口頭発表
Oral Presentations

会場：A会場（東北芸術工科大学本館 407）
　　B会場（東北芸術工科大学本館 408）

日時：

6月10日（土）

A会場：10：18 ～ 16：52

B会場：10：18 ～ 16：52

6月11日（日）

A会場：9：30 ～ 16：14

B会場：9：30 ～ 15：56

チャルチュアパ遺跡群カサ・ブランカ地区における地中レーダ探査（その2）

GPR Survey at Archaeological site of Casa Blanca in Chalchuapa part 2

○野村成宏（株式会社田中地質コンサルタント）、田中謙次（同左）、伊藤伸幸（名古屋大学）
○Shigehiro NOMURA, Kenji TANAKA(Tanaka Geological Co.), Nobuyuki ITO(Nagoya University)

1. はじめに

チャルチュアパ遺跡群は、エル・サルバドル共和国の西部に位置し、当該国において最も歴史の長い遺跡である（図-1）。当遺跡群は、先古典期中期から後古典期までの石彫が出土しており、石彫文化のメソアメリカ南東端における様相を明らかにするために、遺跡探査が進められている。カサ・ブランカ地区における前回の探査では、ほぼ南北に延びる規則性のある直線的な反射が検出された。また、特定の深度において西側へ傾斜して、窪んだ様相を呈している連続的な強反射が確認された。今回の調査では、これらの反応が新たな遺構・異物の発見への手がかりとなる可能性があることから、前回調査から探査範囲を拡大して地中レーダ探査を実施したものであり、その成果の一部をここに報告するものである。

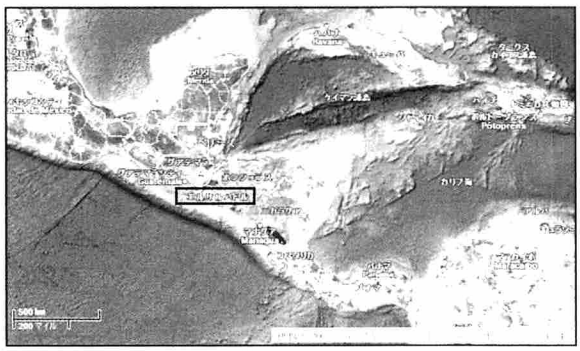


図-1　調査位置図

図-2　探査状況写真

2. 探査の概要

探査は前回同様に Sensors & Software 社製 Noggin plus 250 Smart Cart System(中心周波数 250MHz)を用いて実施した。調査範囲は図-3 に示すように、前回調査範囲の西側に設定した約 3300m^2 の領域である。探査範囲の北東部および南西部に構造物もしくはマウンドが分布している。

探査測線は東-西測線に加えて、南北方向の変化も捉えるにために南-北測線も設定し、総測線数 282 本、延べ 12.5km を探査した。なお、各測線間隔は 0.50m 間隔とした。

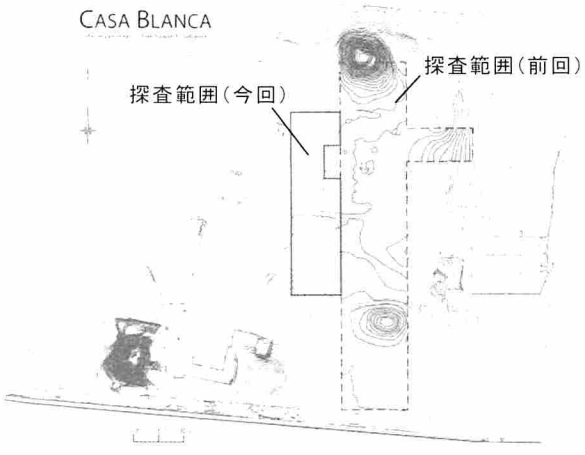


図-3　探査範囲（カサ・ブランカ地区）

3. 探査結果と考察

探査結果は走時と反射波強度から、擬似断面図（地中レーダプロファイル）とタイムスライス図を作成して検討を行った。

図-4 には、代表的なプロファイルを示す。同図において、左縦軸は換算深度(m)、右縦軸は走時(ns)、横軸は距離程(m)を示す。上図の L-1 測線は前回の調査結果を含めた東西測線の結果であり、下図の L-2 測線は南北測線の結果を示す。探査の結果、異物からの応答を示す上に凸の放物線状のパターンや

地盤の層相境界を示す線形の反射(リアルライン)などの特徴的な反射パターンが前回と同様に検出された。これらの反応は、前回の調査範囲から今回の調査範囲に連続的に続く反応であった。

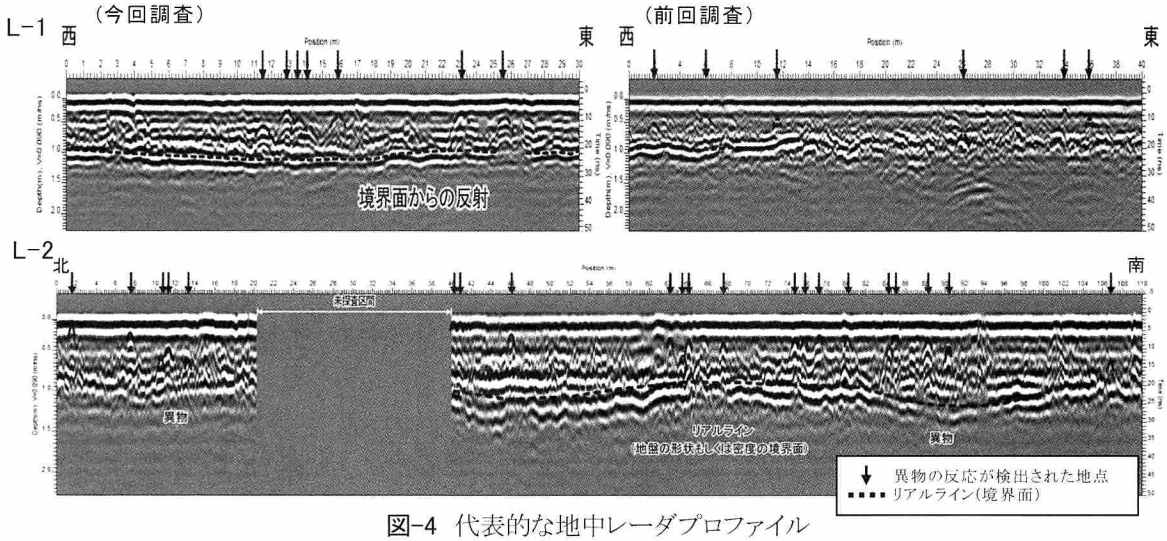


図-4 代表的な地中レーダプロファイル

また、図-5には2ns毎の深度方向の平面マッピングのうち、最も特徴的な22-24nsの図を示した。同図では反射強度を濃淡で表現している。

深さ約 1.0m 以深ではリアルラインが検出される。この反応は前回調査範囲から連続的に確認されており、東西方向では1箇所の窪み形状を示し、南北方向では2箇所の窪み形状が認められる。平面的には概ね北北東-南南西方向に方形状の分布を示し、南西側の構造物もしくはマウンド付近まで続いている。

また、「異物」からの反射は、調査地全域にわたって点在しているが、深さ 0.50m 以深(タイムスライス図)では、東西 0～20m、南北 40～80mの領域で先述したリアルラインと同系統である北北東-南南西方向に直線的に分布している。

これらの反応は規則性を有した分布形態を示し、構造物もしくは何らかの遺構を示す可能性があり、建造物周辺の付属施設を考える上で重要な情報と考えられる。

図-5 タイムスライス図
(22-24ns;解析深度 0.99～1.08m)

4. おわりに

今回得られた応答波形は分布形態から考古学上重要な遺構や遺物を示す可能性が高い結果となった。今後は考古学、地質学的知見から遺跡の解明に向けて精査する予定である。

謝辞

現地調査を進めるに際して、ご協力頂きました名古屋大学大学院の深谷岬氏に深謝いたします。

X線CTスキャナの活用による遺跡で発見される豊富な遺物情報を得る調査(Ⅳ)

-福岡県春日市須玖岡本遺跡出土甕棺の内部情報抽出と記録-

Research to obtain a wealth of information artifacts that discovered from the sites using X-ray CT scanner(Ⅳ)

○加藤和歳(九州歴史資料館)・小林啓(同左)・村上浩明(株式会社とっぺん)
輪田慧(合同会社2bit) 吉田佳広(春日市教育委員会)
Kazutoshi KATO・Akira KOBAYASHI(Kyushu Historical Museum)・Hiroaki MURAKAMI(Toppen.inc)
Kei WADA(2bit.LLC)・Yoshihiro YOSHIDA(Kasuga City Board of Education)

1. はじめに

弥生時代の北部九州に広がる甕棺墓は、遺骸や副葬品が棺内に原位置を保った状態で出土するケースが多く、内部から得られる情報も多い。しかし、過酷な環境にある発掘調査現場で、微細な痕跡を保全しつつ詳細に記録し、遺物を保存することには困難がある。これに対し、発表者らは、X線CTスキャナ(以下、CT)を核とする調査手法を構築し、通常の発掘調査方法では発見が難しい遺物の存在や、有機質の痕跡を土壌内から発見してきた。

本調査は、これまで構築してきた手法をベースに、福岡県春日市須玖岡本遺跡岡本地区20次補足調査で発見された甕棺を対象に、副葬品の埋納状態をCTにより、遺物と周囲の埋土が一体となる内部情報を抽出、記録し、検討を行った成果について述べていく。

2. 甕棺内部情報抽出のための遺物取り上げ方法

取り上げは、甕棺と内部にある遺物と周囲の埋土を崩さず、一体的に取り上げることを目標とした。遺物の検出にあたっては、周囲や埋土中に有機質遺物が遺っていることを想定して、輪郭が分かる程度に留め、なるべく周囲の埋土を除去しないようにした。次に、医療用ギブス、液体窒素等を複合的に用い、甕棺と遺物、周囲の埋土を崩さず一体的に取り上げた。この折、通常、液体窒素は内湾する甕棺に沿って流れてしまい、結果、甕棺と地山とを凍結させ、分離が困難になる。そこで、液体窒素の流れを制御する必要が生じるが、本調査では遺物周囲の埋土に液体窒素が滞留するような養生方法を構築し、甕棺との一体的な取り上げに成功した。

3. CTにより得られた内部情報

室内に搬入した遺物は、取り上げた状態のまま、CT(九州歴史資料館設置 YXRON International Y.CT Precision S)により撮像し、遺物の内部構造や埋土内に残されている情報を客観的に可視化した。

3. 1 副葬品の構成と位置情報

後世、土砂が流入し、埋納時の原位置を保っていないことがわかったが、銅剣、杷頭飾のほか、微細化した繊維等有機物の存在を発見し、埋納に繊維を利用していたことが想定できる。また、肉眼では視認し難い、最小0.4ミリほどにも細片化し、四散する管玉を発見し、さらに銅剣周囲に広がる赤色顔料の範囲を把握するなど、副葬品が埋納されていた状態を復元するのに、必要な位置情報を立体的に記録することができた。

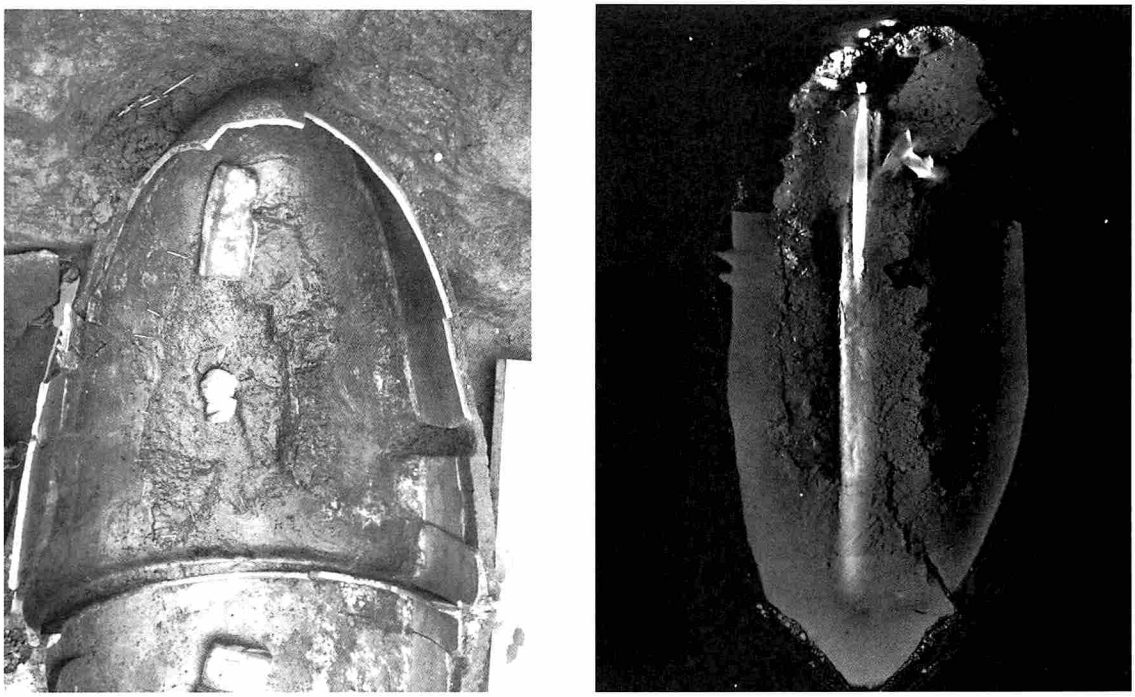
3. 2 副葬品の保存状態

銅剣は一部欠損しているが、埋土中に破片がないことから、埋納時、すでに欠損していたことがわかる。その他、

クラックや剥離している箇所を特定した。観察の結果、銅剣自体の保存状態はそれほど良好ではないと判断できる。この時点で、銅剣はいまだ、土中に埋蔵されている状態であるが、本格的な検出前に遺物の保存状態を把握することができるので、埋土から分離し、保存処置するための安全な方法を事前に検討することが可能となった。

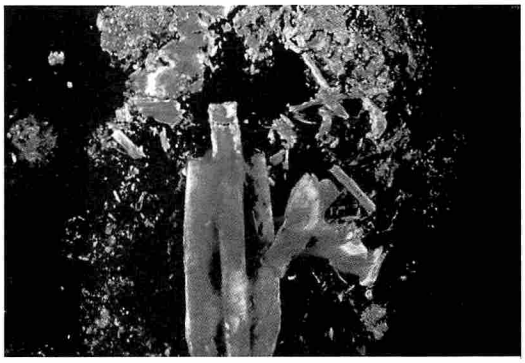
4. 本調査の意義と展望

本調査では、医療用ギブス、液体窒素等を複合的に用いる方法により、遺物と周囲の土砂を一体的に取り上げた。そしてCTにより遺物と周囲の埋土に残る有機物をあわせて、立体的に情報を抽出し、埋納方法を推定するための情報を記録することができた。この中で細片化した繊維状物質のように微細な情報は、発掘現場において検出し、記録することは、極めて困難であり、CTを活用した本調査手法により、なし得たものである。また、遺物の埋蔵中に保存状態を把握することができ、安全で精緻な保存処置が可能になるものと考える。本成果は、他の甕棺墓はもちろん、同じく棺に納めるような埋葬墓のほか、容器に納めて埋蔵された遺物への応用が期待できる。



検出状況と取り上げた甕棺のCT画像

甕棺と銅剣の横断面像



銅剣・杷頭飾・管玉の出土位置三次元像

多視点ステレオ技術に基づく磨崖和霊石地蔵の劣化状況評価
The degradation state of the Wareishi Rock Cliff Sculpture based on the multi-view stereo.

○朽津信明[1]、森井順之[1]、酒井修二[2]、運天弘樹[2]（1: 東京文化財研究所, 2: 凸版印刷株式会社）
○Nobuaki KUCHITSU[1], Masayuki MORII[1], Shuji SAKAI[2], and Hiroki UNTEN[2]
(1: Tokyo National Research Institute for Cultural Properties, 2: Toppan Printing Co., Ltd.)

1.はじめに

広島県三原市にある広島県指定重要文化財・磨崖和霊石地蔵は、海岸の波打ち際に位置しており、その保存に懸念が持たれている（図１）。今回筆者らは、多視点ステレオ技術により同文化財の現状を正確に把握し、その劣化状況を評価することを試みたので、その結果について報告し、今後の保存について考えていく。

2.磨崖和霊石地蔵と本研究の経緯

磨崖和霊石地蔵は三原市佐木島の花崗岩塊に刻まれた磨崖仏[1)]で、銘文から西暦1300年に佛師念心によって製作されたことが確認される。現在は干潮時に岩塊全体が海面上に姿を現す（図１）が、満潮時には石仏の一部または全部が海面下に沈む状況にある。このため満潮時には多かれ少なかれ磨崖仏表面が波に打たれることになり、また乾湿の繰り返しなどから地元では「近年になって急速に劣化が進行しているのではないか」と懸念されていた。この像については1986年に型取りがなされた精巧なレプリカが広島県立歴史博物館で展示されており（図２）、このレプリカが型取り時の状態を正確に伝えているとすれば、それと現状との違いが、とりもなおさずこの約30年間の変化に相当することになる。このことから、磨崖和霊石地蔵の現状と、広島県立歴史博物館のレプリカとのそれぞれについて、2016年に三次元計測を試みることから、磨崖和霊石地蔵の現状評価を試みた。

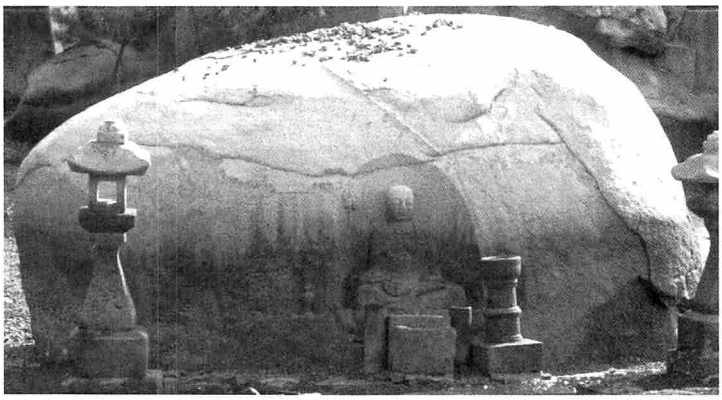


図１．磨崖和霊石地蔵（2016年撮影）

図２．広島県立歴史博物館のレプリカ

3.計測方法と結果

3. 1. 方法

三次元計測に基づいて文化財の劣化状況を評価する試みは既に各方面で数多く試みられているが、磨崖和霊石地蔵は干潮時のごく限られた時間しかアクセスができないため、計測は短時間で簡易に行われる必要がある。このことから本研究では、多視点ステレオ技術を用いて計測を試みた。多視点ステレオ技術は、多方向からデジタル写真を撮影し、それらの画像のマッチング結果から対象物の形状を計測する方法であり[2]、簡易に三次元計測が行え、また色情報を同時に得ることが可能である。本研究では、Canon 社製のデジタルカメラ PowerShot G7X を用い、磨崖和霊石地蔵については一枚当たり約 70cm 角ずつで 57 枚、レプリカについては約 120cm 角ずつで 43 枚の写真をそれぞれ撮影し、それらに基づいてそれぞれの形状を計測した。撮影作業は、一人の人間によって、磨崖和霊石地蔵について 6 分、レプリカについて 4 分以内で終了した。

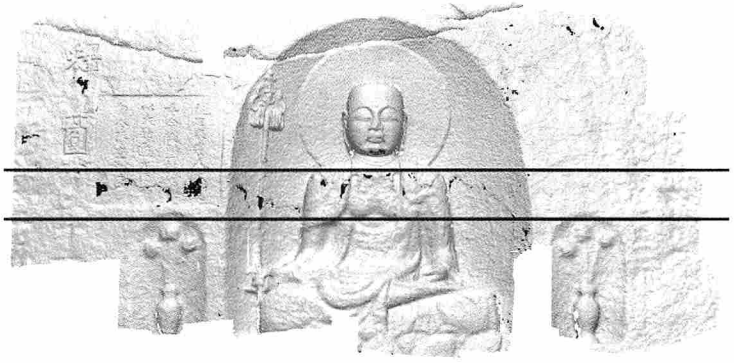


図３．図１と図２の変位量分布図
（●：変位 3mm 以上の箇所、－：各暗色化部の上面）

3. 2. 結果

レプリカの形状と 2016 年の磨崖和霊石地蔵の形状との間に 3 ㎜以上の変位が認められた箇所は、磨崖仏中位で海水面に対して平行な幅約 20 ㎝の帯状に集中し、全計測エリアの中で 0.56%程度に留まった（図３）。また、藻類の沈着に起因すると見られる計測域下部の暗色化部分の範囲が、レプリカと現物とで異なっており、現物では像の肩付近まで広がっている（図１）のに対しレプリカではお腹レベルまでに留まっており（図２）、帯状の変位箇所（図３）はまさに両者の間部分に相当した。

4.考察

レプリカと現状との間で観察された変位は、基本的にこの 30 年間の劣化を示していると考えられ、闇雲に危機感を煽るのではなくこうした客観的データから現状を判断すべきと思われる。変位が集中した帯状部分は、この 30 年間で表面の暗色化が進行した部分にほぼ相当し（図１、２、３）、暗色化部分は満潮による海水の供給と密接に関係していると判断される。それが 1986 年製作のレプリカと現状とで異なっているのは、この 30 年間における海水準上昇が関与している可能性がある。下部暗色化部の現在の表面状態を見ても、当初造形をそのまま残しているとは見られないことから、同像が「近年になって急速に劣化してきた」とは考えにくく、むしろ歴史的にずっと起きていた劣化が今も止まらずに進行し続けていると理解する方が適切かと思われる。ただし、その劣化部位が海水準変動と関係しているのであれば、今後は劣化が顔など、像にとって本質的な部位に及ぶ可能性も否定できず、さらなる慎重な観察が必要と思われる。

文献 1)片山清（1961），史迹と美術, 314, 143、2)酒井修二他（2013）情報処理学会報告, 186

文化財の国内長距離輸送時の各輸送工程において発生した加速度の評価

Evaluation of Acceleration Detected in Each Step of Domestic Long Distance Transportation of Cultural Properties

○和田浩(東京国立博物館)、宮地鼓(苫小牧市美術博物館)
○WADA Hiroshi (Tokyo National Museum)、MIYAJI Tsuzumi (Tomakomai City Museum)

1.はじめに

発表者らは、文化財の活用に伴い発生する輸送に関して継続的に環境調査を実施しており、加速度データロガーを用いて、輸送機関上および梱包箱内で発生する加速度を計測し、輸送環境の評価のためのデータを蓄積中である。国内輸送においては、美術品輸送専用車両(美専車)と呼ばれるトラックが主な輸送機関として用いられており、走行中の美専車に関しては、輸送環境を概ね把握しつつある。一方で、船舶を用いた輸送環境を計測する機会が少なく、一般的には大きな加速度が発生しないとされているものの、具体的な輸送環境を正確に把握できていない。このたび、本州と北海道との間でおこなわれた、船舶を含む長距離輸送について計測する貴重な機会を得たので、各輸送工程で発生した加速度の評価について報告する。

2.輸送経路

計測対象とした輸送は、苫小牧市美術博物館から東京国立博物館までの約 1,000km を美専車、船舶を用いて、約 3 日間かけておこなわれた。表 1 は輸送経路の詳細である。船舶は苫小牧港から仙台港の区間(約 560km)に用いられ、他は美専車で一般道路および高速道路を走行した。使用した船舶は RO-RO 船と呼ばれるもので、美専車に文化財を積載したまま乗船し、航海中はそのまま船内に駐車した状態となる。途中、美専車は茨城県立歴史館に 1 泊留め置きする工程が含まれている。

経路 (上段:出発地 / 下段:到着地)	工程	距離 (km)	最大加速度 (G)	平均加速度 (G)
苫小牧市美術博物館 苫小牧港	一般道路	3	0.646	0.131
苫小牧港 仙台港	航路	560	0.188	0.092
仙台港 仙台港IC	一般道路	4	2.188	0.147
仙台港IC 那珂IC	高速道路	233	3.548	0.403
那珂IC 茨城県立歴史館	一般道路	12	1.535	0.249
茨城県立歴史館 水戸IC	一般道路	15	2.253	0.254
水戸IC 神崎IC	高速道路	78	2.653	0.411
神崎IC 伊能忠敬記念館	一般道路	13	2.042	0.314
伊能忠敬記念館 佐原香取IC	一般道路	4	1.026	0.179
佐原香取IC 箱崎JCT	高速道路	87	2.879	0.296
箱崎JCT 東京国立博物館	一般道路	5	1.934	0.123

表 1　輸送経路と加速度計測値

3.計測方法

加速度データロガーを図 2 のように美専車荷台に設置し、複数台をタイマー起動させて輸送工程全

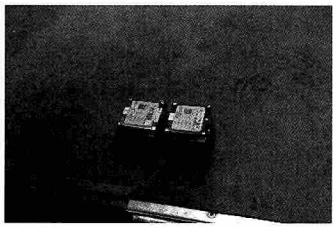


図 2 荷台上の加速度データロガー

表 2 加速度データロガーの設定

機種：SAVER3X90 (Lansmont社)	
サンプリングレート	1ms
計測間隔	2s
計測時間	1.024s
トリガー	無し

体を網羅できるように計測条件を設定した。また、GPS データロガーを美専車走行中は運転席付近に、船舶内では同行研究員の船室の窓際に設置し、解析時に位置情報を参照できるようにした。計測設定は表 2 の通りである。

4.計測結果

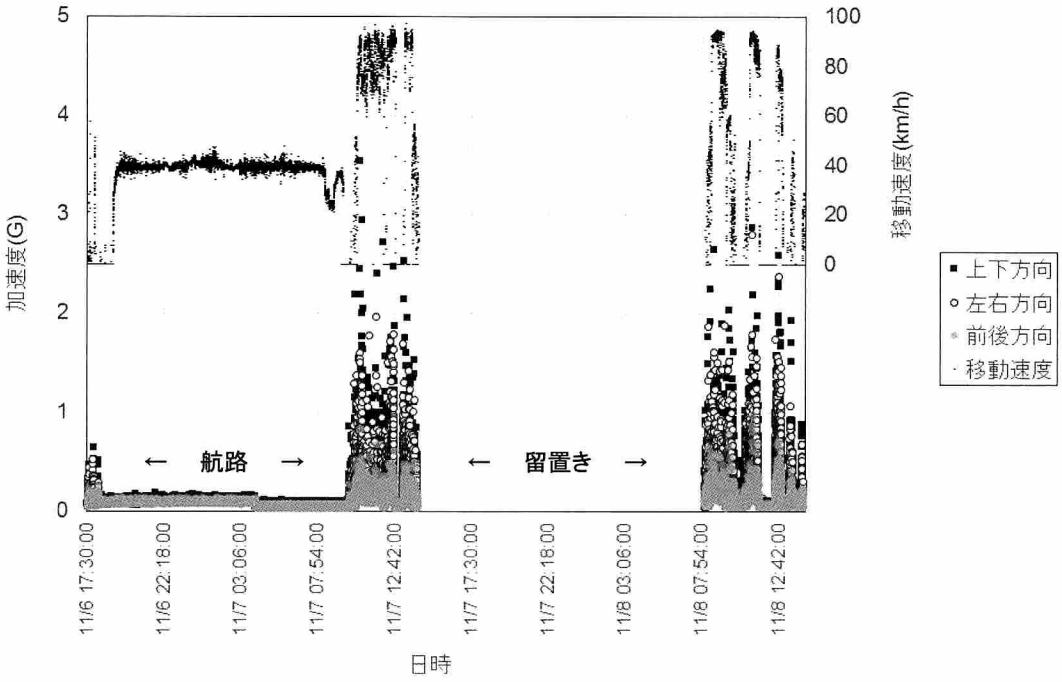


図 3 時間変化に伴う加速度と移動速度の分布

図 3 は輸送全体の時間変化に伴う、加速度分布を移動速度とともに示したものである。同図の右半分を占める空白の領域は夜間の車両留置きの時間帯を示している。船舶はほぼ時速 40km で移動している区間であり、その区間における加速度分布は極めて低いことが明らかであった。また表 1 に示した垂直方向の最大ピーク加速度および平均ピーク加速度についても航路の安定性が明瞭であった。

謝辞

船舶での輸送環境について、神戸大学の斎藤勝彦教授から多くの貴重な情報をご提供いただきました。なお、本研究は JSPS 科研費 JP16H03109 の助成を受けたものです。感謝申し上げます。

韓国潭陽開仙寺址石燈の非破壊損傷度評価

Nondestructive Diagnosis of Stone Lantern at Gaeseonsa Temple Site in Damyang, Korea

○荒木徳人・安有彬・李讚熙(国立公州大学校文化財保存科学科)

○Naruto Araki・Yu Bin Ahn・Chan Hee Lee

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

1.はじめに

韓国全羅南道潭陽郡に位置する開仙寺址石燈は、868年に新羅第48代王の景文王が発願して建てられた宝物第111号の石燈である。開仙寺址石燈は同じ様式の石燈の中でも唯一銘文が刻まれており、築造された年代や土地売買などについて記されているため、非常に歴史的価値の高い石燈である。石燈が位置する場所は以前、水田として使用されていたため地盤が湿っており、排水するのが困難であり、下臺石まで浸水し凍結融解現象がよく発生した。1991年に解体修復を行い地臺石および下臺石の部材交換、中臺石の部材を追加し、損失部分を補修物質で充填した。

2005年には交換した地臺石が凍結融解現象の影響を受け損傷し、解体修復を行い地臺石の部材交換、洗浄および撥水処理を行った。しかし、現在、下臺石には複数の亀裂が発生し、構造的不安定な状態となり、解体修復が行われる予定である。したがって、本研究では石燈の解体修復前の状態を把握するために、石燈を構成する部材の材質特性を明らかにし、風化状態および原因を究明するために多様な非破壊技法を用いて損傷度評価を行った。

2.調査方法

本研究では石燈から剥落した極微量の試料を採取し岩石の微細な組織および鉱物の造成を観察するために携帯型実体顕微鏡および偏光顕微鏡を用いた観察を行った。また、造岩鉱物の精密な同定を行うためにX線回折分析を行った。構成部材の微細磁気的特徴を把握するために帯磁率の測定も行った。次に、石燈を精密的に記録するために3Dスキャンを行い、そのデータを用いて実測図を作成し、損傷図を作成した。損傷図は現場で損傷状態を記録し、損傷ごとに図面にマッピングして作成した。マッピングした損傷の面積を求めて損傷率も算出した。また、剥離の面積を正確に把握するために赤外線ハロゲンヒーターを用いて熱を加えることによって剥離が起きている部分と起きていない部分で温度差が生じる原理を用いた赤外線熱画像分析を行った。

次に石燈の物性を非破壊で評価するために超音波速度の測定を行った。獲得したデータの信頼度を上げるために補正した値を風化段階ごとに分類し、石燈の超音波速度分布を図面化した。次に石燈に生成した汚染物および過去の修復に使われた補修物質の二次的影響性を把握するためにP-XRFを用いて汚染物の同定を行った。また、剥落した汚染物および補修物質を採取してSEM-EDSを利用して汚染物の詳細な組織の観察を行った。

3.結果

開仙寺址石燈は地臺石を除いて凝灰岩で構成されており、その中でも中臺石と下臺石の一部を除いては製作当初の部材である。また、2005年に交換された地臺石は以前、使用されていた部材より強度の強い岩石を選定したため花崗岩製の部材が使用されている。

現在、この石燈は亀裂、剥離、剥落、脱落などの物理的損傷、黒色、茶色、白色などの変色が起こる化学的損傷、地衣類、蘚苔類、草本類の生息による生物学的損傷が確認された。まず、物理的損傷として構造状亀裂が1,567mm、剥離状亀裂が671mm、微細亀裂が307mmと主に下臺石中心に発生していた。損傷率を算出した結果、剥離2.0%、剥落0.2%、脱落1.6%、黒色変色28.5%、茶変色4.1%、白変色0.5%、地衣類4.6%、蘚苔類0.008%、草本類0.1%という占有率を示した。また、補修物質は石燈全体の9.0%を占め、その中でもセメントは0.5%、残りの8.5%はすべて合成樹脂で構成されいる。そして、過去の記録から、合成樹脂はAW106の主剤とHY837の硬化剤を混ぜたエポキシ樹脂を使用していることが確認された。

P－XRF分析の結果、黒色に変色した箇所だけでなく変色が起きていない箇所にも微量にSが検出され、白色に変色した箇所で一部Clが多く検出された。これらの試料をSEM-EDSを用いて、黒色の試料を観察した結果、元素マッピング分析を行ったところSとCaの境界を確認することができた。一方で白色の試料にはTiが含まれていることから、これは現代の無機物塗料で補色したと判断できる。また、P－XRF分析でClが確認された試料には、Clが極微量に検出されており有機物が多く観察された。

次に、方位別に超音波速度を測定した結果、北側は平均3.634m/s、西側は平均3,624m/s、南側は平均3,439m/s 、東側は平均3,346m/sという結果を示した。これらのデータを5段階風化レベルに当てはめていくと全面3段階(Moderately Weathered)の風化状態が確認された。

4.考察および結論

現在、開仙寺址石燈は物理的損傷率は高くないが、物性が部分的に脆弱であり、特に下臺石の一部が非常に脆弱な状態である。1991年に交換された下臺石に起きた複数の亀裂は凍結融解現象によって発生した可能性が高いと考えられる。韓国気象庁の過去の記録によると潭陽郡一帯は冬季に平均0±4℃の大きな温度差が起きるため十分に凍結融解現象が起きやすい環境である。また、部材が岩石の中でも比較的吸水率の高い凝灰岩で構成されている事が大きな原因である。現状では石燈に使われてる補修物質が石材に大きな影響を及ぼしていないが、セメント類の補修物質を使用している限り、二次的損傷は免れない。現状として石燈の至る所で極微量に石膏に含まれている成分が確認された。エポキシ樹脂も、主剤と硬化剤の配合比率が原因で接着境界面が合わず鉱物粒子と一緒に剥落する恐れがある。したがって、開仙寺址石燈の解体修復が終了した後、同じ方法を用いて非破壊診断を通じて物性評価を行い解体修復前後のデータを比較する必要がある。この結果を基盤に今後、定期的にモニタリングを行い持続的に石燈の精密安全診断を行う必要がある。

参考文献

Song Chi-Young·Han Min-Su·Lee Jang-Jon·Jun Byung-Kyu2008「 Research on present statue of conservation materials in the stone cultural heritage- Focus on adhesive, filler, repellent, consolidant materials-」『 CONSERVATION STUDIES 29』 NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF CULTURAL HERITAGE

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)

-太陽熱を利用した地衣類のクリーニング-

Study on the Conservation Materials for Bas Relief of Bayon temple in Angkor Site (5): Cleaning Methods of Lichens by Utilizing Solar Heat

○河崎衣美(筑波大学)、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)、海老澤孝雄(ざエトス)
KAWASAKI Emi (University of Tsukuba)、HARA Kojiro (Akita Prefectural University)、MATSUI Toshiya (University of Tsukuba)、SAWADA Masaaki (Tohoku University of Art and Design)、INOUE Saihachi (I.N Technical Lab.)、EBISAWA Takao (The Ethos)

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なってきた[1]。本発表では、保存修復材料を適応する前処理として必要な付着物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処置方法について報告する。従来、地衣類の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。近年は光合成阻害剤を塗布する方法、紫外線照射で弱らせ物理的手法で取り除く方法などが行われている。発表者らは、石材への負荷がより少なく、環境にも配慮した手法として太陽熱の利用を検討した。評価手法として、目視による経年観察の他に、地衣類を構成する藻類の自家蛍光観察による地衣類の生死を判断する手法を試みた。

2. 方法

バイヨン寺院にて石材に付着する地衣類を除去するための太陽熱および温水を利用した比較試験を行い、除去効果および地衣類に与えた影響を検証した。太陽熱を利用した試験は寺院内の7箇所10点の転石(試験1から試験7)および1点の柱(試験8)で行った。既往研究[2]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、2日間から4日間静置した(図1)後、プラスチックフィルムを取り外し、経年の枯死評価を行なった。この間日中に温度計測を行った。柱の試験8では東西南北4面に温度ロガー(Onset社製、U23-003)を用いて処置環境を計測し(測定間隔1分)、試験前後に地衣類の一部をサンプリングし、蛍光顕微鏡観察(ライカ製蛍光フィルターI3[励起:450nmから490nm、吸収:515 nm未満])によって藻類の自家蛍光の有無を観察し生死判断を試みた。温水を利用した試験は柱(試験9)の1点で行った。いずれも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、50℃から63℃程度に保持した(図2)。試験後は太陽熱および温水を利用した試験ともに対象石材を自然の状態で放置し、経過観察を行った。試験1と試験2は2015年8月に、試験3から試験7は2015年12月に、試験8と試験9は2016年12月に実施した。試験石材には痂状や葉状の複数の地衣類が見られた。

図1　試験8の様子

図2　試験9の様子

3. 結果と考察

図3にバイヨン寺院における各試験箇所を示す。試験1は4日間行い、計測した最高温度は52℃であった。試験直後に地衣類に変色が見られ、4ヵ月後には多くの部分で地衣類の剥落が見られた。12ヵ月後には石材表面がほぼ露出した状態となり、地衣類が除去された。試験1の処置前写真を図4に、12ヵ月経過写真を図5に示す。

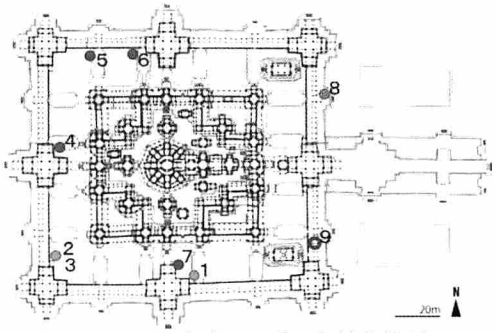


図3　バイヨン寺院における各試験箇所

試験2 から試験7は試験1のように試験直後の変化は小さかった。これは日陰となる場所に位置したこと、乾季に実施したことにより水分の蒸発が早かったことが原因の一部と考えられる。しかしながら全ての試験箇所で8ヵ月後から12ヵ月後には地衣類の変色や剥落が生じており、18ヵ月後までの観察結果から地衣類の除去は進行していた。

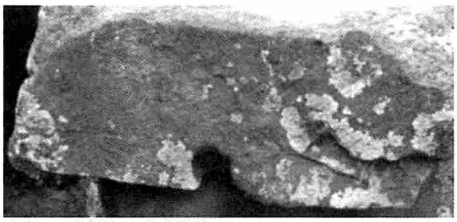


図4　試験1処置前

図5　試験1処置12ヵ月後

試験8は3日間行い、最も高温となった南面（Max: 45.7℃、Min: 25.6℃、Avg: 33.8℃、σ: 6.1）において、試験前後の地衣類を採取（*Lepraria* sp.、*Physciaceae* sp. #4、*Dirinaria aegialita*、*Pyxine* sp.）[3]し、蛍光顕微鏡による藻類の自家蛍光観察を行った。*Physciaceae* sp. #4の試験2ヵ月後の蛍光顕微鏡写真を図6に示す。試験前は藻類の自家蛍光が見られたが、試験直後と 2 ヵ月後には見られなかった。

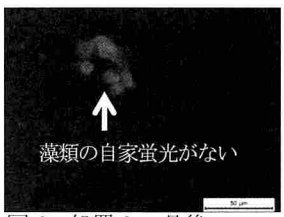


図6　処置2ヵ月後

Pyxine sp.では試験前と試験直後に藻類の自家蛍光が見られ、2ヵ月後は見られなかった。試験直後の自家蛍光の有無は種による違いか環境の違いか定かではないが、2 ヵ月後には藻類は死滅し、地衣類は死滅に向かう状況となることがわかった。試験9では処置後2ヵ月後に地衣類の変色が見られ、処置効果があることから、太陽熱を利用できない箇所に対して有効な地衣類除去法であると考えられる。

4. おわりに

太陽熱および温水を利用した地衣類のクリーニングは可能であり、石材への負荷が少なく環境にも配慮した手法として有効である。太陽熱を利用する場合、本報で用いた方法では適応箇所が限られるため、より多くの箇所に適した方法、大規模建造物に適した方法への改良が必要となる。

本研究の一部は、JSPS 科研費 25257503、16K16339 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) 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)
3) 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(2013)

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

Study on Conservation Environment and Salt Crystallization of "Museum of Kiln" in the INAX Live Museum

○佐々木 淑美(東北芸術工科大学), 犬塚将英(東京文化財研究所)
○Juni Sasaki (Tohoku University of Art And Design),
Masahide Inuzuka(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

本研究では、近代化遺産のうち煉瓦造建造物の保存方策および劣化対策を検討するための基礎研究として、愛知県常滑市にあるINAXライブミュージアムの「窯のある資料館」を対象とし、その保存方策を検討するための保存環境調査を実施した。特に、博物館が長い間苦慮してきた塩類析出について、その析出状況の記録・分析と析出塩類の同定をおこなった。現地調査は、6月30日、7月7日～7月8日、11月29日～12月1日、1月20日の計4回実施し、温湿度計測(約24時間)と析出塩類のサンプル採取、温湿度モニタリング(12月8日17時～現在)、可搬型X線回折装置を用いたオンサイト分析から得られた成果は、今後の対策および保存方策の検討の一助となるよう博物館に報告した。

2. INAXライブミュージアム「窯のある資料館」内に保存されている石炭窯とその保存状況

INAXライブミュージアムは、愛知県常滑市にある平成18年にグランドオープンした企業博物館で、住環境設備で著名なLIXILの一部門であるINAXが運営している。昭和61年からすでに資料館として公開されてきた「窯のある資料館」では、大正10年につくられた建物と煉瓦造の倒焔式石炭窯、そして煙突が保存されている。これらは全て、平成9年に国の文化財に登録され、平成19年には近代化産業遺産にも認定されている。現在、保存のための修繕が計画されており、平成28年12月12日から約2年間、資料館を閉鎖し石炭窯および建物の壁面ならびに屋根の修繕を実施する予定である。

この石炭窯では、陶管や焼酎瓶、クリンカータイルを主に焼成していた。焼成時には、石炭と共に岩塩を窯の中に投入することで、陶管やタイルの表面に塩釉を施していた。そのため、窯内部の煉瓦表面も同様に塩釉がかかった状態となっている。この内壁面には、かつて樹脂による保存処置が実施されており、現在は、塩釉の上にさらに樹脂がかかった状態である。

窯内壁面および窯外壁面のいずれにおいても、塩類析出が顕著にみとめられ、特に進行した箇所では煉瓦が粉状化し、外縁を残して剥落している。内壁面では樹脂の内側で塩類が析出したため樹脂膜が割れ、美観を損ねている。また、外壁面ではほぼ全面で塩類が析出しており、健全な煉瓦は散見される程度しかない。そして、塩類析出により粉状化した煉瓦が足元に堆積しており、内側での塩類析出により浮き上がった煉瓦表面が剥落しそうになっている箇所もみられることから、美観だけでなく観覧者への影響も考慮すべきといえる。

3. 窯の内外壁面から析出している塩類とその分布

今回の調査で筆者らは、博物館から許可を得て、窯内外壁面および建物外にある煙突から計182点(うち可搬型X線回折との照合点として17点)の析出塩類を採取した。採取したサンプルは、東京文化財研究所に持ち帰り、同研究所が所管する据え置き型のPANalytical社製X線回折装置(X'pert PRO)を用いて結晶相の同定をおこなった。この装置のX線管球は銅(Cu)で、管電圧・管電流を45kV・40mAに設定し、走査範囲は回折角(2θ)5－70°、2θのステップ角度Δ2θを0.017°とした。

分析結果を、サンプル採取箇所と照らし合わせてみたところ、次のような傾向をみとめることができた。

まず、窯全面を通してカルサイト(calcite, $CaCO_3$)が確認された。これは、煉瓦および目地材に含まれていると考えられる。また、テナルダイト(thenardite, Na_2SO_4)は窯外南面でほとんど析出しておらず、北面および西面北側、東面北側に集中して析出しているのに対して、エプソマイト(epsomite, $Mg_2SO_4 \cdot 7H_2O$)は窯外南面および窯の屋根部分でのみ析出している。また同様にアストラカナイト(astrakhanite, $Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4(H_2O)$)についても、窯外南面および西面南側で多く析出していることがわかる。このアストラカナイトは、先行研究[1]で煉瓦からの析出が報告されているブレーダイト(bloedite, $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$)と同義である。

このほかに、ジプサム(gypsum, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$)やアフシタライト(aphthitalite, $K_3Na(SO_4)$)、エウグステライト(eugsterite, $Na_4Ca(SO_4)_3 \cdot 2(H_2O)$)の析出が散見されており、これらの塩類は先行研究[2]でも煉瓦からの析出が確認されている。

そして特に注目したいのは、ハライト(halite, NaCl)の析出である。先にも述べた通り、窯の操業時に塩釉を得るために岩塩が添加されており、窯内部の煉瓦表面は全て塩釉で覆われている。つまり、窯内壁面および壁内部にこの岩塩を由来とする成分が多く存在していると考えられる。しかし、夏季の調査では、ハライトが析出していた箇所は窯内部の南東のみであった。これについて発表者らは当初、この南東のハライト析出箇所では、壁面に向けてかなり近い距離に設置されている間接照明によって局所的に温められた壁面が、周囲に比べ乾燥状態となり、ハライトの析出が優勢となっているためであると考察した。修繕のために窯内部の照明が消灯された後に実施した冬季の調査において、窯内部のハライトが消失していたことからもこの考察は穏当と言える。

秋季には、窯外面でもハライトの析出を確認し、夏季に塩類の析出が認められなかった箇所から新たに析出した塩類のほとんどがハライトであった。また、冬季になるとそれらの秋季の析出状況を維持したまま、夏季にテナルダイトやアストラカナイトが析出していた箇所がハライトに変化していることもわかった。これらの変化は、季節変化に加えて修繕のために空調および照明が消されたことによる資料館内の温湿度変化に起因するものであると考えられる。

4. まとめと今後の課題

INAXライブミュージアム「窯のある資料館」で保存展示されている石炭窯では、顕著な塩類析出がみとめられ、主たる展示物であるにもかかわらずその劣化状況は窯の美観を損ね、博物館の懸念事項であった。筆者らは、現在計画中の修繕に先立ち現地調査をおこない、その保存環境、特に煉瓦表面でみとめられる塩類の析出状況を記録・分析し、窯の内外壁面における析出塩類の分布を確認した。

まず、窯外壁面では南北で析出する塩類に分布がみとめられ、北面および西面北側、東面北側に集中してテナルダイトが析出しているのに対して、窯外南面および窯の屋根部分ではエプソマイトが析出していた。

次に、夏季には窯内の南東壁面でのみ析出がみとめられたハライトが、秋季には窯外壁面にも新たに析出し、冬季になるとさらに夏季にテナルダイトであった箇所がハライトに変化していた。これは季節変化に加えて修繕のための閉館による環境変化が影響していると考えられる。

今後は、塩類の析出分布とその変化と温度湿度や日射の関係について、長期的な環境モニタリング結果の検証、そして研究室実験から検討していく必要がある。また、修繕完了後に資料館が再開する際に、塩類析出が進行することのない適切な保存環境を提案できるよう調査を継続していく。

[謝辞]
本研究の一部は、平成28年度関西大学若手研究者育成経費の助成を受けたものである。INAXライブミュージアムの住宮和夫館長ならびに竹多格主任学芸員の理解と協力を得て析出塩類のサンプルを採取することができた。ここに記して感謝申し上げます。

[参考文献]

1) 小口千明、松倉公憲、朽津信明:旧下野煉瓦窯壁面における塩類析出の空間分布および季節変化に与える環境要因、地形、23(2)、335-348(2002) 2) 朽津信明:博物館明治村で観察された蒸発岩、岩鉱、87、388-391(1992) 3) 大塚将英、早川泰弘、皿井舞、藤岡穣:可搬型X線回折分析装置を用いた鋳造釈迦如来坐像(飛鳥大仏)の材質調査、保存科学、56(2017)

水蒸気移動による出土鉄製文化財の新規脱塩法の開発（その2）腐食の抑制に対する効果の検討

Development of a novel method for desalination of iron artifacts by means of vapor diffusion and transfer (Part2) Effectiveness of a novel method for inhibiting corrosion during and after treatment

○柳田明進（奈良文化財研究所）、脇谷草一郎（同左）、髙妻洋成（同左）
Yanagida akinobu (Nara National Research Institute for Cultural Properties),
Soichiro Wakiya (″), Yohsei Kohdzuma (″)

1. はじめに

保管時に内部の塩化物塩が潮解することで腐食する鉄製遺物に対しては、液水に浸漬して塩化物塩を除去する脱塩による安定化が図られる。本研究は鉄製遺物内部の塩化物塩を水蒸気の作用により潮解させて除去することで、処置中の新たな腐食が抑制されうる従来法とは異なる脱塩の開発を目的としている。新規法では鉄製遺物内部の塩化物塩を恒湿環境に設置することで潮解させた後、有機溶剤に浸漬することで取り除く方法を検討している。既報[1]では鉄製遺物の腐食の進行が抑制されつつ、内部の塩化物塩が潮解する条件として、相対湿度（RH）59%が最適であることを示した。ここでは、新規法の処理中の腐食と脱塩による処置後の腐食抑制の効果を評価するため、塩化物塩を内在する鉄製遺物を模した試料をもちいて、処置中の腐食量および処置後の塩素（Cl）の分布などの状態の変化、高湿環境での腐食挙動を検討した。

2. 実験方法

2. 1 試料の調整 炭素鋼（SS400）の側面および底面をPTFE製テープによって断湿処理した後、$FeCl_3$アセトン溶液を試料上面に滴下し、24時間乾燥させることで$FeCl_2$を1 mg/cm²付着させた試料を調製した。さらに20℃において、飽和塩でRH82%に調湿した恒湿環境下で1週間腐食させた試料を以下の実験に供した。調製した試料は表層に赤金鉱（β-FeOOH）の腐食層を有し、その下部にClが集積した状態であることが認められた（図1 control）。

2. 2 各実験系の設定 表1に各実験系および実験の評価法を示す。以下の実験では処理を施していない対照試料に加えて、新規法を想定してRH59%に調湿した恒湿環境に24時間設置した後、エタノールに1時間浸漬させた系（実験系1）、従来法のSodium sesquicarbonate溶液（Na_2CO_3、$NaHCO_3$の等molの5%水溶液、以下セスキ溶液と表記）に24時間浸漬させる系（実験系2）、ならびに蒸留水に24時間浸漬させる系（実験系3）を設定した。実験系2、3の試料は溶液から取り出してエタノールに浸漬することで脱水を施した後、デシケータ内で24時間乾燥させた。

2. 3 処置中の腐食の評価 処置中の腐食の評価には10×10×5 mm（試験面積：1 cm²）に切り出した炭素鋼を用いた。調製した試料をそれぞれRH59%の恒湿環境、セスキ溶液、蒸留水に2週間設置し、腐食による重量減少を測定した。重量減少の測定はJIS Z 2371に準拠し[2]、その腐食量を表面積、試験期間で除して腐食速度とした。

2. 4 脱塩の効果の評価 新規法の腐食抑制の効果の評価のため、処置後の腐食状態の分析、高湿環境下での試料の重量変化を測定した。腐食状態の分析には10×10×5 mm、重量変化の測定にはφ80×5 mm（試験面積：50.24 cm²）に切り出した炭素鋼を用いた。腐食状態の分析では形成された腐食生成物をX線回折分析（XRD）で同定するとともに、試料断面を走査電子顕微鏡（SEM）およびSEMに付属するエネルギー分散型X線分光（EDX）を走査して得る元素マップで観察、分析した。断面観察では試料をエポキシ樹脂に包埋した後、裁断し、湿式研磨をおこない鏡面状態に仕上げた。また、処置を施したそれぞれの試料を飽和塩にてRH97%に調湿した恒湿環境に設置し、重量の変化を1週間にわたって連続して測定した。なお、実験の温度条件はすべての工程で20℃とした。

表1 各実験系および各実験に対する評価法（評価法欄の（）内は炭素鋼の形状と評価方法を示す。）

実験系		実験系1	実験系2	実験系3
内容		新規法	セスキカーボネート法	蒸留水に浸漬
処置工程		1) RH59%に2週間、24時間設置 2) エタノールに1時間浸漬 3) デシケータ内で24時間乾燥	1) セスキ溶液に2週間、24時間浸漬 2) エタノールにて脱水 3) デシケータ内で24時間乾燥	1) 蒸留水に2週間、24時間浸漬 2) エタノールにて脱水 3) デシケータ内で24時間乾燥
評価法	処置中の腐食挙動	● 処理中の腐食速度（10×10×5 mm、重量減少）		
	処置後の腐食抑制の効果	● 腐食生成物の状態と腐食生成物中の塩素の分布の変化（10×10×5 mm、XRD、SEM-EDX） ● 高湿度環境における腐食のモニタリング（φ80×5 mm、重量変化の計測）		

3. 結果および考察

3. 1 処置中の腐食 処置にともなう腐食量から算出した各実験系での腐食速度を表2に示す。処置中の腐食速度は実験系1に比べて実験系2でわずかに高いことから、従来法のセスキカーボネート法に比べて新規法の処置中の腐食速度はやや高いと考えられる。鉄製遺物をセスキカーボネート法により処置する場合、一般に数週間から数ヶ月の期間を要する。液水中の塩化物イオンの拡散を処置の駆動力にする従来法に比べて、新規法では水蒸気移動を利用するため速やかに処置の効果が得られる

可能性が高いことから、新規法と従来法の処置中の腐食量の大小については、新規法に要する処置期間を的確に把握することでさらに検討を進める必要がある。

3．2 処置後の腐食抑制の効果 処置後に各実験系で検出された腐食生成物の一覧を表3、対照試料および実験系1~3の試料断面のSEM像、酸素（O）、Cl、鉄（Fe）の元素マップを図1に示す。目視による状態の観察とXRDから、実験系1では処置にともなう腐食層の状態の変化は認められなかった。一方で、実験系2では処置にともない腐食層の形状が変化するとともに、赤金鉱に加えて針鉄鉱（α-FeOOH）が検出された。また、実験系3では処置にともない腐食層が黒色に変色し、磁鉄鉱（Fe_3O_4）、鱗鉄鉱（γ-FeOOH）に変化した。断面のSEMによる観察から対照試料では腐食層の表面、その内部にFeおよびOが顕著に分布する緻密な腐食生成物が認められ、緻密な腐食層の間にClが顕著に認められる微細な粒子が集合した腐食層が観察された。XRDの結果を考慮すると表層の緻密な腐食層は主に赤金鉱と考えられ、内部に認められるClに富む腐食生成物はOの検出強度が低いことから塩化鉄（II）などからなる潮解性の塩化物塩が存在すると推察される。実験系1では対照試料と同様に表層と内部に緻密な腐食層が認められるとともに、Clに富む微細な粒子からなる腐食生成物は局所的に残存しているものの、大部分で観察されずに空洞化していた。したがって実験系1では赤金鉱の緻密な腐食層の変化は認められず、内部のClに富む腐食生成物が除去されていると考えられ、新規法において塩化物塩の除去の効果が認められた。実験系2および実験系3では腐食層の構造が著しく変化しており、実験系2では約20 μmの緻密な腐食層、実験系3では厚さ50 μmの腐食層が観察されるとともに、実験系2、3ともに腐食層の表層においてClの分布が認められた。赤金鉱はその結晶構造中にClを取り込んでおり、7 wt%のClを含む腐食生成物とされている[3]。実験系2、3では試料が水溶液に浸漬され、赤金鉱中のClが除去されることで相変化が生じた[4]と考えられる。従来法は腐食生成物の相変化をともなう可能性があるものの、新規法では潮解性を有する塩化物塩にのみ作用するとともに他の腐食生成物の相変化の影響が緩慢と考えられる。

処置を施した対照試料、実験系1～3の試料の高湿度環境下における重量の変化を図2に示す。対照試料で認められる重量の増加は内部の塩化物塩の潮解、腐食反応にともなう腐食生成物の成長が要因と考えられ、重量の増加が顕著であるほど腐食が進行していると考えられる。実験系1の重量増加は対照試料に比べて緩慢であり、これは新規法による腐食抑制の効果が得られていることを示すと考えられる。ただし、実験系2、3に比べて重量の増加が顕著であった。これは、断面観察で認められた局所的に残存している塩化物塩が腐食に関与していることが要因の一つとして考えられ、使用する有機溶剤の種類や浸漬時間の条件を検討することで改善されると考えられる。

4．まとめ

新規脱塩法の開発のため塩化物塩を内在する鉄製遺物を模した試料を用いて、処置中および処置後の腐食挙動を検討した。その結果、1）処置にともなう腐食速度は従来法に比べてやや高い値を示すこと、2）新規法では鉄製遺物内部の塩化物塩が存在する箇所にのみ作用し、従来法で認められる腐食生成物の相変化が認められないこと、3）従来法には劣るものの処置後の重量変化から現状の新規法による脱塩の効果が認められた。さらに使用する有機溶剤の選択や有機溶剤への浸漬時間の条件などを検討することで、処置後の腐食抑制の効果を向上させることが可能であると考えられる。

表2 処置中の各実験系での腐食速度

実験系	実験系1(n=4)	実験系2(n=4)	実験系3(n=4)
腐食量(mm/y)	0.261	0.164	0.496
標準偏差	0.073	0.033	0.105

表3 処置後に検出された腐食生成物

実験系	実験系1	実験系2	実験系3
腐食生成物	赤鉄鉱(β-FeOOH)	赤金鉱(β-FeOOH) 針鉄鉱(α-FeOOH)	磁鉄鉱(Fe_3O_4) 鱗鉄鉱(γ-FeOOH)

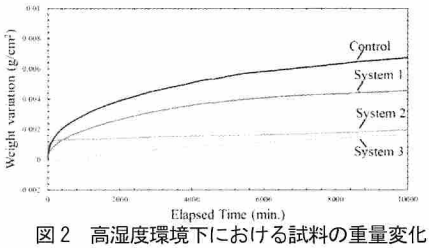


図2 高湿度環境下における試料の重量変化

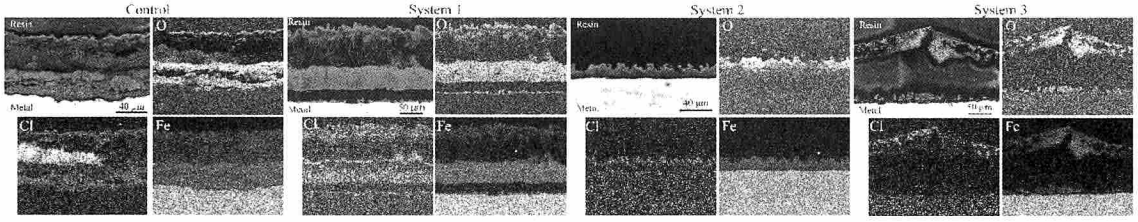


図1 対照試料および実験系1～3の反射電子像および酸素、塩素、鉄の元素マップ

謝辞：本研究の一部は平成28年度科学研究費補助金若手研究（B）（研究番号15K16278 研究代表者：柳田明進）の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

引用文献1）柳田明進、脇谷草一郎、高妻洋成 2016 日本文化財科学会 「水蒸気移動による出土鉄製文化財の新規脱塩法の開発（その1）塩化鉄（II）の潮解過程における最適条件の検討」 日本文化財科学会第33回大会研究発表要旨集 pp.56-57 2）日本工業規格 1994 JIS Z 2371 3） Reguer, S., Mirambet, F., Dooryhee, E., Hodeau, J.-L., Dillmann, P. and Lagarde, P. 2009 "Structural evidence for the desalination of akaganeite in the preservation of iron archaeological objects, using synchrotron X-ray powder diffraction and absorption spectroscopy" Corrosion Science 51 pp.2795-2802 4) North, N.A. 1982 "Corrosion products on marine iron" Studies in conservation 27 pp.75-82

酸素の供給条件の異なる水中で保管した現生および出土木材試料の劣化

Degradation of modern and excavated wood samples stored under water with different oxygen supplying conditions

○松田和貴（奈良文化財研究所）、脇谷草一郎（同左）、髙妻洋成（同左）
○Kazutaka Matsuda, Soichiro Wakiya, Yohsei Kohdzuma
(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

水中で一時保管されている出土木製遺物の劣化には好気性微生物の活動が大きく関与する。発表者らはこれまで実際の遺物の水中保管環境において溶存酸素を低減する具体的な方策を検討してきた[1]。一方、木製遺物の一時保管中の劣化を十分に抑制する環境条件を検討するためには、溶存酸素をはじめ種々の環境因子が遺物の劣化におよぼす影響を定量的に把握する必要がある。そのための予備的な実験として、酸素の供給条件の異なる水中で現生および出土木材から調製した試料を保管し、溶存酸素量の多寡が木材の劣化におよぼす影響の把握を試みた。

2. 実験方法

実験にはケヤキ (*Zelkova serrata*) の現生材(以下、現生材)および風乾した広葉樹の出土木材(以下、出土材)の心材をそれぞれミルで粉砕し、粒度を42-80メッシュとしたものを用いた。これらの木粉約8 gを直径250 mmの円形のシルクスクリーン(200メッシュ)で巾着様に梱包したものを、現生材および出土材について20個ずつ作製して試料とした。各試料はあらかじめ105℃で6時間乾燥して絶乾重量を求めたのち、蒸留水に浸漬して減圧脱気により飽水状態とした。なお、飽水処理の直後に現生材および出土材の試料を2個ずつ乾燥して絶乾重量を測定し、水溶性成分や微細木粉の流失による試料の重量減少率を求め、他の試料について飽水処理後の絶乾重量の推定値を算出した。

表1に示すように、試料の種類と酸素の供給条件が異なる4つの実験系を設定した。各実験系では、内寸290×192×135 mm (W×H×D)のガラス製容器に蒸留水を4L入れ、30℃の恒温槽内で調温するとともに、エアポンプを用いた曝気により溶存酸素を飽和させたうえで、表1に示す試料を9個ずつ設置した。さらに、木材を分解する微生物を導入するため、別に水中保管していた出土木材の小片を各実験系に投入し、実験を開始した。なお、E-aおよびM-aでは、好気的条件とするため曝気を継続し、E-bおよびM-bでは嫌気的条件とするため、曝気を停止のうえ水面を酸素不透過性シートで被覆して気相からの酸素供給を制限した。ただし、E-aおよびM-aでは、蒸発により水位が低下したため、30℃に調温した蒸留水を適宜補充した。各実験系では、溶存酸素計(Onset社製 HOBO U-26)を用いて、溶存酸素量を10分間隔で測定した。あらかじめ設定した期間(1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 12, 17週間)が経過するごとに各実験系から試料を1個ずつ回収し、流水で洗浄のうえ実験前と同様に絶乾重量を測定した。各試料について飽水処理後の絶乾重量(推定値)に対する残存率を求め、劣化程度の尺度とした。なお実験開始から8週間目に、微生物の窒素源およびその他の栄養分の補給を目的として、各実験系にポリペプトン20 gおよび酵母エキス20 gを蒸留水200gに溶解したもの(以下、栄養分)を投入した。

3. 結果および考察

各実験系における溶存酸素量の測定結果を図1に示す。E-aおよびM-aにおける溶存酸素量は、当初より飽和に近い値を維持していたが、栄養分を投入した直後から急激に減少し、0 mg/Lとなった。また容器内の水が白濁し、水面に白い膜状のものが生じた。栄養分の補給により、菌類などの好気性微生物が急激に増殖したためと考えられる。なお、この10日ほど後には再び溶存酸素量が飽和値付近まで増加しており、投入された栄養分の大部分が好気性微生物に消費されたものと考えられる。

一方、E-bおよびM-bにおいては、実験開始直後より溶存酸素がすみやかに減少し、枯渇状態となった。好気性微生物によって溶存酸素が消費される一方、水面に設けた酸素不透過性シートにより酸

素の供給が制限されていたためであると考えられる。その後も嫌気的条件が維持されていたが、E-bおよびM-bでは、栄養分を投入した翌日から数日間にわたって微細な気泡が盛んに生じた。この気体を携帯型ガス検知器(レイシステムズ社製 ToxiRAE3-H2S)により測定したところ、硫化水素が検出されたことから、両実験系では嫌気呼吸により硫化水素を生じる硫酸塩還元菌が生育していたものと考えられる。したがって、E-aおよびM-aでは好気性微生物が、E-bおよびM-bでは嫌気性微生物が生育する環境が維持されていたといえる。

各実験系における試料の絶乾重量残存率の推移を図2に示す。出土材の残存率は、実験期間を通してわずかに減少する傾向がみられたが、曝気の有無による顕著な差異は認められなかった。また栄養分の投入による明確な影響も認められなかった。一般に、出土材は埋蔵環境下でセルロースやヘミセルロースの多くをすでに失い、リグニンの含有割合が高くなっている[2]。そもそもリグニンは微生物による分解が比較的進行しにくい[3]とされており、本実験の期間では条件の違いによる試料の劣化への影響が顕著なものとならなかったと考えられる。

一方、現生材の残存率は出土材に比べて総じて低く、またM-aの試料の方がM-bのものに比べて低くなっていた。酸素が供給される条件では、木材の劣化が進行しやすいことを示しているといえる。なお、両者とも実験開始から4週間程度で試料の重量減少がやや鈍化したが、M-aの試料では栄養分の投入後、継続的に重量残存率が低下する傾向が認められた。一般に、木材は炭素に富む一方で、比較的窒素分に乏しいことから、窒素を含む栄養分が投入されたことで、とくに好気性微生物による分解が促進された可能性が考えられる。

表1　実験系の概要

実験系	試料	酸素の供給条件
E-a	出土材	曝気あり、水面は開放
E-b	出土材	曝気なし、水面を酸素不透過性シートで被覆
M-a	現生材	曝気あり、水面は開放
M-b	現生材	曝気なし、水面を酸素不透過性シートで被覆

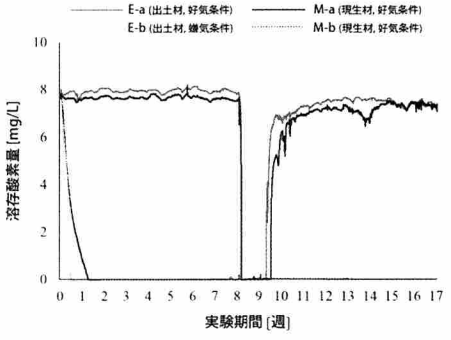


図1　各実験系における溶存酸素量の推移

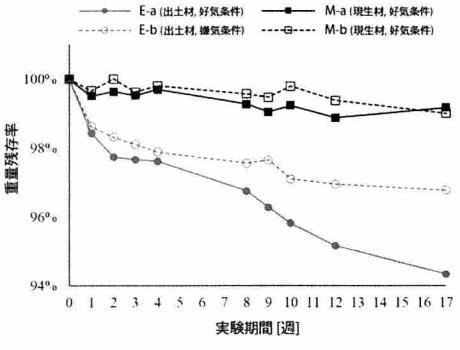


図2　試料の絶乾重量残存率の推移

4. まとめ

本実験の期間中では、好気的条件下で保管した現生材試料は、嫌気的条件下のものに比べ2倍弱の重量減少が認められた。また、屋外の遺物保管水槽など、種々の栄養分が供給されうる環境では、微生物による木材の劣化が促進される可能性も示唆された。ただし、こうした定量値の差異は実験条件に大きく影響されると考えられる。

一方、出土材試料では、実験中に大きな重量減少が認められず、また溶存酸素の多寡による顕著な影響も認められなかった。しかしながら、出土木製遺物の水中保管環境では、遺物表面が著しく軟化する現象がしばしば観察される。こうした劣化はやはり微生物の活動によって引き起こされると考えられるため、その生育条件をより詳細に検討する必要がある。そのうえで、溶存酸素量だけでなくpHや酸化還元電位など、種々の環境因子が水中保管環境における出土木製遺物の劣化におよぼす影響について、室内実験により検討を進める予定である。

【参考文献】

1) 松田和貴・脇谷草一郎・髙妻洋成 2015「出土木製遺物の水中保管環境における溶存酸素を低減する方策の検討」『日本文化財科学会第32回大会 研究発表要旨集』pp.90-91

2) 酒井温子 1991「出土木材の劣化過程」『木材学会誌』第37号 pp.363-369

3) T. Fenchel, G. M. King, T. H. Blackburn, 2012 "Bacterial Biogeochemistry: The Ecophysiology of Mineral Cycling Third Edition" Elsevier Ltd. 大田寛行・難波謙二・諏訪裕一・片山葉子 (訳) 2015『微生物の地球化学―元素循環をめぐる微生物学』東海大学出版部 pp.39-41

積雪寒冷地の遺跡内の融雪水の浸透に関する観測と解析

Study of snowmelt water flow in the ground of historical remains in the cold regions with snow and its analysis

○石崎武志（東北芸術工科大学）、澤田正昭（同）、濱松優介（青森県）
○Takeshi Ishizaki(Tohoku University of Art and Design), Masaaki Sawada (Tohoku University of Art and Design), Yusuke Hamamatsu(Aomori Prefecture)

1．はじめに

北海道、東北地方などの積雪寒冷地域では、冬季に積雪があり、外気温が高くなると積雪が解け、遺跡の中に水が浸透する。この様な条件では、遺跡内部の水分状態が変化し、遺跡の劣化に繋がると考えられる。今年度は、三内丸山遺跡等で、遺跡周囲の気象観測を行い、合わせて地中の温度変化、積雪状況の変化などの観測を行った。以下に青森県三内丸山遺跡での観測結果について中心に報告する。

2．三内丸山遺跡の子供の墓周辺の環境

三内丸山遺跡の子供の墓では、周囲環境の温湿度を測定するために、子供の墓ドーム外に温湿度データロガーを設置すると共に、ドーム内には、南北に温湿度データロガーを設置し、30 分ごとにデータを取得した。また、ドーム内には、遺構内の水の浸みだし状況を見るためにタイムラプスカメラを設置し、１日に１回撮影を行った。青森市気象台での平均気温、三内丸山遺跡子供の墓ドーム外部の気温測定結果を図１に示す。実線は、子供の墓外部の日平均気温測定結果で点線は、青森市気象台での測定結果を示す。三内丸山遺跡の方が、若干低くなっているが、変化傾向は、ほぼ対応している。また、青森気象台で観測された最深積雪量の測定結果を図２に示す。積雪がある状況で、三内丸山遺跡子供の墓ドーム外部の気温が高い場合には、積雪が融解し、融雪水が、地中に浸透し、子供の墓ドーム内の遺構に流れ込むと考えられる。ここでは、水の浸透状況を観察する目的で、ドーム内にタイムラプスカメラの設置を行った。

図１．青森市気象台での日平均気温測定結果（点線、2015/12/1～2016/4/30）、子供の墓外部の日平均気温測定結果（実線、2015/12/19～2016/4/22）

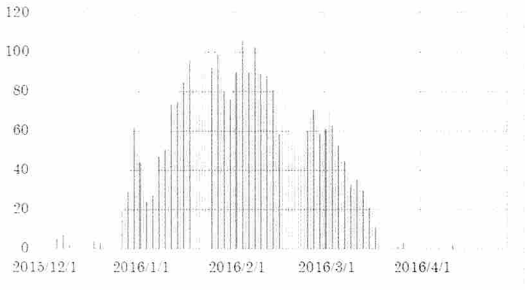


図２．青森市気象台での最深積雪量測定結果（2015/12/1～2016/4/30）

3．タイムラプスカメラによる遺構の撮影

子供の墓ドーム内で、2015/12/19～2016/4/22の期間、温湿度測定を行うと共に、１日に１回（2/26まで9:33、その後10:06）子供の墓遺構の写真をタイムラプスカメラにより撮影した。写真で黒く見える部分は、水分量の多い部分を示している。また、これらの写真から、子供の墓中央部の窪みに水が出てきた日は、下記の通りであることが分かった。

図３．2016/2/15 （平均気温-2.7℃、最高気温1.3℃）降雪

Case1 2016/2/15 ～2016/2/17

Case2 2016/2/20 ～2016/2/22

Case3 2016/3/7～ 2016/3/10

Case4 2016/3/17～ 2016/3/20

Case1の期間の前後の子供の墓ドーム外部の日最高気温、平均気温、最低気温および青森市気象台による降水状況結果を表１に示す。表１から、１３日、１４日の気温が高かったため、融雪水、雨が浸透し、子供の墓の遺構に水が浸透してきたものと考えられる。また、融雪してから子供の墓遺構に水が出てくるまで２日ほど遅れがあることが分かった。

表１．Case1 2016/2/15 ～2016/2/17の日最高気温、平均気温、最低気温および降水状況結果

	最高温度	平均温度	最低温度	昼	夜
2016/02/12	6.6	-0.5	-8.9	薄曇一時晴	曇後一時雨
2016/02/13	8.9	4.3	0.1	曇時々雨	雨時々曇、霧を伴う
2016/02/14	13.1	5.2	0.7	雨時々曇一時霧、大風を伴う	雪時々雨後一時曇
2016/02/15	0.6	-2.8	-5.6	雪一時曇	雪時々曇
2016/02/16	-0.2	-3.0	-6.4	雪一時曇	雪一時曇
2016/02/17	0.9	-2.6	-4.1	雪一時曇	雪時々曇、あられ
2016/02/18	8.5	1.4	-4.3	晴時々雨一時曇、みぞれ	雨時々曇

4．子供の墓遺構内の水の浸透に関するまとめ

子供の墓内部の水の浸透と気温の関係を調べたところ、気温の高い日の１日、２日後に、子供の墓内部に水の浸透が見られ、窪み部分に水がわき出てくる様子が見られた。これは、冬季に、気温の高い日に融雪や降雨により水が地面に浸透し、ドーム周辺からこの浸透水が流入し、子供の墓の遺構部分に出てくるものと考えられる。また、現地には、地下水位計および地中水分分布測定装置の設置を行ったので、地中内の水の浸透に関してより定量的なデータが得られるものと期待される。今後は、ドーム周辺の土の水分特性や透水係数などを測定し、水の流れを定量的に把握し、保存対策手法の構築に結びつけて行く予定である。

組積造建造物の塩類風化予測モデルの開発

—レンガの塩溶液吸水・蒸発実験による移動特性の把握—

Development of the prediction model of salt damage
-Salt solution uptake and evaporation test with brick to grasp characteristic of salt solution transport –

○水谷悦子(京都大学)、小椋大輔(京都大学)、石崎武志(東北芸術工科大学)、安福勝(近畿大学)、佐々木淑美(東北芸術工科大学)
○Etsuko Mizutani(Kyoto University), Daisuke Ogura(Kyoto University), Takeshi Ishizaki (Tohoku University of Art And Design), Masaru Abuku(Kindai University), Juni Sasaki (Tohoku University of Art And Design)

1 はじめに　本研究はトルコのハギア・ソフィア大聖堂をはじめとした塩類風化による材料の劣化損傷の問題を抱える文化財の保存のため、外部環境からの塩の供給の影響を含めた壁体の劣化メカニズムを解明することと、そのための劣化現象を予測する熱水分塩同時移動・析出・溶解連成解析モデルを開発することを目的としている。多孔質材料中の塩の移動、析出には塩溶液の移動特性の把握が重要であり、定量的な劣化予測モデルの開発には、これらの影響を適切に考慮する必要がある。本報では、大聖堂の壁体の劣化に関わっていると考えらえる塩のうち2種類の塩($NaCl$、Na_2SO_4)を対象に材料中の塩溶液の移動特性を把握するため、レンガの吸水時の含水率分布の経時測定と蒸発速度(水分減少量)の測定を行う。また吸水実験の結果と塩溶液の移動に関する数値解析の結果から、塩の濃度と種類が塩溶液の移動拡散係数に与える影響を明らかにする。

2.吸水・蒸発実験による塩溶液の移動特性の把握　2.1 実験概要　実験には一般的な焼成煉瓦(密度:1900[g/m³]，空隙率 0.23[m³/m³])を 30 mm×40 mm×100 mmのサイズにカットし、上下方向に1次元性が確保できるように側面はエポキシ樹脂を塗布しアルミ箔を接着させ断湿したものを使用した。試験体は吊り下げて下面から水槽に張った水を吸水するように設置し、上面は室内に開放した。吸水時の試験体中央部の容積基準含塩水率の上下方向の分布をγ線含水率計により非破壊で一定の時間間隔で測定する(図 1)。また吸水終了後の試験体の蒸発が上面からとなるように吸水面(下面)をラップで断湿し、蒸発時の質量減少量を電子天秤で計測する。

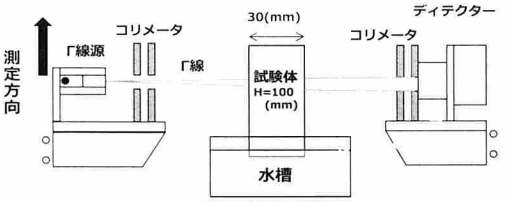


図1γ線含水率計を用いた吸水実験の概要

2.2 塩溶液の吸水時の含水率分布の経時変化の測定結果　図2にそれぞれ純水もしくは、塩化ナトリウム($NaCl$)と硫酸ナトリウム(Na_2SO_4)の飽和塩溶液吸水時を吸水させた際の壁体内容積含(塩)水率の経時変化を示す。純水を吸水させた場合、試験体毎にばらつきが見られたが吸水開始から2時間30分から3時間30分程度で概ね定常状態に達した。一方、塩溶液の吸水させた場合は純水の吸水時と比較し定常状態に至るまでにかかる時間が大幅に長く

なり、塩化ナトリウム(NaCl)、硫酸ナトリウム(Na_2SO_4)ともに約 9 時間を要した。また硫酸ナトリウム(Na_2SO_4)飽和塩溶液を吸水させた場合、下端から 8.7 cmの高さの含塩水率はそれより下部と比べると吸水速度の低下が見られた。硫酸ナトリウムは飽和塩溶液の相対湿度が 94%であり塩化ナトリウムの 75%と比較し高く、より高湿度で析出しやすい塩であるため、吸水過程において材料内で塩が析出し、それによって吸水速度が低下した可能性が考えられる。

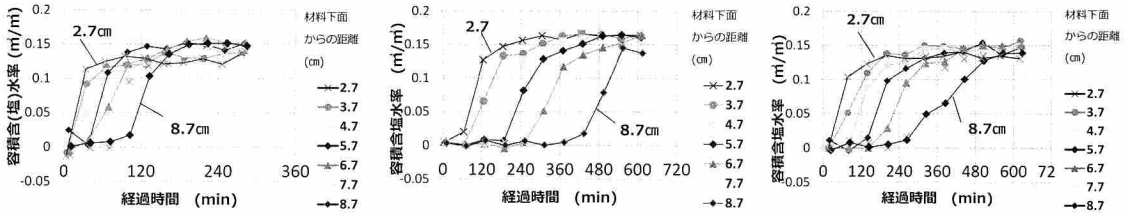


図 2 溶液吸水時の壁体内容積含水率の経時変化
(左:純水、中央:塩化ナトリウム、右：硫酸ナトリウム)

2.3 塩の析出状況の目視観察を蒸発速度の測定結果 写真 1 に塩化ナトリウムと硫酸ナトリウムの飽和塩溶液の吸水実験直後と 1 週間静置した試供体の上面での塩析出状況を示す。吸水実験終了直後の試供体上部には薄く塩の表出が確認され塩の種類による析出状況の差は少ないが、その後塩化ナトリウムを含ませたものは試供体上部の表面全体を覆うほど塩が析出し、吸水実験終了後から 5 日程度塩の析出量の増加がみられた。一方、硫酸ナトリウムを吸水させたものは 1 日程度で試供体表層での変化はほぼ見られなくなり、析出箇所も材料表面の一部に限定される。図3に水分蒸発量の測定結果を示す。塩を含むことにより水分蒸発速度が低下し、飽和塩溶液を吸水させた場合、吸水実験終了 1 週間の実験室雰囲気下での蒸発量は純水吸水時の約 25%であった。蒸発量が同程度であるのにかかわらず硫酸ナトリウムの吸水の材料表面での析出量が少ないことから硫酸ナトリウムは材料内部で析出しやすいものと考えられる。

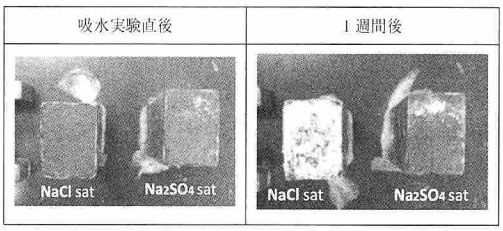


写真 1 試験体上部での塩の析出状況

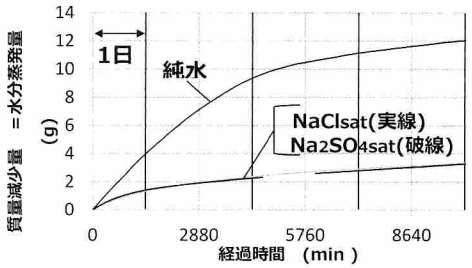


図 3 水分蒸発量

3. まとめ 溶液の移動特性を把握するため煉瓦を使用した吸水・蒸発実験を実施した。飽和塩溶液を使用した場合は純水と比較し吸水過程が定常に至るのに約 3 倍かかり、蒸発量は 4 分の 1 程度まで減少し、塩を含むことによる移動特性の変化は非常に大きいことが分かった。また塩化ナトリウムと比較し、硫酸ナトリウムは材料内部で析出しやすいことが観察された。上記の検討に加えて、一次元の塩溶液の水分移動解析と吸水実験の結果から溶液の含塩水勾配の拡散係数を同定した。塩化ナトリウムは濃度上昇するほど拡散係数が小さくなっており溶液の濃度が吸水速度に大きく影響すること、硫酸ナトリウムは濃度による拡散係数の同定値の差は小さく材料内での塩析出が上記の実験における吸水速度の低下に影響している可能性が示唆された。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金 基盤研究(S)(課題番号:16H06363 研究代表者:青木孝義)、 若手研究(A)(課題番号:26709043 研究代表者:安福勝)、若手研究 (B) (課題番号:26870897 研究代表者:佐々木淑美)の助成を受けて実施した学術調査の成果の一部であるの助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

大分市高瀬石仏の保存環境調査～その1）現状の概要と分析

Evaluation of the conservation environment at the stone buddhas of Takase, Ooita
Part 1: Outline and analysis of the present conditions

○奥田吏司(近畿大学)、安福勝(近畿大学)、脇谷草一郎(奈良文化財研究所)、小椋大輔(京都大学)、桐山京子(京都大学)、高取伸光(京都大学)
○Satoshi Okuda (Kindai University), Masaru Abuku (Kindai University), Soichiro Wakiya (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Daisuke Ogura (Kyoto University), Kyoko Kiriyama (Kyoto University), Nobumitsu Takatori (Kyoto University)

1. はじめに

高瀬石仏は昭和 9 年に国指定史跡となった大分市を代表する磨崖仏の一つである。岩盤に彫られた石窟・石仏から外界気象や地下水の影響を絶つことは難しく、過去に石仏を守るため、上部の植栽の除去およびその部分の防水舗装、覆屋の建設、石窟の東側にある水路の変更など、様々な保存整備事業が行われたが、それらの影響を評価できておらず、依然として劣化の危険性が残る。このような状態にある高瀬石仏を守るには、長期保存を視野に入れた劣化リスク（例えば 100 年後）の検討と保存方法の提案（地下水・日射制御など）が必要と考えられる。本報では、実測調査により、周辺・覆屋内環境、地下水位、土壌・岩盤の状態や特性（特にイオンや鉄分濃度）などを明らかにする。

2. 環境調査

現状把握のための基礎データを得るため、石窟内温湿度計測（2016/5/18～, 10 分間隔）、気象観測（2016/5/18～, 10 分間隔）、および地下水位計測（2016/3/6～, 30 分間隔）を実施した。各々の測定機器の設置位置を図 1 に示す。気象観測の測定項目は、外気温度・湿度、風向・風速、日射量、水平面降雨量である。気象観測装置は、覆屋正面の電柱（高さ約 6m の位置）に設置した。図 2 は、地下水位計を設置した No.1 孔と No.2 孔の断面を示している。地下水位は、標高 15m 地点を水位 0m とした。

風速・風向の測定結果を図 3 に示す。石窟は東側に開口部を有するのに対し、高瀬石仏周辺ではほぼ常に南北方向に風が流れる。日平均風速は 1m/s 未満であること、また台風が到来した時間帯にも強い風は吹かないことが明らかとなった。以上より、外部風の石窟内への大きな影響はないと考えられる。これらの風向・風速の特徴は、石窟周辺の地形によるものであると考えられる。降雨量（図 4）[2]について、2016 年 6 月の梅雨時には 100mm 近い日積算降雨量を観測する日も多くある一方、7 月中旬から 9 月初旬の間は雨が降らなかった。2016 年の地下水位（No.1 孔）は 2008 年よりも平均的に僅かに下がっている（図 4）ことから、水路変更（2016 年 1 月位に水路を石窟から離れるように迂回させる工事が行われた）の影響の程度が確認できると考えられる。ただし、2016 年の 7 月中旬から 9 月初旬にかけて水位が下がっているのは、この時期雨が降らなかったためである。No.1 孔に比べ、No.2 孔では水位が高い。

3. 地下水および岩盤・土壌の成分分析

4 回に渡り、2 つの地下水位測定孔で地下水を採取し、イオンクロマトグラフィを用い、陽イオンは京都大学、陰イオンは奈良文化財研究所にて分析した（10/4 の陽イオンは未分析）。図 5 と図 6 に結果を示す。塩害の主成分となりうるナトリウムイオンと硫酸イオンが比較的多く検出された。しかし、現時点では目視で確認できるような目立った塩の析出は見られていない。十分な、また時期によらない安定的な塩と水分の供給源があることを考えると、今後も経過を観測する必要がある。図 7 に示す位置で地下水、岩盤および土壌を採取し、地下水は JIS K 0120[3]、岩盤および土壌は酸分解 - フッ酸処理 - ICP 発光分光分析法[4]により鉄分分析を行った。測定結果を図 7 に示す。地下水に含まれる鉄分は微量であったが、岩盤および土壌には、（通常の土壌同様 [4]に）非常に多く鉄分が含まれていることから、石窟内部表面の硬化している部分が鉄分を多く含んでいる可能性がある。ただし、表層の被膜の主成分については、他の成分の可能性も考慮した分析が必要である。イオン分析により塩の起源となりうるイオンが地下水中に確認されたにも関わらず、実際には塩析出が観測されない原因として、この膜（硬化して

いる部分）により塩の析出が抑制されている可能性もある。この場合、もし石窟内部の硬い被膜が剥離した場合、その部分でこれまで析出していなかった塩が析出する可能性が危惧される。

4. 結論

水路変更により地下水位が若干下がったと考えられる。地下水の成分分析により、塩析出の可能性を指摘できるが、現時点では析出した塩は観測されない。周辺の岩盤に鉄分が多く含まれており、石窟内部表面の硬さを説明する一因となる可能性がある。

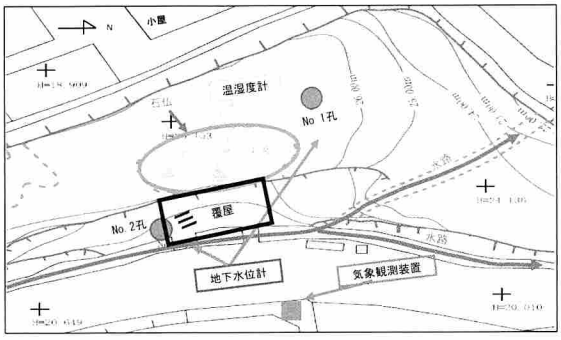


図１　各センサーの設置位置
（文献[1]の図に一部加筆修正）

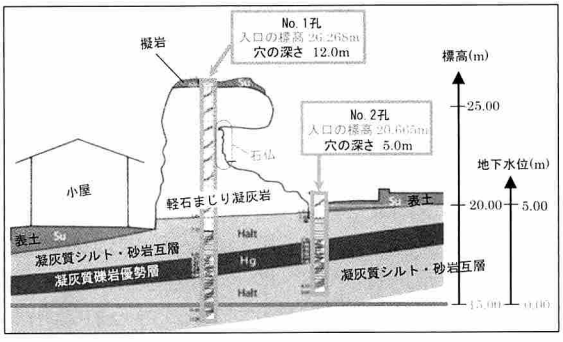


図２　高瀬石仏の地質断面図
（文献[1]の図に一部加筆修正）

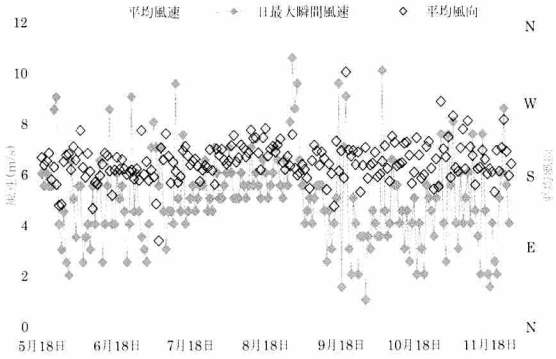


図３ 日平均風速・風向と日最大瞬間風速
（2016/5/18/～2016/11/27）

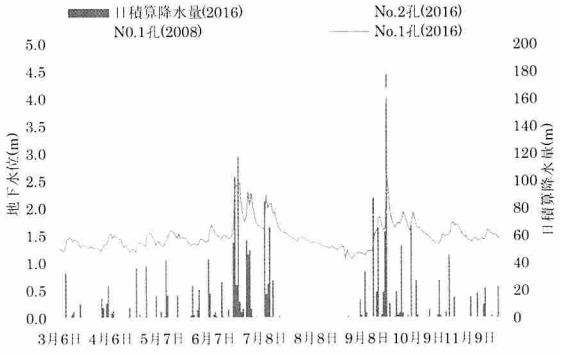


図４ 日積算降水量[2]と地下水位
（2008/7/16～11/27／2016/3/6～11/27）

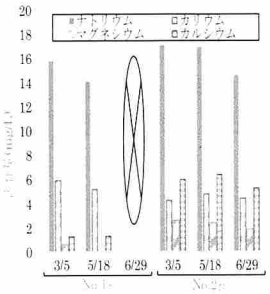


図５陽イオン分析結果

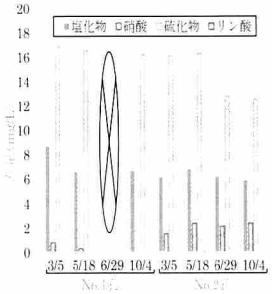


図６陰イオン分析結果

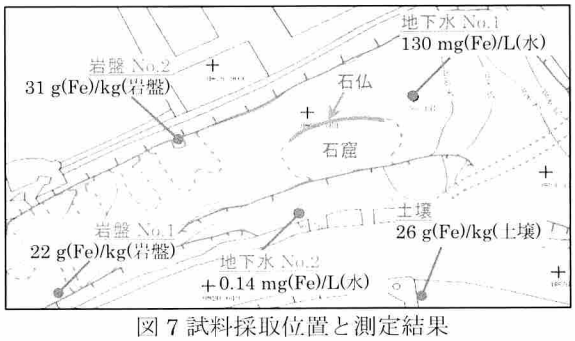


図７ 試料採取位置と測定結果
（文献[1]の図に一部加筆修正）

【謝辞】　本研究は科学研究費補助金 若手研究(A)（課題番号：26709043，研究代表者：安福勝）の助成を受けた。また本研究は、大分市教育委員会文化財課の協力を得て実施された。

【参考文献】
1) 大分市教育委員会．2011．「国指定史跡高瀬石仏」保存整備事業報告書，50p.
2) 気象庁．2016．大分市の降水量（http://www.date.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php）
3) 日本工業規格．2013．JIS K 0120，鉄
4) 土壌環境分析法編集委員会編．1997．土壌環境分析法，博友社

大分市高瀬石仏の保存環境調査～その2）熱・水分移動の数値解析

Evaluation of the conservation environment at the stone buddhas of Takase, Ooita
Part 2: Numarical analysis of heat and moisture transfer

○安福勝(近畿大学)、奥田吏司(近畿大学)、脇谷草一郎(奈良文化財研究所)、小椋大輔(京都大学)、桐山京子(京都大学)、高取伸光(京都大学)
○Masaru Abuku (Kindai University), Satoshi Okuda (Kindai University), Soichiro Wakiya (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Daisuke Ogura (Kyoto University), Kyoko Kiriyama (Kyoto University), Nobumitsu Takatori (Kyoto University)

1. はじめに

大分市高瀬石仏は、外界気象や地下水の影響を受けうる状態にあり、それによる劣化進行の危険性のある史跡である。前報[1]では、保存環境の実測・実態調査について報告した。本報では、前報で得た実測データを用い、石仏周辺の地盤（土壌）・岩盤内における熱・水分移動の数値解析（1次元）を行う。地下水位変動、雨・日射による熱・水分負荷を考慮し、それらが石仏に及ぼしうる影響を定量化する。得られた解析結果に基づき、過去に行われた保存整備事業（覆屋の建設や地下水路の変更など）の影響を考察する。

2. 熱・水分同時移動解析

石仏を含む石窟周辺の地盤（土壌）・岩盤断面内における熱・水分移動の数値解析を行い、水位の変動する地下水が石仏に及ぼしうる影響を明らかにする。断面の模式図、解析領域および境界条件を図1に示す。解析領域は破線で囲まれた領域で、標高15.648mを$x=0$とし、上向きをx軸の正とする。解析領域内部では、鉛直方向に1次元の熱・水分移動を考える。解析条件として、壁体構成：一次元壁体（x方向）、数値解法：時間前進型有限差分法、メッシュ分割間隔：0.1m、計算期間：2016/5/20～2016/11/20（185日間）とする。解析領域（土壌・岩盤）は全て一様な土壌と仮定し、物性値には高取らが使った土壌の物性値[2]を用いる。上部の擬岩（樹脂モルタル）は、熱抵抗が0であり、非透湿とする。また、境界条件として、外気温湿度：実測値、降雨量：全ての雨を受ける面に対し水平面降雨量の実測値×0.1、日射量：全ての日射を受ける面に対し実測値×0.7（日射反射率：30%）、風速：実測値、地下水位：実測値（No.1孔）とする。上部を除き、空気に曝されていない面には対称境界条件を適応する。地下水位以下は飽和度を1とする。熱・湿気伝達率は、外部風速を考慮した方法で計算する[3]。

3. 結果と考察

数値解析により算出した、4日間（5/20、6/29、8/28、11/21）の0時0分における、壁体内の温度、体積含水率、相対湿度、絶対湿度に関する高さ方向の分布を図2～図5に示す。また、地下水位と5つの高さにおける体積含水率の経時変化を図6に示す。解析結果から、地下水が影響する範囲は、$x=5\sim6$(m)の高さまでであり、石仏の高さ（$x=7\sim9$(m)）までは地下水は影響しえないことが分かる。ただし、実際の（あるいは今後の）水位が、今回入力として用いた値よりも高い（高くなる）場合には、地下水の影響範囲が石仏に届く可能性があり、解析の妥当性について慎重な議論が必要であると言える。なお、降雨量を0と仮定して計算を行った場合にも図2～図6に示した結果と殆ど差が無かった。ただし、現場においては擬岩の部分に亀裂が生じ、更なる雨水の浸透が懸念されている。以上を踏まえると、今後の課題として、実際の材料の物性値測定（実際の材料は、本解析に用いた材料と異なる吸水特性を示すと考えられる）、方位ごとの降雨量・日射量の算定、解析モデルの高次元化を行い、計算精度を向上させる必要がある。また、現在急激に進行している上部の擬岩の亀裂からの雨水の侵入の影響を検討する必要があると考えられる。

4. 結論

ここで示された解析結果によると、地下水位変動が石仏に与える影響はない。ただし、計算条件（特に物性値と境界条件）が影響の程度を変えるため、計算精度を高めた上での議論が必要である。

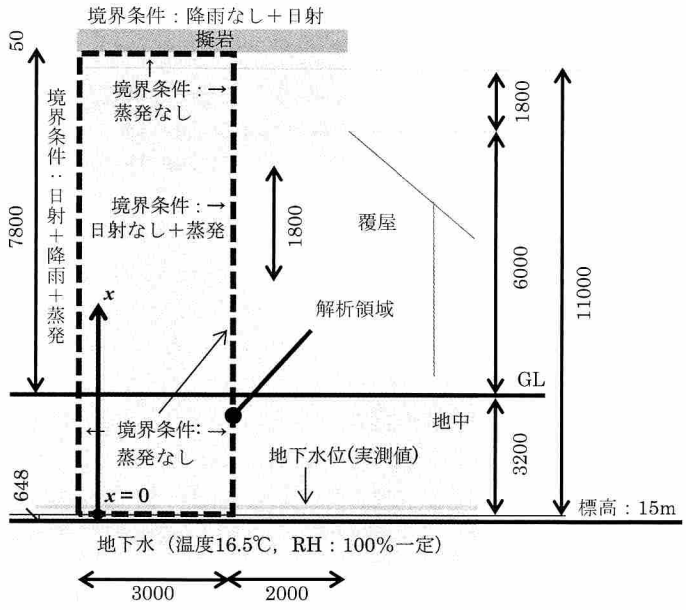


図 1 石仏周辺の断面と解析領域（破線で囲まれた領域）および境界条件（寸法の単位：mm）

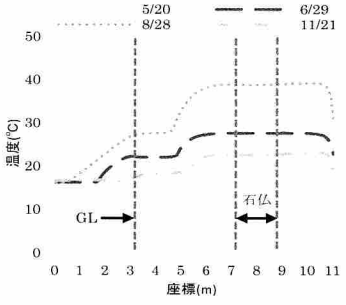


図 2 温度(0:00)

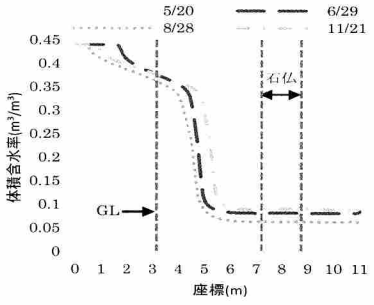


図 3 体積含水率(0:00)

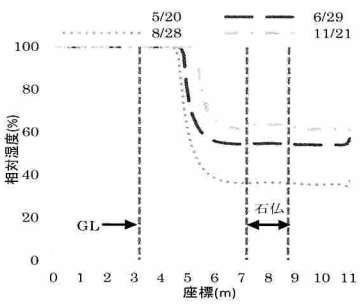


図 4 相対湿度(0:00)

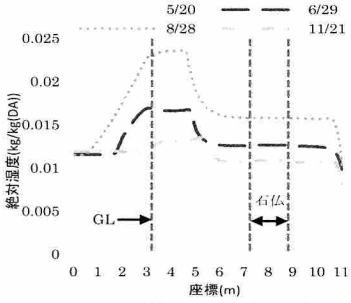


図 5 絶対湿度(0:00)

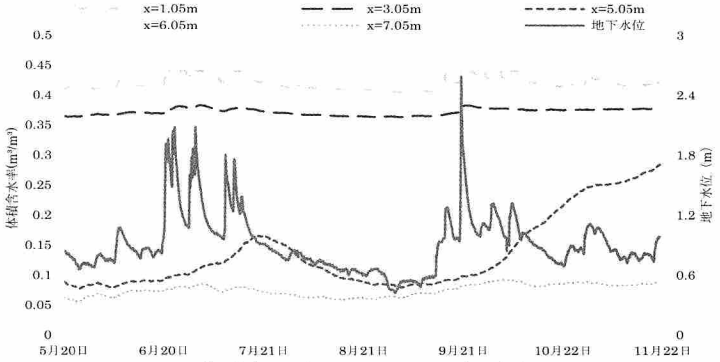


図 6 体積含水率と地下水位の経時変化

【謝辞】 本研究は科学研究費補助金 若手研究(A)（課題番号：26709043，研究代表者：安福勝）の助成を受けた。また本研究は、大分市教育委員会文化財課の協力を得て実施された。

【参考文献】 1) 奥田 吏司，安福 勝，小椋 大輔，脇谷 草一郎，桐山 京子，高取 伸光．2017．大分市高瀬石仏の保存環境調査～その 1）現状の概要と分析，日本文化財科学会大会研究発表要旨集（第 34 回），2p.
2) 高取 伸光，小椋 大輔，脇谷 草一郎，安福 勝，桐山 京子．2017．覆屋内温湿変動が磨崖仏の塩類風化に及ぼす影響の数値解析－元町石仏の保存に関する研究 その 1－，日本建築学会環境系論文集，82(733)，pp. 215-225
3) 鉾井 修一，池田 哲郎，新田 勝通．2002．エース建築環境工学Ⅱ，朝倉書店

Sr同位体比による日本出土古代ガラスの産地推定の試み

Provenance Study of Ancient Glass found in Japan: New Evidence by Strontium Isotope Analysis

○田村朋美（奈良文化財研究所）、申基澈（総合地球環境学研究所）
○Tomomi TAMURA (Nara National Research Institute for Cultural Properties),
Ki-Cheol SHIN (Research Institute for Humanity and Nature)

1. 研究の背景と目的

古代ガラスには、カルシウム（Ca）に伴う成分としてストロンチウム（Sr）が100～500 ppm含まれることが一般的である。このことを利用して、近年、地中海世界で出土するナトロンガラスなどを対象に、Sr同位体比による産地推定が試みられており、一定の成果が得られている。

筆者らの既往研究において、日本列島でも地中海世界で生産されたと考えられるナトロンガラス製の小玉（Group SI）が一定量出土することが確認された。さらに、筆者らは日本出土のナトロンガラスを化学組成から少なくとも7種類以上の材質に区分し、地中海世界で出土したナトロンガラスとの化学組成の対比を試みた[1]。その結果、現イスラエル付近で製作されたとされる「Levantine I」タイプに該当する種類が存在することが明らかとなったものの、その他の種類については既設定の材質グループには対応せず、具体的な生産地の特定には至っていない。

日本列島出土のナトロンガラスについては、もう一つ解決すべき重要な問題がある。すなわち、主成分の化学組成はナトロンガラスと類似するが、典型的なナトロンガラスと比較すると微量元素や製作技法の点でいくつかの重要な相違があるため、筆者らが「ナトロン主体ガラス」として典型的なナトロンガラスからは除外しているグループ（Group SIV）の問題である。Group SIVのガラス小玉は、製作技法上は典型的なインド・パシフィックビーズであり、日本列島では比較的多く出土する種類でもあるため、本グループのガラス素材が地中海周辺地域産であるのか、インド～東南アジア産であるのかという問題は、古代のモノや人、技術の移転を考えるうえで極めて重要である。

本研究では、Sr同位体比分析を利用することにより、日本列島出土のナトロンガラス（Group SI）について、化学組成からは困難であった具体的な生産地の特定を試みた。さらに、ナトロン主体ガラス（Group SIV）が地中海世界で生産された「真正の」ナトロンガラスに相当するか否かについても検討した。

2. 資料と方法

日本列島の弥生時代後期後半から古墳時代中期前半の墳墓（4府県4遺構）から出土したナトロンガラス製小玉（Group SI）43点のSr同位体比分析を実施した。さらに、ナトロン主体ガラス製小玉（Group SIV）5点の他、南～東南アジア産と考えている高アルミナタイプのソーダガラス製小玉（Group SII）7点、中アルミナタイプのカリガラス（Group PI）5点、プロト高アルミナタイプのソーダガラス（Group SV）の可能性の高いガラス小玉2点および南インドのアリカメドゥ遺跡において採集されたソーダガラス小玉1点を含めた計63点の分析を実施した（表1）。

測定にあたっては、蛍光X線分析装置（EDAX製EAGLEIII）を用いて目的とする種類のガラスを選択し、表面の風化層をロータリーバー（タングステンカーバイド製）で除去した。さらに、塩酸を用いて超音波洗浄することで、土壌由来の汚染の影響を低減させた。これらの試料をフッ酸、硝酸、過塩素酸で分

表1　分析資料の概要

分析No.	出土遺構	器種（製作技法）	基礎ガラスの種類			色調	着色剤
			大別	細別	グループ名		
1	島根県　西谷2号墓	管玉	ソーダ	ナトロン	Group SIA	淡青色不透明	Cu+[$CaSb_2O_6$]
2	奈良県　双築1号墳	小玉（連珠/包み巻き）	ソーダ	ナトロン	Group SIA	紺色透明	Co（Sb）
3	福岡県　奴山正園古墳	小玉（包み巻き）	ソーダ	ナトロン	Group SIA	紺色透明	Co（Mn, Sb）
4-14	福岡県　奴山正園古墳	小玉（包み巻き）	ソーダ	ナトロン	Group SIB	紺色透明	Co
15	大阪府　風吹山古墳	小玉（包み巻き）	ソーダ	ナトロン	Group SIB	紺色透明	Co
16-21	福岡県　奴山正園古墳	小玉（不明）	ソーダ	ナトロン	Group SIB	紺色透明	Co
22-35	大阪府　風吹山古墳	小玉（環状巻き付け）	ソーダ	ナトロン	Group SIB	紺色透明	Co
36-43	大阪府　風吹山古墳	小玉（融着）	ソーダ	ナトロン	Group SIB	紺色透明	Co
44-48	福岡県　奴山正園古墳	小玉（引き伸ばし）	ソーダ	ナトロン主体	Group SIV	紺色透明	Co（Mn）
49-53	福岡県　奴山正園古墳	小玉（引き伸ばし）	ソーダ	高アルミナ	Group SII	淡青色半透明	Cu（Pb, Sn）
54-55	福岡県　奴山正園古墳	小玉（引き伸ばし）	ソーダ	高アルミナ	Group SII	濃青色透明	Cu+Mn
56-57	福岡県　奴山正園古墳	小玉（連珠）	ソーダ	プロト高アルミナ	Group SV	青色透明	Cu
58	インド　アリカメドゥ遺跡	小玉（引き伸ばし）	ソーダ	プロト高アルミナ？	Group SV?	赤褐色不透明	Cuコロイド
59-63	福岡県　奴山正園古墳	小玉（引き伸ばし）	カリ	中アルミナ	Group PI	紺色透明	Co（Mn）

解し、Sr スペックレジンで Sr を単離し、MC-ICP-MS （Thermo Scientific 製 NEPTUNE plus）を用いて $^{87}Sr/^{86}Sr$ を測定した。

3. 結果と考察

日本出土のナトロンガラス（Group SI）の $^{87}Sr/^{86}Sr$ の値は、0.7087-0.7092 の範囲内に集中することが明らかとなった（図1上）。先行研究によると、地中海世界で出土するナトロンガラスは、$^{87}Sr/^{86}Sr$ が 0.7095 よりも低い値を示すことが知られており、整合的な結果であった。特に、古墳時代中期前半に流入した Group SIB の Sr 同位体比は、ナトロンガラスの生産地のなかでも Bet Eli'ezer や Bet She'an などのイスラエルの遺跡から出土するトロンガラスの値ときわめて類似する [2]。これらは貝殻由来の Ca を多く含む東地中海沿岸の砂（Coastal sand）を主原料としたと考えられている。一方、同じナトロンガラスでも石灰岩起源の Ca を多く含む砂（limestone-rich sand）が利用されたと考えられている中部エジプトのナトロンガラスでは、$^{87}Sr/^{86}Sr$ の値が低く（< 0.7080）、日本列島出土品とは明らかに異なる。以上の結果は、一部の Group SI の化学組成の特徴が「Levantine I」と一致したこれまでの研究成果とも整合的であり、日本列島出土の Group SI の多くが地中海世界でも特にレバント地方で生産された可能性が高まった。さらに仔細に検討すると、日本列島への流入時期の古いアンチモン（Sb）を含む Group SIA の Sr 同位体比がやや高く、古墳時代中期前半に流通した環状状巻き付け法による Group SIB の Sr 同位体比がやや低い傾向が認められる。これらの差異は、原料となるケイ砂の採取地点の違いを反映している可能性があり、時期や製作技法と一定の相関が認められる点で注目される。

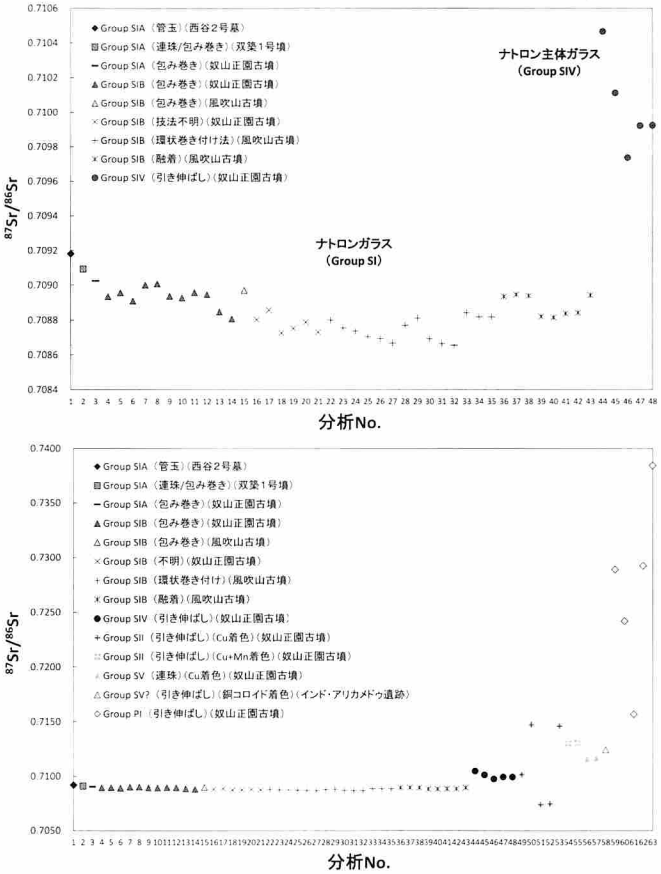


図1　ガラス製遺物の Sr 同位体比
上：ナトロンガラス（Group SI）とナトロン主体ガラス（Group SIV）
下：南～東南アジア系の各種ガラス製遺物との比較

一方、ナトロン主体ガラス（Group SIV）については、典型的なナトロンガラスである Group SI よりも Sr 同位体比が高い値（0.7097-0.7105）にまとまる結果となった。これらの値は地中海地域で出土するナトロンガラスとは明らかに異なる。すなわち、Group SIV は地中海周辺地域で生産されたいわゆる「真正の」ナトロンガラスと判断することはできないという結論が得られた。ただし、他の「アジアのガラス」に比べると低い値であることから、ナトロンガラスとアジアのガラスが混合された可能性は残る。

さらに、比較資料として測定した南アジア～東南アジア産と考えられるガラス小玉類の結果について概観する。一部の高アルミナタイプのソーダガラス（Group SII）を除いて概ね Goup SI より大きい値をとる。特にカリガラス（Group PI）は今回調査した資料の中で最も高い値を示した（図1下）。バラつきが極めて大きい点も含め、先行研究と一致する。筆者らは製品の流通状況などから Group PI のカリガラスについてインド産の可能性があると考えているが、インドのガンジス川流域などでは先カンブリア紀の花崗岩や片麻岩の風化に起因する高い Sr 同位体比をもつことが知られており [3]、関連性が注目される。ただし、本結果は極めて限定的なものであり、他地域の状況も含めて今後さらに検討を進める予定である。

1) Tomomi Tamura and Katsuhiko Oga, Archaeometrical investigation of natron glass excavated in Japan, *Microchemical Journal* vol.126 (2016) pp.7-17
2) Freestone, I.C. et al. Strontium isotopes in the investigation of early glass production: Byzantine and early Islamic glass from the Near East. *Archaeometry* 45 (2003) pp.19-32
3) Krishnaswami, S. et al. Strontium isotopes and rubidium in the Ganga-Brahmaputra river system: weathering in the Himalaya, fluxes to the Bay of Bengal and contributions to the evolution of oceanic $^{87}Sr/^{86}Sr$. *Earth Planet. Sci. Lett* 109, (1992) pp.243-253.

山口県を中心とした鉱山・遺跡資料の高精度鉛同位体比分析

High precision lead isotope analysis of ores and materials excavated from ruins in Yamaguchi-Pref. and its surrounding areas

○齋藤　努(国立歴史民俗博物館)、今岡照喜(山口大学)、高橋照彦(大阪大学)、田中晋作(山口大学)
SAITO Tsutomu (Nat. Mus. Jpn. Hist.), IMAOKA Teruyoshi (Yamatuchi Univ.),
TAKAHASHI Teruhiko (Osaka Univ.), TANAKA Shinsaku (Yamauchi Univ.)

1. はじめに

これまで、文化財を対象とした鉛同位体比分析には、表面電離型質量分析装置(TI-MS)が使用されてきた。しかし、精度が0.02%程度であるため、近接地域内にある鉱山間の詳細な識別などには限界があった。本研究では、歴博があらたに導入したマルチコレクタICP質量分析装置(MC-ICP-MS)を使用して、山口県内鉱山の鉱石などを分析するとともに、過去資料の再分析も実施して、データを比較した。なお、MC-ICP-MSでは、TI-MSでは測定不可能な元素も同位体分析でき、現状で世界最高精度である＜0.002%を得ることが可能である。

2. 分析方法・資料

分析用試料粉末から鉛を単離し、鉛200ppbおよび同位体分別効果補正用のタリウム50ppbとなるように、3%硝酸溶液1.5mlに調製する。MC-ICP-MS（Thermo Fisher Scientific製　NEPTUNE Plus）を用いて、鉛同位体比を測定する。試料の同位体比を求めるにあたっては、同様に調製した鉛標準試料（NIST 981）とタリウムの混合溶液によって補正を加える。

分析対象とした資料は、山口県内の鉱山から採取し、鉱物組み合わせを確認した鉱石と、遺跡出土の鉛関連遺物、粗銅塊、緑釉などである。

3. 分析精度

図1に、TI-MSとMC-ICP-MSで同一試料（NIST 981）を鉛同位体比分析（各25回）した結果を示した。データが集中する位置はほとんど変わらないが、MC-ICP-MSの方が、再現性に優れていることがわかる。

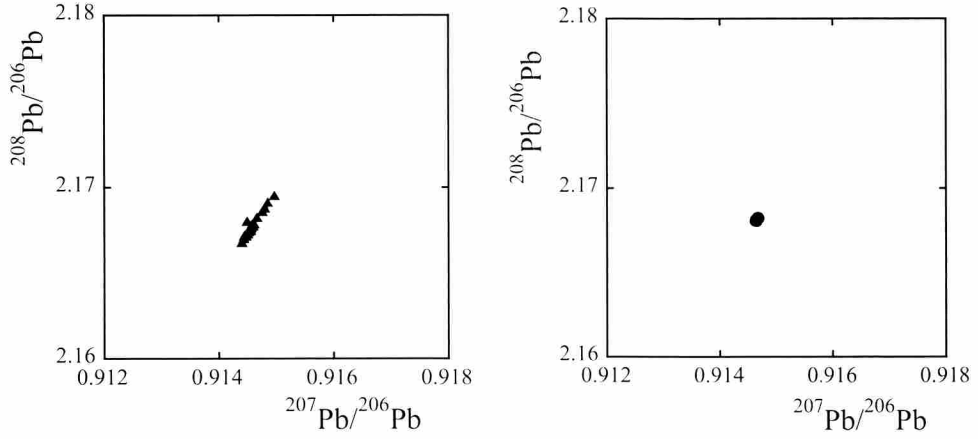


図1　同一試料の鉛同位体比分析結果（a式図、左：TI-MS、右：MC-ICP-MS）

4．結果と考察

図２～５に、山口県内の鉱山から採取した鉱石と、山口県美祢市の長登鉱山、それに近接する平原遺跡から出土した鉛関連遺物（鉛からみ、鉛塊）・粗銅塊・緑釉の鉛同位体比分析結果を示した。

鉛関連遺物の３点と緑釉５点は重なった数値を示し、長登鉱山の鉱石ともほぼ同じ値である。三隅鉱山は、鉛同位体比は近いが、地理的に離れた長門市に所在しており、採掘が古代まで遡るかどうかはっきりしていないので除外してよい。粗銅塊と２点の鉛関連遺物の値も重なり合っている。前記の緑釉などとやや数値に違いがある理由としては、鉱石の種別のほかに、於福（大和）鉱山の鉱石のデータが、採取場所によってわずかな差異をみせていることなどから、鉱床内の微細な不均一が影響している可能性も考えられる。

従来、これらの遺物の原料の産地として、於福（大和）鉱山や蔵目喜（桜郷）鉱山、白水（しろずい）鉱山も候補として考えられていたが、今回の分析によって、鉛同位体比の数値には相違がみられることが明らかとなった。

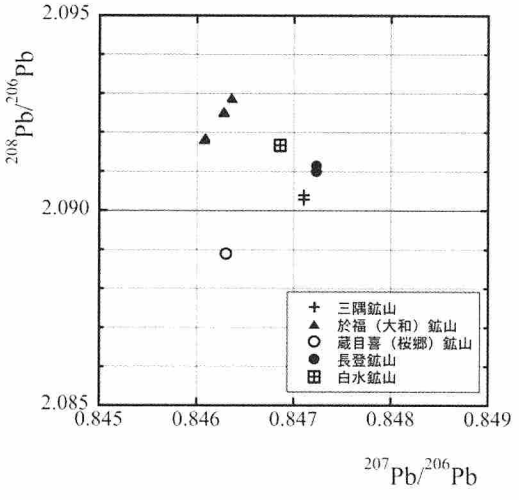


図２　山口県内鉱山の鉛同位体比分析結果

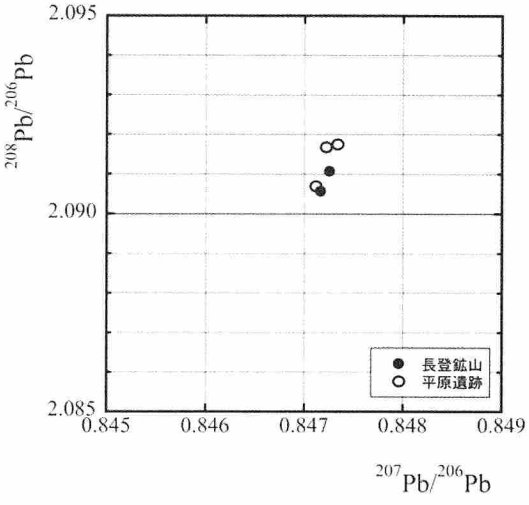


図３　鉛関連遺物の鉛同位体比分析結果

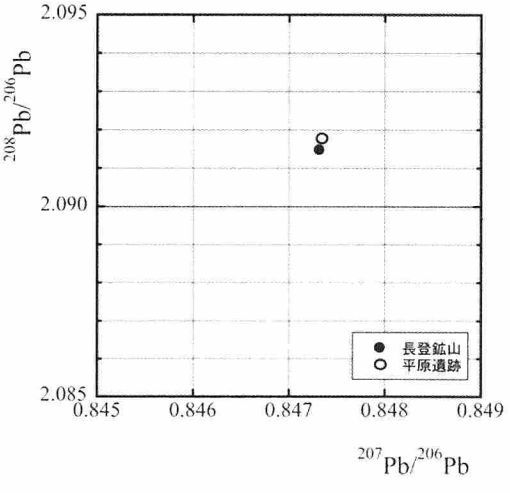


図４　粗銅塊の鉛同位体比分析結果

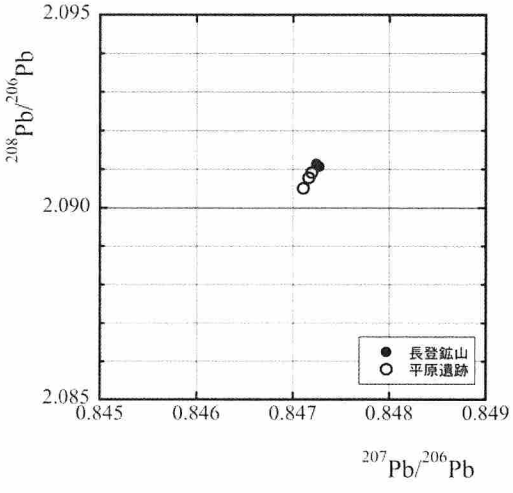


図５　緑釉の鉛同位体比分析結果

XRF、ESR法による滑石・緑泥石片製玉類の産地分析

Soucing of the talc and chloritschist beads by means of XRF and ESR analysis.

○藁科哲男（遺物材料研究所）
○WARASHINA TETSUO(Artifacts and Materials Laboratory)

1. はじめに

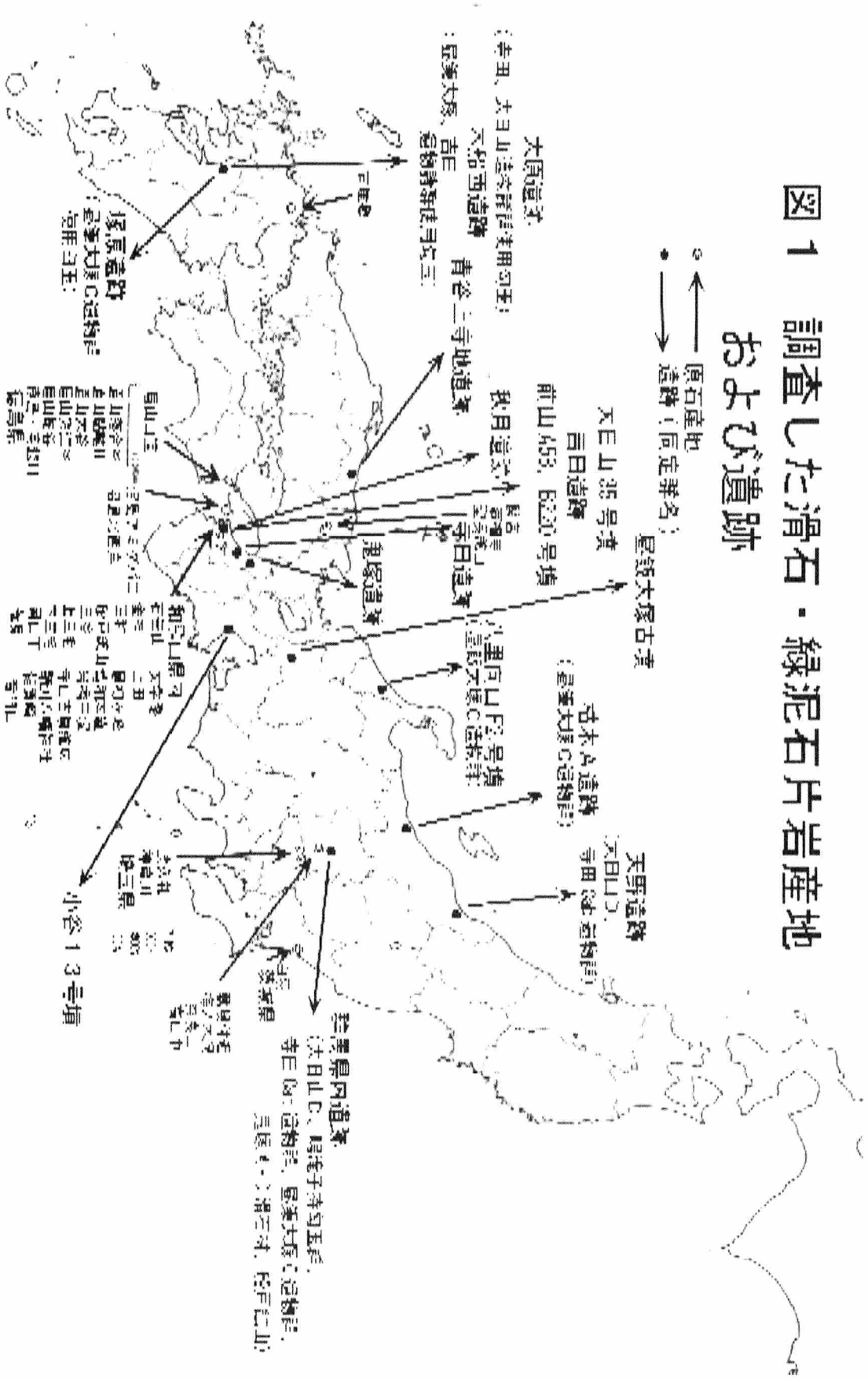
ここで使用する滑石・緑泥石片岩および蛇紋岩の岩石名は肉眼観察で推測したもので、厳密な岩石名を決定する分析は行っていない。原産地分析で、原産地遺跡を探すとき、玉文化は原石採取遺跡から玉作遺跡で分割、成形して玉類製作そして交易による伝播で広がる。出土した玉類の成分組成を蛍光X線分析法とESR分析を通して求める。分割片面の成分は分割片面は形が一致し、また成分組成も一致する。分割から研磨で分割面が消失しても、数ミリの消失で残存剥片と組成の違いは無視できると推測している。この仮定のもとに、各遺跡から出土した玉石材、玉類の成分組成の相互の関連を求める。ここで最も大切なことは、出土した石材、玉類の成分組成が相互に一致しないと仮説をたて、この仮説の誤判定の確率を多変量統計のマハラノビスの距離を求めて行うホテリングのT2乗検定で定量的に求めている。判定基準は5%以上を定量結果、5%～0.1%を定性結果として分類する。玉類分布から、原石採取地点（遺跡）と玉製作遺跡を求め、玉文化解明の参考試料として提供する。

2．分析方法と結果

蛍光X線分析法で、元素分析を行い、原石・遺物相互の組成比較は、元素比を取って形の影響を取り除き元素比組成を求め、ESR分析では、Mnイオン（6本）の信号の形および比重を産地分析に利用した。先ず、一個の玉類の分析場所を変えながら統計処理が可能な４０回以上を分析し、この４０回の間に１回も、比較した地質学的原石群（41個）、遺物で作った遺物群（74個）の何処の群にも同定されない場合、分析した４０回以上の分析値で、出土遺跡の名前を付けた遺物群を作り、原石・遺物群に追加登録して、将来、他の遺跡で同じ組成の玉類が使用されているか、また、新しい産地が発見されたときに、その産地の原石を使用しているか、判定できるようにする。同じ遺跡で出土する複数の玉類の元素組成が似ている場合、古代人が最初に原石を手にした産地（考古学的産地）の玉材であると仮定して、似た組成の複数の玉類の分析場所を変えながら合計40回以上を分析し、遺跡名との複数の玉材を示すアルファベットを付けて遺物群を作り、登録する。1個の玉、玉材で作った遺物群の元素のバラツキ（標準偏差）は40個の分析場所の含有元素の違いに左右され、複数の玉、玉材で作った遺物群のバラツキは、まとめた玉、玉材の組成で決まる。1個の玉、玉材で作った群はバラツキの小さな群となり、この群に同定される遺物は、玉作り遺跡で同じ母岩から作られた兄弟玉と推測される。また、複数の玉、玉材で作られた群に同定された玉類は、同じ考古学的産地の可能性が推測される。群を土器の様式に例えるなら、1個の群に同定されたとき、土器文様は重なる様に一致し、複数の玉、玉材の群は様式が作られた地域の様式のバラツキの範囲に含まれると同定されることに似ていると思われる。土器様式の判定は肉眼観察による、考古学を背景とした主観的な判定で、本研究の各群と玉類の比較では、石質が似ているのに、人の意思に関係なく検定（同定）確率は5%に達しない群のときは、その群の可能性が非常に低い結果が出てしまう。ある玉類を同定したとき、例えば、地質学的産地の三波川群がA、B、C、D地点の原石で作られ、比較した玉類が5%の確率で同定ると、地質学的産地は三波川群で、この玉類で遺物群を作って、A、B、C、Dの原石を比較しB原石に5%以上の確率で一致すれば、本研究でもとめる考古学的産地がB地点と推測される。一致しなければ、三波川地帯をさらに調査し、玉類群に同定される産地を探す必要がある。図1に産地分析結果を図示した。

謝　辞　今回の発表は各地の教育委員会、埋文センター、また個人のご協力により行えることで、ここに心より深く感謝し御礼申し上げるしだいです。

図1　調査した滑石・緑泥石片岩産地
および遺跡



中国、日本における初期水田の機能と環境、栽培植物

A function and environment and cultivated plants of the early paddy field in China and Japan

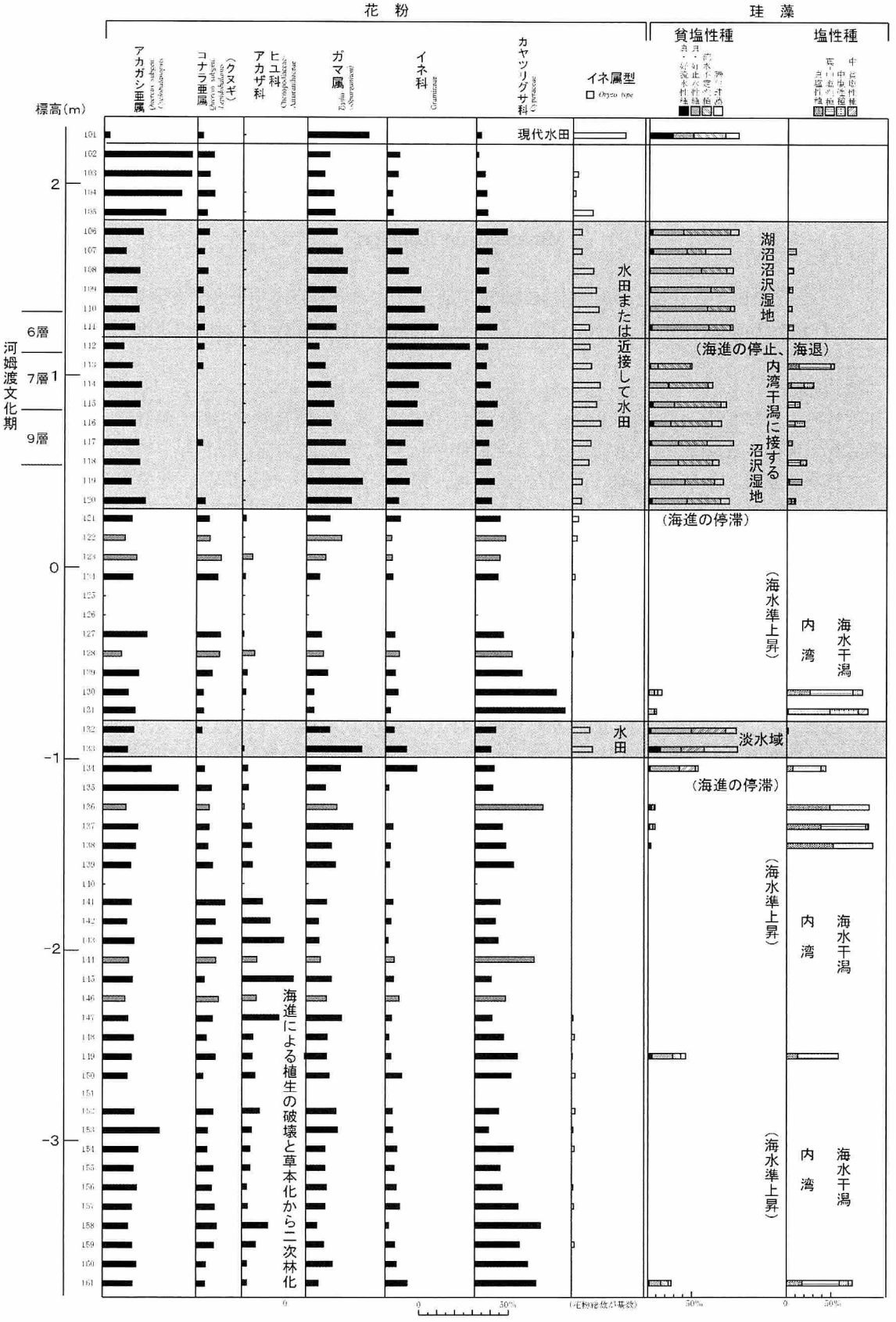
○金原正明（奈良教育大学）、岡田憲一（奈良県立橿原考古学研究所）
杉山真二（古環境研究センター）、金原正子（文化財科学研究センター）
○Kanehara Masaaki (Nara University of Education), Okada Ken'ichi (Archaeological Institute Kashihara, Nara prefecture),Sugiyama Singi(Paleoenvironment Research Center Co.,Ltd),Kanehara Masako(Cultural Assets Scientific Research Center)

本研究では遺跡を構成する基本的な物質である堆積物の構成要素から情報を引き出し、形成要因、環境、農耕、栽培植物を時空的位置づけて解明を行っていく。特に現在調査進行中である河姆渡文化期（約6000年前～約6800年前）の主要遺跡である田螺山遺跡およびその周辺のボーリング調査からは、新石器時代の水田の環境と位置づけが明らかになってきた。約6000年前を境として変化し、それ以前の河姆渡文化期、跨湖橋文化期（約7000年前～約8000年前）の遺跡は、上部に海成粘土が被い、いずれも海没している。海進進行期に成立する遺跡であり、海進のピークは河姆渡文化期の直後、6000年前を少し下る時期に位置づけられる。田螺山遺跡では、遺跡下部にも内湾・海水干潟の堆積があり、海進の進行が停滞する時期があり淡水化し、その時期に成立している。また、下部には標高－1mに陸成（淡水）層が分布し水田層が分布する。ボーリング調査試料からも同様な結果が得られ、その下部では内湾の海水と海水干潟の環境が示され急速な海進が行われている。アカザ科－ヒユ科、ガマ属－ミクリ属の草本とコナラ属コナラ亜属が増加しており、コナラ属アカガシ亜属が伴われることから、森林植生の交代ではなく、海進の影響による植生の破壊に伴って、乾燥地はアカザ科－ヒユ科の草本化からクヌギの二次林へと、低湿地はガマ属－ミクリ属（ここではガマ属）の二次的な植生が分布行われたと考えられる。海進が停滞する時期には、アカザ科－ヒユ科やコナラ属コナラ亜属（クヌギ）が減少する。田螺山遺跡と河姆渡遺跡間のボーリング調査では、最下部に黄色のレス堆積の谷地形があり、海進に伴って堆積し、その縁辺に小規模な沖積平野形成され、そこを利用して河姆渡文化期や跨湖橋文化期が成立した様相が示唆される。日本においても新石器時代前半にあたる縄文時代早期後半の大分市横尾遺跡、佐賀市東名遺跡において、海進が停滞を繰り返しつつ進行し、停滞期に遺跡が営まれ、海進による植生の破壊とその草本化からクヌギ二次林化への遷移が明らかになってきている。

田螺山遺跡の水田は、基本的に畦畔はなく、多少の環境変化があっても水田稲作が継続され、水管理を自然に任せた天水田であった。栽培植物は跨湖橋文化期、河姆渡文化期、以後の崧沢・良渚文化期まで変化はなく、イネ、ウリ、ヒョウタン、モモ、ウメ、スモモの栽培植物と採取のものがあるが各時期出現する。また、栽培植物の種実の大きさは、2000年経っても変化なく、栽培によって大型化する図式が今まで考えられているが、植物の系統分化からも、考慮しなおさなければならないとみられる。

日本の初期水田おいても近年奈良盆地おいて広域に調査され、対象として分析調査を行っている。立地も平野の縁辺で扇状地上等に位置し、深い照葉樹林が分布する立地ではなく、植生が遷移する低木の多い地域を選んで営まれている。粒度分析や各植物遺体分析から、当初から作土層が急変して形成され、典型的な水田雑草も豊富な環境の整った小区画水田が形成され、下部層を素材として形成されるのではなく、流水客土して形成されたとみなされる。小畦には水口がなく掛け流し水田であったと考えられる。

本研究は、中国においては（新学術領域研究）「稲作と中国文明－総合稲作文明の新構築－」（計画研究）「古環境の変動と動・植物利用の諸段階」により、日本では（基盤A）「弥生初期水田に関する総合的研究」の科学研究費補助金によって行ったものである



○地点（田螺山遺跡）の主要花粉・珪藻および環境変遷

院政期に書写されたとされる仮名古筆切の ^{14}C 年代
－伝藤原行成筆未詳散らし歌切および伝源俊頼筆民部切を例に－

Radiocarbon ages of kohitsugire calligraphies written by kana where it has been thought that they were copied from the second half in the 11th century to the first half in the 12th century: Dating of Misyo-tirashi-uta-gire attributed to Fujiwara no Yukinari and Minbu-gire attributed to Minamoto no Toshiyori

○小田寛貴（名古屋大学宇宙地球環境研究所），池田和臣（中央大学文学部）
○Oda Hirotaka (ISEE, Nagoya Univ.), Ikeda Kazuomi (Faculty of Letter, Chuo Univ.)

１．はじめに

平安時代の古写本は，室町時代以降の茶道の流行に伴い，茶室で鑑賞する掛軸の題材等にするため切断され，現存する数は極めて少ない．しかし断簡としては，かなりの量が伝世していることになる．これを古筆切という．古筆切は断簡といえども，稀少な古写本の一部であり，その史料的な価値は高いはずである．しかし，わずか数行の書であることから，その書風や字形から年代を特定することが困難なことが多い．

一般に，仮名は，高野切という古筆切が書かれた11世紀の半ばに成立されたといわれている．高野切以前の年代の判明している仮名遺品は，「因幡国司解案紙背仮名消息」などわずか６～７点しか知られていない．こうした状況の中で，平安時代の仮名の名筆といわれる古筆切で，書写年代がはっきりしないものは，1050～1190年，すなわち院政期のものとされることが多い．しかし，その中には，それ以前の稀少な史料が含まれている可能性がある．一方で，後世になって書かれた臨書や写し・偽物もあろう．そこで本研究では，院政期書写とされる古筆切について，その書写年代，ひいてはその史料的価値を明確にすべく，^{14}C年代測定を行った．特に，藤原行成の筆とされる未詳散らし歌切れ，源俊頼の筆とされる民部切について，詳述したい．

２．資料

測定資料は，院政期を含む，奈良時代から江戸時代までの各時期の書風をもった66点の古筆切である．本発表では，伝藤原行成筆未詳散らし歌切および伝源俊頼筆民部切について詳述する．古筆切には，元は同じ古写本であった別の頁や部分が存在する．これをツレという．未詳散らし歌切には，６葉(枚)のツレがあり，その散らし書きの優秀さ，連綿の流麗さなどから，書芸美の高さが評価されている．民部切は，胡粉を引いた地に雲母で鳳凰唐草文を刷り出した唐紙という料紙に書かれた古今和歌集の古筆切であり，40数葉のツレが知られている．

３．実験

これらの端から測定試料を裁断し，蒸留水中に浸し，文字の書かれている本紙を裏打紙から剥離させた．その後，超音波洗浄，HCl・NaOHによる処理，グラファイト合成を行い，㈱パレオ・ラボCompact AMSによって^{14}C年代を得た．

４．結果

結果を表１に示す．暦年代への換算には，IntCal13較正曲線を用いた．民部切については，２葉のツレ（①，②とする）について測定を行った．その内，一点①は２カ所から試料を採取し，測定を行った．

表１．「院政期」古筆切の ^{14}C年代

試料名	^{14}C年代 [BP]	較正暦年代 [cal AD]
未詳散らし歌切	1042±19	988(998, 1004, 1012)1019
民部切①-1	251±17	1646(1650)1660
民部切①-2	237±18	1649(1656)1664, 1788()1791
民部切②	220±19	1655(1664)1667, 1782()1796

５．考察

未詳散らし歌切の測定結果は，10 世紀末から 11 世紀初頭の値を示した．仮名は高野切の書かれた 11 世紀半ば頃に完成されたといわれている．それ以前の仮名遺品は数点しか確認されていない．故に，この ^{14}C年代は，伝藤原行成筆未詳散らし歌切という高野切以前の稀少な時代の遺品が新たに発見されたことを意味する．また，従来知られていた高野切以前の遺品は，消息・落書・日記・手控えなど，個人的な要素が強い史料に偏っている．これに対し，未詳散らし歌切は，他者の鑑賞を意識した遺品である．故に，この結果は，高野切以前の新遺品が発見されたというだけではなく，高い書芸美をもつ仮名が，高野切よりも早い時期に完成していたことを裏付ける証拠としての意義もある．さらに，この年代は源氏物語や枕草子が成立した国風文化の時期にあたる．これら文学作品は，後世の写本は伝世しているものの，原本成立時のものは残っていない．故に，この ^{14}C年代測定によって，未詳散らし歌切が，国風文化期当時の文学作品に使われていた仮名の実態を示す史料となることが確認されたことになる．

一方，民部切の結果は，いずれも 17 世紀中期を示すものであった．民部切は院政期の書写とされながらも，その唐紙が院政期とするには粗雑すぎている，同筆の民部類切には 1205 年選定の新古今の歌が書かれているなど，不審な点がある．さらに不審なのは，民部切に全く同じ部分を書いた断簡が２葉存在すること，古今和歌集のはずが，拾遺和歌集固有の表記法が用いられていることである．こうした点を踏まえ，その書写年代を鎌倉時代をとする説がある．しかしながら，^{14}C年代測定の値は，それにも及ばぬ江戸時代のものという結果であった．民部切に添えられた鑑定書(極札)で最も古いのは，二代畠山牛庵(1625-1693)，古筆家別家二代了佐(1629-1674)であり，その生存期間と本測定結果は一致している．すなわち，民部切は，極札が書かれた 17 世紀に作られた書であることになる．さらに，一つの写本が裁断されて古筆切となったのであれば，同じ部分を書いた断簡が２葉存在するはずがない．この点と ^{14}C年代から考えると，民部切は，古写本が解体されてできたものではなく，初めから古筆切として制作されたものである可能性を指摘することができる．

謝辞

株式会社パレオ・ラボAMS年代測定グループの伊藤茂氏，安昭炫氏，佐藤正教氏，山形秀樹氏，小林紘一氏，Zaur Lomtatidze氏，Ineza Jorjoliani氏には，には，^{14}C年代測定を行うにあたり大変お世話になりました．心より感謝申し上げます．また，本研究の一部には，平成28年度～平成31年度日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)(課題番号:16H03101，研究代表者;小田寛貴)を使用しました．記して感謝いたします．

古建築部材 ^{14}C 短年輪3点ウィグルマッチ法について

3-point wiggle match method of ^{14}C dating on short tree-ring of the old building member

○中尾七重（武蔵大学）、坂本稔（国立歴史博物館）
○Nanae Nakao, Minoru Sakamoto

1. 問題の所在

古建築の年代調査では、軸部などの構造材や化粧材の当初材、数次の改造材など、当初建築および改修年代を調べるために、多くの部材年代調査が必要である。また、其々の建築部材最外層年代の特定のためにウィグルマッチ法を用いるが、民家や中世寺院建築には年輪数の少ない部材が使用されている。

本発表では、ウィグルマッチ法に必要な測定点数および最外層年輪形成年特定に必要な年輪数についての基準を示し、古建築部材 ^{14}C 短年輪3点ウィグルマッチ法を説明する。

2. 3点ウィグルマッチ法

これまで ^{14}C ウィグルマッチングには50年輪以上の試料において年輪に沿った多数の測定が必要と考えられていた。年輪年代法（Dendrochronology）や酸素同位体比年代法（$\delta^{18}O$chronology）は、年輪データの変動によるパターンマッチングのため、年輪ごとのデータセットが必要である。これに対し、^{14}C 年代法は半減期を持つ放射性炭素 ^{14}C の特性を利用しているので、大気中の ^{14}C 量の変動が無いならば、1点（1年輪）で、年代決定できる。実際には環境変動により ^{14}C 量は変動しており、較正曲線を用いて炭素年代を実年代に較正する。その暦年較正にパターンマッチングの手法を援用したのが、ウィグルマッチ法である。但し、炭素年代値でおおよその年代範囲が決定できるため、年輪ごとのデータセットを必要としない。

それでは、ウィグルマッチ法には測定年輪数何点が適切か。重要文化財彦部家住宅部材（彦部 4 大引）では、11点のウィグルマッチングと、3点のウィグルマッチングの結果がほぼ同一だった。部材年輪数の多い場合、両端部の2点で年代決定が可能となる。但し、汚染や予測できない原因による測定不良あるいは、日本産樹木による較正曲線とIntCalとのズレによるマッチングの不良などのリスクを回避するために、採取・測定は2箇所のみではなく、最低3カ所が望ましいと考える。年輪試料の最内部と最外部と、その中間位置の3点の3点測定を標準として、古建築部材 ^{14}C 年代調査を実施している。

部材の年代域のウィグルの形状によっては、短年輪 3 点ウィグルマッチを初回測定として行って、追加で多点数のウィグルマッチを行う。彦部6がその例である。彦部7は多年輪多点測定の例である。彦部8は1年輪測定で年代決定できた例である。

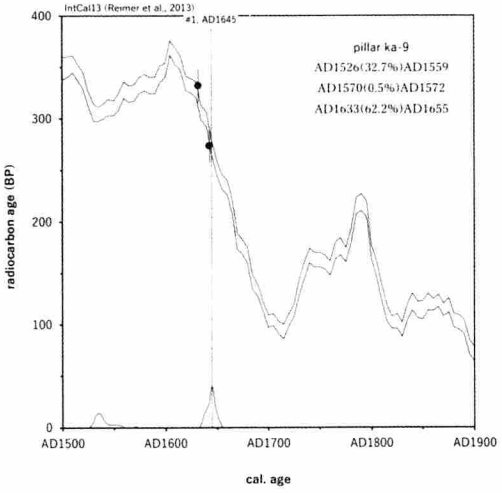
3. 短年輪試料

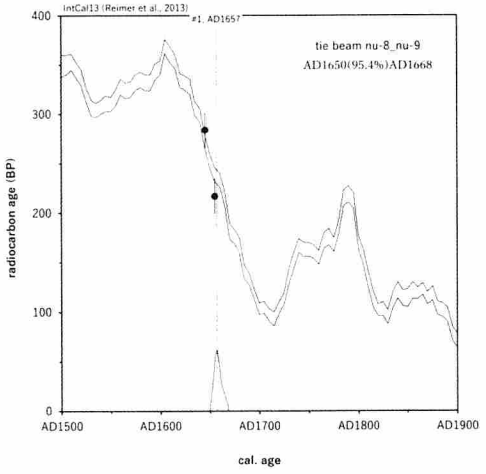
古建築年代調査では、年輪数の限られた建築部材が調査対象となる場合も多い。短年輪試料の年代特定は困難であるが、^{14}C 年代調査では 1 点の測定データでもおおよその年代範囲が得られ、年代決定が可能な場合がある。彦部1は16年輪、彦部2は15年輪と少ない年輪数に制約されて、測定試料は最内部と最外部の2点となった。それでも、彦部2は95.4%の確率で1650-1668年と、20年程度の範囲での年代決定となった。彦部2の場合のように較正曲線のウィグルが少ない時期には、短年輪試料でも年代決定が可能である。一方、彦部1は、ウィグルが甚だしい時期で、複数の年代範囲となり、年代特定はできなかった。

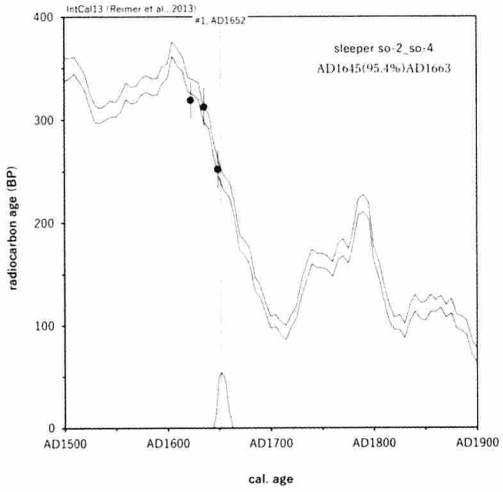
4. 結論

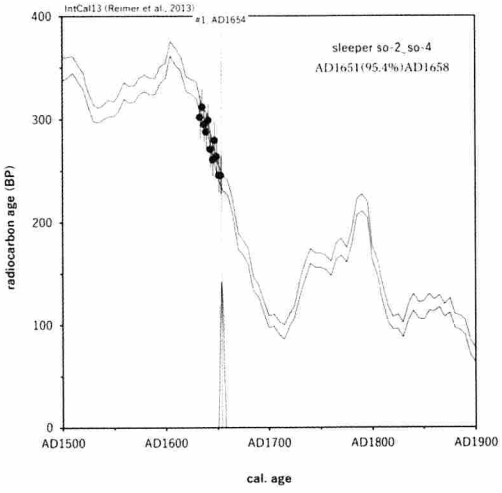
短年輪試料の年代特定の可否は較正曲線のウィグルの形状に左右されるが、最外層年代が十数年違うだけで可否が分かれる場合もあり、初回測定でおおよその部材年代情報を得てから、追加測定を判断することができる。短年輪3点ウィグルマッチ法は、少ない費用で効果を出すことができ、標準的な建築部材 ^{14}C 年代調査法として有効である。

No.	部材	年輪位置 外側から	Labo №	radiocarbon age (yrBP±1σ)	calibrated age (AD in 2σ)
彦部1	か-9 柱	1-5	PLD-14242	274±17	1526-1559(32.7%) 1570-1572(0.5%) 1633-1655(62.2%)
		12-16	PLD-14241	332±17	
彦部2	ぬ-8_ぬ-9 長押	1-5	PLD-14244	217±18	1650-1668(95.4%)
		11-15	PLD-14243	284±18	
彦部4	そ-2_そ-4 大引	1-5	PLD-14249	252±19	1645-1663(95.4%)
		16-20	PLD-14248	313±19	
		29-33	PLD-14247	319±18	
		1-2	PLD-14230	246±18	1651-1658(95.4%)
		3-4	PLD-14231	246±17	
		5-6	PLD-14232	264±18	
		7-8	PLD-14233	280±18	
		9-10	PLD-14234	261±17	
		11-12	PLD-14235	271±18	
		13-14	PLD-14236	299±17	
		15-16	PLD-14237	288±17	
		17-18	PLD-14238	295±17	
		19-20	PLD-14239	312±19	
		21-22	PLD-14240	302±21	
彦部6	ぬ-2_ぬ-4 長押	1-5	PLD-14252	212±18	1658-1669(47.6%) 1790-1799(47.9%)
		6-10	PLD-14253	233±19	
		11-15	PLD-14254	255±18	
		1-3	YU-4899	227±20	1656-1668(95.4%)
		4-6	YU-4900	249±20	
		7-9	YU-4901	258±20	
		10-12	YU-4902	228±20	
		13-15	YU-4903	254±20	
彦部7	オクザシキ 床板	23-27	PLD-14261	319±18	1567-1584(95.4%)
		53-57	PLD-14260	315±22	
		73-77	PLD-14259	339±20	
		93-97	PLD-14258	363±19	
		113-117	PLD-14257	395±18	
		133-137	PLD-14256	460±22	
		153-157	PLD-14255	509±19	
彦部8	オクザシキ 縁板	1-5	PLD-20960	512±21	1406-1442(95.4%)









参考文献

中尾七重・坂本稔・今村峯雄・永井規男・西島眞理子・マーティンモリス・丸山俊明、住まいの ^{14}C 年代調査—古建築と住宅建築、国立歴史民俗博物館研究報告第 196 集、2015

彦部篤郎様、今村峯雄先生、尾嵜大真先生、門叶冬樹先生、小林紘一先生、(株)パレオ・ラボに感謝いたします。
本研究は科学研究費補助金基盤(B) 23300325 および 15H02949 によるものである。

考古地磁気データベースの現状

Status of Archeomagnetic Database in Japan

○畠山唯達(岡山理科大学), 渋谷秀敏(熊本大学)
○Tadahiro Hatakeyama (Okayama University of Science),
Hidetoshi Shibuya (Kumamoto Univerisity)

1. はじめに

日本では、1950年代からこれまでに数多くの考古地磁気測定が行われ発表されてきた。いくつかのデータコンパイルに対する試みがあり公表されているが、多くのデータは初出である発掘調査報告書内での記載にとどまり、吟味・集計されていない。そのためによりよい標準曲線（よりよい年代推定のための指標）の作成のために知見が活かされないままとなっている。

我々は比較的アクセスしやすく信頼できる年代値（考古地磁気年代でない）を持つデータを吟味し、現在680余サイトからのデータを日本考古地磁気データベース(http://mag.center.ous.ac.jp/)として公開している。しかし、手持ちのデータ数はそれよりもずっと多く、合計2000サイトを超えており、日本でこれまでに測定された考古地磁気方位は3000ほどあるのではないかと考えられる。これら手持ちのデータをそのまま公開するのにはいくつかの重大な問題がある。

2. 個々の考古地磁気データが持つ問題

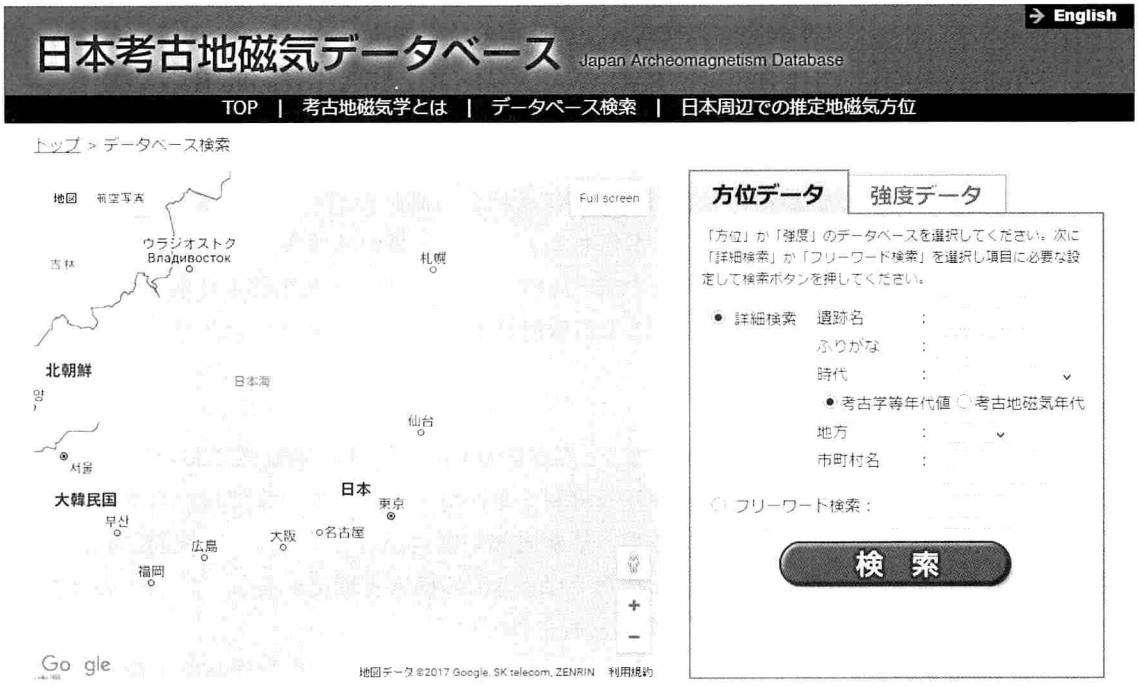
問題のなかで最も大きなものはその年代値である。1980年代以降、数多く行われてきた古地磁気方位測定は、発表されていた標準曲線(広岡, 1977)と対比して年代推定をするために行われてきた。そのために、一次資料である報告書に記載された年代は考古地磁気推定年代値であることが多い。同報告書内で行われている他の年代推定と併せて議論されている場合もあるが、いずれにせよ、原典に当たらないとその年代値が一体どんなものであるかもわからない状態であることがほとんどである。

さらに、古地磁気データそのものにも問題がある。それは試料採取法、測定に使用した磁力計の種類、消磁（磁気的クリーニング）、統計的取扱い方法、等の基本的な古地磁気学的手法がばらばらであるということである。考古地磁気の現場では1980年代のある時点まで磁気シールド外で無定位磁力計を用いた測定が一般的であった。その後、磁気シールド付きスピナー磁力計を用いた測定が普及し現在では標準的な測定機器となっているが、この二者の精度には格段の違いがある。また、文献を調べる限り、1990年度前半まで消磁は一切されていないようである。それ以降は、ある段階（たとえば5mT）で一律に交流消磁を行って、残った残留磁化の方位を地磁気の反映と認定するブランケット消磁が一般的である。一方で、岩石や堆積物を取り扱う古地磁気学では消磁する磁場を段階的に上げていく段階交流消磁と消されていく残留磁化のベクトルを主成分分析して初生的な磁化方位を抽出する方法が一般的である。磁気クリーニングに対するこれら3つの方法では得られるデータの質に差があることが知られている。考古地磁気の場合、被熱遺構が埋没してから発掘されるまでの時間が地質試料よりもずっと短いため、後で獲得する2次的な磁化の大きさは限定的であり、ブランケット消磁法と段階交流消磁＋主成分分析法の違いはあまりないと考えられる。しかし、未消磁と消磁がある場合では、保磁力がごく弱い部分につく2次磁化の大きさは試料ごとに大きく異なり、ものによって両者は全く異なる方位を示す。

3. データベース構築作業について

我々は現在、上記のような問題点を認識したうえで、日本の考古地磁気方位データをなるべく集め、中身を吟味して、条件にかなったものから上記データベースに加えていく作業をしている。そ

れぞれのサイトのデータに対して可能な限り報告書原本の古地磁気報告および年代に関する報告部分にあたることを目指し、文献調査も行っている。その結果として、考古地磁気年代推定値でない年代を使用することができるデータも少しずつ見つかってきている。また、考古学年代値と考古地磁気年代推定値を明確に区別して記録し、それを検索できるデータベースのインターフェイスも開発している。本講演では、我々が保持する考古地磁気方位データについて種類、品質、量、などについて現状を紹介し、文化財科学、考古学等に携わる他の研究者と意見を交換したいと考えている。



図：日本考古地磁気データベース（http://mag.center.ous.ac.jp/）の検索インターフェイス。

高解像度X線CTマッピングを応用した放射性炭素ウィグルマッチ法と年輪年代法の併用による金光寺宝篋印塔の年代測定

Dating of Hokyoin-to in Konko-ji Temple: Combined Use of Radiocarbon Wiggle Matching and Tree Ring Dating while Monitoring with High Resolution X-ray CT

○大河内隆之（奈良文化財研究所）、狭川真一・木沢直子（元興寺文化財研究所）、
早瀬亮介（株式会社加速器分析研究所）
○Takayuki OKOCHI, Shinichi SAGAWA, Naoko KIZAWA, Ryosuke HAYASE

はじめに

養照山寶蔵院金光寺は、福島県いわき市鹿島町に所在する高野山真言宗の寺院である。この寺院には、二基の木製宝篋印塔（図１・２）が伝わるとともに、裏山には多数の横穴古墳が存在している。本稿では、この木製宝篋印塔の年代について、仏教考古学・紀年銘・高解像度X線CTを用いた非破壊による年輪年代学・AMSによる放射性炭素ウィグルマッチングなどを総合して調査した成果について報告する。

調査対象

調査対象は、追善塔と逆修塔の一対からなり、高さ約90cm・最大幅（隅飾部において）約33cmの木製宝篋印塔である。両塔ともに、基礎塔身部材・傘部材・相輪部材の３部材から構成されている。ともに塔身以上はよく遺存しているが、基礎底部の腐食が著しく、長らく地面に直接置かれていたであろうことを示唆している。おそらくは、裏山の横穴古墳に祀られていたものと推定される。なお現在は、両塔ともに同寺本堂に安置されている。

腐食の著しい基礎底部の脱落片から薄切片プレパラートを作成し、生物顕微鏡で観察した結果、樹種はヒノキであることが判明した。

一方の塔の基礎正面に三行の銘文があり、左側の一行は、「文保二」とあるので、年号とわかる。右側には二行あり、その左側の行は「逆修善根塔」と読める。もう一方の塔基礎にも「文保」と見え、その下が「二」らしく、両塔とも同年の文保二年（1318）と判断した。一方には「逆修」とあるので、もう一方は追善塔だったと見られ、一対で制作されたのであろう。隅飾の造形など、全体的に鎌倉後期頃の宝篋印塔の特徴をよく遺している。

年輪年代法による調査

追善塔と逆修塔ともに基礎塔身部材・傘部材・相輪部材の計６部材について、マイクロフォーカスX線CTを用いた非破壊による年輪年代調査を実施した。６部材の年輪幅の変動変化のパターンを相互に参照したところ、相関性の強さを検定したt値において、のきなみ10を超えるような高い値が見られたため、これら６部材は同一の木材から木取りされたものと判断した。これら６部材の年輪パターンの照合が相互に成立した状態において、各年代ごとに年輪幅を平均したところ、311年に及ぶものとなった。これを金光寺宝篋印塔の年輪幅クロノロジーとし、奈良文化財研究所のヒノキの暦年標準パターンと比較したところ、統計的に有意な照合を見出すことができなかった。ちなみに、奈良文化財研究所では、相関性の強さ検定したt値において５以上を示すことを照合成立の基準としている。

年輪年代測定の結果が不明であった要因としては、おそらく、奈良文化財研究所の暦年標準パターンが近畿地方を中心とするデータで構成されているのに対し、今回の調査対象である金光

寺が福島県というヒノキの植生の北限に近い場所であったため、地域的な隔たりが大きかったことが考えられる。

AMSによる放射性炭素ウィグルマッチ法による調査

年輪年代調査によって文保二年（1318）を裏付けるような結果が得られなかったため、AMS（加速質量分析）による放射性炭素ウィグルマッチ法によって、自然科学的年代を求めることにした。ウィグルマッチ法においては、試料採取位置相互の年輪を計数し、放射性炭素年代の較正曲線の凹凸（ウィグル）に当てはめることにより、確率的に放射性炭素年代を求めるのが一般的である。ところが、金光寺宝篋印塔においては、外観で年輪を計数できる部分は、木体の健全な部分で美術史的にもたいへん貴重な箇所であり、たとえAMS用の微量とはいえ、木片試料採取は憚られる。そこで、年輪年代測定用に撮影した追善塔基礎塔身部材の基礎底部付近の原寸大高解像度X線CT画像をマッピングの頼りとし、腐食の著しい基礎底部から木片試料採取することにした。採取試料数は、追善塔基礎塔身部の最外年輪の年代を求めるために62mm（年輪数52層）を隔てた部分から4点、原木の樹齢を概算するため、樹心付近65mm（83層）を隔てた箇所から2点である。分析の結果、放射性炭素ウィグルマッチ法による年代は、追善塔基礎塔身部において1210calAD～1237 calAD（2σ暦年代範囲）（図3）、樹心付近において794calAD～811 calAD（2σ暦年代範囲）であった。

年輪年代調査によって、各部材相互の年代の前後関係はすでに判明しており、最も新しい年代を示すのは逆修塔の傘部材であること、逆修塔の傘部材は追善塔基礎塔身部材の基礎部最外層よりも66年新しいことを利用して、上記の結果に66層を加算すると、推定される金光寺木製宝篋印塔の放射性炭素ウィグルマッチ法による年代としては、1276calAD～1303 calAD（2σ暦年代範囲）となる。この結果は、銘文にある文保二年（1318）の直前の時期にあたり、きわめて整合的といえる。また、この両塔を制作するために使用されたヒノキの原木は、樹齢500年を超える程度であったことが推定される。

まとめ

金光寺に伝わる一対の木製宝篋印塔は、鎌倉時代まで遡る木製の宝篋印塔としては、現時点で確認されている唯一無二の貴重な存在である。銘文の示す文保二年（1318）については、高解像度X線CTマッピングを応用した放射性炭素ウィグルマッチ法と年輪年代法の併用により、きわめて確実性が高いことが立証された。

図1　金光寺木製宝篋印塔（逆修塔）

図2　金光寺木製宝篋印塔（追善塔）

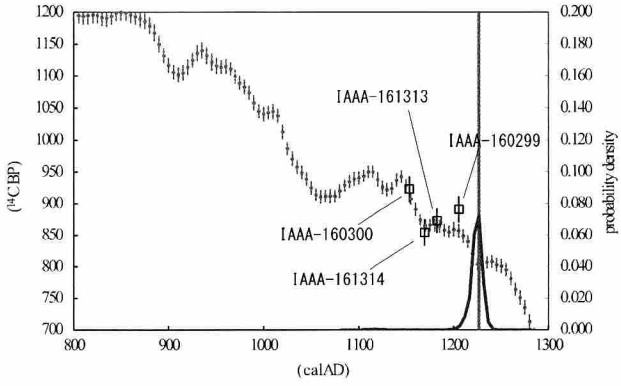


図3　金光寺木製宝篋印塔（追善塔）基礎塔身部材の放射性炭素ウィグルマッチ法による結果

本研究は、JSPS科研費26284126　の成果の一部を含んでいる

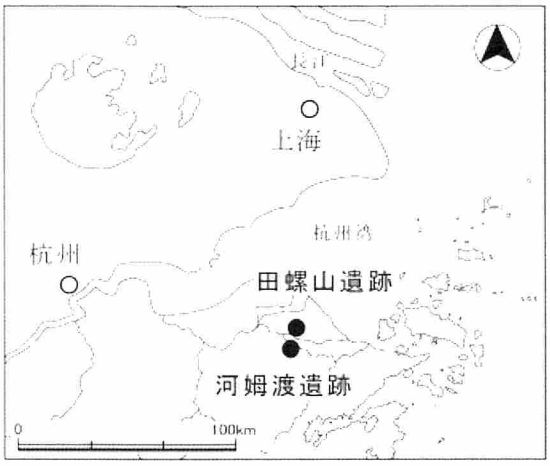
田螺山遺跡出土土器残存有機物を用いた古食性復元

Reconstruction of paleodiets in potteries from Tianluoshan site using radiocarbon dating, stable isotope analysis and lipid analysis

○宮田佳樹(金沢大学), 堀内晶子(東大博物館), 西田泰民(新潟県立歴史博物館),
吉田邦夫(東大博物館), 孫国平(浙江省文物考古研究所), 中村慎一 (金沢大学)
○Yoshiki MIYATA, Akiko HORIUCHI, Yasutami NISHIDA, Kunio YOSHIDA, Guoping SUN, Shinichi NAKAMURA

【はじめに】

中国浙江省余姚市にある河姆渡遺跡は, 大規模な木造建築群や大量の有機質遺物が出土したことで知られており, 非常に有名な遺跡である。田螺山遺跡は, その河姆渡遺跡から北東7 km 離れた所に存在する初期稲作文化の集落遺跡である(図参照)。堆積層の厚さは最大 3.3m。第1層から第8層に分層されるが, そのうちの第3～8 層が河姆渡文化層に相当するである。前期(第8･7 層), 中期(第6･5 層), 後期(第4･3層)に区分されている。遺跡は, 地下水位下に埋もれていたために, 木質遺物, 植物遺体, 人骨, 動物骨などの有機質遺物が極めて良好な状態で保存されていた。



【本研究の目的】

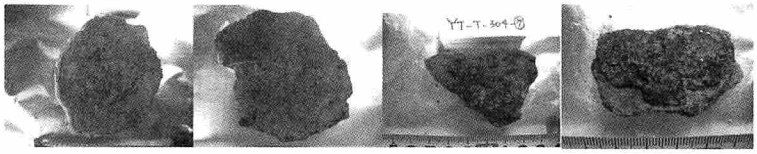
研究の目的は, 土器付着炭化物の炭素年代測定, 安定同位体分析結果などに加えて, 1) 土器残存脂質組成から, 調理した食材を推定するバイオマーカー分析, 2) 化合物レベルの炭素同位体比分析(Compound Specific Isotope Analysis) ($\delta^{13}C_{16:0}$, $\delta^{13}C_{18:0}$) によって, 起源物質を直接推定する手法を組み合わせることにより, 田螺山遺跡出土土器から, 中国新石器時代稲作文明初期の土器で調理された食材を復元することである。さらに, 歯骨試料の同位体解析結果や推定した健康情報などと比較することにより, 稲作農耕文化の食生活とその健康への影響を総合的に評価することが長期目標である。

【試料と方法】

分析に用いる土器付着炭化物の保存状態は, 一番下層の第8層(5000～4800 BC), 第7層(4900～4700 BC)は良好であり, 第6層(4800～4500 BC)までは, 分析可能であった(層位の年代観は, 木柱の年代測定結果に基づく(中村ら(2016))。地下水面よりも高いと考えられる上層の第4層, 第3層(4300～4100 BC)からはほとんど脂質分析可能な付着炭化物試料は採取できなかった。まず, 土器残存脂質分析を東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析施設(MALT)で行った。以下, その概要を記す(堀内, 宮田, エバーシェッド, 2013)。土器付着炭化物試料(数十～数百 mg)を乳鉢で粉末状に粉砕した。この粉末試料に, アルカン C34(内部標準)を添加して, クロロホルム:メタノール溶液(2:1)で溶媒抽出する操作を3度繰り返した。分取した溶媒を遠心分離して, 上澄みを窒素雰囲気下で乾固し全脂質を回収し, クロロホルム:メタノール溶液(2:1)でシリカゲルカラムに通し, 不純物を濾過除去した。それから, 回収した全脂質を TMS 化して, ガスクロマトグラフ(GC)を用いて, 脂質組成を確認し, ガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)を用いて同定した。GC-MS の分析条件は以下の通りである。Thermo Scientific TRACE GC ULTRA-ISQ LT, カラム:HP-1 50 m x 0.32 mm x

0.17μm，初期温度:50℃で2分間維持，300℃まで10/minで昇温，15 分間維持。

【結果と考察】



第8・7層から出土した層状に炭化物が付着した内面土器試料(コゲ)について考える(写真参照)。分析した土器底部14試料中，きちんとした脂質組成が得られたのは，現時点で4試料である。それらの結果をまとめてみる。脂肪酸，長鎖アルコールの種類は試料によって若干異なる。しかし，いくつかの点が4試料に共通している。

1. 植物プランクトンを起源とする水棲動物のバイオマーカーであるイソプレノイド類が検出されていない。つまり，海産，淡水産魚介類の影響を強く受けていない。

2. 炭素数16と18のAPAA (Alkylphenyl Alkanoic Acids)が検出された。APAAは，不飽和脂肪酸が270度ないし300度以上に加熱されると，生成する環状有機物であり，天然にはほとんど存在しない。また，不飽和脂肪酸は不安定なので，数千年もそのまま土器付着炭化物として，堆積環境中に保存されたとは考え難い。したがって，土器付着炭化物中にAPAAが存在するということは，土器で脂質を含む食材が加熱されたということを示すバイオマーカーである。さらに，炭素数20以上のAPAAが検出されていないため，海産物である可能性は低い。

3. レボグルコサンが検出された。レボグルコサンの起源は，デンプン質の食材と燃料材のセルロース，両方の可能性がある。しかし，今回の土器付着炭化物試料は，全て土器内面に付着した炭化物(コゲ)であるため，燃料として使われた薪に含まれるセルロース由来と考えるよりも，食材に含まれるデンプン質を由来とすると考える方が妥当であろう。

以上をまとめると，海産，淡水産魚介類，海獣などを含まず，単一食材かどうかはともかく，デンプン質を含む植物(and 陸獣)を調理した痕跡と考えられる(T305 7層，T405 7層；β-シトステロールとともにコレステロールが検出されていることとも矛盾しない)。土器底部外面は強く加熱を受けており，内面に，積層した炭化物(コゲ)が付着しているという土器観察情報は，デンプン質を含む食材を調理したというバイオマーカー分析の結果と整合的である。また，この付着炭化物2試料のバルクの安定同位体組成，C/N比は，($\delta^{13}C$ (‰), $\delta^{15}N$ (‰), C/N比) = T305 8層 (-24.6, +3.2, 13.6)，T305 7層(-26.3, +2.4, 17.6)である。したがって，堅果類，C4植物としての雑穀(アワ，ヒエ，キビ)の影響はあったとしてもあまり大きくないと考えられる。また，試料による不均一性が存在することは否定できないものの，植物の含有する脂質量は，通常，動物のそれよりも1/10以下であるため(食品成分表より)，有意な脂質情報が得られなかった層状の付着物からなる底部内面コゲ試料の多くも，脂質を同定できた試料と同様に植物質を多く含む料理をしていた可能性が示唆される。今後，全付着炭化物試料の安定同位体，C/N比測定を行い，この点に関しても検証していくつもりである。また，陸獣など動物性脂質の影響を評価するために，化合物レベル炭素同位体測定(CSIA)も行い，詳細な検討を行っていきたい。加えて，動植物遺体の出土状況，層位や年代測定結果も踏まえた総合的な議論も必要である。

【まとめ】

中国新石器時代稲作文明初期(紀元前 5000-4700年)の田螺山遺跡第8・7層から出土した内面底部土器試料に付着した炭化物(N=4)は，(海産，淡水産)魚介類，海獣などを含まず，単一食材かどうかはともかく，デンプン質を含むC3植物(and 陸獣)の調理を行った痕跡と考えられる。

【謝辞】

科研費新学術領域研究"稲作と中国文明-総合稲作文明学の新構築-" 高精度年代測定および稲作農耕文化の食生活・健康への影響評価(研究代表 米田穣; 15H05969)及び，科研費基盤研究(A)" 科学分析手法と土器使用痕観察を組み合わせた古食性と調理形態復元に関する学際的研究"(研究代表 宮田佳樹; 16H01824)の支援を受けた。

熊本城における余震記録に基づく地震時地盤挙動特性

○岩崎 好規（地域 地盤 環境 研究所）、福田 光治（大成ジオテク）、竹本 哲也（阪神コンサルタンツ）
土田 琴世（同）、鈴木恵三（JIP テクノサイエンス）

Earthquake ground characteristics in Kumamoto Castle by an aftershock of Kumamoto EQ

○Y.Iwasaki,(Geo Research Inst.),M. Fukuda,(Taisei Geotech.),T.Takemoto, K.Tsuchida, and K.Suzuki(Hanshin Consultants), H.Ito, (JIP Techno Science)

1．序　熊本城の被災を検討するためには，上部構造，積み石構造特性おともに入力地震特性が重要な基礎情報となる地盤工学会熊本地震地盤災害調査団歴史遺産関連調査班の調査活動の一部として常時微動および余震観測を実施した。観測は熊本城域における15地点に地震計を設置して同時観測を実施した。計測実施期間中，M=2.7震源距離 D=20km(図-1)で余震が発生し，記録が得られた。

2．常時微動および余震観測　平成28年11月21日に熊本城域の図-1に示す15点において夕から観測を実施し，翌日から2点による余震観測に移行した。

図1　M=2.7の熊本地震の余震震源

図2　熊本城における地震計設置位置

3．M=2.7余震記録

余震記録のうち東西断面観測点における東西方向成分の速度記録を示した。振幅の小さいE3地点と大きなW2, E2地点などの振幅比は約3-4倍に達している。図3の各点の地震記録から速度応答スペクトルを15点を6つに分類して図4にしめした。

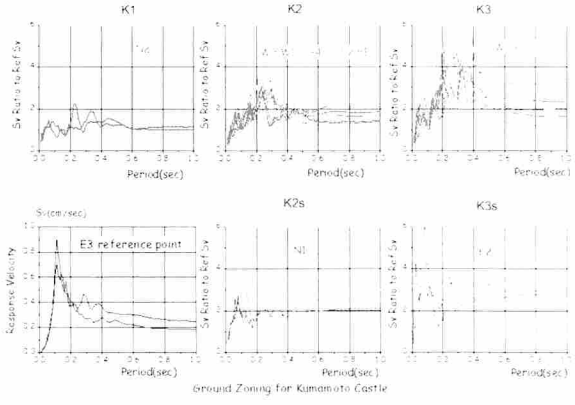


図4 速度応答スペクトル比による分類

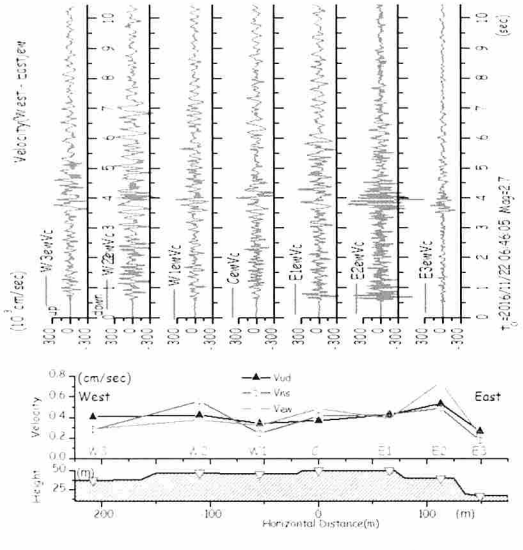


図3 東西断面における M=2.7 による速度記録

4 常時微動特性と地震基盤

W2 地点における常時微動の H/V 比を図 5 に，図 6 に W2 地点付近におけるボーリング(H28N0.2)を PS 喧騒結果と共に示した。図 7 に図 6 に示した S 波検層結果に基づいた平行多層構造地盤のインパルス応答を FEM(Plaxis)によって計算し，この FFT を図 8 に示した。

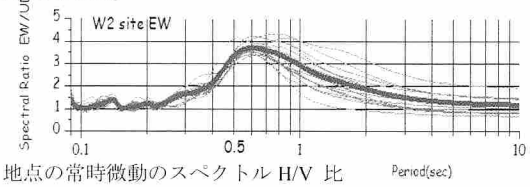


図 5 W2 地点の常時微動のスペクトル H/V 比

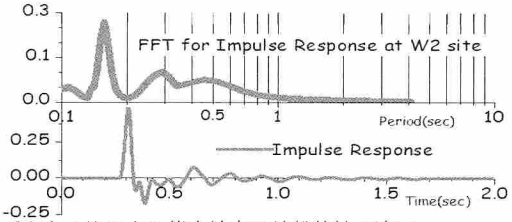


図 7 スペクトル比による熊本城内の地盤特性の違い

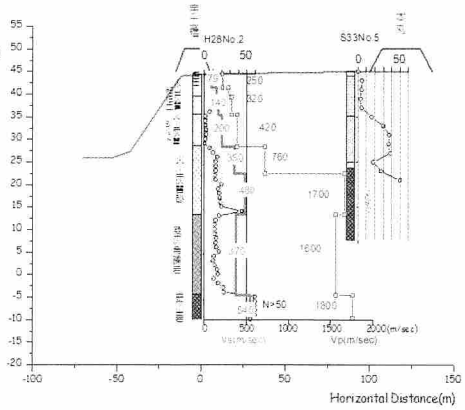


図 6 W2 地点付近のボーリング結果(H28No2)

図 5 の常時微動からみると，卓越周期は Tp=0.6sec に対してボーリングの層構造から予測される卓越周期は Tp=0.45sec 程度で違いが見られる。基盤とされる安山岩の S 波速度は Vs=540m/sec で風化層である。ボーリング結果を地震応答のために使用するなら，微動結果と整合する程度の速度構造が得られるまでの深度が必要であろう。

5 石積み城壁の地震時応答

今回の熊本城の石垣城壁が崩壊しているが，崩壊の破壊は斜面の中間から上部が崩壊している。Plaxis による FEM による石積み形状のサインパルス波による地震時応答を行って検討した。ここでは裏込め地盤や砕石は Vs=200m/sec の単純構造としてある。パルス時間を dT=0.05, 0.10, および 0.20 秒として図 8 に示した擁壁下面に入力して，擁壁面に沿う水平振幅を求めて，図 9 に示した。

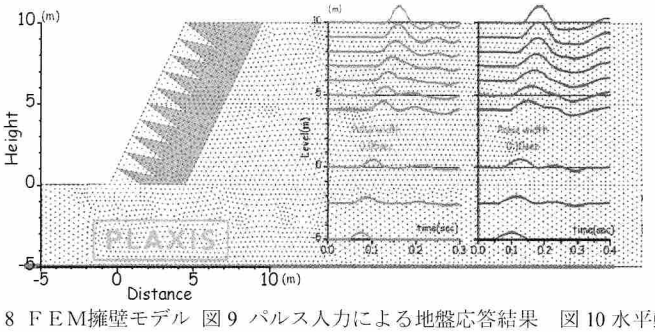


図 8 ＦＥＭ擁壁モデル

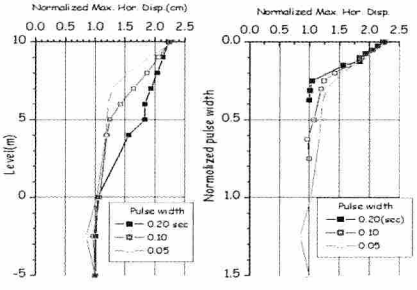


図 9 パルス入力による地盤応答結果　図 10 水平動の振幅の深度およびパルス波長正規化深度との関係

水平半無限構造であると，1/4 波長深度から浅層域で増幅され地表面で 2 倍となるが，擁壁の端部ではさらに大きくなることが知られているが，図 8 の場合には 2.3 程度の増幅率を示した。地震パルスの最大振幅が天端に到達した時点での擁壁のある深さの水平面における地震水平力とその面における抵抗力を試算して図 10 に示した。図 11 では，正規化水平加速度，正規化水平力(Σ加速度 dL)，および基盤入力での最大加速度 0.1, 0.2, 0.3g に対応する波長で正規化した深さにおける変化を示した。ここで，地震力が天端から 1/4 波長間の深さでは，表層と端部での水平拘束がないための効果を考慮している。地震力がすべり抵抗力より大きく(例えばϕ=40°, α=0.3g で 0.2L 以浅)なれば，すべり崩壊が発生することになる。熊本城における崩壊の特徴である天端付近のすべり崩壊を定性的に説明できるモデルとなっている。常時微動計測には，長崎大学杉本知史先生，熊本城調査研究センター　嘉村哲也氏に多大なご協力を戴いた。記して感謝を表します。

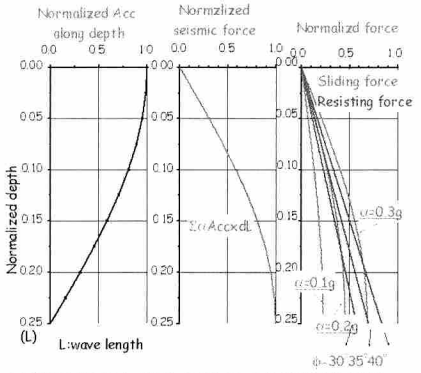


図 11 擁壁背面土塊の水平すべり安定検討図

被災文化財データのデジタル化

－陸前高田市立博物館被災剥製・動物遺存体標本を中心として－

Compile Digital Database in Damaged Cultural Properties -Centering on the Damaged Stuffed Animals and Animal Remains in the Rikuzentakata City Museum-

○富岡 直人[1]、江川 達也[1]、熊谷 賢[2]
([1]岡山理科大学生物地球学部、[2]陸前高田市立博物館)
○Egawa Tatsuya[1], Tomioka Naoto[1], Kumagai Masaru[2]
([1] Okayama Univ. of Sci. Fac. of Bio-Geosphere Sci., [2] Rikuzentakata City Museum)

1．被災状況と台帳の喪失

陸前高田市には、博物館と文化財収蔵施設として「市立博物館」「海と貝のミュージアム」「市埋蔵文化財保管庫」「市立図書館」が存在したが、東北地方太平洋沖地震の巨大津波で全館水没し、人的・物的に多大な被害が生じた。文化財の滅失は勿論、台帳とデータを入れていたPCシステムや記録媒体も破壊され、一部のバックアップが関係者のもとに残されていただけとなってしまった。

市立博物館では国登録有形民俗文化財「陸前高田の漁撈用具」（2045点）を含む総数15万点におよぶ全資料、海と貝のミュージアムでは約11万点の資料が被災し、埋蔵文化財保管庫、市立図書館も全ての資料が津波に飲まれ、流出した資料も多かった。

陸前高田市は文化活動が活発な地域として知られ、市民の協力の下、個人コレクションを母体に自然史資料・考古学資料を含む動産文化財が蓄積されて来た。その中でも象徴的なものが博物学者鳥羽源蔵のコレクション（戸羽他　2003）で、一部貸借中の資料を除いて、ほとんどが深刻な被害を受けた。

2．レスキュー作業への参加とデータ化着手

陸前高田市博の熊谷賢と岡山理大の富岡は、文化財レスキューとしては第2段階といえる2011年5月4日に打合せを持ち、被災剥製と動物遺存体資料救援を模索した。富岡は、日本文化財科学会員の立場で被災文化財等救援委員会へのボランティア登録を行い、職場には岩手県教育委員会からの派遣要請文を受け、派遣された。救援活動には山階鳥研の資金を受け、岡山理大のボランティア学生、加計学園職員、倉敷自然史博の協力を得た。

サルベージ的なレスキュー作業から登録・公表のプロセスは第1図のフローチャートで示される。当初は、瓦礫からの発掘・分類が繰り返し実施された。剥製の同定や修復、燻蒸作業は、山階鳥研や倉敷自然史博等の協力を得た。レスキュー作業では剥製や大型の骨格標本は、部品・部位が離散したものが多く、実態の把握は困難であった。剥製や散乱した骨格標本は、ある程度のまとまりが袋でまとめて収納し、収納番号を付した。プラスチック等の箱類に入り、まとまりが残されたものも番号を付した。このような箱に巨大津波による水圧がかかり、ほとんどは浸水し、脱脂綿や紙は黒化し硫化水素臭を放った。作業は適宜デジタルスチールカメラで撮影した。

3．安定化処理とデジタル化フロー

2012～2015年は被災ミュージアム再興事業の一つとして被災資料修復が実施され、西尾製作所、山階鳥類研究所、倉敷自然史博等の支援を受け、マッチング・修復・安定化処理が進められた。そのプロセスで、混沌となりがちな被災文化財の実態把握という課題が明確となった。登録においては、文化財レスキュー作業と安定化作業、得られたデータの整理を同時に進めた。

ここで扱う剥製と動物遺存体標本は、動物としての属性を有すため、動物考古学の手法を利用し以下の属性を観察し登録した。

①分類名　②部位・部分名　③性別　④計測値　⑤画像

4．被災文化財画像デジタルデータベース

このデータを「陸前高田市立博物館所蔵剥製・動物遺存体資料修復管理データベース」として整備し、約1年の試用・準備期間を経て以下のURLで2016年12月14日より本格的に公開した（第2図）。

http://takatacitymuseum-ss-ar-db.jp

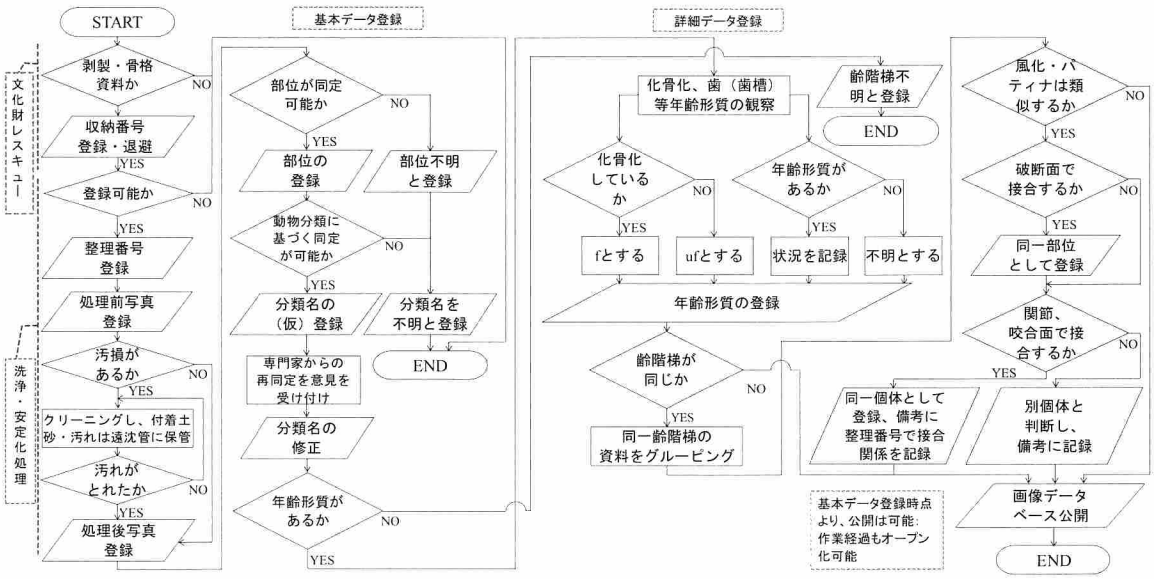
データはサーバーに載せられ、PCやタブレット端末と共有できる形式になっている。データ管理は富岡らが中心になり、岡山市の友野印刷に委託し維持作業を行っている。データベースの内容は、遠隔地からでも編集が可能で、寄せられた意見も参考に、ブラッシュアップが継続的に行われている。

5．文化財レスキューに活用される画像デジタルデータベース

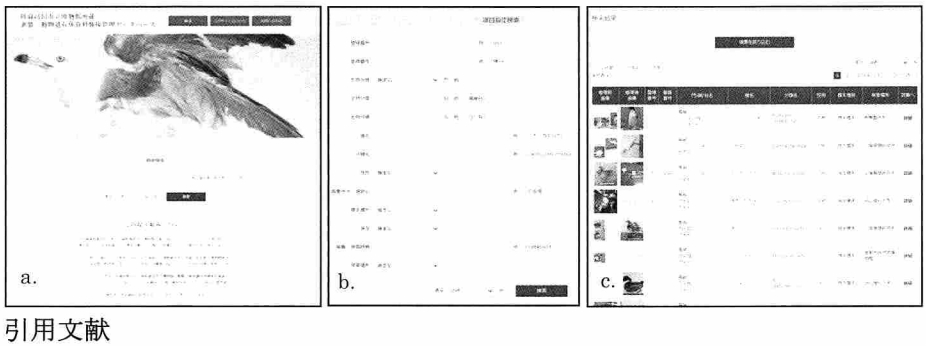
災害時には如何に速やかに被災した文化財を安全な場所に移送するかが問題である。大規模な津波や地震の発生においては、台帳による記録管理を優先させすぎると、緊急作業において遺漏や混乱が生じかねない。しかし、記録や台帳を軽視すると、悪意や過失による資料の消滅・散逸が生じかねない。

市立博物館等での剥製や動物遺存体類の文化財レスキューでは、デジタルスチールカメラやエクセルを用いた表計算ソフトでのデータ管理が当初は有効であった。

しかし、エクセルは多量のデータ処理で不安定となり、FileMakerを用いた登録方法へ変更した。膨大になった画像データの格納や整理も大変な負担であったが、FileMakerによる整理作業でスムーズさが確保され、登録ミスやファイルの故障もなくなった。現在は、タブレット端末を登録に用い、遠隔地も協力でき緊急対応に強いデジタルデータベース登録方法を模索中である。



第1図　陸前高田市立博物館被災剥製・動物遺存体資料修復管理データベース登録フローチャート



第2図
陸前高田市立博物館所蔵剥製・動物遺存体資料修復管理データベース
a. フロントページ
b. 詳細検索画面
c. 検索結果表示

引用文献

戸羽親雄・鳥羽　彊・熊谷　賢・吉田　繁他　2003　「特集　鳥羽源藏先生の業績」『陸前高田市立博物館紀要』［陸前高田市］

岡山洪水被災文化財の研究 —1934年被災ホーロー看板を中心として—

Study on Damaged Cultural Properties by the Okayama Flood -Centering on the Damaged Porcelin Enamel Signbords in 1934-

○江川 達也[1]、富岡 直人[1]、原田大史[1]、野田 繭子[2]、内池 英樹[2]、岡本 泰典[3]、山口一裕[4]
([1]岡山理大生物地球学部、[2]岡山県立博物館、[3]古代吉備文化財センター、[4]岡山理大理学部)
○Egawa Tatsuya[1], Tomioka Naoto[1], Harada Taishi[1], Noda Mayuko[2], Uchiike Hideki[2], Okamoto Yasunori[3], Yamaguchi Kazuhiro[4]
([1]Okayama Univ. of Sci. Fac. of Bio-Geosphere Sci. [2]Okayama Pref. Mus. [3]Okayama Pref. Ancient Kibi Cult. Prop. Cent. [4]Okayama Univ. of Sci. Fac. of Sci.)

1. 室戸台風の概要

古文書と遺跡の調査から、岡山洪水は繰り返し発生していることが把握されている。中でも1934年室戸台風により引き起こされた岡山洪水は、満潮時の旭川下流域の氾濫により岡山城下に深刻な被害をもたらした。

2. 津島遺跡からの被災文化財の発見

室戸台風の影響で発生した1934年岡山洪水の痕跡は、戦災により焦土と化した岡山市街地の街並みの復興とともに、見出すことが難しくなり、古写真や言い伝えが重要な情報源であった。

岡本泰典らが担当した2003年の新県立体育館建設に伴う津島遺跡の発掘調査で、廃棄物層において多数の近代遺物が出土し（第1図）、その中の中国民報（山陽新聞の前身 1892～1936年）の新聞資料の解読や、陸軍練兵場内にゴミを埋めて処分した記録[小林 1934: 付編8]から、この一括資料が1934年の室戸台風による瓦礫と推定された[岡本 2005,2006]。

その後、この被災文化財は、大正・昭和初期の庶民の生活を伝える民俗資料として岡山県立博物館に収蔵された[高畑 2003、岡山県立博物館 2015]。

3. 岡山洪水資料の再調査への着手

富岡研究室では、岡山理大主管の岡山学研究会に参加し、2006年より岡山洪水について聞き取りや資料蓄積を図っていた。その後、東日本大震災を契機に、被災文化財分析の研究への傾斜を強めた。そのなかで、共同発表者の野田・内池・岡本と協力し、津島遺跡出土の岡山洪水被災文化財の調査を2015年より開始した。この資料群は、ある程度の洗浄作業は実施されているが、一部の資料には被災時から埋存時にかけての土壌等の付着物が残され、一部の瓶類には内容物の残存がみられた。2016年には富岡研究室が岡山県立博物館から資料群の一部であるホーロー看板を借り、洗浄作業とともに、山口一裕の協力の下で汚損物質の調査を実施した。

4. ホーロー看板の分析

ホーロー看板は金属の芯材を有し、釉薬や塗料によりコーティング・描画・文字表記がされたものである。分析対象としたホーロー看板は、全て釉焼き付けタイプであった。

マイクロスコープ観察の結果、ホーロー面が残存している部分では保存は良好であったが、歪み折れた部分や擦れた部分は、ホーロー質が失われ錆が生じていた。このままでは、損傷が進む可能性が考えられたことから、安定化処理として精製水による洗浄と、アセトンで溶かしたアクリル樹脂Paraloid B-72の錆への塗布を行った。

ホーロー看板の研究上の利点として、文字を伴う場合が多い点を挙げられる。その内容から地域、製造所、販売所、消費地点が推定された（第2図）。推定された地点は、被災範囲の言い伝えや文献記録と整合した。

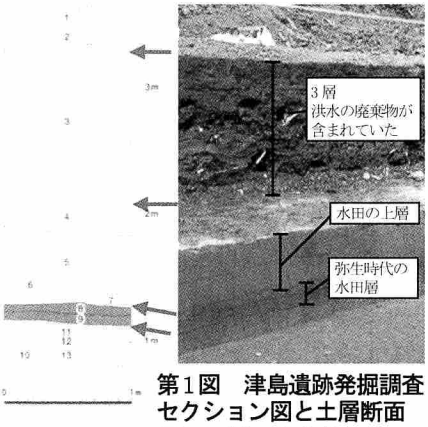
5. ホーロー看板洗浄水の分析

本発表では、比較的汚損の程度が高かった資料であるホーロー看板No.1～3（第3図）の汚損状況を、精製水によって洗浄した後の排水を用いて山口がイオンクロマトグラフによって検

討した。錆と汚損が最も激しかった No.1「仁丹の体温計」看板の洗浄水は、第4図に示した通り、他の看板の洗浄水と顕著に異なった部分があり、その異なった点としては、Ca と HCO_3 の量が多かったことが挙げられる。漆喰等の原料として身近に存在していた炭酸カルシウム関係の物質による汚損の可能性もある。

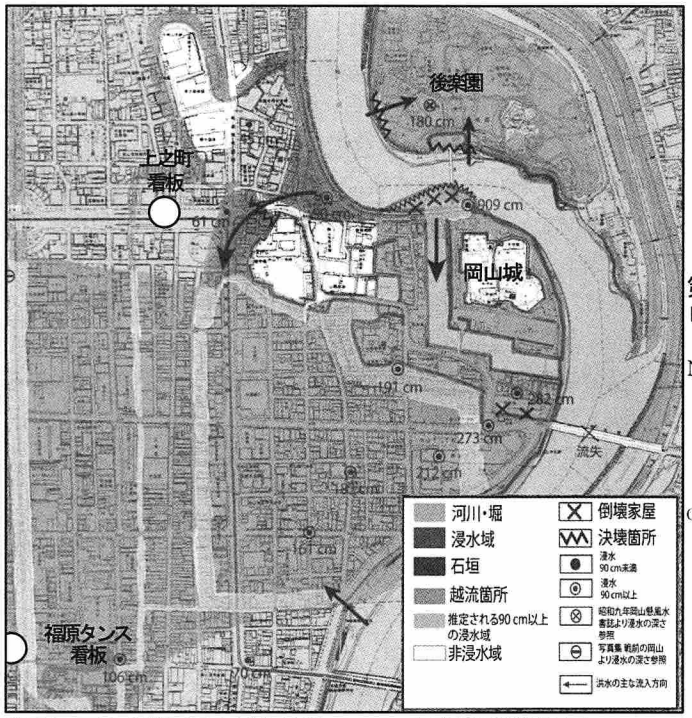
No.2「明治チョコレート」と No.3「福原タンス」の看板の汚損物質を示すと考えられるレーダーチャートの形は類似していた（第4図）。

Na の検出された量はそれぞれの看板の洗浄水で 1.38～2.14 であり、存在は確認されたものの、鉄錆から予想されたよりも意外に低かった。出土地点が旧陸軍用地であったことから、黒色火薬に関係する硝酸ナトリウム $NaNO_3$ に由来する可能性も考えたが、積極的にそのような化学物質の影響がうかがわれる値は得られなかった。

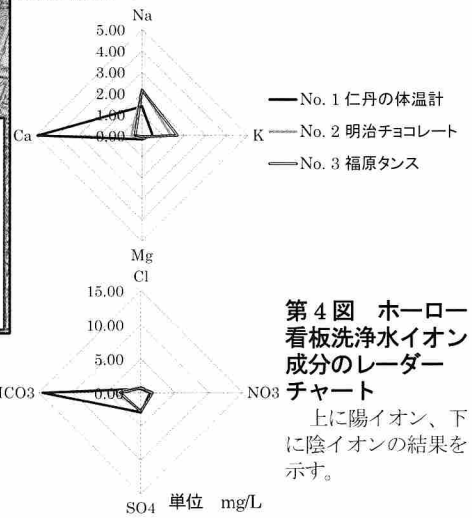


第1図　津島遺跡発掘調査セクション図と土層断面
圃[2005]を一部改変

第3図　イオンクロマトグラフに用いたホーロー看板
No. 1 仁丹の体温計、No. 2 明治チョコレート、No. 3 福原タンス



第3図　岡山城下浸水域と被災ホーロー看板設置推定地点
印は遺物が廃棄物として捨てられる前に使われていたと思われる地点、地図の色は浸水の深さを表す。
現代の地形図に岡山城の平面図を重ねた地図［亀山他 2003: p4］へ、小林［1934］の1934年洪水範囲を示した。



第4図　ホーロー看板洗浄水イオン成分のレーダーチャート
上に陽イオン、下に陰イオンの結果を示す。

引用文献

岡本泰典　2005　「第8節　近世・近代の遺構・遺物　第3章　発掘調査の概要」『津島遺跡6　岡山県総合グラウンド新体育館建設工事に伴う発掘調査』岡山県埋蔵文化財発掘調査報告 190: pp.108-110

岡本泰典　2006　「ゴミの山か、宝の箱か－室戸台風被災品の調査始末記－」『古代吉備を探る2』: pp.1-3

岡山県立博物館　2015　「分野別の検索　民俗」『岡山県立博物館デジタルミュージアム』　http://kenhaku.pref.okayama.jp/（閲覧日: 2017年3月30日）

亀山行雄、松本和男、尾上元規　2003　『岡山城二の丸跡』岡山県埋蔵文化財発掘調査報告 175: p. 4

小林健二　1934　『岡山風水害史』［中国連盟出版部］

高畑知功　2003　「新収蔵資料の御紹介　～昭和9年室戸台風の猛威を物語る文化財～」［岡山県立博物館］: p.3

圃　奈歩　2005　「第1節　調査区の概要」『津島遺跡6　岡山県総合グラウンド新体育館建設工事に伴う発掘調査』岡山県埋蔵文化財発掘調査報告 190: p.16

福島県清戸迫横穴の高精細3次元計測
－原発事故帰還困難区域所在文化財の保全と活用－

High-resolution 3-D measurement of Kiyotosakuoketsu tomb in Fukushima Prefecture

○藤沢　敦(東北大学総合学術博物館)、鹿納 晴尚(同左)、吉野　高光(双葉町教育委員会)、
小池 雄利亜(シン技術コンサル)
○Atsushi FUJISAWA,　Harumasa KANO (The Tohoku Uniersity Museum),
Takamitsu YOSHINO (The Board of Education of Futaba Town),
Yuria KOIKE(SHIN ENGINEERING CONSULTANT CO.LTD.)

1. 調査の目的

福島県双葉町に所在する清戸迫76号横穴墓は、奥壁に赤色顔料で渦巻き・人物・動物などを描いた彩色壁画のある横穴墓で、7世紀に築造されたと考えられる。国の史跡「清戸迫横穴」として指定されており、当地域を代表する文化財である。

清戸迫横穴が所在する地点は、東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により、現在も「帰還困難区域」とされている。そのため従来のような一般公開は、極めて難しい状況が続いており、これは長期間継続すると予測される。当該地域を代表する重要な文化財の公開・活用ができない状況での代替策として、3次元デジタル測量による記録と3次元バーチャル展示方法は、極めて有効な方法であり、原子力災害によって困難な状況に置かれた当地域にとって、とりわけ重要な意味を有する。同時に詳細な3次元データは、現地での調査研究に大きな制約がある中で、新たな研究のための基礎データとして重要である。

清戸迫横穴は、双葉町教育委員会が定期的な点検などを行って維持・管理に努力している。しかし、双葉町の全ての行政機能が町外に避難している状況では、将来にわたる維持・管理にあたって、万全な体制をとることは難しい。詳細な3次元データを確保し、将来の万一の事態に備えることは、貴重な文化財の継承のためにも、極めて重要であると考えられる。

東北大学学術資源研究公開センター総合学術博物館では、古生物学研究で利用してきた3次元計測技術を応用し、東日本大震災の震災遺構などの3次元デジタル測量と3次元バーチャル展示による、震災の記録と防災教育への利用を進めてきた。この方法を活用することで、国史跡清戸迫横穴の3次元デジタル測量による詳細な3次元データの記録と、そのデータを活用した展示が可能である。今回の3次元計測事業は、当センターが進めている、東北大学の平成28年度総長裁量経費「福島原発事故被災地域復興のための3次元記録を用いた地域の記憶継承・活用プロジェクト」における経費を用いて実施した。

2. 計測方法と使用機材

横穴は玄室長約2．6m、奥壁幅約2．6mで、前面には前室(観察室)が設けられている。前室から横穴へ出入りする扉のさらに内側の、玄室に入った部分に遮蔽ガラスが設けられ、その一部が開くようになっている。現地の視察を踏まえ、計測にあたっては、以下の条件を満たすことが必要と考えた。

- 横穴墓壁面の凹凸を詳細に記録できる精度を有すること。
- 色調を正確に記録し再現できること。
- 壁画への悪影響を避けることができる方法であること。
- スペースの限定される横穴墓内で安全に作業できること。

これらの条件を検討した結果、AICON(アイコン・独)社製の光学式非接触ハイエンド3Dスキャナである smartSCAN-HE を使用することが最適と判断した。 smartSCAN-HE は、筐体が非常にコンパクトで一般の三脚に設置でき、狭い横穴内での計測作業に適している。レンズを換えることによって、解像度や計測範囲を変えることができるため、高精度な3Dデータを作成できる。今回の計測では、525×400mm の範囲を計測

して、159μmのピッチで計測可能なM-650を使用した。計測機器を移動しながら、全体をカバーするように計測する。壁面の凹凸によって陰となり、同機器から計測が難しい一部の範囲については、デジタルカメラを用いた画像解析を併用した。

スキャナ本体の光源は白色LEDを使用しており、照射時間は数秒程度と極めて短い。そのため、計測対象、特に顔料へのダメージは無いと考えられる。照射による温度上昇も無いと判断されるが、作業者が発する熱による玄室内の温度上昇については、留意する必要がある。

本スキャナでは、搭載された8Megapixelのカラーセンサーにより、色情報を同時に獲得できる。ただし、テクスチャーの表現力に限界があることも予想されたため、画像解析用を兼ねてデジタルカメラでの撮影も行っている。

今回の計測は、東北大学総合学術博物館が事業主体となり、双葉町・同町教育委員会の協力を得て実施した。計測作業は、横穴墓での実績のある株式会社シン技術コンサルが担当した。現地での計測作業は、2017年2月9～10日の2日間で実施した。3Dスキャナでの計測は、遮蔽ガラスから内側の範囲とした。前室については、据置型レーザー計測器を使用し計測した。

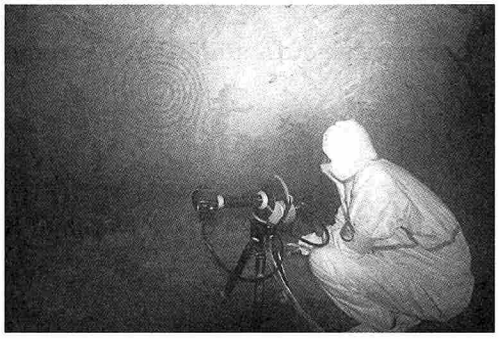


図1　玄室内での作業状況

図2　玄室(右側)と前室に設置したPC

3. 計測作業と成果

計測作業中は玄室内と前室の温湿度を計測し、玄室内の温度上昇が2度以内になるように調整して作業を実施したが、養生などの準備を含めて予定どおり2日間で終了した。比較的短時間で作業を実施でき、壁画など環境変化を極力避ける必要のある遺構の計測にとって、適合した方法であると言えるであろう。

計測作業にあたっては、三脚の脚の下に小さく切った養生シートを挟んで、床面を損傷しないようにした。遮蔽ガラス内での作業人員は1名とし、カビの胞子などを持ち込まないよう防護服を着用した。スキャナからのケーブルはビニールを巻いて養生し、前室に設置したノートPCに接続した。このような方法によって、スペースの限られる場所での高精細3次元計測が可能であることを示すことができた。

今回採用したレンズでは、159μmのピッチで計測可能である。玄室内のみで14億点を超える測定点が得られた。そのため、壁面の工具痕跡も詳細に再現でき、目的とした精度は確保できたものと考えている。

今後、得られた詳細な3次元データを利用し、工具痕跡の分析による横穴構築方法の検討などの研究に活用できることが期待される。3次元バーチャル展示への応用も、双葉町と協力して進めていく予定である。

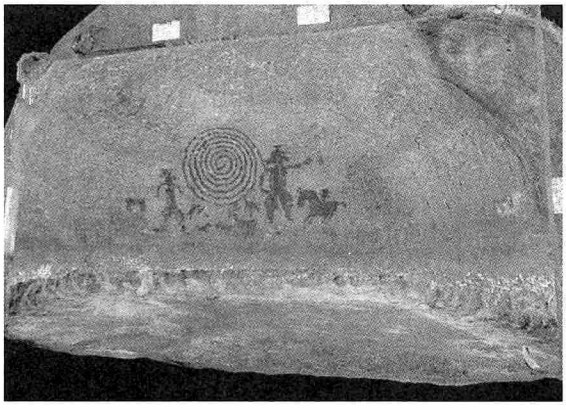


図3　点群データによる投資射影画像

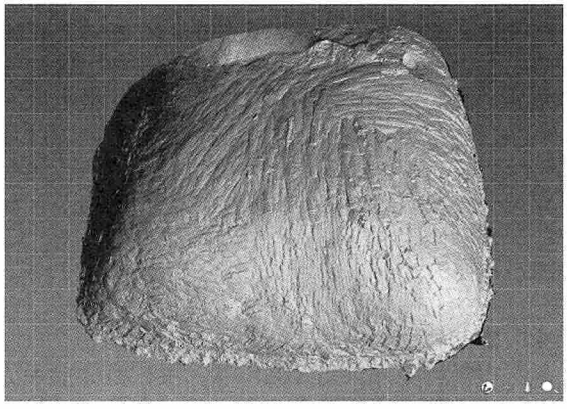


図4　天井部の工具痕の陰影強調画像

遺物のデジタル三次元計測法の比較検討

Comparison of Digital 3D Measurement Methods for Recording Archaeological Artifacts

○金田明大，山口欧志，中村亜希子，石松智子，八尾純子（奈良文化財研究所）

KANEDA Akihiro, YAMAGUCHI Hiroshi, NAKAMURA Akiko, ISHIMATSU Tomoko, YAO Junko (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1．はじめに

三次元レーザースキャナーやSfM-MVS(Structure from Motion and Multi-view Stereo)技術の普及により、国内外問わず文化財の三次元計測の導入と実践が近年進んでいる。遺跡の周辺地形や遺構といった広範囲を対象とした計測の実績が蓄積されるのと同時に、遺物などの小さな対象物の計測への応用も模索されており、取得した点群やメッシュの距離比較から、同じ工具・型による製品を検証するといった新しい手法の研究もおこなわれている(中園 2010)。

異なる機材・手法で取得した三次元データは、同じソフトウェア上で検討することができるが、その精度には差異が生じ得る。特に、SfM-MVSはレーザースキャナー計測に比べ、精度の管理が十分に考慮されておらず、計測の目的に必要とされる精度を確保するための基準が明瞭化されていない。本研究では、その基礎的な有効性と限界を確認するため、遺物のSfM-MVSによる計測成果と、他手法による計測成果との比較をおこなう。

2.計測手法と機器

比較する計測手法として、レーザースキャナーおよびSfM-MVSを取り上げる。計測資料は土師器甕(奈良国立文化財研究所 1995)と瓦(奈良国立文化財研究所 1997)の2点を用いた。機材・解析法には、レーザースキャナーは比較的普及が進んでいる2種(NextEngine2020i(NextEngine社)とSpider(Artec社))を選択し、SfM-MVSのソフトはPhotoscanProfessional1.3.0(AGISoft社)を、カメラは瓦にOM-D E-M1 MarkⅡ(OLYMPUS社)と単焦点レンズ(30㎜ F3.5 Macro)、甕にX-T1(FUJIFILM社)と単焦点レンズ(18mm F2)を使用した。計測は各機器の使用法に従った。データ取得後、点群の簡易クリーニングをおこない、ICPによる位置合わせの上、各計測を統合した。

3．データの比較

サーフェスモデルの出力結果(図1・2)の比較では、SfM-MVSと、Spiderに比べ計測間隔と精度がやや劣るNextEngineがほぼ同等の成果を得ることができている。Spiderは器面の調整痕跡をより鮮明に観察できる。通常の記録作業での観察においては、いずれの機器も十分に実用性があると考える。SfM-MVSについては、今回より小範囲を拡大して撮影した画像を多量に取得することによって、高精度化できる可能性がある。

続いて、オープンソースで公開されているソフトウェアCloudCompareを用いて、生成された三次元モデル間相互の比較をおこなった。比較方法はCompute cloud/mesh distanceである。この結果、いずれのモデルも甕の口縁部や瓦の外周の縁辺部分を除き、RMS±0.3㎜以内の差異で計測できている。実資料との比較ではSpiderはより表面の状況を表現しているが、その凹凸の差が誤差として指摘できるものではない。

なお、当初、Spiderで生成した瓦のモデルに大きなRMSEが存在した。検討の結果、これはモデルの縁辺部に存在することが明らかとなり、比較に不要な部位を極力除去して統合したモデルは他手法と同様の計測成果となった。三次元モデルの生成時には、このような注意と確認が不可欠である。

4．まとめ

考古資料の三次元計測には、現在多様な手法が提案されている。特に、レーザースキャナーおよびSfM-MVSによる計測は、今後一般的な手法として定着が進むものと考える。いずれの手法を選択するにせよ、計測にはその原理や使用する機器、処理過程、記録方法等により、差

異と利点、限界が存在している。このため、三次元計測に際しては、対象資料の材質や形といった特徴や、計測の目的に必要な精度を踏まえ、手法・機器を選択する必要がある。

【引用文献】

中園聡 2010「三次元レーザースキャナーを用いた土器表面痕跡の 3D マッチング」『鹿児島国際大学情報処理センター研究年報（16)』鹿児島国際大学情報処理センター
奈良国立文化財研究所 1997『山内清男考古資料 8 縄文草創期・縄文後晩期・瓦塼資料』PL.28-90
奈良国立文化財研究所 1995『平城京左京二条二坊・三条二坊発掘調査報告：長屋王邸・藤原麻呂邸の調査』PL.150-4089

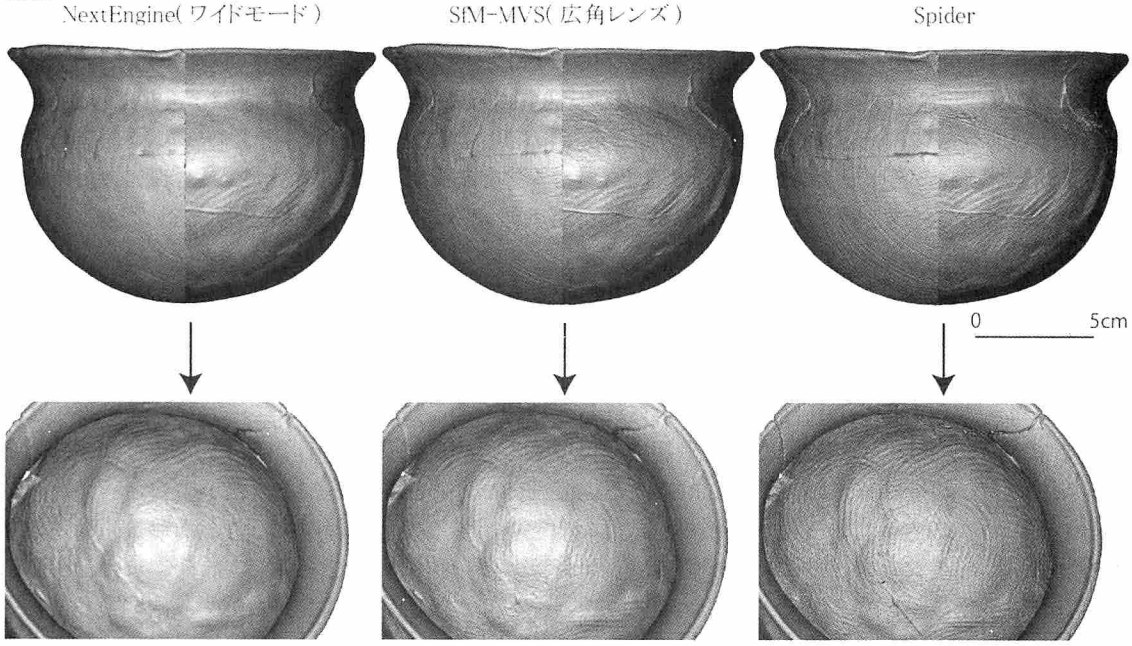


図1 甕の三次元モデル

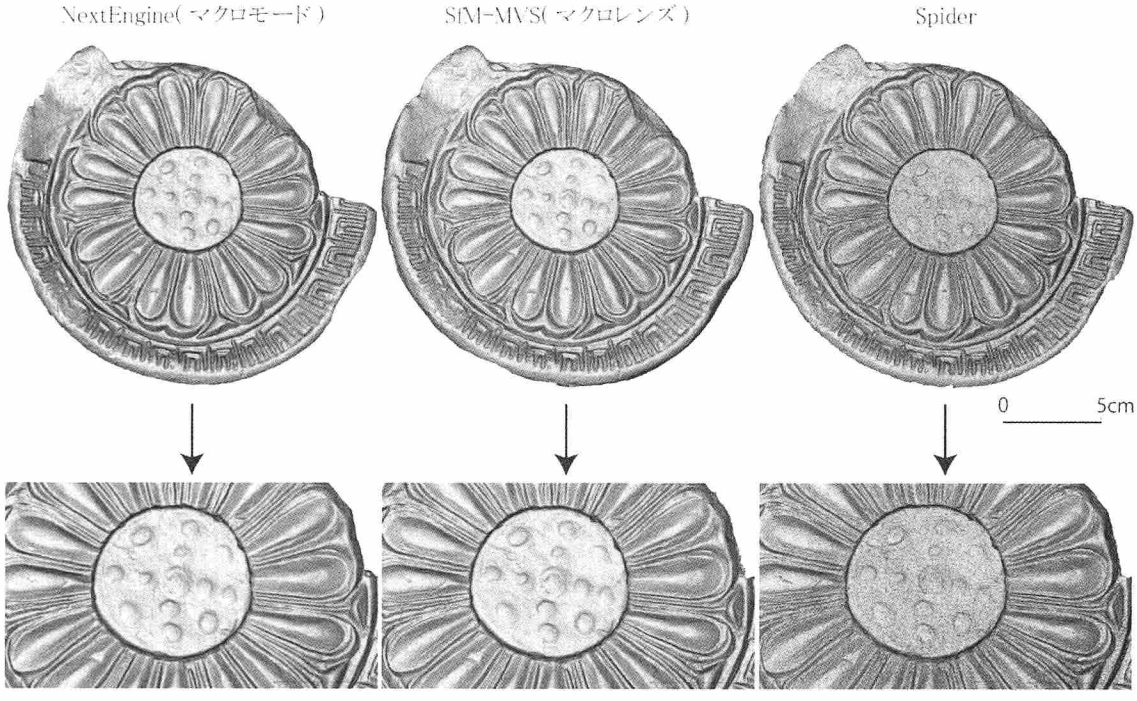


図 2 瓦（紋様部分）の三次元モデル

土器圧痕の超適応的な三次元デジタルレプリカ法

Highly scalable 3D replica method of impressions on pottery

○山口欧志(奈良文化財研究所)
YAMAGUCHI Hiroshi（Nara National Research Institute for cultural Properties）

1. はじめに

土器圧痕研究において、近年導入が進むレプリカ SEM 法や 3D デジタルマイクロスコープによる三次元計測法は、圧痕の微細な可視化を実現し、農耕史や環境史の理解に大きな進展をもたらしている。本発表は、試薬の注入や高価な機材が不要な方法を開発し応用することで、国内外のより多くの調査機関や研究者が土器圧痕の三次元デジタル計測に着手できる方法を提案するものである。この報告により、圧痕レプリカ資料の着実な増加と、資料を用いた様々な分野の研究の進展を加速させる一助となりたい。

2. 課題

土器圧痕の資料化は、レプリカ SEM 法や 3D デジタルマイクロスコープ、そして軟 X 線撮影の導入によって近年急速に進み、それら情報を元にした研究も大きく進展しており、今後一層の資料の蓄積が進めば、さらに多くの新たな知見が得られると期待できる（小畑 2015）。

そこで本研究では、より一層の資料の蓄積を実現するため、試薬や高価な機材を必要とせず、対象の様々なスケールや調査環境に柔軟に対応する拡張性の高い方法を構築することが重要と考えた。

その理由は次の通りである。すなわち、試薬などを利用する場合、調達することが難しい海外の調査機関や試薬の注入を避けたい調査機関では調査者は試薬を利用することができない。また、SEM（走査型電子顕微鏡）や 3D デジタルマイクロスコープ、軟 X 線撮影は資料の鮮明な観察を可能にするが、高価なため多数の機関で導入することはできない。

3. 解決方法

この課題を解決するため、可能な限り非接触・非侵襲で試薬を利用せず、道具はモジュール方式で組み合わせ、研究者個人でも実現できる程度の予算で実現できる超適応的な手法を目標とした。

その結果、Focus Stacking Image（多焦点合成画像）と SfM-MVS(Structure from Motion and Multi-view Stereo)を組み合わせた圧痕の三次元デジタルレプリカ法を考案した。Focus Stacking は焦点位置の異なる複数の画像からそれぞれ合焦しているピクセルのみを抽出し合成することにより、対象全てに合焦する鮮明な画像を得るものである（山口 2016a）。SfM-MVS は複数の撮影画像から撮影位置を算出し、密な点群や三次元形状の復元、テクスチャーの貼り付けを行うもので、考古学の分野でも導入が進んでいる（文化財方法論研究会 2016）。美術工芸品の三次元計測の分野でも応用があり、すでに土器表面の調整と同等かさらに微細な技法の記録も蓄積しつつある。（山口 2016b）。

この方法の実現に必要な機材は、画像取得装置とレンズ、多焦点合成画像プログラム、SfM-MVS 実行プログラム、解析用 PC である。画像取得装置とはたとえばデジタルカメラや実体顕微鏡などであり、これと対象に合わせた倍率のレンズを組み合わせる。多焦点合成画像プログラムと SfM-MVS 実行プログラムは、有償のものとオープンソースのものがある。

4. 試行結果

本報告では、長さ約 8mm、幅約 3mm の土器圧痕を対象に試行した事例を挙げる。対象資料は、奈良文化財研究所による平城第 278 次調査において大乗院庭園跡から出土した室町時代の赤色土器である（加藤・浅川 1997）。用いた具体的な機材は、ミラーレス一眼カメラ OLYMPUS 社 OM-D

E-M1 Mark Ⅱ、M.ZUIKO DIGITAL ED 30mm F3.5 Macro である。Focus Stacking には Helicon Focus を用い、SfM-MVS には Agisoft Photoscan Pro を用いた。なお、Focus Stacking と SfM-MVS の処理を実行するソフトには、それぞれ Image J や COLMAP 等のオープンソースプログラムもある。

土器圧痕の三次元デジタルレプリカ作成手順は、以下の通りである。①マクロレンズを装着したデジタルカメラで絞りは開放に設定し、焦点位置を自動的に手前から奥まで変更しながら写真撮影する。②Focus Stacking を実行し、圧痕全体に合焦点する多焦点合成画像を作成する。③作成した多焦点合成画像を用いて SfM-MVS を実行し、圧痕の三次元デジタルレプリカモデルを作成する。

その結果、種子圧痕の鮮明な画像と三次元モデルを作成することができた（図１・図２）。種子圧痕の多焦点画像からは顆粒状突起列が明瞭に観察でき、三次元モデルからは全体の形状や長軸方向に維管束に伴う隆起部や内外頴を確認することができる。これらの特徴からイネ籾と判断できる。

図1　種子圧痕の多焦点合成画像

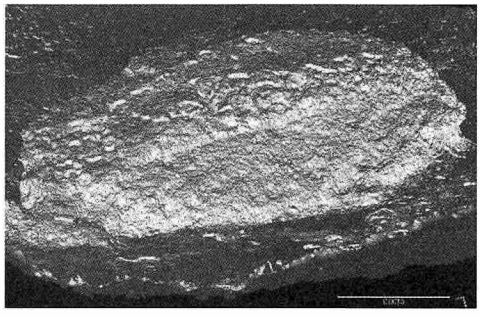


図２　種子圧痕の三次元デジタルモデル

5. まとめと展望

本研究では Focus Stacking と SfM-MVS を組み合わせた超適応的な仕組みを構築し、種子圧痕の三次元デジタルレプリカを作成した。この仕組みは、種子圧痕だけでなく土器の網代痕や調整痕、石器の使用痕等にも応用できる。また、シリコーンレプリカは作成できるが SEM を利用できない場合、シリコーンレプリカを本方法で計測すれば三次元デジタルデータ化することが可能である。

今後精度検証を進め、種子圧痕の三次元デジタルデータの蓄積と同定が進み、メタデータを整備してオープンデータ化すれば、圧痕資料を用いた農耕史や環境史研究がより一層進展すると期待する。

参考文献

小畑弘己 2015「レプリカ法から圧痕法へ」『考古学ジャーナル』第 672 号　pp.24-26

山口欧志 2016a「多焦点画像処理による歴史芸術文化遺産の詳細記録」『日本文化財科学会第 33 回大会研究発表要旨集』pp.340-341

文化財方法論研究会 2016『文化財の壺　特集研究するモノに三次元を：SfM/MVS を用いた考古資料計測』Vol.4

山口欧志 2016b「歴史芸術文化遺産の 3D デジタル資源化とその活用」『2016 年度アート・ドキュメンテーション学会年次大会予稿集』pp.28-33

加藤真二・浅川滋男 1997「大乗院の調査－第 275 次・第 278 次」『奈良文化財研究所年報』1997-III　pp.66-70

謝辞

本研究の遂行にあたり、神野恵氏、小田裕樹氏、星野安治氏、上中央子氏、金田明大氏、中村亜希子氏、石松智子氏（以上、奈良文化財研究所）、永田悠記氏、深澤麻衣氏（以上、静岡県富士宮市教育委員会）、米延仁志（鳴門教育大学）に御助言・御協力いただきました。記した感謝の意を表します。本研究は、科研費若手研究（B）26870764 の助成を受けた研究成果の一部です。

美術工芸品におけるサンプリングの現状と課題

Current status and issues of sampling in arts and crafts

○大西智洋(大西漆芸修復スタジオ)、松井敏也(筑波大学)、塚田全彦(東京藝術大学)
○Tomohiro ONISHI(LLC Onishi lacquer art restoration studio)
Toshiya MATSUI(University of Tsukuba)
Masahiko TSUKADA(Tokyo University of the Arts)

1. はじめに

文化財とはそれぞれ唯一無二の資料であり、人類の財産として後世に伝え残さなければならないものである。そのため、文化財の調査・分析では非破壊分析による手法が主に用いられ、その時代の最新の科学と探究心によって行われてきた。

調査・分析から得られた情報は文化財の学術的な付加価値とともに、保存修復作業時の使用材料や処置方法の検討材料としても活用されている。非破壊分析で必要な情報が得られないときには、微量のサンプルを採取し、詳細な材質分析や年代測定などが行われるケースがある。微量とはいえ破壊分析であるため文化財からのサンプリングには細心の配慮が求められている。しかし本発表者としては、近年の研究報告の中には破壊分析に対しての配慮に疑問を感じるものもある。そのため、本発表では改めてサンプリングについて、何が問題でなにを目的とするべきかを考えたいと思う。

2. サンプリングの目的と基本的なあり方

文化財の分析とは、材質・製作技法・製作年代を自然科学的研究によって解明することが目的である。作品から取れた(落ちていた)資料を分析サンプルとして利用をする場合、位置が判明しているものは作品に戻すことを優先し、位置が不明なものを分析にまわしている。考古資料の場合、サンプリングが許される場合があっても、サンプル量はごく少量であることが望ましい。(*1) しかし美術工芸品の場合は、サンプリングが認められることはほとんどない。

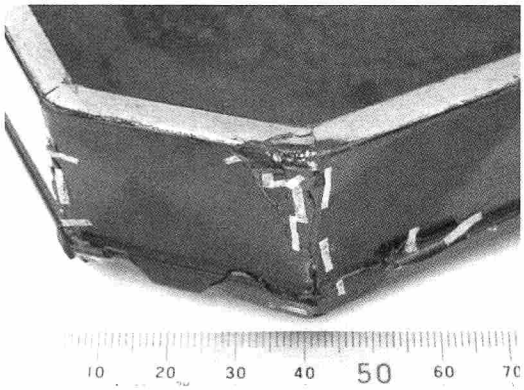
3. 近年の微量分析報告の傾向

出土品・伝世品に限らず、点数が多い文化財や未指定品に対して、物理的破壊(または損傷)を伴うサンプリング量や点数が多いようである。個人蔵であれば所有者の判断が重要となり、サンプリングの仕方や量については研究者が所有者との相談の上で決定し、得られた分析結果が報告をされている。しかし、場合によってはサンプリング自体に問題がありそうな研究報告もあり、必要最小限のサンプルで分析を行うのはもちろんではあるが、サンプリングの可否判断について文化財に関わる者として疑問を感じる事例もある

また、一連の作品群を分析・観察を行った研究報告が見られるが、中には調査を行った結果報告のみで、先行研究との接点や独自の考察がない発表が見られる。文化財から危険を冒してまでサンプリングの必要があったのかは分析結果が出るまで分からないとしても、サンプリング前の期待と分析後の結果について毎回反省し、読み間違いを減らしていける蓄積が重要であり、興味本位ではなく目的を持った研究姿勢と文化財への敬意が必要である。

4. 漆芸文化財の保存修復を行う際の資料の取り扱いや優先事項

保存修復のために預かった漆芸文化財の中に、過去の展示や輸送時に落ちた塗膜片や螺鈿などが所有者である学芸員の手によって別途保管されていることがある。預かった塗膜片等は可能な限り元の位置を特定して戻し、場所が不明なものに対しては所有者の意向や許可を得て分析調査を行うこともある。実際に剥落している塗膜片をどこまで戻せるかは、加飾の有無や塗膜片の大きさにもよるが、小さな塗膜片でも元の位置に戻すことができれば作品本来の表面情報を失わず、保存修復作業でも補修を加えなくて済む。そのため、九州国立博物館内の漆工品修復施設では元に戻せる塗膜片から調査を実施する際にデジタルマイクロスコープやX線マイクロCTを用いた非破壊分析を行っている。(*2)



左の写真は、剥落して別途保管されていた塗膜片を短冊状に切った雁皮紙と弱い糊で貼り付け、元の位置に仮止めをしている写真である。この資料の場合、黒漆塗膜が 2 ㎜角以下の大きさになってしまうと元の位置を探すことは困難であった。それでも剥落した面積の9割程度は修復作業によって元の位置を突き止めて戻すことができている。

5. まとめ

文化財の保存修復とは、資料を残すという積極的な意思が働いた行為であるが、研究とは探究心が源であり、その探究心は目先の成果を追い求めずに文化財保護の範疇に留まりながら研究が行われるべきである。所有者の判断によってサンプリングの許可が下りたとしても、文化財の所有者というのは一時的な管理責任者であって歴史とともに変わるものである。そのため研究者は、所有者に対し文化財保護が最優先である中でサンプリングの目的とリスクを伝えた上で判断を仰がなければならず、過剰なサンプリングを抑止する立場でいなければならない。

現在盛んな調査手法というのは、最新の分析機器の使用や過去に成果を得てきたものであり、現代の認識や価値観によって行われてきている。しかし、将来新しい研究法が出現したときに、我々が行った研究が妨げにならずに文化財におけるRAWデータを後世に残せているのだろうか。文化財修復材料に求められる可逆性の有無が議論されたのと同様に、調査・分析に携わる研究者は調査後でも文化財情報を損なわないために破壊分析の見直しや調査手法を検討し、文化財にとって適切な延命処置が保存修復作業と保存科学研究で実施されていくことを願っている。

謝辞

写真資料をご提供くださいました公益財団法人永青文庫に心より感謝申し上げます。

参考文献

(*1)岡田文男ほか:文化財のための保存科学入門, 第1章保存科学の歴史　沢田正昭編,pp.6-20, 京都造形芸術大学編,2002

(*2)大西智洋ほか:黒漆楼閣人物螺鈿卓の構造・技法－X線CTとマイクロX線CTを用いた調査－ 文化財保存修復学会第38回大会要旨,2016

3日目
6月11日
A会場
B会場

化学分析に基づく遺跡出土馬の食性復元

Reconstructing horse diet by geochemical analysis

○覚張隆史(金沢大学)・植月学(弘前大学)・青柳泰介(橿原考古学研究所)・丸山真史(東海大学)・山崎健(奈良文化財研究所)
○Gakuhari Takashi (Kanazawa Univ.), Uetsuki Manabu (Hirosaki Univ.), Aoyagi Taisuke (Kashiwara Archaeological Research Institute), Maruyama Masashi (Tokai Univ.), Yamazaki Takeshi (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. 背景

日本列島の古墳時代において大陸から家畜馬が導入され、短期間のうちに全国的に馬飼育が伝播するには、馬を持ち込むと同時に、馬の繁殖法や給餌法も大陸から導入された可能性が考えられる。大陸側で当時膨大な馬の飼育数を誇った中国北部では、古くから馬に雑穀類を積極的に給餌する飼育形態をとることが分かっており(菊地ほか 2014)、日本列島の古墳時代に馬飼育と雑穀利用の関連性について検討することは、大陸由来の馬飼育技術の受け入れプロセスを解明するうえで重要といえる。また、日本列島においての馬飼育文化伝播過程において、日本列島の環境に合わせた馬飼育の変容を見ることで、日本列島の馬飼育文化の特異性を評価できると期待される。

遺跡から出土する馬遺存体から直接的に個体ごとの食性を評価する指標として、骨コラーゲンの炭素・窒素安定同位体比が挙げられる。炭素同位体比は摂取植物のうちでも光合成回路が大きく異なるC3植物とC4植物の摂取割合を推定する優れた指標であり、窒素同位体比は一般的なC3植物、根粒菌をもつマメ科植物、水田における脱窒作用が生じる水稲(稲わらも含む)の摂取割合を推定するうえで利用可能な指標である。そこで、本研究は古墳時代から中世までに出土する馬遺存体の炭素・窒素安定同位体分析から、馬飼育における給餌形態の地理的・質的分布について比較検討する同位体景観学b(Isoscape analysis)による考察を試みた。

2. 試料

分析対象とした試料は、沖縄県(今帰仁城跡(中世))・鹿児島県(城久遺跡群(中世))・長崎県(大浜遺跡(古代))・福岡県(博多遺跡群(中世))・兵庫県(吉田南遺跡(古墳)・奈良県(布留遺跡(古墳)・十六面薬王寺(古墳)・藤原宮跡(古代))・大阪府(日下貝塚(古墳)・大阪城(中世))・山梨県(大師東丹保遺跡(古代・中世))・長野県(屋代遺跡群(古代・中世)・松原遺跡(中世))・神奈川県(由比ヶ浜南遺跡(中世))岩手県(御所野遺跡(古代)・野田遺跡(中世))計66個体の馬骨を用いた。

3. 方法

遺跡出土馬骨約200mgを採取し、骨コラーゲン抽出を実施した。超音波洗浄機で表面に付着した土壌を除去した後に、0.2M NaOHで4℃・12時間反応させることで土壌由来の有機物を除去した。超純水で中性に戻した後に、1.0 M HClで4℃・48時間脱灰させた。脱灰後に中性に戻し、再度、0.2M NaOHを加えて4℃・24時間反応させた。中性に戻した後に、希釈HCl溶液(pH 3.0)を加え、90℃・12時間でゼラチン化させた。ゼラチン化したコラーゲン溶液をガラスフィルターでろ過し、凍結乾燥器で48時間乾燥させた。精製コラーゲンは、東京大学および国立科学博物館に設置された元素分析計-同位体比質量分析計(EA-IRMS)を用いて炭素・窒素安定同位体比($\delta^{13}C$、$\delta^{15}N$)を測定した。測定精度は炭素・窒素安定同位体比ともに±0.1‰であった。また、分析した試料については、炭素含有率は35%以上、窒素含有率は10%以上、炭素・窒素原子モル比は2.9～3.6の範囲に収まった個体のみを解析データとして取り扱った。

4. 結果

日本列島における遺跡出土馬の炭素同位体比は-21‰～-7‰を示し、窒素同位体比は 2～8‰の範囲を示した(図)。特に、炭素同位体比は 14‰もの範囲を示しており、極めて多様な値を示している。長崎県五島列島の古代遺跡である大浜遺跡出土馬は、総じて炭素同位体比が高く、C4 植物の摂取割合が極めて高かったことを示している。それに続いて、沖縄県の中世遺跡である今帰仁グスク、外間遺跡、鹿児島県喜界島の城久遺跡群で-15‰～-11‰と高い値を示した。この様に、西日本の島嶼地域である五島列島や琉球列島に立地する遺跡から出土する馬遺存体の炭素同位体比は他の地域よりも有意に高い傾向を示した($P<0.01$)。一方、島嶼地域ではない地域の多くは炭素同位体比が-21～-17‰と相対的に低い範囲を示すものの、同一遺跡内においても個体によっては炭素同位体比が高い値を示す例も散見された。具体的には、炭素同位体比が高い個体が検出された遺跡として、兵庫県の吉田南遺跡(古墳)で-11‰、奈良県の藤原宮跡(古代)で-15‰、神奈川県の由比ヶ浜南遺跡(中世)で-15‰であった。

次に、窒素同位体比では、山梨県の大師東丹保遺跡出土馬 2 点において他の個体とは異なり 7‰以上と高い値を示し、逆に由比ヶ浜南遺跡出土馬 1 点で 2‰と低い値を示した。窒素同位体比が変動する理由として、降水効果、リター効果、水稲(稲わらも含む)の摂取などが挙げられる。大師東丹保遺跡は、隣県の長野とは降水量やリター効果の差は大きくないと考えられるため、水稲摂取の可能性が考えられる。一方、由比ヶ浜南遺跡の低い窒素同位体比を持つ個体は、マメ科植物などの摂取割合が高かった可能性が考えられる。また全体的な傾向として、島嶼地域の窒素同位体比が低いため、島嶼地域とそれ以外の地域で窒素同位体比の平均値の差を比較した結果、島嶼地域は有意に低い窒素同位体比を示した($P<0.05$)。

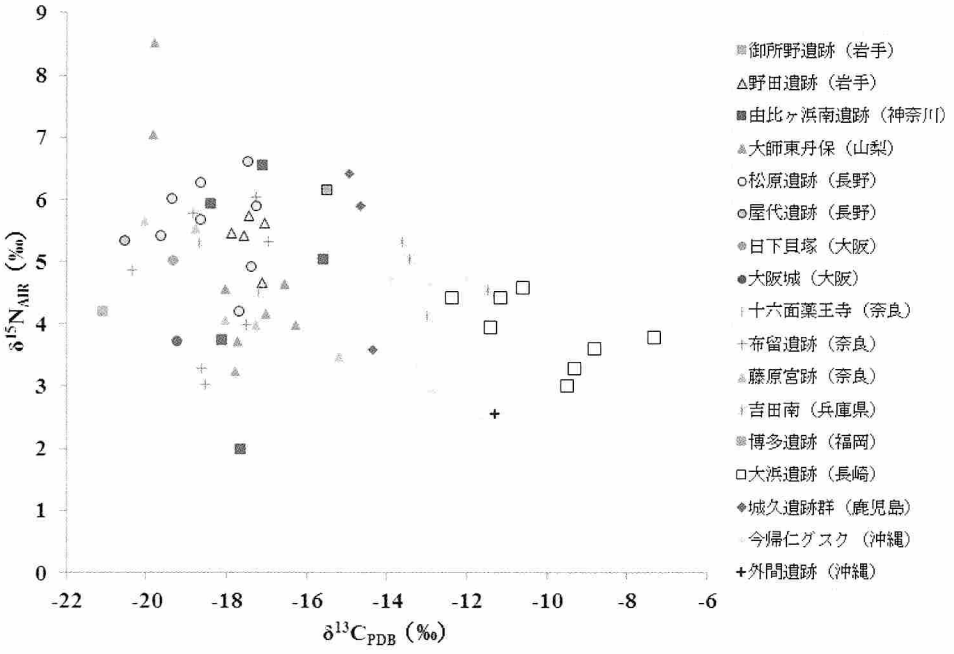


図. 日本列島における遺跡出土馬の炭素・窒素安定同位体比分布

5. 考察

本分析によって、日本列島の遺跡出土馬の食性は、島嶼地域とそれ以外では大きく異なる可能性が分かった。さらに、島嶼地域の特徴である炭素同位体比が高く、窒素同位体比がやや低い個体が、古墳・古代・中世と地域を超えて検出された。これは、日本列島において馬の供給源が本州・四国・九州などに隣接する島嶼地域で馬が限定放牧によって飼育され、本島に持ち込まれている可能性を示唆している。特に、兵庫県神戸市の古墳時代遺跡である吉田南遺跡では、放射性炭素年代測定によって同一時代とされた個体間で炭素同位体比が大きく異なる食性の混合集団である。遺跡の立地としては、淡路島などの本島から近い島嶼地域があることから、これらの地域から出土する馬の分析を進めることで、本島-島嶼間の馬流通が見えてくると期待され、今後のさらなる情報の蓄積が求められる。

韓国泰安郡馬島の海域から出水された陶磁器の組成分析と脱塩特性の研究

A Study on Composition Analysis and Desalination Characteristics of Underwater Ceramic Artifacts from Offshore in Taean Mado, Korea

○李圭蕙 · 李讚熙(公州大学校文化財保存科学科)

○Gyu Hye Lee · Chan Hee Lee

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

1. 研究背景と目的

海洋から出水された陶磁器は出水と同時にその内部に浸透していた塩分が結晶化するため損傷し始める。したがって、出水後の脱塩作業が必要で、これに関する様々な研究が行われてきた。一方でまだ多様な研究が求められている。本研究では韓国の泰安郡馬島の海域から出水された青磁類(Celadon)、粉青沙器類(Buncheongware)、白磁類(White porcelain)などの様々な種類の陶磁器について物理的、鉱物学的および地球科学的特性を分析し、焼成温度や胎土の同質性などを考古学的に解析した。そして、各陶磁器から実験用のサンプルを作り、材料科学的特性と脱塩特性との関連性を考察した。

2. 研究方法

研究対象となる陶磁器は青磁類片9個、粉青沙器類片3個、白磁類片10個の総計22個である。まず、肉眼で精密に観察し、色度計(Minolta CR-30)、帯磁率(SM-30)、比重と吸水率などを測定し物理的特性を調査した。また、XRD(Rigaku, DMAX2000)、SEM-EDS(JEOL, JSM-6335F)、DTA&TG(TA, SDTQ600)などの分析方法と実体/偏光顕微鏡を使用して鉱物学的特性を調査し、ICP-MSとINNAで胎土の化学的造成を分析して地球科学的な元素の挙動特性を把握した。

一方、陶磁器の脱塩特性を調査するために各陶磁器から同様のサンプルを二つ作り、サンプルの中量の10倍と20倍の蒸留水を使って脱塩作業を実行した。実験期間は4週間行い、84時間ごとに脱塩水を採取して電気伝達度、pH(Thermo Scientific, Orion Star A325)などの特性を測定し、新しい蒸留水に交換した。採取した脱塩水はIC(881 Compact IC pro)とICP-AES(OPTIMA 7300 DV)を使用してイオンの造成と量を分析して、陶磁器からの塩の溶出特性を考察した。

3. 研究結果および考察

泰安郡馬島の海域から出水された陶磁器の帯磁率、比重、吸水率、気孔率などの物理的特性は陶磁器の種類によって類似しているが、吸水率と気孔率は白磁類の方が比較的に低い。

これは白磁類の胎土の焼結度が他の陶磁器類より高いためである。全種類の陶磁器の胎土は基本的にMulliteとQuartzで構成しており、一部の白磁ではCrystoballiteが同定された。SiO_2-Al_2O_3の相関図によると、白磁類の胎土が一番粘土度が高く、A-CN-K、A-CNK-FMの三角度によるとIlliteへの方向性を見せる青磁類や粉青沙器類と違って、白磁類はSmectiteへの風化の傾向性を見せる。

各陶磁器の造成元素の地球科学的な挙動特性を分析した結果、青磁類や粉青沙器類は全種類の元素で類似した挙動を見せるが、白磁類は不規則な挙動を見せる。したがって、青磁類と粉青沙器類の胎土の起源粘土は一致する可能性があるが、白磁類の場合はすべての陶磁器片が相違な胎土で作られた可能性がある。 一方、胎土の鉱物学的特性によって陶磁器の焼成温度を推定して見ると、すべての陶磁器は1,200~1,300℃程度の温度を達したが、一部の陶磁器は1,500℃までの高温まで達したと判断出来る。

馬島の海域から出水された陶磁器類の脱塩特性を検討するために各陶磁器から採取したサンプルの重量より10倍と20倍の量の蒸留水で実験を行った。まず、10倍の量の蒸留水で実験して84時間ごとに電気伝達度を測定すると、陶磁器の種類に関係なく、電気伝達度の特性によって三つのグループに分かれた。こういう特性は陶磁器の物理的特性によることで、とくに吸水率と気孔率によって影響を受けやすい。そしてまた、陶磁器の表面の状態にも影響を受けられると判断出来る。

実験サンプルの重量より10倍と20倍の量の蒸留水で脱塩した二つの実験の総累積電気伝達度と総溶出イオン量を検討した結果、全体的に20倍で脱塩した場合に電気伝達度の平均が18．3%増加した。中でも青磁類は29．2%、白磁類は42．2%増加したが、粉青沙器類は逆に6．2%減少した。したがって、20倍の蒸留水を使用して脱塩すると全般的に脱塩の効率が増加すると判断するのは難しい。

一方、脱塩の実験を行ったサンプルの中で特性によって代表を選んでそのサンプルから溶出したイオンの特性を分析した。結果、Cl^-、Na^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}の順で多く溶出する。中でCl^-とNa^+が電気伝達度に直接、影響を受けたことが確認出来る。また、吸水率と気孔率とNaClの量は正の関係であって、脱塩が進行するほどNa^+の溶出が比較的に電気伝達度および脱塩度に影響を与える。

胎土の科学的造成によって脱塩特性を検討した結果、主成分元素による電気伝達度の変化が確認出来なかっだが、溶出した陽イオンの総量と電気伝達度からは正の関係性が確認出来る。また、脱塩が進行するほどSi^{4+}が継続的に溶出するので、脱塩作業により陶磁器が損傷を受けると判断出来る。したがって、最も効果的で陶磁器の損傷を最小限にするためには電気伝達度や溶出イオンの量などの脱塩特性をより短期間にモニタリングし、早急な脱塩作業を行う必要がある。

加熱とデンプン粒の変化

Thermal effect on the starch grains

西田泰民(新潟県立歴史博物館)
Yastami Nishida（Niigata prefectural museum of history ）

1. はじめに

近年、考古遺物からその使用時に付着したと考えられるデンプン粒の検出とその所見にもとづいた古食性に関わる研究例が増加している。世界各国でこの分析手法に関わる研究者がいる一方で、デンプン粒が遺跡で長期間保存されるメカニズムについて他の分野の研究者から必ずしも納得の上で受け入れられているわけではない状況にある。特に土器付着炭化物の場合は、単に長期間の土壌中埋没だけでなく調理時の加熱を経ていることから、なぜデンプン粒が顕微鏡下で見いだされるのかという疑問から、検出されたデンプン粒が実際に調理に由来するのか疑われることがある。

こうした課題に対応するため、さまざまな加熱に応じてどのようにデンプン粒の形態が変化するのか Henry ら(2009)は 10 種類の可食植物について６種類の加熱に加えて発酵によるデンプン粒の変化を報告している。また、食品化学分野でもこうした研究例がある(伊藤ら 2009)。結果から見るとおよその傾向として、元の植物を同定できないほどデンプン粒が大きく変化するのは水が加わった調理であり、それ以外の加熱ではそれほど変化を見せない場合がある。依然、土器付着炭化物内のデンプン粒の存在は説明できない状況にある。そこで、改めて土器で各種食品の調理実験を行い、生じた付着物内のデンプン粒の形態を観察し、デンプン粒が同定できる状態で残る何らかの条件があるのかを検討する作業を行っている。

2. 方法

屋外で薪を使用して種々の食材を加熱した調理実験土器（20～25cm 高）が現在 100 点ほど手元にあり、それらの土器に生じた付着物をサンプルとしたほか、実験室内で素焼き土器(約 10cm 高)を使ってコントロールされた状態で食材を加熱し採取したサンプルがある。

付着物は 2%過酸化水素を加えて撹拌し、純水による洗浄を繰り返した後、プレパラートにとり、偏光顕微鏡で検鏡した。

3. 結果

屋外で薪を使用して種々の食材を水とともに加熱した調理実験土器（20～25cm 高）が現在 100 点ほど手元にあり、それらの土器に生じた付着物をサンプルとしたほか、実験室内で素焼き土器(約 10cm 高)を使ってコントロールされた状態で食材を加熱し採取したサンプルを使用した。

検出されたデンプン粒は光学的特性を失い大きく膨んだ形状になっている場合が高率を占める当然ともいえる結果であったが、変形が見られないデンプン粒も存在することがあることが確認できた。これは、考古学試料から抽出されたデンプン粒が調理時の食材を反映する可能性があることを支持する。デンプン粒が形態変化が少ない状態で残る条件について加熱温度、加熱時間、植物種による違いなど要因を検討しており、その結果を報告する。

この研究は科学研究費基盤研究（B）15H03262、および総合地球環境学研究所プロジェクト「地域に根ざした小規模経済活動と長期的持続可能性」の成果の一部を含む。

The reports of the starch grains extracted from the residues on archaeological finds and also the studies on the paleodiet based on these observations have been considerably increased in recent years. Whereas the researchers on this subject are distributed worldwide, the mechanism of the long term preservation of starch grains in archaeological sites is still not well explained and sometimes critically accepted by the researchers of the other fields. Especially with the foodcrusts on pottery, these are not only have long burial in sediments but also have been exposed to heating through cooking. With the suspition of why the starch grains could have survived in that condition, some doubt the authenticity of starch grains reported, if these actually derive from cooking.

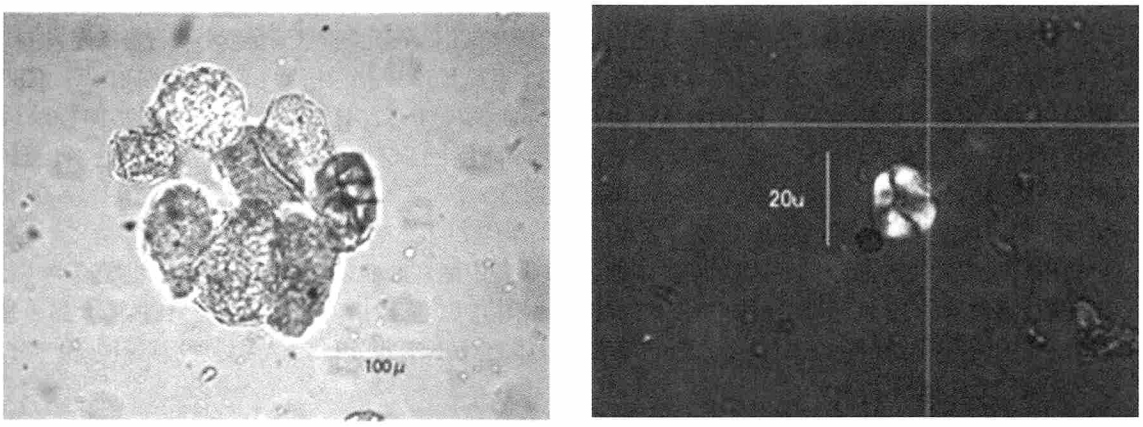
In resonse to these problems, Henry et al. (2009) made observations on the changes of starch grains during cooking with several methods including fermentation. Similar experiments are also reported in food science (Ito et al. 2009). The results show that cooking with water causes drastic changes to the starch characteristics, but in some of other cooking methods, the grains do not change much. Still we do not have a theory on approving or explaining the authenticity of starch grains extracted from pottery residues.

The author has been making cooking experiments with claypots. Using the samples at hand he is trying to find out which of the factors, such as heating tempereature, heating duration and the kinds of the plants cooked could affect the preservation of original starch grain characteristics.

Reference

Henry A. G., Hudson H. F. & D. R. Piperno. 2009 Changes in starch grain morphologies from cooking, Journal of Archaeological Science 36 , pp.915–922

伊藤友美・松井 秀親・大脇 一輝・安達 卓生・山田 哲也 2009「油脂との加熱処理によるデンプンの特性変化」『瀬木学園紀要』3, pp.7-13



左：膨潤したデンプン粒　右：光学的特性を残すデンプン粒

Left: Bloated starch grains　Right: starch grain with optical characteristics

土器付着物を用いた擦文文化の食性分析

Analyzing food habits using charred remains on pottery from the Satsumon culture

○國木田大(東京大学)、高瀬克範(北海道大学)、熊木俊朗(東京大学)、松崎浩之(同左)
○Dai Kunikita (The University of Tokyo), Katsunori Takase (Hokkaido University), Toshiaki Kumaki (The University of Tokyo), Hiroyuki Matsuzaki (The University of Tokyo)

1. 研究の背景

本発表では、擦文文化の食性に関して、土器付着炭化物の炭素・窒素同位体比、C/N 比を用いて検討を行う。今回取り扱う札幌市周辺では、フローテーション法によって炭化種子をはじめとした動植物遺体の情報が蓄積されている(例えば吉崎 2003)。これらの結果から、一般的に擦文文化の食性は、サケ・マス類や雑穀の利用が主であったと理解されている。近年では、共同研究者の高瀬により、土器の圧痕レプリカ法の検討も進められており、暫定的な結果も報告されつつある(高瀬 2017)。本研究では、さらなる議論の深化を目指し、土器付着炭化物という観点から食性復元を試みたい。現状では、昨年度発表を行ったオホーツク海沿岸地域(北見市常呂川河口遺跡、大島 2 遺跡:國木田ほか 2016)と、今回の石狩低地帯(札幌市周辺)の比較検討を進めている。採取試料の分析が完全に終了しているわけではないため、本稿では現状での結果報告と今後の展望について記しておきたい。

土器付着炭化物の同位体分析に関しては、本学会のポスター発表「東北地方北部の弥生時代における土器付着物を用いた食性分析」もあわせてご参照頂ければ幸いである。上述の通り、擦文文化に関しては、サケ・マス類と、アワ・キビをはじめとした C_4 植物である雑穀の評価が重要な課題になる。擦文文化の土器付着物の分析は、過去に ^{14}C 年代測定が実施され、その年代や $\delta^{13}C$ 値の傾向から、海生生物の寄与が報告されている(本庄ほか 2005)。本発表では、その当時検討がなされなかった窒素同位体比と C/N 比を追加するものである。本分析は、圧痕や動植物遺体が検出できない遺跡に関しても食性を議論できる点で非常に有用と考えられる。

2. 分析試料

本稿での主たる研究対象は、札幌市域から出土した擦文文化の復元個体で、全てが報告書に掲載されている個体である。現状での分析試料は、K460 遺跡(1 点)、K523 遺跡(1 点)、K528 遺跡(1 点)、K39 遺跡(5 点)、K499 遺跡(2 点)、K501 遺跡(1 点)、K441 遺跡(1 点)、H519 遺跡(1 点)、K518 遺跡(4 点)の計 17 点で、試料は全て内面付着物である。紙面の都合上、試料の詳細は割愛させて頂く。各土器個体の時期は、宇田川編年前期が 9 点、宇田川編年中期が 2 点、宇田川編年中期～後期が 1 点、宇田川編年後期が 2 点、宇田川編年後期～晩期が 3 点になる。年代に関しては、臼杵ほか(2007)を参考にすると、宇田川前期が 7 世紀前葉～10 世紀前葉、中期が 10 世紀中葉～11 世紀前半、後期が 11 世紀後半～12 世紀前半、晩期が 12 世紀後半～13 世紀代になる。比較検討で提示している常呂川河口遺跡、大島 2 遺跡は宇田川編年後期～晩期にあたる。炭素・窒素同位体比、C/N 比測定は、AAA 処理済試料を SI サイエンス株式会社に依頼している。

3. 測定結果と考察

今回と昨年度の試料 31 点を図 1・2 に図示している。全ての試料で、炭素・窒素同位体比がともに高い傾向を示すことから、海洋起源の内容物の可能性が高い。札幌市周辺試料は、宇田川編年前期～晩期(約 700 年間)と幅広い時期を対象としているが、時期的な変化は確認できなかった。また、札幌市周辺と常呂町内遺跡の比較でも顕著な違いは見当たらない。主たる研究課題であるサケ・マス類と C_4 植物に関しては、一見して C_4 植物単独での内容物は確認できない。ただし、図 1 の分布がやや右下がり傾向であること、図 2 で C/N 比が 15 以上と比較的高い値を示す試料があり、C_4 植物が混入している可能性は高い。C/N 比が高

い(窒素含有率が低い)試料が C_4 植物の影響かどうかは、^{14}C 年代測定をあわせて行うことで判断できる可能性もあるため、今後詳細な検討を進めていきたい。

今回の結果から、擦文文化もオホーツク文化と同様に海洋資源に強く依存した食性がうかがえる。もちろん、土器付着物は食性の一部を表しているに過ぎなく、過大評価の恐れもあるため、他の分析結果との比較検討が必要になる。高瀬（2017）によると、アワ・キビは擦文文化になって出現することから、今後は擦文文化以前の続縄文や縄文時代の試料と比較検討する必要がある。また、札幌市域の扇状地や低地における人類活動は、続縄文文化期になってからであり、サケ科魚類の捕獲との関連性が指摘されている点も注目される。米田（2002）の人骨のコラーゲン分析によれば、縄文文化や続縄文文化と比較してアイヌ文化期は海獣への依存が減少し、サケ等の魚類と陸上の動植物を組み合わせた食性に変遷することが指摘されている。残念ながら、擦文文化の人骨データは非常に少ないため、今回の結果と比較検討を行うことはできない。今後、通時的な分析を実施することで、これらの研究とも比較検討を行いたい。

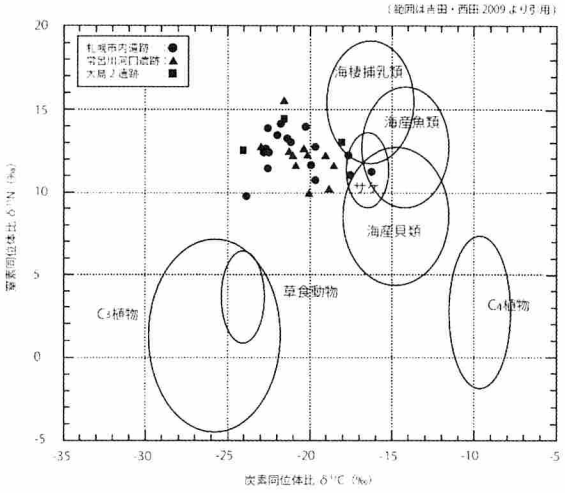


図 1 炭素・窒素同位体比

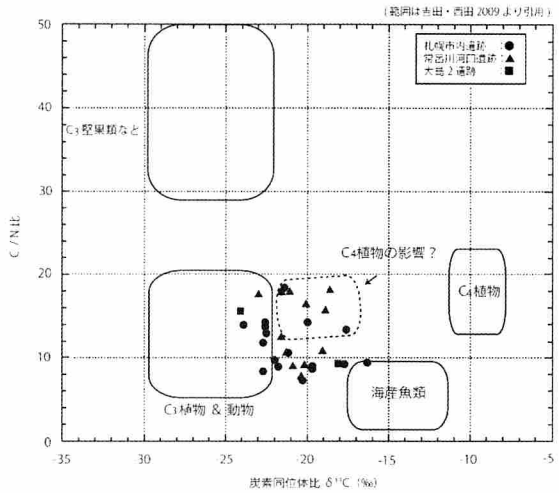


図 2 炭素同位体比と C/N 比

謝辞

試料採取に際して、札幌市埋蔵文化財センターの仙庭伸久氏、藤井誠二氏にお世話になった。記して感謝申し上げる次第である。

参考文献

臼杵勲・熊木俊朗・高瀬克範 2007「北海道における続縄文～アイヌ期諸文化の暦年代の想定」『北海道における古代から近世の遺跡の暦年代 研究成果報告書』48-54

國木田大ほか 2016「大島 2 遺跡の放射性炭素年代および土器付着物を用いた食性復元」『日本文化財科学会第 33 回大会研究発表要旨集』128-129

高瀬克範 2017「レプリカ法を用いた縄文・続縄文・擦文土器の研究－札幌市出土土器を中心に－」『日本列島北部の穀物栽培(科学研究費補助金 平成 28-31 年度 基盤研究(A)「東日本における食糧生産の開始と展開の研究－レプリカ法を中心として－(研究代表:設楽博己)」公開シンポジウム要旨集)』21-24

本庄かや子ほか 2005「擦文時代の遺跡から出土した遺物の ^{14}C 年代測定－旭川市の擦文遺跡から出土した土器の付着炭化物を中心に－」『日本文化財科学会第 22 回大会研究発表要旨集』124-125

吉崎昌一 2003「先史時代の雑穀:ヒエとアズキの考古植物学」『雑穀の自然史－その起源と文化を求めて－』52-70

米田穣 2002「骨が語る食生活」『北の異界 古代オホーツクと氷民文化』94-96

3日目
6月11日
A会場
B会場

タイ国、世界遺産・アユタヤ遺跡の総合的保存、活用施策

Comprehensive Policy for the Conservation and Utilization of a World Heritage Site, Historic city of Ayutthaya, Thailand

○西浦 忠輝(関西大学)、 友田 正彦(東京文化財研究所)
○Tadateru. Nishiura (Kansai University), Masahiko. Tomoda (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1 はじめに

ユネスコ主催の国際シンポジウム「世界遺産地域におけるレンガ造遺構の保存[1]」が、2016年10月にタイ国アユタヤ市において開催された。きっかけとなったのは、2011年の大洪水によるアユタヤ遺跡の被害である。したがって、シンポジウムの主題はアユタヤ遺跡の保存に関するものであった。

西浦は、2014年5月にユネスコの依頼により、イコモス推薦の専門家として、2011年大洪水後のアユタヤ遺跡の調査を行いレポートを提出した[2~4]。筆者2人は、本シンポジウムで招待講演を行い、またパネルディスカッションのパネリストを務めた。ここでは、本シンポジウムで議論された世界遺産アユタヤ遺跡の保存と活用についての論点と筆者の視点、考察について述べる。

2 アユタヤ遺跡の歴史、現状、課題

アユタヤ遺跡は、チャオプラヤー川などに囲まれた中州にある。周りに防御のために掘られた運河があり、王宮跡や多くの寺院跡が遺されている。

この遺跡はアユタヤ王朝(1351年~1767年)の栄華を伝えるもので、最盛期には現在のラオス、カンボジア、ミャンマーの一部を領有するほどの勢力を持っていた。中心都市であるアユタヤ地域は、流れの穏やかなチャオプラヤー川を利用する、貿易には最高の地形であった。独占貿易で莫大な利益を収め、上座部仏教を信仰していた王は、その利益を元に多くの寺院を建立した。しかし、1767年にビルマ(ミャンマー)の攻撃によりアユタヤ王朝は消滅した。建造物や石像は徹底的に破壊され、壮大な木造建築であった王宮はその痕跡を遺すのみとなり、レンガ造基礎構造木造建造物であったほとんどの寺院は、レンガを中心に、漆喰、石造物からなる遺構となった。歴史的には建造物はそれほど古いものではないにもかかわらず、廃墟となってしまったのはこのためである。

王朝崩壊後、アユタヤ地域は放棄され、トンブリー王朝を経てバンコク王朝となり、現在へと繋がっている。廃墟であったアユタヤ歴史地区には、その後、地域住民が住み着き、国の近代化とともに発展して市街地化が進んだが、遺構は遺っていた。1967年に新たな法律により国の重要な遺跡として指定され、1968年から本格的な発掘調査、遺跡整備、保存修復事業が行われた。1976年に中心部だけでなく周辺部の遺跡も含めて国立歴史公園に指定された。

1987年から本格的な保存、修復、整備、活用に向けてのマスタープランの作成が開始され、1991年の世界文化遺産登録を経て、1993年にマスタープランが正式に国会で承認された。マスタープランに則って整備が進められてきたが、ほぼ10年ごとに見直され、更なる、保存、活用に向けての新たなマスタープランが作成されている。

前述のように、アユタヤ歴史地区は徹底的に破壊されて廃墟と化し、遺構だけが遺る遺跡地域なので、建造物遺構の風化は経時的に進んでいる。さらに歴史地区の中心部は川、水路に囲まれており、大雨による洪水の被害をしばしば受けている。特に2011年の洪水は大規模なもので、大きな被害を受けた。洪水被害は治水と密接に関係する。アユタヤ王朝時代には、自然な水の流れを考えた治水が行われていたが、現在は道路により水路(運河)が寸断されるなど、環境が大きく変わった状況にある。

保存修復については、遺構の現状保存がどこまで可能なのか、修復(復元)はどこまで行うのか、遺跡の活用としての観光開発と保護との関係など、今後、調査、検討すべき課題は多い。

3 主な論点と考察

3.1 遺構は建造物か廃墟モニュメントか

アユタヤ遺跡はレンガ造建造物群遺跡といわれる。実際、多数のレンガ積構造半木造建造物(主に仏教寺院)が存在していた(ただし、最大の建造物であった王宮は全体木造であった)。これらの建造物は、徹底的に焼失、破壊されて、遺構と化し、それが現在遺されているのであるが、これらを建造物とみるか、あるいは元建造物の残骸モニュメントとみるかによって、その保存、修復、整備方針、計画は大きく異なる。

モニュメントであれば、如何にして現状を維持するかを基本に考える。建造物であれば、建造物であることが理解されるべく、構造体としての保存、修復あるいは復元が必要となってくる。木造であった王宮の場合は、復元なしには全く建造物の体をなさない。建造物かモニュメントかの基本認識を明確に共有することが、その保護、活用を考える上で必須であろう。これは文化遺産とは何かという哲学の問題で、認識の一致はきわめて困難である。しかし、それは不都合であっても決して悪いことではない。様々な考え方があるなかで十分な議論が行われることこそ重要あろう。何故ならば、文化遺産の保護、活用そのものが現代の文化であるから。

3.2 洪水対策

2011年の大洪水によって、アユタヤ歴史地区は水没し大きな被害を受けたが、それ以前にもたびたび洪水は起きていた。この地域の多くの民家が高床式になっている事実

が、そのことを証明している。チャオプラヤー川の氾濫による洪水は、首都バンコクを含む広い流域で起こる広範囲の災害であり、タイ国政府が大きな国家的課題として対策に取り組んでいることはいうまでもない。ここでは、あくまでアユタヤ歴史地区に限定しての洪水被害対策について議論された。その主な内容は下記の通りである。

1) 城壁の復元

アユタヤ王朝時、洪水被害対策（水の浸入阻止、あるいは進入速度の減衰）としての城壁の役割は大きく、城壁内の中心部は護られたのではないかと推測される。アユタヤが放棄された時点でも城壁はかなり残っていたが、バンコク王朝建立時に、そのレンガをバンコクに運んで再利用したと伝えられている。であれば、城壁の復元は歴史的にも十分な正当性があるといえよう。この城壁が洪水被害の軽減に役立つのであれば、是非検討すべき課題というべきである。

しかし、それには大きな問題がある。城壁のあった場所のかなりの部分が現在は道路となっているからである。城壁を復元するためには、現在の道路を除去し、新たな道路を造らなければならないことになる。社会的、経済的影響が甚大なこの工事を行うには、よほどの長期的見通しと決断が必要であろう。

2) 治水対策としての水路の整備（復元）

アユタヤ王朝時代は水路（運河）が整備され、船が主要な交通手段であった。水路は繋がっており、堰等により適宜、水の流れを調整することによって、洪水の被害を軽減することができたと考えられる。しかし、現在は道路建設等によって水路は寸断されて繋がっておらず、局地的治水対策が取れない状況となっている。

そこで、水路の整備（復元）を行って、水の流れを復活させ、局地的治水対策が取れるようにすることが考えられる。この場合、水路寸断の原因となっている道路の改修が必要である。すなわち、水路復元に伴い、水路との交差部分を橋梁とする必要がある。また、水路も治水対策に耐えうるだけの深さと護岸の強度が要求されるので、大規模な土木、建設工事が必要となる。

3) 総合交通システムの変更

前述の問題を一気に解決する方法として、総合交通システムの変更が、少なくとも理論上は考えられる。アユタヤ歴史地区の交通を水路に委ねるのである。歴史地区内の道路は車両禁止とし、徒歩以外の移動、ならびに輸送は水上交通とするのである。実際、「水の都」と称される世界遺産・ヴェネツィアの旧市街はそうである。同じく水の都で、東洋のヴェネツィアと呼ばれることもあるアユタヤ歴史地区としては、検討に値するアイディアといえる。

この場合も、街並み、生活をアユタヤ王朝時代に戻すのではなく、あくまで、総合交通システムを変えるだけで、基本的な住民や観光客の現代的な生活を犠牲にするものではない。とはいえ、きわめて画期的な試みであり、壮大なマスタープランのもとに行われるべき大政策であることは間違いない。

4) 人工的水遮断壁の設置

具体的、即効的な洪水対策としての人工的水遮断壁設置は、数年前にチャイワッタナラム寺院で行われた。現在、有効に機能しており、評価されている。しかし、これはあくまでも抜本的な対策が行われるまでの一時的な臨床的応急対策であって、景観の問題も含め、本質的なものではないとの見解で一致している。この手法が、遺跡全体で今後広く応用される方向にはない。

3.3 遺跡保護と地域住民の生活

アユタヤ歴史地区は、遺跡部分を除けば、通常の街として機能している。住民の移住促進による遺跡地域の整備は、1960 年代以降現在に至るまで続けられているが、スコータイ遺跡のような遺跡公園化は現実的ではない。とはいえ、今後、水路の復元整備等を行う場合は勿論のこと、遺跡保護をより円滑、有効に進めるためには、住民の移住をより促進していくことは必要である。この場合、地域住民の不利益にならず、将来が見える形での明確なマスタープランの策定が求められることは言うまでもない。世界に波及しうる良い例を、是非、アユタヤで示してもらいたい。そのためにも、文化遺産関係だけでなく、広い分野の専門家の参画が大いに期待される。

3.4 観光地としてのアユタヤ歴史地区

アユタヤ歴史地区はの重要な観光地である。文化的価値だけでなく、経済的価値も大きく、観光開発は国、地域の重要な施策である。しかし、観光集客を意図した安易なテーマパーク的遺跡公園化だけは、何としても避けてもらいたい。遺跡の本当の価値を強く訴える上で、歴史、文化の専門家の役割はきわめて大きく、その意味でも、国際的な情報の公開と連携は重要である。

4 今後の展望

2011 年の大洪水被害をきっかけに促進されたアユタヤ遺跡保護国際協力推進の一環として開催された今回の国際シンポジウムにおいて、具体的な技術論よりも、より本質的、包括的な議論が行われたことは、ある意味必然であったといえよう。基本的な問題点について、広く関係者が認識を共有することが、まず第１に大切なことであるからである。本シンポジウムを、新たなスタートとして、種々の活動を通じて、アユタヤ遺跡のより良い保護と活用に向けて広い専門家の結集が大いに期待される。

文献等

1) Http://www.unescobkk.org/culture/heritage/wh/conservation-symposium/

2) 西浦忠輝：大洪水後のアユタヤ遺跡の保存と今後の対策、日本文化財科学会第 32 回大会研究発表要旨集、52-53(2015)

3) Tadateru NISHIURA: Conservation of Ayutthaya Historical Site as a Result of Major Floods, The Journal of Center for the Global Study of Cultural Heritage and Culture, Kansai University, pp81-87 (2015)

4) 西浦忠輝：大洪水後のアユタヤ遺跡の保存について、文化遺産学研究 No.8, 81-85(2015)

非公開

非公開

3日目
6月11日
A会場
B会場

縄文・弥生時代出土鱗茎の同定方法の開発と利用例

Development and application of an identification method of excavated bulbs from archaeological sites of the Jomon and Yayoi periods

○佐々木由香(パレオ・ラボ／明治大学黒耀石研究センター)・米田恭子(パレオ・ラボ),
小林和貴(東北大植物園)
○Yuka Sasaki (Paleo Labo Co., Ltd. / Center for Obsidian and Lithic Studies, Meiji Univ.), Kyoko Yoneda (Paleo Labo Co., Ltd.), Kazutaka Kobayashi (Botanical Gardens, Tohoku University)

1. はじめに

遺跡から出土するいわゆるネギ類である鱗茎は、生の状態では残存せず、炭化して残存する。炭化して残存している鱗茎は当時食用にされた可能性が高いが、鱗茎の種の同定は困難であった。これまで発表者らは、鱗茎の外部形態と鱗茎葉の細胞形態に注目して、現生の未炭化の鱗茎と炭化資料で種レベルの識別方法を検討し、ネギ属ノビル型・アサツキ型・ヤマラッキョウ型、ツルボ属ツルボ型、ヒガンバナ属型、アマナ属アマナ型にタイプ分けできることを示した(米田・佐々木, 2012, 2013;佐々木ほか, 2014, 2015, Sasaki et al. 2016)。本研究では、さらに種レベルで同定できる方法を検討し、縄文時代及び弥生時代出土の土器付着炭化鱗茎の同定を行って、鱗茎の利用と時期別の利用傾向を検討する。

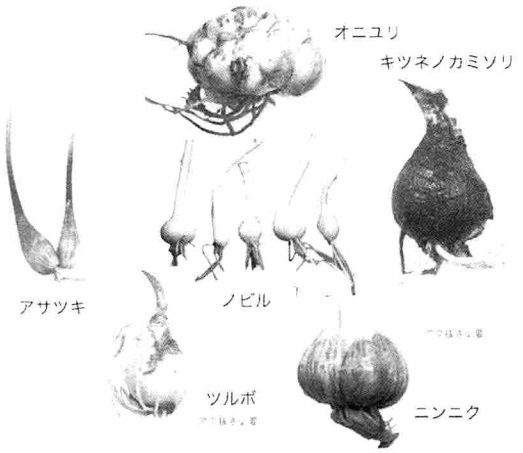


図1　食用可能な鱗茎の種類（佐々木 2014）

2. 鱗茎の研究史

鱗茎(りんけい)とは、鱗片が複数重なる構造をもつ球根である。食用可能な鱗茎には、野生植物ではノビルやアサツキ、ヤマラッキョウ、ツルボ、アマナ、キツネノカミソリ、外来植物ではヒガンバナ、栽培植物ではニンニクやラッキョウなどがある(佐々木2014;図1)。遺跡から出土する鱗茎は、土器内で調理されて炭化し、土器の内面に密着して出土するもの(土器付着鱗茎)と、炉などから単独で出土して食料にされたと推定されるものがあり、異なる調理方法があったと推定される(図2)。いずれも当時の植物質食料と考えられるが、炭化していて状態が悪く、これまで外部形態や細胞形態での同定は困難であるとされてきた(中沢 2008)。

図2　出土炭化鱗茎の種類（佐々木 2014）

3. 鱗茎の同定方法

現生鱗茎の資料は国内および韓国で食用可能な鱗茎 10 種類を得ることができた。これらの現生炭化鱗茎と出土鱗茎を比較することにより、外部形態(横断面)と細胞構造(表皮・下表皮(葉肉)細胞)が識別に有効な

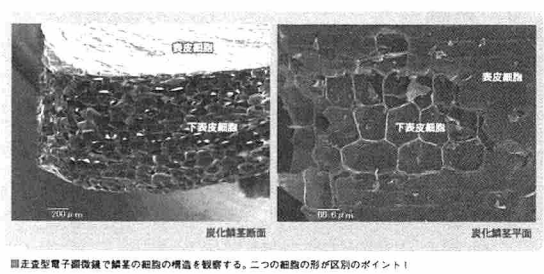


図3　現生鱗茎の構造（佐々木 2014）

ことを発見した(図4、佐々木 2014)。さらに、ツルボには葉肉細胞内に形成されるシュウ酸が識別点になると発見した。また土器を用いて炭化実験を行い、デンプン質を多く含むツルボの鱗茎のみが出土土器付着鱗茎と同じように密に付着する点を確認した(図4、佐々木他 2015)。

4. 土器付着炭化鱗茎の同定結果

この方法を用いて、国内最古の土器付着鱗茎である縄文時代前期の福井県鳥浜貝塚と、縄文時代中期の山梨県前付遺跡、弥生時代前～中期の徳島県庄・蔵本遺跡の土器付着鱗茎の同定を行い、ツルボであることを実証した。さらに韓半島の新石器時代早期の蔚山市細竹遺跡の土器付着炭化鱗茎もツルボと同定し、ツルボが韓半島の新石器時代でも利用されていたことを実証した(図5)。

5. おわりに

土器付着炭化鱗茎は、縄文・弥生時代の土器内で鱗茎を加工されたことを示し、本研究ではそれが「ツルボ」であることを明らかにした。ツルボの利用は韓半島の新石器時代でも確認され、日韓の新石器時代では重要な食料資源の一つであった可能性がある。ツルボは、キジカクシ科ツルボ属の多年草であり、土手や日当たりの良い場所に生える(林, 1983)。えぐみがあるため、利用にあたってはアク抜きが必要で、民俗事例では水にさらしたり、数日間の煮沸を行ったとされる。土器に付着した鱗茎も煮沸の途中に焦げてしまったと考えられる。

今後は本研究の手法をさらに発展させて、土器付着鱗茎とは異なると種とされる炉などから単独で出土する鱗茎の種類を明らかにする。次に、新石器時代の鱗茎の植物利用文化の起源と、伝播、利用技術の地域性、時期的変遷などの時空間的な情報を植物考古学的に解明に取り組む。

図4　段階別の鱗茎調査方法

図5　新石器時代出土鱗茎の位置と調査地（未公表）

引用文献（本研究は、JSPS 若手 B 科研費 25870804（代表：佐々木由香）の助成を受けた。各遺跡の報告書は省略した。）

佐々木由香. 2014. 縄文人の植物利用―新しい研究法からみえてきたこと―. 工藤雄一郎・国立歴史民俗博物館編「ここまでわかった！縄文人の植物利用」26-45, 新泉社.

佐々木由香・米田恭子・小林和貴. 2014. 遺跡出土鱗茎同定のための識別方法. 日本植生史学会第 29 回大会要旨集, 43.

佐々木由香・米田恭子・小林和貴・安在晧・鯵本眞友美. 2015. 韓国新石器時代早期と縄文時代前期出土鱗茎の同定. 日本植生史学会第 30 回大会要旨集, 44.

Yuka Sasaki, Kyoko Yoneda, Kazutaka Kobatayashi, Shuichi Noshiro, Jae-ho Ahn, Mayumi Ajimoto. 2016. Identification of charred bulbs in prehistoric periods of Korea and Japan. The Eighth World Archaeology Congress Book of Abstracts, 310.

中沢道彦. 2008. 縄文土器付着炭化球根類の検討. 小畑弘己編「極東先史古代の穀物 3」: 7-24, 熊本大学埋蔵文化財調査室.

林　弥栄. 1983. 日本の野草. 719p, 山と渓谷社.

米田恭子・佐々木由香. 2012. 形状および細胞形態の比較による遺跡出土炭化鱗茎同定の可能性. 日本文化財科学会第 29 回大会研究発表要旨集, 174-175.

米田恭子・佐々木由香. 2013. 形状および細胞形態からみた縄文時代出土炭化鱗茎の同定法（予察）. 日本植生史学会第 28 回大会要旨集, 72.

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分析

○江南和幸*、徐小潔**、岡田至弘*、中尾靖***
*龍谷大学、**東洋文庫、***中尾書店

Analysis of Paper used for Picture Books published in Kyto/Osaka and Edo during Edo era

○ ENAMI Kazuyuki*,Xu Xiaojie**,OKADA Yoshihiro*,NAKAO Yasushi***
*Ryukoku University,**Oriental Library,***Nakao Bookshop

1. はじめに

明時代の中国に始まる庶民をも対象とした出版文化勃興の波は、間もなく日本にも及び、17 世紀の江戸中期以降になると、今度は日本が、漢籍の翻刻版・中国小説の翻訳版はおろか、大量の独自の庶民の読み物、絵入り本の出版を誇る世界でも有数の出版王国となるにいたった[1]。江戸時代、長屋住いの庶民まで巻き込む読書熱を支えたのは、大量の和紙の生産であった。

江戸期の隆盛な出版文化を支えた紙はどのような紙であったのか。これまでも「和紙」の研究では、壽岳文章[2]に代表される優れた研究があり、楮紙、雁皮紙、三椏紙の特性、それらの産地、紙づくりの技など、詳細な報告があるが、江戸期の出版文化と紙との具体的な関係を、具体的な刊本の用紙の分析から研究したという報告はほとんど見当たらない。今回、元禄から幕末に至る、当時の3大出版都市、上方(京都・大坂)刊本、江戸刊本の絵入り本を中心とする、50 数点の書籍の用紙を、デジタル顕微鏡で詳細に分析を行った結果を以下に示す。

2. 実験方法

今回観察に用いた刊本は、いずれも刊記(出版元・刊行期)の分かるもので、上方刊本は、「都名所図会:初版」、橘保國の「絵本野山草:初版」など 25 点、江戸刊本は、「花壇地錦抄:初版」、「江戸名所図会:初版」、など 13 点の絵入り本、比較のために加えた漢籍翻刻版、仏教書などである。一部は東洋文庫書蔵本、龍谷大学図書館書蔵本を観察したが、多くは個人蔵の書籍である。観察には、キーエンス:VHX-500, VHX-5000 デジタル顕微鏡を用いた。

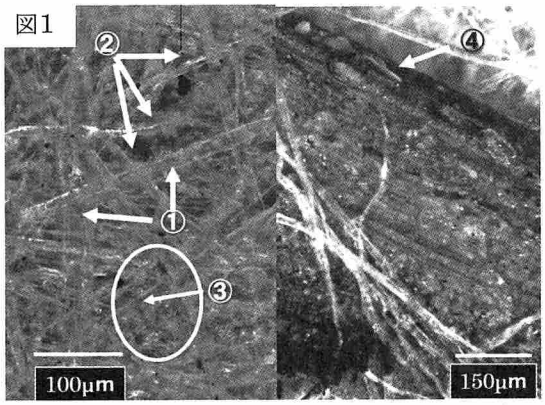
3. 実験結果と考察

今では、貴重な世界遺産となった現代「和紙」には、原料植物の遺物はほとんど見られないが、大量に作られたいわば日常使いの江戸時代の紙には、刊本用紙にも、しばしば多くの原料植物遺物が見つかる。古い時代の紙の分析には、「繊維」の同定も必須であるが、植物遺物、また米粉などの填料の観察・分析が必須の方法である。

これに着目して分析を行った結果、京都刊絵入り本を中心とする上方本のうち、22 本には「楮+三椏・米粉入り」という上質な紙、同様に江戸刊本の、これも絵入り本の 11 本には、「楮+稲わら繊維・米粉入りまたは米粉なし」のいわば質の劣る「下りもの」の紙が使われていたことが判明した。享保以降、上方を凌駕する出版を誇るようになった江戸の出版業ではあるが[1]、紙については上方刊本に劣る紙を使っていたという、興味ある事実が見つかった。大坂西浜の紙問屋が支配していた、当時の紙をめぐるビジネスの姿が[2]、それぞれの都市の出版文化に映し出されたものと推測される。

以下に、その具体例として、江戸刊「花壇地錦抄」、同「北斎画本東都遊:彩色版」、京都刊「吾嬬路記」、同「都名所図会」、大坂刊「彩色刷物」各本の用紙の顕微鏡写真の解析結果を示す。

写真の上の記号は、江戸刊本は①:楮、②:稲わら繊維、③:米粉、④イネ表皮遺物。上方刊本は、①:楮、②:三椏繊維、③:米粉、④:三椏表皮・茎遺物である。



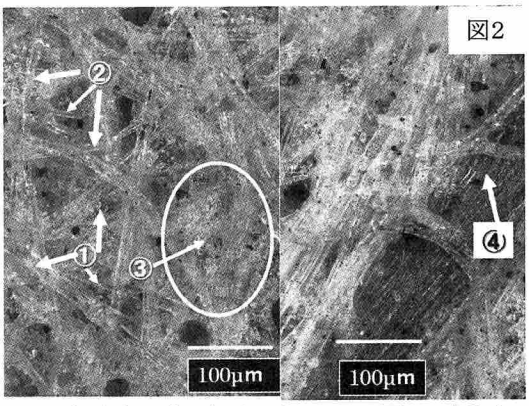
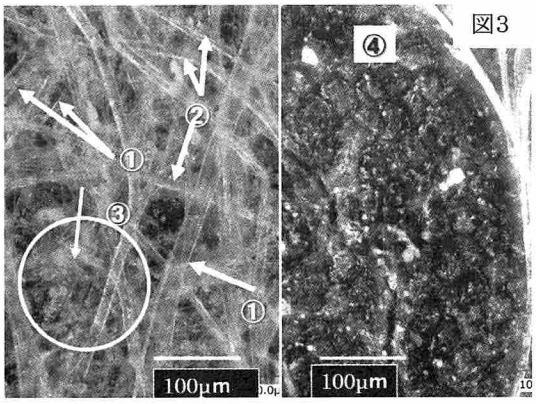


図1「花壇地錦抄」1695年，江戸刊本。④イネ茎表皮特有の短毛が見える→。図2「北斎画本東都遊：彩色版」1802年，江戸刊本。④にイネ茎表皮特有の気孔細胞がある→。



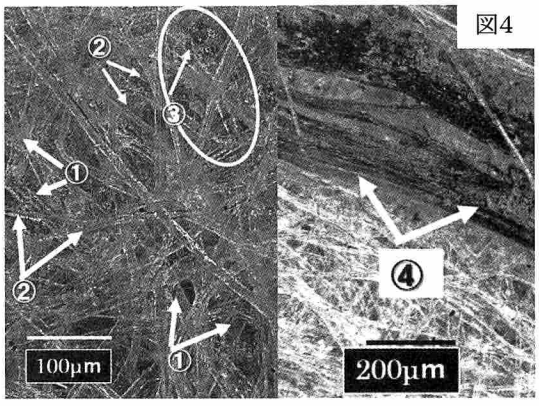


図3「吾嬬路紀」、安永期再刊、京都刊本。④に三椏茎表皮特有の不定形の鱗片が見える。図4「都名所図会」、1780年、京都刊本。④に三椏茎に固有のコイル状導管細胞が見える、→。

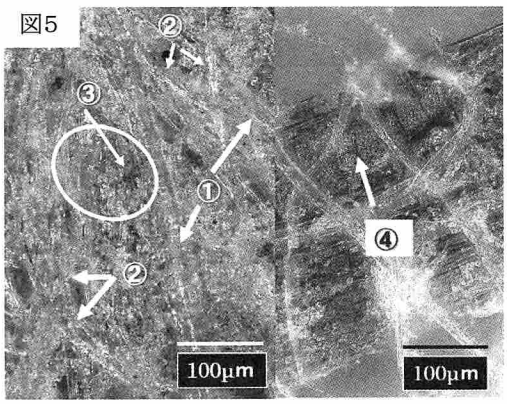


図5「七夕の逢瀬」、1814年、大坂刊刷り物。④に三椏茎に特有の太巻きのコイル状の導管細胞が見える→。

日本では従来より楮紙、三椏紙、雁皮紙の3種類のほぼ純粋の紙が主力製品であるが*、なぜ上のような混合紙、しかも稲わらまで混ぜた紙が使われたのか？それは絵入り本の印刷効果を保証するために、楮繊維の隙間を埋める目的で、極細の三椏、稲わら繊維を漉きこみ、さらに効果を上げるため米粉を混ぜた紙が、刊本用紙としてわざわざ作られたものと思われる。日本では稲わら(入り)紙は下ものとされるが、実際には大量の江戸刊本の出版のためには、稲わらの使用は不可欠であったことが伺える。江戸期の紙作りを見直す必要があることを示している。

文献

[1]「和本のすすめ」:中野三敏、岩波新書、2011年
[2]「日本の紙」: 壽岳文章、吉川弘文館、1967年
[3] *大蔵永常の「[illegible]益国産考」に、筑後で、楮に藁を細かく切って入れた紙を作ること、武州玉川で、三椏に楮を入れた「和唐紙」を漉くこと、が紹介されている。さらに詳しく調べる必要があろう。

錫を装飾に用いた古墳出土鉄製品の新事例

New example of the old burial mound exhumation ironwork which used tin for decoration

○比佐陽一郎（福岡市埋蔵文化財センター）
Yoichiro Hisa (Fukuoka City Archaeology Center)

1．はじめに

古代の金属製品において、錫は青銅の材料の一つとしてよく知られている。一方で、数は多くないものの、弥生～古墳時代の考古資料に錫が単体で使用されている事例もあり、成瀬正和氏らの先行研究によって整理、周知されてきた[1)]。演者も過去、福岡市を中心に福岡県内の事例紹介を行ってきたところである[2) 4)]。

今回、新たに古墳時代の資料で、錫が用いられたことを確認するとともに、近年、文化財の分野で著しい成果を上げているX線マイクロCT調査によって、資料の中での錫の使用状況を3次元的に明確にすることができたので報告する。

2．資料の概要

資料は古墳時代後期の馬具に用いられたと見られる帯金具3点である。平成13年度に実施された福岡市西区の浦江遺跡5次調査で、SO-03とされる古墳時代後期（6世紀中頃）の円墳主体部から出土した[3)]。

3点はほぼ同型同大、一辺が約3.5cmの方形で、頭部の径が10mmほどの鋲が4箇所に打たれているが、一部の鋲頭は失われている。厚さは板の部分で2mm前後、鋲は脚の残存部まで含めると12～13mmを測る。肉眼で見る外観は、鉄錆で全体が覆われており、鉄を主体とする素材で構成されていることが予測された。

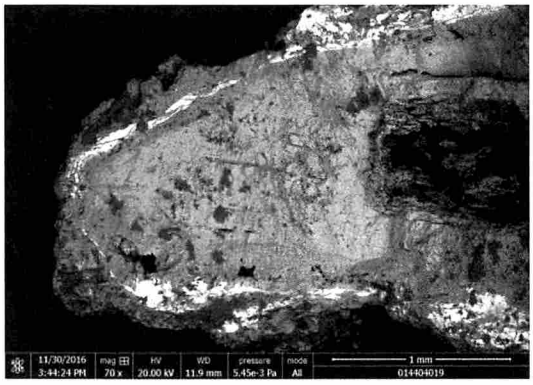
資料の外観

3．調査の経過

出土して間もない時期に、福岡市埋蔵文化財センターで透過X線撮影を行い、鋲の部分を中心に色が濃く写る部分が認められた。このため、微少部用の蛍光X線分析装置による表面の非破壊分析を行い、錫の存在を確認した。しかし、この段階では錫がどの部分にどの様に使われているのかなど詳細を知るすべはなく、漠然と鋲頭の装飾に用いられたと推測していた。

その後、諸般の事情により調査が滞っていたが、平成27年度以降に当センターの機器類が更新されたこともあり、改めて調査を行ったところ、錫が資料の中で広範囲に存在する可能性が示された。

まず透過X線撮影では、X線の受光部がI.I.（イメージインテンシファイア）からFD（フラットパネル）へと変化し、画像が鮮明となった。その結果、色の濃くなっている部分が資料の広範囲に散在している様子が看取された。また、電子顕微鏡により表面観察を行ったところ、

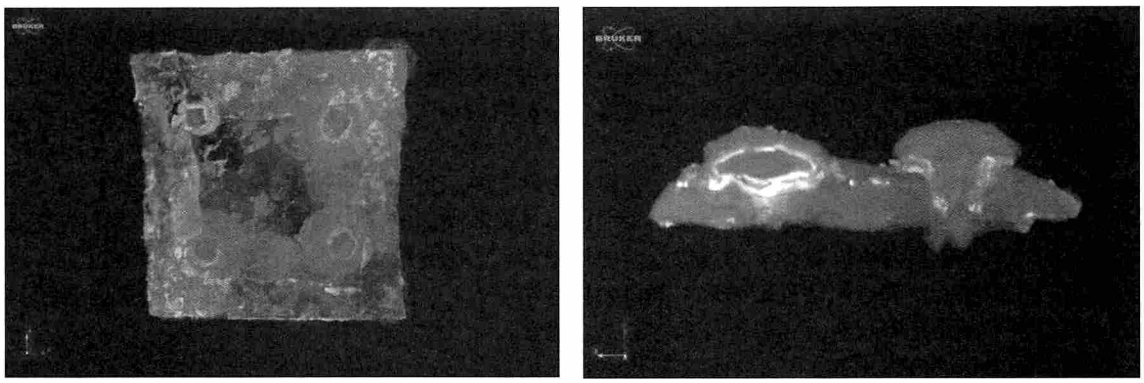


電子顕微鏡による破断面の観察画像

特に反射電子像で錫が表出している部分が鋲頭以外にも観察できた。しかし、錫の使用状況の全体像を知るには限界があった。

そのため、X線マイクロCTを用いた調査を行うこととした。調査はブルカー・エイエックスエス社の協力を得て、同社のマルチスケールX線ナノトモグラフィシステム SKYSCAN 2211 を用いることができた。この装置は最小ピクセルサイズ 100nm の高分解能撮像に対応した高精細CCDと大型FDの2種のカメラを備え、20~190kV 可変の加速電圧により、幅広い材料の測定を可能にしている。今回は、加速電圧 185kV、ピクセルサイズ 40μm の条件を用いることで、高密度な鉄製品についても十分に透過し、非破壊で資料内部の情報を得ることが可能となった。

調査の結果、本資料において錫は、薄板状に加工したものを用い、鉄の地板より一回り大きいもので全体を覆うようにかぶせて、端部を裏側に折り曲げている状況や、鋲にも地板とは別個に錫を被せている状況が確認された。



マイクロCTの画像

4．まとめ

古墳時代の鉄地に錫装飾を施した資料については、過去、本学会において、福岡県福津市勝浦高堀遺跡出土大刀の環頭部分に施された事例の紹介を行ったが[4]、この時には錫使用の範囲や構造は明らかにし得なかった。しかし、今回の帯金具の例では、鉄地金銅板張と同様に錫板が用いられていることを明確にできた。これは、錫が装飾用材の一つとして、銀や金銅板と同様に扱われていた可能性を示すものと考えられる。

一方で、錫は銀や金銅に比べると遺存状況が悪く、目視でその存在を確認することは難しい。見た目の判断で単なる鉄製品と誤認して保存処理されれば、グラインダーやエアブラシで錫は飛ばされてしまう危険があり、注意を要する。本資料についても、今後、どの様に保存処理を進め、活用すべきか、慎重に方法を模索していきたい。

註）

1）成瀬正和 1989「わが国上代の工芸材料としての錫」『正倉院年報』第11号、宮内庁正倉院事務所などの研究がある。

2）比佐陽一郎「錫、鉛製耳環に関する基礎的検討－福岡市内の出土例を中心として－」『古文化談叢』第50集下　九州古文化研究会

3）吉留秀敏ほか 2004『金武1　金武地区農村振興総合整備統合補助事業関係調査報告1－浦江遺跡第5次調査－』福岡市埋蔵文化財調査報告書第792集　福岡市教育委員会

4）比佐陽一郎ほか 2005「錫で装飾された古墳時代の環頭大刀－福岡県福津市勝浦高堀出土資料の保存科学的調査－」『日本文化財科学会第22回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会

復元土器の水平割口の出現頻度による粘土紐接着強度の定量化
：西日本古墳前期の薄手丸底深鍋の成形方法の復元

小林正史（北陸学院大学）

目的

本稿の目的は、復元土器の水平割口の配置と出現頻度から弥生土器・土師器の紐積み方法を復元することである。紐積みのみで成形される縄文土器では「相対的に長めの水平割口が４～６cm 間隔で巡り、各段の内部に短かめの水平割口が２段ある」というパターンが時期・地域を超えて見出されたことから、「幅２cm 弱の粘土紐を３本積んだ後、休止」というサイクルが明らかにされた（可児 2005、小林・鐘ヶ江 2015）。一方、弥生土器・土師器では、紐積みで原型を作った後、「口頸折り曲げ＋口縁部横ナデによる頸部の作出」、叩き、板ナデ、などの変形（＋粘土紐の圧着強化）が加えられるため、紐積み工程の復元が難しい場合が多い。さらに、粘土板積上げ成形（遠賀川式土器に特徴的な４～６cm 幅の粘土板の積み上げ成形が、その後いつまで継続するか）や西日本古墳前期の「型」成形など、「細めの粘土紐による休止サイクル」以外の成形手法も検討課題となっている。

本稿では、複数の復元案が提示されている西日本古墳前期の薄手丸底深鍋について、水平割口の出現頻度から紐積みサイクルと接合部の圧着度合いを明らかにし、成形方法の復元を試みる。

分析方法

以下の手順で「紐積みの休止サイクル」の復元と粘土紐圧着強度の判定を行った。

①300mm 超望遠レンズで撮影した歪みが少ない写真実測図面（４側面と底面）に水平割口を記入した。短い水平割口でも同レベルの複数カ所に見出される場合は水平割口と認定した（図１）。

②方眼紙に描いた同心円に各段の水平割口の長さを記入し、各段における「全周（欠失部を除く）に占める水平割口比率」を５％単位で算定した（図２）。

③相対的に長めの休止部が一定間隔で見出される場合が多いことから、休止サイクルを判定した。その際、「水平割口として現れない休止部」も判定することが重要である。例えば、相対的に長めの水平割口が 3cm、6cm、3cm という間隔で見出された場合、6cm の範囲に２段の休止部があると判定した。そして、休止部の中の短めの水平割口の位置から「休止部間の連続積み上げ部の粘土紐本数」を推定した。水平割口が少ないため休止部間隔が不明な場合は「パターン不明」とした。

④水平割口の出現頻度の定量化：　各段の水平割口の長さを「未検出」「全周の 1/4 未」「1/4～1/2 未」「1/2～3/4」「3/4 以上」に区分し、(a) 頸部～底部までの全体における休止部割口頻度（図３）、(b) 頸部、胴部最大径部位付近、底部直上における休止部割口頻度（図４）、(c) 土器全体における連続積上げ部の水平割口頻度、の３要素を用いて定量的に示した。

加賀（金沢市の沖町・二口六丁・南新保遺跡）と近畿（奈良県矢部遺跡）の古墳前期深鍋を主対象とした。また、加賀地域では弥生中期初頭（小松市の八日市地方遺跡）、後期半ば（北中条遺跡）、後期後半（中相川遺跡）との比較を行った。各遺跡において、底部まで残る復元深鍋を対象とした。

分析結果

第一に、加賀と近畿の布留形深鍋では、①底面直上に水平割口があるものが過半数を占める、②下半部においても、上半部と同様の休止サイクル（３～4.5cm 幅）が認定できた、③休止部間に短かめの水平割口がある例が過半数を占める、などの点で、「粘土紐を２～３本積んだ後、休止（まとめて伸ばし圧着）」という縄文・弥生土器の多くと共通した休止サイクルが認められた（図２）。

第二に、「頸部～底部までの土器全体の休止部水平割口頻度」（図３）と「胴最大径部位（その直上か直下を含む）の休止部の水平割口の長さ」（図４）を加賀地域の遺跡間で比べた結果、沖町遺跡の布留形深鍋は八日市地方遺跡（弥生中期初頭）・中相川遺跡（弥生後期後半）と大差なかった。

第三に、上述２要素により古墳前期における深鍋タイプ間を比べると、沖町遺跡、矢部遺跡ともに布留形深鍋の方が他のタイプ（沖町ではく字口縁タイプ、矢部では弥生形、庄内形）よりも水平割口頻度が低かった。よって、布留形深鍋は、他タイプよりも粘土紐の圧着強度が高いといえる。

第四に、頸部の水平割口頻度は、加賀の布留形深鍋は加賀の弥生深鍋よりも高かった。これは、加賀の弥生中期～庄内式期では頸部が割れにくいように意図的に厚くしている（一方、胴部はケズリ薄手化する）のに対し、布留形深鍋は頸部まで薄手化していることが理由と考えられる。一方、近畿（矢部遺跡）の布留形深鍋は、同遺跡の弥生形・庄内形と比べて頸部の水平割口が少ない（および短い）ことから、弥生形と同様に「折り曲げ＋口縁部横ナデ」により頸部を作り出している。

最後に、布留形深鍋の部位間で水平割口頻度を比べた結果、沖町遺跡では胴下部（底部直上の休止部より上）において「水平割口として現れない休止部」の頻度がやや高い傾向がみられた。よって、下半部の方が粘土紐の圧着強度がやや高かったと推定される。

布留形深鍋の成形方法の復元

布留形深鍋の成形方法（特に丸底の下半部）ついては、「型」成形仮説（下半部を外「型」を用いて成形した後、上半部を紐積み、井上1983）と「叩き出しによる丸底化」仮説（長友2013）とが提示されている。本稿の分析では、①底面にも紐積み痕（水平割口）がある、②下半部も上半部と同様に「細めの粘土紐を２～３本積んだ後、休止」というサイクルの紐積み成形がなされた、の２点より、紐積みにより一時原型を成形したことが明らかとなった。半球状の外「型」に粘土紐を貼りつけた可能性も完全には排除できないものの、細めの粘土紐を丁寧に積んで下半部を成形したことを考慮すると、「下半部の完成形を作り出す」という意味での「型」成形は用いられなかった可能性が高い。そして、布留形深鍋はほぼ同時期の他タイプ深鍋よりも粘土紐の圧着強度が高い事実は、下半部にも叩き成形や「内側からの突き」成形が施されたことを示唆している。

「型」成形仮説の最も重要な根拠である「内底面の指圧痕」は、久世・北野らが1991年に行った布留形鍋成形実験において「（指頭ではなく）指の節で突き出した」結果であることが示された。この指圧痕は、底面の器壁を圧着するために、全体を成形した土器を外「型」状の成形台に載せて、上から指の節で突いた結果と考えられる。このような外「型」状の成形台を用いた突き具整形はバングラデシュの民族誌でも報告されている（小林2005）。

引用参考文献

井上和人　1983「布留式土器の再検討」『文化財論叢』pp. 63-82.

可児通宏　2005『縄文土器の技法』同成社

小林正史・鐘ヶ江賢二 2015「縄文土器の紐積み方法」『三内丸山遺跡年報』18:57-95.

長友朋子　2013『弥生時代土器生産の展開』六一書房.

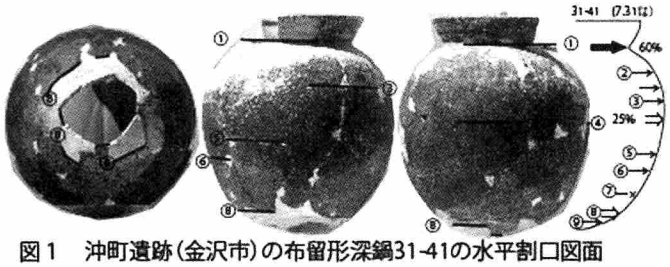


図１　沖町遺跡（金沢市）の布留形深鍋31-41の水平割口図面

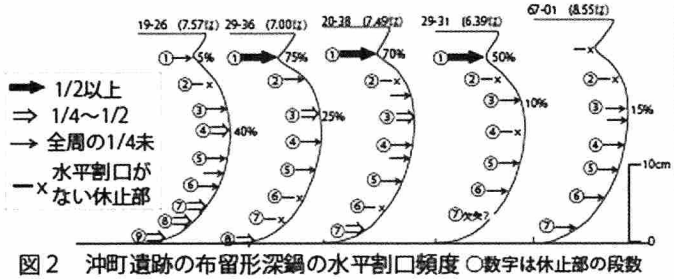


図２　沖町遺跡の布留形深鍋の水平割口頻度 ○数字は休止部の段数

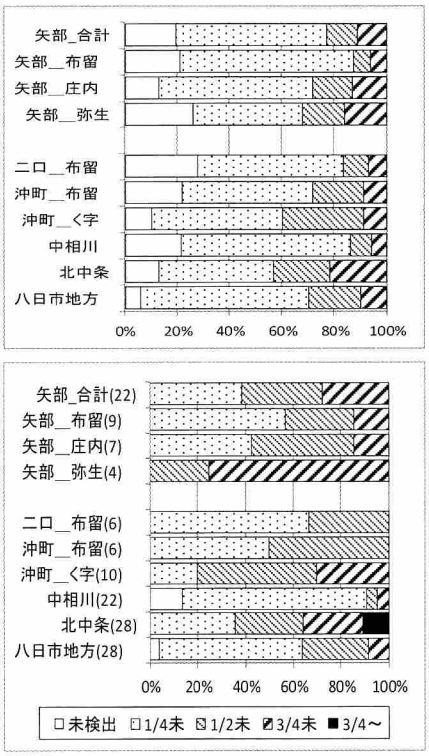


図３・４　土器全体（上）と胴最大径部位の水平割口頻度

船原古墳遺物埋納坑出土鉄釘に付着した有機質の観察による埋納容器の想定復元

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

○小林 啓(九州歴史資料館)、加藤和歳(同左)、岩橋由季(古賀市教育委員会)、甲斐孝司(同左)、森下靖士(同左)、横田義章(同左)、輪田慧(合同会社 2bit)、村上浩明(株式会社とっぺん)

○Akira Kobayashi, Kazutoshi Koto(Kyushu historical museum), Yuki Iwahashi, Takashi Kai, Yasushi Motrishita, Yoshiaki Yokota(Koga city boaed of education), Kei Wada(2bit), Hiroaki Murakami(Contents Company TOPPEN)

1. はじめに

船原古墳は福岡県古賀市谷山に所在する古墳時代後期(6 世紀末～7 世紀初頭)の前方後円墳である。遺物埋納坑は船原古墳の傍らから発見された土坑で、これまでの調査により、ガラス装辻金具や馬冑など朝鮮半島との関連を示す稀有な遺物が数多く確認されている。

本稿では、遺物埋納坑から出土した鉄釘に残存する木質の観察から、埋納坑内で遺物を納めていた器物の想定復元を行った成果について報告する。

2. 資料と方法

調査に用いた資料は遺物埋納坑内から出土した鉄釘 27 点である。鉄釘の長さは約 30～70mm、太さは約 4～7mm とばらつきがある。横断面は方形、頭部の平面形は円形と方形の 2 種類が確認されている。

鉄釘に残存する木質を顕微鏡下で観察し、3 断面と木繊維の方向を特定する。観察は鉄釘の頭部側、先端部側のそれぞれ行ない、各断面の組み合わせと出土位置等により器物の推定復元を行なう。

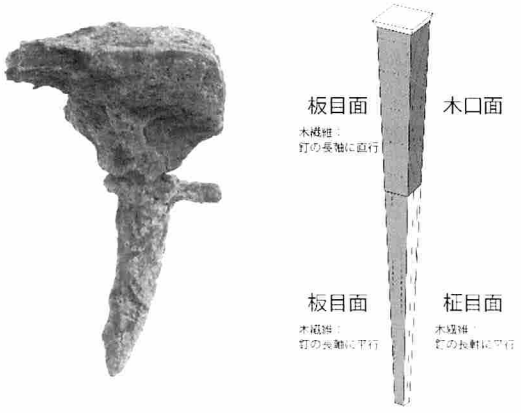


図 1:鉄釘(左)と観察結果の模式図(右)

3. 結果

鉄釘は完形・頭部のみ・先端部のみ・分類不能の 4 種類に分類できる。観察結果を以下に記す。

【完形】A 型:木口面-板目面・柾目面-板目面(頭部・先端部)(3 点)、B 型:木口面-柾目面・木口面-柾目面(2 点)、C 型:木口面-柾目面・柾目面-木口面(1 点)の組み合わせとなる。A 型の柾目面は先端部のみで木繊維は釘の長軸に平行する。板目面は頭部で釘の長軸に直行し先端部で釘の長軸に平行する。B 型及び C 型の柾目面の木繊維は頭部及び先端部共に釘の長軸に直行する。

【頭部のみ】木口面-板目面(4 点)及び木口面-柾目面(6 点)の組み合わせで、柾目面と板目面の木繊維は何れの資料でも釘の長軸に直行する。

【先端部のみ】木口面-柾目面(2 点)及び柾目面-板目面(7 点)の組み合わせで、柾目面の木繊維は木口面-柾目面で釘の長軸に直行、柾目面-板目面で釘の長軸に平行する。板目面の木繊維は釘の長軸に平行する。

【分類不能】木口面-柾目面及び柾目面-板目面(各1点)の組み合わせ。頭部・先端部の分類不能。

4．考察と想定復元

観察結果を元に、完形の鉄釘（A～C 型）に頭部のみ、先端部のみの資料を当てはめると図 2 の様に分類できる。これらを木棺等における釘付け技法の原則（※註）に基づき検討を加えると、埋納坑内に納められた器物は、側板及び小口板は柾目材、底板は板目材を用いた木取りと推定できる。（図 4）鉄釘からは A～C 型以外の木質の組み合わせが確認できないため、器物の身と蓋は同じ木取りであると考えられる。また、A～C 型の数量は、A 型 14 点に対し B･C 型は併せて 11 点となる。検討資料は少ないものの A 型が多いことから、側版と小口板の組み合わせには組み手接ぎを用いていたと推定できる。

鉄釘に付着した木質の樹種は全てスギである。出土遺物の中には、朝鮮半島との関連を示す舶載品と考えられるものも数多く確認されている。これら遺物を埋納した器物に列島産のスギが用いられている結果からは、遺物は器物に納められた状態で当地にもたらされたものではないことが推定できる。

図 2：鉄釘の観察結果一覧

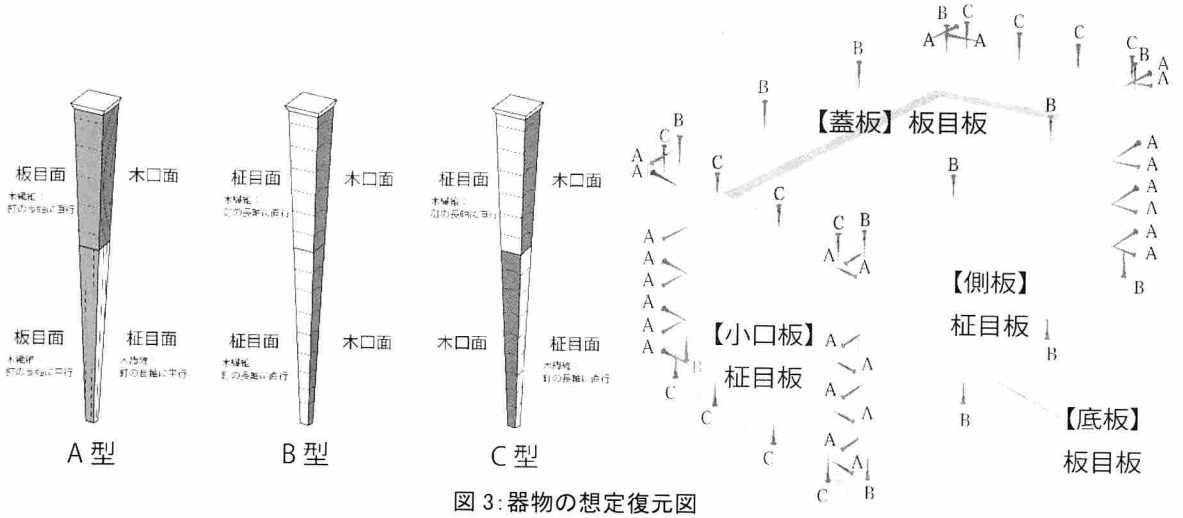


図 3：器物の想定復元図

※鉄釘及び器物の復元図は岡林(2015)を引用・加筆。

※註　容器は底板・側板・小口板からなり、組み合わせは側板と小口板、底板と側板、底板と小口板の 3 通り。
底板・側板の木取りは木繊維が板の長軸方向に一致、小口板は木繊維が水平になるように用いる。

3日目
6月11日

A会場

B会場

長崎県壱岐市出土ガラス小玉の化学組成分析
—日本ー大陸間のガラス交易に関する一考察—

Chemical composition analysis of ancient glass beads excavated from Iki, Nagasaki Prefecture
- A study of the glass trade between Japan and Eurasia-

○村串 まどか（東京理科大学理学部）、今井 藍子（同左）、新井 沙季（同左）、
片多 雅樹（長崎県埋蔵文化財センター）、田中 聡一（壱岐市教育委員会）、
中井 泉（東京理科大学理学部）

○Madoka MURAKUSHI, Aiko IMAI, Saki ARAI (Faculty of Science, Tokyo University of Science),
Masaki KATATA (Nagasaki Prefectural Archaeological Center),
Soichi TANAKA (Educational committee of Iki-city),
Izumi NAKAI (Faculty of Science, Tokyo University of Science)

1．はじめに

壱岐は朝鮮半島と九州の間に位置し，古墳からの出土品には朝鮮半島とのつながりを示すものが含まれていることから，古代の海上交易の要衝として栄えていたと考えられている[1]．本研究では，ガラスの化学組成から日本ー大陸間における古代ガラスの流通について考察することを目的とした研究の一環で，長崎県壱岐市内の古墳から出土した古代ガラスの非破壊オンサイト分析を行った．本発表では，その結果について報告したい．

2．分析資料および装置

資料は壱岐市内の古墳（百田頭２号墳：22点，百田頭６号墳：14点，百田頭７号墳：８点，釜蓋５号墳：３点，笹塚古墳：20点，対馬塚古墳：51点，双六古墳：19点，大米古墳：１点，永田１２号墳：１点）から出土した139点のガラスビーズである．これらの資料は６世紀から８世紀頃に位置づけられるものである．分析方法は蛍光 X 線分析法を採用し，分析装置は可搬型蛍光 X 線分析装置（100FA-IIL および 100FA-IV：アワーズテック（株）製）を用いた．分析の際には資料の状態に注意したうえで，アルコールで簡易的に洗浄した．定量は検量線法を用いて各元素を酸化物換算濃度で算出した．

3．結果および考察

蛍光 X 線分析を用いた化学組成分析の結果，シリカの他に鉛を主成分とする鉛ケイ酸塩ガラスと，カリウムやナトリウムを主成分とするアルカリケイ酸ガラスに分けられた．アルカリケイ酸塩ガラスは主成分元素や微量重元素の含有量からカリガラス（K_2O-SiO_2），ソーダ石灰ガラス（Na_2O-CaO-SiO_2），アルミナソーダ石灰ガラス（Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2）

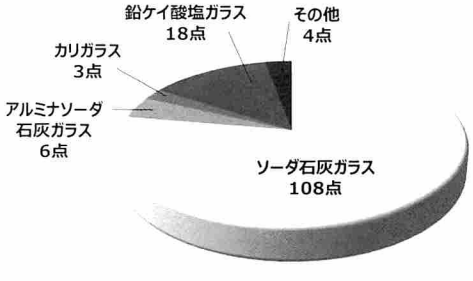


Fig. 1　分析資料の組成的分類

に分類された．Fig. 1 に示したように，今回対象とした資料の中ではソーダ石灰ガラスが多数を占めていた．韓国での研究[2]や当研究室が以前報告した楽浪の結果[3]を踏まえると，朝鮮半島で出土するガラスビーズはカリガラスやアルミナソーダ石灰ガラス，あるいは鉛ケイ酸塩ガラスを材料として用いたものが知られており，ソーダ石灰ガラスが多数を占めた本調査の結果とは傾向が異なっている．

また本調査の結果から，出土地（古墳）によって副葬されたガラスタイプが明確に分かれることがわかった．Table 1 に示すように鉛ケイ酸塩ガラスが副葬されていた古墳とアルカリケイ酸塩ガラスが副葬されていた古墳が異なっていた．築造時期は，前者はすべて 6 世紀末頃～7 世紀初頭でほぼ同時期であったのに対し，後者はばらつきがあるものの前者に比べや早いものがふくまれる．日本で出土したこの頃の鉛ケイ酸塩ガラスは，鉛同位体比分析の結果から朝鮮半島産の鉛鉱石が用いられているとされ[4]，ガラス流通において朝鮮半島とつながる可能性が示唆される．

今後，対馬など北部九州と朝鮮半島をつなぐ地域を対象として古代ガラスの分析調査を進めていき，本研究の目的である古代ガラス流通の解明を目指したい．

Table 1　壱岐市内の古墳から出土したガラスビーズの分析結果まとめ

出土地	分析点数	カリガラス	ソーダ石灰ガラス	アルミナソーダ石灰ガラス	鉛ケイ酸塩ガラス	その他
百田頭２号墳	22	1	18	3		
百田頭６号墳	14				14	
百田頭７号墳	8	1	5	1		金層ガラス 1
釜蓋５号墳	3				3	
笹塚古墳	20	1	18	1		
対馬塚古墳	51		50			とんぼ玉 1
双六古墳	19		16	1		とんぼ玉 2
大米古墳	1				1	
永田１２号墳	1		1			

※灰色の塗りつぶしは鉛ケイ酸塩ガラスが出土した古墳を示す

謝辞

本研究を進めるにあたり，貴重な資料の分析許可をくださりご協力いただいた皆さまに厚く御礼申し上げます．

参考文献

1) 図録「海の王都・原の辻遺跡と壱岐の至宝」，壱岐市教育委員会，(2015)．
2) Insook Lee : Ancient Glass Research along the Silk Road (World Scientific) , pp183-189 (2009).
3) 柳瀬 和也 他：X 線分析の進歩，**47**，179-198 (2016).
4) 馬淵久夫 他：文部省科学研究費研究成果報告書，(1986).

博多遺跡群出土坩堝の利用方法について
Study of technology ultilized at cupel in Hakata ruins

○沓名 貴彦（国立科学博物館） 比佐 陽一郎（福岡市埋蔵文化財センター）
○Takahiko Kutsuna(National Museum of Nature and Science)
Yoichiro Hisa(Fukuoka City Archaeology Center)

はじめに

これまでに発表者らは、山梨県内の金山遺跡や中世城館、城下町遺跡から出土した遺物への科学調査から、金を中心とする非鉄金属の生産技術について報告を行ってきた。

今回対象遺跡として福岡県福岡市の博多遺跡群に着目し、金属生産関連遺物について詳細分析を実施した結果の概要報告は別発表で行っている。ここでは、特に完形の坩堝大小 2 点についてCTなども含めた詳細調査を行った結果について報告する。

本調査について

博多遺跡群の概要説明は、別報告にて行っておりそちらを参照されたい。調査対象遺物は、坩堝（小）は42次調査、坩堝（大）は60次調査で出土している。42次、60次調査区は息浜の一角で隣接しており、発掘調査では炉跡などの遺構は確認されていないものの、製品なども出土していることから、金工品の工房跡が周囲にあったとみられ、中世末～近世初頭（16世紀後半～17世紀前半）の時期に帰属すると考えられる。

調査は、実体顕微鏡を用いて現地調査によって詳細分析対象遺物の選定を行い、その後遺物を借用して詳細分析を実施した。詳細調査方法はこれまでと同様の非破壊分析による手法を用い、それに加え新たに下記の調査を行った。

・ XRDによる坩堝表面付着物の調査
坩堝（大）の表面に付着する白色物質解明のため、XRDにより構造調査を行った。
・CTによる重元素分布状態の調査
CTにより付着する重元素類の坩堝内部への分布状態を調査し、使用方法の解明を行った。

結果及び考察

現地調査により坩堝（小）には金粒子が顕微鏡観察で確認され、坩堝（大）は明確な金属粒子の確認はできなかったものの、形状や表面状態の特徴から詳細分析を行うこととした。X線透過撮影により坩堝（小）は金粒子と周辺に若干の陰が確認され、坩堝（大）では全体に広く陰が確認された。そこでXRFやSEM-EDXなどで付着重元素の詳細調査を行った（図1,2）。

坩堝（小）では金粒子周辺にヒ素を確認し、坩堝（大）では広く分布する陰を生じる重元素は鉛であり、口縁部で銀が確認された。そこで、両坩堝の元素分布状態をSEM-EDXで分析した（図1,2(c)）。その結果、金の周辺に弱くヒ素の存在や、銀が付着する状態などが確認された。特に坩堝（大）は、その様相から灰吹で用いた可能性が考えられ、特に内部表面の白色部は灰と考えられたため微細構造をSEMで確認した。しかし、骨とみられる構造ははっきり確認できず、XRDで結晶構造解析を行った。その結果、ヒドロキシアパタイトにおけるカルシウムの一部が鉛に置き換わる状況を確認し、白色部分はヒドロキシアパタイトに関連すると考えられた。

また坩堝への重元素付着状態を確認するため、CTで内部構造調査を行った。その結果、坩堝（大）では内面に薄く広がり、一部ひび割れとみられる部分に浸透しているとみられる事が確認された。また坩堝（小）では金粒子の周囲で確認のヒ素は、表面付近で存在していた。

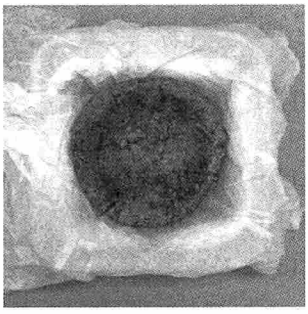
以上から、坩堝（大）は灰吹に用いられた坩堝であり、坩堝表面の鉛酸化物は内部に詰めた灰が吸収しきれなかったものの付着と考えられた。一方坩堝（小）では、不純物のヒ素が銅由来か金鉱石由来かは解明できなかったが、坩堝表面に存在することが確認された。

まとめ

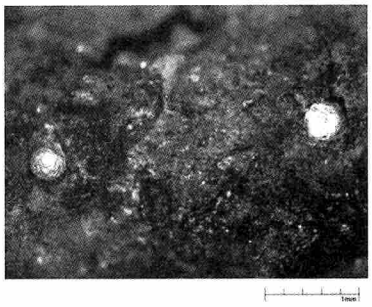
今回、博多遺跡群の一角から出土した坩堝への詳細調査から、その使用方法の解明を試みた。その結果、坩堝（小）では金の熔解が行われ、坩堝（大）では銀の灰吹が行われたことを確認した。CTにより金や鉛などの坩堝への付着状況を確認し、坩堝の使用状況を考える上で重要な情報をもたらすことを確認した。

銀の灰吹は石見銀山での鉄鍋の事例が知られるが、時期は16世紀末～17世紀初頭と同時期である。本資料は石見銀山と関連する博多の点からも、比較資料として重要といえよう。

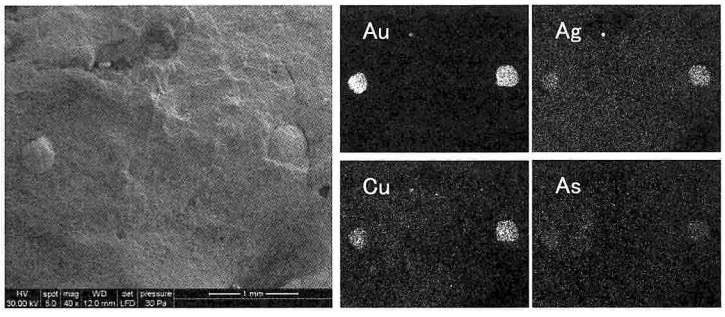
発表者らは、これまで銀の付着事例を数カ所で確認しているが、坩堝（大）のような状況の遺物を今後注視する必要がある。また、金では小型坩堝にヒ素の付着が確認されたが、このヒ素が金鉱石由来か銅由来かは今後の検討課題である。



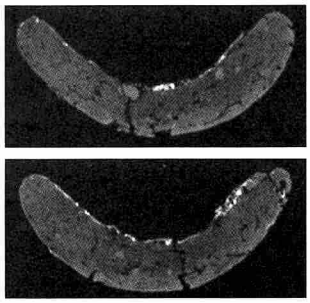
(a) 遺物写真とX線透過写真



(b) 金粒子の顕微鏡写真

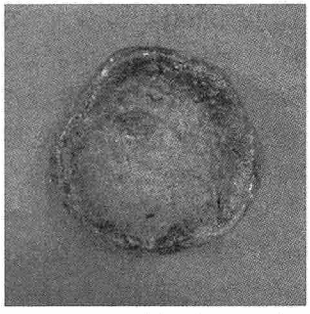


(c) 金粒子部分のSEM-EDXによる分析

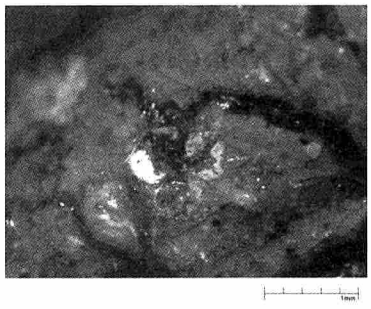


(d) 遺物のCT断面像

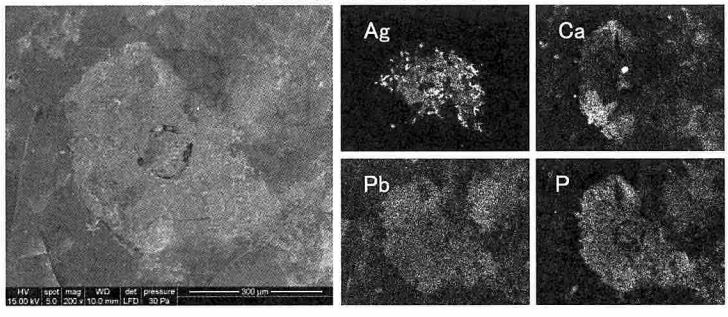
図1　坩堝（小）詳細分析結果



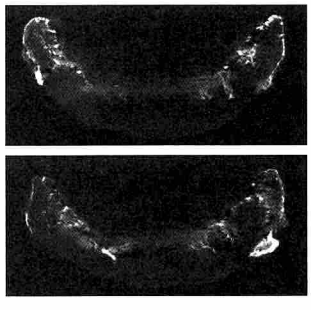
(a) 遺物写真とX線透過写真



(b) 坩堝表面の顕微鏡写真



(c) 銀付着部分のSEM-EDXによる分析



(d) 遺物のCT画像

図2　坩堝（大）詳細分析結果

＊　本研究は平成22年度福武学術文化振興財団歴史学助成、科研費・基盤(C)「生産関連遺物への科学調査による中世末から近世初頭における非鉄金属製錬技術の解明」（26350385）の成果の一部である。
＊＊　図1（d）CT測定は、九州国立博物館の協力によるものである。

炭素・窒素安定同位体比分析による中国長江流域の大型哺乳類の種同定

Identification of large mammal species in the Chang Yangtze region by stable isotope analysis and peptide analysis of bone collagen.

○板橋 悠(東京大学)、覚張隆史(金沢大学)、孫国平(浙江省文物考古研究所)
菊地大樹(京都大学)、丸山真史(東海大学)、米田 穣(東京大学)、中村慎一(金沢大学)
○Yu ITAHASHI (Univ. Tokyo), Takashi GAKUHARI (Univ. Kanazawa)
Guoping SON (Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology)
Hiroki KIKUCHI (Univ. Kyoto), Masashi MARUYAMA (Univ. Tokai)
Minoru YONEDA (Univ. Tokyo), Shinichi NAKAMURA (Univ. Kanazawa)

1. はじめに

中華人民共和国の長江流域の新石器時代遺跡からは偶蹄目動物を主体とした多種にわたる哺乳類動物骨が出土している。本稿が対象とする中国浙江省に所在する新石器時代中期の田螺山遺跡からも多様な野生動物骨が出土している（張ほか, 2010)。特に出土数が多く主要な狩猟対象となっていたと考えられるシカ科にはニホンジカ、キョン、サンバー、シフゾウなど複数種が含まれるが、四肢骨の形態からこれらのシカ科動物を各々の種に同定することは難しく、これらの部位の骨は大きさ毎に大まかに分類されてきた（張ほか, 2010)。また同様にシフゾウ・スイロク・スイギュウなどの大型偶蹄類も四肢骨などの部位において形態情報のみから確実に種同定することが難しく、これらの部位はシカ科や大型哺乳類としてまとめられることが多かった。たしかな種同定を行うには利用可能な部位が鹿角付の頭骨など種の特徴が明瞭な部位に限られ、このため動物骨組成の統計分析における解像度が低くならざるを得ない問題があった。

2. 動物骨の炭素・窒素安定同位体比分析

本稿で行った理化学分析の１つである炭素・窒素安定同位体比分析は、生物の体組織を構成する炭素や窒素の質量数の異なる原子(同位体)の比率を測定し、その生物が消費した食物の構成を推定する手法である。生物の体組織を構成する炭素と窒素は食物から取り込まれるため、目的の個体の体組織の安定同位体比は、その生物が帰属する生態系や環境、餌によって特徴的な値を持つ。一般的に先史遺跡から出土する動物骨の安定同位体比測定は、遺跡から出土した骨から安定なタンパク質であるコラーゲンを抽出し、その炭素と窒素の安定同位体比を測定することで行われる。

骨コラーゲンの炭素・窒素安定同位体比分析は、黄河流域を中心に中国新石器時代遺跡におけるヒトの動物利用を明らかにするためにも用いられてきた。その際には、コメやムギ、マメや果樹などの多くの陸上植物が含まれる C_3 植物（約−25 ‰)とアワ、ヒエなどの雑穀類やスゲ属など湿地性の植物が含まれる C_4 植物（約−10 ‰)において、炭素の安定同位体比が大きく異なる性質が利用されている。その一例がイノシシの家畜化の検証であり、黄河流域の新石器時代遺跡における C_3 植物食の野生草食動物の炭素同位体比の平均値は約−20 ‰である一方で、ヒトに餌を与えられていたブタの炭素同位体比の平均値は約−10 ‰を示し雑穀文化圏である黄河流域ではブタに C_4 植物を与えていたことが報告されており(Pechenkina et al., 2005)、家畜飼養開始期の動物利用を探る指標として動物骨の炭素同位体比が利用されている（Barton et al., 2009)。またヒトによる給餌の指標として炭素同位体比が利用されてきた一方で、中国新石器時代遺跡において野生のスイギュウが他の陸上哺乳類とは異なる炭素安定同位体比を示すことも報告されている（Chen et al., 2014)。従来はブタと同様にスイギュウの家畜化の影響と解釈されてきたが(Pechenkina et al., 2005)、近年では野生スイギュウが湿地帯に繁茂するスゲ属植物を好んで採食した結果との解釈がなされている（Chen et al., 2014)。

さらに発表者らが行ってきた田螺山遺跡を含む、長江下流域の新石器時代遺跡における動物骨研究により、シカ科動物と同定された動物骨の中にも、通常の野生草食動物（約−22 ‰)とは異なる値をもつ個体

(約−18 ‰)が含まれることが明らかになってきた。しかし一方で、この違いが①野生動物の多様な生息環境に起因するランダムなバラつきなのか、②シカ科動物内の種間による違いなのか、③同定を誤ったスイギュウの混入なのかを判断すること難しい問題も認識されるようになった。

3. 炭素・窒素安定同位体比分析結果と考察

そこで本研究では、中国浙江省の田螺山遺跡出土の哺乳類動物骨において、形態による種同位体が容易な角が付随する頭骨標本を用いて偶蹄類動物の種同定を行った上で、骨コラーゲンを用いた炭素・窒素安定同位体比分析を行い、手法の種同定法としての有用性を検証した。

分析の結果、角付き頭骨によって種同定されたシカ科動物の炭素・窒素安定同位体比に種による違いがみられた(Fig. 1)。小型種のキョンと大型種のスイロクは炭素、窒素共に値が低く、C_3 植物消費者の特徴を示した。一方で、大型種のシフゾウは炭素、窒素共にはキョン、スイロクより高い値を示したが、スイギュウよりも低い炭素同位体比を示した。中型種のニホンジカは、一部はキョン、スイロクと同様の炭素・窒素同位体比を持つ一方で、一部の個体は高い窒素同位体比を示した。

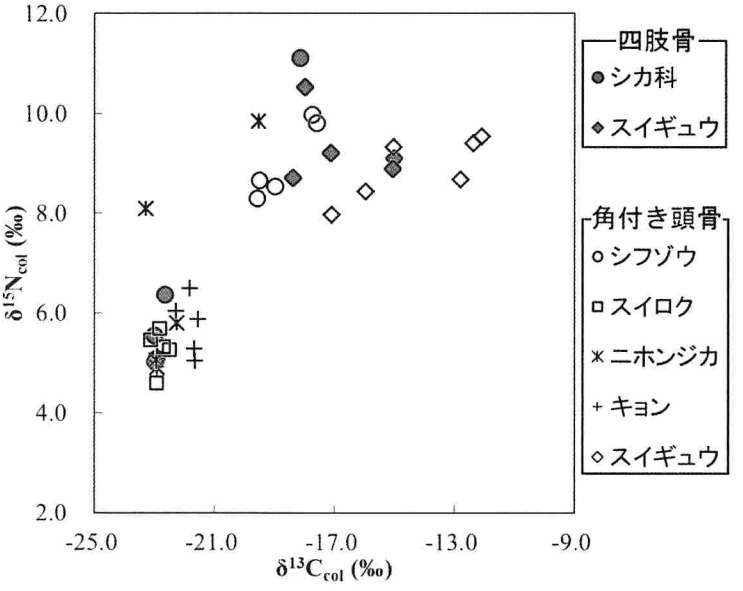


Fig. 1 田螺山出土偶蹄類骨の炭素・窒素安定同位体比

4. まとめ

田螺山遺跡から出土するシカ科動物は種によって炭素・窒素安定同位体比が3集団（①キョン・スイロク、②ニホンジカ、③シフゾウ）に分かれることが示された。特に大きさ・形態から区別することが難しいスイロクとシフゾウ、スイギュウを同位体比から識別可能であるため、大きさによる区別と骨コラーゲンの炭素・窒素安定同位体分析を組み合わせることで四肢骨や破片骨でも種を分けることが可能になると期待できる。

スイギュウに加えて野生のシカ科動物にも−18 ‰を超える高い炭素同位体比を持つ種がいることから、遺跡周辺には C_4 植物が繁茂する環境が存在したことを示している。C_4 植物の消費をヒトによる給餌の影響として説明することで家畜化の証拠とする従来の解釈を画一的に適用する危険性も意識する必要がある。

引用文献

張穎・袁靖・黄蘊平・松井章・孫国平, 2010,「2004 年度出土哺乳類動物遺存体の初歩的分析」『浙江省余姚田螺山遺跡の学際的総合研究』, pp. 79−123

L. Barton, S. D. Newsome, F-H Chen, H. Wang, T. P. Guilderson, R. L. Bettinger, 2009, Agricultural origins and the isotopic identity of domestication in northern China. PNAS, pp. 5523–5528

X. Chen, S. Hu, Y. Hu, W.Wang, Y. Ma, P. Lü, C.Wang, 2014, Raising practices of Neolithic livestock evidenced by stable isotope analysis in the Wei river valley, north China. Int. J. Osteoarchaeol. pp. 42–52

E. A. Pechenkina, S. H. Ambrose, X. Ma, R. A. Benfer, 2005, Reconstructing northern Chinese Neolithic subsistence practices by isotopic analysis. J. Arch. Sci. pp. 1176−1189

サーサーン朝におけるガラスの生産および流通に関する研究 —メソポタミア都市遺跡出土ガラス容器の化学組成分析から—

Investigation of production and distribution of Sasanian glass: chemical compositional analysis of Sasanian glassware excavated from Mesopotamian sites

○阿部 善也[1], 四角 隆二[2], St. John Simpson[3]
(1: 東京理科大学・理学部, 2: 岡山市立オリエント美術館, 3: 大英博物館)

Yoshinari ABE[1], Ryuji SHIKAKU[2], St. John Simpson[3]
(1: Tokyo University of Science, 2: Okayama Orient Museum, 3: The British Museum)

1. はじめに

本研究における「サーサーン・ガラス」とは, メソポタミアおよびイラン高原を中心に繁栄したサーサーン朝(226～651年)の領土内で生産されたガラス製品を指す。発表者らは非破壊の蛍光X線分析法を国内外の博物館に収蔵されたサーサーン・ガラス資料へと適用し, 化学組成に基づく分類や起源研究を進めている[1)]。1950年代以降, イラン北部の古墓で発見されたサーサーン・ガラス資料が大量にマーケットへ流通し, 我が国にも伝イラン北部由来の資料が多数流入したが, サーサーン朝におけるガラス生産の中心地はイラン高原ではなく, 首都Ctesiphonを中心としたメソポタミアであったと考えられている[2)]。近年, Ctesiphonに隣接する都市遺跡 Veh Ardašīr より出土したガラス容器片に対し, 誘導結合プラズマ質量分析計を用いた詳細な化学組成研究[3)]が行われ, サーサーン朝におけるガラスの生産状況が化学的に理解されつつある。そこで本研究では, 大英博物館に所蔵された希少なメソポタミアの都市遺跡出土のサーサーン・ガラス資料を対象として, 実測と共に非破壊の蛍光 X 線分析を行い, 遺跡や器種による化学組成の違いから, その生産および流通に関して考察を進めた。なお「正倉院タイプ」の円形切子装飾碗に関する分析結果の一部については, 昨年度の本大会で発表済みである[4)]。

2. 実験方法

分析資料は, ロンドン・大英博物館に所蔵されたメソポタミア出土のサーサーン・ガラス資料 71 点である。これらは Austen Henry Layard 卿らにより行われた, 19～20 世紀の発掘調査によって得られた, 世界的にも希少な資料である。対象遺跡はメソポタミア南部に位置する 5 遺跡(Ctesiphon, Babylon, Sippar, Warka, 伝 Tell Telloh)と, 北部 3 遺跡(Nineveh, Nimrud, Tell Arban)である。インゴット 1 点を除いて容器であり, 様々な器種・型式の容器を網羅的に対象とした。2016年3月に同館内に可搬型の蛍光X線分析装置を持ち込み, 非破壊で化学組成を分析した。用いた可搬型蛍光X線分析装置は(株)OURSTEX製の 100FA-IIL[5)]である。本装置は検出器 (SDD) の窓材の改良と真空チャンバの接続により, 同種の装置では分析困難な Na や Mg といった軽元素の定量を可能としている。さらに, 内蔵された励起X線の単色化機構により, Y や Zr などの微量重元素を高感度に検出できる。事前の肉眼観察により風化影響が少ない点を探して測定点とし, 定量値に顕著な風化影響が見られた場合には再分析を行った。得られた蛍光X線スペクトルを解析し, 検量線法によって全22元素の酸化物濃度(wt%またはppm)を定量した。

3. 結果と考察

分析した71点のガラスは, 全てソーダ石灰ガラスに分類される化学組成を有していた。風化によって溶脱しやすいNaの定量値を指標として, 各資料の風化の程度を評価した結果, 7点については著しい風化が見られたため解析から除外した。残る 64 資料について, まずは融点を下げるために添加されたソーダ融剤に着目した分類を試みた。当時のソーダ石灰ガラスは融剤の種類によって大きく 2 種類に大別でき, エジプトの涸れ谷に産出するソーダ鉱物(ナトロン)を用いた「ナトロンガラス」と, 植物を燃やした灰を用いた「植物灰

ガラス」がある。前者は東地中海沿岸を中心としたユーフラテス以西で一次生産されたのに対し，後者はユーフラテス以東，おそらくはメソポタミア内の工房で作られたものと考えられる。これらは植物由来で混入するMgやKの量に着目することで，化学組成から判別可能である。そこで**Fig. 1**に示すようにMgOとK_2Oの定量値をプロットした結果，植物灰ガラス 50 点とナトロンガラス 14 点に分類できた。ここに示した 64 点のガラス資料はいずれもメソポタミアからの出土資料であるから，植物灰ガラスについては自国（サーサーン朝）内での生産品であったのに対し，ナトロンガラスはユーフラテス以西（ローマ帝国圏）で一次生産されたガラスであったと判断することができる。ナトロンガラスに分類された資料には，楕円切子と刻線が施された透明ガラス容器や，紺色斑点文のランプなど，特徴的な装飾を持つ資料が含まれ，これらはユーフラテス以西で作られた所謂「ローマ・ガラス」が製品の形でメソポタミアへと搬入されたものと考えられる。ナトロンガラスの資料はメソポタミア北部の遺跡からの出土資料に多く見られ，サーサーン朝内でローマ・ガラスの流通状況に差があることが明らかとなった。一方で，二連瓶や大型の把手付容器など，型式的にローマ・ガラスと予想された資料の中に植物灰ガラスが複数検出され，サーサーン朝内（おそらくはメソポタミアの工房）においてローマ・ガラスを模倣した製品が作られていたことが化学的に実証された。

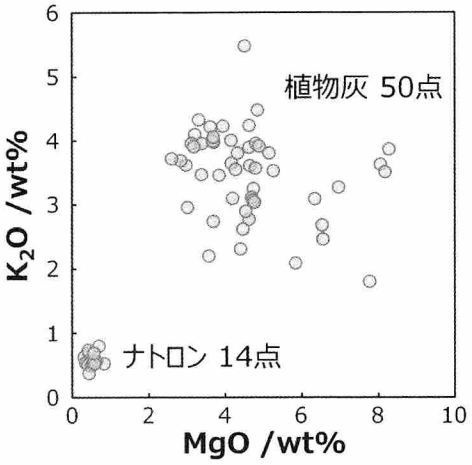


Fig. 1　メソポタミア出土ガラス資料 64 点の MgO vs. K_2O プロットによる融剤の推定

Veh Ardašīr 出土のサーサーン・ガラスに関する先行研究[3]において，植物灰ガラスを化学組成に基づき 3 つのグループ（Sasanian 1a, 〃 1b, 〃 2）に分類できることが指摘されており，グループ間の組成の違いは主に原料（植物灰および石英礫）の採取地に起因するものと考えられる。本研究で分析した 50 点の植物灰ガラスについて Veh Ardašīr 出土ガラスと化学組成と比較したところ，上記の 3 グループの他に，新たな組成グループの存在が明らかとなった。このグループの資料はシリカ源由来の不純物と考えられる Al や Fe などの元素を特徴的に多く含むものの，これらの元素の含有割合が Sasanian 1b グループと類似していることから，Sasanian 1b グループと同じシリカ源を用いながら，選別・精製が不十分であった一群であると考えられる。組成分類の結果について，各資料の器種や型式との対応を検証した結果，型吹きのリブ装飾瓶 9 点については全て Sasanian 1b グループ（および不純物が多い新グループ）に分類された。これらの資料について，確認できたリブの数は全て 20 条であったことから，規格化された生産体制が存在した可能性が考えられる。

当日は，2017 年 3 月にオックスフォードのアシュモレアン博物館で実施した Kish 遺跡出土のサーサーン・ガラスに関する分析結果，および発表者らが国内外の博物館で分析した伝イラン北部由来資料のデータを含め，サーサーン朝におけるガラスの生産および流通に関して，より詳細な考察を行う予定である。

4. 参考文献

1) 阿部 善也:『児島虎次郎は見た！オリエント文化 東西の架け橋』pp. 16–24, 岡山市立オリエント美術館 (2014). ほか
2) St. J. Simpson: In *Neighbours and Successors of Rome: Traditions of Glass Production and use in Europe and the Middle East in the Later 1st Millennium AD.* pp. 200–231, Oxbow Books (2014).
3) P. Mirti *et al.*: *Journal of Archaeological Science* **36**, 1061–1069 (2009).
4) 阿部 善也ら: 日本文化財科学会第 33 回大会において発表 (2016).
5) K. Tantrakarn *et al.*: *X-Ray Spectrometry* **38**, 121–127 (2009).

象嵌線に潜む古墳時代の象嵌技法の顕在化

Conserved inlay techniques inside inlaid fine lines in Kofun Period

○杉崎佐保惠(福島県立博物館)、高橋満(同左)
○Sahoe SUGIZAKI, Mitsuru TAKAHASHI (Fukushima Museum)

1. はじめに

福島県立博物館は、所蔵している出土象嵌刀装具一式について2011年から調査を継続している。象嵌鍔に関して、保存修復の機械的作業が介入しない象嵌線の中空内部を科学分析した結果、本資料の製作技法に関して知見を得たので、本報にて報告する。

2. 象嵌円頭大刀の来歴

福島盆地の東縁丘陵地には古墳時代終末期の群集墳が数多く展開する。高森古墳群(福島市山口字高森)はそのひとつで、1964年発行の福島市史に出土品が掲載されている。図1に示す高森古墳出土大刀の実測図[1]には、関が両関の刀身に鏨・八窓鍔と吊手孔付足金具が伴っており、柄頭は写真で示されている。これらはその特徴から6世紀末から7世紀初頭の所産と考えられる。

本資料のうち、円頭柄頭と八窓鍔及び象嵌を有する柄金具と思われる小破片を福島県立博物館で所蔵している。現状で古墳を特定できないため、本資料を梅本古墳出土品と呼んでいる。

図1 高森古墳(梅本古墳)出土大刀の実測図

3. 古墳時代の象嵌技法

象嵌鍔のエックス線透過撮影の結果、図2に示すとおり両面の内孔側に圏線区画内に連弧文、窓間に重圏S字文、外側に2重圏線内の連珠円文を認めた。側面にも2重圏線内に連珠円文を有する。渦巻文の中心や小円文の径が極小であるなどの特徴がある。

さらに詳細にエックス線透過写真を検討すると、象嵌線の長さ方向に対して、節様に左上斜めに切断する痕跡を多くの箇所で観察した。同じ所見を柄頭のエックス線写真でも観察しており、象嵌線の表面観察、マイクロフォーカスエックス線断層写真、断面観察の結果から、象嵌線は中空螺旋構造(Z字タイプ)であると結論した[2]。演者らは、象嵌線の製作技法に関して、糸状の材料を芯(軸)にして、リボン状の銀を一定の間隔で巻いたのではないかと仮説を立てている。

図2 鍔の文様

2015年、象嵌鍔の保存修復作業において、錆瘤に覆われた状態で破片が二つに分裂し、象嵌線の断面が露出した。実体顕微鏡で観察し、象嵌線断面の中空に褐色の物質を認めた。象嵌線の中空には保存修復の機械的作業が介入しないため、古墳時代の象嵌技法に関する情報が修復作業によって失われずに保持されていると仮定して調査した。

図3 象嵌線の断面(嵌入面の隙間: ▽)

科学分析装置を用いて観察するために、樹脂包埋による試料保持の必要はなく、観察を行うことが修復作業に支障を与えないと判断したため、電子顕微鏡観察とエネルギー分散型エックス線分析(日立ハイテクノロジー製 S-3700)を行った。図3に示す電子顕微鏡写真から、象嵌線の断面は三角形の中空構造であり、象嵌線を切断する隙間をV字型の嵌入面に認めた。中空付近の断面から検出した主な元素は、銀、鉄、炭素、酸素である。元素分布を図4に示す。

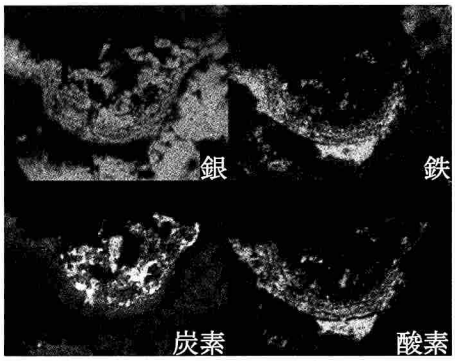


図4 中空付近の断面の元素分布

象嵌線の隙間を嵌入面の範囲に認めたことから、象嵌線は中空螺旋構造であると判断する。象嵌線と中空の物質の両方から銀が検出されたことを、銀が象嵌線から拡散して(溶出して)中空に移動したためであると解釈する。つまり、銀が拡散するよりも以前に中空に何らかの物質が存在していたと推定する。中空部分で検出した炭素は芯に相当する有機質に由来すると解釈し、糸状の材料の残存物であると推定する。鉄と酸素は地金由来の腐食生成物に由来すると判断する。象嵌技法に関して、有機質素材の糸状の材料を芯にして、リボン状の銀を一定の間隔で巻いて螺旋構造(Z字タイプ)に製作した象嵌線を嵌入したと考察する。

4. 結論

科学調査の結果から象嵌鍔の象嵌線は中空螺旋構造であると判断し、中空の中心部分から検出した炭素を有機質材料の残存物であると推論する。本資料には、有機質素材の糸状の芯に、リボン状の銀を一定の間隔で巻いて製作した螺旋銀線が象嵌されたと結論する。この知見は、保存修復の機械的作業が介入しない象嵌線中空の情報を可視化した成果である。

5. 参考文献

(1)福島市市史編纂委員会編: 福島市史第6巻 原始・古代・中世資料(資料編1), 図録163(1964)
(2)杉崎佐保惠他: エックス線を用いた古墳出土象嵌刀装具の技法調査, 日本文化財科学会第33回大会研究発表会要旨集, pp.68-69(2016)

本研究の一部はJSPS科研費 JP26904012の助成を受けたものです。
福島県ハイテクプラザの設備を使用して科学分析を行いました。