」を建造した。そのために、同施設跡からは、船の修理と建造に必要な、国内初の木枠構造のドライドックの遺構や磁器、銅製品、さらには銅の塊が付着した坩堝が多数出土した。出土銅製品の使途と当時の銅製品の製造技術を知るために、その遺物の組成をシンクロトロン蛍光 X 線分析法で決定した。さらに、北海道江差沖で沈没した（1868 年）蒸気船開陽丸（オランダ製）の銅製品の組成を同様にして決定した。両遺物の組成を比較し、銅製品の製造技術について考察した。

2. 実験

出土銅製品を九州シンクロトロン光研究センターBL07 で蛍光 X 線分析した。励起エネルギー30 keV のシンクロトロン光を照射し、シリコンドリフト検出器(SII Nano Technology USA Inc. Vortex-EM)を用いて蛍光 X 線スペクトルを得た。照射 X 線のサイズは 1.0mm (W) x 1.0mm (H)である。得られた蛍光スペクトルを、Origin Pro 2020 を用いて Gaussian 解析を行い、各元素の積分強度を求めた。それぞれの元素の積分強度と濃度との検量線を次の標準真鍮合金、31X TB1、31X TB4、31X TB (MBH Analytical Ltd, Holland House)；機器分析用標準試料、伸銅品、BS-4D(Alloy C3601)、BS-5D(Alloy C3605)、BS-6D(Alloy C3712)、BS-7D(Alloy C3771（日本伸銅協会)、を用いて求めた。検量線より試料中の元素、鉄（Fe)、ニッケル（Ni)、銅（Cu)、亜鉛（Zn)、鉛（Pb)、銀（Ag)、錫（Sn）の含有割合を求めた。

3. 結果と考察

3．1　銅板と釘の組成

幕末期の蒸気船は木造であったので、フナクイムシからの船の損傷を防ぐために船の喫水線以下は銅板が張り付けられていた。三重津海軍所のドックでも船底の銅板張り替えが重要な作業であった。しかし、銅板にも、純銅、真鍮、青銅が考えられる。開陽丸博物館には釘穴の開いた大きな銅板が何枚も展示・保管されている。銅板 4 枚および三重津海軍所跡で出土した穴

表１．開陽丸及び三重津海軍所跡出土銅板の主な元素の含有割合（%）

	Cu	Fe	Zn	Pb	Ag	Sn
347_開陽丸（SHK_開_0045）	99.2	0.08	0.43	0.2	0.03	0.02
348_開陽丸（SHK_開_0046）	99.4	0.09	0.44	0.05	0.05	0.01
349_開陽丸（SHK_開_0047）	99.2	0.13	0.43	0.14	0.08	0.01
350_開陽丸（SHK_開_0044）	99.3	0.12	0.44	0.13	0.04	0.01
158_三重津（SHK-18-0021）	99.2	0.05	0.58	0.09	0.09	0.01

の開いた銅板 1 枚を分析した。各元素の濃度を表 1 に示す。三重津海軍所で出土した銅板は長さ 44 mm、巾 21 mm の小さな破片であるので、外見から船底修理に使われた銅板であると断定できない。しかし、開陽丸の大きな銅板の組成とほぼ同じであるので、三重津海軍所での船底銅板張り替えに使われた銅板であると考えた。更に、銅板の純度はいずれも~ 99.3%であるので、当時の日本の銅精製の技術は優れていたと言える。

開陽丸遺物から 44 本の釘を任意に抽出し分析した。ほとんどが純銅（Cu > 99 %、25 本）でありいくつかが真鍮 (Zn > 12%、16 本)であり、さらに錫を含む釘（Sn > 2%, 13 本）があった。穴の開いた銅板は純銅でしかも純銅の釘が多いので、銅板と釘との酸化還元電位の違いによる錆を防ぐために純銅の銅板を純銅の釘で固定したと思われる。同様に、三重津海軍所跡からの出土釘 18 本のうち純銅（Cu > ~ 99 %、11 本）の釘が多かった。三重津で出土した穴の開いた小さな銅板は船底に純銅の釘で取り付けられていたものの残りと考えられる。

3．2　真鍮製品の組成比較

海陽丸の遺物の化学組成を求めた。スプーンとホークは白色の銀色をしていたが、銀の含有量は少なく（0.01~0.02%）約 13 %のニッケルを含む銅と亜鉛の合金（白銅）であった。一方、三重津海軍所で真鍮製品（Zn > 10 %）が 15 個出土した。これらは微量の Pb、Sn、Ag を含んでいた。開陽丸と三重津海軍所跡から出土した真鍮製品の銅と亜鉛の組成を比較した（図 1)。三重津海軍所跡の真鍮製品の亜鉛含有量は開陽丸の遺物より少ないものが多かった。開陽丸の真鍮製品は一般的な黄銅であり、三重津海軍所跡の真鍮製品は丹銅である。この原因は主に、①幕末期の日本は亜鉛を外国から輸入していたため高価であり使用量を節約していた、②銅の融点で蒸発してしまう亜鉛（銅（融点）1085 ℃；亜鉛（沸点）907 ℃）を銅と加熱混合する真鍮製造技術がまだ十分に普及していなかったためと考えられる。日本の本格的な亜鉛製錬は明治 20 年以降である。

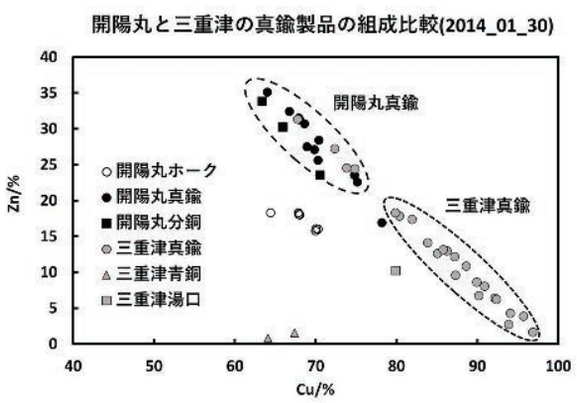


図 1. 開陽丸と三重津海軍所跡からの出土真鍮製品の組成比較．三重津が亜鉛の含有量が少ない。

数値制御工作機械を用いた彫金文様の再現

－幾何学文様の毛彫り特性について－

Reproduction of chasing patterns with a numerically controlled machine tool -Carving characteristics of geometric pattern -

○小川圭二（龍谷大学）、本田尚義（同左）、河嶋壽一（同左）

○Keiji OGAWA, Hisayoshi HONDA, Hisakazu KAWASHIMA (Ryukoku University)

1. はじめに

彫金とは、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り、その技法として、毛彫りや蹴り彫りなどがある。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方法であり、その文様は、直線だけでなく円や楕円のほか、複雑な曲線を組み合わせたものもある。通常これらの文様は、彫金師による匠の技によって具現化されるが、その継承が困難になってきているのが現状である。そこで、非回転工具と6軸制御マシニングセンタを用いた強制切込み加工に着目し、まずは6軸加工の必要性や有効性について検討した[(1)]。次に、非回転工具として旋削加工用のインサートチップを用いた加工により、直線や円といった単純形状に加えて実際の彫金文様の再現を試みた結果、加工部にバリが発生し、文様の風合いを損ねることが課題として顕在化したた[(2)]。そこでバリ抑制を目的とした新型工具を提案し、実際に設計製作して加工試験を行い、その効果を単一の直線や円で検証した[(3)]。本報では、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を対象とし、その再現を試みることにした。幾何学文様の再現において注目すべきは、単純形状が繰り返されることにより生じる文様の交差である。この交差点における高品質加工について検討した。

2. 新型工具の提案と実験方法

加工に使用する数値制御工作機械として、先行研究[(1-3)]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。使用した工具の形状と寸法を図1に示す。先行研究[(2、3)]で使用したものと同じく工具すくい角を60°と大きくとれる形状を有しており、さらに、毛彫りによる切り屑を工具進行方向に対し後方に排出する機能を付加するために貫通穴を設けてある。

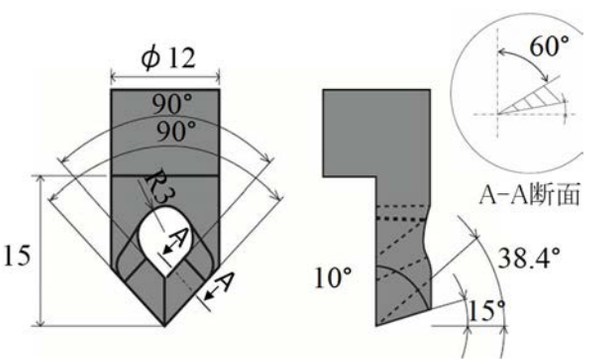
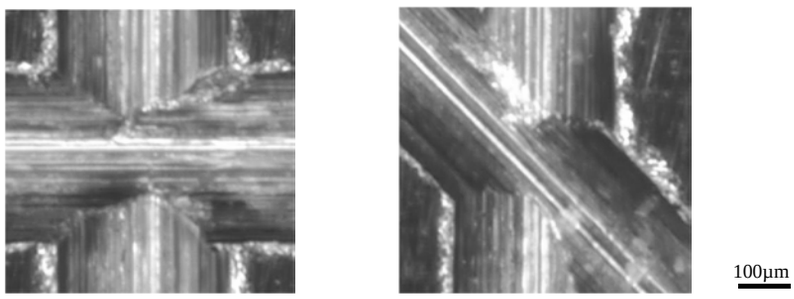


図1　供試工具



(a)交差角 90° （直交）の場合　　(b) 交差角 45° の場合

図 2　加工部観察結果

工作物材質は、実際の彫金に使われているものと機械的性質が同等のタフピッチ銅（C1100）とし、寸法 100 mm×100 mm×5 mm の平板を用いた。送り速度 200 mm/min と切込み量 0.1 mm は固定して、種々の交差角にて直線加工を行った。加工面の観察にはデジタルマイクロスコープを用い、加工部およびバリの寸法測定には接触式三次元形状測定器を用いた。

3. 実験結果

加工部観察結果を図 2 に例示（交差角 45° および 90° の場合）する。いずれの加工面も高い面品位を有しており（金属光沢を発しており）交差点付近での加工品質の低下は見られない。また、加工部縁の品質も良好に見える。そこで、加工バリ高さを実際に測定したところ、いずれの角度でも 10μm 程度と非常に良好な加工ができていることが確認された。なお、加工溝寸法は、いずれの工具の場合も指令通りであった。

以上より、本手法は、加工面品位と加工バリの観点で、幾何学文様へも適応可能であることが示唆された。

4. まとめ

非回転工具と数値制御工作機械を用いた彫金文様の再現において、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を対象とし、幾何学文様の再現で課題となる文様の交差点においても高品質加工が可能であることが示唆された。

参考文献

(1) 本田ほか（2017）6 軸制御マシニングセンタを用いた彫金文様の再現－毛彫りの場合について－、日本機械学会講演論文集 NO.174-1、pp.89-92.

(2) 山田ほか（2018）非回転工具とマシニングセンタを用いた彫金加工について（彫金文様再現に関する基礎的検討)、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）数値制御工作機械を用いた彫金文様の再現、日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集、pp.280-281.

清洲城下町遺跡出土の「るつぼ」の分析　-99A区ー

Analysis of crucibles from Kiyosu Castle Town archeological site -99A area-

○堀木真美子（愛知県埋蔵文化財センター）、沓名貴彦（国立科学博物館）、
鈴木正貴（愛知県埋蔵文化財センター）、蔭山誠一（同左）

○HORIKI Mamiko[1],KUTSUNA Takahiko[2],SUZUKI Masataka[1],KAGEYAMA Seiichi[1]
(1：Aichi Prefectural Center for Archeological Operations、2：National Museum of Nature and Science)

1. はじめに

愛知県の清洲城下町遺跡では戦国時代から江戸時代初期にかけての銅製品関連遺物が大量に出土している。特に99A区ではまとまった量のルツボが出土している。今回、蛍光X線分析装置を用いて、「るつぼ」に付着した金属成分の定性分析を行い、取り扱われた金属の種類と「るつぼ」の形状との関係性を考察した。

2. 清洲城下町遺跡　99A区の概要

清須城は戦国時代では尾張守護所、織田信雄による改修以降の織豊期では関東の巨鎮と呼ばれる有数の都市であった。その清須城下町内では、各所で鉄製品の鍛錬鍛冶作業が行われた実態が明らかになり（鈴木・蔭山2000）、集中的に鍛錬鍛冶作業が実施された地点も確認された（鈴木・蔭山2011）ほか、銅製品の生産も行われたことが推定されている（鈴木・蔭山2004）。この非鉄金属製品の生産に関わる遺物には、「るつぼ」片、鋳型、羽口、金属滓、金属滴などがある。このうち「るつぼ」片は99Ａ区で集中的に出土している（図１）。本町西部地区の城下町期後期（17世紀初頭）の短冊型地割の町屋推定地の一角で小型の銅製品が鋳造されていた可能性が考えられよう。

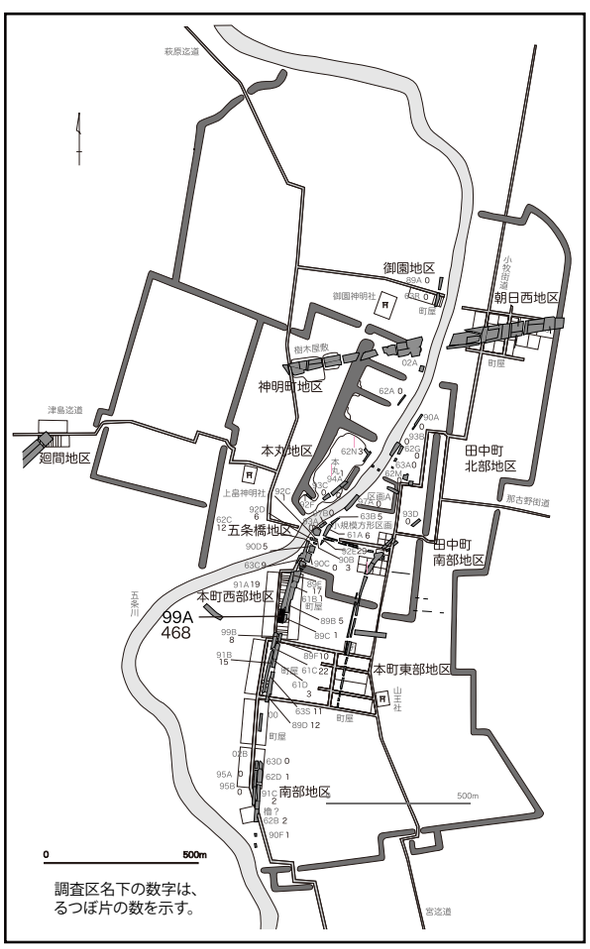


図１　清須城下町遺跡

3. 分析方法

分析に用いた試料は、まず沓名が、目視および実体顕微鏡を用いた観察によって、金属が付着しているものと思われるものを選別した。その後、三重県総合博物館において、カラーチャートを添えた写真を撮影（沓名）した後、デジタルX線透過装置（エクスロン・インターナショナル社製）を用いたX線透過画像を撮影。その透過画像を参考にしながら、愛知県埋蔵文化財調査センター内の蛍光X線分析分析装置（（株）堀場作所製のエネルギー分散型蛍光X線分析装置XGT-5000XII）にて定性分析を実施（堀木）。測定条件は、励起電圧：50kV、計測時間：100s、X線管球：Rh、測定雰囲気：大気中、X線照射径：100μmである。分析を実施した試料総数は、99A区で金属製品は22点、「るつぼ」片は143点である。

4. 分析結果の概要

Cu(銅)が検出される「るつぼ」片は、概して厚みがあり長径が大きいもの多いのに対し、Au(金)やAg（銀）が検出される「るつぼ」片は、薄く長径が小さいものが多い傾向が認められた（図２）。また、特質すべきものとして、亜鉛のみが検出される遺物がある。これら亜鉛のみが検出される遺物は、他の皿状の「るつぼ」片とは異なり、取っ手のついた小さな壺状のものである。そ

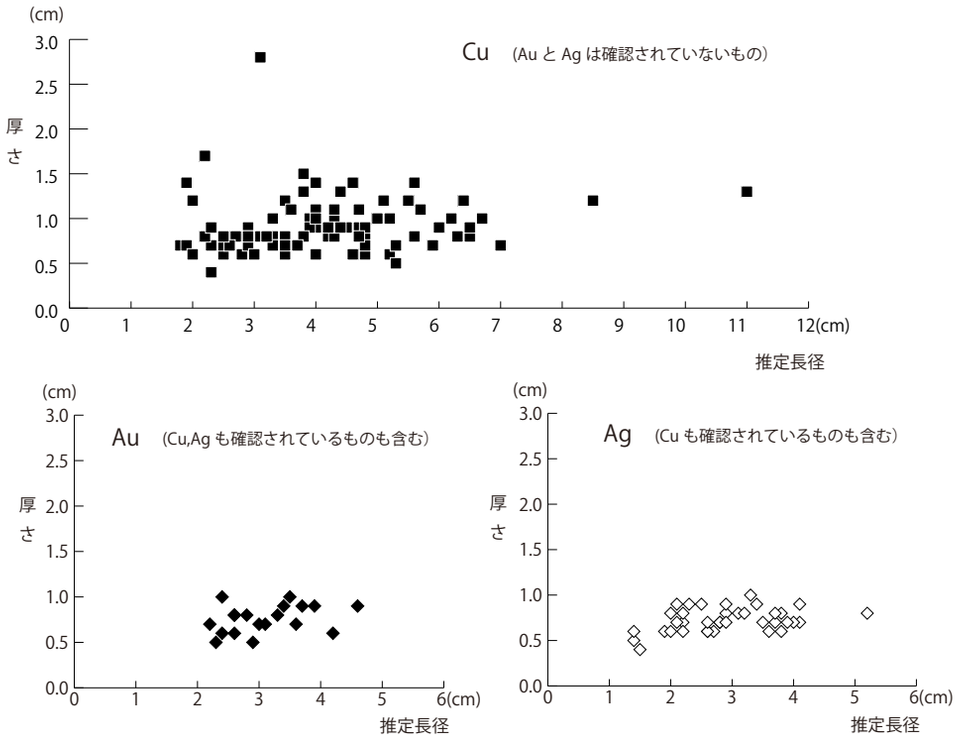


図2　主な金属と「るつぼ」の形状

の胎土は灰色を呈し、厚みがあり、キメが粗いという特徴を示す。この亜鉛のみが検出される遺物については、99A区以外からも出土している。特に91B区SK02や99B区SK194から出土した土師器状の遺物は、付着物質は確認できないにも関わらず、蛍光X線分析において亜鉛が検出されるものである。これらも亜鉛にかかわる遺物と考えている。

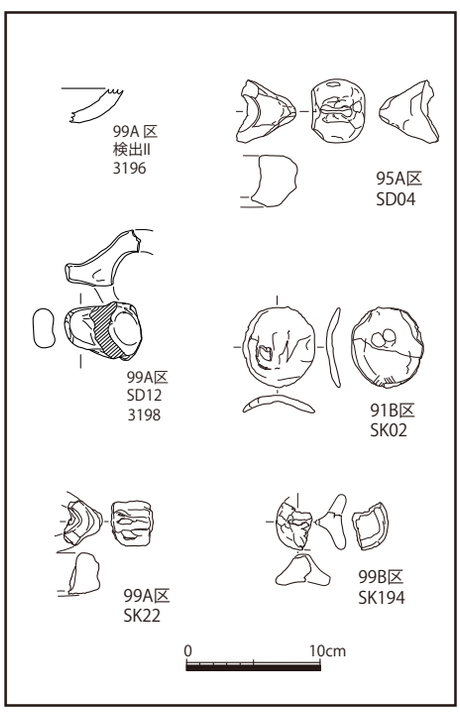


図３　亜鉛が検出された遺物

5. まとめ

今回の分析から、非鉄金属の加工に関わる道具として、銅が関係するものと金や銀に関わるものと、形状などに違いがあることが判明した。また亜鉛の加工に関わる遺物が、数は少ないものの清洲城下町遺跡で確認されたことは、非鉄金属の加工技術の歴史を考察する上で重要な資料となると考える。

＜謝辞＞

三重県総合博物館のデジタルX線透過装置の操作では、甲斐由香里氏と間渕創氏にご協力を頂きました。記して感謝の意を表します。

<参考文献>

鈴木正貴・蔭山誠一　2000「愛知県における鉄器生産を考える（4）−朝日西遺跡を中心に−」『研究紀要 1』財団法人愛知県教育サービスセンター愛知県埋蔵文化財センター

鈴木正貴・蔭山誠一　2004「清須城下町における銅製品生産−愛知県における金属製品生産（7）−」『愛知県埋蔵文化財センター研究紀要第５号』

鈴木正貴・蔭山誠一　2011　「清須城下町における金属製品生産−愛知県下の古代〜近世の集落における金属製品生産と比較して−」『関西近世考古学研究 19』関西近世考古学研究会

中世大友府内町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 Ruins of the Medieval Otomo Funai

沓名貴彦（国立科学博物館）・ 坪根伸也（大分市教育委員会）
Takahiko Kutsuna (National Museum of Nature and Science)
Shinya Tsubone (Oita City Board of Education)

はじめに

発表者らは、山梨県をはじめに各地の戦国期の鉱山遺跡や城館跡、城下町遺跡等から出土した遺物への科学調査により金を中心とする非鉄金属生産の報告を行い、鉱山から城館、城下町への金の流通状況や、戦国期の城下町における非鉄金属生産の様相などを明らかにしてきた[1)2)]。

今回、戦国期に国際貿易都市として繁栄を極めた豊後府内に着目した。その遺跡である中世大友府内町跡出土遺物から、非鉄金属生産に関する遺物を多数確認し、詳細調査を実施した結果の一部は既に報告した[3)4)]。その後の調査の含めた非鉄金属生産の状況を、今回報告する。

中世大友府内町跡について

中世大友府内町跡は、大分川の河口左岸の自然堤防上に立地する都市遺跡である。中世における豊後守護大友氏の拠点であり、平成８年（1996）から本格化した発掘調査では、14 世紀から 16 世紀末にかけての遺構・遺物が確認されている。なかでも 16 世紀後半に出土遺物、遺構が増大し、中国、朝鮮半島をはじめ東南アジア、ヨーロッパ産の遺物群の出土が認められ、史実に示される初期南蛮貿易期の実態をよく示している。

調査について

調査によって、図１に示す地点で主要な金属生産関連遺物を確認している。

調査は、実体顕微鏡を用いた現地調査で詳細調査候補を選定し、その後遺物を借用して詳細調査を実施した。一部は、現地調査で蛍光エックス線分析も行っている。詳細調査方法は、これまでと同様に非破壊分析による下記の手法を用いた。

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

結果及び考察

現地調査対象資料は、坩堝、取瓶、羽口など、金属の精錬や合金化、熔解作業といった火を用いる工程の道具類である。

現地調査では、金や銀、銅とその合金といった非鉄金属生産に使用された資料を 200 点以上確認し、中世大友府内町跡の多地点で、豊かな非鉄金蔵生産を確認した（図１参照）。この内借用可能な資料を選定し、詳細調査を実施した。その結果から、幾つか議論すべき資料について詳述する。

図１中世大友府内町跡主要金属生産関連遺物確認地点

36 次では、直径 10cm 以上の坩堝の完形品や破片が出土している。図 2 に示すX線透過像(b)や XRF(c)で、Ag や Pb を強く検出し、以前報告した灰吹法に用いた坩堝と考えられた [4]。

3 次では、Ag 粒子（図 3(a)）や Au 粒子が付着する坩堝が確認されている。

7 次周辺では、様々な金工品生産の様相を呈している。図 3(b)Au 粒子は他の部位で Ag 粒子が確認されることから、金−銀合金生産に用いた坩堝と考えられる。図 4(a)の XRF では、銀ロウ生産に用いた坩堝が確認された。他にも金や銀粒子付着の坩堝が多数確認されている。周辺の 8 次では、金や銀生産に使用した坩堝の他に、真鍮生産の坩堝や蓋などが確認されている。

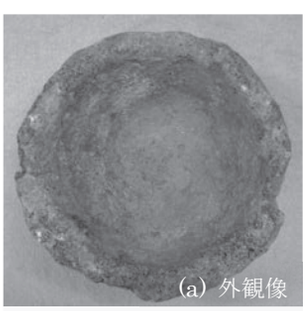
77 次周辺も、金工品生産が強くみられる地区である。Au 粒子（図 3(c)）や XRF では Au-Ag-Cu 合金の確認（図 4(b)）、SEM-EDX で Au 粒子や Cu の付着から Au-Cu 合金生産が確認された。他にも、鉛やハンダ生産などが確認されている。

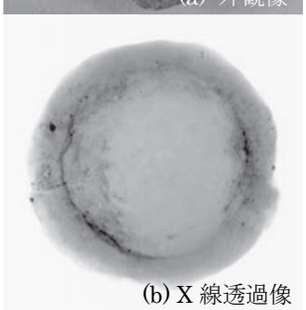
おわりに

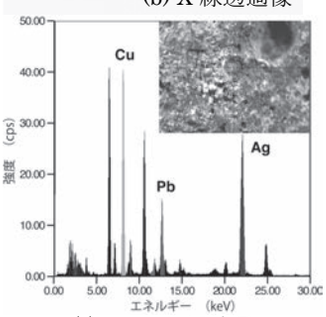
今回、中世大友府内町跡出土の金属生産関連遺物の調査から、豊後府内の豊かな金属生産の様相が明らかとなった。遺跡範囲内の様々な地点において、金・銀・銅の非鉄金属生産工房の存在が推測される。更なる調査により、戦国期における豊後府内が一層明らかになると考える。

参考文献

1)山梨県立博物館 調査・研究報告 5 『甲斐金山における金生産に関する自然科学的研究』2011
2)沓名・比佐「中世末の非鉄金属生産に関する科学調査 —博多遺跡群からの出土遺物について—」日本文化財科学会第 34 回大会発表要旨集,p154-155,2017
3)沓名「中世大友府内町跡出土金属加工関連遺物の非破壊分析」p43-50, 37, *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. E*, 2014
4)沓名「豊後府内における非鉄金属生産」『戦国大名大友氏の館と権力（鹿毛・坪根編）』p309-319,吉川弘文館,2018
5)沓名・比佐「博多遺跡群出土坩堝の利用方法について」日本文化財科学会第 34 回大会発表発要旨集,p92-93,2017

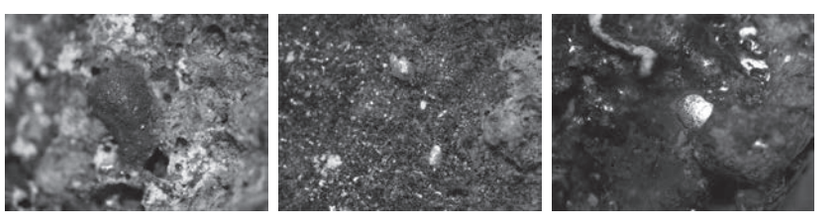






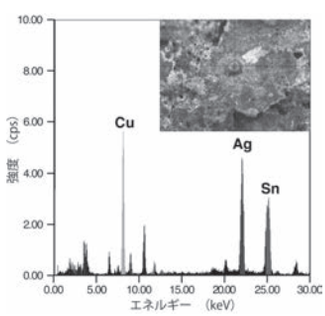
(c) XRF 分析結果

図 2 灰吹坩堝（36 次）の調査

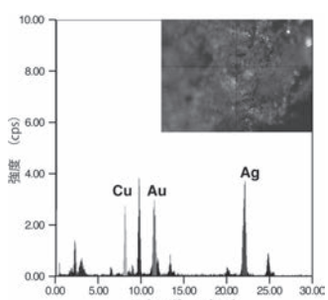


(a) Ag 粒子（3 次）　(b) Au 粒子（7 次）　(c) Au 粒子（77 次）

図 3 各金属粒子の顕微鏡画像



(a) Ag-Sn 坩堝（7 次）



(b) Au-Ag-Cu 坩堝（77 次）

図 4 坩堝の XRF 分析結果

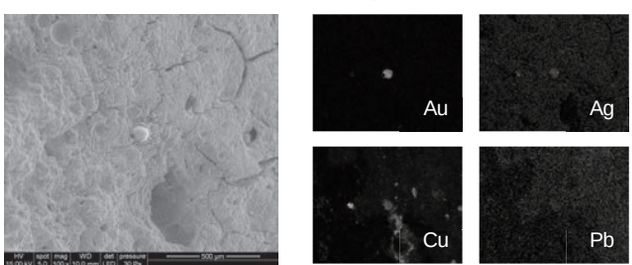


図 5 Au,Cu 付着状態のマッピング分析（77 次）

＊本研究は、福武学術文化振興財団歴史学助成、JSPS 科研費 JP26350385 の助成を受けたものである。

堺環濠都市遺跡における非鉄金属生産に関する科学調査

Scientific research of non-ferrous metal production in the Sakai Kango Toshi Site

沓名 貴彦（国立科学博物館）・ 嶋谷 和彦（堺市文化観光局文化財課）
Takahiko Kutsuna (National Museum of Nature and Science)
Kazuhiko Shimatani (Sakai City, Culture and Tourism Bureau, Cultural Properties Division)

はじめに

発表者らは、山梨県をはじめに戦国期の鉱山遺跡や城館跡、城下町遺跡などから出土した遺物への科学調査により金を中心とする非鉄金属生産の報告を行い、鉱山から城館、城下町への金の流通状況や、国内各地の都市や城下町における非鉄金属生産の様相を明らかにしてきた[1)2)]。

今回、戦国期に国際貿易都市として栄えた三津七湊の一つである堺に着目した。その遺跡である堺環濠都市遺跡の出土遺物から、非鉄金属生産に関する遺物を多数確認し、詳細調査を実施した。その結果について報告する。

堺環濠都市遺跡について

堺環濠都市遺跡は、中世の自治都市・自由都市として全国的に著名な都市遺跡であり、発掘調査による考古資料も約 40 年の蓄積がある。これまでの調査では、応永 6 年（1399）から慶長 20 年（1615）に至る数度の大火に伴う焼土層の確認、都市外郭を囲う環濠（外堀）と都市内部を走る内堀の検出、道路・溝・建物などの遺構主軸から判明した近世以降と異なる中世都市プラン（街区・町割）の存在、中国・朝鮮半島をはじめタイ・ベトナム・ミャンマーなどの輸入陶磁器の出土、模鋳銭・無文銭生産を実証する銭鋳型の出土など、数多くの貴重な成果がある。

調査について

予備調査などにより、図 1 に示す堺環濠都市遺跡の各地点で生産関連遺物を確認した。

調査は、実体顕微鏡を用いた現地調査を実施して詳細調査候補資料を選定し、その後借用して詳細調査を実施した。詳細調査方法は、これまでと同様に非破壊分析による手法を用いた。

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

結果及び考察

現地調査対象資料は、坩堝、取瓶、羽口など、金属の精錬や合金化、熔解作業といった火を用いる工程の道具類である。

現地調査では、金や銀などの合金や銅合金といった非鉄金属生産に使用された資料を 100 点近く確認し、堺環濠都市遺跡の多地点で、豊かな非鉄金属生産を確認した（図 1）。この内借用可能な資料を選定し、詳細調査を実施した。その結果から、幾つか議論すべき資料について詳述する。

1.SKT19 では、直径 10cm 以上の坩堝の完形品や破片が出土しており、図 2 に示すX線透過像(b)の状況や、XRF(c)で Pb を強く検出することから、以前報告した資料と同様の灰吹法に用いた坩堝と考えられた[3)]。

3.SKT153 からは長辺 30cm 弱の大型把手付坩堝、11.SKT822 では小型把手付坩堝を多数確認した。小型把手坩堝の一部は XRF を行い、Cu と Zn の検出から真鍮生産に用いた坩堝と確認した（図 4 (a)）。把手付坩堝は、真鍮生産用坩堝の報告があり、その成果を追認するものである[4) 5)]。他の

（電子国土 Web を元に作成）

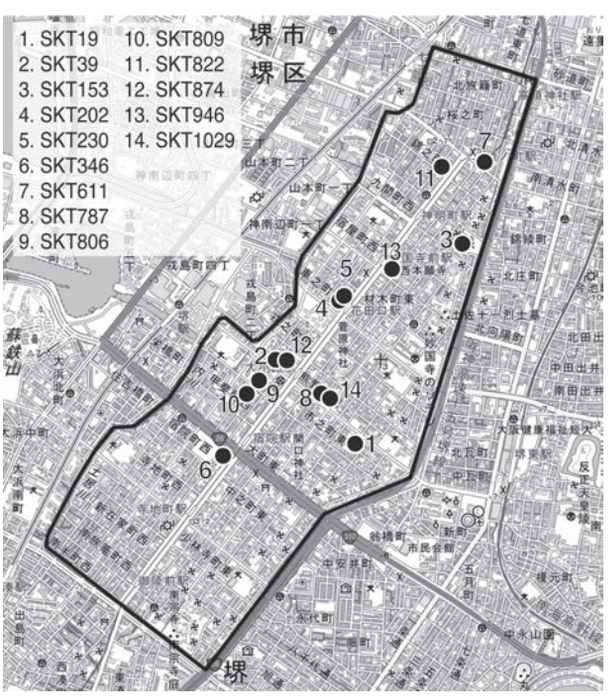


図 1 堺環濠都市遺跡の金属生産関連遺物確認地点

真鍮生産関連遺物では、亜鉛蒸発低減に使用した坩堝の蓋が、11.SKT822 から出土している。

9.SKT806 をはじめとする数多くの地点で直径 10cm 以下の坩堝が出土しており、内面には緑青や金属粒子が付着しており、顕微鏡観察で Au や Ag 粒子を確認した（図 3.(a) (b) (c)）。XRF 結果では、Ag 粒子と Cu 粒子から四分一と呼ばれる Ag-Cu 合金の生産や（図 4 (b)）、Au と Cu 粒子から Au-Cu 合金の生産に用いられたとみられる遺物を確認している。

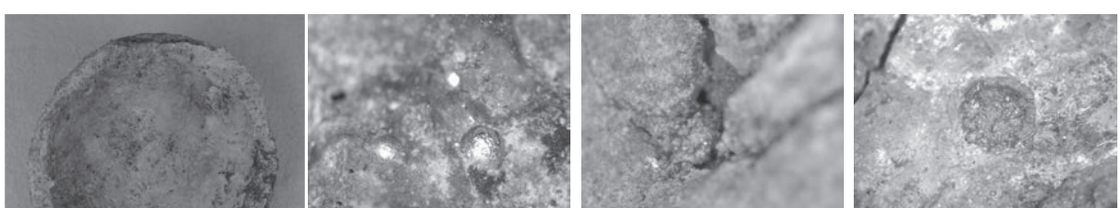
12.SKT874 では、灰吹に用いた坩堝の破片、Au 粒子や Ag 粒子が顕微鏡で確認され、XRF マッピング分析では Au, Ag, Cu, Pb の付着が確認され（図 5）、様々な合金生産が確認された。

おわりに

今回、堺環濠都市遺跡出土の金属生産関連遺物の調査から、堺における豊かな金属生産の様相が明らかとなった。遺跡範囲内の様々な地点において、金・銀・銅の非鉄金属生産工房の存在が推測される。更なる調査によって、戦国期から江戸初頭における堺の様相が一層明らかになると考えられる。

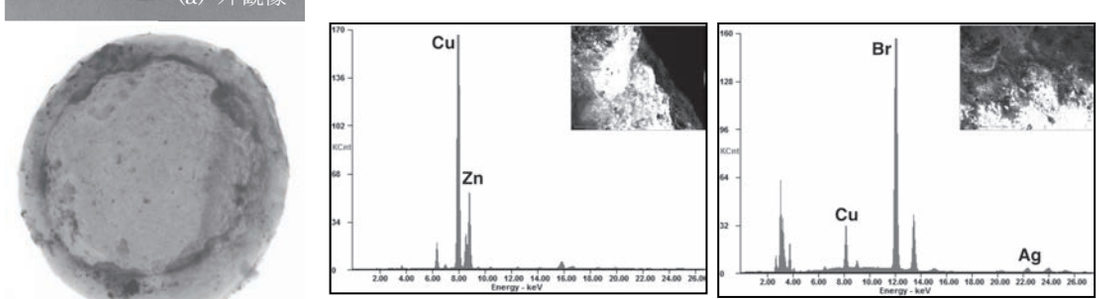
参考文献

1)山梨県立博物館 調査・研究報告 5 『甲斐金山における金生産に関する自然科学的研究』2011
2)沓名・比佐「中世末の非鉄金属生産に関する科学調査 —博多遺跡群からの出土遺物について—」日本文化財科学会第 34 回大会要旨集、p154-155、2017
3)沓名・比佐「博多遺跡群出土坩堝の利用方法について」日本文化財科学会第 34 回大会要旨集、p92-93、2017
4)伊藤「把手付坩堝の復元的研究 -真鍮地金の調合について-」日本文化財科学会第 25 回大会要旨集、p208-209、2008
5)伊藤「得られた情報の解釈と推し測るべきこと -金属生産・加工に関わる事例から-」『関西近世考古学研究』19 号、2011



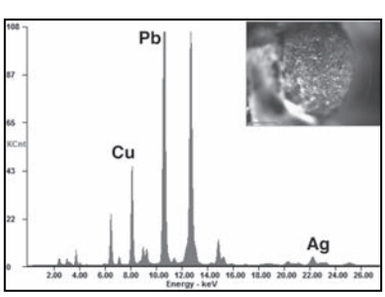
(a) Au 粒子(SKT787)　(b) Au 粒子(SKT806)　(c) Ag 粒子 (SKT874)

図 3 各金属粒子の顕微鏡画像



(b) X 線透過像　(a) 把手付坩堝（SKT822）　(b) 小型坩堝（SKT806）

図 4 坩堝の XRF 分析結果



(c) XRF 分析結果

図 2 灰吹坩堝の調査

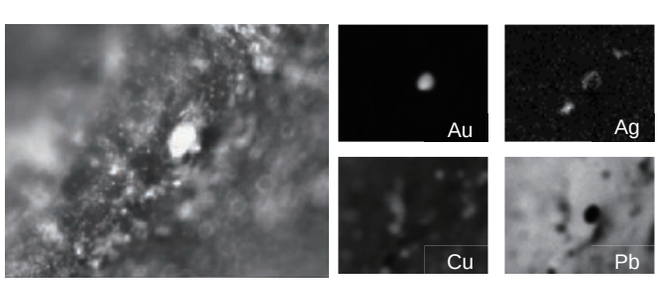


図 5 Au, Ag, Cu 付着状態のマッピング分析（SKT874）

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

考古遺物に残存する有機質情報を用いた器物の想定復元

-船原古墳遺物埋納坑出土鉄釘を対象として-

Restoration of containers by observation of organic matter attached to iron nails excavated from Funabaru Tomb.

○小林啓*1、加藤和歳*1、甲斐孝司*2、西幸子*2

○Akira KOBAYASHI, Kazutoshi KATO, Kouji KAI, Sachiko NISHI

*1 九州歴史資料館 (Kyushu Historical Museum)

*2 古賀市教育委員会 (Koga City Boaed of Education)

1. はじめに

遺跡から出土する考古遺物の有機質情報は、埋蔵中の腐朽により大半が失われてしまうが、鉄や銅などの金属と複合している場合には、錆化した有機質痕跡として残存することがある。発表者は鉄釘に残存する錆化した木質痕跡（以下、木質）を観察、木材断面や木繊維の方向から器物を想定復元する研究をおこなってきた（小林ら日本文化財科学会第 34・36 会大会）。

今回は船原古墳（6 世紀末～7 世紀初頭、福岡県古賀市）の遺物埋納坑から出土した鉄釘を対象として新たな成果が得られたため報告する。

2. 資料と方法

資料は船原古墳遺物埋納坑から出土した鉄釘 31 点である。鉄釘は頭部と体部のサイズから大型と小型の 2 種類に分類できる。大型の鉄釘（以下、鉄釘（大））は、頭部・体部とも方形、長さは 7.5～8.0cm、小型の鉄釘（以下、鉄釘（小））は、頭部は扁平の円形で体部は方形、長さは 3.5～5.0cm である。内訳は、鉄釘（大）は 13 点、鉄釘（小）は 18 点である。

鉄釘の頭部側及び先端部側、又はその両方に器物の復元根拠となる木質が残存しており、これらを顕微鏡で観察し木材断面と木繊維の方向を特定した。鉄釘の頭部側、先端部側における木材断面の組み合わせから器物の木取りを推定、出土位置との比較検討をおこない器物を想定復元した。

3. 結果

鉄釘（大）・（小）の観察結果を表 1・2 に示す。木質の組み合せから鉄釘の使用部位を、A 型（側板 - 小口板の連結）、B 型（底板 - 側板）、C 型（底板 - 小口板）と特定できる。

釘（大）は、A 型の頭部側が「柾目 - 木口」、先端部側が「柾目 - 板目」、C 型の頭部側が「柾目 - 木口」、先端部側が「木口 - 柾目」である。B 型は未確認だが、底板・側板・小口板共に板目材となる。一方、釘（小）は、A 型の頭部側が「板目 - 木口」、先端部側が「板目 - 柾目」、B 型の頭部側が「柾目 - 木口」、先端部側が「柾目 - 木口」、C 型の頭部側が「柾目 - 木口」、先端部側が「木口 - 柾目」である。こちらは底板・側板・小口板共に柾目材となる。

表１　鉄釘（大）の観察結果

No.	鉄釘の形状	頭部側	先端部側	使用部位
1	完形	柾目 - 木口	柾目 - 板目	A 型
2	完形	柾目 - 木口	柾目 - 板目	A 型
3	完形	柾目 - 木口	柾目 - 板目	A 型
4	完形	柾目 - 木口	木口 - 柾目	C 型
5	完形	柾目 - 木口	-	不明
6	完形	-	柾目 - 板目	A 型
7	完形	-	柾目 - 板目	A 型
8	頭部のみ残存	柾目 - 木口	-	不明
9	頭部のみ残存	柾目 - 木口	-	不明
10	頭部のみ残存	柾目 - 木口	-	不明
11	先端部のみ残存	-	柾目 - 板目	A 型
12	先端部のみ残存	-	柾目 - 板目	A 型
13	先端部のみ残存	-	柾目 - 板目	A 型

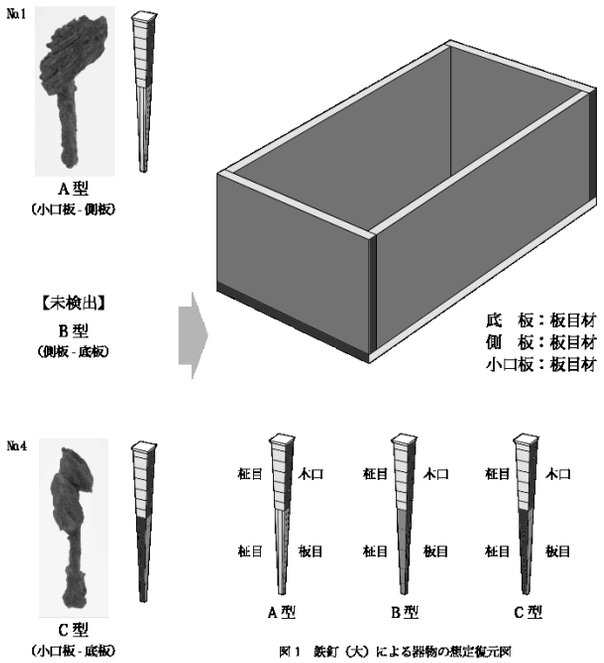


図１　鉄釘（大）による器物の想定復元図

表２　鉄釘（小）の観察結果

No.	鉄釘の形状	頭部側	先端部側	使用部位
1	完形	板目 - 木口	板目 - 柾目	A 型
2	完形	柾目 - 木口	柾目 - 木口	B 型
3	完形	柾目 - 木口	木口 - 柾目	C 型
4	完形	板目 - 木口	-	不明
5	完形	柾目 - 木口	-	不明
6	頭部のみ残存	板目 - 木口	-	不明
7	頭部のみ残存	板目 - 木口	-	不明
8	頭部のみ残存	板目 - 木口	-	不明
9	頭部のみ残存	板目 - 木口	-	不明
10	頭部のみ残存	柾目 - 木口	-	不明
11	頭部のみ残存	柾目 - 木口	-	不明
12	先端部のみ残存	-	柾目 - 板目	A 型
13	先端部のみ残存	-	柾目 - 板目	A 型
14	先端部のみ残存	-	柾目 - 板目	A 型
15	先端部のみ残存	-	柾目 - 木口	不明
16	先端部のみ残存	-	柾目 - 木口	不明
17	先端部のみ残存	-	柾目 - 木口	不明
18	先端部のみ残存	-	柾目 - 木口	不明

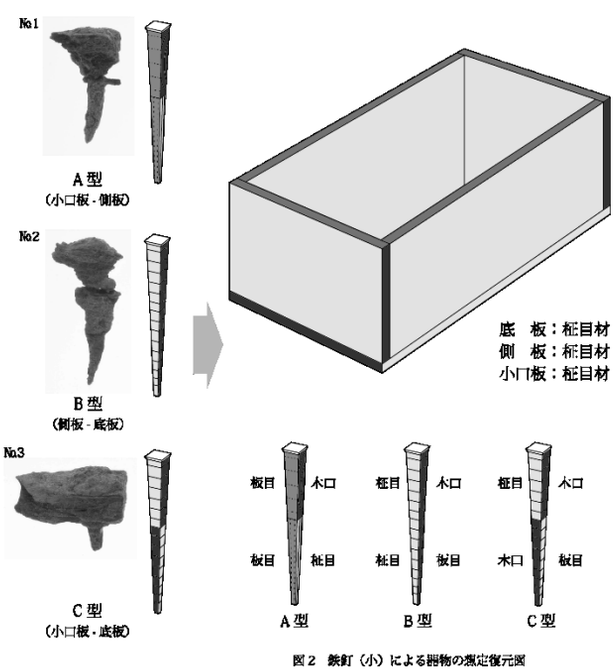


図２　鉄釘（小）による器物の想定復元図

4. まとめ

船原古墳遺物埋納坑から出土した鉄釘に残存する木質の観察から、構造（木取り）の異なる 2 種類の器物が存在を提示した。当初、遺物埋納坑には一つの大型器物に遺物を埋納していたと考えられていたが、これとは別に小型の鉄釘を用いた構造（木取り）の異なる、もう一つの器物が埋納されていた可能性が高い。本稿における調査手法は、木質が残存する馬具や武器類等の遺物にも適応できることから、埋蔵中に消失した有機質情報の想定復元に有効な方法である。

民具から用途不明木製品を考える

～「軽軟な木材は強度を必要としない部位」は本当か？～

Considering wooden products of unknown use from old tools

◯高橋　敦(株式会社古生態研究所)・桃井宏和(公益財団法人元興寺文化財研究所)・
久保光徳(千葉大学)・王　健(千葉大学・院)
◯Tsutomu TAKAHASHI(Paleoecological Research Institute Co.,Ltd.),Hirokazu MOMOI(Gangoji institute for research of cultural property),Mitsunori KUBO(Chiba University),Jian WANG(Chiba University)

1. はじめに

遺跡から出土する木製品は、破損していたり、部品単位での出土のために、器種・部位を推定できないことも多い。日本の遺跡から出土する木製品の樹種同定結果をまとめた「木の考古学」(伊東・山田,2012)によれば、掲載された木製品 395601 点のうち、80626 点(約 20%)が用途不明品である。用途不明木製品の解明は、出土木製品の研究において大きな課題の一つである。

用途不明木製品の検討にあたり、形状や加工痕等の考古学的検討と共に大きな役割を果たしてきたのが樹種同定結果から推定される強度である。重硬な木材は強度を要する部位、軽軟な木材は強度を必要としない部位というような推定が行われることも多かった。一方、完形品が多く、部品の形状や機能が明確に分かる民具では、同じ器種でも用材が全く異なる例がある。

本発表では、近代犂について樹種同定と工学的な検討を実施した例を紹介し、用途不明品の検討課題を抽出する。

2. 民具における調査例　－近代犂－

近代犂(いわゆる短床犂)のうち、高北式と井岡式について、樹種や工学的な検討を行った。高北式と井岡式は、同じ器種でありながら、構成する部材の太さや用材選択に大きな違いが見られる(図 1)。しかし、工学的な検討では 2 点の犂の強度・機能性に大きな違いは見られない(図 2)。これらの結果について、以下のように結論付けた。

・高北式では、入手が容易な針葉樹材を用いることを前提として、部材を太く設計することで実用可能な強度を得ている。さらに犂柄の進行方向を板目にすることで強度を補強している。

・井岡式は、強度の高いコナラ節を使うことで部材を細く設計している。なお、工学的な検討によれば、仮に井岡式を針葉樹のヒノキで制作した場合には実用可能な強度を得られない可能性が高い。

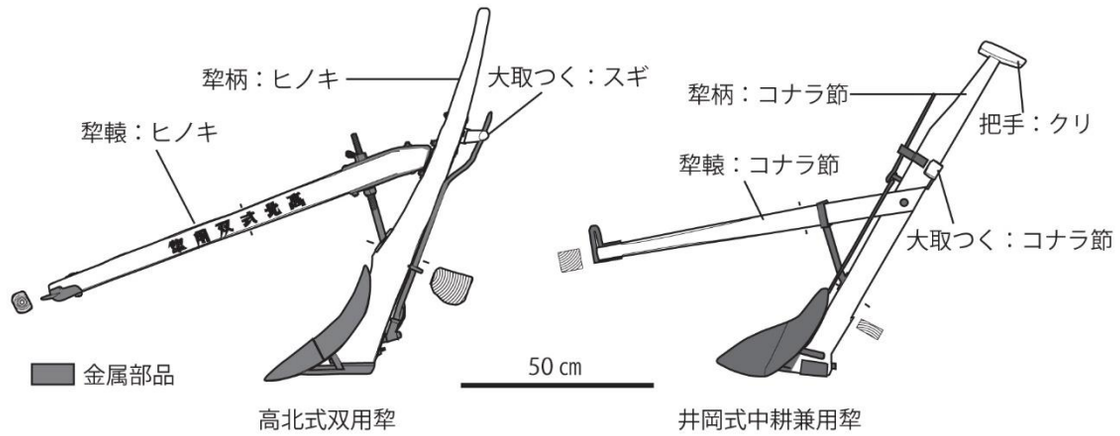


図 1.　近代犁 2 タイプの形状と樹種

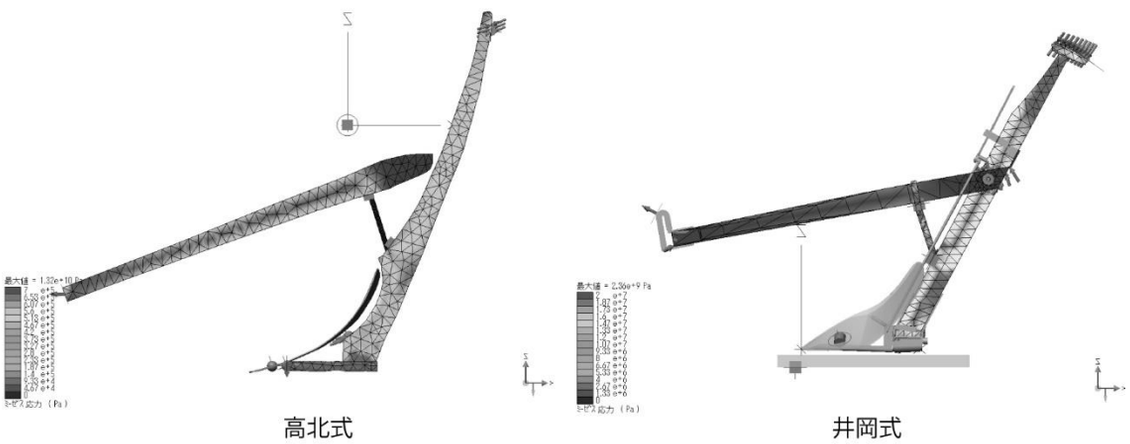


図2.　近代犁の工学的検討結果

3. 用途不明品における工学的検討の必要性

近代犁における調査結果は、出土材においても材質の違いを設計でカバーしていた可能性を示唆する。出土材においても工学的な検討を積極的に活用していくことが必要である。

また、古墳時代～古代の犁は、いわゆる長床犁であり、犁轅が「へ」の字型になっている資料が多いが、工学的な検討では、「へ」の字型に重要な意味があることが明らかとなっている（高橋ほか, 2018）。用途・機能が明らかな資料における工学的なデータの蓄積は、用途不明品の検討のために必要不可欠であり、用途不明品と平行して調査を進めたい。

参考文献

伊東隆夫・山田昌久（編）, 2012, 木の考古学　出土木製品用材データベース. 海青社, 449p.

高橋　敦・久保光徳・桃井宏和, 2018, 物の形の意味を探る　－民具における樹種と構造計算からの検討と出土遺物への応用－. あいちの考古学 2018 資料集, 60-61.

国宝「初音の調度」のうち乱箱、長文箱、短冊箱の構造・技法のX線CT調査

Analysis of the structure and techniques of Midare-bako, Nagafu-bako, and Tanzaku-bako from the Hatsune Maki-e Lacquer Trousseau, a National Treasure from the Tokugawa Art Museum, using X-ray computed tomography

ポスター発表

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

彩色にみる赤色顔料使用の変遷
ー出雲・石見地域の縄文時代から古墳時代の集落における事例からー
Changes in the use of red pigment in coloring-Fousing on cases collected in settlments, from the Jomon period to the Kofun period in the Izumo and Iwami area.

◯上山晶子（島根県埋蔵文化財調査センター）
◯Shoko UEYAMA (Center for Archaeological Operations,Shimane Prefecture)

1. はじめに

縄文時代から古墳時代において使用された赤色顔料には水銀朱（朱;HgS）とベンガラ（Fe_2O_3）が存在していることはよく知られている。島根県内では 1960 年代から理化学分析による赤色顔料の種類の判別が行われて（山本 1963）以後、さまざまな理化学的手法によって墳墓・古墳や集落から出土した赤色顔料や出土遺物に付着した赤色顔料の分析が行われてきている。墳墓・古墳から出土した赤色顔料等については、多くの検討が行われているが、集落で出土した遺物に付着、あるいは「彩色」された赤色顔料についてはその種類を提示するにとどまっている。したがって、集落から出土した遺物の「彩色」に使われた赤色顔料を中心に、遺物の種類・器種・時期ごとに整理し、検討を行なった。

2.資料について

検討を行なった資料は表 1 のとおりである。島根県内の出雲・石見地域で出土した縄文時代から古墳時代にかけての集落で出土した赤色顔料付着遺物のうち、理化学分析によってその種類が明らかになっているものを対象とした。ベンガラについては、パイプ状ベンガラか否かも併せて検討すべきだが、本論では元素組成による結果を優先とした。彩色の技法によっては、朱とベンガラの両方が同時に使用されているものもある。主に「彩色された土器・土製品・木製品」を検討の対象としているが、参考として「道具として使われた(可能性のある)赤色顔料付着土器・石器」を呈示した。「備考」欄に「道具」の記載があるものは、朱の場合は「朱の精製・調製（調整）・加工に使用された【道具】」（上山 2015）、ベンガラの場合は「土器内面に漆等の固着剤と付着しており、貯蔵等に使われた【道具】」の可能性があるものである。

3.経時的変遷と遺物の種類・器種による違い

出雲・石見地域において、遺物付着赤色顔料資料として現在最古段階のものとして確認されてい

表 1 出雲・石見地域における赤色顔料付着遺物 一覧

地域	所在地	遺跡名	赤色顔料付着遺物		縄文時代				弥生時代			古墳時代			備考
					前期	中期	後期	晩期	前期	中期	後期	前期	中期	後期	
出雲	松江市美保関町	小浜洞窟遺跡	土製品	土製耳飾		Fe									
出雲	松江市手角町	夫手遺跡	縄文土器	鉢	Fe										道具?
出雲	松江市西川津町	タテチョウ遺跡	木製品	漆塗櫛						HgS, Fe					
出雲	松江市西川津町	西川津遺跡	弥生土器	漆液容器壺					Fe						道具?
				壺					Fe	Fe					
				土器片						Fe					
			木製品	漆塗櫛						HgS					
出雲	松江市法吉町	田中谷遺跡	弥生土器	片口鉢							HgS				道具
出雲	松江市竹矢町	布田遺跡	弥生土器	壺形土器						Fe					
出雲	出雲市西林木町	山持遺跡	弥生土器	鉢							Fe				
											HgS				含.道具
				片口鉢							HgS				道具
				甕							Fe				
				蓋							Fe				
				器台・鼓形器台							Fe				
											HgS				
				壺							HgS				
				装飾壺							HgS				
				高坏							Fe				
											HgS				
				低脚坏							HgS				
			古式土師器	鉢							Fe				
											HgS				含.道具
				片口鉢							HgS				道具
				甕?							HgS				
				蓋							HgS				
				短頸壺							HgS				
				高坏							HgS				
			土師器	鉢							HgS				道具
				甕							HgS				
				壺									Fe		
				高坏									Fe		
				坏									Fe		
			石器	石杵							HgS				含.道具
出雲	出雲市矢野町	矢野遺跡	弥生土器	鉢					Fe		Fe				
				甕					Fe	Fe					
				鼓形器台・特殊器台							Fe				
											HgS				
				壺					Fe	Fe					
				特殊壺							Fe				
				高坏						Fe	Fe				
			木製品	椀							Fe				
出雲	出雲市中野町	中野清水遺跡	古式土師器	鉢							HgS				含.道具
				片口鉢							HgS				道具
出雲	出雲市上塩冶町	三田谷Ⅰ遺跡	弥生土器	甕						Fe					
出雲	出雲市湖陵町	京田遺跡	縄文土器	浅鉢			HgS								
				深鉢			Fe								
							HgS								
				鉢			Fe								
				異形土器			HgS								
			石器	磨石(敲石)			HgS								道具
出雲	雲南市木次町	槇ヶ坪遺跡	土製品	土製耳飾			HgS								
出雲	雲南市木次町	家の後Ⅱ遺跡	縄文土器	双耳壺or注口土器			Fe								
			土製品	土製耳飾			HgS								
出雲	雲南市木次町	北原本郷遺跡	縄文土器	浅鉢			Fe	Fe							
							HgS	HgS							
				深鉢				Fe							
				壺			Fe								
				双耳壺?			Fe								
			弥生土器	甕					Fe						
出雲	雲南市木次町	平田遺跡	縄文土器	浅鉢			Fe								
				深鉢			Fe								
出雲	雲南市木次町	万場Ⅰ遺跡	縄文土器	壺型土器				HgS							
出雲	仁多郡奥出雲町	暮地遺跡	縄文土器				Fe								
出雲	仁多郡奥出雲町	家の脇Ⅱ遺跡	縄文土器	深鉢			Fe								
出雲	仁多郡奥出雲町	林原遺跡	縄文土器	浅鉢			Fe								
							HgS								
出雲	仁多郡奥出雲町	原田遺跡	縄文土器	浅鉢			Fe	Fe							
							HgS								
				壺?				Fe							
			弥生土器	鉢か高坏						Fe					
			土師器	甕										Fe	
			土製品	土偶				Fe							
				土製円盤				Fe							
出雲	飯石郡飯南町	五明田遺跡	縄文土器				Fe								
			石器	磨石			HgS								道具
				石皿			HgS								道具
石見	大田市久手町	中尾H遺跡	縄文土器	浅鉢			Fe								
				深鉢			Fe								
				壺			Fe								
石見	大田市仁摩町	古屋敷遺跡	縄文土器	浅鉢			Fe	Fe							
							HgS								
				深鉢			Fe								
				鉢				Fe							
				壺				Fe							
								HgS							
			土製品	土製耳飾(耳栓)			HgS								
			木製品	漆塗櫛				HgS							
石見	大田市仁摩町	大国地頭所遺跡	弥生土器	壺(甕)							HgS				
				鼓形器台							Fe				
											HgS				
			土師器	片口鉢							HgS				道具
				短頸壺										Fe	
石見	益田市久城町	堂ノ上遺跡	弥生土器	鉢か甕か壺						HgS					道具
石見	邑智郡川本町	キタバタケ遺跡	土製品	土製耳飾			HgS								
石見	鹿足郡津和野町	大蔭遺跡	縄文土器	深鉢			Fe								
				鉢			Fe								
							HgS								

1～5点　6～10点　11点以上

るものは松江市夫手遺跡の縄文時代前期初頭のベンガラを含む漆液容器の鉢である。彩色されたものでは縄文時代中期末からベンガラが多用されているようだが、後期中葉から後葉にかけては朱の多用傾向がみられる。晩期から弥生時代中期にかけては再びベンガラが多用されるようになり、後期から古墳時代前期初頭にかけては、朱の使用が多くなり、古墳時代中期以降はベンガラが多用されるようである。また、同時期でも遺物の種類や器種によっては朱とベンガラの使い分けがみられ、主に土製耳飾(耳栓)や漆塗櫛などの装飾品、縄文土器のうち装飾性の高い精製土器、弥生土器の器台・鼓型器台、装飾壺などに朱が多用されている傾向が窺われる。

【引用・参考文献】

山本春海 1963「松本 1 号墳出土土壌含有の色素」『松本古墳調査報告』島根県教育委員会 p.34

上山晶子 2015「出雲平野の弥生時代後期から古墳時代前期初頭の集落における朱の利用」『日本文化財科学会第 32 回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会第 32 回大会実行委員会 pp.162-163

※各発掘調査報告書については割愛

別府の古墳から出土したベンガラについて

Bengala excavated from tombs of the Kofun period in Beppu,Oita.

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

１．はじめに

筆者は、一昨年度、熊本県阿蘇市にある古墳時代後期後半の下御倉古墳から出土した赤色顔料の分析調査を行い、「砒素を含み、不定形粒子だけで構成されベンガラ」（不定形 As 類）が採用されていることを報告した（志賀 2019)。九州の古墳出土ベンガラは、「パイプ状粒子を含むもの」（Ｐ類）か「特徴的な元素や粒子を含まないもの」（不定形類）の採用が一般的であり、不定形 As 類の採用は極めて特異な事例であった。

この不定形 As 類の素材となった赤鉄鉱は、九州で唯一、類似の特徴を持つ大分県別府市の「血の池地獄」産出のものである可能性があった。本稿では、別府市内でのベンガラ採用動向を知るために、同地域の古墳出土ベンガラの分析調査を行った。

２．調査方法

生物顕微鏡観察（400 倍）および蛍光Ｘ線分析（HORIBA XGT-5200,Rh,50kv,自動 mA,100s,SDD,測定径 100μm,検出元素 Na-U）により行った。

３．調査結果のまとめと考察（次頁の図表を参照）

ベンガラを PR 類、不定形類、不定形 As 類の３つに分類した。PR 類は、鉄細菌由来の「パイプ状と螺旋状の粒子を含むもの」である。PR 類には、他の鉄細菌由来の可能性のある細長い棒状粒子も含まれていたが、細片となっており特徴を掴みづらい。各類型＝１産地とは限らないが、この分類から、少なくとも由来の異なる複数のベンガラが、時期ごとに採用されている状況が窺える。

古墳時代前期の状況は不明。中期前半と間をおいて後期後半では PR 類が採用されていた。列島規模では、Ｐ類の採用が一般的であることから、別府では、鉄細菌という意味で同類の PR 類の採用が一般的と言えよう。中期後半と後期前半では、新たに不定形類が採用されていた。後期後半では、PR 類が再び採用され、新たに不定形 As 類も採用されていた。今回の調査結果は、これまで不明であった別府のベンガラ採用動向が把握できた点で重要な成果となった。

阿蘇では、不定形 As 類採用の下御倉古墳に隣接するほぼ同時期の上御倉古墳において PR 類が採用されており、その由来が気になっていたが、これも別府との関連性が指摘できるであろう。

なお、参考までに、鬼の岩屋１・２号墳では、石室の裏込粘土として、カオリナイト等を含む赤土が使用されていた。

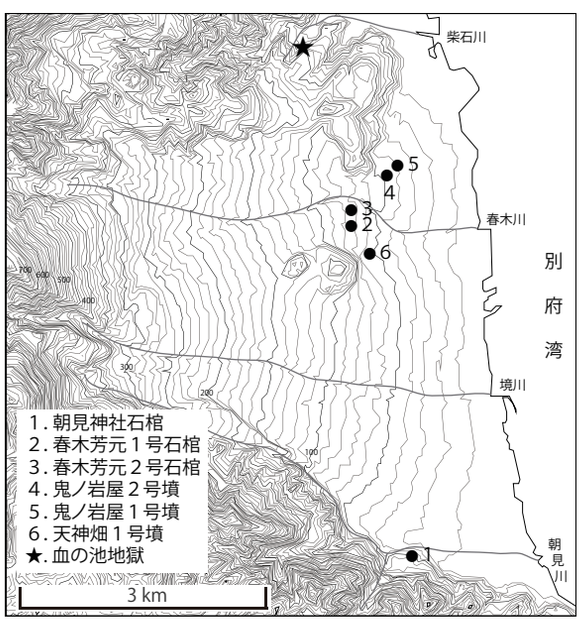
〈謝辞〉

資料調査では、別府市教育委員会ならびに同所属の秦広之氏の協力を得ました。また、本研究には、科研費　基盤研究(A)18H03598 を使用しました。記して感謝申し上げます。

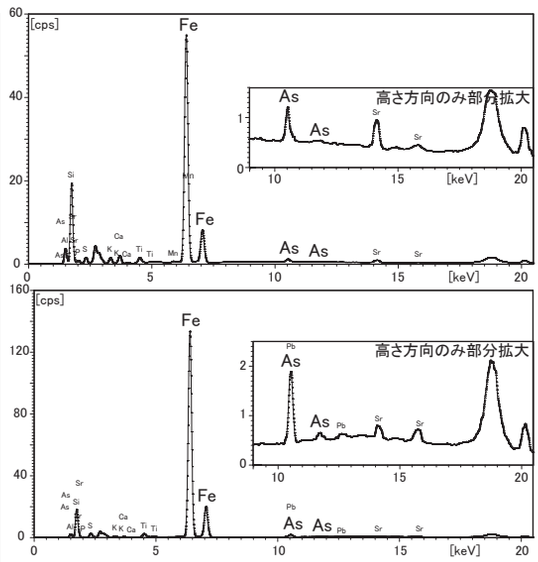
参考文献は、筆者の Researchmap(https://researchmap.jp/)を参照ください。

時期	No.	古墳・遺跡	遺構	部位	ベンガラの分類	備考
中期前半	1	朝見神社石棺	箱式石棺	棺材A(短)	PR類	
				棺材B(長)	PR類	
				棺材C(長)	PR類	
				棺材D(短)	PR類	Asの低いピークが見られることがある。
				棺材E(長)	PR類	
				棺材F+G(長)	PR類	
中期後半	2	春木芳元遺跡１号石棺	箱式石棺	東小口	不定形類	
				西小口	不定形類	
				南長側縁(淡)	不定形類	
				南長側縁(濃)	不定形類	
				北長側縁	不定形類	
後期前半	3	春木芳元遺跡２号石棺	箱式石棺	東小口	不定形類	
				西小口	不定形類	
				南長側面	不定形類	
				北長側面	不定形類	
後期後半	4	鬼ノ岩屋２号墳	装飾古墳。直径約37.5mの円墳。単室構造の横穴式石室。	石室	不定形As類	
	5	鬼ノ岩屋１号墳	装飾古墳。直径約31mの円墳。石屋形を伴う複室構造の横穴式石室。	石室	PR類	Asの低いピークあり。
	6	天神畑１号墳	単室構造の横穴式石室	玄室東壁	不定形As類	
				玄室西壁	不定形As類	
				玄室南壁(西半)	不定形As類	Asのピークは低い。
				玄室北壁(奥壁)	不定形As類	

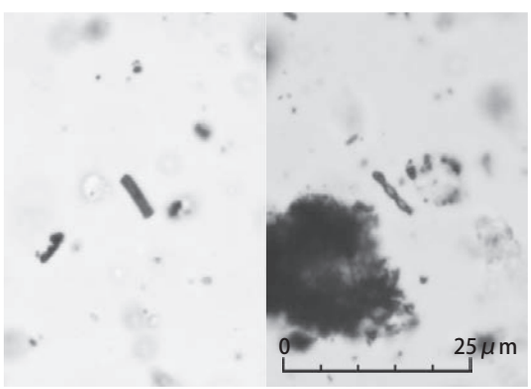
第１表　分析資料と分析結果の一覧（番号は、第１～３図に対応）



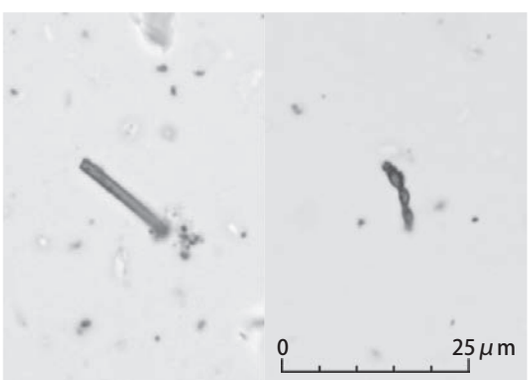
第１図　遺跡分布図



第２図　蛍光Ｘ線スペクトル図
（上）４.鬼ノ岩屋２号墳
（下）６.天神畑１号墳(北壁)



第３図１　生物顕微鏡写真(透過光,1000倍)
１.朝見神社石棺(棺材A)（左:パイプ,右:螺旋）



第３図２　生物顕微鏡写真(透過光,1000倍)
５.鬼ノ岩屋１号墳（左:パイプ,右:螺旋）

重要文化財　唐招提寺「牛皮華鬘残闕」の彩色調査

Analysis of color materials used in “Gohi-Keman” of Toshodaiji-Temple, Important Cultural Property.

◯濵村美緒（奈良教育大学）、金原正明（同左）、大山明彦（同左）、石田太一（唐招提寺）
◯Mio HAMAMURA, Masaaki KANEHARA, Akihiko OYAMA (Nara University of Education), Taichi ISHIDA (Toshodaiji Temple)

1. はじめに

唐招提寺蔵「牛皮華鬘残闕」は、切り透かした牛皮上に彩色を施した大型彩色華鬘である。寺伝によると、天平宝字３年（759）の金堂落慶供養に用いられたとされ（井上 1969）、現在７～８枚分に相当する残闕が伝わっている。残闕中最大のもの（伊号：図１）で縦約 106cm、横約 83cm と国内に現存する華鬘遺品の中で最大とされる（河田 1978）。

本調査では、当華鬘の彩色復元図制作を最終目的とし、計８枚の残闕（伊～知号）及び一括で保存される残闕片について、肉眼観察のほか、赤外線撮影装置及び可搬型蛍光Ｘ線装置による測定を実施し、使用色料や技法の検討を行った。

2. 調査方法

本調査では肉眼観察のほか、彩色が比較的よく残る伊・呂号の２枚を中心に、赤外線撮影装置及び可搬型蛍光Ｘ線装置による測定を行った。赤外線撮影では PENTAX645D を使用し、富士フィルム社製光吸収・赤外線透過フィルターを用いた。可搬型蛍光Ｘ線分析装置は OLYMPUS ハンドヘルド蛍光Ｘ線分析計デルタプレミアム合金アナライザーDP-2000-CC を使用した。測定条件はＸ線管球にロジウム（Rh）、管電圧、管電流は Mining Plus Mode は Beam1 が 40kV、100μA、Beam2 が 10kV、200μA。Soil Mode は Beam1 が 40kV、100μA、Beam2 が 40kV、100μA、Beam3 が 15kV、200μA。また測定は大気雰囲気、測定距離は約 1～2mm、照射径は Mining Plus Mode は φ3mm、Soil Mode は φ9mm。非破壊・非接触で行った。

3. 調査資料

調査対象の牛皮華鬘残闕は、伊～知号の８枚と元位置不明の残闕片で構成される。左右対称、表裏同文で、文様を切り透かした牛皮に、漆下地、白土下地を施し、その上に暈繝彩色等を用いた鳥や蝶、宝相華を描く。また、残闕片中には金箔地に墨線で鈴形を表したもの一点が見られる。全号を通して牛皮の折れや波打ち、鼠害、彩色面の擦れ、剥落が著しく、欠損箇所も多いが、伊・呂号及び波号の一部に彩色が残る。

図１　牛皮華鬘残闕　伊号

4. 調査結果

【肉眼観察】伊・呂・波号では、白・黄・黒・橙・赤・緑・紫・現灰白色～灰褐色の色料が認められた。文様輪郭線は主に暗赤色で、部分的に鮮赤色が混在する。また、赤系・紫系暈繝の淡色には現灰白色の段が見られるが、上層の色料の剥落部分から鮮橙色の色料が露出していたため、鉛丹または丹の具（鉛丹+白）であると考えられる。但し、当華鬘には鉛丹とは別系統の現灰褐色部分が存在し、詳細な観察から、これらは当寺金堂彩色にも使用される青色色料である可能性が考えられる。また、残闕片中の鈴形には、鈴部分に金箔と墨線が明瞭に残るが、それ以外の残闕片や仁～知号については、彩色の剥落が著しく、漆下地や皮革が露出している状態である。

【赤外線撮影】伊・呂号を対象にした赤外線撮影では、文様の下描きや、鳥の目・嘴に用いられた墨線のほか、肉眼では剥落により不明瞭な箇所においても、輪郭線と思われる濃灰色の線などが観察できた。特に宝相華の蔓では、剥落や欠損は多いものの、蔓の中心部と両縁に濃灰色の線が認められる箇所があった。また、暗赤色の輪郭線及び紫系暈繝の濃色の段は濃灰色、鉛丹と思われる橙色は灰色を示した。そのほか、輪郭線に混在する鮮赤色及び赤系暈繝の濃色の段は高い明度を示し、反対に岩緑青と思われる粒子のある緑色は、最も低い明度を示した。

【蛍光Ｘ線分析】対象の伊・呂号では、鮮赤色の輪郭線や赤系暈繝の濃色で Pb、S、Hg、暗赤色の輪郭線部からは Fe、紫系暈繝の濃色からは Fe と Pb のピークが検出された。従って、赤系暈繝の濃色など鮮赤色部分には水銀朱（HgS）、輪郭線及び紫系暈繝の濃色には、上記の調査結果も踏まえ、ベンガラ系の色料が使用されたと考えられる。ただし、赤系・紫系暈繝については、下層の鉛丹（Pb_3O_4）に由来する Pb のピークが結果に大きく反映された。また、伊号の緑色部分からは Cu、呂号の蔓からは Pb と Au のピークが検出され、緑色には岩緑青（$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$）、蔓には金が使用されたと考えられる。

彩色面全体からは Pb と微量の Ca、良好に残る宝相華花弁の筋（白色下地の塗り残し部分）からは Pb と Ca のピークが検出された。現段階では白色部分の測定数が僅少であるため、今後の調査で測定箇所を増やし、さらなる検討を行う必要があるが、奈良時代に制作されたとされる当華鬘の白色下地には、Pb 及び Ca に由来する白色色料が使用された可能性が考えられる。

5. まとめ

本調査では以上のような結果が得られ、さらに伊号下部や仁・保・登号の形状から、当初は現状最大の伊号より更に 15～20cm ほど縦に長い華鬘であることが判明した。また技法面においても、当寺金堂彩色のほか、教王護国寺旧蔵の牛皮華鬘（11 世紀）や平等院鳳凰堂堂内彩色（11 世紀）に共通する表現が見受けられるため、当寺建立の経緯による大陸からの影響に加え、奈良～平安時代にかけての過渡的な暈繝彩色の表現手法等が表れる貴重な作例であるといえる。

これまで科学的な調査が殆ど行われておらず、また剥落や欠損も著しいため、不明な点も多く課題も多いが、最終的な彩色復元図制作に向け、さらなる調査・検討を進めていきたい。

［参考文献］
井上 正（1969）「図版解説 華鬘」『奈良 六大寺大観 第 12 巻 唐招提寺 1』pp.55-57,岩波書店
河田 貞（1978）『特別陳列 牛皮華鬘』pp.2-4,奈良国立博物館

唐代及び奈良時代の繧繝彩色に用いた紫色顔料について —再現へ向けての基礎的研究（２）

The Purple Pigments Used in Tang Dynasty and Nara Period —Basic Investigation for Reproduction (2)

○飯沼春子（東京藝術大学）、曹智健（同左）、朱若麟（同左）

○Haruko IINUMA, ZhiJian Cao, RuoLin Zhu (Tokyo University of the Arts)

1. はじめに

唐代の中国より、日本へもたらされたと考えられる技法の一つである繧繝彩色は、「紺丹緑紫」という配色原理があり、その内の紫系絵具は、美術史学では臙脂色が得られる染料を使用したと推測している[1,2]。『営造法式』には紫鉱を使用する指示が明記されているため、筆者らは昨年度、紫鉱の作製法を調査し、幾つかの作製法で絵具を作成して、復元模写を行った[3]。しかし、前報[3]で試作した紫鉱絵具は主に赤紫色を呈しており、青みのある紫色で描いた繧繝彩色の現存例では適用できなかった。日本の文化財分野は保存の理念を尊重しており、有機染料を非破壊の分析手法で確認できた例はまだ少数であり、絵具の正体が不詳な文化財も多数ある。従って、筆者らはその古典絵画技法を用いた経験や感性から、紫色絵具の原料は紫鉱だけではなく、他絵具と混用して多用されている蘇芳もその原料の一種である可能性を実技の面から検討を試みた。

本研究では古典絵画技法に基づいて、幾つかの作製法で絵具を試作し、歴史上の常用的な下地素材にて対象文化財（図１イギリス大英博物館所蔵　敦煌蔵経洞絹本天王像、図２フランスギメ博物館所蔵　敦煌蔵経洞木彫彩色天王立像）の復元模写を行った。蘇芳を用いた場合の絵具としての実用性を古典絵画技法の視点から検討することを目的としている。

2. 研究方法

2.1 蘇芳とは

蘇芳（*Caesalpinia sappan*）はインドネシアやブラジルなどに生息しているマメ科の一種であり、その心材が天然染料として古代から利用されてきた。蘇芳の色素は主に染色品に用いられており、絵具としての使用は奈良時代に中国から日本へ伝来したものと言われている[4]。正倉院には、「蘇芳地金銀絵花形方几」や「黒柿蘇芳染銀山水絵箱」、「毛氈」など蘇芳による染色品が宝物として伝えられている。また、延喜式・第 14 巻縫殿寮雑染用度には、「深蘇芳」「中蘇芳」および「浅蘇芳」の深浅三色相の綾染が記載され、『天工開物』では種々の媒染剤を用いた場合の発色が述べられており、蘇芳色素は幅広い発色範囲を持っていることが知られている。新井清氏ら[5]は蘇芳で和紙の染着効果や媒染剤による色変化について報告しており、絵具として繊維質支持体に使用する際の情報を提供した。

2.2 絵具の作製

粉状の蘇芳 10 g を蒸留水 300 ml に入れ、ゆるやかに沸騰させて 20 分間色素を抽出した。濾過した残渣に、更に 100 ml 蒸留水を加えて、同条件で第 2 回の抽出を行った。また、酢酸第一鉄で鉄媒染、明礬（硫酸アルミニウムカリウム）でアルミ媒染を行った。媒染後の染液をクエン酸または炭酸水素ナトリウム水溶液で pH を調整し、復元対象の色味に合わせた。なお、染液が乾燥したものを試作絵具とし、単独または、鉛白と混ぜて使用した。

2.3 支持体の処理

絹サンプル：絵絹は手織りの絹を選定し、彩色を施しやすくするために、絵絹の繊維を砧打ち（木槌で平らな石の上に置いた布を打つこと）で処理した。柔滑にした絹を木枠に緩めに張り込み、湯引き処理をした。滲み止めは膠 3%と明礬 0.1%が含有する礬水（ドーサ水）を絵絹の表と裏の両面に引いた。

木地サンプル：木地の上に和紙を張り込み、白土を数回塗布し下地とした。

なお、色サンプル見本として、楮と三椏の和紙、漆地板の手板に白土を塗ったものを使用。

（図 1）敦煌蔵経洞絹本天王像部分（絹サンプル）

（図 2）敦煌蔵経洞木彫彩色天王像首部分（木地サンプル）

3. 考察

蘇芳絵具の実用性：アルミ媒染による赤系紫と鉄媒染による青系紫を作製したが、膠で溶いた鉛白にどちらもなじみ中間色を作製することができた。しかしアルミ媒染、鉄媒染の絵具は膠を入れると分離し、膠と混ざりにくい傾向が認められた。また、膠、鉛白と蘇芳絵具を混合した絵具は乾燥した後に、水を入れるとゴム状に固まってしまい、再度の使用はできなかった。一方、一般的に画材店で入手できる藍などは、乾燥後も水で溶かせば再度の使用が可能であり、染料系の中でも絵具の使用方法の差違も観察できた。前報で作製した紫鉱絵具に比べて赤系、青系の蘇芳絵具の両者とも紫色の発色が強く、被覆力が高かった。

蘇芳絵具の濃色化：鉄、アルミ媒染した蘇芳の抽出液、乾燥した絵具は静置時間が長くなるにつれて、濃色化する傾向がみられ、特に鉄媒染の方が顕著であった。これは既報[6]の染液に対する検討と一致しており、乾燥した絵具も同様な色変化を示した。蘇芳を絵具化した際の特徴について今後さらに知見を深めるため、サンプル制作を通した実践における検討を続けていく必要がある。

4. おわりに

蘇芳抽出液を鉄媒染、アルミ媒染で青系と赤系の紫色の 2 色の絵具を試作し、対象文化財の復元模写を行った。蘇芳絵具は前報[(3)]で試作した紫鉱絵具よりも滲みができにくく、色の伸びが良いのが特徴であった。しかし、絵具（染液）は媒染剤の添加量や放置時間によって絵具の色変化が観察でき、乾燥した場合の再利用が不可能など実用上の欠点もあった。紫鉱、蘇芳ともに絵具の実用化に向けて更に検討するために東大寺国宝「執金剛神立像」塑造復元摸刻（重松優志氏制作）の復元彩色を今後行う予定である。

参考文献

（1）栗田美由紀：暈繝彩色の色彩効果, 奈良大学大学院研究年報, 4, pp. 133（1999）
（2）秋山光和：日本上代絵画における紫色とその顔料, 美術研究, 220, pp. 175-196（1962）
（3）朱若麟, 曹智健, 飯沼春子：唐代及び奈良時代の繧繝彩色に用いた紫色顔料について, 第 36 回文化財科学会要旨集, pp. 352（2019）
（4）前田千寸, 上村六郎：日本色彩文化史, 岩波書店, pp. 121（1960）
（5）新井清氏：古代染色の科学的研究, 奈良大学紀要, 4, pp. 12-26（1975）
（6）藤居真理子, 高橋亜里：スオウ抽出液の紫外線照射による濃色化, 日本シルク学会誌, 13, pp. 51-58（2004）

可搬型装置を用いた非破壊オンサイト分析による ムンクの「叫び」の顔料同定

Pigment identification of Edvard Munch's "The Scream" by nondestructive onsite analysis using portable instruments

○阿部 善也（東京理科大学・東京電機大学），
平山 愛里（東京理科大学），赤城 沙紀（同左），中井 泉（同左），Thierry Ford（オスロ国立美術館），
Geert Van der Snickt（アントワープ大学），Frederik Vanmeert（同左），Koen Janssens（同左）

○Yoshinari ABE (Tokyo University of Science / Tokyo Denki University),
Airi HIRAYAMA, Saki AKAGI, Izumi NAKAI (Tokyo University of Science),
Thierry Ford (The National Museum of Art, Architecture and Design),
Geert Van der Snickt, Frederik Vanmeert, Koen Janssens (University of Antwerp)

1. 序

エドヴァルド・ムンク（Edvard Munch）は 19〜20 世紀のノルウェー出身の画家で，彼の代表作の一つである「叫び（The Scream）」は世界的にも知られた名画である。彼は同じ題名・構図の作品を 5 点以上制作しているが，その第一作目となる油彩画（**Fig. 1a**）は 1893 年に制作され，現在はオスロ国立美術館に所蔵されている。本研究では，この油彩画に使用された顔料の同定を目的として，オスロ国立美術館内において可搬型装置を用いた蛍光 X 線分析（XRF），粉末 X 線回折（XRD），顕微ラマン分光分析（MRS）を非破壊かつオンサイトで実施した。なお。この作品の裏側には下絵と思われる線画（**Fig. 1b**）が描かれており，本研究ではこの裏側の絵についても分析を行った。

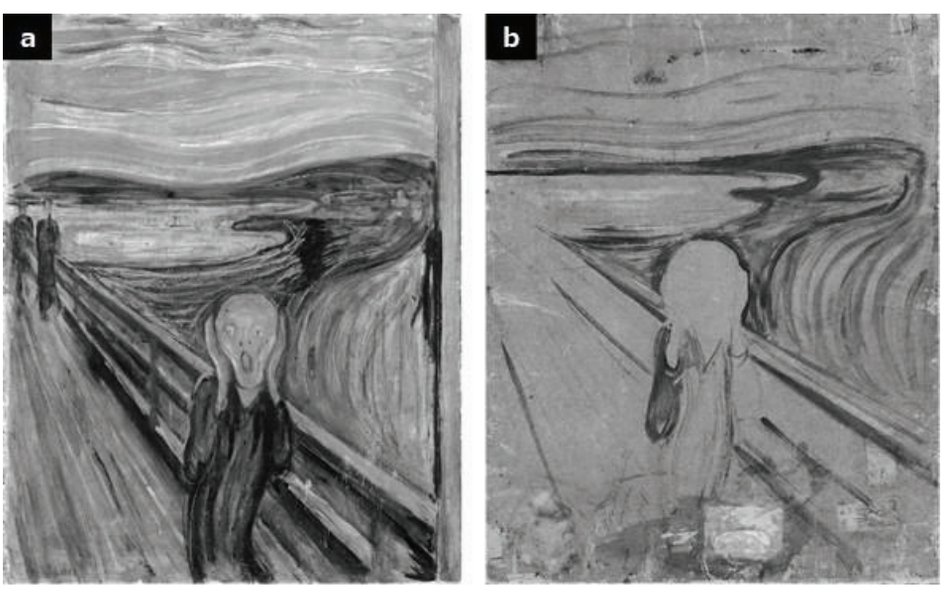


Fig. 1 エドヴァルド・ムンク作「叫び」（1893 年制作）（a）表側（b）裏側

2. 実験内容

分析の対象は，エドヴァルド・ムンクによる 1893 年制作の油彩画作品「叫び」（以下，本作品）である。本作品はムンクが感じた幻覚に基づくとされ，彼は日記にその時の体験を以下のように記している。「私は 2 人の友人と歩道を歩いていた。太陽は沈みかけていた。突然，空が血の赤色に変わった。私は立ち止まり，酷い疲れを感じて柵に寄り掛かった。それは炎の舌と血とが青黒いフィヨルドと町並みに被さるようであった。友人は歩き続けたが，私はそこに立ち尽くしたまま不安に震え，戦っていた。そして私は，自然を貫く果てしない叫びを聴いた。」

分析調査はオスロ国立美術館内において，2018 年 1 月 22 日から同 24 日までの 3 日間で行われた。本作品の表側 37 点および裏側 21 点について XRF を行い，化学組成情報を元に顔料種を推定した。さらに，一部の点において XRD および MRS を実施して，顔料の相同定を行った。本研究で使用した可搬型分装置は下記のとおりである。XRF：アワーズテック（株）製 100FA，XRD:（株）テクノエックス製 PT-APXRD-III，MRS：B&W TEK Inc.製 Miniram。測定は全て非破壊かつ非接触で行った。

3. 結果と考察

本研究により，本作品で使用された 13 種類の顔料が同定・推定された。以下では，その代表的な成果を報告する。緑色顔料について，XRF から Cr を主成分とする物質であることが示された。当時利用された緑色顔料のうち，Cr を主成分とするものは複数存在するが，本作品に使用された緑色顔料は非晶質のものであることが XRD により明らかとなった。よって，二クロム酸塩やホウ酸の混合物を高温で熔融して得られるガラス質の合成顔料 Guignet‘s green であると推定された。オレンジ色顔料については，XRF により Pb と Cr の化合物であることが示された。これら 2 元素を含む暖色系の顔料として，化学式 $PbCrO_4$ で表される chrome yellow と，Pb 過剰な組成を持つ chrome orange が挙げられるが，XRD および MRS によってこれら 2 種類の顔料を混合したものであると同定された。黄色部分では XRF により Cd と S が検出され，また XRD により hawleyite（立方晶型 CdS）と greenockite（六方晶型 CdS）の双方を検出し，cadmium yellow であると同定された。青色顔料については，本研究により以下の 3 種類の顔料が同定・推定された：ultramarine blue（$Na_{8\text{-}10}Al_6Si_6O_{24}S_{2\text{-}4}$），Prussian blue（$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$），Smalt（Co 着色ガラスの粉末）。まず ultramarine blue については，表側の人物画および背景に加え，裏側の線画でも使用されていた。また，XRF により得られた組成的特徴，および XRD のピーク位置から，ラピス・ラズリを粉砕したものではなく，人工的に合成されたものである可能性が高いと判断された。続いて Prussian blue については，表側に描かれた人物の輪郭描画において特徴的に使用されていた。Smalt は，表側の背景部分の一部のみで利用されており，これは後補によるものと考えられるが，ムンク自身が行ったものであるかは不明である。本作品に関する先行研究 [1]として，背景の目立たない箇所や縁周辺で微量のサンプリングが行われ，電子顕微鏡等を用いた材質同定が行われている。本研究の非破壊オンサイト分析で得られた成果は，この先行研究とも矛盾なく対応していることが確かめられた。

参考文献

1) B. Singer *et al.*: *Studies in Conservation*, **55**, 274–292 (2010).

初期洋風画《読書する修道士のいる西洋風俗図》（大分県津久見市所蔵）の彩色材料

Painting Materials of《Two Monks reading in a Landscape》in the Collection of Tsukumi(Ōita Pref.)

○石川優生（大分県立歴史博物館）、浅野ひとみ（長崎純心大学）、
山下俊雄（津久見市教育委員会）
○Yuki Ishikawa(Oita Prefectural Museum of History), Hitomi Asano (Nagasaki Junshin Catholic University), Toshio Yamashita(Tsukumi City Board of Education)

1　はじめに

大分県津久見市の南蛮資料コレクション中に、安土桃山時代～江戸時代初期に描かれた「読書する修道士のいる西洋風俗図」がある。昨今、初期洋風画研究が進展し、16～17 世紀に用いられた彩色材料が明らかにされつつあるが、禁教期の作画実態を示す資料は乏しく、全貌を知るにはまだデータが不足している。この度、山下俊雄氏（津久見市教育委員会）にご高配賜り、当該作の彩色材料調査の機会を得られた。以下に、蛍光Ｘ線分析調査から、当時の初期洋風画に用いられた彩色材料の特徴を考察する。

2　調査

本調査は 2017 年に大分県立歴史博物館で行われ、別府大学が所有するポータブル蛍光Ｘ線分析装置（SII ナノテクノロジー株式会社製 SEA200）を用いて調査した。測定箇所は 26 ポイント、測定条件は測定時間：100 秒、管電圧・管電圧：50kV・100μA、Ｘ線照射径：φ２㎜で、測定箇所とは約 10㎜離して測定した。

3　調査結果

本作に用いられている彩色には、白色系、赤色系、黄色系、緑色系、青色系、紫色系、茶色系が認められた。いくつかの測定箇所から臭素が検出されたが、彩色材料由来ではなく、かつて行われた臭化メチルによるガス燻蒸に起因すると考えられる。全測定箇所から、Ca および Pb が検出され、下地に胡粉および鉛系顔料が含まれている可能性が示唆されよう。

各彩色の推定素材は表１に示した通りであり、特徴的な顔料がいくつか認められる。

白色部分からは、Pb が検出されたため鉛白、薄茶色を呈している部分には鉄系顔料が用いられていることが明らかになった。また、複数箇所からは Ti が検出され、酸化チタンが用いられ

表１　推測される彩色材料について

色		推測される彩色材料
白	白	鉛白
	薄茶、白色	鉛白、鉄系顔料
	肌色	鉛系顔料、辰砂
	肌色（補彩？）	鉛系顔料、酸化チタン
赤	赤	鉛系顔料、朱
	淡赤	鉛系顔料、鉄系顔料
	赤褐色	鉄系顔料
	薄赤	有機顔料？
黄		鉛系顔料、石黄？
緑		緑青
青	薄青	有機顔料？
	薄青（補彩？）	群青、鉛系顔料、酸化チタン
紫		鉛系顔料、鉄系顔料、有機顔料？
茶	濃茶	鉄系顔料
	薄茶（補彩？）	鉄系顔料、酸化チタン

ているとわかった。さらに、赤色部分ではPb、Hg、Feが検出され、鉛系顔料、辰砂、鉄系顔料が用いられていると推察される。一方、薄赤色部分ではそれらの顔料が見出せなかったため、有機顔料が使われていると考えられる。さらに、黄色部分では、Pbと微量のAsが検出されており、鉛系顔料と石黄の混色と推定されるが、Asは微量であり、石黄の使用は断定しがたい。また、緑色部分では緑青が用いられる一方、薄青色部分は、下地のCa以外に検出される元素がなく、有機顔料が用いられた部分と、Cu、Pb、Tiの検出された部分とがあり、後者は補彩と考えられる。さらに、紫色部分ではFeとPbが検出されており、鉛系顔料や鉄系顔料が使われていることが判明したが、現時点では、彩色材料の特定には至っていない。また、濃茶色部分では鉄系顔料が認められる一方、Tiが検出された薄茶色部分は、補彩とみなされる。

４　まとめ

本調査において、特筆すべきは、白色部分の彩色材料として鉛白が用いられていることである。近世日本画の白色顔料は、室町時代まで鉛白が主流であり、江戸時代に（琉球を除いた地域で）胡粉にとって代わられたという[1)]。そのため、当該作の制作年代は、後補部分があるものの、江戸初期まで遡る可能性が出てきた。今後、制作地の類推を含め、同時代他作例と比較しつつ、初期洋風画彩色材料のさらなる考究を進めたい。

引用文献

1)早川泰弘：近世日本絵画における鉛白と胡粉の使用例について，文化財学へのいざない, 2013

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

繊維遺物鑑別のための基礎研究

―古代から日本で使用されていた植物繊維の人工炭化による形態変化―

Microscopic Study for Identification of Archaeological Fibers

－Morphological change by artificial carbonization of Vegetable Fibers used in Japan since ancient times－

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

1. はじめに

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

2. 試料

下記、9 種の国内産の植物繊維を試料として用いた。

表 1　国内産の植物繊維

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

3. 実験方法

【炭化条件】人工炭化試料は熱分析装置(DSC6200：セイコーインスツルメンツ製)を用い、昇温速度 1℃毎分と 20℃毎分で 450℃まで加熱し作製した。

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

4. 結果および考察

各試料の未処理および炭化後の単繊維 50 本それぞれの平均値および標準偏差ならびに未処理繊維の平均値を 100 としたときの炭化による収縮率(%)を求めた。

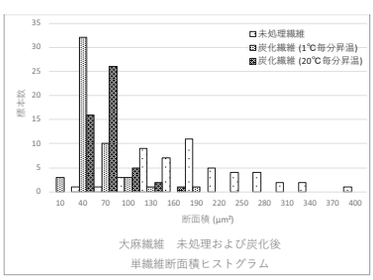
表1　各試料未処理および炭化単繊維50本の平均断面積

繊維種	未処理繊維	1℃毎分昇温炭化繊維		20℃毎分昇温炭化繊維	
	平均断面積(μm^2)	平均断面積(μm^2)	収縮率(%)	平均断面積(μm^2)	収縮率(%)
大麻	180 (74)*	36 (29)*	20	52 (25)*	29
苧麻	286 (181)	85 (35)	30	114 (41)	40
葛	42 (16)	10 (3)	24	8 (3)	19
科	85 (43)	42 (19)	49	33 (20)	39
藤	29 (9)	7 (2)	24	4 (1)	14
梶	76 (29)	28 (18)	37	19 (7)	25
楮	173(114)	43 (20)	25	52 (23)	30
芭蕉	51 (15)	14 (5)	27	14 (4)	27
和棉	148 (56)	46 (15)	31	45 (16)	30

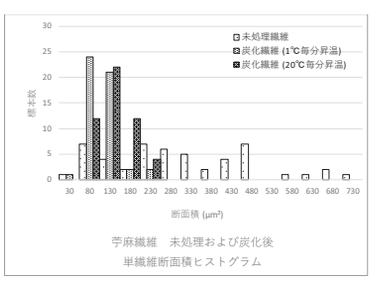
( )*:標準偏差

今回の試料においては、平均断面積値が 150 μm^2以上の繊維(大麻, 苧麻, 楮)については、1℃毎分昇温の炭化条件下による繊維の収縮が大きく、150 μm^2以下の繊維(葛, 科, 富士, 梶, 芭蕉, 和棉)については、20℃毎分昇温の炭化条件下での収縮が大きいという傾向がみられた。

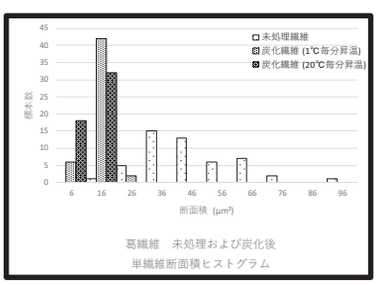
さらにヒストグラムで視覚化すると、例えば葛(下記図黒太枠)の未処理繊維の断面積は 12-99 μm^2のバラツキがあったが、炭化後の繊維は 3-18 μm^2の範囲に収束し、7-16 μm^2の範囲に最も多く収束した。このように繊維収縮は炭化前の断面積の分布に比例した形で収縮するのではなく、一定の範囲の断面積値に集中し、分散が収束することが分かる。この炭化による断面積値の繊維種毎の収束範囲を把握した上で、繊維形態や生体鉱物の形状等と合わせて鑑別指標とすることで、炭化物の繊維遺物の鑑別確度の向上が期待される。



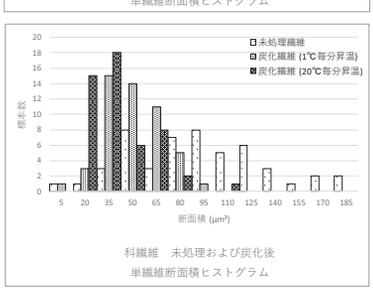
大麻繊維　未処理および炭化後
単繊維断面積ヒストグラム



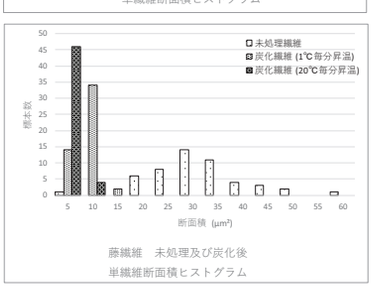
苧麻繊維　未処理および炭化後
単繊維断面積ヒストグラム



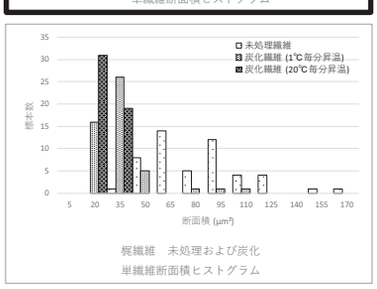
葛繊維　未処理および炭化後
単繊維断面積ヒストグラム



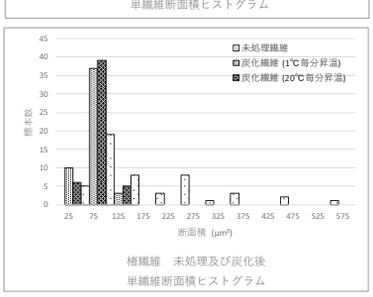
科繊維　未処理および炭化後
単繊維断面積ヒストグラム



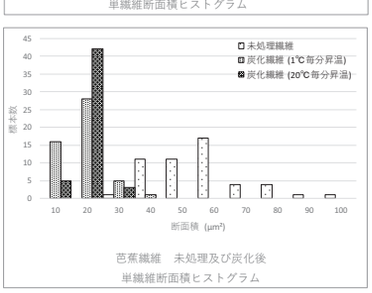
藤繊維　未処理及び炭化後
単繊維断面積ヒストグラム



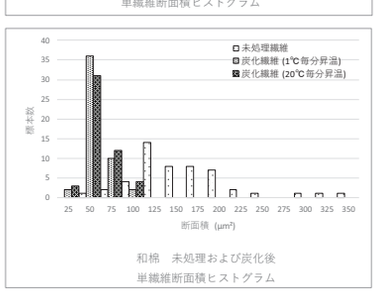
梶繊維　未処理および炭化
単繊維断面積ヒストグラム



楮繊維　未処理及び炭化後
単繊維断面積ヒストグラム



芭蕉繊維　未処理及び炭化後
単繊維断面積ヒストグラム



和棉　未処理および炭化後
単繊維断面積ヒストグラム

船原古墳から出土した有機物の復元に向けた基礎的調査

Study on restoration of organic matter excavated from Funabaru tumulus

○加藤和歳（九州歴史資料館）・小林啓(同左)・甲斐孝司（古賀市教育委員会）
KATO Kazutoshi・KOBAYASHI Akira（Kyushu Historical Museum）・KAI Koji（Koga City Board of Education）

はじめに

古墳副葬品を研究する上で、馬具や武器、武具が果たす役割は大きい。これらは本来、織物、木材、漆といった有機物と金属との複合的な材質で構成されるから、研究は双方の材質観が必要である。

また、埋納方法の研究では、織物の梱包、木製容器への収納等の方法が明らかになり、有機物の研究は、意義深いことである。

平成25年から調査が行われた、福岡県船原古墳では墳丘に隣接する1号土坑から、大量の馬具、武器、武具等が埋納状態で発見された。この土坑は、未盗掘で原位置を保っているため、これらに使用されていた繊維や木材、漆といった有機物の存在が想定された。

本発表は、船原古墳1号土坑出土馬具等を研究対象として、残存する有機物を把握、これらを製品として認識し、馬具等の立体的復元、用途の解明による利用実態の解明に向けた基礎的調査の成果を報告する。

1. 調査の方法

1号土坑は未盗掘であったため、現場段階から有機物の存在に着目した。そこで検出は、遺物の輪郭がわかる程度にとどめ、周囲の土壌を除去することなく残したままブロック状にして取り上げた。これを室内に搬入した後、土壌が付着したままの状態でX線CT（YXRON International Y.CT Precision S）により、全体の形状、土壌に覆われた遺物の内部構造、保存状態と土壌と遺物の位置関係を三次元で記録した。このCTデータから有機物の痕跡が残存するか解析を試み、存在の有無や範囲等を把握した。この後、表面の土壌を最低限、除去し、有機物を表出し、付着状態にある有機物の観察を行った。使用した機器は、KEYENCE デジタルマイクロスコープYHX5000で、倍率×20～×250で表面の観察を行った。また、出土状況をデジタルで立体的に記録した「埋蔵空間情報解析アプリケーション」（加藤・小林ら2019）による有機物の出土位置を検討した。

2. 調査の結果

成果の一部を図1～2に示す。表面の観察から、まず、残存している有機物の種類として、繊維、木材、漆、生物遺体が残存していた。このことと、CTデータによる位置情報（付着位置、箇所）、金属器と有機物の出土位置から、船原古墳1号土坑に埋納されていた有機物は、以下のような分類を想定することができた。

■製品としての有機物
①全体が有機物中心で構成される製品（装飾用織物、馬具の革帯・紐、小札甲の革・紐など）
②金属との複合素材で構成される製品（盛矢具、弓矢など）
■埋納に用いられた有機物
③遺物の梱包等に用いられたもの（梱包用織物など）
④遺物の収納に用いられたもの（収納容器の木材など）

このうち④については、これまで馬具等の収納にスギ材の器物が用いられたことを明らかにしている（小林・加藤ら2017）

おわりに

船原古墳1号土坑から出土した馬具等のCTデータ、有機物の表面観察、出土状態の検討から、基礎的調査として、利用実態の解明に向けた分類を試みた。

今後は、遺物に付着した有機物の観察、科学的分析による織り方など構造技法、材質から製品の素材の解明、CTデータ、三次元デジタルデータを利用した有機物の製品としての立体形状の復元により、埋納方法からみた有機物製品の利用実態を解明していく所存である。

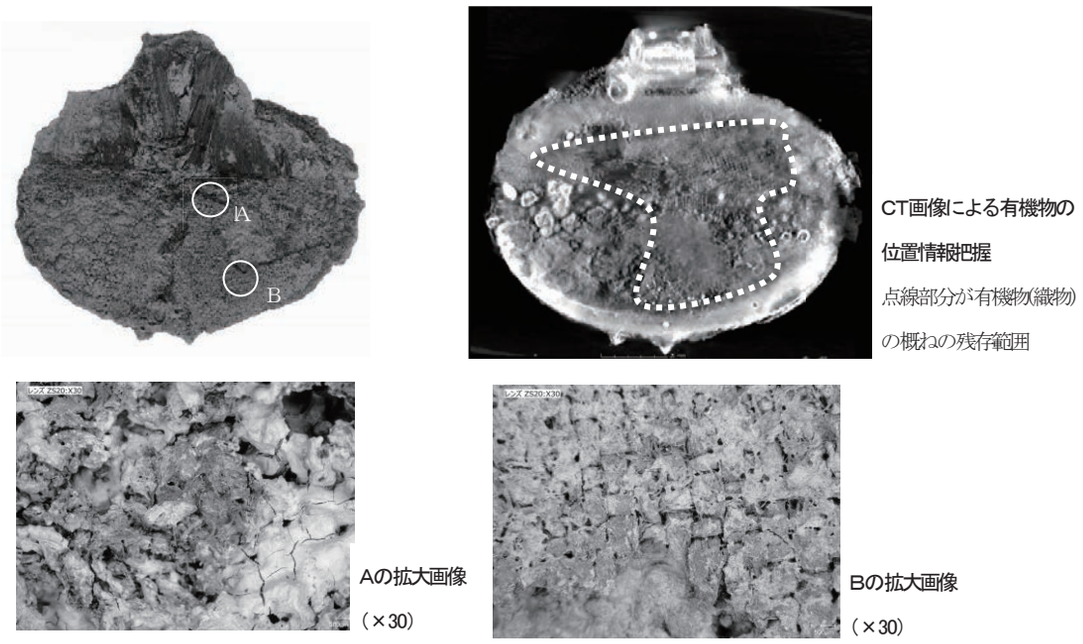
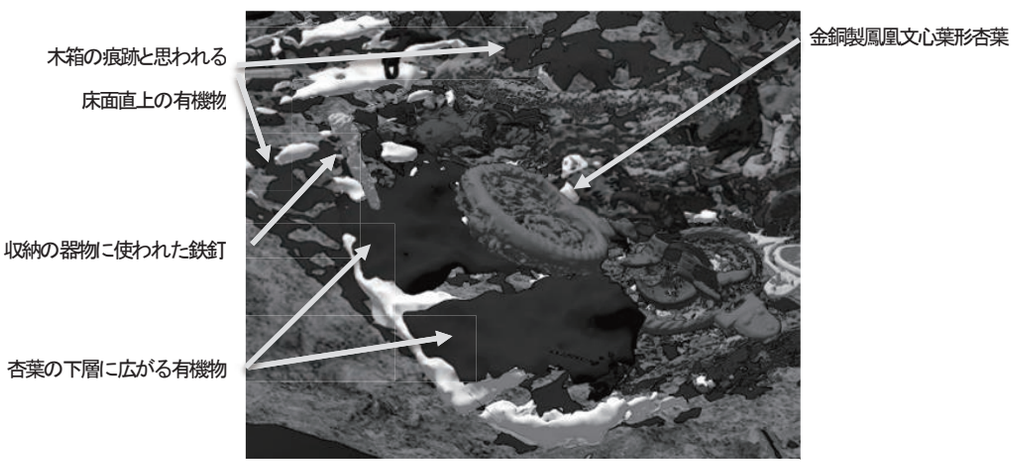


図1　金銅製鳳凰文心葉形杏葉(裏面)の有機物



アプリによる杏葉と周辺有機物の出土状況

【参考文献】加藤和歳・小林啓・輪田慧・村上浩明・甲斐孝司 2019「X線CTスキャナの活用による遺跡で発見される豊富な遺物情報を得る調査(V) -福岡県船原古墳1号土坑の埋蔵空間情報解析アプリケーションによる埋納状況の立体的可視化と記録の成果」『日本文化財科学会第36回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会 / 小林啓・加藤和歳・岩橋由季・甲斐孝司・森下靖士・横田義章・輪田慧・村上浩明 2017「船原古墳遺物埋納坑出土鉄釘に付着した有機質の観察による埋納容器の想定復元」『日本文化財科学会第34回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会

本研究の一部は、JSPC 科学研究費(課題番号:16H03517 研究代表者:加藤和歳)の助成を受けたものである

薩摩切子の技法・様式と化学組成

Technical and stylistic features of Satsuma-kiriko based on recent chemical analysis

○井上曉子（東海大学）、中根総子（㈱島津興業）、松本諒（東京理科大学）、村串まどか（同左）、新井沙季（同左）、中井泉（同左）

○Akiko INOUE (Tokai University), Fusako NAKANE(Shimadzu Ltd.), Makoto MATSUMOTO, Madoka MURAKUSHI, Saki ARAI, Izumi NAKAI（Tokyo University of Science）

はじめに

幕末の薩摩藩では島津斉彬・久光・忠義の「三公時代」を中心に、軍艦の明り取り窓用鋳造板ガラスのような実用品だけでなく、「薩摩切子」と呼ばれる傑出した美術工芸品を生み出し、近代ガラス産業の魁として大きな足跡を残した。本報告は 2018 年 11 月に東京理科大学中井研究室が鹿児島で実施した一連の薩摩製ガラスの蛍光 X 線分析調査のうち、色被せ切子ガラス類の化学組成分析結果を歴史史料と突き合わせつつ考察し、これまで様式的な面からのみ語らざるを得なかった薩摩切子の定義を化学組成分析の側面から補強することを目的とした。

１．薩摩切子の様式

現在「薩摩切子」の典型的な様式として認められているのは、無色ガラスに赤や藍色などの色ガラスを被せて手彫りのカットを施す「色被せ切子」であり、色ガラスの層が厚くカットの角度が大きいために「ぼかし」、すなわち色ガラス部分に濃淡のグラデーションが現れるものとされている。こうした特徴は色ガラス層が薄い西洋の製品にはほとんど認められず、また薩摩以外で透明度の高い赤色ガラスが当時国内で作られた記録はなく、薩摩切子を判別するひとつの基準となっている。鹿児島では尚古集成館と鹿児島市立美術館にこの特徴を備えた一連の色被せガラスが所蔵されており、今回調査した 29 点のうち 25 点を占める尚古集成館所蔵品には来歴から薩摩製であることが確実視される貴重な資料が多く、信頼に足る資料群といえる。

２．化学組成分析の重要性

従来は主に上記のような特殊な切子技法や複雑な文様構成といった外見的特徴を元に薩摩切子の定義が求められてきたが、いくつか腑に落ちない問題点も抱えてきた。薩摩藩のガラス製造に関する重要史料は東京大学史料編纂所所蔵の『島津家文書』に含まれているが、ひとつはそこに記された「薩摩の紅硝子」の姿と現存作品とがしっくり結びつかない点である。例えば実際に製造に携わった者は「紅ヲ素色トシ青黄白紫ヲ交錯シ琢磨シテ各色を顕シ」と表現し、他にも「諸色を交へたねぢれ形の瓶」と語る記事もあり、そこから浮かぶのはマーブルガラスの類である。またガラス生産が行われた集成館では銅赤と金赤のガラス製造竈を 2 基ずつ建設

したと記録にあるが、確認されている製品はすべて銅赤ガラスで金赤ガラス製品はこれまで全く発見されていない。今回の調査でも国産品では見つからなかった。鋳造板ガラスや切子製品が生産されていた記録は残るが、薩摩製ガラスの象徴ともいえる色被せ切子に関して現存品と史料とを結びつける明確な「糸」のないことが研究上の課題となっており、その解明のためにも非破壊で化学組成的特徴を明らかにすることの重要性がこれまでも訴えられてきた。

３．分析結果と『島津家文書』との関連

蛍光 X 線による分析結果の詳細については中井泉らによる本学会発表に詳しいが、筆者が史料との関連で注目するのは亜鉛である。江戸期後半から明治初期にかけて著された複数のガラス技法書には、主原料の金属鉛を熔融する際、鉛の滓を除去するために亜鉛を約 3%程度添加すると指示するものがある一方、その添加に言及しない文献がある。中井研究室が行った瓶泥舎コレクション（中井・馬場：2017）および個人所蔵の無色切子群（井上・松本・中井：2020）の分析結果では、亜鉛を 0.1wt％以上と有意に含む一群と 0.1wt％未満の一群とが並立しており、技術系統の違いと考えられている。今回分析した色被せ切子の場合、いずれの資料も揃って有意に亜鉛を含む点は特徴的といえよう。

島津家文書には薩摩藩がガラス製造の参考にしたと思われる翻訳書や和書の写本も含まれる。そのうち唯一の和書である花井一好著『玻黎精工全書』（文政 11（1828）年成）については、実際にガラス製造にあたった薩摩藩士宇宿彦右衛門が「此の書物通りに試むれば硝子の製造間違なし」と人に語った話も残されている。同書の「和硝子製造編」には「鉛ノ滓ヲ除ク法」として亜鉛の添加が記されており、分析結果を踏まえればこの本を参考にしたことは確実といえよう。ちなみに、残る翻訳書で亜鉛の添加に言及したものはない。

また今回の分析結果からは薩摩切子の無色部分は鉄分が多く、その量に応じてマンガンが加えられている傾向も見える。島津家文書内には「鉄気を消散」するためとして「ポンス」や「梅酢」で石粉を洗う提案のあったことを示す史料があり、使用した硅石粉に鉄分等の不純物が多かったことの傍証ともいえよう。マンガン（紫呉斯）による消色法は『玻黎精工全書』中の「色消硝子ノ法」にも紹介されている。尤も、前述の中井研究室による瓶泥舎および無色切子群の調査では鉛系無色ガラスにマンガンを有意に含む資料は萩製とみられるごく一部にしかなく、マンガン消色は薩摩切子の組成のひとつの特徴といえそうである。

今回の調査では上記の点も含め、色被せ薩摩切子の化学組成には明確な特徴のあることが明らかになった。また『玻黎精工全書』の影響も確認された。これまで様式上で「薩摩切子」と分類されてきた作品群のうち、少なくとも今回分析した作品に化学組成上のまとまりがあることが判明したことは、薩摩製に限らずガラス工芸史全般の今後の研究に資すものと考える。

引用文献

中井泉・馬場慎介，2017「江戸のガラスの化学組成」『和ガラスの美を求めて―瓶泥舎コレクション―』MIHO MUSEUM pp.216～233

井上暁子・松本諒・中井泉，2020「切子ガラスの蛍光 X 線分析―江戸・明治前期の無色ガラスを中心に」日本ガラス工芸学会誌 GLASS,64 pp.59～73

ウズベキスタン出土ガラス玉の科学的研究

Scientific analysis on the glass beads found in Uzbekistan

○田村 朋美（奈良文化財研究所）、中村大介（埼玉大学）、
マリーナ・レウトヴァ（ウズベキスタン科学アカデミー考古学研究所）
○TAMURA Tomomi (Nara National Research Institute for Cultural Properties),
NAKAMURA Daisuke (Saitama University),
Marina REUTOVA (Institute for Archaeological Research, Uzbekistan Academy of Science)

1. 研究背景と目的

ガラス製品は陸海のルートで活発に交易され、紀元前１千年紀後半にはユーラシア大陸に広く分布することが知られている。紀元前後の東アジアでも、漢帝国の中心地域を除き、朝鮮半島や日本列島では大量に流通していたことが知られている。そのほとんどは、引き伸ばし法によって製作されたインド・パシフィックビーズ（IPB）であった。そして、材質的にも共通の特徴を持つ IPB が東南アジア～東アジアの沿岸地域で大量に流通した。

一方、モンゴル高原をはじめとするユーラシア大陸内陸部でも匈奴の上位階層の墓を中心に、様々な種類のガラス玉が発見されている。そして、これらの内陸地域で出土するガラス玉は、IPB を中心とした東南アジア～東アジア沿岸地域のガラス小玉とは異なる種類（重層ガラスや連珠）から構成され、材質も地中海系のナトロンガラスや中央アジア系の植物灰ガラスが中心であることが明らかとなってきている[1)]。

そこで本研究では、ユーラシア大陸内陸部におけるガラス玉の流通経路について検討するため、中央アジアに位置するウズベキスタンで出土したガラス玉類について、製作技法および化学組成の調査を実施した。

2. 資料と方法

今回、研究対象としたのは、ウズベキスタン南部のカシュカダリア Kashkadarya 州に位置するイェルクルガン Yerkurgan 遺跡から出土したガラス玉である。イェルクルガンは二重の城壁に囲われた都市遺跡である。紀元前８世紀に最初の集落が出現し、キャラバンの重要な交通の要衝として発展したが、６世紀にはテュルク系民族の征服により壊滅している。今回調査を行ったガラス玉は主に３～４世紀に属すると考えられる。

本研究では、イェルクルガン遺跡から出土したガラス玉について実体顕微鏡観察（Nikon Fabre Photo EX）を行い、ガラス玉に含まれる気泡の並び方や形状、および孔の形態的特徴から、製作技法の推定をおこなった。ガラスの化学組成の分析は、可搬型のエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（OURSTEC, 100FA）による非破壊調査によった。測定結果は、ガラス標準試料（Corning A）を用いて補正した FP 法（Fundamental Parameter method）により、検出した元素の合計が 100％

となるように規格化し、重量百分率（wt%）で算出した。今回実施した測定は、風化表面の非破壊測定であり、ガラス本来の化学組成を示すものではないが、ガラスの種類や着色技法などについて一定の示唆を与えるものと考えている。

3. 結果と考察

イェルクルガン出土のガラス玉はバリエーションに富むが、主体を占めるのは包み巻き法による小玉（紫褐色）や銅張四角柱玉（淡青色）、連珠法による小玉（淡青色、黄緑色）などである。典型的な IPB は極めて少なく、紺色透明のガラス小玉が２点確認された。このほか特殊なものとして紺色の多面体玉や丸玉、重層ガラス玉などが出土している。

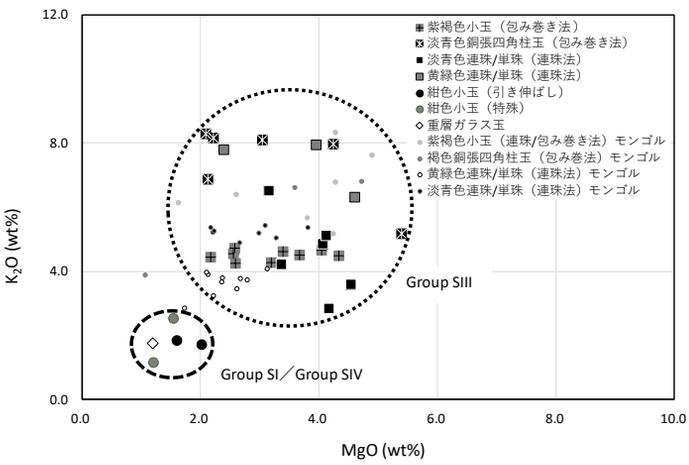


図１　イェルクルガン出土のガラス玉の材質的特徴

基礎ガラスの化学組成については、風化が著しい個体が多く、良好な分析結果が得られたものは少ない。比較的風化の少ない約 30 点について蛍光 X 線分析の結果からガラスの材質分類を行った。その結果、大多数が植物灰ガラス（Group SIII）であると判断された（図１）。ただし、重層ガラス（金層）、包み巻法による紺色のガラス丸玉および多面体玉などナトロンガラス製（Group SI）と判断されるものもわずかに存在する。引き伸ばし法による紺色ガラス小玉２点については、カルシウムの含有量がやや少ないことや多量のマンガンを含む点において日本列島で流通したナトロン主体ガラス（Group SIV）のガラス小玉と共通の特徴を持つことから、純粋なナトロンガラスではない可能性が高いと推定している。

着色剤に関しては、紫褐色の小玉はマンガンと鉄による着色である。淡青色の連珠は銅着色、黄緑色の連珠は銅、鉛、錫の含有量が多いことから、銅イオンと錫酸鉛による着色であると推定される。一方、ナトロンガラスと判断された包み巻法による紺色の丸玉と多面体玉については、着色剤であるコバルトに加えて少量のマンガンとアンチモンを含むことが判明した。これらの成分は消色剤として添加されたと考えられる。

本研究において、ウズベキスタンで出土するガラス玉類には、包み巻き法や連珠法による植物灰ガラスまたはナトロンガラスが主要な構成要素であることが判明した。このようなガラス玉の構成は、筆者らがこれまでに調査したモンゴルの匈奴墓や鮮卑墓から出土するガラス玉と共通の特徴を持つ[2)]。さらに、両者は製作技法および着色剤の特徴も極めて類似することも明らかとなった。今後は中央アジア出土ガラス玉の分析事例を増やして、ユーラシア大陸内陸部におけるガラス玉の流通経路についてより詳細に検討を進めていきたい。

1) 2) 田村朋美ほか 2019「モンゴル匈奴墓出土ガラス玉類の考古科学的研究」『2019 Daejeon International Symposium on Conservation of Cultural Heritage in East Asia』pp.164-170.

中世アイヌ文化期におけるガラス玉の時期変遷に関する予備研究

A pilot study on the transition of glass beads during the medieval Ainu culture.

○髙橋 美鈴(様似町教育委員会)、田村 朋美(独立行政法人奈良文化財研究所)
○TAKAHASHI Misuzu(Samani education board),TAMURA Tomomi(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. 研究の目的

北海道ではアイヌ文化期に多くのガラス玉が出土する。これらのガラス玉の材質にはカリ鉛ガラスおよびカリ石灰ガラスが含まれることが明らかとなってきているが、その時期変遷については不明な点が多い。また、形状や法量、色調などの外見的特徴についても時期差の有無が明確になっていない。そこで、本研究ではアイヌ文化期の中でもガラス玉が出現し増加する中世相当期（12～16 世紀）に着目し、北海道余市町大川遺跡のガラス玉を対象に材質および外見的特徴の変遷について明らかにすることを目的とした予備的な調査を実施した。

2. 資料と方法

大川遺跡は、北海道後志管内余市町の余市川河口部右岸の標高約５m の砂丘上に立地している縄文時代晩期から近世までの複合遺跡である[1)]。今回調査を実施した GP-600 は、長辺約 90cm×短辺約 82cm の形態不明の墓坑で、ガラス玉の他、小刀片、古銭、耳飾りが出土している。アイヌ墓と考えられ、時期は中世～近世初頭（15～16 世紀）と考えられる。本研究では、大川遺跡 GP-600 出土のガラス玉 268 点（耳飾りに付随するガラス玉を含む）について材質調査を実施し、筆者らがこれまでに調査した擦文末期～アイヌ文化期初期（12～14 世紀）のガラス玉[2)]との比較検討を行った。

材質調査には蛍光 X 線分析法を適用した。測定に用いた装置は、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（エダックス社製 EAGLEⅢ）である。測定は真空中で実施し、測定結果は、測定試料と近似する濃度既知のガラス標準試料を用いて補正した理論補正法（FP 法）により、検出した元素の酸化物の合計が 100%になるように規格化した。

3. 結果と考察

大川遺跡 GP-600 出土のガラス玉は、外見的特徴（法量、形態、色調）から大きく４種類に分類される。まず、直径 3-5 mm 程度の小型品と直径 10 mm 前後の大型品にわかれ、小型品には無色透明のもの（玉①）と淡青色不透明のもの（玉②）がある。大型品には淡青色不透明の丸玉（玉③）と青色～青緑色透明を呈する蜜柑玉（玉④）が存在する。なお、上記の分類に当てはまらないものが数点存在する。製作技法はすべて巻き付け法である。

蛍光 X 線分析の結果、化学組成から３種類（材質Ⅰ～Ⅲ）に分類できることが明らかとなった（図１）。材質Ⅰはカリ鉛ガラス、材質Ⅲは、カリ石灰ガラスである。材質Ⅱについては、材質ⅠおよびⅢの中間的な化学組成であり、便宜的にカリ石灰鉛ガラスと呼称する。化学組成による

分類は外見的特徴による分類にほぼ対応することも明らかとなった。すなわち、無色透明の小型品（玉①）および蜜柑玉（玉④）が材質Ⅰに、淡青色不透明の小型品（玉②）が材質Ⅱに、淡青色不透明の大型品（玉③）が材質Ⅲに相当する。

北海道には 12 世紀頃に一度カリ鉛ガラスが流入するが、13〜14 世紀になると急速に減少する。今回の調査で、15〜16 世紀に再び増加することが確認された。さらに、大川遺跡 GP-600 のカリ鉛ガラス（材質Ⅰ）は 12 世紀に流通したカリ鉛ガラスと比較すると、PbO がやや少なく、CaO をわずかに伴う点で異なる特徴を持つ（図１上）。さらに注目されるのが、微量の亜鉛（Zn）を伴う無色ガラスが一定量存在することである（図１下）。無色ガラスのため、亜鉛は着色剤に伴うものではなく鉛原料に由来する可能性が考えられる。12 世紀のカリ鉛ガラスには対州鉱山産の鉛が用いられたことが確認されている[3]が、大川遺跡 GP-600 のカリ鉛ガラスは原料に用いられた鉛産地が異なる可能性がある。今後は鉛同位体比分析を実施し、具体的な原料産地についても検討を進めていく予定である。

一方、カリ石灰ガラス（材質Ⅲ）についても 14 世紀までに流通したものとは基礎ガラスの材質的特徴が異なっている。特に CaO および MgO が増加している点が注目される（図１中）。カリ鉛ガラスとカリ石灰ガラスの中間的な材質Ⅱについては、12 世紀の穂香遺跡出土品に類似の化学組成を持つ個体がわずかに存在するが、13〜14 世紀の出土品では今までのところ確認されていない。

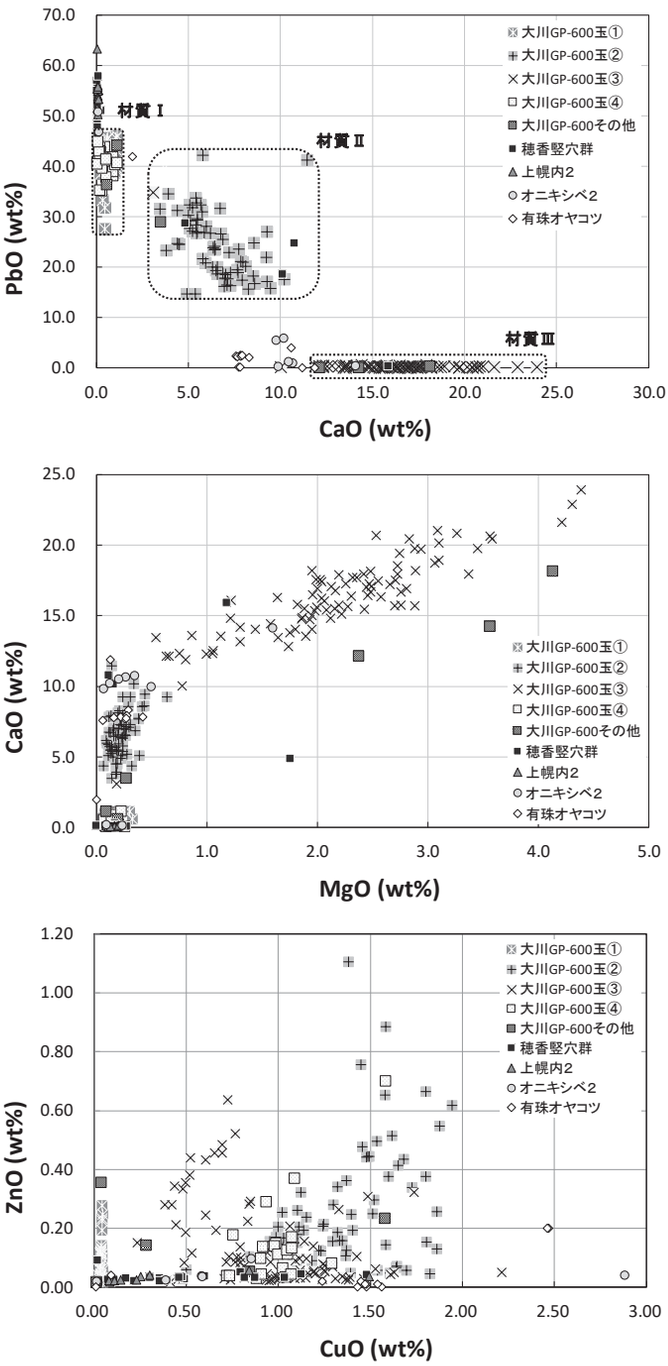


図１　大川遺跡 GP-600 出土のガラス玉の化学組成の特徴

以上、本研究で扱った資料はごく一部であり、今後分析事例を追加して更なる検討が必要であるが、北海道のアイヌ文化期におけるガラス玉の時期変化についての重要な知見が得られた。

1) 余市町教育委員会 2002 『大川遺跡』

2) 3) 田村朋美・髙橋美鈴「擦文末期〜アイヌ文化初期におけるガラス玉の起源と流入経路」

光ルミネッセンス法を用いた縄文土器資料の焼成温度推定

Assessment on firing temperature of Jomon pottery using OSL properties

◯下岡順直（立正大）、大場正善（山形県埋文センター／多賀城市埋文調査センター）
◯Yorinao SHITAOKA (Rissho University), Masayoshi OBA (Yamagata Prefectural Center for Archaeological Research & Tagajo City Buried Cultural Property Research Center)

1. はじめに

縄文土器の焼成温度に関する文化財科学的研究は、これまでにも数多く報告されてきた。江藤（1963）は熱収縮率を測定し、縄文土器の焼成温度は550℃近傍と推定した。梅田（1967；1968）は示差熱分析と加熱減量および熱膨張収縮など熱的性質について検討を行い、縄文土器は200℃前後で乾燥膨縮を示し、一般に600℃付近で結晶水放出による膨縮が認められ、焼成温度の上限が約600℃の低温焼成のものが多いと結論づけている。新井（1973）は露天における焚火の炎の温度を測定するために、三種の釉薬を用いた「モデル板対照測定法」を行い、800〜950℃の間であることを確認した。ただし、この温度は焚火の炎の温度であり、土器そのものの吸収温度とは別であるとしている。大沢・二宮（1983）は、縄文土器は500℃に達していないものも認められるが、土器胎土の酸化アルミニウム抽出法による結果では800℃を中心として700〜850℃程度に収まるとした。また、様々な方法に基づくデータから推論し、焼成温度は700〜900℃あたりと考えるのが妥当とした。これら先行研究成果の一方で、阿部（1995）は縄文土器の製作実験を行い、器体が赤透色になるまで焼かず、器体の全面が赤化する程度の10分間のみ焼成とした場合、最高温度は680℃を記録したが、焼成時間の大半は500〜550℃の間を記録したと報告しており、縄文土器の焼成温度は500〜600℃で10〜15分程度の焼成であったと仮説を呈示した。そして、器体の保水性と煮沸時の熱効率を高めるとされる土器断面の黒化層（炭化層）は、「土器焼きの火」である土器の焼成時間と温度に相関し、「料理の火」で直接土器を焙って出来た赤化層が器体破損の要因になったという見解を示した。

以上のように、縄文土器の焼成温度については、いまだ500〜900℃程度と幅広い温度情報の提示にとどまっているに過ぎない。また、時期や型式の段階ごとの焼成温度の変化・変遷に関する詳細な温度データは得られていない。縄文土器の焼成温度情報をより探究することは、時期ごとに複雑な造形美を創出した縄文土器生産技術を解明する一端を担うと考えた。そこで本研究では、山形県羽黒神社西遺跡で出土した縄文時代早期から晩期における土器資料（土器片1〜9）を用いて、赤外光ルミネッセンス（IRSL）法による焼成温度推定を行った。そして、時期ごとに土器の焼成温度に変化が生じるのか観察した。

2. 光ルミネッセンス法を用いた被熱温度推定法

ルミネッセンス法は主に年代測定に用いられてきたが、温度の関数としてルミネッセンス計測をすることから、石英や長石の被熱履歴推定方法としても利用できる。ルミネッセンス被熱履歴推定法の中でも、今回使用した IRSL 感度変化法は、長石の IRSL 信号は露光のみで加熱を生じなければ、放射線量に対する IRSL 強度がほぼ変化しない（Rhodes 2011 など）とされている。具体的には、過去の被熱温度を T_0、電気炉による人為的加熱処理温度を T_1 とする。同一試料で同じ被ばく放射線量であれば、電気炉による加熱処理温度が過去の被熱温度を超えない時（$T_0 > T_1$ もしくは $T_0 = T_1$）の場合、OSL 強度の感度変化はほとんど生じないもしくは小さい。これに対して、電気炉による加熱処理温度が過去の被熱温度を超えた時（$T_0 < T_1$）の場合、OSL 強度は感度変化を生じ、系統的に変化する。このような特性を活かして、被熱温度推定を行った。

3. 試料処理と測定

測定前試料処理は、蛍光灯下で行った。土器資料は乾燥後に、土器片の表面を小型グラインダーで薄く削り落とした。その後、乳鉢を用いて土器片を粉砕し、標準ふるいで 50 μm 以下の粒子のみを選別後、アセトン溶液を用いて粒度を約 10〜50 μm に調整した。そして、10%過酸化水素水処理と、20%塩酸処理を行ったものを「ナチュラル試料」とした。次に、「ナチュラル試料」をガラスシャーレに薄く広げて、約 30 kℓx に設定した人工太陽システム（セリック社製 SOLAX XC-100B 形）を用いて 8 時間露光して OSL 信号を人為的にゼロリセットした。露光のみで加熱処理無し測定試料（「露光試料」）と、露光後に電気炉を用いて 300〜900℃まで 100℃刻みで 1 時間ずつ加熱処理を行った測定試料（「加熱処理試料」）をそれぞれ用意した。

「露光試料」と「加熱処理試料」は 10 Gy 照射後、IRSL 測定をした。IRSL 測定は、OSL 自動測定装置 NRL-99-OSTL2-KU を用いて行った。IRSL 測定の条件は、励起波長 890±30 nm、検出波長 350〜600 nm（半値幅）とし、160℃で 60 秒間プレヒート後、測定温度 60℃で 100 秒間行った。

4. 結果と考察

測定した「加熱処理試料」の IRSL 強度を、「露光試料」の IRSL 強度で規格化した。そして、IRSL 強度が低温側からみて感度の増加変化を起こし、かつ、「露光試料」の IRSL 強度を超える最初の変化点付近を被熱温度として推定した。その結果、土器片 1 では約 500〜600℃程度、土器片 2 では約 600〜700℃程度、土器片 3 では約 600〜700℃程度、土器片 4 では約 600〜700℃程度、土器片 5 では約 500〜600℃程度、土器片 6 では約 600〜700℃程度（以上、縄文早期）、土器片 7（縄文前期）では約 500〜600℃程度、土器片 8（縄文中期）では約 500〜600℃程度、土器片 9（縄文晩期）では約 600〜700℃程度に被熱した可能性が示された。本研究では、縄文土器片から推定された被熱温度は約 500〜700℃程度であり、先行研究とは符合する結果であった。しかし、今回の結果からは縄文時代早期から晩期にかけて焼成温度に大きな変化はみられなかった。

今後の研究では、より多地域における縄文土器の時期ごとの焼成温度を推定するとともに、器種および土器の部位でどのような焼成温度情報を示すか、分析を継続する予定である。

レプリカ法による縄文時代の鱗茎圧痕の同定方法の開発と利用例

Development and application of an identification method of bulb impressions of the Jomon period using a replica method

○佐々木由香（明治大学黒耀石研究センター）、米田恭子（株式会社パレオ・ラボ）
○Yuka SASAKI (Center for Obsidian and Lithic Studies, Meiji University),
Kyoko YONEDA (Paleo Labo Co., Ltd.)

1. はじめに

縄文時代の有用植物や栽培植物が土器圧痕から見出されること明らかになってきており、シリコーンを用いたレプリカ法の有用性が実証されてきている（小畑 2016 など）。しかし、同定される圧痕のほとんどは種子もしくは果実で、わずかに昆虫や貝類が含まれている程度であった。

最近、縄文時代の土器圧痕には、球根（鱗茎）の圧痕が含まれ、そのサイズは遺跡で炭化して出土する鱗茎よりも、いずれも小さい傾向が明らかになってきた（写真 1）。しかし、鱗茎と思われる圧痕の大部分は不明と同定されるか、もしくは圧痕の形態から鱗茎と推定されているのみで、その種類については不明で、圧痕として鱗茎が土器胎土に混入する意味も未解明であった。

本研究では、これまでレプリカ法により不明鱗茎または不明鱗茎？とされた土器圧痕を対象として、科より詳細な同定を行うことを目的とした。しかし、これまで筆者らが作製してきた現生鱗茎の比較標本は成熟した個体のみで小さい個体はなかった。このため、圧痕に見られるサイズの現生鱗茎の形態および細胞形態と比較して、レプリカ法によって確認された鱗茎圧痕の種類の同定を試みた。

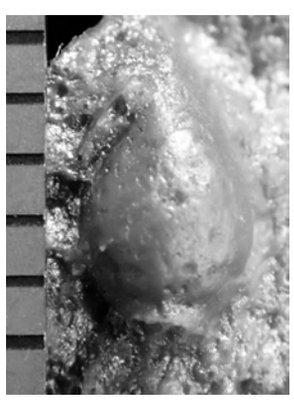


写真 1 土器圧痕の鱗茎レプリカ
（スケール 1㎜、東京都下野谷遺跡）

2. 試料と方法

土器圧痕の鱗茎は、12 遺跡の縄文時代早期中葉から後期前葉の土器から確認された不明鱗茎もしくは不明鱗茎？と同定された圧痕 22 点である。レプリカは、丑野・田川（1991）を参考に作製した。レプリカの作製にあたっては、圧痕内を水で洗い、パラロイド B72 の 9%アセトン溶液を離型剤として圧痕内および周辺に塗布した後、シリコーン樹脂（JM シリコン レギュラータイプ）を圧痕部分に充填した。レプリカ作製後は、アセトンを用いて圧痕内および周囲の離型剤を除去した。

土器圧痕および現生鱗茎の分析方法は、外形をデジタルカメラで撮影したのち、外形と表面（表皮細胞）を走査型電子顕微鏡（超深度マルチアングルレンズ VHX-D500/D510）で観察および写真撮影、表皮細胞の大きさの計測を行った。鱗茎の大きさは、デジタルノギスで小数第 2 位まで計測した。

3. 結果

鱗茎圧痕の上面観は、楕円形～円形、側面観は卵形～狭卵形。下端中央に円柱状の突出部があり、上端は細く伸びる。下部には、円形の成長点が残り、顕著に突出する（写真２左）。

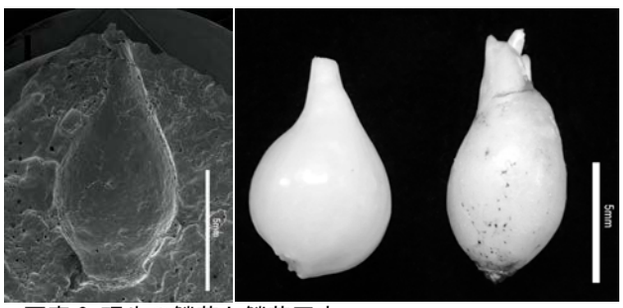


写真２ 現生の鱗茎と鱗茎圧痕
（左から写真１の圧痕レプリカの SEM 写真、現生ノビル、ツルボ）

12 遺跡から確認された 22 点の鱗茎の大きさは、長さ 3.92-9.90㎜、直径 2.46-6.26㎜と、長さ 10㎜未満の小さい個体のみであった。形態は、非対称形が多かった。

現生の鱗茎のうち、こうした形態に該当する種類はノビルとツルボに限られるため、ノビルとツルボの鱗茎部分が長さ 10㎜前後の個体を選び、10 点ずつ外形の計測、また粘土板に埋め込んで焼成後、レプリカの外形並びに表皮細胞形態を１個体につき３カ所（上部・最大径・下部）について各５細胞の計測を行った。

圧痕の形態では、両端が顕著にくびれて球形に近い形状を呈するノビルとは異なり、1 点を除いて雫型の形態を呈するツルボに似た個体であった。表皮細胞の観察では、8 個体に線状の細胞が観察された。

次に、表皮細胞が残存していた 8 個体について細胞の観察を行なった結果、部分的に長軸の細胞壁が確認されたが、短軸の細胞壁は不明瞭で、表皮細胞の大きさによる識別は困難であった。そこで、現生鱗茎の短軸の細胞幅を比較すると、鱗茎の中央部でノビルは幅 0.04-0.06㎜に対し、ツルボは幅 0.04㎜以下で、ノビルの方が幅広の細胞であった。圧痕で細胞間隔が計測できる個体の細胞幅は 0.02㎜で、ツルボに近かった。

4. 考察

土器圧痕としてみられた鱗茎は、全体の形状と細胞幅ではキジカクシ科ツルボに類似した個体が多かった。さらに、鱗茎圧痕と現生鱗茎の大きさと形態の比較・検討から、成熟個体より明らかに小さいという点を考慮すると、食用とする成熟個体に付属していた子球である可能性がある。

現在のところ、鱗茎ないし鱗茎？圧痕が確認された地域は関東地方西部と中部地方のみで、時期は縄文時代では早期中葉が最も古く、後期前葉が新しい。ツルボやノビルは日当たりの良い場所に生育する人里植物であり、ツルボは食用にあたり、アク抜きを必要とする。集落周辺に生育していた個体を土器作りの場に持ち込んで利用していたと推定される。

謝辞　下野谷遺跡の鱗茎レプリカ写真の使用にあたり、西東京市教育委員会の許諾を得た。本研究は、JSPS 基盤研究（C）17K01198（代表：佐々木由香）の助成を受けた。

引用・参考文献

丑野　毅・田川裕美（1991）レプリカ法による土器圧痕の観察．考古学と自然科学，24，13-36.
小畑弘己（2016）タネをまく縄文人―最新科学が覆す農耕の起源―．217p，吉川弘文館.
山本　華・佐々木由香・大網信良・亀田直美・黒沼保子（2017）東京都下野谷遺跡における縄文時代中期の植物資源利用．植生史研究，26，63-74.

縄文土器の実験考古学的研究
-「地縄文技法(地紋)」による土器ペースト整形・修復過程-
Experimental and Interpretative Archaeology of Jomon Pottery - Formation/Repair process by "JIMON" as both technique of Rolling and Pasting Dislocation -

○中塚良(公益財団法人向日市埋蔵文化財センター)
○NAKATSUKA Ryo(Muko City Archaeological Center , Kyoto)

1.概要

〔研究のねらい〕演者は極薄作りの土器製作実験を約10年継続し、粘性流体としての土器ペースト(練土)の物性、挙動、制御性に関わる経験知を得てきた。例えば①刻みを施す羽子板状工具を扇形軌跡的にパーカッション運動させ、ペーストを圧縮同時に伸展につなげる「引き打ち」(ラセンタタキ)技法による、古墳時代初頭土器にあたる古式土師器甕の製作実験、また、②ユビによる土器ペースト内外への圧縮、次に僅かに時間をずらしてペースト内面層の移動・伸展をラセンにおこなうユビ技法(「e手法」)による、平安時代9/10世紀境の型式を嚆矢とする土師器皿の製作実験を経験してきた。①・②ともに、ペースト圧縮・流動化を契機に薄層を積層させ葉理的構造を生成することで、器壁薄く均質かつ強固に高密度化させる造形法に相当する。他方同様に、資料の外観から製作技法的洗練性を窺えるものとして、北白川下層式、大歳山式など縄文時代前期を中心に、きわめて薄く精密に造形される土器様式群の存在が知られる。縄目が深い陰影をもつ地紋土器も少なくない。縄・ユビをメインとする造形法が行使されたことは疑いえないが、薄手・精密な縄文土器試料に質感的に近い製作実験試料にふれる機会にこれまでめぐまれてこなかったように思われる。多くの縄目試料はデザインとしての機能、器面調整の役割を担う。そこで、縄・ユビ複合力によって基本的に成形されたと考えられる地紋系土器の造形実験を前述①・②同様に、ほぼ手さぐりで始めるに至った。

〔縄による造形過程の予察的実験・観察〕昨年来、まず施文具製作に着手した。カヤツリグサをはじめに、イラクサ科・トウダイグサ科など柔軟性をもち良質の繊維質草本類から、また、粗質ながら結束・緊縛強度に優れるエノキ・ムクノキ類幼木類から繊維を取り出し縄を撚る。次に、これまでの土器製作実験またペースト材質についての経験知を前提に、器面外・内に対する縄の圧転とユビの押圧作用くみあわせによって土器ペーストを塑性限界的に圧縮・伸展させ、薄く精度ある造形を指向しつつ、主に深鉢形試料の製作実験を実施してきた(**図１**)。

その過程で、器表面において押圧的回転・往復運動をおこなう縄がペースト表層部を一定深度で掘り起こし、同時に、ペースト拡張・伸展時に必ず生じる孔隙、亀裂を充填・接着するという、いわば「耕起転圧」的作動にともなう強度ある積層構造を形成することを知り得た。

製作実験過程については2019年秋季に共同実験的ワークショップ＊を企画し、編集資料２題を演者のサイトの下記URLにて開示した。上述の地縄文技法における器面での縄の動き、また輪積み接合部の整形・材質変化、接着面制御における地縄の有効性について確認、記録化した。
a:縄文土器の実験考古学的研究～縄による造形過程の観察～ https://youtu.be/RtuCNWMAESY、
b:縄文土器の実験考古学的研究-ユビと縄による造形過程の観察記録**- https://youtu.be/g0hq1NlzZNA。
(＊研究メンバー：高野沙奈江・鈴木康二・堀内祐花・渡辺幸奈・山中俊樹**画像資料提供)

〔ペースト=ストレス実験〕粗悪ペーストを用い、技法の動作に負荷を課す(**図２**)。不均質で練りの不充分なペースト利用で、また、低含水化・乾燥化過程にある器壁への成形・調整において、破断・破砕リスクが高まる。換言すれば造形不具合に至るリスクを故意に高める。ユビ技法単独では修復不能の不具合を生じた破損箇所（裂け目・穿孔）への地紋技法の適用によって、さらに高火度焼成実験における安定性から、修復性能の優位性を確認しうる。デザインと造形機能複合としての、造形～使用時の破損リスクを低減しうる「地紋」技法の存在が示唆される。

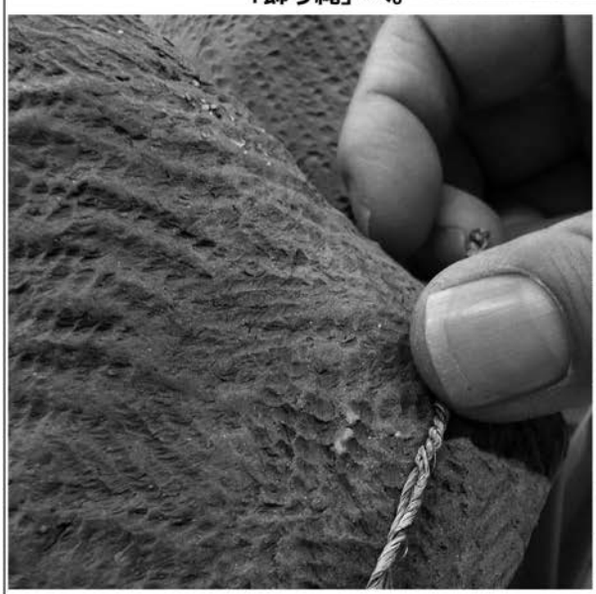
２.成果・課題－COVID-19「禍」下における土器製作実験考古学2020危機－

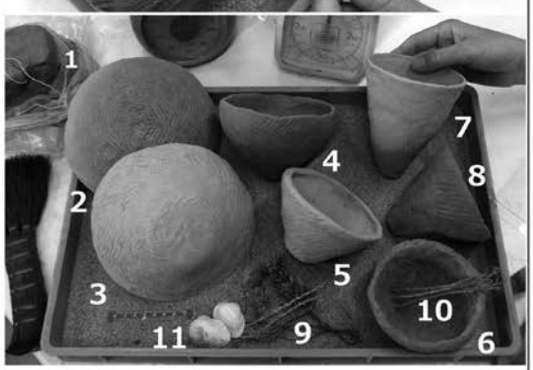
実験考古学はモノへの接触的観察＋仮説実験的検証を方法の根本に据えると考える。発表手段としての試料呈示、製作実演の機会の喪失はその本質、根幹を揺るがす最大の課題にあたる。

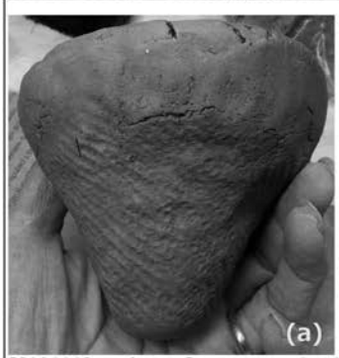
図１予察的造形実験過程図
(「縄文土器つくって『締め縄体験』」
土器製作実験イベント 2019.8.2)

〔１ペースト(清水焼練土) ２・３浅鉢
４～６「中鉢」 ７・８深鉢
９パピルス(カヤツリグサ)の撚り縄
10アカソの縄
11アカガイ貝殻(器をなめらか仕上げ)〕

◇アカメガシワの「締め縄」から「飾り縄」へ。

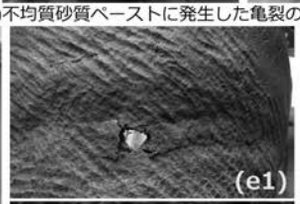


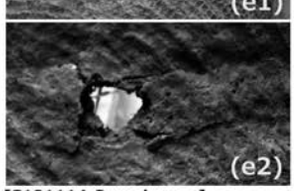




[S191113_mal-proc.] **(a-c)**不均質砂質ペーストに発生した亀裂の修復過程

(g)二次焼成・煮沸実験





[S191114-2_mal-proc.]

補注
〔(d)４段目輪積み・内傾接合〕

図２ 土器ペースト=ストレス実験過程図

(d-f)半乾燥過程ペースト伸展により生じた裂孔への脱落粘土充填、地縄技法による修復過程

テラヘルツ分光による三重県内出土陶片の焼成温度推定

Estimation of Firing Temperature of Pottery Pieces Excavated from Mie Prefecture by Terahertz Spectroscopy

○新島聖治（三重県工業研究所，名古屋大学），谷口弘明（三重県工業研究所），
川瀬晃道（名古屋大学）
○Seiji NIIJIMA (Mie Prefecture Industrial Research Institute, Nagoya University),
Hiroaki TANIGUCHI (Mie Prefecture Industrial Research Institute),
Kodo KAWASE (Nagoya University)

1．はじめに

テラヘルツ（THz）波は，周波数帯域0.3～10 THz（波長1 mm～30 μm）程度の電波と光波の境界領域に位置する電磁波であり，両者の性質を併せ持つ．この帯域は，電波のようにセラミックスや樹脂など様々な物質に対して適度な透過性を有し，光波のようにレンズやミラーを用いて空間を自在に取り回すことができる．また，特定の物質に対しては，THz帯で固有の吸収スペクトルを持つこと，X線などと比較して低エネルギーであるなどの特長を持つ．そのため，多様な分野での非破壊・非接触検査技術として期待され[1]，文化財へも適用されている[2]．

我々はこれまでに，陶磁器やセラミックスのTHz波透過および反射特性が焼成温度に大きく依存して変化することを見出し、焼結性や微細構造との関係を明らかにした[3, 4]．本研究では，焼成温度に敏感なTHz波を用いて，古窯跡や遺跡などから出土する陶片の焼成温度を高精度に推定する新たな方法を提案することを目的とした．本発表では，三重県内で出土した伊賀焼および萬古焼の陶片を対象に，THz分光により焼成温度を推定した結果を報告する．

2．実験方法

図 1 に，本研究で提案する陶片の焼成温度推定法を示す．その推定法は，陶片の原土が入手可能か否かで 2 つのフローに分かれる．どちらの場合も，種々の温度で焼成した原土または陶片を再現した調合素地を標準試料として用い，検量線法により焼成温度を推定する．今回は，原土が入手可能なものとして伊賀焼陶片（弥助窯跡）を，入手不可能なものとして萬古焼陶片（正治寺窯跡）を分析試料とした．伊賀焼陶片用の標準試料には伊賀木節粘土（水簸）を用い，萬古焼陶片用の標準試料は，その化学組成などを参考に，市販の窯業

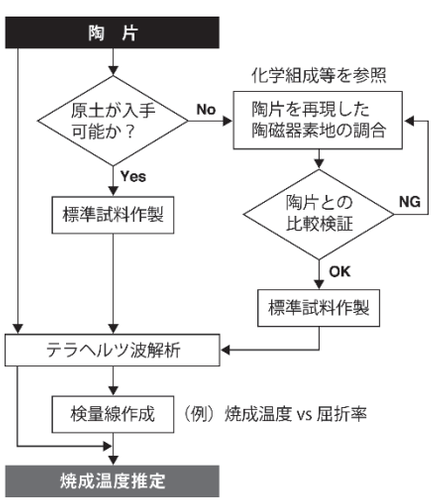


図 1　本研究で提案する陶片の焼成温度推定法

原料を用いて作製した調合素地を用いた．

陶片および種々の温度で焼成した標準試料の THz 波透過特性を THz 分光イメージング装置（(株）アドバンテストと名古屋大学共同開発，TAS-7400TS）を用いて評価し，屈折率を算出した．また，X 線回折や密度測定，顕微鏡観察などにより試料のキャラクタリゼーションを行った．

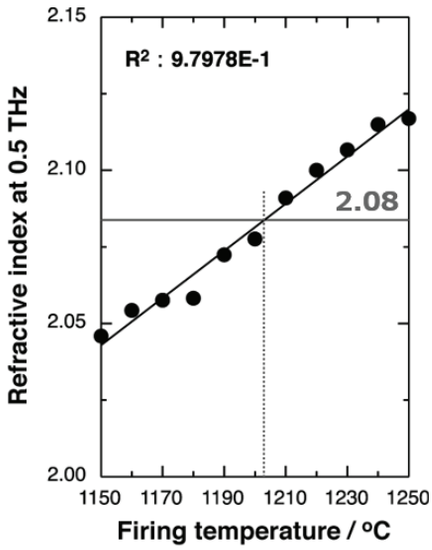


図 2　標準試料（伊賀木節粘土）の 0.5 THz における屈折率の焼成温度依存性

３．結果と考察

図 2 に，伊賀木節粘土の 0.5 THz における屈折率の焼成温度依存性を示す．本研究では，S/N 比を考慮して，0.5 THz における屈折率を用いた．図 2 より，焼成温度の上昇に伴い，屈折率は増加していることがわかる．各プロットを最小二乗法でフィッティングした結果，決定係数 R^2 は 0.98 となり，強い相関関係が見られた．伊賀焼陶片の 0.5 THz における屈折率は 2.08 であったことから，この回帰直線を検量線として焼成温度を推定した結果，1203 °C であった．この推定結果は，X 線回折による鉱物組成の変化や密度測定などから求められた推定範囲内に収まることがわかった．さらに本推定法は，特定の値を与えることができ，高精度な推定方法であると考えられた．萬古焼の焼成温度推定結果については，当日報告する．

４．おわりに

本研究では，THz 分光を用いて三重県内で出土した伊賀焼および萬古焼陶片の焼成温度を推定した．推定された陶片の焼成温度は，他の手法より求められた推定範囲内に収まるとともに，より高精度な推定結果を与えることがわかった．

参考文献

[1]M. Tonouchi, *Nat. Photonics,* 1[2] (2007) 97-105.

[2]K. Fukunaga, M. Picollo, *Appl. Phys. A,* 100 (2010) 591-597.

[3]S. Niijima, M. Shoyama, K. Murakami, K. Kawase, *J. Asian. Ceram. Soc.,* 6[1] (2018) 37-42.

[4]新島聖治，庄山昌志，川瀬晃道，電気学会論文誌 C, 139[2] (2019) 137-141.

謝辞

本研究で使用した萬古焼陶片は，朝日町歴史博物館より提供いただきました．また，本研究の一部は公益財団法人岡三加藤文化振興財団研究助成の支援によって行われました．関係各位に御礼申し上げます．

陶磁器製作に使われる糊の効果

Effect of the organic materials used for ceramic production

○樋口智寛（東京都立産業技術研究センター）、水本和美（東京藝術大学）、
新免歳靖（東京学芸大学）、二宮修治（東京学芸大学）
○Tomohiro HIGUCHI(Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute),
Kazumi MIZUMOTO(Tokyo University of the Arts), Toshiyasu SHINMEN(Tokyo Gakugei University),
Shuji NINOMIYA(Tokyo Gakugei University)

1. はじめに

陶磁器の製作には、糊として膠やふのり等の有機物が用いられる。本研究は、焼成後の陶磁器から、用いた糊種や効果を解明することを最終目標としている。これまでに、上絵層を模した試料について、ppm オーダーの高い検出感度を有する飛行時間型二次イオン質量分析計（TOF-SIMS）により分析し、焼成後の上絵層に有機物が残存する [1]、糊種によって、上絵層から検出される成分、特に鉛成分の挙動に差異が発現することを明らにした [2]。TOF-SIMS 分析から得られる結果は、一次イオン照射により、含有成分の化学結合が切断されたフラグメントイオンの質量数が主となる。そのため、未知な成分を分析した場合、切断前の化学結合状態を単独の分析結果から同定することは難しい。今回、用いた糊による絵具成分、特に鉛成分の化学的な変化を明確にすることを目指し、TOF-SIMS 分析と比較して検出感度は低いものの解析データが豊富なＸ線回折法（XRD）を適応可能な試料を作製し、分析を行った。

2. 実験

粒膠（吉祥製）およびふのり（伊勢久製）に水を加え、湯煎・攪拌し、後の乾燥工程を容易にするため溶液として取り扱える上限の濃度（膠：約 33%(m/m)、ふのり：約 9%(m/m)）の糊溶液を調製した。上絵具は、鉛成分の変化を確認しやすくするため、顔料を含まない白玉を用いた。上絵具 1g に糊溶液 5g を混合し、乾燥後、大気下、電気炉により 10℃／分で昇温し、800℃に達するまで焼成した。なお、XRD 分析により上絵具の化学変化を検出可能とするため、通常の上絵付時と比較し、糊を多量に混合した。焼成品は、メノウ乳鉢で粉砕し、ガラス試料板に充填して、XRD（Rigaku 製、MultiFlex）分析を行った。

3. 結果および考察

焼成した試料の XRD パターンおよび試料像を図 1 に示した。膠を混合した焼成品（膠試料）において、金属鉛の回折ピークが鋭く明確に検出された一方、ふのりを混合した焼成品（ふのり試料）においては検出されず、ガラス等の非晶由来のブロードなパターンが得られた。また得られた焼成品の色は、膠試料は灰色、ふのり試料は白色であった。これらから、膠試料では、絵具に含まれるガラスの結合が切断され、鉛が金属として抽出され、灰色を呈したとみられる。ふのり試料では、金属成分の抽出は生じず、白色のままであったと考えられる。

これらの傾向が判明したことにより、これまでの TOF-SIMS 分析から得られた結果 [2]の解釈が可能となった。TOF-SIMS 分析では、膠試料では鉛、ふのり試料では鉛化合物由来のフラグメントイオンが相

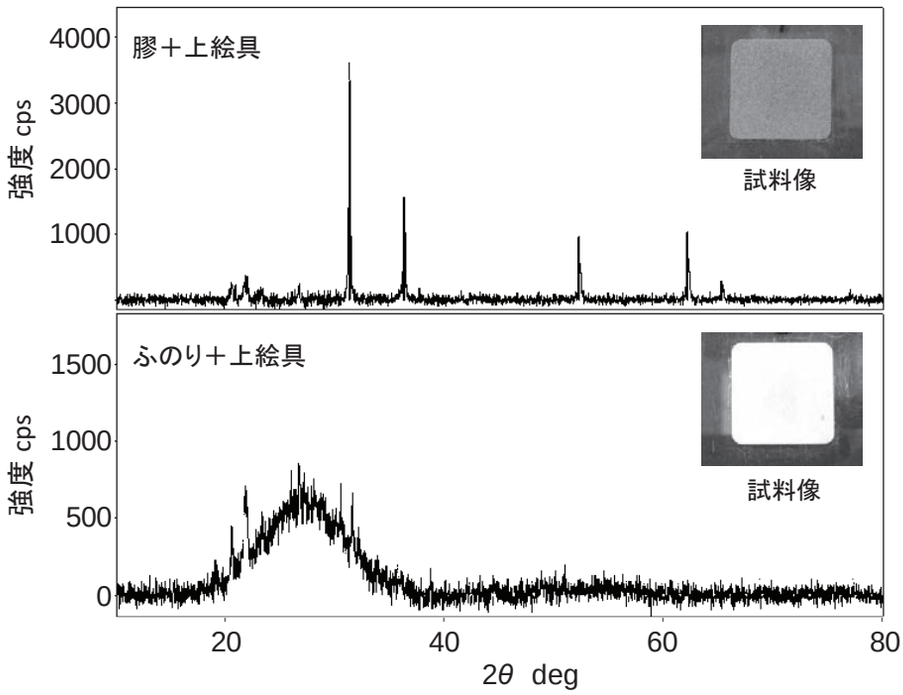


図1　XRD パターンおよび試料像

対的に強く検出された。今回、得られた XRD 分析の結果を考慮すると、それぞれのフラグメントイオンは、鉛金属、鉛ガラス由来であると解釈できた。これらから、厚さが薄く、また糊の使用量が少なく絵具の成分変化量も少なくなる上絵層においても、同様な成分変化が発生していることが示された。

これらの結果を上絵付技法と組み合わせて考察する。膠は線描き等の厚さが薄い、ふのりは盛絵等の厚い上絵付に用いられることが多い。これまでの作家等への聞き取り調査からは、糊の粘性の違い等によって使い分けられると見られていた。今回、用いた糊が、焼成後の上絵具成分に差異を与えることが明らかとなり、さらに糊によっては上絵内に灰色な金属鉛が生成することも判明した。これらの現象は、上絵の発色にも関連するものであり、糊の使い分けにつながる要因の一つとなっていると推定される。

4. まとめ

上絵付に用いた糊種による絵具成分の化学的な変化を明確にすることを目指し、モデル試料を作製し XRD 分析を行った。その結果、用いた糊種によって、焼成後の上絵内に金属鉛が生成する等、上絵内の絵具成分に差異が発現することが明らかとなった。これらの現象は、上絵の発色にも関連するものであり、糊の使い分けにつながる要因の一つとなっていると推定される。

謝辞　本研究は JSPS 科研費 20K01112、JP16K01188 および JP25560139 の助成を受けて行われた。

参考文献

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

2) 樋口智寛、水本和美、新免歳靖、高橋佳久、伊藤鈴音、二宮修治、陶磁器の上絵層における有機物分析の試み－飛行時間型二次イオン質量分析および赤外放射光分析による焼成に伴う膠およびふのり成分の変化に関する検討－、日本文化財科学会第 35 回大会研究発表要旨集、172-173(2018)

須恵器と土師器の粘土採取地に関する基礎研究

Fundamental study on the selections of clay used for Sue ware and Haji ware

◯神野恵（奈良文化財研究所）、安達智彦・神屋道也（滋賀県工業技術総合センター）、金田明大・村田泰輔（奈文研）、田中秀弥（奈良大学）、降幡順子（京都国立博物館）

◯Megumi JINNO(Nara National Institute for Cultural Properties), Tomohiko ADACHI, Michinari KAMIYA(Industrial Research Center of Shiga Prefecture), Akihiro KANEDA, Taisuke MURATA(NNICP), Hideya TANAKA (Nara University), Junko FURIHATA(Kyoto National Museum)

1. 研究の目的

律令期の主要な窯業生産は、須恵器と土師器が並存しており、都城において、その出土量は、ほぼ同じくらいである。これまで漠然と、土師器は先史時代以来の伝統的な焼き物、須恵器は５世紀に韓半島からの技術移転により始まった新しい焼き物と理解してきた。しかし、先行研究において須恵器に含まれる特有の黒色粒子が亜炭であることがわかり(1)、須恵器に亜炭を含む山土が用いられたことが明確となった。それに対し、このような亜炭は土師器には全く含まれないことから、両者には粘土の採掘に関わる根本的な違いがあるのではないか？と考えるに至った。

本研究の目的は、同一の埋蔵環境下から出土した同一時期の須恵器と土師器について、胎土の定量分析をおこない、化学成分の違いを比較することである。両者に粘土選択の違いが明確になれば、律令期における窯業生産の実態がより鮮明に浮かび上がる一助となろう。

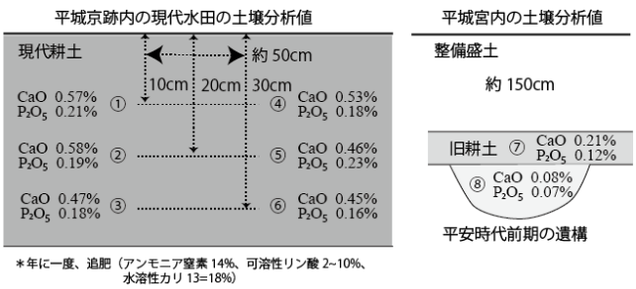
2. 分析試料と分析手法

分析に供した試料は須恵器３点、土師器４点。試料 A・B・D は、平城京左京三条一坊一坪の井戸 SE9650、試料 C・E・F は左京一条二坊四坪の井戸 SE3240、試料 G は平城宮東方官衙大土坑 SK19196 から出土した須恵器、土師器で、いずれも奈良時代後半の時期のものである。また、試料 F は比較対象として、名勝大乗院庭園の発掘調査で出土した礫敷遺構 SX8830 から出土した室町時代の土師器（赤土器）を加えた。この時期の土師器については、『大乗院寺社雑事記』などにより、田の土を用いたことが記されているためである。

分析は、波長分散型蛍光 X 線分析装置（株式会社リガク製、ZSX Primus IV）で実施した。土器片から分析試料を切り出したのち、埋蔵環境中に付着した埋土を除去するため、土器片表面を研削した。土器片を洗浄、乾燥し、乳鉢で粉砕した粉末を分析試料とした。土器中の結晶水、有機物等の揮発性物質の含有量を示す強熱減量（強熱前後の重量変化、LOI）は、予め 110℃で乾燥した試料粉末をアルミナるつぼに秤取し、大気中 1050℃で 1 時間強熱し、放冷後の重量減少で測定した。強熱減量を測定後の試料粉末でガラスビードを作製し、含有元素の定量分析を行った。なお、標準物質には耐火物技術協会の粘土質標準物質（第 2 種）JRRM121-135 を使用した。

3. 分析結果と結論

図１．水田耕作土や遺構埋土に含まれる肥料成分



分析結果を表１に示す。須恵器と土師器の差異としても、もっとも注目されるのは、P_2O_5 の値である。須恵器（試料 A～C）の値が 0.02~0.08%であるのに対し、土師器（試料 D～G）の値は 1.39～3.62 と高い含有量を示した。CaO も土師器の方が高いことも合わせ、これらが肥料成分に由来する可能性が高いと考えた。傍証を得るため、室町時代の赤土器（試料 H）を分析したところ、1.01%と高い含有量であった。ちなみに、これまで同様の方法で産地推定を試みた須恵器窯出品 12 点は、いずれも 0.02～0.04%程度の P_2O_5 含有量である。

参考までに、平城京跡内の現代の水田耕土について、地点と深さを変えて６箇所から土壌サンプルを採取し(1)、同様の測定をおこなった結果、いずれも 0.2%前後の P_2O_5 を検出した（図１）。この水田では、年に一度の可溶性リン酸を 2~10%程度含む化学肥料の散布を行うという。土中の肥料成分は植物に使われたり、地下水に流れ出たりして減少するが、平城宮第一次大極殿地区の発掘調査において、約半世紀前の旧耕土(⑦)についても分析をおこなった。その結果、土中の P_2O_5 は 0.12%と若干少ないことを確認した。さらに、この旧耕土の肥料成分が古代の遺構埋土に与える影響をみるため、旧耕土（⑦）直下の平安時代前期の溝埋土（⑧）についても分析をおこなったところ、P_2O_5 含有量は 0.07%とさらに低下することを確認した。

以上の結果から、奈良時代の土師器は、水田や溜め池などの人間の生産活動により近い場所で粘土採掘をおこなった可能性が高いと推定した。今後は、さらに分析点数と、対象となる時代幅を拡充することによって、古代の土師器生産体制が、どのように人々の生活や社会に根付いたものであったのかを知ることができるであろう。

表１．分析試料および蛍光 X 線分析結果(wt%)

試料 No.	A	B	C	D	E	F	G	H
遺物管理番号	478-034	478-035	530-1	K 478 次	530-2	530-3	L 429	J 390 次
出土遺構	SE9650	SE9650	SE3240	SE9650	SE3240	SE3240	SK19196	SX8830
土器の種類	須恵器	須恵器	須恵器	土師器	土師器	土師器	土師器	赤土器
時 期	奈良時代	奈良時代	奈良時代	奈良時代	奈良時代	奈良時代	奈良時代	室町時代
強熱減量(LOI)	0.75	0.96	1.29	6.66	13.10	10.66	7.39	5.54
SiO_2	69.75	66.97	67.79	55.01	51.61	57.88	63.75	61.32
Al_2O_3	19.51	23.48	21.33	21.82	18.80	17.75	20.27	20.09
Fe_2O_3	4.10	3.55	4.09	8.23	9.30	5.14	3.25	6.74
TiO_2	0.76	1.12	0.95	1.14	1.01	0.71	0.91	0.86
MnO	0.02	0.02	0.02	0.07	0.12	0.05	0.02	0.05
CaO	0.22	0.38	0.34	1.04	0.94	0.64	0.28	1.11
MgO	0.80	0.82	0.64	1.04	0.59	0.30	0.25	0.66
Na_2O	1.17	0.50	0.67	1.49	1.20	0.73	0.62	0.94
K_2O	2.50	1.60	2.45	1.33	1.17	1.78	1.97	1.93
P_2O_5	0.03	0.02	0.08	2.00	1.70	3.62	1.39	1.01
Cr_2O_3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
ZrO_2	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02
合計	99.64	99.46	99.69	99.87	99.58	99.31	100.14	100.28

(1) 神野恵・村田泰輔・金田明大「須恵器の「墨ぼかし」は「炭ぼかし」」『奈良文化財研究所紀要 2020』、2020 年。

(2) 奈良市尼辻北町の北中正純氏にご協力いただいた。

周防鋳銭司跡出土資料の自然科学的調査結果

Scientific analyses on relics excavated from Suo-juzenji ruins

◯齋藤努（国立歴史民俗博物館）、青島啓（山口市教委）、齊藤大輔、森福洋二、永嶌真理子、今岡照喜、田中晋作（山口大学）

◯SAITO Tsutomu (Nat. Mus. Jpn. Hist.), AOSHIMA Kei (Yamaguchi city bd. educ.), SAITO Daisuke, MORIFUKU Yoji, NAGASHIMA Mariko, IMAOKA Teruyoshi, TANAKA Shinsaku (Yamaguchi Univ.)

1. はじめに

山口県の史跡周防鋳銭司跡は、平安時代の 820 年代から 9 世紀中頃までにかけて、皇朝十二銭のうち、富寿神宝から乾元大宝までの８銭種を鋳造したと考えられる。1909 年に水田下から鞴羽口がみつかり、1966 年に一部の発掘調査が行われた。1971-1972 年にかけて行われた遺構の分布範囲確認調査では、鞴羽口、坩堝、銅銭、木簡、土器などが発見された。これを受け、1973 年には国の史跡に指定された。その後 2017 年から、山口市教育委員会と山口大学によって新たな発掘が行われ、5 枚の銭貨のほか、炉跡、鞴羽口、坩堝など、鋳造に関連する多数の資料が出土している。

本研究では、この銭貨の透過Ｘ線写真をご提供いただき、鞴羽口・坩堝に付着している熔融物、当該遺跡出土緑釉とともに鉛同位体比分析を行って、原料の産地を推定した。

2. 資料と分析法

史跡周防鋳銭司跡から出土した銭貨は（公財）元興寺文化財研究所においてＸ線ＣＴ撮影し、個別抽出した写真をご提供いただいた。そのほか、鞴羽口・坩堝（計６点）の付着熔融物、緑釉２点からサンプリングを行って鉛同位体比分析し、古代までさかのぼることができる山口県内鉱山の数値と比較して、原料の産地を推定した。鉛は、銭貨と緑釉は高周波加熱分離法で、付着熔融物はイオン抽出クロマトグラフィーレジンを使って単離し、マルチコレクタＩＣＰ質量分析装置で同位体比測定した。

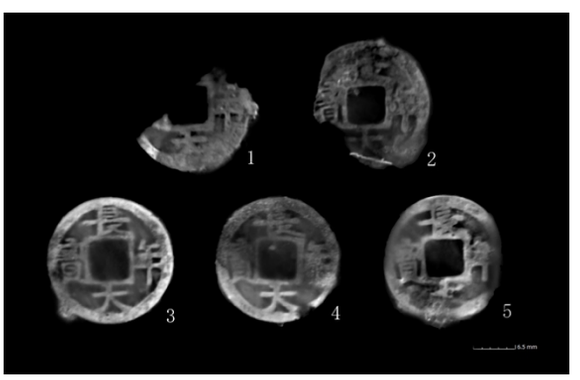


図１　出土した銭貨のＸ線ＣＴ画像
（公財）元興寺文化財研究所提供

3. 結果

出土した銭貨のＸ線ＣＴ画像を図１に示す。銭文から、いずれも長年大宝であることがわかった。

図２は山口県内の鉱山のうち、採掘時期が古代までさかのぼると考えられるものの鉛同位体比データである。製錬による同位体比の変動は起こらないとみなしてよいので、鉱石のほかに、製錬時のからみも含まれている。なお、長登鉱山は間に何度か休止期間をはさみながら、奈良時代前半から近代まで採掘が行われており、各時期の製錬滓も出土している。しかし、分析を行った結果、8 世紀～10 世紀後半の資料はいずれも比較的数値が近かったのに対し、15 世紀～江戸時代中期頃の資料は数値にばらつきが見られた。これは、異なる種類の鉱石も採掘されるようになったためではないかと推測される。本研究で対象とした資料は、いずれも周防鋳銭司と同時期のものであるので、前者のデータを使って比較を行った。

図３は、史跡周防鋳銭司跡から出土した鞴羽口・坩堝付着熔融物、長年大宝、緑釉の分析結果である。図２と比較すると、前二者は、いずれも長登鉱山の数値と重なっており、そこが原料の産地と推定される。一方、緑釉は、明らかにこれらとは離れた数値を示し、異なる産地の原料が使用されたと考えられる。齋藤（2001）は窯跡、消費地の三彩・緑釉について鉛同位体比分析を行い、数値が長登鉱山のものに近いと報告しているが、それとは合致しない結果になった。

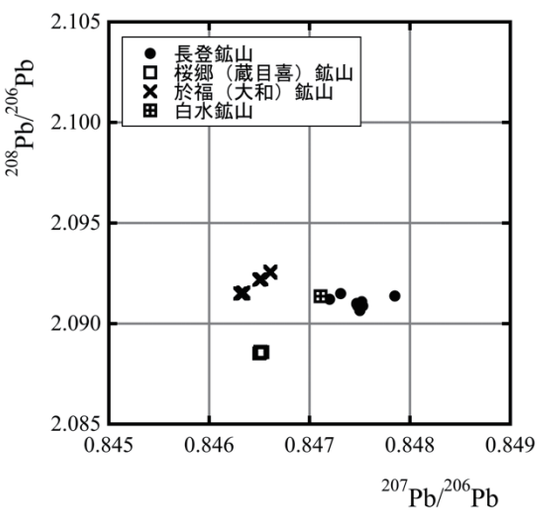


図２　古代までさかのぼると考えられる山口県内鉱山の鉛同位体比

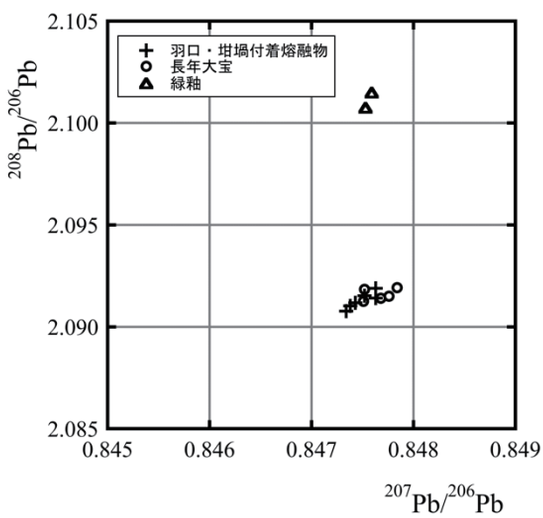


図３　史跡周防鋳銭司跡出土資料の鉛同位体比

参考文献）

齋藤努「三彩・緑釉陶器の鉛同位体比分析」『国立歴史民俗博物館研究報告』86、pp.199-208 (2001)

鉛同位体比による大友氏遺跡から出土した金属製品の産地推定

Provenance Study of Metal Products Excavated from Otomo Archaeological Site by Lead Isotope Ratio

○三浦麻衣子（帝京大学文化財研究所）、藤澤明（同左）、平尾良光（同左）、
後藤晃一（大分県立埋蔵文化財センター）、石川優生（大分県立歴史博物館）
○Maiko MIURA, Akira FUJISAWA, Yoshimitsu HIRAO (Research Institute of Cultual Properties, Teikyo University), Koichi GOTO (Oita Prefectural Center for Archaeological Research), Yuki ISHIKAWA (Oita Prefectural Museum of History)

1. はじめに

大分市の中心部である豊後府内では長きにわたり発掘調査が継続して行われ、大友氏遺跡の様相が明らかになりつつある。大友氏遺跡出土の金属製品に関して、キリスト教関連遺物と鉄砲玉については詳細な自然科学的分析がこれまでに行われている。化学組成による分類がなされ、鉛同位体比により外国産材料を利用して製品を製作していたことが明らかになっている。一方で、キリスト教関連遺物と鉄砲玉以外の資料については材料の流通の実態、製作の状況など不明な点も多い。本研究は大友氏遺跡出土金属製品のうち、キリスト教関連遺物と鉄砲玉以外を主な研究対象としており、大友宗麟が積極的に行った南蛮貿易の実態を把握することを目的として実施したものである。

2. 分析対象資料

豊後府内で出土した金属製品 38 点とトンボ玉 3 点の合計 41 点である。金属製品はキリスト教関連遺物や鉄砲玉を含まない主に生活関連資料である。具体的には分銅、銅鏡、杓子、鍵、錠前などの非鉄金属製品である。

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,15kV、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 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】トンボ玉は 3 点とも鉛ガラス製であることが判明した。金属製品は蛍光 X 線分析により得られた半定量値で 5mass%以上含まれる元素について資料を構成する主成分とみ

なし分類した。分類結果と内訳は次の通りである。①銅：7 点、②銅－錫－鉛：9 点、③銅－錫－鉛－ヒ素：1 点、④銅－亜鉛：3 点、⑤銅－亜鉛－鉛：1 点、⑥銅－ヒ素：1 点、⑦銅－ヒ素－鉛：1 点、⑧銅－鉛：8 点、⑨錫－鉛：2 点、⑩鉛：5 点。

銅－亜鉛、銅－亜鉛－鉛は真鍮（黄銅）であり、4 点確認できる。器種は「錠前」1 点、「鍵」1 点、「杓子」2 点である。従来、真鍮は江戸時代から国内生産が始まるとされていたが、近年は豊後府内などで生産に関わる坩堝も発見されている。本研究で真鍮製品が確認できたことは日本の真鍮の歴史を考える上で重要である。また、錫－鉛製の製品が 2 点確認でき、器種は「刀装具または石突」と「合子蓋」である。この錫－鉛製品は大友氏遺跡で今までに 2 点確認されており、2 点共にキリスト教関連遺物であった。本研究の対象となった資料は、現時点ではキリスト教関連資料とは断定できないが、今後の調査を通して検討していく必要がある。

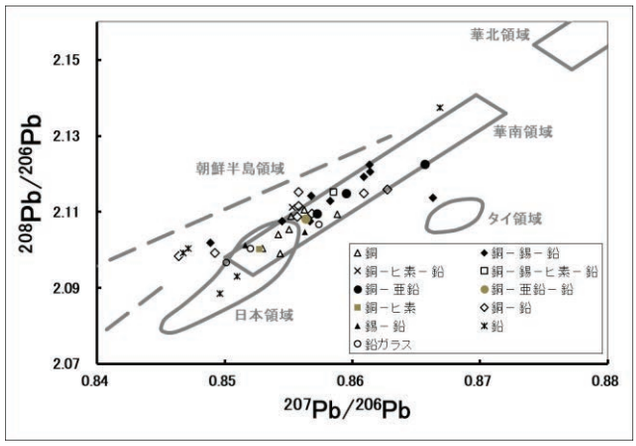


図 1　大友氏遺跡出土資料の鉛同位体比（A 式図）

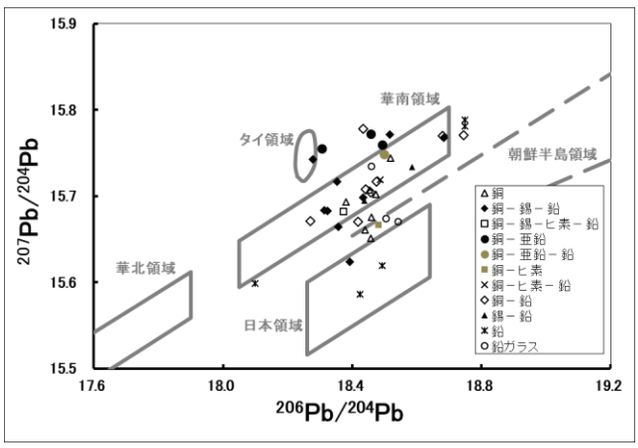


図 2　大友氏遺跡出土資料の鉛同位体比（B 式図）

【鉛同位体比分析】結果を図 1（A 式図）、図 2（B 式図）に示す。華南産 19 点、日本産 5 点、タイ産 1 点、産地不明 16 点と推定される。約半数を華南産が占め、日本産は少ない印象である。タイ産 1 点の器種は坩堝であり、製品ではない。タイ産材料はキリスト教関連遺物または鉄砲玉に利用される場合が多く、生活関連資料には使用された報告がないことから、本研究でも同様の傾向である。産地不明の 11 点には華南産と日本産の混合とみられる 5 点を含む。産地と化学組成の関係性を検討した結果、錫－鉛製品の資料は 2 点共に華南産と推定される。鉛を含んでいない銅製品と銅－ヒ素製品は華南産か日本産もしくはその混合である。他の合金については複数産地の鉛を混ぜて使用していたとみられ、明確な相関は認められない。鉛滓や鉛素材などの鉛製品は日本産 2 点、産地不明 3 点である。産地不明の内 2 点は結果が類似していることから、少なくても 3 箇所の産地の材料が利用されていたと想定できる。

5. おわりに

本研究では大友氏遺跡で出土する生活関連資料について調査を行い、大友宗麟が行った南蛮貿易の実態について検討した。鉛同位体比分析では日本産と推定される資料は少なく金属製品の生産に外国産材料を多用していた様子をつかめた。今後、遺物が出土した遺構の位置や年代など考古学的なデータと照らし合わせ、より詳細な検討を行っていきたい。

たたら製鉄に用いられた砂鉄の産地同定-磁鉄鉱形態及び化学分析-

Identification of iron sand used in tatara iron manufacturing - Morphology and chemical analysis of magnetite -

◯渡邉正巳（文化財調査コンサルタント株式会社）、奥中亮太（同左）、辻本彰（島根大学）
◯Masami WATANABE, Ryota OKUNAKA(Archaeological Research Consultant, Inc.), Akira TSUJIMOTO (Shimane University)

1. はじめに

江戸時代以前、鉄の生成はたたら場で行われており、たたら操業において山陰地方は、日本で最も盛んな地域の一つであった。過去に稼働していたたたら場で原料として使用された砂鉄の産地について、古文書などで明らかになった例がある(砥波鉏跡研究会編、2011；山陰たたら製鉄研究会、2017；ほか)。しかし、ある古文書から明らかにされるのは大きなたたら場での、特定の時代についてのみである。一方で、砂鉄が「鉄穴流し」による現地調達だけでなく、他所から持ち込まれたことも報告されている(島根県教育委員会、1968)。

そこで本研究では、砂鉄の産地を特定することを目的に、たたら場遺跡周辺の主要河川の砂鉄に含まれる磁鉄鉱について、形態分析・化学分析を行った。

以上のことより、たたら製鉄の原料である砂鉄の起源を明らかにすることによって、当時の物流の実体が明らかになることが期待される。

2. 分析方法

研究対象とした地点より、磁石を用いて磁性鉱物を採取する。磁鉄鉱を含む磁性鉱物は、鉄を多く含んでおり強い磁性を示す。色も黒を呈しているため、磁鉄鉱を実視で判別することは困難である。そこで、本研究では自形(正八面体)で磁性を示すものを「磁鉄鉱」として取り扱った。

(1) 磁鉄鉱の形態分析

超音波洗浄機を用い、磁性鉱物表面に付着している粘土分を分離する。分離した磁性鉱物を、公文・立石編(1998)の礫の形状分類に従い、自形・球状・円盤状・棒状・小判状の 5 つに分類する。さらに、自形(磁鉄鉱)について長さを測る。分類合計、自形の長さ測定、はそれぞれ 100 粒以上とする。

(2) 磁鉄鉱の化学分析

磁鉄鉱について、エネルギー分散型Ｘ線分析装置(Energy dispersive X-ray spectrometry, EDX)で、化学分析を行う。測定条件は加速電圧 15kV、試料電流 80～100uＡ、ライブタイム 100 秒である。1 試料につき 20 粒の測定を行う。化学分析の測定元素は、和田ほか(2007)、田村・鈴木(2001)、

田結庄(1986)などを参考に、ＭｇＯ、Ａｌ$_2$Ｏ$_3$、ＳｉＯ$_2$、ＳＯ$_3$、ＣａＯ、ＴｉＯ$_2$、Ｖ$_2$Ｏ$_3$、Ｃｒ$_2$Ｏ$_3$、ＭｎＯ、Ｆｅ$_2$Ｏ$_3$の 10 元素とする。測定値は、10 元素の合計を基にした、wt%で示す。

3. 結果・考察

磁鉄鉱の形態分析と化学分析双方において、地域別・流域別に有意な差が確認された。下図には、そのうち化学分析の結果図を示す。

化学分析の結果から、SiO_2 が豊富なグループ(グループ 1)、TiO_2 が豊富なグループ(グループ 2)、TiO_2 が豊富な上で SiO_2 が比較的多いグループ(グループ 3)、TiO_2 と SiO_2 が同程度含まれるグループ(グループ 4)の 4 つの傾向が認められた。

今後は試料数の増加をもって、データの確実性を上げていき、砂鉄の産地同定のデータ確立が行われることが期待される。

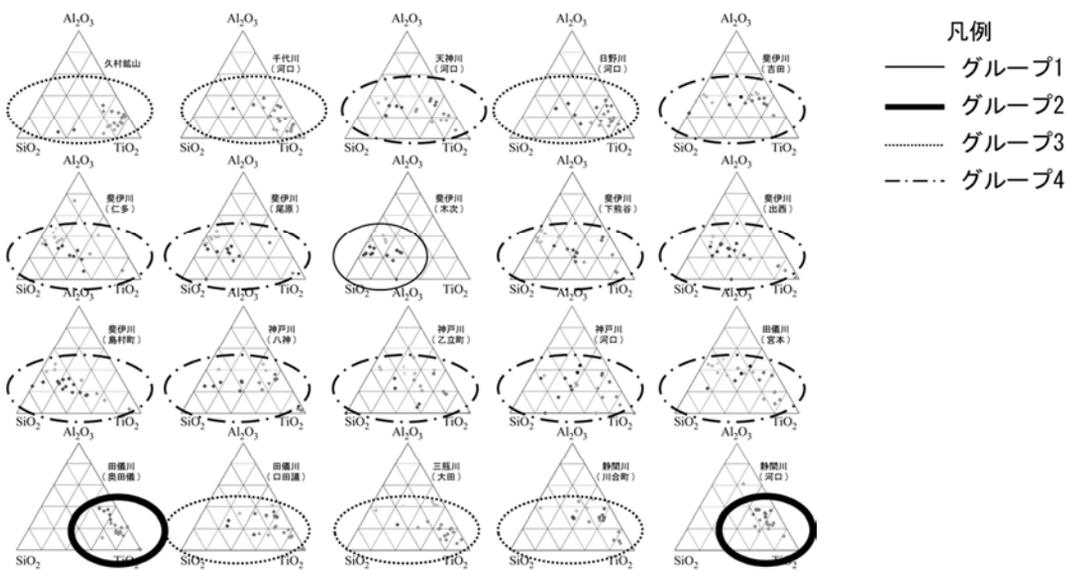


図　化学分析の結果図

5.　参考文献

公文富士夫・立石雅昭(1998)　新版採石物の研究法、地学団体研究会

山陰たたら製鉄研究会(2017)　砥波における砂鉄採取の研究、pp.70

島根県教育委員会(1968)　菅谷鑪、pp.197

田結庄良昭(1986)　兵庫県西北部、波賀累帯深成岩体の地質および岩石、岩石鉱物鉱床学会誌、81、p.32-45

田村糸子・鈴木毅彦(2001)　中期更新世広域テフラ Ng-1 と飛騨地域に分布する高山軽石層との対比、第四紀研究 40(4)、p.295-305

砥波鉚跡研究会編(2011)　砥波鉚の研究、鳥取県文化財保存協会、pp.81

和田恵治・石崎直人・佐藤鋭一(2007)　根釧台地、別海町中春別露頭で同定された大雪山・御鉢平カルデラ起源の広域火山灰、北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告第 41 号、p.55-65

先史土器の粘土産出地推定のための鉱物・粘土素地の Sr-Nd-Pb 安定同位体比分析

Sr-Nd-Pb stable isotope ratio analysis of mineral and clay of prehistoric pottery texture for their source identification

○石丸恵利子（広島大学）、申　基澈（総合地球環境学研究所）、
信里芳紀（香川県立ミュージアム）、冨井　眞（京都大学）

○Eriko ISHIMARU (Hiroshima University), Ki-Cheol SHIN (Research Institute for Humanity and Nature), Yoshiki NOBUSATO (The Kagawa Museum), Makoto TOMII (Kyoto University)

1. はじめに

本研究は、先史社会における交流関係の実態を明らかにするため、土器胎土に含まれる地質形成年代の情報を持つストロンチウム（Sr）等の元素の安定同位体比を用いて、先史土器の粘土産出地を検討する試みである。これまで、亀井遺跡（八尾市：弥生後期）と聖護院川原町遺跡（京都市：縄文後期）から出土した生駒西麓産土器（角閃石を多く含む胎土を特徴とする）と非生駒西麓産土器において Sr・ネオジミウム（Nd）・鉛（Pb）同位体比を測定した。その結果、両タイプの土器間で Sr 同位体比に違いが認められ、また両遺跡の生駒西麓産土器では違いを認めがたく同じグループに属することを指摘した。これらの結果を受けて、両遺跡周辺地域の主要岩石や粘土などの基礎となる基盤地質の同位体比を把握することに加え、角閃石の影響を検証することを今後の課題とした。今回は、製作地とされる生駒西麓地域（東大阪市）に所在し、土器胎土がほぼ生駒西麓産で占められることから同土器の製作遺跡と考えられ、生駒西麓産土器を他と区分する基準資料となることが期待される縄手遺跡（縄文後期）と西ノ辻遺跡（弥生中期・後期）の生駒西麓産土器等の Sr・Nd・Pb 同位体比測定を実施し、これまでに分析した資料と対比させた。その結果を報告する。

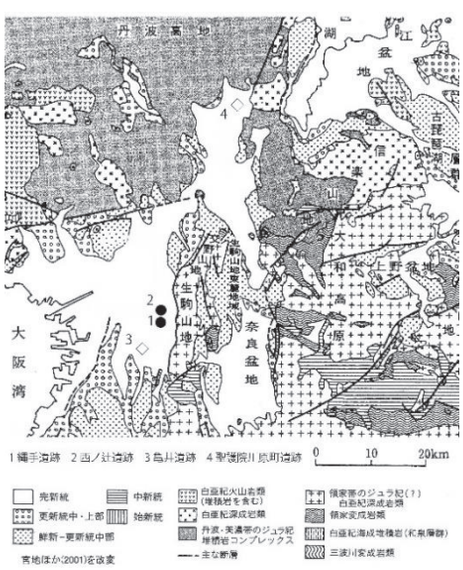


図１　対象遺跡の位置と周辺地質

2. 対象資料と分析方法

分析資料は、縄手遺跡の深鉢の口縁部や胴部 10 点と西ノ辻遺跡の甕や壺の口縁部や底部 18 点

を対象とし、資料より切断した破片を粉砕して 0.1g を分析に供した（バルク試料）。また、一部の資料においては、タングステンカーバイドの刃を装着したデンタルドリルを用いて角閃石の塊を採取し、また粘土素地のみの採取も行い同位体比を測定した。さらに、これまで分析してきた京都盆地東北部に所在する聖護院川原町遺跡近傍の白河街区遺跡の新たな資料から採取した粘土素地、遺跡近くのボーリングコア試料の粘土質、比叡山西南麓地域にて採取した花崗岩についても比較資料として同位体比の測定を行った。

前処理・測定は、石丸ほか（2019）に従い総合地球環境学研究所で行った。Pb については Sr を分離した後に陰イオン交換樹脂と HBr 溶液を用いて分離し、産総研の NMIJ CRM3681-a を用いて分析値を補正した。また、角閃石塊については、事前に 6N 塩酸で表面を洗浄した後に同様の前処理を進めた。

図 2　縄手遺跡出土資料

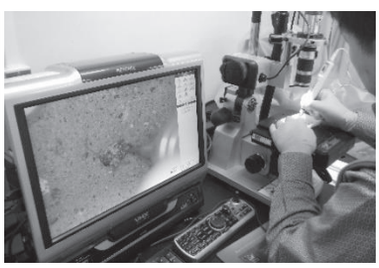


図 3　角閃石サンプリング状況

図 4　粘土素地サンプリング状況

3. 結果と展望

分析の結果、縄手遺跡の角閃石と粘土素地の同位体比の値は、同一個体においても両者間に差が生じ、しかも角閃石の値にはばらつきも認められた。一方で、縄手遺跡のバルク試料は同位体比がまとまった値を示し、既知の生駒斑レイ岩の Sr-Nd 同位体比の範囲内に収まる結果が得られた。このバルク試料の値を亀井遺跡と聖護院川原町遺跡の生駒西麓産土器の値と比較すると、縄手遺跡の試料は両遺跡の同位体比よりもまとまりが良いことが明らかとなった。また、比叡山麓の花崗岩と聖護院川原町遺跡近傍の吉田本町のボーリングコア中の細粒破砕物の同位体比の値は、およそ生駒斑レイ岩の値や聖護院川原町遺跡の生駒西麓産土器の値とは異なったが、一部の花崗岩には生駒斑レイ岩に近い値を示すものも認められた。

既知の生駒斑レイ岩や花崗岩の同位体比と、これまで分析を行った生駒西麓産の土器胎土（亀井遺跡、縄手遺跡等）測定値の比較においては、両者は類似しつつも後者の方がまとまりが良い。人工物としての土器の含有鉱物の比較検討においては、土器胎土全体（バルク）の値に含有鉱物のそれがどの程度の影響を与えたのか等について今後検討する必要がある。

参考文献：石丸恵利子・申基澈・信里芳紀・冨井眞 2019「Sr-Nd-Pb 安定同位体分析による先史土器の粘土産出地推定の試み」日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 JP18K18527 の助成を受けて実施した成果の一部である。分析資料の提供と結果の公表については、東大阪市教育委員会および京都大学大学院文学研究科附属文化遺産学・人文知連携センターの協力・許可を得て行った。記して感謝いたします。

イオウ同位体比分析による列島産アスファルトの原産地推定

Identification of the sources of bitumen using sulfur isotope ratio in Japan

○上條信彦（弘前大学）、高橋和也（理化学研究所）、南武志（近畿大学）
○Nobuhiko KAMIJO（Hirosaki Univ.) , Kazuya TAKAHASHI （RIKEN）,
Takeshi MINAMI（Kindai Univ.),

1. 分析の目的

アスファルトは、「原油中の軽質分及び潤滑油留分を取り除いた残油で、黒色粘着性の常温で半固体状の物質」と定義されている（石油学会 2005）。石油鉱床地帯は北海道稚内から石狩低地帯、渡島半島南部を経て本州の青森から新潟県域までの日本海沿岸に分布する。アスファルトは高い粘性と撥水性を有し熱を加えると容易に融解する性質を持つため、縄文時代以降、接着材として利用されてきた。出土アスファルトは太平洋沿岸域などの鉱床地帯から 100㎞ 以上離れた遺跡からも数多くみられ、広域な交易活動の証拠となっている。こうした物質の流通過程を知ることは集団どうしの交流関係を知るうえでも重要である。

考古資料から流通を明らかにするためには製作地（原産地）と消費地との関連の解明が不可欠であり、アスファルトにおいても数々の原産地推定法が検討されてきた。さらに、考古資料でも秋田県堀之内遺跡など油田近くの遺跡で原油を気化させてアスファルトを作り出している事例が見つかり、原産地が複数ある可能性が高くなった。

イオウは原油中において炭素、水素に次いで多く含まれその含有量は産地によって大きく異なる。それは原油の根源岩の質（堆積環境）の違いを反映するためである。硫黄分は水触によって $\delta^{34}S$ が重くなる一方、原油の熟成度が高くなると軽くなる傾向がある。原油のイオウ同位体組成は 1950 年代末ごろから測定され始め、日本においては加藤・梶原ら（1997）がこれに注目し、油田地区ごとの $\delta^{34}S$ の違いを見出した。

そこで、発表者らは出土アスファルトの産地推定において、より有効な分析の方法としてイオウ同位体に注目した。これまで秋田県豊川油田と新潟県新津油田、北海道釜谷油田における違いを明らかにした（上條・南・高橋 2016）。さらに、出土アスファルトのイオウ同位体の違いも見出し，本分析の有効性を示した（上條・南・高橋 2019）。

このようななか、本発表の目的は 2 つある。ひとつは、朱でも検証されつつあるイオウ同位体比の微量分析法の開発、もう一つは、上條ほか（2016）以降、増加した全国の原油標本を用いた更なる本分析法の検証と精緻化である。その際、出土アスファルトへの比較可能性を探るために液体と固体という状態間の差の有無も検討する。

2. 分析対象と分析方法

ロシアサハリン州から新潟県の 34 油田 53 試料を対象とした。そのうち液体状は 12 試料、固

体状（アスファルト）は41試料である。固体状は発表者らが液体状から精製したもの（200℃で固体状になるまで加熱）と、標本採取時から固体状のもの（例えば、山越・石狩・新津）がある。分析方法は、酸素（高純度）共存下で燃焼させ、酸化反応管（酸化タングステン）と還元管（純銅）で、硫黄成分を二酸化硫黄として調整し、精製カラムで分離しIsoPrime100へ導き同位体分析を行った。朱の産地推定で用いられている方法を応用し(Minami T.ほか2005、河野ほか2014)、微量分析を実現した。

3. 結果及び考察

イオウ同位体比（$\delta^{34}S$）は標準物質の$^{34}S/^{32}S$比に対し^{34}Sが多いときプラスのδ値が得られ、^{32}Sが多いときマイナスのδ値が得られる。今回測定した53試料は-17.99‰～+11.65‰の幅広いδ値が得られ、A（+11.0～+9.0‰）、B（+8.5～+7.0‰）、C（+7.0～+4.0‰）、D（+4.0～+2.0‰）、E（+2.0～0‰）、F（-0.5～-17.0‰）の6つのグループに分けられた（$p<0.05$）。各グループの地域をみると、Aはサハリン・新潟、Bはサハリン・新潟、Cはサハリン・新潟・秋田、Dは北海道・山形・新潟、Eは北海道・秋田・山形、Fは北海道、青森・秋田の油田である。全体的にはサハリンと新潟ではδ値が重く（プラス側にシフト）、北海道・青森・秋田では軽い（マイナス側にシフト）という地理的傾斜が見出せる。詳しくみると、北海道では道北と道南、秋田では県南と男鹿半島・県北でそれぞれ2つのまとまりが見いだせる。また新潟では黒川・平木田など下越および別所・黒井など上越と、新津・西山など中越で同じく2つのまとまりがある。このような地域的なまとまりは、原油の根源岩の質（堆積環境）の違いを反映するという加藤・梶原ら（1997）の結果と整合する。例えば、新潟は阿賀沖から見附油田へと重くなる傾向とされるが（加藤・梶原ほか1997)、本結果でも阿賀（グループC：+5.88‰)、見附（グループB：+7.88‰）という違いが認められる。また性状の差をみると、10油田中5油田はグループ内の変化にとどまり、そのほかは1グループ分軽くなる傾向がみられた。

このように本発表で用いた微量分析法は、これまでの分析結果とも相違なく本分析法の有効性を示すと考えられる。

謝辞

分析に際しては下記の機関、個人より試料提供のご協力を賜った。記して感謝申し上げる。東京大学総合研究博物館、産業技術総合研究所地質調査総合センター地質標本館、男鹿市教育委員会、木古内町教育委員会、八雲町教育委員会、氏家氏博、佐々木榮一、金子信行、角井朝昭、豊遙秋、横山英介

なお、本研究は、JSPS科研費の助成により実施したものである（課題番号19K21644)。

参考文献

加藤進・梶原良道・中野孝教 1997「東北日本油田地域における原油の硫黄分と硫黄同位体組成」『石油技術協会誌』62-2，pp.142-150

河野摩耶・南　武志・今津節生 2014「九州北部地方における朱の獲得とその利用 : 硫黄同位体比分析による朱の産地推定」『古代』132，pp.27-38．早稲田大学考古学会

石油学会 2005「アスファルト」石油学会編集『石油辞典』p.74.丸善

Minami T., Imai A, Bunno M., Kawakami K., Imazu S., 2005.“Using sulfur isotopes to determine the sources of vermillion in ancient burial mounds in Japan”.*Geoarchaeology* 20，pp.79-84

上條信彦・南　武志・高橋和也 2016「イオウ同位体比分析によるアスファルトの原産地推定の試み」『第33回日本文化財科学会大会研究発表要旨集』pp.238・239

上條信彦・南　武志・高橋和也 2019「イオウ同位体比分析による出土アスファルトの原産地推定」『第36回日本文化財科学会大会研究発表要旨集』pp.134・135

東日本を中心とした遺跡出土琥珀の産地推定

Provenance study of amber excavated from the sites around east Japan

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

1. はじめに

これまで遺跡出土琥珀について、自然科学的な分析による九州・関西・東北・北海道と地域ごとの産地推定結果を報告した。分析は全反射赤外分光分析（以下 ATR-FTIR）と熱分解-ガスクロマト/質量分析（以下 Pyro-GC/MS）を中心に標準試料と比較することにより実施した。今回、これまでほとんど報告の無かった東日本（特に関東周辺）における遺跡出土琥珀についても同様に産地推定を実施し、その結果も併せて日本全国の出土琥珀の産地推定の結果を整理する試みを行った。これらの結果をもとに出土琥珀の国内での流通について検討し、若干の考察を行った。

2. 資料

出土琥珀は関東の古墳時代の遺跡（静岡県袋井市団子塚古墳、千葉県茂原市山崎横穴群 18 号横穴、千葉県成田市公津原古墳群天王船塚８号墳、茨城県日立市千福寺下 32 号墳）から出土した 4 点について分析を行った。また、産地推定を行うための標準試料としてはこれまでも比較対象として使用した久慈市、いわき市、銚子市産琥珀を中心に分析を行った。特に関東に所在する銚子市産の琥珀については地域ごとの違いも比較した。

3. 分析方法および条件

分析は ATR-FTIR と Pyro-GC/MS を実施した。ATR-FTIR は装置として(株)パーキンエルマー製 Spectrum Two を使用し、$LiTaO_3$ 検出器を用い、分解能 $4cm^{-1}$ で測定した。Pyro-GC/MS は熱分解装置としてフロンティアラボ製 PY-3030D 型パイロライザー、GC/MS は日本電子(株)製 JMS-Q1050GC 型 GC-MS を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。

4. 結果および考察

出土琥珀の ATR-FTIR の結果を図 1 に示した。ATR-FTIR では４点とも指紋領域における 1000 cm^{-1} 付近のスペクトルの吸収位置は一致したが、強度が異なるものがあった。特に山崎横穴群出土琥珀は劣化の影響によって 1000 cm^{-1} 付近の吸収強度が強くなり本来の琥珀に由来する吸収が検出されなかったため、比較が困難となった（図 1）。一方、Pyro-GC/MS では 550℃におけるト

ータルイオンクロマトグラム（TIC）で 4 点とも比較的よく似たパターンを示したが、その中でも団子塚古墳・千福寺下 32 号墳と山崎横穴群・公津原古墳はそれぞれが非常によく似たパターンを示した（図 2)。さらに、出土琥珀、銚子市産琥珀、いわき市・久慈市産琥珀の 550℃における m/z=176 のマスクロマトグラムのパターンを比較した結果（図 3)、出土琥珀 4 点は銚子市ではなく、いわき市、久慈市とよく似たスペクトルのパターンを示すことがわかった。これらのことを考慮すると、今回分析した古墳時代の関東周辺の遺跡出土琥珀は久慈市あるいはいわき市産の可能性が高く、これまで実施した九州・近畿・東北地方の出土琥珀と同様の産地である可能性が高い結果となった。

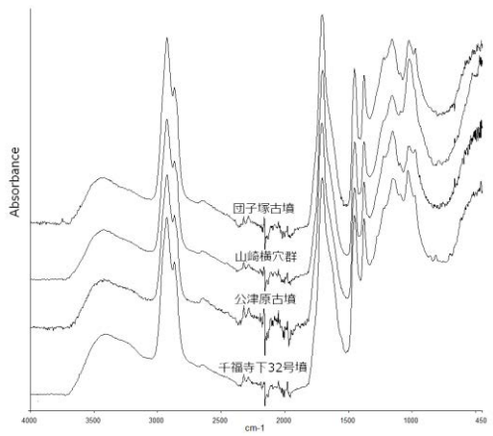


図 1. 出土琥珀の赤外吸収スペクトル

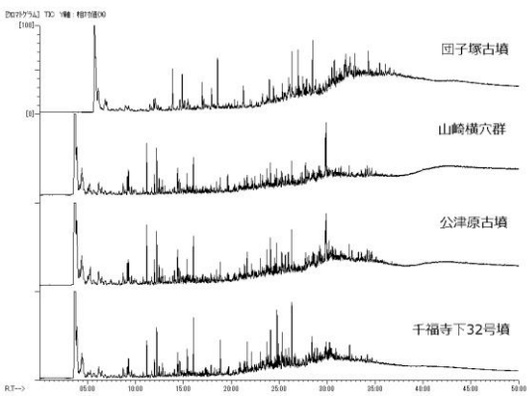


図 2. 出土琥珀の TIC　（550℃）

（団子塚古墳は他の 3 点とリテンションタイムが異なる）

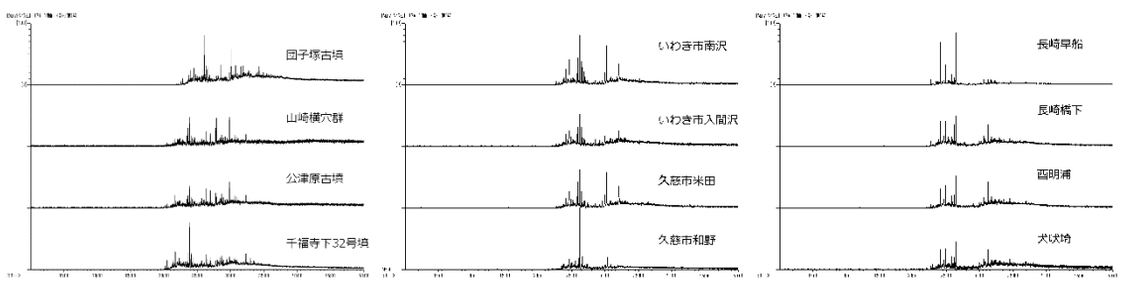


図 3. マスクロマトグラム（m/z=176）

左：出土琥珀　中：いわき市、久慈市産琥珀　右：銚子市産琥珀

5. さいごに

今回、新たに古墳時代の関東地域周辺から出土した琥珀をこれまでと同様に分析した結果、国内で主産地として知られている久慈市、いわき市産琥珀の分析結果と近似した結果となった。特に主産地の銚子市が所在する千葉県内の遺跡出土琥珀についても、他の地域と同様に久慈市およびいわき市産の可能性が高くなったことは、古墳時代における琥珀の供給拠点が東北に集中していた可能性を示唆し、興味深い。ただ、現時点で発見されていない産地の可能性、出土琥珀の劣化による影響などについても今後さらに検討が必要であると思われる。

文書館の臭気原因物質について

Odor-causing substances in the archives

◯西田典由（愛媛県紙産業技術センター）、大橋俊平（同左）、渡辺智恵美（別府大学）
◯Noriyoshi NISHIDA, Syunpei OHASHI(Ehime Institute of Paper Technology center),
Chiemi WATANABE (Beppu University)

1. はじめに

文書館等などの書庫に入ると、独特の臭気を体感することが多い。施設によっては、臭気は強烈なものとなり、作業者が長時間作業を行うことが困難になることすらある。臭気原因物質は、青焼き（青図）に含まれる染料と燻蒸剤が反応して発生するチオール類とされてきた[1)]が、詳しい調査はなされていなかった。そこで、臭気原因物質について詳しく分析するとともに、臭気を除去するシートの開発を行ったので報告する。

2. 臭気分析法

九州・四国・近畿、それぞれ１つ（合計３つ）の文書館の書庫で、固相抽出-ガスクロマトグラフ/質量分析装置（SPME-GC/MS）により臭気分析を行った。なお、これら３つの文書館では、いずれも独特の臭気が体感された。また、九州・近畿の文書館の書庫については、検知管による予備的調査でアルデヒド類の存在が示唆されたため、2,4-ジニトロフェニルヒドラジン誘導体化高速液体クロマトグラフ（DNPH-HPLC）により臭気分析を行った。SPME 法では、書庫内で SPME ファイバーを 30 分露出させた後、密封して持ち帰り試験に供した。DNPH 法では、定量ポンプを用いて DNPH カートリッジに大気を 10L ないし 25L 通気してアルデヒドの DNPH 誘導体化を行った後、密封して持ち帰り試験に供した。詳細な分析法を表１に示す。

表１　SPME-GC/MS および DNPH-HPLC の分析条件

GC/MS (Agilent 7890B/ Jeol JMS-Q1500)		**HPLC (Shimadzu Nexera X2)**	
SPME	Supelco Carboxen/PDMS	DNPH	Sep-Pak DNPH-Silica Cartridges (700mg)
Column	DB-5ms, 30m, 0.25mm ID, 0.25μm	Column	Phenomenex Gemini 5μm C18 150×4.60mm
Injector	250℃, splitless	Solvent	H2O/MeCN/THF=65/30/5
Carrier gas	He, 1ml/min	Oven	40℃
Mass range	m/z=33-350	Inject	10μL
Filament	70eV, 20μA	Detector	PDA(272nm)
Detector	+300V		

3. 分析結果

3-1. SPME-GC/MS

検出された臭気原因物質を表２に示す。文書館特有の臭気原因物質とされてきたチオール類は全く検出されなかった。一方、ジメチルジスルフィド・ジメチルトリスルフィドなどのポリスルフィド類が検出された。チオール類は大気中で酸化されてポリスルフィド類に変化することが知られている。よって、文書館特有の臭気物質は、青図から発生したチオール類が大気中

で酸化を受けて発生したポリスルフィド類であると推定された。ポリスルフィドは、ニンニクや玉ねぎなどのネギ属植物や、老酒や沢庵漬けなどの発酵食品の臭気原因物質として知られている。臭気閾値は低く（ジメチルトリスルフィドで大気中濃度 0.17μg/L）、強烈な悪臭原因物質である[2)]。なお、現段階ではポリスルフィド類の定量は実施していない。今後の課題である。

表２　SPME-GC/MS 分析結果

		ジメチルジスルフィド	ジメチルトリスルフィ	1,2,3-トリチオラン	酢酸	フェノール	安息香酸	p-ジクロロベンゼン
A	書庫１	○	○	○	○	○		
	書庫２	○	○	○	○	○		
B	書庫１	○	○	○	○	○		
	書庫２	○	○	○	○	○		○
C	書庫	○	○	○	○	○	○	

3-2. DNPH-HPLC

定量結果を図１に示す。建築基準法では、ホルムアルデヒド濃度 100μg/m^3・アセトアルデヒド濃度 48μg/m^3 が指針値として定められている（プロピオンアルデヒドについては言及なし）。ほぼすべての測定箇所で指針値を超過していた。特にアセトアルデヒドは指針値の 10 倍に達する例があった(*)。これは作業者の健康管理の面でも、収蔵品の保管環境の面でも、問題になりえる状況と言える。ホルムアルデヒド発生源としては、建材に利用されている接着剤などが考えられる。一方、アセトアルデヒドは木材から発生することが知られており対応が難しいと思われる。

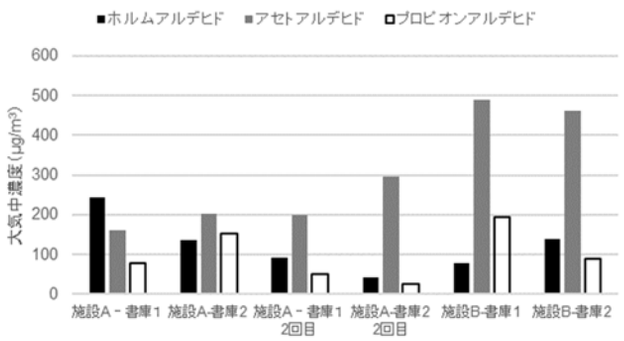


図１　アルデヒド濃度

(*)ただし、アセトアルデヒド指針値は機関により大きな幅がある。例えば国際化学物質安全性計画における指針値は 300μg/m^3 であり[3)]、この場合、施設 A は指針値以下である。

４．臭気除去材の開発

臭気原因物質がポリスルフィド類であることが確認されたため、ポリスルフィド類を除去する除去材の開発を行っている。粘土鉱物に銀や銅などの金属イオンを担持することで、ジメチルジスルフィドを効率的に除去できることが確認された。現在、これをシート化した除去シートの試作を行っている。

謝辞

本研究を行うにあたり、各地の文書館の皆様に多大なご協力を頂きました。この場をお借りして御礼申し上げます。本研究は、科研費基盤研究（基盤（C）No.18K01116）事業（2018-2020）により実施しました。

1) 和歌山県立文書館紀要第 5 号 pp91　　2)生物工学会誌 93(3) 116-121, 2015

3) https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000002kunp-att/2r9852000002kusc.pdf

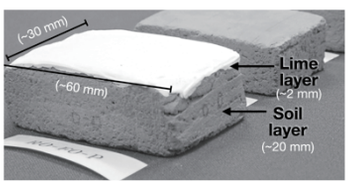
AE法による壁画の劣化予知の基礎研究：温度変化に応じて発生するAE信号の特徴解析

Basic study on prediction of deterioration of mural painting by AE method: feature analysis of AE signal generated in response to temperature change

◯周 怡杉（筑波大学）、松井 敏也（同左）、劉 成（西北大学）、王 飛（義県文物局）、孫 剣（同左）

◯Yishan ZHOU, Toshiya Matsui (University of Tsukuba), Cheng LIU (Northwestern University), Fei Wang, Jian SUN, (Cultural Heritage Bureau of Yixian County)

1. Introduction



The Non-destructive Acoustic Emission (AE) monitoring technology is becoming increasingly attractive in the field of heritage conservation.The AE signal is energy in the form of transient elastic waves released by the brittle materials during the deformation and crack propagation for sudden redistribution of stress. Microchanges in material structures can be identified and recorded through application of appropriate equipment, AE sensors positioned on the surface of the subjects and measuring protocols[1)]. Since the 1980s, studies have been conducted on the use of AE monitoring technology for the diagnosis o internal cracks and damage, monitoring long-term changes to cultural heritages[2)].

Mural painting are mostly preserved in the outdoors environment, and there is a substantial needs ir ontological monitoring of mural painting, while less attention is paid to the field of AE applied research. A model experiment of AE monitoring for mural painting samples was performed under conditionec temperature change. This report is aimed to present the features of AE signals obtained in this experiment

2. Materials and Methods

Mural painting are usually a multi-layered structure consisting of soil layer, lime layer, and pigmen layer. The soil layer is usually made of soil mixed with plant fibers. The addition of fibers is thought tc limit the volumetric shrinkage and deformation of the soil layer and thus increase its strength. In this study blank soil without fibers and fiber-added soil were used to make 2 types of samples (Blank-soil sample anc Fiber-soil sample), AE monitoring was performed to compare the features of their respective AE signals under the same temperature variation. This study referred to the mural painting and environmenta monitoring data of the Main Hall of the Fengguo Monastery (Yixian, Liaoning, China) to prepare mura ition.

a ratio of 4:1 then mix with distilled water in a of 10:3 for making soil layer. The soil layer was at 20℃, RH(relative humidity) 20—40%. The m carbonate powder and Nikawa solution %) were mixed in a ratio of 5:2 for making lime over the dried soil layer.

The Blank-soil sample was prepared with the ure of ~20 mm soil layer covered by ~1mm lime

The Fiber-soil sample was prepared with the ure of ~15 mm soil layer with 3% wheat-straw content, covered by ~5 mm soil layer with 1% fiber content, covered by ~1 mm lime layer most (Fig.1).

The exposure was conditioned by a constan te cabinet (ESPEC CORP. SH-221). According 2019 environmental monitoring data in the Mair of the Fengguo Monastery, the maximum daily erature variance occurred in mid-November, as

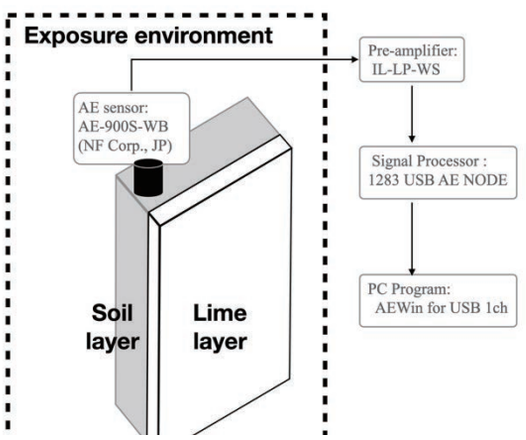


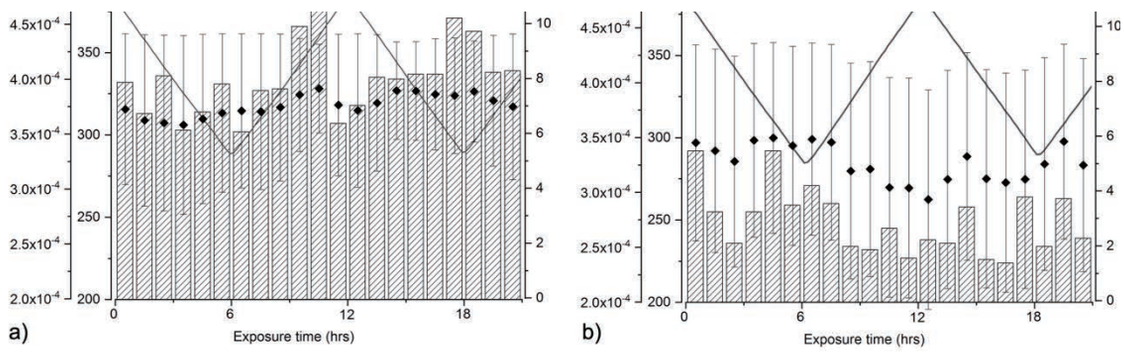
Fig. 2 The scheme of the AE monitoring system.

10.83—4.89℃ and the average RH was 43% for the month. In this experiment, the exposure environmen conditions were set as a recycling gradient change between 11 to 5°C in 6 hrs, with constant humidity ~RH 40%. The sample was set vertically, and the AE sensor was positioned on the top using a hot-melt adhesive

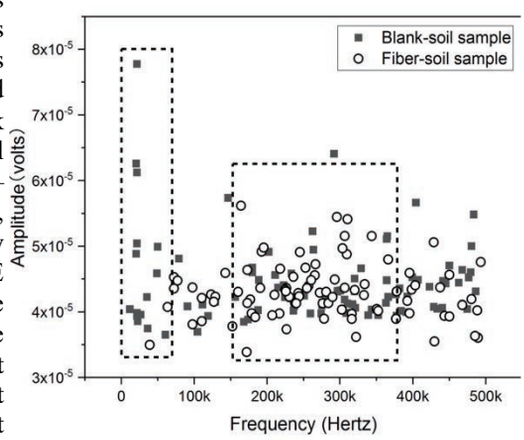
The USB AE Node system (MISTRAS Group, Inc., US) were applied for AE monitoring(threshol value of 23 dB, high-pass filter of 20kHz, low-pass filter of 1mHz, sampling interval of 1 μs) (Fig.2).

In this study, the AE signals of the two samples collected within 21hrs were analyzed and compare using the following parameters: (1) cumulative counts and average RMS (root mean square) per hr; (2) 1(hits collected at and 1 hr before/after of the maximum and minimum temperature points were selecte respectively for Fast Fourier Transform (FFT) analysis (OriginLab 2019b), the most significant three peal points in the FFT results of each hit were recorded.

3. Results and Discussion



The cumulative counts/hr and average RMS/hr of the Blank-soil sample are more significant than th Fiber-soil sample, and higher values of these two parameters occur mainly around the minimum point an increasing phase of the temperature. In contrast, the higher values of these two parameters of the Fiber-soi sample are mostly occur around minimum point of temp maximum point of temperature(Fig.3). FFT analysis show frequency range of AE signals in this study as 20k—500k Hertz. Fig. 4 present that the some AE signals of the Blank-soil sample have higher amplitude and mostly pronounced in the lower frequencies(~ 20k Hertz). On the other hand, AE signals of the Fiber-soil sample are more concentrated in the range of 150k—350k Hertz. Number of counts(quantify an AE activity), RMS (energy exist in the AE signal), amplitude(intensity of source event) indicating that more significant AE activities with higher energy occurred in the sample without fibers. Tensile or compressive stresses in the structure occurred from the mismatch of different adjacent materials in the response to changes in ambient temperature, which may the cause of AE activities. It could be speculated that response to temperature change of soil layer with fibers may be more limited, especially during the temperature increasing phase.



Acknowledgement:
This study was funded by the Japan Society for the Promotion of Science(19K23100), and we would like to express our gratitude for the valuable advice received from Akematsu Yoshiaki(Tsukuba University of Technology), Yoko Taniguchi (University of Tsukuba),Koji YamamotoNippon Physical Acoustics.

Reference:
1) 大津政康. (2005). アコースティック・エミッションの特性と理論（第2版）. 森北出版.
2) Łukomski, M., Bratasz, Ł., Hagan, E., Strojecki, M., & Beltran, V. L. (2020). Acoustic Emission Monitoring for Cultural Heritage. The Getty Conservation Institute.

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

Construction experiment for surface cleaning of wall painting at "Casa di Apollo" in the archaeological site of Pompei

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

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

１．はじめに

カンパーニア州ナポリ県（イタリア）のポンペイ遺跡は、1748 年に発掘調査がはじまって以降、壁面を彩る数々の壁画が発見されてきた。これまで様々な修復処置が施されてきた歴史をもつが、今日、その過程において使用された修復材料が原因となり深刻な傷みが発生している。その中でも特筆すべきは彩色層の補強・保護を目的に塗布された補強剤であり、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に取り組んできた。(2019 年、文化財保存修復学会　第 41 回大会研究発表要旨集参照）通常、広い面積に描かれる壁画では、サンプルや特定範囲において一定の効果が得られる方法であっても、実用レベルに達しないケースが多い。本研究発表は、新たなクリーニング法の効果を実際の保存修復に導入しながら検証するとともに、保存修復倫理の枠組みに収まる介入方法であることを証明する。

２．クリーニング施工実験 (図 1)

２−１．除去対象となる主な物質

過去の修復時に彩色層の補強・保護等を目的に塗布された蜜蝋および合成樹脂。

２−２．昨年度までの研究について

昨年度に実施した各種溶剤を用いたクリーニング実験の結果から、以下のことが明らかとなった。

① 彩色層を傷めずに壁画表面の補強剤を除去する方法としては、各種溶剤をジェル媒体と混ぜ合わせ、除去対象物に反応させるパック法が効果的である。
② 揮発性の高い溶剤であっても、高い保水性を有するジェル媒体と組み合わせることで、壁画表面での反応を促すことが可能である。
③ 選択したジェル媒体の壁面への残留や彩色層の剥離を抑制するためには、和紙を 2 重に重ねて貼付することが効果的である。
④ 漆喰層を飽和状態にすることにより、溶解した蜜蝋および合成樹脂の漆喰内部への浸透を抑制する効果が得られる。

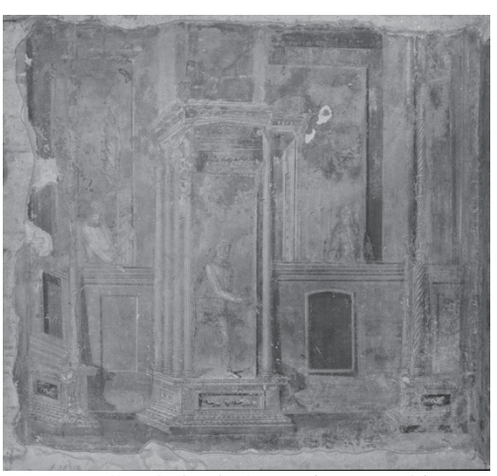


図１　施工実験対象壁画面（アポロの家）

２−３．クリーニングの手順

① 毛先の柔らかな刷毛を使い壁画表面に付着した埃を除去し、続いて脱イオン水を含ませた海綿スポンジによる事前クリーニングを行う。
② クリーニングを行う範囲に炭酸アンモニウム水溶液を用いて和紙を貼付。このとき和紙は 2 重に重ねる。
③ ジェル媒体（製品名：Nevek，C.T.S 社製，イタリア）に炭酸アンモニウム水溶液とニトロシ

ンナーの混合液を混ぜ合わせペースト状に練り合わせる。
④ 貼付した和紙の上に③のペーストを均等な厚さ（約 3〜4㎜）で塗布する。
⑤ 壁画表面の状態によって溶剤の反応状況は異なることから、貼付時間はパックの乾燥状態を観察しながら調節する。
⑥ パックを剥がしたら、③で調合した混合液を綿棒に染み込ませ、壁面の合成樹脂を除去する。この時、彩色層には過分な圧力をかけないように注意しながら、繰り返し丁寧に行う。(図 2)
⑦ 蜜蝋は高圧スチームを利用しながら溶解させ、綿花および海綿スポンジで拭いながら丁寧に処置する。(図 3)

図 2　クリーニングの途中経過

図 3　高圧スチームによる蜜蝋の除去

２－４．施工実験の結果

実用レベルの良好な結果を得ることができた。(図 4、図 5) また、保存修復倫理の観点から評価した場合にも、表面を覆っていた過去の補強材が取り除かれたことで各彩色の発色や素材感が蘇り、壁画全体に統一感をもたらした。以上のことから、制作当初のオリジナル性を尊重した保存修復結果と評価できる。

図 4　クリーニング前の状態

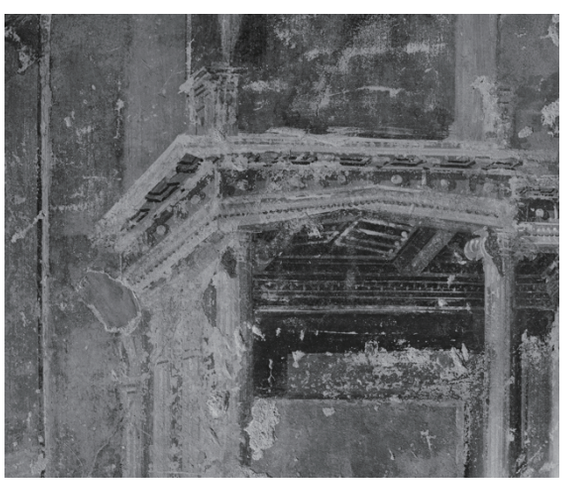


図 5　クリーニング後の状態

３．まとめ

今回の研究により、壁画の吸放湿性能の妨げとなっていた補強材の除去が可能となったことで、保存状態の改善や更なる保存修復処置の可能性が高まったといえる。例えば、アポロの家の壁画は、構造体の内部からもたらされる塩の析出時に彩色層下で結晶化が発生し、その膨張現象による破壊が進んでいた。今後はスムーズな吸放湿が可能となることで、こうした被害の軽減が期待できる。また、漆喰層内部に含浸させて行う補強処置も可能となることから、多層塗りの特徴をもつ当該遺跡の壁画において頻繁に発生している層間剥離に関しても、これまでアプローチの難しかった方法の導入が可能となるのではなかろうか。今後はこの補強処置に焦点を当て、更なる壁画保存修復技術の向上を目指した研究を継続していきたい。

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

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

Investigation of the Wall Paintings of Kitora Tumulus by X-ray Radiography

◯犬塚将英（東京文化財研究所）、早川典子（同左）、大場詩野子（同左）、早川泰弘（同左）、高妻洋成（奈良文化財研究所）

◯Masahide INUZUKA, Noriko HAYAKAWA, Shinoko OBA, Yasuhiro HAYAKAWA (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Yousei KOUZUMA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

キトラ古墳壁画は漆喰下地層の上に描かれており、各側壁の中央に描かれた四神、各側壁に三体ずつ描かれた獣頭人身の十二支、天井に描かれた天文図、日像、月像から構成される。十二支のうち、子・丑・寅・午・戌・亥の六体の像は存在を確認することができる。しかし、卯・未・酉に該当する箇所は漆喰ごと完全に失われている。残りの辰・巳・申に関しては、該当する箇所の表面が泥に覆われており、像が残存している可能性を残しているが、存在は確認できていない。これらの図像の存在を確認することは、美術史的・考古学的な意義が大きいことは言うまでもないが、壁画の修復方法の方針を検討する上でも極めて重要である。そこで発表者らは、壁画に接触しない調査手法としてＸ線透過撮影を選択し、泥に覆われた箇所における図像の有無の調査を実施した。本研究では、キトラ古墳壁画を模したテストピースを使った予備実験の結果、及びＸ線透過撮影による辰・巳・申の図像の有無に関する調査結果について報告する。

2. 予備実験

調査対象とする３つの壁画片の観察結果を鑑みて、以下のようにテストピースの作成を行った（図１（a））。厚さが 1 mm と 2 mm の 2 通りの漆喰の板（10 cm×10 cm）を作成した。漆喰の表面には 7 通りの濃度の水銀朱（金開堂社製）を帯状に彩色し、その上に厚さが 1 mm、2 mm、3 mm、4 mm の整形した 4 本の帯状の泥を水銀朱の帯に直行するように設置した。この時に使用した泥は、発掘調査時にキトラ古墳の石室周辺から採取された泥である。そして保管されている壁画片の現状を再現するために、レーヨン紙および和紙で表面と裏面の養生を行った。X 線透過画像の例を図 1（b）に示す。いずれの条件においても、1 番目と 2 番目に濃い顔料の線は泥の下でも白色の像として確認することができたが、3 番目に濃い顔料の線は泥の厚さが 4 mm になると認識が困難になった。これらの予備実験の結果を踏まえて[1)]、キトラ古墳壁画片の調査の時の X 線照射時間を 30 秒と設定し、X 線照射装置の管電圧を 25 kV、40 kV とした場合の X 線透過撮影を実施することにした（管電流は 3mA とした）。

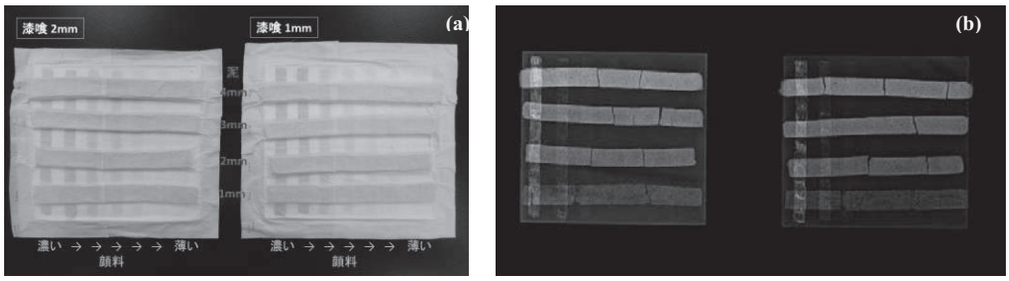


図 1 予備実験のために作成したテストピースの(a)可視画像と(b)X線透過画像の例

3. 調査結果

各壁画片について、それぞれ管電圧を 25 kV と 40 kV の 2 通りで X 線透過撮影を行ったが、ここでは辰像が残存している可能性のある壁画片（図 2（a））について、管電圧を 25 kV として得られた X 線透過画像を示す（図 2（b））。図 2（a）中の丸は、辰が描かれていると推測される箇所である。図 2（b）中の辰が描かれていると推測される箇所には、何らかの図像が描かれているように見える。ただし、何かが写っているように見える箇所は黒く写っている、すなわち X 線の透過率が高いので、物質量が少ないことを意味する。これはテストピースを用いた予備実験で得られた X 線透過画像（図 1（b））では、顔料が塗られている箇所が白く写っていたことと対照的な結果である。X線の透過率が高い（低い）ということは、その部分の密度（g/cm^3）と厚さ（cm）の積で表される面密度（g/cm^2）が小さい（大きい）ことを意味する。このような現象が起こる可能性として、彩色が塗られていない漆喰表面におけるカルサイトの再結晶化が挙げられる[2)]。キトラ古墳の石室内の相対湿度は長期間にわたってほぼ 100%に近い高湿度が保たれていたので、彩色が施されていない表面で水分に溶解した漆喰を構成するカルシウムと二酸化炭素によってカルサイトが再結晶化したことにより面密度が大きくなった、というのが考えられるメカニズムである。このような仮説の妥当性を評価するために、カルサイトの再結晶で X 線透過画像中の該当箇所が相対的に白くなるのかの検証が必要であることがわかった。

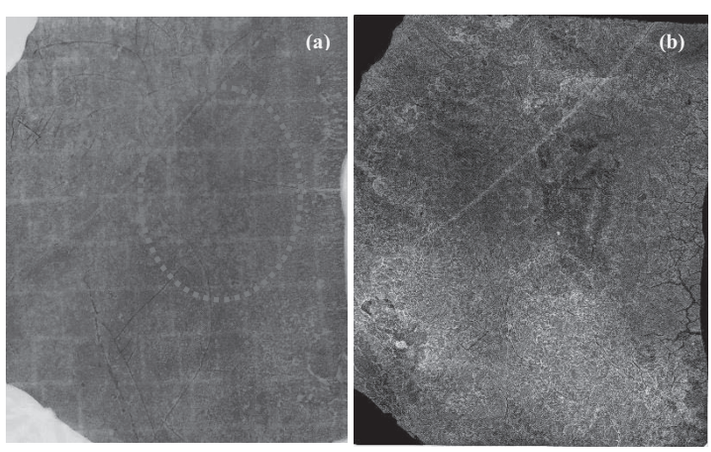


図 2 辰が残存している可能性のある(a)壁画片と
(b)X 線透過画像

参考文献

1）犬塚将英、早川典子、大場詩野子、早川泰弘、高妻洋成：X線透過撮影による泥に覆われたキトラ古墳壁画の調査、保存科学、59、103-114（2020）
2）高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会（第 12 回） 資料 2-3、文化庁（2009）

黄檗を用いた有機質文化財の劣化状態の指標化と劣化メカニズムに関する研究

Study on indexing of deterioration state of cultural organic materials and their deterioration mechanism using Amur cork tree

◯佐々木良子（嵯峨美術大学），　深江亮平（兵庫県立大学），佐々木健（京都工芸繊維大学）
◯Yoshiko SASAKI (Kyoto Saga University of Arts), Ryohei FUKAE (University of Hyogo),
Ken SASAKI (Kyoto Institute of Technology)

1. はじめに

文化財染織品には種々の染料が用いられ，その解析には一般に非破壊分析が求められる。しかしながら，破壊分析を用いると非破壊分析では得ることのできない多様な情報が得られる。例えば，ベルベリンを主成分とする黄色染料が用いられた染織品の場合，非破壊分析でベルベリン特有の可視分光スペクトル及び蛍光スペクトルにより，プロトベルベリン含有植物を用いた染色がなされたことが分かる。これを破壊分析に供することにより，植物種の特定，さらに黄檗の場合にはベルベリンに対するパルマチンとヤトロリジンの成分比により産地の特定ができることを明らかにしてきた[1)]。また，黄檗の主成分であるベルベリンを由来とする劣化生成物に着目し，染織品の経年や保存状況に由来する黄檗の劣化状況を数値化することを試みてきた[2)]。黄檗に含まれるベルベリンの蛍光性を利用して，非破壊的に蛍光寿命を測定し，ベルベリン分子の周辺環境を測定したところ，経年等で劣化した染織品に用いられたベルベリンの蛍光寿命 τ2 が短くなることをから，ベルベリンの劣化生成物の生成量と蛍光寿命が劣化の指標化に用いることができるのではないかと提案した[3)]

黄檗は布に対する染織だけでなく，黄檗経に代表されるように紙にも塗布されて用いられてきた[4)]。これまで可視光を用いた強制劣化試験を黄檗染絹及び黄檗染紙に対して行い，ベルベリンを用いた指標化についての評価を報告してきた。今回は熱を用いた強制劣化試験の結果を報告する。

2. 実験

高速液体クロマトグラフ（HPLC）分析[1,2)]は強制劣化させた試料の一部についてメタノールを用いてプルトベルベリンアルカロイドを抽出し，HPLC に供した。PDA 検出器として JASCO MCD 2010 を用い，カラムには Cosmosil 5Ph-MS (Nacalai)，移動相溶媒には 0.01%トリフルオロ酢酸を MeOH/H_2O（1：1）系移動相で流速 1mL/min で使用した[1, 2)]。

黄檗染絹の熱劣化試験は，ドライバス MD-BD01（Major Science）を用い，試料をアルミ箔で

くるみ所定時間 80℃で行った。

楮紙を黄檗で染めた試料を加熱促進劣化した試料は㈱松鶴堂からの提供によるものである[5)]。

3. 結果と考察

熱劣化黄檗紙の HPLC 分析結果を右図に示す。黄檗染紙の過熱劣化促進試料は，水洗いしていない試料を HPLC に供したところ，夾雑物が多く結果の解析には至らなかった。水洗いした試料と 14C の曇華院資料（絹）と比較すると右図のように，あまり高温でなければ劣化生成物が観察できた。しかし，観察されたベルベリン劣化生成物 X1,X2 の比が強制熱劣化紙と文化財資料（絹）では異なっていた。一方，黄檗染絹を加熱促進実験に供したところ，殆ど劣化生成物のピークが観察できなかった。基底材を絹と紙の両方で可視光を用いた促進劣化実験結果でも，基底材の影響がみられ[3)]，劣化のメカニズムを考えるうえで，基底材の影響が大きいことが示された。

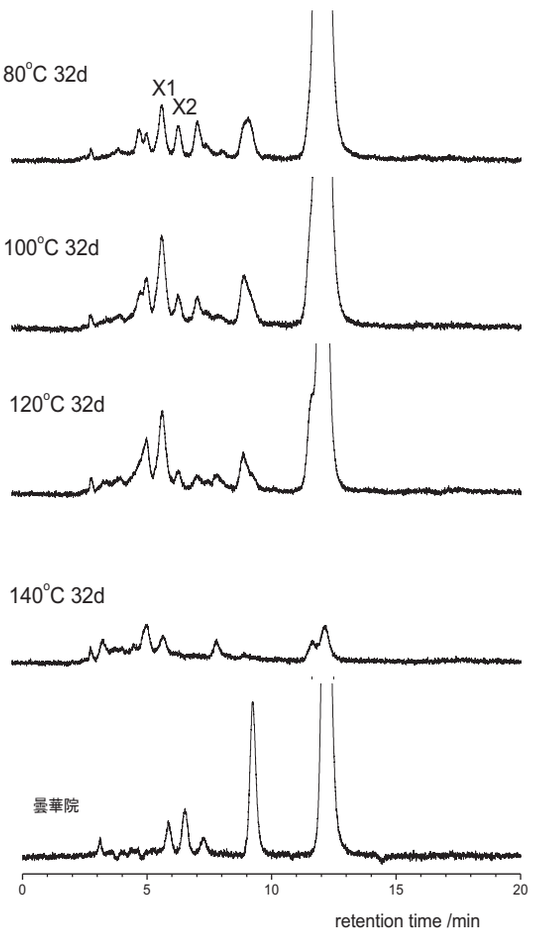


図　熱劣化黄檗紙から抽出したプロトベルベリンの HPLC 分析結果
X1,X2:ベルベリン劣化生成物

参考文献

1) Yoshiko SASAKI, Ken SASAKI，*the journal e-PRESERVATION SCIENCE*, 2013, **10**, pp.83-89 Morana rtd
2) 佐々木良子，藤井健三，深江亮平，佐々木　健　文化財科学会誌（考古学と自然科学）2017, **73**, pp.15-28
3) 佐々木良子，佐々木健，日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集，2019，pp.372-373
4) 佐々木良子，大林賢太郎，佐々木健，文化財保存修復学会第 34 回大会講演要旨集，2012，pp. 28-29
5) 松枝礼子他，文化財保存修復学会第 32 回大会講演要旨集，2010，pp. 224-225

謝辞

本研究は，科学研究費補助金（基盤研究（C））課題番号 19K01129 の成果の一部である。また黄檗染紙熱劣化試料の提供を頂いた㈱松鶴堂に感謝します。

裏打ち層にみられる紙の緑青焼け

Paper deterioration of lining layer by malachite corrosion

○貴田啓子（東京文化財研究所）、柏谷明美（日本美術院）、稲葉政満（東京藝術大学）、
早川典子（東京文化財研究所）
○Keiko KIDA, Akemi KASHIWAYA, Masamitsu, INABA, Noriko HAYAKAWA

1. 緒言

緑青顔料が使用された経年紙質文化財資料では、緑青により紙の劣化が局所的に進行し、褐色に変色する「焼け」の現象がみられる。これは、緑青に含まれる銅成分に起因するとされているが、現況の保存修復処置としては、水洗のみであり、効果的な抑制方法が望まれる。これまでの筆者らの研究では、各種の緑青顔料（粒子サイズや焼成の有無）による紙の劣化現象（焼け）の程度を比較し、その要因のひとつは、緑青を膠水溶液に混合した分散液、すなわち日本画の絵具中に溶出する銅イオン量と劣化の程度が相関することを明らかにした[1)]。本発表では装潢された紙質文化財を想定し、裏打紙を施した緑青塗布試料を作製し、加速劣化処理後の本紙、裏打紙について、解体後に紙の劣化の状態を調査した。

2. 実験

2.1 試料の作製

天然緑青 0.5 g（9 番、白番（金開堂））および 12.5 %の膠 0.2 g を練り合わせたのち、超純水を 0.7 g 添加、均一に混合し、試料の彩色材とした。楮紙にスポイトで彩色材を一定量滴下し（円形：4 cmφ）乾燥後、裏打ち工程を模して、裏面に楮紙を接着した（図１：裏打ち工程 A)。一方、楮紙に、彩色材を塗布する前に、本紙裏面に裏打ち紙（楮紙）を接着し、その後、前者と同様に彩色材を滴下した試料を作製した（図１：裏打ち工程 B)。試料を ISO5630-3:1996 に従い、湿熱（80 ℃、65 %rh）による加速劣化処理を（16 週間）行った。

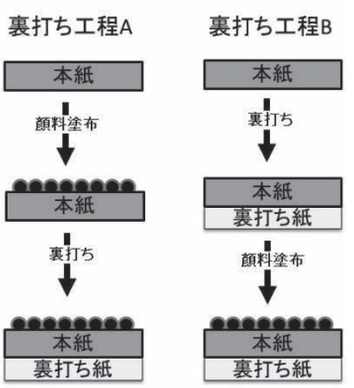


図１　顔料塗布裏打ち紙試料作製工程

2.2 紙試料の劣化評価

加速劣化処理後の紙試料について、解体前に目視観察し、本紙と裏打ち紙に解体後、紙の色を測定した。分光測色計 CM-2600d（KONICA MINOLTA）を用いて、紙試料の本紙裏面の中心部、裏打ち紙の表面（本紙との接着面）中心部、および裏面の中心部を測色した。測色条件は、照射径：3mmφ、視野：10°、光源色：D65、光学系：SCI で、各試料の劣化前後の色差を CIELAB 表色系による ΔE^*_{ab} の値（$\Delta E^*_{ab}=((\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2)^{0.5}$）で評価した。

3. 結果と考察

3.1 緑青焼けの目視観察

加速劣化後の試料について、解体前に裏打ち紙の裏面を観察した（図 2)。いずれも緑青塗布部裏面の裏打ち紙に、茶褐色化が濃くなる経時変化、いわゆる「焼け」が認められる。塗布部周辺部で特に褐色化が進んでいるが、塗布時に周辺部で彩色材の溶液を最も多く吸収していることが起因すると、考えられる。白緑顔料の裏打ち工程 A 試料において、裏打ち時に使用した刷毛の跡に変色がみられた。裏打ち工程 A では、顔料塗布、乾燥後に裏打ち紙を施すが、その際に紙全体に湿りが与えられる。そのため、裏打ち工程で使用する刷毛の動作が、紙の水分中の銅イオンの移動を伴い、刷毛跡の形状に紙の変色が起きたと示唆される。これまでに粒子の細かい白緑顔料では、銅イオンが最も溶出しやすいことを確認している。したがって、この現象は、白緑の試料で顕著にみられたと考えられる。

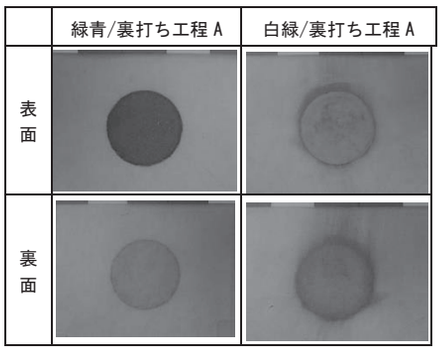


図 2　加速劣化 8 週後の裏打ち試料

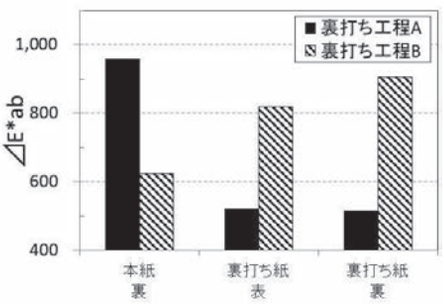


図 3　本紙裏面と裏打ち紙（表面、裏面）の⊿E^*値（加速劣化 16 週後）

3.2 紙の変色

各紙試料を解体後、本紙裏面、裏打ち紙表面、裏打ち紙裏面を測色した（図 3)。裏打ち工程Ａで作製した試料では、本紙の変色が大きかった(図３(a))。一方、裏打ち工程Ｂで作製した試料は、本紙の変色が最も小さく、裏打ち紙表面、裏面の順に変色が大きくなった(図３(b))。裏打ち紙を施す工程が異なることにより、同様の顔料層と 2 層の紙で構成する 2 種の試料の各部分の変色程度が異なることがわかった。これまでの研究により、彩色材である緑青顔料膠分散液中に銅イオンが存在し顔料由来の銅イオン量と緑青焼けに相関があることを見出している。本結果の裏打ち工程Ａでは、緑青膠分散液の塗布時に緑青以外の成分が、本紙に多く吸収される。一方、裏打ち工程Ｂ試料では、顔料塗布時に裏打ち紙に多く吸収され、裏打ち裏面に最も多く存在することが考えられる。従って、彩色材塗布工程で最も多く膠分散液を吸収した部分で変色が大きいことが示唆された。

4. 結論

緑青塗布後に裏打紙を施した試料と、裏打ち後に緑青を塗布した試料では、前者で本紙の変色が大きく、後者では裏打ち紙の変色が大きかった。緑青塗布時の彩色材中の顔料以外の成分を多く吸収した紙部分で、変色が大きかった。これまでに、彩色材の膠分散液中には銅イオンが存在することを確認しており、紙の変色は、塗布溶液中の吸収量に依存すると考えられる。

引用文献：1）貴田啓子、柏谷明美、稲葉政満、早川典子：「紙の緑青焼けに及ぼす銅成分と膠について」文化財保存修復学会第 39 回大会要旨集(2017)

謝辞　本研究は科学研究費補助金（若手研究(B)）により行いました（16K16342)。

鳥取県立博物館におけるフィルム資料の劣化調査

Investigation of deterioration of film materials in Tottori prefectural museum

神庭幹尚（鳥取大学）、◯李素妍（同左）、福代宏（鳥取県立博物館）、大嶋陽一（同左）
Mikihisa KANBA, ◯Soyeon LEE, Hiroshi FUKUSHIRO, Yoichi OSHIMA

1. はじめに

写真や映像を記録したフィルムは人々の暮らしの一部を切り取ったものであり、地域の歴史を後世へ伝える役割を担う。しかし現在多くの博物館・公文書館等では、これらの資料がフィルムの酸性化によって急速に劣化が進んでいる[1)]。鳥取県立博物館においても同様に、所蔵するフィルムの劣化が懸念されており、資金不足のため資料の状態が正確に把握できていない[2)]。本研究では鳥取県立博物館のフィルムの酸性調査をとおして、フィルムの劣化度の客観的かつ簡易的な調査方法を検討するために研究をおこなった。また、フィルムの製造会社、製造時代および保管環境によるフィルムの酸性劣化について調査している。

本調査ではフィルムが数十～百数十巻収納されたボックス計57個を対象にA-Dストリップ(酸性度判定試験紙）をもちいてフィルム酸性度を確認した。その57個のボックスのなかで3つのボックス（大ボックスNo.7、中ボックスNo.23、中ボックスNo.10）を選定してガス成分と濃度を調査した。ここでは、3つのボックスのなかで最も強い刺激臭を放出していた中ボックスNo.23に保管されていたフィルムの調査結果を報告する。

2. 調査方法

2.1 フィルムの酸性度調査

鳥取県立博物館所蔵のフィルムは紙箱の中に1巻ずつ収納されている。紙箱はプラスチック製のボックスに保管されていて、そのボックスの大きさは、大、中および小に分かれる。中サイズのボックスNo.23にはフィルム入りの紙箱が約90個あり、その紙箱10個を選定してA-Dストリップ（Image Permanence Institute製）を1個ずつ同封した(図1)。7日後、紙箱を開封してA-Dストリップを取り出してフィルムの酸性レベルを確認した。酸性レベルの評価は、A-Dストリップ付属のカラーチャートにしたがって酸性度レベル0、レベル1、レベル2、レベル3の4段階で判定した。

図1　A-Dストリップによる酸性度調査後

2.2 フィルム収納ボックス内のガス調査

プラスチック製のフィルムボックス内におけるガス成分調査や濃度測定には、ガス採取器（ガステック製とガス検知管(ガステック製)を用いた。本研究では、刺激臭を有するガス成分調査のために酢酸（測定範囲１ppm～50ppm)、アンモニア（測定範囲１ppm～30ppm）の２種類のガス検知管を用いて測定をおこなった。

3. 結果と考察

中ボックスNo.23に収納されていたフィルム10巻に対するA-Dストリップの調査結果、すべてのフィルムが酸性レベル3を示した。A-Dストリップ評価基準によると、調査対象のフィルム10巻は取り扱いに危険を伴うほど劣化が進んでいることがわかった。中ボックスNo.23に対するガス成分と濃度調査の結果、酢酸が50ppm以上検知されてガス検知管の測定範囲を上回った（図2)。No.23のボックス内でアンモニアガスが検出されず、フィルムやその収納ボックスに発生していた刺激臭は酢酸ガスであった。このフィルムにおける酢酸の発生はビネガーシンドロームの症状であることがわかった。これらの調査をとおして調査対象10巻のフィルムが同じ酸性度であったこと、フィルムから酢酸ガスが発生したことが明らかになった。これらの結果から中ボックスNo.23に保管されている他のフィルム（調査対象外）も酸性劣化や酢酸ガスが発生していると推定される。または、調査対象外のフィルムが劣化したフィルムの影響を受けて状態が悪くなる可能性もある。酢酸は木材の腐食や金属のさびを引き起こすことが報告されている[3)]。フィルムが保管されている鳥取県立博物館の収蔵庫には紙製文化財等のさまざまな文化財が収納されている。フィルムの酸性によって発生する酢酸が他の文化財や人体に対して影響を及ぼす危険性があるので、酢酸ガスの除去や定期的にフィルムのモニタリングを行うことが必要である。

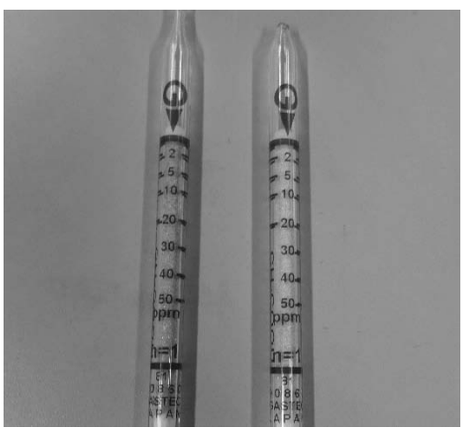


図２　中ボックスNo.23　酢酸検知管
左：試験前　右：試験後

4. まとめ

本研究では鳥取県立博物館に所蔵されているフィルムの酸性度やガス成分の調査をおこない、調査対象のフィルムは取り扱いの危険状態であることがわかった。フィルムは酸性劣化にともなって酢酸が発生してビネガーシンドロームになっていた。酢酸は木材や金属の劣化の要因となるため、博物館の収蔵環境においては他の文化財への影響が懸念される。フィルムが密封性の高い収納ボックスに保管されると、他の文化財への被害を防げる。しかし、酢酸ガスが収納ボックス内に充満してフィルムの劣化を加速させると考えられるので、フィルム収納ボックス内のガス除去や収蔵環境の改善が求められる。

参考文献　1）日本写真保存センター「劣化と対策」photo-archive.jp/conservation/劣化と対策/（最終閲覧日：2020年1月20日)、2）鳥取県立博物館学芸員福代様、大嶋様私語、3）小菅勉(2011)『文化財の保存環境』中央公論美術出版p.60

名越切通における軽量擬岩を用いた保存工事

Preservation work using lightweight artificial rock in Nagoe Kiridoshi

◯小林恵（応用地質㈱）、橋本直樹（逗子市）、高松誠（㈱鴻池組）、増井義彦（㈱ざエトス）

◯Megumi KOBAYASHI(OYO Corporation), Naoki HASHIMOTO(Zushi City), Makoto TAKAMATSU(KONOIKE CONSTRUCTION CO.,LTD.), Yoshihiko MASUI (The Ethos CO.,LTD.)

1. はじめに

やぐらとは、鎌倉時代に砂岩や泥岩の岩盤を切り出して造られた横穴式の葬送遺構である。今回対象としたやぐらは、ロックボルト工による保存対策工事を実施することとしたが、やぐら天井部が落盤により欠損しているため、ボルトがむき出しの状態となり景観を損ねることが想定された。そこで、軽量擬岩を用いたパネルによる閉塞を試みたので紹介する。

2. 史跡の概要

国史跡名越切通に所在する「まんだら堂やぐら群」は、２ｍ四方程度の小規模なものを中心に 150 穴以上の存在が確認されている有数のやぐら群で、現在は期間限定で公開されている。

まんだら堂やぐら群では、やぐらの壁面が長年風雨に曝されて脆弱化したり、樹木の根が岩盤に入り込んで亀裂を拡大することにより、不安定化して崩落の危険性が高い箇所も見られる。このため、①亀裂を充填して岩盤を一体化させる“亀裂充填工”，②落盤や落石が懸念される箇所を地山に縫い付けて固定する“ロックボルト工”や“ピンニング工”，③岩盤表面に薬剤を含浸させて強化し風化作用を軽減する“基質強化処理工”，④亀裂充填箇所やロックボルト、ピンニングの頭部を景観に馴染むように修景する“擬岩処理工”などを実施している。

3. パネルによるやぐら天井部の閉塞

今回対象としたやぐらでは、やぐら上部の不安定岩盤を固定するため、保存対策工事として前面から奥方向に向かってロックボルトを打設することになった。しかし、やぐら天井部が崩落しているため、ロックボルトがやぐら内部に露出した状態になることが想定されたことから、やぐらの景観を損ねないよう、ロックボルトを隠すために天井部を擬岩パネルで閉塞することとした（図-1 参照）。擬岩の材料を検討していく中で、保存工事に使用している骨材（珪砂や土）を用いるとパネルが 60kg 程度と重くなり、ボルトに負荷がかかることが判明したため、骨材に木粉（比重 0.5）を用いることで軽量化を図った。

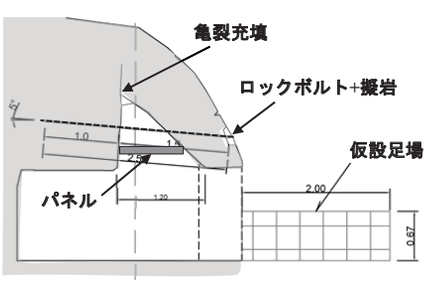


図-1　対象やぐら断面図

パネルの製作は、現地にて型取りしたプラスチック段ボールを作業場に持ち帰り、室内で行った。発泡スチロールブロック（厚さ５㎝）を型抜きしたものを３分割し、これを土台にして

強化プラスチック（FRP、ガラスマットをエポキシ樹脂で貼り付けたもの）を２層貼り付け、表面は軽量擬岩（サイトＦＸ＋木粉＋酸化チタン）で修景した。パネルの設置は、現地のロックボルトに棒鋼を渡して結束線で固定し、これらを結露防止のためにポリスチレンフォームで保護した。作成したパネルをこの棒鋼に全ネジ棒鋼で吊り下げ、３枚の位置を調整しながら座金とナットで下部から固定した。ネジは見えないようにゴムキャップを被せ、擬岩で仕上げた（写真-1、図-2 参照)。この方法により、通常の 1/3 程度の重量に抑えることができた。

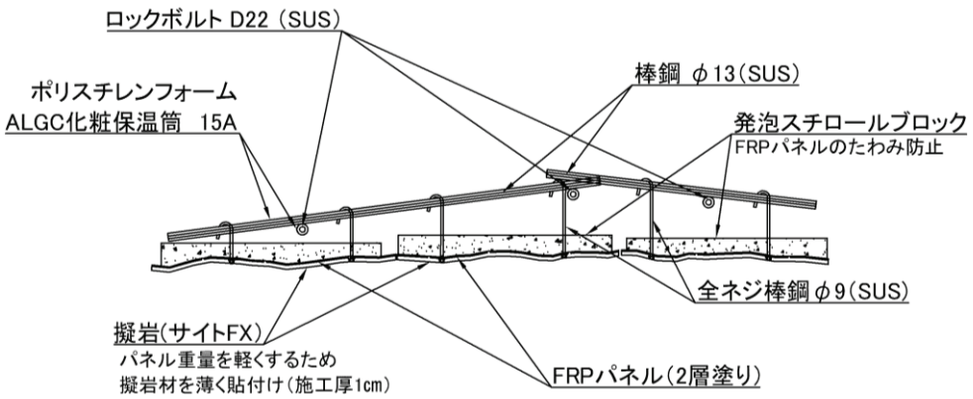


図-2　パネル断面図

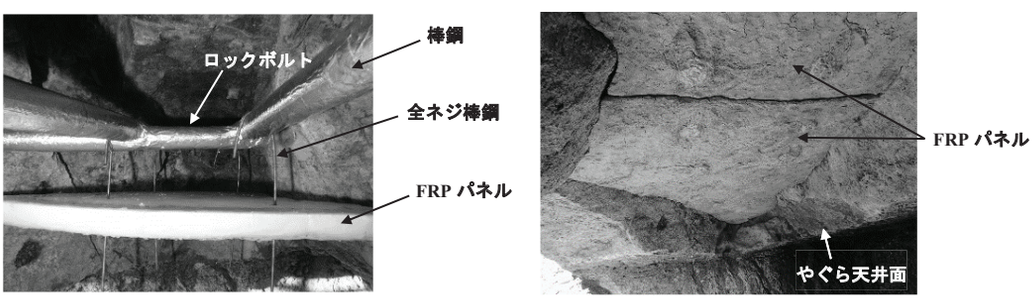


写真-1　施工状況（左：パネル吊下げ状況　右：設置完了）

4. 今後の課題

施工から３か月後に現地のパネルを確認したところ、擬岩の表面にひび割れが発生していた（写真-2 参照)。その理由として、木粉は収縮率が大きいため擬岩材が硬化する際にひび割れが生じたものと考えているが、原因の究明は今後の課題である。対策としては、一度に施工せず何層かに分けて薄く盛付けること、十分乾燥させてから次の層を重ねることが考えられる。

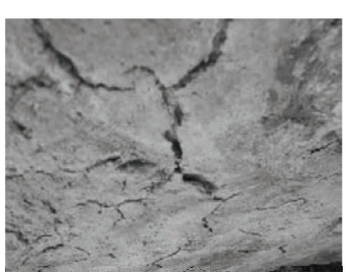


写真-2　軽量擬岩のひび割れ

また、今回は骨材に木粉を使用したが、マイクロバルーン（中空微球体）などの材料を骨材に用いても同じようにひび割れが生じるかどうかについても今後検討していきたい。

謝辞

擬岩材料や施工方法の検討にあたりご指導いただいた、東北芸術工科大学の沢田正昭先生に記して深く御礼申し上げます。

元町石仏における脱塩を用いた塩類風化抑制手法に関する研究
―浸透現象による脱塩の利用可能性の検討―

Study on suppressing salt damage of the Buddha statue carved into the cliff at Motomachi
- Investigation of the desalination method by using osmosis –

○髙取伸光（京都大学），小椋大輔（京都大学），脇谷草一郎（奈良文化財研究所），
安福勝（近畿大学），桐山京子（京都大学），髙妻洋成（奈良文化財研究所）
○Nobumitsu Takatori(Kyoto University), Daisuke Ogura(Kyoto University), Soichiro Wakiya(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Masaru Abuku(Kindai University), Kyoko Kiriyama(Kyoto University), Yohsei Kohdzuma(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. 研究の背景と目的　本研究ではこれまで元町石仏を対象とした塩類風化抑制のための脱塩技術を開発することを最終的な目標とし，既往の松本 [1]の熱水分同時移動方程式を塩を含んだ場合に拡張し，浸透現象および材料電荷による影響を考慮することで，材料中に存在する塩の移動量を定量的に把握する熱水分塩同時移動方程式を構築してきた [2]．本報告ではこの理論を用いた数値解析により，粘土による浸透現象を応用した Voronina et al. [3]の脱塩実験を再現し，本理論による実現象の再現性および浸透現象を用いた脱塩方法の利用可能性を明らかにする．

2. 数値解析概要　数値解析では Voronina et al. [3]の行った脱塩実験を模した 1 次元モデル内部の熱，水分，塩の移動を，既報 [2]で示した多孔質材料中における熱水分塩同時移動方程式を用い計算する．なお，解析条件は Fig. 1 に示す通りとし，解析モデルは差分法によって分割し，材料の空間刻みは全て 1mm とした．解析に用いる材料，NaCl 溶液の物性値は既報 [2]に示す通りとし，異なる塩濃度の砂岩の間に粘土が挿入されている状況を想定した．なお純水の実験結果より，粘土塗布による材料の平衡含水率関係および水分拡散係数の変化は小さいものとみなし，粘土の熱水分物性値は静電気力，反射係数（浸透現象に関する係数）以外は砂岩と同じ値を用いた．計算条件は以下の 2 条件とする．

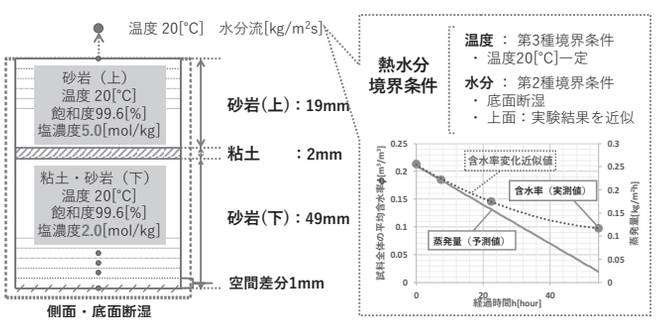


Fig. 1 数値解析概要

濾過膜条件（反射係数$\sigma = 0.02$[-], 静電圧最大値p_e^{max}=0.0[kPa]）：粘土膜を濾過膜とみなした浸透現象を考慮した条件．浸透現象を半透膜の界面で生じる現象と想定した．従って，本条件では静電気力による塩溶液の移動を無視した．

粘土膜条件（反射係数$\sigma = 0.006$[-], 静電圧最大値p_e^{max}=-250.0[kPa]）：既往研究 [2]で提案した粘土中の浸透現象を静電気力と塩濃度差の連成問題として考慮した条件．粘土中の浸透現象が材料と塩溶液間の静電気力の結果として形成される電気二重層の存在に依存するものと想定する．

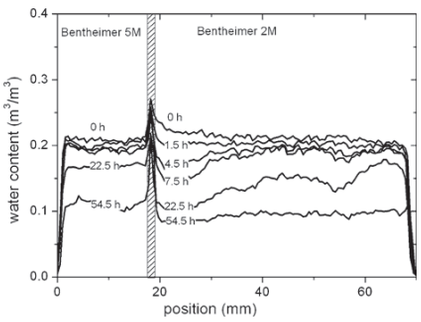


Fig. 2 実験結果（Voronina et al. [3]）

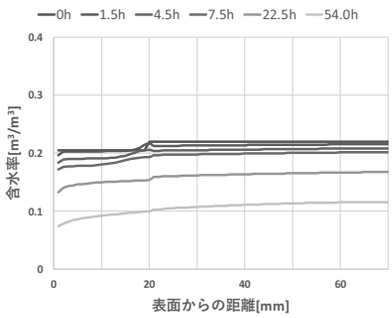


Fig. 3 含水率分布（濾過膜条件）

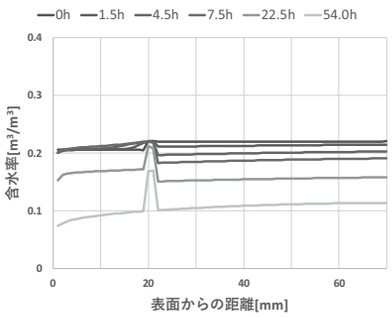


Fig. 4 含水率分布（粘土膜条件）

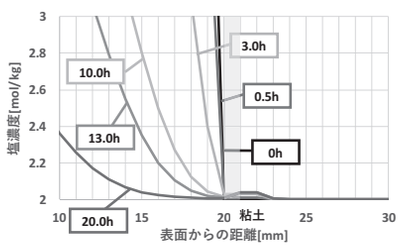


Fig. 5 塩濃度分布（濾過膜条件）

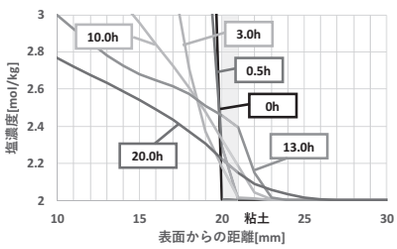


Fig. 6 塩濃度分布（粘土膜条件）

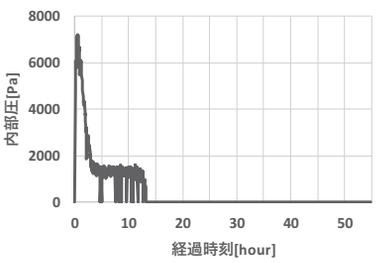


Fig. 7 粘土部分に加わる圧力

3. 解析結果と考察　Fig. 2 に Voronina et al.が行った含水率の実験結果を，Fig. 3，Fig. 4 に濾過膜条件および粘土膜条件の含水率の解析結果を，Fig. 5，Fig. 6 に各条件における粘土近傍の塩濃度分布の解析結果を示す．濾過膜条件では断湿側である砂岩（下）から先に含水率が減少する傾向が十分再現できていないのに対し，粘土膜条件ではこれらの傾向が十分に再現できているのが分かる．これは粘土膜条件では粘土が静電気力を有することで砂岩（上）の高塩濃度溶液を引き込み，実験開始後粘土近傍の塩濃度が上昇するのに対し，濾過膜条件では粘土面における静電気力が生じないことが原因と考えられる．

なお，浸透現象は塩濃度差を駆動力とすることから，溶液の移動に伴い駆動力である塩濃度差は速やかに解消される．これは濾過膜条件において顕著である．一方，粘土膜条件では，静電気力により高塩濃度の塩溶液が粘土内に引き込まれるため，濾過膜に比べ膜内の塩濃度差は解消されづらく，浸透による溶液移動の駆動力が長時間にわたり持続する．脱塩という観点で見ると，粘土を用いた手法の方がより多くの溶液を除去でき，効果的であると言えよう．一方，Fig. 7 に示すように，粘土塗布面に加わる圧力（≒浸透圧）の計算結果を見ると，計算開始直後粘土部分には大きな圧力が加わり粘土が崩壊する恐れがある．そのため，粘土膜を用いた脱塩には浸透圧による材料変形が生じない程度の強度あるいは拘束力が必要になるという課題が残る．

4. 結論　本研究では浸透による脱塩実験結果を数値解析により再現できることを示し，基材と貼付材の界面に粘土を加えることで浸透により脱塩が促進される可能性を示した．

【謝辞】本研究の一部は，特別研究員奨励費（課題番号：18H13936 研究代表者：高取伸光）および，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] 松本衛,博士論文, 1979. [2] 髙取伸光, 博士論文, 2020. [3] V. Voronina et al. Materials and Structures, vol.14, pp17-28, 1969

甲子園会館に用いられる凝灰岩外装材の保存に関する研究
—現地環境条件調査と物性値測定による劣化メカニズムの検討—

Study on Conservation of Tuff Stones used as Exteriors at Koshien Hall
- Investigation of deterioration mechanisms by measuring environmental conditions and hygrothermal properties -

山田皓貴（京都大学）、○伊庭千恵美（同左）、宇野朋子（武庫川女子大学）、
福井一真（京都大学）、小椋大輔（同左）
Koki YAMADA, ○Chiemi IBA (Kyoto University), Tomoko UNO (Mukogawa Women's University),
Kazuma FUKUI, Daisuke OGURA (Kyoto University)

1. はじめに

1930 年に遠藤新によって兵庫県西宮市に設計された甲子園会館（旧甲子園ホテル）は、国の近代化産業遺産および登録有形文化財に登録されている。この建築にはともに凝灰岩である日華石（石川県小松市産）と竜山石（兵庫県高砂市産）が外壁のレリーフや階段、笠木等の外装材として用いられており、ともに劣化が進行している。多孔質材料である凝灰岩は過去の事例では水分によって劣化が生じることが多いが、甲子園会館における劣化メカニズムの詳細は明らかになっていない。また、日華石はすでに採石場が閉鎖し、竜山石も高品質なものの採取が困難となってきているため、文化財としての価値を持つ石材の保存対策が急務の課題となっている。本研究の目的は、甲子園会館における日華石および竜山石外装材のそれぞれ異なる物理的損傷のメカニズムを解明すること、およびその適切な保存・修復方法を提案することである。本報では、劣化の現状の現地調査と環境条件に関する情報収集、および日華石と竜山石の液水の移動係数の測定を行い、その結果をもとにそれぞれの劣化の要因を推察する。

2. 劣化の現状と環境条件

甲子園会館の日華石および竜山石外装材では藻類の繁茂による黒ずみや塩の析出も確認されているものの、ひび割れなどの物理的損傷が特に致命的となっている。撥水剤の塗布や損傷箇所に対するモルタルの充填などが行われてきてはいるものの、どれも現時点で効果が十分に保たれている方法とはいえない。図 1 に日華石と竜山石の損傷の様子を示す。日華石は、特に降雨の影響を直接受ける屋上テラス中央階段にて大きな欠損があり、また、この部分では降雨後も石材表面に液水が数日間残っていた。一方、竜山石は 1 階南テラス階段の雨を受けない庇下部分にて、表層が薄片で細かく剥離していた。

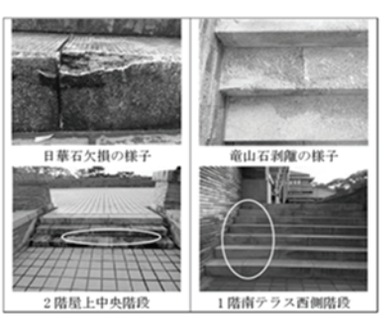


図1　日華石欠損(左)と竜山石剥離(右)

2017 年 2 月の現地の環境条件を図 2 に示す。外気温湿度は建物の同敷地内での計測から、雨量は『西宮市雨量情報システム』[1]から取得した。結果、2 月中旬、降雨後に気温が 2〜4℃前後

となる日が連続している期間が存在した。この期間は夜間の放射冷却により表面温度が最大で 5～6℃低下しうる [2] ため、天空に広く開けた屋上にある階段の日華石の表面温度は、水分の結氷温度に達していたと考えられる。

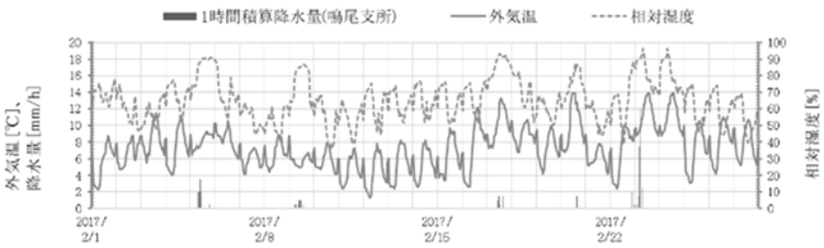


図2 平成29年2月 雨量と外気温湿度

3. 石材の透水係数測定による水分の移動性状の検討

含水時の石材内での液水の移動を検討するため、非破壊で測定できる負圧浸潤計により日華石と竜山石の不飽和透水係数を測定し、蒸発法による測定結果 [3] と比較した。透水係数は材料内含水率と対応した状態量である水分化学ポテンシャル μ [J/kg]の関数で表すことができる。結果を図 3 に示す。日華石は竜山石に比して飽和付近 ($\mu \simeq 0$) で透水係数が大きいが、両者の値は μ ＝－4 J/kg 前後で大小が入れ替わり、２種類の方法による測定結果の傾向が一致した。日華石は、竜山石よりも空隙率が大きく、また径の大きな細孔が多いことから、透水係数は飽和に近い高湿域で大きく、μ の低下に伴いある時点で急激に小さくなる。一方竜山石は、細い径（0.1μm 以下）の細孔の割合が高いため、μ が小さい領域でも透水係数の低下が比較的緩やかである。

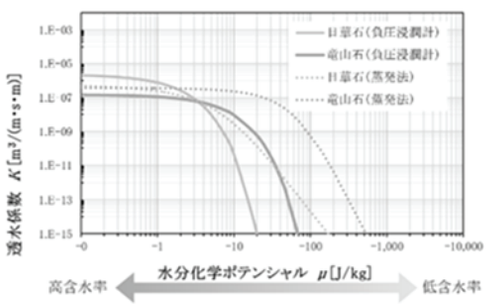


図3 二種類の測定方法による透水係数測定結果

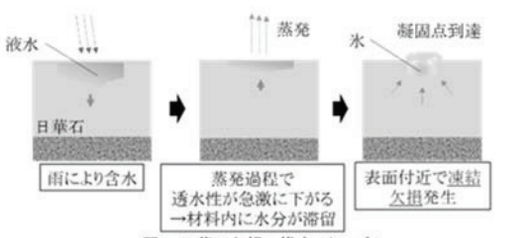


図4 日華石欠損の推定メカニズム

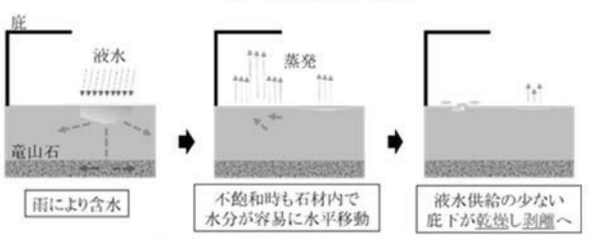


図5 竜山石剥離の推定メカニズム

4. 劣化メカニズムの考察と今後の課題

日華石は結氷温度に達していた可能性および石材の含水率が高い状態が続く屋上で欠損が著しいこと、含水率低下に伴う透水係数の低下が著しいこと（図 3）を踏まえると、材料表面付近に滞留した水分が凍結し、内部でのひび割れ・剥離から大きな欠損が引き起こされたと考えられる（図 4）。一方で、竜山石は比較的乾燥した状態でも透水係数が大きいため、日華石に比して降雨により含水したときに液水が石材内を水平にも移動しやすいと考えられ、降雨のない部分の表面では水分蒸発が起こり、乾湿繰返しにより剥離した可能性がある（図 5）。

今後は数値解析と暴露実験による劣化の予測・再現により、推定したメカニズムの検証を行う。

1) 西宮市雨量情報システム http://nishinomiya.tenki.ne.jp/（参照日： 2019 年 2 月 1 日）
2) D, Brunt, Notes on radiation in the atmosphere. I, Quar. J. Met. Soc., Vol. 58, pp.389-420 (1932)
3) 宇野朋子 他. 旧甲子園ホテルの外装材に使用される石材の保存に関する研究 その１石材の現状調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp. 239-240、2017.

砂岩に対するアクオ-シロキサン法による水分保持特性への影響

Water Retention Characteristics of Aquo-Siloxane Method Aimed for Sandstone

○松下由香里（株式会社 九州文化財研究所）、冨田克敏（同左）、
小畑三千代（同左）、佐藤晃（熊本大学）
○Yukari MATSUSHITA, Katsutoshi TOMITA, Michiyo OBATA
(Kyusyu Archaeological Lablratory Co.,Ltd), Akira SATO (Kumamoto University)

1. はじめに

Aquo-Siloxane 法は、石材表面及び表層部の構成鉱物表面に高分子シロキサンを形成させ、撥水作用を付随させることにより、石材の風化作用ないし生物による分解・変質作用を抑止し、文化財の長期保存を目指すものである。石材構成鉱物表面でのシロキサン形成には撥水性の鎖状炭化水素基を有するシランカップリング剤を使用している。このシランカップリング剤は石材構成鉱物(主としてケイ酸塩) 表面とシラノール結合をして、さらにシランカップリング剤分子相互の重合で構成鉱物表面に高分子シロキサンを形成して粒子を覆うようになる。また、シランカップリング剤に変性シロキサンを混合して、できるだけ深く石材表層部に浸透させることを図っている。このような Aquo-Siloxane 法によって処理された石材は、長期間、熱線・紫外線や大気と雨水等に暴露されても分解・変質の進行が遅く、安定した状態を保持することを検証するために、石造物石材である岩石試料に Aquo-Siloxane 法で処理した試料と未処理試料との長期比較連続観察観測実験を現在続行中である。初期段階の実験として、雨水の浸潤・撥水状況と室内湿度と浸潤状況を Aquo-Siloxane 法処理石材と未処理石材との比較実験を行った。今回、その結果の一部を報告する。

2. 実験方法

本初期実験では、石造物石材として多く使われている砂岩を試料として用いた。 これらはベレア砂岩(アメリカ・オハイオ州)、来待砂岩(島根県・宍道地方)、下浦砂岩(熊本県・天草地方)の 3 種である。実験試料は、測定に適した円柱の形状(直径 50㎜×高さ 50㎜、下浦砂岩に関しては高さ 110㎜)にした。実験試料の採取は、直方体の岩石試料からコア抜きした。
ここで報告するデータを採取した試料は次の 8 種である。

実験試料

ベレア砂岩	：	未処理試料　BS-12	処理試料　BS-04, BS-11
来待砂岩	：	未処理試料　KS-04	処理試料　KS-02, KS-10
下浦砂岩	：	未処理試料　A-2-3	処理試料　A-1-38

観察・観測手法（実施期間　2018 年 3 月 18 日～2019 年 3 月 19 日）

観察観測場所：当研究所実験室

観察・観測時：ほぼ 3 日間隔、午前 11 時ごろ

観察：　視覚、臭覚、接触感覚による

測定：　実験試料の重量測定(単位グラム、小数点以下 2 桁まで)

測定環境の天候、室温、湿度

観察・観測の経過

試料は処理剤に約 3 時間浸漬した後、室内環境で自然乾燥したもの、未処理試料は室内で自然乾燥放置状態のものからスタートした。最初、各試料の状態を観察・測定を実施し、その後 24 時間水に浸漬した。24 時間後軽く拭き取って測定観測、次に、各試料は室内放置して、所定の観察・測定を続けた。1 ヶ月後再度水に浸漬する実験を行い、2 ヶ月間所定の観察・測定を行い、再び水に浸漬する実験を行い、それ以後は所定の観察・測定を進めた。

3. 実験結果

本報告では実験結果の一部を示す。各砂岩の水分吸湿量の変化とその後の蒸散量の変化を確認するため、水浸漬の前後及び経過時での各試料の密度を求めた。下浦砂岩の結果を図 1 に示す。その他の結果については、会場掲示のポスターを参照されたい。図の縦軸は密度（単位 g/cm3, 表示数値は小数点以下 2 桁の密度値から整数値２を除いた小数点以下の 2 桁の値を 100 倍したもの)、横軸は測定日順を整数値で示している。

水に浸漬後の密度の変化は、処理剤に浸漬・塗布した砂岩の方が未処理のものよりも小さく、およそ 1/2 以下にまで抑えられることが分かった。これは処理剤が遺物への水の浸入を抑制し、また浸入した必要以上の水が速やかに排出されていることを示していると思われる。即ち、未処理の試料では水が内部まで浸潤しているが、処理試料では表面での吸着水のみであると推定される。今後さらに長期にわたって経過観察を進め、時間経過の伴う未処理、処理の試料での密度変化、吸水変化等を観察・測定し、さらに、屋外での太陽光の下での、変化等を長期に観察・測定を進め、Aquo-Siloxane 法の特徴、有用性を検証していく予定である。

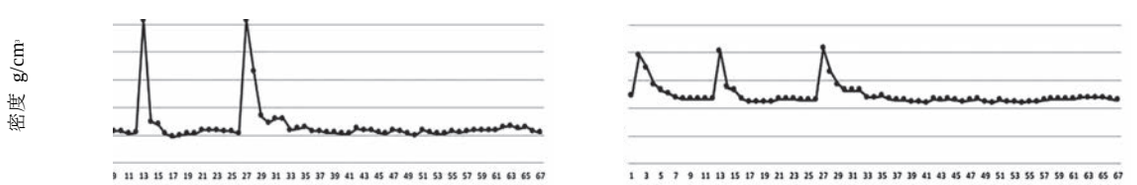


図 1　下浦砂岩(左図: A-2-3,右図: A-1-38)　水浸漬の前後及び経過時の密度の変化

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

○深見利佐子（筑波大学大学院）、松井敏也（同）、川本真由美（横須賀市）

○Risako FUKAMI, Toshiya MATSUI (University of Tsukuba), Mayumi KAWAMOTO (Yokosuka city)

1. はじめに

塩類は煉瓦に見られる代表的な劣化要因の一つであり、潮解と析出を繰り返すことで煉瓦表面の粉状化や剥離などの劣化を誘発する。これまでの研究では煉瓦の脱塩方法として、浸透性ニーティング剤の塗布が試験的に用いられ効果が見られると報告[1]されたが、未だ試験段階であり確立はしていない。そのため、塩類風化による煉瓦の劣化を抑制させるためには効果的な脱塩方法を開発する必要がある。

本研究では、これまで主にコンクリート構造物の脱塩に用いられていた電気化学的脱塩を応用して煉瓦の脱塩に試みた。電気化学的脱塩とは外部より電気を流すことで物質中に存在する塩化物イオンや硫酸イオンなどの陰イオンを電気泳動によって移動させ、これらを除去もしくは低減する方法を指す。国内のコンクリート構造物において、この方法による脱塩が適用されておりその効果も報告されている[2]。脱塩の効果が期待できる一方で煉瓦の脱塩に用いられた実例はほとんど無い。本研究で煉瓦の新たな脱塩方法として電気化学的手法を用いた脱塩の検討を行なった。

2. 試験体

試験体として用いた煉瓦は、旧富岡製糸場の煉瓦を模した煉瓦(5cm×5cm×11cm)を 0.25mol/I の硫酸ナトリウム溶液に 5 日間浸漬させ、その後の含水率が 0.05%以下になるまで乾燥させたものを使用した。

3. 試験方法

3-1 試験手順

アーボセル（セルロースを粉砕・分級加工）10g に純水 50ml を加え、アーボセルが湿潤するまで混合したのち、電極を挿入した（図１）。電極には銅板（15mm×45mm）を用い、煉瓦試験体に電極が接しないようにした。試験は煉瓦の小口(５cmX５cm)を天地とし、上部に電極を設置した。なお、アーボセルの乾燥を防ぐために表面をプラスチックフィルムで被覆した。その後、直流安定化電源を用いて電圧 5V の条件下で電流値が 100mA になるように調整した（図２）。通電期間は 8 日間と 17 日間とし、それぞの通電しない試験も実施した。通電終了後は、試験体をたがねとハマーを用いて、両電極から等距離（2.5cm）で半裁し、さらに上下もしくなるよう分割した。分割後、図 3 に示す場所から煉瓦を 2〜3g取した（図３）。そして分割された試験体を自然乾燥させ、塩の析を目視により観察した。

図２ 通電の様子

3-2 評価方法

評価方法にはイオンクロマトグラフィー分析を用いた。分析に供する抽出液は、採取した煉瓦粉末を瑪瑙製乳鉢と乳棒で粉砕し、それらを超純水に投入後 48 時間震盪させ、その後 24 時間静置し作成した。煉瓦粉末 150mg に対して超純水の量は 1.5ml とした。抽出液はシ

リンジフィルターを用いて濾過させた後に、陰イオン分析を行った。分析装置には Metrohm 社製、883 Basic IC plus を用いた。分離カラム METRO A Supp 5 25/4.0 (6.1006.530)を使用し、流量 0.70 mL/min とした。

4. 結果

図４は通電 17 日後に撮影した陽極側の銅板である。銅板に付着していた水色の物質を乾燥後 XRD 分析したところ、$CuSO_4$・$5H_2O$ であることが分かった。このような付着物は通電した試験体の陽極側全ての銅板に確認された。これは、通電による電気泳動によって煉瓦内の SO_4^{2-}が陽極側の電極に移動し、銅板と反応し化合物である $CuSO_4$・$5H_2O$ として固定したことを示す。表１は分割した煉瓦の採取位置１～６より得られた粉末に含まれていた SO_4^{2-}濃度の結果を示す。通電 8 日間では、採取位置 1、2、5、6 で煉瓦粉末 1mg あたりの SO_4^{2-}濃度が通電なし 8 日間の試料と比較して小さい結果となった。また、陽極側の電極上部にあたる位置の 3 のみで SO_4^{2-}濃度が 5.49ppm と高濃度であった。さらに試験体を上部と下部で比較したところ、下部では SO_4^{2-}濃度の変化の差が上部に比べて小さいことが分かった。

一方で 17 日間の通電では、SO_4^{2-}濃度は通電しなかったものと比較して全ての採取位置で濃度が小さかった。また 3 の位置において SO_4^{2-}濃度は高くならなかった。これは煉瓦内に存在していた SO_4^{2-}が陽極側のアーボセルまで移動するための通電期間として 8 日間では不十分であったからであると考える。さらに採取位置 3 と下部にあたる 5、6 の位置では SO_4^{2-}濃度が他の採取位置よりもやや高い結果であった。このことから、電極側上部では効率的に脱塩が行われた一方で下部では脱塩の効率が低いことが分かる（表１）。これは試験に使用した銅板が短く、試験体の上部のみに近接する状態であったことが要因であると推測する。

また陰極側の電極上部に近接している 1 は SO_4^{2-}濃度が 0.42ppm と低く、17 日間通電後の自然乾燥時に Na_2SO_4 の析出が見られなかった（図６）。このことから 17 日間通電を行った場合、陰極の側面より陽極側に向かって 2.5cm、陰極の上部から下部に向かって 5cm の範囲では Na_2SO_4 の析出が目視によっては観察されない程度に脱塩の効果があったとみなす。しかし陽極側の電極に近接していた部分の煉瓦からは水色の硫酸銅と考えられる析出物が確認され、長期間に渡り電極を設置したことで銅板より銅成分が溶解してしまったことが要因として考えられる（図５）。

5. まとめ

通電を行うことで煉瓦試験体内の SO_4^{2-}が陽極側に移動し、陽極の銅板に $CuSO_4$・$5H_2O$ として固定したことで SO_4^{2-}濃度が低下したことが分かった。しかし、試験体上部に比べて下部での脱塩の効率が低いことから、電極の長さが試験体に対して不十分であったことが考えられる。また 17 日間の通電では全体的に試験体内の SO_4^{2-}濃度が低下しており、採取位置１と２を含む陰極側上部の範囲からは試験後も塩の析出が見られなかったことから、煉瓦においても一定期間の通電により脱塩の効果があると言える。次の段階として、煉瓦試験体全体の脱塩効果向上を目標に電極の素材や電流電圧の強度について検討を行う必要がある。

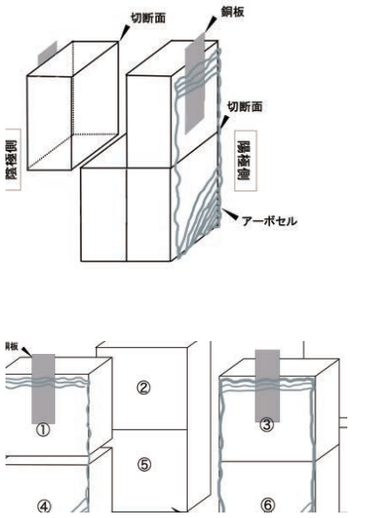
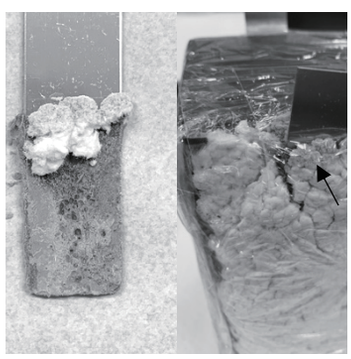
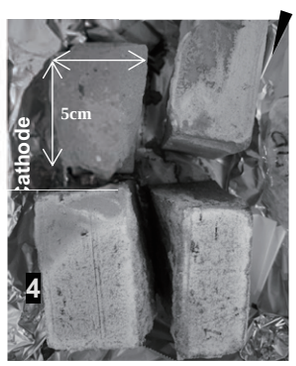


図３ 煉瓦粉の採取位置



採取位置	通電なし 8日間	8日間	通電なし 17日間
1	5.34	2.90	3.14
2	4.48	2.75	2.49
3	3.33	5.49	4.72
4	2.48	2.57	5.25
5	3.64	2.81	3.57
6	3.15	2.48	5.28



[1] 相川悠　2013「煉瓦の吸水放湿特性にみる塩の影響及び保存修復材料の検討」

[2] 徳光 卓・ 芦田 公伸・古賀 裕久 2010「電気化学的脱塩工法による塩害補修の留意点」『コンクリート工学』48(5), pp115-118

約 5 年間屋外暴露した葺込銅板のあるこけら葺屋根モデルの劣化状態と銅元素分布

Degradation and copper distribution on a traditional Japanese style shake roof model with inserted copper plates after 5-years outdoor exposure test

○藤原裕子，藤井義久（京都大学），高妻洋成（奈良文化財研究所）
○Yuko FUJIWARA, Yoshihisa FUJII (Kyoto University),
Yousei KOUZUMA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

こけら葺は日本の伝統的な屋根工法の一つで，3 mm 程度に薄く割った木材を繊維方向に 30mm 程ずらして重ね，竹釘で留めて葺きあげてゆく。一般的に 20〜30 年で葺き替えの時期を迎えるが，より健全な状態の屋根を長持ちさせる目的で 10 段程度毎に銅板が葺込まれる。この葺込銅板は，降雨時にこけら板間をしみあがった雨水が銅板に触れることで銅イオンが溶出して屋根全体に広がり，防腐効果を発揮することが期待されている。これまでの研究では，修理工事の際に屋根の一部を採取して銅元素量を測定し，銅元素が屋根全体の広い範囲に分布していることを確認している [1]が，葺いてから数年しか経っていない屋根の銅元素分布を詳細に調べた例はない。ここでは，約 5 年間屋外暴露したこけら葺屋根モデルの各段について劣化状態や水のしみあがりを調べるとともに，蛍光 X 線分析で銅元素分布を測定した結果を示す。

【屋根モデル】図 1 はこけら葺屋根モデルの設置状態である。こけら板はサワラ材とし，屋根面は約 800mm 角で段数は 17 段，軒先側から 1 段目のこけら板の下に水切銅板，9 段目と 10 段目の間に葺込銅板がある。架台に載せた状態で屋根は約 5 寸勾配，軒先の地面からの高さは約 800mm とした。設置場所は，奈良文化財研究所中庭で屋根面が南向きになるように置いた。

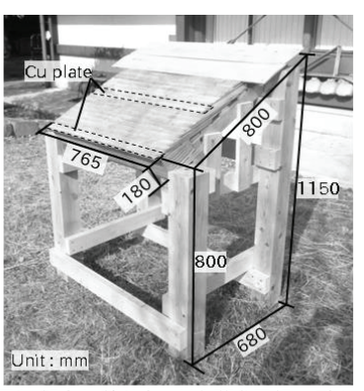


図1 架台に載せたこけら葺き屋根モデル

【実験方法】設置期間中（2014 年 10 月 30 日から 2019 年 12 月 26 日）は 1 か月〜数か月ごとに，ハンドヘルド型の蛍光 X 線分析装置（Niton XLt500，Thermo Scientific 社）で葺足部分の銅元素量を各段の異なる 3 か所で測定し，CuKα のカウント数を記録した。屋根モデルの撤収後，設置時に東側であった半分の領域を 1 段ずつばらして水のしみあがりや劣化状態を記録するとともに，各段の葺足と上段の板に覆われていた各部分の異なる 3 か所についてマイクロメーター（Mitutoyo 製，最小表示量 0.001mm）で厚さを測定した。また，4，9，14 段目のこけら板の一部について，葺足部分および上段の板に覆われていた部分を葺足側から 20mm ずつ区切った各区画について約 10mm 角の領域を X 線顕微鏡（XGT-7200V，（株）堀場製作所）で測定し，CuKα のカウント数を記録した。この測定は各段の異なる 3 か所で行った。

【結果の例】

図 2 は 4，9，14 段目葺足の銅元素量の約 5 年間の経時変化である。銅元素量は別途標準試料から作成した検量線で CuKα のカウント数を換算したものである。この 3 段における最終的な銅元素量は葺込銅板直下の 9 段目が最も多く，次に葺込銅板より下段の 4 段目で，葺込銅板より上段の 14 段目では検出されなかった。暴露開始から約 2 年目以降で銅元素量の増加速度は緩やかになっている。これは葺足部分が損耗し銅元素が付着した細胞が失われたためと考えられる。

暴露終了後の葺足部分の厚さについて，銅板の影響がより小さいと考えられる上段側（11 から 16 段目）とより大きいと考えられる下段側（1 から 10 段目）では上段側の葺足の損耗がより激しく，上段側と下段側の各平均厚さは welch 検定で有意差（両側 1%有意水準）が認められた。また，直上の板で覆われていた部分の上段側と下段側の各平均厚さは同検定で有意差（両側 5%有意水準）が認められず，葺いた当初の板厚に差があるとはいえないと考えられた。

図 3 は 2 段目の板のおもて面で，水のしみあがりの一例を示す。板間の水のしみあがりは，板の幅全体にわたってしみあがっている部分と暴露中に生じた板の割れやこけら板を割ったときに生じる繊維方向に沿った凹みで局所的にしみあがっている部分があった。前者は黒ずんで見え，顕微鏡観察すると数μm から 100 μm 程度の大きさの粒状物質が多数認められた。これらは大気中の塵埃が雨水や風で板表面に付着したものと考えられる。板の幅全体でのしみあがりの距離は 10 から 50mm 程度であった。一方，局所的なしみあがり部分では葺足と逆側の板端付近まで水が到達している箇所もあった。今回観察したすべての板で明らかな腐朽は認められなかった。

X 線顕微鏡で測定した 4，9，14 段目の板について，蛍光 X 線スペクトルで銅元素のエネルギー強度の位置にピークが現れたのは，4 および 9 段目の葺足と，4 段目の葺足側から数えて 1 から 5 区画目まで，9 段目の 1 から 7 区画目までであった。14 段目の板ではピークは現れなかった。

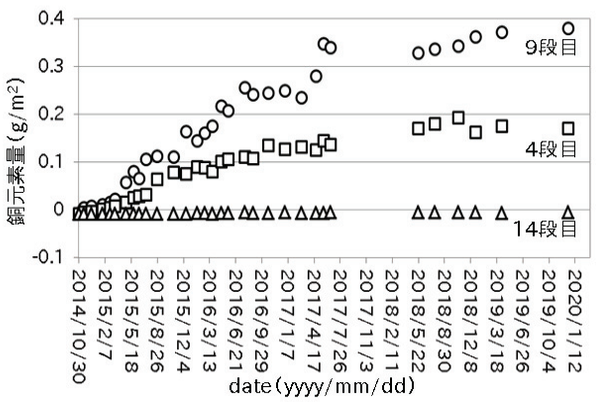


図2 4，9，14段目葺足の銅元素量の経時変化

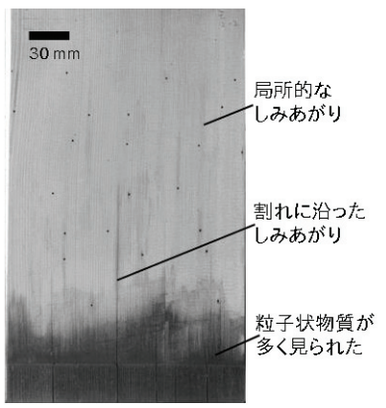


図3 水のしみあがりの例（2段目の板のおもて面）

謝辞　本研究の一部は科研費（基盤研究（C）（一般）JP18K01089）の助成を受けたものです。
屋根モデルをご提供くださいました（株）児島工務店様に感謝申し上げます。

参考文献

1）例えば，藤原裕子，藤井義久，中野ひとみ；葺込銅板のあるこけら葺屋根平葺面の銅元素分布－重要文化財 名草神社拝殿の例－，文化財科学会第 36 回大会要旨集，pp.152-153 (2019)

擬似出土木材の保存処理（2）

Conservation of artificial waterlogged wood II.

○山口繁生（公益財団法人　元興寺文化財研究所）
○Shigeo YAMAGUCHI (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

１．はじめに

埋蔵文化財の保存科学研究、及び保存処理の課題の一つは、埋蔵文化財の物性を再現した試料の入手が困難なことである。このため、標準試料を用いた対照実験による研究や、保存処理前の予備実験による処理方法の検討などを行うことができない。この課題を解決するため、一般的な材料に人工的な劣化を加えることで、擬似的な出土材を調製する研究が行われてきた[1),2)]。しかし、任意の出土材モデルを調製できるには至っていない。本研究では木質分解酵素とフェントン試薬を用いて現生材を人工的に劣化させ、出土木製品の物性を再現した擬似出土木材を調製することを目的として研究を行った。

研究の結果、セルロース分解酵素とフェントン試薬を併用し、現生材を人工的に劣化させることでホロセルロース含有量を低下させながら含水率を上昇させられることが明らかになった。さらに、前処理として試料を高温水蒸気にさらすことで、処理期間を大幅に短縮できることが明らかになった。この方法で調製した擬似出土木材を用いて保存処理実験を行い、実際の出土木材の保存処理と比較することで、擬似出土木材の有用性を検討した。

２．試料及び方法

実験試料として、イチイガシ（*Quercus gilva*）、クヌギ（*Quercus acutissima*）、クリ（*Castanea crenata*）、ツブラジイ（*Castanopsis cuspidata*）、トチノキ（*Aesculus turbinata*）、ホオノキ（*Magnolia obovata*）、ヤナギ（*Salix babylonica*）の計 7 つの樹種を用いた。心材より立方体を切り出し、試験片とした。試験片は軸方向に連続して切り出し、それらを対照試料群とした（図 1）。試料を減圧含水により飽水状態にしたのち、フェントン試薬水溶液、セルロース分解酵素水溶液に繰り返し浸すことで試料を劣化させた。調製中は水中重量、及び空中重量を測定することで含水率の変化を観測した。

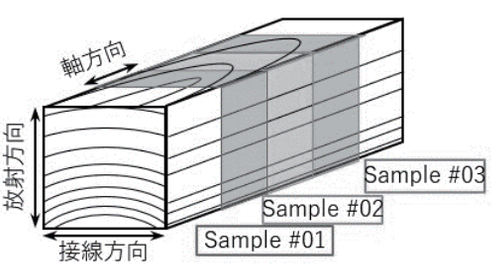


図１　試料切出し方の模式図

保存処理実験には PEG 含浸法、トレハロース含浸法、脂肪酸エステル含浸法を用いた。PEG 含浸法、及び脂肪酸エステル含浸法では試料内部の水分を 100%の樹脂溶液に、トレハロース含浸法では 72%水溶液に置換後固化させた。

保存処理前後の疑似出土木材の変化を調べるため、CT 撮影を行った。CT 撮影には TOSCANER-32300μFD-GCR（東芝 IT コントロールシステム株式会社）を用いた。解析には VGStudio MAX（ボリュームグラフィックス株式会社）を用いた。

３．結果

対照試料群内において、調製した疑似出土木材の含水率の相対標準偏差（RSD）は、最大で 4%であった。また、保存処理後の樹脂含有率（樹脂質量を木材実質の質量で除した値）も、RSD は最大で 6%であった。これらの結果より、どの樹種においても均質な試料群が調製されたと考えられた。

保存処理実験においては、PEG 含浸法に比べ脂肪酸エステル含浸法の寸法安定性が優れているという結果が得られた。出土木材を用いた保存処理実験においても同様の結果が得られており、この点においては出土木材を再現できていると考えられた。一方、トレハロース含浸法では、一部の樹種において早材部の膨張による変形が見られた（図 2）。このような膨張は実際の出土木材を用いた保存処理では見られない。よって、レハロース含浸法において擬似出土木材は出土木材を再現できていないことが明らかとなった。

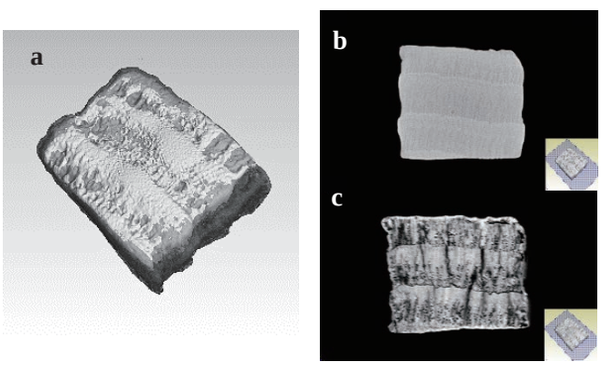


図２　ツブラジイの擬似出土木材で生じた寸法変化（a: 3D モデル; 膨張部分を濃色で示す、b, c: 木口面の処理前後での断面図の比較）

４．まとめ

セルロース分解酵素とフェントン試薬を用い、人工的に出土木材を調製する方法の開発を行った結果、短期間で均一な試料群が調製できる方法を確立した。調製した擬似出土木材を用いた保存処理実験では、すべての実験条件ではないが、多くの条件において実際の出土木材の保存処理と同様の結果が得られた。今後保存処理方法の研究をしていくうえで、擬似出土木材は有用な試料になると考えられた。

＜謝辞＞

本研究は JSPS 科研費 17K1206 の助成を受けたものです。また、本研究で用いた現生材試料の一部を奈良県森林技術センターよりご提供いただきました。ここに記して謝意を表します。

1) 増澤文武, 鉄器の保存処理の研究 錆びた鉄粉圧縮体へのアクリル樹脂の減圧含浸, 元興寺仏教民俗資料研究所 保存科学研究室紀要, 2, 15-31 (1972)

2) 高妻洋成, 人工劣化木材の調製とそれを用いた出土木製品の保存処理の適正化, 博士論文（京都大学）, (2010)

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７

Study on conservation of waterlogged wood using freeze-drying method with microwave heating 7

○川本耕三（(公財）元興寺文化財研究所)、大橋有佳（同)、山口繁生（同）
○Kozo KAWAMOTO、Yuka OHASHI、Sigeo YAMAGUCHI (Gangoji Institute for Research of Caltural Property)

1. はじめに

出土木材に含まれる水分を 40%程度までポリエチレングリコール（ＰＥＧ、分子量約 3000）に置換後、水分を凍結乾燥によって取り除く保存処理法が凍結乾燥法である。凍結乾燥法では処理する木材の厚みが大きくなるほど中心部の水分が除き難くなり、周辺部の木材には過乾燥によるクラックが生じやすい。

本発表者らは 2011 年度より凍結乾燥装置のチャンバーにマグネトロンを接続したマイクロ波加熱凍結乾燥装置を２基作製し（図１～２)、さまざまな条件で実験を行ってきた。

木材試料各部の重量を定期的に測定しながら凍結乾燥処理で試料中の水分を除いた後にマイクロ波加熱凍結乾燥を行ったところ、マイクロ波照射によって試料内部に残留した水分の乾燥が促進されたことを図１の装置を用いて 2015 年大会で報告した。また、装置や試料内各部の温度を測定し、適時運転条件を切り替えて処理できることを図２の装置を用いて 2018、2019 年大会で報告した。

本報告では実際の出土木製品の保存処理を想定して、重量測定やＣＴ撮影等の非破壊的手法によって処理中試料の状態を定期的に把握したうえで処理できるか確認する実験を行った。

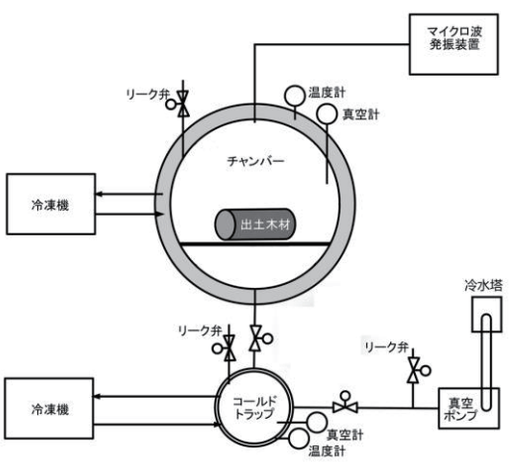


図１．マイクロ波加熱凍結乾燥装置模式図１

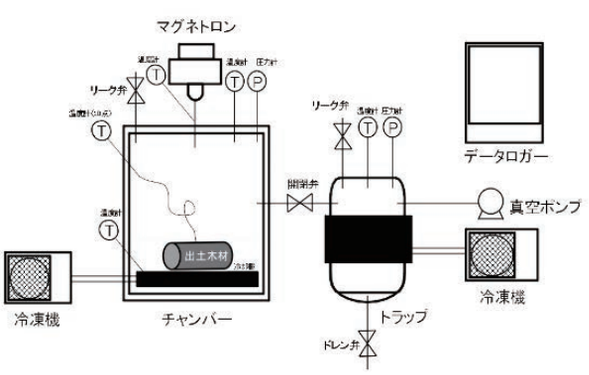


図２．マイクロ波加熱凍結乾燥装置模式図２

2. 実験

(1) 試料（図３）

長径約 190cm、短径約 130cm、高さ約 170cm、重さ 3615g、含水率約 440%のアカガシ亜属の出土木材（流木）を試料とした。

図３．出土木材試料

(2) 処理方法

20%、40%ＰＥＧ水溶液に定法通り含浸した試料を、－30℃のチャンバー内で 5 日間予備凍結したうえで、－30℃、10Pa 以下のチャンバー内で 24 日間凍結乾燥（－80℃のトラップに水分を捕捉）した。凍結乾燥処理中、数日毎にチャンバーから試料を取り出し、重量測定とＣＴ撮影を行った。試料の重量減少がほぼ一定になり、ＣＴ撮影で試料の中心付近以外に水分が見えなくなったら、約 75W のマイクロ波を 2 日間断続的に照射（計 1 時間）し（マイクロ波加熱凍結乾燥)、その後、再度凍結乾燥に戻して処理を終了した。

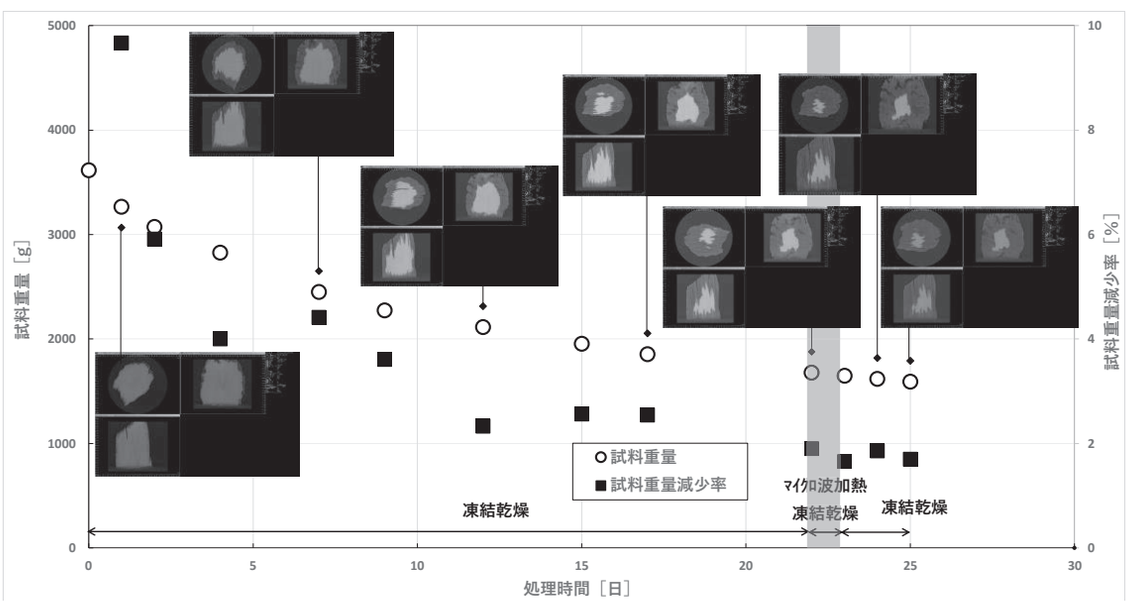


図３．マイクロ波加熱凍結乾燥法による試料重量の変化と試料のＣＴ像

(3) 結果と考察

図４に処理実験中の試料の重量変化と減少率、およびＣＴ像を示した。

ＣＴ画像では処理当初の試料には水分が十分あり、処理時間が経過するにつれて試料周辺部から順に減少したことを観察できた。試料重量は処理当初には大きく減少したが次第に緩やかになり横這いとなった時点で、マイクロ波加熱凍結乾燥を行う判断をした。

マイクロ波加熱凍結乾燥を行ったところ、ＣＴ画像では試料中央部の水分の体積減少が確認できた。試料重量の減少率には大きな変化は見られなかった。

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

出土遺物の保存処理に使用されるポリエチレングリコールの低分子化に金属イオンが関与する可能性について

Study on the Possibility of Metal Ions Effect on the PEG Degradation Applied for Archeological Artifacts

◯鷲津未来、米村祥央（東北芸術工科大学）

◯Miku WASHIZU, Sachio YONEMURA (Tohoku University of Art & Design)

1. はじめに

ポリエチレングリコール(PEG)は、保存処理工程の簡便さや安定性から、文化財保存の分野では特に木製遺物の保存処理に使用される薬剤である。しかし近年、一部の木製遺物にPEGの低分子化に伴う問題が報告されており、保管環境が原因の一つと考えられているが、その詳細は明らかになっていない。PEGの低分子化の要因としては、温湿度や酸素等が報告されている[1)]が、一般的な高分子材料の劣化要因としては金属イオンの関与も知られている。木製遺物は埋没中に土中の金属イオンを取り込んでおり、保存処理工程や保管中に影響を及ぼす可能性がある。また、土そのものをPEGで保存処理した事例もあるため、低分子化との関係を検討すべきである。そのため、本研究では土壌の金属イオンに注目し、含有量の多い金属イオンであるAl、Ca、Feイオンによる PEGの低分子化の影響を探る。

2. 実験

Al、Ca、Fe標準液をPEG4000S 10gに対し、質量濃度5、10、15、20wt%になるよう調整した(表1)。サンプルはそれぞれ3つずつ作製し、対照としてPEG4000Sのみのサンプルも作製した。75℃に設定した恒温器で約1年加速劣化させ、その後約1年間室温にて保管した。

表1. 使用薬剤

名称	濃度	製造元
PEG4000S	—	三洋化成工業株式会社
Al標準原液	Al・HNO_3(0.5 mol/L)溶液 1.004mg Al/mL	関東化学株式会社
Ca標準液	$CaCO_3$・HNO_3(0.1mol/L)溶液 0.999mg Ca/mL	富士フイルム和光純薬株式会社
Fe標準液	Fe・HNO_3(0.1 mol/L)溶液 1.001mg Fe/mL	関東化学株式会社

3. 結果

3-1. 目視観察による評価

図1. 左：評価1 右：評価5

全てのサンプルを同じ条件下で加速劣化させたにも関わらず、サンプルによって室温下での状態が異なった。そのため状態別に評価付けを行い、全体の状態を把握した(図2)。評価は以下のように設定した。

評価1：瓶を倒しても液垂れせず、全体的に凝固している

評価2：瓶を倒すとわずかに液垂れするが、ほとんど凝固している

評価 3：瓶を倒すと 5 秒以内に液が瓶の半分以上垂れる
評価 4：やや粘度があり、瓶を倒すとすぐに液垂れする
評価 5：粘度があまりなく、瓶を倒すとすぐに液垂れする

全体の半数以上が、保存状態として望ましい“常温で固体を呈する”状態ではなかった。PEG のみのサンプルが評価 3、4 であるのに対し、Fe 標準液を含有させたサンプルでは、濃度 10wt%以上では評価は 5 であり、常温でも液体を呈していた。このことから、Fe イオンは PEG の低分子化を促進させる可能性が示唆された。また、Al 標準液を含有させたサンプルは、一見凝固しており、瓶を倒しても液垂れすることが無かった。ガラス棒で混ぜてみたところ、完全に凝固しているのではなく、軟膏状であった。Al イオンの影響に関しては、要因を検討中である。

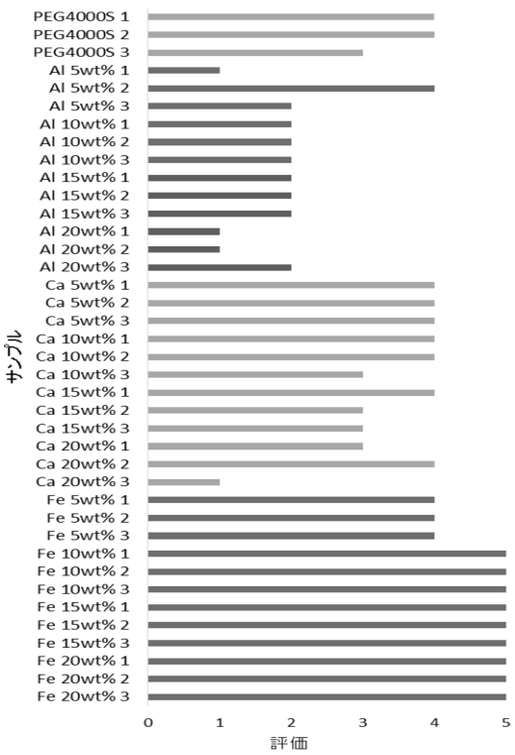


図 2. サンプル別の評価グラフ

3-2. FT-IR 分析

分子構造の変化をみるため、劣化させていない PEG4000S のサンプルと加速劣化させたサンプルのスペクトルを比較した(図 3)。分析には KBr カードを使用し、サンプルの濃度は 10wt%に調節した。スキャン回数は 64 回に設定した。

$1720cm^{-1}$、$1182cm^{-1}$では劣化させたサンプルのみピークが検出した。$1720cm^{-1}$のピークは C=O 伸縮振動を示しており、PEG が低分子化した際に生成される有機酸に由来すると考えられる。また、$1182cm^{-1}$のピークは C-C-O 伸縮振動を示しているため、生成された有機酸は酢酸であることが示唆された。

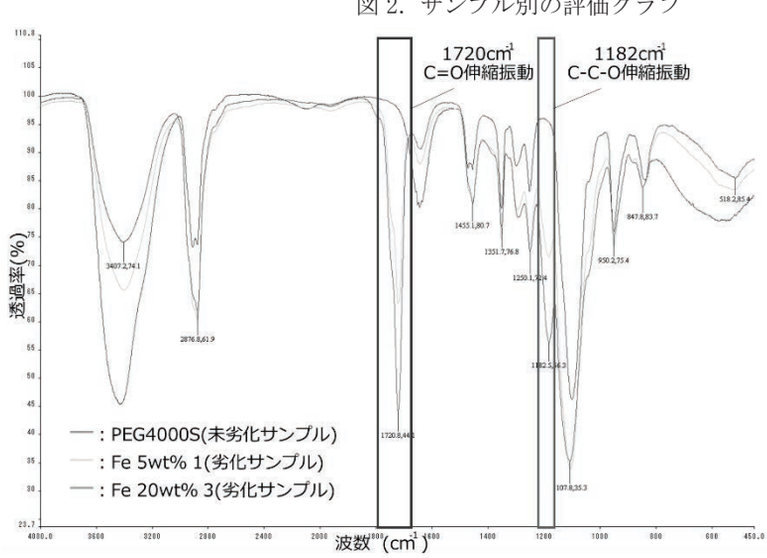


図 3. Fe 添加による PEG の FT-IR スペクトルの変化

4. さいごに

本実験から、Fe イオンが PEG の低分子化を促進させる可能性が示唆されただけでなく、Al イオンが PEG に何らかの影響を与えている可能性が見出された。しかし、現段階ではデータ量が少なく、推測の域を出ない。今後は分子量分布の分析を行う予定である。問題が報告されている遺物への解決案の一助となるよう、より有用なデータになるように努めていきたい。

1) 米村祥央 「分子量分布の変動から捉えた出土木製品保存処理薬剤の劣化―ポリエチレングリコールの低分子化とその要因―」 (2008)『歴史遺産研究 No,4』 pp27-33

トレハロース含浸処理法による大型木製品の保存処理例
～諫早市指定文化財「唐比のくり舟」の保存処理～
Conservation example of large wooden object using Trehalose method
～The case of Isahaya City's designated cultural property, “Dugout canoe from KARAKO”～

○水吉優子（株式会社葵文化）、野澤哲朗（諫早市文化振興課）、新井実和（同左）、片多雅樹（長崎県埋蔵文化財ｾﾝﾀｰ）
○MIZUYOSHI Yuko(Aoi Bunka Co.,Ltd.), NOZAWA Tetsuro, ARAI Miwa (Isahaya city), KATATA Masaki (Nagasaki prefecture)

◆はじめに

長崎県諫早市から出土した「唐比（からこ）のくり舟」は、約 40 年間水漬けの状態で保管されてきたが、平成 30 年度に保存処理を終え展示公開されている。全長４ｍを超えるくり舟の保存処理にあたっては、分子量が小さく含浸期間の短縮が見込めること、及び保存処理後は博物館ロビーで常設展示されるという点を考慮し、トレハロース含浸処理法を採用することとした。大型木製品をトレハロース含浸処理法で処理した前例は無かったが、本資料を処理してみて好感触を得た。ここでは今回の処理で工夫した概要を報告し、詳細はポスターに譲ることとする。

◆唐比のくり舟について

唐比のくり舟は昭和 49 年 1 月、諫早市森山町唐比西名塔ノ本 108-2 番地の水田において排水溝工事中に発見された。その後、遺跡に隣接する唐比温泉センター敷地内に作ったコンクリート製の水槽に移設、水漬けで保管されてきた。一木をくり抜いて作られたもので、両先端を欠失しているが、全長 446 ㎝、最大幅 83 ㎝、深さ 38 ㎝、厚さ 10 ㎝、横断面は丸味の付いた「コ」の字形を呈している（藤田 1980）。このようにほぼ完形で出土したくり舟は全国的にも希少であることから、昭和 56 年 7 月 14 日に諫早市指定有形文化財に指定された（野澤他 2020）。また、平成 27 年度には保存処理に先立ち、年代測定及び樹種同定が行われ、放射性炭素年代測定によって AD772～894 年頃のもの、樹種はクスノキであることが分かっている。

出土した当時の唐比のくり舟（1974 年 1 月）

◆保存処理作業工程

洗浄及び変形抑止用保護枠作成などの前処理に 1 年、トレハロース水溶液の含浸に 1 年、結晶化及び表面処理・修復に 1 年の計 3 ヵ年での処理計画を立て保存処理を実施した。

保存処理工程表

実施業務	平成２８年度												平成２９年度												平成３０年度											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
くり舟養生・運搬・事前調査				■																																
含浸槽作成					■	■																														
洗浄・FRP型作成						■	■	■	■	■	■																										
EDTA（鉄分除去）処理												■																									
トレハロース含浸													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■													
取り上げ・冷却・風乾																									■	■	■	■	■								
表面処理・風乾																														■	■	■	■	■	■		
接合・補填・補彩・展示台作成																																			■	■	
納品・展示作業																																					■

以下、処理工程において工夫したポイントを列記する。

- 保護枠の作成
  処理中の変形抑制のため、また、含浸槽への出し入れ時のため保護枠を作成した。保護枠はFRP（繊維強化プラスチック）を使用し、くり舟内側を 10 分割、外側を 11 分割の計 21 分割できる仕様にし、底

部はそのまま展示に使用できることを見越して設計した。また、レハロース水溶液を内部に通すように、保護枠全体に直径８㎜程度の穴を満遍なく施した。くり舟本体は不織布で養生した後に保護枠を装着したため、含浸後、保護枠等の跡が資料表面に残ることはなかった。

- 含浸槽の作成

  本資料専用の含浸槽（木材＋断熱材＋FRP 樹脂コーティング）を作成した。蓋は発泡スチロールの断熱材にアルミ保温シートを貼ったものを作成した。含浸槽のサイズは内寸で L4550×W1350×D120（㎜）である。溶液の深さが 800 ㎜の場合、容量は約 5,000L である。

- トレハロース水溶液の含浸

  トレハロース水溶液の加温は投げ込みヒーター（500W）を使用し、プログラムタイマーで加温のオン、オフ時間を調整する事で温度をコントロールした。トレハ濃度 30～40％（約３カ月）の間で約 45℃を保つため２本、トレハ濃度 40～60％（約１カ月半）の間で 50～65℃を保つため４本、トレハ濃度 60～72％（約１カ月）の間で 70～78℃を保つため６本使用した（総消費電力は約 6480kwh）。

  また、大型で水深が深い含浸槽は温度ムラによる濃度ムラが起こりやすいため、トレハロースを追加投入する時、トレハ濃度 60%を超えてからは週１～２回の撹拌を行った。このように温度を濃度プラス５以上の数字をキープし、撹拌を行う事で含浸槽上部と底部の濃度差がほぼ無い状態を保てた。トレハロースの総使用量は約 3780kg である。

- 結晶化⇒表面処理⇒展示

  含浸後の結晶化は保護枠を装着した状態で実施し、表面処理は内側と外側の保護枠をはずして交互に実施した。運搬の際は保護枠を再装着し、また底面の保護枠は支持台としてそのまま展示に使用した。

保護枠で梱包して搬入

保護枠に嵌めた状態で結晶化

諫早市美術・歴史館にて展示中のくり舟

◆まとめ

全長４ｍを超える木製品のトレハロース含浸処理法による保存処理例は、現在のところ最大である。現在は諫早市美術・歴史館のロビーにて一般公開されている。一般公開から１年以上経過観察を続けているが、変形や亀裂等は見られていない。

1990 年代、同じくクスノキ製で全長 515㎝ある丸木舟（清水市巴川出土）を、PEG#400 と#4000 の二段階方式で含浸（溶剤として第３ブチルアルコールと水を併用）させた後、真空凍結乾燥法で処理した事例があるが、処理期間には７年の歳月を要したという（西尾他 1999）。今回のくり舟はトレハロース含浸処理法により３年間で処理を終わらせる事ができた。近年、トレハロース含浸処理法における含浸処理液の再利用化や、自然エネルギーを用いた加熱方法など、省エネルギー、コストダウンにつながる研究も進められており（伊藤 2018）、今回の事例が今後の大型木製品処理策定の際の一助になれば幸いである。

最後に、日頃よりトレハロース含浸処理法について多くのご教示を賜っている大阪市文化財協会保存科学室長の伊藤幸司氏に厚く御礼申し上げます。

（参考文献）

藤田和裕1980「唐比塔ノ本遺跡―北高来郡森山町所在―」『長崎県埋蔵文化財調査集報Ⅲ』長崎県文化財調査報告書第50集

西尾太加二・高妻洋成・渡辺康弘1999「清水市巴川出土丸木舟の保存処理」『日本文化財科学会第16回大会要旨集』

伊藤幸司2018「トレハロース法による海底遺跡出土文化財の保存処理研究－自然エネルギー利用に向けて－」平成27～29年度科学研究費助成事業基盤研究(B)研究成果報告書

野澤哲朗・新井実和2020「諫早市指定文化財「唐比のくり舟」の保存処理に関する報告」『長崎県埋蔵文化財センター研究紀要第 10 号』

出土木製品保存処理の省コスト・省エネルギー化に向けた研究（その6）

―大型製品用太陽熱集熱含浸処理装置の開発と実施―

Study of saving cost and energy of the waterlogged wood conservation treatment (6)
– Development and implementation of solar thermal collectors for large object –

○伊藤幸司（一般財団法人大阪市文化財協会）、藤田浩明（同左）、北村良輔（株式会社寺田鉄工所）、
安木由美（松浦市教育委員会）、今津節生（奈良大学）、池田榮史（琉球大学）
○Kouji ITO, Hiroaki FUJITA(Osaka City Cultural Properties Association),
Ryosuke KITAMURA(TERADA IRON WORKS CO.,LTD),
Yumi YASUKI(Matsuura City Board of Education), Setsuo IMAZU(Nara University),
Yoshifumi IKEDA(UNIVERSITY OF THE RYUKYUS)

1 はじめに

海底遺跡出土の大型木製品を保存処理する場合、幾つかのハードルがある。主なものとして長期に渡る電気エネルギーの使用、設備導入費と保存処理方法が挙げられる。これらの問題の解消に向けて、太陽熱集熱含浸処理装置（１号機）を設計・製作し、稼動試験によって良好な結果が得られた（第 34 回大会発表要旨集など）。この研究に基づき、太陽熱集熱加熱循環装置（２号機）及び大型木製品用太陽熱集熱含浸処理装置（３号機）を設計、製作した。これらの装置は１号機同様、松浦市立埋蔵文化財センターに設置し、稼動試験を経て、トレハロース法による保存処理の実施段階に入っている。当要旨では３号機の仕様と稼動試験結果の概要を、詳細についてはポスターで紹介する。

2 太陽熱集熱含浸処理装置（3号機）の仕様

《太陽熱集熱装置》
・太陽熱集熱器：真空ガラス管を装着した集熱パネル（最大集熱温度 295℃）を５枚連結
・熱交換蓄熱槽：高耐食ステンレス鋼(SUS316L)で内部はダブルコイル式、容量 500L×２台
・電気ヒーター：AC220V・５kW、１本
《含浸槽》
・外寸 666cm×166cm×70cm　内寸 650cm×150cm×63cm
・枠材：側面は配管用炭素鋼鋼管(SGP40A)と合板、底面は平鋼(FB6)と合板
・側面・下面用断熱材：フェノールフォーム(厚み 5cm　商品名：ネオマフォーム)
・液面用断熱材：発泡素材ボード（厚み 4cm　商品名：エペラン）
・シート：高耐熱性・高耐候性フッ素樹脂膜材（中興化成工業株式会社製 FGT-800）
・放熱管：ステンレス鋼製フレキパイプ(径 2cm)

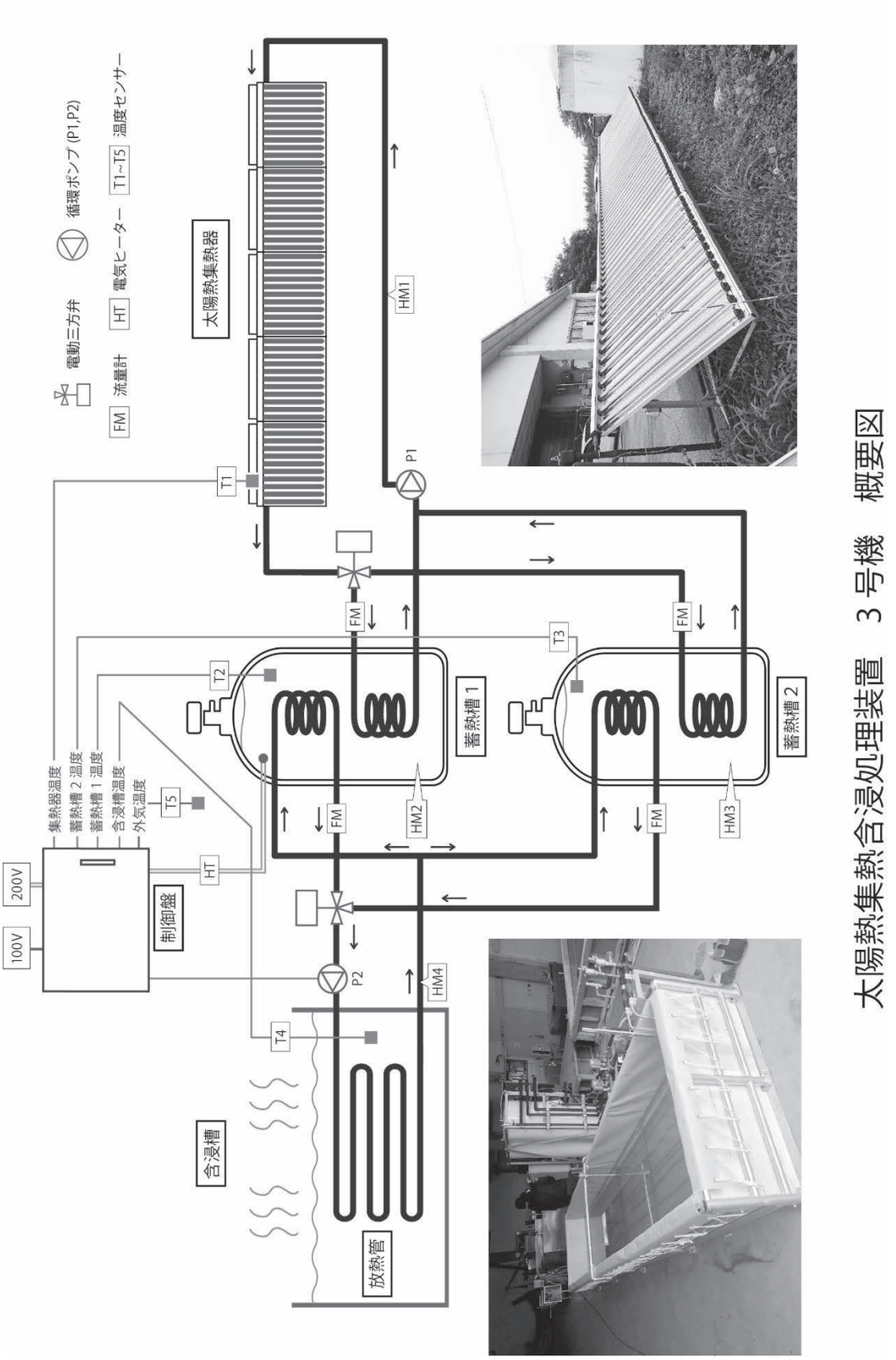
3 含浸槽の放熱試験

槽内水温を 50℃にし、熱源を停止してから 12 時間後の温度は 48.7℃であった（外気温 27.5℃）。これに対して、従来のステンレス槽（大阪市文化財協会既設）は 45.1℃まで低下した。

4 まとめ

3 号機の含浸槽は６方向を断熱材で囲うことにより従来のステンレス製よりも高い保温性能を示した。今後、含浸処理装置を設計する際の選択肢となるであろう。

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



太陽熱集熱含浸処理装置　3 号機　概要図

トレハロース含浸処理法における含浸と結晶化のイメージ（その３）

-資料中で固化したトレハロースの状態の観察-

Study of impregnation and crystallization in trehalose method (3)
-Observation of the state of trehalose solidified in the object-

◯伊藤幸司*1、小林啓*2、三宅章子*3
◯Kouji ITO, Akira KOBAYASHI, Akiko MIYAKE
*1 一般財団法人大阪市文化財協会 (Osaka City Cultural Properties Association)
*2 九州歴史資料館 (Kyushu Historical Museum)　*3 株式会社林原 (Hayashibara.co.,Ltd.)

1. はじめに

筆者らは含浸したトレハロースが対象資料中でどの様に分布・固化しているのか視覚的に把握することが重要であると考えCTなどを用いた研究を行なってきた。また、亀田らは電子顕微鏡を用いた研究を行なった（双方とも第31回大会発表要旨集に収録）。

他方、伊藤はトレハロース含浸処理法による実験や実資料への実施を重ねる中で、強度および寸法安定性が大きく向上する「しきい」があるように感じてきた。この変化は対象の樹種や腐朽度、形状などの条件によって異なるが、含浸濃度40～50%の範囲で起こるように思う。

今回の研究は、木材試料片にトレハロースを含浸し、濃度による分布や固化の差異を観察した。

2. 試料作成と観察方法

出土材であるスギとケヤキを用い、0%から70%まで10%毎のトレハロース水溶液含浸試料計16点を作成した。含浸直後に紙製ワイパーで軽く押えて表面に付着しているトレハロース水溶液を吸い取り、風乾により固化した。一般的な木製品の含浸処理を想定した操作である。

試料の観察･撮影にはLeica DVM5000HD（琉球大学水中文化遺産研究施設設置）を使用した。

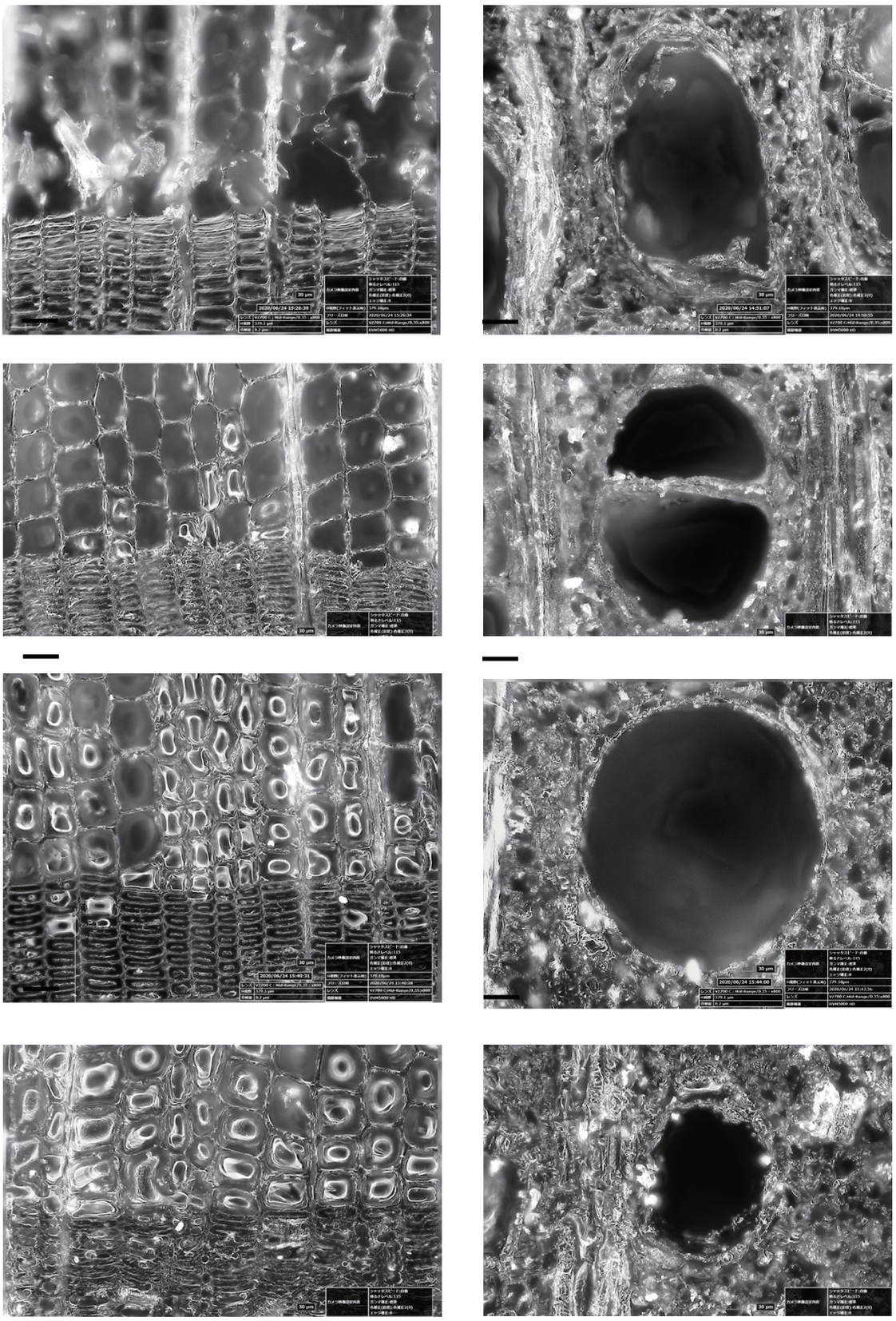
3. 観察

写真は0%･30%･50%･70%の試料の木口面を撮影（800倍）したものである。当然のことではあるが、含浸濃度が高いものほど固化物の量が増す。高倍率に拡大すると非常に微細な結晶と非晶質（ガラス）が混在しているように見える。その分布は、低濃度段階では細胞壁に付着し、濃度が上がるにつれて空隙を埋めるようになる。

4. まとめ

低濃度では細胞壁の損傷箇所等にトレハロースが浸透・固化し（第1段階）、濃度が上がるにつれ細胞壁表面への付着量が増え（第2段階）、更に高濃度になると空隙を埋め始める（第3段階）、という印象を受けた。経験的に感じている「しきい」はこの段階の進行と関連している可能性がある。

当研究はJP18H00759（研究代表者伊藤幸司）の成果を含む。
検鏡に際しては琉球大学池田榮史教授、松浦市教育委員会から御高配賜った。記して感謝致します。



木口面の観察（左列：スギ、右列：ケヤキ トレハ含浸濃度：上から 0%、30%、50%、70%）

金属錆の酸化および潮解性の制御を目的としたトレハロースの効果

Effect of trehalose for controlling oxidation and deliquescence of metal rust

○杉浦正和（奈良大学大学院）、今津節生（奈良大学文学部教授）

○Masakazu　SUGIURA, Setsuo　IMAZU（Nara University）

1. はじめに

木と金属からなる複合遺物は、保存処理後の保管中に劣化が進行することがある。特に海底から発見された遺物は嫌気性の鉄バクテリアが硫黄を集めて硫化鉄を蓄積し、この硫化鉄が保存処理後に空気中の水分を吸湿することで酸化して水和硫酸塩や硫酸を生成し、木材を劣化させる「硫黄問題」が指摘されている。最初にこの現象を報告した VASA 号博物館では 53%RH 以下に展示環境を制御することで硫化鉄の酸化を制御している。また、沈没船においては PEG で処理されたものは保存処理後の劣化や高湿度環境下での劣化が問題となっている(今津 2020)。ところが、トレハロースを用いて保存処理した複合遺物は安定しており、硫化鉄の酸化や吸湿による水和硫酸塩の生成がみられない(IMAZU,ITO,MORGOS 2016)。そこで、高湿度環境下で吸湿して潮解しやすい金属錆にトレハロースを塗布して 55%RH、70%RH、95%RH の高湿度環境で安定性を観察した。その結果、トレハロースが金属錆の潮解性を改善すると共に酸化反応を制御している可能性を確認したので報告する。

2. 実験方法

実験試料：塩化鉄（Ⅲ）六水和物（$FeCl_3・6H_2O$）、硫化鉄（FeS）、硫酸第一鉄七水和物（$FeSO_4・7H_2O$)、塩化銅（Ⅱ）無水和物（$CuCl_2$）、硫酸銅（Ⅱ）五水和物（$CuSO_4・5H_2O$）

使用薬剤：食品用トレハロース 2 水和物　（商品名：トレハ（(株)林原）

実験方法：トレハロース 72%水溶液を塗布し、50℃のオーブンで 7 日以上乾燥した後に下記の環境に置いて観察した。

実験環境：54%RH：硝酸カリウム飽和溶液を密閉したガラス製デシケータ内で維持

70%RH: 恒温恒湿機内で 25℃,70%RH で維持

95%RH：硝酸マグネシウム飽和溶液を密閉したガラス製デシケータ内で維持

塗布濃度：木材の保存処理では、72%までトレハロースを含浸している（伊藤 2020）。本実験でも、トレハロースの塗布濃度を 72%とした。

3. 結果と考察

塩化鉄（Ⅲ）六水和物は黄褐色の結晶で、潮解性が著しい。空気中の水分をすみやかに吸収して液状化すると共に酸化して褐色になる。ところが、トレハロースを塗布した塩化鉄(Ⅲ)は、54%RH でも 70%RH でも

		約54%RH	約70%RH	約95%RH
塩化鉄（Ⅲ）六水和物	トレハロース塗布	○	○	△
	未塗布	×	×	×
硫化鉄（粉末）	トレハロース塗布	○	○	○
	未塗布	○	○	○
硫酸第一鉄	トレハロース塗布	○	○	△
	未塗布	○	○	×
硫酸銅（Ⅱ）五水和物	トレハロース塗布	○	○	○
	未塗布	○	○	○
塩化銅（Ⅱ）無水和物	トレハロース塗布	○	○	△
	未塗布	×	×	×

固体であった。トレハロース 2 水和物が潮解する 95%RH では、固体と液体の混合状態であったが、固体は黄褐色を維持していた。この実験から、トレハロースは塩化鉄（Ⅲ）の潮解性を改善すると共に酸化を制御していることが推定できる。

硫酸第一鉄では、54%RH も 70%RH も固体を維持していたが、95%RH の環境に置いたトレハロース未塗布の試料は完全に潮解して褐色に変色していた。ところが、トレハロースを塗布した硫酸第一鉄は 95%RH で一部溶解したしたものの固体と液体の混合状態を保っており、未塗布に比べ薄い褐色であった。

塩化銅も吸湿性が高く潮解性がある不安定な錆であるが、トレハロースを塗布した塩化銅は、54%RH でも 70%RH でも固体を維持していた。95%RH では、トレハロースも潮解して固体と液体の混合状態であったが、固体は黄緑色を維持していた。硫酸銅（Ⅱ）は水に易溶であるが、今回の実験では 95%RH の環境でもトレハロース塗布の有無に関わらず固体を維持していた。以上のように、トレハロースを塗布した塩化鉄（Ⅲ）、硫化鉄、塩化銅、硫酸銅（Ⅱ）は、本来の潮解性を大幅に改善すると共に酸化反応を制御していることが明らかとなった。

4. まとめと今後の課題

トレハロースと金属イオン化合物と共存させたときに、トレハロースが金属イオン化合物の潮解性を改善したり、水への溶解性を高めたり、金属イオン化合物による酸化還元反応を抑制するという機能があるという指摘がある（奥 2009）。またトレハロースは、金属（鉄）の酸化を防ぐという研究がある（伊藤 2020）。本研究においても、潮解性を持つ鉄や銅の金属イオン化合物に高濃度のトレハロースを塗布することによって、高湿度環境下でも大幅に潮解性を改善すると共に酸化反応を制御している現象を確認した。

本研究によって、海底出土遺物に蓄積した硫化鉄が保存処理後に空気中の水分を吸湿し、酸化して水和硫酸塩や硫酸を生成する「硫黄問題」の解決に繋がることが期待できる。さらに鉄器や銅製品の脱塩処理が十分ではなく硫化鉄や塩化鉄、塩化銅や硫酸銅が金属錆に残存している場合にも、トレハロースを塗布して乾燥させることによって金属錆の潮解性を大幅に改善できる可能性を見いだすことができた。

【参考文献】

奥和之、久保田倫夫、福田恵温、三宅俊雄「トレハロース又はマルチトールと金属イオン化合物との会合物」特許公報 2009-280580, 2009

Setsuo Imazu, Koji Ito, Aizawa & Andras Morgos , “The pre-conservation issues in the conservation of the wrecked ships and remains of the Mongol fleet from 1281”, WET ORGANIC ARCHAEOLOGICAL MATERIALS CONFERENCE (May 16th-21th, pp.242-248, 2016

今津節生「水中遺跡から発見された沈没船の保存処理技術」『考古学ジャーナル』735, pp. 20-22, 2020

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－糖類含侵処理法開発の経緯と展望－』三恵社　2020

トレハロースの非晶質化を用いた木簡削り屑の保存処理

Treatment of wood shavings using amorphization of trehalose

○小林啓*1、伊藤幸司*2
○Akira KOBAYASHI, Kouji ITO
*1 九州歴史資料館 (Kyushu Historical Museum)
*2 一般財団法人大阪市文化財協会 (Osaka City Cultural Properties Association)

1. はじめに

固化したトレハロースには結晶と非晶質の状態があり、保存処理の対象となる資料の条件に合わせて固化の状態をコントロールすることで、木器をはじめとする広範な資料に適応している。一般的な木器の保存処理では、緻密な結晶を多く生成させるため資料の表面は白くなり、スチーム等による表面処理が必要となる。一方、非晶質（ガラス）は透明度が高く、そのままでも資料本来の色調やテクスチャを鮮明に残すことができ、従来は保存処理が困難とされてきた繊維や編物等の資料に極めて有効である（伊藤ら、日本文化財科学会第 34 会大会)。

本研究では、木簡削り屑（以下、削り屑）の保存処理においてトレハロースの非結晶化を用いることで良好な結果が得られたことや、削り屑表面の非晶質状態の観察結果を報告する。

2. 資料と方法

削り屑は木簡を再利用する際に墨書面を薄く削り取った木片であり、出土木簡として分類される資料のおよそ 9 割は削り屑である。墨書や墨痕があり資料的価値は高いが、厚さは 1ｍｍにも満たず脆弱なため保存処理や処理後の保管・管理が困難な資料とされている。

今回、対象とするものは特別史跡大宰府跡（福岡県太宰府市）から出土した削り屑である。保存処理方法は、削り屑に 20％程度のトレハロースを噴霧、ドライヤーの温風で加温濃縮させる。噴霧・加温濃縮を繰り返し資料内部の固形分を増加させながら、都度、資料表面の状態を確認、形状安定に十分な固形分を与えた後、冷却・固化させた。これら保存処理に関わる一連の作業に要した時間は、トレハ噴霧（処理開始）から固化（処理終了）まで 20 分程度である。

3. 結果

写真 1 は、削り屑の保存処理前と処理後を撮影したものである。削り屑の外観は、保存処理前と処置後を比較してもほとんど変化は見られず、良好な形状安定性が確認できた。また、資料表面の墨書や墨痕は、保存処理前（写真 1 左側）よりも処理後（写真 1 右側）の方がより鮮明になっているように見える。

写真 2 は、削り屑の表面を拡大したものである。資料表面の木材組織をコーティングするようにガラス様のトレハロースが被覆しているように見え、所々に微細な結晶が散在する。いずれにせよ資料表面のトレハロースは全てがガラス化したのではなく微細な結晶が混在している。

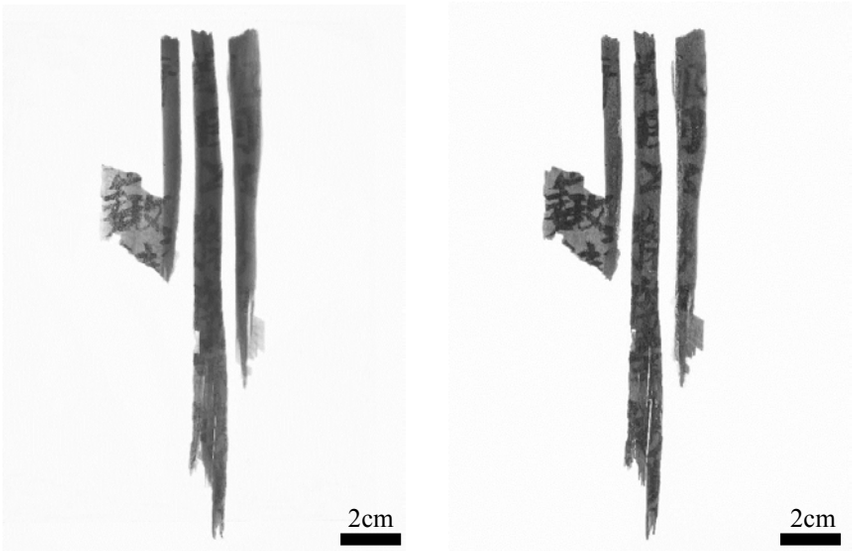


写真 1　保存処理前（左）と処理後（右）の削り屑

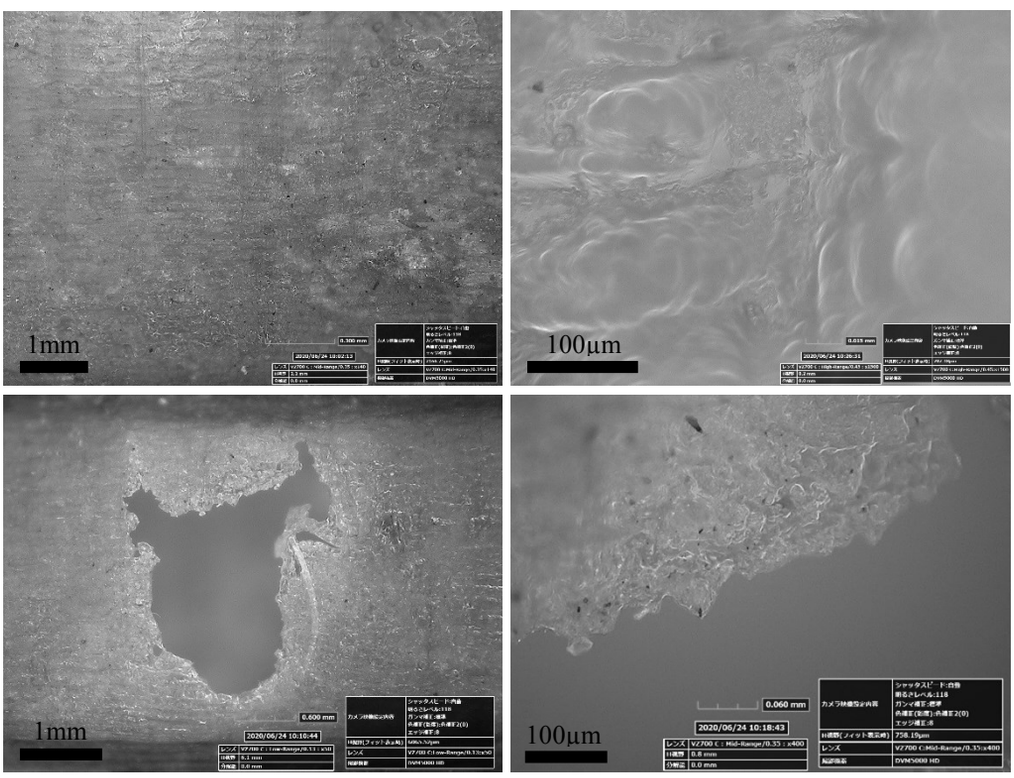


写真 2　削り屑表面を覆うトレハロースの固化状態

4. まとめ

トレハロースをガラス化させることで従来は保存処理が困難とされてきた削り屑を良好な状態で遺すことができた。表面処理をおこなわず且つ短時間で保存処理を終えられることは、削り屑の様に薄く脆弱な資料を強化し、安定した状態で取り扱うことのできる方法を提示できたといえよう。トレハロースの固化状態を操作することで資料個々の劣化状態に合わせた保存処理が可能であり、脆弱な資料やテクスチャを失いかねない資料に対して極めて有効である。

キレート剤･DTPA を用いた出土木材の脱鉄処理に関する基礎的研究

Basic study on iron extraction from archaeological wood with chelates DTPA

○島袋花子（奈良大学大学院）、今津節生（奈良大学文学部教授）
○Hanako SHIMABUKURO, Setsuo IMAZU（Nara University）

1．はじめに

スウェーデンの Vasa 号は 1962 年に発見され、長期にわたって PEG による保存処理が行われた。1990 年には Vasa 号博物館が開館したが、2000 年の雨季に館内の湿度が 70%RH を超えた後に、船体に黄白色の析出物が確認されはじめた。調査の結果、この析出物は硫酸鉄であり、硫化鉄が空気中の水分と反応して引き起こされることが判明した。

海底から引き揚げられた硫化鉄を含む出土木材を保存処理すると、空気中の水分と反応して硫酸鉄と硫酸を生成し、黄白色に変色して木材が酸化し劣化する。この「硫黄問題」といわれる劣化現象は PEG で保存処理した出土木材に顕著に現れる。スウェーデンの Vasa 号をはじめオーストラリアの Batavia 号、韓国の新安船、イギリスの Mary Rose 号、そして長崎県松浦市の鷹島海底遺跡でもこの現象が確認され、世界中で深刻な問題となっている。さらに、PEG は鉄分が触媒となって分解し、吸湿性の高い物質や酸性物質を生じることも知られている[1)2)]。この問題が 2000 年代に指摘されて以降、欧米では木材に含まれる鉄分を完全に抽出した後に PEG を含浸することが一般的になっている。

2. 「硫黄問題」解決に向けた脱鉄処理の研究

PEG 含浸法が確立された 1970 年代以降、含浸処理前に木材本来の色を出す目的で、世界的に EDTA(エチレンジアミン四酢酸)が使用されるようになった。しかし、EDTA は木材表面の鉄分を抽出することは可能だが、内部の鉄分まで抽出することはできない。そこで、木材内部の鉄分を完全に抽出することを目的に、新しいキレート剤を使った脱鉄処理が実施されている。

欧米では 2003 年以降「硫黄問題」を解決する手段として、EDTA よりも強力なキレート剤である EDDHMA(エチレンジイミノビス酢酸)や DTPA(ジエチレントリアミン五酢酸)を使用する動きが広がった。しかし、EDDHMA が良好に機能するためには pH９～11 が必要であり、アルカリ溶液中で脆弱な木材を劣化させる可能性がある。そこで、中性で良好に機能する DTPA がより好ましいキレート剤として使用されることが多くなった。DTPA で脱鉄処理を行うことにより、鉄分を抽出すると同時に木材の表面処理・酸性の中和に関する有望な結果が報告されており、処理効果が有効であると評価されている。そのため PEG 含浸や真空凍結乾燥の処理前に、鉄分で汚染された木製遺物の脱鉄処理が進められている[3)]。

3. DTPA を用いた脱鉄処理

本研究では、海底から出土する木製品内部から硫化鉄などの鉄分を抽出することを目的に、DTPA を用いた脱鉄処理の基礎的実験を実施したので報告する。

【実験】

従来から日本で使用されている EDTA と、現在欧米で注目されている DTPA を使用し、①木材表面の色の変化、②溶液の色の変化、③木材内部の鉄分抽出状況の観察(X 線透過撮影)を実施し、両者の鉄分抽出能力を比較した。

【実験試料】

鉄釘がついていた出土木材 A(55.1g) 、B(56.2g)の 2 点

【使用薬剤】

・DTPA：キレスト株式会社のキレスト PC-45
・EDTA：同仁化学研究所の EDTA・3Na

【実験手順】
(1)出土木材 A、B の処理前写真、X 線透過撮影を行う。
(2)DTPA1％溶液(出土木材 A)、EDTA1％溶液(出土木材 B)に浸漬し、19℃～21℃環境下に置く。
(3)定期的に溶液を交換し、木材表面の色と溶液の色を観察し、写真で記録する。
(4)1 カ月毎に、木材内部の鉄分の抽出状況を、X 線透過撮影を用いて観察する。

4. 結果と考察

①木材表面の色の変化は、どちらも 24 時間後には明るくなった。

	浸漬前	浸漬から30分後	48時間後	2週間後	1か月後	2か月後
DTPA溶液の色	無色	淡い黄色	濃い黄色	濃い黄色	濃い黄色	濃い黄色
EDTA溶液の色	無色	無色	濃い黄色	濃い黄色	濃い黄色	薄い黄色

溶液の色の変化

②溶液の色の変化は、1 カ月目まではどちらも溶液が黄色であった。しかし EDTA 溶液はそれ以降溶液の色が薄くなっている一方、DTPA 溶液は強い黄色で、脱鉄処理が継続している。③木材内部の鉄分抽出状況の観察(X 線透過撮影)では、どちらも処理前撮影と比較し、2 か月目も変化がほとんど見られない。このことから、木材内部の脱鉄処理は長期間に及ぶと考えられる。引き続き木材を浸漬し、鉄分が完全に抽出されるまでの期間を調査したい。

今後も海底から出土する木材を PEG で保存処理するならば、「硫黄問題」は避けられない。スウェーデンでは、DTPA で脱鉄した後に PEG で処理され、10 年経過した現在も問題が起こっていない[3)]。DTPA を用いた脱鉄処理に関する研究は、保存処理後の長期的な影響を含め未知の部分が多く今後も観察が必要であるが、硫黄問題の解決の糸口として期待されている。

【欧米で実施されている DTPA を用いた脱鉄処理の手順】

遺物を室温で浸漬して溶液を定期的に交換する。抽出された鉄の量や処理後の遺物の残留鉄含有量は、原子吸光分析(AAS)で分析する。

期間	・Vasa 号の 6 つの松材(1～6 kg)を 3 年間処理し 90％以上の脱鉄効果があった[1)] ・Mary Rose Museum の砲台(約 400kg)を 3 年間処理し、合計 5.14kg を脱鉄[4)]
費用	・溶液を頻繁に交換すると抽出率が上がるが、キレート剤の大量消費につながり、コストが高くなる。例：3 年間の浸漬で合計 5.14kg の鉄が抽出されたが、DTPA 溶液の費用は約 12,000 ポンドになった[4)]。
作業性	【メリット】 ・遺物表面のコンクリ―ションが部分的に溶解し、柔らかいブラシで除去できるため、機械を使った時間のかかる洗浄が少なくなる[5)]。 【デメリット】 ・溶液の攪拌により抽出効率が向上するため、定期的に攪拌する必要がある[1)]。 ・木材の酸化が強いと浸漬中に溶液の pH が低下する可能性がある[1)]。
安全性	【メリット】 ・DTPA の毒性と環境への影響は比較的小さいと考えられる。紙パルプ産業や都市下水処理工場からは毎年数百トンの DTPA が放出される。しかし、長期的な環境への影響については不明である[2)]。 ・DTPA の濃度が低く、鉄含有量も低ければ排水溝に流すことができる[2)]。 ・DTPA はステンレス製のタンクに影響を与えない[4)]。 【デメリット】 ・水の通常の鉄含有量は 0.5―10 ㎎/１ℓ の間である(WHO 2003)ため、DTPA 溶液の鉄含有量がそれを上回ると排水溝に流せず、廃棄物除去業者に依頼する必要がある[4)]。

参考文献

1)Gunnar Almkvist 2006, “Extraction of iron compounds from wood from the Vasa”
2)Gunnar Almkvist et al 2013, “Iron Removal from Waterlogged wood”
3)Malin Sahlstedt 2019, “Preserving Vasa - past experiences, current actions and future challenges”
4)David Pearson et al 2016, “Discussion on the practicalities and effectiveness of retreating a wooden gun carriage with DTPA”
5)Ebba Phillips,Inger et al 2010“Removing Iron Compounds from a Waterlogged Wooden Gun-carriage using the Chelating Agent Diethylenetriamine pentaacetic acid (DTPA)”

保存処理後の出土漆製品の塗膜における劣化の研究

The study of deterioration in lacquer films quality after conservation treatments

○六川慧美（東京学芸大学）、 服部哲則（同左）
○Satomi ROKUGAWA, Akinori HATTORI（Tokyo Gakugei University）

1. はじめに

水浸出土漆製品は複合的な素材を伴うものであり、漆という特異的な乾燥メカニズムから溶剤に強い耐久性を持つこと、有機製品であるため埋蔵環境によって残存状態が資料ごとに異なることから、その保存処理方法は容易ではない。近年、出土木製品や出土漆器に施されてきた保存処理の中から広く活用されている高級アルコール法による水浸出土漆器の漆塗膜への影響に着目し、高級アルコール法に一般的に用いられるメタノールの漆塗膜との適応性について検討した。その結果、メタノールには漆塗膜をカールさせてしまう効果があることを示すことができた。

本項は水浸出土漆製品のメタノールによる劣化について考察したものを報告する。

2. 実験方法

2-1. 高級アルコール法の特性

高級アルコールによる含浸方法は基本的に2工程からなり、始めに木材に含まれる水分をメタノールやエタノールに置換し、次に加温しながらセチルアルコールまたはステアリルアルコールに置換する。今回は入手のしやすさからメタノールを選択した。メタノールの特徴は以下に示す通りである。メタノール（Methanol, CH_3OH）は無色透明で揮発性の液体で特異の匂いがあり、エタノールおよびジエチルエーテルに極めて溶けやすい。沸点は約64℃である。[1]

2-2. 実験手順

試料と、メタノール50%（容積比）を試料容積の100 倍のメタノール水溶液をフリーザーバックに入れ、試料中の水分とメタノールを置換する。試料体積の変化が止まったら、順次、次のメタノール100%置換の工程に進む。

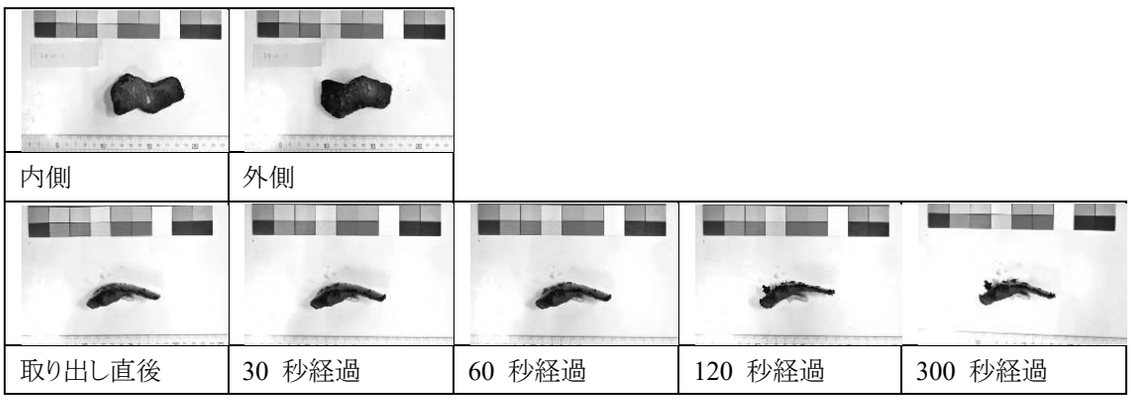
3. 結果と考察

メタノール50％, 100%含浸を通して、メタノールから取り出した直後から塗膜の浮きが顕著に見ることができた。メタノールでは取り出した直後から5分間の間に細かい亀裂を生じながら試料片から反るように強いカールを帯びていることがわかる。資料片A, Bはメタノール100%から取り出した直後から30秒、60秒、120秒、300秒後の試料片と塗膜の剥離の様子を経過観察した写真である。

[1] JIS K 1501 : 2005 「メタノール　Methanol」, JIS K 8891 : 2006 「メタノール（試薬）　Methanol」

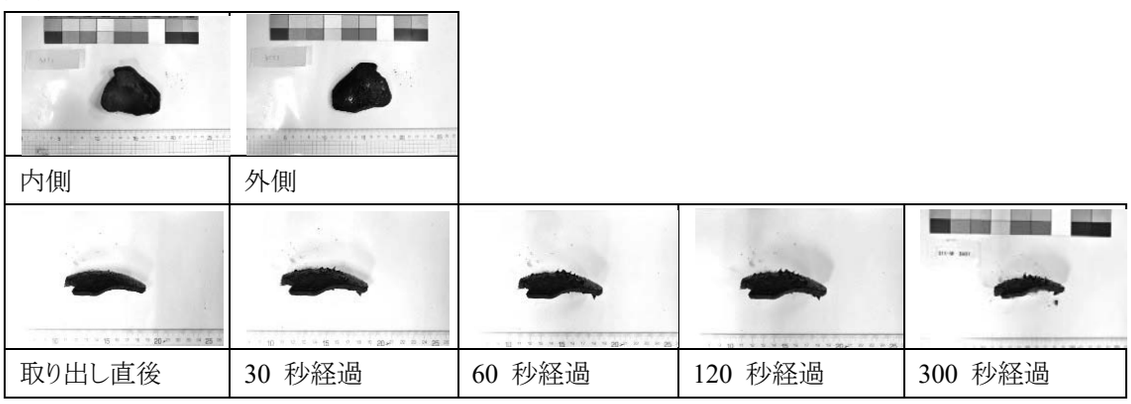
メタノール含浸後の漆塗膜の浮き経過観察

資料片 A



内側	外側			
取り出し直後	30 秒経過	60 秒経過	120 秒経過	300 秒経過

資料片 B



内側	外側			
取り出し直後	30 秒経過	60 秒経過	120 秒経過	300 秒経過

4. まとめと今後の課題

以上水浸出土漆製品を対象に、メタノールによる漆塗膜への影響を観察した。今回の実験で、高級アルコール法に用いられるメタノールには漆塗膜をカールさせてしまう効果があることを示すことができた。これまで水浸出土木材のために開発された保存処理方法は木製品というくくりで漆製品に施されてきたため、その保存処理方法の研究には木胎の寸法安定性が重視されてきた。

近世資料として有益な情報を維持するためには、寸法安定性ももちろんのことだが、出土漆器における漆塗膜をなるべく出土直後の状態に維持することが重要である。今後は水浸出土遺物から得られる塗膜を用いて、ポリエチレングリコールやアルコール、そのほか保存処理に用いられている溶剤に対する漆の耐性を具体的に見ていくことが必要だと考える。

複数の機関で同一個体の破片を保管している文化財の修復事例

Example of restoration of cultural properties whose fragments are stored in several institutions

○尾崎誠((公財)元興寺文化財研究所)、山岡奈美恵(同左)、岡田一郎(同左)、塚本敏夫(同左)
品川欣也(東京国立博物館)、井上洋一(同左)、藤田充子(津市教育委員会)
○Makoto OZAKI, Namie YAMAOKA, Ichiro OKADA, Toshio TSUKAMOTO (Gangoji Institute for Research of Cultural Property), Kinya SHINAGAWA, Yoichi INOUE (Tokyo National Museum), Mitsuko FUJITA (Tsu City Board of Education)

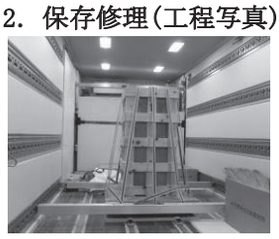
1. はじめに

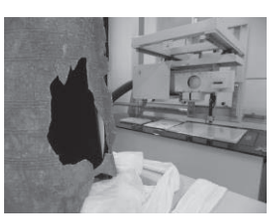
昭和61年に三重県津市高茶屋小森町の宅地造成中に偶然発見された複数の銅鐸は高茶屋銅鐸と呼称されている。そのうちの1号鐸は、津市教育委員会が所蔵し平成27年度に当研究所で保存修理を行った。2号鐸(近畿式銅鐸　突線鈕３式)は、発見後、一時的に古物商の所有になっていた時期もあったようだが、現在は東京国立博物館が所蔵しており、平成30年度から3か年にわたって当研究所で保存修理を行った。また、津市教育委員会が保管している破片群に、2号鐸の破片が含まれていることが判明しており、これらの破片については、平成28年度に当研究所において保存修理を行った。ほかにも少なくとも2個体分の破片が存在し現在は津市が保管している。

今回の修理では、東京国立博物館が所蔵する2号鐸本体へは、津市教育委員会が保管する破片を3次元計測により作製した複製品を本体に戻すことにより欠失部の復元を行った。

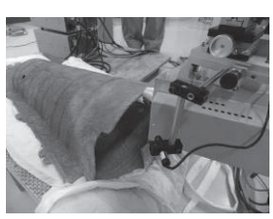
本発表では、複数の所蔵機関にまたがる資料について、デジタルレプリカ資料を用いた保存修理の内容とあわせて保存台、収納箱の作製についての報告を行う。

2. 保存修理(工程写真)


美術品専用車による輸送


X 線写真撮影

検討会


蛍光 X 線分析

鉛同位体比分析サンプリング

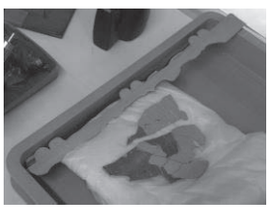
クリーニング

表面亀裂への B-72 充填

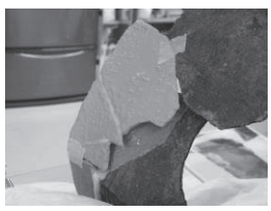
和紙による内部亀裂の補強

3. デジタルレプリカによる復元

欠失部については、津市教育委員会が保管する2号鐸の破片を3次元計測し、3Dプリンターによってuv硬化樹脂で出力し、さらにエポキシ樹脂に置き換えたものを用い復元した。鰭の欠失部についても同様の方法で復元した(下記詳細参照)。他の欠失部については、エポキシ樹脂により復元を行ったが、文様の復元は行っていない。復元部については、津市教育委員会が保管するパーツの復元部は周囲と合わせて古色仕上げとし、それ以外は単色としアクリル絵具で補彩した。



樹脂による復元パーツ



復元パーツ接合

計測器：コニカミノルタ製RANGE7
最小分解能：約0.08㎜
3Dプリンター：3D Systems社製　ProJet®3500HDNax
マルチジェット方式、積層ピッチ16μ
アクリル系UV硬化樹脂
エポキシ樹脂：エピコート828(現JER®)
セメダインハイスーパー30分硬化型

復元部の補彩

保存台・収納箱

4. おわりに

複数の機関で同一個体の破片を保管している文化財について、デジタルレプリカによる復元により、それぞれの保管機関を変えずに本来の形状に近い復元を行うことができた。欠損していたり、脆弱であったり変形したりして本体に戻すことが困難な破片であっても、デジタルレプリカであれば、あるべき位置に当てはめて本来の形状に近い状態で復元することが可能となる。今後は、このような修復方法が広く用いられるようになるのではないだろうか。

修理前

修理後

最後になりますが、今報告の機会を与えていただきました関係機関には記して感謝いたします。

アイヌ民族資料におけるイタオマチプ（板綴舟）の保存修復

Conservation and restoration of the itaomacip in Ainu ethnic materials

○大江克己[※1]、山口翔太郎[※1]、山田哲也[※2]、中井貴規[※1]、竹内隼人[※1]、
赤田昌倫[※1]、鈴木建治[※1]、藪中剛司[※1]、三浦博哉[※3]、佐々木史郎[※1]
([※1]国立アイヌ民族博物館、[※2](公財)元興寺文化財研究所、[※3]厚岸町海事記念館)
○Katsuki OE[※1], Shotarou YAMAGUCHI[※1], Tetsuya YAMADA[※2], Takanori NAKAI[※1], Hayato TAKEUCHI[※1]
Masanori AKADA[※1], Kenji SUZUKI[※1], Takeshi YABUNAKA[※1], Hiroya MIURA[※3], Shirou SASAKI[※1]
([※1]National Ainu Museum, [※2]Gangoji institute for research of cultural property,
[※3]Akkeshicho maritime affairs memorial museum)

1. はじめに

国立アイヌ民族博物館は、民族共生象徴空間の中核施設の博物館である。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、旧石器時代から現代までを対象とした北海道・東北地方並びに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。

この博物館では、アイヌ民族の目線で語る 6 つのテーマに沿った展示を基本展示として行う。この中に「私たちの交流」をテーマとする展示があり、シンボル展示として厚岸町海事記念館収蔵のイタオマチプ（板綴舟）の出品を計画した。イタオマチプは実際に使用した資料がほとんど残っていないため、出土品となる本品は展示効果の高い資料である。ただ、出土後、約 30 年が経過し脆弱な状態であり、展示作業等で損傷する懸念があった。安全な展示公開を行うと共にコンディションを整え資料を後世へ伝えるため、(公財)元興寺文化財研究所の指導の下で保存修復を実施した。アイヌ民族資料は保存修復事例の少ない資料群である。保存修復事例の蓄積を目的に、本稿ではイタオマチプの保存修復について報告する。

図 1 イタオマチプの展示風景

2. 保存修復を実施した資料の概要

イタオマチプは丸木舟に板を綴じて舷側を高くした舟である。19 世紀まで北海道や樺太、千島等に住む他民族との交易にアイヌ民族は使用していた。保存修復を行なった資料は、本体形状や舷側の孔の様子からイタオマチプと見られる木製品(樹種：ハリギリ)である。舟底部のみの状態で 1987 年に北海道東部の厚岸湖岸で出土した。寸法は長さ 5600㎜、幅 600㎜、高さ 190㎜を測る。AMS-^{14}C 法[1]による調査から 17 世紀後半以降のものと判明している。製作時か使用時の補修痕と見られる箇所も残っている。

3. 保存修復について

文化財修理の原則[2]を基礎に、下記の工程で保存修復を実施した。

輸送前クリーニング　厚岸町海事記念館にて、資料の輸送前にクリーニングを行った。刷毛や筆を用いて土砂等の汚れを除去し、輸送梱包を施して保存修復の施工場所へ輸送した。

生物処理　殺虫や殺菌を目的に薬剤燻蒸[3]を施した。保存修復の施工場所近くに燻蒸用のテントを張り、薬剤（エキヒューム S）を充填させて 36 時間密閉して処理をした。

修理修復前の調査・記録　保存修復の施工場所にて、保存修復前の状態点検と写真撮影を行った。状態の把握や記録を行い、安全な保存修復方法について検討した。

クリーニング　乾式クリーニングとして、刷毛や筆いて資料表面の土砂や汚れを除去した。次に、水の蒸伴い、資料表面の汚れを浮かび上がらせ除去する湿式ーニングを行った。キムタオル(紙ワイパー)を資料表あててエタノール 59%水溶液を塗布し、資料表面をﾄﾗに自然乾燥させた後に紙を除去した。

図 2 湿式クリーニングの様子

図 3 補填作業の様子

強化処理　本体強度を向上させるため強化処理を施した。作業環境の安全性、表面塗布の浸透性や乾燥後の艶等を考慮し、使用薬剤はアクリル樹脂（Paraloid B72）13%エタノール溶液を用いた。資料の劣化状態や樹脂の硬化具合等を鑑みて、この作業を 1〜2 週間程度の乾燥期間を設けて複数回実施している。

接合・補填等　亀裂部分の接合や補填、補彩を施した。大きな亀裂部分は、硬化させたエポキシ樹脂[4]をチップ状にして詰め込み、シアノアクリレート系接着剤[5]で固定した。その上にエポキシ系接着剤[6]とガラスマイクロバルーン[7]の混合材を充填し、硬化後に小型グラインダーで整形してアクリル樹脂絵具[8]で補彩した。小さな亀裂部分は、シアノアクリレート系接着剤[5]を充填し、その上にガラスマイクロバルーン[7]を振りかけて補填とした。硬化後に小型グラインダーで整形しアクリル樹脂絵具[8]で補彩した。

図 4 保存修復作業後の様子

艶消し・経過観察等　資料表面の樹脂艶を取り除いた。アセトンを用いて筆やウエスで除去している。その後、状態の経過観察を行い保存修復の記録を作成した。記録の後、輸送計画の作成と輸送梱包を施した。

基本展示室への輸送　上記の完了後、国立アイヌ民族博物館の基本展示室へ輸送し展示した。

4. まとめ

本稿では、厚岸町海事記念館収蔵のイタオマチプの保存修復について記載した。(公財)元興寺文化財研究所の指導の下に、クリーニングや強化処理、接合・補填等の保存修復を施した。その後、国立アイヌ民族博物館へ輸送し展示作業を行い、安定した状態を保持している。今後、温湿度制御や虫菌害の防除などの活動を続けながら展示する予定である。資料の状態維持に努めると共に、資料に配慮した展示環境の維持に尽力したい。

【謝辞】田口尚氏（北海道埋蔵文化財センター）には、イタオマチプの類例や近似資料の保存修復事例のご教示、施工内容のご相談等、様々なご配意を頂いた。ここに記して感謝の意を捧げます。

【註釈】1).株式会社パレオラボに依頼した。2).現状維持の原則や可逆性のある薬剤の使用、オリジナルの尊重など、美術工芸品や埋蔵文化財等の保存修復の考え方に準じた。3).北海道防疫燻蒸株式会社に依頼した。4).ナガセケムテック株式会社製 EPOXY RESIN XNR6105・HARDENER XNH6105　5).株式会社アルテコ製 アルテコ Z106　6).セメダイン株式会社製 セメダインハイスーパー５　7).東海興業株式会社製 フライアッシュバルーン TF50　8).ホルベイン工業株式会社製 アクリラガッシュ

材料の特性を活かした複製品制作の方法

—大分市大友氏館跡庭園遺構整備景石複製品—

Methods of replicating that utilize the characteristics of the materials

-Replica of landscape stones in the Ruin of the Garden, Otomo Yakata, in Oita city

○撫養健至（スタジオ三十三）、平田智計（同左）、西村あかね（同左）、
佐藤道文（大分市教育委員会）
○Kenji MUYA(Studio33 Co.,Ltd.), Tomokazu HIRATA(ditto), Akane NISHIMURA(ditto),
Michifumi SATOH(Oita city Board of Education)

１．はじめに

史跡の整備方法において、その保存の観点から遺構露出展示に適さない場合には、遺構検出状況の全部または一部を遺構に盛土をしてその直上に実物大の複製品を設置することがある。

石製の複製品制作によく使用される材料として、GRC（ガラス繊維補強コンクリート）と FRP（繊維強化プラスチック）がある。どちらの材料でも形状・彩色ともに細かなディティールまで再現ができるため複製品の制作には適している。しかし、GRC は石との質感が非常に似ているが製品の重量が重いため容易に移動できない。また、FRP は軽量でかつ強度があり様々な金具と接続可能な素材であるが、野外の展示では紫外線による経年劣化が激しくメンテナンスの回数が GRC のそれよりも多い。今回は、この 2 つの材料の特性を活かした方法でより優れた複製品を制作した事例を紹介する。

２．大友氏館跡庭園遺構とその整備

大友氏遺跡とは、中世の大友氏の領国支配の拠点であった府内の中核的な遺跡であり、大友氏館跡・唐人町跡・旧万寿寺地区・推定御蔵場跡・上原館跡の５つの遺跡からなる国指定史跡である。大友氏館跡庭園遺構は、大分市顕徳 3 丁目の一画に所在し 1998 年の発掘調査によって発見された。この調査により古絵図より推定されていた大友館の場所が判明し、庭園に配される池の規模が戦国大名屋敷の中でも最大級であることもわかった。

庭園遺構は、海に浮かぶ島を表した「中島」、石を敷き詰め岸辺を表した「州浜」、山を表現した「築山」から構成されている。その他に景観を整えることを目的に設置された「景石」や「滝」も配されている。平成 28（2016）年から大友宗麟・義統の時代の庭園遺構の検討と整備が進められ、令和 2（2020）年 6 月 5 日より公開が始まった。

３．景石複製品の製作方法

復元庭園に配する景石の複製品は、石に似た質感をもつ GRC での制作が採用された。その構造は、GRC を内側から支えるため FRP の受部を設けた上で、その FRP 受部に取り付けたステン

レスプレートから延びるロングボルトで複製品の吊り上げを可能とする。
つまり、複製品をクレーン車で吊って容易に移動でき、経年劣化によって GRC が割れた場合にも再移動可能であり、メンテナンスも考慮したものとなった。

［作業工程］

【1】　実物資料の型取り作業

①作業前の状況を記録するために実物資料の写真撮影を行う。また、彩色作業用の色見本取り作業も同時に実施する。

②資料にシリコン樹脂が噛みこまないよう十分に水をかけシリコン樹脂を塗り積層する。

③シリコン型の形状保持のために FRP を積層してバックアップを行なう。

④さらに FRP の補強のために木材を組む。

⑤FRP＋木材、シリコン型の順に脱型を行なう。

【2】　GRC による成形作業

①【1】で出来た型（外型）のシリコン部及び FRP 部への GRC 成形のための補強を行う。

②FRP 製内型の作成及びロングボルト用ステンレスプレートの組み込み作業を行う。

③GRC 攪拌後、シリコン型へ流し込む（成形作業）。

④外型の脱型。その後あく抜き、乾燥させる。

⑤内型の FRP の張り出し部分をカットする。

【3】彩色作業

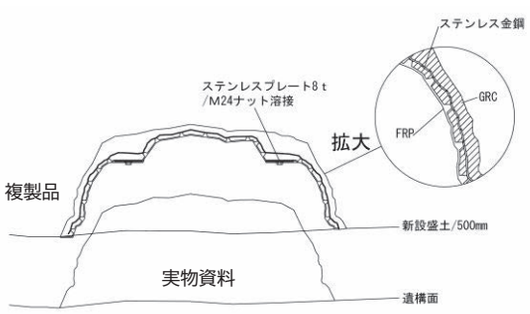
現場で採取してきた色見本と写真を用いて、ウレタン塗料で彩色を行なう。

【4】現場搬入と設置作業

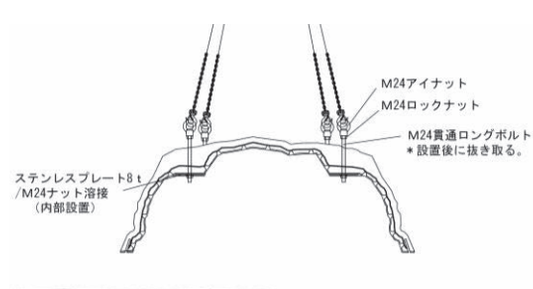
GRC を現場にトラックで搬入し、安全な場所にクレーン車を配置後、所定の場所に複製品を設置する。

4．おわりに

今回、この制作方法によって、GRC で石の質感を表現したうえで、軽量かつ強度がある FRP を用いることで、容易に移動可能な構造とした複製品が出来た。今後の経過の観察を行ない長期間での変化や劣化状況を見ていくことで、この手法が今後遺構の表現に関わる技術にどの程度活用できるかを考えていきたい。



【複製品設置方法】



【吊り下げ方法】

奈良盆地の弥生・古墳時代の煮炊き用土器の形態属性の時間的変化

○小林 正史、藤田 三郎、佐々木 仁志

Temporal Changes in Morphological Attributes of Yayoi and Kofun Cooking Pots in Nara Basin

○小林正史（北陸学院大学）、藤田三郎（田原本町文化財保護課）、佐々木仁志（奈良大学）、
Masashi KOBAYASHI, Saburo FUJITA, Hitoshi SASAKI

1. 分析の目的と方法

目的： 本発表の目的は、弥生前期～古墳中期の深鍋の形態的特徴の時間的変化を定量的に提示し、別稿で発表されるススコゲ分析による調理方法の変化の対応関係を明らかにすることである。弥生前期～５世紀後半までの時期を、表１に示す 10 期に区分した。

分析対象遺跡： 稲作農耕民の土鍋調理の民族誌の比較分析では、調理方法の違いを反映する形態的特徴として、容量、括れ度（頸部最小径／胴部最大径＊100）、深さ指数（器高／最大径＊100）、器厚などあることが示された。本発表では、これらの諸属性の長期的な時間的変化を観察するため、奈良盆地に所在する弥生前期～古墳前期の唐古・鍵遺跡（第 13～116 次）を中心として、五井遺跡（古墳前期）と新堂遺跡（５世紀前半と後半）を加えた３遺跡を選択した。容量が計測できた深鍋（推定器高の７割以上残るもの）の数は、各々113 個、38 個、113 個である。分析の主体となる唐古・鍵遺跡は、①低湿地遺跡であるため鍋釜のススコゲの保存状況が極めて良い、②弥生前期から古墳前期までの全時期において多くの復元土器が得られている、という点で、時間的変化の観察には最も条件の良い遺跡の一つである。

分析方法： 唐古・鍵遺跡ではあまりにも膨大な量の土器が出土しているため、復元可能な土器のうち接合・復元・実測が完了したものは１割に満たないと推定される。本稿の分析資料では、各時期の深鍋の過半数（５～10 割）が４㍑未満であり、近畿地方の他の弥生遺跡に比べて大きめの土器の比率が明瞭に低い。これは、大きめの土器ほど接合・復元に手間がかかるため、復元・実測された比率が低くなっていることが理由である。この制約への対策として、本稿ではサイズクラス単位で上述の諸属性の時間的変化を分析した。

３．容量による作り分け （図１）

深鍋個数が 15 個以上あり、かつ、４㍑以上が 2 割以上を占める 1～３期と 10 期を対象として、容量分布を観察すると、いずれも４㍑前後に最も顕著な断絶があり、また、２㍑付近にも断絶があることが多かった。そこで本発表では、２㍑、４㍑、８㍑を境に特小型（２㍑未）、小型、中型（４～８㍑）、大型に区分した。先行研究では、「主として炊飯用である中・大型」、「炊飯用とオカズ用の両者を含む小型・特小型」という使い分けが示されており、唐古・鍵遺跡のススコゲ

	１期	２期	３期	４期	５期	６期	７期	８期	９期新堂	10期新堂
属性	弥生前期	中期前葉	中期中葉	中期後葉	後期前半	後期後半	庄内式期	古墳前期	古墳中期前半	古墳中期後半
個数	17個	23個	33個	15個	47個	98個	14個	66個	92個	21個
容量分布の断絶	2・4・6ℓに空隙	4ℓ付近に空隙	3ℓ台が空隙	？	？	？	？	4・5ℓに空隙	3・8・13ℓに空隙	4～5ℓに空隙 8ℓにも
括れ度	全体に括れ弱い（如意状口縁）		1・2期から7・8期へと連続的に括れが強まる				括れが最も強まる（球胴化ピーク		括れ弱まる（特に小型・特小型	
深さ指数 球胴指数	やや深め		深さ指数最大		深さ指数が減少		球胴に最も近づく		やや長胴化	
器厚	最厚手		薄手		厚手	薄手	最薄手		厚手	

分析でも同様の違いが見いだされている。以下では中型に焦点を置いて時間的変化を観察した。

４．括れ度と深さ指数の時間的変化　（図２・３）

図２・３より、①括れがないか弱く、やや深めの１・２期から中期３・４期へと、急激に括れ度が強まり、深さ指数が最大になる、②後期前半（５期）において、一時的に括れ度がやや弱まる、③庄内・布留式期（７・８期）になると括れが最も強まり、丸底化することから、最も球胴に近づく、④古墳中期になると徐々に長胴が増える、という変化が観察された。

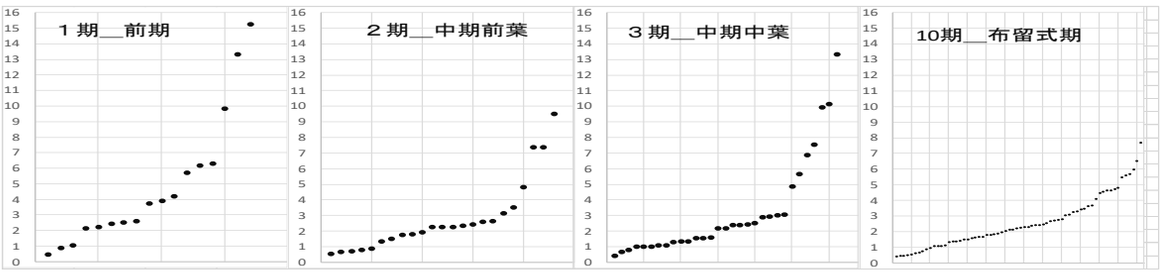
５．器厚の時間的変化　（図４）

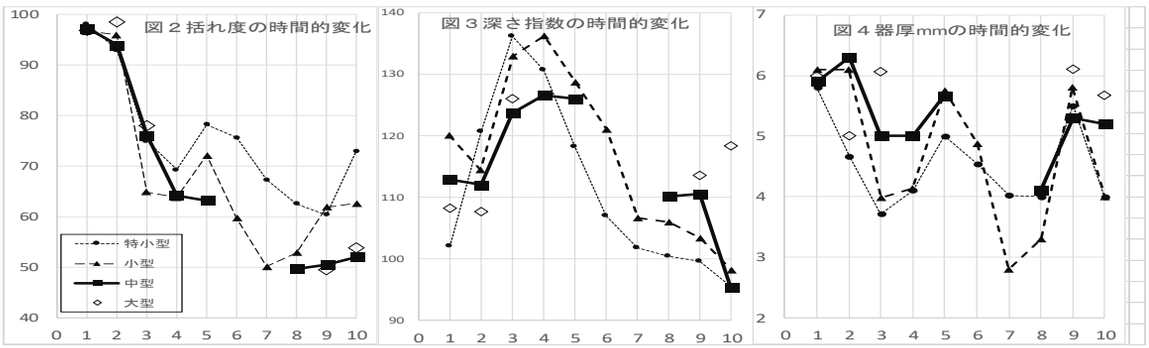
深鍋の器厚は縮尺・トレースした実測図面では計測誤差が大きくなるため、時間的変化を定量的に提示した先行研究は非常に少なかった。そこで、唐古・鍵遺跡の分析では、深鍋の実測原図（実大）において、胴部最大径部位付近で内面調整凹凸が最も少ない部位を選んで器厚を計測した。その結果、①最も厚手の弥生１・２期から３・４期へと薄手化する、②５期において一時的に厚手になる、③庄内・布留式期（７・８期）になると最も薄手になる、④古墳中期になると厚手になる、という変化が観察された（図４）。

６．中型深鍋の形態変化を生み出した要因　（表１）

１・２期の深鍋は、①弥生早期の突帯文形深鍋に比べて、①括れが弱い、②深め、③厚手という特徴を持つ。この理由として、湯取り後の加熱においても意図的に上部まで大きな炎を当てたこと、および、その際に熾火寄せ加熱も併用したこと、があげられる。上述の諸特徴は、湯取り後も強い加熱を続ける、茹で時間が長めの炊飯方法に対応した工夫を示すといえる。

その後、５期を例外として、１・２期から庄内・布留式期まで薄手化・球胴化が進行する。この事実は、ススコゲ分析で明らかとなった茹で時間短縮化（下半部にコゲが付く前に、いきなり横倒しできない状態で蒸らしに移行した）に対応して、短時間強火加熱に適した形・作りに変化したことを示す。その後、５世紀前半では、カマド検出例や甑出土例が出現することから、湯取り法炊飯を主体としながらもウルチ米を蒸す調理が増えていったと推定される。





国宝「金印」の詳細観察

Observation of National Treasure ’ Kin-in‘(Gold Seal)

○比佐陽一郎（福岡市経済観光文化局）・松園菜穂（大分市教育委員会）・宮田洋平（福岡教育大学）・新啓太郎（九州産業大学）・遠藤喜代志（鋳金家）
Yoichiro Hisa（Fukuoka city Economy，Tourism& Culture Bureau）・Naho Matsuzono（Ooita city Board of Education）・Yohei miyata（University of Teacher Education Fukuoka）・Keitaro Shin（Kyusyu sangyo University）・Kiyoshi Endo（Japanese caster）

1. はじめに～金印の来歴

「漢委奴国王」の印文をもつ金印は、日本で著名な考古資料の一つとして知られている。江戸時代の天明四年（1784）に、志賀島（現在の福岡市東区）で発見された。当時の黒田藩西学問所、甘棠館の館長で儒学者であった亀井南冥が最初にこれを鑑定し、著書『金印弁』にて、この印が後漢書東夷伝に、倭奴国が後漢の建武中元二年（57 年）に奉貢朝賀した際に光武帝から賜った印綬であるとして、その重要性を訴えた。これにより、金印は黒田家の藩庫に納められ、長く保管されてきた。その間、昭和６年（1931）に旧法によって国宝となり、戦後、文化財保護法においても国宝に指定されている。また、昭和 53 年（1978）には、黒田家から福岡市に寄贈され、現在は福岡市博物館の常設展示室で展示されている。

2. 金印の調査履歴

金印の自然科学的調査は意外にもそれほど多くない。昭和６年（1931）、金印が国宝に指定された際に入田整三氏による詳細な計測が行われた他、昭和 28 年（1953）には岡部長章氏によって質量、体積の測定から 22.4K という品位が示された。昭和 41 年（1966）には岡崎敬氏が主体となって詳細な計測が行われ、印面一辺の平均値 2.347cm、総高 2.236cm、質量 108.729g といった数値が示されている（以上、岡崎 1994 による）。

非破壊による材質分析は、平成元年（1989）９月に福岡市美術館において本田光子氏らによって蛍光 X 線分析が行われた。金 95.1%、銀 4.5%、銅 0.5%という結果が示されているが、これはノンスタンダードによる定量値である（本田ほか 1990）。材質分析はこれが唯一のものであり、この合金比がその後広く流布されている。材質分析はこれが唯一のものであり、この合金比がその後広く流布されている。

平成 20 年（2008）３月には、福岡市埋蔵文化財センターの実体顕微鏡を福岡市博物館に持ち込んで、付属のデジタルカメラによる拡大画像の撮影が行われた。その内容は大塚紀宜氏によって報告されている（大塚 2009）。

3. 今回の詳細調査

（１）経緯と調査方法

金印は通常、厳重な警備のかかったケースに収められており、簡単に取り出すことはできない。ただし、年末年始に博物館が休館となる際には、金印はケースから取り出して金庫に保管される。本調査はそのタイミングに合わせて行ったものである。当然、資料を館外に持ち出すことはできないため、その条件下で可能な調査として拡大観察による詳細調査を目的とした。調査には福岡市埋蔵文化財センターの Hirox 社製デジタルマイクロスコープ KH-8700 を使用し、装置を福岡市博物館に持ち込んで実施した。同様の調査は平成 20 年にも実施しているが、観察、撮影装置が異なっており、よりよい新たなデータを得ることができた。

また、調査にあたっては、金印の復元研究を進めているメンバーも加わり、製作技術の視点による観察を行った。

（2）調査結果

鈕については、蛇としての鈕の形状に違和感を感じていた。中国出土の金属印には駱駝形状の鈕があることから、元は駱駝であったと考え、蝋原型当初駱駝で作り頭を落とし蛇状に整形し、円紋・線紋・鱗紋の全ての施文は鋳造後に行った。鈕の形状が駱駝ではないかと推論した根拠は、蝋原型成型時に前足後足と思われる形状、および首部両側面に毛並みを表現したと思われる彫り込み（鱗文とされている。）を確認したことによる。このことはすでに先行研究での指摘もあり（大塚 2008）、蓋然性は高いものと考える。

調査の結果、目の円紋は中心上面の丸みを帯びた形状および壁の滑らかさ等から蝋原型時に施文したものと考えられる。他の施文は鏨を打った痕跡の鋭さから、鋳造後に行ったものと考えられる。但し、鱗紋のように施文を切削し、僅かに施文を残し他の施文を施す状態を確認したが、その意図は不明である。

湯道は紐の後方上部と想定し鋳造したが、実物からは明確な湯道痕跡は確認出来なかった。

また、鈕と印台上面の空隙を確認することで蝋原型製作時に中子（中型）を用いたことが確証された。空隙印台部に引け鬆を確認したが、同様の引け鬆は復元品にも発生している。印台の質量の大きさが原因と思われるが、中子を用いず空隙が無ければより大きな引け鬆の発生と印面への影響も考えられる。

印面においては、福岡市博物館所蔵の金印レプリカを撮影した写真データから彫りの深さと幅の計測により、鏨の寸法を割り出すことが可能となり、また彫りの底面及び壁の確認から鏨の種類及び彫りの方法を推測することができた。

印面彫りについての研究は、鋳造前と後とで意見が分かれたため、原型に彫る・鋳造後に彫る・原型に彫り鋳造後に調整する３通りの検証をおこなった。実物の文字内に残る痕跡と鋳造後の彫りの痕跡が酷似していたため、原型には彫らずに鋳造後に彫ることとなった。実物が作られた年代は定かではないが、現代の環境や技術と比較するまでもなく、単純な工程で少ない道具を効果的に使用し加工が進められたのだと考え、実物の顕微画像観察から道具の形状や使用方法を推察し、彫り鏨一種、均し鏨一種を割り出し加工を実施した。実物との比較では、鏨の種類・活用方法・文字内の痕跡など想定通りの結果がえられたが、実物の文字の終わり部分で拡張した箇所の一部分に、新たに三角形らしき均し鏨の痕跡が確認でき、均し鏨は計二種使用されたものと考えられる。

4. まとめ

金印は、近年、製作年代に関する議論の対象となっている。しかし、これは資料の根幹に関わる重要な問題であり、単純に取り扱えるものではない。今回は、この金印がいつの時代に製作されたのかという問題は切り離し、あくまでも単純に製作技術の追認という視点での観察に終始したものである。

それでも、金印は国宝に指定され、厳重な保全措置が講じられていることもあり、特に理化学的な調査は簡単ではない状況にある。故に機会を捉え、資料に影響を与えることのない範囲でデータを得て、それを広く公開することは重要な意義があると考える。

（参考文献）

大塚紀宜 2008「中国古代印章に見られる駝鈕・馬鈕の形態について－中国古代印章 2・付編－」『福岡市博物館研究紀要』第 18 号　福岡市博物館

大塚紀宜 2009「マイクロスコープによる金印の表面観察とその検討」『福岡市博物館研究紀要』第 19 号　福岡市博物館

岡崎敬 1994「「漢委奴国王」金印の測定」『金印研究論文集成』新人物往来社

本田光子・井上充・坂田浩 1990「金印その他の蛍光 X 線分析」『福岡市歴史資料館研究報告』第 14 集　福岡市歴史資料館

古墳時代の南部九州における錫製品
Tin products in South Kyusyu during the Kofun period

○比佐陽一郎（福岡市経済観光文化局）・松園菜穂（大分市教育委員会）・橋本達也（鹿児島大学総合研究博物館）・中野和浩（えびの市教育委員会）
Yoichiro Hisa（Fukuoka city Economy，Tourism& Culture Bureau）・Naho Matsuzono（Ooita city Board of Education）・Tatsuya Hashimoto（The Kagoshima University Museum）・Kazuhiro Nakano（Ebino city Board of Education）

1. はじめに

錫は融点 231.9℃の銀色に輝く金属である。考古資料においては青銅の素材として早くから知られてきたが、保存科学的調査が進展して以降、錫が単体、あるいは主体として用いられる資料の存在が明らかになってきた。これらは成瀬正和氏や永嶋正春氏らの研究（成瀬 1989・永嶋 1991）を嚆矢として、以後、事例の発見が続いており、腕輪（釧）や耳環などの装身具や、釦状製品とされる装飾品に用いられているほか、鉄に被せる加飾素材としての事例も増加している。時代や地域を見ると、弥生時代前期後半を初現として、当初は九州で見られ、古墳時代になると中国、九州、関東で耳環の事例が増加する。７世紀以降は北日本や北海道で環状製品などの事例が多く見られる。

今回は、新たに古墳時代中後期の南部九州で、まとまった数の錫製品が確認されたことから、その調査結果を報告する。

2. 対象遺跡と調査手法の概要

調査を行ったのは宮崎県えびの市島内地下式横穴墓の４基（131 号、139 号、140 号、166 号）から出土した計 13 点、同灰塚地下式横穴墓 23 号墓出土の３点と、鹿児島県鹿屋市岡崎 18 号墳の２号地下式横穴墓出土資料１点、計 17 点である。島内および灰塚の資料はいずれも耳環と見られる小形の環状製品、岡崎 18 号墳の資料は不定形の小塊である。なお、岡崎 18 号墳の資料は過去に材質分析が行われているが（永嶋 2008）、今回、他の事例と合わせて改めて調査を行ったものである。

島内地下式横穴墓はえびの市の西部、盆地の中央を西流する川内川左岸に広がる。農地耕耘中の陥没による不時発見や、市道拡幅工事に伴い発掘調査が行われている。これまでの調査で古墳時代中後期の豊富な副葬品が出土し、その約７割にあたる資料が国の重要文化財に指定されている。特に地下式横穴墓という南部九州特有の埋葬主体では、出土品の遺存状態が良好なことで知られており、一般的な古墳出土品では失われる有機質部分の状況を知ることができる。

灰塚地下式横穴墓は島内地下式横穴墓の東南 2.5km ほどの場所に位置する。

島内および灰塚の耳環は、一般的な出土錫製品と同様に黒や暗灰色でブロック状に亀裂が入るものが見られる一方で、銀色を呈し表層も平滑なままの状態を残す資料も数点見られる。やはり埋蔵環境が資料の遺存状態に深く関与しているものと考えられる。

岡崎古墳群は鹿児島県の大隅半島東側に位置する古墳群である。鹿児島大学が 2002 年から 2004 年にかけて４次に渡り、５世紀前半の築造と見られる円墳、18 号墳の発掘調査を中心とする調査を行った。不定形塊は溶解した金属が硬い所に落ちて飛び散りながら固まったような形状を呈する。1500 年の経年変化を感じさせないほどに銀色に輝いているが、地下式横穴墓に築かれた石棺の隙間から出土したもので、後世の混入は考えられない出土状況である。ただ、同時に性格や意味合いは不明な資料でもある。

調査は福岡市埋蔵文化財センターのエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（AMETEK・EDAX

Orbis）を用い、非破壊による表面分析により行った。

3. 調査の結果と考察

島内の耳環で共通して検出される金属元素としては、錫と鉄が挙げられる。この内鉄は、珪素やアルミニウムといった土壌に由来すると見られる元素のピークと量比の挙動が連動しており、土壌の影響による検出の可能性が高い。その他では、131 号墓の資料 No. 3 、 4 （資料 No は今回の作業で扱った資料に連番で付与したもの、以下同）や 139 号墓の No. 9 、10 で亜鉛、166 号墓の No.13 で鉛と見られる微弱なピークが認められる場合がある。しかし、これらは同じ資料内でも異なる分析箇所では検出されないこともあり、資料を構成する微量元素と認定するには不安定な検出状態である。他に、139 号墓の No. 9 は水銀の明瞭なピークが検出される箇所があるが、これは赤色顔料（朱）に起因するものと考えられる。つまり、全体として錫の純度が極めて高いといえる。

灰塚の資料も近い結果となっているが、こちらでは 3 点の資料とも共通して、多くの分析箇所で亜鉛の微弱なピークが検出されており、亜鉛が微量元素として含まれている可能性が高い。この点で島内の資料とは異なる結果となっている。

一方で岡崎 18 号墳の不定形塊は、錫の他に銅の明瞭なピークが認められる。半定量値では 1 %に満たない量ではあるが、島内や灰塚の資料とは明確な違いとして指摘することができる。

なお、これらの比較資料として、福岡市内で出土している古墳時代後期の錫製耳環の分析も行った。桧原古墳群や西新町 9 次調査出土資料、三苫 B- 8 号墳と三苫古墳群 B 群の出土古墳不明資料は、島内の資料と近く、錫以外の元素がほとんど認められない。しかし、三苫 B-10 号墳や徳永 H- 5 号墳出土資料では銅と鉛の明瞭なピークが検出される他、微弱な鉛や亜鉛が検出される資料もあるなど、異なる様相も見られる。

錫製耳環や環状製品において錫以外に鉛や亜鉛、銅が検出される事例は、島根県内の資料を対象とした上山晶子氏の研究でも示されており（上山 2016）、関連性が注目される。

4. まとめ

以上の結果、島内地下式横穴墓出土の耳環は、不純物のほとんど含まれない錫であった。灰塚 23 号墓の資料には非常に微量ながら亜鉛が含まれる可能性がある。岡崎 18 号墳の錫塊には、銅が含まれていた。福岡市内の事例も含め、含有微量元素の違いに幾つかの種類があり、産地の違いを示す可能性が考えられる。

また、古墳時代の錫製品は、単体で用いられる耳環の他、馬具や刀の鉄の部品に被せて装飾とする事例も確認され、その使用目的には銀の代用が一つの可能性として考えられる。しかし、それが現代における金属の価値（銀＞錫）と同等に認識された上での事なのか、あるいは使う側が錫と銀の違いを明確に認識し、納得していたのか否かによって、代用の意味は大きく異なる。南部九州の地で錫製品がまとまって出土する意味とも合わせて、大きな課題である。今回の調査がこれら課題解決の一助になることを期待する。

（参考文献）

上山晶子 2016「出雲・石見地域における古墳時代後期の錫・鉛製環状製品に関する一考察」『島根考古学会誌』第 33 集　島根考古学会

永嶋正春 1991「古墳時代における金属錫の利用」『歴博』第 49 号　国立歴史民俗博物館

永嶋正春 2008「岡崎 18 号墳出土遺物の X 線的調査」『大隅串良岡崎古墳群の研究』鹿児島大学総合研究博物館研究報告 No.3　鹿児島大学総合研究博物館

成瀬正和 1989「わが国上代の工芸材料としての錫」『正倉院年報』第 11 号、宮内庁正倉院事務所

化学組成からみた北方世界のガラス流通に関する研究

Study of the distribution of glass beads in the northern world (Hokkaido and the Russian Far East) focused on the chemical composition

○村串 まどか（筑波大学），新井 沙季（東京理科大学），中井 泉（東京理科大学），
中村 和之（函館工業高等専門学校）
○Madoka MURAKUSHI (University of Tsukuba), Saki ARAI (Tokyo University of Science),
Izumi NAKAI (Tokyo University of Science),
Kazuyuki NAKAMURA (National Institute of Technology, Hakodate College)

１．はじめに

我々は北海道以北（北方世界）のガラス玉流通の状況を明らかにすべく，2013 年から 2018 年までの間に北海道及びロシア極東地域（ロシア沿海州，アムール川流域，サハリン島）のガラス玉を対象として，現地で非破壊分析による化学的調査を実施してきた．これまで各地の調査ごとの報告は本学会等[1)]でも行ってきたが，現在はこれまでの調査の総括をすべく，調査した全ガラス玉の情報と化学組成データの再整理を行っている．本発表では，北方世界のガラス玉流通について考察するため，これまでに得られた化学組成データを中心に，現段階でまとまっている成果について発表する．

２．分析資料と分析装置

本研究で扱ったガラス玉は，ロシア沿海州では 7-8 世紀（図の F・不透明青色），8-9 世紀，10-11 世紀（図の C・透明青色），12-13 世紀（図の G・透明青色），18 世紀の遺跡等からの出土品，アムール川流域ではパクロフカ文化（10～13 世紀）の遺跡からの出土品（図の E・透明青色，I・透明青色）および 19-20 世紀に位置づけられる資料（図の B・不透明淡青色），サハリン島では 10-11 世紀の遺跡からの出土品（図の H・半透明青色）および 16～19 世紀の各遺跡からの出土品（図の A・不透明青色，D・透明赤色，J・不透明淡青色）である．すべて単色のガラス玉で，その色調や形態は多様である．本発表では上記の地域の遺跡で出土したガラス玉のうち，約 400 点のデータをもとに報告する．

ガラス玉の化学組成分析は可搬型蛍光 X 線分析装置 OURSTEX100FA を用いて，非破壊で行った．1 資料あたり 10 分から 15 分間測定を行った．定量は検量線法で行い，鉛を多く含む資料に対しては密度を用いた補正検量線により定量値を算出した．

３．結果と考察

ロシア沿海州，アムール川流域，サハリン島各地のガラス玉は，カリ石灰ガラスやカリ鉛ガラスなど，北海道の擦文文化期の末期以降に見られるガラス玉と化学組成的に類似するものであった．これらのガラスの製造地域としては中国などが想定され，今後は中国を含めた北方世界のガラス玉の流通について考察を進めたい．一方で，鉛を多く含まないアルカリケイ酸塩ガラスの中でも，カリ石灰ガラスと判断しがたいタイプも存在し，本研究ではソーダ石灰ガラスや混合アルカリガラスとして分類した．

この組成分類に基づいて各地域の調査成果を概観すると，ロシア沿海州では 10-12 世紀頃までソーダ石灰ガラスが流通し，一方でこの時期からカリ石灰ガラスやカリ鉛ガラスがみられるようになる．アムール川流域ではパクロフカ文化および 19-20 世紀の出土品は，カリ石灰ガラス，カリ鉛ガラス，ソーダ石灰ガラス，混合アルカリガラスに分類された．サハリン島では，10-11 世紀に位置づけられるガラス玉がアルミニウムを多く含むソーダ石灰ガラスと考えられるが，本研究で分析できたのは 1 点だけであるため，今後の分析点数の増加を待ちたい．16～19 世紀の出土品はカリ石灰ガラスやカリ鉛ガラスが多数を占める．以上のように本研究で対象とした各地域において，ガラス玉の流通状況について明らかにすることができた．

北海道では，列島内だけでなく大陸からの流入の可能性が触れられている目梨泊遺跡出土ガラス玉の事例[2)]もあり，今後のデータ整理を通して渤海，契丹，その後の山丹交易など北東アジアにおける交易や流通の実態を，ガラス玉の変化に基づいて検討していきたい．

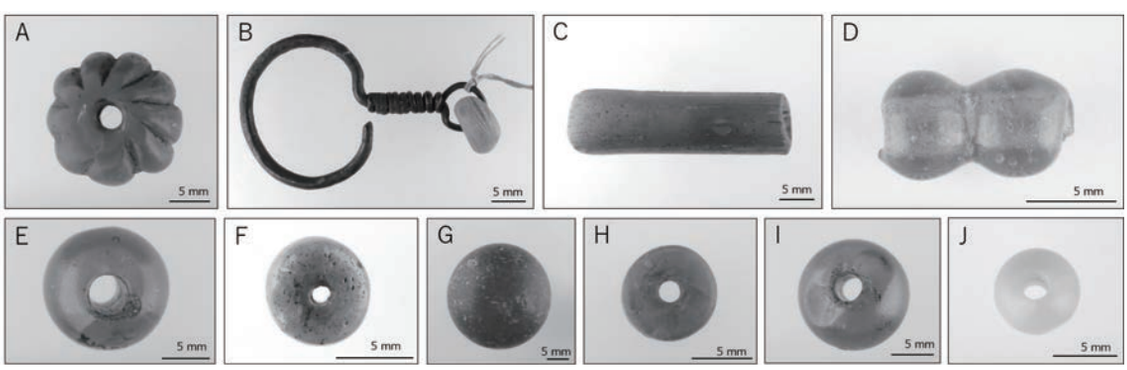


図 本研究で分析した北方のガラス玉の一例

謝辞

現地での分析調査の際には，ガラス玉を所蔵する北海道およびロシアの各研究所・博物館に多大なご協力を賜りました．また，札幌国際大学の越田賢一郎先生，金沢学院大学の小嶋芳孝先生には資料に関する情報のご提供と，数々のご助言をいただきました．本研究を進めるにあたり筑波大学の谷口陽子先生より多くのご助言をいただきました．記して謝意を表します．

参考文献

1) 新井沙季ほか 2018「蛍光 X 線分析を用いた中近世極東ロシアにおける遺跡出土ガラスビーズの考古化学的研究」『日本文化財科学会第 35 回大会要旨集』

2) 田村朋美・大賀克彦 2015「目梨泊遺跡出土ガラス小玉の考古科学的検討」『枝幸研究』6

奈良女子大学所蔵正倉院模造宝物紅牙撥鏤尺に用いられた色材と染色技術に関する研究

Study on Reproduction of Shosoin imperial treasures, on the dyeing material and technique of Red-stained ivory shaku ruler with bachiru decoration (Nara Women's University Collection)

○六車美保（京都大学）、田口智子（東京藝術大学）、的場美帆（奈良女子大学）、
杉原裕子（東京藝術大学）、桐野文良（東京藝術大学）、奥田紫乃（同志社女子大学）、
岡嶋克典（横浜国立大学）、宮路淳子（奈良女子大学）

○Muguruma Miho (Kyoto University), Taguchi Satoko (Tokyo University of the Arts), Matoba Miho (Nara Women's University), Sugihara Yuko (Tokyo University of the Arts), Kirino Fumiyoshi (Tokyo University of the Arts), Okuda Shino (Doshisha Women's College of Liberal Arts), Okajima Katsunori (Yokohama National University), Miyaji Atsuko (Nara Women's University)

1. はじめに

本研究では、奈良女子大学が所蔵する正倉院模造宝物紅牙撥鏤尺（以下、模造撥鏤尺）に着目する。模造撥鏤尺は昭和７年(1932)に、奈良女子高等師範学校が教材として購入したものである。共箱の蓋裏に「東大寺浄華精舎　吉田包春摹」と書かれており、制作者は吉田包春(1878-1951)である[1)]。模造撥鏤尺は、正倉院宝物中倉第 51 紅牙撥鏤尺第 3 号（以下、正倉院撥鏤尺)を模したものである。

図 1　奈良女子大学所蔵正倉院模造宝物紅牙撥鏤尺の外観像および二次元分光放射輝度計による測定箇所[3)]

撥鏤は、表面を染色した象牙に毛彫りで文様を施した象牙細工の技法で、奈良時代に唐から伝わるがその後途絶えた。本研究の目的は、科学分析が未発達であった時代に、包春がどのように奈良時代の技術に迫ろうとしていたのかを科学・文献調査から明らかにすることである。

前報[2)]では、模造撥鏤尺について顕微鏡観察及び XRF 分析を行い、正倉院撥鏤尺と同様に染料と顔料が使い分けられていたことを明らかにした。赤色部分では染料が使用された可能性を示唆したが、色材は不明であった。今回の目的は、二次元分光放射輝度計による色彩情報の取得及び文献調査により、模造撥鏤尺に使用された赤色の色材を明らかにすることである。

2. 資料と測定方法

図 1 に模造撥鏤尺の外観像を示す。模造撥鏤尺は、長さ 30.1cm、幅 2.3cm、厚さ 0.8 cmである。尚、正倉院撥鏤尺は長さ 29.7cm、幅 2.3cm、厚さ 0.8cm である[4)]。赤色の彩色部分について、模造撥鏤尺では両端部の赤味が濃いのに対して、正倉院撥鏤尺では均一に染められている。模造撥鏤尺の色彩情報は、ワンショットで画素ごとの分光分布を測定可能な二次元分光放射輝度計（TOPCON、SR5000-HWS）を用いて取得し、白色板の測定値で割って分光反射率を求めた。測定時の照明光には電球型蛍光ランプを使用した。

3. 結果と考察

図 2 に模造撥鏤尺の(a)濃い赤色と(b)赤色の分光反射率(420 nm～720 nm)を示す。測定箇所は図 1 に示す通りである。いずれも波長が 570 nm を超えると分光反射率が単調に上昇するスペクトル形状を示した。

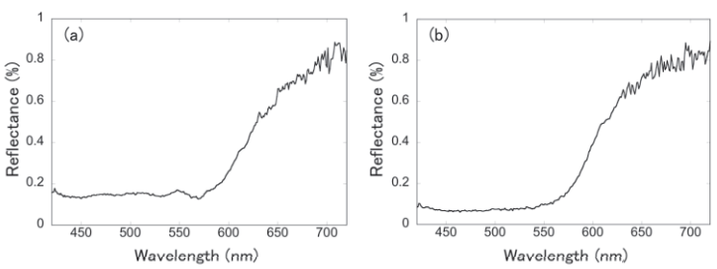


図 2　模造撥鏤尺の分光反射率 (a)濃い赤色、(b)赤色

赤色の色材では分光反射率を二次微分することによって色材の種類を同定することが可能であり、正倉院撥鏤尺の赤色部分の二次微分スペクトルには 490、525、580 nm にピークが存在することから、膠脂が使用されたとの報告がある[5]。図 3 に模造撥鏤尺の(a)、(b)の分光反射率の二次微分スペクトルを示す。(a)では 515、590 nm 付近、(b)では 510、590 nm 付近にピークが見られるが、膠脂のピークとは一致しない。520、570 nm にピークが存在する蘇芳と類似しているようにも見えるが、ピークの位置が異なるため、他の色材と混色して用いられた可能性が示唆される。

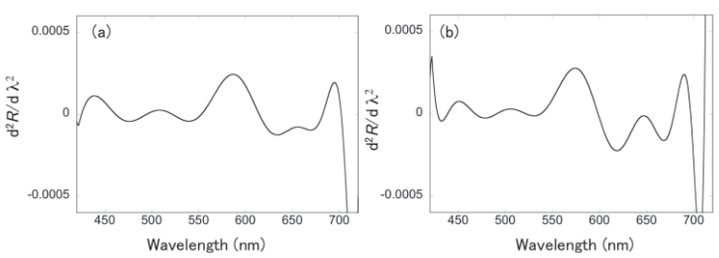


図 3　模造撥鏤尺の二次微分スペクトル　(a)濃い赤色、(b)赤色

一方、文献調査を進める中で、包春自身が模造撥鏤尺の制作について言及している記録を今回発見した[6]。「正倉院特別展観に際して　天平美術を語る」という座談会の中で、包春は「象牙を染める方法」として以下のように述べている。

> 蘇芳と紅で二度染にしまして、媒染に錯酸か酢を用ひます、熱いのに入れると曲がる恐れがあるので、染料をさまして微温にして二三日措いては数十回も繰返し繰返し染めます

この記述から、包春は模造撥鏤尺の染色材として「蘇芳」と「紅」を用いており、測定結果もそれを支持するものである。つまり、模造撥鏤尺は正倉院撥鏤尺とは異なる色材を複数用いて制作されたものである。今後は、文献を参考に蘇芳と紅を用いた象牙の染色を再現する予定である。

＜参考文献＞

1) 奈良女子大学記念館運営委員会『奈良女子大学所蔵資料正倉院模造宝物』, 2016 年
2) 六車美保, 田口智子, 的場美帆, 桐野文良, 宮路淳子「奈良女子大学所蔵正倉院模造宝物紅牙撥鏤尺に用いられた材料・制作技法に関する研究」,『日本文化財科学会第 36 回大会要旨集』, p354-p355, 2019 年
3) https://trc-adeac.trc.co.jp/WJ11F0/WJJS07U/2920155100/2920155100200020/mp000020
4) 宮内庁正倉院事務所『正倉院紀要第 35 号　年次報告』p66-p69, 2013 年
5) 中村力也、成瀬正和「正倉院宝物におけるエンジ ： 可視反射分光分析法による調査」『考古学と自然科学 ： 日本文化財科学会誌』(68), p33-p46, 2015 年
6) 日本美術工藝社『日本美術工藝』第 42 號 20 月号, p10-p22, 1946 年

謝辞　本研究は JSPS 科研費 18KK0282 の助成を受けています。

古代東アジアにおけるミツロウの検討（1）：ミツバチ種とミツロウのバイオマーカー

The studies of beeswax in ancient East Asia（1）：Honey bee species and beeswax biomarker

○堀内晶子（国際基督教大学）、宮内信雄（東京大学）、吉田邦夫（同左）、松崎浩之（同左）、
金原裕美子（文化財科学研究センター）、宮田佳樹（東京大学）

1．はじめに

ミツロウは、身近で扱いやすい素材として古代から薬剤や化粧品、鋳造に至る様々な用途に用いられてきた。Roffet-Salque（2015）らは中近東からヨーロッパにかけて 150 以上の遺跡から出土した土器胎土の残留有機物を分析した結果、セイヨウミツバチ（*Apis mellifera*）のミツロウ特有の複数のバイオマーカーを検出し、養蜂は約 9000 年前までさかのぼると報告している。古代からトウヨウミツバチ（*Apis cerana*）が生息するアジアでは（図 1）19 世紀後半から 20 世紀前半にかけて蜜の収穫量が多いセイヨウミツバチが伝授され（Crane, 1999）、現在アジアの養蜂はセイヨウミツバチが中心である。従って古代日本や韓国で使用されたミツロウが例えばセイヨウミツバチ由来であれば西から、オオミツバチ（*Apis dorsata*）であれば南から伝わったと推測され、ミツバチ種の同定は養蜂の遍歴やミツロウの用途のみならず、ミツロウを通した物流等も示唆できる可能性がある。これまで古代試料からミツロウを同定する場合、多くの報告があるセイヨウミツバチのデータを参考にするか、現生のミツロウ（主にセイヨウミツバチ）と比較する場合がほとんどで、ハチの種を同定するまでには至っていない。そこで、セイヨウミツバチの生息地を含む 6 か国から、ハチの種が明確なミツロウ・ハチの巣 6 点を含めた現生のミツロウ・ハチの巣と、比較として植物由来のロウ及びパラフィン類を収集し（表 1）、土器の残留有機物分析と同じ手法で分析して、含まれている物質を同定した。

図1. アジア原産のトウヨウミツバチ(*Apis cerana*), オオミツバチ（*Apis dorsata*)などの分布（吉田忠晴, 2005)

試料番号	種類	生産地	ミツバチの分類
ACJ_W1	ミツロウ	日本(和歌山県)	トウヨウミツバチ(*Apis cerana Japonica*)
ACK_1	ミツロウ	韓国	不明
ACK-2	ミツロウ	韓国	不明
AZBW-1	ハチの巣	アゼルバイジャン	不明
RSBW-1	ハチの巣	ロシア	不明
Wax 2020-1	ミツロウ	日本(千葉県)	トウヨウミツバチ(*Apis cerana Japonica*)
Wax 2020-2	ヌタロウ(米ぬかロウソクの原料)	日本(奈良県)	−
Wax 2020-3	ハゼロウ(ハゼロウソクの原料)	日本(奈良県)	−
Wax 2020-4	植物性パラフィン	日本	−
Wax 2020-5	石油系パラフィン	日本	−
Wax 2020-6	土器接合用ワックス	中国	−
Wax 2020-8	ハチの巣	マレーシア	オオミツバチ(*Apis dorseta*)
Wax 2020-10	ハチミツ	中国	不明
Wax 2020-11	ハチの巣(オスバチ)	日本(千葉県)	セイヨウミツバチ(*Apis fellimera*)
Wax 2020-12	ハチの巣(プロポリス付き)	日本(千葉県)	セイヨウミツバチ(*Apis fellimera*)
Wax 2020-13	ハチの巣(ハタラキバチ)	日本	セイヨウミツバチ(*Apis fellimera*)

2．実験方法

試料：ワックス類はそのまま、ハチの巣は水中で加熱し、浮上したワックスを集めて（３回繰り返す）試料とした。ハチミツはヘキサン抽出した。

分析方法:すでに確立されている酸抽出法（Correa-Ascencio, 2014, Papakosta, 2015）を用いて有機物を抽出した後、1）ガスクロマトグラフィー質量分析法（GC-MS）による有機物分析及び、2）ガスクロマトグラフィー燃焼炭素安定同位体比質量分析法（GC-C-IRMS）を使った palmitic acid（$C_{16:0}$）と stearic acid（$C_{18:0}$）の炭素安定同位体比分析を行った。糖類などは試料の調製過程で分解してしまう為、この手法では分析できない。測定は東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室に設置した分析装置を用いた。

３．結果と考察

分析結果の例として種が明確なトウヨウミツバチ、セイヨウミツバチ、オオミツバチのミツロウのクロマトグラムの一部を図２に示す。不飽和結合数が１の炭素数 35 と炭素数 37 の alkene（AL-C35:1, AL-C37:1）はトウヨウミツバチに特異的であり、セイヨウミツバチは AL-C31:1, AL-C33:1 の大きなピークが特徴的で、Aichhold ら（1999）の報告と一致している。

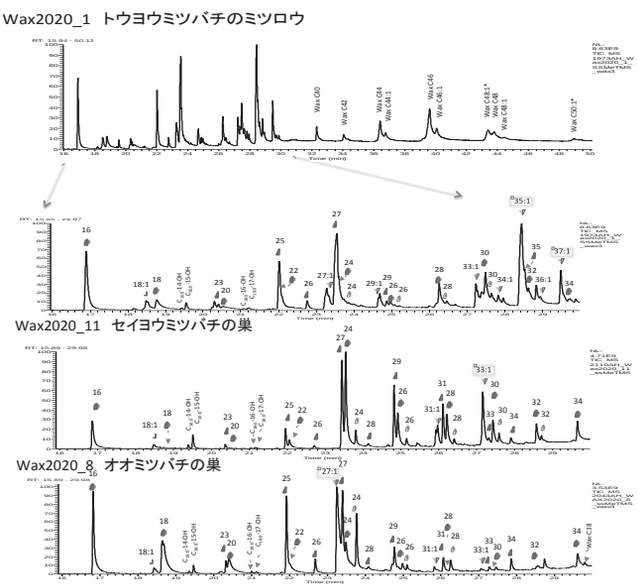


図2. ミツバチ種が明らかなミツロウのクロマトグラム（一部）. ● x =sat. fatty acids, ▲ x:m=unsat. fatty acids, ▼ x=*n*-alkane, ▽x:m=*n*-alkene, ◆ x=*n*-alcohol, x=炭素数, m=不飽和数, Wax＊=stearic acidを持つワックスエステル, ＊なしはpalmitic acid を持つワックスエステル.

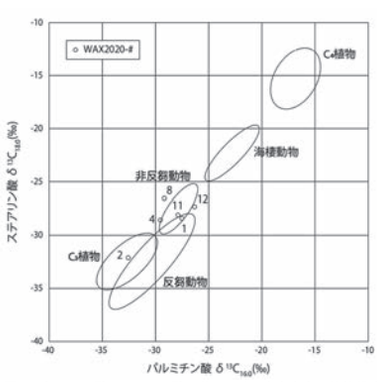


図3. パルミチン酸・ステアリン酸の分子レベル炭素安定同位体組成を現生日本産生物データと比較。現生生物から推定される各端成分の領域を楕円で示した。

オオミツバチは前記報告に無い AL-C27:1 の大きなピークが特異的である。この結果を基にミツバチ種が不明であった試料を調べると、韓国のミツロウ ACK-1 はセイヨウミツバチ、ACK-2 はトウヨウミツバチ、ロシア産（RSBW-1）とアゼルバイジャン産（AZBW-1）は共にセイヨウミツバチと判明した。中国産のハチミツ（Wax2020-10）からワックス類は回収できなかった。図 3 は GC-C-IRMS の結果である。C_3 植物の端成分域に入る Wax 2020-2 は米ぬかロウソクの原料のヌタロウでコメ（C_3 植物）由来、他はほぼ陸棲非反芻動物領域に入る。花の蜜や花粉を餌にしているミツバチが分泌するミツロウも、植物を摂取する、あるいは摂取する動物を食することで間接的に植物由来の炭素同位体比の影響を受ける陸棲非反芻動物と同様の端成分域におおよそ入ることがわかった。

謝辞：千葉県の試料を提供頂いた伊藤文子氏、マレーシアのオオミツバチの巣を提供頂いた千葉県立中央博物館の斎藤明子氏、黒住耐二氏に感謝する。科研費基盤研究（A）（研究代表　宮田佳樹；16H01824）の助成を受けた。

寛永期における東南アジア産輸入漆塗料の使用に関する新知見

New findings on the use of imported lacquer paints from Southeast Asia during the Kanei period

○本多貴之(明治大学)、永井義隆(同左)、増田隆之介(同左)、宮腰哲雄(同左)、島田豊(京都府教育庁指導部文化財保護課)、坂井輝久(清水寺)、北野信彦(龍谷大学)

○Takayuki HONDA, Yoshitaka NAGAI, Ryunosuke MASUDA, Tetsuo MIYAKOSHI (Meiji University), Yutaka SHIMADA (Cultural Properties Division, Department of Guidance, Kyoto Prefectural Board of Education), Teruhisa SAKAI (Kiyomizu-dera Temple), Nobuhiko KITANO (Ryukoku University)

1. はじめに

これまで寛永期の京都市内の遺跡より出土した四耳壺や漆工用具などに付着していた漆の分析を熱分解ーガスクロマトグラフィー・質量分析（Py-GC/MS）により行った。その結果，その壺の中の漆や漆工用具などに付着した漆がタイ・ミャンマーに生育する*“Gluta usitata”*の主成分であるチチオールであることを示した[1,2,3]。そのため少なくとも鎖国と称される海外との交易が制限される以前は活発な東南アジア交易を通じて寛永期の京都市中で東南アジア産漆塗料が使用された可能性を指摘した。しかし使用の実態には不明な点が多かった。今回の発表では同時期に建造された建造物に対する漆様の塗装に対する Py-GC/MS 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

現在、清水寺では文化財建造物の修理が実施されており、文化庁の指導の下、施工に使用する材料選定に関連した寛永当初期の漆塗装に関する調査を行った。分析の対象としたのは、清水寺奥院の内陣柱や本尊御厨子須弥壇，絵馬額縁の漆塗装と思われる部分の塗膜片である。

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[4]。

3. 結果と考察

奥院の内陣柱より採取された比較的大きな塗膜に対して断面分析と断面へのエネルギー分散型蛍光 X 線分析（ED-XRF），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 ED-XRF 測定結果から，最表面には藍とヒ素を混ぜた緑色の漆

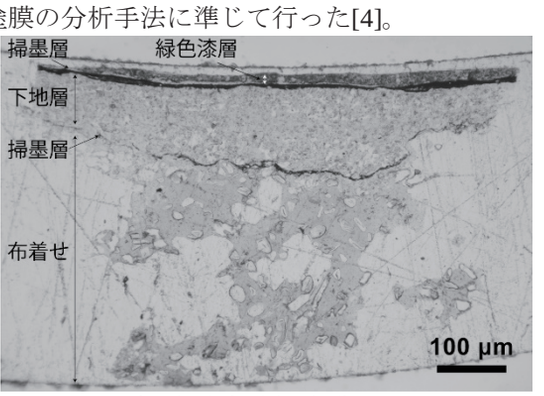


写真 奥院内陣柱塗膜の断面

が塗布されており，その下に掃墨と思われる厚さのあまり無い黒色層，地の粉を混ぜた下塗り層，布着せ層の 4 層構造が確認された（写真）。Py-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）。あわせて，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。また、本尊御厨子須弥壇，絵馬額縁の塗膜片に関しても Py-GC/MS の測定を行ったところ，奥院の柱と同様にチチオールの存在が確認できた。このことは，当時の東南アジア交易品の一つして輸入されていた “タイの漆”が建造物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。

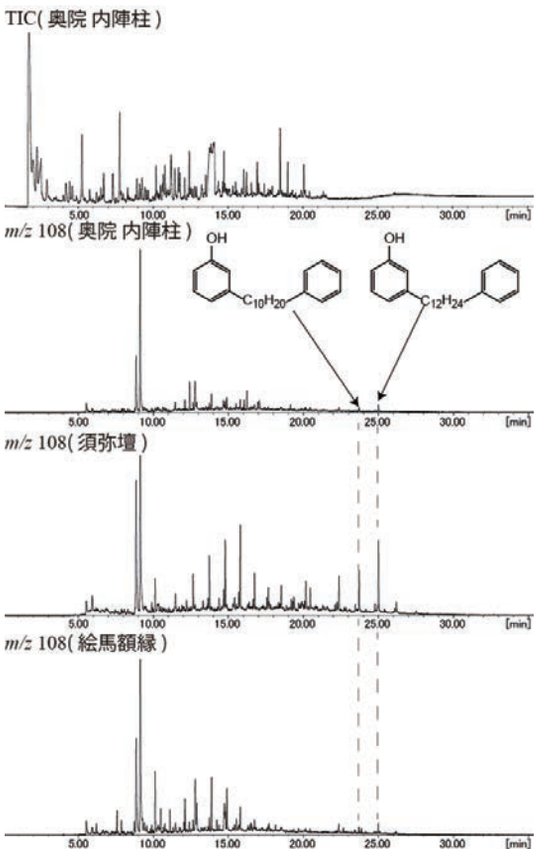


図 清水寺奥院塗膜の Py-GC/MS 測定結果

4. おわりに

今回は清水寺奥院の建造部材および御朱印船絵馬の額縁から寛永当初の塗装部の資料に対する科学分析を行った。その結果，これまでに輸入が確認できているタイ・ミャンマーに生育する *Gluta usitata* 由来の成分が確認された。このことは，長崎出島のオランダ商館長日記[5]に示されている大量の輸入漆などの利用用途の 1 つと考えることが出来る結果であろう。今後の課題とし *Gluta usitata* の樹液は日本よりも高温多湿な地域に適応した樹種であり，樹液の乾燥が日本国内では遅いことが予想できるため，これをどう解決したのか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。

＜参考文献＞

1) 北野 信彦・小檜山 一良・竜子 正彦・高妻 洋成・宮腰 哲雄,「桃山文化期における輸入漆塗料の流通と使用に関する調査」,『保存科学』47 号, pp.37-52 （2008）
2) 北野 信彦, 小檜山 一良, 木下 保明, 竜子 正彦, 本多 貴之, 宮腰 哲雄,「桃山文化期における輸入漆塗料の流通と使用に関する調査（II）」,『保存科学』48 号,pp.133-145 (2009）
3) 北野 信彦，小檜山 一良，木下 保明，竜子 正彦，本多 貴之，宮腰 哲雄，「桃山文化期における輸入漆塗料の流通と使用に関する調査（III）」,『保存科学』53 号, pp.67-79（2014）
4) 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）
5) 村上直次郎,『長崎オランダ商館の日記』，全３巻，岩波書店，（1956，1957，1958）

三椏紙の酸化劣化に及ぼす煮熟剤の影響

The Effect of Cooking Agents on the Oxidative Deterioration of *Mitsumata* Paper

○曹智健（東京藝術大学)、稲葉政満（東京藝術大学）
○ZhiJian Cao、Masamitsu INABA(Tokyo University of the Arts)

1.はじめに

和紙は文化財の基底材として、また修復材料としても用いられ、高い保存性が求められる。保存性を追求していく上で、劣化要因について研究することが不可欠である。紙の主な劣化要因として、酸加水分解と酸化分解がある。酸加水分解では、酸によりセルロースやヘミセルロースの分子鎖が切断され重合度が低下する。酸化分解では、酸化反応によりカルボニル基やカルボキシル基が導入され、分子鎖の切断も起きる。この酸化反応は、遷移金属イオンが触媒となって反応が促進され、よく見かける例としてインク焼け（鉄イオン）や緑青焼け（銅イオン）がある。紙資料は以上の化学反応によって色変化や物理強度低下などの劣化を受ける。本研究は、異なる煮熟剤を用いて製造した三椏紙について、鉄イオン存在下で強制劣化試験を行い、酸化反応が紙の劣化に及ぼす影響について煮熟剤の影響を明らかにすることを目的とした。

2.実験

2.1　三椏紙の抄紙

高知県立紙産業技術センターにおいて、三椏白皮（高知産）を原料とし、アルカリ性が弱いソーダ灰（炭酸ナトリウム）またはアルカリ性が強い苛性ソーダ（水酸化ナトリウム）により煮熟を行なった。白皮 750 ｇに対し、各煮熟剤 150 ｇ（皮重量の 20%）を使用した。手漉きにより三椏紙を作製した。

2.2　浸漬処理

三椏紙の鉄イオンによる酸化劣化の影響を検討するため、三椏紙を硫酸第一鉄水溶液 5.0×10^{-2} mol/L に浸漬処理した。硫酸鉄水溶液は酸性であるため、紙の酸加水分解も起こる。そこで、酸加水分解のみの影響を明らかにするために、浸漬処理後の三椏紙の pH がほぼ同じになるように 6.5×10^{-3} mol/L の硫酸水溶液に浸漬処理した試料も作製した。また、対照試料として蒸留水に浸漬した試料も作製した。

2.3　湿熱加速劣化処理と評価方法

試料を浸漬処理乾燥後 80℃、65%rh の恒温恒湿槽で、4～12 週間、湿熱加速劣化処理した。劣化処理後、三椏紙の pH、色、物理強度（引裂強さ、耐折強さ）、セルロースの重合度・酸化度（粘度法）を測定し、劣化程度を評価した。

3.結果および考察

3.1　pH：ソーダ灰煮熟した三椏紙は浸漬処理やその後の湿熱劣化処理による pH の低下はわずかであった（図１）。苛性ソーダ煮熟試料では湿熱劣化により pH 低下が生じ、特に硫酸鉄浸漬処理試料での pH 低下が大きかった（図２）。これは、既報[1)]の楮紙の場合と同様にソーダ灰煮熟試料にはアルカリバッファが十分残留しており、pH 低下が抑制されるが、苛性ソーダ煮熟試料ではそのような効果がないためと考えられる。初期 pH が硫酸処理試料と硫酸鉄試料で同程度となるように浸漬処理したが、湿熱劣化による pH 低下の影響が大きいことから、以下では 4 週間湿熱劣化処理後の値を各試料の代表的 pH として議論することにする。

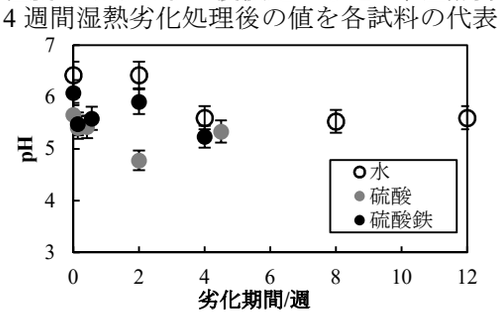


図 1 ソーダ煮熟三椏紙試料の pH 経時変化

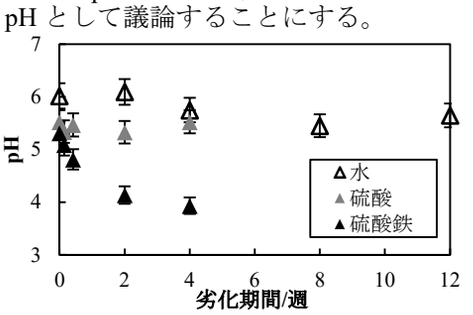


図 2 苛性ソーダ煮熟三椏紙試料の pH 経時変化

３.２　色：湿熱劣化後の三椏紙試料は黄変し、色差⊿*E** が増加した。その程度は、煮熟剤、浸漬処理液の濃度や種類によって大きく異なった。変色速度の指標となる変色速度定数 [2]は、ソーダ灰煮熟の硫酸処理試料は 0.22 日$^{-1}$ であり、硫酸鉄処理試料では 0.25 日$^{-1}$ であった。苛性ソーダ煮熟試料の硫酸処理は 0.31 日$^{-1}$ であり、硫酸鉄処理試料では 1.11 日$^{-1}$ と最も大きかった。

３.３　物理強度・引裂強さ：各浸漬及び水処理試料の引裂強さを図３に示す、ソーダ灰煮熟の各試料より苛性ソーダ煮熟各試料の方が物理強度の低下が顕著であった。図３より、それぞれの劣化速度を求め劣化 4 週間後の pH 値に対してプロットした（図 4)。硫酸鉄処理試料の劣化速度が大きく、苛性ソーダ煮熟試料の方がより大きい値を示した。これは硫酸処理によるものよりも同一 pH での値も大きく、この差は酸化分解による差といえる。

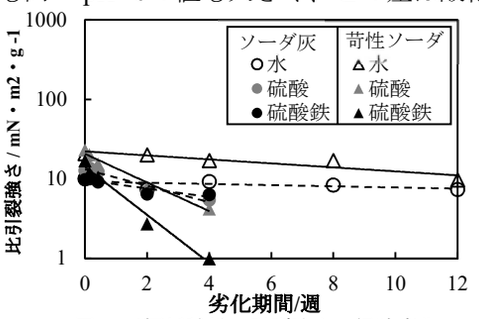


図 3 三椏紙試料の引裂強さの経時変化

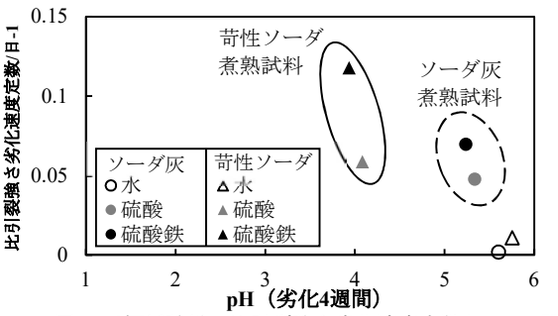


図 4 三椏紙試料の比引裂強さ劣化速度定数と pH の関係

耐折強さ：ほぼ引裂強さと同様な傾向であった。

３.４　粘度平均重合度及び酸化度：三椏紙の水処理試料のセルロースの重合度は煮熟剤によらず 1200 程度であり、湿熱劣化処理 4 週後でも水処理試料とソーダ灰の硫酸処理では 800 以上の値を示している。物性に影響するとされる大凡 700 よりも大きな値を示しており、これらの試料の物性変化があまりなかった事と相関していると考えられる。一方、苛性ソーダ煮熟試料の硫酸処理では 556、硫酸鉄処理ではソーダ灰煮熟試料で 557、苛性ソーダ煮熟試料 114 と低下しており、これらの試料の物理強度が低下していることと相関している。

表 1 湿熱劣化による粘度平均重合度、酸化度の変化

煮熟剤	処理	劣化期間（週）	粘度平均重合度	酸化度
ソーダ灰	水	0	1225	0.03
	水	4	1062	0.06
	硫酸	4	875	0.09
	硫酸鉄	4	557	0.65
苛性ソーダ	水	0	1250	-0.02
	水	4	1070	-0.03
	硫酸	4	556	0.58
	硫酸鉄	4	114	1.09

セルロースの酸化度は、水処理試料及び硫酸処理試料が小さく、硫酸鉄処理ではソーダ灰煮熟試料は 0.65、苛性ソーダ煮熟試料が 1.09 と増加しており、これらの試料では酸化反応が進行している事を示している。また、硫酸処理の場合はソーダ灰煮熟試料の酸化度は 0.09 と少し増加したのに対し、苛性ソーダ煮熟試料では 0.58 と明らかに増加した。これは鉄イオンが存在しなくてもセルロースの酸化反応が進む事を示しており、苛性ソーダ煮熟試料はソーダ灰煮熟試料よりも酸化反応が進みやすいと考えられる。

４.おわりに

三椏紙では苛性ソーダ煮熟試料は、酸性化しやすため、酸加水分解が起きやすい。また、鉄イオンによる酸化劣化も影響されやすい。一方、ソーダ灰煮熟試料中にはアルカリバッファが十分量存在し、酸性化を抑制するため、酸加水分解反応と酸化反応が抑制される。

謝辞

本研究で用いた三椏紙は岩田直美氏が高知県立紙産業技術センターのご協力の下作成したものです。また、研究経費の一部は本学の平成 28 年度研究推進プロジェクト研究および JSPS 科研費 JP 17H02012 によるものです。これらのご援助に感謝いたします。

引用文献:

1)Masamitsu INABA, Gang CHEN, Tanya T. UYEDA, Kyoko Saito KATSUMATA and Akinori OKAWA : The Effect of Cooking Agents on the Permanence of Washi Part II, Restaurator,23, 133-144 (2002)

2)鐘 佳栄, 稲葉 政満, 陳 剛 :煮熟剤による竹紙の物性への影響,紙パ技協誌, 72(1), 85-100 (2018)

オランダ東インド会社の記録文書の調査

Research on Record Documents of Dutch East India Company

◯坂本昭二（龍谷大学）
◯Shouji SAKAMOTO (Ryukoku University)

1. はじめに

オランダ東インド会社（VOC）が作成した 17 世紀から 19 世紀にわたる記録資料がオランダのハーグの国立公文書館（Nationaal Archief）に保管されている。特に平戸と出島の商館に関連する文書に限るとその総数は 2000 点弱に及ぶ[1]。これまでにこれらの文書に使用された紙として洋紙や鳥子紙の存在は知られていたが[2]、今回、1614 年から 1830 年にかけて作成された文書資料 220 点の調査を行なったので報告する。

2. 調査方法

本調査では目視及びデジタルカメラ（オリンパス Tough TG-6）を用いて紙表面の観察、反射光及び透過光による透かし模様（ウォーターマーク、カウンターマーク）、簀の目、糸目、紗の目、板目模様の観察を行った。紙厚をミツトヨ製 Quick mini を用いて 3 箇所程度を計測した結果の平均値を求めた。洋紙の透かし模様から生産地や生産者の調査も行い[3, 4, 5 など]、さらに、記録された年月日の情報を用いて時系列分析を行なった。

3. 結果

3.1 紙の分類、産地推定、時系列分析

洋紙については、Strasburg Fleur de Lis, Pro Patria, Lion (VRYHEYT), Arms of Amsterdam, Bee Hive, Coat of Arms, Fools Cap などを中心に 20 種類弱のウォーターマークが存在した。（但し、すべての紙を調べていないので今後さらに新たなウォーターマークが見つかると思われる。）また、カウンターマークには関係者（商人や職人）のイニシャルがあるものが多数あった。以下に洋紙以外の紙も含めて概要を示す。

●鳥子紙（和紙：17 世紀前半頃に多い）

鳥子紙の使用が確認されたのは 1614 年から 1663 年頃までで、初期の記録資料に多く用いられていた。紙厚の平均値が 0.18[mm]で同時期の日本の雁皮紙や鳥子紙の紙厚と比較して約 2 倍の厚さであった[6]。紙のサイズを計測した結果、およそ 38(±1)×47(±2)[cm]のものと 38(±1)×64(±3)[cm]のものの大まかに 2 種類に分類できた。紙表面に板目模様が残るものが多く、その反対の面には紗の目模様が見られるので紗漉きの紙であろう。したがって、糸目模様が見えるものは少なく、見えるものでもぼんやりと見える程度で糸目の間隔は 3cm 強であった。紙の端の破れている部分を観察すると紙が複数枚に重ねられているように見える箇所があることから、この厚い鳥子紙は薄い紙を重ねて作られたと思われる。

●フランスのアングーモワ産の紙（洋紙：17 世紀後半頃に多い）

フランス南西部のアングーモワ（Angoumois）地域で製紙工場を経営した GVH（Gills van Hoven）や AJ（Abraham Janssen）などのオランダ商人、そして、彼らの工場で働いていた IV（Jean Villedary）、 PB（不明）、PM（Pierre de Marsillac）、ET（Etienne Touzeau）などの紙漉き職人のイニシャルの透かしのある紙が多数見られた。また、Strasburg Fleur de Lis のウォーターマークに IHS（Iesus Hominum Salvator）Cross のカウンターマークを持つ紙が多数見られた。17 世紀の紙は鳥子紙を除いてはアングーモワ産の紙が多く（特に鳥子紙の見られなくなる 1662 年頃から 1700 年頃に多い）、どちらの紙もそれぞれ日本とヨーロッパで高級紙として認識されていたものであった。

●オランダ産の紙（洋紙：18 世紀以降に多い）

18 世紀以降の紙になるとアングーモワ産の紙は見られなくなり、変わって LVG（Lubbertus van Gerrevink）、VDL（Van der Ley）、JH&Z（Jan Honig & Zoonen）、D&C Blauw（Dirk & Cornelis Blauw）、JKool（Jan Aggesz Kool）、Van Gelder などカウンターマークが多数見られた。これらはアムステルダム北西部に位置するザーン（Zaan）地域を中心にオランダ北部の製紙工場で作られた紙であることを示している。

また、1749 年から 1800 年までの紙の中にオランダ東インド会社アムステルダム支社のロゴ（A VOC）の透かしのある紙が存在し、さらにその中には D&C Blauw、LVG、A VDL のイニシャルも持つものもあり、この 3 つの製紙工場では A VOC のロゴを持つ紙が制作されていたことがわかった。

●楮紙（和紙）

若干数の日本語文章の楮紙文書も混在しているが､1819 年頃以降はオランダ語文章の楮紙文書も少なからず存在する。これらの中には日本人の署名と黒印や南蛮譯会の朱印のあるものも多く、基本的に楮紙の片面に書写して袋綴じされている。（注：上述の鳥子紙や洋紙では通常裏表両面に書写されている。）

●アメリカ製の紙

1805 年の資料に若干数使用されている左中央に JG&Co（Joshua Giplin & Company）、右中央に BRANDYWINE の透かし模様を持つ紙はアメリカのデラウェア州の Brandywine 川沿いに設置された工場で作られた紙である。

●イギリス製の紙

イギリス東インド会社のモノグラム（VEIC（Vnited East India Company））の透かし模様を持つ 1809 年製（1809 の透かし模様が入れられている）のイギリスの紙が若干数確認された。

●不明な紙

オランダ東インド会社はバタヴィア（現在のジャカルタ）を中心に東南アジア各地に商館を設けていた。今回調査した資料の中には台湾やトンキン（現在のハノイ）などの商館から送られてきた文書資料も存在し、この中には洋紙でも和紙（楮紙、鳥子紙）でもない紙が存在した。そのような紙は中国などアジア地域で製作されたと思われる。

3.2 表紙

基本的に年次ごとにまとめて製本されているが、その表紙に鳥子紙、再生紙（印刷されたアルファベット文字の残る紙片が見つかる）、ラグペーパーが使用されていた。紙以外にも東南アジア製と思われるタパの表紙や、凝ったものとして布地でデザインされた表紙（組紐も付随している）も存在した。

3.3 紙のサイズ

今回の調査では、Pro Patria（18 世紀以降）, Lion (VRYHEYT)（18 世紀以降）, Arms of Amsterdam（17,18 世紀）, Fools Cap（17 世紀）などのウォーターマーク持つ紙のサイズは 32.5(±1.5)×41.5(±1.5)[cm]程度であった。Strasburg Fleur de Lis のウォーターマーク持つ紙は 1642 年から 1806 年まで存在していたが、このうち 58 点のサイズを計測した結果、17 世紀では 38(±4)×50(±4)[cm]程度であるが、18 世紀になると 43(±1)×55(±1.5)[cm]程度のものが多くなり、縦横 5cm 程度サイズが大きくなっていた。

3.4 インク：Blotting Sand

17 世紀後半以降の資料に鉱物が混ぜられたキラキラと輝くインクが一部に使用されているものがあった（特に署名部分に多く見つかる）。この鉱物はいわゆる Blotting Sand と呼ばれているものと思われるが、これはデコレーション目的ではなくインクの滲み止めのためのものとされている[7 など]。（但し、結果としてデコレーションに見える。）

4. まとめ

オランダ東インド会社の平戸・出島商館の記録資料の紙を時系列に観察することによって、およそ、鳥子紙（17 世紀前半）→ フランスのアングーモワ産の紙（17 世紀後半）→ オランダ産の紙（18 世紀以降）と時代によって使用された紙が変化している様を捉えることができた。また、洋紙ではウォーターマークと紙のサイズの間に関係があることを示した。

謝辞：本研究は科学研究費助成事業 JP16H05638 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] Roessingh, M. P. H.：Inventaris van de archieven van de Nederlandse Factorij in Japan te Hirado [1609-1641] en te Deshima, [1641-1860], 1609-1860, Nationaal Archief, Den Haag, 1964

[2] 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, No.24, p.20-51, 2016

[3] Nicolaï, Alexandre：Histoire des Moulins à papier du Sud-Ouest de la France (1300-1800) - tome 1, REGIONALISMES, 2005

[4] Heawood, Edward：Watermarks, Mainly Of The 17th And 18th Centuries, Martino Pub, 2003

[5] Churchill, W. A. : Watermarks in Paper in Holland, England, France, Etc., in the XVII and XVIII Centuries & Their Interconnection, MENNO HERTZBERGER & CO., 1965

[6] 坂本昭二：17〜18 世紀の雁皮紙の多様性について，日本文化財科学会第 36 回大会, P-63, p.238-239, 2019

[7] Reissland, Birgit and Van Hoesel, Annelies : Manuscripts from Yemen 1786-1937 Analysis of glittering particles and ink composition, 2019

敦煌莫高窟第 464 窟出土のウイグル文書の
デジタル顕微鏡による非破壊分析

Nondestructive Paper Analysis of Uyghurs Documents from Dunhuang Mogao Cave 464 using Digital Microscope

◯坂本昭二（龍谷大学）
◯Shouji SAKAMOTO (Ryukoku University)

1. はじめに

一般に敦煌文書と呼ばれるものは敦煌莫高窟第 17 窟（蔵経洞などとも呼ばれる）から出土した 5〜11 世紀頃の文書群のことを指すが、これ以外にも莫高窟の最北端にある第 464 窟から 13〜14 世紀のものとされている文書等が出土している。例えば 1908 年にフランスのポールペリオ（Paul Pelliot）は第 464 窟（ペリオの窟番号では第 181 窟）でウイグル文書、西夏文書、ウイグル語の活字などを発見したことを報告している[1]。本研究では、ペリオが第 464 窟で発見したウイグル文書 19 点（フランス国立図書館所蔵）の紙を非破壊分析したので報告する。

2. 分析方法

分析は非破壊分析によって行なわれ、目視観察、及び、デジタル顕微鏡（Keyence VHX-1000）を用いて紙表面の観察を行なった。但し、繊維分析において、同じクワ科の植物である楮、カジノキ、桑など近縁種間の繊維分類は難しく、本稿ではこれらの繊維を広い意味で楮繊維とした。また、麻類には大麻、苧麻、亜麻などがあり、これらの繊維も分類が難しいので麻質繊維とした。

3. 結果

表. 1 に分析した資料 19 点とその分析結果を示す。Pelliot ouigour 16 は綴じられた本の形態をしているが、それ以外は全て紙の断片である。繊維分析では 14 点の資料から楮繊維が見つかり、4 点の資料（Pelliot ouigour Grotte 181 No.188, 196, 211, 229）は麻質の繊維からなる紙であった。Pelliot ouigour Grotte 181 No.258 は楮でも麻質でもない繊維であり、今回分析した資料の中では異質なものであった。簀の目に関しては 1cm 当たり 6〜8 本程度であった。断片の多くが薄くて非常に脆い紙で、図.1 の顕微鏡画像からもわかるように紙に何もない空間（穴）があり紙の向こう側が見えている。明らかに原料となる繊維量が不足しており、填料を加えることによって繊維不足を補おうとしたようである。填料は鉱物質のものと粒状物のものとに分類した。17 点の資料から鉱物質の填料の使用が見られ、2 点の資料（Pelliot ouigour Grotte 181 No.196, 258）から大量の球状の粒状物が見つかった（図.2 参照）。この粒状物に関してはその球状の形状とその粒径サイズが数 μm から数十 μm まで分布することから小麦（または大麦）澱粉粒の可能性が高い[2]。

表. 1 分析結果

タイトル	形態	高さ [cm]	幅 [cm]	紙厚 [mm]	簀の目 [lines/cm]	繊維種	鉱物質填料	粒状物填料
Pelliot ouigour 16	本	24.7	18.3	0.15	8.0	楮	表紙:あり P.6:なし	
Pelliot ouigour 16 Bis	断片	25	23		8.0	楮	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 186	断片	14.4	7.5	0.08	7.0	楮	あり	若干あり(注1)
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 188	断片	19.5	5.5		7.0	麻質+楮(若干)	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 196	断片	13	10.3		7.0	麻質		あり(注1)
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 211	断片	15.9	5.7	0.11		麻質	あり	若干あり(注1)
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 215	断片	18.4	10	0.08	7.0	楮	あり(白色)	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 221	断片	14.3	3		6.7	楮	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 228	断片	10.2	4	0.13	6.3	楮	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 229	断片	10.5	3.5	0.10		麻質	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 235	断片	8.6	2.5	0.07	6.0	楮	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 245	断片	4.5	2	0.08	6.0	楮	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 247	断片	12.8	1.5		6.7	楮	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 257	断片	6	3.6	0.08	7.0	楮	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 258	断片	2	2.5			不明		あり(注1)
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 292	断片	4	6	0.06	6.7	楮	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 319	断片	5.5	4	0.09	6.0	楮	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 347	断片	3.5	3			楮	あり	
Pelliot ouigour Grotte 181 No. 359	断片	3.2	4.5	0.07	6.3	楮	あり	

注1:粒状物の形状から小麦澱粉粒の可能性が高い

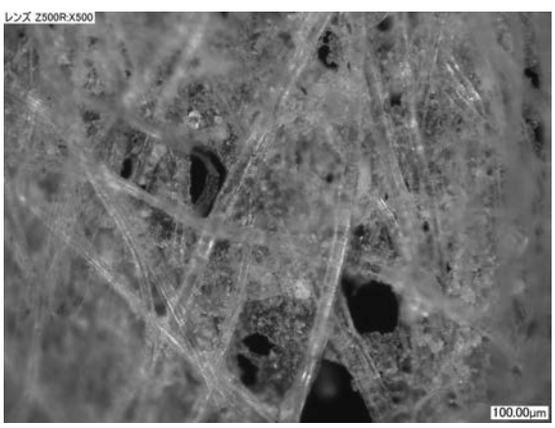


図. 1 穴の空いた紙：楮繊維と鉱物質の填料（No.235）

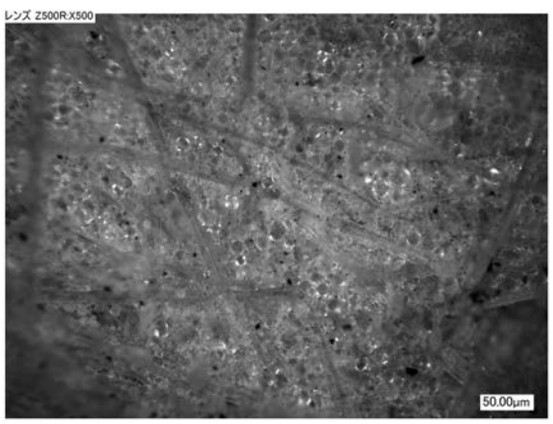


図. 2　大量の粒状物（No.258）

4. まとめ

これまで歴史学者の間では、今回分析した断片群の紙はその薄さの見た目からライスペーパーと呼ばれていた。しかし、実際は楮や麻質の繊維を原料とするが、繊維原料の不足を補うために多量の填料を加えて作られた紙であった。一般的に中国南部や中原と比較して敦煌やその周辺は乾燥地帯であるためにクワ科植物自体が少なかったため、繊維原料が不足していたと考えられる。

謝辞：本研究は科学研究費助成事業 JP16H05638 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] Paul Pelliot：Carnet des routes: 1906–1908, Paris: Indes savantes, 2008

[2] 坂本昭二, 岡田至弘：敦煌漢文文書の紙に使用されている粒状物の分析, 考古学と自然科学, No.72, p.63-76, 2017

和紙の界面と表面特性に関する基礎研究

Basic Research on Interface and Surface Characteristics of Japanese paper

○ 金旻貞（㈱修美）、宇都宮正紀（同左）
○ Minjung KIM、Masaki UTSUNOMIYA（Shubi Co.,Ltd.）

１.はじめに

日本工業規格の「紙・板紙及びパルプ用語」では、和紙を「我が国で発展してきた特有の紙の総称」とし、また、「参考」として「手すき和紙と機械すき和紙とに分類される。本来は、 じん皮繊維にねりを用い、手すき法によって製造された紙。現在では化学パルプを用い、機械すき法によるものが多い。」と書かれている[1]。本稿では手漉き和紙（以下、和紙と呼ぶ）を調査対象として、その物性に関する基礎データを収集することを目的としている。和紙は、原材料及び伝統的な技法、製作技術が生産地によって異なっており、製造工程の主要部分は手工業的に行われている。地域特性を持った和紙は、時代を超えて受け継がれ、文化財の修理における装潢技術の継承を支える貴重な材料の一つになっている。

一方で装潢文化財の構造は、大きく本紙と装丁からなる。本紙と装丁は裏打ちを重ねて組み立てられている場合が多く、修理を通じて解体され、再び組み立て直される。したがって、装潢の修理は和紙の界面と表面特性に大きく依存するものと考えられる。修理工程中に起こりえる素材の物理的な変化のメカニズムを正確に理解するためには、単一層である紙の物理特性を理解する必要がある。これまでにも多くの先行研究がなされてきているものの、手工業的に行われている手漉き和紙の変遷、および地域特性等を考慮し、装潢の修理に役立つ総合的な和紙のデータベースは構築されていない。そこで、本報告では、装潢修理における和紙の界面と表面特性を理解することを最終的な目的として、手始めに、現在用いられている和紙について基礎データとしていくつかの物理的性質を得るための調査を行った。

２.調査分析法

今回、調査に供した試料は美濃紙 3 種、竹紙、鳥の子（2 号）、雁皮紙、泥入り間に合い紙、美栖紙、宇陀紙の 9 種類である。

和紙の原料には、コウゾ、ミツマタ、ガンピ、麻、藁、竹などが用いられる。原料の違い、和紙になるまでの工程の違いにより、吸脱湿挙動や強度は大きく左右されることが知られており、最も基礎的な情報として、和紙を構成している原料を把握しておくことは必須である。そこで、まず、和紙に用いられている植物繊維の同定を JIS-P8120 法に準じて行った。また、漉紙前に行なわれる「叩き」の程度によっても紙質は異なることが推測できることから、繊維の状態を走査

[1]規格番号 JISP0001

型電子顕微鏡により観察した。

さらに、特殊な機能を付与するために白土等の填料を混入させて漉かれているものについては、蛍光Ｘ線分析とＸ線回折分析を行った。

装潢の修理では水を用いることが極めて多い。また、和紙の様々な物性は水分量と密接な関係があることから、和紙の吸脱湿に関する特性を知ることは重要である。今回は、吸湿過程における所定の相対湿度での平衡含水率を測定した。

３． 調査結果

調査結果の一部を以下に示す。表には試料別に用いられている植物繊維の種類と顕微鏡写真を示す。観察倍率はすべて 200 倍であった。

所定の相対湿度における平衡含水率の測定から、試料によって平衡含水率が異なることが明らかとなった。同じ楮から漉かれている美濃紙においても、その平衡含水率には違いがあった。この違いは和紙の製造工程の違いに起因するものと考えられる。また、白土等の填料も含水率の変化に影響を及ぼすと考えられるため、今後さらに十分な検討を加える必要がある。

紙や和紙の特性については先行研究が既になされていたとしても、千年とも言われている伝統的な修理技術の検証及び発展のためには、修理に用いられている紙の基礎データを蓄積することは必要不可欠である。

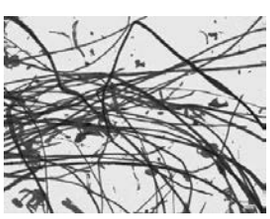
表。文化財修理に用いられている和紙

▲美濃紙（N 製作）コウゾ

▲美濃紙（S 製作）コウゾ

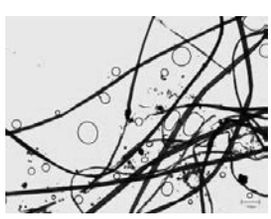
▲美濃紙（K 製作）コウゾ

▲竹紙　竹

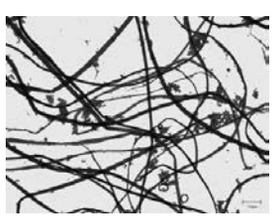


▲鳥の子（2 号）概ねパルプ、ミツマタ。コウゾ（わずか）

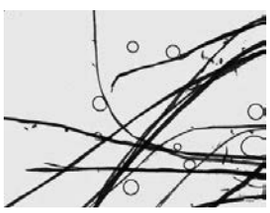
▲雁皮紙 ガンピ



▲美栖紙 表具用和紙
コウゾ、填料



▲泥入り間似合紙
コウゾ、填料



◂宇陀紙 表具用和紙
コウゾ、填料

注。本資料の作成に当たり、ご協力及びご助言をいただきました、高妻洋成（独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所）、Woo Sik Yoo (WaferMasters.,Inc.)、橋本悠（㈱修美）には、感謝 申し上げます。

蛍光 X 線分析における分析値の信頼性
－金箔試料の定量分析に関する共同実験－
Reliability of analytical results by XRF
- Round robin test for quantitative analysis of gold foil samples -

○早川泰弘[1)]、田村朋美[2)]、脇谷草一郎[2)]、犬塚将英[1)]、荒木臣紀[3)]、降幡順子[4)]、渡邊緩子[5)]
1)東京文化財研究所、2)奈良文化財研究所、3)東京国立博物館、4)京都国立博物館、5)日鉄テクノロジー
○HAYAKAWA Yasuhiro, TAMURA Tomomi, WAKIYA Soichiro, INUZUKA Masahide,
ARAKI Tominori, FURIHATA Junko, WATANABE Hiroko

1. はじめに

近年、文化財に対して様々な科学調査が行われるようになってきた。しかし、調査手法の原理や調査機器の特性を十分に理解して文化財への適用が行われているかどうか、疑わしい場合がある。科学調査によって得られた結果は、文化財の材料学的あるいは歴史的・美術史的評価を行う際の客観的な根拠となり、さらには修理・修復に際して適用すべき材料や技法の選択に大きな影響を及ぼす。信頼性の低い調査結果は、文化財に対する公正な評価を損ねるばかりでなく、文化財を傷めるリスクをも含んでいる。

しかし、これまで文化財の科学調査において、その分析精度や再現性、さらには分析値の正確さ等について検証が行われることはほとんどなかった。そこで、(独) 国立文化財機構の研究者を中心として文化財の科学調査における分析値の信頼性を検討する試みを開始した。まず最初に手掛けたのは、蛍光 X 線分析 (XRF) における分析値の信頼性に関する検討である。近年、蛍光 X 線分析は装置の小型軽量化が図られ、ハンドヘルド型と呼ばれる装置が文化財の調査に広く適用されるようになっている。今回は、ハンドヘルド型から据置型まで各種の蛍光 X 線分析装置を用いて同一試料の分析を実施し、分析値にどの程度の相違が生じるのかを実際に検証した結果等を報告する。

2. ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置の分析精度

ハンドヘルド型蛍光X線分析装置は片手で操作できるほど小型･軽量化が図られており、トリガーボタンを押すだけで測定が開始され、分析結果 (定量分析結果) は装置付随のパームトップ PC にリアルタイムで表示される。ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置の分析精度を評価する目的で、Au-Ag 合金標準試料 (東京文化財研究所作成) について 10 回の繰り返し分析を行った。Au50%-Ag50%の合金標準試料を装置から一定の距離に保持し、60 秒間の測定を行ったときに得られた Au-Lα 線と Ag-Kα 線計数値の平均値とばらつきは次の通りであった。

AuLα ＝69691.9±405.1 (counts)
AgKα ＝53926.1±306.1 (counts)

相対標準偏差は 1%以下であり、小型で簡便な装置であっても、併行精度 (Repeatability) は非常に高いことがわかる。

一方、蛍光 X 線分析で定量分析を行うためには、試料と装置との配置が一定に保持された条件の下、マトリックス (試料組成) が近似した標準試料の分析データが取得されていることが必須である。FP (ファンダメンタルパラメータ) 法による定量計算であっても、標準試料の有無によって定量値の正確さが大きく異なることが知られている。ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置を手で持って操作するような状況では、試料と装置との配置を一定に保持することは難しく、信頼できる定量値を得ることは困難である。

3. 青銅標準試料の定量分析

ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置 4 機種を用いて、青銅標準試料（奈良文化財研究所作成）の定量分析を行った結果を表 1 に示す。定量計算には装置内蔵の FP 法を用いた。的確な測定モードを設定することで参照値に近い定量値が得られている機種が多いものの、測定モードの選択によっては定量値に大きな誤差が生じていることがわかる。

表 1　青銅標準試料の定量分析結果

<BR3>	参照値		H社				R社			O社		B社(Y.H測定)	
		MetalFP	±	AlloyFP	±	General	±	Mining	±	AlloyPlus	±	BronzeFP	±
Cu	84.28	86.86	0.09	84.77	0.08	84.55	0.09	74.59	7.53	83.49	0.06	85.73	0.17
Sn	9.98	8.66	0.03	9.56	0.08	10.26	0.06	12.91	1.72	10.31	0.04	9.76	0.10
Pb	4.89	4.17	0.18	5.28	0.14	4.62	0.06	3.90	0.50	5.69	0.04	3.99	0.06
Fe	0.19			0.30	0.01					0.24	0.01	0.19	0.01
As	0.18			0.19	0.06							0.18	0.01
Bi	0.049	0.02	0.01	0.04	0.01	0.04	0.018			0.07	0.01		
Sb	0.051	0.03	0.01			0.10	0.013			0.06	0.01	0.04	0.03
Mn	0.051	0.06	0.01	0.06	0.01	0.05	0.015			0.05	0.00		
Ag	0.099	0.08	0.00					0.12	0.03	0.10	0.01	0.12	0.01
Zn	0.050	0.07	0.00	0.00	0.00	0.16	0.032	0.16	0.07	LOD	0.01		
Ni		0.05	0.00	0.06	0.00								
Ti						0.07	0.007						
Pd						0.02	0.007						

4. 金箔試料のラウンドロビンテスト

2 種類の金箔試料を 5 機関に配布し、蛍光 X 線分析装置 6 機種によって Au、Ag 含有率の定量分析を実施した（ラウンドロビンテスト）。各機関で得られた定量結果のばらつきを図 1 に示す。今回のテストでは分析装置、分析条件などは指定せず、各機関が金箔試料を定量分析するのに相応しいと思われる条件を設定して分析を実施した。金箔は厚みが 1μm 以下であり、照射 X 線が試料を透過してしまうため、無限厚の標準試料の分析データを参照して FP 計算を行うと、定量値に大きな誤差が生じてしまう。また、今回のテストでは Ag-Kα 線が検出できない装置が複数あり、それらは Ag-Lα 線での定量を行っている。低計数率の蛍光 X 線ピークに対するピーク検出・分離の如何によって分析値の信頼性が大きく左右されることがわかる。しかし、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置を使っているユーザーの中には得られたスペクトルを確認せずに定量値を報告してしまっているケースがある。蛍光 X 線分析においては、必ずスペクトルを確認し、ピークシフトやゴーストピークを誤認していないか、あるいはピークの重畳がある場合にはピーク分離が適切に行われているかを確認して定量計算を行うことが大切である。

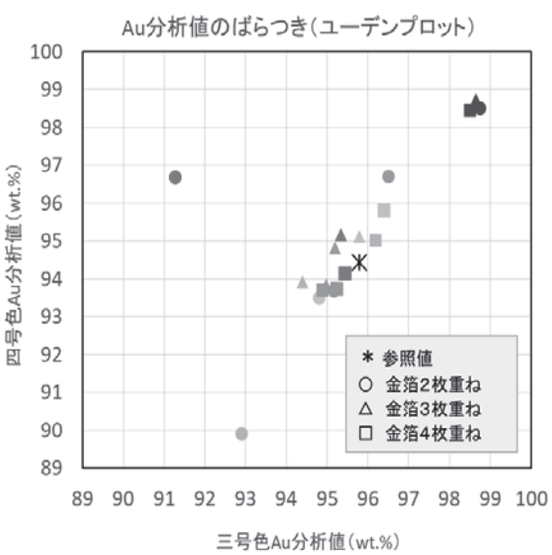


図1　金箔試料のラウンドロビンテスト結果

奈良絵本で用いられている銅系顔料のＸ線分析
X-ray analysis of copper pigments used in “Nara-ehon”

ポスター
発表

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

可視・近赤外ハイパースペクトル・イメージングを用いた彩色調査

The Visible and Near-Infrared Hyperspectral Image Analysis of the Colored Pictures

○山田 卓司（龍谷大学)、北野 信彦（同左）

○Yamada Takashi and Kitano Nobuhiko (Ryukoku University)

1. はじめに

ハイパースペクトル・イメージングは、数ナノメートルの波長間隔で反射分光を実施し、数百の画像を集積する分析方法である。３D スキャナーや X 線 CT といった画像の立体化（３次元化）と同様に、画像の各ポイントにスペクトル情報を付加した色彩の３次元化である。集積画像を疑似色彩化することで異なる同色顔料のコントラストが明確になり、顔料の違いを鮮明に可視化・分類が可能である。すでに、赤外領域ハイパースペクトル・イメージングを用いたインクや紙における識別や油彩画におけるワニスの分析事例が報告される(1)。一方、日本画や近代多色刷り絵画に対して、ハイパースペクトル・イメージングがどのように適用できるか検討された例は見受けられない。本発表では、日本画に使用される岩絵具や染料が可視・近赤外ハイパースペクトル・イメージングによりどのような擬似色彩化されるか調査し、彩色資料における色材分類調査への適用を検討した。本手法が確立できれば、蛍光 X 線分析と同様に彩色分析で重要な分析手法の一つになると考えられる。

２．可視・近赤外ハイパースペクトル・イメージング

従来、文化財の彩色（分光）分析は、対象物の１ポイントごとの彩色（分光）データを取得し分析点で解析したため、彩色全体面での評価は困難であった。本報告で使用したハイパースペクトル・イメージング装置は、スキャン装置をカメラ内部に組み込むことで、カメラ単体で画像１画素ごとに分光情報を取得できるのが特徴である。

使用機器：SPECIM IQ　　解析ソフト：SPECIM IQ Studio 及び Perception Studio

検出可能スペクトルバンド：VNIR 400 - 1000 nm（スペクトル解像度 7 nm、204 バンド）

視野 FOV：1 ㎜時 0.55 m×0.55 m

３．測定対象

日本画や近代の多色刷り版画に使用される顔料を用いて作成した手板や色見本を用いた。

手板（支持体木、胡粉下地、膠絵具）：図１の左上から白土、火山灰白土、貝殻胡粉、雲母、金箔（金泥)、銀箔（銀泥)、鉛白、塩化鉛、塩化水酸化鉛、塩化酸化鉛、墨、鉛丹、石黄、黄土（彩度高)、黄土（彩度低)、藤黄、臙脂、藍、朱（黄口)、朱（赤口)、辰砂、ベンガラ（濃口)、ベンガラ（薄口)、パイプ状ベンガラ、白緑、緑青（細)、緑青（粗)、アタカマイト、パラタカマイト、緑土、白群、群青（細)、群青（粗)、ウルトラマリン、ラピスラズリ、硝酸銅水和物を用いた。

色見本（支持体和紙、膠絵具や油絵具など）：図 2 の左上から貝殻胡粉、シルバーホワイト、ジンクホワイト、水干黄土（2 色）、ガンボージ（藤黄）、アクリルガッシュで作成した黄色、人造朱、人造鉛丹、ベンガラ、コチニール（臙脂）、コチニールと藍の混色、マラカイトグリーン（岩緑青）、藤黄と藍の混色、エメラルドグリーン（花緑青）、藍、ウルトラマリンブルー、プルシアンブルー、松煙墨を用いた。

４．測定結果

ハロゲンライト下で撮影を行い、疑似色彩画像では藍と類似の領域を白色選択表示した。また、スペクトルを一次微分し、疑似色彩化を行った画像を表示した。

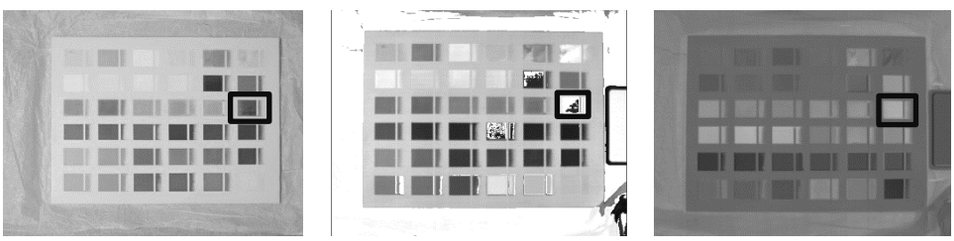


図１．手板（左：写真、疑似色彩画像、一次微分疑似色彩画像）

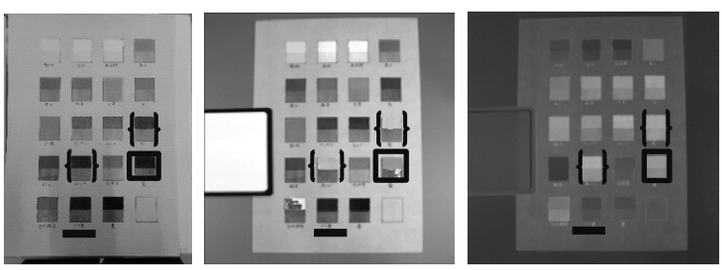


図２．色見本（左：写真、疑似色彩画像、一次微分疑似色彩画像）

蛍光 X 線分析で判別が難しい、藍（□）とプルシアンブルー（__）を区別できた。また、藍とコチニールや藤黄との混色（{}）の疑似色彩画像から藍の検討が可能であった。

５．実資料への適用に当たって

日本画や近代の多色刷り版画における顔料は退色しやすいものがあり、経年劣化で退色している場合も多い。分光測色では退色の影響を無視できないため、今後、退色前後での顔料評価は必要である。特に、有機顔料の退色を加味した解析が可能か検討したい。今後、強制劣化させた色見本の測定や 1900 年代初期に制作された色見本を通して、知見を蓄積する予定である。

謝辞：本報告に当たり、手板や色見本の測定を快諾いただいた、東北芸術工科大学　成瀬正和先生、（公財）元興寺文化財研究所　金山正子様に感謝申し上げます。

本研究は JSPS 科研費 19H02334（研究代表者：北野信彦）の助成を受けたものです。

1）菅原滋，中山芳彦，谷口秀哉，石丸伊知郎、ボロメータカメラを用いた接着剤の広視野中赤外線ハイパースペクトルイメージング、*Scientific Reports* 7(1)、p. 12395、2017 年；菅原 滋，Rene Braun、油絵の具、トナーおよび紙の、中赤外ハイパースペクトラルイメージング、文化財保存修復学会第 38 回大会、2016 年

放射光 X 線吸収端差分法による大原美術館所蔵 アンリ・マティス≪マティス嬢の肖像≫非破壊元素イメージング

Non-destructive elemental imaging of Henri Matisse's *Portrait of Mademoiselle Matisse* in the collection of Ohara Museum of Art using synchrotron radiation X-ray absorption edge differential technique

○堀口明日馨(東京芸術大学)、阿部善也(東京理科大学・東京電機大学)
塚本貴之(大原美術館)、孝岡睦子(同左)
星野真人(高輝度光科学研究センター)、上杉健太朗(同左)、八木直人(同左)
塚田全彦(東京芸術大学)、中井泉(東京理科大学)
○Asuka HORIGUCHI (Tokyo University of the Art)
Yoshinari ABE (Tokyo University of Science/ Tokyo Denki University)
Takayuki TSUKAMOTO, Chikako TAKAOKA（Ohara Museum of Art）
Masato HOSHINO, Kentaro UESUGI, Naoto YAGI（JASRI/SPring-8）
Masahiko TSUKADA (Tokyo University of the Art), Izumi NAKAI (Tokyo University of Science)

1. 研究背景

油彩画は複雑な層状構造を持ち、また表面からは見えない異なるイメージが下層に存在する可能性もあるため、作品の全体または広範囲について元素の 2 次元分布を可視化できるイメージング分析の利用がきわめて有効である。非破壊の元素イメージング分析手法としては蛍光 X 線（XRF）イメージングが知られ、放射光施設の活用のみならず、近年では絵画を含む大型試料への応用を指向した装置も市販されている。一方で、XRF イメージングは大きな絵画を分析するために膨大な時間を要するだけでなく、共存元素による影響を受けやすいという欠点がある。そこでこれまでに、元素選択性が高く、かつ簡易迅速に利用可能な新規の元素イメージング分析法として、大型放射光施設 SPring-8 において「X 線吸収端差分イメージング法」の開発を行い、昨年の大会で報告した [1]。本研究では自作のモデル試料等を用いて本法の性能評価等を行い、またそれを基にかねてより黒色背景下に別のイメージが存在する可能性が考えられていた大原美術館所蔵の油彩画作品≪マティス嬢の肖像≫について分析を実施し、本法の有用性を検証するとともに、背景下の別のイメージ像の取得を試みた。

2. 実験方法

分析対象は自作モデル試料 8 点と、作者・制作年ともに不詳の油彩画 1 点（個人蔵）、大原美術館所蔵の油彩画アンリ・マティス作≪マティス嬢の肖像≫である。油彩画作品については放射光測定に先立ち、可搬型の XRF 分析装置等での分析を行い、使用顔料等を推定した。放射光実験は、大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 で行った。これまでと同様に、電動ステージ上に分析対象を立てて保持し、その真後ろにフラットパネルセンサ（浜松ホトニクス社製 C10502D-43）を設置、放射光 X 線をモノクロメーターで単色化後、ビーム幅約 160 mm×高さ 6 mm にスリットで成形してから試料に照射し、透過した X 線を試料後方のフラットパネルセンサで検出した。試料を電動ステージによって縦方向に一定のスピードでスキャンし、得られた透過 X 線像を積算しつなぎ合わせることで、二次元の X 線透過画像を取得し、広い面積のイメージングを可能としている。これまでは目的元素の K 吸収端または L_3 吸収端の理論値から 0.1keV 前と後で 2 枚の透過 X 線像を撮影し、その差分を算出することで試料中の元素分布を得たが、本研究では元素の選択性を高めるために吸収端理論値の 0.02keV 手前と 0.05 keV 後ろのエネルギーで撮影を行った。

3. 結果および考察

これまでに 7.1 keV（Fe-K 吸収端）から 37.4 keV（Ba-K 吸収端）までの間で 14 元素の分析が可能であることを確認したが、今回の自作のモデル試料を用いた検証によりさらに Ni、Se、Br、Sb ついても分析が可能であることが確認でき、X線の照射に伴う色材やワニスの視認できる変質は生じなかった。また、同一元素であっても価数や化学状態によって X 線の吸収端エネルギーが異なることを利用し、金属銅と 1 価、2 価の酸化銅、鉱物であるマラカイト中の銅などの化学状態別のイメージングにも成功した。油彩画の絵具層中に生じた事例が多数報告されている Pb、Zn の金属石鹸の生成を模した試料の分析では、金属石鹸の粒度の違いや絵具表面の凹凸まで正確に視覚化できる可能性を明らかにした。さらに、個人蔵の油彩画からは、事前の XRF 分析だけでは確認できなかったバーミリオンやジンクホワイトなどに起因する特徴的な元素をイメージングすることで、その存在を可視化することができた。加えて、この油彩画に対して連続X線を用いた通常のX線透過撮影も行い、一般的に油彩画の X 線吸収の主要因の一つと考えられる Pb によるイメージング像とその違いを比較することで、通常のX線透過像の読影に有益な情報を得られることが分かった。このように、様々な元素を含む絵具が塗り重ねられて構成される油彩画の分析においては、元素ごとのイメージングが可能な本法の利用が有用であることを視覚的に示すことができた。以下では≪マティス嬢の肖像（以下、本作）≫について得られた結果について報告する。

本作は肘掛椅子に座る人物と背景の間に明らかに両者と無関係な水色が視認でき、また同様のモチーフを描いた他の作品では海や空が背景に描かれていることから、本作においても黒色背景の下に海景が存在する可能性が考えられている。事前に行った本作の非破壊オンサイト分析の結果、青色顔料として Cobalt Blue（$CoAl_2O_4$）、白色顔料（および体質顔料）として Lead white（$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$）が推定された。黒色背景部分からは特徴的な金属元素が検出されず、カーボンブラックが使用されていると推定された。そこで、本作について、Co-K 吸収端と Pb-L_3 吸収端でイメージングを行った。Fig. 1 に、本研究で得られた Pb-L_3 吸収端イメージング像を示す。これより、現在見ることができる画面の肘掛け椅子の手すりの形状とは異なる直線的な図像や線描も多数見受けられ、現在とは異なるイメージが下層に存在している可能性が化学的に高められた。また今回上記のように Pb の選択性を高め画面全体のイメージングを行い、差分の計算方法を見直した結果、これまでにイメージング像から絵画右下部分に確認され、修復痕と考えられていた箇所には Pb が存在していないことが新たに判明した。また、人物の目の高さを境界として右側背景のみに明確な Pb の濃淡が確認された。これよりマティスは黒色絵具で背景を塗りつぶす前には、人物の目の高さで背景部分の色調を変えるなどしていた可能性が明らかとなった。そして、今回のイメージングによって発見された実際に描かれた図像とは異なる線描やモチーフの可能性のあるものを上から黒色絵具で「隠した」という点において、マティスの芸術的試みを示すきわめて興味深い結果が得られたとも言える。

Fig. 1 Pb-L_3 イメージング像

[謝辞] 本研究は科研費（基盤 B、課題番号 17H02018）の助成を受けたものである。本研究の放射光実験は SPring-8 にて行われた（課題番号 2018A1705、2018B1744、2019B1216）。

[参考文献] 1)日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集、2019、pp. 266-267

アンコール遺跡の砂岩材表面に析出した石こうに対するSrおよびS同位体分析

Sr and S isotope analyses of gypsum deposited on sandstone surfaces in the Angkor monuments.

◯内田悦生・河西彩・中村勇太（早稲田大学）・申基澈（地球研）
◯Etsuo UCHIDA, Aya KAWANISHI, Yuta NAKAMURA (Waseda University), Ki-Cheol SHIN (Research Institute for Humanity and Nature)

1. はじめに

カンボジアのアンコール遺跡は、9世紀から15世紀にかけて建造され、主として砂岩とラテライトが建築材として用いられている。アンコール遺跡における石材劣化要因の一つとして塩類風化が挙げられる。本研究では、主要な析出塩類である石こう（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）に着目し、その起源物質を調べるために石こうの主要構成成分であるSに対する同位体分析および同じく主要構成分であるCaと同様な挙動をするSrに対する同位体分析を行った。

2. 分析試料

同位体分析に供した試料は、バイヨン寺院から6試料、アンコール・ワット寺院から7試料、タ・ケオ寺院から3試料およびプノム・クロム寺院から3試料の計19試料（No. 4301-4319）である。試料採取地点では携帯型蛍光X 線分析装置（Innov-X Systems Delta Premium）を用いて化学組成分析（Soil mode）を行った。

3. 化学組成分析および同位体分析装置

採取試料に対する化学組成分析および同位体分析は総合地球環境学研究所において行った。採取した試料に対してICP-MS (7500cx, Agilent)を用いて全岩化学組成分析を行うとともに、Sの同位体分析にはS-IRMS(delta V plus, Thermo Fisher Scientific)を、また、Srの同位体分析にはMC-ICP-MS (Neptune, Thermo Fisher Scientific)を用いて行った。

4. 分析結果

SrおよびSに対する分析結果をそれぞれ図1および図2に示す。図中の砂岩、コウモリの排せつ物、天水（雨水）に対する同位体比はHosono et al. (2006)より引用した。

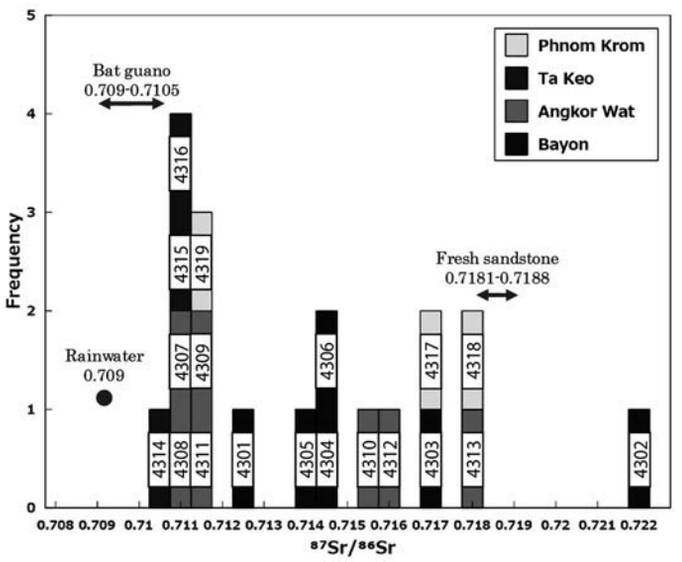


図 1　アンコール遺跡の砂岩材表面に析出した石こうに対する Sr 同位体比

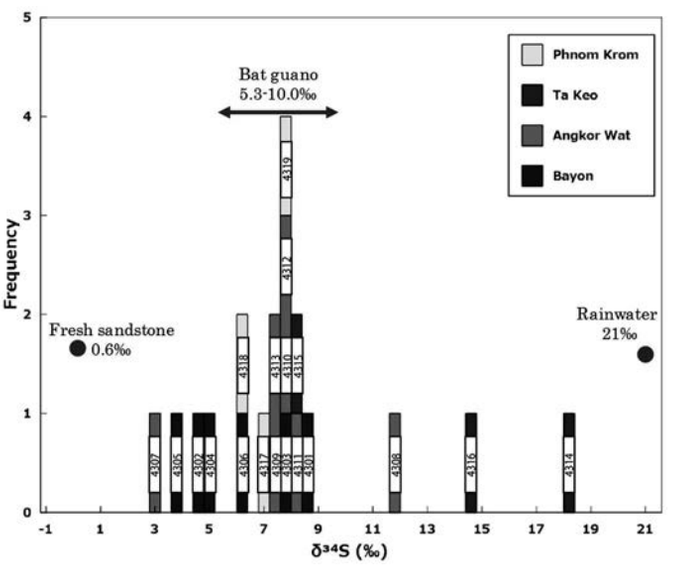


図 2　アンコール遺跡の砂岩材表面に析出した石こうに対する S 同位体比

5. 考察

砂岩中にはほとんど含有されない S の同位体比から判断して、S の多くがコウモリの排せつ物に由来していると考えられる。しかしながら、3 試料（No. 4308, 4316, 4314）では、S 同位体比が天水側にずれているため、これらの試料の S に関しては天水の影響が大きいと考えられる。他方、Sr 同位体比に関しては、ほとんどがコウモリの排せつ物と砂岩の間に位置しており、コウモリの排せつ物に加えて、石こう試料の採取中に取り込まれた砂岩粒子の影響が大きいことを示している。

砕屑物と土壌から塩類風化を判断する方法

The method to judge the salts weathering from the detritus and the soil

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

1. はじめに

発表者はこれまで石造文化財表面の Cl^- 量を測定する方法を用いて、各地の石塔や岩盤表面の塩類風化の劣化度を調査してきた[1)]。これは5㎝×5㎝の範囲を拭き取るだけで、表面の Cl^- 量を測定することができる画期的な方法であるが、脆弱化して僅かに触れただけで剥離したり、彩色の落ちる可能性のある状態の場所は、測定を避けざるを得なかった。今回報告するのは、そうした脆弱化した表面が粉状化して周辺に堆積した砕屑物であったり、燈籠や墓石などの設置されている土壌中の Cl^- 量を測定する方法である。

2. 測定方法について

この方法は、農地の土壌中の塩分濃度を測定する方法を利用したもので、測定手順は以下の通りである。なお、一般的に水田稲作の場合 0.1%以上で生育に影響が出るといわれている。

① 砕屑物（土）をオーブンで乾燥させ、余分な水分をなくす
② 乾燥した砕屑物 10g と水 50 mℓをよく混ぜしばらくおく
③ ②を漉し、検知管（光明理化学工業株式会社製 201DH もしくは 201DL）で測定する
④ 変色部の値（%）を読み取る

調査現場で簡易的に測定することも可能だが、試料に含まれる水分量によって値に差が出ないよう、同条件にて正確な値を知るために試料を乾燥させた。なお、検知管の性質上、硫酸イオンは指示値が低く出る傾向にあるため、硫酸塩鉱物による塩類風化の起きている箇所では、真の値を得られない可能性がある。

3. 調査事例

この測定方法は、砕屑物の他に石造文化財の置かれている土壌や石垣の盛土などの測定も可能である。実際の測定例をいくつか挙げる。

覚園寺裏山やぐら（神奈川県）は、中世から近世に掘られた葬送関係の横穴状遺構で、中世の石塔以外に明治時代に納められた弘法大師像がある。半世紀前の写真と比較すると著しく劣化の進行した石仏もあり、その周辺の砕屑物は高い値を示している。石仏は下方ほど摩耗が顕著で、これまでの調査と総合すると石仏表面の濃度、砕屑物の濃度、劣化状況は相関関係にある。また、石仏の納められている横穴状

覚園寺裏山やぐら

遺構の壁面も同様である。10 箇所中 8 か所が 0.9%以上で、最高値は 1.6%、最低値は 0.3%であった。

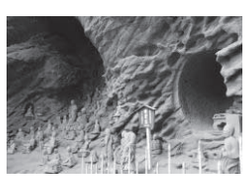
浄光明寺（神奈川県）の網引き地蔵やぐらは、厚さ 1m 弱の同じ岩盤の表裏でありながら、屋外に面した壁面付近の砕屑物が 1.1%に対し、やぐら内側は 0.3%であった。なお屋外側の壁面は、図のように摩耗し大きく湾曲している。境内各所のうち最高値は 1.8%、最低値は 0.13%（石仏の砕屑物）であった。

浄光明寺

大切岸（神奈川県）は、人工的に掘削した切り立った崖だが、表面が塩類風化によって凹凸を形成している。その周辺には多量の砕屑物が堆積しており、ここも劣化の深刻度と塩分濃度が概ね比例する。最高値は 1.6%（壁面は 25800ppm（＝mg/㎡）で高濃度）、最低値は 0.2%（壁面は 300ppm）であった。

大切岸

日本寺（千葉県）は、岩盤の前に石仏が多数安置されている。岩盤は凹凸が著しく、棚状になった所に石仏が置かれている場所もある。周辺に堆積する砕屑物は、25 箇所中 3 箇所が 0.25%以下で、8 箇所が 0.6%～0.9%、14 箇所が 1.0%を超えた。最高値は 2.0%、最低値は 0.1%であった。



日本寺

久能山東照宮（静岡県）境内の石灯籠は、竿の上部よりも下部の劣化が目立つため、水の浸入経路として考えられる土を測定したが、塩類は検出されず、地面から塩類が供給されていないことを確認した。

久能山東照宮

4. まとめ

岩盤や石造文化財周辺の堆積物は、殆どが劣化の進行により剥離・摩耗した砕屑物である。そのため母岩表面が脆弱で壁面の含有量が測定できない場合は、砕屑物を測定することで母岩の状態をある程度予測することが可能である。また、砕屑物に塩類が含まれている場合は、擬岩処理の色や質の調整のために砕屑物を混入することは避けるべきであると判断できる。さらに、安価な材料で誰にでも測定が可能であり、遠隔地の劣化度の比較に用いることもできる。そして、石造文化財が置かれている土壌を調べることで、塩類の供給源や侵入経路を推測することもできる。ただ、母岩と砕屑物は必ずしも相関関係にあるとも限らない場合があるため、今後両者の関係性についてさらに研究を深める。

1）星野玲子（2020）「塩類風化による岩盤表面の凹凸の形成―大切岸の事例―」鶴見大学紀要第 57 号第 4 部人文・社会・自然科学編、星野玲子（2019）「塩類風化被害の遠隔地の比較」第 36 回日本文化財科学会など

謝辞 本研究にご協力を賜りました覚園寺、浄光明寺、逗子市教育委員会、日本寺、久能山東照宮、光明理化学工業株式会社 山崎正彦氏に御礼申し上げます。この研究は科研費（16K16341）の助成を受けたものです。

石造文化財の現場における透水性評価法に関する基礎的研究

Fundamental study to evaluate the permeability of stone cultural properties on site

○荒木徳人（東北芸術工科大学）、石﨑武志（同左）
○Naruto ARAKI, Takeshi ISHIZAKI (Tohoku University of Art and Design)

1. はじめに

近年、石造文化財の診断技術が発達してきた一方で大きな課題となるのが現場での透水試験である。非破壊分析を原則としている文化財を対象に透水試験を行うには、推定産地から岩石を採取して室内実験を通じて透水係数を算出するか、現地で行うのであれば石材にガラス管を設置して水の浸透時間を計測する方法などが挙げられる。しかし、室内実験を通じて透水係数を算出する方法では調査対象物の現状の透水性を把握することはできない。また、ガラス管を用いた方法では対象物の現状の透水性を把握することができる一方で鉱物間の凝集力が低下した岩石に対してガラス管を設置することは非常に困難である。

そこで、本研究では現場で土壌の透水係数を測定する際に用いられるミニディスクインフィルトロメーター(METER 社)に着目した。この装置は上下のチャンバーに水を入れて上部の可動式チューブで負圧を調節し、一定時間ごとに浸透した水分量を記録して Zhang（1997）によって提案された算出方法で透水係数を算出することができる。特に、凝灰岩製の石造文化財が多い日本では凝灰岩の種類によっては土壌と透水係数が類似していることからミニディスクインフィルトロメーターを岩石の透水係数の測定に適用できると仮定した。したがって、本研究では現場で透水係数を測定するための基礎的研究として凝灰岩を対象に室内実験で算出した透水係数とミニディスクインフィルトロメーターで測定した透水係数を比較した。

2. 研究方法

本研究で使用する実験試料は 2019 年度に解体修復された国宝当麻寺西塔基壇の凝灰岩製の解体部材を當麻寺よりご提供いただいた。この石材を対象に変水位試験を行い、透水係数を算出した結果 2×10^{-5}〜1×10^{-5}cm/s となった。本研究ではこれらの透水係数を基準にミニディスクインフィルトロメーターで測定した透水係数と比較した。

ミニディスクインフィルトロメーターの測定条件として水を浸透させる焼結ディスク全体が対象物に接しており装置が傾かないことである。実際、土壌を測定する際にも表面状態が良好ではなく焼結ディスク全体が土壌に接しない場合、土壌表面の凹凸をなくすために透水性がよく分析データに影響を与えないことから硅砂を散布することがある。石造文化財を対象に測定することを考えると表面状態は様々で傾斜も存在する。したがって、本研究では現場の測定環境を想定して、石材表面の状態が異なる４箇所の測定地点を設定し、各測定地点そのままの状態で測定した時と硅砂を散布し

表１. 各測定地点の表面状態

測定地点	状態
A	表面状態が良好
B	一部鉱物によって表面が凹凸
C	微細な亀裂
D	欠損による窪み

図１. 測定の様子

て測定した時の透水係数の違いを把握した(表１)。また、石材の傾きによる透水係数の違いを把握するために測定地点に硅砂を散布して１° ～ ５° の角度に石材を傾けての測定も行った。測定時の負圧は２cm に設定し、各測定地点 100 分を基準に 10 分ごとに何 ml 浸透するのか記録して透水係数を算出した(図１)。

３．結果および考察

硅砂を散布せず測定した結果、測定地点 A と B では変水位試験から得た測定結果の 2×10^{-5}～1×10^{-5}cm/s 内であることがわかる。しかし、測定地点 B と C の２回目の測定結果は B より C の方が 100 分間での水の浸透量が多いのにも関わらず、C の透水係数が低いという結果を示した。これに関して時間に対する累積浸透の平方根の曲線の傾きを用いて計算するため、浸透速度が不規則な場合このような誤差が発生すると考えられる。測定地点 A に関しては表面状態が良好で浸透するのに比較的ばらつきが少ないことから正確に透水係数を測定することができたと判断できる。硅砂を散布して測定した結果、1 回目の測定はすべての測定地点で透水係数が基準値と同じ数値を示した。しかし、測定地点 D の 2 回目の測定に関しては透水係数が大きく異なった。この原因としては表面の損傷状態と硅砂の散布量にばらつきがあったためであると考えられる(表２)。

石材の角度の違いによる測定結果をみてみると、測定地点 A は 1° から３° にかけて、B に関しては 1° から４° にかけて基準値と同じ透水係数が算出された。測定地点 C は 1° と 4° で基準値と同じ透水係数が算出されたが、2° と 3° では透水係数が異なるため、測定地点 D の結果も踏まえて表面状態が良好ではない場合、角度が少し変わると測定が困難になると判断できる(表３)。

表２．浸透量および透水係数の算出結果

測定地点	１回目(硅砂なし)		２回目(硅砂なし)		１回目(硅砂あり)		２回目(硅砂あり)	
	浸透量 (ml)	透水係数 (cm/s)	浸透量 (ml)	透水係数 (cm/s)	浸透量 (ml)	透水係数 (cm/s)	浸透量 (ml)	透水係数 (cm/s)
A	19	1×10^{-5}	19	2×10^{-5}	22	1×10^{-5}	19	1×10^{-5}
B	12	1×10^{-5}	11	1×10^{-5}	18	1×10^{-5}	19	1×10^{-5}
C	9	9×10^{-6}	14	9×10^{-6}	21	1×10^{-5}	17	1×10^{-5}
D	12	8×10^{-6}	14	1×10^{-5}	19	1×10^{-5}	16	7×10^{-6}

表３．角度の違いによる浸透量および透水係数の算出結果

測定地点	1°		2°		3°		4°		5°	
	浸透量 (ml)	透水係数 (cm/s)	浸透量 (ml)	透水係数 (cm/s)	浸透量 (ml)	透水係数 (cm/s)	浸透量 (ml)	透水係数 (cm/s)	浸透量 (ml)	透水係数 (cm/s)
A	18	1×10^{-5}	22	1×10^{-5}	21	1×10^{-5}	20	6×10^{-6}	19	9×10^{-6}
B	19	1×10^{-5}	18	1×10^{-5}	23	1×10^{-5}	18	1×10^{-5}	18	5×10^{-6}
C	20	1×10^{-5}	18	9×10^{-6}	20	9×10^{-6}	22	1×10^{-5}	15	5×10^{-6}
D	17	6×10^{-6}	18	8×10^{-6}	20	9×10^{-6}	16	5×10^{-6}	17	4×10^{-6}

４．おわりに

本研究では石造文化財の透水係数を現場でミニディスクインフィルトロメーターを用いて測定できる可能性を見出すことができた。表面状態が良好で１° から３° までであれば、透水係数を測定することができ、表面に多少の凹凸があっても水平であれば砂を散布して凹凸をなくすことで測定が可能になるということが明らかとなった。今後、現場で活用するためには各地の凝灰岩を対象に測定しデータを蓄積して様々な問題を見出し検討していく必要がある。

参考文献

Zhang, R. 1997. “Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer.” *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1024-1030

謝辞

本研究で用いた石材は當麻寺のご住職である山下真弘様にご提供いただいた。また、石材の選別には奈良県文化財保存事務所の当麻寺出張所主任である山下秀樹様にご協力いただいた。本研究は皆様のご協力を得て実施できましたことを、ここに記し感謝申し上げます。

出土植物灰ガラスにみられる風化現象の検討
Weathering phenomena on excavated plant ash glasses

◯遠藤綾乃(東京学芸大学大学院)、Rocco Rante(ルーブル美術館)、
新免歳靖(東京学芸大学)、二宮修治(同左)
◯Ayano ENDO(Tokyo Gakugei University), Rocco RANTE(Louvre Museum)
Toshiyasu SHINMEN(Tokyo Gakugei University), Shuji NINOMIYA(Tokyo Gakugei University)

1. はじめに

出土ガラス製品では、長い期間埋蔵されていたことにより、ガラス表面の化学組成が変質する風化現象が発生する場合がある。この現象は、ガラスの化学組成や埋蔵環境、時間等が関係していることは既往の研究で指摘されている[1)]が、詳細なメカニズムは解明されていない。特に、植物灰を原料とするソーダ石灰ガラスの先例は少ない。本研究では、ウズベキスタン共和国のアルク城遺跡で一括出土した植物灰ガラスにみられる風化現象について、ガラスの化学組成との関係を自然科学的手法によって検討した。

2. 対象資料

サマルカンド考古学研究所とルーブル美術館の共同調査(Mission Archéologique Franco-Ouzbéke dans l'Oasis de Boukhara (MAFOUB))において、アルク城遺跡(ウズベキスタン共和国ブハラ州)の 10 世紀の層位(US230)から一括出土し[2)]、資料表面にガラスとは異なる変質箇所が確認できたガラス製品の破片 22 点を対象資料とした。

この対象資料の考古学研究は既に行われており[2)]、装飾技法・器形・色味の観点より、①原料に由来する淡青色や淡緑色などの有色の資料、②高度なカット装飾があり、高透明度の無色の資料、③カット装飾のない、やや褐色や緑色を帯びている無色の資料、の 3 種に分類されている。

3. 分析手法

風化現象の観察には、デジタル顕微鏡(AnMo Electronics 社製 INOAD7013MT)を使用した。資料の横断面観察および定性分析には、SEM-EDS(日立ハイテクノロジーズ社製 S-3400N)および付属エネルギー分散型 X 線分析装置(堀場製作所製 EMAX-act)を用いた。また、変質していないガラスの化学組成を把握するため、資料の一部を採取し、ICP-OES(Agilent 社製 720SE)により定量分析を行った。定量した元素は、主成分元素 8 元素(Al,Ca,Fe,K,Mg,Mn,Na,Ti)と微量成分 8 元素(Ba,Co,Cu,Ni,P,Pb,Sr,Zn)の 16 元素である。Si は、全定量元素の合計値を 100%から引いた値を用いた。

4. 結果と考察

デジタル顕微鏡観察の結果、出土製品の風化の発生状況により、I)黄白色の層が発生していた

グループ、II)黄白色の層に暗褐色のまだら模様が現れていたグループ、III)II)のグループよりも暗褐色のまだら模様が密に現れていたグループ、の 3 グループに分類できた。さらに、SEM-EDS により、このまだら模様の部分て

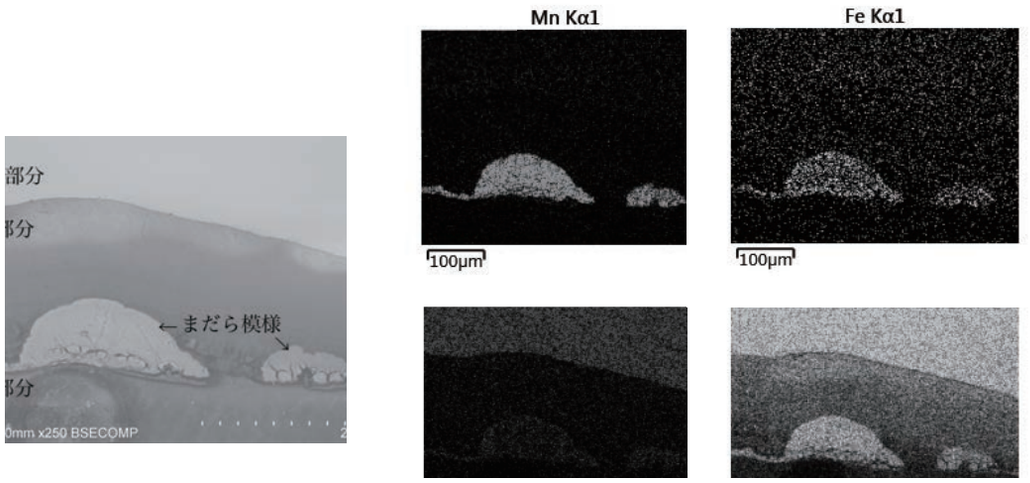


図 1 (a)資料横断面の反射電子画像, (b)代表的な元素マッピング画像

また、

色資料は、原料の不純物と考えられる鉄分が含まれていた。②の高透明度の無色資料は、不純物の鉄分がほとんど含まれていなかった。③のやや褐色を帯びている無色資料は、②の資料よりも鉄分の濃度が高く、さらに消色のために添加されたであろう MnO の含有がみられた。

観察によるグループ(I～III)と考古学および化学組成によるグループ(①～③)の関係を検討したところ、まだら模様の箇所で含まれていた MnO の含有が多く、ガラスに化学的耐久性を与える Al_2O_3 の含有が少ない資料において、まだら模様が発生しやすい傾向を捉えた。

5. まとめ

出土植物灰ガラスにおける、ガラスの化学組成と発生している風化現象との関係を検討した。その結果、暗褐色のまだら模様の発生がガラスの化学組成、特に MnO の含有と関係していることが明らかになった。ただし、今回の資料は一括出土資料であるため、他の層位での資料や遺跡からの資料を含めて、この関係性が出土植物灰ガラス全般における特徴であるかを検討していく必要がある。

謝辞 本研究は、公益信託吉田学記念文化財科学研究助成基金の助成により遂行いたしました。また、資料のご提供を賜りました MAFOUB の関係者の方々、特に対象資料の考古学研究についてご助言をいただきました細川貴子氏、竹田多麻子氏、阿部佳恵氏に感謝を申し上げます。そして、故真道洋子先生には、イスラームガラスの考古学研究に関して、丁寧にご指導を賜りました。この場をお借りして深くお礼申し上げます。

参考文献

1) Davison, S. (2003) Conservation and Restoration of Glass, Routledge
2) Hosokawa, T. and Takeda, T. (in press) “Other Main Sites of the Bukhara Oasis.,” in Rocco Rante eds., The Oasis of Bukhara Volume 2, Brill

海外の美術館等に所蔵された東アジアの木彫像の樹種調査

Wood identification of Asian wood statues preserved in foreign countries

ポスター
発表

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

年輪年代学的手法による平城宮第一次大極殿院

西楼出土木簡の同一材推定

Dendrochronological Analysis of Wooden Tablets Excavated from West Building of the First Imperial Audience Hall Compound

◯星野安治（奈良文化財研究所）、桑田訓也（同左）、山本祥隆（同左）
◯Yasuharu HOSHINO, Kuniya KUWATA, Yoshitaka YAMAMOTO
(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

年輪年代測定では、概ね 100 層以上の年輪を有する試料を対象とするのが一般的で、年輪数が少ない小型の木製品にその手法が適用される機会は必ずしも多くない。一方、発表者らは主に同一材由来の推定を目的として、年輪年代学的調査手法を小型の出土木製品に対しても積極的に適用することを目指している。近年の成果として、一括性の高い試料群を分析対象とすることにより、その試料群の同一材の推定を進めることができる事例が増加した。このような背景のもと、現在、発表者らは木簡を対象とする年輪年代学的調査を進めている。本発表では、平城宮第一次大極殿院西楼から出土した木簡群に対して年輪年代学的手法を適用した検討の事例を紹介する。なお、本研究は JSPS 科研費 JP16K16918 および JP17H02424 の助成を受けたものである。

2. 分析対象

分析対象は、平城第 337 次調査において、平城宮第一次大極殿院西楼から出土した木簡群である。西楼は、第一次大極殿院の南面回廊西半に設けられた楼閣建物で、東西棟総柱建物であるが、側柱筋の柱のみ掘立柱で他の柱は礎石建ちという、特異な構造を有する。また、天平勝宝 5 年（753）11 月の年紀を持つ削屑が出土していることから、解体時期の上限がおさえられる。西楼の木簡はいずれも掘立柱の抜取穴から出土したもので、総数は 1,415 点であるが、そのうちの大多数を占める 1,247 点が削屑である。この削屑の中には良好な柾目材のものも多く含まれ、人名等を記す記載内容、および筆跡や木目の類似などより、整理作業時点ですでに同一簡に由来する可能性が想定されていた。今回は、これらを対象に同一材の推定を中心とした年輪年代学的検討を実施した。

3. 年輪年代学的検討

年輪幅の計測は、分析対象を接写撮影し、その写真を用いてコンピュータ上で計測する方法でおこない、クロスデーティングは、年輪曲線をプロットしたグラフの目視評価と統計評価を

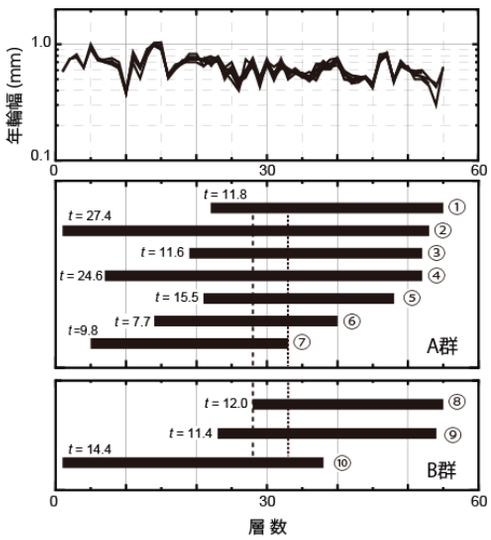


図 1　分析対象木簡の年輪曲線（10 点を重ねて表示）とバーチャート

あわせておこなった。これまでに、年輪曲線の前年に対する増減のみならず絶対値についても酷似し、同一材由来の可能性が高い削屑のグループを複数見出している。ここでは、そのうち 10 点を紹介する（図 1、2）。

すべて同一材由来と推定されるが、文字の天地を基準にすると、A 群と B 群とでは年輪の向きが異なることがあきらかとなった。ここから、元の木簡には表裏両面に墨書が施されていた可能性、または同一材から製作された木簡が複数個体存した可能性などが考えられる。なお、図 2 に示した配列は、より新しい年輪が刻まれている順に並べた、あくまで仮のものであり、横方向の関係は動かないものの、縦方向の並び順は変わり得ることに注意されたい。いずれにしても単一の木簡に複数名分の人名や位階が記されていたとみられ、元の木簡は歴名簡（人名リスト）の類とみなされる。

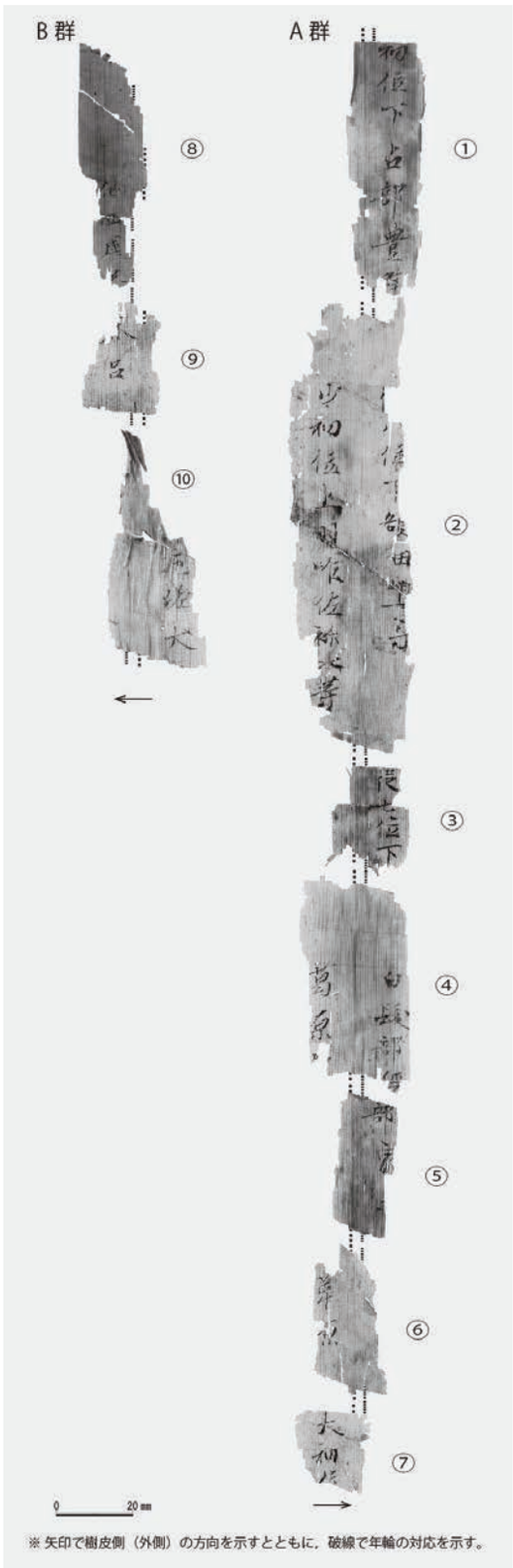


図 2　分析対象木簡

ファイバースコープによる木造毘沙門天立像

（島根県奥出雲町岩屋寺旧蔵）の調査

Investigation of Standing Bishamonten statue using fiberscope (Formerly owned by Iwaya-ji Temple, Okuizumo-cho, Shimane Pref.)

○鳥越俊行（奈良国立博物館）、岩田茂樹（同左）、岩井共二（同左）、山口隆介（同左）、
ロバート シンガー（ロサンゼルス･カウンティ美術館）、安藤真理子（奈良国立博物館）
○TORIGOE Toshiyuki, IWATA Shigeki, IWAI Tomoji, YAMAGUCHI Ryusuke (Nara National Museum),
Robert Singer (Los Angeles County Museum of Art), ANDO Mariko (Nara National Museum)

1. はじめに

奈良国立博物館では、令和２年２月４日から「毘沙門天－北方鎮護のカミ－」の特別展を開催した。本展はコロナウイルスの影響で、会期半ばの２月２７日から休館し再開することなく終了したが、展示の目玉の一つとして、アメリカのロサンゼルス・カウンティ美術館(LACMA)に寄託されている木造毘沙門天立像を展示していた。本像の像内には墨書のあることが判明していたが、これまで画像の記録がされていなかった。

LACMA とは、ファイバースコープを用いた画像記録と墨書の検討を共同で行うことを前提に借用していたため、本像は１２月中旬に奈良博へ到着、数日後に調査を実施した。本調査により明瞭な画像観察と墨書の検討が行えたことから報告を行う。

図１　木造毘沙門天立像(LACMA 寄託)

2. 調査対象

本像は像高 2m を超える大像で、もとは島根県奥出雲町岩屋寺旧蔵のものである。

背中の部材の一部を取り外すことが可能で、そこから像内の墨書の一部を見ることができる。今回は、この穴からファイバースコープを挿入し墨書の位置や記されている文字を観察・記録し検討を行った。

図２　ファイバースコープによる像内観察の様子

3. 調査方法

調査には、オリンパス社の IPLEX NX と赤外撮影可能な GX の二つを用いた。スコープは柔軟なため、内部の観察には保持具を用いた。

4. 調査結果とまとめ

今回の調査では、像内の紀年名を含む墨書や墨画を明瞭に観察することができ、平安後期の基準作であることが確認された。また、像内胸部の八葉蓮華についても詳細な観察･検討を行うことができ、本像の重要性が改めて確認された。

今回調査に用いた NX は、先端がかなり自由に曲がること、また光量があり被写界深度が深いことなどから、像内の観察に大きな威力を発揮した。一方、GX による赤外線撮影も実施したが、像内に記された墨書はあまり劣化がないためか可視光と見え方はほとんど変わらなかった。

謝辞

本調査は、オリンパス株式会社の特別協力により実現した。ここに記して謝意を表す。

文献

奈良国立博物館編　特別展図録『毘沙門天－北方鎮護のカミ－』　2020

埼玉県北本市デーノタメ遺跡出土縄文時代の漆塗腕輪Ｘ線ＣＴ観察事例報告

Observational case study using X-Ray CT on a Jomon period bangle from Denotame site,Kitamoto city,Saitama Prefecture

○石原道知(*1)、荒木臣紀(*2) 宮田将寛(*2) 齊藤成元(*3)、中野稚里（*1）磯野治司(*3)

(*1 東京藝術大学大学院文化財保存学専攻保存修復工芸研究室) (*2 東京国立博物館)

(*3 北本市教育委員会)

○ISHIHARA Michitomo (*1), ARAKI Tominori(*2), MIYATA Masahiro(*2), SAITOUNarimoto(*3)

NAKANO Chisato(*1) ,ISONO Haruji (*3)

(*1Graduate Department Conservation Tokyo University of the Arts) (*2Tokyo National Museum)

(*3Kitamoto city Board of education)

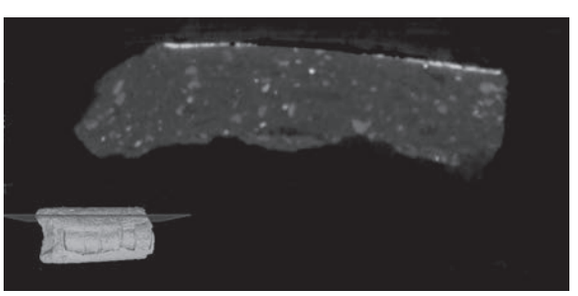
1. はじめに

本報告の対象資料が出土した埼玉県北本市デーノタメ遺跡は大宮台地の北部に位置し、台地から低地にかけて広がる縄文時代中・後期の集落遺跡である。かつて遺跡の付近に存在した湧水起源の沼沢地の名が「デーノタメ」と呼称され、遺跡名となっている。この遺跡は低湿地が含まれ、乾燥した台地上では遺存が難しい植物遺体、漆塗りの土器片、木胎漆器等の遺物や、クルミ塚等の遺構が出土している。縄文人の「食」と「漆の利用」について考える上で良好な資料が豊富な遺跡である。[(2)]この遺跡から出土した漆塗腕輪についてＸ線ＣＴを用いて内部構造を観察した。その結果、これまでの研究成果[(3)(4)]の裏付けともなる画像を得ることができた。

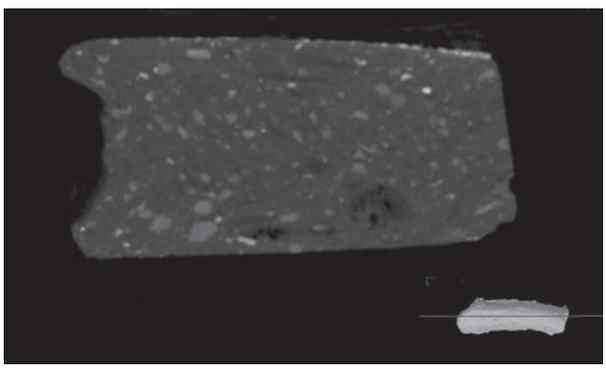
2. 漆塗腕輪とＣＴ画像

この遺物は、21㎜×9㎜×6㎜ほどの小さな破片で(画像 1)まだ保存処理が行われておらず漆塗膜の乾燥による剥落を防ぐという理由で水中に保管されている。表面は赤色で漆が塗られ、穏やかな曲線を描くことから直径 10㎝程度の腕輪と考えられる。[(2)]この腕輪の内面は内刳り状に抉られた形状になっており芯と思われるタケ・ササ類の圧痕[(4)](画像４の上側の窪み)が残る。また表面には方形の物体が連ねて固着していたと考えられキャタピラ状(画像 1 は正面から見た図、画像４では下側の半円形の窪み)の脱落痕が認められる。

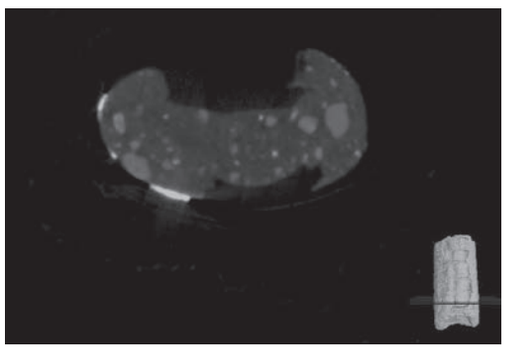
画像１方形剝落痕が見える方向より全景。



画像２方形剝落痕の脇の断面画像。上部の白く見える部分は水銀[(3)]と考えられる。画面を横方向に流れる黒い筋がみられる。成型時の痕跡か。



画像３方形剝落痕直下の断面画像、密度の低い(暗い部分)が見える。



画像４下側が方形剝落痕（弧線は延長しない）画像の上になっている窪みはタケ・ササ類(4)の芯が抜け落ちたとされている痕跡。画面下に水銀(3)の厚い層が見える。

・Ｘ線ＣＴ撮影条件等

Ｘ線ＣＴ装置は東京国立博物館の設備を使用した。装置の仕様はエクスロン社製プレシジョン。

X 線発生管/Micro focus X-Ray System Y.FXE225　　検出器/Flat Panel Detector Y.XRD 1621 CN14 ES

再構成ソフトウェア/装置付属のエクスロン CT ソフトウェア

撮影条件/ 電圧:90[kV]、電流:1[mA]、インテグレーションタイム:300[ms]、フレームビニング:1

プロジェクション数:2070、撮影対象～X 線管球間距離:約 126[mm]、

受光部～X 線管球間距離:約 1055[mm]、撮影対象～受光部:約 929[mm]

断層観察は Data Viewer(Bruker 社製)、３次元データ解析と観察は CT Analyzer と CT Vox(Bruker 社製)を使用した。

3.結果と課題

ＣＴ画像で白く見える部分はＸ線を透過しにくく密度が高く重い物質であると考えられる。表面の白い線(画像 2 上部)は先行研究の成分分析(3)により水銀（朱）の塗膜であることが判明している。内部には構造的なものは何も観察できず、明るく不定形な粒子が不規則に散在し(画像 3)、空隙とみられる暗い部分も随所にみられる。断面構造分析によると胎は「ケイ素や鉄の成分が集中している部分」(3)と「空隙部分も多く見られ」(3)とのことから、漆に土や砂を混ぜ粘土状にしたかなり粘り気の強い材料を使って整形した物であるとの報告であり、今回得られた CT 画像と、合致する結果となった。

今後の課題は、腕輪表面の方形剥離痕が「加工したテープ状の素材を芯に巻き付けた状態」(4)とされていたが今回得られた画像からはそのような構造は確認できず、この正体を明らかにすることである。

参考文献

1)片岡太郎　上條信彦(2017)「X 線 CT 観察による南鴻沼遺跡出土漆櫛の内部構造」
『さいたま市遺跡調査会報告書第 177 集　南鴻沼遺跡』さいたま市教育委員会　p299-307
2)磯野治司　齊藤成元　坂田敏行（2019)『デーノタメ遺跡総括報告書 北本市埋蔵文化財調査報告書第 22 集』
北本市教育委員会
3)原由宇稀　本多貴之　宮腰哲雄（2019)「漆製品の科学分析」
『デーノタメ遺跡総括報告書北本市埋蔵文化財調査報告書第 22 集』　北本市教育委員会　p561-575
4)米田恭子　佐々木由香（2019)「腕輪および木胎漆器の構造観察」
『デーノタメ遺跡総括報告書 北本市埋蔵文化財調査報告書第 22 集』　北本市教育委員会　p576-582
5)石原道知　磯野治司　齊藤成元　中野稚里（2019)「埼玉県北本市デーノタメ遺跡出土資料の再現的復元の事例報告」
『日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集』p286-287

三次元計測を応用した同型鏡鋳造実験

The Casting experiment of `Same-mold mirror` in application of 3D scanning data

○水野敏典（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（橿原考古学研究所）、奥山誠義（同左）、北井利幸（同左）、山田隆文（同左）
○Toshinori MIZUNO（Archeological institute of kashihara＊）, Masumi WAKEBIKI（Chybu University）, Takeshi FURUYA（Kyoto National Museum）,Kosaku OKABAYASHI（＊）, Masayoshi OKUYAMA（＊）, Toshiyuki KITAI（＊）, Takafumi YAMADA（＊）

1.はじめに

同型鏡と呼ばれる同一文様をもつ鏡群間には、多くの場合に鏡径の収縮差が確認できる。その現象の発生条件の検討を目的とした分析を行った。鏡径収縮の主な要因は、原鏡に対しての鋳型製作時の鋳型素材の乾燥による収縮と想定し、同型技法による製作過程での鋳型、実験鏡の変化を可視化、数値化するために、高精度の三次元計測を行った。

2. 実験鏡と鋳型製作の条件

鋳造実験に使用した青銅成分の比率は、銅 7.5:錫 2:鉛 0.5 である。鋳型は踏み返しによる実験鏡の収縮現象を明確にするために、肌土の粘土比率を高く、厚目として、肌土と玉土、荒土による多層構造をもつ鋳型を採用した。以下、鋳型製作の材料と工程は表2に記す。

3. 鋳型造りにおける三次元計測の仕様とタイミング

三次元計測の計測機材はドイツ GOM 社 ATOS compact scan、レンズは MV70 を使用した。計測は①原鏡、②原鏡を使って鋳型を製作した焼成前段階、③鋳型を焼成した後でゆっくりと冷却した約 100 度の段階、そして④鋳造後の常温での実験鏡に対して行った（図2）。

4. 計測結果と分析

鏡径収縮は、①～④の三次元計測により作成した断面図を重ねて表れる形状のずれと、2 点間距離の計測値から行った（表1、図 1、3、4）。同型鏡群で確認された収縮率は、新沢千塚 109 号墳鏡などの画文帯神獣鏡群で 0.7～1.1%、祇園大塚山古墳鏡群の画文帯仏獣鏡で 3.1%、狛江亀塚古墳鏡群の神人歌舞画像鏡で約 3%に対して、鋳造実験による実験鏡の収縮率は 0.4～0.5%と小さいものとなった（水野 2019、水野ほか 2019）。今回の鋳造実験による収縮は、実測値で約 0.4～0.6 ㎜であり、同型鏡群で確認した 1.1～6.3 ㎜の収縮を引き起こした現象とは様相が異なる。主な要因は、肌土と玉土、荒土による多層構造の鋳型を採用したことで、肌土が収縮して界圏下などに明瞭なひび割れを生じても、鋳型の鏡縁部は外側の玉土に支えられて顕著な変形が起きなかった可能性が高い。また、今回の実験では原鏡を抜き出した直後の②焼成前鋳型の値は①原鏡とほぼ近似したのに対して、③の焼成後鋳型は一回り大きくなっており、鋳型の収縮は確認できなかった。この焼成後の鋳型に融解した青銅合金を流すと、凝固により収縮し、結果として実験鏡は原鏡に対して微細な収縮を示したとみられる。同型鏡群と同様の収縮を発生させるには、単純に収縮できる粘土塊のような単層構造の鋳型の可能性を探る必要があるとみられる。以上の成果を次回の実験に活かしたい。

本研究は JSPS 科研費 17H02423 の成果の一部であり、勝川若奈、中村杏南、瀬口泰弘の協力を受けた。記して感謝したい。

水野敏典 2019「「同型鏡」の鏡径収縮」『磨斧作針　橋本博文先生退職記念論集』六一書房
水野敏典 山田隆文 奥山誠義 北井利幸 古谷　毅 徳田誠志 2019「「同型鏡」の鏡径収縮についての基礎的研究」『日本考古学協会第 85 回総会研究発表要旨』日本考古学協会

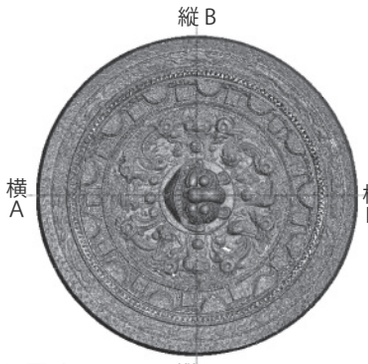


図 1 原鏡の
三次元形状計測画像

写真 1　左：焼成前鋳型　右：実験鏡

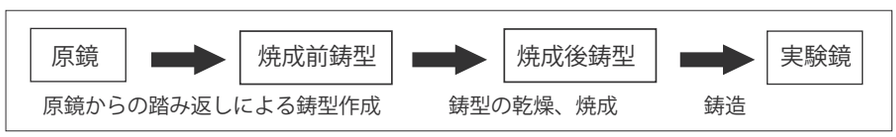


図 2　同型技法による銅鏡製作過程における三次元計測のタイミング

表 1　2 点間計測値一覧　（単位：mm）

	原鏡	焼成前鋳型	焼成後鋳型	実験鏡	原鏡－実験鏡	収縮率％
縦断面 1	157.76	157.76	158.22	157.20	0.56	0.36
縦断面 2	145.19	145.08	145.47	144.66	0.53	0.37
縦断面 4	―	166.67	167.28	166.36	―	―
横断面 1	155.78	156.17	156.57	155.38	0.40	0.26
横断面 2	130.85	131.01	131.31	130.26	0.59	0.45

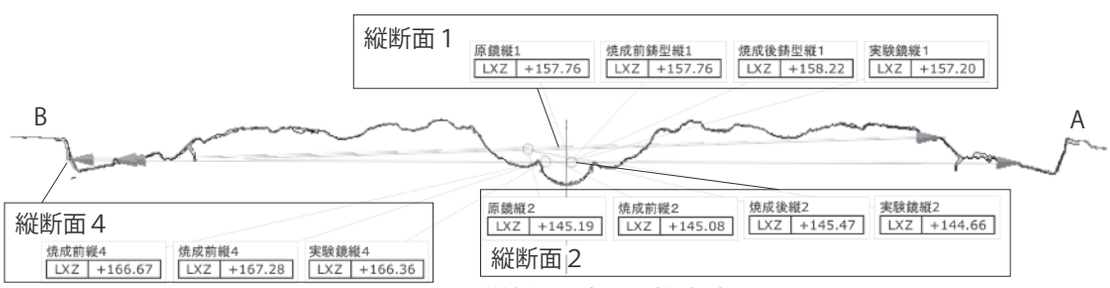


図 3　縦断面 2 点間距離計測

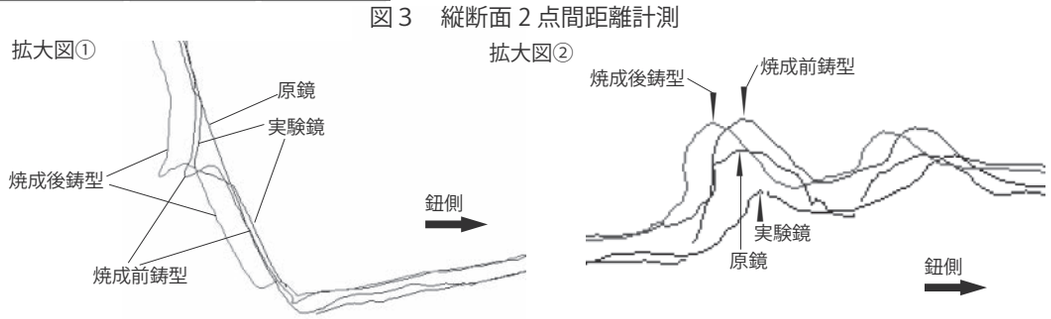


図 4　中心を起点として三次元計測各断面図を重ねた時のズレの傾向

表 2　鋳型製作の材料と工程

使用した鋳物砂・植汁			
［植汁］	信楽粘土5Kg ＋ 水7Kg → 100メッシュ通し → 植汁8.3Kg ＋ 砂1.5（乾燥重量1.15kg）	［カブセ］	1) スゲを反転し、原型を取り出し、側面を削って中置を調整。
	Kg（数字の誤差は、ふるいに付着した分。水：粘土＝約2：1）		2) 嵌りを削って作成。
［肌土］	焼き真土（100メッシュ通し）2kg ＋ 植汁3kg		3) 離型のために植物性オイル（オリーブオイル）を染み込ませた新聞紙を中置に設置。
［玉土］	焼き真土（40メッシュ通し）2kg ＋ 砂（遠州灘産 40メッシュ通し）1kg ＋ 植汁1.5kg		4) 離型剤として植物性オイル（オリーブオイル）を使いながら、肌土を概ね1cm程度の厚みで被せる。肌土の重量は0.6kg。
［荒土］	焼き真土（1cm角金網通し通し）6kg ＋ 砂（遠州灘産 40メッシュ通し）4kg ＋ 植汁4kg		5) 植汁を塗布し、玉土を概ね1cmの厚みで被せる。玉土の重量は1.8kg。
			6) 植汁を塗布し、荒土を概ね4cmの厚みで被せる。この時の荒土の重量は4.8kg。
鋳型作り	1) 原型を押し台に設置。		7) 1日置いた後、電気炉で80度、5時間乾燥。
	2) 離型剤として植物性オイル（オリーブオイル）を使いながら、肌土を概ね2cm程度の厚みで被せる。この時の肌土の重量は1.2kg。		8) 鋳型の側面を削って調整し鋳型を分割して原型を取り出す。
	3) 植汁を塗布し、玉土を概ね1cmの厚みで被せる。この時の玉土の重量は2kg。		
	4) 植汁を塗布し、荒土を概ね2cmの厚みで被せる。この時の荒土の重量は2.7kg。		
	5) 1日置いた後、電気炉で80度、5時間乾燥。		

京焼登り窯の三次元計測②　-上田恒次窯の事例-

The 3D modeling of kyoto style climbing kiln

-The case of Ueda Tsuneji's kiln-

◯ナワビ矢麻（埼玉県立さきたま史跡の博物館）、木立雅朗（立命館大学）、
田畑幸嗣（早稲田大学）、余語琢磨（同左）
◯Yama NAWABI (Museum of the Sakitama Ancient Burial Mounds),
Masa'aki KIDACHI (Ritsumeikan University), Yukitsugu TABATA, Takuma YOGO (Waseda University)

はじめに

立命館大学と早稲田大学は、おもに京都・五条坂に立地する京式登り窯を対象に調査研究を継続的に行っている。五条坂の登り窯は現在では操業が止まり、消滅の危機に瀕している近代遺構の一つである。対象地域において、登り窯の三次元計測と関係者への聞き取り、文書記録の調査も同時に行い、成果の統合を図っている。本発表では、京都市木野にある上田恒次窯で実施した三次元計測の成果を報告する。

図１　上田恒次窯

1. 上田恒次窯

上田恒次（1914-1987 年）は河井寛次郎に師事した民芸の陶芸家である。その自宅は登り窯とともに、2006 年、国の登録有形文化財（建造物）に指定された。緩やかな丘に上から母屋・登り窯と覆屋・長屋門風工房・倉庫が立ち並ぶ姿は、今も上田の世界観を力強く表現している。記録によると登り窯は、全ての部屋が横狭間穴構造であり、典型的な京式登り窯である（今は部分的に縦狭間になっており、当初の姿ではない）。他の京式登り窯に比べて破格の造作が施されている点が特徴的である。瓦葺屋根をもつ京式登り窯は管見による限り、本例のみである。

2. 三次元計測の方法と課題

本調査の目的は、上田恒次窯全体の三次元モデルの生成である。モデル生成には SfM-MVS を用い、色情報をもった三次元データを取得した。複雑な構造の窯本体とともに、覆屋や素焼き窯を含めた空間全体の記録を行っている。調査は 2019 年 11 月に実施し、測量を含めた現地調査は実質３日間であった。

SfM-MVS は複数枚の写真からモデルを生成する手法であるため、計測は撮影作業がメインとなる。窯に縮尺を付与し、水平面を設定するために、撮影に先立ちマーカーを窯全体に配置し

測量を行い、座標を取得した。入口が閉塞され撮影が不可能であった第４焼成室を除き、第１～３までの焼成室とそれらをつなぐ内部構造を含めた、窯全体を対象とし撮影を行った。SfM-MVS は写真を基に撮影位置を復原するため、焼成室内は狭小で暗く、カメラに装着したリングライトの他に光源が必要であった。そのため自然光の中で撮影した窯の外側との連続性が確保されず、一つのモデルとして結合しない可能性があった。本調査においては、各焼成室（①～③）、煙出しを含めた窯の側面（④）及び天井面（⑤）とを分割して撮影し、各部分のモデルを生成した後に、マーカーの座標を基準とした位置合わせを行った。結果、各モデル間のズレは僅少であり、精度の高い単一のモデルを生成できた。事前の十分なマーカーの設置と測量により、光線が連続しない状況にあっても、複雑な構造をもつ登り窯の三次元モデルを比較的容易に生成することが可能となった。

3. 計測の結果と上田窯の特徴

計測の結果、第四焼成室を除く窯全体の三次元データを取得した。得られたデータからは窯の面積や容積のみならず、断面から窯全体の勾配や、焚口～煙道までの構造が看取できる。焼成室間の火の通り道である狭間穴の形態には様々あるが、京焼登り窯の狭間穴は横狭間構造であることが知られている。上田窯においては部屋により縦狭間が採用されており、縦狭間、横狭間の両構造が単一の窯に採用されている点も特徴的である。部屋により温度や火の回りを変化させ、焼き方に工夫がされていたと考えられる。このように遺構の三次元的な記録は、単なる形態の記録に留まらず、様々な図版を提示可能にし、新たな視点での研究を可能とする。

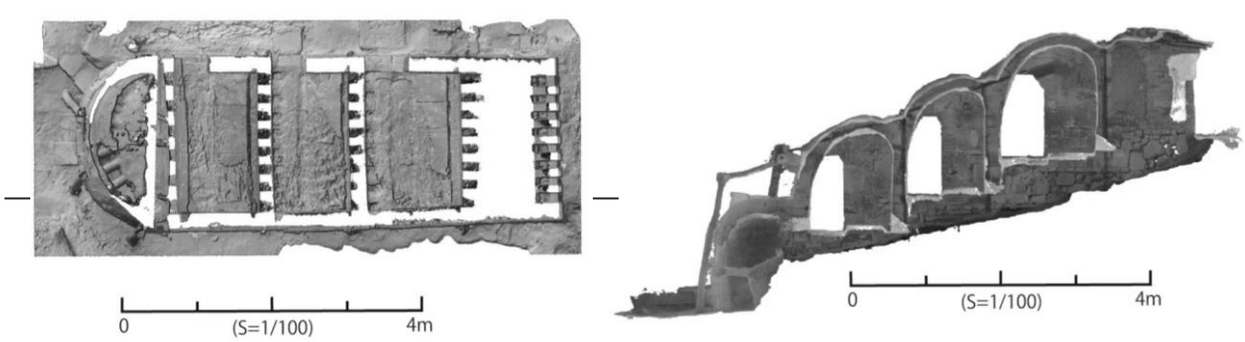


図２　上田恒次窯の三次元モデル（左：天井を除いた平面図　右：右側面の見通し図）

謝辞

調査にあたっては、故上田てる子氏、奥平欣冶氏・比佐子氏ご夫妻、鷺珠江氏、森公男氏にご協力いただきました。京都市埋蔵文化財研究所と宮原健吾氏には GNSS 基準点測量についてご協力いただきました。記して感謝の意を表します。

本研究は JSPS 科研費 18K01073 の助成を受けたものです。

神戸製鋼神戸製鉄所第 3 高炉における三次元記録活動

Three-Dimensional Records of the No.3 blast furnace at Kobe Steel's Kobe Works

○岡本　篤志（大手前大学史学研究所）、貝柄　徹（同左）、二階堂　達郎（同左）
○OKAMOTO Atsushi, KAIGARA Toru, NIKAIDO Tatsuro
（OTEMAE UNIVERSITY Institute of History）

1.　はじめに

神戸製鉄所第 3 高炉の解体（2017 年 10 月 31 日休止）に伴い神戸震災復興シンボルであり、産業遺産の観点からも重要な建物である高炉を三次元計測によって記録保存することを試みた。広大な敷地を計測するため、地上レーザ計測と航空レーザ計測を用い三次元データを取得し、各計測データを合成することにより詳細な高炉の形状記録を行った。

2.　調査方法

工場設備の外形をできるだけ忠実に復元するため、地上レーザ計測をメインとし、地上計測では計測できない屋根・高所部分および、神戸製鋼所敷地全域を記録するため航空レーザ計測を用いた。両計測データを合成することによって、計測死角を最小限かつ短期間に記録する手法を用い神戸製鋼所及び第 3 高炉の詳細な三次元データを取得している。

○地上計測

地上計測は、 2017年11月13日、14日に計測を行い、35ヶ所から計測を行った。リーグルジャパンの協力のもと、VZ-400i を用いた。固定型レーザ計測機に台車を取付け計測と移動（ストップ・アンド・ゴー計測）を繰り返しながら高炉周囲を計測した（写真1）。また、実施当日に高所計測できる場所からも計測機を設置しデータを取得している。計測 2 日目は、雨天であったが計測機本体は、防水保護構造 IP64 構造であるため若干の雨天においても計測が可能であった。通常、雨天で三次元計測を行うと雨粒に反射し計測データ全体に雨のノイズが発生する。このノイズは波形解析によるフィルタリング処理を用い計測した雨粒を除去することが可能であった。若干の雨天であれば問題なく計測することが可能である。

写真１：地上計測風景

○航空レーザ計測

航空レーザ計測は、2017 年 11 月 16 日に中日本航空「SAKURA3　AS350B 型」にて、回転翼航空機（ヘリコプター）を用い、高炉部：96 点/㎡、製鉄所敷地内：48 点/㎡の計測密度でデータを取得している。また、カラーデータが必要なため、計測時に、垂直・斜め（前後）の空撮写真も同時に撮影している。

3. データ処理

計測データは、航空レーザ、地上レーザと空撮写真（垂直・斜め（前後））を用いたSfMによる点群データの三種類になる。今回の計測では、地上・航空2種類の計測データを重ね、各計測手法で計測ができない死角を補っている。航空レーザ計測のデータは、電子基準点をもとに国土座標に変換されている。各データの合成では、航空レーザのデータを基準とし、ICPアルゴリズムを用い地上レーザとSfM点群データの位置合わせを行っている。位置合わせが完了したのち地上レーザと航空レーザの点群データを合成している。この合成によってカラー点群の色調が異なることから空撮写真をもとに、再度色調整を行った。色調整においては、空撮写真を用いたSfMによって算出されたカメラ位置（航空レーザ計測データとの位置合わせ済み）から調整し合成した点群データに反映している。

地上・航空とも、データ合成の相性がよく、ノイズ等が少ない状況で合成を行うことができた（図1）。

図１：点群データによる第３高炉計測結果

4. おわりに

地上計測では、通常計測において計測が困難な高所や屋根部分など航空レーザを併用することで効果的に計測・記録・合成することが可能となった。地上計測は、約2日間、航空レーザは、約1時間と短時間に広範囲の記録を行っている。地上・航空を併用する方法は、今回のような大規模な計測において有効な計測方法であることが確認できた。地上計測は、約5ミリ間隔、航空レーザは高炉部約10cm間隔で詳細に記録をとっており、CADモデルを作成するのに十分な形状情報を有している。この計測点群から高炉をVRや模型などで再現したいと考えている。

近代産業を代表する工場や炭鉱などが近代化産業遺産として保存活用されている。一方、保存や公開が困難な場合、事業上建て替えなどが求められる場合がある。こうした場合において、短期間の作業によって操業時に近い状況を立体形状として記録できる記録効果は高い。大規模な産業遺産を記録する方法として、地上・航空レーザによる記録方法は有効であると考える。

謝辞　本研究に関し、神戸製鋼所、リーグルジャパン株式会社、中日本航空株式会社の御協力を賜りました。記して感謝の意を表します。

本研究は、大手前大学史学研究所のプロジェクト「近代産業辿産の社会史的研究」によるものである。

フォトグラメトリーによる三次元計測データの比較

Comparative Approach to the Variability of Photogrammetric 3D Measurement Data

◯中村亜希子（奈良文化財研究所）
◯Akiko NAKAMURA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

文化財の分野でも、近年 SfM-MVS といったフォトグラメトリーによる三次元計測が急速に普及しつつある。SfM-MVS による三次元計測は、撮影機材とその設定、画像のサイズや形式、枚数や質、さらには解析ソフトの設定やバージョン等により、取得データの粗密や信頼度にばらつきが生じやすい。

本研究では、同一の RAW データから現像した TIFF および JPEG の画像セットを、Agisoft 社の SfM-MVS 解析ソフト Metashape を用いて様々な設定で解析し、得られた三次元データの粗密や信頼度、データ量や所要時間について比較検討する。

2. 使用する画像セット

画像の RAW データはオリンパス社のミラーレス一眼レフカメラ OM-D E-M1 Mark II にマクロレンズ（30 ㎜ /F3.5）を装着し、ISO を 200 に、絞りを 11 に固定して撮影した。画素数は 5184×3888 で、39 枚で 1 セットをなす。

現像した画像は A：TIFF、B：TIFF と同じ画素数の JPEG、C：画素数を縦横各 1/2 に減らした JPEG に大別し、B と C の JPEG についてはそれぞれ圧縮率が 50・75・100 の 3 種類を用意した。画像の現像・書き出しには Adobe 社の Lightroom を使用した。

3. 解析の設定

解析ソフトは Agisoft 社の Metashape Professional であり、バージョンは 1.6.2 build 10247 である。使用ワークステーションは OS が Windows 64bit、RAM が 64GB、CPU は Intel® Core™ i7-8700K、GPU は Geforce GTX 1070Ti を搭載する。

解析の設定は、写真のアラインメントはすべて最高を選択、汎用事前選択と座標事前選択（推定値）を有効にし、完了後には信頼度が低いとされる 2 枚の画像によって生成されたタイポイントを削除した。その後は背景部分を除外して解析するよう、画素数が同じ画像セットには事前に用意した同じセットのマスクを挿入する。高密度クラウド構築は中・高・最高の 3 種類をおこない、ポイントの信頼性も計算した。メッシュ構築はポリゴン数を高に、内挿補間を有効に設定し、テクスチャーは 4096×1 枚で構築した。データは OBJ のメッシュデータとして書き出した。

4. 分析

1) 画素数が同じ JPEG と TIFF に関しては、取得データ量・計測時間の差異がほとんどない。

JPEG では圧縮率が高いほど信頼度が低いタイポイントの数が多くなる。なお、信頼度の低いタイポイントの削除後に残るタイポイント数は A・B よりも C の方が多いが、高密度点群やメッシュの量は 1/4 程度となり、全解析時間・OBJ データの大きさともに 2~3 割程度となる。

2) 高密度点群の品質を中から高、最高と上げる度に、OBJ データは 3.2～5.5 倍程度に、解析時間は 2.5～3.4 倍程度に増加した。高密度点群では中の B と高の C、高の B と最高の C が、データ量・計測時間とも近い値となるが、視覚的に大差はないものの、C ではノイズが目立つ。

3) メッシュ構築のソースとして高密度点群（図 1）以外に深度マップ（図 2）が選択できるようになった。前者で構築されるメッシュのデータ量は後者の 1.2~1.5 倍あるが、解析時間は 0.8～0.9 倍と短い。いっぽうで前者はテクスチャー構築の時間が長くなるため、両者における全解析時間はバージョン 1.6.2 ではほぼ同じである。

4) 信頼度の低い点群（0-2）を削除した高密度点群からメッシュを構築すると、最高の高密度点群の場合、データ量が約 36%、解析時間が約 10%減少し、必要かつノイズの少ない情報が取得できた（図 3)。ただし、撮影データが不足するとデータに穴が生じやすい。

5. まとめと課題

Metashape のバージョンアップにともない、同じ画像、設定でも取得データ量の増加が顕著となり、設定の選択肢も増加した。長期間継続して計測する場合、どのようにして取得データの均質化を図るか、データを保管するかは SfM-MVS による三次元計測の大きな課題である。大量の TIFF 画像はデータ量が大きく長期保存が容易ではないが、解析時間と取得データ量に関しては JPEG 画像と差がないことが判明した。画像の圧縮はノイズデータの発生と関係しており、細かな形態を記録する場合は特に TIFF 画像の使用が望まれることは首肯できる。

また、深度マップから構築されるメッシュをどのように評価するかも今後の課題である。バージョン 1.6.0 では高密度点群からのメッシュ構築に比べ解析時間が格段に短かったが、1.6.2 では同じか若干長くなった。視覚的には一見凹凸が強調され観察しやすいようにも見えるが、ノイズが曖昧にされる分、細かな凹凸情報も失われている可能性が高い。メッシュの構築は、信頼度の低いノイズを除去することで従来法の高密度点群からの構築を模索しているが、今後、ハイエンドのレーザースキャナーによる計測データ等との比較によって、両データの特性を検討したい。

*本研究は JSPS 科研費 19H01355 及び 17K13575 の助成を受けたものである。

図1 高密度点群によるメッシュ

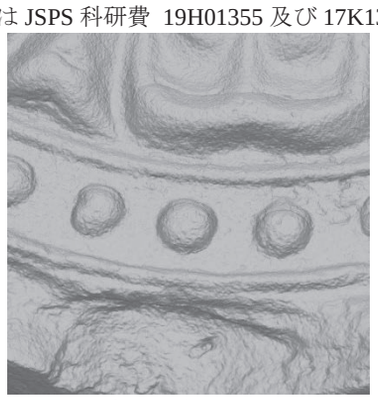


図 2 深度マップによるメッシュ

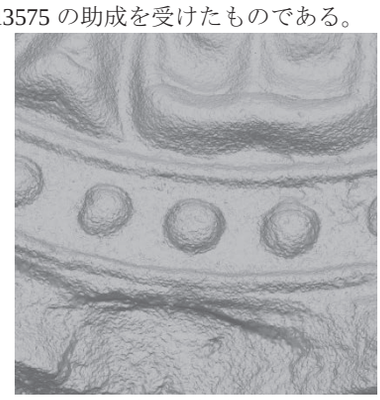


図 3 ノイズ除去後点群によるメッシュ

土器の SfM-MVS 計測効率化にむけた試行

To improve the efficiency measurement of pottery by SfM-MVS.

○金田明大（奈良文化財研究所）

○KANEDA Akihiro (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

考古資料の計測手法は三次元計測手法の活用が進展し、詳細な形状情報を入手することが可能になりつつある。文化財保護行政においては既存の機器を活用でき、また多方面に活用できることから SfM-MVS による三次元計測とその成果の活用が急速に広がってきている。特に遺構については、その利点を活かして実用段階に入っている（例えば水戸部 2019）。

反面、遺物については個別の対象において従来に加えて更なる情報取得を可能となっているものの、より多量の情報を時間、費用といった面でより低コスト化をはかる必要がある。このためには、機器の洗練、解析用機材の高機能化といった対応があるが、加えて、資料の安全をはかりつつ、解析画像を抑えることや、より多くの形状情報を有する画像の取得が有効である。本発表ではその試行について紹介する。

2. 土器計測の課題

土器を空間内に安定させて置く場合、接する部分の欠測を補うべく、２回以上の計測モデルを作成し、結合させることが多い。計測者の多くは通常、土器を正立・倒立した状態で安定する状態に設置し、計測をおこなう。しかし、この場合、結合時に内外面の重複部分を広く有したモデルの作成が難しく、三次元データのレジストレーションが困難なことが頻繁に起きる。甕形土器などの内面計測については、アームにカメラを据え付けて内部や口縁部近くに垂下し、撮影しているが、計測範囲や被写界深度に問題があった。

このため、遺物の安全を確保しつつ、効率的に計測が可能な手法について試験をおこない、改善をみることができた。

3. 方法

方法 1）甕形土器　完形かそれに近い資料については、内外面を共に写した画像を取得するため、治具を用いて土器を傾けて配置し、回転台を使用して撮影することで改善が可能である。この場合、内面は傾き部分の上半部が主に記録される。

試験では、小型のコンテナを使用し、コンテナにマーカーを張り付けておこなった。広口の資料であれば、一度の撮影で広い範囲の情報を取得できたが、モデル結合の安全性も考慮して土器の向きを 1/3 ずつ回転し撮影をおこなった。この結果、良好な成果を得た。

但し、この角度の撮影のみでは口縁部および底部に十分なデータを取ることが困難なことも多く、これらを対象にした追加撮影が必要になる。

方法 2）坏・皿形土器、土器片の計測　SfM-MVS であってもレーザースキャナーであっても土器

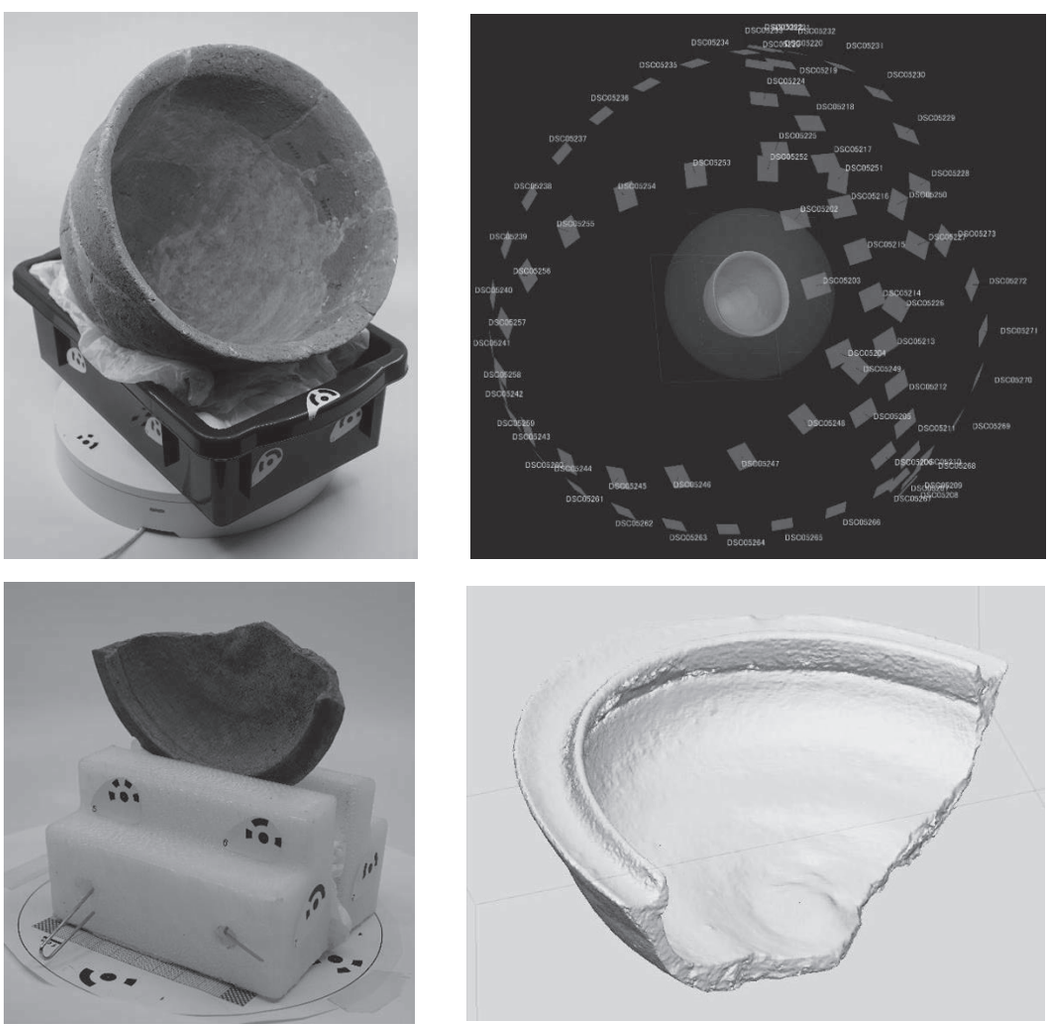
の中で計測が難しい対象物である。板状の形状は内外面のモデルの一致点が少ないため、正対しておく方法では結合が困難な場合がある。1）で試みた斜めに置く方法のみでは解決しないため、簡便な保持具を製作し、これに立てた形で計測することで良好な成績を得た。

口縁部がやや内傾する坏類などについては、カメラが正対せずに取得できた点群が粗くなる状況が生じることもあるため、カメラの角度をこれらに対応させて計測する必要がある。

これらの計測により、1）は最低 5 方向（正置、倒立、斜め上方、内面、底面）を 3 方向に、2）は最低 3 方向（正置、倒立、側面）を 2 方向でより効率的かつ破綻なく記録することが出来る。撮影角度や枚数を抑えられることで、解析時間などを大きく減少させることができる。ただし、実際の計測においては対象物の詳細を把握するためにより多くの角度からの画像を取得することが望ましい。今後、方法の洗練を通じて定量的な評価と作業方法の確立を進めたい。

水戸部秀樹　2019　デジタル技術の導入までの歩みと現状 2　埋蔵文化財保護行政におけるデジタル技術の導入について 3　文化庁　https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/pdf/92098901_01.pdf

本研究は MEXT 科研費 JP19H05738、国土交通省建設技術研究開発助成制度の成果を含む。



図）左上：方法 1 での計測　左下：方法 2 での計測　右上：写真の撮影位置　右下：計測成果

Reflectance Transformation Imaging を使った考古資料の記録における再現性に関する研究
A study on the reproducibility of records on the archeological materials using reflectance transformation imaging

齋藤理寿（弘前大学大学院人文社会科学研究科）、○片岡太郎（同左）
Masatoshi SAITO and Taro KATAOKA
(Hirosaki University, Graduate School of Humanities and Social Sciences)

1. はじめに

2019 年に文化財保護法が改正され、各地域における文化財の主体的な活用がよりいっそう求められるようになった。筆者らは、文化財の活用という観点から、特に文化財の調査や記録に新しい視点を与えるとされている技術として近年研究が盛んになっている Reflectance Transformation Imaging（RTI）や Structure from Motion の文化財調査や記録への応用の可能性について研究を進めている。RTI は、撮影位置固定の条件で、複数角度からスポットライトを当てつつ写真撮影することで、後に 1 つの画像からライティングを変更して観察することができ、被写体の凹凸を明確化することができる撮影技術である。前報（齋藤・片岡 2019）では、考古資料を RTI を使ってデータ化する際の有効性を検討した結果、容易にデータ化できるだけでなく、考古資料を実測する際の補助的なツールとして有用であることがわかった。本研究では、RTI 記録の再現性や正確性に関する検討を行った。RTI の再現性や正確性の検証は、幾何学的形態測定学の手法を用いた。

2. 実験方法

2.1 RTI ドームの製作

RTI ドームは、半球状のドーム内に光源を設置し、ドームの中央上に空けた穴からカメラを差し込んで撮影することで、外界の光を遮断しながら写真撮影を行う装置である。本実験では Harold Mytum ほか（2018）を基に自作した（写真 1）。なお、光源には 48 個の LED を使った。

2.2 RTI 撮影対象資料と RTI データの作成方法

RTI 撮影の対象とした資料は、弘前大学北日本考古学研究センターが 2016 年青森県鶴田町廻堰大溜池における発掘の事前調査にて表採した石器（石匙）である。RTI データは。資料をドーム内に設置したのち、48 個の LED ライトを一つずつ点灯するごとにデジタル一眼レフカメラ（NIKON D5200、SIGMA 17-70mm F2.8-4 DC MACRO OS HSM）を使って撮影した。撮影した Raw データを Adobe Photoshop lightroom を使ってレンズのゆがみを補正した後、jpeg で出力した。出力の終わった 48 枚の写真を RTI builder で編集し、RTI ファイルを作成した（図 1）。

2.3 幾何学形態測定法を応用した RTI データの正確性の検証

幾何学形態測定法は、生物の形態を定量化する方法の一つである。ランドマーク（対象の一部分を強調する点）構成の全体のサイズ、位置、および方向から形状を分離した後、結果として得られる Procrustes 形状座標（対象の一点を基準としてその形や角度を表した座標）を統計分析に使用できる測定法である。幾何学的形態学測定法には、tpsDig2（F. James Rohlf 2004）と MorphoJ（Klingenberg, C. P. 2011)を使用した。

3. 結果と考察

RTI へ読み込ませた写真を 10 枚選んで、その 10 枚の各写真のランドマーク座標を統合し、グラフ化したものを図 3 に示す。X 軸、Y 軸ともに 0.01 以下の座標の誤差で収まっている。以上の点と 1 点ずつランドマークを打つうえで生じた誤差を考慮に入れると、RTI で使用したこれらのデータにずれはほぼなく再現性の観点から RTI データは信用に足りうるものであることがわかった。

4. まとめと今後の展望

RTI データは、遺物表面の凹凸などをとらえ、正確な遺物の記録に反映させることができることから、少なくとも石器に関しては、実測へ応用できる可能性を示すことができた。ただし、RTI で作成できるのは 3 次元データではなく、あくまでも 2 次元画像を擬似的に立体的に観察することにとどまる。今後は、Structure from Motion などの三次元データとの併用しながら検証をすすめる。

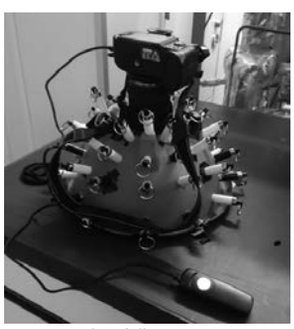


写真1 自作RTIドーム

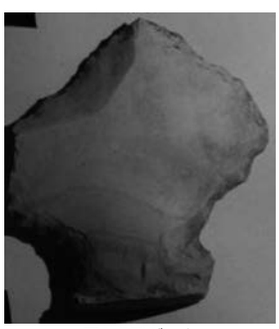


図1 RTIデータ

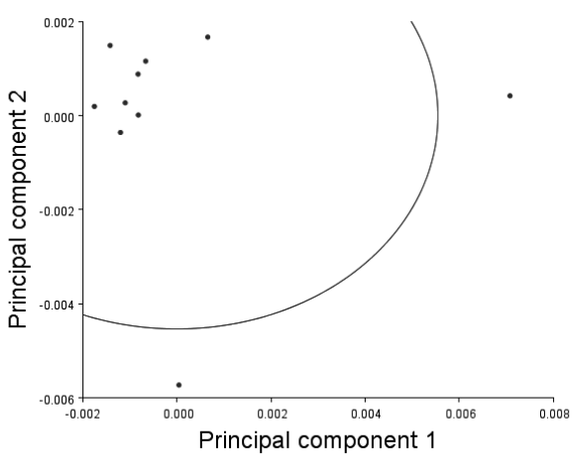


図2 ランドマーク検定結果

引用・参考文献

F. James Rohlf 2004 https://life.bio.sunysb.edu/morph/

Klingenberg, C. P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. Molecular Ecology Resources 11: 353-357,

Harold Mytum、J. R. Peterson 2018 「The Application of Reflectance Transformation Imaging (RTI) in Historical Archaeology」 Historical Archaeology vol.52 Springer P489-493

齋藤理寿・片岡太郎 2019、考古資料の記録・保存における RTI 技術応用の可能性、日本文化財科学会第 36 回大会要旨集、日本文化財科学会、pp.278-279

VRによる博物館で発掘調査現場を体感する試み

-船原古墳1号土坑を事例として-

Investigation of experience the site using VR at museum -A case of No.1 pit in Funabaru Tumulus-

○加藤和歳(九州歴史資料館), 村上浩明・武廣祐二・石丸凌・宮田慶彦(株式会社とっぺん)
小林啓(九州歴史資料館), 甲斐孝司(古賀市教育委員会)
KATO Kazutoshi(Kyushu Historical Museum),MURAKAMI Hiroaki・TAKEHIRO Yuji・ISHIBASHI Ryo・MIYATA Yoshihiko(Toppen.inc), KOBAYASHI Akira(Kyushu Historical Museum), KAI Koji(Koga City Board of Education)

はじめに

発掘調査現場は、通常、非公開で、一般市民は立ち入ることはできず、調査後は破壊もしくは埋め戻し等により見ることすら不可能になる。また、遺物は博物館においてガラス越しに見るのみで、近づき細かな造形を観察することはできない。遺跡の活用に関して、一般市民に理解を得るためには、専門家にしか感じ得ない臨場感を味わってもらうことが有効であると考える。

本発表は、大量の馬具等が土坑に埋納され出土した、福岡県船原古墳の三次元データを活用し、VR で発掘調査現場と馬冑の詳細観察を体感できる一般市民向けの企画展イベントにて得られた効果と課題、遺跡の活用のために、三次元データを博物館で利用する意義について述べていく。

1. 企画展イベントの概要

本イベント「VR船原 -発掘調査現場を体感する-」は、企画展「船原古墳の世界」(会期:令和元年 12 月 21 日～令和2年2月24日)の関連イベントとして、以下のコンテンツにより、令和2年1月12日に実施した。

コンテンツ1:「船原古墳の1号土坑発掘現場を体感!」

ヘッドマウントディスプレイを装着し、大量の馬具等が出土した 1 号土坑の周囲を歩き回り、さらに中に入り、出土状態の遺物を間近で観察できる。破壊や埋め戻しなどで不可能な遺跡での体感を実現できる。(使用機材:Oculus Quest 128GB)。ベースの三次元データは、出土状態を記録するために計測したものある。

コンテンツ2:「馬冑をすみずみまで観察しよう!」

ヘッドマウントディスプレイを装着した上、ゲームパッドを操作しながら、企画展に出品されている馬冑の三次元データを自由自在に回転、拡大縮小し、あらゆる角度で詳細観察できる。ガラス越しでは実現できない距離や角度での観察ができる(使用機材:HTC Vive)。ベースの三次元データは、仮復元後、計測したものである。

2. 会場の設営・運営方法

歩き回るためのスペース確保、企画展で展示している実物とのアクセス、来館者が気軽に参加できるよう、エントランスを会場とした。エントランスでは体験者と他の来館者と交錯しないよう、結界でエリア設定した。使用した機材は、ヘッドマウントディスプレイ 2 台、PC、大型モニターで、案内や解説、体験者への補助のため、スタッフ 4 名を配置した。開催時間は13:30～16;30で、小学生から高齢者まで、およそ100名の体験者を得た。

2. 体験のようす

コンテンツ1では、多くの体験者が土坑の周りを恐る恐る歩き回っており、地表面と、深さ 0.8mある土坑との高低差を感じたようである。また土坑に降りて、床面にある遺物を触れるような仕草をする体験者もおり、専門家が実際の遺跡の中に入っている時に近い所作がみられた。

次にコンテンツ2では、拡大することでガラス越しでは見ることができない、細かな部位を観察でき、微細な技法を見て理解することができた。また、あらゆる角度から観察できることを活かし、内側から眼孔をとおして前を見て、「馬の目線」を感じる体験者がいて、遺物観察の一般市民目線を認識した。さらに目前に立体の馬冑が見えるからか、側面を見るのにゲームパッドを使わず、自分の首をひねって覗き込んで見ようとした体験者がいた。実物の観察ではそうであろうが、通常、遺物の三次元データはPCの画面上で見るので、こうした所作をすることはないだろう。こうしたVRでの観察後、実物の展示を案内し、すぐに展示室に向かった人もいた。それと、親子連れの体験者では、はじめに保護者が体験するが、良さを感じたようで、次に子供に体験を促す光景も見られた。なお、体験者の中にVR酔い等の症状を訴える人はいなかった。

3. 得られた効果と課題

今回、発掘現場と遺物のコンテンツ、2 種類を用意した。体験者の所作を観察すると、現地や遺物観察の所作に近く、一般市民が臨場感をもって専門家にしかできない体感が可能と認識できた。当然ながら、三次元データは画面上という二次元ではなく、ヘッドマウントディスプレイ等を通じ、三次元で見ることが有効と考える。

また、VR体験の後、展示室に向かうことで、発掘現場と遺物（実物）がリンクするが、三次元データを見ることで、通常では得られない視点での観察が、来館者にとって新たな発見や気づきを見出すことであろう。そこから実物と対峙した時、来館者はじっくりと遺物を観察するようになるのではないか。VR体験は整備された史跡での事例があり、これは有効だが、遺構と遺物をリンクする博物館での実施が、遺跡を体感することに、より有効であると考える。

さらに、遺構、遺物の三次元データは、それぞれの記録であるが、従来の記録は、理解に専門性が必要な情報や、発掘調査担当者にしか知り得ない情報が反映されにくいことも見受けられる。しかし VR に展開する三次元データは、精密、客観性をもって情報を必要とする利用者層を拡大させ、発掘現場、遺物の情報を「共有」できる。遺跡と博物館、専門家と一般市民とを繋ぐ、活用のための有効なツールになり得るのである。

課題として、VRで面的広がりや高低差を体感する一方、現実のイベント会場では、結界があり平坦であることで、転倒等事故のリスクがある。以前のイベントでは高齢者が土坑に入る時、VRで見えている段差が、現実ではないことで転倒しそうになったことがあった。これに備え今回は、体験者を補助するスタッフを配置した。博物館で開催する場合、展示室での体験が想起されるが、こうした事故へのリスクマネージメントが必要である。

おわりに

以上、博物館においてVRを利用した発掘調査現場を体感する試みについて述べてきた。

今後は、共同編集、閲覧、VR 等による多人数が関わる利用のように、多くの人たちが発掘調査現場の情報を「共有」できるような展開を考えていきたい。

出土した遺物に触れる所作
（コンテンツ1）

親子連れの体験
（コンテンツ2）

首をひねって覗き込む体験者
（コンテンツ2）

【謝辞】 本研究の一部が、JSPC 科学研究費（課題番号:16H03517 研究代表者:加藤和歳）の助成を受けたものである。

デジタルカメラによる赤外線撮影の試み　横穴墓を対象として

Preliminary report of infrared photography using digital camera for tunnel tomb

○石松　直（熊本県玉名市教育委員会）
○ISHIMATSU　Tadashi（Tamana City Board of Education,Kumamoto Prefecture）

1. はじめに

考古学調査における記録作業は、その記録が恣意的でなく、客観的に記録するということが一番重要である。調査の記録は紙に文字やスケッチで記されることに始まり実測図に発展している。しかし目視による観察は人により技量が異なり、図面などでは表現できないことも多い。そこで 19 世紀中頃から普及している写真撮影によって記録の補完が行われている。

写真撮影は、従来から行われている可視光線撮影の他に赤外線撮影など多種多様な撮影方法がある。赤外線撮影は可視光線を吸収し赤外線を透過するフィルターを通すもので、古文書や美術品などに有効で、古くから用いられている。

以前、宮内庁正倉院事務所の北田氏の研究をヒントに石貫ナギノ 8 号横穴墓で撮影を行ったが、画像が荒いことや画像変換するなど全く恣意的でないと言えないので、機材も一新して撮影を行った。

2. 撮影環境と使用機材について

今回の撮影対象は、玉名市に存在する石貫ナギノ 8 号横穴墓であるが、比較のため可視光線と赤外線撮影を行っている。撮影は SIGMA の一眼デジタルカメラで撮影を行い、RAW 現像ソフト SIGMA Photo Pro を使用し、TIFF に現像処理している。

SIGMA の一眼デジタルカメラは、本体にある赤外線カットフィルターを兼ねたダストフィルターを外し、レンズの先に赤外線フィルターを装着するという小改造で赤外線撮影を行うことが可能である。ただし、ダストフィルターを外して撮影するので、センサーに埃が付着することには注意を払う必要がある。フィルターは今後保護施設で撮影することを想定し、ガラスフィルターを使用している。

使用カメラ SIGMA SD Quattro H

赤外線フィルター　ケンコー製 PRO 1D R72

3. 撮影結果

可視光線撮影と赤外線撮影を比較すると、従来確認しにくい部分を観察することができている。特に二段目の飾縁部分の同心円がよりはっきりと確認することができている。しかし大正時代の京都大学の調査や、昭和 40 年の熊本県の総合調査において確認することができていた別の飾縁部分の装飾は確認することができなかった。

可視光線撮影

赤外線撮影

4. まとめ

今回実験した赤外線撮影は、こうした装飾古墳の分かりにくくなってしまった装飾を知ることのできる手がかりになるのではないだろうかと考える。

以前のようなフィルム撮影と異なり、デジタル撮影という SD カードなど記録媒体の制限が許す限り撮影することは可能で、比較的安価でデータをいち早く取得・確認することができ、撮影に失敗するというリスクを大幅に減らすというメリットを活かすことができる。

しかし、今回モニターで確認しながら撮影を行っているが、細かいドット単位では焦点が微妙にずれており、これを解消することが今後の課題である。

【参考文献】

熊 本 県 1984 「熊本県装飾古墳総合調査報告」『熊本県文化財調査報告』第 68 集
三井　猛 2010 「特殊光撮影による非破壊検査」『文化財の壺』創刊号 文化財方法論研究会
北田仁司 2012 「デジタル一眼レフカメラによる近赤外線撮影 2」『文化財写真研究』第 3 号
北田仁司 2014 「デジタル一眼レフカメラによる近赤外線撮影 3」『文化財写真研究』第 5 号
三井　猛 2018 「トータルステーションと SfM/MVS による仏教岩窟遺構の 3 次元計測と記録」『文化財の壺』第 6 号 文化財方法論研究会
石松　直 2019 「赤外線撮影による文化財非破壊調査の試み」『歴史玉名』第 88 号
石松　直 2019 「赤外線撮影による装飾古墳の非破壊調査」『文化財の壺』第 7 号

色差分析・調整による損傷木簡解読のための改善方法の研究

Improvement of decoding characters from damaged wooden tablets by color difference analysis and adjustment

○柳成煜（奈良文化財研究所）、兪祐植（WaferMasters, Inc., California, USA）

○Sungwook RYU（Nara National Research Institute for Cultural Properties）、

Woo Sik YOO（WaferMasters, Inc., California, USA）

１．はじめに

奈良県の平城京では発掘が始まって以来、現在まで大量の木簡が出土している。木簡は古代の政治、経済、社会など当時の生活像が把握できる重要な文献史料であり、奈良文化財研究所では木簡に記録された文字情報を解読する研究が行われている。しかし、出土する木簡は約 1300 年の経年による木材部の劣化や損傷から、文字の認識に難点を持つ場合も多い。現在は赤外線カメラを用いた画像撮影による詳細解読が実施されているが、長時間の追加作業を要している。また、追加撮影時、水中保管状態の木簡が再び大気中に露出され、乾燥することを防ぐためにも新たな方法の検討が必要である。

本研究では、木材部の深刻な損傷により、文字の目視認識が不可能な木簡を対象に、イメージ分析ソフトウェアを用いた色差分析・調整による損傷木簡の解読のための改善方法を研究することを目標とする。

２．調査対象

調査対象は、奈良文化財研究所所蔵の平城宮内裏北方官衙地区より出土した木簡である。表・裏面ともに下端を中心として木材の損傷が深刻であり、目視では文字の判読が不可能な部分が多くみられる。

３．調査方法

工学用イメージ解析ソフトウェア（PicMan, WaferMasters Inc., USA）を用いた 2 次元画像データの加工と処理を行った。本研究では、2 次元画像に対する色相(hue)、彩度(saturation)、明度(value)の変更による文字可読性の向上、仮想超分光イメージ(Virtual Hyperspectral Image)機能を用いた RGB・CMY データの抽出および可視光線の波長別の可読性の比較を試みた。また、スケールとソフトウェアの面積計算機能を用いて寸法測定を試みた。

４．調査結果及び考察

調査対象の木簡を色相および明度を基準としてグレースケールに変換したときは、有意義な結果が得られなかった。明度を基準に変換した場合は白黒写真と同様の結果となり、色相を基準に変換した場合はかえって判読が困難になった。しかし、彩度を基準として変換した結果では、木材損傷部の文字が読み取り可能な水準に向上し、木簡の赤外線撮影画像に相当する結果が得られた。仮想超分光イメージ機能を用いた可視光波長別可読性の調査では、RGB および CMY 情報の分析結果、Cyan と Yellow の成分に分離した画像から最も高い可読性が得られた。木簡の可視光線の波長別の調査では 600nm 領域で最も鮮明に文字が観察された。600nm の Red 領域で高い可読性を示した。今回の調査結果は、木簡の木材部が Red の成分での変化が大きかったことを意味する。RGB および CMY 情報、可視光領域の波長別可読性のいずれの場合も、分析前に彩

度を基準にグレースケールを変更した方がより高い可読性が得られた。ソフトウェアの面積の自動計算機能により測定した木簡の面積は 16,919.68 ㎟であった。

５．結論と課題

本研究では損傷木簡を対象に彩度、明度、色相の数値の変更、RGB・CMYおよび可視光領域の波長別情報分析による文字解読の向上を試みた。その結果、彩度変更を実施した際に文字情報が最も鮮明に現れ、損傷した部分に存在する文字の解読も一部可能となった。

本調査では、2次元画像の加工により、赤外線撮影画像に相当する解析能力が得られることが確認できた。この成果はハードウェア的なインフラを備えていない機関や個人においても、ソフトウェアにより深層的なイメージ解析が可能になることに意義がある。しかし、現段階では実際の赤外線撮影画像に比べて解像度が低いことや文字の墨がほとんど残っていない部分についてはソフトウェアが検出できないケースも多い。今後の研究によるさらなる改善が期待される。

Fig.1 表面に損傷が確認された木簡の2次元画像

Fig.2 彩度(saturation) の変更による文字の確認

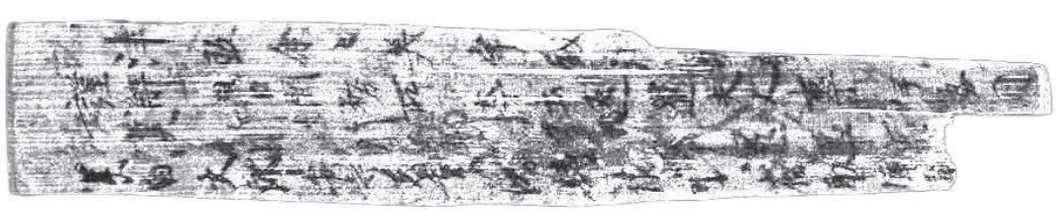


Fig.3 Fig2のコントラスト変更画像

No.	FreeRegion	X	Y	Rotation	Area	Unit
1	Free Region ID=3	607.5	613	0	16919.68	mm²

Table.1 ソフトウェアの自動面積計算による木簡全体の面積

謝辞　本研究にあたり奈良文化財研究所史料研究室の馬場基室長にご協力頂きました。厚く御礼申し上げます。

中国義県・奉国寺大雄殿に描かれた壁画のハイパースペクトル画像解析

Hyperspectral imaging analysis on the mural paintings depicted in Daxiong Hall of Fengguo temple, Yixian, China

○末森薫（国立民族学博物館）、劉成（西北大学）、王珺（西北大学）、
劉逸堃（北京大学）、安室喜弘（関西大学）
○SUEMORI Kaoru (National Museum of Ethnology, Osaka, Japan),
LIU Cheng, WANG Jun (Northwestern University, China),
LIU Yikun (Peking University), YASUMURO Yoshihiro (Kansai University)

1. はじめに

中国遼寧省義県にある奉国寺の大雄殿は、遼の開泰九（1020）年建立とされる寄棟造の寺院建築である。殿内の内壁には元代制作の壁画が残存するが、1980 年代後半の修理に伴い新たな保存上の課題が生まれており、義県文物局と西北大学は 2016 年より内壁壁画の保存修復を主たる目的する調査・研究を進めてきた[1)]。2019 年からは、ハイパースペクトル画像（Hyperspectral Image。以下 HSI）を用いた調査を進めている。HSI は、画像情報と波長情報を有する三次元データであり、生態学、海洋学、地質学などの分野で応用が進められてきた。近年では、絵画をはじめ文化財への応用も進められており、不明瞭な図像や修復箇所の可視化、使用材料の推定、劣化診断などに用いられている[2)]。本発表では、奉国寺大雄殿の南壁西端に位置する十一面観音図を対象に取得した HSI の解析結果の一部を報告する（図 1）。

図 1 奉国寺大雄殿南壁西　十一面観音像
赤外反射画像（極大波長 850nm 光源照射）

2. ハイパースペクトル撮影・解析の概要

HSI の取得には、波長分解能は 2.1nm（波長帯数 281）、900 画素のラインセンサーカメラ Pika L(RESONON 社)を用い、PC と連動する回転スキャニングステージに固定して撮像をおこなった。撮像対象とカメラの距離は 1～3m、ハロゲン灯 2 灯を光源とした。可視域から近赤外域（400nm～1000nm）を測定範囲とするが、両端は感度の影響によりノイズが多くなるため、解析では 500nm～900nm を用いた（図 2）。解析には、Spectronon Pro(RESONON 社)に内蔵された各種のアルゴリズムを用いた。以下では、バンド比（Band Ratio）および正規化分光指数（Normalized Different Spectral Index）を用いた解析結果を報告する。

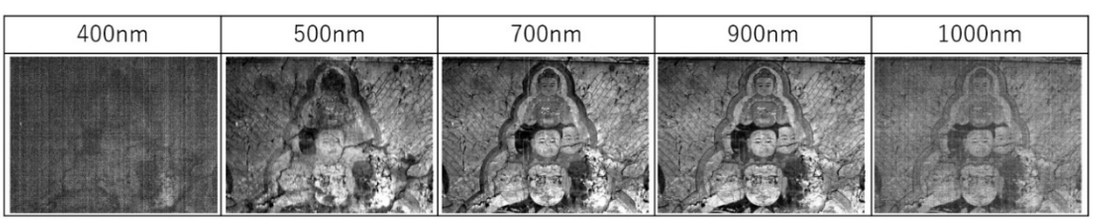


図 2　十一面観音像（部分）　HSI 単バンド図

3. バンド比（Band Ratio）を用いた解析結果

HSI の各波長帯には、異なる反射・吸収スペクトル情報が記録されている。バンド比は、任意の 2 つの波長帯の数値比を演算したアルゴリズムである。図 3 左は、500、600、700、800、900nm の各波長帯の比を演算し画像化した結果である。図 3 右は 500nm のデータを分子、800nm のデータを分母として演算した画像であり、例えば、十一面観音の顔部の線描や、その左右の手指の間に描かれた目の配置などを明瞭に捉えることができる。

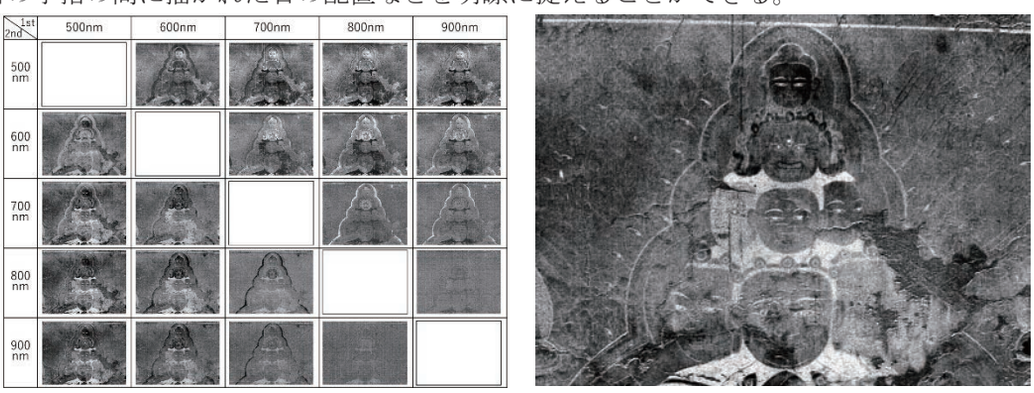


図 3　十一面観音像（部分）　HSI バンド比解析事例（左：解析画像比較、右：500/800nm）

4. 正規化分光指数（Normalized Different Spectral Index）を用いた解析結果

正規化分光指数は、ある 2 つの波長帯の差分値を正規化した値であり、リモートセンシングによる植生や水域の分布確認などに用いられるアルゴリズムである。図 4 左は 500、600、700、800、900nm の各波長帯の差分値を正規化し、画像化したものである。図 4 右は 800nm のデータから 600nm のデータを減算し、正規化した画像であり、例えば、上から二つの顔部には、異物の付着あるいは変退色等と推定される劣化現象が輝度差としてあらわれている。

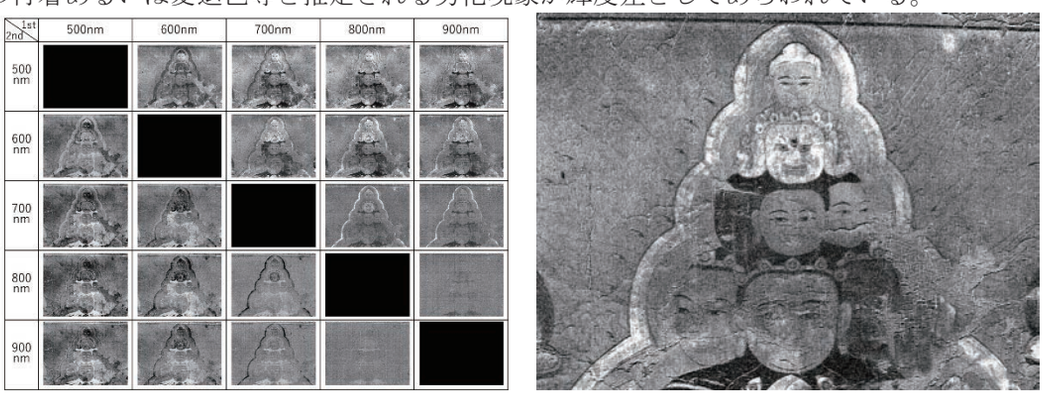


図 4　十一面観音像（部分）　HSI 正規化分光指数解析事例（左：解析画像比較、右：800－600nm）

5. おわりに

本発表ではバンド比と正規化分光指数という、各波長帯の数値を演算するアルゴリズムを用いた解析事例を報告した。HSI の解析には、その他にもさまざまなアルゴリズムが用いられており、壁画が有する情報を可視化する方法として多くの可能性を有している。

［備考・謝辞］本発表は JSPS 科研費（JP19H01364）による研究成果の一部である。調査をおこなうにあたっては王飛氏、康海鷹氏をはじめ義県文物局の方々のご助力を賜った。記して、御礼申しあげる。

［註］1) Liu,C., K. Suemori et al.　Deterioration Caused by A New Support Layer Bonded with Epoxy Adhesive to the Mural Paintings at Fengguo Temple in Yixian, Liaoning, China. *Studies in Conservation supplement: IIC 2020 congress preprints,* 2020. 末森薫、劉成、王飛、孫剣、松井敏也「中国遼寧省義県・奉国寺大雄殿に描かれた壁画の光学撮影調査」『日本文化財科学会第 36 回大会　研究発表要旨集』pp. 92-93、2019 年。2）Zhang, Q., J. Wang, Sun. Z, Peng. J, Liang. H.,　A method for the analysis of spectral imaging data from Tang tomb murals, Proc. *SPIE Optics for Arts, Architecture, and Archaeology VII*, 2019.などがある。

エジプト新王国時代ビーズ付き布の考古化学分析

Analysis of an Egyptian blue beaded cloth from Kyoto University Museum

○横山　操（京都大学）、白勢洋平（愛媛大学）、村上由美子（京都大学）
○Misao YOKOYAMA, Yohei SHIROSE, Yumiko MURAKAMI

1. はじめに

著者らは、エジプト遺跡出土織物資料を対象として、材料学を軸とする研究成果を踏まえた新たなデータベース構築を目指している。本研究では、ビーズ付き、と記載・分類されているエジプト遺跡出土織物について、繊維調査および加飾されているビーズの非破壊分析を行った。ここではX線回折装置によるビーズの組成分析の結果を中心に報告する。

2. 資料

京都大学総合博物館エジプト出土資料　布（京都大学総合博物館エジプト出土資料登録番号５７９：英語登録表記・Cloth with beads）は、新王国時代（第18王朝）デル・エル・バハリ(DIEL-EL-BAHALI)出土、エジプト探査基金EEFからの寄贈資料である。

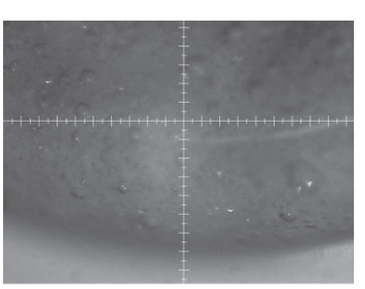
原寸で約10 cm四方、経糸・緯糸ともに亜麻、亜麻布の織密度は29 x 7（per cm）である。布の片端にフリンジがあり、フリンジの一部に青色の小玉（ビーズ）を5個つける。ビーズ直径は約2 mm であった。フリンジから剥落したビーズ一点を、観察および非破壊分析に供した。

3. 実験方法

実体顕微鏡による観察、および微小領域分析用のX線回折装置を用いた分析を行った。X線回折装置は九州大学理学部設置のリガク製湾曲イメージングプレートX線回折装置RINT RAPIDIIを使用した。X線はCuKα、管電圧40kV、管電流30mAの条件で、0.3 mm径のコリメータを用いた。

4. 結果

実態顕微鏡下での観察の結果、ビーズの表面は青色から無色透明のガラス光沢であり、直径300 μm以下の気泡が非常に多く含まれている。このような組織は天然の鉱物結晶中には存在しないため、人工的な処理がなされた物質であることがわかる。(右図)



微小領域分析用のX線回折装置による分析の結果、石英（SiO_2）が多く含まれていることがわかり、石英を焼結させたファイアンスからなることが示唆された。cuprrivaite（$CaCuSi_4O_{10}$）などの銅の珪酸塩鉱物のピークは確認できなかったが、少量の方解石（$CaCO_3$）の含有が確認された。予察的に行ったX線顕微鏡を用いた化学分析からはケイ素（Si）はもちろんのこと、銅（Cu）やカリウム（K）の含有が確認できている。銅がcuprrivaiteとして含有されているのか、ガラスのような非晶質部に含有されているのかについては、今後より詳細な研究が必要である。

また、実態顕微鏡下でのファイアンスの観察においても、光沢感があり透明度の高い表面部と、やや白濁した内部においては明らかに組織や肉眼的特徴が異なり、今後、マイクロX線CTなどを用いた三次元的な構造の把握が求められる。

5. まとめ

ビーズについては、考古学上の形式分類に則り、目視による色や形状の記載はなされるが、その素材について、これまで、自然科学的手法に基づく分類は十分には行われていなかった。石・ガラス・ファイアンスなどの記載も、肉眼での識別によるものであり、鉱物学および組成分析科学に基づく根拠が明示される事例は多くはなかった。

ファイアンス *Faience* とは、石英を主成分とする焼き物であるが、その定義は今尚議論の俎上である。エジプト・ファイアンス製ビーズは、種々の遺跡から、装身具として発掘報告されているが、その化学組成や焼成技術についての差異詳細は論じられていない。ファイアンスの作成における、釉薬原料を調合・熔融しガラス状の小塊にする技術 (flit) は、新王国時代（第１８王朝）以前には確認されておらず、古代エジプトの装身具研究において、ビーズ製作技法の通時的変化を検討する上でも、デル・エル・バハリ(DIEL-EL-BAHALI)出土、新王国時代（第１８王朝）のファイアンス製ビーズの科学分析による知見は極めて重要である。

今後、銅がcuprrivaiteとして含有されているのか、ガラスのような非晶質部に含有されているのか等の詳細を検討することにより、エジプシャン・ブルー Egyptian blue と呼ばれる顔料やファイアンス・ビーズの技法について考察を加えるとともに、ビーズ単体としてのみでなく、ビーズが亜麻布の経糸フリンジの装飾として用いられていることに注目し、今後、織物の製作年代や製作技法と合わせて検討したいと考えている。

エジプト遺跡出土織物資料データベースにおいては、CIETA(CENTRE INTERNATIONAL D'ETUDE DES TEXTILES ANCIENS)をはじめとする織物にかんする繊維素材や文様などの調査項目に加え、装飾ビーズなど無機質素材の分析結果を項目に含めることにより、素材や技法とその変遷理解に寄与したいと考えている。

謝辞：本研究の遂行において、大妻女子大学・遠藤利恵博士から貴重なご教示をいただいた。本研究は、JSPS科学研究費・挑戦的研究（萌芽）「エジプト遺跡出土織物資料データベース構築ー京都モデルの提案」（研究代表者・横山　操、19K21650）の成果の一部である。

エジプト中王国時代ミイラ布断片の繊維分析

Analysis of a mummy cloth fragment from Kyoto University Museum

○横山　操（京都大学）、高谷　光（京都大学）
○Misao YOKOYAMA, Hikaru TAKAYA

1. はじめに

エジプト遺跡出土織物資料を対象として、材料学を軸とする研究成果を踏まえた新たなデータベース構築を目指している。これまで、放射性炭素年代測定、分光学に基づく染料分析などにより、従来は目視で判断されることの多かったコプト織物について、その制作年代や素材情報の精査と資料理解に努めてきた。ここではエジプト遺跡出土織物資料のミイラ布を対象とし、その糸と繊維について、放射光蛍光 X 線画像および電子顕微鏡画像によって得られた結果を中心に報告する。

2. 資料：ミイラ布　a fragment of mummy cloth

対象としたミイラ布は、京都大学初代考古学研究室教授 濱田耕作により、EEF（エジプト探査基金）を通じて寄贈された資料（京都大学総合博物館エジプト出土資料　資料番号６３３）である。資料目録では、年代不詳・ 出土地不明とされている。

図１　ミイラ布概観（資料目録より転載）

前報において、ミイラ布断片の糸の放射性炭素年代測定を行うことにより、紀元前 2100 年前後、すなわちエジプト中王国時代の資料であることを明らかにした[*1]。

法量は 40cm×190cm であり、布の片側に織耳があるが、仕立ての形跡やフリンジはなく、織機で織った布をおよそ縦半分に裂かれたものと推察される。この形態からは、ミイラそのものを直接被覆していた布であるよりも、埋葬にあたり、いわば梱包緩衝材のように棺内で用いられていたであろうことが推測される。今なお光沢感を残す、非常に繊細な亜麻布である。

3. 実験

ミイラ布の織物を構成する糸とその繊維の特徴を明らかにすることを目的として、USB デジタル顕微鏡（スリー・アールシステム株式会社）での観察、堀場製作所製顕微ラマン分校装置 LabRAM HR-Evolution を用いて顕微ラマン分光測定を行った。放射光 X 線による撮像は、（公財）高輝度光科学研究センター 放射光蛍光 X 線分析 XRF ビームライン BL20XU および BL47XU を利用した。

4. 結果

図２に、ミイラ布の USB デジタル顕微鏡による画像を示す。経糸、緯糸共に S 撚の亜麻による平織であり、織密度は 36×20 (per cm) であった。顕微鏡画像から、織物全体として、やや赤みがかっていることが分かる。

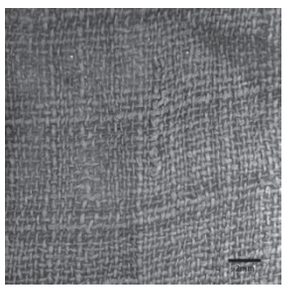


図２ ミイラ布 顕微鏡写真

一方、顕微レーザーラマン分光測定によるミイラ布断片の糸の画像から、亜麻糸の見かけの直径は約 270 μm であることを確認した。また、糸の赤色部分のポイント測定スペクトルにおいて確認できたラマンバンドは、酸化鉄(Fe_2O_3)と一致した。ミイラ布に対する染色および着色の詳細については、今後の検討が必要である。

図３に、ミイラ布断片の経糸について、放射光 X 線画像を示す。この撮像範囲は、経糸断面における限られた一部の観察となる。繊維断面は角張っており、細胞壁は厚く、ルーメンが明瞭に現れる繊維細胞の特徴から、亜麻の靭皮繊維（フラックス）であることが確認できた。これより、靭皮繊維一本の断面径（長径）は、およそ 10〜15 μm であることが示された。

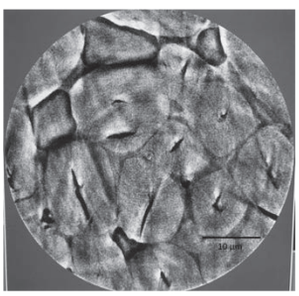


図３ ミイラ布放射光 X 線画像

5. まとめ

エジプト文明における、亜麻の栽培、亜麻から糸を績み、紡ぎ、精巧な織物を産出する生業については、種々の壁画にもその様相が認められる。また、大プリニウスの博物誌には、亜麻がエジプトの主要交易品の一つであったことが記されている。さらに、近年、放射性炭素年代測定によってエジプト初期王朝時代の製作であることが確認されたリネン製ドレス[*2]からも、エジプト王朝時代に亜麻織物にかんする高い技術があったことが示唆されている。

しかしながら、エジプト王朝時代における亜麻の製糸や織布についての詳細は、今なお不明な点が多い。放射性炭素年代測定によりエジプト中王国時代に制作されたことを明らかにしたミイラ布について、その亜麻布の織組織、糸、および靭皮繊維それぞれの素材情報は、亜麻の靭皮繊維から、糸を績み、紡ぐ工程、織布の技法、織機にかんする総合的な理解のためにも、極めて重要である。今後、エジプト出土織物のデータベース構築においても、これらの情報の蓄積に努めたいと考えている。

謝辞　本研究の遂行において、顕微レーザーラマン分光測定について協力を得た株式会社堀場テクノサービス　磯瑛司氏、株式会社堀場製作所 内原博博士、井上貴仁氏、ミイラ布について貴重なご教示を得たメトロポリタン美術館名誉館員 梶谷宣子先生、大妻女子大学 遠藤利恵博士の各位に謝意を表します。本研究は、大型放射光施設 SPring-8 課題番号 2020A0947 および JSPS 科学研究費・挑戦的研究（萌芽）（19K21650）による成果の一部である。

引用文献　[*1]横山　操、坂本　稔、遠藤利恵、村上由美子、エジプト考古繊維遺物の年代測定、日本文化財科学会第 35 回大会要旨集（2018 年東京藝術大学）[*2] Alice Stevenson & Michael W. Dee, Confirmation of the world’s oldest woven garment: the Tarkhan Dress, Antiquity, Issue 349, Volume 90, 2016

文化財の多様な記録を結ぶ超域情報基盤の検討

Interdisciplinary information infrastructure for various records of cultural properties

◯山口欧志（奈良文化財研究所）
◯YAMAGUCHI Hiroshi (Nara National Institute for cultural properties)

ポスター発表

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

1. はじめに

将来にわたり、文化財を残し伝えてゆくためには、文化財の調査研究・保存保護・活用をバランス良く推進する必要がある。そのためにはそれら様々な領域の情報を集約し、管理し、分析、可視化することが今後ますます重要になると考える。

文化財に関する情報は、様々な分野で記録、分析、管理、活用されている。たとえば年代測定、古環境、材質・技法、産地、保存科学、地中物理探査、文化財防災といった文化財科学分野だけでなく、情報科学や総合工学の分野、そして教育や観光など一般社会など、様々な場面で文化財情報は扱われている。

本研究では、まず文化財に関わる情報にはどのようなものがあるのかを改めて整理し、どのようにまとめることができる可能性があるか、またいかような方法で可視化できるかを検討する。

本研究は、学術分野や分析手法、対象地域や時代等によってバラバラになりがちな情報をまとめようとする試行である。文化財に関わる情報をまとめる方法は持続可能なものであり、また文化財に携わる多くの者や機関が導入できることを目指す。そしてまとめられた情報は文化資源として可能な限り多くの人々が様々な場面や目的でアクセスできることを指向する。

2. 背景

モノやコトの計測や計測データの活用に ICT を導入し、業務の基盤に据える分野は急速に増加している。土木建築の業界ではすでに ICT の全面的な活用（ICT 土工）に移行した。地方公共団体は総務省のスマート自治体構想の推進によって、ICT を活用した電子自治体や自治体クラウドの実現が進む。学校教育では 2020 年度からの新学習指導要領完全実施にともない ICT を活用した教育が始まった。内閣府が推進する Society5.0 では、様々な分野でのデジタル記録とその活用は、目指す社会を実現させる前提としている。

文化財の分野では、これまでもデジタル記録は進められてきたが、計測機器の高度化・高精細化にともない、取得されるデータ量も増加している。そして全国の地方自治体や博物館・資料館・大学等では文化財の三次元記録とその活用の需要が高まっている。さらには文化財の記録やデータの活用方法の普及について、強く関心もつ海外の研究機関も多い。

こうした背景の下、文化財の情報に関する管理・活用に関する先行研究も蓄積されている

（津村・寺村 2005、寺村 2017、福井・渡部 2016、奈良文化財研究所 2020 など）。

4. 文化財情報の特性

文化財に関する情報とは、文化財とこれに関わる事象を説明するものといえる。具体的にはテキスト、点群、ピクセル、ボクセル、音声、動画、物性値、そして記録や分析に関するメタデータなどがあり、しかも時の経過により再度計測すれば値が変化する情報もある点にある。

1 点の資料に対して、複数の種類の情報、次元や性格の異なる情報が有り、しかも数度情報を取得したとなれば複数のバージョンが発生する。

また視点を資料に中心を据えるならば例えば発掘された資料のばあい、発掘、応急処置、保存・修復処置、展示／保管といったそれぞれの場面で情報の記録作業が有り、その分析・管理・蓄積も加わる。文化財に関する情報は、ますます膨大になるといえる。

そして文化財の情報は、文化財の研究者が研究目的で用いるだけではなく、教育や観光など様々な場面でより多くの人々が求めていることは先に述べた通りである。

5. 必要な情報基盤

こうした特性を有する情報を扱うなら、収集した情報をすべてまとめて扱うことが可能な情報基盤が必須となる。すでに数値や画像そして発掘調査報告書等をメインコンテンツにした情報基盤は存在し、調査研究や教育・防災などを目的に多くの人に利用されている。さらに発展させ、三次元モデルやボクセルデータ、保存処理の前後等時系列的な変化までも含め自由に往還でき、バージョン管理が容易で、機械判読可能なデータ形式であり、誰もがアクセス可能なインターネット上に構築された仕組みは不要だろうか。

実現のためには情報基盤のセキュリティーやコンテンツのライセンス、多様な情報の連携方法や可視化の方法等を詳細に詰める必要があるが、文化財を将来に伝えるための 1 つの試行として、検討する価値はあると考える。今後具体的な情報基盤の試作に向けて取り組みたい。

・参考文献

1. 早川泰弘・高妻洋成、文化財分析、分析化学実技シリーズ　応用分析編 7、pp1-100、2018
2. 津村宏臣・寺村裕史、考古学・文化財科学における“情報”とはなにか―時空間情報科学としての理論化の Perspective、日本情報考古学会第 20 回大会発表要旨、pp. 79-85、2005
3. 寺村裕史、情報考古学的手法を用いた文化資源情報のデジタル化とその活用、国立民族学博物館研究報告、42 巻 1 号、pp. 1-47、2017
4. 福井弘道・渡部展也、埋蔵文化財の情報基盤、日本不動産学会誌、30 巻 3 号、 pp. 56-63、2016
5. 奈良文化財研究所、デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 2－オープンサイエンス・データ長期保管・知的財産権・GIS－、pp. 1-236、2020

文化財建造物における障壁画の保存・公開に関する研究
-設置環境下における模擬戸襖内温湿度の年間分析-

Study on conservation and exhibition of Wall Paintings in Cultural Properties
-Annual analysis of current temperature and humidity behavior in simulated Tobusuma sliding doors under installation environment –

○陶器美詠（京都大学）、小椋大輔（同左）、岡村知明（京都市）、伊庭千恵美（京都大学）
○MieTOKI, DaisukeOGURA(Kyoto University), TomoakiOKAMURA(City of Kyoto),
ChiemiIBA(Kyoto University)

1. はじめに

文化財建造物内部に設置される障壁画の設置環境は、温湿度や日照等の変動が大きい。一方、障壁画の置かれている温湿度の測定やそれと劣化現象の関係の分析を行った事例[1-3]はあるが、障壁画そのものの温湿度の測定や解析的検討はなされていない。本研究の目的は、文化財建造物内部で保存・公開されている障壁画の劣化現象の発生メカニズムを解明し、障壁画の適切な保存・公開方法を提案することである。本研究では、二条城本丸御殿戸襖を対象とする。戸襖はその両側の空間の環境の影響をそれぞれ受ける。戸襖の障壁画は修復時に支持体の交換が可能であるが、温湿度等の環境条件の違いが戸襖や各部材に与える劣化現象は明らかとなっていない。本報告では、まず戸襖内の温湿度環境に注目し、模擬的な障壁画として支持体の異なる複数の戸襖を作成し、二条城本丸御殿の実環境下に設置した。年間を通した戸襖内温湿度測定の結果、屋内外の温湿度や戸襖内温湿度の関係、支持体の違いによる戸襖内環境差について検討を行う。

2. 戸襖および模擬試験体の概要

本報告の対象である戸襖は、二条城本丸御殿の雁の間に位置し、外壁の役割も果たす障壁画である。戸襖は框、綿板、舞良桟、本紙及び支持体で構成されている （写真 1)。現在の支持体は 1982 年の修理で取り換えられたものである。和紙で下貼りをしているのが通常の仕様であるが、戸襖が外部に面しており雨染み等の損傷がひどかったため和紙がベニヤに置き換えられた。以下、框を外枠、綿板を外板と呼ぶ。1982 年の修理の際、支持体にベニヤを使用していたが、ベニヤの状態が良くなかったため、支持体の違いによる戸襖内温湿度の影響を確認する目的でポリカーボネート(以下ポリカ)、カーボンを加えて、3 体の模擬戸襖を作成し実環境下に設置した。

3. 屋内外の測定結果および考察

2019 年 9 月から現在まで、外気温湿度、室内温湿度、各試験体戸襖外表面・室内表面温度、外板と支持板の間の空間温度、支持体と本紙の間の空間温湿度を測定間隔 10 分で計測している (図 1.2)。2019 年 9 月と 2020 年 1 月の測定結果を比較すると （図省略） 温湿度共に、屋外変化に追随して変動しているが、室内は屋外に比べて日変動幅が大幅に小さい。また温度と相対湿度共に、室内の変動は屋外から位相が遅れて追随する。次に絶対湿度を比較すると、9 月 （夏） では、屋外, 室内共に絶対湿度の日変動が約 1-2[kg/kg’]程度あるが 1 月 (冬) では両者とも日変動はほとんどない。

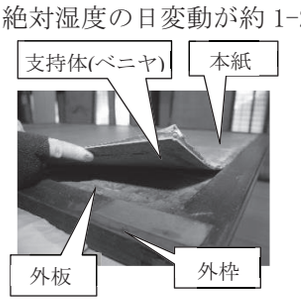


写真 1 戸襖構成

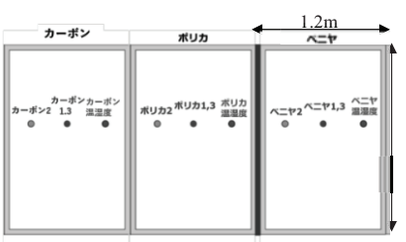


図 1 試験体概要

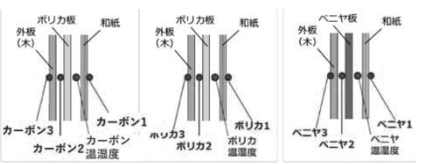


図２　温湿度センサ挿入箇所

4. 従来使用のベニヤ支持体の各計測地点温度比較

支持体がベニヤの模擬戸襖の 2019 年 9 月 3 日-7 日(図 3)、2020 年 1 月 1 日-5 日(図 4)の各計測位置での戸襖内温度の測定結果より、日中は外から内の計測点順に温度が低くなり、戸襖内各位置での温度は外気温の影響を大きく受ける。9 月（夏）日中は外板の表面温度は外気温よりも高くなり、試験体の実環境下での設置場所が北向きであることを考慮すると、天空日射の影響と考えられる。1 月（冬）では、外板表面温度が外気温を超す日はほとんどない。

5. 支持体同士の比較

図 5 に夏期（2019/9/3-7）の外板表面温度、図 6 に同時期の支持体紙間温度を示す。図 5 では支持体の違いによる大幅な温度差は見られないが、図 6 ではベニヤの日変動が最も小さい。これは各試験体の支持体の断熱性の違いが影響していると考えられる。

図 7,8 に夏期(2019/9/3-7)、冬期(2019/11/23-27)の各試験体支持体紙内空間での絶対湿度をそれぞれ示す。夏期の日中に、支持体紙間の空間の絶対湿度は室内や外気よりも高い（図 7)。この時期は日射により外板表面温度が外気および室内よりも高く、温度上昇に伴い材料中の吸着水分が脱着し空間へ供給されたためと考えられる。また、支持体の違いにより変動に位相差があり、ベニヤが他２つよりも若干早く変動している。これはベニヤの吸放湿性が影響を与えていると考えられる。冬期では、支持体紙間の絶対湿度は外気よりも低く室内よりも高い。

図 9 に夏期(2019/9/3-7)の各試験体支持体紙内空間での相対湿度を示す。支持体同士を比較すると、ベニヤの変動幅は他２つの試験体よりも小さい。これはポリカやカーボンには吸放湿性がないが、ベニヤは吸放湿性があることと、ベニヤが他２つより断熱性があることが関係していると考えられる。次に、図 10 に冬期(2019/11/23-27)の同空間相対湿度を示す。図よりベニヤの相対湿度はカーボンとほぼ一致する。これは冬期において支持体同士の比較による温度差および絶対湿度差がほとんどなくなるためである。その理由としては夏季と比較して、冬期は屋内外で温度差が小さく、更に外板表面温度は外気よりも低いため材料中から水分が隙間空間へ供給される量が小さくならずベニヤのもつ断熱性と吸放湿性の影響が抑えられるためと考えられる。

6. まとめ

本報告では、支持体の異なる 3 種の試験体を作成、実環境下に設置し、年間を通して温湿度計測を実施した。得られた主な結果は、1)室内外の温湿度関係は、 室内変動は屋外に追随して変化するがその変動幅は、屋外と比較して大幅に抑えられている。2)模擬戸襖内温度に関して、外板表面温度最大値が外気温最大値を上回る日が見られ、特に夏期は顕著である。3)支持体同士の空間温度比較よりベニヤは他２つより断熱性が高いと考えられる。絶対湿度に関しては、ベニヤの絶対湿度が、他２つより若干早く変動し、相対湿度の日変動幅は、ベニヤは他２つより小さいことが分かった。これは、上記で述べた支持体同士の温度の日変動幅の差とベニヤの吸放湿性に基づく絶対湿度位相差が要因であると考えられる。

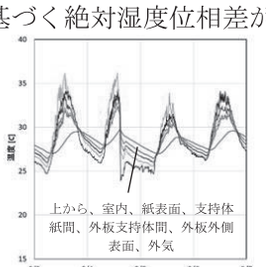


図 3 ベニヤ 9 月温度

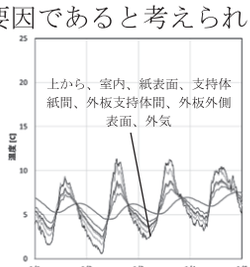


図 4 ベニヤ 1 月温度

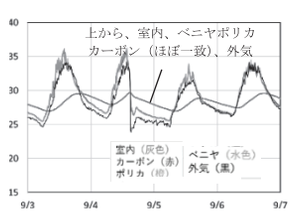


図 5 外板表面温度

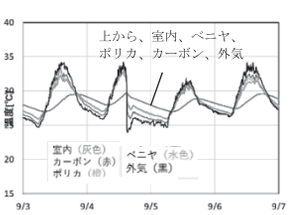


図 6 支持体紙間温度

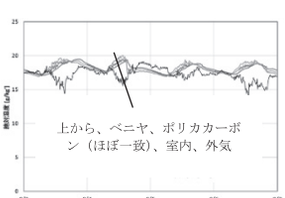


図 7 9 月絶対湿度

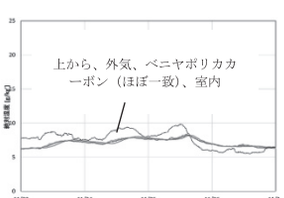


図 8 11 月絶対湿度

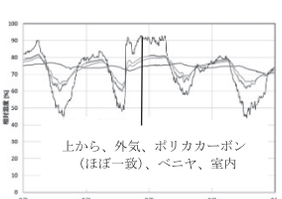


図 9 9 月相対湿度

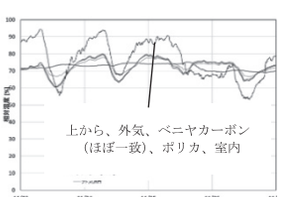


図 10 11 月相対湿度

謝辞　実測調査にあたり、京都市文化市民局元離宮二条城事務所のご協力を賜りました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

参考文献 1)植松みさと(2013)「文化財建造物における障壁画保存と公開手法に関する研究 1:文化財建造物における障壁画保存の現状」日本建築学会関東支部研究報告書集Ⅱ第 83 号 pp. 605-608　2)植松みさと(2013)「文化財建造物における障壁画保存と公開手法に関する研究 2:障壁画への保存対策の実態と課題」日本建築学会関東支部研究報告書集Ⅱ第 83 号 pp. 609-612　3)植松みさと(2015)「文化財建造物の室内環境と障壁画の経年劣化-水戸偕楽園内好文亭奥御殿を事例として-」日本建築学会計画系論文集 第 80 巻 第 707 号，pp. 213-220

法隆寺金堂収蔵庫における壁画の保存・公開に関する研究 —数値解析による小屋裏の吸放湿を用いた室の除湿による環境調整方法の検討—

Study on conservation and exhibition of burnt wall paintings in Main hall, in treasure house at Horyu-ji Temple - Investigation of environmental control method using a room-dehumidifying system with the adsorption and desorption property of the attic space by numerical analysis-

○和田拓也（京都大学）、小椋大輔（同左）、佐野千絵（東京文化財研究所）、
木川りか（九州国立博物館）、和田浩（東京国立博物館）、吉田直人（東京文化財研究所）、
鉾井修一（京都大学）、伊庭千恵美（同左）

○Takuya WADA, Daisuke OGURA(Kyoto University), Chie SANO(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Rika KIGAWA(Kyushu National Museum), Hiroshi WADA(Tokyo National Museum), Naoto YOSHIDA(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties),Shuichi HOKOI, Chiemi IBA(Kyoto University)

1. 研究の背景と目的　1949 年に法隆寺金堂は火災に見舞われ、同時に焼損した堂内壁画は他の文化財と共に金堂収蔵庫に保存された。現在、収蔵庫に空調設備はないが、今後一般に向けた公開を検討している。庫内ではカビ・文化財害虫の発生が懸念されており[1]、保存環境の改善や公開を想定した温湿度制御方法が必要とされている。本研究の目的は、収蔵庫に対し、カビ等による被害を抑制する建築的対策・環境調整方法の提案をすることである。本報告では、小屋裏を用いた除湿による高湿な収蔵庫の環境調整を目的として、既報[2,3]で再現性が確認された収蔵庫の熱水分解析モデルを用いて検討を行う。なお、本研究は、法隆寺金堂壁画保存活用委員会における調査の一環として保存環境 WG が行っているものである。

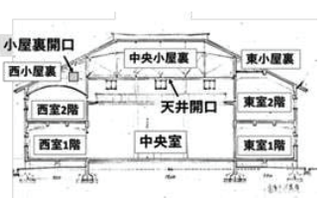


図 1 収蔵庫断面図

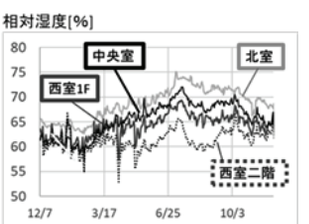


図 2 各室相対湿度(2017 年)

2. 収蔵庫内の温湿度と生物による文化財劣化を抑制する湿度環境　収蔵庫は中央室を中心に西・北・東に室を持っており、また各室それぞれに小屋裏を持つ（図 1)。いずれの室も RH55-70%程度を変動する(図 2)。カビの発生、一部の文化財害虫の繁殖を考慮すると、現状よりも低湿な RH50-60%の状態[6]に保たれることが望ましい。また、相対湿度の急変動は文化財表面上でひずみを生む可能性があり、庫内は恒湿であることが必要とされる。よって本研究では RH50-60%の湿度環境を庫内で安定的に実現することを目標とする。

3. 収蔵庫の熱水分解析モデル化[2)]　既報[2,3]と同じく収蔵庫を 10 室で構成し、壁体、地盤を 1 次元でモデル化し温湿度解析を行った。材料内の熱水分移動は熱水分同時移動方程式[7]を用いた。室の温湿度は 1 質点系の収支式より求めた。収蔵庫モデル・各壁体構成及び各物性は既報[2,3]と同じである。室間の開口部の換気量は圧力仮定法を用いて換気回路網解析[8]で求めた。

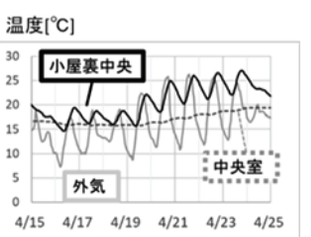


図 3 小屋裏の温度日変動

4. 小屋裏を用いた除湿システム　小屋裏を利用した除湿方法を検討するにあたって N. Areemit et al.[9]が用いた方法と同様の方法を用いる。屋根のコンクリート部材は、日射・放射の影響で日中上昇し、夜間に下降する(図 3)。それに伴い、温度が上がる日中は部材から放湿し、温度が下がる夜間は部材に吸湿される。その影響で日中小屋裏内の絶対湿度は上昇し、夜間に下降する。図 4 にシステムの概要を示す。屋根部材の放湿によって小屋裏の絶対湿度が外気よりも高くなる

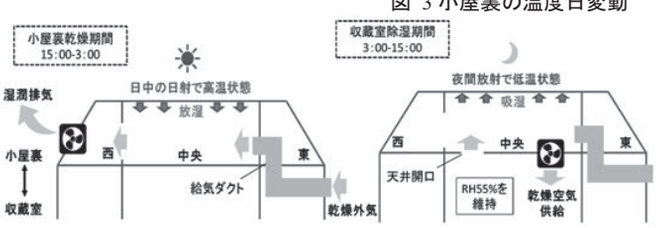


図 4　除湿システム図

時間帯に、西小屋裏開口から排気ファンによって小屋裏空気を排出、ダクトを通じて小屋裏に外気を供給し小屋裏を乾燥させる。小屋裏の絶対湿度が中央室を下回り、かつ中央室の相対湿度が 55%を上回る場合、天井に取り付けたファンによって小屋裏の空気を中央室に供給する。

5. 除湿システムを用いた解析計算

5. 1. 非公開時における計算結果 図 5-7 に除湿システムを用いた際の中央室と周辺室の相対湿度、温度、絶対湿度を示す。除湿を行うことで、中央室は RH53-55%で低湿かつ恒湿に保たれている。温度の変化は小さく、絶対湿度の低下によって低い相対湿度が保たれている。周辺室は RH60-65%と依然として高い。絶対湿度は、中央－各室間の隙間流量が少ないため、夏期には中央室では絶対湿度が低下しているが他室では低下していない。次に各室間の扉を開けた状態の計算結果を図 8, 9 に示す。扉開閉による温度の差は小さい（図省略）。相対湿度は、周辺室の平均値は低下はするが、値の変動は激しくなる。絶対湿度は、中央室を含む各室の値は同程度であり、扉を開くことで空気が混ざっていることがわかる。各室の温度の上下関係を踏まえる(図 6)と北室・西室 1 階の温度は年間を通して中央室よりも低くなるため、中央室が RH55%になるような絶対湿度の空気が中央室よりも温度の低い室に供給されると、RH55%以上となる。そのため中央室で制御された空気を用いて周辺室の除湿を行うには、中央室と各室の温度差を小さくする必要がある。

5. 2. 公開時における計算結果 収蔵庫に入室があった場合の検討を行った。入室期間は 4/1-30 で 9-14 時の間に中央室・西室 1 階に 10 人が常に滞在している状態を想定した。入室を考慮した場合の結果を図 10 に示す。入室時、中央室－西室 1 階間の扉を閉めている場合（以下入室あり 1)、中央室では除湿により相対湿度の上昇が低減されるが、西室 1 階では水分が蓄積し続ける。扉を開けている場合（以下入室あり 2）では、入室期間に中央室での湿度上昇がみられるが、入室終了後、入室のない場合の相対湿度はほぼ同程度にまで低下し、水分が蓄積していないと考えられる。

6. 結論 本研究では数値解析により法隆寺金堂収蔵庫における湿度環境の改善を検討し、以下の結果を得た。１．屋根部材の吸放湿を利用し、小屋裏を乾燥させ、乾燥空気を循環させることで室を低湿に保つことを考えた。中央室のみを除湿する場合、室を低湿かつ恒湿に保つことができた。中央室と同時に他室の除湿を行う場合、現状の小屋裏が持つ除湿能力だけでは全室を賄いきれず、低湿度を保つことは難しい。また、室間の空気を交換する場合、各室の温度差によって安定する相対湿度の値が異なる。２.春期において入室がある場合、常時 10 人程度の入室の条件のもとでは本除湿システムによって中央室の湿度上昇を抑えることが可能である。また、他室にも同時に入室があった場合も湿度制御を行うことは可能であるが、中央室の湿度環境が不安定になる恐れがある。以上から、収蔵庫全体を低湿に保つには各室の温度差を小さくするため室毎の補助的な空調設備等による環境調整が必要になると考えられる。

参考文献 1) 文化庁：法隆寺金堂壁画保存活用委員会について, 古墳壁画の保存活用に関する検討会（第 19 回）, 資料 7, 2016, 2) 藤原良輔:ら：法隆寺金堂収蔵庫における壁画の保存・公開に関する研究 -実測調査と数値解析による収蔵庫内温湿度の現状分析-, 日本建築学会近畿支部研究報告集 pp.169-172,2018, 3) 和田拓也:ら：法隆寺金堂焼損部収蔵庫における壁画の保存・公開に関する研究-数値解析による小屋裏の送風ファンによる環境調整方法の検討-, 日本文化財科学会第 36 回大会, P-59,2019, 2016, 6) 文化庁文化財部美術学芸課:文化財（美術工芸品）保存施設、保存活用施設 設置・管理ハンドブック, 7) 新建築学大系編集委員会:新建築学体系 10 環境物理, 湿気, 彰国社,1984, 8) 松下敬幸: 火災時における避難安全評価のための煙の伝搬予測に関する研究,京都大学博士論文, 1993, 9) N. Areemit: Numerical and experimental analysis of a passive room-dehumidifying system using the sorption property of a wooden attic space, Energy and Buildings 39, pp.317-327, 2007

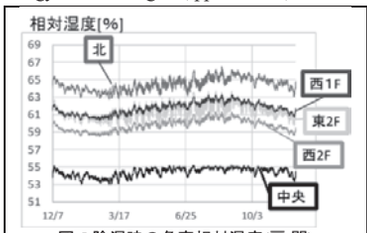


図 5 除湿時の各室相対湿度(扉:閉)

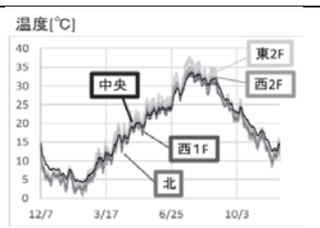


図 6 除湿時の各室温度(扉:閉)

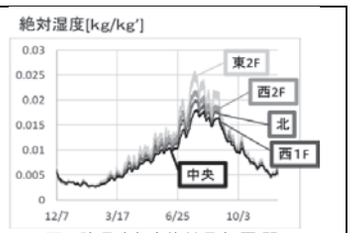


図 7 除湿時各室絶対湿度(扉:閉)

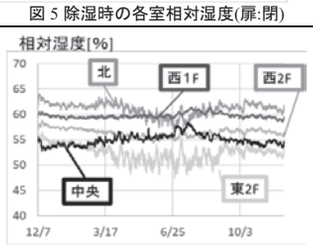


図 8 除湿時各室相対湿度(扉:開)

図 9 除湿時の各室絶対湿度(扉:開)

図 10 入室時相対湿度

博物館の収蔵室における夏季の高湿化の要因と除湿対策

Factors of high-humidity in Summer and Trial of dehumidification in Storage Room in a Public Museum

石川和輝（京都大学），○伊庭千恵美（同左），小椋大輔（同左），鉾井修一（同左），横山操（同左）
Kazuki ISHIKAWA, ○Chiemi IBA, Daisuke OGURA, Shuichi HOKOI, Misao YOKOYAMA (Kyoto University)

1. はじめに

文化財収蔵・展示施設では，温湿度を制御する設備の不足や環境管理に関する専門家の不足が全国的な傾向として示されていること[1]，また，収蔵室に求められる気密性能，壁体の熱・湿気容量，空調方式・容量やその運用方法などの数値的な判断基準が示されていないことから，資料の劣化抑制のための温湿度条件を達成するのに十分な建築性能や設備を保有していない，または，適切な運用を行えていない可能性がある．

そこで，これまで 1986 年に竣成した建物を改装した総合博物館を対象に，収蔵物の異なる複数の収蔵室の温湿度測定と，空調・換気設備システムの構成と使用状況の調査を行い，部屋ごとの温湿度の問題点を明らかにしてきた[2]．本報では，既報で夏季の高湿度が問題となった金属資料を収蔵する室の高湿化の抑制を目的として，家庭用除湿機の導入，窓の気密化などの施設性能や運用方法の変更を行い，それらが室内の温湿度および除湿量に与える影響および収蔵環境改善のための方法を検討する．

2. 除湿の方法および施設性能・運用方法の変更

2019 年 6-9 月，対象収蔵室に除湿機を試験的に導入した．仕様上の除湿能力は，室温 27[℃]，相対湿度 60[%]状況下で 10[L/day]であり，定格消費電力は 215[W]である．収蔵室の断面，温湿度測定点を図 1 に示す．対象収蔵室は二重壁構造であり，広い天井裏には上階収蔵室の空調用ダクトが通っている．人の出入りが頻繁ではなく，水分発生源のない収蔵室において除湿機の運転を一週間ほど継続しても除湿量が減少しづらかったことから，高湿の外気流入が室への水分供給の原因と想定し，窓の気密性，室内と廊下の間のドアの気密性，博物館トイレの強制排気の運転状況，など様々な要因を取り上げ、それらの影響を検討した．各要因に対する対処と除湿機の運転状況の対応を表 1 に示す．

3. 除湿中の室内の温湿度と高湿化の要因・除湿対策

図 2 に収蔵室内と天井裏，外壁側二重壁内の温湿度と，除湿量を示す．

除湿機の運転：家庭用除湿機の運転により，金属資料収蔵室の相対湿度を 40%近くまで下げることができた（運転①）．これは，金属資料の収蔵に適切であるとされる範囲[註]である．

隙間の気密性：室内巾木下の隙間と室内側ドアの隙間の気密化（運転②）による状況の変化は，ほとんどなかった．外気湿度の上昇とともに除湿速度は増加し，220[mL/h]に達した．室と廊下の間のドアの隙間をテープで目張りした後（運転③），外気湿度が上昇したが，室内の相対湿度

は 40%まで減少し，除湿速度は 150[mL/h]まで低下した．そのうえ，柔軟性のあるポリエチレンフォームを窓枠に詰めることによる外窓の気密化の後，室内の相対湿度は 35%まで低下し，除湿速度は 130[mL/h]まで低下した（運転⑤）．

トイレのファンの運転:博物館バックヤードの各階のトイレの排気は統合され，常時大風量（3250 m³/h）のファンで排出されていた．これによって収蔵室が面する廊下が負圧になっている可能性が考えられたため，運転③では，このトイレのファンの運転を停止させたが除湿速度はほとんど変化しなかった．しかし，ドアのテープをはがし，ファンを停止した運転⑥では，大きな相対湿度の低下(35%)と除湿速度の低下(90 mL/h)がみられた．トイレのファンの停止と，窓の気密化により，室内への高湿外気の流入が抑制されたためと考えられる．

天井裏を通る上階収蔵室空調の還気ダクト表面の結露と保温材内の水：運転⑤から運転⑥まで，トイレファンは停止，外窓の気密性も保たれていた．ドアの隙間から室内へ流入する水分はあるが，予測されるより多くの排水が続いた．これは，天井裏の上階空調還気ダクト表面で結露が生じ，保温材に保持されていた結露水が蒸発し続けたことが原因であった可能性がある．

4. まとめ

本報では，家庭用除湿機のような低容量の除湿機でも夏季の収蔵室で相対湿度 40%程度を維持できるが，収蔵室への外気流入が除湿負荷を増大させていたことが示された．空調ダクト保温材の保持する水分が室内の湿気環境に与える影響は，解析によって定量的に明らかにする．

表 1. 除湿機の運転状況と室の条件

	運転①	停止①	運転②	運転③	運転④	停止②	運転⑤	停止③	運転⑥	停止④
巾木下の隙間にガムテープ			○	○	○	○	○	○	○	○
室内側扉のふちに気密テープ			○	○	○	○	○	○	○	○
廊下側から扉を養生テープでふさぐ				○	○	○	○	○		
天井裏の排気口に袋をかぶせる				○	○	○	○	○	○	○
トイレの排気を停止					○	○	○	○	○	○
窓枠にポリエチレンフォームをはめる							○	○	○	○

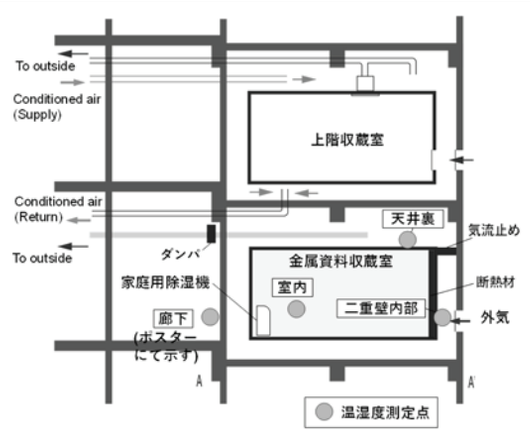


図 1. 温湿度測定点

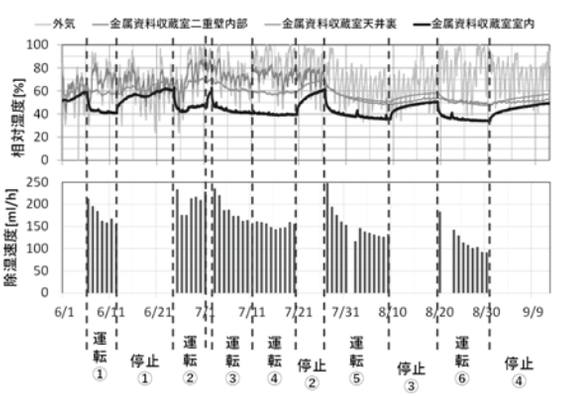


図 2. 測定点の相対湿度と除湿量

註）ICOM（国際博物館会議）や IIC（国際文化財保存学会）は，金属資料の保存環境に温度 20℃，45%RH 以下の基準を示している．

【謝辞】本研究にあたり，調査の対象とさせていただいた博物館職員の方々には，多大なご協力を賜りました．記して感謝申し上げます．

【参考文献】［1］佐野千絵，2007，［報告］文化財公開施設の空気調和設備等の設置状況―保存環境調査から―，保存科学，46，301-310．［2］石川ら，2019，総合博物館の文化史系収蔵物の収蔵環境形成要因の調査と改善策の検討，日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集，228-229，2019.6

一般建物の文化財収蔵利用のための環境調整に関する研究
その 2：一般建物の熱的、湿気的特性調査の事例評価

Study on the Environmental Control Method for the Use of General Building as a Cultural Property Storage Room
Part 2: Evaluation of Characteristics of Temperature and Humidity as a Case Study in General Building

○芳賀文絵[*1]、小椋大輔[*2]
[*1] 東北歴史博物館、[*2] 京都大学大学院
○Ayae HAGA[*1]、 Daisuke OGURA[*2]
[*1] Tohoku History Museum、 [*2] Kyoto University

1. 研究の背景と目的

文化財資料の収蔵を目的としていない建物(以下一般建物)を文化財収蔵庫として活用することは、災害時の資料一時保管や収蔵庫逼迫化への対策として、多くの施設において実施されている。しかしこれらの一般建物では通常文化財収蔵時に必要とされる気密性や安定し適切な温湿度環境が整備されておらず、継続的な活用のためには温湿度等の環境調査に基づく適切な部屋の改修や運用方法が求められる。そのため、本発表では、一般建物を文化財収蔵室として活用することを目的に、既存の建物が持っている熱的、湿気的特性を把握し、どのように文化財収蔵に適正な目標環境を満たすように改善方法を検討するための基礎資料とする。

2. 調査対象について

調査対象室は①ロッカー室、②休養室、及び隣接する③廊下であり、ここでは 2020 年 1 月～2020 年 3 月についての温湿度測定結果をもとに評価する。調査室の概要を**表 1** に示す。外気は仙台気象台における計測値を使用した。

表 1. 調査室の概要

	ロッカー室	休養室
容積	3.68×2.18×3(m) (24.07m^3)	4.35×2.74×2.8(m) (33.37m^3)
設備	扉 2 枚(1 枚は養生テープで封鎖、扉ガラリは 2 枚とも封鎖)、窓無し	扉 1 枚　(扉ガラリは封鎖) 窓 1 箇所

3. 換気量について

ロッカー室及び休養室内の気密性を室内外の CO_2 濃度を測定することにより評価した。測定方法は JIS 法(JIS A 1406)に基づき実施した。各室の扉等を閉め切り室内を閉鎖したのち、ボンベで CO_2 を入れ、室内 CO_2 濃度を約 3000ppm で安定させた。その後室内中央に設置した CO_2 モニターで 30 分間隔の CO_2 濃度を測定し、減少勾配を算出した。室内には空気循環を促すため、サーキュレーターを 2 台設置し、測定中常時運転させた。測定はロッカー室と休養室において、それぞれ目張り前後で実施した(11 月及び 12 月)。測定結果を**表 2** に示す。

4. 温湿度調査について

本報告では、調査室の湿度安定性等に寄与する要因を明らかにするため、各室の水分収支式を 3 で求めた換気量、室容積から求めた換気回数、そして隣接する廊下の絶対湿度の測定値からたてた。室内壁等の吸放湿がない場合の室内絶対湿度を求めるため、廊下からの換気による正味水分流入量のみから室内の水蒸気蓄積量が得られるものと仮定し、ロッカー室及び休養室(窓の目張りにより外気が流入しないと仮定)における絶対湿度(以下絶対湿度(c)とする)を求めた(式(1))。また休養室については、目張り前後の空気交換率結果をもとに、目張りがない状態を想定して、窓からの外気と廊下の両方から水分が流入することを想定した絶対湿度（以下絶対湿度(c+o)とする）を求めた(式(2))。これらの絶対湿度と室温の測定値から算出した相対湿度をそれぞれ相対湿度(c)、相対湿度(c+o)とし、結果を**図 1、2** に示す。各温湿度計測結果については離散フーリエ変換を行い(式(3))、その結果を**表 3-5** に示した。

$$\gamma V\frac{dXr}{dt}=\gamma Vn_c(X_c-Xr) \quad (1)$$

$$\gamma V\frac{dXr}{dt}=\gamma Vn_c(X_c-Xr)+\gamma Vn_o(X_o-Xr) \quad (2)$$

γ：乾燥空気密度[kg'/m^3]、V：室容積[m^3]、X:絶対湿度[kg/kg']、n：換気回数[1/s]、
下添え字 c:廊下、r：室内、o:外気

$$F(t)=\frac{1}{N}\sum_{x=0}^{N-1}f(x)e^{-i\frac{2\pi tx}{N}} \quad (3)$$

x：温湿度計測値、t:周波数(h)、N：データ個数

表 3-5 より、温度については、1 日周期でのパワースペクトル（以下振幅）でピークが確認され、外気の 1 日の周期変動の寄与が大きいことが確認された。その大きさは、窓がある休養室＞廊下＞ロッカー

室の順であり、温度の日変動が順に緩和されていくことが確認された。

絶対湿度は、 外気も室内も共に 1 日周期における振幅は小さく、温度と比較して日周期変動が小さいことが確認できた。休養室、廊下の絶対湿度は、1 日周期における振幅は外気とほぼ変わらず、3 か月間の計測値に対する日周期が寄与する大きさは同程度であった。一方、ロッカー室実測値は他の計測地と比較して極端に小さい振幅を示したが、(1)式に換気回数の測定値を用いて算出した、ロッカー室の室内吸放湿がないと想定した場合の絶対湿度(c)の振幅は、廊下や他の調査地の実測値と同程度の日周期の振幅を示した。このことからロッカー室では、室内壁等の吸放湿により絶対湿度の日変動が抑制されていることが示唆される。実測値としては、ロッカー室は基本的に常に休養室と廊下よりも高い絶対湿度を示したため、換気により乾燥した空気が流入した際、室内壁などから放湿し、室空気に水分が供給されていると考えられる。

相対湿度は、ロッカー室は温度及び絶対湿度の両者で 1 日周期における振幅が小さかったことが影響して、日周期変動が非常に小さい状態であった。ロッカー室における室内吸放湿がないと想定した場合の相対湿度(c)では廊下と同等程度の値を示した。振幅の値の違いを廊下や外気と比較すると、温度の値の差よりも、絶対湿度の差の方が大きいことから、ロッカー室相対湿度が高湿度で安定していることに、室内壁等の吸放湿の影響が大きいことが考えられる。

次に、休養室における相対湿度の 1 日周期における振幅は廊下と同じ程度であった。温度の日変動が、休養室の方が廊下よりも大きいにもかかわらず、相対湿度の振幅が廊下と同程度に抑えられたことは、絶対湿度が変動することで相対湿度の安定性をもたらしていることが予想される。**図 2** より(1)式、(2)式からそれぞれ算出した室内吸放湿がない場合の相対湿度(c)及び(c+o)の値と実測値を比較すると、いずれも実測値の方が安定しており、ロッカー室同様に、室内壁等の吸放湿が相対湿度の安定に寄与していると考えられる。ただ、相対湿度(c+o)の 1 日周期における振幅は小さい結果となるなど、今後より長期的な周期性をもとに検討が必要になると考えられる。

5. 結論

本報告では、一般室の熱的、湿気的特性を調査するため、一般室の換気率測定、及び温湿度実測結果をもとに周波数分析からその傾向を把握し、室内吸放湿がない場合の絶対湿度を算出し、室温測定値から換気のみによる室内湿度変動を求めた。これにより換気のみの影響だけでなく、休養室もロッカー室も壁体の吸放湿の影響により室内の相対湿度の日振幅が抑えられていることが推定された。今後は引き続き年間の室内温湿度の性状を調査するとともに、現状の室の吸放湿性をより明らかにし、それを考慮した適切な文化財収蔵における一般建物活用のための施設利用法、環境調整法の検討を行っていく予定である。

表 2. 各室の換気回数の測定値

	ロッカー室		休養室	
	換気量 (m^3/h)	換気回数 (回/h)	換気量 (m^3/h)	換気回数 (回/h)
目張り前 外気温約14℃	9.84	0.41	17.18	0.52
目張り後 外気温約6℃	9.54	0.40	11.07	0.33

表 3. 温度 パワースペクトル(振幅)

	平均値	月周期	日周期
ロッカー室	6.908	0.286	0.035
休養室	6.498	0.338	0.225
廊下	6.737	0.307	0.075
外気	5.535	0.511	1.163

表 4. 絶対湿度(g/kgDA) パワースペクトル(振幅)

	平均値	月周期	日周期
ロッカー室	4.549	0.085	0.017
休養室	4.502	0.087	0.043
廊下	3.984	0.073	0.044
外気	3.722	0.131	0.044
ロッカー室_c	3.983	0.073	0.045
休養室_c	3.983	0.073	0.044
休養室_c+o	3.978	0.078	0.050

表 5. 相対湿度 パワースペクトル(振幅)

	平均値	月周期	日周期
ロッカー室	73.625	1.077	0.094
休養室	74.914	0.865	0.454
廊下	65.322	1.545	0.524
外気	66.151	2.299	4.572
ロッカー室_c	64.553	1.463	0.594
休養室_c	66.348	1.387	1.105
休養室_c+o	66.239	1.904	0.334

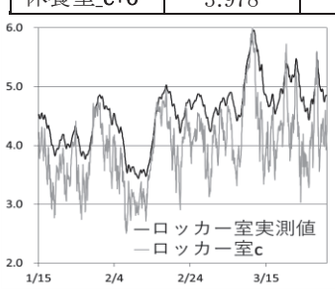


図 1. ロッカー室相対湿度(%RH)

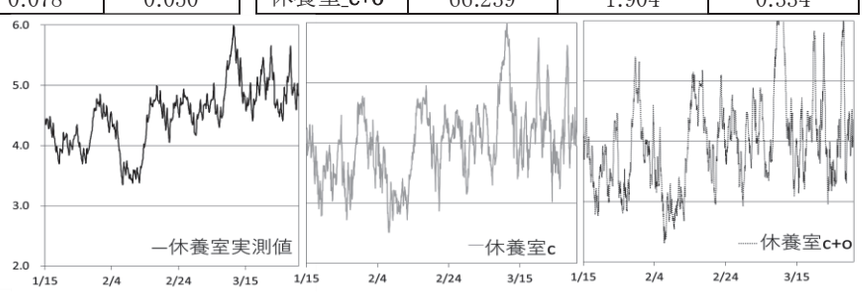


図 2. 休養室相対湿度(%RH) (左:実測値 中央:c 右:c+o)

土蔵の扉を開く　Open the storehous
土蔵による文化財･宝物等の保管の効用と推進を考える
I wish to record varions Important terms necessary for the st oraoe constr and to find how we should conserve the cultual valuables in the storage

富山県射水市　　髙　木　秋　生

日本の歴史・文化によって育まれてきた貴重な絵画、美術工芸、古文書、書籍等は、長い歴史・気候風土の中で、校倉造りや土蔵・板倉・社寺建築等で長期にわたり今日まで保存・保管されてきた。このことは、高温多湿の日本の風土において正倉院の校倉造りは約１２５０年、冷泉家の古文書類を収めている蔵は御文庫（おふみこ）と言い４００年の歳月の中で比較的良好な状態で保存・保管されてきた事実があることが､大きな意味を持つのではないかと考える。そのことは、建造物の堅牢さはもちろんであるが、暗室であることやそのものを包んである紙や布、さらには箱・櫃・箪笥などは、美術品の保存・保管条件に合っていたことから、良好な結果を生むものであった。

北陸においても、気候風土の中で現在も土蔵が数多く残っている。そのほとんどが個人の所有のものである。近代化が進むにつれ近年老朽化が著しい土蔵は修復されることなく壊され改築されることは極めて少ない。しかし、この土蔵のこれまでの役割は、美術品や古文書等の保存・保管においては極めて大きいと思わざるを得ない。そのことは、必ずしも国宝や重文またはそれに準ずる宝物でなくても、一般庶民の眼や価値観で保存に値する物をストックしている物の中にも、長い年月を得て社会構造が変化していく中で「価値の出てくる物」もあると考えられるからである。このような意味において、土蔵の果たしている役割は大きい。

近年、市町村合併に伴い保管庫の限界にも問題があり、貴重な美術品や古文書等が行き場を失い多くの宝物が失われつつある。一方、美術関係者や文化人の中には文化の見直しと言って公共施設に期待はしているものの、個人あるいはグループで連携をとって保存に努めている所は極めて少ない状況にある。このことは、私個人の問題ではなく国家としても大変憂いべく大きな問題であると思われる。二度と再生できない物や地域や市町村の歴史まで失われることも中にはあるのではないかと考える。

今日の美術館・博物館及びその収蔵庫は鉄筋コンクリートが主流である。このため、館内及び室内の温湿度調節は、電気での人工空調が採用されている。しかし、美術品や古文書等の保存は温湿度が絶えず一定であることが、本当に長期間の保存に適しているのかどうか。これまで立証されているのか、私は疑問に思っている。冷泉家の土蔵や我が家の土蔵の温湿度の実態から、必ずしも人工空調が最適であるとは言い切れないと思われる。急激な温度や湿度の変化は物の退化につながるが、夏季の暑いときもあれば冬季の寒いときもある。そうした厳しい自然環境にも時には耐えながら宝物そのものが成長し鍛えられるのであり、また人間が使用したり活用することによって価値が出て来る物もある。そのような意味から、人工空調での一定の温湿度調節には、私は疑問を呈したい。さらには２０１１年３月１１日での東日本大震災により甚大な被害や原発事故での停電などで、美術館・博物館の空調はどう対処していたのだろう

か。長い歴史の中で自然災害は必ずやって来るのであって、長期保存について自然災害や省エネ対策の面からも考察することとしたい。そこで、土蔵のもつ自然空調の効用や特長をこれまで学んだことや古老からの聞き取りなど含め、いくつかの土蔵の温湿度の調査から述べることにしたい。土蔵造りは手間暇がかかり経費もかかることから、土蔵造りが敬遠されてきたことも事実である。また、戦後本格的な土蔵に拘って建てる者も極めて少なかったことから、土蔵造りに関わった大工、左官、石工等の職人は極めて少なく高齢で携わることができなくなっている現状である。私は、昭和５６年から昔ながらの在来工法による拘りの土蔵を６年の歳月を経て建てた経験から、その実績を生かして今こそ土蔵の効用について後世に書き留めておく必要がある思った。

このことから、在来工法に拘った蒸篭組土蔵、柱貫工法土壁土蔵、板倉等の内気の温湿度と外気の温湿度を計測調査し、土蔵の保存保管の有効性について考察したものである。天然素材で造られた校倉造りや土蔵には「生きている空気」、鉄筋コンクリートの美術館・博物館は人工空調である「拵えた空気」　として捉え論じたものである。我が家の蒸篭組土蔵の温湿度調査は１年間、毎月の中旬頃に１日２４時間１時間毎、蒸篭組土蔵に入り温湿度調査を行った。デジタルの温湿度計で自動的には計測しているが、実際計測時間に合わせて私が土蔵に入り、自らの体感をもメモした調査である。

したがって、これまで培った「土蔵造り」についての経験と知識、さらには土蔵に携わった職人技・魂等を整理して、土蔵の功罪について検証し、土蔵の自然空調（生きた空気）の特性を生かし、且つ防火・耐震・耐久等の条件の備わった土蔵と、現代の鉄筋コンクリートで建てられた人工空調（こしらえた空気）の収蔵庫の構造及び特性の功罪を、下記の調査項目について分析し論じ、土蔵の持つ埋蔵文化の価値を見直していただきたい。

記

１土蔵の温湿度調査から分析調査の項目について

（１）土蔵の構造の基本的条件として防火（耐火）・耐震・豪雨・耐久性等について

（２）美術館及び博物館の保存・保管対策としての光・照明・防虫・省エネ等について

（３）蒸籠組の土蔵、土蔵、板倉等の構造及び特長についうて

（４）土蔵造りに携わった大工・左官・石工・鍛冶・基礎工事等の職人について

（５）土蔵の構造・特性の違いから収納する物を選び、物は土蔵・板倉を選ぶ

（６）宝物等の寿命を延ばす保存環境は、土蔵の中の箱・櫃・箪笥・長持の役割も大きい

２鉄筋コンクリートの特性と功罪について

（１）人工空調設備は維持費がかかる。

（２）自然災害で空調機能が停止した場合、収蔵庫としての機能を失う。

（３）耐震・免震については強力であるが、耐久性は、築３０年経過すると鉄筋コンクリートの劣化が著しく、さらに築５０年前後になると維持をするメンテ経費が膨大になる。

（４）セメントが乾燥するときに、水分と同時に高熱や科学物質を排出する。

（５）解体は経費が膨大で、その始末も環境に負荷をかける。

なお、温湿度調査のデーター・写真・構造図等は遠慮無く問い合わせてください。

誰でもどこでも容易に創出できる防虫および湿度安定空間　～小さな収蔵庫～

The insect proof and humidity stable space that anyone can easily create anywhere

○ 魚島 純一（奈良大学）

○ UOSHIMA Jun'ichi　(Nara University)

1. はじめに

臭化メチルの全廃により、文化財の虫菌害対策に予防を重視する取り組みがおこなわれるようになりすでに15年が経過した。当初、小規模施設でも取り組めるのではとの期待もあったが、結果的には大多数の小規模な文化財保管施設ではそれまでと変わらず “放置” に近い状況にある文化財が多いことはあまり知られていない。しかし、費用や人員をかけずに簡単におこなえる虫害対策があったなら、このような施設でも多くの文化財が守れるようになる。

誰でも、どこでも、簡単におこなえて、安全、確実に虫害を防除できる仕組みづくりと、その普及を目指しておこなってきた研究に一定の成果が得られたので報告する。

2. 資料密封保管の発想

IPMの導入後、特に低酸素濃度処理に取り組んでいた筆者は、低酸素濃度処理のために使用していた資材を流用すれば、周囲の環境が劣悪であっても防虫環境を維持でき、あるいは現に虫害が発生している場合でも、封入することで被害の拡大を防ぎ、内部で殺虫処理が可能であることに気づいた（魚島・茨木2011）。いくつかの施設で試験的に導入したところ、資料密封保管の防虫効果は高く、人手の足りない小規模施設でも簡単に実践することがわかった。

小規模施設の抱える悩みのひとつに湿度環境の管理もある。空調設備が整わないところも多く、防虫に合わせて湿度環境が整えられたらと言う要望が多く寄せられた。

密封空間内の湿度環境の維持を目的に、まずはその実態を把握するため各地で密封保管した袋内の温湿度環境を測定したところ、密封空間内の湿度環境も予想以上に安定していることがわかったことはすでに報告している（魚島2018･2019）。

3. さらに容易な密封保管をめざして

密封保管のための資材として、当初は低酸素濃度処理に用いる特殊なフィルムで作られた袋と専用クリップを用いてきたが、この組み合わせは扱いに多少の慣れが必要であり、誰でもすぐに実践することはできなかった。

食品包装などに用いられ水分を一定程度遮断するフィルムと簡単に開閉が可能なダブルジッパーを組み合わせた袋を試験的に導入したところ、使い勝手もよく、きわめて良好な湿度安定性が得られた。これを用いて、大量の資料を密封保管する作業を試したところ、まったくの初心者でも、短時間で確実に密封できることを確認できた（**写真1**）。

ダブルジッパー付保存袋による密封空間内の温湿度環境を、これまでの低酸素濃度処理用の

資材と比較したところ、長期間にわたって同等の性能であることも確認できた（図1）。

4. ワサビ成分を利用した防カビ剤の可能性

密封空間内の湿度環境は、封入時の周辺の湿度や資料が持つ水分量に大きく影響され、場合によっては相対湿度80%超える状態で安定することもある。このような場合、資料にカビが発生することも懸念されるため、防カビを兼ねる、安全で安価な防虫剤を探していたところ、流通業界で使用されている防カビ剤が防虫効果も高いとの報告があった（Hashimoto2019）。これはワサビ成分を利用したもので、防カビ効果を実験したところ、殺カビに近い効果もある可能性があることがわかった（魚島2019）。

実際に、雨漏りにより水濡れしてしまった土蔵内で文書を試験的にワサビ成分の防カビ剤とともに密封保管したところ、カビの発生を押さえることができ、一定の効果が得られた。

ワサビ成分の防カビ剤は、金属や特定の顔料に対してはサビの発生や変色などの影響があることがすでに報告されており（佐野ほか 2003）、文化財への使用は敬遠されている。しかし、木製の民具や紙製の文書類など、サビや変色の心配がない資料に限定すれば、殺虫・防カビに加えて殺カビの可能性があるきわめて有効なものであることに注目しておきたい。今後さらに試験を重ね、安全に使用可能な文化財の範囲を示すことができるよう努めたい。

5. 小さな収蔵庫

ダブルジッパー付保存袋と、必要に応じてワサビ成分の防カビ剤を併用すると、安価に、誰でも、どこでも、簡単に文化財の保管に適した防虫環境を創り出すことができ、容易に維持できるとともに、湿度環境についても、周囲の環境の影響を受けることなく、空調での管理にも劣らないほどの安定を得ることができる。特に大量に存在する地域の文書類にとっては、これはまさにどこにでも創れる「小さな収蔵庫」と呼べる存在ではないだろうか。

臭化メチルの全廃とともに訪れた IPM を実践することは、予算と人員が潤沢な施設においてはさほど難しいことではなく、実際に大きな効果が出ているとの報告もある。しかし、大多数を占める小規模施設では、その恩恵を享受することはできなかった。本研究で確立した仕組みを導入することで、少しでも多くの文化財が次世代に引き継がれるようになることを祈る。

写真１　小規模施設での資料密封作業のようす

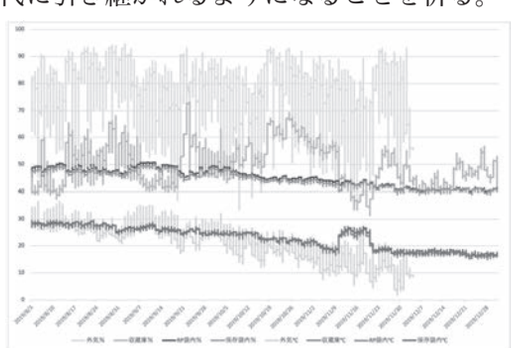


図１　袋内の温湿度変化（中段の太い線が袋内湿度）

本研究の一部は、科学研究費助成基盤研究(C)(一般)(課題番号:17K01200)の助成を受けておこなった。

歴史的木造建造物の殺虫を目的とした加湿温風処理時における温湿度制御条件に関する研究

―実験による木材内部の温湿度挙動の把握―

A study on temperature and humidity control conditions in humidified hot air treatment for insecticide in historic wooden buildings
-Investigation of temperature and humidity behavior inside wood by experiment-

○小椋大輔（京都大学）、野村暁里（同左）、北原博幸（トータルシステム研究所）、
藤井義久（京都大学）
○Daisuke OGURA, Akari NOMURA(Kyoto University),
Hiroyuki KITAHARA(Total System Laboratory), Yoshihisa FUJII (Kyoto University)

1．はじめに　近年、木造建築物や木質美術工芸品に対する害虫駆除法として、湿度制御した温風処理が欧州中心に普及しつつある。これは材温を 55～60℃程度まで上げ、タンパク質を変性させることで、卵から成虫に至るすべての甲虫類を駆除する方法[1)]である。木材の変形を防ぐため温度を変化させる際には、同時に湿度を制御して含水率を一定に保つ必要がある。これまで温風処理の殺虫効果の検証[2)]や、栃木県日光市の日光山中禅寺（輪王寺別院）愛染堂において実地検証[3)]を行うまで研究が進んできている。しかし、材料内部に温湿度むらが生じることが懸念されているものの、温風処理前から温風処理後までの木材内部の温湿度や含水率の挙動の把握はされていない。そのため、本研究は、温風処理における木材内部の温湿度等の挙動の把握を目的として、処理時の木材内部の温湿度を測定する実験を行い、内部の温湿度の挙動を検討した。

2．試験体と実験方法　2.1. 試験体　試験体は 310㎜×310㎜×160㎜のケヤキ気乾材である。空げき率は 77.9%、密度は 710kg/m^3 である。試験体重量は約 8kg、初期質量基準含水率は 20.7％であった。試験体内に温湿度センサーを設置するため、1～8 の位置に直径 6㎜、深さ 80㎜ の穴を開け、年輪の中心である 3 の穴を中心に、ア-イ方向（測定点 1-5）に 1 次元性が得られるよう、図 1,2 に示すように等間隔に穴を開け温湿度センサー（SENSIRION 社製,SHT75）を入れ穴を耳栓で埋めた。なお、試験温湿度範囲におけるセンサー誤差範囲は±0.3～0.8[℃]、±1.8[%RH]である。実験室の温湿度もこれらを用いて 4 点で測定した。1 次元の熱・水分移動を知るために図 1 に示す材の上下に発泡ウレタンフォームで隙間を充填しその上から 9㎝ 厚スタイロフォームを貼り付け、防湿目的でアルミテープを巻いた。

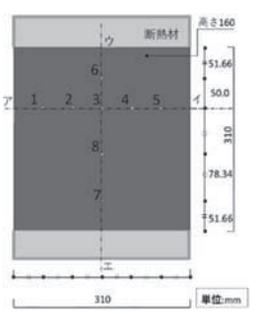


図 1　温湿度センサー設置

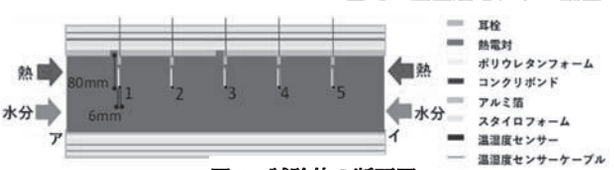


図 2　試験体の断面図

2.2. 実験方法　調湿温風を発生・循環できるプロトタイプチャンバー(約 30 m^3)にて、温風処理実験を行った。「20℃74％で 3 日間養生→昇温・加湿→60℃84%で 3 日間→降温・除湿→20℃74％で 3 日間」というサイクルを基本とした。昇温・加湿速度と保持期間は、愛染堂での実地検証[3)]を参考に、第 1 期の温湿度の変化速度はそれぞれ 0.4℃/h、0.1％/h とした。第 2 期ではその速度を 2 倍とした。第 3 期は第 2 期と同様の条件とし、結果の再現性を確かめた。また第 2 期終了から第 3 期開始の間に 16 日間、室の温湿度制御を中断した。この期間の平均気温は 7.9℃、平均相対湿度は 77％であった。

3．実験結果　図 3～5 に温度、相対湿度、絶対湿度の測定値を示す。図中の実験室の測定値は、4 点のうち最も平均的な値を示す。以下 1、2 の穴のセンサーを No.01、No.02…とする。グラフ凡例中の括弧内数字は穴番号に対応する。

3. 1. 温度変化　試験体内部の温度の挙動を、図 3 に示す。木材の表面と内部で温度差が生じ、木材内部の温度は殺虫に必要な材芯温度である 60℃まで上昇していることが分かる。昇温速度を 2 倍にした第 2、3 期も、試験体の温度変化の遅れに関して大きな差異はなかった。

3. 2. 相対湿度変化　試験体内部の相対湿度の挙動を、図 4 に示す。内部の相対湿度の最大値はいずれも No.07 において第 1 期 86.7%、第 2 期 87.9%、第 3 期 87.5%であった。内部の相対湿度は第 1 期の昇温時以降、実験室制御値よりも常に大きい値を示した。また降温後、相対湿度が環境の値まで下がらなかった。なお第 1 期終了後、湿度センサーの木材成分の吸着による故障の可能性を検討した。温湿度センサーNo.08 を一度取り出して実験室相対湿度制御値である 74%を確認し、湿度センサーの故障はないことは確認している。昇温速度の大きい第 2、3 期では特に表面近くにおいて、高い相対湿度値を示す傾向が見られ、環境の制御値との差も大きくなった。

3. 3. 絶対湿度変化　試験体内部の絶対湿度の挙動を、図 5 に示す。周囲環境の変化に伴い、絶対湿度は概ね環境同様に変化した。しかし絶対湿度値が最大になる 60℃時に注目すると昇温・加湿速度 2 倍の第 2、3 期では、表面・中間部の絶対湿度値が環境の制御値より高くなった。

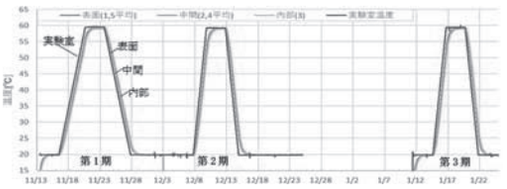


図 3　温度変化

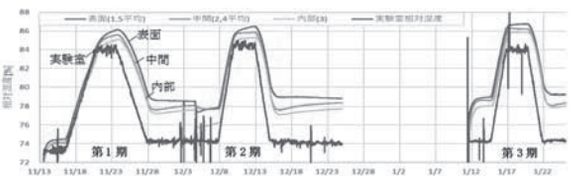


図 4　相対湿度変化

3. 4. 質量変化　表 1 より第 1,2,3 期､それぞれ 30g,170g,60g 質量が減少し、温風処理により木材中の水分が若干失われた。なお、第 1 期から第 2 期にかけての質量の増加は、センサー再挿入の際の、ウレタンフォーム追加分である。

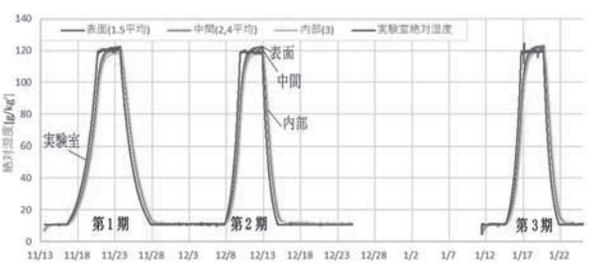


図 5　絶対湿度変化

表 1　質量変化

	第 1 期	第 2 期	第 3 期
処理前[kg]	12.16	12.41	12.25
処理後[kg]	12.13	12.24	12.19

4．実験結果の考察　木材内部の相対湿度が制御値よりも大きい値を示す傾向にあったのは、温度の上昇よりも絶対湿度の上昇の速度の方が大きいためであると考えられる。昇降温の急な第 2、3 期では、その差がより顕著になり、より高い相対湿度値を示したと思われる。また、この相対湿度の上昇と含水率の変化の関係について、平衡含水率の温度依存性 [4] 等を考慮した検討を行う必要がある。重量測定果から、実験サイクルの全体として水分蒸発側になり質量が減少したと考えられる。内部の絶対湿度と相対湿度の分布（図なし）から、表面近傍において水分量が特に大きくなることが予想され、これにより表面と内部の含水状態の違いによる乾燥収縮、湿潤膨張の可能性がある。

5．まとめ　本報では加湿温風処理実験時の木材内部の温湿度の測定を行った結果から、以下の知見を得た。1)材芯の温度が殺虫に必要な温度に達していた。2)内部に温度と湿度分布が生じ、特に木材の表面部において絶対湿度、相対湿度ともに大きくなった。絶対湿度値が最大になる 60℃時に注目すると昇温・加湿速度 2 倍の第 2、3 期では、表面・中間部の絶対湿度値が環境の制御値以上に高くなった。3)温風処理を経て木材が若干乾燥した。

謝辞　本研究は京都大学農学研究科研究員藤原裕子氏のご協力のもと、行われました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献 1）竹口彩ら，湿度制御した温風処理による漆仕上げ材の面ひずみの測定：保存科学 56 号，p165-174(2017)、2)小峰幸夫ら，湿度制御した温風処理における殺虫効果の検証：保存科学 58 号,p21-28（2019)、3）木川りから，彩色塗装のある歴史的木造文化財建造物の加湿温風処理による虫害処理方法の検討：科学研究費助成事業研究成果報告書(2018)、4）例えば、松本衛,新建築学大系 10 環境物理，第 3 章 湿気,p.111，彰国社，1984.

博物館内移動用の除振手押台車の開発研究（１）

Development of anti-vibration carrier for transportation in museum

◯塚本敏夫（元興寺文化財研究所）、雨森久晃（同左）
◯Tsukamoto Toshio, Amemomori Hisateru (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

1. はじめに

研究者らは文化財輸送におけるトラック輸送時の除振に関する研究を続けており、除振パレットの開発等で一定の成果を得た。

近年、世界各国の博物館・美術館での文化財輸送に関する聞き取りで、博物館・美術館内の移動に使用している手押し台車の振動が問題であることに気が付いた。

本研究では除振手押し台車の開発に先立ち、まず現在使用されている手押台車の性能を知る目的で、現在使用されている運搬用の手押台車と市販されている除振機構等のついた台車（3機種）の比較振動測定を行ったのでその結果を報告する。

2. 手押台車の走行実験計画

2-1　**手押台車**　走行実験には①通常キャスター台車（松田技研製）②免振キャスター台車（松田技研製）③ノーパンクタイヤ台車（中部産業製）④空気入キャスター台車（中部産業製）の４水準の台車を使用した。

写真１　左：加速度センサとウエートの設置状況　右：走行テスト風景

2-2　**走行コース**　走行実験には元興寺文化財研究所サマヤ館１階をテストコースとした。走行距離は 75ｍで途中 3 か所のドア段差と４か所のクランクを設定した。（写真１右参照）

2-3　**ウエート**　荷重量は①0Kg②15Kg③30Kg④45Kg⑤60Kg の 5 水準で設定した。

ウエートには鉛シートを用いた。

2-4　加速度センサ　三軸加速度センサ G-MEN GP20（株式会社スリック製)を使用した。

2-5　計測実験方法　各台車に所定のウエートを載せ、三軸加速度センサを荷台中央に設置し、テストコースを走行した（写真１左参照)。その際、スピードやステアリングによる異差をできるだけ同じにしたいため、コースにテープを張り、同一人物が手押し走行作業を行った。

3. 手押台車の走行実験結果と考察

振動値グラフから、加速度はX、Y方向（水平方向）に比して、Z方向（鉛直方向）が大きく変化する。そこで以下、Z方向（鉛直方向）の加速度に着目して考察する。

通常キャスターの振動値グラフを図 1 に免振キャスターとノーパンクタイヤの振動値グラフを図２、３に示す。

通常キャスターでは積載荷重が軽いと大きく､荷重が増えると小さくなる。また、ドアの段差で大きな値となる。

各種台車の走行実験結果（最大加速度）を表１に示す。最大加速度は通常キャスターの積載３０kgの時 MAX5.4G を免振キャスターの積載 60 kgで MIN-1.0G を示した。

免振キャスターは設定された積載がある場合に除振効果を発揮するが積載が少ない場合、効果が発揮できない。

ノーパンクタイヤと空気入タイヤは通常キャスターに比べて積載が少ない場合でもある程度除振効果がある。但し、空気入タイヤは操作性に難があることが分かった。

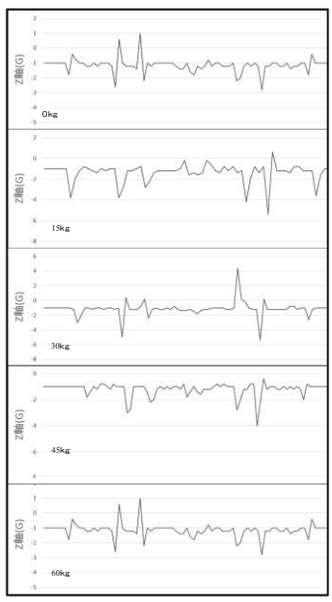


図１通常キャスター台車振動値グラフ

表1　各種市販台車の走行試験結果(最大加速度)

台車種類	通常キャスター		免振キャスター		ノーパンクタイヤ		空気入タイヤ	
積載荷重	最大(G)	発生位置	最大(G)	発生位置	最大(G)	発生位置	最大(G)	発生位置
0kg	-4.4	ドア3	-4.4	ドア1	-2.0	ドア3	-3	ドア3
15kg	-4.4	ドア3	-3.6	ドア2	-2.0	ドア2、3	-2.2	ドア3
30kg	5.4	ドア3	-2.6	ドア2	-1.8	ドア2	-1.2	ドア2、3
45kg	-3.0	ドア3	-1.6	ドア3	-1.4	ドア2、3	-1.2	ドア3
60kg	-1.8	ドア3	-1.0	ドア3	-1.4	ドア3	-1.6	ドア2、3

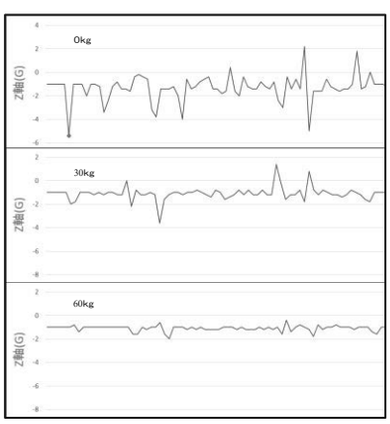


図２　免振キャスター台車振動値グラフ

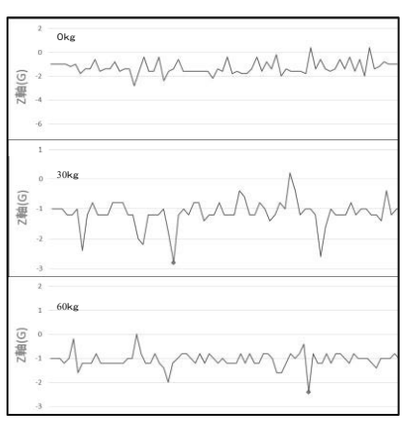


図３　ノーパンクタイヤ台車振動値グラフ

4. おわりに

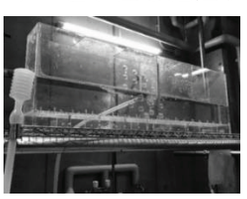
今回の走行実験の結果、通常キャスターは大きな振動が出ることが追認された。また市販ではノーパンクタイヤが有効で、除振キャスターはウエイト調整で最大限の効果を発揮できることが判明した。今後は除振キャスターの改良を加えて最適な手押台車の開発を目指したい。

地震で被災した釜尾古墳の一時的保護を目的とした保護シートによる墳丘の乾燥抑制に関する研究
Study on Prevention of Mounds from Drying by Protective Seat in Kamao Tumulus for Temporary Preservation Damaged by The 2016 Kumamoto Earthquake

○中川正貴（京都大学）、小椋大輔（同左）、澤田茉伊（同左）
○Masataka NAKAGAWA, Daisuke OGURA, Mai SAWADA (Kyoto University)

1. 研究の背景と目的　熊本市釜尾町に位置する国史跡釜尾古墳は、2016 年熊本地震により被災し、墳丘に亀裂が生じる等の被害を受けた。外気や雨水の影響により墳丘や石室の装飾等の更なる損傷を防ぐため、地震直後から墳丘はブルーシートにより被覆されていたが、雨水遮断による墳丘の乾燥化・砂状化による崩落が懸念されていた。既報[1)]では、ブルーシートの代替として一定の透水性を有する防草シート(以降シートと呼ぶ)の使用を提案し、温湿度解析モデルを用いてシートの簡易なモデル化による墳丘の乾燥抑制に対する効果が検討されたが、シートが飽和しない限り雨水が全てシートに浸透する簡易なモデル化であり、シートの浸透特性は十分明らかではない。本研究では、被災した古墳の復旧までの一時的保護において墳丘の含水状態や石室環境を適切に維持するための保護シートの提案を行うことを最終的な目的とする。本報ではシートの浸透特性を明らかにすることを目的とし、降雨強度、シートと土壌との接触の有無が浸透挙動に与える影響について室内にて降雨実験を行った結果を報告する。

2. 降雨実験の実験・測定方法　図 1 に実験装置を示す。図 1(a)に示す水槽(降雨装置)の下部に設置した注射針から水を垂らすことにより雨滴を再現する。降雨装置の真下に図 1(b)に示す槽（110×60×12cm）を、10 度の傾斜を設けて設置し、この内部にシート(厚さ 4mm、透水係数約 2.0×10^{-4} m/s)や土層を設置し、下流端の上部と下部の排水口からの流出量の重量を 1 分毎に測定する。上部の排水口はシートの表面で撥水して流出した水量(図 2 の A)とシートの水平方向の透水量(図 2 の B)の和（以下「表層流量」）が測定され、下部の排水口はシートの鉛直方向の透水量(図 2 の C)（以下「鉛直透水量」）が測定される。また本報では”降雨強度”と”土層設置の有無”に関してケース分けした実験結果を述べる。以降、ケース①を「降雨強度”強”(6.230mm/h)、土層”無”」、ケース②を「降雨強度弱”(1.393mm/h)、土層”無”」、ケース③を「降雨強度”強”(4.638mm/h)、土層”有”」、ケース④を「降雨強度”弱”(0.768mm/h)、土層”有”」の場合とする。土層が無い条件は、実際の墳丘で墳丘土とシートの間に隙間があるためシートのみの透水性を把握する目的で行った。


a）雨滴を再現する水槽(降雨装置)

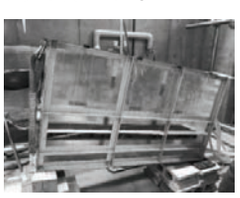

b）傾斜した土層及び透水シートを再現する槽

図 1　雨水浸透実験の実験装置

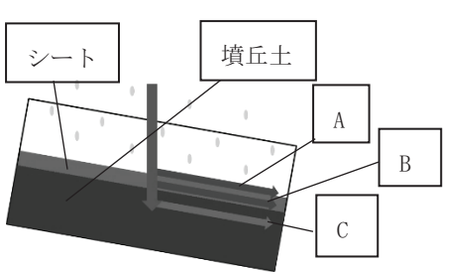


図 2　表層流量と鉛直透水量の説明図

3. 実験結果と考察　前節で定義した「鉛直透水量」、「表層流量」と「供給降雨量」に関して、単位時間当たりの流量[g/min]の時間変化について結果と考察を行う。なお「供給降雨量」とは、毎実験前に校正測定された降雨装置からの供給雨量を示す。

最初に土層無しの場合のケース①の実験結果を図 3 に示す。図 3 より、ケース①では鉛直透水量は実験開始直後に急激に増加しピークに達した後減少し、最終的にほぼ透水しなくなる。これに対し表層流量は、実験開始直後から増加量が大きくなり、最終的には一定の増加量を保ちながら二次関数的に重量増加し、供給降雨量に漸近することが確認できる。また降雨強度が

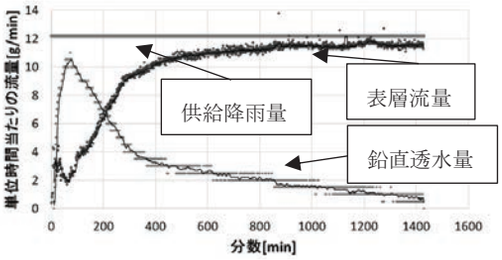


図 3　ケース①の実験結果

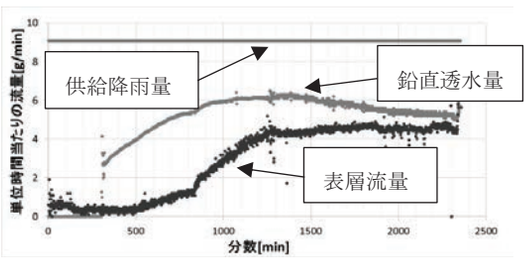


図 5　ケース③の実験結果

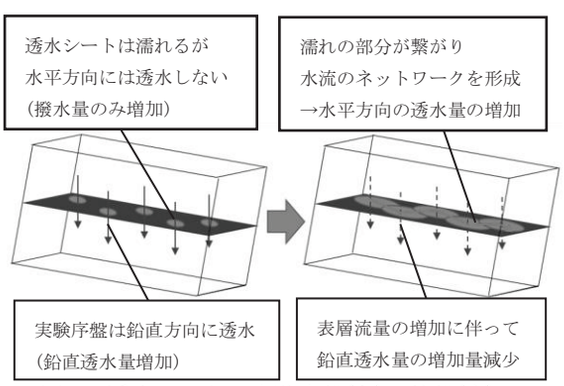


図 4　透水シートの実験序盤(左)・終盤(右)における鉛直透水量・表層流量の変化(土層無し)

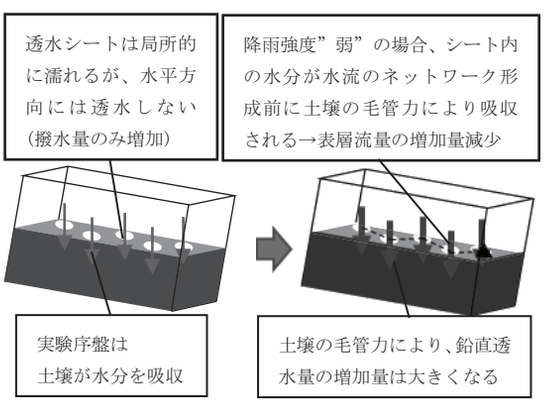


図 6　透水シートの実験序盤(左)・終盤(右)における鉛直透水量・表層流量の変化(土層有り)

小さいケース②でも同様の傾向が確認できた（図省略)。

以上を踏まえて考察を行う。実験序盤（図 4(左)）では、シートは鉛直方向に降った雨水を一部吸収し、残りは鉛直方向に透水する。雨水落下により湿潤している部分は、水平に繋がりがないため、表面で弾かれた雨水のみが表層流量として流出する。実験が進むにつれて（図 4(右)）湿潤した部分が繋がり水平方向の流れのネットワークを形成する。この時点から表層流量が増加し、鉛直透水量が小さくなると考えられる。

次に、土層有りの場合のケース③の実験結果を図 5 に示す。土層無しの同条件の結果と比較すると(ケース①とケース③(図 3,5)、ケース②とケース④（図省略）)、土層を設置した場合、供給降雨量に対する鉛直透水量の単位時間当たりの流量の割合が、土層無しの場合に比べて増加している。これは、シートと土層の間に連続した水相が形成され、鉛直方向に水が流れやすくなったことと、土層表面の毛管力によってシート内に含まれている水分が鉛直方向に引っ張られていることが理由として考えられる。また、ケース④(図省略)では、ケース③の実験結果に比べ、供給降雨量に対する鉛直透水量の単位時間当たりの流量の割合が増加していた。

以上を踏まえて、図 6 を用いて考察を行う。図 6(左)のように、実験序盤は土壌が水分を吸収し、鉛直方向の透水量を測定する測定容器まで水が行き渡っていないため、鉛直方向の透水量の増加がみられない。また土層無しの場合と同様、水平方向の透水も見られない。実験が進むにつれて、図 6(右)のように鉛直方向の透水量が増加する。先述の通り、土層無しの場合に比べ鉛直方向の透水が増加するため、シート内で水平方向に雨水が流れるネットワークが形成される前に土層表面の毛管力によりシート内の水分が吸収され、水平方向の透水がなされていない可能性がある。降雨強度”強”の場合は雨水の供給量が一定量確保されているため表層流量の増加も確認できるものの、降雨強度”弱”の場合は雨水のネットワーク形成に必要な量の水分がシートに供給されず表層流量が増加しにくく、鉛直透水量の割合が増加すると考えられる。

4.結論　雨水浸透実験の結果に関して、土層無しの場合は、降雨を長時間受け続けると鉛直方向の透水量は減少し、水平方向の透水量が増加した。一方、土層有りの場合は、鉛直方向の透水量が増加し、水平方向の透水性は減少した。降雨強度が小さい場合には、水平方向の透水性が確保されにくいと考えられる。

参考文献　1) 森口友寿、小椋大輔、伊庭千恵美：地震で被災した釜尾古墳における修復前の一時的保存に関する研究、日本文化財科学会大会第 36 回大会、P-24、2019

史跡石貫穴観音横穴の保存環境調査と保存処置の評価について

About the evaluation of preservation environmental research and the preservation measures of Ishinuki ana Kannon cave

○末永　崇（玉名市教育委員会）、山路康弘（大分県教育庁文化課）

Takashi SUENAGA（Tamana City Board of Education）,Yasuhiro YAMAJI（Oita Prefectural Office of Education Cultural Division）

1．はじめに

熊本県北部の玉名市に所在する石貫穴観音横穴は、阿蘇溶結凝灰岩の崖面に築かれた横穴群で、5 基が確認され近隣の史跡石貫ナギノ横穴群とともに大正 10 年に国の史跡に指定されている。特に石貫穴観音横穴 1 ～ 3 号墓は入口の飾縁に赤などの顔料で装飾されており、また 2 号墓内部には千手観音像のレリーフが彫ってあるなど、全国的にも稀で貴重な遺跡である。しかし顔料で描かれている円文の付近などには白色の地衣類が着生するなど、保存上好ましくない部分もあるため、平成 16 年（2004）に玉名市教育委員会で温湿度測定などの環境調査と着生植物の除去や薬剤塗布などの措置を行った。今回はその内容の報告と、現在（令和 2 年、2020 年）の状況と比較してどのような変化があったのかを確認し、保存上の評価を行う。

2．調査及び処置内容

○劣化部分の確認及び着生植物の繁殖状況調査

赤外線サーモグラフィを用いて横穴墓の劣化部分の調査を行った(写真 3)。

また、着生植物の繁殖状況を目視により調査して記録を作成した。

○劣化部分及び脆弱箇所の補強

劣化部分の調査で把握された補強が必要と思われる部分について、1 号から 3 号墓まで各部分の処置を行った。使用する薬剤は今後の整備を考慮して、可逆性のある薬剤を中心に使用した。補強は、剥離している部分などを中心に行い、緊急性の低い部分については今回の処置では見送った。また、各横穴墓の間の凝灰岩面には撥水処理を行った。

○着生植物の除去

着生植物除去用の薬剤試験を実施し、効果が認められた着生植物除去剤とエタノールを使用して除去を行い、大半を除去できた。顔料が認められる部分については、除去は行っていない。

○温度及び湿度測定

2 号墓内部と横穴墓周辺部の 2 ヶ所に観測器を設置し温湿度を測定した。

写真 1　石貫穴観音横穴
（左から 1 ～ 3 号墓）

写真 2　昭和 50 年以前の 2 号墓

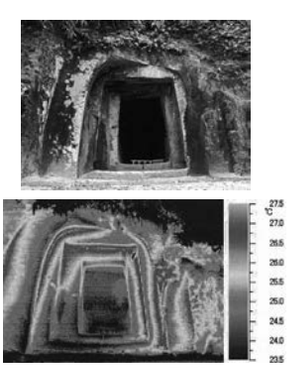


写真 3　上段：2 号墓
下段：劣化調査
サーモグラフィによる差画像

3．処置後の状況

保存処置から約 16 年が経過しており、現状をまとめる。

劣化部分及び脆弱箇所の補強については、処置した部分は現在も変化は見られず、剥離の補修や空隙充填した部分についても、変化は確認されない。地衣類などの着生植物の除去については、除去した直後から現在まで地衣類の再繁茂は認められず、ほぼ除去直後の状態を保っている。（写真 4 ～ 12）各横穴墓間の撥水処理を行った部分は、2 ～ 3 年は苔などは付かなかったが、現在は処置前と同様の黒色の苔状植物が確認される。白色の地衣類の再繁茂は認められないものの、処置した部分以外で、やや拡がりが認められる部分と、消滅した部分がある。1 号墓飾縁左側と、3 号墓上部の縁部分は、処置後からここ 10 数年で白色の部分が拡がっている傾向がある。一方 2 号墓飾縁上部では、ここ数年で白色の地衣類が消滅した部分が認められる。（写真 13、14）

４．まとめ

平成 16 年（2004）の処置は、一時的かつ応急的な内容に留められたものであったが、その後の状況と比較することなどで新たな保存に関する情報や知見を得られた。薬剤を用いた補修は、現時点では特に大きな問題となるような状況は認められず、着生植物を除去した範囲も特に再繁茂は認められない。白色の地衣類については、部分的な範囲の増減がみられるが状況の変化の要因は今のところ不明ある。

今後も引き続き観察や確認を継続し、横穴墓の保護、保全を図っていく必要がある。

写真 4
2 号墓地衣類除去前

写真 5
2 号墓地衣類
除去直後

写真 6
2 号墓現在
（2020 年）の状況

写真 7　１号墓地衣類除去前

写真 8　１号墓地衣類除去直後

写真 9　１号墓現在（2020 年）の状況

写真 10　３号墓地衣類除去前

写真 11　３号墓地衣類除去直後

写真 12　３号墓現在（2020 年）の状況

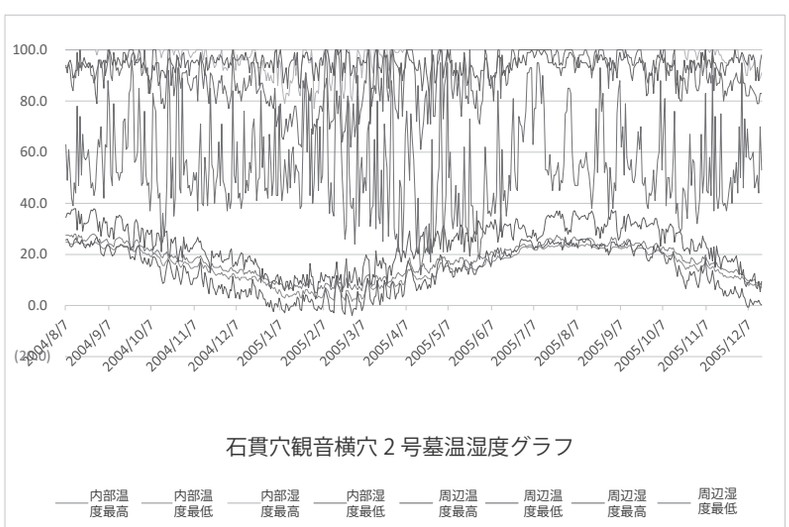


写真 13　２号墓（2004）

写真 14　２号墓（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

Paleo diet of Epi-Jomon in the Pacific Ocean coastline of Hokkaido

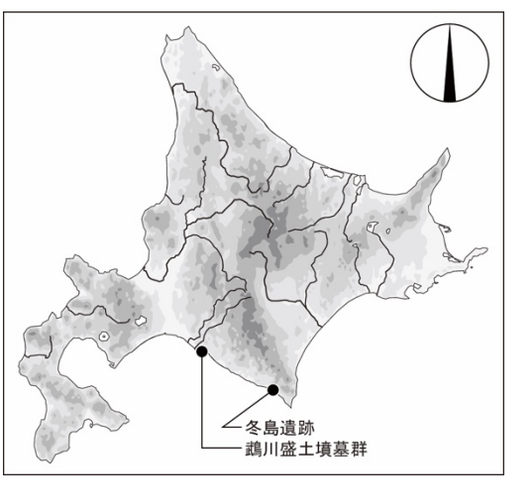
○村本周三[1]・宮内信雄[2]・堀内晶子[3]・吉田邦夫[2]・宮田佳樹[2]

○Shuzo MURAMOTO[1], Nobuo MIYAUCHI[2], Akiko HORIUCHI[3], Kunio YOSHIDA[2], Yoshiki MIYATA[2]

1：北海道教育庁　Hokkaido Office of Education　2：東京大学総合研究博物館　The University Museum, The University of Tokyo　3：国際基督教大学　International Christian University

1. はじめに

続縄文文化における生業の特徴として、漁労の優位、特にサケ科魚類の比率の高さが指摘されてきた。しかし、それらの指摘は、動物遺体や石器の分析から導かれたもので、地域差や遺跡間の差異については十分に検討されてこなかった。



2. 本研究の目的

貝塚が殆ど知られておらず、発掘調査事例も少ないことから、実態が不明な胆振地方東部から日高地方を対象地域とし、土器付着炭化物の残存脂質分析により続縄縄文文化期初頭（2,400 ^{14}C BP頃）の食性を復元することを目的とした。

3. 分析の方法と試料

試料は、むかわ町鵡川盛土墳墓群の土坑墓内またはその周辺、様似町冬島遺跡の遺物包含層の出土土器内面から採取した土器付着炭化物である（図1）。付着しているなかでは上部（口縁部に近い部分）から採取した。採取時の肉眼観察では状態が良好で、カサブタ状、またはある程度の厚さがあった。

採取した土器付着炭化物から脂質を抽出し、化合物レベルの炭素同位体比分析(Compound Specific Isotope Analysis)（$\delta^{13}C_{16:0}$, $\delta^{13}C_{18:0}$)と、残存脂質組成から調理した食材を推定するバイオマーカー分析を行った。脂質分析は、炭水化物やタンパク質を主体に評価するバルクの安定同位体分析による食性解析法と比べると、相対的に脂肪が多い動物、北海道ではエゾシカを中心とした陸獣、魚類、海獣の影響を強く反映する。脂質組成からは、脂質の由来する食材の推定だけでなく、その分解生成物から調理時の加熱の状況も推定できる可能性がある。

4. 結果と考察

鵡川盛土墳墓群の化合物レベルの炭素同位体比は、反芻動物の領域にある5からステアリン酸$\delta^{13}C$が高い7まで比較的ばらつきが大きく、冬島遺跡は海棲動物の領域でもステアリン酸$\delta^{13}C$が低い部分に集中したが、現時点では遺跡間の差異を示すものかは不明である。全体としてステアリン酸$\delta^{13}C$はやや低めであった。

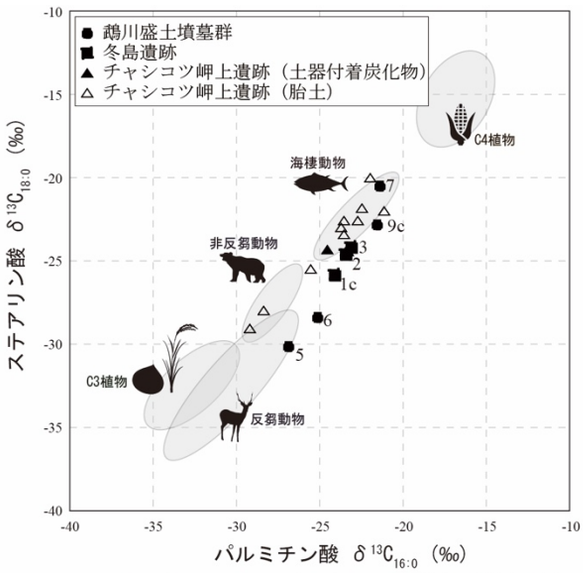


図2. パルミチン酸、ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成を、現生日本産生物データと比較。現生生物から推定される各端成分の領域を楕円で示した。

5以外からは、$C_{14:0}$-$C_{28:0}$の直鎖飽和脂肪酸と水棲動物のマーカーであるプリスタン酸、フィタン酸、TMTDのイソプレノイド類と環状脂肪酸であるAPAA-C_{16}、C_{18}, C_{20}, C_{22}が、1・2・7・9からはそれらに加えて動物性の脂質であるコレステロールが検出されており、魚類や海棲哺乳類の調理が推定される。さらに、五員環のACPA-C_{18}が検出されており、長時間の穏やかな加熱がうかがわれる。5からはフィタン酸とAPAA-C_{16}、C_{18}が検出されステアリン酸$\delta^{13}C$も低いことから、反芻動物（北海道ではエゾシカの可能性が高い）を調理したと推定される。6以外からは長鎖炭化水素が検出されており、植物質の影響も推定される。2は、他の試料が脂質量200〜550μg/gのところ、1,000μg/gを越えると共に、植物質マーカーのWax類も検出された。

4. まとめと今後の展望

鵡川盛土墳墓群、冬島遺跡共に量比は異なるものの、魚類、海棲哺乳類、植物質の「ごった煮」「シチュー」が主体と考えられるが、海産物が主体と考えられているオホーツク文化期からトビニタイ文化期を対象とした斜里町チャシコツ岬上遺跡の分析結果と比較すると、魚類や海棲哺乳類の比率は低い。また、反芻動物の影響が強く見られるものやWaxを含むものがあった。なお、胆振、日高地方は縄文時代において、エゾシカを対象としたとされる落とし穴が多く検出されていることから、シカ猟が盛んな地域と考えられているが、続縄文文化期においても一定程度エゾシカの利用がある証拠としてとらえられるなら大変興味深い。

今後は、測定事例を増やすと共に、バルクの安定同位体分析を行い、より多面的なフードスケープ（食景観）の復元に取り組みたいと考えている。

謝辞

本発表は、科研費基盤研究（A）「科学分析手法と土器使用痕観察を組み合わせた古食性と調理形態復元に関する学際的研究」（研究代表　宮田佳樹；16H01824）の成果の一部である。試料採取にあたって、むかわ町教育委員会田代雄介氏、様似町教育委員会髙橋美鈴氏の協力を得た。また、本発表をまとめるにあたり、公益財団法人北海道埋蔵文化財センター福井淳一氏、北海道教育委員会藤原秀樹氏から教示を得た。末筆ながら、お名前を記し、感謝申し上げたい。

条里境界における戦国時代「埋桶」遺構の文化財科学的研究
-京都盆地中西部・久々相遺跡を例に-

The Study of Late Medieval Cultural Property for Buried Tub Features on Boundary Lines of "Jori" as Historic Agricultural System, KUGUSOU Site, Middle Central Area of Kyoto Basin.

中塚良((公財)向日市埋蔵文化財センター)・早瀬亮介・松井隆幸((株)加速器分析研究所)・
高橋敦・○辻本裕也((株)古生態研究所)
NAKATSUKA Ryo(Muko City Archaeological Center,Kyoto),HAYASE Ryosuke,MATSUI Takayuki
(Institute of Accelerator Analysis Limited),TAKAHASHI Tsutomu,○TSUJIMOTO Yuuya
(Paleoecological Research Institute)

１．地域概観・遺構の位置

2019 年春季、京都盆地中西部桂川沖積低地・向日市/京都市南区境界に位置し、長岡京・平安京の古代二都を結ぶ「西国街道」に沿う歴史時代遺跡として周知される「久々相遺跡」第 13 次発掘調査において、条里地割の境界・里道遺構に埋置される桶形群を検出した。境界祭祀の痕跡の実例と推察される。乙訓郡条里十二条十里と東隣にあたる久世里（十一里）の里界であり、また、調査区南端近傍が以南の十一条十里・牛牧里（十一里）との交会点にあたる。条里地割景観上の要所に相当する(図１)。

２．遺構の概要

調査区南端において桶形木器を埋め置く遺構群を確認した(図２)。里道盛土を筒形に掘り込み縦・底板を個別に据え付けたとみられる。箍（たが）締めは未確認である。据方 3 基、据方層準への混入 1 基、計 4 基を数える。埋置状況、銭貨の共伴から胞衣(胎盤)埋納遺構と推察された(図３)。銭貨を除き考古学年代指標に欠くことから桶形材樹種同定とあわせ底板材に対し放射性炭素年代測定を実施し、戦国時代前期～近世初期の各暦年較正年代が得られた。

容器の遺存を確認した 2 基について(図４)、里道中央の **SX1303** は底板にヒノキ、側板にスギ材を利用し、唐・宋代 5 文銭を供える。側板下部(開元通寶 621y～、銘面融着銭２点)、側底隙間(紹定通寶 1228y・聖宋元寶 1101y)の上下に収める。底板材 **1396-1439calAD（2σ 確率 1 位)** の年代値が得られた。京都土器編年Ⅷ期新～Ⅸ期古型式（森島 2019）・Ⅷ期中～新型式（小森 2015）の各年代観に該当する。他方里道法面の **SX1312** は底板・側板ともヒノキ科材からなる。後世の側溝改修の履歴から、遺構上部・東半部を供物ともに欠損する。底板材 **1452-1524calAD（2σ 確率 1 位)**、底板上位の植物遺体 **1634-1669calAD（2σ 確率 1 位)** の各年代値が得られた。約 140 年間隔たり、埋桶後の空洞変形・埋積年限も示唆される。

遺構年代について、年代精度をさらに高めるために他の部位・層位試料について年代測定の追試が必要である。調査成果を提示し、中近世の文化史的成果との比較検討をこころみたい。

図1(左)調査地位置図
図2(右:左側)調査区と桶形遺構検出状況
図3(右:右側)胞衣桶埋納祭祀(日本の胎盤処理の歴史,2015より引用)

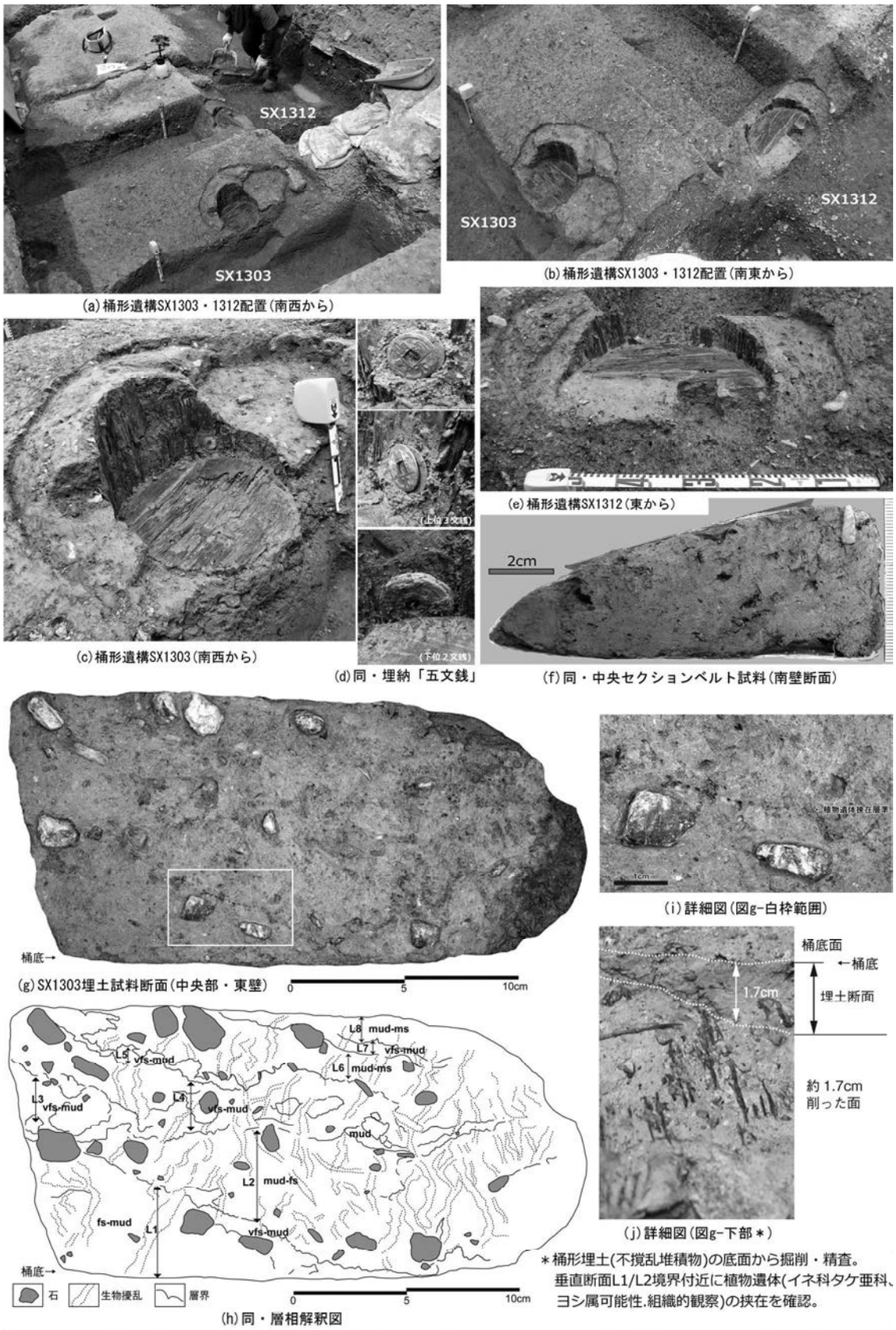


図4　久々相遺跡 桶形遺構SX1303・1312検出状況、詳細図

盛岡城の石垣における地中レーダ探査

Ground Penetrating Radar in the stone walls of Morioka Castle

○高瀬尚人（応用地質株式会社）、小林恵（同左）、似内啓邦（盛岡市教育委員会）
○Naoto TAKASE、 Megumi KOBAYASHI (OYO Corporation)、
Yoshikuni NITANAI (Morioka city Board of Education)

1. はじめに

城郭石垣は、築造からの経年変化や地震・台風・豪雨等の自然災害により不安定化して崩落被害が増加しており、石垣カルテの作成や変位観測等の基礎調査が進められている。

我々は、基礎調査の一つである石垣築石の控え長や栗石の層厚、盛土等の構造を把握する方法として、非破壊調査である地中レーダ探査の適用性検討と評価を進めている。

国指定史跡である盛岡城跡は、石垣総面積 16,174.8 ㎡のうち、傷みの著しい約 5,000 ㎡を対象として、昭和 59 年度から保存整備事業として石垣解体修理と発掘調査を実施している。今回、解体修理時の発掘調査で背面構造が確認された本丸南西部の石垣においてレーダ探査を実施し、発掘結果と探査記録を比較したところ、整合性の良い結果が得られたので報告する。

2. 探査概要

石垣調査における地中レーダ探査の概要を図 1 に示す。石垣表面に配置した送信アンテナから放射した電磁波は拡散・減衰しながら内部を伝播し、築石や栗石層の背面など異なる物質の境界で反射し、それらの反射波が受信アンテナで捉えられる。この築石や栗石層の厚さは伝播時間に電磁波速度を乗じて求められ、また石垣背面や栗石中に生じた空洞は、電磁波の反射振幅の強弱から推定することができる。

使用した探査装置は SIR System 3000（米国・GSSI 社製）、アンテナの中心周波数は 400MHz である。測定は、石垣表面に垂直方向に測線を設定し、石垣専用に製作した台車にアンテナを固定し、ロープで上下にゆっくりと移動させながら測定を行った（写真 1）。

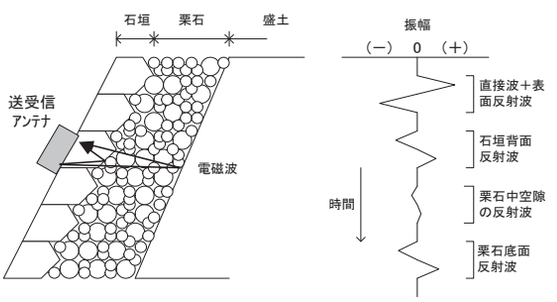


図 1.　石垣背面の探査状況と波形模式

写真 1. 石垣レーダ測定状況

3. 探査結果

本丸南西部石垣の三次元モデルと測線位置を図 2 に示し、測定記録と発掘調査結果を図 3 に示す。換算深度 0m の反射面が石垣表面であり、深部方向が石垣内部の反射である。石垣表面の直下で反射振幅の弱い範囲（黒く抜けている部分）が築石石材で、その下の反射振幅が強くなる境界面が築石石材と栗石層の境界を示している。栗石層は礫が集中して不均質であり、背後の地山や盛土と比べて強い反射として捉えられている。当該石垣におけるレーダ記録では、築石、栗石層、盛土層が捉えられており、発掘調査結果と比較しても、その層厚や形状がよく整合していることがわかる。このことから、本石垣においてレーダ探査が有効であることが確認できた。

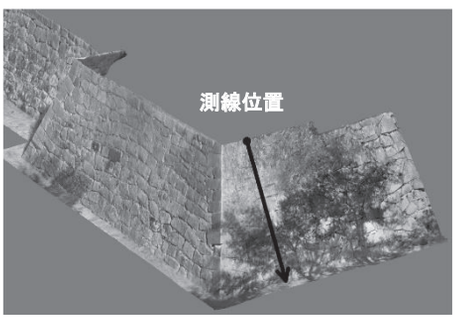


図 2. 三次元モデルと測線位置

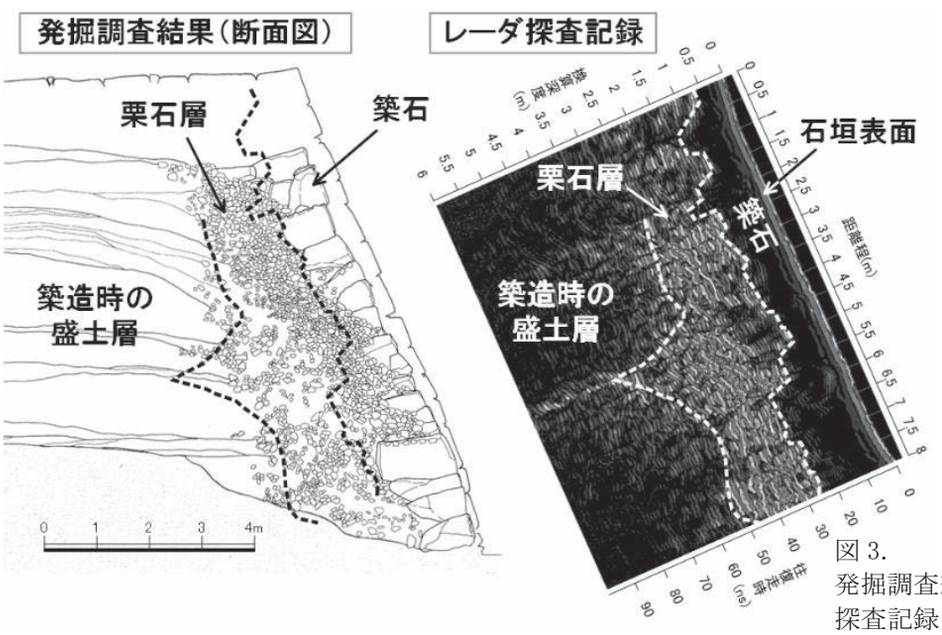


図 3.
発掘調査結果とレーダ探査記録の比較

4. おわりに

目視では判らない石垣背面の現状を把握することは、補修や積み直しの事業計画を考える上で重要な資料となる。高分解能で非破壊調査が可能な地中レーダ探査は、これまでも石垣調査に利用されていたが、今回発掘調査結果と比較することができ、その有効性を確認できた。

また、測定記録の品質を考慮するとアンテナが石垣から浮かずに安定して牽引することが望ましく、今回、石垣測定用の台車を考案し測定した結果、良好な記録が得られることを確認した。

今後は牽引距離の自動計測化や、石垣の三次元モデルとレーダ記録を合成した立体表現方法などについても改善を図り、石垣調査でレーダ探査を積極的に活用していきたいと考える。

参考文献

1）盛岡市・盛岡市教育委員会：史跡盛岡城跡 石垣移動量調査報告書，2000.
2）盛岡市教育委員会：史跡盛岡城跡II－第 2 期保存整備事業報告書－，2008.

社寺等における立体的な文化財資料の減災
ーシミュレーションを利用した転倒防止対策ー
Research the Disaster Risk Reduction in 3 dimensional Work
-Simulation and Fall Prevention-

○降幡順子(京都国立博物館)、中屋菜緒(同左)、近藤無滴(同左)
○Furihata Junko[1], Nakaya Nao[1], Kondo Muteki[1]
[1]Kyoto National Museum

1. はじめに

本研究の目的は、立体的な文化財資料を公開・保管する社寺等の場において、地震による転倒防止対策として実施可能な方法の立案とその効果を明らかにすることである。まず仏像彫刻を事例とするため木造模刻(複製像)の制作し、複製像を解析対象として、京都市消防局のご協力をいただき起震車を利用した振動・転倒実験を行った。実験では、阪神淡路大震災などの様々な地震波を入力し、複製像・免振台・床面に設置した加速度センサーにより加速度を計測した。

図 1 起震車実験

図 2 加速度センサー設置位置(○印)

起震車上で得られたデータをもとに転倒シミュレーションを制作し、それを利用して立体作品の転倒パターン、転倒を防止する対策とその効果について検討した。本研究では転倒防止対策として、立体作品には改変を加えず、鑑賞を妨げないことを前提として、①床面の摩擦係数の違い、②円形プレートの設置、③スペーサーを設置した場合を想定し、シミュレーションを試みたので、その結果を報告する。

表 1 起震車実験の入力波と結果

No	入力波	免震台	その他	結果
1	兵庫県南部地震	あり	台座1	転倒
2	兵庫県南部地震	あり	台座2	転倒
3	震度4	あり	以下、台座2	転倒せず
4	震度5弱	あり		転倒せず
5	震度5強	あり		転倒
6	震度5強	あり	シリコンシート設置	転倒
7	震度5強	あり	免震台のみ	
8	震度5弱	なし		転倒せず
9	震度5強	なし		転倒
10	震度5強	なし	複製像下部に重り	転倒せず
11	震度5強	なし	複製像上部に重り	転倒

2. 分析手法

対象とする資料の三次元データの取得は、非接触三次元デジタイザ Range7(コニカミノルタ)を使用し、データ処理は Geomagic Design X を使用した。複製像の三次元データは、そのまま解析に使用するにはデータ量が多いため、凸包形状へ変換して解析を実施している。まず初期設定として、凸包形状に一様に質量が分布していると仮定し、静止摩擦係数 0.33、動摩擦係数 0.30 とし、起震車実験を再現できるよう調整をした。なおシミュレーション制作は(株)構造計画研究所に依頼した。加速度センサーは Geo-Stick Professional(地層科学研究所)を使用し、仏像 2 箇所、

免震台・床面各 1 箇所に設置した。サンプリングレートは 100Hz とした。

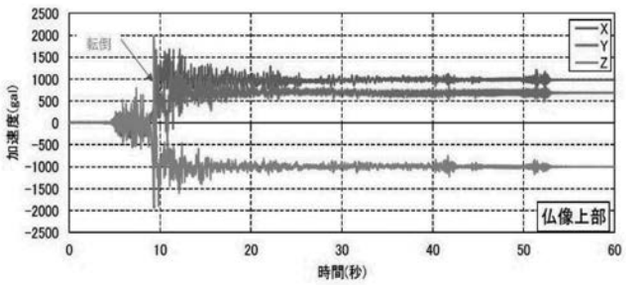


図 3 加速度センサーによる計測結果一例

3. 結果と考察

シミュレーションは、加速度センサーの計測結果、動画などをもとに、まず実際の起震車上での動作を再現できるよう調整をおこなった。起震車自体の傾きなど、今後さらに改善するべき課題もあるが、第一段階としてはほぼ再現できたので、それを用いて各種の検討をおこなった。

まずスペーサーを追加した場合は、特定の方向に転倒させたくないときに、設置場所により転倒する向きを変化させることができたため、転倒方向を考慮する際に活用できる可能性がある。スペーサーの形状は、今回は 1 種類のみであったため、形状・大きさについても検討をしていきたいと考えている。また円形プレートを裏面に追加した場合、摩擦係数を小さくすると、転倒はしないものの最大 35cm 滑動することがわかるなど、シミュレーションにより、転倒防止に関する対策について、その効果を検討することができた。

今後は、シミュレーションの精度を向上させるとともに、摩擦係数等の設定条件の検討や、他の立体作品についても計測を行い、シミュレーションを継続して実施し、転倒防止対策に役立てていきたいと考えている。

図 4 起震車上の再現シミュレーション(左:シミュレーション、右:実際の画像)

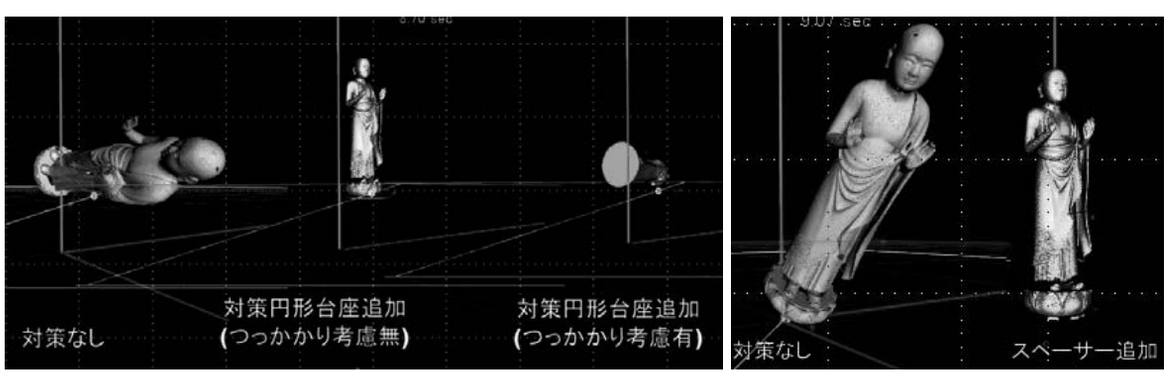


図 5 転倒防止対策に関するシミュレーション(JMA 神戸波)

謝辞:木造彫刻の制作には東京芸術大学山田修特任教授に多大なご協力を賜りました。厚く感謝申し上げます。

大津波で被災した地籍図の脱塩処理について

_陸前高田市立博物館所蔵品の修理報告から

Desalination Treatment of Cadastral Map Damaged by the Tsunami

; *Report on the repair of the collection of Rikuzentakata City Museum*

○金旻貞[1]、田畔徳一[1]、宇都宮正紀[1，2]、浅川崇典[3]

○Minjung KIM[1]、Tokuichi TAGURO[1]、Masaki UTSUNOMIYA[1，2]、Takanori ASAKAWA[3]

[1]㈱修美｜Shubi Co.,Ltd.　[2]特定非営利活動法人文化財保存支援機構｜Japan Conservation Project

[3]陸前高田市立博物館｜Rikuzentakata City Museum

Ⅰ はじめに

津波で被災した地籍図には修理に伴い「解体→養生→安定化処置（脱塩）→修理」といった一連の安定化処理が実施されている[1]。記録によるとこの方法は、解体して本紙と肌裏紙のみとなった資料の表裏を機能紙（ポリエステル紙、レーヨン紙、サンモア紙）で養生し、機能紙の上から噴霧器や刷毛で脱塩液（40-50 ℃に加熱した水道水または精製水）を少しずつ浸みこませ、刷毛にて本紙をしごいて水分を端へ寄せて排液するというものである。脱塩効果は 5 回～8 回で得られると報告されている[2]。筆者らは、基本的にこの作業工程に同意するが、徹底的な脱塩が必要であるのかという疑問と[3]、この方法は本紙を傷めすぎないかという疑問から、利点と欠点を熟知する必要性を感じた。

Ⅱ 既存の脱塩処理に問題及び脱塩処理の試み

地籍図（掛軸装）の脱塩工程を含む修理について、次の 2 点を改善策としてあげる。

1. 効果的な洗浄のために、紙の中から塩類を水中に拡散する時間を掛けることと洗浄水全体を度々取り替えることが望ましい[4]。
2. 本紙を保護する目的で使用する機能紙のうち、レーヨン紙が親水性、延伸性が最も高いのに対し、サンモア紙は両方とも低く、ポリエステル紙は親水性、延伸性低い。これらの機能紙を使って本紙を保護し、濡らした状態で刷毛でしごいて排水することで脱塩を行う作業は、親水性が高い紙の繊維がほぐれやすくなった状態で本紙に必要以上の力を加えてしまう可能性がある。

以上の点に留意し、陸前高田市立博物館所蔵の地籍図（掛軸装）の脱塩処理は、色料の移動が懸念される箇所については剝落止めし、養生した状態で特製の網枠にはさんで保護することにより行った。次に、水温を調整しない浄水にゆっくり沈め、10 分間ほど浸けた。使用するバットに排水口を設けて、効率良く水を交換した。水に浸けておく間、網枠の上から刷毛などを用いた物理的なクリーニングは行わなかった。塩素イオンの濃度が処理に用いた浄水と同じ値に到達するまで、浄水の交換を繰り返し、作業終了後はゆっくりと網枠を引き上げ、乾燥して修理工程へ進む。

Ⅲ 脱塩処理の検証方法

・イオン電極法 ：計測には、ハンディ塩素イオンメータ（(株)東興化学研究所、Tin-5102）を用いた。この方法は、はじめに酢酸緩衝液を加え、約 pH５に調整した後、資料を水洗した後の水に塩化物イオン電極を軽く接触させて電位差を測定し、塩化物イオンを定量する方法である。

・蛍光 X 線分析（XRF）：ポータブル蛍光 X 線分析装置（ブルカー製、Tracer5）を用いた。測定条件は次のとおりである。X 線管球：ロジウム（Rh）、管電圧と管電圧：30kV・50μA、X 線照射径:8 ㎜、測定時間：1 ポイント約 30 秒。

上記の 2 つの分析方法を比較検討した。測定の結果、概ね 3～4 回で脱塩処理は完了することが確認された（表 1）。また、水洗処理の前後に測定した蛍光 X 線分析調査法からも、修理後は修理前に比べて Cl(塩素)の検出はほとんど認められず、蛍光Ｘ線分析法でも脱塩処理の効果を確認できることが明らかとなった（表 2）。

表 1 脱塩処理中の塩化物イオン量 資料 NO.121
1 回処理　77.9 mg/ℓ、(0.008%)
2 回処理　17.8 mg/ℓ
3 回処理　14.7 mg/ℓ、(0.001%)
参照.脱塩液浄水 11.3 mg/ℓ

表 2 XRF の NET 値	Cl	K−K	Ca-K	Fe-K
脱塩処理前 外	111231	10954	49576	33437
脱塩処理前 中	115815	10799	49816	18444
脱塩処理前 内	76300	9238	49496	15200
脱塩処理後 外	1	1527	36334	2360
脱塩処理後 中	1	1113	34942	1961
脱塩処理後 内	1	1116	28403	1721

Ⅳ まとめ

「修理」と「安定化処理」、この両者の作業工程は一見すると若干の違いがあるように読み取れることもあるが、修理技術者が直面する地籍図の場合、全て「クリーニングをする」ことが前提で行われている。そのため、安定化処理（脱塩）を「装潢文化財における修理」に包含できると考えられ、本発表では実例を紹介しながら包括的な検討をおこなった。

既存の脱塩処理法では水に濡らせる時間は 1 回で 10～35 分の間で、脱塩処理はおおよそ 5 回～8 回で終わる[2][5]のに対し、この方法によると 1 回の水漬け作業を 10 分とし、これを 3～4 回繰り返すことで脱塩方法の効果が確認された。脱塩処理の評価については、イオン電極法は、蛍光 X 線分析調査法の結果と整合的であることが検証された。また、本紙の上で物理的な力を加えないため、絵や文字が害を受ける可能性は低く、最終的には展示、保管等が可能な状態を取り戻す修理として評価できる。

---

[1] 安定化処理、大津波被災文化財保存修復プロジェクト実行委員会編、2014

[2] 修復の課題_岩手県陸前高田市から救出された紙を素材とする資料を例にして_、赤沼英男、東京文化財研究所 研究会「これからの文化財防災―災害への備え」、2014 年 12 月

[3] 海水成分として、資料の劣化状態や劣化を引き起こす原因である $MgCl_2$、NaCl などはその飽和水溶液の常温での平衡湿度が其々約 33%（RH）と約 75%（RH）であり、温湿度コントロール管理下ではその影響は小さい。空調されていない通常の室内では NaCl は溶解する。海水で被災した紙資料の洗浄とその保存性評価、李ガンら、文化財保存修復学会誌 56、2013

[4] 紙本の漂白-その簡単な化学と作業工程（Ⅱ）、マーガレットヘイ、古文化財の科学 33、1988

[5] 被災地籍図安定化処置及び修理業務 脱塩処置レクチャー記録、2016

地域の歴史文化財保存のためのハザードマップ

Hazard map for preserving local historical and cultural properties

◯李　素妍（鳥取大学）
◯Soyeon LEE (Tottori University)

1. はじめに

2019 年 4 月に施行された改正文化財保護法によって地域における文化財の計画的な保存・活用の促進や、地方文化財保護行政の推進力の強化が求められている（文化庁 2019a)。この文化財保護法にしたがって文化財の保存・活用を図るために地域の地理的特徴、災害歴史および文化財の所在地に関する情報を把握して対策を講じる必要である。本研究では鳥取県の文化財について日常管理、防災および減災対策に一助することを目指して文化財リストの作成、マッピングおよび災害史などの資料を総合して文化財ハザードマップを利用した保存対策を試みた。ここではハザードマップの作成に必要な基本情報の提供や鳥取県の文化財ハザードマップにみられた課題を報告する。

2. 研究方法

本研究では GIS フリーソフトの QGIS を用いて、一部の鳥取県指定文化財と国土数値情報の土砂災害危険箇所を地図化してハザードマップをつくった。QGIS は短期間で新しいバージョンが公開され、機能の追加や操作の変更が行われるため、操作マニュアルを整備する場合には、任意のバージョンに固定して対応する必要がある（橋本 2017)。ここでは Windows 版 QGIS のバージョン 2.18.12 を使用した。鳥取県土砂災害危険箇所は国土数値情報を利用した。国土数値情報は、地形、土地利用、公共施設、道路、鉄道など国土に関する地理的情報を数値化したものであり、国土交通省国土政策局の Web サイトから無料で提供されている（国土数値情報 2019)。鳥取県指定文化財リストは、文化庁の国指定文化財データベース（文化庁 2019b）を利用してデータを入手した。文化庁の国指定文化財等データベースで検索した文化財等には、名称、文化財種類、時代、文化財指定年月日などのほかに、位置情報（緯度・経度）が付いており、GIS を活用して文化財等のデータベース化と分布図を作成することが可能である（深瀬 2016)。本研究で作成した鳥取県指定文化財リストには無形民俗文化財を除き、文化財の位置情報（緯度・経度）が不明な場合はとっとり文化財ナビで確認した。しかし、位置情報が把握されない文化財は QGIS で地図化できないのでリストで削除した。

3. 結果と考察

図 1 に鳥取県指定文化財における土砂災害危険箇所（図中の灰色）を示した。この地図に示した危険箇所の凡例は 4 つであり、土石流危険渓流、土石流危険区域、急傾斜地崩壊危険箇所および地すべり危険箇所であるが、地図のなかに凡例の区別は示されていない。鳥取県における広い範囲が土石流危険渓流であり、土砂災害危険がある場所に指定文化財が幅広く分布していることがわかった。本研究で示した鳥取県指定文化財の数は 170 点であり、国宝・重要文化財建造物 15 点、国宝・重要文化財美術工芸品 9 点、登録有形文化財建造物 87 点、登録有形民俗文化財 4 点、登録記念物 3 点、史跡名勝記念物 50 点、重要有形民俗文化財 0 点、重要伝統的建造物群保存地区 2 点であった。これらの指定文化財のなかで土砂災害危険箇所に含まれるのが計 70 点であり、国宝・重要文化財建造物 7 点、国宝・重要文化財美術工芸品 4 点、登録有形文化財建造物 36 点、登録有形民俗文化財 1 点、登録記念物 1 点、史跡名勝記念物 21 点、重要有形民俗文化財 0 点、重要伝統的建造物群保存地区 0 点であった。土砂災害危険箇所には登録有形文化財建造物の数が最も多かった。土砂災害危険箇所のほかに様々な自然災害（津波、水害等）があり、自然災害が発生する前に文化財の位置情報を集めて、文化財が危険地域にどのように分布しているかを調べるべきである。しかし、文化財の所在地に関する情報は不十分であり、すべての文化財に対する位置情報（緯度・経度）が記載されていない。文化財の防災・減災の対策づくりのために位置情報の更新が必要である。文化財のハザードマップを利用して危険地域に置かれている文化財を選別して優先的に文化財の保護対策に進めていくことも考える必要がある。自然災害から文化財を守るために、文化財を取り巻く危機を可視化したハザードマップの活用が急がれている。

参考文献　文化庁(2019a)『文化財保護法及び地方教育行政の組織及び運営に関する法律の一部を改正する法律等について』, http://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/1402097.html（令和元年 9 月 20 日に閲覧）/ 橋本雄一(2017)『二訂版 QGIS の基本と防災活用』古今書院, pp.19-43 / 国土数値情報(2019)http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A26.html(令和元年 8 月 26 日閲覧), 出典: 国土数値情報(鳥取県提供資料より作成)/文化庁(2019b)『国指定文化財データベース』https://kunishitei.bunka.go.jp/bsys/index（令和元年 8 月 23 日閲覧）/ 深瀬浩三(2016)歴史的文化財の保全のためのマッピング化の試み―文化財地理情報データベースの利用―, 第 13 回鹿大防災セミナー, 2016 年 10 月, 鹿児島大学郡元キャンパス, pp127-135

博物館・美術館における災害リスク軽減に向けた異業種間連携の試み

An attempting to collaborate across various industries for disaster risk reduction in museum

○黄川田翔（東京国立博物館）
○Sho KIKAWADA (Tokyo National Museum)

1. はじめに

国立文化財機構が中心となり進めている文化財防災ネットワーク推進事業の一環として、博物館・美術館における展示・収蔵の安全対策に関する研究協議会（以下、研究協議会）と題した会合を 2018 年度から開催している。本研究協議会は、各地の博物館・美術館への普及・啓発を見据えた、防災対策の再構築を図る契機として位置づけるものであり、博物館・美術館活動に深く関与する企業から多数の参加を得ながら協議を進めている。

本稿では、博物館・美術館における災害リスクの軽減に向けた新たな異業種間連携の試みである研究協議会の現況とその成果について報告する。また、防災対策のさらなる強化に向けた今後の展望についても述べる。

2. 研究協議会の開催状況

開催状況を表 1 に示す。これまでに参加した企業は、展示・収蔵設備、免震装置、防災設備の製造販売会社、美術品輸送会社、技術コンサルティング会社であり、毎年議題を変えながら開催している。研究協議会は二部構成になっており、第一部では数社から具体的な納入事例、最新動向、技術的課題について写真や映像を交えながら紹介してもらい、第二部では第一部の発表を問題提起として受け、会場全体で意見交換および協議を実施している。異業種間で議論を深めることで、多角的な視点から解決すべき課題を顕在化させる試みであるといえる。

表 1. 研究協議会の開催状況

開催回	第 1 回	第 2 回
日時	平成 31 年 2 月 26 日（火） 13：30〜16：00	令和 2 年 2 月 4 日（火） 14：00〜16：30
場所	東京国立博物館　平成館小講堂	
主な議題	地震対策	防火対策、水害対策
第一部 報告概要	1.　展示ケースの安全対策 2.　展示用吊り金具の安全対策 3.　免震装置の技術と他業界に学ぶ防災 4.　輸送業界における災害対応	1.　ガス系消火設備の現状とその懸念 2.　自動火災報知設備と 火災予兆検知システム 3.　水害対策の現況と防水板・防水扉
参加者	展示・収蔵設備：6 社（11 名） 免震装置：2 社（5 名） 美術品輸送：3 社（5 名） 国立文化財機構：（8 名） …計 29 名	展示・収蔵設備：7 社（13 名） 防災設備：2 社（6 名） 美術品輸送会社：1 社（2 名） 技術コンサルティング：1 社（2 名） 国立文化財機構：（6 名） …計 29 名

3. 顕在化した課題

二度の研究協議会では、各分野から従来的な防災対策に関する課題がいくつも挙げられた。例えば、博物館・美術館に設置される展示ケース等の設備機器に対して、耐震・免震性能の基準をどのように定めるかという点も、課題の一つである。一般的には、各企業が独自の技術情報や他業界の動向などを踏まえながら、個別の案件ごとに柔軟に対応しているのが現状であるが、客観的根拠として博物館・美術館業界で広く参照される推奨基準や指針の必要性を求める声が会場からいくつかあがっていた。

図 1. 研究協議会の開催風景

防火対策に関する課題としては、熱感知器や煙感知器の感度が挙げられており、気流の影響や火源と感知器の位置関係によっては、火災発生の検出が遅れてしまい、さらなる延焼を招く可能性も指摘されている。これは、国内外の博物館・美術館や文化財関連施設で近年発生した火災被害にも当てはまる現象である。本研究協議会の議論は、このような設備単体の性能や取扱いだけにとどまらず、設備の作動が周囲の展示・収蔵設備あるいは作品に及ぼす影響や二次災害リスクにまで発展している。例えば、展示ケースや収蔵庫の設計時には、ガス系消火設備の噴射に伴う圧力上昇を考慮した耐圧性能の検討が行われているが、実際の運用時に噴射ヘッドと展示・収蔵された作品の位置関係が意識されることはあまりなく、強大な風圧（風速）による振動、転倒、落下といったリスクが潜んでいることも、議論の中で共有されている。

その他、絵画作品の振れ止め対策、施設の止水対策などについては、博物館・美術館での普及が進んでいない現状も報告されており、その技術情報についても十分な理解が得られていないものと考えられる。

4. 防災対策の強化に向けた今後の展望

本研究協議会では、博物館・美術館活動に深く関与する様々な企業の参加によって、各専門分野の立場から従来的な防災対策を個別に評価することはもとより、展示・収蔵計画との相互作用にも焦点を当てることで、大局的な視点から課題を捉えることができた。これを契機として、博物館・美術館における防災対策の強化に向けた異業種間連携を確立することで、学芸員等への普及・啓発に供する体系的な技術情報の集約が効果的に実施できるだけでなく、各業種における技術開発のさらなる推進に帰結するものと期待される。

近年、行政および民間企業の双方において、事業継続計画 BCP（Business Continuity Plan）の策定とその実践が積極的に進められている。災害などの脅威から事業資産を守り、事業を素早く再開または継続させることを目指すこの考え方は、貴重な資料を収集・保管・展示している博物館・美術館においても導入すべきものである。その推進を図るためにも、防火対策・地震対策・水害対策などの各種対策と展示・収蔵計画を統合的にマネジメントできる人材の育成が、今後より一層求められると考えられる。