

口頭発表

Oral Presentations

会場：WEB 開催特設ホームページ

日時：9月5日（土）9：00～9月13日（日）17：00

奈良・平安・鎌倉時代の金泥・銀泥経とされる古写経の 放射性炭素年代測定：美福門院願経(荒川経)の書写年代を中心に Radiocarbon dating of the ancient sutras which are considered to be written with the gold and silver paint in the Nara, Heian and Kamakura periods: Focusing on the paleographical age of Arakawa sutra

○小田寛貴（名古屋大学）、西山要一（奈良大学）、池田和臣（中央大学）

○Hiroataka ODA (Nagoya Univ.), Yoichi NISHIYAMA (Nara Univ.), Kazuomi IKEDA (Chuo Univ.)

1. はじめに

古写経の中には、松煙・油煙といった黒い墨ではなく、金・銀等を膠で溶いた金泥・銀泥によって書写されたものがある。特に、通常の白い和紙ではなく紺紙に書かれたものは、その美しさ故に、古来よりその名とともに広く知られてきたものが多い。奈良時代の銀泥経として知られる東大寺二月堂焼経、平安時代の金銀泥経とされる中尊寺紺紙金銀交書一切経、同じく平安の金泥経とされる美福門院願経(荒川経)などである。しかし、これらの時代や文字成分は自然科学的な分析が発明される以前から語り継がれてきたものであり、異説の登場することもあった。例えば、東大寺二月堂焼経は、1000年以上を経ても銀色が失われていないことからAgでなくPtによるプラチナ経とされること、一方で奈良時代の白金利用が疑問視されることなどがあった。また、荒川経については、金字部分の蛍光X線分析を行った研究が近年報告された(西山・東野, 2015; 早川・犬塚, 2019)。その結果、従来、金泥書写とされてきた荒川経の金字は、金(Au)ではなく、真鍮(Cu, Zn 合金)によるものであることが判明した。荒川経は、平安時代の書とされており、これに従うならば、平安時代の日本において真鍮利用があったことになる。そこで、荒川経の断簡についてAMSによる ^{14}C 年代測定を実施した。また、東大寺二月堂焼経・中尊寺紺紙金銀交書一切経・伝鎌倉時代紺紙金字経の結果についても併せて報告する。

2. 測定資料・実験・結果

資料の一覧を表1に示した。各資料から 1.0cm^2 程度の紙片を採取し、分析用試料とした。蒸留水中にて三晩放置、吸水後、本紙を裏打紙から剥離した。真空デシケーター中にて各試料を乾燥、重量を測定した後、以下の化学処理を行った。まずは、表面に付着した不純物を除去するため、蒸留水中において超音波洗浄を行った。この後、炭酸塩・フミン酸・タンパク質等の不純物除去のため、 $60\sim 70^\circ\text{C}$ に加温し、 1.2N HCl aq と 1.2N NaOH aq とによる交互洗浄に供した。これらを蒸留水にて洗浄した後、真空デシケーター中にて乾燥させた。得られた試料4点のグラファイト調製および ^{14}C 年代測定を株式会社パレオ・ラボに依頼した。測定に用いられた加速器質量分析計は、パレオ・ラボ Compact-AMS(米国 NEC 社製, 1.5SDH)である。測定された ^{14}C 年代を、較正曲線(IntCal13)(Reimer et al., 2013)によって暦年代に換算した。結果を表1に示す。

表 1. 金属泥古写経切の ^{14}C 年代測定

No.	名称	書写年代	^{14}C 年代[BP]	較正年代[cal AD]
1	東大寺二月堂焼経	744 年頃	1272 $\pm$ 43	670-777
2	中尊寺紺紙金銀交書経	1117-1125 年頃	935 $\pm$ 27	1030-1158
3	荒川経	1150 年以前	969 $\pm$ 38	1020-1151
4	伝鎌倉時代紺紙金字経	鎌倉期	435 $\pm$ 41	1433-1465

3. 考察

東大寺二月堂焼経および中尊寺紺紙金銀交書経については、書跡史学的な年代と一致する ^{14}C 年代が得られている。また、近年、真鍮泥であることが判明した荒川経についても、従来言われていた通り、平安時代の年代が得られた。すなわち、平安時代の日本において真鍮利用があったことを示す自然科学的な物証が得られたことになる。そこで以下では、この荒川経について考察を加えたい。

荒川経とは、美福門院藤原得子の発願によって、夫鳥羽法皇崩御後三回忌にあたる平治元(1159)年に高野山に納められた一切経 5048 卷の総称である。紺紙に銀泥による界を引き、金泥によって和洋写経体の経文が書写されている。その後、荒川経の多くは散逸してしまうが、元文元(1736)年に一部が高野山に戻され、現在は 3575 卷が残っているとされている。しかし、それでもかなりの量の荒川経が散逸しており、こうした古写経切という形で伝世しているのである。本測定によって得られた較正暦年代の下限は 1151[cal AD]である。美福門院による高野山への荒川経奉納は平治元(1159)年であるが、この紺紙金字経を書写せしめ、法勝寺金堂での供養を行ったのは、久安 6(1150)年 10 月 2 日のことである。この年代は、 ^{14}C 年代測定の結果とも一致しており、自然科学的にも荒川経が平安時代にかかる書であることが示されたのである。

日本における真鍮製品としては、古くは飛鳥時代の法隆寺献納宝物、奈良時代の正倉院宝物に舶載品と考えられる伝世品がある。また、7 世紀の大阪府野中寺遺跡からは真鍮素材と思われる板状金属片が出土している。しかし、その後の事例はヨーロッパからもたらされた精錬亜鉛を用いて製造されたと思われる合金となり、いずれも 16 世紀後半以降のものである。故に、平安時代から安土桃山時代までの日本では真鍮の利用がなかったものとみなされてきた。しかしながら、こうした状況の中において、荒川経は、平安時代の日本において意図的な真鍮利用があったことを示す自然科学的な物証となったといえることができる。また、現代的な価値観では、真鍮は金よりも安価なものという印象があるが、当時の日本における真鍮の稀少価値は、金に比べて必ずしも低いものではなかったのではないかと考えられる。今後、こうした金属の利用に関する歴史、価値観の変遷などを知る上で、荒川経は重要な学術資料となるであろう。

一方、No. 4 の古写経切は、添付された極札様紙片には「鎌倉時代写」とあるものの、較正暦年代は 15 世紀半ばを示しており、後世の手になるものと判断できる。今後、書跡史学および書誌学的な知見を加えて、改めて検討したいが、平安時代末から鎌倉時代の書とされる古筆切の中には室町時代以降の年代を持つものが少なからず散見されるという経験からすると、この書もそうした事例の一つである可能性が考えられる。

能登半島の北部に位置する真脇遺跡で出土した多量の木材遺物の¹⁴C年代編年

Radiocarbon chronology of wooden materials excavated at the Mawaki Site of the Noto Peninsula

○中村俊夫（名古屋大学）、西本 寛（愛知大学）、木村勝彦（福島大学）、
南 雅代（名古屋大学）、高田秀樹（能登町教育委員会）

○Toshio NAKAMURA (Nagoya University), Hiroshi NISHIMOTO (Aichi University),
Katsuhiko KIMURA (Fukushima University), Masayo MINAMI (Nagoya University),
Hideki TAKADA (Noto-Town Board of Education)

1. はじめに

能登半島の北部地域の富山湾に面した平野部に位置する真脇遺跡（図1）は、約6000年前から2400年前までの縄文時代の人々の居住域であり、遺跡からはさまざまな遺物が発掘されている。この遺跡は、主として3つの特徴的な時期に区分される。古い順に、(1) イルカの骨と多量の土器破片からなる厚さ1mにも及ぶ地層

(6000-5000年前)、(2) 板敷き土墳墓と称される縄文人の墓の集合体（5200-4500年前）、(3) 環状に配列されたクリの木柱列（3400-2400年前）、で構成される。これらの遺物層から発掘された多くの考古資料の¹⁴C年代測定を行ってきたが、ここでは、(3)のステージに注目して、その概要を紹介する。

2. 真脇遺跡から発掘された木柱根

2009年から発掘調査が進められてきた環状木柱列（図2）の南西に位置する環状大溝と呼ばれている、住居跡と判断される区域の発掘調査において、環状木柱列の年代を遡ってやや古い木柱根が、68本も発掘されている。これらの木柱根は、暫定的にSB01, SB05, SB06, SB07,



図1 真脇遺跡の位置図

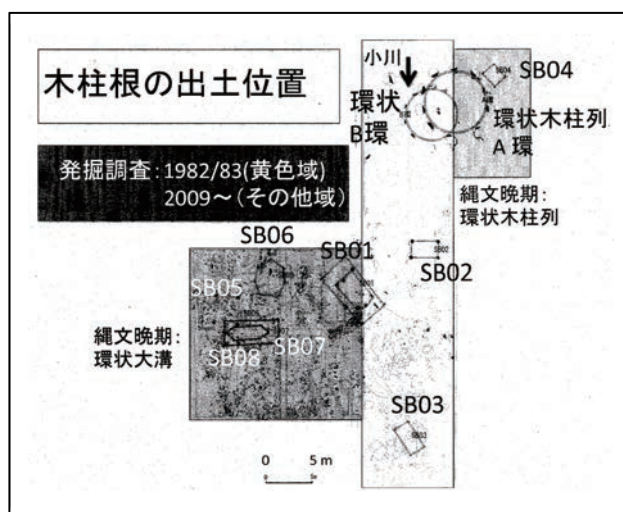


図2 発掘調査区域

SB08 の 5 つの建物群に属するものと、それらのどれにも属さないものに区別される。これら木柱根のすべてについて、また環状大溝調査以前に発掘されていた図 2 の右上に位置する環状木柱列および SB04 建物群に関連する木柱根について、名古屋大学にて ^{14}C 年代測定を行った。

3. 真脇遺跡の木柱根の ^{14}C 年代編年

^{14}C 年代測定の結果を図 3 に示す。環状大溝にて検出された建物群 SB01, SB05, SB06, SB07, SB08 に属する木柱根、また、環状木柱列および SB04 建物群に属する木柱根の ^{14}C 編年は、以下のように、古い年代から順にまとめることができる。

- (1) SB06: 3450 – 3150 cal BP
- (2) SB04: 3150 – 2950 cal BP
- (3) SB08, SB07: 2950 – 2800 cal BP
- (4) 環状木柱列 A 環: 2800 – 2700 cal BP
- (5) SB05: 2700 – 2500 cal BP
- (6) 環状木柱列 A 環以外: 2700 – 2400 cal BP

図 3 に示した木柱根試料の樹種については、図の左側に矢印で示したとおり、古い年代（3400 - 3000 cal

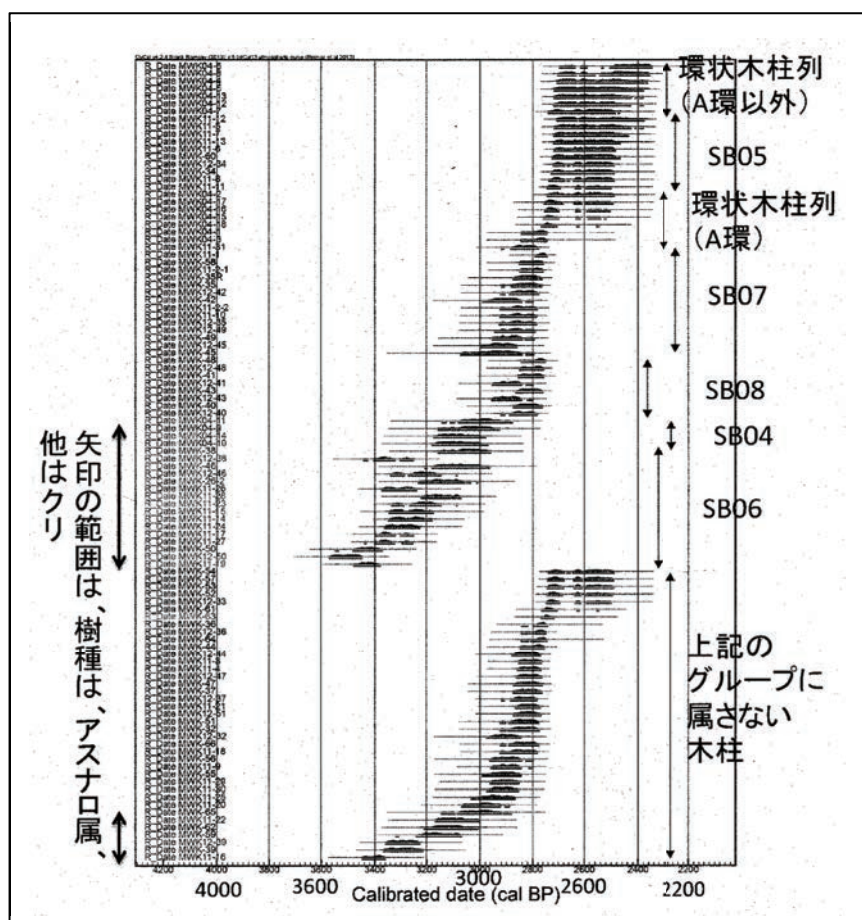


図 3 発掘された木柱根の較正暦年代 (cal BP)

BP) を示す木柱根はアスナロ属であるが、3000 cal BP より新しい木柱根ではクリ材となっている。単に、縄文人が使用する材の選択が変化したのか、生育環境によりアスナロ属からクリ材へと変化したのか、興味深いところである。

なお、環状大溝の居住域からは、クルミの殻などの植物遺体やおびただしい板材が発掘され、その中には、ほぞ付きの四角柱 (3030±45 cal BP、アスナロ属) や、日本で 2 例目の出土となる火鑽臼を伴うスギ製の板材 (3290±45 cal BP) が確認されている。

これらの年代情報は、真脇遺跡における縄文晩期の建物群の変遷の解明につながるものと期待される。

四国西南地域における縄文弥生移行期の雑穀類の年代学的研究

A chronological Study of millets from the Jomon to Yayoi
Periods in Shikoku Southwest Region

○遠部 慎（島根大学山陰研究センター）、柴田晶児（愛媛大学埋蔵文化財調査室）、宮里修（高知大学）、蔵本晋司（香川県埋蔵文化財センター）、竹原弘展（パレオ・ラボ）、宮田佳樹（東京大学）

○ShinONBE（Acchaeological Research Center,Ehime University）, SyoujiSHIBATA（Acchaeological Research Center,Ehime University）, OsamuMIYAZATO（kochi University）, ShinjiKURAMOTO（Kagawa Archaeological Research Center）, Hironori TAKEHARA（PaleoLabo）, YoshikiMIYATA（Tokyo University）

1. はじめに

縄文・弥生移行期において、日本では稲作を中心とした農耕社会を受容するが、そのあり方は西日本地域においても多様なことが近年明らかになってきた。そうした中、レプリカ法など含め、栽培植物の同定が進んでいるが、四国西南部地域では、研究の蓄積が少ない。

そこで、居徳遺跡の雑穀類が同定できた土器資料に対し、年代測定、安定同位体分析、脂質分析の複数の方法を組み合わせて、分析し、その結果に基づき考察を行う。分析結果から、本地域における雑穀類の使用時期を具体的に示す測定値や、それを裏付けるデータが得られた。それを基に、関連する周辺地域のデータを検討し、今後の展望も示したい。

2. 居徳遺跡の炭化球根類

居徳遺跡の雑穀類（エゴマ）が同定できた土器資料は、いわゆる炭化球根類である（図1）。日本列島では、縄文時代に炭化球根類は縄文時代前期から確認されている（表1）。

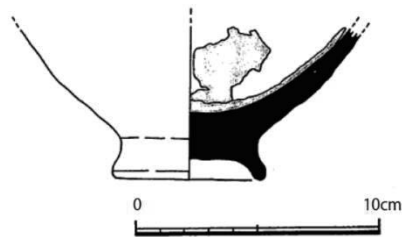


図1 居徳遺跡の土器付着炭化物とその付着状況

遺跡名	考古学的年代	炭素14年代値	備考
出崎船越南	縄文前期中葉	5710±60BP	
峯一合	縄文前期後葉	5100±80BP	
上久津呂中屋	縄文前期後葉	4880±20BP	
判ノ木山西	縄文中期前半	4525±25BP	新道～藤内式
下宅部	縄文中～晩期中葉	4535±25～2690±25BP	大半は後～晩期
芝原	縄文後期中葉	3720±20BP	
居徳	縄文晩期前半	2990±30BP	

表1 主な炭化球根類の年代測定値

土器に付着した炭化球根類の出現は、現状で縄文時代前期に出現する。玉野市出崎船越南遺跡の例は羽島下層Ⅱ式期に遡る可能性があり、後葉は下呂町峰一合遺跡（下呂町教育委員会2003）や、氷見市上久津呂中屋遺跡の事例などがある。これまで、中期の確実な測定値はほとんどなかったが、茅野市判ノ木山西遺跡の住居力上から出土した藤内式の年代測定値は4525±25BPを示す（松本ほか2013）。後期～晩期にかけては、下宅部遺跡では連綿と利用されている（工藤・佐々木2011）。南さつま市芝原遺跡で得られた年代データ3720±20BP（西本編2009、住田2011）や、炭化球根類を直接測定したわけではないが、同一層から出土した土器付着炭化物の年代が、岡山市津島岡大27a層では3530±20BP（工藤2011）を示す例など、後期中葉に数多く確認される。

四国地方では、阿片遺跡（4次）で3700BP代の測定値が得られているほか、中又北遺跡でも谷尻式併行期の測定値が得られている。晩期以降については、居徳遺跡（2990±30BP）のほか、徳島市庄・蔵本遺跡で弥生時代前期2485±20BP（28次）、2190±20BP、2185±20BP（29次）の測定値が得られており、四国地方では弥生時代以降についても利用されている。

3. まとめと展望

居徳遺跡の例は、炭化球根類の中にエゴマが土器付着炭化物として検出され、その年代も縄文時代晩期のものであった。今回分析した試料は、土器内面に付着した状態で出土しており、食用などとして調理された可能性がきわめて高い。土器調理の方法を具体的示す例として、分析例の少ない四国地方では、年代的な大きな定点となる。雑穀類の植物利用として、このような微細な試料についても検討が必要である。

全脂質抽出法と酸抽出法を併用して、中又北遺跡出土土器の内面付着炭化物試料の脂質分析を行っているが、炭化球根類とそのほかの土器は、内容物が異なる可能性が高く、土器による調理の使い分けが示唆される。今後、そのような観点からも土器利用に対する分析が必要となる。

本発表は、科学研究費18H00737、16H01824等の成果を含む。発表にあたり、以下の諸氏にご協力いただき感謝申し上げます。

国立歴史民俗博物館学術創生研究グループ、住田雅和、米田恭子

樹木年輪酸素同位体比を用いた先史時代の 気候・農業生産・人口の変動シミュレーション

Simulation of prehistorical variations in climate, agricultural production and population using tree-ring oxygen isotopic ratios

中塚 武 (名古屋大学)

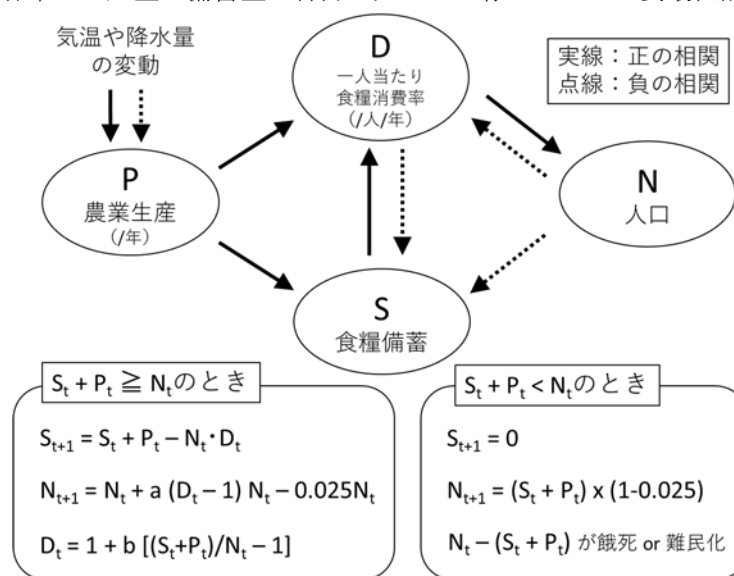
Takeshi NAKATSUKA (Nagoya University)

1. はじめに

出土材の年輪酸素同位体比は年代決定に使われると同時に、夏の降水量などの気候変動の指標にもなる。それは近世以降の水稻生産量の経年変動と高い相関を示すことから、その知見を先史時代の年輪データに適用することで、気候変動と関係した当時の農業生産量や人口の変動をある程度、定量的に再現できる可能性がある。本講演ではその最初の試みとして、気候・生産・人口をつなぐダイナミックモデルを作成し、年輪酸素同位体比を外部変数としてモデルに導入することで、弥生～古墳時代の農業生産と人口の変動を、年単位でシミュレートした。

2. データとモデル

計算に用いた BC500 年以降の年輪酸素同位体比は、近畿～東海の多数の針葉樹材の酸素と水素の同位体比を組み合わせ、数年～数千年の全ての時間スケールの変動を正確に再現したものである（データ URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/28832> ; Nakatsuka et al., 2020）。モデルは、図 1 のように 4 つの項目（農作物の年あたりの生産量、消費量、備蓄量と人口）からなり、各年の生産量と備蓄量の合計が人々の生存のための必要最低限の摂取量を「上回れ」ば、余剰食糧摂取量に比例して出生率は上がる一方、「下回れ」ば、出生率は 0 となり不足分の人数が餓死または難民化するとした。モデルには 2 つのパラメー



糧摂取量に比例して出生率は上がる一方、「下回れ」ば、出生率は 0 となり不足分の人数が餓死または難民化するとした。モデルには 2 つのパラメー

図 1. 気候変動の影響の下での生産－備蓄－消費－人口のダイナミカルモデル。式の中で添え字の t は年を表す。モデルでは一人・一年当りの必要最低限の食糧摂取量を、1 とおいた。

ター（出生増加率（a）と食糧摂取率（b））があり、地域ごと・時代ごとの人間社会の特性を反映して変化すると想定している。

3. 近世における年輪酸素同位体比と水稻生産力の関係

年輪酸素同位体比のデータを、近世の近江国の免定の残高（鎌谷ら、2016）および甲斐国の坪刈記録（佐藤、1986）から推定される水稻生産力の変動と比較して、その関係式をそれぞれ次のように算出した。 $Y = 0.936\exp(0.227X)$ 、 $Y = 0.989\exp(0.076X)$ 。ここで、Yは各年の水稻生産力の長期（65年）移動平均に対する比、Xは各年の年輪酸素同位体比の長期（65年）移動平均からの差を表しており、近世の税制や農業技術の長期変化の影響を受けずに、気候変動による水稻生産力のポテンシャルの変化だけを計算することを念頭においている。

4. 中部日本における BC500～AD600 の農業生産と人口の変動シミュレーション

図2に弥生・古墳時代の水稻生産力の気候感度（気候変動への脆弱性）が近世の近江国の1.5倍高かったと仮定し、出生増加率(a)、食糧摂取率(b)を各々0.2として、農作物の生産（灰線）、備蓄（点線）、人口（黒線）及び、餓死者・難民の発生数（白丸）を計算した。酸素同位体比の長期変動を反映して、弥生時代が古墳時代より人口が多いが、モデルには農地面積の拡大や農業技術の革新の効果が入っていないので、人口の長期変動には注意が必要である。一方、紀元前1世紀の気候の急激な寒冷・湿潤化に伴う人口の減少や、紀元前4～3世紀、紀元2世紀、紀元6世紀の気候の数十年周期変動の振幅拡大に伴う餓死者・難民の発生は、より短期的な現象であり、今後、考古資料や文献史料との対比によって、詳しく解釈していく価値があるものと思われる。

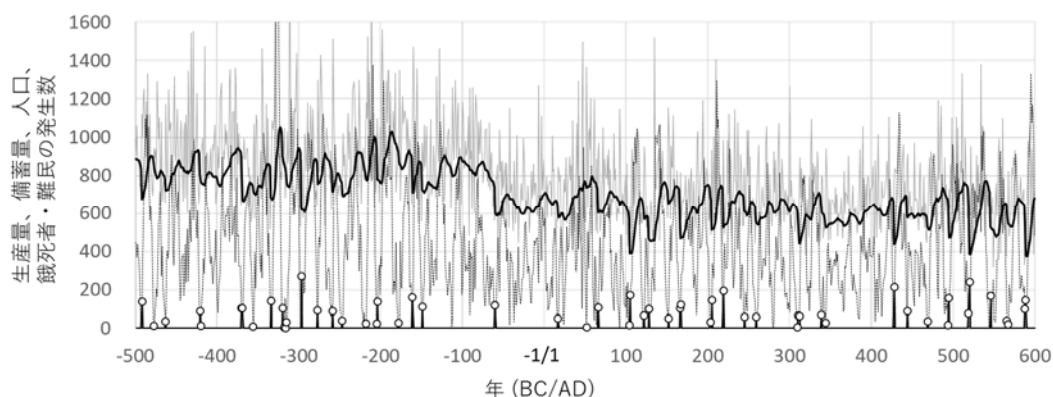


図2. 弥生・古墳時代の中日本～西日本における気候変動の社会影響のシミュレーション

5. 引用文献

鎌谷かおる・佐野雅規・中塚 武：「日本近世における年貢上納と気候変動—近世史研究における古気候データ活用の可能性をさぐる—」『日本史研究』646, 36—56, 2016.

佐藤常雄：『日本稲作の展開と構造』吉川弘文館, 1986.

Nakatsuka, T., M. Sano, Z. Li, C. Xu, A. Tsushima, Y. Shigeoka, K. Sho, K. Ohnishi, M. Sakamoto, H. Ozaki, N. Higami, N. Nakao, M. Yokoyama, T. Mitsutani, “Reconstruction of multi-millennial summer precipitation variations in central Japan by integrating tree ring cellulose oxygen and hydrogen isotope ratios”. *Climate of the Past Discussion*, 2020, <https://doi.org/10.5194/cp-2020-6>

稲作の視点から見た良渚遺跡群における土地利用と土地開発 The study about the land use and land development for rice cultivation at the Liangzhu site group

○宇田津徹朗（宮崎大学）、田崎博之（愛媛大学）、渡部展也（中部大学）、
大庭重信（大阪市文化財協会）、劉斌（浙江省文物考古研究所）、王寧遠（同）、鄭雲飛（同）
○Tetsuro UDATSU(Miyazaki Univ.), Hiroyuki TASAKI(Ehime Univ.), Nobuya WATANABE(Chubu
Univ.), Shigenobu OBA(Osaka City Cultural Properties Association), Bin LIU(Zhejiang Provincial
Institute of Cultural Relics and Archaeology), Ningyuan WANG(〃), Yunfei ZHENG(〃)

1. はじめに

筆者らは、中国浙江省杭州市に所在する新石器時代の遺跡である良渚遺跡群において、ボーリング調査による埋没微地形分析と採取土壌のプラント・オパール分析から、当時の水田の立地（土地利用）について5年間にわたり調査分析を行ってきた。2019年には良渚文化期のダムと推定される遺構周辺での水田遺構探査を実施し、ダムとしての機能ならびに、稲作可耕地の確保と安定化という土地開発の視点からも評価を試みた。

今回の発表では、良渚遺跡群における土地利用と土地開発の視点で進めてきた調査の概要と成果を紹介し、5年間の調査研究を総括したい。

なお、本研究はJSPS 科研費（課題番号15H05968）の助成によるものである。

2. 5年間の調査の概要と結果

1) 良渚遺跡群における水田探査の結果からみた土地利用について（2015～2018）

日本で明らかになっている水田の立地条件を参考に、また、それらを網羅するように良渚遺跡群内で、ボーリング調査を行った。得られた調査試料のプラント・オパール分析と埋没微地形分析の結果、図1の美人地調査区を除く、5つの調査区で水田が営まれていたと推定した。これらの立地から、丘陵あるいは台地（段丘）に挟まれた谷底低地（上溪村調査区）、独立丘陵の裾に広がる台地（低位段丘）縁辺の氾濫原（荀山調査区）、



図1 良渚遺跡群における調査区の位置

三角州の自然堤防周辺（后楊村調査区）の3つのモデルを設定できた（宇田津ら2019）。また、良渚文化期の地表面がほぼ地表下1mに所在していることから、地理情報システム（GIS）を用いた微細地形面判読を実施し、同様な水田の立地条件を抽出できた。その成果に基づいて水田探査を実施した結果、坟塋里遺跡周辺で水田層を検出でき、同分析法の広域探査の有効性（宇田津ら2018）を確認できた。以上の成果から、良渚文化期には、少なくとも3つの多様な立地での水田開発技術が成立していたことを明らかにできた。

2) 水田探査の結果から見る「良渚のダム」の機能について (2019)

莫角山（図 1）の西 4～6km には、ローダムと呼ばれる山塊の間を人工的に繋いだ良渚文化期の土堤遺構（図 2 中の水壩）が確認されている（浙江省文物考古研究所 2015）。今回、鯉魚山水壩（ダム）の南北 18 地点、栲栳山の北側 6 地点でボーリング調査による水田探査を実施し、この土堤遺構のダムとしての機能（氾濫の遮蔽および湛水や貯水）の検討を行った。

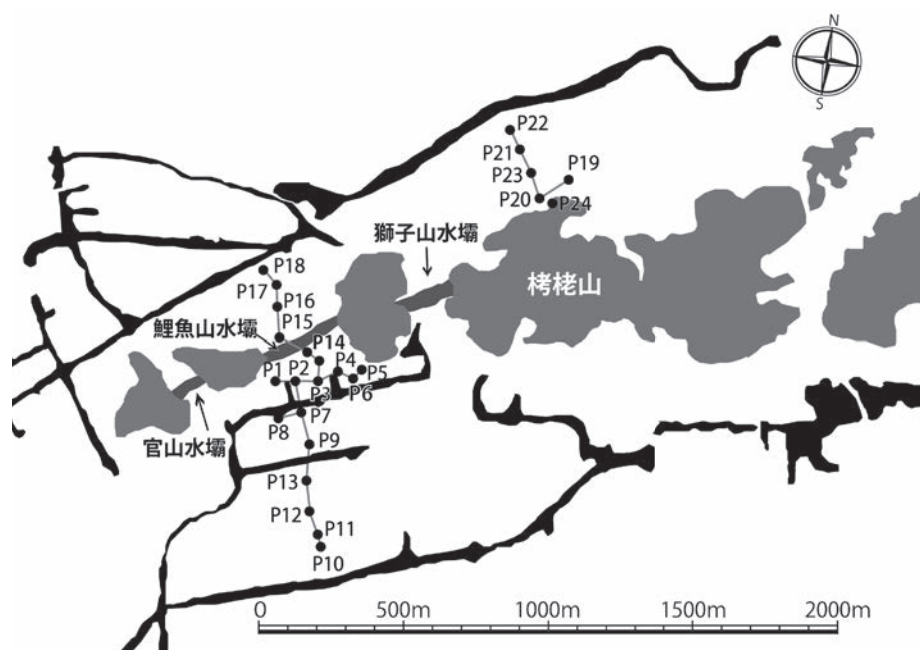


図 2 ダム遺構周辺のボーリング地点

採取土壌のプラント・オパール分析の結果、鯉魚山ダムの南 12 地点でイネが検出され、特に、6 地点（P3,7,10,11,12,14）は密度が高かった（3,000～10,000 個/g）。ダムの内側は、栲栳山の北側の地点を含め、いずれも密度は低いものの、それぞれ 2 地点からイネが検出された。また、堆積相分析からダムの北側に水田以前の氾濫堆積が存在し、築堤以前は、北側の河川氾濫が山塊間に及んでいたことが推定された。以上の結果から、ダムの南側には、少なくとも東西 200～300m、南北 600m ほどの範囲に水田が長期間安定して存在し、また、ダムの内側は、氾濫原や沼沢地・湿地の環境にあり、山際や独立丘陵の裾部に水田が作られていた可能性が高い。

以上の成果から、ダムは「北側の河川の氾濫が南側の地域へ及ぶことを防ぐ」機能を長期間にわたり発揮していたことは間違いないと考えられる。また、ダムは、その南北を流れる河川が合流して東苕溪（図 1）に接続することを防ぎ、水害発生の抑制にも寄与したと推定される。なお、貯水機能については、ダムによる貯水のイメージを推定することは難しいと判断された。

3. まとめ

5 年間の調査分析の成果から、新石器時代の稲作は、良渚文化期には、地形環境の変化に適応する水田造成技術を獲得し、この技術は水田稲作に持続性と広域な伝播力をもたらしたことを明らかにできた。また、ダムの存在は、同文化期に地形環境の適応から積極的な土地条件の改変が始まっていた可能性の証左とも言え、今後の同地域での調査研究の進展に期待したい。

奈良盆地における植生と環境および農耕の変遷

Changes in vegetation, environment and agriculture in the Nara Basin

○金原正明(奈良教育大学)、岡田憲一(奈良県立橿原考古学研究所)

金原正子(一般社団法人文化財科学研究センター)

○Masaaki KANEHARA(Nara university of education)

Okada Ken'ichi(Archaeological Institute of Kashihara Nara prefecture)

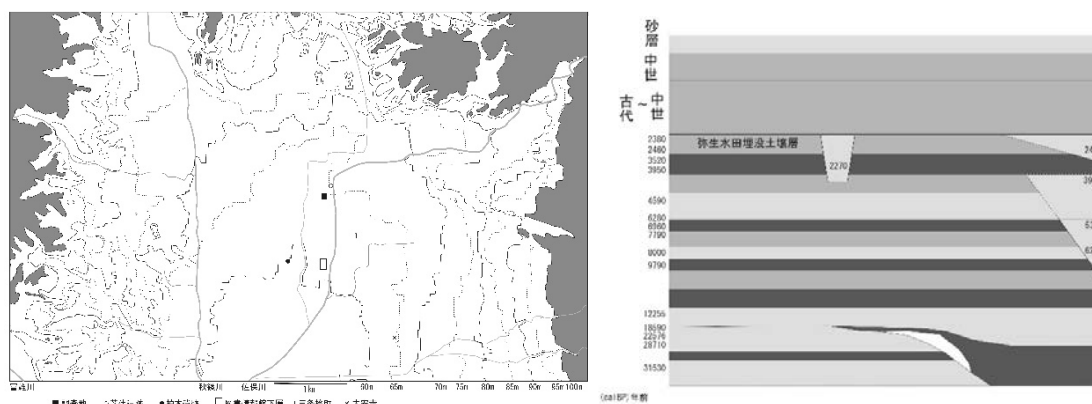
Masako KANEHARA(Cultural assets scientific research center),

1. はじめに

近年奈良盆地においては、発掘調査によって連続性もおえる農耕および環境のデータが増加してきた。また弥生初期の水田分布の立地環境も検討するに至っている。特に南部と北部では連続的に復元することができ、環境と農耕の関連も検討することが可能となってきた。南部は今までにとり上げてきているので北部を中心に述べる。

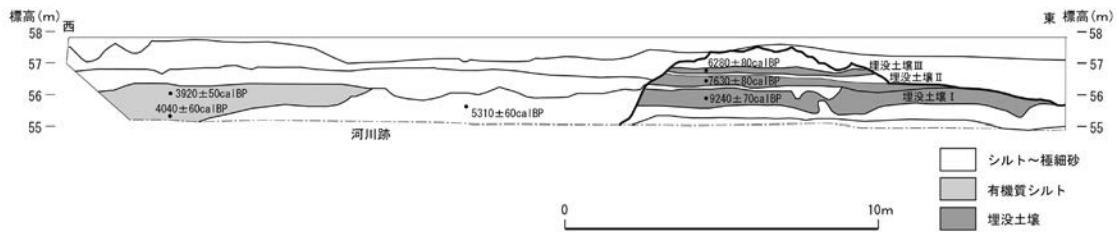
2. 立地と環境

奈良盆地北部は北東から佐保川、北西から秋篠川が流れ、扇状地を形成しつつ南行し、盆地中央部で合流する。代表的な調査地は平城京左京三条二坊十四坪（奈良県警跡地）であり南方に平城京左京三条五坊（奈良県図書情報館地）が位置する。前者においては、最下部には佐保累層が検出され、その上にA Tを含む河道堆積などが起伏をもって堆積する。放射性炭素年代測定値を加味すると、約 12000 年前まではやや緩やかな堆積速度であり、それ以降は堆積速度が速くなり、歴史時代以降はさらに速くなる。植生では 18000 年頃くらいまでは、亜寒帯針葉樹林が優勢で、12000 年頃になるとコナラ亜属の冷温帯落葉広葉樹林が分布し、それ以降、比較的水平な無機質層と有機質層が交互にみられ、氾濫と土壌化とみなされ、その上部に弥生時



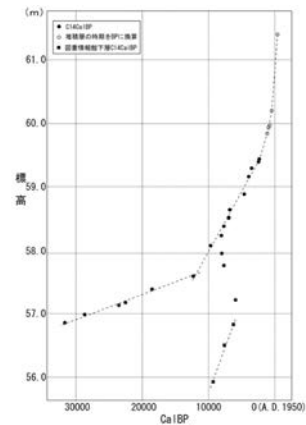
奈良盆地北部の地形と調査地

平城京左京三条二坊十四坪（奈良県警跡地）堆積の模式図

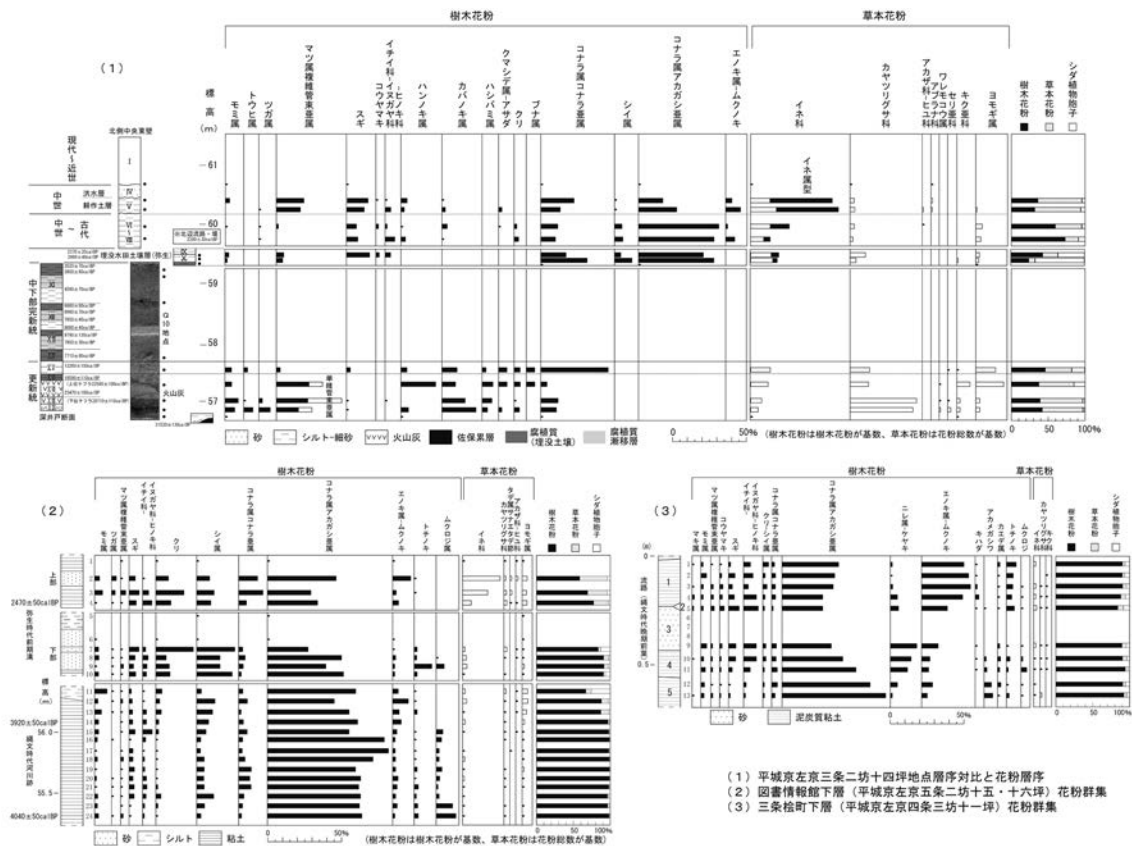


平城京左京三条五坊（奈良県図書館情報館地）堆積様相

代初期の小区画水田が営まれる。後者においても同様な無機質層と有機質層が繰り返して堆積し、約 5000 年前から約 4000 年前の河川によって幾筋も侵食される。河道堆積からはアカガシ亜属を主要素とする照葉樹林が復元される。この状況は奈良盆地南部に弥生時代初期の小区画水田が氾濫輪廻の続く緩傾斜扇状地上に営まれる様相と類似しており、乾燥と湿潤の状況、それらに対する適度な水まわりの状況などの選地によるものとみなされる。水まわりは、オーバーフローやかけ流し灌漑によって行う技術を有し、氾濫に対しては流水客土によって修復したと考えられた。



標高と年代、堆積速度



奈良盆地北部における花粉群集

材料と構造分析からみる古墳出土染織文化財の様相 -奈良県の前期古墳から後期古墳の様相-

The Study of material and structure about archeological textiles excavated from tomb located in Nara prefecture

○奥山誠義¹、北井利幸¹、勝川若奈¹、小倉頌子¹、沢田むつ代²、足立茂寛³、河崎衣美¹

1:奈良県立橿原考古学研究所、2: 東京国立博物館、3: 奈良県産業振興総合センター

○Masayoshi OKUYAMA¹, Toshiyuki KITAI¹, Wakana KATSUKAWA¹, Shoko KOKURA¹,
Mutsuyo SAWADA², Shigehiro ADACHI³, Emi KAWASAKI¹

1: Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture, 2: Tokyo National Museum, 3: Nara Prefecture
Institute of Industrial Development

1. はじめに

古墳時代は3世紀半ばから7世紀半ばまでのおよそ400年におよび、その間、多数の古墳が築造され、様々な“もの”が被葬者と共に古墳に副葬されてきた。これまでに膨大な量の出土品が確認されているが、その中で織物のような染織文化財はごく一部である。古墳時代における染織文化財は、一部の遺跡ごとの情報があるのみで、地域的な情報は明確に認識されていなかった。その結果、染織文化財については、地域的特性や時代による変化（流行）、古墳規模との関係性等は未だに解明されていない。筆者らは、奈良県内に所在する古墳から出土した染織文化財の調査を行い、染織文化財の実態把握を進めてきた。本発表では、これまでの研究から得られた研究成果を報告する。ここでは紙幅の都合から成果の一部を報告する。

2. 研究の方法

筆者らは、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（PAS または PA/FT-IR）による非破壊的な調査法による材料調査が染織文化財に有効である可能性を示した[1, 2]。本研究では、実体顕微鏡等による観察によって織物の遺存状況を観察するとともに、その構造を確認した。また、一部の資料については、三次元形状計測[3]により織物の積層状況や微細な構造を調査した。さらに材料調査が可能な資料については、PASにより繊維素材の調査をおこなった。

本稿に挙げる資料は、調査資料を代表して奈良県大和郡山市小泉大塚古墳（古墳時代前期）出土小刀（Fig.1）の研究成果を示す。

小泉大塚古墳は大和郡山市小泉に所在する



Fig.1 小泉大塚古墳（大和郡山市）出土の鉄製小刀（長さ約19cm）

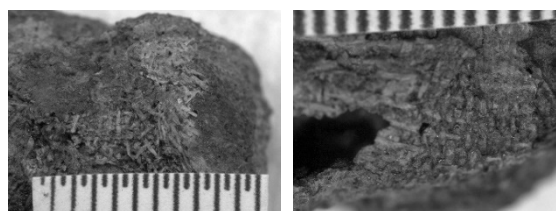


Fig.2 小刀付着織物（左：右と比べ織目の比較的に荒い平織、右：織り目の細かい平織）
目盛間隔：0.5mm

全長 88m の前方後円墳である。当古墳からは青銅鏡 3 面のほか鉄製の剣、小刀、斧などが出土している[4]。小刀には観察所見から表裏ともに織物の付着が確認でき、ほぼ全体が織物で包まれていたことが想定された。

3. 結果と考察

小刀に遺存した織物は、観察の結果、織密度が 40 本×36 本（経糸×緯糸/cm）前後の平織（Fig. 2 左）と織密度が 70 本×42 本（経糸×緯糸/cm）前後の織目の細かい平織（Fig. 2 右）の少なくとも 2 種類が確認できた。これらの織物は、部分的に複数層重なった状態が観察されたが、三次元形状計測によってその積層状態を明確に把握することができた（Fig. 3）。

さらにこの織物の材料を調査するため、脱落片を PAS 測定した。測定の結果、精練絹糸によく似た IR スペクトルを得た（Fig. 4）。顕著な吸収帯のうち 1644cm^{-1} と 1440cm^{-1} 付近の吸収帯は、従来の顕微 FT-IR や全反射法（ATR 法）による出土絹製品測定時にもしばしめられた吸収帯で、 1644cm^{-1} は Amide-I に、 1440cm^{-1} 付近は $\text{CH}_3\text{-N}$ 変角に帰属される吸収帯である。一方、 1030cm^{-1} 付近、 916cm^{-1} 、 798cm^{-1} は精練絹糸には見られない吸収帯である。出土品が鉄製であることと長年土中埋蔵環境にあったことから、鉄の腐食生成物や土壌成分が影響している可能性が考えられ、 1000cm^{-1} 付近は石英等に由来する吸収帯、 798cm^{-1} は $\alpha\text{-FeOOH}$ に由来する吸収帯である可能性が示唆された。本測定により、土壌や鉄腐食生成物の影響を受けながらも絹織物であることが確認できた。

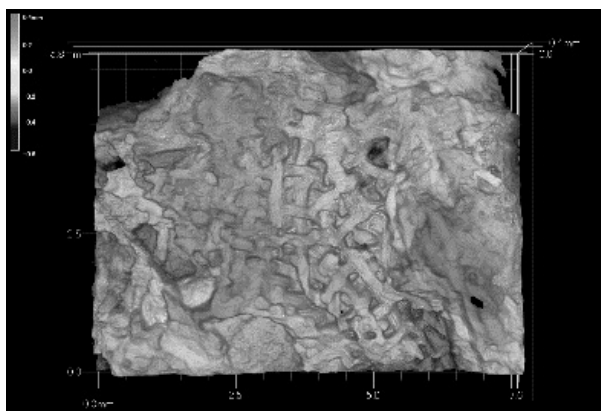


Fig.3 平織 (Fig.2 左図周辺) の三次元画像

4. まとめ

本稿では一資料の成果に過ぎないが、このような調査を地域のまとまった数の古墳で実施することによって、古墳の性格や出土品に伴う織物の様相を細かく把握できることを明らかにした。この成果を古墳時代染織文化財の製作や製品選択、利用、流通等の全容の解明につなげたい。

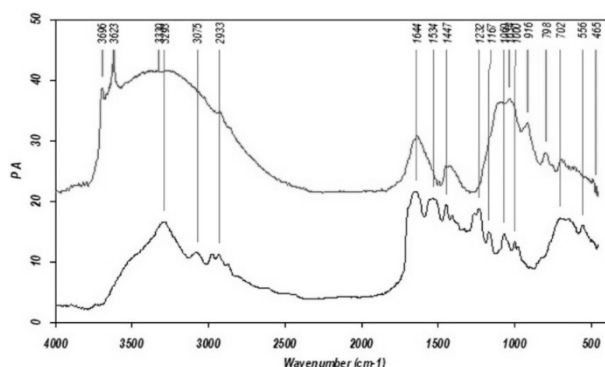


Fig.4 PAS の結果 (上:小刀織物、下:精練絹糸)

謝辞

本研究にご協力いただきました奈良県産業振興総合センター、三木靖浩氏、榎本恵美氏に感謝いたします。本研究は、科学研究費補助金 (JSPS 科研費) 17H02023 の成果の一部である。

参考文献および註

- 1 奥山誠義、河崎衣美、絹島歩、北井利幸、吉村和昭、日本文化財科学会第 35 回研究発表要旨集 2018
- 2 奥山誠義、勝川若奈、河崎衣美、北井利幸、日本文化財科学会第 36 回大会研究発表要旨集 2019
- 3 測定には奈良県産業振興総合センター設置の VR-3200 ワンショット 3D 形状測定機 (キーエンス) を用いた。
- 4 奈良県立橿原考古学研究所編『島の山古墳調査概報 付. 小泉大塚古墳調査報告』学生社 1997
- 5 奥山誠義「光音響赤外分光法 (PAS) による文化財分析の基礎的研究」『日本赤外線学会誌』29 巻 2 号 p.16 2020

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

正倉院宝物・花氈に用いられた染料の HPLC 法による化学分析 Dye analysis used for the felt rugs with floral designs stored in the Shosoin by HPLC method

○中村力也（宮内庁正倉院事務所） ○ Rikiya Nakamura (Office of the Shosoin Treasure House)

1. はじめに

正倉院は、奈良・東大寺にある宝物庫であり、聖武天皇の遺愛品や東大寺の儀式具など、8世紀の工芸品「正倉院宝物」を収蔵している。今日、正倉院宝物として花氈 37 枚が伝わる。花氈とは、染料で染めた羊毛をフェルト化して作った敷物であり、全面に花や葉といった文様が表されている（図1）。花氈に使われている羊毛のミクロ構造は、中央アジアや中国に生息する粗毛種または脂尾羊タイプ（蒙古羊、西藏羊）の毛と似ていることがわかっており¹⁾、花氈は舶来品と考えられている。文様を構成する羊毛は、青色、緑色、赤色、褐色、黄色などを呈しており、色彩豊かであるが、染料は未調査であり、材質は不明であった。本研究では、花氈に用いられた染料の材質を明らかにするため、繊維から抽出した色素を高速液体クロマトグラフ（HPLC）により分析した結果を報告する。

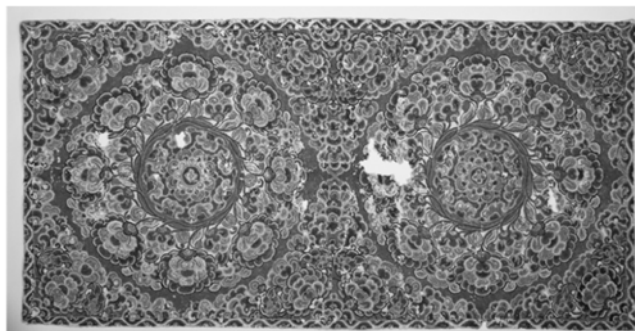


図1. 正倉院宝物・花氈(北倉150第1号)

2. 調査方法

2-1. 本研究において分析した正倉院宝物・花氈

正倉院に伝わる花氈 37 枚のうち、20 枚を分析対象とした。正倉院宝物として登録されている倉別番号は次のとおりである；北倉 150 第 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 23, 25, 31 号，中倉 202 第 74 号櫃出櫃第 1, 5, 6 号。

2-2. HPLC

褐色系の繊維については、水／アセトニトリル（3:7 v/v）にシュウ酸（0.10 mM）を添加した溶液 200 μ L を加え、30 $^{\circ}$ C で 1 時間、色素を抽出した。青色・緑色の繊維については、ジメチルスルホキシド 200 μ L を加え、80 $^{\circ}$ C で 10 分間、色素を抽出した。いずれの抽出した色素溶液もフィルターでろ過した後、ろ液を HPLC に供した。HPLC の分析条件は過去の報告と同じである²⁾。

3. 結果と考察

花氈から抽出した染料成分を HPLC 分析した結果、特定された染料は赤色染料・蘇芳（*Caesalpinia sappan*）と青色色素・インジゴを主要色素としてもつ植物であった。分析した花氈 20 枚のうち、蘇芳は 13 枚、インジゴ原料植物は 16 枚から、それぞれの染料に特有なマーカー分子を検出した。

3-1. 蘇芳が特定されたクロマトグラフ

蘇芳のマーカー分子としてはウロリチン C があり、ウロリチン C が検出された繊維の色は赤褐色、褐色、灰褐色、淡褐色といった褐色系の色を呈していた。分析した花氈に、古代の代表的な赤色染料である茜や紅花が用いられている例はなかった。図2には蘇芳を特定した代表例として、北倉 150 花氈第 1 号の唐花文を構成する赤褐色（Line A）、淡褐色（Lines B and C）の繊維について、抽出した色

素の HPLC クロマトグラフを示す。 λ_{350} のクロマトグラフ A, B において、溶出時間 12.0 分にウロリチン C 由来のピークを検出した（図 2 中のピーク 1, 2）。淡褐色の繊維からの抽出成分を λ_{450} で検出すると、11.2 分に蘇芳の赤色色素であるブラジレインに由来するピークもみられた。一方、赤褐色の繊維からの抽出物のクロマトグラフにはブラジレイン由来のピークはみられず、この繊維に含まれていたブラジレインは経年によって分解、消失したと考えられる。また、クロマトグラフ A において検出した 12.5, 13.4, 15.0 分のピークは、蘇芳の標準試料の分析では認められないピークであり、分解生成物由来か、交染された染料由来かは不明である。

3-2. インジゴ原料植物が特定されたクロマトグラフ

蓼藍 (*Persicaria tinctoria*)、大青 (*Isatis tinctoria*)、インド藍 (*Indigofera tinctoria*) といったインジゴ原料植物のマーカー分子はインジゴであり、花氈の青色や緑色を呈する繊維から検出した。図 3

には、北倉 150 花氈第 1 号の唐花文を構成する青色の繊維から抽出された色素の HPLC クロマトグラフを示す。溶出時間 30.4 分、32.1 分に検出したピークは、それぞれ青色色素・インジゴ、赤色色素・インジルビンに由来する。インジルビンは染色工程における副生成物であり、花氈の HPLC においてインジゴ原料植物と染料同定されたいずれの試料にもインジルビンが含まれていた。正倉院に伝わる花氈は舶来品であり、用いられた可能性のある原料植物としては蓼藍、大青、インド藍がある。しかし、これらのインジゴ植物を HPLC によって区別することは難しく、花氈を染めたインジゴ原料植物は不明である。

4. おわりに

正倉院に伝わる花氈を研究対象として、繊維から抽出した染料を HPLC により分析したところ、赤色染料として専ら蘇芳が用いられていることがわかった。宝物に残る蘇芳由来の成分にはウロリチン C があり、堅牢度が低い赤色色素・ブラジレインが検出された例もあった。青色・緑色の繊維の分析からは、インジゴとインジルビンを検出した。本研究で得られた知見は、今後の花氈の保存や古代の染織工芸史解明の一助となって活用されることが期待される。

参考文献

- 1) 竹之内一昭ら, 正倉院紀要, 37, 1 (2015)
- 2) 中村力也, 成瀬正和, 文化財保存修復学会第 38 回研究発表要旨集, 32 (2016)

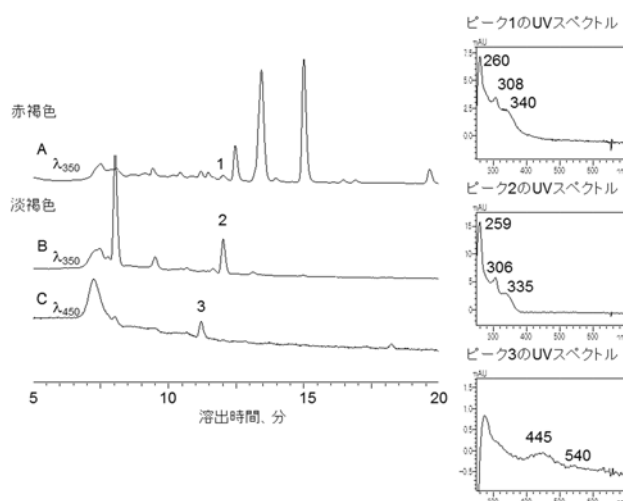


図2. 正倉院宝物・花氈(北倉150第1号)赤褐色(A)、淡褐色(B, C)の繊維から抽出された色素のクロマトグラフおよびピークNo.に由来する成分のUV-Visスペクトル

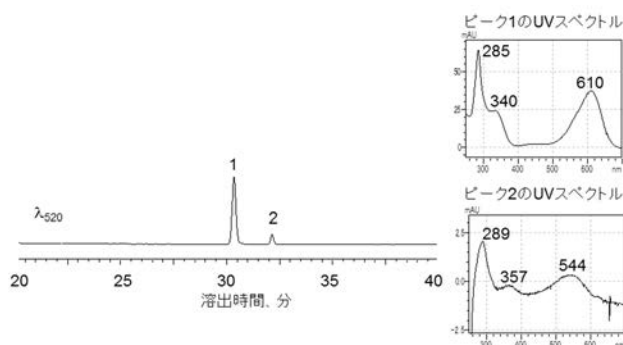


図3. 正倉院宝物・花氈(北倉150第1号)青色の繊維から抽出された色素のクロマトグラフおよびピークNo.に由来する成分のUV-Visスペクトル

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

高精細デジタル顕微鏡による科学分析が明かす浮世絵用紙の姿

Scientific Analysis of paper used for Ukiyoe by Digital microcopy

○江南和幸（龍谷大学）、岡田至弘（同左）、日比谷孟俊（実践女子大学）、佐藤悟（同左）、横井孝（同左）、澤山茂（同左）、徐小潔（東洋文庫）

○ENAMI Kazuyuki and OKADA Yoshihiro（Ryukoku University）、HIBIYA Taketoshi, SATO Satoru, YOKOI Takashi, and SAWAYAMA Shigeru (Jissen Women's University)、Xu Xiajie (Toyo Bunko)

はじめに

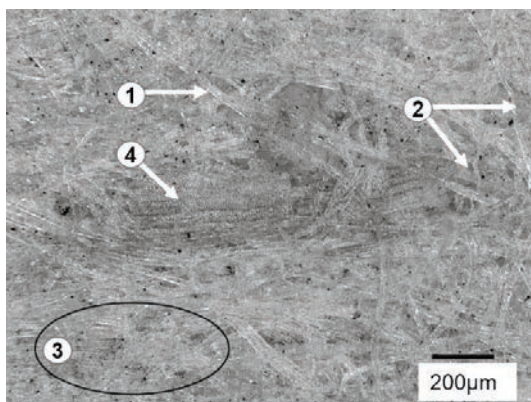
江戸時代町人に極彩色の世界を届けた総点数 10 万点にも及ぶ膨大な浮世絵は、近代化の中で低俗な文化として一度は蔑まれたが、現在では世界の至宝へとその評価は一変した。明和年代（1764~1771）鈴木春信による錦絵創始以来、江戸幕末にいたる 100 年の間に出版刊行された 10 万点（流布数およそ各 2000 部以上）の膨大な刊行を支えた 2~3 億枚にもおよぶ大量の用紙はどのような紙が充てられたのであろうか。これまで、浮世絵用紙は、「伊予政」、「奉書」がもっぱら使われ、さらにこれに、礬水（どうさ）を引いた、とされているとの説（ただし古来安物には糊入り紙も用いられたとも紹介されている）が長い間の定説 [1]である。しかしかけ蕎麦 2~3 杯分の 24~36 文の大量の浮世絵刊行に、高価な（最低 1 枚 20 文）奉書・礬水引き奉書が使われたとは考えられない。筆者たちは以下の方法により、浮世絵用紙の分析を試みた。

実験方法

今回、個人蔵の、春信絵本（断片 2 丁）、勝川春好・天明歌舞伎役者絵から、初代豊国、北斎、北寿、英泉、国貞・三代豊国、広重、国芳、幕末の 2 代広重、国周、暁斎、芳年、さらに明治初頭の 小林清親にいたる、中・後期浮世絵、一部浮世絵画家による絵入り本を含む紙を KeyenceVHX5000 顕微鏡で 3D 画像を観察、紙繊維と残存植物片とを分析した。

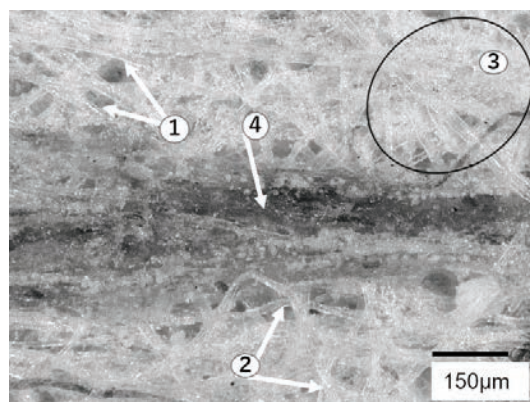
結果と考察

上記絵師たちの絵本を含む合計 50 余点にわたる用紙は、すべて「楮+三桎 or 稲わら」混合紙に、たっぷりの米粉（生澱粉粒、決して糊ではない）が入った用紙と判明した。町人たちに、日本各地の風景・風俗画、繊細な毛彫りの美人画を届けるために、粗い楮繊維の間に繊細な三桎 or 稲わら繊維を密度高く漉き込み、たっぷりの米澱粉で隙間を詰め化粧を施し、白く平滑な紙を作り上げ、それにより微細な表現を保証する大量の用紙の生産が浮世絵出版を成立させたことが分かる。筆者たちは[2]で既に、上方刊本には、楮+三桎に米粉を添加した用紙、江戸刊本の多くは、楮+稲わら繊維に米粉を添加した用紙が、それぞれ主に使われていたことを発表している。今回の浮世絵の用紙は、江戸書肆によるものではあるが、刊本と違って、時には 20 色を越す多彩な色彩を刷り上げるためには、上方刊本と同類の「米粉入り・楮+三桎混紙」の白くて目が詰まり、より丈夫な紙が、もっぱら浮世絵用紙として使われたことが分かる。以下代表的な観察例を示す。



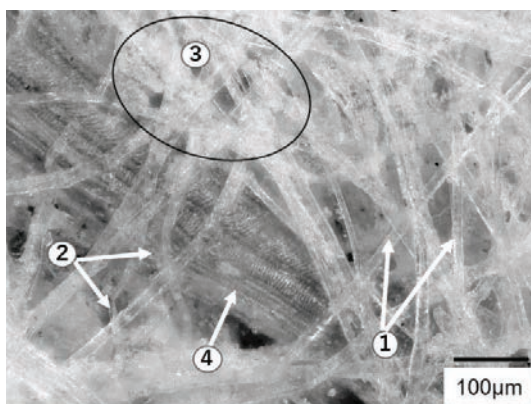
第1図 鈴木春信 絵本諸芸錦下巻九丁断片

①：楮繊維、②：三桮繊維、③米澱粉、
④：三桮小木片導管：③米粉はやや目立つ
場所を囲んである。以下3，4同じ。

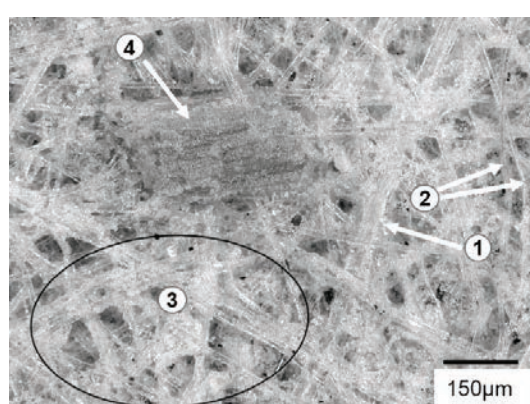


第2図 勝川春好 新狂言役者画板・中村仲蔵

①：楮繊維、②：三桮繊維、③米澱粉、
④：三桮不完全叩解靱皮



第3図 葛飾北斎 東都勝景一覽神田明神断片



第4図 一立斎広重 東都名所東叡山清水堂

[3]は復刻浮世絵に「再生紙混紙」また「米糊入奉書」を、紙漉き工房に特注して使ったとある。礬水引奉書説を崩す「卓見」ではあるが、用紙は上に示した通りであり、填料は「糊」ではなく「米粉=β澱粉」であることは明らかである。それでは、米粉添加に使われた大量の米粉の手当ては何によるのであろうか。飢饉の続く江戸時代ではあるが、酒の醸造だけは禁制をものかわ、引き続き大量の酒が造られた。[4]によれば、元禄10(1697)年に、洛中洛外の酒造高米は13萬309石であった。酒造りには、米は最低でも20～30%研ぎだすが、この研ぎだし米粉の一部が紙漉きへ回されたとすれば、浮世絵の紙に大量の米粉が添加されていたことを説明できる。

[1] 石井研堂：錦絵の彫と摺、芸艸堂 昭和4(1929)年

[2] 江南和幸、徐小潔、岡田至弘：江戸時代の絵入り本を中心とした上方刊本と江戸刊本とに使われた用紙の紙質分析、和紙文化研究、第25号 pp.2-21, 2017年

[3] 立原位貫：木版画家 立原位貫展覧会図録 山口県立萩美術館・浦上記念館、2015年

[4] 小野晃嗣：日本産業発達史の研究、昭和16(1941)年、第3版、至文堂

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

モンゴル国突厥時代の Zaamar 古墳出土人型塑像顔料の調査 A Study on Pigments of Clay Figures Excavated from Zaamar tomb Of Mongolian Turkish Period

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

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

1. はじめに

顔料は建築物や工芸品を着色する素材として古くから使用されてきた。顔料についての自然科学的調査は、近年アジアの各国でも活発に行われており、日本、韓国および中国では数多くの事例が報告されているが、モンゴル国においてはほとんど行われていなかった。このような状況の中、筆者らは以前よりモンゴル国内における歴史的な顔料の使用状況を解明すべく、遺跡より得られた出土試料について、その科学的調査を進めている。今回は7世紀にモンゴルで築造されたTuv 県 Zaamar 村に位置する Zaamar 古墳出土人型塑像の彩色顔料について炭酸鉛に注目した、調査結果を報告する。

2. 調査対象

調査対象は、Zanabazaar 仏教美術館所蔵の塑像 12 点（SB2～SB13）であり、小型人物像（7 点）と形態の推定が難しい大型人物像（5 点）である。小型の人物像は、主に赤色と白色で彩色されており、その他に褐色、黄色などが一部見られた。大型人物像は、微量だが緑色顔料の採取が出来た。彩色された赤色顔料は色調において差がみられ、数種類の赤色顔料が使用された可能性があった。なお、試料名は所蔵番号ではなく筆者らが任意につけたものである。

3. 調査方法

実体顕微鏡による表面および断面観察、走査型電子顕微鏡（SEM）とエネルギー分散型 X 線分光分析（EDX）による粒子観察と定性分析、エネルギー分散型蛍光 X 線分析（XRF）による定性分析、X 線回折分析（XRD）による結晶質物質同定を実施した。今回使用した装置は、奈良文化財研究所の実体顕微鏡（LEICA 製、S8APO）、エネルギー分散型 X 線分光装置付き走査型電子顕微鏡（日本電子製、JSM-IT100LA）、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（EDAX 製、Eagle III）、X 線回折分析装置（Rigaku 製、SmartLab）である。

4. 分析結果

白色顔料については、SB6（顔）・SB7・SB8・SB9・SB10・SB11・SB12・SB13 が XRD によって炭酸鉛（Cerussite、 PbCO_3 ）が確認され、XRF によって、Pb、Ca、Si、Fe などが検出された。SB2・SB3・SB4・SB5・SB6（衣）・SB7・SB8 は、XRD によって方解石（Calcite、 CaCO_3 ）が検出され、XRF によって、Ca、Si、Fe、K などが検出され、方解石型炭酸カルシウムであることが確認できた。

赤色試料については、SB6・SB13 が XRD によって、辰砂（Cinnabar、HgS）が検出され、XRF によって S、Hg、Ca、Fe、Si、Pb などが検出され、朱であることが確認できた。SB3・SB5・SB7・SB10・SB11・SB12 は XRD によって、色の由来となる結晶質物質は同定できなかったが、XRF によって、Fe、Ca、Si、Ti、K、Pb などが検出された結果より酸化鉄系の顔料と推定できる。唯

一 SB8 は XRD によって赤鉄鉱（Hematite、 Fe_2O_3 ）が検出され、酸化鉄が確認できた。

緑色顔料については、SB11・SB12・SB13 は XRD によって、孔雀石（Malachite、 $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ）が検出され、XRF によって、Cu、Si、Fe、Ca などが検出され、岩緑青であることが確認できた。SB7・SB8 からは XRD により緑色の由来となる結晶質物質の確認は出来なかったが、XRF により、Fe と K が顕著に検出され、かつ Cu が検出されないことと SEM で確認された平たい粒子の形状から緑土（Green Earth）と同定した。

黒色は試料全点において、XRD による確認は出来なかったが、XRF の検出元素から消去法的に炭素系物質と推定した。黄色と褐色についても XRD によって、色の由来となる結晶質物質は同定できなかったが、XRF によって、Fe、Ca、Si、Ti、K などが検出された結果より酸化鉄系の顔料と推定した。

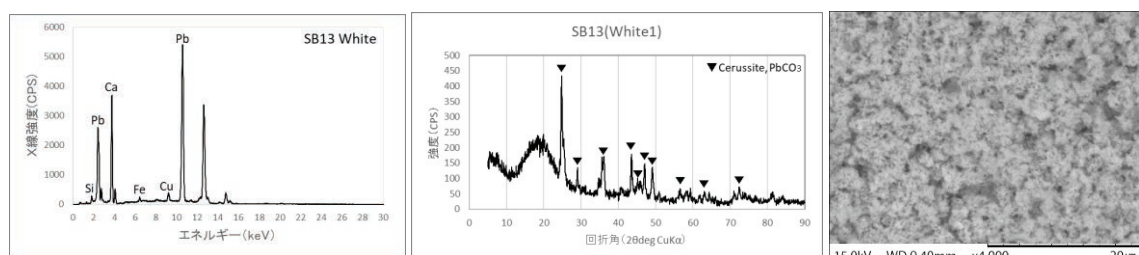


図 1. 炭酸鉛（SB13 白色）の調査結果（左）XRF スペクトル（中）XRF パターン（右）SEM 画像（4,000 倍）

5. 考察と結論

モンゴル国の 7 世紀の突厥時代古墳からは彩色された塑像が多数発見されている。Zaamar 古墳の塑像で注目すべき点は、前代まで確認出来なかった鉛系の顔料の出現である。本研究で調査した試料の中には、白色の炭酸鉛が多数同定でき、下地からも確認された。中国では秦代から炭酸鉛の使用が先行研究により明らかになっている（単暉他：1984）。その他の東アジア諸国における鉛化合物の顔料は、日本においては、7 世紀以降鉛化合物系白色顔料の使用が開始され、鉛白が確認されている一方、塩素を含む鉛化合物などが数多く確認されている（成瀬：2008）。また、韓国では 4 世紀に築造された高句麗壁画古墳である安岳 3 号墳から鉛白の使用が報告されている（安秉燦・洪鍾郁：2006）。モンゴル国出土炭酸鉛などの鉛化合物顔料において中国をはじめとする周辺国との影響を調査することが今後の課題である。

鉛化合物顔料の他に、緑色顔料としての緑土は現在までの筆者らのモンゴル国における調査で唯一、今回確認された。岩緑青と緑土の 2 種類の緑色顔料が用いられた事も本遺跡の特徴である。

多数の国と国境を接していたモンゴル国は、13 世紀に大陸を統一する帝国を建設し、東西交流の重要な役割を果たした。モンゴルの顔料の変遷に関する研究は、東アジア諸国の顔料史研究にも手掛かりを提供し、その必要性が高いと言える。

謝辞

本研究を行うにあたり U.Sarantuya 館長（Zanabazar 仏教美術博物館）、M.Oyuntulga 氏（モンゴル文化遺産センター）のご協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 単暉・趙雨亭・閻新盈 1984 「秦俑坑出土彩俑顔料鑑定」『考古学集刊』4：334-341、中国社会科学出版社
成瀬正和 2008 「奈良時代の顔料文化」『仏教芸術』298：63-82、毎日新聞社
安秉燦・洪鍾郁 2006 「高句麗古墳壁画の顔料分析」『南北共同高句麗壁画古墳保存実態調査報告書：第 1 巻調査報告』、180-218

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

アマゾナイト製玉類の出土事例と利用形態 Excavated cases and usage of Amazonite beads

○比佐陽一郎（福岡市経済観光文化局）・松園菜穂（大分市教育委員会）・吉田東明（九州歴史資料館）

Yoichiro Hisa（Fukuoka city Economy, Tourism& Culture Bureau）・Naho Matsuzono（Ooita city Board of Education）・Tomei Yoshida（Kyushu Historical Museum）

1. はじめに

人類は古くから身を飾る行為を行ってきた。日本でも既に旧石器時代には石を磨いた玉が用いられている。縄文時代以降、石製装身具は発展し、事例やバリエーションの増加が見られるが、その中で共通しているのは緑や青といった寒色系の色調が好まれるという点である。硬玉や碧玉など、全国的に知られている石材もあるが、今回取り上げるのはアマゾナイトである。

アマゾナイトは天河石とも呼ばれ、微斜長石が不純物によって青緑色に発色した単結晶鉱物である。朝鮮半島の青銅器時代に多くの出土例が知られており、日本国内の事例は渡来文化との関わりで捉えられてきた。今回、福岡県内で出土する石製玉類について保存科学的調査を行い、従来から知られていたものに加え、新たなアマゾナイトの事例を多数確認することができた。考古学的な所見や検討については既に別稿にて提示しており（吉田ほか 2020）、ここでは調査の手法や判断根拠を中心に示す。

2. 石材同定(推定)の方法

（1）詳細観察と比重測定

アマゾナイトは硬玉や碧玉などと比べると、青みが強い特徴があることから、比較的認識しやすい資料といえる。それでも 2000 年以降の先行研究でも、全国で 10 例未満とされるなど（庄田 2006）希少な存在であった。今回の福岡県を対象とした調査では、前出の報文以降更に事例が 2 例増え、35 例となっている。事例数は 3 倍以上に増加したが、これまで認知が進まなかった原因としては、他の石材や材質との誤認が大きいと考えられる。福岡市内の事例を見ても、最初に掲載される発掘調査報告書では、碧玉、ヒスイ、ガラスとして記されている。そのまま記載を鵜呑みにすると、碧玉であれば北陸や山陰、ヒスイなら北陸と関連する可能性を想起させることとなり、遺跡の評価や性格にも大きく影響する。

確かに見間違える要素が無いとはいえないが、機器分析など特殊な方法を使わずとも誤認を減らすことは可能であると考え。一つは詳細観察である。アマゾナイトは平滑面に織物の様な縦横に直行する組織が観察できる特徴がある。実態顕微鏡があればより確実であるが、ルーペでも見慣れれば識別は可能であろう。次に比重測定である。小数点以下 2 桁以上が測定可能な電子天秤があれば、通常の重量と水中での重量からみかけの比重を算出することができる。硬玉は 3.3、アマゾナイトは 2.6 程度の数値であり、少なくとも硬玉か否かの判定は十分可能である。ただし、それ以外の碧玉や滑石、クロム白雲母などは 2.5～2.8 程度の範囲に入るため、比重の数値だけでこれらを判別することは難しい。それでも、詳細観察と組み合わせることで、推定の確度は上がるものと考え。

（2）機器を用いた分析

これまで経験上多くの石製玉類を見てきたが、肉眼による同定では判別が困難なものも確かに存在する。やはり確実な同定には機器分析が欠かせない。福岡市では蛍光 X 線分析装置と X 線回折装置を有しており、これらを使用した調査を行っている。装置とその仕様については紙

幅の関係上割愛し、発表にて示す。

蛍光 X 線ではアルミニウム、珪素、カリウム、ルビジウムが明瞭なピークとして現れる。特にルビジウムは、他の石材では見られないほど強く検出される。その他は 5～12keV の部分に同定不明なピークが乱立することも特徴として挙げられる。ただし、これが装置に特有の現象なのかは調べておらず、一般化できる特徴として示すには検証を要する。

X 線回折分析による結晶構造解析では、アマゾナイトが単結晶鉱物のため、通常の分析では同定に必要なピークが得られない。自作の試料台で資料を回転させることで検出ピークを増加させることはできたが、それでも microcline (微斜長石) のデータベースと合わせるには不十分な結果であった。しかし、単結晶であることも、裏を返せばアマゾナイトであることの証左ともいえる。

3. 福岡県内のアマゾナイト

一連の調査で得られた所見の内、特徴的な内容を記す。今回確認したアマゾナイトについて、従来どおり弥生時代の渡来文化との関連で評価できる資料が一定量存在する一方、後期古墳の副葬品として出土する事例が複数認められた。形状や石材から明らかに古い時代のものと考えられる資料が後期古墳の副葬品として出土する事例は、アマゾナイトに限ったものではない。ものによっては千年を超える時間差が想定される資料もあり、伝世というよりは後世に発見、再利用したという解釈の方が自然と考えられる。アマゾナイトの場合、通有の使用時期よりも後世の発見場所が朝鮮半島だったのか日本だったのかという問題もある。古墳時代における玉の入手や使用に新たな視点を与える事例として注目される。

また、科学分析を経てアマゾナイトとされていた玉が、異なる材質であった事例も確認されている。宗像市光岡辻ノ園遺跡で出土した異形垂飾は、過去に行われた比重測定や EPMA 分析により、アマゾナイトと同定されていた (安部 1998)。しかし、アマゾナイト製とするには形状や色調に大きな違和感があったことから改めて詳細な観察や分析を行った結果、クロム白雲母であることが判明した。アマゾナイトとクロム白雲母は、硬玉に比べると比重の数値が比較的近似している点や、カリウムが特徴的な元素として検出される事、何より過去の分析当時には、まだクロム白雲母が考古資料の中では認知されていなかった事が原因と考えられる。

4. まとめ

石製玉類の石材は、希少なものの場合特に産地が限定される。生産地と消費地の関係性を考えやすい資料ということで、玉の材質は遺跡の評価にも深く関与する。そこで、入り口となる石材同定を誤ると、その後の研究成果の根幹に関わる問題となり得る。理化学機器の普及によって科学分析の裾野が広がっている一方で、それに頼り切ることの危険性も今回、示された。そのきっかけは、考古学的な視点による再検証であった。それぞれの学問分野が結果を出して終わりではなく、お互いが得られた結果を見直し検証、議論するという、学際研究の基本の重要性が再認識できたと思う。

(参考文献)

- 安部裕久 1998 「SD2 出土の勾玉について」 『光岡辻ノ園』 宗像市文化財調査報告書第 43 集 宗像市教育委員会
- 庄田慎矢 2006 「朝鮮半島の玉文化」 『季刊考古学』 第 94 号 弥生・古墳時代の玉文化 雄山閣
- 吉田東明・比佐陽一郎・松園菜穂 2020 「福岡県内出土天河石製玉類について」 『宗像市史研究』 第 3 号 新修宗像市史編集委員会

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

材料分析からみた平城京跡出土施釉瓦の特徴 Characteristics of glazed tiles excavated from Heijokyo ruins based on material analysis

○小倉頌子（奈良県立橿原考古学研究所）、奥山誠義（同左）、河崎衣美（同左）、
山田隆文（同左）、小栗明彦（同左）、大西貴夫（同左）

○Shoko KOKURA, Masayoshi OKUYAMA, Emi KAWASAKI, Takafumi YAMADA, Akihiko OGURI,
Takao ONISHI (Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture)

1. はじめに

奈良時代の施釉瓦は、主に平城京内の限られた建築物にのみ使用された特殊な瓦である。施釉瓦は平城宮内および京内の寺院、邸宅跡より多く出土しており⁽¹⁾、平城京周辺はその生産地の候補として挙げられる。平城京出土の三彩瓦磚では、一部の瓦窯出土品の同范品が報告されており、また、唐招提寺旧境内出土の三彩瓦には独自の施釉法が見られることなど、生産地が一つではない可能性が示唆される^(2,3)。しかしながら、実際に施釉瓦を生産した瓦窯は未だ明らかになっていない。施釉瓦の生産窯が明らかになれば、その供給先との関係を考察する鍵となり得る。胎土分析のような自然科学的研究はそのための一手法であると考ええる。

自然科学的な手法を用いた施釉瓦磚の研究例は近年増加しつつある^(4 ほか)。今回、平城京内よりまとまった数の施釉瓦が出土したことから、本研究ではデータの蓄積を目的の一つとして胎土分析を行い、その化学特性を明らかにするとともに、外観的特徴との関連性について検討を行った。

2. 分析試料

分析に供した試料は、平城京左京三条二坊十四坪（以下、左京 3-2-14）より出土した施釉瓦 47 点である⁽⁵⁾。完形品はなく全て破片であり、多くが細片化しているため接合関係は不明である。試料の多くは軟質で灰白色または白色（36 点）、淡灰褐色（6 点）であるが、淡灰色で比較的硬質なもの（5 点）も存在する。胎土は殆どが緻密で砂粒などの混入は見られないが、一部では径 2 mm 以上の鉍物粒を含む。全試料数の約 3 分の 1 では、試料表面に鉄錆によると思われる黄褐色の汚染あるいは煤のような黒ずみが見られる。釉薬は、確認できる限りでは殆どが緑釉と透明釉の二彩であり、一部、褐釉も含めた三彩や緑釉のみの単彩がある。釉薬の残存状態が良好な試料は全体の半数未満で、剥落や変色、銀化しているものが多い。

なお、この調査では施釉瓦とともに奈良三彩の盤の破片が 1 点出土したため、併せて胎土分析を実施した。胎土は精緻で灰白色、焼成はやや軟質である。釉薬は、部分的に剥落が見られるものの状態は良好で、緑色・黄色・透明の 3 種類が確認できる。

3. 分析方法

蛍光 X 線分析法を用いた非破壊的手法により胎土分析を行った。分析に用いた装置は、日本電子製のエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 JSX-3100R II である。本装置の X 線管球はロジウム(Rh)である。管電圧 30 kV、照射径 3 mm とし、真空雰囲気下で 1 測定点あたり 300 秒間測定した（管電流は計数率が最適となるよう自動調整）。各元素の濃度はファンダメンタル・パラメータ (FP) 法により定量し、1 試料あたり 3~5 ヶ所を測定した平均値を定量値とした。分析にあたっては、施釉のない平滑な露胎面を分析面とした。また表面分析であるため、実体顕微鏡等により胎土を観察し、粗粒の鉍物粒を可能な限り避けて分析を行った。

4. 結果と考察

元素濃度を分布図（図 1a~c）上で比較すると、全体としては広範囲にわたって分布するものの、胎土の外観的特徴ごとに分布域がまとまる可能性があることが分かった。淡灰色（図 1◆）の試料は灰白色（図 1●）の試料と比較して、Rb および Sr が多く含まれ（図 1a）、K、Ca 濃度

もやや高い傾向が認められる（図 1b）。また、淡灰色、淡灰褐色（図 1□）の試料は Al 濃度が 20%前後と灰白色の試料よりやや低い特徴がある（図 1c）。このことから、原料粘土の採取地あるいは焼成技術などの製作工程が単一ではなかった可能性が示唆されるが、現段階では判然とせず、今後慎重に検討する必要がある。なお、平城京左京三条三坊八坪（左京 3-3-8）の施釉瓦（灰白色、図 1+）は、測定点数が少ないものの、左京 3-2-14 の施釉瓦と類似した化学特性を示した。

次に、過去に胎土分析を実施した豊浦寺跡および平城京左京五条二坊十六坪（以下、左京 5-2-16）の三彩陶器と⁶⁾、今回分析した三彩盤の胎土を比較した。その結果、三彩盤（図 2△）は豊浦寺跡（図 2×）の陶器片に近い化学特性であることが分かった（図 2a～c）。一方で、左京 5-2-16（図 2▲）の三彩陶器片は Rb、Sr、Zr といった微量元素の濃度が他とは大きく異なる（図 2a, c）。そのため、左京 5-2-16 の三彩陶器片は豊浦寺跡の資料群とは胎土の種類が異なる可能性が考えられる。ただし、左京 5-2-16 の資料は 1 点のみであり、豊浦寺跡資料群との間に他遺跡の資料群が分布する可能性もあるため、現段階での判断は困難である。また施釉瓦と比較すると、一部で分布域の重複があるものの、陶器類と瓦では胎土組成に差異があることが分かった。

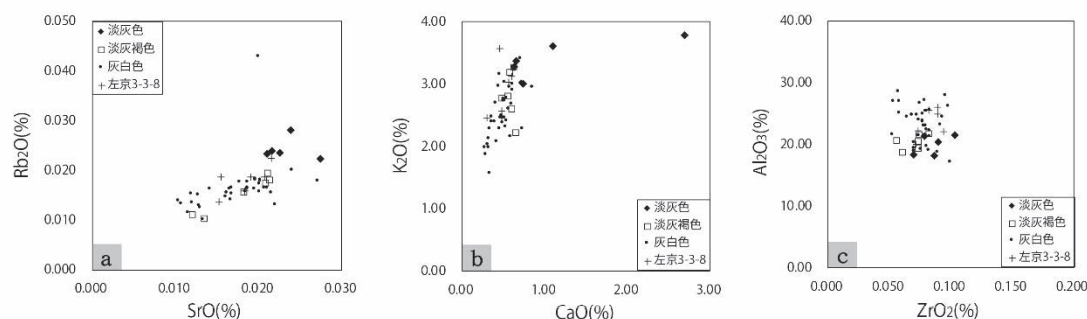


図 1. 平城京跡出土施釉瓦胎土の元素分布図

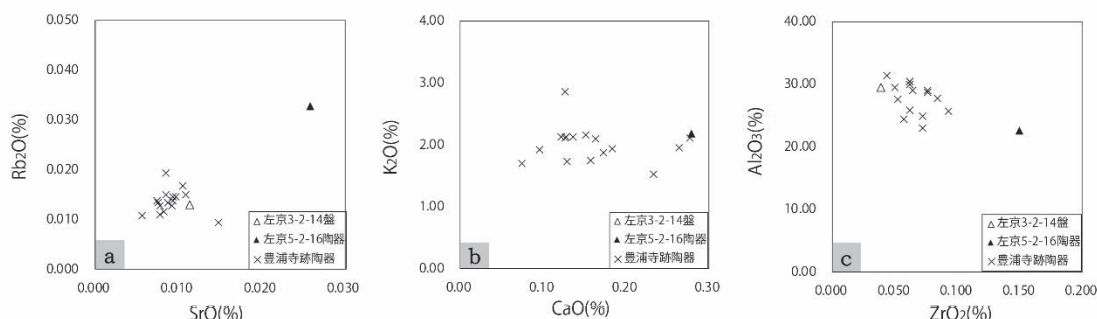


図 2. 奈良県内遺跡出土施釉陶器胎土の元素分布図

5. まとめ

平城京跡より出土した施釉瓦について、胎土の蛍光 X 線分析を実施した。今回分析した施釉瓦は国内の出土数のうちの一部であるため、全体としての胎土の化学特性を考察するのは現時点では困難である。しかしながら、胎土の外観と元素組成の差異に整合性が認められることから、少なくとも原料粘土が 1 種類ではない可能性が示唆される。今後は胎土の元素組成以外の視点も含め、慎重に検討を重ねる必要があると考えられる。

【参考・引用文献】

- (1)八賀晋「彩釉瓦埴について」『日本の三彩と緑釉』 五島美術館 1974
- (2)森郁夫「奈良時代の施釉瓦埴」『月刊考古学ジャーナル』196号 ニュー・サイエンス社 1981
- (3)岡田雅彦編「史跡唐招提寺旧境内」『奈良県文化財調査報告書』第177集 奈良県立橿原考古学研究所 2017
- (4)今井晃樹・神野恵・降幡順子「平城宮出土の奈良三彩陶器と施釉瓦埴」『奈良文化財研究所紀要 2017』 奈良文化財研究所 2017
- (5)山田隆文・岡田憲一編「平城京左京三条二坊十四坪」『奈良県文化財調査報告書』第186集 奈良県立橿原考古学研究所 2020
- (6)小倉頌子・奥山誠義・河崎衣美・大西貴夫・杉山真由美「奈良県内の遺跡より出土した三彩資料の胎土分析」『日本文化財科学会第36回大会研究発表要旨集』 日本文化財科学会 2019

千石コレクションの古代中国銅鏡の科学研究（2）

Scientific study of ancient Chinese bronze mirrors of Sengoku collection 2

難波洋三、(奈良文化財研究所)、種定淳介（兵庫県立考古博物館）

○渡邊緩子、半田章太郎、隅英彦（日鉄テクノロジー株式会社）

Yozo Nanba (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

Junsuke Tanesada (Hyogo prefectural museum)

○Hiroko Watanabe、Syoutarou Handa、Hidehiko Sumi (Nippon Steel Technology Co.,Ltd.)

1. はじめに

夏から宋の時代までの広い年代幅の資料を網羅した千石コレクションの古代中国鏡は、歴史資料としても美術品としても非常に高い価値を有しており、今後、銅鏡研究を飛躍的に発展させる可能性を秘めている。昨年度は、この千石コレクションの銅鏡について実施した、迅速・簡便に測定可能な蛍光X線分析のFP法による定量値と精密測定である誘導結合プラズマ発光分光分析（ICP）法の定量値を比較し、蛍光X線分析の有効性を検討した。今年度は、銅鏡の真贋の検討と蛍光X線分析の有効性の検討を行ったので、以下にその結果を報告する。

2. 資料

千石コレクションの研究調査委員の間で真贋に関して意見の一致を見なかった銅鏡のうち、『千石コレクション—鏡鑑編—』7・8・19（第1～3図）の3面について蛍光X線分析とICP分析を実施し、これらの銅鏡の真贋の検討をおこなうとともに、定量分析値の比較して両分析法の精度を確認・検討した。



第1図 図録7 渦紋鏡
径 7.5 cm



第2図 図録8 渦紋鏡
径 9.2 cm



第3図 図録19 龍紋透彫鏡
径 8.3 cm

3. 調査方法

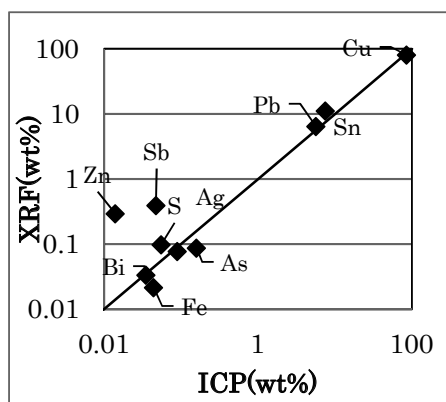
蛍光 X 線分析装置は、堀場製作所製 XGT-9000 型を用いた。X 線管は、電圧 50kV、Rh ターゲットである。測定時間は、300 秒あるいは 100 秒である。大気雰囲気下で測定を行うため、検出される元素はナトリウム (Na) からウラン (U) までである。定量値の算出は、FP 法にて行った。鏡面をマイクログラインダーで表面を研磨し、金属光沢が確認された場所の XRF 測定を行った。引き続き金属光沢部を少量削り取り、その金属粉末を ICP 分析に供した。

ICP 分析装置は、サーモフィッシャーサイエンス社製 iCAP7400 を使用した。硝酸と塩酸の混酸にて溶解し、検量線は NIST 製標準試薬を用いた。

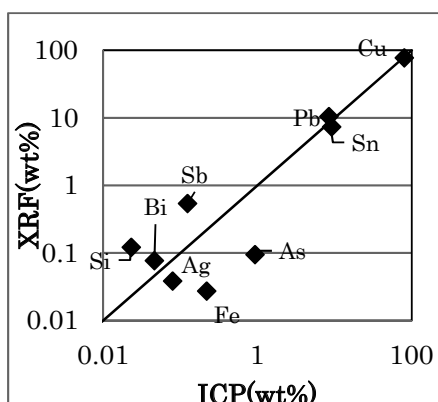
4. 結果と考察

図録 7・8・19 の銅鏡の ICP 分析結果を横軸に、XRF 分析結果を縦軸にプロットした図を、第 4～6 図として示した。主元素から微量元素までの比較を容易にするため、対数グラフとした。各図には対角線を描き入れている。この対角線上にプロットされるということは、ICP と XRF の定量値が合致していることを示し、対角線から離れるほど、定量結果に開きがあることになる。このことから、青銅の主元素であり Cu、Sn、Pb の比率は XRF 分析でほぼ把握できる可能性が示唆された。次に、ICP 分析で濃度が 0.01～1 % の領域の元素については、銀 (Ag) が比較的良好一致を示しているものの、それ以外の元素については試料により異なる挙動を示していることから、XRF 法による定量値の有効性は低いものと考えられた。

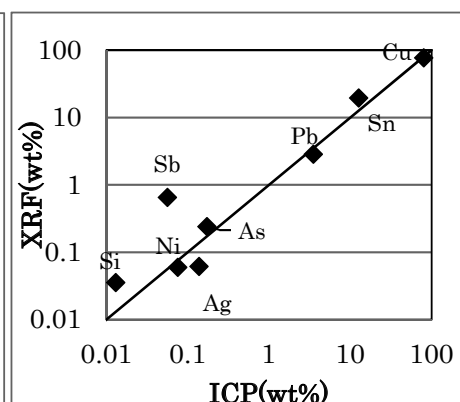
いずれの鏡についても、主元素である銅 (Cu)、錫 (Sn)、鉛 (Pb) 以外に多種の微量元素を含んでいることを確認できた。このことから、これらの銅鏡の製作は、近代的な精錬技術によって製作された原料金属が普遍的に使用されるようになる以前の製品と考えられる。今回紹介する銅鏡とは別に分析した近年の中国製の贗作銅鏡では、これらの微量元素はほぼ検出されず、純度の高い銅、錫、鉛を使用している。よって、これらの銅鏡は、少なくとも近年の贗作ではなく、真作の可能性が高いと判断した。



第 4 図 図録 7 銅鏡の ICP と XRF の相関



第 5 図 図録 8 銅鏡の ICP と XRF の相関



第 6 図 図録 19 銅鏡の ICP と XRF の相関

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

昌寧校洞及び松峴洞古墳群出土轡の製作技法研究

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

○韓偶琳（国立加耶文化財研究所）、朴芝然（同左）

○Woorim Han、 Jiyeon Park (Gaya National Research Institute of Cultural Heritage)

I. 序論

現在、加耶古墳群は世界遺産搭載候補であり、中でも昌寧校洞及び松峴洞古墳群(史跡第514号)は非火加耶^{ビファカヤ}の最高支配者の墓域で4つの群、250基の古墳が確認されている。加耶や新羅の接境地域であるため独特で多様な古墳文化が確認される。国立加耶文化財研究所では、2004年から現在に至るまで発掘調査を行っており、各種の馬具類や金銅冠、銀製帶金具、楠木棺、殉葬された人骨(ソンヒョンイ)など重要遺物が出土された。本研究では、昌寧校洞及び松峴洞古墳群から出土された馬具類である轡の金属学的製作技法を確認したいと思う。

II. 本論

1. 研究対象及び方法

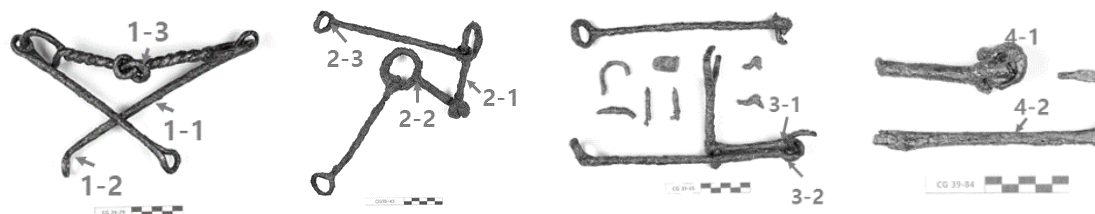


Figure 1. 昌寧校洞及び松峴洞古墳群 39 号墳及び周辺墳出土轡の分析位置

昌寧校洞及び松峴洞古墳群 39・63 号墳から現在まで出土された轡は総 4 つが確認できた。微細組織の観察及び成分分析のため、少量の試片を採取し、既存の形態に修復を行った。採取した試料の位置や遺物の形態は Figure.1 である。

採取した試料はエポキシ樹脂にマウンティングを行い、grinding、polishing を順に行った。研磨が終わった試料は 5%のナイトール溶液(HNO₃+EthylAlcohol)でエッチングした。微細組織の観察は光学顕微鏡(Carl Zeiss、AxioTech 100Hd、Germany)、走査電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope、JSM-5910LV、Jeol、Japan)で観察をした。成分分析にはエネルギー分散型分析機(Energy Dispersive Spectroscopy、Oxford 7324、Oxford、England)を用いて 10~20 kV、30~60 Probe Current の条件で定性分析を行った。

2. 研究結果

Table 1. 昌寧校洞及び松峴洞古墳群出土轡の微細組織の分析結果

連番	位置	鉄棒形態 (個体)	微細組織		加工方法
			金属部	介在物	
1-1	引手	単一(1)	P	w、 f、 g	成形、浸炭
1-2	引手	連結部分(2)	F、P、W、C	w、 f	成形、浸炭
1-3	嚙先	くの字(2)	F	w、 f、 g	成形
2-1	嚙	単一(1)	F、P	g	成形、浸炭
2-2	遊環	連結部分(1)	P、W	w、 f、 g	成形、浸炭
2-3	蛇口	連結部分(1)	F、P、W	w、 f	成形
3-1	嚙	連結部分(1)	F、P、W	w、 f、 g	成形
3-2	遊環	原形(1)	F、P、W	w、 f、 g	成形、浸炭
4-1	嚙先	原形(1)	F、P、W	f、 g	成形、浸炭
4-2	引手	単一(1)	F、P、W	f、 w、 g	成形、浸炭

※ 微細組織：(F) Ferrite、(P) Pearlite、(W) widmanstätten、(C) Cementite

/ 介在物：(w) wüstite (f) fayalite、(g) glassy slag

Ⅲ. 考察・結論

- 昌寧校洞及び松峴洞古墳群出土轡は非金属介在物内にwüstiteが確認できることから固体低温還元法で塊鉄(iron bloom)を生産した後、鍛造して鉄器を製作したことが確認できた。
- 1-3番を除外した他はすべてpearliteやwidmanstätten組織が確認できることから過熱浸炭後、ゆっくり冷却を行っていたと推定される。
- 1-3番は二つの鉄棒を‘くの字’に据じって製作した 形態の轡であり、据じる作業には柔軟性が必要であるため、炭素含有の低い素材を使用していたと考えられる。
- 非金属介在物のEDS分析結果、還元されないwüstite、fayalite、glassy slagが確認でき、製鉄原料は鉄鉱石と考えられ、これは人為的なslag formerを添加していないと推定できる。
- 本研究は昌寧校洞及び松峴洞古墳群出土轡の一部を採取し分析したもので、全体的な轡の製鉄及び製作技法は断定できない。今後、加耶地域から発掘される遺物の体系的なデータ構築は加耶連盟の関係性だけではなく、韓国や日本の国際的交流研究にも役立てると思われる。

Ⅳ. 参考文献

- 金斗哲、韓国古代馬具の研究、東義大学校、2000
- 金壽起、金属組織や非金属介在物の分析を用いた韓国古代鉄器の製造方法や温度研究、漢陽大学校、2012
- Jeahee Lee、公山城出土鉄鏃の金属学的研究、公州大学校、2016

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

負ミュオンを用いた非破壊による丁銀の深さ方向分析

Non-destructive depth profiling of Chogin silver coins in
Edo period with negative muon

○齋藤努（国立歴史民俗博物館）、竹下聡史（高エネ研）、反保元伸（同左）、土居内翔伍（同左）、橋本亜紀子（同左）、梅垣いづみ（豊田中研）、二宮和彦（阪大）、三宅康博（高エネ研）
○SAITO Tsutomu (Nat. Mus. Jp. Hist.), TAKESHITA Satoshi, TAMPO Motonobu, DOIUCHI Shogo, HASHIMOTO Akiko (KEK), UMEGAKI Izumi (Toyota Cent. Labs), NINOMIYA Kazuhiko (Osaka Univ.), MIYAKE Yasuhiro (KEK)

1. はじめに

江戸時代には、いわゆる三貨制度として金貨、銀貨、銅銭が発行された。金銀貨幣は純粋な Au または Ag ではなく、金貨（小判、二分金など）は Au・Ag 合金で、銀貨（丁銀、豆板銀など）は Ag・Cu 合金で作られており、各時期の経済状況や政策に応じて、合金の比率や発行高が異なっていた。

これまでの研究で、小判は、色付薬による表面処理を施すことによって、表層部から化学的に Ag を溶かして除去し、Au を残す技法が取られていたことが知られている（齋藤、2014 など）。銀貨の場合も、慶長丁銀（1601 年）は Ag が 80%含まれているが、宝永四ツ宝丁銀（1711 年）は 20%、安政丁銀（1859 年）は 13%と低く、本来は銀色にならないはずである。これに対し、早川ら（2001a、2001b）は丁銀と豆板銀のオージェ電子分光分析や資料断面の元素濃度分布分析を行い、内部よりも表面付近の方が、Ag 濃度が高くなる傾向があると報告している。

齋藤（2014）によれば、小判は、文政小判からあとの時期になると、色付が深くまで及ぶようになる。本研究では、その前後に該当する時期の丁銀 3 点（元文丁銀、文政丁銀、天保丁銀；図 1 参照）に対し、負ミュオン特性 X 線を使った完全非破壊分析によって、深さ方向における化学組成の変化を調べた。

2. 分析方法

茨城県東海村にある J-PARC（大強度陽子加速器施設：Japan Proton Accelerator Research Complex）の MUSE（ミュオン科学実験施設：MUon Science Establishment）に設置された D2 ビームラインで、放出された負ミュオンビームを丁銀に照射し、発生した特性 X 線を分析した。図

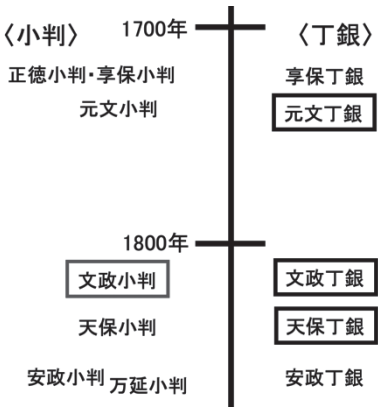


図 1 18-19 世紀における小判と丁銀の発行時期の関係

2が分析状況である。中央の黒いナマコ形資料が丁銀で、十字線はビーム照射位置の中心をあらわし、資料の反対側から負ミュオンが照射される。

これまで歴史資料分析には蛍光X線分析法がよく使われてきたが、表層部の化学組成しかわからなかった。一方、負ミュオンは電子の207倍の質量をもつ素粒子なので、資料への入射時に発生するミュオン特性X線は電子特性X線の207倍のエネルギーをもつ。したがって、負ミュオン運動量を制御することで、資料中の任意の深さにおける組成分析が可能であり、青銅資料の錆層の下部にある金属部分や、表面処理した資料の深さ方向分析ができる。

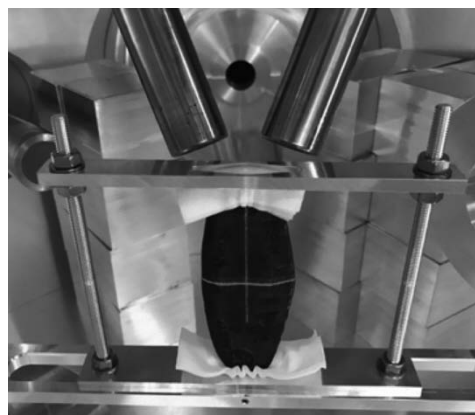


図2 負ミュオンによる丁銀の分析状況

3. 分析結果

図3に分析結果を示す。いずれの資料も、表層部でAg濃度が高く、内部ほど低くなっている、所定のAg濃度へ収斂していくことがわかる。このことから、小判と同様、丁銀にも色付が施されていたことが確認されたといつてよい。

また、所定のAg濃度が、元文丁銀、文政丁銀、天保丁銀の順に低くなっていくのに対し、表層部のAg濃度は逆の傾向を示し、これらの順に高くなっている。したがって、この100年ほどの期間にかけて、色付技術に何らかの進歩があったとみられる。

元文丁銀については、『銀位并銀吹方手続書』（勝海舟編、1887）に、「鉄網へ乗せ火にかけ、

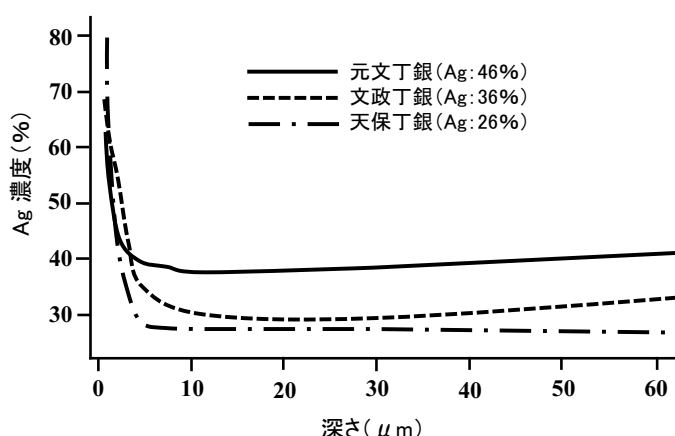


図3 負ミュオンによる丁銀の深さ方向分析結果

なまし、箆へ入れ梅酢へ漬け」「右梅酢へ漬け候は、銀の色を引き出し候ために候事」あるいは「梅酢を涌し置き候て…半時ほど浸け置き」「銀の色甚だ引出し宜しく相成り候事」とあり、梅酢で表層から銅のみを溶かして除く色付が施されていたと考えられる。しかし、文政丁銀、天保丁銀に対して、これと異なる色付技法が施されていたかどうかは現在のところ不明であり、文献資料の調査や、Ag・Cu合金に対する再現実験などが必要である。

本研究は、機構間連携・異分野間連携研究プロジェクト「負ミュオンによる歴史資料の非破壊内部元素組成」の一貫として実施された。きわめて良好な状態の資料の入手にご協力いただいた（株）銀座コインに感謝いたします。

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

鑄造シミュレーションによる江戸大仏鑄造技術の解明

Study on casting technology of Edo Daibutsu by casting simulation

○長柄毅一（富山大学）、三船温尚（同左）、杉本和江（古美術修理すぎもと）

○Takekazu NAGAE, Haruhisa MIFUNE (University of Toyama)

Kazue SUGIMOTO (The Conservation and Restoration, Sugimoto)

1. はじめに

1719年に建立された千葉縣市川市の法華経寺に安置されている大型金銅仏は、一鑄ではなく、それぞれ鑄造された複数のパーツを鑄接することにより、製作されたことが報告されている¹⁾。個々のパーツの表面観察により、熔湯を流し込んだ堰の痕跡とみられる位置は特定されている。表面の美観を損ねないパーツ端部に堰を設けるのが普通と考えられるが、この大仏においては、構成する多くのパーツ表面中央付近に堰の痕跡があり、そのような鑄造方案が用いられた理由は不明であった。そこで、本研究においては、3D スキャンによって得たパーツのポリゴンデータを用いて、鑄造シミュレーションを行った。湯流れの状況や凝固解析によって、江戸時代における鑄造方案の妥当性の検証を行った。

2. 解析対象と方法

解析したのは、図1に示す蓮華座を構成するパーツのひとつである。蓮華座は上段請花8枚、下段反花8枚の大蓮弁を、分鑄で形成される小蓮弁によって繋ぎ合わされて造られた。今回は上段請花のパーツを対象とした。図1(b)にポリゴン図を示す。請花には仏像を載せる天板も一体で設計されている。大蓮弁の各パーツは、図に示す蓮弁中央に堰の痕跡が認められることから、この位置に堰を設定し、湯流れおよび凝固シミュレーションを行った。使用したソフトウェアはJSCAST ver.16 である。解析に必要な素材の成分は、像から分析用試料をサンプリングし、ICP分析によって求めた。蓮華座は錫を3%、砒素を5%、鉛を10%近く含む鉛入り青銅合金であり、これに近い組成のCAC603を素材として設定した。鑄込み重量は170.6 kg、湯口断面積を31.6 cm²、鑄込み時間は16.7 secとした。鑄物および砂型の特性は表1に示す。

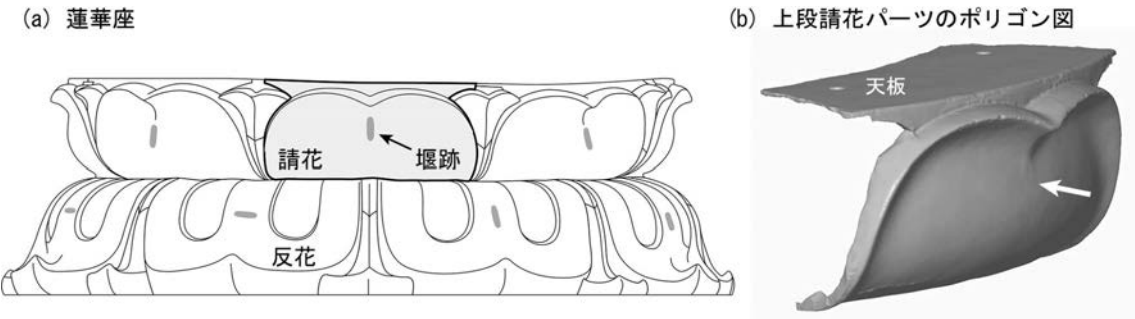


図1 蓮華座の構成と請花のポリゴン図 (b)における白矢印は堰跡位置を示す。

3. 結果

図2に湯流れ解析の結果の一例を示す。熔湯はまず請花部に充填されたのち(c)、天板の部分に流れていく(d)。この例では、鑄型通気度を考慮していないため、請花にはすべて熔湯が充填されたが(f)、実際には鑄型通気度が生型よりも小さい焼き型を使用したと考えられ、この場合、鑄型通気度を考慮して解析する必要がある。このほか、鑄型温度、注湯角度、堰位置等の諸条件を変えて解析を実施した。凝固解析によって、請花本体には凝固欠陥が発生しにくい鑄造方案が用いられたことを明らかにでき、江戸時代の工程が合理的であることを示す結果を得た。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP17H02014 の助成を受けたものです。

参考文献

1) 三船温尚、杉本和江、三宮千佳、飯塚義之、長柄毅一「江戸中期造像の千葉県市川市法華経時中山大仏の調査概要」アジア鑄造技術史学会誌 FUSUS Vol.11 2019 pp.63-69

表1 解析に使用した鑄物素材と砂型の物性値

鑄物 (CAC603)				砂型(生型)	
・ 初期温度	1200℃	・ 比熱	0.0898 cal/(g・℃)	・ 初期温度	20℃
・ 液相温度	930℃	・ 熱伝導率	0.112 cal/cm・s・℃	・ 密度	1.5 g/cm ³
・ 固相温度	762℃	・ 凝固潜熱	51 cal/g	・ 比熱	0.2cal/(g・℃)
・ 密度	8.95 g/cm ³	・ 動粘性係数	0.01 cm ² /s	・ 熱伝導率	0.002cal/cm・s・℃

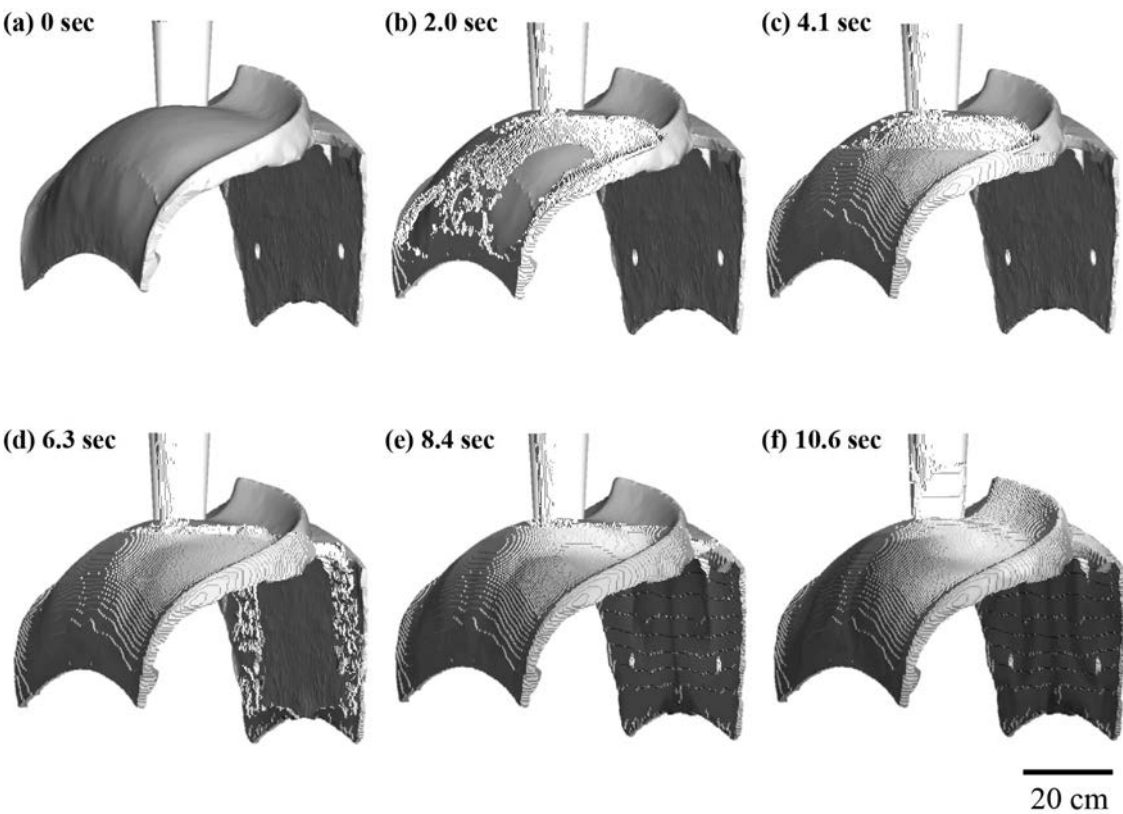


図2 請花を含むパーツへの注湯時における湯流れ状況

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

マイクロサンプリング法と主成分分析による古代金属器の
組成的特徴に応じた分類

Classification of ancient metal artifacts depending on compositional
characteristics by a micro-sampling method and principal
component analysis

○葛巻 徹（東海大学）、小山慶太（同左）、河野 潤（同左）、Matias MEHOFFER（ウィーン大
学）、Michael DONEUS（ウィーン大学、LBI Arch Pro.）、Wolfgang NEUBAUER（同左）

○Toru KUZUMAKI, Keita KOYAMA, Jun KAWANO (Tokai University),
Matias MEHOFFER (University of Vienna), Michael DONEUS and
Wolfgang NEUBAUER ((University of Vienna, LBI Arch Pro)

【緒言】 我々は古代金属器製作における技術革新と製作技術の展開を明らかにすることを目的として、金属器の元素分析とその統計解析によるアプローチを試みている。古代金属器は表面状態や組織的均質性が一定ではない。そのため、電子線やX線分光法による表面非破壊分析のみで金属器構成元素の定量分析データの確からしさを担保することは難しい。前回、表面から深さ方向に極微量の試料採取が可能なマイクロサンプリング技術が金属器の主要構成元素の解析に有効であることを示した。そこで本研究では、新石器時代後期から青銅器時代後期に至る81点の金属器を対象として、マイクロサンプリング技術で採取した極微量試料から得られた元素分析データの統計解析から組成の特徴量を見出し、これによって各時代の金属器の組成的特徴に応じた分類を試みることを目的とした。

【実験方法】 オーストリア・ウィーン大学所蔵の金属器(新石器時代後期：15点、青銅器時代初期：16点、青銅器時代中期：12点、青銅器時代後期：38点)計81点を試料とし、マイクロサンプリング装置(APSS-3BU-TU、QP-3RH-ZS、(株)マイクロサポート)で、各金属器の任意3箇所以上について、試料表面から5～30 μmの厚さで第1～3層に分けて試料採取を行った。採取した試料の定量分析は走査型電子顕微鏡(JSM-7100F、日本電子(株))付設のエネルギー分散型分光分析(JED-2300EX-230BU, JEOL)で行い、各採取試料の任意の3点の点分析結果の平均値を組成とした。加速電圧は15 keVである。得られた分析データを基に主成分分析を行った。

【実験結果及び考察】 表1に主成分分析に用いた4つの時代ごとの金属器代表例の平均組成を示した。これらのデータを基に、各時代の主成分分析結果を図1～4に示した。図1は新石器時代後期

表1 金属器代表例の平均組成データ

整理番号	Al	Si	P	S	Cl	Ca	Cu	As	Ag	Pb	Sn
6558	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	99.66	0.15	0.00	0.00	0.00
6559	0.00	0.14	0.00	0.12	0.00	0.00	97.44	2.30	0.00	0.00	0.00
6560	0.00	0.34	0.00	7.18	0.00	0.00	91.82	0.66	0.00	0.00	0.00
9752	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	87.01	0.00	0.00	0.00	12.44
9754	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.62	0.00	0.00	0.00	10.38
9755	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	89.65	0.40	0.00	0.00	9.72
24301	0.00	3.20	1.85	6.12	0.98	0.26	32.98	0.84	18.27	0.00	35.51
33666	0.00	0.18	0.00	0.63	0.00	0.00	90.65	0.00	0.00	0.00	8.54
33665	0.00	0.17	0.28	0.00	0.00	0.00	84.76	0.00	0.00	0.00	14.80
9606	3.12	6.45	0.00	1.25	1.53	0.96	62.90	0.00	0.00	0.00	23.78
9607	0.00	0.35	0.00	1.09	0.00	0.00	76.78	0.00	0.00	0.00	21.79
9612	0.00	1.73	0.00	0.00	0.00	0.00	57.82	0.00	0.00	2.99	37.46

新石器時代後期

青銅器時代初期

青銅器時代中期

青銅器時代後期

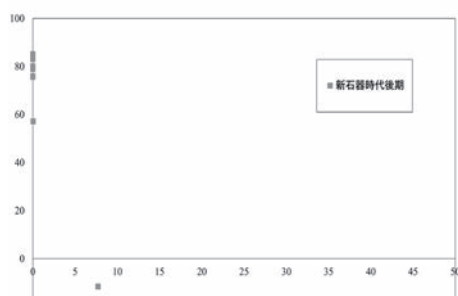


図1 新石器時代後期 (15 点)

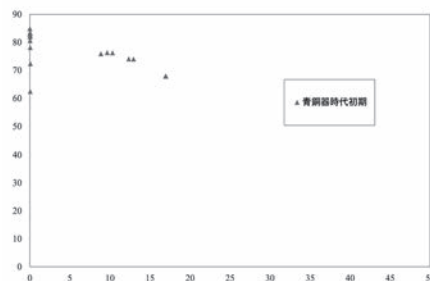


図2 青銅器時代初期 (16 点)

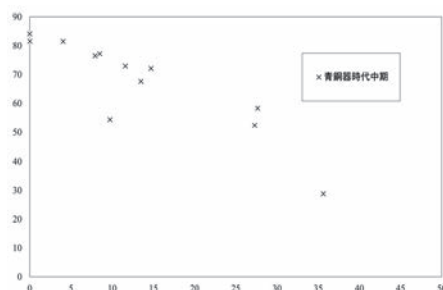


図3 青銅器時代中期 (12 点)

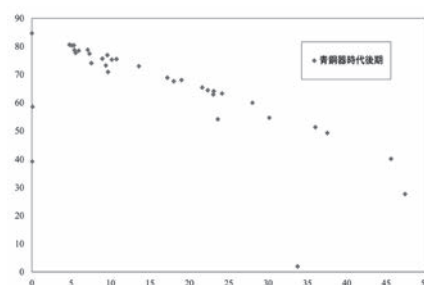


図4 青銅器時代後期 (38 点)

の分布である。新石器時代後期の試料は銅を主体としており縦軸近傍に集中し、ヒ素やシリコン等の不純物含有量によって上下している。一方、青銅器時代初期(図2)では銅-スズを主要構成元素とする金属器が出現し、横軸への分布が認められた。また、中期(図3)になると構成元素は銅-スズの場合と銅-スズ+他元素の場合とに分類される傾向が認められた。青銅器時代後期(図4)では明確に銅-スズが主要構成元素となり、スズ含有量は広く分散していることが分かる。図5に各時代を統合した主成分分析の結果を示す。図5から、縦軸は銅合金化度を表し、横軸はスズの含有量によって影響を受ける青銅化度を表していると解釈される。図5のグラフをから主要構成元素が銅-スズの場合、スズ含有量の増加に伴って右下がりの直線上にプロットされている。しかし、シリコン、カルシウム、硫黄、塩素などの不純物元素が含有されている場合は、相対的に銅の含有率が下がるため、直線からはずれたと考えられる。直線から外れた金属器は製作技術が未成熟であることに起因していると考えられる。全試料の主成分分析の累積寄与率は83%であった。

【まとめ】 本研究における主成分分析の結果から、各時代の金属器の主要構成元素による分布傾向を明瞭に示すことができた。今回得られた結果から、合金化の概念は青銅器時代初期に芽生えたが、その後、スズ以外を合金元素とする金属器やスズ含有量の多い青銅器など技術的に多様な金属器の製作が始まり、青銅器時代後期にかけてスズの合金化を意識した金属器製作技術が爆発的に広まったと推測される。

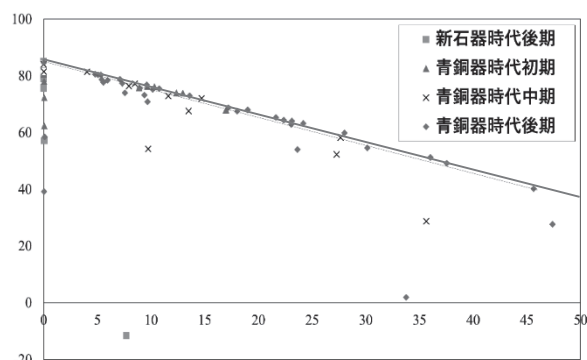


図5 各時代の主成分分析統合データ

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

沈船サン＝ディエゴ号積載資料の鉛同位体比分析

Provenance Study of Materials of Artifacts in the ‘San Diego’ of wrecked Ship by Lead Isotope Ratio Analysis.

○平尾良光（別府大学文化財研究所），上野淳也（別府大学），西田京平（上天草市教育委員会），
和田旭史（山江村教育委員会），

○Yoshimitu HIRAO (Research Institute for Cultural Properties of Beppu University),
Junya UENO (Beppu University), Kyohei NISHIDA (Kamiamakusa City Board of Education),
Akifumi WADA (Yamae Village Board of Education),

1. はじめに

スペイン船サン＝ディエゴ号は、1600年にフィリピンのマニラ湾口で、オランダ船に撃沈された。沈没時の指揮官は、『フィリピン諸島誌』の著者として有名なアントニオ＝モルガである。1990年代に、エルフ財団による調査が成された。この商船を改造した軍船からは、青銅製大砲をはじめとして、航海の道具であるアストラーベやレアル銀貨、銃弾や砲弾など様々な金属製品が引き揚げられた。現在、これらの資料は、フィリピン国立博物館及びマドリード海軍博物館で保存・展示されている。今回は、フィリピン国立博物館所蔵のサン＝ディエゴ号積載の金属資料54点からサンプルを採取し、鉛同位体比法を用いた金属材料の産地同定を実施した。資料からは、世界中の金属産地の同位体比が確認された。以下、資料点数が多く、且つ多岐に渡るため、Ⅰ. 火器、Ⅱ. インゴット（鉛）・レアル銀貨・銃弾・砲弾、Ⅲ. 航海具・調度具の3項目に分類し考察する。

2. 鉛同位体比分析（図1・図2参照）

Ⅰ. 火器

サン＝ディエゴ号に搭載されていた火器については、その銘や、形式等からヨーロッパ産の火器であることが指摘されていたが、実際、そのほとんどにヨーロッパ産金属材料が用いられていることが判明した。しかし、報告書において、鑄造地不明とされていたラージ＝カルヴァリン砲1門に関しては、華南産の材料が用いられていることが判明した。

Ⅱ. 銃弾・砲弾・レアル銀貨・インゴット（鉛）

鉛のインゴット及び消耗品である銃弾及び砲弾に関しては、大きく3つの領域に分かれた。まず、鉛のインゴットの産地に関しては、タイのソントー鉱山に比定される領域に集中した。レアル銀貨に関しては、これまで把握していなかった領域に集中した。レアル銀貨の産地としては、新大陸のメキシコやボリビア産の銀であると考えられることから、歴史的に新大陸の領域と推定される。

Ⅲ. 航海具・調度具

航海具としては、真鍮製コンパスなどの航海具や防具、そして調度品としては銀製食器、銅製燭台、青銅製乳鉢など、多岐に渡る。これらに関しても、概ねヨーロッパと新大陸の領域に集中する。特徴的に真鍮製コンパス・真鍮製甲冑の破片・真鍮製スプーン・真鍮線に華南産・タイ産の金属材料が用いられている。

また、真鍮製ヘルメットや銀製燭台、が日本領域に入っているが様式的には日本製とは言い難い。

3. まとめ

火器の分析結果は、当時のスペイン領フィリピンにおいて、火器があまり現地生産されていなかった事実の一端を示す。しかし、華南産材料を用いたカルヴァリン砲の発見を通して、フィリピンにおける火器の現地生産の開始を初めて実証することができた。

レアル銀貨と鉛インゴットに関しては、それぞれ、ヌエバ＝エスパーニャ（新大陸）とタイ産のものである。銃弾及び砲弾に関しては、積載資料すべてを分析したわけではないが、タイ、ヨーロッパ、日本、新大陸と考えられる領域に分布した。消耗品である銃・砲弾の金属材料は、火器とは異なり、寄港地で順次補給されていたことが理解される。また、今回は、華南産金属を用いた銃弾が1点しか確認されて

いない。日本の銀・銅・錫・鉛の輸出に関しては、今後の課題であるが、1567年の日本との交易報告や1575年の日本銀を用いた交易等、後のマニラの日本人町の存在を考えても不思議ではない。

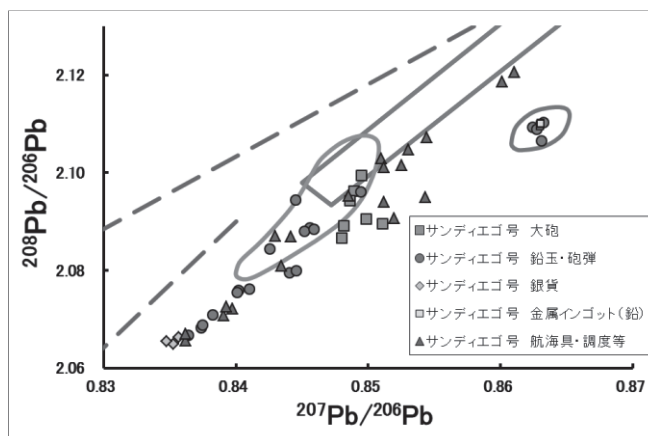
航海具及び調度具に関しても、大半はヨーロッパ及び新大陸の同位体比を示しているが、特徴として真鍮製品に華南産材料が用いられている点が指摘される。日本領域に入っている西洋風遺物に関しては、日本産金属材料を用いてフィリピンで製作されたものである可能性を示す。

以上、1571年以降、レガスピによって、本格化してゆくスペインのフィリピン支配であるが、金属遺物の検討を通して概観してみると、1600年の段階では、未だヨーロッパ及び新大陸の物質文化に大きく依存していたことが指摘される。しかし、化学分析を通して、僅かながら、大砲や、その消耗品である銃弾・砲弾、そして真鍮製品に現地調達及び現地生産の兆候を把握することができた。

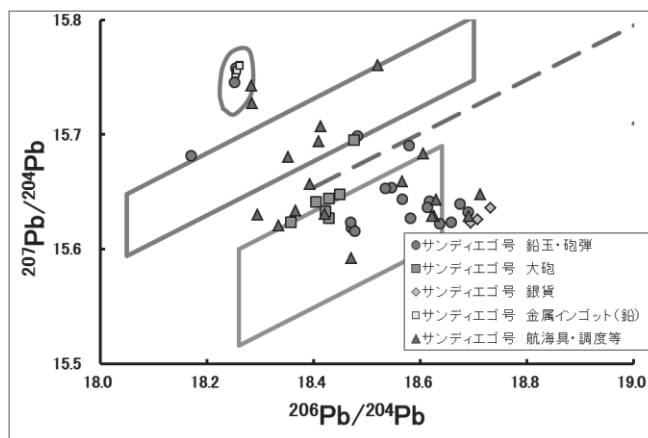
参考文献

平尾良光, 2012, 『鉛同位体法を用いた東アジア世界における金属流通に関する歴史的研究』, 平成21年～23年度(2009～2011), 科学研究費補助金新学術領域研究(研究課題提案型), 別府大学文学部 研究代表者 平尾良光,

上野淳也, 2018, 「アジアへの青銅製火砲の伝来について—鉛同位体比分析の観点から—」, 『維新期の大型砲類関連地域鉄産業技術における在来知と外来知の融合革新』, 平成27～29年度(2015～2017年度) 科学研究費補助金研究基盤(B), 福岡大学理学部 研究代表者 脇田久伸,



第1図. A式図



第2図. B式図

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

京都で出土した 17 世紀後半の真鍮材料の産地推定 Provenance Study of Brass Material Excavated from Remains of Kyoto of the 17th Century

○三浦麻衣子（帝京大学文化財研究所）、藤澤明（同左）、平尾良光（同左）、
後藤晃一（大分県立埋蔵文化財センター）、石川優生（大分県立歴史博物館）

○Maiko MIURA, Akira FUJISAWA, Yoshimitsu HIRAO (Research Institute of Cultural Properties,
Teikyo University), Koichi GOTO (Oita Prefectural Center for Archaeological Research),
Yuki ISHIKAWA (Oita Prefectural Museum of History)

1. はじめに

本研究の対象資料が出土した平安京左京三条四坊十町跡では江戸時代前期に鑄造関連工房が存在したことが発掘調査により判明している。本遺跡からは金属生産関係の遺物が多く出土し、2004 年に刊行された報告書では一部の資料に対して化学分析が行われており、その結果から真鍮の生産が行われていたことが明らかになっている（京都市埋蔵文化財研究所：2004）。

近年の研究によれば 16 世紀には国内で真鍮の生産が行われていたとみられるが（坪根：2018）、日本における真鍮生産の動向は不明な点が多い。本遺跡の工房は 1650～1680 年頃に稼働していたとみられ、亜鉛インゴットや真鍮材、坩堝など真鍮生産に関わる遺物が多数出土している。遺物の年代が明確であり、真鍮生産を行っていたことを示す資料が多数見つかったため、本遺跡出土の資料は日本の真鍮生産の歴史を明らかにするうえで非常に重要な資料群であるといえる。

2. 分析対象資料

平安京左京三条四坊十町跡から出土した金属生産関連資料の中で本研究に供された資料は 7 点である。形態ごとの内訳は亜鉛インゴット・1 点、真鍮材・3 点、坩堝蓋・1 点、坩堝・1 点、取鍋・1 点である。

3. 分析方法

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

【蛍光 X 線分析】可搬型蛍光 X 線分析装置（Innov-X Systems DELTA PREMIUM DP-4000）、分析条件（分析モード・2 Beam Mining Plus、管球・Ta、電圧・40kV,15kV、測定時間・90 秒、X 線の照射径・約 10mm、FP 法により半定量値の算出が可能）

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

4. 分析結果と考察

蛍光 X 線分析の結果、亜鉛インゴットは亜鉛と鉛を検出し、不純物程度の鉛が含まれるが純度の高い亜鉛であることが判明した。真鍮材 3 点からは銅と亜鉛、不純物程度の鉛を検出した。真鍮材は銅と亜鉛の比率がそれぞれ異なっており、生産時に色味と強度の調整を行っていたと考えられる。坩堝蓋と坩堝からも銅と亜鉛、鉛を検出し、真鍮の生産に使用されていたものであるとわかった。取鍋からも銅、亜鉛、鉛が検出したが、亜鉛と鉛の検出量は少なく、純銅に近い組成であった。

鉛同位体比分析の結果を図 1 (A 式図)、図 2 (B 式図) に示す。亜鉛インゴット (No.1) は 2 つの図においてどの産地領域にも含まれず、現状では産地が不明である。2 つの真鍮材 (No.2, 4) と坩堝 (No.7) は A 式図で華南領域に含まれ、B 式図では華南領域と日本領域の間に位置する。このことから、これら資料の材料産地としては華南産と日本産の混合、または日本産銅材料と産地不明の亜鉛インゴットの混合と考えられる。真鍮材の 1 点 (No.3) は A 式図で華南領域に含まれ、B 式図で日本領域に位置する。B 式図では日本領域内でも華南領域寄りに位置していることから、本資料も華南産と日本産の混合、または日本産銅材料と産地不明の亜鉛インゴットの混合と考えられる。坩堝蓋 (No.5) は A 式図、B 式図ともに華南領域に含まれるので華南産と推定できるが、日本産銅材料と産地不明の亜鉛インゴットの混合と考えることもできる位置である。銅が付着していた取瓶 (No.6) は A 式図で華南領域に含まれ、B 式図では華南領域と日本領域の間に位置している。このことから、日本産銅材料と華南産銅材料の混合と推定することができる。

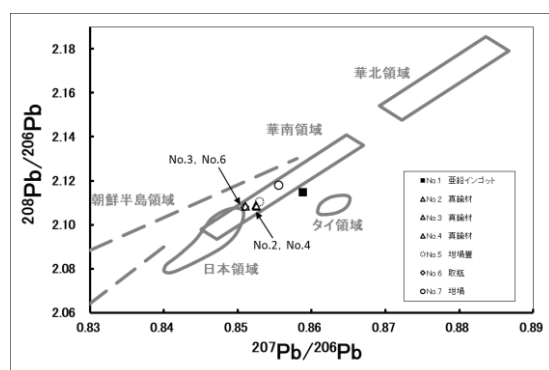


図 1 平安京左京三条四坊十町跡出土
金属遺物の鉛同位体比 (A 式図)

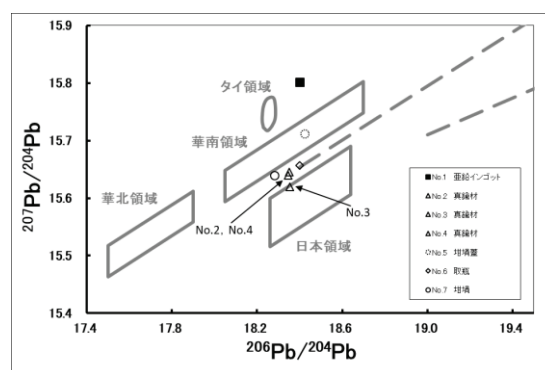


図 2 平安京左京三条四坊十町跡出土
金属遺物の鉛同位体比 (B 式図)

5. おわりに

本研究は江戸時代の真鍮生産の実態について実際の遺物を分析に供し、検討を行った。真鍮材や坩堝に付着した真鍮の鉛同位体比からは日本産銅材料が利用されていた可能性が高く、日本で合金製作が行われていたことを示唆する。戦国時代の真鍮は中国産材料が利用されていたと推測されるが、今回の鉛同位体比分析によって亜鉛インゴットは産地不明となり、亜鉛金属の産地に関して中国だけでない可能性が示されたことは、非常に重要である。今後、東南アジア等の鉱山資料の鉛同位体比分析を行うことで、亜鉛インゴットの産地を特定することが急務である。

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

ヒスイ製玉類のXRF分析の多変量統計による
定量的産地同定法の開発

Application of multivariate statistical methods of XRF analysis
to the identification of the source of jade beads.

○薬科哲男（遺物材料研究所）WARASHINA Tetsuo、田村朋美（奈良文化財研究所）
TAMURA Tomomi、中村大介（埼玉大学）NAKAMURA Daisuke、
金奎虎（公州大学校）KIM Gyu-Ho

ヒスイ製玉類について、糸魚川、若桜、大佐、大屋、長崎、ミャンマ、ロシア、メキシコ産の各硬玉原石および日高、飛騨、引佐、雪浦、春川、和田玉の各軟玉と比較して定量的に産地同定を行う方法を開発したので報告する。

これまで、ヒスイ製玉類の産地同定は、XRF 分析で各産地のヒスイ原石の元素の分布範囲と玉類の分析値を元素散布図で比較する方法で行ってきた。この方法は、採取された原石の個数に関係なく分布範囲枠に入るか否かによる判定となり、定性的同定であった。今回開発したのは、マハラノビスの距離を求めてホテリングの T^2 乗検定を行う多変量統計を用いた方法である。この方法では、採取された原石から元素含有量のバラツキの範囲を求めるため、採取原石個数に依存し、同定確率が求まり定量的に産地同定ができる特徴がある。ヒスイ製玉類に応用するのは初めての試みである。

定性的判定図（原石元素比散布図）法に使用した原石と、多変量統計を用いた定量的判定法の原石群には同じ原石を使用しているが、原石の分析部分は異なる。定量的判定法で

表1 韓国遺跡出土勾玉の原材産地分析結果
ポクチョンドン遺跡勾玉の原材産地分析結果

分析番号- 分析部位	分析 番号	マハラノビスの距離を求めてのホテリングの T^2 検定結果 (5%以上定量的判定結果で5%以下記述省略)	定性的判定図法による 分析部分分析部分総合判定	比重
200001-1	DB-JD-01	糸魚川ヒスイ-1群(22%),糸魚川ヒスイ-2群(21%)ミャンマ(9%)		3.281
200001-2		糸魚川ヒスイ-2群(81%),糸魚川ヒスイ-1群(66%),ミャンマ(49%)		
200001-3		糸魚川ヒスイ-2群(37%),糸魚川ヒスイ-1群(27%),ミャンマ(24%),若桜ヒスイ	糸魚川産	
200002-1	DB-JD-02	糸魚川ヒスイ-1群(78%),糸魚川ヒスイ-2群(77%),ミャンマ(46%),大屋ヒスイ	糸魚川産	3.257
200002-2		糸魚川ヒスイ-2群(22%),糸魚川ヒスイ-1群(9%)	糸魚川産	
200002-3		糸魚川ヒスイ-2群(28%),糸魚川ヒスイ-2群(19%)	糸魚川産	
200003-1	DB-JD-03	糸魚川ヒスイ-1群(83%),若桜ヒスイ(79%),糸魚川ヒスイ-2群(80%),大屋ヒスイ(44%),日本糸魚川遺物群(12%),大佐ヒスイ(7%)	糸魚川産	3.146
200003-2		糸魚川ヒスイ-2群(75%),糸魚川ヒスイ-1群(75%),大屋ヒスイ(63%),大佐ヒスイ(24%),日本糸魚川遺物群(9%)	糸魚川産(ミャンマ産でない)	
200003-3		糸魚川ヒスイ-1群(22%),糸魚川ヒスイ-2群(21%)ミャンマ(9%)	糸魚川産(ミャンマ産でない)	
200004-1	DB-JD-04	糸魚川ヒスイ-1群(95%),大屋ヒスイ(93%),大佐ヒスイ(79%),糸魚川ヒスイ-2群(79%),ミャンマ(30%)	糸魚川産	3.324
200004-2		大屋ヒスイ(95%),若桜ヒスイ(82%),糸魚川ヒスイ-1群(77%),糸魚川ヒスイ-2群(58%),大佐ヒスイ(50%),ミャンマ(5%)	糸魚川産	
200004-3		糸魚川ヒスイ-1群(97%),大佐ヒスイ(92%),糸魚川ヒスイ-2群(87%),大屋ヒスイ(86%),若桜ヒスイ(49%)	糸魚川産	
200005-1	DB-JD-05	糸魚川ヒスイ-1群(48%),糸魚川ヒスイ-2群(31%),大屋ヒスイ(9%)	糸魚川産	3.22
200005-2		糸魚川ヒスイ-2群(32%),糸魚川ヒスイ-群(18%)	糸魚川産	
200005-3			糸魚川産	
200006-1	DB-JD-06	糸魚川ヒスイ-2群(88%),糸魚川ヒスイ-1群(85%),日本糸魚川遺物群(6%)	糸魚川産(ミャンマ産でない)	3.314
200006-2		大佐ヒスイ(88%),糸魚川ヒスイ-1群(86%),糸魚川ヒスイ-2群(82%),大屋ヒスイ(15%),ミャンマ(13%),若桜ヒスイ(5%)	糸魚川産	
200006-3		糸魚川ヒスイ-2群(61%),若桜ヒスイ(58%),糸魚川ヒスイ-1群(32%),日本糸魚川遺物群(0.3%)	糸魚川産(ミャンマ産でない)	

ヤンドン遺跡出土勾玉の原産地分析結果					
100010-1	304	糸魚川ヒスイ-2群(42%),糸魚川ヒスイ-1群(27%),ミャンマ(8%)		糸魚川産,ミャンマ産	3.331
100010-2		ミャンマ(5%)		ミャンマ産	
100010-3		糸魚川ヒスイ-2群(88%),糸魚川ヒスイ-1群(82%),大佐ヒスイ(77%),ミャンマ		糸魚川産,ミャンマ産	
100011-1	305	糸魚川ヒスイ-2群(98%),糸魚川ヒスイ-1群(98%),大佐ヒスイ(40%),若桜ヒスイ(6%),大屋ヒスイ(5%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	3.279
100011-2		若桜ヒスイ(96%),糸魚川ヒスイ-1群(92%),糸魚川ヒスイ-2群(87%),大屋ヒスイ(63%),大佐ヒスイ(56%),日本糸魚川遺物群(3%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	
100011-3		若桜ヒスイ(98%),糸魚川ヒスイ-1群(89%),糸魚川ヒスイ-2群(80%),大屋ヒスイ(80%),大佐ヒスイ(73%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	
ジンニョ遺跡勾玉の原産地分析結果					
200012-1	JY01	大屋ヒスイ(76%),糸魚川ヒスイ-2群(56%),糸魚川ヒスイ-1群(43%),ミャンマ(26%),大佐ヒスイ(9%)		糸魚川産	3.217
200012-2		大屋ヒスイ(86%),糸魚川ヒスイ-1群(55%),糸魚川ヒスイ-2群(34%),ミャンマ(25%),日本糸魚川遺物群(0.7%),大佐ヒスイ(0.1%)		糸魚川産	
200012-3		大屋ヒスイ(84%),糸魚川ヒスイ-1群(66%),糸魚川ヒスイ-2群(66%),ミャンマ(23%),大佐ヒスイ(13%)		糸魚川産	
200013-1 ~20	JY02				2.692
200014-1	JY-03	糸魚川ヒスイ-2群(74%),大佐ヒスイ(13%),糸魚川ヒスイ-1群(5%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	3.336
200014-2		糸魚川ヒスイ-1群(92%),糸魚川ヒスイ-2群(77%),大屋ヒスイ(57%),大佐ヒスイ(21%),ミャンマ(20%),若桜ヒスイ(9%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	
200014-3		糸魚川ヒスイ-1群(93%),糸魚川ヒスイ-2群(81%),大屋ヒスイ(81%),大佐ヒスイ(50%),若桜ヒスイ(39%),ミャンマ(19%),日本糸魚川遺物群(3%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	
200018-4	JY07	大屋ヒスイ(82%),若桜ヒスイ(75%),糸魚川ヒスイ-1群(58%),糸魚川ヒスイ-2群(56%),大佐ヒスイ(44%),日本糸魚川遺物群(7%)			
200018-5		大屋ヒスイ(81%),若桜ヒスイ(80%),糸魚川ヒスイ-2群(67%),糸魚川ヒスイ-1群(64%),大佐ヒスイ(53%),日本糸魚川遺物群(5%),ミャンマ(3%)		糸魚川産	
200018-6		大屋ヒスイ(75%),若桜ヒスイ(68%),糸魚川ヒスイ-1群(37%),糸魚川ヒスイ-2群(29%),大佐ヒスイ(19%),日本糸魚川遺物群(12%)		糸魚川産	
200019-1	JY-08	糸魚川ヒスイ-1群(99%),糸魚川ヒスイ-2群(94%),日本糸魚川遺物群(26%),若桜ヒスイ(0.3%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	3.287
200019-2		糸魚川ヒスイ-1群(97%),糸魚川ヒスイ-2群(94%),日本糸魚川遺物群(36%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	
200019-3		糸魚川ヒスイ-2群(96%),糸魚川ヒスイ-1群(92%),日本糸魚川遺物群(34%),若桜ヒスイ(6%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	
釜山大学所蔵勾玉の原産地分析結果					
200301-1	1-DB15号	糸魚川ヒスイ-1群(25%),糸魚川ヒスイ-2群(12%),日本糸魚川遺物群(6%)		糸魚川産	3.313
200302-2		糸魚川ヒスイ-1群(22%),糸魚川ヒスイ-2群(19%)		糸魚川産	
200303-3		糸魚川ヒスイ-2群(33%),糸魚川ヒスイ-1群(29%),ミャンマ(6%)		糸魚川産	
200304-1	2-DB15号	若桜ヒスイ(54%),糸魚川ヒスイ-1群(49%),糸魚川ヒスイ-2群(44%),ミャンマ(22%),大屋ヒスイ(16%)		糸魚川産	3.32
200305-2		糸魚川ヒスイ-2群(49%),糸魚川ヒスイ-1群(44%),若桜ヒスイ(27%),ミャンマ(20%),日本糸魚川遺物群(2%),大屋ヒスイ(0.9%)		糸魚川産	
200306-3		糸魚川ヒスイ-2群(52%),ミャンマ(31%),糸魚川ヒスイ-1群(30%)			
200307-1	3-DB15号			糸魚川産	3.333
200308-2		糸魚川ヒスイ-2群(16%),ミャンマ(14%)		糸魚川産	
200309-3		糸魚川ヒスイ-2群(21%),ミャンマ(13%),糸魚川ヒスイ-1群(2%),日本糸魚川遺物群(1%)			
200310-1	4-DB15号	ミャンマ(0.8%),糸魚川ヒスイ-2群(0.5%)		糸魚川産	3.31
200311-2		糸魚川ヒスイ-2群(2%),ミャンマ(0.9%),糸魚川ヒスイ-1群(0.1%),日本糸魚川遺物群(0.1%)		糸魚川産	
200312-3		糸魚川ヒスイ-2群(13%),ミャンマ(7%),日本糸魚川遺物群(0.7%)			
200313-1	KY-97号	若桜ヒスイ(86%),糸魚川ヒスイ-1群(58%),糸魚川ヒスイ-2群(46%)		糸魚川産	3.335
200314-2		糸魚川ヒスイ-2群(63%),若桜ヒスイ(36%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	
200315-3		糸魚川ヒスイ-2群(77%),若桜ヒスイ(26%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	
200316-1	KY-140号	長崎・雪浦軟玉ヒスイ(0.2%)			2.587
200317-2					
200318-3		長崎・雪浦軟玉ヒスイ(0.8%)			
200319-1	HB 5-1号				3.287
200320-2				糸魚川産(ミャンマ産でない)	
200321-3		糸魚川ヒスイ-1群(5%)		糸魚川産(ミャンマ産でない)	

は、遺物の複数の部分を分析して、ある産地（A産地とする）に一カ所でも信頼限界の5%を越えると同定されれば、他の部分が信頼限界の5%以下であっても、遺物全体としてA産地の可能性が否定できないと判定する。また、定量的判定法には、分析協力者から拝借した糸魚川産およびミャンマ産の良質硬玉は含まれていない。

今回、この方法を用いて韓国のジンニョ遺跡、ボクチョンド遺跡、ヤンドン遺跡、釜山大学博物館所蔵のヒスイ製玉類について産地同定をおこなった結果、糸魚川産ヒスイの使用が定量的に同定できた（表1）。

今後の課題として、定量判定の指標に原石比重およびBa元素を加え、糸魚川産と同時に同定される中国山地に位置する大佐、大屋、若桜産地の弁別可能性を確認する。

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

虎塚古墳の壁画剥落片から分離された微生物の群集構造解析

Community analyses of microorganisms isolated from the small pieces of wall paintings in the Torazuka Tumulus

○松野美由樹(東京藝術大学大学院)、片山葉子(東京文化財研究所)、犬塚将英(東京文化財研究所)、稲田健一(ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社)、矢島國雄(明治大学)、佐藤嘉則(東京文化財研究所)

○Miyuki MATSUNO, Yoko KATAYAMA, Masahide INUZUKA, Keniti INADA, Kunio YAJIMA, Yoshinori SATO

1. はじめに

虎塚古墳は茨城県ひたちなか市に所在する前方後円墳で、後円部にある横穴式石室内部にはベンガラで描かれた彩色壁画を有している。壁画は毎年春と秋に一般公開がされており、それに伴い公開の前後に石室内部の定期点検が行われている。本研究では、一般公開後の定期点検において回収された壁画の微小剥落片を用い、細菌とカビの分離培養および菌種の同定を行うことで、壁画上に生息する微生物群集を推察することを目的とした。

2. 調査方法

2.1. 分析試料の採取

虎塚古墳石室内部の床面にはポリカーボネート製の平板が設置されており、定期点検の際に平板上に落下した微小剥落片を回収し、落下物の重量、種類、落下箇所の分布など調査を実施している。本研究で用いた試料は、2019年4月16日に行われた定期点検で採取したものである。平板上に落下していた微小剥落片は、滅菌済みの綿棒を用いて滅菌チューブ(ワトソン株式会社, 2mL 容器)に回収し、保冷剤を入れた断熱バッグで10℃以下に保ったまま東京文化財研究所に運んだ後、分析を行うまで4℃で冷蔵保存し、後の試験に供試した。

2.2. 分析手法

2.2.1 菌数測定と分離培養

採取した試料は希釈平板法により、微生物数を計数した。細菌は肉エキス(NB)寒天培地とNBを100倍希釈した(DNB)寒天培地を使用し、30℃、4週間培養した後、出現したコロニーを計数し、湿重量当たりの菌数を算出した。カビはポテトデキストロース寒天(PDA)培地と希釈したコーンミール(1/2CM)培地を使用し、23℃、4日間培養した後、出現したコロニーを計数し、湿重量当たりの菌数を算出した。培養後、出現したコロニーを無作為に釣菌し、細菌は同培地にて継代培養し、カビはPDA培地と1/2CMMY培地で継代培養して純粋分離株を得た。

2.2.2. 菌種の同定

細菌の分離菌株は、簡易DNA抽出キット(Prepman™ Ultra Sample Preparation Reagent)でDNAを抽出した後、16S rRNA遺伝子を対象とした10Fプライマー(5'-AGTTTGATCCTGGCTCAG-3')と1541Rプライマー(5'-AAGGAGGTGATCCAGCCG-3')を用いてPCR増幅を行った。さら

に 518F プライマー(5'-CCAGCAGCCGCGGTAATACG-3')を用いてシーケンス解析を行った。また、カビの分離菌株も同様の方法で DNA 抽出を行い、ITS 領域遺伝子を対象とした PCR 増幅とシーケンス解析を行った。PCR 増幅とシーケンス解析には ITS1 プライマー(5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3')と ITS4 プライマー(5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')を使用した。これらの解析から得られた塩基配列を用いて BLAST(<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>)で相同性検索を行い、近縁種を推定した。

3. 結果と考察

細菌数の結果は、NB 培地では $7.2 \pm 2.4 \times 10^7$ cfu / g wet weight、DNB 培地では $1.2 \pm 0.3 \times 10^8$ cfu / g wet weight であった。また、カビの菌数の結果は、PDA 培地では $9.2 \pm 1.0 \times 10^6$ cfu / g wet weight、1/2CM 培地では 1.2×10^7 cfu / g wet weight であった。なお、菌数測定は 4 連の平板培地で行ったが 1/2CM 培地での試験では 2 連での結果しか得られなかったため、菌数は平均値で示した。

NB 培地と DNB 培地を用いて細菌の分離培養を行い、NB 培地から 15 株、DNB 培地から 42 株の合計 57 株を得た。このうち 55 株の 16S rRNA 遺伝子の部分配列を決定した。相同性検索を行い、近縁属を推定した結果を図 1 (a) に示す。分離株の大部分(22 株)は、Alphaproteobacteria 網に含まれる *Inquilinus* 属であった。一番近縁な種は *Inquilinus* sp.72bal で、ブラジルの人工土壌から分離された菌株である。

一方、カビの分離株は PDA 培地から 25 株、1/2CM 培地から 14 株の合計 39 株を得て、このうち 38 株の ITS 領域遺伝子の部分配列を決定した。相同性検索による近縁種の推定結果から、*Penicillium* 属に分類される分離株が最も多く(36 株)、特に *Penicillium aeneum* に近縁の分離株が優占した(図 1 (b))。 *Penicillium aeneum* の生理学的な性質については文献等で調査を進めている。現在、2019 年 11 月 18 日に行われた定期点検にて採取した試料についても同様の解析を行っている。

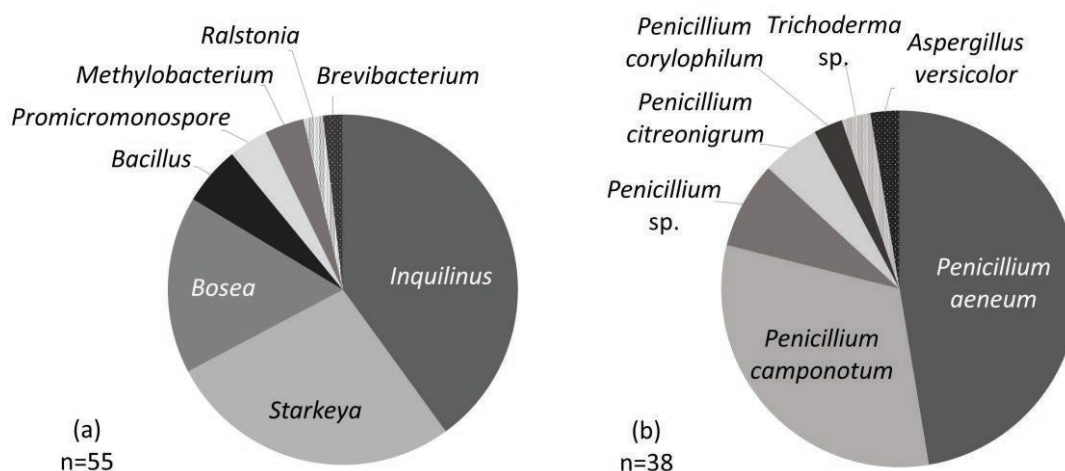


図 1 虎塚古墳石室内の壁面微小剥落片から分離された細菌(a)とカビ(b)の群集構造

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

熱解析を利用した藻類のスチーム処置についての研究

Study on steam treatment of algae using heat transfer analysis

○栗原典子(東北芸術工科大学)、米村祥央(同左)、石崎武志(同左)、
平塚幸人(仙台市富沢遺跡保存館)

○Noriko KURIHARA、 Sachio YONEMURA、 Takeshi ISHIZAKI (Tohoku University of Art and
Design)、 Yukito HIRATSUKA (Sendai City Tomizawa Site Museum)

1. 序論

地底の森ミュージアム（仙台市富沢遺跡保存館）の地下展示室では、旧石器時代の森やたき火跡等が残る遺跡を露出展示している。同ミュージアムは開館当初から遺構面に塩類が析出しその対策を行うなかで、一部に藻類が発生し問題視されている。藻類に対してはスチーム処置で一定の効果をj得ているが、凹凸等によってスチーム機が土と密着しにくい場所は再発が続いている。本研究では同ミュージアムにおけるスチーム処置の効果を高めるための適正時間を熱解析から求め、その結果をもとに処置を行った。

2. 含水率の測定

スチーム処置の熱伝導は土中の水分量によって異なるため、現地で TDR 水分測定装置（ドイツイムコ社製）を用いて遺構表面全体の含水率を 2 ヶ月に 1 度、計 5 回測定した。測定箇所は遺構面北側の一部と樹木部分を除いた範囲の 310～333 箇所である。

含水率の最小値は 10 月の 9.7%、最大値は 8 月の 41.1%であった。測定結果を相対評価するために SURFER(等高線図作成ソフト)を用いて含水率分布図を作成した(図 1)。含水率は年間を通して全面的に一定の値を示さず、含水率の変動が大きい箇所や比較的含水率が高い状態を保っている箇所など多様であることが確認できた。後者は藻類が発生している箇所と一致した。

3. 熱解析によるシミュレーション

これまで藻類には 100℃のスチームを 10 秒ほど当てる処置で一定の効果をj得てきたが、遺構表面の凹凸等によってスチーム機が土に密着できない場合は効果が小さかった。この問題を解決するためにスチーム処置の適正時間について、熱解析を用いてシミュレーションを実施した。

同ミュージアムで実際に使用しているスチーム機と遺構の土を用いて、特定の含水率における深さごとの温度変化を測定した。また熱特性分析装置(DECAGON 社 Thermal properties analyzer KD2)を用いて、遺構の土の含水率ごとの熱伝導率を測定し、得られた散布図から回帰直線式を求めた。これらを元に熱解析ソフト(GEO-SLOPE 社 TEMP/W)を用いて土中の温度変化についてシミュレーションを実施した。なおスチームを当てた時の表面温度は、深さごとの温度変

化測定の実験と同法で求めた 80℃(土とスチーム機を密着させた場合)、70℃(土とスチーム機の距離 2cm)、65℃(土とスチーム機の距離 3cm)の 3 種類である。

藻類の生育上限温度は 60℃であり、加熱水蒸気処置の先行研究から死滅には表面温度 60℃以上で 20 秒噴霧が必要であること、藻類の大きさは最大 0.1cm であるため、表面から 0.1cm の深さで 60℃以上が 20 秒維持されることを、藻類除去の条件とした。

遺構土壌深さ 0.1cm で 60℃を超える条件は、表面温度 80℃・含水率 45%の時に最短であり 6.5 秒であった。よって処置時間は 26.5 秒となる。表面温度 80℃での最長時間は含水率 10%の 21 秒で処置時間は 41 秒である(表 1)。この結果を含水率分布図と照らし合わせて、適切な時間スチームを噴霧することによって藻類を確実に除去できると想定した。

4. 現場実験

含水率分布図とシミュレーションを元に、遺構面でスチーム処置を実施した。実施箇所は A: 土とスチーム機が密着する箇所と B:凹凸があるため密着できず土から 2 cm 離れた箇所で、どちらも含水率は 30%である。

A を熱解析による処置時間 29 秒(表 1)で処置したところ、余熱により表面の乾燥が確認され、土壌処理材(シリコーンコポリマー)への影響が懸念されたため、10 秒と 20 秒の処置で比較した。処置時間 10 秒部分は、17 日後の目視観察で藻類が半分程度残留していた一方、20 秒噴霧部分は残留が認められなかった。B の熱解析による処置時間は 45.5 秒(表 1)であり、実際に噴霧したところ効果が確認された。以上の結果から、含水率 30%の箇所で土とスチーム機を密着させて処置する場合は 20 秒、土とスチーム機の距離が離れる場合は熱解析によって得られた所要時間を元に処置することが有効と判断した。

5. 結言

同ミュージアムにおける藻類の除去について、遺構面全体の含水率を測定し、熱解析を用いたシミュレーションにより含水率ごとに有効なスチームの処置時間を得ることができた。現場実験では余熱なども考慮し、状況に応じた処置時間の設定が必要とされた。

6. 参考文献

(1)財団法人文化財虫害研究所「文化財の虫菌害と防除の基礎知識」(株式会社白橋印刷所)(2002)
(2)浅井元朗「蒸気処理による作物収穫後地表面の雑草種子駆除技術」農研機構

www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2012/152d0_03_11.html(参照 2019/10)

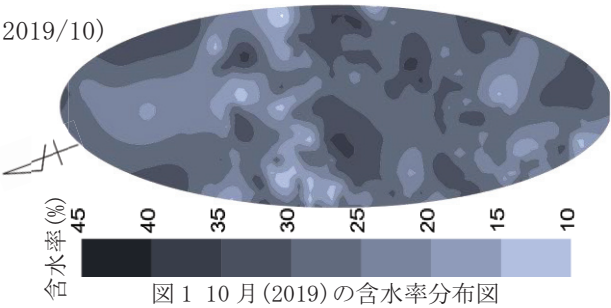


図 1 10 月(2019)の含水率分布図

含水率	表 1 スチーム処置の処置時間	
	処置時間(秒)	
	土と密着	土から 2cm
40	27	39.5
35	28	42.5
30	29	45.5
25	31	48.5
20	33	54.5

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

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(7) —WASh クリーニング法の長期的経過観測—

Study on the Conservation Materials for Bas Relief of Bayon temple in Angkor Site (7): The Long-term Observation About Trial of the WASh Cleaning Method

○河崎衣美（奈良県立橿原考古学研究所）、原光二郎（秋田県立大学）、松井敏也（筑波大学）、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 (Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture), HARA Kojiro (Akita Prefectural University), Toshiya MATSUI (University of Tsukuba), SAWADA Masaaki (Tohoku University of Art and Design), INOUE Saihachi (I.N Technical Lab.)

1. はじめに

発表者らは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、これまでに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供体試験を2007年より実施し、強化ならびに撥水材料を塗布した試験に関する報告を行ってきた¹⁾。本発表では、石造文化遺産のクリーニング処置について、除去が困難な地衣類を対象とした新しい処置方法の長期的観測結果について報告する。従来、除去方法として地衣類を化学的手法で弱らせ物理的手法で取り除く方法が多くとられてきた。発表者らは、従来の方法よりも石材への負荷がより少なく、殺生物剤を使用せず環境にも配慮した手法として水と太陽熱のみを利用した除去法（WASh法：Water Apply Solar-heat cleaning method）を検討し、2015年から試験を開始した。2017年の本学会大会にて除去効果および地衣類に与えた影響を速報的に明らかにした²⁾。前回の発表時には明らかでなかった処置効果やその後の自然除去の結果が明らかとなったため、本試験におけるWASh法の全体像を示す。

2. 方法

カンボジアのバイヨン寺院にて砂岩材に付着する地衣類を除去するための水と太陽熱（WASh法：Water Apply Solar-heat cleaning method）、ならびに温水を利用した試験を行い、地衣類に与える影響および時間経過による除去効果を検証した。図1に各試験箇所を示す。WASh法の試験は寺院内の7箇所の転石（試験1から試験7）および柱（試験8）で行った。既往研究³⁾を参考に、水で地衣類および石材を湿らせ、水分の蒸発を防ぐためにプラスチックフィルムで密着させて包み（写真1）、2日間から4日間静置した後、プラスチックフィルムを取り外し、処置中は温度計測を行った。柱を対象とした試験8では試験前後に地衣類の一部を採取し、蛍光顕微鏡観察によって藻類の自家蛍光の有無を観察し生死を判断した。温水を利用した試験9は石材表面をガーゼとプラスチックフィルムで覆い、ガーゼに70℃から75℃の温水を30分間断続的にかけ続け、石材表面を50℃から63℃程度に保持した。処置後は対象石材を自然曝露し、一年に2～3回の頻度で写真記録を行い、目視にて地衣類の除去効果を評価した。試験1と試験2は2015年8月、試験3から試験7は2015年12月、試験8と試験9は2016年12月に実施した。カンボジアでは8月は雨季に、12月は乾季にあたる。なお試験前の石材には痂状、葉状、顆粒状の複数の地衣類が確認された。

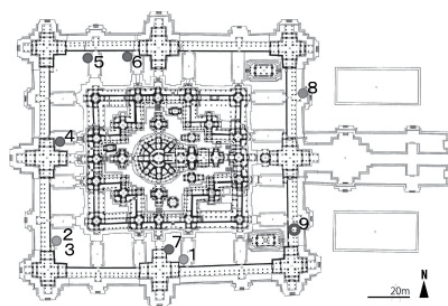


図1 バイヨン寺院における各試験箇所



写真1 プラスチックフィルムの被覆（試験8）

3. 結果と考察

表1に各試験の地衣類の除去効果に対する経時的評価を示す。WASh法の試験1～8において最高温度が36℃から52℃と幅広いが、1年後には少なくとも一部に除去効果が見られた。中で

も試験1は最も高い温度 (Max: 52℃) を記録し、処置直後も地衣類の変色が著しく、1年後には処置面全体の除去がほぼ完了していた。試験1～8において2年後には1つの試験箇所にて残存した地衣類の一部増殖が、4つの試験箇所において別の微生物の繁茂が確認された。3年後には4つの試験箇所において残存した地衣類の一部増殖が、5つの試験箇所において別の微生物の繁茂が確認された。しかし、繁茂した別の微生物はやわらかいブラシなどで容易に除去が可能なタイプであった。試験8では1年後から3年後にかけて徐々に地衣類の除去が進むが、除去された部分に新たに別の黒色微生物が繁茂した (写真2)。処置前写真の白線内の葉状地衣類等は部分ごとに除去が進み2年後写真ではほぼ全体が除去されているが、黒破線内の

Physciaceae sp. #4 は全体の表面から徐々に除去が進み3年後写真では石肌が見えた状態となった。最も高温となった南面 (Max: 45.7℃、1日4時間半程度 40℃以上を維持) の試験前後の地衣類 (*Lepraria* sp.、*Physciaceae* sp. #4、*Dirinaria aegialita*、*Pyxine* sp.)⁴⁾ について藻類の自家蛍光観察を行った結果、2ヶ月後には全種において藻類の死滅を確認している。温水を用いた試験9については1年後は地衣類の変色にとどまったが、3年後にはほぼ除去がなされた。

各試験箇所は寺院の複雑な構造によりそれぞれ日照時間等が異なる上に、対象石材には凹凸があるため各試験を単純に比較することはできない。しかし処置中の最高温度が高かった (45℃前後以上の) 試験箇所や、プラスチックフィルム内部に生じた結露水との接触により地衣類の湿潤状態が保たれた部分は効果が高かったことが考えられる。また本試験において *Physciaceae* sp. #4 のような固着性の高い痂状地衣類は除去の進行が比較的緩やかであったことから、除去にかかる時間は地衣類の石材への固着性の強さによっても異なると考えられる。

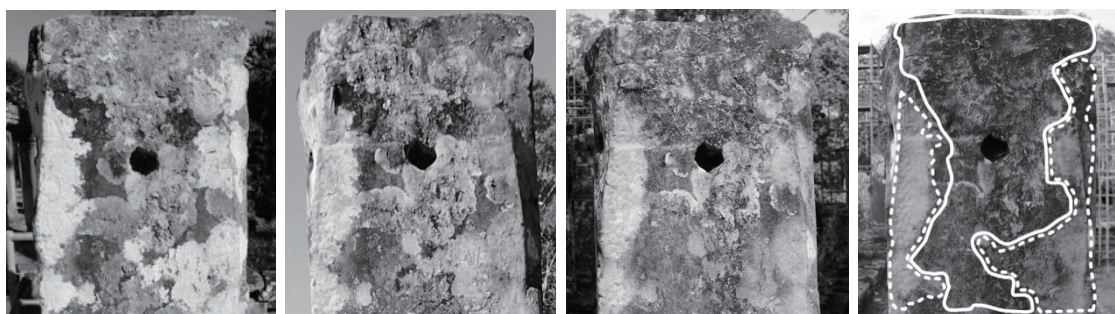


写真2 試験8南面の経過 [左から処置前、1年後、2年後、3年後]
(3年後写真の白線は葉状地衣類等、破線は *Physciaceae* sp. #4 の処置前の付着範囲)

4. まとめ

WASH法 (Water Apply Solar-heat cleaning method) は水と太陽熱を利用した地衣類のクリーニング方法であり、一定期間湿熱環境を創出することによって地衣類に損傷を与え、その後自然に除去されるまで静観する方法である。機械的除去作業を伴わない点で石材への負荷が少なく殺生物剤を使用しないため環境にも配慮した手法として、カンボジアのアンコール遺跡バイヨン寺院において試験を行い、3年間以上にわたる経時的評価を示し有効であることを確認した。本試験では処置直後に変化がなくとも1年後には効果が見られたが、この時点で追加の処置の必要性を判断するべきである。この判断には、地衣類の種類や固着の強さ (本試験における固着性の高い種: *Physciaceae* sp. #4)、処置中の温度や地衣類の湿潤の状況などを参考にできる可能性がある。そして処置後は環境が変わらない限り、残存した地衣類の増殖や異なる微生物が繁茂することが示された。よって最も除去が進んだタイミングで次の処置 (微生物の除去や石材の基質強化処置等) を講じる必要があるだろう。

本研究の一部は、JSPS 科研費 25257503、16K16339、17H01628 の助成を受けて行った。国外採取試料の国内での利用管理については農林水産大臣の許可を受け、農林水産省横浜植物防疫所、神戸植物防疫所の指導の下に行っている。

[文献]

- 1) 松井敏也 他, “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)
- 2) 河崎衣美 他, “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(5)” 日本文化財科学会第34回大会発表要旨集 pp. 20-21 (2017)
- 3) Tretiach, M., Bertuzzi, S., & Candotto Carniel, F. Heat shock treatments: A new safe approach against lichen growth on outdoor stone surfaces. *Environmental Science and Technology*, 46(12), pp. 6851-6859 (2012)
- 4) 河崎衣美 他, 石造文化遺産保存を目的とする地衣類の記録方法の確立に関する研究—カンボジア, アンコール遺跡の事例, *Lichenology* Vol. 11, no. 2, pp. 39-52 (2014)

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

アンコールトムバイヨン寺院主塔の砂盛土基壇の降雨時浸水特性

Seepage characteristics of filled sand foundation mound of the main tower of Bayon, Angkor Thom

○岩崎 好規（地域地盤環境研究所），福田光治（大成ジオテック），小山倫史（関西大学），
石塚充雅（日本国政府アンコール救済チーム），中川武（早稲田大学）

○Yoshinori IWASAKI (Geo Research Ins.), Mitsuharu FUKUDA (Taisei Geotech), Tomofumi
KOYAMA (Kansai Univ.), Mitsumasa ISHIZUKA (JSA), Takeshi NAKAGAWA (Waseda Univ.)

1. アンコールトムバイヨン寺院の基壇構造

バイヨン寺院は，寺域を囲んでいる外回廊から約 10m 外側に超えた位置から，掘り込み基礎の掘削跡が考古トレンチによって確認されている。建設当時の自然地盤をまず，①2-3m 掘削し，②締固めて埋戻し，さらに，③第 1 段基壇のテラス，④第 2 段基壇テラス，⑤第 3 段基壇テラスを砂盛土により構築した。南北断面における水平，斜め，鉛直ボーリング結果から，第 3 段盛土には，円筒形状のラテライト体が構築されていたと推定されている。

第 3 段基壇は，厚さ約 14m の砂盛土地盤である。

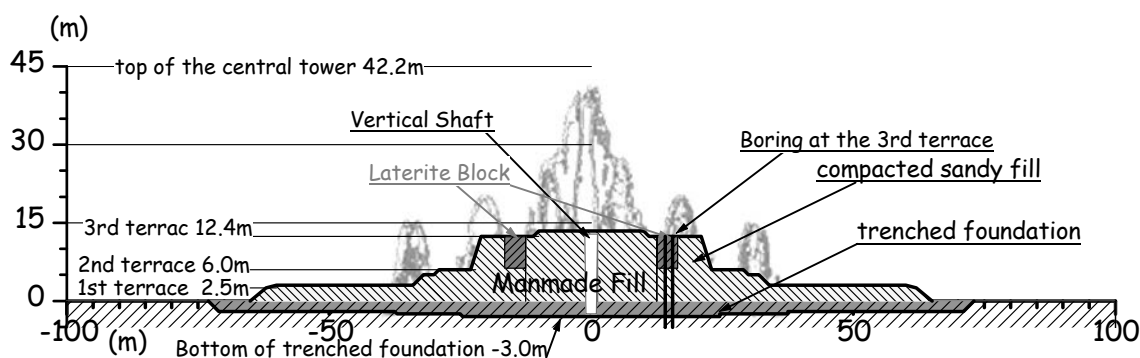


図-1 アンコールトム バイヨン寺院の基壇盛土構造

2. アンコールの盛土基盤の安定性

バイヨンにおける高さ 31m の石積構造である中央塔は，アンコール域の山岳型寺院の基壇を含む多くの積石構造物は，直接基礎である。バイヨン寺院の中央塔も，建設後 7 百年間，砂地盤盛土の上に，アンコール域は，雨季，乾季が交互に繰り返す，気候帯にありながら，立ち続けているということは，不可思議としか言いようがない。

3. 水分センサーによる降雨時の土中水分変化

盛土基壇の降雨時の浸透性を計測するために，農業土壌水分管理用の水分センサーを基壇盛

土表面から、GL-0.50m, 0.75m, 及び-1.0m に埋設し、降雨時に計測した結果を図-5 に示した。図-5 には、降雨強度(mm/10min)、各深度の土中水分率(%)が示されている。降雨のあと、直ちに、地表面から水分が上昇し、下方に上昇が伝わっていることがわかる。降雨が終了すると、直ちに水分は減少過程になることが分かる。

アンコール域を含む東南アジアの降雨パターンは、スコールと呼ばれているが、強い降雨が数時間続く短期集中型降雨である。図-5 においても土中水分は増減を繰り返している。

4. 温暖化に伴う長期豪雨時の対応

温暖化に伴い長期豪雨になると、土中水が増加するのみで、乾燥減少することが無くなると砂盛土の安定性に大きな疑問が発生する。中央塔の安定性を保全するため、“progressive countermeasure”と呼ばれる先手対応型の保全措置が必要となっている。

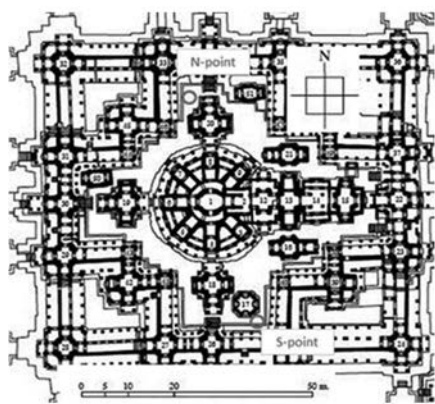


図-2 水分計設置地点



図-3 水分センサー

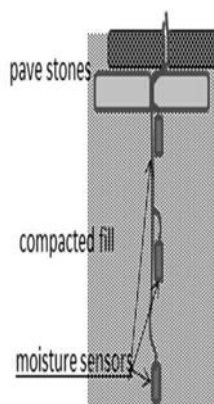


図-4 水分計設置深度

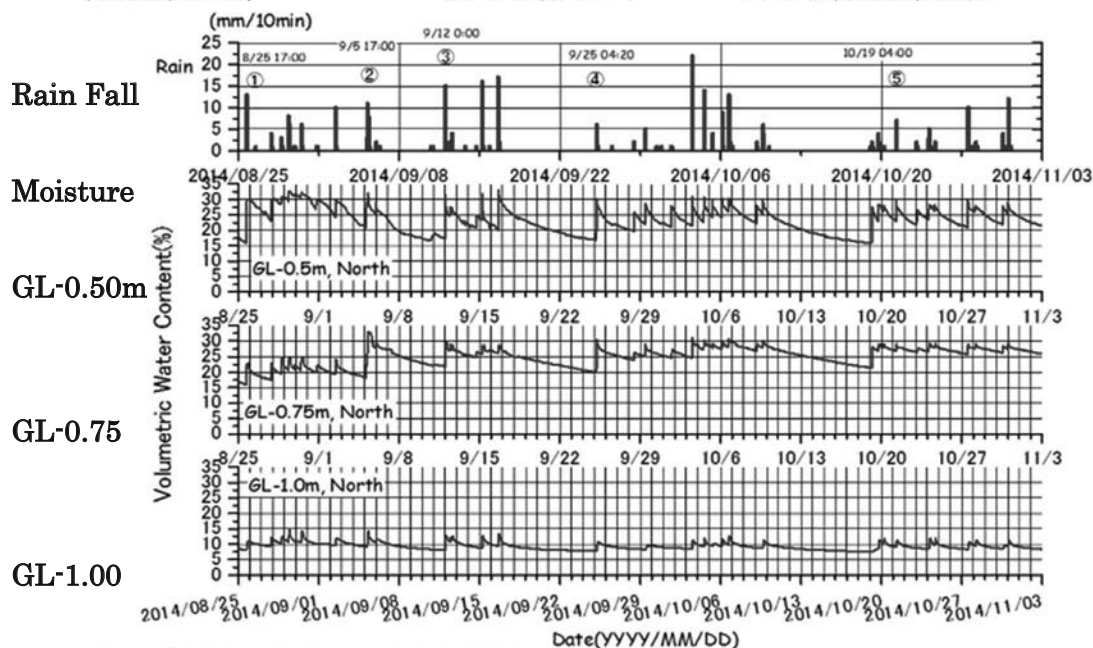


図-5 バイヨン基壇内の降雨による含水量変化

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

大分市高瀬石仏の保存環境調査

その 4) 液水拡散係数の異方性を考慮した 2 次元熱水分移動の数値解析

Evaluation of the conservation environment at the stone buddhas of Takase, Oita
Part 4: Two-dimensional numerical analysis of heat and moisture transfer
considering anisotropy of the liquid water diffusivity

☒ 3

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

三次元計測に基づく富山市大山の恐竜足跡化石の劣化評価
The degradation state of the dinosaur footprint in Ohyama,
Toyama-City, based on 3D measurement.

○朽津信明（東京文化財研究所）、酒井修二（凸版印刷）、藤田将人（富山市科学博物館）
○Nobuaki KUCHITSU（Tokyo National Research Institute for Cultural Properties）, Shuji SAKAI
（Toppan Printing Co., Ltd.）, Masato FUJITA（Toyama Science Museum）

1. はじめに

文化財の劣化を評価する際に、時間を置いて同じ対象物を二回測定することから、両者の形状変化に基づいて行う方法が知られている¹⁾。また、型取りによって過去に作成されていたレプリカの形状と現状とを比較することにより、より長期間に生じた劣化を評価する試みについても過去に本学会で報告を行っている²⁾。ただしこれらでは、設定された二つの時点の間に起きた劣化を評価しているに過ぎず、過去を含めた劣化の進行に関する時間的変化を議論することはできていない。これに対して本研究では、過去に複数回の型取りによって作成されていた複数のレプリカや、過去に複数方向から撮影されていた写真等に基づいて対象物の三次元形状を複数の時点で推測し、それを現在の形状と比較することにより、劣化の進行の時間的変化を検証することを試みたので、その結果を報告する。



図1. 富山市大山の竜脚類の足跡化石
(2019年撮影)

2. 調査対象

対象は、富山市大山の恐竜の足跡化石である。ここでは、白亜紀前期の地層中から1995年に恐竜の足跡化石群が発見されており³⁾、今回対象とするのはそのうちの竜脚類の足跡と見られる部分である（図1）。この足跡化石に関しては、1997年に型取りが行われてレプリカが作成されており（図2）、また、2015年には型取り範囲が拡張されて改めてレプリカが作成されていた。レプリカはいずれもFRP製で、完成後は富山市科学博物館内で屋内保存されている。

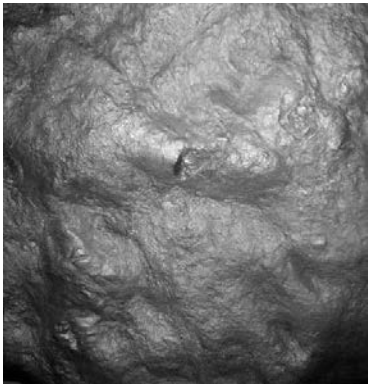


図2. 1997年の型取りに基づくレプリカ

3. 計測方法と結果

3.1. 方法

それぞれの対象について、多視点ステレオ技術に基づき多方向から写真撮影を行うことで三次元計測を試みた。撮影はデジタルカメラ Canon Powershot G1 X Mark III を使い、1997年作成のレプリカについては71枚、2015作成のレプリカについては77枚、現地の実際の足跡化石については230枚を、2019

年6月と9月に撮影した。得られた写真より、凸版印刷のTORESYS 3D®を用いて三次元形状モデルを構築した。また、2007年8月に撮影されていた現地の足跡化石の写真が4枚存在したので、それについては(株)オークのAgisoft PhotoScanを用いて可能な範囲で三次元形状モデルを構築した。

次に1997年作成のレプリカの形状、2015年作成のレプリカの形状、2019年の足跡化石の形状をそれぞれ位置合わせし、各形状間の変異

が5mm以上となる地点を抽出して、それを足跡化石面に正対する位置から見たオルソ画像上に提示することで、両者の時間経過の間に劣化

が進行した部位を検知することを

試みた(図3)。また2007年当時の足跡化石の三次元形状が構築できた領域については、その部分のみを1997年作成のレプリカ、2015年作成のレプリカの当該部分と位置合わせし、同様の方法でそれぞれ変異が5mm以上となる部分を抽出して表示した(図4)。

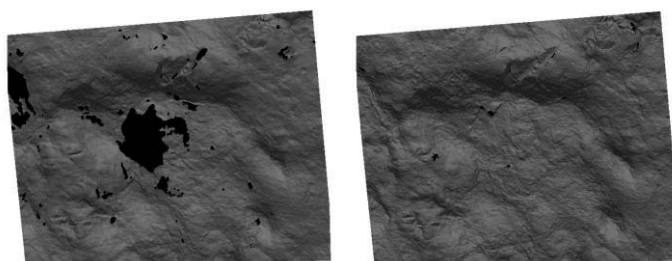


図3. 1997年と2015年(左)、2015年と2019年(右)で5mm以上の変異が検知された地点(●)の分布図

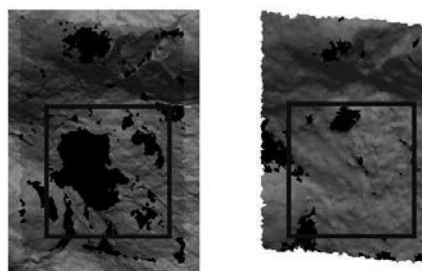


図4. 1997年と2007年(左)、2007年と2015年で5mm以上の変異が検知された地点(●)の分布図

3.2. 結果

1997年作成のレプリカと2015年作成のレプリカとの間の差異と、2015年作成のレプリカと2019年の足跡化石との間の差異とを比較すると、前者では5mm以上の変異が検知された領域が全エリア内で計20754ピクセルだったのに対し、後者では同一エリア内で717ピクセルだった。また、2007年の足跡化石の形状が構築できたエリア(図4の□内)だけで見ると、2007年の足跡化石との間に5mm以上の変異が検知されたピクセル数は、1997年作成のレプリカではエリア内で10572ピクセル、2015作成のレプリカでは同一エリア内で2016ピクセルだった。

4. 考察

それぞれのレプリカの形状を型取りした時点での足跡化石の形状とすると、足跡化石全体では、1997年から2015年までは平均すると一年あたり1153ピクセルずつ5mm以上の変異を示す領域が増えたことになり、これは同条件での2015年から2019年までの平均179.25ピクセルを遥かに上回る。また、2007年の形状が得られた範囲内では、1997年から2007年までは平均1057.2ピクセル、2007年から2015年までは平均252ピクセルと、これも古い時期の方が上回った。つまり当該足跡化石は発見直後に急速に劣化が進行し、時間とともに徐々に劣化速度が遅くなってきている状況と解釈される。このようにしてレプリカや過去に撮影された写真などに基づいて複数の時間軸を設定して過去の形状評価を行えば、今後は様々な文化財の劣化状況について、正確に評価が可能となる場合があると期待される。

文献 1) Masuda et al., (2004) Conservation of Monuments in Thailand III, 29, 2) 朽津信明他 (2017) 日本文化財科学会第34回研究発表要旨集14、3) 富山県恐竜足跡化石調査委員会 (1997) 富山県恐竜足跡化石調査報告書

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

輸送時に屏風構造を持つ美術品に発生する共振現象 に関する基礎的研究

The fundamental research for the resonance phenomenon of the
art object with folding screen structure during transport

○和田浩（東京国立博物館）

○Hiroshi WADA (Tokyo National Museum)

1. 本研究の目的

一度の輸送で損傷が生じなかった美術品であっても、素材や構造には大小の蓄積疲労が発生していると考えられる。蓄積疲労の生じない梱包設計は理想的であるが、現実的にはそれを最小限度に抑制したものが最適な手段と位置付けられる。輸送中に美術品がどの程度共振するか、その頻度やレベルは蓄積疲労の大きさと直結するため、輸送時に生じた振動に対する美術品の応答特性を把握しておくことが重要となる。美術品の振動に対する応答特性は、その構造や素材等に応じて異なることが想定されるため、具体的な対象物を絞った上での定性から始める必要がある。そこで本研究では、美術品の梱包設計の最適化に必要な情報である振動に対する応答特性を得るための方法論を構築することを目標に設定した。

2. 実験に用いた屏風のレプリカについて

屏風は木材の骨組みに何層もの和紙を張り重ね、再表面の和紙に書画が描かれた構造を持つ美術品である。日本の美術品の絵画分野で輸送頻度が高く、振動による彩色層の亀裂や剥落といった損傷が危惧される。和紙製の蝶番で接続された複数の画面を持つ作品が一般的な形態であるが、加振装置への固定を考慮し、今回はまず1面のみのレプリカを製作した（図1）。

3. 実験結果と考察

加振実験（図2）の結果からは、30箇所計測位置の共振周波数は、70Hz付近から150Hz付近の帯域に集中していると考えられた（図3）。計測位置の応答加速度の時間変化を立体的に把握するためにアニメーションを作成し、確認した（図4）。これらの結果から現状では、木材の骨組みの振動が和紙表面の振動に影響している可能性が高いと考察している。

4. 今後の展開

今後は、木材の骨組みがどのような挙動を示すのかをシミュレーションし、その結果が加振実験結果と一致するのかどうかを検証する予定である。骨組み構造のバリエーションを増やしてシミュレーションし、得られた骨組み構造の振動応答特性情報から、屏風構造を持つ美術品の振動応答特性を推定できる。最終的に加振実験を実施し、この仮説を検証できれば美術品レプリカを用いた振動応答特性推定の一つの方法論を提示できるものと考えている。



図1 製作したレプリカ(長 1149/幅 501/厚 19.5mm)と計測位置を骨組み上に表示したもの。

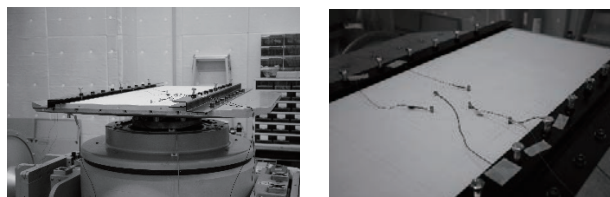


図2 レプリカを加振装置に固定し、垂直方向に加振した。加速度センサーはレプリカ表面にグリスで固定した。加振条件は、周波数範囲：10Hz-200Hz、加速度 3G、掃引速度：0.5oct/min、加振波：正弦波。

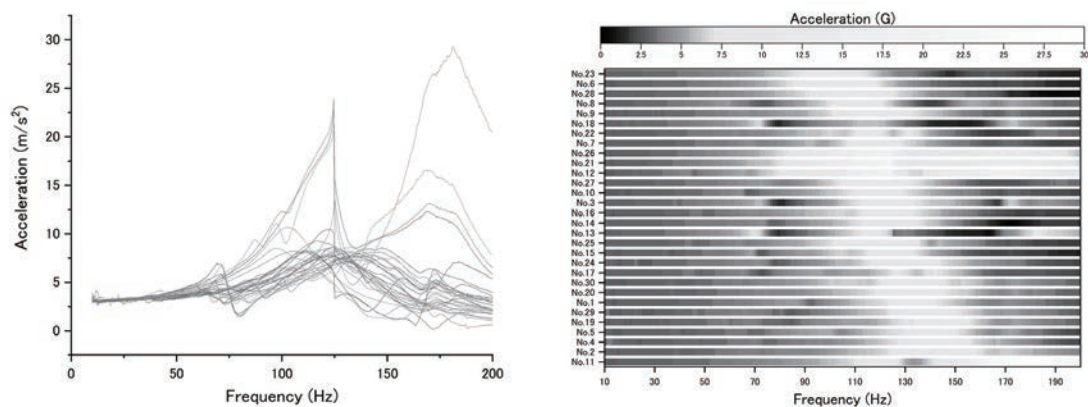


図3 計測位置(30箇所)で計測した応答加速度を周波数毎にプロットしたグラフ(左)と、加速度レベルをヒートマップで表現したグラフ(右)。左図で 175Hz 付近に大きなピークを示した計測位置は No.11(最外の木杵)に該当する。

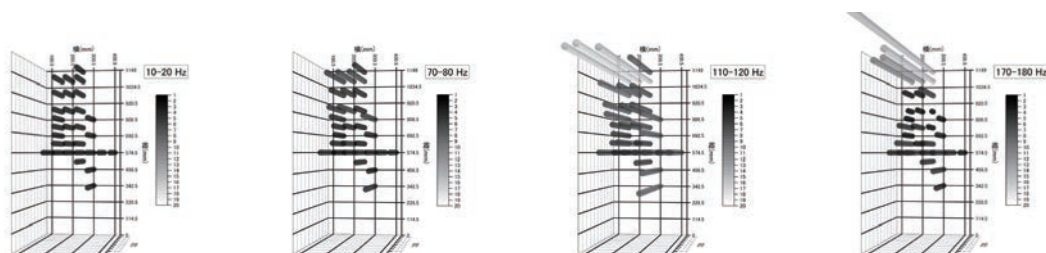


図4 各計測位置で計測した加速度の 10Hz 毎の平均値を棒状レベルで表現したもの(アニメーション表現で挙動の把握を試みた)。木杵の振動が和紙表面の振動に大きく影響した可能性が高い。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 20H01383 の助成を受けたものである。感謝の意を表する。

想定を超える水平加速度をもつ地震波を受けた際の博物館用免震装置の挙動

Behavior of museum seismic isolators subjected to earthquake waves with an unexpected large horizontal acceleration

○黄川田翔（東京国立博物館）、和田浩（同左）、矢野賀一（同左）、荻堂正博（同左）

○Sho KIKAWADA, Hiroshi WADA, Yoshikazu YANO, Masahiro OGIDO (Tokyo National Museum)

1. はじめに

従来、博物館等で広く採用されてきた免震装置は、兵庫県南部地震で観測された最大水平加速度 818gal（JMA 神戸、NS 成分）を約 100gal まで減衰する仕様が一般的であったが、近年発生した巨大地震では 1,000gal や 2,000gal を超える最大水平加速度が観測されており、免震装置が想定以上に強い地震力を受けた際に、所望の免震効果が得られない懸念がある。

そこで筆者らは、現行の免震装置がこのような巨大地震に遭遇した際にどのような挙動を示すのか、また免震装置上に設置あるいは固定された作品にどのような影響が生じるのか観察するために加振実験を行った。本稿では、その実験結果を示しながら、展示の安全性向上について検討する。

2. 加振実験の条件

本実験では、8 種類の展示品（表 1）と 2 種類の免震装置付き展示台（表 2）を組み合わせた試験体を三次元振動台に設置し、2011 年に観測された東北地方太平洋沖地震 K-NET 仙台波および 2016 年に観測された熊本地震 Kik-net 益城波を 100％入力し、その挙動を確認した。入力する地震波と試験体の組み合わせは表 3 の通りである。

表 1. 加振実験に使用した展示品の仕様

展示品No.	1	2	3	4	5	6	7	8
種類	土器	土器	土器	土器	皿（ガラス）	皿（磁器）	皿（磁器）	模造刀
展示品グループ	A				B			
画像								
寸法 (mm)	高さ：300 幅：175 底面：φ100	高さ：290 幅：200 底面：φ100	高さ：285 幅：220 底面：φ115	高さ：495 幅：φ290 底面：φ175	幅：φ190 高さ：20	幅：φ215 高さ：25	幅：φ190 高さ：18	全長：1200 刃長：735
質量 (kg)	1.90	2.25	2.25	7.15	0.30	0.40	0.40	0.90（鞘払い）
固定方法	錘（鉛）	五徳	テグス	支持具、テグス	方形皿立て（木製）	方形皿立て（木製）	三角皿立て（アクリル）	刀掛け（木製＋布）

表 2. 加振実験に使用した免震展示台の仕様

名称	免震展示台A	免震展示台B
種類	露出展示台	独立展示ケース （木製、ガラスなし）
寸法 (mm)	幅1050 × 奥行1010 × 高750	幅3000 × 奥行757 × 高2287
免震方式	転がり型（車輪＋レール）	滑り免震
自動原点復帰	あり	なし

表 3. 入力地震波と試験体の組み合わせ

入力波 \ 展示台	免震展示台A	免震展示台B
仙台波（1回目）	展示品グループA	展示品グループB
益城波（1回目）	展示品グループA	展示品グループB
仙台波（2回目）	展示品グループB	展示品グループA
益城波（2回目）	展示品グループB	展示品グループA

3. 加振実験の結果

各入力波に対する展示品の挙動を表4に示す。特に、免震展示台Aに設置された状態で Kik-net 益城波を受けた際に、展示品の転倒や破損が多く確認された。展示品の前後方向（X 方向）の最大加速度に着目すると、入力波（振動台上）は 1230gal であるにも関わらず、免震展示台Aでは 6850gal もの極めて大きな加速度が発生しており、これは免震装置が最大変位に達した際に発生した衝撃力に起因するものであると考えられる（図1）。このような場合、錘による低重心化や五徳による底面積の拡大によって展示品の転倒限界加速度を上げたとしても、転倒・破損に至る可能性が高く、またテグスや支持具で固定してもその強度によっては転倒防止効果が得られないことが明らかになった（図2）。一方、免震展示台Bでは、このような極めて大きい加速度は発生していないが、入力波によっては加振実験後の変位が非常に大きくなる様子が確認された（図3）。これは自動で原点位置に復帰しない免震方式であるため、直後に大きな余震を受けた場合の免震性能や避難経路の確保などが課題として浮かび上がった。

4. 展示の安全性向上に向けて

このような巨大地震に対して柔軟に備えるためには、博物館ごとに異なる諸条件（立地、建造物、予算など）を踏まえた上で免震装置の要求仕様を検討するだけでなく、展示手法も含めた、総合的な安全性の評価と対策が求められる。テグスや支持具などによる転倒防止効果は期待できるが、本実験結果が示唆するように、十分な強度を兼ね備えたものにしなければならない。そのため、支持具などの材料選定、形状設計、展示台への設置方法などについて、今後より具体的に評価する必要があると考える。

表4. 加振実験による展示品の挙動

展示品 入力波	展示品グループA				展示品グループB			
	1	2	3	4	5	6	7	8
仙台波（1回目）	○	×	○	○	○	○	○	○
益城波（1回目）	×	×	△	×	○	○	○	○
仙台波（2回目）	○	○	○	○	△	△	○	△
益城波（2回目）	○	○	○	○	△	×	×	×

※判定内容
○：異常なし（軽微な移動も含む）／△：移動、傾き／×：転倒、破損

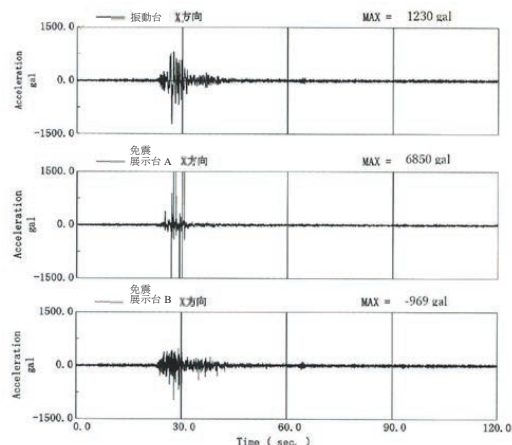


図1. Kik-net 益城波に対する応答加速度（X 方向）
上：振動台 / 中：免震展示台 A / 下：免震展示台 B

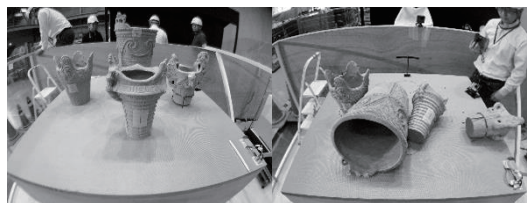


図2. Kik-net 益城波を受けた展示品（免震展示台 A）
左：加振実験前 / 右：加振実験後

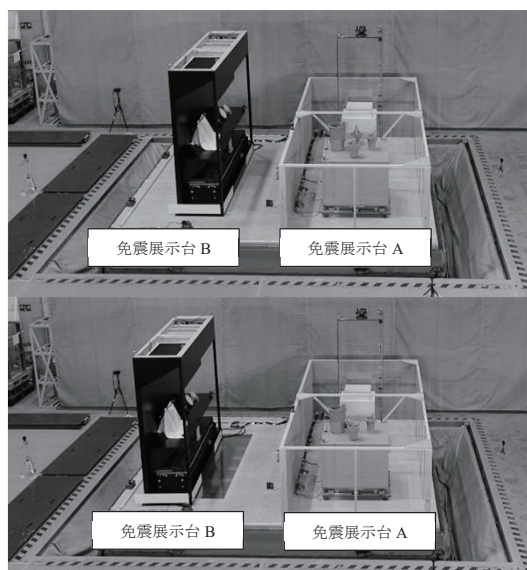


図3. K-NET 仙台波を受けた免震展示台の挙動
上：加振実験前 / 下：加振実験後

酒船石遺跡の地盤工学的性質と降雨時の浸透－変形挙動の評価

Evaluation of the geotechnical characteristics and seepage-deformation behaviors in the Sakafuneishi ruins

○澤田茉伊（京都大学）、三村衛（同左）

○Mai SAWADA、 Mamoru MIMURA (Kyoto University)

1. はじめに

奈良県明日香村の酒船石遺跡は、石造物群を有する飛鳥時代の遺跡であり、石垣を施した丘陵地や、谷部の導水施設からなる。谷部は、発掘以降、露天展示されているが、2017年に降雨により石段を施した斜面に30～70cmのすべりが発生した(図1)。本稿は、地盤工学に基づき、谷部の降雨の浸透と変形挙動を明らかにし、適切な保全方法の提案を目的とする。

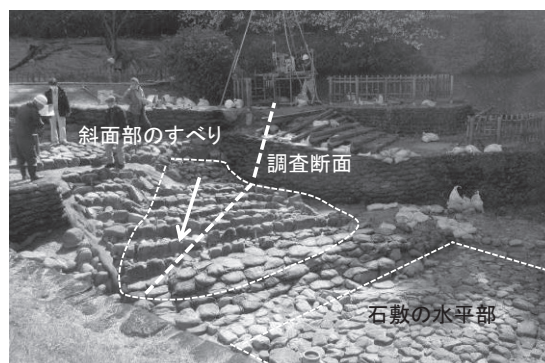


図1 谷部の崩壊の様子（2019年4月）

2. 遺構の地盤工学的性質

谷部の地盤構造を調べるため、標準貫入試験等の地盤調査を実施したところ、表層の約2mの領域は、N値が2以下の軟弱層であることがわかった。表層土は、細粒分が多いまさら土で、透水性が低い ($k_s=3.37 \times 10^{-7} \text{m/s}$)。

すべりは表層内で起こったと考え、表層の降雨時の強度を調べるため、飽和および不飽和状態で三軸圧縮試験を行った。得られた応力－ひずみ関係を図2に示す。飽和に近くなるほど、土中の間隙水によって発揮される土粒子間力が低下するため、変形しやすいことを表している。

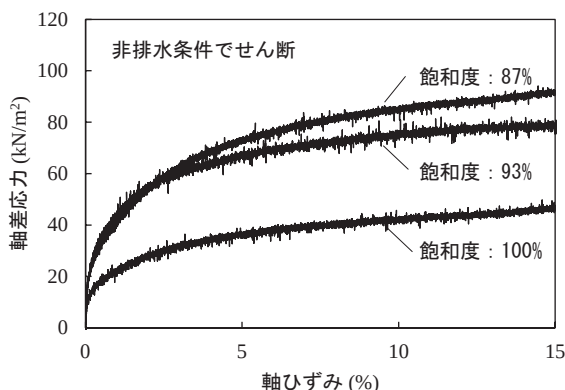


図2 飽和度を変えた三軸試験の結果

3. 降雨の浸透と変形

三軸圧縮試験の結果をもとに、弾塑性モデルのパラメータを決定し、降雨の浸透と変形を数値解析で評価する。図1中の調査断面をもとにした解析断面を図3に示す。なお、表層以外は、浸透特性は表層と同じであるが、十分硬い地盤とした。解析は、顕著なすべりが確認された2017年10月の1か月間を対象とする。降雨に加えて、地下水位の変動も斜面の変形に影響

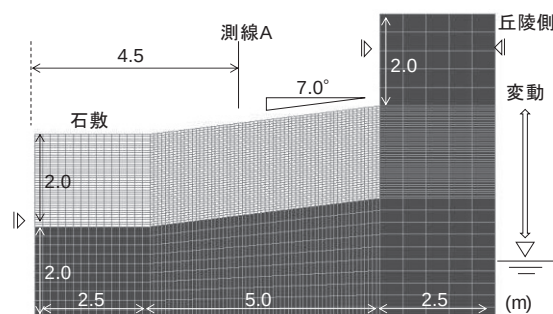


図3 解析モデル

された2017年10月の1か月間を対象とする。降雨に加えて、地下水位の変動も斜面の変形に影響

響している可能性があるため、谷部の隣接する丘陵からの浸透水の流下を考慮し、実効雨量をもとに地下水位を設定した（図4）。

斜面中央の側線 A 上の飽和度の変化を図5に示す。台風に伴う大雨によって、22日は深部まで飽和していることがわかる。これは、台風時に石段の冠水が確認されたことと整合している。斜面の変形は、台風以前の15日あたりから、飽和度の上昇に伴って進行し、最大で40cm程度の変形が生じた。図6は22日時点でのすべりの様子を偏差ひずみの分布で表したものである。斜面部と水平部の2か所ですべりが生じていることがわかる。斜面は、浸潤すると変形しやすくなるため、自重によって下方に移動する。水平部は、その荷重を受けて、モデル左端が沈むように水平部がせん断変形し、斜面のすべりを助長する。これらのプロセスにより、2か所ですべりが生じている。実際の水平部は過去のすべりによって一部の石材が持ち上がっているなど、複雑な境界条件であり、解析では厳密に再現していないが、崩壊後の発掘用トレンチでは、表層内に解析結果と類似した複数のすべり面が確認された。

4. 保全方法の提案

地下水位の変動がすべりに与える影響を調べるため、降雨時も地下水位が変動しない場合について、同様に解析したところ、地下水位が変動しない場合の方が、表層の変形はわずかに軽減された。これは、地下水位が低いために表層の透水性が低く保たれ、雨水の浸透が抑制されるためである。

以上の結果から、表層のすべりの主要因は降雨であり、地下水位の寄与は小さいと考えられる。したがって、修復においては軟弱な表層を除去し、浸潤時の変形が少ない土に置き換える必要があるが、排水設備の敷設による地下水位の制御は必須ではないと考えられる。この方針をもとに、整備工事が行われ、2020年4月までに完了している。

謝辞：現地調査および試料採取においては、明日香村教育委員会 西光慎治氏・長谷川透氏、ソイルアンドロックエンジニアリング 吉村貢氏に多大なご協力を賜った。

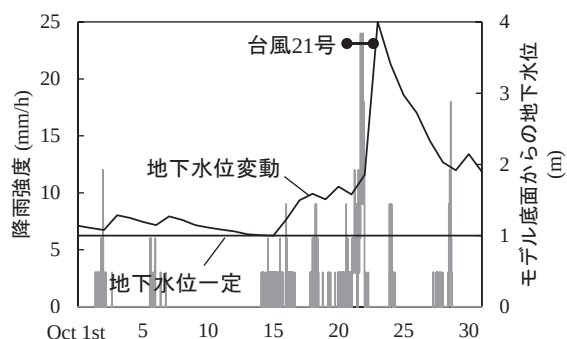


図4 降雨と地下水位（2017年10月）

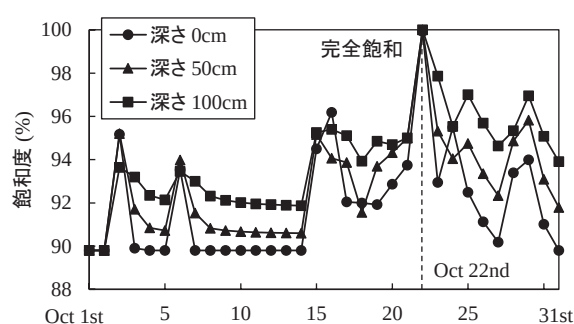


図5 深さ別の飽和度の推移

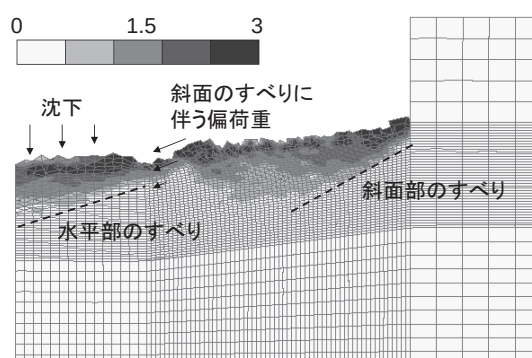


図6 偏差ひずみの分布（10月22日時点）

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

弥生時代の人々はどんな食事をしていただろうか？

—唐古・鍵遺跡及び清水風遺跡出土土器の脂質分析—

Lipid residues analysis of pottery from Karakokagi site

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

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

はじめに

本研究では、煮る、炊く、蒸すなど調理形態の変遷とも関連する列島の米、アワ、キビなどデンプン質穀物の調理を探るために、唐古・鍵遺跡出土土器の脂質分析を行った。

1. 唐古鍵遺跡

奈良県唐古・鍵遺跡は、弥生時代から古墳時代にかけての大規模環濠集落であり、隣接する清水風遺跡は同時期における唐古・鍵遺跡の祭祀場のような遺跡と考えられている（図1）。

2. 試料と実験方法

分析に用いた土器試料は、弥生時代前期の土器底部付着炭化物10点と胴部付着炭化物1点

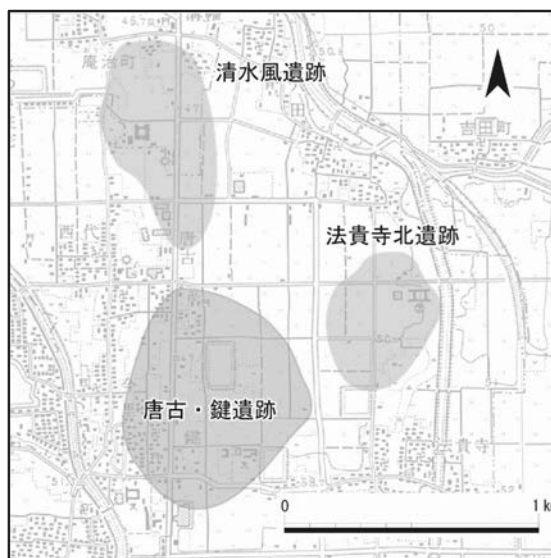


図1. 唐古・鍵遺跡と清水風遺跡の立地

である。粉末状にした200-500mgの付着炭化物を、メタノールと硫酸を用いる酸触媒直接メチル化法（Correa-Ascencio & Evershed 2014, Papakosta 他 2015）で脂質を抽出し、ガスクロマトグラフ質量分析計（TRACE GC ULTRA-ISQ LT）によって、脂質組成からバイオマーカーを解析し、燃焼炉付ガスクロマトグラフ質量分析装置（GC-IRMS）によって、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($\delta^{13}\text{C}_{16:0}$, $\delta^{13}\text{C}_{18:0}$)、残存有機物の起源推定を行った

(Horiuchi *et al.* 2015)。実験操作は、全て東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室 (MALT) で行った。

3. 結果と考察

抽出した脂質の 80-90% を占めるパルミチン酸・ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成は、 C_3 植物から陸棲動物、海棲動物の領域まで、広い分布を示す。こうした傾向は、中国大陸の初期稲作遺跡である浙江省田螺山遺跡 (紀元前 5000 年以降) から出土した土器付着炭化物の分析結果と類似する。しかし、バイオマーカー分析の結果、多くの付着炭化物試料から超長鎖飽和脂肪酸、長鎖炭化水素、植物性ステロールなど植物性脂質が検出され、さらに、全ての試料から、加熱調理 (270℃ 以上) のマーカーであるアルキルフェニルアルカン酸 (Alkylphenyl alcanoic acid; APAA) -C18 とともに、アルキルシクロペンチルアルカン酸 (Alkylcyclopentyl alcanoic acid; ACPA) が検出された。これは、イネを含む様々な C_3 植物と魚類や陸獣を含む動物物質 (あるいは、アワ・キビなどの C_4 植物) を混ぜて “ごった煮” にしていたと考えられる田螺山遺跡や石川県八日市地方遺跡などの事例とは異なる。水棲動物のバイオマーカーであるイソプレノイド類や、キビのバイオマーカーであるミリアシン (Heron 他 2016) も検出されていないため、イネを含む様々な C_3 植物の影響を強く受けているのかもしれない。

一方、弥生時代中期の清水風遺跡から出土した甕以外の鉢や壺などの土器片からは、イソプレノイド類とミリアシンが同時に検出されているため (白石他 2020 ; 宮田 2020)), 唐古・鍵遺跡や清水風遺跡では、当時から土器の使い分けなどが存在した可能性が示唆される。実際、1 点のみであるが、胴部付着炭化物から抽出した脂質から、コレステロールが検出され、分子レベル炭素同位体組成も海棲動物の領域にあることから (図 2; ○Chl), オカズなどの副食調理に用いた土器片なのかもしれない。今後、酸抽出法では分解されてしまう、デンプン質食材のバイオマーカーであるレボグルコサンや米に多く含まれるトコフェロール類などの植物マーカー類が検出されるかどうか、TLE 分析を行ってさらに確認することが必要である。

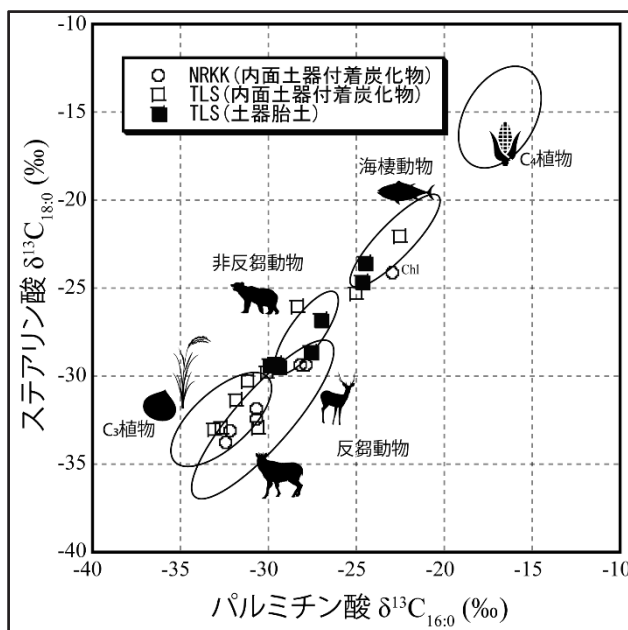


図 2. パルミチン酸、ステアリン酸の分子レベル炭素同位体組成を、現生日本産生物データと比較。NRKK 唐古・鍵遺跡 (本研究) ; TLS 田螺山遺跡 (Shoda *et al.*, 2018)

謝辞 本研究は、科研費基盤研究 (A) “科学分析手法と土器使用痕観察を組み合わせた古食性と調理形態復元に関する学際的研究” (研究代表 宮田佳樹; 16H01824)、及び、新学術領域研究 “高精度年代測定及び稲作農耕文化の食生活・健康への影響評価” (研究代表 米田 穰; 15H05969) の成果の一部である。

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

火炎土器の用途分析（２） —新潟県六反田南遺跡における脂質（残留有機物）分析— Usage analysis of the Flame style pottery (2) — lipid analysis of Rokutanda minami site —

○宮内信雄（東京大学総合研究博物館）、堀内晶子（国際基督教大学）、
西田泰民（新潟県立歴史博物館）、高橋保（前 新潟県埋蔵文化財調査事業団）、
宮田佳樹（東京大学総合研究博物館）、吉田邦夫（同左）

○Nobuo MIYAUCHI (The University Museum, The University of Tokyo), Akiko HORIUCHI
(International Christian University), Yasutami NISHIDA (Niigata Prefectural Museum of History),
Tamotsu TAKAHASHI (Niigata Prefecture Archaeological Research Corporation),
Yoshiki MIYATA, Kunio YOSHIDA (The University Museum, The University of Tokyo)

1. はじめに

縄文時代中期の火炎土器は、立体的な装飾から特殊な用途を持つと推定される向きがあり、その当否を探るべく発表者らは、継続的に分析を行っている。新潟県糸魚川市六反田南遺跡は、日本海沿いに立地し、火炎土器分布圏の西外縁部にある。そのため火炎土器の組成比は少ないが、火炎土器の分布の中心地である内陸の遺跡とは良い比較資料になると考え、脂質（残留有機物）分析により煮沸物の推定を行った。また、今回測定した全資料について炭素・窒素安定同位体分析を実施済みであるが（宮内・吉田 2018）、この結果との比較も目的の一つである。

2. 分析試料と方法

測定試料は、32 点の土器内面付着炭化物である。母資料のうち、火焰型土器は 1 点である。その他の内訳は新崎式 10 点、天神山式 11 点、六反田南遺跡の独自性を示すもの 4 点、中部高地や信州系 3 点、時期系統不明 3 点である。器種・器形は、鉢、深鉢、台付鉢、台付深鉢である。

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

3. 測定結果

32 点のうち、2 点は抽出された残留有機物の量が僅少なため、十分な分析ができなかった。残りの 30 点からはいずれも、炭素数 20 以上の APAA や、イソプレノイド類といった水棲動物の生物指標が検出された。CSIA の値は、海棲動物の領域に属するグループ（A 群；No. 1～12、14～28、30～31、33）と、非反芻動物の領域に属するグループ（B 群；No.13、29）に大きく二分できる。A 群が 28 点と圧倒的に多く、火焰型土器（No.31）も属する。A 群の試料においても、シトステロールやテルペン類など植物由来の生物指標の検出例が 4 点あり、さらに参考ながら、テルペン類の可能性のある有機物の検出例も 4 点あった。No.27 や No.28 のような、A 群でも最も $\delta^{13}\text{C}$ が大きい部類の試料からもテルペン類が検出されたことを踏まえると、植物の生物指標が検出されなかった試料でも、海棲動物だけではなく C₃植物が混合する場合が少なくないことを示唆する。なお、No.26 などの CSIA の値は C₄植物かそれに近い領域にあるが、炭素・窒

素安定同位体分析の $\delta^{13}\text{C}$ は最大でも -21‰ 台であることから、 C_4 植物の混合は考えにくい。

B 群の 2 点は、海棲動物と C_3 植物の混合の結果、両者の中間的な位置にある、非反芻動物の領域の同位体比を示したものと解釈している。確実な植物の生物指標は検出されていないが、いずれもテルペン類の可能性のある有機物が検出されている。両群は共に海棲動物と C_3 植物の混合物が主体と推定されるが、B 群は A 群に比べると、 C_3 植物の寄与率が多いと捉えるのが自然であろう。なお、非反芻動物と反芻動物の混合については、明確な証拠はないがその可能性は否定できない。母資料の文様や時期、器種・器形による差異は認められなかった。

4. 炭素・窒素安定同位体分析結果との比較

炭素・窒素安定同位体分析では、母資料の文様や時期、器種・器形による差異は認められていない。 $\delta^{15}\text{N}$ が $0\sim 2\text{‰}$ 程度と小さく、ほぼ C_3 植物のみに由来すると推定される試料が注目される。当該試料は 3 点あるが、残留有機物の量が僅少だった 2 点と、CSIA で最も同位体比が小さい No.29 がこれに当たる。CSIA の B 群のもう 1 点である No.13 は、上記 3 点に次いで $\delta^{15}\text{N}$ が小さい (3.4‰)。ほぼ植物質であるならば、脂質量が僅少な場合があるので、脂質(残留有機物)分析が十分に行えなかったという結果は合理的である。

$\delta^{15}\text{N}$ が 8‰ 以上の場合、発表者らは試料に海棲動物の影響があることを考慮している。海棲動物の脂質の寄与が強いと思われる CSIA の A 群の、 $\delta^{15}\text{N}$ の平均は 9.5‰ であるが、 8‰ 未満の試料も 5 点存在する (max 7.9‰ 、min 5.3‰)。これらは $\delta^{15}\text{N}$ が 8‰ 以上の試料より、CSIA の値が小さい傾向が認められ、海棲動物の脂質の寄与率が比較的小さい可能性がある。 $\delta^{15}\text{N}$ からは試料のタンパク質の由来を推定できるが、CSIA から推定されることと完全に符号はしないものの、ある程度の傾向は一致するようである。

5. まとめ

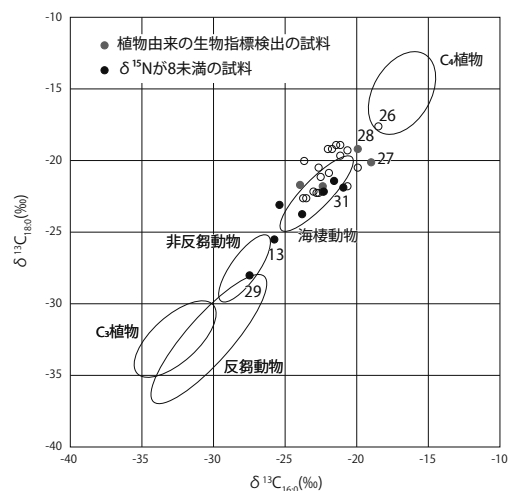
六反田南遺跡の土器内面付着炭化物の脂質(残留有機物)分析では、火焰型土器は 1 点のみであって、他の土器と十分に比較できなかった。しかし、立地を反映するように、火焰型土器を含むほぼ全ての試料で水棲動物の生物指標が検出された。火炎土器が出土する海岸沿いの遺跡の土器使用方法として、貴重な参照事例を得ることができた。火炎土器の中心地である、内陸部の遺跡との比較が課題となるが、過去の測定事例(試料は土器内面付着炭化物・土器胎土; 西田ほか 2014) は結果の再検討中であり、言及できなかった。

文献

西田泰民ほか 2014 『日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集』 pp.424-425

宮内信雄・吉田邦夫 2018 『六反田南遺跡VI』新潟県教育委員会・新潟県埋蔵文化財調査事業団 pp.252-267

※本研究は 2019 年度吉田学記念文化財科学研究助成基金、および、科研費基盤研究 (A) (研究代表 宮田佳樹; 16H01824) の支援を得て行われた。



個別脂肪酸の分子レベル炭素同位体比の測定結果と食材グループ

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

土器残存脂質からみた平安時代の牧における動物利用

Detecting Animal Use in the Heian Period by Pottery Organic Residue Analysis

○庄田慎矢（奈良文化財研究所・ヨーク大学考古生化学研究所）、植月学（帝京大学文化財研究所）、タルボット＝ヘレン（ヨーク大学考古生化学研究所）、クレイグ＝オリヴァー（同左）
○Shinya Shoda (Nara National Research Institute for Cultural Properties / BioArCh, University of York),
Manabu Uetsuki (Research Institute of Cultural Properties, Teikyo University), Helen M. Talbot and
Oliver E. Craig (BioArCh, University of York)

1. はじめに

山梨県百々遺跡では、平安時代の竪穴住居跡、掘立柱建物跡、土坑、溝など数多くの遺構が調査され、ウマやウシの骨が多く出土したことから、同遺跡の近隣に古代の牧が存在したと考えられた。本発表では、平安時代の牧においてどのような動物の利用（例えば皮革加工や搾乳など）が行われたのか、土器に残る有機物を抽出・同定することによって明らかにしようと試みた。

2. 試料と方法

百々遺跡出土土器胎土 15 点を粉体化（～2 g）し、ここから既存のプロトコル（Evershed et al. 1990, Craig et al. 2013）に従い脂質を抽出した試料について、GC-FID、GC-MS、GC-c-IRMS をそれぞれ用いた分析により、残存脂質の定量化、生物指標の同定、個別脂肪酸（パルミチン酸（C_{16:0}）およびステアリン酸（C_{18:0}））の安定炭素同位体比の測定を行った。

3. 分析結果

残存脂質の濃度は、全ての試料において、分析に適する最低値の目安である 5μg g⁻¹（Craig et al. 2013）を上まわった。酸抽出による試料からは、直鎖飽和脂肪酸（炭素数 8 から 28）、不飽和脂肪酸（炭素数 18）、分枝脂肪酸（炭素数 15 および 17）を検出した。溶媒抽出による試料からは、コレステロールやβ-シトステロール、レボグルコサンを検出した。水生生物指標（Evershed et al. 2008）、蜜蝋（Regert et al. 2001）など昆虫由来の生物指標およびキビの生物指標（Heron et al. 2016）は検出されなかった。また、測定した安定炭素同位体比は δ¹³C_{16:0} = -31.8‰～-27.6‰、δ¹³C_{18:0} = -31.7‰～-29.1‰であり、日本産の既知の生物試料から得られた値（Lucquin et al. 2016）と比較すると、反芻動物を含む陸獣および C3 植物の値に近い。

4. 考察

個別脂肪酸の安定炭素同位体比や、GC-MS 分析で水生生物指標が検出されなかったことから、これらの試料群への海産物やサケ科の有意な寄与は排除できる。一方、植物に由来する化合物で

ある β -シトステロール、レボグルコサンは中国新石器時代の土器残存脂質においても確認され、植物質食料の調理加工を示すものと解釈した (Shoda et al. 2018)。本研究でこれらの化合物を検出した試料とされなかった試料を比較すると、前者の安定炭素同位体比が低い傾向を明瞭に示し、これらの値が、 $\delta^{13}\text{C}$ のより低い C_3 植物の影響を受けているという解釈と整合的である。

日本の現生および出土シカ骨から抽出した脂質の $\delta^{13}\text{C}_{16:0}$ (Lucquin et al. 2016) は、 1σ の信頼区間で $-32.3\text{‰} \sim -27.3\text{‰}$ であり、上記 2 試料の値と整合的である。日本産の家畜反芻動物の参照データは現在のところ得られていないが、ヨーロッパやイギリスの現生標本から得られた値では、野生の反芻動物であるシカと家畜であるウシ・ヒツジ・ヤギの $\delta^{13}\text{C}_{16:0}$ は、やはり 1σ の信頼区間で前者において $-30.8\text{‰} \sim -27.7\text{‰}$ 、後者において $-30.4\text{‰} \sim -27.8\text{‰}$ と、ほとんど差が見られない (Cubas-Morera et al. 2020)。従ってこの方法でシカとウシを区別することは難しい。

百々遺跡から出土した動物骨の同定標本数をみると、ウシ 39 点に対し、シカは 3 点であり、ウシの可能性の方が高い。牛肉の調理、煮沸による脂の抽出、コラーゲンの抽出 (腱、骨など) が牧周辺で行われていた可能性が新たに提起されるが、シカであった可能性も排除できない。なお、奈良・平安時代を通じて地方の牧から中央へ、牛乳を煮詰めて作られた蘇が貢進されていたことはよく知られる。残存脂質分析は乳製品の同定に優れている方法であるため、今回の研究においても乳製品由来の脂質の検出を期待したが、その証拠は得られなかった。今後、事例を増やすことで、平安時代の牧とその周辺における様々な動物利用の実態を明らかにしていきたい。

本研究は、挑戦的研究(萌芽)17K18522 (代表：庄田) および基盤研究(B)18H00733 (代表：植月) による成果の一部である。分析に際しては山梨県立考古博物館の協力を得た。

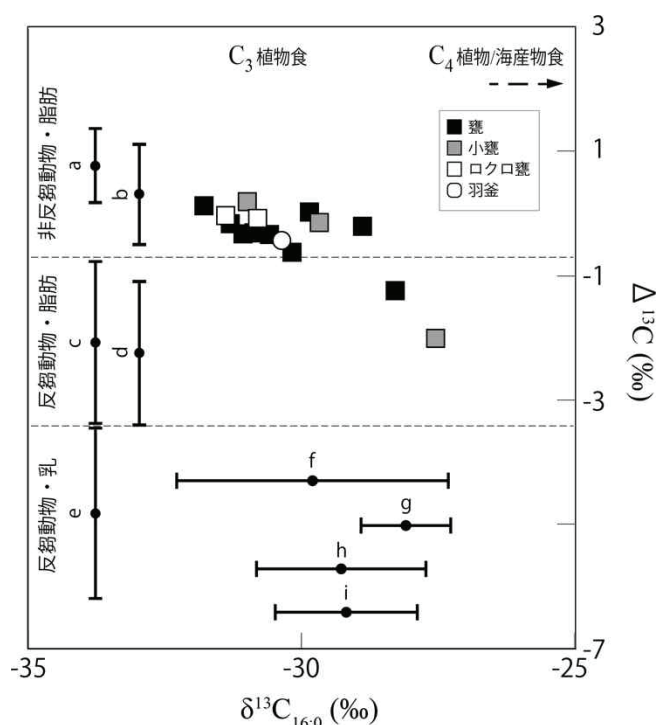


図 百々遺跡出土土器から抽出した個別脂肪酸の安定炭素同位体比。f: 日本産シカ、g: 日本産イノシシ、h: ヨーロッパ・イギリス産野生反芻動物、i: ヨーロッパ・イギリス産家畜反芻動物 (Cubas-Morera et al. 2020, Lucquin et al. 2016)

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

弥生前期から古墳前期への湯取り法炊飯の変化：

唐古・鍵遺跡の深鍋のスス・コゲ分析

○小林正史、藤田三郎、久保田慎二、松永篤知、外山政子、佐々木 仁志
Changes in Rice Cooking Methods from Early Yayoi Period to Early
Kofun Period Based on Ceramic Use-wear Aanalysis in Karako-kagi Site

○小林正史（北陸学院大学）、藤田三郎（田原本町文化財保護課）、久保田慎二（金沢大学）、
松永篤知（金沢大学）、外山政子、佐々木仁志（奈良大学）、

○Masashi KOBAYASHI, Saburo FUJITA, Shinji KUBOTA, Atsushi MATSUNAGA,
Masako TOYAMA, Hitoshi SASAKI,

1. 目的と先行研究： 本発表の目的は、唐古・鍵遺跡のススコゲ分析にもとづいて炊飯方法の時間的変化を明らかにすることである。先行研究において以下の点が指摘されてきた（小林 2019）。第一に、弥生前期～古墳前期の深鍋は3～4㍓付近の断絶を境に中・大型と小型・特小型に作り分けられ、前者は高い頻度で下半部にコゲが付くことから主として炊飯用なのに対し、後者は下半部にコゲがない例も目立つことから炊飯用とオカズ用の両者を含む。

第二に、下半部にコゲが付く深鍋は、①高い頻度で上半部に側面加熱痕（内面の円形コゲと外面の円形スス酸化消失）が付く、②吹きこぼれ直後に鍋を傾けて湯取りしたことを示す斜め白色吹きこぼれ痕（唐古・鍵遺跡では中型の14-40、40-343、38-403。図2・3）が付く例がある、などの事実から「側面加熱蒸らしを伴う湯取り法炊飯」に用いられた。この炊飯方法は東南アジア民族誌では主体的な主食調理法であり、やや硬めの米品種に対応した方法である。

第三に、弥生、弥生古墳移行期、古墳前期の順に、①下半部コゲの形成時期が「蒸らしに移る前」から移行後へと遅くなる、②側面加熱蒸らしの方法が「いきなり熾火上転がし（横倒ししても米粒が崩れない状態になってから蒸らしに移る）」から「熾火に載せた鍋を炎側面加熱した後、熾火上転がし（横倒しすると米粒が崩れる状態で蒸らしに移行）」に変化する、などの点で湯取り法炊飯の中での茹で時間短縮化（蒸らしに移るタイミングが早まる）が進行する。

最後に、自立しない小平底（後期末～庄内期）や尖り気味丸底（庄内形）は、炎側面加熱蒸らし時において、鍋を傾けた状態で熾火載せするための工夫を示す。

2. 分析対象資料： 茹で時間短縮化は、加賀、近畿、吉備などの地域において分析事例が提示されているが、単独の遺跡において検証された例はない。そこで本発表では、弥生前期から古墳前期までの各時期において復元深鍋が得られ、かつ、低湿地遺跡のためススコゲの保存状態が極めて良好な唐古・鍵遺跡を対象として、弥生前期から古墳前期への変化を提示する。

対象とする唐古・鍵遺跡出土の深鍋44個の時期は、1・2期（如意状口縁を指標指標とする弥生前期と中期前葉）、3・4期（中期中葉・後葉）、5・6期（後期）、庄内式期、布留式期の5期に区分した（表1）。サイズクラスは容量分布の断絶と胴下部コゲ頻度の違いから特小型（2㍓未）、小型（2㍓台）、中型（3～8㍓）、大型に区分した。

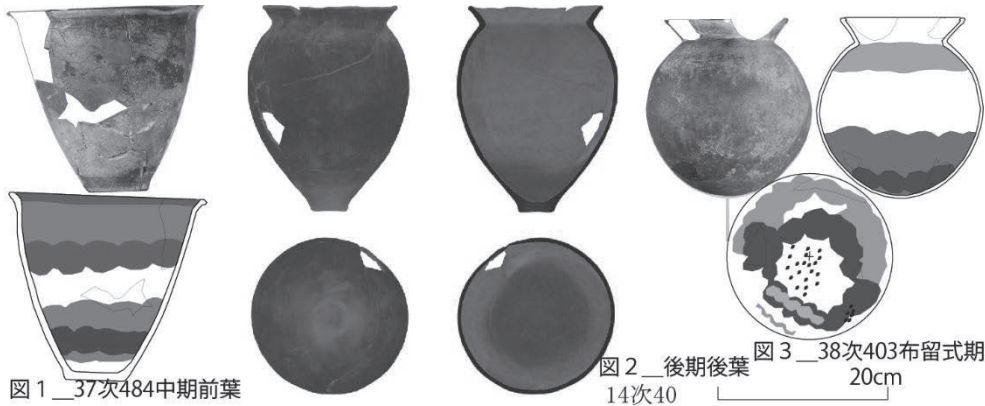
3. ススコゲ類型： まず、下半部（底面～胴下部）にコゲが巡り、かつ、上半部に側面加熱痕（内面の円形コゲ and/or 外面の円形スス酸化消失）が付くものを炊飯用と認定した。一方、下半部にコゲがないものは「オカズ調理用」または「炊飯用だが使用回数が少ないためコゲが付くに至っていない」という2つの可能性があるため、「下半部コゲなし」とした。

次に、炊飯用の中での「茹で時間タイプ」については、①下半部コゲの形成時期が蒸らしに移る前（放射状薪配置を示す炎加熱コゲ）か後（熾火載せ加熱コゲ）か、および②底面熾火載せ加熱の有無（上半部の側面加熱コゲが、「いきなり熾火上転がし」の結果か、「熾火に載せた状態での炎側面加熱を経験しているか）」、という2条件の組合せにより、「長め」タイプ（下半部コゲが炎加熱コゲであり、熾火載せ加熱痕がないことからいきなり熾火上転がしを行った。図1）、「中間」タイプ（下半部コゲが炎加熱コゲで、熾火載せ加熱痕あり。図2）、「短め」タイプ（下半部コゲが熾火載せコゲのみであることから、コゲ付く前に蒸らしに移り、底部を熾火に載せた状態で炎側面加熱を行った。図3）に区分した。浮き置きの庄内・布留形深鍋では、底面に大型円形コゲが付く場合は浮き置き時の炎加熱コゲか蒸らし時の熾火載せコゲか判別できない場合も多いので、「短め／中間」とした。なお、上半部の側面加熱痕は輪郭が滑らかな大型円形を呈する例が殆どないことから、中間・短めタイプでは「炎側面加熱（底面を熾火に載せた状態）⇒熾火上転がし」という2段階の側面加熱蒸らしを経験した可能性が高い。

4. サイズ間の胴下部コゲ頻度の違い： 各時期ともに、2 $\frac{1}{2}$ リットル未満の特小型は、2 $\frac{1}{2}$ リットル以上に比べて「下半部コゲなし」の頻度が高い（表1）。よって、特小型は、非炊飯用や使用回数が少ないためコゲが付くに至らない例を多く含むのに対し、2 $\frac{1}{2}$ リットル以上の中大型は炊飯用が大多数を占めている。

5. 茹で時間タイプの時間的变化： 中大型の炊飯タイプ組成を時期間で比べると、弥生前・中期では全て「長め」、弥生後期では「長め」に「中間」が加わる、庄内式期では「中間／短め」、布留式期では「短め」が主体、という明瞭な時期差が観察された。このように、唐古・鍵遺跡という単独遺跡においても先行研究と同様の茹で時間短縮化傾向が認められた。

表1 炊飯タイプ組成の時間的变化									
時期	サイズ	長め	中間	短め／中間	短め	タイプ不明	下半コゲなし	？	計
1・2期	特小型	1					2		3
	中大型	7						1	8
3・4期	特小型	1						1	2
	中大型	4							4
5・6期	特小型	3					2		5
	中型	1	1					1	3
庄内式	特小型	1					3	2	6
	小型			3		1			4
	中型			1					1
布留式	小型			1	1				2
	中型			1	5				6



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

縄文時代早期における瀬戸内海産スミノエガキ

Crassostrea ariakensis from the Seto Inland Sea in the Initial Jomon period

○富岡直人（岡山理大 生地学部）、大庭史寛（同）、中田昌吾（同）
○TOMIOKA NAOTO, Oba Fumihiko, Nakada Shogo
(Faculty of Biosphere-Geosphere Science, Okayama University of Science)

はじめに

瀬戸内海の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した[富岡他 2017, 2018]。本資料について、X 線 CT スキャンによる殻頂部断面観察を行った結果、スミノエガキと同定できることが把握された上に有明海産スミノエガキとの形態的差異も把握された。

1. 分析資料・比較資料

分析資料は、岡山県笠岡沖で漁網によって採集されたマガキ属 *Crassostrea* sp. 左殻 2 点（岡山県水産試験場資料）[富岡他 2018] を主とし、比較に佐賀県佐賀市東名貝塚を含む日本各地の貝塚・堆積層・化石床出土の考古学資料・地質学資料や現生資料を用いた。

2. 帰属年代

本資料は漁網により単独で採集されたもので、共伴関係は不明である。富岡他[2018]で発表した通り AMS-¹⁴C 測定^(註1)による $\delta^{13}\text{C}$ の補正がなされた Libby Age が 8600yrBP $\pm$ 30、pMC は 34.29 $\pm$ 0.14%、暦年校正用年代は 8596 $\pm$ 32yrBP となり、考古学編年では縄文時代早期に属すると推定された。

3. 貝殻形態

本資料は切断する事が許されない資料であったことから、岡山理大恐竜博物館所有 X 線 CT スキャナーを利用し、断面観察を行った（図 1）。表面及び断面の形態的特徴をマガキ属と比較した。本資料は成長線が顕著なのに比して放射肋がない点、背部殻表が板葺状な点、左殻の厚み・断面のカーブが浅く、右殻がやや深い点、殻頂部の凹みが深く相対的に左殻は深く右殻はやや浅い点、貝殻腹縁が螺旋状にずれながら成長面を形成する点からスミノエガキと考えられた。このようなマガキと異なるマガキ属の存在は、西尾[1976,1977]でも指摘されていたが、西尾の分析した資料が不明で、1980 年代以降検証することはなされて来なかった。

完形の殻体には常法に従い 5 計測基準（①殻高、②殻長、③殻頂高、④殻頂長、⑤殻厚）を設定し、PAST3[Hammer *et al* 2001] を利用し主成分分析を行った。さらに、殻頂長と殻頂高より散布図を作成し、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*、イワガキ *C. nippona*、地質時代のアツガキ *C. gravitesta* はそれぞれに異なった傾向がみられた。また、スミノ

エガキであっても、本州グループと九州グループで形態が異なると推定された。その中で本資料は岡山県外で出土した大型マガキ属に形態的特徴が類似した。

現生スミノエガキは小型で、比較は困難であった。本来は同

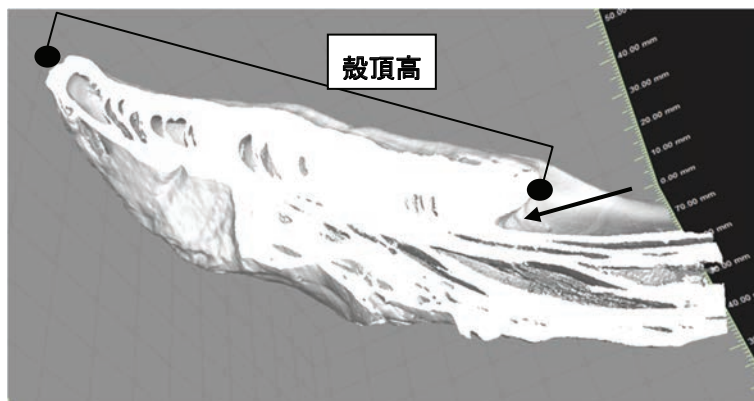


図 1 笠岡市沖産マガキ属（本資料）殻頂断面 CT スキャン像

←の凹形状と殻頂内の空隙構造がスミノエガキの特徴

年齢階梯との比較が望ましいと考えられたことから、ほぼ同時期の東名貝塚出土資料との

比較を行った。その結果、本資料はスミノエガキが極限まで成長した特徴を有するものの。東名貝塚出土の縄文時代早期のスミノエガキとは多少異なる分布域に位置した。

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河口域に生息する筑後川河口シカメガキタイプと分布が重なった[富岡他 2017, 2018]。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絶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

本資料は更新世の本州域で出土しているマガキ属と類似性がある上に、スミノエガキの有する特徴を備えており、従来把握されていなかった本州産スミノエガキの形態的特徴を示す資料と考えられる。今後、比較資料を増加し、現在はほぼ絶滅したと考えられる本州産スミノエガキについて検証を重ねる必要がある。

岡山県水産試験所及び佐賀市教委文化振興課主査西田巖氏には貴重な資料の貸借・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、X 線 CT スキャンの分析では岡山理科大学生物地球科学研究科林昭次先生、小平将大君、皆木大生君にご指導・ご協力いただきました。

註 1) 加速器分析研究所 IAA-AMS 3MV タンデム型加速器の測定による。 $\delta^{13}\text{C}$ 補正なしの年代は $8210 \pm 30\text{yBP}$ pMC は $36.00 \pm 0.14\%$ 、 1σ 暦年代範囲 9321-9190calBP、 2σ 暦年代範囲 9376-9127calBP であった。

引用文献

- 富岡直人・岩川桂大・江川達也 2017 「岡山県笠岡市沖産マガキ属の酸素・炭素安定同位体比分析」『半田山地理考古』5: pp. 55-66
- 富岡直人・岩川桂大・江川達也 2018 「岡山県笠岡市沖産マガキ属の AMS- ^{14}C 年代と酸素・炭素安定同位体比分析」『日本文化財科学会第 35 回大会研究発表要旨集』[日本文化財科学会]: pp. 32-33
- 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
- 西尾一昭 1977 「備讃の海のイタボガキと人々」『瀬戸内海』[瀬戸内海研究同好会]: pp. 69 - 72
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. 2001 'PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis.' "Palaeontologia Electronica" 4(1)

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

福岡市内出土トンボ玉の保存科学的研究

Conservation scientific study of dragonfly ball excavated in Fukuoka city

○ 松園 菜穂（大分市教育委員会）・比佐 陽一郎（福岡市経済観光文化局）

○ Naho MATSUZONO（Oita city Board of Education）

Yoichiro HISA（Fukuoka city Economy, Tourism& Culture Bureau）

はじめに

近年、福岡市では雀居遺跡 18 次調査においてトンボ玉が発見された（坂倉 2020）。古代以前の資料では、西新町遺跡 16 次調査出土事例に次ぐ、市内 2 例目となる。

トンボ玉は、近年、分析事例が増加しつつあるものの資料の時期や出自など不明な点が多い。そこで、今回、雀居遺跡 18 次調査出土トンボ玉について、資料を評価するための手がかりを得ることを目的として、材質調査を中心とした非破壊手法による保存科学的調査を実施した。

1. 資料と調査方法

対象資料は、雀居遺跡 18 次調査で大量の土器片や木製品が堆積した性格不明の土壌から発見された完形のトンボ玉 1 点である（写真 1）。共伴した土器は弥生時代後期から古墳時代前期に比定される。大きさは直径 2.1 cm、厚さ 1.4 cm を計り、同時期に国内で流通しているガラス玉と比較すると大型品である。青紺色の地に、白色と淡青色の多重同心円文が表面に 9 か所確認できる。調査は、顕微鏡類を用いた表面の拡大観察と、透過 X 線による内部構造の観察、そして材質や二次的な生成物推定のための蛍光 X 線分析、X 線回折分析を行った。調査に用いた機器とその仕様、作業条件は発表にて示す。

2. 結果と考察

トンボ玉の小口面から孔内部を顕微鏡観察したところ、気泡により生じたと見られる大きな空隙が確認されたため（写真 3）、透過 X 線撮影を行った結果、その位置や大きさを視認することができた。この気泡による空隙は製作時の何らかの痕跡を示す可能性が考えられる（写真 2）。

蛍光 X 線分析では、微少領域用装置の特性を活かし、色調の異なる各所の分析を行った。その結果、全てに共通し、ケイ素とともに鉛とバリウムが顕著に検出されたことから、いずれの箇所も鉛バリウムガラスと考えられる。他に青紺色部分では鉄と銅、淡青色では銅が特徴的に認められ、白色部分ではこれら元素のピークは極端に低くなっている（図 1～3）。一般的な青紺色の玉類ではコバルトが着色に関わる元素として検出されるが、今回は認められなかった。

円文の白色部分の顕微鏡観察では、針状物質（写真 4）が認められる。この部分を X 線回折法で測定した結果、Anglesite（硫酸鉛）もしくは Barite（硫酸バリウム）と見られるピークが認められたことから、鉛やバリウムに起因する腐食生成物と考えられる。

鉛バリウムガラスを材料とするトンボ玉は、中国戦国時代の作例が知られている（谷一 1999）。近隣では長崎県原ノ辻遺跡（弥生時代中期前葉）で雀居例より小ぶりの資料が確認されている（片多 2017）。これらの事から推察して、雀居遺跡のトンボ玉は中国戦国時代の製品がもたらされた

ものである可能性が考えられる。雀居遺跡は縄文晩期～弥生前期にも集落の繁栄期が認められており、福岡という土地柄も考慮するならば、トンボ玉の伝来は、製品の製作および流通時期と大きく時を距てることなくもたらされたと考えてもそれほど大きな違和感はない。

参考文献

板倉有大(編)2020『雀居 14－雀居遺跡第 18 次調査報告－』福岡市埋蔵文化財調査報告書第 1388 集 福岡市教育委員会

片多雅樹 2017「長崎県壱岐市・原の辻遺跡出土ガラス製品の蛍光 X 線分析」『長崎県埋蔵文化財センター研究紀要』

第 7 号 長崎県埋蔵文化財センター

谷一尚 1999『ガラスの考古学』ものが語る歴史 2 同成社

松浦一之介(編)2005『西新町遺跡 8 西新町遺跡第 16 次調査報告書』福岡市埋蔵文化財調査報告書第 846 集 福岡市教育委員会



写真 1. 雀居遺跡 18 次調査
出土トンボ玉（外観写真）



写真 2. 透過 X 線撮影画像

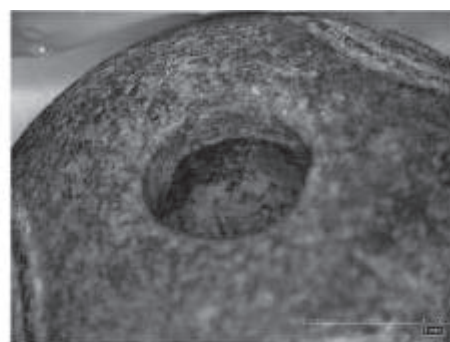


写真 3. 孔内部の気泡痕跡

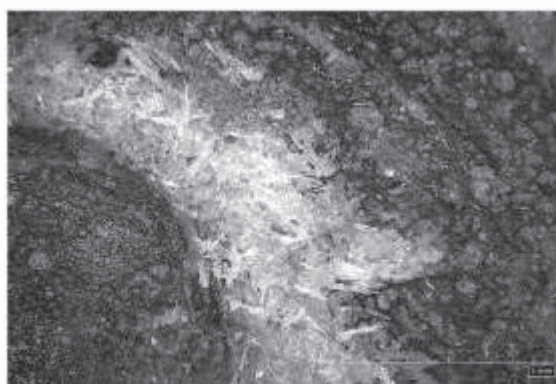


写真 4. 斑点文一部拡大

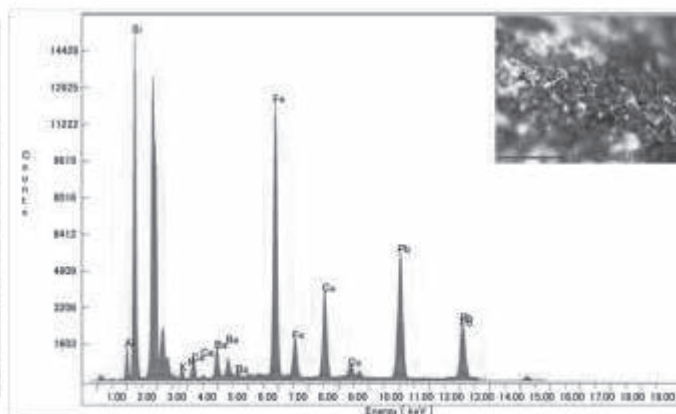


図 1. 青紺色の分析結果

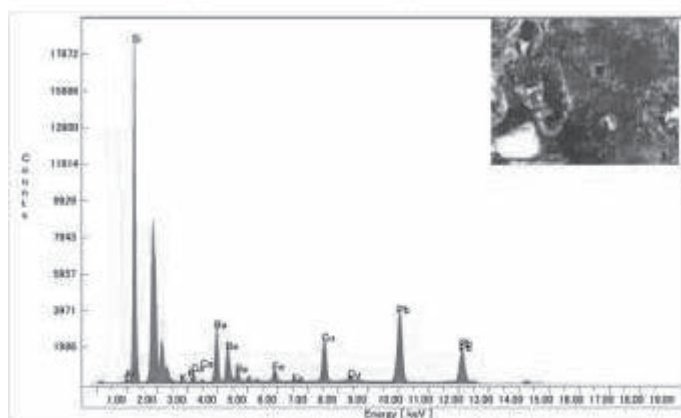


図 2. 淡青色の分析結果

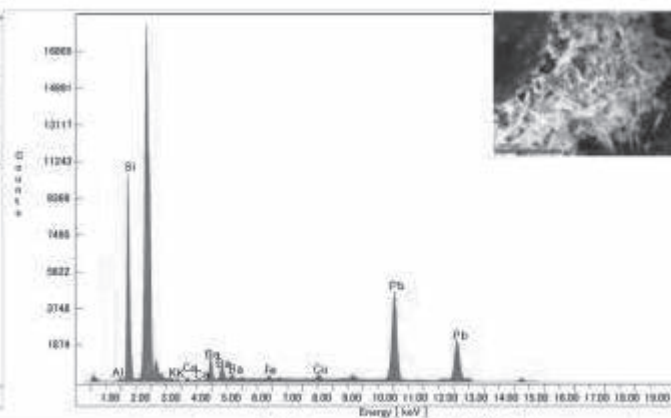


図 3. 白色の分析結果

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

福岡県沖ノ島祭祀遺跡出土のカットグラス碗片・切子玉の 非破壊蛍光 X 線分析による起源推定

Provenance investigation of a facet-cut glass shard and facet-cut glass beads excavated from Okinoshima Ritual Site No.8 in Fukuoka by nondestructive X-ray fluorescence analysis

○阿部 善也(東京理科大学・東京電機大学), 四角 隆二(岡山市立オリエント美術館),
中井 泉(東京理科大学), 福嶋 真貴子(宗像大社文化局)
○Yoshinari ABE (Tokyo University of Science / Tokyo Denki University),
Ryuji SHIKAKU (Okayama Orient Museum), Izumi NAKAI (Tokyo University of Science),
Makiko FUKUSHIMA (Munakata Taisha)

1. 序

沖ノ島は、九州と朝鮮半島を結ぶ玄界灘に浮かぶ孤島である。国家の安寧と海上交通の安全を祈るために、4 世紀後半頃から 9 世紀末頃にかけて国家的な祭祀が行われた。祭祀の奉納品と考えられる約八万点にも及ぶ遺物が発見されており、その全てが国宝に指定されている。発表者らは、沖ノ島祭祀遺跡より出土した膨大な量のガラス製品を対象に、起源や流通の解明を目的とした分野横断的な研究を進めている。本研究では、同 8 号遺跡出土のカットグラス碗片 (**Fig. 1**) およびガラス製切子玉に着目し、可搬型の

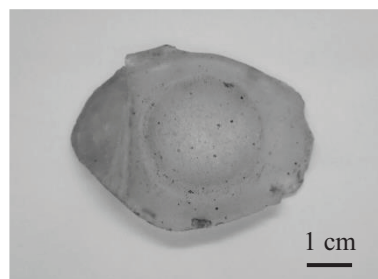


Fig. 1 沖ノ島 8 号遺跡出土の
カットグラス碗片

蛍光 X 線分析装置を用いた非破壊の化学組成分析を実施した。本発表では、これらの貴重な資料で初となる理化学的な分析結果を報告すると共に、化学組成からその生産地を議論する。

2. 実験内容

カットグラス碗片は淡青緑色を帯びた透明ガラス製で、特徴的な浮出円文切子装飾が施されている。本資料を研究した深井晋司氏は、イラン北部古墓由来とされる盗掘品の中に同様の切子装飾が施された類品を例示し、3～7 世紀にメソポタミア・イラン地域を支配したサーサーン朝の所産であると主張した¹⁾。その後、中国寧夏固原で類品が出土し²⁾、6 世紀頃とする年代観が確立された。本研究では、碗片内の 5 箇所について蛍光 X 線分析を実施し、風化影響が少ないと判断された 3 点のデータから化学組成の平均値とばらつき(標準偏差)を算出した。一方、切子玉は緑色ガラス製であり、断面が八角形になるよう側面が研磨されている。水晶製の切子玉については古墳時代後期に出土例が見られるが、ガラス製品は類例がなく、その起源に関する議論は行われていない。現存する 13 点のうち、経年的な風化によって表面が完全に白色化していた 2 点を除いた 11 点を分析した。いずれの資料においても、分析に先立ち肉眼またはルーペによる観察を行い、ガラス質の光沢が確認できた点を分析した。

化学組成分析には、アワーズテック株式会社製の可搬型蛍光 X 線分析装置 100FA-III を用いた。本装置は、空気により減衰されやすい Na や Mg などの軽元素の蛍光 X 線を効率的に検出するための真空試料室を備えている。ただし、本研究ではこの機構を使用せず、大気圧中でも Na までの軽元素を検出できるよう、装置に改良を施した。2019 年 3 月および 9 月に同装置を宗像大社へと持ち込んで、同社に収蔵された上記の資料を非破壊かつ常温常圧下で分析した。得られたスペクトルを解析し、検量線法で 26 元素の濃度を定量した。装置の詳細は先行研究³⁾を参照されたい。

3. 結果と考察

蛍光 X 線分析の結果、カットグラス碗片および 11 点の切子玉はいずれもソーダ石灰ガラス製であることが明らかとなった。紀元後 1 千年紀の時点で、ソーダ石灰ガラスの一次生産(原料を高温で熔融しガラス化させる工程)は次の 3 地域で行われていた。西アジアのサーサーン朝(前述)、前 1 世紀頃から地中海世界を統治したローマ・ビザンツ帝国、そして直接的なガラス生産の痕跡は発見されていないが、容器を含むガラス製品が多数発見されている中央アジアである。これら 3 地域では異なる原料や製法を用いてガラスが作られていたため、製品の化学組成にも差が生じる。本研究で分析した資料はいずれも著量の Mg と K を含み、これは融剤として植物を燃やしたソーダ灰を用いた「植物灰ガラス」に見られる組成的特徴である。植物灰ガラスの一次生産地として西アジアと中央アジアが挙げられるが、本研究で分析した資料については、サーサーン朝時代のメソポタミア都市遺跡で出土したガラス⁴⁾と化学組成がよく対応した。この結果は、これらの資料がサーサーン朝の領土内に置かれた工房で一次生産されたガラス製品、すなわち「サーサーン・ガラス」であったことを示している。ただし、カットグラス碗片の方は微量元素を含めた化学組成がサーサーン朝のガラス製品とよく一致したのに対し、切子玉は Fe, Al, Ti などの元素を高濃度で含んでいた。これらの元素は着色を目的として意図的に添加されたか、沖ノ島に奉納されるまでのどこかで再熔融・再加工が行われ、二次的に混入した可能性も考えられる。

カットグラス碗片については、先述のように型式の特徴からサーサーン朝由来だとする指摘があり¹⁾、本研究はこれを科学的に裏付けた形となった。しかし、昨今の理化学的な研究により、型式の特徴からサーサーン朝由来と目されていたガラス製品がローマ・ビザンツ帝国の既製品の再加工品であると特定された例も見つかっている⁵⁾。本研究によって、この貴重な資料の起源が科学的に解明されたことは、きわめて重要な成果と言えよう。一方で、切子玉については、本研究によって初めてその起源に関する情報が提示された形となった。本研究の蛍光 X 線分析により示された起源は、あくまでこれらのガラス製品の一次生産地、つまり、その生産工程が始まった地に過ぎない。今後は類例の調査・分析を進め、沖ノ島に奉納されるまでの伝来経路を追跡していきたい。

参考文献

- 1) 深井晋司：『東洋文化研究所紀要』**27** (1962).
- 2) 安 家瑤：『考古』**1986-2**, 173–181 (1086).
- 3) Y. Abe *et al.*: *Journal of Archaeological Science: Reports*, **17**, 212–219 (2018).
- 4) P. Mirti *et al.*: *Journal of Archaeological Science*, **36**, 1061–1069 (2009).
- 5) Y. Tatsumi & Y. Abe: *The Memorial Volume of H.I.H. Prince Takahito Mikasa*, 113–127 (2019).

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

福岡県沖ノ島祭祀遺跡出土ガラス製玉類の流通に関する考察

Study of the distribution of glass beads excavated from

Okinoshima Ritual Sites in Fukuoka

○村串まどか（筑波大学）、阿部善也（東京理科大学・東京電機大学）、
加藤千里（茨城県教育庁）、中井 泉（東京理科大学）、福嶋真貴子（宗像大社文化局）
○Madoka MURAKUSHI (University of Tsukuba), Yoshinari Abe (Tokyo University of Science,
Tokyo Denki University), Chisato Kato (Ibaraki Prefectural Government),
Izumi NAKAI (Tokyo University of Science), Makiko FUKUSHIMA (Munakata Taisha)

1. はじめに

福岡県・宗像大社には、沖ノ島祭祀遺跡より発見された数々の出土遺物が所蔵されており、国宝に指定されている。沖ノ島にある23の祭祀遺跡は、岩上祭祀（4世紀後半～5世紀）→岩陰祭祀（5世紀後半～7世紀）→半岩陰・半露天祭祀（7世紀後半～8世紀前半）→露天祭祀（8世紀～9世紀）という祭祀形態に基づいた4段階の変遷が考えられており、極めて特殊な位置づけがなされている¹⁾。これらの遺跡からは、青銅鏡や鉄製・金銅の馬具や装飾品、須恵器・土師器などの容器類、水晶や滑石などの石製玉類のほかに、カットガラス碗片や切子玉、多数のガラス製玉類が出土している²⁾。本研究では、数百年にわたって行われてきた沖ノ島の祭祀において、奉納品の中でもガラス製玉類に着目し、非破壊の蛍光X線分析により得られた化学組成と形態観察をもとにその流通について考察することを目的とする。本発表では現段階で得られた成果を報告する。

2. 分析資料と分析方法

沖ノ島祭祀遺跡からは5000点以上のガラス製玉類が出土しており、本研究では伝沖ノ島出土の13点を含めた計303点を対象として分析を行った。ガラス製玉類は4号、6号、7号、8号、16号、17号、18号、19号、21号、23号遺跡から出土しており、各遺跡の出土点数を考慮し、分析資料を選定した。伝沖ノ島出土品には勾玉2点と管玉1点が含まれる。すべて単色のガラス玉で、色調は青色系、黄色、黄緑色、赤色、オレンジ色である。16号、17号、18号、19号、21号遺跡は岩上祭祀、4号、6号、7号、8号、23号遺跡は岩陰祭祀の遺跡である。分析した資料の一部を図に示す。

分析装置は可搬型蛍光X線分析装置OURSTEX100FAを用いた。本研究では試料室を大気圧下にした状態で測定し、1資料あたり15分程度で測定を行った。定量値は検量線法により算出した。得られた化学組成について、まず階層クラスター分析による分類を行い、各クラスターの特徴を明らかにした。解析にはIBM社の統計解析ソフトウェアSPSSを用いた。

3. 結果および考察

蛍光 X 線分析の結果とそれに基づく階層クラスター分析によって、沖ノ島出土のガラス製玉類 303 点は複数の組成グループに分類された。これらの組成グループは、多くの既報³⁾で報告されているアルミナソーダ石灰ガラス (m-Na-Al)、ソーダ石灰ガラス (v-Na-Ca, m-Na-Ca)、カリガラス (m-K-Al, m-K-Ca-Al) といった組成タイプにそれぞれ対応すると考えられる。アルミナソーダ石灰ガラス系グループに分類された資料としては、図の A-b (伝沖ノ島出土・半透明青緑色)、B (4 号遺跡出土・不透明黄緑色)、C (7 号遺跡出土・不透明オレンジ色)、D (7 号遺跡出土・不透明黄色)、E (8 号遺跡出土・透明青色)、G (18 号遺跡出土・不透明赤色)、ソーダ石灰ガラス系グループには F (8 号遺跡出土・透明紺色) と H (18 号遺跡出土・透明青色)、カリガラス系グループには A-a (伝沖ノ島出土・透明紺色) が挙げられる。

アルミナソーダ石灰ガラスは南アジアや東南アジア、ソーダ石灰ガラスは地中海沿岸および西・中央アジア、カリガラスは南アジアや東南アジア、中国南部などで一次生産されていたガラスである。同様の組成を持つガラス製玉類は、沖ノ島で岩上・岩陰祭祀が行われていた時期に対応する古墳時代の列島内でも出土している。これより、沖ノ島祭祀に用いられたガラス製玉類が以下の図に示すような形態や色調だけでなく、化学組成的にも多様な種類が含まれていたことがわかった。複数のルートから祭祀行為のためにモノが持ち込まれてきたという沖ノ島のもつ特異な歴史的特徴と合致する傾向があると考えられる。今後は引き続きガラス玉類の形態・技法に基づいた分類と絡めた考察を進めていきたい。

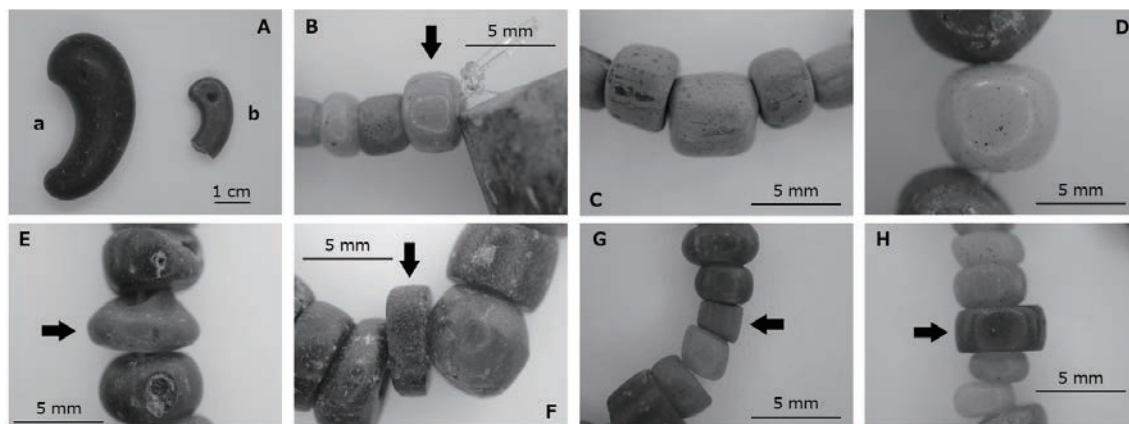


図 沖ノ島祭祀遺跡から出土したガラス玉類 (本研究で分析した資料の一部)

謝辞

筑波大学の谷口陽子先生、本調査に同行された岡山市立オリエント美術館の四角隆二氏には数々のご助言をいただきました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 出光美術館編 2014 『宗像大社国宝展 神の島・沖ノ島と大社の神宝』図録.
- 2) 第三次沖ノ島学術調査隊編著 1979 『宗像 沖ノ島』.
- 3) Jones, J. J., et al. 2013, Modern methods for analysing archaeological and historical glass.等

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

化学組成から見た薩摩切子

Chemical composition of Satsuma cut glass

○中井 泉(東京理科大学), 井上暁子(東海大学), 松本 諒(東京理科大学),
村串まどか(東京理科大学), 中根総子(株式会社島津興業)
○Izumi NAKAI (Tokyo University of Science), Akiko INOUE (Tokai University),
Makoto MATSUMOTO (Tokyo University of Science), Madoka MURAKUSHI
(Tokyo University of Science), Fusako NAKANE (Shimadzu Ltd.)

1. 序

江戸初期より長崎ではじまった近世日本のガラス工芸の最高傑作に数えられる薩摩切子は、無色透明のガラスに赤や青の色ガラスを厚く被せて大胆なカットが施された特徴をもっている。薩摩切子は薩摩藩主の島津斉興が 1846 年に医薬用のガラス瓶を作るために江戸のビードロ師四本亀次郎を自藩に招いて、藩の騎射場址にガラス窯を開いたのに端を発する。その後、島津斉彬がそれを発展させ本格的なガラス器製造が始まったが、斉彬没後、1863 年に薩英戦争で工場が焼失した。製造期間が短いため、薩摩切子の現存する作品数は 100 点あまりと言われ、極めて貴重である。従って、自然科学的研究は少なく、定量分析は井上ら¹⁾による報告があるのみであった。このたび、尚古集成館の収蔵品の化学分析が実現し、あわせて、鹿児島県歴史資料センター黎明館と鹿児島市立美術館の資料も分析を許され、計 100 点余りの資料を分析する機会に恵まれた。本研究では美術品レベルの質の高い資料を用いて、これまで曖昧さのあった薩摩切子の化学組成をはじめとする物質科学的描像を解明することを目的とする。

2. 分析装置と分析資料

分析は、当研究室がガラス分析用に装置メーカーと共同開発した、エネルギー分散型のポータブル蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA-II、III、IV の 3 台を収蔵施設にもちこんで、完全非破壊で行った。定量値は検量線を用いて各元素の酸化物換算濃度として算出した。なお高鉛含有資料は、アルキメデス法で密度を測定し、PbO 含有量をもとめ補正検量線を用いて定量を行った。

分析資料は各所蔵施設が所有する様式や由来から薩摩切子に類すると考えられている色被せ切子および単色切子計 29 点と、それ以外のガラス器 75 点である。なお、江戸後期から明治前期にかけて日本で製作された無色の切子ガラスの分析データ²⁾を無色切子群として比較に用いた。一部の着色ガラスについては着色要因を特定するために紫外可視分光分析を行った。

3. 結果と考察

尚古集成館所蔵の薩摩切子 25 点および鹿児島市立美術館所蔵の薩摩切子 4 点の蛍光 X 線分析の結果すべてカリ鉛ガラスであった。先行研究でも江戸時代から明治初期にかけて製作されたガラス器のほとんどがカリ鉛ガラスであった。²⁻⁴⁾主成分の平均化学組成を表 1 に示す。分析値のばらつきは比較的小さく、一定の調合比の主成分原料が用いられていたことが推察される。

続いて薩摩切子の微量元素に着目し考察を行った。無色切子群と微量元素の比較を行ったところ、鉄およびカルシウムに大きな違い(図 1)があることが分かった。本図から薩摩切子の組成

表 1 薩摩切子資料の無色透明部分の主成分平均化学組成(wt%)

PbO	SiO ₂	K ₂ O
42.0 (±1.86)	49.0 (±2.55)	6.90 (±1.70)

の特徴は $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ が 1.0 以上であり、無色切子群では $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ が 1.0 未満となった。少なくとも Fe_2O_3 が 0.15wt%を上回る資料は無色切子群には存在せず、カルシウムが 0.2 wt%を超える資料は薩摩切子には存在しないことが判明した。カルシウムは原料の珪石やるつぼの違いを反映しているものと考えられる。マンガンは鉄の消色剤に利用されるが、鉄とマンガンでは両者に有意な相関があり、薩摩切子では鉄の量に応じてマンガンが添加されていることがわかった。一方、棚橋³⁾によると一部の江戸時代のガラス器には亜鉛が添加されていた可能性が考えられ、同時代の技法書によれば原料鉛を溶融するとき酸化亜鉛を加えるとスラグを除去する作用があるとされる。著者らによる瓶泥舎コレクションの分析⁴⁾では酸化亜鉛の含有量が 0.1 wt%以上であると意図的に添加した可能性が高いという指標を見出した。そこで薩摩切子についても酸化亜鉛の含有量に着目し図 2 を作成した。図 2 から明らかなように全ての資料で 0.1 wt%を超える結果となった。従って、亜鉛 ZnO を 0.1%以上含んでいることが、薩摩切子を特徴づける組成といえることが判明した。また、薩摩切子は鉄 Fe_2O_3 をほとんどの資料で 0.1%以上含み、カルシウム CaO 濃度より Fe_2O_3 濃度の方が高いという特徴、すなわち $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO} > 1.0$ であることも判明した。

本研究により、薩摩切子の組成の特徴と時間的変遷を示すことができた。又、分光分析により色ガラスの色の起源について考察し、薩摩切子の物質科学的全体像を初めて明らかにできたといえよう。

【謝辞】本調査で大変貴重な資料を分析する機会を頂いた尚古集成館、鹿児島県歴史資料センター黎明館、鹿児島市立美術館の各館長を始めお世話になった皆様に深く感謝申し上げます。

【参考文献】1) 井上暁子他「薩摩切子の復元のための技術的研究 (一)」GLASS, 26 (1989)。
2) 井上暁子他「切子ガラスの蛍光 X 線分析」GLASS, 64 pp.59-73 (2020)。
3) 棚橋淳二「江戸時代におけるガラス技術の変遷と伝播」松蔭女子大『研究紀要』25 (1983)。
4) 中井 泉, 馬場慎介:「江戸のガラスの化学組成」、MIHO MUSEUM、pp. 216-233、(2017)。

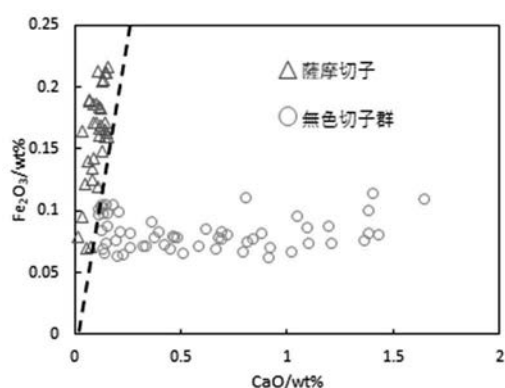
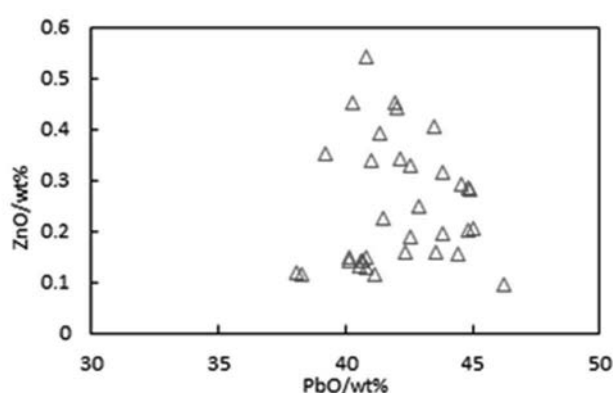
図 1 Fe_2O_3 と CaO による無色部分の比較

図 2 無色薩摩切子の ZnO と PbO プロット

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

ヨルダン王国、ウム・カイス遺跡の保存と活用
国際プロジェクトの成果と課題

Conservation and Utilization of *Umm Qais* Historic Site in Jordan
—Results of the International Project—

○西浦忠輝（国士舘大学）、松本 健（同左）、小野 勇（同左）
○Tadateru NISHIURA, Ken MATSUMOTO, Isamu ONO (Kokushikan University)

1. はじめに

国士舘大学チームは、2005 年から国際プロジェクトとして、ヨルダンハシミテ王国のウム・カイス遺跡の総合調査を、ヨルダン国政府考古庁との共同研究として行っている。現在は、種々の制約の中で、主に保存、修復、整備、公開について共同研究を行っており、その成果と諸問題、今後の課題について報告する。

2. ウム・カイス遺跡（ガダラ）

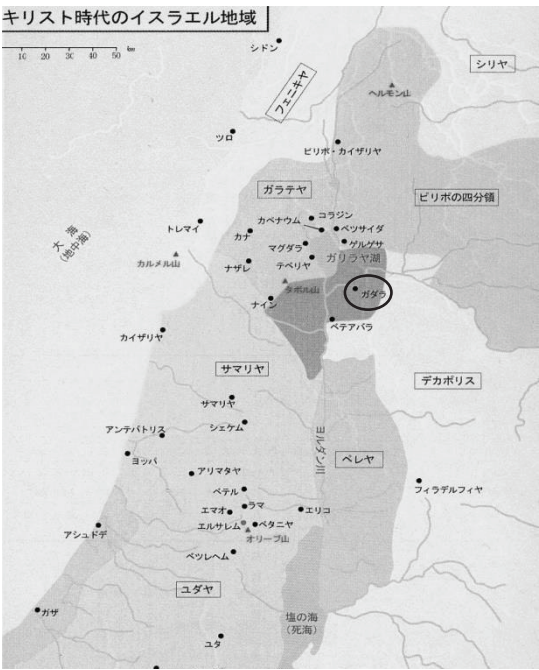
ウム・カイス遺跡は、ヨルダン王国イルビット県の北西端、シリア、イスラエルとの国境地帯、ゴラン高原とガリラヤ湖（若きイエス・キリストが、数々の奇跡を起こした場所として聖書に記されている、キリスト教徒の聖地のひとつ）を望む台地の上にある古代都市遺跡である。

古代名を「ガダラ」といい、デカポリスの首都の役割を果たしていたとされる。ヘレニズム時代(BC4C～)からオスマン帝国時代(～AD20C)までの多くの遺構が残されている、大規模な城塞都市遺跡である。特にローマ時代(BC1C～AD4C)からビザンツ時代(AD5～15C)に最も繁栄し、その時代の遺構が良く遺されているのが特徴である。

738 年に地中海一帯を襲った大地震によって、大きな破壊を受けたとされる。現在、世界遺産の暫定リストに載せられている。

3. 調査概要

調査項目は、考古学を中心に、保存修復学、建築史学、地理環境学、計測学等多岐にわたるが、主な内容は以下の通りである。



3.1 考古学

- 1) 発掘調査
メイン大通り、市壁、初期ローマ市門、地下貯水槽、モザイク床、住居跡等。
- 2) 遺物調査
瓦磚、コイン、土器片等。

3.2 保存修復学

- 1) 保存環境
現地環境(温度、湿度、日照、雨量、風向、風速、土中温度、土中湿度)の計測、解析。
- 2) 遺構の保存修復
列柱道路石柱コラムの原位置同定と接合、修復、再設置。
モザイク床の強化、修復。
墓石等の強化、修復。

3) 遺物の保存修復

瓦磚、コイン、銘文石、土器片等のクリーニング、強化、修復。

3.3 建築史学

列柱道路における、石柱の形態、材質と列柱の形式等の比較調査。

ローマン劇場における、組石の形態、材質、角度等の比較調査。

3.4 地理環境学

遺跡周辺の自然環境調査。

古環境、古地図調査。

3.5 計測学

遺跡測量調査。

地下遺構探査。

遺構、遺物の3D計測。

3.6 その他

ヨルダン大学との交流。

地域住民との交流。

遺跡を活かした地域発展への協力。

4. 保存修復事業

前述の調査、研究、検討結果を踏まえて、実際に行った、また行っている代表的な保存修復事業を、以下に紹介する。

4.1 列柱道路

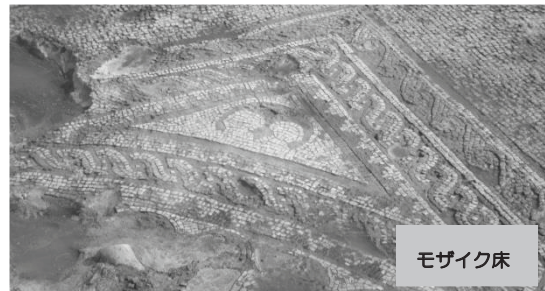
列柱道路はローマの都市遺跡を象徴するものである。しかし、その多くが倒壊し、コラムが散乱した状態であった。そこで、まず詳細にその形、寸法、材質を調査し、原位置の同定を行った。コラムは、多かれ少なかれ破壊を受けていたので、新石材、セメント、合成樹脂、ステンレス柄等を用いて、修復処置を行った。そして、原位置が確実と思われるものについて、再構築を行った。

4.2 モザイク床

モザイク欠損部を、砂、土、石灰を水で混合したもので充填した。次に、全体にパラロイド B-72 の 10%アセトン溶液を滴下含浸し、固定強化した。硬化後、ワイヤーブラシと水でクリーニングを行った。テッセラが緩く、外れそうな部分について、パラロイド B-72 の 15%溶液を滴下注入して固定した。最後に、全面的にパラロイド B-72 の 10%溶液塗布による表面強化保護処置を行った。



列柱道路



モザイク床



ローマン劇場

4.3 ローマン劇場

ローマン劇場の保存修復は、現在進行中である。過去のヨルダン考古庁による修復時には、多くの新石材が用いられ、多くの当初石材がすぐ近くの空き地に放置されていた。これら当初石材について、3D計測、パターン解析により、原位置を同定し、試験的に戻して再構築した。現在、全体的な修復を行うべく、技術移転を行いつつ、体制を整えている。

5. 遺跡の活用と世界遺産登録

デカポリスならびに関連の遺跡が、文化遺産として保存、活用されており、多くが世界遺産に登録されている。「ガダラ」(ウム・カイス遺跡)も当然のことながら、貴重な文化遺産として保護し、有効に活用すべきであり、正しい形で保存、修復、管理、活用を行うためにも、世界遺産登録が重要である。その実現に向け、種々協力している。

文献：「文化遺産学研究」No.1-13、国士舘大学

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

文化財を活用したユニークベニユーにおける調査 2 ー活用科学のための調査ー

Research on the utilization of cultural properties at a unique venue 2 - For Utilization Science-

○松井敏也(筑波大学)、深見利佐子(筑波大学)、河崎衣美(奈良県立橿原考古学研究所)、
村野正景(京都文化博物館)、村上佳代(文化庁地域文化創生本部)

○ MATSUI Toshiya (University of Tsukuba), FUKAMI Risako (University of Tsukuba),
KAWASAKI Emi(Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture), MURANO
Masakage (The Museum of Kyoto), MURAKAMI Kayo (Headquarters for Vitalizing
Regional Cultures, Agency for Cultural Affairs - Japan)

1. はじめに

歴史的建築物・構造物などの文化財の活用をすすめるための科学調査を“活用科学”と位置づけ、従来の保存科学的手法を応用しながら進めている。文化財をユニークな場所としてさまざまな活用を行うことは、利用者による文化財が持つ価値への理解や新たな発見などが期待でき利点がある一方で、本来の用途とは異なる活用によってどのような変化が文化財に生じているのか把握できずにいる。安全に文化財を活用するためには活用の態様に合わせた調査項目と調査基準が必要と考えるが、現在のところどのような調査が活用下の文化財の状態を表しているのかや、計測される値の評価基準などが明確に示されず、科学的根拠が乏しい状況である。

これまで文化財を活用する際の変化を温度湿度のみならずCO₂、粒子状浮遊物質、振動などから可視化を試みている^{*1}。その結果、活用の内容によって特徴があることが示唆された。これらの変化からすぐに文化財への影響を判断することはできなかったが、活用内容による文化財の状態を自然科学的な手法で把握することは適切な活用を進めるために必要である。本発表では旧日本銀行京都支店（京都文化博物館別館）、東京湾要塞跡猿島（神奈川県横須賀市）について、活用時の環境変化を把握した結果を報告する。

2. 調査方法

京都文化博物館別館は年間200日以上を活用イベントを行っている。館の特徴は昨年度に報告済みである^{*1}。本調査は旧営業室（5346.6 m²；幅21.81m×奥行21.81m×高11.24m）に2018年10月から温度湿度CO₂データロガー（Onset社HOB0 MX1102A）を設置し、30分毎に記録を行った。微小粒子状物質の調査は2019年1月14日から開始し、計測にはPA-II Dual Laser Air Quality Sensor（Purple Air社）を用いた。またイベント時に館内の空気質を計測した。

東京湾要塞跡の構成資産である猿島砲台跡は横須賀市の沖合にある無人島で、2015年に国史跡に指定されている。現在はエコミュージアムとして整備され、歴史散策をはじめBBQや海水浴などを楽しむことができる。島内には明治時代に築造された砲台関連施設が残る。これらは主にレンガ（表面には漆喰）で構成され、一部亀裂や損傷など劣化が進行している^{*2}。2019年8月3日によこすか開国祭における「開国花火大会2019」が開催された。このときは島内への夜間の上陸も許可され、昼過ぎより史跡区域に隣接する浜にて多くの関連イベントが開催された。これらのイベント時に史跡内に伝わる振動（昭和測器Model2205B, 加速度モード, 5kHz, 30s）を計測した。史跡入り口付近に位置する煉瓦造構造物前と、史跡内中心地に位置する煉瓦造隧道入り口付近の計2箇所での測定を行った。

3. 結果

3-1 京都文化博物館

2018年10月から2019年12月下旬までの15ヶ月間のCO₂挙動と別館への来場者数を図1に示した。その結果、これまでの調査から示唆された得られたa) 来場者数が少ないにも関わらず館内のCO₂濃度が高くなる、b) 来場者が千人を超え多いもののCO₂濃度は低いまま推移する

といった2つの傾向※¹を強く示すことが明らかになった。aに該当するイベントでは建築物衛生法でのCO₂濃度基準

値を超え、最高値が2500ppm近くになった。このa、bふたつの傾向を解析したところ、aには6月から9月に開催されるイベントが多く該当し、bには11月から2月に開催されたイベントが該当することがわかった。

図2には8/12-8/17のCO₂濃度の推移を示す。イベントで高濃度になったCO₂が翌日まで堆積することがよく分かる。CO₂は空気の清浄度を示すものとして評価することができ、CO₂だけではなく他の空気成分も残留していると推察できた。7月15日の祇園祭ミュージアムコンサート開催時の有機酸、アンモニア、ホルムアルデヒドの変化を精密検知管法（光明理化製）により計測した。アンモニアが30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （開始前19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）になった以外は大きな変動が見られなかった。

3-2 猿島砲台跡

8月に対岸の海上で打ち上げられた花火大会時の振動影響調査を実施した。平時の見学通路の歩行では人数の多さによる影響よりも、来場者が用いる杖の影響が大きいことがわかった。花火イベントでは特に100Hz以下の振動が顕著に発生し、史跡入口付近(図3)でその大きさは顕著に見られるものの、内部の構造部ではその検出は小さく、影響は見られないことがわかった。

4. まとめ

文化財を活用する際のイベントには開催時期に特徴が見られ、夏季のイベントでは開催時の空気が翌日へ残留しやすいことがわかった。また文化財から数km離れたイベントであっても、イベントの規模によっては遺跡でその影響が検出できた。今後はこれらの事例を増やし、その特徴を収集しつつ、基準となる計測方法の確立を目指したい。

なお本研究は文化庁「大学・研究機関等との共同研究事業」において実施した「文化財の活用をすすめるための科学調査」の成果である

※1 松井ら“文化財を活用したユニークベニューにおける調査—保存科学から活用科学へ—旧日本銀行京都支店（京都文化博物館別館）の事例—”、日本文化財科学会第36回大会要旨集、pp30-31、2019

※2 例えば 深見ら“猿島砲台跡における煉瓦壁面の水分率と劣化状況”、日本文化財科学会第36回大会要旨集、pp144-145、2019

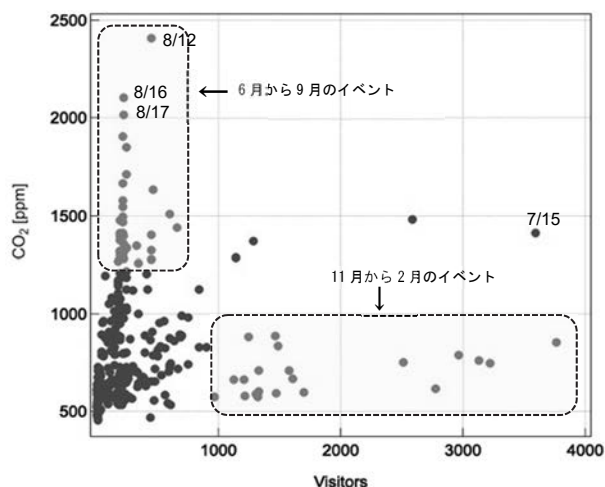


図1 2018年10月から2019年12月のイベント開催時の来場者数とCO₂濃度

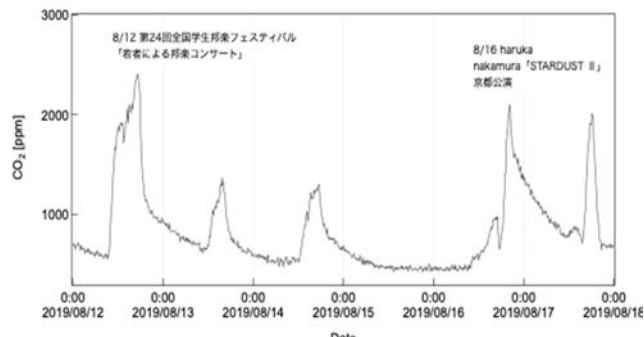


図2 8/12-17のCO₂濃度の推移

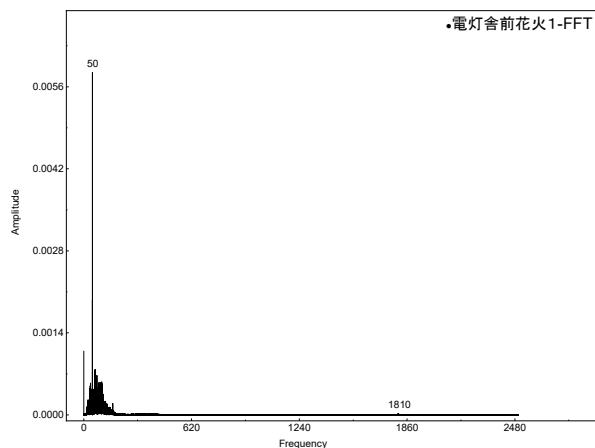


図3 花火大会開催時の史跡内建造物への振動のFFT解析結果

島根県益田市スクモ塚古墳の物理探査

Geophysical Survey of Sukumo-zuka Burial Mound

in Masuda City, Shimane, Japan

○亀井宏行(東京工業大学)、宮前知佐子(同左)、田邊凌基(早稲田大学)、岸田彩(同左)
益田市教育委員会

○ Hiroyuki KAMEI, Chisako MIYAMAE(Tokyo Institute of Technology), Ryoki TANABE,
Aya KISHIDA (Waseda University), Masuda City Board of Education

1. はじめに

島根県益田市のスクモ塚古墳(図1)は、古墳時代中期(5世紀)に築造された直径53mの造り出し付円墳として国史跡に指定されている。造り出しの先にある方丘と合わせて、全長100mに達する前方後円墳ではないかとする説も存在する。今回、円墳頂(図1 Area1)、造り出し(同Area2)、方丘頂(同Area3)の3カ所について、埋葬施設やその他の構造を探る目的で、地中レーダ探査と磁気探査を実施した。

2. 探査の概要

探査実施日は2019年10月3～5日で、使用機材は、カナダ Sensors & Software 社製 Pulse EKKO pro (250MHz アンテナ)地中レーダと、米国 Geometrics 社製 G858 セシウム磁力計である。探査領域の大きさは、Area1は14m×14m、Area2は8m×8m、Area3は12m×12mで、各領域に北東角を座標原点とし

て、東西方向をX軸(西向き正)、南北方向をY軸(南向き正)とする座標を設定した。探査測線間隔は0.5mで、地中レーダ探査は各領域で東西・南北両方向について実施した。

3. 探査結果

磁気探査では、すべての領域で一箇所ずつ大きな磁気異常が観測されたが位置及び磁気異常の大きさから古墳の埋納物とは思われないので、本報告では割愛する。

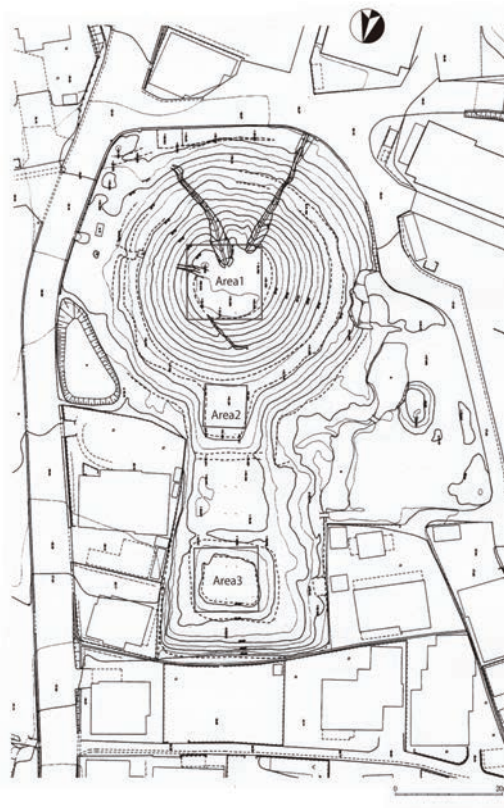


図1 スクモ塚古墳墳丘測量図と探査領域

3-1. Area1

円墳頂中央には 20～30cm サイズの丸石が集積されており、また図 1 に見られるように、南東に走る大きな溝で挟られていることから、中央に埋葬主体があったとしてもかなりの攪乱を受けていると

想像される。実際、地中レーダ探査の結果では、平面図を作成しても墓壙や埋葬主体のような形をなす反応は得られていない。図 2 に中央部を東西に走る測線 (Y=5.25m) の地中レーダ断面図を示すが、X=8m と X=10m 地点に、反射時間 18ns (推定深度 0.6m) に頂点を持つ双曲線パターンが捉えられており、これらが埋葬主体の一部であった可能性も考えられる。

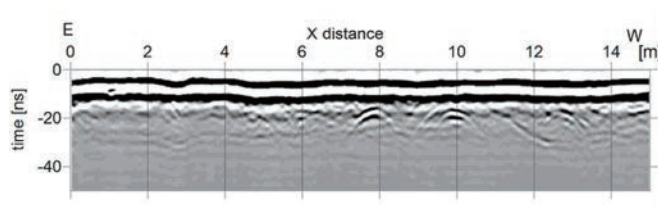


図 2 Area1 東西測線 (Y=5.25m) の地中レーダ断面図

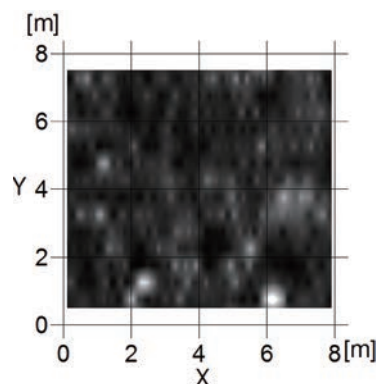


図 3 Area2 時間窓 16-20ns の地中レーダ平面図

3-2. Area2

図 3 に時間窓 16-20ns で切り出した地中レーダ平面図を示す。造り出し先端、Y=1m 付近にはほぼ 4m 間隔で並ぶ 2 つの強い反射が見える。地中レーダ断面図では孤立物体を示す反射時間 18ns を頂点とする双曲線パターンが明確に捉えられている。造り出し部には何らかの祭祀の遺構が残っている可能性がある。

3-3. Area3

Area 3 は、当初設定の探査領域を拡張し、東西 21m×南北 19m の範囲を探査した。図 4 に時間窓 24-28ns で切り出した地中レーダ平面図を示す。深度は、0.8m から 1 m あたりとなる。X=6m, Y=5.8m の地点に強い反射が捉えられており、それを取り囲むように幅 2m ほど長さ 7m ほどの構造が見てとれ、埋葬施設と思われる。

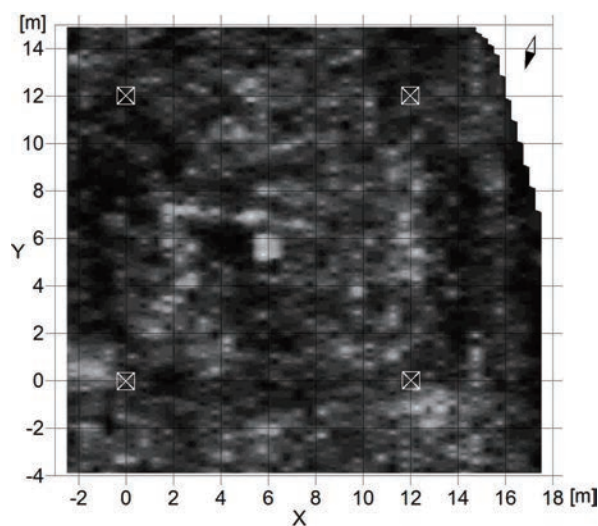


図 4 Area3 時間窓 24-28ns の地中レーダ平面図

4. むすび

円墳墳頂は攪乱が大きく埋葬施設の確認はできなかったが、造り出しには埴輪列或いは何らかの祭祀の遺構が残っており、方丘には埋葬施設がある可能性が高いことが判明した。探査の最後に造り出しから方丘に至る尾根上の地中レーダ探査を実施したが、円墳と方丘が一体であるか否かという判断を下せるような情報は得られなかった。

奈良県ウナベ古墳周濠内部の探査

Prospection of the moat of the Uwanabe tumulus in Nara prefecture

○高橋克壽(花園大学)

○Katsuhisa TAKAHASHI (Hanazono University)

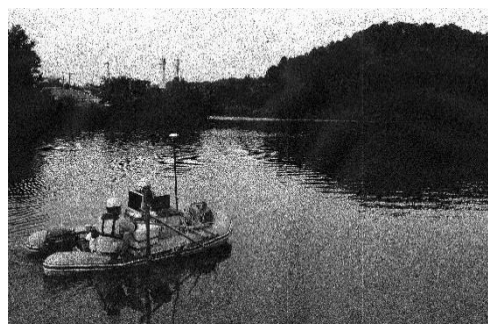
1 研究にいたる経緯

古墳の埋葬施設や墳丘に限らず、周囲の埋もれた濠や堤などへの地中物理探査の実績はこれまでに相当数積み上げられてきた。ところが、世界遺産百舌鳥古市古墳群の多くの巨大前方後円墳がそうであるように、周囲に水を湛えた濠を一重から三重にめぐらした古墳に対しては、その範囲を探査することができない状態にあった。そのため、古墳の情報としては、水際での計測値、あるいは第2段目以上の比較などで補ってきたところが少なくない。また、満々と水を湛えた今の姿は、実は近世以後の溜池利用の土地の改変がなされた結果であり、本来どれほどの水が貯えられていたかはほとんどわかっていない。最近では、古墳のまわりは水を貯めない空堀だったとする見解も出されてきている。

いっぽう、すでに陸化してしまった周濠部分の発掘調査の進展によって、古墳にはもともと造り出しや出島状遺構と呼ばれる祭祀に関わる施設や島状施設、渡土堤などのさまざまな施設が用意されていることがわかってきた。それらに応じた船形埴輪や木造船、水鳥形埴輪の出土とあいまって、古墳そのものの本質的意義にまで迫る重要な情報が秘められているのである。

以上のことから、湛水状況にある周濠部分の築造段階での姿を探査によってつかむことは古墳研究にとって多大な寄与をもたらすことが確信された。もっとも早く埋もれてしまう濠底にはそれらが良好に残されている可能性がある。

今回、探査の対象としては、奈良県奈良市ウナベ古墳を選んだ。ウナベ古墳は全長約 255m で、全国第 13 位の規模を誇る 5 世紀中ごろに造営された前方後円墳で、周濠の水量は県内では最も多い。



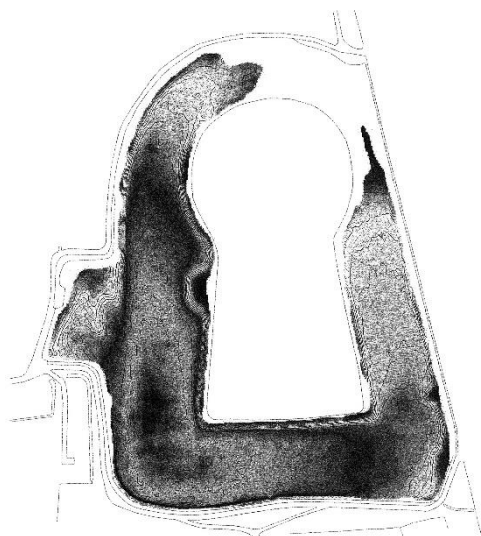
ゴムボートからの深浅測量風景

2 周濠内探査の方法

濠の水面より下の情報に対する調査としては、以下の 2 種類がある。1 つは、墳丘完成後に濠の内部に溜まった墳丘崩落土や腐葉土からなる堆積土(浮泥層)の上面、すなわち現状の濠底を計測するもので、深浅測量と呼ぶ。これは、ゴムボートに艀装したマルチビーム型のスワス音響測深機を用い、濠内全体を回遊しながら GNSS 測位機で堆積層上面の 3 次元データを取る。

もう 1 つは、ボートで移動しながら直下の土の内部の様子を捉えるもので、その中での変化の様子から、地山と堆積土の差を読み取り、古墳造営時の地表面を見つける底質調査である。SH-20 という探

査装置を用いるが、深浅測量のように面的なカバーは難しい。そのため、深浅測量の成果を参照しながら、墳丘主軸上や直交方向、あるいは、造り出しや島状施設、陸橋などの想定される箇所などを効果的に横断するように計測する必要がある。



ウワナベ古墳鳥瞰図

3 探査の成果

周濠の堆積土上面の3次元データは、水深が浅いため、ボートの航行が不可能だった周濠北東部を除く大半で計測することができた。北東部が浅いのは、古墳の東方から水路を通じて大量の土砂が流入してくるためである。

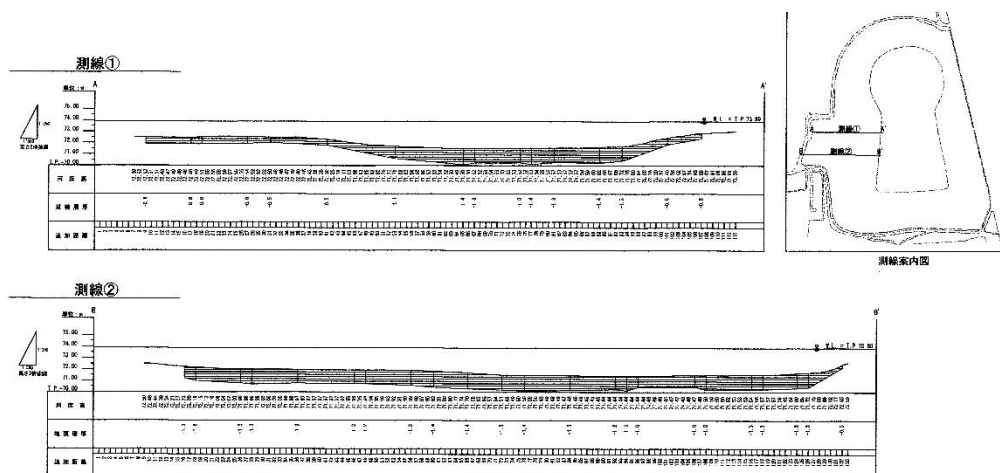
この深浅測量から、次のことがわかった。まず、西側くびれ部には、明瞭に造り出しが存在することがわかるが、この存在はかつて濠の水を抜いて上面の調査をしたときなどにわかっている通りである。反対に東側には造り出しの痕跡はまったくなかった。

次に、ウワナベ古墳の周濠は、今は前方部西側中ほどで外側に矩形に張り出しているが、その部分が盾形の濠から一段高く、そこにもとの濠の形状が表れていると判断

された。その形状は、従来想定されてきた姿(『平城宮跡発掘調査報告VI』1975)に比べると幅がかなり広いことになる。それ以外、墳丘裾をおおまかに反映した古墳の輪郭もつかめていると判断できる。

堆積層計測については、成果とともに問題点がみつかった。まず、水深が十分あるくびれ部より南では、地山のレベルはほぼ一定であった。それは、かつて発掘調査でわかっている後円部東側の濠底と合致し、ウワナベ古墳の濠底はどれも同じであった。そのうえで、前方部西側の周濠中央部に周囲より20 cmほど高まった20×12mほどの範囲があることが確認された。これがただちに、島状施設など何らかの遺構になるかどうかは判断しづらいが、深浅測量ではむしろ深くなっている箇所でもあり、可能性は少ないと思われる。これ以外の箇所については、陸橋なども含めて特別な遺構は確認できなかった。

なお、問題として水深の浅いところでは、堆積層の深いところまで捉えることができないことが判明した。



ウワナベ古墳前方部西側周濠堆積層断面図