

口頭発表

Oral Presentations

会場：A会場（奈良女子大学 記念館）

B会場（奈良女子大学 S棟 S235 教室）

C会場（奈良女子大学 S棟 S128 教室）

日時：

7月7日（土）

A会場：10：18～15：30

B会場：10：18～15：30

C会場：10：18～15：30

7月8日（日）

A会場：9：30～16：32

B会場：9：30～16：32

C会場：9：30～16：14

2日目
7月7日

地中レーダによる元寇防塁の探査

A会場

Ground penetrating radar survey for Genko Borui

B会場

○水永秀樹 (九州大学), 田中俊昭 (同左), 清元陽介 (同左)

○Hideki MIZUNAGA, Toshiaki TANAKA, Yosuke KIYOMOTO (Kyushu University)

C会場

1. はじめに

元寇防塁とは、文永11年(1274年)に蒙古の襲来を受けた鎌倉幕府が再度の来襲に備えるため、建治2年(1276年)に博多湾の海岸線に造った石築地^{いしついで}のことをいう。博多湾沿岸には、箱崎砂層とよばれる古砂丘が形成されており、その砂丘上には博多遺跡群、吉塚遺跡群、堅粕遺跡群、箱崎遺跡群などが立地する。九州大学の箱崎キャンパスは、箱崎遺跡群の一部にあたる。

福岡市東区にある箱崎キャンパスの統合移転事業に伴う埋蔵文化財調査として、2016年に中央図書館の南脇地点で発掘調査を行ったところ、地表下1.3mで加工痕のある大型の礫岩を直線状に並べた石積み遺構が発見された。この石積み遺構は、博多湾の旧海岸線に並行して南北17m以上が残っており、裏込石を噛ませて礫岩を3段以上積み上げた部分もあった。発見された石積み遺構(幅約1.3m、現高約0.9m)は、場所や構築方法などから、蒙古襲来に備えて薩摩国が造営分担したとされる元寇防塁の一部である可能性が高いと考えられている。

本研究では、箱崎キャンパス内で発見された元寇防塁の追跡調査を目的として、キャンパス内で地中レーダ探査を行なった。本研究の目的は、キャンパス内の地下に存在すると考えられる元寇防塁の推定ラインを定めることである。

2. 地中レーダ探査の概要

地中レーダを使った元寇防塁の調査は、2017年8月3日に実施された。本調査では、箱崎キャンパス内の石積み遺構が発掘された場所の周囲の道路を選び、基本的には道路の両側に2本の測線を設定した。ただし、測線6と測線7では建物の中庭を、測線12と測線13では理学部跡地を測定した。これらの測線では、隣の測線と十分な間隔を空けることができなかつたため、約0.5mの間隔を空けて2本の測線を設定した。このようにして、測線0から測線17までの計18本の測線を設定し、地中レーダによる元寇防塁探査を実施した(図1)。

この調査では、配管などによる浅部の点異常体の反射応答や、連続した境界を持つ深部の地層境界などと考えられる典型的な反射応答が多くのもので得られた。これらの反射応答のなかから、防塁跡と考えた反射応答を図2に示す。この反射断面の特徴は、他の反射応答に比べて、その分布形状が複雑であることである。この反射応答は、単純な埋設物による反射応答ではなく、複数の反射応答が重なり合っているように見える。これは複数の埋設物(大型の礫岩)が隣接しているために生じたものと考えた。



図1 九州大学箱崎キャンパス内の地中レーダ測線

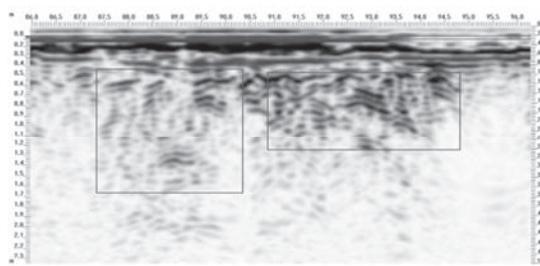


図2 防塁の可能性のある反射応答の例

3. 元寇防塁の延長線の推定

各反射断面から防塁跡の可能性のある複雑な反射応答を持つ箇所を抜き出すため、反射応答の深度方向の厚さの条件を0.5 m以上とした。このとき抽出された反射応答の中心位置の分布を図3に示す。なお、この条件で抽出された異常箇所の水平幅は、1 m から 10 m 程度であった。この図からわかるように、各測線上で多くの異常箇所が抽出された。

これらの異常箇所から元寇防塁と考えられる異常箇所を抽出するため、異常箇所の幅と隣接する2つの測線での連続性を考慮して、最終的な異常箇所を選択した。ただし、元寇防塁を一箇所に絞れずに二箇所でも推定された地点もあった。図4は最終的に選択した異常箇所を用いて推定した元寇防塁の推定ラインである。なお、実線は直線的な連続性を考慮した場合の推定ラインで、破線は屈曲を許容した場合の推定ラインである。

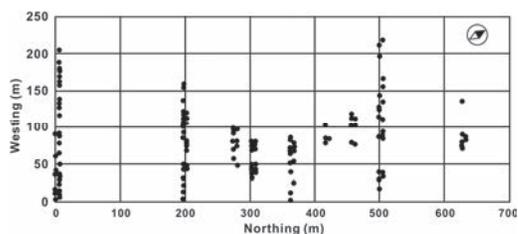


図3 複雑な反射応答を示す箇所の平面分布

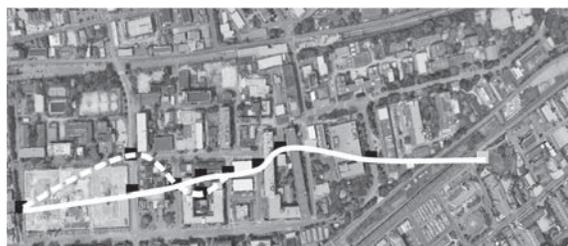


図4 元寇防塁の推定ライン

4. まとめ

地下に存在する可能性が高い元寇防塁の追跡調査を目的として、九州大学箱崎キャンパス内で地中レーダ探査を実施した。その結果、埋設管や旧地表面を含む多くの反射応答を確認することができた。これらの反射応答から、その分布や形状に条件を付けて異常箇所の選別を行なった結果、各測線で最大でも二箇所に絞り込むことができた。この最終的に選別した異常箇所を結んで、元寇防塁の延長線を推定した。

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

ミュオンラジオグラフィーによる春日古墳墳丘内部画像の作成

Inside imaging of Kasuga tumulus by muon-radiography

○石黒勝己* 西藤清秀* 平田政彦** 中村光廣*** 森島邦博*** 西尾晃***

*奈良県立橿原考古学研究所 **斑鳩町教育委員会 ***名古屋大学F研究室

○Katsumi Ishiguro, Kiyohide Saito, Masahiko Hirata, Mitsuhiro Nakamura,
Kunihiro Morishima, Akira Nishio

1. 概要

宇宙線ミュオンの透過量を特殊フィルム(原子核乾板)で計測することにより、非破壊で春日古墳内部の投影画像を作成した結果、埋葬施設と思われる空洞を検出できた。

2. 背景及び手法

古墳の中には発掘調査や立ち入ることも困難なものも多く存在するため、それらを対象にしたミュオンラジオグラフィーを開発し、墳丘外部からの埋葬施設研究を行っている(1)。ミュオンラジオグラフィーは宇宙線ミュオンの透過率を測ることで物質内部密度を計測する素粒子物理学の手法である。よく似た手法に医療分野でのレントゲン撮影があり、これはX線を人体に照射し、その透過具合の差を見ることで人体内部透視画像を撮像する。レントゲン写真では高エネルギー光子、すなわちX線を人工的に作成して照射するのに対し、ミュオンラジオグラフィーは、空から常時地表に降り注いでいる宇宙線ミュオンという素粒子を用いる。この古墳に降り注ぐミュオンの墳丘内での減衰量を測ることでX線では透過できない大きな物質(厚さ数メートル~1km程度)の撮像を行える。今回のミュオン調査では、通常の写真乾板よりも銀塩の粒子サイズを大きくし、ミュオンなどの素粒子に対して感度を持たせた原子核乾板(検出器)を古墳墳丘外に設置し、計測を行った。

3. 実施

春日古墳(図1)は、奈良県斑鳩町に所在し、古墳時代後期の豪華な馬具や未盗掘の石棺の発見で著名な藤ノ木古墳に近接する直径約30m、高さ7m弱の円墳である。この古墳は、位置的にも時期的にも藤ノ木古墳との比較に興味を持たれているが、これまで発掘が行われてこず、埋葬施設に関して不明であった。そのため今回ミュオンラジオグラフィーによる調査を実施した。春日古墳への検出器の設置は、2016年12月5日に行い、3か月間にわたって計測を行った。この計測にはA4大の原子核乾板をアルミ板に貼り付けた検出器を用い、それを石室に関連する可能性のある大型の石が露出している古墳南西側の箇所付近に古墳の中心方向を向けて設置した。

4.調査結果

今回の計測では、原子核乾板に古墳を貫通してきた宇宙線ミュオン¹の飛跡約 100 万本が 1 本 1 本記録された。その結果、古墳内部の埋葬施設に空洞が存在すれば、その方向からのミュオンは土によって止められることが無いため多く検出されることになる。顕微鏡ステージで現像後の原子核乾板を自動スキャンすることでミュオンの飛来角度と本数のデータを得、画像に変換し、図 2 のような春日古墳内部画像を撮像できた。図は古墳墳丘内の土の厚さが色の違いによって現れており、まず山状の墳丘の輪郭が画像データに表れている。輪郭より上の部分は空が見えており、下の箇所が古墳内部を表す画像である。古墳の低い部分では方位角中心方向が周囲の部分よりも薄くなっており濃い縦長の領域として検出されている。これは墳丘の外形では説明できないが、古墳中心部ほぼ南北方向に奥行き $6.1 \pm 0.5\text{m}$ の空洞が存在していると考えられる。空洞の形状は高さ方向に 2.0m 、幅 1.8m を想定した場合(図 3)に予想されるものと最もよく合ったものになっている。

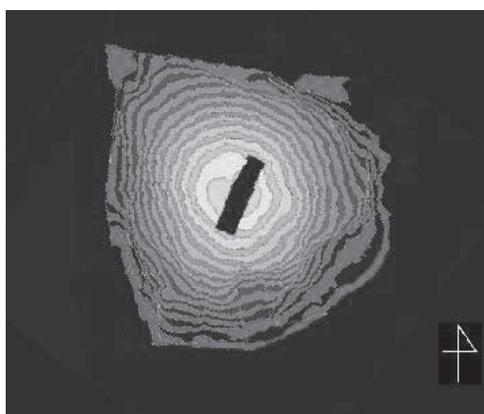
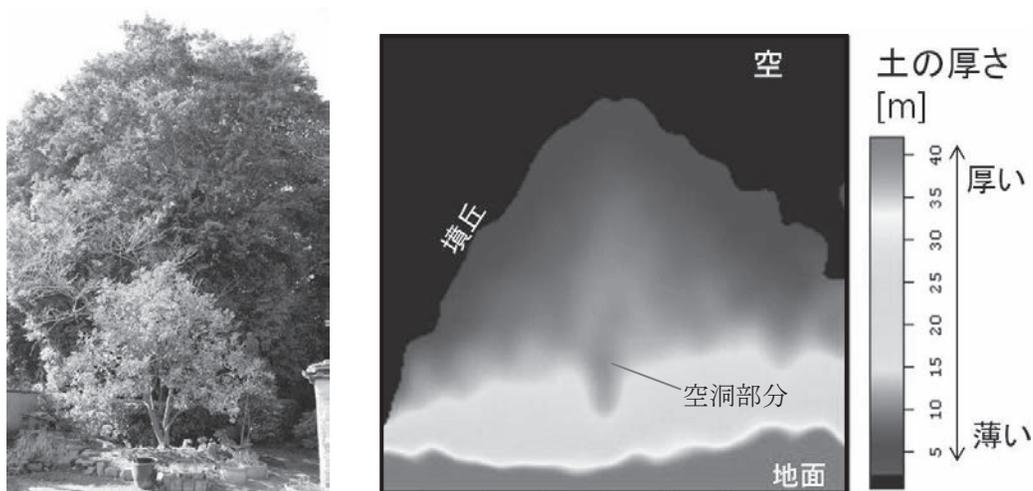


図 1(上左):春日古墳

図 2(上):撮像結果:土の厚さの違いを色で表現。「空洞部分」の方向からはミュオンが多く周囲より $6.1 \pm 0.5\text{m}$ 薄くなっており、空洞の存在を表している。

図 3(左):データから想定される空洞の広がり:シミュレーションを行って取得したデータを最もよく説明できる空洞の広がり方を調べている(幅 1.8m 、高さ 2m 、長さ $6.1 \pm 0.5\text{m}$)。

(1) 石黒勝己 西藤清秀 松田度 「宇宙線ミュオンを用いた古墳埋葬施設の解析」『2014 年度日本文化財科学会概要集』(2014 年 6 月)

(2) K Hamada, T Fukuda, K Ishiguro 他 「Comprehensive track reconstruction tool ``NETSCAN 2.0'' for the analysis of the OPERA Emulsion Cloud Chamber 」『Journal of Instrumentation』 P07001 July 2012

エジプト・サッカラ地域、イドウトのmastaba地下埋葬室における 岩盤強化および壁面の補強

Stabilization and Consolidation of the Mother Rock in Burial Chamber of *Mastaba Idout* in Saqqara, Egypt

○西浦忠輝（関西大学）、西形達明（同左）、伊藤淳志（同左）、鶴田浩章（同左）、吹田 浩（同左）、
中村吉伸（大阪工業大学）、沢田正昭（東北芸術工科大学）、A. アカリシュ（エジプト国立研究センター）、
A. シュエイブ（カイロ大学）

○Tadateru. NISHIURA, Tatsuaki NISHIGATA, Atsushi ITO, Hiroaki TSURUTA, Hiroshi SUIA (Kansai University),
Yoshinobu NAKAMURA (Osaka Institute of Technology), Masaaki SAWADA (Tohoku University of Art and Design),
Adell M. AKALISH (Egypt National Research Centre), Ahmed S. SHOEIB (Cairo University)

1 はじめに

サッカラにあるイドウトのmastaba地下埋葬室の壁面（紀元前2360年頃）は、歴史的・芸術的価値が非常に高いものであるが、母岩からの剥離・剥落が著しく、危機的な状況にあった。そこで、2005年より剥ぎ取り保存修復作業が開始され、2009年には保存修復された壁画の下の壁面への仮止めが終了した。この壁面の剥落は、下地となる母岩の長い年月の風化による劣化に起因するところが大きく、壁面の将来的な保存活用のために母岩を強化することが重要な課題である。そこで、壁面の修復作業と並行して、母岩の劣化状況に関する各種の調査を行い、さらに母岩の一部について補強試験および補強工事を実施した。

2 埋葬室の岩盤および壁面の状況

埋葬室は泥灰岩と粘土質石灰岩からなる台地の地下約9mにあり、南北約10.5m、東西約4.3m、高さ約3.1mの石室空間である。埋葬室の壁上部60~70cm幅の泥灰岩層は、黄色から緑色をした頁岩、灰色で半硬質の粘土質石灰岩、緑がかった泥灰土などが互層になっており、特に風化が進行した脆弱な地層となっている。また、この層からなると考えられる天井表層部は、埋葬室の北半分において風化が顕著であり、層状に母岩から剥離または剥落している。さらに天井部には東西方向と南北方向に大きな亀裂があり、最大で10cm以上の段差が生じている。

3 母岩の物理・力学的性状

埋葬室母岩の物理・力学的性状を把握するため、2009年に母岩のコアボーリングを行い、採取試料について試験を実施した。ただし、埋葬室内での採取ができないため、mastabaから南東約20mで埋葬室天井のレベルとほぼ同じ深さまで露出した地層で行った。ボーリングは直径60mmで、鉛直方向5本、水平方向4本実施したが、削孔途中で割れるものが多く、最長のもので200mm程度であった。また、採取した鉛直方向のコアには塩の結晶と考えられる厚さ2mm程度の灰白色層を含んでいるのが見られた。コア供試本はエジプトにおいて物理・力学試験が行われた。圧縮強度は平均38.2MPaとそれほど大きくはないが、半硬岩に分類されるものである。

4 埋葬室内岩盤の亀裂変位

埋葬室天井部の岩盤亀裂の動向を調べるために、亀裂をまたぐようにして変位計を取り付け、観測を続けている。変位量の変動をFig.1に示す。位置により多少傾向は異なるが、概ね毎年11月頃から亀裂幅が増加し、3月頃から減少する周期的な増減の繰り返しであることから、温度、湿度の変化と対応していると判断される。すなわち、温度、湿度が上昇すると岩盤が膨張して亀裂幅が減少し、下降すると岩盤が収縮して亀裂幅が増大すると考えられる。これが母岩の劣化を進行させる一因と言える。なお、亀裂によって、全体的に幅が増大傾向のもの減少傾向のものがあるが、その絶対量はごく僅かであることから、岩盤全体は安定していると考えて良いであろう。

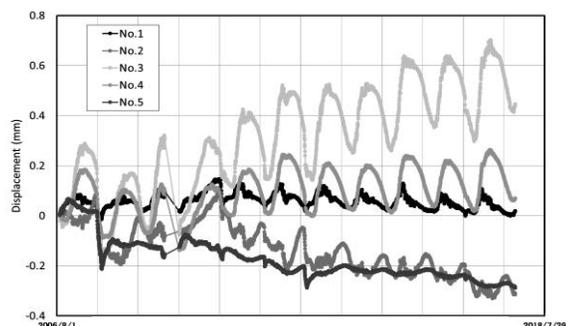


Fig.1 亀裂変位量の変動

5 レーダー探査による劣化調査

地下埋葬室内での壁画修復作業の環境、また将来の地下埋葬室の活用を考えると、前章で述べた岩盤表面に走る大きな亀裂の挙動もさることながら、風化による岩盤表層部の劣化や、岩盤内側の比較的浅い所に表面とほぼ平行に存在する微細な亀裂に関する対策が非常に重要である。特に表層部の剥離崩壊が顕著な箇所については、早急な対応が必要である。そこで、電磁波による地中レーダー探査により地下埋葬室の岩盤内部の調査を実施した。

測定箇所として埋葬室内の劣化の著しい部分を選定した。それぞれの調査区は約1m四方であり、10cm間隔に並行する測線をそれぞれ設定することで、面的な劣化情報を取得した。壁面および天井面の測定記録を1例ずつ示す。

1) 西壁南側

測定結果を総合すると、Fig.2に示すような岩盤内部状況の推定図が作成できる。この調査区では、壁面に見られる開口クラックの内側（深さ約10~20cm）にほぼ全面にわたって分離面が存在することが見て取れる。このような壁面近くに壁面とほぼ平行に分離面が存在する箇所は、崩落の危険性が高いものと考えられることから、確実な修復が必要と判断される。

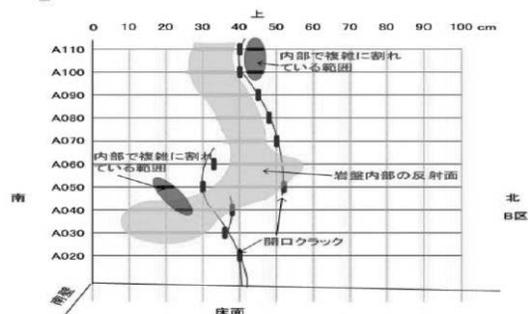


Fig. 2 西壁南側岩盤内部状況の推定

2) 天井中央東側

岩盤内部状況の推定図を Fig.3に示す。明瞭な反射面が分布する範囲が1箇所認められる。この反射面は非常に明瞭であるため、この部分に面状の分離面が存在するものと見られる。他の天井部においても、このような分離面が存在する可能性は高いものと推察されることから、天井部についてはほぼ全面的な補修が必要と考えるべきである。

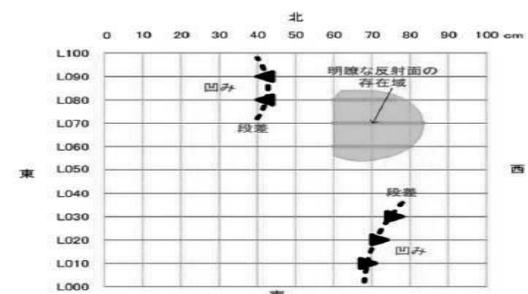


Fig. 3 天井中央東側岩盤内部状況の推定

6 岩盤の補強工事

埋葬室の母岩は全体的には安定しており、崩落などの可能性は低いと判断されるものの、表層の風化による劣化が激しいため、現在仮止めの壁面を恒久的に固定するためには、浅い部分の分離面を含めて、壁の表層数10cmの範囲内を強化安定化させる必要がある。また、天井についても、表層部の剥離・剥落を防止するため、壁と同様に強化安定化させる必要がある。

補強にあたっては、埋葬室がエジプトの重要な文化遺産であることや、将来的に内部を一般に公開する可能性もあることなどを考慮すると、現状を出来るだけ維持することが望ましい。また、埋葬室空間の大きさや壁面を傷つけないことなどを考えると、使用する機材や材料には制限があり、基本的には手作業による施工を考慮しなければならない。そこで、補強の方法として、壁、天井ともに、分離面や剥離層間にはエポキシ樹脂などの非揮発性の材料を注入、

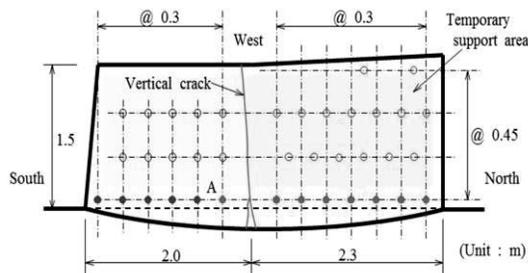


Fig. 4 アンカーボルト打設平面位置

剥落の可能性が高い部位にはピンニング（小径のアンカーボルト）を併用することが最適と判断した。

そして、天井の北側と南側について2カ所を2年間で施工した。Fig.4にアンカーボルトの配置および施工順序を示す。削りは鉛直方向より多少斜めに行い、各アンカーボルトでその方向を変化させた。なお、アンカーボルトの1本について、引き抜き試験を実施し、引き抜き抵抗値(7.6kN)を確認した。施工手順は次のとおりである。

- 1) ハンマードリルによる削り
- 2) ダストポンプおよびブラシによる清掃
- 3) エポキシ樹脂注入用のチューブを挿入
- 4) エポキシ樹脂（2液型）注入
- 5) ステンレス製全ネジボルトの挿入
- 6) ボルト頭部の補修

補強を実施した天井岩盤は、その後、変状は認められず、安定しているものと判断される。今回の補強工事により、石灰岩に対するエポキシ樹脂の性能、ならびにハンマードリルによる短尺のアンカーボルトの施工性および有効性が確認されたものと考えている。

7 岩壁面の強化

7.1 材料

以下の2種の材料を使用して補修・補強の検討を行った。

- (A) 土と石の強化保存剤：ケイ素を含有するアルコキッド溶液に、エチルアルコール等を溶剤として加え、そのアルコキッド溶液を加水分解重縮合させたもの。劣化した岩石表面に塗布含浸。
- (B) 無収縮セメント：水・セメント比 W/B=18%のスラリーとして亀裂部に充填。

7.2 結果

Aの適用箇所においては、塗布面の色がやや白っぽくなる状況が見られたが、著しい変色や剥離は認められなかった。Bの適用箇所では周囲の岩盤と無収縮セメントスラリーの色の違いがやや目立つ状態であったが、充填部分に収縮ひび割れや剥離などは認められなかった。

参考文献

- ・伊藤淳志、西形達明：イドウト地下埋葬室母岩の劣化調査および補強対策、『関西大学 国際文化財・文化研究センター 最終成果報告書』、77-90(2018)
- ・鶴田浩章、中村吉伸 他3名：イドウトのマスタハ墓における岩盤等の補強対策と品質評価、同上、91-100(2018)

出土鉄製遺物の塩化物イオンの集積に対して埋蔵環境が及ぼす影響 The Effect of Burial Environment on Accumulation of Chloride Ions of Archaeological Iron Artefacts

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

1. はじめに

鉄製遺物の保管時に生じる腐食は、その内部に集積する塩に起因する¹⁾。現状では鉄製遺物の劣化予測の技術が確立されておらず、保管時の腐食に対しては事後の対処に留まっている。鉄製遺物内部の塩化物塩は埋蔵時の腐食の過程で形成され、その集積には遺跡の埋蔵環境が影響していると考えられる。塩化物塩の集積に対する埋蔵環境の影響を把握することで、遺跡の埋蔵環境から鉄製遺物の発掘後の腐食特性を事前に判断することが可能になり、より安全で効率的な鉄製遺物の保管管理が可能になると考えられる。本研究では、鉄製遺物の保管時の劣化発生の有無を予測する技術を開発するため、溶液実験およびカラム実験をおこない、塩化物塩の集積に及ぼす埋蔵環境の影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 試料 10×10×5 mm に切り出した炭素鋼 (SS400) エポキシ樹脂で包埋した後、エメリー紙#800 まで湿式研磨にて仕上げ、アセトンによる洗浄をおこない、試験面積を 1 cm² としたものを作用極とした。また、腐食生成物の同定、侵食度の測定には作用極と同様に表面状態を調整した 30×30×3 mm の炭素鋼 (SS400) を用いた。

2.2 溶液実験 溶液実験では、塩化物イオンの集積に対して環境の pH および塩化物イオン濃度を調整した溶液 (表 1) に、作用極および参照電極として飽和銀塩化銀電極を設置した。

2.3 カラム実験 土壌中での腐食を想定したカラム実験では、塩化物イオンの集積に対して土中の深度毎の溶存酸素 (DO) 濃度および含水状態が及ぼす影響を検討した。実験装置には土壌の代用としてガラスビーズ (粒径 0.045~0.09mm) を用いてカラム A およびカラム B の 2 種類の実験装置を作製し、ビーズ表面から 45 cm を液位として保つようにそれぞれ表 2 に示す溶液を供給した。ビーズ表面から 1 cm, 15 cm, 30 cm, 44 cm, 46 cm の 5 つの深度を設け、上部から 3 つの深度で酸素濃度および水分ポテンシャル、カラム下部では DO 濃度を測定した (図 1)。

2.4 評価法 溶液実験、カラム実験ともに腐食電位を測定した。実験後に作用極と試験片を取り出し、X 線回折分析による腐食生成物の同定および走査電子顕微鏡に付属するエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置を用いて得た元素マップから、試験片断面の塩素の分布を観察した。また、カラム実験では試験片の腐食生成物をヘキサメチレンテトラミンを含む塩酸で除去した後²⁾、重量測定をおこない、実験前後の重量の変化から侵食度を算出した³⁾。

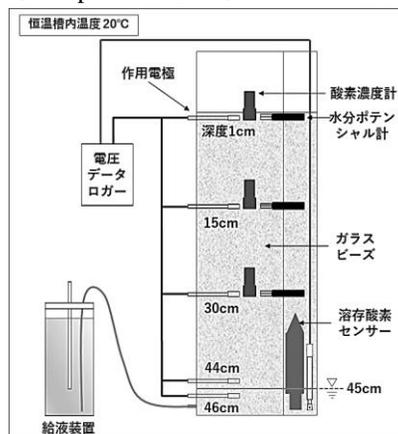


図 1 カラム実験模式図

表 1 溶液実験 溶液の条件

	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
pH	5			10		
Na ₂ SO ₄	0.05 mol/L					
NaCl	0 mol/L	1 mmol/L	0.1 mol/L	0 mol/L	1 mmol/L	0.1 mol/L
緩衝溶液	なし			NaHCO ₃ -NaOH 緩衝溶液		

表 2 カラム実験 溶液

	カラム A	カラム B
Na ₂ SO ₄	0.05 mol/L	0.05 mol/L
NaCl	0.10 mol/L	0 mol/L

3. 結果および考察

溶液実験の腐食電位の測定結果 (図 2) より、腐食電位に対して塩化物イオン濃度の差が及ぼす顕著な影響は認められなかった。一方、実験系 A (pH5) よりも実験系 B (pH10) において約 0.05 V 高い腐食電位を示した。これは、pH10 溶液内の作用極表面では pH5 に比較して緻密な腐食生成物が形成され、さび層の形成による電位の上昇によるものと考えられる⁴⁾。X 線回折分析の結果より、実験系 A の試験片からは鱗鉄鉱、針鉄鉱および磁鉄鉱が、実験系 B の試験片からは針鉄鉱および磁鉄鉱が検出された。

カラム実験の酸素濃度および水分ポテンシャルの測定結果を図 3 に、腐食電位の測定結果を図 4 に、深度毎の侵食度の算出結果を図 5 に示す。図 3 より、カラム上部まで水分飽和に近い状態であり、電極表面における DO の消費にともなうガラスビーズ空隙中の気相酸素の消費が認められた。腐食電位の測定結果より、深度 1 cm の電位は上昇を示しているが、これはさび層の形成によるものと考えられる。その後の電位の急激な低下は、炭素鋼とそれを包埋している樹脂の間

で隙間腐食が発生したためと考えられる。また、侵食度の算出結果より、酸素濃度の高い環境で最も腐食が進行していることが示唆された。このことから、酸素濃度の高い環境では DO の供給が速やかであるため、高い腐食速度を示し、溶出した鉄イオン量が増加することでさび層が形成され腐食反応がアノード支配となり、電位が上昇したと考えられる。炭素鋼試験片表面に形成された腐食層は、表面から順に緑色、褐色および橙色の三層構造であった。腐食生成物は褐色の層から検出された(表3)。なお、カラム A 内の試験片の腐食生成物はガラスビーズと一体化しており、明確な回折線が得られなかった。また、元素マップより、深度が深く酸素濃度が低い場所に設置された試験片において、褐色層および炭素鋼表面に塩素が集積している状態が認められた(表3および図6)。

4. 結論

実験の結果より、塩化物イオンの集積に対して DO 濃度が大きく影響をおよぼすことが示唆された。ただし、今回の実験結果からは塩化物イオン集積は不動態被膜の局部的破壊である孔食に起因するものではないと考えられる。実験系は中性溶液を用いており、いずれの深度も孔食が発生しにくい環境である。これは、供給した溶液が孔食の発生する塩化ナトリウムの限界濃度 1 mol/L⁵⁾ 以下であることと調和的である。塩化物イオンの集積は、水分状態が高く、酸素濃度の低い環境において、緩慢に腐食が進行した試料で認められた。

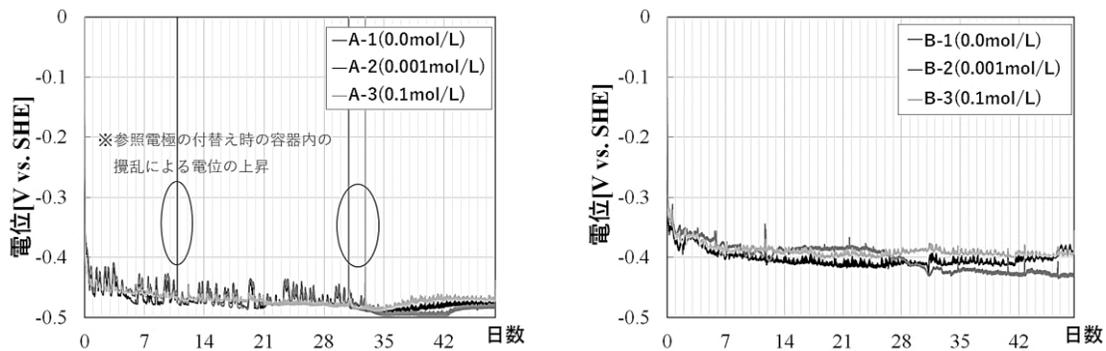


図2 溶液実験 A(左)および B(右)の腐食電位

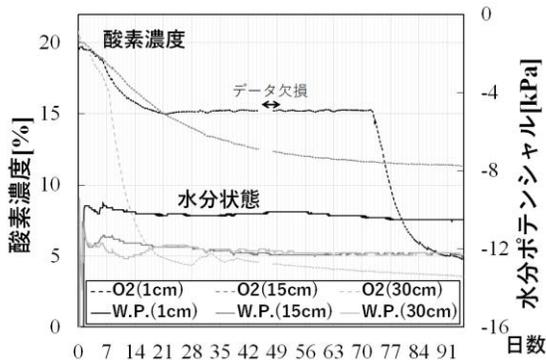


図3 カラム B の酸素濃度と水分ポテンシャル

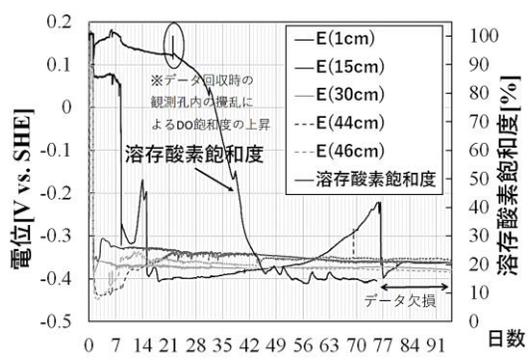


図4 カラム B の腐食電位と溶存酸素飽和度

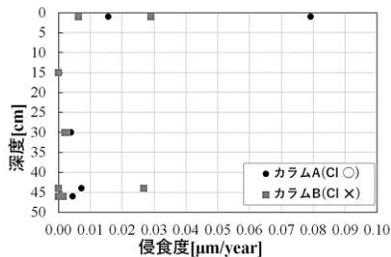


図5 深度毎の侵食度

表3 カラム実験 腐食生成物および塩化物イオン集積の観察・分析結果

深度 (cm)	カラム A		カラム B
	腐食生成物	Cl	腐食生成物
1	検出されず	なし	なし
15	検出されず	褐色層	緑さび II
30	検出されず	褐色層	緑さび II 水酸化第二鉄
44	検出されず	試験片表面	緑さび II 磁鉄鉱
46	検出されず	褐色層と 試験片表面	緑さび II 磁鉄鉱

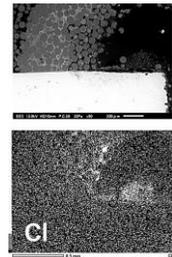


図6 試験片断面の SEM 像と元素マップ

【謝辞】本研究の一部は 2017 年度科学研究費補助金(研究番号: 16K01191 研究代表者: 脇谷草一郎)の補助を受けた。ここに記して謝意を示す。【参考文献】1) S. Turgoose, 1982 "Post excavation changes in iron antiques" *Studies in Conservation* (27) pp.97-101 2) 日本工業規格 1998 年「JIS Z 2383 塩水噴霧試験方法」3) 日本工業規格 2000 年「JIS Z 2371 大気環境の腐食性を評価するための標準金属試験片及びその腐食度の測定方法」4) 日本材料学会 腐食防食部門委員会 1999 年『実験で学ぶ腐食防食の理論と応用』見洋書房 pp.53-54 5) 水野忠彦 1986 「鉄の孔食における塩化物イオンの役割」『日本金属学会誌』第 50 巻 第 11 号 pp.1009-1016

大分市高瀬石仏の保存環境調査～その 3) 現地調査と2次元数値解析

Evaluation of the conservation environment at the stone buddhas of Takase, Oita

Part 3: Field survey and two-dimensional numerical analysis

○平沼柊哉(近畿大学)、安福勝(近畿大学)、脇谷草一郎(奈良文化財研究所)、小椋大輔(京都大学)、桐山京子(京都大学)、高取伸光(京都大学)、奥田吏司(名古屋市立大学)

○Hiranuma Shuya(Kindai University), Masaru Abuku (Kindai University), Soichiro Wakiya (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Daisuke Ogura (Kyoto University), Kyoko Kiriyama (Kyoto University), Nobumitsu Takatori (Kyoto University), Satoshi Okuda (Nagoya City University)

1. はじめに

大分市高瀬石仏は、外界気象や地下水の影響を受けうる状態にあり、それによる劣化進行の危険性のある史跡である。前 2 報^{1,2)}では、保存環境の現状把握のため、石窟とその周辺の環境調査結果と、地盤・岩盤内における 1 次元熱・水分移動の数値解析を報告した。ただし、数値解析は計算精度の向上が課題として残されていた。本報では、地下水位・降雨量・日射量の空間分布を考慮した、2 次元熱・水分移動の数値解析を報告する。これにより、地下水・雨・日射による熱・水分負荷が石仏に及ぼす影響を定量化し、岩盤上部の防水工事について考察する。

2. 解析条件

石仏を含む石窟周辺の地盤内における熱・水分移動の数値解析を行い、周辺環境や雨水・排水による地下水位の変動が石仏に及ぼしうる影響を明らかにする。石仏を含む石窟周辺の壁体(岩盤)の断面図の模式図と解析領域、境界条件の概要、各部位の名称を図 1 に示す。図中、解析領域は破線で囲まれた領域である。解析条件として、壁体構成：二次元壁体、数値解法：時間前進型有限差分法、メッシュ分割間隔：0.05~0.1m とする。解析対象は全て一様な凝灰岩とし、物性値には高取ら³⁾が用いた凝灰岩の物性値を用いる。防水工事に用いた擬岩(非透湿)の熱抵抗は 0 とする。また、境界条件として、外気・石窟内温湿度は外気温湿度の実測値を用いた。降雨量と日射量については、現地で観測している全天日射量・水平面降雨量・風速・風向の実測値¹⁾から各壁面に及ぼす値を算出し用いる。日射反射率には分光光度計を用いて測定した値(30%)を用いる。地下水位を測定した 2 点間の地下水位は、2 点の値を用いて直線近似し、その他は一定とした。地下水位以下は、温度を地下水位計で測定した実測値、飽和度(=体積含水率/空隙率(0.392 m³/m³))を 1 とする。全ての実測値は 2016 年 5 月 20 日から 1 年の間に測定した値である。本解析ではこの 1 年間の変動が毎年繰り返されるとする。その他の詳細は前報 1) を参照されたい。地表面以下の境界は対象境界条件とした。

本研究では、保存工事前と後および今後の保存対策を想定した 3 通りの計算を行った。すなわち、Case1：岩盤上部と東側面(上部)の防水工事前、Case2a：現在の状態(防水工事後)、Case2b：石仏背後を防水したと想定した。Case2b では、今後の保存対策の検討を目的とし、現状の環境に新たな対策を講じることを想定している。覆屋の影響を計算では考慮していないが、石窟内部には雨と日射が入らないとしている。実際には、地表面からの照り返しがあるはずである。以下に示す解析結果は、周期定常解が得られたと判断した 5 月 20 日から 1 年間の計算結果である。

3. 結果と考察

2 点で測定した地下水位(標高 15m=水位 0m)と水平面降水量を図 2 に、石仏足元の岩盤表面における体積含水率の経時変化を図 3 に示す。ただし、図 3 において、防水工事前を想定した Case1 と防水工事後を想定した Case2a の含水率変化は同じであったので、2 つの Case の結果を 1 本の線で示す。またこのことから、岩盤上部と東側面上部の表面で吸収される雨水は石仏には全く影響しないことがわかる。

図 2 と図 3 から、全ての Case において石仏足元の表面の含水率が地下水位変動に伴って変化しているので、地下水の影響は石仏にまで到達することがわかる。また、降雨量の多い日が続く石仏表面の含水率が比較的高い時には、Case2b の方が Case1,2a より含水率が高くなってい

る。これより防水によって岩盤表面における雨水の影響を絶つことよりも、岩盤内の水分の蒸発が抑制されることの影響が大きいとわかる。

ここで示した解析結果は地下水位の影響を大きく受けるものである。2点で測定した地下水位が2mも違うことから、これらの測定値の正しさに疑問が残る。今後現場にてこれを確かめる実験を行う予定である。

4. 結論

本研究の解析結果によると、岩盤表面から吸収される雨水は石仏に影響を及ぼさないが、地下水位変動の影響は石仏まで到達する。岩盤上部と東側面上部の防水工事によって石仏付近の含水率は変化しない。ただし、岩盤背後を防水と想定した場合において、石仏付近の含水率はむしろ高くなる可能性がある。

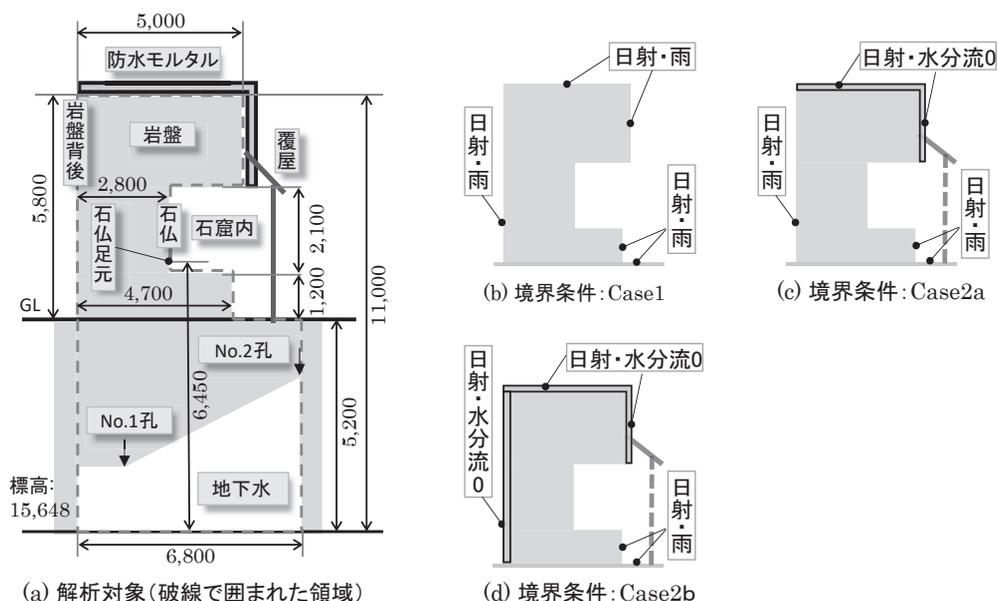


図1 解析領域(寸法の単位:mm)と境界条件の概要

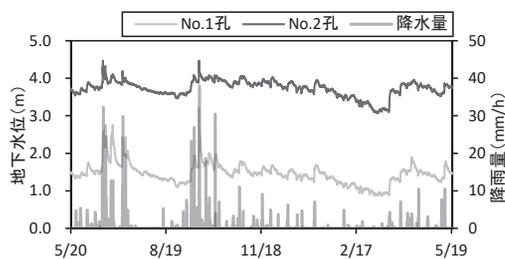


図2 地下水位と水平面降雨量

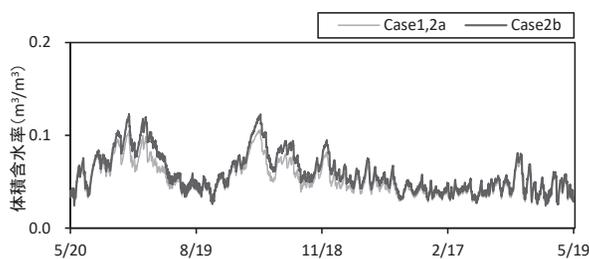


図3 体積含水率(0:00)

【謝辞】

本研究は、大分市教育委員会文化財課の協力を得て実施された。

【参考文献】

- 1) 奥田 吏司, 安福 勝, 小椋 大輔, 脇谷 草一郎, 桐山 京子, 高取 伸光. 2017. 大分市高瀬石仏の保存環境調査～その 1) 現状の概要と分析, 日本文化財科学会第 34 回大会研究発表要旨集, pp. 32-33
- 2) 安福 勝, 奥田 吏司, 小椋 大輔, 脇谷 草一郎, 桐山 京子, 高取 伸光. 2017. 大分市高瀬石仏の保存環境調査～その 2) 熱・水分移動の数値解析, 日本文化財科学会第 34 回大会研究発表要旨集, pp. 34-35
- 3) 高取 伸光, 小椋 大輔, 脇谷 草一郎, 安福 勝, 桐山 京子. 2017. 覆屋内温湿変動が磨崖仏の塩類風化に及ぼす影響の数値解析—元町石仏の保存に関する研究 その 1—, 日本建築学会環境系論文集, 82(733), pp. 215-225

2 日目
7 月 7 日

A 会場

B 会場

C 会場

アンコール遺跡バイヨン寺院浮き彫りの保存材料に関する研究(6) -保存処理石材における微生物叢の推移- Study on the Conservation Materials for Bas Relief of Bayon temple in Angkor Site (6): Changes in Microbial Communities on Treated Stones

○河崎衣美 (奈良県立橿原考古学研究所)、松井敏也 (筑波大学)、原光二郎 (秋田県立大学)、澤田正昭 (東北芸術工科大学)、井上才八 (アイ・エヌ・テクニカルラボ)

○KAWASAKI Emi, MATSUI Toshiya, HARA Kojiro, SAWADA Masaaki, INOUE Saihachi

1. はじめに

アンコール遺跡バイヨン寺院浮き彫りに用いられている砂岩に適した保存修復材料を選定するために各種の保存修復材料を用いた試験を 2007 年より実施し、強化ならびに透湿調整材料を塗布した試験、これらの試験を受けて 2014 年より実施した回廊壁面への部分施工に関する報告を行ってきた¹⁾²⁾³⁾。寺院浮き彫りには多様な微生物が存在し、それらは鑑賞の妨げとなるだけでなく、ある種の微生物は劣化要因の一端を担うことが明らかになっている⁴⁾⁵⁾。本発表では施工試験前後における石材表面の微生物叢の推移を次世代シーケンサーにより DNA を網羅的に解析することで明らかにした結果を報告する。

2. 方法

これまでの新材砂岩試験体での曝露試験の経過 (吸水率、強度試験、表面状態、着生物など) から処理剤を選定した³⁾。基質強化剤としてエチルシリケートを主成分とする Bayon-S、一部には吸水および透湿性のコントロール剤 (透湿調整剤) としてシラン系モノマー/オリゴマー混合撥水剤 (商品名: OBH、アイ・エヌ・テクニカルラボ製) を用いた。壁面への施工試験は壁面後背に基壇のある十字回廊および壁面後背が空間となっている外回廊の一部で行われ、全ての石材に対してクリーニングを行なった後、強化剤および透湿調整剤を塗布した。このうち 3 箇所 (C-1: 十字回廊壁面のうち生物繁茂の著しい石材、C-10: 屋根をかけた回廊の石材、O-11: 外回廊壁面の石材) における処置前から処置完了後 2 年 4 ヶ月までのバクテリアおよび真菌の変化を解析した。表 1 に微生物採取時期を示す。粘着シールを用いて採集した微生物は、専用キットで DNA を抽出後、それぞれの種同定や分類に利用される DNA 領域 (DNA バーコーディング領域) を増幅した後、次世代シーケンサーにより塩基配列を決定した。得られた塩基配列は、97% 以上の相同性がある配列を同一種とし、データベースと照合して同定・分類した。

表 1 処置の経過と微生物採取

	処置	採取
2013.12	クリーニング	処置前○
2014.3	強化	処置後○
2014.4	透湿調整	-
2014.8	-	○
2014.12	-	○
2015.2	-	○
2015.8	-	○
2015.12	-	○
2016.8	-	○

3. 結果

3 箇所共に強化および透湿調整処置を施した箇所において処置 2 年 4 ヶ月後まで肉眼で微生物の繁茂は確認できなかったが、C-1 のクリーニングのみでは 2014 年 8 月 (クリーニング後 8 ヶ月) の時点で微生物の繁茂が肉眼で確認された。表 2 に試験区ごとの検出総数と検出属数を示し、図に C-1 における真菌およびバクテリアの生物種のマルチレベル円グラフを示す。バクテリアに関しては、3 箇所共に強化または透湿調整処置を行う前と 2 年 4 ヶ月後まで大きく生物叢が変化していることが明らかとなった。真菌に関しては、各箇所異なる挙動を示した。C-1 のクリーニングのみ行った箇所では処置前に優勢だったシアノバクテリアの仲間 (*Brasilonema octagenarum*) など、バクテリアの生物叢が処置後二年程度で処置前の状態に戻った。C-1 の真菌では時期や処置に関わらず優勢種 (*Emericellopsis terricola*) が存在していたが、強化および透湿調整処置箇所では 1 年 8 ヶ月後から優勢種の割合が減少し、多様性が増した。C-10 では強化透湿調整処置後は強化処置のみと比較して検出数・多様性共に低い結果となり、処置の影響が考えられた。

表2 試験区ごとの検出総数と検出属数

			処置前	2014.3	2014.8	2014.12	2015.2	2015.8	2015.12	2016.8
C-1	クリーニ ングのみ	B	4607(57)	1788(90)	2864(101)	2124(82)	2345(64)	2652(53)	6226(34)	4573(42)
		F	440(14)	9030(36)	6456(13)	7395(50)	14424(27)	11296(42)	11395(24)	6818(49)
	強化・ 透湿調整	B	1955(65)	5787(58)	5443(89)	5523(82)	5812(76)	3425(82)	5841(86)	3383(69)
		F	1(1)	9927(9)	9515(21)	12137(36)	13611(20)	6146(30)	7442(15)	5178(51)
C-10	強化	B	10554(14)	10064(19)	5073(55)	2054(28)	5650(27)	8023(27)	6840(19)	7682(16)
		F	2386(23)	7999(4)	4474(4)	4809(26)	5393(7)	6057(16)	15499(3)	10529(4)
	強化・ 透湿調整	B	1883(46)	11159(13)	11488(10)	6916(22)	5882(16)	10967(7)	11431(7)	10794(8)
		F	4433(11)	3750(6)	3085(2)	5846(6)	1081(1)	868(2)	3125(1)	8363(2)
O-11	強化	B	8390(8)	10840(39)	11881(13)	11110(7)	11696(12)	12611(10)	10633(6)	10083(12)
		F	5493(23)	8452(6)	5503(1)	6774(3)	32(9)	5294(1)	0(0)	3651(1)

カッコ内は検出属数、Bはバクテリア、Fは真菌を示す

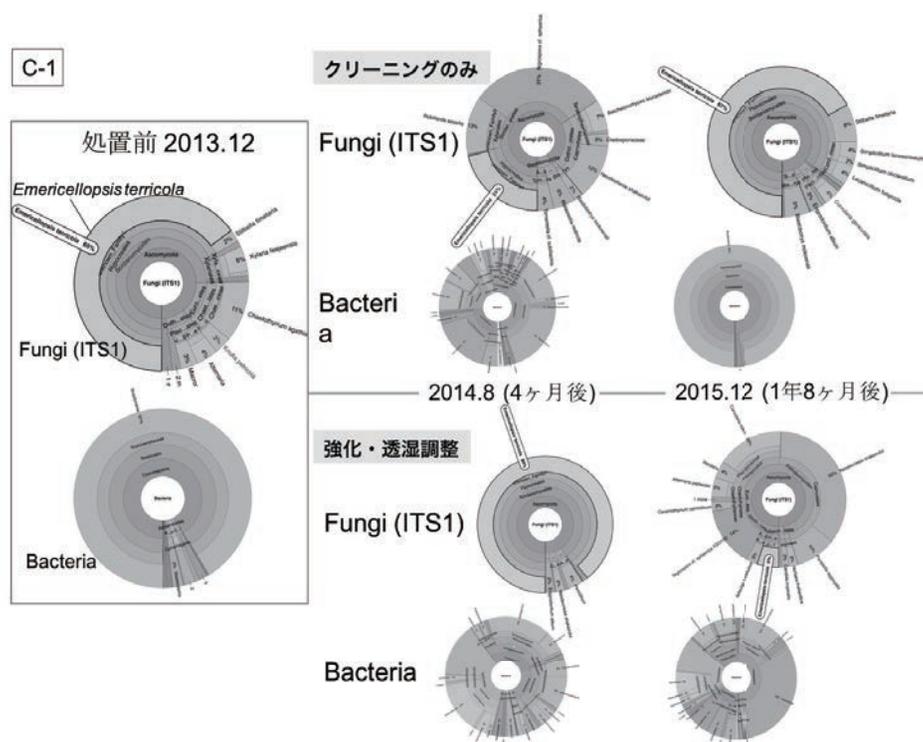


図 C-1 における真菌およびバクテリアの変化

4. まとめ

アンコール遺跡バイヨン寺院浮き彫りの保存を目的として行った保存修復材料の寺院壁面への施工試験前後の微生物叢の変化について報告した。処置後2年4ヶ月までの微生物変化を解析した結果、バクテリアに関しては全ての試験箇所では強化または透湿調整処置を行うことで微生物叢が変化し、真菌に関しては、各箇所異なる挙動を示した。今後優勢種やその他との相互作用、石材への影響等について調査する必要がある。

本研究は科学研究費補助金(基盤A)「アンコール遺跡群における砂岩浮き彫りの包括的な保存修復に関する研究」

(25257303)、(海外A)「アンコール遺跡群における石材劣化の新展開とその集学的研究」(17H01628)により行われた。

- 1) 松井敏也ら “アンコール遺跡バイヨン寺院浮き彫りの保存材料に関する研究(1)” 日本文化財科学会第29回大会発表要旨集 pp136-137(2012)
- 2) Toshiya MATSUIら、A Study on Conservative Material for the Bas-Reliefs of the Bayon Temple in Angkor Monuments, Proceedings of the Int. Conference on Conservation of Stone and Earthen Architectural Heritage, ICOMOS-ISCS, pp.138-144, 2014
- 3) 松井敏也ら “アンコール遺跡バイヨン寺院浮き彫りの保存材料に関する研究(4)” 日本文化財科学会第33回大会発表要旨集 pp.62-63(2016)
- 4) Li, X., H. Arai, I. Shimoda, H. Kuraishi, and Y. Katayama. 2008. Enumeration of sulfur-oxidizing microorganisms on deteriorating stone of the Angkor monuments, Cambodia. *Microbes Environ.* 23:293-298.
- 5) Meng H, Y Katayama, J-D Gu. 2017. More wide occurrence and dominance of ammonia-oxidizing archaea than bacteria at three Angkor sandstone temples of Bayon, Phnom Krom and Wat Athvea in Cambodia. *Int. Biodeter. Biodegr.* 117:78-88.

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

プレア・ヴィヘア寺院第三ゴープラにおける 地盤調査と3次元計測による変状分析

Geotechnical investigation and deformation analysis by 3D laser scanning at Gopura 3rd, Preah Vihear Temple, Cambodia

○桑島流音（関西大学）、小山倫史（同左）、橋本涼太（広島大学）、
岩崎好規（地域地盤環境研究所）、福田光治（大成ジオテック）、石塚光雅（早稲田大学）
○Ryuto KUWAJIMA, Tomofumi KOYAMA (Kansai University), Ryota HASHIMOTO (Hiroshima
University), Yoshinori IWASAKI (Geo Research Institute), Mitsugaru FUKUDA (Taisei Geo-Tech),
Mitsumasa ISHIZUKA (Waseda University)

1. はじめに

プレア・ヴィヘア寺院はタイとの国境に近いカンボジアのプレア・ヴィヘア州に位置するダンレク山地の海拔 625m の断崖の頂上にある 9 世紀に建立されたヒンドゥー教の寺院である。南北軸に沿って 5 つのゴープラと呼ばれる塔門が配列され、標高の高い順に第一～第五ゴープラと呼ばれている。本研究で対象とした第三ゴープラには、塔門の東西両側に宮殿が配置されているが、本来左右対称に建立された東西の宮殿における石積構造物の変状は大きく異なる。すなわち、西宮殿においては、基壇の西側部分は直接岩盤に支持されており、変状は小さいが、岩盤から離れる境界付近南面側で大きく基壇は湾曲し沈下し、上部の石積の倒壊が見られる。一方、東宮殿では、東西両端部コーナーに小さな落ち込みがみられるが、基壇は全体的にはレベルが保持されている。今後、今後必要とされる修復・補強の具体的な方法の提案のためには、変状メカニズムの把握および要因の特定を含めて検討する必要がある。

3. 3D レーザースキャナを用いた石積の計測

本研究では、東西宮殿の石積の変状の把握およびその進行の程度を調べるため、2016 年 8 月および 2017 年 8 月に 3 次元レーザー計測により取得した点群データを用いて差分解析を実施し、特定の断面において比較を行った。なお、点群データの重ね合わせおよび差分解析には Cloud Compare²⁾を用い、点群の重ね合わせは ICP アルゴリズム³⁾を用いた。紙面の都合上、西宮殿の差分解析結果を示す（図-1 参照）。本図より、目地部で変位が発生しているように見えるが、これはレーザーが鋭角に照射された（あるいは照射できていない）ため、レーザー点群が疎になっているためである。図-2 に石積が崩壊している部分の断面 b における石積の形状の比較および高さ 4.0～4.1m で拡大したものを示す。本図より、石積崩壊部分で新たな変位の進行は見られない。

4. 石積の変状メカニズム解明のための地盤調査

本研究では、東西宮殿の直下の地盤の違い（特に、基礎となる岩盤までの深さ）に着目し、東西宮殿の周辺で水準測量および計 37 箇所簡易貫入試験を実施し、N 値の分布を調べた（図-3 参照）。図-4a、b に東西宮殿の南側典型的な N 値の分布をそれぞれ示す。西宮殿においては、

基盤となる岩盤は比較的浅い0.5~1.0mに位置し、その上は N 値 5 程度の柔らかい表層土（風化土と推測される）で覆われている。また、東宮殿においては、2.0m 以深に岩盤があり、N 値が 5 程度の柔らかい層と 10 以上の固い層の互層構造になっている。また、西宮殿の大きな変状が見られる付近では、局所的に極端に N 値が小さい箇所が見られ、水みちや空洞が形成されているものと思われる。

5. まとめと今後の課題

簡易貫入試験の結果が示すとおり、西宮殿においては基盤となる岩盤までの深さが浅く、浸透した雨水が不透水性の基盤に到達する速度が速く、容易に地下水位が上昇することが考えられ、すべり面付近の有効応力の低下による表層土のすべりや水みちや空洞の形成に大きく関わっているものと思われる。表層土の不同沈下およびすべりが上部の石積建造物の崩壊を引き起こしたと考えられる。今後、同様に 3 次元レーザー計測により最新の点群データを取得し、継続して分析を行う必要がある。また、地質構造を詳細に調べるための物理探査やボーリング調査を実施するとともに、各地点より土試料を採取し、各種土質試験を実施する必要がある。

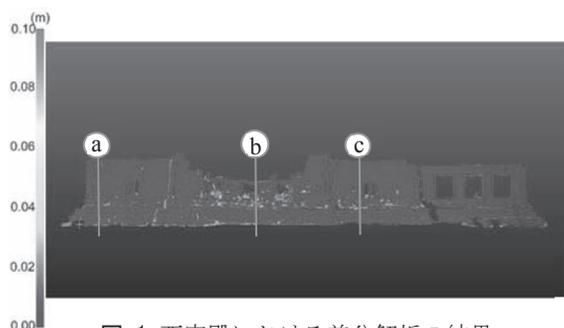


図-1 西宮殿における差分解析の結果

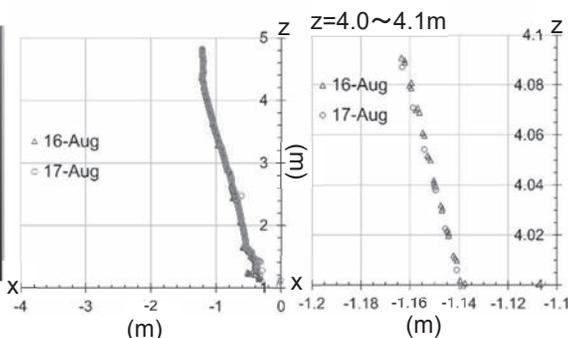


図-2 西宮殿の計測ラインにおける点群データの比較

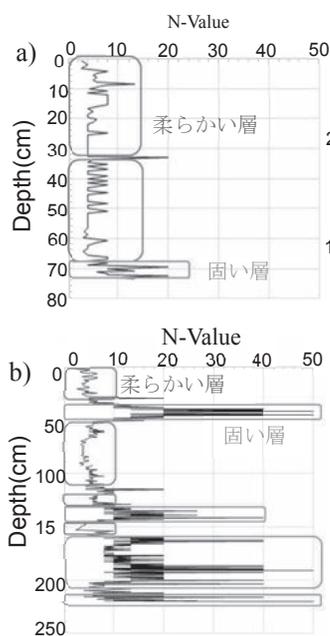


図-4 N 値の深度方向の分布
a) 西宮殿 b) 東宮殿

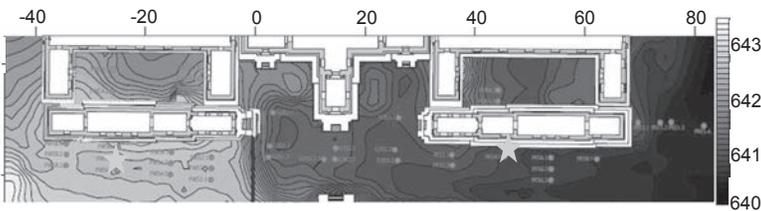


図-3 第三ゴープラ付近の標高分布および簡易貫入試験実施箇所

引用 参考文献

- 1) JASA. ANNUAL TECHNICAL REPORT ON THE SURVEY OF ANKOR MONUMENT 2014-2015, 7.5 Geotechnical Study in Preah Vihear, 2016, pp.214-222.
- 2) Cloud Compare, user manual <http://www.danielgm.net/cc/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf> (2018年1月15日現在)
- 3) Besl, P. J. and McKay, N. D. A method for registration of 3-d shapes. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992; 14(2): 239-256

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

智恩寺紙本金地著色天橋立図屏風の非破壊界面調査

Application of Terahertz wave imaging technique for surveying of surface layer structure of the Japanese byobu painting

○金旻貞（奈良文化財研究所）、高妻洋成（同左）

宇都宮正紀（株式会社修美）、田畔 徳一（同左）、大野恭子（同左）

○Minjung Kim（Nara National Research Institute for Cultural Properties*1）、Yohsei Kohdzuma（*1）、
Masaki Utsunomiya（Shubi Co.,Ltd*2）、Tokuichi Taguro（*2）、Kyoko Ohno（*2）

1. はじめに

智恩寺が所蔵する紙本金地著色天橋立図は、智恩寺を丸く描いた島に配し、天橋立の松並木の中を大勢の武士や町人が往来し、人物の衣装が詳しく描かれている作品である。江戸時代に描かれたものとして、現状は六曲屏風に仕立てられている。本紙は常に空気にさらされるため、汚れや緊張状態で温湿度の変化に伴う伸縮の影響を受けやすく、さらに画面の下は浸水による被害を受けていた。本格修理が決まり、本紙は修理設計のため、木製格子から取り外されていた。修理前においては、テラヘルツ波イメージングによりその彩色層構造を診断すること、修理後においては、修理の評価手法のひとつとしてのテラヘルツ波イメージングの応用性を確認することを目的に調査をおこなった。

2. 調査方法

内部構造調査としてテラヘルツ波イメージングを適用した。装置にはパイオニア製ポータブルテラヘルツスキャナを用いた。テラヘルツ波イメージング装置の深さ方向の空気中での分解能は $180\mu\text{m}$ ~ $200\mu\text{m}$ である。調査対象は、6曲のうち、2曲（A資料およびB資料）を選別した。また、パルス光源と検出器をユニットとしてX-Yステージ上を動かし、1回の測定範囲を $220\text{mm}\times 245\text{mm}$ とし、1曲あたり6分割した画像を得た。それぞれ6つの画像に関しては2mmピッチで測定をおこなった。

3. 結果と考察

調査の流れとしては、従来の内部調査であるX線透過撮影画像とテラヘルツ波イメージング画像の比較検討し、次いで可視画像とテラヘルツ波イメージング画像の比較検討、最後に、テラヘルツ波イメージング画像を用いて確認できる欠陥部位について、修理前後の画像の比較検討をおこない、彩色層の構造における安全性の診断をおこなった。

テラヘルツ波パルスを走査すると、屈折率の異なる物質の界面で発生する反射波をエコーとして観測される。テラヘルツ波イメージング結果（全画像）をみると、白色から黒色までコントラストの差で材料から反射量の違いが反映されている。このような反射量の違いから以下の3つ

のことについて推測できる。

一つは、異なる材料が用いられている場合である。もう一つは、層間の空気層及び空隙が存在する場合である。内部の空気層が存在する場合、テラヘルツ波の反射信号に遅延が生じてしまうため、空気層または空隙が大きいほど、反射信号の遅延が長くなる。これを利用してパルス信号の位置から亀裂、剥離などの情報を得ることが可能となる。最後は、彩色層の層厚の違い、すなわち塗り重ねの場合である。同じ材料であればテラヘルツ波の減衰量は層の厚さが増すほどに増大していく。異なる彩色が層状に塗り重ねられている場合は、本来一つ一つの色料が示す明度よりもさらに大きな明度を示すため、得られたテラヘルツ分光イメージから、反射率の相対的な大小により物質を推定することができる。以上のことから、本調査に用いたテラヘルツ波イメージングでは材料の定性までは難しいものの、異なる材料を用いた箇所の把握または、亀裂、剥落および彩色層が平らに塗られていないことなどを明瞭に観察できるといえる。

従って、同資料を修理前と修理後といった条件でテラヘルツ波イメージングを用いて走査を行った結果、補充や修復の痕跡は、断面情報より、周波数信号（time domain spectrum）のパルス信号のピーク数の変化から確認できた。その他にも彩色層については大きな劣化などは見られなかったが、その下層の反射信号が大きくずれている部分が計測された。

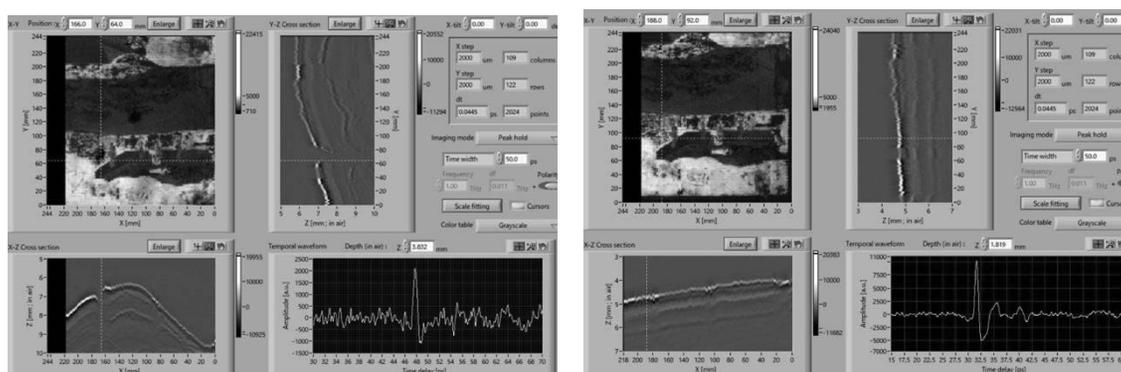


図1 テラヘルツ波イメージング画像_修理前(左)、修理後(右)

4. まとめ

テラヘルツ波イメージングを用いたことで彩色文化財の構造内で起きる剥落、剥離、空隙などのような劣化パターンが確認できるとともに、損傷具合の分布図からはうち側より外側、すなわち屏風を使う時の物理的な力がかかるところに集中的に表れていることが確認でき、修理後の彩色層構造の安全性について確認する手法として利用できることが明らかとなった。

課題としては、修理前の多くの資料は、その表面状態の凹凸がおおきいため、反射信号が弱くなるだけでなく、補正ができないほどずれてしまい、データ解析に誤差が生じる可能性もある。今後はこのような面について調査方法の工夫、改善をおこなう予定である。

智恩寺におかれましては、本研究に対して深いご理解とご協力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。本研究の一部は、科学研究費 若手研究 (B) 彩色文化財の THz Imaging 及び μ Focus X線 CT を用いた非破壊界面調査 により行ったものである。

露出展示遺構の劣化に及ぼす硫酸カルシウムの影響—新池埴輪製作遺跡 18 号埴輪窯における温熱環境と硫酸カルシウムの挙動—

Effects of calcium sulfate on the deterioration of an exposed remain. — The thermal environment inside the shelter and the behavior of calcium sulfate in open climbing kiln. —

○藤井佐由里(京都大学)、桐山京子(同左)、脇谷草一郎(奈良文化財研究所)、肥塚隆保(同左)、高妻洋成(同左)

○Sayuri Fujii, Kyoko Kiriya, (Kyoto University), Soichiro Wakiya, Takayasu Koezuka and Yohsei Kohdzuma, (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

はじめに 大阪府高槻市所在の新池埴輪製作遺跡 18 号埴輪窯では塩害による遺構の破壊が顕著である。18 号埴輪窯では硫酸ナトリウムと硫酸カルシウムの 2 種類の硫酸塩が確認されている¹⁾。本研究では、保護棟内の温熱環境と硫酸カルシウムの析出の関係を把握するため、環境の実測調査をおこなった。また、遺構周辺の環境条件の違いが硫酸カルシウムの析出に与える影響を検討するため、実験室において石材試料を用いた硫酸カルシウムの析出実験をおこなった。

1. 現地調査

1.1. 調査方法 遺構内での硫酸カルシウムの分布と年間の析出量の増減を把握するため、遺構の目視観察と X 線回折分析による塩の同定および定点撮影をおこなった。また、遺構の含水状態と硫酸カルシウムの分布との関係を検討するため、赤外線水分計(ケット科学研究所社製, KJT-100)を用いて遺構法面の赤外線吸光度の測定をおこない、含水率分布を測定した。

1.2. 結果と考察 遺構上部法面の赤外線吸光度と硫酸カルシウムの分布を図 1 に示す。図 1 より、遺構上部法面において含水状態が高く、凸部や埴輪片および粘土層に包含された礫の周辺など、周囲に比べて相対的に透水性が高いと考えられる箇所や、積算水分蒸発量が多いと考えられる箇所に硫酸カルシウムが分布する傾向が示された。既報¹⁾より、遺構上部法面においては、表面近傍まで高含水状態であり、層境界から雨水などの流入があることが確認されている。加えて、開館時の換気や照明からの熱の供給によって遺構表面からの水分蒸発があると考えられる。以上のことから、遺構が高含水状態になることで硫酸イオンとカルシウムイオンの両イオンが表面近傍まで移動し、換気や照明からの熱の供給による遺構表面の水分蒸発に伴い硫酸カルシウムが析出したものと考えられる。

2. 室内実験

表 1 実験条件

2.1. 実験目的と実験方法 現地調査の結果から、遺構周辺の環境条件の違いが硫酸カルシウムの析出に与える影響を検討するため、異なる湿度条件下での硫酸カルシウムの析出実験をおこなった。実験の条件を表 1 に示す。実験には、阿蘇溶結凝灰岩の円柱試料(直径 5cm, 高さ 10cm)を使用した。試料中の鉛直方向での塩の移動を把握するため、エポキシ樹脂で試料側面を被覆し、試料の下端から 2cm の位置に水面を維持した状態で 6mM の硫酸カルシウム溶液を供給した。実験期間中は試料表面における塩類の析出を確認するため、試料の定点撮影をおこなった。また、試料内での塩の鉛直分布を把握するため、実験終了後、直ちに試料を 2cm 毎に乾式で切断し、それぞれの試料を蒸留水 800ml に浸漬し、イオンクロマトグラフィ(DIONEX 製 ICS-1000)を用いて濾液中のカルシウムイオンの定量分析をおこなった。

試料 No.	溶液	温度 [°C]	相対湿度 [%]	期間 [日]
1	CaSO ₄ 6mM	20	95	20
2	蒸留水		95	
3	CaSO ₄ 6mM		60	
4	蒸留水		60	

2.2. 結果と考察 石材試料 1g が含む塩の鉛直分布を図 2 に示す。図 2 より、RH60%では RH95%と比較して多量の塩が試料上部に集中して分布することが示された。また、定点撮影の結果より、RH95%と比較して RH60%では試料表面における塩の析出量が多かった。これらの結果から、RH60%においては、水分蒸発の卓越する試料上部へ移流によるイオンの移動と濃縮が起こることで試料表面での塩の析出に至ったものと考えられる。一方、RH95%においては、試料からの水分蒸発速度が RH60%と比較して緩慢であるため、試料上部での塩の集積が少なく、試料表面での塩の析出が確認されなかったものと考えられる。

実験結果より、遺構周辺の湿度条件を変化させた場合の遺構の含水状態の模式図を図 3 に示

す。一般に、共存する塩類の影響を無視した場合、硫酸カルシウムの 20°Cにおける平衡相対湿度は 99.96%とされ、これを周囲の相対湿度が下回った際に析出する。図 3-A より、現在、硫酸カルシウムの析出が確認されている遺構上部法面では、遺構表面近傍まで高含水状態であるため、遺構周辺を低湿度環境にした場合 (①)、遺構表面における硫酸カルシウムの析出量の増加が予測される。一方、遺構周辺を高湿度環境にした場合 (②)、遺構表面からの水分蒸発が抑えられ、硫酸カルシウムの析出を抑制する環境に移行すると考えられる。また、現地では冬期の硫酸ナトリウムの析出による遺構の粉状化も確認されており、その抑制に対しては、冬期に保護棟内の換気を抑制して保護棟内の気温および相対湿度の低下を抑制することが効果的であると示されている (Kiryama et al., 2017)。したがって、高湿度環境への移行は硫酸カルシウムだけではなく、硫酸ナトリウムによる遺構の劣化の抑制に対しても有効であると考えられる。

また、図 3-B より、これまで硫酸カルシウムの析出が確認されていなかった遺構下部表面においては、遺構周辺を低湿度環境にした場合 (①)、硫酸カルシウムの析出が遺構の深部で起こると考えられる。その一方で、高湿度環境にした場合 (②)、遺構表面が高含水状態になることで遺構表面への硫酸カルシウムの移動と表面での濃縮が起こり、これまで確認されてこなかった遺構下部表面において新たな硫酸カルシウムの析出が予測される。

以上のことから、遺構周辺を低湿度環境にした場合、硫酸カルシウムの析出箇所の分布に変化はないものの、既にその析出が確認されている箇所では析出量が増加すると推察される。また、遺構表面でその析出が認められない箇所においては、深部で長期にわたってその析出が続いた場合に、硫酸カルシウムが遺構におよぼす影響について検討の余地がある。一方、高湿度環境にした場合、現状で硫酸カルシウムの析出が認められていない箇所新たにそれらが析出し、遺構内での硫酸カルシウム析出箇所の分布が変化すると予測される。今後は、遺構深部で析出した硫酸カルシウムが遺構の劣化に与える影響について検討をおこなう。

【謝辞】現地調査をおこなうにあたり高槻市教育委員会に多大なるご協力を賜りました。厚く御礼申し上げます。

【参考文献】1) 桐山京子, 藤井佐由里, 脇谷草一郎, 肥塚隆保, 高妻洋成, 2017, 新池埴輪製作遺跡 18 号埴輪窯における保護棟内の温熱環境が硫酸塩の挙動に与える影響, 日本文化財科学会第 34 回大会研究要旨集, 日本文化財科学会, 242-243
2) 高槻市教育委員会, 1995, ハニワ工場公園, 新池埴輪製作遺跡整備事業報告書, 93-95
3) Kyoko Kiriyama, Soichiro Wakiya, Nobumitsu Takatori, Daisuke Ogura, Masaru Abuku and Yohsei Kohdzuma, 2017, Environmental control for mitigating salt deterioration by sodium sulfate on Motomachi Stone Buddha in Oita prefecture, Japan, the proceedings of 4th International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures, 118-124

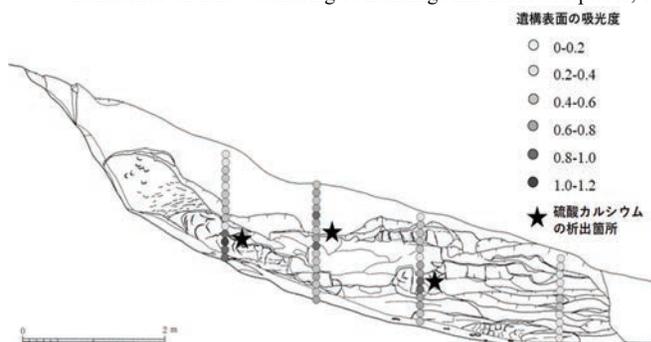


図 1 遺構上部法面の赤外線吸光度と硫酸カルシウムの分布 (高槻市教育委員会 1995²⁾ に筆者が加筆)

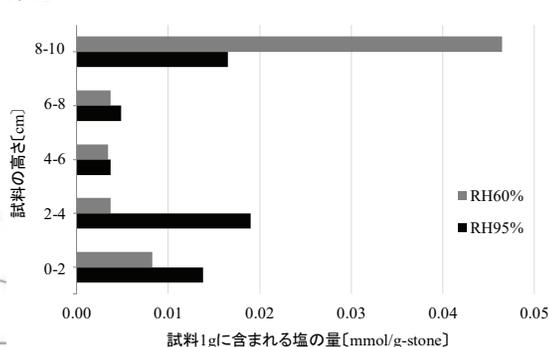


図 2 試料中の塩の鉛直分布

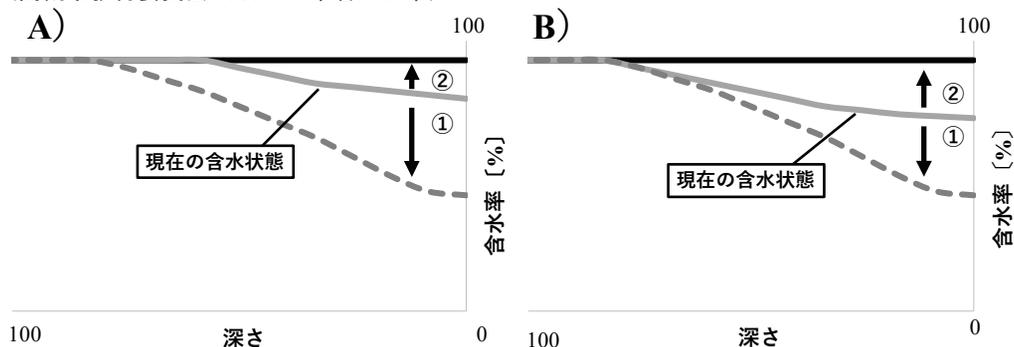


図 3 遺構の含水状態の模式図 (A)遺構上部法面(既に硫酸カルシウムの析出が認められる箇所)、B)遺構下部表面(現状で硫酸カルシウムの析出が認められない箇所)、①低湿度環境の場合、②高湿度環境の場合)

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

超微量硫黄同位体分析法の開発と考古学資料分析への応用

Development of ultra-trace analytical method for sulfur isotope and application for the analysis of archeological materials

○南 武志 (近畿大学)、高橋和也 (理研)

○Takeshi Minami (Kindai University), Kazuya Takahashi (RIKEN)

1. 概要

朱の硫黄同位体比は主な辰砂鉱山産地で異なっていることを明らかにし、墳墓より出土した朱の産地推定に硫黄同位体分析法が有効な手法であることを発表している。当初、硫黄同位体分析法は Yanagisawa & Sakai の方法¹⁾を改良して行っていた。しかし、本法ではおよそ 50~100 mg の朱を分析に必要としたことから、多量の朱が分析可能な墳墓に限られていた。そこで、さらに改良を加え 5~10 mg の朱で分析が可能となり²⁾、多くの墳墓出土朱を対象とすることができた。それでも土器や壁画などの朱は削り取る必要があり、分析をあきらめざるを得ない場合が多々生じた。そこで、さらに感度のよい方法の開発を目指し、5~50 µg の朱で分析に成功した。本法は、セロテープに接着したわずかな朱で分析可能であり、土器や壁画に損傷を与えずにサンプリングができる。さらにわずか 1 粒の朱で分析可能なために、異なる箇所からサンプリングすることで異なる産地の朱が混合されたかを推測することも可能と考えている。

2. はじめに

鮮やかな赤色を呈する朱は、遺体や棺床に散布されたり、布に塗り込められたり、壁や棺に塗布されたりと、弥生時代中期から古墳時代の多くの墳墓に用いられていた。さらに数十 kg の朱が 1 つの墳墓に用いられたケースが西日本各地でみられることから、当時の権力者が墳墓に朱を用いるということに特殊な意味づけを持っていた可能性が示唆される。古代における朱の産地に中国（貴州省と陝西省）と日本（三重県丹生鉱山、奈良県大和水銀鉱山、徳島県水井鉱山）を考えている。その理由として、多量の朱（辰砂）が地表付近に存在していたこと、古文書などで古くから産地として知られていたこと、さらに朱を精製したと思われる遺跡が近くに存在していること、などを考えている。これらの産地から採取した朱の硫黄同位体分析を行ったところ、日本産と中国産では全く異なる値が得られ、さらに日本産の中で丹生鉱山産と大和水銀鉱山産あるいは水井鉱山産で有意な差が得られたことから、朱の硫黄同位体分析が産地推定に有効な手法であると考えに至った。そこで、墳墓から出土した朱の硫黄同位体比を調べたところ、中国産と思われる値や日本産と考えられる値を示す朱が観察されたことから、硫黄同位体分析が朱の産地推定に有効であると考えている。しかしながら、多くの墳墓において採取可能な朱の量はわずかな場合が多く、関係者の期待を裏切らざるを得なかった。そこで、微量分析法の開発にとりかかり、今回非常に微量の朱で分析できる硫黄同位体分析手法を開発したので報告する。

3. 方法

従来、朱を溶解して硫酸バリウムの結晶を作成し、この一部を元素分析装置に導入することで亜硫酸ガスを得、安定同位元素分析用質量分析 (MS) 装置で分析していた。この元素分析装置と MS 装置の間に微量ガス用濃縮前処理装置 (TraceGas, ジャスコインターナショナル (株), 東京) を追加したことで、朱粒子を直接元素分析装置に導入し、TraceGas 装置で水銀、水、二酸化炭素を除去し、さらに亜硫酸ガス (SO₂) を液体窒素で捕捉濃縮、フォーカシングという操作を行った。これにより、濃縮した SO₂ の損失を極小として MS 装置に導入し、硫黄同位体分析を行った。

4. 結果および考察

測定試料の微量化に 2 つの因子が関与している。1 つ目は、朱そのものを装置に導入することで試料のロスを省いたことである。2 つ目は、従来法では元素分析装置で SO₂ 吸着カラムを使用し、そこに SO₂ を吸着させてからヘリウムガスで追い出して MS 装置で分析していたが、この方法だと一部の SO₂ しか MS 装置で分析できていなかった。改良法では SO₂ トラップ部分を設け、ヘリウムガスの流速を落とすことによりトラップされた SO₂ の損失を出来るだけ少なくした状態で MS 装置に導入できた。その結果、5~50 μg の朱で硫黄同位体分析が可能となった。しかしながら、超微量サンプリングが可能かという問題が発生した。そこで朱をセロテープに粘着させてその一部を切り取り分析試料とする方法を採用した。本法を用いて標準試料を分析したところ、図 1 に示すように非常によい相関関係が得られた。本法の長所として、超微量分析が可能であるというだけでなく、土器や壁にごくわずか付着している朱であっても、セロテープをかく押し当てるだけで対象物を傷つけることなく試料が得られることであり、従来分析できなかった貴重な考古学資料であっても十分に分析対象物と成り得る。また、1 粒の朱で分析可能なことから、複数箇所の朱を分析することで産地の異なる朱が混合されたかどうか、推測することが可能と考えている。現在、墳墓出土朱を用いて硫黄同位体比を本法で分析している。

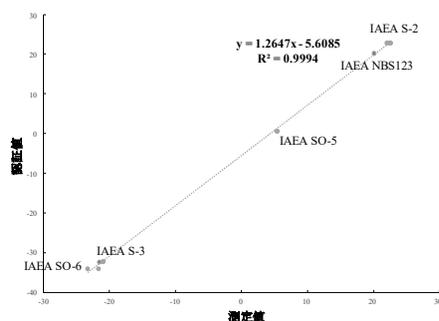


図 1 硫黄同位体標準物質を用いた超微量分析法による測定値と認証値の相関性

1) Yanagisawa, F., Sakai, H., Anal. Chem., 1983, 55: 985-987.

2) Kawano, M., Tsutsui, A., Minami, T., Ann. Rep. Res. Inst. for Sci. & Technol., Kindai Univ., 2015, 27: 49-54.

5. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 26242016 の助成を受けたものです。ここに深謝いたします。

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

会昌開元の鉛同位体比分析

Provenance study on Chinese kāiyuán coins having toponym on the back side using lead isotope analysis

○齋藤 努（国立歴史民俗博物館）、高橋照彦（大阪大学）

○Tsutomu SAITO (National Museum of Japanese History), Teruhiko TAKAHASHI (Osaka University)

1. はじめに

唐代に発行された開元通寶のうち、会昌5年（845年）に鑄造されたものを会昌開元とよぶ。これらは、武宗による仏教弾圧の際に、仏像や鐘を原料として作られたと伝えられ、裏面に鑄造地を示す文字が鑄出されている。われわれは、日本銀行貨幣博物館が所蔵する会昌開元22種、125点の鉛同位体比分析を行い、背文による原料の産地の違いを調べた。

2. 資料と鑄造地

表1に分析を行った資料と背文、鑄造地を、図1に会昌開元の背文の例（背丹）を示した。

表1 分析した会昌開元の背文と鑄造地

背文	鑄造時の地名	現在の地名	地域
平	河北道平州	河北省秦皇島市	華北
兗	河南道兗州	山東省済寧市	
洛	河南道洛州(洛陽)	河南省洛陽市	
丹	関内道丹州	陝西省延安市	
京	関内道京兆府	陝西省西安市一帯	
藍	関内道京兆府藍田県	陝西省西安市藍田県	
興	山南西道興元府	陝西省漢中市	
梁	山南西道梁州	四川省・陝西省漢中地方	華北・華中
昌	淮南道揚州	江蘇省揚州市	華中
潤	江南東道潤州	江蘇省鎮江市	
宣	江南西道宣州	安徽省宣城市宣州区	
越	江南東道越州	浙江省紹興市	
襄	山南東道襄州	湖北省襄陽市一帯	
荊	山南東道江陵府(荊州)	湖北省荊州市	
鄂	江南西道鄂州	湖北省武漢市・鄂州市	
洪	江南西道洪州	江西省南昌市	
潭	江南西道潭州	湖南省長沙市	
益	劍南道益州	四川省成都市	
梓	劍南道梓州	四川省綿陽市	
福	嶺南道福州	福建省福州市	華南
廣	嶺南道広州	広東省広州市	
桂	嶺南道桂州	広西チワン族自治区桂林市	

背梁（鑄造地：山南西道梁州）は、現代の四川省と陝西省漢中地方にまたがる一帯で鑄造されたもので、地域としては華北と華中の境にあたる。

中国への仏教伝来は紀元前後で、当初は經典の翻譯を中心として受け入れられていった。現存する最古の年銘の仏像は建武4（388）年作であるが、北魏、北周に寺院の破壊などといった廃仏が行われ、多くの仏像が失われた。ここで分析対象とした会昌開元は、唐代に行われた廃仏の時期に鑄造されたものである。



図1
会昌開元の背文
の例（背丹）

3. 分析結果

図2～5に、特徴的な結果をa式図で示す。各図で示されている2つの不定形領域は、右上が華北、左下が華中～華南にある鉱山（馬淵・平尾、1987）の鉛同位体比分布範囲である。

図2は華中の山南東道襄州（湖北省襄陽市一帯）の背裏で華中～華南の領域内におさまる。

図3は華北の河南道兗州（山東省済寧市）の背兗である。南寄り地域のためか、4点が華中～華南の範囲とそれに隣接する数値を示す。2点はD領域のラインに乗る。これらは、山東省内の花崗岩帯の影響による高放射性起源鉛とみられる。地理的位置からみて、弥生時代に日本へ輸入された朝鮮半島製青銅資料の原料について考察する上で、注意すべき結果である。

図4は河北道平州（河北省秦皇島市）の背平である。ここは河北省の北東部にあり、遼寧省に近いが、L領域のラインには乗らず、華北と華中～華南に数値が広がっている。その一方で、関内道丹州（陝西省延安市）の背丹（図5）はL領域のラインに乗った。しかし、この鑄造地は、こうしたデータを示す鉱山や出土青銅資料（馬淵ほか、1982）の地域（遼寧省、河北省南部、山東省、河南省東部）からは離れた場所にある。

以上からみると、実態は単純でなく、背文によって鉛同位体比の分布状況に違いがあることから、金属資源や仏像を含む青銅製品の流通には地域性が存在しているようである。

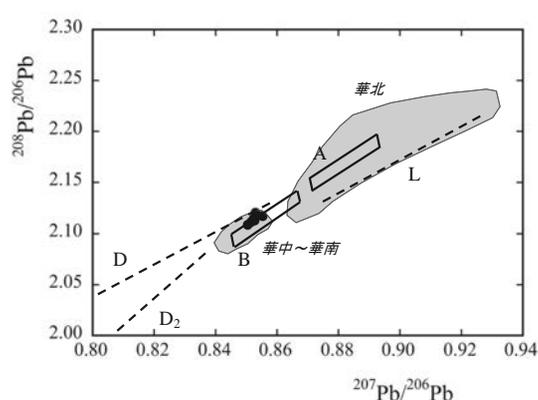


図2 背裏の鉛同位体比分析結果

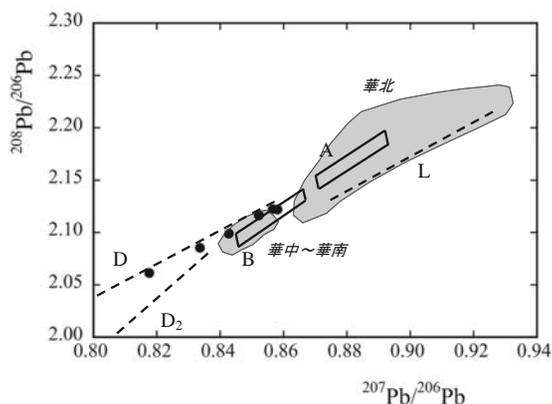


図3 背兗の鉛同位体比分析結果

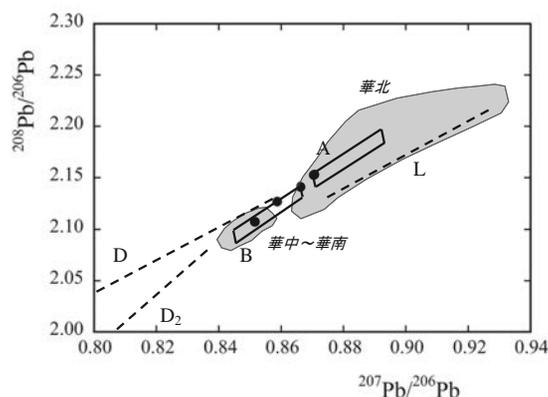


図4 背平の鉛同位体比分析結果

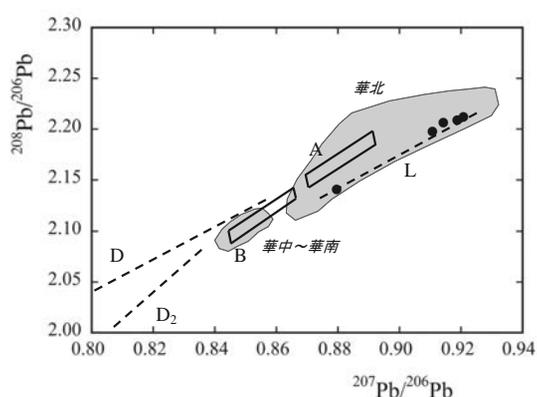


図5 背丹の鉛同位体比分析結果

(※ 謝辞 分析用に資料をご提供いただいた日本銀行貨幣博物館に感謝いたします)

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

XRF 法による中国地域の安山岩製石器の元素接合法による

非破壊分析産地同定法について

Provenance study of the andesite stone tools found in the Chugoku area by XRF analysis

○藁科哲男（遺物材料研究所）、田村朋美（奈良文化財研究所）、朴洪國（UIDUK 大学校）、
金奎虎（公州大学校）

○WARASHINA Tetsuo, TAMURA Tomomi, PARK Hong-Kook, KIM Gyu-Ho

1. 目的と方法

出土遺物の産地同定には非破壊分析が要求される。遺物は全て表面が風化しているが、同定に使用する原石は新鮮面であり、遺物に相当する人工的な風化を行う手段はまだ開発されていないため、遺物の風化を無視して産地同定をおこなってきた。しかし、安山岩製遺物では風化の影響が大きく、定量的同定のためのホテリング T 2 乗検定が信頼限界の 5% に達しない場合が多かった。そこで、原石を人工的に風化させることが出来ないかわりに、同定したい破壊不可の遺物と同じ産地で同じ風化度の破壊可能な遺物を探し、これを破壊して、これまでに調査した合計 393 個の原石・遺物群と比較して、ホテリング T 2 乗検定で信頼限定 5% に達した産地を推定した。

2. 結果と考察

この方法で中国地域および瀬戸内地域の 23 遺跡から出土した破壊可能な安山岩製遺物 400 個以上について分析を行った結果、金山地域、五色台地域、冠山地域、二上山地域、多久地域の原石の風化に関する情報が得られ、それぞれに対応する風化遺物群を作成した（表 1）。これらの産地の原石を使用した遺物であれば、風化遺物群との比較により、風化表面での非破壊産地同定の可能性が示された。

表 1-1 安山岩の風化面分析による遺物群と新鮮面分析における産地推定結果①

1: 磯の森貝塚(縄文時代前期中葉) 岡山県倉敷市粒江東粒江	
新鮮面分析	金山東(4), 金山西・城山(1), *久見(1), *不明(1)
風化面分析	石灰華汚染?
2: 舟津原貝塚(縄文時代中期～晩期) 岡山県倉敷市粒江津原	
新鮮面分析	金山東(11), 金山西・城山(1)
風化面分析	舟津原風化金山東群, 舟津原風化金山西群
3: 彦崎貝塚(縄文時代前期～後期) 岡山県児島郡灘崎町彦崎	
新鮮面分析	金山東(24)
風化面分析	彦崎風化金山東群
4: 黄島貝塚(縄文時代前期中葉(押型文)) 岡山県瀬戸内市牛窓町黄島	
新鮮面分析	城山(3), 白峰(6), 国分寺(1), 金山東(1)
風化面分析	黄島風化白峰群, 黄島風化金山西群

表 1-2 安山岩の風化面分析による遺物群と新鮮面分析における産地推定結果②

5: 舟元貝塚(縄文時代中期) 岡山県倉敷市粒江舟元	
新鮮面分析	金山東(3),松ノ木(1),舟元新鮮面剥片5群(1)
風化面分析	舟元風化金山東群,舟元風化松ノ木群,舟元風化剥片5群
6: 中津貝塚(縄文時代中期) 岡山県倉敷市玉島黒崎屋守字中津	
新鮮面分析	金山東(84),金山西・城山(4),松ノ木(7),中津新鮮面剥片19群,中津新鮮面剥片22群
風化面分析	中津風化金山東群,中津風化松ノ木群,中津風化金山西群,中津風化剥片19群,中津風化剥片22群
7: 津雲貝塚(縄文時代後期・晩期) 岡山県笠岡市西大島大字名切小字津雲	
新鮮面分析	金山東(55),金山西・城山(4),津雲新鮮面剥片13群,津雲新鮮面剥片36群,不明(2)
風化面分析	津雲風化金山東群,津雲風化金山西群,津雲風化剥片13群,津雲風化剥片36群
8: 南草木貝塚(縄文時代前期～後期) 香川県三豊郡仁尾町仁尾南草木	
新鮮面分析	金山東(16),白峰(2),国分寺(1),南草木新鮮面剥片6群(1)
風化面分析	南草木風化金山東群,南草木風化白峰群,南草木風化連光寺群,南草木風化金山東群
9: 紫雲出山遺跡(弥生時代中期) 香川県三豊郡詫間町荘内大浜	
新鮮面分析	金山東(2),紫雲出山新鮮面剥片1群
風化面分析	紫雲出山風化金山東群,紫雲出山風化剥片1群
10: 建釜遺跡(縄文時代早期中葉(高山式系押型文)) 広島県比婆郡高野町建釜	
新鮮面分析	金山東(11),金山西・城山(1),松ノ木(1),*久見(2)
風化面分析	建釜風化金山東群,建釜風化金山西群,建釜風化松ノ木群
11: 越峠遺跡(縄文時代後期) 広島県佐伯郡佐伯町友和	
新鮮面分析	冠山東(1),金山東(6),飯山(17),越峠新鮮面剥片5群(1),越峠新鮮面剥片18群(1)
風化面分析	越峠風化飯山群,越峠風化金山東群,越峠風化冠山東群,越峠風化剥片5群,越峠風化剥片18群
12: 比治山貝塚(縄文時代後期・晩期) 広島市比治山本町	
新鮮面分析	金山東(5)
風化面分析	比治山風化金山東群
13: 貝持貝塚(縄文時代晩期) 広島県三原市小坂町貝持	
新鮮面分析	金山東(9),金山西・城山(1),松ノ木(1)
風化面分析	貝持風化金山東群,貝持風化金山西群,貝持風化松ノ木群
14: 馬取東貝塚(縄文時代中期・後期) 広島県福山市柳津町馬取	
新鮮面分析	金山東(7),金山西・城山(3)
風化面分析	馬取東風化金山東群,馬取東風化金山西群
15: 大浜遺跡(縄文時代晩期) 広島県尾道市大浜町	
新鮮面分析	金山東(8),松ノ木(2)
風化面分析	大浜風化金山東群,大浜風化松ノ木群
16: 神谷川遺跡(縄文時代晩期) 広島県芦品群新町町神谷川	
新鮮面分析	金山東(5),金山西・城山(4),松ノ木(1)
風化面分析	神谷川風化金山東群,神谷川風化金山西群,神谷川風化松ノ木群
17: 広大植物園内遺跡(縄文時代早期～晩期) 広島県佐伯郡宮島町	
新鮮面分析	金山東(33),金山西・城山(7),飯山(4),冠山東(5),冠高原(1),*腰岳(1),*不明(1)
風化面分析	広大植物風化金山東群,広大植物風化金山西群,広大植物風化飯山群,広大植物風化冠山高原群
18: 月崎遺跡(縄文時代前期) 山口県宇部市東岐波	
新鮮面分析	飯山(1),不明(1),稻積(1),月崎新鮮面剥片2群,*腰岳(1)
風化面分析	月崎風化飯山群,月崎風化剥片2群,月崎風化稻積群
19: 月崎遺跡(縄文時代後期) 山口県宇部市東岐波	
新鮮面分析	金山東(4),金山西・城山(2),冠山東(1),多久(1),月崎新鮮面剥片3群,月崎新鮮面剥片7群,月崎新鮮面剥片8群,*腰岳(4)
風化面分析	月崎風化金山東群,月崎風化金山西群,月崎風化冠山東群,月崎風化剥片3群,月崎風化剥片7群,月崎風化剥片8群
20: 神田遺跡(縄文時代前期) 山口県下関市大字富任字神田	
新鮮面分析	中町第1群・古里第3群(1),*不明(2)
風化面分析	
21: 亀山遺跡(弥生時代前期・中期) 広島県深安郡神辺町道上	
新鮮面分析	金山東(1)
風化面分析	亀山風化金山東群
22: 大田貝塚(縄文時代中期) 広島県尾道市高須町出口字竹之端	
新鮮面分析	金山東(3),金山西・城山(1)
風化面分析	大田風化金山東群,大田風化金山西群
23: 笛ヶ滝(縄文時代後期・晩期) 愛媛県上浮穴群久万町上野家	
新鮮面分析	金山東(2),松ノ木(1),*腰岳(1)
風化面分析	笛ヶ滝風化金山東群

*黒曜石遺物

謝辞 本資料は、1989年に広島大学考古学研究室から産地分析のためにお預かりしたものである。潮見浩先生(当時)はじめ、広島大学考古学研究室の関係者の皆様に感謝申し上げます。

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

**岡山県笠岡湾沖産大型マガキ属の AMS-14C 年代と
酸素・炭素安定同位体比**
AMS-¹⁴C Dating and Stable Isotope Ratio $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ Analysis
in Shell of *Crasostrea* sp. from Offshore of Kasaoka,
Okayama Prefecture

○富岡直人 (岡山理大 生地学部)、岩川桂大 (同)、江川達也 (同)
○Naoto TOMIOKA, NAOTO, IWAKAWA KEITA, EGAWA TATSUYA
(Faculty of Biosphere-Geosphere Science, Okayama University of Science)

はじめに

岡山県内では、児島湾内や瀬戸内海沿岸部の海底より、大型のマガキ属が出土することが知られている。これらは、周辺遺跡出土マガキ属と形態が大きく異なっている。

1. 分析資料

分析資料は、笠岡沖で漁網によって採集された大型マガキ属 *Crassostrea* sp. 左殻2点で、岡山県水産試験場が保管していた。これらは、従来岡山県内で分析されて来た遺跡産マガキ属と形態が大きく異なったことから、No. 1 の資料 (以下、本資料) について分析を実施した。

2. AMS-¹⁴C 年代測定

測定試料は、本資料で汚染度が低いと推定された左殻殻頂付近の新鮮な色調の殻質をスポットとして選択し、130 mgをダイヤモンドディスクで切除し、サンプルとした。加速器分析研究所 IAA-AMS 3MV タンデム型加速器による測定の結果、 $\delta^{13}\text{C}$ の補正がなされた Libby Age が $8600\text{yrBP} \pm 30$ 、pMC は $34.29 \pm 0.14\%$ 、暦年較正用年代は $8596 \pm 32\text{yrBP}$ で、 $\delta^{13}\text{C}$ 補正なしの年代は $8210 \pm 30\text{yrBP}$ 、pMC は $36.00 \pm 0.14\%$ 、 1σ 暦年代範囲 $9321\text{--}9190\text{calBP}$ 、 2σ 暦年代範囲 $9376\text{--}9127\text{calBP}$ となった。岡山県内で、このような沖あがりのマガキ属の年代測定を実施したのも、縄文時代早期並行であることが把握されたのも初例である。

3. 貝殻形態

殻体に5つ計測ポイントを設定し、ノギスで計測した。得られた計測値からフリーソフト PAST3 を使用した主成分分析を行い、寄与率の高かった計測値から散布図を作成し、傾向を把握した。貝殻形態の主成分分析で、現生マガキ *C. gigas* (*laperousei*)、イワガキ *C. nippona*、地質時代のアツガキ *C. gravitesta* と異なった傾向がみられ、岡山県外の遺跡で出土した大型マガキ属に類似したものがあることが把握された。

主成分分析の結果、殻高と殻長の寄与率が高かった。遺跡資料の殻体は腹縁に破損が見られやすいため分析に好ましくないと判断し、今回は破損が見られにくかった殻頂高と殻頂長の計測値を用いた散布図を作成した。笠岡湾産大型マガキ属は他の大型マガキ属資料と同じベクトル上に

プロットされ分布傾向に類似性がみられたが、地質時代のアツガキとは殻頂高/殻頂長の比率が異なった。シカメガキタイプマガキ、マガキタイプマガキなどの小型マガキ属は収斂し、イワガキやナガガキタイプマガキなどの中型マガキ属も収斂し、本資料とは明確に異なった。

4. 酸素・炭素安定同位体比分析

国立科博地学研究部環境変動史研究グループの MAT253 高精度安定同位体比質量分析計を利用して、酸素炭素安定同位体比を測定した。

酸素同位体比は海水温度と塩分濃度によって上下動するため、摂餌で数値の変化が予想される炭素安定同位体比と組み合わせ、 $\delta^{13}\text{C}/\delta^{18}\text{O}$ をグラフにプロットし検討した（以下、酸素同位体比を酸素、炭素同位体比を炭素とのみ記述して表現）。汽水に生息する現生マガキ属は、岡山市旭川下流平井生息のマガキはグラフの右下に寄り、これを A グループとした。同じく河口域に生息する筑後川河口シカメガキタイプは B とした分布域に集まった。塩分濃度がやや高い瀬戸内海の前島（岡山県瀬戸内市牛窓町）のシカメガキタイプは、グラフの右上に集まり、C グループとした。この分布には奈義町のアツガキが重なったが、やや分布は上方（炭素高め）にずれている。

本資料は、B グループとした筑後川河口シカメガキと分布が重なった。しかし、地理的にも時期的にも近い犬島貝塚マガキとは、酸素の数値がやや離れた。これは犬島貝塚と笠岡湾が隔離した環境であったこと、生息深度や場所が異なったことが影響している可能性がある。

5. 考察

本資料は、酸素同位体比での海水温の分離能は低く、水温は「やや低い」～「現代岡山旭川河口」よりやや高めといった可能性があるものの、塩分濃度との関わりもあり断言が難しい。炭素安定同位体比より推定した摂餌環境は、塩分濃度も間接的に影響すると予想されるが、大きな干潟が存在する現代の筑後川河口に近い可能性がある。今後も出土資料と現生標本での分析数を増やし、古環境推定や生業復元に利用したい。

岡山県水産試験所には貴重な試料の提供をいただいた。マガキ属の成長線形成について研究のきっかけを与えて頂いた Geoff Bailey 先生と小池裕子先生に感謝申し上げます。酸素・炭素安定同位体比分析では国立科学博物館筑波研究施設の齋藤めぐみ先生、久保田好美先生、鈴木希実先生にご指導・ご協力いただきました。

引用文献

- 飯塚祐輔 2011 「シカメガキの分布生態学的研究」『かき研究所ニュース No. 28』[一般財団法人かき研究所]: pp. 32-34
 内野透 布部淳一 関野正志 2015 「紀伊半島で初めて確認されたスミゾメガキ」『VENUS 74 巻』[日本貝類学会]: pp. 35-40
 大場忠道 小池裕子 1986 「過去の水温を知る—酸素同位体比法」『続考古学のための化学 10 章』[東京大学出版会]: pp. 151-172
 奥谷喬司 2000 「翼形亜綱・カキ目 ベッコウガキ科/イタボガキ科」『日本近海産貝類図鑑』[東海大学出版会]: pp. 924-925
 小池裕子 1984 「貝塚による古気候の復元」『人類学 その多様な発展』: pp. 36-40
 鎮西清高, 大場忠道, 小池裕子, 松島義章, 北里洋 1980 「貝塚産貝殻の酸素同位体組成の時代的変遷と先史時代の古環境」『考古学・美術史の自然科学的研究』[日本学術振興会:] pp. 103-117 富岡直人 2003 「貝殻成長線分析」『環境考古学マニュアル』[同成社]: p. 237-243
 西尾一昭 1976 「児島湾・児島内海・地下に眠る貝たち」『瀬戸内海』[瀬戸内海研究同好会]: pp. 96-101
 畠山智史, 富岡直人 2009 「金海會峴里貝塚出土 大蛤の貝殻成長線分析」『金海會峴里貝塚Ⅱ—貝塚展示館 建立を 위한 発掘調査報告書—』[(財) 三江文化財研究院] pp: 324-328

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

クメール遺跡に使用されている砂岩材の地域変化

Regional change of sandstone blocks used for the Khmer monuments

○内田悦生・杜 睿・中村勇太（早稲田大学）

○Etsuo UCHIDA・Rui DU・Yuta NAKAMURA (Waseda University)

1. はじめに

カンボジアのアンコール遺跡では、主要石材として灰色～黄褐色砂岩（以下、灰色砂岩、学術的には長石質アレナイト）が使用されている。この砂岩は、ジュラ紀末～白亜紀初期の Red Terrain 層（タイでは Phu Kradung 層と呼ばれる）に由来するものであり、カンボジアのベン・メリア遺跡、コー・ケル遺跡、大プレア・カーン遺跡、バンテアイ・チュマール遺跡およびラオスのワット・プー遺跡等でも同じ砂岩が使用されている。本研究では、上記の各遺跡やその石切り場に加え、同地層中の砂岩の帯磁率と化学組成の地域変化を調べたので、その結果を報告する。

2.各遺跡および石切り場の灰色砂岩

2.1 アンコール遺跡およびベン・メリア遺跡の灰色砂岩

灰色砂岩の化学組成に関しては建物間での違いは認められない。それに対し、帯磁率の平均値には大きな違いが認められ ($0.7\sim 9.1\times 10^{-3}$ SI 単位)、帯磁率に基づき建物の建造時代や順序を推定にすることができる。これらの遺跡の砂岩材の石切り場は、クレン山南東裾野に分布し、今までに 140 箇所以上の石切り場を見つけている。さらに、石切り場とアンコール遺跡を結ぶ運河も確認されている。



図1 インドシナ半島における灰色砂岩（Red Terrain 層）の分布と、灰色砂岩を使用したクメール遺跡の分布

2.2 コー・ケル遺跡の灰色砂岩

コー・ケル遺跡では、灰色砂岩が使用されている建物は限られているが、これらの砂岩材の化学組成には違いが見られない。また、帯磁率もほぼ同じであり、 $0.7\sim 1.3\times 10^{-3}$ SI 単位のやや低い値を示している。石切り場は、遺跡の北側を流れるセン川支流に見られる。その帯磁率は、やや低く $0.3\sim 0.7\times 10^{-3}$ SI 単位である。河

床となっているため、水による変質作用によって灰色砂岩の帯磁率が低くなった可能性が考えられる。

2.3 大プレア・カーン遺跡の灰色砂岩

大プレア・カーン（コンボン・スヴァイのプレア・カーン）では、灰色砂岩の化学組成には違いが見られないが、帯磁率に関しては高い建物（ $1.1\sim 2.0\times 10^{-3}$ SI 単位）と低い建物（ $0.3\sim 0.8\times 10^{-3}$ SI 単位）が見られる。中心部に帯磁率の高い建物が多いことから、帯磁率の高い建物が初期に建造されたと推定される。アンコール地区から大プレア・カーンに続く、東王道沿いの宿駅寺院および宿駅（ダルマサーラ）の砂岩材の帯磁率から判断して、帯磁率の高い砂岩材はクレン山から供給され、低い砂岩材は大プレア・カーン周辺の石切り場から供給されたと推定される。

2.4 バンテアイ・チュマール遺跡の灰色砂岩

バンテアイ・チュマール遺跡の灰色砂岩は、化学組成に違いはなく、帯磁率がやや高く、建物毎の平均値で $0.9\sim 2.3\times 10^{-3}$ SI 単位の値を示す。その石切り場は、タイの Ta Praya の北側にあり、帯磁率は $0.3\sim 2.1\times 10^{-3}$ SI 単位であり、ほぼ同じ範囲の値を示している。

2.5 ワット・プー遺跡の灰色砂岩

ワット・プー遺跡の灰色砂岩の帯磁率は低く、 $0.2\sim 0.3\times 10^{-3}$ SI 単位の値を示している。上記遺跡の中で最も低い値を示している。これに加え、Sr 含有量にも違いが見られ、他の遺跡の灰色砂岩と比べて低くなっている。ワット・プー遺跡の灰色砂岩は、 $80\sim 180\text{ppm}$ の Sr 含有量を示しているが、他の遺跡の灰色砂岩は、 $170\sim 250\text{ppm}$ の Sr 含有量を示しており、大きな違いが認められる。

3. Red Terrain 層の灰色砂岩

カンボジア、タイ、ヴェトナム、ラオスにかけて広く分布している Red Terrain 層中の灰色砂岩の帯磁率は、遺跡の帯磁率と良い相関が認められる。ワット・プー遺跡の灰色砂岩は低い帯磁率を示すが、同様に、周辺の地層中の灰色砂岩も低い帯磁率を示している。また、ワット・プー遺跡の灰色砂岩の Sr 含有量は低いものが多いが、その周辺の灰色砂岩やタイおよびヴェトナムの灰色砂岩も帯磁率が低い（ $0.1\sim 0.3\times 10^{-3}$ SI 単位）とともに、Sr 含有量も低くなっている。

4. 結論

アンコール遺跡およびバンテアイ・チュマール遺跡の灰色砂岩には帯磁率の高いものが多いが、他の遺跡の灰色砂岩や、アンコール遺跡およびバンテアイ・チュマール遺跡から離れた地域の Red Terrain 層中の灰色砂岩の帯磁率は低く、むしろ、帯磁率の高い灰色砂岩の方が例外的な存在である。また、Sr 含有量に関しては、多くの遺跡および地域で高い値を示しているが、低い帯磁率を示す灰色砂岩では、Sr 含有量の低いものが見られる。

2 日目
7月7日

A 会場

B 会場

C 会場

「鶺鴒を抱く女」が抱く鳥は何か？コラーゲン分析からの検討

Collagen peptide identification of bird bone fragments buried with a women corpse

○江田真毅(北海道大学)、泉 洋江(同左)、川上和人(森林総合研究所)、
沖田絵麻(土井ヶ浜遺跡・人類学ミュージアム)

○Masaki EDA, Hiroe IZUMI (Hokkaido University), Kazuto KAWAKAMI (Forestry and Forest
Products Research Institute), Ema OKITA (Doigahama Site Anthropological Museum)

1. はじめに

「鶺鴒を抱く女」は土井ヶ浜遺跡（山口県下関市豊北町・弥生時代）・1号人骨の通称である。この人骨は壮年女性のもので、その胸部からいくつかの鳥の骨が検出されたことから、鳥を抱いて埋葬されたと考えられてきた。それらの鳥骨が「ウミウの雛」と同定されたことから、同人骨は女性シャーマンの埋葬例とみなされてきた。発表者らはこれらの鳥骨を形態学的観点から再検討し、ウ科の幼鳥とみなせる骨は含まれていないことを明らかにした。しかし、すべての骨が破損していて形態的特徴の乏しい骨幹部のみが残ったものであったことから、同定を保留としていた。

質量分析による遺跡出土動物骨の分析は2010年代に急速に発展した新しい動物骨の同定法である。遺跡から出土した骨からコラーゲンタンパクを抽出し、制限酵素で切断して、アミノ酸断片の質量を調べるこの方法には、①骨中のコラーゲンタンパクが変性しにくいいため、高い分析成功率が見込まれる、②抽出試料を直接計測するため、コンタミネーションの危険性が少ない、③分析に必要な骨粉の量が約1mgと極めて少なく断片化した骨にも適用できる、などの特徴がある。これまで陸生哺乳類の同定を皮切りに、鯨類を中心とする海棲哺乳類の骨や鳥類の卵殻などを対象とした研究があり、遺跡試料の同定のためのデータが蓄積されてきている。一方、鳥骨を対象とした研究はほとんどなく、骨中のコラーゲンタンパクのアミノ酸配列に鳥綱内でどの程度の変異があり、鳥類の分類階級をどの程度細別できるかは明らかになっていない。

そこで本研究では、日本産鳥類の骨の識別に有効なアミノ酸配列の特定を目指した。また、実際に「鶺鴒を抱く女」に共伴した鳥骨からコラーゲンタンパクを抽出し、特定したアミノ酸配列に基づく同定を試みた。

2. 資料と方法

現生の鳥類骨標本として、北海道大学総合博物館の収蔵標本、および江田と川上の個人標本を利用した。サンプリングは骨の形態学的研究にあまり用いられないことがない趾骨や肋骨を主に対象とした。土井ヶ浜遺跡出土の鳥骨としては、形態的特徴のある大きな骨に接合できない碎片（図1）4点を分析した。

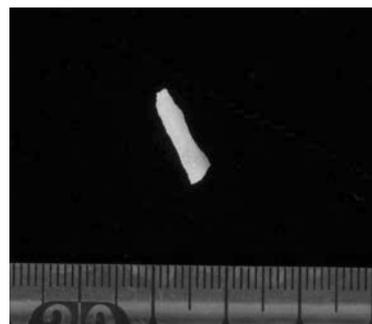


図1 分析した「鶺鴒を抱く女」に共伴した鳥骨の1片

分析は現生標本、遺跡資料とも Buckley et al (2009; Rapid Commun Mass Spectrom 23: 3843-3854)の方法を改良しておこなった。粉化したサンプル約 1mg を塩酸 (0.6M) 500 μ l 中に 4 時間入れて脱灰し、その後遠心して上澄みを除去するのに加えて沈殿物を超純水で洗浄する過程を取り入れた。重炭酸アンモニウム (50mM) 50 μ l を加えて 3 時間 65 度に温め、酸不溶性の残渣をゼラチン化した。遠心してゼラチン化していないタンパク質を沈殿させ、除去した後、上澄みに trypsin (1 μ g/ μ l) を 0.2 μ l 加え、37 度で 18 時間加熱して切断した。ZipTip C18 を用いて精製した試料は、北海道大学アイトープ総合センターの飛行時間型質量分析計 (UltrafleXtreme、ブルカー社) でリフレクターモードを用いて測定し、ピークリストを作成した。

3. 結果と考察

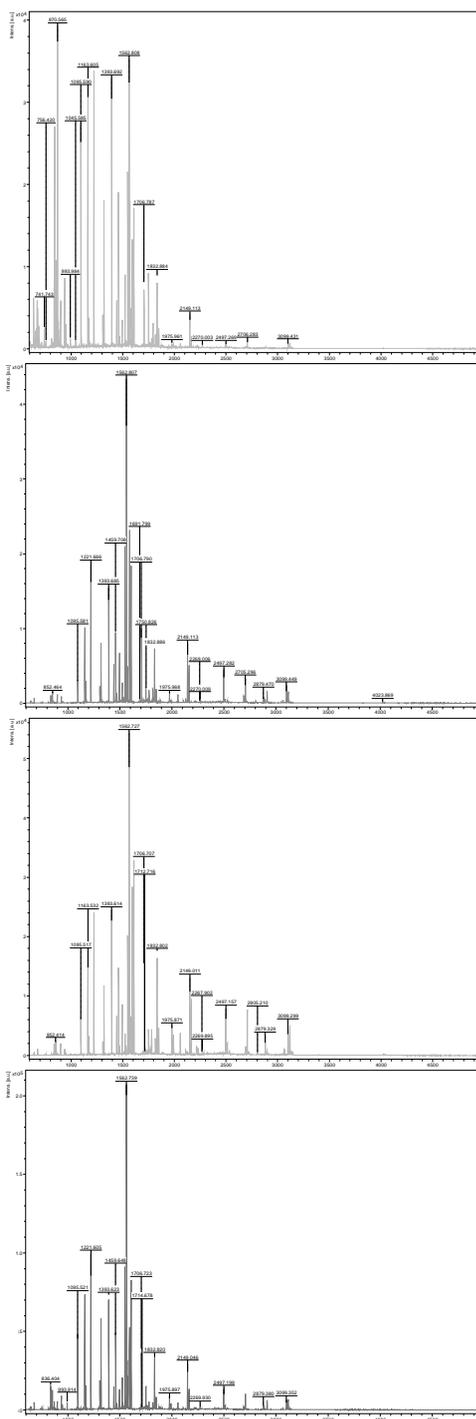
これまでの分析で、日本産鳥類を中心に 39 科 141 種について良好なトリプシン切断断片のピークリストが得られた。得られたピークには特定の科あるいは特定の複数の科に特徴的に出現するものが含まれていた。さらにいくつかの分類群で科内の特定の属あるいは複数の属のみに認められるピークも検出された。これらのことから、骨中のコラーゲンタンパクの amino 酸配列は鳥綱の科内あるいはより低次の分類群内においても変異があり、これらのピークを利用して科あるいはより低次の分類群を単位とした遺跡資料の同定に利用できると考えられた。

「鶉を抱く女」と共伴した 4 点の鳥骨片でも、すべての資料でトリプシン切断断片のピークリストが得られた (図 2)。4 点のピークリストは高い類似性を示す一方、現生のほぼすべての標本で得られた一部のピークは認められなかった。

遺跡資料では埋没後の amino 酸の修飾が予想されるため、その影響を考慮して解析するとともに、分類群間の細別の鍵となるピークの amino 酸配列を決定する必要があると考えられる。また、「鶉を抱く女」に共伴した鳥骨の同定のためには、形態の特徴が明らかな大型破片も分析する必要があるだろう。

なお、本研究は科研費・挑戦的萌芽研究 15K1243905 (研究代表者: 江田真毅) の助成を受けた研究成果の一部である。

図 2 「鶉を抱く女」に共伴した 4 点の鳥骨の分析から得られたピーク



2 日目
7月7日

A 会場

B 会場

C 会場

1940 年代の米軍空中写真の 3 次元化による古墳・古墳群 The burial mounds through 3D images from aerial photos of U.S. Army in 1940's

○ 西藤清秀 (奈良県立橿原考古学研究所) ・久保 学 (アジア航測株式会社)
○ Kiyohide SAITO (Archaeological Institute of Kashihara, Nara), Manabu KUBO (Asia Air Survey Co.)

I. はじめに

第二次世界大戦直後の 1946～1948 年、米軍は戦後の日本を統治するために鉄道沿線と主要な平野を対象として縮尺約 1/10,000 で空中写真を撮影し、また同時に全国を縮尺約 1/40,000 で撮影していた。現在、それらの空中写真は国土地理院が保管し、一般公開されている。

本発表では、米軍が 1947 年・1948 年に撮影した空中写真を活用し、昭和の高度成長期の宅地開発や道路・鉄道建設等による社会インフラ整備によって消失した古墳・古墳群の消失前の姿を 3 次元化する。これにより消失する前の古墳・古墳群とその周辺地形を含めた新たな古墳群像を提供することを考えた。本発表では、その例として奈良県御所市西松本古墳群、石光山古墳群、さらに、近年、発掘調査によって新たに発見された日本最大級の方墳である明日香村小山田古墳を取り上げる。小山田古墳の 3 次元画像は、学校建設前の墳丘の形状や規模を考える材料を提供する。

II. 米軍空中写真の三次元化

米軍が撮影した空中写真は、高さや位置情報を計測するために、予め複数の写真が重なり合うように撮影を行っている。従来、三角測量手法により、空中写真と地上座標を技術者が観測し、撮影時のカメラ位置や姿勢を計算で求め、対象物の位置や形状を地形図として再現した。

本発表では最新の写真測量技術である SfM (Structure from Motion) 技術を利用し、画像化された空中写真を複数枚用いて、画像のテクスチャから自動的に撮影位置と撮影対象物の 3 次元形状を推定した。それら得られた空中写真画像間の幾何学的位置をもとに同一地点を画像マッチングによって抽出し、3 次元点群データを生成した。次にその点群からワイヤフレームモデルを構築した後、空中写真画像を投影してマッピングし、3 次元モデルデータとして可視化した。

III. 御所市西松本古墳群・石光山古墳群

A. 西松本古墳群

奈良盆地の南西部、御所市西松本（現在：元町）に葛城山から派生する東西に延びる 2 丘陵が独立丘陵的に存在し、北の丘陵には石光山古墳群、南の丘陵には 10 基ほどの西松本古墳群が営まれていた。西松本古墳群は、1947 年（昭和 22 年）秋以後、食糧増産を目的とした開墾が著しく、同年 12 月に開墾によって破壊される前に奈良県史跡名勝天然記念物調査委員会は、3 基の古墳を発掘した。この発掘の結果は、昭和 34 年の報告書に記載されている（日色 1959）。しかし、仔細な古墳の位置図は極めて小さく（図 1）、写真の掲載もないことから、3 基の古墳の立地状況は明確ではない。さらに古墳の調査後、1963 年（昭和 38 年）丘陵東半部が削平され、1967 年（昭和 42 年）には丘陵全体が更地化され、全て古墳は消滅した。そのため報告書の古墳の位置図と記述に米軍の 1948 年撮影の空中写真を 3 次元化した画像とを比較検討し、調査された 3 基の古墳の位置を検証した。その結果、それらの位置を 1948 年の米軍空中写真の 3 次元画像に書込み（図 2）、古墳の丘陵での立地環境が復元できた。



図 1 報告書記載西松本の調査された 3 基の古墳位置図（○の北側の丘陵が石光山古墳群）

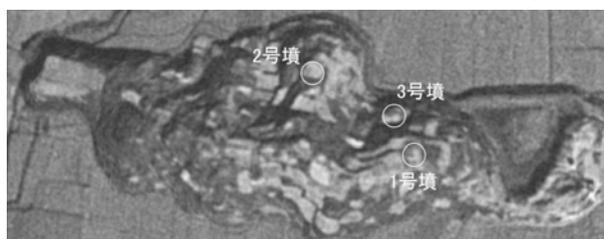


図 2 3 次元画像化した米軍空中写真上に認識した 1947 年に調査された 3 基の古墳

B. 石光山古墳群

石光山古墳群は、西松本古墳群の丘陵の北側の丘陵に存在する（図 1）100 基余りからなる古墳群である。1972 年（昭和 47 年）と 1974 年の 2 次にわたって大規模な住宅開発に伴う発掘調査が実施された（奈良県立橿原考古学研究所編 1976）。1974 年以降、丘陵西側半分が住宅化され、現在多くに古墳が存在した面影はない（図 3）。そのため 1948 年の米軍空中写真を 3 次元画像にしたところ、消滅した古墳一基一基の位置を明確に確認できた（図 4）。



図 3 現況の石光山古墳群（樹相部が古墳群東半部）
Google Earth より

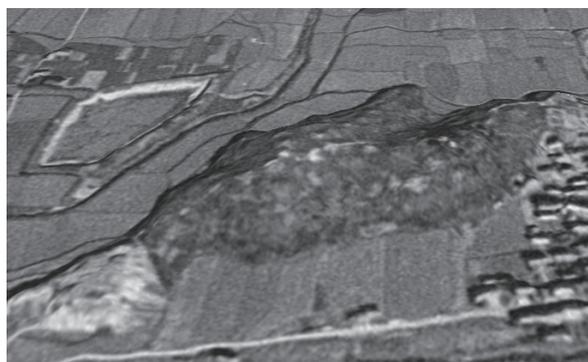


図 4 1948 年撮影空中写真の 3 次元画像化した石光山古墳群

IV. 明日香村小山田古墳

小山田古墳は、2016 年学校教室棟改築事業に伴う調査により発見された新たな飛鳥時代の古墳であり、一辺 70m を超える方墳である（奈良県立橿原考古学研究所 2015）。それ以後継続的にこの古墳の埋葬施設や墳丘に関する情報入手のために調査が行われ、石室の存在は明らかとなった。しかしながら墳丘に関する情報はさほど得られていない。この古墳が立地する場所は、早くに削平され、さらに 1966 年に奈良県立明日香養護学校が建設され、さらなる削平が加えられ、古墳の存在は発掘調査まで全く知られていなかった。そのためこの古墳の墳丘の遺存状況を確認するため米軍空中写真を三次元化し、1947・1948 年当時の古墳の墳丘を含めた周辺環境を再現した。

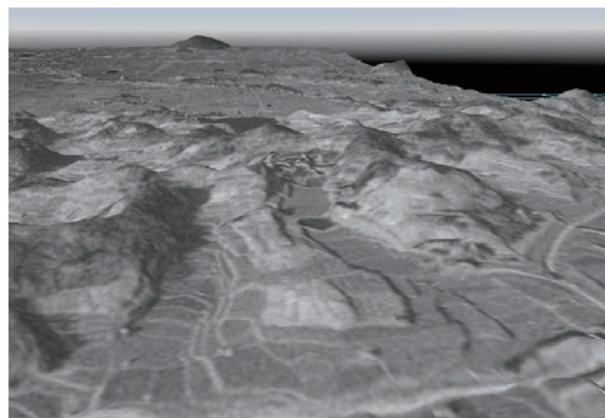


図 5 1948 年撮影空中写真の 3 次元画像化した小山田古墳

V. まとめ

昭和の高度成長期、全国で宅地開発や道路・鉄道建設等による社会インフラ整備が盛んに行われ、多くの古墳・古墳群が消失した。しかし、その姿は二度と目にできないと考えられていたが、第二次世界大戦後、1940 年代後半に、米軍によって日本の各地で空中写真が撮影され、その中には消失する前の古墳・古墳群の姿が明瞭に映し出されていた。そしてその写真を活用し三次元化した結果、消失する前の古墳・古墳群とその周辺地形の新たな姿を再現することができた。今後、3 次元化した画像に座標等の数値データを与え、個々の古墳の規模を明確化し、消失した古墳や古墳群を考える材料としたい。なお、本研究は科学研究費助成事業（挑戦的研究（萌芽））平成 29 年度～平成 31 年度（課題番号 17K18520）による。

参考文献

- 日色四郎 1959 「御所市西松本の古墳」『奈良県史跡名勝天然記念物調査抄報 第 11 輯』pp.1-8
奈良県教育委員会
奈良県立橿原考古学研究所編 1976 『葛城・石光山古墳群』奈良県史跡名勝天然記念物調査報告第 31 冊、奈良県教育委員会。
奈良県立橿原考古学研究所 2015 『小山田遺跡第 5・6 次調査 現地説明会資料』

2 日目
7月7日

A 会場

B 会場

C 会場

韓国安城奉業寺址五重石塔の非破壊健全性評価の研究

Evaluation of Stability for the Five Storied Stone Pagoda at

Bongeopsa Temple Site in Anseong, Korea

○荒木徳人、金聖翰、朴俊亨、李讚熙¹ (国立公州大学校文化財保存科学科)

○Araki Naruto, Kim Sung Han, Park Jun Hyoung, Lee Chan Hee¹

(Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Korea)

1. はじめに

安城奉業寺址五重石塔は宝物第 435 号に登録されており、韓国京畿道安城市に位置する高麗前期の石塔である。石材の組合方式などは新羅の様式も継承しつつ、一層目の軸部が他の層に比べて非常に大きく、高麗時代の石塔の特徴もみられる。この石塔は過去に幾度か修復されてきたが、現在、様々な物理的損傷および変色などの化学的損傷が発生しており、構造的不安が懸念される。したがって、本研究では安城奉業寺址五重石塔の適切な保存方法を樹立するために、非破壊分析を用いた診断を行い損傷の現況と原因を把握した。

2. 研究方法

まず、安城奉業寺址五重石塔を構成する岩石の種類および特徴を把握するために、肉眼観察および携帯型実体顕微鏡を用いた観察を行い、剥落した試料を微量に採取して偏光顕微鏡観察および X 線回折分析を行った。また、これらと同時に岩石の微細磁気的特徴を把握するために帯磁率の測定も行った。

次に、石塔の表面に発生した損傷状態を把握するために、3Dデータを用いて作成された実測図に目視調査で得た情報を記載し、物理的、化学・生物学的損傷図を作成し、損傷度評価を行った。剥離検出の際に、正確な面積を把握するために打診調査だけでなく、赤外線熱画像分析も行った。化学的損傷図は黒い変色だけ 5 段階に分類し、図面に記録していった。また、石塔の内部状況を把握するために、内視鏡を用いた観察も行った。

次に、非破壊で物理的特性を把握するために超音波速度の測定を行った。獲得したデータの信頼度を上げるためにデータを補正し、石塔の超音波速度の分布を図面化した。また、これらの超音波速度を用いて過去の研究で設定された 5 段階の風化レベルに分類し評価を行った。部材表面の変色の原因を究明するために、P-XRF を用いて含有元素の同定を行い、剥落した変色部分を採取して SEM-EDS 分析を行った。

3. 結果

安城奉業寺址五重石塔の部材を構成している岩石は中粗粒質黒雲母花崗岩、斑状黒雲母花崗岩、花崗閃緑岩、ペグマタイトであり、微細磁気的特徴も各岩石ごとで異なる分布を示した。また、奉業寺址周辺で中粗粒質黒雲母花崗岩の露頭が確認されたことから、安城奉業寺址五重石塔の一部部材は奉業寺址周辺に分布している岩石が使われたと判断できる。

現在、この石塔は亀裂、剥離、剥落、粉状化などの物理的損傷、黒色、茶色、白色などの変色を招いた化学的損傷、着生生物などの生物学的損傷が確認された。まず、物理的損傷は亀裂の中でも、微細な亀裂が軸部で多数確認され、他にも剥落や脱落などの損傷も多数確認された。安城奉業寺址五重石塔の基礎および一層軸部の部材は板状と棒状の形状をしている。剥落や脱落は一層軸部でも多く確認されており、軸部と笠部材が接していない部分もあり、部材間に空間が発生している。また、一層軸部の内側は空洞であり、笠部材と接している面積が非常に少なく、荷重の伝達が不均一であり構造的不安が懸念される。

化学的損傷は全般的に黒い変色が1段階および2段階で占めており、4段階以上の黒い変色と茶色い変色は主に軸部で、白い変色は基礎に確認された。また、内視鏡観察の結果、白い変色は一層軸内部でも発生していることが明らかとなった。これらの変色を対象にP-XRF分析を行った結果、黒い変色はSやCaが多く含まれている箇所やFeが多く含まれている箇所が確認され、これらの試料を対象にSEM-EDS分析を行った結果、観察試料の全体にFeが非常に多く検出された。恐らく、黒い変色および茶色い変色は部材の水平を保つために使われている鉄板の錆が、雨水とともに流れて発生したものと判断でき、微細な亀裂もこれが原因であると判断できる。また、黒い変色と茶色い変色は混在しており、主にSやCaが検出される箇所やFeが主に検出される箇所があるという点からみて、モルタルなどによりエフロレッセンス現象からの石膏化および鉄板の錆が混在していると判断できる。

次に、基礎の白く変色している箇所を測定した結果、SとCaが比較的多く検出された。また、基礎の内部を内視鏡で観察した結果、多くの小さな石と土のような物質で埋まっていた。基礎に発生している白い変色の形状は水が垂れ流れた形で、SとCaが検出されたことから土のような物質は恐らくモルタルであり、雨水などに溶けて石材表面に流れ出たものと判断できる。

次に部材の物性評価を行った結果、超音波速度は東側2,807 m/s(734~6,230 m/s)、西側2,807 m/s(618~5,996 m/s)、南側2,933 m/s(548~8,021 m/s)、北側2,992 m/s(933~5,170 m/s)で各方位別、平均速度は類似しているが最高速度と最低速度に差を示した。東側および北側の基礎、西側と南側の一層軸部、全方位四層軸部は比較的物性が良好な状態であった、一方で黒い変色が深刻な東、西、北側の五層軸部と断裂を樹脂で接合および充填した痕跡が観察された全ての方位の二層笠部材は物性が低下していることが明らかとなった。

4. 考察および結論

安城奉業寺址五重石塔は2014年に洗浄および強化処理が行われた一方で、本研究の結果、部材の水平を保つために使われている鉄板が原因で変色が再発していること、物性も部分的に良好ではないことが明らかとなった。また、構造調査を行なったチームの報告では、全体的に北に傾いていると報告された。したがって、修復を行うことができなくても構造的モニタリングおよび風化レベル5に該当する部材は、優先的な保存処理および定期的な点検が必要とされる。今後、修復が行われるのであれば、一層軸部の内部に細かく刻んだ岩石を補充する必要がある、石塔の部材と同質の岩石を用いて行う強化処理実験、場合によっては同種の岩石と交替、鉄板の代替品と交換や内部のモルタルの除去などを目的とした長期的保存を行い、持続的なモニタリングも行う必要があると判断される。

2 日目
7月7日

A 会場

B 会場

C 会場

土鍋スス・コゲからみた台湾北部の新石器時代～中近世の炊飯方法 Reconstructing Neolithic and Medieval Rice Cooking Methods in Northern Taiwan Based on Ceramic Use-wear Analysis.

○小林正史（北陸学院大学）、久保田慎二（金沢大学）、陳維鈞（台湾中央研究院）
○Masashi KOBAYASHI (Hokuriku-gakuin University), Shinji KUBOTA (Kanazawa University),
Weichun CHEN (Taiwan Academia Sinica)

1. 目的と分析資料

本稿の目的は、台湾北部の新石器時代と中・近世の土鍋のスス・コゲ分析に基づいて、炊飯方法の変化を検討することである。分析対象は、容量を計測できる復元深鍋が多数（原則 20 個以上）残るという基準で選定した、台湾北部の 2 遺跡である。

2. キウラ遺跡の中・近世深鍋のスス・コゲからみた炊飯方法

其武蘭キウラ遺跡は、台湾北東部の宜蘭市に所在する中・近世（C14 年代では 14～18 世紀）の遺跡であり、多数（図録には 360 個以上掲載）の復元可能深鍋が多数の土坑から出土した（陳有貝・邱水金・李貞宝編 2007『其武蘭遺跡発掘報告』宜蘭県立蘭陽博物館）。低湿地遺跡のためスス・コゲの保存が極めて良い。これらの深鍋は容量 1～2.5 ㍓の小型が大多数を占めることから、「儀礼的調理に用いた鍋を洗浄せずに一括廃棄した結果」と推定される。この推定は、①使用回数が少ないものが多い、④器厚 2mm 程度の超薄手を多く含む、などの事実からも補強される。本稿では、底面まで残り、スス・コゲの残りが良い 33 個を選択した（表 1）。

キウラ遺跡の深鍋では 33 個中 17 個に炊飯痕跡（炭化穀粒痕、または、吹きこぼれ直後に湯取りを行ったことを示す「斜め白吹き」）が付く。また、炊飯痕跡がない深鍋も、以下のように使用回数をコントロールすると、底面コゲと胴部の側面加熱コゲの特徴が炊飯痕跡の付く深鍋と共通する。よって、大半の深鍋が炊飯に用いられたといえる。使用回数は、肩部のスス付着度合いにより、少なめ（胴上部～肩部に幅広いススなし部が巡る）、やや少なめ（肩部にススなし部が巡る）、やや多め（肩部まで部分的にススが付く）に区分した（表 1）。

底面コゲ： 内底面コゲは、三石上の浮き置き時の炎加熱により付いた場合（底面中央に整った円形コゲ。該当例なし）と三石から降ろした鍋をオキ上の載せた時に付いた場合（棒状・小円形のコゲ 5 個、および、円形コゲが集まった不整形コゲ；6 個、図 1・2 の右下）とがある。前者は「コゲが付いた後に蒸らしに移行した、茹で時間長めの炊飯」を示すのに対し、後者は「コゲが付く前に蒸らしに移行した、茹で時間短めの炊飯」を示す。一方、使用回数が増すにつれて、毎回のコゲが重複するため、「底面に大型円形コゲ（胴部コゲと連続する場合もある）」や「不整形円形コゲ」となり、「炎加熱コゲかオキ火載せコゲかの判別」が難しくなる。

炊飯痕跡が付く深鍋（17 個）は「大型円形コゲ」と「円形単位が集まったオキ火載せコゲ」が大半（14/17 個）を占めるのに対し、炊飯痕跡を欠く深鍋（16 個）は「コゲなし」と「オキ火載せコゲ」が過半数（10/16 個）を占める（表 1 b）。この違いは、調理方法の違いではなく、炊飯痕跡のない深鍋の方が使用回数が少ないことに起因する（表 1 a）。そして、小円形のオキ火コゲの方が、「円形単位が集まったオキ火コゲ」や大型円形コゲよりも使用回数が少ないことから、底面コゲの多くはオキ火コゲが重複した結果といえる。

炊飯痕跡	少ない(8)	やや少(16)	やや多(8)	?(1)	総計	穀粒(17)	なし(16)
なし	3	11	1	1	16		
穀粒	5	4	6		15		
斜め白吹き	1		1		2		
底面コゲ	少ない(8)	やや少(16)	やや多(8)	?(1)	総計	穀粒(17)	なし(16)
コゲなし	2	4			6		5
くぼみ中	2				2	2	
オキ火載せ	1	2	1	1	5		5
円形コゲの集積		2	4		6	6	
不整形円形コゲ		1	1		2	1	1
大型円形コゲ	3	7	2		12	8	4
側面加熱コゲ	少ない(8)	やや少(16)	やや多(8)	?(1)	総計	穀粒	なし
円形スス酸化のみ	2	1			3	1	2
円形コゲ数個のみ	2	5			7	3	4
円形コゲ部分的		3	2		5	2	3
円形コゲ全周	4	7	6	1	18	11	7

胴部の側面加熱コゲ： 炎側面加熱による円形コゲの連続性により「全周」「部分的」「1～数個のみ」、「外面に円形スス酸化が付くが、側面加熱コゲなし」に区分した。使用回数との相関度をみると、この順に使用回数が少なくなる傾向がみられた（表1c）。

このように、使用回数が増すにつれて、「底面のオキ火載せコゲが重複して、形成過程を判別しにくくなる」「蒸らし時の側面加熱による円形コゲが顕著になる」という変化が観察された。以上より、①吹きこぼれ直後に鍋を傾けて湯取り、②弱火加熱の後、底面にコゲが付く前に三石から降ろす、③蒸らし段階では、鍋を三石のすぐ横のオキ火上に載せ、側面から炎加熱（この段階で、底面のオキ火載せコゲと胴部の側面加熱コゲが成形）、という炊飯過程が復元された。

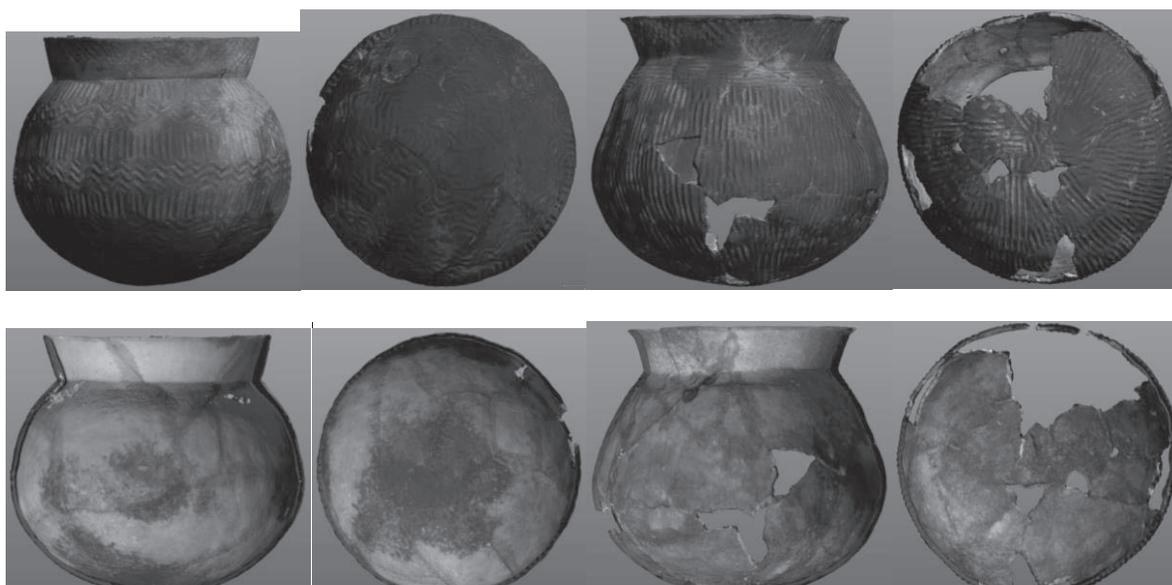


図1 キウラ 143-2 (1.52%)

図2 キウラ 148-10 (1.85%)、肩部に斜め白吹き。

両者とも円形コゲが集まった底面オキ火コゲ。炭化穀粒痕が多数付く。胴部に円形コゲが連続。

3. 大龍筒遺跡の深鍋による炊飯方法

新石器時代の大型坑文化（約4500年前）に属し、復元深鍋が20個近く得られる数少ない遺跡の一つである（樹谷基金会2013）。3個1組支脚と鍋用土製蓋が出土していることから、鍋を三石に載せ、蓋を掛けて調理したことが分かる。括れが強い中・大型と括れが弱い小型に分化しており、炊飯用とオカズ用の分化と推定された（図3）。

スス・コゲの残りは悪いが、中大型深鍋では、胴最大径部位の内外面に円形の摩耗部の連続が観察されたことから（図4）、キウラ遺跡と同様に炎側面加熱を経験している。また、内底面の周縁部に小円形コゲが付くことから、オキ火載せ加熱を経験している。

東南アジアの土鍋炊飯民族誌の比較分析では、蒸らし時の側面加熱は「吹きこぼれ直後の湯取り法」炊飯と強く結びつくことから、近世のキウラと同じ炊飯方法が初期水田稲作期から継続していることが判明した。

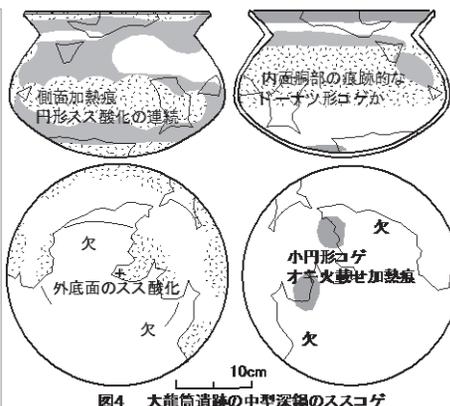
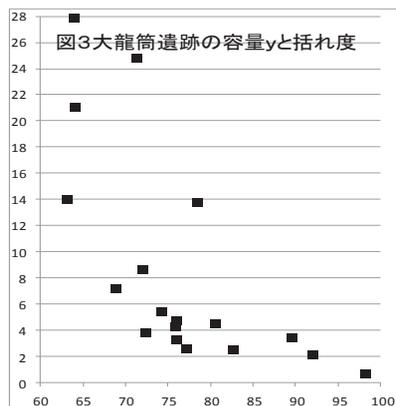


図4 大龍筒遺跡の中型深鍋のススコゲ

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

奈良時代に書写・印刷された経切の¹⁴C年代測定

Radiocarbon dating on the fragments of sutras written or printed in Nara era

○小田寛貴 (名古屋大学)、池田和臣 (中央大学)、安 裕明 (多賀高校)、坂本昭二 (龍谷大学)
○Hiroataka ODA (Nagoya University), Kazuomi IKEDA (Chuo University),
Hiroaki YASU (Taga High School), Shouji SAKAMOTO (Ryukoku University)

1. はじめに

これまで発表者らは、年代既知の古文書(公文書や消息等)や古筆切(物語や和歌集等古記録の断簡)の測定を行うことで、¹⁴C年代測定法が和紙の年代判定の有効な手法となることを示してきた。しかし、古文書では鎌倉時代以降、古筆切でも平安後期以降の資料に限られてきた。そこで本研究では、奈良時代の和紙資料に対する有効性を検証すべく、年代既知の古経典を試料とした¹⁴C年代測定を行った。古文書や古記録には書き手の個性が強く発現し、その書風や字形などから年代を判定することができる。一方、信仰を背景とする経典の書写には、一字一句誤りなく美しく、同一の書風・書式で書写することが求められる。それ故、書き手の個性は希薄となるが、書写した年月日を記載することが多く、そこから書写年代を判定することができる。このように古文書・古筆切と古経典では、その書跡史的年代を判定する手掛かりは異なっている。本研究は、こうした古経典に対する¹⁴C法の有効性を実証しようとする目的も併せもっている。またその中で、従来は世界最古の印刷物の一つとされてきた百万塔陀羅尼「類版」が、17世紀の遺品であることが判明したため、これも併せて報告する。

2. 資料

資料は、奈良時代の代表的な古写経切・古経典断簡四点(伝聖武天皇筆賢愚経断簡(大聖武)、光明皇后発願五月一日経、薬師寺大般若経(薬師寺経)、百万塔陀羅尼(相輪陀羅尼))と百万塔陀羅尼「類版」(自心印陀羅尼)一点である。その制作年代を表1に挙げた。

3. 実験・結果

これら経典史料の端から測定用試料を裁断し、蒸留水中において、文字の書かれている本紙部分を裏打紙から剥離させた。これを、蒸留水中での超音波洗浄、HCl・NaOH水溶液による交互処理に供し、グラフアイト合成を行い、(株)パレオ・ラボ Compact AMSによって¹⁴C年代を得た。測定結果を表1に示す。暦年代への換算にはIntCal13 較正曲線を用いた。

4. 考察

大聖武は、聖武天皇が光明皇后の没後、その骨灰を漉き込んだ紙に書いた賢愚経と伝えられ

表1. 代表的な奈良時代古写経切・古經典断簡の¹⁴C年代測定

資料名	制作年代	¹⁴ C年代 [BP]	較正暦年代[cal AD]
大聖武	奈良期(伝760年頃)	1267±22	686(713, 745, 767)774
五月一日経	740年発願	1307±20	667(678)689, 751()760
薬師寺経	771年頃	1281±22	678(690)723, 740(751, 762)770
百万塔陀羅尼	764~770年	1306±18	668(679)689, 750()760
百万塔陀羅尼「類版」	764~770年前後	275±17	1641(1645)1649

ている。しかし、これは光明皇后の没年よりも聖武天皇の方が4年早いことと矛盾する¹⁾。この点も含め、大聖武は聖武天皇の真跡とはいえないが、その書風から奈良時代の代表的な古写経作品の一つとされ、国宝『藻塩草』をはじめとして古筆手鑑の巻頭に捺されている²⁾。「天平十二年五月一日記」という巻末願文をもつ五月一日経は、一時的な休止期間を含め736年から749年頃にかけて光明皇后が父藤原不比等・母県犬養橘三千代の冥福と鎮護国家のため書写させた一切経である¹⁾。薬師寺経は、朝野魚養を伝承筆者とする大般若経であり、巻328の軸付紙の端裏に「□校常喜□」とある。常喜は771年に東大寺奉写経所で校経の任に就いていた僧であることから、薬師寺経はこの頃に書写されたものと考えられる¹⁾。百万塔陀羅尼は、恵美押勝の乱を平定した後、称徳天皇が764年から770年にかけて、陀羅尼百万卷(無垢浄光大陀羅尼経の内、根本陀羅尼・自心印陀羅尼・相輪陀羅尼・六度陀羅尼)を印刷し、小塔に納め、十大寺(大安寺・元興寺・法隆寺・東大寺・西大寺・興福寺・薬師寺・四天王寺・川原寺・崇福寺)に十万巻ずつ奉納した經典である³⁾。以上の經典の較正暦年代は、いずれも奈良時代を含む結果であり、¹⁴C年代測定法が奈良時代資料・經典資料に対しても有効な手法となることを示している。今後は、平安時代以降の古經典についても測定事例を蓄積していきたいと考えている。

百万塔陀羅尼は現存する制作年代の明確な世界最古の印刷物として有名であり、上述の通り¹⁴C年代測定によってもその事実が確認された。百万塔陀羅尼には根本陀羅尼・自心印陀羅尼・相輪陀羅尼・六度陀羅尼の4種があり、一般にはそれぞれに2版ずつの計8種類の系統があるとされる⁴⁾。1933年、これらと異なる新たな系統の発見が報告された³⁾。本報では百万塔陀羅尼「類版」と記した。自心印陀羅尼が印刷されたものであり、寸法は他の百万塔陀羅尼とほぼ一致するが、起筆・終筆部が明確であり、筆で書いた字形により近い字体を持っている。この字体と紙質に対する考察から、中国大陸もしくは朝鮮半島において、日本の百万塔陀羅尼とほぼ同時期に独立に印刷された遺品であるとされていた³⁾。すなわち、現存する世界最古の印刷物の一つと考えられてきたのだが、¹⁴C年代測定の結果は17世紀半ばを示した。寸法が百万塔陀羅尼とほぼ一致していることから、この新出の自心印陀羅尼は、独自に印刷されたものではなく、百万塔陀羅尼を模した江戸時代の遺品であると位置付けることができる。

参考文献

- 1) 春名(1979)古筆大辞典, 淡交社。
- 2) 木下(2006)国宝 手鑑 藻塩草, 京都国立博物館。
- 3) 禿氏(1933)百萬塔陀羅尼考證, 泉山堂。
- 4) 石塚(2003)平成13年度~平成14年度科学研究費補助金特定領域研究(A)(2)研究成果報告書(課題番号13021201)。

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

利根川開発史と¹⁴C調査による古民家建築年代

—旧茂木家住宅、設楽家住宅

The old Minka age by ¹⁴C survey revealing the development history of Tone river

○中尾七重（山形大学）、坂本稔（国立歴史民俗博物館・国立大学法人総合研究大学院大学）

○Nanae NAKAO (Yamagata Univ.), Minoru SAKAMOTO (National Mus. of Japanese History, SOKENDAI)

1. 千葉県・茨城県境の古民家について

利根川流域に分布する茨城県の民家と千葉県の民家は、平面形式や構造形式が共通する同一種類の民家である。この利根川流域民家の類型に属する茨城県指定文化財旧茂木家住宅および千葉県佐倉市設楽家住宅の¹⁴C年代調査の結果から、利根川流域民家の成立過程を考察した。そして、¹⁴C年代調査法が、単体の歴史的建造物の建築年代調査のみならず、民家成立史研究や民家型を解明する研究方法として大きな可能性を有することを示した。

2. 茨城県指定旧茂木家住宅と千葉県佐倉市設楽家住宅

潮来市（旧行方郡牛堀町）島須の茂木家住宅は、昭和44年に解体され、昭和48年に茨城県立歴史館敷地内に復原移築された。千葉県佐倉市青菅の設楽家住宅は、個人での維持管理が困難となり、佐倉市教育委員会が保存に向けて現在調査中である。いずれも近世中期に遡る古民家と考えられている¹。2017年に両民家の¹⁴C年代調査を行い、旧茂木家住宅は1695～1710年頃、設楽家住宅は1660～1680年頃の建築と判明した（表1）。利根川流域民家は、旧茂木家のような単純素朴な構造が古形で、差梁や差鴨居を用いて独立柱を除き奥行の大きい部屋を実現する構造に発達したとされてきた²。設楽家住宅は奥行三間の板敷ザシキを持つが、今回の¹⁴C年代調査で旧茂木家住宅より古いことが判明し、これまでの年代観と異なる結果となった。

3. 利根川流域民家

¹⁴C年代調査などから、旧茂木家住宅や設楽家住宅など利根川流域民家は寛文～元禄期に集中して建設された事が判明した。17世紀後半は東遷利根川の流域開発が進行した時期である。利根川流域民家は名主など村落上層の住居で、いずれも旧香取海岸辺の微高地に位置している（図1）。建築年代が17世紀末期の短期間に集中することや、東遷以前の地形を反映した立地は、新田開発の盛行以前にこの型の民家建設が一斉に行われたことを示唆している。利根川流域民家に見られる18畳程度の板敷間と畳敷座敷からなる間取は、徳川幕府の在地支配との関連が推測されている³。利根川東遷および流域開発事業に関与した在地役屋に幕府が格式を与え、民家型が成立し、利根川流域に濃密に利根川流域民家が分布するようになったと考えられる。

表 1 旧茂木家および設楽家住宅測定データ一覧

部材番号	部材名	番付	樹種 木取	最外層 辺材	測定番号	年輪位置 最外層1年目	¹⁴ C年代 (yrBP±1σ)	校正年代(確率)	ピーク値
茂木1	敷桁	B4-B7	アカマツ 芯持	瓜剥き	YU-6609	1-5	150±20	1682-1706(19.1%), 1740-1785(61.9%), 1809-1826(4.2%), 1855-1860(0.8%), 1869-1872(0.3%)	1764
					YU-6610	16-20	162±20		
茂木2	繫梁	C7-D7	アカマツ 芯持	表皮	YU-6611	1-5	120±20	1672-1685(17.6%), 1802-1815(77.9%)	1814
					YU-6612	16-20	249±20		
茂木3	上屋柱	B5	スタジイ 芯持	ノタ	YU-6613	1-5	123±20	1688-1706(35.2%), 1749-1782(53.3%), 1802-1818(5.3%), 1820-1825(1.6%)	1696
					YU-6614	11-15	182±20		
					YU-6615	23-27	158±20		
茂木4	上屋柱	D7	スタジイ 芯持	ノタ	YU-6616	1-5	128±20	1690-1715(35.6%), 1744-17480(25.6%), 1819-1837(10.5%), 1854-1891(21.1%) 1934-1946(2.6%)	ノタ
					YU-6617	11-15	146±20		
					YU-6618	22-26	151±20		
茂木5	鴨居	C6-C7	アカマツ 二方柱	なし	YU-6619	1-5	134±20	1684-1712(29.2%), 1737-1742(0.6%), 1742-1782(29.6%), 1813-1831(12.7%), 1841-1842(0.1%) 1850-1893(17.0%), 1930-1932(0.2%), 1932-1947(6.1%), 1932-1933(0.1%), 1934-1949(6.1%)	なし
					YU-6620	16-20	154±20		
設楽1	柱	ろ十	ツガ 四方柱	ノタ	YU-6525	1-5	323±20	1613-1644(95.4%)	1632
					YU-6526	51-55	383±20		
					YU-6527	84-88	286±20		
設楽2	柱	へ四	ツガ	なし	YU-6528	1-5	365±20	1603-1633(95.5%)	1612
					YU-6529	31-35	370±20		
					YU-6530	76-80	280±20		
設楽3	柱	た六	ツガ 備芯	なし	YU-6531	1-5	256±20	1532-1547(11.3%), 1635-1663(84.2%)	1647
					YU-6532	31-35	388±20		
					YU-6533	76-80	360±20		
設楽4	柱	ち六	ツガ 四方柱	なし	YU-6534	1-5	365±20	1506-1528(95.4%)	1516
					YU-6535	41-45	390±20		
					YU-6536	62-66	394±20		
設楽5	東踏	又六ぬる	マツ 半割	瓜剥き	YU-6537	1-5	278±20	1532-1575(49.3%), 1636-1655(46.1%)	1646
					YU-6538	11-15	313±20		
					YU-6539	17-21	309±20		
設楽6	桁行梁	四りぬ	マツ 半割	瓜剥き	YU-6540	1-5	218±20	1654-1669(95.4%)	1663
					YU-6541	11-15	258±20		
					YU-6542	21-25	300±20		
設楽7	中引梁	六通	マツ 芯持	瓜剥き	YU-6543	1-5	249±20	1647-1666(95.4%)	1658
					YU-6544	14-18	283±20		
					YU-6545	1-5	239±20		
設楽8	梁	を五六	マツ 半割	瓜剥き	YU-6546	11-15	270±20	1649-1666(95.4%)	1658
					YU-6547	26-30	329±20		

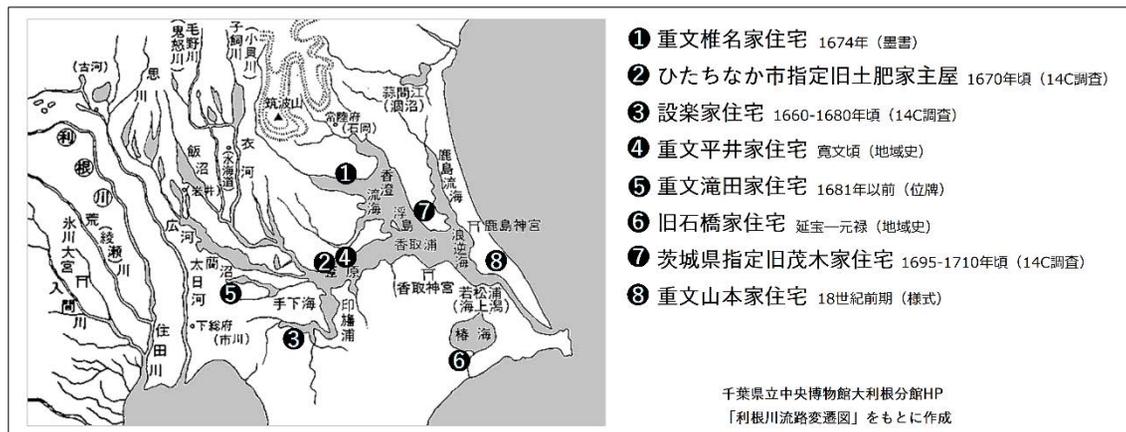


図 1 利根川流域民家の(旧)所在地

謝辞

設楽家住宅の所有者・管理者の皆様、佐倉市教育委員会、協同組合伝統技法研究会、茨城県立歴史館、千葉県立中央博物館大利根分館、大原幽学記念館、東京藝術大学元客員教授日塔和彦先生、山形大学高感度加速器質量分析センター長門叶冬樹先生に感謝申し上げます。

- 1 清水政春・畑野経夫、茂木家住宅解体調査報告(中間報告)、1969
千葉県の家Ⅲ下総地方の家、千葉県教育庁文化課、1974
- 2 田中文男、大文覚書Ⅰ東関東の近世民家架構の変遷、2008
- 3 中尾七重・坂本稔、関東平野の九間系民家、合掌造りはいつ建てられたか—炭素14による民家年代調査—、日本民家園叢書13、川崎市立日本民家園、2017

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

日韓考古木材の年代決定に向けた年輪酸素同位体比 データベースの構築

Developing a tree-ring network of oxygen isotope data toward the dating of archeological woods

○佐野雅規（早稲田大学）、Jeong-Wook SEO（忠北大学）、箱崎真隆（国立歴史民俗博物館）、
對馬あかね（総合地球環境学研究所）、李貞（同左）、木村勝彦（福島大学）、安江恒（信州大
学）、中塚武（総合地球環境学研究所）

○Masaki SANO (Waseda University), Jeong-Wook SEO (Chungbuk National University), Masataka
HAKOZAKI (National Museum of Japanese History), Akane TSUSHIMA, Li Zhen (Research Institute
for Humanity and Nature), Katsuhiko KIMURA (Fukushima University), Koh YASUE (Shinshu
University), Takeshi NAKATSUKA (Research Institute for Humanity and Nature)

1. 研究の背景と目的

年輪年代学は、考古木材の年代を1年の誤差もなく正確に決定できるという点で、他の年代測定法よりも優れている。しかしながら、日本を含む東アジアでは、気候以外の生態学的な要因が年輪幅の変動に大きく寄与しているため、年代決定に使用できる樹種が限定されているほか、100年輪以上を有する考古材しか年代測定に至らないという問題があった。他方、年輪の酸素同位体比は、樹種依存性が極めて低く、しかも年輪数が100年を下回る考古材であっても年代を正確に決定できることが近年の研究で明らかになってきた。しかし、研究の進展により、古材の産地によっては年代の照合が難しいケースも散見されるようになった。年輪の酸素同位体比は、樹木が成長する夏の相対湿度と降水の酸素同位体比によって規定されており、特に西日本では梅雨期の降水量と有意な相関を示す。他方、東北については、緯度が異なることやオホーツク高気圧の影響を受けるので、年輪の酸素同位体比を規定している気候も西日本とは異なる。本研究の目的は、年代測定の地理的な適用範囲を拡大するため、日本や韓国の各地を対象として年代決定のモノサシとなる標準年輪曲線を地域別に整備することである。本報告では、これまでの研究で整備してきた標準年輪曲線の概要を紹介し、その地域間特性を明らかにしたうえで、日本や韓国で取得した考古材の年代決定を試みた。

2. 方法

図1で表したように、日本や韓国の各地において、現生木や古建築材、埋没木、考古材から年輪試料を採取した。取得したサンプルは、1mm厚の薄板に加工したうえで、薄板の形状を維持したまま化学処理によりセルロースを抽出した。このとき、劣化した考古材については凍結乾燥処理をおこなった。次いで、精密ナイフや眼科用メスを使い、顕微鏡下でセルロース薄板から1年輪ずつサンプルを切り分けた。サンプルを銀箔で梱包したのち、熱分解式元素分析計（TC/EA、

Thermo Fisher Scientific) を連結させた同位体比質量分析計 (Delta V Advantage, Thermo Fisher Scientific) を用いて年輪セルロースの酸素同位体比を測定した。

年輪酸素同位体比の経年変動パターンを個体間、および地域間で比較して、年輪が形成された年代を特定し、地域毎に標準年輪曲線を構築した。次いで、これら標準年輪曲線を用いて、日本や韓国の古材の年代測定を行った。

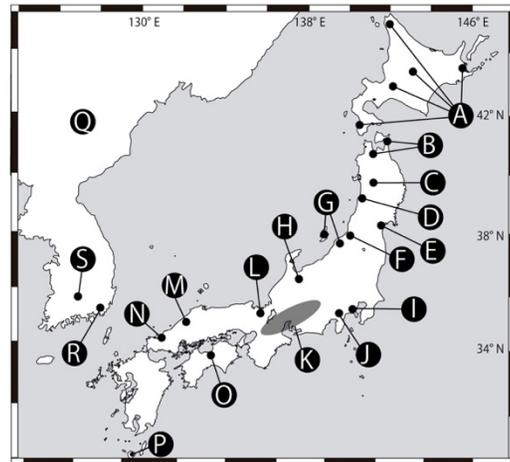


図 1. 酸素同位体比の標準年輪曲線の空間分布

3. 結果と考察

これまでの研究によって構築した年輪酸素同位体比データの整備状況を図 2 に示す。標準年輪曲線は、主にヒノキやスギ、ヒバといった針葉樹を用いて構築しているが、酸素同位体比による年輪年代法は樹種依存性が低いので、広葉樹であっても年代を決定できる。中部日本と屋久島のクロノロジーは、それぞれ過去 2600 年間、1800 年間をカバーしており、特に西日本産の木材の年代決定に有効である。青森や新潟の標準年輪曲線は、現代までデータが延びていないものの、中部日本の年輪曲線では難しかった北日本産木材の年代決定に有効である。さらに、北日本産の標準年輪曲線を用いて、韓国南部で出土した三国時代の考古材の年代を決定することができた。韓国では、マツを用いて過去 800 年間にわたる年輪幅の標準曲線が構築されているが、マツ以外の木材や、標準曲線が届いていない時代の考古材の年代決定は不可能であった。日本各地で酸素同位体比の標準年輪曲線を構築することにより、日本はもとより、朝鮮半島から出土した考古材の年代を正確に決定できることが実証された。

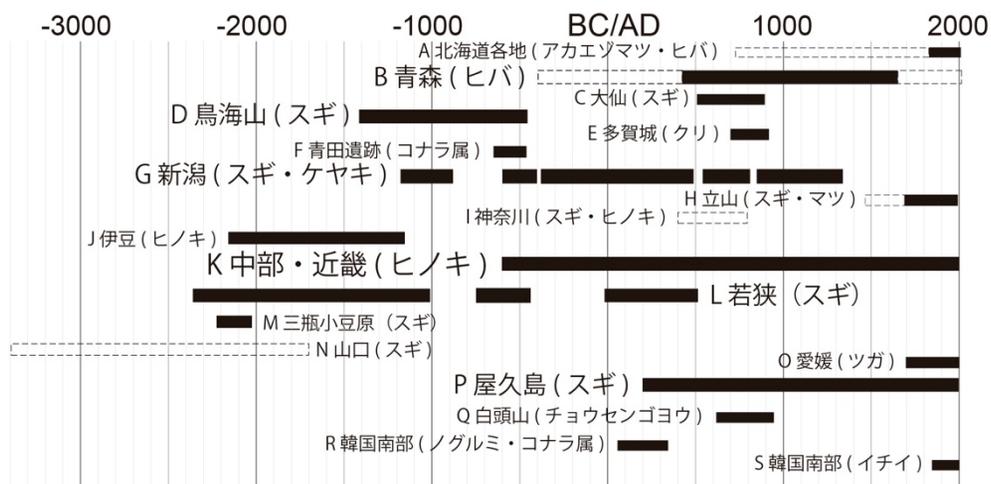


図 2. 酸素同位体比の標準年輪曲線の構築状況

黒棒線部：年代確定済みの酸素同位体比データが存在する区間
 点棒線部：年代未確定または未測定 (試料収集済み) の区間

2 日目
7 月 7 日

A 会場

B 会場

C 会場

南さつま市の中岳山麓窯跡群における熱ルミネッセンス年代測定

Thermoluminescence Dating of

Nakadake Sanroku Kiln Site Cluster, Kagoshima

- 下岡 順直 (立正大)、中村 直子 (鹿児島大)、畠山 唯達 (岡山理科大)
- Yorinao SHITAOKA (Rissho University), Naoko NAKAMURA (Kagoshima University), Tadahiro HATAKEYAMA (Okayama University of Science)

1. はじめに

鹿児島県南さつま市に所在する中岳山麓窯跡群は、古代須恵器窯跡としては日本列島で最南端に位置する(図1)。2012年から実施した踏査調査では、中岳山麓窯跡群の荒平第1支群が河川による崩壊などにより、遺構の残存状態は良くないことがわかった。2014年からは、中岳山麓窯跡群の荒平第2支群1号窯跡の発掘調査を開始し、窯跡構造の把握を目的に調査継続中である。現在までのところ、荒平第2支群1号窯跡は、窯天井部

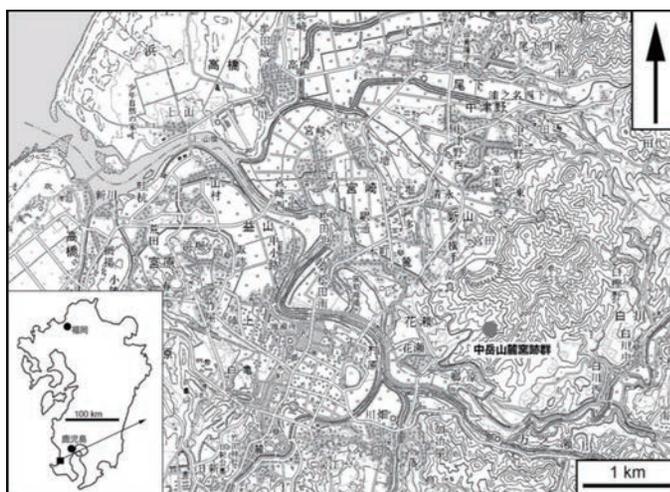


図1 南さつま市の中岳山麓窯跡群の位置
(国土地理院5万分の1地形図「加世田」を使用)

は崩落しているものの、地下式構造と推定される。また、灰原と考えられる遺構からは、須恵器片や窯体片、炭化物が集積する形で検出されている。なお、現在行っている中岳山麓窯跡群の調査では、考古学的な調査と並行して、岩石学的・鉱物学的手法を用いた材質分析など総合的な自然科学分析も行っており、その成果の一部は、第32回日本文化財科学会で発表された(篠藤ほか2015)。

窯の操業年代の推定には、出土遺物の型式編年のほか、灰原から検出された炭化物を用いて放射性炭素(^{14}C)年代測定が行われた。遺物の型式学的検討では、9世紀後半と推定された。一方、 ^{14}C 年代は $1,180 \pm 30$ BP (Beta-402452) であり、IntCal13を用いた較正年代 (2σ) は

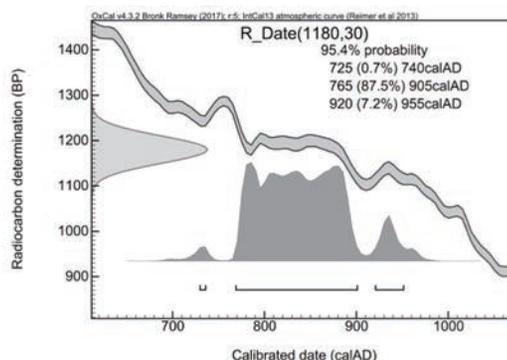


図2 炭化物 ^{14}C 年代の暦年較正

(図2)、AD725～740年(0.7%)、AD765～905年(87.5%)およびAD920～955年(7.2%)となった(古環境研究所2015)。このように暦年較正曲線で¹⁴C変動が顕著ではない時期にあたっていたため、暦年較正した年代幅は幅広くなった。そこで、数値年代のクロスチェックをさらにすすめるために、本研究では熱ルミネッセンス(TL)年代測定を実施したので報告する。

2. TL年代測定

TL年代測定には、荒平第2支群1号窯跡の焚口付近床面と焚口付近で検出された焼土塊、灰原で検出された焼土塊を用いた。なお、焚口付近床面では、畠山ほか(2018)によって考古地磁気法を用いた検討(大会2日目年代測定セッションC-11)も行われており、そちらデータも参照して欲しい。

各試料の試料処理は、暗赤色灯下の暗室で行い、約75～150 μmの石英を抽出して純化した。TL測定には、自動測定装置NRL-99-OSTL2-KU(下岡ほか2015)を用いた。TL測定条件は、昇温速度5°C/secで100～500°Cまで連続昇温法で行った。検出波長は、280～370 nm(半値幅)とした。蓄積線量は、多試料付加線量法(Aitken 1985)で評価した。年間線量はGe検出器(下岡ほか2018)を用いて、各試料から年間β線量を、各試料の周辺土壌から年間γ線量を評価した。

TL年代は、蓄積線量を年間線量で除することで求めた。各試料の蓄積線量、年間線量およびTL年代を表1に示す。その結果、3試料ともに、TL年代は約1,200年前となった。これは、遺物の型式学的検討や較正¹⁴C年代とも整合的な結果であった。これにより、荒平第2支群1号窯跡の数値年代をより絞り込むことができた。

表1 TL年代測定結果

		蓄積線量 (Gy)	年間線量 (mGy/年)	TL年代 (千年前)
焚口	床面	5.00±1.47	4.06±0.14	1.2±0.4
	焼土塊	3.65±0.81	3.00±0.14	1.2±0.3
灰原	焼土塊	3.14±1.38	2.56±0.11	1.2±0.5

3. まとめ

中岳山麓窯跡群荒平第2支群1号窯跡においてTL年代測定を行い、これまで求めている較正¹⁴C年代の年代幅に制約をかけることが可能になった。¹⁴C法の較正曲線で¹⁴C変動が顕著ではない時期の数値年代について、TL法など複数の年代測定法を適用することによって年代幅に制約をかけることは可能であり、数値年代の確度をより高めることができるだろう。

文献：古環境研究所(2015)中岳山麓窯跡群の研究、pp117-118. 下岡ほか(2015)地球環境研究17、pp107-110. 下岡ほか(2018)地球環境研究20、pp179-183. 篠藤ほか(2015)日本文化財科学会第32回大会、pp6-7. 畠山ほか(2018)日本文化財科学会第35回大会. Aitken(1985) Thermoluminescence Dating.

謝辞：本研究には、基盤研究(A)「南限の古代窯須恵器の生産と流通 - 考古学的手法と自然科学分析の補完的研究 -」(代表者：中村直子、15H01902)の一部を使用した。

2日目
7月7日

A会場

古文書の起源の追跡にむけた前近代の和紙の構成物分析

: 研究の現状と課題, 方法の展開

B会場

Component analysis of historical papers in the early-modern

period for exploring the origins of paper resources

C会場

: The current trends, issues, and its perspectives

○渋谷綾子¹、高島晶彦²、天野真志¹、山田太造²、小島道裕¹、尾上陽介²

(¹国立歴史民俗博物館、²東京大学史料編纂所)

○Ayako SHIBUTANI¹, Akihiko TAKASHIMA², Masashi AMANO¹, Taizo YAMADA²,

Michihiro KOJIMA¹, Yosuke ONOE²

(¹National Museum of Japanese History, ²Historiographical Institute, the University of Tokyo)

1. 研究目的

本研究の目的は、考古学や植物学的手法によって古文書や古記録などの料紙の構成物を分析し、古文書の起源の精細な追跡を行うことである。料紙の構成物には素材となる繊維のほか、製造過程での添加物（填料）のデンプンや鉱物、歴史資料の修理時に付加される炭酸カルシウムなどがある。これまで料紙の物質的な研究では、厚みや重さなどの計測や顕微鏡観察による繊維などの分析が主に行われてきた。

本研究では2017年度から、構成物の中でも填料・非繊維物質・ネリ等に焦点を当てて、それらの種類や量、密度の違いと古文書の分類との対象比較を行い、結果を蓄積してきた。本報告では、現在までの研究結果を報告するとともに、料紙研究の現状と課題、古文書の起源の追跡にむけた構成物分析の展望について検討する。

2. 分析対象とした歴史資料と分析方法

分析の対象とした歴史資料は、国立歴史民俗博物館（以下、歴博）所蔵「大友宗麟軍忠披見状」（雁皮紙）、「織田信長朱印状」（楮紙）、「豊臣秀吉朱印状後補包紙」（楮紙）、「亀井茲矩書状」（竹紙）、「九条道家御教書」（楮紙）、「関東下知状」（楮紙）、「後小松天皇綸旨」（宿紙；使用済みの和紙を漉き直して作った再生紙）、「後小松天皇綸旨包紙」（宿紙）、「正親町天皇綸旨案」（宿紙）の9件、ならびに東京大学史料編纂所（以下、史料編纂所）所蔵「中院一品記」（楮紙）の顕微鏡撮影画像1234枚である。

歴博の歴史資料についてはデジタルマイクロスコープ（キーエンス VHX-1000 : 100~1000倍、

VHX-6000 : 20~2000 倍) を用いて視野条件を変えつつ、料紙の表面構造を観察した。どの倍率でどのような表面構造を観察できるのか記録するため、反射光を主に用いて行った。一方、史料編纂所の「中院一品記」については、小型顕微鏡を用いて撮影された画像(透過光, 100 倍)を解析した。これらの画像から構成物の種類や数量、密度の違いを識別することにより、既存の研究で蓄積された画像データの解析や再検証がどこまで可能となるのか、検討を行った。

3. 分析結果

分析した歴史資料からはいずれも料紙の構成物の種類や量を識別することができた。歴博の歴史資料 9 点については、それぞれ繊維の配列状態を識別することができた、特に、既存の研究では繊維の間隔が緻密であると提示されてきた雁皮紙について、「亀井茲矩書状」(竹紙)がむしろ「大友宗麟軍忠披見状」(雁皮紙)より繊維間が緻密であることが判明した。

構成物としては、料紙の素材であるガンピやタケ、コウゾの細胞組織の微細な断片が散らばっている状況を確認するとともに、柔細胞、イネのデンプン粒、鉍物などを確認した。中でも、楮紙の歴史資料においては、填料のイネのデンプン粒が繊維に絡みついている状態だけでなく、資料ごとの含有量・密度の差異も判明した。宿紙の歴史資料からは、雲母、繊維束(種不明)、トロロアオイのデンプン粒と思われる物質、墨の粒子の散らばりと場所による量の違いを識別することができた。

史料編纂所「中院一品記」の画像からは、デンプン粒、糊の痕跡、柔細胞や細胞組織片、鉍物を確認し、植物性物質については種同定を試みた。楮紙に含有されたデンプン粒の大半は、六角形で長径・短径ともに 3-10 μm という形態であり、イネと同定した。円形でイネより粒径が大きいデンプン粒や繊維に包含されたデンプン粒も確認した。スケールが画像に記録されておらず、種の特定はできなかったが、デンプン粒の形態からは料紙の素材となったコウゾやイネ以外の種に由来すると推定した。さらに、粒子が膨張し壊れたデンプン粒や周辺につぶれた細胞壁が見られた画像については、これらが糊の痕跡であると判断した。

4. まとめ

古文書や古記録などの料紙の構成物を分析した結果、構成物の種別・識別だけでなく、紙への含有密度の差異も計測することができた。これは料紙の履歴を探る一つの手段となる。特に、植物由来の構成物の差異を数値化することは、料紙の製造手法の復元や生産・流通過程の検討を可能とする。これらの数値データの標準化によって、地域的特性を解明できるため、歴史資料の作られた時代の社会変容、物価の変動などの経済的な変化を検証することも可能となる。

【謝辞】

本研究は、国立歴史民俗博物館機関拠点型基幹研究プロジェクト「総合資料学の創成と日本歴史文化に関する研究資源の共同利用基盤構築」、および東京大学史料編纂所 2018 年度一般共同研究「前近代の和紙の構成物分析にもとづく古文書の起源地追跡」の成果の一部である。

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

備前焼陶片の自然科学的調査

Natural scientific investigation of buried Bizen pottery pieces.

○武内修治 ((一財) 岡山セラミックス技術振興財団)、林 靖昌 (同左)、高長茂幸 (同左)
石井 啓 (備前市教育委員会 文化振興課)

○Shuji TAKEUCHI, Yasumasa HAYASHI, Shigeyuki TAKANAGA (Okayama Ceramics Research Foundation), Kei ISHII (Bizen City Board of Education Culture Promotion Section)

1. はじめに

岡山県の南東部に位置する備前市は、古くから備前焼の生産が盛んで市内には100ヵ所以上の窯跡が分布しており、中には全長が50m以上の江戸時代の大窯も存在している。これら窯跡には無数の陶片が堆積しており、備前市埋蔵文化財管理センターにて発掘調査試料の整理・保管がされ、考古学の分野から調査がなされている。しかし、自然科学的調査に関しては、未だ十分には進められていないようである。

そこで、備前焼の原土は歴史的に化学組成の変化はあったのか、そして焼成温度などの焼成環境はどうであったのか、その結果どのような物理的性状に焼締められていたのかについて課題を設定し自然科学的手法で調査した。

2. 調査試料

備前市埋蔵文化財管理センターから資料の提供を受け、主に医王山東麓、不老山東口、西大窯より出土された、平安時代から江戸時代までの播鉢および鉢を調査試料とし、各種調査を実施した。

3. 調査方法

- ①成分分析：波長分散型の蛍光X線分析装置（リガク社製：ZSX Primus II）を用いて、ガラスビードにてファンダメンタルパラメータ法分析を実施した。
- ②焼成温度：熱機械分析装置（ブルカーAXS社製：TMA4200SA）を用いて熱膨張挙動の急変化開始温度より焼成温度を推定した。¹⁾
- ③比重・気孔率：アルキメデスの法則を利用した「JIS R2205：耐火れんがの見掛気孔率・吸水率・比重の測定方法」と真比重測定から気孔率、かさ比重、吸水率などを算出した。

4. 結果と考察

備前焼陶片の主成分測定結果を図1に示す。山土から田土に変わってきたと言われているが、平安時代から江戸時代にかけて主成分および微量成分についても大差なく、同じ化学的性状の胎土が使用されてきたと思われる。

焼成温度は1000～1200℃の広い範囲に分布していたが、分布度数の傾向には年代をおっての変化が認められなかった。図2のかさ比重との関係から判断しても、古備前は1050～1200℃で焼成されて、かさ比重2.1～2.2に焼締められた陶器と考えるのが妥当であろう。ただ、焼締め

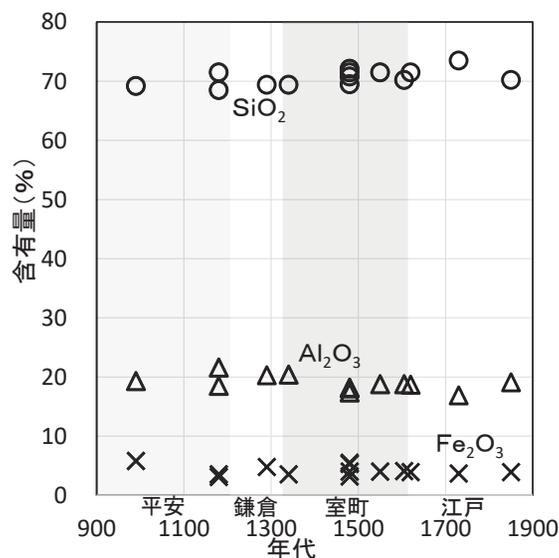


図1 埋蔵備前陶片の主成分

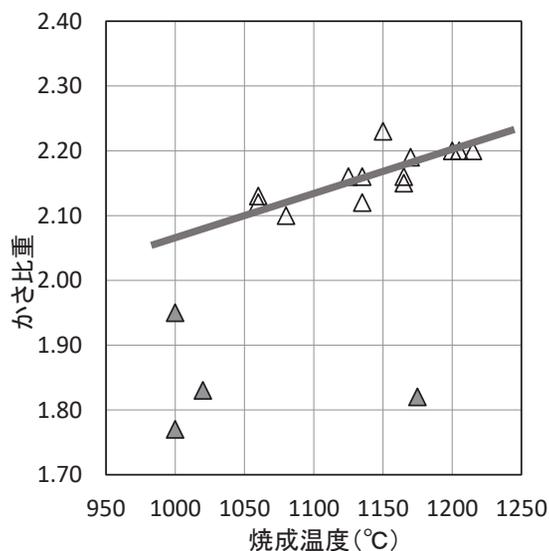


図2 推定焼成温度とかさ比重

不足の製品は二度焼きにまわされるのか、あるいは備前焼として流通していたのかは不詳である。

また、備前焼は酸化焰焼成による赤い陶器といわれているが、陶片断面の呈色観察では還元焼成の痕跡が多く認められた。炭素共存下での気相の熱力学計算でも、700℃を超えるとCOが安定になるので酸化焼成といいきるにも疑問が残る。焼成技術に関しては更なる自然科学的究明が必要である。

図3に陶片の気孔形態の測定結果を示す。密閉・開放気孔の比率の明らかに異なる陶片が混在していた。還元焼成の影響が強いと密閉

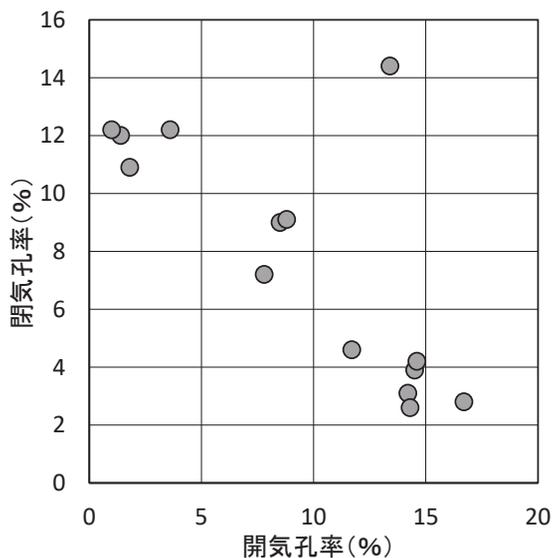


図3 陶片の気孔状態

化しやすいとの知見は得られているが、気孔形態が陶器の機能にどのような差異を及ぼすのかは不詳である。ただ備前焼が陶器にも炆器にも分類されることの一因ではあろう。

備前焼陶片の自然科学的調査を進めるに連れて、「備前焼とは何か」との疑問が湧き、明確な定義の必要性を感じた。

5. 参考文献

- 1) 高長茂幸 備前焼の歴史を科学する意味 備前歴史フォーラム2016 資料集 備前市教育委員会

2日目
7月7日

A会場

B会場

C会場

可搬型分析装置の複合利用による葛飾北斎肉筆画の 非破壊オンサイト分析

On site analysis of Ukiyoe by Katsushika Hokusai based on combined use
of portable analytical instruments

○赤城 沙紀 (東理大・理)、平山 愛里 (同左)、阿部 善也 (同左)、中井 泉 (同左)、
下山 進 (デンマテリアル(株)色材科学研究所)

○Saki AKAGI, Airi HIRAYAMA, Yoshinari ABE, Izumi NAKAI (Tokyo University of Science),
Susumu SHIMOYAMA (Den Material Co., Ltd. Color Material Research Laboratory)

【はじめに】

本研究で対象とした葛飾北斎 (1760-1849 年) は、江戸時代後期、化政文化を代表する浮世絵師であり、「富嶽三十六景」が代表作として知られている。北斎は世界的に知られた日本を代表する画家であり、欧米の画家たちに多くの影響を与えている。本研究では北斎が使用した色材を解明することを目的として、北斎館 (長野県小布施) にて、複数の可搬型分析装置 (蛍光 X 線分析装置、粉末 X 線回折計、顕微ラマン分光分析装置、紫外可視蛍光分光分析装置、デジタル顕微鏡、赤外線カメラ) を持ち込み、Fig. 1 に示す葛飾北斎の肉筆画 4 作品の分析調査を実施した。濤図の「女波」と「男波」は上町祭屋台の天井絵として 1845 年に描かれた板絵である。「菊図」は絹本双幅で「八十八老人卍筆 (左)」あるいは「齢八十八歳卍筆 (右)」と署名があり北斎 88 歳の 1847 年に描かれたものとなるが、北斎の娘 (応為) との共同作成である可能性もあることから作画期は「天保後期～寛永 2 年 (1840～49) 頃」と現在推定されている。これらの作品で本格的科学分析がなされるのは、今回が初めてである。

【分析】

分析には、蛍光 X 線分析装置 100FA (OURSTEX 製)、粉末 X 線回折計 PT-APXRDIII (テクノエックス製)、顕微ラマン分光分析装置 MiniRam (B&W Tek. 製)、紫外可視蛍光分光分析装置 (東京インスツルメンツ (株)) を用いた。MiniRam 以外はメーカーと東京理科大学中井研究室との共同開発装置である。なお、中判デジタル一眼レフカメラ (PENTAX 645D IR) を用いて、IR フィルターにより可視光をカットし撮影することで、赤外吸収写真の撮影も実施した。全ての分析は北斎館にて非破壊・非接触で行った。



Fig. 1 (左)「女浪」 (中)「男浪」 (右)「菊図」

【結果と考察】

本研究により計 12 種類の色材が同定された。以下ではその代表的な結果を報告する。

まず葛飾北斎が浮世絵版画で多用した、青色色材に着目した。「女浪」の波 (Fig.2) に対して蛍光 X 線分析を実施したところ、濃い青色部分 (p1) と水色部分 (p2) とで Fe の強度差が見られた。さらに赤外吸収写真より、赤外吸収の差も見られた (Fig. 2)。これらの結果と、紫外可視吸収スペクトルの比較により、濃い青色部分ではペロ藍 ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$) が、水色部分では藍 ($\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$) が用いられていたことが明らかになった。一方、「菊図」では青色の花弁部分で群青 ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) を用いていたことが粉末 X 線回折により同定された。

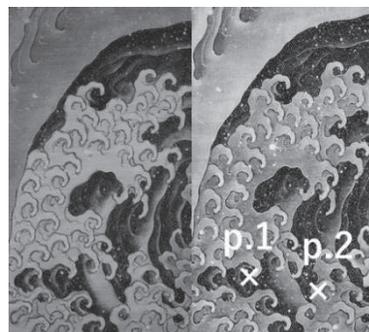


Fig.2 「女浪」の波部分
(左)赤外写真 (右)通常の写真

続いて黄色色材について、「女浪」「男浪」では蛍光 X 線分析と顕微ラマン分光分析により石黄 (As_2S_3) 同定した。一方「菊図」においても黄色部分から蛍光 X 線分析で As を検出したが、顕微ラマン分光分析により石黄ではなく As-S ガラスであると同定した。As-S ガラスは 1846 年から石黄に替わる黄色の人工顔料として製造が開始されており、欧州における西洋画においてその使用が多数確認されている²⁾。このことは現在推定されている菊図の作画期を特定する上で貴重な情報となった。

赤色色材についても、本研究によって複数の色材が用いられていることが明らかになった。さらに、無機顔料である朱 (HgS) と染料の臙脂や紅花を重ねて使用した箇所が認められ、同色となる無機顔料の上に染料を重ねる手法が採られていると推定できる。さらに、鉛丹 (Pb_3O_4) や弁柄 (Fe_2O_3) など複数の赤色色材を同定した。以上のことから、葛飾北斎はこれらの顔料の使い分け、あるいは組み合わせることで、鮮やかな色合いを演出していたと考えられる。

【おわりに】

本研究では葛飾北斎の肉筆画作品を科学的に調査し、使用された色材やその複合的利用など、美術史の面からも興味深い知見を得ることができた。なお、本研究の X 線分析の成果の一部は論文³⁾として報告した。

【謝辞】

本研究を進めるにあたり、貴重な資料を分析する許可をくださった北斎館の平松快典理事長はじめ関係者の方々、分析を手伝ってくださった東理大の村串まどか氏に深く感謝いたします。さらに、このような素晴らしい作品の分析調査の機会を与えてくださった、NHK 大阪放送局の坂口春奈氏を始めとする NHK スタッフの皆様にも厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) Y. Luo *et al.* : *Herit Sci*, **4**, 17 (2016).
- 2) A. van Loon *et al.* : *Herit Sci*, **5**, 26 (2017).
- 3) 中井 泉ら: 「X 線分析の進歩」 **49**, 257-270 (2018).

2 日目
7 月 7 日

A 会場

B 会場

C 会場

正倉院宝物の絵紙軸に施された暈縹彩色の色料分析

Analysis of the color materials used for Ungen-coloring of a roller for patterned paper stored in the Shosoin

○鶴 真美(宮内庁正倉院事務所) 中村力也(同左)

○Mami TSURU, Rikiya NAKAMURA(Office of the Shosoin Treasure House)

1. はじめに

正倉院は、東大寺の北西に位置する宝物庫であり、奈良時代の美術工芸品や文書が多数伝えられている。この中には暈縹彩色が施された工芸品が多く伝存するが、暈縹彩色に使用された色料についての詳細は未解明な部分が多い。これらの材質を調査することは、彩色の保存や修理、復元に役立つと考えられる。本発表では、暈縹彩色の施された絵紙軸(中倉 45 絵紙 付属軸)の観察および、蛍光 X 線分析、X 線回折分析、可視分光分析により得られた色料の詳細について報告する。また、赤系暈縹の塗り重ねのパターンは、ほかの正倉院宝物においても散見されることから、基礎実験を通して検討を行った。

2. 調査宝物について

絵紙軸(図 1)は、長さ 63.7 cm、径 3.4 cm で、ヒノキ材を円筒形に加工した大型の軸であり、絵が描かれた紙を巻くための軸にあたる。軸側面の両端 10 cm の部分に白色下地を塗り、その上に暈



図 1 正倉院に伝わる絵紙を巻いた軸

縹彩色で縹文様を描く。縹文様は、青系・赤系・緑系・紫系の暈縹からなり、それぞれの暈縹の間は白色である。本宝物は昭和 61~62 年に、X 線回折分析による調査が行われており、青色部分に藍銅鉱、橙色部分に四酸化三鉛、緑色部分に孔雀石、白色部分に水白鉛鉱の使用が確認された。

3. 調査方法

X 線回折、蛍光 X 線分析および可視分光分析の測定条件は次の通りである。X 線回折：日本フィリップス社(現スペクトリス社) X 線回折装置 X'Pert Pro MPD (文化財用改造仕様) (ターゲット：Cr、電圧：40 kV、電流：10 mA、測定範囲：10~90°、スキャンスピード：2.4 deg/min)。蛍光 X 線分析：前述の X 線回折装置に EDAX 社製 Sapphire CDU X 線分析装置用検出器を付属させた装置 (ターゲット：Cr、電圧：40 kV、電流：10 mA、測定時間：200 秒)。可視分光分析：オーシャンオプティクス社 USB4000 (光源：ハロゲンランプ、測定波長：400~800 nm、測定距離：約 5 mm、測定角度：45°)。

4. 絵紙軸の測定結果と考察

分析の結果を表 1 に示す。X 線回折分析の結果、過去の報告と同様に、青色部分に藍銅鉱、橙色部分に四酸化三鉛、緑色部分に孔雀石、白色部分に水白鉛鉱が使用されていることが再確認できた。また、淡青色、淡緑色部分からも、それぞれ藍銅鉱、孔雀石の使用が確認できた。各暈縹の最暗色部分

表 1 絵紙軸の暈縹に使用された色料

段数	青系暈縹	赤系暈縹	緑系暈縹	紫系暈縹
1段目	(水白鉛鉱)*	黄色有機色料	黄色有機色料	(水白鉛鉱)*
2段目	藍銅鉱	四酸化三鉛	孔雀石+黄色有機色料	ラック
3段目	藍銅鉱	四酸化三鉛+ラック	孔雀石	ラック
4段目	藍銅鉱+ラック	赤鉄鉱	孔雀石+黄色有機色料	赤鉄鉱
5段目	鉄系顔料		鉄系顔料	

*水白鉛鉱(白色)は各暈縹の間にあるが、便宜上一段目の色とした。

からは、蛍光 X 線分析により Fe が検出され、また紫系暈縹、赤系暈縹の最暗色部分からは X 線回折分析により赤鉄鉱のスペクトルが得られた。よって、最

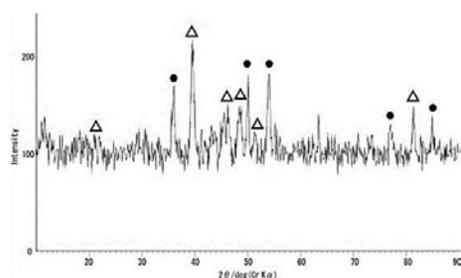


図2 赤系暈縹の最暗色部分のXRDパターン (△: 四酸化三鉛 ●: 赤鉄鉱)

暗色部分にはいわゆるベンガラを用いていると考えられる(図2)。紫系暈縹からは、可視分光分析により、530 nm、580 nm の付近に屈曲点が認められ、これはラック(臘脂)の反射スペクトルと近似することから、ラックが塗られていると考えられる。また絵紙軸の赤系暈縹には、四酸化三鉛の上に重ねられた赤色色料がヒノキ材の上にわずかにはみ出して塗られた部分がある。このはみ出した赤色について可視分光分析を行った結果、535 nm、580 nm に屈曲点が確認され、ラックが使用されたと考えられる。一方、四酸化三鉛の上にラックを塗り重ねた部分は540 nm、585 nm に屈曲点が認められ、ラックそのものの反射スペクトルとは異なっていた。

5. 手板との比較

赤系暈縹における鉛丹とラックを塗り重ね部分について検討を行うため、手板を作成し、基礎実験を行った。手板は、ヒノキ材の上に試薬の水白鉛鉱を塗り、その上に四酸化三鉛を塗り、その上に綿臘脂・スオウ・ベニバナ・アカネの抽出液をそれぞれ塗り重ねた。これらについて可視分光分析し、二次微分処理を行った。結果、綿臘脂抽出液を塗り重ねたものは540 nm、580 nm に極大が認められ、絵紙軸のスペクトルと近似することがわかった(図3)。一方、スオウ・ベニバナ・アカネの可視分光スペクトルは、絵紙軸においてみられる四酸化三鉛に重ねられた赤色のスペクトルとは異なっていた。

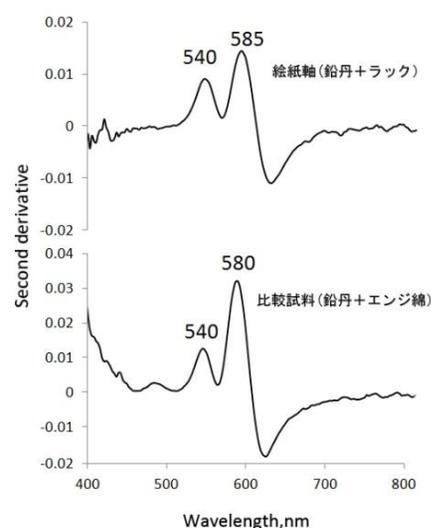


図3 絵紙軸と鉛丹+ラック比較試料の可視反射分光の二次微分スペクトル

6. 他の宝物との比較

正倉院に伝わる緑地彩絵箱(中倉155)に塗られた赤系暈縹の花文の中には、絵紙軸のものと同様に、鉛丹の上に有機系の赤色色料が塗られているものがある(図4)。これについて可視分光分析し、二次微分処理を行った結果、540 nm、585 nm に極大が認められ(図5)、絵紙軸の四酸化三鉛に重ねられた赤色のスペクトルや四酸化三鉛に綿臘脂抽出液を重ねて塗った手板のスペクトルと近似することがわかった。



図4 緑地彩絵箱の赤系暈縹花文

7. おわりに

調査により、絵紙軸について、各暈縹に使用された色料の詳細な情報を得ることができた。赤系暈縹の四酸化三鉛の上に重ねられている赤色色料についても、手板を使った基礎実験によってラックが用いられていることを確認した。今後の継続した調査によって、奈良時代の暈縹彩色に用いられた素材の様相が解明されるものと期待される。

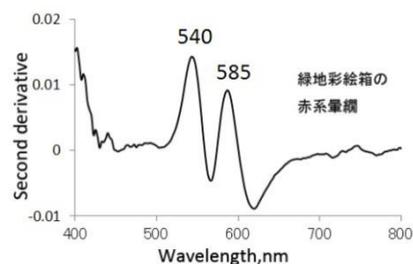


図5 緑地彩絵箱の可視反射分光の二次微分スペクトル

2 日目
7 月 7 日

A 会場

世界遺産三重津海軍所ドライドック遺構の渠壁構造と施工時の安定性 Structure of Mietsu Naval Dry Dock and its stability during construction

○正垣孝晴（防衛大学校）、奥田大史（同左）、中野義仁（(株)興和）、鈴木直文（同左）

B 会場

○Takaharu SHOGAKI, Daishi OKUDA (National Defense Academy)
, Yoshihito NAKANO, Naofumi SUZUKI (Kowa Co.,Ltd)

C 会場

1. はじめに

2015年に登録された世界遺産「明治日本の産業革命遺産」の構成資産の一つである三重津海軍所のドライドックは、ドック東側と渠口西側部にて、それぞれ木組みによる渠壁と木組みがない土構造の渠壁と渠底が確認され、2016年からドックの全体構造や設計思想等の解明の一環として、ドック構築に利用された材料の産地特定を含む渠壁と渠底の地盤工学的解釈^{1),2)}の検討が行われている。本稿は、渠口西側渠壁と渠底の構造および施工時の安定性について検討・考察する。

2. ドライドックの構造

ドライドックと各種地盤調査の位置を図-1に示す。図-2はドック渠壁と渠底部の構造を示している。図-2の渠壁～渠底観察断面から作成した渠壁からドック中心軸付近の渠底までの土層構造を図-3に示す。トレンチ掘削底より深い部分は、Cone1と2および近隣既存ボーリングから推定している。ドック周辺地盤の最上部には有明粘土(Ac1)が堆積し、ドックは同層中に設けられている。西側渠壁と渠底の構造は、色調変化や混入物の有無などに加え、渠壁法尻付近と渠底に土俵を層状に積み上げた痕跡が確認されたことから、図-3ではA1～Fの7層に区分した。この内、E層は牡蠣殻密集層であり、同層は図-1に示すトレンチ1で発掘された木組による東側渠壁下でも同じ標高ELで確認されている。西側渠壁と渠底の施工は、A1～Fの順に行われたと推察しているが、トレンチ2の渠底にはE層のような牡蠣殻密集層は確認されておらず、同層を構築した目的やその連続性については未だ不明である。さらに、E層下のA1層は、図-3に示す土俵の外形跡は確認できないが、部分的に俵の模様跡が確認され、A1層まで人工的に構築されたと推察している。しかし、その施工を行うにはドック断面以上の広範囲な地盤掘削を要した

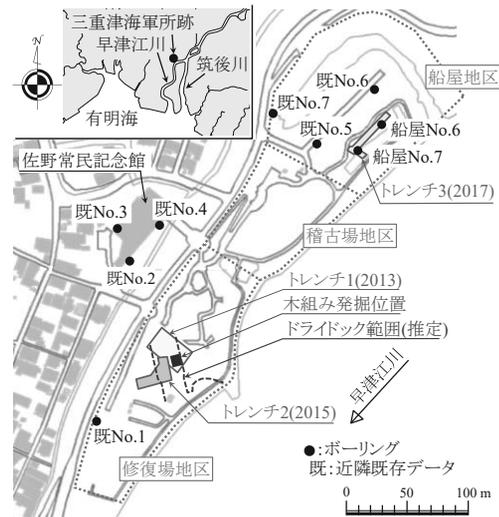


図-1. ドライドックと各種地盤調査位置

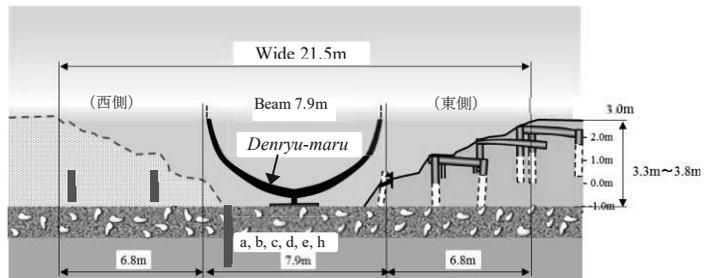


図-2. 渠壁と渠底の構造

ことになり、上位のEとF層も含めてドックの施工手順は今後の課題である。

3. 西側渠壁と渠底の施工時の安定性

西側渠壁と渠底の施工過程は今後も継続的に検討する必要があるが、完成時は図-3に示す構造であると推察している。また、修復船の入・出渠は、潮位の干満差による渠内水位(W.L)の変化を利用して行ったと推察されて

おり、渠壁と渠底の安定性は、完成後も水位変化の影響を受けていたと考えられる。ここでは、西側渠壁と渠底の完成時の断面に対して、円弧すべりによる安定性を検討する。解析方法は、現行の各種指針等で多用されている修正 Fellenius 法を用いた。地盤定数は、既報^{1), 2)}で得た各層の平均値を用いる。

安定計算の結果を図-4に示す。この検討では平均干潮位まで地下水位を低下させ、ドライの状態で行った場合の完成時の検討結果である。完成時の一軸圧縮強さ q_u から得た非排水強度 $q_{u(BP)}/2$ と原位置の非排水強度 $c_{u(I)}$ による最小安全率 $F_{s(min)}$ は、それぞれ 2.143 と 2.745 であり、 $q_{u(BP)}/2$ の $F_{s(min)}$ は試料の乱れを反映して $c_{u(I)}$ の約 78% と小さい。しかし、何れも現行の各種指針等で準用されている完成時の目標 $F_s \geq 1.20 \sim 1.25$ を満足することから、ドックは完成時に安定であったと推察される。また、満水時と水位急低下時の $F_{s(min)}$ は、それぞれ 2.410 と 1.813 であり、渠内の水位変化による安定性の問題もなかったと推察された。

4. おわりに

渠口西側渠壁と渠底に利用された粘性土は、ドック周辺の Ac1 と同質であり、渠壁と渠底の安定性は完成時も渠内の水位変化に対しても確保されていたと推察された。

参考文献 1) 正垣・為廣・中野：25mm 径の塩ビパイプで採取した粘性土の原位置強度推定，第 52 回地盤工学会発表会講演集，pp.277-278, 2017. 2) 正垣・渡邊・奥田・中野：小径倍圧型サンプラーで採取した有明粘土の原位置非排水強度と圧密特性，第 14 回地盤工学会関東支部発表会講演集 (Web 版)。

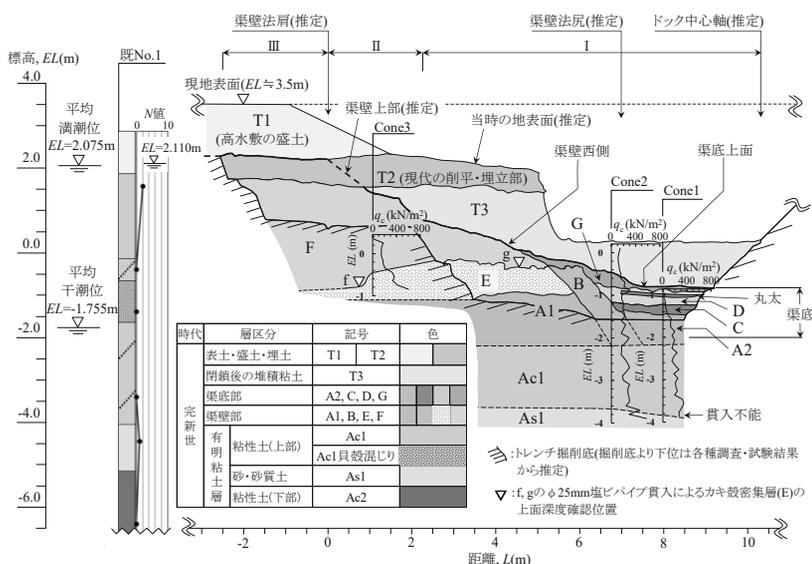


図-3. 西側渠壁と渠底の構造

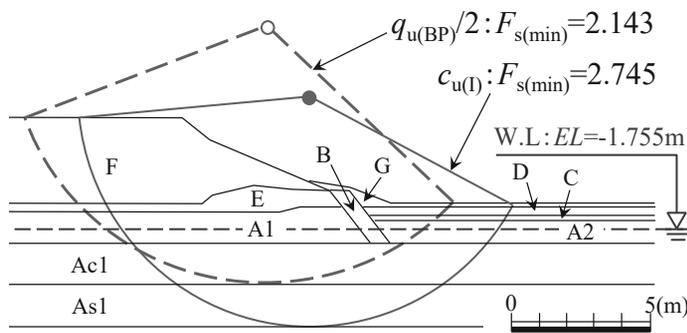


図-4. 安定計算結果(完成時)

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

熊本城城郭石垣地震前変状評価と秘伝書の役割

Deformation of the stone wall of Kumamoto castle and the 2016 Kumamoto earthquake

○福田光治（大成ジオテック）

1. 研究目的

熊本城城郭石垣の石垣曲線の形態は石垣秘伝之書で解釈することができる。2016年熊本地震前の石垣は変状しており、その変状レベルと2016年熊本地震による崩壊の関係を分析しなければならない。変状レベルを一般的な評価とするためには石垣秘伝之書が一般性を有していることを確認しておかねばならない。このために日本古来の破風作図法や、金沢城石垣形態の指針となる後藤家文書の関係を比較する。地震による石垣崩壊は石垣の工学的安定性から評価されなければならない。変状レベル、工学的な安全率そして2016年熊本地震による崩壊の関係を分析する。

2. 石垣秘伝の書の一般性

日本古来の破風作図法により石垣秘伝之書と後藤家文書作図法を統一的に解釈することができる。場の等分割と反り按分が基本となる。破風作図法の基準となる水平長さを、鉛直高さとして等分割し、水平方向に反りを設定すると石垣曲線になる。城郭石垣研究者の北垣聡一郎の文献に基づくと、高さ方向の分割幅、天端における反り按分量を決めると、三角形の相似則により対応する高さでの反りを計算することができる。

3. 熊本城城郭石垣の石垣曲線と時代変遷

熊本城城郭石垣構築時代の研究者富田紘一は石材の形状や加工精度、及

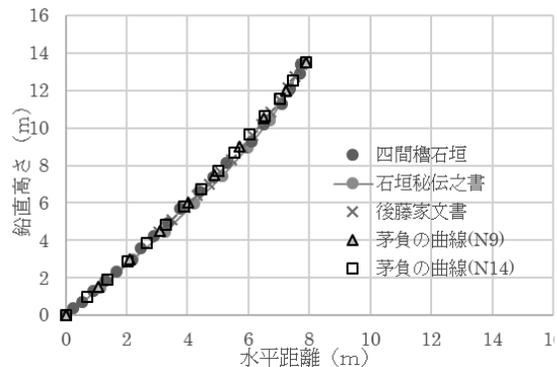


図-1 石垣秘伝の書の一般性

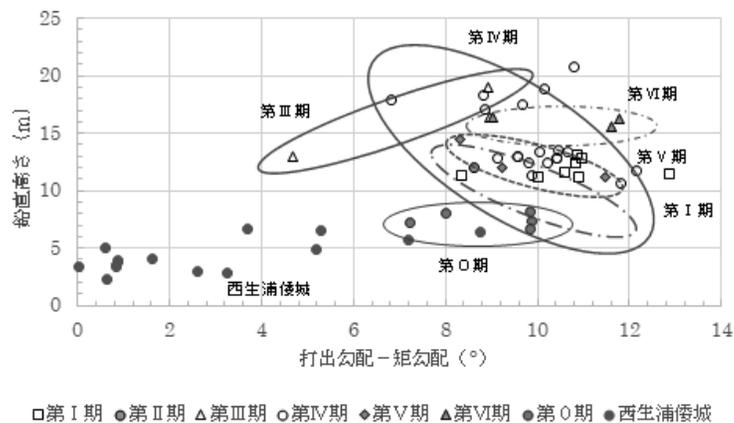


図-2 熊本城城郭石垣構築時代と石垣秘伝之書

び石垣の積み方で時代を区分している。富田の時代変遷は石垣秘伝之書の石垣曲線形態で追跡できる。現在の熊本城以前の古城や朝鮮半島の倭城西生浦の石垣形態も熊本城石垣形態変遷に位置付けることができる。初期段階では石垣高さが増大し、さらに成熟すると、鉛直高さよりも反りが追及されるようになる。

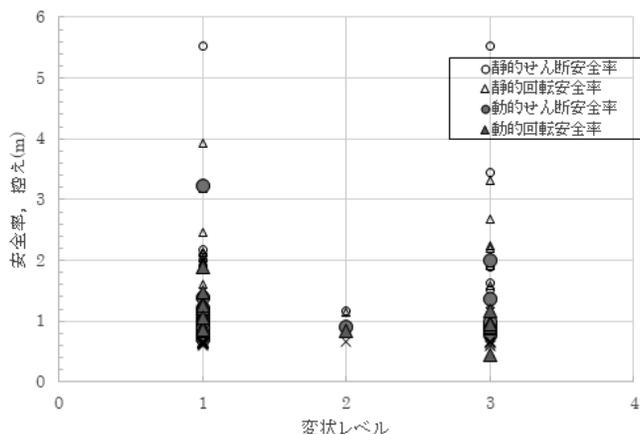


図-3 熊本城石垣変状レベルと安定性

4. 熊本城城郭石垣の変状レベルと地震被害

熊本城城郭石垣の石垣曲線は石垣秘伝之書の曲線で近似することを明らかにしたが、その乖離から変状レベルを評価した。変状レベルを視覚的に3段階に区分し、最も乖離が大きい乖離をレベル3とする。工学的な安定性を回転とせん断安全率で定義すると、変状レベルの段階が上がるにつれてせん断安全率が減少する傾向を示す。

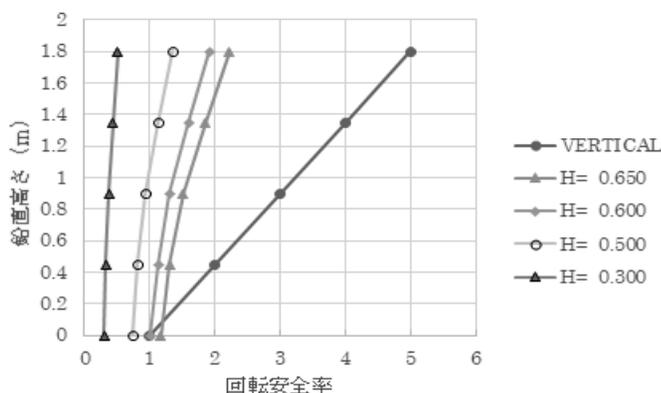


図-4 低石垣安定性と石垣控え

5. 低石垣崩壊研究の意義

熊本城城郭石垣は高さで反りが有名である。しかし高く、反りが大きい石垣が必ずしも崩壊した訳ではない。低石垣の崩壊箇所も目に付く。石垣の控えをパラメータに工学的安全率を求めると、控えが短くなると安全率は小さくなる。

6. 結論

熊本城城郭石垣は石垣秘伝之書で石垣曲線の形態の時代変遷を追跡することができることを示した。石垣秘伝之書を基準に石垣変状レベルを区分すると、変状が顕著なほど安定性が減少することを示した。また低石垣に着目すると、熊本城城郭石垣の控えが地震崩壊に影響した可能性が高い。復興では、必要最小限補強オーセンティシティが基本的な概念になるが、控え効果にも留意する必要がある、必要最小限の多様性を学際的に吟味しなければならない。

遠心模型実験による古墳の地震時破壊メカニズムに関する研究

Study on the Mechanism of Seismic Damage of Burial Mounds Using Centrifugal Model Tests

○澤田茉伊（京都大学）、Tumurkhuyag Enkhtuvshin（同左）、三村衛（同左）

○Mai SAWADA, Tumurkhuyag ENKHTUVSHIN, Mamoru MIMURA (Kyoto University)

1. はじめに

自然作用による損傷を受けている古墳は多く、特に地震は、墳丘の崩壊や石室石材の落下といった甚大な被害を及ぼす。南海地震などの歴史地震による地震痕が高松塚古墳等で発掘された他、最近では熊本地震により、釜尾古墳等の震源に近い複数の古墳が被災した。このような被害を抑制し、次世代に古墳を保存するためには、地震による破壊メカニズムを力学的に解明し、予防的対策をとることが有効である。本研究では、地盤工学に基づき、遠心力载荷装置を用いて、古墳の断面模型の加振実験を行うことにより、地震による破壊メカニズムを考察する。

2. 実験の概要

土の変形は、応力状態に大きく支配されている。遠心模型実験は、小型模型を用いて、遠心場で実験を行うことにより、実大の土構造物の応力・変形を再現することができ、特に地震のような低頻度の現象を詳細に分析するのに適した実験である。本実験では、直径 18m、高さ 5m の円墳を想定し、図 1 に示す 1/50 スケールの模型を用いて 50G 場で加振実験を行った。模型の条件は、高松塚古墳の地盤調査¹⁾を参考に設定し、石室は互いに接着していない 4 枚の樹脂板を組み合わせた構造とした。樹脂板間は、滑らかな場合と、土粒子を付着させて摩擦を大きくした場合の二種類とした。模型に遠心力を载荷した状態で、2Hz（1G 場換算）の正弦波で加振し、図中の位置で加速度と変位を計測した。

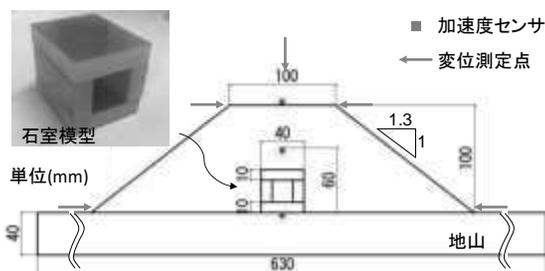


図 1 実験に用いた 1/50 の古墳の断面模型

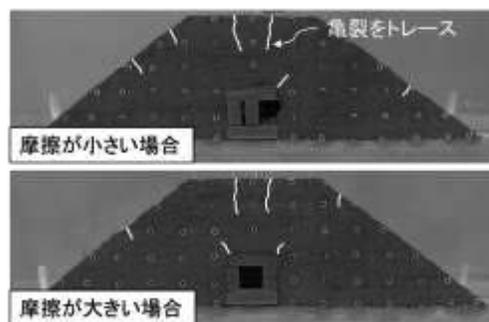


図 2 加振により亀裂が生じた模型

地表面の最大加速度が 500gal 程度となった加振後の模型の様子を図 2 に示す。樹脂板間の摩擦の大小によらず、天端と法面の表層に亀裂が見られる。ただし、石室周辺では、二つの模型に違いが見られた。摩擦が小さい場合は、側壁が石室内側に移動した直後に背面土が崩落した。一方、摩擦が大きい場合は、石室は変形しないが、隅角部に亀裂が発生した。

3. 古墳の地震時破壊メカニズム

土は粒状体であり、引張力に対しては、ほとんど抵抗できない材料である。そのため、亀裂の

一因は引張力と考えられる。そこで、加振時に墳丘内に生じる力を調べるため、数値解析で再現した。実験と解析の加速度波形の比較の一例を図3に示す。図は、樹脂板間の摩擦が小さい場合であるが、摩擦の大小によらず、解析は実験を定量的に再現できた。

墳丘内に生じる引張応力（負値を示す最小主応力）が最大となるときの引張応力の分布を図4に示す。二種類の模型は、同様の傾向を示したため、ここでは摩擦が小さい場合で代表する。天端と、変位方向と逆側の法面の表層に引張領域が見られる。また、石室隅角部から側壁にかけても引張応力が発生している。これらの領域は、図2に示す亀裂が発生している領域と合致している。そこで、引張応力が作用している面の方向と亀裂の方向を比較する。図5に作用面の方向を示す。ここでは水平面から右回りの角度を示す。天端では鉛直に近く、法面では斜面に直交する方向に作用面が位置しており、図2の亀裂の方向と合致している。また、石室隅角部は図から読み取りにくいので、数値を併記するが、法肩に向かって作用面が位置し、実際の亀裂と近い傾向を示している。以上より、亀裂は引張応力に起因すると考えられる。

石室の摩擦条件が異なる二種類の模型の解析結果は、樹脂板間のすべり量に違いが見られた。図2の加振条件では、摩擦が小さい場合は板材間に実大スケールで最大1cmのすべりが生じたのに対し、摩擦が大きい場合は全くすべりが生じなかった。この差から二つの模型の破壊挙動の違いを説明することができる。すなわち、解析では側壁はすべっても繰返し復元するが、実際には図4に示すように、背面土には引張応力が作用するため、崩壊して側壁を押し。このとき、摩擦が小さい場合は、側壁に作用する土圧と慣性力の和が、これに抵抗する摩擦力を上回る結果、側壁が内側に移動したと考えられる。実際の石材間の摩擦^{例えば2)}は、本実験条件よりも大きいと予想されるが、石材間の摩擦は、地震時に石室空間を維持する上で重要な要因であることがわかった。

4. 結論

模型実験と再現解析により、地震時に墳丘に生じる亀裂は引張応力に起因することがわかった。また、石室の石材間の摩擦は、石室の耐震性に及ぼす影響が大きいことがわかった。したがって、解体した石室を復元する場合などは、特に石材間の処理に注意する必要がある。

参考文献：1) 三村衛，石崎武志：高松塚古墳の現状とその地盤特性について，地盤工学ジャーナル，2006. 2) 三村衛ら：高松塚古墳墳丘の構造と原位置試験および室内試験による地盤特性評価に関する研究．土木学会論文集 C，2009.

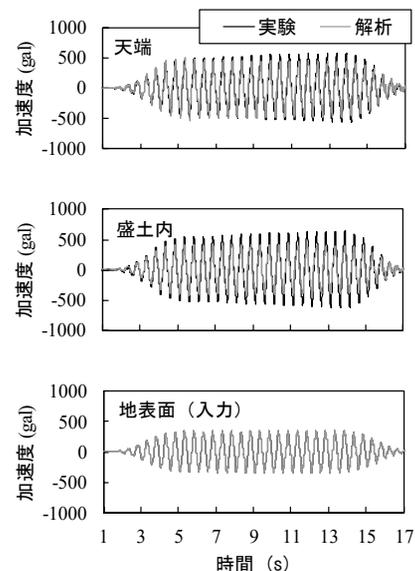


図3 実験と解析の加速度波形の比較

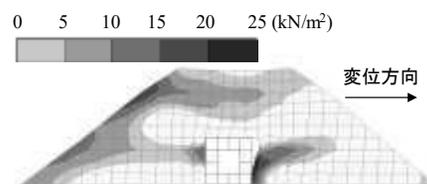


図4 引張応力の分布

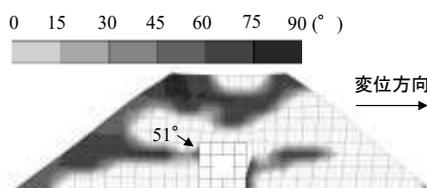


図5 引張応力の作用面の方向

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

熊本地震前後の熊本城の城郭石垣の変状分析—宇土櫓を例として

Deformation analysis of stone walls in Kumamoto Castle before and after the Kumamoto earthquake —An example of Uto turret

○小山倫史（関西大学）、桑島流音（同左）、神谷圭祐（横浜国立大学）、菊本統（同左）、橋本涼太（広島大学）

○Tomofumi KOYAMA, Ryuto KUWAJIMA (Kansai University), Keisuke KAMIYA, Mamoru KIKUMOTO (Yokohama National University), Ryota HASHIMOTO (Hiroshima University)

1. はじめに

2016年4月14日21時26分および4月16日1時25分に発生した熊本県熊本地方を震央とする地震により、熊本城内では、多数の重要文化財建造物の倒壊や破損のほか石垣においても全体の29.9%にあたる約23600m²に崩落や孕み・緩みが見られ、10.3%にあたる約8200 m²が崩壊した¹⁾。石垣の崩壊の要因としては、本震時の500gal以上と極めて大きな鉛直方向の加速度により、摩擦性材料である石材・土に作用する鉛直方向の拘束圧が失われ、浮き上がった状態になったところに水平方向の大きな加速度が作用したことが挙げられる。本研究では、地震直後から5回（2016年4、7、11月、2017年5、8月）にわたり3-Dレーザースキャナを用いた計測により石垣の3次元形状を計測し、孕み出しなどの変状箇所について経時的に追跡することで変状の進行の程度を議論した。本稿では紙面の都合上、宇土櫓の西面および北面の石垣に着目した。なお、地震前後で計測データ比較するため、1984年に桑原が計測した結果²⁾で比較を行った。

2. 宇土櫓の被災状況

図-1に2016年4月29日の宇土櫓の様子を示す。宇土櫓の石垣は、崩壊は免れたものの、特に、西面では建物が倒壊しており、石垣においても不自然な石垣形状や孕み出しが確認された。

3. 3-Dレーザースキャナを用いた石垣の3次元形状計測

3Dレーザースキャナは、方位と仰角を高速に変化させながら対象物までの距離をレーザー距離計により計測する機器である。計測器を原点として360°全方向の対象物の3次元座標を数値化することができ、複数位置から計測してデータ処理することで、対象建造物の3次元形状を得ることができる。なお、本調査で用いたレーザースキャナはFARO製のFocus3DX130である。

4. 変状分析の結果

図-2に宇土櫓の3次元点群データ（2016年4月に取得）を示す。桑原は、宇土櫓北西角から北向き、西向きの2測線で石垣形状を報告²⁾している（図-3参照）。本稿では、桑原の計測ラインにおいて震災前後の石垣形状の比較を行うとともに、震災後の余震や降雨により変状が進行していないか調べた。桑原の計測結果と本計測により取得した点群データを桑原の計測位置で

切り出した断面を重ねる際は、ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズム³⁾を用いた。図-4に2016年4月と2017年5月の点群データの差分を、図-5a、bに、宇土櫓の西石垣および北石垣において、桑原の計測ラインを比較したものをそれぞれ示す。熊本城の石垣は「武者返し」と呼ばれるように石垣の上部に行くに従い急勾配になるように石材を積んでいくという方法がとられている。しかし、西石垣においては、桑原による地震前の計測結果においても石垣の下部で孕み出しが観察され、今回の地震で新たに孕み出しが生じたわけではないことがわかる。しかし、地震後の石垣は全体的に外側に変形しており、その勾配は法尻(下端)から不連続に変化していることがわかる。なお、天端の外向き変位量は約36.4cmであった。一方、北石垣においても、西石垣より顕著ではないが外側への変形が見られ、変位量は天端付近で約15cmであった。また、地震後複数回行った計測結果を比較すると、西・北石垣ともに、桑原の計測ラインにおいて、地震直後の2016年4月から石垣形状はほとんど変化しておらず、余震や降雨に伴う雨水浸透などによる変状の進行はみられない(図-4参照)。

5. まとめと今後の課題

本稿では、地震前に桑原が計測した計測結果とレーザースキャナで取得した点群データから抽出した断面を比較し、地震前後の宇土櫓の石垣における変状を調べた。今後も継続的に石垣形状を計測し、変状の進行程度を調べる必要がある。また、石垣の保存・修復には、レーザ一点群データの取得・蓄積が必要かつ重要である。



図-1 宇土櫓の被災状況

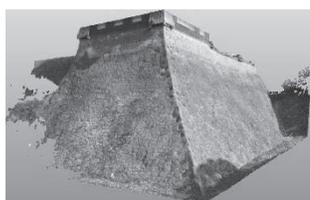


図-2 宇土櫓石垣の点群データ



図-3 桑原の計測ライン

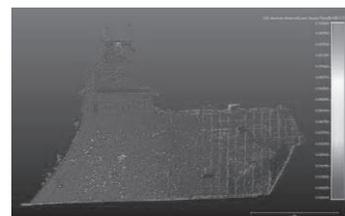


図-4 差分解析の結果

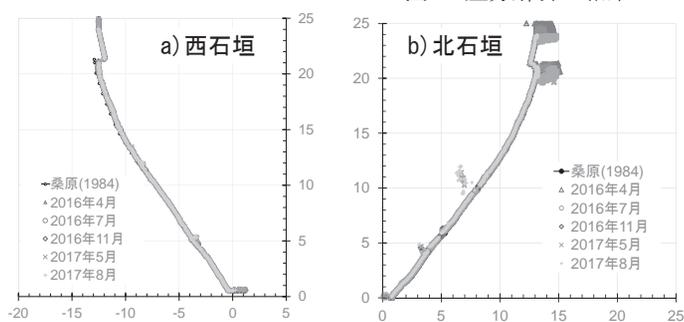


図-5 桑原の計測ラインにおける石垣形状の経時変化

参考文献

- 1) 復興熊本城 vol. 1 被害状況編 平成 29 年度上半期まで, 熊本市/熊本日日新聞社, p.19.
- 2) 桑原 文夫: 熊本城の石垣勾配, 日本工業大学研究報告, 第 14 卷, 第 2 号, 59-74, 1984.
- 3) Besl, P. J. and McKay, N. D. A method for registration of 3-d shapes. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992; 14(2): 239-256.

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

蓮ヶ池横穴群の環境調査について

Investigation of the environment in the Hasugaike Yokoanagun tombs

○オドフー アンガラグスレン（京都大学）、柳田明進（奈良文化財研究所）、脇谷草一郎（同左）
高妻洋成（同左）

○Angaragsuren Odkhuu (Kyoto University), Akinobu Yanagida (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Soichiro Wakiya (") and Yohsei Kohdzuma (")

I. Introduction

Hasugaike Yokoanagun tombs are located in Miyazaki city, Japan. Those tombs were made from the second half of the sixth century to the beginning of the seventh century. The tombs are not exhibited to the public because there are several problems such as degradation occurred in the bedrock, flaking of the surface layer, microorganisms on the surface of the wall¹⁾. We have measured air temperature and relative humidity in the Hasugaike Yokoanagun tombs number 12, 16, 17 and 53. In this paper, we have introduced a result of the hydrothermal environment inside the tombs number 16 and 17. The tombs number 16 and 17 are located in the same place. Therefore, we had decided to open the tomb number 16 and close the tomb number 17 (Table 1). The purpose of our study is to measure the air temperature and relative humidity in the tombs during the field survey and to evaluate the hydrothermal influence inside tombs when the tomb opened an entrance door and closed an entrance door.

II. Methods

In this study, we measured air temperature and relative humidity in the tombs from 2017/04/25 to present. Temperature and relative humidity were monitored for two different heights with respect to the floor: 10 cm (lower part) and 150 cm (upper part), (Figure 1). The surface temperature of the inner wall was measured each tomb. The measuring interval was 15 minutes. (Measuring equipment: U23-001 manufactured by Onset Computer Co., Ltd and RTR-52A, T&D corporation)

Table 1. The tomb positions²⁾

	Entrance door	Room width	Room depth	Ceiling height
Tomb number 16	Open	2 m	2.6 m	1.8 m
Tomb number 17	Close	2.4 m	2.6 m	1.84 m

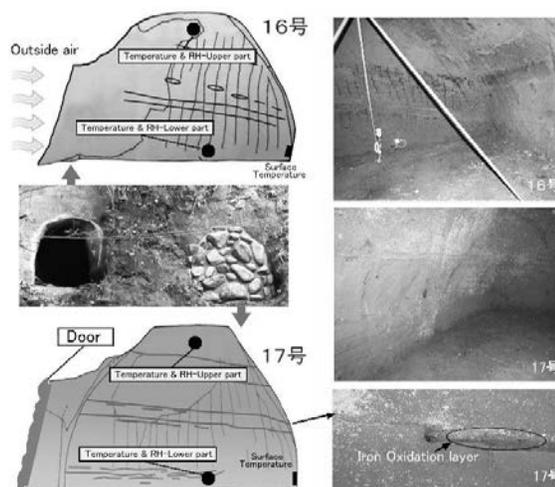


Figure 1. Appearance of the tombs and measurement location

III. Results and Discussion

The temperature and relative humidity of each tomb shown in figure 2 and 3. The air temperature of the tomb number 16 changed to associate with the air temperature of the outside. Moreover, high ventilation with the outside air influences on the hydrothermal environment inside of the tomb. Especially, the temperature of the lower part of the tomb number 16 was almost the same as the outside temperature during the winter. The temperature of the upper part in tomb number 16 changed to follow with the outside temperature in summer. Relative humidity of the tomb number 16 showed a daily change in the upper part during the summer, while the lower part was almost moisture saturated state from end of June to the end of October 2017. Also, relative humidity of the lower part decreased to follow the relative humidity of the outside in winter. This is evidence that the dew condensation could not occur on the inner wall of this tomb (Figure 6). The temperature and absolute humidity of each tomb shown in figure 4 and 5. Absolute humidity of the tomb number 16 showed the same result as temperature change.

Although entrance of the tomb number 17 was closed, the outside air ventilated at the lower part of the tomb during the winter. In summer, little ventilation has occurred at the upper part of the tomb. Relative humidity of the

tomb number 17 shown in figure 3, there was a moisture saturated condition at the upper and the lower part of this tomb during the summer. In winter, relative humidity decreased at the lower part of the tomb. Absolute humidity of this tomb appeared to follow the change of the inside air (Figure 5).

IV. Conclusion

In this study, we measured the air temperature and relative humidity and observed the annual distribution of dew condensation occurrence in Hasugaike Yokoanagun tombs number 16 and 17. The following results are measured. (1) Comparing the tomb number 16 to number 17, it is thought air circulation was high and this ventilation reduced the dew condensation amount on the inner wall of the tomb in winter. (2) Although the tomb number 17 closed by the entrance door and it is slightly ventilated with outside air from the upper side of the door space in summer, it could occur the dew condensation in the tomb. However, during the winter time, wetting and dry were repeated periodically at the bottom side of the inner wall.

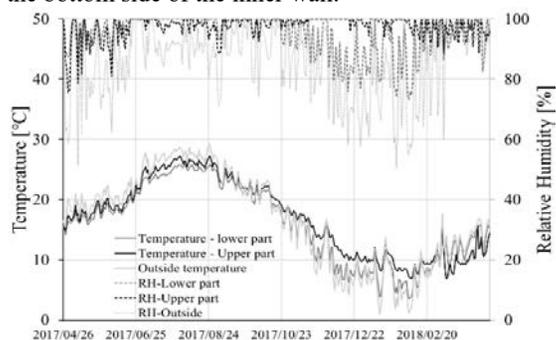


Figure 2. Tomb number 16, temperature and relative humidity

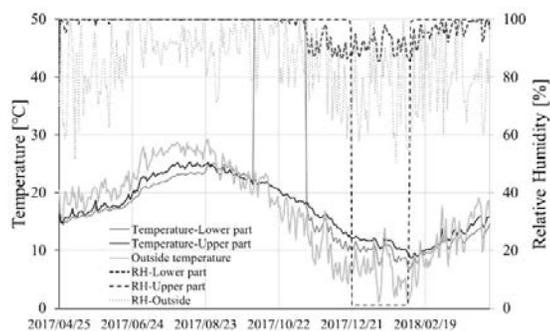


Figure 3. Tomb number 17, temperature and relative humidity

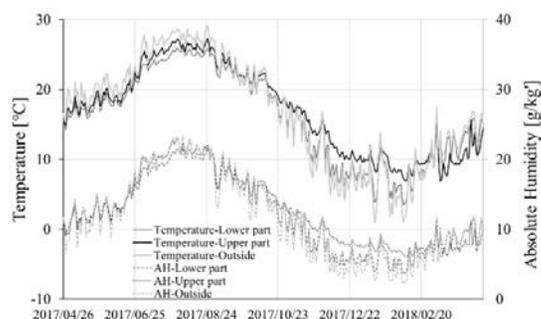


Figure 4. Tomb number 16, temperature and absolute humidity

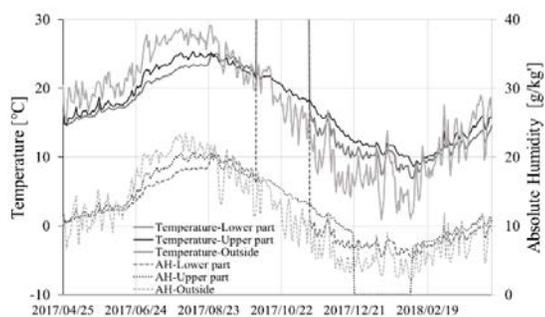


Figure 5. Tomb number 17, temperature and absolute humidity



Figure 6. Tomb number 16, temperature, dew point temperature and surface temperature of the lower part

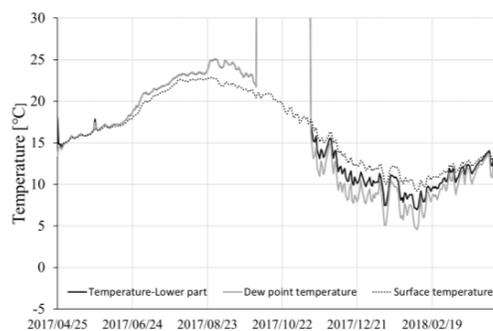


Figure 7. Tomb number 17, temperature, dew point temperature and surface temperature of the lower part

References:

- [1] 宮崎市教育委員会 1993 『史跡 蓮ヶ池横穴群保存環境整備事業報告書』 pp.118-119
- [2] 宮崎市教育委員会 2012 『国史跡 蓮ヶ池横穴群環境調査報告書』 pp.38-43

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

海底遺跡における埋め戻し法の差異が鉄製遺物の腐食に及ぼす影響 Effect of reburial condition on corrosion of marine iron artifacts

○柳田明進¹、池田榮史²、松田和貴¹、脇谷草一郎¹、高妻洋成¹
¹ 奈良文化財研究所、² 琉球大学

Akinobu YANAGIDA¹, Yoshifumi Ikeda², Kazutaka MATSUDA¹
Soichiro WAKIYA¹, Yohsei KOHDZUMA¹

¹ Nara National Research Institute for Cultural Properties ² University of the Ryukyus

1. はじめに

沿岸域に位置する遺跡では、遺物の取り上げが困難であること、発掘後の保存処理に莫大な費用を要することから、現地にて埋め戻しによる保存を図ることが国際的に推奨されている。一般に海水は溶存酸素 (DO) を含むため、発掘によって海水中に露出した鉄製遺物は、適切な埋め戻しが施されなければ速やかに劣化する。現地にて鉄製遺物の保存を図るためには、埋め戻しによって形成される埋蔵環境とその環境下での鉄製遺物の腐食を定量的に評価する必要がある。ここでは、鷹島海底遺跡において、発掘以前の環境を模した堆積物中および種々の埋め戻しを想定して設置した炭素鋼の腐食挙動から埋め戻しの差異が鉄製遺物の腐食に及ぼす影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 調査地および供試体 実験は長崎県松浦市に位置する鷹島の南岸の水深約 15 m の地点で実施した。実験では、 $30^L \times 30^W \times 3^T$ mm に切り出した炭素鋼 (SS400) を耐水研磨紙 #800 まで湿式研磨にて仕上げた後、蒸留水およびアセトンで超音波洗浄したものを供試体とした。

2.2 各実験系の設定 各実験系の条件、模式図をそれぞれ表 1、図 1 に示す。実験系 1、2 は表 1 で示した異なる期間に実施した。実験系 1 では $\phi 125$ mm の塩化ビニル製円筒管 (以下、塩ビ管) の外側に深度 1.5、20、60、100 cm の位置で供試体を固定し、発掘以前の状態を想定した堆積物中 (実験系 1-1)、土嚢中 (実験系 1-2) に設置した。実験系 2 では下端部を酸素不透過性シートで覆った $\phi 612$ mm の塩ビ管の内部に、深度 5、15、25、35、45、55 cm の位置となるように塩化ビニル製の板に固定した供試体を設置した。実験系 2 では砂質土を充填した状態 (実験系 2-1)、土嚢、酸素不透過性シートを交互に重ねた状態 (実験系 2-2)、実験系 2-2 と同様に土嚢と酸素不透過性シートを用い、深度 40-60 cm を砂質土で充填した状態 (実験系 2-3) を設定した。実験中は堆積物直上の海水、実験系 1-2 の土嚢間、実験系 2-2 の塩ビ管内に DO 計を設置し、DO 濃度を測定するとともに (図 1)、堆積物の pH、ORP を土壌 pH/ORP 計で測定した。

3.3 腐食の評価法 各供試体に対して腐食生成物の同定および腐食速度を算出した。腐食生成物の同定では微小部 X 線回折分析 (XRD) (リガク社製 SmartLab) を用い、試料を採取せず直接供試体を分析に供した。また、腐食速度は実験前後の供試体の重量減少から算出した¹⁾。

3. 結果および考察

調査地の底層海水および実験系 2-2 での DO を図 2 に、各実験系の腐食速度をそれぞれ図 3 および 4 に示す。XRD より各供試体からは磁鉄鉱、赤金鉱、 β -Fe₂(OH)₃Cl、Green Rust が検出され、すべての実験系を通して腐食生成物に差異は認められなかった。以下、各実験系での供試体の腐食状態を示す。

3.1 実験系 1 底層海水中に設置した供試体では厚い黒色の腐食層が形成されており、その腐食速度は 0.14 mm/y を示した。調査地の底層海水の DO は年間を通じて 4 mg/L 以上を維持しており、腐食反応は DO の拡散に律速されることで海水中での定常的な腐食速度²⁾ と同等の高い値を示したと考えられる。実験系 1-1 の深度 1.5~20 cm に設置した供試体では腐食層が観察されたものの、60 cm 以深では観察されなかった。その腐食速度は深度とともに急激に低下し、深度 100 cm では 0.0039 mm/y を示した。堆積物の ORP は +100~290 mV vs SHE を示しており、DO が枯渇³⁾ していると推測されるため、腐食のカソード反応は H₂O の還元に移行していると推測される。また、深度の増加とともに、堆積物は圧密されることで空隙率が低下したことにより、腐食に関連する化学種の拡散が抑制された結果、腐食は抑制されたと推察される。実験系 1-2 での腐食速度は、実験系 1-1 に比べて顕著に高く、深度 60 cm で 0.079 mm/y を示すとともに、そのばらつきが認められた。土嚢間の DO は DO 計の設置状態によって枯渇する場合と底層海水と同等の値を示す場合が計測されており、これは DO 計のセンサ部と土嚢との接触状態が影響していると考えられる。実験系 2-1 では土嚢間の隙間から DO が移流によって供給されており、土嚢によ

る DO 供給の抑制効果は低いと考えられる。その結果、実験系 1-2 での腐食速度は深度 20 cm 以深においても顕著に高く、土嚢との接触状態によってばらつきを示したと推測される。

3.2 実験系 2 実験系 2-1 ではすべての深度の供試体で、黒色の厚い腐食層が観察された。また、図 4 より、腐食速度は深度 5 cm では 0.021 mm/y とやや高いものの、深度 15 cm 以深では 0.013~0.011 mm/y を示し、深度の増加にともなって、徐々に低下する傾向が認められた。実験系 2-2 では黒色の薄い腐食層が観察され、その腐食速度は深度 5~35 cm では、0.028~0.043 mm/y を示し、深度 45~55 cm ではわずかに上昇する傾向が認められたものの、土嚢のみの実験系 1-2 に比べて低い腐食速度を示した。図 2 より、実験系 2-2 の DO は深度 10 cm では冬期に断続的に上昇するものの、夏期では DO が枯渇し、深度 30、50 cm では概ね DO が枯渇した状態が維持された。これは、酸素不透過性シートが底層海水からの DO の移流および拡散による供給を抑制したためと考えられる。したがって、酸素不透過性シートなどを用いて腐食の酸化剤となる DO の供給を抑制することで、腐食は抑制されると推察される。一方で、実験系 2-2 で得られた腐食速度は実験系 1-1、実験系 2-1 で得られた腐食速度に比べて明らかに高い。また、実験系 2-3 の砂質土を充填した深度 45、55 cm に設置した供試体から得られた腐食速度は実験系 2-1 と同等の低い値を示した。したがって、鉄製遺物の腐食が抑制される環境条件として、酸化剤の供給の抑制のみでは不十分であり、 H_2O 、 Fe^{2+} などの腐食に関連する化学種⁴⁾ の物質移動を緩慢にすることが重要と推察され、多孔質材などで鉄製遺物表面を覆うことが有効と考えられる。

4. まとめ

海底遺跡での腐食試験から、埋め戻し条件の差異が鉄製遺物の腐食に及ぼす影響を検討した。その結果、1) 鉄製遺物の腐食速度は埋め戻し条件に応じて顕著に変化すること、2) 腐食が抑制される埋め戻しの環境条件として、酸化剤となる DO が枯渇した状態を維持することに加え、遺物表面での物質移動が抑制される環境を作り出すことが重要である、と考えられる。

表 1 各実験系の実施期間、供試体の設置深度および条件

実験系	期間	設置深度 (cm)	条件	環境に関する計測
1-1	2015/6/26~2016/5/14	海水中、1.5、20、	堆積物中に設置	堆積物の pH、ORP
1-2	(323 日)	60、100	土嚢のみによる埋め戻し	土嚢間の DO
2-1	2016/12/10~2017/12/9 (364 日)	5、15、25、35、	砂質土による埋め戻し	-
2-2		45、55	土嚢と酸素不透過性シートを交互にした埋め戻し	土嚢間の DO
2-3			実験系 2-2 と同様で、深度 40~60 cm は砂質土を充填	-

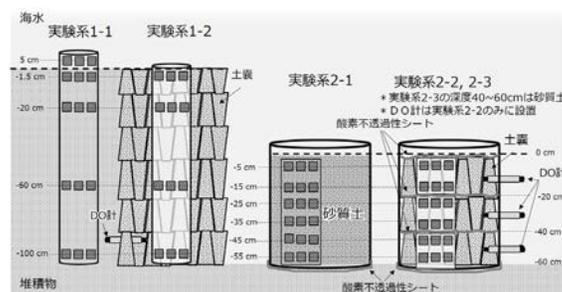


図 1 実験の模式図

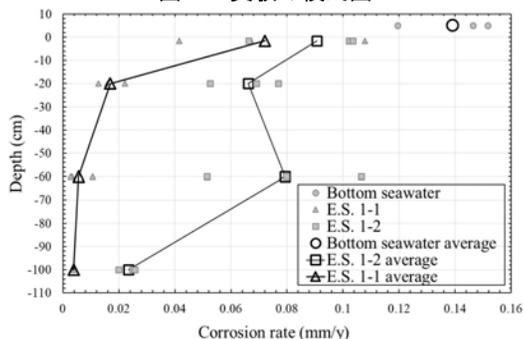


図 3 実験系 1 における腐食速度

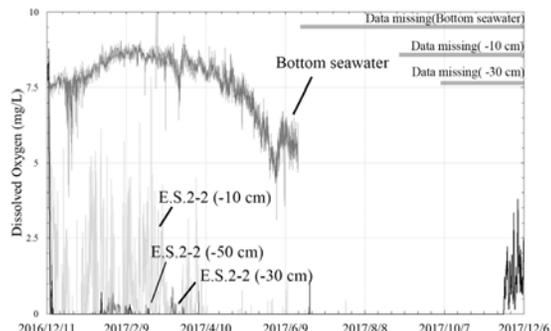


図 2 底層海水および実験系 2-2 での DO の変化

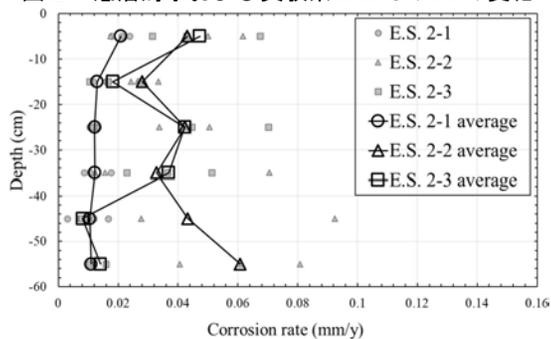


図 4 実験系 2 における腐食速度

【謝辞】 本研究をおこなうにあたり松浦市教育委員会、同教育委員会合澤哲郎氏、國富株式会社長崎営業所の潜水士の方々のご理解、ご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。
 【参考文献】 1) 日本工業規格 1994 「JIS Z 2371」 2) 腐食防食協会編 1993 『材料環境学入門』 pp.273 3) 久馬一剛編 1997 『最新土壌学』 pp.157-178 4) 柴田俊夫・渡邊正敏・谷口直樹・清水亮彦 2013 材料と環境 62 pp.70-77

石造文化財の凍結劣化対策のための樹脂処理に関する実験と解析

Experimental Study of resin treatment for the protective measures of frost damage
of stone cultural heritage and its analysis

○石崎武志(東北芸術工科大学)、石澤夏帆(諸橋近代美術館)、米村祥央(東北芸術工科大学)
○Takeshi Ishizaki(Tohoku University of Art and Design), Kaho Ishizawa(Morohashi
Museum of Modern Art), Sachio Yonemura (Tohoku University of Art and Design)

1. はじめに

東北地方や北海道などの寒冷地域において屋外にある石造文化財は、冬期に温度が 0℃以下になるために凍結融解の繰り返しにより劣化が進む。凍結劣化が顕著になる条件としては、①気温、②水分量、③材質などの要因があり、これらのどれかの条件を変化させることで、劣化速度を遅らせることができる。気温の条件に関しては、冬期に断熱材などで石造文化財を養生することにより改善することができる、また、水分量に関しては、冬期に覆屋を設置することにより、大きく水分量を低下することができる。材質に関しては、樹脂処理により石材骨格を強化することにより劣化速度を低減できると考えられる。ここでは、凝灰岩試料、粘板岩試料などを用い、樹脂処理により、どの程度樹脂が浸透するか、凍結劣化がどの程度抑制されるかに関する実験と解析を行ったので報告する。

2. 樹脂の浸透に関する予備実験

樹脂含浸処理において広く使用されている合成樹脂 WackerOH100 と水との浸透の違いを比較するために、下記の試料を用い、浸透実験を行った。

1. 凝灰岩（小樽軟石）
2. 凝灰岩（成沢地区産）
3. デイサイト質溶結凝灰岩（白河石）
4. 泥岩（毛越寺庭園遣水景石）

合成樹脂、水の浸透は、刷毛塗りを1回から5回、含浸、減圧含浸の方法で行った。図1、図2に、小樽軟石の測定結果を示す。蒸留水と WackerOH100 の含浸比を比較したところ、どの試料においても、ほぼ同様の数値が得られた。従って蒸留水の含水から得られる浸透過程の評価は、Wacker OH100 含浸の考察において有用であると考えられる。

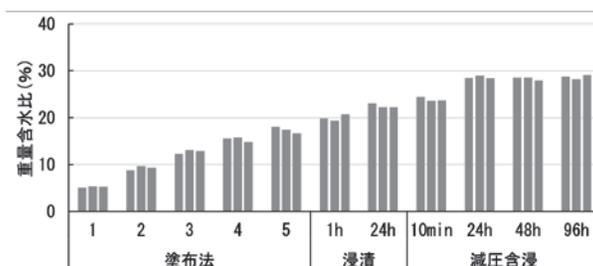


図1. 小樽軟石の重量含水比(蒸留水)

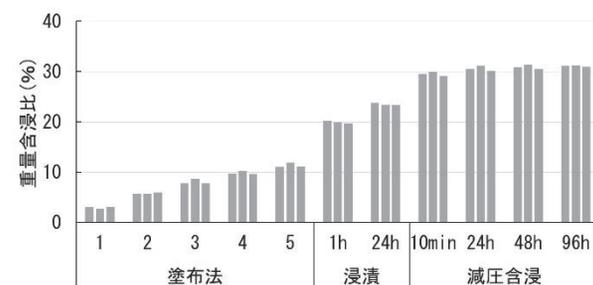


図2. 小樽軟石の重量含浸比(Wacker OH100)

3. 含浸方法による水および樹脂の浸透の違い

含浸方法としては、刷毛塗りを1回から5回、浸漬に関しては、1時間および24時間、減圧含浸については、時間は10分、24時間、48時間、96時間で、減圧含浸の圧力としては、大気圧を1として、0.7気圧、0.3気圧、0.05気圧として浸透の違いを調べた。実験は、2.に記載した4種類の岩石で実験を行った。成沢地区の凝灰岩および白河石のサンプルは、直径5cm、高さ3cmの円筒形である。成沢地区の凝灰岩の水の浸透に関する実験結果を図3に示す。

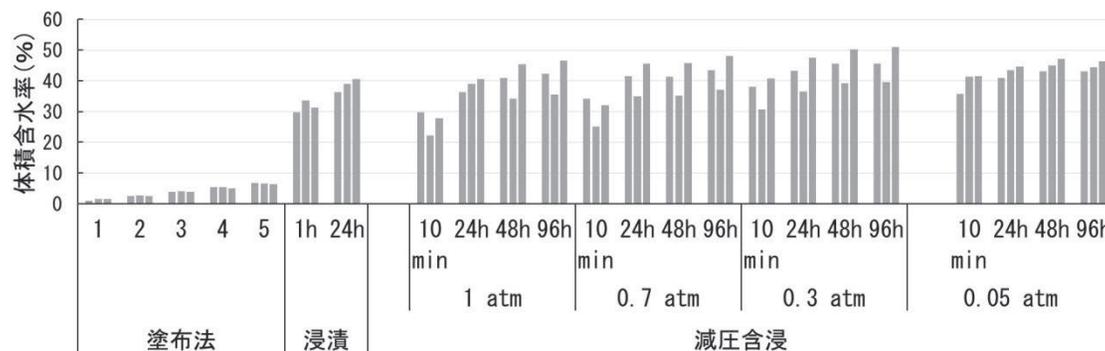


図3. 成沢地区凝灰岩の水の浸透に対する含浸方法、含浸時間の影響

この結果から、既往の研究にあるように塗布<浸漬<減圧含浸に、岩石への浸透が大きくなる傾向が再確認された。この傾向は、他の試料でも同様であった。また、この試料の大きさでは24時間浸漬による体積含水率の増加が、減圧含浸によるものに近くなるのが分かった。試料への水の浸透に関しては、シムネック教授の開発した水分移動解析プログラム (Hydrus3D) を用いて定量的に解析した。

4. 石材の凍結劣化に対する樹脂処理の効果

成沢地区凝灰岩、白河石、雄勝石の3種類の石に関して、無処理、刷毛塗り、浸漬、含浸処理を行い、恒温槽の中で4時間のサイクルで+5℃から-5℃の温度変化を与え凍結劣化の状況を見た。試料の大きさは直径5cm、高さ3cmの円柱である。この試験期間では、成沢凝灰岩に劣化が見られた。17サイクルでは、無処理の試料が崩壊をはじめた。23サイクルでは、塗布法の試料が崩壊をはじめた。ここでは、塗布法による強化処理も試料の凍結劣化を遅らせる上で有効であることがわかった。また、160サイクルまでは、浸漬法および減圧含浸で処理した成沢凝灰岩は崩壊しなかった。白河石、雄勝石に関しては、この試験期間では劣化が見られなかった。これらは、比較的凍結融解に強い岩石であることが分かった。



図4. 凍結融解160サイクル目の状況
(左：成沢地区凝灰岩、中央：白河石、右：雄勝石、上：減圧含浸、2段目：浸漬、3段目：塗布、下：無処理)

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

INAX ライブミュージアム「窯のある資料館」における 保存環境と塩類析出に関する調査(2)

Study on Conservation Environment and Salt Crystallization of “Museum of Kiln”
in the INAX Live Museum (2)

○佐々木 淑美 (東北芸術工科大学), 犬塚将英 (東京文化財研究所)

○Juni Sasaki (Tohoku University of Art And Design),

Masahide Inuzuka (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

発表者らは、2016 年より愛知県常滑市にある INAX ライブミュージアムの「窯のある資料館」で保存展示されている石炭窯(以後「窯」と略記)を対象とし、その保存方策及び劣化対策を検討するための基礎研究として、保存環境の調査と、博物館が長い間苦慮してきた塩類析出に関する調査を実施している。前報では、塩類の析出状況の記録、分析と析出塩類の同定をおこない、窯外壁面において南北で析出する塩類に分布がみとめられ、その要因として季節変化に加えて修繕のための閉館による環境変化の影響が考えられることを報告した。2017 年からは塩類対策を含む保存事業も始まり、調査結果を基礎的情報として博物館に提供している。

本発表では、約1年半にわたる調査で確認できた窯内部の塩類析出と保存環境の年次変化について報告する。前報以降、さらに2017年5月15日、8月24～25日、11月15日、2018年3月26日の計4回の現地調査を実施した。2016年より継続している温湿度モニタリング(2016年12月8日17時～現在)と析出塩類のサンプリング及び分析、可搬型X線回折装置を用いたオンサイト分析に加え、2017年度からは照度計測と壁面含水率計測(ケツト科学研究所製ハンディ型近赤外線水分計「KJT-130」)もおこなっている。

2. 窯の内外壁面から析出している塩類とその年次変化

これまでの調査から、窯の内外壁面から顕著な塩類析出がみとめられること、また北面及び西面北側、東面北側に集中してテナルダイト(thenardite, Na_2SO_4)が析出しているのに対して、窯外南面及び窯の屋根部分ではエプソマイト(epsomite, $\text{Mg}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)が析出していたことがわかっている。そこで、この析出塩類の分布の年次変化を確認するために、同箇所からサンプリングを試みた。前報までに、博物館から許可を得て、窯内外壁面及び建物外にある煙突から計182点(うち可搬型X線回折との照合点として17点)の析出塩類を採取し分析を終えている。その後の調査で追加サンプルを採取及び分析した。追加サンプルは計24点で、うち20点は前採取箇所17箇所から採取した。また、前採取箇所の近傍から新たに析出していた計4点の塩類も採取した。採取したサンプルは、東京文化財研究所の据え置き型のPANalytical社製X線回折装置(X'pert PRO)を用いて結晶相の同定をおこなった。この装置のX線管球のターゲットには銅(Cu)が用いられており、管電圧・管電流は45kV・40mA、走査範囲は回折角(2θ) $5-70^\circ$ 、 2θ のステップ角度 $\Delta 2\theta$ は 0.017° とした。

まず、季節にかかわらずテナルダイトやエプソマイト、アストラカナイト(astrakhanite, $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$)、ジプサム(gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)の析出が継続している箇所が多くみとめられた。こうした箇所では、保存事業のための閉館後ならびに冬から春にかけて析出量が顕著に増加し、塩類析出によりレンガ表層が剥落した箇所も散見された。

3. 析出塩類の年次変化と壁面含水率、温湿度との相関

前報でも注目したハライト(halite, NaCl)の析出について述べていく。窯の壁面は釉薬がかかったような艶を有しているが、これは操業時に塩釉を得るために岩塩が添加されたことによるものである。つまり、岩塩を由来

とする成分が、窯内壁面だけでなく壁内部にも多く存在していると考えられる。しかし、その析出は2016年夏季調査では、スポットライトで照らされ局所的に温められていた窯内部の一部で確認されたのみであった。その後の秋季、冬季調査において、新たに塩類が析出した箇所や夏季にテナルダイトやアストラカナイトが析出していた箇所で、ハライトの析出を確認した。これについては、季節変化に加えて保存事業のために空調及び照明が消されたことによる資料館の温湿度変化に起因する可能性があることは前報で指摘した通りである。

2017年夏季ならびに2018年春季の調査から、秋季・冬季に析出したハライトが春季に消失していることがわかった。資料館内の温湿度計測結果のうち温度と相対湿度の年次変化は図1、2の通りである。春季から温度と相対湿度が上昇することで、ハライトが潮解し消失したと考えられる。

ただし、秋季・冬季に析出したハライトが1年を通して析出したままである箇所も散見された。これは、壁面含水率が低いためではないかと考えられる。ハライトが継続して析出している場所は、窯への入り口のうち日射が当たる北側側面と、窯南外壁の西側で日射が当たる箇所であり、これはつまり窯内壁でみとめられたスポットライトによる影響と同様で、日射による乾燥が要因でハライトが析出しているということである。

また、2016年7月に実施した最初の調査では全く検出されなかったチリ硝石(nitratine, NaNO_3)を、秋季と冬季の調査において確認した。しかし、2017年夏季調査では同箇所におけるチリ硝石の析出がみとめられず、2018年春季調査において再び析出を確認した。発表者が実施する他調査においても、季節によりチリ硝石が析出と消失を繰り返している事例を確認しており、その消失は相対湿度が高くなる時季にチリ硝石が潮解するためではないかと考えている。つまり、窯外壁でみとめられたチリ硝石は、気温が下がり相対湿度も下がる秋季から、気温と相対湿度が上がり始める早春までの期間に析出したものであり、夏季にはそれら塩類が潮解し結晶が消失するというサイクルを繰り返していると考えられる。

4. まとめと今後の課題

約1年半の調査で、窯内外壁面での塩類析出の年次変化をとらえることができた。先述の通り、保存事業のために平成28年12月12日から資料館は閉鎖されており、空調を停止したことで内部の温湿度変化はより外気と近い状態にあるといえ、季節変化による塩類析出が進んでいるといえる。また、温湿度の上昇によってチリ硝石やハライトが潮解し消失するとしても、日射が当たることで壁面含水率が低い箇所ではハライトが季節を問わず析出し続けることを確認した。

INAXライブミュージアムでは、2018年10月からは窯自体の保存作業も開始予定であり、地下水の影響を遮断するための措置も検討されている。窯内外壁面での顕著な塩類析出は、窯の美観を損ねており、博物館の懸念事項でもある。今後の展示のためにも、この保存事業によって塩類析出が抑制されることが望まれる。

今後本研究では、保存事業前後での塩類の析出分布とその変化、そして温湿度との相関について、長期的な環境モニタリング結果の検証、そして研究室実験から検討していく予定である。また、保存事業完了後に、再度空調稼働した際の塩類析出の進行を防ぐために、適切な方策を提案できるよう調査を継続していく。

謝辞

本研究を進めるにあたり、INAXライブミュージアムの住吉和典館長ならびに竹多格主任学芸員、内沢礼子学芸員の理解協力を得て、析出塩類のサンプル採取ならびに環境調査を実施することができた。ここに記して感謝申し上げます。

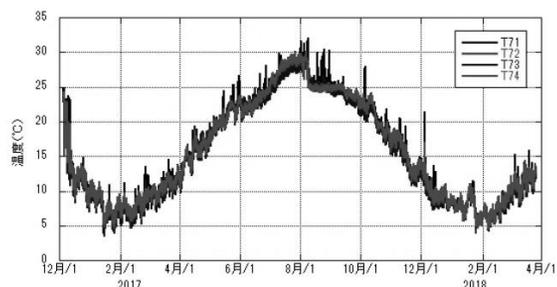


図1 資料館内の温度の年次変化

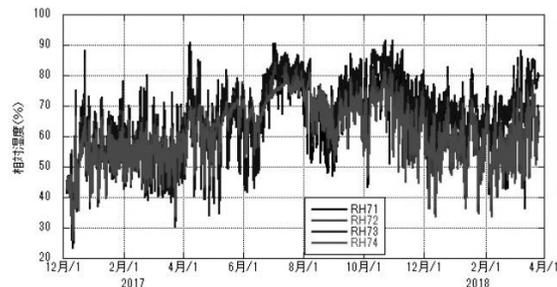


図2 資料館内の相対湿度の年次変化

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

奈良三彩・緑釉陶器の胎土中に含まれている鉄の化学状態の分析

Analysis of the iron chemical state include in the body clay of Nara sansei and green lead glaze ware

- 降幡順子（京都国立博物館）、石田由紀子（奈良文化財研究所）、岩戸晶子（同左）、神野恵（同左）、伊奈稔哲（高輝度光科学研究センター）
- Junko FURIHATA(Kyoto National Museum), Yukiko ISHIDA, Akiko IWATO, Megumi JINNO (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Toshiaki INA(JASRI)

1. はじめに

本報告で着目した奈良三彩は、白色軟質胎土の資料が多く、初現期の資料でもすでに認められる。当時の土師器や須恵器、さらに中国における唐三彩の胎土と同一とは言い難く、焼成技術が異なることが想定される。奈良三彩胎土の化学組成の調査を継続しておこなっているが、胎土に含まれる鉄含有量が比較的多いと考えられる資料なかに、白色を呈するものが存在する。基礎実験からは、鉄含有量が2%程度以上となると、酸化焼成の場合、淡黄色から淡赤色を次第に呈するようになり、鉄含有量の増加とともに色調は濃くなるという結果を得ている。還元焼成でも淡灰色から青灰色へと色調の変化を生ずる。そこで奈良三彩等にみられる白色軟質胎土に含まれる鉄の化学状態について、X線吸収微細構造(XAFS)をSPRING-8のビームラインを用いて非破壊で測定し、胎土の化学組成と統合的に解釈することにより、白色軟質胎土の焼成技術との関連性を明らかにすることを試みたので報告する。

2. 分析資料・測定手法

今回分析に供した資料は、藤原京・平城京跡から出土した奈良三彩・緑釉陶器、施釉瓦、須恵器等の出土資料70点、鉄化合物試料(和光純薬製)、および参照試料として、同一粘土を用いて成形した焼成温度が未焼成、800℃、900℃、1000℃、1100℃、1200℃の陶器片を制作し、それらを「鉄気(かなつけ)」と呼ばれる、鉄分を多く含んだ発掘現場の湧水中に浸漬した試料と未処理試料である。

測定は高輝度光科学研究センターのSPRING-8ビームラインBL01B1で実施し、Fe K端蛍光法XANESスペクトルを計測した。検出器はライトル検出器

(SSD19ch)を使用した。測定は、資料を試料台の上に置き(Fig.1)、胎土断面部に、X線ビームをスリット幅0.2mm×3mmで照射した。その他試料は、X線ビームをスリット幅0.2mm×5mmで照射



Fig. 1 考古資料と測定装置

した。鉄化合物試料との比較により、鉄の化学状態について検討をおこなった。

3. 結果と考察

奈良三彩の胎土は化学組成・胎土色の違いに関わらず、類似する XANES スペクトルが得られる資料があることを確認した (Fig.2 中)。これらの胎土では鉄の化学状態に大きな差異はなく、共通していることが考えられる。須恵器や硬質胎土の緑釉陶器では鉄の化学組成・胎土色の結果によって XANES スペクトルのピーク位置がシフトする結果が得られた。これは鉄の価数の違いが胎土色に影響を与えていると考えられる (Fig.3 右)。奈良三彩の胎土は、色調と鉄の化学状態について、須恵器や緑釉陶器のような顕著な相関が認められないものが多い結果となった。これは奈良三彩胎土の色調と鉄の化学状態は無関係であることを示しているか、もしくは鉄の化学状態は、発色等に関与するものとは別の要因も存在し、それが顕著に計測されたとも考えられる。

そこで要因のひとつとして埋蔵環境からの鉄の影響を仮定し、焼成温度と鉄気の影響について、参照試料を用いた XANES 測定をおこなった。鉄の化学状態は、焼成温度の低い試料では異なる結果が得られた。これは胎土が硬質であるか、軟質であるかで埋蔵環境から受ける影響の大きさに違いがあることを示唆するものと考えられる。鉄気の実験は現在も継続して実施しているが、ほかの要因も視野に入れ、これらの結果が白色軟質胎土資料とどのような相関があるの、今後も詳細を検討していきたい。

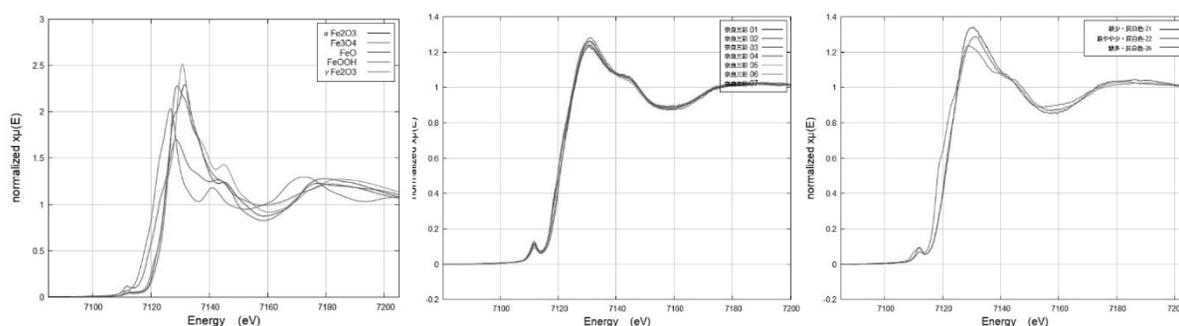


Fig. 2 XANES スペクトル一例 (左から、鉄化合物、奈良三彩資料、鉄含有量の違いと同一色調資料)

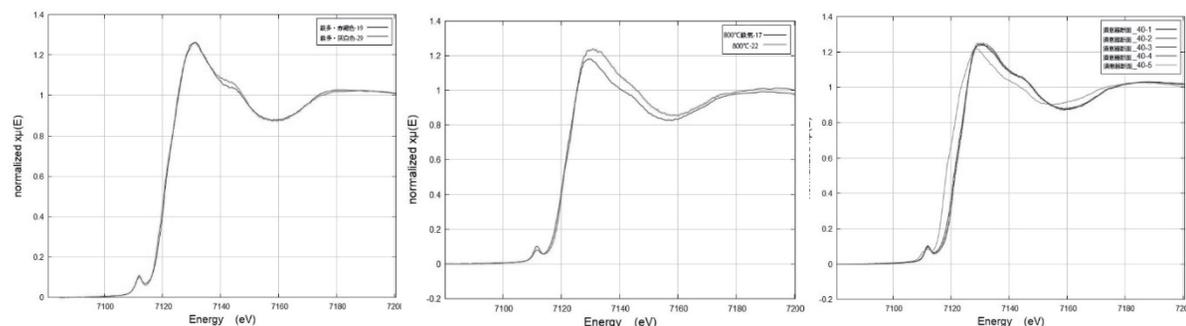


Fig. 3 XANES スペクトル一例 (左から、異なる色調資料、参照試料(800°C焼成)、須恵器断面)

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

R0-R0 船による文化財輸送における乗下船時の振動環境

Vibration environment at loading and unloading in cultural properties transport using roll-on/roll-off ship

○和田 浩 (東京国立博物館)
○Hiroshi WADA (Tokyo National Museum)

要旨

日本国内においては文化財輸送の大半は美術品輸送専用車両(美専車)による陸上輸送で実施されているが、一部船舶輸送が生じる区間が存在する。その際に使用されるのは美専車が乗船できる形式の R0-R0 船である。筆者らは過去に R0-R0 船の航行中に美専車荷台上において発生する振動について計測を行い、航行中は非常に安定していることを確認した。一方で R0-R0 船の乗下船時にどのような振動が発生するのかについては詳細が不明であった。そこで、8回の船舶輸送時に振動データを計測し、その解析によって R0-R0 船の乗下船時に美専車荷台上で発生した振動を抽出した。その結果 Grms および PSD プロファイルからは、乗下船工程では海上航行中では見られないレベルの振動が生じていたことが分かった。これらの振動レベルは美専車が一般道あるいは高速道路を走行する際に現れるレベルとほぼ変わらないものもあった。これらは船内や港との接続部分等の段差等が影響したと考えられる。

1. 研究の背景

R0-R0 船とは、車両等を直接 Roll on / Roll off 荷役できる船舶の総称であり、文化財輸送に使用されるのは、カーフェリー(旅客自動車渡船)に該当する。ちなみに、1968年に小倉と神戸間の運航が本格的長距離大型フェリーとしては最初となる。R0-R0 船と陸岸との接続は、R0-R0 船の舷外ランプウェイにより行われる。

R0-R0 船を用いる場合には航行の前後に乗船、下船といった工程 (Fig. 1) が必ず生じるが、これまでのところ、乗下船工程における振動レベルについては、まだ詳細な解析ができていない状態であった。そこで本稿では近年調査を実施した R0-R0 船による全 8 回の輸送において、乗下船時に美専車荷台上で発生する振動について焦点を当てて解析を行った結果を考察する。

2. 計測方法

今回の計測では加速度データロガー (Fig. 2) と GPS データロガーを用いて、美専車荷台上で発生した加速度およびそれらが発生した位置情報を計測した。また、解析時に実際の交通状況を時刻とともに確認するため、一部の輸送においてはタイムラプスカメラをフロントガラス付近

に設置して前方の様子を撮影した。計測対象とした航路は全5航路(8回)であり、それらの略図を Fig. 2 に示す。



Fig. 1 A Situation of leaving the RO/RO ship at the port.

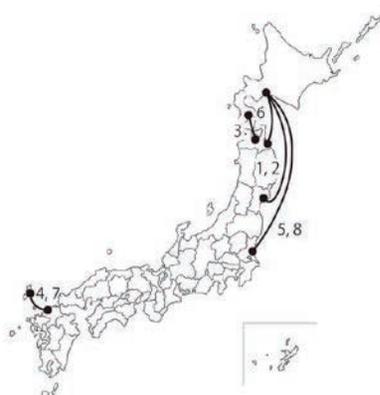


Fig. 2 The route of the ship transport and its number.

3. 結果

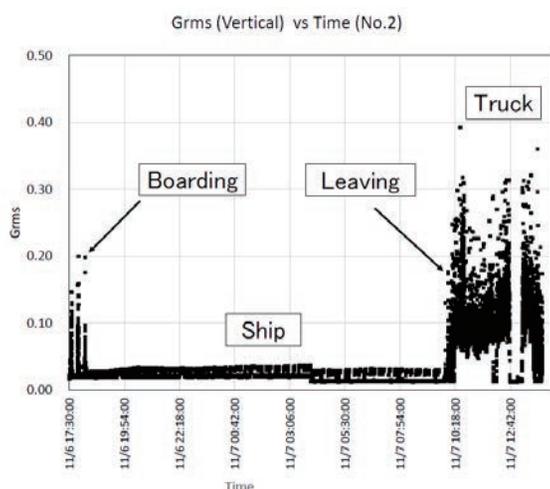


Fig. 3 Time series change of Grms (vertical direction) in transport No.2. Arrows indicate boarding and leaving processes (several minutes each).

海上航行中や陸上輸送中と相対的に比較するために、船舶輸送とその前後の陸上輸送を含む実効加速度 Grms 値(垂直方向)の時系列変化をある航路 No. 2(苫小牧発-仙台着)についてプロットしたものが Fig. 3 である。その結果、乗下船工程では海上航行中では見られないレベルの振動が生じていたことが分かった。これらの振動レベルは美専車が一般道あるいは高速道路を走行する際に現れるレベルとほぼ変わらないものもあった。

4. 考察

改めて乗下船時の車両周辺の状況を調査したところ、床面には、船内の駐車場で車両が床面に固定される場合に用いる金具(Fig. 4)の比較的高い密度での分布、床面に平滑でない部分の存在、ランプウェイにより生じる段差あるいはランプウェイ表面の凹凸など振動の発生原因となりうる要素の存在を確認することができた。船内における駐車場や、乗下船時の段差状況は港や船舶によって差異があるため、一概には断定できないが、これらの要素が大きく影響していることは確かであると推察している。



Fig. 4 Bracket for fixing the vehicle

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

法隆寺金堂焼損部収蔵庫における壁画の保存・公開に関する研究
—生物劣化のリスク評価を用いた数値解析による環境調整方法の検討—
Study on conservation and exhibition of burnt wall paintings in Main hall,
in treasure house at Horyu-ji Temple
- Investigation of environmental control method by numerical analysis with risk
assessment of biological deterioration -

○小椋大輔（京都大学）、藤原良輔（同左）、佐野千絵（東京文化財研究所）、木川りか（九州国立博物館）、和田浩（東京国立博物館）、吉田直人（東京文化財研究所）、銚井修一（京都大学）
○OGURA Daisuke, Rryosuke FUJIHARA (Kyoto University), Chie SANO (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), Rika KIGAWA (Kyushu National Museum), Hiroshi WADA (Tokyo National Museum), Naoto YOSHIDA (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties) and Shuichi HOKOI (Kyoto University)

1. 研究の背景と目的 既報¹⁾にて、本研究の背景と目的を述べた。本報告では、外気や室間の換気と収蔵物の吸放湿を考慮した法隆寺金堂焼損部収蔵庫全体の温湿度の解析モデルを開発し、それを用いて、多人数入室を考慮した、収蔵庫内で懸念されているカビや高湿度を好む文化財害虫²⁾による文化財への被害を抑制するための入室方法と換気による環境調整方法の検討を行った。なお、本研究は、法隆寺金堂壁画保存活用委員会における調査の一環として保存環境WGが行っているものである。

2. 金堂焼損部収蔵庫と保存対象物について 収蔵庫の平面図を図1、図2に示す。収蔵室の上部は回廊があり、収蔵室の床下は地盤と通じる。小屋裏（西）には外気との通気口がある。焼損を免れた小壁画の一部（以下、小壁）・焼損壁画（以下、大壁）・焼損した柱梁は収蔵室に、残りの小壁は1階西室に保存されている。

3. チャタテムシの増殖リスク評価 生物による劣化リスクとしてカビを嗜好するチャタテムシを取り上げて検討する。武蔵らによる温湿度がチャタテムシの発育に与える影響の実験³⁾と文献⁴⁾により、図4のように温度と相対湿度に対して、1日当たりの増殖率M[%]を求め、温湿度環境からリスク評価を行う。

4. 収蔵庫の熱水分解析モデル化 収蔵庫を10室で構成されるとし、壁体、地盤を1次元でモデル化し温湿度解析を行った。材料内温湿度の解析には熱水分同時移動方程式^{5, 6)}を用いた。室空間の温湿度は1質点系の熱水分収支式より求めた。屋根面で日射と実効放射を考慮し、外気温湿度を境界条件で与えた。収蔵物は1次元壁体とみなした。室間の換気量は、温度差換気のみを考慮し圧力仮定法を用いて換気回路網解析⁷⁾で求めた。入室前後のCO₂濃度の解析値が実測値と一致するように開口条件を同定した。年間の温度、絶対湿度の解析値は実測と大略一致した(図省略)。

5. 生物による文化財劣化を抑制する環境調整方法の検討

5.1 公開に際する入室方法の検討 開館時間を8:00~16:00、入室なしの場合をCASE0とし、多い人数が入室する場合のCASE1~3、少ない人数が入室する場合のCASE4, 5を検討した(表1)。まず、多い人数の場合を検討する。CASE1~3で温湿度はほぼ同じ変動を示し、CASE0と比べ、温度は、夏季は最大0.5℃程度高く、冬季は最大2℃程度高い(図省略)。相対湿度は、夏季は最大15%程度高く(図3)、冬季も同様である。1ヶ月の温湿度変動の範囲とチャタテムシの増殖率の関係を夏季について見ると、いずれのCASEも増殖率4[%/日]以上の温湿度領域となった(図4)。冬季は、チャタテムシ増殖率は2%未満となる(図省略)。次に、少ない人数の場合を検討する。

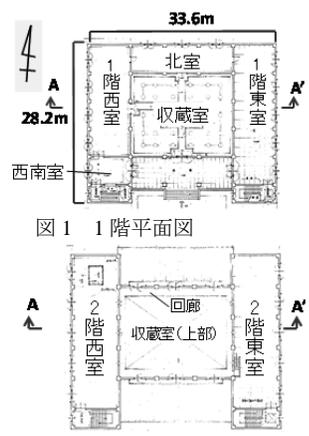


図1 1階平面図

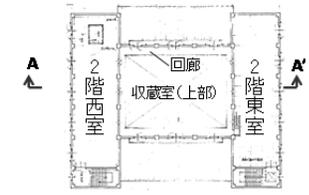


図2 2階平面図

CASE4, 5 で温湿度はほぼ同じ変動を示し、温度は、夏季も冬季も CASE0 とほぼ変わらず (図省略)、相対湿度は、夏季は最大 2% 程度の上昇で抑えられ (図 3)、冬季も同様である。ただし、夏季は、いずれの CASE もチャタテムシの増殖率は 4[%/日]以上となり (図 4)、冬季は、いずれの CASE も、チャタテムシの増殖率は 2%未滿となること分かった (図省略)。

5.2 換気方法の検討 入室がない場合で、1年の助走計算を行い、7月16日を初期値として表2に示す4条件を検討した。温度は年間を通じていずれの CASE もほぼ同じ変動を示し (図省略)、相対湿度は、CASE3はCASE1とほぼ等しく効果がなく、CASE2'は初年度の冬季には相対湿度58%まで下がり低減効果があった (図5)。CASE2'の条件では、2年目以降においても、夏季は相対湿度65%程度、冬季は相対湿度55%程度と湿度が低下し (図7)、チャタテムシの増殖率は年間を通して4%未滿であり、多くの時間帯で2%未滿となった (図6)。

6. 結論 1. 換気と収蔵物の吸放湿を考慮した収蔵庫全体の熱水分解析モデルを作成し、収蔵庫内の年間の温度、絶対湿度の予測が可能となった。2. 数値解析により多人数の入室は室内相対湿度を上昇させるが、例えば少人数の「5人が午前中に入室する」場合には、夏季は相対湿度上昇が抑えられる。ただし、入室有無によらずチャタテムシの増殖率は4[%/日]以上となる。3. 数値解析により、入室がない場合に、10時から16時の間、収蔵室の絶対湿度が外気の絶対湿度より高いときに収蔵室の南扉、回廊の外窓を開け換気を行うことが相対湿度の低減に有効であった。また、換気によりチャタテムシの増殖率は年間を通して殆どの時間で2%未滿に抑えられた。

表1 検討した入室条件

	入室条件
CASE 0	入室なし
CASE 1	50人が隔日
CASE 2	50人が1時間おき
CASE 3	25人が毎日
CASE 4	5人が午前中のみ
CASE 5	10人が3日おき

表2 検討した換気行動の条件

	換気行動
CASE 1	換気行動なし
CASE 2	収蔵室の南扉、回廊の外窓を開ける (毎日8時~16時)
CASE 2'	同上 (収蔵室の絶対湿度 > 外気の絶対湿度のとき)
CASE 3	収蔵室の南扉、小屋裏間の扉を開け、小屋裏 (西) の外開口面積を7倍にする (毎日8時~16時)

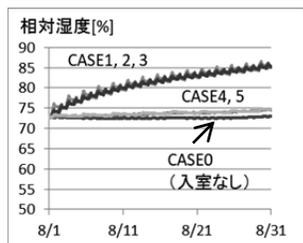


図3 夏季の入室条件ごとの相対湿度

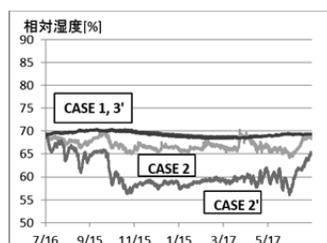


図5 換気行動の条件ごとの相対湿度

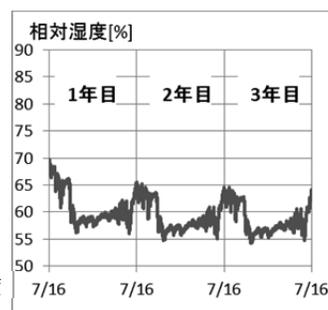


図7 CASE2' の相対湿度変動

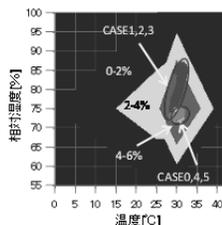


図4 夏季の温湿度範囲とチャタテムシの増殖率[%/日]の関係(CASE0~5)

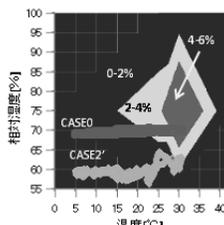


図6 CASE 2'の温湿度範囲 (2年目) とチャタテムシ増殖率[%/日]の関係

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

参考文献: 1) 藤原良輔他5名:法隆寺金堂焼損部収蔵庫における壁画の保存・公開に関する研究 -実測調査と数値解析による収蔵庫内温湿度の現状分析-、日本文化財科学会第34回大会、2017、2) 文化庁:法隆寺金堂壁画保存活用委員会について、古墳壁画の保存活用に関する検討会 (第19回)資料7、2016、3) 武廣絵里子ら:建築物の防虫対策・制御に関する研究 (その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、pp.609-610、2017、4) 田中和夫: '屋内害虫の同定法 (5) 嘯虫 (チャタテムシ) 目、家屋害虫、25(2)、123~136、2003、5) 松本衛: 新建築学体系 10 環境物理 湿気、彰国社、1984、6) 井鋒修一ら: エース建築環境工学II、朝倉書店、2002、7) 松下敬幸: 火災時における避難安全評価のための煙の伝搬予測に関する研究、京都大学博士論文、1993

3 日目
7 月 8 日

A 会場

出土木製遺物の一時保管環境における酸素供給の抑制による 水質および遺物への影響

B 会場

Influences of reduced oxygen supply on water quality and stored wood in the temporary storage of archaeological waterlogged wood

○ 松田和貴 (奈良文化財研究所)、脇谷草一郎 (同左)、高妻洋成 (同左)

○ Kazutaka Matsuda, Soichiro Wakiya, Yohsei Kohdzuma (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

C 会場

1. はじめに

水中で保管されている出土木製遺物の劣化には、好気性微生物の活動が大きく関与するため、その抑制には溶存酸素の低減が有効と考えられる。発表者らはこれまで、大型木製遺物の保管水槽において、酸素の供給を抑制する方策を検討し、約 1 年間の実地試験からその効果を示してきた。ここでは、先の試験後にあらためて実施した水質調査と水槽の状況の観察結果を報告するとともに、保管環境の変化が水質および遺物へ及ぼす影響について考察する。

2. 過去の実地試験の概要

実地試験は、2014 年 9 月～2015 年 9 月に奈良文化財研究所内の木製遺物保管用の屋外水槽にて実施したものである。本水槽において、酸素供給を抑制するための下記①～③の方策(以下、酸素供給抑制策)を適用し、その効果を水質のモニタリング調査から評価した。この調査では、データロガ(Onset Computer 社製 U26-001)を水槽の複数の水深に設置し、溶存酸素飽和度と水温を 30 分間隔で測定した。

酸素供給抑制策

- ① 酸素不透過性シートによる水面の被覆 ⇒ 気相からの酸素移動を抑制
- ② 酸素不透過性シート上への断熱材の敷設 ⇒ 水の鉛直混合を生起する表層水温変化を緩和
- ③ 覆屋の設置 ⇒ 雨水の流入を防止・光合成による酸素の発生を抑制

参考として、この調査における測定結果を図 1 に示す(既報¹⁾より抜粋)。酸素供給抑制策を適用した 2014 年 9 月 19 日から、水槽内の溶存酸素飽和度は一貫して低下し、同年 10 月末以降は各水深とも溶存酸素が枯渇した状態が維持され、本方策の有効性が示された。水質のモニタリング調査は翌年 9 月に終了したが、本水槽では以上の方策を継続して適用し、木製遺物の保管に供していた。

一方、本試験で設置した覆屋は、建築足場用鋼管による骨組に防水シート等を葺いた簡易なものであった。そのため、強風によるシートの破損や、雨水の荷重による覆屋躯体の変形が生じる場合などがあった。こうした不具合に対しては、簡易な補修により対処したが、雨水の流入などによる水質や保管遺物への影響が懸念されたことから、あらためて水質のモニタリング調査を下記の通り実施した。

3. 調査方法

前述のデータロガを同水槽の水深 30 cm および 100 cm の位置に設置し、溶存酸素飽和度と水温を 30 分間隔で測定した。また、酸化還元電位(ORP)についても、別途データロガ(INW 社製 TempHion pH/ORP)を設置して測定した(測定水深 100 cm、測定間隔 30 分)。測定期間は 2017 年 4 月 6 日から 2018 年 4 月 1 日までである。なお、先の酸素供給抑制策に生じた不具合を解消するため、既設の酸素不透過性シートなどを撤去し、あらためて上記①～③の施工をおこなう抜本的な補修工事を、2017 年 8 月 17 日に実施した。このとき、水槽内部および遺物の状態について目視による観察をおこなった。

4. 結果および考察

溶存酸素飽和度と水温の測定結果を図 2 に、ORP の測定結果を図 3 に示す。測定開始当初は、水深 30 cm および 100 cm ともに溶存酸素が 50%程度存在していた。水深 100 cm では、時間の経過とともに溶存酸素飽和度が低下し、2017 年 6 月上旬に 0%となったものの、水深 30 cm では引き続き 50-60%程度で推移した。水温の上昇により好気性微生物による溶存酸素の消費量が増大した一方で、酸素供給抑制策に生じた不具合に起因して、水中へ酸素が供給されていたためと考えられる。なお水深 100

cmでは、ORPが測定開始当初より+300 mV程度で推移したが、同水深の溶存酸素飽和度が0%となった6月上旬から-500 mV程度まで急激に低下し、還元的な環境となったことが示された。

補修工事時における目視観察では、水槽内の水について、黒色または乳白色を呈す底層近くの領域と、透明でこれより浅い領域とが明瞭に区別された。水槽底層の貧酸素領域では、嫌気性微生物である硫酸塩還元菌が硫化水素を生じており、これが鉄分と反応した黒色の硫化鉄となり、底層水が黒色を呈したと考えられる。また、一般に青潮として知られる現象のように、こうした底層の貧酸素水中の硫化水素がより上層の酸素によって酸化されると、元素状硫黄となってコロイド状に析出する²⁾。これが太陽光を散乱したことにより、水槽の水が乳白色を呈した可能性がある。さらに、水槽内の木製遺物についても、以上の2領域に対応するように、一定の高さより下部では表面の色調が比較的明るく、上部では暗いという違いが認められた。還元環境となっていた底層領域では、木製遺物に沈着していた鉄分などが還元されて溶出したために、遺物表面の色調が明るくなった可能性が考えられる。

補修工事以降は、水深30 cmにおける溶存酸素飽和度も経時的に低下し、9月の末頃には0%となり、測定終了までのあいだ、本水槽全体で還元的な環境が維持されたと考えられる。水温が低下し、好気性微生物による酸素消費量が減少する冬季においても、溶存酸素飽和度が増大しなかったことから、補修工事の実施により、酸素の供給を十分抑制することができたといえる。

5. おわりに

本水槽では、過去の酸素供給抑制策に不具合が生じ、一時的に酸化的な領域と還元的な領域の双方が形成された。このときの観察から、水槽内における酸化還元環境の違いが、水や木製遺物の色調に影響を及ぼすことが示唆された。溶存酸素の枯渇した還元的な領域では、木製遺物の全体の色調が明るくなるものの、黒色の硫化鉄沈殿が遺物の外観に影響を及ぼす可能性も考えられる。還元環境下に木製遺物を維持した場合の影響について、今後より詳細に検討を進める必要がある。

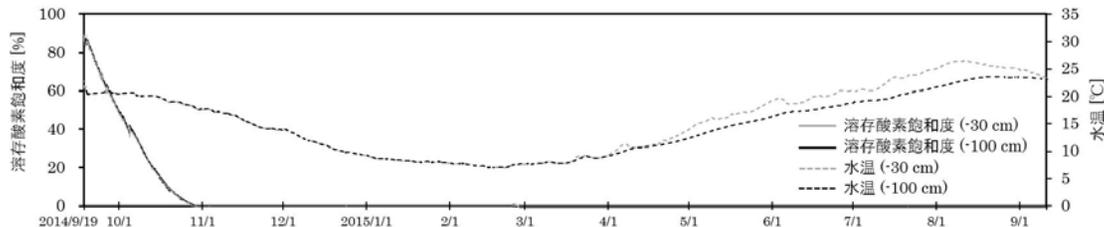


図1 木製遺物保管水槽における溶存酸素飽和度と水温の推移 (2014年9月～2015年9月)

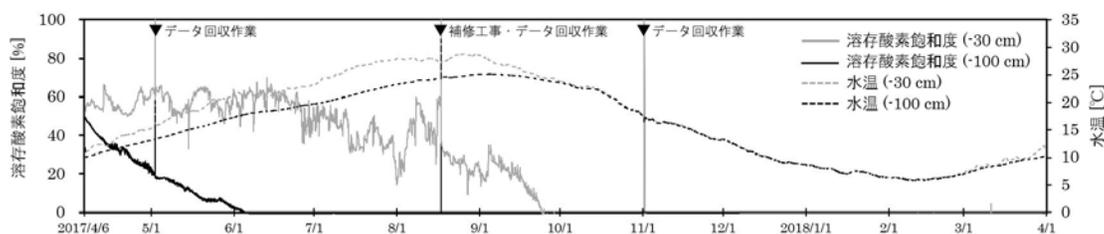


図2 木製遺物保管水槽における溶存酸素飽和度と水温の推移 (2017年4月～2018年4月)

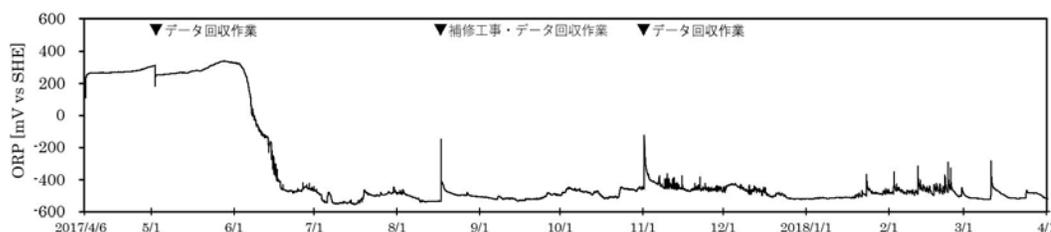


図3 木製遺物保管水槽における酸化還元電位の推移 (2017年4月～2018年4月)

【参考文献】

- 1) 松田和貴・脇谷草一郎・高妻洋成 2015 「出土木製遺物の水中保管環境における溶存酸素を低減する方策の検討」『日本文化財科学会第32回大会 研究発表要旨集』pp.90-91
- 2) 濱崎恒二・木暮一啓 編 2015 『水圏微生物学の基礎』pp.202-203

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

北海道伊達市カムイタプコプ下遺跡からみえてきた

17 世紀のアイヌ民族の暮らし

The Life of Ainu in 17th century - Survey report at the Kamuitapukopushita site of Usu in Date City, Hokkaido-

○永谷幸人（北海道教育庁）・青野友哉（伊達市噴火湾文化研究所）・三谷智広（洞爺湖町教育委員会）・菅野修広（登別市教育委員会）・松田宏介（室蘭市教育委員会）・中村賢太郎（株式会社パレオ・ラボ）・渋谷綾子（国立歴史民俗博物館）・添田雄二（北海道博物館）

○Yukihito Nagaya(Hokkaido Board of Education)・Tomoya Aono(Date City Institute of Funkawan Cluture)・Tomohiro Mitani(Toyako Town Board of Education)・Nobuhiro Kanno(Noboribetsu City Board of Education)・Kousuke Matsuda(Muroran City Board of Education)・Kentaro Nakamura (Paleo Labo Co.,Ltd)・Ayako Shibutani(National Museum of Japanese History)・Yuji Soeda(Hokkaido Museum)

1. はじめに

近年、北海道伊達市の有珠地区（図1）では、近世アイヌ文化期の遺跡の発掘調査が多数行われ、アイヌ民族の住居（チセ）跡・貝塚・はたけ跡等の遺構が相次いで発見されている。同地区は、1640年の北海道駒ヶ岳の噴火・津波と、1663年の有珠山噴火の堆積物との関係から、17世紀中頃のアイヌ民族の集落の様相をさぐる上で最適なフィールドとなっている。

本発表では、2011年から学術発掘調査が行なわれているカムイタプコプ下遺跡の最新の調査成果を中心に、17世紀の有珠地区におけるアイヌ民族の暮らしについて述べる。

2. カムイタプコプ下遺跡の発掘調査成果と有珠地区の集落変遷

2017年に行われたカムイタプコプ下遺跡の発掘調査では、1640年～1663年に営まれたはたけ跡で作物痕跡の可能性のある20の小ピットを確認した。残存デンプン粒分析の結果、根菜類や球根類に由来する可能性をもつデンプン粒が検出され、古文書の記載とあわせると、カブのデンプン粒が作物痕跡の可能性をもつ土壌中に含まれていたと推定された。17世紀中頃は、小氷期（Little Ice Age）と呼ばれる寒冷期の中でも特に寒冷であった時代にあたり、こうした環境に適した作物を栽培していた可能性もうかがわれる。また、一部のはたけ跡では、これらの痕跡が互い違いに2列並ぶような傾向が見られた。さらに、はたけ跡と同時並存した貝塚が発見されたことにより、当時のアイヌ民族の複合的な生業が把握された（図2）。

さらに、本遺跡を含む有珠地区の集落構造の変遷から、2度の巨大災害を土地の利用法を変化させることによって乗り越えようとした人々の姿も浮かび上がってきた（図3）。

3. 謝辞

本発表は、JSPS 科研費 15H03272「小氷期最寒冷期と巨大噴火・津波がアイヌ民族に与えた影響」（研究代表者：添田雄二）の成果の一部である。

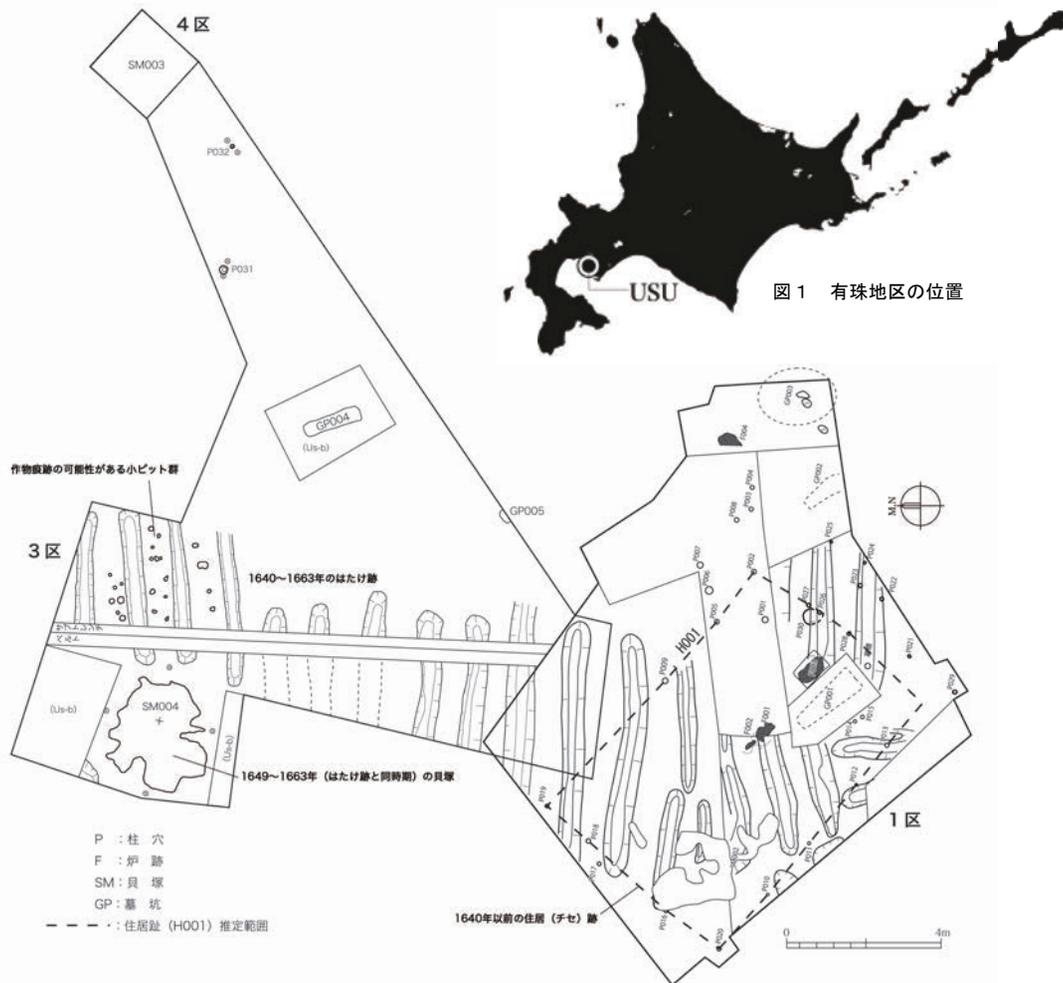


図1 有珠地区の位置

図2 カムイタポプ下遺跡遺構配置図

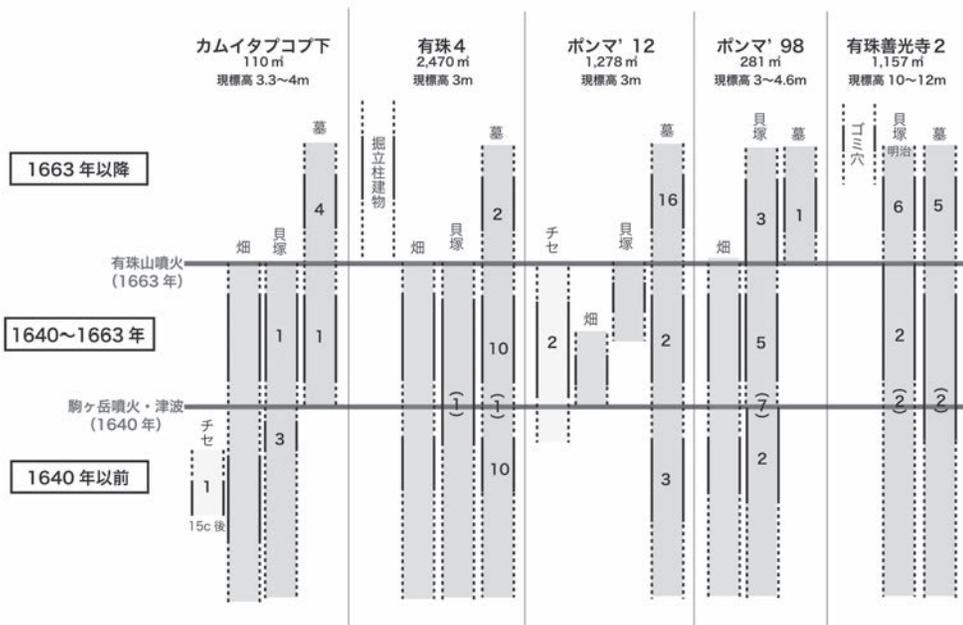


図3 有珠地区の集落・遺構変遷図

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

大谷コレクション中央アジア古文書用紙に見出されたコットン繊維 Cotton fibres found on/in the paper of the documents unearthed in the Central Asian regions of Otani Collection

慶昭蓉、○江南和幸、岡田至弘 龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター
CHING Chao-jung, ENAMI Kazuyuki, OKADA Yoshihiro, Digital Archives Research Centre, Ryukoku
University

1. 初めに

大谷コレクション中央アジア古文書用紙のトカラ語文書、ソグド語文書、漢文文書など4~8世紀の中央アジア古文書用紙に残る繊維、布、糸、植物断片等をデジタル顕微鏡により詳細に観察、同定を行った。中央ユーラシア東部・中国周辺国では、紀元105年蔡倫に代表される後漢の工人による“樹膚”を用いる“革新的製紙法”の発明以後も大麻・楮（構）樹皮による上質の紙ではなく、8~9世紀に至るも依然として、ぼろ布の混じる紙が独自に作られ、広く用いられていたことは、筆者らによりすでに報告のとおりである。今回それらの古文書の中から、コットンの糸、また布の一部が見いだされた。中国本土へのコットンの伝播は、ドゥ・カンドルによれば早くとも9世紀とされているが、トルファン出土の大谷コレクションMS05792周氏一族納税文書に、コットンを意味する中国の古い文字である、「周思温付上元二年科戸“緜”値錢壹阡」の記載があり、盛唐時代上元二（761）年に中央アジアでは「“緜”=ワタ」の取引が行われていたことが分かる（なお、この時代には、“綿”は生糸を意味する文字であった。ここでは、混同を避ける意味で、ワタをコットン、またはワタと記載する）。

2. 実験

紙組織、および紙の繊維観察は、2013年までにKeyenceVHX-500顕微鏡を用いて観察し、ぼろ布あるいは糸の存在を確認した古文書の中で繊維を同定できなかった文書の再検討、また以後、VHX-5000顕微鏡を用い、新たに、低倍率レンズによる、紙のモルフォロジー（表情）の観察、高倍率レンズによる繊維組織の観察を行った。コットン繊維の同定のためには、本来ならば中央アジアで古くより使われていたとされているアジア草ワタ（*Gossypium herbaceum*）との比較が不可欠であるが、同種は現在では西アジア地域でわずかに栽培されているという希少種で、日本での入手は極めて困難である。ここでは、その後中国、中央アジア、日本で広く使われたいま一つのアジアワタである、インドワタ（*Gossypium arboretum*）を仮の比較標準資料とした。日本で19世紀末まで盛んに使われた河内ワタは、江戸期に中国から導入された本種である。どちらも同属でその果実の形態、種子を包む長繊維の形状はよく似たものとの仮定にたつての評価であることをお断りしておく。

3. 実験結果と考察

Fig.1は大谷文書MS00541,Kucha庫車(クチャ)出土のトカラ語B(クチャ語, 亀茲語)寺院出納簿の紙である。この紙には、ぼろ布由来の紡糸断片とアワ植物片,大麻もあり、いわゆる混合

紙である。糸の繊維には、矢印のように、ワタ繊維特有の捻じれた繊維が見られ、幅が大麻、苧麻と異なり全体として均一であり、糸がワタを原料としていることが分かる。時代は、およそ8世紀と考えられる。



Fig.1 MS00541 の用紙に見られるワタ糸

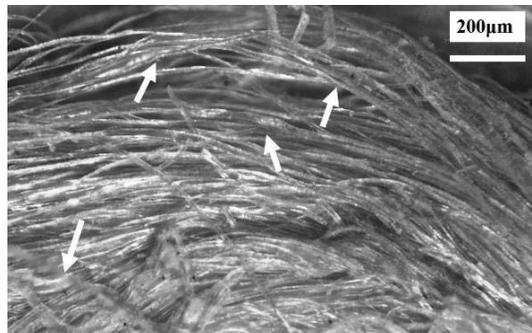


Fig.2 MS11032 の用紙に見られるワタ糸

Fig.2 は同 MS11032,五胡十六国時代の前秦建元 22(386A.D.)年の劉弘妃随葬文書である。年代が分かっているものとしては本研究ではもっとも古いものである。ここにも、穀類わら片と共にぼろ布由来の糸が混じる。糸の繊維は、大麻、苧麻、また亜麻（古代カシュガール農業地帯、またそこから伝わった中国では近世初頭まで、亜麻は繊維用ではなく、もっぱら油脂用に栽培された）とは異なり、ワタ繊維の特徴が見られる（矢印）。

Fig.3 は同 MS06102 カロシュティー文字佛典断片で、極めて稀な紙に記されたものである（このカロシュティー文字文書の正確な時代はまだ不明な点が多いが、古くは3世紀から5世紀の間と考えられている）。顔を出した古布断片にはワタ繊維が見られる（矢印）。

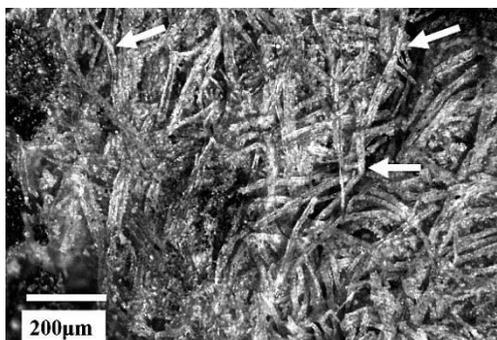


Fig.3 カロシュティー文書の紙中のワタぼろ布

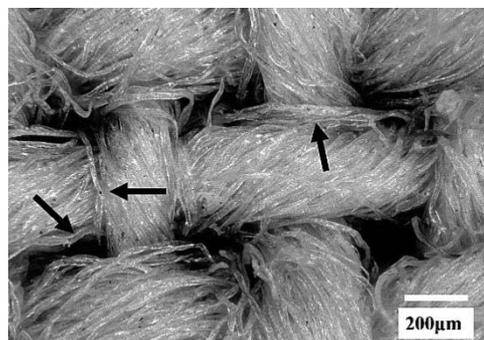


Fig.4 河内ワタ布の組織

Fig.4 は 19 世紀末～20 世紀初頭に作られた河内ワタ古布である。繊維はワタ特有の幅のそろった捻じれた形（矢印）を示し、上の用紙の繊維がワタ由来であることをよく説明する。

以上の分析結果は、アジアワタは、これまでの通説よりはるか以前に中央アジア一帯では衣料として用いられ、そのぼろ布が紙の材料にまで使われていたことを示す。このような古いアジアワタ布の確かな現物は極めて少なく、この意味からも今回のようにワタ布断片の残る中央アジア古文書用紙は、衣料文化の歴史の証人でもあることが分かった。

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

アンコールにおける遺産構造物基礎の真正性の特徴と保存

Character defining elements of the Authenticity of foundation and conservation of heritage structures in Angkor

○岩崎好規（日本イコモス遺産地盤委員会，地盤研究財団），福田光治（大成ジオテック），

中川武（早稲田大学，JASA 共同代表）

○Yoshinori IWASAKI(GeoHeritage Committee, Japan ICOMOS, GRI), Mitsuharu FUKUDA(Taisei Geotech), Takeshi NAKAGA(Waseda Univ., Co-Director JASA)

1. 遺産構造物基礎の保全

「基礎は建築構造における重要な要素である」という認識は，一般構造系技術者のみならず，遺構保存分野の歴史建築専門家にも共有していると思われるが，基礎構造の保全は議論されたこともなく，殆ど無視されてきた。

2. 無視されてきた遺産構造物の基礎

ピサ斜塔

有名な事例の一つとして，ピサの斜塔を挙げる事が出来る。斜塔の原因は，浅い直接基礎で軟弱地盤上に建設されたことであるが，地盤改良や杭基礎などが検討されたが，基礎に関する真正性についての議論はなかった。最終的に地盤抽出(Soil Extraction)法が採用されたために，基礎構造の真正性が保全された。

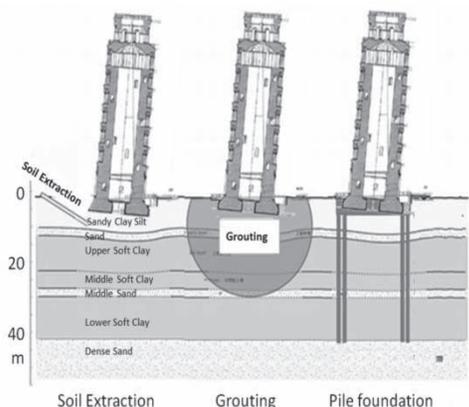


図 1 ピサ斜塔基礎

3. アンコール遺跡における構造物基礎の保全

アンコール遺跡保存は，カンボディア國の保護國であった佛國が 1907 年から開始されたが，本格化するのは，1930 年代に，Anastylosis 手法の導入によるものであった。アンコールにおける遺構保全アナストロシス手法ガイドラインの項目 6. には次のように示されている。

6. 構造物下の地盤を締め固め，必要なら，たとえば，鉄筋コンクリートの基礎板を打設する。

このように，基礎構造については，真正性の議論もなく，フランスは，鉄筋コンクリートを多用している。1943 年にアンコールトム遺構内バブーオン寺院の斜面が崩壊し，45 度程度の斜面を再築しようとしたが 3 度失敗したあと，RC コンクリート擁壁を使用して修復が完成した。最近，2017 年，上智大学のチームがアンコールワット西参道の修復に積石擁壁の背面に鉄筋コンクリート造の逆 L 字型擁壁を設置する計画を進めていることが判明している。このように，基礎構造に関する保全は，議論されることなく，無視され続けている。

3. バイヨン寺院における主塔基礎

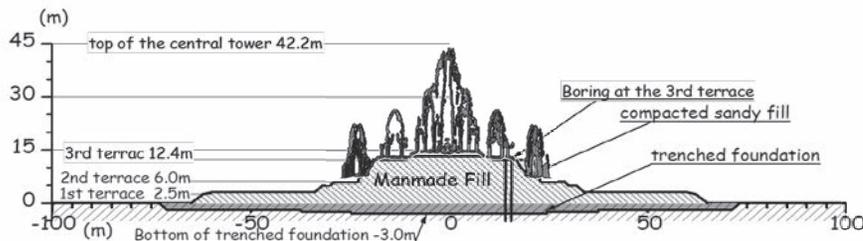


図2 バイヨン寺院断面図

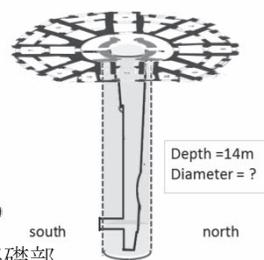


図3 中央祠堂基礎部

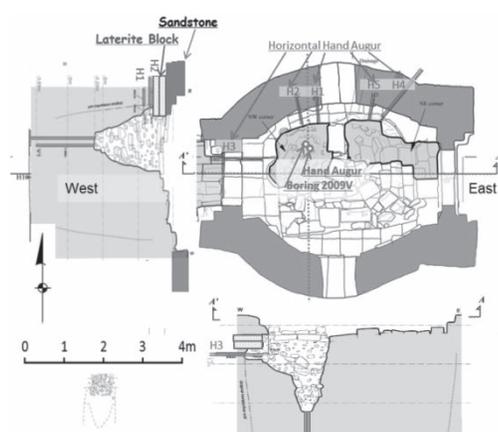


図4 中央塔礎石下部構造探査

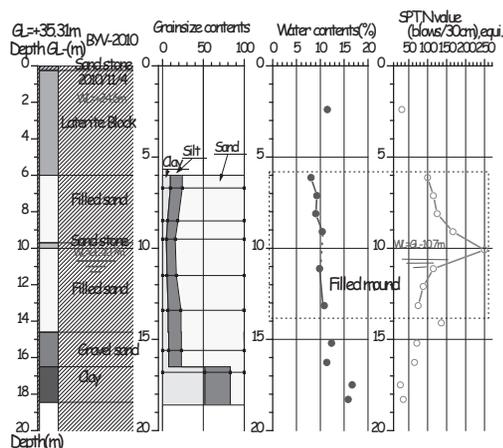


図5 基壇盛土におけるボーリング柱状図

図2に示したように、バイヨン寺院は、2-3mの掘込み地業の上に3段盛土の基壇の最上部の盛土14mの表層から高さ31mの高さの積石構造の主塔が建っている。図3に中央塔基礎伏図を示した。中央部分の中央塔基礎平面図を図4に示したが、礎石は砂岩の下位にラテライトブロックがあり、その下に石積が連続するかと水平ハンドオーガーで探索したが、砂質盛土のみであった。現在の建築基礎や地盤工学の常識から言えば、14mの盛土の上に、礎石を基礎として高さ31mの構造物を構築することはない。下位の基礎層まで、なんらかの基礎構造で支持することになる。

3. バイヨン寺院基壇地盤特性

基壇盛土部の地盤ボーリング結果を図5に示したが、標準貫入試験 N=100-200に達している。砂系の盛土地盤のN値=30-40程度であることを考えると異常であるが、試料の含水比とN値の関係を図6に示した。この固結土は浸水によって容易に溶けて強度低下する。

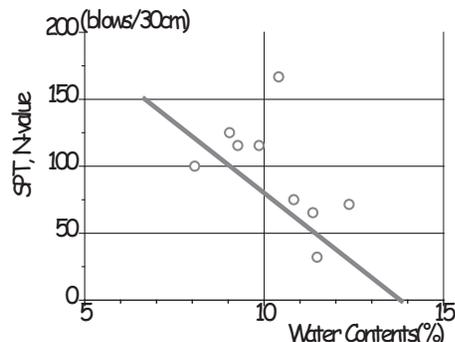


図6 ボーリング採取試料含水比

4. 結論

バイヨン基壇地盤の真正性要素特性として、
A 乾燥によって強い強度を獲得している砂質盛土 B 高い盛土に浅い直接基礎で支持されて高い積石塔 という特異な石積塔構造形式が浮かび上がってくる。このように、アンコールにおける遺構の保全には、遺産地盤工学が必須の学問体系であることが理解できよう。

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

韓国紙類文化財の特性研究

○ 程仙花(国立文化財研究所)、高仁嬪(同左)、孫하늘(同左)、張敬周(同左)

○ Seonhwa Jeong(National Research Institute of Cultural Heritage, Korea), Inhee Go, Hnneul Son, Kyungju Jang

I. 序論

韓国は文明の発達と共に文化的な背景と歴史的な考察そして知的活動の跡を振り返ってみることができる様々な文化財を保有しているが、その中でも紙類文化財は「使用する」「保有する」という用途で最も多く利用されていた。韓国は、三国時代(4世紀初め～7世紀半ば)から、中国の書写材料である紙が伝わり、国や個人の歴史や文化を記録遺産として残し、後世に受け継がせることができた。そのような記録遺産、つまり紙類文化財は朝鮮時代(1392～1910年)にその全盛期を迎え、たくさんの紙類文化財が伝わってきている。文化庁に登録されている国家指定文化財(3720件)のうち動産文化財(国宝、宝物)は1503件で、そのうち典籍類・書籍類・絵画類など紙類文化財は872件です。これは韓国国家指定動産文化財の58%にあたる高い割合である。このような韓国の指定紙類文化財は文化財保護法に基づいて5年に1回定期調査を実施している。それを通じて現在の遺物の数量・規格・保管状態・保管環境・保守・修理の履歴などを調査し、損傷の程度を調べて保存処理する必要があるかどうかについても点検を行っている。本研究は、韓国で指定・管理されている紙類文化財の現況と保存処理の現場で科学的な調査を行い、時代別・種類別に紙文化財を構成する原材料の材質的な特性を把握するために行われた。

II. 研究の内容および方法

1 紙類文化財の種類別・時代別分類

紙類文化財を種類別に分類し、時代別に区分するために国家指定文化財を調査対象にし、韓国文化財庁の公式サイトに掲載されている文化財の検索基準に基づいて紙類文化財を分類した。また、紙類文化財は記録遺産として典籍類・文書類・書簡類に分類した。時代別区分の場合は、文化財関連の記録をベースに高麗～

朝鮮前期、百濟、統一新羅、朝鮮時代、朝鮮前期、朝鮮後期、植民地時代に区分した。

2. 紙類文化財の特性分析

分析対象である紙類文化財は、2016年国庫補助事業として保存処理事業が行われた国家指定紙類文化財23種である。種類別の分類結果を見ると、古文書4点、典籍類16点、帖3点だった。時代別の分類すると、高麗時代4点、朝鮮時代19点だった。これに対して保存処理現場で非破壊検査方法を中心に科学的な調査を実施した。また、精密分析のための試料収拾も行ったが、試料収拾は自然に剥離されたテストピースを中心に収拾可能な遺物に対して丁寧に行った。分析項目は、厚さ・色度・顕微鏡の観察・繊維識別・FT-IR・FT-NIR・SEM-EDS・放射性炭素年代測定だった。

III. 結論

本研究を通じて、国が指定・管理している1504件の国家指定紙類文化財を分類した。その結果、典籍類768件、文書類192件、書簡類94件で典籍類の割合が最も高かった。時代別にみると、百濟1件、統一新羅1件、高麗196件、朝鮮時代766件、高麗～朝鮮前期4件、植民地時代1件、時代未詳85件で、朝鮮時代の紙類文化財が最も多かった。宝物906号「金誠一宗家古文書」など23点の紙類文化財に対する特性分析の結果は下記の通りである。破壊分析が可能な試料は繊維識別、SEM-EDS、FT-IRの分析を行った。その結果、コウゾの靱皮繊維の特徴、セルロース構成元素が確認され、韓国の紙類文化財のほとんどがコウゾの靱皮繊維で製造された伝統韓紙であることが確認できた。また、精密分析が可能な試料は、炭素年代測定を実施し、文化財台帳に記録された時代および年度と類似な値であることが確認できた。非破壊分析(23点)による色度L*値(明度)は、朝鮮時代の古文書が最も高く、朝鮮時代の典籍類が最も低かった。厚さは古文書および典籍類の内紙に比べて典籍類の表紙の方が著しく高かった。破壊分析(20点)による繊維識別の結果、全体的に試料が赤褐色の反応を見せた。顕微鏡分析の結果、コウゾの靱皮繊維の特徴が観察されたため、コウゾの靱皮繊維で抄紙した韓紙であることが確認できた。炭素年代測定は分析ができる7点を対象に実施し、文化財台帳に記録されている時代および年度と類似な値だったが(信頼度は平均95.4%)、そのうち裏紙で使われている試料が1900年代のものであることがわかり、それが過去に保存処理の履歴がある現代紙であると推定された。

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

酸素同位体比による長江下流域、

田螺山遺跡への象牙製品の持ち込みの検証

Bringing ivory products to the Tianluoshan site at
the Lower Yangtze region elucidated by oxygen isotopic
analysis.

○板橋悠（東京大学）、覚張隆史（金沢大学）、菊地大樹（中国社会科学院）、
丸山真史（東海大学）、孫国平（浙江省文考研）、中村慎一（金沢大学）、米田穰（東京大学）

○Yu ITAHASHI (Univ. Tokyo), Takashi GAKUHARI (Univ. Kanazawa),
Hiroki KIKUCHI (Chinese Academy of Social Sciences), Masashi MARUYAMA (Univ. Tokai),
Guoping SON (Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology),
Shinichi NAKAMURA (Univ. Kanazawa), Minoru YONEDA (Univ. Tokyo)

1. はじめに

中華人民共和国長江流域の新石器時代の河姆渡文化遺跡からは加工された多数の象牙製品が出土している。本稿が対象とする中国浙江省に所在する新石器時代中期の田螺山遺跡からも 60 点を超える加工された象牙装飾品が見ついている。一方で、田螺山遺跡からは未加工の象牙は見つかっておらず、また象牙以外のゾウの部位の発見例も臼歯 1 点のみである。同様に田螺山遺跡から約 8km に位置する河姆渡文化の標式遺跡である河姆渡遺跡からは、著名な双鳥朝陽紋が彫られた製品を始めとして彫刻を施された象牙装飾品が出土しているが、象牙以外のゾウの骨部位は臼歯 1 点、距骨 1 点、寛骨 2 点の計 4 点に限られる（浙江省文考研, 2003）。上記のことから河姆渡文化では少なくともゾウは集落内で屠殺・解体されたのではなく、象牙製品に加工されたものが集落に持ち込まれていたものと考えられる。しかし、これまで河姆渡文化遺跡の象牙製品の元となるゾウがどこで狩猟されたのかについてはほとんど情報が得られていない。

中国で出土する象牙製品の例として、長江中流域の四川省に所在する青銅器時代の三星堆遺跡からは完形象牙および加工済み象牙製品が多数出土している。単独で生活するオスのアジアゾウの習性から、多数の象牙や象牙製品を賄うためには集落周辺だけでなく広い範囲で狩猟されたゾウから象牙を集める必要があり、Flad は三星堆遺跡も所在する成都平原一帯から象牙を集積していたと指摘している（Flad, 2012）。このため田螺山遺跡で象牙以外の部位が集落から検出されない理由として、三星堆遺跡同様に地域内のオスゾウの縄張り内でゾウは狩猟され、象牙のみが集落に持ち込まれた可能性が考えられる。一方で三星堆遺跡とは異なり、田螺山遺跡や河姆渡遺跡では完形の象牙は

見つかっていない。また田螺山遺跡では石器の理化学分析により 50km を超える遠方で産出する石材が持ち込まれていたことが示されている (Jiao et al., 2017)。そのため、別の仮説として象牙は長江下流域内で狩猟されたゾウから得られたものではなく、石材と同様に交易品として遠方から流通してきていた可能性も考えられ、これらの仮説は検証する価値がある。

2. リン酸塩の酸素同位体比分析

そこで本稿では、田螺山遺跡出土の象牙製品と田螺山遺跡出土のゾウ以外の動物骨の歯の象牙質からリン酸塩を抽出し、その酸素同位体比を測定し比較を行った。動物の飲み水となる環境中の水の酸素同位体比は、緯度・海からの距離・標高と反比例して低くなっていくことが知られている。このため、地球上の地表水の酸素同位体比は地域によって異なる酸素同位体比を有している。動物の体組織の酸素同位体比は飲み水の値を反映するため、象牙質のリン酸塩の酸素同位体比から目的の動物の生息地域を推定可能である。本稿では、象牙製品と遺跡周辺に生息していたと考えられるイノシシ属(野生イノシシもしくは家畜ブタ)の象牙質のリン酸塩の酸素同位体比の比較から、田螺山遺跡出土の象牙製品が河姆渡文化の栄えた長江下流域内のゾウから得られたものか、それとも地域外から持ち込まれたものかを検証した。

3. 結果.

田螺山遺跡の各層位(3~8層)から出土した象牙製品と在地の指標としてイノシシ属の歯象牙質のリン酸塩の酸素同位体比を測定し、換算式から飲み水の推定値($\delta^{18}\text{O}_w$)に補正して比較した。その結果、イノシシ属と象牙製品共に層位により酸素同位体比に変化があったことが示された。また同一層から出土したイノシシ属に対し、象牙製品は有意に低い酸素同位体比を示した。イノシシ属は田螺山遺跡から全身の部位が出土するため集落内もしくは集落周辺の環境で生息した在地の動物と見なされ、ヒトによって食料として利用されたと考えられている。一方で象牙製品はイノシシ属よりも低い $\delta^{18}\text{O}_w$ を示していることから、田螺山遺跡よりも環境中の水の $\delta^{18}\text{O}_w$ が低い傾向を持つ内陸もしくは北方に生息していたゾウから得られたと考えられる。田螺山遺跡出土の象牙製品は、遺跡周辺で狩猟されたアジアゾウから得ていたのではなく、四川省を含む長江下流域外から持ち込まれていたことが示唆された。河姆渡文化は石材や象牙製品などの高価値の物品を遠隔地との交易によって得る、交易ネットワークを有していた可能性がある。

引用文献

浙江省文物考古研究所, 2003. 『河姆渡 -新石器時代遺址考古発掘報告書 上冊』

Flad, R.K., 2012. Bronze, jade, gold and ivory: valuable objects in ancient Sichuan. In: Papadopoulos, J.K., Urton, G. (Eds.), *The Construction of Value in the Ancient World*. Los Angeles, Cotsen Institute of Archaeology, pp. 258–287.

Jiao, T., Guo, Z., Sun G., Zhang, M., Li, X., 2017. Sourcing the interaction networks in Neolithic coastal China: a geochemical study of the Tianluoshan stone adzes. *J. Arch. Sci.* pp. 1360–1370.

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

長野県松本市弥生時代遺跡の土器付着物にみられる C₄ 植物の影響

The effect of C₄-Plants as seen on charred remains on pottery from sites of Yayoi period in Matsumoto City, Nagano Prefecture

○國木田大 (東京大学)、百瀬長秀 (松本市教育委員会)、米田穰 (東京大学)、設楽博己 (同左)
○Dai KUNIKITA (The University of Tokyo), Nagahide MOMOSE (Matsumoto City Board of Education), Minoru YONEDA, Hiromi SHITARA (The University of Tokyo)

1. 研究の背景

本発表では、長野県松本市の縄文時代晩期～弥生時代中期にかけての食性に関して、土器付着物の炭素・窒素同位体比、C/N 比を用いて検討を行う。昨年度は、東北地方北部の弥生時代に関して発表を行った(國木田ほか 2017)。また、関東地方も部分的に検討を進めている(國木田 2017)。土器付着物分析からは、東北・関東地方の弥生時代で、顕著な雑穀利用は今のところ確認されていない。今回、土器表面の圧痕レプリカ法で雑穀利用が確認されている長野県松本市の資料を分析し、C₄ 植物利用の実態解明を目指した。長野県では、伊那盆地の事例(遠藤・高瀬 2011)、浮線文土器の事例(中沢・佐々木 2011)、栗林式等の事例(馬場・遠藤 2017)等、縄文時代晩期から弥生時代に数多くのアワ・キビ圧痕が報告されている。今回分析を実施した石行遺跡、境窪遺跡でもアワ・キビ圧痕が多数確認されている(中沢ほか 2010、設楽ほか 2016、山下ほか 2017)。

2. 分析試料

本要旨での分析試料は、エリ穴遺跡(佐野式:縄文晩期中葉)5点、女鳥羽川遺跡(縄文晩期後葉)7点、石行遺跡(氷I式新段階:縄文時代晩期末)8点、境窪遺跡(弥生時代中期中葉)8点の計28点である。試料は全て内面付着物である。土器型式は、破片資料も含まれているため、今後年代測定等も実施して詳細に検討したい。縄文時代晩期後葉～末の浮線文土器編年は多くの論考があるが、女鳥羽川式→離山式→氷I式(古)→氷I式(中)→氷I式(新)で変遷することが知られている(設楽 2014 等)。なお、炭素・窒素同位体比、C/N 比は、AAA 処理済試料を昭光サイエンスに依頼して測定を行った。年代測定は、東京大学総合研究博物館で実施した。

3. 測定結果と考察

図1の結果から、全て窒素同位体比が約9‰より低い値を示し、水性生物の影響はほとんどないと判断できる。エリ穴遺跡と女鳥羽川遺跡が比較的狭い範囲で分布するのに対して、境窪遺跡は非常に幅広く分布する。また、境窪遺跡では炭素同位体比が非常に高いものがあり(-14.5～-21.0‰)、C₄ 植物の影響と判断される。石行遺跡でも同様の値(-20.7‰)が1点あり、C₄ 植物の

可能性が考えられる。図2では、エリ穴遺跡と女鳥羽川遺跡でC/N比が高い（全て25以上）一方、石行遺跡と境窪遺跡は低い傾向にある（3点以外20以下）。前者は、堅果類を中心とした内容物の可能性が高い。後者は、C₄植物をはじめとした陸域動植物の混合と考えられる。両者の時期の間で大きな食性変化があったと考えられる。今回の結果は、土器付着物分析からも、C₄植物利用を評価できた点で非常に意義がある。これまでは、滋賀県竜ヶ崎A遺跡（突帯文期：長原式）や愛知県馬見塚遺跡（馬見塚式）で数個体の報告例があるが、様相を把握できたのは初めてである。今後、周辺地域のデータを増やして、議論を深化させていきたい。

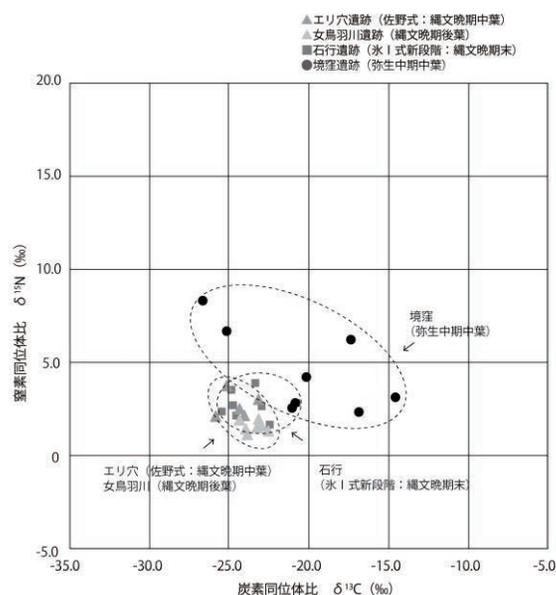


図1 炭素・窒素同位体比

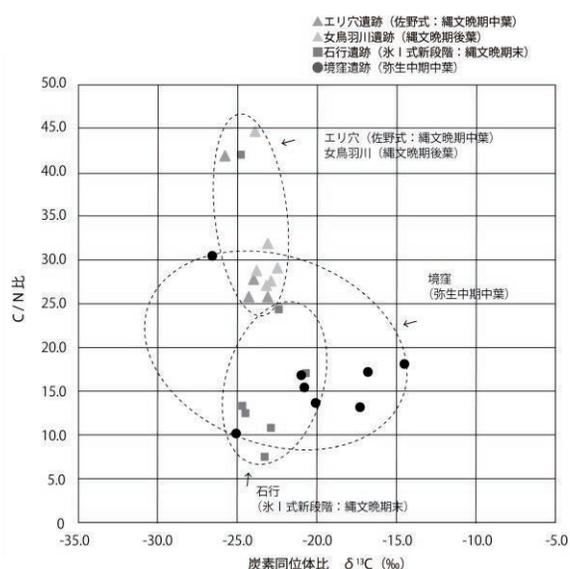


図2 炭素同位体比とC/N比

謝辞

試料採取に際して、松本市立考古博物館の千賀康孝氏、赤羽裕幸氏に大変お世話になりました。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 遠藤英子・高瀬克範 2011 『考古学研究』 58-2, 74-85
 國木田大 2017 『横浜に稲作がやってきた！？』 横浜市歴史博物館, 52-54
 國木田大ほか 2017 『日本文化財科学会第34回大会要旨集』 274-275
 設楽博己 2014 『国立歴史民俗博物館研究報告』 185, 449-469
 設楽博己ほか 2016 『SEEDS CONTACT』 3, 2-4
 中沢道彦ほか 2010 『日本考古学協会第76回総会研究発表要旨』 46-47
 中沢道彦・佐々木由香 2011 『資源環境と人類』 1, 113-117
 馬場伸一郎・遠藤英子 2017 『資源環境と人類』 7, 1-22
 山下優介ほか 2017 『SEEDS CONTACT』 4, 14-16

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

対馬出土ガラス玉類の考古科学的検討

Scientific and archaeological investigation on glass beads excavated in Tsushima

○田村朋美 (奈良文化財研究所)、大賀克彦 (奈良女子大学)、谷澤亜里 (九州大学)
○Tomomi TAMURA (Nara National Research Institute for Cultural Properties),
Katsuhiko OGA (Nara Women's University), Ari TANIZAWA (Kyushu University)

1. 研究の目的

対馬の遺跡からは様々な外来の財が数多く出土している。対馬において、特に集中的な流通状況を示す器物の一つとして、弥生時代後期～終末期におけるガラス製小玉が挙げられる。当該期におけるガラス小玉の流通量は非常に多く、対馬北部に所在する塔の首遺跡の 3 号箱式石棺墓からは 8000 点を超えるガラス小玉の出土が報告されているが、これは現在のところ、弥生時代における一遺構からの出土数として日本列島内で最多である。今回、対馬に所在する 10 遺跡 15 遺構から出土したガラス玉 4,168 点について材質調査を実施し、流入経路や時期変遷についての考古科学的検討を行った。

2. 調査の方法

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

3. 結果と考察

今回分析を実施したガラス玉類は、管玉や六角柱玉などの例外 (7 点) を除くと、すべて引き伸ばし法による Indo-Pacific Beads (以下 IPB) であった。IPB の材質には、カリガラス (Group PI, PII)¹⁾、ソーダガラス (Group SIIA, SIIB, SIV, SVA)²⁾、混合ガラス (分類外) が確認された。

カリガラスについては、対馬以外で類例の少ない淡紺色や藤色のカリガラス (Group PI) が大量に出土するなど、独自色が強いことが明らかとなった。また、マンガンと銅によって着色された濃青色のカリガラスも少量出土しており、Group PI と Group PII の二種類の材質のものが存在し、それぞれ着色剤と対応関係が存在することが分かった。すなわち、Group PI の濃青色のカリガラスは $MnO < CuO$ であるのに対し、Group PII のものでは、 $MnO > CuO$ の傾向が顕著である。

ソーダガラスで最も注目されるのは、弥生時代の遺構において、Group SVA の大量流通が確認されたことである。とくに、塔の首遺跡から大量に出土している淡緑色透明および青緑紺色半透明の Group SVA や、ハロウ遺跡で出土した黒色不透明の Group SVA の IPB は九州島本土や本州以東の地域では出土例が極めて少ない、あるいは全く確認されていない種類である。本研究で、これら Group SVA の大量の分析データが得られ、材質や着色技法の特徴が明らかになった。

淡緑色透明の Group SVA は、基礎ガラス成分 (MgO 、 K_2O 、 CaO 、 Al_2O_3) と着色成分から、

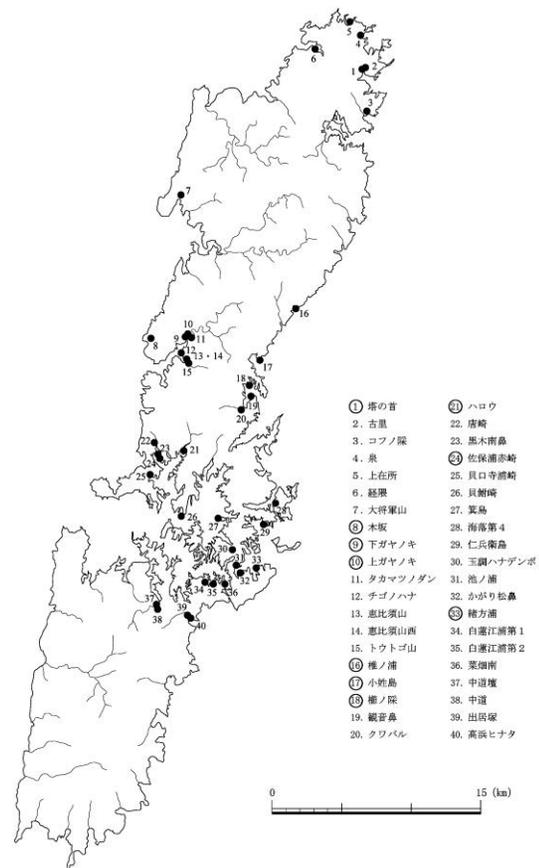


図 1 玉類が出土した遺跡 (弥生～古墳時代)
○: 本研究で材質分析を実施した遺跡

さらに3種類に細分された(淡緑色①②③)

(図2)。淡緑色①は、MgOが少なく、Al₂O₃がやや多いもので、着色成分としては、少量の鉄以外に着色に関与する成分が含まれない。淡緑色②は、MgOが多いのが特徴である。着色成分は、淡緑色①と同じく、鉄以外に着色に関与する成分は含まれない。淡緑色③は、MgOが中程度、Al₂O₃も中程度である。淡緑色③は着色成分として、Fe₂O₃以外に少量のMnO、CuO、PbOを含むのが特徴である。なお、淡緑色透明のGroup SVAは、福岡県須玖唐梨2号土壙墓や宮の前1号箱式石棺墓からも少量出土しているが、化学組成の特徴が一致するものは見いだせなかった(図2)。

青緑紺色半透明のものは、CoOを0.5%前後含有しており、主にコバルトイオンによる着色である。コバルト着色によるGroup SVAは今回初めて確認された。大量に出土した塔の首遺跡のものは、大きさ、基礎ガラス成分、着色成分から、さらに3種類に細分される(青緑紺色①②③)(図2)。まず、大きさは直径が2mm前後のいわゆる粟玉と呼ばれるような微細なものと、直径4mm前後の通有サイズのものに分かれる。粟玉については、基礎ガラス成分のAl₂O₃とCaOの含有量で二分される(青緑紺色①②)。さらに、基礎ガラス成分による区分に対応して着色成分も異なる。青緑紺色①~③は、CoOを0.5%前後、MnOを2%前後含有する点は共通するが、CuOおよびPbOの含有量に変異が大きい。青緑紺色①は、CuOの含有量が多く、PbOも1.5%前後含有する。一方、青緑紺色②は、CuOとPbOの含有量はおおむね0.1%未満と少ない。大きさの点から前二者とは分離される青緑紺色③は、基礎ガラス成分はばらつきが大きい、青緑紺色①②とは重複しない。着色成分はCuOとPbOを少量含む(0.1~0.2%)ものと、極めて少ないもの(0.1%未満)があるが、基礎ガラス成分との相関は明確でない。

黒色不透明のGroup SVAについても今回初めて流通が確認された。鉄による着色と考えられる。他の色調に比べて鉄の含有量が特に多いとは言えないが、鉄と作用してガラスを黄褐色に着色するとされる硫黄(SO₃)を0.6%前後含む点は注目される。基礎ガラス成分については、MgOおよびK₂Oがともに多く、2.5%以上含まれる。

以上のように、本研究によって、対馬に流入した玉類の構成や時期的変化が明らかになった。その結果、ガラス小玉の流入量が多い弥生時代後期~終末期においては、流入するガラス小玉の構成が壱岐や北部九州とは明確に異なっており、地理的位置から想定されてきたように、対馬が中継地の役割を果たしたとは言い難いことが判明した。

さらに、対馬の埋葬遺跡においては、明らかに時期が異なる遺物が混在して発見されることが例外とは言えないことも明らかとなった。代表的な事例として、ハロウA2号箱式石棺墓が挙げられる。本遺構は、弥生時代後期後半~終末期に構築されたと考えられているが、出土したガラス小玉19点には、埋葬以降の構築時期と矛盾しない種類(Group PIおよびGroup SVA)が6点含まれる一方、明らかに古墳時代中期後半以降に流通する種類(Group SIIBまたはGroup SIIIB)が13点含まれていた。このように、単なる追葬とは評価し難いほど長期間の空白期を挟んだ再利用が一般的に存在することが重要な特質であるといえる。

1), 2) Oga, K., Tamura, T. 2013. Ancient Japan and the Indian Ocean Interaction Sphere: Chemical Compositions, Chronologies, Provenances and Trade Routes of Imported Glass Beads in the Yayoi-Kofun Periods (3rd Century BCE - 7th Century CE). *Journal of Indian Ocean Archaeology*, 9.

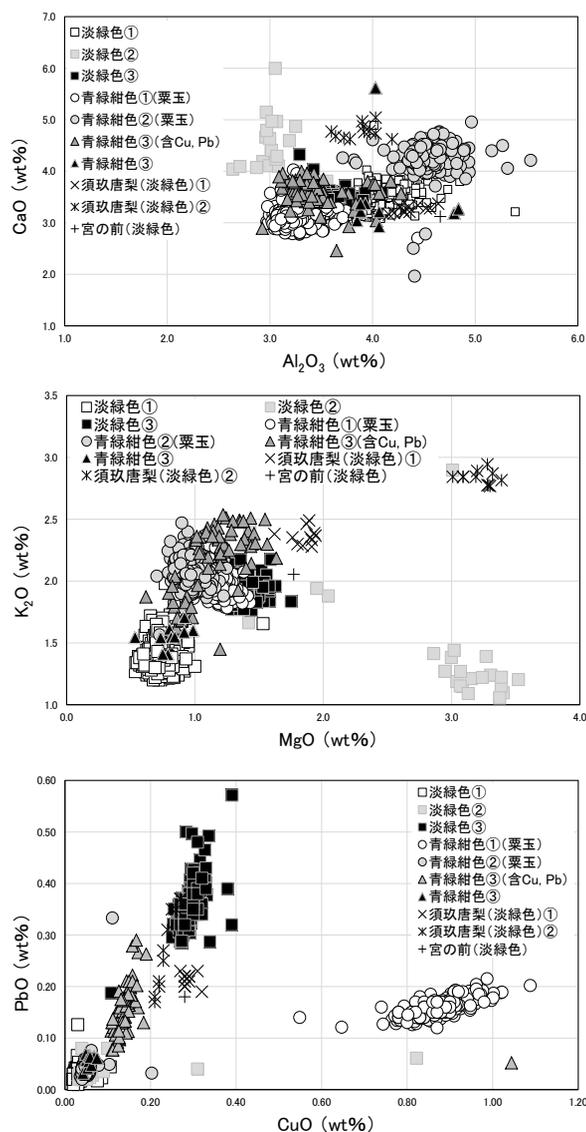


図2 Group SVA (塔の首遺跡)の材質および着色剤の特徴(上: CaO vs. Al₂O₃、中: K₂O vs. MgO、下: PbO vs. CuO)

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

スマートレプリカの提案 —デジタル世代の二次資料—

The smartreplica: Practical use of measurement data of cultural assets

○輪田 慧(合同会社 2bit)、加藤 和歳(九州歴史資料館)、小林 啓(同左)、甲斐 孝司(古賀市)、岩橋 由季(同左)、村上 浩明(株式会社 とっぺん)、森下 靖仕(古賀市)、今津 節生(奈良大学)

OWADA Kei (2bit, LLC), KATO Kazutoshi, KOBAYASHI Akira (Kyushu Historical Museum), KAI Koji, IWAHASHI Yuki (Koga City), MURAKAMI Hiroaki (TOPPEN Corporation), MORISHITA Yasushi (Koga City), IMAZU Setsuo (Nara Univ)

概要

文化財のより広い活用が求められている今、実物資料保護のため、二次資料の役割が重要となっている。また、デジタル計測技術の発展、普及により、文化財のデジタルデータをもとにした二次資料も増えつつある。そこで、従来の二次資料の概念を拡張するものとして、データとしてのレプリカ『スマートレプリカ』を定義したい。

『スマートレプリカ』とは

まず、『スマートレプリカ』とは、従来の型取りによるレプリカのように、実体のあるハードウェアではなく、三次元計測機やX線CT撮影装置、蛍光X線分析装置、分光反射率測定装置、顕微鏡写真などのあらゆるデジタル計測機器から得られた情報を統合し、寸法、形状、素材、色彩等をなるべく実物資料に近づけたデジタルデータを指す。

このデータは、3Dプリンタなどの工作機械による模型制作や、映像、VR等のデジタルコンテンツ制作、さらには展示具の設計や遺物クリーニングなど、実資料の保存修復にも活用できる。また、実資料の形態をそのまま写し取る従来の二次資料とは違い、拡大縮小、回転、左右表裏反転などの幾何学的変更や、データに基づいた重要部分の強調といったように、付加情報を加えることも可能である。

このように、データとして定義した『スマートレプリカ』は、文化財デジタルデータ活用のハブとして機能させることができる。

福岡県古賀市船原古墳出土遺物での事例

『スマートレプリカ』を製作した事例として、福岡県古賀市船原古墳出土の鳳凰文心葉形杏葉を挙げる。この遺物は有機質に覆われているが、後の調査分析のために、現状では取り除くことができず、文様や構造が不明瞭であった。また細かな毛彫も見られたため、X線CTと三次元計測機、光学顕微鏡によって、肉眼では観察不可能な部分をも再現した『スマートレプリカ』を制作した。その後、このデータをもとに、真鍮製の模型や、埋納状態を再現した三次元出土状況図、広報用のCG画像を制作し、展示会等で活用した。

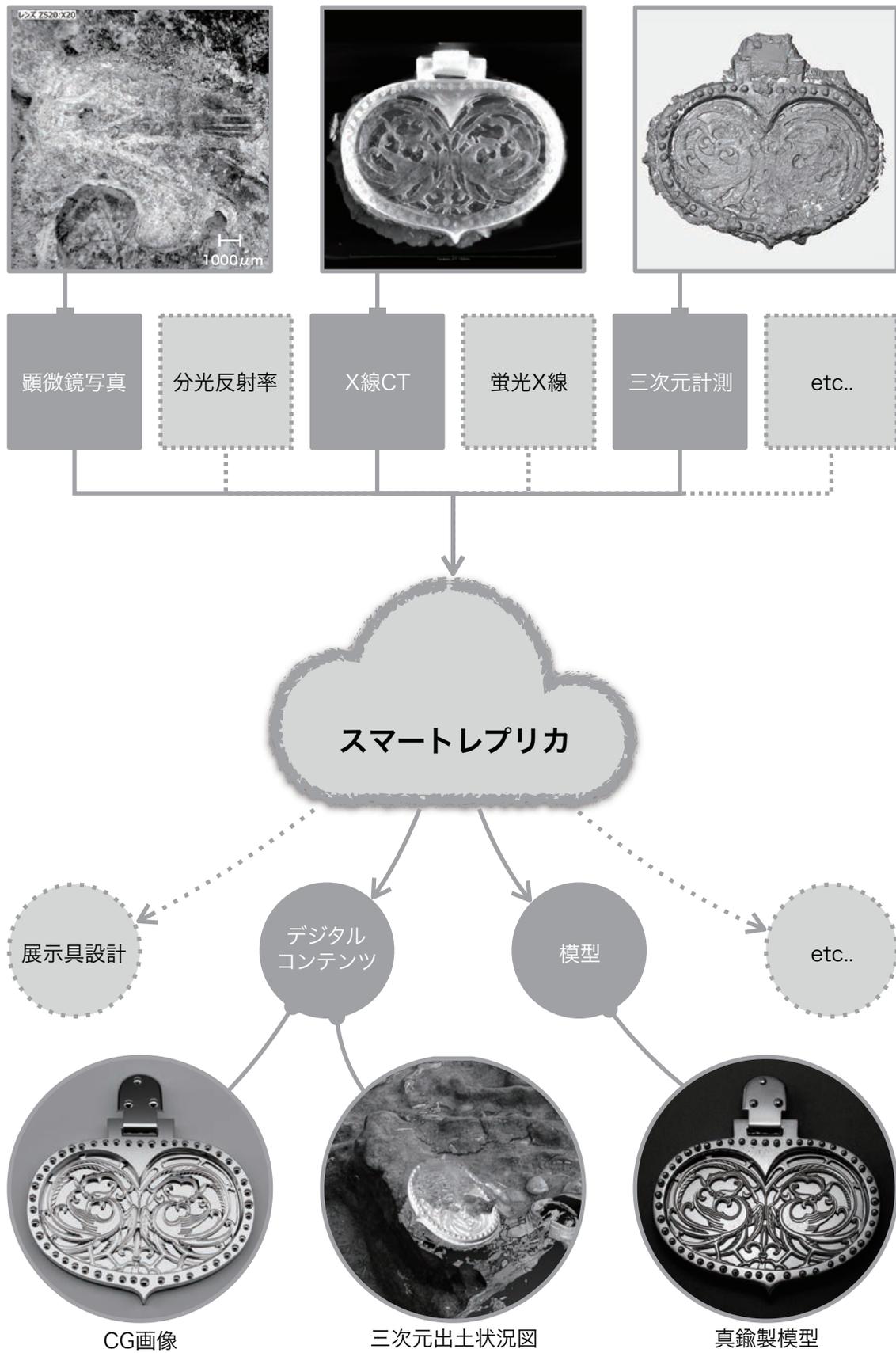
二次資料の未来

現在は形状の再現が主だが、計測や出力の方式、素材の技術が発展するにつれ、色、質感、触感、重さ、音など、再現できる要素や精度を、実物により近づけて行くことができるだろう。また、デジタルデータであるがゆえに、より多くの人に情報を提供することができるようになると思う。



有機質を残しクリーニングした遺物

スマートレプリカの概念図と具体例



3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

航空レーザ測量システムを用いた 岩櫃城跡周辺地形の計測手法の検討

Investigation of terrain measurement around Iwabitsu castle site with airborne LiDAR sysmte

○吉川由里子 (アジア航測株式会社)、吉田智哉 (群馬県東吾妻町教育委員会)
押野博仁 (アジア航測株式会社)
○Yuriko YOSHIKAWA(Asia Air Survey Co.,LTD.),
Tomoya YOSHIDA(Higashiagatsuma Town Board of Education),
Hirohito OSHINO(Asia Air Survey Co.,LTD.)

1. はじめに

日本には多くの山城跡が存在しているが、その正確な地形がわかっていないものが多い。また、城跡だけではなく周辺地形との関連性がそこに城が造られた意味などを推察する上で重要である。そこで、群馬県東吾妻町に残る岩櫃城跡を中心に周辺の城跡や周辺地形を含めた範囲に対し、地表面の標高を高密度に取得することができる航空レーザ測量システムを用いて計測を実施した。岩櫃城跡は南面が約 200m の断崖絶壁の岩櫃山 (図 1) の中腹に位置する。岩櫃城跡の計測においてこの垂直な岩山の形状を正しく計測するための計測手法とその結果について報告する。



図 1 岩櫃山

2. 航空レーザ計測

2.1. コース設定

航空レーザ計測は、航空機からレーザ光を照射し、その反射光から地盤の高さを算出する。そのため、樹木に覆われ地盤が見えない箇所でも、樹木の葉と葉の間をレーザ光が通り抜けることで樹木下の地盤高を計測することができることから、樹木に覆われている山城跡の計測に適している。

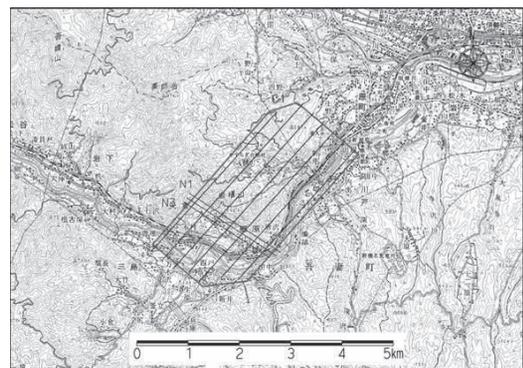


図 2 計測コース

航空レーザ計測では、斜面に対して直行する方向に計測した方が斜面形状をより高精度に表現

することができる¹⁾。一方、航空レーザ測量システムは機体に対して水平に設置することが一般的であるため、岩櫃山のような垂直の岩山の計測には不向きである。

そこで、斜面と垂直方向に計測コースを設定して対象範囲全域を計測した後、航空レーザ測量システムを機体に対して斜めに設置し、垂直の岩山計測専用のコースを設定して計測を実施した(図2)。

2.2. 垂直地形の再現性

航空レーザ測量システムを機体に対して垂直に設置した場合と斜めに設置した場合のデータを用いて、垂直地形の断面を比較した。その結果、斜めに設置したデータでは垂直地形が高密度に取得できていることが確認できた(図3)。

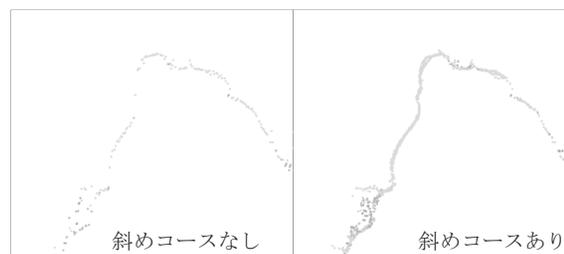


図3 垂直面の断面

2.3. 赤色立体地図作成

対象範囲全域について平成28年5月12日に航空レーザ計測を実施した。計測データから地盤データを抽出し、地盤の詳細な形状を視覚的にとらえることができる赤色立体地図(特許3670274号)を作成した(図4)。



図4 赤色立体地図

3. まとめ

航空レーザ計測により岩櫃城跡周辺を計測し、赤色立体地図により地形形状を可視化した。詳細な地形を立体的に可視化したことで、城へ続く道がどこを通過していたか、曲輪や堀の断面形状、川(水路)と道(陸路)の関係など、当時の人が自然地形をどのようにとらえて、人工地形を作り上げたかなど、城周辺の全容を把握することができた。城の周辺を含めてデータを取得することで、当時の景観や城がそこにある意味など、城に関わるさまざまな検討に使用できる資料を作成することができた。

謝辞

本計測は平成28年度に群馬県東吾妻町から発注された、「岩櫃城跡周辺赤色立体地図作成業務委託」で実施しました。データをご提供くださいました関係各位に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 吉川由里子ほか: 急傾斜地における計測機体と計測手法の検討, 日本写真測量学会 平成26年度年次学術講演会発表論文集, pp.91-92, 2014

3 日目
7月8日

A 会場

B 会場

C 会場

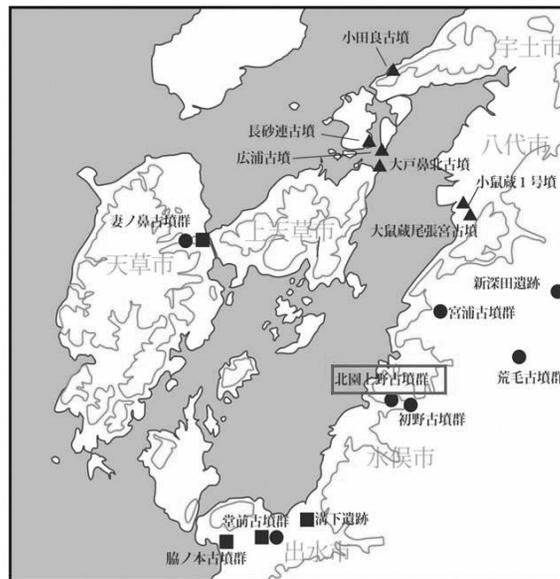
古墳石材による圧入技術の研究

Research of press - fit technology by tumulus stone

- 池田朋生、前田康行（熊本県教育庁教育総務局文化課）、朽津信明（東京文化財研究所）
- tomoo IKEDA,yasuyuki MAEDA（The cultural department office of Education Kumamoto Prefecture）,nobiaki KUCHITSU（National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo）

はじめに

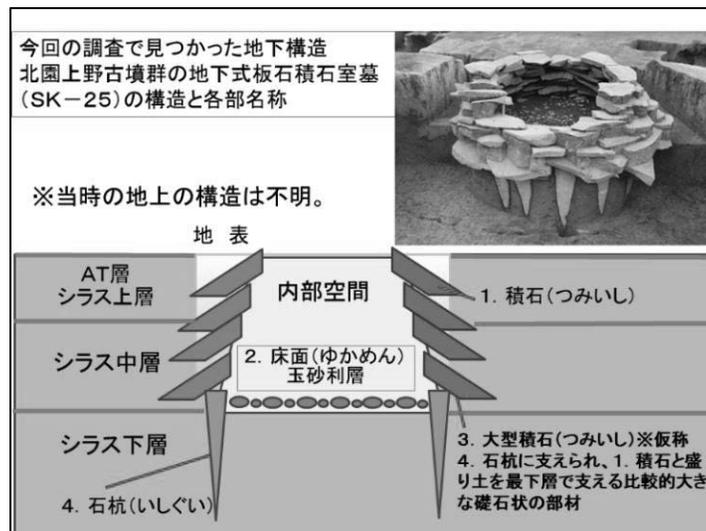
弥生時代中期から古墳時代、五島列島から天草、芦北・水俣、球磨、薩摩半島北側の九州西海岸では、地下式板石積石室墓という独特な墳墓群が存在する。地上に大きな盛土がなく地下に穴を掘ること、内部に板状の石材を積み、追葬が行われることから、昭和 22 年、京都大学樋口隆康氏により「地下式板石積石室墓」と呼称された。昭和 55 年、水俣市初野古墳群を調査した佐藤伸二氏は、水俣地域の特徴として「杭状の石材が最下層の板石状の石材を支える」と指摘した。今回、水俣市北園上野古墳群の調査により、石室を支える石材（石杭-いしぐい-と呼称）の分析を行った。



●■：主な地下式板石積石室墓の位置
▲：地下式板石積石室墓と同時期の主な石障系石室墓の位置

1. 調査対象

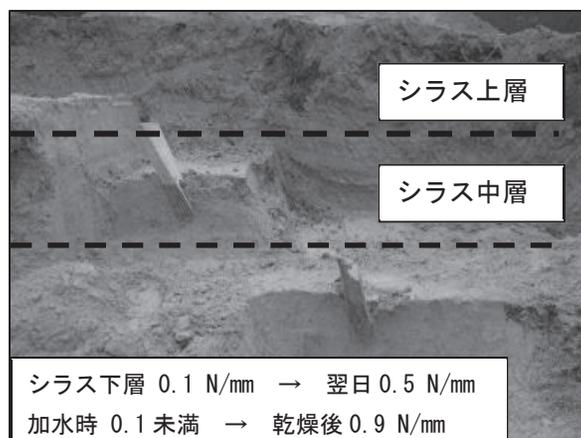
北園上野古墳群の地下式板石積石室墓が造られた土層を調査対象とする。通常、木柱が存在すると想定される際は、柱を埋め込む掘方がある。石杭を打込んで据えるならば杭頭に加撃痕が残る。シラス中層に杭頭ある石杭の場合では、何れの痕跡も認められなかった。そこで、地下式板石積石室墓が検出された



隣接地で石杭設置について検討を行った。

2. 調査方法

遺構のオリジナルの上面は削平されているが、70 cm前後の比較的大型の石杭の検出面はシラス層内で検出されたため、シラス層中での石杭設置の再現実験を行った。再現には、比較的浅い層で石杭を検出したタイプと、比較的深い層で石杭を検出したタイプを念頭に2例の比較を試みた。次に、実験箇所では軟岩ペネトロ計を用いた針貫入試験により、貫入量が10mmの際の貫入力(N)を読み、土層の針貫入勾配(N/mm)を求めた。



3. 結果

(1)再現実験(写真): 圧入により杭が刺さるか試したところ、加圧で損傷せず石杭が埋まった。シラス上層では、圧入の際、土壤に亀裂が生じた

再現実験箇所	N/mm	条件	N/mm	条件
シラス上層	未測定	掘削直後	0.4	翌日、乾燥時
シラス中層	0.2	掘削直後	0.45	翌日、乾燥時
シラス下層	0.1	掘削直後	0.5	翌日、乾燥時
シラス下層	0.1 未満	加水後	0.9	翌日、加水箇所

が、下層は亀裂が生じなかった。加水すると、更に埋まりやすく土壤に亀裂も入らなくなった。

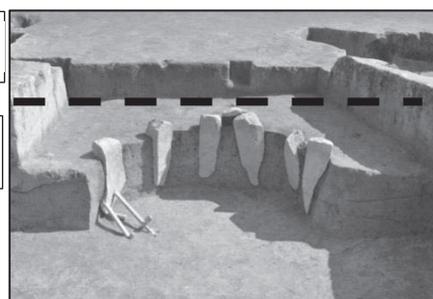
(2)針貫入試験結果: 再現実験箇所では針貫入試験を行ったところ、下層ほどN/mmの値が低く、加水すると更に軟らかくなった。乾燥すると、加水箇所は、0.9N/mmの値を示した。

4. 考察

実験では、シラス上層で加水しない場合、圧入によ

上層: AT一次堆積層 0.8N/mm以上

下層: 降雨前のシラス層 0.5N/mm以下



り土壤に亀裂が生じた。70 cm前後の比較的大型の石杭は、上層の硬い層(AT層等)より下のシラス中層に杭頭が収まり、亀裂が認められなかった。実験と遺構観察、及び針貫入試験結果から、加水後に圧入技術を用いて石杭を設置し、摩擦杭として使用した技術の存在は指摘できる。水俣の地下式板石積石室墓は、玉砂利層を必ず敷く特徴がある。また、同時期の竪穴建物の床面は加水されても硬さが変わらないシラスより上の硬い層を利用していた。このことから、シラス層が加水により変化する特徴を理解していたと考えられる。なお、圧入による摩擦杭の技術が認められる遺構は、副葬品である大型の鉄鏃、銅鏃の形状等から、概ね古墳時代中期前半頃のものとして推定される。

3 日目
7 月 8 日

中国田螺山遺跡における魚類利用

A 会場

The fish utilization at tianluoshan site, China

B 会場

○丸山真史（東海大学）、菊地大樹（中国社会科学院考古研究所）、孫国平（浙江省文物考古研究所）、

C 会場

○Masashi MARUYAMA(Tokai university), Hiroki KIKUCHI(Institute of Archaeology Chinese academy of social science), Guoping SUN (Zhejiang provincial cultural relics archaeological research institute)

田螺山遺跡は、中国浙江省余姚市に位置する約 7,000 年前の集落遺跡である。田螺山遺跡は、河姆渡文化の一端をなす、初期的な稲作を営む集落と考えられている。花粉分析や珪藻分析の結果により、遺跡周辺はアシや野生イネが繁茂する湿原や湖沼が広がり、近傍において漁撈が営まれたことが想定される。しかし、漁撈具と考えられる土製品、石製品などの出土はなく、魚骨の分析による漁撈の復原が期待されている。

2005 年に発掘調査が開始され、すでに 10 年以上が経過するが、動物利用および動物質食料の獲得活動については、一部の資料に関する概要が公表されるに留まり（張ほか 2010）、現在も議論が続いている。殊に、魚類に関する分析は、魚骨を大量に包含する特定のピットの分析結果において、多量のコイ、フナの出土が報告されているが（中島ほか 2010）、最近では魚種構成の実態としてカムルチー（雷魚）が主体であり、その他にナマズ属、ギギ科などの淡水魚、スズキ属、ボラ科などの海水魚の出土も明らかにされている（松井ほか 2016）。しかしながら、分析資料は出土資料のごく一部に留まっており、漁撈および魚類利用の時期的変遷などの実相の把握には至っていない。

本発表では、遺跡周辺の水域環境の時期的変化と、捕獲魚類相との対応関係の解明を目的として、新たに魚類遺存体の同定を行った結果について報告する。出土資料について、遺物包含層から出土した第 3 層から第 8 層までの各層から魚類遺存体を任意に抽出した。第 3 層は出土量が少なく、第 4 層以下について魚種構成を時系列で整理した。従来指摘と大差なくカムルチーを中心とする淡水魚に、スズキ属やボラ科などの海水魚が少量加わるという特徴がみられ、各層において魚種構成に大きな変化は見られないことが明らかになった。ところが、第 4 層のみ魚体の小さな個体が目立っており、捕獲圧や環境変化の影響が想定される。また、少量ではあるが、比較的水深の深い場所に生息するエドアブラヤや体長 1.5m を超えると推定されるニベ科などが出土しており、田螺山遺跡近傍とは異なる漁場が想定される。

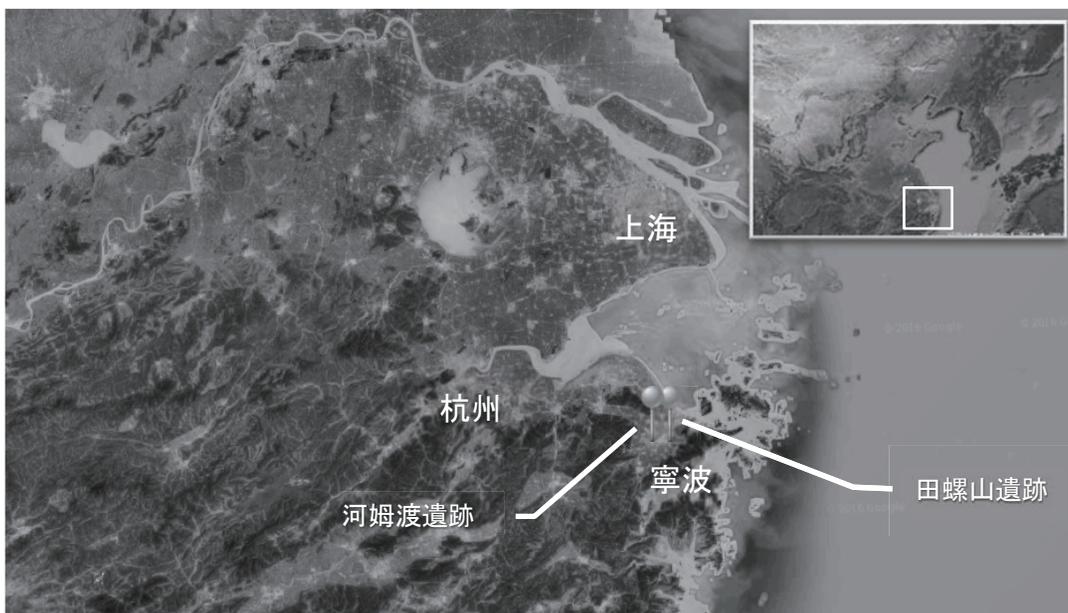
なお、本研究は、文部科学省科学研究費補助金、新学術領域研究（研究領域提案型）「稲作と中国文明-総合稲作文明学の新構築-」（研究代表：中村慎一）における「A02 班：古環境の変動と動・植物利用の諸段階」（研究代表：金原正明）の研究成果の一部である。

参考文献

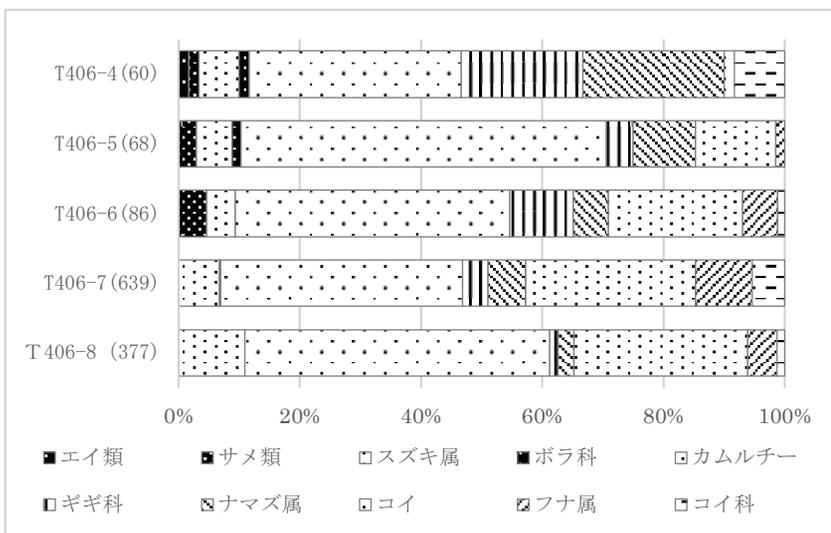
中島経夫・中島美智代・孫国平・中村慎一 2010 「K3 魚骨ピット中のコイ科魚類咽頭歯」『浙江省余姚田螺山遺跡の学際的総合研究-平成 18 年度～平成 21 年度科学研究費補助金(基盤研究(A)研究成果報告書-) 中村慎一編 pp.125-143

張穎・袁靖・黄蘊平・松井章・孫国平(訳・菊地大樹) 2010 「2004 年度出土哺乳動物遺存体の初歩的分析」『浙江省余姚田螺山遺跡の学際的総合研究-平成 18 年度～平成 21 年度科学研究費補助金(基盤研究(A)研究成果報告書-) 中村慎一編 pp.79-123

松井章・真貝理香・丸山真史・孫国平 2016 「田螺山遺跡から出土した魚類遺存体(初報)」『中国新石器時代における家畜・家禽の起源と、東アジアへの拡散の動物考古学的研究-平成 26 年度～平成 27 年度科学研究費補助金(基盤研究A)研究成果報告書-』松井章・菊地大樹編 pp.7-14



田螺山遺跡の位置



田螺山遺跡出土の層別の魚類組成

を摂取した結果と考えると整合的である。

【方法】

本研究では、対雁2遺跡とイカベツ2遺跡出土土器を含む北海道島の土器試料を対象とする。土器胎土残存脂質の抽出にあたっては、Papakosta et al. (2015)とCorrea-Ascencio and Evershed (2014)を改良した Small Scale の直接メチル化脂質抽出分析法を用いた。粉碎した土器試料約100 mgに、内部標準物質としてテトラトリアコンタンを加え、さらにメタノール溶液 2 mL と硫酸 200 μ L を加えて、70°Cで4時間加熱後、脂質をヘキサンで抽出する。ヘキサン溶液は、ジクロロメタン飽和脱イオン水を用いて酸を除去した後、窒素気流中で蒸発乾固させ脂質を回収する。回収した脂質は測定直前にトリメチルシリル化して、ガスクロマトグラフ質量分析装置 (GC-MS) で脂質組成を分析し、燃焼炉付ガスクロマトグラフ同位体比質量分析装置 (GC-C-IRMS) でパルミチン酸、ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成 ($\delta^{13}\text{C}_{16:0}$, $\delta^{13}\text{C}_{18:0}$) を測定する。分析操作は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。

【結果と考察】

両遺跡から出土した土器共に多くの試料で測定結果が、陸獣やその近傍であるサケマス類の端成分に集中した (図2; イカベツ2遺跡改 (2018))。対雁2遺跡出土土器口縁部 (181-YM-1) は海獣や海産魚類の領域、一方、胴下部 (181-YM-2) は他のイカベツ2遺跡出土土器胎土5試料と同じく、サケマス類を含む陸獣の領域に含まれた。同一水系であるが、本流に位置する対雁2遺跡、支流の先の小流域に面するイカベツ2遺跡と性格の異なる2遺跡でサケマス類の影響が示唆されたのは、単なる偶然ではなく、北海道中央部の石狩川、その周辺域で普遍的には遡上魚であるサケマス類の利用がなされていた可能性が高い。発表では、土器使用痕観察結果を踏まえ、対雁2遺跡の未分析試料や、サハリン (Gibbs et al., 2017) を含む北海道島の遺跡出土土器の脂肪酸の分子レベル炭素同位体組成や脂質組成を比較して、北海道内陸部のフードスケープを検討する。

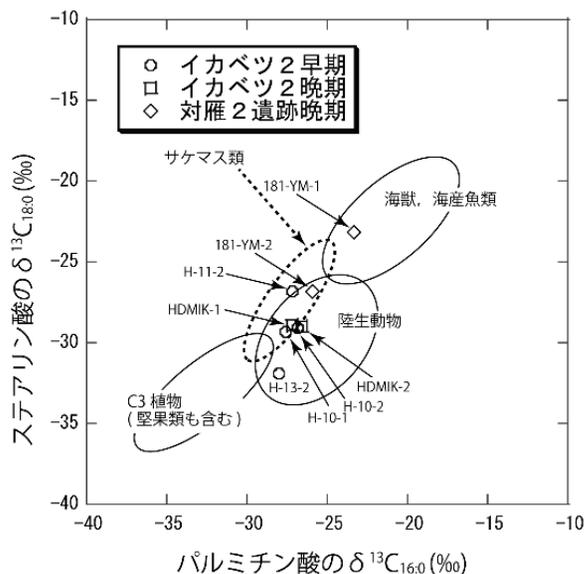


図2. 現生日本産生物と土器胎土抽出脂肪酸の炭素同位体組成。現生生物から推定される各端成分の領域を楕円で示した (Horiuchi et al., 2015)。また、サケマス類の端成分は文献値 (Craig et al., 2013; Lucquin et al., 2016) から、遺跡出土試料はスワス効果の影響を、それぞれ補正した (イカベツ2遺跡改, 2018)。

【謝辞】 対雁2遺跡出土土器試料提供に関して協力して頂いた、北海道教育庁 西脇対名夫主幹及び、北海道立埋蔵文化財センター 田口 尚課長に謝意を表す。また、本研究は、科研費基盤研究 (A) ”科学分析法と土器使用痕観察を組み合わせた古食性と調理形態復元に関する学際的研究” (研究代表 宮田佳樹; 16H01824) 及び、科研費基盤研究 (B) ”縄文土器で煮炊きしたものと土器の使い分けについての研究” (研究代表 吉田邦夫; 15H03262) の支援を受けた。

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

南さつま市中岳山麓窯跡群の考古地磁気学的研究 Archaeomagnetism of Nakadake Sanroku Kiln Site Cluster

○畠山唯達 (岡山理科大学)、北原優 (九州大学)、
望月伸竜 (熊本大学)、下岡順直 (立正大学)、中村直子 (鹿児島大学)

○HATAKEYAMA, T. (Okayama U. Sci.), KITAHARA, Y. (Kyushu U.),
MOCHIZUKI, N. (Kumamoto U.), SHITAOKA, Y. (Rissho U.), NAKAMURA N. (Kagoshima U.)

1. はじめに

中岳山麓窯跡群は九州本土最南端に位置する須恵器窯跡群である。古くから窯の存在は知られていたが、2013 年度に行われたトレンチ調査で 1 基の窯床面が確認され、2015 年度より鹿児島大学・鹿児島国際大学を中心とするチームでの発掘調査が継続的に行われている。今回は、2016 年 2 月に同窯跡群荒平第 2 支群 1 号窯の焚口付近床面から採取した定方位試料について行った古地磁気・岩石磁気測定の結果を報告し、そこから推察される事項について議論したい。なお、本講演に関連して同一セッション (土曜日発表) に下岡ほか (2018) による熱ルミネッセンス(TL)法を利用した年代推定報告があり、その講演要旨中には TL 年代のほか、発掘現場の位置、14C 年代等も紹介されているので参照してほしい。

2. 古地磁気方位測定

現地では、古地磁気方位測定用によく焼けた床面を含む約 10cm のブロック状試料を 5 個採取した。石膏を塗布して窯床表面に作成した平面状に水平線を記載し、その基準線を保持するよう各ブロックから 2 個ずつ計 10 個の 1.5cm 角サイコロ状試料(畠山ほか 2016)を成形して古地磁気方位を測定した。

全自動交流消磁つきスピナー磁力計 (夏原技研製 DSpin) 用い、0~180mT まで 27 ないし 30 段階の交流消磁を行いながら測定をした。消磁による自然残留磁化が半分の強度まで減る交流磁場の大きさ (MDF) は約 20mT と須恵器床面における値としては若干弱いものであった。各試料についていた 2 次的な磁化は 12~20mT までで除去され安定な残留磁化方位が確認できたので、消磁曲線の直線区間を取って主成分分析法 (Kirshvink, 1980) を用い特徴的な残留磁化方位を求めた (図 1)。10 個の試料から求められた古地磁気方位はよくまとまり、その平均は平均偏角 $D=-28.2^\circ$ 、平均伏角 $I=50.8^\circ$ 、集中度パラメータ $k=962.5^\circ$ 、95%信頼限界角 $\alpha_{95}=1.6^\circ$ であった。

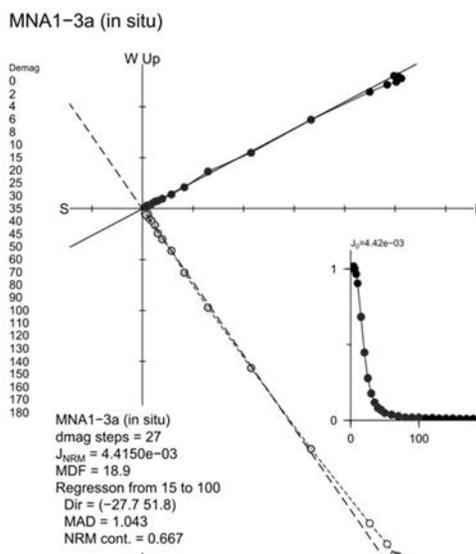


図 1 段階交流消磁による消磁曲線の例。すべての試料で 20mT までに 2 次磁化が除去され安定な残留磁化方位が検出された。

3. 岩石磁気測定

古地磁気方位測定とは別に、残留磁化を担っている磁性鉱物の種類などを調べるため、数種の岩石磁気学的測定を行った。ここでは、熱磁気天秤を用いた高温磁性測定結果について紹介する。図2のように、昇温カーブと降温カーブがあまり変わらないものが多く、低真空中 (<10Pa) での高温変質が少なかったこと、また、キュリー温度が 550~580°C であったことなどから、Ti 成分の乏しい磁鉄鉱が主たる磁性鉱物であると考えられる。

また、赤鉄鉱の存在を示す 670°C 付近のキュリー点が見いだせないことから、同床面は還元環境下で焼成されたと考えられ(畠山, 2018)、最終焼成まで失敗無く操作していたと思われる。

4. 残留磁化の起源と方位について

古地磁気方位の安定性と岩石磁気測定の結果より、本試料が保持する自然残留磁化は埋没以降の化学的変質や落雷などによる二次的なものではなく、最終操作時に着磁した熱残留磁化であると考えられる。一方で広岡(1977)による地磁気永年変化曲線と今回の平均方位を比較すると、その位置は9世紀後半とされる土器の形式年代に該当する地磁気方位と比べて大きく西偏している(図3)。熱残留磁化獲得前後に床面が回転したことがうかがえるが、消磁曲線(図1)

が不自然に曲がるものになっていないことから、この残留磁化が着磁している最中の操作中や直後に回転が起きたのではなく、十分冷えた後でのことと考えるのが自然である。発掘時に観察された窯の軸線は傾斜方向より左に約 20°傾いており、窯操作後に表面の地滑りによる斜面の表面の回転運動を記録している可能性がある。

参考文献：下岡順直ほか(2018)日本文化財科学会 35 回大会。畠山唯達ほか(2016) *Naturalistae*, 20, 1-12. Kirshvink, J.L., *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 62, 699-718., 広岡公夫(1977), 第四紀研究, 15, 200-203. 畠山唯達(2018) 日本文化財科学会 35 回大会。

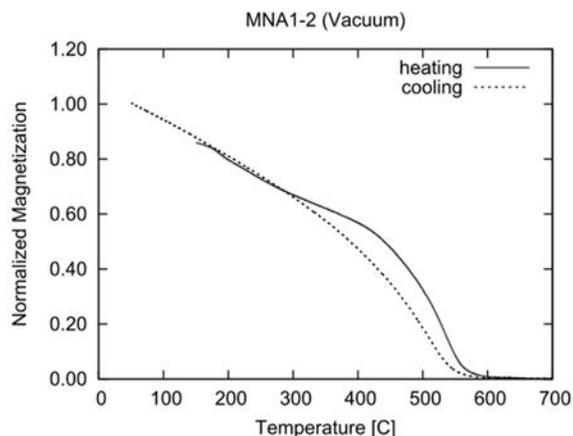


図2 熱磁気分析の例(低真空中)。400°C前後で少量の熱変質が起こったが、基本的にはTiが少ない磁鉄鉱と考えられる。

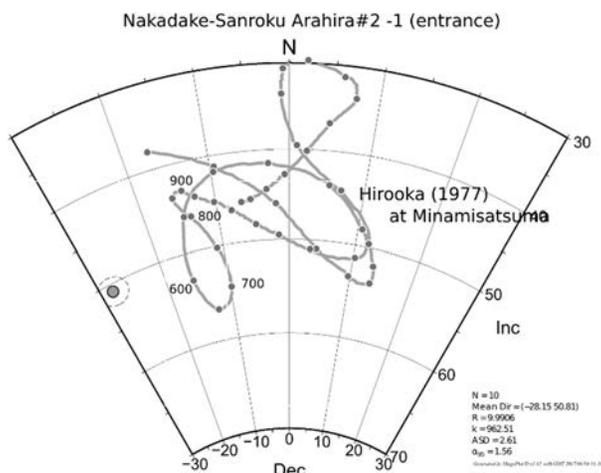


図3 残留磁化の平均方位と広岡(1977)の標準曲線をVGP共有法で現地に移動したもの。大きく西偏している。

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

遺跡発掘調査報告書放射性炭素年代測定データベースについて

Database of Radiocarbon dates published in Japanese

Archaeological Research Reports

○工藤雄一郎 (国立歴史民俗博物館)、坂本 稔 (同左)、箱崎真隆 (同左)

○Yuichiro KUDO, Minoru SAMAMOTO, Masataka HAKOZAKI (National museum of Japanese History)

1. データベース作成の目的

現在、年間 7000 件以上の遺跡発掘調査が日本全国で行われている。考古学において遺跡・検出遺構・出土遺物の時代や時期を決定することは最も基礎的かつ重要な作業であり、通常、考古学では、文化層の層位学的な検討と、出土遺物の考古学的分類・比定に基づいて、それらの相対年代の決定が行われる。一方、理化学的な年代測定による数値年代 (の把握も重要視されている。近年では加速器質量分析法 (AMS) による放射性炭素年代測定の普及により、各都道府県や市町村の遺跡発掘調査においても多数の放射性炭素年代測定が実施されている。

これらの放射性炭素年代測定事例は考古学のみならず、関連諸分野 (第四紀学など) にとっても時空間的な資料 (試料) の比定や、分野の垣根を超えた学術的価値の決定を可能とするため、貴重なデータである。しかし、現実問題として、膨大な数の遺跡発掘調査報告書が毎年刊行されているため、一人の研究者がその全てを把握するのは不可能である。

そこで筆者らは 2015 年から遺跡発掘調査報告書に掲載されている放射性炭素年代測定例のデータベース作成作業を開始した。時代・地域を問わず、日本全国の遺跡発掘調査報告書を対象として悉皆的に放射性炭素年代測定例の集成を行うこととし、2015 年からそのための調査と集成作業を開始した (工藤, 2017)。そして、データの一部 (関東・東北の 13 都県) を 2018 年 1 月 10 日から歴博データベース「遺跡発掘調査報告書放射性炭素年代測定データベース」として、公開を開始し (https://www.rekihaku.ac.jp/upcgi/login.pl?p=param/esrd/db_param)。その後、北陸 4 県のデータ、国立歴史民俗博物館が行った学術創成研究のデータ (西本編, 2009) を追加し、2018 年現在約 22000 件のデータが検索可能となった。

2. データの傾向

2018 年 3 月までに、関東 7 都県 (東京・千葉・神奈川・埼玉・群馬・栃木・茨城) 関東 7 都県 (東京・千葉・神奈川・埼玉・群馬・栃木・茨城)、東北 6 県 (青森・岩手・秋田・山形・宮城・福島) のデータ入力完了した。データ総数は 13606 件であった。

データ件数が多い順に県別に見ると青森県が 2622 件で最も多く、最小は茨城県の 81 件であった。放射性炭素年代測定の実施状況は各都県によって大きく異なる。時代別に見ると、縄文

時代の測定例が 4846 件で最も多く、古代の 3230 件がこれに続き、近世の 435 件が最も少ない。数値年代を得る方法が放射性炭素年代測定以外にほとんどない先史時代のうち、遺跡数と発掘調査件数が多い縄文時代の測定例が多いことは納得がいく。また、現在までに集計したデータが東日本に偏っていることも、縄文時代の測定例の多さに影響しているだろう。

次に、測定機関毎にみても、IAAA（(株) 加速器分析研究所）が 4776 件、PLD（(株) パレオ・ラボ）が 2470 件でこの 2 社で全体の 5 割以上を占めている。しかし、1990 年代まで測定を行っていた学習院大学も 2082 件で全体の 13%を占めており、AMS 法が普及する以前に同大学が果たした役割の大きさが改めて伺える。

測定方法別に見てみると、AMS 法が 9839 件（72%）、β線法が 3660 件（27%）であった。AMS 法が導入され名古屋大学において遺跡出土資料の本格的な測定が開始されるのが 1990 年前後であるが当時は件数は微々たるものであり β線法による測定が中心であった。その後 2001 年には AMS 法と β線法の測定件数が逆転する。民間の分析機関である（株）加速器分析研究所が 2001 年に、（株）パレオ・ラボが 2004 年に AMS 法による放射性炭素年代測定業務を開始して以降 AMS 法による年代測定例が飛躍的に増加した。2016 年には AMS 法による測定が 100%となった。

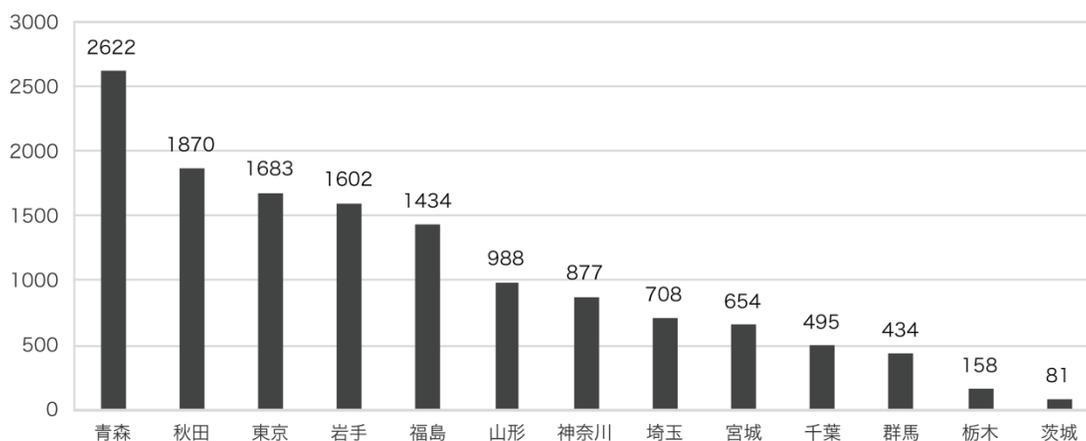
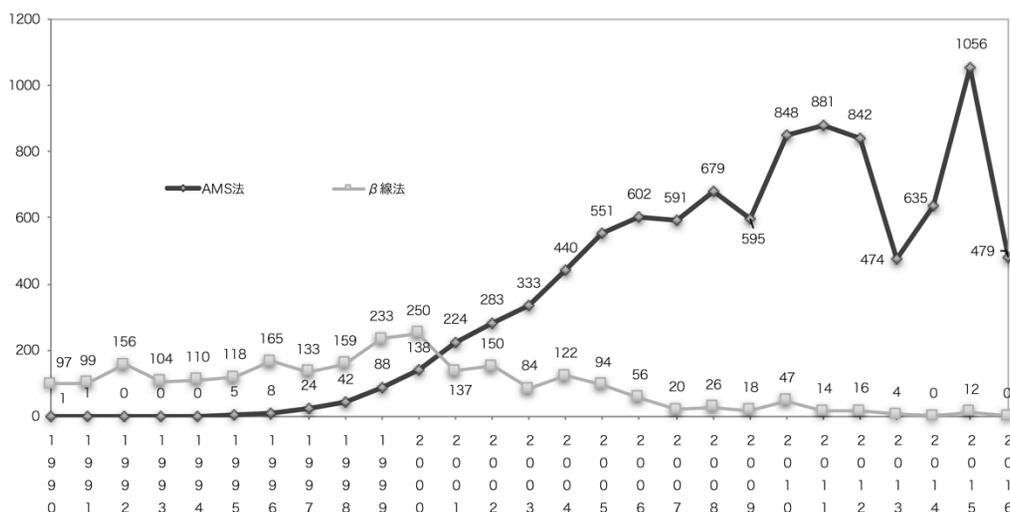


図1 都県別の放射性炭素年代測定件数（関東・東北のみ）



3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

モルタルを用いた遺構・遺物の ^{14}C 年代測定の検討

Study on chronology of ancient structural remains by radiocarbon dating of mortar

○中村俊夫(名古屋大学)、山田哲也(元興寺文化財研究所)、佐々木淑美(東北芸術工科大学)、
○Toshio NAKAMURA(Nagoya University), Tetsuya YAMADA(Gangoji Institute for Research of
Cultural Properties), Juni SASAKI(Tohoku University of Art and Design)

1. はじめに

モルタルは、大気中の二酸化炭素を吸収して、炭酸カルシウムを形成して固化する。固化の際に吸収された二酸化炭素が時計として ^{14}C 年代測定に用いられる。モルタルの固化に基づく年代測定法は、1960年代から有用性が認識されていたが、モルタルを用いた建築物から多量のモルタルを採取して β 線計測法を適用することは難しかった。むしろ、建築に使用された木材を用いた年輪年代法の適用や、木材試料についての ^{14}C 年代測定が利用されてきた。しかし、建築物文化財の正確な建築・修復年代を求めるには、今日では、一つの方法による分析結果では不十分であり、独立な複数の方法による測定結果の比較検討と総合解析が不可欠である。モルタルの固化に基づく ^{14}C 年代測定の基礎研究を推進することは建築・修復年代の高精度年代測定に不可欠である。しかし一方では、使用前のモルタルの原材料に、モルタルの原料である石灰岩起源の炭酸カルシウムが残存していることがあり、それがモルタルによる年代測定を困難なものにしていることが明らかになった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、次のようにまとめられる。

- (1) モルタルの原材料では炭素が完全に失われており、使用後のモルタルに含まれる炭素は、モルタルが固化するときに大気中二酸化炭素を取り込んだものに限定される事確かめる。
- (2) モルタルが固化する際に大気中二酸化炭素を吸収して生成した炭酸カルシウム (CaCO_3) は、正確な時計として ^{14}C 年代測定に用いることができるか確かめる。
- (3) モルタルに含まれる炭酸カルシウムの示す ^{14}C 年代は、モルタルを使った建築物などに使用されている木材などの ^{14}C 年代とどの程度調和するか確かめる。

3. 分析試料

- (1) 市販の3種類のモルタル (Mort-1:目地止め用、Mort-2:超速硬型、Mort-3:目地止め用) について、使用前、使用後の炭酸カルシウム含有量および、回収された炭素の ^{14}C 濃度を分析した。
- (2) トルコの聖ソフィア聖堂から採取されたモルタルにつき、炭酸カルシウムの炭素を回収して、その ^{14}C 年代を測定し、1点の試料について、介在する木材の ^{14}C 年代と比較した。
- (3) 近代建築に使われているコンクリートの炭酸カルシウムの炭素を回収して、その ^{14}C 濃度を測定した。

4. 炭酸カルシウムからの炭素回収と ^{14}C 測定

市販のモルタルは粉末状であったが、使用場所から採取されたモルタル試料は、固形物として供された。ナイフなどを用いて表面から汚れを除去して、粉碎し、約 70mg を分取して、二又管の一方に入れ、他方に 85%リン酸を入れて真空ラインに接続して排気し、両者を反応させて生成した二酸化炭素を精製し回収した。これをグラファイトに変換して、名古屋大学の加速器質量分析装置を用いて ^{14}C の定量を行った。 ^{14}C 測定結果の表示は、 $F^{14}\text{C} \left(\frac{(^{14}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{試料}}}{(^{14}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{標準濃度}}} \right)$ (Reimer et al. 2004)あるいは ^{14}C 年代値を示した。

5. 結果と考察

5. 1 市販のモルタルの炭素含有率と $F^{14}\text{C}$

使用前のモルタルでも、重量比で最大 2%近くの炭素を含んでいた。この炭素は、モルタルをリン酸分解して得られたものであり、モルタルの原料である石灰岩起源の炭酸カルシウムからの炭素と考えられる。特に Mort-3 では、炭素含有率および $F^{14}\text{C}$ が、それぞれ、使用前の 1.06%、 0.0615 ± 0.0010 から使用後には 3.66%、 0.7091 ± 0.0025 と増えた。使用前後での ^{14}C 量の増加を解析すると、炭素含有率が 2.6%増えた分は、現代炭素が固定されたためと算出される。他の市販モルタルでは、グラファイトの合成が不良なため、 $F^{14}\text{C}$ 値が得られず検算ができていない。

5. 2 トルコ聖ソフィア聖堂から採取されたモルタル

今回 17 点のモルタル試料を分析したが、炭素含有率は 1 点を除いて 3%から 10%、 ^{14}C 年代は、1 点が modern、他の 1 点が 3500BP を超えるものを除くと、160BP から 1760BP を示した。また、1 点につき、介在した木片の年代を測定することができたが、モルタルで 310BP、木片で 160BP を示し、モルタルの方が明らかに古い ^{14}C 年代を示した。また、火事に遭ったとされるモルタルのなかには、炭素含有率がほぼゼロのものがあったが、同時に、8.6%前後のものもあった。

5. 3 現代建築物のコンクリート試料

11 点の試料を分析したが、炭素含有率は 0.8%-2.1%の範囲で、 $F^{14}\text{C}$ は 0.9~1.4 とほぼ現代の大気二酸化炭素の値を示した。

6. 結果のまとめの今後の課題

市販のモルタル試料では、使用前に既に炭酸カルシウムが含まれており（炭素含有率 1.98%、1.06%、0.35%）、モルタル使用後（それぞれの炭素含有率 2.60%、3.66%、4.49%）に付加された炭酸カルシウムと混在している。使用前の炭素含有率とその炭素の $F^{14}\text{C}$ がわかっておれば、現在の炭素含有率とその炭素の $F^{14}\text{C}$ から、モルタル試料の年代が算出できるが、実際のモルタル試料では不可能である。

ヨーロッパでは、モルタルを用いた歴史建造物が多く、モルタルの ^{14}C 年代測定の研究が精力的に行われている。介在する木材の ^{14}C 年代を指標にして、モルタル試料から、使用前に含まれていた炭酸カルシウムと大気中二酸化炭素を固定してできた炭酸カルシウムとに分離するために、モルタルを粉碎した後の粒度区分、やリン酸分解における段階抽出などが試みられており、それらの成果を取り入れた研究が、今後必要になってくる。

参考文献：Reimer, J.P. et al. (2004) Radiocarbon, 46(3), p1299-

3 日目
7 月 8 日

A 会場

南あわじ市松帆銅鐸の放射性炭素年代測定調査成果について

Regarding buried period of Matsuho Dōtaku

○定松佳重（南あわじ市教育委員会）・和田晴吾・難波洋三・森岡秀人・福永伸哉・吉田広
（松帆銅鐸調査研究委員会）

B 会場

Yoshie SADAMATSU (Hyogo pref Minami Awaji City Board Education) ・ Seigo WADA ・
Yozo NAMBA ・ Hideto MORIOKA ・ Shinya FUKUNAGA ・ Hiroshi YOSHIDA (Matsuho Dōtaku
Investigating committee)

C 会場

平成 27 年 4 月、南あわじ市八木馬廻^{うまわり}にある石材製造販売会社の工場の砂山から松帆銅鐸^{りょうかんちゆうしき}（菱環鈕式銅鐸 1 点、外縁付鈕式銅鐸 6 点^{がいえんつきちゆうしき}）が発見された。この砂山は、建材用砂として南あわじ市松帆樺田^{いちだ}・松帆慶野^{けいの}・松帆古津路^{こつろ}から採取、集積されたものであることが分かっている。この三地区には、現在の地形からも地下に砂堆が広がっていることが明らかであり、銅鐸はその砂堆中に埋納されていたことが現段階では想定されている。発見時の銅鐸の状況は、大きい銅鐸に小さい銅鐸 1 つが入った“入れ子”状態のものが 3 組、壊れた銅鐸（5 号）が 1 点であった。入れ子 3 組のうち、1・2 号銅鐸は第一発見者が取り出し洗浄を行っていた。その際、舌（銅鐸の中に吊り下げて鳴らすための青銅製の棒）が 2 本共伴していたことが明らかとなり、入れ子状態を保っていた残り 2 組（3・4 号銅鐸と 6・7 号銅鐸）についても同様に舌が入っている可能性が想定された。そこで、銅鐸内の現況を非破壊で把握するため、奈良文化財研究所に緊急搬入し、X線CTによる内部構造観察を依頼することとなった。3次元構造解析の結果、2組ともにそれぞれの銅鐸、すなわち外側の大きい銅鐸と内側の小さい銅鐸の間、さらに内側の小さな銅鐸の中に 1 本ずつ舌が共伴していることが明らかとなった。加えてその産状についてみると、それぞれの舌は紐をかける孔が存在する頂部が少し浮き、一方で底部は銅鐸内壁に接していた。この産状は、銅鐸の片面（B面として定義）を下方に横倒しの形で埋納されていたことや、埋納時に舌に紐が掛かった状態で、舞（銅鐸上端面）の型持孔に括られていた可能性が考えられた。

これらの観察成果を踏まえ、舌の状況を目視しながら 3 号銅鐸（外側）・4 号銅鐸（内側）と、6 号銅鐸（外側）・7 号銅鐸（内側）内部の砂を除去した。その結果、舞の型持孔につながるような紐は見つからなかったものの、4 点すべての舌の頂部に紐状の遺存体が認められ、さらに 2 号、4 号、7 号銅鐸内部には植物片が共伴していることが明らかとなった。舌頂部にみられた紐状の遺存体については、調査研究を継続している。一方で、共伴する植物片は 4 号銅鐸内部のものが最も多く、銅鐸内部を充たす砂に挟在するもの、銅鐸内面に付着するもの、さらに銅鐸内面と接する舌底部付近に内面との間に挟まって舌の下敷きになっているものが試料として得られた。また 2 号銅鐸からは内面に付着するもの、7 号銅鐸からは舌に付着する植物片が試料として採取された。これら計 8 試料のうち、2 号、4 号銅鐸内面と 7 号銅鐸舌に付着した植物片は、銅鐸の浸潤が大きく炭素含有量において懸念材料はあったが、銅鐸の埋納時期について検討する手がかりとして、全試料について AMS 法による放射性炭素年代を測定することとした。とくに、4 号銅鐸の舌底部付近に下敷きになっていた植物片は、長辺方向で 3 cm、それと直交方向で 1 cm 程度と比較的大きく、銅鐸と共伴して埋納された舌の下に向かって、埋納後に砂と伴って流れ込むという過程は成立が困難であり、埋納時期とほぼ同時期にすでに舌の下敷きになっていた可能性が高い。放射性炭素年代の測定は株式会社パレオ・ラボに委託した。

測定結果を表 1 に示す。まず 4 号銅鐸は、試料①～③が紀元前 4 世紀半ばから 2 世紀半ば、試料④は少し遡り紀元前 4 世紀初頭から 3 世紀末、試料⑤はさらに遡って紀元前 6 世紀末から 4 世紀初頭の年代が得られ、同一銅鐸内から得られた植物片の放射性炭素年代に大きなひずみが発見されることとなった。そこで株式会社パレオ・ラボに、このひずみの原因について検討を依頼した。その結果、各試料の炭素含有量に大きな差が認められた。試料①～③は、試料中の炭素含有量が 30～40%と比較的高く、結果として年代測定に用いられるグラフイト量が 0.98

～1.09mg 得られている。一方で年代値にズレが生じていた試料④の炭素含有量は 29.73%とやや低く、試料⑤では 11.64%と低い値を示した。結果的にグラファイト量が十分得られず、年代値に誤差が生じたと考えられ、4号銅鐸内部から検出された植物片に伴う放射性炭素年代としては、紀元前4世紀半ばから2世紀半ばの値が正の値であると考えられる。さらに2号、7号銅鐸に関わる年代値についてみると、4号銅鐸の試料①～③に較べると、総じて大きく古い年代値を示している。同様に炭素含有量を検討すると、1.49～13.61%とかなり低い値を示し、抽出されるグラファイト量も 0.19～0.32mg に留まった。これらの結果をみると、年代値に大きな誤差が生じている可能性が高いことがわかる。

結果的に埋納時期に関わる信憑性の高い放射性炭素年代値としては、4号銅鐸の試料①～③から得られた紀元前4世紀半ばから2世紀半ばということになる。従来想定されてきた埋納時期よりも遡る可能性が示唆され、今後このデータについて引き続き検討することが必要であるが、銅鐸の埋納に関わる年代情報が得られたのは初のことであり、重要な手がかりを得たことは間違いない。また、2号銅鐸と4号銅鐸は同範銅鐸であることが明らかとなっており（難波他 2016 『神戸新聞』他 2016.10.27 朝刊）、同時期の鑄造と考えられる。放射性炭素の年代値としては得られなかったが、今後このような検討を進め、埋納時期に関してもデータ蓄積を行ってきたい。

加えて、松帆銅鐸は播磨灘に面した砂堆に埋納され、かつ、植物遺体は青銅器に長期間付着していた。これらの条件がどのように植物遺体中の炭素含有量へ影響したか不明のままである。比較検討のために、今後も出土青銅器に付着した有機物の分析例の増加が望まれ、今回の年代の妥当性を追研することが必要であると考えられる。

表 1 放射性炭素年代測定および暦年較正の結果

No.	産状 試料類別 測定番号	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	暦年較正用 年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代を暦年代に較正した年代範囲	
					1 σ 暦年代範囲	2 σ 暦年代範囲
4 号 銅 鐸	① 舌の下 植物片(樹皮?) PLD-31206	-23.44 \pm 0.22	2172 \pm 19	2170 \pm 20	351-303 cal BC (47.9%) 210-186 cal BC (20.3%)	356-285 cal BC (57.5%) 253-251 cal BC (0.3%) 235-169 cal BC (37.6%)
	② 内面付着 植物片(樹皮?) PLD-32632	-20.44 \pm 0.27	2183 \pm 20	2185 \pm 20	352-297 cal BC (52.3%) 228-221 cal BC (5.2%) 211-199 cal BC (10.7%)	358-279 cal BC (60.2%) 259-178 cal BC (35.2%)
	③ 内部堆積物挟在 植物片(イネ科?) PLD-31207	-23.69 \pm 0.18	2190 \pm 19	2190 \pm 20	352-295 cal BC (52.8%) 229-220 cal BC (7.3%) 212-203 cal BC (8.1%)	359-274 cal BC (61.4%) 261-195 cal BC (34.0%)
	④ 内部堆積物挟在 植物片(イネ科 稈) PLD-33771	-15.99 \pm 0.23	2250 \pm 19	2250 \pm 19	381-357 cal BC (26.9%) 284-235 cal BC (41.3%)	391-351 cal BC (34.8%) 301-210 cal BC (60.6%)
	⑤ 内壁面付着 植物片(ススキ属 葉) PLD-32631	-21.68 \pm 0.25	2386 \pm 19	2385 \pm 20	479-442 cal BC (30.9%) 433-402 cal BC (37.3%)	514-399 cal BC (95.4%)
2 号 銅 鐸	⑥ 内壁面付着 植物片(ススキ属? 葉) PLD-32630	-27.12 \pm 0.27	2644 \pm 20	2645 \pm 20	816-800 cal BC (68.2%)	831-796 cal BC (95.4%)
	⑦ 内壁面付着 植物片(ススキ属? 葉) PLD-33486	-30.57 \pm 0.27	3023 \pm 28	3025 \pm 30	1371-1359 cal BC (7.2%) 1298-1221 cal BC (61.0%)	1391-1337 cal BC (20.5%) 1322-1194 cal BC (73.8%) 1142-1133 cal BC (1.1%)
銅 7 鐸 号 舌	⑧ 付着植物 被子植物 茎 PLD-33772	-33.15 \pm 0.22	3728 \pm 22	3730 \pm 22	2196-2171 cal BC (20.7%) 2146-2129 cal BC (14.6%) 2088-2048 cal BC (32.9%)	2201-2114 cal BC (53.0%) 2101-2037 cal BC (42.4%)

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

岐阜県船来山古墳群出土ガラス小玉の組成分析

Chemical compositions of ancient glass beads excavated from Funakiyama in Gifu Prefecture

○村串まどか（東京理科大学）、加藤千里（筑波大学）、恩田知美（本巣市教育委員会）、
中井 泉（東京理科大学）

○Madoka MURAKUSHI (Tokyo University of Science), Chisato KATO (University of TSUKUBA),
Tomomi ONDA (Educational committee of Motosu-city), Izumi NAKAI (Tokyo University of Science)

1. はじめに

船来山古墳群は岐阜県本巣市を中心に広がる東海地方最大級の古墳群であり、古墳時代初頭から終末期にわたって連綿と古墳が築造されたと考えられている。各時期の古墳から副葬品として雁木玉やトンボ玉を含む多数のガラス小玉が出土している。当研究グループでは古代ガラスの化学組成に着目した研究に取り組んでおり、これまでの研究ではある特定の地域の特定の時期に焦点を当て、そのなかで複数の遺跡や古墳から資料を抽出し、ある時期における地域的な特徴を論じてきた。しかしながら、本研究ではこれまでの研究と視点を変え、長期にわたって継続的に営まれてきた船来山古墳群のガラス小玉を対象をしぼり、古墳群という単位における副葬品ガラスの組成的変遷を考察した。

2. 方法

本研究では当研究グループがこれまで行ってきた古代ガラス研究で用いてきた可搬型蛍光 X 線分析装置 OURSTEX100FA-II に加え、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置 Niton XLt-900s、Niton XL3t-950s を用いた。OURSTEX100FA-II では船来山古墳群 F24, F98 (4 世紀), F101 (6 世紀第 4 四半期), F150 (6 世紀第 3 四半期), F156 (7 世紀), F272 (6 世紀第 2 四半期) から出土した計 92 点を分析し、検量線法にて定量した。同装置で測りきれなかった資料は補完的にハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置で簡易分析をし、組成分類を行った。分析した資料は青色や淡青色、紺色が多くを占めるが、不透明黄色や不透明赤色の資料も数点含まれる。

3. 結果および考察

分析した 92 点のガラスはすべてアルカリケイ酸塩ガラスであり、算出した化学組成からカリガラス (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

($Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2$) の 3 タイプに分類した。ソーダ石灰ガラスは、 MgO と K_2O の含有量によって使用された融剤が異なる植物灰ガラスとナトロンガラスに分類し、ナトロンガラスに分類された資料の 1 点に 1.29 wt% のアンチモン Sb_2O_3 を含むものが存在した。アンチモンは地中海沿岸地域のガラス生産において、ガラスの消色剤に用いられており、日本では弥生時代後期後半

から終末期に流入するナトロンガラスの多くがアンチモン Sb を含む傾向があると報告されている²⁾。本資料が出土した古墳は 6 世紀第二四半期に位置づけられるため、日本にもたらされてから数百年を経て副葬された資料である可能性が考えられる。アルミナソーダ石灰ガラスには微量のウラン U を含む資料が数点見られた。当研究室のこれまでの分析調査でもウラン U を特徴的に含むガラスは東南アジアや南アジアで確認しており、日本では九州南部の資料で分析例がある。微量重元素組成 (Rb, Sr, Zr) で分類すると、Fig. 1 に示したように二つのグループに分けられた。日本で出土したアルミナソーダ石灰ガラスの多くは A-1 タイプであるが、船来山古墳から出土したアルミナソーダ石灰ガラスのうち数点が A-2 タイプに分類され、これらは微量のウラン U を含んでいた。

今回の分析の結果をもとに、船来山古墳群における組成的変遷について考察する。船来山古墳群におけるガラスの組成的変遷の傾向として、早い時期にはアルミナソーダ石灰ガラスが出土し、時代が下るとソーダ石灰ガラスが中心的になることがわかった。また、ウラン U を含む資料はすべて 4 世紀の古墳から出土していることや、6 世紀第 3 四半期には不透明黄色や不透明赤色の小玉も出土している点から、時期によって流通していたガラスの特徴が異なることが明らかになった。

以上のように、本研究では船来山古墳群という一つの古墳群を対象に、古代ガラスの組成変遷について論じた。今後、さらに分析点数を増やすことで船来山古墳群に副葬されたガラス玉の全容解明と他地域との関連についても追求していきたい。

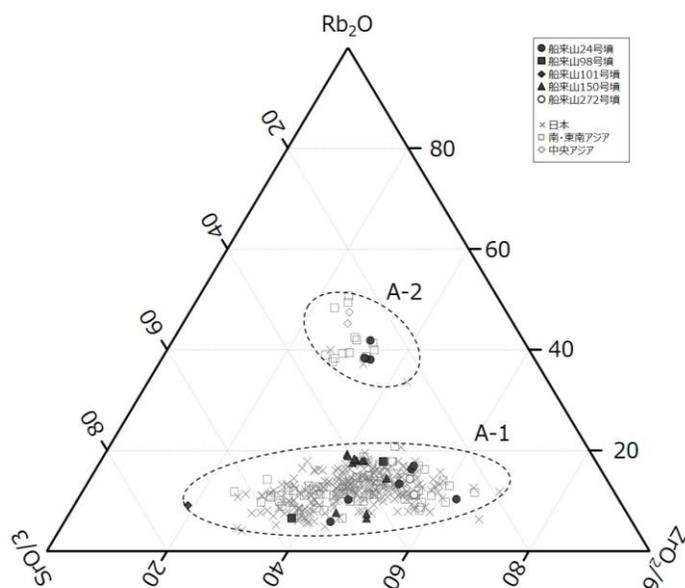


Fig. 1 微量重元素組成によるアルミナソーダ石灰ガラスの分類

参考文献

- 1) E. V. Sayre, R. W. Smith : Science, 133, 1824 (1961).
- 2) 大賀克彦, 田村朋美 : 古代学 (奈良女子大学古代学学術研究センター), 7, 1-11 (2015).

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

非破壊的手法を用いた染織文化財の構造及び素材に関する研究 Study on the structure and materials of archaeological textiles using by Non-destructive method.

○奥山誠義（奈良県立橿原考古学研究所）、河崎衣美（同左）、絹島歩（同左）、北井利幸（奈良県立橿原考古学研究所附属博物館）、吉村和昭（同左）

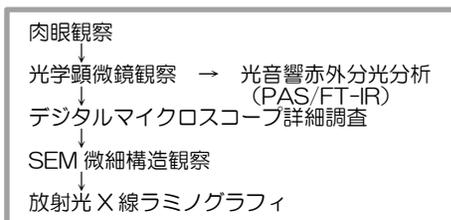
○Masayoshi OKUYAMA, Emi KAWASAKI, Ayumu KINUHATA (Archaeological Institute of Kashihara, Nara Pref.), Toshiyuki KITAI, Kazuaki YOSHIMURA (The Museum, Archaeological Institute of Kashihara, Nara Pref.)

1. はじめに

出土した織物などの染織品における構造と素材調査は、調査法の制約からやむを得ず試料採取が必要となることがしばしばである。一方、非破壊診断法や分析手法の発展により試料採取を経ずに構造や材料を把握することが可能となってきた。本研究では出土染織文化財に対し放射光 X 線ラミノグラフィによる構造調査と光音響赤外分光分析法による素材調査を実施した。本研究ではこれらの研究成果を具体的に報告する。

2. 資料と方法

本研究に用いた資料は、群馬県金井東裏遺跡出土の鉄矛付着繊維（以下、金井東裏鉄矛繊維）と宮崎県西都原古墳群 4 号地下式墓出土 1 号短甲から遊離した繊維片（以下、西都原短甲遊離繊維）の 2 点である。試料



は肉眼観察と光学顕微鏡観察を経たのち、デジタルマイクロスコープによる表面詳細観察、走査型電子顕微鏡（SEM）による微細構造観察を行った。これらの観察は表面あるいは破断面の観察が主であり、表に見えている面しか観察できない問題がある。そこで非破壊的な調査手法として放射光 X 線ラミノグラフィによる内部構造調査を実施した。ラミノグラフィは、CT と同様に試験片を回転させながら二次元の透過像を多数測定し、バックプロジェクションにより断層像を再構成する技術であり [1]、板状の試験片を観察する手段として優れ、電子基板などの非破壊検査に用いられている [2]。本研究では観察のほか、光音響赤外分光分析（FT-IR Photoacoustic Spectroscopy 以下、PA FT-IR と称す）により非破壊的な材料調査を実施した。PA FT-IR は、一定寸法以下の試料ならば非破壊で IR 測定が可能である [3]。

3. 結果と考察

金井東裏鉄矛繊維は織組織を持たず、繊維が概ね一様な方向に配列する様子が観察できた (Pic. 1)。この段階で動物毛（獣毛）と推察された。動物繊維・植物繊維の判断のため PA FT-IR

の測定を実施し、動物繊維が鉄の影響を受け変質していると想定されるスペクトルを得た。引きつづき、デジタルマイクロスコープとSEMによる観察を行った。観察の結果、繊維表面には鱗片状組織(キューティクル)が観察できた(Pic. 2)。この結果から動物毛(獣毛)が確定的であった。動物種を特定する手掛かりを得るため放射光X線ラミノグラフィを実施したその結果、毛表皮と毛髄質に特徴的な形態を示すことが確認できた(Pic. 3)。繊維径(もしくは繊維幅)がきわめて細く、毛表皮厚も大きいことから小動物毛である可能性が示唆された。

一方、西都原短甲遊離繊維片は明瞭に縦横に交差配列する織組織が観察できる(Pic. 4)。先行研究[4]において薄片断面観察によって精

練絹糸から成ることを示唆する成果を得ていたが、改めてSEM像(Pic. 5)とラミノグラフィ像(Pic. 6)により観察した結果、すべての観察箇所で三角形の断面構造を確認し、繊維が精練絹糸であることを確認した。単繊維の断面寸法は長軸方向で12~16 μm であった。PA FT-IRにおいては金井東裏鉄矛繊維同様に動物繊維が鉄の影響を受け変質していると想定されるスペクトルを得た。

4. まとめ

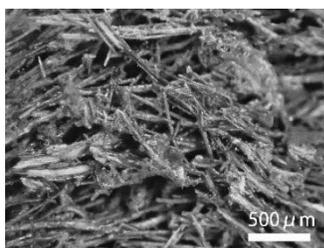
本研究により金井東裏遺跡出土鉄矛附着繊維の内部構造を明らかにし、小動物獣毛である可能性を指摘することができた。また、西都原古墳群資料においては、従来の薄片断面観察と同等な成果を非破壊的な手法で得ることができた。本研究より非破壊的な観察・分析手法を用いて、ほぼ同一の試料を横断的に調査することが確認できたので、今後成果の蓄積にあたりたい。

謝辞

本研究には、下記の機関・個人にご指導・ご協力いただいた。ここに記して感謝いたします(順不同・敬称略)。群馬県教育委員会、群馬県埋蔵文化財調査センター、宮崎県立西都原考古博物館、エス・ティ・ジャパン、竹内晃久(高輝度光科学研究センター: JASRI)。本研究における放射光ラミノグラフィ測定は大型放射光施設(SPring-8)のビームライン(BL20XU)で実施した(課題番号: 2017B1339)。また、本研究は平成29年度衣笠繊維研究所学術助成および科学研究費補助金(JSPS科研費)17H02023および26284128の成果の一部である。

参考文献

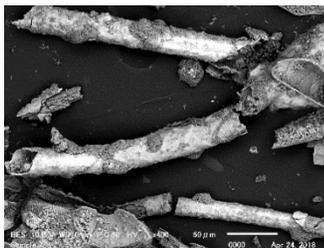
- 1 佐野雄二, 政木清孝, 梶原堅太, 放射光, Vol.29, No. 1, 32-37, 2016
- 2 S Gondrom, M Maisl, H Reiter et al, Nuclear Engineering and Design, Vol.190, Issues 1-2, 141-147, 1999
- 3 奥山誠義, 佐藤昌憲, 繊維学会誌, 71(1), 6-9, 2015
- 4 奥山誠義, 吉村和昭, 東憲章, 日本文化財科学会 33 回大会研究発表要旨集, 66-67, 2016



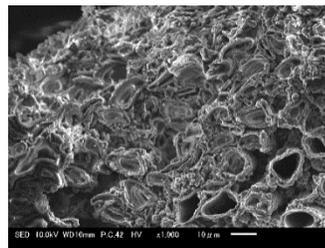
Pic.1 金井東裏鉄矛附着繊維



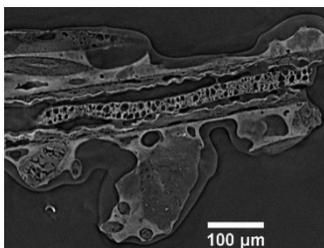
Pic.4 西都原短甲遊離繊維片



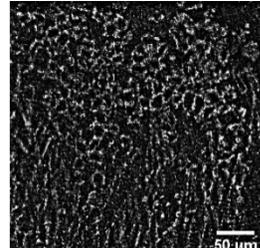
Pic.2 同上 SEM像(反射電子像)



Pic.5 同上 SEM像(反射電子像)



Pic.3 同上 ラミノグラフィ像



Pic.6 同上 ラミノグラフィ像

3 日目
7月8日

A 会場

韓国新石器時代草創期繊維質土器の製作特性と変化
- 濟州高山里式土器を中心にして -

B 会場

Production characteristics and changes of organic-tempered
pottery in neolithic Korea
- focused on Gosanri-type pottery from Jeju Island -

C 会場

○張誠允(韓国国立文化財研究所), 李起吉(朝鮮大学)

○Sungyoon JANG (National research institute of cultural heritage), Gi-Kil LEE(Chosun University)

1. はじめに

濟州高山里(地名: コサンリ)土器は韓国の新石器時代に置いて最も古い土器として知られており、植物を混入して製作した土器である。この土器の表面と内側には植物の葉と茎の跡が鮮明に残っていて、イネ科アシ属植物と調査されている¹⁾。この土器は濟州道内の江汀洞(地名: カンジョンドン)、梧登洞(オドンドン)などでも発見されているが、朝鮮半島では発見されていない。こうした繊維土器は、ロシア極東の沿海州のガシャ(Gasha)、チェルニゴフカ(Chernigovka)などと中国南部、日本の新石器時代の草創期の一部土器で発見されたことがあるが、植物混入の様子は地域別に差がある²⁾。

この土器は、放射性炭素年代測定の結果、7,600calBC 前後から出土され 3,000calBC 頃にも少量出土されていて、長期間の使われていたと見られる³⁾。本研究では濟州高山里、江汀洞、梧登洞で出土された繊維土器、すなわち高山里式土器を対象に製作技法の変化を鉱物学的及び化学的方法で解釈する(図1)。

2. 分析方法

高山里土器11点、梧登洞3点、江汀洞6点を対象にX線回折分析(EMPYREAN、PANalytical CO.、Netherlands)、偏光顕微鏡観察(Leica、DM2500P)、走査型電子顕微鏡(JSM-IT300、Jeol、Japan)で分析を行った。主要元素および微量元素は蛍光X線分析(XRF)および誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS、Act lab. Canada)で測定した。

3. 分析結果

高山里出土土器の表面と断面には植物葉脈の痕跡が観察され、断面には植物が燃えてなくなってしまった長い空隙が残っていた(図2)。胎土を準備する時、含めて成型されたものと考えられる。一方、江汀洞土器には細長い植物の跡が残っており植物種類が違ったものと見られる。江汀洞と梧登洞出土土器は大体に表面だけに植物の痕跡があり、断面にはほとんど残っておらず、植物混入は地域によって違っていたと考えられる。しかし、繊維土器と一緒に、若しくは後で出土されたと知られた隆起文土器には植物混入がほとんどなく、空隙が少なく緻密な組織を見せた。混入物質として玄武岩の方が使用され、植物混入の伝統が変化したものと推定される。

土器の構成鉱物は石英、アルカリ長石、斜長石、黒雲母、角閃石、赤鉄石であり、隆起文土器

には輝石とカンラン石が一部含まれている。混入物質として植物の代わりに鉱物を入ったとみられる。高山里式土器の焼成温度は X 線回折分析に基づいた結果を根拠に、焼成温度はカオリナイトが消滅する 550°C 以上、緑泥石が消滅する 700°C 以下と見られ、一部の土器は粘土鉱物の初期ガラス化が観察され、700~800°C で焼成されたと見られる。土器の SiO_2 は 47~61%、 Al_2O_3 は 14~21%、 Fe_2O_3 は 5~13% の範囲であり、主要元素および微量元素は大体に類似範囲に分布した。高山里土器は主に粗いテクスチャを示しているが、梧登洞と江汀洞土器は土壤粒子が非常に小さく粘土質を示している。特に、江汀洞の繊維質土器の一部は、赤色の表面を見せているが、X 線回折分析 (XRD) 結果、赤鉄石が多く含まれた土壌を土器表面に塗布して作られたと考えられる。

4. まとめ

済州島は火山活動によって形成された島として、最近高山層の最上部の生成年代が 17, 140 年と研究されており⁴⁾、この一帯の土層の形成は少なく、玄武岩などが多く観察される。高山里土器は土壤環境を基に制作され、土器を成型性を高めるため、植物を多く混ぜたと見られる。しかし、粘土の含有量が高く土器を成型しやすい江汀洞と梧登洞でも植物を表面に塗布して長期間の土器作っていたことから、土器製作時に植物を混ぜる方法は、ある意味伝統と判断され、植物混入は徐々に減って玄武岩などの鉱物に変わって、焼成温度もより高くなったと判断される。

5. 文献

- 1) KIGE, 2011, Scientific analysis of Neolithic pottery excavated from the Samwha Ga-2(2nd) site in Jeju, Dong-Yang Research Institute of Cultural Heritage.
- 2) Irina Zhushchikhovskaya, 1997, On Early pottery-making in the Russian Far East, *Asian Prospectives* 36-2.
- 3) Sangyoung So, 2017, Chronology and Characteristic of Jeju Gosan-ri Site, *韓國新石器研究* 33.
- 4) Jaesoo Lim, Jin-Young Lee, Jin Cheul Kim, Sei Sun Hong, Hanwoo Choi, 2015, Paleoenvironmental and volcanologic implication of the Gosan Formation in Jeju Island, Korea, *Journal of the Geological Society of Korea*, 51-6.



図 1. Location of research sites

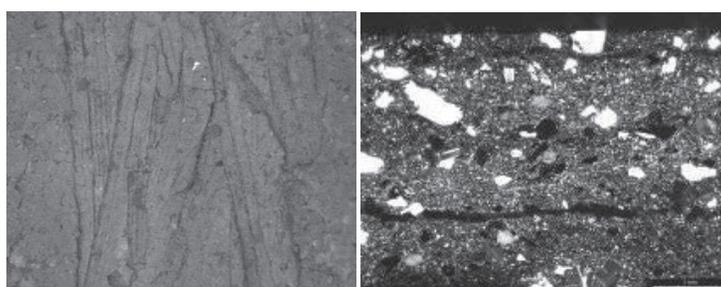


図 2. Surface and thin section image of Gosanri-type pottery

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

有田町中樽一丁目遺跡から出土した磁器原料の化学分析 Chemical analysis of porcelain raw materials excavated from Nakudaru 1-chome site in Arita Town

○新免歳靖⁽¹⁾、村上伸之⁽²⁾、水本和美⁽³⁾、二宮修治⁽¹⁾

(1) 東京学芸大学、(2) 有田町教育委員会、(3) 東京芸術大学

○Toshiyasu SHINMENⁱ, Nobuyuki MURAKAMIⁱⁱ, Kazumi MIZUMOTOⁱⁱⁱ, Shuji NINOMIYAⁱ

i Tokyo Gakugei University, ii Arita Town Board of Education, iii Tokyo University of the Arts

1. はじめに

佐賀県西松浦郡有田町の中樽一丁目遺跡・泉山一丁目遺跡から、近世・近代の「窯焼き」の工房跡が発見された(有田町教育委員会 2016)。窯炊きとは、有田において製土、成形、本焼までの磁器製作を行なった専門業者である。隣接する両遺跡からは磁器生産に関わる「水簸槽」や「オロ」、「臼」などの遺構が確認されるとともに、粘土・石・砂など磁器の原料の可能性のある遺物が出土した。これらの資料は泉山陶石から磁器の素地を作る過程で生じたと考えられるが、遺物の出土地は製作遺構と明確に対応するわけではなく、どういった工程により生じた物質なのか不明な部分が残った。そこで、本研究では、有田町教育委員会より試料の提供を受けて、近世の窯焼きが担っていた磁器製作の実態の一端を明らかにするための基礎調査として、特に中樽一丁目遺跡から出土した粘土・石・砂類を中心に自然科学分析を実施した。

2. 分析資料

中樽一丁目遺跡と泉山一丁目遺跡の所在は、肥前磁器の高級量産品の中核を担う、有田「内山」の東端の位置にあたる。磁器製作を行なった窯焼きの工房跡がはじめて発見された遺跡である。分析資料は、中樽一丁目遺跡から出土した粘土11点・石5点・砂(細石1点を含む)7点の23点、泉山一丁目遺跡から出土した粘土1点の合計24点で、中樽一丁目遺跡の資料が主体をなす。本研究では、これらの資料を製土工程(陶石からの磁器用の粘土を作る)の中で生じた物質と想定し、便宜的に磁器原料と総称する。ただし、全てが実際に磁器の原料として使用されたものかは定かではなく、磁器製作の中で生じた廃棄物もあると考えられる。資料の出土遺構は方形遺構(水簸施設)、オロ(乾燥施設)、臼、土壙、クルマツボ(ロクロ)などである。資料の帰属年代は17世紀後半～近代である。粘土は、不定形の塊で50mm程度の塊が多く、「混ざり物がなく粒子の細かい資料」、「粉と砂を固めたような資料」、「白色粘土に素焼き片や有機物などが混ざった資料」など様々である。石の大半は粒径5mm～10mm程度の小礫が主体をなす。砂は1mm程度が中心だが、それ以下の細かい粒子からなる資料(細砂)もある。

3. 分析方法

資料に含まれる元素から材質を分類するため、蛍光 X 線分析(XRF、日立ハイテクサイエンス製エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 SEA5120S)による定性分析を行なった。資料を構成する鉱物の種類を同定するため、X 線回折分析(XRD、リガク製 MultiFlex)を行なった。資料の化学組成を明らかにするため、ICP 発光分光分析(ICP-OES、アジレント・テクノロジー製 ICP-OES 720SE)を用いた。定量した元素は、主成分

元素 8 元素 (Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K)、微量成分元素 2 元素 (Sr, Ba) の計 10 元素である。Si は定量した主成分元素と灼熱減量の合計値を 100 % から引いた値を含有量とした。強熱減量 (Ignition Loss) は、資料をマッフル炉で焼成し (1000°C、3 時間)、測定した。分析資料の化学組成の特徴を明らかにし、分析資料の異同を検討するためにクラスター分析 (IBM 社製 SPSS Statistics23 を使用) を行った。

4. 分析結果および考察

XRF による定性分析の結果、粘土・石・砂の形状に関わらず、主に Si、K、Fe、Rb、Sr が検出され、ほぼ差違が認められなかった。XRD による分析の結果、同定された鉱物の種類は石英、カオリン、セリサイト、長石で (図 1)、資料間で共通していた。XRF・XRD の結果から、粘土・石・砂は全体的な類似性は高く、同一の物質を起源にしており、いずれも泉山陶石に由来すると考えられる。

ICP-OES による定量分析の結果をもとにクラスター分析を行なった。その結果、分析資料は大きく、石、砂のグループと、3 種類の粘土グループ (粘土①～③) に分類された。粘土①は「混ざり物がなく粒子の細かい資料」、粘土②は「白色粘土に素焼き片や有機物などが混ざった資料」、粘土③は「粉と砂を固めたような資料」によって構成され、化学組成と肉眼観察による分類に整合性がある結果となった。

クラスター分析による分類を検討するために、 SiO_2 - Al_2O_3 濃度分布図を示した (図 2)。本図から SiO_2 と Al_2O_3 濃度に強い負の相関性が認められた。粘土類は SiO_2 濃度が低く、 Al_2O_3 含有量が高く、石・砂はその逆である。また、石と砂は素材ごとに、粘土はグループでまとまる傾向が認められた。

この結果から、粘土、石、砂の順で SiO_2 濃度が高く、 Al_2O_3 濃度が低くなることがわかった。このような化学組成の特徴は、陶石を粉砕し、水簸する過程で、 Al_2O_3 分が多い粉が選別されて磁器用の粘土となり、 SiO_2 分が多い部分が石や砂として取り除かれたことに起因すると考えられる。有田では水簸後に残る白砂を珪と呼び、廃棄したが、砂はそういった廃棄物である可能性が高い。石は水簸前のふるい段階で取り除かれていたと考えられる。ただし、遺跡内の臼の中に残存している事例が多いため、石の中に臼で再度粉砕されたものがあると推測される。石は SiO_2 濃度が比較的高く、 Al_2O_3 濃度が低いという化学組成から磁器素地に適しておらず、釉薬用のケイ酸分として使用された可能性も考えられる。

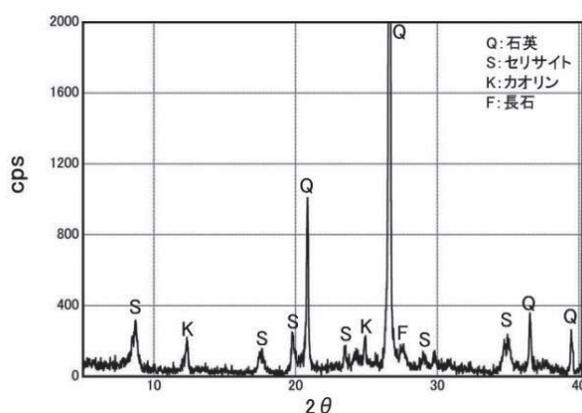


図 1 粘土の XRD 結果

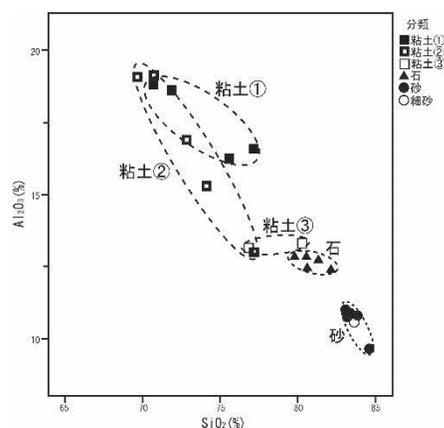


図 2 SiO_2 - Al_2O_3 濃度分布図

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP15K02973, JP16K01177 の助成を受けたものである。

参考文献 有田町教育委員会編 (2016) 『泉山一丁目遺跡・中樽一丁目遺跡 一泉山大谷線街路整備交付金事業に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書一』

3 日目
7 月 8 日

A 会場

B 会場

C 会場

放射光 X 線 CT と中性子透過ブラッグエッジ法を用いた 日本刀の非破壊分析

Nondestructive study of Japanese swords using synchrotron X-ray CT and Bragg-edge Neutron Transmission Spectroscopy

○田中眞奈子 (昭和女子大学)、水谷予志生 (岐阜県工業技術研究所)、星野真人 (高輝度光科学研究センター)、
上杉健太郎 (同左)、八木直人 (同左)、堀元紀 (名古屋大学)、鬼柳善明 (同左)

○Manako TANAKA (Showa Women's University), Yoshiki MIZUTANI (Gifu Prefectural Industrial Research Institute),
Masato HOSHINO, Kentaro UESUGI, Naoto YAGI (JASRI), Genki HORI, Yoshiaki KIYANAGI (Nagoya University)

1. はじめに

文化財のなかでも鉄鋼文化財の原料や制作・加工技術についての詳細情報を明らかにするためには、非破壊分析で得られる情報量には限度があり、従来は文化財を切断して金属組織観察をすることが必要であった。鉄鋼文化財の非破壊分析手法の開発・改良は非常に重要かつ喫緊な課題である。一方、近年、放射光や中性子の分野において、これまでにない新しい分析技術の開発ならびに既存技術の改良・高度化が進んでいる。筆者らは現在、それらの最新の分析技術を用いて鉄鋼文化財の非破壊での研究に取り組んでいる。本報では、放射光 X 線 CT ならびに中性子透過ブラッグエッジ法を用いて日本刀の非金属介在物の配列や結晶組織情報を非破壊で明らかにし、原料、材料特性、制作技術などを解明することを目的とした最新の研究成果を報告する。

2. 分析方法

日本刀内部の非金属介在物の配列を非破壊で観察することを目的に、大型放射光施設 SPring-8 の BL08W、BL28B2 および BL20B2 において勝村徳勝作日本刀断片 (井戸誠嗣氏所蔵) をはじめとする、時代や制作者、内部構造が明らかな複数の日本刀断片の X 線 CT 撮影を行った。また、日本刀に用いられている鋼の金属組織情報、具体的には格子面間隔、結晶子サイズ、結晶歪、配向、炭素量などを非破壊で把握し、また加工方法が日本刀の結晶組織情報にどのような影響を与えているかを確認することを目的に、中性子施設 J-PARC MLFBL10 および BL22 において、日本刀の制作過程を再現した 10 試料 (石田四郎國壽刀匠制作) のパルス中性子透過分光法ブラッグエッジ解析を行った。

3. 結果と考察

SPring-8 で高いエネルギーの X 線を使用できる BL08W (116keV) と BL28B2 (200keV) において勝村徳勝作日本刀断片等の X 線 CT 撮影を行った。非常に新規性の高い実験であったが、高エネルギー X 線を用いることで、完全ではないが、日本刀内部の非金属介在物を非破壊で観察することができた。次に、SPring-8 の放射光 X 線を用いて非破壊でどこまで鋼内部の微小な非金属介在物を観察できるか、現状得られるベストの CT 像を確認することとした。具体的にはビームが大きく最高 72.3keV の単色 X 線を使用でき、2mm

程度の厚さの日本刀内部の微細な非金属介在物を観察するのに相応しい BL20B2 にて、2mm 弱の厚さにスライスした勝村徳勝作日本刀を薄い方向から X 線 CT 撮影を行った。BL20B2 での X 線 CT 撮影により、図 1 に示すように、破壊分析による非金属介在物の光学顕微鏡像と比較しても見え方にほとんど違いがないほど明瞭に、非破壊で非金属介在物を観察することが出来た。ただし、BL20B2 は X 線エネルギーが低いため、日本刀をスライスせずに観察することは難しい。今後は、日本刀を非破壊で観察できる X 線エネルギーの高い BL28B2 において、BL20B2 で得られたデータに近い、より鮮明な 3 次元画像を得ることができるよう、空間分解能や密度分解能の調整と改善を行っていく。

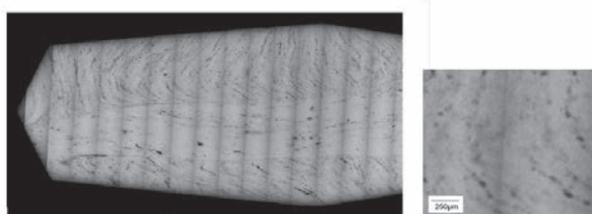


図1 勝村徳勝作日本刀断片のX線CT画像200枚の画像を平均化したものとその一部拡大像 (Spring-8 BL20B2、X線エネルギー72.3keV、画素サイズ4.54 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ 、露光時間700msec/1800投影)

続いて、鉄鋼文化財の制作・加工が結晶組織へ与える影響を非破壊で把握・検証するため、日本刀の各制作過程（小割り、下鍛え、上鍛え、心鉄、素延べ、火造り、焼き入れ、荒研ぎ、合い取り、鍛冶研ぎ）を再現した10試料のパルス中性子透過実験を行った。得られたブラッグエッジの形状の違いから結晶組織の変化を把握するとともに、結晶組織解析ソフトウェア RITS¹⁾を用いてブラッグエッジのフィッティングを行い、各制作工程における格子面間隔（格子定数）や結晶子サイズ、結晶配向、歪などの具体的な変化を定量した。折り返し鍛錬や焼入れなどの加工により、日本刀に用いられている鋼 ($\alpha\text{-Fe}$) の格子面間隔（格子定数）、結晶子サイズ、結晶配向などの変化を確認することが出来た。更に、RITSによる解析結果をもとにパラメータごとに2Dマッピング像を作成した。代表例として、図2に焼入れ前の試料と焼き入れ後の試料の $\alpha\text{-Fe}$ の格子面間隔dの2Dマッピング像を示す。焼き入れ後の試料では格子面間隔が広がっている。これは、焼入れによりマルテンサイトが形成され、鉄の結晶中に炭素が侵入・固溶したためと考えられる。10試料の解析により日本刀の各制作工程での結晶組織構造の詳細の変化を非破壊で確認することが出来た。

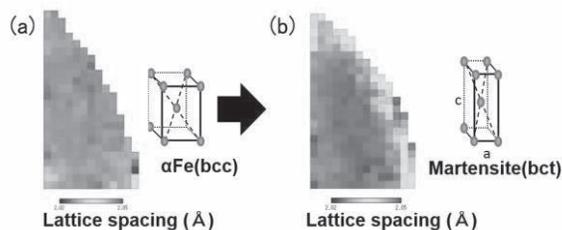


図2 日本刀制作過程再現試料 ((a)焼き入れ前、(b)焼き入れ後)の $\alpha\text{-Fe}$ の格子面間隔(Å)の2Dマッピング像

一連の分析を通して、X線と異なる特性を持つ中性子を相補的に用いることで非破壊でも鉄鋼文化財の非金属介在物の配列や結晶組織情報を明らかに出来ることがわかってきた。今後、作者や時代、地域により焦点をあて、日本の代表的な鉄鋼文化財である日本刀の非破壊での体系的な研究に取り組んでいく。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金 No. 26702004 ならびに No. 23226018、日本鉄鋼協会第 24 回鉄鋼研究振興助成、池谷科学技術振興財団平成 26 年度研究助成によるもので、ご支援に深謝致します。

参考文献

- 1) H. Sato, T. Shinohara, R. Kiyonagi, K. Aizawa, M. Ooi, M. Harada, K. Oikawa, F. Maekawa, K. Iwase, T. Kamiyama and Y. Kiyonagi, Physics Procedia, Volume 43(2013), pp. 186–195.