

阿久比町宮津南社山車保存会所蔵 「龍図刺繍水引幕」の自然科学的調査

Analysis of Edo period tapestry on a “Dashi Float”

○ 吉田 濤代 (名古屋大学大学院 理学研究科), 早川 泰弘 (独立行政法人 東京文化財研究所),
大崎 綾子 (女子美術大学)

○ Miyo Yoshida (Graduate School of Science, Nagoya University),
Yasuhiro Hayakawa (International Research Institute For Cultural Properties, Tokyo),
Ayako Osaki (Joshibi University of Art and Design)

1. はじめに

愛知県知多郡阿久比町は町指定有形民俗文化財である山車が計5輛あり、毎年4月になると各地区の神社ではその年の豊作を祈る春祭りが行われ、勇壮な山車の曳き回しやお囃子などが奉納される。夜には宵宮と言われ、提灯をつけた山車が見られる。

本研究では、愛知県知多郡阿久比町宮津南社山車保存会所蔵の山車に掛けられている龍図刺繍水引幕に関して、自然科学的調査を試みた結果について報告する。なお、本調査は水引幕の修復に伴い実施された。

2. 宮津南社山車および「龍図刺繍水引幕」について

宮津南社山車 (Photo. 1) の建造年は『南社永代帳』から宝暦元年(1751)以前であったとされる。壇箱の彫刻は遠州(現在の静岡県)の増井時三郎の作品である。山車には計3枚の龍図刺繍水引幕 (Photo. 2) が掛けられており、本研究で調査した幕はそのうちの一つ「は通り」で、大きさは77.3 cm×219.1 cmである。この水引幕に描かれた「金糸の龍」は天保4年(1833)に製作されたもので作者は伊藤呉服店(現松坂屋)製である。台裂には黒地羅紗が使用され、その上に龍の高繡を綴じ付けてあり、龍は色調の違う数種類の撚金糸をふんだんに用いて刺繍されている。龍の刺繍部分には別布の平織木綿の表面に和紙を貼付けた後、紙縫り、厚手和紙などを肉入れして立体的な刺繍を行い、羅紗に閉じ付ける際に羅紗と刺繍の間に綿を入れてさらに立体感を表現している。また、龍の目には金属が嵌め込まれ、目玉部分には黒色の樹脂様のものが塗られている。龍の爪と牙にも金属の飾金具が用いられており、幕の左上には桜文飾金具が装飾されている。水引幕の縁には金襴が用いられている。



Photo1. 宮津南社山車

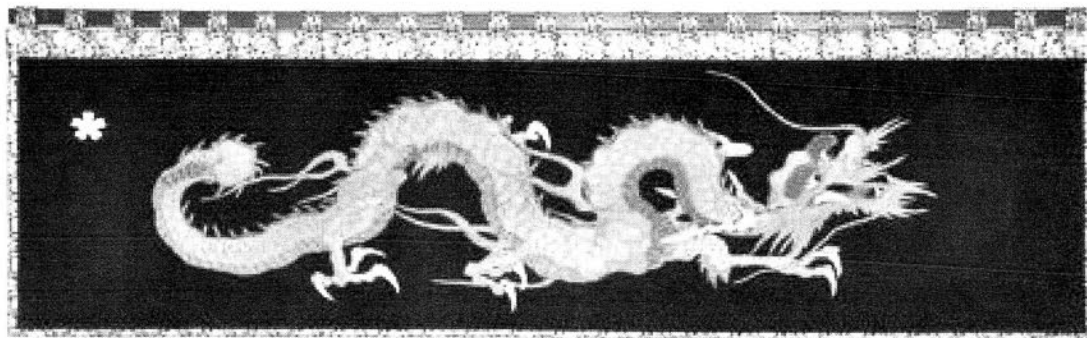


Photo2. 龍図刺繍水引幕

3. 分析資料及び分析方法

分析資料は龍図刺繍水引幕に刺繍された「金糸の龍」に使用されている撚金糸(計8点)と、龍の黒目部分の黒色塗料、龍の眼や爪に用いられている飾金具、水引幕の台裂(黒地羅紗)とした。撚金糸と飾金具については、蛍光X線分析(セイコーインスツルメンツ(株)製 SEA5230E)による材質調査を行い、撚金糸については電子顕微鏡(日立製作所(株) SU1510)による芯糸の繊維同定を行った。さらに、撚金糸に使用されている接着剤と黒目部分の黒色塗料を同定するため、フーリエ変換型赤外分光分析(日本分光(株) FT-IR 6100)を行うと共に、紫外可視分光分析(日立製作所(株) U-3010)による黒地羅紗の染料同定、及び蛍光X線分析(セイコーインスツルメンツ(株)製 SEA 5230E)による媒染剤の同定を試みた。

4. 分析結果

【撚金糸について】

撚金糸の蛍光X線分析の結果、撚金糸8点中7点からは主成分として金(Au)が検出され、他に微量の銀(Ag)と銅(Cu)が検出されたことから、本金箔を使用しして製作された撚金糸であることが判明した。これに対し、龍の眼ライン部分(Photo. 3)に用いられている撚金糸については、Cuと亜鉛(Zn)が検出されたことから、真鍮箔を使用して作られた金糸であることが確認された。また、芯糸の繊維同定の結果、真鍮箔でできた撚金糸の芯糸のみ黄橙色を呈しており、絹であることが確認された。これに対し、他の7点は白色の木綿糸が使われていた。



Photo3. 龍の眼ライン部分

次に、撚金糸に使用されている接着剤について分析した結果、漆が検出された。このことから、撚金糸を製作する際、紙と金箔または真鍮箔を貼付けるための接着剤として漆が使用されていることが判明した。

【飾金具について】

桜文飾金具の地金、裏面支持棒、座金はCuで、地金の表面部分のみ水銀アマルガム鍍金が施されていることが判明した。また、地金の裏面支持棒溶接部からは鉛(Pb)と錫(Sn)が検出されたことからハンダ付けされたものと確認された。

龍の眼に使用されている地金はAgとCuの合金であり、黒色部分と金色部分が確認されたが組成の差は見られなかった。地金の裏面支持棒溶接部からはPbとSnが検出されたことからハンダ付けされたものと確認された。黒目の地金はCu、Ag、Auの合金で、黒目支持棒からはCuが検出された。さらに、黒目部分の黒色塗料についてFT-IRによる分析を行った結果、漆であることが判明した。

龍の爪に使用されている地金はAgとCuの合金であり、裏面支持棒と座金からはCuが検出された。また、地金の裏面からはPbとSnが検出されたことからハンダ付けが確認された。ただ、右後脚爪の地金のみAg、Cu、Znの合金で、裏面支持棒は真鍮(Cu+Zn)、座金はFe地金にSnメッキであることが判明し、他とは異なる材質であることが確認された。

【台裂(黒地羅紗)について】

台裂の黒地羅紗について、紫外可視分光分析による染料同定を行った結果、藍下檳榔子染めで、蛍光X線分析による媒染剤同定の結果、鉄漿媒染したものであることが判明した。

5. 考察及びまとめ

本研究により、龍図刺繍水引幕に関してオリジナル部分の材質及び製作技法について解明することができ、ここで得られた知見は染織文化財の材料学的な歴史的変遷に繋がるものである。さらに、作品を保存修復する際にも役立つ知見を得ることができた。

琉球絵画の彩色材料調査

Analysis of Coloring Materials used for Ryukyu Paintings

○早川泰弘、吉田直人、佐野千絵、三浦定俊（東京文化財研究所）

○Yasuhiro HAYAKAWA、Naoto YOSHIDA、Chie SANNO、Sadatoshi MIURA

(National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)

1. はじめに

沖縄は15世紀初めから19世紀末まで琉球王国が支配し、日本本土をはじめ中国、朝鮮、さらには南方諸国の国々とも交易を行って独自の文化圏を形成していた。数多くの染織品、漆工品等が作られるとともに、日本本土や中国から画法を導入して絵師を育て、花鳥画や人物画等の絵画が描かれた。これらの絵画は現在「琉球絵画」と呼ばれている。琉球絵画は中国的でも日本的でもないといわれることが多いが、その多くは太平洋戦争末期の沖縄戦によって焼失し、全体像は明らかにされていない。これまで、一部の作品について調査（科学調査を含む）が実施され、画材や色材に関する知見が得られている¹⁾。

東京文化財研究所では、首里城公園友の会、首里城公園管理センター、沖縄県立博物館・美術館の協力のもと、平成20～21年度にわたって沖縄県内に所在している琉球絵画および関連資料22点について彩色材料の調査を行った。本発表では、その調査結果の概要を報告する。

2. 調査方法

調査はすべて現地で行い、非破壊非接触の調査に限定した。蛍光X線分析を中心とし、デジタルマイクロスコープによる観察を併用して彩色材料の推定を行った。使用した機器及び条件は次の通りである。

表1 琉球絵画の彩色材料調査結果

資料名	白	薄赤(桃、肌)	赤	臙脂	橙	黄	濃黄	茶	薄緑	緑	薄青	青	紫	灰	黒	金	銀	備考
御絵図2-2			Hg			(染料、Pb)			(染料)	Cu								全ポイントでPb検出
御絵図4-2			Hg			(染料、Pb)		Pb+Hg(+Cu)		Cu								全ポイントでPb検出
御絵図11-2			Hg			(染料、Pb)				Cu					Pb			全ポイントでPb検出
御絵図14-1			Hg			(染料、Pb)				Cu		Cu						全ポイントでPb検出
御絵図22			Hg			(染料、Pb)						Cu						
御絵図22-2	Pb		Hg			(染料、Pb)		Hg		Cu								全ポイントでHg検出
御絵図30-1	Pb		Hg			(染料、Pb)		Hg		Cu								全ポイントでHg検出
御絵図36			Hg			(染料、Pb)				Cu								全ポイントでPb検出
御絵図帳								Hg(柿色)										Pb+Hg(鼠色)
薩摩藩調整図	Pb	(染料、Pb)	Hg			(染料、Pb)	Fe			Cu	(染料)	Cu	Pb+Fe	(墨)	(墨)	Au		
孔子像及び 四聖配像	Pb	(染料、Pb)	Hg	(染料、Pb)		(染料、Pb)				Cu+As	(染料)	Cu	(染料)	(墨)	(墨)	Au		全ポイントでCa検出
在番と親あんま	Pb	(染料、Pb)	Hg			(染料、Ca)					(染料)	Cu	Pb(+染料)	(墨)	(墨)	Au		全ポイントでCa検出
程順則朝服図	Pb	(染料、Pb)			Pb					Cu	Cu(水色)	Cu+Fe+Co	Pb(+染料)	(墨)	(墨)	Au		全ポイントでPb検出
花鳥図(孫師昌)	Pb	(染料、Pb)	Hg		Pb	(染料、Pb)		(Cu)		Cu								(墨)
花鳥図(孫徳)	Ca	(染料、Ca)	Hg						(染料)	Cu+As	(染料)	Cu						
雪中雉子之図	Pb		Hg		Pb			Fe	(染料)	Cu		Cu			(墨)	(墨)		全ポイントでCa検出
花鳥図(殿元良)	Pb	(染料、Pb)				(染料、Pb)			(染料)	Cu	(染料)							全ポイントでCa検出
魏学源肖像図	Pb	(染料、Pb)	Hg			(染料、Pb)		Fe		Cu	(染料)	Fe	(染料)	(墨)	(墨)			Pb(+染料)
花鳥図(毛長禰)	Pb	(染料、Pb)			Hg	(染料、Pb)		Fe	(染料)	Cu	(染料)				(墨)	(墨)		全ポイントでCa検出
琉球美人	Pb	(染料、Pb)	Hg		(染料、Pb)		Fe			Cu	(染料)	Cu			(墨)	(墨)	Au	Ag
白澤之図	Pb		Hg					Hg							(墨)	(墨)		全ポイントでCa検出
関羽像	Pb	(染料)	Hg					Fe		Cu		Cu	Pb(+染料)					

〈蛍光X線分析〉

セイコーインスツルメンツ SEA200
Rhターゲット、φ2mm、50kV×100μA×100sec

〈デジタルマイクロスコープ〉

キーエンス VHX-100
3100Kハロゲンランプ、×25～175

3. 調査結果

琉球絵画および関連資料 22 点についての彩色材料調査結果を色別に整理した結果を表 1 に示す。調査結果をまとめると、今回調査した作品に使われている顔料について、下記のような特徴が明らかになった。

(1) 白色顔料は鉛白が主流である。江戸時代の日本国内における白色顔料の中心は鉛白ではなく、胡粉である。鉛白も存在しているが、江戸期絵画の中で鉛白を使っている作品は少ない。

(2) 土性顔料の使用が少ない。土性顔料としては白土、黄土がよく知られている。江戸期の日本絵画の中で白土が使われている作品は少ないが、黄土が使われている作品は比較的多い。これに対し、今回の調査作品の中で黄土が使われている作品は限られたものだけであった。黄色系の着色はほとんどが染料によるものである。(3) に記したベンガラについても同様であるが、やや濁った色調を与える黄土、ベンガラなど酸化鉄を多量に含む顔料は好まなかったのか？

(3) 赤色顔料の中心は水銀を含む辰砂(水銀朱)である。鉛系顔料の鉛丹が使われている作品もあるが、作品例およびその使用範囲も辰砂に比べると少ない。また、酸化鉄を発色成分とする赤色顔料のベンガラについても使用作品は少なく、これも琉球絵画の特徴の一つとして挙げられる。

(4) 黄色顔料として、ヒ素を含む石黄がほとんど使われていない。江戸期の日本絵画の中では、鮮やかな黄色の発色材料として使われている例は少なくなく、さらに琉球漆器や琉球の染織品には黄色顔料としての石黄が多用されている作品が多い。こういう点から考えると、琉球絵画に石黄が使われていないのが大変不思議である。黄色系の着色はほとんどが染料によるものである。

(5) 緑色顔料は純粋な緑青が中心である。江戸期の日本絵画では緑青として分類される緑色顔料の中に、蛍光X線分析で①銅だけが検出されるもの、②銅と少量のヒ素が検出されるもの、③銅と少量のヒ素、亜鉛が検出されるものが知られている²⁾。琉球絵画の中心は間違いなく①銅だけが検出されるものであり、これは純粋な緑青(マラカイト)である。孔子像及び四聖配像と花鳥図(孫億)からは花緑青も検出された。当初から、緑青と花緑青を使い分けしていたのかどうかは検討の余地がある。

(6) 青色顔料については群青が中心である。プルシアンブルーの使用が報告されている琉球絵画の調査報告例¹⁾もあるが、今回の調査作品のなかでは、魏学源肖像図の一部にプルシアンブルーが見いだされただけである。程順則朝服図では大量の銅とともに少量の鉄、コバルトが検出された部分があるが、特殊な使用例であると思われる。

これらの特徴を、従来行われた琉球絵画や工芸品の調査結果と比較することも大変興味深い。今後さらに多くの琉球絵画の調査が実施され、中国や日本絵画との比較を十分に行い、その類似点や相違点を明らかにすることで、琉球絵画の全体像が明らかになることが期待される。

参考文献

- 1) 下山進、下山裕子：国宝「琉球国王尚家関係資料」工芸品(染織資料等)の非破壊分析調査報告、那覇市歴史博物館紀要、第1号、2-88(2009)
- 2) 早川泰弘：銅系緑色顔料の多様性とその使用例、保存科学 48、109-117(2009)

近世絵図資料に使われた彩色材料の科学的調査

Scientific Research on Color Materials Used for Maps in Early Modern Japan

○吉田直人¹、早川泰弘¹、村岡ゆかり²、杉本史子²
(1. 東京文化財研究所 2 東京大学史料編纂所)

Naoto Yoshida, Yasuhiro Hayakawa
(National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)
Yukari Muraoka, Fumiko Sugimoto
(Historiographical Institute, The University of Tokyo)

1. はじめに

従来、地図や絵図に関する研究は、歴史学や地理学の側面から主に行われてきたが、杉本を代表とする研究グループは、これに美術史や文化財科学、また作成技法などの観点からの検討を取り入れた新しい地図史科学の方法論構築を目指しており、その一環として我々は科学的手法を用いた、近世絵図資料の彩色材料調査を行っている。その目的は、様々なモチーフ、記号などに対する色の使われ方、さらに時代・地域や、使用者の身分などによる変遷、相違を体系的に把握することにより、日本の近世絵図における「色」の持つ意味を探ることにある。さらに、近世絵図は作成年代や作成場所が特定されているものが多く、豊富な資料群が現存していることから、年代と地域を座標軸とした、彩色文化財の標準資料としての位置づけが出来る可能性を内包しているとの考えのもと、現在も調査を継続している。

これまでも、多くの絵図を対象とした調査を行ったが、全国に膨大な資料が現存していることを考えると、まだ具体的な議論が出来る段階とは言えない。しかし、このような資料の科学的調査には前例がないこと、また本研究は、人文、自然科学の枠を超えた学際的研究であるという大きな特徴があり、現段階でその概要を公表し、議論を行うことに大きな意義があると考えた。そこで本会では、山口県文書館で実施した調査を例とした発表を行うこととした。

2. 山口県文書館所蔵絵図資料調査の概要

調査日：2007年11月5日～6日
場所：山口県文書館 閲覧室
調査対象資料：絵図（毛利家文庫）2点、地下上申絵図7点、
および「御国廻御行程記」凡例1点

3. 彩色材料調査方法

目視調査、またデジタルマイクロスコープによる拡大画像撮影と同時に、蛍光X線分析法と可視反射スペクトル分析法による非破壊・非接触的な分析調査を行った。

【蛍光X線分析法】

測定機器：ハンディ型蛍光X線分析装置 EDAX 製
XT-35

測定条件：

・X線管球：Re(レニウム) ・管電圧、管電流：35kV、
8 μ A
・X線照射径、照射時間：約 ϕ 5mm、100～200秒 ・照
射距離：約1cm

【可視反射スペクトル分析法】

測定機器：分光光度計 大塚電子製 MCPD-7000

測定条件：

・石英製同軸Y字型光ファイバーによる送受光 ・照射距離：約1cm

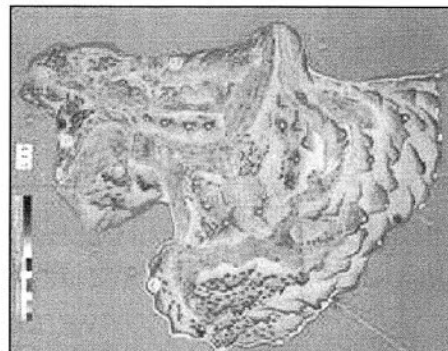


・測定波長：380～800 nm・測定時間：120 ミリ秒（10 回繰り返し測定の平均値）

絵図資料は、特に大型の国絵図では 1 辺が数メートルになるものが多い。そのため、調査にあたっては、絶対安全を確保するための治具を用いて機材を固定したうえで、慎重に分析を実施した。



毛利家文庫絵図 防長両国大絵図 慶安 2(1649)
553×330 cm



佐波郡徳地宰判高瀬村地下図 元文 2(1737)
135×106 cm

4. 分析結果の概要

・毛利家文庫 絵図

調査対象とした防長両国大絵図（慶安 2）と御両国絵図（天保長門国絵図、天保 8）を比較したところ、共通して白色には彩色材料は使われていない一方、前者では Ca 系白色材料をいわゆる「具」として使っており、他の色の色調を淡く表現していることが分かった。また、赤や緑といった彩色でも、両者間での材料の相違、モチーフによる使い分けが見いだされたものがあり、約 200 年の作成時期の違いといった観点からも興味深い結果である。

・地下上申絵図

調査した 7 点に共通して、使われている材料の多くは類似しており、また毛利家文庫絵図とも共通点が多かった。その一方、赤色は主に Hg 系であるが、Pb 系や染料が使われている資料も見いだされた。また、毛利家文庫絵図では存在しない橙色の彩色部分があり、ここからは Hg 系や Pb 系の材料が検出された。さらに一部の資料からは、As を含む Cu 系緑色顔料の存在を見出した。地下上申絵図の作成時期は、18 世紀前半～中ごろと非常に近いためか、彩色材料には大きな相違はないものの、特定の資料のみに見いだされた材料もあり、その意味については今後さらに検討するひつようがある。

このような方法で我々は全国に存在する絵図資料の調査を継続しており、今後その結果をとりまとめ、地域や時代、また絵図の種類や製作段階による彩色材料の変遷を明らかにしていきたいと考えている。

本研究は 2006～2008 年度科学研究費補助金基盤研究(A) “地図史料学の構築—前近代地図データ集積・公開のために—” および 2009～2011 年度年度科学研究費補助金基盤研究(A) “「地図史料学の構築」の新展開—科学的調査・復元研究・データベース—”（ともに研究代表者、杉本史子）による成果の一部である。また、本研究にあたっては、山口県文書館に多大な協力をいただきました。この場をお借りして深く御礼申し上げます。

参考文献

“特集 世界のなかの近世絵図 (I)” 歴史学研究 841 号 (2008.6)

駿府城内遺跡から出土した布の分析

Identification of the fabrics excavated from ruins of Sumpu Castle

○伊藤美香(昭和女子大学 生活科学部 研究支援機器センター), 小原奈津子(昭和女子大学 生活科学部 環境デザイン学科), 西尾太加二(静岡県埋蔵文化財調査研究所),
河合 修(静岡県教育委員会)

○MIKA ITO (Faculty of Human Life and Environmental Sciences, Showa Women's University), NATSUKO KOHARA (Faculty of Human Life and Environmental Sciences, Showa Women's University), TAKAII NISHIO(Shizuoka Research Institute of Buried Cultural Properties), OSAMU KAWAI(Shizuoka Prefecture Board of Education)

1. はじめに

平成 19 年度から平成 21 年度にかけて(財)静岡県埋蔵文化財調査研究所によって駿府城内遺跡の 15 世紀頃の遺構が調査された。この遺構から、本遺跡における唯一の繊維遺物である布片が発掘された(写真 1 参照)。この布片について電子顕微鏡、FTIR、熱分解 GC/MS などを用いて、分析調査した結果を報告する。



写真 1 駿府城内遺跡から出土した布(全容)

2. 実験方法

2.1 試料

長さ 9.5cm、幅 11.5cm、厚さ約 0.1cm の出土布(上記写真 1)から約 5mm 四方の布片を採取した。

2.2 方法

試料はポリエチレングリコール(PEG)で固定された状態であったため、蒸留水に浸して、PEG を除去した。この状態において、実体顕微鏡(SZ-40, オリンパス株)下での織密度・糸幅を測定した。その後、試料を蒸留水に浮遊させた状態で、超音波洗浄器に 5 秒間置いた後、蒸留水を交換する方法で 5 回洗浄したものを凍結乾燥し、分析用試料とした。形態観察は走査型電子顕微鏡(JSM-5310LV, 日本電子株)を用いて表面は無蒸着にて低真空モード(53Pa)、加速電圧 15kV で観察した。断面は試料にイオンスパッタリング装置(JFC-1100, 日本電子株)で膜厚約 20nm の金蒸着を施し、高真空モード、加速電圧 5kV で観察した。繊維幅測定は走査型電子顕微鏡の観察・計測ソフトウェア(デジキャプチャー, 日本電子株)にて単繊維 30 本の幅を測定し平均値を求めた。さらに、1 回反射 ATR(ATR PRO-410S, 日本分光株)を用いたフーリエ変換赤外分光光度計 (FT/IR480 Plus, 日本分光株)、微小部 X 線回折装置(RAPID II-CMF, 株リガク)および熱分解ガスクロマトグラフ質量分析(GC6890N/5973 Network Mass Selective Detector, アジレント・テクノロジー株)を用いて材質分析を行った。

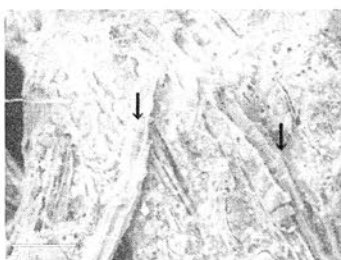
3. 結果および考察

本試料は平織りの布で、全体が硬化していた。硬化の状態は PEG 除去後も変わらず、超音波による洗浄においても織組織が緩むことはなかった。織密度はタテ糸 14 本/cm(糸幅 0.3mm~0.5mm)、ヨコ糸 12 本/cm(糸幅 0.4mm~0.8mm)であった。撚り方向はタテ糸、ヨコ糸共に S 撚りであった。撚り数は測定不可能であるが、緩い撚りであった。

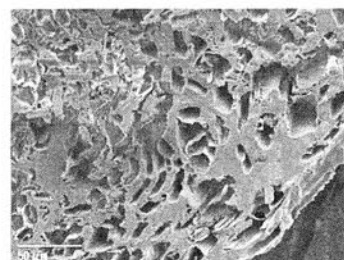
走査型電子顕微鏡で観察した試料表面像と断面像を写真 2、3 および 4 に示す。表面全体にカビの菌糸やその他の付着物が観察されたが、所々で繊維断面の輪郭が確認できた。繊維表面には結節が認められた(写真 3)。断面観察においては、繊維内部は劣化分解して空洞化しており、丸みを帯びた多角形の輪郭形状が確認できるのみであった。輪郭形状から測定した 30 本の繊維幅の平均 $18.8\mu\text{m}$ ($10.1\sim 34.8\mu\text{m}$)であった。繊維自体は消失していたが、これらの形態ならびに繊維幅は大麻繊維の特徴¹⁾と一致する。大麻は縄文前期の鳥浜貝塚からも発見されており²⁾、16 世紀に綿の普及を見るまでは苧麻に次ぐ重要織物原料とされていた³⁾。これらのことから、本試料の材質は大麻である可能性が高いと推測される。



スケール : $500\mu\text{m}$
写真 2 表面像(糸)



矢印 : 結節, スケール : $50\mu\text{m}$
写真 3 表面像(繊維)



スケール : $50\mu\text{m}$
写真 4 断面像

また、空洞化した繊維の束の間に存在する成分を調べるため、微小部X線回折装置とフーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR)および熱分解ガスクロマトグラフ質量分析装置(Py-GC/MS)を用いて分析を行った。X線回折の結果からは、 $\alpha\text{-SiO}_2$ (Quartz)をはじめとする数本の結晶性微小ピークが検出され、これらはいずれも土壌成分由来のピークと考えられた。FT-IR 測定の結果、本試料のスペクトルパターンは漆のそれに非常に類似していることが分かった。そこで、漆の存在の有無を調べるため、Py-GC/MSを用いて分析したところ、漆の主成分であるウルシオールが存在が確認された。

この分析結果と、出土場所の周辺には職人集団の住居等があったと推定されていることを鑑みて、本試料は漆器作製に使用された漆漉し布等の類の布であったことが推察された。

参考文献

- 1)セルロース学会編『セルロースの事典』朝倉書店 (2000)
- 2) 布目順郎『布目順郎著作集 第1巻』桂書房 p.90 (1999)
- 3) 日本麻紡績協会ホームページ「ヘンプ(大麻)について」<http://www.asabo.com/hemp.html> (2011,3,22 確認)

謝辞

本研究を行うにあたり、微小部X線回折測定においては株式会社リガク応用技術センター 西郷真理氏、官庁・大学営業部 有田弘道氏に、熱分解ガスクロマトグラフ質量分析においては福井県工業技術センター 渡邊暢子氏にご協力いただきました。厚くお礼申し上げます。

博多遺跡群出土中世漆器にみる下地混和材と下地調整技法

Materials and Techniques of Ground Layers of Medieval Lacquer Ware Excavated from the Site of Hakata, Fukuoka, Japan.

○武田昭子（昭和女子大学）、田上勇一郎（福岡市埋蔵文化財センター）、
赤沼英男（岩手県立博物館）、土谷信高（岩手大学）

Akiko Takeda(Showa Women's University), Yuichiro Tagami(Fukuoka City Archaeology Center), Akanuma Hideo(Iwate Prefectural Museum), Nobutaka Tsuchiya(Iwate University)

1 はじめに

筆者らは、中世交易の窓口として栄えた博多遺跡群出土漆器を取り上げ、その下地調製技法に視点を当てて研究を進めてきた。これまでは鉾物下地が施された無文漆器の塗膜断面構造解析結果について報告してきたが、今年度は、漆絵が施された13～14世紀に比定される漆器の塗膜断面構造解析結果について報告する。

2 出土遺跡（博多遺跡群）と調査資料

博多遺跡群は現在高層ビルが建ち並ぶJR博多駅北方に広がる遺跡で、博多湾に面した砂丘上に立地している。砂丘は3列あり、海側の1列は文献にも見られる「息浜（おきのはま）」で、陸側2列は記録にはないが「博多浜」と呼んでいる。この地域は、大宰府鴻臚館廃絶後の11世紀後半から輸入陶磁器の出土が爆発的に増加し、鎖国令が出される17世紀前半まで国際貿易港として繁栄した。11世紀後半までは町場が博多浜までしか広がっていなかったが、12世紀初め頃には陸地から離れていた息浜が博多浜と埋め立てでつながったことより、12世紀後半からは息浜も本格的に都市化が進む。博多には宋の商人が多数住み、日宋貿易で繁栄した。そして、鎌倉幕府は2度に渡る元軍の襲来を受けたのを機に、博多に留まる九州の御家人たちを統括する目的で1293年に鎮西探題を設置した。この頃から博多は九州における政治・軍事の中心となり、道路が整備されていった。博多浜と息浜の間は徐々に埋め立てが進み、都市の中心は北へ移動し、15世紀には息浜が博多浜を凌ぐようになる。

今回報告する40次・61次・95次の調査地点は博多浜北端にあたり、砂丘上には立地していない。これらの地域の埋立は、40次調査地点で12世紀後半、61次調査地点で13世紀中頃、95次調査地点で14世紀初め頃におこなわれている。また、40次および95次調査では南北方向の幅が2.5m、40次調査ではこれに直交する東西方向の幅が3.8～5.4mの道路が発見されており、14世紀には町場が広がっていた地点であることがわかる。40次調査資料Hkt-1は道路側22号溝出土で14世紀、Hkt-3はトレンチの出土であり、14世紀代と考えられる。95次調査資料Hkt-5、Hkt-6、Hkt-7は埋め立て土中からの出土で、14世紀初頭である。61次調査資料Hkt-14は铸造関連遺構SX142からの出土で、13世紀中頃に位置づけられている。

調査資料にはいずれも赤色の漆絵が施されている。Hkt-1（椀）は、調査資料6点中最も繊細で具象化された文様が内外面全体に描かれ、木地全体を2～3mmの様な薄さで整形している。同様に全体を薄く整形したHkt-6（皿）は、三重襷花菱文の抽象化された文様で内外面を飾る。Hkt-5（皿）およびHkt-7（皿）の内面は、赤色地塗り

で漆絵は施されていない。外面のみ植物や流水、岩等を描くが、Hkt-1の方がより熟達した描画力を示す。Hkt-14(皿)は、見込みにのみ闊達な線で抽象的な植物文が施されている。Hkt-3は外面に漆絵の痕跡はあるが少量であるため、図柄は不明である。木地及び塗膜共に、6資料中最も厚い。

3 調査方法

調査資料の摘出には医療用メスを使い、各資料の形体学的研究に影響を及ぼすことがないように細心の注意を払った。摘出した試料を2分し、一方を塗膜断面構造の観察が可能となるようエポキシ樹脂に埋め込み、薄片にした後、透過光で検鏡し、塗膜断面構造を調査した。もう一方についてはカーボン蒸着後、EPMAで色材料を分析した。

4 調査結果ならびに考察

4-1 塗膜断面構造及び赤色色材料

光学顕微鏡による塗膜断面構造観察の結果、Hkt-1,5,6,7,14が炭粉下地、Hkt-3のみ鉍物混和下地であった。炭粉下地5資料の塗膜構成は、Hkt-6の内面が3層、外面が2層からなり、その他4資料はすべて炭粉下地1層からなっていた。炭粉粒子の大きさは、5資料ともに概ね数 μm ~50 μm からなり、100 μm 以上の大きな粒子は認められなかった。また、これら炭粉下地資料の上塗りは、茶褐色層の上に、Hkt-1,6,7については透明な黄色層が、Hkt-14については黒色微細物質が混和する黄褐色層が確認された。Hkt-5には茶褐色層が認められず、透明黄色層の上に、内面は地塗りの赤色、外面は透明黄色層1層のみで、漆絵の施された個所のみ赤色層が認められた。Hkt-3の鉍物下地層は1層で、概ね数 μm ~50 μm の鉍物粒子で構成され、まばらに100 μm 程度の鉍物粒子が混在する。上塗りの1層目は、内外面ともに微細黒色物質が高密度に混和した薄層である。外面の2、3層は微細黒色物質が混和する黄褐色2層からなり、内面の2、3層は外面2層とほぼ同じ微細黒色物質が混和する黄褐色1層に地塗りの赤色層1層が重ねられた構成となっている。

Hkt-3,5,7の内面地塗りに使用された色材料、Hkt-1,5,6,7の漆絵の赤色材はいずれも水銀朱(HgS)で、Hkt-5,7内面からは微量のZnが検出されている。また、Hkt-5内面については微細なFe-S系化合物が混在する。

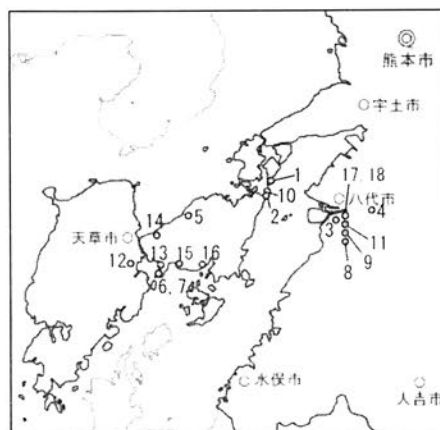
4-2 考察

塗膜断面構造観察から、調査した5点の漆絵を施した炭粉下地器物には、概ね同様な粒度の炭粉を用いた下地が内外面に施され、13世紀に比定されるHkt-14の下地と顕著な差は認められなかった。しかし、内外面全体に加飾文様が描かれているもの、内面見込み部のみ漆絵があるもの、および内面は赤色塗りだけのものがみられた。また、Hkt-5,7内面の赤色系色材料からはHgSに加えZnが、Hkt-5内面からはFe-S系化合物の混在も確認された。これらの製作技法上の相違は、時代の推移、製作地域または製作技法の変化を反映している可能性があるが、この点については、様式的な検討も含め、さらに類例の蓄積を図りながら解明を進めたい。また、調査資料の中には炭粉下地に加え、鉍物下地(Hkt-3)も確認されたが、当該資料については施文部分がなく、様式的な考察が不可能である。伝世資料も含め類例品にあたり、今後は同時期の鉍物下地資料との比較検討にも努めたい。

装飾古墳に用いられた砂岩の研究 Research of sandstone used for decorated tumulus

- 池田朋生(熊本県立装飾古墳館)、坂口圭太郎(熊本県立装飾古墳館)
朽津信明(東京文化財研究所)
- tomoo IKEDA (Kumamoto Prefectural Decorated Tumulus Museum)
keitaro SAKAGUCHI (Kumamoto Prefectural Decorated Tumulus Museum)
nobuaki KUCHITSU (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)

1. はじめに 砂岩を用いた装飾古墳は、九州でも熊本県内に多く見られ、その分布は八代海沿岸に集中する(高木 1999 等)。石材は天草諸島の南側一帯と北端の一部に見られ、天草地方独特の海岸線を構成する。近世になると、天草諸島のなかでも天草市下浦一帯で産出する砂岩を「下浦石」と呼称し、石塔、石橋などに用いられ現在に至る。この砂岩で造られる石室・石棺の装飾文様は、浮き彫り・線刻を中心として構成されるが、彩色・線刻の装飾を主体とする阿蘇熔結凝灰岩製の装飾文様と同一の系統として理解されている(高木 1999)。我々の先行研究では、近現代の凝灰岩の専門石工が硬度を意識した使い分けが為されていたことから、エコーチップ硬さ試験器を用い硬度測定を行った。それによると、凝灰岩そのものは L-max 値 485~901 と、軟岩から硬岩まで存在するが、装飾を施すことのできる石障系横穴式石室の石障や石棺の蓋は、L-max 値 600 後半~700 後半という、加工しやすい石材に限定されるということが証明されている(朽津他 2005)。そこで、装飾文様に類似性が窺える砂岩製の石障系横穴式石室や石棺材でも、特有の選択があるかを見る。



2. 調査対象 今回の調査対象は、天草上島、八代地方に見られる砂岩製の装飾古墳の他、天草下島に点在する非装飾の横穴式石室も対象とする。また、後代にも砂岩が使われる事実から、銘文のあるキリシタン墓も比較資料として扱う。

3. 方法 下浦石工によると、下浦石の区別には硬度差はなく「アカ」・「アオ」・「カブリイシ」・「砥石」の四種が存在する。表土直下にある石を「カブリイシ」と呼び、生業には適さない石とされる。この「カブリイシ」の下層に「アオ」・「アカ」が堆積し、なかでも「アオ」が重宝されると言う。海岸沿いや川沿いに露出する石材は、「ナガレヤスイ(壊れやすい)」ため生業に適さない石とされる。厳密にはこれらを指す名称は無いが、ここでは表層付近の石材と理解し「カブリイシ」に含める。「砥石」は、「アカ」・「アオ」の間に薄く入る層で、文字通り砥石のみに用いられる石材であるため、対象から除外した。石材使用の可能性のある「アカ」・「アオ」・「カブリイシ」が使用されているか観察、次いで「アカ」「アオ」、海岸で採取した「カブリイシ」を土色計を用いて L*a*b*値で測色し、特に赤色を示す a*値に注目し比較した。

更に硬度をエコーチップ硬さ試験器、モース硬度計を使用して測定し、現地の古墳に使われた部材と比較を試みた。石材サンプルである「アカ」・「アオ」の抽出は、実際に細工を行った経験を持つ大塚時雄氏(86歳)の目利きにより選定した。

4. 結果 結果を表に示す。エコーチップ硬さ試験機のデータを見ると、L-max730 から 744 に納まり、石工の発言どおり「アカ」「アオ」の硬度差は小さい。厳密に見ると、やや「アオ」が硬く、正覚寺キリシタン墓の硬度と整合的である。また「アカ」の硬度は、門前古墳、大鼠蔵東麓 1 号と酷似する。モース硬度は、新材であるサンプルに比べ、現地にある古墳は軟らかい傾向が伺えるが、装飾を持つ石棺、石障とも硬度 2.5~3.5 と同じ硬さに収まる。

次に測色値を見ると、サンプル石材の a*値は「アカ」は 3.1、「アオ」は 0.4~0.6 と表面、割れ面ともに大差は無いほか、モース硬度は硬い傾向にある。

一方、屋外に露出し海蝕痕のある「カブリイシ」は、表面は 11.9 と赤味が強いが、割れ面は 5.1 と低く「アカ」に近いという特徴がある。各古墳で用いられた石材のうち、新たな割れ面の認められる箇所の a*値を見ると、「アオ」に近い色味はひとつも無く「アカ」・「カブリイシ」と酷似する。表面の色味は「カブリイシ」と海蝕の認められる石材表面の色味が近い。

5. 考察「アオ」は比較的硬い石材であり、表面・割れ面ともに a*値は 1 を下回る。「アカ」は表面、割れ面共に a*値が一桁の値でおおむね収まる。「カブリイシ」は割れ面の a*値は「アカ」に似るが、表面の値が相対的に高く海蝕痕など礫面が観察できる。

まず、古墳時代の石材に「アオ」を用いた形跡は認められない。L-max 値から慶長 11 年（1606 年）のキリシタン墓では用いられた可能性はある。下浦石工は近世に成立したとされるが、今回は検証例が少なく今後の課題である。

次に「アカ」ないし、「カブライシ」の何れを用いていたかを考える。海蝕痕の残る石材が散見されることから「カブライシ」が用いられたことは間違いないが、こと石障系横穴式石室では、装飾、非装飾を問わず石障に海蝕痕のある石材は見つけにくい。箱式石棺では、小鼠蔵 1 号墳、大鼠蔵東麓 1 号墳で、石棺の小口面に海蝕ないし礫面が認められる。石室では海蝕痕が特に顕著な「カブライシ」は、積石、羨道、玄門に限定される。石障は「カブライシ」の下層で採れる「アカ」を用いている可能性はあるが、日奈久阿蘇神社で露出している長迫古墳石障では、石障の根元に礫面が見られる。改めてカブライシ表面の a* 値を見ると、値が 10 を超える傾向にある。この値を示す石材には五反田古墳の石障がある。他は割れ面より a* 値はやや高いが、「カブライシ」ほど赤味は強くない。五反田古墳、長迫古墳のように「カブライシ」を用いる場合もあるが、石材表面の a* 値を見ると石障には表層より下の「アカ」に似た石材を用いる例が多かったと判断される。しかし、層理に沿った面は特に a* 値が高い傾向にあり、色とともに、石材表面の有無とその観察が重要である。

なお調査にあたっては、八代市教委、天草市教委、上天草市教委、熊本大学考古学研究室の協力を得た。

高木正文 1999 「肥後における装飾古墳の展開」 国立歴史民族博物館研究報告第 80 集

朽津信明他 2005 「エコーチップ 硬度試験による文化財石材の評価-熊本県下の装飾古墳の例-

日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会

	古墳名	所在地	装飾	L-max	モース 硬度	部位	測色 箇所	a*	b*	海蝕痕のある 部位
1	広浦	上天草市	浮彫	660						-
2	大戸鼻南	上天草市	浮彫	637		石棺	表面	5.3	8.9	-
3	大鼠蔵東麓	八代市	線刻	732						石棺小口
4	門前	八代市	浮彫	730	3	石棺	表面	6.2	17.5	-
							割れ面	3.6	13.7	
5	正覚寺キリシタン墓(慶長 11 年)	天草市	浮彫	744						-
6	下浦石(アカ)	天草市	-	730	4.5	新材	表面	3.1	15.4	-
							割れ面	3.1	14	
7	下浦石(アオ)	天草市	-	744	6.5	新材	表面	0.6	8.7	-
							割れ面	0.4	4.7	
-	カブライシ	天草市	-			採取	表面	11.9	20.3	-
							割れ面	5.1	25.8	
8	田川内 1 号	八代市	線刻			積石	表面	7	18.6	積石
9	五反田	八代市	線刻		3	石障	表面	11.7	26.4	天井石?
							割れ面	4.5	20.8	
10	大戸鼻北	上天草市	線刻							積石
11	長迫	八代市	浮彫		2.5	石棺	表面	7.1	13	石棺小口
							割れ面	4.9	15.7	
12	楠浦新田	天草市	非装飾			羨道	表面	16.7	21.2	玄門・羨道・積石
							割れ面	4.6	22.8	
						腰石	表面	9.7	16.7	
							割れ面	3.4	14.6	
13	須森	天草市	非装飾			玄門	表面	6.7	23.1	玄門・積石
							割れ面	2.6	18.8	
						腰石	表面	8.6	12	
							割れ面	2.6	18.8	
14	観音向山	天草市	非装飾			腰石	表面	9.6	24	
							割れ面	7.2	19.5	
15	沖ノ瀬 2 号	天草市	非装飾							玄門・積石
16	境目	天草市	非装飾							玄門・積石
17	小鼠蔵 1 号	八代市	未確認		2.5	石障	表面	5.9	18	積石
							割れ面	5.2	14.4	
18	小鼠蔵 3 号	八代市	線刻		3.5	石障	表面	6	11.2	-
							割れ面	3.4	14.5	

石川県内遺跡から出土した古代ガラスの自然科学的研究 Scientific Studies on the Ancient Glass Excavated in Archaeological Site in Ishikawa Prefecture

○中村晋也（金沢学院大学 文化財学科）
上田千鶴（（財）石川県埋蔵文化財センター）
○Shinya NAKAMURA（Cultural Properties and Heritage, University of Kanazawagakuin）
Chiduru UEDA（Ishikawa Archaeological Foundation）

1. はじめに

石川県内の古代遺跡から出土したガラス製遺物について、これまでにいくつかの自然科学的分析研究に基づいた研究がなされてきた。このたび従来の研究成果に加えて、新たに7遺跡195点について、主にガラス基礎材質、着色剤の推定を目的に非破壊による分析調査を行った。

本研究では、これまでの調査結果と他地域の研究成果を比較し、特に材質の歴史的変遷を中心に、石川県地域の古代ガラスの特徴について得られた知見を報告する。

2. 資料と方法

本研究で考察の対象とした資料は、石川県内遺跡出土の13遺跡、合計293点のガラス丸玉、小玉、破片である。

材質と着色剤の調査は、エネルギー分散型蛍光X線分析装置をもちいて、非破壊による含有元素の定性分析を行った。また、X線透過撮影を行い、重元素を主成分とする資料の有無を確認した。

表1 分析対象資料一覧

遺跡名	時代	点数と色
押野タチナカ遺跡	弥生時代後期～終末期	淡青色小玉1点、青色破片1点
押野ウマワタリ遺跡	弥生時代後期～終末期	青色破片1点
御経塚シンデン遺跡	弥生時代後期～終末期	紺色小玉2点
中沼C遺跡	弥生時代後期～終末期	淡青色小玉101点、淡青緑色小玉5点、淡緑色小玉2点
大友西遺跡	弥生時代終末期	淡青緑色小玉1点、紺色小玉1点、紺色丸玉1点、透明丸玉1点
西念・南新保遺跡	弥生時代終末期	淡緑色小玉1点、淡青緑色小玉1点
神谷内古墳群	古墳時代前期初頭	淡青緑色10点(破片含む)
下福増遺跡	古墳時代前期	淡青緑色小玉2点
分校高山古墳	古墳時代前期	淡青色小玉1点、淡緑色小玉4点、濃紺色小玉9点、
畝田・寺中遺跡	古墳時代中期	淡青色小玉1点、紺色丸玉2点
下開発茶臼山9号墳	古墳時代中期	青色丸玉1点、青色小玉40点、紺色丸玉1点、紺色小玉9点、淡青緑色小玉8点、淡緑色小玉18点
新保ゼンボン2号墳	古墳時代後期	青紺色小玉27点、青緑色小玉11点、淡青緑色20点、淡緑色2点
分校山王1号墳	古墳時代後期	淡青色小玉2点、青色小玉3点、淡青緑色小玉1点、淡緑色小玉2点

3. 結果と考察

ガラス基礎材質による分類を行った結果、弥生時代後期～終末期の5遺跡からはカリガラスのみが出土し、弥生時代終末期の1遺跡からは、カリガラスと鉛バリウムガラスの出土を確認した。一方、古墳時代前期～中期の5遺跡では、カリガラスの出土に加えて、ソーダ石灰ガラスも出土し、2種類のアルカリ珪酸塩ガラスが同時に出土していることを確認した。そして、古墳時代中期の遺跡では、ソーダ石灰ガラスの出土がカリガラスの出土点数を上回り、古墳時代後期に至ると、ソーダ石灰ガラスのみが出土していることを確認した。

着色剤については、淡青色、青色、淡青緑色、青緑色、淡緑色とした200点のガラスを銅(Cu)による着色、青紺色、紺色、濃紺色とした91点のガラスは、不顕著なコバルト(Co)の検出と、同時にマンガン(Mn)が検出された資料が多く、コバルトによる着色と推定した。

しかし、大友西遺跡出土のガラス丸玉1点については、無着色透明の鉛ガラスであり、ガラス玉表面には赤色の顔料によると推定される着色が施されていた。この赤色部分の蛍光X線分析の結果では、透明な本体部分に比べて極めて強い強度の鉄(Fe)の検出が認められ、使用されている顔料が酸化鉄(Fe₂O₃)を主成分とする「べんがら」による着色であると推定した。しかし、大友西遺跡が位置づけられる弥生時代終末期においては、透明ガラスの出土例は多くない。また、このように透明ガラスに顔料着色を施している類例も、筆者らは発見に至っていない。この発表の機会に、諸氏のご意見を頂戴できれば幸いである。

4. まとめ

石川県内出土古代ガラスの材質変遷の特徴は、「弥生時代にカリガラスが全盛を迎え、古墳時代へと移行するに従いその数は減少し、同時にソーダ石灰ガラスの流通量が増える」という全国的なそれとほぼ同一の傾向を示すことが確認できた。

しかし、全国的に指摘されている、弥生時代後期から終末期（3世紀後半頃）におけるソーダ石灰ガラスの流通開始については、石川県内の該当時期の資料では確認できず、ソーダ石灰ガラスの出土が確認できるのは、古墳時代の遺跡からのみである。つまり、それらの流通の時期は遅れる傾向にあるのではないかと考える。

着色剤については、過去の研究成果から報告されている着色法と比較しても、大きな違いは見られなかった。先行研究によると、古墳時代の遺跡において全国的には高アルミナタイプのソーダ石灰ガラスが出土し、この高アルミナタイプのソーダ石灰ガラスが、色調に多様化をもたらしていることが指摘されている。しかし、分析対象とした資料では青色系、緑色系、紺色系の色調の資料のみである。また、今回分析対象にはしていない県内出土のガラス製遺物について報告書を元に調査しても、黄色系など色調の多様化が認められるものは数点のみであり、大半の資料は圧倒的に青色系、緑色系、紺色系の色調であった。そのため、石川県内においては、古墳時代以降も色調の多様性が見られないということも特徴であると考えられる。

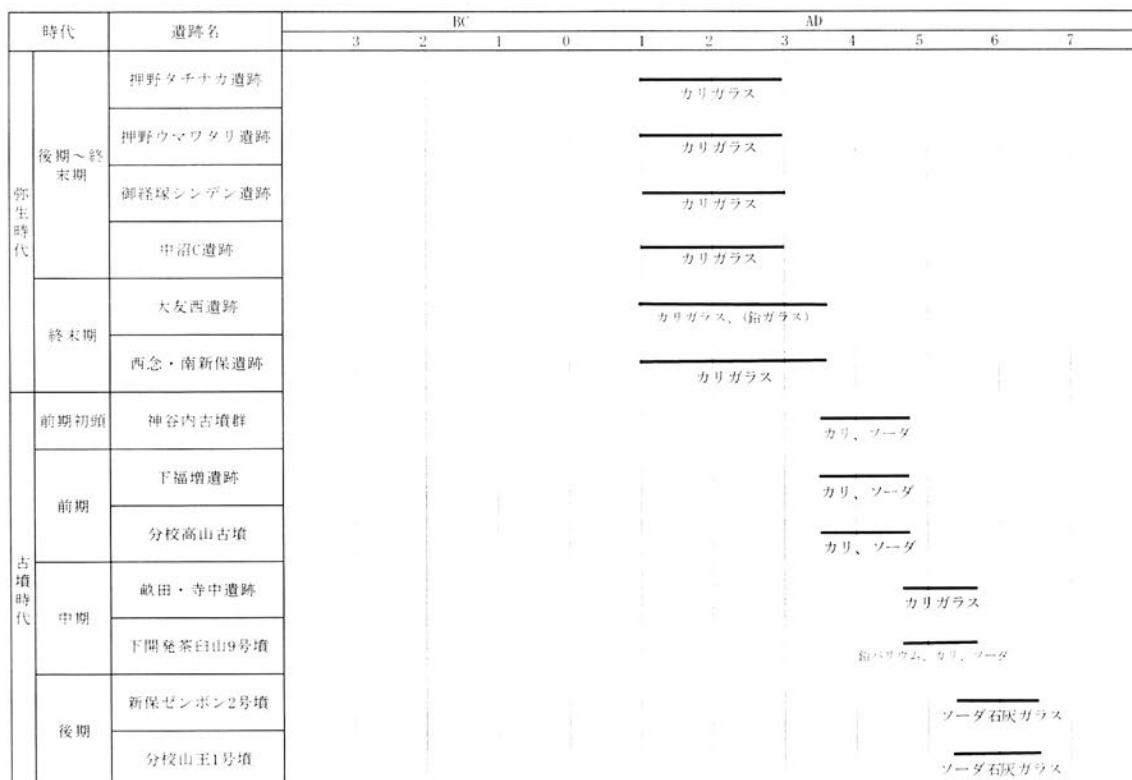


図1 石川県内出土ガラスの材質変遷

扶餘陵山里寺址で発見されたガラス器片の成分組成 The Components of pieces of glassware excavated in a temple site of Neungsan-ri

- 鄭光龍(韓国伝統文化学校),姜炯台(国立中央博物館),高珉精(国立扶餘博物館),
金洋辰(奈良大学大学院)
- Kwangyong-Chung(The Korean National University of Cultural Heritage), Hyungtae-Kang(National Museum of Korea), Minjeong-Ko(Buyeo National Museum), Yang Jin-Kim(Nara University)

はじめに

本研究は陵山里寺址第二次調査(1993)で出土されたガラス片25点(ガラス玉片18点、ガラス容器6点)を選別して微細ガラス片の内部に入っている気泡及び粒子の形態と大きさ、比重、そして成分組成データを使用してガラス片を特性化する研究を行った。また西域のガラス製品で推定される二種類のガラス容器片が実際に西域ガラスの特性を持っているか、そうであったらローマ系なのか四酸系なのか可否を明かす科学的な根拠を提示した。各ガラス片の分析の為、国立扶餘博物館の保存科学室の電子顕微鏡に付いているエネルギー分散系X線分析機(EDS)を使用して主成分及び微量成分含量を測定した。

陵山里寺址のガラス系統

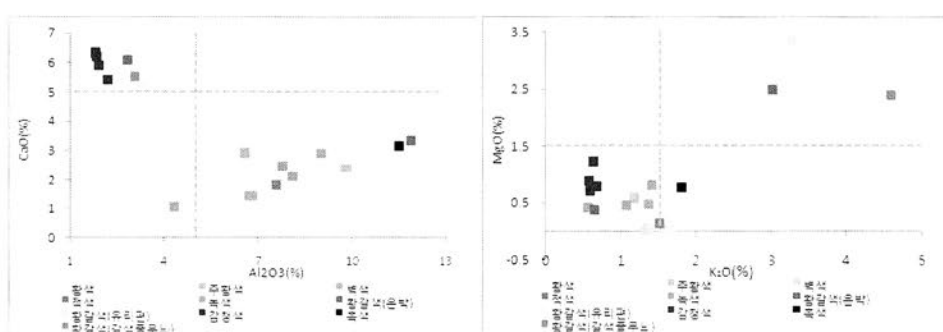
ガラス片24点を13種の酸化物を分析したら、全部 Na_2O 14~25%範囲を持つカリガラス($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$)系統であった。カリガラスを CaO 及び Al_2O_3 の含量5%を基準にしてグループを形成させて K_2O 及び MgO の含量を各々1.5%の基準に再分類した。

LCHA(Low Calcium, High Alumina) Group カリガラス系統で CaO 含量が5%以下で、 Al_2O_3 含量が5%以上のガラスである。24点の試料の中で16点が CaO 1~4%、 Al_2O_3 6~15%の含量範囲なのでこのグループである。これらは東アジア系統のカリガラスの特性で国内産は全部、このような類型である。これらの試料は K_2O 及び MgO 含量が各々1.5%以下であれば LMK(Low Magnesium, Low Potassium)に分類されるが、これはソーダ(Na)の原料として(炭酸ナトリウム、natron)を使った場合には K_2O 及び MgO 含量は各々0.0~0.8%、0.6~1.8%犯意であることが分かる。一部の試料は K_2O 含量が若干違うことがあるが他の成分がその以下に非常に低いので LMKに見られる。

HCLA(High Calcium, Low Alumina) Group カリガラス系統で CaO 含量が5%以上で、 Al_2O_3 含量が5%以下のガラスである。24点の試料の中で8点が CaO 1~4%、 Al_2O_3 6~15%の含量でこのグループである。また MgO 及び K_2O 含量基準によって HMK(High Magnesium, High Potassium)

または LMK(Low Magnesium, Low Potassium)に分類された。HMK は 3 点でその範囲が各々 2.5～3.5%及び 3.0～5.0%で LMK は 6 点で各々 0.7～1.2%及び 0.6～0.7%であった。

<図 1>は CaO vs Al₂O₃ 各濃度 5%を基準にして表した分布図である。5%を基準に明らかに分類されて Al₂O₃ 濃度範囲は広く分布して CaO 幅は狭い。<図 2>は MgO vs K₂O に関する分布図で各成分 2%を全部超えるのは 3 点である。本研究で分析した陵山里寺址のガラス片の成分組成を見ると HCLA グループに属するガラス片が西域ガラスの成分組成と一致した。また K₂O 及び MgO の含量が 1.5%以下になる試料はローマ系として 6 点で紺青色ガラス片が全部これに属した。また K₂O 及び MgO の含量が 1.5%以上のものは四酸系として 3 点で黄色銀箔玉 2 点と黄褐色ガラス片 1 点のことが分かった。



<図 1> 成分含量(CaO vs Al₂O₃)

<図 2> 成分含量(MgO vs K₂O)

紺青色及び黄褐色のガラス: HCLA グループ(西域系) LMK(紺青色)及び HMK(黄褐色)で分類
おわりに

1. 陵山里寺址のガラスの成分組成は全部カリガラス系統で安定剤(CaO, Al₂O₃)の含量によって分類した結果、典型的なアジア系統のガラスである LCHA グループ、西域系統の HCLA グループに分かれた。HCLA グループで酸化物(K₂O, MgO)の含量によって分類した結果、3 点(黄褐色銀箔玉 1 点、玉 1 点、黄褐色ガラス容器片 1 点)は四酸系、紺青色のガラス容器片はローマ系であることで判断される。

2. 陵山里寺址の銀箔ガラス玉は武寧王陵の銀箔ガラス玉と成分組成が一致した。また、国内のほかの遺跡(王興寺址、咸平新徳古墳)でも銀箔ガラス玉が類似の成分組成を表したので今後これに対する比較検討が要求される。

3. 陵山里寺址のガラス玉(黄色及び緑色)の中で PbSnO₃(lead tin oxide)を着色剤で添加したものがあがるが、この成分は風納洞遺跡、武寧王陵及び皇南大塚のガラス片でも確認されたことがあるので百済と新羅で共通で使用したのが分かる。

本研究の結果は百済と西域間の文化的関係を見られる科学的証拠を提示したのである。小さい破片であるがこのガラス製品は対外交流の側面が見られる手掛かりになるだけでなく、今後韓半島のガラス研究に決定的な試料になると思う。

高麗時代青銅佛坐像の製作技法研究

Study on the Manufacturing Technique of bronze Buddha in Koryo Dynasty

○鄭光龍(韓国伝統文化学校)・姜元求(韓国伝統文化学校)・

都日晷(韓国伝統文化学校)

朴眞明(影算文化財研究院)・金洋辰(奈良大学大学院)

○Kwang Yong-Chung(The Korean National University of Cultural Heritage),
Won Ku-Kang(The Korean National University of Cultural Heritage),
Mi Sol-Do(The Korean National University of Cultural Heritage)
Jin Myung-Park(Young San Cultural Heritage Researcher)
Yang Jin-Kim(Nara University)

はじめに

本研究は全南康津の高聲寺で発見された高麗時代の青銅佛坐像を対象にして科学的分析を行った。遺物の状態を診断するため保存処理及び分析前の 3D 精密スキャン、 γ 線撮影、損傷図の作成を行って組成成分比と産地、製作技法などを明らかにするため誘導結合プラズマ発光分析(ICP-AES)、鉛同位元素比(TIMs)、蛍光 X 線分析(P-XRF)、X 線回折分析(XRD)、微細組織観察を行った。分析結果、佛坐像の組成成分は Cu、Sn、Pb を合金した青銅であることが分かって原料の産地は中国南部であった。そして微細組織観察の結果、製作当時の鑄造技法を利用して徐々に冷却させる方法を通じて製作したのが分かった。

科学的分析

誘導結合プラズマ発光分析(ICP-AES)結果 Cu 88.08%、Sn 14.01%、Pb 2.70%、以外の微量元素 4 種の結果であったので Cu、Sn、Pb を合金して製作したのが分かった。

鉛同位元素比(TIMs)結果は韓国、中国及び日本の方鉛石を分析した Mabuchi の鉛同位元素の分析データを使用した。この方法で韓国、中国及び日本の方鉛石の鉛同位元素比を図で示したのが図 1, 2 である。図 2 では中国南部(□)試料と日本(×)試料が一部重なっていてこれらの二つの地域間の分布には多少混乱である事が分かる。図 1, 2 を比べてみると方鉛石試料の分布は大きく韓国南部(△)、韓国北部(▲)、中国南部(□)、中国北部(■)、日本(×)地域で、五つの試料群に分類されるのが分かるので鉛原料の産地推定が可能であることが分かる。高聲寺の青銅佛坐像について鉛同位元素比を方鉛石試料と一緒に図で示してみると図 1, 2 に表したように高聲寺の青銅佛坐像に使われた鉛は中国南部(□)であることが分かる。

微細組織観察結果、組織は共晶形態の樹枝状組織で青銅の鑄造組織が良く現れている。基地は初晶 α で樹枝状の間に灰色部分(粒界のように見える部分)は $\alpha + \delta$ 共晶状である。また組織写真から見える黒色の点は Pb またはその他の不純物が析出されたことに見える。

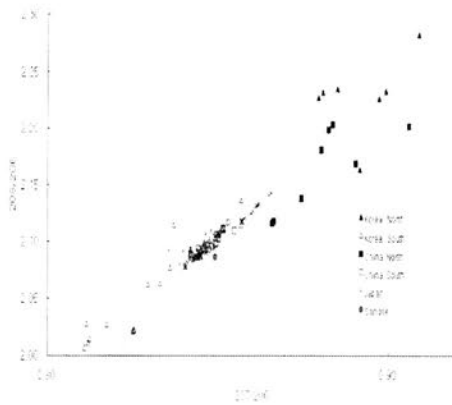


図 1.1 分布図(type-A)

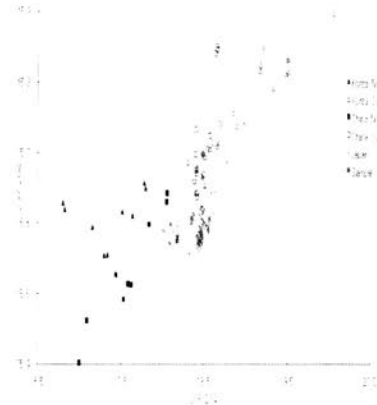


図 2.2 分布図(type-B)

X-線回折分析(XRD)は鑄物砂、鍍層、顔料に区分して行った。分析結果、鑄物砂部分の XRD のピークではほとんど石英の状に見られてその以外に検出されと思われた Fe, Cu, Pb, Ti の意味がある状は見られなかった。そして鍍層では石英と Malachite が検出され、布の裾で観察される朱黄色の顔料と佛身の白色顔料をピークマッチングした結果、布の裾の朱黄色顔料では石英、錫、鉛が検出されて佛身の白色顔料では石英、銅、錫、鉛、砒素などの成分が検出されるのが確認できた。

おわりに

1. γ 線撮影結果、胸部分に亀裂部分が肉眼に観察されたことより広い範囲で発生したのが観察され、向友側膝とおお尻の部分で顔料で覆われて見えなかった鑄造不良によってできた穴が観察された。

2. 鉛同位元素比(TIMMS)結果は韓国、中国及び日本の方鉛石を分析した Mabuchi の鉛同位元素の分析データを使用して、Brill 及び Mabuchi などが産地推定に応用した鉛同位元素比によった方鉛石の分類は一般的に使われている $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} : ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (type-A)及び $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} : ^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (type-B)の図示法使用された。そしてその結果、高聲寺青銅佛坐像の産地は中国南部であることが確認された。

3. 誘導結合プラズマ発光分析(ICP-AES)結果、Cu と Sn の含量は銅 88%、錫 14%で微量元素の Pb、Zn、Ag、Ni なども検出された。

本研究結果は高麗時代青銅仏像の時代別製作技法研究にいい資料に活用されると思われる。

ルーマニア・ホレズ修道院の壁画彩色技術： 北の教会と東の教会の壁画に関する予備調査

Painting technology of the Monastery of Horezu: Preliminary *in-situ* investigation for the North Church and East Church (Hospital Church)

○谷口陽子（筑波大学大学院人文社会科学研究科）
日高 翠（東京藝術大学大学院美術研究科）
ダン・モハヌ（ブカレスト国立美術大学保存修復学科）
オリンピア・ヒナマツリ・バルブ（ルーマニア国立歴史博物館）

○Yoko Taniguchi (Graduate School of Humanities and Social Sciences, University of Tsukuba),
Midori Hidaka (Graduate School of Fine Arts, Tokyo University of the Arts),
Dan Mohanu (Department of Conservation-Restoration, National University of Arts, Bucharest),
Olimpia-Hinamatsuri Barbu
(Centre of Research and Scientific Investigation, National Museum of Romanian History, Bucharest)

はじめに

研究の対象であるホレズ修道院は、17世紀末に建てられたルーマニア正教の修道院で、ルーマニア南西部のオルテナ地方に位置する。聖コンスタンティヌス・エレナ教会と、その周囲東西南北に配された4つの付属教会堂がある。それぞれの内部を装飾する壁画は、中期ビザンティン様式とルネサンス様式を融合させたといわれるこの地方独特の美術様式の代表例である。ブルンコヴェネスク様式と称されるこの様式は、その建築的特徴で知られるが、その絵画技法に関しては不明点が多い。ホレズ修道院で使用された材料と技法を分析・考察することは、本様式の技法的な効果を理解し、美術史的な位置づけをするための重要な資料となる。

ホレズ修道院は、ワラキア公国の君主コンスタンティン・ブルンコヴェアヌによって創建された。今回は、予備調査として、ホレズ教会群のうち比較的オリジナルの状態が保存されている東の教会（病院教会：1696年～1699年）と、北の教会（1698年～1700年）の壁画を取り上げ、使用されている色材とその利用法について比較、検討をする。

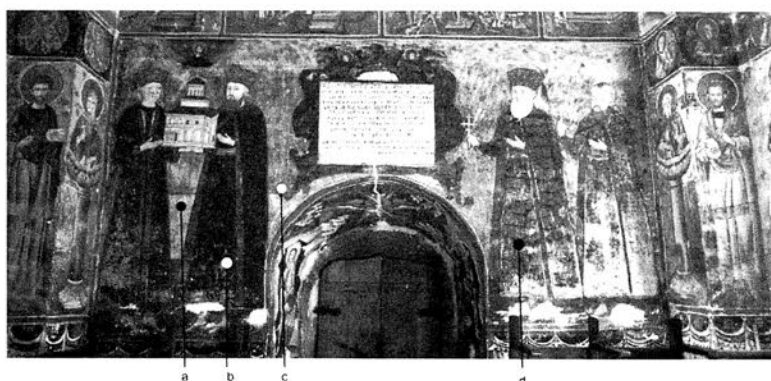


図1. 東の教会西壁。教会寄進者であるブルンコヴェアヌ夫妻が描かれている（模型を手にもつ）

分析

現地調査において、壁構造の観察、線刻を伴う下描きの有無等の絵画技法の観察、ハンドヘルド型蛍光X線装置（InnovX社製α6500）による元素分析、可搬型小型顕微鏡（Microadvance

社製)による粒子状態の観察、記録を行った。得られたスペクトルは、MATLAB ソフトウェアを用いて主成分分析およびクラスター分析を行い、スペクトル間の相関を検討した。

考察

ホレズ教会の壁画に用いられた色材に関する先行研究では、17～19 世紀に多用されたスマルト(青) [コバルトを含んだカリガラス]、人造の塩基性炭酸銅であるブルーヴァディター(青)、マラカイトと人造のヴェルディグリの併用(緑)、オーカー、水銀朱、鉛丹(赤)、15 世紀からルーマニアで使用される金箔、17、18 世紀以降登場する銀箔が報告されている。今回の調査でも先行研究に調和的な結果が得られたが、一方では、相当量のヒ素系顔料(図 1 : a)、鉛と共存するスマルトの利用、銀箔の上に鉛を含んだ顔料とワニス状の有機物質による装飾が多用されていること(図 1 : b, d)などが新たに明らかとなった。また、緑色については、粒子形状やサイズの観察から、天然鉱物由来ではなく人造のグリーンヴァディターを利用した可能性が指摘される。

東の教会の中で最も重要な絵画部分は、寄進者であるブルンコヴェアヌ公夫妻の描かれた西壁であろうと考えられる。この部分の人物像の衣や寄進の文字部分はすべて銀箔の上に鉛系顔料で装飾したものであり、箔の上にはワニス状の有機物質が塗布されている。銀箔はすべて暗色に変色しており、装飾も不明瞭になっている。人物の間の空間は、ヒ素が検出されているため、塗布されていたなんらかのヒ素系顔料が変色したと思われる。

東、北の教会には、一回の壁塗りの面積が大きいことなど共通した特徴がみられる。異なるスサを混ぜた 2 層の下塗りを厚めに塗ることで、2、3 日間壁面の湿気を保つことが可能となるポンタータに近い技法と言える。また、ブオン・フレスコ技法、メツ・フレスコ技法、セッコ技法の 3 つを、漆喰の乾燥具合にしたがって使い分けていたと考えられる。衣服の細かい模様や箔装飾、最終的な輪郭線などは、壁面乾燥後にセッコ技法で描いたもので、ブオン・フレスコ技法での仕事はおそらく、オーカーでの下素描、基本色とその陰影をつける過程までである。明部は顔料と消石灰もしくはビアンコ・サン・ジョヴァンニを混ぜたもので描いている。二つの教会堂で技法上異なる点は、箔の使用と衣服の細部描写である。北の教会は、背景の星

模様の金箔装飾が東の教会に比べてかなり少なく、衣服の描写にも箔の使用が少ない。東の教会の箔が変色し、そのオリジナルの装飾の様子が不明確なのに対し、北の教会は顔料による細密描写が多く残っており、その装飾性の高さが観察できる。なお、スペクトルの相関関係を見ると、鉛丹の赤、銅系の緑など Pb や Cu に依存してグルーピングができる。

東、北という教会の違いではなく、むしろ含まれる主成分に依存してクラスター分けされることが明らかとなった。

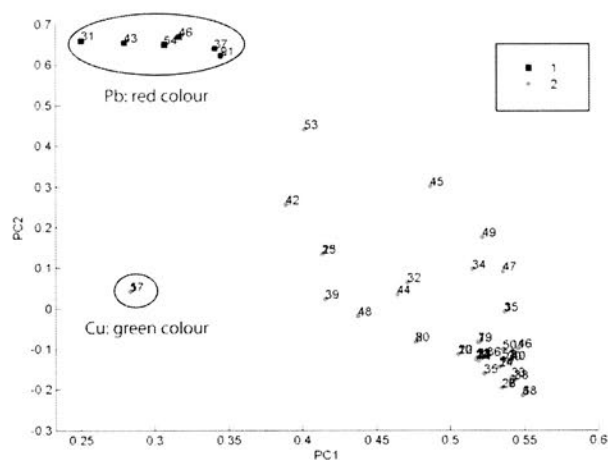


図 2 主成分 1 : 主成分 2 のプロット

(■ 1 および ● 2 はクラスターを示す。2～13, 28 : 東教会, 30～54 : 北教会)

参考文献

IOAN ISTUDOR, Consideratii tehnice asupra unor picturi murale din România (epocile antică, medievală, modernă), *REVISTA MONUMENTELOR ISTORICE*.

〔付記〕本研究は、平成 23 年度文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B)) [油彩技法の起源に関する東西壁画の技法材料の比較研究(研究代表者: 谷口陽子)] による成果の一部である。

赤色顔料が塗布された薄片の調査

The material analysis of small fragments coated with red pigment.

○内山伸明（鹿児島県立埋蔵文化財センター）

○Uchiyama Nobuaki (Kagoshima Prefectural Archaeological Center)

1 はじめに

下鶴遺跡（鹿児島県伊佐市）は、平成 18 年 7 月豪雨に対する激甚災害対策事業により平成 21・22 年度に調査した。九州屈指の河川である川内川の支流沿いにある本遺跡では、縄文時代中期から近世に至るまでの遺構・遺物が数多く発見された。中でも弥生時代中期の土坑から出土した銅戈は、鹿児島県初出土であり中部・北部九州との交流を考える上で非常に重要な遺跡である。

調査を進める中で、赤色顔料が塗布された薄片が埋土中に点在している土坑墓を検出した。時期は中世と考えられるもので、大半が数ミリ角、厚さ 0.5 ミリ以下の微細なもので、その数は数百点に及んだ。この薄片と、膜状に残る断片を含むブロック（写真 1）を採取し、形状観察や成分分析を行ったので報告する。

2 観察・分析方法

(1) 検出及び形状観察

膜状に残された断片を含むブロックを、バインダーで補強しながら竹串・筆等で慎重に検出していき、4 cm 角ほどの、口縁部と思われる二つ折り状・二重の膜を得た。赤色顔料は膜の外表面全面に塗布されており、内表面には見られない。この膜と、点在していた薄片の中から状態のいいものを数点選び、双眼実体顕微鏡（Nikon SMZ1000）による表面観察と断片観察及び走査型電子顕微鏡（日本電子製 JSM-5300LV）による観察を行った。断片観察は、薄片をエポキシ樹脂に封入し、表面研磨してプレパラートを作成したものを観察した。

(2) 成分分析

エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（堀場製作所製 XGT-1000, X 線管球ターゲット：ロジウム）を使用し、右の条件で分析した。資料は取り上げ時にバインダーで保護していたため、アセトン及びエタノール洗浄したのち、非破壊で分析した。標準試料による補正はしていない。

X 線照射径	: 100 μ m
測定時間	: 200 s (各電圧 100s)
X 線管電圧	: 15/50 kV (多元素測定)
電流	: 自動設定
ハルス処理時間	: P3
X 線フィルタ	: なし
試料皿	: なし
定量補正法	: スタンダードレス

3 結果

(1) 形状観察

ブロック内から得られた膜は碗の口縁部のような形状を呈しており、木胎相当部分が腐食により消失したものと思われる。残存部から推定すると、口径 7 cm 弱の赤色顔料を内外面に塗布した容器であったと思われる。塗布面の厚さは 0.01~0.04mm ほど

どで緻密であり（写真2），断面には直径0.3mm前後の穴が多く見られた（写真3）。この穴は薄片の裏面に筋状の突起となって現れている。その形状から道管であると思われる（写真4）。顔料塗布面を電子顕微鏡で観察した結果，微細な粒子が見られた（写真5）。これは当センターでこれまでに確認している水銀朱付着土器に見られるものと同様の粒子である。また，表面に残された埋土にはバブル状の火山ガラスが多く見られた。

(2) 成分分析

顔料面を分析した結果，顕著な水銀（Hg）のピークが見られた（図1）。このことから，この顔料は水銀朱（HgS）であることがわかった。裏面からは，土壌成分と思われるケイ素（Si），アルミニウム（Al），鉄（Fe）のほか，水銀（Hg）の強いピークと微量の硫黄（S）を検出した。

4 まとめ

この薄片は植物性の材料に水銀朱（HgS）を塗布した，何らかの容器であることが想定できる。しかし，この薄片は土坑内の広い範囲に点在しており，現場採取で数10点，室内精査ではおよそ500点を確認している。この状況を見ると，膜状に残った部分以外は粉々（おそらく数ミリ角にもなるほど）に砕かれて撒かれ，水銀朱が塗布された部分のみが残ったと思われる。

5 鹿児島県内における水銀朱塗布例

当センターではこれまでに，県内5遺跡から縄文時代晩期の土器付着2例，弥生～古墳時代の土坑墓床面散布1例，古墳時代の人骨（頭蓋骨）付着1例，中近世の輸入陶磁器付着1例の水銀朱を確認している。



写真1 膜状薄片を含むブロック
(矢印は薄片を示す。連結部は膜状に残る薄片を示す。)



写真2 顔料塗膜

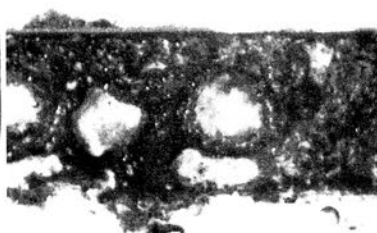


写真3 顔料薄片断面

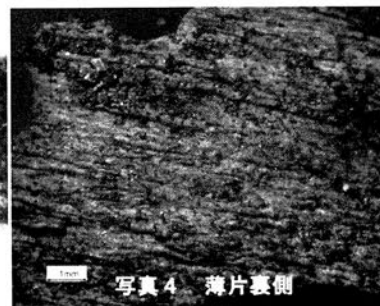


写真4 薄片裏側

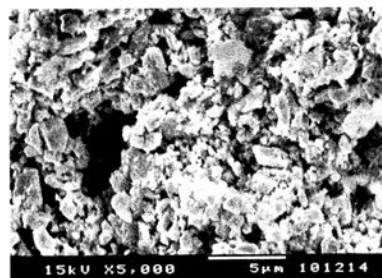


写真5 顔料表面SEM像

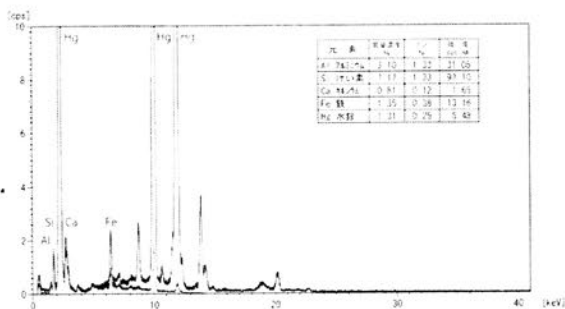


図1 蛍光X線分析結果

EDX による古代ガラス材質分析の一方法の研究

Study of the ancient glass material analyticalby EDX method

○高橋 健太郎(奈良大学大学院)、西山要一(奈良大学)

○Kentarou Takahashi(Nara university)、Yoichi Nishiyama(Nara Univirsity)

1.はじめに

今日、古代ガラス材質の分析には、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置(EDX)が広く用いられており、分析結果は酸化物の定量値により解析が進められている。一方で、定量分析が条件的に困難な場合は、定性分析に止まる場合もある。しかし、定性分析の結果からでも、材質に関わる多くの情報が得られることが望ましい。さらに古代ガラスの資料価値や数も考慮すれば、方法としては非破壊分析であることが望ましい。以上の点から、古代ガラス材質の EDX による非破壊分析に、X 線強度の比率(強度比)を用いる方法について検討した。強度比は、資料形状等による強度の変化が相殺された値となるため、材質の相違を比較できる。

2.実験方法

本発表では、非破壊分析の際に生じるガラス個体内での各元素の X 線強度のばらつきについて実験を行い、試験的に福井県天神山 13 号墳より出土したガラス玉の定性分析の結果から、強度比による材質的特徴の識別を行った。各実験には、奈良大学設置の EDX(Eagle II XXL:EDAX 社製)を用いた。いずれも分析条件は X 線管球:Cr、分析径:100 μ m、管電圧:40kV、管電流:480 μ A、測定時間:180 秒、測定雰囲気:真空とした。今回、強度比の算出のために分析対象とした元素は Si、Na、Mg、Al、K、Ca、Ti、Fe である。

3.ガラス玉の非破壊分析の精度

i)資料形状が分析精度に与える影響について測定距離、資料面の角度の変化について実験を行った。分析試料には、市販のスライドガラス(S2215 松浪硝子工業社製、ソーダ石灰ガラス製)を用いて、基準となる分析位置より測定距離と資料面の角度を変化させて 10 回の繰り返し分析を行った。評価は、Net 強度より強度比(Si,Na,Mg,Al,K,Ca,Ti,Fe/Si+Na+Mg+Al+K+Ca+Ti+Fe)を算出して行った。分析の結果、検出強度の大きさにより変動係数が左右されるが、各元素の比率を取ると概ね同じ値となり、資料形状の影響は相殺されている(表 1)。

次に、ii)出土資料の個体内でのばらつきについて実験を行った。分析試料には滋賀県野洲市円山古墳 6 点(6c 後半)、大阪府南河内郡河南町シヨツカ古墳 3 点(6c 後半~7c 前半)、福井県福井市天神山 13 号墳 6 点(6c 前半)、同県同市花野谷 1 号墳 2 点(4c 前半)を用いた。それぞれ玉の小口面、側面の 20 ヶ所を分析した(図)。評価は、i)と同じ強度比を算出して行った。各遺跡いずれの資料も見掛けの保存状態は良く、引き伸ばし法で製作されたものである。分析の結果、各遺跡いずれの資料も、分析値の変動は i)の結果より大きいか同等となっているが、標準偏差からみて非破壊分析でも材質の特徴を見出すことは十分可能と考えられる(表 2)。しかし、本装置では、Na、Mg は検出自体が困難であるため、精度良く分析するのは難しい結果となった。

4.天神山 13 号墳出土ガラス玉の材質の識別

天神山 13 号墳出土のガラス玉黄色系 1 点、黄緑色系 9 点、青緑色系 39 点、紺色系 19 点について、強度比による材質的特徴の確認を試みた。分析の結果、検出元素とスペクトルのピーク形からソーダ石灰ガラス、カリガラス、高アルミナソーダ石灰ガラスの 3 種類が推定された。さらに、基礎ガラス材質間の主成分元素の相違を明確するために、一例として(Al,K,Ca/Si+Al+K+Ca)強度比を算出した(表 3)。この

結果を、三角ダイアグラムにプロットすると、各元素の強度比の違いにより、基礎ガラス材質ごとに大きく三つのグループが確認でき、各元素の含有量の傾向が現れている(図)。また、各資料の個体差に関して、先述の個体内のばらつきも考慮すると、材質の細分化を安易に進めることはできないものの、一個体ごとの特徴が表されると考える。

以上の結果より、非破壊分析から、強度比を用いてガラス玉の材質の特徴を識別することは十分可能と考えられる。今後は、さらに材質分析の目的に応じて強度比を使い分ける方法について研究を進めると共に、他遺跡の資料についても調査を進めていきたい。

表 1 i)結果:スライドガラス各分析条件結果例

各実験条件	強度比	Si	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Fe
分析基準位置	平均値	0.2027	0.0016	0.0019	0.0036	0.0231	0.7530	0.0108	0.0034
	標準偏差	0.0016	0.0004	0.0004	0.0004	0.0006	0.0016	0.0004	0.0002
基準位置より測定距離 3.0mm	平均値	0.2009	0.0014	0.0020	0.0036	0.0232	0.7550	0.0107	0.0032
	標準偏差	0.0015	0.0003	0.0004	0.0004	0.0008	0.0028	0.0007	0.0004
基準位置より測定角度 45 度	平均値	0.1954	0.0017	0.0018	0.0034	0.0233	0.7593	0.0116	0.0036
	標準偏差	0.0027	0.0004	0.0004	0.0006	0.0011	0.0028	0.0007	0.0003

表 2 ii)結果:天神山 13 号墳出土ガラス玉分析結果例

基礎ガラス材質	強度比	Si	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Fe
カリガラス	20 箇所平均値	0.2704	0.0003	0.0006	0.0129	0.5496	0.0703	0.0394	0.0564
	標準偏差	0.0076	0.0002	0.0002	0.0017	0.0209	0.0088	0.0058	0.0053
ソーダ石灰ガラス	20 箇所平均値	0.2884	0.0006	0.0005	0.0084	0.0875	0.5206	0.0569	0.0371
	標準偏差	0.0076	0.0002	0.0003	0.0009	0.0063	0.0069	0.0033	0.0014
高アルミナソーダ石灰ガラス	20 箇所平均値	0.2277	0.0017	0.0004	0.0178	0.1875	0.3706	0.1335	0.0608
	標準偏差	0.0114	0.0003	0.0003	0.0010	0.0093	0.0254	0.0058	0.0025

表 3 天神山 13 号墳出土ガラス玉(Si,Al,K,Ca/Si+Al+K+Ca)強度比

基礎ガラス材質	色調	強度比	Si	Al	K	Ca
カリガラス	紺色 11 点	平均値	0.3256	0.0096	0.0819	0.5828
		標準偏差	0.0515	0.0015	0.0185	0.0486
ソーダ石灰ガラス	紺色 9 点	平均値	0.3559	0.0108	0.4499	0.1834
		標準偏差	0.0816	0.0022	0.1367	0.0623
高アルミナソーダ石灰ガラス	黄色 1 点	分析値	0.3634	0.0287	0.2891	0.3188
	黄緑色 9 点	平均値	0.3085	0.0253	0.2580	0.4082
		標準偏差	0.0265	0.0045	0.0258	0.0505
	青緑色 39 点	平均値	0.3290	0.0262	0.3052	0.3396
標準偏差		0.0365	0.0040	0.0533	0.0658	

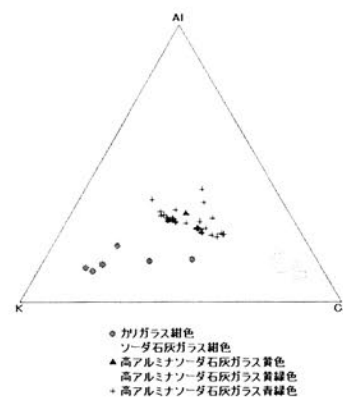


図 (Si, Al, K, Ca/Si+Al+K+Ca)強度比プロット図

謝辞 本研究を行うにあたり大阪府教育委員会、福井市教育委員会、野洲市教育委員会より資料の提供を受けましたこと、感謝申し上げます。また、奈良県立橿原考古学研究所の奥山誠義氏、株式会社理学の山川俊一朗氏をはじめ多くの方から助言を頂きましたこと、感謝申し上げます。

文化財用X線コンピューター断層撮影(CT)による 福岡県久山町個人蔵の如来形坐像の研究 Study on CT-Scanned Image of Seated Nyorai Statue

○加藤 和歳 井形 進 村田 忠繁(九州歴史資料館)

1. はじめに

九州歴史資料館は福岡県太宰府市に昭和48年に開館し、以来、大宰府史跡の調査研究および美術工芸、歴史資料の調査研究、収集、保管、展示および保存修復について多角的な活動を推進してきた。開館から40年近くを経て、平成22年11月21日、福岡県小郡市に新施設を建設し、博物館、埋蔵文化財センター、双方の機能を有する福岡県文化財保護行政の拠点施設として新たな歴史の扉を開いた。新たな九州歴史資料館においては保存科学機能の充実が図られ、新たな設備機器を導入した。そのうち文化財用X線CTスキャナは、透過像、断層像、三次元像を得られることから、これまでの非破壊による構造調査の精度を飛躍的な向上が期待できる。

今回、福岡県久山町の個人宅から新たに知られることとなった如来形坐像の調査を行い、判明した構造と、保存科学と仏教美術分野の協業による調査のあり方を模索した成果について述べていく。

2. 如来形坐像の概要と調査概要

像は、全体的な姿や来歴を考えると古様ではあるが、頭部を群青、体部を金色に厚く彩色されるなどの修理から、細部に不明な点が多く、近代の模湖作とも評される姿である。法量は像高25.7/像奥16.0cmと小型である。調査は九州歴史資料館に設置された文化財用X線CTスキャナ(YXLON International社製 Y.CT Precision S)を用いた。測定は像をターンテーブルに載せ、線源とフラットパネルディテクタとのストロークを適切にとり、約40分かけて撮像した。データの解析には、VolumeGraphics社のVGStudioMAX 2.1を用いた。調査は事前に仏教美術側による肉眼観察がなされ、一定の所見を得た上で、目に見えないものは何かといった撮像したい視点や機器の特徴などについてディスカッションを行うなど、事前に課題設定を行い、ねらいを明確化した上で、X線CTスキャナによる撮像を行った。

3. 調査の成果

調査から、表面彩色下のオリジナルな姿を浮かび上がらせることができた。一材から彫出されている点や手先が別材である点などは肉眼観察による所見と相違ないことを確認できたが、虫損状況をはじめ、肉眼では観察しにくい木心や修理に用いた丸柄の材質の違い、当初、背中を反られていた像の姿勢を変えるために施された像底の充填材および固定のための釘の形状に差異があることなど修理状況が明確になった。特に彩色下のオリジナルな造形を特徴を掴めた効果が大きく、平安時代前半の作例と判断されるに至った。この成果をもって、改めて所蔵者へ聞き取り調査を行ったところ、修理前の状況について改めて思い出したこと、気づいたことなどをご教示いただくことができ、修理の時期や、後補にいたる経緯などを明確にすることができ、この像が有する多様で豊かな情報を引き出すことができた。

4. まとめ

本研究成果を得るにあたっては、保存科学側が単に撮像、解析を行い、結果を示したのではなく、事前に仏教美術側との来歴や課題、画像の解析法などの論点を共に確認しながらの協業で撮像、画像解析を行ったことではじめて得られた情報が有用なものになった。九州歴史資料館の保存科学機能の一つとして、各種文化財の保存対策の一環として、保存の危機に瀕した文化財の緊急避難施設として機能することを目指しており、今後、今回と同様な個人蔵をはじめとする地域の文化財を積極的に受け入れることとしているので、その都度、機会を得て、各分野の学芸員と協業による調査を推進し、より有用な情報を発信していきたい。

なお、撮像にあたってはYXLON International社の協力を得た。

参考文献 井形 進「福岡県久山町の個人蔵の古仏」『九州歴史資料館研究論集』36 2011



個人蔵如来形坐像と三次元画像



三次元水平画像および断面画像

出土朱の分類の可能性 —母岩と随伴鉱物からの視点—

Classification of “Shu” (cinnabar) excavated from Japanese archeological sites

— From the viewpoint of host rocks and accessory minerals —

○志賀智史(九州国立博物館)

○SHIGA SATOSHI(Kyushu National Museum)

はじめに

古墳時代以前の遺跡から出土する赤色顔料には、朱(HgS)とベンガラ(Fe₂O₃ 外)が知られている。このうち朱については産地推定のため微量元素分析が行われることがあった。しかし、当時の朱の産地、調整、運搬、使用等に不明な部分が多く、かつ埋蔵環境による二次的な移動、包含土壌や他の遺物からの汚染、資料採取部位や方法なども考慮すると、得られた数値にどこまで考古学的な意味があるか不明な部分が多い。

発表者は出土赤色顔料のライフヒストリーに興味をもち、その第一歩として朱の分類を模索している。ここでは埋蔵環境による汚染の問題を克服する手法として、出土朱に認められる朱とそれ以外の鉱物が一粒の中で共存している粒子の調査を行ったので報告したい。

調査資料と方法

資料は縄文時代～古墳時代の3遺跡分ある(表1)。これらの朱をエポキシ樹脂に包埋、切断研磨し、断面資料を作成し、顕微鏡観察(側射光、落射光)、電子顕微鏡観察(二次、反射)およびSEM-EDS分析(EDAX社 Genesis4000,30kv)を行った。またSEM-EDS分析と同一箇所顕微ラマン分光分析(BrukerOptics社 SENTERA 532/785nm)もおこなった。

時代・時期	遺跡名	所在	付着遺物・部位	共存する鉱物	文献
縄文時代 後期後半～晩期前半	森添遺跡	三重県度会郡度会町	磨石	石英	志賀2011a
弥生時代 終末期(庄内式期)	城野遺跡 1号方形周溝墓	福岡県北九州市小倉南区	北棺と南棺の 床面	方安鉱 閃亜鉛鉱 赤鉄鉱	志賀2011b
古墳時代 前期後半	白水瓢塚古墳	兵庫県神戸市西区	床面頭部付近	石英	志賀2008

表1 調査資料と結果

結果とまとめ

大多数の朱だけの粒子に混じって、森添遺跡と白水瓢塚古墳の資料では朱と石英(Quartz, SiO₂)が共存する粒子が認められた(図 1,5)。城野遺跡では朱と方安鉱(Senarmontite, Sb₂O₃)、朱と閃亜鉛鉱(Sphalerite, ZnS)、朱と赤鉄鉱(Hematite, Fe₂O₃) (註1)がそれぞれ共存する粒子が認められた(図 2～4)。これら朱以外の鉱物は、そのあり方から朱の母岩や随伴鉱物に由来するものと考えられる。

辰砂鉱山の鉱石に含まれる鉱物は鉱山毎にある程度異なっていることが指摘されており(堀・高瀬 1955)、将来的には鉱物による産地推定も可能かもしれない。しかし、先にも触れたように考古資料としての朱はいまだ不明な点が多く、現状では鉱山資料との直接の対比は非常に難しい。

今後、共存する鉱物の分析を進め出土朱が分類できれば、朱のライフヒストリー解明の糸口になる可能性がある。ただし、共存粒子の出現率や、粒子の大小が共存の把握に与える影響など、普遍的な分類基準になり得るかという点については、これから検証していく必要がある。今後も調査を続けたい。

註1) ここで検出された赤鉄鉱はその状況からベンガラに由来するものではない。

(引用・参考文献)

志賀智史2008「白水瓢塚古墳出土の赤色顔料の微視的・科学的調査および考古学的な検討」『白水瓢塚古墳発掘調査報告書』神戸市教育委員会

志賀智史 2011a「森添遺跡出土の赤色顔料について」『森添遺跡』三重県度会町教育委員会

志賀智史 2011b「城野遺跡出土の赤色顔料について」『城野遺跡』北九州市教育委員会

堀純郎・高瀬博 1955「III 水銀鉱」『日本鉱産誌(B I -a) 金・銀その他』

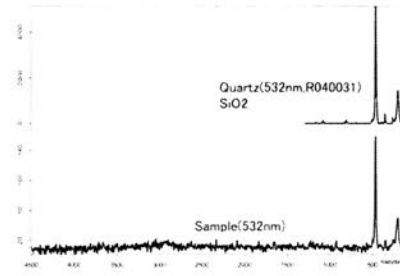
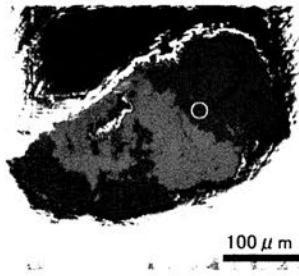


図1 森添遺跡の朱 左:SEM(BSE)。明灰色が朱(HgS)。○が測定部位。SEM-EDS でO,Siを検出。
右:顕微ラマン。石英(Quartz, SiO₂)を同定。

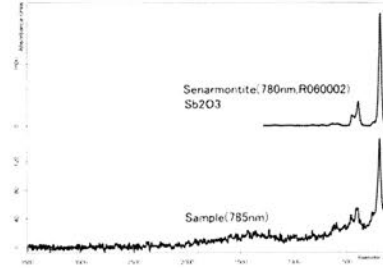
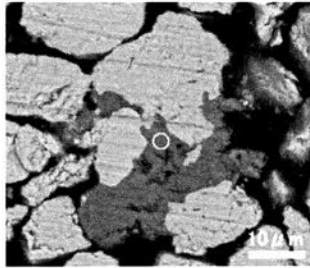


図2 城野遺跡出土の朱(1) O,Al,Si,S,Sb,Fe,Pbを検出。方安鉱(Senarmontite, Sb₂O₃)を同定。

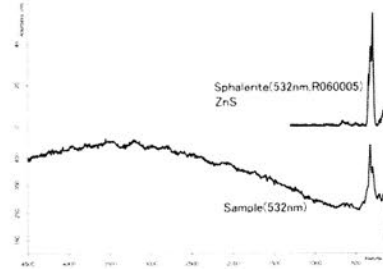
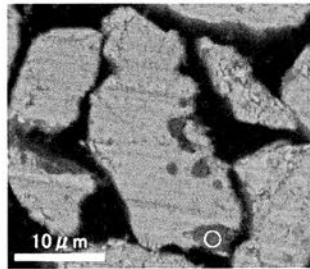


図3 城野遺跡出土の朱(2) S,Znを検出。閃亜鉛鉱(Sphalerite, ZnS)を同定。

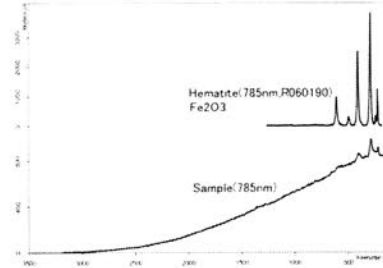
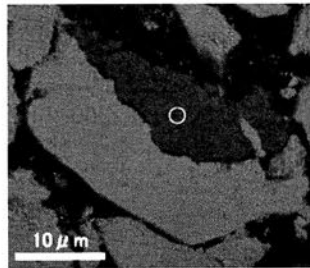


図4 城野遺跡出土の朱(3) O,Fe,Al,Si,Sを検出。赤鉄鉱(Hematite, Fe₂O₃)を同定。

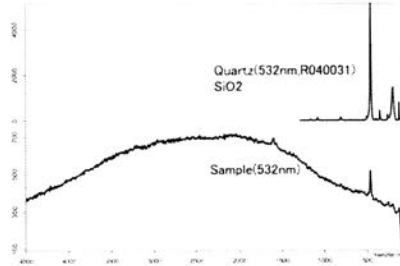
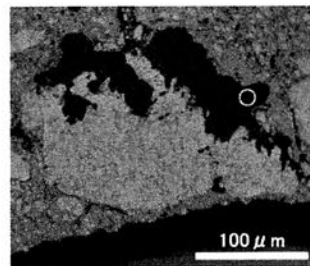


図5 白水瓢塚古墳出土の朱 O,Siを検出。石英(Quartz, SiO₂)を同定。

※ラマンのデータ解析には CrystalSleuth(<http://ruff.info/>)を用いた。

尾形光琳作「国宝 紅白梅図屏風」の金地製法解明

Investigation of the production technique of the gold ground of Korin's "Red and White Plum Blossoms" Screen, a National Treasure

○阿部 善也¹, 権代 紘志¹, 竹内 翔吾¹, 白瀧 絢子¹, 中井 泉¹, 内田 篤呉²
(1 東理大・理, 2 MOA 美術館)

○Yoshinari ABE¹, Hiroshi GONDAI¹, Shogo TAKEUCHI¹, Junko SHIRATAKI¹,
Izumi NAKAI¹ and Tokugo UCHIDA²

(1 Department of Applied Chemistry, Faculty of Science, Tokyo University of Science
2 MOA Museum of Art)

【背景】

「国宝 紅白梅図屏風 (図 1)」は、江戸時代の画師、尾形光琳 (1658~1716 年) が晩年に描いた作品で、白梅を描いた左隻と紅梅を描いた右隻の 2 枚から成る二曲一双屏風である。この屏風は光琳画業の集大成であるとともに、琳派芸術の最高傑作であるともいわれている。本屏風は先行研究でその金地が金箔製ではない可能性が指摘され、社会的に注目された。その一方で、金地が金泥で描かれたものであると判断するに足る科学的根拠は得られておらず、その金地の製法に関して疑問が残されていた。本研究では最先端の可搬型分析装置を用いた MOA 美術館におけるオンサイト非接触複合分析により、本屏風の金地の製法解明を図った¹⁾。特に金箔の延伸過程で生じる Au 微結晶の配向現象に着目し、新規な手法として粉末 X 線回折法を導入して金箔・金泥の判定を行った。

【実験】

ポータブル粉末 X 線回折計は我々が (株) テクノエックスと共同で開発を進めている装置である。本装置は Cu 管球と Si-PIN 検出器を搭載しており、BG を抑えた回折パターン²⁾の測定が可能である。本研究ではこの装置を屏風金地部分における金結晶の配向状態の評価に用いた。また粉末 X 線回折測定と合わせて、ポータブル蛍光 X 線分析装置を用いた組成分析を行った。ポータブル蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA-III は我々とアワーズテック (株) の共同開発品である。本研究ではこの装置を用いて、金地前全体に見られる格子状模様を対象とした線分析を行った。さらにデジタル光学顕微鏡 VHX-200 (KEYENCE 製) を用いた高倍率像観察 (最大 1000 倍) を行った。

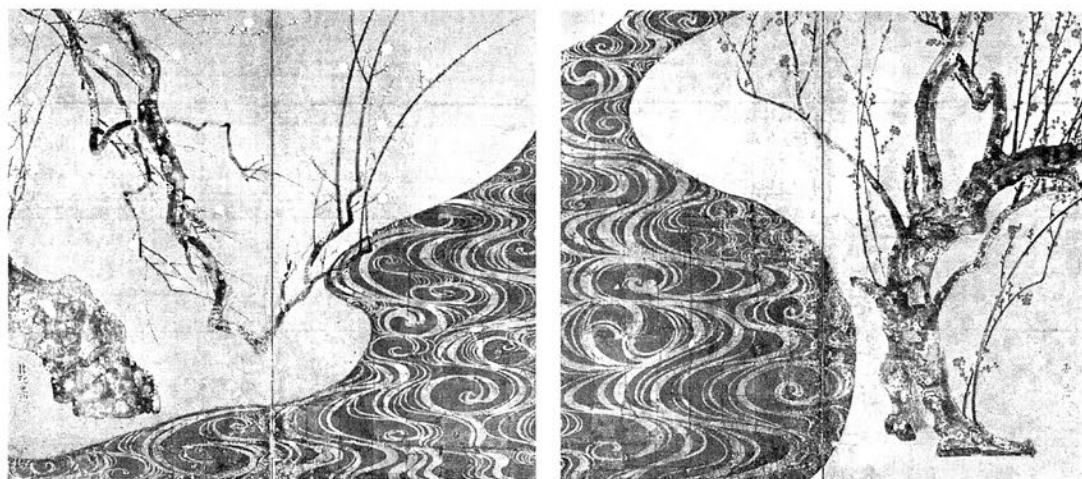


図 1 国宝 紅白梅屏風図 (尾形光琳 作)

【結果】

本研究で得られた粉末 X 線回折測定の結果を図 2 にまとめた。まず屏風の分析に先立って、近代の金箔および金泥資料の粉末 X 線回折測定を行ったところ、金箔では延伸過程で Au 微結晶の並び替えおよび一方向への整列が生じ、(100) 面が選択配向して 200 反射がきわめて強く検出されることが確認された。そこで実際の屏風の金地部分の粉末 X 線回折パターンを測定したところ、200 反射が最強となり、金箔と同一の (100) 面が選択配向していることが明らかになった。比較のために同時代に描かれた金泥画についても測定を行ったが、屏風金地に見られたような強い配向は見られなかった。以上より、屏風金地部分において Au 微結晶が金箔と同程度に配向していることが明らかとなった。

さらに屏風の金地全体に格子状模様が浮かび上がって見えており、この金地が金箔製である場合には、この格子状模様は金箔が重なった部分（箔足）である可能性が高い。そこでこの可能性を検証するために、格子状模様（幅 1~2 mm）を跨ぐ形で蛍光 X 線分析装置を用いた線分析を行った。すなわち、蛍光 X 線分析装置と屏風とを一定の距離に固定し、格子状模様部分の上 5 mm の場所から順に 1 mm ずつ装置を下方に動かしつつ、計 10 点について蛍光 X 線スペクトルを測定し、Au の蛍光 X 線強度の変化を調べた。線分析の結果、格子状模様部分において Au-L 線の強度が 2 倍以上となり、この部分では金の厚みが 2 倍以上になっていることが明らかとなった。

以上の結果より、本屏風の金地は金泥ではなく、金箔であることが科学的に示された。

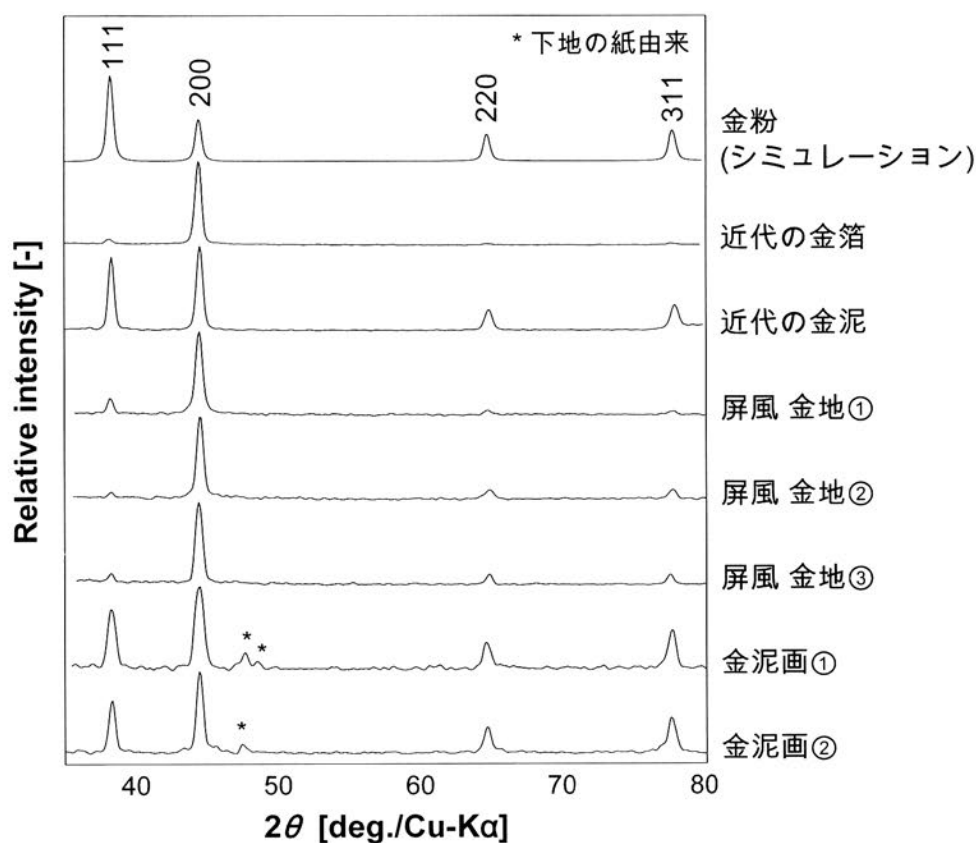


図 2 粉末 X 線回折パターンの比較¹⁾

1) 阿部 善也 ほか: 『分析化学』, 60 (2011) (審査中).

Dry-ice Cleaningを利用して鐵製遺物の表面汚染物除去研究

Application of Dry-ice Cleaning for removing Surface Contaminants on Iron Artifacts

○趙南哲 (国立公州大学校), 李恩智 (国立公州大学校), 李鍾明 ((柱)IMT),
俞在恩 (国立文化財研究所)

○Nam-chul Cho (Kongju National University), Eun-Ji Lee (Kongju National University),
Jong-Myoung Lee (Innovative Manufacturing Technology Co., Ltd),
Jae-Eun Yu (National Research Institute of Cultural Heritage)

1. はじめに

鐵製遺物は腐食化合物と異物質が表面に固着されていて長い間腐食による遺物の形態が**変形**されている場合が多い。なので保存処理を通し遺物の原型を復元する。遺物を保存処理する過程の中で異物質除去過程は遺物の形態を探ることができる過程なので重要である。この時使われるエアブラシは硝子パウダーと共に噴射されるので環境汚染を誘発して、保存処理者にも有害である。本の研究では親環境的で保存処理者に無害な先端表面洗浄装置であるドライアイス洗浄装置と、エアブラを相互比べて鐵製遺物の異物質除去程度および代替可能性を検討しようとする。

2. 研究対象と方法

本実験に使われた試料は腐食試験片と鐵製遺物である。腐食試験片は鐵片(Fe 99%)を研磨した後、6 wt %塩化鉄水溶液に沈積して強制で腐食させて製作した。鐵製遺物は棺釘と鐵釜片を選定した。実験に使われた器機はエアブラシとドライアイス洗浄装置(IMT-Snow CO₂ JET Cleaning)で、この器機にソフトノズルとパワーノズルで構成されている。

ドライアイスクリーニングとエアブラシの洗浄程度を比べるため、先に腐食試験片を利用して実験を遂行してこれを通じて導出した結果をもとにして鐵製遺物の適用実験を実施した。腐食試験片を利用する実験は噴射圧力(6bar, 5bar, 4bar, 3bar)と噴射角度(60°, 90°)は操作変数で置いて、時間(120分)と噴射距離(50mm)を一定に維持した。実験の前試料の腐食物はXRDで分析して、異物質除去後には腐食試験片に対する分析は実体顕微鏡、重量測定、非接触表面照度測定器、色度計、SEM観察を実施した。

鐵製遺物を適用した実験も噴射圧力(6bar, 5bar, 4bar)と噴射角も(60°, 90°)は操作変数で置いて、噴射距離(50mm)を一定に維持した。実験前試料の腐食物はXRDで分析して、異物質除去後には実体顕微鏡とSEM観察して、重量測定、遺物内部の変化をよく見るためX-Ray観察を実施した。

3. 実験結果

3-1. 腐食試験片適用実験

腐食試験片の異物質除去前・後の重量測定結果、全ての腐食試験片の重量は減少して、特にエアブラシの重量変化がもっと大いに現れた。色度計測定結果 a^* 、 b^* の傾向は黄色・赤色度で青色・緑色度方向に移動した。 ΔE^*_{ab} は異物質除去前と後色差のあたいでノズルの角度が90°の時色差変化が大きくパワーノズルが一番高く現われた。非接触表面照度測定器は表面の粗いを現わして、異物質除去前・後Pvにパワーノズルのデルタが高く現われる。また、大部分腐食試験片の表面の粗い程度(Ra)は減少した。SEMを通じて腐食試験片の表面を高配率で観察して洗浄実験をした腐食試験片は全部異物質が除去され、エアブラシで噴射した腐食試験片は表面が硝子パウダーによって浸食された。

3-2. 鉄製遺物適用実験

棺釘と鉄釜片の異物質除去前・後の重量測定結果遺物の重量は減少してパワーノズルの重量減少程度が一番大いに現れた。写真撮影と実体顕微鏡観察を通じて異物質除去前後を比べた。棺釘の表面を実体顕微鏡で63倍率引き伸ばして観察した結果異物質除去が成り立って、異物質除去した場合全体的な表面の色が暗く見えることを確認した。ドライアイスクリーニングを利用した洗浄は空気圧力によって材質が弱い部分と木質部が脱落して、エアブラシの場合異物質のみならず遺物保存処理の時除去しないマグネタイトまで除去されることを確認した。また、エアブラシを噴射した場合遺物に存在するクラック間に硝子パウダーが食い込むことを確認した。ドライアイスクリーニングとエアブラシ噴射後安全性を確認するためX-Ray撮影をしたし、異物質除去を通じて外形的な変化は観察できるが構造的変化は観察されなかった。SEMを通じて表面を観察した結果、すべての試片表面で異物質が除去されて表面が均等にあることを確認することができる。

4. 考察と結論

実体顕微鏡で腐食試験片と鉄製遺物の表面を観察する結果エアブラシとドライアイスクリーニングの異物質除去程度は似ているように現われた。しかし、エアブラシは表面まで浸食させることで確認されたが、ドライアイスクリーニングは棺釘表面を浸食させないことで確認された。

エアブラシは異物質除去において非常に効果的や腐食物まで除去して、硝子パウダーによる2次汚染が発生するのでドライアイスクリーニングが遺物の原型を保存するのにあり一定部分効果があることを確認した。

また腐食試験片の場合金属材質が堅くて空気圧力が高くても詩編が破損されなかったが、鉄製遺物は内部金属材質がそれぞれ異なるので空気圧力によって破損される危険が高い。それだから、エアブラシの代わりにする場合ドライアイスクリーニングのパワーノズルよりはソフトノズルが代替可能性が高いことで見られる。

また出土鉄製遺物は腐食が進行されている状態なのでドライアイスクリーニングをする場合、破損される危険があるので屋外鉄製文化財や大型遺物の異物質をとり除くのにドライアイスクリーニングを適用するのがもっと効果的だと見られる。

染織文化財に用いられた染料の超微量分析の試み (5) 染織品に用いられたプロトベルベリン類含有植物の成分分析による同定 Development of Micro-analytical Techniques for Dyes in Historic Textiles (5) Determination of Plants including Protoberberine Alkaloids used for Textiles

○佐々木 良子 (京都工芸繊維大学 美術工芸資料館),
佐々木 健 (京都工芸繊維大学 工芸科学研究科生体分子工学部門)
○Yoshiko SASAKI (Museum and Archives, Kyoto Institute of Technology),
Ken SASAKI (Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology)

はじめに

黄檗は日本や中国で古代から用いられてきた黄色染料であり、主染料成分であるベルベリンのほかに骨格を共通するプロトベルベリン類を含有する。プロトベルベリン類は黄檗だけでなく、黄連、コロンボあるいは目木などにも含まれ、共通の薬効を有し、アフリカから東アジアの生薬や染料として用いられてきた。また、プロトベルベリン類はベルベリン同様の特徴的な吸収スペクトルを有し、多くの場合同様の蛍光挙動を示すため検出は容易である。ここでは、プロトベルベリン含有植物染色布からの抽出液の成分分析により、それらの特定の可能性について、HPLCならびに質量分析により検討した。

実験

機器：紫外可視吸収スペクトルならびに反射スペクトルの測定には Shimadzu UV-3101PC を、蛍光スペクトルには Hitachi F-4500 を使用した。高速液体クロマトグラフは PDA 検出器として JASCO MCD 2010 を用い、カラムには Cosmosil 5C18 (Nacalai)、移動相溶媒には SDS/H₂O/AN を流速 1mL/min で使用した。質量分析はエレクトロスプレーイオン化ーイオントラップ質量分析機 (ESI-MS) Thermoelectron LCQ を用いて測定した。

試薬：塩化ベルベリンは市販品 (東京化成) をメタノールより再結晶して、塩化コブチジンは市販品 (和光純薬) をそのまま用いた。塩化パルマチンはコロンボ根 (吉見製薬) より、ヨウ化ヤトロリジンは唐黄連 (高砂薬業) より抽出した。

染色用染料：黄檗 (ミカン科 *Phellodendron amurense* 及び *Phellodendron chinense*) (高砂薬業)、黄連 (キンポウゲ科 *Coptis japonica* 及び *Coptis chinensis*) (高砂薬業)、目木 (メギ科 *Berberis thunbergii*) (高砂薬業)、コロンボ (ツヅラフジ科 *Jateorhiza columba*) (吉見製薬) を用いた。

結果と考察

1 分光分析

標準試料による染色絹布について、反射可視分光分析および蛍光分析を行ったところ、いずれの染色布からも、プロトベルベリン類に特有のスペクトルが得られた。この分光分析では黄連のみ可視スペクトル及び蛍光スペクトルで長波長シフトが見られるが、他の植物では蛍光強度が異なるだけの類似スペクトルが得られ、分光分析のみで植物種を同定するのは困難であるものと考えられる。

2 HPLCによる成分分析 (図1)

HPLCによるプロトベルベリン類の成分分析を行った。ヤトロリジン、コブチジン、パルマチン、およびベルベリン混合物が完全に分離する条件下において、日本産黄檗の分析を行うと、主成分のベルベリンの他に、有意の量のパルマチンと少量のヤトロリジンが認められた。中国産黄檗では同じ成分が検出されたが、パルマチン、ヤトロリジンとも含有量はわずかであった。日本産黄連では黄檗に含まれる三成分の他にコブチジンが認められ、この成分の存在が黄連を決定づけるものであり、上記の吸収・蛍光スペクトルにおける長波長シフトの原因となるものである。中国産黄連も同様であったがパルマチン量が顕著に増加するとともに、ヤトロリジンと重なる構造未知の成分が存在し、これが中国産黄連を特徴づけるものであった。一方、目木

は黄檗と比べると総プロトベルベリン量が少なく、パルマチンよりもヤトロリジンの含有量が多かった。コロンボはベルベリンを含まず、パルマチンとヤトロリジン成分とし、前者が主成分であった。以上の HPLC の結果から、染色布からの抽出液を分析することにより、プロトベルベリン類を含む植物で染められた染織品の染料同定が可能であることが明らかになった。中国南部にツツラフジ科の植物で、ベルベリンを含まない黄藤(ツツラフジ科 *Fibraurea tinctoria*)の染織品への使用の報告例があり¹⁾。コロンボと同様にベルベリンを含まないものであることから、本 HPLC 分析によって検出が可能であろう。

これまで文化財染織品の非破壊分析において蛍光挙動から黄檗であるとの同定を行ってきたが、今回、京都工芸繊維大学美術工芸資料館所蔵染織品を用いてプロトベルベリンに特徴的な蛍光挙動を示す資料について、詳細に含有プロトベルベリン成分を検討したところ、全て黄檗が用いられており、黄連や目木、あるいはツツラフジ科の黄藤の使用例は見出されなかった。

3 ESI-MS による分析

試料採取量の削減を目指し、ESI-MS を適用したところ、HPLC 分析における試料量の 1/100 量で同様の結果が得られ、プロトベルベリン類を含む文化財資料において、ごく微量の資料でのその植物種の同定が可能であった。

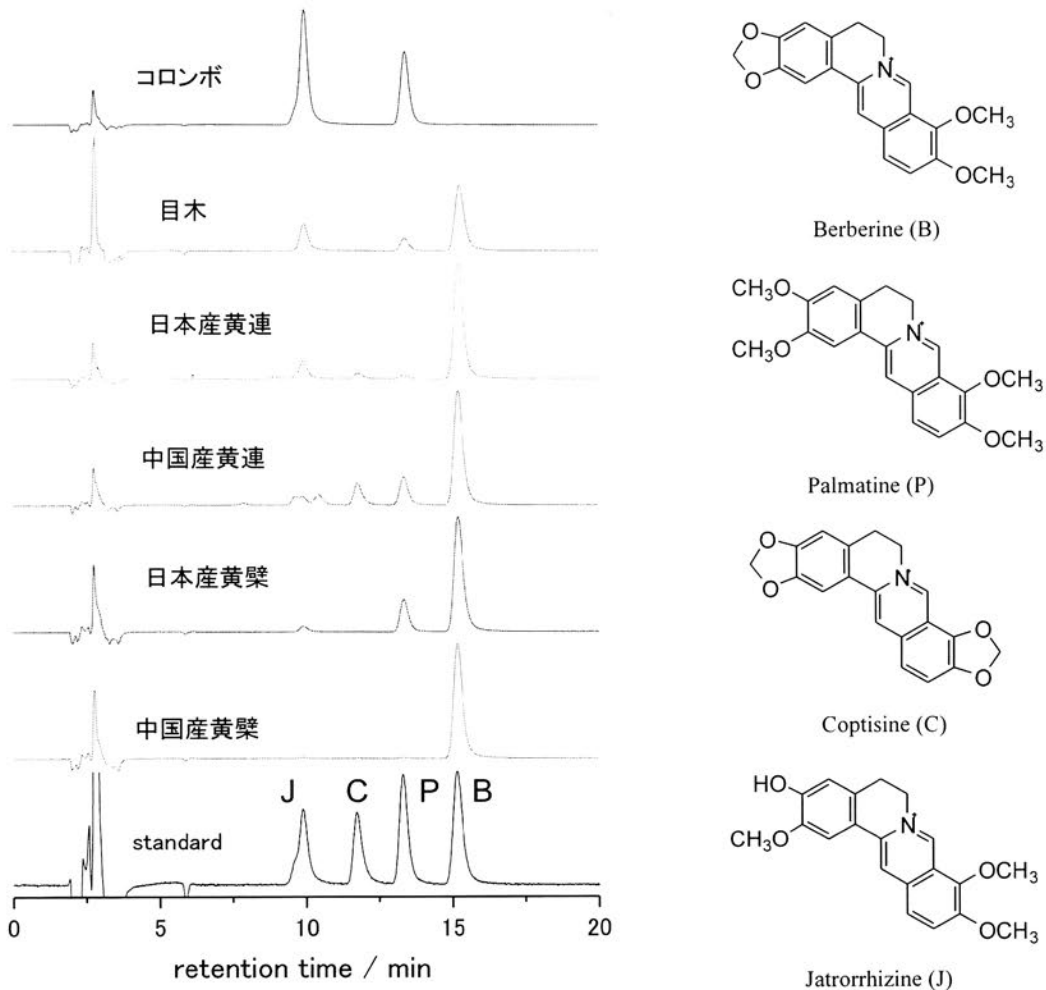


図 1 プロトベルベリン類を含む植物を用いた染色絹からの抽出液の HPLC

参考文献 1) X. Zhang *et al*, *Studies in Conservation* 52 (2007) 211-220

敦煌莫高窟第 285 窟南壁龕楣の彩色技法

Coloring technique for the paintings on the arch over the niche on the south wall in Mogao cave 285

○井上優子（東京学芸大学大学院），高林弘実（東京文化財研究所），崔強（敦煌研究院），渡辺真樹子（絵画保存修復家），岡田健（東京文化財研究所）
○Yuko INOUE（Tokyo Gakugei University），Hiromi TAKABAYASHI（National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo），CUI Qiang（Dunhuang Academy），Makiko WATANABE（Painting Conservator），Ken OKADA（National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo）

1. はじめに

敦煌莫高窟は中国・甘肅省の西北部に位置する仏教石窟寺院遺跡であり、創建以来 1600 年を経た現在でも多くの壁画や彩色塑像が残る、歴史的・文化的価値のある遺産である。色料の劣化による変退色や剥落などによって現在目にすることができない壁画の制作当初の色彩を推定することは、莫高窟壁画の絵画表現の考察をする上で意義がある。これまで、東京文化財研究所と敦煌研究院との日中共同研究において、莫高窟第 285 窟の壁画に使用された彩色材料・技法に関する調査研究が行われてきた。本研究に先立つ調査では、南壁（写真 1）に描かれた龕楣（がんび）とよばれる装飾文様について分析調査が実施されており、複数の龕楣について使用された色料とその組み合わせから彩色の様式の分類がなされ、図案の形態の類似性と使用された彩色材料に多くの共通点が見出された。そこで、本研究では、南壁に描かれた 3 つの龕楣に使用された彩色材料の共通性を検証し、彩色の様式を詳細に検討することによって、南壁の龕楣の色彩表現を考察した。

2. 調査対象および手法

本研究が対象とするのは、莫高窟第 285 窟の南壁に設けられた禅龕の入口上方に描かれた龕楣のうち、彩色の物理的な欠損が比較的少ない龕楣 2、3 および 4 の 3 つである。蓮弁形の龕楣の図案は、禅龕の入口の形状に沿うように描かれた縄状の帯、二羽の鳥と蔓草文様が配された領域、火焰文様が描かれた外縁の帯によって構成される。本研究では、そのうち、縄状の帯（写真 2）を構成する四辺形の区画と、蔓草文様（写真 3）の葉に着目して調査を行った。これまでの光学的調査（正常光、紫外線蛍光写真撮影）による彩色の様式の分類をもとに、可視光下における肉眼観察、デジタル顕微鏡による壁画表面の観察、携帯型蛍光 X 線分析による非接触調査を実施し、彩色材料および技法を推定した。

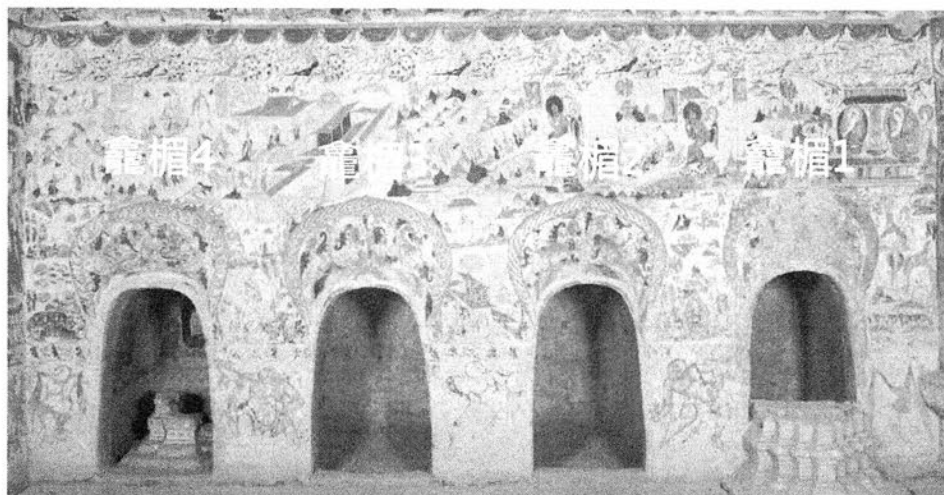


写真 1 莫高窟第 285 窟南壁

3. 結果と考察

龕楣の縄状の帯および蔓草文様の彩色に用いられた材料と技法を調査から推定した結果を表1にまとめた。縄状の帯の四辺形の区画および蔓草の葉の文様の彩色には、一つの区画あるいは文様に二つ以上の異なる色料が使用され、領域内を塗り分けていたと考えられるものが多くある。彩色材料の組み合わせおよび塗布の仕方の様式は、一部を除いて3つの龕楣で共通してみられる。したがって、南壁に描かれた複数の龕楣は共通する彩色技法を用いて描かれていると考えられる。

彩色は、制作当初赤～橙色を呈していたと考えられる r1、r2、r2*、b と、緑～青色を呈していたと考えられる gb1、gb2 に大別することができる。このうち赤～橙色を呈すると考えられる文様および区画では、下地あるいは赤色の無機顔料の上に赤色の有機色素が塗り重ねられている。赤色の有機色素のみによる彩色と推定される r1 でも、一つの区画もしくは文様内で色の濃淡がみられるものがあり、同じ色料を部分的に塗り重ねていた可能性がある。

塗り重ねによる塗り分け方に着目すると、縄状の帯の四辺形の区画は上下辺のほぼ中心同士を結んだ線を境に塗り分けがされている。ほとんどの区画で、一層目とは異なる色料を二層目以降、龕楣の中央に近い側の半分に塗り重ねることによって塗り分けられている。蔓草の葉の文様は形状の異なる三種があるが、そのひとつである半パルメット文の彩色では、葉の中央に近い内側に異なる色料を塗り重ねることによって塗り分けがされている。どちらの図案も、複数の色料で彩色をする場合は、その面積の半分を分割するように塗り分けがなされている。本研究で明らかとなった彩色に使用された色料の組み合わせおよび塗布の仕方からは、一つの区画および文様は赤～橙色あるいは緑～青色の範囲で色相あるいは濃淡を変化させて彩色され、縄状の帯や蔓草文様全体では赤～橙色と緑～青色の対比的な色相を組み合わせた縹緗彩色様の彩色が施されていたと考えられる。

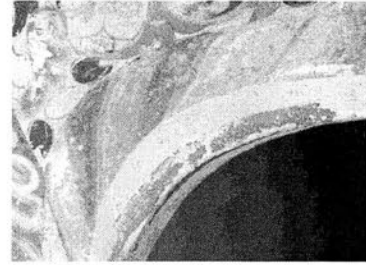


写真2 縄状の帯

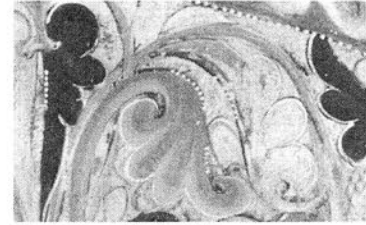


写真3 蔓草文様

表1 莫高窟第285窟龕楣に使用が推定される彩色の分類

肉眼観察による特徴	分類	使用が推定される色料	彩色材料と塗布の仕方			使用された龕楣
			一層目	二層目	三層目	
淡い赤色	r1	赤色有機色素	全面に赤色有機色素	(部分的に同じ色料を重ねて塗布した可能性あり)	—	2, 3, 4
鮮やかな赤色がある	r2	水銀朱・赤色有機色素	全面に水銀朱	部分的に赤色有機色素	—	2, 3, 4
鮮やかな赤色がある (一部灰色)	r2*	水銀朱・鉛丹	全面に鉛丹	全面に水銀朱	部分的に赤色有機色素	2, 3, 4
		赤色有機色素	全面に鉛丹	部分的に水銀朱	部分的に赤色有機色素	3, 4
褐色～黒色	b	鉛丹・赤色有機色素	全面に鉛丹	部分的に赤色有機色素	—	2, 3, 4
緑～青	gb1	ラピスラズリ	全面にラピスラズリ	—	—	2, 4
		銅化合物による顔料	全面に銅化合物による顔料	部分的にラピスラズリ	—	2, 3, 4
			全面に銅化合物による顔料	全面にラピスラズリ	—	2, 3, 4
うすく鈍い青色	gb2	石黄・インディゴ	石黄・インディゴを併用か	(部分的に同じ色料を重ねて塗布した可能性あり)	—	2, 3, 4

4. まとめ

敦煌莫高窟第285窟南壁に描かれた3つ龕楣を対象として調査を実施し、龕楣の文様の表現に使用された彩色技法を検討した。一つの区画あるいは文様の彩色に複数の色料を用いていると推定される分類は、塗り重ねにより変化をつけて彩色が施されているものと考えられる。また、塗り重ね方には規則性がみられ、推定される彩色材料や図案の形態と同様に、3つの龕楣に共通するものであると考えられる。莫高窟第285窟南壁に描かれた複数の龕楣は、共通して縹緗彩色様の彩色が施された装飾図案であったと推定される。

付記 本研究は、『敦煌莫高窟壁画の保護に関する日中共同研究』の一環として行われた。

北海道東部における続縄文文化～アイヌ文化の住居建築材にみられる木材利用の変遷

Utilization of Timbers at the Eastern Part of Hokkaido from Epi-Jomon Period to Ainu Culture.

○守屋豊人（北海道大学埋蔵文化財調査室）

○Toyohito Moriya (Archeological Research center of Hokkaido University)

1. はじめに

本発表の目的は、続縄文文化～アイヌ文化にいたる遺構や遺物が発見された遺跡を取り上げ、同じ場所（一定の範囲）で住居を作る際に利用された樹種の構成変化を示すことである。分析対象とする資料は、北海道東部（北海道北見市常呂川河口遺跡）で発見された焼失住居址（続縄文文化～擦文文化）内出土の炭化材や、低地部出土の住居建築材（アイヌ文化）である。以下では、住居建築材に利用された樹種構成の変化（続縄文文化～アイヌ文化）を示すため、常呂川河口遺跡の立地や周辺環境を概観し、その遺跡での焼失住居址の割合などを示して分析対象の残り方を明示して、最後に各時期における住居建築材に利用された樹種構成を比較する。

2. 常呂川河口遺跡の立地と周辺の遺跡

常呂川河口遺跡は、常呂川によって形成された海岸近くの微高地（標高約 4m）に位置し、その遺跡では縄文文化や続縄文文化や擦文文化（オホーツク文化含む）の竪穴住居址やアイヌ文化の木製品が発見された。常呂川河口遺跡周辺の地形には、標高 30m～80m の丘陵および台地、標高約 4m の微高地（自然堤防）、沖積面が存在し、遺跡は、河川近くで、約 2500 年前に形成された微高地（自然堤防）に立地する。遺跡周辺での花粉分析結果では、モミ属やコナラ亜属で構成された針広混交林が、約 3700 年前～約 1700 年前に存在したと推定されている。

常呂川河口遺跡の周辺には、常呂川右岸にあたる丘陵および台地（段丘）に、トコロチャシ跡遺跡やトコロチャシ南尾根遺跡や TK67 遺跡が存在する。常呂川河口遺跡から約 150m 離れた場所にあるトコロチャシ跡遺跡では、オホーツク文化の集落とともに、アイヌ文化のチャシ跡（柵列跡や濠）が発見されている。トコロチャシ南尾根遺跡では、常呂川河口遺跡の西側約 100m にある台地（標高約 70m）で縄文文化～擦文文化の集落が確認されている。TK67 遺跡では、常呂川河口遺跡の南東約 400m の位置にある台地（標高約 8m）上に、続縄文文化の集落や擦文文化の集落が確認されている。

3. 常呂川河口遺跡で発見された焼失住居址と木製品

常呂川河口遺跡では、約 39000 m²が発掘調査され、縄文文化～擦文文化の竪穴住居址 320 基が調査範囲内に密集して発見された（常呂町・北見市教育委員会 1996,2000,2002,2004～2008）。竪穴住居址 320 基の内、焼失住居址は 57 基、未焼失であった竪穴住居址は 263 基である（焼失住居址の区別は報告書に記載された内容に基づいて、竪穴の中から炭化材や焼土が発見された住居を筆者が焼失住居址と識別して算出した。詳細は別稿で示したい）。

各期の竪穴住居址数や焼失住居址数は次のとおりである。縄文後期では竪穴住居址 1 基で、未焼失の住居であった。縄文晩期では竪穴住居址 17 基があり、その内の 1 基が焼失住居址であった。続縄文前葉（続縄文初頭、宇津内Ⅱa 式期、宇津内Ⅱb 式期、後北 C1 式期）では竪穴住居址 109 基があり、その内の 10 基が焼失住居址であった。続縄文後葉（後北 C2-D 式期）では、竪穴住居址 7 基の内、1 基が焼失住居址であった。それらの他に続縄文（時期不明）では、竪穴住居址 28 基の内、焼失住居址が 2 基であった。擦文文化（大沼 2004）では前期の竪穴住居址は発見されていないが、擦文文化中期と後期の竪穴住居址が発見されている。擦文中期では、竪穴住居址 1 基があり、それは焼失住居址であった。擦文後期では竪穴住居址 64 基の内、焼失住居址は 32 基であった。それらの他に、擦文（時期不明）では、竪穴住居址 29 基の内、焼失

住居址 7 基が区分できた。オホーツク文化（貼付文期）では、竪穴住居址 5 基の内、焼失住居址 1 基が確認された。

また、常呂川の旧河道によって形成された後背湿地状の低地部では、木製品が多量（現段階で約 800 点）に発見された。それらの木製品は、低地部で折り重なるように発見され、樽前 a 火山灰（1739 年に噴出）が含まれた地層の下位に包蔵されていた。現段階では樽前 a 火山灰が二次堆積でないと考えられることから、河川氾濫によって流された木製品もしくは常呂川河口遺跡で利用された木製品が 18 世紀以前に地層内に残されたと考える。それらの木製品には、魚敲き棒や篋やカンジキなどとともに、木杭や建築部材がみられた。

4. 続縄文文化～アイヌ文化にかけて住居建築材に利用された樹種と各期の樹種構成

続縄文文化～擦文文化（オホーツク文化含む）の焼失住居址のうち、出土炭化材が樹種同定された焼失住居址は 13 基である（常呂町・北見市教育委員会 1996,2002,2004,2008）。焼失住居址では住居の上屋建築材に利用されていた木材が、何らかの理由で焼失し、炭化材として発見され、炭化材の分析によって上屋建築材に利用された樹種の区別が可能である。その焼失住居址には、続縄文文化前葉で 3 基（172e 号竪穴、61a 号竪穴、21 号竪穴）、擦文文化中期で 1 基（17 号竪穴）、擦文文化後期で 7 基（9 号竪穴、63 号竪穴、64 号竪穴、105 号竪穴、111 号竪穴、118 号竪穴）、オホーツク文化で 1 基（15 号竪穴）がある。それら以外に、擦文文化（詳細時期不明）の焼失住居址 2 基（12 号竪穴、35 号竪穴）で樹種同定がおこなわれている。これらの結果（炭化材を樹種同定できた範囲だけであるが）をまとめると、続縄文文化前葉では、コナラ属（コナラ節）やカエデ属などの広葉樹が主体で、イチイやモミ属という針葉樹が少量存在した。擦文文化（中期～後期）では、コナラ属（コナラ節）やトネリコ属が主体で、針葉樹はほとんどみられなかった。オホーツク文化では、イチイ、モミ属といった針葉樹が主体で、トネリコ属などの広葉樹が少量存在した。

また、アイヌ文化（18 世紀以前）の出土木製品のうち、107 点が保存処理のために樹種同定されている。建築部材として柱材 2 点が分析され、広葉樹（ハシバミ属やイボタノキ属）との結果が出された（北見市教育委員会 2008）。分析資料が少ないことから、現在、樹種同定を他の建築部材についておこなっている途中である。

5. おわりに

分析対象遺跡の周辺環境を概観して、一遺跡（続縄文文化～アイヌ文化）における累積した資料の状態を示した後、焼失住居址で発見された炭化材や低地部で発見された木材に対する樹種同定結果をまとめることによって、住居建築材としてとらえられる資料の樹種構成が、続縄文文化および擦文文化とオホーツク文化とでは顕著に異なることを示した。地形形成過程や花粉分析の結果からすると、続縄文文化～擦文文化（オホーツク文化含む）まで同様な植生であったと考えられることから、周辺に存在した樹種を利用したというだけでなく、住居建築材についての木材選択に何らかの他要因が存在すると考える。分析資料が現状で少ないことから、周辺遺跡での住居建築材に対する樹種同定との比較や、常呂川河口遺跡での住居建築材に対する樹種同定実施が今後の課題である。

引用文献

- 大沼忠春 編 2004 『考古資料大観 第 11 巻 続縄文・オホーツク・擦文文化』 小学館
常呂町教育委員会 1996 「常呂川河口遺跡（1）」（現在、北見市教育委員会）
常呂町教育委員会 2000 「常呂川河口遺跡（2）」（現在、北見市教育委員会）
常呂町教育委員会 2002 「常呂川河口遺跡（3）」（現在、北見市教育委員会）
常呂町教育委員会 2004 「常呂川河口遺跡（4）」（現在、北見市教育委員会）
常呂町教育委員会 2005 「常呂川河口遺跡（5）」（現在、北見市教育委員会）
北見市教育委員会 2006 「常呂川河口遺跡（6）」
北見市教育委員会 2007 「常呂川河口遺跡（7）」
北見市教育委員会 2008 「常呂川河口遺跡（8）」

※本研究は、科研費（課題番号：22500973）の一部を使用しておこなった。

韓國 近代文化財で使った煉瓦の材質特性と製作環境 解釋

Material Characteristics and Interpretation of Making Environment for Bricks used in the Masonry Modern Cultural Heritage, Korea

○李貞恩, 李讚熙

○Jeong eun Yi, Chan Hee Lee

1. Introduction

Yongsan Seminary was constructed in 1892 as the first seminary in Korea and Wonhyoro Catholic Church was completed in 1902 attached to the Seminary. They were designated as Historical sites No. 255 in Korea. Myeongdong Catholic Cathedral was completed in 1898 and was designated as Historical sites No. 258 in Korea. Yongsan Seminary, Wonhyoro Catholic Church and Myeongdong Catholic Cathedral were designed by French priest Eugene-Jean Georges Coste, were constructed to Gothic style of architecture. They used grey and red bricks, these bricks were first made by Western technology in Korea. All bricks produced as oxidation firing and reduction firing in a kiln.

Yongsan Seminary, Wonhyoro Catholic Church and Myeongdong Catholic Cathedral are located where host rock are granite and gneiss. The soil in these areas are fine sandy loam and loamy soils. Especially, Yongsan Seminary and Wonhyoro Catholic Church are situated around Han River, it is there that clay of roof tile provided in the Joseon Dynasty period. Therefore, it is highly probable that these bricks were used clay soil in the floodplain of Han River.

2. Material Characteristics of brick

Twenty two types of bricks collected from the studied sites were characterized by optical microscopy, polarizing microscope, scanning electron microscopy and energy dispersive spectrometers (SEM-EDS). Physical properties such as water absorption and suction, porosity, density, chromaticity and magnetic susceptibility were also determined. As a result, original bricks were containing coarse quartz, plagioclase and mica in loose matrix. In opposition to some of the original bricks, new bricks using Wonhyoro Catholic Church and Myeongdong Catholic Cathedral consisted of fine grained minerals and aphanitic matrix.

3. Interpretation of Making Environment

Result of X-ray diffraction analysis, all bricks are detected quartz, plagioclase and mica in common. However mullite was occurred in new bricks and red bricks of Yongsan Seminarium. Result of DTA/TG showed that there is a gap between the original bricks and new bricks. This result has shown that original bricks had been fired at temperatures from 850 to 950°C and new bricks fired at temperatures from 950 to 1,050°C (figure 1).

Besides this study analysed physical, mineralogical and geochemical characteristics for all bricks. As a result the soil is probable to be a raw material of the all bricks. But each of the bricks were made by varied technique and kiln environment (figure 1).

4. Conclusion

This study was conducted with bricks of Yongsan Seminarium, Wonhyoro Cathoric Church and Myeongdong Cathoric Cathedral. There were used grey and red bricks, these bricks were first made by Western technology in Korea. All bricks produced as oxidation firing and reduction firing in a kiln. And it making that the soil is probable to be a raw material of the all bricks. But each of the bricks were made by varied technique, firing temperature and making environment.

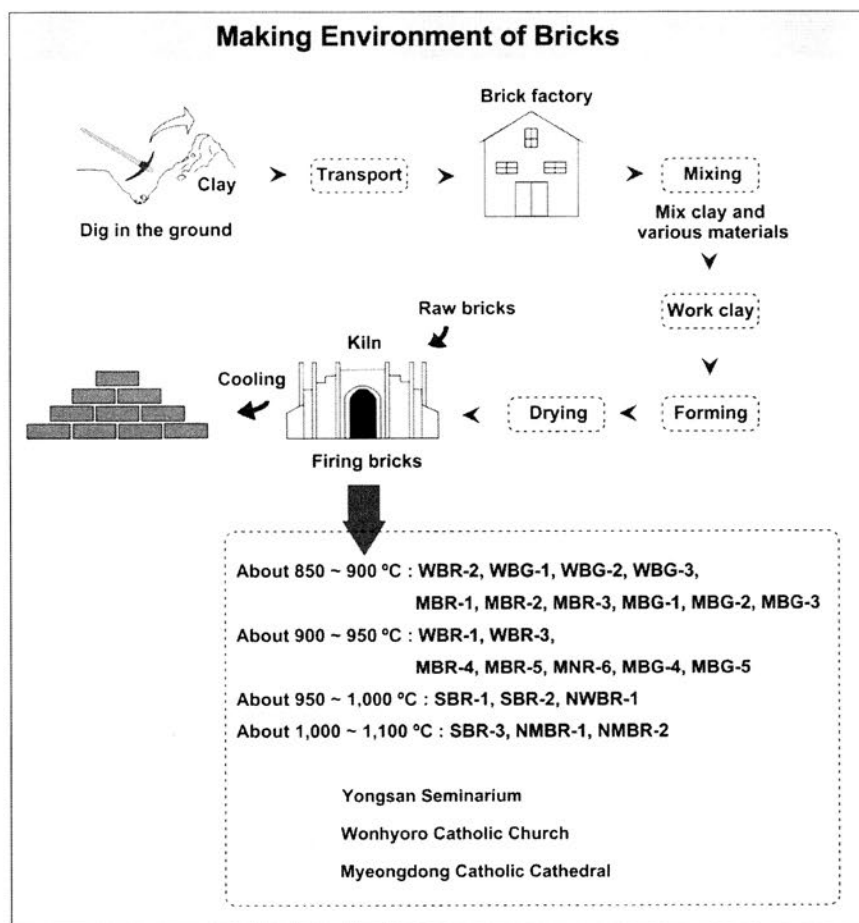


Figure 1. Diagram of making environment.

蛍光 X 線分析と偏光顕微鏡観察による土器胎土の分類について

About classification of pottery by X-Ray Fluorescence Analysis and polarizing microscope

○中村直子（鹿児島大学埋蔵文化財調査室），三辻利一（大阪大谷大学），
鐘ヶ江賢二（鹿児島国際大学）

○NAKAMURA Naoko (Research for Archaeology, Kagoshima University), MITSUJI Toshikazu (Osaka Otani University),
KANEGAE Kenji (International University of Kagoshima)

1 はじめに

筆者らはこれまで、弥生・古墳時代の南九州に分布する土器の蛍光 X 線分析による胎土分析を実施してきた。その結果、①一括性の高い遺構内出土遺物については胎土的特性がよくまとまること、②同一遺構内出土土器でも、器種による差異が認められる場合があり、器種によって粘土や混和材の選別がなされていた可能性があること、③同一型式でも地域別に、器種による胎土的特性の様相が異なることが確認できた。したがって、型式学的には同一型式と分類されているものでも、遺跡や地域別に素地作りなどの土器製作技術が異なっている可能性がある。しかし、この胎土的特性が具体的にどのような製作工程に由来するものなのかを推定することは現段階では困難である。

今回は実験によって、数種類の素地を用いて製作した土器の蛍光 X 線分析を行い、これらがどのような胎土の特徴を持つかを比較した。また、偏光顕微鏡によっても観察を行った。これは、胎土的特性を鉱物学的に比較するとともに、実験ではタイプの異なる 3 種類の焼成方法を実施したので、焼成温度による胎土的特性が表れるかどうかを観察した。

2 分析の方法

土器胎土の分類については、蛍光 X 線分析と偏光顕微鏡による観察を用いた。

蛍光 X 線分析は、土器の小片（5mm～10mm 程度）の表面を手動式研磨機で研磨して表面付着物を除去した後、タングステンカーバイド製乳鉢の中で 100 メッシュ以下に粉碎した。粉末試料は塩化ビニル製リングを枠にして 10 トンの高圧をかけてプレスし、内径 20mm、厚さ 5mm の錠剤試料を作成し、蛍光 X 線分析を行った。使用した分析装置は理学電機製 RIX2100（波長分散型）である。Rh 管球（3.0kW）を使用した。使用条件は、50kV、50mA である。短時間の計測で比較的大きな強度が得られる Na・K・Ca・Fe・Rb・Sr の 6 元素を測定した。定量分析の標準試料として、岩石標準試料、JG-1 を使用した。分析値は JG-1 の各元素の蛍光 X 線強度を使って標準化された値（JG-1 による標準化値という）で表示している。

偏光顕微鏡による観察は、厚さ約 0.03mm の試料のプレパラートを作成し、観察した。

3 分析・観察の結果

分析や観察のために用いた実験土器は 11 点である。実験土器は、鹿児島大学構内遺跡桜ヶ丘団地で採集した「チョコ層」と呼ばれる薩摩火山灰層直下に堆積している粘土層を粘土として、数種類の素地を作成した（表 1）。分析は、土器 1 点について部位の異なる複数点数の試料を作成し、分析を実施した。

三辻による蛍光 X 線分析では、混和材の種類や量の違いによる素地の種類によってまとまりを持つことが確認できた。さらに、同一素地内でも個体ごとにまとまって分布している。粘土と混和材を混ぜ込んで素地作りをする際、1 回あたりに作成した素地は土器 2 個分ほどの分量になったので、1 回の素地作りの作業がこの分布に影響していると考えられる。

鹿児島大学構内遺跡郡元団地 95-1-SD4 から出土した笹貫式土器の分布と比較すると、実験土器の分布域とは異なるものの、砂粒が少ない高杯より砂粒の多い甕や鉢の分布が分かれ、Ca や Sr が多い方向に分布していることがわかる。元素の多寡は、砂粒に含まれる鉱物の特性に左右されると推定されるが、一括性の高い土器群の器種による蛍光 X 線分析の分布の違いは、素地作りなどの製作方法の細かな違いを反映していると推定される。

一方、偏光顕微鏡による観察では、混和材を含まない実験土器は大粒の粒子をほとんど含まず、細かな斜長石や火山ガラスが素地に含まれていることが確認されるが、サツマ火山灰を混和したものには 0.3mm から 0.5mm 前後の斜長石や火山ガラス、輝石、軽石が多く含まれており、1mm 以上の粒子もみられる。元素分布の違いはこうした火山噴出物に由来する鉱物の多寡を示しているものと考えられる。なお、素地のガラス化や被熱による鉱物の変化にも着目したが、焼成温度に対応する違いは明瞭には認められなかった。

表 1 実験土器の素地の種類

混和材	粘土：混和材=4：1	粘土：混和材=3：1
サツマ火山灰	Ch-Sz_a	Ch-Sz_b
川砂（郡元団地にて採集）	Ch-R_a	
なし	Ch	

粘土と混和材の比率は重量比

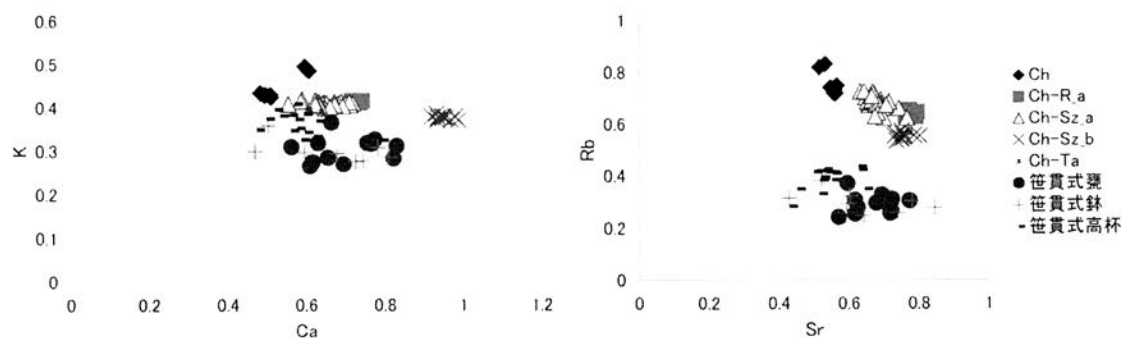


図 1 蛍光 X 線分析による実験にて作成した土器と笹貫式土器胎土の分布

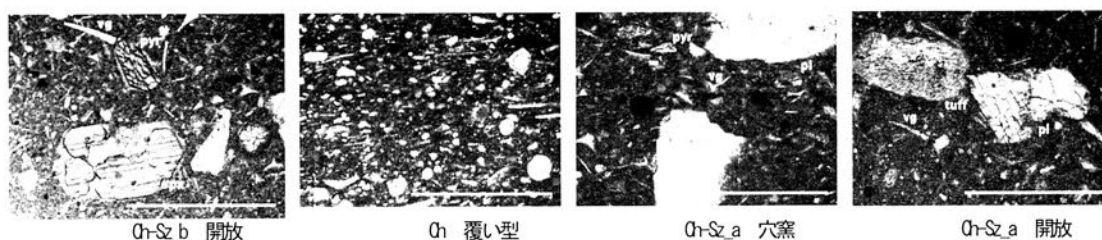


図 2 実験土器の偏光顕微鏡写真（スケール 0.5mm）

日本出土銅釦の集成と自然科学的調査

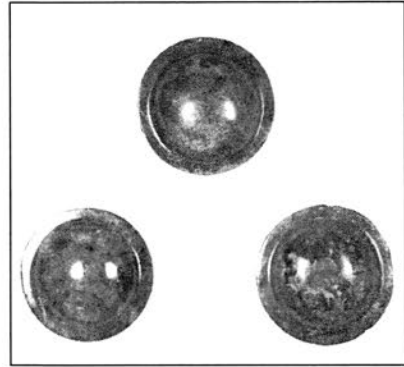
Research for excavated Copper Button in Japan

○友廣美和(別府大学大学院), 渡辺智恵美(別府大学)

○TOMOHIRO MIWA(Graduate School of Beppu University), Chiemi Watanabe(Beppu University)

1、はじめに

本研究の対象とするのは、銅釦と呼ばれる半球状の青銅製品である(写真1)。類型の初現は古く、紀元前10世紀頃のスキタイの遺跡から発掘されている。内モンゴル自治区や中国、朝鮮半島にも分布しており、広域にわたって出土している遺物である。銅釦、または銅泡、釦状青銅器など、それに類する名称の遺物は大きささまさまある。直径10~30mmの小さいものは埋葬者の胸から腰にかけて並んで発見されており、現代のボタンと同様の用途であったと推測される。大きいものは馬甲の一種である馬面に装着されており、大きさや装着の対象は多種多様であるが、飾金具として用いられていたと考えられている。



【写真1:布施ヶ里遺跡出土銅釦】

日本での初現は、京都府京田辺市に所在する田辺天神山遺跡(旧三山木遺跡1966年)である。その後、九州北部を中心に出土が増え、現在では佐賀県布施ヶ里遺跡、西山田二本松遺跡、長崎県原の辻遺跡、タカマツノダン遺跡、佐保唐崎遺跡、東の浜遺跡、熊本県小野崎遺跡、神水遺跡、京都府奈良岡遺跡および田辺天神山遺跡の11遺跡から16点が出土している。しかし、これらには用途を示す出土例はなく、日本でどのように受け入れられた遺物であるか定かでない。また、国産青銅器である巴形銅器の起源説のひとつとされているが、出土数が少ないこともあり、研究されてこなかった。そこで本研究では、布施ヶ里遺跡出土銅釦の修復の際に得られた知見(2010年度本学会で報告)をもとに、銅釦の調査・集成を行った。形状や表面に残存している研磨痕の観察と蛍光X線分析法や鉛同位体比測定などの自然科学的な分析結果を用い、製作技法および形態的・技術的な相関関係を解明すること、および日本出土銅釦を集成することを目的とした。

今回調査した遺物とその概要を表1に示す。

【表1:今回調査した銅釦と出土状況】

調査遺物	所在地	出土遺構	共伴遺物	推定年代	直径(mm)	ツバ幅(mm)
原の辻遺跡	長崎県壱岐市	小児甕棺	ガラス小玉107点	後期中葉	52	なし
布施ヶ里遺跡1	佐賀県小城市	土壇墓	なし	後期	55	4~5
布施ヶ里遺跡2	佐賀県小城市	土壇墓	なし	後期	50	4~5
布施ヶ里遺跡3	佐賀県小城市	土壇墓	なし	後期	52	4~5
西山田二本松遺跡	佐賀県佐賀市	竪穴住居	甕、壺、高坏など	後期前葉~中葉	51	7~8
小野崎遺跡	熊本県菊池市	溝	不明	後期	53	8~12
下扇原遺跡	熊本県阿蘇市	竪穴住居	炭化物、鉄器、鉄滓	後期	60	12
神水遺跡	熊本県熊本市	住居址	甕、壺、高坏など	後期中葉	51	7~8
田辺天神山遺跡	京都府京田辺市	住居址	土器、石製品、鉄器	中期~後期	56	5
奈良岡北1号墳	京都府京丹後市	前方後円墳	鉄製武器類、陶質土器	古墳前期	20	2

2、観察結果

i) 形状

銅釦の形状、とくにツバ幅の大きさについて比較すると、原の辻遺跡出土資料はツバを持たず、布施ヶ里と西山田二本松、神水遺跡出土資料は10mm以下である。小野崎と下扇原遺跡出土資料は10mm以上のツバ幅を有する。ツバ幅が10mm以上の例は中国や朝鮮半島では報告されておらず、特異な形態である。また、熊本県内で出土した3点は体部とツバの境界が不明瞭である。銅釦の形態に地域的なまとまりがみられる。

ii) 研磨痕

研磨痕は体部とツバに確認できた。まず体部の研磨痕には、頂部から放射方向の研磨痕(研磨痕①/写真2)とツバに沿った水平方向の研磨痕(研磨痕②/写真3)の2方向の研磨痕がある。下扇原遺跡出土資料では研磨痕①が研磨痕②に切られており、田辺天神山遺跡出土資料では研磨痕①と研磨痕②の切り合い関係は確認できなかったが、研磨痕①よりも②の方が明確にはっきりと残っていることから、②が後から研磨したと推定した。また、小野崎、神水遺跡出土資料は研磨痕②のみを確認した。これらの観察結果から頂部から放射方向の整形の後、水平方向の調整を行ったと考えられる。

次にツバでは布施ヶ里遺跡出土資料に4方向の研磨痕がみられ、研磨痕の切り合い関係がみられた。小野崎・下扇原にも同様の研磨痕がみられ、これらの研磨痕の角度や切り合い関係から写真4のように、遺物を時計回りに回転させながら研磨したと推測できる。

また、ツバ端部は裏面に向かって傾斜した面取りが施されている。この面取りは前述の研磨痕の影響を受けておらず、表面の研磨の後に成形したと推定できる。



【写真2:体部の研磨工程①】

【写真3:体部の研磨工程②】

【写真4:ツバの研磨工程】

iii) 鈕の形状と鉛同位体対比分析

鈕形状はくの字状と瘤状、板状の3種類の鈕の形状がある。くの字状は田辺天神山遺跡出土資料のみである。瘤状は布施ヶ里遺跡出土資料のみで、他の資料は断面三角形で横からみると山形を呈する板状である。鈕形状が3種類ある理由は不明で、年代や出土状況に相関関係はみられなかった。しかし、鉛同位体の分析に瘤状と板状の鈕形状による分布傾向の違いがみられた。鉛同位体比が測定されている銅釦は布施ヶ里と小野崎、神水遺跡出土資料の5点と数が少ないため、巴形銅器を参考資料とした。時代や用途に関係があること、同様の鈕形状を持つ遺物であることが理由である。その結果、瘤状鈕は華北産材料域に集中し、板状鈕は華北産材料域から朝鮮半島産材料域にかけて分散するという傾向が認められた。瘤状の鈕をもつものが華北産領域に分布したことから、瘤状の鈕を製作する工人およびその系譜は華北産材料を用いていた可能性が考えられる。

以上のことから、①形態および技術的に3つの地域のまとまりが推測される。②研磨痕の残存状況から体部①→体部②→ツバの調整順序を推定した。③瘤状の鈕を造る工人およびその系譜は華北産材料を用いていた可能性がある。これら3つのことが考えられる。

3、おわりに

銅釦はこれまであまり調査がなされておらず、本研究が自然科学的な側面からの考察や集成を含めて初めての総合的調査であるといえる。出土例が少ない中で方向性がみえてきたものの、今後の出土に期待がかかる。また、朝鮮半島などの資料と比較することで、より理解を深めていきたいと思っている。

X線CT法による象嵌大刀の調査

Investigation of the damascening sword by the X-ray Computed Tomography

○鳥越俊行(九州国立博物館), 渡辺智恵美(別府大学), 稲村博文(鹿児島県鹿屋市教育委員会)
○Toshiyuki Torigoe(Kyushu National Museum), Chiemi Watanabe(Beppu University),
Hirofumi Inamura(Kanoya City Board of Education)

1. はじめに

平成8年に中尾6号地下式横穴墓(6世紀末頃)で見つかった大刀は、保存処理に伴うX線透過撮影で鏝、鋸および柄頭の切羽縁金具に銀象嵌の施されていることが判明した。鹿児島県内で初めて見つかった象嵌装太刀である。ほかに鉄剣、鉄刀や鉄鏃、刀子や耳環なども見ついている。

大刀は、撮影時の制約により象嵌に関する十分な情報が得られなかったことから、今回X線CTを用いて柄部の構造と象嵌の文様や技法について詳細な調査を行った。その結果、象嵌に用いられた銀線の太さや劣化状況、母体(大刀)への打ち込みの深さや方向などの情報が得られ、技法などのより細かな調査ができたので報告する。

2. 調査資料と調査方法

鹿児島県鹿屋市中尾(旧吾平町上名)地下式横穴墓群の6号墓から出土した象嵌装大刀は、柄頭部が欠損していたが、それ以外の部分は遺存していた。平成20年3月に、九州国立博物館のX線CT装置(YXLON International社製Y.CT Modular 320 FPD)を用いて調査を行った。測定は320kV, 2.0mAの条件で行い、約0.2mmの分解能で実施した。

3. 調査結果とまとめ

鏝に心葉文(ハート型)象嵌を持つ大刀は、全国でこれまでに15振見ついている。主に東北から関東にかけて見つかり、九州では福岡県の竹並D-18-3号墳、鋤先古墳群と大分県の上ノ原59号横穴墓から見ついている。鹿児島では初めての発見であり、地下式横穴墓から見つかったのも初めてである。

X線CTによる調査の結果、鏝および鋸部にはハート形文様、切羽縁金具には二重半円文が施されていることが明らかとなり、いずれも古墳時代の線象嵌と呼ばれる技法で象嵌が施されていたことが判明した。

地金に溝を掘る場合、地金を凹ます「蹴り彫り」や「なめくり打ち」と地金を削り取る「毛彫り」や「溝彫り」の二通りの技法が考えられる。線象嵌の溝がどちらの技法で行われたかは未だ明らかになっていない。今回調査を行った切羽縁金具は、地金部分が空洞になっており(図5)、木質の上に金属の板を巻いたように見受けられる。これが製作当初からであるとすれば、「蹴り彫り」や「なめくり打ち」で溝を叩き凹めて象嵌を施した可能性が考えられる。板厚等も含めて、象嵌が可能か否か検討する必要がある。

全長 72cm



図1 象嵌装太刀実測図

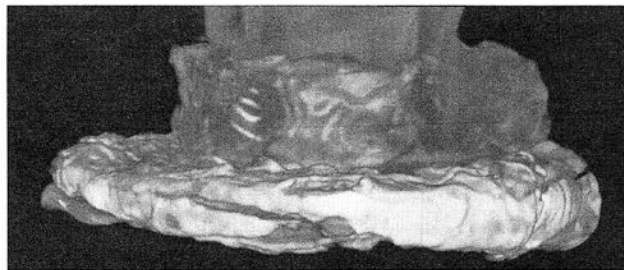
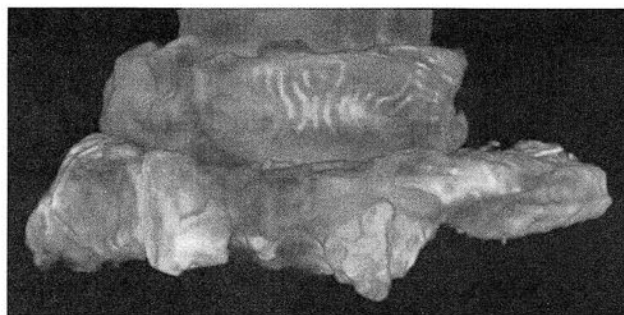


図2 鉤 (はばき) 部分

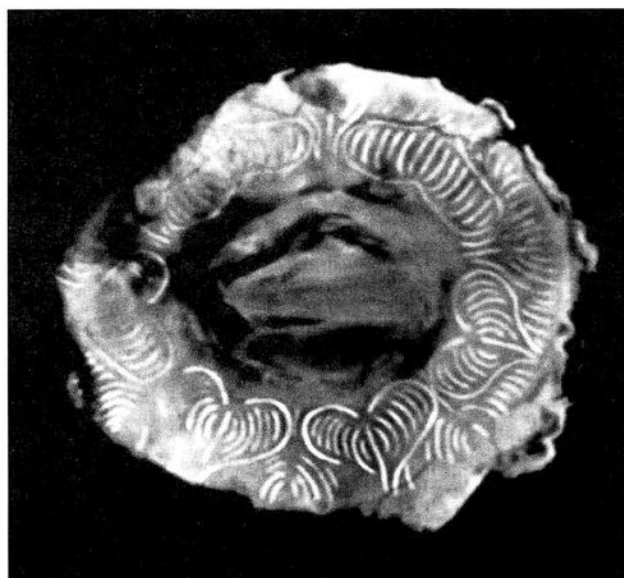


図3 鐔 (つば) 部分



図4 切羽縁金具部分

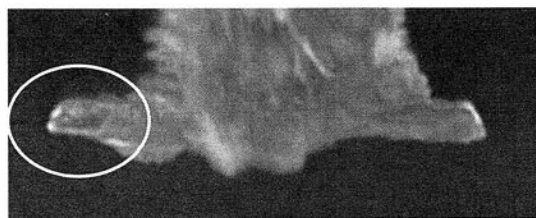


図5 切羽縁金具部分 (拡大)

古墳時代馬具に使用された貝類の確認と種の同定 —貝類の確認方法確立の為に—

A study of shell used for the ornaments of horse tappings strap from the Kofun period

○杉本和江（古美術修理 すぎもと）

○Sugimoto Kazue (the Conservation and Restoration, Sugimoto)

1、はじめに

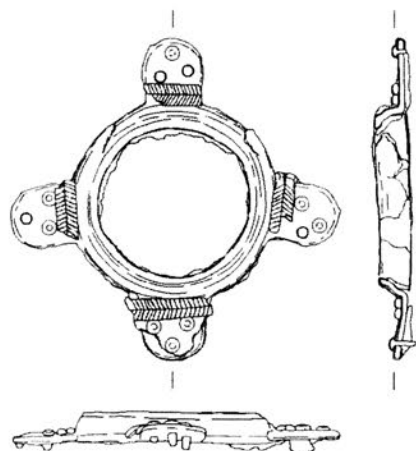
出土金属製遺物の多くは、金属単体というよりは様々な種類の有機質と合せて製作されている。素材の一部としての有機質に関しては、近年多くの研究があり、多くの成果をもたらしているといえる。しかし、有機質の中には、本来なら科学的分析や観察によって、その素材の素性を確認すべきではあるが、遺存状態の限界から、現在でも不可能な場合も多い。

本発表は、そうした有機質の一つである貝について、特に馬具類に使用された貝を簡易デジタル顕微鏡などで観察し、現生貝と比較する。貝が装填された、あるいは装填されていたと推定される遺物も同様に観察する。この2つの作業によって、貝あるいはその痕跡がどのようなものであるかを明らかにする。

また、今後は貝の種類ごとの劣化状態や遺物としての痕跡の特徴を整理し、種の同定を可能にしたいと考えている。なお、本来なら「貝殻」とすべきで所であるが、「貝」と書いて貝殻も指すことから、本文では特にことわりのない限り単に貝は貝殻を示す。

2、調査対象と調査機器

調査対象としては、以下の2種類の遺物とした。

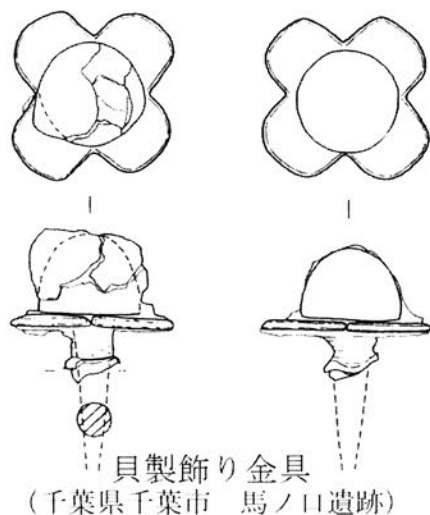


貝装辻金具

(香川県善通寺市 菊塚古墳)

①従来貝製雲珠・辻金具などの名称で知られている、中央部に貝が装填されていたタイプ（以下、貝装雲珠・辻金具と称す）。本調査では、中央部の貝が遺存している例として、大分県ダンワラ古墳出土例を調査した。他に、中央部が既に失われている例として、香川県善通寺市菊塚古墳、丸亀市青ノ山6号墳、香川県観音寺市長砂古4号墳、奈良県明日香村八釣マキト1号墳例などを調査した。

②円盤状に加工された貝の中心に孔がある、あるいは金銅製の飾り金具がついているとされる貝製飾り金具（以下貝製飾り金具と称す）。貝が存在する遺物として、千葉



県富津市九条塚古墳出土例があげられる。本例は、調査の結果、イモガイの一種であるクロフモドキである事が判明している。その他、同一古墳群内の姫塚古墳、蕨塚古墳例などを調査した。また、飾り金具のみになっている例として、千葉県千葉市馬ノ口遺跡を調査した。

調査機器は、主として簡易デジタル顕微鏡（商品名：ディノライト）を用い倍率50倍で観察している。他には可能な場合において、実体顕微鏡観察（キーエンス（株）製VHX-200）を使用。

3、観察結果



貝の痕跡
(馬ノ口遺跡例)

貝が失われた環状辻金具の環状部裏面、飾り金具の花弁の裏面に残る有機質を、貝が遺存する例や現生貝などと比較すると多くの共通点を見出すことが事できた。

特に、飾り金具の花弁裏面に残る同心円状の筋の内、はっきりと深く出ている線は、現生貝に現れる縫合と一致していると考えている。また、貝が遺存している例から、縫合以外にも同心円状の筋が生じる事がわかっている。花弁に認められる筋のいくつかは、そういった筋と同じものと考えられる。

4、結語

今回、最も課題として残ったのが、もっと使用された可能性が高いイモガイの貝殻構造に関して、未知の部分が多く、貝のどの部分を使用しているかによって、現われてくる痕跡が異なってくる点である。

また、貝の加工方法の検討をさらに進めてゆく必要があり、同時に使用された貝の大きさ、近隣種の観察なども必要である事も再認した。

末尾ながら、資料調査ならびに資料の発表を御許可下さった関係機関に重ねて御礼申し上げます。

図の出典

貝装辻金具 杉本 和江 2010年 「菊塚古墳出土貝装馬具の保存処理報告」『善通寺市内遺跡発掘調査事業に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書』平成21年度 善通寺市教育委員会

貝製飾り金具 大久保 奈奈 1995年「イモガイと飾り鉾」『古代探叢Ⅳ』「滝口宏先生追悼考古学論集」早稲田大学出版部

油性塗装材料の劣化に関する研究

Studies on the Degraded State of Oil Based Coating Material

- 赤田昌倫(京都工芸繊維大学 ベンチャーラボラトリー), 金旻貞(京都大学大学院),
佐藤昌憲(奈良文化財研究所), 高妻洋成(奈良文化財研究所), 島津達也(島津漆工房)
○Masanori Akada (Kyoto Institute of Technology, Venture Laboratory), Min jung Kim(Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University), Masanori Sato(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Yousei Kohdzuma(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Tatuya Shimazhu(Company with limited liability Shimazhu Urushi Craft Center)

1. はじめに

古代から中世にかけての文化財建造物の塗装材料としては漆や膠などがあげられるが、中世以降になると、偽漆や油性材料を使った塗膜が見られるようになる。特にチャン塗などの乾性油を主剤とした塗装材料は漆に比べ安価であり、且つ風雨に強いとされ、外装塗装や、金属の腐食防止剤として使用された。文化財建造物の修理において再塗装を行う場合、建造時の塗装方法を踏襲することがあるため塗装材料の材質分析が必要となる。しかしながら油性塗膜は漆塗膜との区別が付きにくく、材質分析にはプレパラートの作成や各種科学分析が必要とされる。油性塗装材料は使用する油の種類が複数あり、さらに油と松脂の配合比率は非常に多岐に渡る。そのため油性塗装材料の材質研究や劣化研究はあまりなされていなかった。本研究では油性塗装材料の中でも荏胡麻油と鉛を使用した手板を作成し、劣化による塗膜の様々な変化について FTIR で検討した結果を報告する。

2. 研究目的

本研究の背景に、中世の文化財建造物から採取した油性塗膜の FTIR 分析結果と、修理記録に基づいて作成した実験試料(手板)の FTIR 分析結果が一致しないことにある(図 1 参照)。いくつかの異なる塗装材料を使用した実験試料(手板)を作成したが、完全に一致するものは得られなかった。このことから、分析結果が異なる点は劣化による影響である可能性が高いと考え、油性塗膜の劣化試験を行った。

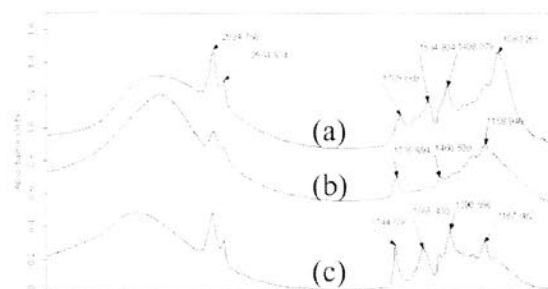


図1 文化財試料の油性塗装と再現した油性塗装のFTIRスペクトル
(a)文化財建造物採取赤色塗装(ベンガラ) (b)油性塗装(ベンガラ)
(c)油性塗装(鉛丹)

3. 分析試料作成

各種実験を行うために手板の作成を行った。作成には(有)島津漆工房の協力のもと行った。塗装材料は、膠で練った砥の粉を下地とし、塗膜には塗装用荏胡麻油と松脂(株)ハリマ化成社製:ハートールR-WW)を使用した。塗膜の乾燥促進剤として一酸化鉛(リサージ)を使用し、表 1 の手順で実験試料(手板)を作成した。顔料は嵩高鉛丹、油煙を使用した(図 2 参照)。

工程	使用材料	作業
(1).乾性油の作成	塗装用荏胡麻油の加熱	160°C 6時間
(2).乾燥促進剤添加	一酸化鉛の添加と加熱 (乾性油に対して1%)	160°C 6時間
(3).塗装油の作成	松脂の添加と加熱 (乾性油に対して30%)	160°C 6時間
(4).塗料の作成	油に顔料を加えて練る (塗装油50g+顔料0.2g)	油の温度は60~80°C (湯煎)
(5)手板に塗装	手板に塗料を塗って室で乾燥 (室の温湿度は27°C・RH50%)	乾燥時間は約1週間

表 1 実験試料(手板)の作成工程表

4. 実験

4.1 強制劣化実験

劣化による塗膜の状態変化を検証するため、京都市産業技術研究所のウェザーメーターを用いて強制劣化試験を行った。

実験条件は波長;300~400nm, 温湿度; 30°C・RH60%, 出力;180w/cm², 最大試験期間;100時間とした。試料は20時間ごとに分析を行い、段階的な変化を検証した。

4.2 FTIR マッピング分析

図3は20時間後に鉛丹手板の一部を樹脂包埋し薄層試料としたものである。層構造の上層が塗装部、下層が膠で練った砥粉下地である。この試料について榎原考古学研究所のPerkin Elmer 製高速 IR イメージングシステム Spotlight400 を用いたマッピング分析を行った。この分析では 1740-1730cm⁻¹ のカルボン酸に由来するピークと、図1(a)のスペクトルで特徴的に見られた 1440-1410cm⁻¹ のピークに着目し、そのピークに由来する物質の分布状態を検証した。

5. 結果と考察

図4は 1740-1730cm⁻¹ のピークに関して、図5は 1440-1410cm⁻¹ のピークに関して検出強度ごとに示したものである。1740-1730cm⁻¹ のピークは塗膜の上部から下部にかけて全体的に強く検出されたのに対して、1440-1410cm⁻¹ のピークは塗膜と下地との境界層において強度が強く検出された。

塗膜上部のスペクトルは図1(b)に酷似し、塗膜下部に近い部位では図1(a)に酷似したスペクトルが見られ、このパターンは金属塩(ステアリン酸鉛)に特徴的なものであることがわかった。分析試料の下層に近い部位でステアリン酸鉛が大きく検出されたのは、比重の大きい鉛丹が塗膜の下層部に沈殿したためと思われる。

6. まとめ

実験試料の FTIR 分析の結果から、乾性油、松脂、鉛を使用した油性塗膜において塗膜層の上部では乾性油と松脂が、層の下部ではステアリン酸鉛が検出されることがわかった。

実験時間が約20時間の試料では塗膜上部に乾性油と松脂の混合スペクトルが検出されたが、油性塗膜の文化財資料では塗膜上部のようなスペクトルは検出されていないことから、塗膜上部が文化財資料と同様な状態には至っていないことがわかった。

今後は、さらに強制劣化試験を続けていくことで塗膜上部がどの段階で消失または変質するのかを検証する予定である。

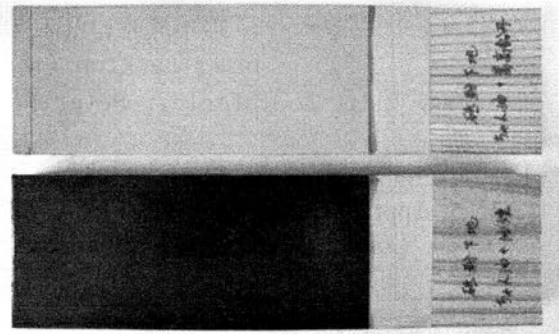


図2 手板写真(上:鉛丹,下:油煙)

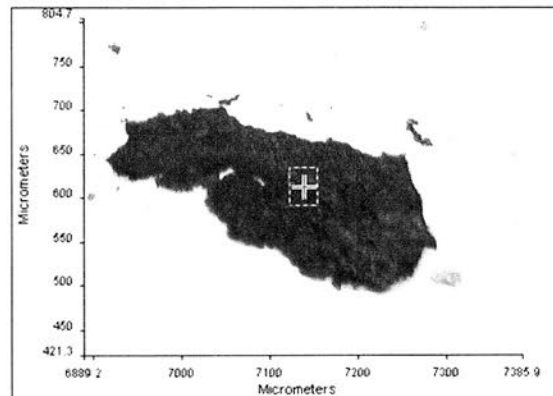


図3 鉛丹手板試料の薄層切片

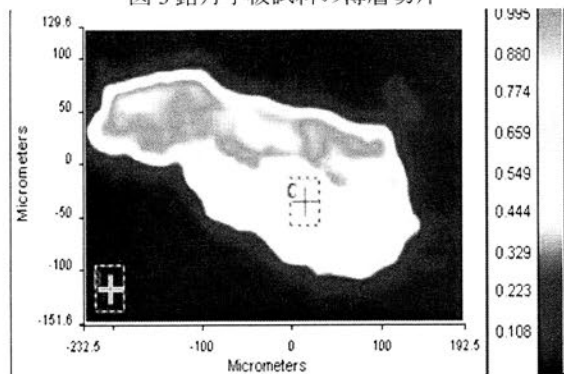


図4 1740-1730cm⁻¹ピーク強度分布

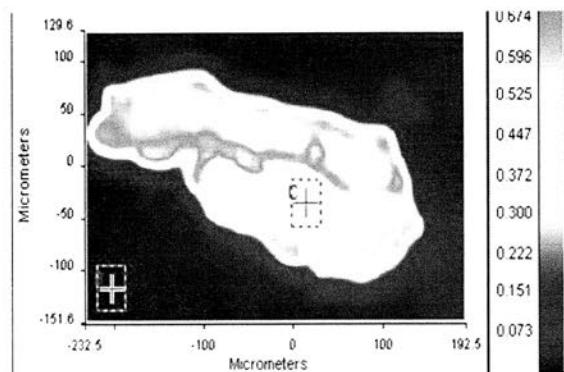


図5 1440-1410cm⁻¹のピーク強度分布

シリア・カトナ王墓出土遺物のオンサイト分析

On-site analysis of artifacts excavated from the Royal Tomb of Qatna, Syria

○K. タンタラカーン, 鈴木周作, 中村彩奈, 阿部善也, 中井 泉 (東理大理),
James Lankton (ロンドン大学・UCL),
Judit Zoeldfoeldi, Peter Pfalzner (チュービンゲン大学)

○Kriengkamol Tantrakarn, Shusaku Suzuki, Ayana Nakamura, Yoshinari Abe, Izumi Nakai
(Dept. of Applied Chemistry, Tokyo Univ. of Science), James Lankton (University College
London), Judit Zoeldfoeldi, Peter Pfalzner (University of Tubingen)

1. はじめに

カトナ (図1) はシリア・アラブ共和国のホムス市 (首都のダマスカスから180キロ) の北東にある遺丘テル=エル=ミシュリフェから発見された最大級の青銅器時代の都市遺跡である。紀元前二千年期にカトナはアナトリア・エジプト・メソポタミアを結んだ主要貿易拠点であったが、紀元前1340年にヒッタイトによって破壊され、その後ビザンチン時代には小さな集落となったとされている。現在、1999年よりドイツ・チュービンゲン大学のピーター・ファルツナー教授による新たな発掘調査が行われ、王宮・宮殿址などが発見された。カトナの宮殿址からはキプロスから輸入された青銅器時代中期の陶器などがみつき、2002年には、青銅器時代後期のごみ捨て穴から頭のない玄武岩製の像が見つかり、その後、宮殿の下に王墓および良好な状態で楔形文字の粘土板が次々に発見された。粘土板よりこの王墓は紀元前1400年頃の王・イダングダの墓である事が分かった。

我々は非破壊でその場分析ができる種々の先端的分析手法を開発・導入し、考古遺物の物質史に関する情報を読み出す研究を行っている。2010年夏に、シリア国立博物館・ホムス県立博物館およびカトナ発掘調査隊キャンプ内でテル=エル=ミシュリフェ遺跡の王墓から出土した様々な貴重な資料について、可搬型の蛍光X線分析、粉末X線回折、ラマン分光分析装置による非破壊分析を行ったので報告する。

また、長年、土の中に埋まっていた石製遺物は一般に風化及び劣化分解が進行し、材質の残存状態が悪い時は肉眼観察では同定が困難である。今回、同遺跡から出土したラピスラズリ様の風化した石材についても着目し、同定を試みた。

2. 分析資料と方法

分析試料は、シリア国立博物館・ホムス県立博物館および発掘調査隊のキャンプ内に保管されている遺物で、金の鳥の彫像、緑色の石製遺物、ガラス製ペンダント、ラピスラズリ様石製品、ファイアンス製カバなどである。また、200点以上のラピスラズリ様の石製遺物は、試料の状態は風化及び腐食によって遺物の表面が白くなった物もあり、肉眼観察では材質を確認する事が出来ない物も少なくなかった (図2)。材質同定、特性化は3つの分析法: 蛍光X線分析、顕微ラマン分光法、粉末回折計を複合的に用いて行った。蛍光X線分析は当研究室とメーカーで開発したエネルギー分散型ポータブル蛍光X線分析装置 OURSTEX 100FAを用い、測定は全て真空下で一試料につき白色X線 40 kV 0.25 mAと単色X線 40 kV 1.00 mAの2つのモードで測定した。顕微ラマン分光分析は可搬型B&W TEK社製 MiniRamを用いて、レーザー波長785nm, 出力Max 300mW, ϕ 50 μ mで測定を行った。一方、粉末回折分析は(株)テクノエックスと開発したポータブル粉末X線回折装置(X線源:Cu管球、検出器:Si-PIN検出器)を用いて測定した。

3. 分析結果

分析結果から装飾品、印章、スカラベなどの材質が金、水晶、瑪瑙、碧玉、紅玉髓、

またはラピス・ラズリであることを明らかにした。分析試料の中に特徴的な緑色のひすいのような、肉眼観察では材質不明の石製遺物があった。ラマン分光分析の結果から220、440、1030 cm^{-1} 付近に強いピークが出現した。データベースと比較した結果これらの緑色石製品はバリシヤ石 ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) であることが明らかになった (図3)。また、ガラス及びファイアンス製遺物は蛍光X線分析法による定量分析から特性化ができた。金の鳥の彫像など、金製品については金銀銅の定量結果が得られ、製作技術についての知見も得られた。

風化及び劣化分解した遺物の分析例としてラピス・ラズリ様遺物の材質同定を行った。ラピス・ラズリは $(\text{Na}, \text{Ca})_8(\text{AlSi}_6)_6(\text{SO}_4, \text{S}, \text{Cl})_2$ の式で表されるケイ酸塩鉱物である青金石 (ラズライト) を主成分とするが、蛍光X線分析ではNa, Ca, Al, Si, Sが検出された。ラマン分光分析では標準鉱物試料より劣化されていない青色の部分で540 cm^{-1} にラズライトの特徴的なピークが得られた。劣化した部分では540 cm^{-1} のピークが減少し、代わりに1310 cm^{-1} にピークが発現した。顕微ラマン分光分析による特性化と蛍光X線分析からの化学組成の情報を併用することで劣化したラピス・ラズリ製遺物の材質同定が可能になった。なお、発表では、同遺跡から出土した様々な貴重な遺物の分析結果を報告する。

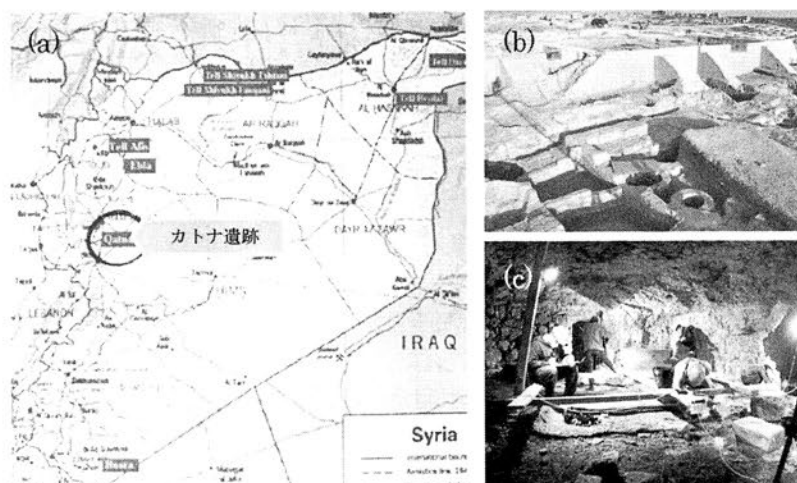


図1 (a) 遺丘テル=エル=ミシュリフェ、カトナ遺跡 (b) 宮殿
(c) 王墓

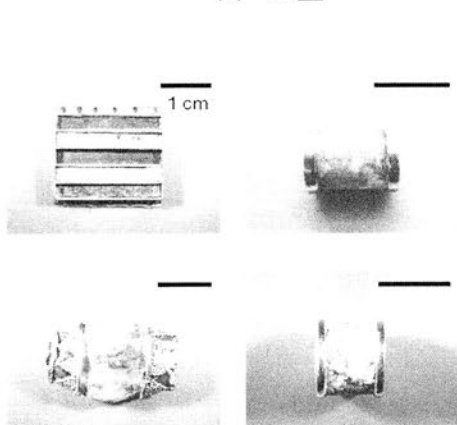


図2 石製遺物

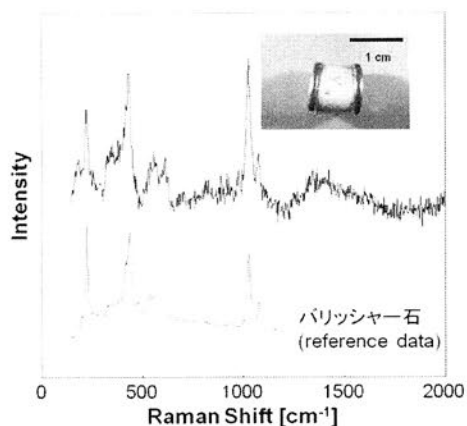


図3 バリッシャー石製遺物のラマンスペクトル

シンクロトロン放射光X線トモグラフィーを用いた、 木質文化財の樹種データベース構築 Assembling a database for wooden heritages using a synchrotron X-ray microtomography

○水野寿弥子（京都大学生存圏研究所），杉山淳司（京都大学生存圏研究所）
○Suyako Mizuno, Junji Sugiyama
(Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University)

要旨

従来、樹種識別では三断面観察が必要で、薄片を切り出し、光学顕微鏡での観察が必要であった。しかし木質文化財の依頼鑑定品等は、極端に小さい・表面が押しつぶされている・腐朽が進んでいる・脆弱等様々な状態を示し、機器を駆使しても識別が困難なケースがある。これらの試料についてシンクロトロン放射光X線トモグラフィーが有効であることが判明した。この方法では、サンプル表面の形状や劣化の度合いによらず撮影することができ、内部構造の画像が一連の電子データで得られるため、コンピューター上で任意の断面像を観察できる利点がある。木質文化財においては、識別調査に供されものとそうでないものとの間に偏りがあるように思われる。本研究では、仏教伝来と密接な関係があるとされながら調査が遅れる傾向にある木製狛犬に注目し、シンクロトロン放射光X線トモグラフィー法による識別を行い、樹種情報のデータベース構築を目標とした。

はじめに

木質文化財のうち特に、宗教・信仰の対象物の制作には、当然何らかの意味・重要性をもった樹種が選択されたと想像できる。これらを科学的に明らかにし、古から日本人の根底に流れる精神世界を審らかにすることこそ、人類がこれから歩もうとしている未来への確かな道程となると思われる。そのような目的のもと、筆者らは宗教・信仰の対象として今に伝わる木質文化財、仏像や神像をはじめとした木彫像、寺社仏閣、仮面、木製狛犬の樹種識別調査を進めている。

近年、金子らにより8-10世紀の仏像彫刻の多くが従来考えられてきたヒノキ製ではなく、カヤ製であることが科学的に明らかとされ、美術や宗教の分野に激震が襲った。一方日本彫刻史の中で、神像彫刻や狛犬の研究は仏像に比べ調査の機会に乏しく、やや遅れをとっている分野である。しかし、形態学の観点から、初期神像彫刻や狛犬における仏像の影響ははっきりと看取することが出来、制作に当たった工人は、主として仏像制作に携っていた者であったと推察されてきた。但しその科学的裏付けは困難とされてきた。そこで本発表では、特に木製狛犬について報告する。木製狛犬から得られる試料には、薄片を作成して顕微鏡観察を行うといった従来の樹種識別法が適用できないようなものも多い。そこで、得られる試料の大きさ、劣化度合いなどといった状態に左右されずに識別が可能な新しい方法、シンクロトロン放射光X線マイクロトモグラフィーによる識別法も適用した。

試料と方法

安土城考古博物館のご協力のもと、滋賀県地域を中心とした木製狛犬について、不可避に遊離した木片を用いて樹種を調査した。得られた試料の中には、徒手切片作成が困難なほど小さなもの、脆弱で表面が劣化しているもの、などが多かったため、従来の光学顕微鏡による識別法に加えて、シンクロトロン放射光X線マイクロトモグラフィーによる識別法を適用した。大型放射光施設(SPring-8)に設置されたトモグラフィーのセッティング BL20XU では、木製品か

ら $0.5\mu\text{m}$ の分解能の再構成像が得られている(Mizuno S et al., 2010)。サンプルホルダーにサンプルを固定し、サンプル台ごと 0.1 度ずつ回転させながら透過像を撮影した。透過像は、等倍率で 2000×1300 pixel の高精細カメラを用いて 0.1 度回転角刻みで 1800 枚撮影した。こうして得られた透過像 1800 枚にフィルター逆投影法を適用し Z 軸方向に 1300 枚の断層像を再構成した。解剖学的特徴の観察のための任意の断面観察などには Slice や ImageJ を用いた。

結果

近年、美術史の分野では、8-10 世紀に制作された主要な一木彫の仏像の全てが、従来考えられていたヒノキではなく、カヤであることが判明したことから、仏教伝来により日本ではカヤが選択的に使用されてきたことが判明した。木製狛犬は、仏像彫刻の影響を大いに受けたとされているが、造作的な決まり事がないことから、年代推定や形態展開の解明が困難とされてきた。本研究では、主に滋賀県地域の狛犬から剥落した極小サンプルに放射光 X 線マイクロトモグラフィーを適用し樹種識別を行った。その結果、ヒノキとともに一部カヤの使用が認められた。今後、年代測定や文書の調査など複合的に行うことが必要であると考えられる。

放射光 X 線マイクロトモグラフィーは非破壊・非侵襲な方法であることから、試験に供したサンプルはその後、貴重な文化財の破片として将来へ残すことも可能である。今後、より多くの木製狛犬について樹種調査を進め、データを蓄積することで、彫刻史や考古学など様々な分野へ新たな知見を付与できればと考えている。

謝辞

本研究は、高輝度光科学研究センターの課題研究 課題番号:2007B1544, 2008B1563, 2009B1093 ならびに 2009B1981 によって、ビームライン BL20XU において得られた成果に基づき纏めたものである。ここに銘記し謝意を表す。放射光実験に際しては(財)高輝度光科学研究センターBL20XU 担当の鈴木芳生博士、八木直人博士、竹内晃久博士、上杉健太郎博士に多大な協力をいただいた。

並びに、多大なるご尽力くださった安土城考古博物館山下立氏に心より感謝する。

(文献)

Mizuno S, Torizu R, Sugiyama J. Wood identification of wooden mask using a synchrotron X-ray micro-tomography, *Journal of Archaeological Science*, 37, p2842-2845, 2010.

パプアニューギニアにおける資源利用と土器文化形成

Review of the Utilization of Resource and the Formation of Ceramic Culture, Papua New Guinea

- 鐘ヶ江賢二（鹿児島国際大学），根岸 洋（青森県教育庁），棟上俊二（福岡教育大学），上原誠一郎（九州大学理学研究院地球惑星科学部門）
- Kenji Kanegae（Archaeological museum, the international university of Kagoshima），Yo Negishi（Board of Education Aomori Prefecture），Shunji tojo(Fukuoka University of Education), Seiichiro Uehara（Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University）

1. はじめに

パプアニューギニアでは、現在でもクラ交易をはじめとする伝統的な交易網が発達している。そして土器作りも継続して行われており、東部の島嶼部では、土器の在地生産とともに、離れた島々の間で模倣や搬入も行われている。このような事象は、先史時代の土器生産や移動を考える上で大いに示唆を与えるものであり、民族考古学的調査の絶好のフィールドであるといえよう。

発表者のうち根岸は、パプアニューギニア東部の民族調査を行い、土器の動作連鎖という視点から、先史時代の土器型式論や製作技術研究につなげるための研究をすすめており、特に土器製作にともなう一連の動作連鎖の規定的要素に関する検討を行っている（根岸 2010）。ここでいう動作連鎖は、粘土の採取から素地作り、粘土紐作り、粘土帯の積み上げ、文様施文、底部ケズリに至る要素によって構成されるが、粘土素地の扱い方が地域によって明確に異なり、粘土の扱い方が、粘土紐作りや接合などの土器文化の基本的要素を規定するものであったことを指摘している。

本発表では、これら一連の調査で採取されたパプアニューギニア東部の粘土について理化学的分析を実施し、土器製作技術と粘土の性質との関連性について考察を行いたい。土器作りの根底をなす資源である粘土を理化学的な面から調査することは、土器製作者の動作連鎖を規定する要因として粘土の性質がどのように関与していたか、という点を把握するための基礎的作業となる。

パプアニューギニア東部では、前述したように地域によって粘土素地の扱いが異なり、それが土器製作過程に大きく影響しているが、特に入念な調整が行われる Wari 島と、ニューギニア本島の最東部のイーストケープ地域の Gegedali や Modewa、さらに Yabam 島で採集された粘土の分析を行った結果を以下示したい。

2. 分析方法

蛍光 X 線分析と X 線回折、岩石学的分析を実施した。蛍光 X 線分析は、福岡教育大学のリガク社製 RIX-2000 を使用した。分析法は、四ホウ酸リチウムによる低希釈率（3 倍）ガラスビードを用いた検量線法である。質量濃度測定のための検量線作成では、標準試料として地質調査所（現・地質調査総合センター）の火成岩シリーズ全てを用いた。

X 線回折分析については、採取した粘土に対して遠心分離機を用いた沈降法によって特定範囲の粒径の懸濁試料を抽出し、分析に供した。分析は九州大学理学研究院の分析装置を用い、Cu をターゲットとして測定を実施した。

岩石学的分析は、偏光顕微鏡を用いて実施した。顕微鏡観察のための試料は、土器片の上下断面に沿って切断し、表面を研磨した後、熱硬化性エポキシ系接着剤（ペトロポキシ 154）を用いてスライドガラスに接着させ、0.03mm の厚さの薄片を作成した。

3. 分析結果

蛍光 X 線分析では、Gegedali や Modewa、Yabam 島、Wari 島採集粘土は中性岩や塩基性岩的な特徴をもったものであると考えられる。主成分元素では、 SiO_2 や Al_2O_3 、 Fe_2O_3 の組成は類似しているが、Wari 島の粘土は、 K_2O や Mg 、 Rb が他の試料よりも高い濃度を示していることから、他の粘土とは異なることは明らかである。Yabam 島の粘土も、Gegedali や Modewa 採取粘土とは MgO や Rb などの元素で違いがみとめられる。

X線回折分析では、4点の試料いずれも未処理で $2\theta = 6^\circ$ 付近に強い回折線を示し、エチレングリコール処理でこれが 5° 付近に移動することから、粘土鉱物はスメクタイトに同定できる。

顕微鏡で観察すると、いずれの試料も粒子に風化・変質が目立つ。素地には鉄を多く含み、石英や長石粒子は表面が汚れている。GegedaliやModewaには、クロスニコルでも消光しない汚濁粒子が確認される。Yabam島の粘土は、同様に変質した粒子が多く、斜方輝石が少量含まれる。一方Wari島の粘土は、大粒の石英や長石粒子はあまり確認できず、むしろかんらん石が多く確認される。こうした点で、Wari島の粘土は他とは鉱物組成において他と異なる。

4. 考察と展望

以上の分析の結果、GegedaliやModewa、Yabam島、Wari島採集粘土は、化学組成や検出された粘土鉱物は類似するものの、Wari島の粘土は、一部の元素や鉱物の組成がほかの地点の粘土と異なる。これが土器の機能性や製作過程とどのように関連するかは現段階では判然としない。Wari島の粘土には大粒の石英や長石類がほとんど含まれておらず、かんらん石を多く含む特徴を持ち、これがほかの採取地の粘土との質感の差異を与えているのかもしれない。なお聞き取り調査の成果からは、同島の粘土が土器製作に適した特殊なものとして区別されている事が分かっている。

以上の分析からは、Wari島とそれ以外の地域での粘土の性質の違いと、粘土の扱いの違いとの結びつき、関連性を明確に区別することは困難といえる一方、地域による文化的な差違や社会的背景などから、粘土に対して化学的な性質には現れない一定の価値や意味が与えられていた可能性も浮かび上がる。土器作りの動作連鎖を規定する要素としての粘土の位置づけに対しては、理化学的な側面と、文化的な側面の両面から検討を加える必要があり、今後も追及していきたい。

文献

根岸 洋 2010 「接合法から考える土器技術論—バプア・ニューギニア東部の土器作り民族誌から—」 『南海を巡る考古学』 同成社

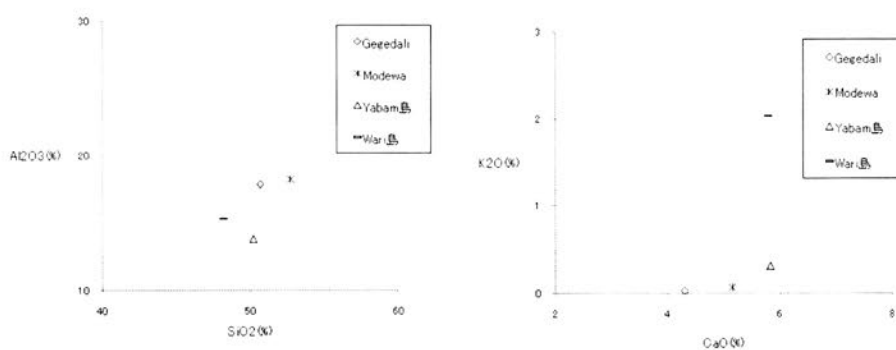


図1 各地点採取粘土の元素分布図

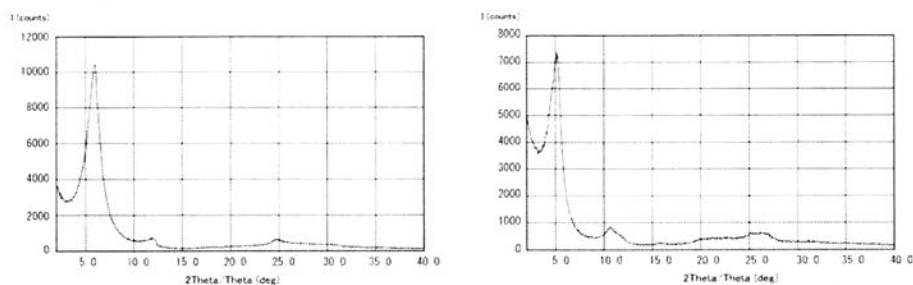


図2 Wari島採取粘土のX線回折パターン
(左：エチレングリコール処理前 右：エチレングリコール処理後)

松江藩で利用された花崗岩類

Granitic Rocks Used in Matsue-Han, Shimane Prefecture in Early-Modern Age.

○ 朽津信明 (東京文化財研究所)・
西尾克己 (島根県古代文化センター)・稲田信 (松江市育委員会)
○ KUCHITSU NOBUAKI (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo),
Katsumi Nishio (Shimane Prefecture), Makoto Inata (Matsue City)

1. はじめに

近世以後の出雲地方では、来待石と呼ばれる地元産の凝灰質砂岩が石材として広く利用されていることが知られるが、1638年に松平家が松江藩主として入国して以後には、花崗岩類の利用も見られるようになる。本研究では、松江藩で認められる花崗岩類で造られた大型石造物について、主に帯磁率の調査に基づき分類し、石材の変遷について検討を試みたので、その結果を報告し、背景について考察する。

2. 調査対象

松江藩内の花崗岩類製品としては、まず歴代藩主墓(図1)が挙げられる。これは松江市の月照寺にあり、初代(1666年没)から9代(1863年没)までの9基の墓石がいずれも花崗岩類で造られており、その周りを囲む玉垣や、家臣が奉納した石灯籠も花崗岩類製である。その他では、初期には出雲市の日御碕神社の石鳥居や石灯籠など、藩主クラスの手による特定の奉納品に限って認められるが、18世紀後半頃からは一般の神社の石鳥居などにも広く認められるようになる。それらのうち、銘文などにより年代の特定できる対象において、Terraplus社の帯磁率計(KT-10)を用いて調査を試みた。

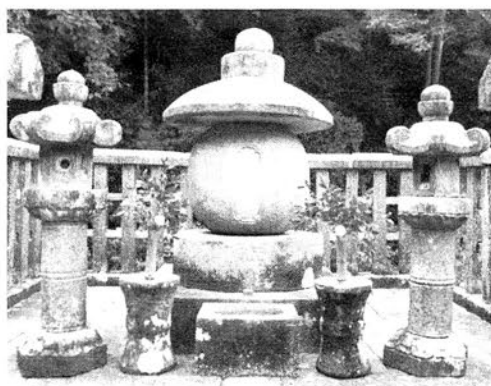


図1. 初代・松平直政墓石

3. 帯磁率調査

文化財調査は原則として非破壊でなされる必要があるが、花崗岩類の分類を非破壊で行う手法として帯磁率調査¹⁾が知られている。帯磁率は物体の磁化しやすさを示す概念で、花崗岩類では磁鉄鉱をどの程度多く含むかにほぼ対応する。一般に山陰地域の花崗岩類は山陽側に比べて磁鉄鉱を豊富に含み、帯磁率の値はその判別に有効(前者が高い)とされる²⁾。センサー部を石材に当てるだけで結果は瞬時に得られ(図2)、現地で非破壊で簡易に測定できる方法である。可能な対象では5点測定して平均値を記録し、それが困難な対象では1点のみの計測値を代表値とした。



図2. 帯磁率調査

4. 調査結果

結果を表1・図3に示す。年代が18世紀前半以前のものであればいずれも(SI unitsで) 10^{-3} のオーダー以下の値を示した(グループAとする)。18世紀後半以後のものでは、いずれも 10^{-2} のオーダーの値を示した(グループBとする)。

5. 考察

帯磁率は同一の花崗岩帯内でもばらつくことも多く、その値は原産地と一対一対応にはならない。しかしながら、今回の測定値は共通範囲が全くなくオーダーが二種類に分かれており(図3)、18世紀前半頃を境に利用石材の傾向が変化したことまでは間違いない。このうち、最古の銘(1639年)を持つ日御碕神社の石鳥居は将軍家光の寄進で御景(影?)の石材で造られたことが確認され、藩外からの搬入品となる。その四年後に将軍家光の従兄弟である初代藩主・直政により同じ日御碕神社に奉納された石灯籠をはじめとして、それと類似した低帯磁率を示す18世紀前半までの石材(グループA)も、藩外(山陽側か?)から搬入された可能性が示唆される。一方、5代・宣維の墓は藩内・木次の石工の手によることが確認されるが、それと類似した高帯磁率を示すそれ以後に利用された石材(グループB)も、同様に藩内のものが用いられた可能性が考えられる。つまり松江藩における花崗岩類の利用は、もともと藩外からの搬入品の利用が限定的になされていたものが、18世紀前半頃からは藩内で産する石材が利用され始めたことで、やがて一般にも広く波及するに致ったものと解釈される。その転換は5代・宣維から6代・宗衍への移行期頃に当たり、この頃は松江藩の財政が圧迫されてやがて藩政改革に向かう時期とされている。そうした藩内事情と石材利用との関連が注目される。

文献 1) 内田悦夫他(2001)岩鉱, 30, 59、2) Ishihara, S. (1979) J. Geol. Soc. Jap., 85, 509

関与者	対象	年代	帯磁率	分類
将軍家光	鳥居	1639年	0.848	A
1代直政	灯籠	1643年	2.758	A
1代直政	鳥居	1649年	1.155	A
1代直政	墓塔	1666年没	2.615	A
2代綱隆	墓塔	1675年没	0.202	A
3代綱近	墓塔	1709年没	0.174	A
4代吉透	墓塔	1705年没	0.068	A
5代宣維	墓塔	1731年没	18.49	B
	手水鉢	1733年	19.57	B
6代宗衍	墓塔	1782年没	18.49	B
	鳥居	1792年	20.26	B
	鳥居	1806年	19.77	B
7代治郷	墓塔	1818年没	19.43	B
8代斉恒	墓塔	1822年没	22.54	B
	鳥居	1841年	20.24	B
9代斉斎	墓塔	1863年没	20.37	B

表1. 主要測定対象と結果一覧(単位: $\times 10^{-3}$ SI Units)

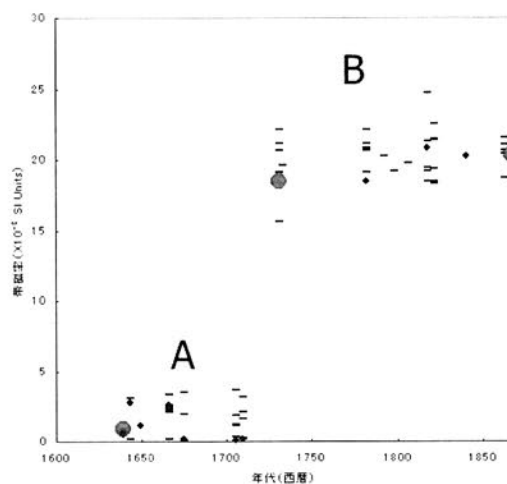


図3. 年代と帯磁率との関係

●は、産地が特定できるもの。

スズ同位体の青銅器考古学への応用

Tin isotope analysis for an application of bronze archaeologies

○山崎絵里香（東工大院理工），中井俊一（東大地震研）
○Erika Yamazaki (Tokyo Tech)，Shun'ichi Nakai (ERI, University of Tokyo)

1. 考古学における産地推定と同位体

青銅器は銅 (Cu) ・錫 (Sn) ・鉛 (Pb) の合金によって作られ、鉄器が普及する以前にもっとも広く使用されていた金属器である。考古学分野において、青銅器原料の産地推定は古代の交易史を明らかにする上で重要な課題であり、現在は Pb 同位体を利用した方法が普及している。天然には ^{204}Pb 、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb の 4 つの Pb 同位体が存在するが、このうち ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb はそれぞれウラン系列、アクチニウム系列、トリウム系列の放射性壊変による最終生成核種である。したがって、Pb 同位体組成にはウラン、トリウムと鉛の比の影響を受け、地質時代や地域によって Pb 同位体組成に差が見られる。Pb 同位体による産地推定はこのような Pb の化学的性質を利用しており、Brill and Wampler(1965)によって考古学試料に対して Pb 同位体分析が適用されて以来、日本国内においても青銅器だけでなく Pb を含むガラス製品等に応用されている (e. g., Hirao, 2008)。

しかしながら、Pb 同位体による青銅器原料の産地推定が成り立つにはいくつかの条件が必要である (Budd et al., 1995a)。一つは、青銅器製作過程において Pb 同位体組成が変化しない、あるいは変化があったとしても天然の変動に比べて無視できる程度であること。もう一つは、異なる産地の原料が混合されていないことである。このうち、青銅器製作過程における Pb 同位体組成変動については既に検証されており

(Mulliken and Harkins, 1921; Barnes et al., 1978; Budd et al., 1995b)、変動は天然に比べて非常に小さく無視できるとされている。一方で、原料の混合については十分な検証が行われておらず、Pb 同位体によって推定される原料産地の妥当性には議論の余地が残されているように思われる。また、古代の青銅器はリサイクルされていた可能性があり、交易によって異なる産地の青銅が混合されることも考えられる。したがって、Pb 同位体による産地推定手法を適用する青銅器が原材料の混合、あるいはリサイクルを経験しているかどうかは重要な問題である。

2. リサイクルトレーサーとしての Sn 同位体の可能性

原材料の混合について科学的に裏付けを行うことは難しいが、リサイクルを検証する方法として、Sn 同位体の利用が提案されている (Budd et al., 1995a)。これは、Sn には全元素中最多となる 10 もの同位体が存在し、質量数範囲が広く、青銅器製作過程での蒸発によって観測可能な同位体組成の変動が起こると予想されるためである。青銅器に含まれるもう一つの主要元素、Cu も Sn と同様に同位体組成変動が起こると考えられるが、Cu は現在の分析技術では有意な変動が検出されていない (Mathur et al., 2009)。

Sn の同位体組成変動によってリサイクルの検証を行うためには、Pb とは逆に、原料となる錫石 (cassiterite, SnO_2) がもつ Sn の同位体組成が地域によらず均一である、または製作過程における変動に比べて無視できる程度であるという前提が必要になる。McNaughton and Rosman(1991)は表面電離型質量分析計 (TIMS) によって錫石の分析を行い、同位体組成変動を検証した。結果として大部分の試料は同一の値を示したが、不確かさの範囲を超えた分別を示す錫石試料が一つ存在した。また、Clayton et

al. (2002)では標準試薬と錫石の同位体分析が多重検出器型 ICP 質量分析計 (MC-ICP-MS) によって行われ、試料として使用された錫石は標準試薬よりも重い Sn 同位体に富んでいることが明らかとなった。さらに Hausteina et al. (2010)により欧州諸国を中心に錫石の分析が行われ、McNaughton and Rosman(1991)の報告よりも大きな変動が示された。このように錫石に関して Sn 同位体分析例が報告され、考古学分野への応用可能性についても示唆がなされてきた。一方、青銅器試料の Sn 同位体分析は Gale(1997)によって行われ、分析された青銅器試料はいずれも標準試料に対して有意な差が無くリサイクルを受けた可能性は低いと解釈されているが、青銅器製作過程での Sn 同位体分別が実験的に十分検証されていないため、他の青銅器試料で同位体分別が検出される可能性はある。

3. 研究の進捗と今後の課題

本研究では、東アジア地域の青銅器試料について Sn 同位体を用いたリサイクル検証の可能性を評価するため、これまで報告がなかった日本を含むアジア地域で産出する錫石の同位体比を分析した。まず日本国内の錫石について天然の Sn 同位体組成変動を調査した。産出場所は高取鉱山、苗木地方、鐘打鉱山、大谷鉱山、生野鉱山、喜和田鉱山、嘉納鉱山の7か所である。分析の結果、日本の錫石についても鉱床間で有意な Sn 同位体組成変動が確認された。同位体組成の変動は、比較的存在度の高い同位体の比をとり、基準となる標準溶液の同位体比との差を千分率 (‰) で表す。国内の錫石で最も大きな変動が見られたのは苗木地方と嘉納鉱山の錫石で、0.16 ‰であり、この変動は Hausteina et al. (2010)で報告された 0.6 ‰に比べて小さい。変動の原因は明らかにできていないが、今後再現性の確認と共に考察を進めていく予定である。一方で、中国出土の青銅製品について行われた予察分析では、同一地域の試料の間で 0.7 ‰の差が見られ、製作過程において起きた同位体組成変動を示している可能性がある (Nakai and Saito, unpublished)。今後、中国など諸外国の錫石試料についても Sn 同位体分析を行い、天然の同位体組成変動についての知見を得ることを目指す。さらに、実験用に青銅器を製作し、原料と製品の Sn 同位体分析を行うことにより製作過程での Sn 同位体組成変動を検証する予定である。天然に比べて青銅器製作過程における Sn 同位体組成変動が大きければ、Sn 同位体の青銅器リサイクルトレーサーとしての可能性を示唆できるはずである。

4. 謝辞

本研究を行うにあたり、日本国内の錫石試料はすべて、石原舜三博士 (産総研) にご提供いただきました。また、齋藤努博士 (国立歴史民俗博物館) には中国出土の青銅製品試料をご提供いただきました。さらに、三船温尚博士・柴田早穂氏 (富山大学) には青銅器製作をお引き受けいただき、製造工程に関してご教授いただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

三重県の縄文時代後・晩期の遺跡出土の朱の産地推定

Determination of Sources of Cinnabar from Site of the Later and Last Stage of Jomon period in Mie Prefecture

○河野(西野)摩耶(慶應義塾大学), 南武志(近畿大学), 武内章記(国立環境研究所), 奥義次(三重県史編集委員), 今津節生(九州国立博物館)

Maya Nishino-Kawano (Keio Univ), Takeshi Minami (Kinki Univ), Akinori Tkeuchi (Nat Inst Environ Stud), Yoshitsugu Oku (Editorial Room for Historiography of Mie Prefecture), Setsuo Imazu (Kyushu National Museum)

1. 丹生地方の朱に関する考古学的な現状と地質的な傾向

考古資料で初めて朱が確認されたのは縄文時代中期後葉～末葉ごろだと知られているが、土器型式から明確にわかる時期では、岐阜県塚遺跡出土の罌付壺形土器の頸部への付着であるとされている。三重県においては、朱の利用は縄文時代後期初頭の三重県松阪市王子広遺跡より出土した(中津式)朱彩土器以後普及する。そして、朱の生産・精製に関する資料は、縄文時代後期中葉から後半以後になり急激に増加する。この盛行期に属するのが三重県度会町の森添遺跡であり、辰砂鉱石のみならず辰砂の粉碎・精製に関する「(外面煤付着)内面朱付着土器」や磨石(粉碎機能も備える)が大量に出土する。また、この遺跡では、東北系・中部山地系・北陸系・三河系等の外来系土器(一部資料に関して朱が付着している)が多数出土することからも交易を広く行う「朱の生産・精製遺跡」である可能性が考えられる。縄文時代晩期後半には、丹生鉱山に隣接する「朱の原産地遺跡」である三重県勢和村池ノ谷遺跡から辰砂鉱石および朱の生産・精製に関する資料が出土している。したがって、伊勢南部地域においては朱の「(獲得・)生産・精製」が少なくとも縄文時代晩期後半期まで続いていたと考えることができる。その丹生鉱山は中央構造線に沿って内帯側と外帯側に分かれる。内帯側はアプライト(半花崗岩)、外帯側は石英片岩を母岩とする。内帯系の辰砂は軟質であり、外帯系の辰砂は硬質である。「朱の生産・精製遺跡」の可能性が高い森添遺跡からは辰砂原石が1点発見されているが、外帯系に属する石英片岩である。私達は、森添遺跡をはじめ、縄文時代中期後葉～末葉の4遺跡から出土した辰砂原石と土器付着朱について、朱の構成成分であるイオウ同位体比分析と微量元素分析を行い、さらに伊勢南部地域の辰砂鉱山約30箇所から採取した辰砂鉱石のイオウ同位体比と比較した。

2. 分析対象と測定方法

三重県伊勢南部地域の辰砂鉱山約30箇所より辰砂鉱石サンプルをもとに分析をおこなった。遺跡出土辰砂鉱石および朱は、三重県下川原遺跡、新徳寺遺跡、森添遺跡、池ノ谷遺跡出土した資料である。この中で池ノ谷遺跡は旧抗に最も隣接した位置に存在する遺跡であり、原産地遺跡である可能性が指摘されている。

イオウ同位体比分析は Minami et al の方法に従って行ない、 ^{32}S に対する ^{34}S の存在比を標準物質(キャニオン・ディアブロ隕石中のトロイライト)の同位体比と比較し、 $\delta^{34}\text{S}$ (‰) で表した。

第1表 丹生地方における朱の生産（精製）遺跡一覧

名称	所在地	時期	朱関連資料	分析試料
天白遺跡	三重県松阪市	縄文時代後期中葉～末葉	辰砂鉱石(母岩は石英片岩)、磨石、石皿、土製品	
下沖遺跡	三重県松阪市	縄文時代後期中葉～晩期末葉	磨石、石皿、土製品	
大原掘遺跡	三重県松阪市	縄文時代晩期初頭～後葉	磨石、石皿、土製品	
磯田畑遺跡	三重県松阪市	縄文時代晩期初頭～後葉	辰砂鉱石(石英片岩)、土製品	
森添遺跡	三重県度会町	縄文時代後期後葉～晩期前葉	辰砂鉱石(圧砕岩)、磨石、石皿、土製品	○
新徳寺遺跡	三重県多気町	縄文時代後期前葉	辰砂鉱石(母岩は石英片岩)	○
殿垣内遺跡	三重県多気町	縄文時代晩期初頭～後葉	磨石、石皿、土製品	
奥ホリ遺跡	三重県多気町	縄文時代後期後葉	磨石、土器	
池ノ谷遺跡	三重県多気町	縄文時代晩期後葉	辰砂鉱石(石英片岩)、磨石、石皿、土製品	
森荘川浦遺跡	三重県多気町	縄文時代後期後葉	磨石、土製品	
王子広遺跡	三重県松阪市	縄文時代後期初頭	土製品	
下川原遺跡	三重県名張市	縄文時代晩期後葉	朱容器	○

※本表は、奥義次氏、志賀智史氏の教示を得て作成したものである。○部は分析対象である。「土製品」は「土器」を含む。

3. 結果

丹生鉱山および周辺地域のイオウ同位体比は、 $-8.82 \pm 2.7\%$ であった。比較試料として、奈良県の大和水銀鉱山のイオウ同位体比は $-2.24 \pm 5.75\%$ 、徳島県水井鉱山のイオウ同位体比は $-4.56 \pm 3.86\%$ である。一方、中国貴州省産朱のイオウ同位体比は $+22.39 \pm 4.49\%$ 、陝西省産朱のイオウ同位体比は $+6 \sim +10.6\%$ であることが判明している（南ほか, 2004; 南ほか, 2008）。このように、中国産と日本産の朱のイオウ同位体比が明らかに異なる値を示し、さらに丹生鉱山産の朱とそれ以外の朱のイオウ同位体比に違いが認められることから、丹生鉱山近辺および周辺地域の遺跡から産出する辰砂および朱のイオウ同位体比を測定してみた。南伊勢地域の縄文時代後晩期の複数の遺跡出土の辰砂・朱のイオウ同位体比は、下記の通りであった。

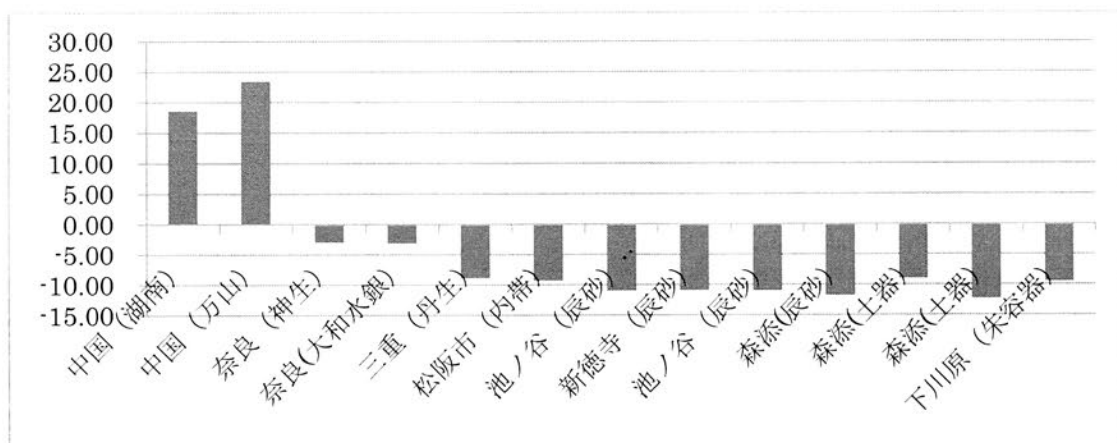


図1 鉱山朱と遺跡朱におけるイオウ同位体比

以上の結果から、これらは全て丹生地方の辰砂鉱石のイオウ同位体比に類似した結果を得た。したがって、丹生地方の辰砂を利用した可能性が高い。ただし、丹生地方の内帯・外帯それぞれの辰砂鉱石のイオウ同位体比を比較したが、差が認められないことから、丹生地方のどの辰砂を利用したのか、この分析のみから判断することはできなかった。少なくともこれらの遺跡が朱を大和鉱山や水井鉱山、さらには中国ではなく、丹生地方で獲得し、朱の生産・精製行為を行った可能性があると考えられる。将来的には、国産辰砂のイオウ同位体比のみにとらわれることなく、より精度の高い分析方法を取り入れることで、より客観的な結果を導き出したい。

北海道北東部における黒曜石産地群の 地質学的形成場と黒曜石化学組成 Geological formation field and chemical compositions of some obsidians in the obsidian source group, northeastern Hokkaido

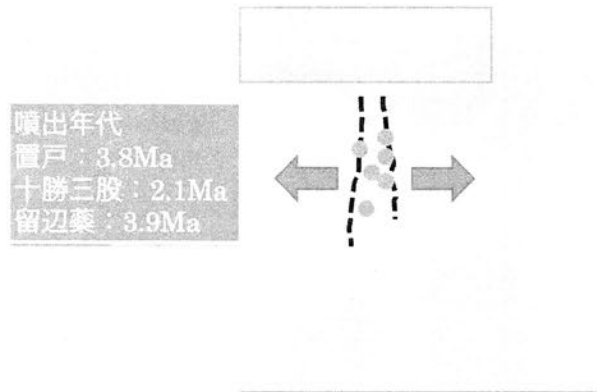
○和田恵治(北海道教育大学旭川), 鹿野貴広(北海道教育大学旭川),
佐野恭平(北海道教育大学旭川), 向井正幸(旭川市博物館)

○Keiji Wada (Hokkaido Univ.Educ.Asahikawa), Takahiro Kano (Hokkaido Univ.Educ.Asahikawa),
Kyohei Sano (Hokkaido Univ.Educ.Asahikawa) and Masayuki Mukai (Asahikawa City Museum)

はじめに

北海道では十数カ所の黒曜石原産地が知られている。中でも北海道北東部には、白滝・置戸・十勝三股・留辺蘂・生田原・遠軽といった黒曜石原産地が集中して存在する(図1)。ここでは、これらを総称し北海道北東部黒曜石産地群と呼ぶことにする。黒曜石原産地が密集して存在することは地質学的な形成過程の場が共通していることを示唆する。このうち、白滝黒曜石についてはその地質学的及び岩石学的特徴が明らかにされた(和田ほか, 2010; 和田・佐野, 2011)。しかし、置戸・十勝三股・留辺蘂地域における黒曜石の地質学的産状や岩石学的性質は必ずしも十分に解明されていない。本研究では、置戸・十勝三股・留辺蘂地域の黒曜石を対象として地質学的及び岩石学的研究を行った。現時点で黒曜石露頭を未だ見出すことはできなかったが、黒曜石の転石を地質学的視点で注意深く採取して、黒曜石の地質学的形成過程を推測した。また黒曜石ガラスの電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)を使って化学組成を明らかにした。偏光顕微鏡観察を行ない、黒曜石中の斑晶やマイクロライトの特徴や微細組織を記載した。今回、新たに黒曜石のK-Ar放射年代を測定し、3地域の黒曜石の噴出年代を求めた。

図1



黒曜石ガラスの化学組成

置戸地域の黒曜石は、置戸町の北西側に原産地が位置しており、3地点(置戸山・北所山・所山)で転石を採取した。十勝三股地域の黒曜石は、南クマネシリ岳西方、十一の沢川上流沿いの転石を採取した。留辺蘂地域の黒曜石は、丸瀬布町と留辺蘂町の境界、ケンヨマップ川上流通子沢の二次堆積物中の礫を採取した。そのうち置戸産黒曜石では18試料、十勝三股産黒曜石では8試料、留辺蘂産黒曜石では7試料について黒曜石ガラスの化学組成をEPMAによって分析した。

黒曜石ガラスのSiO₂は置戸黒曜石では

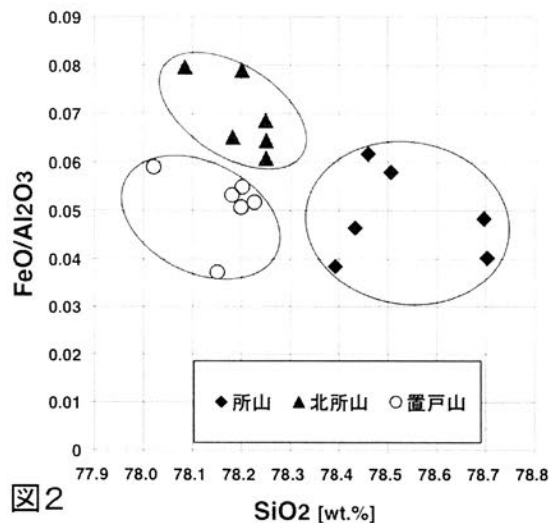


図2

産地
O-4

SiO₂=78-78.5wt.%, 十勝三股黒曜石では SiO₂=77.5-78wt.%, 留辺蘂黒曜石では SiO₂=76-76.5wt.%であり, すべての黒曜石で SiO₂に富む流紋岩の組成を示す。

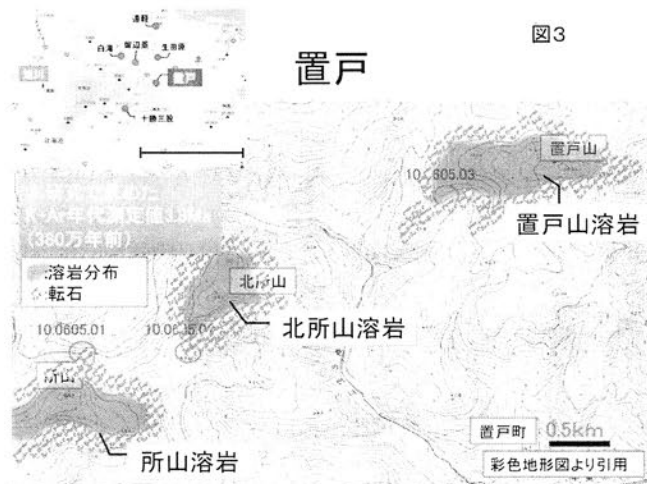
TiO₂/K₂O 比を縦軸に CaO/Al₂O₃ 比を横軸にとった図において, 置戸産黒曜石・十勝三股産黒曜石・留辺蘂産黒曜石はそれぞれ独立した組成グループをつくる。置戸黒曜石では, さらに3つの独立した組成グループ(置戸山・北所山・所山)に分類することができる(図2; SiO₂-FeO/Al₂O₃ 図)。したがって置戸地域では, すでに知られている置戸山及び所山組成(向井ほか, 2002)に加え, 北所山組成グループを今回新しく識別することができた。

地質学的形成場

北海道北東部黒曜石産地群は, 紋別-上士幌地溝帯の中に概ね分布している(図1)。地溝帯は地殻の引っ張り応力場のもとで形成されたので, 黒曜石は引っ張り応力場における火山活動と関連して形成されたと考えられている(和田, 2011)。置戸・十勝三股・留辺蘂地域の黒曜石を生じたマグマ活動も, 白滝地域と同様に地溝帯の中での溶岩を噴出した火山活動であったと思われる。

(1) 置戸地域の黒曜石

所山・北所山・置戸山の3地点の溶岩が北東-南西方向に並んでそれぞれ独立して存在すると考えられる(図3)。所山溶岩の黒曜石を K-Ar 年代測定したところ, 本溶岩の噴出年代は約 380 万年前と推定される(下表)。置戸地域の黒曜石は斜長石斑晶を含むが, 所山・北所山黒曜石では一薄片につき1~2個の斑晶を, 置戸山黒曜石では3~6個の斑晶を含む。また北所山黒曜石は斜長石と磁鉄鉱マイクロライトを多く含むが, 置戸山黒曜石ではそれらがより少ない。



(2) 十勝三股地域の黒曜石

十勝三股黒曜石は, 十一の沢川の最上流に露頭があると思われるが, 確認していない。黒曜石2試料について K-Ar 年代測定した結果, 噴出年代は約 210 万年前と推定される(下表)。この年代は白滝黒曜石の噴出年代(約 220 万年前)と同時期である。十勝三股黒曜石は一薄片につき2~3個の斜長石斑晶を含む。斜長石マイクロライトを多量に含む。

(3) 留辺蘂地域の黒曜石

留辺蘂黒曜石は向井(2005)により, 複数の黒曜石産地が知られているが, 本研究では1カ所からしか試料を得ていない。留辺蘂黒曜石の K-Ar 年代測定から, 留辺蘂黒曜石の噴出年代は約 390 万年前と推定され(下表), 置戸黒曜石と同年代を示す。留辺蘂黒曜石は斑晶に斜長石と斜方輝石を含む特徴をもつ。

試料No.	試料(溶岩)	カリウム含有量 (wt.%)	放射性起源 ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁶ cc STP/g)	K-Ar年代 (Ma)	非放射性起源 ⁴⁰ Ar (%)
TO-60502-D	黒曜石 (所山溶岩)	3.336±0.067	49.40±0.56	3.81±0.09	13.4
TK-92901-A	黒曜石 (十勝三股溶岩)	3.457±0.069	28.86±3.37	2.15±0.25	87.7
TK-92903-E	黒曜石 (十勝三股溶岩)	3.434±0.069	28.32±0.36	2.12±0.05	21.8
RB-102301-B3	黒曜石 (留辺蘂溶岩)	2.940±0.059	44.58±1.10	3.90±0.12	53.3

シリア Tell Fakhariya 出土ガラス容器片の考古化学的研究

Chemical analysis of glass vessel fragments excavated from Tell Fakhariya, Syria

○鈴木周作、阿部善也（東理大・理）、J.W.Lankton（ロンドン大学・考古学）、
D.Bonatz（ベルリン自由大学・考古学）、中井泉（東理大・理）
○S.Suzuki, Y.Abe（TUS・Sci.）、J.W.Lankton（UCL・Archaeology）、D.Bonatz（FU Berlin・
Archaeology）、I.Nakai（TUS・Sci.）

はじめに

Tell Fakhariya 遺跡は、シリア・アラブ共和国の北東部、トルコとの国境付近に位置する遺跡である。現在まで、ドイツ発掘隊により発掘がすすめられ、発掘遺構や遺物より、紀元前2千年紀初期から西暦800年ごろまで継続的に都市が存在していたことが明らかとなっている。そして、この都市は交易の中心であったことが知られており、当時の様々な重要な遺物が出土している。多くの出土遺物の中でも、ガラスは生産地における使用原材料の差異を比較的強く反映しており、本遺跡からも数多く出土していることから、ガラスに着目し研究を行った。ガラス生産はローマ時代における吹きガラスの誕生を機に大幅に生産が増え、当遺跡においてもローマ時代以降の年代において、多くのガラスの出土が確認されている。

本研究では、現地に可搬型の蛍光 X 線分析装置を持ち込み、古代ローマ時代からビザンチン帝国時代、イスラーム時代に渡る長期間の間に生産されたガラス容器片を対象とし、化学組成分析を行った。その後、得られた化学組成情報からガラスの原材料を考察し、先行研究にと比較することでガラス生産地の推定を行う事を目的とした。

元来、ガラス分析において、劣化したガラスはアルカリ成分などの流出が生じるため、本来のガラス組成を非破壊分析で得ることは困難である。しかし、今回の調査では資料表面を研磨する許可が得られたため、銀化等による劣化部分を研磨することで、劣化による組成変異の影響を取り除いて分析を行うことが可能であった。さらに、ガラスの研磨前後の組成を比較することで、銀化等の劣化によるガラス組成への影響を考察することも同時に行った。

資料と実験

Tell Fakhariya 遺跡出土の、古代ローマ時代(紀元前5紀元後-6世紀)、ビザンチン帝国時代(紀元後5-8世紀)、イスラーム時代(紀元後7世紀～)にかけてのガラス容器片126点を分析資料とした。

分析方法は、当研究室が企業と共同開発した可搬型蛍光 X 線分析装置 (OURSTEX 100FA-IV) を用いた蛍光 X 線分析を行った。本装置は光学系にモノクロメータを搭載し、切り替えにより単色光と白色光を選択することができる。さらに、試料室を低真空状態にすることで、軽元素から重元素まで感度良く分析可能である。資料準備として、分析部分のガラスの研磨を行った。また、ガラス研磨前後の組成を調べるため、36点は研磨の前後で同じ部分を2回分析して効果を検証し、その他90点は研磨後のみ分析を行った。ガラスの研磨にはドリル研磨機を使用し、測定部分はいずれもアルコールで洗浄を行った。

結果と考察

ガラス研磨前後のガラス組成を比較した結果、主にアルカリ成分等の、ガラス組成の濃度変化を確認した。ガラスの劣化によって、一般的なガラスに含まれる成分である Na_2O と CaO 濃度は大きな減少を示し、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 K_2O 濃度は増加をすることが明らかとなった。 Na_2O と CaO はアルカリ成分であり、長年地中に埋まっていることで雨水などに溶出したと考えられる。また、これらの濃度減少により、見かけの濃度として Al_2O_3 、 SiO_2 濃度が増加したと考えられる。興味深いのは、 K_2O 、 MgO も Na_2O 等と同様のアルカリ成分であるが、 K_2O 濃度は劣化により減少せずに増加し、 MgO 濃度はほとんど変化がなかった事である。ガラスの銀化に伴う組成変化についての研究は少なく、貴重な知見が得られたと考えている。

続いて、ガラス製作の際に融剤として加えられるアルカリ成分、不純物の Fe による着色を防ぐために加えられる消色剤、シリカ源に付随する不純物、の3点に着目することで、ガラス容器片のタイプを全部で4つのタイプに区別することが出来た。そのタイプ分けを表1に示す。

まず、アルカリ源について着目すると、天然の炭酸塩鉱物であるナトロンをアルカリ源として使用したナトロンガラスと、MgO と K₂O 濃度が共に 2 wt%以上である植物灰をアルカリ源とした植物灰ガラスの2種類に区別することが出来た。ナトロンガラスのグループを N タイプ、植物灰ガラスのタイプを P タイプとする。

続いて、消色剤に着目すると、P タイプはいずれも Mn を消色剤として用いているのに対し、N タイプは Mn を用いたものと、Sb を用いたものの2種類に区別できた。これをそれぞれ、NM タイプ、NS タイプとする。

続いて、シリカ源に付随して不純物として含まれる、Al, Ti, Fe, Zr といった元素に着目すると、P タイプと NS タイプはいずれも TiO₂, ZrO₂ 濃度が低いのに対し、NM タイプでは TiO₂, ZrO₂ 濃度が高いものと低いものの2種類に区別することが出来た。これらを NM1 タイプ、NM2 タイプとする。

以上より、P タイプ(18点)、NS タイプ(11点)、NM1 タイプ(80点)、NM2(16点)タイプの4種類のガラスタイプを明らかにした。このタイプ分けを先行研究と比較することで、年代、生産地の推定を行った。

P タイプのガラスは、イスラーム時代の様式が確認される点、イスラーム時代に一般的であった植物灰をアルカリ源に用いている点から、イスラーム時代のガラスであることが推測される。NS タイプのガラスは Sb が消色剤として使用されたナトロンガラスであり、典型的なローマガラスである。また、ローマガラスにおいて Ca, Sr 濃度が高いものはシリア沿岸タイプ、Ti, Fe 濃度が高いものはエジプトタイプとされるが、今回のタイプはどちらにも属さない。さらに、シリア沿岸ではローマ時代からイスラーム時代にかけて、一般的に Mn が消色剤として使用されていたことから^{1,2,3)}、ヨーロッパ等の他地域からからの流入品の可能性が考えられる。NM1 ガラスは、シリカ源の不純物の点に関して NM2 に比べて CaO 濃度が高く、紀元後 4-7 世紀に東地中海沿岸の海砂を使用して生産されたガラスの組成と類似している⁴⁾。原料採取地と遺跡が比較的近く、出土数も多いことから、当時 Tell Fakhariya で最も流通していたガラスであることが推測される。NM2 タイプのガラスは、シリカ源の不純物である Ti, Zr の他に Fe₂O₃ 濃度も高い。このタイプは、紀元後 4 世紀頃イタリアもしくは地中海西側で生産された HIMT (High Iron Manganese Titanium)タイプとの類似性が認められた。

表1 ガラス容器片のタイプと化学組成

タイプ	N	アルカリ	消色剤	TiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , ZrO ₂	CaO	Al ₂ O ₃
P タイプ	18	植物灰	Mn	低	低	低～高
NS タイプ	11	ナトロン	Sb	低	低	低
NM1 タイプ	80	ナトロン	Mn	低	高	高
NM2 タイプ	16	ナトロン	Mn	高	低	高

- 1) E.Sayer, 1963: "The Intentional Use of Antimony and Manganese in Ancient Glasses," in F. Matson and G. Rindone (eds). *Advances in Glass Technology, part2*, pp. 263-282
- 2) C.M.Jackson, 2005: "Making Colourless Glass in the Roman Period," *Archaeometry* 47 (4), pp.763-780.
- 3) R.Abd-Allah, 2009: "Solarization Behaviour of Manganese Containing Glass: An Experimental and Analytical Study," *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 9 (9), pp. 37-53.
- 4) I.C.Freestone, et al., 2002; "The origins of Byzantine glass from Maroni Petrera, Cyprus", *Archaeometry* 44 (2) pp.257-272

放射光粉末 X 線リートベルト解析による重鉱物の相分析と 古代土器の産地推定への応用

Quantitative phase analysis of heavy minerals by Rietveld method using SR-XRD data and its application to the provenance study of ancient ceramics

○黄 嵩凱, 鈴木 裕子, 古谷 俊輔, 阿部 善也, 中井 泉(東理大・理),
大坂 恵一 (SPring-8, JASRI)

Willy Bong Shun Kai*, Hiroko Suzuki, Shunsuke Furuya, Yoshinari Abe, Izumi Nakai
(Dept. of Appl. Chem., Tokyo Univ. of Sci.), Keiichi Osaka (SPring-8, JASRI)

【序】土器の原材料である粘土には様々な鉱物が含まれている。これらの鉱物は粘土の産地に関する情報を含んでいるため、鉱物種、特に地球化学的挙動が特徴的な重元素を多く含む重鉱物を同定することによって、土器の産地推定の手がかりが得られる¹⁾。重鉱物は河砂の産地を推定するために極めて重要な指標として古くから用いられてきた。これまで河砂、粘土などの堆積物中の重鉱物組成は偏光顕微鏡や SEM-EDS によるポイントカウント法が主流であったが、定量には高度の熟練した技術と経験を要し、汎用性の面では難しい点がある。そうした熟練した技術を必要とせずに結晶相の組成比を求める分析法として、粉末 X 線回折法がある。特に回折データのリートベルト解析により、結晶相の定量が可能となる。しかしながら、土器試料のような多成分の重鉱物の混合系では、回折線が重って複雑なパターンを示すため、実験室系装置の回折データでは分解能が低く、定量は技術的に困難であった。我々は放射光粉末 X 線回折法が試料が微量でも高分解能の回折データが得られ、さらに最近測定自動化が進み、多数試料を扱えるようになったことに着目した。そして、放射光粉末回折データのリートベルト多相解析を土器の産地推定に初めて導入し、その有用性を検証した。さらに、開発した手法を用いて、トルコの遺跡から出土した青銅器時代の土器の産地推定を試みた。

【試料と実験方法】参照試料として用意した構造既知の 7 種類の鉱物試料 (輝石、角閃石、鉄礬ざくろ石、くさび石、緑簾石、ルチル、アナターゼ) について、単一相と 2~4 相の混合物をめのう乳鉢で粉砕した後、ガラスキャピラリ (0.3 mm 径) に封入し、SPring-8 の BL19B2 にて回折データを測定した。用いた装置は、検出器にイメージングプレートを用いる大型デバイシェラーカメラを備えた「全自動放射光粉末回折測定システム」である。波長は 1 Å とし、1 試料あたりの露光時間は 10 分とした。得られた統計精度の高い粉末データについて、リートベルト解析用ソフト RIETAN-FP²⁾を用いて多相リートベルト解析を行い、スケールファクターにより重鉱物の組成比を求め、仕込み量と比較することで、定量性を検証した。さらに実試料として、トルコの地質試料 (60 種) およびカマン・カレホニク遺跡から出土した古代土器試料 (50 サンプル) を同様に測定した。

【結果と考察】SPring-8 の高輝度、高指向性の X 線を用いることにより、回折ピークの半値幅が狭い高分解能の回折データが得られ、単一相のリートベルト解析における信頼度因子 Rwp (%) の値はいずれも 8 %以下に収斂した (表 1)。

表 1 単相参照試料のリートベルト解析結果

単相鉱物(天然)	産地	化学式	R _{wp} (%)	a(Å)	b(Å)	c(Å)	β(°)
角閃石(hb)	-	(Na,K) _{0.1} Ca ₂ (Mg,Fe ²⁺ ,Fe ³⁺ ,Al) ₅ Si _{6-7.5} Al _{2-0.5} O ₂₂ (OH) ₂	6.16	9.9996(5)	18.0523(7)	5.2859(2)	104.050(3)
くさび石(ti)	日本、石川町	CaTiSiO ₅	7.41	7.05723(4)	8.70408(4)	6.55496(3)	113.8620(4)
鉄礬ざくろ石(gar)	アフリカ、ナミブ砂漠	(Fe _{2.3-2.4} Mn _{0.1-0.15} Mg _{0.4-0.5})Al ₂ Si ₃ O ₁₂ (Fe _{2.2} Mn _{0.3-0.35} Mg _{0.2})Al ₂ Si ₃ O ₁₂	6.93	11.6173(1)	11.6173(1)	11.6173(1)	11.58882(8)
透輝石(di)	朝鮮、咸鏡南道	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆	7.98	9.74980(6)	8.92341(4)	5.25639(3)	105.9030(5)
クロム輝石(Crpy)	-	Ca(Fe,Cr)Si ₂ O ₇	7.35	9.74510(6)	8.92150(5)	5.24942(3)	105.8070(5)
緑簾石(ep)	-	Ca ₂ Al ₂ (Al,Fe ³⁺)OOH(Si ₂ O ₇) ₂ (SiO ₄)	5.56	8.89032(5)	5.62419(2)	10.15485(6)	115.4181(4)

また、格子定数の差が 0.03 Å の 2 種類の鉄礬ざくろ石 (化学組成は表 1 を参照) が混和した 2 成分系試料も高精度で解析できた (図 1)。定量分析に関しては、ルチルとアナターゼの 2 相混和物では精度の高い結果が得られ (表 2)、4 相までの混合系で解析に成功した (図 2)。また、1:1:1 及び 1:2:1 の割合で混ぜた純度の高い 2 種類の 3 成分系の天然鉱物 (St1、St2) の混合参照試料の解析に成功し、いずれも高精度の定量結果を示した。なお、St3 と St4 の試料に関しては固溶体や不純物などの影響に注意する必要がある (表 2)。カマン・カレホユック遺跡から出土した古代土器の産地推定では、図 3 に示すように、イメージングプレートは産地に特徴的な回折パターンを示し、目視により簡単に土器中の重鉱物種の種類が分類でき、その有用性が実証された。当日は、自然堆積物および古代土器のリートベルト多相解析の結果についても発表する。

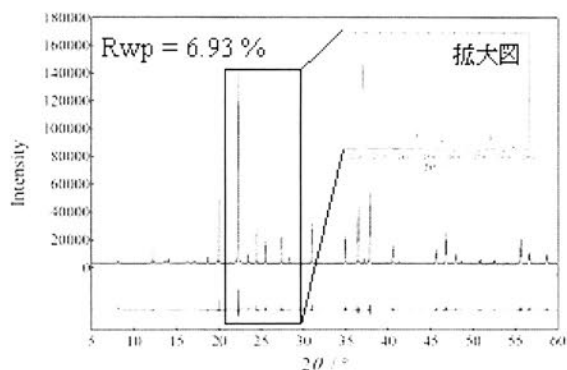


図 1 鉄礬ざくろ石の解析結果

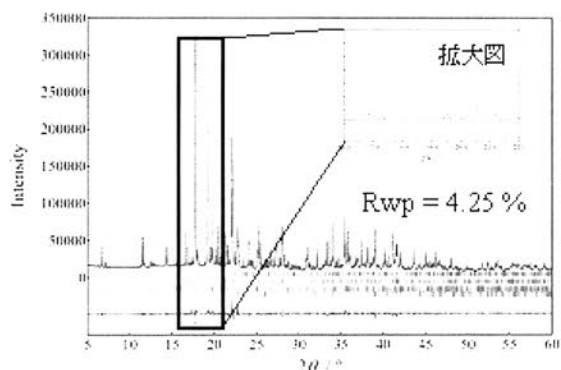


図 2 4 成分系試料の解析結果

表 2 多相参照試料のリートベルト解析による定量結果

混和試料	鉱物組成	既知重量比(wt%)	定量結果	Rwp (%)
人工合成				
Sy1	ルチル:アナターゼ(高純度)	50:50	48.7:51.2	3.69
Sy2	ルチル:アナターゼ(高純度)	70:30	67.4:32.5	4.95
Sy3	ルチル:アナターゼ(高純度)	30:70	32.3:67.6	4.90
天然鉱物				
St1	くさび石:緑簾石:電気石	33:33:33	36.5:31.9:31.6	5.45
St2	くさび石:緑簾石:電気石	25:50:25	25.3:46.7:28.0	4.98
St3	角閃石:クロム輝石:緑簾石:くさび石	25:25:25:25	9.5:41.7:30.3:18.5	4.25
St4	緑簾石:石榴石	50:50	17.5:20.6:61.9	3.99
St5	クロム輝石:透輝石	50:50	51.3:48.7	6.18

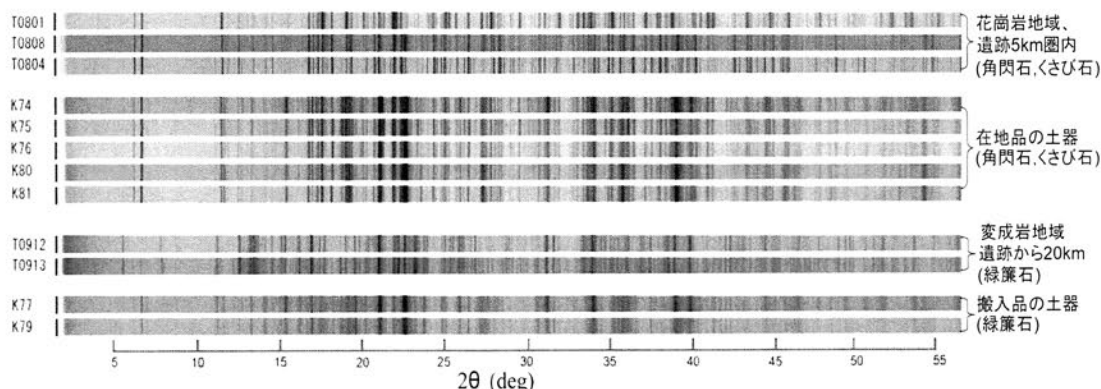


図 3 自然堆積物と古代土器に含まれる重鉱物の IP 粉末回折データの比較

- 1) W.S.K. Bong, *et. al.* (2010), *Journal of Archaeological Science*, **37**, 2165-2178.
- 2) F. Izumi and K. Momma (2007), *Solid State Phenom*, **130**, 15-20.

染織文化財に用いられた染料の超微量分析の試み (6)
文化財染織品に用いられた黄檗に含まれるプロトベルベリン類の
定量分析による産地同定

Development of Micro-analytical Techniques for Dyes in Historic Textiles (6)
Determination of Growing-area of Amur Cork Tree by Quantitative Analysis of
Protoberberine Alkaloids used for Historic Textiles

○佐々木 良子 (京都工芸繊維大学 美術工芸資料館),
藤井健三 (京都工芸繊維大学 美術工芸資料館染織関連資料調査委員会),
佐々木 健 (京都工芸繊維大学 工芸科学研究科生体分子工学部門)
○Yoshiko SASAKI (Museum and Archives, Kyoto Institute of Technology),
Kenzo FUJII (Museum and Archives, Kyoto Institute of Technology),
Ken SASAKI (Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology)

はじめに

日本や中国の文化財染織品において、黄檗は頻用されている黄色染料の一つである。その主成分はカチオン性アルカロイドのベルベリンである。ベルベリンと共通の骨格を有するアルカロイド類はプロトベルベリンと呼ばれ、世界各地の多様な植物において認められる黄色成分であり、特に、薬理作用の観点から注目されてきた。

黄檗には主成分のベルベリンのほかにもパルマチンやヤトロリジンなどが主要な副成分として存在する。一般に、中国産黄檗ではベルベリンに対するパルマチン含量がきわめて小さく、おおむね1%以下であるのに対し、日本産黄檗は木部位と個体差があるものの平均すると中国産に比べて高いパルマチン含量を示す¹⁾。この日本産と中国産における含有量の違いは黄檗の種の違いを反映したものであると考えられている。

黄檗は、日本並びに中国において黄色単独での染料、緑色あるいは緋色における重ね染め成分として汎用され、非破壊的な蛍光分光により検出が容易である。本報告ではこの選別の容易さを利用し、黄檗中のプロトベルベリンアルカロイドの成分分析による産地同定の可能性について検討した。

実験

機器：紫外可視吸収スペクトル並びに反射スペクトルには Shimadzu UV-3101PC を、蛍光スペクトルには Hitachi F-4500 を使用した。高速液体クロマトグラフは PDA 検出器として JASCO MCD 2010 を用い、カラムには Cosmosil 5Ph-MS (Nacalai)、移動相溶媒には TFA/H₂O/MeOH を流速 1mL/min で使用した。質量分析はエレクトロスプレーイオン化ーイオントラップ質量分析 (ESI-IT-MS) Thermoelectron LCQ を用いて測定した。

試薬：塩化ベルベリンは市販品 (東京化成) をメタノールより再結晶して、塩化コブチジンは市販品 (和光純薬) をそのまま用いた。塩化パルマチンはコロンボ根 (吉見製薬) より、ヨウ化ヤトロリジンは唐黄連 (高砂製薬) より抽出した。

黄檗標準試料：日本産として、10種類 (染色用(田中直), 漢方薬(高砂製薬, 永大製薬 福島産), 黄檗樹皮(アースネットより7種類, (複数木混合: 北海道古平, 単一木: 北海道当別, 北海道古平, 青森下北半島, 石川白山, 新潟魚沼, 熊本八代)), 台湾産漢方薬として3種類 (台北で購入), 中国産漢方薬として5種類 (高砂製薬, 永大製薬 台北で2種類購入, 台南で1種類購入) の黄檗を用いた染色絹布より得られた抽出液を測定に供した。

文化財資料：京都工芸繊維大学美術工芸資料館収蔵品(KIT Collection 中国製 AN.324, AN.374, AN.460, AN.466, 日本製 AN.406, AN.416, AN.513, AN.529-5, AN.529-12) の脱落糸及び、知泉聖通尼所用九条袈裟 (曇華院蔵 14C) の修理時の脱落糸より得られた抽出液を測定に供した。

結果と考察

1. 現代黄檗標品の成分分析

HPLC 分析によりベルベリンに対するパルマチン含量を求めたところ、中国産黄檗におけるパルマチンの含有量はベルベリンに対して概ね2%未満であった。日本産ではパルマチンの含有量は20%を超えるものから1%程度まで大きく分散し、ばらつきが見られるものの、概ね中国産のものより含有量の高いものが多く、既報の結果と一致した¹⁾。しかしながら、パルマチン含量が2%以下の日本産の黄檗も存在し、これらは中国産との区別が困難である。そこで第二成分であるヤトロリジンに注目し、ベルベリンに対するその含有量を求め、二つ目の指標とした。ベルベリンに対するパルマチン比率ならびにヤトロリジンの比率をプロットしたところ(図1)、中国・台湾産(●)はすべてヤトロリジンが1%以下、パルマチンが2.5%以下の双方を満たす領域に分布したのに対し、日本産(■)ではいずれかの成分がそれらよりも大きな値を示す広い領域に分布することが明らかとなり、産地の特定が可能であることが示された。

2. 文化財資料の分析

KIT Collectionの中から、用いられた染織技法や文様から中国製(明朝から清朝)或いは日本製(桃山期から江戸期)と考えられ、蛍光挙動から黄檗が用いられた事が明らかになった資料脱落糸に対してHPLC分析を行った。その結果を上記標準試料と同じ図(図1:中国製(▲),日本製(▼))に纏めたところ、黄檗標準試料と重複する領域での分布が認められた。従ってこのプロットを用いることにより産地推定が時代裂においても適用可能であった。

3. 曇華院資料の分析

上記の結果に基づいて、知泉聖通尼所用九条袈裟(曇華院蔵14C)の修理時の萌黄色脱落糸の分析を行った。蛍光分光により、萌黄色の黄色成分が黄檗であることを確認後、HPLC分析を行った。本資料は元時代の文様様式を示す袈裟²⁾ではあるが、その織構造は15世紀の日本で作例が残っているにもかかわらず、中国では未だ見出されていない³⁾。この資料の黄檗の成分分析の結果、パルマチンとヤトロリジンの成分比が日本産黄檗の分布領域に存在した(図1:(★))。萌黄色系が日本産黄檗で染められ、この袈裟が日本製の可能性が高いことを示した。

4. ESI-MSによる分析

ベルベリンに対するパルマチンとヤトロリジンの成分の定量分析において、試料量の削減を目指しESI-MSを適用したところ、HPLC分析における試料量の1/100量で同様の結果が得られ、貴重な文化財資料においてもごく微量の資料での産地同定が可能である事が明らかになった。

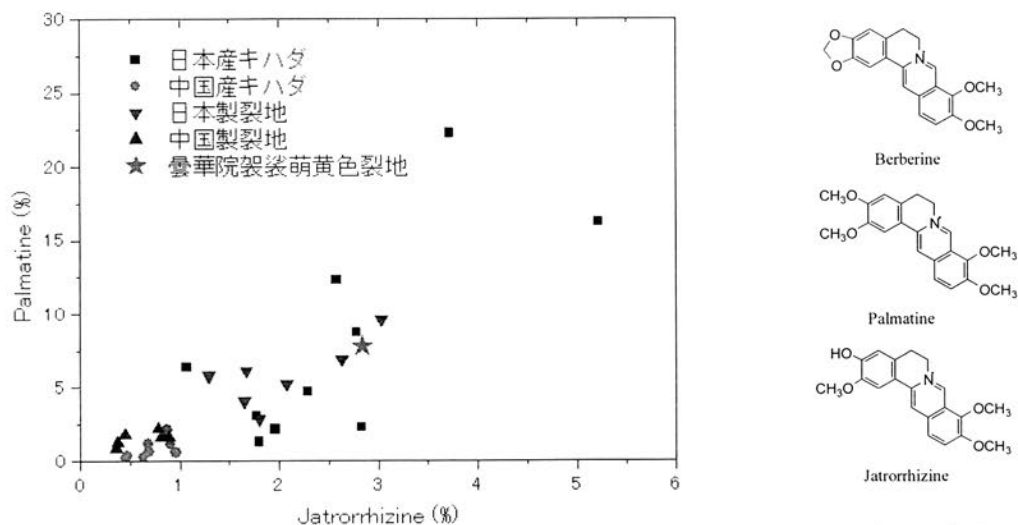


図1 黄檗に含まれるベルベリンに対するパルマチンとヤトロリジンの成分比

参考文献

- 1) 相楽一彦 他 分析化学 35 326-329 (1986)
- 2) 「高僧と袈裟」展カタログ pp.266-267 京都国立博物館 (2010)
- 3) 「高僧と袈裟」展カタログ pp.26-27 京都国立博物館 (2010)

出雲市中村1号墳出土資料の鉛同位体比分析結果について

Lead Isotope Analysis of the relics excavated from Nakamura Tomb No.1 in City of Izumo

○齋藤努（国立歴史民俗博物館）、亀田修一（岡山理科大学）、藤尾慎一郎（国立歴史民俗博物館）、土生田純之（専修大学）、坂本豊治（出雲市）
○SAITO Tsutomu (National Museum of Japanese History), KAMEDA Shuichi (Okayama Univ. Sci.), FUJIO Shin'ichiro (National Museum of Japanese History), HABUTA Yoshiyuki (Senshu Univ.), SAKAMOTO Toyoharu (City of Izumo)

1. はじめに

島根県出雲市の中村1号墳は、未盗掘で発見された古墳時代後期後半（6世紀末～7世紀初）の円墳である。西側に開口部をもち、石室は全長約10m、高さ約2mで、玄室と前室からなる複室構造となっている。玄室には入口からみて左側壁に沿って横口式の組み合わせ家形石棺があり、また前室には左側壁に沿って蓋のない簡易な石棺（屍床石）が置かれている。

6世紀頃の出雲は、古墳の埋葬施設からみて、石棺式石室が分布する東部と、横穴式石室が分布する西部の二つに分かれ、おのおのに大勢力が存在していたと考えられている。中村1号墳は出雲西部の一角に位置しているが、石室が出雲西部の、家形石棺が出雲東部の特徴を備えており、その被葬者は東西出雲勢力と交渉をもつ重要な存在であったことがうかがえる。

ここでは、総数200点以上にのぼる副葬品の中から、青銅鏡、金銅製の鈴、青銅地に銀板を巻いた銀環、装飾付大刀の圭頭柄頭、3組出土した馬具類のうち鉄地金銅張のもの2組の青銅部分と、装飾付大刀に巻かれた銀線について鉛同位体比測定を行った結果を報告する。

2. 資料および分析試料の採取

青銅鏡、金銅製の鈴、青銅地に銀板を巻いた銀環、装飾付大刀の圭頭柄頭については、青銅部分から錆粉末を採取した。鉄地金銅張の馬具類（杏葉、辻金具、雲珠、鏡板）は腐食が進行しており青銅の部分がわずかしか残存していなかったが、その錆を同様に採取した。これらはいずれも保存処理が施されていたので、明らかに保存処理剤が付いている表層部を除き、その下層から採取するようにした。しかし、特に馬具類については残存する青銅部分の層がきわめて薄く、分析試料中に保存処理剤が混入してしまっている可能性も考えておく必要がある。銀線は装飾付大刀に巻かれていたもので、銀色の光沢が見える部分の端部から試料採取し、表面に付着している青銅や鉄の錆などを取り除いて分析に供した。

3. 結果

採取できた試料量が少なく、また全体として鉛濃度が非常に低いため、試料採取を行った15点のうち、鉛同位体比分析に十分な量の鉛が抽出できたのは10点のみであった。これらの結果（a式図、b式図）を図1に示す。測定できた資料の番号と種別は以下の通りである。

1：珠文鏡、4：金銅鈴、5：圭頭柄頭、6：銀線

馬具のセット（1） 8：杏葉、10：雲珠

馬具のセット（2） 11：鏡板、12：杏葉、13：杏葉、15：雲珠

いずれも保存処理済み資料であるが、その影響はA・B・Cといった領域範囲を超えるほどの大きなズレを測定値に与えるものではないだろうという想定のもとにデータを解釈した。

資料1、5、11の測定値はB領域に入り、華中～華南地域原料とみてよいであろう。

資料4は設定されたいずれの領域からも外れており、産地の推定が困難である。鉛鉱石の分布傾向からは中国北部の可能性がある。

資料6は、韓国全羅北道益山市の王宮里遺跡（7世紀、百濟地域）から出土した鉛ガラス生産関連資料や緑釉の分析結果（金ほか、2007；魯ほか、2008）として報告された、直線状に延びた数値領域の延長線上付近にある。なお、同じくこの直線状の分布領域上に位置する資料として、鳥取県福本70号墳（7世紀中頃）の銅匙（齋藤・藤尾、2010）がある。

資料 10 は、a 式図において、奈良・平安時代の青銅製品や緑釉に頻出する数値範囲を中心とする領域、すなわち、特に皇朝十二銭などの分析結果に基づいて、齋藤（2001）などによって、「長登銅山タイプ」と推定された数値領域と重なっている。ただし、最近の測定例によると、発掘調査による確証は得られていないものの、文献史料および考古学的関連資料に基づいて、7 世紀末かそれ以前における採掘の可能性も推測されている

（亀田、2006）福岡県香春岳の銅鉱石でも、これと同様の数値を示すもののあることがわかっている（齋藤・藤尾、2010）。したがって現在のところでは、このような数値を示す資料の原料産地について、鉱山の推定までを行う際には慎重を期しておく必要がある。

資料 8、12、15 についても、C 領域であり国産原料である可能性が高い。資料 12 に一致はしないが比較的近い数値を示すものとして島根県の都茂鉱山がある。

資料 13 は、a 式図では馬淵（1987）が平田市後野の鉛鉱石を原料として使っているのではないかと考察した、出雲市上塩冶築山古墳（6 世紀末～7 世紀初）出土の銅鈴の値に近いが、b 式図では B 領域に位置し、それらの試料の数値とは異なっているので、日本産ではなく中国の華中～華南産と推定される。

4. まとめ

青銅資料については、国外産および日本産原料の数値を示す資料があり、またセットとなっている馬具を含めてばらつきが大きいので、原料は特定の地域から一括してもたらされたのではなく、入手できたいろいろな青銅素材が使われたものと考えられる。

これまで、鉛同位体比分析によって指摘された日本で最も古い国産鉛の使用例としては、馬淵（1987）による出雲東部に位置する安来市高広 IV 区 3 号墓出土の耳環（6 世紀末～7 世紀初）と、中村 1 号墳と同様に位置する出雲市上塩冶築山古墳出土の銅鈴（6 世紀後半～7 世紀初）がある。ここで分析結果が得られた資料 8、10、12、15 は、それらに続く事例として新たに見つかった、6 世紀末～7 世紀前半において日本産原料が使用されていたと推定される資料である。現在までのところ、この時期に日本産と考えられる原料を使用している事例は島根県内の出土遺物からしか見出されていないことになる。

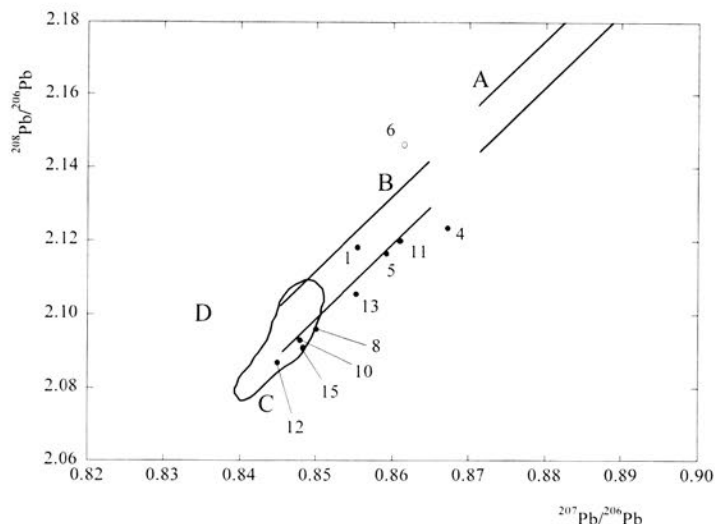


図 1a 中村 1 号墳出土資料の鉛同位体比測定結果 (a 式図)

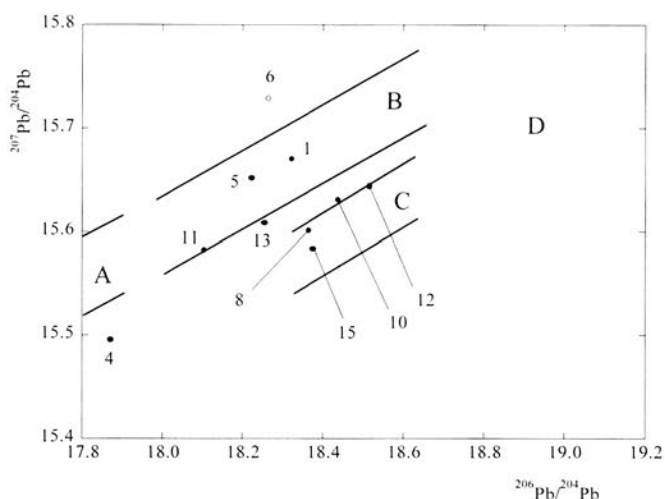


図 1b 中村 1 号墳出土資料の鉛同位体比測定結果 (b 式図)

石器・玉類の原材産地分析 (27)

Sourcing of Stone Implements and Stone Beads(27)

○藁科哲男(遺物材料研究所)・鹿取 渉(佐渡市教育委員会)
 ○TETSUO WARASHINA(CORP. IBUTSUZAIRYOU KENKYUSYO)・Wataru Katori(Sado City Board of Education)

産地分析は、蛍光X線分析法とESR分析法などで行い、判定では『遺物原材とある産地の原石が一致し、必要条件を満たしても、岩石学では他の産地の原石に一致しないと言う理論がないため、他の産地には一致しないと言う十分条件を満たす必要がある。』ノーベル賞の益川敏英博士の言を借りれば、科学とは仮説をたて正しいか否かあらゆる可能性を否定することにある。即ち十分条件の証明が非常に重要であると言い換えられると思われる。一致しなかった結果でも、考古学資料として非常に有用と思われる。

佐渡玉作遺跡群出土黒曜石・安山岩製遺物の産地分析結果

産地分析のために比較した黒曜石原石群・遺物群は日本・北朝鮮・ロシア(マガダン・カムチャカ)・アラスカの各地に位置し、合計318個と比較した結果、出崎遺跡では地元佐渡産5個、霧ヶ峰産3個、藤津遺跡の3個、二反田遺跡の2個、三宮遺跡の1個に佐渡産地の黒曜石が使用されていることが明らかになり、北朝鮮・ロシア・アラスカなどの黒曜石群・遺物群と一致せず一致しなかった産地と交流がなかったと推測した。また、若宮遺跡安山岩製石鏃は安山岩原石群・遺物群の合計211個との非破壊分析、軽元素抜き同定で能登半島、酒見遺物群に同定された。

佐渡玉作遺跡群出土玉類、玉材の産地分析結果

ガラス製緑色球玉の分析結果 新保川東遺跡出土の直径11mm、重量2.2075gの緑色球玉は比重が約3.129で、非破壊分析で含有量(Wt%)は鉛が約19、Baが検出限界以下、Fe₂O₃が0.2、Crが0.04、Cuが0.02で、緑色はクロムグリーン(?)の鉛ガラスであった。

ヒスイ製遺物の産地分析結果 佐渡島内出土ヒスイ製遺物の産地分析は今回の測定が初めてで、産地分析は各産地の原石で作ったZr/Sr対Sr/Fe、Ca/Si対Sr/Fe、Na/Si対Mg/Siの各元素比散布図とヒスイ製遺物の元素比分析値を比較し、また、各産地のヒスイの比重とBa元素の濃度を比較し、全ての条件に一致する産地をヒスイ製遺物の産地と同定する結果を表1に示した。分析番号108694～108697番の遺物にはミャンマー産ヒスイの可能性を否定し、糸魚川産ヒスイ原石の使用が総合判定として得られた。

表1 竹の花・桂林遺跡出土玉類の原材産地分析結果

遺物品名	分析番号	Zr/Sr対Sr/Fe による判定	Ca/Si対Sr/Fe による判定	Na/Si対Mg/Si による判定	比重&Ba濃度 による判定	総合判定	比重
剥片	108692	IT.MY	IT	IT.WK	IT.IN	糸魚川産	3.330
加工品	108693						2.669
加工品	108694	IT.OS.WK	IT.OS	IT.KM.WK	IT.IN	糸魚川産(ミャンマー産でない)	3.350
加工品	108695	IT.OS.OY.WK	IT.WK.OS	IT.KM.WK	IT.IN	糸魚川産(ミャンマー産でない)	3.318
剥片	108696	IT.OS.OY.WK	IT.WK.OS	IT.KM.WK	IT.IN	糸魚川産(ミャンマー産でない)	3.316
剥片	108697	IT.OS.OY.WK	IT.WK.OS	IT.KM.WK	IT.IN	糸魚川産(ミャンマー産でない)	3.306

ヒスイ産地=IT:糸魚川 WK:若桜 OS:大佐 NG:長崎 HK:日高 IN:引佐 OY:大屋 KM:神居コタン HD:飛騨 MYミャンマー

碧玉製玉類、玉材の産地分析 佐渡玉作遺跡群出土遺物と比較した原石群・遺物群は合計 345 個で、遺物は全て猿八産碧玉に成分組成が一致すると推測していた。しかし、今回分析した佐渡玉作遺跡群地域より表採された玉材フレイクの分析結果が現在調査を行った佐渡・猿八、小倉川地域の原石群に一致する割合は 24%～40%で、半数以上が何処の原石・遺物群にも一致せず同定できなかつた。同定できなかり由に①遺物の風化の影響が推測されるが、フレイクの風化面を取り除き同定を行ったが、調査した猿八・小倉川原石に一致する個数は殆ど増加しなかつた。②先史人が採取した碧玉が現在採取できない状態にあると推測した。この同定できなかつた遺物で、新たに新徳村A、B、Cの各遺物群を作り、竹の花・桂林遺跡の竹の花風化遺物群、二反田遺跡の二反田遺物群を作り、同定を行ったところ、総分析数 435 個の各原石・遺物群の使用頻度は、同定できない遺物が 74 個 (17%) に減り、猿八、小倉川産に 141 個 (32.4%)、新徳村A遺物群に 118 個 (27.1%)、新徳村B遺物群に 60 個 (13.8%)、新徳村C遺物群に 9 個 (2%)、竹の花風化遺物群に 27 個 (6.2%)、二反田遺物群に 4 個 (0.9%) であつた (表 2)。

表 2 佐渡玉作遺跡群出土碧玉製玉類・玉材の各原石・遺物群の使用頻度

遺跡名	個数	同定原石・遺物群名(%(個))								
		不明 (保留)	猿八・ 小倉川	新徳村 A遺物群	新徳村 B遺物群	新徳村 C遺物群	竹の花 風化遺物群	二反田 遺物群	会津坂下 N遺物群	会津坂下 G遺物群
新徳村玉作遺跡群	118	15.3%(18)	23.7%(28)	29.7%(35)	16.9%(20)	7.6%(9)	6.8%(8)	0	0	0
藤津遺跡フレイク	108	13.0%(14)	38.9%(42)	24.1%(26)	24.1%(26)	0	0	0	0	0
竹の花遺跡	30	16.7%(5)	40.0%(12)	26.7%(8)	6.7%(2)	0	10.0%(3)	0	0	0
金井・竹の花遺跡	29	24.1%(7)	10.3%(3)	13.8%(4)	3.4%(1)	0	48.3%(14)	0	0	0
村・平田遺跡	33	12.1%(4)	27.3%(9)	51.5%(17)	6.1%(2)	0	3.0%(1)	0	0	0
泉・平田遺跡	7	28.6%(2)	14.3%(1)	42.9%(3)	0	0	0	0	14.3%(1)	0
蔵王遺跡	2	0	50%(1)	50%(1)	0	0	0	0	0	0
藤津遺跡3.4工程品	41	26.8%(11)	31.7%(13)	24.4%(10)	14.6%(6)	0	2.4%(1)	0	0	0
藤津遺跡5工程品	12	41.7%(5)	33.3%(4)	16.7%(2)	8.3%(1)	0	0	0	0	0
若宮遺跡遺跡	26	7.7%(2)	65.4%(17)	23.1%(6)	0	0	0	0	0	3.8%(1)
出崎遺跡	17	5.9%(1)	64.7%(11)	29.4%(5)	0	0	0	0	0	0
二反田遺跡	12	41.7%(5)	0	8.3%(1)	16.7%(2)	0	0	33.3%(4)	0	0
合計	435	17.0%(74)	32.4%(141)	27.1%(118)	13.8%(60)	2.0%(9)	6.2%(27)	0.9%(4)	0.2%(1)	0.2%(1)

まとめ 佐渡玉作遺跡群の交易を推測する土器様式も中部高地系、東北・宇津ノ台系、川原町口式、近江系、畿内・凹線文系の土器が出土していて広域に渡っている。また石器原材の産地分析結果でも、霧ヶ峰産黒曜石、能登半島・酒見遺物群安山岩、竹の花・桂林遺跡に糸魚川産ヒスイが伝播していることから、玉材が島外から伝播したと推測しても矛盾はないが、これら遺物群は猿八、小倉川地区で未発見の原石で、佐渡島外より伝播した可能性は低いと推測している。この理由の最大の根拠はE S R分析の信号(Ⅲ)が新徳村遺物諸群に猿八原石独特の猿八A形を示す遺物が多いことが上げられる。今後の課題としては、佐渡玉作遺跡群で使用されている玉材と同じ原石が佐渡島外の何処の遺跡に伝播しているかを求めるために、今回産地が同定できなかつた遺物でさらに遺物群を作り、客観的に同定ができるようにすることである。この際、今までに確定している原石・遺物群と区別できるように、遺物群を作る必要がある。今回分析した遺物の中には、女代南B遺物群、花仙山面白谷産原石と組成の酷似する遺物もみられ、同じ産地で採取される各原石の組成の変動幅の大きな石材を使用した遺物の産地同定は、各産地の区別が困難なことを示している。また、各産地の区別には碧玉岩の鉱物組成に起因すると思われるE S R信号との組み合わせによる同定が重要である。

謝辞 原石・遺物群作成は過去30年以上をかけて積み上げて産地分析を行ったもので、各地の教育委員会および考古学を研究している方々に大変御世話になり、ここに深く感謝の意を捧げる次第である。

中央アナトリアの遺跡から出土した 青銅器時代の赤色磨研土器の産地推定 Provenance study of red-slip pottery from central Anatolia

○河野 由布子, 黄 嵩凱, 鈴木 裕子, 中井 泉 (東理大・理)
○Y. Kawano, W.S.K. Bong, H. Suzuki and I. Nakai (Dept. of Appl. Chem., Tokyo Univ. of Science)

【序】カマン・カレホユックはトルコ共和国の首都アンカラより南東へ約 100 km の所に位置している。この遺跡では 1985 年から現在まで継続して調査が行われており、これまでにオスマン/ビザンチン時代(15th~17th A.D.)、鉄器時代(12th~4th B.C.)、中・後期青銅器時代(20th~12t B.C.)、前期青銅器時代(3rd millennium B.C.)の 4 文化層が確認されている。一方、ビュクリュカレ遺跡はカマン・カレホユックの北西約 50 km に位置する遺跡であり、これまでの調査により後期青銅器時代の都市であったことがわかっている。

これまでの研究でカマン・カレホユックから出土した前・中期青銅器時代の土器について、産地推定が行われている¹⁾。そこで本研究ではカマン・カレホユックにおける中・後期青銅器時代の土器交流を明らかにする研究の一環として、アッシリア植民地時代(20 B.C.~18 B.C.)の赤色磨研土器の産地推定を行った。赤色磨研土器は青銅器時代のアナトリアに特徴的な土器である。また、比較のために同時代の赤色磨研土器とは異なるタイプの土器、およびヒッタイト古王国時代(18 B.C.~15 B.C.)の赤色磨研土器についても分析を行った。

一方、ビュクリュカレ遺跡出土土器についての化学分析はこれまで行われていない。そこで、本年度の調査ではビュクリュカレ出土土器の産地推定を最終目的として、まず遺跡近郊で製作された土器の存在を明らかにすることをめざした。

本研究室では、土器の重鉍物組成による産地推定を行ってきた。土器の原材料である粘土には、その土器の産地に関する情報が含まれており、なかでも重鉍物(比重 2.82 以上)は地域によって特徴的な挙動を示す。したがって、土器と堆積物の重鉍物組成を同定し、比較することにより土器の産地推定を行うことができる。

また、本研究では大型放射光施設 SPring-8 での高エネルギー蛍光 X 線分析により、土器胎土および堆積物の重元素組成を得ることで、より高精度な土器の産地推定法の開発を試みた。

【試料、実験方法】カマン・カレホユック出土土器 24 点、およびビュクリュカレ出土赤色磨研土器 10 点を分析試料とした。重鉍物組成分析では、土器(約 15~30 g)から取り出した重鉍物で薄片を作成して測定試料とした。薄片を走査型顕微鏡(SEM)で観察しながら、エネルギー分散型分析装置(EDS)で鉍物の化学組成を 1 粒ずつ測定して鉍物種の同定を行った。1 試料あたり約 200 粒の鉍物を同定して重鉍物組成を得た。このようにして得られた土器の重鉍物組成と、先行研究¹⁾により明らかにされている遺跡周辺 50 km 圏内で採取した堆積物の重鉍物組成を比較することにより、土器の産地推定を行った。

SPring-8 における高エネルギー蛍光 X 線分析では、土器片および堆積物(約 1 g)を粉碎し、錠剤化して測定し、重元素組成によって土器の特性化を行った。

【結果】カマン・カレホユックから出土した土器は赤色磨研土器を含むほとんどが、図1(a)KL-1に示すように角閃石を主要鉱物とする重鉱物組成であった。これらの土器と類似する重鉱物組成は遺跡南側の花崗岩地域で採取された堆積物で確認されている。したがって、これらの土器は同遺跡で製作された在地品である。一方、カマン出土土器のうち器の表面にクリーム色のスリップが塗布してある試料では、測定を行った試料3点のうち2点で(a)KL-2, KL-3に示すような在地品と異なる重鉱物組成が確認できた。これらは他の地域から搬入されたものであることが明らかとなった。

ビュクリュカレ出土土器では、角閃石と単斜輝石を主要鉱物とする組成(図1(b)BK-1)と、角閃石を主要鉱物とする組成(図1(b)BK-2)の2パターンが主に確認できた。これらの重鉱物組成は、それぞれオフィオライト地質と花崗岩地質の堆積物に一致する。ビュクリュカレの周辺は地質が入り組んでいるため、両地質とも遺跡近郊で確認できた。したがって、ビュクリュカレの在地品土器には、複数のタイプの重鉱物組成が存在すると考えられる。

図1(a)KL-1, (b)BK-2に示すように、両遺跡からは角閃石を主要鉱物とする、類似した重鉱物組成をもつ土器が確認された。そこで、高エネルギー蛍光X線分析を用いて、それぞれの土器に含まれる希土類元素の量を測定した。その結果、遺跡ごとの希土類元素組成に違いが確認され、これらを識別することができた。

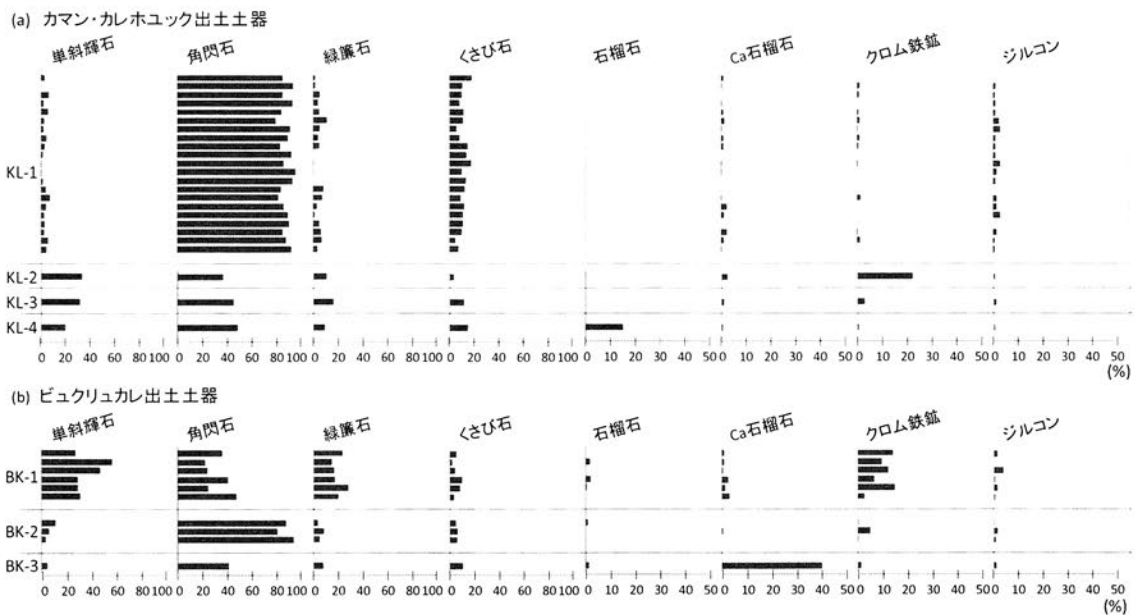


図1. 分析試料の重鉱物組成

参考文献

- 1) W.S.K. Bong *et al.*, Journal of Archaeological Science 37, 2165-2178 (2010).

漆の産地識別 Origin Identification of Lacquer

- 佐藤正教（日本大学大学院総合基礎科学研究科），吉田邦夫（東京大学総合研究博物館），中井俊一（東京大学地震研究所）
○SATO MASANORI（Integrated Basic Sciences, Nihon University），Kunio Yoshida（The University Museum, The University of Tokyo），Shunichi Nakai（Earthquake Research Institute, The University of Tokyo）

1. はじめに

漆器は日本の伝統工芸品であり、かつては「ジャパン（japan）」と呼ばれていたこともある。また、ウルシは縄文時代から日本列島に自生していたと考えられる。本研究の大きな目的は縄文時代の早い時期に出現する漆製品が、列島産の漆原料を使っているかを解明することである。漆は東南アジア地域に広く分布しており、3種類の系統が知られている。日本・中国漆（*Rhus verniciflua* 系）、ベトナム・台湾漆（*Rhus succedanea* 系）、タイ・ミャンマー漆（*Melanorrhoea* 系）の3種類である。これらは主成分が異なり、日本・中国漆はウルシオールが65%、ベトナム漆はラッコールが50%、ベトナム漆はチチオールが70%近くを占めている。熱分解-ガスクロマトグラフィー/質量分析計（Py-GC/MS）を用いて試料成分の分子量とその切断パターンを分析すればそれらを識別できる。しかし、日本漆と中国漆は主成分がウルシオールと同じであるため、この方法では日本列島産のものと中国のものは両者を識別することはできない。

2. ストロンチウム（Sr）について

Srには4つの安定同位体、 ^{84}Sr （存在比；0.56%）、 ^{86}Sr （9.86%）、 ^{87}Sr （7.00%）、 ^{88}Sr （82.58%）が存在する。このうち ^{87}Sr は ^{87}Rb （半減期475億年）の β^- 壊変によって時間とともに増加する。そのため、火成岩などはRb/Srと岩石の年代に応じて固有の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を持つ。また、植物の必須元素であるCaと同族元素であることから、Srはウルシが生育している土壤からCaとともに植物組織に吸収される。よって、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を調べることで、列島産と大陸産を識別することができると考え、研究を進めてきた。昨年、本学会において現生の漆については $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を測定することで日本列島産と中国産を明瞭に識別できること（図1）、また、列島の漆については生育土壤の交換性成分の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が漆に反映していることを報告した（図2）。これを用いて縄文時代早期に遡るとされる漆製品の原材料が、はたして日本列島産であるかを明らかにしていきたいと考えている。

本年度は考古漆の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を測定し、それらが、どこの漆原料を使っていたかを推定した。

3. 分析資料および方法

分析資料は柳之御所遺跡（岩手県平泉町、鎌倉時代）漆紙、四耳壺付着漆布の2点、西部遺跡（新潟県岩船郡神林村、平安時代）漆紙、漆容器の2点、野地遺跡（新潟県胎内市、縄文時代晩期）漆塗膜1点、下宅部遺跡（東京都東村山市、縄文時代中期）貯蔵漆1点、青谷上寺地遺跡（鳥取県鳥取市、弥生時代中期）木器付着漆塗膜1点である。

試料の分析は試料を HNO₃ で加熱分解し Sr Resin(50-100 mesh)で Sr を単離した。その後、東京大学地震研究所に設置されている多重検出型誘導結合プラズマ質量分析計(MC-ICP-MS)を用いて ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr を測定した。

4. まとめ

今回 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 測定と並行して ¹⁴C 年代測定を行ったものもある。その結果を表 1 に示す。柳之御所遺跡漆紙；885±45BP、四耳壺付着漆布；845±45BP、西部遺跡漆紙；1145±45BP、漆容器；1100±35BP、野地遺跡漆塗膜；2910±80BP、青谷上寺地遺跡木器付着漆塗膜；2180±30BP という結果を示した。

測定した考古漆の ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr と、比較のために現生漆の ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr を図 3 に示す。漆製品の ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr は、柳之御所遺跡 (0.7065~0.7070)、西部遺跡 (0.7094~0.7095)、野地遺跡 (0.7056)、下宅部遺跡 (0.7054)、青谷上寺地遺跡 (0.7081) という結果が得られ、現生の日本産漆試料や日本の土壌の値と一致していた。そのため、これらの考古漆は列島産の漆が使われたと考えた。

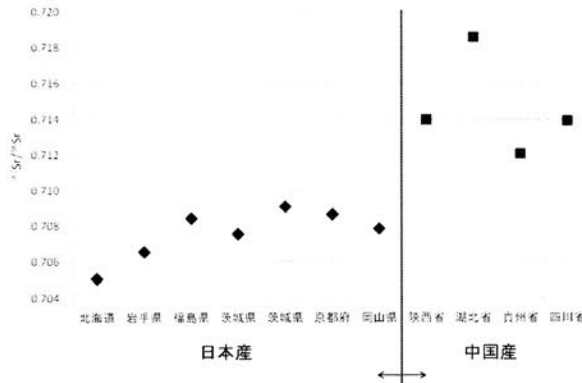


図1 現世の日本産漆および中国産漆の⁸⁷Sr/⁸⁶Sr

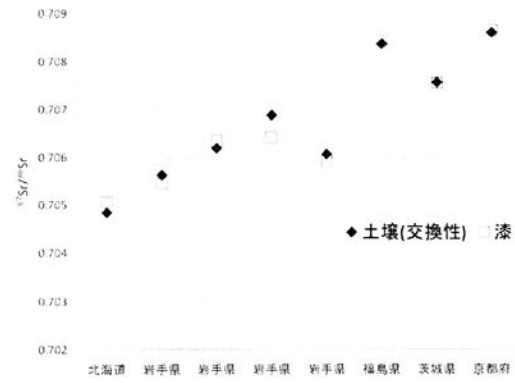


図2 土壌および日本産漆の⁸⁷Sr/⁸⁶Sr

表1 考古漆の年代測定結果

出土遺跡	試料	δ ¹³ C	¹⁴ C年代(BP)
柳之御所遺跡	漆布	-28.7	845 ± 45
柳之御所遺跡	漆紙	-29.2	885 ± 45
西部遺跡	漆容器	-32.0	1100 ± 35
西部遺跡	漆紙	-22.1	1145 ± 45
青谷上寺地遺跡	漆塗膜	-29.9	2180 ± 30
野地遺跡	漆塗膜	-29.1	2910 ± 80

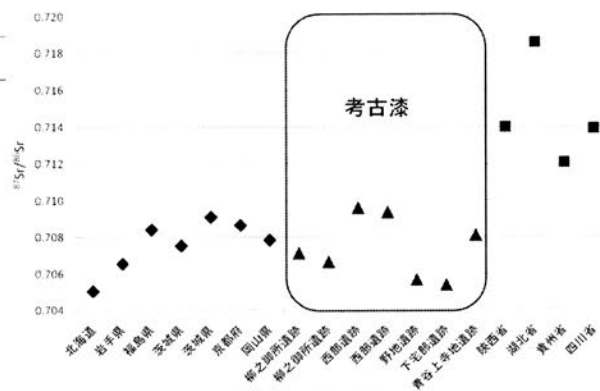


図3 現世および考古漆の⁸⁷Sr/⁸⁶Sr

携帯型蛍光エックス線装置を用いた亀ヶ岡文化の赤色顔料分析 The analysis of red pigments (Hematite and Cinnabar) in the Kamegaoka culture (the last of Jomon) by a portable X-ray fluorescence spectrometer

○上條 信彦・中村直也 (弘前大学人文学部)

○Kamijo Nobuhiko & Nakamura Naoya (Graduate School of Humanities, Hirosaki University)

1. 分析の目的と方法

東北北部における縄文時代晩期(亀ヶ岡文化)の赤色顔料の主な産地として、これまで津軽半島赤根沢産ベンガラが知られている。近年、赤根沢産以外の産地の可能性や水銀朱が少なからず含まれていることが分かりつつある。しかし科学分析はごく一部の試料による紹介程度にとどまり、地域間の量的分析に基づく流通形態の復元は行われていない。本研究ではその産地や流通の解明を目的に、遺跡出土赤色鉱物および赤色顔料付着土器の基礎的な分析を行った。

分析に際して、土器などの大型資料を対象にするうえ、大量の試料を効率的に非破壊分析する必要が生じた。そこで携帯型蛍光 X 線装置(オメガハンドヘルド蛍光 X 線分析計 [Innov-X 社])を用いた。管電圧 40kV、管電流 50 μ A、Ta 管球、重元素と軽元素を測定できる Two Beam Mining モードに設定し、各試料 5 回の平均値を求めた。特に本分析では装置の特性を考慮し、ベンガラの構成元素と水銀朱の有無に着目した。さらに、ベンガラについては顕微鏡下(Olympus BX51・500 倍)で観察した。分析対象は赤根沢に近い津軽半島今津遺跡、下北半島不備無遺跡、内陸馬淵川流域の杉沢遺跡の三遺跡の試料である。

2. 遺跡検出赤色顔料素材の傾向(写真 1)

(1) 今津遺跡(晩期中葉:大洞 C2 式) 89 点

形態:角礫(重量比 61%、以下同)が主体的、亜角礫(17%)、円礫(1%)、塊状(15%)、剥片(7%)、板状・柱状はない。

表面的特徴:角礫・塊状に多い。①頁岩質付着(80 点)、②コークス状(14 点)、③粉末の付着(5 点)、④水晶・石英付着(3 点)、⑤石英脈(20 点)、⑥金粉状の粒子(31 点)、③~⑥は角礫・塊状に多い。

蛍光 X 線分析:Fe と Si を主成分とし、少量の Al、P、S、K、Ti、Mn を含み、極少量の Co、As、Bi を含む。

(2) 不備無遺跡[3 層:晩期前葉(大洞 BC 式)、2 層:晩期後葉(大洞 A・A' 式)] 67 点

形態:角礫(46%)・亜角礫(41%)が主体的。円礫(6%)、塊状(2%)、剥片(5%)、板状・柱状はない。2 層のほうが角礫・塊状、3 層は円礫・亜角礫が多い。

表面的特徴:①頁岩質付着(67 点)、②コークス状(5 点)、③水晶・石英付着(1 点)、④石英脈(13 点)、⑤金粉状の粒子(17 点)、②は円礫、③~⑤は角礫・塊状に多い。

蛍光 X 線分析:Fe と Si を主成分とし、少量の Al、P、S、K、Ti、Mn を含む。ところが角礫・塊状は相対的に Fe が高い一方、円礫・亜角礫・剥片は Fe が低く Si が高い。また角礫・塊状は Co、As、Bi を含み、円礫・亜角礫・剥片は Zr を含む。

(3) 杉沢遺跡(晩期前半:大洞 BC~C1 式) 54 点

形態:角礫(56%)、剥片(27%)、塊状(17%)、亜角礫・円礫・板状・柱状はない。

表面的特徴:①頁岩質付着(51 点)、②コークス状(3 点)、③石英脈(2 点)、④金粉状の粒子(5 点)、粉末・水晶・石英付着なし。③・④は角礫・塊状に多い。

蛍光 X 線分析:Fe と Si を主成分とし、少量の Al、P、S、K、Ti、Mn を含む。ところが角礫・塊状は相対的に Fe が高い一方、剥片は Fe が低く Si が高い。また角礫・塊状は Co、As、Bi を含み、剥片は Zr を含む。

3. 出土付着資料の傾向

付着土器の器種は浅鉢・壺の順で多く、粗製深鉢は内面のみ観察される場合が多い。

(1) 今津遺跡 122 点:付着土器全てが非パイプ状ベンガラだった。付着石器(磨石・石皿)の全てが非パイプ状ベンガラであった。

(2) 不備無遺跡 96 点:93%は非パイプ状ベンガラで、残りの 6 点(浅鉢 5 点・壺 1 点)が

水銀朱であった。水銀朱の半数以上が3層（大洞BC主体）から出土している。付着石器（磨石・棒状礫）の全てが非パイプ状ベンガラであった。

（3）杉沢遺跡（写真2・3、図1） 214点：壺8点が水銀朱であった。なかに外面に非パイプ状ベンガラ、内面に水銀朱が付着している壺があった。また、浅鉢と壺各1点からパイプ状ベンガラ粒子が観察された。付着石器（磨石）の全てが非パイプ状ベンガラであった。

4. まとめ

（1）赤色顔料の流通

蛍光エックス線分析の結果、水銀朱のない津軽半島と、少しながらも含まれる下北半島・南部地域の間地域差がうかがわれた。これまでに縄文時代晩期の東北北部で水銀朱が見出された遺跡は下北～南部地域および秋田平野である。これまでに付近の辰砂産地として秋田県八征など秋田北部と北海道南部が知られている。県内にも産地はあるが、産地付近の遺跡でも水銀朱が高くなる傾向はない。また原石や精製具は見つかっていない。したがって、水銀朱は北海道から下北半島を介した南下ルートと秋田北部から馬淵川沿いへの北上ルートを通じ、精製された状態あるいは赤塗土器の形で運ばれた可能性が高い。

（2）ベンガラの産地と流通（予察）

パイプ状ベンガラは下北～南部地域・秋田県内陸部で見つかっている。下北半島北部の不備無遺跡にはほとんどない。したがって北上ルートが想定される。特に石器や粗製深鉢には付着せず、精製浅鉢と壺に付着していた点から、土器自体が流通対象となっていた可能性が高い。さらに弥生前期に水銀朱の付着率が高くなる点をふまえると、晩期後葉から弥生前期にかけての南から北への物流の活発化がうかがえる。

一方不備無・杉沢遺跡では円礫や亜角礫、剥片のベンガラが多かった。このベンガラは鉍染した赤色岩チャートとみられ、相対的にSiの比率が高く、Feの比率が低い。またZrを含む。このベンガラは硬質で製粉しにくい特徴をもつ。しかし付近の河原や海岸で入手しやすい。したがって、赤根沢産ベンガラが流通対象ではあるものの、産地から離れるに従い、現地性の顔料が用いられることが分かった。亀ヶ岡文化の赤色顔料は、従来赤根沢産ベンガラ利用主体に捉えられてきたが、複数の産地から成り立つ重層的流通構造によって安定的な供給を図っていたと想定される。特に晩期前半は現地性ベンガラ・水銀朱・パイプ状ベンガラなど現地あるいは複数ルートからの供給が多いが、晩期後半には赤根沢産の比率が増大する点は、弥生化への集約的な供給体制への移行と推察される。

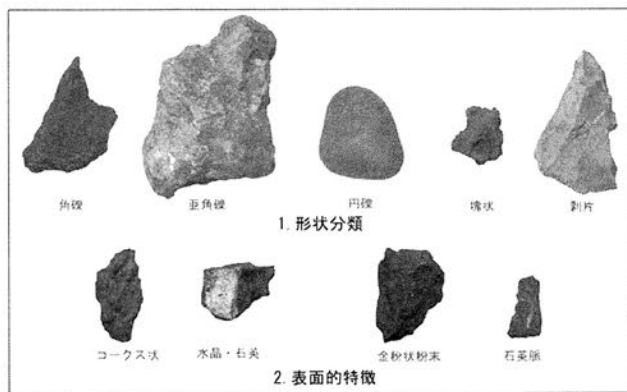


写真1 赤色顔料分類基準

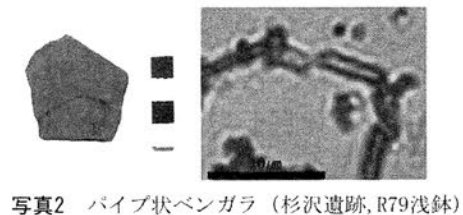


写真2 パイプ状ベンガラ（杉沢遺跡, R79浅鉢）



写真3 水銀朱付着土器（杉沢遺跡, R17鉢）

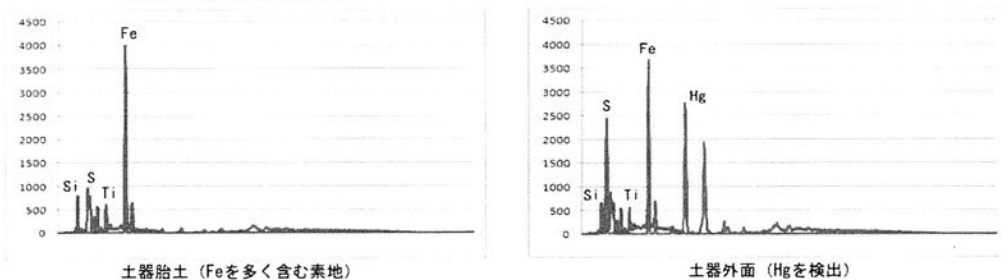


図1 土器（写真3）の蛍光X線スペクトル

瀬戸内海周辺のサヌキトイドの分布と蛍光 X 線分析値から見た判別群

Distribution of Sanukitoids around Seto Inland Sea and their Groups based on X-ray Fluorescence Analysis

○高橋 豊(富士常葉大学環境防災研究所)

○TAKAHASHI YUTAKA (Institute of Environment and Disaster Research Fuji Tokoha University)

はじめに

瀬戸内火山帯には、サヌキトイドと総称される特徴的な岩石が産出する。これらは、比較的斑晶に乏しく多くの場合 10%以下で斜長石の斑晶を欠き、その外観は白い風化面と黒色緻密で光沢のある鋭利な断口を示す火山岩で、サヌキトイドと総称される。サヌキトイドは瀬戸内を中心に、広範囲で石器原材料として使用されてきたが、どの原石産地の原石がどの遺跡に供給されているかを考察する基本的な手法と、これらを統括する産地同定の仕組みが不十分であり、これを補う検討が必要である。

産地同定には、これらサヌキトイドの原石産地ごとに、各産地の石器原材料としての原石の化学組成を波長分散型蛍光線分析(XRF)値を根拠に判別群を示し、さらに文化財である石器のもつ特性を損なわないように非破壊での測定を要するので、エネルギー分散型蛍光 X 線分析(EDX)値の測定、この値に基づく判別図、判別群を形成して、判別分析にて産地同定を行う必要がある。

これら一連の作業を進めるにあたり、瀬戸内海周辺各地のサヌキトイド産地の踏査を行った。これで得た基本試料の分析値に基づく判別図、判別群の作成と考察、産地同定結果の有効性の検討を行った。

分析試料

図1は西南日本の新生代のサヌキトイドの分布を示す。多くのサヌキトイドや、高マグネシア安山岩 HMA の存在が知られる中で、これらは大阪周辺(西近畿地区)、四国北東部(東瀬戸内)、四国北西部から山口県南東部(西瀬戸内)に集中し分布する。

これらの火山岩は 13Ma 1300 万年前、新生代中新世中期の噴出と考えられている。高マグネシア安山岩はその高い MgO と SiO₂ 量を反映して、Mgに富む斜方輝石(古銅輝石)が多い。Naumann(1885)はこの緻密ガラス質の輝石安山岩の存在、瀬戸内火山岩の特異性に気付いていた。後 Weinschenk(1891)によって讃岐岩(Sanukite)と命名された。その後 Koto(1916)により、古銅輝石によって特徴づけられる瀬戸内の火山岩を、サヌキトイド (Sanukitoid) と総称した。高マグネシア安山岩 (high magnesian andesite HMA)については、次の特徴が挙げられる。一般に



図1 瀬戸内海周辺のサヌキトイドの分布

火山岩の MgO は SiO₂ の増加に伴って減少するが、小笠原諸島に見る無人岩 (Boninite) と呼ばれる高マグネシア安山岩は、SiO₂ 量(55~60%)は安山岩相当だが、玄武岩以上の MgO 量(6~20%)を示している。玄武岩の平均値(6~8%)以上の MgO 量をみせる安山岩(>53% SiO₂)が高マグネシア安山岩と呼ばれている。

分析方法

産地同定には、これらサヌキトイドの産地ごとに、原石の化学組成を波長分散型蛍光 X 線分析 (XRF) 値を根拠に判別群を示す。さらに、文化財である石器を非破壊で分析すべく、エネルギー分散型蛍光 X 線分析 (EDX) 値をもって、判別群を描き、判別分析により産地同定の可否を検討した結果の一部を、図 2 に判別図で示す。左図の判別図の指標には、横軸に Rb 分率 = $Rb / (Rb + Sr + Y + Zr)$ 、縦軸に $Mn \times 100 / Fe$ を用いる。右図の判別図の指標には、横軸に Sr 分率 = $Sr / (Rb + Sr + Y + Zr)$ 、縦軸に $\log(Fe/K)$ を用いている。

波長分散型蛍光 X 線分析 (XRF) 方法は佐野 (2001) に従った。ガラス円盤試料を XRF (リガク製 RIX2100) にかき、安山岩質サヌキトイドの主成分 (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) および微量成分 (Rb, Ba, Nb, Sr, Zr, Y, Cr, Ni, V) を測定した。エネルギー分散型蛍光 X 線分析 (EDX) 方法は、平滑な試料表面に留意し、これを EDX (SEIKOU SEA・2001) にかき、安山岩質サヌキトイドの主成分 (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Ca, K) および微量成分 (Rb, Sr, Zr, Y) を測定した。

産地同定と判別図、判別分析

二上山、小豆島、讃岐、周防大島、平郡島、室津半島等のサヌキトイドについて、判別図法および判別分析による産地同定の可否を検討した。図 2 に事例の一端を挙げる。

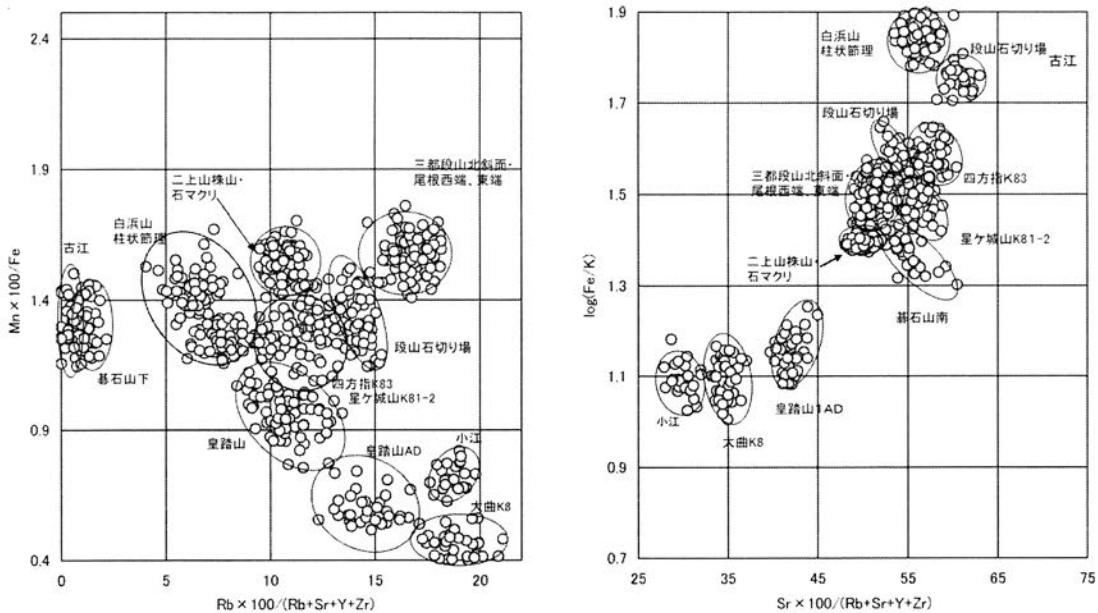


図 2 二上山、小豆島産サヌキトイドの判別図 (小豆島の斜長石斑晶をみる安山岩を含む)

引用文献

佐野貴司 (2001) 蛍光 X 線分析装置を用いた火成岩中の主成分および微量成分の定量。富士常葉大学研究紀要、2,43-59.

佐渡金山出土の鉛板に関する鉛同位体比分析

The Lead Isotope Analysis of Lead Ingot excavated from Sado Gold Mine

○魯 禎玪(別府大学文化財研究所), 小田由美子(新潟県教育庁),
宇佐美 亮(佐渡市世界遺産推進課), 平尾良光(別府大学大学院)

○Ro Ji Hyun (Research Institute of Cultural Properties of Beppu University),
Oda Yumiko (Niigata Prefectural Board of Education), Usami Ryou (Sado City Office),
Hirao Yoshimitsu (Beppu Graduate University)

1. はじめに

国の史跡である佐渡金山は 1601 年に金の鉱脈が発見されて以来、江戸時代を通して江戸幕府の重要な財源となった鉱山である。近くの鶴子鉱山の山師 3 人によって発見された金の金脈は徳川家康が佐渡島を直轄地(天領)として以来、本格的な金銀山の開発が相川地区を中心に進められた。17 世紀初めの最興期には年間で金 400kg、銀 25 トン以上の産出量を誇り、幕府の財政を支えた。

佐渡金銀山は江戸幕府の大きな財源となったことで、江戸時代の歴史とその展開を理解する際に重要な意味を持っている。佐渡金銀山に関する発掘調査の結果からは、当時の採掘状況や規模などを示す遺構や遺物が多く確認された。特に、佐渡奉行所の庭からは鉛板 172 枚がまとめて出土した。文献記録には当時の佐渡では金銀を製錬するための鉛を購入した記録が残っている。当時の日本では国内産の鉛が主に利用されていたが、かなりの量が東南アジアや中国からも輸入されていたことが最近の科学的な研究から明らかになっている。

本研究では佐渡奉行所から出土した鉛板 172 枚に関して鉛同位体比分析を行い、佐渡での金銀生産のために利用された鉛の産地を科学的に証明することにした。今回、実際に分析を行った資料の数は約 30 点で、鉛板の他に近くの鶴子鉱山から出土した鉱滓 4 点に関する分析を行った。

2. 資料と測定方法

今回、鉛同位体比分析を行った資料は新潟県佐渡市佐渡奉行所から出土した鉛板 172 枚で、実際に分析を行った数は約 30 点である。鉛板の大きさは縦が約 65cm、横 27cm、高さが約 5cm で、測定重量は 40kg 程度である。

鉛同位体比分析を行うために各資料から測定用試料として錳を少量採取した。採取した錳は硝酸で溶解し、直流 2V で電気分解した。析出した二酸化鉛にリン酸とシリカゲルを加えてレニウムフィラメント上にのせた。準備したフィラメントを質量分析計(本学に設置されているサーモエレクトロン社の表面電離型質量分析計 MAT262)の中にセットし、条件を整え、鉛同位体比を 1200°C で測定した。同一条件で標準鉛試料 NBS-SRM981 を測定し、規格化した。

3. 分析結果と考察

佐渡奉行所出土の鉛板と鶴子鉱山出土の鉱滓に関して鉛同位体比分析を行った結果、すべて日本産原料の領域の中に重なって分布し、金、銀の製錬時には日本産鉛が使われていたことが分かった。特に、佐渡奉行所出土の鉛板は新潟県葡萄鉱山と、鶴子鉱山跡出土の鉱滓は埼玉県の秩父鉱山と類似した値を示しており、それらの鉛鉱山から運ばれた鉛である可能性が考えられる。実際に「堀家文書」には 17 世紀前半以降から

佐渡で葡萄鉾山から鉛を購入した記録が残っており、今回の分析結果は記録の内容と一致することが分かった。

今回、鉛同位体比分析を行った資料の数が少ないため、172枚の鉛板がどこから購入され、利用されていたのか、その全体の様相はまだ把握できていない。今のところ、葡萄鉾山や秩父鉾山などの中部地方の鉛鉾山が利用された可能性があるが、今後の分析結果によってより多くの鉛の産地が見つかる可能性がある。

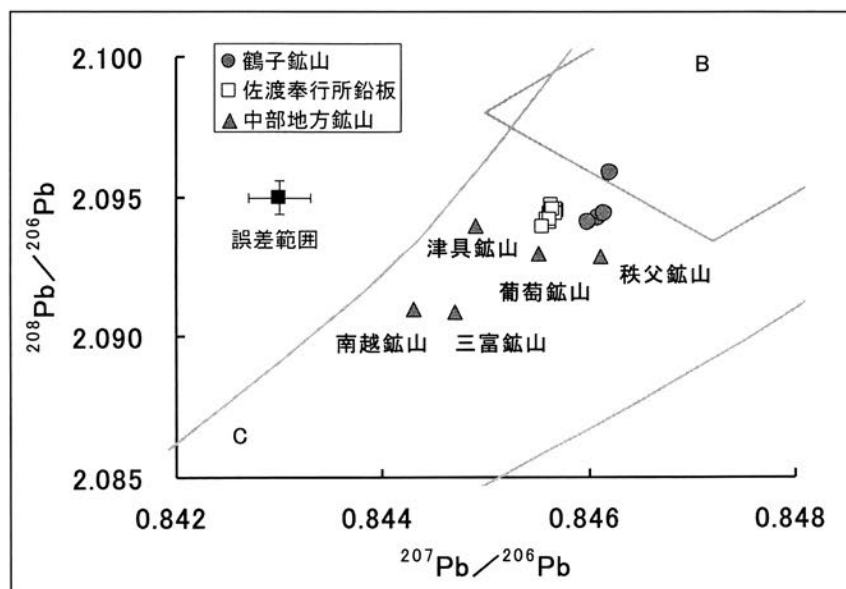


図1 佐渡奉行所と鶴子鉾山出土の鉛板および鉾滓の鉛同位体比 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ — $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)

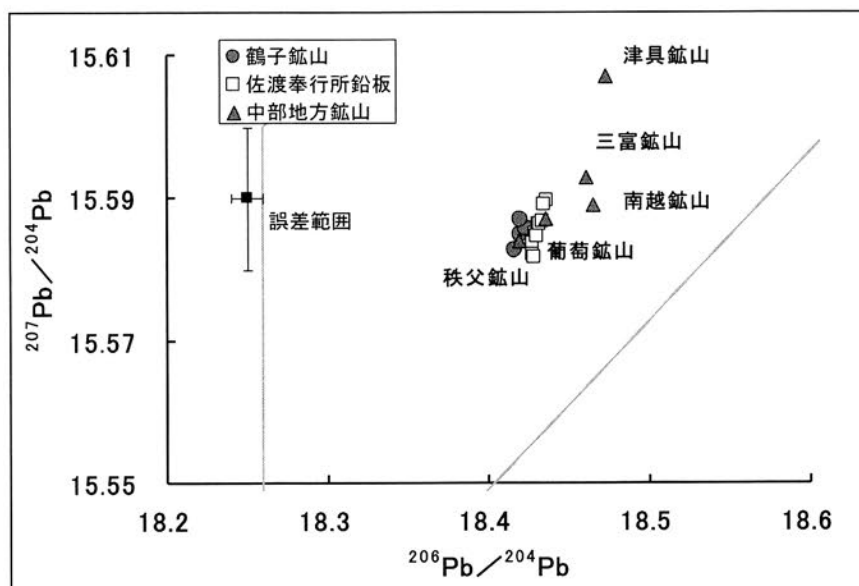


図2 佐渡奉行所と鶴子鉾山出土の鉛板および鉾滓の鉛同位体比 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)

江戸城の山里門を構成する石材の産地推定

Provenance Study of Stones Used for Yamasatomon Wall of Edo Castle.

○石川 優生^{*1}、平尾 良光^{*1}、宮塚 義人^{*2}

○Yuki ISHIKAWA^{*1}, Yoshimitsu HIRAO^{*1}, Yoshito MIYATSUKA^{*2}

[^{*1} 別府大学大学院 文学研究科 Faculty of Humanities, Graduate School of Beppu University

^{*2} (有) 宮塚文化財研究所 Miyatsuka Institute of Archaeology]

1. はじめに

江戸城内における石垣の修築は慶長9年(1604)に江戸幕府が江戸城修築の令を発したことに始まった。もともと江戸城は1457年に太田道灌が築城したといわれ、1600年までに約150年が経過していた。徳川家康・秀忠・家光の3代にわたる将軍のもとで修築工事が行われ、寛永13年(1636)に完成した。しかしながらこの修築から現代までに約350年が過ぎ、その間に地震その他で傷みが激しくなり、近年修復工事が進められている。その一つとして、皇居山里門石垣の解体修復工事が行われた。山里門の石垣に限らず、江戸城内の石垣はほぼ伊豆半島産の安山岩を使用しているとされている。本発表では解体修復時に得られた石垣の岩石資料と原産地から得られた安山岩に関して、蛍光X線分析法を用いて化学組成から産地を推定しようと試みた。安山岩は火山岩に分類され、地表や地下浅部において、地下深所から上昇してきたマグマが冷却されて形成された岩石である。火山の活動時期の違いで岩質が異なることから産地推定の可能性が示唆される。

2. 皇居山里門石垣

山里門が位置する西の丸は蓮池濠によって本丸から区画され、西側は道灌濠によって吹上と西の丸に区画される。また南西は桜田濠、南東は二重橋濠、蛤濠によって、西の丸下と区画されている。今回対象としている山里門は寛永6年(1629)に造営後、元禄16年(1703)の地震により被害を受け、宝永元年(1704)に修復され、この修復後の石垣が現存していると考えられている。

3. 蛍光X線分析

測定に供された試料は石垣の根石部分から得られた石材20点と、原産地安山岩8点である。石垣試料は石垣本体の修復時に採取した破片であり、また原産地の安山岩試料も、産地の岩体から採取した破片である。これら試料を別府大学に設置されているSII ナノテクノロジー(株)製 微小部蛍光X線分析計 SEA5230A を用いて、定性・定量分析を行った。測定条件を表1に示す。化学組成を測定するためのX線の照射径が2.5mmφと小さく、また岩石は不均一であるため、同一試料の定量値にばらつきが出ると考えられた。それ故、石垣資料は1試料につき3ヶ所以上測定した。しかしながら、岩体は大きく、そのばらつきや不均一性はさらに大きいと考えられるため、試料の測定と判断には限界がある。

表1 測定条件

測定時間	600秒
電圧	15kV
電流	1000μA
雰囲気	真空
照射径	2.5mmφ

4. 分析結果

蛍光X線分析結果から、安山岩産地を検討するために Al_2O_3/K_2O 、 CaO/K_2O 濃度比を用いて判別図を示した。各資料の測定箇所により、元素濃度はばらついたが、この図を用いると岩体ごとに直線上に並ぶように分布した。その結果、その分布を線で結ぶことができた。

表2 対象とした原産地

火山系列	試料採取した原産地
箱根火山	真鶴
大室火山	川奈、富戸
天城火山	大川、谷戸山、稲取

この線方向（線上）に分布した資料について、類似しているかどうかを石垣試料と比較して判別した。

原産地資料は表2のようにそれぞれ火山系列が異なり、図1中の分布も火山系列別に分布した。特に箱根火山の真鶴産と天城火山の稲取産はそれぞれ違うラインに分かれた。図2に石垣試料の分布を示した。山里門の石垣において、左右の門で分けてみると、右側の門は真鶴系、稲取系、谷戸山系に分布した。左側の門には右側の門に加えて、富戸系、川奈系に分布した。

5. まとめ

江戸城内の山里門石垣に使用された石材は全体的に伊豆半島の真鶴、稲取の原産地安山岩と酷似しており、これら地域の安山岩を石材として使用した可能性が高い。そのほか川奈、富戸、谷戸山は分布が類似している傾向あると言える。しかし大川神社は該当する石垣資料がなく、また試料採取した原産地資料に該当しない石垣資料もあった。火山系列ごとに分布が近く、門の左右別でみると、右側には箱根火山系列の真鶴系、天城火山系列の稲取・谷戸山系が確認された。一方、左側ではそれら火山系列の原産地に加えて、大室火山系列の富戸・川奈系が確認された。これらの地域には実際に安山岩を切り出した石丁場があり、それら地域で産出する岩石と化学組成が一致することは、産地を推定するために重要である。

原産地安山岩の数が8種と少なく、実際の石垣試料も数少ないため、今回の測定結果で必ずしも産地が推定できていないが、産地を推定できる可能性は示唆できた。今後原産地安山岩の測定例が増えれば、いくつかの石垣資料の産地が判別できる可能性がある。

江戸城における石垣の構築に真鶴系安山岩が90%以上使用されているとされている。このことから、本測定はそれを裏付ける結果であるといえる。今回行った蛍光X線分析法を用いた石材の産地推定法は、岩体における組成のばらつきや装置の定量限界などの問題点があるけれども、江戸城内の石垣だけではなく、考古学的な安山岩資料の産地推定にも有効であると考えられる。

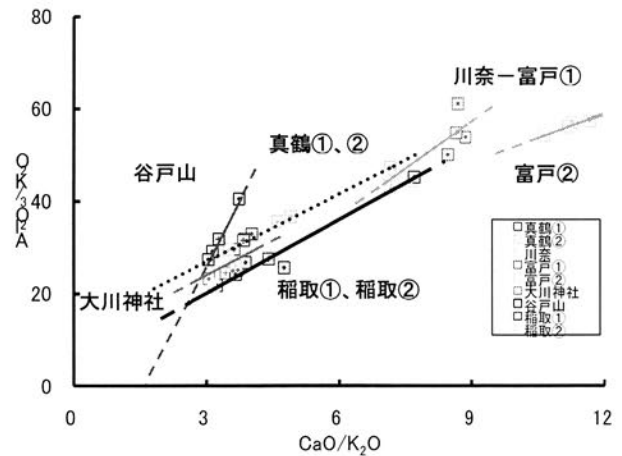


図1 原産地安山岩の分布

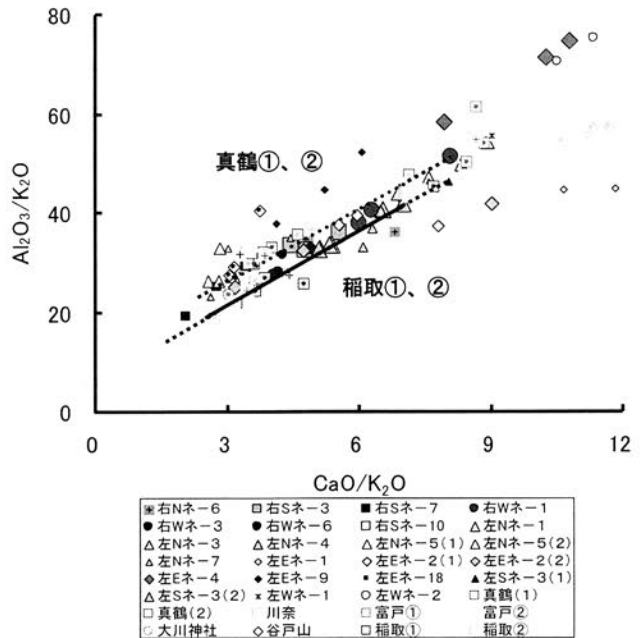


図2 石垣資料および原産地安山岩の分布

*参考文献

- 宮内庁管理部：江戸城 皇居山里門石垣修復工事報告書，宮内庁，2009
- 野中和夫：石垣が語る江戸城，同成社，2007
- 静岡県考古学会：江戸の石を切る－石丁場遺跡から見る日本の近世社会－資料集，2011

セルジューク朝期を中心とする 11-14 世紀イスラーム陶器の 自然科学的研究

Scientific research of Islamic pottery in 11th-14th century

二宮 修治 (東京学芸大学), ○村上 夏希 (東京学芸大学大学院)
新免 歳靖 (東京文化財研究所), 岡野 智彦 (中近東文化センター附属博物館)
Syuji Ninomiya (Tokyo Gakugei University), ○Natsuki Murakami (Graduate course, Tokyo Gakugei University), Toshiyasu Shinmen (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Tomohiko Okano (The Museum of the Middle Eastern Culture Center in Japan)

1. はじめに

本研究室と中近東文化センター附属博物館は共同研究として、イランおよび周辺国で製作されたイスラーム陶器の科学分析を実施している。その研究の一環として、これまでにイラン国内の遺跡から採集された 11~14 世紀の青釉陶器に用いられた青色釉薬の材質分析を実施した(岡野他 2009)。本研究では、継続研究として同上の青釉陶器について ICP 発光分光分析(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)による胎土分析を行った。

分析対象は、イラン国内の窯業地と推定される遺跡(アーモル、ジョルザンザミン、ニーシャープール、サーヴェ)から採集された青釉陶器である。しかし、いずれの遺跡も発掘調査が実施されておらず、陶器生産の実態は明らかではない。そこで、各遺跡から採集された陶器の胎土化学組成を求め、遺跡間での比較を行なうことによって、セルジューク朝期(1038-1194)のイラン国内における製陶技術の伝播や製品の移動等に関する問題の解明を目的とし、基礎情報を収集した。また、11・12 世紀は、複合胎土と呼ばれる白色人工胎土の開発という技術革新が起こった時期である。そのため、中東地域における複合胎土の製造技術の起源と拡散を明らかにすることも目的の一つとなる。本研究では、陶器胎土の主成分元素および微量成分元素を求め、多変量解析による分類を行ない、陶器の産地などについて考察する。

2. 分析資料

分析資料は、中近東文化センター附属博物館が所蔵する、イランのアーモル、ジョルザンザミン、ニーシャープール、サーヴェの 4 遺跡から採集されたイスラーム陶器片 39 点である。製作年代はセルジューク朝期を中心とした 11~14 世紀と推定されている。表 1 に分析資料を示す。ただし、本資料群は、科学的な発掘調査によって入手された資料ではないため、必ずしもこれらの遺跡(窯)で製作された陶器とは限らないことを記しておく。胎土には、粘土質の胎土(以下、粘土胎土)と複合胎土(石英を主成分とし粘土やガラスなどと混合して焼成される胎土)の 2 種類が存在する。

表 1 分析資料一覧

出土遺跡	遺跡記号	胎土	資料数	記号
アーモル	AMB	粘土胎土	7	○
		複合胎土	4	●
ジョルザンザミン	JZB	粘土胎土	3	□
		複合胎土	4	■
ニーシャープール	NPB	粘土胎土	2	◇
		複合胎土	5	◆
サーヴェ	SVB	粘土胎土	2	△
		複合胎土	12	▲

3. 分析方法

3.1. ICP 発光分光分析

胎土分析には ICP 発光分光分析を用いた。ダイヤモンドビットを装着した電動式ミニルーターによって採取した分析資料を約 50mg 精秤し、酸分解によって溶液化した。標準試料および定量性の検討には GSJ(産業技術総合研究所地質調査総合センター)配布の標準岩石 JB-1a(玄武岩)と JG-1a(カコウセン緑岩)を用いた。分析装置には Seiko Instrument 製 SPS1700 を用いた。測定元素は主成分 8 元素(Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K)、微量成分 2 元素(Ba, Sr)の計 10 元素である。

3.2. クラスタ分析

各資料の化学組成の特徴を明らかにするために、元素存在量によるクラスタ分析を行った (SPSS 社製多変量解析ソフト SPSS14.0J を使用)。距離尺度には標準化ユークリッド平方距離、分析手法には Ward 法を選択した。クラスタの変数には測定 10 元素を用い、各変数は Z 得点で標準化を行った。

4. 結果および考察

クラスタ分析の結果を樹形図(デンドログラム)で示す(図 1)。その結果、粘土胎土と複合胎土の大きく 2 グループに分かれた。

粘土胎土に関しては、アーモル遺跡(AMB)とその他の遺跡の 2 群にまとまる傾向が認められた。特に、アーモル遺跡採集の粘土胎土陶器(7 点中 6 点)は、同じクラスタ内にまとまり、同一生産地で作られたものと判断できる。アーモル遺跡は考古学的に窯業地と推定されているため、本遺跡内で生産された可能性が高い。ただし、同遺跡の AMB-004 は、上記の陶器 6 点と比べて Ca 濃度が高く、異なるクラスタに分類された。これを非在地産の搬入品と見るのか、同一窯業地内の多様性(時期や窯の差異など)の結果と見るのかについては、今後、考古学的な型式などとのすり合わせを行ない、検討する必要がある。

また、複合胎土の陶器については大きく 4 グループに分かれ、化学組成が異なる数種類の複合胎土の存在が想定された。しかし、サーヴェ遺跡の資料(SVB-011~013 の 3 点)のクラスタがあるものの、その他は遺跡ごとにまとまる傾向は認められなかった。この結果についても、考古学的にどのような種類の資料によって構成されるのかを検討し、製品の移動や技術の伝播などの観点から検討する必要がある。

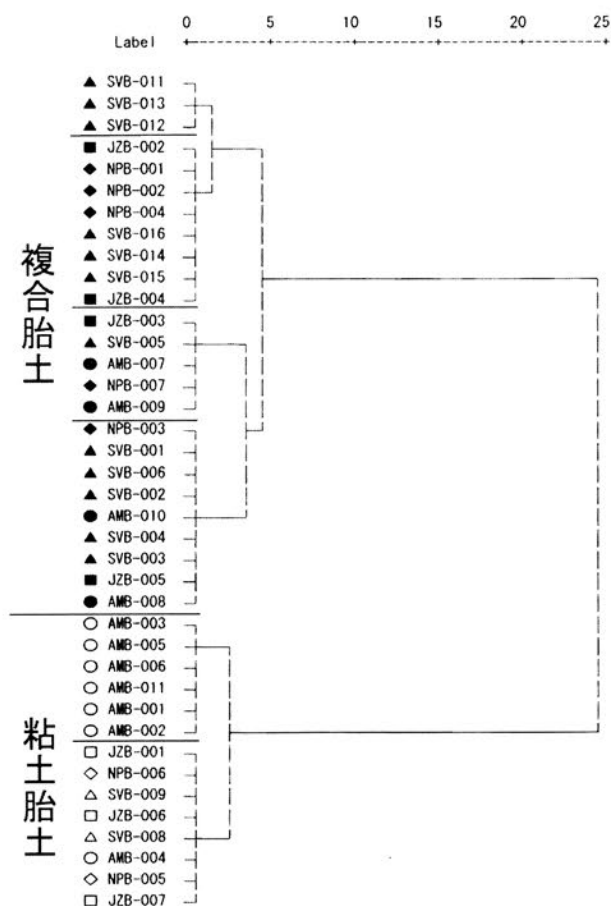


図 1 クラスタ分析結果

参考文献

岡野智彦・新免歳靖・河寄由美子・二宮修治 2009 「イランの遺跡採集イスラーム陶器片の科学分析」
『扶桑 田村晃一先生喜寿記念論文集』青山考古 25・26 pp.577~591 青山考古学会

山城国府跡出土銅インゴットの自然科学的研究

Scientific research for the copper ingots excavated from the ancient provincial government offices, Yamashiro

○降幡 順子 (奈良文化財研究所) , 林亨 (大山崎町教育委員会) 、
池田善文 (長登銅山文化交流館) 、小泉武寛 (和銅寛) 、松村恵司 (文化庁)
○Junko FURIHATA (Nara National Research Institute for Cultural Properties) ,
Toru HAYASHI(Board of Education of Oyamazaki Town), Yoshifumi IKEDA(Naganobori copper mine
museum) Bukan KOIZUMI(Wadokan), Keiji MATSUMURA(Agency for Cultural affairs)

はじめに

山城国府跡第 20 次調査出土銅インゴットは、平安時代前期以前の溝から 6 点出土したものであり、古代の銅インゴットとして注目される。今回の調査ではその中から 4 点の銅インゴットについて非破壊分析調査を実施し、内 1 点については微量をサンプリングし鉛同位体比分析と微量成分分析をおこなった。さらに山口県長登銅山遺跡の九世紀の遺構から出土した銅滓についても比較分析をする機会を得ることができたため、その結果も併せて報告する。

1: 分析資料・分析方法

分析に供した資料は、山城国府跡第 20 次調査区(以下、大山崎遺跡群)溝 SD07 出土銅インゴット No.1、No.4、No.5、No.6 の 4 点および山口県長登銅山遺跡大切 IVC 区 2T-1 出土銅滓 1 点である。銅インゴット表面は黄褐色の鉄のさびで覆われ、部分的に暗赤色～黒色を呈している。表面の形状は比較的平坦であり、裏面は凹凸が顕著である。

サンプリングする銅インゴットは 1 点のみであるため、他 3 点の資料と化学組成に違いがあるかどうかを確認するために非破壊による蛍光 X 線分析を実施した。その結果すべての大山崎遺跡群出土銅インゴットからは銅、砒素、鉄を検出した。さびなどによって表面は元の化学組成とは異なると考えられるため、おおまかな傾向を捉えるに留めるが、銅のほか砒素と鉄を顕著に検出することは各資料に共通しているといえる。

サンプリングは上記のうち 2 点(写真 1)からおこなった。まず 1 点は 2 個体に割れていた大山崎遺跡群出土銅インゴット No.1 の破断面部 5mm×5mm 範囲について表面サビ層を出来るだけ除去した場所から採取した。採取資料の X 線回折測定では金属銅のピークを確認した。他 1 点は長登銅山出土銅滓資料であり、金属光沢部はわずかに観察できたものの、サンプリングは主に赤色を呈する場所からおこなった。X 線回折測定により酸化銅(Ⅰ)、金属銅、石英のピークを確認した。

これらの 2 点について鉛同位体比分析、微量成分分析(ICP-MS(誘導結合プラズマ質量分析)・ICP-OES(誘導結合プラズマ発光分光分析))をおこなった。測定条件は以下の通りである。

鉛同位体比分析:サーモフィッシャーサイエンティフィック製の表面電離型質量分析計 MAT-262 を使用した。採取した分析用資料から電気分解法で鉛を抽出し、レニウムフィラメント上に 200ng の鉛をリン酸シリカゲル法で塗布し、測定用資料とした。測定条件を昇温時間 20 分、測定温度 1200℃、測定回数 60 回に整え、同位体比を測定した。同一条件で測定した標準試料 NBS-SRM-981 で測定結果を規格化した。

微量成分分析:島津製作所製 ICP 発光分光分析装置 CIPV-1014 およびサーモエレクトロン製 IRIS-HR、SII 製 ICP 質量分析装置 SPQ9200 を使用した。資料に硝酸・塩酸を加え加熱分解後、ろ紙を用いて不溶残渣をろ過した。残渣は炭酸ナトリウム、ホウ酸ナトリウムの混合融剤で融解し、塩酸溶液に溶解した。それぞれを純水で 50ml に希釈定容して分析用溶液とした。また検量線液は SPEX 標準溶液の合成により作成した。測定は、Cu、As、Fe、Ag、Si、Ti、Al は ICP-OES 法、Sn、Pb、Bi、Ni、Zn、Mn、Sb、Co、Au は ICP-MS で実施した。

2: 結果と考察

鉛同位体比分析の結果を表 1 に、a 式図($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比と $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比の関係)を図 1 に示す。鉛同位体比分析では、a 式図、b 式図ともに日本領域と言われている範囲内⁽¹⁾に今回の測定値は存在しており、基本的に日本産原料が使用されていると考えられる。今回分析した長登銅山大切地区出土資料

(9世紀)は、奈良・平安時代の青銅製品などで報告されている長登銅山や蔵目喜鉱山が原材料供給地と推定される範囲⁽²⁾内にある。しかし大山崎遺跡群出土銅インゴットはこの範囲から外れている。奈良時代から平安時代にかけての採掘・製錬場は複数あったと考えられるが、これらの遺跡から出土した製錬関連遺物の分析例が限られているため、銅インゴットの原材料産地は現状では明確にはできない。ただし今回の調査で鉛同位体比の分析値は示すことができたため、今後の分析例の増加とともに産地推定が可能になることが期待される。

微量成分分析の結果を表2に示す。両資料ともに銅を80%以上含有している。他成分では、大山崎遺跡群出土銅インゴットは砒素を約7%、鉄を約4%含有し、長登銅山出土銅滓では、ビスマスおよびヒ素を約1%含有している。銅銭の研究では、8世紀後半から9世紀の前後で鉄含有量の差異が認められ、精錬技術などの影響が考えられると報告されている⁽³⁾。大山崎遺跡群出土銅インゴットは鉄や砒素が比較的残存していることから、意図的に混入した可能性も考えられるが、製錬時に鉱石中の不純物が十分除去されずに残存していたとも考えられる。埋蔵環境などの影響も考慮する必要はあるものの、銅インゴットは精錬前の特徴を有しているか、または8世紀後半から9世紀以前の鉄や砒素含有量の多い遺物と精錬技術などで類似する点があるといえるかもしれない。9世紀の銅滓である今回の長登銅山資料では鉄、砒素の含有量がそれぞれ0.14%、0.95%と少ない点は興味深く、今後他の時期および地域の製錬遺跡・遺物との比較検討をしていきたい⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

サンプリングをおこなった資料1点のみの分析結果で比較検討することは困難であるが、平安時代前期以前の銅インゴットという、大変貴重な遺物の分析データを示せたことは大きな意義があると考えている。

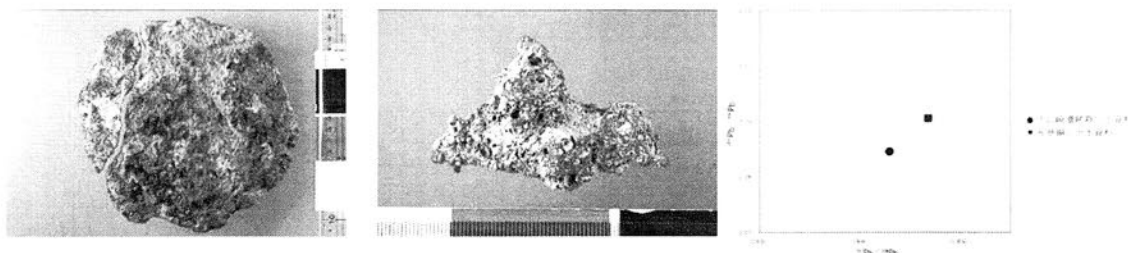


写真1: 分析に供した資料

図1: 鉛同位体比分析結果(a式図)

(左; 大山崎遺跡群出土資料 No.1、右; 長登銅山遺跡出土資料) (図中のK, J, E, Iおよび範囲は文献(1)を参照)

表1 鉛同位体比分析結果

出土場所	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
大山崎遺跡群出土 銅インゴット	18.535	15.624	38.636	0.8430	2.0845
長登銅山出土銅滓	18.431	15.607	38.543	0.8469	2.0905
誤差	±0.010	±0.010	±0.030	±0.0003	±0.0006

表2 微量成分分析結果(wt%)

	Cu	Sn	Pb	As	Bi	Ni	Zn	Fe	Mn	Ag	Sb	Co	Au
大山崎遺跡群出土 銅インゴット	85	0.015	0.002	6.8	0.001	0.13	0.029	3.8	0.001	0.11	0.036	0.021	0.019
長登銅山出土銅滓	80	0.27	0.014	0.95	1.0	0.001	0.001	0.14	0.003	0.15	0.047	0.001	0.011

参考文献

(1) 平尾良光・榎本淳子「古代日本青銅器の鉛同位体比」『古代青銅の流通と製造』1999、(2) 齋藤努・高橋照彦・西川裕一「古代銭貨に関する理化学的研究」『IMES』2002、(3) 齋藤努・高橋照彦「皇朝十二銭の化学分析」『お金の玉手箱』1997、(4) 美東町教育委員会「古代の銅生産」『古代の銅生産シンポジウム in 長登資料集』2001、(5) 美東町教育委員会「銅・鉱物資源と製錬技術」『第21回国民文化祭シンポジウム資料集』2006

小田コレクションの分析による 日本出土の古代ガラスの考古化学的研究

Archaeometric study of ancient Japanese glass collected by Sachiko Oda

○白瀧絢子, 阿部善也, 中井泉(東理大理)

○Junko Shirataki, Yoshinari Abe, Izumi Nakai (Department of Applied Chemistry, Tokyo University of Science)

【序】

国立科学博物館に奉職されていた故小田幸子氏は古代ガラスの分析の先駆者である。小田氏の遺品が現在国立科学博物館に収蔵されているが、今回、我々は同コレクションの中の日本の古代ガラスの分析を行う機会を得た。日本の古墳から近代にわたる様々な時代・地域のガラスが含まれており、日本のガラス史を研究する上で、非常に貴重な資料である。分析には非破壊で行うことができるポータブル蛍光 X 線分析装置を用い、化学組成分析を行った。これまでに我々は熊本県や岡山県から出土した弥生・古墳時代のガラスや平等院鳳凰堂から発見されたガラスについて分析を行ってきたが、本研究ではその化学組成と比較することにより、古代日本のガラスの化学組成的変遷の一端を明らかにすることを目指した。

【分析試料及び分析装置】

分析した試料は小田氏の遺品として残されていた国立科学博物館所蔵のガラスである。日本の古墳から現代にわたる様々な時代・地域の試料が含まれており、ガラス玉や容器片、写し絵に用いられていたガラス板などその種類も様々である。

化学組成分析には我々が企業と共同で開発を進めているポータブル蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA-IV (OURSTEX (株)) を用いた。得られた蛍光 X 線スペクトルから、検量線法を用いて各元素の酸化物換算濃度を算出した。検量線用の標準試料には、認証値が与えられている標準ガラス (National Institute of Standards and Testing 製, Breitlander Eichproben und Labomaterial GmbH 製) および ICP-AES による定量化を行った合成ガラスを用いた。

【分析結果と考察】

小田コレクションの古墳時代のガラスには熊本県や岡山県では見られなかった組成タイプが存在し、多様な古墳時代のガラス組成が明らかとなった。中でも、日本では非常に珍しい赤褐色ガラス小玉が存在した。岡山県赤盤郡朱千駄古墳からの出土品で、これらは Al_2O_3 濃度の高いアルミナソーダ石灰ガラス ($\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系) であった。熊本県や岡山県のアルミナソーダ石灰ガラスはおそらく東南アジア製と思われ、 MgO 濃度の低いタイプのものであったが、これらの赤褐色ガラス小玉は MgO 濃度が 1.0% 以上の比較的高いタイプのものであり、違いが見られた。

また、岩手県中尊寺の青緑色ガラス玉と埼玉県川越喜多院の透明ガラス玉の蛍光 X 線スペクトルを図(a)、(b)に示す。大量の PbO に加え K_2O が含まれているカリ鉛ガラス ($\text{PbO}-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 系) であることが分かった。当研究室では、これらの資料と年代的に近い、平安時代後期の平等院鳳凰堂本尊台座華盤内で近年発見された 300 点余りのガラスを分析してきた。図(c)にそのうちの代表的な青緑色ガラス玉のスペクトルを示したが、こちらもカリ鉛ガラスであり、同じ組成タイプであると考えられる。これより、当時の日本ではカリ鉛ガラスが多く流通していた可能性が示唆された。カリ鉛ガラスは中国で 8 世紀頃から製造がはじまり、宋代に広く製造されていた種類である。

カリウムを融剤として加えることで鉛の量を減らしても低温で熔融することができる組成で、日本でいつから使われていたかは不明だが、遅くとも 12 世紀には国内で製造されていた可能性がある^{1,2)}。これまで日本のガラス工芸史では、平安時代から室町時代にかけて資料が極端に減少することから、ガラス製造は衰えたと考えられており、化学分析が行われた例も、ほとんどない。今回の分析資料はどこで製造されたものかは不明だが、平安時代の貴重な資料について化学組成を明らかにしたことは、古代日本のガラスの化学組成変遷を明らかにする上で、重要な成果であるといえよう。

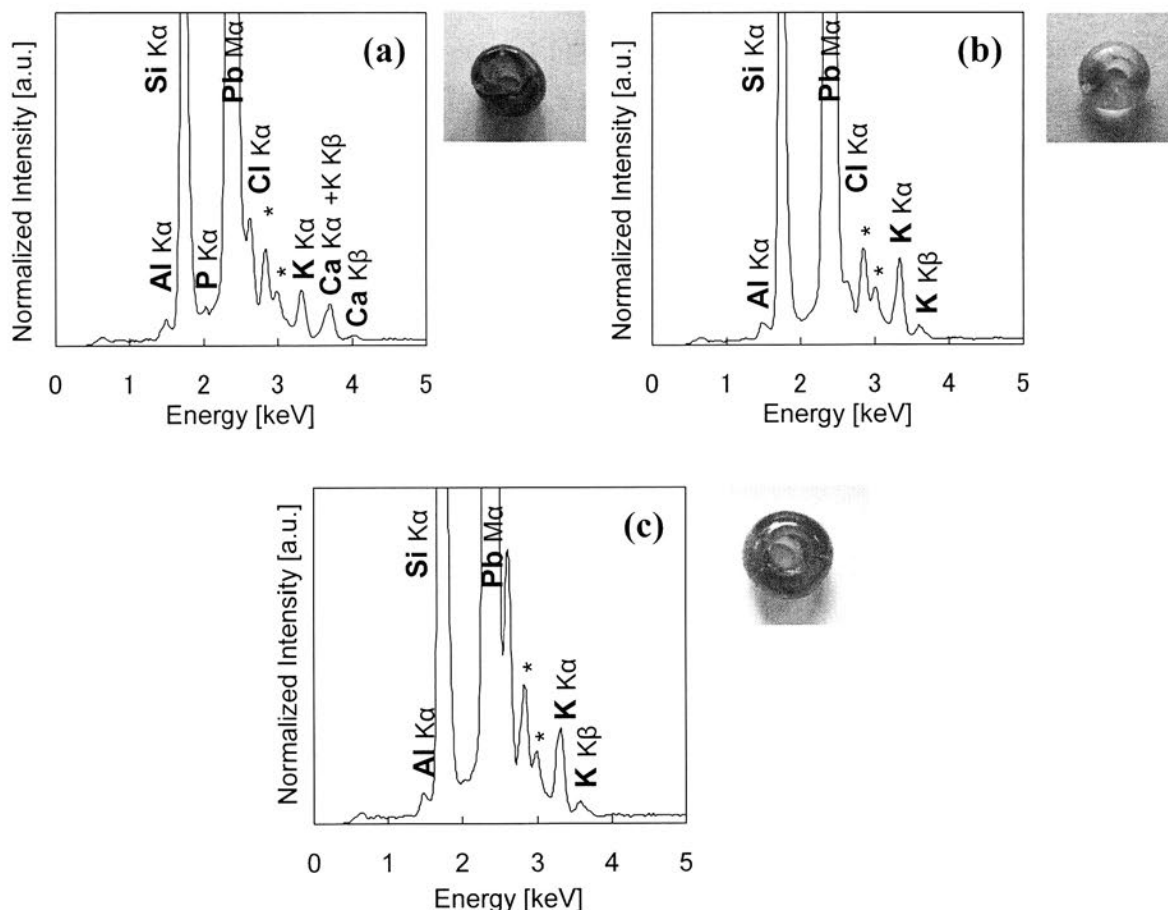


図 (a)中尊寺 (b)川越喜多院 (c)平等院鳳凰堂本尊台座華盤内
ガラス玉の写真と XRF スペクトル

【参考文献】

- 1) 山崎一雄：古文化財の科学、294、思文閣出版 (1987)。
- 2) GAN Fuxi: Ancient Glass Research Along the Silk Road, Chapter 1, 1-40, World Scientific (2009).

カンボジア(プンスナイ遺跡)から出土した青銅製品に関する鉛同位体比

Provenance study of bronze artifacts excavated from Phum Snay site in Cambodia

山口将史、魯 禔玪、角川 茂、平尾良光 (別府大学大学院)、

宮塚義人 (宮塚文化財研究所) 安田喜憲 (国際日本文化研究センター)

Shoji Yamaguchi Jihyun No Shigeru Kakugawa Yoshimitsu Hirao (Graduate School of Beppu University) Yoshito Miyatsuka (Miyatsuka Institute of Archaeology) Yoshinori Yasuda (International Research Center for Japanese Studies)

1. はじめに

カンボジア北西部に位置する、プンスナイ遺跡は BC200～AD500 年の遺跡と推定される。丘陵の周囲には環濠の跡があり、大きな集落であったことが考古学的な発掘で推定されている。出土した遺物には人骨や青銅製品、土器等がある。一部の人骨には抜歯や青銅製の腕輪を装着していることなどが確認されている。これら青銅製品に関して鉛同位体比法を用いて、材料の産地を推定した。本発表で報告する資料は 2006～2009 年度までに測定をした 176 点である。

2. 鉛同位体比の測定

鉛同位体比の測定は別府大学に設置されているサーモフィッシャーサイエンティフィック社製の表面電離型質量分析計 MAT-262 を使用した。採取した鉛同位体比測定用試料から電気分解法で鉛を抽出し、レニウムフィラメント上に 200ng の鉛をリン酸シリカゲル法で塗布し、鉛同位体比測定用試料とした。この試料を質量分析器の中に装着し、高真空とした。測定条件を昇温時間 20 分、測定温度 1200℃、測定回数を 60 回として、鉛同位体比を測定した。同一条件で測定した標準鉛 NBS-SRM-981 で測定結果を規格化した。

3. 結果と考察

176 点の青銅製品に関して鉛同位体比分析を行い、図 1、2 で示した。その結果からほとんどの資料が中国の華南産領域に分布し、一部の資料は N 領域産の材料に分布した。プンスナイ遺跡は中国華南の影響を強く受けていたと示唆される。また、N 領域の原料はタイにあると今までの研究成果で分かっている。N 領域に分布した資料はある一箇所の墓からまとまって分布したことから、これらの腕輪を装着した人物は特定の身分を持っていた可能性や他地域から移住してきた人種であり、材料(あるいは製品)を持ってきた可能性などが考えられる。

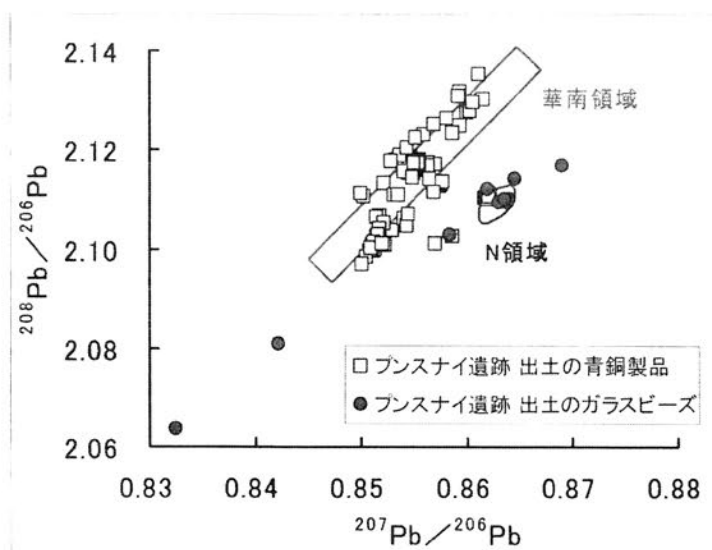


図 1 プンスナイ遺跡出土の青銅製品が示す鉛同位体比 (A 式図)

土器の編年図（図3）を基に、時期区分別に鉛同位体比を図1と2に別けた結果、時期編年が変わることにより時期別に産地が異なる結果を得た。また時期が変われば、交流先も変わり、材料の流入も違ってくる。このことからプンスナイ遺跡の材料流入ルート（その材料を持つ人種が流れてきた）は大きく分けて2つある。中国から陸地をタイ経由できたルート、または海路でカンボジアやタイへきたルートが鉛同位体比の結果から考えられる。今回の分析結果から紀元前後のカンボジア地域と周辺地域とのつながりを示す結果得られた。

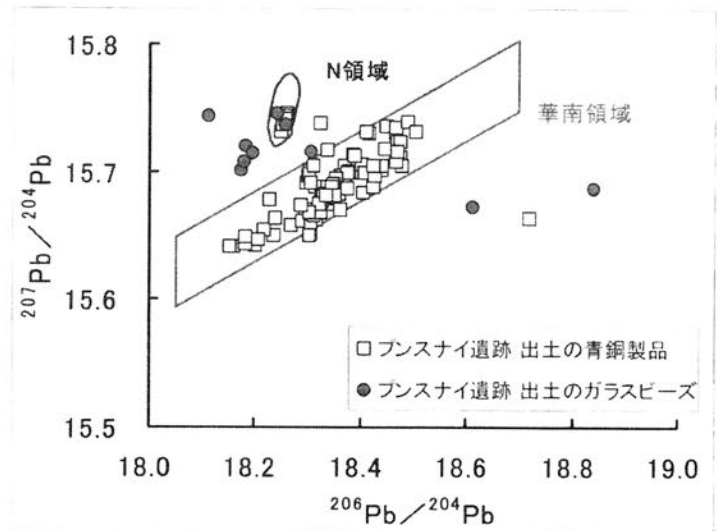


図2 プンスナイ遺跡出土の青銅製品が示す鉛同位体比(B式図)

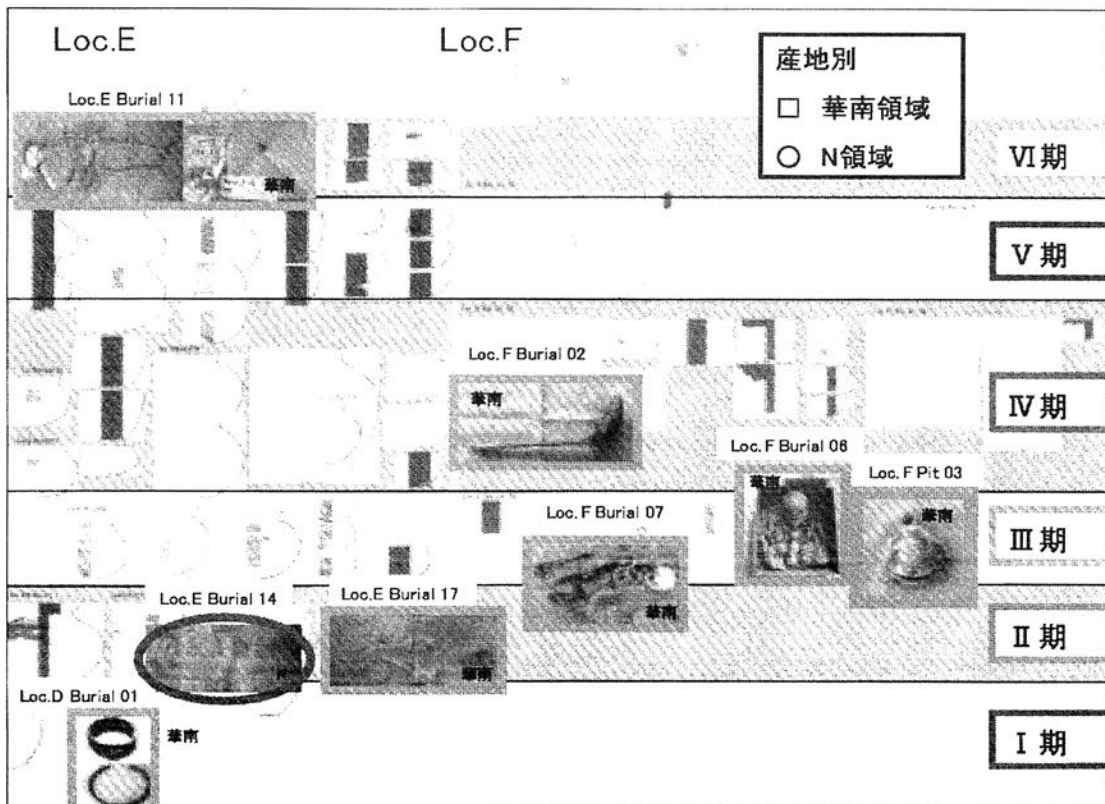


図3 土器編年を基に出土した青銅製品を示した

弥生時代大型専用甕棺の個体内における胎土の均質性についての 実験的研究

Experimental Study on Chemical Homogeneity of the XRF Samples within a Burial-Jar in the Yayoi Period

○重信美那子（鹿児島国際大学大学院国際文化研究科），中園聡（鹿児島国際大学国際文化学部），三辻利一（同），黒木梨絵（鹿児島国際大学大学院国際文化研究科），平川ひろみ（同），新屋敷久美子（同），稲垣友裕（同），楊帆（同）

○Minako Shigenobu¹, Satoru Nakazono², Toshikazu Mitsuji², Rie Kuroki¹, Hiromi Hirakawa¹, Kumiko Shin'yashiki¹, Tomohiro Inagaki¹ and Fan Yang¹ (¹ Graduate School of Intercultural Studies, The International University of Kagoshima; ² Faculty of Intercultural Studies, IUK)

はじめに

発表者のうち中園・三辻は、弥生時代大型専用甕棺のセットとして使用された上甕と下甕間で胎土の化学特性が極めて類似するものがあることに注目しており、同時製作された可能性を考えてきた（中園 2004；中園ほか 1994；ほか）。その検討の一環として 1 個体内における胎土の変異を把握することは一部実施しているが（三辻・中園 1995）、未だ例数が少ないため課題として残っている。胎土分析一般の問題として考えた場合、胎土の変異幅は、「個体内≦同時製作の個体群<同一産地の個体群<同一地域で製作された個体群」というように大きくなると考えられる。したがって、産地推定においてもその基礎となる個体のもつ変異幅を押さえておくことは重要といえる。そこで、胎土分析の基盤をより確固たるものとするために、個体内や（同一製作者による）同時製作の個体間での変異を確認することには意義があるのである。加えて、甕棺などの大型の土器において、1 試料をもって代表させてよいかという問題にも寄与する必要がある。こうした、基本的諸課題を検討することは、甕棺の製作技法や生産体制、製作者の行為や認知の特性などに及ぶ様々な問題の解明の一助ともなる。

そのために、本発表ではあえて弥生時代の大型専用甕棺の実験製作品を用いて、個体内の胎土の変異の把握や同時製作の個体間での比較を試みるものである。

試料と方法

甕棺についての考古学的知見や民族例、製作実験の結果などを総合的に踏まえて、可能な限り忠実に復元製作した大型専用甕棺 2 個体（重信ほか 2009）が対象である。これらは同一製作者により同時製作されたものであり、素地は陶芸用粘土に混和材として砂を混ぜたものである。2 個体分の素地合計 180kg を使用して製作した。この素地は同じ素材を使用しており、足踏み法により同時に練ったものである。完成後、稲藁を主燃料として野焼きにより焼成した。

この 2 個体について、それぞれから粘土帯 1 段ごとに試料を 1 箇所ずつ採取し、口縁部や突帯においても、粘土帯ごとに試料を採取した。一方の甕棺を A 甕棺、もう一方を B 甕棺と呼ぶ。A・B 両甕棺とも、それぞれ使用された粘土帯は 35 本（35 試料）であった。ただし、1 本の粘土帯における胎土の変異の幅を検討するために、A 甕棺は胴部上半にあたる 24 段目から 12 試料を一定間隔（30° ごとに一周分）で採取した。このうちの 1 つの試料は上述の 35 試料中に含まれているため、合計 46 試料となった（35+11）。また、B 甕棺も同様の部位である 26 段目から同様に採取し、合計 46 試料となった。両甕棺で 92 試料を分析に供した。

分析法は、三辻利一による方法に基づいている。すなわち、装置は完全自動式の波長分散型蛍光 X 線分析装置（リガク製 ZXS100e）を使用した。本機はエンドウィンドウ型 Rh 管球（管球出力 3.0kW）を備えており、真空条件下で同一の X 線出力（50kV, 50mA）、分光結晶は RX25, LiF1 を使用し、恒温化温度 36.5°C で、各元素あたり 60 秒間測定した。試料は、定温乾燥機で乾燥させ（105°C, 2 時間）、内径 20mm、厚さ 5mm の塩化ビニール製リングの枠に入れ、プレス機で約 13t の圧力をかけてペレットを作製し、蛍光 X 線分析を行った。以上の手順で、Na, Mg, K, Ca, Ti, Fe, Rb, Sr の 8 元素を測定した。カウント数または同時に測定した JG-1 による標準化値を使用し、標準偏差、変動係数等を求めた。

なお、標準試料の繰り返し測定等の結果、装置の安定性・再現性が高いことは既に発表した
が（中園ほか 2009），本研究においても 1 個体分を 1 日で測定したほか、B 甕棺を測定順を逆
にして再測定するなどして確認した。

結果と考察

それぞれの甕棺で、個体内の変動は極めて小さく、変動係数はどちらの個体とも各元素 1～
3%程度であった。なお、1 本の粘土帯内での変動は、個体内でのそれと比較してやや小さいか、
ほぼ同程度であった。北タイの民族例で足踏み法により一度に練られた素地の変動は、Na は 3
～7%であるが、他の元素は 0.5%から 3%程度であることがわかっており、大きくみてここでの
測定結果と同程度といえる。非常に大きなサイズであり、一度に練った素地も多量であったた
めある程度の不均質さがあることが予想されたが、意外に均質であったといえる。また、素地
を同時に調整したことで、変動の小ささのため、個体間での胎土の識別は標準化値の散布図に
よる比較でも、多変量解析によっても不可能であった。なお、須恵器同一個体では各元素とも
変動係数が数%以下にとどまることが知られている（三辻・中村 2008）。また、1 個体あたり
10 点内外の試料を分析できた実物の甕棺 3 例では（三辻・中園 1995），一部の元素で変動係数
が 10～15%となる場合もあるが、概ね数%にとどまっている。今回の実験で均質性が高かった
ことについては、練りの長さよりも素材として用いた粘土自体の均質性が高かったことも一因
と考えられるが、足踏み法を用いれば、容易に比較的均等に混ぜることができることを示して
いると思われる。実物の甕棺で足踏み法が採用されたとは限らないが、上記のことから、今の
ところ 1 個体で概ね数%程度の変動係数とみておくのがよいであろう。

なお、より専門性が高いと推定される須恵器でも、同一窯での変動係数は数%～十数%程度、
窯跡群でのそれは数十%程度とされている（三辻・中村 *ibid*）。甕棺 1 個体の変動係数は基本
的にそれより小さく、最大でも同一窯出土須恵器程度にとどまるといえよう。装置の安定性・
再現性はそれに完全に包摂されてしまうものであり、ほとんど問題にはならない。また、産地
推定のような通常の研究においては、甕棺 1 個体を 1 試料で代表させても理論上問題ないこ
とになる。ただし、複数個体の同時製作の有無や、同一製作者による 1 個体内での工程間に胎土
の差があるかどうかを問うようなとき（途中で半乾燥させる間、他の個体を作るなどして、再
開時にやや調整の異なる素地を使うなど）には、より厳密性が求められる。したがって、統計
処理の観点からも、今回実施したような粘土帯ごとのサンプリングなど、より多数の試料が必
要といえる。以上で得られた感触に基づけば、甕棺の工程間での微差の検出や、粘土帯と突帯
との胎土の類似度に基づく突帯貼付のタイミングの推定など、製作者の規範やクセとも結びつ
くような、より高次の課題についても、蛍光 X 線分析による胎土分析が寄与できるのではない
かと思われる。

		A甕棺							
n=35		Na	Mg	K	Ca	Ti	Fe	Rb	Sr
	平均値(標準化値)	0.410	0.619	0.440	0.752	1.84	1.73	0.429	0.689
	標準偏差	0.014	0.011	0.005	0.024	0.02	0.02	0.006	0.011
	変動係数(%)	3.32	1.76	1.11	3.14	1.28	1.20	1.29	1.54
n=12									
	24段目の平均値(標準化値)	0.406	0.611	0.444	0.742	1.84	1.72	0.431	0.686
	標準偏差	0.014	0.013	0.014	0.018	0.02	0.03	0.008	0.012
	変動係数(%)	3.46	2.14	3.24	2.40	1.35	1.59	1.77	1.68
		B甕棺							
n=35		Na	Mg	K	Ca	Ti	Fe	Rb	Sr
	平均値(標準化値)	0.399	0.609	0.441	0.748	1.83	1.72	0.430	0.685
	標準偏差	0.014	0.013	0.005	0.017	0.02	0.02	0.006	0.010
	変動係数(%)	3.51	2.15	1.05	2.22	1.18	1.39	1.31	1.51
n=12									
	26段目の平均値(標準化値)	0.391	0.603	0.438	0.742	1.82	1.72	0.429	0.687
	標準偏差	0.013	0.011	0.005	0.012	0.02	0.02	0.004	0.009
	変動係数(%)	3.28	1.87	1.05	1.67	1.03	1.33	0.83	1.27

本研究は、科学研究費・基盤研究（B）（課題番号 21320150）の成果の一部である。

北タイの土器製作村における製作者の個人内変異と個人間変異 —土器の形態と胎土—

Potters' Intraindividual and Interindividual Variation in a Pottery Village, Northern Thailand: Pottery Shapes and Chemical Characteristics

○中園聡（鹿児島国際大学国際文化学部），川宿田好見（鹿児島国際大学），黒木梨絵（鹿児島国際大学大学院国際文化研究科），平川ひろみ（同），太郎良真妃（同），中村有希（同），江神めぐみ（同）

○Satoru Nakazono¹, Yoshimi Kawashukuda², Rie Kuroki³, Hiromi Hirakawa³, Maki Tarora³, Yuki Nakamura³ and Megumi Egami³ (¹ Faculty of Intercultural Studies, The International University of Kagoshima; ² IUK; ³ Graduate School of Intercultural Studies, IUK)

はじめに

究極の「産地」は製作者個人である。考古学的に個人の抽出は難しいとされるが、高次のステージの研究を行うためには避けて通れない課題と考える。発表者らは考古資料において製作者個人の作品を抽出するための方法の開発を進めてきたが、ここではその一環として、現代北タイの伝統的土器製作者を対象に実施した土器および素材の調査結果を発表する。

土器の同一製作者の個人内変異は、基本的に個人間変異より小さいことがわかっているが、この知見をいっそう確実にするとともに、実際の変異のあり方や程度をより正確に把握する必要がある。考古学では行為者を直接観察できない過去を扱うことが多いため、適切な過去の復元のためには現在の行為者を対象として、パターンや法則といった規則を見出すことが重要である。それが民族考古学的調査の意義の一つといえるが、そのような調査において考古科学的ないし文化財科学的手法を全面に押し出すことは稀有である。しかしながら、我々はあえてそれを実施することで成果を上げようと企図している。

土器製作の1シーズンで製作される土器は、個人内で形態の安定性・変異はどの程度か、個人間で識別が可能なほどの安定性があるか、間を空けた別シーズンと比較してどうか、などを課題とした。また、土器の素地は、粘土と砂を足練りによって混合して作られるが、それについても個人内の安定性・変異についてのデータを得た。

試料と方法

北タイの伝統的土器製作村で製作に従事する、ベテランの女性（母，娘，母の妹），土器作りを本格的に始めて間もない女性（娘の妹），彼女らと血縁関係にないベテランの女性の計5名が土器の形態に関する対象である。各人が1日に連続製作した水甕の蓋を主な対象としたが、計60個となった。また、素地作りに専ら従事する女性が数日間で数回行った足練りについても、蛍光X線分析を用いて検討を行った。この足練りで作られた素地は、そのままこれらの土器の製作に使用された。形態については、型式学的観察を行い個人のクセや個人間の変異等を検討したほか、より客観的に三次元レーザースキャナを用いて3D化し断面画像等を比較した。また、計測値を用いてサイズの比較なども行った。素地作りについては、足練りにより完成した素地の異なる場所から10点内外の試料を採取し、蛍光X線分析に供した。連日の素地作りで試料を採取したため、個人内の変異・安定性の検討に役立つことになる。なお、蛍光X線分析は三辻利一による方法に基づき、Na, Mg, K, Ca, Ti, Fe, Rb, Srの8元素を測定した。分析値は同時に測定したJG-1を用いた標準化値で示す。

結果と考察

型式学的観察により、5名の製作者間では判別が可能であるとともに、製作者内で安定性があることが確認された。計測的属性では各製作者の変異は正規分布に近く、相互の判別が可能といえる。したがって、従来の想定どおり、基本的には個人内変異は個人間変異よりも小さいということができよう。ただし、計測的属性でも非計測的属性でもビギナーにおいては変異の幅が広いことも確認された。



蓋の3D画像

非計測的属性では裾端部の形態など細かな点で個人間にクセがみられた。こうしたクセは様々な部位で確認することができた。

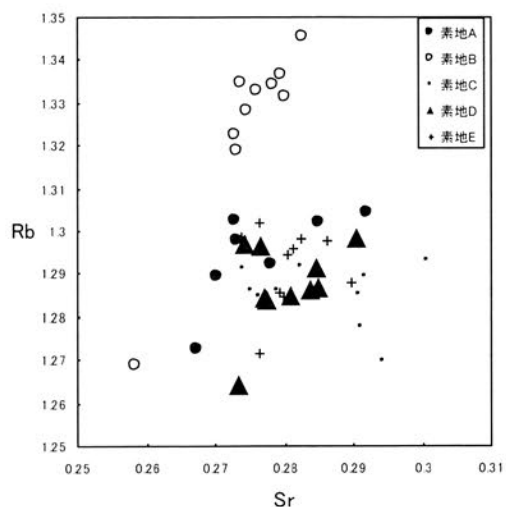
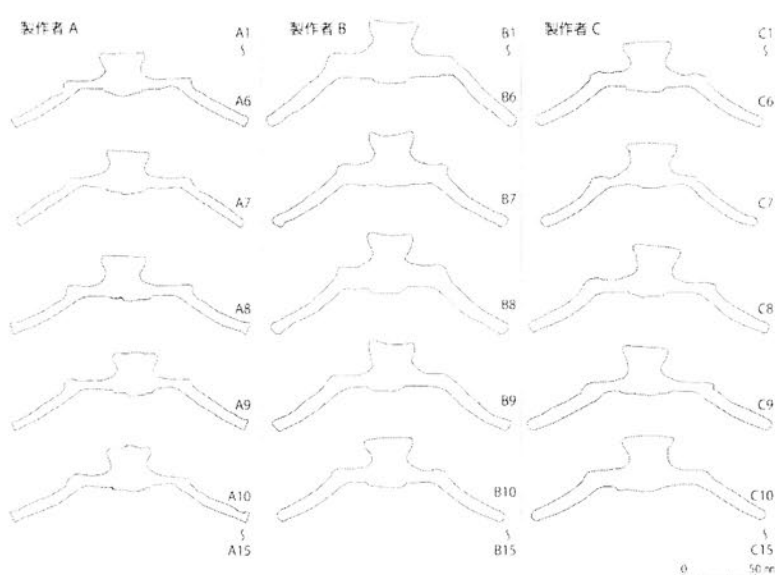
以上は 1 シーズン内での知見であるが、同一製作者による 2 年前の水甕と比較すると、細かな差異もあるが、共通性があることがわかった。長期間を経れば個人内の変異幅が広がるという指摘があり、また理屈としてもそうなるはずである。今後の継続的研究が必要である。

素地作りについては、連続する 5 回分を分析したが、1 回分の各部分から採取した試料群の変動係数は、Na は 3~7% であるが、他の元素は 0.5% から 3% 程度であった（素地 C の Fe 値が高いが 1 点の外れ値を含んでいる）。20 分程度の作業時間であり均質性に疑問もあったが、実際には比較的均質であり、また毎回同程度の変動係数となっていることは、個人内の安定性を示すといえよう。つまり、素地作りの足練りでも、個人の中に実践的に体得された知識・技術が保持されていることを示すであろう。この変動は、土器 1 個体内における変動と概ね同程度か若干大きい程度ということが出来る。この素地がここでの製品群に使用されており、1 回分の素地から製作される個体群はこのくらいの変動幅に収まると考えられる。

なお、5 回分の素地（A~E）はいずれも類似しているが、素地 B はわずかに Rb 値が高く、他と異なっている。これは素材の成分というより混合比率の違いによると考えられ、混合比率決定の主導権は各製作者側にあり、素地作りに当たる人物にはないことに注意すべきである。製作者が毎回専ら「勘」に頼りながらも、混合比率の安定性が高いことは注目できる。

本研究は、さらに継続して行い、シーズン間の差などを追及する予定である。この成果が、製作者個人同定に資するだけでなく、産地推定に関係する胎土分析の前提に寄与するところがあれば幸いである。

本研究は、科学研究費・基盤研究（B）（課題番号 21320150）の成果の一部である。



	Na	Mg	K	Ca	Ti	Fe	Rb	Sr	
素地A	平均値	0.069	0.982	0.714	0.301	2.50	1.67	1.294	0.277
	標準偏差	0.002	0.008	0.006	0.005	0.02	0.03	0.011	0.009
	変動係数(%)	3.22	0.81	0.85	1.81	0.82	1.58	0.86	3.17
素地B	平均値	0.069	0.974	0.714	0.299	2.49	1.65	1.308	0.270
	標準偏差	0.005	0.016	0.007	0.006	0.06	0.04	0.018	0.005
	変動係数(%)	7.17	1.60	0.93	1.97	2.42	2.33	1.35	1.89
素地C	平均値	0.070	0.991	0.715	0.314	2.57	1.71	1.325	0.275
	標準偏差	0.005	0.006	0.007	0.005	0.02	0.12	0.021	0.007
	変動係数(%)	6.61	0.65	1.00	1.43	0.76	6.98	1.60	2.44
素地D	平均値	0.077	0.946	0.727	0.299	2.37	1.56	1.285	0.286
	標準偏差	0.004	0.009	0.007	0.004	0.05	0.03	0.007	0.009
	変動係数(%)	5.29	1.00	0.91	1.44	1.96	1.93	0.55	3.26
素地E	平均値	0.077	0.938	0.725	0.293	2.33	1.55	1.287	0.280
	標準偏差	0.003	0.006	0.007	0.002	0.01	0.03	0.010	0.006
	変動係数(%)	4.26	0.60	1.03	0.78	0.57	1.78	0.77	1.98

木造文化財における彩色の劣化機構に対する電磁波の応用 (2) Application of electromagnetic waves for the degradation mechanisms of Wooden paintings (2)

○金旻貞 (京都大学), 高妻洋成 (奈良文化財研究所), 福永 香
(情報通信研究機構), 藤原裕子 (京都大学), 藤井義久 (京都大学)

○M.-J Kim(Kyoto University), Y. Kohdzuma(Nara National Research Institute for Cultural Properties),
K. Fukunaga (National Institute of Information and Communications Technology),
Y. Fujiwara(Kyoto University), Y. Fujii(Kyoto University)

1. はじめに

彫刻や古建築などに多くみられる木造文化財の彩色の多くは、紫外線や風雨にさらされることで、変退色や剥離および剥落を生じ、全体として本来とは大きく異なる姿となって現在に至っているのが現状である。

このような彩色の劣化に関する研究の一環として、現場での非破壊調査への応用可能性が期待されるテラヘルツ波 (周波数で約 1 THz、波長で 300 μm 程度) およびミリ波 (周波数で 100 GHz、波長で 3 mm 程度) のイメージングシステムの適用を試みた。前報¹⁾では、彩色内部の空隙、亀裂および剥落の調査結果を報告したが、本報ではテラヘルツ波イメージングとミリ波イメージング技術の応用事例を主として報告する。

2. 調査方法

奈良県教育委員会および談山神社より試料の提供を受けた。試料は内装の天井長押から採取されたもので、樹種はモミ、寸法はおおよそ 11.5×4×3.8 (cm)であった。塗装された時代は当初～修理前とされているものである。ここでは、談山神社権殿の塗装試料に対してミリ波イメージングおよびテラヘルツ波イメージングにより基底材である木材の劣化状態を可視化することを試みた。調査にあたっては、あらかじめ基底材を含む塗装断面の薄切片プレパラートを作製し、顕微鏡観察 (ライカ社製デジタルマイクロスコープ M216、ニコン社製偏光顕微鏡 ECLIPSE LV100POL) をおこなうとともに、X 線コンピュータトモグラフィ (島津製作所製 X 線 CT 装置 SMX-160CT-SV3 特) による断面構造を行った。撮影は、X 線管球ターゲットはアルミニウム (厚さ 0.5 mm) にタングステン WO を蒸着したもので、管電圧 66 kV、管電流 80 μA 、スライス厚 0.320 mm で行った。

これらの直接的な構造観察の結果とテラヘルツ波イメージングおよびミリ波イメージングで得られた結果とを比較検討した。テラヘルツ波イメージングの測定には、Picometrix 社製 T-Ray 4000 を用いた。発信周波数の領域は 0.2 から 1.4 THz の範囲であった。レンズには焦点距離 3 inch のものを用いた。イメージングは 1 ピクセルの寸法が 0.30000 mm であった。スキャン速度は 6 mm/sec とした。ミリ波イメージングのアンテナ出力は 76 GHz であった。焦点距離は 73 mm とした。スキャン速度は 1 ライン 7 mm/sec とした。

また、彩色材料を推定するため、エネルギー分散型蛍光 X 線元素分析装置 (EDAX 社製、EAGLE III) を用いて、蛍光 X 線元素分析 (XRF) をおこなった。分析条件は、モリブデンを対陰極とし、管電圧 40 kV、管電流 30 μA 、測定時間 100 秒であった。

3. 結果と考察

写真 1 に光学顕微鏡で観察した層構造を示す。下地は施されておらず、色の違いで区別するならば 2 層に分けることができる。上層は厚さ約 29 μm の赤褐色層で、下層は厚さ約 20 μm の橙色層である。

XRF では、アルミニウム(Al)、ケイ素(Si)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、鉄(Fe)および鉛(Pb)が検出され、特に Fe および Pb のピークが強く検出された。元素分析の結果のみから顔料の種類を同定することは難しいが、一般的に Fe を主にする赤色顔料としてはベンガラ (鉱物名:ヘマタイト、化学式: Fe_2O_3) が、Pb を主にする赤色顔料には鉛丹 (化学式: Pb_3O_4) がある。談山神社の他の試料を X 線回折法で調査した結果、ベンガラと鉛丹の両者が検出されたこ

とから、今回実験に用いた試料の彩色材料としては、ベンガラと鉛丹の両者が存在している可能性が高い。

ミリ波イメージングにより得られた画像を X 線 CT 画像と比較すると、同程度に明瞭な板目の画像が得られていることがわかる (写真 2)。X 線 CT により得られた画像は、上層の彩色層に含まれる顔料の影響が場所によって生じているのに対し、ミリ波イメージング画像では顔料の影響を受けず、板目をより鮮明に観測できている。

写真 3 はテラヘルツ波イメージング画像と X 線 CT 画像である。テラヘルツ波イメージング画像は、周波数領域および時間領域ともに制限していない信号のパワー積分値でのイメージング結果 (全画像) と、2 つの断面画像で構成されている。測定開始位置から 41 mm 左方向にある箇所から表面から観察できる約 2 mm の穴の部分を走査して得られたテラヘルツ波イメージングの断面画像を示してある。X 線 CT 画像は、彩色層の上端部から 1.25 mm 深さの断面画像である。穴の直径は約 1.25 mm で、深さは 2.5 mm である。この結果から、表層では 2 mm と観測された穴が内部に入るほど小さくなっていることが明らかとなった。同じ部分をテラヘルツ波イメージング画像で見ると、表層の彩色層に貫通している穴の直径が約 1.8 mm (103 pixels から 109 pixels) で、それより下層が約 1.2 mm (106 pixels から 110 pixels) までの大きさであることが明らかとなった。以上の結果から、概略ではあるが、穴の直径は表層が 2 mm で内部が 1.2 mm であるということが出来る。

以上の結果から、テラヘルツ波イメージングおよびミリ波イメージングにより得られた画像は、X 線 CT により得られる画像とよい一致を示すということが出来る。これは、テラヘルツ波イメージングとミリ波イメージングが非破壊調査法として有効なひとつの方法であることを示唆するものである。今後は、様々な塗装構造をもつ標準試料および劣化パターン異なる試料に対して、基礎的なイメージング情報を蓄積することにより、現場において汎用性の高い非破壊調査法として確立していくことが必要である。

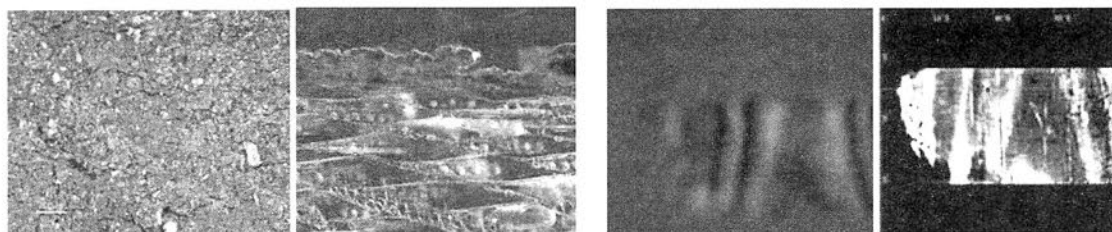


写真 1. 表面(左)断面(右)実体顕微鏡写真

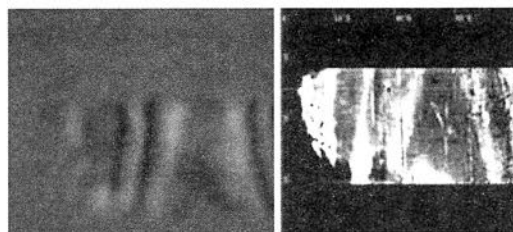


写真 2. ミリ波(左)X線CT(右)写真

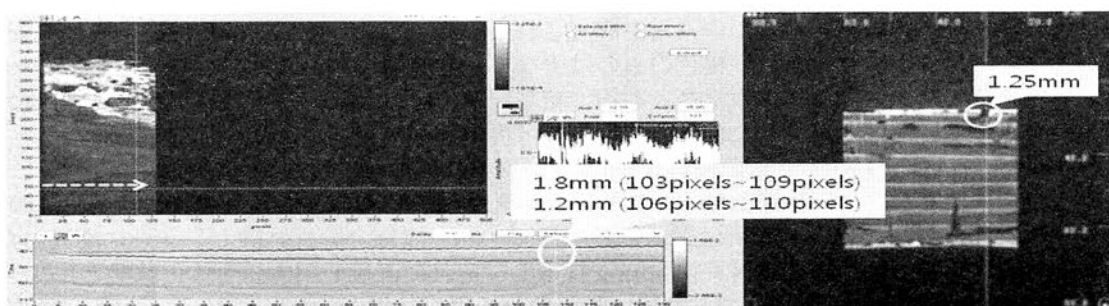


写真 3. テラヘルツ分光イメージング画像(左)X線CT(右)写真

謝辞

本研究の実施にあたり、談山神社ならびに奈良県文化財建造物保存協会の舘俊秀さんより貴重な資料をご提供いただきました。また有限会社島津漆工房には製作試料をご提供いただきました。ご協力に厚く御礼申し上げます。

¹金旻貞、藤原裕子、藤井義久、福永香、高妻洋成「木造文化財における彩色の劣化機構に対する電磁波の応用」、『日本文化財科学会』、第 27 回大会、大阪、2010 年 6 月

高松塚古墳目地漆喰に含まれる糖・脂肪酸・アミノ酸組成について

Composition of sugar, fatty acid, and amino acid included in the joint plasters from the Takamatsuduka Tumulus

○佐野千絵（東京文化財研究所），宇田川滋正・建石徹（文化庁美術学芸課古墳壁画室）
○SANO CHIE（National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo），Shigemasa Udagawa and Tohru Tateishi（the Agency for Cultural Affairs）

1.はじめに

高松塚古墳石室は、総計 16 枚の石を組み合わせて作られている。目地漆喰とは、石を組む際に片方の石に糊として貼り付け、石同士が固着するように詰められた漆喰である。この目地漆喰は 2007 年に高松塚古墳壁画が解体されて初めて調査対象となったきわめて貴重な考古学的資料であり、これまでも高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会において肥塚により、元素分析データや、目地漆喰には多量の間隙が見られるものが多いこと、鉱物としてはいずれもカルサイト型結晶になっていること、石灰岩と一部晶質石灰岩も認められること、表層あるいは亀裂部分には新たに成長した Calcite の再結晶が存在すること、等の研究成果が報告され、文化庁のホームページで公開されている。解体時には、目地漆喰の室内側の大気に触れやすい部分は黒色になっており、その後の調査でこの黒色部分からは多数の菌類が分離された。

現代の製法によると漆喰は、生石灰を水とした消石灰に、ワラや紙などのセルロースからなる繊維状のスサと、種々の海藻から抽出したノリを加えて作る。作成当初の強アルカリ性の漆喰は微生物被害を受けにくい、消石灰以外の原材料は有機物であり、アルカリ性が中和されるに従い、微生物による分解を受けるようになる。

そこで本研究では、高松塚古墳石室を構成する目地漆喰に含まれる糖類、脂肪酸、アミノ酸含有量を定量し、これら有機物の残存状況が目地の状況や場所によって何らかの相違があったかを検討した結果を報告する。

2.試験方法

試験には各部位の目地漆喰試料を用いた。これらの試料は、古墳の解体にあたり、各石の移動日に、奈良文化財研究所の発掘班の手によって考古学的価値を持つ資料群の一部として収集され、奈良文化財研究所で保管されていたものである。整形して考古学的検証が行えるような比較的大きめの資料は一括保管されているが、解体にあたりばらばらになり床に落ちた後に収集された小塊（直径 5mm から 2cm くらいまで）は、通常の考古学的手法での検討対象からはずれており、分析試料としての利用が許可されている。これらの小塊は目地漆喰内部の資料が多く、外縁部のように黒色～褐色のものは少なく、全般的に白色に近い色味である。これらの試料を走査電子顕微鏡で観察したところ、結晶粒のそろった部分と再結晶が起こり大きな結晶がまざっている部分が混在し、場所によっては再結晶後の状況が目立つ目地もあった。

分析用に各目地から約 30mg の塊を 3～4 個ランダムに採取し、明らかに根や異物が混入している場合にはそれらを実体顕微鏡下で取り除き、乳鉢ですりつぶして良く混合し、各目地の粉末試料を作成した。以下の分析は試料点数も多く、(株)島津総合分析試験センターに委託した。

糖類および脂肪酸類 粉末試料を約 30mg 採取し、それに直接 BSTFA 誘導体化試薬とピリジンを加え 100℃、3 時間反応させて、糖類・脂肪酸分析用の試料とした。

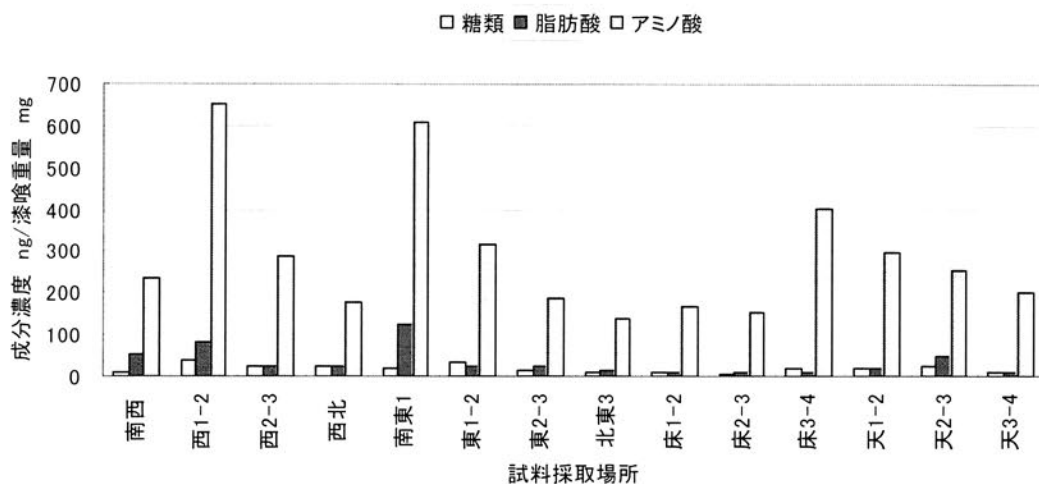
各試料に対してまず GC/MS を用いて糖類・脂肪酸類の定性分析をおこなった。次に、GC-FID を用いて定量を行った。各粉末試料からの試料作製を 3 回試行し、ピーク面積の平均値を得た。漆喰試料重量に対して得られた各成分重量の比（各成分重量 (ng) / 漆喰 (mg)）として定量結果をあらわした。

アミノ酸 目地漆喰粉末試料約 30mg に 6N HCl を加え、100℃ 22 時間の条件で加水分解し、N₂ パージで乾固後、移動相に溶かし測定した。分析試行回数は 2 である。

3. 結果

糖類、脂肪酸およびアミノ酸の濃度を、各壁・床について南から北の順に示す（図 1）。漆喰そのものもともと栄養物を含む材料であるが、その量は目地ごとに相違があり、またそ

の成分組成は目地ごとに異なった。



4. 考察

得られたデータを解釈するため、主成分分析、クラスター分析について実施した。糖、アミノ酸、脂肪酸は各総量が大きく異なり、生データをそのまま解析に用いると総量の多いアミノ酸の結果に解析結果が影響を受けるので、糖、アミノ酸、脂肪酸中の各化合物含量を比率にし、14カ所の目地に対して42ピーク成分のデータを解析対象のデータ群として整えた。

主成分分析は、データ群の共通性を見だし、共通成分を主軸とすることでデータを分類しやすくする手法である。製造したての目地漆喰の場合、古墳築造が最高水準の技能者たちによりなされたのであればその化学組成比は均一となり、データは目地漆喰を特徴づける化学組成の平均値あたりの箇所に集まると考えた。主成分負荷量からその主軸がどの成分の影響を受けて決定づけられているか、また主成分得点からは主軸上の座標値が得られ、各試料間の相違について検討できるようになる。クラスター分析は、近い距離にある（化学組成の似ている）データを組み合わせ、その相違について検証する方法である。結果は樹形図（デンドログラム）として得られ、どのサンプル間が化学組成から見て似ているか、についての情報が得られる。データ解析にはR言語を用いた。

主成分分析を行った結果、トレハロース含有量のほか、単糖類、C18=0やC16=0など飽和脂肪酸、C16=1、C18=1、C18=2などの不飽和脂肪酸の含有量の多少が、目地漆喰の標準的な化学組成とその他の組成を分ける主たる要因になることがわかった。クラスター分析の結果、目地漆喰はその採取部位ごとに大きく分けて二群に分かれ、南-西1間、南-東1間、西1-2間、天2-3間の目地漆喰中の有機物成分組成比は、その他の部位の平均組成に比べて異なる組成比となっていることが明らかとなった。

目地漆喰は墳丘土壌と石室内をつなぐさまざまな経路となっており、上記4カ所が異なる化学組成となっていることは、水の影響や微生物繁殖等の影響と結びつく情報を保持している可能性を示唆するものと考えられる。今後はカビの繁殖状況などと結果を比較し、微生物汚染の進行の方向やその原因についてより理解を深めることができるよう検討を続ける予定である。

＜謝辞＞ 試料の準備にあたり、奈良文化財研究所都城発掘調査部廣瀬 覚氏に分析の趣旨を十分にご理解いただき、適した試料を選別・提供いただきました。記して感謝いたします。目地漆喰試料の走査電子顕微鏡観察においては、(株)日立ハイテクノロジーズにご協力いただきました。試料準備に林美木子氏、試料撮影は吉田和成氏のご協力をいただきました。分析にあたっては、委託の他に(株)島津総合分析試験センターにクロスチェックとしてLC-MSデータの提供をいただき、データの解釈にご協力いただきました。また、データ解析にあたり、多変量解析についてご教示いただき、データの解釈についてご指導いただきました大学共同利用機関法人情報・システム研究機構統計数理研究所リスク解析戦略研究センター長椿広計教授に心より感謝いたします。

海洋出土鉄製遺物の腐食に及ぼす埋蔵環境の影響

Environmental Effects on Corrosion of Marine Iron Artifact

○柳田明進（京都大学大学院人間・環境学研究科），田村朋美，脇谷草一郎，高妻洋成（奈良文化財研究所）

○Akinobu Yanagida(Graduate School of Human and Environmental Studies ,kyoto University),
Tomomi Tamura,Soichiro Wakiya,Yohsei Kohzuma(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

鉄製遺物の中には出土後にも腐食するものがあり、このような遺物の安定化を図るために、一般に脱塩処理がおこなわれている。しかし、脱塩処理をおこなったにもかかわらず、さらに腐食が継続的に進行するものも存在している。このような鉄製遺物の安定化処理法の改善および開発は重要な課題といえることができよう。その基礎的な研究として、鉄製遺物の様々な腐食の態様について明らかにし、データを蓄積することが必要となる。

鉄の腐食は材料と環境の相互作用により生じる電気化学反応であり、鉄製遺物においても同様である。鉄製遺物を取り巻く環境は埋蔵時、発掘時および保管時において大きく異なる。埋蔵時の腐食では、塩化物イオンなどの腐食促進因子となるアニオンが遺物内部に取り込まれる。そのため、鉄製遺物の腐食と埋蔵環境の関連性を解明することは、鉄製遺物の安定性を検討するうえで重要となる。しかし、鉄製遺物の腐食に及ぼす埋蔵環境の影響に着目した研究は少なく、十分に解明されていない状況にある。

本研究では長崎県松浦市に位置する鷹島海底遺跡から出土した鉄製遺物を調査対象とするとともに、同遺跡をフィールドとし、埋蔵環境調査をおこなった。さらに、鉄製遺物の現状および遺跡の埋蔵環境の調査に基づき、種々の条件を設定した室内実験を実施することで、埋蔵環境の腐食への影響を分析した。

2. 調査および実験方法

2.1 鉄製遺物の現状調査

鷹島海底遺跡より出土した鉄製遺物 7 点についてその腐食の状況を調査した。まず、目視と実体顕微鏡により、遺物本体および付着物の色調と構造を観察した。続いて、X 線ラジオグラフィにより遺物内部の状態を観察した。遺物に形成された腐食生成物は蛍光 X 線分析法(XRF)および X 線回折分析法(XRD)により同定した。

2.2 埋蔵環境調査

埋蔵環境調査は、鷹島海底遺跡の位置する海域の水質および泥質を分析することによりおこなった。水質の調査として、水温、pH、溶存酸素、導電率、塩分、海水の密度および酸化還元電位の 7 項目を海水面から深度 1 m 間隔で測定した。底質の分析は、エグマンバージ採泥器を用いて採集した底泥について、船上にてただちに pH および酸化還元電位を測定した。また、底泥を実験室に輸送し、硫化物イオン濃度をメチレンブルー吸光度法により測定した。鷹島海底遺跡が位置する沿岸部では季節により海洋環境が変化する可能性が考えられたため、埋蔵環境調査は春期（4 月）、夏季（6 月）および秋季（9 月）の 3 回にわたっておこなった。

2.3 室内における腐食実験

鷹島海底遺跡から採取した海水と底泥を用い、実験室的に好氣的な環境に制御した実験系（実験系 1）、好氣的な環境に制御し移流を与えた系（実験系 2）、嫌氣的な環境に制御した系（実験系 3）および嫌氣的な環境に制御し移流を与えた系（実験系 4）の 4 種類の実験系を設定し、鉄の腐食実験をおこなった。腐食実験には、鍛接および鍛造した後、約 15×15×30 mm の直方体に整形した鋼鉄製試料を供した。これらの試料は、約 23 °C において、各実験系の底泥中に 3 か月間置いて腐食させた。試料に形成された物質を実体顕微鏡および走査電子顕微鏡により観察したのち、XRF、XRD および走査型電子顕微鏡に付帯したエネルギー分散型蛍光 X

線元素分析装置 (SEM-EDS) による化合物の同定をおこなった。また、試料の腐食度を算出し腐食速度を推定した。腐食度は腐食減量を単位時間および単位表面積当たりで表した値である。

3. 結果および考察

今回実験に供した鉄製遺物は、腐食の様相から 3 種類に分類される。タイプ 1 は遺物の表面から褐色層、白色層および黒色層が形成されており、遺物内部が低密度化し、腐食生成物としてオキシ水酸化鉄 (α -FeOOH および γ -FeOOH) および磁鉄鉱 (Fe_3O_4) が検出されたものである (図 1)。タイプ 2 は、タイプ 1 と同様に 3 層の構造が形成されており、遺物内部が低密度化しているが、腐食生成物としては黄鉄鉱 (FeS_2) が検出されたものである。タイプ 3 は遺物内部が低密度化しておらず、径 1 cm 程度の低密度部分が点在するものである (図 2)。

図 3 は鷹島海底遺跡における水温および pH の鉛直分布を示したものである。水質は夏季および秋季で上層の水温と下層のそれに差異があり、成層化していることが確認された。秋季では下層の溶存酸素および pH が低下していることから、下層で貧酸素化が生じ、嫌気的な環境に変動しているものと推察された。また、秋季に採泥した底質においても嫌気的な環境であることが確認され、鷹島海底遺跡の埋蔵環境は好気的な環境および嫌気的な環境の間を変動するものと考えられる。遺物の現状調査および埋蔵環境調査の結果、タイプ 1 で観察された腐食生成物のオキシ水酸化鉄および磁鉄鉱は好気的な環境において酸素が酸化剤となり、生じたものと考えられる。また、タイプ 2 では、黄鉄鉱が検出されたことから硫酸塩還元菌が腐食に関与した可能性が示された。

室内における腐食実験では、好気的な環境とした実験系において、表層からオキシ水酸化鉄および磁鉄鉱のいわゆる 2 層構造が形成されていることが明らかとなった。これはまず腐食の初期段階において、好気的な環境下で酸素を酸化剤としてオキシ水酸化鉄が形成され、その後、オキシ水酸化鉄層の厚みが増加するにつれ、金属側への酸素の供給が抑制されることで、磁鉄鉱が形成されたと考えられる。一方、嫌気的な環境とした実験系では、硫化鉄が生じていることが確認されたことから、硫酸塩還元菌が腐食に関与した可能性が示唆される。

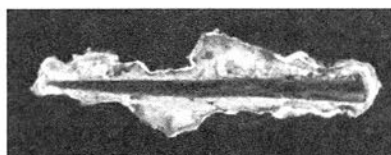


図 1 タイプ 1 の X 線 CT 像

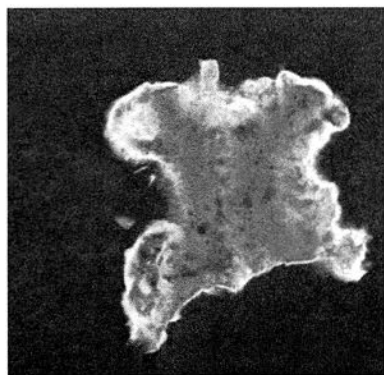


図 2 タイプ 3 の X 線 CT

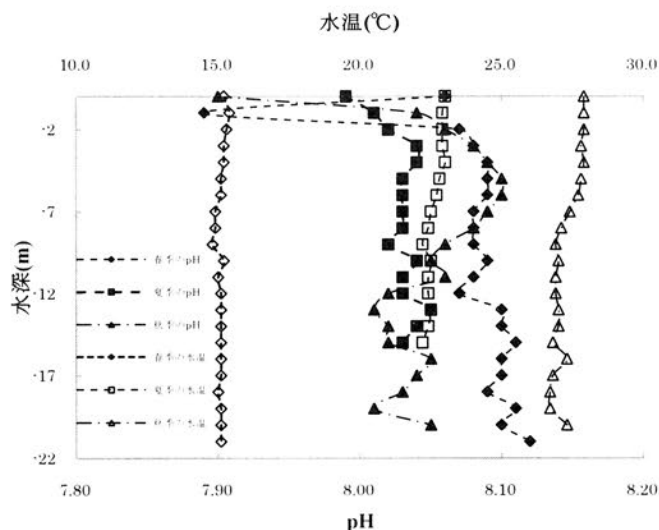


図 3 水温および pH の鉛直分布

ルーマニアにおける板絵の伝統的予防処理方法とその効果

The Effect of Traditional Preservative Interventions for Panel Painting in Romania

○ 林美木子(東京文化財研究所^{*1}), ニコラ マッキオーニ(IVALSA-CNR),
ピエロ ティアノ(ICVBC-CNR), 吉田 直人^{*1}, 佐野 千絵^{*1},
イオン サンヅ(“A.I.I.Cuza” 大学)

○ Mikiko HAYASHI(National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo^{*1}), Nicola
MACCHIONI(Trees and Timber Institute, Itay), Piero TIANO(Institute for the Conservation and
Promotion of Cultural Heritage, Italy), Naoto YOSHIDA^{*1}, Chie SANO^{*1} and
Ion SANDU(The Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania)

1. はじめに

ルーマニアでは伝統的に、また現在にいたるまで赤油 (Red Petroleum) とプロポリスが保存するための処理剤として広く使われている。しかし、これらの効果や板絵に対する影響に関しては、科学的な検討がほとんどされていない。本研究はこの事実をふまえ、モデル試料の防カビ・殺幼虫効果を評価することにより、処理剤としての効果を、また処理後の物理学的特性 (密度、収縮率、含水率) の変化を測定することにより、板絵に対する悪影響を評価し、処理剤としての有用性を科学的に検討したものである。

2. 材料と方法

2- 1. 処理剤

赤油は、ルーマニアのバカウ県の Câmpeni で採掘した芳香族基原油で、プロポリスもルーマニアで採取したものである。これらの 2 つの処理剤について、効果を比較する目的で、イタリアで文化財の防カビ処理剤としてよく知られているビオチン R (C.T.S.社) での処理も行った。

2- 2. 防カビ効果および物性変化の評価

実際の技法に沿ってテンペラ板絵の縮小版として自作した、ポプラ、ボダイジュ、オークの手板 (50×60×20mm) を用意し、顔料である赤土、黄土、白チタンを塗ったうえで、赤油、プロポリス (アルコール溶液 20%)、ビオチン R (ベンジン溶液 1.5%) のいずれかをブラッシングにより塗布した。

顔料は、X 線回折法 (XRD) によって、それぞれ主成分が、酸化鉄 (Ⅲ)、酸化水酸化鉄 (Ⅲ)、酸化チタンⅣ (ルチル型) であることを確認した。

ブラッシング処理後、温度 25°C で相対湿度 (RH) 100%→65% に変化させ、湿度の平衡状態で重量等を測定した。後に試料を絶乾状態にし、含水率・密度・収縮率を計算した。防カビ効果は欧州規格 (EN927-3,2003) により目視評価し、顔料層の色変化は色差計 (Minolta Chroma Meters CR-200) で測定した。

2- 3. 殺幼虫効果の評価

ブナ (50×25×15mm) に処理剤をブラッシングにより塗布し、小口面を蠟で閉じ、さらにガラスプレートで試料の1面を覆い固定した上で、孵化したばかりの木材を加害するカミキリムシ科の幼虫をひとつの試料に10匹ずつ試料とプレートガラスの間に配置した。処理剤を塗布しない試料を含め4種類をそれぞれ3個、計12個、用意した。これを温度22±2°C、RH70±5%の試験チャンバー内に約3ヶ月間置いた上で、幼虫の致死率と生存率を計算し、殺幼虫効果を評価した。この方法は欧州試験規格EN46-1 (木材防腐剤- カミキリムシの対する予防処理の決定Part 1殺幼虫効果) に準じたものである。

3. 結果と考察

3- 1. 目視によるカビ評価

カビの発生程度は、0- 7で評価をした。支持体だけの試料 (木片) ではすべての樹種において低いカビの発育程度を示した。RH100%の後、ビオチン R で処理をした試料では0であった一方、赤油では2.3- 6.7、プロポリスでは1.7- 5.7であった。ポプラでは4.5- 5.5、ボダイジュでは2.0- 3.7、オークでは3.2- 5.0であった。顔料層の有無 (無<有) や処理剤 (ビオチン R<プロポリス<赤油) や樹種 (ボダイジュ<オーク<ポプラ) による違いが顕著にみられた。ポ

ダイジュでカビの発育が少ないのは樹種独特の微量成分による抑制効果の可能性がある。また、RH100%後、顔料によるカビ発生にも差がみられ、黄色と白色にはカビが発育し、一方、赤色の部分では、ほぼカビの発育がみられなかった(図1)。

3-2. 殺幼虫評価

表1に試験結果を示す。ビオチン R で処理した試料では生きていた幼虫はおらず、生存率は 0%であった、赤油では 13%、プロポリスでは 43%、処理をしていないもので 73%であった。一方、致死率はビオチン R で 90%、赤油で 40%、処理していない試料で 10%であった。「生存率」と「致死率」の不整合の原因は、行方不明の幼虫や共食いをしてしまった幼虫がいる可能性が考えられる。

3-3. 溶液処理による色変化

プロポリス溶剤での処理をすると、色空間の中で黄青間の位置を表す b^* の値が増え、処理後明らかに黄色味が強くなった。特に白色の絵画層で顕著であった。全ての処理の後に明るさ L^* は減った。赤油やビオチン R では色変化は顕著ではなかった(図2)。

3-4. カビによる色変化と絵画層の剥離

RH100%の後、カビの発育がなかったビオチン R を塗布した試料以外は明らかにカビによる絵画層の変色がみられた。その変色はカビの発育程度に依存した。RH65%ではカビの発育もなく、色変化もなかった。

絶乾後に、いくつかの試料においては絵画層が粉々になり、剥離した試料があった。ダメージのおきた試料はカビが大量に発育していたものであった。これはカビの菌糸が表面的ではなく、急に乾燥状態(絶乾状態)になったためだと考えられるが、理由は明らかではない。

3-5. 物性値

含水率、密度、収縮率は、処理溶剤による差はみられなかった。ブラッシングによる処理は表面のみ行っており、溶剤の量は微量であるために、木材の物性値はほとんど影響しないと考えられる。

4. まとめ

赤油とプロポリスは、ビオチン R に比べると防カビ効果はほとんどみられなかった。殺幼虫効果については、ビオチン R、赤油、プロポリスの順に効果がみられた。カビについては絵画層に主に発育したので、テンペラの絵画層に含まれている糊や卵などが栄養分となっていると考えられる。また、カビの発育は顔料や樹種による差があった。樹種による差は、防カビ効果があると思われる微量成分が関与していると考えられるが、この原因は今後化学的な側面からも明らかにしたい。本研究を通じ、伝統的な予防的処理方法の効果について科学的なデータを示すことができた。

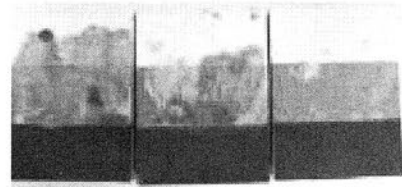


図1 RH100%後の試料(顔料による差)

表1 EN46-1の試験結果

テスト期間	試料番号	溶剤の残留量(Fat. m%)	幼虫数	見つかった幼虫数			見つかった幼虫数	虫卵の数	X線撮影で見つかった幼虫数
				死んだ幼虫		生きている			
				虫死している	虫死する				
赤油									
15 weeks	R1	57.9	10	9	0	0	1	0	-
	R2	50.6	10	4	2	1	3	4	3
	R5	51.6	10	3	1	3	3	6	0
プロポリス									
16 weeks	P1	95.5	10	2	2	5	1	8	4
	P4	96.2	10	3	0	4	3	6	2
	P5	96.9	10	2	3	4	1	7	4
ビオチン R									
15 weeks	B3	67	10	4	4	0	2	6	3
	B4	64.1	10	9	0	0	1	0	-
	B5	63.7	10	10	0	0	0	0	-
参照試料									
14 weeks	C1	-	10	0	0	8	2	9	8
	C2	-	10	1	0	6	3	9	7
	C3	-	10	0	2	8	0	10	6

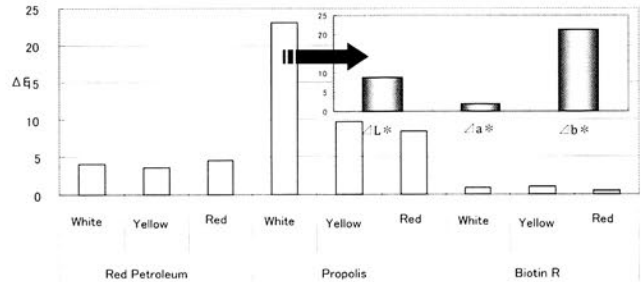


図2 溶剤処理による色変化

謝辞 本稿は欧州連合科学技術フェローシッププログラム EPISCON(MEST-CT-2005-020559 - European PhD in Science for Conservation)での成果が含まれ、コーディネーターであるボローニャ大学 Rocco Mazzeo 教授に深く感謝いたします。

ハギヤソフィア大聖堂の環境計測システムと パノラマビュー撮影について

Environmental monitoring and panoramic photography in Hagia Sophia

○小泉圭吾（大阪大学大学院 工学研究科），石崎武志（東京文化財研究所），
小椋大輔（京都大学大学院 工学研究科），佐々木淑美（筑波大学大学院 人間総合科学研究科），
日高健一郎（筑波大学大学院 人間総合科学研究科）

○Keigo Koizumi (Graduate School of Eng, Osaka University), Takeshi Ishizaki(National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Daisuke Ogura(Graduate School of Engineering, Kyoto University), Juni Sasaki(Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba), Kenichiro Hidaka(Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba)

1. はじめに

2010年9月にトルコのハギヤソフィア大聖堂において、環境モニタリング装置の設置および内部空間の様子が見えるパノラマ写真の撮影を行った。ハギヤソフィア大聖堂のレンガ造壁体および壁面の劣化には、壁面の結露や壁体内の水分量の変化などが影響していると考えられている。そこで、これらの劣化原因を明らかにするために、建物内外に、小型温湿度センサを36台、気象観測装置を1台設置した。この小型温湿度センサのうち21台は、空間全体の環境を把握する目的で、常時モニタリングが可能となるようシステムを構築した。このシステムの特長は、無線式で電池駆動であること、インターネットが接続できる環境下であれば、遠隔地からデータの閲覧、ダウンロードが可能である点が挙げられる。目的は、現況をリアルタイムに確認できることに加え、関係者間で情報を共有できる点にある。また、今回撮影したパノラマ写真についても同様の目的があることから、本稿ではこれらを合わせて報告する。

2. システム開発

ハギヤソフィア大聖堂内の空間的な温湿度環境をリアルタイムに把握するには、データロガー方式とは異なり、全ての計測データを一箇所で常時閲覧できるシステムが必要となる。聖堂内で各センサノードに対し、AC電源など常時電源を確保することは設置の手間やコストからみて好ましくない。そこで、電流消費量が少なく、小型バッテリーで長期運用が可能な無線式計測システムの導入を検討した。一般に、無線通信距離と電流消費量には相関性があることが知られている。

小型電池で長期運用するためには、電流消費量を低く抑え、かつ必要な通信距離を確保する必要がある。この要求を実現するために、2.4GHz帯のメッシュ型ネットワークを採用した。このネットワークの特長は、各センサノードが互いに通信し合うことで、データを基地局に送信することができる。つまり、センサノードは中継器の役割も果たすため、ノード間の通信距離が制限距離を超えなければ、どのような配置を行ってもデータはセンサノードを介して基地局へ送信される。本システムは電池の消耗を極力抑えるために、スリープ機能を持った間欠駆動型のシステムとした。

開発したセンサノードは、無線通信機、温度・湿度センサおよび単一型リチウム電池で構成されており、外形は80×120×40mm（図1）。ケースには通気性を良くするためにスリットを設けた。基地局は受信機と小型PCで構成されており、こちらはAC電源が必要となる。使用する電池は計測間隔を10分間にした場合、理論上約24カ月間稼働する計算になることから、実運用においても計測間隔が30分であれば、約2年以上の運用が可能になると見込んでいる。なお、バッテリーの電圧変化は基地局のPCで常時確認することができる。本システムで使用した温湿度センサ（Sensirion社製、SHT15）の精度は湿度センサが±2%、温度センサが±0.3℃である。

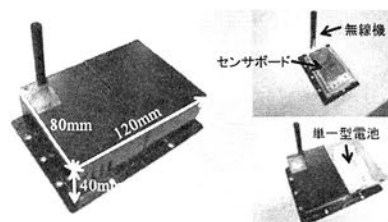


図1 センサノード

3. 大聖堂内環境観測

3.1 設置位置

ハギヤソフィア大聖堂は4階（地上階、ギャラリー階、第2コーニス、ドームコーニス）で構成されている。聖堂内の空間全体（鉛直および水平方向）の温湿度環境を把握するために、北西、北東、南西、南東ピアに沿って縦方向に各階4箇所に計16台設置した。加えて、東西方向の温湿度環境を把握するために、ギャラリー階のバルコニーに東西各1箇所、および第2コーニスの東西各1箇所にそれぞれ設置した。これら20箇所についてはそれぞれが建築構造の対象軸線上に位置し、また鉛直方向に位置が重なるよう配置した。以上、地上階の外気近くの環境を計測するための1箇所と合わせて合計21箇所で観測を行うこととした。基地局は地上階の北西ピア付近に設置した。

3.2 観測手法

計測は2010年9月27日午後から開始した。計測間隔は30分とし、データは数値、時系列グラフおよび温度、湿度マップとして、基地局のPC画面上で確認することができる。また、基地局PCは聖堂内のLAN回線に接続されており、関係者はインターネットを介して、国内外からアクセスすることが可能である。ただし、セキュリティを確保するために、ID、パスワード、アクセスコードによる制限を設けた。

3.3 観測状況

図2に観測開始日の9月27日から1カ月間の各センサノードの通信状況を示す。図中の黒点は無線によりデータが基地局へ送られたことを示している。各センサノードで通信開始時刻が異なるのは、No.1から順に設置し、No.21の設置完了日が9月29日16時であったためである。10月3日から4日にかけて全てのセンサノードでデータの欠落がみられた。これは、電源の一時的な不具合によりシステムが中断していることを表している。No.20のデータ欠損については、10月9日の降雨の際に聖堂内に浸入した雨滴によりセンサボードがショートしたことが原因である。このような不具合は基地局PCにて常時確認できるため、定期点検を行うことで、トラブルを最小限に食い止めることが可能である。また、No.20以外のセンサノードについてはいずれも安定した通信環境を堅持していることが確認できる。

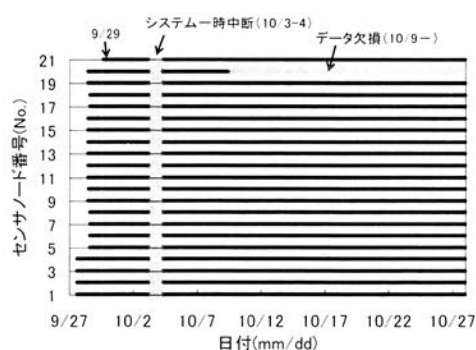


図2 無線の通信状況 (9/27-10/27)



図3 パノラマ写真

4. パノラマビュー撮影

アヤソフィア大聖堂の現況を視覚的に確認することを目的に、また関係者間で情報交換を行う際の画像資料として、パノラマビュー撮影を行った。これは一般のカメラによる写真画像とは異なり、水平方向360度に対し連続写真を撮影し、それらを合成することにより、PC画面上で聖堂内の状況を空間的に見せることができるツールである。具体的には、三脚に魚眼レンズを搭載した一眼レフ型のデジタルカメラを設置し、水平方向に60度ずつ角度を変えて撮影した画像を合成することで、図3に示すような画像を作成する。専用ソフト (Panoweaver6.00) を用いることで聖堂内の状況を空間的に確認することができる。今回は聖堂内の地上階で6点、ギャラリー階で7点、屋外で1点撮影を行った。

5. 結言

関係者間でのデータ共有というキーワードを基に、リアルタイム環境モニタリングシステムとパノラマ写真撮影に関する報告を纏めた。環境モニタリングシステムについては、ログタイプと異なり、聖堂内の環境を常時確認できる点が特長として挙げられる。一方、この環境を堅持するためには、基地局への安定した電源供給およびLAN回線の確保が必須であることから、トラブルが生じた場合の現地の関係者との協力体制を構築しておく必要がある。パノラマ写真を用いることで聖堂内の空間的な広がり確認できることから、関係者間で情報をやりとりする際には有用なツールになるものと思われる。

謝辞

本研究は科研費基盤(S) (21226014) の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表する。

福島県・久保磨崖仏における特殊な保存環境について

Special Conditions on the Preservation of Kubo Rock-cliff Buddha in Fukushima Prefecture

西浦 忠輝 (国士舘大学)
Tadateru NISHIURA (Kokushikan University)

1. はじめに

福島県「久保磨崖仏」は鹿島街道に面した凝灰岩質砂岩からなる岩崖に彫られた磨崖石仏で、鎌倉時代まで遡るといわれている。その残存状態は決して良いとはいえないが、造作年代、岩質、周辺環境等から考えると、現在はそれほど悪い状況にないと観察され、その理由は石材採掘のために掘られた空洞の存在にあると考察される。特殊な（特長的な）保存環境にある磨崖仏の実例をここに紹介し、磨崖仏保存研究のための一助としたい。



福島県いわき市・久保磨崖仏

2. 久保磨崖仏

久保磨崖仏は福島県いわき市鹿島町にある市指定文化財である。鹿島街道に面した岩崖を龕形に彫りくぼめた中に、如来形坐像が半肉彫に彫り出されている。如来形坐像は4体確認できるが、うち2体は岩壁より削り取られ、別の場所に移されている。摩耗、崩落が激しく、首から胸部にかけては造立当初の痕跡が見られるが、顔貌表現などそれ以外の箇所については造形を把握することができない。しかし、像高、肩張りは十分にあり、堂々とした体躯が伺える。現状では半肉彫に見えるが、当初はより厚肉に彫り出されていたものと思われる。同地域にある遍照院の住吉磨崖仏と大きさがほぼ等しく、技法、堂々とした体躯なども共通するところが多いことから、像立年代も住吉磨崖仏と同様、鎌倉時代まで遡ると考えられている。

3. 保存状態と保存環境

3.1 材質

材質は凝灰質砂岩であり、堆積層による岩目がある。岩質的には軟質で耐久性も低い。当地の標準的な地質である。

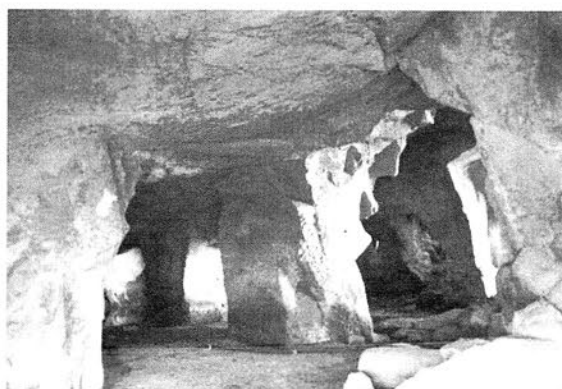
3.2 状態と環境

表面の崩落、摩耗が顕著で、当初面は僅かしか残っていないものの、全体の形は保たれている。当初面と思われる部分には赤色の彩色があるが、これが当初のものか、後世のものかは不明である。

劣化の主要原因としては、自然風化の他に草木の繁茂、凍結劣化、塩類風化が考えられる。草木の繁茂については、現状も危険な状態にあり、かなりの影響があったと思われる。凍結劣化については、現在はそれほど厳しい状況にはないと判断される。厳しい状況であればもっと大きく劣化してしまっていると考えられるからである。塩類風化については、塩類の結晶の析出や皮殻の形成が見られないことから、それほど厳しい状況にはないと考えられる。

凍結劣化と塩類風化の影響がそれほど大きくないと見る理由は、岩がそれほど湿っていないことである。崖（山肌）の状況からは、山から水が浸み出してかなり湿潤な状態にあるはずであるが、実際にはそれほど濡れていない。この原因は、山肌に掘られた空洞（採石跡）にあると考えられる。この空洞の存在が、浸透した雨水が地中水となって山肌に移動し、蒸発するというプロセスを遮断していると考えられる。すなわち、地中水は空洞の部分に集まりそこに浸み出して、水たまりを形成する形となっているので、山肌まで移動する水量は大幅に少なくなっていると判断されるのである。

実際、いくつかの重要な磨崖仏の保存対策として、溝を掘って水位を下げたり、貯水溝を造ってそこに地中水を集める方法が採られている^{註1}。久保磨崖仏の場合には、意図せず、結果的にきわめて有効な保存対策が行われていたことになる。しかし、当然のことながらある程度の水は山肌に提供されるので、木や草が繁殖し、その根が劣化を促進している状況にある。また、自然風化による彫刻面の脆弱化や剥落がある。



採石によりできた空洞（下部に大量の水）

4. 保存修復計画

4.1 木の伐採、除草

現在も持続的な劣化の原因となっている木、草については、基本的に除去することが必要である。草については刈るのではなく根から除去し、さらに、堆積し詰まっている土も除去する。木については、幼木であれば根ごと除去できるが、ある程度成長し岩の隙間に根が入り込んでいる場合には、根を除去することによって岩体（彫刻）が構造的に破壊される恐れがあるので、幹の底部で切断して上部を除去し、残った切り株と根は薬剤により人工的に枯らす（立ち枯らし）。立ち枯らしの方法はいくつかあるが、切り株にドリルで孔をあけ、そこから除草剤を浸透させる方法が適当であろう^{註2}。立ち枯れした場合、根は徐々に死滅し土壌化して空隙内に留まるので、数年はそのままでよいが、その後の状況次第では、空隙部の充填や固定処置が必要とされることも想定されるので、定期的な観察が重要である。

4.2 堆積土の除去

山肌の窪みに堆積している土等は可能な限り除去し、露わとなった空隙部の充填、強化処置を行う。この場合の充填材料、強化材料は、状況によって使い分けることになるが、除去後の状態観察によって決定する。

4.3 岩体全体の構造的強化、彫刻面のクリーニング、剥落止め、凝集力強化

岩体全体の構造的強化、彫刻面のクリーニング、剥落止め、凝集力強化については、上記の処置が終了後あらためて詳細な調査を行い、その具体的な材料、技法、手順を決定する。

4.4 材質調査、美術史的調査

彫刻面に残されている顔料の分析調査、制作年代をより正確に知るための美術史的調査を関係研究機関や研究者の協力を得て、可能な限り行う。

5. おわりに

本調査を行うにあたり、所有者である金光寺の箱崎亮弘住職、いわき市教育委員会の井坂泰一、宇佐美千恵の各氏に全面的なご協力をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

当地は東日本大震災および福島原発事故により混乱状態にある。4月11日現在、いわき市役所からの情報によれば、この地域へは津波の被害は及ばず、地震による仏像部分の損傷も外見からは確認されないが、採石による空洞部分の天井部がかなり崩落したとのことである。あらためて現地調査を行いたいと考えているが、他に緊急の修理を必要とする物件が多いであろうことから、残念ながら、本磨崖仏の保存修復への道のりはかなり遠いと考えざるを得ない。

また、筆者は原発事故の中心地である福島県双葉町にある国指定史跡・清戸迫横穴の保存修復事業に関わっている。大災害からの一日も早い復旧をひたすら願いつつ、筆者のできることをすれば、全力を尽くしたいと考えている。

【註1】 大分県の臼杵磨崖仏や元町石仏の例がよく知られている。文献としては、例えば【西浦忠輝：国宝臼杵石仏の保存修復、「文化財の保存と修復—何をどう残すのか？」、文化財保存修復学会編、クバプロ、PP.65-72(1999)】、【沢田正昭：第6章石造文化財の保存修復／保存工法、「文化財保存科学ノート」、近未来社、PP189-191(1997)】などがある。

【註2】 除草剤を用いる方法の他に、根に近い部分にガソリンを振りかける方法がある。また、幹の下部の皮を1回りロール状に剥ぎ取るだけという簡便な方法もある。前の2つの方法では枯れるまで数か月、後の方法では数年かかる。

振動解析による石造遺跡の予防診断法の開発 I

— 圧縮荷重による破壊分析 —

Development of technical measures for the preventive diagnosis of stone-built heritage sites I
 – A destructive analysis by the compressive load test –

○跡見洋祐 (筑波大学), 松井敏也 (筑波大学), 沢田正昭 (国士舘大学), 川村洋平 (筑波大学), 高松誠 ((株) 鴻池組)

○Yosuke Atomi (University of Tsukuba), Toshiya Matsui (University of Tsukuba), Masaaki Sawada (Kokushikan University), Youhei Kawamura (University of Tsukuba), Makoto Takamatsu (Konoike construction Co., Ltd.)

【はじめに】

遺跡はその立地から様々な影響を受けていて、この影響の一部が遺跡の劣化へとつながっている。劣化現象には様々なものが存在し、各劣化現象に応じて調査が行われているが、これらの調査は劣化が生じたものを評価するものが多く、遺跡の劣化を未然に予想できるものは少ない。そこで本研究では、遺跡構成材料の潜在的な劣化ポテンシャルを把握し、劣化進行スピードを診断する調査方法を確立することを研究目的とする。

物質にはそれぞれ固有振動数が存在し、物質独自の振動特性をもっている。しかし、振動特性は物質内部の亀裂の発生や経年変化など各劣化現象に伴い振動特性も変化する。この性質を利用し、新しい材料の振動特性と各劣化現象に伴う材料の振動特性の変化を明らかにすることによって遺跡構成材料に生じている劣化現象の把握とその劣化度の評価を行う。この予防診断法は非破壊で行うことができ、今後新たな非破壊調査法として期待される。

【振動解析による診断法】

この劣化診断は外部から衝撃を与え振動を発生させ振動入力波形(input)に対して、振動伝播波形(output)ではどのように振動が変化しているのかを捉え測定対象の内部の情報を得る。新しい材料と劣化した材料で同様な測定を行い比較することにより材料の評価を行う (図 1)。

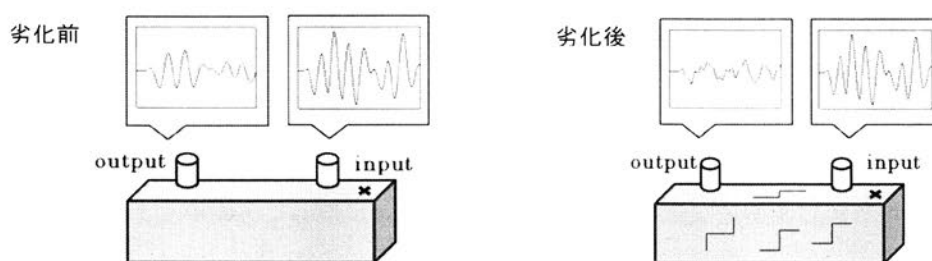


図 1 劣化現象に伴う振動特性の変化

使用した測定装置はデータロガーにマルチ入力データ収集システムの KEYENCE 社製 NR-600 を使い、計測ユニットとして加速度計測ユニット NR-CA04 を用いた。この装置の特徴として計測ユニットを連結することによって多チャンネル入力を行うことができ、収集したいデータに応じた最適な計測システムを構築できる。またバッテリー駆動なので屋外でも測定を行うことができる。センサには TEAC 社製の圧電型加速度トランスデューサー 708LF を使用し、TEAC 社製の圧電型トランスデューサー用アンプ SA-611 を用いて信号を増幅している。このセンサでは 0.3Hz~10000Hz の周波数の振動の測定を行うことができる。

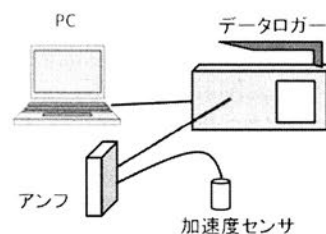


図 2 測定装置概略

【実験内容】

圧縮荷重による材料の破壊のように物理的劣化ではごく初期段階に肉眼で見えない微細な亀裂が発生する 경우가多く、この微細な亀裂が進行して目に見える破損となる。圧縮荷重による破壊は微細な亀裂を早期発見することにより目に見える破損を未然に防ぐことができる。そこで本実験では実験サンプルに直径 5cm、高さ 10cm の円柱状に成形した砂岩を用いて、一軸圧縮試験機によって圧縮荷重を加え、圧縮破壊前と圧縮破壊後の振動特性の変化を捉えることを目的とした。本実験では加速度センサ以外に歪みセンサ、AE センサを設置し測定を行った。

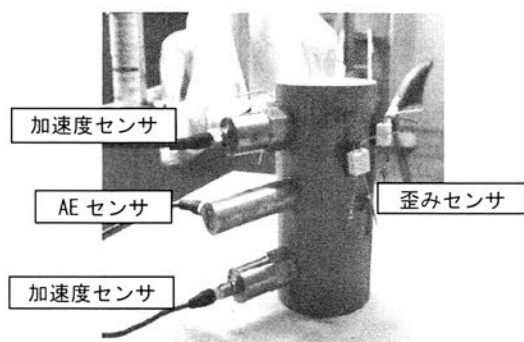


図 3 実験サンプルとセンサ設置箇所

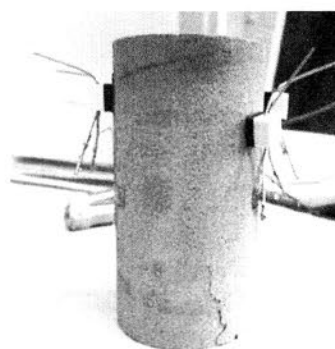


図 4 圧縮破壊後の実験サンプル

図 4 より圧縮破壊後には実験サンプルの下部に亀裂が生じている。これより実験サンプル内部には微細な亀裂が多数生じていると考えられる。図 5,6 に圧縮破壊前と破壊後の振動伝播波形をフーリエ変換し、周波数分析したものを示す。

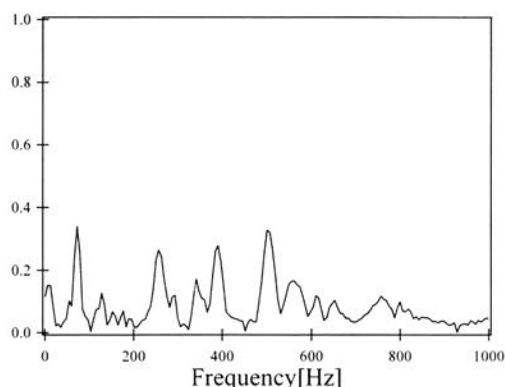


図 5 圧縮破壊前の伝播した振動の周波数成分

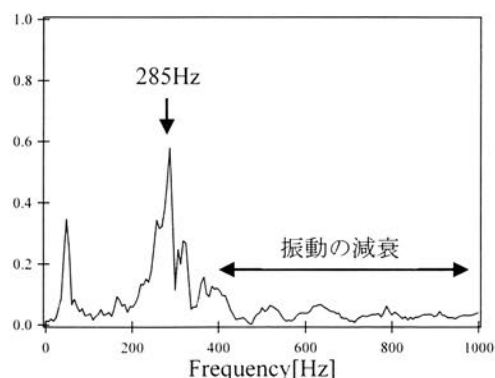


図 6 圧縮破壊後の伝播した振動の周波数成分

周波数成分を比較すると、亀裂が生じることによって 285Hz で共振現象により振動の増幅が見られる。また、400Hz 以上では振動の減衰が生じている。これは亀裂が生じた個所を振動が伝播する際に振動が細分化され、この際に 400Hz 以上の振動が減衰し、また振動が再び重なり合う時に 285Hz で共振していると考えられる。これより、この実験サンプルにおいては、285Hz の振動の増幅率、もしくは 250～500Hz の減少量により内部亀裂の評価を行うことができる。

【今後の課題】

今回の試験では圧縮による破壊を想定した実験を行った。しかし、現地保存されている遺跡は複数の劣化要因に曝されており、様々な劣化現象が同時に進行している。今後は凍結融解や熱による膨張収縮など様々な劣化現象を想定した実験を行い、各劣化現象に伴う振動特性の変化を明らかにし、複合した劣化現象に対する予防診断法を構築する。

本研究の一部は日本学術振興会科学研究補助金 [課題番号 19251001] により行われた。

石室壁面モデルにおける微生物の挙動 —史跡高井田横穴より分離されたカビおよび凝灰岩を用いた生育試験—

Behavior of Microorganisms in the Stone Wall Model of the Burial Chamber - Cultivation of Fungus Isolated from Takaida Caves Historic Site and Tuff -

○須山貴史(奈良大学大学院), 西山要一(奈良大学), 鈴木孝仁(奈良女子大学)

○Takafumi Suyama (Graduated School, Nara University),
Yoichi Nishiyama (Nara University), Takahito Suzuki (Nara Women's University)

1. はじめに

文化財保存において、カビによる生物劣化は解決困難な問題である。とくに古墳や横穴墓、地下墓などの石室内部では高湿度なためカビの繁殖や汚染が顕著となりやすい。本研究では高湿度下における石室壁面の状態を凝灰岩試料を用いてモデル化し、史跡高井田横穴から採取されたカビ分離株を培養し、その生育挙動を把握するための実験を行った。

2. 高井田横穴の保存環境

高井田横穴(大阪府柏原市、国指定史跡)は古墳時代に造営され、総数160基以上にのぼる横穴墓群である。二上層群玉手山凝灰岩からなる山腹を掘り込み造られており、岩層の材質は非常に柔らかく、露頭では剥落や崩壊が著しい。うち27基には石室壁面に線刻壁画が描かれているが、石室内部では多くの亀裂から樹木の根がまわり、地下水の浸出もみられる。これらは横穴墓の劣化要因として強く懸念されているが、いっぽうでカビの繁殖も顕著である。カビは劣化の主因とはされていないが、黒色・濃緑色を呈するものは線刻壁画を汚損し、また人体の健康への悪影響も考えられる。

第3支群5号横穴(以下3-5横穴と記す)は線刻壁画「船に乗る人物像」が描かれ、もっとも有名な横穴である。石室内の相対湿度は夏期にはほぼRH100%の飽和状態を維持し、冬期はおおむね80%台から100%の日変動がみられる。壁面は地下水の影響で湿潤な部分、乾燥した部分がみられる。

3. 試料と実験方法

3-5横穴では2009年に奈良女子大学が微生物採取を行い、38分離体14属のカビを同定している。今回は線刻壁画を中心に広範囲で検出された *Penicillium* 属2種(*P.citreonigrum*, *P.micynskii*)と *Trichoderma* 属2種(*Trichoderma atroviride*, *Trichoderma virens*)を用いて実験を行った。植菌は滅菌蒸留水に孢子を懸濁しておこなった。基材として、高井田横穴の近郊から採取した玉手山凝灰岩と、堅牢で古墳石室や石棺、建築材に多用される大谷石(緑色凝灰岩)の2種類を用いた。使用した培地は Czapek-Dox グルコース1%液体培地および滅菌蒸留水である。



Fig.1 3-5横穴の線刻壁画
(提供: 柏原市教育委員会)

まず2種類の凝灰岩を小片に加工し、相対湿度を維持するため少量の滅菌蒸留水とともにシャーレに置いた。そこにカビの孢子懸濁液200 μ l および3倍濃縮 Czapek-Dox 液体培地100 μ l を滴下し、合計300 μ l に調整した。これを7日間、28 $^{\circ}$ Cで培養した。また貧栄養状態での挙動を調べるため、孢子懸濁液と滅菌蒸留水のみを凝灰岩片に滴下し、同条件で培養した。

石室内は相対湿度の変動があるため、耐乾性についても試験を行った。任意の相対湿度を得るために滅菌蒸留水(RH100%)、グリセリン34%溶液(RH90%相当)、同44%溶液(RH85%相当)、同54%溶液(RH80%相当)をそれぞれ凝灰岩片に滴下し、そこに孢子懸濁液100 μ l を滴下し、培養した。

4. 結果

結果を Table.1に示す。Czapek-Dox グルコース1%液体培地ではいずれのカビも生育したが、*P.micynskii* は玉手山凝灰岩では孢子形成が確認できなかった。また滅菌蒸留水を用いた培養では栄養分を添加していないがすべてのカビが生育し、孢子形成が確認できた。

相対湿度をコントロールした試料では、*P.citreonigrum* は RH80%でも菌糸成長までが認められ、*P.micynskii* においては大谷石の RH80%下で孢子形成が確認できた。湿性カビとされる *Trichoderma* 属では *Trichoderma atroviride* が大谷石の RH90%下でわずかに生育が認められたが、他の条件下では生育はなく、2属間の耐乾性には大きな差がみられた。

5. まとめ

試料として用いた2種の凝灰岩は材質が大きくことなるが、4種のカビはすべて滅菌蒸留水のみでの生育が可能であった。岩石表面や懸濁液中にはわずかに栄養分が含まれているが、きわめて栄養要求が低いという特徴が見いだせる。また *Penicillium* 属は耐乾性が比較的高いことが知られているが、*P.micynskii* はとくに顕著であった。石室壁面は部位により乾燥・湿潤の変化に富むが、*P.micynskii* は広範囲から検出されるため、耐乾性の影響が推測される。また濃緑色を呈し汚染の主因となりうる *Trichoderma* 属については、相対湿度を90%以下に保つことで生育を抑制できると考えられる。こうした生育特性をもとに、今後は効果的な防除・抑制手法について検討してゆきたい。

謝辞: 本研究を行うにあたり、現地での調査にご協力をいただきました柏原市教育委員会 北野重氏、カビ分離株を提供していただきました奈良女子大学大学院生(当時) 飛弾光氏、奈良女子大学 岩口伸一氏に心より感謝いたします。

Table.1 高井田横穴より分離されたカビの各条件下における培養結果

属名	Czapek-Dox	滅菌蒸留水	RH90%	RH85%	RH80%
<i>Penicillium citreonigrum</i> (生菌数: 3.2×10^6 個/ml)	++	++	++	++	+
<i>Penicillium micynskii</i> (生菌数: 2.0×10^5 個/ml)	++	++	++	++	++
<i>Trichoderma atroviride</i> (生菌数: 4.2×10^6 個/ml)	++	++	+	-	-
<i>Trichoderma virens</i> (生菌数: 9.0×10^5 個/ml)	++	++	-	-	-

白抜きは大谷石、背景灰色は玉手山凝灰岩の結果を示す。
++ … 生育可能かつ孢子を形成 + … わずかに生育 - … 生育不可能

出土木材保存のためのトレハロース含浸法の開発 —ラクチトールからトレハロースへ、糖類含浸法の新展開—

The trehalose method for the conservation of archaeological waterlogged wood

○今津節生 (九州国立博物館)・伊藤幸司 (大阪文化財研究所)・アンドラス モルゴス (東京芸術大学)
○Setuo Imazu (Kyushu National Museum), Koji Itoh (Osaka City Cultural Properties Association),
Andras Morgos (Tokyo National University of Fine Arts and Music)

1 はじめに

世界的に見て出土木材の保存方法は水系の PEG あるいは糖類を含浸して劣化した木材細胞を強化する方法が主流である。私達は、1994年から糖アルコール（人工的に生産された糖類）の一種であるラクチトールを主剤とした保存方法を開発して実用化を進めてきた。しかし、近年のラクチトールの価格高騰や地球温暖化防止に向けた省エネルギー政策の強化をきっかけに、エネルギーを使わない安全で安価な保存方法の必要性を痛感するに至った。

そこで、ラクチトールの混合剤として実績のあったトレハロースを単独で使用する実験を行った結果、従来よりも安価で安全に短時間で保存処理を行える可能性を見いだすことができた。本発表では、従来のラクチトールとトレハロースの性能（寸法安定性、環境安定性、作業性、価格、真空凍結乾燥への適用など）を比較しながら糖類含浸法の新展開を目指したい。

2 含浸強化剤としてのトレハロース

トレハロースは植物界に広範囲にわたって存在する自然の糖類である。二糖類に属し（分子量：342）、常温で水分保持力の強い安定した二水和物の結晶をつくる。熱に対する安定性に優れており分解しない。また、トレハロースの二水和物は高湿度環境（RH95%以下）でも吸湿しない特徴がある。かつては稀少糖の一種として高価な糖類であったが、現在では大量生産の技術が確立して蔗糖の代替品として広く活用されている。価格も蔗糖に次ぐ安さで安定供給されている（500 円/kg、5.5 US\$/kg）。

このように、トレハロースは作業環境や保管環境の安定性や低価格など、水浸出土木材の含浸強化材料として理想的な特徴を備えている。しかし、これまで主剤として用いなかったのは、溶解度の低さにあった。日本出土の劣化した広葉樹を安定的に保存処理するためには、糖アルコール含浸法で 80%を超える高濃度溶液に含浸する必要がある。しかし、トレハロースの溶解度は低温で低く（20℃で 41%）、高温でもラクチトールに及ばない（80℃で 78.5%）。高濃度含浸には限界があるので劣化した木材の保存処理には適用できないと考えていた。

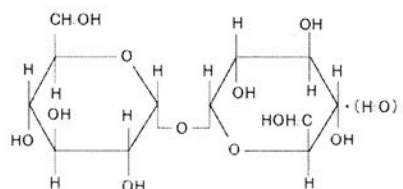


Figure 1. The molecular structure of the trehalose dihydrate

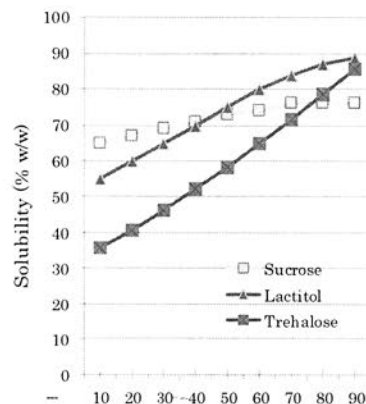


Figure 2. Solubility with rising temperature of the sucrose, lactitol and trehalose

3 トレハロース含浸法の可能性

上記の予想に反して、低温で低く高温で高い溶解度曲線の傾きがトレハロースに新しい可能性をもたらした。トレハロースは温度の低下によって結晶しやすく、しかも結晶水として分子量の約10%の水を取り込んで固形化する性質がある。この性質を利用して含浸直後に木材細胞内で効率的に結晶化することができれば、乾燥に伴う木材の収縮を最小限に止めることができる。このようにトレハロース含浸法の基本は含浸・結晶・乾燥の各段階の効果を認識して作業工程を段階的に進めることにある。

3-1 含浸・結晶・乾燥の基本工程

基本工程は①低濃度から高濃度へ段階的に含浸濃度を上昇する。②含浸直後に冷却することで内部から結晶化を促進する。③冷風などにあてて均一に乾燥する。含浸工程は基本的に糖アルコール含浸法と同様に進める。40%までは常温含浸（isothiazolone系防腐剤を用いる）できるので、大幅に電力や設備を軽減することができる。結晶工程は自然冷却によって短時間に進行する。しかも、トレハロースは常温で二水和物のみを生成するのでラクチトールのように水和物の生成を制御する必要がない。また、乾燥は試料全体を均一に風に当てながら乾燥するのが効果的である。

劣化した広葉樹のケヤキ（含水率600%前後）の寸法安定性実験では、従来のラクチトール含浸法で2%前後の木口面収縮率を得るためには80%を超える高濃度含浸を必要としたのに対して、トレハロース含浸法では同程度の寸法安定性を得るために55%以上の溶液（約50℃の飽和溶液）に含浸させれば良い。この特徴を生かして、これまで保存処理に熟練を要した漆器の保存処理が飛躍的に進展している。このように、トレハロース含浸法は、加熱含浸期間を短縮して加熱温度を低く押さえることによって大幅なエネルギー削減効果も期待できる。

3-2 真空凍結乾燥の可能性

糖アルコール含浸法の主剤であるラクチトールは常圧で安定な一水和物の結晶を生成する。しかし、凍結真空乾燥のような減圧下では粉体の無水和物に変化して強化力を失ってしまう。そのため、ラクチトールは真空凍結乾燥の含浸強化剤として不適當であった。これに対して、トレハロース二水和物の結晶は減圧下でも安定状態を維持するので真空凍結乾燥の含浸強化剤としても有効である。今後、効率的な保存処理方法を示す必要はあるが、保存処理の途中からでも資料の状態や保存処理時間を考慮して幅広い乾燥方法を選択できる利点がある。

4 まとめ

トレハロースは温度低下によって結晶しやすく、分子量の約10%の水を取り込んで安定した水合物を形成する性質がある。この特徴を利用したトレハロース含浸法は、含浸や保管環境での安定性、作業性、高い寸法安定性において糖アルコール含浸法と同等以上の性能が期待できる。しかも、加熱含浸期間を短縮し加熱温度を低く押さえることによって大幅なエネルギー削減効果が期待できる。この方法は、まだ研究の途についたばかりであるが、今後も多くの研究者によって改善や改良が進み、研究成果の共有と普及が図られることを期待したい。

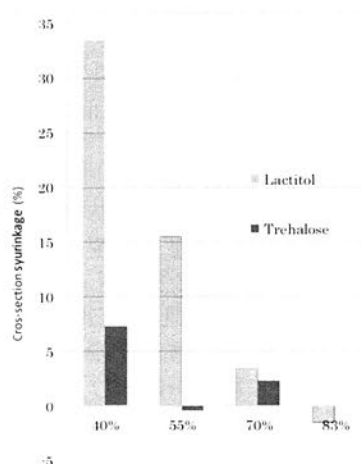


Figure 3. Cross Section shrinkage of Zelkova wood (Umax=600%) after treatment with lactitol and trehalose

出土鉄製遺物の埋蔵環境における腐食要因

—鉄還元細菌の生息や鉄還元細菌による腐食進行の可能性—

The corrosion cause in the deposit environment of archaeological iron objects

—Inhabitation of iron reducing bacteria and possibility of the corrosion progress by iron reducing bacteria—

- 李素妍（筑波大学大学院人間総合科学研究科），松井敏也（筑波大学大学院人間総合科学研究科），吉川英樹（日本原子力研究開発機構地層処分研究開発部門）
○LEE SOYEON（Comprehensive human science, University of Tsukuba），Toshiya Matsui（Comprehensive Human Science, University of Tsukuba），Hideki Yoshikawa（Geological isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency）

1 はじめに

鉄製遺物の埋蔵環境における腐食要因には、陰イオン、含水率、細菌などがあり、とくにここでは細菌中で鉄還元細菌に注目した。この細菌は地下水の鉄(II)イオン濃度の増加や鉄鋼表面の鉄(III)酸化物皮膜を還元し、腐食促進などの原因ともされている【1】。鉄還元細菌が鉄製遺物に対しても同様に鉄(III)腐食生成物を還元し、遺物の腐食を進行させる可能性を検討する。今までの研究で、鉄還元細菌が生成する腐食生成物の形態的特徴を明らかにした【2】。鉄製遺物が出土した土壌における鉄還元細菌の生息を調べ、鉄製遺物の腐食と鉄還元細菌の関連を調べた。このデータにより出土後の遺物の応急処置、保管方法に関する知見が得られる。本研究では、鉄製遺物が出土した土壌を用いて鉄還元細菌の生息の調査、同遺跡で出土した鉄製遺物の顕微鏡観察、X線CT撮影を行い、鉄還元細菌による遺物の腐食進行の可能性を探る。

2 実験方法と観察方法

茨城県つくば市下平塚蕪木 887 番地に 8~9 世紀と推定される下平塚蕪木台遺跡で鉄製遺物が出土した。鉄製遺物が出土した層位、遺物の直下で土壌を採集し、培養を行い鉄還元細菌の生息を調べた。同層位で出土した鉄製遺物を顕微鏡観察(KEYENCE, VHX-900)、X線CT撮影を行った。X線CT撮影装置は東芝製 Asteion VI である。撮影条件は、電圧：135kV、電流：200mA、スキャン時間：3秒、スキャン間隔：5mm である。

3 結果と考察

下平塚蕪木台遺跡で鉄鏃、鉄鋏(くわ)、鉄釘などの鉄製遺物が出土した。鉄製遺物が出土した層位、遺物直下の土壌を用いて鉄還元細菌の生息を培養法で調べた。その結果、鉄製遺物が埋蔵された土壌に鉄還元細菌の生息が確認された。Table1 に鉄製遺物、土壌採取の場所、鉄還元細菌数を示す。鉄製遺物が出土した場所によって鉄還元細菌数の違いがある。鉄製遺物が埋蔵された土壌に鉄還元細菌が活動していることを確認した。鉄還元細菌が確認された土壌で出土した鉄製遺物は用途が確認できるほど良好である。一方、遺物の X線 CT 撮影により、遺物内部の空洞部が観察された。

Table1. 下平塚蕪木台遺跡の鉄還元細菌数

遺物	土壌採集の場所	鉄還元細菌数
鉄鏃	遺物の層位	$2.4 \times 10^4/g$
	遺物の直下	$1.3 \times 10^4/g$
鉄鋏	遺物の層位	$7.9 \times 10^3/g$
	遺物の直下	$1.7 \times 10^4/g$
鉄釘	遺物の層位	$4.9 \times 10^4/g$
	遺物の直下	$1.7 \times 10^3/g$
鉄紡錘車	遺物の層位	$1.7 \times 10^2/g$
	遺物の直下	$3.3 \times 10^2/g$

同遺跡で出土した鉄製遺物の中で鉄鏃を観察した結果、遺物表面に土や腐食生成物が付着しその一部は破損していた (Fig.1-(a))。遺物の X 線 CT 画像により遺物内部が空洞化になっていることを確認した (Fig.1-(b))。同遺物の CT 画像でも空洞部は確認された (Fig.1-(c))。腐食した鉄製遺物の中心部から表層部に生成するさび種類は、 Fe_3O_4 、 $\beta\text{-FeOOH}$ 、 $\alpha\text{-FeOOH}$ 、 $\gamma\text{-FeOOH}$ の順で多く存在する【3】。 Fe_3O_4 、鉄(III)腐食生成物は鉄還元細菌のエネルギー源になる【4】。鉄還元細菌が遺物表面の亀裂により遺物内部に入り込み、 Fe_3O_4 及び鉄(III)腐食生成物を用いて生息する。遺物内部に生じていた腐食生成物が鉄還元細菌により使われ、鉄製遺物の空洞部を生成すると推定される。

鉄還元細菌のように還元雰囲気中に生息する細菌は遺物の出土後に活動を続けられないと考えられてきた。しかし、鉄製遺物の表面を覆っている土、腐食生成物の存在、遺物内部に発生した空洞部は出土後に酸素の影響を受けにくい環境を形成する。鉄製遺物の内部ほど酸素が少なく還元雰囲気になるので Fe_3O_4 がよく観察される【5】。よって、出土後、鉄還元細菌が遺物の空洞部で活動を続けられると考えた。鉄鏃の顕微鏡観察で、亀裂部に黄褐色で六角板状の腐食生成物が確認された (Fig.2)。この腐食生成物は XRD 分析により $\alpha\text{-FeOOH}$ と $\gamma\text{-FeOOH}$ が報告されている【6】。鉄還元細菌が亀裂部で観察された鉄(III)腐食生成物を用いて活動し、鉄製遺物の腐食を進行させるとも推定される。保存科学では、遺物の出土後の鉄還元細菌による腐食進行を抑制するために、その活動を停止させる応急処置が必要である。保存処理が行われる前に、遺物表面に付着している異物除去、エアーブラシを用いた亀裂部の応急処置などが必要であると考えられる。

この研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科と日本原子力研究開発研究所の共同研究として『先行基礎工学研究』『考古学的鉄遺物に関する微生物腐食評価研究』の研究成果である。

参考文献

- [1] Lovley D.R. (1991) 『Dissimilatory Fe(III) and Mn(IV) Reduction』 『Microbiological Reviews』 55(2), 259-287.
- [2] 李素妍・Andras Morgos・松井敏也・吉川英樹 (2009) 『出土鉄製文化財における微生物腐食の研究』 『韓国文化財保存科学会 29 回大会要旨集』, 24-27.
- [3] 松井敏也 (2009) 『出土鉄製品の保存と対応』, 同成社, 68.
- [4] 李素妍 (2011) 『出土鉄製文化財の腐食における鉄還元細菌の研究』 筑波大学大学院世界文化遺産学博士論文, 68-69.
- [5] 松井敏也 (2009) 『出土鉄製品の保存と対応』, 同成社, 67.
- [6] 松井敏也・村上 隆・高田 潤 (1998) 『日本から出土した鉄製遺物の腐食生成物の形状と腐食促進イオン (Cl^- , SO_4^{2-}) との関係』 『考古学と自然科学』 (37), 32-33.

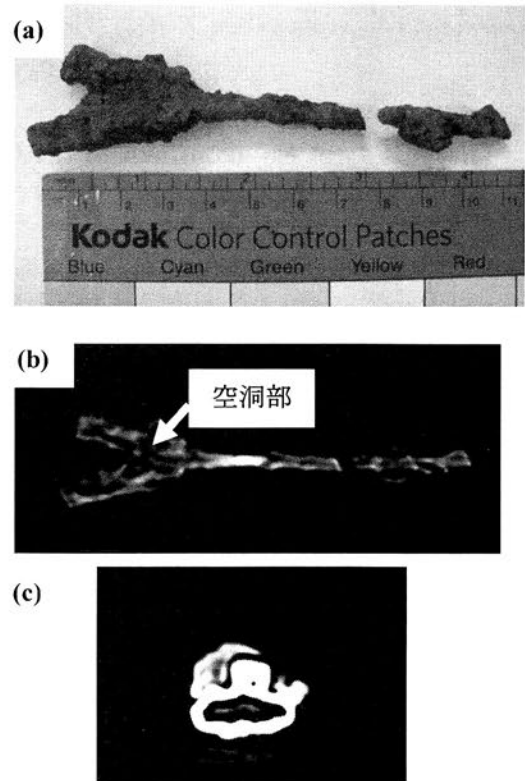


Fig.1 鉄鏃の X 線 CT 画像
(a)鉄鏃の画像、(b)鉄鏃のレントゲン画像、
(c) (b) に示した空洞部の CT 画像

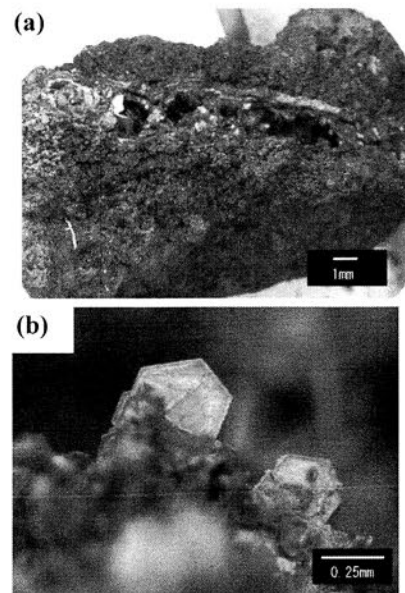


Fig.2 鉄鏃の実体顕微鏡画像
(a)六角板状の腐食生成物が観察された部分、(b)六角板状の腐食生成物

レバノン共和国ティール市郊外所在の壁画地下墓の環境研究 —適正環境保持の試み—

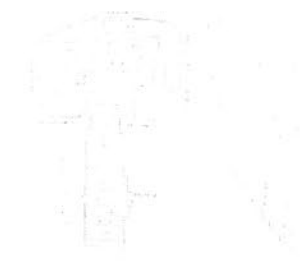
The Sutady of Environment in the Chamber of Underground Tomb, Tyre, Lebanon —Keeping Appropriate Environment for Wall Paintings—

○西山要一(奈良大学)、片山 一道(京都大学)、鈴木孝仁(奈良女子大学)、高橋健太郎・板垣泰之・高橋美鈴・小原雄也(奈良大学大学院)、本村沙織(奈良女子大学大学院)、大橋彩香(奈良大学文学部)、松田正昭(考古学者)、パトリツィア・ロ・サルド・小林有紀子(修復家)、塩地宏行・山内基樹(株文化財サービス)、ナーデル・シクラウィ(レバノン考古総局)、ハッサン・バダウィ(レバノン大学)、ガビィ・マアマリィ(バラマンダ大学)

○Nishiyama Yoichi(Nara University), Katayama Kazumichi(Kyoto University), Suzuki Takahito(Nara Woman University), Takahashi Kentaro・Itagaki Yasuyuki・Takahashi Misuzu・Obara Yuya(Graduate Scool of Nara University), Motomura Saori(Graduate Scool of Nara Woman University), Ohashi Ayaka(Nara University), Matsuda Masaaki(Archeologist), Patorizia Lo Sald・Kobayashi Yukiko(Restorer), Shioji Hiroyuki・Yamauchi Motoki(Asistant of Cultural Assets Co.Ltd), Nader Seklawi(General Directory of Antiquities, Republic of Lebanon), Hassan Badawi(Lebanon University), Gaby Maamari(Baramanda University)

奈良大学のレバノン遺跡保存修復チームは、2004年にレバノン南部ティール市近郊のラマリ地区所在のローマ時代壁画地下墓 TJ04 の修復研究に着手して2008年に完了、レバノン考古総局に保存管理を引き継いだ。さらに、2009年には同市近郊のブルジュ・アル・シャマリ地区所在のローマ時代壁画地下墓 T.01 の修復研究に着手した。

ブルジュ・アル・シャマリ T.01 壁画地下墓は、石灰岩を基盤とする丘陵南斜面に掘削築造されている。墓室は幅(東西)4.85m、奥行き(南北)3.25m、高さ2.0mを計り、長さ4.1mの階段を設けて、墓室内床には、長さ1.6~1.95m、幅0.45~0.5m、深さ0.6~0.8mの岩盤掘込石棺が6基設けられている。小規模な墓室であるが、西壁に孔雀、北壁に魚・鳥、東壁にパン・肉・壺、南壁に草木や“リュースス”の肖像画、天井に小鳥・草花が描かれているほか、墓室の四隅と北壁中央に花綱とギリシア語碑文“ΤΟΠΟΣ(場所・用地)、リューススの肖像画の上には“ΧΑΙΡΕ ΛΥΣΙΣ ΠΑΝΤΕΣ ΘΝΗΤΟΙ(さらばリュースス 誰だって死ぬのだから)”、さらに墓室のモザイク床には“ΘΑ(PCI OΥΔ)IC ΑΘΑΝΑΤΟC ΒΚΤ(元気だせよ 誰だって死ぬのだから ΒΚΤ)”の碑文が記され“ΒΚΤ”はティール暦322年=西暦196/197年を示すことを明らかにした。鮮やかな壁画とともに被葬者と築造年代が判明する貴重な遺跡である。



ブルジュ・アル・シャマリ T.01 地下墓 (左：地下墓実測図 中：東壁の肉・パン・壺の壁画と花綱・“ΤΟΠΟΣ”
右：モザイク床の碑文)

本発表は、ブルジュ・アル・シャマリ T.01 地下墓の環境変化とその改善についての述べるものである。T.01 地下墓の修復に着手した2009年には、壁画の表面に白い粉状結晶

物に覆われ霞がかかったような状況にあり、前年には赤・黒・緑などに華やかに色取られていた壁画、その変化の大きさに愕然とした。白色の粉状析出物は蛍光X線分析およびX線回折分析の結果、硫酸カルシウムであることが判明した。その成因はT.01 修復着手に先立ち地下墓上の表土・雑草・廃土などを除去したこと、すなわち外気の温度変化を遮断緩和していた緩衝材としての表土などを除去したことによって、外気の大きな温度変化を受けやすくなり、墓室内の温度上昇と湿度低下、そして岩盤および壁面漆喰のカルシウムを溶融した水分の移動と壁面上での蒸発を促し、結晶の発生をもたらしたものと推測した。ただし、硫酸カルシウムの硫黄がどこから供給されたのかは、大気や酸性雨の硫酸化合物、地中に浸透した生活污水の硫酸化合物などが推定されるが、今のところ判然としない。

上述の課題を解決するために、2010年9～10月の修復作業に際して、墓室内の温度の日変化を小さく、湿度を100%の水準に安定させること、すなわち、T.01 墓室の2008年以前の環境に戻すことを試みた。

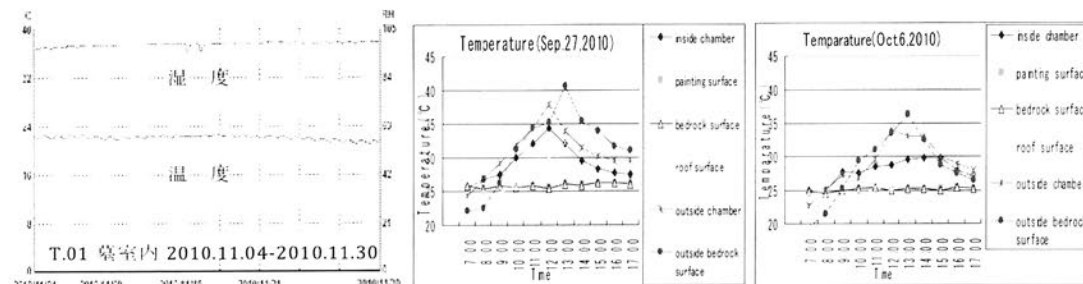
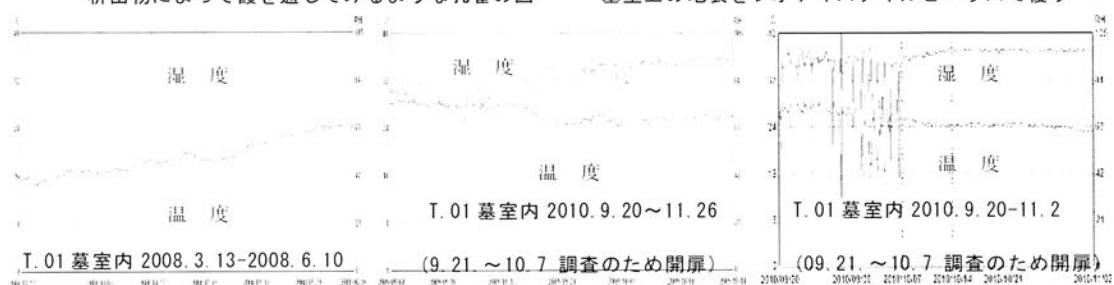
まず、墓室上方の地表部のおよそ東西10m、南北5mにわたって断熱性の高い不織布“ジオテキスタイル”で覆い、さらにその上を細石粒(バラス)で5～10cmの厚さに覆って、外部の昼間の高温と夜間の低温の墓室への影響緩和を図った。



析出物によって霞を通して見るような孔雀の図



墓室上の地表をジオテキスタイルとバラスで覆う



室内外温度の時間変化 (2010.9.27) 墓室内外温度の時間変化 (2010.10.6)

この措置の前後の観測データが示すように、2009年9月以来、墓室内温度の日変化は3～4℃であったのが2010年10月5日以降は1～2℃に、湿度変化も15%以上から3%程度に縮小して100%近くで安定し、また、壁面温度変化も2℃から1℃以下に小さくなり、外気温度を最も伝えよい天井の表面の温度変化も10℃から3℃に縮小した。墓室内環境を大幅に改善し2008年以前の状態近くに戻すことができた。外部表土の墓室内環境安定効果は大きい。幸いにも白色析出物が見えなくなったが、この要因は今後も検討を加えたい。

着生地衣類の二次代謝産物とその生成物を利用した文化遺産の強化方法の研究
Ⅱ—石造文化遺産における着生地衣類相調査と着生部の微細構造解析
Research on the consolidation method for cultural heritage using the reaction products
between secondary metabolites from lichens and the substrate Ⅱ - Lichen flora on
stoneworks and microstructural analysis of the interface between lichens and the
substrate rocks

○河崎 衣美 (筑波大学・日本学術振興会特別研究員 DC), 松井敏也 (筑波大学),
山本好和 (秋田県立大学), 沢田正昭 (国士舘大学)

○Emi Kawasaki (University of Tsukuba・Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of
Science), Toshiya Matsui (University of Tsukuba), Yoshikazu Yamamoto (Akita Prefectural
University), Masaaki Sawada (Kokushikan University)

1 はじめに

文化遺産を構成する材料として、石材やレンガは碑などの造形物から橋、寺院などの建築材料まで多用途に使用されている。屋外に曝される石造文化遺産の劣化対策としては、環境をコントロールして劣化要因を取り除くまたは和らげる方法と、劣化現象に対応し、基質の強化などの修復処置を行う方法がある。本研究では文化遺産の基質強化の一つの手法として地衣類によるバイオミネラリゼーションの利用について調査研究を行っている¹⁾。



地衣類の二次代謝産物とその生成物を利用して文化遺産の強化を行うためには着生メカニズムを把握し、二次代謝産物とその生成物を同定し、生成物の生成量や生成速度などを調査して条件を抽出する必要がある。本報ではカンボジア・アンコール遺跡群バイヨン寺院を構成する砂岩の着生地衣類相を調査し、従来行われてきた分類学的手法に加えて、石材への着生傾向や基物石材との関わりに重点を置いた分類項目を取り入れた。さらに一部の地衣類とその他着生生物の基物岩石との着生部における微細構造について菌糸の穿入深さや着生界面の構造および形状について解析を行った。

2 着生地衣類相調査

カンボジア・アンコール遺跡群バイヨン寺院において目視およびルーペによる観察から寺院建造物の構成石材表面に着生する地衣類の形態記載(28種を記載)、画像記録、着生場所記録、生物劣化に関わる分類項目(生育形、菌糸穿入の有無、粉芽の有無、シュウ酸カルシウム結晶の有無、色素の有無)の記載を行い、地衣類をサンプリングした(以下、地衣サンプルと表す)。生物劣化に関わる分類項目のうち、'生育形'は石材への着生傾向、'菌糸穿入の有無'は機械的劣化の可能性を判断できる。'粉芽の有無'は栄養生殖器官である「粉芽」の有無によって地衣類の着生面積の広がりやすさ、'シュウ酸カルシウム結晶の有無'は地衣類の二次代謝産物であるシュウ酸による化学的劣化の可能性を判断する。

調査した地衣類は28種で、便宜上No.1~No.28の番号を付けた。生育形で分類すると、痂状17種、葉状3種、鱗片状4種、顆粒状3種であった。菌糸の穿入がある種(菌糸が直接基物に密着する種)は21種、粉芽のある種は3種であった。

地衣サンプルを用いた分類学的調査も進め、文化遺産の着生地衣類のデータベースを作成する。

3 着生部界面における微細構造

バイオン寺院のサイト内において建造物を構成しない転石の中から地衣類の着生した石材片を採集した（以下、石材片サンプルと表す）。石材片サンプルには一サンプルに複数の地衣類の着生が見られることがあった。観察後、エポキシ樹脂に包埋し、低速切断機を用いて着生生物と基物との界面の垂直断面を得た。デジタルマイクロスコープ（キーエンス VHX-900）、走査型電子顕微鏡（キーエンス社、VE-9800）を用いて観察を行った。過ヨウ素酸 - シッフ染色（以下 PAS 染色と表す）を行い、多糖類の染色から地衣類の菌糸および他微生物の分布について観察を行った。

全石材片サンプルにおいて着生地衣類種は 13 種観察され、寺院の構成石材表面に着生する種は 9 種であった。着生地衣類相調査では記載されなかった種には新たに No.29~No.32 の番号を付けた。石材片サンプルのうち、着生地衣類相調査における記載地衣類 No.4（鱗片状地衣）および No.25（鱗片状地衣）が着生した石材片サンプル断面を図 1 に示す。2 種の地衣は黒色糸状微生物上に着生している部分がほとんどで、石材に直接接している部分は稀であった。未処理（図 1a）と PAS 染色後（図 1b）を比較すると、黒色糸状微生物の穿入は深い部分で 1mm に達するのに対し、地衣類の菌糸の穿入は深い部分で 0.08mm に達することが観察された。No.30（現地調査では見られなかった種、痂状地衣）が着生した石材片サンプル断面では地衣類の菌糸が直接石材に接する部分が観察された。断面において地衣類の着生部分と未着生部分の砂岩の表面形状を鉦物レベルで比較したところ、地衣類の着生による石材表面の変化は観察されなかった。

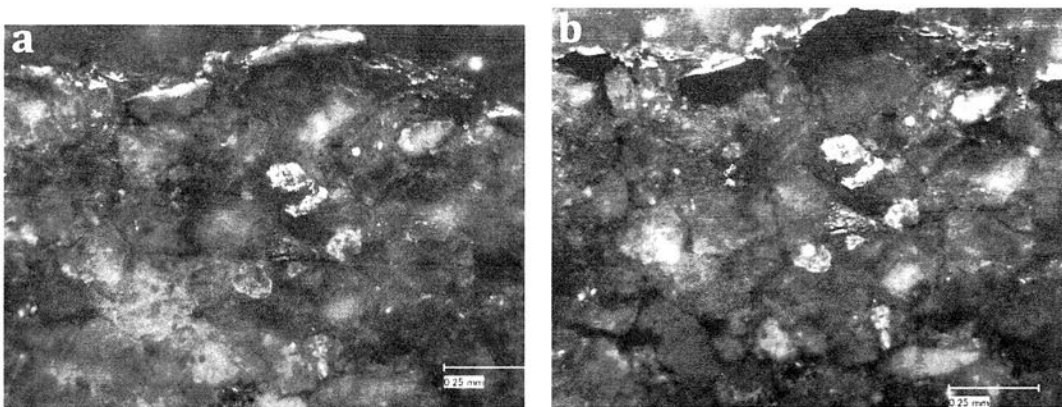


図 1 No.4 および No.25（鱗片状）の着生界面断面（200 倍） a. 未処理 b. PAS 染色後

4 まとめ

石造文化遺産において建造物の着生地衣類相を調査し、生物劣化に関わる分類項目に従って記載を行った。地衣類専門家でなくても生物劣化のリスクを把握できるような文化遺産の着生地衣類のデータベースを作成する。文化遺産を構成する石材への地衣類の着生部界面における微細構造の観察によって、地衣類の砂岩への着生は石材の表層にとどまることがわかった。

今後は文化遺産の着生地衣類データベースの中からバイオミネラルを生成する種を抽出し、バイオミネラルの生成試験および地衣類着生基質の強化試験を行う予定である。

謝辞：本研究の一部は日本学術振興会科学研究補助金[課題番号 22300305]および[課題番号 19251001]により行われたものである。現地調査においては早稲田大学の中川武先生および下田一太氏に御協力を戴きました。ここに感謝致します。

参考文献

- 1) 河崎衣美, 松井敏也, 山本好和; 着生地衣類の二次代謝産物とその生成物を利用した文化遺産の強化方法の研究 I - 着生生物と基物との界面の微細構造解析 -, 日本文化財科学会第 27 回大会要旨集, pp.282-283, 2010

千足古墳における水分移動解析

Study of Moisture movement in Senzoku tumulus

○脇谷草一郎（奈良文化財研究所）,高妻洋成（奈良文化財研究所）,草原孝典（岡山市教育委員会）,三村衛（京都大学）,石崎武志（東京文化財研究所）

○Soichiro Wakiya (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Yosei Kouzuma (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Takanori Kusahara (Okayama city), Mamoru Mimura (Kyoto University), Takeshi Ishizaki (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)

1 はじめに

岡山市に位置する千足古墳では、石障の表層剥離が著しく進行しているため、表面に刻された直弧文が失われる危険性があり、その対策が急がれる。石障の劣化を引き起こしている要因の1つとして、石室内へ流入する水の存在が挙げられる。すなわち石室内に溜まった水が、石障底部において石材へと吸収され、石材表面で蒸発することの繰り返しにより石材の劣化が助長されているものと推察される。

そこで、本研究では石障劣化の基礎的な知見として、墳丘土壌の不飽和水分移動特性を把握することにより、降雨時の雨水の移動経路、および石室内において水たまりが発生する要因の推定を試みた。

2 土の水分移動特性に関する試験方法

試験に供した土壌試料は、発掘調査時に 100 cc 円筒容器をもちいて採取した不攪乱試料で、盗掘孔埋土および盛土と推定される 2 箇所より採取した。採取した土壌試料を毛管飽和させた後、変水位透水試験をおこない飽和透水係数を測定した。さらに盗掘孔埋土についてはマルチ

ステップ法、盛土については蒸発法により保水性試験をおこなった。乾燥領域については飽和塩溶液法による保水性試験をおこなった。また、盗掘孔埋土と盛土は本来同質のものであるのか検討をおこなうために、両土壌試料について

粒度試験を実施した。各試験法は地盤工学会の定める土質試験法に拠った。

3 試験結果

3-1 透水試験：各土壌試料について飽和透水係数 K_s を測定した結果を表1に示す。盗掘孔埋土は透水性を有しているのに対して、盛土では非常に透水性に乏しく、実質上不透水層となるものと推察される。

3-2 保水性試験：盗掘孔埋土および盛土の保水性試験から得られた水分特性曲線および不飽和透水係数を図1、図2にそれぞれ示す。図1の結果から、盗掘孔埋土の空気侵入圧はやや不明瞭ながら約 $10\sim 20\text{ cmH}_2\text{O}$ と小さく、盛土のそれは約 $1000\text{ cmH}_2\text{O}$ であることが示唆された。したがって、盗掘孔埋土は保水性に乏しく、盛土は保水性に非常に富むことが示唆された。

3-3 粒度試験：図3の結果から、盗掘孔埋土は盛土と比較して細粒画分の含有率が低いものの、いずれの土壌試料ともに幅広い粒径の土粒子を含む、良配合の土であることが示唆された。さらに両土壌試料の粒径加積曲線の差異が、細粒画分の含有率の差異を維持したまま、ほぼ一定であることから、本来両土壌は同

表1 土壌試料の透水性状に関する物性値

	盗掘孔埋土	盛土
飽和体積含水率($\text{cm}^3\text{ cm}^{-3}$)	0.42	0.49
粒子密度(g cm^{-3})	2.664	2.672
飽和透水係数(cm sec^{-1})	2.38E-04	4.59E-08

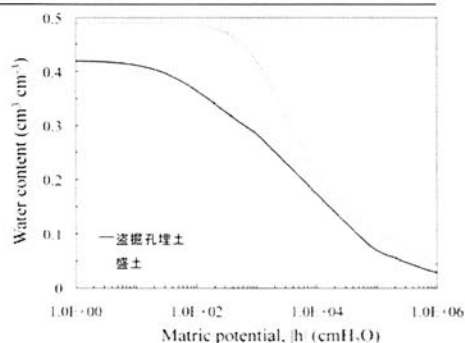


図1 水分特性曲線

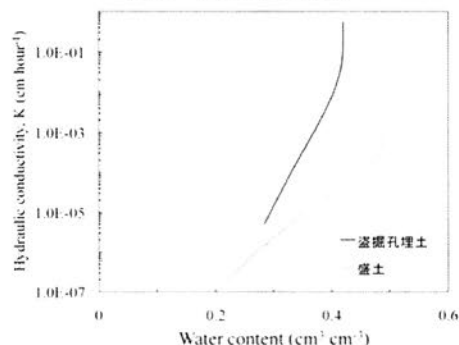


図2 不飽和透水係数

一の土であったと推察される。盗掘孔埋土では、細粒画分の土粒子が雨水と共に墳丘表層を流下する、あるいは石室内部へと流入したために失われたものと推察される。したがって、表1に示した両土壌試料の飽和透水係数の差異は土の圧密の程度の差異、および細粒画分の含有率の差異によるものであることが示唆された。

4 数値実験

得られた各土壌試料の水分移動特性をもとに、千足古墳墳丘に降雨が浸潤する過程を数値実験により推定した。境界条件として降水量および土壌表面からの水分の蒸発散量を与えた。降水量は岡山地方気象台の観測値を用いた。水分蒸発散量については、大気湿度、風速、日照時間、降水量の測定値をもとに、ペンマン式から推定することが可能である¹⁾。そこで、岡山地方気象台の上記測定値をもとにペンマン式から墳丘土壌表面の水分蒸発散量を推定し、数値実験に供した。数値実験をおこなった期間は2010年7月1日から7月31日である。7月11日から14日にかけて比較的多量の降雨が観測されたことから、7月10日から15日にかけての雨水の浸潤過程について数値実験をおこなった。なお、水分移動に関するヒステリシスについては無視し得るものとした。また飽和透水係数を上回る降水時は、地表が湛水状態になるものとし、地表からGL-50 cmまでを盗掘孔埋土、GL-50 cm以深を盛土とした。上記期間における土壌含水率および圧力水頭の鉛直分布をそれぞれ図4および5に示す。

図4から、7月11日の降雨により表層の含水率が急激に増加し、その後浸潤前線が速やかに下降する様子が認められた。浸潤前線が土層境界 (GL-50 cm) に達すると、下層盛土の透水性状が著しく低いために、その下降が著しく緩慢になったものと推察される。図5中、10日の圧力水頭の鉛直分布では、以前の降雨時の雨水が浸潤したためにGL-30 cm付近に極大値が認められた。11日から続く降雨により、透水性の良い盗掘孔埋土では圧力水頭が急激に増加するが、下層の盛土への浸潤が緩慢なため、GL-50 cm付近で両土層間に圧力水頭の大きな差異が生じたものと推察される。14から15日では地表は湛水状態となり、土層境界直上において圧力水頭が0 cmH₂Oをわずかに上回ることが示唆された。すなわち、このとき石室内に液状水がしみ出すことが示唆された。以上の結果から、まとまった降雨時において、墳丘地表から浸潤した雨水は、盛土との境界直上の圧力水頭が正となるために、石室内へしみ出すことが示唆された。そして石室底部の土壌も盛土同様に透水性が低く、かつこれまでの水の流入により盗掘孔埋土の粘土画分の微小粒子が流入し、堆積したことで、透水性が低下しているものと推察され、石室内部へ浸入した液状水は石室内部にて滞留したものと推察される。

1) 三浦健志、奥野林太郎、農土論集、**164**, pp.157-163 (1993)
 本研究は科研費（課題番号：22700850）の助成を受けたものである。

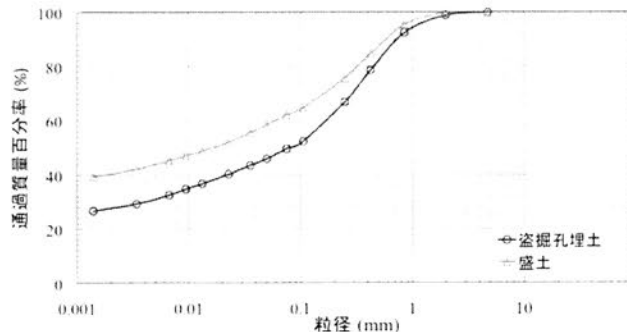


図3 粒度試験結果

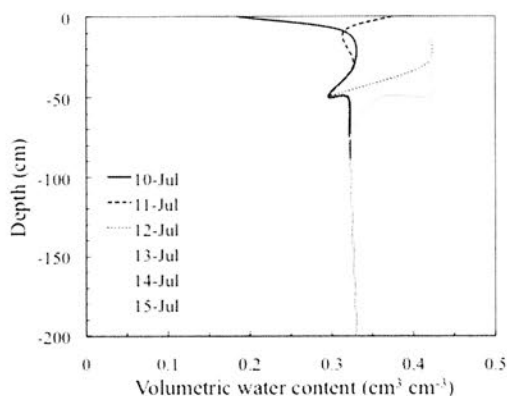


図4 土壌含水率鉛直分布

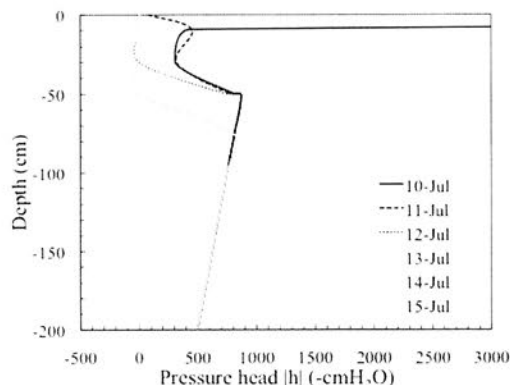


図5 圧力水頭鉛直分布

文化財防虫剤”保存”の日本の文化財に及ぼす影響 —染色布・顔料・金属試料を用いた実験—

The Study of Effect of Mothball "Bozon" for Cultural Properties

○西山要一(奈良大学)、姜大一・鄭容在・金英徳(韓国伝統文化学校)、金英徳、板垣泰之(奈良大学大学院)、易あかね・田原みほり・中井春香・吉松杏(奈良大学文学部)

○Nishiyama Yoichi(NaraUniversity), Kang Dai-Il · Chung Yong Jae · Kim Young Duck (The Korean National University of Cultural Heritage), Itagaki Yasuyuki(Graduate School of Nara University), Eki Akane · Tahara Mihori · Nakai Haruka · Yoshimatsu Kyo(Nara University)

1 はじめに

正倉院宝物が1250年を経た今日もなおすばらしい姿・形と色彩を保つ要因は、木製の校倉・唐櫃が外気の温度・湿度変化を緩和し変動の少ない安定した環境を作り出していること、腐敗や虫損を防ぐ虫干しと点検を行う曝涼、そして防虫効果のある薬香を添えていることである。韓国では李朝の墓地から衣服が腐敗せずにほぼ完全な形で発見され、韓国国立文化財研究所によって、棺に添えられた草木が防虫・防腐・外注忌避の役割を果たしたものと分析研究された。さらにそれら草木成分の抽出・分析・調合によって製品化されたのが文化財防虫防菌剤“保存”である。韓国では、既に多くの博物館・美術館で採用され、その効果が認められている。

本発表は“保存”が日本の紙・布・木・金属などを素材とする文化財に対する影響を確認する試験を行い、その結果について述べるものである。

2 試料

- (1) 紙・・・楮、美濃紙、蘇芳・梔子・黄檗・紅花で染めた美濃紙の6試料
- (2) 布・・・絹、麻、木綿、臙脂・藍・黄檗・墨で染めた絹の7試料
- (3) 顔料(布)・・・群青・緑青・弁柄・代赭・朱・丹・藤黄・黄土・白土・胡粉・鉛白を絹に塗布した11試料
- (4) 顔料(木)・・・群青・緑青・弁柄・代赭・朱・丹・藤黄・黄土・白土・胡粉・鉛白・墨を木板に塗布した12試料
- (5) 金属・・・銀、銅、鉄、鉛、錫の5試料
- (6) 漆・・・漆板 1試料

染料・顔料・漆は天然の材料を使って作成し、金属はテスト用パネルを使用した。

3 試験

- (A) デシケータ(常温・遮光)に“保存”8%(リキッドタイプ)、“保存”10%(ゲルタイプ)、“保存”添付なしの3条件下に、紙・布・顔料・金属・漆の42試料を100日間垂下し、30日ごとに色彩・光沢・pH・重量などの変化を測定した。
- (B) デシケータ(恒温・遮光)に“保存”8%(リキッドタイプ)、“保存”10%(ゲルタイプ)、“保存”添付なしの3条件下に、金属・漆の6試料を90日間垂下し、10日ごとに色彩・光沢・pH・重量などの変化を測定した。

4 結果

(A) 試験、(B) 試験のそれぞれの条件下で、色彩・光沢の変化をブランク試料と比較すると、“保存”8%、“保存”10%の変化は、“保存”添付しない値やブランクの値に近く、“保存”の影響は見られないか極めて小さいものである。その一例を示すと、蘇

芳染めの美濃紙の場合、色彩変化の傾向と値はほぼ一致し、“保存”の影響は見られない(図1)。

しかし、やや影響のあるものも見られた。絹に群青を塗布した試料では“保存”添付なしとblankに比して“保存”8%・10%の変化の値が大きい(図2)。木板に群青を塗布した試料の色彩変化も同様である。絹を藤黄で染めた試料も同様に“保存”添付なしとblankに比して“保存”8%・10%の変化の値が大きい(図3)。銅板の場合も“保存”添付なしとblankに比して“保存”8%・10%の色彩変化の値が大きい(図4)。さらに銀板と鉛板も同様に“保存”添付なしとblankに比して“保存”8%・10%の色彩変化の値が大きい(図6・7)。鉛板の光沢も大きく変化する(図5)。

本試験では、“保存”は紙試料・布試料・顔試料料に対しては群青・藤黄に影響が見られた。銀・銅・鉛などへの影響は“保存”8%がリキッドタイプでありその蒸発成分や溶剤が影響している可能性がある。文化財は紙・布・木などの有機物素材と金属などの無機物素材の複合素材からなる資料も多く、“保存”に工夫が必要であろう。

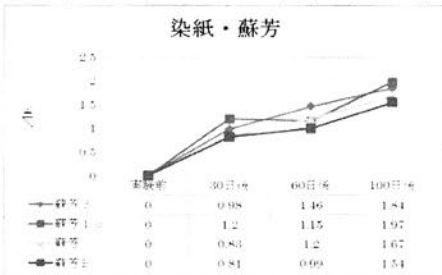


図1 蘇芳(紙)・色彩変化 (A) 試験

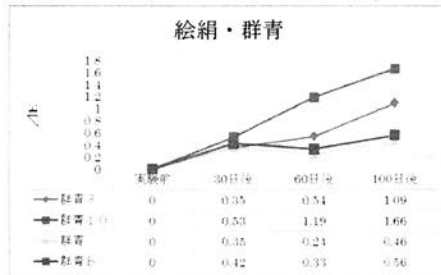


図2 群青(絹)・色彩変化 (A) 試験

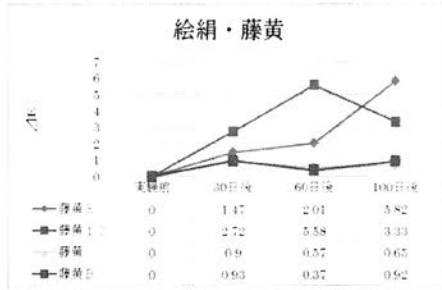


図3 藤黄(絹)・色彩変化 (A) 試験

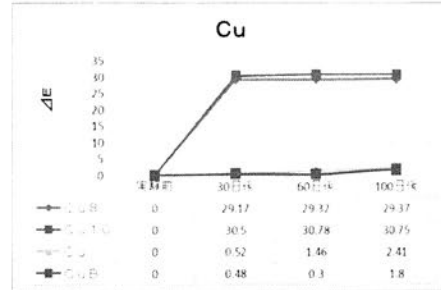


図4 銅・色彩変化 (A) 試験

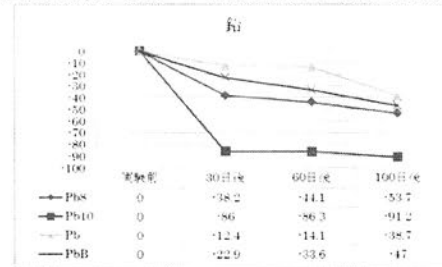


図5 鉛・光沢変化 (A) 試験

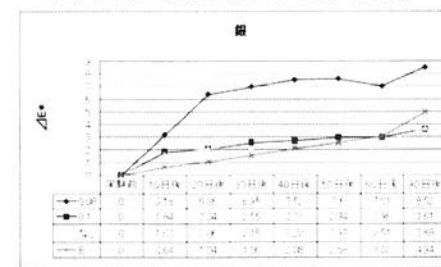


図6 銀・色彩変化 (B) 試験

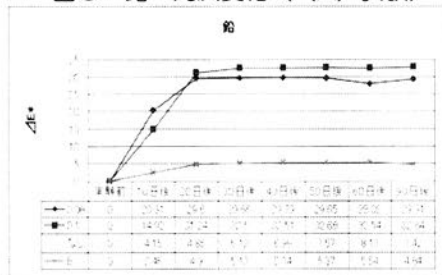


図7 鉛・色彩変化 (B) 試験

キトラ古墳から分離された細菌や酵母の

修復用高分子材料に対する資化性試験

Microbial growth tests of materials for conservation by bacterial and yeast strains isolated from Kitora tumulus.

○木川 りか, 佐野千絵 (以上、東京文化財研究所), 喜友名朝彦, 立里臨 (以上、(株)テクノスルガ・ラボ), 杉山純多 ((株)テクノスルガ・ラボ千葉分室), 早川典子, 川野邊渉 (以上、東京文化財研究所)

○Rika Kigawa, Chie Sano (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Tomohiko Kiyuna, Nozomi Tazato (TechnoSuruga Laboratory Co., Ltd.), Junta Sugiyama (Chiba Branch Office & Lab, TechnoSuruga Laboratory Co., Ltd.), Noriko Hayakawa, Wataru Kawanobe (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)

1. はじめに

これまで壁画の剥落止めや強化処置などに使用されたことのある高分子材料 (パラロイド B72、HPC (ハイドロキシプロピルセルロース)、MC (メチルセルロース) など) について、カビの生育度については調査を行ってきた^{1,2)}が、古墳などの高湿度環境でカビ以外に問題になる細菌や酵母などについては、まだ十分なデータが揃っていないといえなかった。本報告では、キトラ古墳から分離された細菌や酵母の分離株を用いて、修復処置に用いられる高分子材料を栄養源として生育する可能性があるかどうかを調査した。その結果、多くの細菌株が膠、フノリなどの天然材料だけでなく、HPC、MCなどの材料も資化することがわかったので、報告する。

2. 方法

高松塚古墳の石室内で過去に使用されたパラロイド B72 をはじめ、キトラ古墳の壁画の取り外し作業の際に使用された HPC、MC について検討した。また、膠、フノリは石室内で使用されたことはないが、日本の伝統的絵画の修復に用いられる材料であるので、今回の対照試料として試験に加えた。各種樹脂等試料の濃縮溶液を用いて、最終濃度 0.1% と 0.5% になるように 2 段階の濃度で各液体培地へ添加し、その培地中でそれぞれの細菌や酵母が生育するかを調査した。また、対照として、細菌、酵母が通常炭素源として生育するグルコース (0.1%、0.5%) を添加した培地も用意し、生育の度合を比較した。

供試菌株としては、これまでキトラ古墳 (一部、高松塚古墳分離株を含む) 石室内、特に壁画上のバイオフィームから分離された細菌 8 菌株、酵母 4 菌株を用いた。また、バイオフィーム形成に関わる代表的な細菌 (*Pseudomonas aeruginosa*) および酵母 (*Candida albicans*) をそれぞれ対照菌株とした。細菌の培地としては、M70 液体培地を用い、30°C で 1 週間培養した。また、酵母の培地としては、Difco Yeast Nitrogen Base (液体培地) を用い、25°C で 2 週間培養を行った。

3. 結果および考察

細菌の試験結果を表 1 に、酵母の試験結果を表 2 に示す。ここでは、液体培地に 0.5% の濃度で各樹脂等の試料を添加した結果を示した。

多くの細菌株は、天然材料の膠、フノリを加えた場合のみならず、HPC、MC を加えた場合にも生育し、これらの材料を資化することがわかった。ただし、供試した樹脂の中でパラロイド B72 に関しては、各液体基礎培地に添加した際に完全に溶解せずに、白色の塊が残存する様子が観察されたため、今回の液体培地を用いた方法では、資化性を正確に試験できていない可能性もある。

高分子量の HPC、高分子量の MC については、同様に実施したカビの生育度をみる試験では比較的にカビが生育しにくいという結果が得られていた^{1,2)}が、細菌、酵母なども問題にな

る高湿度環境においては、あらゆる微生物に対して耐性があるような材料という観点からの壁面などに適用する材料の選択は、非常に難しいことがわかる。

表 1. キトラ古墳石室内からの細菌分離株の各種樹脂等 (0.5%) に対する資化性試験結果

種名 菌株番号	パラロ イド B72	HPC Mw.100 万 11331MA	HPC Mw.100 万 05131JH	HPC H	MC 4,000cps	三千 本膠	煮だし フノリ	精製 フノリ	グルコ ース
<i>Gluconacetobacter</i> sp.1 K5929-2-1b	—	—	—	—	—	+	+	+	+w
<i>Stenotrophomonas</i> sp. K5916-3-1b	—	—	+	+	+	+	+	+	+
<i>Stenotrophomonas</i> sp. K6613-3b	—	—	+	+	+	+	+	+	+
<i>Bacillus thuringiensis</i> K5916-1-2b	—	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Bacillus simplex</i> K6203-10-3b	—	—	+	+	+	+	+	+	+w
<i>Microbacterium</i> sp. K6303-8-2b	—	—	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rhizobium</i> sp. K6303-8-4b	—	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sphingobium</i> sp. K5916-2-2b	—	—	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> JCM 5962 [†]	—	—	+	+	+	+	+	+	+

+: 資化性あり、+w: 弱い資化性、—: 資化性なし

表 2. キトラ古墳石室内からの酵母分離株の各種樹脂等 (0.5%) に対する資化性試験結果

種名 菌株番号	パラロ イド B72	HPC Mw.100 万 11331M A	HPC Mw.100 万 05131J H	HPC H	MC 4,000cps	三千本 膠	煮だし フノリ	精製 フノリ	グルコ ース
<i>Candida tumulicola</i> T6517-9-5 [†]	—	—	—	—	—	—	+	+	+
<i>Candida</i> aff. <i>olivae</i> K5916- 7-4y	—	—	—	—	—	+	+	+	+
<i>Pichia guilliermondii</i> K7724-2-2	—	+w	—	—	—	+	+	+	+
<i>Myxozyma monticola</i> K8617-6-6	—	+w	—	—	—	+	+	+	+
<i>Candida albicans</i> JCM 1542 [†]	—	+w	—	—	—	+	+w	+	+

+: 資化性あり、+w: 弱い資化性、—: 資化性なし

<参考文献>

- 1) 早川典子他、文化財保存修復学会誌 53、1-19 (2008)
- 2) 木川りか他、保存科学 49、61-71 (2010)

装飾古墳修復材料の研究-「がんぜき」¹⁾を用いた試み

-The research of the decorated tumulus repair material -「The trial of GANZEKI」

○坂口圭太郎(熊本県立装飾古墳館)、池田朋生(熊本県立装飾古墳館)、朽津信明(東京文化財研究所)
○Keitaro Sakaguchi(Kumamoto Prefectural Decorated Tumulus Museum)、Tomoo Ikeda(Kumamoto Prefectural Decorated Tumulus Museum)、Nobuaki Kuchitsu(National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)

1) 装飾古墳の現状

屋外に曝された古墳は、様々な保存施設の設置によって、内部環境を一定に保つための工夫がなされている。しかし、施設の老朽化にともない、古墳の石棺や石室内部に隙間が生じ、これらの石材表面に塩類の結晶が見られる事例がある。このまま放置すれば剥落等の問題が懸念されるため、石室に生じた隙間を埋める必要があると考える。2)そこで、隙間を埋める修復材料に求められるものは、高湿度下の石室内で接着力が保たれ、かつ、より優れた修復材料が開発された際に石室・石棺に損傷を与えずに完全に除去できることがあげられる。3)

本研究では、伝統的材料である「がんぜき」に着目し、塩類風化などが懸念される装飾古墳の修復材料としての可能性を探る。

2) 「がんぜき」とは

熊本県宇土市にある簡易水道「轟泉水道」は地元住民の飲料水として使われているが、「がんぜき」はこの阿蘇熔結凝灰岩製の送水管接着や漏水時の目づめに長年用いられている中で健康被害の報告が無く、また送水管の定期的なメンテナンスとして石蓋を剥がして清掃した後再接着する際に管を痛める事のない、江戸時代から続く轟泉水道に使われている伝統的な材料4)である。

3) 「がんぜき」の実践研究をおこなう意味

「がんぜき」を修復部材として考えた場合、強い接着力をもって、石材に影響を及ぼすことは避けなければならない。しかしながら、すぐ剥離するようでは接着材として有効でない。この一見、相反する事象が両立出来るのであれば、「がんぜき」は古墳の修復部材として有効と考え実験を試みた。

4) 「がんぜき」の評価について ～疑似的空間による「がんぜき」評価の試み～

① 実験方法

作製にあたっては、轟泉水道管理組合の松川紀幸氏に依頼して、現在も続く伝統技法の手法そのままをお願いした。同氏によると、「がんぜき」は、夏は半日程度で、冬場であれば一日経つと固まるとされている。そこで作製後、半日は2時間おきに、1日経過後は、2日置きに観察することとした。また、「がんぜき」は実績から水との相性は良好と仮定した上で、湿潤と乾燥における「がんぜき」の状態を比較検討するために、作製後、直ぐにビニール袋詰めと外気に露出したものと2通りの環境下においた。

なお、観察項目は、表面温度、土色計による測色、TRIMによる水分量測定、そして触診と目視による表面状態の観察である。

② 実験結果

グラフは、露出状態に置いた「がんぜき」の状態変化を経過観察したものである。

「がんぜき」について、水分量は作製後少しずつ下がり始め、その後上下降を繰り返しつつ、2週間ほどで安定している。

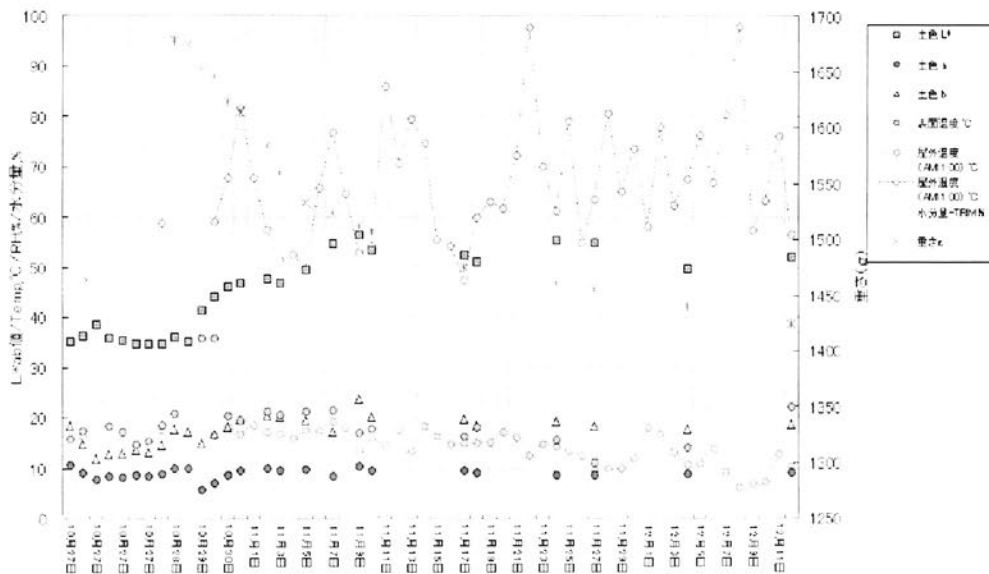
測色はL*値について見ると、10月27日の作製時は35.3の値を示し、2日後の10月29日から41.6と急激に上昇し始め、10日後の11月7日以降50半ばの値でほぼ安定する。つまり、色味が作製後、少しずつ明るくなりながら、ある程度のところで変化しなくなる。

また、表面温度の変化もL*値の変化と同様に10月29日の21℃から36℃まで急激に上昇したあと止まり、一日経過後には再び下降して、以降は外気温と連動する。

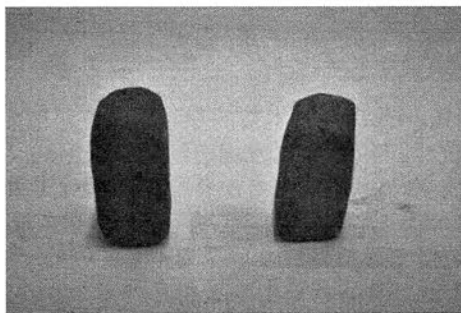
下の写真①は作製後2日程度経った「がんぜき」である。左はビニール袋に入れた状態のもので、

右は外気に露出した状態のものである。写真①右の「がんぜき」は左のものと比較すると、明らかに白みが強いことが確認できる。表面に細かいひび割れも確認できる。また触診では、左は爪で押すと凹むが右は爪痕が残らないほど表面は硬くなっている。

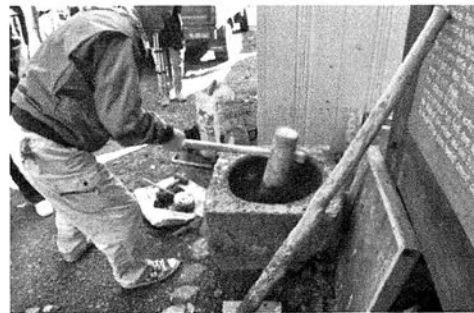
二つの異なる環境下に置いた「がんぜき」を比較した結果、密閉状態においたものが、作製時からの現状を保ち続ける事、一方外気に晒されたものは、数日で白華やひび割れ等、表面の劣化が生じる。



グラフ 露出状態においたがんぜき変化の推移



写真① がんぜき(左は袋入り・右は露出)



写真② がんぜき作製状況

5) 考察

「がんぜき」は作製から2日後に、表面温度と L*値の上昇により、一旦白華が生じるがその後は各測定の結果から安定した状態になると考えられる。一方で外気に晒された「がんぜき」は次第にひび割れが大きくなり、劣化していくことから「がんぜき」は高湿度の環境下という限定的な空間において、目づめや石材の接着剤としての利用は有効であると考えられる。

なお「がんぜき」は材料に塩⁴⁾を含むことから、石材に与える影響について中長期にわたる観察を続けている。

- 1) 池田朋生・大友由紀 2007『がんぜき作製の記録 - 轟泉水道組合でのがんぜき作製 -』熊本県立装飾古墳館研究紀要 第7集
- 2) 池田朋生・菊川知美・朽津信明 2010「装飾古墳彩色の見え方の変化」文化財保存修復学会 第32回大会
- 3) 2008 遺跡保存と水「第22回国際文化財保存修復研究会報告書」東京文化財研究所
- 4) 「がんぜき」の主成分は、轟水源付近の赤土、貝灰、塩、松の葉と枝を煮込んで抽出した汁である。

観光客に起因する振動の調査(第1報) —中国麦積山石窟第133窟における事例—

Investigation on the vibration generated by tourist activities I
-A case study of the Maijishan Grottoes NO.133-

○松井敏也(筑波大学), 跡見洋祐(筑波大学), 花平寧(麦積山石窟芸術研究所), 魏文斌(麦積山石窟芸術研究所), 馬千(麦積山石窟芸術研究所), 薰広強(麦積山石窟芸術研究所), 岳永強(麦積山石窟芸術研究所), 川村洋平(筑波大学), 八木春生(筑波大学), 沢田正昭(国士舘大学)

○Toshiya Matsui (University of Tsukuba), Yosuke Atomi (University of Tsukuba), Hua Pingning(Maijishan Grottoes art research institute), Wei Wenbin(Maijishan Grottoes art research institute), Ma Qian(Maijishan Grottoes art research institute), DongGuangqiang(Maijishan Grottoes art research institute), Yueyongqiang(Maijishan Grottoes art research institute), Youhei Kawamura(University of Tsukuba), Haruo Yagi(University of Tsukuba), Masaaki Sawada(Kokushikan University)

【はじめに】

我々は中国麦積山石窟芸術研究所と2005年より石窟保護の共同研究を実施してきた。遺産マネジメント、景観、美術史、保存科学など様々な分野により調査がなされており、その成果の一部を報告してきた(文化財保存修復学会; 2007年~2009年、日本文化財科学会; 2010年)。麦積山石窟は禅の修行場として五胡十六時代(5世紀)より栄えており、総数194もの石窟を有し、今も南北朝時代から宋時代(5世紀中頃~13世紀頃)の素晴らしい塑像と壁画を遺している。



麦積山石窟の保護は1940年代より始められ、1950年代に至り本格的な学術調査が開始されている。1961年には「全国第一批重点文物保护单位」、1982年には周辺地域を含み、「国家重点風景名勝区」に指定されている。1978年~1984年にかけては大掛かりな崖面補強工事が行われ、1984年以降石窟は一般に公開されている。しかし、近年石窟壁面の漏水や、リスなどの小動物による被害が目立つようになり、特に塑像の破損や壁画の剥離が深刻化している。

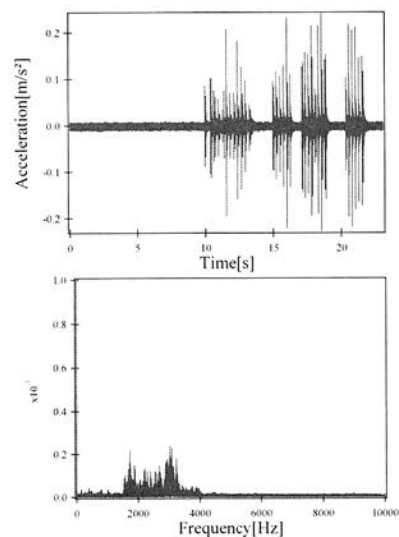
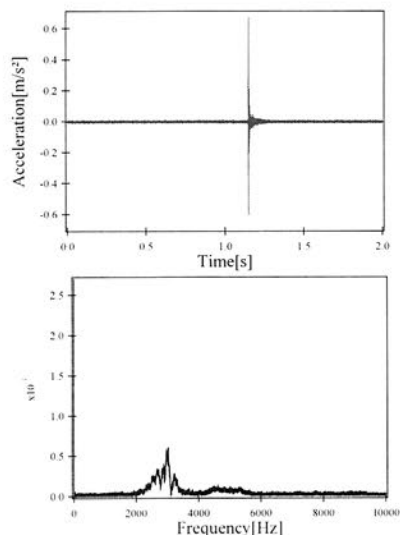
麦積山石窟は敦煌莫高窟、龍門石窟、雲岡石窟と並び称される中国石窟寺院であり、2001年には「中国麦積山風景区」、複合遺産として世界遺産暫定リストに掲載されている。今後は観光客の増加に伴う麦積山石窟への影響を調査する必要がある。

【観光客に起因する振動調査】

観光客の増加に伴い、振動の増加が考えられる。振動によって石窟内の壁画の崩落や塑像の崩壊に悪影響を及ぼす。ここで本調査では、観光客に起因する振動の調査を行い、石窟内への振動の影響を調査した。

本調査では特別窟であり公開に入場制限をしている第133窟内で振動の調査を行った。振動計測に用いた加速度センサは地面、壁面の岩体部分、壁面の修復材料部分に設置を行った。第133窟では壁画の崩落しそうな箇所を修復材料によって抑え、崩落を防いでいる。修復材料には主に土6に対し砂4を混ぜ、麻を適量(1.5~2.5%)加えたものを使用している。

麦積山 133 窟では修復材料が観光客の携帯電話の着信音によって振動していることがわかった。そこで、133 窟内で音による影響の調査を行った。その結果を図に示す。図 2 の振動周波数から 2000Hz~4000Hz の周波数の振動で修復材料が振動することがわかった。また、133 窟の外に設置されている入口（鉄格子）を揺らすことによって 133 窟内の修復材料が振動していることがわかった。鉄格子を揺らす際の振動を図 4 に示す。図 4 から鉄格子を揺らすことによって修復材料が許容値を超える値で振動していることがわかる。このときの周波数は 1800Hz~3500Hz である。修復材料に振動が伝播していることから壁画にも振動が伝播している可能性があり、振動による壁画の崩落が考えられる。133 窟では携帯電話のような高周波の音では振動が発生して壁画に悪影響を与えうるが、観光客の会話や歩行などにより生じる振動は修復材料に伝播していないことが分かった。しかし窟の入口に設けられている鉄格子のように石窟に設けられた設備が壁画に悪影響を及ぼしていることが分かった。



現在の活用形態では修復材料が振動してしまい隣接しているオリジナル部分にも振動が伝播し、振動による壁画の崩落が考えられる。これまでは伝統的な修復材料が用いられていたが、今後は活用形態に応じた新たな修復材料を検討する必要がある。

珍敷塚古墳における保存管理計画策定のための研究 Research for Conservation of Mezurashizuka Tomb

○森井順之（東京文化財研究所），犬塚将英（東京文化財研究所），寺嶋克史（うきは市教育委員会），吉田東明（福岡県教育庁），宇田川滋正（文化庁），建石徹（文化庁），川野邊渉（東京文化財研究所），石崎武志（東京文化財研究所）

○Masayuki Morii (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Masahide Inuzuka (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Katsushi Terashima (Ukiha City Board of Education), Tomei Yoshida (Fukuoka Prefectural Board of Education), Shigemasa Udagawa (Agency for Cultural Affairs), Toru Tateishi (Agency for Cultural Affairs), Wataru Kawanobe (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Takeshi Ishizaki (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)

はじめに

国指定史跡・屋形古墳群のうち珍敷塚古墳では、2008年9月、壁画収蔵庫でカビ発生を確認して以来、覆屋内部までカビが繁殖した。そのため、2009年4月に紫外線殺菌灯照射によるクリーニングを実施し、現在は経過観察中である。

珍敷塚古墳では将来、カビ繁殖抑制など保存管理計画の策定が必要である。発表者らは保存管理計画策定のため、環境測定やカビ繁殖制御などの試験を現地で進めている。ここでは、温湿度測定結果に基づく現在の石室・壁画の保存環境、および紫外線殺菌灯照射によるカビ繁殖制御試験の結果を報告する。

珍敷塚古墳の環境測定

珍敷塚古墳における環境測定機器配置を図1に示す。覆屋外 (No.1)、覆屋前室 (No.2)、収蔵庫 (No.3~5) の気温および相対湿度の測定を行った。また収蔵庫内では、地上 1.0m (No.3)、0.5m (No.4)、0.1m (No.5) と鉛直方向に地点を設け、鉛直方向分布を測定した。

測定結果のうち2010年の気温変化・相対湿度変化を図2・図3に示す。気温変化のグラフからは、覆屋内および収蔵庫内の日変化は小さいことが分かった。しかし、覆屋および収蔵庫内は、年間変動が10~30℃と大きく、外気温と同じ時期に最高気温を記録している。佐野・三浦¹⁾は、建設時の測定結果との比較により覆屋の断熱性が悪くなったとしているが、発表者らも断熱性の向上は今後必要であろうと考える。また収蔵庫内では、夏場は上が高温、下が低温と差が生じており、冬場はその変化が目立たなくなるという結果が得られた。

相対湿度変化のグラフからは、外気と比較して覆屋内及び収蔵庫内の変化は小さく、収蔵庫内は年間を通じて90%以上と高湿度であることが分かった。覆屋内は2010年6月末まで50~70%の範囲で推移していたが、それ以降は80%以上となっている。これはカビ繁殖防止のため2009年10月から除湿機を稼働させていたが6月末で故障したためである。また、除湿による効果は覆屋内のみであり、収蔵庫内には影響がなかった。このとき既に覆屋内も紫外線殺菌灯によるカビ繁殖制御を進めていたため、除湿機を停止したまま経過観察を行うことにした。

また、測定データより平成22年の絶対湿度の変化を計算したところ (図4)、6月までは外気と比べて覆屋内のほうが小さく除湿効果が確認されるが、7月以降は覆屋内のほうが大きいことが分かった。また、収蔵庫内は年間通して絶対湿度は高いことが分かった。これは、収蔵庫が覆屋および収蔵庫の床面が土間であり、地面からの蒸発が影響しているものと考えられる。また収蔵庫は密閉性が高いため、湿度が高くなる傾向があると考えられる。

紫外線殺菌灯照射によるカビ繁殖制御

2008年9月から繁殖したカビ等は、2009年4月のクリーニングで全て除去した。しかしながら、壁画収蔵庫内の相対湿度は非常に高く、カビの再繁殖のおそれが強い。そこで発表者らは、紫外線殺菌灯照射によるカビ繁殖制御を考えた。

まずは、紫外線による影響を調べるために、壁画が描かれている顔料を用いて作成した試料にて、以下に示すような基礎実験を行った。表1は、試料に紫外線殺菌灯を30cmの距離で約

1週間照射したとき（現地では約1年間の照射に相当）の色変化である。この時点では各顔料の色差に大きな変化が見られなかった。珍敷塚古墳の壁画顔料は、上記の条件で照射した場合、紫外線による影響がほとんどないことを確認したが、今後長期変化について変更の必要がある。

2009年4月、覆屋内に2灯、壁画収蔵庫内に1灯の40W紫外線殺菌灯を設置し、公開時以外は常時点灯している（図5）。また、月1回、壁画および地面・覆屋内におけるカビ等の有無について、所有者により目視観察が行われている。目視観察で、現在（2011年4月）までカビ発生は確認されていないことから、紫外線殺菌灯照射が有効であったことを確認した。

【謝辞】壁画顔料試料の作成および基礎実験は、早川典子氏、中右恵理子氏、安部倫子氏の協力を得た。ここに記して謝辞を表す。

【参考文献】

- 1) 佐野・三浦（2009）国指定史跡「屋形古墳群」珍敷塚古墳保存施設内の温湿度環境 文化財保存修復学会第31回大会

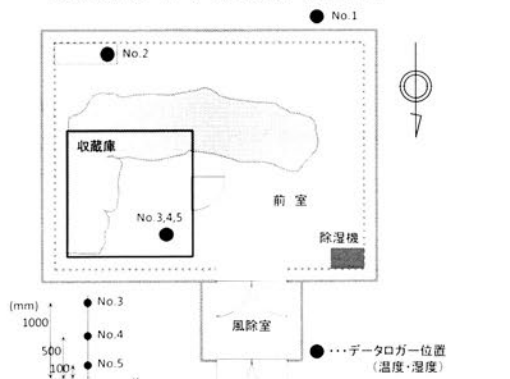


図1 珍敷塚古墳覆屋の環境測定機器配置

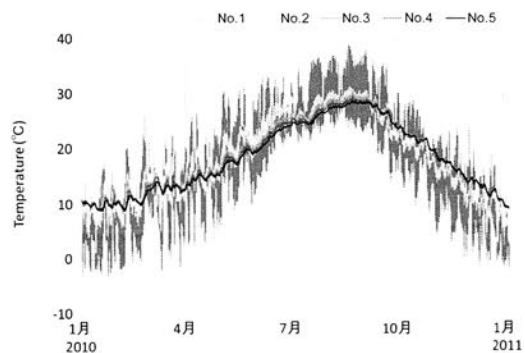


図2 気温変化（2010年）

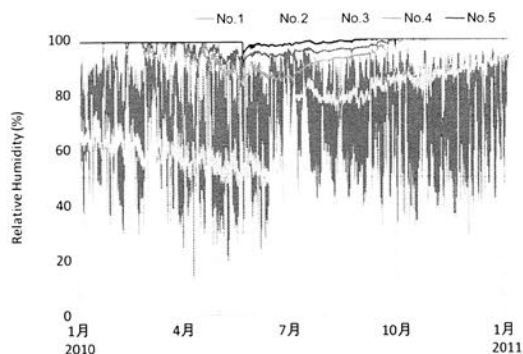


図3 相対湿度変化（2010年）

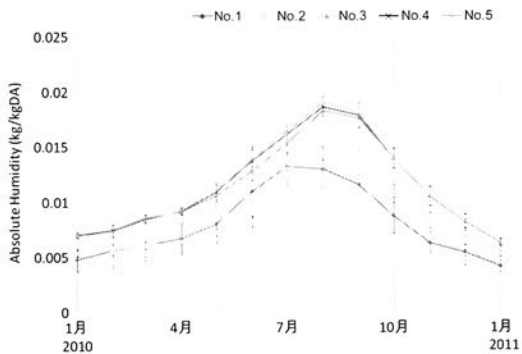


図4 絶対湿度変化（2010年）

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*
ベンガラ	0.010	-0.080	-0.177
黄土	-0.067	-0.933	-0.790
胡粉	0.573	-0.133	0.033
墨（松煙）	-0.243	0.030	-0.003

表1 壁画構成顔料の紫外線影響

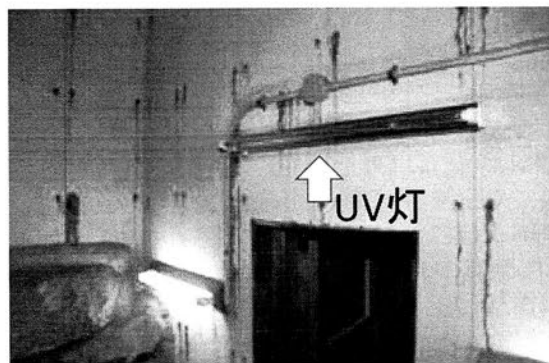


図5 収蔵庫内の紫外線殺菌灯

高松塚古墳壁画の材料調査

— 蛍光 X 線分析法による下地漆喰に関する調査 (3) —

The plaster analysis of the ancient Takamatsuzuka tumulus

-Investigation by the X-rays fluorescence analysis (3) -

○降幡 順子⁽¹⁾、早川泰弘⁽²⁾、吉田直人⁽²⁾、辻本与志一⁽¹⁾、脇谷草一郎⁽¹⁾、
高妻洋成⁽¹⁾、佐野千絵⁽²⁾、宇田川滋正⁽³⁾、建石徹⁽³⁾
○Furihata Junko⁽¹⁾、Hayakawa Yasuhiro⁽²⁾、Yoshida Naoto⁽²⁾、Tsujimoto Yoshikazu⁽¹⁾、
Wakiya Soichiro⁽¹⁾、Kozuma Yosei⁽¹⁾、Sano Chie⁽²⁾、Udagawa Shigemasa⁽³⁾、Tateishi Toru⁽³⁾
(1) Nara National Research Institute for Cultural Properties,
(2) National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo, (3) Agency for Cultural affairs

1.はじめに

高松塚古墳壁画の劣化原因調査の一環として、平成20年度より携帯型蛍光X線分析装置を用いて壁画表面に存在する主要元素の測定をおこなっている。下地漆喰に含まれる鉛の分布や図像に用いられている彩色材料を調査することで、壁画の劣化原因を推定し、さらには今後の修理に有用な情報を得ることが目的である。これまで本学会では、西壁石2(白虎)・東壁石2(青龍)、北壁石(玄武)、西壁石1(男子群像)、天井石2(南から2石目)の調査結果を報告し、鉛の検出強度が場所により異なること等の成果を公表した。今回は西壁石3(女子群像)、南壁石(閉塞石)についての調査結果を報告する。

2.測定方法

二方向にスライド可能なアームが取り付けられている分析用フレームに携帯型蛍光X線分析装置Niton XLt-500を取り付けて測定をおこなった。測定条件は、管電圧40kV、電流Auto(約10 μ A)、測定時間60秒、X線照射範囲10mm ϕ (試料間距離7mm時)である。操作はすべてフレームの外からおこない、壁画面上での作業をおこなうことなく安全に測定を実施できるようにしている(写真1)。測定は壁画面を縦横5cm間隔でおこない、土に覆われた箇所、あるいは漆喰が完全に脱落している箇所については測定を実施していない。測定箇所数は、西壁石3(女子群像)244点、南壁石(閉塞石)は201点である。

3.測定結果

今回報告する壁石においても、西壁石1(男子群像)・西壁石2(白虎)と同様、鉛は強度の差はあるものの壁面全体から検出されることがわかる(図1、図2)。西壁石3(女子群像)は、女子群像の周辺部に鉛検出強度の大きい範囲がある。裳周辺は比較的強度は小さいといえる。また北壁石(玄武)に近接した範囲で鉛検出強度がやや強くなる箇所が確認され、西壁石1(男子群像)でも南壁石に近接した範囲で同様にやや強くなる箇所が確認されている。

南壁石(閉塞石)は、残存する漆喰が少ないため相対する位置関係の北壁石(玄武)のように面的な検出が困難であったが、測定した範囲では西側下部にやや鉛強度の大きな領域が広がる。東壁石2の日像や西壁石2の月像の下方で観察されたような帯状に鉛強度の大きい部分は認められなかった。



写真 1: 測定風景

これまでの調査結果からは、石材による鉛分布の差異も明確になりつつある。鉛分布の差異の原因については、二次的に生成した炭酸カルシウム層の影響や表面状態との関係を今後検討していく必要があるといえる。

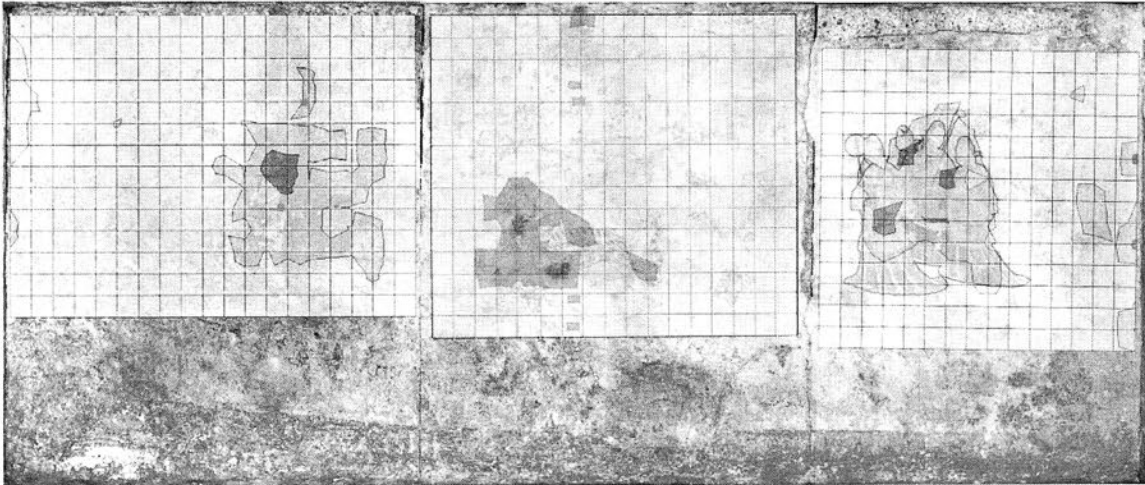
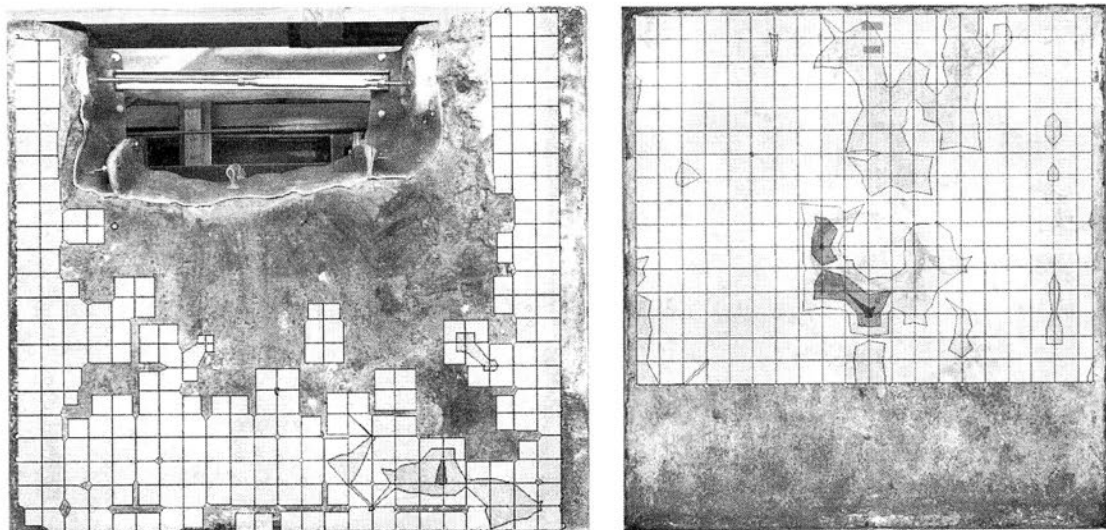


図1: 西壁石の鉛検出強度分布

左から 西壁石1(男子群像)、西壁石2(白虎)、西壁石3(女子群像)
(西壁石1および西壁石2は日本文化財科学会第26・27回大会にて報告済)

西壁石3(女子群像)は、西壁石1(男子群像)と同様に図像周辺の鉛検出強度の高い。西壁の南端(図左側)および北端(図右側)にもやや高い部分が観察できた。



南壁石(閉塞石)

北壁石(玄武)

図2: 南壁石(閉塞石)・北壁石(玄武)の鉛検出強度分布
(北壁石(玄武)は日本文化財科学会第27回大会にて報告済)

南壁石(閉塞石)は、漆喰の残存状況により測定箇所が制限されているが、下部にやや検出強度の高い部分が観察できた。

□ □ ■ ■ ■ ■
minor major

トレハロース含浸法における結晶化と乾燥法の検討

A study on crystallization and drying in the trehalose method

田上勇一郎・西澤千絵里（福岡市埋蔵文化財センター）・今津節生（九州国立博物館）

Yuichiro Tagami, Chieri Nishizawa(Fukuoka City Archaeology Center),

Setsuo Imazu(Kyushu National Museum)

1 はじめに

従来、糖アルコール含浸法の主剤として用いてきたラクチトールの価格高騰をきっかけに、副材料として使用してきたトレハロースを主剤として用いるトレハロース含浸法の開発を進めている。すでに、トレハロースが優れた含浸強化材料であることが判明している（伊藤・藤田・今津 2010、日本文化財科学会第27回研究発表要旨集）。本発表ではこれを受けて、さらに効率的な保存処理法の可能性を目指し結晶化工程と乾燥工程について検討したので報告する。

2 含浸・結晶・乾燥における実験的な検討

実験材料：劣化の進んだ高含水率の広葉樹を用いて実験材とした。これらの出土木材は、これまでの含浸処理法では、80%以上の濃度と長期の加熱含浸を必要とした木材である。

ケヤキ 含水率 (Umax : 540%)

広葉樹 含水率 (Umax : 672%)

含浸濃度：上記の実験木材について、十分な寸法安定性を得るために必要な含浸濃度を検討した。最終含浸濃度は、41% (20℃の飽和溶液)、58% (50℃の飽和溶液)、72% (70℃の飽和溶液) である。

結晶工程：結晶工程の効果を推定するために、含浸終了後に冷却して結晶を促進し、さらにアルコールで脱水して結晶化を促進した後に再び各温度の飽和溶液に含浸して乾燥した。

乾燥工程：乾燥工程の効果を検討するために、これまで通常に行われてきたように室温で放置して乾燥する方法と、室温で試料全体を風乾燥する方法について検討した。

3 寸法安定性と内部観察による実験結果

含浸工程

含水率540%のケヤキの場合、最終含浸濃度が41% (20℃の飽和溶液) では自然乾燥と比較して大幅な寸法安定性の向上を示しているが、内部は収縮して実用には耐えない。しかし、最終含浸濃度が58% (50℃の飽和溶液) や72% (70℃の飽和溶液) では、2%前後の実用的な寸法安定性に達している (図1)。一方、劣化した含水率670%の広葉樹の場合は、最終含浸濃度が72%で、木口面収縮率が0%に近い寸法安定性を達成している。

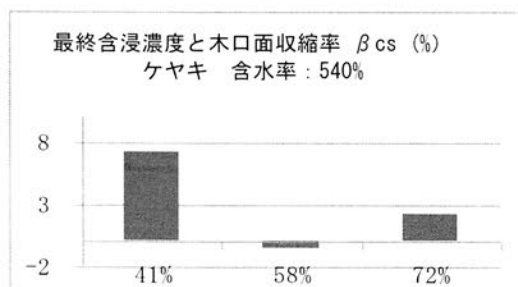


図1 含浸濃度の違いによる寸法安定性

この実験結果から見ると、劣化の激しい高含水率の広葉樹において、トレハロースを60%~70% (50°C~70°Cの飽和濃度溶液) 含浸すれば、高い寸法安定性を得られることが判明した。これまで糖アルコール含浸法で同様の寸法安定性を得るために80%以上の含浸濃度を必要としたことからすれば、従来よりも低い含浸濃度で高い寸法安定性を得られることになる。

結晶工程

トレハロース含浸法では、加熱含浸後の温度低下によって速やかに結晶化が進む特徴がある。そこで、結晶の促進による安定性効果に着目して実験を行った。

従来のように室内に放置して結晶と乾燥が同時に進行する方法と、先に木材内部に結晶を作って木材内部から強化した後に乾燥する方法 (含浸後に冷却して結晶を促進、さらにアルコール脱水して木材内部で結晶化) を比較した。

その結果、表面の収縮率に顕著な差は見られなかったが、実験材の内部状況を X 線 CT の断面像で比較すると、室内に放置することによって結晶と乾燥が同時に進行した試料は、乾燥に伴う水分移動の影響で結晶が木材表面に集まって内部が収縮しているのに対して、内部で結晶を促進した試料は、内面と外面の不均一な収縮もなく安定した状況であった。この傾向は水分を多量に残す低濃度含浸に顕著であった (図2)。

さらに、木材内部から強化 (含浸後に冷却して結晶を促進し、アルコール脱水して結晶化) した後に、再び飽和溶液に含浸して乾燥することによって、内面と外面の不均一な収縮もなく寸法安定性も向上することが判明した (図3)。

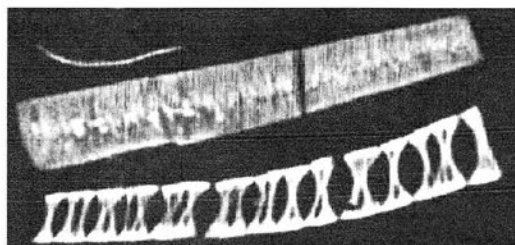
この実験結果が示すように結晶工程を重視しながら脱水方法や再含浸の方法を考案することで、さらに効率的な保存処理方法を提案できる可能性が広がる。特に省エネルギー効果を重視した低濃度含浸を目指す上で結晶工程の効率化は重要な技術的視点となる。なお、高濃度の加熱含浸では、含浸後の冷却時に速やかに結晶化が進むので結晶工程を特別に意識しなくても、結晶から乾燥への変化は円滑に進行する。

乾燥工程

放置して乾燥する方法と、風乾燥について検討した結果、床面に放置して乾燥するよりも、試料全体を均一に風乾燥することによって寸法安定性が向上する。

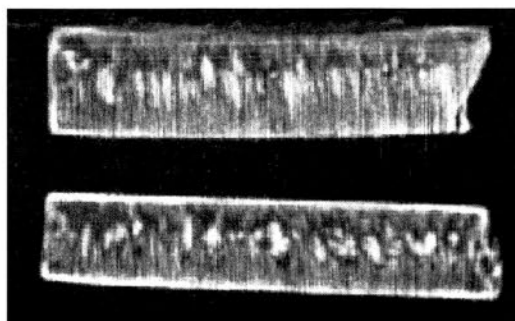
4 まとめ

トレハロース含浸法は、単に糖アルコール含浸法の代用ではなく、高い寸法安定効果を保ちながらも、安価で安全で省エネルギー効果の高い保存方法として大きな可能性を秘めている。今後、多くの研究者によって様々な実験や保存処理事例が蓄積され、研究成果の共有化と普及が図られることを期待する。



上：結晶促進後に乾燥 下：従来の乾燥
最終含浸濃度41% (20°C)

図2 結晶促進による安定性効果



上：結晶促進→再含浸→結晶促進→乾燥
下：結晶促進→再含浸→乾燥
最終含浸濃度41% (20°C)

図3 2サイクル含浸による安定性効果

トレハロース含浸処理法の実用化

— 漆製品への有効性について —

Practical use of trehalose method in conservation of lacquerware

○伊藤幸司, 藤田浩明 (財団法人大阪市博物館協会 大阪文化財研究所)

金原正子 (株式会社古環境研究所), 今津節生 (九州国立博物館)

○Koji Ito, Hiroaki Fujita (Osaka City Cultural Properties Association)

Masako Kanehara (Paleoenvironment Research Institute Co.,Ltd)

Setsuo Imazu (Kyushu National Museum)

1 はじめに

発表者らは 15 年以上に渡って出土木製品への糖アルコール含浸処理法を研究・実施してきた。しかし近年、バイオ燃料高騰の影響を受け、主剤であるラクチトールの価格が上昇し入手しづらい状況になっている。このため、より安価で入手し易い他の糖類に転換する方法を研究していたところ、トレハロースがより優れた主剤となり得ることが明らかになってきた (第 27 回大会発表)。以後、含浸条件と寸法安定性の関連を調べる実験を継続している。実資料への適応については、漆製品の保存処理において非常に効果的であることが判ってきたので紹介する。

2 含浸条件と寸法安定性

出土木製品は様々な樹種と劣化状態のものがあるため、通常は処理する単位毎に包括的に安全性の高い処理条件 (長時間・高濃度までの含浸) を選択するのが常である。しかしトレハロースを用いた場合、個体によっては含浸期間や最終含浸濃度が従来の概念よりも短く低くても、十分な寸法安定性が得られる可能性がある。無論一律に対処できるわけではなく、樹種・含水率と処理条件の組合せによる寸法安定性を明らかにし、適正な処理条件を検討する必要がある。

今回はその端緒として以下の試料を用いて実験を行った。

(条件)

試料 : ケヤキ、含水率 550% 程度、木口取りで $4 \times 5 \times 1$ cm

パターン : 含浸液濃度 50% - 含浸期間 1 週間・2 週間・4 週間

含浸液濃度 70% - 含浸期間 1 時間・16 時間・1 週間

方法 : 試料を各濃度のトレハロース水溶液に設定時間含浸した後、取上げて風乾し、寸法を計測し (ノギス使用)、収縮率に換算した。

(結果)

図 1 に含浸処理終了後 100 日目の収縮率を示した。多少ばらつきはあるが、木製品中へのトレハロース (固形分) の残存量が多いほど寸法安定性が高いことが伺える。今回の試料に限って言えば収縮率 $\pm 1\%$ を求めるならば「70% 16 時間」以上、もしくは「50% 2 週間」以上の条件で含浸することが望ましい。

図 2 は「50% 4 週間」と「70% 1 週間」の含浸終了直後の重量を 100 とした減少率の経時変化である。「50% 4 週間」は 10 日程で急速に減少し、「70% 1 週間」の方は 25 日程をかけて緩やかに減少している。

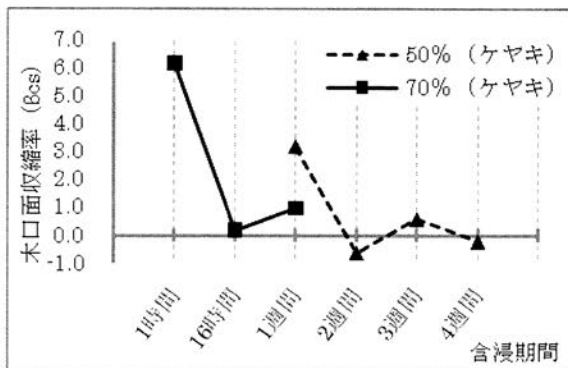


図1 最終含浸濃度と含浸期間の関係

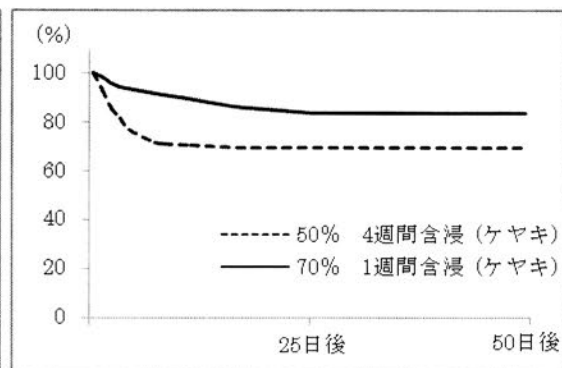


図2 取上げ時重量からの減少率

3 漆製品の保存処理

短時間・低濃度で保存処理を終えられるトレハロースの特徴を生かし漆製品へ適用した。漆膜の剥落や損傷を抑えるため、従来から漆製品への含浸温度は55℃程度を上限としてきた（第16回大会発表）。トレハロース含浸処理法の場合もこれを踏襲せざるを得ないのだが、溶解度が低いため55%程度の含浸しか望めない。しかし、最終含浸濃度が55%であっても、以下の方法により、従来よりも安定性良く処理を終えることが可能となった。

(作業工程)

- ①トレハロース水溶液55%に含浸（通常の漆碗程度なら3週間程度）。
- ②濃度上昇の段階は30%、55%の2段階。加熱温度は55℃。
- ③取上げ後、漆製品の表面で結晶するまでの間、水を使う洗浄は行わない。
- ④取上げの際、ペーパータオルなどを用いて滴る処理液をある程度拭き取る。
- ⑤65%（70℃）のトレハロース水溶液にさっと漬ける（Dipping）。
- ⑥表面の過剰な処理液を拭き取る。
- ⑦漆膜が浮いた箇所があれば、鋸等の加熱装置などを用いて押さえ、固着する。
- ⑧表面に付着している過剰な結晶は温水等を用いて拭き取る。

主剤にラクチトールを用いた場合、変形を抑えるだけの強度が得られるまでに結晶化が進行するには、取上げ後ある程度の期間が必要である。しかし、トレハロースの場合は取上げ直後の④の工程から急速に結晶化が進行し、1時間足らずで表面が乾燥して一定の強度が得られる。

4 まとめ

トレハロース含浸処理法は、従来の保存処理方法よりも短時間・低濃度で保存処理できる可能性がある。そのためには、対象木製品の条件によってどの程度まで含浸すべきかを判断することが必要であり、今後、判断の基となるデータの蓄積が不可欠である。

糖アルコール含浸処理法では木簡の保存処理で非常に大きな成果を挙げたが、トレハロース含浸処理法では漆製品への有効性が見込まれる。難しいというイメージが強い漆製品の保存処理が飛躍的に進行する可能性が高い。しかし、容易にというわけではない。

トレハロース含浸処理法は個々の木製品に対して適正な処理条件を設定することで、期間や経費を削減できるという利点がある。その反面、それぞれに個別の判断が求められる。保存処理の実施に際しては方法・手法に係る知識・経験・技術の裏付けが必要である。

観音寺本馬遺跡土壙墓および土器棺墓の保存と展示

—人骨の出土から展示まで—

Studies on Conservation and Display of The Human Skeletal Remains Excavated from Kannonji-Honma Site

○奥山 誠義, 本村充保, 鈴木一議 (奈良県立橿原考古学研究所)

○OKUYAMA MASAYOSHI, MOTOMURA MITSUYASU, SUZUKI KAZUYOSHI (Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture)

1. はじめに

観音寺本馬遺跡は、京奈和自動車道建設に伴う発掘調査として調査を行ってきた遺跡である。縄文時代から中世にいたる複合遺跡が存在することが明らかとなり、縄文時代晩期中葉の遺構面に遺存状態が良好な土器棺墓および土壙墓が多数出土した。このうち4基について遺構面からの切り取りを行い、室内作業による精査を経て、人骨および遺構の強化処置（保存処理）を実施し、最終的に展示資料化を行った。本研究では同一遺跡内より出土した人骨に対して異なる強化樹脂を使用し保存処理を実施した。また遺構内土壌についてもいくつかの樹脂を用いて強化した。これら人骨等保存処理の成果について報告する。

2. 対象遺構について

遺存状態が良好で、遺構のまま切り取ったものは土壙墓3基、土器棺1基であった。そのほか人骨各部位ごとに個別に切り取ったものが多数ある。遺構ごと切り取った3基（土壙墓1/土壙墓2/土器棺墓12）について重点的に保存処理と展示資料化を図った。

土壙墓1は、長辺1.3m/短辺0.8m/深さ0.3mからなり、少なくとも5体（成人3体、乳幼児2体）の人骨が出土した。いずれも解剖学的位置を保っておらず、出土した各部位の人骨の組み合わせなど詳細は不明である。**土壙墓2**は、長辺1.2m/短辺0.9m/深さ0.3mからなり、1体の人骨が出土した。ほぼ全身骨が遺存し、解剖学的位置を保っていることから、仰臥屈葬による1次埋葬状態であると考えられる。**土器棺墓12**は、口径40cmほどの土器の中に性別不明であるが4歳前後の幼児の骨が解剖学的位置を保たない状態で納められていた。

3. 方法

(1) 遺構の切り取り

切り取り方法は基本的にすべてに共通し、次のような流れで行った。

- ①対象とする遺構の周辺に作業スペースを確保するため、周囲を掘り込む、②遺構と地面との“縁切り”と底抜け防止のため、10～15cm間隔程度で単管を差し込む、③遺構表面を薄手のビニルシートで覆い保護する、④周囲に木製枠を設置し、遺構と木枠との間に硬質発泡ウレタンを流し込む、⑤クレーンによりつり上げ、トラックへ積載し移動

(2) 遺構の精査と劣化防止、そして保存処理へ

i. 土壙墓1 (再葬墓)

開梱時点では、人骨埋葬状況の全容が不明であったため少しずつ土を除去しながら遺構の精査を行った。以後、作業中および作業後には水を散布するとともに厚手のビニールシートを掛け乾燥を防いだ。再葬墓であったため、反転作業を繰り返し天地両面（天/地をそれぞれA面/B面と称す）より土壌を除去し人骨を表出させた。A面は、エタノールで細かな土壌を除去しながら乾燥を行った。B面は骨がペースト状を呈していたため、エタノールでクリーニングし、ある程度強制乾燥させながら作業した。強化のための樹脂塗布は、5%程度の濃度のパラロイドB-72アセトン溶液を使用した。強化程度に応じて樹脂濃度や有機溶剤の配合を変えた。A面に関しては、やや乾いてからクリーニングを終えた部分から、随時、強化程度を確認しながら塗布した。B面に関しては、若干湿っている状態から随時、強化程度を確認しながら塗布した。

ii. 土壙墓 2

開棺後から強化処置までの間は、厚手のビニールシートを掛け、その上を毛布で養生し、ほぼ毎日霧吹きによる散水を行った。保存処理には湿潤状態でも利用可能なエチレン酢ビ系樹脂（商品名：ナチュラルコート、新成田総合社）を使用した。半乾燥状態で強化剤を霧吹きで散布する方法をとった。1ヶ月半の間こまめに前回散布後の表面状況等を確認しながら全体への散布を断続的に行った。

iii. 土器棺墓 12

開棺後、露出部分の乾燥防止と温度変化抑制のため、厚手のビニールシートを掛け、その上を毛布で養生し、ほぼ毎日霧吹きによる散水を行った。腐朽を防ぐため、不定期でアルコールを吹きかけた。表面を少しずつ乾燥させ、ほぼ乾燥したと思われる時点で、強化のため有機溶剤に溶かしたアクリル樹脂（パラロイド B-72）を人骨部分に塗布した。

(3) 展示資料化

当該遺構は展示資料化のためさらなる保存処理やレプリカの作製を行った。

i. 土壙墓 1（再葬墓）

A面人骨表面の型取りでは、型取り前に脆弱と思われる箇所には5%程度の濃度のパラロイド B-72 溶液を塗布し補強を図った。その型のまま反転し裏面を型取りする予定だったが、反転に耐えられないと判断し、A面の型を外し、資料を補強し反転した。B面の盛土を除去し先述のアクリル樹脂を用いて補強した。型取り後、状況によっては再度補強を行った。

複製は複製作製面の全体に錫箔を貼り、シリコン樹脂を塗布した後、石膏の外枠を作製した。石膏外枠とシリコン樹脂型を外し、それらへ成形用樹脂を流し込み樹脂製複製品を作製した。A面/B面両面の複製を作製するため、天地を反転しながら同様な作業を行った。

ii. 土壙墓 2

複製作製工程は土壙墓 1 にほぼ同じであった。

iii. 土器棺墓 12

土器棺部分は錫箔を貼って土器棺を保護し、表土共全体にシリコン樹脂を塗布しシリコン型を作製した。その後、シリコン型に樹脂を積層させFRP製の成型品を作製。成型品にアクリル塗料で彩色して仕上げた。実物展示用の実資料は土器棺直下や周辺の土壌の強度が不十分であったため、石材強化材 OH-100 ないし、OM-100 の混合物及び OM-100 を塗布含浸させ固めた。

4. 結果

本研究では同一遺跡内より出土した人骨に対して異なる強化樹脂を使用し保存処理を実施した。また遺構内土壌の硬化についてもいくつかの樹脂を用いた。この結果、人骨の保存処理については、人骨や周辺土壌の乾湿状態と使用薬剤の選択がその後の形態維持に大きな影響があることを再確認した。本研究では、保存処理を経て実資料と共に複製を作製しているため、今後、保存処理品と複製品とを比較しながら処理後の経過観察を進めたいと考えている。

これら保存処理を施した人骨および複製品は一部が奈良県立橿原考古学研究所附属博物館において常時展示されている。

末筆になりましたが、本件の事業を行うに当たり(株)京都科学、(株)スタジオ三十三、(株)アクト 各社にご協力をいただきました。記して感謝の意を表します。



Fig.1 土器棺出土状況
(左：土壙墓 2，右：土器棺墓 12)

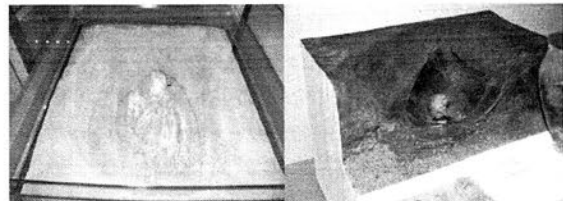


Fig.2 展示風景
(左：土壙墓 2，右：土器棺墓 12)

岡本太郎の絵画に使用された絵具の分析

Chemical Analyses of paints used for Taro Okamoto's works

○権代紘志、阿部善也、K.タンタラカーン、中井 泉(東理大・理)、
吉村絵美留(吉村美術研究所)
○H.Gondai, Y.Abe, K.tantrakarn, I. Nakai (TUS Sci.)
E. Yoshimura (Yoshimura Art Research Center Ltd.)

1. 背景と目的

2011年、生誕100周年を迎えた芸術家・故岡本太郎氏は、絵画、彫刻、デザイン、書、舞台美術など多彩なフィールドで精力的な活動を行い、中でも日本万国博覧会(1970年)のテーマプロデューサーとして「太陽の塔」を手掛けたことは有名である。この度、絵画修復家(吉村)と文化財分析の研究グループとが協力して、岡本氏の絵画に塗られた絵具とチューブ入り絵具から採取した絵具の化学分析を行った。研究目的は絵具の材質を明らかにし、絵画修復に有用な化学的知見を調査することである。また、岡本氏が絵画の創作活動において用いた彩色技術を絵具の化学的情報から考察することを目指した。

2. 分析試料の紹介

分析の対象とした川崎市岡本太郎美術館所蔵の絵画を Table 1 に示す。絵画には様々な色彩の絵具が用いられており、分析の際には色彩に着目して複数点測定している。絵画に塗られた絵具には、異なる色彩の絵具が混合し、重なっている箇所が多々見られた。従って、絵画に塗られた絵具の分析には、絵具を混合・重畳される以前のチューブ入り絵具から直接採取した絵具の分析を行う必要がある。今回分析した川崎市岡本太郎美術館所蔵の岡本氏が実際に使用していたチューブ入り絵具を Fig. 1 に示す。赤、黄、緑、青、紫、黒、白の計20本のチューブ入り絵具を分析対象とした。

Table 1 作品名と製作年

作品名	製作年
夜	1947年
建設	1956年
アドレッサン	1961年
赤のアイコン	1961年
エクセホモ	1963年
暴走	1968年
にらめっこ	1980年

3. 実験内容

3.1 美術館所蔵の絵画の分析方法

川崎市岡本太郎美術館所蔵の絵画の分析には、可搬型分析装置を美術館内に持ち込み、展示された状態で非破壊分析を行った。可搬型蛍光X線分析装置は絵具の化学組成の定性分析に使用した。可搬型粉末X線回折計と可搬型ラマン分光分析装置は絵具に含まれる顔料の同定のために使用した。可搬型装置は大気中で使用した。



Fig. 1 チューブ入り絵具

3.2 チューブ入り絵具の分析方法

岡本氏が実際に使用したチューブ入り絵具(Fig. 1)から絵具の一部を採取し、可搬型X線分析装置と卓上型X線分析装置を併用して詳細に調べた。

4. 結果と考察

4.1 チューブ入り青色絵具の分析結果

PENTEL社の3種類のチューブ入り青色絵具のXRFスペクトル(Fig. 2)とXRDパターン(Fig. 3)を示す。コバルトブルーはアルミン酸コバルト(CoAl_2O_4)、ウルトラマリンブルーはアウイン($\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{26}(\text{SO}_4)_2$)、プルシャンプルーはヘキサシアノ鉄(II)酸鉄(III)($\text{C}_{18}\text{Fe}_7\text{N}_{18}$)が青色顔料として含まれていた。また、青色顔料のほかに、コバルトブルーにはアルミナ(Al_2O_3)とカルサイト(CaCO_3)、プルシャンプルーでは重晶石(BaSO_4)を確認した。これらは色が非常に濃く、ききが強過ぎる青色顔料をほどよく濃度調節するために加えられる体質顔料と考えられる¹⁾。

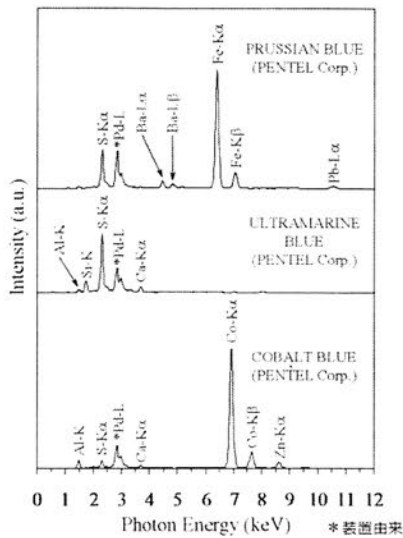


Fig. 2 チューブ入り青色絵具の XRF スペクトル

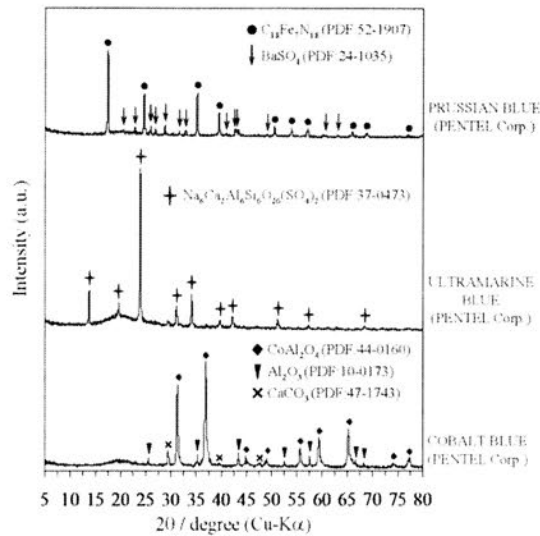


Fig. 3 チューブ入り青色絵具の XRD パターン

4.2 絵画における青色絵具の分析結果

「夜」(Fig. 4)の白色部と青色部の XRF スペクトル (Fig. 5)と XRD パターン(Fig. 6)を示す。XRF と XRD より、白色顔料である亜鉛華(ZnO)が高濃度に絵全体に含まれることがわかった。青色が濃くなるほどプルシャンプルー由来と考えられる Fe の蛍光 X 線強度は増大するが、亜鉛華と比較すると Fe は微量であった。また、白色部と同様に、青色部の XRD パターンにも亜鉛華が明瞭に検出されたが、青色顔料の検出は困難であった。プルシャンプルーは少し白色絵具に加えただけでも水色になるくらい着色力が大きい特徴があり、適度な発色には微量でよいことを反映していると考えられる¹⁾。今回測定した絵画の分析では、青色絵具としてプルシャンプルーが主に使用された傾向が見られた。

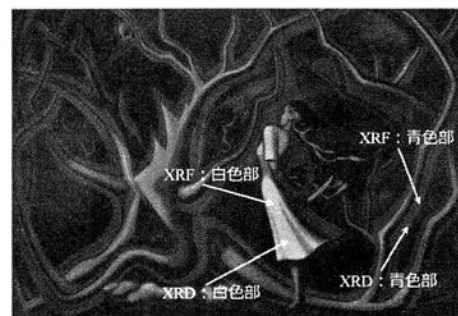


Fig. 4 「夜」の分析箇所

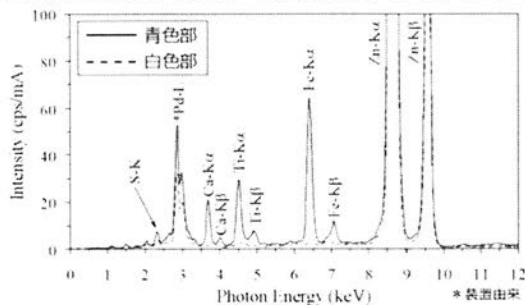


Fig. 5 「夜」の青色部と白色部の XRF スペクトル

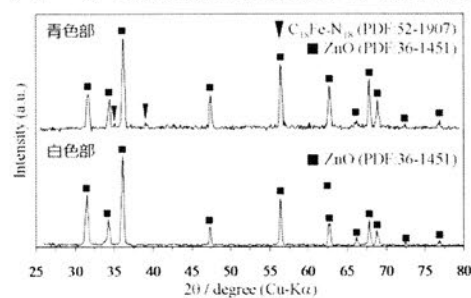


Fig. 6 「夜」の青色部と白色部の XRD パターン

5. まとめ

チューブ入り絵具の各色彩の分析データを参照し、岡本氏の絵画に塗られた絵具の顔料同定を行った。絵画修復を行う上で有益な情報が得られた。

謝辞 貴重な作品の分析を許可くださった川崎市岡本太郎美術館 村田慶之輔館長はじめ小林正人副館長、お忙しい中、分析にご協力くださった仲野泰生氏を初めとする学芸員の皆様、吉村美術研究所の山田星仁氏のご厚意に深く感謝いたします。

参考文献 1) ホルベイン工業技術部 編：『絵具の科学』, pp23-41, 中央公論美術出版。

保存処理済み出土木製品の PEG 低分子化に関する事例研究 A Case Study of Molecular Weight Distribution on Conserved Waterlogged Wood

○米村 祥央 (東北芸術工科大学)

○YONEMURA SACHIO (Tohoku University of Art & Design)

1. はじめに

保存処理された出土木製品について、これまでに様々な経年変化の現象が報告されている。経年変化の要因としては、使用された薬剤物性の内的要因、規定と異なる方法で処理した場合の処理工程、保管場所の温湿度条件などの保管環境が挙げられる。要因が生じている時期と、現象として問題が確認されるようになる時期との間には時間差があり、さらに詳細な履歴は分からないことが多いため、生じた現象のみから原因を特定することは難しいのが現状である。

2010 年度、発表者は表面が湿った状態のまま乾燥せず、梱包材にも薬剤が溶出した木製遺物を、再処理のために取り扱った。ポリエチレングリコール(PEG)で処理されたことが処理記録から明らかになり、分子量分布の測定を試みたところ、著しく低分子化していることが明らかになった。本大会では、これまでの研究成果と合わせた考察から得られた、保存処理後の経年変化現象と分子量分布の間にある興味深い関係について報告する。

2. 調査研究

2-1. 試料の状態

木製遺物は処理記録より、10 年前に PEG#4000 で保存処理されたものであった。保存処理後は、温湿度のコントロールがされていない室内で保管されていた。同じ場所に保管された他の遺物には同様の現象は確認されていなかった。木製から PEG が溶出し、下に敷いていた薄葉紙に染み込んでいた。遺物表面は暗褐色かつ濡れ色を呈していた。

Table 1 GPC分析条件

装置	WATERS 社製 GPCシステム 1515+2414
溶離液	メタノール:水=3:2
カラム	SHODEX社製OHpak SB-802.5HQ
カラム温度	40°C
送液速度	1mL/min

2-2. 分子量分布測定

PEG が染み込んだ薄葉紙を蒸留水に浸し、常温下で溶解させた試料溶液を作製し、ゲルパーミエーションクロマトグラフィー(GPC)で PEG の分子量分布を測定した。GPC 分析条件は Table1 に記した通りである。溶出して薄葉紙に付着していた PEG の量が不明なため、GPC で分析するための試料濃度を定めなかった。水量比率を変えた溶液を複数作製し、1.0wt%の PEG 水溶液を分析した際に得られるクロマトグラムの面積と最も近いサンプルのデータを使用して分子量分布を比較検討した。

3. 結果と考察

図1に、得られた GPC クロマトグラムを記した。データは、試薬の PEG#4000(関東化学)“PEG#4000”，今回の再処理でお預かりした遺物のから得た“染み出し”，2009 年に報告した遺物表面に固体として析出した PEG“析出”の 3 種のものである。

染み出した PEG の分子量分布は低分子側にシフトしており、同時にブロードなピークとなった。7.5min から 9min に現れるのは、分子量が 100~1000 程度の PEG であり、常温下ではペースト状、あ

あるいは液体として存在する領域がほとんどである。遺物表面から得た PEG でも固体として析出した PEG については、平均分子量は低分子側にシフトしたが、ピークの幅は広がらず、常温下で固体である領域に収まった。

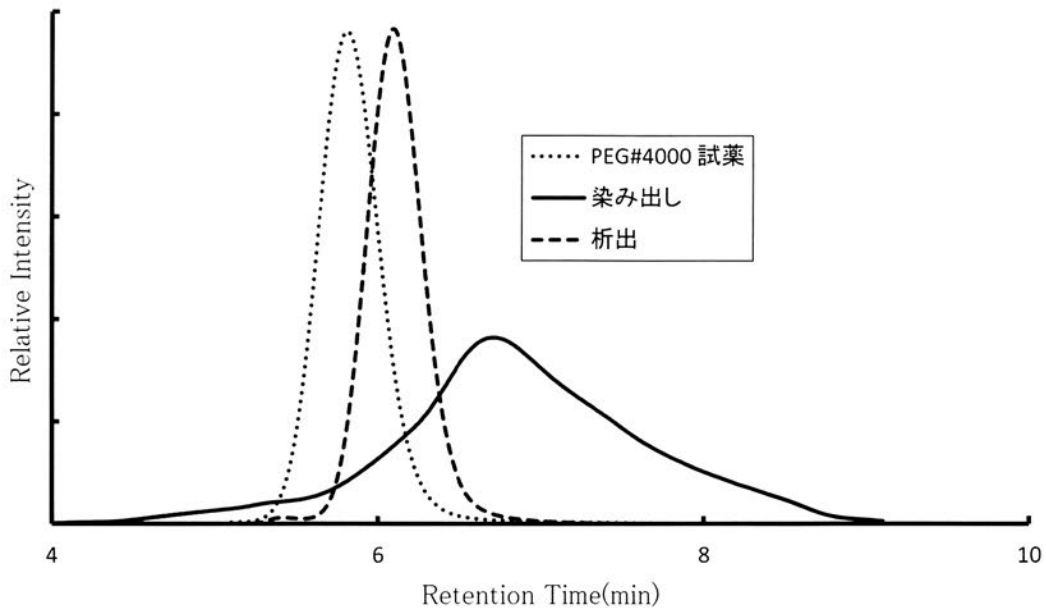


図1 木製遺物表面に溶出したPEGのGPCクロマトグラム

再処理でお預かりした木製品より得られた低分子した PEG 分子量分布は、正常な PEG からの変動が著しかった。高温状態や高湿度状態が長く続かないかぎり、室内環境でこのレベルまでの低分子化が進行したとは考えにくい。聞き取り調査により、通常より高温で含浸処理を施した可能性があることが判明し、処理中に低分子化が進んでいた可能性を示唆している。一方、表面に現れた PEG でも、固体として析出した PEG については、

- ・高温または高湿度になった期間があり、その際融解して表面に移動した PEG が再び固化した
- ・木胎に水分が多く存在し、その水分が表面に移動する際に PEG も移動し、表面で析出したなどの異なるメカニズムが考えられる。

今後、強制的に低分子化させた PEG を研究用出土材に含浸し、生じる現象について実験的に明らかにすることで、その予防策もより明確なものとなるであろう。

参考文献

- 1) 伊藤健司ほか:「保存処理遺物の経年調査(1)」, 日本文化財科学会大会要旨集(2001)
- 2) 米村祥央:「出土木製品の保存処理に用いられる PEG の分子量分布の変化(3)」, 日本文化財科学会大会要旨集(2007)
- 3) 米村祥央:「出土木製品保存環境における PEG 分子量分布の変動に関する基礎研究」, 日本文化財科学会大会要旨集(2008)
- 4) 米村祥央:「保存処理工程と処理後保管環境における PEG 分子量の変動要因」日本文化財科学会大会要旨集(2009)

炭酸カルシウム系材料に着生する生物との境界部における微細構造解析

Microstructural analysis of the interface between organisms and the substrate calcareous materials

○松井敏也（筑波大学），河崎 衣美（筑波大学），山本好和（秋田県立大学）

○Toshiya Matsui (University of Tsukuba), Emi Kawasaki (University of Tsukuba), Yoshikazu Yamamoto (Akita Prefectural University)

【はじめに】

炭酸カルシウムは文化遺産に多様な用途で使われる素材である。とりわけ建築材料として用いられる場合は、建築物の表面化粧材料や目地などに多用される。これらは屋外に曝されることによって生物的劣化作用を受け、美観だけではなくその文化財的価値を著しく損なっている。本研究は炭酸カルシウム系材料が用いられた文化財に着生した生物による影響について、劣化の診断基準を構築すること、文化財に負荷をかけない予防方法の提案を目的としている。

本報では炭酸カルシウム系材料の生物劣化の診断基準を構築するため、ベトナムの歴史的建造物を構成する漆喰とその着生生物を対象に調査を行った。生物着生部の微細構造を光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡を用いて観察し、生物体の穿入深さや密集レベル、生物体の構造、界面における漆喰の形状に着目し、漆喰への生物の着生および生物劣化に影響を与えるファクターの抽出を試みた。



【調査方法】

ベトナム・フエ市内の歴史的建造物を構成する、生物が着生した漆喰片をサンプルとした。サンプルは3つのサイトから採集した。観察後、エポキシ樹脂に包埋し、低速切断機を用いて着生生物と基物との界面の垂直断面を得た。デジタルマイクロスコープ（キーエンス社、VHX-900）、蛍光顕微鏡（ライカ製蛍光フィルターA[励起:340nmから380nm、吸収:425nm以上]およびA4[励起:340nmから380nm、吸収:450nmから490nm]、染色試薬[DAPIおよびCalcofluorWhite]を用いた）、走査型電子顕微鏡（キーエンス社、VE-9800、以下SEMと表す）を用いて観察を行った。過ヨウ素酸-シッフ染色(以下PAS染色と表す)を行い、多糖類の染色から微生物の分布について観察を行った。

【結果と考察】

全サンプルの着生生物種は8種類観察された。内訳は痂状地衣2種、蘚類1種、藻類2種、生物種不明3種（黒色糸状、褐色糸状、灰色糸状）であった。このうち蘚類が着生した未処理のサンプル断面のデジタルマイクロスコープ観察では、漆喰内部に蘚類の仮根の穿入が観察され（図1）、6.5mm以上穿入していることがわかった。このサンプルは表面から顔料層、漆喰層、モルタル層の三層からなり（図2）、仮根が顔料層に穿入した後に顔料層と漆喰層の境界線に沿って伸び、漆喰層を貫通してモルタル層に穿入する様子が観察された。漆喰層とモルタル層の仮根の周囲に顔料片が存在することから、顔料層に穿入した仮根が顔料片を伴って漆喰層に穿入した可能性が考えられた。

地衣類と糸状微生物の着生した漆喰サンプル（図3）断面の観察では、界面の漆喰表層0.2～0.3mmにおいて褐色糸状の微生物および地衣類の菌糸の穿入が多く観察された。これはSEMにおいても確認された。PAS染色後、明らかに微生物が存在するエリアは濃紫色を呈した。また表層0.2～0.3mmの漆喰部分および樹脂が浸透していない部分は乳白色を呈していたが、PAS染色後は赤紫色を呈し、樹脂が浸透した部分は染色されなかった（図4）。このことから漆喰

表層 0.2~0.3 mmの微生物の穿入が多い部分では漆喰の状態が変化している可能性が考えられる。表層と内部の漆喰の組成を分析し、生物劣化の可能性を評価する必要がある。

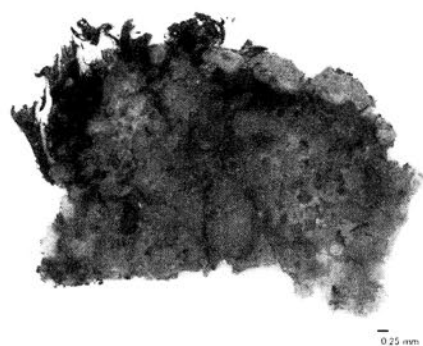


図1 蘚類の着生界面断面 (20倍 未処理)

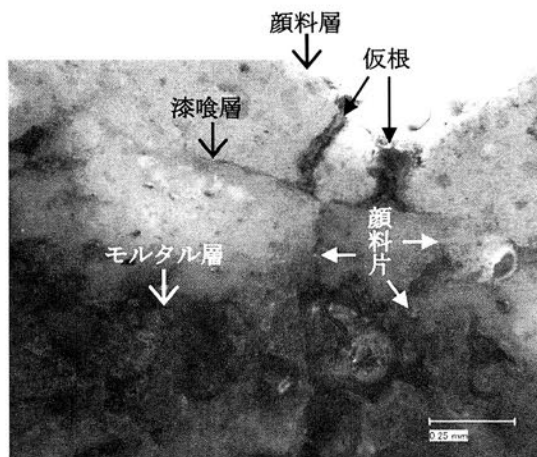


図2 蘚類の着生界面断面 (200倍 未処理)

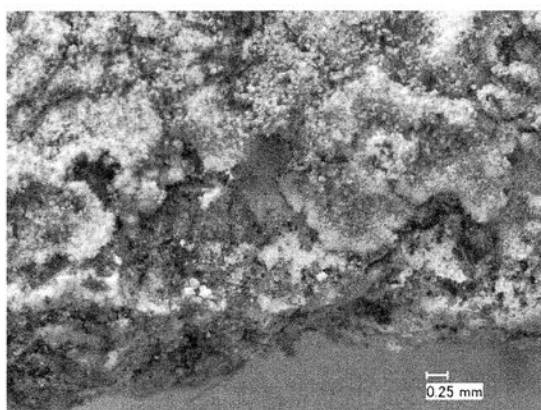


図3 地衣類と糸状微生物の着生した漆喰 (50倍)

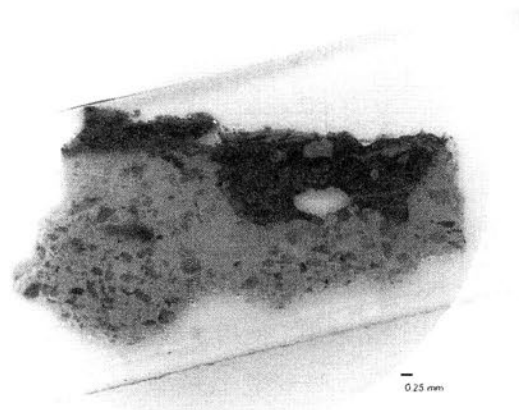


図4 地衣類と糸状微生物の着生界面断面 (20倍 PAS染色後)

【まとめ】

炭酸カルシウム系材料に着生する生物との境界部における微細構造の観察を行い、デジタルマイクロスコープ、蛍光顕微鏡、SEM、PAS染色による観察手法を試行した。観察手法を組み合わせることで解析を行うことによって生物劣化の可能性を確認できた。今後は遺産に負荷をかけない修復を行うために、漆喰の暴露試験や着生生物のクリーニング試験を行う予定である。

【謝辞】

本研究は日本学術振興会科学研究補助金[生物が着生した炭酸カルシウム系材料の劣化特性とその診断手法の開発:課題番号 22300305]により行われたものである。現地調査においては早稲田大学の中川武先生、木谷建太氏に御協力を戴きました。ここに感謝致します。

インヒビターを用いた出土鉄製品の科学的保存処理についての研究

Research of scientific preservation processing of excavation ironware that uses inhibitor

○合澤哲郎(奈良大学), 西山要一(奈良大学)

○Tetsuro Aizawa(NaraUniversity), Yoichi Nishiyama(NaraUniversity)

1.研究の目的

出土鉄製品は、長い間地中に埋没していた影響で腐食して当時の形状を失っており、出土時の状態のままでは保管すると内部や外部の錆、土砂に含まれる塩化物イオンや硫化物イオン、そして大気中の酸素と水分の影響を受け、さらに腐食が促進する。腐食が促進し崩壊することで、本来遺物から得ることが出来た情報を得ることが出来なくなってしまう。後世に、過去の人々の足跡を伝えていくために、出土遺物はそのままの状態では放置しておくのではなく、科学的保存処理を施す必要がある。

本研究は、工業用に用いられているインヒビター(腐食抑制剤)を用いることで、現在出土鉄製品に行われている保存処理に代わる防錆処理方法の検討を行うことを目的とする。

2.実験

実験に用いるサンプルとして鉄板を塩化ナトリウム 3%水溶液に浸漬し腐食させたものを用意した。作成したサンプルをインヒビター水溶液に浸漬し、表面の状態の変化を観察した。

実験に用いるインヒビターは下記のものを使用した。

- ・ケイ酸ナトリウム(水ガラス)($\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$ ($x=2\sim 4$))
- ・安息香酸ナトリウム($\text{NaC}_6\text{H}_5\text{CO}_2$)
- ・ホウ酸ナトリウム(四ホウ酸ナトリウム)($\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{B}_2\text{O}_5$ ($x=1,2$))

これらは中性溶液中で使用することが出来る酸化型インヒビターである。今回、酸化型インヒビターを用いた理由は、吸着型・沈殿型インヒビター共に酸性溶液中で用いるものが多く、仮に酸性溶液中に遺物を浸漬すると遺物の破損を引き起こす恐れがある点、中性溶液中で使用する沈殿型インヒビターが高価である点、発癌性・引火の危険性などの安全性の点を考慮したためである。

実験後、肉眼、顕微鏡による観察でサンプル上に錆の発生、クラックの発生が確認されなかった場合、インヒビターを用いた保存処理を行うと腐食鉄製品に対候性を持たせる防錆効果があると考えられる。

浸漬するインヒビター水溶液の条件は重量比 1%、3%、10%の 3 種類を用意した。ただし、ホウ酸ナトリウムのみ常温で 10%まで溶けないため 10%の水溶液は使用していない。温度環境は実用化を考慮し、常温で処理することが出来るかを検討するために恒温機を使い 25°Cを維持するようにした。浸漬時間は 24 時間、36 時間、48 時間の 3 パターンである。またサンプルは完全に水溶液中に浸漬させる形をとり、処理後、純水をかけ流し、表面の余分な溶液を洗い落とした。

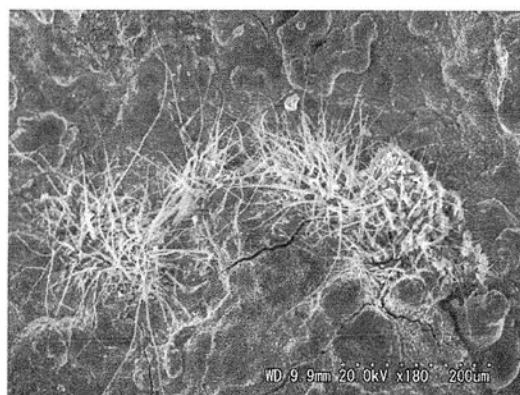
評価は肉眼による観察、電子顕微鏡(SEM:倍率は×70、×300、×2000)で行った。

3.実験結果

・ケイ酸ナトリウム(水ガラス)

観察の結果、1%水溶液浸漬サンプル表面のみ白い析出物が表面に発生した。3%、10%の水溶液に浸漬したものには発生していない。

SEMによる観察では3%、10%水溶液に浸漬したもののみ、1%浸漬時とは別の析出物 2(写真)が発生することが分かった。析出物 2 はサンプル表面のクラックやピンホールなどの凹凸が激しい箇所に発生していることから保護皮膜としての作用があると考えられる。またこの析出物 2 は浸漬時間に関係なく、濃度が上がることで発生している。



写真：サンプル表面発生析出物 2

しかし、SEM 写真を見ると分かるように析出物 2 自体に亀裂が入っており、長期的に作用する保護皮膜としては効果が薄い可能性がある。また析出物 2 が発生しない亀裂もあることから、今回浸漬させた水溶液濃度では出土鉄製品に対する防錆効果は低いと考える。

・安息香酸ナトリウム

使用した安息香酸ナトリウム水溶液中全てに赤褐色の錆の沈殿が見られ、サンプル表面に赤褐色の錆が発生した。これらの錆は X 線回折分析装置による分析の結果、アカガネイト(β -FeOOH)であることが分かった。また SEM による観察において、処理前処理後を比較した結果、クラックの拡大が大きくなっている物が確認できた。錆の発生、クラックの拡大が見られたことから、1%、3%、10%溶液を用いた処理では出土鉄製品に対する防錆効果はほぼないものと考えられる。

・ホウ酸ナトリウム

観察した結果、1%水溶液浸漬サンプルより 3%水溶液浸漬サンプルの表面の方が実験前と比較して黒色化した。表面の黒色化をマグネタイトの発生と考え、ホウ酸ナトリウムが酸化型インヒビターとしてより機能したのは濃度が高い 3%水溶液であったと言える。浸漬時間による色調の大きな変化はない。SEM による観察では、特に変化が見られなかった。

4.終わりに

インヒビターによってどのような保護皮膜が形成されるのか分からなかったため、観察には至らない点もあった。しかしながら、観察により保護皮膜の一部と思われるものが確認出来たものもあり、今回の観察を主体と置いた研究は無駄ではないと考える。

今後インヒビターが持つ防錆効果を明らかにするためには、観察以外にも劣化促進実験、水溶液の濃度、浸漬時間の細分化などを行っていく必要がある。課題はまだ多いが、今回行った実験がインヒビターを用いた文化財の保存処理法についての一研究として参考になれば幸いである。

闘鶏山古墳の石槨内部発掘調査時における石槨内温湿度・空気質の 制御方法の検討 —石槨内空気質予測方法の提案—

Study on the control method of temperature, humidity and air quality in the stone chamber during excavation of Tsugeyama tumulus

-Proposal of prediction method of indoor air quality in the stone chamber -

○小椋大輔（京都大学大学院工学研究科）， 銚井修一（京都大学大学院工学研究科），
木村奈津子（京都大学大学院工学研究科）

○Daisuke Ogura (Graduate School of Engineering, Kyoto University), Shuichi Hokoi (Graduate School of Engineering, Kyoto University), Natsuko Kimura (Graduate School of Engineering, Kyoto University)

1. 序論 闘鶏山古墳は未盗掘の竪穴式石槨 2 基を有し、現在、発掘調査を実施して副葬品等を取り上げる方法が検討されており、外気の影響を極力抑える覆屋の設置と空調システムの構築が不可欠と考えられている。既報¹⁾では、石槨周辺の適切な温湿度制御方法について、発掘調査以前からの地表面断熱及び盛土による石槨内温度変動の抑制効果等を明らかにした。現状の石槨内酸素(以下 O₂)濃度、二酸化炭素(以下 CO₂)濃度はそれぞれ約 18%、2.5%と外気と大きく異なる。このため、発掘作業者の健康・安全面からは O₂濃度を高く、CO₂濃度を低く保つ必要があるが、O₂濃度を高くすると、微生物による有機遺物の汚損や、金属遺物のさびの進行が懸念されるため、両者を考慮して石槨内 O₂・CO₂濃度も適切に制御する必要がある。本研究では、石槨内部発掘調査時の適切な温湿度・空気質環境の制御方法を明らかにするための基礎となる石槨内 O₂・CO₂予測モデルの構築を行う。

2. 現状の石槨内酸素・二酸化炭素濃度 図 1 に第 1, 第 2 主体の O₂・CO₂濃度を温度の測定値と共に示す。

O₂濃度の平均値は約 18%と外気(約 21%)よりも低く、CO₂濃度の平均値は約 2.5%と外気(約 0.04%)よりも高い。また O₂濃度は夏場に低く冬場に高く、CO₂濃度は夏場に高く冬場に低い。

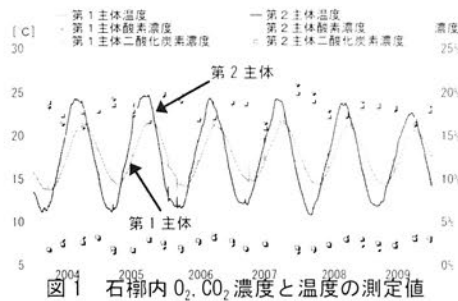


図 1 石槨内 O₂・CO₂濃度と温度の測定値

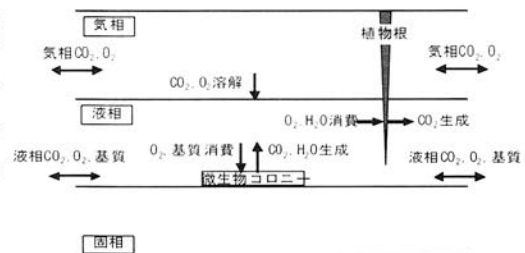


図 2 土中の O₂消費・CO₂生成過程の概要

3. 石槨及び周辺地盤の酸素・二酸化炭素予測モデル 一般に、土中の O₂・CO₂濃度は、微生物や植物根の生物活動に大きく影響される。本研究では土壌物理学分野の理論^{2),3)}を参考にし、土中の O₂・CO₂の移流・拡散、生成・消費を考慮した収支式を提案する。

3.1 基礎方程式 図 2 に土中の O₂消費・CO₂生成過程の概要を示す。ここでは、土を気相・液相・固相の 3 層で構成し、O₂・CO₂は気相と液相、基質は液相にそれぞれ存在するものとする。微小要素内の各相における O₂・CO₂・基質濃度はそれぞれ一様とする。以上の仮定に基づき土中の O₂・CO₂・基質濃度の収支式を示す。土中の O₂収支は、気相と液相の正味流入量、微生物による消失量、植物根の呼吸と吸水に伴う消失量により決まり、式 (1) となる。

$$\frac{\partial x_{O_2}}{\partial t} = A_{V_{O_2}} + A_{L_{O_2}} - F_{M_{O_2}} \phi - F_{R_{O_2}} - U_{O_2} \quad (1)$$

土中の CO₂収支は、気相と液相の正味流入量、微生物による生成量、植物根の呼吸による生成量、植物根の水分の吸い上げに伴う消失量により決まり、式 (2) となる。

$$\frac{\partial x_{CO_2}}{\partial t} = A_{V_{CO_2}} + A_{L_{CO_2}} + F_{M_{CO_2}} \phi + F_{R_{CO_2}} - U_{CO_2} \quad (2)$$

土中の基質収支は、液相の正味流入量、微生物による消失量により決まり、式 (3) となる。

$$\frac{\partial \mathcal{C}_T}{\partial t} = A_{Ls}\phi - F_{Ms}\phi \quad (3)$$

なお、土中の O₂・CO₂ 濃度は、気相濃度及び液相濃度から、 $C_T = (\theta_s - \phi)C_V + \phi C_L$ (4) となる。式(1)、(2)における気相の O₂・CO₂ の正味流入量は、空隙中の濃度拡散と液相への溶解により決まる。O₂ の場合を式 (5) に示す。CO₂ もこれと同様に表せる。

$$A_{iO_2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{iO_2} \frac{\partial C_{iO_2}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{iO_2} \frac{\partial C_{iO_2}}{\partial y} \right) + \alpha_{iO_2} (f(C_{iO_2}) - C_{iO_2}) \quad (5)$$

式(1)、(2)における液相の O₂・CO₂・基質の正味流入量は、細孔溶液内の濃度拡散、液水流に伴う移動、気相からの溶解により決まる。O₂ の場合を式 (6) に示す。

$$A_{iO_2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{iO_2} \frac{\partial C_{iO_2}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{iO_2} \frac{\partial C_{iO_2}}{\partial y} \right) - \frac{\partial v_x C_{iO_2}}{\partial x} - \frac{\partial v_y C_{iO_2}}{\partial y} - \alpha_{iO_2} (f(C_{iO_2}) - C_{iO_2}) \quad (6)$$

熱水分収支式は、既報¹⁾と同様である。また石槨内空気の O₂・CO₂ 濃度は室内表面からの物質伝達により決定する。

3.2 解析モデル 図3に墳丘部の解析モデルの概要を示す。解析対象は、第2主体を含む古墳墳丘部で、石槨の短辺方向の断面を切り出す。

3.3 解析方法 外界条件は2004～2009年の現地計測値を用いる。境界条件は既報¹⁾と同様である。地表面の気相 O₂・CO₂ 濃度はそれぞれ外気と同じ21%、0.034%とした。

4. 解析結果 4.1 微生物・植物根を考慮しない場合 図4に結果を示す。O₂・CO₂ 濃度ともに、夏場に高くなり、冬場に低くなる。これは、気体の水への溶解度が温度に逆比例する関係が大きく影響している。測定値の O₂ 濃度変動とは逆の傾向であり、大気からの拡散だけでは測定値は再現できない。

4.2 微生物・植物根を考慮した場合 微生物と植物根の活動を考慮した解析を行った。石槨内の温度の解析値は測定値とよく一致し(図5)、相対湿度の解析値は、夏期の低下がよく再現できている(図6)。O₂ 濃度の解析値は夏期に低く冬期に高くなり、CO₂ 濃度は逆の変動であり、実測値の変動と一致する(図7)。

5. 結論 生物活動と大気からの拡散を考慮した石槨内空気質予測モデルを構築し、關鷄山古墳の測定値の変動を十分再現できることを示した。

【謝辞】本研究の一部は、高槻市教育委員会の委託を受けて行われた。また平成22年度科学研究費補助金基盤研究(C)(課題番号20560549 研究代表者 小椋大輔)の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。【記号】C: 濃度[kg/m³]、 θ_s : 空隙率[m³/m³]、 ϕ : 含水率[m³/m³]、A: 各相の正味流入量[kg/m³・s]、FMo₂、FMco₂、FM_s: 微生物による O₂ 消費量、CO₂ 生成量、基質消費量[kg/m³(液)・s]、F_{R_{O2}}、F_{R_{CO2}}: 植物根の呼吸に伴う O₂ 消費量、CO₂ 生成量[kg/m³・s]、U: 植物根の水分の吸い上げに伴う消費量[kg/m³・s]、D: 拡散係数[m²/s]、 α_{iL} : 気相と液相との溶解速度係数[1/s]、f(C_L): 液相濃度と平衡する気相濃度[kg/m³]、 v_x, v_y : 液水流速の x 成分、y 成分[m/s] 【添字】T: 材料、V: 気相、L: 液相、O₂: 酸素、CO₂: 二酸化炭素、S: 基質 【参考文献】1) 木村奈津子・小椋大輔・鏝井修一・高橋公一: 關鷄山古墳の石槨内部発掘調査に伴う石槨周辺の温湿度制御方法の検討、日本文化財科学会第27回大会研究発表要旨集、pp300-301 (2010)、2) Jassal, R.S., et al.: A model of the production and transport of CO₂ in soil: predicting soil CO₂ concentrations and CO₂ efflux from a forest floor, Agricultural and Forest Meteorology, 124, pp.219-236 (2004)、3) Molz, F.J., et al.: Simulation of Microbial Growth Dynamics Coupled to Nutrient and Oxygen Transport in Porous Media, Water Resources Research, Vol. 22, No. 8, pp. 1207-1216 (1986)

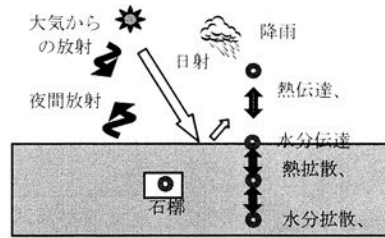


図3 解析モデルの概要

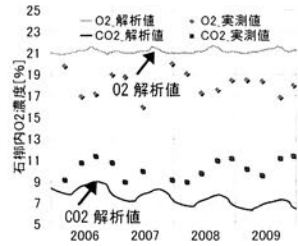


図4 生物活動を考慮しない場合の解析結果

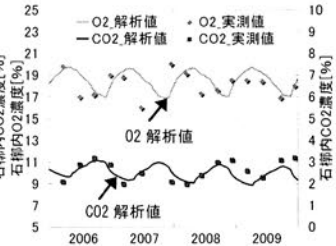


図5 微生物・植物根を考慮した場合の解析結果 (O₂・CO₂濃度)

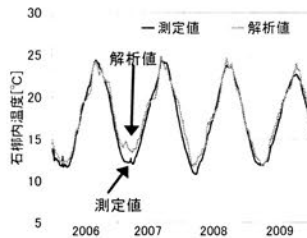


図6 微生物・植物根を考慮した解析結果 (温度)

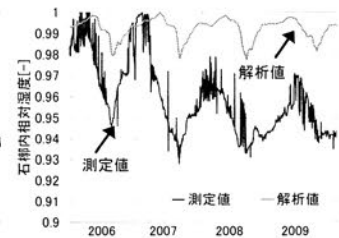


図7 微生物・植物根を考慮した解析結果 (相対湿度)

文化財建造物探査用超音波音速CTにおける画像再構成手法の検討 Modified Image Reconstruction Technique in Ultrasonic Time-of-Flight Computed-Tomography for Structural Inspection of Buildings with Cultural Values

○足立 和成 (山形大), 藤塚淳 (山形大), 鎌田大輔 (山形大)

○Kazunari Adachi(Yamagata Univ.), Jun Fujitsuka(Yamagata Univ.), Dauske Kamata(Yamagata Univ.)

1. はじめに

文化財建造物探査用超音波音速CTシステムは Fig.1 に示すように物体表面の送波器から超音波パルスを対象物に打ち込み、それを受波器で受け取るまでの TOF (Time of Flight)を中心角の異なる 306 対の音波伝搬経路について計測し、FBP(Filtered Back Projection)法により、対象物内部の断面像を相対的な音速分布の形で再構成するものである。本研究では、超音波の持つ波動性の影響を考慮した、より正確な再構成画像を得るための方策を提案する。

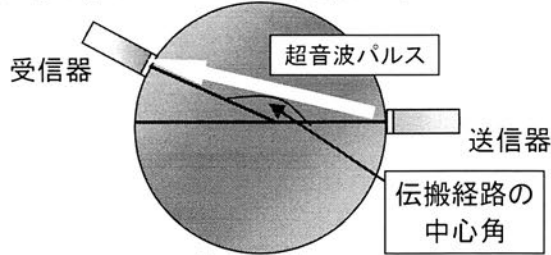


Fig.1 超音波音速CTシステム

2. 波動伝搬シミュレーション

FBP法においては、超音波の伝搬経路を直線と仮定して画像再構成を行っているが、実際にはその波動的性質により、伝搬経路は必ずしも直線とはならないため、再構成画像中で、異常部が実際より外周にずれたり、外周に低音速の異常部の偽像が現れたりする。そこで筆者らは従来から、画像再構成の対象となる円断面について、有限要素法とニューマークβ法の混合解法を用いた波動伝搬シミュレーションを行ないその影響を調べてきた^[1]。ここでは、駆動力として最大値 0.1 N、周期 20 μs の単発正弦波を考え、時間差分を $\Delta t=0.1 \mu s$ 、 $\beta=0.5$ の値とした場合を示す^[2,3]。各受波点での変位波の最大振幅の 10% を閾値とし、送波時点から受波信号がこれに達した時点までを伝搬時間 (TOF) として定め、FBP法を用いて画像化を行った。異常部を設定しない場合と設定した場合の、波動伝搬シミュレーション結果に基づく再構成断面像の例を、直線伝搬経路近似計算結果に基づくものと一緒に Fig.2 に示す。同様な異常部のずれや外周部の虚像は様々な条件化での波動伝搬シミュレーションで観察されることか

ら、これらは一般的な超音波の波動性の影響によるものと考えられる。

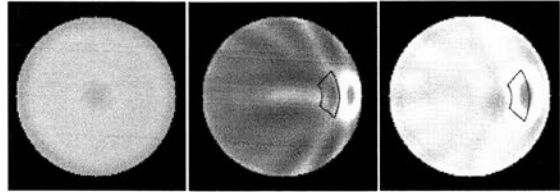


Fig.2 (左)直径 24 cm 音速 3000 m/s の一様円断面,(中)直径 24 cm の異常部のある円断面,音速:健全部 3000 m/s,異常部 1500 m/s,(右)同じ断面の直線伝搬経路近似計算による画像。黒線で囲った部分が設定した音速異常部。

3. TOF 確定のための新しい閾値設定手法

超音波の波動的な性質により、常に再構成画像上に現れる異常部のずれや虚像の問題を解決すべく、筆者らは既に、直線伝搬経路近似と波動伝搬シミュレーションにおける TOF の差と伝搬経路の中心角との関係性を、以下の相対 TOF 差と呼ぶ指標を用いて、中心角ごとに調べている^[1]。

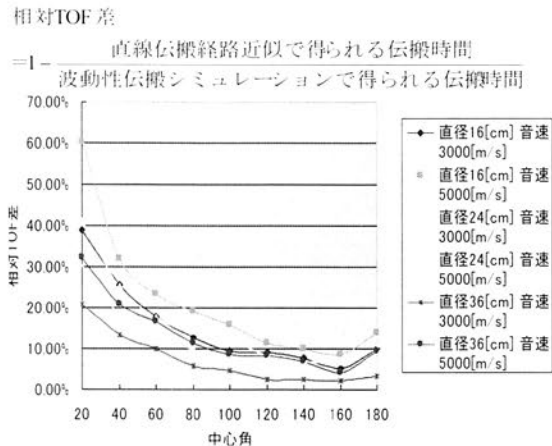


Fig.3 中心角に対する相対 TOF 差

横軸に送受波点間の中心角、縦軸にこの相対 TOF 差をとり、直径 16[cm], 24[cm], 32[cm], 音速 3000[m/s], 5000[m/s] の音速が一様な円断面についての結果を、Fig.3 に示す。相対 TOF 差は、中心角が小さい場合は大きく、中心角が大きくなるにつれて小さくなっていることが分かる。そこで、中心角ごとに TOF を確定するための受波信号閾値の設定を以下のように変えるこ

探
査
O-1

とで、より正確な再構成画像が得られると考えた。即ち、音速が一樣な円断面について、直線伝搬経路近似で得られる TOF を各伝搬経路の中心角ごとに調べ、さらに当該波動到達時点より TOF で 3% だけ遅れた時点での、波動伝搬シミュレーションで得られた伝搬波形における振幅の値を、その中心角における閾値とした。各伝搬経路における TOF を直線伝搬経路近似で得られたものより 3% 大きくなるようにしたのは、伝搬波形の先頭部に常に存在する細かいリップル波や外部雑音が、TOF の値を不安定にするのを防ぐためであり、こうしても、音速の相対値の分布での画像再構成には本質的に影響がない。ここでの具体的な中心角ごとの閾値を Fig. 4 に示す。図の縦軸は、受波信号の最大値に対する閾値の大きさの比率を % で表している。

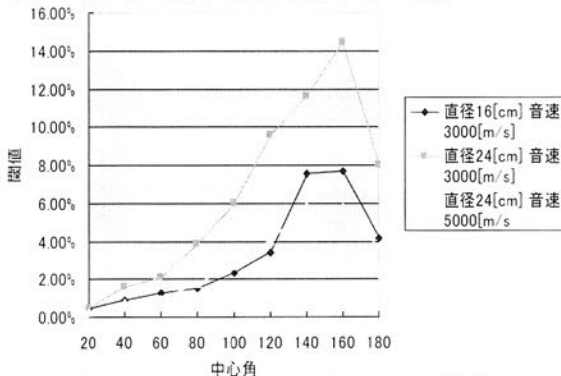


Fig.4 各中心角ごとの TOF 確定のための閾値レベル

4. 新しい閾値設定手法による画像再構成のシミュレーション

Fig. 5 に異常部を設定しない場合と設定した場合の、前節で述べた閾値設定による波動伝搬シミュレーション結果に基づく再構成断面像の例を示す。対応する Fig. 2 の場合と比較すれば、明白に異常部のずれや外周部や外周部の虚像が低減されていることが分かる。さらに、外周部の互いに正反対の側に二つの異常部がある場合について、同様なシミュレーションを行った。

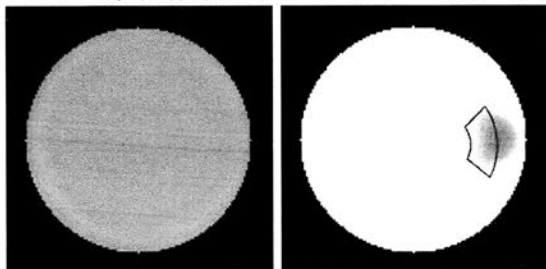


Fig.5 新しい閾値設定による画像再構成シミュレーションの結果。(左)直径 24 cm 音速 3000 m/s の一樣な円断面,(右)直径 24 cm の異常部のある円断面,音速:健全部 3000 m/s,異常部 1500 m/s,黒線で囲った部分が設定された音速異常部。

Fig.6 は従来の閾値設定と新しい閾値設定によるその再構成画像の比較である。一樣円断面内の波動伝搬の様態に基づくこの閾値設定の手法有効性は、こうした場合にも確認できる。

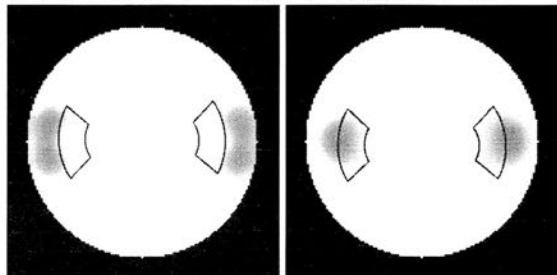


Fig.6 直径 24 cm の円断面の画像再構成シミュレーションの結果。音速:健全部 3000 m/s,異常部 1500 m/s,(左)従来の閾値設定によるもの,(右)新しい閾値設定によるもの。黒線で囲った部分が設定した音速異常部。

5. モルタル製円柱での実証実験

直径 25 cm のモルタル製円柱に直径 4~8 cm の発泡スチロールの円柱を埋め込んだ試料を作成し、上述の閾値設定手法でその断面の超音波音速 CT による可視化を試みた例を Fig. 7 に示す。ただし、外部雑音や実際の試料における非対称性を考慮して、TOF が直線伝搬経路近似のものより 5% 大きくなるような閾値設定とし、中心角 180° の伝搬経路についてだけ、さらに閾値を上述の設定の 2 倍にしている。

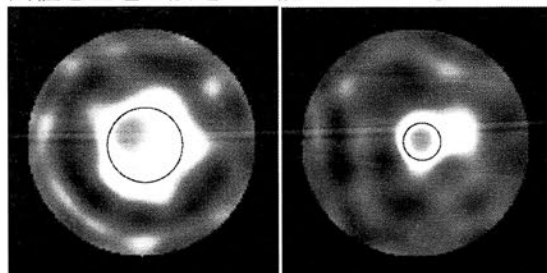


Fig.7 直径 25 cm のモルタル円柱供試体断面の超音波音速 CT 像。黒線で囲った部分が、円筒形の発泡スチロールで人工的に作られた音速異常部の範囲。

6. おわりに

比較的良好な結果は得られたが、この閾値設定手法の物理的根拠が明確でない。現在、物理的根拠の明確なより汎用性の高い閾値設定の手法を検討中である。

参考文献

- [1] 足立和成他, 「文化財と探査」 Vol. 12, No. 1&2, pp. 47-56, 2010
- [2] 戸川隼人著「有限要素法による振動解析」サイエンス社, 1975
- [3] 奥園健他, 音学会 2009 年春季講演集 pp. 1063-1066

地中レーダによる安徳台遺跡群の遺跡探査

Archaeological Prospecting at Antokudai Ruins Using Ground Penetrating Radar

○水永秀樹（九州大学大学院），井上敬夫（九州大学大学院），茂和敏（那珂川町）
○H. Mizunaga (Kyushu University), T. Inoue (Kyushu University) and K. Shige (Nakagawa Town)

1. はじめに

福岡県筑紫郡那珂川町の安徳台遺跡群は，広大な台地に広がる大規模な遺跡群である．この遺跡群の全容を発掘調査のみで明らかにするには，多くの時間と費用を要する．そのため，非破壊で広域の調査が実施できる物理探査の導入は緊急で重要な課題となっている．平成 20 年には物理探査の適用可能性を調べるため，地中レーダによる試験的な遺跡探査が同年 6 月に実施された．その結果，発掘調査と整合性のある結果が得られ，地中レーダ探査の有効性が示された．平成 21 年度には地中レーダによる広域探査が計画され，未調査の 3 区画(A～C 調査区)，約 2,800m²を対象に発掘前の遺跡探査が実施された．本報では，この遺跡探査で得られた探査結果のうち，A 調査区の結果について報告する．

2. 調査地及び測定方法

安徳台は福岡平野の最奥部に位置し，周囲を急峻な崖で囲まれた広さ約 10 万平方メートルの台地である．安徳台の西側には那珂川が流れ，東側には日本書紀にも開削の記述がある人工水路の裂田溝(さくたのうなで)があり，台地に登る通路は北側の一箇所しかない天然の要害になっている．安徳台遺跡群は，魏志倭人伝に登場する奴国の有力な拠点集落と考えられ，平成 9 年度より発掘による遺跡調査が続けられている．これまでの発掘調査では，直径 15m を超える竪穴式住居跡やガラス製品などの豪華な副葬品を伴う大型甕棺墓などが発見されている．また弥生時代の集落や甕棺墓のほか奈良時代の大建築物群，室町時代の館跡も発見されている．さらに，弥生時代中期としては国内最大級の住居跡なども見つかり，継続的な発掘調査が続けられている．

安徳台遺跡群において，図 1(左)に示すように A 調査区から C 調査区の 3 つの調査区で地中レーダ探査を実施した．地中レーダ探査装置には，図 1(右)に示す Sensors & Software 社製の Noggin Smart Cart System(アンテナ周波数 250MHz)を用いた．

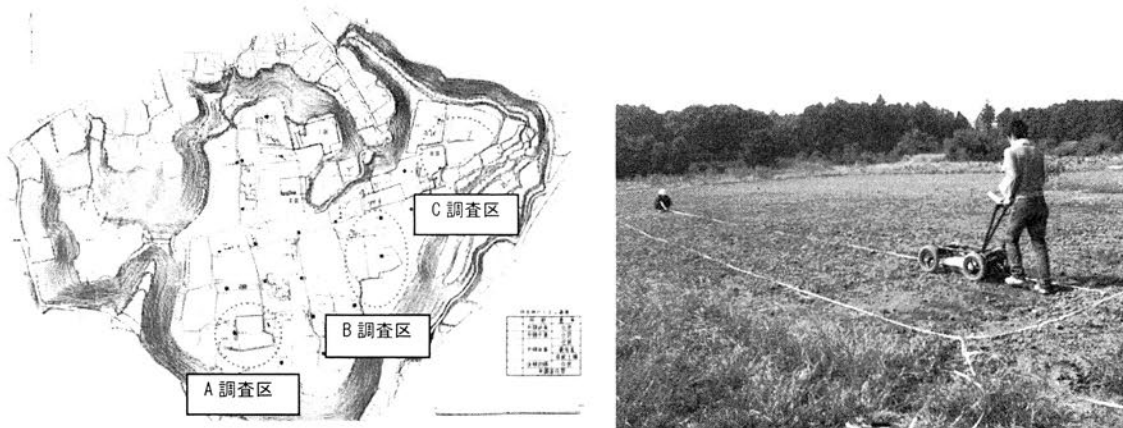


図 1. 安徳台遺跡群の調査区画(左)と調査風景(右)

3. 測定結果と考察

A 調査区の地中レーダ探査は，平成 21 年 9 月 16 日に実施された．この探査で得られた特徴的な深度スライスを図 2 に示す．図 2(左)の 0.2～0.3m の深度スライスを見ると，その中央部に反射強度の強い大きな異常域が見られる．この異常域を示す電磁波の反射面は，その周囲の反射面に比べて 10cm ほど高く，中央部が盛り上がった盛土のような構造を示している．

また、この盛土構造の下の深度 0.8~1.0m の範囲には、規則性を持った小規模な反射応答が多数見られる。図 2(右)に 0.9~1.0m までの深度スライスを示す。この図を見ると、点在するこれらの反射応答の中で、浅部の盛土状の異常域に沿って約 5.5m の等間隔で並んでいる反射応答が確認できる。また中央部の異常域の内部にも約 5.5m の等間隔で並んだ応答が確認できる。これらの小規模異常域に相当する反射断面の一例を図 3 に示す。図 3 から小規模な反射応答の深度は約 0.8m で、その幅(直径)は約 1m 程度であることがわかる。これらは明らかに人工的な対象物からの反射応答と考えられ、その間隔に規則性があることなどから、大規模な建築物の柱を建てるために掘られた柱穴や礎石などであると考えられる。

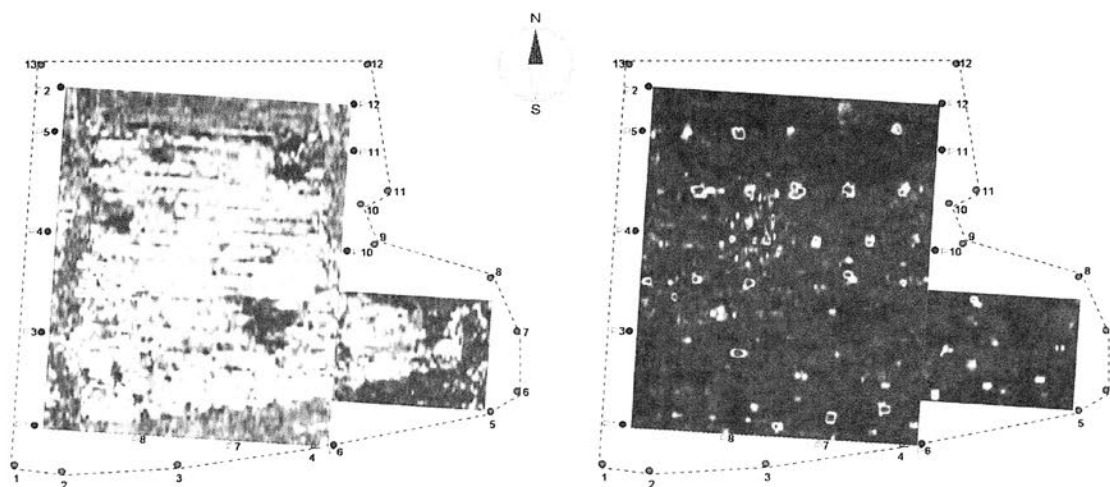


図 2. 0.2 から 0.3m までの深度スライス(左)と 0.9 から 1.0m までの深度スライス(右)

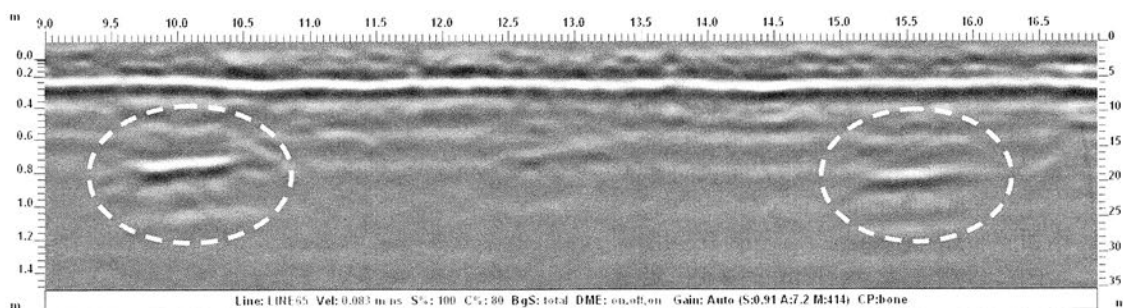


図 3. A 調査区の反射断面図の一例 (LINE65 : 32.5m地点)

4. まとめ

A 調査区では約 0.8m の深度に、直径約 1m 程度の強い反射応答が多数確認できた。これらの反射応答の規模や規則的な間隔から判断すると、これらが個々の竪穴式住居跡とは考えにくい。また安徳台遺跡群では弥生時代の遺跡の他に奈良時代の大型建造物群や室町時代の館跡も発見されていることと、約 5.5m の等間隔で存在する直径約 1m 規模の柱穴跡を考慮すると、盛土状の場所には何らかの大規模な建造物が存在した可能性が高いと推定できる。

参考文献

- 1) 水永秀樹(2010)：福岡県筑紫郡那珂川町安徳台遺跡群の地中レーダ探査，平成 21 年度研究成果報告書
- 2) 那珂川町教育委員会編(2006)：安徳台遺跡群・那珂川町文化財調査報告書第 67 集

石川県能美市秋常山 1 号墳後円部墳頂の物理探査 Geophysical Prospection of Akitsuneyama the 1st Mounded Tomb, Nomi City, Ishikawa Prefecture, Japan

○亀井宏行（東京工業大学），菅原雄一（能美市教育委員会）
○Hiroyuki Kamei (Tokyo Institute of Technology), Yuichi Sugahara (Educational Board of Nomi City)

1. はじめに

石川県能美市にある秋常山 1 号墳は、全長約 140m、後円部高 19.5m を誇る県内最大の前方後円墳で、古墳時代前期末（4 世紀後半）の築造と推定されている。1995 年には後円部墳頂部で試掘調査が実施され、攪乱や盗掘の痕跡がないことから、埋葬施設が残存していることが推定されたが、埋葬施設そのものに関する手がかりは得られなかった（寺井町他編，1997）。本報では、2004 年から始まった整備の過程で、2007 年 10 月 15 日～19 日に実施された内部施設の確認のための地中レーダ探査、電気探査、磁気探査の結果について報告する。

2. 探査の概要

図 1 に墳丘測量図を示す。後円部墳頂上に最も広く平坦面がとれるよう探査領域を設定した。地中レーダ探査は Sensors & Software 社製 PulseEKKO pro+500MHz アンテナを用い、0.5m 間隔の測線配置で、東西、南北 2 方向測定した。電気探査は、AGI 社製 SuperSting R8/IP 比抵抗計と多電極切替装置 MEDUSA を用い、東西 15m×南北 15m の範囲を、1m 間隔で電極を配置して、表面電位法（亀井他，2008）により実施した。磁気探査は、過去に墳頂部で鉄器が採取されたことから鉄製品の埋納可能性を探るために導入したもので、トーキン製 TRM-70D フラックスゲート型 3 軸グラジオメータを用い、東西 15m×南北 16m の範囲を 0.5m 間隔で測定した。

3. 探査結果

レーダ探査で特徴的な反応が得られた断面図を図 2 に示す。この図は、ほぼ墳丘主軸にそって南北に走査したレーダ断面図で、横軸は南から北へのアンテナ移動距離、縦軸には電波の反射時間をとったもので、反射時間の単位はナノ秒（ 10^{-9} 秒）で[ns]と表記している。本報では、探査領域の東西方向東向きに x 軸正方向、南北方向北向きに y 軸正方向をとり、南西隅を原点(0,0)とする座標系を用いている。図 2 の測線は、x=13m を南北に走る。図 2 では、南から 6m (y=6m)の地点を中心に、深さ 23ns（換算深度約 80cm）あたり幅 2m 弱の強い反射が見られる。位置からして埋葬主体であると考えられる。また、南から 1m 付近 27ns（換算深度約 90cm）の深さから北に向かって落ち込む構造が読み取れ、この反応は主体を挟んで 11m あたりで立ち上がるように見える。主体を据えるための墓壇と考えられる。墓壇の上端が主体の頂部より深いところから始まることから、「掘り込み墓壇」ではなく、墳丘構築途中に堤で囲うような浅い墓壇を作り主体を据え、その後盛り土をした「構築墓壇」のように見える。図 2 では、南から 8m、深さ 10ns あたりから北に水平に広がる反射が見られるが、これは 1995 年調査時ののトレンチを捉えているもので、こ



図 1. 墳丘測量図と探査領域

のトレンチの深さでは墓壙が検出できないことは、レーダの断面図からも明らかである。主体からの反射については、南北方向測線では、隣接する4本の測線(0.5m 間隔)にしか反射がとらえられていないことから判断するに、主体全体をとらえているにしては小さすぎると思われるので、主体の一部だけが残存していると考えられる。

図3に、磁気探査の結果(地磁気垂直方向成分の勾配)を示す。図3では、 $x=11\text{m}$, $y=7\text{m}$ あたりと、 $x=15\text{m}$, $y=3\text{m}$ あたりを中心とする顕著な双極型磁気異常が見られる。いずれも南側に正值を持つことから、強磁性体の存在が疑われる。地中レーダ探査で埋葬主体が残存していると思われる部分は、 $x=13\text{m}$, $y=6\text{m}$ を中心とするので、ちょうど2つの磁気異常に挟まれた位置にあたる。これら2つの磁性体は、棺内あるいは墓壙内に納められた鉄製の副葬品であると思われる。地中レーダの断面図にこれらの位置に孤立物体の像が写っており、北側の磁性体の深度は39ns(換算深度約130cm)、南側は深度33ns(同約110cm)と推定される。2つの深度の違いは、遺物の形、例えば刀剣類と、甲冑類の違いを表しているのかもしれない。

電気探査では、高い分解能は期待できないが、レーダ探査で主体が残存していると推定される付近で抵抗率が低いという結果が得られたことから、主体は粘土槨ではないかと推定される。

4. まとめ

探査結果から推定される後円部の埋葬主体の様子を、図4に示す。図4中、長さ9mほどの破線の長方形領域Dに粘土槨と思われる主体があり、中央Aの部分は崩落せずに残っていると思われる。粘土槨の残存部までの深度は80cm前後と推定される。棺内には、B,Cの2カ所に鉄製品の副葬品が納められ、北側のCの部分には、鉄剣などの細長いものが棺底(深度約130cm)にある。南側のBは深度が約110cmなので、甲冑類の可能性が考えられる。墓壙は、破線Eで囲まれた範囲あたりとなり、構築墓壙と思われる。さらに破線で囲まれたFの領域に、もう一体の埋葬があるかもしれない。

参考文献

- 石川県寺井町・寺井町教育委員会編(1997):加賀能美古墳群, pp.213-214
 亀井宏行, 河原健一郎, 本田誠彦(2008):遺跡探査と電気探査—表面電位法の開発—, 最新の物理探査事例集, 物理探査学会編, pp.347-354

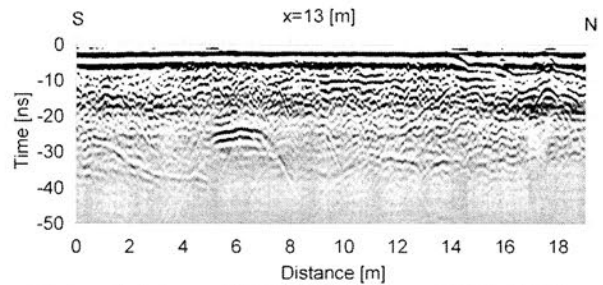


図2. 地中レーダ断面図(x=13mの南北測線)

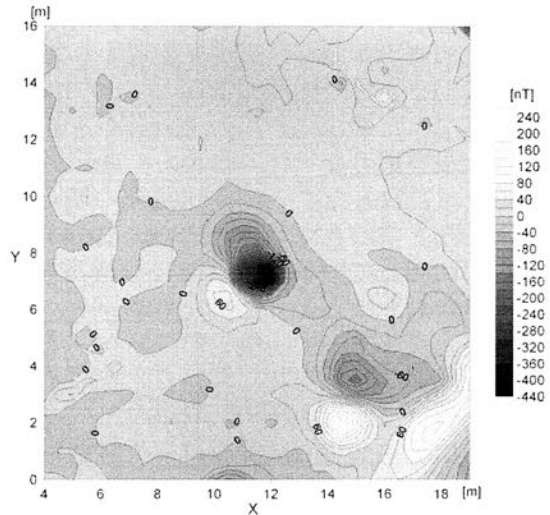


図3. 磁気探査結果(垂直成分)

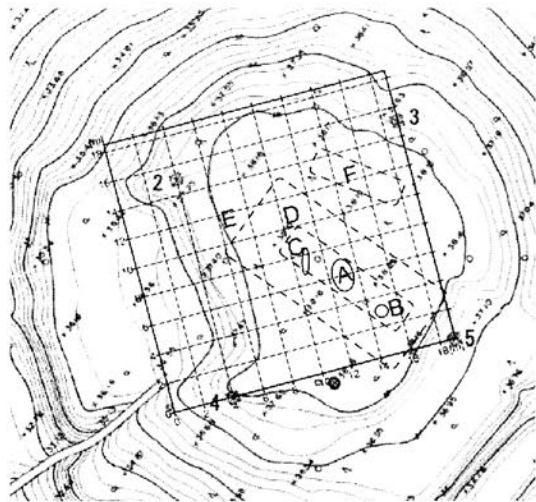


図4. 推定される埋葬施設

秋田県仙北市角館町白岩焼窯跡の探査

Exploration of Shiraiwa kiln site in Kakunodate-machi, Senboku City, Akita Prefecture

○西谷忠師, 坂中伸也, 河野輝樹, 大本将行, 間杉香織, 山口大輔, 田川夏美
(秋田大学大学院 工学資源学研究科)

○Tadashi Nishitani, Shin'ya Sakanaka, Teruki Kohno, Masayuki Oomoto, Kaori Masugi, Daisuke Yamaguchi, Natsumi Tagawa (Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University)

1. はじめに

秋田県仙北市角館町白岩地区で焼かれた陶器は白岩焼とよばれ、秋田県近世最古の窯元とされている。白岩焼は松本運七が1771年(明和8年)に開窯したと言われている。運七の弟子となった儀三郎の尽力で窯業が定着し、新たに四つの窯元が操業をおこし、白岩地区は一大窯業地となった。しかし、瀬戸美濃など他の窯業地から多量の製品が秋田に移入されるようになったことや、1896年(明治29年)の陸羽地震が大きく影響して廃窯に追い込まれたと言われている。その後1974年(昭和49年)弟子の末裔によって白岩焼が復活し現在に至っている。1932年に渡邊為吉が白岩焼の調査と窯跡の発掘調査を行い、1933年に『白岩瀬戸山』としてまとめている。瀬戸山之図には松本運七が操業を始めた窯を「古窯跡」、弟子の山手儀三郎の窯を「イ窯跡」、吉五郎の窯を「ロ窯跡」、多一郎の窯を「多一郎窯跡」と記載している。特にイ窯の規模は大きく、燃焼と焼成の部屋を合わせて15室あったとされている。しかし、この調査報告から80年あまり経過しており、瀬戸山之図を用いて窯跡の位置や規模の特定を行うことは非常に難しい。

本探査の目的は電気探査、磁気探査、電磁気探査を用いて白岩焼窯跡の位置と規模を特定することにある。瀬戸山之図の一部と調査範囲を図1に示した。



図1 瀬戸山之図と調査範囲

2. 電気探査

電気探査は電流電極で電流を流し、電位電極で電圧を測定して地下構造を調べる方法である。ここでは多数の電極をあらかじめ設置して、電極位置を逐次変化させる多電極電気探査法を使用した。用いた電極配置は、ウェンナー配置、エルトラン配置、ポール・ポー

ル配置である。電極間隔を 1.5m, 電極本数を 32 本, 測線の長さを 46.5m, 測線毎の間隔を 2m として測定を行った。電気探査で得られるのは地下の電気構造 (比抵抗値) である。

各電極配置毎の解析, 複数の配置を統合した処理を行い, 地下比抵抗構造を得た (図 2)。比抵抗値が高く変化が顕著な位置が窯跡の場所を示していると考えられる。

3. 電磁気探査

電磁気探査の手法として VLF-MT 探査法を用いた。この探査法は VLF 帯の電磁波を用いて探査する方法である。発信局方向の電場とこれに垂直な磁場成分から地下比抵抗構造を得ることができる。用いた電磁波は宮崎県えびの通信所 (JJI) から発信されている 22.2kHz の電磁波である。VLF-MT 探査は断層, 破砕帯の調査, 鉱体調査, 地下水調査, 遺跡探査などに利用されている。現場で直ちに結果を得られる利点がある。白岩焼窯跡に適用した結果が図 3 である。多一郎窯跡とロ窯跡の位置を明らかにすることが出来た。推定した窯跡の位置は電気探査の結果とほぼ同じ場所であった。また, 1896 年の陸羽地震による断層と思われる位置も明らかにした。

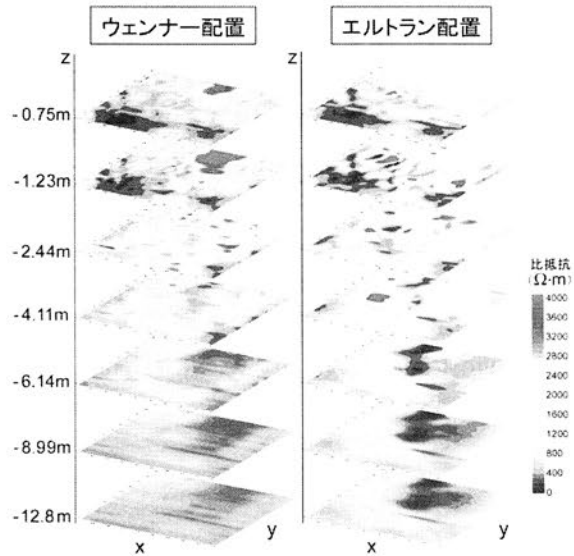


図 2 電気探査による比抵抗構造

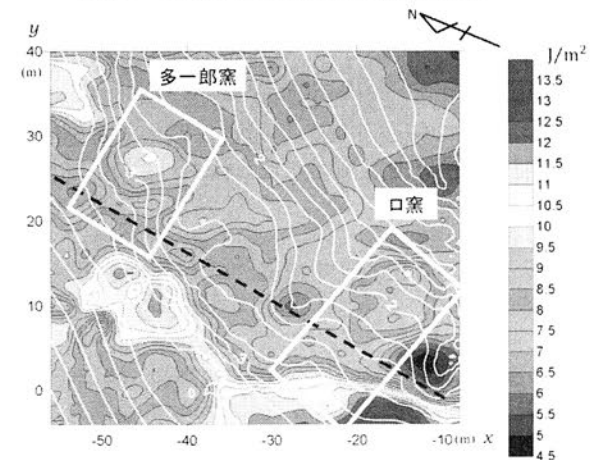
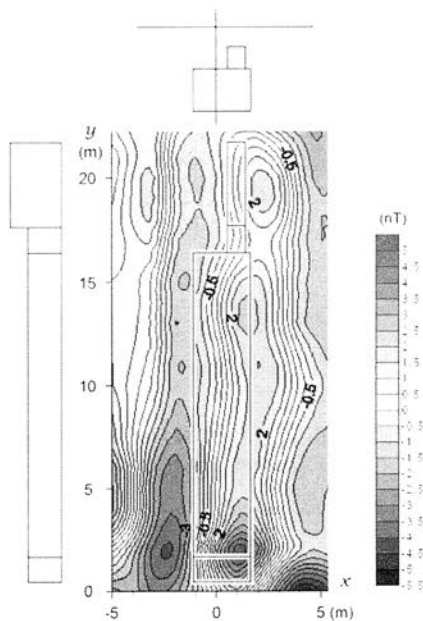


図 3 VLF-MT 探査による多一郎窯跡とロ窯跡および断層位置の推定

4. 磁気探査と三次元モデル計算による構造推定

磁気探査はオーバーハウザー磁力計 (GSM-19) を用い, センサーの高さを 2.25m と 1.35m として, 探査領域を 1m の格子状に測定した。得られた測定値を再現するように三次元プリズムモデルで予想される値を計算し, 実測値と一致するように地下構造モデルを変化させて, イ窯の位置と深さを推定した。その結果を図 4 に示す。磁気探査の測定結果をほぼ満足する構造が得られた。古窯跡に対しても三次元モデル計算を行い, 古窯は 1 つではなく二ヶ所に分かれて存在しており, その方向と深さを推定することができた。おそらく使用した時期が異なると思われる。

図 4 イ窯跡付近の磁気探査と地下構造推定モデル



近世窯業遺跡における探査と発掘の連携 —美山苗代川窯跡群における実践—

Archaeological Prospection and excavation of the Naeshirogawa kiln sites in Kagoshima, Japan.

○金田明大(奈文研)、渡辺芳郎(鹿児島大学)、西口和彦(奈文研)

KANEDA Akihiro(Nara National Research Institute for Cultural Properties)、 WATANABE Yoshiro(Kagoshima University)、 NISHIGUCHI Kazuhiko(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1) はじめに—本研究に至る経緯—

近世において「苗代川」と呼ばれた鹿児島県日置市美山は、近世初頭から現在まで続く窯業地である。窯跡も多数分布し、苗代川窯跡群と呼んでいる。

渡辺は2006年より本窯跡群の分布調査・測量調査を継続的に実施し、2008年より金田・西口とともに地下探査を実施している。2009年度より日本学術振興会科学研究費補助金(「考古学と地下探査の協同による近世薩摩焼研究再構築のための基礎的研究」(基盤C)代表:渡辺、分担:金田)を受け、2010年12月～2011年1月に南京皿山窯跡において探査と発掘調査を実施した。幕末期に磁器を焼成した同窯は、現在2基の連房式登窯跡が並行して残存している(西側:1号窯跡、東側:2号窯跡)。

ここでは2基の窯跡北側の平坦地において実施した探査・発掘調査の成果について報告する。なお同窯跡は日置市指定史跡であるが、今回の発掘地点は指定地外である。

2) 探査の概要

探査は、発掘調査に資する遺構の遺存状況および位置を検討するための情報収集を主眼におき、磁気、電気、GPRの各手法による探査を実施した。磁気探査はフラックスゲート式磁力計を用い、電気探査は二極法による。

今回の探査は、磁気・GPR探査により窯の構造や位置が明らかになった市史跡地(金田・渡辺 2009)の北側隣接地にあたる。この成果もあわせて検討をおこなうと、史跡地外においても2号窯跡は磁気・GPR・電気いずれもその存在を明瞭に確認することができる。1号窯跡は磁気探査では上部に存在する塵芥による異常により明瞭に捉えられていないものの、GPRでは明瞭な遺存を確認することができた。電気探査についても窯体の他、窯体の東西に沿って抵抗が低い部分が存在し、窯に関連する施設が存在する可能性を指摘できる。両窯の反射が強い深さには差があり、2号窯跡が21-27ns付近、1号窯跡が16-21nsと前者が深い位置に存在する可能性が指摘できた。

3) 発掘調査の概要

探査結果および窯跡の地表面の観察から、1号窯跡の北側に1号A・Bトレンチ、2号窯跡の北側に2号トレンチを設定した。1号A・Bトレンチからは1号窯跡の燃焼室の奥壁・両側壁・床面が検出され(床面:地表下0.65m)、同窯が燃焼室+6~7室の連房式登窯であったことが確認された。2号トレンチでは、2号窯跡の焼成室床面および火床境・火床が検出され(床面:地表下0.75-0.85m)、同窯が7室以上の焼成室を造る連房式登窯であったことが確認できた。

以上の発掘結果は、遺構の所在地・深度において、探査結果と整合すると言える。また電気探査の結果は、今後の調査の手がかりとなる。

4) 本研究の成果

本研究では近世窯業遺跡の総合的な研究方法を模索し、既に広域分布調査への寄与および非破壊による窯構造の推定などの成果をあげている(金田・渡辺 2009)。今回は発掘調査との連携をおこない、探査と発掘を効果的に組み合わせた調査の有効性を示すことができたと思う。

金田明大・渡辺芳郎、2009、近世窯跡における地下探査の可能性—苗代川窯跡群の成果から—、地域政策科学研究、No.6、pp.1-23、鹿児島大学大学院人文社会科学部研究科

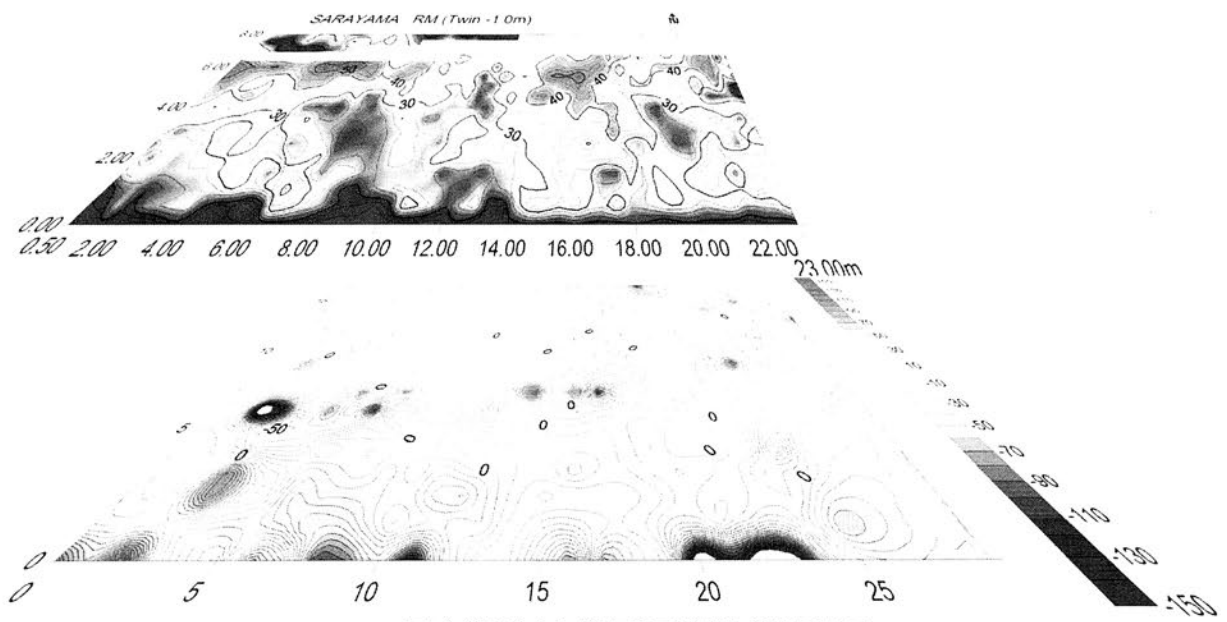


図1) 電気(上)・磁気(下)探査成果平面図

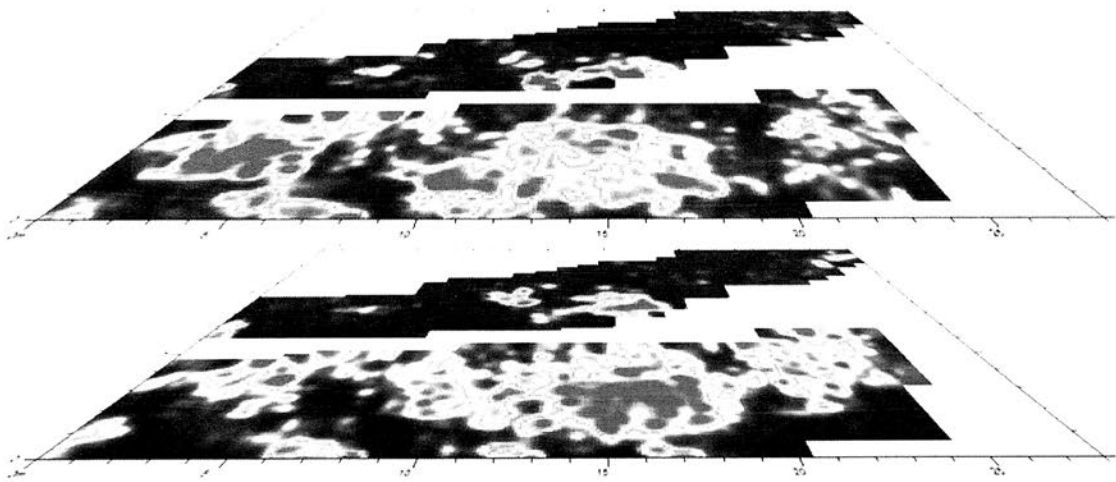


図2) GPR Timeslice 平面図(上: 16-21ns/下 21-27ns)

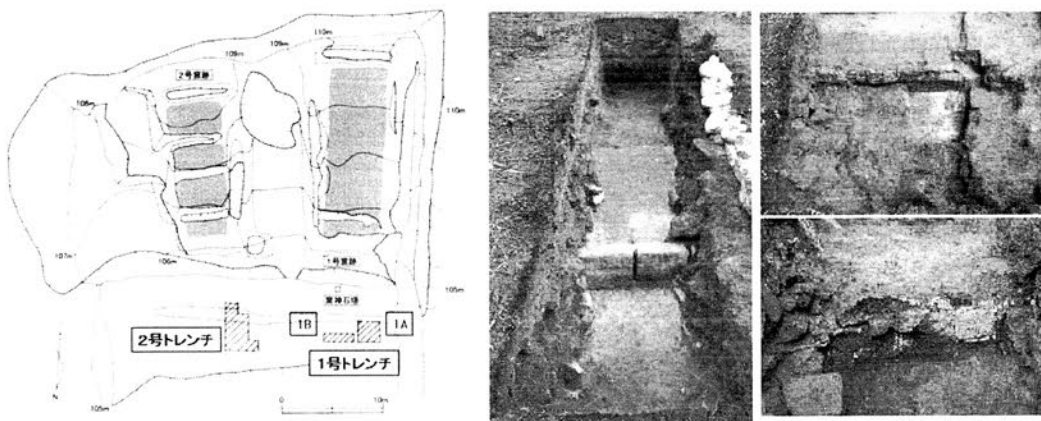


図3) 発掘調査成果(写真左: 2号トレンチ、写真右: 1号A(上)・B(下)トレンチ)

文化財分野における、デジタルエックス線撮影の現状と課題 In the field of cultural heritage, digital radiography, Current Status and Issues

○荒木臣紀、和田浩、土屋裕子、神庭信幸（東京国立博物館）、
相田健二（エクスロンインターナショナル株式会社）

○Tominori ARAKI, Hiroshi WADA, Yuuko TSUCHIYA, Nobuyuki KAMBA (Tokyo National Museum),
Kenji AIDA (Yxlon International Co.Ltd.)

【はじめに】

東京国立博物館では2009年からフラットパネルディテクター（以下F.P.D.）デジタルエックス線撮影システムの導入を行い、彫刻、絵画、工芸品、考古歴史資料など幅広い材質や構造からなる文化財の撮影を行っており、その撮影時に浮かび上がった課題と対策、現状を報告する。東京国立博物館のデジタルエックス線撮影システム（写真1）の概要（表1）は以下の通りである。



写真1 撮影装置（2009年）

表1 撮影システムの概要

Table 1 X-ray systems	
Tube voltage	10-225 kV
Tube current	0-30 mA

Table 2 Digital flat-panel detectors	
Active pixels (mm)	3000 × 2000
Usable area	400 × 400 mm
Pixel size (pitch)	200 μm
Energy range	40 keV -15 MeV

撮影に際し、比較的高いエネルギーのエックス線によって内部構造の調査が目的となる大型立体物の撮影においては撮影画像結合の簡便さ、暗室処理が不必要になった事など享受したメリットが大きい。しかし、先述にあるような様々な文化財を撮影しているうちにいくつか課題が浮き彫りになり、それらを解決するまでの経緯を以下に報告する。

【課題と対策】

課題は有機、無機材料が混在する薄い大型の絵画作品の撮影に際して表面化した。大型の絵画作品の撮影はエックス線を均一に作品全体へ照射する為にエックス線管球と被写体を離して撮影を行う為、軟エックス線量が不足し、作品の基底材、彩色層等の薄い多層構造を観察するには不十分な画像しか得られなかった。この問題を解消する為には軟エックス線の量が減らないと考えられる距離に近付けて撮影すれば良好な結果を得られるが、撮影対象とエックス線管球との距離が近くなり、作品全体へ均一にエックス線が照射されず、受光部中心と周辺部ではエックス線の照射量に大きな差が出てしまう。また、メーカー出荷時に取り付けられているパネル素子保護のアルミ板に軟エックス線が考えている以上に吸収されている可能性が考えられた。

対策として最初に、軟エックス線の量を作品全体に照射する為にエックス線管球をF.P.D.と平行に動かす事で常に撮影に最適な距離を保ち、エックス線管球とエックス線受光部中心を同期運転させる改良を行った。

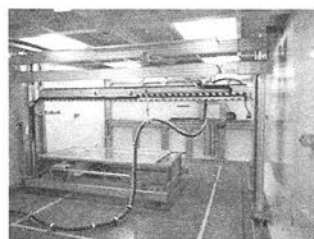


写真2 改良工事後（2010年）

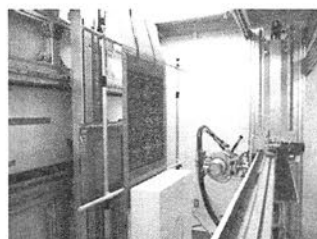


写真3 距離=1000[mm]で撮影

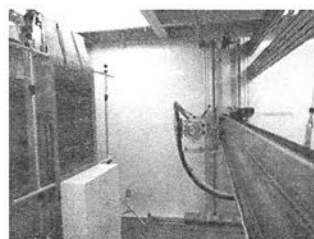


写真4 距離=1400[mm]で撮影

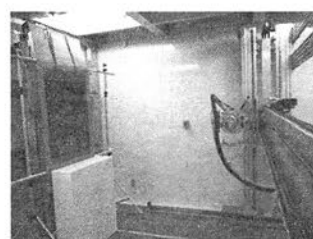


写真5 距離=2000[mm]で撮影

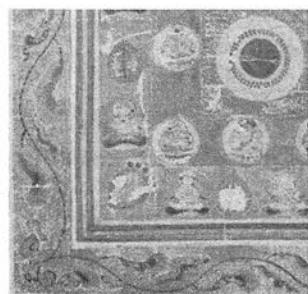


写真6 フィルム撮影結果
(FUJI FR 14kv 10mA 1400mm 240sec)



写真7 Digital (Flat Pannel Detector)
Image (65kv 30mA 1000mm)

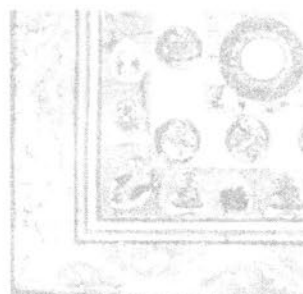


写真8 Digital (Flat Pannel Detector)
Image (70kv 30mA 1400mm)



写真9 Digital (Flat Pannel Detector)
Image (70kv 30mA 2000mm)

次に、作品を透過した軟エックス線をより多くパネル受光部に届かせる為にパネル素子保護の為に装着してあるアルミ板を取り外す改良（写真10）と撮影実験を行った。

【結果】

この改良により作品全体に均一な軟エックス線が照射され、分割撮影した画像を結合しても作品中心と周辺部でも均一にエックス線が照射されている事が確認できた。また、アルミ板を外すことで装置を設置した当初よりは画質が改善された（写真11）

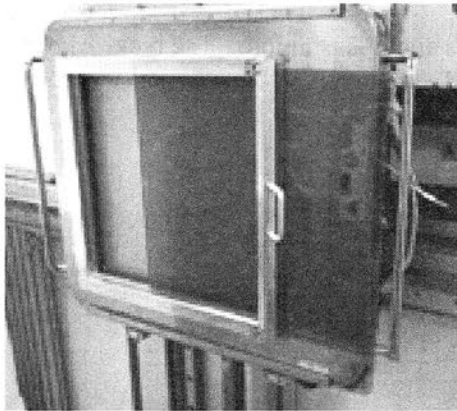


写真10 アルミニウムフィルター巻脱可能工事改良後

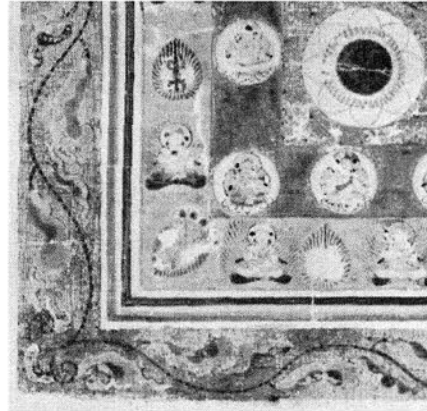


写真11 フィルターなし結果
(30kV 14.99mA 距離 1400mm で撮影)

今日までの取り組みを含めても、依然としてエックス線フィルムを用いて撮影した画像には及ばない。ただ、暗室の維持、撮影や現像の手間、フィルムの入手、フィルムの保存、画像の取り扱い易さなどを考えると、近年のフィルムカメラによる撮影からデジタルカメラによる撮影の地位が逆転したのと同様に文化財のエックス線撮影もデジタル化への移行は今後も進んで行くと考えられる。しかし、得られる結果が従来のフィルムによる撮影に比べて劣るのであれば、それは本末転倒であり、現状では調査対象となる文化財を構成する材質を考えて限界を知りながら調査にあたる必要がある。

【今後の課題】

更に充実した調査を行えるようにする為に以下のような課題を解決していく必要があると考える。

1. フラットパネルディテクターと撮影対象との距離が開くことで画像のコントラストが落ちる事。
これはF.P.D.を撮影対象文化財の横（裏側）移動させて分割撮影を行う場合に接触や衝突を防ぐ為に、文化財とF.P.D.の間には一定の間隔は必要である為。
2. 画像を定量的に評価する為の基準となる薄い有機質で作られた撮影対象物質がない。

我々は今後もデジタルエックス線撮影をフィルムと同等の情報を持つデジタルエックス線撮影を目標にして、日々努力、改良を行っている。

確率伝搬法を用いた地中レーダの振幅復元

Recovering Propagation Loss of Ground Penetrating Rader Signals using the Belief Propagation

○千島史彦、亀井宏行、橋本泰一、阿児雄之（東京工大学）
 ○Fumihiko Chishima, Hiroyuki Kamei, Taiichi Hashimoto, Takayuki Ako
 (Tokyo Institute of Technology)

1. はじめに

遺跡探査に用いられる地中レーダでは、送信電波の地中からの反射波を受信し、その振幅値（反射強度）に階調値を与えて画像表示する。そして、この画像内の反射形状や反射強度から地中の状況や地中物体を把握する。しかし、地中では様々な要因により送信波と反射波が減衰される。特に深部からの反射波ほど大きく減衰されるため、地中深部の反射強度や反射形状が不明瞭となり地中状況の把握が困難になる。従来、この減衰を復元するには、地中を均質とみなして受信信号を単純に増幅したり、技術者の経験に基づいて増幅量を変化させたりしている。しかし、実際の地中は不均質であり、そのため減衰過程が複雑となり推定するのは困難である。本研究では、地中での電波の減衰過程を確率過程とみなし、統計力学で用いられる近似アルゴリズムである確率伝搬法^[1]を用いて受信信号の振幅を復元する。

2. 確率伝搬法による振幅復元

図1のように、データ列 f のある変換でデータ列 g が生成されるとする。ここで g が既知で f が未知である場合、推定値 \hat{f} は式(1)で求まる。本研究では、 g を地中レーダの測定データ、 f を受信信号の振幅減衰がない場合のデータとする。式(1)は、確率伝搬法を用いて近似的に計算できる。式(1)中の事後確率と呼ばれる $P(f|g)$ は、式(2)のように変形でき、事前確率と呼ばれる $P(f)$ と、 f から g へ変換する確率 $P(g|f)$ からなる。

$$\hat{f} = \arg \max_f P(f|g) \dots\dots(1) \quad P(f|g) = \frac{P(g|f)P(f)}{P(g)} \dots\dots(2)$$

$P(f)$ を式(3)、 $P(g|f)$ を式(4)で定義する。式(3)は、隣り合ったデータ値は同じ値をとる確率がとりやすいことを表す。式(4)は f から g への変換過程を表す。 y を深度、 γ を減衰定数とした $e^{(-\gamma y)}$ の項が地中での電波の減衰率を表し、 f_y の減衰値 $e^{(-\gamma y)} f_y$ と g_y との差が正規分布する確率モデルとする。確率モデルとすることで必ずしも減衰定数 γ に従わない値が推定され、不均質媒質での減衰復元が可能になることが期待できる。また、確率伝搬法を最尤推定法である EM アルゴリズムと組み合わせることで、式(3)(4)のハイパーパラメータが推定できる。

$$P(f) = \frac{\prod_{y \in \Omega} \exp\left(-\frac{1}{2} \alpha (f_y - f_{y+1})^2\right)}{Z_{pri}} \dots\dots(3) \quad P(g|f) = \prod_{y \in \Omega} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} (e^{(-\gamma y)} f_y - g_y)^2\right) \dots\dots(4)$$

Z_{pri} : 規格化定数

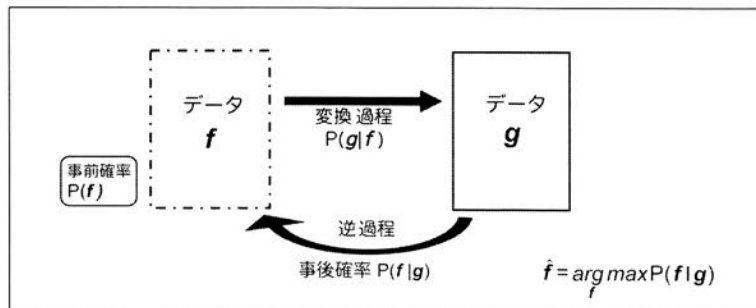


図1 確率伝搬法によるデータ推定

探査
0-7

3. シミュレーション実験

地中レーダの測定データを擬似的に生成し、確率伝搬法を用いてその振幅減衰を復元した。確率モデル中のハイパーパラメータについては、 α と σ を自動推定し、減衰定数 γ については固定して与えた ($\gamma=0.016$)。

横 2.0m、縦 0.6m の媒質中(比誘電率 20)に点物体(直径 0.1m, 比誘電率 10)が 2 つ、($x=0.4\text{m}$, $y=0.2\text{m}$)と($x=1.5\text{m}$, $y=0.5\text{m}$)を中心位置として埋設されていると仮定する(図 2)。送信波の中心周波数 500MHz の地中レーダ画像(図 3)では、二つの反射波が確認できる。しかし、深い方の反射波(15ns 付近)は、浅い方の反射波(6ns 付近)よりも振幅が減衰されて不明瞭である。振幅減衰の復元画像(図 4)では、15ns 付近の反射波は復元され明瞭となり検出しやすくなった。また、図 5 と図 6 に示す通り、二つの物体からの反射波はほぼ同じ振幅に復元された。二つの点物体は比誘電率が同じであり、その反射波は減衰がなければ同じ振幅となる。つまり振幅復元画像からは、二つの物体は同じ比誘電率をもつと推定できる。

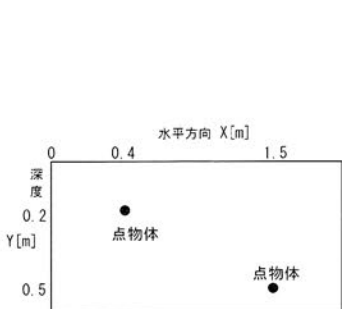


図 2 地下モデル

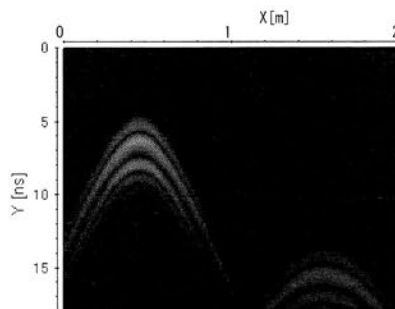


図 3 モデルのレーダ画像

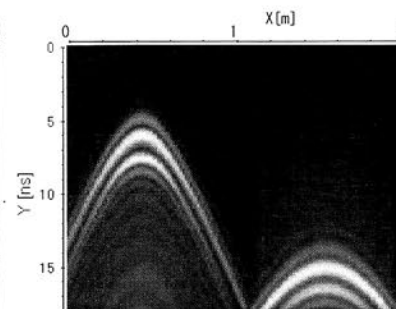


図 4 振幅復元画像

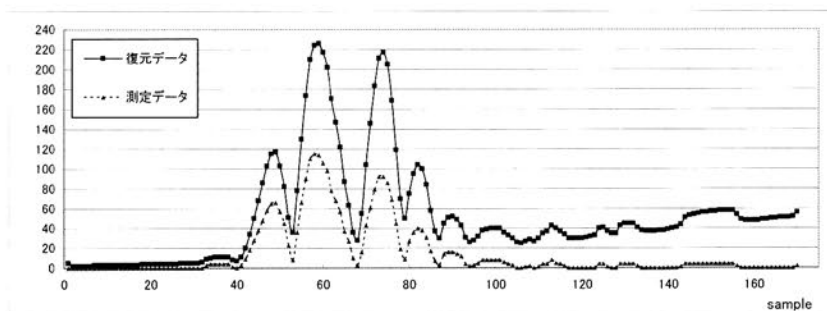


図 5 $x=0.4$ の測定データと復元データ

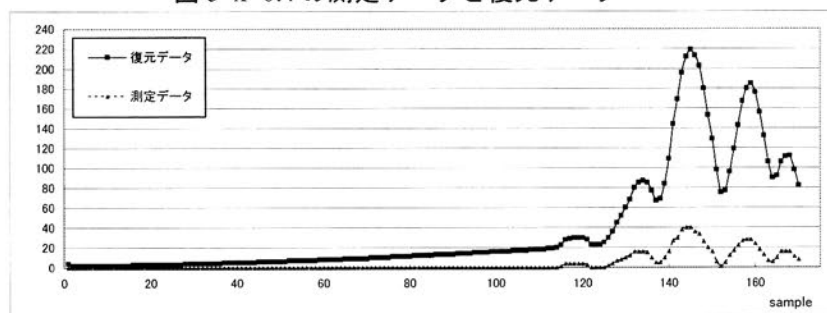


図 6 $x=1.5$ の測定データと復元データ

4. まとめと今後

媒質が均質なモデルの振幅減衰を確率伝搬法によって復元し、良好な結果が得られた。今後は、実データに対するシミュレーションを行い、性能を評価する。

参考文献

[1] 田中和之：確率モデルによる画像処理技術入門, 森北出版, 2006

鹿児島県虎居城跡における地中レーダー探査

Radar survey in Kagoshima Torai-Castle

○永濱 功治（鹿児島県立埋蔵文化財センター），後藤 雅彦（琉球大学考古学研究室）
○Nagahama Koji（Kagoshima Prefectural Archaeological Center），Masahiko Goto（University of the Ryukyus）

1 はじめに

鹿児島県さつま町に位置する中世山城，虎居城跡において曲輪直下を廻ると想定した横堀を検出する際に地中レーダー探査を実施し位置の推定を行った。虎居城跡は連郭式中世山城で，年代は陶磁器の編年や木製品の¹⁴C年代測定値から概ね15～16世紀が中心である。今回の探査は曲輪周辺における堀の位置，深さ等を推定するため地中レーダー探査を実施し，発掘調査の結果と比較した。また，発掘調査を行わない曲輪周辺の状況も一部確認した。

2 使用機器

使用機器は琉球大学所有の米国 GSSI 社製地中レーダーシステム SIR-3000 で，270MHz のアンテナを用いた。地中レーダー探査は，電波を地中に送り地層や遺構などから反射した速度や強さによって，対象物を探査するものである。堀の推定深度を考慮して探査の深度を基本的に100ns（ナノ秒）（約3m）に設定した。なお，図の数値は深度を ns で表示しており，一般に南九州の土壌では概ね3倍した数値を距離(cm)に換算することが出来る。

3 事前調査と調査範囲

事前の発掘調査で，調査区東端の曲輪直下において堀の一部が検出された（写真1）。この堀は曲輪法尻を廻るように検出され，表土であるシラスの二次堆積の下位約2mで検出された。堀は断面幅約2m，深さ約2mの薬研堀で，阿多火砕流堆積層（10-11万年前）下位の固結した礫層を掘り抜くように形成されていた。埋土はシラスの二次堆積と有機物を多く含んだ黒色粘性土で，堀と埋土の土質に明瞭な差があるため，周囲の探査結果も期待された。また，発掘調査を行わない松社城北東側と2つの曲輪の土塁に挟まれた谷部でも探査を行った（図4）。

4 結果

探査結果を図2,3,5に示す。a-a'間は曲輪法尻から放射状（堀に直交する方向）に調査したものである（図1）。その結果，幅4～5mの範囲において周囲と異なる反応が得られた（矢印付近）。b-b'間でも同様の結果が得られたため，堀が曲輪法尻を廻ることが期待された。その後，これらの探査結果を受けて発掘調査を行った結果，a-a'間では幅約5m，深さ約2mの箱堀が検出された。この堀は火山灰層（阿多火砕流堆積層？）中に構築されており，水成堆積した黒色粘性土を埋土に持つ（写真2）。b-b'間においても地中レーダー探査で現れた反応に近い位置で堀が検出され，曲輪法尻を廻るように構築されていた（図1）。

また，発掘調査の非対象区であるc-c'間，d-d'間を探査した結果，曲輪法尻付近において周囲とは異なる反応が得られたため，非対象区でも同様の横堀が廻る可能性が推察される（図4,5）。d-d'間は2つの曲輪と土塁に挟まれた谷部であり，仮にこの位置に2つの曲輪を遮断するような堀が存在する場合，当時の人々の高い防御意識が伺える結果となる。

5 おわりに

南九州の中世山城において，礫層や火山灰層に構築された堀の位置推定に地中レーダー探査が有効であることが確認できた。堀を形成する礫層，火山灰層と埋土となる火山灰，有機物を含む粘性土との差異が探査結果に現れたと考える。発掘調査で得られた情報に加え，周辺未調査区の地中レーダー探査を面的に行うことが山城全体の評価に繋がると考える。

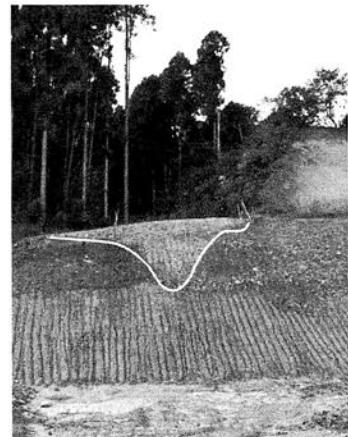


写真1 堀断面

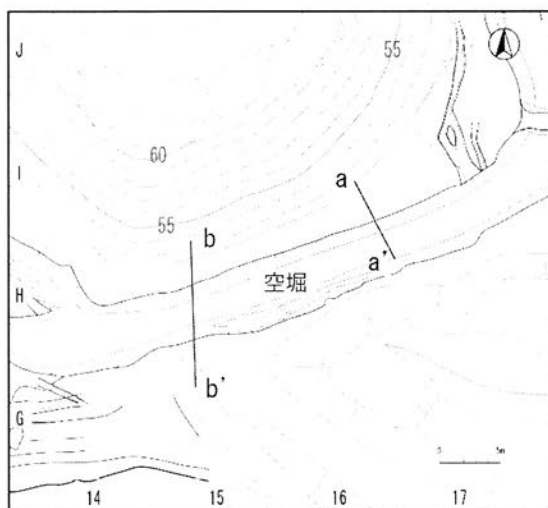


図1 探査測定位置(a-a' , b'-b)と堀

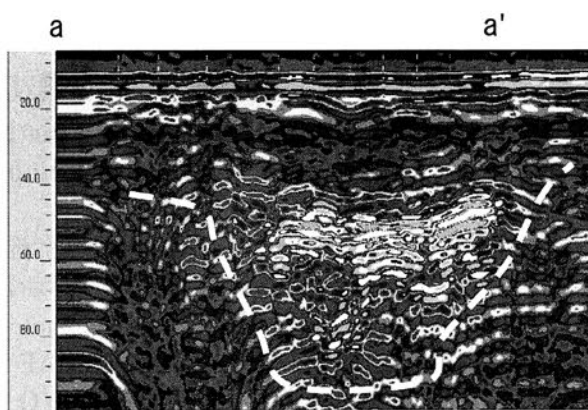


図2 探査結果(a-a')

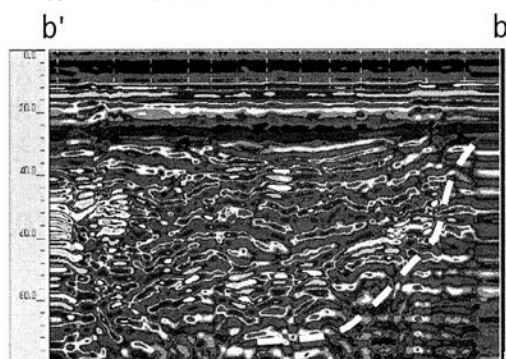


図3 探査結果(b'-b)



写真2 a-a' 付近の堀断面

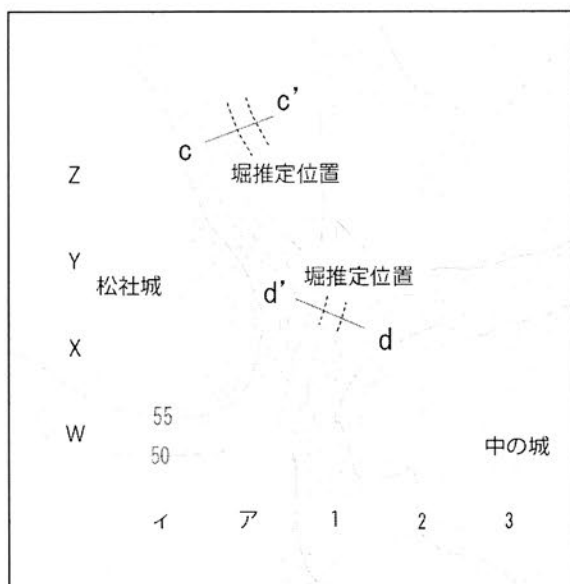


図4 探査測定位置(c-c' , d-d')と堀推定位置

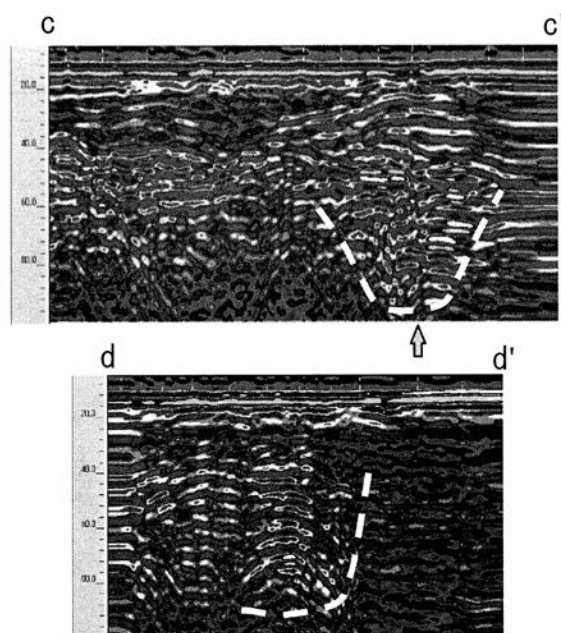


図5 探査結果(c-c' , d-d')

【参考文献】

- 青崎和憲, 後藤雅彦ほか 2011「虎居城跡」鹿児島県立埋蔵文化財センター発掘調査報告書(162)
- 岸田徹, 酒井英男 2007「地中レーダー探査法による城館遺跡の研究」日本文化財科学会第24回大会要旨集

探査成果流通に向けた情報項目と方法の検討 - 興塚古墳調査成果の相互利用を例に -

A consideration to information and methods for circulation of archaeological prospection results.

○阿児雄之（東京工業大学），福井亘（京都府立大学），魚津知克（大手前大学），
山本亮（京都大学），新宮領奏絵（京都大学）

○AKO Takayuki（Tokyo Institute of Technology），FUKUI Wataru（Kyoto Prefectural
University），UOZU Tomokatsu（OTEMAE University），YAMAMOTO Ryo（Kyoto
University），SHINGUURYO Kanae（Kyoto University）

1. はじめに

遺跡探査の成果は、主として、発掘調査成果と共に遺跡発掘調査報告書に掲載され、将来の調査や研究に利用されている。近年では、調査報告書の電子化[1]も見受けられ、それに伴い、探査成果の二次利用も簡便になりつつある。また、GIS を利用した研究が活発になる中で、調査成果の相互利用を視野に入れた情報整備が様々な分野で進んでいる[2]。しかし、それらにおける遺跡探査成果は成果公開に留まり、発掘調査の事前情報としての利用、複数調査機関による調査成果集約、発掘成果との比較検討など、遺跡探査成果を十分に活かした利活用を目的とした活動は見受けられない。

本稿では、遺跡探査成果の流通過程を捉え、その過程における情報種の整理に主眼をおき、兵庫県興塚古墳の調査を通じて情報項目とその方法検討をおこなった。

2. 流通過程の整理

遺跡に関する情報について、学際的研究を支援する情報の構造化[3]やシステム構築研究[4]が、数多くおこなわれてきた。これら研究の多くは、遺跡調査全般を取り扱う

ものの、個別の調査（踏査、測量、発掘、科学的調査など）に関わる調査者からの検討が少なく、実装が困難な状況にある。遺跡探査についても、同様に情報の構造化やデータベース化などが研究されていたものの、各調査機関や遺跡単位での成果利用に留まっていた。ここでは、改めて遺跡探査成果が流通する過程を整理する。

遺跡探査が実施され、研究利用を目的として広く流通するまでには次の様な過程が存在すると想定できる（表1）。それぞれの過程において、生成および参照する情報が存在し、情報種ごとに検討すべき処理方法や技術開発がある。

表1：遺跡探査成果の流通過程

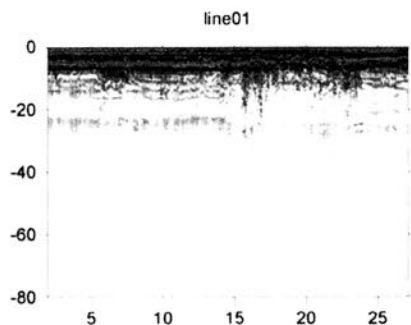
過程	情報	対象者	処理・技術
調査地選定	遺跡情報	考古学者	基礎情報の整理 過去の調査事例調査
	測量成果	測量業者 考古学者	地形測量 座標設定
↓ 探査実施	探査範囲	探査者	探査範囲の測量
	測定データ	探査者	使用探査法と機材 測定条件
↓ データ処理	探査データ処理	探査者	データの視覚化
↓ 伝達	探査結果図	探査者	地形、過去の調査結果との統合 探査結果解釈
↓ 協議	探査解釈	考古学者 探査者	調査成果の評価
↓ 報告	探査結果報告書	考古学者 探査者	報告書の執筆
↓ 蓄積・公開	探査成果集		データベース、システム構築 システムへの登録 関係成果集との連携
↓ 検索・取得	探査結果	研究者全体	公開データ分析

3. 奥塚古墳での調査例

具体的事例として、兵庫県奥塚古墳にて実施した遺跡探査の流過程を整理する（表2）。奥塚古墳の調査においては、現在「協議」過程の段階である。遺跡情報については、参考文献の抽出と関連遺跡のデータベース作成をおこなった。測量成果については、測地系を設定した上で、測量業者に依頼し杭を配置した。この測量基準杭をもとに、地形測量成果や遺跡探査成果の統合が可能である。探査を実施することによって生成されるデータは、探査範囲図、測線配置図、各種結果図である。これらは、前述の座標系を有したデータへの変換を経ることによって、GIS 上での取り扱いが可能となり、地形・過去の発掘調査成果を考慮した協議が可能となっている。

表2：奥塚古墳の成果流過程

過程	情報	担当者	処理結果
調査地選定	遺跡情報	魚津ほか	・近藤義郎（編）「前方後円墳集成」 ・「海辺の首長墓・後背地の首長墓」データベース作成
	測量成果	測量業者	・基準杭配置 世界測地系5系に準拠 11箇所を配置
↓	探査実施	阿見ほか	・探査領域設定 測線配置図作成 (2011.10.10)
	測定データ	阿見ほか	・地中レーダ探査(2010.10.10-11) Sensor & Software pulseEKKO Pro・500MHz Antenna ・磁気探査(2010.10.11) Bartington Grad601
↓	データ処理	阿見ほか	・レーダ探査結果断面図 ・レーダタイムスライス図 ・磁気探査結果図
↓	伝達	阿見、魚津ほか	・前方部の痕跡検出 ・後円部埋葬部の状態確認
↓	協議	阿見、魚津、 福井ほか	・ArcGISへ探査結果図記載
↓	報告		
↓	蓄積・公開		
↓	検索・取得		



4. 今後の検討

流過程を軸に遺跡探査を考えることにより、成果利用に関して必要とされる項目の抽出と情報種、それに伴う処理や技術を整理することができた。

今後、本事例で俎上にあげられた検討事項を基にして、流過程の流れ、それぞれの過程における処理と技術開発検討について、複数の研究者や遺跡探査実施者とひろく議論を深めていきたい。

本研究は、財団法人福武学術文化振興財団「平成22年度 瀬戸内海文化研究・活動支援助成」（題目名：「古墳時代の瀬戸内海東部沿岸における『海辺の首長墓』と『後背地の首長墓』の造営背景についての研究」）のもと実施された。

<参考文献>

1. 遺跡資料リポジトリ <http://rarcom.lib.shimane-u.ac.jp/>
2. 考古学GISデータベース <http://tunogis.nichibun.ac.jp/iseki/index.html>
3. 藤本 悠「学際分野研究としての文化情報学研究 考古学における遺跡情報モデリングとその実装」, 文化情報学, 同志社大学, 2008, pp.15-24
4. 碓井 照子ほか「考古学データベースにおける考古学メタデータとクリアリングハウス」地理情報システム学会講演論文集, 2000, pp.99-104

前田利長墓所における地中レーダ探査の研究

Study of Maeda Toshinaga tomb by Ground-Penetrating Radar

○泉 吉紀 (富山大学), 菅頭明日香 (富山大学), 酒井英男 (富山大学),
岸田 徹 (同志社大学), 栗山雅夫 (奈良文化財研究所)
○Yoshinori IZUMI(University of Toyama), Asuka Kanto(University of Toyama),
Hideo Sakai(University of Toyama), Toru Kishida(Doshisha University),
Masao Kuriyama(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

富山県高岡市に所在する前田利長墓所は、加賀藩 2 代藩主前田利長の 33 回忌 (1647 年) に、3 代藩主の前田利常により造営され、当時の武将の墓としては全国有数の規模を誇る。現在は、内堀とその周囲を含む約 10,000 m²の墓域であるが、江戸時代の絵図には内堀と外堀の 2 重の堀を持ち、一説には 165,000 m²の面積を有したとも伝えられおり、その範囲はまだ明確になっていない。また利長の墳墓は、一辺が約 17m の下段と約 10m の上段から成る 2 段構造となっているが、上段の北壁に入口があり、かつては人が入れるほどの空間 (空洞) が存在したとの伝承も残っている。

今回、墳墓の内部構造と墓域を区画する内堀・外堀の位置推定を目的として地中レーダ探査を行った。

2. 探査概要

探査は Sensors & Software 社の Noggin plus を使用し、アンテナ中心周波数は 250MHz にて行った (図 1)。

図 2 に探査範囲を示す。墳墓の上と内堀に囲まれた廟内 (内区) に①、②の 2 箇所、廟の外側 (外区) に③～⑥の 4 箇所、墓所の周辺 (周縁区) に⑦～⑨の 3 箇所と計 9 箇所に探査区を設定した。

結果の解析は、レーダ波の往復伝搬時間と反射波強度を記録して測定順に並べた擬似断面図 (GPR profile) と Time slice 図法による三次元解析を行った (Conyers and Goodman, 1997)。同図法では、三次元で整理した解析結果をもとに反射の強弱を色分けして様々な深度での平面図を作成し、異常応答の変化を検討した。

3. 探査結果と考察

<①地区の結果>

墳墓上での代表的な GPR profile とその測線位置を図 3 に示す。墓の上段北側に設定した LINE1 では空洞を示す異常応答は認められず、また、深度約 1.9m に推定される、上段下段の境界に対応する反応も現れなかった。これは、現在、墳墓の外は戸室石製の貼石で覆われているが、内部には、一段目と二段目を区画する貼石構造は存在しないことを示すと考えられる。下段北側の LINE7 でも空洞を示す応答は見られない。深度約 3m に認められた境界を示す構造は、下段と地表面の境界に対応する。同様に墳墓の東、西、南側において、上段・下段の上面より探査を行ったが、空洞を示す応答は認められなかった。

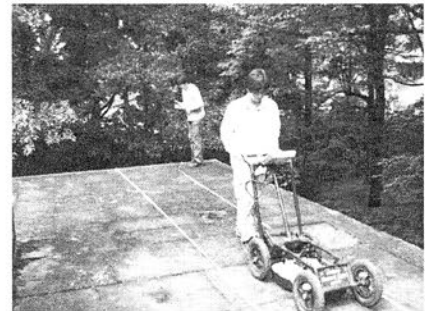


図 1 探査風景

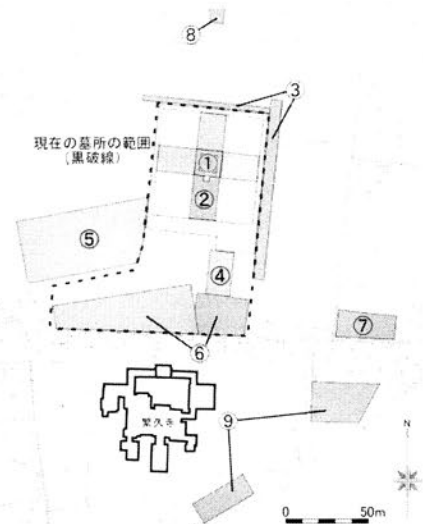


図 2 探査範囲

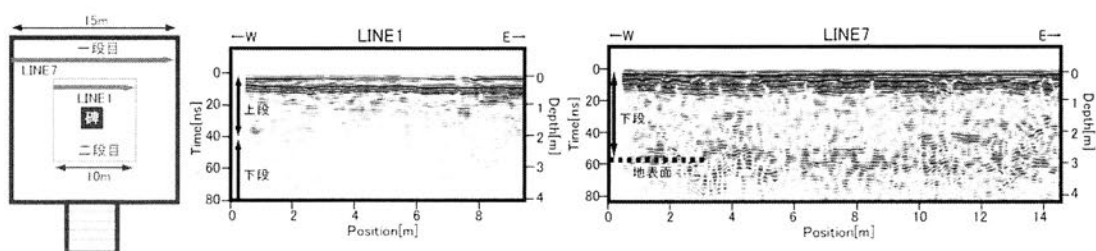


図3 ①地区の探査結果 (左: 測線位置, 中: LINE1 の Profile 図, 右: LINE7 の Profile 図)

<④地区の探査結果>

明治期の絵図に描かれた内堀の位置に相当する場所に探査区を設定した。図4に代表的な GPR profile と測線位置, Time slice 図を示す。図右に示す LINE20 では, 測線距離 3~6m, 深度約 1~2m に異常応答が認められた。これは, 測線距離 0~3m, 深度約 1.5m にある成層構造を切っており, 現在は埋まっている過去の堀に対応する可能性がある。左図の深度 0.75~1.05m の Time slice 図では, この異常が現在の内堀より直線状に南に伸び, 約 20m で東に曲がる様子が認められる。内堀は, 図の様に L 字状に巡っていたと推測された。

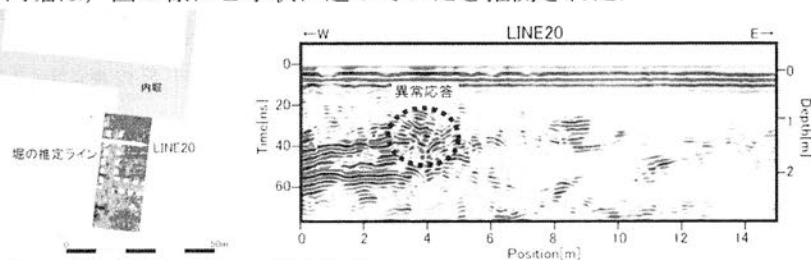


図4 ④地区の探査結果 (左: 測線位置と Timeslice 図, 右: LINE20 の Profile 図)

<⑦地区の探査結果>

墓所の東にあるテニスコート横の田圃で得た代表的な GPR profile と測線位置, Time slice 図を図5に示す。探査範囲の北側では 2006 年度に発掘調査(高岡市教育委員会)が行われ, 外堀が見つかった。右図の LINE0 では, 測線距離 0~2m の深度 1.5~1m に, 西側へ傾斜する地層構造がある。発掘結果との対比から, この落ち込みは外堀に対応すると考えられる。深度 0.6~0.9m の Time slice 図(図左)では, 西端に反射の弱い領域(白破線)が見られ, これが外堀跡と推測される。外堀は, 探査範囲の南西で西側へ緩やかに曲がっており, この地点が外堀の南東の隅に当たると考えられる。

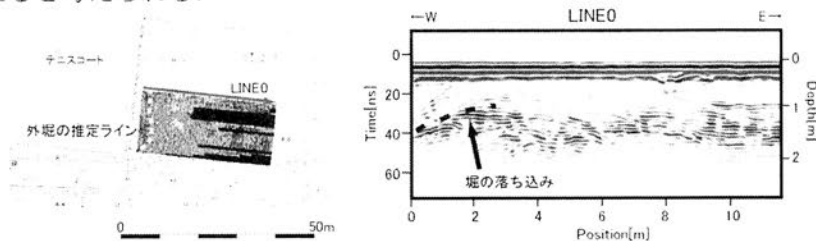


図5 ⑦地区の探査結果 (左: 測線位置と Timeslice 図, 右: LINE0 の Profile 図)

今回調査した前田利長墓所と同様に, 史跡指定を受けた遺跡では発掘調査は制限されることが少なくない。そうした場合, 部分的な発掘調査の結果を探査により面的に広げて地下構造を広範囲に推定することで, 効果的な調査が可能となると考えられる。

参考文献

Conyers, L. B. and Goodman, D.(1997) : Ground-penetrating radar -An Introduction for archaeologists, Altamira press,232p.
 岸田 徹, 酒井英男(2008) : 前田利長墓所における地中レーダ探査の研究, 高岡市前田利長墓所調査報告, 高岡市教育委員会, 99-108.

文化財の劣化を防ぐ無酸素包装

RPシステム[®]

Revolutionary Preservation System

RPシステムは、密閉空間内の雰囲気制御することにより、
文化財劣化の原因となる害虫・カビ (RP剤Kタイプ)、
金属遺物のサビ・酸化による崩壊 (RP剤Aタイプ) の進行を防ぎます。

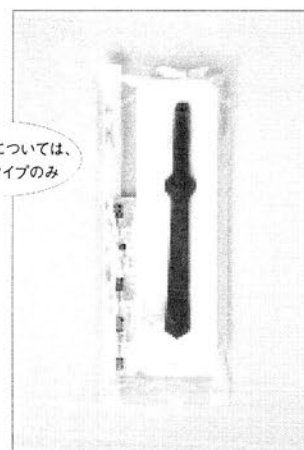
カビ
虫害防止

非金属系文化財用 RP剤 Kタイプ

- 木・紙・布・皮・藁等の文化財や絵画などをカビや害虫から保護します。
- 酸素と腐食性ガスを吸収しますが、湿度には影響を与えません。



水分除去については、
RP剤Aタイプのみ



ハイガスバリア袋エスカル[®] ネオ

金属系文化財用 RP剤 Aタイプ

- 脱塩前の出土金属器の酸化による劣化や崩壊進行防止に最適です。
- 金属腐食の原因である酸素・水分・腐食性ガスを吸収します。

金属器
劣化防止

文化財用ハイガスバリア袋エスカル[®] は、エスカル[®] ネオに生まれ変わりました。

MGC

三菱ガス化学株式会社

特殊機能材カンパニー
脱酸素剤事業部 スペシャルティプロダクツ

東京都千代田区丸の内2-5-2三菱ビル
TEL 03-3283-5167 FAX 03-3287-1785

RP システム

検索

ご連絡はホームページ内連絡フォームより