

口頭発表

Oral Presentations

中部産ヒノキ属の 2000 年年輪幅標準年輪曲線構築

Two millennium-long ring-width chronology of *Chamaecyparis* from central Japan

○大山幹成（東北大学）、米延仁志（鳴門教育大学）、鈴木伸哉（東京都埋蔵文化財センター）、
星野安治（奈良文化財研究所）

○Motonari OHYAMA (Tohoku University), Hitoshi YONENOBU (Naruto University of Education),
Shinya SUZUKI (Tokyo Metropolitan Archaeological Center), Yasuharu HOSHINO (Nara National
Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

標準的な年輪変動を記録した標準年輪曲線は、年輪年代学における基盤的なデータであり、より高精度の年代測定および産地推定を実践するため、各時代、各地域において、継続的に構築していく必要がある。また、時空間的に密な曲線のネットワークを構築することで、古気候復元や木材産地推定を行うことも可能となる。

我が国においては、1980 年代以降の奈良文化財研究所における先駆的な取り組みにより、本邦産ヒノキ科樹種に年輪年代法が適用可能なことが示され、標準年輪曲線の構築が行われてきたが、そのデータが広く活用されてきたとは言い難い。

本研究においては、中部産ヒノキ属（ヒノキおよびサワラ）に焦点を絞り、これらのみから構成される長期標準年輪曲線を構築することを目的とした。

2. 試料と方法

標準年輪曲線構築においては、各年代で標準年輪曲線を構築し、それらを連結しながら過去に延長していく必要がある。本研究においては、現生木曽ヒノキ（15～21 世紀）、弥勒寺跡遺跡・八丁堀三丁目遺跡・南元町遺跡（9～17 世紀）、池口寺古材（6～13 世紀）、遠山川埋没林（紀元前 2～7 世紀）の各サイトからヒノキ属（ヒノキ、サワラ）の試料を収集した。このうち、弥勒寺跡遺跡・八丁堀三丁目遺跡・南元町遺跡は東京都の遺跡であるが、ヒノキ、サワラの分布範囲および木材利用史の研究から、中部地方由来であると推定されている（鈴木・能城 2006）

収集した試料の年輪幅を年輪幅測定器または撮影したデジタル画像上で約 0.01mm 単位で計測した。年輪考古学の常法を用いて（Baillie 1982）、各サイト内で得られた年輪幅時系列データのクロスデーティングを行って年代関係を決定した後、アンサンブル平均して、標準年輪曲線を構築した。得られた標準年輪曲線間でクロスデーティングを行い、年代関係を決定して、

長期標準年輪曲線を構築した。

3. 結果と考察

各サイトで得られた年輪幅時系列のクロスデーティングを行い、相対年代が確定した試料のみを平均して、各標準年輪曲線を得た。試料数は、10点（南元町遺跡）～57点（弥勒寺跡遺跡）であり、曲線は、428年長（南元町遺跡）～855年長（遠山川埋没林）となった。各標準年輪曲線と個体間の t_{BP} 値の平均は十分に高い値を示し、良質のデータであることが示唆された。

次に、得られた各標準年輪曲線間でクロスデーティングを行い、現生木曽ヒノキを起点にして、各曲線の暦年代を決定した。各標準年輪曲線の暦年代および曲線間の t_{BP} 値は図1の通りであり、十分に高い値を示した。これにより、BCE156年～CE2001年の2000年を超えるヒノキ属の年輪幅標準年輪曲線が構築された。

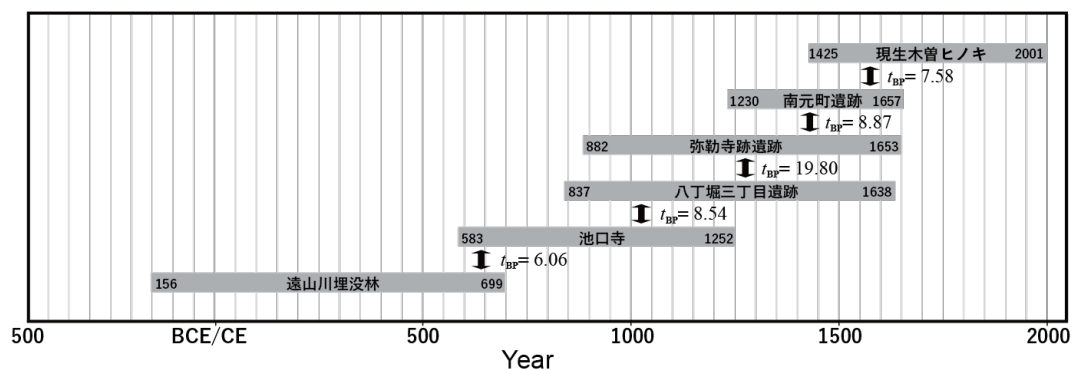
4. 今後の展望

各地の現生材標準年輪曲線の比較検討により、中部産ヒノキの標準年輪曲線は、近畿から東日本に至る広範囲の標準年輪曲線と同調性が認められることが明らかになっている。従って、本研究で得られた曲線は、今後、木質遺物の年輪年代測定における基軸的データとして、重要な役割を果たすことが期待される。さらにこの曲線を起点とした標準年輪曲線構築が各地で容易になるため、各地域での長期標準年輪曲線の構築に弾みがつくと考えられる。

5. 引用文献

Baillie, M. G. L. (1982) “Tree-ring dating and archaeology” The University of Chicago Press

鈴木伸哉・能城修一(2006) 東京都新宿区崇源寺・正見寺跡から出土した江戸時代の木棺の形態と樹種, 植生史研究, 14(2):61-72



平城宮・京跡出土曲物の年輪年代測定—木簡の年紀との対応関係—

Dendrochronological Dating of Wooden Bent Work from the Nara Palace and Nara Capital Site —Investigation on the Relationship between Dendrochronological Date and Wooden Tablet's Date—

○前田仁暉（京都大学大学院）、星野安治（奈良文化財研究所）、

浦 蓉子（同左）、高妻洋成（同左）

○Hitoki MAEDA (Kyoto University), Yasuharu HOSHINO, Yoko URA,

Yohsei KOHDZUMA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

古代遺構の数値年代は、都城や官衙等のごく少数の遺構から出土する木簡の年紀等から推定されることが多い。また、8世紀において木簡が出土しない遺構では、年代を推定するために考古資料編年として、平城宮土器編年（神野 2010 ほか）が主に用いられている。この編年では、各時期における土器群の数値年代が、伴出した木簡等の年紀によって推定されている。

一方で、多くの古代遺構から出土する曲物の底板や蓋板（以下、円板）は小型の木製品であるものの年輪幅が極めて狭いものがあり、年輪年代測定による年代の検討が可能であると思われる。そこで本研究では、平城宮・京跡の遺構から出土した曲物の年輪年代測定を実施し、曲物の年輪年代と伴出した木簡の年紀とを対比した。これにより、古代遺構における数値年代推定のための有効性を検討した。

2. 試料と方法

平城宮・京跡の各遺構から出土した曲物円板のうち、奈良文化財研究所において水浸保管されていたものの中から、木取りが柂目であり、かつ半円以上もしくは 10 cm 程度以上残存するものを抽出した。さらにその中から、肉眼観察により年輪幅が著しく広い 16 点と、表面の著しい劣化から年輪の観察が難しい 6 点を除外し、最終的に円板 115 点と、それらに付随していた柂目の側板 3 点の計 118 点を試料として選定した。

年輪年代測定は全点非破壊でおこなった。フラッドヘッドスキャナーやデジタル一眼レフカメラを用いて試料表面の年輪をスキャンおよび接写撮影し、高解像度の年輪画像を得た。次に、Cybis 社製年輪計測用ソフトウェア CooRecorder と SIEM 社製年輪分析ソフトウェア PAST 5 をそれぞれ用いて年輪幅計測と試料年輪曲線のクロスデーティング（以下、照合）を実施した。照合では、 t 値 (Baillie & Pilcher 1973) による統計的評価、年輪曲線をプロットしたグラフの目視確認、試料年輪曲線相互やそれを平均したものとの反復検証をおこなった。試料の年輪年代は、年輪年代が明らかにされている薬師寺東塔のヒノキ科製部材 73 点（星野ほか 2017）を平均した年輪曲線を用いて特定した。

表 1 平城宮・京跡から出土した曲物の最外年輪年代と木簡の年紀との比較

試料出土遺構と層位	点数*	年代の検討	
		最外年輪年代**	伴出木簡の年紀(括弧内は C.E.)
SD4750 木屑層	12/14	700(40)、680(52)	和銅 4 (711)～靈龜 3 (717)年
SE4770 黒灰砂土層	2/2	715(39?)	靈龜 3 (717)～養老元(717)年
SD4699 暗灰粘土層	3/4	721(57)	養老 6 (722)～天平 3 (731)年
SD5100 炭層、木屑層、黒灰色粘土層	7/9	714(28?)、711(42)	神龜 2 (725)～天平 11(739)年***
SE950 枠内	4/4	791(48+樹皮)	延暦 5 (784)～延暦 11(792)年

* 照合が成立した試料の点数/調査点数

** 最新の最外年輪年代 (C.E.) および最多の辺材年輪数を持つものを示す。

括弧内は辺材年輪数。色調や劣化の差から辺材の可能性のあるものは？を付した。

***天平 12 (740) 年の年紀のある墨書土器も出土。

3. 結果と考察

試料 118 点中、88 点の照合が成立した。薬師寺東塔部材の平均年輪曲線に対する曲物の平均年輪曲線の t 値は 24.0 であり、照合の統計的評価として十分に高い値であると考えた。

次に、同遺構や同層位から紀年銘木簡が出土する 5 つの遺構において、曲物の最外年輪年代と木簡に書かれた年紀とを比較した (表 1)。対象遺構は、長屋王邸跡の溝 SD4750 と井戸 SE4770、二条大路上の溝 SD5100、東二坊々間路西側溝 SD4699、西大寺食堂院の井戸 SE950 であった。

各遺構から出土した曲物の最新の最外年輪年代は、伴出木簡の最新の年紀と比べると、1～25 年古い。樹皮が残存し、原木の伐採年代が特定できた 1 点では、その差は 1 年と極めて小さかった。一方、樹皮が残存しないものでは、その差は 2～25 年あったが、曲物製作時に樹皮側の年輪が数層失われているため、もともとの原木の伐採年代はより新しい年代となり、木簡との年紀との差はより小さくなると考えられる。このように、最新の最外年輪年代は、伴出する木簡の年紀と整合性が高く、曲物の年輪年代測定が遺構の数値年代推定に有効であることが示唆された。

4. 展 望

本研究で検討した遺構から出土する土器群は、平城宮土器編年において土器群と木簡の年紀とを対応する基準となる資料とされている。よって本成果は、平城宮土器編年における数値年代推定を裏付けるものになると考えられる。また、大多数の古代遺構では木簡が出土しないため、直接的に数値年代を推定することは困難とされているが、曲物の円板が出土すれば、数値年代の推定に繋がる可能性がある。

謝 辞

本研究は、JSPS 科研費 21J20297、21H00610、17H02424 の助成を受けた成果の一部である。

引用文献等

神野恵 2010 「平城宮土器の大別と略年代」『図説 平城京事典』 柊風舎 pp. 407-409、星野安治・児島大輔・光谷拓実 2017 「国宝薬師寺東塔木部材の年代測定—建立年代について—」『紀要 2017』奈良文化財研究所 pp. 75-77、前田仁暉・星野安治・浦蓉子・高妻洋成 2021 (印刷中) 「平城宮・京跡出土曲物の年輪年代測定」『紀要 2021』奈良文化財研究所、Baillie, M.G.L. & Pilcher JR. A simple cross-dating program for tree-ring Research. *Tree-Ring Bulletin*, 33, 1973. pp.7-14

地蔵ヶ淵洞穴の再検討－AMS 年代測定を中心に－

Rethinking of Jizougabuchi cave site

○遠部 慎 (島根)、畑山智史 (飛ノ台史跡公園博物館)、米田 穰 (東京大学)、小林謙一 (中央大学)

○Shin ONBE(Shimane university), Satoshi HATAKEYAMA (Tobinodai Historic Park Museum), Minoru YONEDA(Tokyo university), Kenichi KOBAYASHI (Cyuo university)

1. はじめに

岡山県真庭市に所在する地蔵ヶ淵洞穴は学会でもほとんど知られていない洞穴遺跡である。2020 年度より再検討を開始しているが、土器の再検討によって長期間にわたる遺跡あることが明らかになってきた。本発表では、得られた自然遺物を中心とした年代値を紹介し、その評価を行うことにする。年代測定の結果、人骨は古代であることが判明し、重要な事例であることがわかってきた (遠部ほか 2021)。

さらに、そのほかの自然遺物から縄文時代のデータも得られたので、それらについて、速報的に紹介することにした。

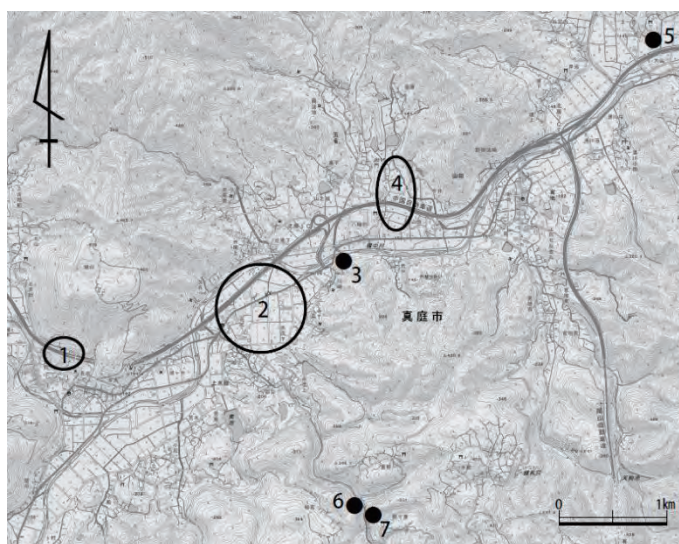
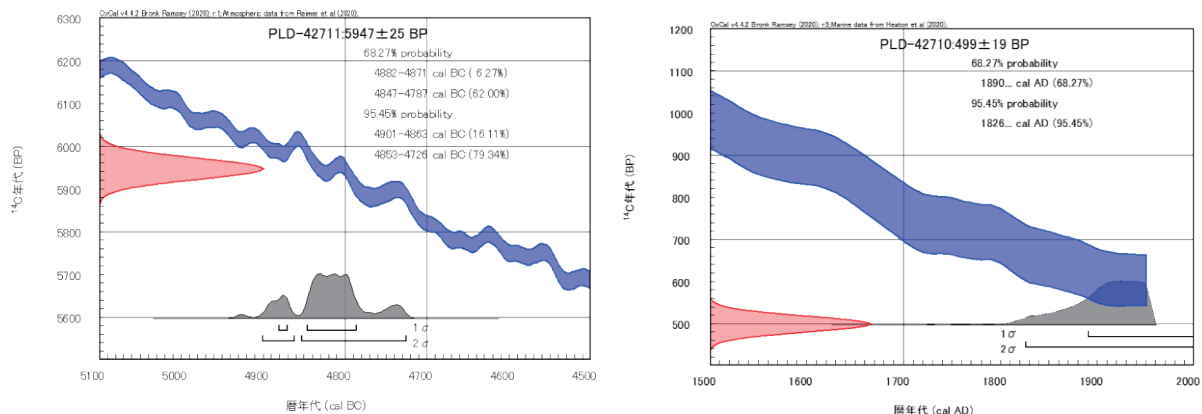


図 1 地蔵ヶ淵洞穴遺跡位置図(3)

(国土地理院 電子地形図 25000 を一部改変使用)

2. 地蔵ヶ淵洞穴の動物骨（肋骨）の年代測定

地蔵ヶ淵洞穴からは縄文時代前期以降の土器群が確認されている (坂本編 1983)。ところが、共伴すると考えられたカワニナはやや古い測定値が得られていた (犬島貝塚調査保護プロジェクトチーム 2021)。そこで、動物骨（肋骨）の年代測定を行った。その結果、西川津式土器に該当する年代の測定値が得られた (図 2)。



3. イタヤガイの年代測定

貝類の中で明らかに海産性貝類も認められるので年代測定を行った結果、近世から近代にかけての測定値が得られた。岡山県内で、遺跡から出土したイタヤガイの類例を集めたところ、近世から近代にかけて、岡山城を中心として、類例を確認することができた。年代測定の結果はそれらと矛盾するものではない。

4. まとめ

これまで地蔵ヶ淵洞穴については自然遺物については不明な点が多かった。予備的な調査とはいえ今回得られた自然遺物の年代測定の結果から、長期間にわたって利用されていた洞穴遺跡であることが確認できた。今後、これらの結果を踏まえつつ、さらに調査、研究を進めていきたい。

測定や分析にあたり、「挑戦的研究（萌芽）19K21654 高精度年代測定法の開発と適用可能な考古・歴史資料の拡大」（代表小林謙一）、「国際共同研究加速基金（国際共同研究強化（B））19KK0017 ユーラシアにおける土器出現の生態史」（代表小林謙一）を利用し、犬島貝塚調査保護プロジェクトチーム、岡島隆司、及川穰氏に数多くの助言を得た。心より、御礼申しあげたい。

【文献】

犬島貝塚調査保護プロジェクトチーム編 2021『地蔵ヶ淵洞穴遺跡—フィールドワークの記録—』犬島貝塚調査保護プロジェクトチーム

遠部慎・畑山智史・米田穰・坂本彰・小林謙一 2021「地蔵ヶ淵洞穴の人骨の年代学的研究」『中央史学』44、pp. 1-14、中央史学会

坂本彰編 1983『岡山県上房郡北房町地蔵ヶ淵洞穴』私家版

初期水田に関する総合的研究

The comprehensive study on the early paddy field

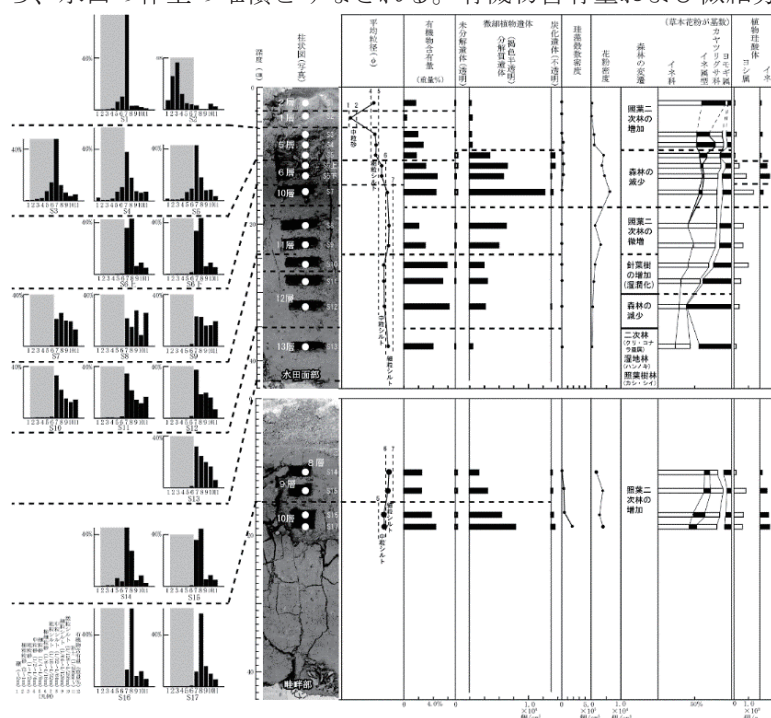
○金原正明(奈良教育大学), 岡田憲一(奈良県立橿原考古学研究所), 田崎博之, 金原美奈子(文化研センター)

○Masaaki KANEHARA(Nara University of Education), Ken-iti OKADA(Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture),

Hiroyuki TAZAKI, Minako KANEHARA(Cultural assets scientific research center)

初期水田に対し考古学的検討をおよび自然科学的検討を具体的な遺構から行い、初期水田の環境、形成、耕作の状況を分析し、初期水田の技術段階を探索した。

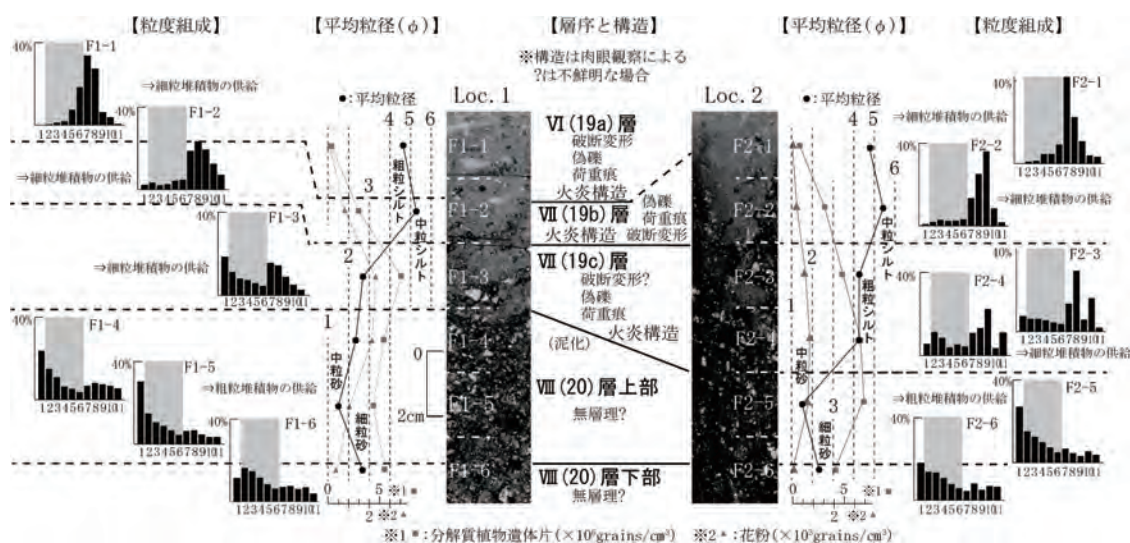
安満遺跡では、水田面と畦畔部の土層断面の試料を分析し、遺構および層序観察からは6層が明確な水田作土層にあたる。下位より13層(試料S13)の時期は、照葉樹林と二次林および水湿地草本、ハンノキ属(ハンノキ)湿地林が分布し、12層下部(試料S12)にかけてシイ属の照葉樹林の減少、12層上部(試料S11)から11層下部(試料S10)の時期には、スギなどの針葉樹が増加し、気候の湿潤化と多少の冷涼化が示唆され、やや大きな自然環境変化が生じた。11層中部(試料S8)～上部(試料S8)の時期には照葉二次林としての照葉樹の増加とみなされ森林が多少回復する。10層(試料S7)の時期になると、イネ植物珪酸体とイネ属花粉が出現し、周辺でイネ栽培が開始される。伴って森林はやや減少する。10層(試料S16・17)ではイネ植物珪酸体とイネ属型花粉が良好に検出され、多様な湿地から水生環境の珪藻の出現から、水田の作土の堆積とみなされる。有機物含有量および微細分解質植物遺体(褐色半透明)



安満遺跡における分析結果

の集積も高く、土壌としての発達も良好である。微細炭化遺体(不透明、炭や微粒炭)も検出され、火入れされたことも推定される。6層(試料S6上・S6下)と9層(試料S14・15)はイネ植物珪酸体とイネ属花粉の出現や有機物含有量および微細分解質植物遺体(褐色半透明)の集積から水田作土の堆積とみなされる。また、粒度組成の最頻値の著しい突出があり一定水流による淘汰があり、水の供給や引水が示唆される。

秋津遺跡 7 次調査の粒度組成から、Loc. 1 の試料 F1-5 : VIII (20) 層上部、試料 F1-4 : VIII (20) 層上部と Loc. 2 の試料 F2-5 : VIII (20) 層上部は礫を最頻値として近似するが、Loc. 1 ではシルトに極めて弱いピークをもち、軽微であるが組成が異なる。VIII (20) 層下部は Loc. 1 と Loc. 2 とも礫が少なく、VIII (20) 層上部とは粒度組成が異なる。VIII (20) 層上部には粗粒堆積物の供給があったことになるが、層としての発達はなく分散していて目視では無層理に近い。上層の VII (19c) 層との層理面は火炎構造 (フレーム構造) をもち、VII (19c) 層には VIII (20) 層上部が遊離した偽礫も観察される。VIII (20) 層上部が固結していたら荷重痕は形成されず、泥化していたとみなされる。VIII (20) 層上部の泥化と礫の分散は極めて不自然であり人為的な水の供給と耕起や砕土が行われたとみなされる。Loc. 2 の試料 F2-4 : VII (19c) 層と試料 F2-3 : VII (19c) 層は粒度組成で三峰から双峰性を示し、Loc. 1 の試料 F1-3 : VII (19c) 層がやや組成は異なるものの双峰性であり、粒度組成の異なる堆積物で形成されている。VII (19c) 層は下面と上面とも火炎構造 (フレーム構造) を示し偽礫も入り粒度組成と整合性をもつ。Loc. 2 (畦畔部) の VII (19c) 層は、粒度組成において Loc. 1 (作土部) より複合的でありまた上部に厚いが畦畔の形成とその荷重による沈み込みと考えられる。VI (19a) 層から VII (19b) 層 (Loc. 1 地点の試料 F1-2、試料 F1-2、Loc. 2 地点の試料 F2-1、試料 F2-2) はシルトにピークのある単峰性を示し、比較的一定の流水により堆積している。色彩の異なるブロック状の遊離した偽礫も顕著であるが、同じ粒度組成の堆積物とみられ、土壌化の時間的経過の異なりと考えられる。また、偽礫の中には破断によるブロック化のものもある。以上から、VI (19a) 層、VII (19b) 層、VII (19c) 層、VIII (20) 層上部にかけては、偽礫や火炎構造 (フレーム構造) の荷重痕と破断構造があり、泥化した状態での荷重による変形を受けており引水と耕起や砕土が行われたとみなされる。花粉群集において、VIII (20) 層上部になるとカヤツリグサ科が増加し周辺は湿潤化しクリは減少する。VII (19c) 層から VII (19b) 層、VI (19a) 層にかけて、カヤツリグサ科の増加、ヨモギ属の減少による湿潤化の進行、森林ではコナラ属アカガシ亜属とシイ属の増加による照葉二次林としての照葉樹の増加がみられた。



秋津遺跡 7 次調査における堆積物性状図

深層学習を用いた鳥類の骨部位認識に関する検討

The Experiment on Identification of Bird Bones

using Deep Learning

○正司哲朗（奈良大学）、木山克彦（東海大学）、内山幸子（同左）、江田真毅（北海道大学）

○Tetsuo SHOJI(Nara University), Katsuhiko KIYAMA, Sachiko UCHIYAMA(Tokai University)

Masaki EDA (Hokkaido University)

1. はじめに

現在、動物遺存体は、現生骨格資料との比較対照を通じて、動物考古学者が種・部位を同定している。しかし、膨大な動物遺存体に対して、少数の動物考古学者で対処している状況である。このような状況を改善するには、迅速的・効率的かつ安定的な動物遺存体の同定手法の開発が必要とされている。一方、深層学習を用いた画像認識手法は、他分野の活用が進みつつあるが、動物考古学分野においては、適用が進んでいないのが現状である。なぜなら、深層学習を行うためには、非常に多く資料が必要であるが、多種多様な動物依存体の資料を集めることが難しいからである。そこで、本研究では、深層学習を用いて、少ない資料で学習し、鳥類の骨部位を認識した場合、どの程度の精度が見込めるかを検証することを目的としている。さらに、どこでも簡易に動物遺存体の同定が可能になるように、スマートフォンを用いた画像認識システムを構築することである。

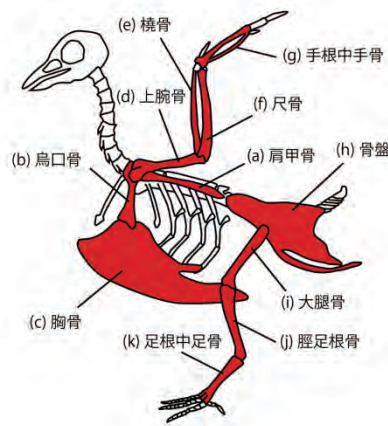


図1 本研究で認識する骨部位

2. 深層学習を用いた鳥類の骨部位認識方法と結果

本研究で対象としている鳥類の骨部位は、図1に示すように(a)肩甲骨、(b)鳥口骨、(c)胸骨、(d)上腕骨、(e)桡骨、(f)尺骨、(g)手根中手骨、(h)骨盤、(i)大腿骨、(j)脛足根骨、(k)足根中足骨の11種類である。本研究で用いる資料は北海道大学総合博物館（北大画像）に所蔵されている鳥類の資料、引用文献（松岡・安倍:2009）の骨部位画像（鳥探画像）を用いた。

北大画像は 7,293 枚あり、部位毎にランダムに振り分け、学習用画像 3,645 枚、検証用画像 3,648 枚に分類し、さらに検証用画像に鳥探画像 1,171 枚を追加して 4,819 枚を利用した(表 1 参照)。骨部位の認識では、深層学習のフレームワークの 1 つである Google が開発した TensorFlow を用いて、8 層の 2 次元畳み込み層からなるニューラルネットワーク(CNN)を構築した。

本実験では、Ubuntu 16.04.6 LTS、NVIDIA TITAN RTX 上で、TensorFlow 1.12、Keras2.2.4 を用いた。

骨部位を認識した結果を表 1 に示す。認識結果の平均では、95.51%と高い認識率を示した。しかしながら、脛足根骨が 87.03%と他の部位に比べて低い結果となった。脛足根骨の認識では、尺骨、上腕骨、手根中手骨、足根中足骨などに誤認識されていた。

表 1 鳥類の骨部位認識結果

部位	学習用画像数	検証用画像数	認識結果(%)
(a)肩甲骨	241	241	96.27
(b)鳥口骨	282	407	97.79
(c)胸骨	93	133	93.23
(d)上腕骨	443	597	97.82
(e)橈骨	404	405	98.27
(f)尺骨	430	562	97.33
(g)手根中手骨	434	584	99.14
(h)骨盤	132	216	92.59
(i)大腿骨	445	590	96.61
(j)脛足根骨	296	501	87.03
(k)足根中足骨	445	583	94.51
合計	3645	4819	
平均			95.51

3. スマートフォンを用いた画像認識システムの構築

スマートフォンを用いた画像認識システムの構築では、Web サーバ上で、CGI(Common Gateway Interface)を用いて、認識プログラムを実行し、骨部位画像を認識させた。具体的には、まず、スマートフォン上で、撮影・背景と対象部位の分離を行い、その画像データを Web サーバに送信する。次に、Web サーバ上で、先に学習したモデルを用いて送られてきた画像を認識し、認識結果をスマートフォンに送信するものである。このシステムを実現することにより、遠隔地からでもインターネットに接続すれば容易に骨の部位認識が可能となる。

4. おわりに

本研究では、深層学習を用いて、鳥類の骨部位を認識した。骨は鳥類の種別によっては、同じ部位でも形状が異なり、さらに、撮影する方向によって見える形状も異なるため、非常に難しい対象であるが、撮影方向を限定した場合には、おおむね良好な結果が得られた。

今後の課題は、構築したニューラルネットワークの改善、撮影する方向による見えの変化、少ない学習データにおいても、効率良く学習できる方法などを検討する。

謝辞

本研究の成果は、JSPS 科研費 19K21655 の助成を受けたものである。

引用文献

松岡廣繁・安倍みき子 2009『鳥の骨探』株式会社 エヌ・ティー・エス

北海道有珠モシリ遺跡出土人骨に見られる齧歯類の齧痕と

カットマークの判別について

Discrimination of Rodent Gnaw Marks and Cut Marks found in

Human Bones of the Usumoshiri Site in Hokkaido

○青野友哉（東北芸術工科大学）、澤田純明（新潟医療福祉大学）、永谷幸人（伊達市噴火湾文化研究所）

○Tomoya AONO (Tohoku University of Art and Design), Junmei SAWADA (Niigata University of Health and Welfare) , Yukihito NAGAYA (Date City Institute of Funkawan Culture)

1. 目的

北海道伊達市有珠モシリ遺跡では縄文晩期の人骨 11 体の頭骨・四肢骨を意図的に配置した多数遺体再葬墓が検出され、埋葬過程の復元が課題となっている。人骨の中には長さ 0.5～1 cm、幅 0.1～1mm ほどの線状の傷痕を有する例があり、齧歯類の齧痕とカットマーク（解体痕）の 2 つの可能性が考えられた。さらに傷痕の内部の色調が人骨表面の色調と異なる例もあり、仮に齧痕である場合、縄文時代のものであるだけでなく発掘調査時の齧痕であることも考えられた。これらの傷痕の成因と形成時期を決定し、再葬墓の埋葬環境と埋葬過程の正確な判断に役立てることが本発表の目的である。

2. 対象試料と分析方法

対象は有珠モシリ遺跡人骨 4 点（脛骨 1 点、大腿骨 2 点、肋骨 1 点）及びエゾシカの中足骨に複製石器で故意に傷痕をつけた実験資料 1 点とする。比較資料として木棺墓の存在から齧歯類の齧痕と判断された北海道有珠 4 遺跡出土の 17 世紀の木製品 1 点を用いる。方法は実体顕微鏡により撮影した画像を用いて形態・幅の比較を行なった。

表 1 傷痕を有する人骨及び比較資料

No.	遺跡名	遺構名	種別	部位	詳細部位	幅（1 本）	単位	傷内の色調
1	有珠モシリ遺跡	18 号墓	ヒト	右大腿骨	頸部～頸基部	0.1mm	1 本	骨表面より暗
2	有珠モシリ遺跡	18 号墓	ヒト	左大腿骨	遠位部	0.75mm	2 本	骨表面より明
3	有珠モシリ遺跡	18 号墓	ヒト	左脛骨	近位部	0.75mm	2 本	骨表面より明
4	有珠モシリ遺跡	18 号墓	ヒト	右肋骨	—	0.5mm	2 本	骨表面より暗
5	現生資料	—	エゾシカ	中足骨	—	0.1mm	1 本	骨表面と同調
6	有珠 4 遺跡	8 号墓	木製品	シトキ裏面	—	0.7～1.0mm	2 本	表面より明



図 1 有珠モシリ遺跡 18 号墓
（11 体の再葬墓・縄文晩期）

3. 分析結果

顕微鏡観察により傷痕の幅と形状を観察したところ、幅 0.1～0.2 mm の 1 本単位の傷痕が不規則につくもの (No. 1) と、幅 0.5～1 mm の傷痕が 2 本で一对をなして並行するもの (No. 2～4) に分類できた。前者の幅と形状は、エゾシカに黒曜石製ナイフ (複製) で付けた傷痕 (No. 5) と類似することから、カットマークである可能性が指摘できる。なお、No. 1 の傷痕はヒトの腸骨大腿靱帯に覆われる大腿骨頸部から頸基部に集中しており、骨盤から大腿骨を取り外す際についたカットマークと考えられる。後者は 2 本一对をなす形状から齧歯類の齧痕の可能性が高い。参考資料とした有珠 4 遺跡出土木製品は 17 世紀の木棺墓内から出土したものである。この木棺墓は人骨と遺物の散乱状態から空隙環境にあった木棺内に齧歯類が入り込んだと判断しており、木製品に着いた 2 本一对の傷痕は齧痕であると考えている。

齧歯類の齧痕と判断される人骨のうち、No. 2 と 3 は傷の内部の色調が明るく、No. 4 が骨の表面と同様か土が付着してやや暗い部分があるのと異なっている。つまり色調が明るいものは比較的新しい齧痕であることが疑われたため、発掘時の調査記録と照合したところ、骨の出土から取り上げまで一晩時間が空いていたことがわかった。同時に No. 2 と 3 の出土位置は痕部分が接した状態で上下に重なっていたことがわかった。

以上のことから、有珠モシリ遺跡 18 号墓出土人骨の傷痕は、縄文時代におけるカットマークと齧歯類の齧痕が各 1 点、発掘調査時の齧痕が 2 点存在することがわかった。

4. 結論と今後の課題

人骨に残る傷痕を詳細に観察した結果、成因と形成時期が異なる傷痕を判別することができた。これは多数遺体再葬墓の埋葬環境と埋葬過程を明らかにする上での基礎的かつ重要な作業である。カットマークの存在からは再葬墓に骨を安置する段階で軟部組織が完全に腐朽していない個体が存在した、つまり死亡して間もない人骨も含まれていたことが推察できる。ただし、カットマークは約 1000 点の人骨片中で 1 例のみであることから大半は十分に腐朽した後に再葬されたものといえる。齧歯類の齧痕の存在は一次葬墓ないしは再葬時に空隙環境の期間があったことを示している。ただし、これも発掘調査時の齧痕を除外すると肋骨 1 例のみであることから、判断は慎重にするべきである。今後は 18 号墓内の人骨の接合関係など他の要素と合わせて埋葬環境の復元をする必要がある。

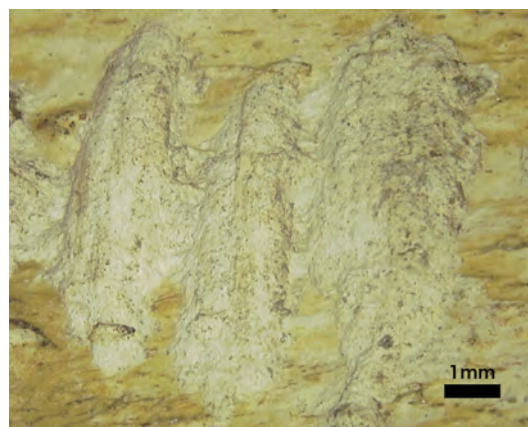
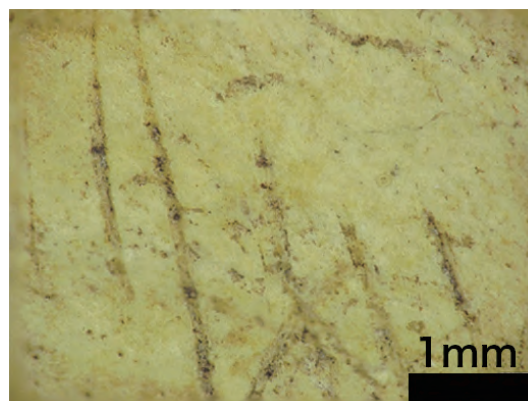


図2 有珠モシリ遺跡 18 号墓人骨の 2 種類の傷痕
(上 : No. 1, 下 : No. 2)

縄文クッキーの脂質（残留有機物）分析

Lipid analysis of carbonised Jomon cookies

○宮内信雄（東京大学総合研究博物館）、堀内晶子（前 国際基督教大学）、
佐藤雅一（津南町教育委員会）、佐藤信之（同左）、
吉田邦夫（東京大学総合研究博物館）、宮田佳樹（同左）

○Nobuo MIYAUCHI (The University Museum, The University of Tokyo),
Akiko HORIUCHI (ex-International Christian University),

Masaichi SATO, Nobuyuki SATO (Tsunan Town Board of Education),
Kunio YOSHIDA, Yoshiki MIYATA (The University Museum, The University of Tokyo)

1. はじめに

縄文クッキー（クッキー状炭化物）は、中部地方を中心に 32 遺跡から 210 点ほど確認されている（國木田 2015）。縄文時代中期に属する例が主体である。その原材料については、山形県高畠町押出遺跡出土品（縄文時代前期）について「脂肪酸分析」の実施例があり、堅果類と動物、塩、酵母などが混合していると推定された（中野 1989 など）。中野らの方法論には問題点があり、分析結果には強く疑問が呈されている（山口 2002 など）。同じく押出遺跡などの縄文クッキーについて、國木田らが炭素・窒素安定同位体分析を実施したところ、タンパク質をほとんど含まない C_3 植物が、原材料の主体となっていると推定された（國木田ほか 2009 など）。

本発表では、新潟県津南町沖ノ原遺跡から出土した縄文クッキーの脂質（残留有機物）分析を行った。炭素・窒素安定同位体分析は炭水化物やタンパク質についての情報を与えてくれるが、この分析では見えにくい脂質の由来を補うことで、縄文クッキーの原材料についてより重層的に推定ができるものと考えられる。

2. 分析試料と方法

測定試料は、3 点の縄文クッキーから採取した（NGOK-1～3）。沖ノ原遺跡では 50 点以上出土した縄文クッキーの他、多くの出土品が新潟県指定文化財となっているが、当該母資料 3 点は再整理の過程で検出されたものであり、指定外となっている。縄文時代中期後葉に属すると考えられ、今回の測定資料ではないが、 4370 ± 60 BP (TKa-15057) の放射性炭素年代が得られている（國木田 2012）。脂質（残留有機物）分析に先立って、炭素・窒素安定同位体分析を実施している。他例と同様に、 $\delta^{15}N$ が小さく C/N が大きい特徴を持ち、タンパク質をほとんど含まない C_3 植物が原材料の主体となっていると推定される（第 1 図）。

残留有機物の抽出には、酸メタノール法を用いた。東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室設置の GC-MS により抽出した有機物の同定を行い、GC-C-IRMS により個別脂肪酸（パルミチン酸 ($C_{16:0}$)、ステアリン酸 ($C_{18:0}$)）の分子レベル炭素同位体比（CSIA）の測定を行った。

3. 測定結果

いずれの試料も残留有機物の量が僅少であった。原材料を推定できるような特徴的な有機物を検出することができなかった。CSIA は、ステアリン酸が検出下限に満たないほど微量である

ため、十分な測定結果を得ることができなかった。

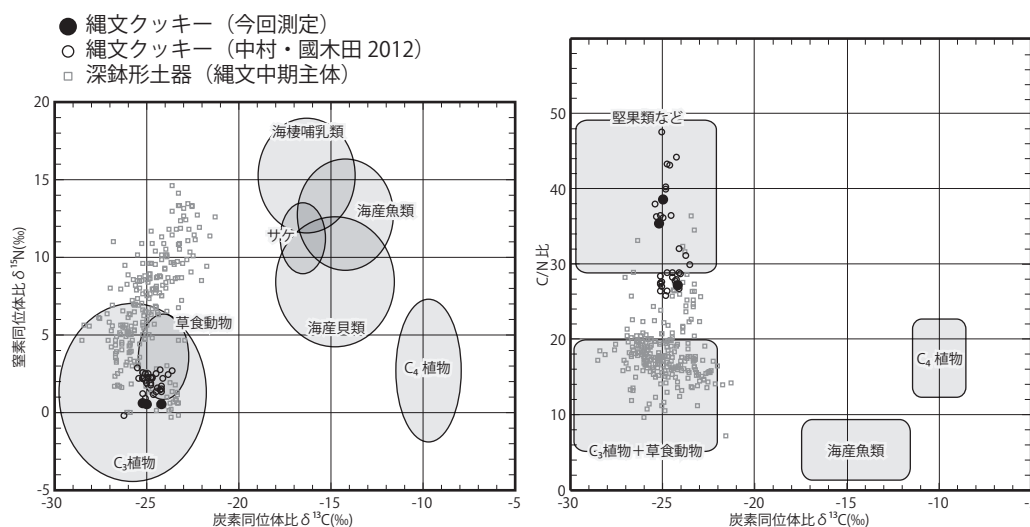
4. まとめ

沖ノ原遺跡の縄文クッキーの脂質(残留有機物)分析では、試料中の脂質(残留有機物)の量がわずかであるため、原材料を推定できるような結果が得られなかった。しかし、タンパク質をほとんど含まないC₃植物が原材料の主体となっているならば、エゴマ、クルミ、ダイズなどを除いて、試料の脂質量が乏しい可能性が十分に考慮される。炭素・窒素安定同位体分析とは矛盾のない分析結果であるといえる。

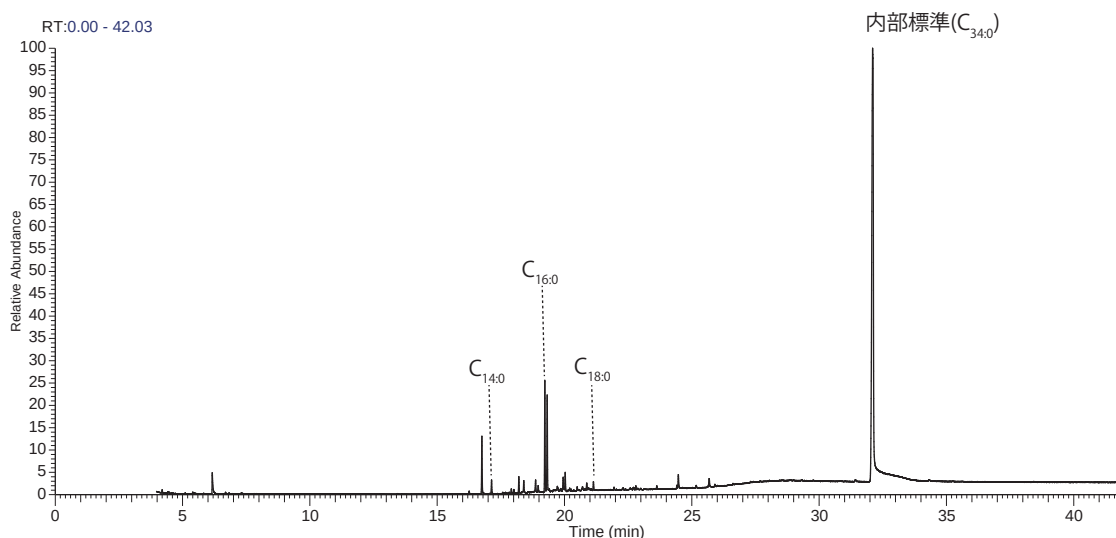
【謝辞】 國木田大、中村耕作の両氏から資料の提供など多大な協力を賜った。

本発表は JSPS 科研費 20H05813 の成果の一部である。

(紙幅の都合により引用文献の掲載は割愛した。)



第1図 縄文クッキーの炭素・窒素安定同位体分析の結果



第2図 GC-MS のクロマトグラム (NGOK-3)

北海道函館市大船遺跡・垣ノ島遺跡出土土器の残存脂質分析

Lipid residue analysis in pottery excavated from Ofune & Kakinoshima site at Hakodate-city, Hokkaido

○福井淳一（（公財）北海道埋蔵文化財センター）、村本周三（北海道教育庁）、
福田裕二（函館市教育委員会）、堀内晶子（前国際基督教大学）、
宮内信雄（東京大学総合研究博物館）、吉田邦夫（同左）、宮田佳樹（同左）

○Junichi FUKUI(Hokkaido Archaeological Operations Center), Shuzo MURAMOTO (Hokkaido Office
of Education), Yuji FUKUDA (Hakodate City Board of Education), Akiko HORIUCHI (Former
International Christian University), Nobuo MIYAUCHI, Kunio YOSHIDA, Yoshiki MIYATA (The
University Museum, The University of Tokyo)

1. はじめに

函館市大船遺跡から出土した縄文時代中期後葉・榎林式土器の土器胎土残存脂質分析を行った結果、分子レベル炭素同位体組成は海棲動物が主体とみられた。ただし、一部で陸棲動物やC₃植物の影響を受けた試料も確認された（福井ほか 2021）。今回は、大船遺跡出土榎林式土器のほか、近接した垣ノ島遺跡出土の榎林式土器とさらにそれよりも二型式新しい縄文時代中期後葉・ノダップⅡ式土器の土器胎土残存脂質分析を行い、比較することを目的とした。

2. 分析試料

対象遺跡は函館市大船遺跡と垣ノ島遺跡。共に北海道南部太平洋岸に位置する縄文時代前半期の長期継続集落遺跡かつ世界遺産「北海道・北東北の縄文遺跡群」構成資産候補。対象試料は函館市教育委員会所蔵土器で、榎林式（4200yr BP）が大船遺跡 31 試料、垣ノ島遺跡 6 試料、ノダップⅡ式（4000yrBP）が垣ノ島遺跡出土試料。同一土器で異なる採取位置のもの含む。

3. 分析方法

粉末状にした土器胎土から、メタノールと硫酸を用いる酸触媒直接メチル化法（Correa-Ascencio & Evershed (2014); Papakosta et al. (2015)）で脂質を抽出し、ガスクロマトグラフ質量分析計によって、脂質組成を分析し、バイオマーカー解析を行った。さらに、パルミチン酸・ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成を燃焼炉付ガスクロマトグラフ質量分析装置によって分析し、残存有機物の起源推定を行った（Horiuchi et al. 2015）。

実験操作は、全て東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室（MALT）で行った。

4. 結果と考察

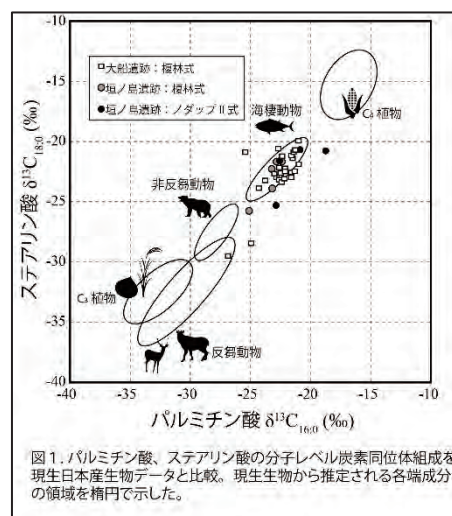
- ・大半の試料で水棲動物のバイオマーカーであるフィタン酸、プリスタン酸、TMTD(4, 8, 12-trimethyl tridecanoic acid)などのイソプレノイド類と、炭素数 16, 18, 20, 22, 24 などの APAA(アルキルフェニルアルカン酸)が検出されたため、海棲動物の影響が強い。この結果は、海棲動物が土器調理の主体とする分子レベル炭素同位体の分析結果ともよく一致する(図 1)。
- ・大半の試料で長鎖炭化水素やワックス類が検出されたので植物も土器調理されていた。しかし、分子レベル炭素同位体組成に陸棲動物や C_3 植物の影響がみられたのは 4 試料に限られる(図 1)。つまり、陸棲生物は全体に影響を与えるほどに土器調理されなかったようである。
- ・遺跡毎や、榎林式とノダップⅡ式の調理内容物には明瞭な違いは認められなかった。
- ・函館市南茅部地区臼尻 B 遺跡出土人骨(中期中葉・サイベ沢Ⅶ式(4400yrBP))の骨コラーゲン同位体分析結果で推測された海産物中心の食生活(南川 2014)と整合的である。
- ・近隣の八雲町コタン温泉遺跡貝塚出土哺乳類出土比率(前期末葉・円筒土器下層 d 式(4600yrBP)、後期前葉・天祐寺式(3800yrBP))をみても、海獣類が陸獣類に比べ圧倒的に多い。また、貝層サンプル中海棲魚類出土比率も高く(西本・新美 1992)整合的である。
- ・垣ノ島遺跡では前期末葉～後期前葉にかけて集落内クリ林の存在が想定され(鈴木 2017)、炭化クリ集中廃棄もされるが、中期後葉の土器調理に影響が確認されるほどではなかった。

5. おわりに

今後、前後の時期を分析することで、土器型式の解像度を以て総合的生物利用実態の評価を行い、同一地域における生業変遷を検討する事が課題である。なお本研究は科研費学術変革領域研究(A)(20H05813)の成果の一部である。また試料採取にあたり縄文文化交流センターの協力を得た。末筆ながら記して謝意を表します。

引用文献

- 鈴木三男 2017「垣ノ島遺跡の植生環境」『史跡垣ノ島遺跡』函館市教育委員会
- 西本豊弘・新美倫子 1992「コタン温泉遺跡出土の動物遺体」『コタン温泉遺跡』八雲町教育委員会
- 福井淳一・村本周三・福田裕二・宮内信雄・堀内晶子・吉田邦夫・宮田佳樹 2021「埋甕炉に利用された土器の脂質分析」『日本考古学協会第 87 回総会研究発表要旨』
- 南川雅男 2014『日本人の食性』敬文舎
- Horiuchi, A., Miyata, Y., Kamijo, N., Cramp, L. Evershed, R.P.(2015) A dietary study of the Kamegaoka culture population during the fainal Jomon period, Japan, using stable isotope and lipid analyses of ceramic residues. Radiocarbon, Vol57, Nr4, 721-736



唐古・鍵遺跡出土土器の脂質分析

Lipid residue analysis in pottery from Karakokagi site

○宮田佳樹（東京大学総合研究博物館）、白石哲也（山形大学）、久保田慎二（熊本大学）、小林正史（北陸学院大学）、藤田三郎（田原本町教育委員会）、柴田将幹（同左）、堀内晶子（国際基督教大学）、宮内信雄（東京大学総合研究博物館）、吉田邦夫（同左）

○Yoshiki MIYATA (The University Museum, The University of Tokyo), Tetsuya SHIRAISHI (Yamagata University), Shinji KUBOTA (Kumamoto University), Masashi KOBAYASHI (Hokurikugakuin University), Saburo FUJITA, Masanori SHIBATA (Tawaramotomachi Education Bureau), Akiko HORIUCHI (International Christian University), Nobuo MIYAUCHI, Kunio YOSHIDA (The University Museum, The University of Tokyo)

はじめに

唐古・鍵遺跡（奈良県田原本町）は、弥生時代前期から古墳時代にかけて、約 700 年以上もの長期間にわたり存続した日本列島でも最大級の弥生集落である。昨年度は、唐古・鍵遺跡から出土した弥生時代前期から中期前葉の土器 10 点に付着した炭化物を脂質分析し、初期稲作遺跡である長江下流域にある田螺山遺跡の脂質分析結果と比較して、コメを含む C_3 植物主体の煮炊きであることを示した。一方、唐古・鍵遺跡の衛星集落で、「マツリ」を盛んにおこなっていたと推定される中期後葉の清水風遺跡では、甕以外の鉢や壺などの器種で、 C_3 植物とともに、魚類と C_4 植物であるキビを煮炊きしていることが明らかになった（白石他, 2020&2021: 宮田, 2020）。このことは、拠点的な集落と「マツリ」を主体的におこなう衛星集落との違い、土器の使い分けの結果、あるいは、時期による食材選択などを示しているのかもしれない。これらの可能性を検討するためには、唐古・鍵遺跡の弥生中期から後期にかけての脂質分析結果と比較することが必要である。

本研究の目的は、1) 唐古・鍵遺跡出土土器付着炭化物を脂質分析して、器種組成や土器使用痕観察の結果と組み合わせ、煮炊蒸炒などの調理形態とともに、古食性を復元することに加えて、2) 唐古・鍵遺跡の稲作開始期から古墳時代にかけて、「米への依存度」を焦点として、調理内容物の変遷を実証的に解明することである。

1. 土器試料と実験方法

土器付着炭化物試料を、弥生時代前期土器から 4 点、中期前葉～後期の土器から 13 点、新たに採取した（図 1）。メタノールと硫酸を用いる酸触媒直接メチル化法（Correa-Ascencio & Evershed (2014)）；



図 1. 分析した土器

Papakosta et al. (2015)) で、土器付着炭化物から脂質を抽出し、ガスクロマトグラフ質量分析装置によって、脂質組成を分析し、バイオマーカー解析を行った。さらに、パルミチン酸・ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成を燃焼炉付ガスクロマトグラフ質量分析装置によって分析し、残存有機物の起源推定を行った (Horiuchi et al. 2015)。

実験操作は、全て東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室 (MALT) で行った。

2. 結果と考察

弥生時代前期から中・後期の土器付着炭化物全 27 点の分析結果を示す。前期 (I 様式; 9 点) から中期初頭 (II-1 様式; 5 点) では、分子レベル炭素同位体組成は、 C_3 植物から海棲動物の領域に広範囲に分布した (図 2)。しかし、バイオマーカー解析の結果は、超長鎖脂肪酸、長鎖炭化水素、植物性ステロールなど植物性脂質の影響が非常に強い。一方、中期初頭 (II-3 様式) 以降、主として中期中葉 (III 様式) から後期 (V 様式) に関しては (13 点)、分子レベル炭素同位体組成は、 C_3 植物から非反芻動物の領域に、前期から中期初頭の時期に比べて、ややまとまって分布した (図 2)。さらに、バイオマーカー解析の結果は、中期初頭段階の II-3-b 様式の土器 1 点からしか検出されなかった水棲動物のバイオマーカーである TMTD (4,8,12-trimethyl tridecanoic acid)、フィタン酸などのイソプレノイド類が、中期中葉以降の分析した土器ほぼ全てから検出された (全 13 点中 12 点)。さらに、中期以降の土器 5 点からは、これらのイソプレノイド類と同時に、キビのバイオマーカーであるミリアシンも検出され、中期後葉 (IV-2 様式) の清水風遺跡と同様の特徴的な煮炊きの様相を示した。したがって、前期や中期初頭の「コメなどを含む C_3 植物中心の煮炊き」から、中期中葉以降になると、「コメなどの C_3 植物に加えて、魚類やキビなどの雑穀を含む多様な煮炊き」へと変化したことがわかった。また、それまでの時期に比べると、後期土器の堆積環境は変わらないように思えるが、分析できる土器付着炭化物試料は非常に少なく、一点のみである。これは加熱方法が変わったのか、あるいは、煮炊き内容物が変わったのであろうか? 発表では、検出された TMTD などの水棲動物マーカーが淡水魚 and/or 海産魚を示すのかなども検討して、弥生時代中期中葉を境とする調理内容物の時代変遷について具体的に考えてみたい。

謝辞 本研究は、文科省科研費学術変革 (A)「土器の年代と使用法の化学的解明」(研究代表 国木田 大; 20H05813) の成果の一部である。

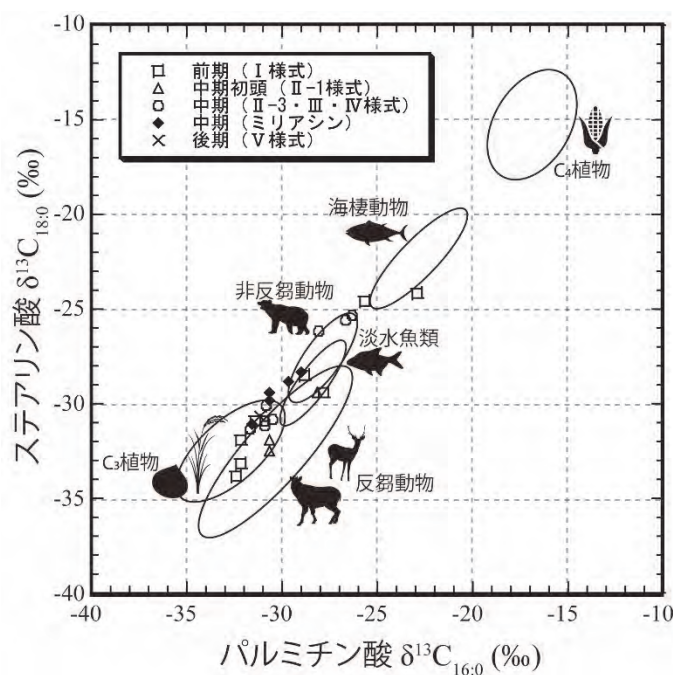


図 2. パルミチン酸、ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成を、現生日本産生物データと比較。現生生物から推定される各端成分の領域を楕円で示した。

奈良県清水風遺跡の食と調理－土器使用痕分析と脂質分析から－

Food and cooking at Shimizukaze Site in Nara Prefecture

○白石哲也（山形大学）・藤田三郎（田原本町）・柴田将幹（同左）・堀内晶子（前国際基督教大学）・宮内信雄（東京大学総合研究博物館）・吉田邦夫（同左）・宮田佳樹（同左）

○Tetsuya Shiroishi (Yamagata University), Saburo FUJITA, Masaki SHIBATA (Tawaramoto Town Board of Education), Akiko HORIUCHI (Former International Christian University), Nobuo MIYAUCHI, Kunio YOSHIDA, and Yoshiki MIYATA (The University Museum, The University of Tokyo)

1. はじめに

奈良県清水風遺跡出土土器に関する土器使用痕分析と付着炭化物の脂質分析の結果について報告を行う。これまでも清水風遺跡での継続的な調査を実施してきた（白石 2020、2021）。その結果、これまでの想定よりも積極的な雑穀の利用がなされていたことが示された。

2. 奈良県清水風遺跡の概要

奈良県清水風遺跡（弥生時代中期後葉）は、弥生時代でも最大の拠点集落のひとつとみなされる同県唐古・鍵遺跡に隣接する集落である。比較的小規模な集落ながら日本で最も多くの絵画土器が出土しており、絵画には鳥人姿のシャーマンなどが執り行う農耕祭祀の様子が描かれている。したがって、本遺跡は、唐古・鍵遺跡のマツリをおこなった可能性が高い遺跡と考えられている。（唐古・鍵考古学ミュージアム、2020）。加えて、清水風遺跡や唐古・鍵遺跡の周辺では大規模な水田が営まれていたと考えられ、イネを食の中心にしていたと想定される。

実際、同時期の日本列島ではレプリカ・セム法によって検出した種子圧痕は、出土穀類のほぼ 100%がイネとされる遺跡もあり、炭素・窒素安定同位体の結果も C_3 植物の領域にプロットされることが多い。したがって、各地域でイネを優勢とした食が基調にあったことは間違いなさそうである。なかでも、本遺跡や唐古・鍵遺跡については、遺跡の性格や規模、絵画土器や木製農耕具などの出土遺物の特性からはイネが顕著に食されたと考え得る。

一方で、昨年度、本遺跡出土土器の内面付着炭化物からキビのバイオマーカーであるミリアシンを 1 試料検出しており（白石ほか 2020）、その後、4 試料の付着炭化物からもキビを検出した（白石ほか 2021）。また、唐古・鍵遺跡でも同様の成果を得ている。つまり、想定しているよりも、キビが日常的に利用されていた可能性が見えてきたのである。これらの結果は、イネが基調にあったことを否定しないが、必ずしもイネのみを食していたわけではないことを示している。

3. 分析結果

今回さらに3試料加え、合計10試料の土器付着炭化物試料の脂質分析を行った(Horiuchi et al. 2015)。その結果、超長鎖飽和脂肪酸、長鎖炭化水素、植物性ステロールなどの植物性バイオマーカーがほとんどの試料から検出されたため、植物質の影響が大きいことがわかる。一方、TMTD (4,8,12-trimethyl tridecanoic acid)、フィタン酸などの水棲動物のマーカーであるイソプレノイド類が検出されたため、海産ないし、淡水性魚貝類の影響が認められた。また、6試料からキビのバイオマーカーであるミリアシンが検出された。分子レベル炭素同位体組成の分析結果は、C₃植物の領域に集中するものと非反芻動物の領域周辺に集中するもの、に分かれた(図1)。後者に含まれる、海産、淡水性魚介類とC₄植物であるキビは、C₃植物よりも高い同位体組成を示すため、バイオマーカー解析結果とも整合的であった。つまり、「コメなどを含むC₃植物主体の煮炊き」と「C₃植物に加えて魚類、C₄植物であるキビなどを含む煮炊き」に分けられる。今後さらに脂質分析をすすめる、弥生時代中期後葉の清水風遺跡で行われていた煮炊きの様相とその意味について考える。

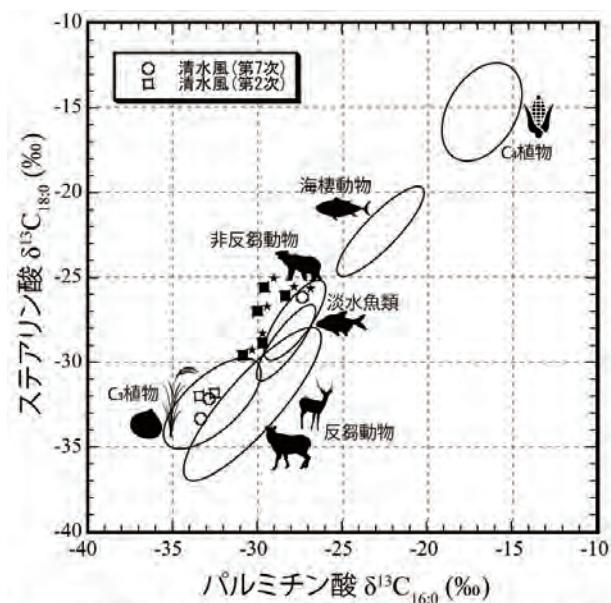


図1. パルミチン酸、ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成を、現生日本産生物データと比較。現生生物から推定される各成分の領域を楕円で示した。■は、水棲動物のバイオマーカーであるTMTDを含むイソプレノイド類が検出された試料であり、★が付いているのは、キビのバイオマーカーであるミリアシンが検出された試料である。

本研究は、JSPS 科研費 20K13229「弥生人と魚食文化—米と魚の食卓の始まりを探る—」(研究代表者 白石哲也)、公益財団法人ロッテ財団 第7回(2020年度)奨励研究助成(B)「弥生人の海産食物利用とその実態解明」(研究代表者 白石哲也)、MEXT 科研費 20H05813「土器の年代と使用法の化学的解明」(研究代表者 國木田 大)の成果の一部である。

引用文献

唐古・鍵考古学ミュージアム 令和2年度 企画展「よみがえる弥生の祭場—唐古・鍵遺跡と清水風遺跡—」2020.

白石哲也・藤田三郎・柴田将幹・宮内信雄・堀内晶子・吉田邦夫・宮田佳樹(2020)「清水風遺跡出土土器の脂質分析から見てきたもの」『日本考古学協会第86回総会研究発表要旨』, 90.

白石哲也・藤田三郎・柴田将幹・宮内信雄・堀内晶子・吉田邦夫・宮田佳樹(2021)「清水風遺跡出土土器の脂質分析から見てきたもの(2)」『日本考古学協会第87回総会研究発表要旨』, 52.

Horiuchi, A., Miyata, Y., Kamijyo, N., Cramp, L. and Evershed RP. (2015) A dietary study of the Kamegaoka culture population during the final Jomon period, Japan. using stable isotope and lipid analyses of ceramic residues. Radiocarbon 57, 721-736.

土器付着炭化物の安定同位体分析から見た日本列島先史時代の古食性の特徴について

Palaeodiet of prehistoric Japanese based on the carbon and nitrogen isotope analysis to charred materials on pottery

○村本周三（北海道教育庁）、福井淳一（北海道埋蔵文化財センター）、宮田佳樹（東京大学総合研究博物館）

○Shuzo MURAMOTO (Hokkaido Office Education),

Jyunichi FUKUI (Hokkaido Archaeological Operation Center), Yoshiki MIYATA (The University Museum, The University of Tokyo)

1. はじめに

本発表では、学術創成研究「弥生農耕の起源と東アジア」の研究成果（坂本 2007）を中心に、既報の土器付着炭化物の炭素・窒素安定同位体分析の結果（ $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\delta^{15}\text{N}$ 値）を集成し（工藤他 2018 など）、先史時代の日本列島、北海道島と本州以南の三島（本州島・四国島・九州島。以下、三島という）における古食性の差異について検討した。

2. 土器付着炭化物の炭素・窒素安定同位体分析における北海道と本州以南の三島の差異

スミルノフ・グラブス検定を繰り返して外れ値を除去した遺跡出土木炭の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、北海道島 $-25.9 \pm 1.3\text{‰}$ （ $N=907$ ）、三島 $-26.2 \pm 1.4\text{‰}$ （ $N=2,483$ ）である。

土器外面付着炭化物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、北海道島で $-24.2 \pm 1.2\text{‰}$ 、三島で $-25.6 \pm 1.9\text{‰}$ で、北海道島では木炭より顕著に高い（図 1）。 $\delta^{15}\text{N}$ 値は北海道島が三島と比べて数%高い。

土器内面付着炭化物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、北海道島、三島共に外面よりばらつきが大きく、高い側に偏る傾向が共通している。 $\delta^{15}\text{N}$ 値では北海道島は内外面の差は小さいが、三島はばらつきが大きいだけでなく、低い側に大きく偏る。また、現段階では、 $\delta^{13}\text{C} < -26\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N} < 5\text{‰}$ の領域に北海道島のものは入っていない。（図 2）。

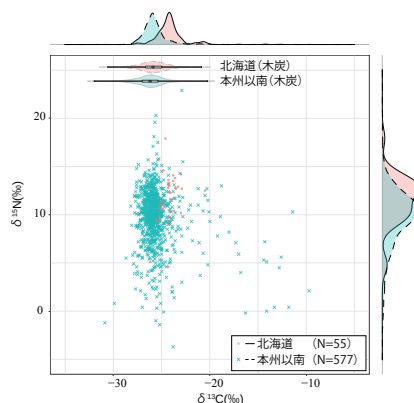


図 1 土器外面付着炭化物の炭素・窒素同位体比

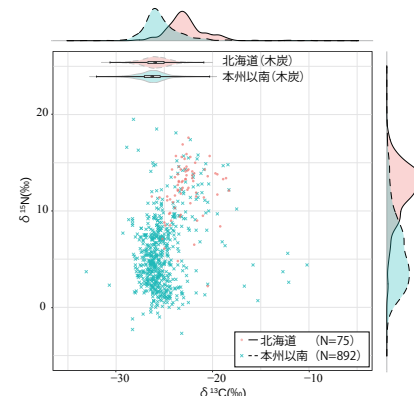


図 2 土器内面付着炭化物の炭素・窒素同位体比

3. 北海道と本州島以南三島の古食性の差異

北海道島の C/N 比は三島と比べると高く、10 前後が多い (図 3)。また、 $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の分布でも北海道島は三島より高い部分にあたることから (図 4)、海獣類を含む海産物利用が盛んであったと考えられる。

三島の C/N 比は特に 30 以上の比率が高い (図 3)。 C_3 植物、陸獣といった陸上資源のほか、堅果類の利用に特徴がある。また、 $\delta^{13}\text{C}$ 値も北海道島に比べて低い傾向が続くことから、稲作導入による堅果類から穀物へと転換があったにしても、一定程度以上の C_3 植物の利用が継続している。また、一部には C_3 植物と海産物の混合調理と推定される値もある。北海道島・三島とも時代が下るにつれ、 $\delta^{13}\text{C}$ 値のばらつきは大きくなる。試料に時期の偏りがあるため詳細な議論は難しいが、食材の多様性の増加を示唆していると考えられる (図 4)。

三島では 2,500 ^{14}C BP 頃からは $\delta^{13}\text{C}$ 値が高いものがみられ C_4 植物の影響と推測されるが、検出例は 10 例以下に過ぎない。近年、脂質分析ではバイオマーカーによる C_4 植物利用が多く確認されている状況とは調和的ではなく、バルクの安定同位体分析による C_4 植物検出の限界と考えられる。

なお、土器外面付着炭化物が燃料材のみに由来する場合、木炭の $\delta^{13}\text{C}$ 値の分布と類似すると予想されるが、北海道島の土器外面付着炭化物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は土器内面付着炭化物が分布する方向へ大きく偏る (図 1・2)。この現象の説明として坂本 (2007) は泥炭使用や海洋成分の混在を指摘したが、調理内容物を起源とする「吹きこぼれ」との混合と考えれば、より単純な説明が可能である。また、三島の土器外面付着炭化物の $\delta^{15}\text{N}$ 値が北海道と比較して低い現象も同様に説明が可能である。

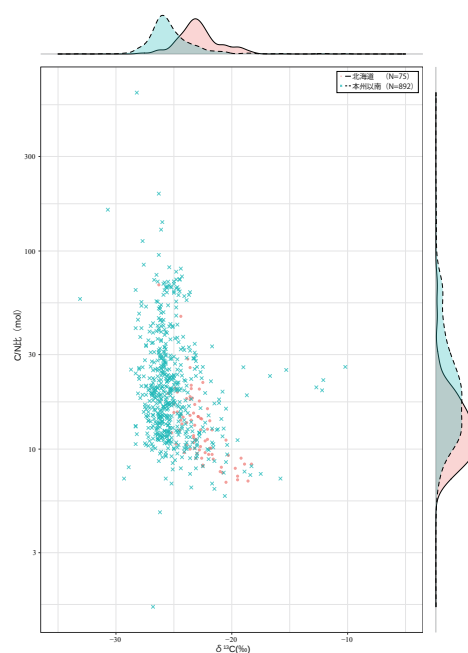


図 3 土器内面付着炭化物の炭素同位体比と C/N 比

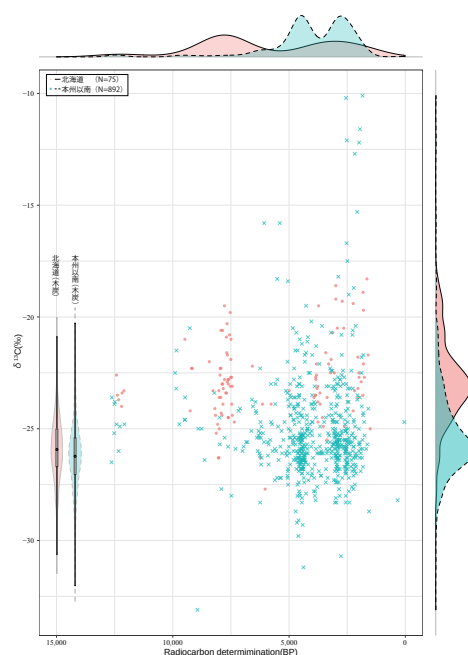


図 4 土器内面付着炭化物の $\delta^{13}\text{C}$ と年代

引用文献

- 工藤雄一郎・坂本稔・箱崎真隆 2018 「遺跡発掘調査報告書放射性炭素年代測定データベース作成の取り組み」『国立歴史民俗博物館研究報告』212 : pp. 251-266.
 国立歴史民俗博物館遺跡発掘調査報告書放射性炭素年代測定データベース
 (https://www.rekihaku.ac.jp/up-cgi/login.pl?p=param/esrd/db_param) 2021 年 4 月 1 日取得
 坂本稔 2007 「安定同位体分析に基づく土器付着炭化物の分析」『歴博研究報告』137 : p. 305-315

大山山麓岩伏し遺跡の地質学的検討

Geological examination of the Iwafusi site at the foot of Mount Daisen

○渡辺正巳（島根大学エスチュアリー研究センター、文化財調査コンサルタント(株)）、松本直子（岡山大学文明動態研究所）、杉山真二（(株)古環境研究センター）、別所秀高（(公財)東大阪市文化振興協会）、奥中亮太（文化財調査コンサルタント(株)）

○Masami WATANABE (Estuary Research Center (EsReC), Shimane University,
Archaeological Research Consultant, Inc.),

Naoko MATSUMOTO (Research Institute for the Dynaics of Civilizations, Okayama University),
Shinji SUGIYAMA (Paleoenvironment Research Center Co., Ltd.),
Hidetaka BESSHO (Higashiosaka City Cultural Foundation),
Ryota OKUNAKA (Archaeological Research Consultant, Inc.)

1. 遺跡の概要

岩伏し遺跡（旧称中山香取遺跡）は鳥取県大山町経塚に所在し、大山北麓の標高 670m 付近の火山性丘陵上に立地する。岩伏し遺跡は鳥取県教育委員会によって 1976（昭和 51）年度に実施された「大山山麓遺跡群分布調査」において発見され、縄文時代早期の楕円押型文土器や撚糸文土器、後期の磨消縄文土器が出土している（鳥取県教育委員会，1978）。また、試掘地点からやや離れた農道南側において竪穴住居跡のような遺構の存在も示唆されている。現在は牧草地や芝畑として利用されており、調査範囲は牧草地である。ただし、1946 年（昭和 21 年）に香取開拓団による入植が始まるまでは原生林に覆われており、1983 年（昭和 58 年）の昭和 58 年の香取村移行宣言まで、数次にわたって地形改変が行われた。1976（昭和 51）年度調査時から地形改変が進んでいることもあり、この際の調査地点を正確に割り出すことは難しい。

岡山大学考古学研究室では、2014（平成 26 年）～2019（2019）年度の 6 次に渡り、岩伏し遺跡の発掘調査を進めてきた。第一次調査では、1976（昭和 51）年度調査トレンチの

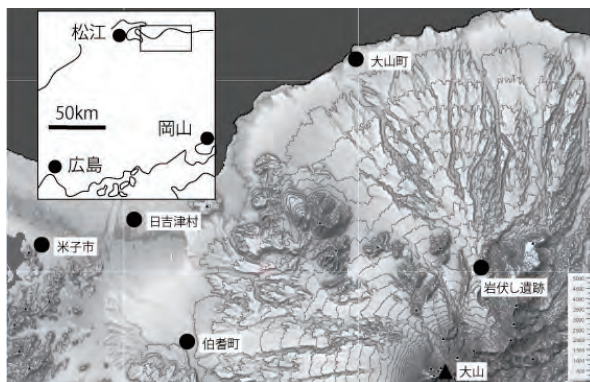


図 1 調査地点（岩伏し遺跡）

（カシミール 3D・地理院地図(新版)+スーパー地形で作成）

南側に位置すると考えた地点で調査を行ったが、二次堆積物からの遺物の出土が僅かにあったものの、遺構は検出されなかった。一方、遺跡の残存状況を伺うために行った遺跡範囲東端の調査では、自然堆積層から縄文土器や黒曜石製石核が出土した。この成果から、第2次調査以降は遺跡範囲東端地区での調査を続けた。

2. 研究の目的と手法

本研究では、岩伏し遺跡の発掘調査と遺跡周辺での体系的土壌サンプリング、花粉分析・植物珪酸体分析・微粒炭分析を統合的に行うことにより、大山山麓における縄文人の活動と環境変化の関係について検討することを目的とした。また本研究には、科学研究費 基盤研究(C) (18K01065)の助成金を使用した。

土壌採取には当初「乱れない（採取時の摩擦等による試料の圧縮を受けない）試料」の採取を目指し、ジオスライサー等による試料採取を試行した。クロボク層については問題なく試料採取出来たものの、ローム層及びクロボク層とローム層の漸移層については締まりが良く試料採取が出来なかった。このため、試料に乱れが生じるもののローム層の採取が可能な「打ち込み式サンプラー」を用いて、コア長およそ1 mの試料を採取した。試料採取は2018、2019（平成30、令和元年度）に図2に示す29地点で行った。

採取試料は肉眼観察の後、クロボク層は原則1cm、ローム層、漸移層は5cmの厚さに細分した。その後全地点を対象に、地質断面図を作成した。地質断面図作成にあたり、花粉層序学による知見を得るため、必要な地点での花粉分析を行った。更に花粉分析の結果を基に、環境変遷推定のための植物珪酸体分析、微粒炭分析を行った。

3. 引用文献

鳥取県教育委員会（1978）大山山麓遺跡群調査報告書

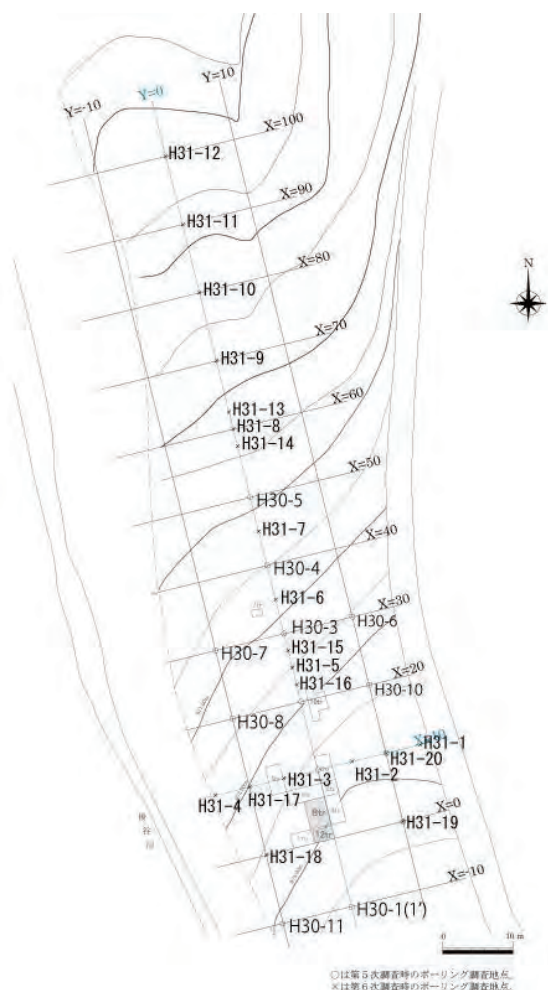


図2 試料採取位置

鉄を含有する土器内包粒子分布の三次元可視化技術の検討

Investigation on a three-dimensional visualization of the distribution of iron-containing particles in the earthenware

○葛巻 徹（東海大学）、岩井雄一郎（同左）、鈴木佑基（同左）、出田健成（同左）、千本真生（古代オリエント博物館）

○Toru KUZUMAKI, Yuichiro IWAI, Yu-ki SUZUKI, Kensei IDETA (Tokai University) and Masao SEMMOTO (The Ancient Orient Museum, Tokyo)

【緒言】 X線コンピュータ断層撮影(CT)法は、非破壊・非接触で対象物の内部構造を三次元的に可視化できることから、各種文化財の科学分析に有効な手段として期待されている⁽¹⁾。特に、放射光を用いたX線CT法は対象物内部のX線吸収係数の空間分布を再構成した画像の形成だけでなく、対象物を構成する特定元素の識別も可能にするため、三次元的な組織情報の取得が期待できる^(2, 3)。しかしながら、その利用は大規模施設に限られる。一方、一般的な産業用X線CT装置では、原子番号が大きく密度が高い物質ほど透過X線の白色強さは高くなるため、特定の元素種とX線の透過率(グレイバリュー)とを一致させこれを既知の情報とすることができれば、特定元素を含有する粒子を三次元的に可視化できる可能性がある。そこで本研究では、厚さの異なる土器片をモデルとし、断面組織の元素分析、X線CT画像およびグレイバリューから特定の金属元素を含有する鉱物粒子の三次元分布の画像化について基礎的検討を行った。

【実験方法】 ブルガリアのデャドヴォ遺跡より出土した土器片3点(整理番号: DYV05、DYV34、DYV60)とエゼロ遺跡より出土した土器片3点(整理番号: EZR01、EZR03、EZR13)の一部を厚さ2.5~4.5 mmに加工して試料とした。試料はエポキシ樹脂で固定し、平滑な断面を露出させるために研磨した。各試料に対して金スパッタコーティング(SC-701 MkII, SANYU ELECTRON)を行い、走査型電子顕微鏡(SEM, JSM-7100F, JEOL, 加速電圧:15 keV)観察とエネルギー分散型分光分析(EDS, JED-2300F, JEOL)による面分析を行った。それぞれ同一の試料に対してX線CT装置(XT H225 ST, Nikon, X線出力:85 keV/100 μA)による画像解析を行い、土器組織のSEM観察像、元素分布、及びX線CT画像との関係から、特定の元素で構成された粒子のみが抽出されるグレイバリューを決定し三次元画像化を試みた。

【実験結果及び考察】 図1に土器片試料(EZR01)の全体写真と中心付近の枠で囲んだ部分の光学顕微鏡写真(図1(b))及びSEM像(図1(c))を示した。図1(c)のSEM像で観察された組織に対してEDS面分析を行った結果、複数の元素が検出された(図2)。同一箇所(X線CT画像を図3(a))に示した。CT画像で観察された白いコントラスト部分の位置は、鉄(Fe)を主成分とする粒子のそれと一致した。Feを含有する粒子は周囲の組織と比較してX線透過率が低いため白色強さが強く描画されたと考えられる。CT画像の解析結果から、Fe粒子のX線透過率に相当するグレイバリューは約520~850と判明した。Fe粒子のグレイバリューの幅は、Fe粒子の中心部とその周

辺部の透過率の違いを反映しており、粒子のサイズや形状、また、Fe の含有量によっても影響を受けると考えられる。実験で求められた Fe 粒子のグレイバリューを基に、Fe 粒子の三次元分布を作成した画像を図 3(c)に示した。Fe 粒子は、図 1(a)の試料内部全体に分布していた。本実験条件の範囲内では、Fe 粒子を表すグレイバリューは土器片試料の厚さによらずおよそ 450～850 の範囲内にあった。実験条件を精査し土器に内包される Fe 粒子のグレイバリューの範囲を標準化できれば、非破壊で土器内の三次元分布を可視化できると考えられる。一方、ケイ素(Si)の X 線透過率は図 3(b)の矢印で示したピーク位置に相当するが、Si は土器胎土の主要構成元素であるため、Si を主成分とする粒子状組織のみを抽出して描画することは困難であった。

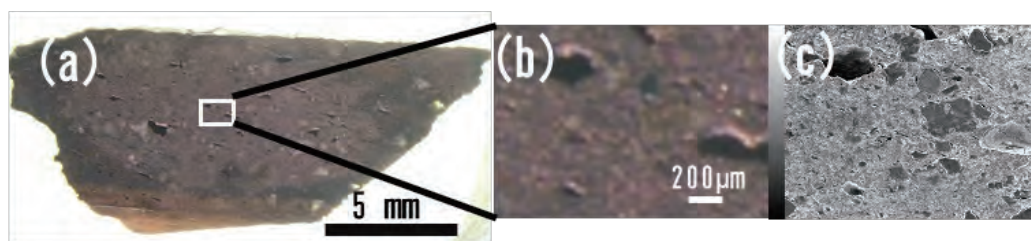


図 1 土器片試料(EZR01)

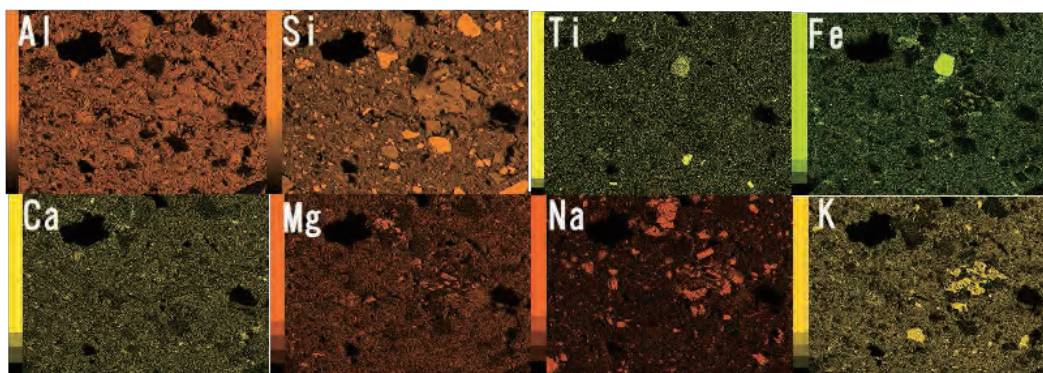


図 2 土器片試料(EZR01)の SEM 観察領域から検出された各種元素のマッピング像

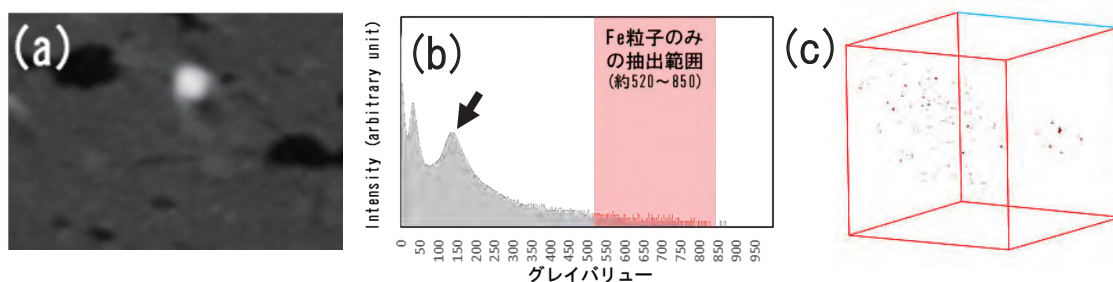


図 3 土器片試料(EZR01)の X 線 CT による画像解析

(a) X 線 CT 画像、(b) グレイバリュー、(c) Fe 粒子のみを土器片全体で三次元描画した画像

【参考文献】

- (1) X 線 CT がもたらす文化財研究の可能性、2019 年度日本文化財科学会公開講演会シリーズ「文化遺産と科学」文化財継承と 3D 技術Ⅱ、文化財科学会
- (2) S. Ikeda, et al, American Mineralogist, **89** (2004) 1304
- (3) 永田泰昭、放射光を用いた X 線トモグラフィ、まてりあ、**35** (1996) 250

負ミュオン特性 X 線分析法による

中世青銅製品の内部組成非破壊分析

Non-destructive analysis of bronze objects in Middle age

by muonic X-ray measurement

○齋藤努（国立歴史民俗博物館）、村木二郎（同左）、反保元伸（高エネ研）、
大森信宏（静岡県埋文センター）、土居内翔伍（高エネ研）、橋本亜紀子（同左）、
久保謙哉（国際基督教大学）、竹下聡史（高エネ研）、三宅康博（同左）

○Tsutomu SAITO, Jiro MURAKI (National Museum of Japanese History), Motonobu TAMPO (KEK),
Nobuhiro OMORI (Shizuoka Pref. Archaeol. Ctr.), Shogo DOIUCHI, Akiko HASHIMOTO (KEK),
Kenya KUBO (ICU), Soshi TAKESHITA, Yasuhiro MIYAKE (KEK)

1. はじめに

日本の中世に作られた青銅製品は、当時大量に輸入されていた北宋銭を原料にしていたという説がある。一方、信仰の対象となる仏教関係資料ならばともかく、そのままで通貨として使用できるものを、わざわざ鋳つぶして安価な日常生活製品に作り替える必要があったのかという疑問を呈する声もあった。本研究では、負ミュオンを使った青銅製経筒と青銅鏡の内部金属部分に対する非破壊組成分析と、北宋銭の鉛同位体比分析を行い、両説の検証を試みた。

2. 資料と分析方法

経筒と青銅鏡は、静岡県埋蔵文化財センターが所蔵する堂ヶ谷廃寺・堂ヶ谷経塚出土の県指定文化財である。負ミュオンによる内部組成分析は茨城県東海村の J-PARC に付設されている D ライン D2 エリアで行った。北宋銭は、国立歴史民俗博物館が所蔵する資料のうち、ほぼ確実に本銭とみなすことができる、銭文が鮮明で、表・裏ともに輪や郭が明瞭に識別できる大銭（当十銭、折二銭）を中心に選別して鉛同位体比分析に供した。中世の日本で、大銭は通貨ではなかったもので、模鑄銭は作られなかったと考えてよい。

3. 結果

ミュオン特性 X 線分析の結果、経筒の組成は、宋代の記録や本銭とみなされる北宋銭の既報告値よりもスズ濃度が高く、北宋銭をそのまま原料にしていたとは考えにくいことがわかった。青銅鏡の組成は、北宋銭全体の分布からは少し外れているものの、一部に重なるところがあり、成分組成だけで結論を出すことはできなかった。

中世の経筒は12世紀前半から13世紀初頭にかけて在地で作られ、また青銅鏡は12世紀～14世紀を中心に京の七条町・八条院町界隈で製作されたとされている。本研究で分析対象とした経筒は12世紀後葉、青銅鏡は12世紀前半～後半に作られたものである一方、模鑄銭が日本で大量に流通するのは13世紀後半からなので、もし渡来銭が原料になったとすれば北宋銭の本銭ということになる。しかし、既報告の経筒の鉛同位体比と歴博所蔵北宋銭のデータを比較したところ、前者が比較的狭い範囲にまとまっている（図1）のに対し、後者は広い分布をみせた（図2）。図1における経筒のデータの集中域には、13世紀半ばに造立された鎌倉大仏（1点）や、鎌倉時代から18世紀末にかけての青銅製雲版（12点中9点）も含まれていることから、馬淵（2000）が言及したように、これらの原料は北宋銭ではなく、広い時期にわたって、限定された産出地からもたらされた素材が使われた可能性を考えた方がよい。今後は、北宋銭の本銭や青銅鏡の鉛同位体比データを蓄積していく必要がある。

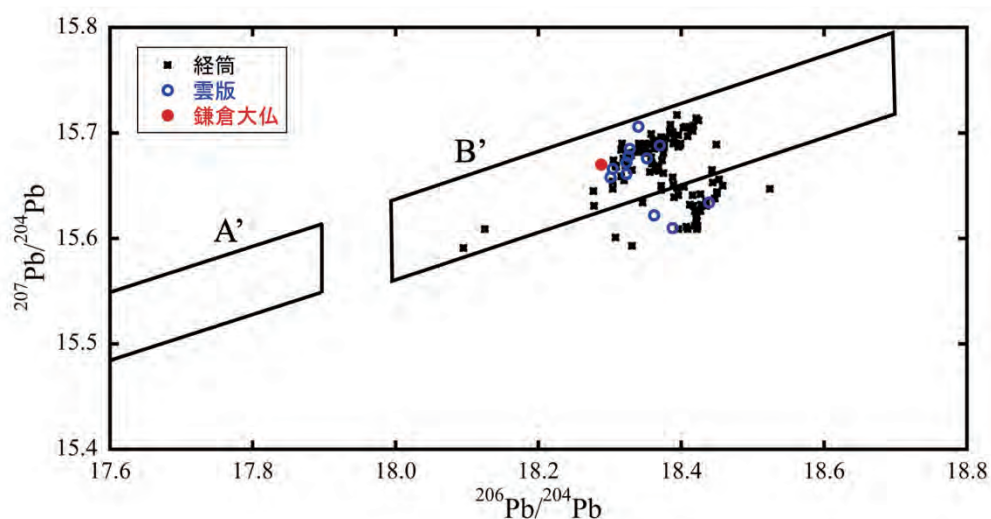


図1 経筒・雲版・鎌倉大仏の鉛同位体比（b式図：平尾、2018；馬淵、2000）

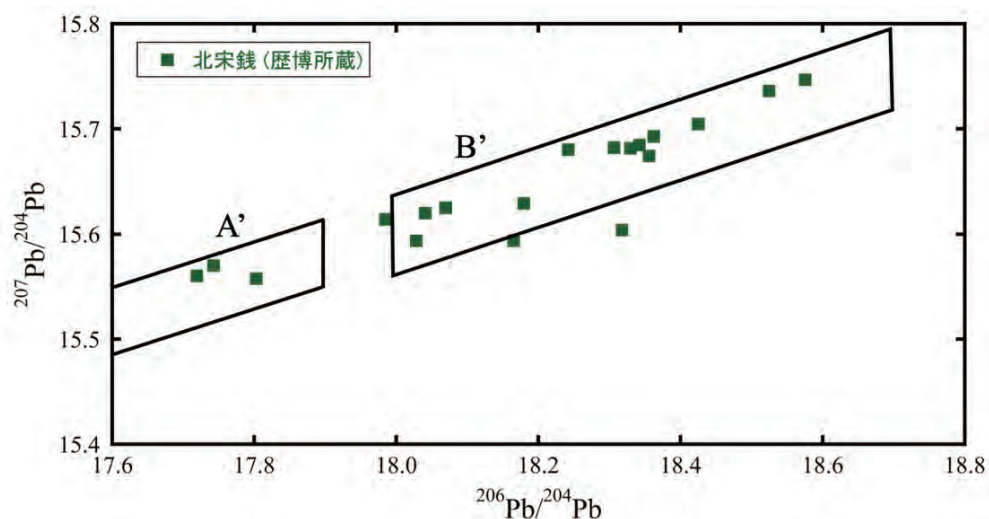


図2 歴博所蔵北宋銭の鉛同位体比（b式図）

非破壊蛍光X線分析による慶州・新羅古墳出土の 古代ガラス製容器の起源および流通に関する研究

Study on provenance and distribution of ancient glass vessels excavated from Silla Tumuli in Gyeongju, Korea by nondestructive X-ray fluorescence analysis

○阿部 善也(東京電機大学), 四角 隆二(岡山市立オリエント美術館),
東 容子(MIHO MUSEUM), 村串 まどか(筑波大学), 金 度潤(国立慶州博物館), 李 承恩(同左)
○Yoshinari ABE (Tokyo Denki University), Ryuji SHIKAKU (Okayama Orient Museum),
Yoko AZUMA (MIHO MUSEUM), Madoka MURAKUSHI (University of Tsukuba),
Doyoon KIM, Sungeun LEE (Gyeongju National Museum)

1. 序

ガラスは紀元前 3 千年紀末の西アジアで発明されたと考えられ、後 1 千年紀にはユーラシアの各地でガラスの生産が行われていた。様々な地域で作られたガラス製品がシルクロード交易によって東西を行き来し、その一部は当時ガラスの生産技術が確立されていなかった韓半島や日本にも伝来していた。ガラスは強度が低い一方、形状の加工や着色が容易であることから、ビーズや装飾品に用いる「準貴石」として普及した。一方、ガラス製容器については徐冷などの高度な技術とノウハウが求められるため、製作地はきわめて限定的だった。そのため、韓半島や日本を含む東アジアにおいては、製作・運搬が容易なビーズ製品は非常に多く流通していたものの、経路上で破損しやすいガラス製容器はきわめて貴重かつ稀少であり、現存数も僅かである。ところが、4 世紀後半から 6 世紀前半にかけての韓国・慶州の新羅古墳から多数のガラス製容器が出土しており、その来歴に関して興味を持たれる。本研究では、古代ガラス製品の化学組成が原料や製法の違いを強く反映するため、一次生産地や時代を化学的に絞り込めることを利用し、国立慶州博物館に収蔵された新羅時代の古墳から出土したガラス製容器を対象として非破壊の蛍光 X 線分析を実施して、化学組成に基づく起源推定を行った。

2. 実験方法

分析資料は、韓国・慶州市内にある新羅時代の複数の古墳(皇南大塚, 天馬塚, 金冠塚ほか)から出土したガラス製容器計 21 点である(いずれも国立慶州博物館所蔵)。代表的な資料の写真を図 1 に示した。なお、一部は破片であるため、同一個体に由来する破片が複数点含まれている可能性もある。蛍光 X 線分析には、アワーズテック(株)製の可搬型装置 100FA-III を用いた。この装置は励起 X 線の単色化により ppm レベルの微量重元素を高感度に分析できるだけでなく、Na までの軽元素の分析にも対応している。装置および分析方法の詳細については、発表者らの先行研究¹⁻³⁾を参照のこと。本装置を国立慶州博物館内に持ち込み、収蔵された資料について非破壊オンサイトでの分析を実施した。

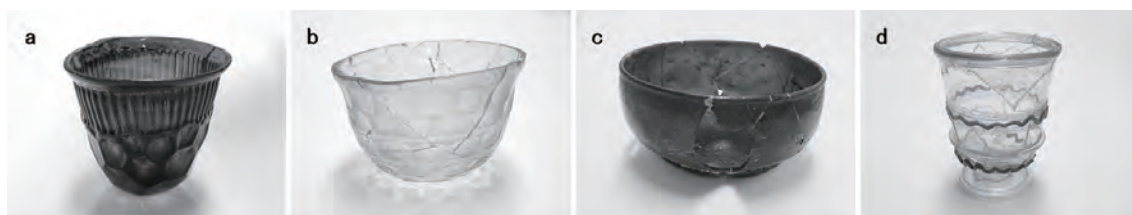


図1 本研究で分析した新羅古墳出土の古代ガラス製容器の例(国立慶州博物館所蔵)

(a) 天馬塚 kyo2386, (b) 皇南大塚北墳 buk519, (c) 皇南大塚南墳 nam3325, (d) 金冠塚 bon9382

3. 結果と考察

分析した 21 点のガラス製容器はいずれもソーダ石灰ガラス製であった。対象とした古墳が造営された 6 世紀頃までのユーラシアにおいて、ソーダ石灰ガラスの一次生産および吹きガラスによる容器製作の双方が可能だった地域は大きく 3 つに分けられる。すなわち、ローマ・ビザンツ帝国の支配下にあった東地中海沿岸地域、サーサーン朝(ペルシア帝国)の政治・産業の中心地であったメソポタミア、そしてサーサーン朝の東方辺境ないし東隣にあたる中央アジアである。これらの 3 地域で作られたガラス製品はいずれもソーダ石灰ガラスに分類される化学組成を有するが、原料や製法の違いに応じて、化学組成に細かな差が生じる。顕著な違いの一つにソーダ融剤の種類が挙げられ、ユーフラテス川を大まかな境界として、以西の地中海沿岸ではエジプトで採掘された「ナトロン」と呼ばれるソーダ鉱物が利用されていたのに対し、以東となる西アジアおよび中央アジアでは植物を燃やした灰(ソーダ灰)を用いていた。ソーダ灰には、植物の種類や生育環境を反映して様々な元素が含まれ、ガラス製品中にもこれらの元素が混入する。本研究で分析した 21 資料について、上記 3 地域のガラス製品と化学組成を比較した結果、天馬塚出土の型吹き亀甲文杯(図 1a)や皇南大塚出土の切子装飾碗(図 1b)を含む 6 点についてはナトロン、残る 15 点(例:図 1c, d)についてはソーダ灰を用いて作られたものであることが明らかとなった。さらに、ソーダ灰を用いたと判断された 15 点について、組成的特徴からメソポタミア系ガラス(サーサーン・ガラス)ではなく、中央アジア由来のガラス製品であることが明らかになった。一方、ナトロンが用いられたと判断された 6 点について、ローマ帝国のガラス製品(ローマ・ガラス)と化学組成を詳細に比較した結果、一次生産された地域と時代をより具体的に絞り込むことができた。さらに、一部については、製作技法や型式的特徴においてもローマ・ガラスとの対応が見られ、一次生産だけでなく容器製作(二次生産)も地中海周辺地域の工房で行われたものであったと結論付けられた。

以上より、4 世紀後半から 6 世紀前半の韓半島に流入したガラス製容器のうち 21 点は、ローマ帝国由来と、中央アジア由来の 2 群に分けられた。なお、発表者は古代日本に伝来した稀少なガラス製容器についても同様の非破壊蛍光 X 線分析による起源推定¹⁻³⁾を実施しており、サーサーン・ガラスであることが科学的に特定されたものが複数存在する。当日の発表ではこれらの成果を引用する形で、古代日本と新羅におけるガラス製容器の流通状況の違いについても考察を行う。

- 1) Y.Abe et al.: *J. Archaeol. Sci. Rep.*, **17**, 212-219 (2018).
- 2) Y.Abe et al.: *J. Archaeol. Sci. Rep.*, **20**, 362-368 (2018).
- 3) 阿部 善也:「沖ノ島研究」**7**, 83-98 (2021).

国立慶州博物館所蔵の新羅古墳出土ガラス玉の化学組成分析

Chemical composition analysis of the glass beads unearthed from Silla tumuluses, in the collection of Gyeongju National Museum

○村串まどか（筑波大学）、阿部善也（東京電機大学）、
金 度潤（国立慶州博物館）、李 承恩（同左）

○Madoka MURAKUSHI (University of Tsukuba), Yoshinari ABE (Tokyo Denki University),
Doyoon KIM, Sungeun LEE (Gyeongju National Museum)

1. はじめに

新羅の中心であった現在の韓国・慶州市内に位置する古墳からは、副葬品として多くの金銅製品（冠や装飾品）や馬具、ヒスイ製品、ガラス（容器・玉類）が発見されている。これらの副葬品から、新羅には西アジアや中央アジアから多くの文物がもたらされていたと考えられている。とくに新羅では、高句麗や百済などと比較して多数のガラス製容器が出土していることはよく知られるが、同時に膨大な数のガラス玉類も発見されている。一例として、天馬塚（5-6 世紀）では 4000 点を超えるガラス玉が出土したことが報告されている¹⁾。一方、新羅と倭の物質交流については、様々な新羅製品が列島内から発見されており、本研究で対象とするガラスの流通においても新羅の影響があった可能性がある。

今回、我々は新羅の古墳からの出土した資料を多数所蔵する国立慶州博物館と共同研究として、ガラス製品を対象とした分析調査を行った。本発表では得られた成果を報告したい。

2. 調査方法

対象としたのは国立慶州博物館に所蔵されている①天馬塚（5-6 世紀）、②金鈴塚（5-6 世紀）、③皇南大塚北墳（5-6 世紀）、④金冠塚（5 世紀）、⑤鶏林路第 14 号墳（5-6 世紀）、⑥味鄒王陵（5-6 世紀）から出土したガラス製の玉類や装飾品である。それぞれ①は斑点文トンボ玉 2 点、②は単色玉 11 点、③は単色玉 4 点と縞状の文様が施されたトンボ玉（本発表では線紋様トンボ玉と称する）1 点、④は単色玉 9 点、⑤は装飾品 2 点、⑥はモザイク玉 1 点と単色玉 10 点を分析した。

調査方法として蛍光 X 線分析法を採用し、アワーズテック(株)製可搬型蛍光 X 線分析装置 OURSTEX100FA-IV を同館に持ち込んで分析調査を実施した。基本的に試料室を減圧した状態で測定を行ったが、資料の状態に応じて減圧せず大気圧下で実施したものもある。測定時間は 1 資料あたり 10～15 分程度で行い、定量値は検量線法により算出した。定量元素は Na、Mg、Al、Si、K、Ca、Ti、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Rb、Sr、Y、Zr、Sn、Sb、Pb である。

3. 結果および考察

得られた化学組成から 3 種類に大別され、それぞれカリガラス K_2O-SiO_2 、ソーダ石灰ガラス $Na_2O-CaO-SiO_2$ 、アルミナソーダ石灰ガラス $Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$ と推定した。これらはそれぞれガラスの一次生産地が異なるもので、同様な組成タイプは 5-6 世紀の新羅地域で報告例があり²⁾、また同時期の日本列島内でも見られる。図はガラス原料に含まれる微量元素を用いて、新羅（本研究）と日本列島で出土した単色ガラス玉のデータを比較したもの

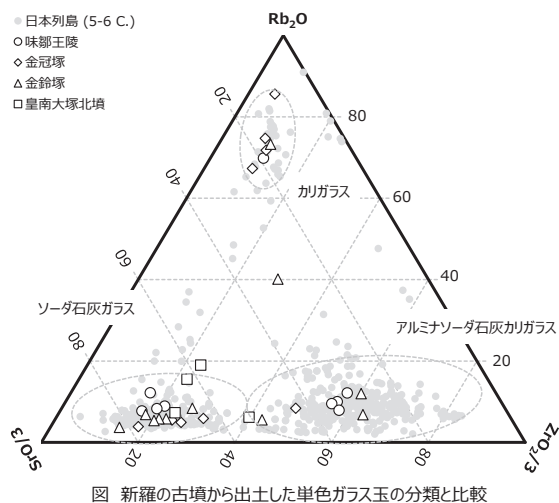


図 新羅の古墳から出土した単色ガラス玉の分類と比較

のであるが、ほとんどが日本のデータが集まる領域と重なり、日本で出土するガラスと同様の組成的特徴を持つことがわかった。つまり、日本で見つかっているガラスと新羅の古墳に副葬されたガラスは一次生産地が同じであることが示唆されたといえる。今後さらにデータが蓄積され、新羅におけるガラス製品の流通状況、時期による変遷等がより詳細に見えてくることで、日本列島とのかかわりが明らかになることを期待したい。

本研究では単色玉以外にトンボ玉や装飾品なども分析した。ここでは味鄒王陵 C 地区 4 号墓から出土したモザイク玉を取り上げる。本資料は青色を地とし、人面、鳥、枝分かれになった花が白色、黄色、赤色のガラスで緻密に表現されたものである。青・白・黄・赤をそれぞれ分析したところ、まずベースはソーダ石灰ガラスであることがわかった。青色着色剤には Co と Cu が用いられ、白色および黄色部分からは Sn が検出され、白色はスズ石 (cassiterite : SnO_2) による白濁、黄色は Sn の他に著量の Pb も含まれていたことからスズ酸鉛 ($PbSnO_3$) による黄濁だと推定される。赤色は他の色よりも Cu が多く検出され、金属 Cu ナノ粒子または赤銅鉱 (Cu_2O) 微結晶による着色だと考えられる。こうしたモザイク玉は東地中海周辺および黒海沿岸で見つかっていることから、この資料についてもこの地域のものと想定される。一方、インドネシア・Jawa Timur (東ジャワ) にも類例があることから、流入経路または製作地の候補とされている³⁾。本資料の製作地域や流通ルートについては、類例の研究に注目して評価していく必要がある。

謝辞

国立慶州博物館・関丙賛館長をはじめ研究員の皆様、本調査に同行された岡山市立オリエント美術館の四角隆二氏、MIHO MUSEUM の東容子氏には測定作業にご助力いただきました。また筑波大学の谷口陽子先生には数々のご助言をいただきました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大韓民国文化公報部文化財管理局, 1975 天馬塚 : 慶州市皇南洞第 155 号古墳発掘調査報告書。
- 2) 김규호・김나영・김은아, 2021 한국 출토 고대유리의 고고 화학적 특징, 특별전시 오색영롱 한국 고대 유리와신라, 286-297.
- 3) Lankton, J. W., Lee, I., and Allen, J. D., 2003. Javanese (Jatim) beads in late fifth to early century Korean (Silla) tombs. Annales du 16e Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre, London, 7, 327-330.等

彦根市稲部遺跡出土漆塗繊維製品の調査

Archaeological research of lacquered fabrics excavated from the Inabe site, Hikone City

○戸塚洋輔（彦根市）、森岡秀人（関西大学大学院）、吉田広（愛媛大学ミュージアム）、
若林邦彦（同志社大学歴史資料館）、東村純子（福井大学）、
植田直見（（公財）元興寺文化財研究所）、小村真理（同）、木沢直子（同）

○Yosuke TOTSUKA (Hikone City Cultural Properties Division), Hideto MORIOKA (Kansai University Graduate School), Hiroshi YOSHIDA (Ehime University Museum), Kunihiro WAKABAYASHI (Doshisha University Historical Museum), Junko HIGASHIMURA (UNIVERSITY OF FUKUI), Naomi UEDA, Mari OMURA, Naoko KIZAWA (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

1. はじめに

滋賀県彦根市に位置する稲部遺跡は近江湖東地域の弥生時代終末から古墳時代初頭の拠点集落とみられており、2019年9月19日、第19次調査SD02溝で靱の一部の可能性のある帯状漆塗繊維製品の複数の断片を検出した。その考古学的所見と年代測定について現状の調査成果を報告する。

2. 漆塗繊維製品について

漆塗繊維製品は、最大幅約1.6m、深さ約0.50mの溝で長さ1.51mの板材と共伴した。溝は下層の土器から庄内式期の開削とみられ、上層出土の古墳時代初頭、庄内式期末から布留式期初頭併行の土器から漆塗繊維製品の下限は布留式期初頭と考えられる。絹の撚糸と植物繊維を用いた主に綾織による織物で、古墳時代前期の古墳副葬靱との比較から靱の一部である可能性を示す。本例は、これまで報告された古墳時代前期の副葬された靱より古く、綾織による織物としても時期が古く、拠点的な集落で出土したという点で古墳時代初頭の社会を考えるうえで重要である。

3. AMS ¹⁴C年代測定結果と考察

漆塗繊維製品の暦年代と共伴土器の考古代との比較のために同一品の一部とみられる漆塗繊維製品と板材の¹⁴C年代測定を行い（表1・2）、¹⁴C年代の暦年較正にはOxCal4.4（較正曲線データ：IntCal20）を使用した。相対的な確率で、漆塗繊維製品は2世紀前半から4世紀前半の繊維と漆の使用が推測され、板材は3世紀前半から4世紀中頃の暦年代を示す（図2・3）。暦年代の絞り込みは難しいが、漆塗繊維製品の暦年代は弥生時代後期後半から古墳時代前期に相当し、溝上層出土土器の考古代とほぼ整合する。また、板材の伐採年代がより新しい可能性や漆塗繊維製品の製作から廃棄までの年代幅などに留意する必要があると考えられる。

謝辞 加速器質量分析計による¹⁴C年代測定では（株）パレオ・ラボのご協力をいただいた。

表 1 測定試料および処理

測定番号	遺跡データ	試料データ	前処理
PLD-41707	遺跡名：稲部遺跡 遺物No.1	種類：漆塗繊維製品 状態：dry	超音波洗浄 有機溶剤処理：アセトン 酸・アルカリ・酸洗浄（塩酸：1.2mol/L、水酸化ナトリウム：1.0mol/L、塩酸：1.2mol/L）
PLD-41708	遺跡名：稲部遺跡 遺物No.7	種類：漆塗繊維製品 状態：dry	超音波洗浄 有機溶剤処理：アセトン 酸・アルカリ・酸洗浄（塩酸：1.2mol/L、水酸化ナトリウム：1.0mol/L、塩酸：1.2mol/L）
PLD-41709	遺跡名：稲部遺跡	種類：生材・ヒノキ科 試料の性状：最終形成年輪以外・辺材部 状態：dry	超音波洗浄 有機溶剤処理：アセトン 酸・アルカリ・酸洗浄（塩酸：1.2mol/L、水酸化ナトリウム：1.0mol/L、塩酸：1.2mol/L）

表 2 放射性炭素年代測定および暦年校正の結果

測定番号	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	暦年校正用年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代を暦年に校正した年代範囲	
				1 σ 暦年代範囲	2 σ 暦年代範囲
PLD-41707 遺物No.1	-28.34 ± 0.26	1836 ± 21	1835 ± 20	171-183 cal AD (6.91%) 204-242 cal AD (61.36%)	128-246 cal AD (95.11%) 301-303 cal AD (0.34%)
PLD-41708 遺物No.7	-27.86 ± 0.19	1819 ± 20	1820 ± 20	212-246 cal AD (66.52%) 301-303 cal AD (1.75%)	133-137 cal AD (0.44%) 163-188 cal AD (3.83%) 201-255 cal AD (74.54%) 286-324 cal AD (16.65%)
PLD-41709	-24.68 ± 0.26	1769 ± 21	1770 ± 20	246-256 cal AD (12.71%) 283-327 cal AD (55.56%)	236-263 cal AD (23.01%) 275-347 cal AD (72.44%)

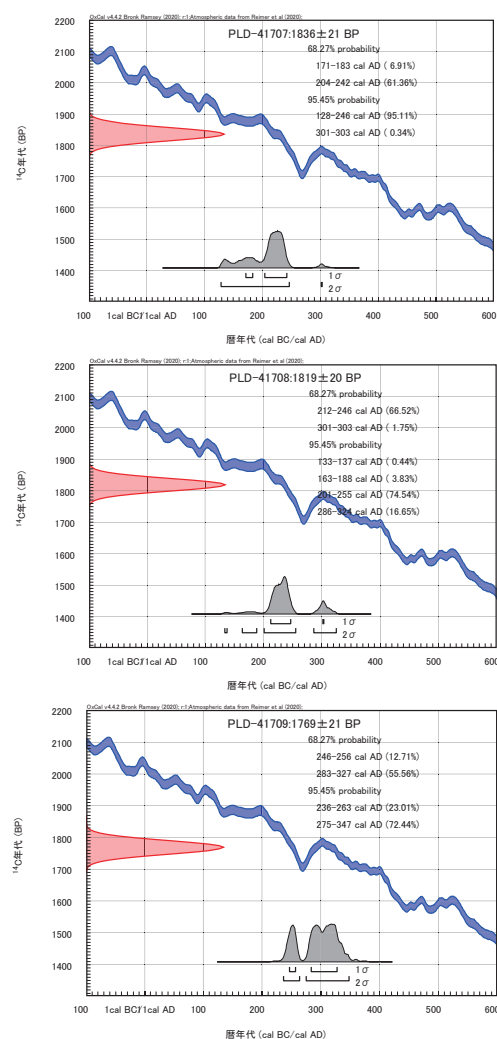


図 2 暦年校正結果 上：No.1、中：No.7、下：板材

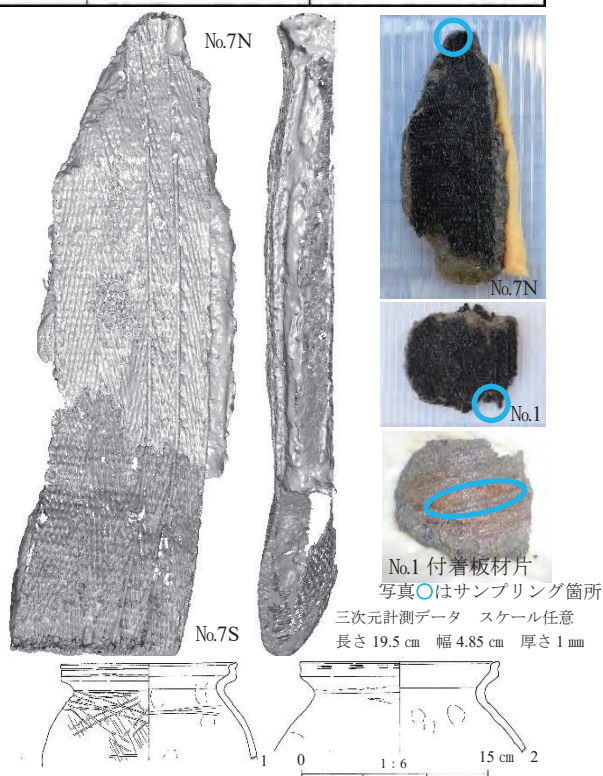


図 1 SD02 帯状漆塗繊維製品（一部）と主な上層出土土器

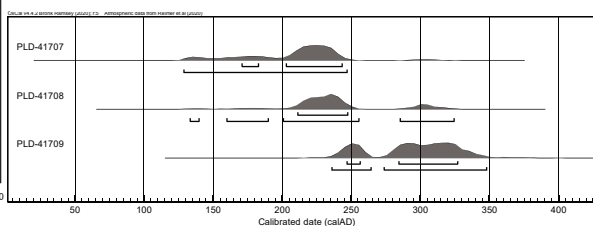


図 3 マルチプロット図 上：No.1、中：No.7、下：板材

彦根市稲部遺跡出土漆塗繊維製品の自然科学的研究

Scientific studies on lacquered fabrics excavated from the Inabe site, Hikone City

○植田直見（（公財）元興寺文化財研究所）、小村眞理（同）、木沢直子（同）、
森岡秀人（関西大学大学院）、吉田広（愛媛大学ミュージアム）、
若林邦彦（同志社大学歴史資料館）、東村純子（福井大学）、戸塚洋輔（彦根市）
○Naomi UEDA, Mari OMURA, Naoko KIZAWA, (Gangoji Institute for Research of Cultural Property),
Hideto MORIOKA (Kansai University Graduate School), Hiroshi YOSHIDA
(Ehime University Museum), Kunihiro WAKABAYASHI (Doshisha University Historical
Museum), Junko HIGASHIMURA (UNIVERSITY OF FUKUI),
Yosuke TOTSUKA (Hikone City Cultural Properties Division)

1. はじめに

弥生時代終末から古墳時代初頭の拠点集落である稲部遺跡第 19 次調査 SD02 溝から出土した
帯状漆塗繊維製品について、自然科学的な分析を通じてその特徴を調査し、性格や用途を推測し
た。その結果、経糸に絹を、緯糸には植物繊維を用いたいわゆる綾織（一部異なる織組織も見え
る）と呼ばれる織物に漆を塗布したものであることが確認できた。さらに詳細な観察と過去の出
土事例の調査により矢を入れる鞆の一部である可能性が考えられたのでその詳細を報告する。

2. 資料

資料は大小含めて約 10 片の断片に分かれており、それぞれよ
く似た織構造が確認できた。その一部を図 1 に示す。表面は繊維
の上に塗膜が確認され、裏面は繊維がそのまま確認された。

3. 調査方法

資料の特徴を調査するため、赤外分光分析による塗膜の材質分
析、織組織などの実体顕微鏡による観察、永久プレパラート作製
後の顕微鏡による塗膜および繊維の断面観察などを行った。ま
た、これらの自然科学的な調査・分析結果を踏まえながら、肉眼
観察などに基づいて組織の特徴を検討するとともに過去の出土事
例との比較を通して資料の性格について考察した。

4. 結果・考察

4-1. 自然科学的な調査・分析



図 1. 稲部遺跡出土帯状漆塗
繊維製品（一部）
（上：縦 13.3cm 横 4.5cm
下：縦 8.1cm 横 4.7cm）

赤外分光分析では、塗膜状物質は 3400cm^{-1} 、 2920cm^{-1} 、 1600cm^{-1} 、 1400cm^{-1} 、 1000cm^{-1} 付近に漆に特徴的なピークが観察された。図2に実体顕微鏡による表面（A、B）と裏面（C、D）の織組織の特徴的な画像を示す。また、顕微鏡による断面観察の結果を図3（A、B、C）に示す。

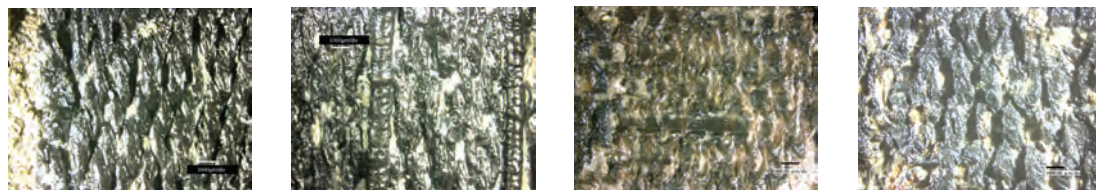


図2. 実体顕微鏡による微小部観察（左から A、B、C、D）

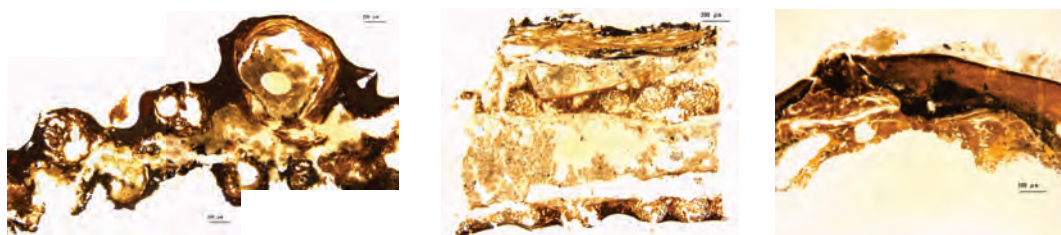


図3. 金属顕微鏡による塗膜と繊維の断面観察（左から A、B、C）

これらの結果より、経糸は絹を撚った約 $500\sim 600\mu\text{m}$ の太さのもので（図3A）、おおむね S 字撚りで（図2）、緯糸は幅約 1mm 、厚さ $30\sim 40\mu\text{m}$ の扁平な形状で植物性の繊維であると見られ（図2C、図3C）両者は異なる素材であることが分かった。織密度はいずれも経糸は $21\sim 24$ 本/cm、緯糸は $4\sim 5$ 本/cm であった（図2）。織物の大部分は綾織であったが一部に市松様に見える織組織が確認できた。また、長辺方向に2条ないしは3条の直線的な付属物（突帯）が確認され（図2B）、断面観察より中空の芯の周りに直径約 $200\mu\text{m}$ の絹糸を巻き付けた構造で織物の上に固定され、その上から $50\sim 300\mu\text{m}$ の漆が塗布されていることが分かった（図3A、B）。

4-2. 観察および過去の事例調査

今回検討した織物片の多くは、同じ組織の織物が、表面を外側に向けて2枚重なった状態であることが分かった。また、表面に取り付けられた突帯の特徴や、糸の太さなど共通する特徴を有しており、本来同じ個体の一部であった可能性が高い。さらに詳細な観察と分析結果より、そのほとんどがいわゆる綾織で、経糸が丸みのある断面形状を有する点、扁平で撚りの無い素材を緯糸に使用している点、細い突帯を施している点、漆は片面からの塗布であり何らかの胎にまかれている可能性が高い点、織物の一部に付属する可能性のある、より厚みのある組織の異なる織物製の部材が確認された点などがこれまでに報告された鞆に見られる特徴と共通することが分かった。

多くの出土鞆は、塗布された漆の保存性の良さによって形態を維持するが、漆膜の残存の良い片面の情報に比べ、繊維本体や織物の裏面を観察できる例は少ない。本例は湿潤な土中に保持されたことから、織物の材料や構造を詳細にわたって観察できる貴重な事例であり、他の資料の理解を助けるうえで極めて重要である。また出土状況から見た場合、本例が副葬された儀礼用の鞆でないという点でも、これまでに報告例がなく、注目される。

有田の 17 世紀の窯跡から出土した磁器の胎土組成と 窯跡の違いとの比較

Comparison of Chemical Composition of Porcelains Excavated at the Kiln Sites of 17th Century in Arita with the Difference in the Kiln Sites

○田端正明（佐賀大学）、村上伸之（有田町教育委員会）

○Masaaki TABATA (Saga University), Nobuyuki MURAKAMI (Board of Education, Arita)

1. はじめに

李参平などの陶工たちが良質で豊富な陶石を泉山（佐賀県西松浦郡有田町）で発見する以前に、1610 年代中頃から、有田の西部の窯場（小溝上窯跡や向ノ原窯跡など）ではそれぞれの窯場に近い場所の陶石を使って、日本初の磁器が製造されていたと考えられている。¹⁾ 本研究では、17 世紀（1610～1640 年代）の西部の窯跡（小溝上窯跡、向ノ原窯跡）と、泉山発見後最初からその陶石が用いられた天狗谷窯跡（1630～60 年代前半）（図 1）から出土した磁器の胎土組成を、シンクロトロン蛍光 X 線分析法で決定した。その磁器の胎土組成を水簸工程における元素移動に基づいて解析し、有田にける初期の出土窯跡の違いについて比較・検討した。



図 1. 分析した磁器生産窯跡の位置図

2. 実験

九州シンクロトン光研究センター、BL07（佐賀県鳥栖市）で蛍光 X 線分析を実施した。詳細な測定法は既報の通りである²⁾。ただし、各元素の蛍光 X 線の積分強度を Origin Pro 2020 を用いて求め、磁器の胎土の微量元素割合について考察した。

3. 結果と考察

磁器の胎土組成は原料である陶石成分をそのまま反映せずに磁器製造工程における水簸での元素移動に依存する。粉碎された陶石は砂状の粒子が除去された後、水中に懸濁された状態で長期間放置される。一定期間後、懸濁液は取り出され、絞られ陶土となる。この過程で、陶石中の元素はその酸化物や珪酸塩の溶解度に応じて移動する。可溶元素は水に溶解し、難溶元素は泥漿に残る。水に最難溶性の元

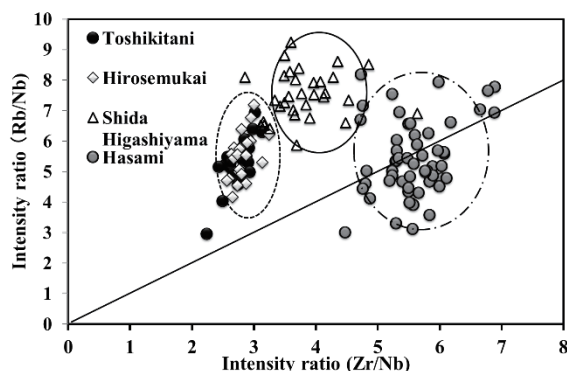


図 2. 肥前地域の出土磁器の胎土組成

素ニオブ (Nb) を基準にして、可溶性元素ルビジウム (Rb) と難溶性元素ジルコニウム (Zr) について Rb/Nb と Zr/Nb の関係を 3 箇所の江戸時代後期の肥前域の窯跡から出土した 60 点の磁器についてプロットした (図 2)。測定データは窯跡の地域ごとに集まり、磁器の生産地の違いを明確に示した。²⁻³⁾

17 世紀初めから中頃の有田の窯跡 (小溝上窯跡、向ノ原窯跡、天狗谷窯跡) から出土した磁器について胎土組成を同様にプロットすると、図 3 のようになった。図 2 と比較するとこれらの磁器の生産地は有田の磁器の分布と一致した。一方、小溝上や向ノ原の窯跡で磁器製造に使われたと推定されている陶石の組成は、出土磁器の組成のプロットとは大きくかけ離れた。図 3 を詳細に観ると、天狗谷窯跡の磁器の胎土組成分布は小溝上窯跡、向ノ原窯跡の磁器と比べて少し右側にシフトした。3 箇所の窯跡の磁器の違いを知るために、胎土組成を $\log(\text{Rb}/\text{Sr})$ vs. $\log(\text{Zr}/\text{Rb})$ および Fe/Rb vs. Sr/Rb についてプロットした。天狗谷窯跡の磁器が佐賀城二ノ丸跡から出土した磁器と類似しており、良質の陶土であることが

明らかになった。更に、鉄の含有量をを比較すると、天狗谷の磁器には鉄の含有量が少なく、良質の流紋岩を水簸で精製したと考えられる (図 4)。一方、向ノ原の磁器ではデータは広がり、鉄を除去するために苦土灰などの他物質を添加したと考えられる。微量元素、銅 (Cu) とニッケル (Ni) の含有量を比較すると、小溝上窯跡と向ノ原窯跡の磁器については Cu と Ni を含む磁器が多くあった。天狗谷の磁器には Ni の含有量は少なかった。良質の流紋岩には Cu、Ni の含有量は少ないので、天狗谷窯跡の磁器は小溝上窯跡と向ノ原窯跡の磁器とは異なった良質の陶石を使ったと推定される。即ち、天狗谷での磁器生産以前に、小溝上、向ノ原では異なった陶石を用いて磁器を製作していたことが裏付けられた。更に、我々が提唱した水簸工程に基づく産地推定法は製作年代が約 200 年違う有田での磁器についても有用であることを再確認した。

測定に用いた磁器は有田町歴史民俗資料館から借りた。厚くお礼申し上げます。

文献

1. 村上伸之『小溝窯出土陶片』創元社美術出版、2020.
2. Masaaki Tabata, Naoto Yagi, Jun Nishimoto, Abdul Ghaffar, *Journal of Archaeological Science: Reports*, **36**, 102823, pp.1-9 (2021).
3. 田端正明、考古学ジャーナル、754 号、27-29 (2021).

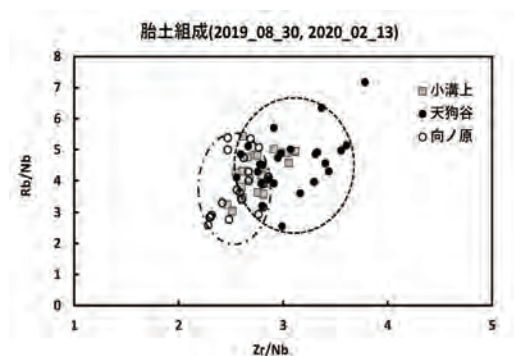


図 3. 小溝上窯跡、向ノ原窯跡、天狗谷窯跡出土磁器の胎土組成

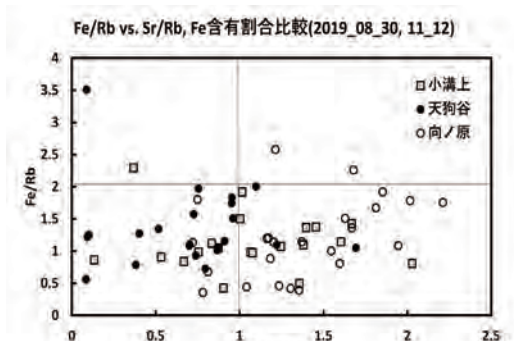


図 4. 小溝上窯跡、向ノ原窯跡、天狗谷窯跡出土磁器の Fe, Sr の含有割合

漆塗膜の産地推定を目的とした Sr 同位体分析における問題点：目

梨泊遺跡出土金銅装直刀の分析を例として

Challenges on the provenance analysis of lacquerware using

Sr isotopes: A case study of an 8 to 9th century tin-*makie*

lacquered equipment for the straight sword excavated from

Okhotsk site, Menashidomari, Esashi, Hokkaido

○若木重行（海洋研究開発機構・高知コア研究所）、南雅代（名古屋大学）、岡田文男（京都芸術大学）、高畠高宗（オホーツクミュージアムえさし）、谷口陽子（筑波大学）

○Shigeyuki WAKAKI (JAMSTEC), Masayo MINAMI (Nagoya University),

Fumio OKADA (Kyoto University of the Arts), Takamune TAKABATAKE (Okhotsk Museum Esashi),

Yoko TANIGUCHI (University of Tsukuba)

1. はじめに

本研究では、北海道枝幸町目梨泊遺跡より出土したオホーツク文化期の金銅装直刀に対する総合的理化学分析の一環として、刀装具より分離した漆塗膜の産地推定を試みた。目梨泊遺跡は、オホーツク文化後期の道北における主要集団の一つである。その活動時期である 8-9 世紀は、オホーツク文化における交易の様相が大陸主体から本州主体へと変遷していく過渡期に相当する。本研究の分析対象である直刀は、日本列島の畿内産か晩唐の大陸産かで大きな議論となっており、原産地特定が重要な資料である。漆塗膜の産地推定には、これまで高分子有機化合物の成分分析や Sr 同位体分析などの手法が用いられてきた。本研究では、漆塗膜試料の Sr 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) の分析から漆の産地推定を試みたが、研究の過程で分析化学的な問題点が明らかになったため、本発表ではこれをまとめて報告する。

2. 分析試料の概要

本研究で分析した資料は、2018 年に目梨泊遺跡の第 42 号土壌墓より出土した金銅装直刀である。本直刀の鞘部には花文の装飾がなされた刀装具が存在し、その内部には鞘の外装の蒔絵に由来する漆塗膜が残存していた。漆塗膜の構造観察から、漆膜の各層には下地としての鉱物粒子ならびに錫粉が含まれていることが判明している。本研究では、漆塗膜片のおよそ 8 mg を試料として分析に供した。また、対照試料として日本・中国・東南アジア各地で採取された

現世の漆試料 13 点についても分析を行った。

3. 分析手法

試料は、先行研究に従い濃硝酸を用いた酸分解法によって分解した。酸化剤として過塩素酸を用いた。試料溶液の 1/30 程度を使用して微量元素分析を行い、残溶液から若木ほか(2018)の手法に従い Sr の単離を行った。Sr 同位体分析には高知コアセンターの表面電離型質量分析計 TRITON を使用した。同位体分析に用いた Sr 量は、最も少ない試料で 2 ng であった。

4. 漆塗膜試料の分解における問題点

分析の結果、目梨泊試料硝酸可溶成分の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は 0.709824 (3) であった。一方で Sr 濃度は 39.4 ppm と対照試料（現世漆）の Sr 濃度（1.2 - 14.4 ppm）と比較して有意に高い値を示した。

工芸品としての漆塗膜は、植物由来の有機物である漆に加えて、骨粉や鉱物などの下地や顔料などの無機物が混合された複合体である。分析化学的観点からは、先行研究でも用いられた濃硝酸を用いた酸分解法は有機物の分解に一般的に用いられる手法ではあるが、一方で濃硝酸は骨の無機成分であるアパタイトを完全に溶解し、岩石・鉱物をも部分的に溶解することが知られている。本研究で分析した漆塗膜片もまた下地としての鉱物粒子を含むことが判明しているため、鉱物粒子の集合体である岩石試料の硝酸耐性を検証する基礎実験を行った。組成の異なる 3 種類の岩石試料（花崗岩・玄武岩・海洋堆積物）に対して漆塗膜と同様の分解法を適応したところ、それぞれの岩石中に含まれる Sr のうち、9%・66%・53%が鉱物粒子の完全分解を伴わずに溶出することが判明した。試料ごとの溶出割合の差は構成鉱物の違いを反映する。植物由来有機物と鉱物や骨の間には Sr 濃度に大きな差があり、前者は後者の 1/10-1/100 程度である。各成分の存在量比ならびに Sr のマスバランスを考慮すると、今回分析された目梨泊試料硝酸可溶成分の Sr は、漆由来ではなく鉱物由来の Sr が主体であると結論づけられる。また、試料の Sr 濃度はこのような無機成分による汚染のよい指標となることがわかった。工芸品としての漆塗膜試料のような有機物-無機物複合体に対して漆成分の Sr 同位体分析を実現するためには、今後適切な試料分解法の開発が必須であろう。

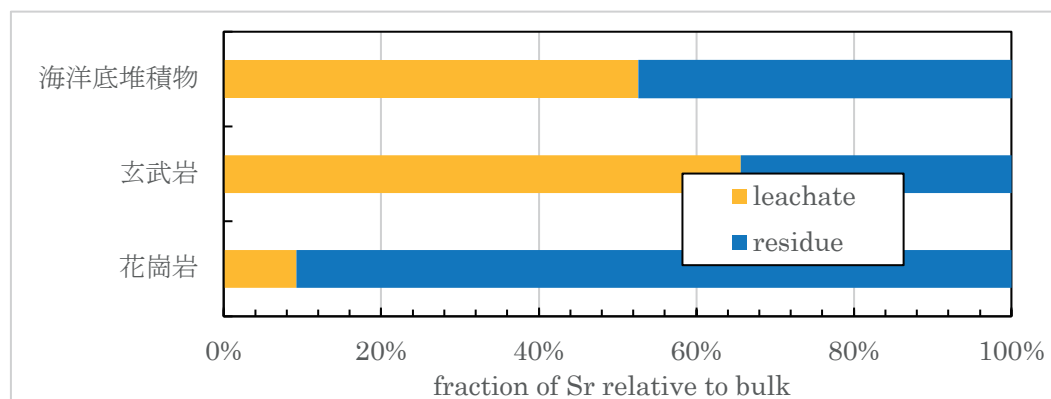


図 1 岩石試料の全岩 Sr 量に対する硝酸可溶成分・硝酸不溶成分の割合

元素分析による田能遺跡出土管玉の分類的検討

Statistical classification of tubular beads excavated from Tano site by using elemental analysis

○藁科哲男（遺物材料研究所）、田村朋美（奈良文化財研究所）、大賀克彦（奈良女子大学）、
竹原千恵（田能資料館）
○Tetsuo WARASHINA (Artifacts and Materials Laboratory), Tomomi TAMURA (Nara National
Research Institute for Cultural Properties), Katsuhiko OGA (Nara Women's University)
Chie TAKEHARA (Tano Museum)

1. 研究の目的

玉作遺跡で同じ石材から作られた管玉は同じ元素成分を含有している。これら管玉が各地の消費遺跡に伝播されたとき、管玉の元素成分および製作技法など組み合わせて考察することにより、何処の玉作遺跡の管玉が伝搬しているかが推測できる。

本研究の対象としたのは、兵庫県尼崎市に所在する田能遺跡の弥生時代の方形周溝墓（16号墓）から出土した合計 632 個の碧玉製管玉である。これらの管玉は、その多くが被葬者の胸部付近を中心とする狭い範囲から出土している。さらに、田能遺跡からは製作工程と思われる玉材が出土しており、考古学的価値がきわめて高い。

本研究では、これら管玉を対象に蛍光エックス線分析と ESR 分析を実施し、632 個の管玉から得た個々の元素組成と ESR の結果を、地質学的産地および原産地遺跡や各地の遺跡から出土した玉類と玉材から作成した遺物群と比較した。さらに、遺物群未確定となった管玉についても他の遺跡出土品との関連性を有効に検討することができるように、クラスター分類を利用した遺物群の作成を試みた。

2. 遺物群同定結果

遺物群同定の結果、351 個の管玉が朝鮮半島北部や中国に起源が想定される未定 C 遺物群系として、153 個の管玉が国内産系（女代南 B 遺物群など）として同定された。

これらを除く遺物群未確定の管玉のうち 114 個について、各管玉の分析部分をかえて合計 40 回以上/1 個の分析結果を得て、マハラノビス法により 114 個の遺物群を作成した。この 114 個の遺物群に他の管玉をホテリングの T^2 検定で比較同定を行ったとき、信頼限界の 5% 以上を得られる管玉は、同定された遺物群の管玉と同じ石材で製作された可能性が推測される。

3. クラスター分類を利用した遺物群の作成

さらに、本研究では、これら 114 個の管玉についても他の遺跡出土品との関連性を有効に検討することができるように、クラスター分類を利用した遺物群作成を試みた。

具体的な方法は以下の通りである。まず、114 個の管玉から得た各 3 回以上の元素比分析の結果を用いてクラスター分析をおこなう（表 1）。最初に行えるクラスターは相互に元素比組成が似ているため、最初のクラスターに含まれる管玉の分析値を用いてマハラノビス法により群を作成する。そして、114 個の管玉について信頼限界 5 % で同定される管玉を取り込む工程を信頼限界 5 % 以上で同定される管玉がなくなるまでおこなう。最終的に取り込まれた管玉が同じ ESR 信号（Ⅲ）（図 1）であることを確認した上で遺物群を確定する。続いて、遺物群を構成する管玉以外の残りの管玉で再びクラスター分析をおこない、次の遺物群をつくる。これを繰り返すことで、表 1 に示したような遺物群を作成することができた。

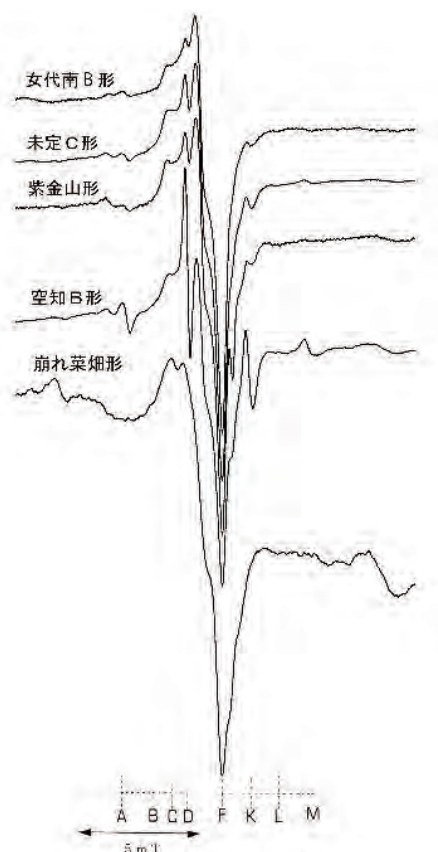


図 1 田能遺跡群出土管玉の代表的 ESR 信号（Ⅲ）のスペクトル

表 1 田能遺跡群出土管玉により作成された遺物群の平均値および標準偏差

遺物群名	分析回数	群計算結果	元素比									
			Al/Si	K/Si	Ca/K	Ti/K	K/Fe	Rb/Fe	Fe/Zr	Rb/Zr	Sr/Zr	Y/Zr
女代南B	68	Average	0.045	3.115	0.042	0.107	0.283	0.267	2.374	0.595	0.214	0.171
		Standard devia.	0.016	0.445	0.024	0.036	0.099	0.063	0.676	0.065	0.097	0.047
		Stan. devia. %	36	14	57	34	35	24	28	11	45	27
未定C	58	Average	0.03	4.416	0.013	0.207	0.589	0.65	0.583	0.369	0.09	0.07
		Standard devia.	0.028	0.618	0.013	0.034	0.13	0.113	0.11	0.035	0.03	0.026
		Stan. devia. %	93	14	100	16	22	17	19	9	33	37
田能CE遺物群	51	Average	0.041	3.393	0.062	0.245	0.588	0.685	0.498	0.327	0.301	0.082
		Standard devia.	0.002	0.369	0.022	0.027	0.123	0.153	0.096	0.048	0.052	0.017
		Stan. devia. %	5	11	35	11	21	22	19	15	17	21
田能BF遺物群	46	Average	0.037	3.260	0.022	0.099	0.741	0.637	0.779	0.450	0.163	0.129
		Standard devia.	0.004	0.653	0.021	0.062	0.224	0.155	0.279	0.037	0.066	0.034
		Stan. devia. %	11	20	96	63	30	24	36	8	41	26
田能CG遺物群	46	Average	0.039	3.479	0.086	0.285	0.399	0.510	0.695	0.330	0.087	0.099
		Standard devia.	0.006	0.578	0.028	0.064	0.116	0.114	0.216	0.038	0.063	0.035
		Stan. devia. %	15	17	32	23	29	22	31	12	73	36
田能SH遺物群	47	Average	0.044	3.660	0.070	0.218	0.291	0.414	1.458	0.595	0.492	0.093
		Standard devia.	0.002	0.313	0.041	0.026	0.030	0.042	0.288	0.113	0.123	0.022
		Stan. devia. %	4	9	58	12	10	10	20	19	25	23
田能CI遺物群	50	Average	0.043	4.295	0.014	0.176	1.101	1.281	0.272	0.339	0.086	0.063
		Standard devia.	0.004	0.701	0.008	0.025	0.167	0.205	0.042	0.028	0.017	0.014
		Stan. devia. %	10	16	57	14	15	16	15	8	19	23
田能CJ遺物群	45	Average	0.039	3.147	0.070	0.271	0.469	0.536	0.634	0.287	0.378	0.049
		Standard devia.	0.003	0.343	0.015	0.024	0.151	0.179	0.307	0.028	0.049	0.018
		Stan. devia. %	7	11	22	9	32	33	49	10	13	37
田能SK遺物群	46	Average	0.045	3.880	0.048	0.189	0.400	0.527	1.187	0.614	0.351	0.123
		Standard devia.	0.002	0.310	0.016	0.014	0.041	0.035	0.125	0.036	0.065	0.019
		Stan. devia. %	6	8	33	7	10	7	11	6	19	15
田能BL遺物群	45	Average	0.036	3.383	0.079	0.254	0.270	0.273	2.128	0.517	0.248	0.126
		Standard devia.	0.007	1.021	0.013	0.096	0.054	0.073	0.836	0.100	0.026	0.030
		Stan. devia. %	18	30	16	38	20	27	39	19	11	24
田能BM遺物群	44	Average	0.040	3.568	0.044	0.080	0.713	0.621	0.803	0.483	0.273	0.245
		Standard devia.	0.004	0.426	0.037	0.029	0.153	0.105	0.147	0.065	0.143	0.089
		Stan. devia. %	10	12	84	36	21	17	18	13	52	36

飛鳥時代の刺繍・綴織に用いられた染料の可視分光分析 Visible spectroscopic analysis of dyes used in embroidery and tapestry weaving during the Asuka period

○中村力也（宮内庁正倉院事務所）、鶴真美（同左）、内藤栄（奈良国立博物館）

○Rikiya NAKAMURA, Mami TSURU (Office of the Shosoin Treasurehouse)
Sakae NAITO (Nara National Museum)

1. はじめに

飛鳥時代の染織品として、我が国最古の伝世品である法隆寺染織品が有名である。法隆寺染織品の染料に関しては、数片の断片に関する分析報告があるのみであり、包括的に調査された事例はない。本発表では、飛鳥時代の染料の解明を目的として、東京国立博物館が所蔵する法隆寺染織品の中から刺繍作品や綴織作品を調査対象として選び、科学分析した結果を報告する。さらに、本研究に関連する作品として「釈迦如來說法図」（奈良国立博物館所蔵）の調査結果についてもあわせて報告する。いずれの調査も分析手法に可視分光法を採用し、非破壊・非接触による分析を実施した。可視分光法は、同じ上代裂である正倉院染織品の染料分析において用いられた、実績ある手法である。

2. 分析対象試料および手法

2-1. 分析対象の染織品

図1 a～c は、法隆寺伝来の染織品（飛鳥時代）で、現在、東京国立博物館が所蔵する。図1 a は、幡足裂の断片で、緞織の緑色の地に、刺繍で楽器を弾く天人を表現する。刺繍には、赤色、橙色、緑色、青色、紫色、黄色、白色の色糸を用いる。同類の幡足裂で、黄色や青色の地の作品についても分析した。図1 b は、獅子文の一部が残る刺繍断片である。赤色、赤紫色、緑色、青色などの色糸のほか、金糸や銀糸も用いる。図1 c は、綴織の断片で、連珠文の内側に獅子文、外側に雲文を表す。赤色、紫色、緑色、青色、黄色、白色の色糸を用いる。図1 d は、奈良国立博物館所蔵の「釈迦如來說法図」で我が国の古代の最大級の繡仏である。製作時代は、唐あるいは奈良時代と解説されることが多いが、飛鳥時代後期の法隆寺金堂壁画などと図様が近似することが指摘されている。



図1 本研究において分析対象とした作品。(a) 幡足裂、(b) 獅子文刺繍断片、(c) 獅子連珠文綴織断片（以上東京国立博物館蔵）、(d) 「釈迦如來說法図」（奈良国立博物館蔵）。

2-2. 可視分光分析

分析には、オーシャン옵ティクス社製の分光器：USB4000 とタングステン・ハロゲン光源：LS-1 に、同軸の光ファイバプローブ：R400-7-UV/Vis（コア径：150 μm）を接続した装置を用いた。試料に対する照射角度を 45°，プローブの先端と試料との距離を 5 mm に設定した。400～800 nm のスペクトルを分解能：2.5 nm で取得した。標準板にはセラミックス製標準白色板

((財) 日本色彩研究所) を用いた。得られた反射分光スペクトルを二次微分し、解析した。

3. 結果と考察

3-1. 法隆寺染織品の染料分析

幡足裂や刺繍断片、綴織断片の赤色部分を分析したところ、二次微分スペクトルにおいて、505, 550 nm に極大吸収が見られたため、茜が用いられていることがわかった(図2)。幡足裂の橙色や、刺繍断片の赤紫色からも茜に特有なスペクトルが得られた。青色や緑色部分については、675~710 nm に吸収極大が見られ、用いられた染料は藍であることがわかった(図3)。緑色部分に藍と併用されている可能性が高い黄色染料については、本調査からは有力な知見は得られなかった。紫色部分については、550, 600 nm に吸収極大が検出され、紫根が用いられていることが示された(図4)。

3-2. 「釈迦如來說法図」の染料分析

刺繍の赤色・橙色部分を分析したところ、いずれも茜に特有な吸収極大が観測された(505, 550 nm)。青色や緑色部分については、675~700 nm に藍の吸収極大が見られた。緑色部分に藍と併用されている可能性が高い黄色染料については、本調査からは有力な知見は得られなかった。紫色部分については、紫根に特有な吸収極大(545, 600 nm)が検出された。

4. おわりに

飛鳥時代の染織品について可視分光法を使って染料を分析したところ、赤色染料として茜、青色染料として藍、紫色染料として紫根が用いられていることがわかった。茜や藍、紫根は奈良時代の染織品にも多用された染料であり、飛鳥時代と奈良時代の染料には共通の素材が用いられたことがわかる。一方、黄色染料については有力な知見は得られず今後の課題である。

謝辞

本研究では、樹田紅陽氏(刺繍作家)、沢田むつ代氏、三田覚之氏、清水健氏(以上3名、東京国立博物館)、三本周作氏(奈良国立博物館)に調査協力を賜りました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 山辺知行・林孝三・涼野元・涼野恭子「法隆寺裂れの赤色系染料について(溶剤転溶法とペーパークロマトグラフ法による試験)」、*古文化財之科学*, **9**, 22 (1954).
- 2) 中村力也・成瀬正和「分光学的手法による正倉院に伝世する竹帙の色系に用いられた染料の分析」、*文化財科学*, **78**, 21 (2019).

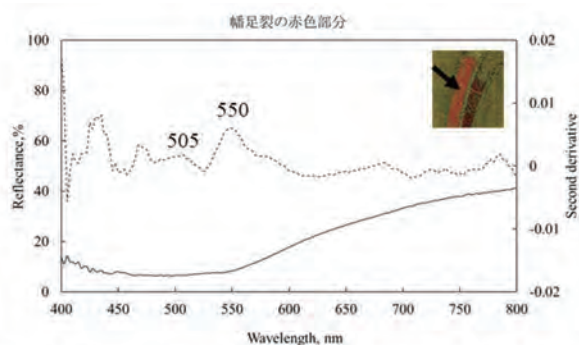


図2 幡足裂の分析箇所(赤色部分)、反射率曲線(実線)および二次微分曲線(破線)。

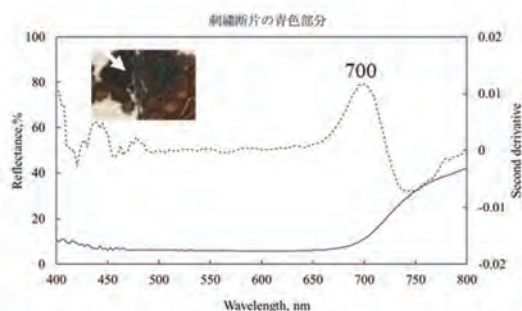


図3 刺繍断片の分析箇所(青色部分)、反射率曲線(実線)および二次微分曲線(破線)。

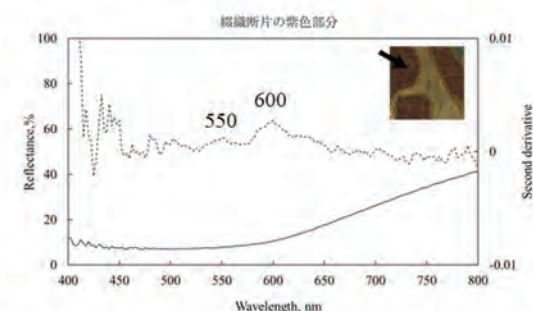


図4 綴織断片の分析箇所(紫色部分)、反射率曲線(実線)および二次微分曲線(破線)。

負ミュオンを用いた騎西武家屋敷出土蛭藻金の 非破壊による深さ方向分析

Non-destructive depth profiling analysis using negative muon of Gold coin “*Hirumokin*” from Kisai castle town site

査名 貴彦（国立科学博物館）・反保元伸（高エネルギー加速器研究機構）・

竹下聡史（同左）・土居内翔伍（同左）・橋本亜紀子（同左）・三宅康博（同左）

Takahiko Kutsuna (National Museum of Nature and Science)

Motonobu Tampo, Soshi Takeshita, Shogo Doiuchi, Akiko Hashimoto, Yasuhiro Miyake
(High Energy Accelerator Research Organization)

はじめに

文化財に対する元素分析では、非破壊による調査が基本であるため蛍光 X 線分析法が一般的な手法として用いられてきた。しかし、表面に X 線を照射して測定するため、表面の汚染や腐食などの影響を受けやすい問題がある。そのため、腐食した資料の材質の定量や、鍍金や色付などの表面処理が施されている資料の表面と内部の材質や表面処理について、蛍光 X 線を用いて非破壊で測定することは難しかった。一部では、スパッタリングによる破壊分析手法を用いて、江戸時代の小判の深さ方向の材質変化が調査されている¹⁾。

近年、負ミュオンを用いて非破壊で深さ方向の材質調査を行うことが可能となってきた。この方法では、任意の深さに対するミュオン特性 X 線が得られ、元素分析を行うことができる。そのため、小判や丁銀などの表面処理について本手法による成果が報告されている²⁾³⁾。

今回、埼玉県加須市の騎西城武家屋敷跡から出土した蛭藻金に着目し、表面処理の有無の調査を実施した。その結果について報告する。

ミュオン特性 X 線による元素分析

茨城県東海村の大強度陽子加速器施設 J-PARC は、世界最高クラスの陽子ビームで生成する中性子、ミュオン、K 中間子、ニュートリノなど多彩な 2 次粒子ビームを、多様な分野の先端研究に活用する施設である。J-PARC のミュオン科学実験施設 (MUSE) に設置された D ライン D2 エリアでは、負ミュオンの特性 X 線を利用して非破壊元素分析を行う事が可能である⁴⁾。

負ミュオンは電子の約 200 倍の質量を持つ素粒子であり、負ミュオンを物質に照射して放出される特性 X 線は、電子の特性 X 線より約 200 倍エネルギーが高く、透過力が強い。さらにミュオンは荷電粒子のため資料への入射エネルギーを任意に調整が可能で、資料の希望する深さにミュオンを入れる事ができる。そのため、そこから発生する特性 X 線を調べることで、非破壊で資料内部の元素組成を分析し、深さ方向のプロファイルを得ることができる。

蛭藻金について

今回調査を行った蛭藻金 (図 1) は、埼玉県加須市の騎西城武家屋敷第 50 次調査で露金、切金と共に出土した。騎西城武家屋敷跡は戦国期から江戸初頭の遺跡であり、本資料は戦国期と考えられている。

XRF を用いた定量分析では、Au87.4wt%、Ag10.9wt%、Cu1.7wt% (FP 法による) が得られ、SEM による詳細観察から色付と呼ばれる表面処理が行われた孔の痕跡が確認されている⁵⁾。



鍮目 石目
図 1. 蛭藻金

結果及び考察

今回は、蛭藻金の錠目側（図 1 左）に 2 回調査を実施した。図 2 にはその結果を示す。

1 回目の調査では最表面深さを $1\mu\text{m}$ としたため、次の $2\mu\text{m}$ より若干濃度が高いものの、その後は深さ方向に対し金の濃度変化はほとんど無く、表面処理の確認には至らなかった。そのため、2 回目では $5\mu\text{m}$ までの表面近傍について詳細に調査する事とした。

2 回目における最表面の深さは約 $0.4\mu\text{m}$ で、そこから $1\mu\text{m}$ までの極表面において濃度変化がみられ、その後 $5\mu\text{m}$ までは 90% 付近でほぼ一定となっている。そのため、 $1\mu\text{m}$ 以下の極表面において金の濃度が上昇することから、蛭藻金についても色付が行われていると考えられた。

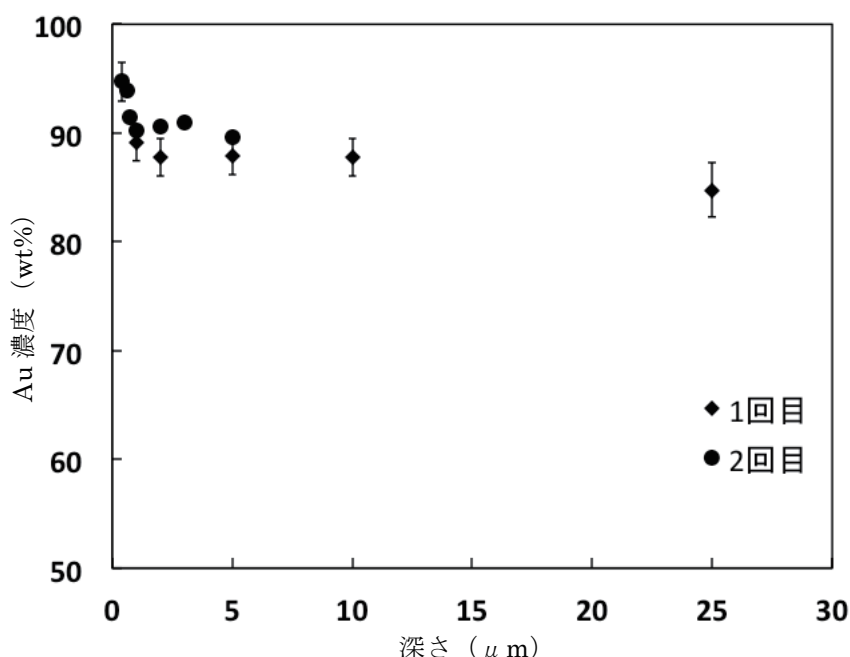


図 2. 負ミュオンによる蛭藻金の深さ方向分析結果

おわりに

J-PARC の負ミュオンを用いた非破壊による深さ方向分析により、戦国期の金貨である蛭藻金に表面処理が行われていたことを確認した。これまでは、SEM による表面観察での孔の痕跡により確認する方法しかなく、定量的な分析に基づく調査は困難であった。また、江戸時代の小判の深さ方向の濃度変化からみえる表面処理と異なり、極表面のみの表面処理であることも明らかとなった。その違いについては、今後の検討事項である。

これまで天正大判が色付の最初とみられてきたが、それを遡る定量的な成果を今回得た⁶⁾。

最後に、本資料の調査を快諾頂いた加須市教育委員会に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 斎藤「江戸期小判などの色揚げに関する自然科学的研究」国立歴史民俗博物館研究報告, 183, p1-44, 2014
- 2) 二宮「ミュオン特性X線測定による考古学試料の元素分析法の開発」波紋, 25(1), p13-17, 2015
- 3) 斎藤・竹下・反保・土井内・橋本・梅垣・二宮・三宅「負ミュオンを用いた非破壊による丁銀の深さ方向分析」日本文化財科学会第 37 回大会要旨集, p40-41, 2020
- 4) 三宅「J-PARC ミュオン施設の紹介とミュオン分析の特徴や開発状況」金属, 91(3), p41-48, 2021
- 5) 匿名「騎西城武家屋敷跡第 50 次 10 号土壇出土金貨について」加須市埋蔵文化財調査報告第 7 集『騎西城武家屋敷跡第 2・3・8・9・50・51 次調査, 騎西城跡第 3・12・14・15 次調査, 多賀谷氏館跡第 1-3 次調査』, p 146-150, 2014
- 6) 甲賀 (1930) 『古金銀調査明細録』(日本銀行金融研究所貨幣博物館蔵)

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

福岡県平原 1 号墓出土の紺色重層ガラス連珠の再検討

Reexamination of double layered cobalt blue glass beads made by segmenting method excavated from the No.1 tomb at the Hirabaru Site in Fukuoka Prefecture

○田村朋美（奈良文化財研究所）、中村大介（埼玉大学）、江崎靖隆（糸島市立伊都国歴史博物館）、河合修（同左）、アハン・オンガルリ（カザフスタン国立博物館民族遺産研究所）、アルハット・カリマガンベトフ（同左）、ロチン・イシツェレン（モンゴル科学アカデミー考古学研究所）

○Tomomi TAMURA (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Daisuke NAKAMURA (Saitama University), Osamu KAWAI, Yasutaka ESAKI (Itokoku History Museum) Akhan. ONGGAULY, Arhat. KAIRMAGANBETOV (Research Institute "Khalyk kazynasy" of the National Museum of the Republic of Kazakhstan), Lochin ISHTSEREN (Institute of Archaeology, Mongolian Academy of Sciences)

1. はじめに

福岡県糸島市にある平原 1 号墓から特殊な重層ガラス連珠（単珠も含む、以下重層ガラス玉）が 886 点出土している。これらのガラス玉のうち 1 点については分析報告がなされているが¹⁾、製作技法および化学組成のいずれにおいても日本列島や近隣諸国に類例がなく、起源や流入経路も不明なままであった。近年、筆者らによる海外調査において、形態的特徴の類似する重層ガラス玉がモンゴルおよびカザフスタンに存在することが明らかとなった。そこで、今回は平原 1 号墓出土品について改めて材質調査を実施し、これらの海外資料と比較することで、平原 1 号墓出土の重層ガラス玉の生産地および流入経路について検討した。

2. 資料と方法

本研究で分析対象としたのは、平原 1 号墓から出土した重層ガラス玉 20 点、およびカザフスタンのカルカラ遺跡群 2014 年調査第 6 区出土のガラス玉 5 点（BC 2 C～AD 1 C）である。さらに、比較対象として、筆者らが 2017 年に調査したモンゴルのナイマー・トルゴイ遺跡（匈奴墓）から出土したガラス玉の結果についても取り上げる。モンゴル出土例については、ナトロンタイプのソーダガラス（ナトロンガラス）製の可能性が高いことが示されている²⁾。

これらのガラス玉のうち、平原 1 号墓およびモンゴルのナイマー・トルゴイ遺跡出土品については、所蔵機関に可搬型のエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（OURSTEC, 100FA）分析装置を持ち込んでオンサイト測定を実施した。一方、カザフスタン出土品については、奈良文化財研究所にて据え置き型のエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（EDAX, EAGLAIII）を用いて測定した。いずれの場合も、測定結果はガラス標準試料を用いて補正した FP 法により、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

蛍光 X 線分析の結果、平原 1 号墓およびカザフスタン出土の重層ガラス玉は、モンゴル出土例と同じくナトロンガラス製であることが判明した。さらに、特筆すべき結果として、分析したすべての個体からアンチモン (Sb) が検出されたことが挙げられる (図 1・図 2)。平原出土品の Sb については以前の調査では言及されていなかった結果である。すなわち、平原 1 号墓、モンゴルおよびカザフスタンで出土した重層ガラス玉は、形態的特徴が類似するだけでなく、ナトロンガラス製で、かつ Sb を含む点でも一致することが明らかとなった。さらに、これらはマンガン (MnO) が多い点でも共通する (図 2)。

ところで、弥生時代 (後期後半～終末期) の日本列島には他にもナトロンガラス製の小玉が流入していることが明らかとなっている³⁾。材質や製作技法が特に斉一的で、すべてコバルト着色でアンチモンを含有す

るが、マンガンは含まない。当該期のナトロンガラス製の小玉は広島県矢谷 D 遺跡 2 号方形周溝墓例を除いて、すべて関東周辺の東日本で出土し、ガラス小玉の出土数が最も多い北部九州周辺で 1 点も発見されていなかった。今回、初めて北部九州でのナトロンガラスが確認されたことになるが、他例とは製作技法および材質的特徴、特に消色剤の特徴が異なっている点は注目に値する。筆者らがこれまでに実施したモンゴル匈奴墓出土ガラス玉の調査では、本例以外にもコバルト着色の紺色のナトロンガラス (小玉および容器) が出土しているが、いずれも弥生時代の日本列島で出土するものとは異なり、すべて MnO を多く含むものであった⁴⁾。すなわち、弥生時代の日本列島に流入した紺色のナトロンガラス玉には、生産地および流入経路の異なる二つの系統があった可能性がある。このうち、平原 1 号墓例については、モンゴルやカザフスタンにおける類例の発見により、内陸ルート経由の可能性が示唆される一方、関東地方を中心に出土する多数派の小玉については、類例がユーラシア大陸内陸部で発見されないことから、海路で流入した可能性を検討する必要がある。

1) 糸島市教育委員会 2017『平原遺跡』(『糸島市発掘調査報告書』第 16 集)

2) TAMURA, T., *et al.* 2019. Scientific and archaeological investigation on glass beads from Xiongnu burial in Mongolia. Daejeon International Symposium on Conservation of Cultural Heritage in East Asia.

3) 大賀克彦・田村朋美 2015「古墳時代前期のナトロンガラス」『古代学 (奈良女子大学古代学学術研究センター)』第 7 号

4) NAKAMURA, D., *et al.* 2021. Scientific Analysis on the glass and stone artifacts in Ulaanbaatar State University. 『埼玉大学紀要 (教養学部)』第 56 巻第 2 号

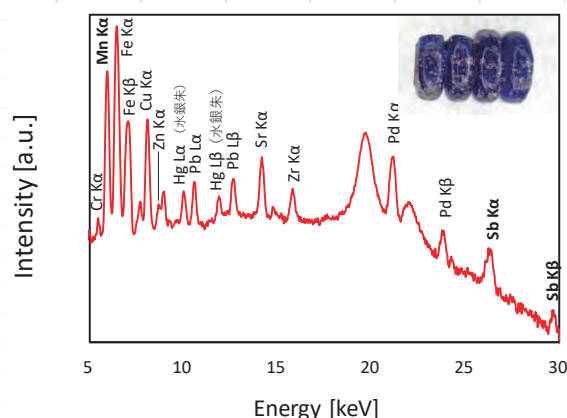


図 1 平原 1 号墓出土の重層ガラス連珠 (4 連) の蛍光 X 線スペクトル

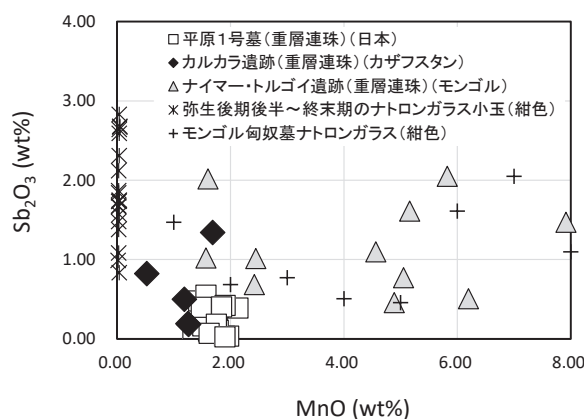


図 2 紺色ナトロンガラスに含まれる消色剤成分の比較

五條猫塚古墳出土龍文透彫帯金具の自然科学分析

An analysis of the dragon design belt-fittings excavated from the Gojo-Nekozuka kofun.

○山口繁生（元興寺文化財研究所）、小村眞理（同左）、吉澤悟（奈良国立博物館）、
鳥越俊行（東京国立博物館）

○Shigeo Yamaguchi, Mari OMURA (Gangoji Institute for Research of Cultural Property),
Satoru YOSHIZAWA (Nara National Museum), Toshiyuki TORIGOE (Tokyo National Museum)

1. はじめに

五條猫塚古墳は奈良県五條市に所在する方墳で、5 世紀に築造されたと考えられている。1958 年に発掘調査が行われ、龍文透彫帯金具の他、埴製枕、眉庇付冑、鍛冶具など多種多様な副葬品が出土した。龍文透彫帯金具は中国晋朝で確立された晋式帯金具から派生した金工品と考えられており、朝鮮半島、及び日本列島の両方で出土している。これらの帯金具は当時の生産・流通、技術伝播を考える上で重要な研究対象であり、製作技法や様式に関する比較研究が多数報告されている。本報告においては、製作技法、構造、材質などの調査として行った顕微鏡観察、電子顕微鏡観察（SEM）、蛍光 X 線分析（XRF）、CT 撮影で得られた成果について報告を行う。

2. 方法

顕微鏡には実体顕微鏡「MZ16」「M205C」（ライカ）を用いた。SEM には「S-3500N」（日立）を用い、加速電圧 15kV で観察を行った。XRF には「EA6000VX」（日立）を用い、管電圧 50kV で測定を行った。XRF 元素マッピングの分解能は 110 μ m/pixel である。CT には「TOSCANER-32300 FD」（東芝）を用い、管電圧 210kV、1200 枚/360°、積算 4 回で撮影を行った。

3. 結果及び考察

製作技法

帯金具裏面の元素マッピングにおいて、切断箇所に沿って金、及び水銀が検出された（図 1）。切断面には鍍金が見られず、裏面で検出された金に厚みがあることから（図 1）、鍍金工程ではなく切断加工において付着した可能性が示唆される。この結果は当時の金属加工技術を研究する上で、有用な知見になると考えられる。

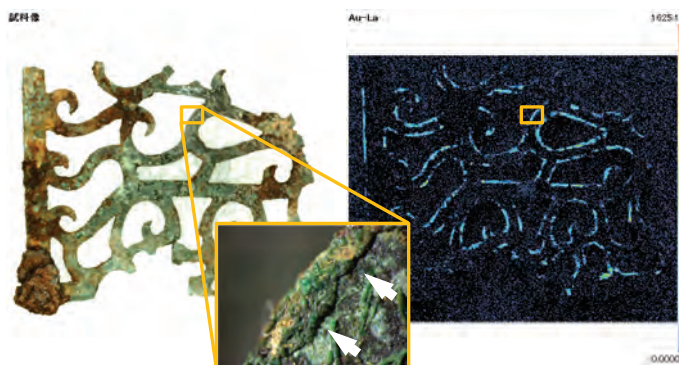


図 1 帯金具裏面の元素マップ 左は光学写真を、右は元素マップ (Au) を、矢印は検出された裏面の金の顕微鏡観察像を示す。

構造

多くの龍文透彫帯金具と異なり、五條猫塚古墳出土帯金具には垂飾が附属していない。ただし、下辺中央鉾の鉾脚に金属片が残存する資料が2つ出土しており、これらの金属片を用いて垂飾を

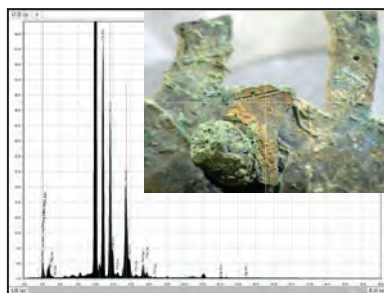


図2 XRF スペクトル 図中赤線は Au のピーク位置を示す。

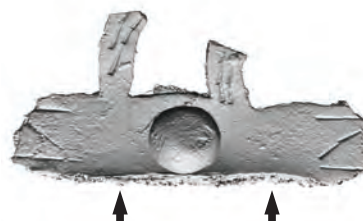


図3 CT データによる 3D モデル 周縁下端の立ち上り箇所を示す。

垂下した可能性が考えられてきた。今回、これらの鉾脚付着金属片の XRF を行ったところ、内側の面に鍍金が施されていることが明らかとなった（図2）。また、金属片が付着する鉾周辺を観察したところ、これらの鉾付近では波状列点文が途切れ、さらに、周縁部下端の幅約1cm が表側に向かって立ち上がっている様子が確認された（図3）。これらの結果より、製作当時の五條猫塚古墳出土帯金具には七観古墳出土帯金具などと同様の、周縁部下辺を T 字形に成型し T 字の足部分を折り返して鉾留する垂飾を垂下する部位があった可能性が考えられた。

材質

幾つかの帯金具裏面には、帯を構成していたと考えられる織の粗い織物が残存しており、糸には径約400~600 μ m の Z 撚りの糸が用いられている。これらの糸より試料を採取し SEM 観察を行った。その結果、繊維が破断している箇所において劣化した毛髄質が観察された（図4）。この観察結果より、龍文透彫帯金具が装着されていた帯は毛織物製であったことが明らかとなった。

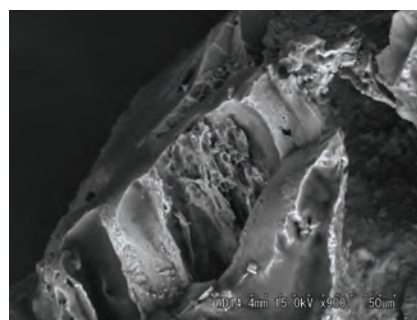


図4 SEM 画像 織物から採取した試料の破断面を示す。

4. まとめ

本分析において、五條猫塚古墳出土龍文透彫帯金具に残存する帯が毛織物であることが明らかとなった。朝鮮半島で確認されている最も古い毛織物として皇吾洞 100 番地 1 号墳・11 号墳で出土した織物片、及びチョクセム遺跡 C10 号出土襟甲内面に残存した織物片が報告されている。これらの遺跡は 5 世紀の遺跡と考えられており、五條猫塚古墳と同時期の遺跡である。当時朝鮮半島においても貴重品であったであろう毛織物が、同時代の日本で帯として使用されていたことは、両者の交流や帯金具の製作地を考える上で重要な知見であると考えられる。

今後は本分析で明らかとなった製作技法、構造、材質に関し、他の龍文透彫帯金具との比較を行う予定である。また、朝鮮半島で確認されている毛織物は羊毛が用いられていることが明らかとなっているが、五條猫塚古墳の帯に関してはその動物種までは明らかになっていない。今後、動物種を調べることも重要な研究課題になると考えられる。

謝辞：繊維調査では宮内庁正倉院事務所の中村力也氏、奈良県立橿原考古学研究所の奥山誠義氏にご協力いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

中世の乳濁ガラスに用いられる材料について Some opacifying agents in Medieval glass found in Hakata

○比佐陽一郎（福岡市経済観光文化局）・林佳美（サントリー美術館）

Yoichiro Hisa（Fukuoka city Economy, Tourism& Culture Bureau）・Yoshimi Hayashi（Suntory Museum of Art）

1. はじめに

出土ガラスは数多くの文化財科学の手法による先行研究によって、用いられる融剤や着色剤の種類から時代や地域の特徴が明らかにされている。これらの研究は世界規模での物流や人的交流の解明に大きく寄与するものとなっている。

今回は、福岡市博多遺跡群出土の中世を中心とする時代のガラス製品を対象に、特に乳濁した資料について、その要因に関するまとまった知見が得られたので報告する。

2. 遺跡と資料の概要

博多遺跡群は中世の一大貿易都市として知られている。大宰府の外交拠点であった鴻臚館が衰退した平安時代末以降、新たな貿易拠点として機能した。昭和 52 年に最初の発掘調査が行われて以降、250 を超える地点の調査が行われ、中国を中心とする多種多様な輸入陶磁器や都市生活に関わる様々な資料が発見されている。出土品の一部は平成 29 年に国の重要文化財に指定されている。

ガラスに関する資料は、福岡市全体で出土するガラス製品（約 12,000 点）の 2 割を超える数の資料（約 2,500 点）が出土している。何よりも注目されるのは 12 世紀を中心とする時期のガラス加工痕跡で、溶解容器（ガラス埴塙）の他、近年の調査では一次生産の存在を示唆する多量の珪石なども見つかった。その技術には宋人の関与が想定されている。

3. 調査対象と方法

博多遺跡群で出土するガラス関係資料は、発掘調査報告書の作成に伴う個別資料の調査や、ガラス埴塙を広く対象とした考古学、保存科学的研究が行われてきた。それらを概観すると埴塙に比べて製品に関する広い視点での研究は遅れている状況といえる。

そこで今回は、博多遺跡群で出土する中世のガラス製品の中で、乳濁した質感を呈する資料を対象に、そこに用いられた材料や技術について得られた所見を整理する。調査は蛍光 X 線分析と X 線回折分析による非破壊での材質分析により行った。使用した装置とその仕様は発表内で示す。

4. 調査の結果

不透明の状態を呈する資料を選び分析調査を行った結果、明らかとなった乳濁に関わる材料により、資料は大きく 2 種類に分類される、一つは X 線回折分析で蛍石が検出されるグループ、もう一つは蛍光 X 線分析で錫が検出されるグループである。それらは基礎ガラスや色調などによって細分が可能である。

（1） 蛍石が検出されるグループ

この種の資料は基礎ガラスに関して鉛を多く含むガラスとアルカリ珪酸塩ガラスに大別できる。前者はカリウムも検出されていることから、カリウム鉛ガラスと考えられる（①）。後者はカリウム(K)とカルシウム(Ca)のピーク高比に着目すると $K > Ca$ となるもの（②）と、 $K < Ca$ になるもの（③）がある。②はカリ石灰ガラスと考えられるが、③は一見ソーダ石灰ガラスに

見えるもののナトリウムが検出されない特徴もあり、現況基礎ガラスの詳細は不明である。

色調や器種を見ると、①は淡青色不透明(A)が多く、他に白色半透明(B)の資料もある。A には小玉類や容器と見られる事例が多いが、他に無孔平玉や壁状製品もある。B は環状製品破片が2例ある。②には青白半透明(C)と淡青～青半透明(D)がある。C は帯飾り、D には簪の可能性のある棒状品や指輪と見られる環状製品がある。D には着色成分として銅とともに亜鉛が含まれる特徴も指摘できる。③でまとまりを見せるのは青白～白半透明の無孔平玉で、博多遺跡群でも複数点あるほか、他地域の遺跡でも確認されている。他、青白半透明の根付と考えられる装飾品、白を基盤に暗褐色の縞模様が入った大型の玉、淡緑不透明の丸玉がそれぞれ1例ずつ見られる。

(2) 錫が検出されるグループ

これらはいずれも基礎ガラスがカリウム鉛ガラスと見られる。X 線回折分析では鉛の腐食生成物以外に乳濁に関わるとみられる有効なピークは得られない。色調は淡黄色で玉を模した質感を呈するもの(E)と、淡黄緑でより透明度が低いもの(F)がある。前者には大形のボウル状容器、小形壁状装飾品、円環状製品、帯飾りが、後者は基石状無孔平玉、不定形の未製品がある。

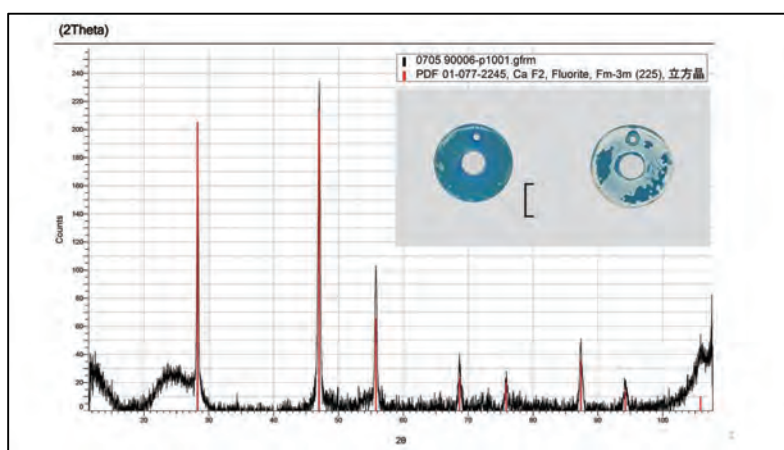
5. まとめ

博多遺跡群は弥生時代中期以降、現代にいたるまで連綿と人々の生活が続いており、様々な時代の遺構が混在している。またガラス製品の中でも玉類などは時代による形状変化が乏しく、資料からの時期認定も困難である。調査対象資料の細かい帰属時期は確定が困難なものも多いが、共伴資料などからの推定では、蛍石を使った乳濁ガラスは12～16世紀と幅がありながらも、中世後半の資料が多い印象を受ける。一方で錫による乳濁ガラスは12～14世紀と、中世前半に多い傾向が認められそうである。その中で、小形の壁状製品は蛍石と錫、両方のタイプが見られ、時代や系譜が重なる可能性が指摘できる。

同時期(中世)の乳濁ガラスについては北海道の資料を中心に先行研究があるが(斎藤 2003)、蛍石による淡青色不透明など類似する資料も見られる一方、基礎ガラスとの関連性などに相違点もあり、系譜関係は異なるものと考えられる。

博多遺跡群では12世紀のガラス製造～製作痕跡が見つかったが、現状、埴埴を見る限り乳濁ガラスが作られた痕跡は見られない。ただし淡青色不透明の資料などで、溶解した不定形の塊が複数出土しており、何らかの加工が行われた可能性は否定できない。

中世の博多は国際貿易都市として繁栄した土地である。今後、中国や朝鮮半島、東南アジアなど海外資料との比較によって、これら乳濁資料の系譜関係が明らかになるとともに、国際交流の解明において陶磁器を補完する資料になることが期待される。



蛍石が検出された XRD 分析結果の一例(博多 172 次出土壁状製品)

(参考文献)

斎藤亜三子 2003 『アイヌ民族のガラス玉に関する考古化学的研究』財団法人アイヌ民俗博物館

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

4世紀に始まる中央アジア諸民族による、イネ科植物ワラ、穀物澱粉を利用した新しい製紙術の意義

Significance of New Papermaking Technology using straw of Grasses, and Starch powder of grains invented by Central Asian Ethnic peoples during the 4th century AD

○江南和幸（龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター）、岡田至弘（同左）、石塚晴通（北海道大学名誉教授。東洋文庫研究員）、赤尾栄慶（京都国立博物館名誉研究員）

○ENAMI Kazuyuki, OKADA Yoshihiro (Ryukoku University), ISHIZUKA Harumichi (Hokkaido University), AKAO Eikei (Kyoto National Museum)

緒言

製紙術の起源が、中国於ける紀元前2世紀の「ぼろ布」起源の紙、そして中国正史に残る蔡倫の名前に代表される105ADの、樹皮をも含む新しい材料を利用した革新的な製紙術であることは、あまりにも有名である。筆者らは、今一つの「製紙術」であるアワを中心とした「イネ科植物わら」を用いた全く新しい製紙術、さらに加えて、「填料」としての「穀物澱粉」利用による、画期的な紙質の改善の技術が、中国本土ではなく中央アジア諸民族の発明であることを2012年に発表した[1]。紀元4世紀に遡る、「胡」の氏王朝による「アワ繊維利用の製紙技術」は、原初の「ぼろ布起源」の製紙術、蔡倫の「樹皮」による製紙術に勝るとも劣らぬ画期的「イノベーション」であった。この製紙術は、以後中央アジアの「夷狄」と、ともすれば「蔑まれて」呼ばれる、「高昌国」などのオアシス王国諸民族、さらにはまた「古ウイグル族」による「アシ紙」に受け継がれて、中央アジアシルクロード回廊の諸民族の文化的発展、言語環境の発展の基礎を作る源泉となった[2]。さらに唐滅亡後の中国の最後の大混乱以後、中国では大麻、構（梶の木）による製紙術はほとんど影をひそめ、宋時代以降になると、この「わら紙」作り術が中原にも導入され、また同じ「イネ科植物」である「若い竹」の繊維による「竹紙」を生みだす源泉ともなり、この2種の紙は、宋～清時代に至る10～19世紀の中国大陆の紙の「基本的」な紙資源となった。さらに「わら紙作り」は、高麗王朝に伝わり、朝鮮半島では重要な仏教経典用紙のために、極めて上質の「稲わら紙」まで誕生した[3]。さらに、「ぼろ布起源紙作り」に終始し、17～18世紀勃興する出版の用紙に困窮したヨーロッパを救ったのは、明～清貿易でようやく入手した中国の「わら紙」であった[4]。

世界の「紙の歴史」でほとんど語られていなかった、上の「わら紙」製紙術の意義を、[1～4]の既出の論考に加えて、中央アジアの初期の「わら紙」、「古ウイグル族」の「アシ紙」、宋・明王朝の基本の紙であった「竹紙」、朝鮮半島の「ワラ紙」、和紙への稲わら添加に関する実物の分析結果を基に、改めて蔡倫に次ぐ第3の製紙技術の革新の意義を問うとともに、紙への「填料」としての「穀物澱粉」の利用の歴史的経緯、さらにその技術の、平安時代～江戸時代に至る「和紙」への応用の歴史的意義についても論究する。

実験方法

中央アジア古文書（龍谷大学大谷コレクション）、宋～清時代の古文書・刊本用紙、高麗・李氏朝鮮王朝時代古文書（龍谷大学蔵及び高山寺蔵）、18世紀ヨーロッパ出版刊本（東洋文庫蔵）、江戸時代刊本・浮世絵（主として個人蔵）のそれぞれの用紙を、Keyence VHX500および、VHX5000による3D全焦点画像観察により、紙の表情（モルフォロジー）、繊維微細組織の観察を行い、同時に顕微鏡観察により得られた、紙の原材料となる、大麻、楮、構（梶の木）、またアワ、米、大麦、小麦の夫々の部分の組織観察、穀物澱粉の標準組織との比較観察により、各文書の用紙の原材料の分析を行った。なお、以下用いた顕微鏡写真はすべて著者の一人の江南によることをお断りしておく。

結果と考察：

(1) 雑穀・草類繊維・竹・稲わらを原料（あるいは補助材料）とした紙。

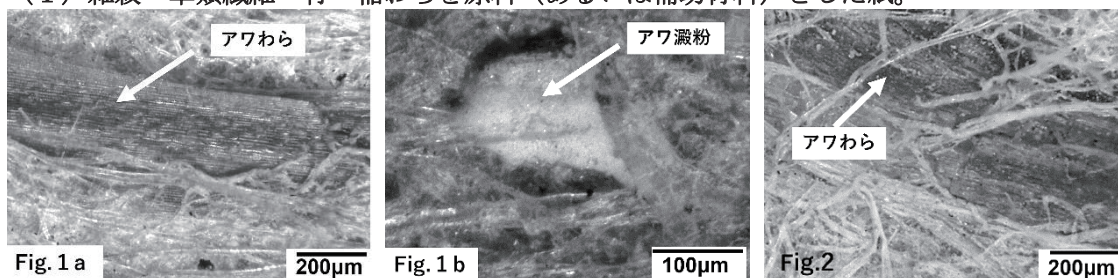


Fig.1：五胡十六国オアシス王国前秦国 386AD の文書。アワ茎(a)とアワ澱粉(b)。わら茎、穀物澱粉が使われた最古級の用紙。Fig.2：敦煌オアシス王国高昌国(600AD)の文書に受け継がれた「アワ茎+同澱粉」を使った用紙。以後、穀物・草類茎を使った紙作りは、五代十国・宋初めには中国中原に伝わり、以後同じイネ科植物による竹紙と並んで中国の主要な紙となった。

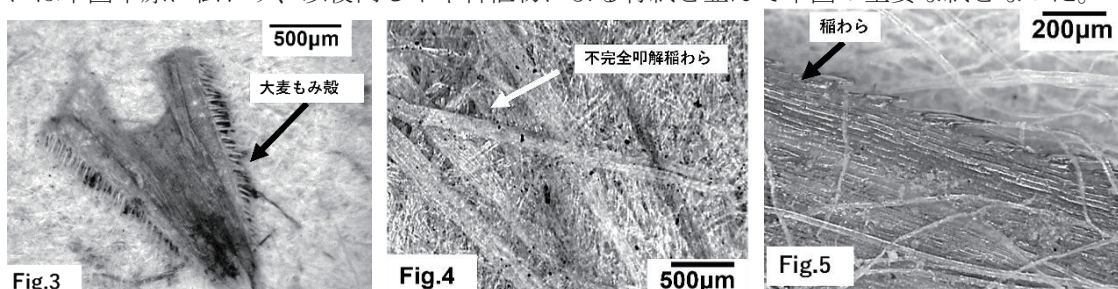


Fig.3：Leipzig 1784 刊、Flora Japonica(東洋文庫蔵)。明～清貿易で入手した中国のワラ紙（これはオオムギわら紙）。Fig.4：高麗版大虚空菩薩所問経用紙(1246 年)は中国の「わら紙」をものぐ良質の「稲わら紙」であった。Fig.5：草花絵前集、1699 年、須原屋版。日本では、紙作りへの「わら」の利用は平安末に始まり、江戸初期にはここに見るように、「楮+稲わら紙」が、江戸の刊本に使われた。4 世紀に中央アジアで始まった「わら紙」作りは、こうしてアジア諸国だけでなく、遠くヨーロッパの出版文化にまで大きな貢献した意義を忘れてはならない。

(2)日本が受け継いだ穀物澱粉填料入り用紙のその後の展開

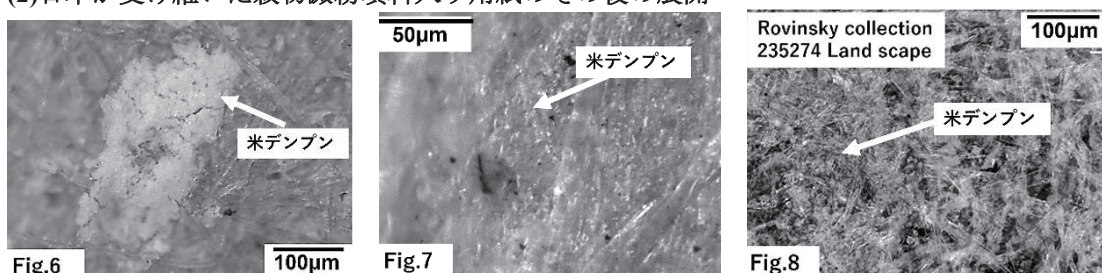


Fig.6：宋版毘盧蔵（京都高山寺蔵）、竹紙に米澱粉、中国では唐宮廷写経に次ぐ古い米粉入り用紙。以後米粉入り用紙は見られない。Fig.7：鳥獣戯画甲巻（同上）用紙に見られる微細な米粉。米粉入り用紙は以後、日本で広まった。Fig.8：Rembrandt 銅版画(1650)に使われた、日本から輸入された米粉入鳥の子紙。2020 年文化財科学会 37 回大会発表の筆者らによる「浮世絵用紙」に見られるように、江戸時代日本では「米粉（米澱粉）」入り紙が広く使われるようになった。

[1]Enami et.al:Paper made from Millet and Grass Fibre・・・IPH Congress Book 2012,pp.149-159

[2]Enami et.al :Approach to the History of the Medieval Chinese and Central Asian Social and Cultural Life・・・：Dunhuang Studies, St. Petersburg, 2012, pp.39-48

[3] Kim Heak-yong et.al: Characteristics of Korean Print Books, IPH Congress Book, 2021, June /2021 出版通知

[4]Enami et.al: Chinese Paper used for European Books published in the 16 to18th centuries . IPH Congress Book, 2021, June/2021 出版通知

近世における漆刷毛の製作および使用に関する技術

—東京都新宿区四谷一丁目遺跡出土漆刷毛の事例から—

Production Techniques and Methods of Using *urushibake* in Early modern period

— Case study of *urushibake* excavated from Yotsuya 1-chome site, Shinjyuku-ku, Tokyo —

○都築由理子（早稲田大学）、新免歳清（東京学芸大学）、田中信行（田中刷毛店）、長佐古真也（東京都埋蔵文化財センター）、倉島玲央（東京文化財研究所）、白石明香（同左）、山府木碧（株式会社 岡墨光堂）

○Yuniko TSUZUKI (Waseda University), Toshiyasu SHINMEN (Tokyo Gakugei University), Nobuyuki TANAKA (Tanaka-haketen), Shinya NAGASAKO (Tokyo Metropolitan Archaeological Center), Reo KURASHIMA, Sayaka SHIRAISHI (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Midori YAMABUKI (Oka Bokkodo Co., Ltd.)

1. はじめに

東京都新宿区四谷一丁目遺跡 6 次調査では、柄の幅が柄元から刷毛尻まで一定のいわゆる「漆刷毛」と推定される刷毛が 2 点認められた。毛板と呼ばれる糊漆で固めた人毛を上下、左右の計 4 枚の板材で挟む箱型の構造を有する現在の漆刷毛は、江戸時代前期に創作されたと伝えられているが、近世における実物資料は乏しい。本研究では当該遺跡出土の漆刷毛 2 点の材質・構造を検証し、技術の系譜を明らかにすることを目的とする。

2. 調査資料

出土漆刷毛は、No. 2437（樹種分析 No. 1377）（図 1）と No. 3570（樹種分析 No. 1154）（図 2）の 2 点である。No. 2437 は 1 枚の板材に割れ目を入れるタイプで毛が残存している。No. 3570 は板材で挟むタイプで毛が残存していない。いずれも遺構の廃絶年代は 18 世紀第 2 四半期で、刷毛板の樹種はヒノキであった。

3. 調査方法

①デジタル顕微鏡による観察・AnMo Electronics 製 Dino-Lite Premier2S、OLYMPUS 製 DSX110、②マイクロフォーカス X 線 CT による構造調査・島津製作所製 inspeXio SMX-225CT、測定条件…管電圧:150kV、管電流:140μA、③熱分解ガスクロマトグラフ/質量分析計 (Py-GC/MS) による塗布物の分析・Py-GC/MS 分析装置 (Agilent Technologies 製 7890A GC system、5975C inert MSD with Triple Axis detector、FRONTIER LAB 製 Multi Shot Pyrolyzer EGA/PY-3030D)、キャピラリー分離カラム (FRONTIER LAB 製 Ultra Alloy PY-1、30 m×0.25 mm、ID 0.25μm)、分析条件…キャリアガス:He、流量:1 mL/min、熱分解温度:500℃、インジェクション温度:300℃、オープン温度:導入前 (40℃で 2 分保持)、導入後 (12℃/min で 320℃まで昇温し 10 分保持)、インターフェイス温度:320℃、質量分析モード:EI モード、イオン化電圧:70eV、④走査型電子顕微鏡による毛の観察・日立ハイテクノロジーズ製 S-3400N、分析条件…二次電子像観察 高真空モード、加速電圧:3~4kV、プローブ電流:30mA、反射電子像観察 低真空モード (30pa)、加速電圧:4~6kV、プローブ電流:30mA)、⑤漆刷毛師 (選定保存技術「漆刷毛製作」保持者)・田中信行氏による所見

4. 調査結果・考察

①デジタル顕微鏡による観察

No. 2437 毛先の片面に「切り出し」とみられる加工痕が認められた。柄元には 2 本釘が打たれ、うち 1 本の上面には黒色塗料が残存している。また、柄の下部に釘穴とみられる穴がある。1 枚の板材に割れ目を入れ、その間に短小の刷毛を挟む構造が認められた。

No. 3570 柄の全面に布着せが施されている。布着せが剥落し、露出した側面に側板が認められた。柄の中心部に 1 本の釘が打たれたような凹凸がみられた。

②マイクロフォーカス X 線 CT による構造調査

No. 2437 (図 1) 毛を挟む板は隙間なく密着し、結束紐がみられないため毛板を使用している可能性が高いと考えられる。内部にある短小の刷毛の片面が斜めに削られ、横断面は楔形を呈する。柄元の釘は X 線の透過率が低く、白色を呈しているため鉄製と考えられる。釘の断面が正方形 (約 2mm 角) であるため和釘であり、内部の刷毛を固定するために打たれたと推測される。

No. 3570 (図 2) 柄の長軸断面をみると中央に釘があり、柄元に向かって 3mm 程度の隙間がみられる。毛板を挟んでいた空間と考えられ、「全通し」の刷毛ではないと推測される。短軸断面をみると内部両端に隙間がみられ、板に弧状の反りが認められた。

③Py-GC/MS 分析による塗布物の分析

No. 2437 の柄元、刷毛尻、毛に付着した黒色塗料 3 点、No. 3570 の刷毛尻、柄の中部に付着した黒色塗料 2 点から heptylphenol を中心としたピーク群および pentadecylphenol のピークが検出された (図 3)。これらは日本産漆に類似しており、黒色塗料は漆と推測された。

④走査型電子顕微鏡による毛の観察

No. 2437 の毛 3 点の太さは測定箇所によってややばらつきがあるが、0.09~0.11mm で人毛の範囲に入る。毛髄質、小皮紋理の観察を行ったが、表面に漆が付着しており、人毛と獣毛の明確な判別はできなかった。

⑤漆刷毛師 (選定保存技術「漆刷毛製作」保持者)・田中信行氏による所見

No. 2437 「切り出し」を繰り返して短くなった刷毛を、柄を「すげ」で延長することで最後まで使用することは、今日、普通に行われている (竹村 2017)。No. 2437 も使用者によって「すげかえ」加工されたと考えられる。

No. 3570 毛板は 3mm 程度の薄いもので上塗り用の漆刷毛と推測される。柄を保護するため紙や布を巻いて漆を塗る事例がある。X 線 CT 短軸断面にみられた内部両端の隙間は漆刷毛製作の「巻き込み」によるもので、「巻き込み」で戻った刷毛板上面を鉋で削り整えたと考えられる。

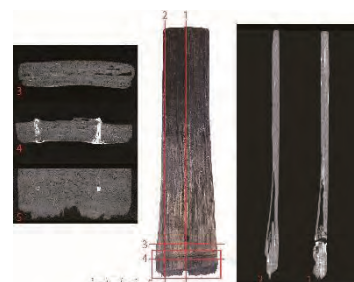


図 1 No. 2437 の資料と X 線 CT 画像

(新免・都築 2020 より転載)

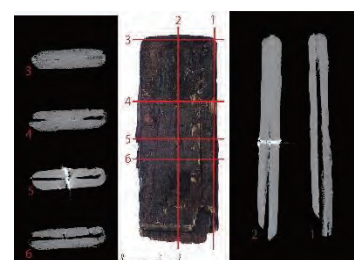


図 2 No. 3570 の資料と X 線 CT 画像

(新免・都築 2020 より転載)

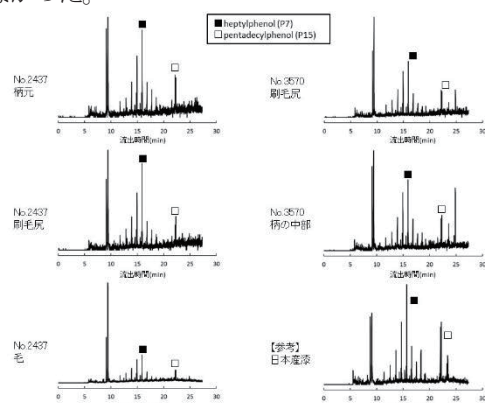


図 3 漆刷毛 Py-GC/MS 分析 抽出イオンクロマトグラム (m/z 108)

(倉島 2020 より転載、一部改変)

5. まとめ

No. 2437 は「切り出し」によって短くなった漆刷毛を加工したもので、使用者が漆刷毛を作り変える「すげかえ」は今も行われている。ただし、現在において釘の使用はみられない。No. 3570 は箱型の構造で現在の漆刷毛に近い。No. 2437 同様に毛板が使用され、「巻き込み」など現在の漆刷毛製作と同じ技術がみられる。四谷一丁目遺跡出土の近世の漆刷毛には、現在と同様の漆刷毛製作の技術とともに、使用者である塗師による加工の技術も認められ、近世から現在の漆刷毛の連続性が明らかになった。

【謝辞】当該資料は新宿区に所蔵され、新宿区文化観光産業部文化観光課に資料のご提供と研究成果公開のご承諾をいただきました。ご指導・ご協力を賜りました川野邊渉先生、谷川章雄先生、大八木謙司氏に御礼申し上げます。本研究に使用した AnMo Electronics 製 Dino-Lite Premier2S、日立ハイテクノロジーズ製 S-3400N は東京学芸大学、OLYMPUS 製 DSX110、島津製作所製 inspeXio SMX-225CT は東京都埋蔵文化財センター、Agilent Technologies 製 7890A GC system、5975C inert MSD with Triple Axis detector、FRONTIER LAB 製 Multi Shot Pyrolyzer EGA/PY-3030D、FRONTIER LAB 製 Ultra Alloy PY-1 は東京文化財研究所の所蔵機器です。

【参考文献】倉島玲央 2020 「四谷一丁目遺跡出土漆刷毛の Py-GCMS 分析」『四谷一丁目遺跡』第 3 分冊 東京都埋蔵文化財センター
新免歳靖・都築由理子 2020 「四谷一丁目遺跡出土漆刷毛の材質・構造調査」『四谷一丁目遺跡』第 3 分冊 東京都埋蔵文化財センター
鈴木伸哉・能城修一 2020 「四谷一丁目遺跡から出土した木製品・遺構構成材の樹種」『四谷一丁目遺跡』第 3 分冊 東京都埋蔵文化財センター
竹村祥子 2017 「漆刷毛の歴史と現状調査記録 (2)」『石川県輪島漆芸美術館紀要』第 12 号 石川県輪島漆芸美術館

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

古墳時代出土染織文化財の材料研究－奈良県出土品から－

A study of material of ancient textiles excavated from ruins
of the Kofun Period in Nara

○奥山誠義（奈良県立橿原考古学研究所）、勝川若奈（同左）、
北井利幸（同左）、河崎衣美（同左）、絹畠歩（同左）

○Masayoshi OKUYAMA, Wakana KATSUKAWA, Toshiyuki KITAI, Emi KAWASAK,
Ayumu KINUHATA (Archaeological Institute of Kashihara, Nara Pref.)

1. はじめに

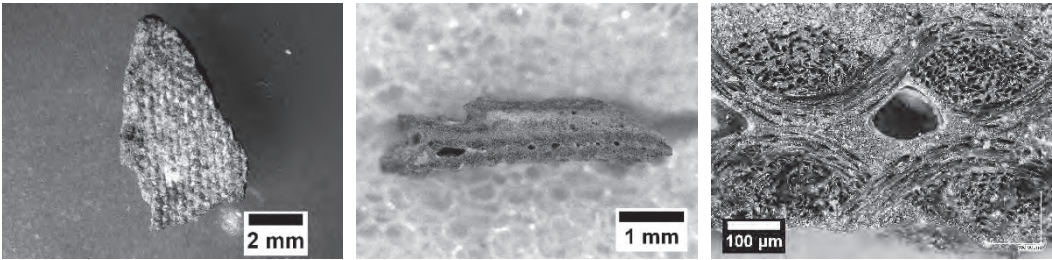
発表者らはこれまでに非破壊的な手法による染織文化財の素材と構造に関する基礎的な研究をおこなってきた。特に資料の豊富な奈良県内の古墳出土品を中心に、光音響赤外分光分析法による材料（素材）研究〔1,2〕とX線CT等による構造研究を進めてきた。これまでの基礎的な研究により多くのデータが蓄積された。本研究発表では、その研究成果を公開し今後の染織文化財研究に資する情報を提供する。

2. 研究の方法

本研究では、織物の材料を知るため光音響赤外分光分析（PAS）を利用し、構造を知るためマイクロX線CTを利用し非破壊的に調査を実施した。試料の遺存状況等に応じて、いずれかの調査あるいは両者の調査を実施した。各調査の詳細な条件等は下記の通りである。

マイクロX線CT	SPring-8（大型放射光施設、兵庫県佐用町）のBL20XUの投影型マイクロCT装置を利用。8KeVまたは24KeV、実効的なピクセルサイズは0.523μm
光音響赤外分光分析（PAS）	PerkinElmer Spectrum100+M-Tech PAS300、測定波数領域4000～450 cm ⁻¹ 、波数分解8 cm ⁻¹ 、積算64回

本研究では、奈良県内の古墳から出土した染織品を伴う出土品を対象とした。本稿ではその一例として、中山大塚古墳出土品の成果を示す。中山大塚古墳は天理市に所在する全長約130mの前方後円墳で古墳時代前期前半（3世紀中葉）の古墳と考えられ、これまでの発掘調査によって、銅鏡片と鉄剣破片、鉄鏃等が出土している〔3〕。本研究の供試試料は鉄剣あるいは鉄刀の破片と思われるおよそ8mm×4.3mm×1mm（厚さ）を計る小片（以下、中山大塚試料）で、全体が鉄さびに覆われているものの、その表面には織物痕跡が明瞭に観察できた（Pic. 1）。また、その破断面には糸が交差して平織り状の構造を成す様子が確認でき、糸を取り囲むように赤色顔料（朱；辰砂）が存在する、いわゆる赤色顔料染色織物であることも確認した。予備的な顕微鏡観察によれば、中山大塚試料の織物は平織りで、断



Pic. 1 試料写真（左：表面、中央：破断面、右：破断面拡大）

面には絹糸に特徴的な三角形の断面形を持つ単繊維の集合が確認できた。この結果から平絹である可能性が極めて高かったが、材料科学的な検証のため PAS 測定とマイクロ X 線 CT 測定を行った。

3. 結果と考察

3. 1 PAS の結果

Fig.1 に中山大塚試料と現代産精練絹糸の PA スペクトルを示す。中山大塚試料の PA スペクトルにおいて現代産精練絹糸と一致するピークは 3300cm^{-1} 、 3000cm^{-1} 、 1650cm^{-1} と 1440cm^{-1} 、 1070cm^{-1} 付近である。 1650cm^{-1} と 1440cm^{-1} は絹糸のタンパク質を構成するアミノ酸の結合に由来するピークで 1650cm^{-1} は Amide-I に帰属され、 1440cm^{-1} 付近は $\text{CH}_3\text{-N}$ 変角に帰属される吸収帯である。このことから PAS によって絹糸である可能性が示唆された。

3. 2 マイクロ X 線 CT の結果

Pic.2 に中山大塚試料のマイクロ X 線 CT の断面スライス画像を示した。断面画像では長辺約 $10\mu\text{m}$ の三角形を呈した単繊維が 100 個前後集合した塊を成し連続していた。これは経糸あるいは緯糸の断面である。またこの繊維塊の連続は少なくとも 2 列観察できたことから、この断面画像中には精練絹糸製の織物が 2 枚重なった状態が観察されていることを示している。

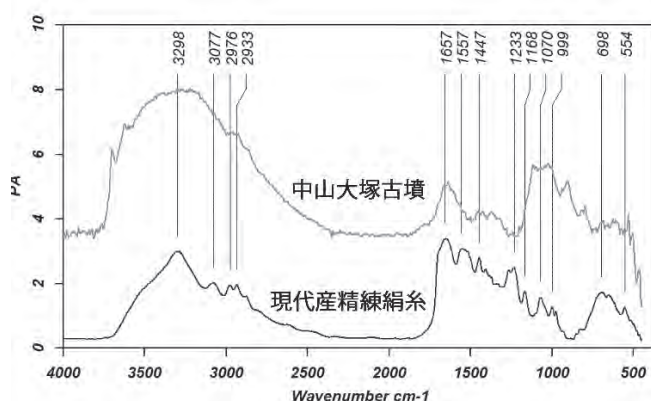
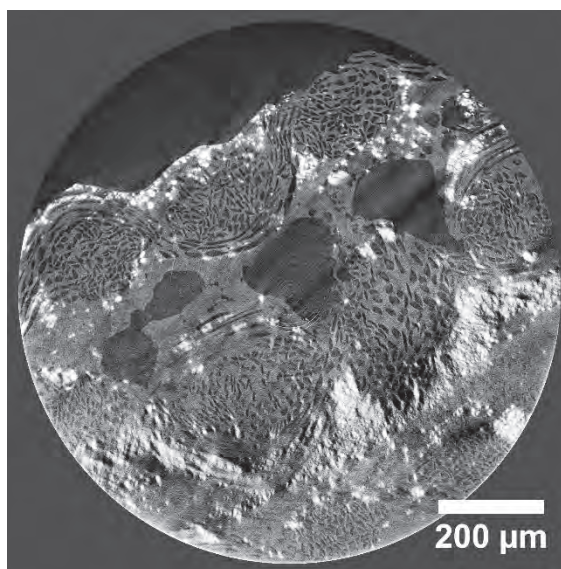


Fig.1 中山大塚試料の PA スペクトル



Pic.2 中山大塚試料の X 線 CT 断面スライス画像

4. まとめ

一例として示した中山大塚試料は、本研究の非破壊的な調査により平絹が少なくとも 2 層存在したことが明らかになった。これは事前の断面観察の結果とも矛盾なく、観察と非破壊調査の両面から平絹付着試料であったことを示した結果である。

謝辞

本研究には、小倉頌子氏（榎考研）、竹内晃久氏、上相真之氏（JASRI）のご指導・ご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。また、本研究は SPring-8 課題番号 2020A1302 および科学研究費補助金（JSPS 科研費）17H02023 の成果の一部である。

参考文献

[1] 奥山 誠義, 佐藤 昌憲「光音響赤外分光法 (PAS) による文化財分析の基礎的研究—繊維文化財への適用性の検討—」『繊維学会誌』p.6-9 71 (1)2015, [2] 奥山誠義「光音響赤外分光法(PAS)による文化財分析の基礎的研究」『日本赤外線学会誌』p.16-23 29(2) 2020, [3]『奈良県立橿原考古学研究所調査報告第 82 冊中山大塚古墳』1996 奈良県教育委員会

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

新宮市・九重土砂災害慰霊碑の三次元印刷 Three D printing of the sediment disaster cenotaph at Kuju in Shingu City.

○朽津信明¹・白石明香¹、藤隆宏²、後誠介³、柳沼由可子¹、西山賢一⁴

1: 東京文化財研究所、2: 和歌山県立文書館、3: 和歌山大学、4: 徳島大学

○KUCHITSU Nobuaki¹, SHIRAIISHI Sayaka¹, TO Takahiro², USHIRO Seisuke³, YAGINUMA Yukako¹, NISHIYAMA Ken'ichi⁴

1: Tokyo National Research Institute for Cultural Properties, 2 Wakayama Prefectural Archives, 3: Wakayama University, 4: Tokushima University

1. はじめに

石碑の銘文を読み出す際には、文化財保存の観点から拓本採取を避けて石碑に触れずに行える方法が求められる場合があり、近年普及してきている三次元計測技術を利用して碑文を読み起こす研究も行われている¹。本研究では、新宮市の九重土砂災害慰霊碑について、三次元計測とそれに基づく三次元印刷によってその碑文の非接触による解析を試み、それに基づいて地域の防災意識向上に貢献したので、以下に報告する。



図1. 九重土砂災害慰霊碑 (2018年撮影)

2. 九重土砂災害慰霊碑とこれまでの経緯

今回対象とした石碑は、新宮市熊野川町九重地区にある、土砂災害慰霊碑である(図1)。九重地区は地すべり斜面直下の土石流扇状地に位置し、2011年にも紀伊半島大水害で被災したが、そこには、1821年に湯川為善によって建てられた石碑が残されている。その碑文内容は2019年の時点で目視で確認可能な範囲で読み出されており²、1788年にこの地で起きた「那智山大荒れ」と呼ばれる土砂災害による犠牲者を慰霊する趣旨が含まれている可能性も考えられる。2019年の時点で残存する文字についてはその多くが目視で読み出されて解析されていたものの、長年藪の中に放置されていた影響で、侵蝕を受けたり表面に着生生物などが沈着している部分もあり、文字らしきものが残存していることがわかるだけで解析が困難な箇所も存在した。



図2. 九重慰霊碑の点群データ

3. 三次元計測と三次元印刷

三次元計測に基づいて九重土砂災害慰霊碑の碑文を解読することを試みた。

3.1. 方法

対象の石碑について、多視点ステレオ技術に基づき³⁾、コンパクトデジタルカメラ Nikon 1 J2 により多方向から写真撮影を行い、(株) オークの Agisoft Metashape を用いて三次元形状モデルを構築した(図2)。得られたデータは、三次元プリンタ(スリーディシステムズ PROJET660)にて、実物の2分の1サイズとして石膏樹脂含浸処理で出力した(図3)。

3.2. 碑文の読み出し

色情報を伴わず、石膏の白一色で凹凸情報として2分の1サイズで打ち出されたものに対し、斜光を当てながら現物では難解だった文字の読み出しを試みた。その結果、打ち出しの進行方向に垂直な面に彫られている文字は、他の方向(水平)の面に存在する文字よりも認知しやすいことが判明した。現物を目視するだけでは解読が困難とされていた²⁾碑文上の文字について、新たに確認できた文字があった。

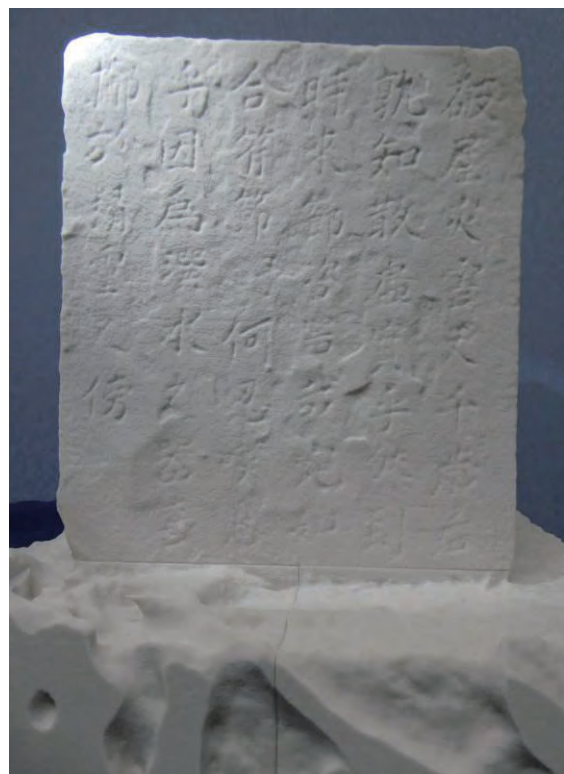


図3. 打ち出された陰刻面に斜光を当てた様子

4. 防災意識の啓蒙

今回行った計測は非接触で極めて簡易であり、本方法は拓本を採取しなくても文字の解読に寄与できるとともに、石碑のレプリカを作成する新たな方法としても有効と考えられる。また、この打ち出しを用いて、新宮市役所において市民が打ち出しの陰刻文字に対して、順番に墨入れを行っていくことで銘文内容の理解を深め、地域防災意識を啓発するための機会を設けることにも寄与した(図4)。

文献1) 朽津信明(2019)日本における石碑保存の歴史的事例とその考え方, 保存科学, 58, 55-71、2) 藤隆宏(2019)新宮市熊野川町九重の被災遺物「湊水之器」及び記念石碑について, 和歌山県立文書館紀要, 21, 31-44、3) 例えば、朽津信明・森井順之・酒井修二・運天弘樹(2017)多視点ステレオ技術に基づく磨崖和霊石地蔵の劣化状況評価, 日本文化財科学会第34回大会研究発表要旨集, 14-15



図4. 新宮市役所における墨入れ風景

自然史標本レスキューのための取り組みと課題

On some trials and problems for the rescue of natural historical specimens.

○佐久間大輔（大阪市立自然史博物館・西日本自然史系博物館ネットワーク）

○Daisuke SAKUMA (Osaka Museum of Natural History/ Natural History Museum Network of Western Japan)

1. はじめに

自然史標本とは何か。敷物になった毛皮のように単純に動植物を素材としたというだけでは、通常は自然史標本として扱わない。植物、昆虫、動物剥製などの生物学的な資料、あるいは化石、岩石、地質などの地学的資料を「科学的な記録として保存するために作成され、再検証可能性を保証するためのもの」が自然史標本である。分類学などの自然科学的な活用を前提として発達した自然史標本ではあるが、標本に関連した資料群とともに地域の環境の移り変わりを示す証拠でもある。地域の過去の研究者や、地域住民の学習活動など、地域の人々と自然とか関わった記録でもある。文化財保護法の規定する範囲外ではあっても、他の博物館資料同様、地域を物語る文化資源である。自然史系博物館は研究に活用して資料価値を高め、現在を記録する市民を育成し、更に次世代に引き継ぐ役割を担う。このために日常の管理とともに、被災資料を安定化し修復する保存科学とその運用体制を発達させていく必要がある。しかし、歴史資料などのような保存科学拠点が国内には存在しておらず、2011年東日本大震災の際は、全くの手探りで修復作業となった。2020年2月の文化遺産防災ネットワーク推進会議活動ガイドラインで自然史資料もレスキューの対象として明確に位置づけられ、分野横断的な交流も図られるようになったことは大きな前進である。ところが、2020年7月豪雨による球磨川氾濫では人吉城歴史館所蔵の歴史的価値も持つ植物さく葉標本3万3千点が再び被災し、全国的にボランティアな協力を要請する必要が生じた。今回の報告の目的はこうした経験から、スムーズな自然史標本の保全・レスキュー体制構築のための課題を検討することにある。

2. なぜ、特に自然史標本の保全体制が未整備なのか

自然史標本の保全体制が未整備な理由はいくつかある。1つ目は文化財保護法のなかに、科学系、自然史系の資料が位置づけられておらず、このため市町村の文化財保護課など担当部署に自然史系資料の保全意識が低いこと、国にあっては保存科学的な研究が同法のもとで行われているためにやはり自然史資料が視野に入っていない。2つ目は博物館行政の歴史がある。以前は、歴史美術系博物館は文化庁所管、自然史及び科学系博物館は文部科学省社会教育課所管

であったが、2018年によく文化庁に一元化された。このため文化庁にとって自然史資料の保全は「新しい課題」となってしまうている。これは地方自治体への指導にも影響している。3つ目は自然史系博物館がマイナーな館種であるために自治体の中でのネットワークでは議論しにくく、館に任せきりになりがちなことがある。現在は、2020年に発足した国立文化財機構文化財防災センターが本格稼働を始めるところであり、また博物館の所管が一元化され、法改正の議論がされるタイミングでもあり、自然史標本の保全体制構築を図る好機である。なお法改正でなく、政策や調整の範囲で解決できることも多い。

3. 平時に構築すべき体制

紙幅の関係で必要なことを列記していく。1)「自治体への働きかけ」自治体担当者に自然史資料も自らの担当であるということを認知させる必要がある。博物館を通じた間接的なものでも良いので、所管下のどのような施設にどのような資料があり、民間所在の資料で重要なものはどんな物があるか、把握あるいは課題として認知して貰う必要がある。2)「国への働きかけ」文化財担当者向けの通達や研修などで自然史系資料の保全の必要性をアピールして貰う必要がある。また、保存科学研究は個々の博物館だけで担えるものではなく、国としての拠点形成が必要である。研究成果も散発的には出ているが、これを継承、活用できていない。3)「業界内での取り組み」として、西日本自然史系博物館ネットワークは早期の情報収集と対応の体制をとっているが、NPOとしての活動であり、必ずしもナショナルネットワークではない。科学系博物館としての統一体制を作っておく必要がある。4)「隣接分野への働きかけ」小規模博物館に自然史専門館は少ない。歴史・民俗などを扱う博物館に自然史資料の重要性や救援の呼びかけ先などを認知して貰う必要がある。5)「市民への働きかけ」そして何より、こうした活動が重要であるとの市民サポートがなければ、公的にも、そして資金的にも活動を継続することが難しくなる。大規模災害時にはボランティアとして資料を扱う市民の存在が鍵になる。普段からそうした人々を育成できるかどうか重要になる。

4. 緊急時の課題

緊急時には上記とは異なったレベルでの様々な対応が必要になる。こちらでも列記する。1)「現地拠点の対応プロトコル」被災時には、現地の行政と連携を保ち、被災現場を支援する現地拠点が必要になる。陸前高田市博物館救援の際には岩手県立博物館が、人吉市水害には熊本県博物館ネットワークがその立場にあたった。しかし、全国どこでもそのような拠点が担える専門スタッフの充実した拠点館があるわけではない。熊本の場合にも周辺機関の助力が必要になった。拠点館が迷いなく活動できるためには、救援組織との連携、自治体との交渉など初期活動の要点をまとめた手引の整備が必要になる。2)「覚書の雛形」どこまでを行政が担い、拠点間に任せ、救援組織に依頼していいのか、自治体担当者にとって不透明な要素を減らして行くことが迅速な判断につながる。過去の事例を示し、費用の考え方なども含めた覚書の案を用意しておくことが大切になるだろう。3)「救援組織への依頼状雛形と依頼の手順」同様に強力を依頼される博物館にとっても、手順が明示されることがのぞましい。これまでの経験を踏まえ、自然史標本レスキューを無理なく担える体制を構築していきたい。

猪方小川塚古墳の整備と保存処理

Research on the utilization and conservation treatment of Inogata ogawazuka-Kofun Tumulus

○松井敏也(筑波大学)、倉橋和也(新成田総合社)、宇佐美哲也(狛江市教育委員会)、河崎衣美(奈良県立橿原考古学研究所)

○ MATSUI Toshiya(University of Tsukuba), KURAHASHI Kazuya (Shinnaritasougousha Co.,Ltd), USAMI Tetsuya(Komae City the board of education), KAWASAKI Emi(Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture)

1. はじめに

東京都狛江市に2011年に発掘された猪方小川塚古墳(推定7世紀)は切石組積みの横穴式石室を持つことが確認された。狛江市は開発に伴う調査を中断し、石室を含む墳丘部分を現地保存することを決定した。2013年に墳丘を含む敷地250㎡が市史跡に指定され、保存整備されることになった。保存整備検討委員会が組織され、狛江市のまちなかに点在する猪方古墳群の一つとして、文化財的価値の高い切石組積構造の石室を公開できる保存整備の基本方針を定めた。この方針に加えて、史跡が住宅地の中にあることから協議を重ね、公園として整備活用をすすめることになった。

本発表は露出保存に係る整備計画及びそれに伴う保存科学調査と処理の成果である。



図1 宅地に囲まれた猪方小川塚古墳(整備前)

2. 事前調査

史跡は一般住宅に囲まれ、また石室は東西北面が墳丘に覆われ南側のみ開口している。南からの卓越風が石室に与える影響を考慮するため、数値流体力学(CFD)による風環境シミュレーション(田2019)を実施した。また史跡内外での工事や通行などによる振動調査、石室構成石材の岩石学的調査(鴻池2014ら)、土からの可溶性陰イオン分析などを実施した。さらに3D復元モデルを用いた塩類析出試験(田2019、図2)を実施し、南側を開口した場合の影響を評価した。

これらの結果、南から流入する風(3m/s)より石室内部に過乾燥な部位が発生することが明らかになった。岩石調査から石材は空隙率40~45%、平均細孔直径0.07μm、全細孔比表面積17~21㎡/gなどを示し、風化が進む砂岩であることがわかった。表面は乾燥により粉状となり崩落が激しく、過剰な水溶液で容易に崩れ、液性限界(JIS A1205)は約51%であった。



図2 塩類析出試験

3. 整備計画

整備は古墳の全体像やその規模が視覚的に認識できるようにデザインされた。覆屋の高さは周辺宅地(第一種低層住居専用地域)に配慮して設計されつつも、墳丘の本来の高さに寄せ、容易に屋根上部に登れない仕様とした。墳丘は一部盛土を行い古墳の本来の大きさを示し、発掘調査で明らかになった周溝などから導き出された“墳丘：周溝内径：周溝外径が1：√2：2”を根拠とした。残存する墳丘は遮水および耐根シートによる養生を行った上で盛土復元した。石室は天井から壁面上部が失われていたが復元は行わず、杭基礎による覆屋を設けた。事前調査などの結果を受け南側石室入り口はガラスにより内部を観覧できるようにし、東西はルーバー壁面とし通気性を確保した。また東側には墳丘上部から内部を観覧できるように一部にガラス窓を設けた。覆屋からの雨水を史跡外に逃すため軒下に排水及び集水施設を設け、さらに周溝部分に導水する仕様になっている。周辺住民への説明会も実施し、可能な限り要望を反映させた。

4. 保存処理

4-1 強化試験

石室は埋め戻されていたが一部開口し石材保存処理薬剤のための試験を2016年から2年間実施した。試験に用いた処理剤はエチルシリケート系、メチルトリメトキシシラン系、エチレン酢酸ビニル系を用いた。表面の硬化と色調の変化、試験期間中の崩落量調査などを総合的に判断しメチルトリメトキシシラン系樹脂を用いることになった。また石室床面は河原石と円礫が敷き詰められているが石間の間隙が大きいため、その充填用素材に酸化マグネシウム系土壌硬化剤を用いた。また粉状化した石材の処理はエチレン酢酸ビニル系樹脂を用いることになった。これらの試験は石室に仮設の覆屋を設けて実施し、試験期間中は石室床面および石室上部において土中の含水率を計測した。

4-2 強化処理

強化処理は墳丘や外構の工事による振動などの影響を避け、また雨水の流入も避ける必要があることから、墳丘外周の浸透管理設および保存処理作業用仮設覆屋の設置を経てから開始した。石室床面のクリーニングは刷毛などを用い塵埃や崩落物の除去を行った。その後、河原石や円礫の間隙を酸化マグネシウム系土壌硬化剤（商品名ジオベスト、(株)武井工業）を重量比15%で土壌（関東ローム土）と混ぜ床面石の固定と防草処理を行った。

切石切組積石室石材の強化に用いるメチルトリメトキシシラン系樹脂（商品名SS101、コルコート株式会社）はトルエンとメタノールを溶媒とするため、近隣宅地への臭気の拡散防止にケミカル除去フィルター付きのFFUを新たに製作し、仮設覆屋の天井部に設置した。

強化剤はこれまでの試験を踏まえ4kg/m²を基準とした。使用した強化樹脂の粘度(1.0mPa・s)は水よりすこし高く、塗布後は濡れ色を呈することが懸念された。そのため濡れ色をできるだけ抑えつつも、表面の強度が増し、なおかつより深く樹脂が浸透する方法を探った。試験は石室構成石材と同質の石材を使用し、樹脂処理(4kg/m²)前後のメタノール塗布による影響を濡れ色、一軸圧縮強度（針貫入試験により、10mm貫入に要した力Nを計測。）、樹脂の含浸深さなどから評価した。試験の結果の一部を表に示す。上段は処理前後の強度変化値を、下段は表面から内部への樹脂含浸深さ範囲を示す。

表 MeOHを用いた施工試験結果

		樹脂処理後のMeOH塗布量 [kg/m ²]			
		0	1	2	4
布量 [kg/m ²]	0	37 [10-20]	35 [17-23]	35 [20-25]	21 [25-35]
	1	35 [15-20]	29 [18-20]	24 [20-27]	13 [22-35]
	2	34 [20-28]	32 [16-26]	30 [15-22]	19 [20-28]
	4	33 [20-30]	29 [2-5]	12 [5-10]	9 [8-15]

濡れ色改善の試験を実施し、その結果樹脂処置後にメタノールを2kg/m²程度を散布することで濡れ色を回避しつつ含浸深さを増すことが判明し、これを基準の仕様とした。

4-3 補修、修景処理

補修と修景にはエポキシ樹脂（商品名サイトFX）と石粉を用いた。石粉は1mm目のふるい下を用いた。エポキシ樹脂1に対し水4重量を攪拌調整した後に、石粉を平均4重量程度で混合して使用した。攪拌調整した樹脂をプライマーとして施工箇所に塗布後、石粉混合樹脂を施工した。

古墳の整備工事に事前の保存科学的調査を反映させ、また近隣住民の声を反映させながら保存処理を実施した。本研究において、基本設計および実施設計はフレームデザイン株式会社によるものである。強化試験には文化遺産Lab.、筑波大学大学院の田夢儀さん（現フジタ）の協力を得た。

電気化学的脱塩工法を用いた煉瓦の脱塩への試み 2

Challenge of desalination of single brick by using method for electrochemical desalination 2

○深見利佐子（筑波大学大学院）、松井敏也（同左）、

○Risako FUKAMI, Toshiya MATSUI (University of Tsukuba)

1. はじめに

2000 年以降、国外では通電による脱塩試験（以後、ED 試験）が活発に行われ、塩化物や硝酸塩は ED 試験によって煉瓦内より約 99%除去できることが判明している¹。一方で煉瓦に析出する塩の一種である Na_2SO_4 の除去速度は他の塩に比べると遅く、除去率も低いことが報告されている^{2,3}。そのため、本研究では昨年に引き続き除去が困難とされている Na_2SO_4 を除去対象とし、ED 試験を行なった。異なる通電条件下での試験結果と、通電後の煉瓦の状態の経過観察、評価を行なった。

2. 研究方法

2.1 試験体と試験モデル

試験体として用いた煉瓦は、明治初期に国内生産された煉瓦の物性を模して作成された煉瓦を使用した。明治期の煉瓦の物性は吸水率が約 17%、圧縮強度は約 9.5N/mm^2 と現代の煉瓦と比較して吸水率および強度ともに低かったことが分かっている⁴。この煉瓦を ED 試験（以後、試験 1）用に $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 11\text{cm}$ 、暴露試験（以後、試験 2）用に $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 4\text{cm}$ に裁断し、 35.5g/L (0.25M) の Na_2SO_4 溶液に 5 日間浸漬させ、その後乾燥させたものをそれぞれの試験に使用した。

電極の設置には、粉末セルロース（Holland Gwabo 社製 Arbocel BC1000）と銅板（ケニス社製）を用いた。乾燥した粉末セルロース 25g に対して、超純水を試験体の乾燥重量の 20% の量加え、Arbocel が湿潤するまで混合した後に電極を挿入した。Arbocel に加える水分量は試験体の飽和水分量から 20% と設定した。試験は煉瓦の小口（試験 1 は $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 、試験 2 は $5\text{cm} \times 4\text{cm}$ ）を天地とし、上部に電極を設置した。なお、Arbocel の乾燥を防ぐ防止のため表面をプラスチックフィルムで被覆した（図 1）。

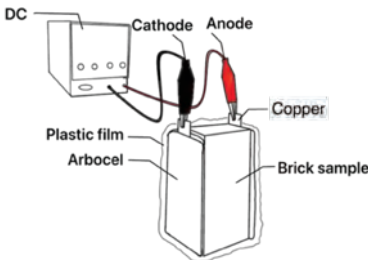


図 1 試験モデル

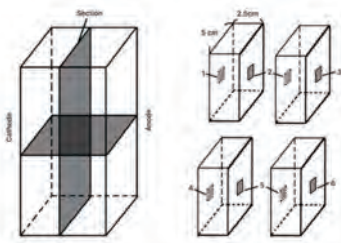


図 2 通电後の切断部位（左図）と煉瓦粉採取位置（右図）

2.2 試験 1

試験 1 では ED による煉瓦内の SO_4^{2-} 濃度の定量評価を行なった。表 1 に各試験体に加えた電圧および電流条件を示す。通电期間は 8 日間とした。また通电 4 日目には両極の Arbocel に乾燥重量の 20% の量の超純水を追加した。通电終了後は、たがねを用いて試験体を半裁し、さらに上下も等しくなるよう分割した。分割後、図 2 に示す場所から煉瓦粉を 2~3g 採取した。試験後の評価にはイオンクロマトグラフィーと目視観察を行なった。目視観察では特に煉瓦表面の状態に焦点を当て、通电後においてどのような形態の塩類が析出しているのか、また煉瓦表面における剥離や粉状化のような劣化の有無に着目した。

2.3 試験 2

試験 1 の結果より試験 2 では通电後の煉瓦表面の状態がどのように変化するのか目視観察による評価を行なった。試験は B1 の通电条件で試験 1 と同様に通电後、試験体を温度 50°C 、相対湿度 60% の環境下で 7 日間に渡り暴露した。また同じ通电条件で試験途中で超純水を加えないものと荷電しないものも用意した（表 1）。

表 1 各試験体の通电条件

		Voltage[V]	Current[A]	Additional water supply
試験 1	Initial	0	0	×
	A1	5	0.1	○
	B1	5	0.5	○
	B2	5	0.5	○
	C1	5	1	○
試験 2	Initial	0	0	×
	I	5	0.5	○
	II	5	0.5	×

¹ Skibsted, Gry, Lisbeth M. Ottosen, Pernille E. Jensen, and Juan M. Paz-Garcia. "Electrochemical Desalination of Bricks – Experimental and Modeling." *Electrochimica Acta*, 13th International Symposium on Electrokinetic Remediation (2014), 181 (November 2015): 24–30.

² J. Paz-Garcia, B. Johannesson, L. Ottosen, A. Ribeiro, J. Rodriguez-Maroto, Modeling of electrokinetic processes by finite element integration of the Nernst–Planck–Poisson system of equations, Separation and Purification Technology 79 (2011) 183.

³ J.M. Paz-Garcia, B. Johannesson, L.M. Ottosen, A.N. Alshawabkeh, A.B. Ribeiro, J.M. Rodriguez-Maroto, Modeling of electrokinetic desalination of bricks. *Electrochimica Acta* 86 (2012) 213.

3. 結果と考察

3.1 試験 1

電流値が最も低い A1 は陽極側でのみ変化が見られ、上部に比べて下部の SO_4^{2-} 濃度は約 50% 低かった。さらに流電値を上昇させた B1、B2、C1 では陰極側での SO_4^{2-} 濃度の低下が顕著に表れていた。さらに B2、C1 は中間部においても SO_4^{2-} 濃度の低下が見られた。しかし、陽極側の SO_4^{2-} 濃度が高くなっていったことから、陰極側から中間部にかけて存在していた SO_4^{2-} が陽極側に向かって移動してきたことが考えられる (図 3)。また通電中に電極に設置した Arbocel が水色に変色し、通電後、銅板に固着していた物質からは硫酸銅水和物が検出されたことから、通電による脱塩が行われたと言える。しかし、5V、0.5A 以上の条件下で通電を行った試験体は陽極側下部の SO_4^{2-} 濃度が陽極側上部の SO_4^{2-} 濃度よりも高かったことから陽極側下部における脱塩の効率が低いことが考えられる。

通電後の目視観察では B1、B2、C1 において通電後に塩が析出しないまたは少量の析出に留まったことを確認した。析出した少量の塩は針状のものと煉瓦表面に膜のように張り付いた形態のものが混在していた。また煉瓦表面の状態も良好で剥離や崩落などの劣化は見られなかった。しかし、これらの煉瓦内には通電後、黒色を呈した膜が形成されていることがわかった。この膜について煉瓦の XRD 分析を行ったところ Cu_2O が検出された。これは電極に使用していた銅板から銅成分が溶出し煉瓦内に流入したことで形成されたことが考えられる。

3.2 試験 2

試験 2 の結果を図 4 に示す。試験中に水を追加した I では通電中に先述した黒色の膜が形成され、膜を境に膜から陽極にかけて表面に塩が発生していた。しかし陰極から膜までの部分では塩の発生は見られず表面状態も良好であった。試験中に水を加えなかった II では黒色の膜は形成されなかった。また塩の析出は減少が見られたものの試験体全体に塩の析出を確認した。

銅は常温付近の中性水溶液中では Cu_2O が生成することがわかっており⁵、膜が形成された付近の pH を測定したところ 6.2 と中性域にあたることがわかった。これらのことから、通電により電極で使用した銅板から銅成分が溶出し、煉瓦内に流入した後に、水を供給したことで中性域となった箇所では黒色の膜が形成されたことが考えられる。

4. 結論

通電条件が 5V、0.5A 以上でかつ試験体内に十分な水分が供給された場合に通電後に、塩が析出しない程度の脱塩が可能であることを確認した。電極に銅板を用いることで、通電中に陽極での硫酸銅の形成及び色相の変化を観察することができ、つまり脱塩の効果を目視で確認できる利点がある一方で、通電後に酸化銅を主成分とした膜が形成されることがわかった。またこの膜を境に膜から陽極にかけて脱塩の効率が低いことが考えられるため、膜が形成されないような対策や、膜が形成されても脱塩の効率を上げるための策を検討する必要がある。また現時点においては脱塩の効果がある通電条件において再現性が不十分であるため同条件下での試験数を増やし、再現性を高める必要がある。そして、次の段階として ED を実践的なものとするために、実際に煉瓦造建造物内といった現場で使用できるようなモデルの作成、実践的試験を行いたい。

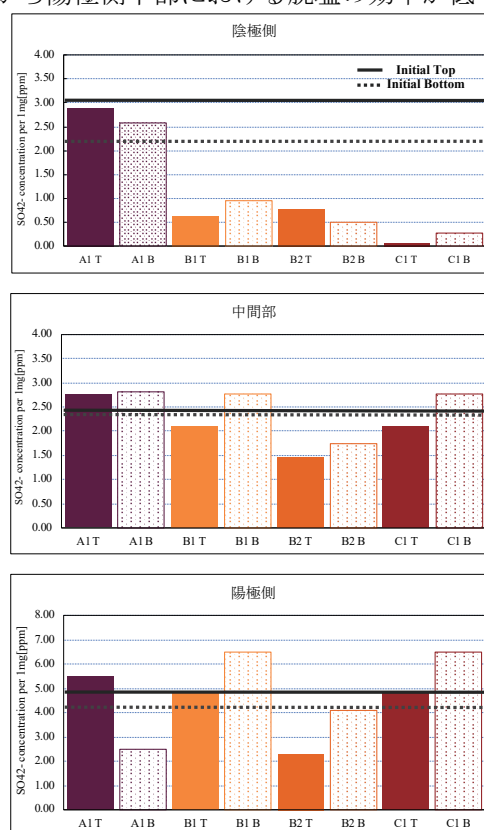


図 3 IC 結果

	通電直後	3日目	7日目
Initial			
	・針状の塩が全面に析出 ・表面剥離、崩落あり		
I (水の追加)			
	・膜を境に膜から陽極側にかけて表面が白く変色 ・塩がみられない箇所の表面状態は良好		
II (水の追加なし)			
	・針状の塩が全面に析出 ・Initialと比較して析出量は減少		

図 4 暴露試験結果

4 深見利佐子論文「猿島砲台跡における明治初期の国産煉瓦保存のための物性調査」, 2019

5 河西正隆ら「Corrosion products in various environment」 日立評論, 1970, 52(11), pp.59-64

文化財建造物における障壁画を有する戸襖の材料変形に

屋内外温湿度が及ぼす影響

Effect of Indoor and Outdoor Temperature and Humidity on Material Deformation of Sliding Doors with Wall Paintings in Cultural Properties

○小椋大輔（京都大学）、陶器美詠（同左）岡村知明（京都市）、
伊庭千恵美（京都大学）、高取伸光（同左）

○Daisuke OGURA, Mie TOKI, (Kyoto University), Tomoaki OKAMURA (The City of Kyoto),
Chiemi IBA, Nobumitsu TAKATORI (Kyoto University)

1. 研究の背景と目的 博物館の収蔵施設等の一定環境と違い、文化財建造物内は温湿度や日照等の室内環境変化が大きい。また、保存公開時の温湿度等の条件は規定されていないものが多く、定期的に修理を重ねながら現在に至るまで公開が行われてきた。障壁画の劣化要因に関する研究はこれまで行われてきている^{1), 2), 3)}が、常時公開され、室内環境変化の大きい文化財建造物の内部において壁画としてどのように保存公開していくべきかについては定量的な検討は十分になされていない。本研究の対象は、二条城本丸御殿雁の間に位置する障壁画を有する戸襖である。戸襖は両側の隣接した室内外空間の環境の影響をそれぞれ受け、特に変動の大きい外気環境の影響を大きく受けると考えられる。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の劣化に及ぼす影響は明らかとなっていない。また、障壁画自身の劣化要因として、本紙の亀裂や破れ等の物理的劣化、カビなどの生物的劣化、光による化学的劣化等が挙げられる。物理的劣化は温湿度環境変化に基づく戸襖の構成部材の膨張収縮⁴⁾に、生物的劣化は微生物の生育しやすい温湿度環境⁵⁾に、化学的劣化は紫外線による退色^{6), 7)}に大きく関係している。本研究では、戸襖の反りに基づく障壁画の物理的劣化が進行する問題に着目し、模擬戸襖を作成し戸襖の反りについて異なる支持体に対して内外の温湿度の違いによる実験室実験を行いその挙動を明らかにする。

2. 検討対象の戸襖 研究対象の戸襖は二条城本丸御殿雁の間に位置する障壁画を有する戸襖で、表側は室内に接し、外側は外気に接している（写真1）。

3. 戸襖内外に環境条件を与えた実験室実験

3.1 試験体 使われている戸襖と同じ構成で、支持体が普通合板（以下合板）の場合とカーボンシート（CABKOMA シート成型版、以下カーボン）に変更した場合の2種類の模擬戸襖を作成した。図1、写真2に戸襖の構成の概要を示す。

3.2 実験概要 日本建築総合試験所環境試験室の2室型環境試験室内で実験を行った。試験体は、20℃55%RHの一定環境下の養生室で保管した後、実験室に移動し、2室の温湿度を変化させ、計3条件の実験を実施した（表1）。模擬戸襖試験体は、二室型環境試験室の二室間の開口部に設置し、変形を拘束しない状態で試験体の周囲と間仕切のスタイロフォームの隙間をスポンジで埋め粘



写真1 戸襖の設置状況（左）と戸襖構成（右）

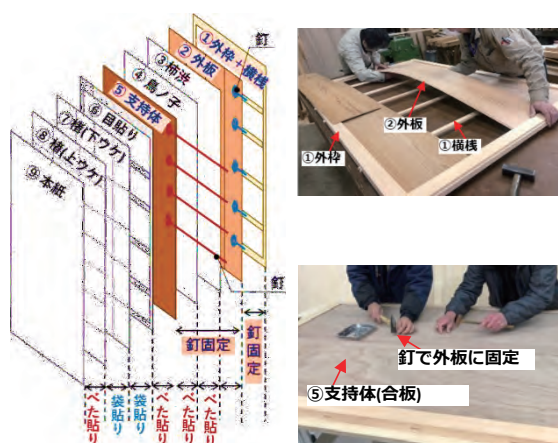


図1 試験体構成

写真2 試験体作成過程

着テープで塞いだ。表2に測定項目を示す。戸襖の反りは面外変形の値から、枠材、板材に対して、戸襖水平、垂直、枠材方向の反りを算出した。図2に計測位置を示す。板材の反りは図中の式の手順で算出し、枠材も同様に算出した。

3.3 実験結果 図3に各条件での合板試験体の温湿度を、図4にカーボン試験体の温湿度を、表3に合板およびカーボンの反り量を示す。**A) 合板支持体試験体** 相対湿度(以下RH)は戸襖内部で分布があることが分かった。条件1、2の反りの発生理由は、①戸襖構成要素の前後空間のRH差で材単体が反り、②釘により反りが伝達し、③外枠の反りが内板に伝達することにより、条件3の反りの発生理由は、①合板の反りが釘を通して外板に伝達し、②合板と外板の初期からの膨張率差と釘の連結の影響によると考えられる。**B) カーボン支持体試験体** 相対湿度はカーボンを挟んで大きな差が生じていることが分かった。条件1は①外板とカーボンの初期からの膨張率差と釘の連結により、②外枠の反りが内板に伝達し、条件2は①外枠の反りが内板に伝達し、条件3は①外板とカーボンの初期からの膨張率差と釘の連結の影響によると考えられる。以上より、合板支持体の場合、戸襖内相対湿度は合板、外板を挟んで徐々に変化し、各材前後空間のRH差によって材単体として反るが、カーボン支持体の場合、相対湿度の変化はカーボンの前後空間が支配的で、膨張しないカーボンと膨張した材が釘で連結した影響で戸襖全体が反っていると考えられ、反りのメカニズムが一部異なる。

4. まとめ 本報告では、戸襖の反りの発生メカニズムを明らかにし、定量的に評価することを目的として、異なる支持体の模擬戸襖を作成し、内外の温湿度の違いを想定した2室の異なる温湿度を与えた実験室実験を行い、戸襖の反りと内部の温湿度の測定結果の分析を行い、戸襖の反りの発生メカニズムについて考察を行った。

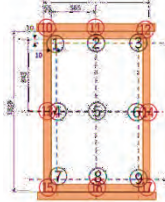
謝辞 研究の実施にあたり、京都市文化市民局元離宮二条城事務所、松村泰山堂、大谷建具工芸のご協力を賜りました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

参考文献 1) 三浦定俊: 美術史研究者のための環境工学講座その(1), 美術史論集(2), pp. 1-10, 2002, 2) 植松みさと, 日本建築学会計画系論文集, 第707号, pp. 213-220, 2015, 3) 植松みさと, 日本建築学会計画系論文集, 第717号, pp. 2725-2733, 2015, 4) 木村実・清水弘, 紙バ技協誌 38(5), pp. 545-552, 1984, 5) 新井英夫, 保存科学, 第12号, pp. 35-38, 1974, 6) 中里克, 保存科学, 第12号, pp. 39-48, 1974, 7) 見城敏子, 保存科学, 第12号, pp. 83-94, 1974

表1 実験条件

	室内側	外気側	測定項目
実験開始前	養生室保管: 20℃55%RH		戸襖内温湿度
条件1 内低温/外高温	20℃55%RH	20℃90%RH	面外変形
条件2 内高温/外低温	20℃90%RH	20℃55%RH	含水率
条件3 内低温/外高温	20℃55%RH	40℃55%RH	面内変形(ひずみ)

表2 測定項目



$$\text{板水平方向} W123 = D2 - \frac{D1+D3}{2}$$

$$\text{板垂直方向} W147 = D4 - \frac{D1+D7}{2}$$

$$\text{板対角方向} W159 = D5 - \frac{D1+D9}{2}$$

図2 戸襖の反りの計測位置 (室内側で測定)

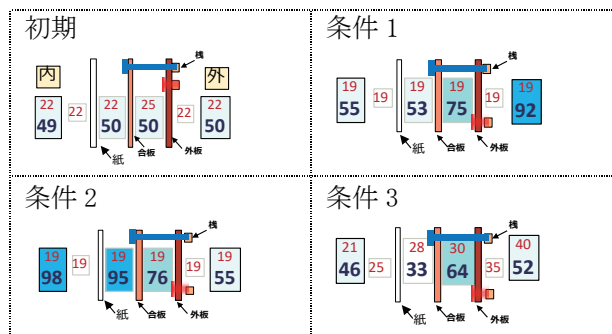


図3 合板支持体温湿度結果 (温度[℃]:細字、相対湿度[%]:太字) (左上(初期)、右上(条件1)、左下(条件2) 右下(条件3))

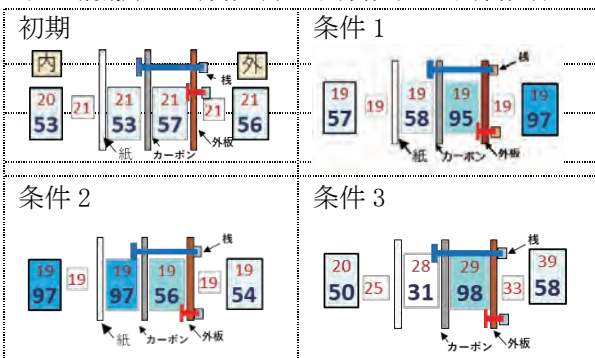


図4 カーボン支持体温湿度結果 (温度[℃]:細字、相対湿度[%]:太字) (左上(初期)、右上(条件1)、左下(条件2)、右下(条件3))

表3 反りの結果 左: 合板支持体 右: カーボン支持体

	合板				カーボン		
	条件1	条件2	条件3		条件1	条件2	条件3
合板	水平	外0~1.5mm	内2~4mm	外0~1mm	水平	外0~1.3mm	内0~1mm
	垂直	外6~7mm	内7~9mm	外4mm	垂直	外7mm	内4mm
	対角	外7mm	内11mm	外4mm	対角	外7.5mm	内4.5mm
枠材	水平	外2.5mm	内3mm	外0~1.5mm	水平	外1~2mm	内2.5mm
	垂直	外9mm	内10mm	外6mm	垂直	外8~9mm	内6mm

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

海底遺跡における沈没船の現地保存に関する研究 — 鷹島海底遺跡における元軍船の埋め戻し法の検討とその評価 Study on the in-situ preservation of shipwrecks at underwater site - Design and evaluation of reburial method for the Mongolia shipwreck at Takashima underwater site

○柳田明進¹、池田榮史²、脇谷草一郎¹、松田和貴¹、早田晴樹³、高妻洋成^{1,4}

1 奈良文化財研究所、2 國學院大學、3 松浦市教育委員会、4 文化財防災センター

○Akinobu YANAGIDA¹, Yoshifumi IKEDA², Soichiro WAKIYA¹,

Kazutaka MATSUDA¹, Haruki SODA³, Yohsei KOHDZUMA^{1,4}

1 NABUNKEN 2 KOKUGAKUIN UNIVERSITY 3 Matsuura City Board of Education

4 Cultural Heritage Disaster Risk Management Center, Japan

1. はじめに

海底遺跡で沈没船などの大型の遺物が発掘された場合、引き揚げが困難であること、その後の保存処理に膨大な時間と費用を要することから、現地保存を図ることが推奨されている。発掘によって海水中の溶存酸素（DO）が供給されると、それらは速やかに劣化するため、埋め戻しにより保存を図る必要がある。この際、遺物を構成する材料の特性を考慮し、劣化が抑制される環境を埋め戻しによって再現する必要があるものの、木材や金属などの構成材料の海底での劣化は十分に把握されていない。そのため、発表者らは鷹島海底遺跡において種々の条件下に木材、鉄、銅を設置した暴露試験を実施し、劣化が抑制される環境条件を検討してきた¹⁾など。ここでは、この成果に基づき考案した埋め戻しを実施し、その効果を検証した。

2. 調査方法

2.1 調査の経緯と対象遺物 長崎県松浦市に位置する鷹島海底遺跡において 2011 年に水深 23m の地点で発見された元軍船²⁾（以下、鷹島 1 号船）を調査対象とした。鷹島 1 号船は発掘調査が実施された後、銅網で船体を覆う手法で埋め戻しを実施された。その後、2019 年 2 月に船体の記録調査が実施された際に、暴露試験の成果に基づいた埋め戻しを実施した^{註1}。

2.2 劣化抑制の環境条件 事前の暴露試験の結果、木材の劣化はフナクイムシなどの海虫による食害の影響で顕著に進行し、これは DO が枯渇した環境で抑制された。また、DO が枯渇した環境においても環境の酸化還元電位が低下するにつれて、木材の劣化は一層緩慢となった。また、炭素鋼、銅の腐食速度は土嚢中、ガス不透過性シートを併用した条件よりも、砂質土中で顕著に低下し、これは、砂質土中では DO が枯渇することに加えて、供試体表面での物質移動が抑制されるためと考えられた。以上の検討から、DO が枯渇し、遺物表面での物質移動が抑制される状態を劣化抑制の環境条件として、以下の埋め戻し法を採用した。

2.3 鷹島 1 号船の埋め戻しと評価法 埋め戻しでは鷹島 1 号船の表面を厚さ約 20 cm の砂質土で覆い、その上部にガス不透過性シート^{註2}と土嚢を交互に 2 層設置した（図 1、以下、砂質土層を第 1 層、土嚢層を第 2 層と表記）。また、埋め戻し環境下での DO 濃度の測定および木材、炭素鋼を用いた暴露試験を実施した。DO の計測は第 2 層に DO 計を取り付けた塩化ビニル製円筒管（以下、塩ビ管）を設置した。なお、DO 計は Onset computer 社製 HOBO U26 を用い、測定間隔は 15 分とした。また、木材、炭素鋼は塩ビ管に固定した状態で 2019 年 2 月 24 日に設置し、2020 年 2 月 4 日に回収した（試験期間：345 日間）。回収した木材（寸法：30^L×30^W×5^T mm、材料：マツ材）は、X 線透過撮影により木材内部の状態を把握するとともに、重量減少率を算出した。重量減少率は、取り上げた木材を蒸留水に浸漬して内部の塩分を除去した後、105℃で乾燥させたものの重量を測定し、試験前後の重量変化より算出した。炭素鋼（寸法：30^L×30^W×5^T mm、材料：SS400、）は X 線回折分析（XRD）により腐食生成物を同定するとともに、試験前後の重量減少から腐食速度を算出した。炭素鋼の調整、分析法の詳細は前報を参照されたい³⁾。なお、分析に供した試料数は n = 5 とした。

3. 結果および考察

3.1 埋戻し環境下での DO の挙動 埋め戻しを実施した直後から DO 濃度は低下し、約 10 日後

に DO が枯渇し、その後、年間を通じてその状態が維持された。なお、DO の一時的な上昇（図 2 の▽）は、DO 計の回収作業による外乱である。ガス不透過性シートにより、底層海水からの DO の供給が抑制されるとともに、微生物による DO の消費により、埋め戻し環境下では速やかに無酸素環境が形成されたと考えられる。

3.2 木材の状態 X 線透過撮影より、供試体の内部で海虫の食害の影響は認められなかった。これは、埋め戻しにより無酸素環境が形成されており、海虫の活動が抑制されたためと考えられる。埋め戻し環境下での木材の重量減少率と事前に実施した暴露試験で得られた種々の条件下での重量減少率を図 3 に示す。埋め戻し環境下に設置した木材は 2.2% の重量減少率を示した。海水に暴露した木材は海虫の影響により、約 70% の重量減少率を示したことと比較すると、顕著に低いと言える。また、発掘以前の状態を想定して堆積物中に設置したものと同等の値を示しており、木材の劣化は緩慢な状態が維持されていると考えられる。

3.3 炭素鋼の状態 供試体には黒色の腐食生成物が生じており、還元環境下で形成される Green Rust (I)、Fougerite が XRD から検出された。また、腐食速度は 0.017 mm/y を示し、底層海水中でのそれに比べて、1/10 まで低下していることが認められた（図 4）。この値は、DO を含む環境下で得られる定常腐食速度⁴⁾ に比べて十分に小さく、水の還元反応が主なカソード反応として腐食が進行していると考えられる。また、砂質土およびガス不透過性シートを用いた暴露試験の値と同程度まで腐食速度が低下しており、当初見積もられた効果が得られている。一方で、堆積物中での腐食速度はさらに低く、埋め戻し環境下の 1/3 を示した。無酸素環境下では生成物として生じた Fe^{2+} や OH^- の拡散が腐食反応の律速段階になる⁵⁾。埋め戻しに用いた砂質土に比べて、堆積物の方が化学種の物質移動がより緩慢であるため、極めて低い腐食速度を示したと推察される。したがって、さらに物質移動が抑制される材料を埋め戻しに用いることで、より高い劣化抑制の効果が得られると考えられる。

4. まとめ

鷹島 1 号船の埋め戻しを実施し、DO 濃度、暴露試験からその効果を評価した。その結果、1) DO は年間を通じて枯渇した状態が維持され、2) 木材の重量減少率は 2.2% を示し、発掘以前の状態まで抑制されており、3) 炭素鋼の腐食速度は 0.017 mm/y を示し、海水に暴露した状態に比べて十分に低下していることが認められた。したがって、4) 埋め戻しにより鷹島 1 号船の劣化が抑制された状態が維持されていると考えられる。

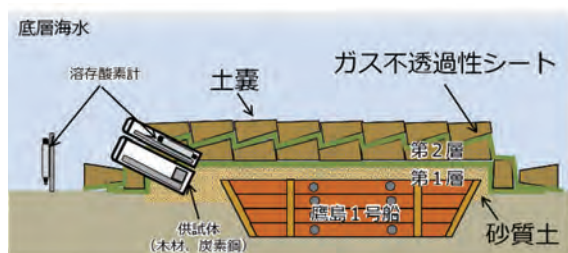


図 1 埋め戻しの模式図

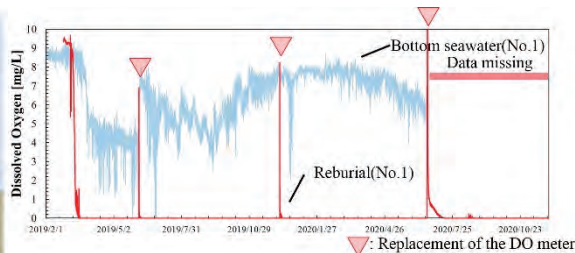


図 2 底層海水及び埋め戻し環境下の DO

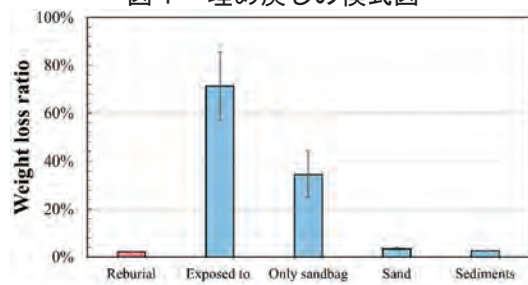


図 3 木材の重量減少率の比較

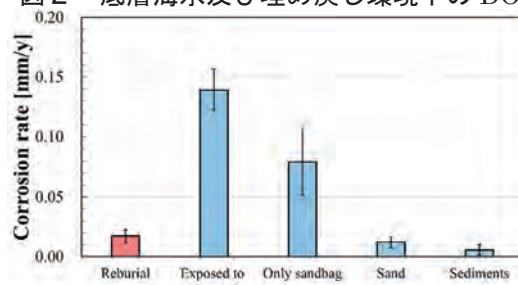


図 4 炭素鋼の腐食速度の比較

【謝辞】本研究をおこなうにあたり国富株式会社長崎営業所の方のご協力を頂いた。また、本研究の一部は科学研究費補助金（18H05220 研究代表：池田榮史）の補助を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】1) 柳田ほか、2020、銅と銅合金、59、pp.17-28 2) 池田榮史、2020、考古学ジャーナル、735、pp.3-4 3) Yanagida, A. et al, 2019, Proceedings of the interim meeting of the ICOM-CC Metal working group, pp.185-192 4) Winsron R., and Uhlig H., 2008, Corrosion and Corrosion Control—An introduction to Corrosion Science and Engineering 4th ed., pp.9-19 5) 柴田ほか、材料と環境、62、pp.70-77

【註】1) 鷹島海底遺跡では 2014 年に鷹島 2 号船が発見されており、現在、鷹島 2 号船も同様の埋め戻し法で現地保存されている。2) ガス不透過性シートにはコスモ化成工業株式会社製 BALLITEC P-3 を用いた。

福岡県古賀市船原古墳における三次元データを活用した遺物の復元研究 — 1号土坑出土金銅板を用いた製品の特定—

Study on restoration of artifacts excavated from Funabaru tumulus using 3D measurement Data

○岩橋由季^{*1}、加藤和歳^{*2}、小林啓^{*2}、輪田慧^{*3}、村上浩明^{*4}、西幸子^{*1}、甲斐孝司^{*1}

○IWAHASHI Yuki, KATO Kazutoshi, KOBAYASHI Akira, WADA Kei, MURAKAMI Hiroaki, NISHI Yukiko, KAI Koji

^{*1} 古賀市教育委員会 ^{*2} 九州歴史資料館 ^{*3} 合同会社 2bit ^{*4} 株式会社とっぺん

1. はじめに

福岡県古賀市に所在する船原古墳では、墳丘外の土坑に馬具、武器、武具等の多くの遺物が埋納されているのが見つかった。特に1号土坑では、金属遺物に加えて紐、織物、木材、革帯等の有機物が確認された。これらの有機物は、金属遺物と一体となって製品を構成していたもの、あるいは製品を包んだり入れたりした容器等に由来する。埋納時の遺物の姿や埋納状況の復元に必要な情報であったことから、その消失を最小限にし、十分な記録や詳細な調査を実施できるような方法を探っている。その方法や成果の一部についてはこれまでも発表されているが(加藤他 2014, 2015 等)、今回は断片化した金銅板の出土状況の検討と、これが使用された製品の特定に至った成果を報告する。

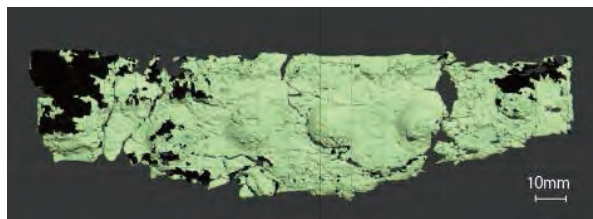


図1 検討対象となる金銅板の画像

2. 調査の方法と検討対象資料

1号土坑の調査では、遺構の遺物出土状況時の三次元計測データと、取り上げた遺物のX線CTデータを統合し、出土状況の三次元データ「埋蔵空間情報解析アプリケーション」(以下、アプリとする)を製作している。これにより、土坑内に複雑に重なり合った遺物の出土時の状態を検討することが可能となっている。

本発表の検討対象は、1号土坑出土の金銅板である。土坑内では、形状等の異なる複数種類の金銅板が出土しているが、ここで検討するのは、直径1cmほどの円文を列状に打ち出し、一定間隔で鋳を打

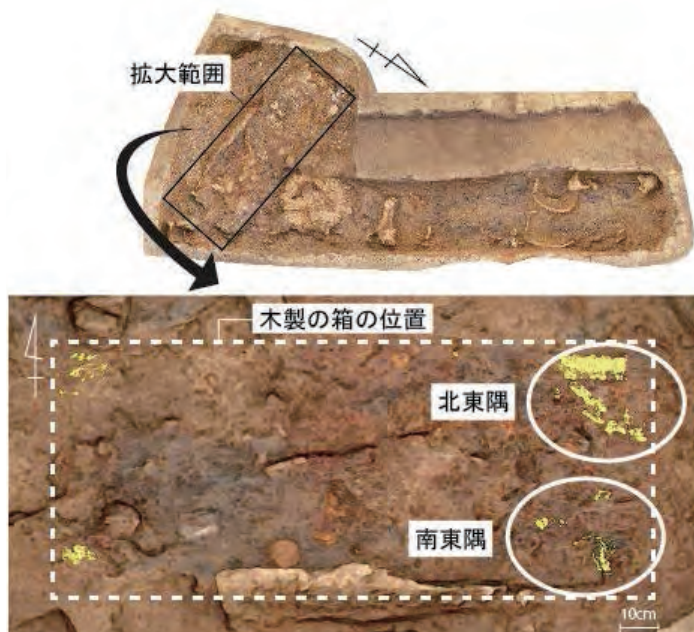


図2 1号土坑における金銅板の出土位置

った金銅板(図1)である。1号土坑の南側には長軸を概ね東西方向に向けて木製の箱が置かれており、その中に多量の遺物を納めていたと考えているが、検討対象とする金銅板はこの箱内の北東隅と南東隅から出土が確認される(図2)。このうち、本発表の検討対象資料は北東隅で取り上げられたブロックに含まれる金銅板である。

3. 金銅板の出土状況と製品の推定

検討対象のブロックの金銅板片の裏面には厚みのある木が付着している。また、ブロックには鐙のU字形金具(図3の桃色)が含まれており、アプリで金銅板との位置関係を確認すると、周囲を金銅板に囲まれた状態であることがわかる。

また、金銅板の位置関係について実資料とあわせて検討すると、ほぼ直角の位置関係で長辺が接する2面の金銅板(図3の青色—Aと赤色—B)とそれらの接するところから斜め45°方向に伸びる金銅板(図3の緑色—C)が確認できる。また、取り上げ後に別々になったブロックにも金銅板が含まれるが、アプリで確認するとA～Cからは離れた位置で、Cと概ね直角の位置関係に広がっていることが分かる(図3の白色—D)。また、いずれの金銅板もU字形金具があるのとは反対側に向けて円文を打ち出す。以上の検討で明らかになった金銅板とU字形金具の位置関係を模式的に示したものが図4である(アルファベットについては図2と対応)。

以上、本ブロックの金銅板とU字形金具の位置関係、および各金銅板の裏面の木の付着状況より、本製品は木芯壺鐙の金銅板装飾であると推定される。さらに、周辺のブロックにも同一個体を構成すると考えられる金銅板が確認でき、その一部については本ブロックで確認されたように概ね直角の位置関係で長辺が接する位置関係にあることが確認できる。それらの位置関係をアプリで確認すると、東に向けて広がっていることが分かり、鐙の種類はいわゆる「三角錐形壺鐙」である可能性が高いということが明らかになった。

【文献】

加藤和歳・小林啓・山崎悠郁子・今津節生・輪田慧・森下靖士・甲斐孝司・横田義章 2014「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—福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土遺物の取り上げ・構造解析から公開活用—」『日本文化財科学会第31回大会 研究発表要旨集』日本文化財科学会

加藤和歳・小林啓・今津節生・輪田慧・村上浩明・森下靖士・甲斐孝司・横田義章 2015「X線CTスキャナの活用による遺跡で発見される豊富な遺物情報を得る調査(Ⅱ)—福岡県古賀市船原古墳遺物埋納坑出土遺物の有機質情報および埋納方法の復元に向けて—」『日本文化財科学会第32回大会 研究発表要旨集』日本文化財科学会

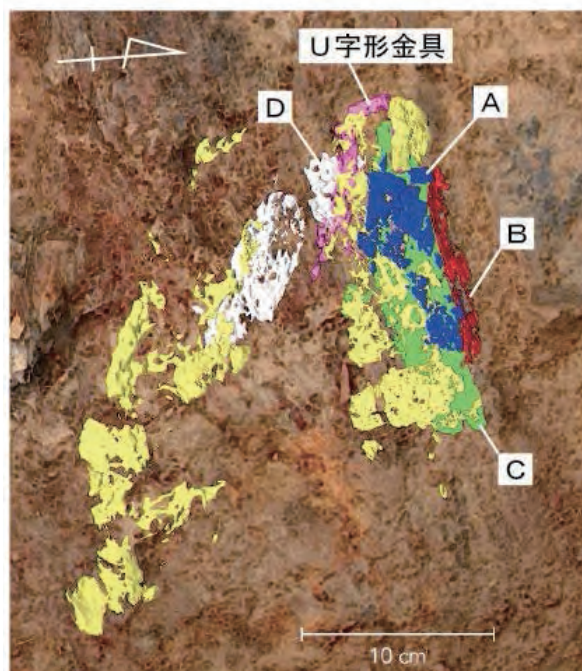


図3 検討対象ブロックの金銅板の位置関係(上から・概ね西が画像の上)

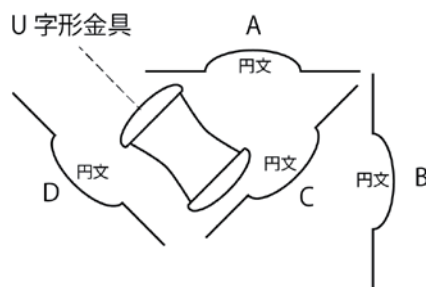


図4 検討対象ブロックの金銅板の位置関係模式図(東側からみた場合)

富沢遺跡の保存と公開 ―仙台市富沢遺跡保存館開館 25 周年を迎えて―

Preservation and Exhibition of Tomizawa Site

○仙台市富沢遺跡保存館、仙台市教育委員会文化財課

Sendai City Tomizawa Site Museum, Sendai City Board of Education Cultural Properties Division

1. 富沢遺跡の保存・公開

2021 年 11 月 2 日、仙台市富沢遺跡保存館（愛称：地底の森ミュージアム、所在：宮城県仙台市太白区）は開館 25 周年を迎える。1987・88 年に行われた富沢遺跡第 30 次発掘調査による、世界的にも貴重な成果と生々しい遺跡のようすを保存公開するため、1996 年に開館した。

当館では、現地表面下約 5m の遺跡（主に土と樹木）を大地から切り離さず、発掘した姿で保存公開している。地下水位が高いため、遺跡の保存・公開にあたっては地下水の影響を極力抑えることを主眼に保存のあり方が検討された。厚さ 80 cm のコンクリート壁が建物支持層（標高約-4m）に達する連続地中壁で、床を設けない、特殊な構造を採用した。また、土と樹木には保存処理剤として、ケイ素化合物であるシリコーン・コポリマー（ポリシロキサン）を使用した。この保存処理は開館に先立った作業はもちろん、開館以降も遺跡の状態に応じて継続している。さらに、遺跡状態の把握と発生する問題に対処するための保存処理検討会を年 2 回開催し、専門家の指導を得ながら遺跡保存に取り組んできた。

2. 開館後の遺跡に生じた問題

開館前そして以降も遺跡には「乾燥による変形」「塩類析出」「藻類発生」など数多くの問題が発生した。都度対応し、新たな薬剤開発や処理実験も多角的に行ってきた。

乾燥による変形は、開館当初が特に顕著であり、薬剤処理に加え自動ドア・手動ドアを計 4 箇所を追加設置し、展示室外からの空気流入を抑制することで徐々に安定した。塩類析出は、建築構造上の不可避課題であり現時点においても継続している。2000 年以降実施してきた各種分析調査によって、析出物は硫酸カルシウムと硫酸マグネシウムが主体であることが判明した。さらに析出原因を探る分析調査を実施した結果、原因となる成分はもともと土壤に微量に含まれており、地下水とともに連続地中壁で囲われた建物内部に移動して、展示室内で蒸発することで遺跡表面に集積することが考えられた。この想定したメカニズムの根本解決には、建物構造の変更や設備の増設など大規模な対策工事が必要となる。そこで析出物を低減させる環境整備を目指し、建物内土壤中の地下水位を高位に保つ等の調整を行った結果、析出物の発生範囲は漸減した。ほぼ同時期から、藻類発生が顕著となった。藻類に対しては、薬剤とスチーム処理等を併用することで遁滅している。

3. 遺跡保存と博物館活動

遺跡保存の現状や関係する分析調査結果については、主に当館研究報告で報告してきた。薬剤処理と適切な保存環境整備に努めてきたものの、前述のような経年変化が生じ保存については道半ばである。このような状況を変えるためには多方面からの協力を求め、遺跡保存に取り組むことが重要という認識が保存処理検討会で共有されてきた。そして、本遺跡の特徴と現状が正しく認識されるよう、情報を積極的に発信する博物館活動を行ってきた。

休館日や閉館時間帯に行っていた保存処理作業を、開館時間中に行い、そのようすを来館者に見ていただくことも試みた。実際の処理作業を公開することで「遺跡の保存は継続して行う必要があること」「遺跡保存がどのように行われ、どのような苦労があるのか」などを来館者に知っていただく機会となったが、作業効率の問題等で恒常的に実施することはできていない。現在は薬剤処理によって土や樹木に濡れ色が生じるなど、保存処理作業が認識しやすい期間に作業内容や目的等の説明パネルを掲出している。そのほか、映像を使いながら施設構造や保存処理作業のようすを解説し、遺跡を間近に観察するイベントも実施してきた。

展示やホームページでは「地球とつながったままの富沢遺跡は自然そのものといえます。自然を完全にコントロールすることは不可能ですが、皆様によりよい状態で遺跡をご覧いただくために、当館では今後も遺跡の状態を注意深く観察しながら、各種の分析調査や薬剤などを用いた処理作業を継続して」いくことも述べてきた。

4. 開館 50 周年に向けて

2011 年の東北地方太平洋沖地震と現在まで続く余震等によって、樹木を支える土柱部（支持体）が 200 本以上倒壊・崩落し、薬剤を混合した擬土で修復を行ってきた。この支持体の経年変化が今後の最も大きな課題である。毀損の都度に修復の対応を続ける、擬土で補強する、遺跡表面を客土で覆う、などいくつかの対策案を検討しているものの最終的な結論は出ていない。2 万年前の地表面である遺跡表面が見えにくい・見えない状態での公開は、来館者が受け取る情報の減少につながり、保存と公開を天秤にかけるとなる。中長期的な視点に立って情報の収集と検討を続け、より良い結論を導き出したい。

また技術の進展によって、開館以来、課題としてきた遺跡のカルテ作りと経年変化の定量的把握への取り組みを始められたことは大きな前進である。遺跡カルテの作成にあたっては、東北大学総合学術博物館とともに遺跡全面のデジタルデータ化と樹木集中部の 3D データ化に取り組んでいる。これからの遺跡変化を把握するための基準としてだけでなく、発掘調査時に撮影された写真を活用することで発掘当初からの変化を確認できる可能性もある。さらに、東北芸術工科大学文化財保存修復研究センターとは非破壊での土壌含水率調査を定点で実施しており、藻類処理方法の開発などをテーマにした共同研究にも取り組んでいる。

今後も多くの機関・個人に協力・助言をいただき、保存科学研究に資する分析調査や実験、遺跡保存への興味関心に繋がる博物館活動に取り組み、開館 50 周年も「世界中でここだけ」のミュージアムであるため、新たな処理方法と先進的な事業の開発を工夫し続けていきたい。